

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
事後評価報告書

平成24年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成24年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり
評価結果について報告します。

目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 評点結果	1-23
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1
参考資料3 分科会議事録	参考資料 3-1
参考資料4 評価結果を受けた今後の取り組み方針について	参考資料 4-1

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の事後評価報告書であり、第31回研究評価委員会において設置された「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第32回研究評価委員会（平成24年10月10日）に諮り、確定されたものである。

平成24年10月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」

事後評価分科会委員名簿

(平成24年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	おくの ひろし 奥乃 博*	京都大学 大学院情報学研究科 知能情報学専攻 教授
分科会長 代理	ほそだ ゆうじ 細田 祐司	一般社団法人 日本ロボット学会 事務局長
委員	うめだ かずのり 梅田 和昇	中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授
	ごないかわ ひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	こばやし てつり 小林 哲則	早稲田大学 理工学術院 情報理工学科 教授
	みやけ のりひさ 三宅 徳久	パラマウントベッド株式会社 技術本部 フェロー
	やぶた てつろう 藪田 哲郎	横浜国立大学 大学院工学研究院 システムの創生部門 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：京都大学大学院工学研究科メカトロニクス研究室）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

審議経過

第1回 分科会（平成24年6月22日）

公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
5. 1 プロジェクトの詳細説明

非公開セッション

5. 2 プロジェクトの詳細説明

公開セッション

6. 全体を通しての質疑
7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

第32回研究評価委員会（平成24年10月10日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

ロボット知能化のためのソフトウェア基盤の確立という本プロジェクトは、海外でも同分野の研究開発が活発化して来たことを見ても分かる通り、時宜を得たものであり有意義なものであった。

オープンなミドルウェアで開発プラットフォームを作るという目標に対して、数多くの知能モジュールが完成し、さらに複数モジュールの統合実装・検証評価が行われた。また、中間評価後に事業者の取捨選択・統合などが適切に図られ、その後に研究加速制度を活用した ROS (Robot Operating System) との連携システムの構築、安全認証取得 RT ミドルウェアの開発も実施された点は評価できる。

しかし、知能化モジュールは使って洗練化するというプロセスを経ないと一流のシステムには成り得ない。ユーザーのフィードバックを取り入れた拡張・バージョンアップのサイクルを継続的に繰り返すことが不可欠である。本当の成果は、今後仲間作りができるかどうか、いかに市場に RT モジュールが普及するかであり、ユーザーにとってのメリットを明確に示す宣伝戦略が非常に重要であると考ええる。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトで得られた成果を今後も継続・発展させて次世代ロボット産業の発展につなげるための明確なフォローアップ体制が必要である。特にソフトウェアの分野では、今後予想される様々な技術革新やデファクトスタンダードの変化等に対する対応、適合化を図って行くことが重要で、ソフトウェアの更新・保守、恒常的なユーザサポートなどを含めて、普及のための広報活動を継続的に行ってほしい。ソフトウェアが 1 世代で完成することはなく、ユーザーのフィードバックを取り込んだ洗練化・バージョンアップを継続的に繰り返す必要がある。

また、国際競争力の向上も大きな課題であり、OMG* (Object Management Group) での国際化標準の主導的活動をさらに活性化してほしい。ROS との連携は、今回の大きな成果であるが、ROS に載るものの One of them にならないよう、RT モジュール自体の欧米への売り込み戦略も早急に考慮する必要があると考える。

さらに、重要なテーマであり、アプローチも理にかなっているので、技術の

普及にスピード感が欲しい。コミュニティ形成の方法論や、根幹となる RT ミドルウェアの保守体制なども含め、原因についての根本的な検討が必要なのではないか。

*オブジェクト指向技術の標準化をすすめる国際標準化団体

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

RT ミドルウェアが提供する基盤の上に、有用かつ再利用可能なモジュール群を取りそろえることで、RT ミドルウェアを普及させるとともにロボット産業をより活性化させようとする本プロジェクトの事業内容は、日本が今後主導権をとって研究・開発を進める観点から非常に重要である。また、本プロジェクトは、多岐に渡る要素技術を統一的に提供していくという極めて公共性の高い内容であり、利害関係を伴う民間における活動のみでの実施はほぼ不可能であることから、NEDO の事業としての妥当性は極めて高い。

さらに、欧米・アジアでロボット関連研究に対して大型の予算措置がとられており、海外の開発ツールが急速に台頭してきたことから見ても、時宜を得た開発事業だったと言える。

2) 研究開発マネジメントについて

プロジェクトの前半に基礎部分の開発を進め、後半に実装・検証まで進むという当初の目標・スケジュールは妥当であり、中間評価の結果を受け、事業体の絞り込み、相互乗り入れを図った点は、実用化を確実にする方向としてメリハリが効いていて高く評価できる。さらに情勢変化への対応として、組み込みシステムへの対応に加え、ROS 連携、安全認証を加えた点も評価できる。

また、プロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、知能モジュール構築のための実施者間の密な連携がはかられ、研究加速制度の活用、再利用センタの設置等も含めて、適切に推進されたプロジェクトであった。

但し、実用化に向けたマネジメントとして、ユーザー数を増やすための組織としての施策と、今後のサポート体制が弱いように感じられた。今後の普及のためには、ユーザーが魅力を感じる事が必須であり、今回実施された成果が具体的にどのような利益があり、事業化に結び付くかを、もっと積極的に明確に世間に宣伝すべきである。

3) 研究開発成果について

設定した目標は概ね達成されており、モジュール群を作って、これをいろいろな応用分野のロボットに応用したことは評価できる。さらに、個々のモジュ

ールの成果もさることながら、モジュール群のボリュームの確保が大きく、360件強の開発ができたことは評価に値する。

また、米国の ROS との連携・相互運用の試みや国際標準化活動、RT モジュールの第3者安全認証の確保など、非常に有益なプロジェクト成果が得られたものとする。

しかし、今後実用的なロボット開発に資するという点から見て、現在のモジュールが十分かどうか定かでない。粒度や機能の異なる再利用可能なモジュールをどのように拡充していくかに、課題が残っている。モジュールの豊富さを魅力的に訴えるために、さまざまなプラットフォームに展開するのではなく、共通の1つのロボットハードを提供して、世界中に展開させるといった、思い切った宣伝・普及戦略が必要だと考える。

現在のモジュール及び共通基盤の活用で、顧客や利用者がどこまで自分の望むロボットの機能・性能を実現できるかについては、まだ不確実性が残る。共通基盤とモジュールの活用が、オリジナル開発に比してどれくらいの生産性向上につながるか、経験と知見を積み重ねることが必要と考える。

4) 実用化の見通しについて

実用化のためのソフトウェア基盤の整備を標榜したプロジェクトであり、ロボット知能モジュールの再利用環境を構築し、検証に代表されるように、実用化に向けた様々な努力が積み重ねられている。研究者・民間企業等に今後の参加を呼びかける呼び水として、一定水準のプラットフォームはできあがったと考えられ、ROS 連携など技術的に海外と相互乗り入れ可能な開発を行っており、今後の国際展開に期待をつないだ。

また、安全認証取得 RT ミドルウェアの開発は、今後の企業による実用化への取り組みに向けて極めて重要な位置づけを占めるものと考えられ、高く評価できる。さらに、組み込みへの対応及び認証対応は、産業界に対し、適用範囲拡大や信頼性をもたらすもので、評価できる。今後、狭義のサービスロボットに留まらず、既存の産業界である産業用ロボットや自動車・設備関連などにも拡大を期待したい。

但し、今回開発されたオープンモジュール群は、公共の財産として積極的に活用されることで、初めてプロジェクトの成功といえる。そのためには、RT モジュールの開発・保守を支え、適切なフォローアップを行う仕組みをさらに充実させることが必要である。

研究評価委員会におけるコメント

第32回研究評価委員会（平成24年10月10日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	技術ジャーナリスト
委員長代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	元一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機株式会社 社友
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

ロボット知能化のためのソフトウェア基盤の確立という本プロジェクトは、海外でも同分野の研究開発が活発化して来たことを見ても分かる通り、時宜を得たものであり有意義なものであった。

オープンなミドルウェアで開発プラットフォームを作るという目標に対して、数多くの知能モジュールが完成し、さらに複数モジュールの統合実装・検証評価が行われた。また、中間評価後に事業体の取捨選択・統合などが適切に図られ、その後に研究加速制度を活用した ROS (Robot Operating System) との連携システムの構築、安全認証取得 RT ミドルウェアの開発も実施された点は評価できる。

しかし、知能化モジュールは使って洗練化するというプロセスを経ないと一流のシステムには成り得ない。ユーザーのフィードバックを取り入れた拡張・バージョンアップのサイクルを継続的に繰り返すことが不可欠である。本当の成果は、今後仲間作りができるかどうか、いかに市場に RT モジュールが普及するかであり、ユーザーにとってのメリットを明確に示す宣伝戦略が非常に重要であると考ええる。

〈肯定的意見〉

- オープンなミドルウェアで開発プラットフォームを作るという目標に、一定の成果を納めた。個別の当初目標も概ね達成された。

複数モジュールの統合実装・検証評価・文書化がしっかり行われた点は、地味ではあるけれど評価してよい点。

中間評価後に、個別プロジェクトの取捨選択・統合などが適切に図られている。

組み込み及び認証の成果は、産業界での利用に道を開きやすいと考えられる。

国際的な技術連携は、時間が限られた中で、適切な対応だったと考えられる。

- 数多くの魅力的な知能モジュールが完成し、目に見える成果が挙げられた。知能モジュールの構築の過程で、学術的・技術的に意味のある新たな研究開発成果が十分に得られており、ロボットの知能化の研究・開発に対する寄与は大きい。

中間評価後の実施体制の見直しは、限られた予算内でより優れた知能モジュールの構築を行うために有効であったと判断でき、評価できる。

中間評価後に実施された安全認証取得 RT ミドルウェアの開発、ROS との連携システムの構築は、本プロジェクトの成果の今後の実用化・普及をはかる上で極めて素晴らしい成果であると考えます。

- RT ミドルウェアによるモジュール化とその実ロボットへの展開。
ROS との共存はよい。
研究加速制度の活用を行い、事業にメリハリをつけたのはよい。
- ロボット知能化のためのソフトウェア基盤の確立という研究開発テーマは、本プロジェクト期間中に海外でも同分野の研究開発が活発化して来たことを見ても分かる通り、時宜を得たものであり、有意義なものであったと考える。また、ステージ・ゲートを経たテーマの選択と集中も有効に機能しており、着実かつ実質的な成果が得られたと判断される。
- ロボット技術をモジュール化して、そのソフトウェアモジュールを作り、その再利用を図る試みは、ロボット技術のみならず現在発展中の IT ソフトウェア構造にも影響を与えるプロジェクトと思う。すなわち、現在、IT サービス分野で発展中の、携帯電話技術の通信と入出力関連のソフトウェア、また、ゲーム等のバーチャルリアリティ技術のソフトウェア分野に、行動 (Action) 機能を加えることで、インターネット分野に革新的なインパクトを与える可能性を秘めている。
- RT モジュール群の提示により、将来の RT システムビルダーの活性化の芽が出てくると思われる。
ROS との連携を可能とし、世界的な拡張への足掛かりも得たこと、評価できる。
- RT という今後重要視される産業分野の発展を加速し、さらにこの分野での日本のイニシアティブを確立する上で、必要性の高いプロジェクトであった。
RT における CAN 利用といった実用上重要なテーマにおいて、要件の整理が行われ、RT-CANopen なる標準仕様策定が行われたことは、高く評価できる。
基盤をなす RT ミドルウェアについて、部分的とはいえ、企業の責任ある体制の中で開発・保守される仕組みができた。今後期待できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 中間評価後の実施体制の見直しのうちいくつかはやや疑問を感じた。高い研究実施能力を持ち更なる成果の発展が期待されたにもかかわらず大幅

な予算減となった組織がいくつも見受けられることは、限られた予算の中でやむを得ないこととは言え、本プロジェクトでは出来れば避けるべきであったのではと考える。

- ユーザーにとって何が魅力か明確にしていく必要がある。産業競争力確保のために、ユーザー側もリスクを取るべき、というやり方ではユーザーは定着しない。しかしながら、今回の成果報告結果では、RT モジュール適用の社会的意義を説くものの、ユーザー視点からの RT モジュール適用の魅力が殆ど伝えられていなかった。宣伝材料としての RT モジュール群の玉はある程度揃ったと考える。今回のプロジェクトの最終的な成果は、いかに市場に RT モジュールが普及するかであり、ユーザーにとってのメリットを明確に示す宣伝戦略が非常に重要であると考ええる。
- RT モジュール個々の安全性、信頼性の確保は必須であるが、適用したシステム全体としての安全性、信頼性の保証は、今後の展開には大きな課題だと思われる。
- 今回のプロジェクトでは、ソフトウェアモジュールを作成して、それを実際に応用したに留まっており、行動 (Action) 機能を実現するために必要なソフトウェア構造に対する知見を取りだせるところまでしていない。もし、この知見をソフトウェア技術として取りだすことが出来たら、インターネット分野は将来ロボットのようなダイナミック端末を取りこんで発展していくと思われるので、この潮流を引っ張ることが出来たかもしれない。現在、インターネット業界、ゲーム業界も、ビジネス戦略として、この技術に興味をもち、開発していると思われるので乗り遅れることを最も危惧している。
- 様々なプラットフォームへの展開 (Windows、Linux、MacOS、Android 等) が不足している。

Cookbook の作成、ノウハウ集の作成に工夫があった方がよかった。

- 今回のモジュール群が、本当に個別ニーズにあったロボットを開発する際の性能機能の実現に十分かは不確実性が残る。今後のモジュール群の拡張政策は不明。

共通プラットフォームとモジュールによる生産性向上効果について、とりまとめてアピールしてほしい。

出口論についてはまだ乏しい。本当の成果は、プロジェクト参加メンバーの開発成果に限定されるべきものではなく、今後仲間作りができるかどうかにかかっている。

〈その他の意見〉

- 最終的な市場への普及には、RT モジュールのコストパフォーマンスの確保が必須。RT システムの製品として普遍的に求められるのは、速さであり、これを求めるためにハイスペック CPU の性能を当てにするという方針が良いのかという懸念はある。当面のコスト目標としては、RT システムの組込コントローラに搭載し、どこまで性能を出せるかが、一つの試金石になると思われる。
- プロジェクト全体の事後評価という意味では、中間評価を受けた体制変更の趣旨、ならびに後半 2 年間におけるその効果（取捨選択による重点化であれば、強化された部分は何処で当初計画に比較してどの程度強化されたのか）のより一層の明確化が望まれる。
- オープンソースと言っているが、ダウンロード数等の具体的な数値がない。お金を出してやってもらった協力者だけでなく、自発的に使用したユーザがどれだけいるのか、これが評価の観点からは重要。
自分たちの評価基準だけでやっているように思える。他流試合例えば RoboCupHome などのコンテストに参加してみるのも手である。そこで良い成績を収めることが出来れば、アピール度が高くなったと思う。
知能化モジュールは使って洗練化するというプロセスを経ないと一流のシステムには成り得ない。ユーザのフィードバックを取り入れた拡張・バージョンアップのサイクルを継続的に繰り返すことが不可欠である。プロジェクトとしては成果が出にくい時間を我慢して取り組むことにより、大きな成果に結びつくと思う。そのようなプロセスを NEDO プロジェクトがサポートできることを期待したい。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトで得られた成果を今後も継続・発展させて次世代ロボット産業の発展につなげるための明確なフォローアップ体制が必要である。特にソフトウェアの分野では、今後予想される様々な技術革新やデファクトスタンダードの変化等に対する対応、適合化を図って行くことが重要で、ソフトウェアの更新・保守、恒常的なユーザサポートなどを含めて、普及のための広報活動を継続的に行ってほしい。ソフトウェアが1世代で完成することはなく、ユーザーのフィードバックを取り込んだ洗練化・バージョンアップを継続的に繰り返す必要がある。

また、国際競争力の向上も大きな課題であり、OMG* (Object Management Group) での国際化標準の主導的活動をさらに活性化してほしい。ROS との連携は、今回の大きな成果であるが、ROS に載るものの One of them にならないよう、RT モジュール自体の欧米への売り込み戦略も早急に考慮する必要があると考える。

さらに、重要なテーマであり、アプローチも理にかなっているので、技術の普及にスピード感が欲しい。コミュニティ形成の方法論や、根幹となる RT ミドルウェアの保守体制なども含め、原因についての根本的な検討が必要なのではないか。

*オブジェクト指向技術の標準化をすすめる国際標準化団体

〈今後に対する提言〉

- ・ 特にソフトウェアの分野では、今後予想される様々な技術革新やデファクトスタンダードの変化等に対する対応、適合化を図って行くことが重要である。ソフトウェア基盤整備を主目的とする本研究内容に関しては、更新、保守を含めて、普及のための広報活動を継続的に行っていくことが不可欠であり、何らかの形で公的支援を継続する仕組みについても、今後検討の余地があると考ええる。
- ・ 今後の課題として、技術のメンテナンスを行うだけでなく、モジュールの拡張やオープンソースコミュニティでの改良などが必要。
エバンジェリストの養成が不可欠。
国際連携は手を緩められない。参加メンバーが個別に技術改良するのではなく、英語の開発者コミュニティを作り、集合知を用いて改良していくことが望ましい。国際標準化推進への強力な売り込みも必要。
ニーズ開発との連携が不可避。SI 事業者、ロボットを利用したサービス提供者の巻き込みが必要。
- ・ 今回のプロジェクトは、ロボット特有の行動 (Action) 機能から、ソフト

ウェア構造の設計法を確立することが大きな技術戦略であったと思われるが、単に再利用可能プログラム作って評価をしてみた感が強い。これは、プロジェクトの時間的制約でいたしかたないのであろうが、今後インターネット業界の発展分野である行動 (Action) 機能を付加できるソフトウェア構造設計法にまで昇華しないと、一研究実用化例としての位置づけで留まる可能性がある。今回の研究成果を、一般化したソフトウェア技術として確立することが必須で、それが出来なければ、この成果の活用と将来のサービス分野でインパクトを与えることは難しいと思われる。

- とにかく、実施例を重ねて、RT モジュールの、製品としての実力を見せていく他はないと考える。従来は、独自性、先端性がどうしても先導しがちであるが、実用化展開加速のためには、今回のプロジェクトのように、使い勝手評価に投資をするという方向性が重要であると考ええる。
- 本プロジェクトで得られた成果を今後も継続・発展させて次世代ロボット産業の発展につなげるための、明確なフォローアップ体制が必要である (仕組み、資金)。

既に 300 以上構築された知能モジュールであるが、これをさらに増やして行くための予算措置 (インセンティブ) を講じることが望ましい。

関連する次期プロジェクトの立ち上げが必要と考える。本プロジェクトを含む関連プロジェクトでの各位の努力により、次世代の知能ロボット産業の創出に向けての基盤技術は整いつつある。このための、今が胸突き八丁なのではと思う。国策における次世代産業の発展に向けた知能ロボット研究の重要性も鑑み、NEDO の事業として是非検討すべきであると考ええる。知能モジュールや RT ミドルウェアの今後のサポートを産総研の担当部署の自助努力に大きく依存する体制は好ましくないのではと思う。少なくとも産総研の担当部署への必要十分な (人件費を含めた) 予算措置は行うべきであると考ええる。

OMG などでの標準化の活動には大いに敬意を表する。今後も継続的に努力して頂きたいし、それを支える体制の維持・予算の手当が必要と考える。

- 様々なプラットフォームへの展開。
恒常的なユーザサポート (Help desk、講習会、ドキュメント)、アップデートサービス (OS への対応、)。

技術開発は螺旋状に発展するので、似たようなテーマでも構わないので、継続的に取り組むことが重要である。ソフトウェアが 1 世代で完成することはなく、ユーザのフィードバックを取り込んだ洗練化・バージョンアップを継続的に繰り返す必要がある。

知能化モジュールを使った未踏プロジェクトのようなものを設定し、ユー

ザコミュニティの核と将来なっていくメンバーの育成をするのも手であろう。

その観点から、IPA で行っている若手研究者プロジェクト（未踏等）は、NEDO の成果を生かしていくようなボトムアップ的なテーマを設定し、NEDO 全体としてこれまでの知財の活用に留意すべきである。

〈その他の意見〉

- 重要なテーマであり、アプローチも理にかなっていると思われるにも関わらず、技術の普及にスピード感がない。コミュニティ形成の方法論や、根幹となる RTM の保守体制なども含め、原因についての根本的な検討が必要なのではないか。
- 知能化という観点からは、①高性能化（与えられた土俵で最適化し、世界一の性能を達成）、②高知能化（自力で性能を向上できる、飽和しない枠組み）、③共進化（システム開発者、ユーザとともにシステムが成長）、といった視点での評価もあればよかった。
- 国際競争力の向上も大きな課題であり、OMG での国際化標準の主導活動をさらに活性化してもらいたい。ROS との連携は、今回の大きな成果であるが、ROS に載るものの One of them にならないよう、RT モジュール自体の欧米への売り込み戦略も早急に考慮する必要があると思われる。韓国のように、最初から世界市場ベースでの展開を図るフットワークが必要と思われる。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

RT ミドルウェアが提供する基盤の上に、有用かつ再利用可能なモジュール群を取りそろえることで、RT ミドルウェアを普及させるとともにロボット産業をより活性化させようとする本プロジェクトの事業内容は、日本が今後主導権をとって研究・開発を進める観点から非常に重要である。また、本プロジェクトは、多岐に渡る要素技術を統一的に提供していくという極めて公共性の高い内容であり、利害関係を伴う民間における活動のみでの実施はほぼ不可能であることから、NEDO の事業としての妥当性は極めて高い。

さらに、欧米・アジアでロボット関連研究に対して大型の予算措置がとられており、海外の開発ツールが急速に台頭してきたことから見ても、時宜を得た開発事業だったと言える。

〈肯定的意見〉

- RT ミドルウェアが提供する基盤の上に、有用かつ再利用可能なモジュール群を取りそろえることで、RT ミドルウェアを普及させるとともにロボット産業をより活性化させようとする本プロジェクトの事業内容は、ロボット産業という重要な分野において、日本が今後主導権をとって研究・開発を進める観点から非常に重要である。このような課題は、一社単独ではなく、オールジャパンで取り組むべきものであり、NEDO の関与が適切な分野と考えられる。
- 事業としての具体的な将来展開が見えないサービスロボットの分野では、まだ当面国のテコ入れが必要であり、今回のプロジェクトのように、システム使い勝手向上技術への投資は有効だと考える。この仕事は、一つの技術文化を作る様相を持ち、多くのバリエーションを世の中に示し、実適用のサンプルを提示するのは必然の流れと考える。
- ソフトウェア基盤の整備は、今後のロボット事業化振興に向けて、極めて公共性の高い内容であり、民間活動のみでは達成が難しく、NEDO が関与する事業として妥当であったと考える。
- このプロジェクトはロボット業界にのみ留まらず、インターネット分野の今後のサービスであるダイナミック端末の実現の使命を制する位置づけにあり、研究実用化の必要性は非常に大きいと思う。インターネット技術分野を日本が強いと言われているロボット分野から攻略するという非常にわかりやすい技術開発戦略と思われる。
- 共通プラットフォーム上での開発は相互利用の観点からよい。
RTM と ROS との融合は時宜にかなった展開である。

- 日本の場合、一民間企業がロボット開発の共通基盤を作るというのは、資金力や仲間作りの観点から現実的に難しかった。公的な枠組みで共通基盤を作り出すという事業は、もともと NEDO に期待されているところであり、意義はあったと考える。
海外の開発ツールが急速台頭してきたことから見ても、時宜を得た開発事業だったと言える。日本が海外勢と交渉力を持って渡り合うための手段を、ぎりぎりのところで出せた、という意味においては、タイムリーな事業であった。
- 汎用性のある知能モジュールの開発を主目的とした本プロジェクトは、利害関係を伴う民間における活動のみでの実施はほぼ不可能であり、NEDO の事業としての妥当性は極めて高い。
次世代ロボット産業の核となる分野・市場が必ずしも明らかでない一方で、欧米・アジアでロボット関連研究に対して大型の予算措置がとられており、一つ間違えばこれまでに産業用ロボットで培ってきた日本の優位性が大きく崩れる恐れもある。このタイミングで日本のロボット産業の基礎力を着実に伸ばし、次の展開につなげる基盤となりうる知能モジュールを構築できたことは、今後の新たなロボット産業の発展において日本がイニシアティブを保っていくためにも極めて妥当な目的の事業であったと言える。

〈問題点・改善すべき点〉

- ロボット開発基盤の整備事業は、本来国際的に先頭を走っているはずのものであるが、この開発期間中に、(レイヤーは違うが) 海外のキャッチアップを招いている可能性があるのではないか。
開発のための開発に留まるリスクをはらんでいる。
- プロジェクトの方向性としては、上記のように有意義であるが、世の中のユーザーに対し、RT モジュール適用の素晴らしさを明確に示す結果になっているか、という点では、まだ、すぐ実事業に使いたいというところまでには、至っていないと思われる。こんなことが素晴らしくなったのだ、というところをもっと強烈にアピールし、できれば、コスト勘定でメリットを PR できれば、プロジェクト投資に見合う効果を得ることができるかもしれない。
- ROS と RTM との融合だけではなく、他のプラットフォームとの結合も進めるべき。De facto standard との戦い、どれだけ有望なソフトウェアを構築するのか。Hardware への依存性が高すぎるように思える。ソフトウェアが生き残れるように hardware からは極力独立したような構成を

留意すべきである。

〈その他の意見〉

- ・ 国際的な展開としては、韓国、中国勢のローエンド産業ロボット（大方の自動化がこれで間に合い市場大）の追い上げ、軍事ロボットを中心とした欧米のロボットビジネスの活性化が顕著である。これに対し、日本は、先行的に RT システムビジネスを立ち上げ、対抗する必要があると考える。このためには、RT システム開発のすそ野を広げる意味で、今回のプロジェクト成果を実のあるものにつなげてもらいたい。
- ・ 欧米、韓国、中国はロボットを次世代の重要なテクノロジーと位置づけて巨額ファンディングをつけて産学官での研究開発を加速化しているのに対して、日本ではヒューマノイドロボットなどが一時期世界を先導していたために、その後のファンディングが減り、成果の伸びがすでに抜かれている。技術を維持発展させるためにも、本プロジェクトのような地道な活動と、グランドチャレンジとを並行させて展開する産業施策を望みたい。グランドチャレンジ型のプロジェクトを考えてみるのが良いのではないだろうか。

2) 研究開発マネジメントについて

プロジェクトの前半に基礎部分の開発を進め、後半に実装・検証まで進むという当初の目標・スケジュールは妥当であり、中間評価の結果を受け、事業体の絞り込み、相互乗り入れを図った点は、実用化を確実にする方向としてメリハリが効いていて高く評価できる。さらに情勢変化への対応として、組み込みシステムへの対応に加え、**ROS** 連携、安全認証を加えた点も評価できる。

また、プロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、知能モジュール構築のための実施者間の密な連携がはかられ、研究加速制度の活用、再利用センタの設置等も含めて、適切に推進されたプロジェクトであった。

但し、実用化に向けたマネジメントとして、ユーザー数を増やすための組織としての施策と、今後のサポート体制が弱いように感じられた。今後の普及のためには、ユーザーが魅力を感じる事が必須であり、今回実施された成果が具体的にどのような利益があり、事業化に結び付くかを、もっと積極的に明確に世間に宣伝すべきである。

〈肯定的意見〉

- 前半に基礎部分の開発を進め、後半に実装・検証まで進むという当初の目標・スケジュールは妥当であり、十分機能したと考えられる。

中間審査の結果を受け、思い切って個別プロジェクトを整理したり、また相互乗り入れを図った点は、メリハリが効いていて高く評価できる。複数モジュールの統合検証に力点を移したのは、事業全体の目標に沿って適切だったと思われる。

情勢変化への対応としては、組み込みシステムへの対応に加え、後半で**ROS** 連携、安全認証を加えた点は、臨機応変だったと評価される。

- 中間発表における評価結果により、適切に事業整理が行われた。また、**ROS** の出現など、プロジェクト開始当初には予想されなかった事態にも良く対応している。

- 知能モジュール群の開発・整備は、日本のロボット産業の次世代の発展を目指す上で、地に足のついた妥当な戦略的目標設定であったと言える。

開発される知能モジュールの個数による開発目標は、モジュールの粒度によって個数が左右されることはあるにせよ、分かり易く妥当な定量的目標設定であったと言える。

本プロジェクトには、我が国で知能ロボット開発・事業化に高いポテンシャルを持っている企業の多くが含まれており（必ずしもすべて含まれていないが）、真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者としていたことは間違いない。これらの多くの中心的な企業を巻き込んで共通化

をはかるプロジェクトであったことの意義は、極めて大きい。

プロジェクトリーダーの統括力、また責任感は極めて優れており、余人を持って代え難い選任であった。プロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、知能モジュール構築のための実施者間の密な連携をはかるのに成功している。

中間評価後の実施体制の見直しも、概ね妥当であったと考える。中間評価で多く指摘のあった慶應 G の事業を終了したのは、予算の有効活用の点で妥当であったと考える。

ROS との連携による国際化への展開は、情勢変化への対応として極めて迅速で素晴らしいものであり、プロジェクトリーダーを中心とした優れたマネジメントを裏付けるものでもある。また、加速資金も有効に活用され、目に見える成果を挙げている。

- 本プロジェクトでは、モジュールの再利用性の観点から進められており、これはソフトウェア構造を一般化する上で非常に有用な戦略と考える。
- 中間評価を受け、進捗に問題のあったプロジェクトを中断したこと。ROS への対応を行ったこと。
- RT モジュールの数を出して、適用を加速しようとする狙いは必然だと考える。

また、オープン化路線も普及への必要条件であり、最終的な実適用のためのユーザーによるカスタマイズのためにも有効な方針と考える。

5年間のプロジェクトで、中間評価に基づく事業体の絞り込みを行ったことは、実用化適正を確実にする方向として妥当な施策であると判断する。予算については、67 億と規模が大きいですが、開発案件の数が一つの成果となるので、妥当と考える。

プロジェクト運営については、隔週毎の委員会など周到な管理がなされていたと考える。今回のプロジェクトの多くの部分が、仕様、評価の議論の集積と考えるので、このような運営は特に効果を発揮したと推察する。

普及に向けたアクションとして、OMG を介した国際標準化の推進、ROS との連携の実現は、グローバル戦略として、大きく評価できる。

最終的な成果として、製品化につながったものもあり、プロジェクトの今後の効果が期待できる。

- 内外の技術動向に合わせて研究開発目標、体制の見直しが行われているほか、研究加速制度の活用、再利用センタの設置等も含めて、適切に推進されたプロジェクトであったと考える。運営面でも意思疎通に注力されたことが伺える。

〈問題点・改善すべき点〉

- 知能モジュール群の開発に関しては、内外技術動向から鑑みて、達成成果において民間企業の活動としても実施可能な技術レベルと見做せるものも一部見受けられ、更にきめ細かいマネジメントが望まれることは今後の改善課題であろう。
- モジュールの設計や、再利用という観点において、ソフトウェア工学は豊富な知見をもつ。ロボット開発者だけでなく、ソフトウェア工学の専門家も交えて検討を進めると、よりよい成果が得られたのではないかと。モジュールおよびそれを用いたシステムの開発に伴って、根幹の RT ミドルウェアの仕様や実装の問題点について検討がなされるべきであったが、その体制が十分であったかどうか不明である。
- 再利用性の観点からの枠組みは非常に有効であるが、その枠組みをより発展させて、その枠組みをプロジェクトで活用すると、今回のプロジェクトでプログラム技術を一般化して抽出できたと思えるが、それが出来なかったことは非常に残念である。また、このプロジェクトの終了後も、その枠組みを残すことで、このプロジェクトの成果が発展できる枠組みが残されると良かったと思う。今後の展開で、産総研でのサポートも考えられているようであるが、サポート体制が弱いように感じる。
- ユーザ数を増やすための施策が、組織としては弱かったのではないかと。ボランティアベースで行っているものもある。
- RT モジュール自体の性能は、用途に応じては、十分に使い勝手の良いソフト部品となっていると思われる。しかし、残念ながら、新聞報道などを見ると、現状世間では、その良さなり活動が十分理解されていない様である。例えば、下記の報道では、国際標準化が進んでいないとされている。
<http://www.nikkei.com/article/DGXBZO42967990V20C12A6000000/>
RT モジュールに関しては、世界でも先行して国際標準化を進めている事実が伝わっていきなく残念であり、プロジェクト成果の将来展開についてもあまり良い評価を得ていない。このような報道は一部かと思われるが、このような評価の遠因として、RT モジュールの宣伝不足があると思われる。ウィローガレージがロボットハードを無料供給して、ROS を世界中に普及させたような、思い切った宣伝・普及戦略が必要だと考える。
- 中間評価後の大幅な実施体制の見直しによって、高い研究実施能力を持ち更なる成果の発展が期待されたにもかかわらず大幅な予算減となった組織がいくつかあったことは、限られた予算の中、やむを得ないこととは言え、出来れば避けるべきであったのではと考える。

〈その他の意見〉

- ・ 今後の普及のためには、ユーザーが魅力を感じる事が必須である。このプロジェクト自体のあり方が、まだ上から目線の所があり、日本の国策としてロボット産業育成のため協力しなさい、といったニュアンスに見える。メーカー側は、自分の製品戦力を向上することが第一目標なので、両者の思惑は食い違いがちである。事業は、ボランティアではないので、具体的に RT モジュールの適用が、収益向上に結び付くという認識が無い限り適用は進まない。その理解を埋めるためには、今回実施された成果が具体的にどのようなご利益があり、事業化に結び付きそうかを、もっと積極的に明確に世間に宣伝すべきである。これまでも、普及に向けたセミナーなどの試みを試されていると推察するが、より効果的な宣伝方法、売り込み方法を検討頂ければと考える。

3) 研究開発成果について

設定した目標は概ね達成されており、モジュール群を作って、これをいろいろな応用分野のロボットに応用したことは評価できる。さらに、個々のモジュールの成果もさることながら、モジュール群のボリュームの確保が大きく、360件強の開発ができたことは評価に値する。

また、米国の ROS との連携・相互運用の試みや国際標準化活動、RT モジュールの第 3 者安全認証の確保など、非常に有益なプロジェクト成果が得られたものとする。

しかし、今後実用的なロボット開発に資するという点から見て、現在のモジュールが十分かどうか定かでない。粒度や機能の異なる再利用可能なモジュールをどのように拡充していくかに、課題が残っている。モジュールの豊富さを魅力的に訴えるために、さまざまなプラットフォームに展開するのではなく、共通の 1 つのロボットハードを提供して、世界中に展開させるといった、思い切った宣伝・普及戦略が必要だと考える。

現在のモジュール及び共通基盤の活用で、顧客や利用者がどこまで自分の望むロボットの機能・性能を実現できるかについては、まだ不確実性が残る。共通基盤とモジュールの活用が、オリジナル開発に比してどれくらいの生産性向上につながるか、経験と知見を積み重ねることが必要と考える。

〈肯定的意見〉

- いずれの成果も、目標を達成していると考えられる。今回のプロジェクトの主な目標は、個々のモジュールの成果もさることながら、モジュール群のボリュームの確保が大きく、360件強の開発ができたことは評価に値する。知的所有権の確保も良好と考える。
RT モジュールの OGM での国際標準化活動も世界に先駆けた活動であり評価できる。
RT モジュールの第 3 者安全認証の確保も、実適用展開に対する大きなブレークスルーと評価できる。
開発成果の一部が、コマーシャルベースの展開に至ったことも評価できる。
- CAN の利用に関し、RTC 作成の観点で要件を整理し、標準化策定できたことは、実用上重要であり、高く評価できる。
根幹をなす RT ミドルウェアについて強固なメンテナンス体制を持つことが、この種のプロジェクトの継続的な発展に不可欠である。安全認証取得 RT ミドルウェアについて、企業が責任をもって開発することになったことは、この観点で非常に好ましいことであり、今後の期待が高い。
- プロジェクト全体として目標を上回って達成している。知能モジュールも

目標数を上回る個数のものが構築された。

成果は、オールジャパンと言って良い体制で構築された、日本のみならず世界でも他に類を見ない知能モジュール群であり、極めて独創性の高いものである。難しい課題をここまでまとめ上げたことには賞賛を送りたい。国際標準化への取り組みとして、OMG や CiA での活動、ならびに ROS との連携などは極めて妥当であったと言える。

論文などの発表も必要十分と言える。

成果の普及への努力も、ロボティクス系の学会での豊富なチュートリアルなどをはじめ、極めて精力的に行われていたと言える。

- 様々なセンサーを使用した評価実験を行っている。
- 各研究開発テーマの成果に加え、米国の ROS との連携、相互運用の試みや CANopen 対応の国際標準規格化などについても積極的な活動が行われており、非常に有益なプロジェクト成果が得られたものとする。
- モジュール群を作って、これをいろいろな応用分野のロボットに応用したことは評価できる。この実現可能性の確認は、一つの大きな成果とする。
- 個々のプロジェクトで設定した目標は概ね達成されている。

開発基盤の整備、最低限必要な機能のモジュールの検証については一定の目標を達成したと思われる。

国際連携の可能性を示したことで、世界的な技術水準の達成や、海外での利用可能性に繋がる道筋を示している。

ドキュメント自体およびその登載の仕組みの整備は、中間審査以降、一定の進展を見たと思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 視覚モジュールや、音声処理モジュールといった、ハードウェア依存性やモジュール間依存性の低い処理モジュールについては、もともとモジュールの再利用は容易であることが予想される。ハードウェア依存性の高いモジュールが、どの程度機能を抽象化してハードウェア非依存に再利用可能になったか、あるいは、それを実現するための指針としてどういう知見が整理されたのかが興味あるところであるが、このあたりの結論は必ずしも明らかではない。結論をひとつの視点でまとめることが難しかったということであるならば、なされた議論・検討の過程を整理して公開するだけでもよいのではないか。それだけでも価値がある。
- マニュアルはなければならぬが、これがあっても技術は普及しない。ソフトウェア工学の分野では、典型的な問題が、提供されるモジュール群を用いて、どのように解決されるかといった知見集のようなもの（＝パター

ンランゲージ) が有効とされる。単にモジュールの使用例が、マニュアル内にある各モジュールの説明に書いてあるのでは不十分で、抱える問題から逆にモジュール群の使い方へ導くドキュメントが必要である。中間評価でも指摘したことであるが、今後も検討を続けてほしい。

- 今回のプロジェクトの目標は、普及に向けた多くの適用事例の提示であると考え。ある意味では、この活動はこれからが勝負時と思われる。これらの多くの適用事例が、同業のユーザーにとって、どれほど魅力的であるかを具体的に理解してもらうことが重要である。これは、通常のプロとは異なる点であり、これからの宣伝広報活動が、成果が生きるか否かのキーになるとと思われる。その意味では、上記で、成果目標は達成されたとコメントしたが、実のところ、現状の報告では、成果の特記すべき魅力が殆ど伝わってこず、生煮えな感じを否めない。これからの説明努力が必要かと考える。
- モジュールの豊富さを魅力的に訴えるために、さまざまなプラットフォームに展開するのではなく、共通の1つのロボットハードを提供して、世界中に展開するといった、思い切った宣伝・普及戦略が必要だと考える。
- プロジェクト全体として見た時の情報発信に関しては、ソフトウェア開発が主であるというプロジェクトの性格上やむを得ないとは言え、更なる配慮が必要だった、あるいは今後更に必要となっていくのではとの印象も受ける。特に Web での発信が必ずしも十分ではないように思える（本プロジェクト専用の情報発信ページがない？、ROBOSSA のページが貧弱、もっとも、本プロジェクトの成果を含む OpenRTM-aist のページは十二分に充実しているが）。
- 知能モジュールについては、体系化、階層化、網羅性などの点で更なる完成度を求めたいとの印象を持つ部分も見受けられる。
- このプロジェクトの位置づけは、可能性の確認と問題点の抽出レベルの最初のレベルに感じられる。今後、問題点からソフトウェア構造の抜本的な見直しと、その構造の見直しを随時行える維持体制の構築が次のレベルであり、最後は出来上がってきたソフトウェア構造から一般化できるソフトウェア構造・技術の抽出がでてくるとと思われる。時間の制約で、第一レベルしか到達していないが、ここでプロジェクトを辞めると全ての開発成果が消えてしまう可能性も危惧する。
- 今後実用的なロボット開発に資するという点から見て、現在のモジュールが十分かどうか定かでない。粒度や機能の異なる再利用可能なモジュールをどのように拡充していくかに、課題が残っている。ドキュメントと Web システムを用意したということで終わらず、啓蒙活動や開発コミュニティ

活性化も必要。

現在のモジュール及び共通基盤の活用で、顧客や利用者がどこまで自分の望むロボットの機能・性能を実現できるかについては、まだ不確実性が残る。

共通基盤とモジュールの活用が、オリジナル開発に比してどれくらいの生産性向上につながるか、経験と知見を積み重ねることが必要。

本事業の成果活用で生じるメリットや労力・コストを整理して、民間にアピールすることが必要。

基盤とモジュールを使ってもらうには、ロボットを使うサービス事業者、ロボット提供を志向する SI 業者との連携が必須。

〈その他の意見〉

- ・ このプロジェクトの成果評価は、従来のプロジェクトのように技術の先行性、オリジナリティーを問うものではないと考える。本筋は、RT モジュールを適用することで、従来のシステム作りがどのように改善されるかを証明することと考える。恐らく、今回の報告をそのまま世間に出しても、“RT モジュールを使ってみました。”という以上の情報を伝え得ないものと思われる。ユーザー視点に立ち、どのような魅力（技術、品質、安全性、信頼性、性能、コスト等々）を生み出したのかを、徹底的に明確に宣伝する必要があると思われる。これは、技術開発というよりも、個々のシステムの開発思想の表明と、成果の宣伝テクニックの問題だと考える。

4) 実用化の見通しについて

実用化のためのソフトウェア基盤の整備を標榜したプロジェクトであり、ロボット知能モジュールの再利用環境を構築し、検証に代表されるように、実用化に向けた様々な努力が積み重ねられている。研究者・民間企業等に今後の参加を呼びかける呼び水として、一定水準のプラットフォームはできあがったと考えられ、ROS 連携など技術的に海外と相互乗り入れ可能な開発を行っており、今後の国際展開に期待をつないだ。

また、安全認証取得 RT ミドルウェアの開発は、今後の企業による実用化への取り組みに向けて極めて重要な位置づけを占めるものと考えられ、高く評価できる。さらに、組み込みへの対応及び認証対応は、産業界に対し、適用範囲拡大や信頼性をもたらすもので、評価できる。今後、狭義のサービスロボットに留まらず、既存の産業界である産業用ロボットや自動車・設備関連などにも拡大を期待したい。

但し、今回開発されたオープンモジュール群は、公共の財産として積極的に活用されることで、初めてプロジェクトの成功といえる。そのためには、RT モジュールの開発・保守を支え、適切なフォローアップを行う仕組みをさらに充実させることが必要である。

〈肯定的意見〉

- 実用化のためのソフトウェア基盤の整備を標榜した研究開発プロジェクトであり、再利用性の検証に代表されるように、実用化に向けた様々な努力が積み重ねられて来ていると判断できる。
- ロボット知能モジュールの再利用環境を構築し、再利用可能性を実証していることは高く評価できる。
ロボットテクノロジーの安全性について国際規格化を進め、安全なロボット構築技術という新しい概念を確立したことは高く評価できる。
具体的な出口イメージとして「来訪者受付システム」を設定し、サービス内容の組み換え検証を行い、初期の目標を達成していることを確認している。
再利用性試験プラットフォームを導入し、再利用性の検証ルールを確立していること。
- 今後の新たなロボット産業の勃興に向けた、大きな一里塚となるプロジェクトであったことは間違いない。
ROS との共存を図る方向性は、本プロジェクトの成果の実用化・普及をはかる上で妥当であり好感が持てる。
セックを中心とした安全認証取得 RT ミドルウェアの開発は、今後の企業

による実用化への取り組みに向けて極めて重要な位置づけを占めるものと考えられ、高く評価できる。

本プロジェクトの成果が早くも実用化につながっているものも見受けられ、個別の成果の実用化の観点からは既に一定水準はクリアできている。知能モジュールを構築し、次世代知能ロボット産業の礎を築いたという点での本プロジェクト全体の実用化イメージも明確である。

引き続き研究開発を行っていくことに関しても、個別の企業体に関しては、濃淡はあるものの一定の見通しは立っていると見受けられる。

- 研究者・民間企業等に今後の参加を呼びかける呼び水として、一定水準のプラットフォームはできあがったと考えられる。

ROS 連携など技術的に海外と相互乗り入れ可能な開発を行っており、今後の国際展開に期待をつないだ。

組み込みへの対応及び認証対応は、産業界に対し、適用範囲拡大や信頼性をもたらすもので、評価できる。狭義のサービスロボットに留まらず、既存の産業界である産業用ロボットや自動車・設備関連などにも拡大を期待したい。

ドキュメント整備やマニュアルなど啓蒙のためのツール、オープンソース化については一定の整備が進んだ。

- 今回のプロジェクトは RT モジュールの実適用展開の促進が目標であり、基本的な出口イメージは非常に明確であると考えられる。したがって、研究マイルストーンも妥当であると考えられる。

国際標準化活動も世界に先駆けて進んでおり、ROS 連携の確保も、世界展開への足掛かりとなったと考える。

RT モジュールの第三者安全認証の取得も、実適用条件の足掛かりとして大きな成果と考える。

〈問題点・改善すべき点〉

- この成果がロボット業界で生き延びるかどうかは、メンテナンス体制に依存していると思われる。すなわち、この研究成果の真の評価は、利用者数と思われる。さらに、この研究成果をロボット業界を越えて、IT業界全体に流布するには、ロボット技術特有の行動 (Action) 機能の観点からのソフトウェア構造の一般化が必要であり、その面からの研究開発の継続が必要と考える。
- 知能モジュール群開発という本プロジェクト全体としての成果の今後の実用化という点では、適切なフォローアップが行われず新たな関連する次世代プロジェクトも立ち上がらない場合、必ずしも見通しが明らかとは言

い切れない危惧もある。

- NEDO に基盤とモジュールのメンテナンスを残し、また一部のプロジェクト参加企業においては成果の利用も期待できそうだが、これだけでは、全体的な後続体制としては心許ない。

開発は全プロセスの半分にすぎず、本来のゴールは、啓蒙、技術者コミュニティの運営、オープンソース改良や新規モジュール追加への参加、SI事業者と先端顧客での活用事例増加などであるべき。

技術的には海外連携のモデルを示したが、今後の海外への啓蒙活動や国際標準化推進のための体制が十分示されていない。

- 再利用性の向上には、汎用性、機能の完結性、安全性の担保だけでなく、再利用価値の高さを考えたモジュールの設定が必要であるが、この観点からの再整理が望まれる。
- ソフトウェアとハードウェアとを切り分けて、ハードウェアが必要なのか、それともソフトウェアだけでも価値があるのか、を検討し、極力ソフトウェアで対応できるようにすると、汎用性が増し、価値が向上する。
- 前記したように、このプロジェクトは、RT モジュール群の玉を揃えたこれからが勝負であると考え。今回開発されたオープンモジュール群は、公共の財産として積極的に活用されることで、初めてプロジェクトの成功といえる。このためには、ユーザーにとっての RT モジュールの適用のメリットを、徹底的に理解してもらう広報活動が必要と考える。

RT モジュールの普及に際しては、モジュールを適用した場合のコストパフォーマンスの見通しが適用判断の鍵となる。そのためには、モジュール適用時の性能評価手段が準備されていると、より適用がスムーズになると考える。所定の性能を、限られたハードコストで実現する上で、このような評価手段が無いとなかなか食いつきが悪いと思われる。総論でも記したように、組込みシステムレベルに適用されなければ、大きな普及は望めないと考える。

RT モジュール個別の第三者安全認証に関する道は開けたが、それを用いた RT システムの安全性、信頼性の保証をどうするかは今後の課題となると思われる。基本的には、システムビルダーの責任になると思うが、普及促進に向けては、自動車等の例を参考に、具体的な安全保証体系の在り方を提示すべきだと考える。

〈その他の意見〉

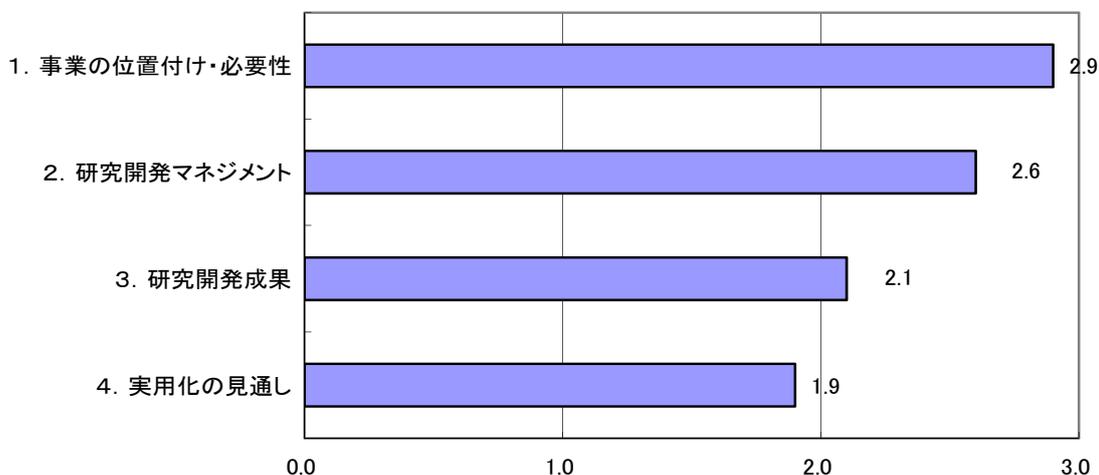
- ・ RTM のコアな部分の作りこみ、高信頼化が技術の普及に重要な意味を持つ。II-3 に述べたように、これを企業が担当することになったことは朗報

ではあるが、担当が一部分に限られること、価格が不明なことを考慮すると、それだけで十分とはいえない。今後の実用化の成否は、多くの部分、RTMの開発・保守を支える仕組みをさらに充実させることができるかどうかにかかっているように思う。

- 知能化モジュール群は、カバーする範囲も広く、かつ、実証実験でもその有効性が示されているので、様々なユーザに使ってもらえるべきである、そのような施策への見通しが不足しているように思えた。最初は売り込みが必要であり、その様な施策への継続的なサポートが不可欠である。
- ユーザーが、RTモジュールを使いたくなる、技術的、経済的メリットの説明も重要だが、それ以上に、いかなるRTシステムを作るべきか、売れるのかというWhat to doが大きな問題である。RTモジュールの普及というシーズ側の方法論以前に、サービスロボットなどのRTシステムの世間のニーズが不明確で、市場がまだまだ未成熟なことが、依然続く問題と考える。従来は、受益者であるメーカー側の問題と切り離してきたが、国プロでのテコ入れなりとフォーラム活動なりで、こちらの方にメスを入れない限り、本質的な問題解決にならないと考える。社会の在り方、生活文化のあり方を変える議論が必要であると考えます。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)						
		A	A	A	A	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	B	A	B	A	A	B	A
3. 研究開発成果について	2.1	B	B	B	A	B	B	B
4. 実用化の見通しについて	1.9	B	C	B	A	B	B	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

第1回「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」

(事後評価) 分科会

資料5-1

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」

事業原簿

公開部

作成者

新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部

—目次—

概要	1
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」基本計画	8
「ロボット・新機械イノベーションプログラム」基本計画	46
I. 事業の背景・必要性・目的・位置づけについて	52
1. 事業の背景・必要性	52
2. 政策への適合性	52
3. 国のプログラムとの関連性	53
4. 事業の目的	53
5. 事業の位置づけ	54
6. NEDOの関与の必要性	56
6.1 NEDOが関与することの意義	56
6.2 実施の効果(費用対効果)	56
II. 研究開発マネジメントについて	58
事業目標	58
1. 研究開発目標(平成23年度最終目標)	58
2. 研究開発項目	58
3. 研究開発項目ごとの研究開発目標	59
3.1 研究開発項目①-1:ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	59
3.2 研究開発項目①-2:ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発	62
3.3 研究開発項目②:作業知能(生産分野)の開発	63
3.4 研究開発項目③:作業知能(社会・生活分野)の開発	65
3.5 研究開発項目④:移動知能(サービス産業分野)の研究開発	68
3.6 研究開発項目⑤:高速移動知能(公共空間分野)の開発	70
3.7 研究開発項目⑥:移動知能(社会・生活分野)の開発	72
3.8 研究開発項目⑦:コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	74
4. 研究開発計画	79
5. 研究開発の実施体制	80
6. 研究の運営管理	83
6.1 応用を見据えたモジュールの開発	83
6.2 運営方式	85
7. 情勢変化への対応	86
7.1 柔軟な体制変更(応募状況に対応した追加公募)	86
7.2 柔軟な体制変更(再利用体制の設置)	86
7.3 統一したフレームのモジュールのためのリファレンスモデルの設定	87
7.4 成果評価と研究開発加速(予算再配分)	87

7. 5 NEDO 内加速資金制度の活用	88
8 中間評価結果への対応	90
9 評価に関する事項	91
Ⅲ. 研究開発成果について	92
1. 事業全体の成果	92
1. 1 研究開発の成果および最終目標の達成度	92
全体総括	92
2. 研究開発項目毎の成果	93
2. 1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発分野における研究開発成果	93
2. 2 作業領域における研究開発成果	95
2. 3 移動領域における研究開発成果	97
2. 4 コミュニケーション領域における研究開発成果	99
2. 5 成果の検証	100
2. 5. 1 研究開発成果の見える化	100
2. 5. 2 先行発表・検証デモ発表会	102
2. 5. 3 成果の意義	103
2. 5. 4 知的財産権等の取得及び標準化の取組	104
2. 5. 5 成果の普及	105
2. 6. 実用化見通しについて	105
2. 6. 1 本プロジェクトの実用化の考え方	105
2. 6. 2 成果の実用化の見通しについて	106
2. 6. 3 波及効果	107
3. 各テーマの成果詳細	
3. 1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	i -1-1
3. 2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発	ii -1-1
3. 3 作業知能の開発	
3. 3. 1 作業知能(生産分野)の研究開発	iii -1-1
3. 3. 2 作業知能(社会・生活分野)の研究開発	iii -2-1
3. 4 移動知能の開発	
3. 4. 1 移動知能(サービス産業分野)の研究開発	iv -1-1
3. 4. 2 オフィスビル移動ロボットの知能化	iv -2-1
3. 4. 3 移動ロボット用基本知能のモジュール化	iv -3-1
3. 4. 4 移動知能(社会・生活分野)の研究開発	iv -4-1
3. 5 コミュニケーション知能の開発	
公共空間における情報支援知能モジュール群の開発	v -1-1

添付資料 1 (学会発表、論文、展示会、プレス発表等)

添付資料 2 (作成したモジュールのマニュアル例)

1. 自律移動モジュール群マニュアル
2. 統合ロボットシステムマニュアル

概要

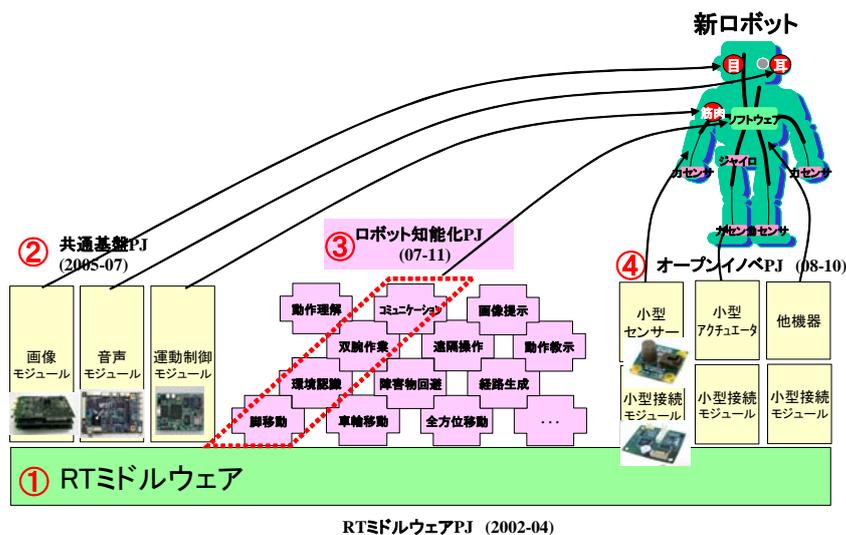
		作成日	平成 24 年 6 月 1 日				
制度・施策（プログラム）名	ロボット・新機械イノベーションプログラム						
事業（プロジェクト）名	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト	プロジェクト番号	P08013				
担当推進部/担当者	技術開発推進部 有木孝夫						
0. 事業の概要	<p>我が国では、1980 年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザ産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入が進んだが、1990 年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途も特定の産業分野に限られていた。</p> <p>他方、我が国は、少子高齢化・人口減少、アジア諸国の台頭等を背景とした国際競争の激化や、地震や水害等大規模災害に対する不安といった社会的課題に直面している。我が国に蓄積された基盤的なロボット技術（RT）を活用・高度化することにより、これらの諸課題を解決することが期待されている。</p> <p>上記解決に求められる最重要な技術課題の一つは、「知能化技術」である。特に、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロバスト性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。</p> <p>当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが必要である。これにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野（自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等）にも広く波及することが期待される。</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロバスト性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。</p> <p>また、次世代ロボットの効率的開発のためには、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが必要である。</p> <p>ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボットの適応分野を、技術開発や制度整備等を通じて、自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等などの様々な分野に拡大することで、ロボット産業を我が国における基幹産業の 1 つに成長させることを目的とする。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>本事業は、これまでの次世代ロボット共通基盤技術開発の成果及びその課題を踏まえ、共通化・標準化の観点から、当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることを目標とする。これを実現とすることにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野（自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等）にも広く波及することが期待される。さらに、開発したモジュールをロボットシステムに組み込むことにより有効性の検証を行うことにあり、上述のプログラムの目標達成のために寄与するものである。</p> <p>そのため、本プロジェクトは、「我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させること」を目的とする。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	
	ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	←					→
	ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発			←			→
	作業知能（生産分野）の開発	←					→
	作業知能（社会・生活分野）の開発	←					→
	移動知能（サービス産業分野）の開発	←					→

	高速移動知能（公共空間分野）の開発	←		→			
	移動知能（社会・生活分野）の開発	←		→			
	コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発	←		→			
開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載） （単位：百万円）	会計・勘定	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	総額
	一般会計	1,900	1,500	1,350	1,010	978	6,738
	特別会計 （電多・高度化・石油の別）	0	0	0			0
	総予算額	1,900	1,500	1,350	1,010	978	6,738
開発体制	経産省担当原課	製造産業局産業機械課					
	プロジェクトリーダー	東京大学 佐藤 知正 教授					
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	<p>(独)産業技術総合研究所、日本電気(株)、(株)セック、ゼネラルロボティクス(株)、(株)前川製作所、東京農工大学、I D E C(株)、三菱電機(株)、京都大学、(株)安川電機、九州大学、九州工業大学、(株)東芝、首都大学東京、東北大学、(有)ライテックス、(株)Robotic Space Design 研究所、(株)パイケック、筑波大学、富士ソフト(株)、明星学苑明星大学、富士通(株)、豊橋技術科学大学、東京大学、トヨタ自動車(株)、奈良先端科学技術大学院大学、大阪大学基礎工学研究所、東京理科大学、和歌山大学、大阪電気通信大学、富士重工業(株)、九州先端科学技術研究所、環境 GIS 研究所(株)、慶應義塾大学 S F C 研究所、アイシン精機(株)、(財)日本自動車研究所、(株)アイ・トランスポート・ラボ、N E C ソフト(株)、北海道大学、芝浦工業大学、千葉工業大学、(株)ピューズ、セグウェイジャパン(株)、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構、近畿大学、(株)国際電気通信基礎技術研究所、オムロン(株)、三菱重工業(株)、(株)イーガー、大阪工業大学、ロボット工業会、関西大学、神戸大学</p>					
情勢変化への対応	<p>(1) 採択結果を受けての再公募の実施 採択結果を検討した結果、研究開発内容が変更し効果的な研究開発が見込めなかったため、公募内容を修正して追加公募を実施した。</p> <p>(2) 柔軟な実施体制の変更 開発技術を相互利用して再利用性・交換性の実証を促進するため、再利用体制と運営技術を研究開発する研究開発項目を新設し、公募により検証と蓄積を実施する企業を参画させた。</p> <p>(3) 柔軟な研究開発手法の変更 規範システムを設定して再利用性の高いモジュールを開発するため、システムの構成モデルと用途モデルを設定し、実施者の共通目標として追加した。</p> <p>(4) NEDO加速資金の活用 実用化や普及に向けた取り組みを実施するため、加速資金を活用して開発項目を追加した。</p>						

Ⅲ. 研究開発成果および実用化の見通しについて

(1) 研究開発の概要

NEDO 技術開発機構では、ロボットの基本機能をモジュールとして部品化し再利用を促すことにより、毎度同様の開発をする必要なく高度なロボットを容易に構成可能とする技術を、一連の要素開発型プロジェクト群として推進してきた。図において、①～④はこれを可能にするプロジェクトを表しており、①において構成技術の基盤を、②～④においてロボットの機能部品を開発する。本プロジェクトは図中②にあたり、ロボットの知能技術をソフトウェア部品として開発するものである。



(2) 研究開発目標

上記目的を実現するため、本プロジェクトの研究開発目標は以下の3種となる。

① ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

知能モジュール群の開発を支援する基盤環境である。開発環境やデバッガ、シミュレータ、検証用ロボットなどにより確実にロボットシステムを実現できる環境を整える。

② モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロボスタ性に優れ、かつ実用性のある知能モジュールを開発する。すなわち、以下の3項目が必要である。要望される広い範囲の知能モジュールを開発すること、そのモジュールが実用的であること、そのモジュールが再利用性に富み汎用的であること。

③ 有効性の検証

上記①及び②に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み

込む等により、その有効性・実用性を検証する。

(3) 研究開発成果

プラットフォーム、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の4領域において14の応用領域を設定し、本プロジェクト期間中に320個の知能モジュールを開発する計画であったが、最終的に計画を上回る346個の知能モジュールを開発し、登録のための検証を終えた。そのうちオープンソースのモジュールについては公開することで、他者も自由に使用可能な状態とした。また、知能モジュールは、採択した16の事業者間で相互に提供・利用を行い、開発者以外が使うことで評価とフィードバックを行い機能・性能を向上させることとしている。利用希望を集計したところ、領域間に限っただけで合計でのべ72事業者に対して利用希望が寄せられ、領域間利用を行った。領域内ではロボットの応用領域が近いため、より多く利用がされている。

以下の表に本プロジェクトの成果を示した。

設定目標分野	テーマ対応	研究開発目標 最終目標(平成23年度)	成果	達成度
①ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	基盤	1.研究開発 ●知能モジュール群を統合可能 ●ロボットシステムをシミュレート可能 2.有効性の検証及び改良 ●検証用知能モジュール群を開発 ●リファレンスハードウェアを開発	ハンドと車輪型移動機構をもつ リファレンスハードウェアを開発 し、移動、作業、コミュニケーションの各知能モジュールを統合した検証システムを開発した。また、 リファレンスハードウェアのシミュレーションモデルを作成 し、ハードウェアを用いることなく知能モジュールの動作を可能とした。	◎
	②モジュール型知能化技術の開発 作業 移動 コミュ	1.モジュール型知能化技術の開発 ●環境変化に対応可能なロバスト性を有する ●用途が広く、利用が容易 ●他者に提供 ●成果(知能モジュール)を実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供	全てのテーマで最終目標を達成した。	○
③有効性の検証	基盤	1.①及び②の技術の有効性検証 ●テーマごとに応用目標を決め、ロボットシステムで試験し、実環境の使用に耐えることを検証する。 2.可能な限り広範囲に提供 ●ソフトウェアモジュールとして ●他者が利用(再利用)できる形	有効性検証として、要求仕様からトップダウンでの設計を行ない、システムに適合する知能モジュールを選出し、アプリケーションシステム例として「来訪者受付システム」の構築を実施した。その成果は一般公開し、 プロジェクトの内外問わず、利用(再利用)された。	◎
	作業			
	移動 コミュ			

◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達

本プロジェクトの開発項目はソフトウェアであるため、開発結果が目に見えない。そこで、前半の3年間は開発成果の「見える化」を行い、成果の確認、他者への利用推進、進捗評価等に資する事とした。14の知能モジュール開発事業者においてそれぞれが実現すべき「設定ゴール」を決定し、それを実現できる知能モジュールを開発した。後半2年間では、開発したモジュールの再利用性の検証を行うため、実施者の相互利用の促進と統合的な試験検証を行った。

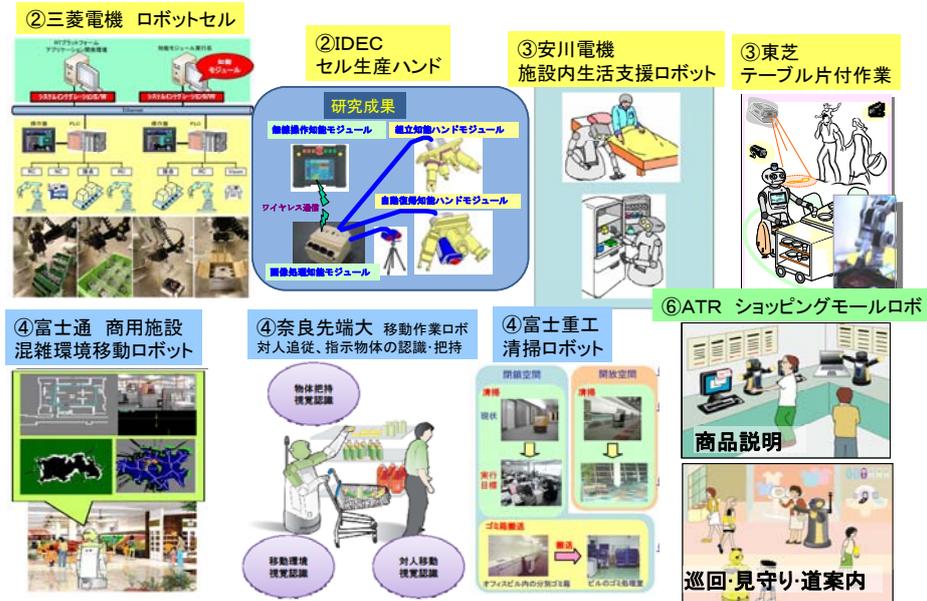


図 各事業体による「設定ゴール」の一部

これらのゴールを目指して、成果についても実現形態により示す工夫を行い、進捗や実用性の評価を行った。下の図に研究開発成果の例を示す。



図 研究開発成果の可視化例

(4) 実用化の見通し

本プロジェクトにとっての「実用化」を以下の3点に整理した。

1. 実用的な知能モジュールを多数蓄積する事

実用化の第一歩は幅広い使用分野にわたり必要な機能を備えた数多い知能モジュールを蓄積することである。そのモジュールが十分な性能・機能、再利用性を有する実用的であること、さらに、相互に接続や交換が可能な統一したインターフェースを持つことが必要である。

2. モジュール開発を実現する設計環境を提供すること。

新ロボットを容易にモジュール組合せで開発できる開発環境と試験環境が準備できていること

3. 知能モジュールおよびモジュール構成法を提供し普及させること

本プロジェクトの成果がさまざまな分野で活用されること。

実用化の最も基本的な基本は、実用的な技術を開発することである。プロジェクトの運営では、PLの指導の下に、網羅的に知能モジュールの開発を分担している。また、同一目的でも使い分けのできる複数のモジュールを開発させている。この方針の下に多数のモジュールが蓄積された(研究開発成果の項参照)。

また、品質を確保するために、蓄積担当部署が受け入れ検査をする等の体制を整えた。また、実ロボットにおいて実用性の検査する体制を開始している。これらの結果、動作を確認された実用的な知能モジュールが再利用可能な形態で蓄積された。

提供については、プロジェクト期間中の23年7月 OprnRTミドルウェアのWeb ページ内に公開用ページを構築し、再利用性の検証が終わったモジュールから順次公開を行った。

	【成果発表数】				
	分類	学会発表 (内 査読論文数)	特許等 (内 国際特許数)	報道等	
	件数	国内	海外	68 (7)	372
		582 (41)	159 (44)		
IV. 評価に 関する事項	事前評価	なし			
	評価予定	平成21年度 中間評価実施 平成24年度 事後評価実施予定			
V. 基本計 画に関する 事項	策定時期	平成19年3月 策定			
	改訂履歴	平成20年3月 再利用推進体制の追加のため、およびプログラム変更に対応するため改訂 平成22年3月 中間評価の結果を受け、研究開発計画を変更したため改訂			

P08013

(ロボット・新機械イノベーションプログラム)
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」基本計画

機械システム技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国では、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザ産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有するとともに、生産現場においても、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働している等、自他ともに認める「ロボット大国」といえる。ただし、1990年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途も特定の産業分野に限られていた。

しかし、ロボットを巡る状況は、着実に変わりつつある。製造業においては、ロボット・セルのように、さらに高度化した産業用ロボットが生産現場に投入されつつある。また、サービス業の分野においても、2005年の愛知万博では、サービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われるとともに、実際のビジネスにおいても、清掃ロボットや食事支援ロボット、災害復旧作業を行う遠隔操作型ロボット等の導入が進んでいる。このように、我が国のロボット産業・技術は、次の成長段階に踏みだし、まさに「第2の普及元年」の幕開けを迎えている。

他方、我が国は、少子高齢化・人口減少、アジア諸国の台頭等を背景とした国際競争の激化や、地震や水害等大規模災害に対する不安といった社会的課題に直面している。我が国に蓄積された基盤的なロボット技術(RT)を活用・高度化することにより、これらの諸課題を解決することが期待されている。

上記解決に求められる最重要な技術課題の一つは、「知能化技術」である。特に、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロバスト性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。

また、当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが必要である。これにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野(自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等)にも広く波及することが期待される。

本プロジェクトは、以上のような知能化に係る技術課題を解決することを目的として、経済産業省が推進する「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として実施する。

(2) 研究開発の目標

(最終目標) 平成23年度

本プロジェクトでは、次の3項目すべてを最終目標とし、次世代ロボットシステムに必要な基盤技術を確立する。

① ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

以下②にて開発する知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行うとともに、検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。

② モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行って、その成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供（有償を含む。）する。

③ 有効性の検証

上記①及び②に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用（再利用）できる形で可能な限り広範囲に提供（有償を含む。）する。

(中間目標) 平成21年度

最終目標に対して、必要な要素技術開発の具体的な見通しを得る。なお、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発については、モジュール型知能化技術を組み込むために必要な情報を提供するとともに、基本部分の開発を完了する。

また、モジュール型知能技術の開発については、各年度末にその性能の検証・評価を受けた後に、ソフトウェアモジュールの提供（有償を含む。）を可能とし、プロジェクトの進展に資するものとする。さらに、知能モジュールを利用するために専用のデバイスが必要になる場合は、デバイスも併せて提供する。

最終目標及び中間目標の詳細は、(別紙) 研究開発計画に記載のとおり。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、次の7つの研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

また、開発したモジュールの有効性を検証するため、システムに組み込み実証試験を行うとともに、当該システムに必要となる技術開発も併せて行う。

＜基盤技術の開発＞

研究開発項目①-1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

研究開発項目①-2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

＜知能モジュール群の開発＞

研究開発項目② 作業知能（生産分野）の開発

研究開発項目③ 作業知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目④ 移動知能（サービス産業分野）の開発

研究開発項目⑤ 高速移動知能（公共空間分野）の開発

研究開発項目⑥ 移動知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目⑦ コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発

2. 研究開発の実施方式

（1）研究開発の実施体制

本研究開発は、経済産業省により、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む。起業を意図する者、ソフトベンダー等の参加も推奨する。）から公募によって研究開発実施者が選定され、共同研究契約等を締結する研究体を構築され、平成19年度より委託により実施している。平成20年度より、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO技術開発機構」という。）が本研究開発を運営・管理するに当たっては、平成19年度の進捗状況を踏まえた研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、委託して実施する。

また、上記研究開発項目②から⑦については、密接な連携により研究開発成果が上がるよう研究体を構築する。

本研究開発は、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）東京大学情報理学系研究科教授 佐藤知正氏の下に各研究体の責任者を置き、それぞれの研究テーマの達成目標を実現すべく効率的な研究開発を実施する。

（2）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は、平成20年度から平成23年度までの4年間とする。本研究開発は、平成19年度経済産業省が実施した「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」について、平成20年度よりNEDO技術開発機構の事業として実施する。

研究開発項目⑤については、平成20年度から平成21年度までの2年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成21年度、事後評価を平成24年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じその結果を後年度の研究開発に反映することとする。なお、平成23年度までの各年度中に推進委員会等で各研究開発内容を内部評価し、必要に応じ、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO技術開発機構及び実施者とも普及に努めるものとするとともに、再利用性を担保するため各研究体間の成果の公開・共有を必須としてオープンイノベーションを促進する。さらに、プロジェクト実施期間中または終了後に、適切な知財戦略の下、成果の外部への提供を積極的に行うこととする。

②成果の産業化

a) 実施者は、本研究開発から得られる研究開発成果の産業面での着実な活用を図るため、本研究開発の終了後に実施すべき取組のあり方や研究開発成果の産業面での活用のビジネスモデルを立案するとともに、立案した取組のあり方とビジネスモデルについて、研究開発の進捗等を考慮して、本研究開発期間中に必要な見直しを行う。

また、当該ビジネスモデルを勘案し、開発したモジュールの国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。

b) 実施者は、上記a)で立案した取組とビジネスモデルを本研究開発終了後、実行に移し、成果の産業面での活用に努めるものとする。

また、各受託者においては、本研究開発終了後も内容物等の保守管理及びモジュールの蓄積・発展に努める。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第27条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、産業技術政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成20年3月、制定。
- (2) 平成20年6月、イノベーションプログラム基本計画制定により改訂。
- (3) 平成22年3月、中間評価の結果を受け、研究開発計画を変更したため改訂。

(別紙) 研究開発計画

<基盤技術の開発>

研究開発項目①-1 : ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

1. 研究開発の必要性

従来の産業用ロボットは、大量生産方式に対応する比較的単機能なものであったことから、ユーザニーズに合致したロボットについて垂直統合型の研究開発を行い事業化することが可能であった。しかしながら、生産方式の多様化への対応や製造現場以外の多種多様なサービスロボットの実用化を確たるものとするためには、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む多様な知能を研究開発するだけでなく、これらの知能技術をモジュール化し再利用可能なものとするとともに、それらの統合を容易にするこれまでにない新たなフレームワークを開発し、次世代ロボットシステムの効率・効果的な開発環境を構築していく必要がある。このため、本事業では、ロボット知能化技術をRTコンポーネントとしてモジュール化し、これらを統合してロボットの作業の計画・運用・制御を行い、かつ、次世代ロボットシステムの設計を支援するフレームワーク（ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム）を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

RTコンポーネント化された知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムのシミュレーション・動作生成・シナリオ生成・システム設計を行うことのできるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行う。具体的には以下のとおり。

①RTコンポーネント開発支援機能

- (a) ロボットシステム、知能モジュール、ハードウェアの仕様の記述方式、作業シナリオの記述方式の設計を行い、他の研究開発項目の実施者に提供する。ロボットシステムの仕様記述は、ロボットの運動学・動力学パラメータ・センサの配置・アクチュエータの配置等ロボットシステムを構築するために必要な情報を含むものとする。なお、本仕様記述方式については、他の研究開発項目の実施者と協議の上決定する。
- (b) RTコンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行い、知能コンポーネント・部品コンポーネントを含むRT部品コンポーネントを開発することができるRTコンポーネントビルダ、RTコンポーネントをデバッグできるRTコンポーネントデバッガ、及びRTコンポーネントで構成されるネットワークの設計・デバッグができるRTシステムエディタの開発を行う。

②応用ソフトウェア開発支援機能

タイムライン・イベントに対して、RTコンポーネント間の起動・停止・接続等、

一連のシーケンスとして実行するシナリオの作成ができる作業シナリオ設計ツール、ロボットの移動・作業等の動作の作成ができる動作設計ツール、作成されたシナリオに対して、実時間制御を実行するソフトウェアの作成支援ができる実時間ソフトウェア設計ツール、及びマニピュレータ・車輪型移動ロボット・脚型移動ロボットを含む多様なロボットを対象として、運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、距離センサ・加速度センサ・ジャイロ・力センサ・アクチュエータを含むRT部品機能のシミュレーションが行えるシミュレータを開発する。

③ロボットシステム設計支援機能

RTコンポーネントを組み合わせ、上記ロボットシステムの仕様記述を作成できるロボットシステム構築ツールを開発する。このため、上記の知能モジュール・ハードウェア仕様記述に基づいて、RTコンポーネントをコンテンツとする分散型データベースを管理する機能を開発する。

(2) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証

検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。具体的には以下のとおり。

①検証用知能モジュール群の開発

作業知能、移動知能、コミュニケーション知能それぞれ一つ以上含む知能モジュール群を研究開発し、RTコンポーネント化する。開発する知能モジュール群の内容については、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の公募内容を参考にして、研究開発項目①-1の実施者の提案に基づき決定するものとする。

②リファレンスハードウェアの開発

開発するRTコンポーネントを搭載可能なリファレンスハードウェアの開発を行う。構成要素であるRTコンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RTコンポーネントの追加・削除が容易な構成とする。研究開発用として利用するため、低コストで製造可能であることを要件とする。

③ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアシステムにRTコンポーネントとして搭載し、ロボットシステムのシミュレーション、動作生成、シナリオ生成を行うことによりロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証を行う。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

- ①次世代ロボットシステムの応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて効率よく実施できること。

- ②本プロジェクトで開発される、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールのすべてが、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること。
- ③次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること。

(2) 中間目標 (平成21年度)

本研究開発項目の成果は、本プロジェクトの他の研究開発に利用される必要があるため、以下の項目を中間目標とする。

①RTコンポーネント開発支援機能

- (a)本プロジェクトで開発されるすべての知能モジュールの仕様が記述可能となること。
- (b) RTコンポーネントの実装に関する専門的知識を有しないユーザが、RTコンポーネントを効率良く開発・デバッグできる機能、RTシステムを効率よく開発・デバッグできる機能が実現されること。
- (c)本目標の基本部分については平成20年度に達成されること。

②応用ソフトウェア開発支援機能

- (a) RTコンポーネント化された作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールをそれぞれ一つ以上含む知能モジュール群について、知能ロボットシステムの運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、動作生成、シナリオ生成が統合的に実施できること。
- (b) 本目標の基本部分については平成20年度に達成されること。

③ロボットシステム設計支援機能

- (a) RTコンポーネント化された知能コンポーネントと応用ソフトウェア開発支援機能を用いて、本プロジェクトで開発される検証用知能モジュール群を用いたロボットシステムが効率よく設計できるシステムを実現すること。
- (b) 本目標の基本部分については、平成21年度に達成されること。

④リファレンスハードウェアの開発

- (a) RTコンポーネントの集合体で構成され、各RTコンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RTコンポーネントの追加・削除が容易であり、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能のRTコンポーネントをそれぞれ一つ以上含むハードウェアを開発すること。
- (b) また、これらの知能の一部を含むシステムとしても構成可能であること。
- (c) 低コストで製造可能であること。
- (d) 本目標については、平成20年度に達成されること。

⑤ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

- (a)リファレンスハードウェアシステム及び構成するRTコンポーネントの仕様が知能

ロボット仕様技術方式で記述可能であり、リファレンスハードウェアシステムを構成するRTコンポーネントの開発がRTコンポーネント開発ツールを用いて行え、作業シナリオ、動作生成、実時間制御が応用ソフトウェア開発ツールを用いて行えること。

(b)本目標については、平成21年度に達成されること。

4. 特記事項

(1) RTコンポーネントは、下記の仕様書に準拠するものとする。

The Robotic Technology Component Specification、 Adopted Specification、 OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) リファレンスハードウェアシステムの開発に当たっては、NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス（別紙1、2、3参照）を利用することを推奨する。

(3) 本研究開発項目の詳細目標については、他の研究開発項目の実施者と適宜協議の上、決定する。

研究開発項目①-2 : ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

1. 研究開発の必要性

知能モジュールを他者が利用（再利用）できる形で提供するためには、適切な仕様に基づいた開発と品質試験、モジュールの有効性検証、データの蓄積、知能モジュールの再利用、実用性評価及び知能モジュール開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の効果的・効率的な工程管理及び品質管理が必要不可欠である。このため、本事業では、知能モジュール開発における最適な環境を構築する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ロボット知能モジュールの開発体制の整備

研究開発項目②から⑦の各研究体（以下「各研究体」という。）の知能モジュール開発工程において、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備しつつ、再利用性の高い高品質ソフトウェア群を開発するための手法を確立する。

(2) ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

(2) 中間目標（平成21年度）

各研究体が提供する知能モジュールを高品質に開発する手法の確立を行い、それらの中間目標時点までに提供される知能モジュールについて、上記2.（1）に示すロボット知能モジュールの試験、蓄積及び提供を行う。

4. 特記事項

R T コンポーネントは、下記の仕様書に準拠するものとする。

The Robotic Technology Component Specification、Adopted Specification、OMG。
http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

<知能モジュール群の開発>

研究開発項目②：作業知能（生産分野）の開発

1. 研究開発の必要性

多品種変量生産への対応として、一人の人間が複数の作業を行うセル生産方式が一つの有効な手段となっているが、少子高齢化による就業人口の減少傾向により、従来のヒト・セルからロボットによるセル生産方式の実現が注目を集めつつある。しかしながら、現在のところ、微妙な位置修正を必要とする組立作業等、複雑な作業工程へのロボットの適用は進んでいない。この原因の一つとして、生産設備立上げ時におけるロボット動作の教示時間の問題があげられる。塗装等の単純な作業工程では、オフラインシミュレータにより教示時間の短縮が図られつつあるものの、部品のハンドリングや組立等、ロボットと作業対象物との物理的接触を伴う複雑な作業や、手先姿勢に強い拘束がある作業では、依然として多くの教示時間がかかっている。また、実際の生産ラインへロボットを導入するためには、長期間にわたる安定的な動作が必須であり、そのためには、作業中に一時的なエラーが発生し作業が停止した場合（チョコ停）の事前回避やエラー状態からの自動復帰が重要な課題である。このため、本事業では周囲の状況が変化しても所期の仕事を確実に遂行できる汎用的な作業知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

生産分野において想定される複雑作業の実現、生産設備立上時間の短縮、人手を介さない長期にわたる作業動作の安定化を実現するため、以下に示す汎用的な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。なお、各知能モジュールの使用に当たっては、安全が確保されることを必須とする。

(1) 作業知能モジュール群の開発

①教示支援に関する知能モジュール群

ロボット動作の教示作業において、その教示時間の短縮を実現する知能モジュール群。例えば、視覚制御のプログラミングが容易にできるようになる機能、複雑な部品の情報を容易に計算機に取り込める機能などにより、教示作業時間が短縮できること。

②チョコ停対応に関する知能モジュール群

チョコ停の事前回避を実現する機能、あるいは、チョコ停発生時に把持や運搬動作の補正等によりチョコ停状態から正常状態へ自動で復帰できる機能を実現する知能モジュール群。

③認識に関する知能モジュール群

上記①及び②の実現のため、作業対象物・周囲環境等の状態やロボットとの接触状態等をロボストにセンシングできる機能を実現するモジュール群。

(2) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、実環境の実タスクでの検証が望ましいが、特段の支障がある場合には、模擬の検証システムを構築しても構わない。ただし、模擬システムでの検証は実態にあった環境下・作業で行うこと。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

- ① エンドエフェクタやティーチングボックス等のデバイス。
- ② 生産設備計画ツール等のシステム技術。
- ③ 環境側へのセンサ配置や知識の分散配置等を行う環境構造化手法等。

3. 達成目標

(1) 最終目標 (平成23年度)

上記2.(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、以下の全事項を達成すること。

- ① 教示における作業時間が、知能モジュールを利用しない場合に比較して 1/3 以下に減少し、かつ、同一作業を繰り返すときのタクトタイムが初期状態に比べて短くなること。
- ② チョコ停を誘発する頻度が高い原因(規定外のワークの混入、位置ずらし等)を、人為的に検証システムに与えた時、チョコ停の事前回避、あるいは多少のタクトタイムの増加を伴いながらも自動復帰が実現すること。

(2) 中間目標 (平成21年度)

① 教示支援に関する知能モジュール群

教示作業時間が従来に比べ 2/3 以下に低減されること。

② チョコ停対応に関する知能モジュール群

エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。

③ 認識に関する知能モジュール群

形状・材質が異なる 10 種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ 5 秒以下でロボストに認識できること。

4. 特記事項

- (1) 下記の R T コンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、 Adopted Specification、 OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス（別紙1、2、3参照）を利用することを推奨する。

(3) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

(4) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

(5) 提案者は、提案書に次の3つの事項を明確に記載すること。

①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。

②各知能モジュールの年度ごとの達成目標とその評価方法。

③各知能モジュールの提供に関する事項（内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等）。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供（共用可能、有償を含む。）にすることなど具体的に記載すること。

なお、平成20年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成21年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

(6) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。

(7) 本研究開発項目②に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

研究開発項目③ : 作業知能（社会・生活分野）の開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化の進展に伴い、施設で共同生活をする高齢者の増加やサービス分野における労働力不足が顕在化しつつある。これに対し、日常生活を営むための作業（片付け、取寄せ等）を支援するロボットや、サービス分野の手作業（レストランの食器の下膳、自動販売機の商品補充等）を人に代わって行うロボットの実用化が期待されている。しかしながら、対象とする作業内容・作業対象物は多種多様であり、かつ作業対象物が置かれている環境も限定されないことから、上記のニーズを満たすロボットシステムの実用化・普及は進展していない。このため、本事業では、作業内容、作業対象、及び作業環境の多様性に対応できる汎用的な作業知能モジュールを開発する。

2. 研究開発の具体的内容

本事業では、人間が日常生活において指示した作業を遂行するサービス産業分野及び生活支援分野で活躍が期待されるロボットに必要な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。なお、当該モジュールは、サービス産業分野及び生活支援分野のみではなく、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用性を有することとする。

(1) 作業計画知能モジュール群の開発

①作業計画に関する知能モジュール群

人から受けた指示をもとにロボットが遂行可能な作業計画を構築する機能を実現するモジュール群。作業計画を立てるために必要な情報が指示に含まれていない場合（例えば、作業対象物の置かれている場所等）は、作業対象物追跡・位置管理知能モジュール等を利用して情報を補完して計画すること。なお、指示や問い合わせは、音声認識・音声合成や持ち運びが容易な携帯端末装置の利用を推奨する。

②作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

人やロボットによる日常物の移動を監視し、対象物が置かれている位置を管理できる機能を実現するモジュール群。作業対象物を追跡する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してもよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

(2) 作業遂行知能モジュール群の開発

①作業対象物認識に関する知能モジュール群

ロボットが日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置、姿勢・

状態等)を必要な精度で認識する機能を実現するモジュール群。作業対象物を認識する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してもよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

②対人作業に関する知能モジュール群

- (i) 作業計画知能モジュールや作業対象物認識知能モジュールで得た情報に基づき、作業対象物を把持し指示された場所まで作業対象物をマニピュレーションする機能を実現するモジュール群。
- (ii) マニピュレーション中に新たな作業指示(中断、停止、変更など)が出た場合は、作業計画を変更して遂行できること。
- (iii) 作業対象物をマニピュレーションする場合に、その妨げとなるような物体(重なっている物や収納庫の扉等)があった場合、それを検知し回避する動作を行うこと。
- (iv) 作業対象物を人に手渡しする場合は、人の位置・姿勢等を計測して、人に手渡すこと。作業対象物をマニピュレーションする範囲が、ロボットのアームの動作範囲を超える場合は、ロボット本体を移動させる機構を利用することや、別のロボットと協調することにより作業を遂行すること。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

施設や家庭等の実際の作業環境又はそれを模した環境において、上記(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムを用いて、その有効性を検証する。

3. 達成目標

(1) 最終目標(平成23年度)

上記2.(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、実際の作業環境あるいはそれを模した模擬環境において、6つ以上の作業対象物に対する3つ以上の作業指示を成功率80%以上で達成すること。なお、作業環境の条件は以下のとおり。

- a. 騒音レベル:40デシベル以上(生活支援分野)、60デシベル以上(サービス産業分野)
- b. 照明条件:家庭や施設で一般的に使用されている照明器具のみを光源とすること(ロボットに光源等を搭載する場合は、この限りではない)。なお、直射日光は入らないと仮定してもよい。

(2) 中間目標(平成21年度)

①作業計画知能モジュール群の開発

(a) 作業計画に関する知能モジュール群

作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示（例えば、作業対象物の置かれている場所情報が与えられていない）を3つ以上認識し、ロボットが遂行可能な具体的な作業計画を立てること。

(b) 作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所（テーブル上、収納庫内等）を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること。

②作業遂行知能モジュール群の開発

(a) 作業対象物認識に関する知能モジュール群

距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報（種類、位置・姿勢等）を認識し、提示できること。作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること。

(b) 対人作業に関する知能モジュール群

6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、下記のマニピュレーション機能を4つ以上実行できること。またそれらを組み合わせて、作業対象物の移動作業を行うこと。さらにマニピュレーション中に新たな作業指示（中断、停止、変更）が出た場合は、作業計画を変更し遂行できること。

(イ-1) 開放的な場所（テーブル上など）や床に置かれた作業対象物を取り上げる。

(イ-2) 開放的な場所（テーブル上など）に作業対象物を置く。

(ロ-1) 人から作業対象物を受取る（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。

(ロ-2) 人へ作業対象物を手渡す（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。

(ハ-1) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）から作業対象物を取り出す。

(ハ-2) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）へ作業対象物を収納する。

(ニ-1) 籠などの中にバラ積みされた作業対象物を取り出す。

(ニ-2) 籠などの中へ作業対象物を入れる。

4. 特記事項

(1) 下記のRTコンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、Adopted Specification、OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス（別紙1、2、3参照）を利用することを推奨する。

- (3) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

- (4) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

- (5) 提案者は、提案書に次の3つ事項を明確に記載すること。

①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。

②各知能モジュールの年度毎の達成目標とその評価方法。

③各知能モジュールの提供に関する事項（内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等）。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供（共用可能、有償を含む。）することなど具体的に記載すること。

なお、平成20年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成21年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

- (6) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。

- (7) 本研究開発項目③に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

研究開発項目④：移動知能（サービス産業分野）の研究開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化の進展や労働力不足等の社会問題が顕在化する中、商業施設・交通施設・オフィス等、人間・障害物が混在し、かつ時間的・空間的に変動する環境において、安全かつ適切な速度で移動し、各種サービス（清掃、案内・誘導、搬送等）を提供するロボットに対して大きな期待が寄せられている。しかしながら、現在の自律移動ロボットは、誘導ガイド・ランドマーク・反射板等によって位置を同定し、予め入力した経路地図により移動しながら仕事を行っており、その活用範囲は限定的なものとなっている。

このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、周囲の状況が変化しても所期の仕事を確実に遂行できるロバスト性を備えた汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境の中で、ロボット自身の位置を認識し、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなく移動できる汎用的な移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 移動環境認識知能モジュール群の開発

複雑かつ変化する環境の中でロボット自身の位置を認識する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の2つのモジュール群から構成される。

①自己位置認識に関する知能モジュール群

周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。

②地図情報生成に関する知能モジュール群

新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモジュール群。(1) ①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて行う機能を実現すること。

(2) 人環境安全移動知能モジュール群の開発

人が往来する環境の中で、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなく移動する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の3つのモジュール群から構成される。

①人・障害物認識に関する知能モジュール群

静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する機能を実現

するモジュール群。

②動的経路計画に関する知能モジュール群

- (a) 現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、補正又は再計画を自動的にを行いながら、目的地に到達可能な機能を実現するモジュール群。
- (b) 人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる機能を実現するモジュール群。

③安全移動制御に関する知能モジュール群

移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現するモジュール群。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①画像処理ハードウェア技術

開発する知能モジュールを移動ロボット上で実時間動作させるために必要な画像処理ハードウェア技術。

②環境構造化技術

環境側に機器等を設置することで、移動のロバスト性を高める技術。ただし、建物のデザインに影響を与えないこと。施工が容易であり、インフラ設置コストが内界センサ（現場での調整・試験コストも含む）に比較して安価であること。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2.(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること。

(2) 中間目標（平成21年度）

①移動環境認識知能モジュール群の開発

(a) 自己位置認識に関する知能モジュール群

実際の公共空間で必要となる狭隘な通路やオープンスペースを含む10種類以上の環境条件を設定し、安定に自己位置を同定できることを確認する。ただし、日光が差し込むガラス窓がある環境条件を含めること。

(b) 地図情報生成に関する知能モジュール群

上記(a)で設定した環境において、移動に必要な地図等の環境記述を生成できること。

②人環境安全移動知能モジュール群の開発

(a) 人・障害物認識に関する知能モジュール群

人が0.5m/秒以下の速度で往来する実際の公共空間において、起こり得る人や障害物の状況を10ケース以上抽出し、全ケースにおいて、回避が必要な人・障害物を認識できること。

(b) 経路計画に関する知能モジュール群

(i) 人が往来する実際の公共空間において、10組以上の現在地・目的地を指定し、安定に経路を生成できること。

(ii) 2組以上の現在地・目的地について、経路の一部を塞いだ場合も、目的地に到達する別の経路を再計画できること。

(iii) 上記(2)①で抽出した人・障害物状況の全ケースについて、安全な回避経路を生成できること。

(c) 安全移動制御に関する知能モジュール群

人が往来する実際の公共空間において、路面の状況・周囲状況に応じ、スムーズな速度制御を可能とし、車体に大きな振動的運動を起こさないこと。

4. 特記事項

(1) 下記のRTコンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、Adopted Specification、OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス(別紙1、2、3参照)を利用することを推奨する。

(3) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

(4) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

(5) 提案者は、提案書に次の3つ事項を明確に記載すること。

①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。

②各知能モジュールの年度毎の達成目標とその評価方法。

③各知能モジュールの提供に関する事項（内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等）。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供（共用可能、有償を含む。）することなど具体的に記載すること。

なお、平成20年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成21年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

(6) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。

(7) 本研究開発項目④に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

研究開発項目⑤：高速移動知能（公共空間分野）の開発

1. 研究開発の必要性

交通システムの発達によって人々の生活は便利になった一方、高齢化の進展やモビリティの増加を背景に、高齢者の身体機能低下による事故、渋滞に起因する経済損失、環境汚染等の社会的問題が顕在化している。このような問題の解決に向けて、高速移動中に瞬時に周囲状況を認識し、その情報を複数で共有・制御する技術の実用化が期待されている。かかる技術は、将来的なロボット台数の増加やロボットの移動速度の高速化等に対応するために不可欠な技術である。このため、本事業では、高速移動体（ロボット、自動車等）が瞬時に周囲環境を認識し、複数の移動体間で情報を共有し、最適な判断・制御を可能とする汎用的な高速移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

公共空間における高速移動体が周囲状況を瞬時に認識し、複数の移動体間で情報を共有し、最適な判断・制御を可能とする汎用的かつロバストな高速移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

（1）高速移動知能モジュール群の開発

①交通状況認知に関する知能モジュール群

センサから取得した情報や他の移動体から伝達される知識を含めて、交通状況等周囲の状況を高速移動（100km/時）中に確実に認知することが可能な機能を実現するモジュール群。他の移動体から入手した知識には、古いものや、移動体の性能の違いによる誤差のあるものも含まれていることなどを適切に判断できること。また、認知した情報は知識として知識ベースに格納されること。

②知識共有に関する知能モジュール群

知識ベースに格納された知識を、移動体同士の直接通信によって必要なときに共有できる機能を実現するモジュール群。ただし、新たな通信インフラの敷設を前提としないこと。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周囲状況に関する知識を操縦者に提示できる機能を実現するモジュール群。以下を要件とすること。

- (a) 交通情報の生成、統合処理が可能なこと。
- (b) 危険回避を支援できること。渋滞を回避し最適な経路の計画策定及び目的地までの移動時間と平均速度情報を生成可能なこと。

（2）知能モジュール群の有効性検証

移動体に上記（１）で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、実環境に近い環境下でその有効性を検証する。なお、検証する移動体に求められる最低要件は以下のとおり。

- ①安全性能：人間が危険と判断した場合に、移動体の行動を制限できること。
- ②移動効率向上：通信インフラが敷設されていない地域も含め、渋滞を回避する等効率的に移動が可能なこと。
- ③全天候性：屋外での利用を想定し、全天候性を確保すること。
- ④一般性：最低３種の周囲状況に関する知識（走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等）を獲得可能であること。
- ⑤連続稼働時間：２４時間連続動作が可能であること。
- ⑥規模性：半径１５０ｍのエリアに１２０台の移動体が集合しているのと同等の環境において、意図した周囲状況が認知可能であること。
- ⑦移動耐性：公共空間における高速移動速度（１００km/時）において、知識伝達が可能であること。
- ⑧メディア非依存性：特定の通信メディアに依存したシステムではないこと。

３．達成目標

（１）最終目標（平成２３年度）

上記２．（１）で開発する知能モジュール群をすべて搭載した移動体が、以下の全事項を達成すること。ただし、移動体は２．（２）に示す最低要件を満たすこと。

- ①半径１５０ｍのエリアに１２０台以上の移動体が存在する条件下で、時刻や天候、季節、場所、移動速度に適応して周囲交通状況を認知し、操縦者に提示可能なこと。また、認知した情報を移動体間で交換することによって、安全性、円滑性、環境等に関する５種以上の知識を共有可能であること。
- ②移動体が事故等を認知してから５分以内に、１km以上離れた場所に伝達可能であること。

（２）中間目標（平成２１年度）

①交通状況認知に関する知能モジュール群

地図情報の利用とともに、移動体の走行に有益な３種以上の知識（走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等）を獲得できること。周辺状況を認知する時、大きな誤差を含むセンサ情報は、自律的に削除する機能を有すること。

②知識共有に関する知能モジュール群

特定の位置で発生した情報を移動体間で共有可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、６０km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周囲状況に関する知識を、その知識を欲している移動体の存在位置を予測しながら、当該移動体に提供可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、60km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

4. 特記事項

- (1) 平成21年8月に実施した中間評価において、研究開発項目⑤については、高速であるという技術的な特徴から、他の研究開発項目との連携が困難であり、現段階では、本プロジェクトの中で実現するには時期尚早との指摘を受けた。このため、後半2年間の知能モジュール群の統合と改良フェーズは実施せず、平成21年度で研究開発を終了する。

- (2) 下記のRTコンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、 Adopted Specification、 OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

- (3) NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス(別紙1、2、3参照)を利用することを推奨する。

- (4) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

- (5) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

- (6) 提案者は、提案書に次の3つ事項を明確に記載すること。

- ①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。
- ②各知能モジュールの年度毎の達成目標とその評価方法。
- ③各知能モジュールの提供に関する事項(内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等)。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供(共用可能、有償を含む。)することなど具体的に記載すること。

なお、平成20年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成21年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

- (7) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。
- (8) 本研究開発項目⑤に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

研究開発項目⑥：移動知能（社会・生活分野）の開発

1. 研究開発の必要性

人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在は自動車や自転車が確立されているが、ショッピングセンターや娯楽施設等、これらの移動手段では対応できず、歩行が必要な環境が多く存在している。一方で、高齢化が進展するにつれ、長時間・長距離の歩行が困難となる層が拡大すると予想されることから、このような環境において活用される歩行に代替しうる自由度の高い移動手段として、携行可能性を備えた乗物ロボット（モビリティ・ロボット）の実用化が期待されている。このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて安全に移動する機能を実現する汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

人を乗せて、操縦者の指令にしたがって安全かつ自在に移動する機能を実現する汎用的な操縦移動知能モジュール群、及び自律的な走行機能を実現する汎用的な自律移動知能モジュール群の開発並びにその検証を行う。具体的には以下のとおり。

（1）操縦移動知能モジュール群の開発

①安定走行に関する知能モジュール群

指令値に基づく駆動力制御に加え、走行加速度や外力、未知環境等に対して自動的に姿勢を安定化する機能等基本的な移動機能群を備えているモジュール群。

②障害物回避に関する知能モジュール群

外界センサを利用した障害物（人を含む）検知機能、衝突リスク見積もり機能、回避行動生成機能等、外界との衝突を避けるための回避機能群を備えているモジュール群。

③操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

広範な利用者層に対してモビリティ・ロボットの使用を簡便にするため、習熟が不要な新しい操作インタフェースに必要な機能群を備えているモジュール群。

（2）自律移動知能モジュール群の開発

①自律走行に関する知能モジュール群

高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画、操縦移動と自律移動の自然な融合機能等、操縦者不在時や操縦アシスト時を含めた自律・半自律走行に必要な機能群を備えているモジュール群。

②自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報や移動履歴情報等を活用し、あらかじめ指定した対象物が存在する場

所に自律走行で帰還するために必要な機能群を備えているモジュール群。

③協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御機能等の協調行動を行うために必要な機能群を備えているモジュール群。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

モビリティ・ロボットシステムに、上記(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、検証するロボットシステムに求められる最低要件は以下のとおり。

- (a) 小型軽量化：バッテリー、駆動ユニット、躯体を含めて携行利用も可能な重量、寸法とする。
- (b) 走行性能：人間の速歩程度の速度（最大 10km/時）、最小航続距離 2 km、安全で十分な回避、最大登坂性能 10 度。
- (c) 操作インターフェース：年少者から高齢者まで簡便に利用できること。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成 23 年度）

上記 2. (1)、(2) で開発する知能モジュール群をすべて搭載したモビリティ・ロボットシステムが、長期間（3ヶ月程度）の技術実証試験において安定的に動作すること。ただし、モビリティ・ロボットシステムは 2. (3) に示す最低要件を満たすこと。

(2) 中間目標（平成 21 年度）

①操縦移動知能モジュール群の開発

(a) 安定走行に関する知能モジュール群

人間が押す程度の外力に対してロバストであり、最大 10 度の斜面上でも安定走行を可能とすること。

(b) 障害物回避に関する知能モジュール群

通常の歩行速度（4 km/時）で接近する人を含む障害物を安全に回避できること。危険度に応じて使用者に警告を与えることができること。

(c) 操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

年少者から高齢者まで簡便に利用できる操作インターフェースを実現すること。

②自律移動知能モジュール群の開発

(a) 自律走行に関する知能モジュール群

操縦者に違和感を与えることない自律走行を可能とすること。

(b) 自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報または移動履歴情報が利用可能な条件下において、あらかじめ指定した対象物が存在する場所への自律走行での帰還を可能とすること。

(c) 協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと利用者間の協調行動により、複数台のモビリティ・ロボットによる移動と利用者への追従を可能とすること。

4. 特記事項

(1) 下記の R T コンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、 Adopted Specification、 OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) N E D O 技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス（別紙 1、2、3 参照）を利用することを推奨する。

(3) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

(4) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

(5) 提案者は、提案書に次の 3 つ事項を明確に記載すること。

①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。

②各知能モジュールの年度毎の達成目標とその評価方法。

③各知能モジュールの提供に関する事項（内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等）。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供（共用可能、有償を含む。）することなど具体的に記載すること。

なお、平成 20 年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成 21 年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

- (6) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。
- (7) 本研究開発項目⑥に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

研究開発項目⑦：コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化、労働力不足等の社会問題が顕在化する中、人と自然にコミュニケーションを行いながら各種サービスを提供し、国民生活の質の向上に役立つ次世代ロボットの実用化・普及が期待されている。音声認識・合成技術や画像認識技術の進歩や、愛知万博等での実証実験を背景に、ロボットの対人コミュニケーション技術は向上しているものの、いまだ限られた環境下における特定用途での実証実験レベルに留まっている。今後、デパート、遊園地、老人ホーム、学校等の公共エリアにおいて、受付、案内、見守り等を行うロボットや、家庭において家電操作支援、見守り、セキュリティ等を行うロボットを実用化・普及していくためには、ロバスト性に優れたコミュニケーション知能を開発し、多様なロボットに適用していくことが極めて重要である。このため、本事業では、周囲環境が変化しても所期の仕事を確実に遂行できる汎用的なコミュニケーション知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

サービス産業分野及び生活支援分野において活用されるロボットが、ロバストなコミュニケーション能力を獲得するために必要な汎用性を有する知能モジュール群の開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

①環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボット前方の範囲内の人物の状況（人数、向き、接近等の動き）を把握すること、及びロボットと対話する相手の人数や位置を把握することが可能な機能を実現するモジュール群。

(2) 対話支援知能モジュール群の開発

①音声認識に関する知能モジュール群

ロボットと対話しようとしている人の音声と周囲雑音を分離し、騒がしい環境であっても、子供や高齢者を含む対象者の音声を認識することが可能である機能を実現するモジュール群。

②音声合成に関する知能モジュール群

対話すべき内容が与えられたとき、周囲環境や子供や高齢者を含む対象者の属性に応じて、適切な話し方で、聞き取りやすい発話を行うことを可能とする機能を実現するモジュール群。

③行動理解に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

- (a) 人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する機能。
- (b) 人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する機能。
- (c) ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える機能。

(3) 対話制御知能モジュール群の開発

①対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択することが可能な機能を実現するモジュール群。

②対話制御に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

- (a) 対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスク（ある目的を達成するための対話コンテンツの実行）を実現することが可能な機能。
- (b) 複数の人物が話しかけてきたときに複数の人物からの話しかけであることを検出し、少なくとも1人の人物との対話を継続できる機能。

(4) 対話管理等知能モジュール群の開発

①対話対象同定に関する知能モジュール群

顔認識等による人物同定機能や、対話しながら随時顔等を記憶することのできる人物登録機能を実現するモジュール群。

②対話履歴管理に関する知能モジュール群

対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に反映することが可能な機能を実現するモジュール群。

(5) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに上記(1)～(4)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①環境・状況・対象認識知能技術

- (a) 近傍の人物全員を追跡し、新しく人物が登場したこと、ある人物がいなくなったこと、一度対話した人物との対話の再開であること等が認識できる技術。

(b)環境を構造化することにより、ロボットが環境・状況・対象を認識することを助ける技術。

(c)対話中の人の顔、音声、体型その他の特徴から、年齢、属性を推定する技術。

(d)近傍に複数の人物がいる場合、人物の音声の方向、口の動き等から、ロボットに話しかけられている状況であること及びその人物を特定する技術。

②対話支援知能技術

(a)音声認識において、多様な言い回し・表現や方言に対応する技術。

(b)音声認識において、ロボットが発話中や動作中であっても、対話者の音声を認識する技術。

(c)音声認識において、複数の対話者が同時に話しかけた場合でも、それを適切に選別ないしは同時に認識する技術。

(d)音声合成において、感情を込めた発声を可能にする技術。

(e)音声合成において、多様な音声を低コストで開発することを可能にする技術。

(f)ロボットが、話す内容に応じて自動的に適切な仕草を生成することを可能にする技術。

(g)身振り、仕草を用いたコミュニケーション技術。

③対話制御知能技術

(a)周囲に、対話妨害者（タスクの遂行を阻害する子供等）がいる場合でもタスク遂行が可能な対話制御技術。

(b)複数の人物がロボットと対話しようとするときに、複数の人物と同時に対話を進めることのできる対話制御技術。

(c)対話履歴管理モジュールにおいて、内容の履歴だけではなく、対象者の発話の特徴（声の質、明瞭さ、方言）等を記憶して、認識の成功率を高める技術。

(d)予めコンテンツとして準備されたタスクだけではなく、言語・非言語のインタラクションを自動的に生成し実行する技術。

(e)対話内容がユーザに伝わっていないことを検出して表現手段と変更することや、ユーザの発話が認識できないときに、適切に聞きなおしたりすることのできる対話エラーリカバリ技術。

(f)外部のコンテンツ管理サーバと連携し、随時新しいコンテンツを獲得することにより、対話の内容を変化させ、ロボットへの興味を持続させる技術。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2.（1）～（4）で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、3種類以上の実用的なコミュニケーションのタスクを実行し、成功率70%以上のタスク達成率と、70%以上のユーザ満足度を得ること。なお、実行するタスクには、(a-1)、(a-2)の少なくとも一つ及び(b)のタスクを含むこととする。

- (a-1) サービス産業分野向けを対象とする研究開発の場合は、BGMや人の話し声が聞こえる、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設において、顧客からの商品に関する質問の聞き取りや商品説明を行う対話が実行できること。
- (a-2) 生活支援分野向けを対象とする研究開発の場合、テレビのついた状態のリビングで高齢者と対話して、ビデオの制御や録画・再生をアシストすることができること。
- (b) タスク内での対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションは、少なくとも200以上とする。バリエーションとは、例えば、「テレビをつけて」「エアコンの温度を20度にして」等の指示の種類を指す。

(2) 中間目標（平成21年度）

① 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

(a) 環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボットの前方5m以内の人物の配置が70%以上の精度で検出できること。

② 対話支援知能モジュール群の開発

(a) 音声認識に関する知能モジュール群

BGMが聞こえるスーパーや、TVがついているリビング等の実用的な環境において、子供や高齢者を含む不特定話者の音声を70%以上の精度で認識できること。

(b) 音声合成に関する知能モジュール群

子供や高齢者を含む不特定の相手とのコミュニケーションにおいて、70%以上の精度で内容が伝達できること。

(c) 行動理解に関する知能モジュール群

「人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する技術」「人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する技術」について、それぞれ少なくとも3種類の要素（例えば、3種類の身振り、3種類の表情等）の認識技術を開発し、実用的なロボットタスクの実証実験において、その効果を実証すること。また、「ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える技術」に関しては、仕草を伴うことの効果を、ユーザへのアンケートで実証すること。

③ 対話制御知能モジュール群の開発

(a) 対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

200以上の対話コンテンツを格納でき、また状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を有すること。

(b) 対話制御に関する知能モジュール群

選択された対話コンテンツのフローを制御し、初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成できること。

④ 対話管理等知能モジュール群の開発

(a) 対話対象同定に関する知能モジュール群

100 人を対象に 80%以上の精度で人物を同定できること。

(b)対話履歴管理に関する知能モジュール群

100 人以上の対話履歴を管理し、その履歴から得られた情報を対話に反映する機能を有すること。

4. 特記事項

(1) 下記の R T コンポーネントの仕様書に準拠することを推奨する。

The Robotic Technology Component Specification、 Adopted Specification、 OMG。

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

(2) N E D O 技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイス（別紙 1、2、3 参照）を利用することを推奨する。

(3) 環境構造化技術を開発対象とする場合は、下記の科学技術連携施策の共通プラットフォームとの連携を推奨する。

「次世代ロボット ー共通プラットフォーム技術の確立ー」

<http://www.renkei.jst.go.jp/seika/robot/index.html>

(4) 上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。

(5) 提案者は、提案書に次の 3 つ事項を明確に記載すること。

- ①各知能モジュール群を構成する具体的な知能モジュールの内容とその構成。
- ②各知能モジュールの年度毎の達成目標とその評価方法。
- ③各知能モジュールの提供に関する事項（内容の範囲、有償・無償の別、対象者及び時期等）。例えば、研究開発のマイルストーンに従い、各年度末に実行可能なプログラムモジュールの形で成果を得た上で、その検証を受け、仕様書及びマニュアルを含め、特定又は一般に無償若しくは有償で提供（共用可能、有償を含む。）することなど具体的に記載すること。

なお、平成 20 年度までの各年毎の実現形は、各社の個別対応とするが、平成 21 年度以降はロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とすること。また、中間評価以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、知能モジュール群の統合に移し、知能モジュールの高度化を図りつつ、その提供（有償を含む。）に注力するようにすること。

(6) 知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを

研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。

- (7) 本研究開発項目⑦に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。

別紙1 画像認識用デバイス及びモジュールの仕様

1. 基本性能

生活空間等の実環境で稼働するロボットのステレオカメラの画像を処理し、ロボットの自己位置同定、環境の3次元マップ取得をリアルタイムで実行するために以下の性能を備える。

- ・ 2系統以上のカメラ画像をフレームレート30fps以上、16ビット以上のカラー解像度で同時入力・処理可能であること。
- ・ カメラ画像の入力と画像処理を毎フレーム実行可能であること。
- ・ 移動しながら自己位置同定と環境の3次元マップの取得を行うための処理能力としてシーン内の1000箇所以上の特徴的な領域(8×8画素以上)について、ステレオ計測と動き計測を100ms以下で実行可能であること。
- ・ 2m先の対象物を10cm以下の精度で検出可能であること。
- ・ 各計測データについての信頼性評価値の出力が可能であること。

2. RTコンポーネントとしての動作

開発したモジュールを以下のRTM(RTミドルウェア)の仕様に基づくRTコンポーネントとして提供できること。

The Robotic Technology Component Specification, Adopted Specification, OMG.

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

3. 低消費電力・低発熱量

次世代ロボットは、画像認識に高い処理能力が求められると同時にバッテリーで駆動することが想定されるため、ピーク動作に必要な消費電力が20W以下であること。

4. 小型軽量化

ロボットに搭載可能な面積150cm²以下、質量250g以下であること。

5. 耐ノイズ性

強電系と共存して安定に動作すること。

6. 付加的機能

- (1) 照明条件への適応やノイズ除去のための画像前処理機能として、階調補正及びフィルタリング処理の適用が可能であること。
- (2) 人物の検出及び顔の登録・照合を行うことが可能であること。
- (3) 人のジェスチャを認識する機能を有すること。
- (4) 部屋内を移動することにより、部屋の3次元マップを構築可能であること。
- (5) 部屋のマップと現在のセンサ入力情報から、自己位置を同定可能であること。
- (6) 省配線：組立工数を削減し、スペースの制約を満たし、高信頼性を実現できること。

別紙2 音声認識用デバイス及びモジュールの仕様

1. 基本性能

ロボットが稼働する生活空間等の実環境で音声情報を処理し、人間とのコミュニケーションを行うために以下の性能を備えること。

- 様々な処理の搭載・入れ替え、性能の改善、個別ロボット向けのカスタマイズが可能であること。
- 不特定話者の単語認識が可能な処理能力を備えること。
- 日常生活空間の雑音環境下で耐雑音処理により 70%以上の単語認識率を実現可能な処理能力を備えること。
- 音源方向の検出が可能であること。
- 8ch 以上の多チャンネル入力が可能であること。

2. RTコンポーネントとしての動作

開発したモジュールを以下のRTM (RTミドルウェア) の仕様に基づくRTコンポーネントとして提供できること。

The Robotic Technology Component Specification, Adopted Specification, OMG.

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

3. 低消費電力・低発熱量

次世代ロボットの音声認識は常時動作させる必要があり、高い処理能力が求められると同時に、バッテリーで駆動することが想定されるため、必要な消費電力が最大で 20W 以下であること。

4. 小型軽量化

ロボットに搭載可能な面積 75cm² 以下、質量 150g 以下であること。

5. 耐ノイズ性

強電系と共存して安定に動作すること。

6. 付加的機能

- (1) ロボット発話やメカノイズをキャンセルできること (雑音発生時の認識率 70%以上)。
- (2) 自由発話の大語彙音声認識が可能であること。
- (3) 認識すべき音声以外の音に対する誤認識を30%以下に抑えること。
- (4) 発話者の口とマイクの距離が 50cm以上でも目標性能が達成可能であること。
- (5) 省配線：組立工数を削減し、スペースの制約を満たし、高信頼性を実現できること。

別紙3 運動制御用デバイス及びモジュールの仕様

1. 基本性能

実運用環境下で動作する多自由度ロボットの分散処理を可能とする高度な処理機能を実現するために以下の性能を備えること。

- ・ 1軸以上のアクチュエータを制御できる性能を有すること。
- ・ 多自由度協調動作を行うための制御情報、状態量等を出力できること。
- ・ 1ms以下の周期処理が実現可能であること。
- ・ 実時間通信インタフェースを複数種類備えること。
- ・ 汎用OSが稼働すること。

2. RTコンポーネントとしての動作

開発したモジュールを以下のRTM (RTミドルウェア) の仕様に基づくRTコンポーネントとして提供できること。

The Robotic Technology Component Specification, Adopted Specification, OMG.

http://www.omg.org/technology/documents/domain_spec_catalog.htm

サーボ系などの高速処理に関わる通信に関しては他のプロトコルを採用することを認めるが、開発したモジュールで制御する各パーツ (腕、指、移動機構等) と上位制御装置間に関しては、上記の条件を満たし、ネットワーク上で実時間稼働すること。

3. 低消費電力・耐熱性

次世代ロボットは、多自由度系の制御等に高い処理能力が求められると同時に、バッテリーで駆動することが想定されるために

- ・ 制御部が必要とする消費電力が最大で15W以下であること。
- ・ アクチュエータ等の発熱源近傍で安定に動作すること。
- ・ 要素モジュールを構成した際にパワー部ピーク動作に必要な消費電力を低減すること。

4. 耐ノイズ性

強電系と共存して安定に動作すること。

5. 小型軽量化

ロボットに搭載可能なサイズ、質量であること。但し、パワー部を除いた要素モジュールは面積50cm²以下、質量150g以下であること。

6. 付加的機能

- (1) 加速度センサ、ジャイロ、力センサやレーザレーダ等のセンサからの信号を入力し、その信号を処理すること。
- (2) 省配線：組立工数を削減し、スペースの制約を満たし、高信頼性を実現できること。

ロボット・新機械イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

我が国の製造業を支えてきたロボット技術・機械技術を基盤とし、IT技術・知能化技術など先端的要素技術との融合を促進することにより、家庭、医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指す。

2. 政策的位置付け

○科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

ロボット・新機械技術は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つである情報通信分野や、推進分野であるものづくり技術分野、社会基盤分野に位置付けられている。

○「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議。2007年6月改定版を経済財政諮問会議に報告）

産学官連携による世界をリードする新産業群の一つとして位置付けられ、次世代ロボット市場の拡大に向けて、サービスロボット市場の整備、ロボットの認識技術の開発等必要な取組を継続することとしている。

またITによる生産性向上と市場創出のためのIT革新を支える産業・基盤の強化技術として、新機械技術の重要分野であるMEMS技術の重要性が位置付けられている。

○「新産業創造戦略」（2005年6月経済産業省取りまとめ）

先端的新産業分野として、「ロボット」を戦略7分野の一つとして掲げ、2010（平成22年）までの市場規模、その成長に向けたアクションプログラムを盛り込んでいる。当該アクションプログラムには、ユーザ（施設、地域）を巻き込んだ実証試験を中心としたモデル開発事業による先行用途開発、モデル事業と連携した重要な要素技術や共通インフラ技術の開発支援、及び人間とロボットの共存に必要な安全性の確保と、保険制度等の制度基盤の整備が提示されている。

新機械技術の重要分野であるMEMS技術について、当該新産業群の創出を支える重点四分野（「科学技術基本計画」による）の分野間の融合による推進が指摘されている。

○「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

ロボット・新機械技術は、生涯健康な社会や多様な人生を送れる社会の実現に向けて、中長期的に取り組むべき課題として、新たな走行車等の普及促進のための環境整

備、高度みまもり技術導入のためのルール作りなどの安全・安心な社会形成、また、ユビキタスネットワークや民生用ロボットの本格普及に向けた環境整備、低侵襲診断・治療技術の実現、安全・安心な社会のための将来デバイスの実現、さらに世界的課題解決に貢献する社会のための新しいものづくり技術など、今後の研究開発の進展等によって、その成果を社会に適用していく上で取組が必要であるとともに、随時見直しをし、その取組を加速・拡充していくことが必要とされている。

○「ロボット政策研究会」（２００６年５月経済産業省取りまとめ）

ロボットを実際に市場に導入するための政策の強化、ロボットが現実に使われることを想定した安全性の確保、及び具体的な用途を想定したロボット技術の開発の推進を検討の視点として、これら課題への対応の方向性をまとめた。

3. 達成目標

- (1) 我が国製造業の高度化に必要不可欠な基盤技術である機械分野においては、バイオ技術やIT技術等の異分野技術を活用した従来の機械の概念を超えた新しい機械の創造及びその計測技術の確立を図ることを目標とする。例えば、２０１５年頃に革新的MEMSの本格普及を目指すことにより、安全・安心な社会の構築に貢献する。
- (2) 安全・安心な社会、便利でゆとりある生活の実現のために必要不可欠なロボットは、信頼性技術、高機能化・知能化技術、システム化技術が特に重要であり、これら技術を開発することで、２０１５年頃には、自律的に多様な作業を行うロボットの実用化を目指す。

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

I. ロボット技術開発

- (1) 基盤ロボット技術活用型オープンイノベーション促進プロジェクト（運営費交付金）

①概要

これまでの研究開発プロジェクトの成果を活用し、生活環境やロボットで使用される各種要素部品をRT(Robot Technology)システムで利用しやすい共通の接続方式、制御方式の下で利用可能な形で提供(RTコンポーネント化)するための基盤を開発する。これにより既存の生活環境を簡単にRTシステム化し、それらを活用することにより様々な生活支援機能の提供、基盤ロボット技術の普及と標準化を推進する。

②技術目標及び達成時期

２０１０年度までに、共通の通信インタフェースとRTミドルウェアで動作させる基盤通信モジュール、既存の要素部品をRTコンポーネント化したRT要素部品、それらを用いたRTシステムを開発する。

③研究開発期間

２００８年度～２０１０年度

- (2) 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

生活空間や多品種少量生産の製造現場など状況が変わりやすい環境下では、ロボットの使用条件や用途は大きく限定されている。これを克服するため、ロボットが確実性（ロバスト性）をもって稼動し、ロボットの環境・状況認識能力等の向上とともに、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積管理及び組合せ等を可能とする技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代ロボットが高度な作業（タスク）を行う上で必要な効率的で実用的な知能化技術を開発する。具体的には、魅力的でニーズが高いタスクを設定し、知能化技術モジュールを開発し、高機能的なロボットシステムの構築を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

市場ニーズ及び技術戦略マップに基づき、約10年後にロボット技術の活用により達成するミッションを設定した上で、これを達成するために必要なロボットシステム及び要素技術開発を、関係府省の連携の下で実施する。

②技術目標及び達成時期

市場ニーズ及び技術戦略マップに基づき、約10年後にロボットを活用して達成するミッションを設定した上で、これを達成するために必要なロボットシステム及び要素技術の開発を実施する。具体的かつ先端的なRT開発を支援することで、我が国のRT競争力の維持・発展を図るとともに、研究開発成果の他分野（自動車、情報家電等）への波及を図る。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

II. MEMSの技術開発・新機械産業の領域開拓

(1) 高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

従来個別に開発されてきた各種センサならびに通信用デバイスについて、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）製造技術を用いて一体形成、高集積化、ナノ機能付加することで、小型・省電力・高性能・高信頼性のMEMSデバイスを製造する技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、以下の開発を行う。

- ・MEMS／半導体の一体形成技術の開発
- ・MEMS／MEMSの高集積化技術の開発
- ・MEMS／ナノテク機能の複合技術の開発

③研究開発期間

2006年度～2008年度

(2) 異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト

①概要

高信頼性が必要な医療分野や特殊環境等で活用され、医療や安全・安心等の社会的課題を解決する、小型・高性能・省エネルギーな次世代デバイスの基盤プロセス技術を、MEMS製造技術とナノ・バイオ等の異分野技術の融合により開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、次世代デバイス製造に必要な不可欠な基盤プロセス技術群である、バイオ・有機材料融合プロセス技術、3次元ナノ構造形成プロセス技術、マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術を開発すると共に、得られた知見を系統的に蓄積しデータベース化し、従来の技術情報と統合的に取り扱える知識データベースシステム整備を行う。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

Ⅲ. 分析機器産業の技術開発支援

(1) 高度分析機器開発実用化プロジェクト

①概要

燃料電池・情報家電・ナノテクといった先端新産業において、材料解析・性能評価・品質管理等で必要とされる超微量・超低濃度試料の分析技術や機器の開発を行う。これら産業化の各フェーズに適した分析技術を開発することにより、先端新産業の事業化や製品の高付加価値化を図る。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに希ガスイオン源を搭載した集束イオンビームの開発、低加速・高分解能・高感度の元素分析用顕微鏡の開発、超微量試料用分離・分析技術の開発を行う。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

〔実用化・導入普及促進〕

ロボットやその関連部品等の見本市の開催等を支援することによって、システム開発者、要素部品の開発者、ロボットユーザ等とのマッチングを図り、中小・ベンチャーや異業種企業のロボット産業への参入を促進する。

また、市場創出に貢献するロボットを表彰し、ロボットユーザ、メーカーから一般の方まで広くPRする表彰制度「今年のロボット」大賞を共催機関と協力して実施している。

開発したソフトウェア等の成果については、広く一般に提供するなど積極的な普及を図ることにより、より多くの開発主体がロボット技術開発に参加できる環境を創出し、ロボット技術開発の裾野の拡大を図る。

将来のロボットは人に接する場面が多くなるであろう。したがって、ロボットの導入・普及を促進するためには、安全に対する考え方を整理し、周知することが重要で

ある。平成19年7月には人間と共存する次世代ロボットの安全性を確保するための基本的な考え方をまとめた「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」をとりまとめた。今後は、普及や具体化に向けた取組みが求められており、技術開発と並行して安全に係るルールなどの整備を推進することで普及をより現実化させることが必要である。

MEMSの一層の実用化促進を図るため、異分野や製造設備を有していない企業でも容易にMEMSビジネスに参入できるように、MEMS用設計・解析支援システムを開発した。その成果を活用しつつ、実習を中心とした人材育成及び試作環境の充実、製造拠点（ファンドリー）強化などMEMS産業全体の競争力の維持・強化を図る。

〔標準化〕

各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準団体（OMG等）への提案等）を実施する。

特に、ロボットの安全基準や性能の評価基準については、過去に実施した研究開発プロジェクト等による実証データや「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」の活用を図りつつ我が国発の国際標準としての提案について検討し、拡大するロボット市場における国際競争力の確保を目指す。

なお、これまでの研究施策の成果である、ロボット部分品の接続の共通化を目指したRTM（ロボット・テクノロジー・ミドルウェア）が、OMG（ソフトウェア技術の国際標準化団体）において、平成19年12月に標準仕様として採択されている。

MEMS技術・製品を世界市場に広く普及するために技術戦略マップに基づくMEMS標準化戦略の策定、国際規格案の開発、提案、推進等の標準化活動に継続的に取り組む。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成14年2月28日付け、21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画制定。
- (2) 平成15年3月10日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成14・02・25産局第3号）は、廃止。
- (3) 平成16年2月3日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成15・03・07産局第11号）は、廃止。
- (4) 平成17年3月31日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成16・02・03産局第16号）は、廃止。
- (5) 平成18年3月31日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成17・03・25産局第18号）は、廃止。
- (6) 平成19年4月2日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画

- (平成18・03・31産局第7号)は、廃止。
- (7)平成14年2月28日付け、新製造技術プログラム基本計画制定。
- (8)平成15年3月10日付け制定。新製造技術プログラム基本計画(平成14・02・25産局第6号)は、廃止。
- (9)平成16年2月3日付け制定。新製造技術プログラム基本計画(平成15・03・07産局第9号)は、廃止。
- (10)平成17年3月31日付け制定。新製造技術プログラム基本計画(平成16・02・03産局第11号)は廃止。
- (11)平成18年3月31日付け制定。新製造技術プログラム基本計画(平成17・03・25産局第5号)は、廃止。
- (12)平成19年4月2日付け制定。新製造技術プログラム基本計画(平成18・03・31産局第6号)は、廃止。
- (13)平成20年4月1日付け、ロボット・新機械イノベーションプログラム基本計画制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画(平成19・03・15産局第2号)及び新製造技術プログラム基本計画(平成19・03・19産局第3号)は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

I. 事業の背景・必要性・目的・位置づけについて

1. 事業の背景・必要性

我が国では、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザ産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入ができた。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有するとともに、生産現場においても、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働している等、自他ともに認める「ロボット大国」といえる。ただし、1990年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途も特定の産業分野に限られていた（図1.1）。

しかし、ロボットを巡る状況は、着実に変わりつつある。製造業においては、ロボット・セルのように、さらに高度化した産業用ロボットが生産現場に投入されつつある。また、サービス業の分野においても、2005年の愛知万博では、サービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われるとともに、実際のビジネスにおいても、清掃ロボットや食事支援ロボット、災害復旧作業を行う遠隔操作型ロボット等の導入が進んでいる。このように、我が国のロボット産業・技術は、次の成長段階に踏みだし、まさに「第2の普及元年」の幕開けを迎えている。

他方、我が国は、少子高齢化・人口減少、アジア諸国の台頭等を背景とした国際競争の激化や、地震や水害等大規模災害に対する不安といった社会的課題に直面している。我が国に蓄積された基盤的なロボット技術（RT）を活用・高度化することにより、これらの諸課題を解決することが期待されている。

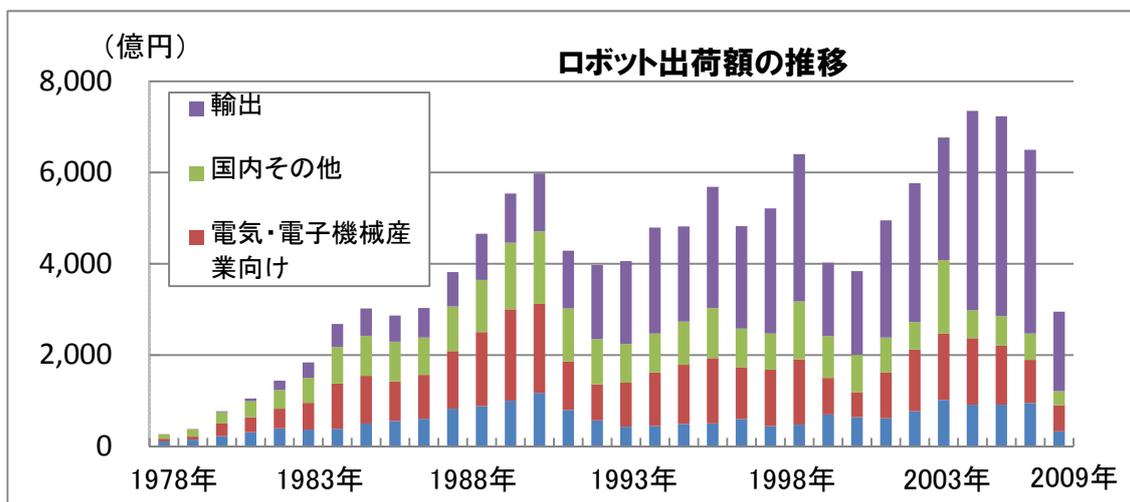


図 1.1 ロボット出荷額の推移

2 政策への適合性

「科学技術基本計画」（2006年3月閣議決定）では、ロボット・新機械技術は、特

に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つである情報通信分野や、推進分野であるものづくり技術分野、社会基盤分野に位置づけられている。

「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議。2007年6月改訂版を経済財政諮問会議に報告）の中で、ロボット技術は産学官連携による世界をリードする新産業群の一つとして位置づけられ、次世代ロボットの市場の拡大に向けて、サービスロボット市場の整備、ロボットの認識技術の開発等必要な取組を継続することとしている。

「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）では、ロボット・新機械技術は、生涯健康な社会生活や多様な人生を送れる社会の実現に向け、中長期的に取り組むべき課題として、新たな走行車等の普及促進のための環境整備、高度みまもり技術導入のためのルール作りなどの安全・安心な社会形成、また、ユビキタスネットワークや民生用ロボットの本格普及に向けた環境整備、低侵襲診断・治療技術の実現、安全・安心な社会のための将来デバイスの実現、さらに世界的課題解決に貢献する社会のための新しいものづくり技術など、今後の研究開発の進展等によって、その成果を社会に適用していく施策が必要であるとともに、随時見直しをし、その取組を加速・拡充していくことが必要とされている。

3 国のプログラムとの関連性

このような状況を踏まえ、「ロボット・新機械イノベーションプログラム」では、我が国の製造業を支えてきたロボット技術・機械技術を基盤とし、IT技術・知能化技術など先端的要素技術との融合を促進することにより、家庭、医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指している。

このロボット・新機械イノベーションプログラムの中で、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」はロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とする。これにより、新たな分野へのロボットの参入障壁を取り除き、次世代ロボットの産業競争力強化・市場拡大に貢献できる。これはロボットの活躍の場を家庭、医療・福祉や災害救助といった分野に拡大するというロボット・新機械イノベーションプログラムの目的に合致している。

4 事業の目的

上記解決に求められる最重要な技術課題の一つは、「知能化技術」である。特に、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロバスト性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。

また、現在まで産業用ロボット以外の市場が形成されていない中、新たな分野で次世代ロボットを実用化するためには、高品質で高効率な新たなロボット開発手法が必要である。

すなわち、次世代ロボット開発を効率化し普及を促進するためには、目や耳などのロボットの主要なパーツに加え、知能に相当する機能をモジュール化することと、これらを統合する共通基盤技術の開発することが必要であり、これらの技術を統合して生み出されるロボットのモジュール式設計手法をロボットの共通基盤として整備することが重要である。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、次世代ロボット共通基盤技術開発の一環として、RTミドルウェアの開発を行った。また、RTミドルウェアを用いた基本的ロボットの機能モジュールとして、次世代ロボット共通基盤開発プロジェクトにおいて、画像認識モジュール、音声認識モジュール、運動制御モジュールを開発してきた。

本事業では、これまでの次世代ロボット共通基盤技術開発の成果及びその課題を踏まえ、共通化・標準化の観点から、当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とする。これにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野（自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等）にも広く波及することが期待される。さらに、開発したモジュールをロボットシステムに組み込むことにより有効性の検証を行う。

そのため、本プロジェクトは、「我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させること」を目的とする。

5 事業の位置づけ

経済産業省の発行する技術戦略マップ2009[1]にはロボットの導入シナリオとしてロボットプロジェクトのロードマップが記載されている。このロードマップに参照番号を追記したものが図5.1である。図中A～Dは先行用途開発を目指したプロジェクト群を示している。これらのプロジェクトはロボットが達成すべき用途を「タスク」として定義し、それに必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することを目的としている。

一方①～④は基盤技術開発を目的とするプロジェクト群である。これらは、お互いに関連を持った一連のプロジェクトである。ロボットの基本機能をモジュールとして部品化し再利用を促すことにより、毎度同様の開発をする必要なく高度なロボットを容易に構成可能とすることを目的とするものである。この際、重要となるのが部品の接続を支える基盤システムである。NEDO技術開発機構ではこのシステムをRTミドルウェアとして、「ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備」（平成14～16年度）で開発した（図5.2の①）。この技術を用いて、平成17年に「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」として、ロボットのキー技術である画像認識モジュール、音声認識モジュール、運動制御モジュールの3種を先行的に開発した（図5.2の②）。これらのモジュール開発の成功を

受けて、今度はロボットを制御するのに必要なソフトウェアの部品（知能モジュール）をそろえることを目的として本プロジェクトを開始した（図5.2の③）。図5.2の④はさらにその先の小型センサや小型アクチュエータを同じ接続法で部品化することを目的とした「基盤ロボット技術活用型オープンイノベーション促進プロジェクト」である。これらのプロジェクトが完了すると、ロボットを構成可能な機能部品（モジュール）がそろい、必要なモジュールを組合わせて使用することで効率的に高性能な新ロボットを開発できる環境が整備されることとなる。

このように本プロジェクトは技術戦略マップにおける一連の基盤技術開発プロジェクト群に位置づけられるもので、ソフトウェアモジュール開発を担当する重要プロジェクトである。

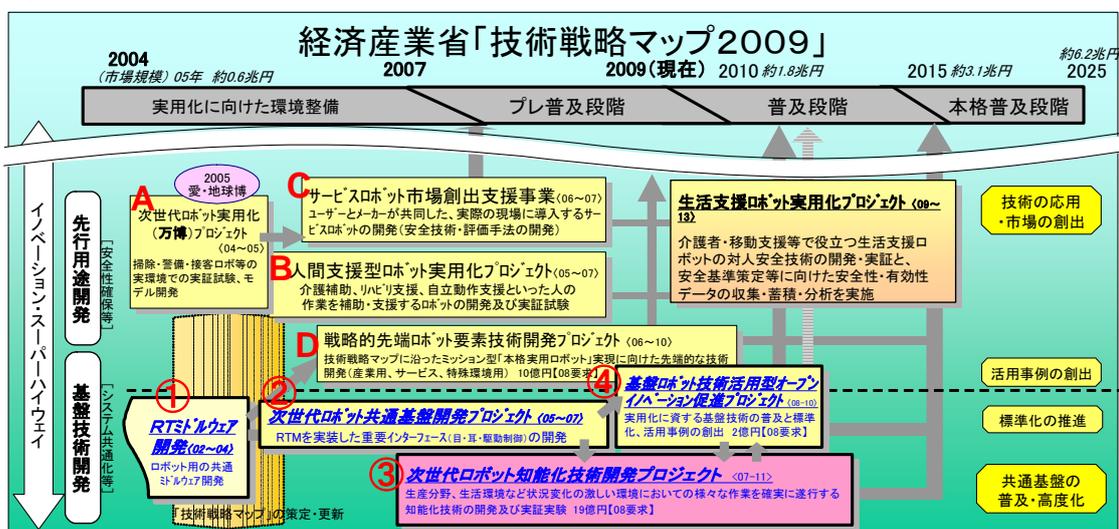


図 5.1 ロボット分野の導入シナリオ[1]

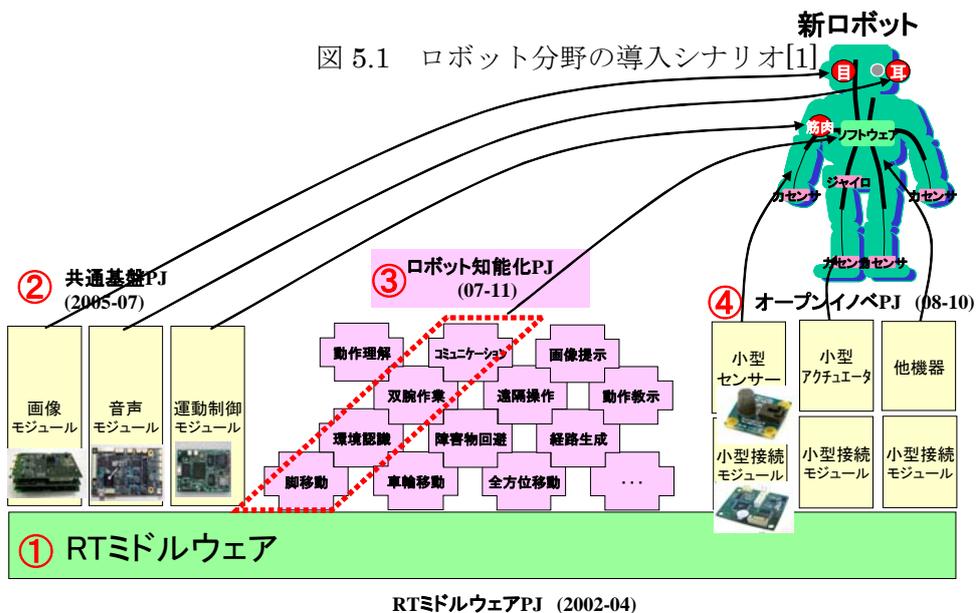


図 5.2 ロボット基盤技術開発に関する4プロジェクトの関係

6 NEDOの関与の必要性

6.1 NEDO が関与することの意義

本事業はロボットの活用範囲を拡大するために必要な基盤整備施策であり、公共性が高いものである。

また、現在まで産業用ロボット以外の市場が形成されていない中、高性能な次世代ロボットを効率的に開発するためには、根本的にロボット設計法を変化させることが必要となる。それが「21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」(社)日本機械工業連合会、(社)日本ロボット工業会 (2001) に提案されたモジュール設計法である。この設計法を普及させるには、数多くの魅力的なモジュール群が選択肢としてそろっていることが必要である。しかし知能モジュール群の蓄積が少ない現状では、魅力が少ないため参加者が見込めない。参加者が少ないため、モジュール群の数量が増えないという鶏と卵の関係にある。すなわち、単独でモジュール数を増加させる事業は企業リスクが高く、民間企業における経営判断は相当な困難が伴い、市場原理に任せていたのでは次世代ロボットの実用化・産業化は望めない。

このため、NEDO技術開発機構が必要となる機能モジュールを開発することにより、次世代の効率的ロボット開発法を普及させることにより、新規産業創出や産業活性化が期待でき、産業政策的効果は高い。

このような環境下にあるため、本プロジェクトはNEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業であると考えられる。

6.2 実施の効果(費用対効果)

今までに4領域8テーマにおいて16事業体が参加し、基盤となる知能モジュール相互の接続環境と、14種の用途に対応した知能モジュール群の基本形を開発した。本プロジェクトの初年度は経済産業省の直轄事業として進められた。中間評価までに知能モジュールを効率的に開発可能とする開発環境を実現し、様々なミッションに対応した知能モジュール群を開発した。中間評価後の2年間で、下記の成果を得た。

1. 開発した知能モジュール群を相互運用することで統合的な検証を行い、他者が再利用できる有効性を確認した。
2. 再利用性の確認作業が終わったモジュールをプロジェクト期間中より一般向けにドキュメント(仕様など)と共に公開し、ダウンロードを可能な状態とした。

本プロジェクト研究開発費は67.4億円である。中間評価で受けた指摘事項への対応として事業体の再編成および整理を行い9事業体となった。中間評価までの3年間は1事業体あたり約3億円、評価後の2年間は1事業体あたり約2.2億円となる。この金額で、再利用性にすぐれた知能モジュールを開発し、そのモジュールの機能・性能を検証し改良するための実証RTシステムの開発・組み込み、複数回の実証試験を実施し、また、それらのR

Tシステム開発における設計環境としてのRTモジュール設計環境、シミュレータ、システム統合技術の開発、そして技術実証の際に得られた知見や技術データを蓄積・相互に利用できるデータベースなど、競争的環境における効果的・効率的なロボット開発が推進された。また、実際に使用できる状態で開発したモジュール群を公開して、本プロジェクトの成果を利用できる様に提供するなど、本プロジェクトが実現した効果は大きい。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

事業目標

1 研究開発目標(平成23年度最終目標)

本プロジェクトには 8 つの研究開発項目があるが、それらを総合して次の 3 項目すべてを最終目標とし、次世代ロボットシステムに必要な基盤技術を確立する。

①ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

以下②にて開発する知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行うとともに、検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。

②モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行い、その成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供（有償を含む。）する。

③ 有効性の検証

上記①及び②に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用（再利用）できる形で可能な限り広範囲に提供（有償を含む。）する。

8 つの研究開発項目ごとの最終目標の詳細は、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」基本計画「(別紙) 研究開発計画」(PP. 13-45) に記載のとおり。

2 研究開発項目

本プロジェクトでは以下の 8 テーマ（ロボット利用領域）の研究開発項目を設定した。研究開発項目①-1 と①-2 はすべての知能モジュールのベースとなる基盤技術開発であり、残りの 6 テーマにおいて、知能モジュールを開発する。

< 基盤技術の開発 >

研究開発項目①-1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

研究開発項目①-2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

< 知能モジュール群の開発 >

研究開発項目② 作業知能（生産分野）の開発

研究開発項目③ 作業知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目④ 移動知能（サービス産業分野）の開発

研究開発項目⑤ 高速移動知能（公共空間分野）の開発

研究開発項目⑥ 移動知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目⑦ コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発

プロジェクト推進上、これらの8テーマを以下の4領域に整理している(図2.1)。

- I. 基盤技術開発
- II. 作業領域の知能モジュール群開発
- III. 移動領域の知能モジュール群開発
- IV. コミュニケーション領域の知能モジュール群開発

I. 基盤技術開発	
①-1	ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発
①-2	ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発
II. 作業領域の知能モジュール群開発	
②	作業知能(生産分野)の開発 (次世代産業用ロボット)
③	作業知能(社会・生活分野)の開発 (介護やレストラン分野でのハンドリング)
III. 移動領域の知能モジュール群開発	
④	移動知能(サービス産業分野)の開発 (街やビル内の移動)
⑤	高速移動知能(公共空間分野)の開発 (車両移動)
⑥	移動知能(社会・生活分野)の開発 (搭乗用ロボット)
IV. コミュニケーション領域の知能モジュール群開発	
⑦	コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発

図 2.1 4領域に整理した8つの研究開発項目

3 研究開発項目ごとの研究開発目標

3.1 研究開発項目①-1:ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

1. 研究開発の必要性

従来の産業用ロボットは、大量生産方式に対応する比較的単機能なものであったことから、ユーザーズに合致したロボットについて垂直統合型の研究開発を行い事業化することが可能であった。しかしながら、生産方式の多様化への対応や製造現場以外の多種多様なサービスロボットの実用化を確たるものとするためには、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む多様な知能を研究開発するだけでなく、これらの知能技術をモジュール化し再利用可能なものとするとともに、それらの統合を容易にするこれまでにない新たなフレームワークを開発し、次世代ロボットシステムの効率・効果的な開発環境を構築していく必要がある。このため、本事業では、ロボット知能化技術をRTコンポーネントとしてモジュール化し、これらを統合してロボットの作業の計画・運用・制御を行い、かつ、次世代ロボットシステムの設計を支援するフレームワーク(ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム)を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

R Tコンポーネント化された知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムのシミュレーション・動作生成・シナリオ生成・システム設計を行うことのできるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行う。具体的には以下のとおり。

① R Tコンポーネント開発支援機能

(a) ロボットシステム、知能モジュール、ハードウェアの仕様の記述方式、作業シナリオの記述方式の設計を行い、他の研究開発項目の実施者に提供する。ロボットシステムの仕様記述は、ロボットの運動学・動力学パラメータ・センサの配置・アクチュエータの配置等ロボットシステムを構築するために必要な情報を含むものとする。なお、本仕様記述方式については、他の研究開発項目の実施者と協議の上決定する。

(b) R Tコンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行い、知能コンポーネント・部品コンポーネントを含むR T部品コンポーネントを開発することができるR Tコンポーネントビルダ、R TコンポーネントをデバッグできるR Tコンポーネントデバッガ、及びR Tコンポーネントで構成されるネットワークの設計・デバッグができるR Tシステムエディタの開発を行う。

② 応用ソフトウェア開発支援機能

タイムライン・イベントに対して、R Tコンポーネント間の起動・停止・接続等、一連のシーケンスとして実行するシナリオの作成ができる作業シナリオ設計ツール、ロボットの移動・作業等の動作の作成ができる動作設計ツール、作成されたシナリオに対して、実時間制御を実行するソフトウェアの作成支援ができる実時間ソフトウェア設計ツール、及びマニピュレータ・車輪型移動ロボット・脚型移動ロボットを含む多様なロボットを対象として、運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、距離センサ・加速度センサ・ジャイロ・力センサ・アクチュエータを含むR T部品機能のシミュレーションが行えるシミュレータを開発する。

③ ロボットシステム設計支援機能

R Tコンポーネントを組み合わせて、上記ロボットシステムの仕様記述を作成できるロボットシステム構築ツールを開発する。このため、上記の知能モジュール・ハードウェア仕様記述に基づいて、R Tコンポーネントをコンテンツとする分散型データベースを管理する機能を開発する。

(2) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証

検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。具体的には以下のとおり。

①検証用知能モジュール群の開発

作業知能、移動知能、コミュニケーション知能それぞれ一つ以上含む知能モジュール群を研究開発し、R Tコンポーネント化する。開発する知能モジュール群の内容については、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の公募内容を参考にして、研究開発項目①-1の実施者の提案に基づき決定するものとする。

②リファレンスハードウェアの開発

開発するR Tコンポーネントを搭載可能なリファレンスハードウェアの開発を行う。構成要素であるR Tコンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、R Tコンポーネントの追加・削除が容易な構成とする。研究開発用として利用するため、低コストで製造可能であることを要件とする。

③ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアシステムにR Tコンポーネントとして搭載し、ロボットシステムのシミュレーション、動作生成、シナリオ生成を行うことによりロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証を行う。

3. 達成目標

(1) 最終目標 (平成23年度)

①次世代ロボットシステムの応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて効率よく実施できること。

②本プロジェクトで開発される、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールのすべてが、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること。

③次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること。

(2) 中間目標 (平成21年度)

本研究開発項目の成果は、本プロジェクトの他の研究開発に利用される必要があるため、以下の項目を中間目標とする。

①R Tコンポーネント開発支援機能

(a)本プロジェクトで開発されるすべての知能モジュールの仕様が記述可能となること。

(b) R Tコンポーネントの実装に関する専門的知識を有しないユーザが、R Tコンポーネントを効率良く開発・デバッグできる機能、R Tシステムを効率よく開発・デバッグできる機能が実現されること。

(c)本目標の基本部分については平成20年度に達成されること。

②応用ソフトウェア開発支援機能

(a) R Tコンポーネント化された作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュ

ニケーション知能モジュールをそれぞれ一つ以上含む知能モジュール群について、知能ロボットシステムの運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、動作生成、シナリオ生成が統合的に実施できること。

(b) 本目標の基本部分については平成20年度に達成されること。

③ロボットシステム設計支援機能

(a) RTコンポーネント化された知能コンポーネントと応用ソフトウェア開発支援機能を用いて、本プロジェクトで開発される検証用知能モジュール群を用いたロボットシステムが効率よく設計できるシステムを実現すること。

(b) 本目標の基本部分については、平成21年度に達成されること。

④リファレンスハードウェアの開発

(a) RTコンポーネントの集合体で構成され、各RTコンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RTコンポーネントの追加・削除が容易であり、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能のRTコンポーネントをそれぞれ一つ以上含むハードウェアを開発すること。

(b) また、これらの知能の一部を含むシステムとしても構成可能であること。

(c) 低コストで製造可能であること。

(d) 本目標については、平成20年度に達成されること。

⑤ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

(a) リファレンスハードウェアシステム及び構成するRTコンポーネントの仕様が知能ロボット仕様技術方式で記述可能であり、リファレンスハードウェアシステムを構成するRTコンポーネントの開発がRTコンポーネント開発ツールを用いて行え、作業シナリオ、動作生成、実時間制御が応用ソフトウェア開発ツールを用いて行えること。

(b) 本目標については、平成21年度に達成されること。

3.2 研究開発項目①-2：ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

1. 研究開発の必要性

知能モジュールを他者が利用（再利用）できる形で提供するためには、適切な仕様に基づいた開発と品質試験、モジュールの有効性検証、データの蓄積、知能モジュールの再利用、実用性評価及び知能モジュール開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の効果的・効率的な工程管理及び品質管理が必要不可欠である。このため、本事業では、知能モジュール開発における最適な環境を構築する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ロボット知能モジュールの開発体制の整備

研究開発項目②から⑦の各研究体（以下「各研究体」という。）の知能モジュール開発工

程において、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備しつつ、再利用性の高い高品質ソフトウェア群を開発するための手法を確立する。

(2) ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

3. 達成目標

(1) 最終目標 (平成23年度)

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

(2) 中間目標 (平成21年度)

各研究体が提供する知能モジュールを高品質に開発する手法の確立を行い、それらの中間目標時点までに提供される知能モジュールについて、上記2. (1) に示すロボット知能モジュールの試験、蓄積及び提供を行う。

3.3 研究開発項目② : 作業知能(生産分野)の開発

1. 研究開発の必要性

多品種変量生産への対応として、一人の人間が複数の作業を行うセル生産方式が一つの有効な手段となっているが、少子高齢化による就業人口の減少傾向により、従来のヒト・セルからロボットによるセル生産方式の実現が注目を集めつつある。しかしながら、現在のところ、微妙な位置修正を必要とする組立作業等、複雑な作業工程へのロボットの適用は進んでいない。この原因の一つとして、生産設備立上げ時におけるロボット動作の教示時間の問題があげられる。塗装等の単純な作業工程では、オフラインシミュレータにより教示時間の短縮が図られつつあるものの、部品のハンドリングや組立等、ロボットと作業対象物との物理的接触を伴う複雑な作業や、手先姿勢に強い拘束がある作業では、依然として多くの教示時間がかかっている。また、実際の生産ラインへロボットを導入するためには、長期間にわたる安定的な動作が必須であり、そのためには、作業中に一時的なエラーが発生し作業が停止した場合(チョコ停)の事前回避やエラー状態からの自動復帰が重要な課題である。このため、本事業では周囲の状況が変化しても所期の仕事を確実に遂行できる汎用的な作業知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

生産分野において想定される複雑作業の実現、生産設備立上時間の短縮、人手を介さない長期にわたる作業動作の安定化を実現するため、以下に示す汎用的な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。なお、各知能モジュールの使用に当たっては、安全が確保されることを必須とする。

(1) 作業知能モジュール群の開発

① 教示支援に関する知能モジュール群

ロボット動作の教示作業において、その教示時間の短縮を実現する知能モジュール群。例えば、視覚制御のプログラミングが容易にできるようになる機能、複雑な部品の情報を容易に計算機に取り込める機能などにより、教示作業時間が短縮できること。

② チョコ停対応に関する知能モジュール群

チョコ停の事前回避を実現する機能、あるいは、チョコ停発生時に把持や運搬動作の補正等によりチョコ停状態から正常状態へ自動で復帰できる機能を実現する知能モジュール群。

③ 認識に関する知能モジュール群

上記①及び②の実現のため、作業対象物・周囲環境等の状態やロボットとの接触状態等をロボストにセンシングできる機能を実現するモジュール群。

(2) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、実環境の実タスクでの検証が望ましいが、特段の支障がある場合には、模擬の検証システムを構築しても構わない。ただし、模擬システムでの検証は実態にあった環境下・作業で行うこと。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

① エンドエフェクタやティーチングボックス等のデバイス。

② 生産設備計画ツール等のシステム技術。

③ 環境側へのセンサ配置や知識の分散配置等を行う環境構造化手法等。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2.(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、以下の全事項を達成すること。

① 教示における作業時間が、知能モジュールを利用しない場合に比較して1/3以下に減少し、かつ、同一作業を繰り返すときのタクトタイムが初期状態に比べて短くなること。

② チョコ停を誘発する頻度が高い原因(規定外のワークの混入、位置ずらし等)を、人為的に

検証システムに与えた時、チョコ停の事前回避、あるいは多少のタクトタイムの増加を伴いながらも自動復帰が実現すること。

(2) 中間目標 (平成21年度)

① 教示支援に関する知能モジュール群

教示作業時間が従来に比べ 2/3 以下に低減されること。

② チョコ停対応に関する知能モジュール群

エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。

③ 認識に関する知能モジュール群

形状・材質が異なる 10 種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ 5 秒以下でロボストに認識できること。

3.4 研究開発項目③ : 作業知能(社会・生活分野)の開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化の進展に伴い、施設で共同生活をする高齢者の増加やサービス分野における労働力不足が顕在化しつつある。これに対し、日常生活を営むための作業(片付け、取寄せ等)を支援するロボットや、サービス分野の手作業(レストランの食器の下膳、自動販売機の商品補充等)を人に代わって行うロボットの実用化が期待されている。しかしながら、対象とする作業内容・作業対象物は多種多様であり、かつ作業対象物が置かれている環境も限定されないことから、上記のニーズを満たすロボットシステムの実用化・普及は進展していない。このため、本事業では、作業内容、作業対象、及び作業環境の多様性に対応できる汎用的な作業知能モジュールを開発する。

2. 研究開発の具体的内容

本事業では、人間が日常生活において指示した作業を遂行するサービス産業分野及び生活支援分野で活躍が期待されるロボットに必要な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。なお、当該モジュールは、サービス産業分野及び生活支援分野のみではなく、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用性を有することとする。

(1) 作業計画知能モジュール群の開発

① 作業計画に関する知能モジュール群

人から受けた指示をもとにロボットが遂行可能な作業計画を構築する機能を実現するモジュール群。作業計画を立てるために必要な情報が指示に含まれていない場合(例えば、作業対象物の置かれている場所等)は、作業対象物追跡・位置管理知能モジュール等を利用

して情報を補完して計画すること。なお、指示や問い合わせは、音声認識・音声合成や持ち運びが容易な携帯端末装置の利用を推奨する。

②作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

人やロボットによる日常物の移動を監視し、対象物が置かれている位置を管理できる機能を実現するモジュール群。作業対象物を追跡する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

(2) 作業遂行知能モジュール群の開発

①作業対象物認識に関する知能モジュール群

ロボットが日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置、姿勢・状態等）を必要な精度で認識する機能を実現するモジュール群。作業対象物を認識する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

②対人作業に関する知能モジュール群

(i) 作業計画知能モジュールや作業対象物認識知能モジュールで得た情報に基づき、作業対象物を把持し指示された場所まで作業対象物をマニピュレーションする機能を実現するモジュール群。

(ii) マニピュレーション中に新たな作業指示（中断、停止、変更など）が出た場合は、作業計画を変更して遂行できること。

(iii) 作業対象物をマニピュレーションする場合に、その妨げとなるような物体（重なっている物や収納庫の扉等）があった場合、それを検知し回避する動作を行うこと。

(iv) 作業対象物を人に手渡しする場合は、人の位置・姿勢等を計測して、人に手渡すこと。作業対象物をマニピュレーションする範囲が、ロボットのアームの動作範囲を超える場合は、ロボット本体を移動させる機構を利用することや、別のロボットと協調することにより作業を遂行すること。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

施設や家庭等の実際の作業環境又はそれを模した環境において、上記（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムを用いて、その有効性を検証する。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2. (1)、(2) で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、実際の作業環境あるいはそれを模した模擬環境において、6つ以上の作業対象物に対する3つ以上の作業指示を成功率80%以上で達成すること。なお、作業環境の条件は以下のとおり。

- a. 騒音レベル：40 デシベル以上（生活支援分野）、60 デシベル以上（サービス産業分野）
- b. 照明条件：家庭や施設で一般的に使用されている照明器具のみを光源とすること（ロボットに光源等を搭載する場合は、この限りではない）。なお、直射日光は入らないと仮定してもよい。

(2) 中間目標（平成21年度）

①作業計画知能モジュール群の開発

(a)作業計画に関する知能モジュール群

作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示（例えば、作業対象物の置かれている場所情報が与えられていない）を3つ以上認識し、ロボットが遂行可能な具体的な作業計画を立てること。

(b)作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所（テーブル上、収納庫内等）を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm 以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること。

②作業遂行知能モジュール群の開発

(a)作業対象物認識に関する知能モジュール群

距離が500mm 離れた位置から広さ500mm×500mm の領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報（種類、位置・姿勢等）を認識し、提示できること。作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること。

(b)対人作業に関する知能モジュール群

6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、下記のマニピュレーション機能を4つ以上実行できること。またそれらを組み合わせて、作業対象物の移動作業を行うこと。さらにマニピュレーション中に新たな作業指示（中断、停止、変更）が出た場合は、作業計画を変更し遂行できること。

(イ-1) 開放的な場所（テーブル上など）や床に置かれた作業対象物を取り上げる。

(イ-2) 開放的な場所（テーブル上など）に作業対象物を置く。

(ロ-1) 人から作業対象物を受取る（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。

(ロ-2) 人へ作業対象物を手渡す（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。

(ハ-1) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）から作業対象物を取り出す。

(ハ-2) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）へ作業対象物を収納する。

(ニ-1) 籠などの中にバラ積みされた作業対象物を取り出す。

(ニ-2) 籠などの中へ作業対象物を入れる。

3.5 研究開発項目④：移動知能(サービス産業分野)の研究開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化の進展や労働力不足等の社会問題が顕在化する中、商業施設・交通施設・オフィス等、人間・障害物が混在し、かつ時間的・空間的に変動する環境において、安全かつ適切な速度で移動し、各種サービス(清掃、案内・誘導、搬送等)を提供するロボットに対して大きな期待が寄せられている。しかしながら、現在の自律移動ロボットは、誘導ガイド・ランドマーク・反射板等によって位置を同定し、予め入力した経路地図により移動しながら仕事を行っており、その活用範囲は限定的なものとなっている。

このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、周囲の状況が変化しても所期の仕事を確実に遂行できるロボスタ性を備えた汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境の中で、ロボット自身の位置を認識し、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなく移動できる汎用的な移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 移動環境認識知能モジュール群の開発

複雑かつ変化する環境の中でロボット自身の位置を認識する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の2つのモジュール群から構成される。

①自己位置認識に関する知能モジュール群

周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。

②地図情報生成に関する知能モジュール群

新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモジュール群。(1)①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて行う機能を実現すること。

(2) 人環境安全移動知能モジュール群の開発

人が往来する環境の中で、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突すること

なく移動する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の3つのモジュール群から構成される。

①人・障害物認識に関する知能モジュール群

静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する機能を実現するモジュール群。

②動的経路計画に関する知能モジュール群

(a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、補正又は再計画を自動的に行いながら、目的地に到達可能な機能を実現するモジュール群。

(b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる機能を実現するモジュール群。

③安全移動制御に関する知能モジュール群

移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現するモジュール群。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①画像処理ハードウェア技術

開発する知能モジュールを移動ロボット上で実時間動作させるために必要な画像処理ハードウェア技術。

②環境構造化技術

環境側に機器等を設置することで、移動のロバスト性を高める技術。ただし、建物のデザインに影響を与えないこと。施工が容易であり、インフラ設置コストが内界センサ（現場での調整・試験コストも含む）に比較して安価であること。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2.(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること。

(2) 中間目標（平成21年度）

①移動環境認識知能モジュール群の開発

(a) 自己位置認識に関する知能モジュール群

実際の公共空間で必要となる狭隘な通路やオープンスペースを含む10種類以上の環境条件を設定し、安定に自己位置を同定できることを確認する。ただし、日光が差し込むガラス窓がある環境条件を含めること。

(b) 地図情報生成に関する知能モジュール群

上記(a)で設定した環境において、移動に必要な地図等の環境記述を生成できること。

②人環境安全移動知能モジュール群の開発

(a) 人・障害物認識に関する知能モジュール群

人が0.5m/秒以下の速度で往来する実際の公共空間において、起こり得る人や障害物の状況を10ケース以上抽出し、全ケースにおいて、回避が必要な人・障害物を認識できること。

(b) 経路計画に関する知能モジュール群

(i) 人が往来する実際の公共空間において、10組以上の現在地・目的地を指定し、安定に経路を生成できること。

(ii) 2組以上の現在地・目的地について、経路の一部を塞いだ場合も、目的地に到達する別の経路を再計画できること。

(iii) 上記(2)①で抽出した人・障害物状況の全ケースについて、安全な回避経路を生成できること。

(c) 安全移動制御に関する知能モジュール群

人が往来する実際の公共空間において、路面の状況・周囲状況に応じ、スムーズな速度制御を可能とし、車体に大きな振動的運動を起こさないこと。

3.6 研究開発項目⑤：高速移動知能(公共空間分野)の開発

1. 研究開発の必要性

交通システムの発達によって人々の生活は便利になった一方、高齢化の進展やモビリティの増加を背景に、高齢者の身体機能低下による事故、渋滞に起因する経済損失、環境汚染等の社会的問題が顕在化している。このような問題の解決に向けて、高速移動中に瞬時に周囲状況を認識し、その情報を複数で共有・制御する技術の実用化が期待されている。かかる技術は、将来的なロボット台数の増加やロボットの移動速度の高速化等に対応するために不可欠な技術である。このため、本事業では、高速移動体(ロボット、自動車等)が瞬時に周囲環境を認識し、複数の移動体間で情報を共有し、最適な判断・制御を可能とする汎用的な高速移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

公共空間における高速移動体が周囲状況を瞬時に認識し、複数の移動体間で情報を共有し、最適な判断・制御を可能とする汎用的かつロバストな高速移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 高速移動知能モジュール群の開発

①交通状況認知に関する知能モジュール群

センサから取得した情報や他の移動体から伝達される知識を含めて、交通状況等周囲の状況を高速移動(100km/時)中に確実に認知することが可能な機能を実現するモジュール群。他の移動体から入手した知識には、古いものや、移動体の性能の違いによる誤差のあるものも含まれていることなどを適切に判断できること。また、認知した情報は知識として知識ベースに格納されること。

②知識共有に関する知能モジュール群

知識ベースに格納された知識を、移動体同士の直接通信によって必要なときに共有できる機能を実現するモジュール群。ただし、新たな通信インフラの敷設を前提としないこと。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周囲状況に関する知識を操縦者に提示できる機能を実現するモジュール群。以下を要件とすること。

(a) 交通情報の生成、統合処理が可能なこと。

(b) 危険回避を支援できること。渋滞を回避し最適な経路の計画策定及び目的地までの移動時間と平均速度情報を生成可能なこと。

(2) 知能モジュール群の有効性検証

移動体に上記(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、実環境に近い環境下でその有効性を検証する。なお、検証する移動体に求められる最低要件は以下のとおり。

①安全性能：人間が危険と判断した場合に、移動体の行動を制限できること。

②移動効率向上：通信インフラが敷設されていない地域も含め、渋滞を回避する等効率的に移動が可能なこと。

③全天候性：屋外での利用を想定し、全天候性を確保すること。

④一般性：最低3種の周囲状況に関する知識(走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等)を獲得可能であること。

⑤連続稼働時間：24時間連続動作が可能であること。

⑥規模性：半径150mのエリアに120台の移動体が集合しているのと同等の環境において、意図した周囲状況が認知可能であること。

⑦移動耐性：公共空間における高速移動速度(100km/時)において、知識伝達が可能であること。

⑧メディア非依存性：特定の通信メディアに依存したシステムではないこと。

3. 中間評価への対応

「プロジェクト全体の目的とのつながりが希薄で孤立しているグループも見受けられる」との中間評価の指摘を受け、実施体制の再編成を行った関係で本開発項目は平成21

年度で終了とした。

4. 達成目標

(1) 最終目標 (平成23年度)

中間評価において、他の知能化モジュール群の開発とは関係性が低いことから事業体の再編成により、平成21年度で開発を終了した。そのため、本開発項目の成果は下記中間目標の達成までである。

(2) 中間目標 (平成21年度)

①交通状況認知に関する知能モジュール群

地図情報の利用とともに、移動体の走行に有益な3種以上の知識(走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等)を獲得できること。周辺状況を認知する時、大きな誤差を含むセンサ情報は、自律的に削除する機能を有すること。

②知識共有に関する知能モジュール群

特定の位置で発生した情報を移動体間で共有可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、60km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周辺状況に関する知識を、その知識を欲している移動体の存在位置を予測しながら、当該移動体に提供可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、60km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

3.7 研究開発項目⑥：移動知能(社会・生活分野)の開発

1. 研究開発の必要性

人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在は自動車や自転車が確立されているが、ショッピングセンターや娯楽施設等、これらの移動手段では対応できず、歩行が必要な環境が多く存在している。一方で、高齢化が進展するにつれ、長時間・長距離の歩行が困難となる層が拡大すると予想されることから、このような環境において活用される歩行に代替する自由度の高い移動手段として、携行可能性を備えた乗物ロボット(モビリティ・ロボット)の実用化が期待されている。このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて安全に移動する機能を実現する汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

人を乗せて、操縦者の指令にしたがって安全かつ自在に移動する機能を実現する汎用的な操縦移動知能モジュール群、及び自律的な走行機能を実現する汎用的な自律移動知能モジュール群の開発並びにその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 操縦移動知能モジュール群の開発

①安定走行に関する知能モジュール群

指令値に基づく駆動力制御に加え、走行加速度や外力、未知環境等に対して自動的に姿勢を安定化する機能等基本的な移動機能群を備えているモジュール群。

②障害物回避に関する知能モジュール群

外界センサを利用した障害物（人を含む）検知機能、衝突リスク見積もり機能、回避行動生成機能等、外界との衝突を避けるための回避機能群を備えているモジュール群。

③操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

広範な利用者層に対してモビリティ・ロボットの使用を簡便にするため、習熟が不要な新しい操作インタフェースに必要な機能群を備えているモジュール群。

(2) 自律移動知能モジュール群の開発

①自律走行に関する知能モジュール群

高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画、操縦移動と自律移動の自然な融合機能等、操縦者不在時や操縦アシスト時を含めた自律・半自律走行に必要な機能群を備えているモジュール群。

②自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報や移動履歴情報等を活用し、あらかじめ指定した対象物が存在する場所に自律走行で帰還するために必要な機能群を備えているモジュール群。

③協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御機能等の協調行動を行うために必要な機能群を備えているモジュール群。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

モビリティ・ロボットシステムに、上記(1)、(2)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、検証するロボットシステムに求められる最低要件は以下のとおり。

(a)小型軽量化：バッテリー、駆動ユニット、躯体を含めて携行利用も可能な重量、寸法とする。

(b)走行性能：人間の速歩程度の速度（最大10km/時）、最小航続距離2km、安全で十分な回避、最大登坂性能10度。

(c)操作インターフェース：年少者から高齢者まで簡便に利用できること。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2. (1)、(2) で開発する知能モジュール群をすべて搭載したモビリティ・ロボットシステムが、長期間（3ヶ月程度）の技術実証試験において安定的に動作すること。ただし、モビリティ・ロボットシステムは2. (3) に示す最低要件を満たすこと。

(2) 中間目標（平成21年度）

①操縦移動知能モジュール群の開発

(a)安定走行に関する知能モジュール群

人間が押す程度の外力に対してロバストであり、最大10度の斜面上でも安定走行を可能とすること。

(b)障害物回避に関する知能モジュール群

通常の歩行速度（4km/時）で接近する人を含む障害物を安全に回避できること。危険度に応じて使用者に警告を与えることができること。

(c)操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

年少者から高齢者まで簡便に利用できる操作インタフェースを実現すること。

②自律移動知能モジュール群の開発

(a)自律走行に関する知能モジュール群

操縦者に違和感を与えることない自律走行を可能とすること。

(b)自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報または移動履歴情報が利用可能な条件下において、あらかじめ指定した対象物が存在する場所への自律走行での帰還を可能とすること。

(c)協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと利用者間の協調行動により、複数台のモビリティ・ロボットによる移動と利用者への追従を可能とすること。

3.8 研究開発項目⑦：コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発

1. 研究開発の必要性

少子高齢化、労働力不足等の社会問題が顕在化する中、人と自然にコミュニケーションを行いながら各種サービスを提供し、国民生活の質の向上に役立つ次世代ロボットの実用化・普及が期待されている。音声認識・合成技術や画像認識技術の進歩や、愛知万博等での実証実験を背景に、ロボットの対人コミュニケーション技術は向上しているものの、いまだ限られた環境下における特定用途での実証実験レベルに留まっている。今後、デパー

ト、遊園地、老人ホーム、学校等の公共エリアにおいて、受付、案内、見守り等を行うロボットや、家庭において家電操作支援、見守り、セキュリティ等を行うロボットを実用化・普及していくためには、ロバスト性に優れたコミュニケーション知能を開発し、多様なロボットに適用していくことが極めて重要である。このため、本事業では、周囲環境が変化しても所期の仕事を確実に遂行できる汎用的なコミュニケーション知能モジュールの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

サービス産業分野及び生活支援分野において活用されるロボットが、ロバストなコミュニケーション能力を獲得するために必要な汎用性を有する知能モジュール群の開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

①環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボット前方の範囲内の人物の状況（人数、向き、接近等の動き）を把握すること、及びロボットと対話する相手の人数や位置を把握することが可能な機能を実現するモジュール群。

(2) 対話支援知能モジュール群の開発

①音声認識に関する知能モジュール群

ロボットと対話しようとしている人の音声と周囲雑音を分離し、騒がしい環境であっても、子供や高齢者を含む対象者の音声を認識することが可能である機能を実現するモジュール群。

②音声合成に関する知能モジュール群

対話すべき内容が与えられたとき、周囲環境や子供や高齢者を含む対象者の属性に応じて、適切な話し方で、聞き取りやすい発話を行うことを可能とする機能を実現するモジュール群。

③行動理解に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

(a)人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する機能。

(b)人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する機能。

(c)ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える機能。

(3) 対話制御知能モジュール群の開発

①対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対

話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択することが可能な機能を実現するモジュール群。

②対話制御に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

(a)対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスク（ある目的を達成するための対話コンテンツの実行）を実現することが可能な機能。

(b)複数の人物が話しかけてきたときに複数の人物からの話しかけであることを検出し、少なくとも1人の人物との対話を継続できる機能。

（4）対話管理等知能モジュール群の開発

①対話対象同定に関する知能モジュール群

顔認識等による人物同定機能や、対話しながら随時顔等を記憶することのできる人物登録機能を実現するモジュール群。

②対話履歴管理に関する知能モジュール群

対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に反映することが可能な機能を実現するモジュール群。

（5）知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに上記（1）～（4）で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①環境・状況・対象認識知能技術

(a)近傍の人物全員を追跡し、新しく人物が登場したこと、ある人物がいなくなったこと、一度対話した人物との対話の再開であること等が認識できる技術。

(b)環境を構造化することにより、ロボットが環境・状況・対象を認識することを助ける技術。

(c)対話中の人の顔、音声、体型その他の特徴から、年齢、属性を推定する技術。

(d)近傍に複数の人物がいる場合、人物の音声の方向、口の動き等から、ロボットに話しかけられている状況であること及びその人物を特定する技術。

②対話支援知能技術

(a)音声認識において、多様な言い回し・表現や方言に対応する技術。

(b)音声認識において、ロボットが発話中や動作中であっても、対話者の音声を認識する技術。

(c)音声認識において、複数の対話者が同時に話しかけた場合でも、それを適切に選別ない

しは同時に認識する技術。

(d)音声合成において、感情を込めた発声を可能にする技術。

(e)音声合成において、多様な音声を低コストで開発することを可能にする技術。

(f)ロボットが、話す内容に応じて自動的に適切な仕草を生成することを可能にする技術。

(g)身振り、仕草を用いたコミュニケーション技術。

③対話制御知能技術

(a)周囲に、対話妨害者（タスクの遂行を阻害する子供等）がいる場合でもタスク遂行が可能な対話制御技術。

(b)複数の人物がロボットと対話しようとするときに、複数の人物と同時に対話を進めることのできる対話制御技術。

(c)対話履歴管理モジュールにおいて、内容の履歴だけではなく、対象者の発話の特徴（声の質、明瞭さ、方言）等を記憶して、認識の成功率を高める技術。

(d)予めコンテンツとして準備されたタスクだけではなく、言語・非言語のインタラクションを自動的に生成し実行する技術。

(e)対話内容がユーザに伝わっていないことを検出して表現手段と変更することや、ユーザの発話が認識できないときに、適切に聞きなおしたりすることのできる対話エラーリカバリ技術。

(f)外部のコンテンツ管理サーバと連携し、随時新しいコンテンツを獲得することにより、対話の内容を変化させ、ロボットへの興味を持続させる技術。

3. 達成目標

(1) 最終目標（平成23年度）

上記2. (1)～(4)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、3種類以上の実用的なコミュニケーションのタスクを実行し、成功率70%以上のタスク達成率と、70%以上のユーザ満足度を得ること。なお、実行するタスクには、(a-1)、(a-2)の少なくとも一つ及び(b)のタスクを含むこととする。

(a-1)サービス産業分野向けを対象とする研究開発の場合は、BGMや人の話し声が聞こえる、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設において、顧客からの商品に関する質問の聞き取りや商品説明を行う対話が実行できること。

(a-2)生活支援分野向けを対象とする研究開発の場合、テレビのついた状態のリビングで高齢者と対話して、ビデオの制御や録画・再生をアシストすることができること。

(b)タスク内での対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションは、少なくとも200以上とする。バリエーションとは、例えば、「テレビをつけて」「エアコンの温度を20度にして」等の指示の種類を指す。

(2) 中間目標（平成21年度）

① 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

(a)環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボットの前方5m以内の人物の配置が70%以上の精度で検出できること。

② 対話支援知能モジュール群の開発

(a)音声認識に関する知能モジュール群

BGMが聞こえるスーパーや、TVがついているリビング等の実用的な環境において、子供や高齢者を含む不特定話者の音声を70%以上の精度で認識できること。

(b)音声合成に関する知能モジュール群

子供や高齢者を含む不特定の相手とのコミュニケーションにおいて、70%以上の精度で内容が伝達できること。

(c)行動理解に関する知能モジュール群

「人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する技術」「人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する技術」について、それぞれ少なくとも3種類の要素（例えば、3種類の身振り、3種類の表情等）の認識技術を開発し、実用的なロボットタスクの実証実験において、その効果を実証すること。また、「ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える技術」に関しては、仕草を伴うことの効果を、ユーザへのアンケートで実証すること。

③ 対話制御知能モジュール群の開発

(a)対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

200以上の対話コンテンツを格納でき、また状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を有すること。

(b)対話制御に関する知能モジュール群

選択された対話コンテンツのフローを制御し、初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成できること。

④ 対話管理等知能モジュール群の開発

(a)対話対象同定に関する知能モジュール群

100人を対象に80%以上の精度で人物を同定できること。

(b)対話履歴管理に関する知能モジュール群

100人以上の対話履歴を管理し、その履歴から得られた情報を対話に反映する機能を有すること。

4 研究開発計画

ロボットの機能部品である智能モジュールの開発と、その開発環境であるロボット智能ソフトウェアプラットフォームの開発は同時並行で行われる。したがって、開発用ツールの開発とそれを用いた設計が同時に行われることになる。この矛盾を解決するため、平成 20 年度までの各年毎の実現形態は各社の個別対応とするが、平成 21 年度以降はロボット智能ソフトウェアプラットフォームを用いた実現とした。また、プロジェクト期間の後半である平成 22 年度以降の研究計画においては、その研究開発の中心を、智能モジュール群の統合に移し、智能モジュールの高度化を図りつつ、その提供に注力するようにすることとした。さらに、NEDO 内の加速資金制度を活用し、実用化への取組の強化を行った。具体的には、市販の双腕ロボットを利用した智能モジュールの統合検証、組込型 RTC の開発、安全認証取得 RTC の開発および国際化連携のための RT ミドルウェアと Willowgarage 社の ROS 連携の取組である。

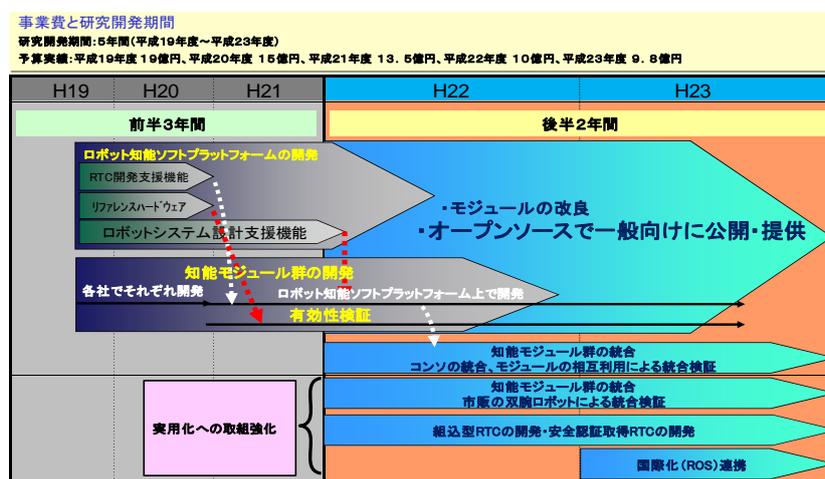


図4.1 研究開発スケジュール

これらの開発スケジュールと開発予算の推移を表 4.1 に示す。

	H19	H20	H21	H22	H23	合計	
①-1 ロボット智能ソフトウェアプラットフォームの開発	→						
①-2 ロボット智能ソフトウェア再利用性向上技術の開発		→					
② 作業智能(生産分野)の開発	→						
③ 作業智能(社会・生活分野)の開発	→						
④ 移動智能(サービス産業分野)の開発	→						
⑤ 高速移動智能(公共空間分野)の開発	→						
⑥ 移動智能(社会・生活分野)の開発	→						
⑦ コミュニケーション智能(社会・生活分野)の開発	→						
開発予算 (単位:百万円)	通常予算	1,900	1,500	1,350	910	978	6,638
	NEDO加速予算	0	0	0	100	0	100
	合計	1,900	1,500	1,350	1,100	978	6,738

表 4.1 研究開発計画と開発予算

5 研究開発の実施体制

本事業は、NEDO技術開発機構が、企業、大学・研究機関等によって構成される研究開発グループ（事業体）を公募によって、原則として研究開発項目毎に複数選定の上、実施した（図 5.1）。プロジェクト当初は 16 事業体であったが、中間評価の指摘への対応として、類似テーマの統合や廃止などを実施し、9 事業体へ絞り込みを行っている。（図 5.2）

本事業は、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を中心とし 4 つの設定領域毎に責任者（リーダー）を置き、それぞれの領域ごとの整理やマイルストーンの設定等によるマネジメントの下に事業体毎に研究開発を実施する方式を採用した（図 5.3）。

プロジェクトリーダーについては国立大学法人東京大学 佐藤知正教授に依頼した。また、開発した知能モジュールの相互利用を推進する体制として再利用WGを設置し、委員長として独立行政法人産業技術総合研究所 平井成興部門長（現：千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター副所長）に依頼し、実用的な知能モジュールを研究開発可能な体制とした。

また、事業体毎に中心とする役割を設定して図 5.3 に示す体制とした。すなわち、事業体を、技術開発を中心とする役割を担当するグループと開発した知能モジュールを応用検証する役割を中心とするグループに分け、相互に連携しながら汎用的で実用的な知能モジュールを開発することを目指した。さらに、普及のための WT を外部に設置し、普及の推進を可能な体制とした。（図 5.4）

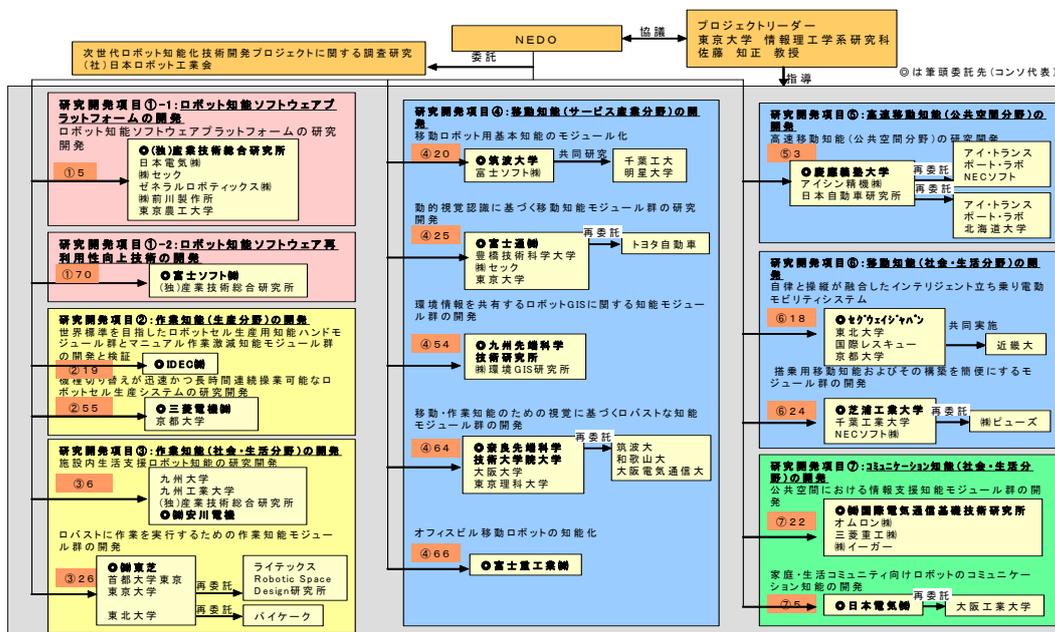


図 5.1 研究開発実施体制の全体図（プロジェクト当初）

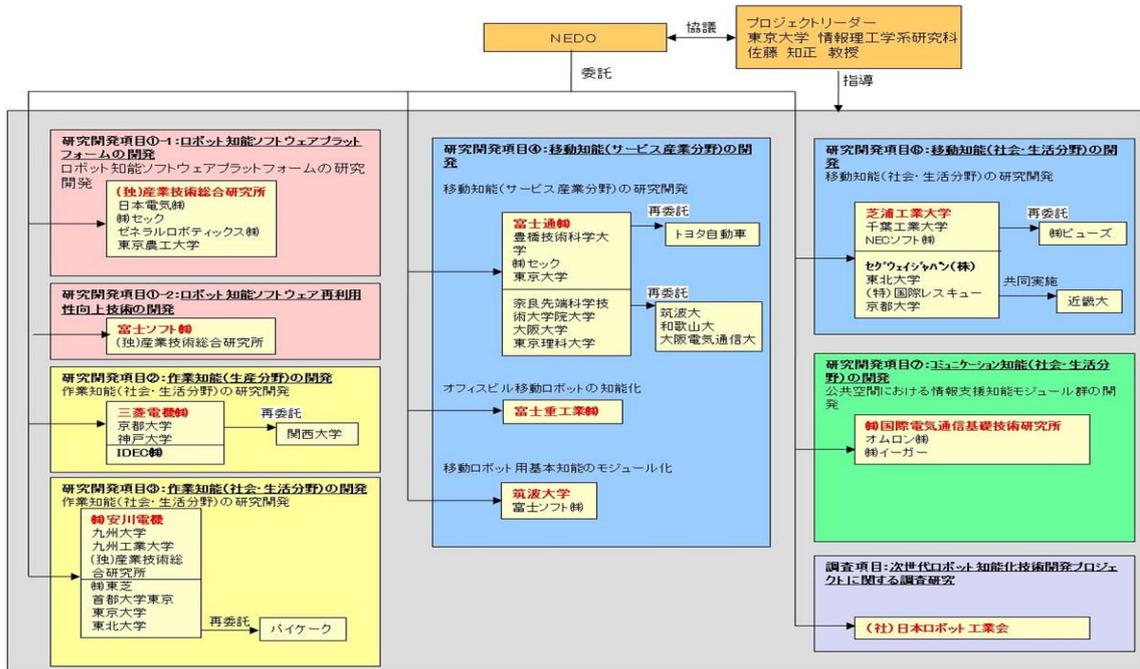


図 5.2 研究開発実施体制の全体図（最終年度）

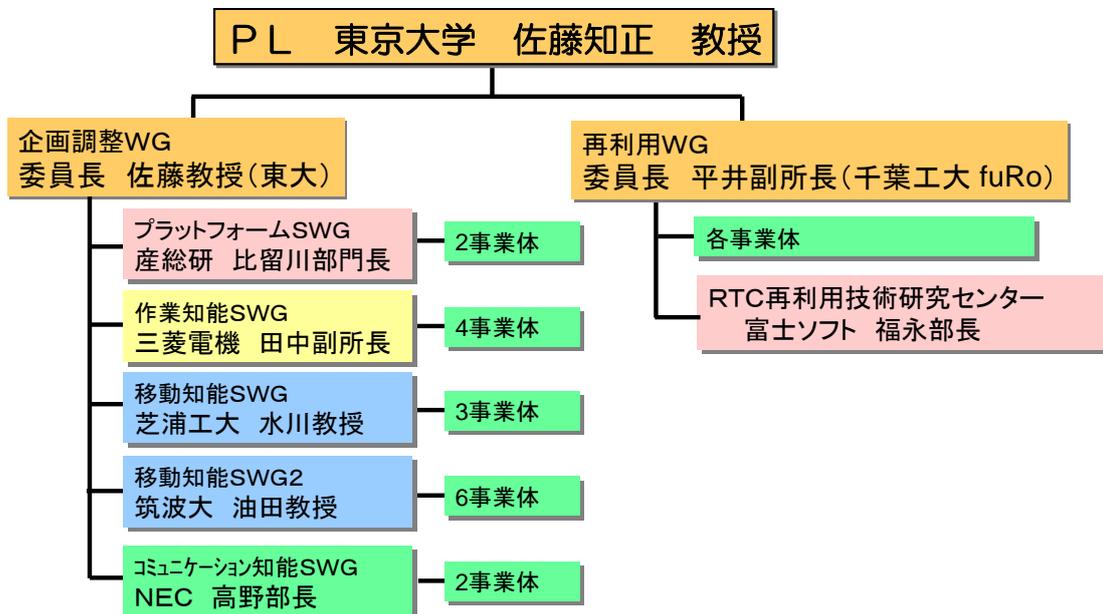


図 5.3 研究開発実施体制の骨格

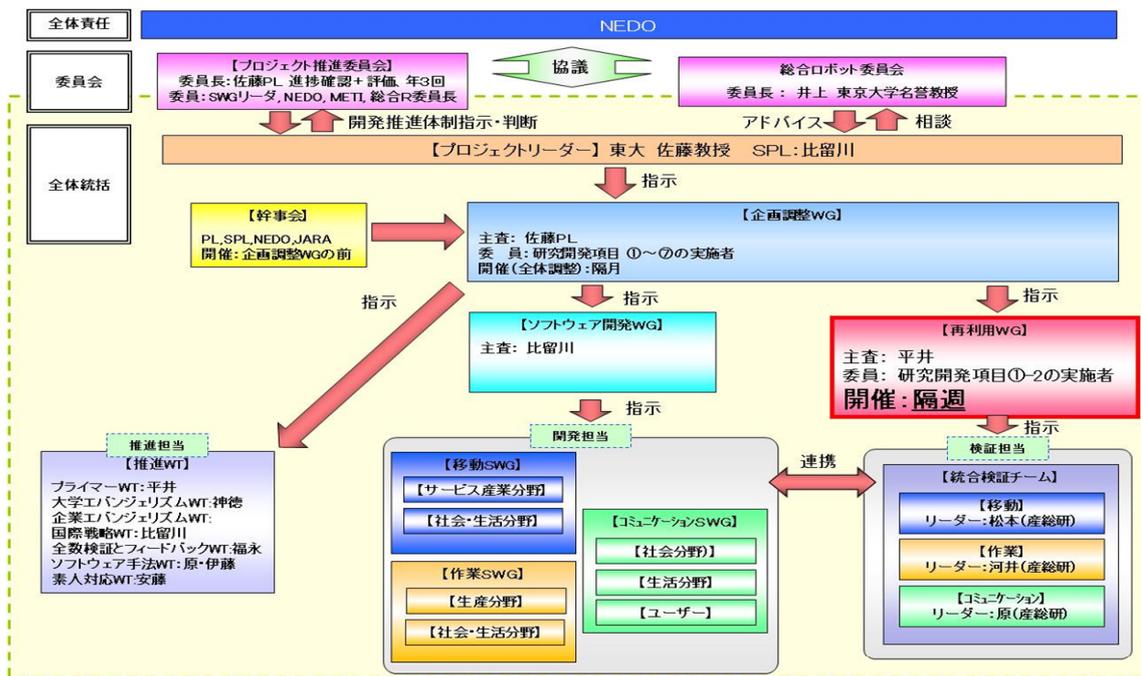


図 5.4 プロジェクトの実施体制

6 研究の運営管理

本プロジェクトの運営に際しては以下の工夫を加え、効率的に実働的智能モジュールの開発が行えるようにした。

6.1 応用を見据えたモジュールの開発

智能モジュールは基本的にソフトウェアであるため、機能・性能・進捗が見えにくい。また、現実のロボットをロバストに制御できることの確認が難しい。このため、事業体ごとに「設定ゴール」を設定した。このゴールを実現できる智能モジュールを開発することとし、ゴールに向けた有効性検証を行うことで、智能モジュールの品質や機能を確認することとした。以下に「設定ゴール」の概要を示す。

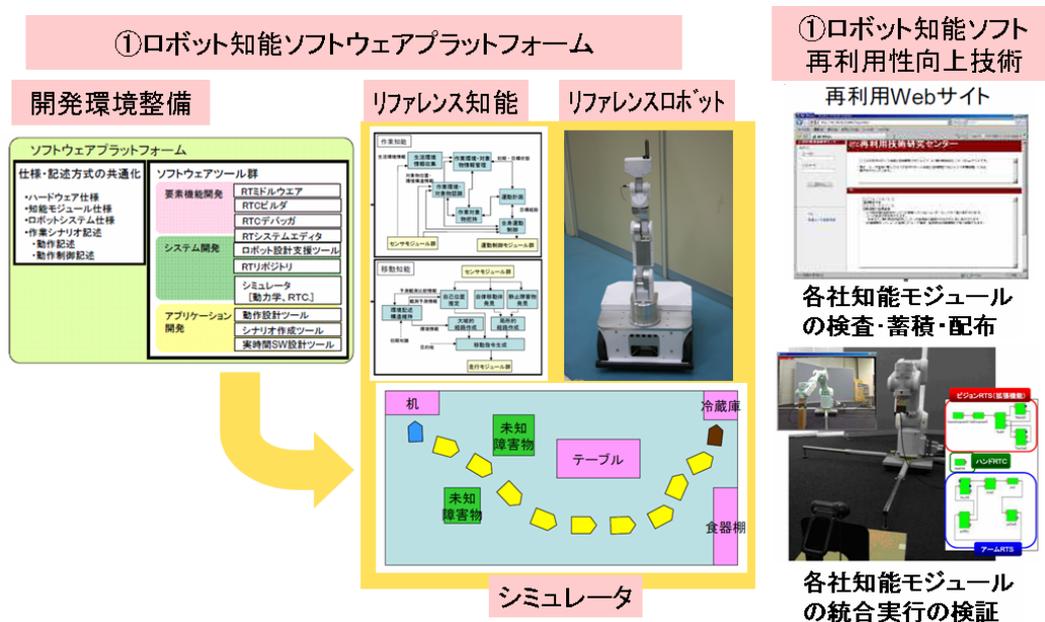


図 6.1.1 <基盤技術の開発>領域の開発内容

②三菱電機 ロボットセル

②IDEC セル生産ハンド

研究成果

- 無線操作知能モジュール
- 直立知能ハンドモジュール
- 自動復旧知能ハンドモジュール
- ワイヤレス通信
- 画像処理知能モジュール

③安川電機 施設内生活支援ロボット

③東芝 テーブル片付作業

④筑波大 移動ロボット用基本機能

④富士通 商用施設 混雑環境移動ロボット

④奈良先端大 移動作業ロボ 対人追従、指示物体の認識・把持

④富士重工 清掃ロボット

⑤慶応大 道路・交通状況の群共有

ポイント

- 道路・交通状況等の自動環境認知
- 知識交換による認知した情報の洗練
- 他のロボットへの知識の伝達
- ドライバーに伝えるべき知識の選別

⑥セグウェイ 立乗りモビリティ

操縦移動知能モジュール	自律移動知能モジュール
障害物の検知	障害物の検知と回避
操縦と自律の融合	自律走行

⑥芝浦工大Gr 搭乗用移動知能

⑥ATR ショッピングモールロボ

⑥NEC 家庭・生活コミュニティ向けロボ

多様なシーン、ユーザーに対応可能なコミュニケーション知能を実現

- 人物状況検知
- 感情認識
- 話者認識
- 音声認識
- 複数人物対話
- 対話履歴管理
- 対話コンテンツ管理
- 音声合成
- 仕事認識

図 6.1.2 事業体ごとに設定した「設定ゴール」の内容

6.2 運営方式

PLAN-DO-SEE に基づいた日常的なきめ細かな運営を行い、再利用性を持った効果的な知能モジュールを開発できるように努めた（表 6.2.1）。推進委員会はプロジェクト全体の方向性を検討する場であり、プロジェクトの進捗と PL の運営方針を NEDO と有識者により検討する場である。企画調整WGは、実施者の全員が出席する会議であり、PL がプロジェクトの進捗を把握し、また PL から実施者に指導・伝達を行う場である。このWGは毎月行うことで、目に見えにくいソフトウェアの開発と相互利用性や再利用性を実現するという難しい開発内容に対して、きめ細かな運営を行っている。実施者の開発状況を把握するために、進捗ヒアリング、進捗確認シート、サイトビジットを行っている。進捗ヒアリングは PL に対し実施者が開発状況を口頭発表する場であり、質疑応答を通して PL が今後の研究開発の実施内容等を指示する。進捗確認シートは推進状況を指定した表に記入させ、PL と NEDO が確認するためのもので、評価の記入も行う。サイトビジットは実施者の実験室に PL や有識者が訪問して実物の確認討論を行う場である。さらに本プロジェクトでは、開発の促進と相互理解のために「先行発表」を行った。これは、各事業者の「設定ゴール」に向けたロボット実証を、相互にデモ・見学する場を作ることによりノウハウの共有と相互利用を促進することを目的としたものである。

	項目	説明	回数(/年)
計画・運営	運営会議	PL,NEDO,有識者による運営方針会議	開催26回(隔週開催)
	企画調整WG (実施者全体会議)	PLが実施者の進捗を把握し、指導・伝達	開催12回(月1回)
確認・指示	進捗ヒアリング	委託先が発表。進捗を確認し指導する場	開催2回
	サイトビジット	委託先を訪問し進捗チェック	PJ期間中のべ8回(随時)
促進	先行発表・検証デモ	委託先のロボット動作による進捗確認。	1回

表 6.2.1 本プロジェクトの運営体制

本プロジェクトは16事業者という規模の大きいものであり、そのままでは相互の意思疎通が密にならないことから、開発する知能モジュールの相互接続に問題が起こる恐れがあった。このため、知能モジュールの粒度やインタフェースを関連領域ごとに検討を行えるように以下のサブWGを構成し、連携を実施しやすい体制を構築した（図 6.2.2）。サブWGの主査の下で密に連携し、共通問題や共通フレームワークの検討や相互接続や交換性の実現のために連携開発が行える体制とした。

研究開発項目(個別テーマ)	サブWG名	WG主査
①-1 知能ソフトウェアプラットフォーム	プラットフォームサブWG	産総研 比留川部門長
①-2 知能ソフトウェア再利用性向上技術		
② 作業知能(生産分野)の開発	作業サブWG	三菱電機 田中副所長
③ 作業知能(社会・生活分野)の開発		
④ 移動知能(サービス産業分野)の開発	移動サブWG(1)(2)	芝浦工大 水川教授 筑波大学 油田教授
⑤ 高速移動知能(公共空間分野)の開発		
⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発		
⑦ コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	コミュニケーションサブWG	日本電気 高野部長

図 6.2.2 領域ごとに設定したサブWG

7 情勢変化への対応

本プロジェクトの運営に際し、環境・状況にして次のような対応を行った。

7.1 柔軟な体制変更（応募状況に対応した追加公募）

公募採択時、応募者から審査により採択を行ったが、当初の目論見とは異なり、応募者は知能モジュールの開発者ばかりで他人の開発した知能モジュールを利用する内容の応募は含まれなかった。このため、採択者は自社のモジュールを開発する事業者ばかりとなった。これでは異種モジュールの統合使用の確認や、他用途利用の確認ができない。

この情勢に対応するため、他社モジュールを含めた知能モジュールを幅広く使用し、モジュール応用を中心とした実施者を追加公募した。この結果、3社を採択した（2007年7月）。この追加公募の実施者は他者モジュールを率先して使用して検証を行い、評価をフィードバックして改良促進を行うことを任務とした。

7.2 柔軟な体制変更（再利用体制の設置）

本プロジェクトでは知能モジュールを開発し、自社・他社の知能モジュールを利用して有効性検証を行い知能モジュールを改良していくことを期待している。しかし、当初は知能モジュールを開発する事業者と応用検証を行う事業者は存在したが、利用を支援する体制がなかった。たとえば、知能モジュールの貸し借りをを行うには当事者同士が相談する必要があり、ノウハウもばらばらに存在する状態であった。

この状態を打破するため、基本計画を変更し、他者モジュールの利用を主体的に先導する体制を新設した（2008年10月）。この新しい体制（研究開発項目①-2）は、開発した知能モジュールを一元的に蓄積し、ノウハウや貸与の問題を集中して扱う方法を研究開発する。知能モジュールを蓄積する際には説明書と動作を確認することとし、基本的な品

質を確保できるようにした。また、蓄積した知能モジュールの一覧性、サポート、試用、提供契約の管理体制問題等を解決する体制とした。

また、研究開発の途上、有効性検証として知能モジュールを組合わせて使用することが求められるが、さまざまな事業者が独自のロボットを利用している状態では使用上の知識が分散してしまう欠点が明らかになった。このため、実証用ロボットを常備するR T C再利用技術研究センターを開設した（2009年1月）。このセンターでは、開発した知能モジュールの受入れに際する検品、異種知能モジュールの組合わせ使用の実証実験、モジュール単位の交換性検証、典型的応用例（リファレンスタスク）による知能モジュールの実用性検証等を行う。

7.3 統一したフレームのモジュールのためのリファレンスモデルの設定

当初、事業者ごとに知能モジュールを開発していたため、同じ移動関連のモジュール開発者であっても、知能モジュールの粒度やインタフェース等の統一性がなく知能モジュールとしての形態がさまざまなものができてしまった。再利用性・交換性を確保するためにはある程度のモデル化が必要である。

これに対処するため、サブWGごとに「リファレンスモデル」を設定することとした。これは、各領域の知能モジュールの接続モデルを設定し、これに沿って知能モジュールを開発することで、インタフェース等の統一性を図るものである。すなわち、リファレンスモデルがモジュールの設計規範となり再利用性を向上させる。

さらに、リファレンスタスクを設定した。これは、サブWGごとに統一した典型的使用例である。各事業体は各自の「設定ゴール」は擁するが、共通した動作目標がないため、「設定ゴール」以外の動作に十分な性能を持つか検証できなかったためである。各事業体が開発する知能モジュールを「設定ゴール」以外にリファレンスタスクでも動作することを確認することで、その知能モジュールの汎用性が確保できるようになった。

7.4 成果評価と研究開発加速(予算再配分)

本プロジェクトでは評価に応じて能動的に予算の再配分を行った。事業者の評価に当たっては、2.5.2章の評価手法を使用し、研究開発の進捗度、再利用状況、知能モジュールの提供等のプロジェクトへの貢献度等の観点からPLを中心とする評価グループにより行った。予算は年度当初には全額は配布せず、秋に残予算を配布することで内部加速の形式をとることで、年に2回の評価を行っている。表2.6.4.1に予算の再配分状況を示した。プロジェクトがNEDOに移管された後、半年ごとに評価と予算配分の再検討を行っている。

さらに、初年度の経済産業省直轄を終了した時点では、契約して間もないもないこともあり事業体の評価を行うには時間的余裕がなかった。このため、NEDOに移管された平成20年4月には各事業体ごとに予算を前年の50%だけ暫定配布し、半年後の平成20年

10月に事業体評価とその結果に従って研究開発項目の重点化として事業者ごとに予算額を決定した。

今後も機動的な研究開発の運営を行いたい。

時期	対象	額(単位百万円)	目的	成果
平成20年4月	①-2	40.0	再利用推進グループの新設。 状況対応	知能モジュールの利用促進のための検査、蓄積体制を確立
平成20年4月	全実施者	前年予算額の50%配布。	成果が未評価のため、評価決定まで配布延期	
平成20年10月	全実施者	評価に従い残額を配布	研究開発項目の重点化。 予算再配分	高い成果の研究体の開発促進。
平成20年11月	①-2	30.0	再利用技術研究センター開設。 状況対応	知能モジュール試験実証環境を整備した。
平成21年4月	全実施者	評価に従い予算配布	研究開発項目の重点化。 予算再配分	高い成果の研究体の開発促進。

表 7.4.1 能動的な予算再配分

7.5 モジュールのオープンソース化

国際的な動きとして、ソフトウェアのオープンソース化が推進されている状況の中で、アメリカの Willow garage 社がロボットソフトウェアのオープンソースでの開発を前提とした「ROS」を開発し、コミュニティ等で盛んにソフトウェアの開発が始まった。本プロジェクトも、たくさんの人に使ってもらう「基盤」を開発するプロジェクトであることもあり、開発した知能モジュール群をオープンソースで可能な限り提供することとした。オープンソースで提供することで利用障壁を少なくし、更なる普及を目指すものである、ただし、知的財産やノウハウ等が含まれるものは従来どおりバイナリでの提供を実施することとした。これらは上級モジュールとして販売することで産業振興の戦略を見据えたものである。

7.6 NEDO 内加速資金制度の活用

中間評価への対応と実用化へ向けた取り組みのため、開発項目の追加を行った。内容としては、以下の通りである（表 7.6.1）

(1) 一般向け公開の前倒し実施による普及の促進

早期に本プロジェクトで開発したモジュール群を利用可能な状態で公開する

(2) 双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証

高度作業知能モジュールの追加開発、双腕ロボットを用いた作業知能の統合検証を行い、その成果をオープンソースで公開する

(3) 組込機器への RT ミドルウェアの実装

RT ミドルウェアの普及を促進するため、CANopen 版・T-Kernel 版等資源の少ない組込機器で動作するミドルウェアの開発を実施する

(4) 安全認証取得 RTM の開発

IEC61508 等の機能安全規格に基づいた開発プロセスを構築、支援するためのツール群の開発と機能安全規格に準じた RT ミドルウェアの開発を実施する

(5) Willow garage 社「ROS」と RT ミドルウェアの連携

次世代ロボット知能化技術の相互運用可能性を検証するため、ROS をターゲットとして相互運用プラットフォーム上で相互運用性を検証する。

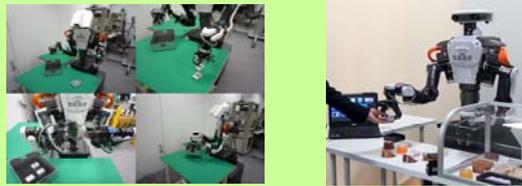
研究開発項目	個別項目	
Webへの公開環境構築	OpenRTM、ツール群、および知能モジュール公開の前倒し	NEDO知能化プロジェクトRTコンポーネント集 http://http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/4599
双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証	高度作業知能モジュールの追加開発, 双腕ロボットを用いた作業知能の統合検証	 <p>パレタイジング作業 アソート作業</p>
実用化への取組	組込機器へのRTミドルウェアの実装	OpenRTM on T-KernelおよびRTC-CANopenの開発
	安全認証取得RTMの開発	 IEC61508 SIL3 Capableの認証を取得できるRTM
	RTMとROSの連携	と  の相互運用

表 7.6.1 NEDO 内加速資金による開発項目の追加

8 中間評価結果への対応

中間評価では、「概ね現行通り実施して良い。」との評価であった。主な指摘事項に対する対応は以下の通り。

	指摘事項	対応内容
1	<p>モジュール化のやり方に関して、本プロジェクトに関与していないメーカーやユーザ、大学などから意見を聞いて議論したほうがよかった。ソフトウェアのRT コンポーネント化のやり方とその使い方に関しては、HP に書かれているが、マニュアルか教科書を書いて啓蒙すべきである。作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の中には、中間目標の達成に関する記述が明確でないもの、あるいはグループ内の連携が十分でないものもある。高速移動知能は、本プロジェクトの趣旨に合わない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・マニュアルやカタログを国際ロボット展（2011年）で配布した ・ドキュメントの整備を行った ・高速移動知能グループについて21年度末でプロジェクトを終了した
2	<p>大きな4分類のうち、作業知能（特に社会・生活分野）、コミュニケーション知能については、テーマ設定が現状のロボット技術では難しく、そのため十分な成果が挙げられているようには思えない。プロジェクトが多岐に渡っているため、この中間審査を機に、取捨選択を行うのも一つの方向性かと思われる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・類似の目標をもつコンソを統合し、目標の変更を行うと共に、これまで開発したモジュールの相互利用による統合試験を行った。 ・（株）国際電気通信基礎技術研究所コンソは、研究開発の効率化のために有効性検証で使用するロボットハードウェアを共通のハードウェアに絞りこんだため、三菱重工（株）を21年度末でプロジェクト終了とした。
3	<p>ほとんどのグループは程度の差こそあれプロジェクトの目的に沿った方向で研究を進め、モジュールの構築・提供・利用を行っている、あるいは行おうとしているが、一部にプロジェクト全体の目的とのつながりが希薄で孤立しているグループも見受けられる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・環境情報を共有するロボットGISに関する知能開発グループについて21年度末でプロジェクトを終了した。
4	<p>実用化（実際にロボット製品で使用される可能性）への距離という視点からみて、サブグループごとの最終目標のばらつきが大きい。そのため、最終目標の設定が妥当であったかどうか疑問は残る。実環境での使用に耐えられるか、ハードウェアとの相性を吸収できるような仕組みがあるのかどうか、といった視点から、客観的検証も必要と思われる。統合プラットフォームも依然として敷居が高く、今後多くの開発メーカーが呼び込めるかどうかには課題が残っている。また、実使用に向けて、プラットフォームやモジュールの信頼性を高めていく努力も必要と思われる。</p>	<p>信頼性を高めて行く努力として、以下の内容の開発を実施した</p> <ul style="list-style-type: none"> ①プラットフォームやモジュールが実際に再利用（他者）ができる様に、再利用センターにてサービス仕様を作成した。 ②再利用Web（知能化PJ内で相互利用するためのクローズドなWebページ）に登録されているモジュールを使用して、その仕様が実現出来るかの検証を行う為のロボットシステムの作成を行い、実際に動作試験を実施した。 ③再利用センターで検証が終了した（再利用可能の確認がとれたもの）を一般向けに公開した（2011年7月）

5	<p>個々のモジュールにおいても、再利用性を向上させるという観点での目標設定、評価を充実させることが望まれる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・再利用向上のため、各コンソに対して、開発している各モジュールのPJ終了時点での提供方法(オープンソース/バイナリ)を設定し、オープンソースのモジュールについては公開のライセンス形態を決めた。 ・オープンソースでの提供となっているモジュールは、PJ終了までに一般向けに公開した。(2011年7月、上記4と同じ)
6	<p>目標とする成果の普及のためには、「部品」の信頼性、安全性確保が最大の課題となる。特にソフトウェアの場合、これを如何に目に見える形で担保するかが重要であり、この点に関する具体的目標の設定が望まれる。これは、再利用性の向上に対しても共通する問題である</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・当初計画に無かった、機能安全の認証を受けることが可能な高信頼版RTミドルウェアの開発を実施した。

9 評価に関する事項

NEDOは平成21年度に外部有識者による技術開発の中間評価を実施した。さらに、技術的及び政策的観点から見た技術開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等の観点から、外部有識者による技術開発の事後評価を平成24年度に実施する。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 研究開発の成果および最終目標の達成度

全体総括

各事業体が最終目標とした智能モジュールを開発し、実証タスク(ミッション)を想定した実証デモを用いて機能・性能の検証を実施した。研究開発目標に対応させた成果を表 1.1.1 に示す。達成度は、全て目標を達成したと評価した。

設定目標分野	テーマ対応	研究開発目標 最終目標(平成23年度)	成果	達成度
① ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	基盤	1.研究開発 ●知能モジュール群を統合可能 ●ロボットシステムをシミュレート可能 2.有効性の検証及び改良 ●検証用知能モジュール群を開発 ●リファレンスハードウェアを開発	ハンドと車輪型移動機構をもつ リファレンスハードウェアを開発 し、移動、作業、コミュニケーションの各知能モジュールを統合した検証システムを開発した。また、 リファレンスハードウェアのシミュレーションモデルを作成 し、ハードウェアを用いることなく知能モジュールの動作を可能とした。	◎
	② モジュール型知能化技術の開発 作業 移動 コミュ	1.モジュール型知能化技術の開発 ●環境変化に対応可能なロバスト性を有する ●用途が広く、利用が容易 ●他者に提供 ●成果(知能モジュール)を実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供	全てのテーマで最終目標を達成した。	◎
③ 有効性の検証	基盤	1.①及び②の技術の有効性検証 ●テーマごとに応用目標を決め、ロボットシステムで試験し、実環境の使用に耐えることを検証する。 2.可能な限り広範囲に提供 ●ソフトウェアモジュールとして ●他者が利用(再利用)できる形	有効性検証として、要求仕様からトップダウンでの設計を行ない、システムに適合する知能モジュールを選出し、アプリケーションシステム例として「来訪者受付システム」の構築を実施した。その成果は一般公開し、 プロジェクトの内外問わず、利用(再利用)された。	◎
	作業			
	移動			
	コミュ			

表 1.1.1 研究開発の成果

このプロジェクトの最終目標は智能モジュールを開発して蓄積し、機能・性能を検証し、提供することである。まず、智能モジュールの開発数を評価した(表 1.1.2)。本プロジェクトで総計320の智能モジュールの開発を予定しており、そのうち105モジュールが出来上がった。残りの約半数は現在開発中、あるいは検証中であり、最終年度にはすべての智能モジュールが完成できる。開発したモジュールの多くは16種の実証用ロボットシステムに格納して機能・性能を検証した。

開発したモジュール数					
H19	H20	H21	H22	H23	合計
48	136	120	16	42	362

表 1.1.2 開発した智能モジュールの総数

提供に関して表 1.1.3 にまとめた。これは、各事業体が提供の要望を受けたモジュールの延べ数のうち技術領域間にまたがるものである。技術領域内での事業体間の智能モジュールの相互使用は経常的に行われているため、表には含めていない。智能モジュールの相互使用を図にしたのが図 1.1.4 である。技術領域間においても智能モジュールの相互利用が複数開始しており、今後の活

発な分野外使用と評価・改良が期待できる。

利用希望モジュール(提供元) のべ数			
基盤	作業	移動	コミュニケーション
10	18	38	6

表 1.1.3 利用の希望のあった知能モジュールの延べ数

研究開発成果:提供

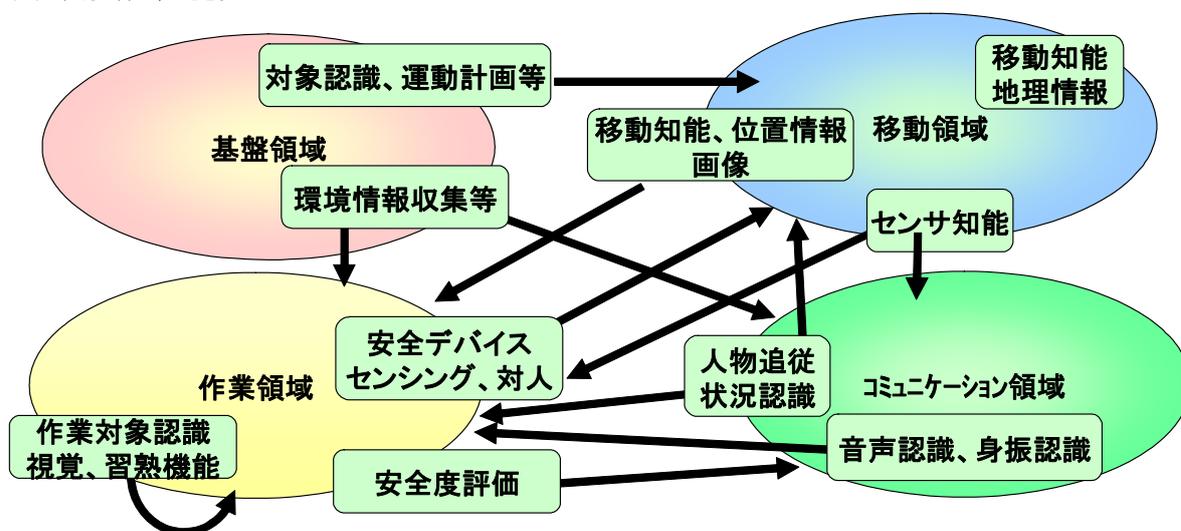


図 1.1.4 利用希望モジュールの相互関係

2. 研究開発項目毎の成果

研究開発項目毎の成果については全ての目標を達成した。

2.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発分野における研究開発成果

(1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム開発

表 2.1.1 に研究開発項目毎の最終目標および目標達成度を示す

表 2.1.1 知能ソフトウェアプラットフォームの開発領域における最終目標の達成度

	最終目標	達成状況	
①RTコンポーネント開発支援機能	(a)ロボットシステム、知能モジュール、ハードウェアの仕様の記述方式、作業シナリオの記述方式の設計を行い、他の研究開発項目の実施者に提供する。ロボットシステムの仕様記述は、ロボットの運動学・動力学パラメータ・センサの配置・アクチュエータの配置等ロボットシステムを構築するために必要な情報を含むものとする。なお、本仕様記述方式については、他の研究開発項目の実施者と協議の上決定する	知能モジュール、ロボットシステムの仕様記述方式としてRTC Profile Specification、RTS Profile Specificationを作成して、OMGIにおいて標準化するための活動を行った。ハードウェア仕様記述方式に関しては、IDLによって定義し、ソフトウェアプラットフォームのツール群ではVRML97へのマッピングを読み書きできるような実装を行った。また、これらの仕様は、プロジェクト内に公開し、他の実施者からの意見に基づき改良を行った。	達成
	(b) RTコンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行い、知能コンポーネント・部品コンポーネントを含むRT部品コンポーネントを開発することができるRTコンポーネントビルダ、RTコンポーネントをデバッグできるRTコンポーネントデバッグ、及びRTコンポーネントで構成されるネットワークの設計・デバッグができるRTシステムエディタの開発を行う。	H21年度までにOpenRTM-aist-1.0に対応したRTコンポーネントビルダ、RTCデバッグ、RTシステムエディタを開発し、プロジェクト内に公開した。また、プロジェクト内の他の実施者からの要求、意見に基づき改良を行った。	達成
②応用ソフトウェア開発支援機能	タイムライン・イベントに対して、RTコンポーネント間の起動・停止・接続等、一連のシーケンスとして実行するシナリオの作成ができる作業シナリオ設計ツールを開発する。	作業シナリオ設計ツールとして、イベント駆動シナリオ設計ツール、時間駆動型シナリオ設計ツールを開発し、eclipse上で動作させると共に単独起動型のRCP版の開発を行った。イベント駆動シナリオ設計ツールはH21年度にプロジェクト内に公開、H23年度中にオープンソースとしても公開予定。	達成
	ロボットの移動・作業等の動作の作成ができる動作設計ツール、作成されたシナリオに対して、実時間制御を実行するソフトウェアの作成支援ができる実時間ソフトウェア設計ツールを開発する。	ロボットの作業の動作を作成するために動作パターン設計ツールを開発した。また、移動ロボットの経路計画等を実施する移動動作設計ツールを開発し、動力学シミュレータOpenHRP3と統合して公開した。実時間制御を実行するソフトウェアの作成支援ができる実時間ソフトウェア設計ツールを開発し、プロジェクト内に公開した。今後双腕ロボットプラットフォームを利用し、ツールの使い勝手を向上させていく予定である。	達成
③ロボットシステム設計支援機能	マニピュレータ・車輪型移動ロボット・脚型移動ロボットを含む多様なロボットを対象として、運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、距離センサ・加速度センサ・ジャイロ・カセンサ・アクチュエータを含むRT部品機能のシミュレーションが行えるシミュレータを開発する。	運動学・動力学・視野画像のシミュレーションは動力学シミュレータOpenHRP3として提供を行った。また、距離センサ(2次元、3次元)、加速度センサ、ジャイロセンサ、カセンサ、GPSセンサ、ネットワークカメラなどの実デバイスのRTCを開発・提供した。さらに、それらのRTCとOpenHRP3を連携し、センサシミュレーションができる環境を構築・提供した。	達成
	RTコンポーネントを組み合わせて、上記ロボットシステムの仕様記述を作成できるロボットシステム構築ツールを開発する。	VRML形式でのロボットシステムの作成ツール及び、VRML形式モデルをCollada形式に変換するツールは完成し、一般公開済みであるが、上記ロボットシステムの仕様記述の構築部分は未実装である。	達成
①検証用知能モジュール群の開発	上記の知能モジュール・ハードウェア仕様記述に基づいて、RTコンポーネントをコンテンツとする分散型データベースを管理する機能を開発する。	RTCProfile、RTSProfileおよびRTCを登録・管理するためのRTリポジトリを開発・提供した。RTリポジトリの仕様は、OMGで標準化検討されているDDC4RTC (Dynamic Deployment and Configuration for RTC) に提案している。	達成
	作業知能、移動知能、コミュニケーション知能それぞれ一つ以上含む知能モジュール群を研究開発し、RTコンポーネント化する。開発する知能モジュール群の内容については、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の公募内容を参考にして、研究開発項目①-1の実施者の提案に基づき決定するものとする。	リファレンスハードウェアに搭載することで、介助犬が行っているような室内での人の生活活動を支援するロボットを実現することを応用イメージとして、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能に関する検証用知能モジュール群を開発した。知能モジュール群の開発においては、生活支援分野のみでなく、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用性を有するように留意した。	達成
②リファレンスハードウェアの開発	開発するRTコンポーネントを搭載可能なリファレンスハードウェアの開発を行う。構成要素であるRTコンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RTコンポーネントの追加・削除が容易な構成とする。研究開発用として利用するため、低コストで製造可能であることを要件とする。	開発するRTコンポーネントを搭載可能なリファレンスハードウェアをH21年度までに開発した。RTコンポーネントは、ハードウェア的にもモジュール化し、RTコンポーネントの追加・削除が容易な構成とした。試作3号機までの開発を通して、ユーザから挙げた要望事項を取り込みながら改善、改良を続けるとともに、試作機の設計段階でABC分析によるコスト分析を行った結果、マニピュレータと台車ロボットを合わせて従来の海外製研究ロボットの半額レベル(300万円台)で販売する見通しを得た。	達成
③ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証	検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアシステムにRTコンポーネントとして搭載し、ロボットシステムのシミュレーション、動作生成、シナリオ生成を行うことによりロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証を行う。	検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアに搭載し、人間の命令によって机の上の物をはんどリングする統合システムを実現した。これらの検証用知能モジュール群は、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて開発され、その有効性の検証も行った。	達成

(2) ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

表 2.1.2 に研究開発項目毎の最終目標および目標達成度を示す

表 2.1.2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発領域における最終目標の達成度

	最終目標	達成状況	
(1) ロボット知能モジュールの開発体制の整備	再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。	知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」をH21年11月に開設。また既存のロボットを再利用性試験プラットフォームとして導入を行ない、動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの策定を行い、H22年7月から運用を開始。以後プロジェクト内の実施者から登録された300件以上のモジュールについて受入確認/動作確認を実施中。適宜注意を行い、品質向上を図っている。	達成
	知能モジュール開発工程において、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備しつつ、再利用性の高い高品質ソフトウェア群を開発するための手法を確立する。	第三者への提供を可能とする再利用性の高いシステム開発を目的として、要求仕様/動作仕様及びシステム動作内容を明文化するためにドキュメントを作成。それらの有効性検証として、要求仕様からトップダウンでの設計を行ない、システムに適合する知能モジュールを選出し、アプリケーションシステム構築を実施。反復的に実施した4回の検証を通して、ブラッシュアップを図った。	達成
(2) ロボット知能モジュールの再利用環境の構築	提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する	統合検証に適用したモジュールについて、その評価・要望を各研究体にフィードバックを実施。また統合検証における全てのドキュメント・プログラムについて、「再利用Webシステム」に併設する形で公開サイトを開設し、プロジェクト内部向けに公開。最終版については外部公開サイトに登録、公開し、知能モジュール再利用の推進・サポートを継続してを実施中。	達成

2.2 作業領域における研究開発成果

表 2.2.1～2.2.2～に各コンソの最終目標および目標達成度を列挙する。

表 2.2.1 三菱電機・IDEC 最終目標達成度

	最終目標	達成状況	
① 教示支援に関する知能モジュール群	ロボット動作の教示作業において、その教示時間の短縮を実現する知能モジュール群。例えば、視覚制御のプログラミングが容易にできるようになる機能、複雑な部品の情報を容易に計算機に取り込める機能などにより、教示作業時間が短縮できること。	外界センサ情報を利用して、教示時間を短縮する知能化技術を開発し、実証システムにおいて、教示時間1/3となることを確認した。	達成
② チョコ停対応に関する知能モジュール群	チョコ停の事前回避を実現する機能、あるいは、チョコ停発生時に把持や運搬動作の補正等によりチョコ停状態から正常状態へ自動で復帰できる機能を実現する知能モジュール群。	外界センサ情報を利用して、エラー状態から正常状態へ自力で復帰する知能化技術を開発し、実証システムにおいて、自動復帰できることを確認した。	達成
③ 認識に関する知能モジュール群	参考までに、この項目の最終的な具体的開発内容は以下の通り。 上記①及び②の実現のため、作業対象物・周囲環境等の状態やロボットとの接触状態等をロバストにセンシングできる機能を実現するモジュール群。	3次元ビジョンセンサにより得られたポイントクラウドから、作業対象物の把持位置を算出するモジュール群を開発した。 また、2次元ビジョンセンサの部品の配置・整列状況を合致度と呼ぶ閾値でもって調整・判断できるモジュール群を開発した。	達成

表 2.2.2 安川電機・東芝コンソ目標達成度

	最終目標	達成状況	
①作業計画知能モジュール群の開発	<p>①作業計画に関する知能モジュール群 人から受けた指示をもとにロボットが遂行可能な作業計画を構築する機能を実現するモジュール群。作業計画を立てるために必要な情報が指示に含まれていない場合(例えば、作業対象物の置かれていない場所等)は、作業対象物追跡・位置管理知能モジュール等を利用して情報を補完して計画すること。なお、指示や問い合わせは、音声認識・音声合成や持ち運びが容易な携帯端末装置の利用を推奨する。</p>	<p>九工大: 音声認識・音声合成コンポーネントと接続し、ユーザとの対話から指示内容を理解し、不足する情報を他のモジュール群に問い合わせして、作業可能な計画をSDLスクリプトで記述して構築できる作業計画モジュールを開発した。 産総研: 指示や問い合わせを理解することができる音声認識・音声合成コンポーネントを開発した。 東芝: プランニングモジュール群(東芝の知識状況管理モジュールと実時間モジュール)として、人の指示など外部イベントをトリガにして、センサーや外部DB等から得られる情報に応じて、自律的に目標・作業計画を作成し、状況変化に応じ動的に作業計画を修正しながら実行するモジュールを開発した。 首都大: 東芝製アプリボコを用いて、人のジェスチャーを画像認識し、音声認識結果と統合して片付けのための指示を認識可能。また、空間知サーバと連携する事で具体的な食器の片付け先まで確定し作業ロボットへ指示を行うことが可能である。</p>	達成
	<p>②作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群 人やロボットによる日常物の移動を監視し、対象物が置かれている位置を管理できる機能を実現するモジュール群。作業対象物を追跡する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。</p>	<p>九大: タグリーダと荷重中心計測センサを配置したテーブルや収納庫を用いて、RFIDタグが付加された日常物の位置情報を管理するシステムを構築した。また床上に設置されたレーザレンジファインダにより、床上に落下したり置かれた物体を検出し、位置を取得するシステムを開発した。対象物の位置やその移動情報はデータベースに格納され、他のモジュールがその情報をオンラインで取得することができる。 九工大: 指示された物体がデータベースに存在していない場合、同種の代替品を提案する作業計画を立てることができるSDLスクリプトを開発した。 産総研: 作業対象の特定が困難な場合に人への問い合わせを行う機能を音声合成コンポーネントを利用して実現した。 東大: データベースに蓄積されたオブジェクトの位置情報を適切な形に変換して提供するモジュールおよび、移動オブジェクトの位置・速度情報に基づいて安全に関する情報を提供するモジュールを開発した。 首都大: 空間知モジュールから必要な情報を収集し、作業手順を計画するモジュールを開発した。指示や問い合わせは、ジェスチャー認識と音声認識により人の指示を認識するモジュールを開発した。</p>	達成
②作業遂行知能モジュール群の開発	<p>①作業対象物認識に関する知能モジュール群 ロボットが日常物をマニピュレーションするために必要な情報(種類、位置、姿勢・状態等)を必要な精度で認識する機能を実現するモジュール群。作業対象物を認識する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。</p>	<p>産総研: ステレオカメラを利用した作業対象物認識モジュール群を開発し、再利用性を高めるため、認識結果共通IFを開発機間と策定し、準拠させた。 首都大: RFIDタグを用いて食器の場所を管理するモジュールを開発した。</p>	達成
	<p>②対人作業に関する知能モジュール群 (i) 作業計画知能モジュールや作業対象物認識知能モジュールで得た情報に基づき、作業対象物を把持し指示された場所まで作業対象物をマニピュレーションする機能を実現するモジュール群。 (ii) マニピュレーション中に新たな作業指示(中断、停止、変更など)が出た場合は、作業計画を変更して遂行できること。 (iii) 作業対象物をマニピュレーションする場合に、その妨げとなるような物体(重なっている物や収納庫の扉等)があった場合、それを検知し回避する動作を行うこと。 (iv) 作業対象物を人に手渡しする場合は、人の位置・姿勢等を計測して、人に手渡すこと。作業対象物をマニピュレーションする範囲が、ロボットのアームの動作範囲を超える場合は、ロボット本体を移動させる機構を利用することや、別のロボットと協調することにより作業を遂行すること。</p>	<p>安川: (i)アームユニットRTCと腰ユニットRTCを連携して動作させる協調制御RTCにより、作業対象物認識モジュールや把持計画モジュールの情報に基づき作業対象物をマニピュレーションすることができる。また双腕移動型ロボットの汎用リンク構成に対応し、協調制御RTCと同等の機能を有する汎用モーションRTCを開発した。 (ii)タスクプランナRTCを使用することにより、作業中に中断、停止、変更といった指示に対して、計画を変更して作業遂行可能である。 (iii)知的収納棚において複数対象物がある状況で奥の物を取る場合に、手前の物を一旦横にどけてからとった作業計画をタスクプランナRTCで実現した。 (iv)手検出RTCを使用することにより人の手の位置・姿勢を認識して、手渡すことが可能である。協調制御RTCあるいは汎用モーションRTCは、アームの動作範囲を超えても腰輪を使用したモーションを自動で行うので、手先の位置・姿勢を指令するのみで作業を遂行することができる。 産総研: (i) 把持動作計画モジュールを開発し、日常生活品の把持機能を実現した。 (ii) 人の手の位置検出モジュールを開発し、手渡しを実現した。 東芝: (ii) 開発したプランニングモジュール群(東芝の知識状況管理モジュールと実時間モジュール)は、状況変化時に必要に応じて作業計画を変更し、実行中の作業を中断して新たな作業計画に基づき作業を再開する。 (iii) 本モジュール群を用いて、左右の手を使い分けて障害物を回避する、あるいは、障害物を移動する物体マニピュレーションができることを検証した。 首都大: RFIDタグおよびカメラ画像から作業対象の位置を認識するモジュール群を開発した。また、未知物体がある場合、アプリボコを通して人に助けを求めルモジュールを開発した。</p>	達成

2.3 移動領域における研究開発成果

表 2.3.1～2.3.4 に各コンソの最終目標および目標達成度を列挙する。

表 2.3.1 富士通・奈良先端大コンソ最終目標達成度

	最終目標	達成状況	
①移動環境認識 知能モジュール群 の開発	①自己位置認識に関する知能モジュール群 周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記 述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。	各環境や使用条件に合わせて、レーザーセンサや画像を用いて 以下のロボットの自己位置認識用モジュールを開発。 【富士通 自己位置推定RTC群】 当モジュールに含まれるランドマーク自己位置推定RTCでは、 レーザーセンサと画像ランドマークを利用した自己位置推定を行う 【奈良先端大 LRFモンテカルロ位置推定モジュール】 地図情報とLRFの距離情報からモンテカルロ位置推定を行う 【奈良先端大 天井カメラを用いた自己位置推定モジュール】 天井地図と画像のマッチングにより自己位置を推定する 【豊橋技科大 大域位置推定モジュール】 距離データと視覚特徴を利用した大域位置推定を行う	達成
	②地図情報生成に関する知能モジュール群 新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変 化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用 いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモ ジュール群。(1)①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて 行う機能を実現すること。	①の自己位置推定モジュール用に以下の地図生成モジュールを 開発。 【富士通 自己位置推定RTC群】 当モジュールに含まれるランドマークSLAM RTCでは、レイアウ ト地図と画像ランドマーク地図を同時に生成する処理を行う 【豊橋技科大 局所地図生成モジュール】 距離データを利用した局所地図の生成を行う 【豊橋技科大 大域地図生成モジュール】 距離データと視覚特徴を利用した大域地図の生成を行う 【東京大学 3次元視覚による三次元地図生成コンポーネント】 ステレオ画像処理ハードウェアから得られる三次元特徴点の追 跡結果を元に計算されるビジュアルオドメトリを応用し、ロボット の自己運動推定と環境の計測情報から三次元点群地図を生成	達成
②人環境安全移 動知能モジュール 群の開発	①人・障害物認識に関する知能モジュール群 静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する 機能を実現するモジュール群。	障害物や人を追跡するための以下のモジュールを開発 【富士通 障害物クラスタ追跡モジュール】 ステレオビジョン画像処理ハードウェアを活用し、特徴点の運動 情報を利用して運動障害物の位置の認識を行う 【東大 3次元運動認識モジュール】 ステレオビジョンモジュールからの3次元特徴量追跡の情報と モーションセンサによるカメラ姿勢情報をセンサフュージョンする ことで、自己運動と視野内の他の移動物体の運動を30Hzの実 時間で分離して計測 【豊橋技科大 人発見運動追跡モジュール】 ステレオ視に基づく人発見・追跡を行う 【東京理科大 対人追従モジュール】 視差情報と色情報とを用いて追従動作を実現。動作中の明るさ の変化による視差情報、色情報の誤りにもロバストな手法を開 発。	達成
	②動的経路計画に関する知能モジュール群 (a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞が れたりしても、補正又は再計画を自動的にしながら、目的地に到達可能 な機能を実現するモジュール群。 (b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる 機能を実現するモジュール群。	(a)の経路計画機能を実現するために以下のモジュールを開発 【豊橋技科大 大域行動計画モジュール】 グリッド地図情報を元にグリッド地図を基に始点と終点を結ぶ経 由点列を生成する (b)の人回避機能を実現するために以下のモジュールを開発 【豊橋技科大 局所行動計画モジュール】 人の位置・速度の情報と局所地図を基に安全な移動行動を生成 する	達成
	③安全移動制御に関する知能モジュール群 移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移 動可能な機能を実現するモジュール群。	速度制御による安全な移動を実現するために以下のモジュール を開発 【豊橋技科大 局所行動計画モジュール】 人の位置・速度の情報と局所地図を基に安全な移動行動を生成 する人間に対する安心感を考慮した速度制限の導入した経路計 画を行う 【奈良先端大 緊急停止モジュール】 レーザーセンサを用いて近接物検出時にロボットを安全に停止さ せる	達成

表 2.3.2 富士重工最終目標達成度

	最終目標	達成状況	
①移動環境認識 知能モジュール群 の開発	①自己位置認識に関する知能モジュール群 周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記 述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。	実施計画書に記載した知能モジュールについて、実 環境で有効性検証と実証試験を行い、再利用セン ターに登録済み 動作確認用の動画も送付済み	達成
	②地図情報生成に関する知能モジュール群 新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変 化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用 いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモ ジュール群。(1)①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて 行う機能を実現すること。	実施計画書に記載した知能モジュールについて、実 環境で有効性検証と実証試験を行い、再利用セン ターに登録済み 動作確認用の動画も送付済み	達成
②人環境安全移 動知能モジュール 群の開発	①人・障害物認識に関する知能モジュール群 静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する 機能を実現するモジュール群。	実施計画書に記載した知能モジュールについて、実 環境で有効性検証と実証試験を行い、再利用セン ターに登録済み 動作確認用の動画も送付済み	達成
	②動的経路計画に関する知能モジュール群 (a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞が れたりしても、補正又は再計画を自動的にを行いながら、目的地に到達可能 な機能を実現するモジュール群。 (b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる 機能を実現するモジュール群。	実施計画書に記載した知能モジュールについて、実 環境で有効性検証と実証試験を行い、再利用セン ターに登録済み 動作確認用の動画も送付済み	達成
	③安全移動制御に関する知能モジュール群 移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移 動可能な機能を実現するモジュール群。	実施計画書に記載した知能モジュールについて、実 環境で有効性検証と実証試験を行い、再利用セン ターに登録済み 動作確認用の動画も送付済み	達成

表 2.3.3 筑波大学・富士ソフトコンソ最終目標達成度

	最終目標	達成状況	
①移動環境認識 知能モジュール群 の開発	①自己位置認識に関する知能モジュール群 周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記 述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。	モジュールの開発・有効性検証を実施した。	達成
	②地図情報生成に関する知能モジュール群 新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変 化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用 いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモ ジュール群。(1)①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて 行う機能を実現すること。	モジュールの開発・有効性検証を実施した。	達成
②人環境安全移 動知能モジュール 群の開発	①人・障害物認識に関する知能モジュール群 静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する 機能を実現するモジュール群。	モジュールの開発・有効性検証を実施した。	達成
	②動的経路計画に関する知能モジュール群 (a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞が れたりしても、補正又は再計画を自動的にを行いながら、目的地に到達可能 な機能を実現するモジュール群。 (b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる 機能を実現するモジュール群。	モジュールの開発・有効性検証を実施した。	達成
	③安全移動制御に関する知能モジュール群 移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移 動可能な機能を実現するモジュール群。	モジュールの開発・有効性検証を実施した。	達成

表 2.3.4 芝浦工大・セグウェイコンソ最終目標達成度

最終目標		達成状況	
①操縦移動知能モジュール群の開発	①安定走行に関する知能モジュール群 指令値に基づく駆動力制御に加え、走行加速度や外力、未知環境等に対して自動的に姿勢を安定化する機能等基本的な移動機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○千葉工業大学で開発した全方位移動搭載型ロボット、不整地対応ステアリング搭載型ロボットのモータ駆動に次世代ロボット共通基盤開発プロジェクトで開発された運動制御モジュールFTMD2Axを利用している。また、移動ロボット(千葉工大より全方位台車、国際レスキューシステム研究機構より樹立伸子型台車)を再利用センターに提供済み。 ○セグウェイジャパン/東北大学/京都大学が開発した台車制御モジュールなどで基本機能に対応し、再利用センターで検証、オープンソース対応、一部公開し、プロジェクト内外で再利用済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。	達成
	②障害物回避に関する知能モジュール群 外界センサを利用した障害物(人を含む)検知機能、衝突リスク見積もり機能、回避行動生成機能等、外界との衝突を避けるための回避機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○東北大学がモジュールを開発し、オープンソースソフトウェア対応、公開、プロジェクト内外で再利用済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。 ○再利用センターの統合検証「001~003」に対しても提供。	達成
	③操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群 広範な利用者層に対してモビリティ・ロボットの使用を簡便にするため、習熟が不要な新しい操作インタフェースに必要な機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○京都大学らがモジュールを開発し、オープンソースソフトウェアで対応済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。	達成
②自律移動知能モジュール群の開発	①自律走行に関する知能モジュール群 高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画、操縦移動と自律移動の自然な融合機能等、操縦者不在時や操縦アシスト時を含めた自律・半自律走行に必要な機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○東北大学/京都大学らがモジュールを開発し、オープンソースソフトウェアで対応、公開、プロジェクト内外で再利用済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。 ○再利用センターの統合検証「001~003」に対しても提供。	達成
	②自律帰還に関する知能モジュール群 環境地図情報や移動履歴情報等を活用し、あらかじめ指定した対象物が存在する場所に自律走行で帰還するために必要な機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○国際レスキューシステム研究機構/東北大学/京都大学らがモジュールを開発し、オープンソースソフトウェアで対応済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。	達成
	③協調走行に関する知能モジュール群 モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御機能等の協調行動を行うために必要な機能群を備えているモジュール群。	対応度：対応済み ○京都大学/セグウェイジャパンがモジュールを開発し、オープンソースソフトウェアで対応、公開、プロジェクト内外で再利用済み。 ○「移動SWG共通インターフェース」対応済み。	達成

2.4 コミュニケーション領域における研究開発成果

(1) 目標の達成度

最終目標および目標達成度については表 2.4.1 に示す。

表 2.4.1 コミュニケーション知能領域における最終目標の達成度

	最終目標	達成状況	
① 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発	①環境・状況認識に関する知能モジュール群 ロボット前方の範囲内の人物の状況(人数、向き、接近等の動き)を把握すること、及びロボットと対話する相手の人数や位置を把握することが可能な機能を実現するモジュール群。	環境情報構造化プラットフォームを利用し、ロボット前方5m以内の人物の位置・人数・接近等の行動を検出する機能を実現するモジュール群を開発済み。再利用性を高めるためのマニュアル整備を実施しており、2月に完了する見込み。	達成
② 対話支援知能モジュール群の開発	①音声認識に関する知能モジュール群 ロボットと対話しようとしている人の音声と周囲雑音を分離し、騒がしい環境であっても、子供や高齢者を含む対象者の音声を認識することが可能である機能を実現するモジュール群。	65dBaの騒音環境下において、ロボットと対話者の間の距離を1mの条件で、75%以上の音声認識性能を実現するモジュール群を開発済み。再利用性を高めるためのマニュアル整備を実施しており、2月に完了する見込み。	達成
	②音声合成に関する知能モジュール群 対話すべき内容が与えられたとき、周囲環境や子供や高齢者を含む対象者の属性に応じて、適切な話し方で、聞き取りやすい発話を行うことが可能とする機能を実現するモジュール群。	調音の明瞭な、了解度の高い発声による音声合成を行うことにより、雑音にかき消されずに、重要な情報を聞き手に伝達するモジュール群を開発済み。再利用性を高めるためのマニュアル整備を実施しており、2月に完了する見込み。	達成
	③行動理解に関する知能モジュール群 以下の機能を実現するモジュール群。 (a)人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する機能。 (b)人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する機能。 (c)ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える機能。	(a)人の仕草として、顔部分の傾きや首かしげといった意思表示に関する仕草検出を、顔向き推定エンジンにより実現。また、エンジン用のラッパーをモジュール化。 (b)人の非言語的発話を利用し、対話相手の発話によって伝達される意図・態度・感情に関するカテゴリを認識する機能を実現するモジュール群を開発済み。 (c)ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝えるために、身振り仕草の「動的生成」、「自動生成」、「動作合成」の3つの機能を実現するモジュール群を開発済み。再利用性を高めるためのマニュアル整備を実施しており、2月に完了する見込み。	達成
②自律移動知能モジュール群の開発	①対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群 ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択することが可能な機能を実現するモジュール群。	ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択することが可能な機能を実現するモジュール群を開発済み。	達成
	②対話制御に関する知能モジュール群 以下の機能を実現するモジュール群。 (a)対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスク(ある目的を達成するための対話コンテンツの実行)を実現することが可能な機能。 (b)複数の人物が話しかけてきたときに複数の人物からの話しかけであることを検出し、少なくとも1人の人物との対話を継続できる機能。	(a) 対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスクを実現することが可能な機能を実現するモジュール群を開発済み。 (b) コミュニケーション知能(生活分野)(NEC)が担当	達成
②自律移動知能モジュール群の開発	①対話対象同定に関する知能モジュール群 顔認識等による人物同定機能や、対話しながら随時顔を記憶することのできる人物登録機能を実現するモジュール群。	顔認識による人物同定機能を実現。広い顔向きに対応することで自然な行動中での人物同定が可能。また対話しながら随時顔登録するために高精度な顔検出エンジンを開発しそのエンジン用のラッパーをモジュール化。検出した顔を随時登録することで随時登録機能を実現。	達成
	②対話履歴管理に関する知能モジュール群 対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に反映することが可能な機能を実現するモジュール群。	対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に反映することが可能な機能を実現するモジュール群を開発済み。	達成

2.5 成果の検証

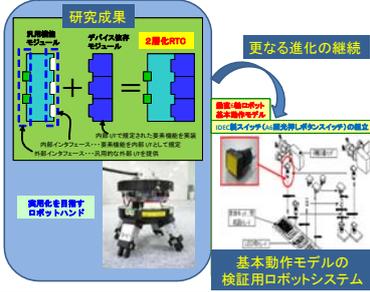
2.5.1 研究開発成果の見える化

本プロジェクトの研究開発成果の基本は知能モジュールの蓄積である。知能モジュールの数は計算できるが、種類や機能・性能の検証には困難が伴う。ソフトは見えないものであり、厳密で正確な検証を規定するとそれに時間をとられて効率的ではない。そこで、成果の「見える化」を行って事業体の進捗を確認した。今回の「見える化」は進捗の目安でしかないが、実際に動くシステムに知能モジュールを搭載して動作させることにより、早期の状況確認や事業体内での認識共有にも役立つものであった。図 2.5.1.1 に「見える化」による進捗確認例を示す。

②三菱電機 ロボットセル
産業用ロボットで実証



②IDEC セル生産ハンド

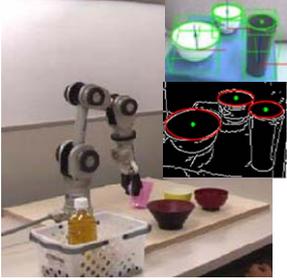


研究成果
デジタル記憶セル + デジタルRTD = 更なる進化の継続
新たなロボット基本動作セル
基本動作モデルの検証用ロボットシステム

③安川電機 施設内生活支援ロボット
サービスロボット実機で実証



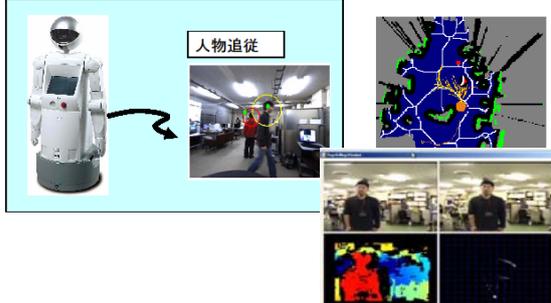

③東芝
テーブル片付作業
検証実験を実施



④筑波大
移動ロボット用基本機能
つくばチャレンジで実証



④富士通 商用施設混雑環境移動ロボット
サービスロボットに搭載して実証実験



人物追従

④奈良先端大 移動作業ロボ
対人追従、指示物体の認識・把持
ロボットに搭載して実験



④富士重工 清掃ロボット
実環境で実証実験



⑥セグウェイ 立乗りモビリティ

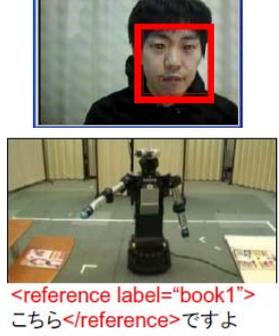


⑥芝浦工大Gr
搭乗用移動知能



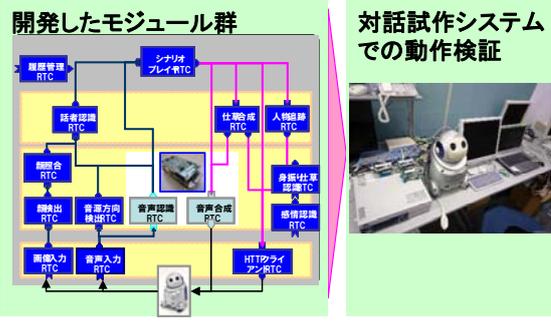
コントローラ
共通IF
Time & Velocity
全方位移動
ステアリング

⑥ATR
ショッピングモールロボ



<reference label="book1">
こちら</reference>ですよ

⑥NEC 家庭・生活コミュニティロボ



開発したモジュール群
対話試作システム
での動作検証

図 2.5.1.1 「見える化」による研究開発成果の可視化例

2.5.2 先行発表・検証デモ発表会

本プロジェクトでは知能モジュールの事業者相互の提供・利用を推奨している。これを促進するためには、どの事業者がどのような機能・性能の知能モジュールを持っているかを相互に認識している必要がある。研究開発成果である知能モジュールを相互に理解するため、および研究開発進捗を確認するための**先行発表・検証デモ発表会**を行った(2009年1月21日)。

この会の目的は大きく以下の3項目である。

1. 見える化による相互の知能モジュールの理解

各事業者の開発した知能モジュールをロボットに搭載して動作としてアピールする。提供可能な知能モジュールを相互に紹介することにより、他者開発品の利用を促進する。

2. イベント設定による開発加速

イベントが設定されていると、それに使用する技術開発が加速されることは周知のとおり。

3. 先行事業者による動作見本提示

知能モジュールの開発法や応用法、提供法は未だ開発途上である。先行して成果を挙げている事業者により成功例を示し、今後の開発・運営の参考とする。

芝浦工大の校舎を借用し、知能モジュールの開発を担当している全15事業者による実働ロボットを用いた開発モジュールの動作デモを行った。

この結果、知能モジュール開発・統合化の加速とモジュール化の工夫や指針に対する共通認識を共有することができた。また、運営上の知見として、知能モジュールの性能評価法としての実ロボットデモの有用性、各事業者の進捗度と課題、モジュール統合と再利用性への課題、統一したロボットによる組み合わせ実証の体制を作ることの必要性をあらためて認識できた。



図 2.5.2.1 検証デモ発表会の風景

2.5.3 成果の意義

本プロジェクトではソフトウェアプラットフォーム、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の4つの領域で開発を進め、それぞれの領域で大きな成果が得られている。それぞれの成果ごとに代表的な成果とその評価を記す(図 2.5.3.1)。

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発では、知能モジュールを開発するための開発支援ツールとシミュレータという従来にない新しい機能を開発して公開した。このツールを用いることでロボットのモジュール設計を効率的に進めることが可能となり、適用可能分野が拡大した。

移動・作業知能のための視覚に基づくロバストな知能モジュール群の開発においては、視覚を用いたナビゲーションにおいて最高水準の機能を実現できている。

移動知能(サービス産業分野)の開発の領域においては、今回開発した知能モジュールとその構成法を商用に試用している実ロボットに試験適用した結果、カスタマイズ性が向上し、サービスロボット開発の開発効率が30%向上する結果が得られた。従来の設計法を大きく変えるメリットが実感されている。

コミュニケーション知能の開発領域の公共空間における情報支援知能モジュール群の開発においては、実用的な世界最高水準の音声認識モジュールを開発・公開することができた。



図 2.5.3.1 代表的な成果の意義

2.5.4 知的財産権等の取得及び標準化の取組

本プロジェクトの特許・論文等についての領域ごとの出願状況を図 2.5.4.1 に示す。特許は68件（うち、国際特許7件）、研究発表は766件、報道は合計して73件の結果となった。後半 2 年は開発したモジュールの検証を主としたため、特許の出願数が少なくなっているが、普及のために研究発表や新聞、雑誌への報道を精力的に実施している。

領域	特許 (出願)	研究発表 (論文誌、学会誌、口頭発表)		報道	
		国際研究発表	国内研究発表	新聞・雑誌	展示会
H19～21	50(0)	55	336	119	57
H22	13(7)	53	172	44	5
H23	5(0)	51	99	60	11
合計	68(7)	159	582	223	73
		766			

図 2.5.4.1 領域ごとの特許出願、発表状況

2.5.5 成果の普及

本プロジェクトは、開発した知能モジュールやその開発支援ツールを世の中に広く普及させることを目標とするため、成果の普及には心を配っている。主な使用者はロボットの開発者であるため、ロボットの専門家が集まる学会や展示会を主な普及活動場所としている。

なかでも隔年で開催される国際ロボット展(平成21年11月25日～29日および平成23年11月9日～12日)はプロジェクトの理解を広げる大きなチャンスであると認識し、NEDOのプロジェクト発表のブースをそれぞれ出展し、知能モジュールの使用法や実用例を紹介した。

また、日本ロボット学会誌にて「使える RT ミドルウェア」特集号を発行(平成22年6月)した。この特集号ではロボットのモジュール設計法を紹介するほか4領域8テーマ全てについて説明を行った。さらに最終的な成果をもとにした特集号が平成25年1月に発行予定となっている。

関連学会との連携も深めている。ロボットの主要3学会の学術講演会(日本ロボット学会学術講演会、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門大会、計測自動制御学会システムインテグレーション部門大会)では毎年、本プロジェクトの開発内容の発表や事例紹介を行っている。特に、平成21度の日本ロボット学会(9月15日～17日、横浜国立大学)では多くの事例紹介を行い、学会の企業発表件数全69件のうち59件(85%)が本プロジェクトの成果発表となった。このように知能モジュールの実用性を強くアピールできる普及活動を進めた。

国際学会においても本プロジェクトの認知度向上と標準化活動の支援となるための活動紹介に力を入れている。

2.6. 実用化見通しについて

2.6.1 本プロジェクトの実用化の考え方

本プロジェクトの目標は、実用的な知能モジュールを使ったモジュール式ロボット開発法を普及させ、効率的なロボット開発を実現することである。使用したい知能モジュールが準備されていなければこの開発法は使ってもらえないため、まずは幅広い機能分野にわたる多数の知能モジュールを開発し取り揃えること、次にそのモジュールの品質が一定以上であることを保証する仕組みを作ること、知能モジュールを蓄積し使いたいモジュールをすぐに取り寄せられる環境を提供すること、複数の知能モジュールを接続するための道具を提供すること、組合わせたシステムの動作を確かめる環境を提供することなどが必要である。

上記を整理して、本プロジェクトの「実用化」を以下の3点に整理した。

1. 実用的な知能モジュールを多数蓄積すること

幅広い使用分野にわたり必要な機能を備えた数多い知能モジュールを蓄積すること。

充分な性能・機能、再利用性を有する実用的なモジュールとして検査済であること。

相互に接続や交換が可能な統一したインタフェースを持つ知能モジュールであること。

2. モジュール開発を実現する設計環境の提供

新ロボットを容易にモジュールの組合せで開発できる開発環境と試験環境が準備できていること。

必要なモジュールを検索・提供が可能な蓄積環境を作ること。

3. 知能モジュールおよびモジュール構成法の提供・普及

本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること。

2.6.2 成果の実用化の見通しについて

上記の3点について、各事業体およびプロジェクト全体の実用化にむけて積極的に活動している。

知能モジュールを多数蓄積することに関しては、数をそろえることと、質を高めることの両面から開発を進め、実用化を目指している。

実用化の最も基本的な方法は、実用的な技術を開発することである。プロジェクトの運営では、各事業体に対し設定ゴールとリファレンスモデル、リファレンスタスクを勘案した開発内容リストを作成させ、PLの指導の下に知能モジュールの網羅性を高めている。また、品質を確保するための体制や運営方式を開発するしきみを整えた。これに対応して、各事業体では実用的な知能モジュールを開発し、蓄積 DB に登録するとともに、各自の有するロボットとRTC再利用技術研究センターの共用検証用ロボットで機能・性能を検査を開始している。これらの結果、動作を確認された実用的な知能モジュールが再利用可能な形態で蓄積されつつある。今後、蓄積された知能モジュールを社会に提供する組織をプロジェクト終了後に構成する構想がある。このためには、RTC再利用技術研究センターで開発中の知能モジュールの取り扱い技術を移管するとともに、知的財産の取り扱いについての検討が必要である。

開発環境については、早期に完成させて、本プロジェクト内で積極的に利用して改良を進め、実用性を向上させる方針を採る。すでに設計環境、デバッグ環境、シミュレータ等の初版が提供されており、事業体において知能モジュールやロボットシステムの開発に使用され始めている。実用的な開発環境は、学会や展示会等において利点をアピールしつつ普及を図る。開発環境のユーザを開拓する意味では、本プロジェクトそのものが役に立っている。本プロジェクトは47事業者の集団であり、開発を進めることで47事業者のユーザが生まれたことを意味する。多くの事業者に知能モジュールと開発環境を使い慣れてもらい、知能モジュールを理解している技術者が拡大していくことが実用化の大きな推進力となる。

設計環境の普及については、オープンソフト化を目指している。知能モジュールを接続する根幹となるものはRTミドルウェアである。世界では部品化したロボット技術を再利用してロボットの開発を効率化する動きが始まっている。特に今年度から動きが盛んになってきた米国 Willow Garage 社（以下ウ社）はロボットの機能部品とその統合法を無償で公開することを目指した私的研究開発機関である。ウ社は、すでに画像処理界で広く利用されている OpenCV ライブラリーの提供元であり、今後ロボット分野でもウ社のライブラリーが広く普及することが予想される。これに対応するため、ウ社と連携して、より洗練された部品接続法としてRTミドルウェア を共同で公開してゆくことを決定し

た。この公開は、ロボット技術を構築していくための共通基盤となり、本プロジェクトの成果を実用化するための事業環境が整うとの判断である。本プロジェクトの成果である知能モジュールは、この事業環境の上で普及を推進することとなる。

知能モジュールの普及に関しては、プロジェクトとして以下の実用化方法を設定し、事業者にはこのいずれかの方法によりプロジェクト終了後の技術活用をすすめることとしている。

1. 開発した知能モジュールを他者の応用のために技術提供する。
2. 開発した知能モジュールを普及のために無償で提供する。
3. 開発した知能モジュールを自社の製品に活用し、販売する。

本プロジェクトの事業者は上記の候補から実用化法を選択し宣言することとしており、実用化を推進する方向性を明確化している。16の事業体のうち、12の事業体においては知能モジュールの具体的な実用化方法を計画しており、残りの4事業体においては、具体的な実用化方法を検討中である。

普及のためには図 2.6.2.1 に示すセンターを構想している。知能モジュールシステムは専門的であるため、試験的に使用してメリットを実感しないと導入が進まない性格を持つと思われる。このため、知能モジュールの試験使用や評価を気軽に実行できる「場所」が必要と考える。図 4.2.1 では「RTモジュール利用支援センター」と仮称している。このセンターで、実験用ロボットシステムや試用可能な知能モジュール、支援スタッフ、支援環境を活用しながらユーザにメリットを実感してもらうことが重要である。このセンターの開設や運用には、現在運用を開始したRTC再利用技術研究センターが蓄積した知見やノウハウが活かされるはずである。

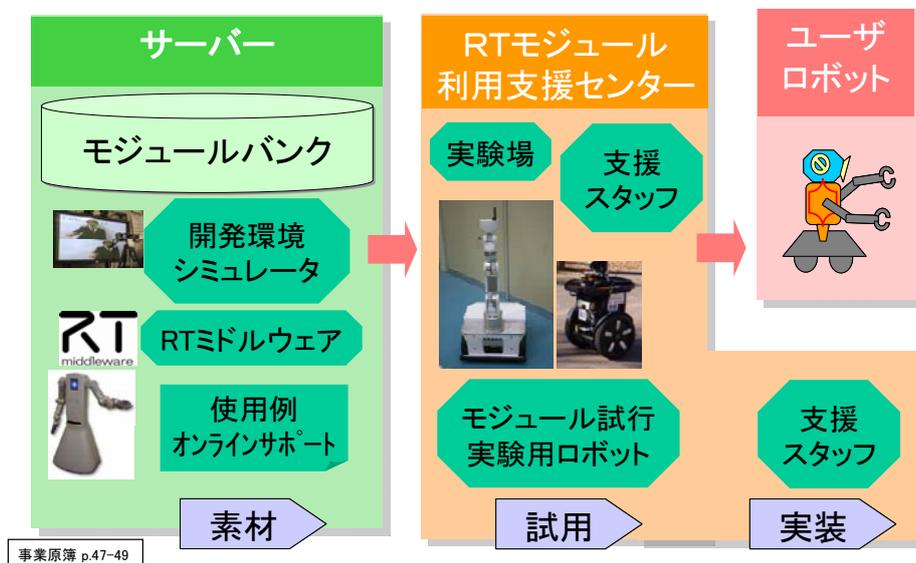


図 2.6.2.1 知能モジュールを実用化するための将来体制の構想

2.6.3 波及効果

本プロジェクトのモジュール式ロボット構成法は、次世代ロボット技術が広い製品分野

に波及し新規産業創出や産業活性化を実現できること等の広い波及効果がある。

まず、本プロジェクトにより実用的な知能モジュールの蓄積が実現すると、その知能モジュールを活用可能なロボットのモジュール式設計法が普及する。これによりロボット機能を内蔵する機器開発が効率化し、産業競争力が向上する。

また、組み込み用 OS を対象とした R T ミドルウェアの開発により知能モジュールやこれらを利用するシステムの適用範囲が拡大する。本プロジェクトの関連プロジェクトにより R T コンポーネント（ロボットの機能部品）が供給され、知能モジュールのラインナップが拡大する。また、R T ミドルウェアや知能モジュール関連技術の国際標準が取得されることによりモジュールの相互接続性が保証される。これらの相互影響力により乗算的に魅力が増し応用範囲が拡大することにより、知能モジュールの利用が増加して産業競争力が向上できるものと考ええる。

標準化に関しては、R T ミドルウェアは現在ソフトウェア分野のコンソーシアム標準である OMG において標準化として成立している。今後、位置表現法等の知能化 P J モジュールに関する他の技術を OMG 標準とするほか、より高位の I S O 等の標準を取得することにより、本プロジェクトの技術の普及を加速できる。また、通信規格である CAN の標準化団体である CIA (Can In Automation) において、RTC-CANopen の標準化作業も行っており、こちらは最終ドラフトが完成し、間もなく成立する見込みである。

さらに、本プロジェクトの推進により R T ミドルウェアや知能モジュールを使いこなす技術者が増大した。これにより、知能モジュールの開発が活発化し、R T ミドルウェアを使用する R T システム機器の適用分野が拡大することが期待できる。

上記の相乗効果により、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発がさらに推進され、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット技術の適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させることにつながられる。

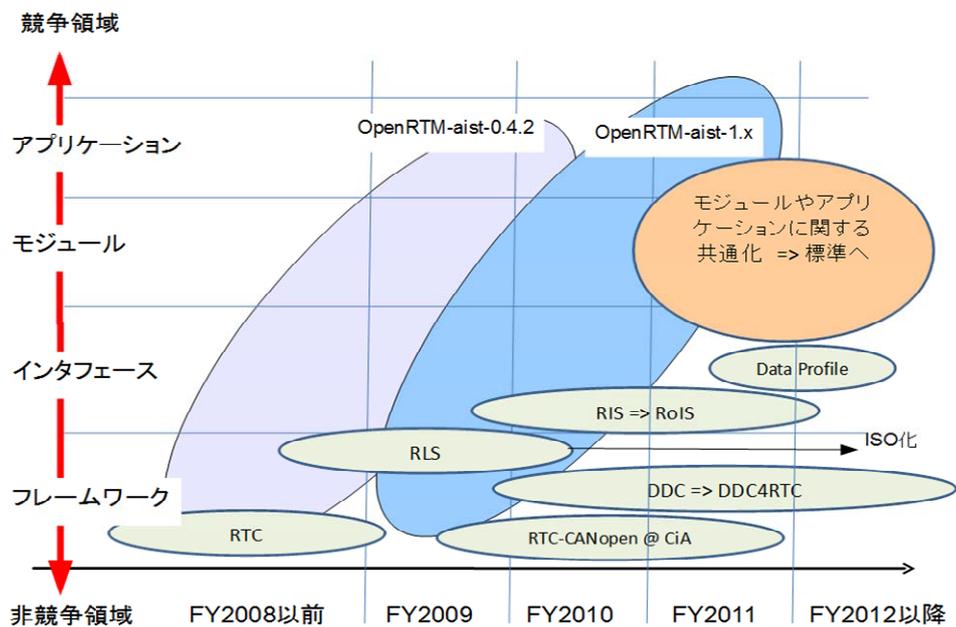


図 2.6.3.1 国際標準化の進捗とロードマップ

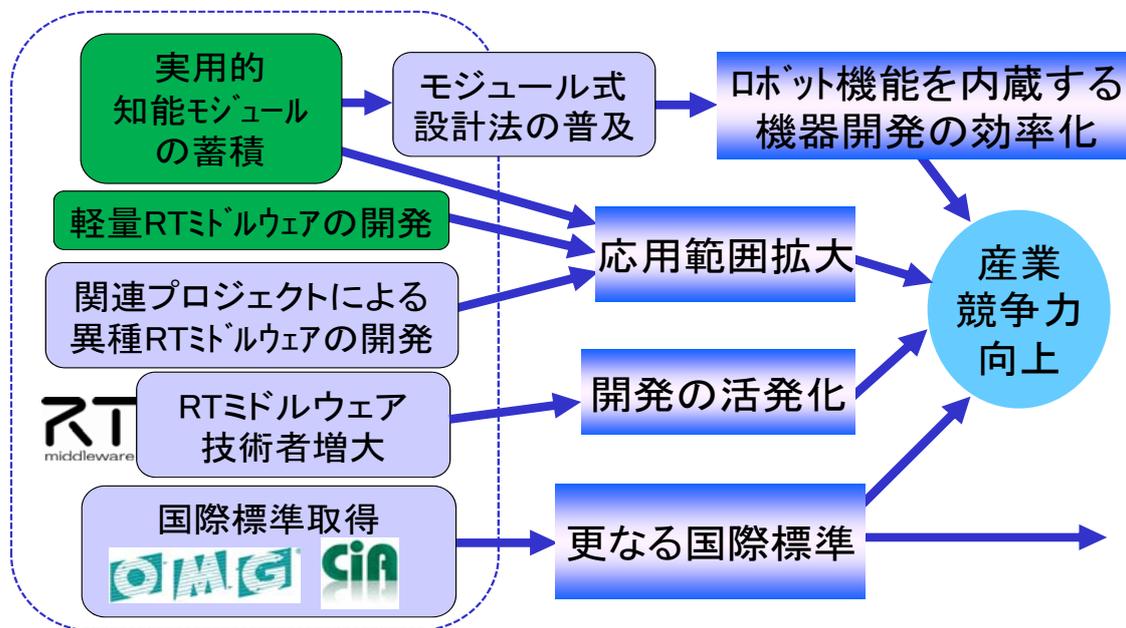


図 2.6.3.2 知能モジュール開発の普及効果

参考文献

- [1] 経済産業省:”技術戦略マップ 2009”, pp.459-485, 2009

以上

3.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

3.1.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム開発

次世代ロボットシステムの効率的かつ効果的な研究開発環境を構築するために、ロボット知能化技術をRTコンポーネントとしてモジュール化し、これらを統合して次世代ロボットシステムのシステム設計、シミュレーション、動作生成、シナリオ生成を行うことができるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行った。RTコンポーネントのモジュール化に基づくシステム構築では、下図に示すようにロボットシステムを設計・開発するフェーズとそのロボットの動作を設計・開発する2つのフェーズが存在する。これらの開発を効率よく、効果的に開発を進めるためには、それぞれの開発ツールを統合的かつ違和感なく利用可能な開発環境が重要になる。

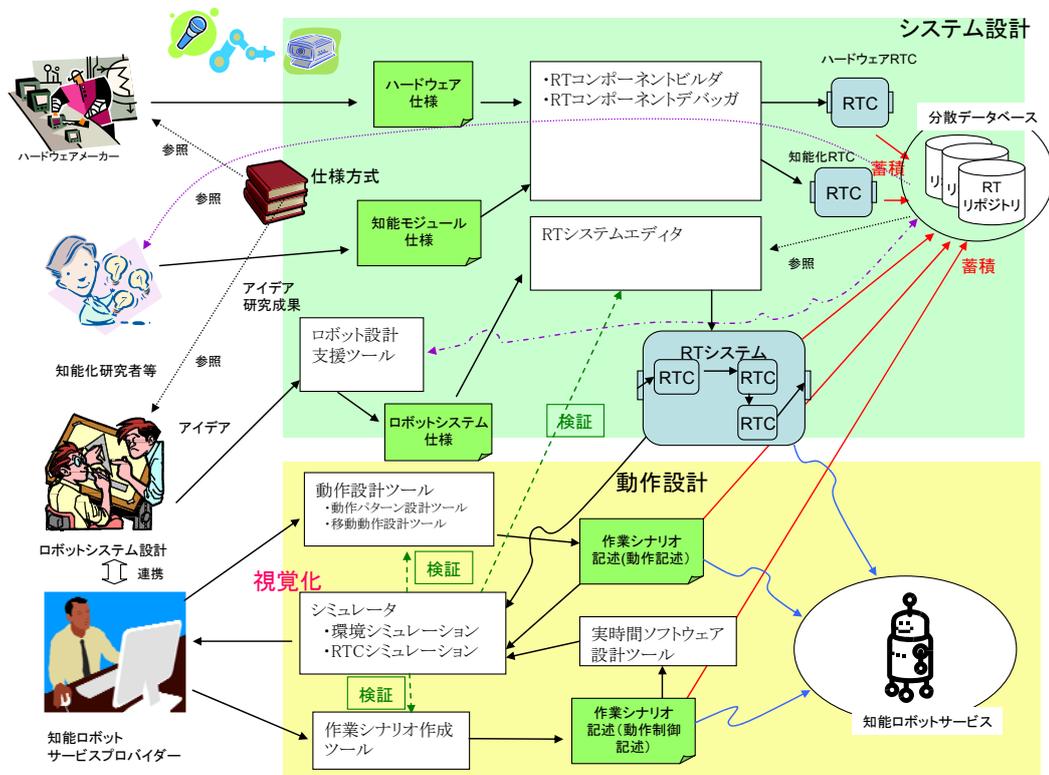


図 1 RTコンポーネントのモジュール化に基づくシステム構築の概要

そこで、本事業では、次世代ロボットシステムのシステム設計・開発を統合的に扱うことができるロボット知能ソフトウェアプラットフォームを実現するために、①RTコンポーネント開発支援機能、②応用ソフトウェア支援機能及び③ロボットシステム設計支援機能の研究開発を実施した。

① RT コンポーネント開発支援機能

(a) RT システムに関する仕様記述方式

ソフトウェアプラットフォームの各種ツール間で共通的に利用する仕様記述方式の策定を実施した。仕様記述方式の策定に当たり、本事業実施機関内のみならず、本プロジェクトの各研究項目実施機関とも協議の上、多様なロボットシステムの構築に耐えうる汎用的かつ柔軟な仕様を策定し、最終的には、本プロジェクトの各研究項目実施機関が構築するロボットシステムプラットフォーム、ツール群、知能モジュール群は、策定された仕様記述方式に準拠したものとすることを旨とする。

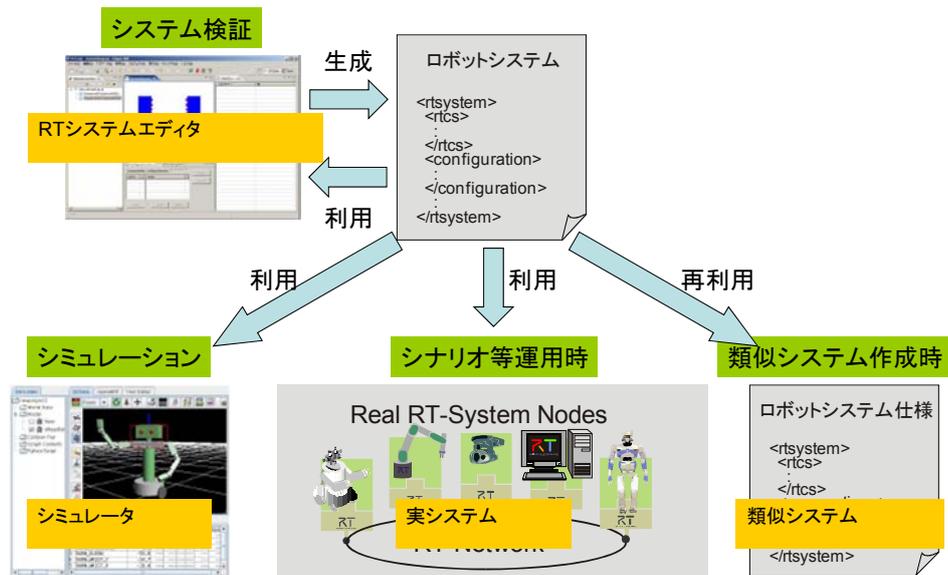
(a-1) ロボットシステム仕様記述方式

RT コンポーネントに基づく RT システムの構成を記述するための、ロボットシステム仕様記述方式を策定する。現在、産総研版 RT ミドルウェアが提供するツール **RtcLink** では RT コンポーネントによるシステム構成を記述する XML フォーマットを規定している。この記述方式を拡張し、十分な表現力を有するシステム仕様記述方式を策定する。最終目標として、本仕様を精査し安定版のロボットシステム仕様記述方式を策定するとともに、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開する。また、OMG などの標準化組織での国際標準化を目指す。

RTS Profile 概要

RT システムがどのような RT コンポーネントから構成され、それらがどのように接続されているかを記述する方式：「ロボットシステム仕様記述方式」を、**RT System Profile: RTS Profile** として仕様を定めた。RTS Profile は **OMG RTC** 標準で定められている **RTC** モデル[1]に基づき、使用する **RTC** と **RTC** が持つポート間の結合情報および、各 **RTC** のコンフィギュレーション情報によりシステムを記述するモデルとした。

RTS Profile データは図 2 に示すような、システム開発に関わる様々な場面での利用が想定されている。



22

図 2 OpenRTP ツールチェーンにおける RTS Profile の利用例

システム構築・検証での利用

複数の RTC で構成される RT システムにおいては、システム構成情報はコンポーネントの配置情報・接続情報・コンフィギュレーション情報としてモデル化される。このシステム構成情報を記述するフォーマットとして RTS Profile を利用する。RT システム設計ツールである「RTSystemEditor」は、コンポーネントのプロファイル情報を読み込み、Eclipse 上でシステムの構成を編集、RTS Profile 形式の XML ファイルを生成することができる (図 3 : オフラインエディタ機能)。

また、生成された RTS Profile の XML ファイルを読み込み、動作中の RTC の接続の再構成、コンフィギュレーション情報の設定、さらに動作を検証しつつ接続やコンフィギュレーション情報の再構築を行うことができる (図 4 : オンラインエディタ機能)。

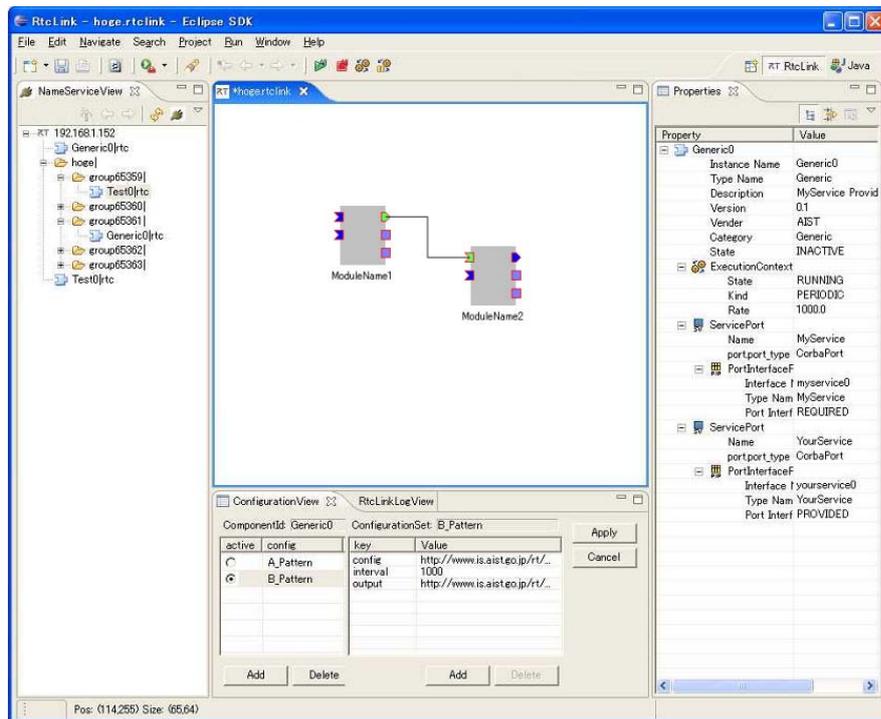


図 3 RT システムエディタ (オフライン編集画面)

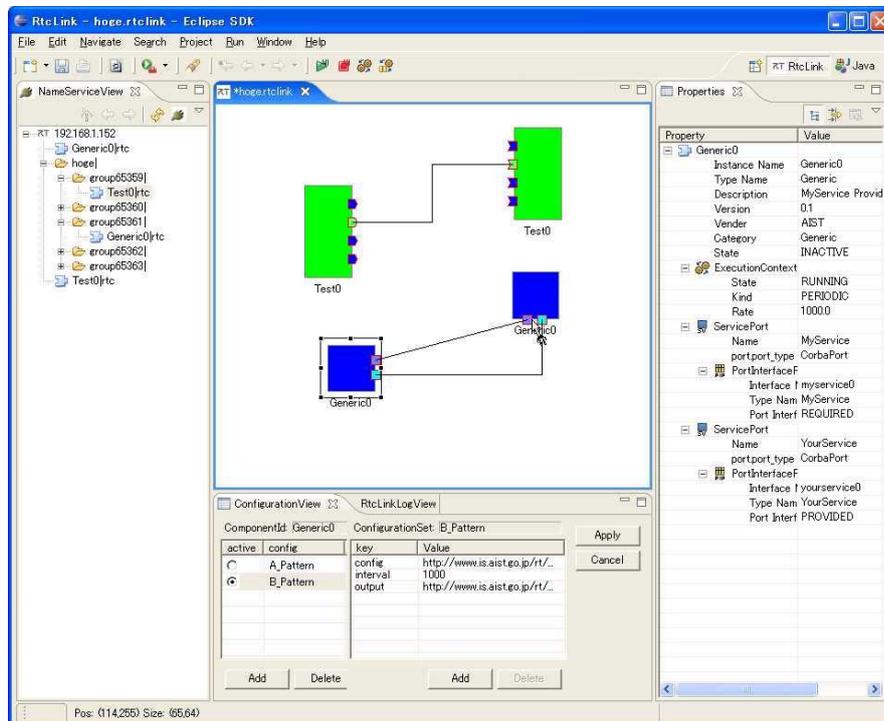


図 4 RT システムエディタ (オンライン編集画面)

システム運用時に利用

RTS Profile には、RT システムの RTC 間の接続情報、コンフィギュレーション情報などが含まれている。したがって、システム運用時にはこのファイルを元に、RTC の起動・接続・設定（Deployment and Configuration: D&C）を行うために利用することができる。

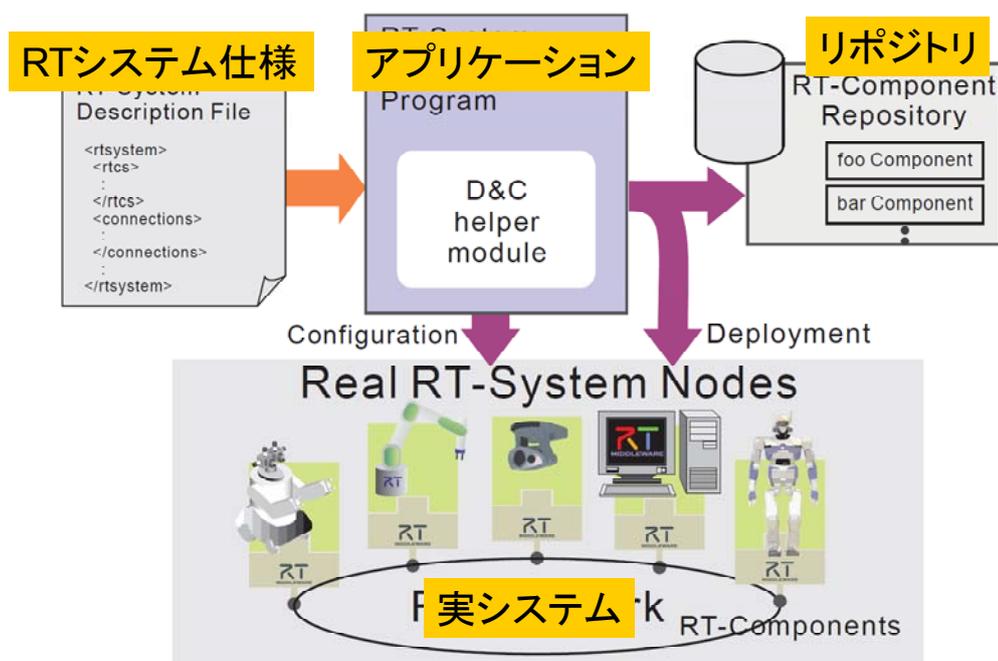


図 5 運用時のデプロイメントおよびコンフィギュレーション

図 5 にシステム運用時のイメージを示す。RTS Profile をアプリケーションが読み込み、仕様記述を元にアプリケーションに必要な RTC をリポジトリからノードに配置するとともに、RTC の接続・設定を行い、システム全体を起動する。

システム構成を動的に変更する場合には、個別の RTC を操作して構成を変更することも可能であるが、予め用意された複数の RTS Profile を切り替えることにより、迅速かつ容易にシステム構成を変更することができる。

また、シミュレータを利用する場合でも、実機の部分がシミュレータのコンポーネントに置き換わるだけで、基本的には同様の流れでシステムのデプロイおよび設定を行うことができる。

既存仕様の再利用

すでに存在するシステムと類似のシステムを設計する際には、既存の RTS 仕様を参照・再利用することで、システム構築にかかるコストを削減することができる。

RTS Profile 仕様記述方式

以上、RTS Profile の利用例を示したが、上述の用途以外にも仕様の明確なシステム構造を記述したファイルが存在すれば、静的・動的検証を含めたシステム安全検証、トレーサビリティの確保、動的デプロイメント・コンフィギュレーション等、様々な利用方法が考えられる。RTS Profile を各ツール間で利用するためには、その仕様を明確に定め仕様を安定的に維持する必要がある、その仕様記述方式を定めるにあたり MDA を採用した。

MDA、PIM および PSM

MDA (Model Driven Architecture) はソフトウェア標準化団体 OMG (Object Management Group) が提唱する、モデリング主導のシステムの開発、ライフサイクルの管理を実現するための参照アーキテクチャである[2]。中心となるモデルは、プラットフォームに非依存な PIM (Platform Independent Model) と プラットフォーム依存モデル PSM (Platform Specific Model) の 2 階層から構成される。PIM はプラットフォームに依存しないシステムのモデルであり、UML により特定の言語や OS、ミドルウェアなどに依存せず、かつ曖昧さを排除して構築されたモデルを指す。PSM は PIM から生成される各プラットフォームに特化したモデルであり、開発者はこのモデルを元に実装を行う。

モデルを実装依存部分と非依存部分に分け定義することで、技術トレンドが変化しても、PIM から PSM へのマッピングを定義し直すだけで、新たな技術に対応できる利点がある。

RTS Profile プラットフォーム非依存モデル

RTS Profile は RTS Basic Profile、RTS Extended Profile の 2 つのパッケージから構成される。図 6 に、RTS Profile のパッケージ構成を示す。

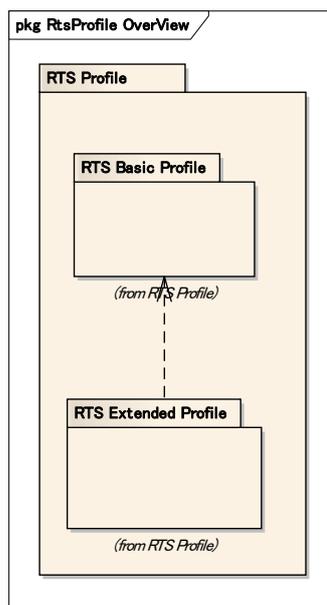


図 6 RTS Profile パッケージダイアグラム

それぞれのパッケージの主な役割は以下のとおりである。

- RTS 基本プロファイル (RTS Basic Profile)
- RTS 基本プロファイルは、RT システムの基本メタ情報を含む。
- RTS 拡張プロファイル (RTS Extended Profile)
- RTS 拡張プロファイルは、RT システムの本質的な機能にかかわらない付加的な情報や各種ツールでの利用を想定した情報を記述するために用意されているプロファイルである。

RTS プロファイルの PIM モデル全体図を図 7 に示す。

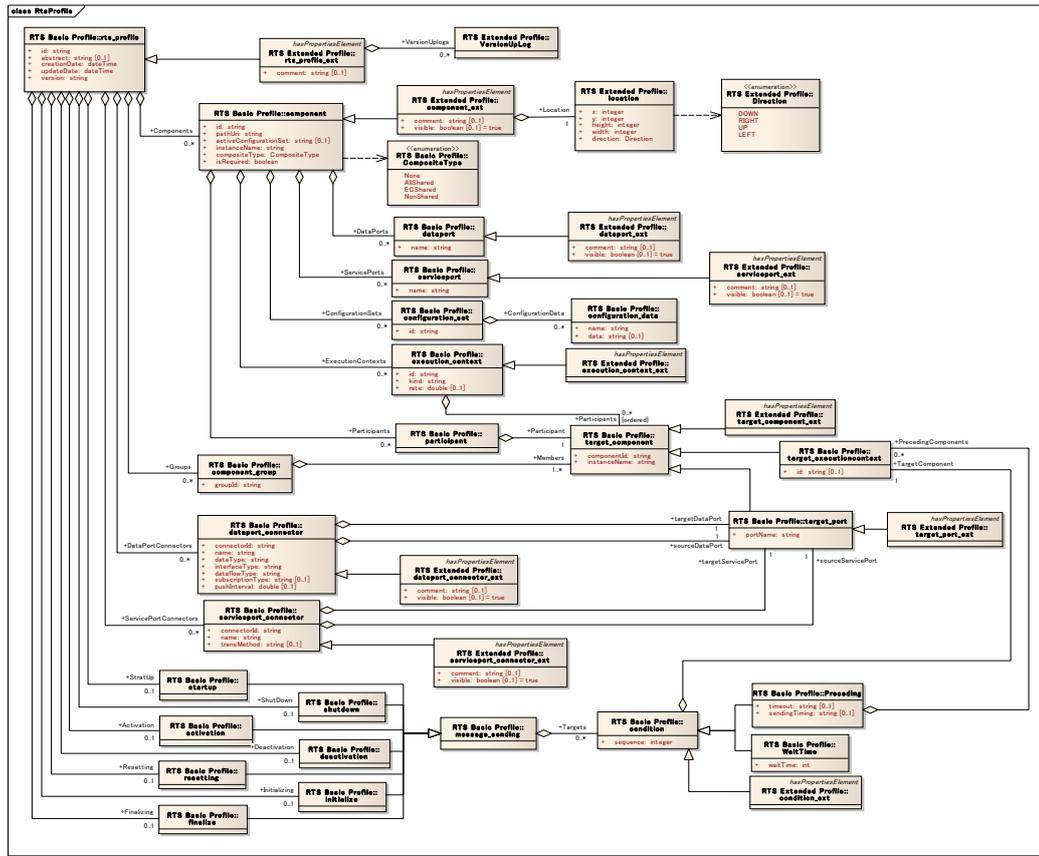


図 7 RTS Profile クラスダイアグラム (全体)

全 RTS Profile のうち、ここでは最も基礎となる `rts_profile` クラスについて概説する。

`rts_profile` は、RT システム仕様記述のルート要素である。また、仕様記述対象の RT システムを識別する ID 情報や RTC 仕様記述のバージョン情報を保持する。RTS プロファイル(PIM)の基本部分の拡大図を図 8 に示す。

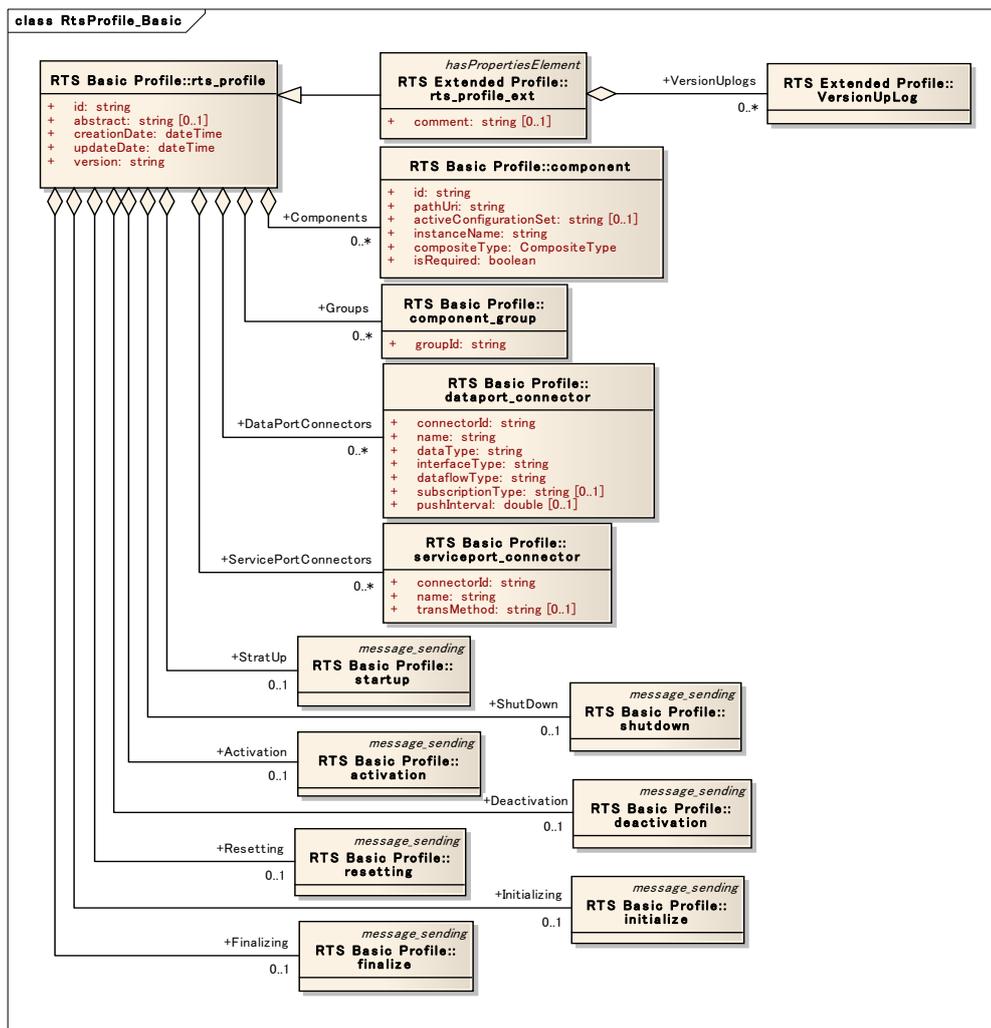


図 8 rts_profile クラスおよび関連部分

RT システム仕様記述の各種詳細情報は、rts_profile 要素以下の各要素に記述される (表 1)。

表 1 rts_profile 属性および関連

<i>rts_profile</i>			
attributes			
id	1		string
abstract	0..1		string
creationDate	1		dateTime
updateDate	1		dateTime
version	1		string
relationships			
Components	0..*		component

Groups	0..*	component group
DataPortConnectors	0..*	dataport connector
ServicePortConnectors	0..*	Serviceport connector
StartUp	0..1	startup
ShutDown	0..1	shutdown
Activation	0..1	activation
Deactivation	0..1	deactivation
Resetting	0..1	resetting
Initializing	0..1	initialize
Finalizing	0..1	finalize

- **id**:仕様記述対象の RT システムを一意に識別するための識別子を指定する。識別子の書式は、以下の構成とする。
- **RTSystem**: [ベンダ名]. [システム名]: [バージョン番号]
- **abstract**: この属性は RT システムに関する説明を指定する。省略可能属性。
- **creationDate**: この属性は当該 RT システム仕様の作成日時を指定する。必須属性。
- **updateDate**: この属性は当該 RT システム仕様の最終更新日時を指定する。必須属性。
- **version**: RT システム仕様記述自体のバージョン番号を指定する。

この他のクラス定義については、添付資料: RT システム仕様記述方式[3]を参照されたい。

プラットフォーム依存モデル

相互運用性を保証するために RTS Profile 仕様書では、XML (eXtensible Markup Language) および YAML (YAML Ain't Markup Language)の 2 種類のプラットフォーム依存モデル (PSM: Platform Specific Model) を定義している。

XML へのマッピングにおいて、基本型は以下のようにマッピングされる。

- string → xsd:string
- double → xsd:double
- integer → xsd:integer
- dateTime → xsd:dateTime
- boolean → xsd:boolean

また、パッケージと名前空間のマッピングは以下の通りに定義されている。

- RTS Basic Profile → rts
- RTS Extended Profile → rtsExt

詳細については、PIM 同様に添付資料：RT システム仕様記述方式[3]を参照されたい。

まとめ

策定した RT システム仕様記述方式はプロジェクト参加組織に対して公開すると共に、Web ページ (<http://www.openrtm.org>)において一般にも公開し、意見・要望などを調査した。本仕様記述方式は、RTSystemEditor や動力学シミュレータなどで使用され、ツール間のデータ連携に寄与している。RTS Profile の国際標準化活動に関して詳細は、次節の知能モジュール仕様記述方式のところで述べるが、RTS Profile および後述の RTC Profile を含め、RT コンポーネントの動的デプロイメントとコンフィギュレーションに関する各種データモデルやサービスインターフェースを標準化する取り組みを平成 20 年 12 月から OMG の Robotics DTF (Domain Task Force)・Infrastructure WG (Working Group)において行ない、DDC4RTC (RT コンポーネントに関する動的配置・設定に関する標準) の標準仕様策定作業における一次提案仕様に本仕様記述方式を取り入れた。

したがって、安定版のロボットシステム仕様記述方式を策定することができ、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開することができた。また、国際標準化組織である OMG で DD4RTC の一部として国際標準化がすすめられている。

参考文献

- [1] Object Management Group, “Robotic Technology Component Specification Version 1.0”, formal/2008-04-04, <http://www.omg.org/spec/RTC/>
- [2] “Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise Computing”, David S. Frankel, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-31920-1
- [3] 産業技術総合研究所 知能システム研究部門, 「RT システム仕様記述方式」 version 0.2, <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/943>

(a-2) 知能モジュール仕様記述方式

知能モジュール仕様記述方式は、RT コンポーネント化されたモジュール（知能モジュール等）のメタ情報及びその他の情報を含むデータ構造のための記述方式である。最終目標として、安定版の知能モジュール仕様記述方式を策定するとともに、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開する。また、OMG などの標準化組織での国際標準化を目指す。

RTC Profile 概要

大規模なシステム開発や、モジュールの再利用を想定したシステム開発では、モジュールの設計者・実装者と利用者が異なるケースを想定すべきである。したがって、実装者から利用者に対してモジュールの設計意図振る舞い、データ仕様・インタフェース仕様を正確に伝達出来なければならない。こうしたモジュールの設計情報であるプロファイル、ポート、コンフィギュレーションといった基本情報や、コンポーネントの振る舞いを記述できる知能モジュール仕様記述方式を定めた。これを RTC Profile と呼ぶ。

RTC Profile は、OMG RTC 標準で定められている RTC モデル[1] に基づき、RT コンポーネントのモデルを記述すると共に、形式的に記述できない設計者の意図や詳細な振る舞いに関する情報を記述するドキュメント記述および拡張記述が可能な形式とした。RTC Profile のユースケースとしては以下のものが考えられる。

RTC Profile の利用

RTC Profile 仕様記述方式で記述された仕様は、RT システム開発プラットフォーム OpenRTP を構成するツールチェーンにおいて、ツール間のデータ交換のための標準フォーマットとして利用することを想定した。図 9 に RTC 仕様ファイルを利用するツール群の相互関係を示す。

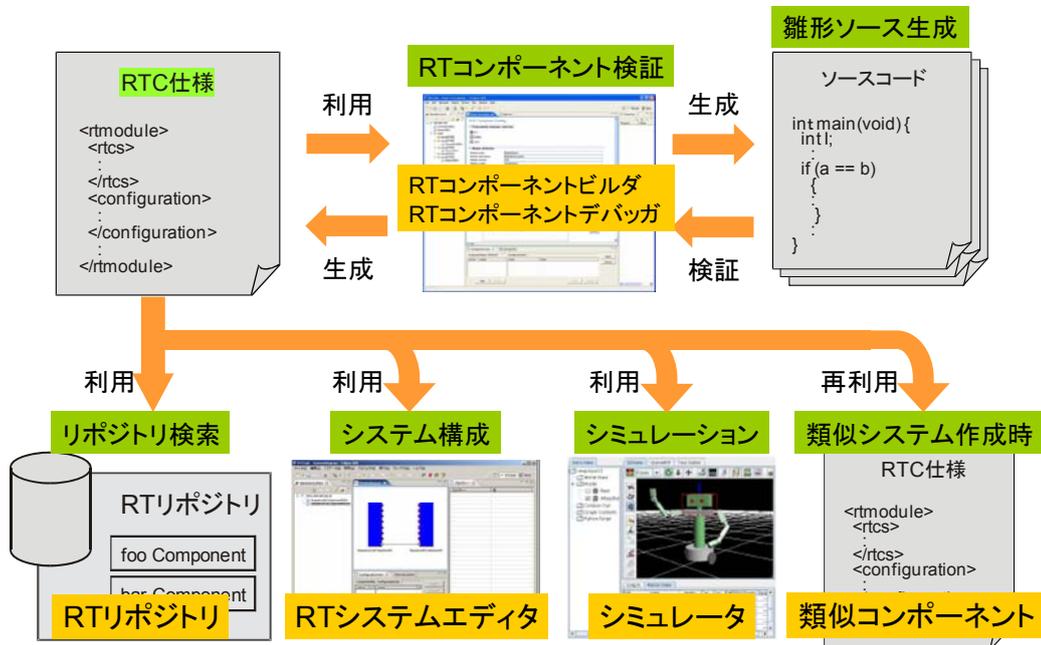


図 9 OpenRTP ツールチェーンにおける RTC 仕様の利用

RTC 仕様記述フォーマットとしての利用

システム設計時に、機能要素をモジュール分割し各要素の詳細設計を行う際の、各

モジュールの記述方式として利用する方法が考えられる。たとえば、UML でコンポーネントのモデルを記述し、その設計情報を XML 形式に変換し出力することで後述のコード生成の情報として利用する方法などが考えられる。

産総研が提供する RTC 設計ツール「RTCBuilder (図 10)」は Eclipse 上でモジュールの仕様を入力することで、XML 形式の RTC Profile を生成することができる。また、生成された RTC Profile から作成された複数の実装の RTC 同士は、基本的な設計情報が同じであるため、コンポーネントレベルでは相互に互換性のあるものとなる。

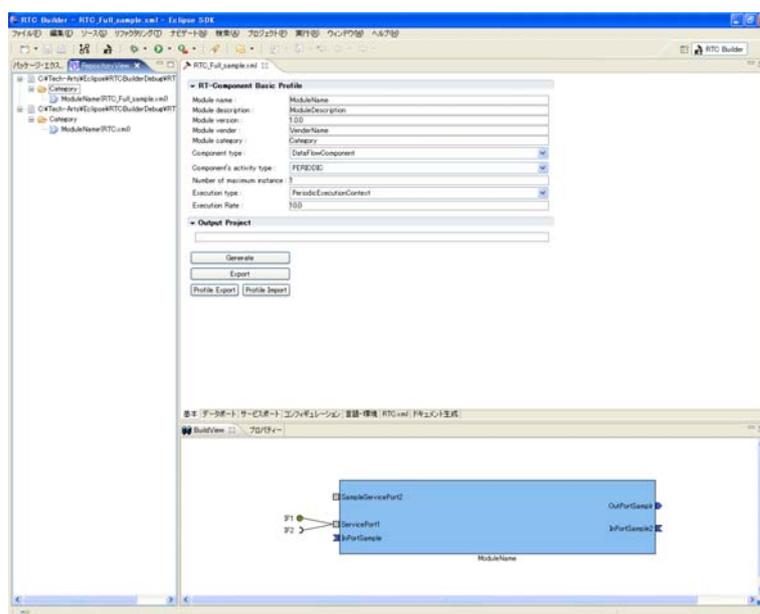


図 10 RTCBuilder の入力画面

コード生成のための情報として利用

RTC 仕様記述ファイルである RTC Profile には RTC のモデルに必要な情報がすべて含まれているため、この情報を元に RTC のひな型コードを生成することができる。新たな言語に対応した RT ミドルウェアが実装された場合でも、RTC モデルは共通であるので、この仕様記述方式に対応した新たなコードジェネレータを実装するだけで、既存の RTC 仕様から新言語に対応したコード生成を容易に行うことができる。本仕様記述方式は OMG RTC Specification[1] の PIM で定義されている要素をすべて含んでいる。したがって、OMG RTC Specification の PIM に基づき、CORBA 以外のプラットフォーム上に構築されたミドルウェアが実装された場合でも、本仕様記述方式で記述された RTC のモデルは有効であり、コードジェネレータなども容易に実装可能である。

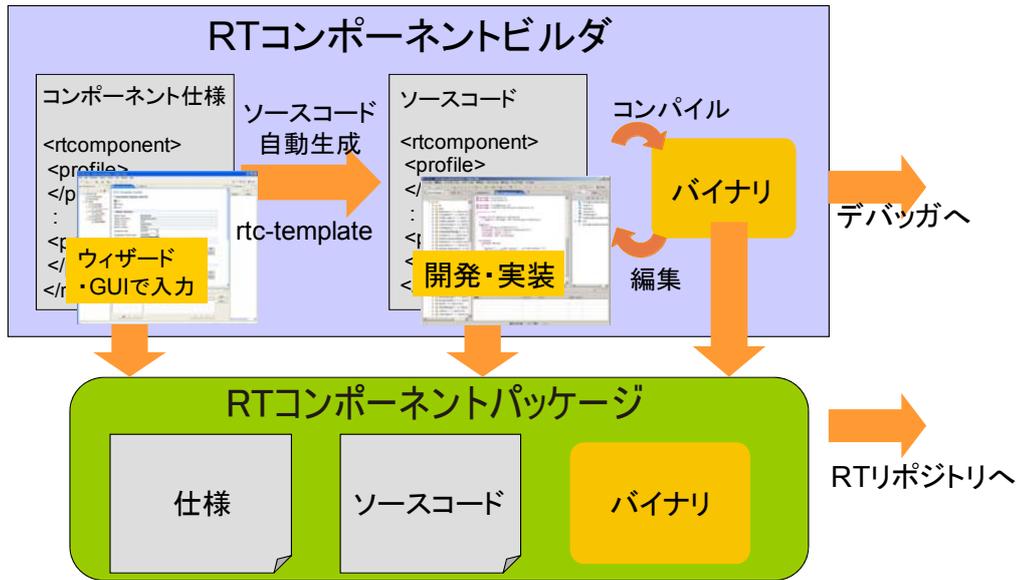


図 11 RTC ビルダによるコード生成と開発

産総研が提供する RTC ビルダでは、RTC の仕様入力による RTC 仕様記述ファイル (XML 形式) の生成と同時に、C++、Java、Python 用 OpenRTM-aist のコード生成を行うことができる (図 11)。

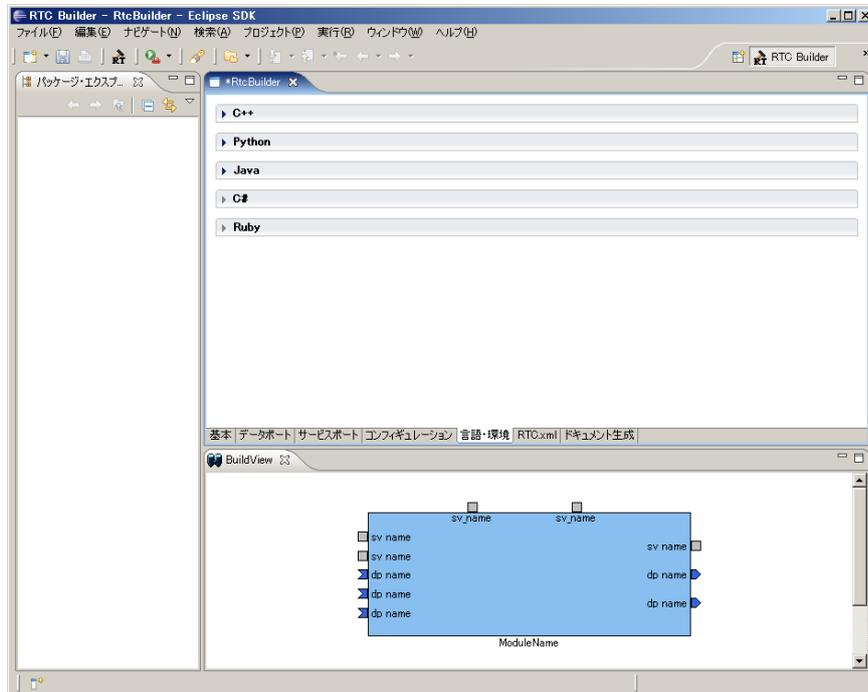


図 12 RTC ビルダの言語選択画面

RTC ビルダは、RTC 仕様記述に基づき、OpenRTM-aist の C++、Java および Python の RT コンポーネントのひな型コードを生成することができる（図 12）。作成されたコンポーネントは外部から見た際には同一のコンポーネントとして見える。コンポーネントを動作させる OS や利用可能な言語、実行速度、依存ライブラリなどの制約条件に合わせて実装言語を自由に選択することができる。

システム構成時に利用

RTC を実装する前の段階で、システム構成を行う作業に RTC Profile を利用することができる。図 13 は RTSystemEditor のオフラインエディタ画面である。オフラインエディタでは、実際にコンポーネントが起動していない状態でも、RTC 仕様を読み込みエディタ画面に RTC を表示、RTC を接続しシステムを構築することができる。RTC 仕様には、システム構築に必要な RTC プロファイルの情報が含まれているので、エディタには RTC のデータポートやサービスポートの数やそれぞれのプロファイル情報とともに、RTC をアイコンで表示し、ポートの接続や、コンフィギュレーション・パラメータの設定などの操作を行い、希望するシステム構成をオフラインで編集することが可能である。

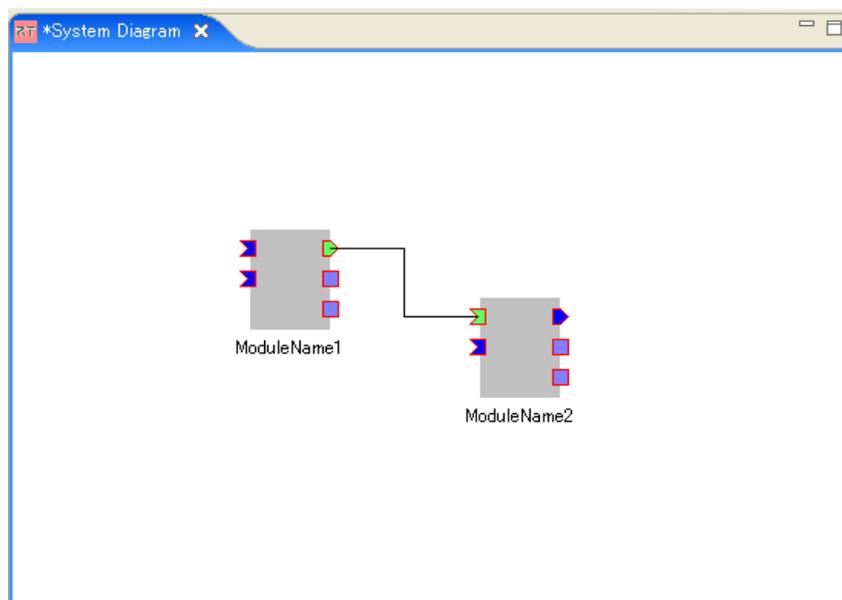


図 13 オフラインシステムエディタの編集画面

RTC リポジトリにおける検索情報として利用

RTC リポジトリは、RTC をサーバ上に蓄積し、必要な時に必要なコンポーネントを検索・ダウンロード・配置を行うための機能を提供するサーバである。RTC リポジトリにおいては、各コンポーネントは RTC の仕様、すなわち RTC Profile に基づいて登録・管理・分類することが可能である。

RTC Profile とともに登録されたコンポーネントは、利用者がコンポーネントを検索する際に入力する検索キーとマッチングを行い、リポジトリが適切なコンポーネントを利用者に提示する。

また、システム運用時には、コンポーネントの配置およびコンフィギュレーションを行うある種のアプリケーションプログラムが、システム仕様記述ファイルを解釈し、コンポーネントを選択、リポジトリサーバから適切なコンポーネントをダウンロード・配置・設定してシステムを起動することも可能である。このように、適切なコンポーネントを選択する際の情報として、RTC Profile を利用可能である。

既存仕様の再利用

すでに存在するコンポーネントと類似のコンポーネントを作成する際には、既存の RTC Profile を参照することで、より再利用性の高いコンポーネントを作成することができる。

例えば、ある種のセンサをコンポーネント化したものがすでにあり、そのデータポート、サービスポート、コンフィギュレーション・パラメータなどが再利用性の高い設計となっているとする。同種のより高性能なセンサが発売された場合、既存のセンサコンポーネントと同等の仕様でコンポーネントを作成することにより、すでにこのセンサコンポーネントが利用されているシステムにおいて、新たなセンサコンポーネントに置き換えることが容易にできるようになる。

ドキュメントとして利用

モジュールの再利用性を向上させるには、インタフェースの適切な定義と、十分なドキュメントを提供することが肝要である。モジュールの開発者と利用者が異なる場合や、モジュールのソースコードが提供されていない場合などを含め、モジュール利用者がモジュールの内部を詳細に調べなくても利用できるだけの十分な情報を提供することで、モジュールの再利用性は向上する。

RTC Profile にはプロファイル情報を記述する RTC Basic Profile とともに、RTC Basic Profile には記述しきれないセマンティックな情報を含めて RTC のドキュメント記述を支援する RTC Document Profile が定義されている。たとえば RTC Document Profile 内の doc_baisc::algorithm と呼ばれる要素には、そのコンポーネントが提供する機能やそれを実現するアルゴリズムを記述することで、利用者に対してモジュールがどういったアルゴリズムに基づき動作するかといった意図を伝える。また、doc_action::{description, precondition, postCondition}はそれぞれ、コンポーネントの Lifecycle State におけるそれぞれのアクションでどういった動作が行われるか、そのときの事前条件・事後条件といった意図を記述する。データポートやコンフィギュレーション・パラメータの Basic Profile ではそれらの名前や型に関

する情報が定義されるが、Document Profile ではそれらのデータの単位や意味といった情報を記述することができる。このように、RTC 仕様記述方式では、モジュール再利用のために利用者に対して必要かつ十分な情報を提供するための要素が数多く定義されている。

Document Profile を含む RTC 仕様の XML ファイルを、適当なテキストプロセッサに通すことで、人間が読みやすい形式に変換することも可能である。たとえば、RTC Profile の XML ファイルを、ドキュメント生成ツールである doxygen フォーマットに変換することで、HTML や LaTeX あるいは man 形式に変換しモジュール利用者に提供するなどの利用法も考えられる。図 14 に Doxygen により自動生成された RT コンポーネントのドキュメント例を示す。

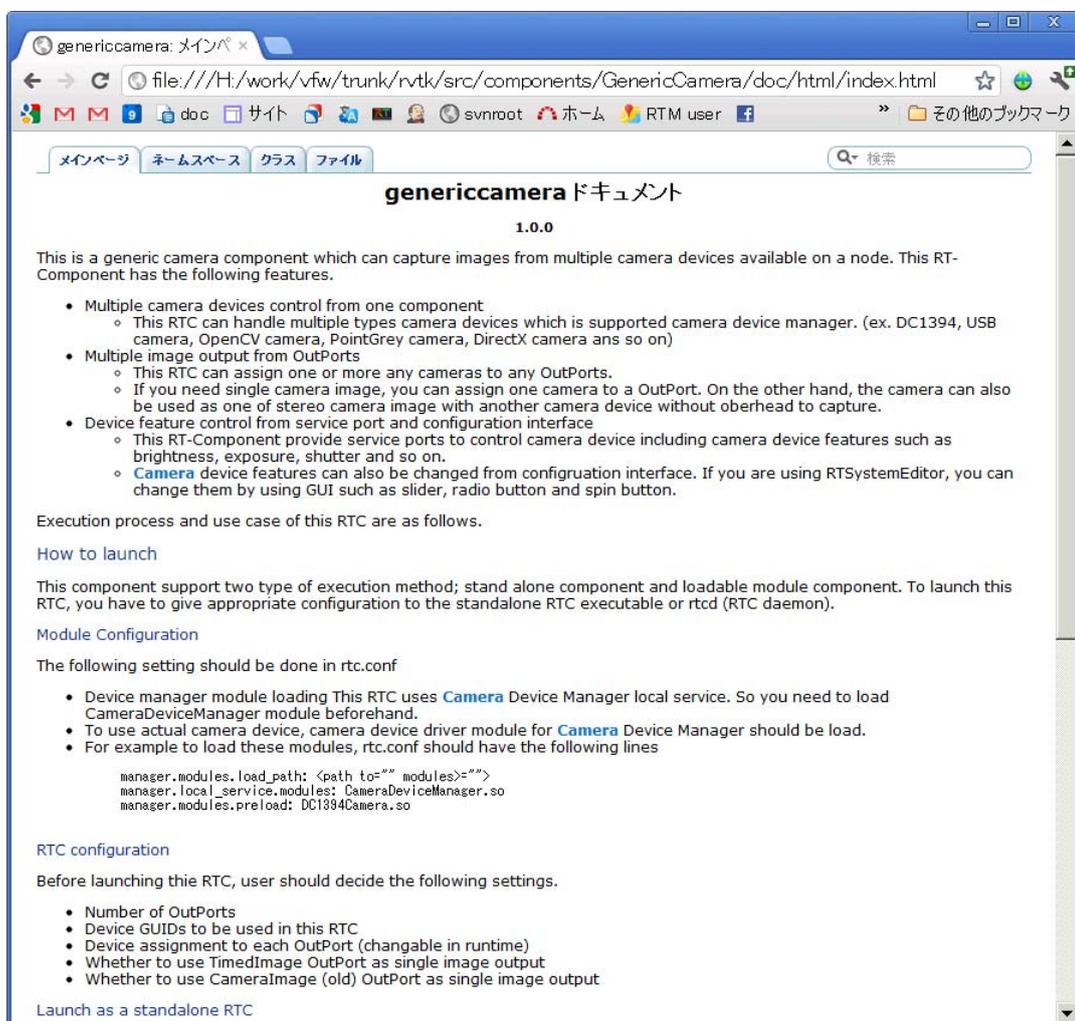


図 14 Doxygen により自動生成された RT コンポーネントのドキュメント

RTC Profile モデル

以上、RTC Profile の利用例を示したが、上述の用途以外にもコンポーネント仕様を記述したファイルが存在すれば、コンポーネントの静的・動的検証を含めたテストコードの自動生成、トレーサビリティの確保、パッケージの自動化等、様々な利用方法が考えられる。仕様の記述方式については上述の RTS Profile 同様、MDA を採用した。

RTC Profile プラットフォーム非依存モデル

プラットフォーム非依存モデル (Platform Independent Model: 以後 PIM とする) は特定の言語や記述フォーマットに依存しないソフトウェアまたはデータのモデルであり、その実体は UML で記述されたモデル図と詳細を記述した文書から構成される。

PIM は以下の 3 つのパッケージから構成される:

- **RTC Basic Profile.** RTC の基本的なコンポーネントモデルを記述する際に必要な情報を定義する。RTC の基本プロファイルおよびポートやコンフィギュレーション情報がこれに含まれる。
- **RTC Extended Profile.** RTC Basic Profile に含まれないオプションな雑多な情報や各種ツールでの利用を想定した情報を記述するためのデータ構造を定義する。
- **RTC Documentation Profile.** 上記プロファイル情報以外に、詳細な仕様を文書として記述するためのデータ構造を定義する。

図 15 に、上記 3 つのパッケージの関係を示す。

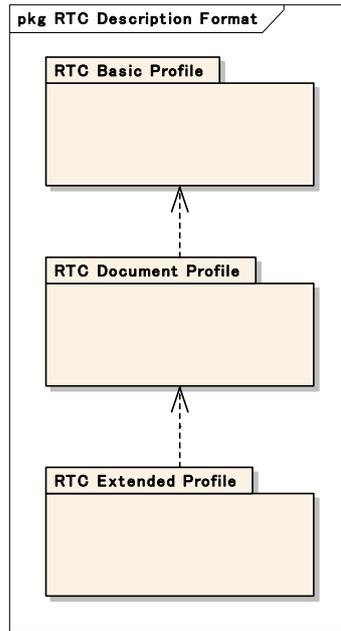


図 15 RTC Profile パッケージダイアグラム

RTC プロファイルは、ロボット用コンポーネントの各種属性を定義するデータモデルである。RTC プロファイルの PIM の全体図を図 16 に示す。また、プロパティ情報に関するクラスの部分を図 17 に、各種制約情報を表現するための要素に関するクラス図を図 18 にそれぞれ示す。

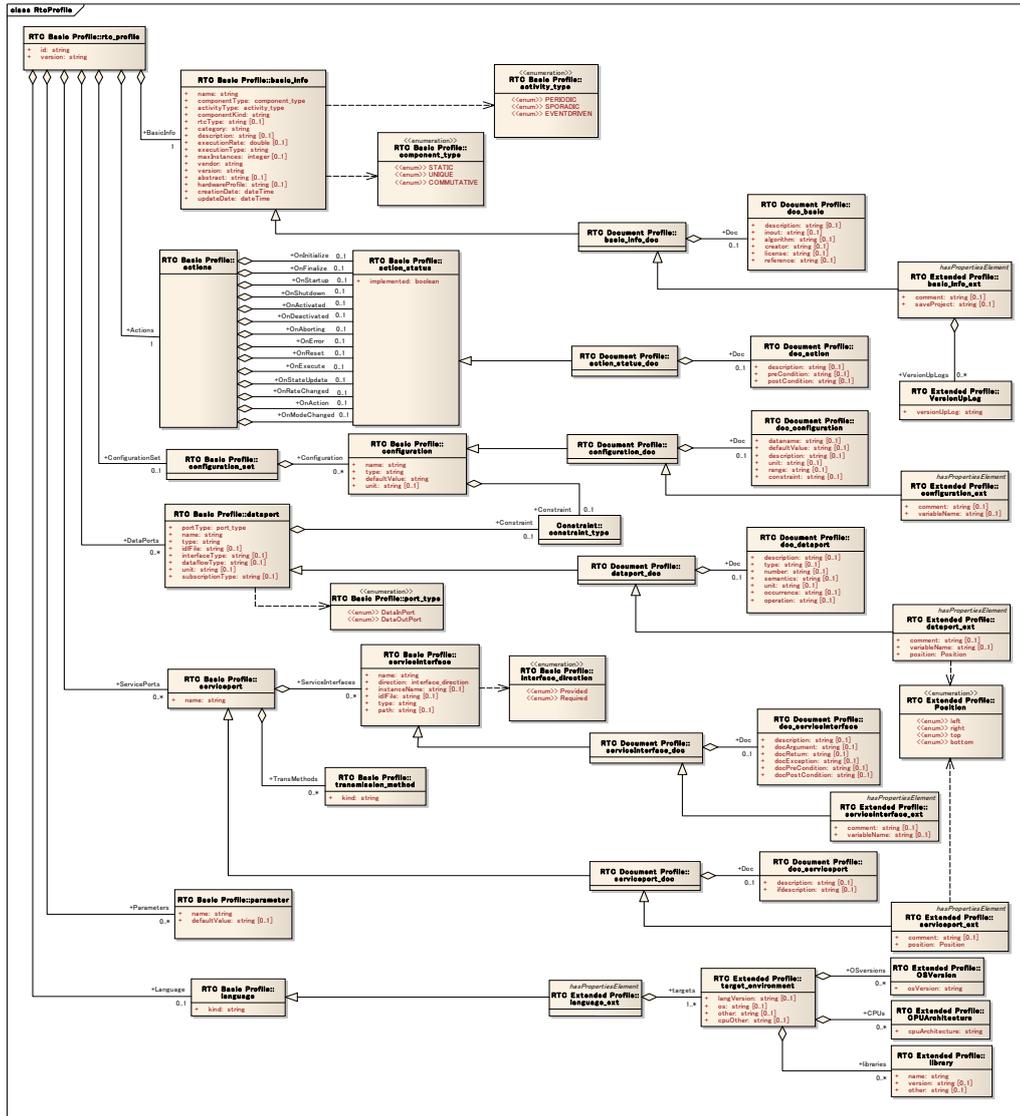


図 16 RTC Profile クラスダイアグラム (全体図)

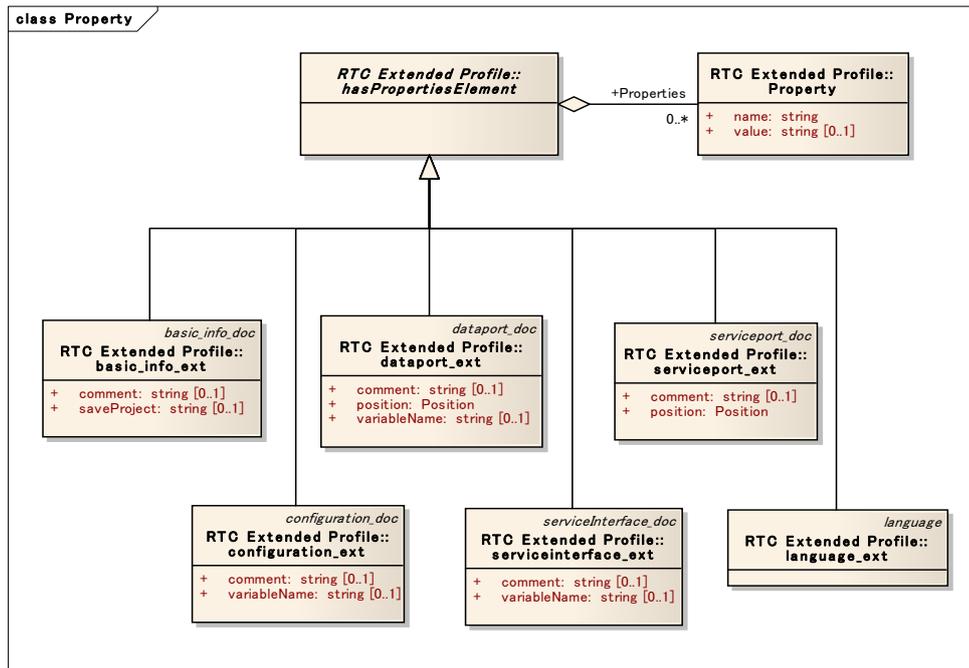


図 17 RTC Profile(プロパティ部分)

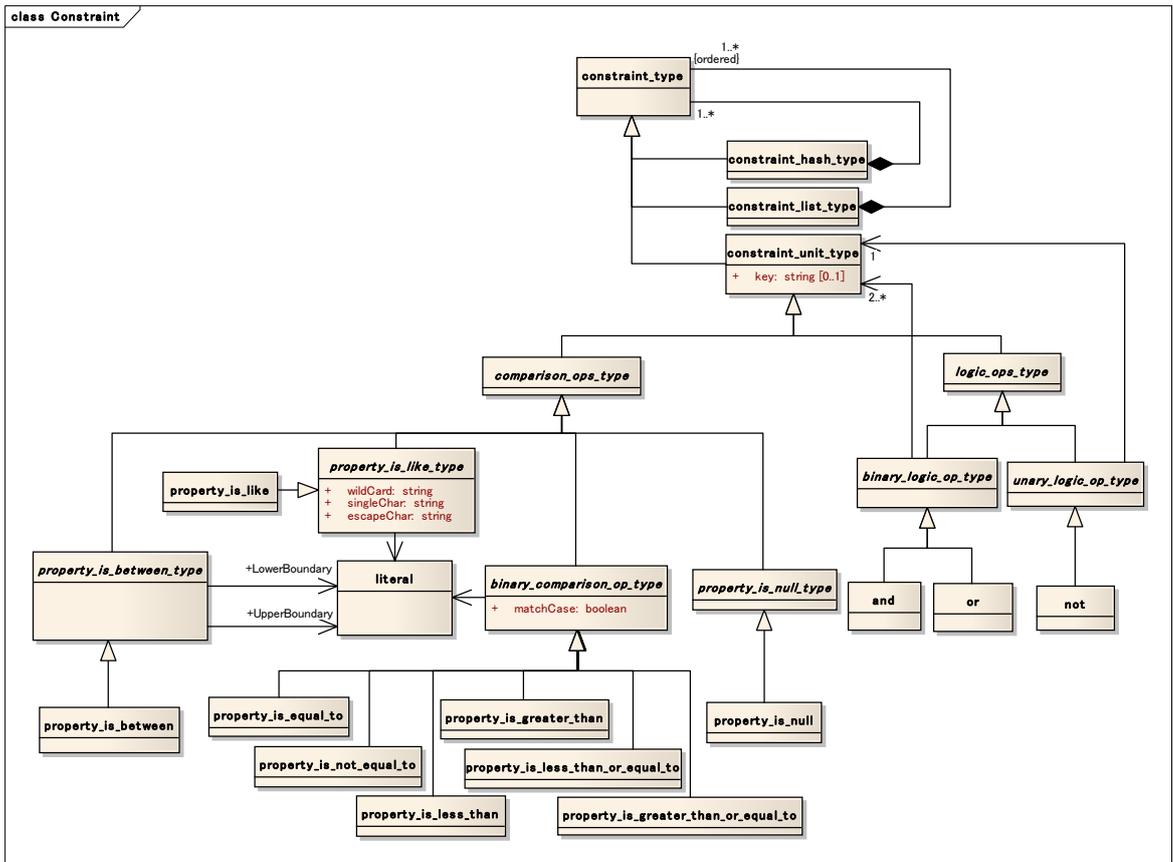


図 18 RTC Profile (制約部分)

全 RTC Profile のうち、ここでは最も中心となる `rtc_profile` クラスについて概説する。`rtc_profile` は、モジュール仕様記述のルート要素であり、仕様記述対象の RTC を識別する ID 情報や RTC 仕様記述のバージョン情報を保持する。`rtc_profile` (PIM) の基本部分の拡大図を図 19 に示す。

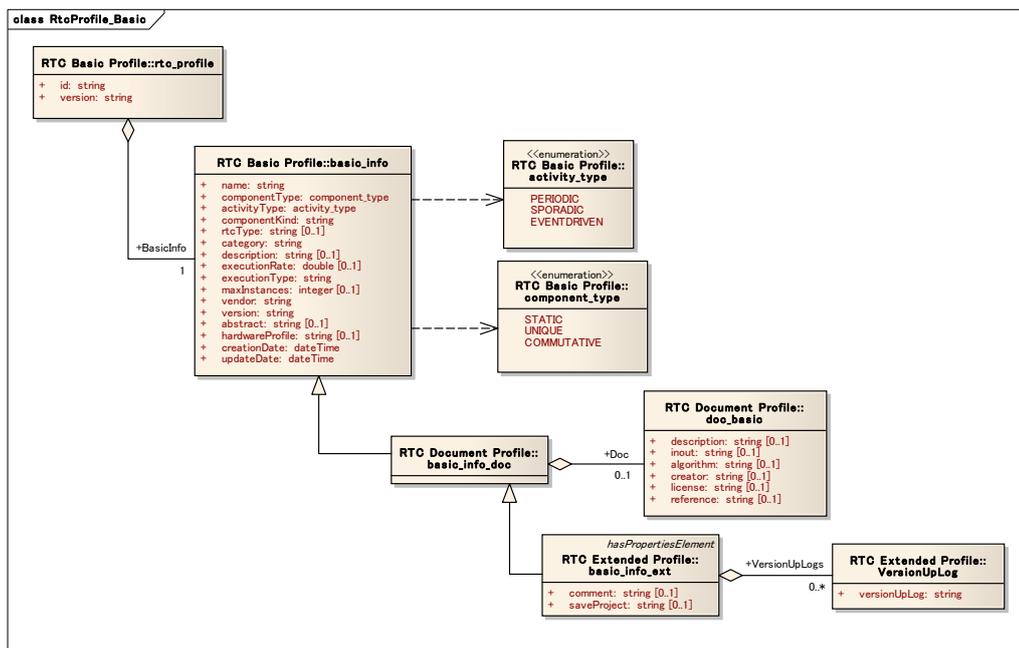


図 19 rtc_profile (コンポーネント記述)

rtc_profile は、RTC 仕様記述のルート要素である。また、仕様記述対象の RTC を識別する ID 情報や RTC 仕様記述のバージョン情報を保持する。RTC 仕様記述の各種詳細情報は、rtc_profile 要素以下の各要素に記述される。以下に rtc_profile の属性を示す (表 2)。

表 2 rtc_profile 属性および関連

<i>rtc_profile</i>		
attributes		
id	1	string
version	1	string
relationships		
BasicInfo	1	basic info
Actions	1	actions
ConfigurationSet	0..1	configuration set
DataPorts	0..*	dataport
ServicePorts	0..*	serviceport
Parameters	0..*	parameter
Language	0..1	language

- id : 仕様記述対象の RTC を一意に識別するための識別子を指定する。識別子の書式は以下の構成とする。RTC : [ベンダ名] : [カテゴリ名] : [コン

ポーネント名]: [バージョン番号]

- version : RTC 仕様記述自体のバージョン番号を指定する。
- basic_info : basic_info は RTC の基本情報を記述する要素である。以下に basic_info の内容を示す (表 3)。

表 3 basic_info 属性

<i>basic_info</i>		
attributes		
name	1	string
componentType	1	component type
activityType	1	activity type
componentKind	1	string
rtcType	0..1	string
category	1	string
description	0..1	string
executionRate	0..1	double
executionType	1	string
maxInstances	0..1	integer
vendor	1	string
version	1	string
abstract	0..1	string
hardwareProfile	0..1	string
creationDate	1	dateTime
updateDate	1	dateTime
no relationships		

この他のクラス定義については、添付資料：RTC 仕様記述方式[2]を参照されたい。

プラットフォーム依存モデル

相互運用性を保証するために RTC Profile 仕様書では、RTS Profile 仕様書同様 XML (eXtensible Markup Language) および YAML (YAML Ain't Markup Language) の 2 種類のプラットフォーム依存モデル (PSM: Platform Specific Model) を定義している。

XML へのマッピングにおいて、基本型は以下のようにマッピングされる。

- string → xsd:string
- double → xsd:double
- integer → xsd:integer
- dateTime → xsd:dateTime
- boolean → xsd:boolean

また、パッケージと名前空間のマッピングは以下の通りに定義されている。

- RTC Basic Profile → rtc
- RTC Document Profile → rtcDoc
- RTC Extended Profile → rtsExt

詳細については、PIM 同様に添付資料：RTC 仕様記述方式[2]を参照されたい。

標準化活動

活動概要

上述の RTS Profile および RTC Profile を含め、RT コンポーネントの動的デプロイメントとコンフィギュレーションに関する各種データモデルやサービスインターフェースを標準化する取り組みを平成 20 年 12 月から OMG の Robotics DTF (Domain Task Force)・Infrastructure WG (Working Group)において行なってきた。同規格に関心を持つ韓国の ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute) とともに、平成 22 年 6 月 (米国・ミネアポリスミーティング) に標準仕様公募文書：Dynamic Deployment and Configuration for RTC (DDC4RTC) RFP (Request for Proposal) を提出し、標準仕様の提案募集を開始した。同年 12 月 (米国・サンタクララミーティング) に産総研、ETRI それぞれが DDC4RTC RFP に対する初期提案 (Initial Submission) を行なった。その後、両提案を統合するための議論を重ね、平成 24 年 3 月 (米国・ワシントンミーティング) の OMG 技術会議に提出された。MARS (Middleware And Related Systems) PTF (Platform task Force)に於いて原案は承認されたものの、標準作業部会 (AB: Architecture Board) において、事前提出からの修正点が多く、Board Member が十分に審議できる時間を確保できていないとして、次回平成 24 年 6 月 (米国・ケンブリッジミーティング) に再提出するよう勧告された。Board Member からの指摘を修正し、次回再提出する予定である。次回の AB において承認されれば、最終文書化委員会 (FTF : Finalization Task Force) を開始し、1 年間の標準仕様文書の整合性・実現可能性の検討を経た上で標準仕様として策定・一般公開される見込みである。

DDC4RTC 標準仕様概要

DDC4RTC 仕様は RTC の動的デプロイメント、すなわちコンポーネントのノードへの配置と設定を行うための標準規格である。OMG ではすでにコンポーネントの配置 (デプロイメント) および設定 (コンフィギュレーション) を行うための標準規格：DEPL (Deployment and Configuration of Component-Based Distributed Applications) [3] が策定されている。しかしながら、この標準では例えば図 20 のようなロボットシステムに特有なシステムの動的構成変更についてはサポートしておらず、想定しているコンポーネントモデルも RTC とは若干異なる。DDC4RTC

では DEPL に対して RTC に準拠したコンポーネントモデルをサポートするための若干の拡張と、動的システム構成変更のための仕組み (SupervisorFSM および ApplicationSupervisor) を付加した。

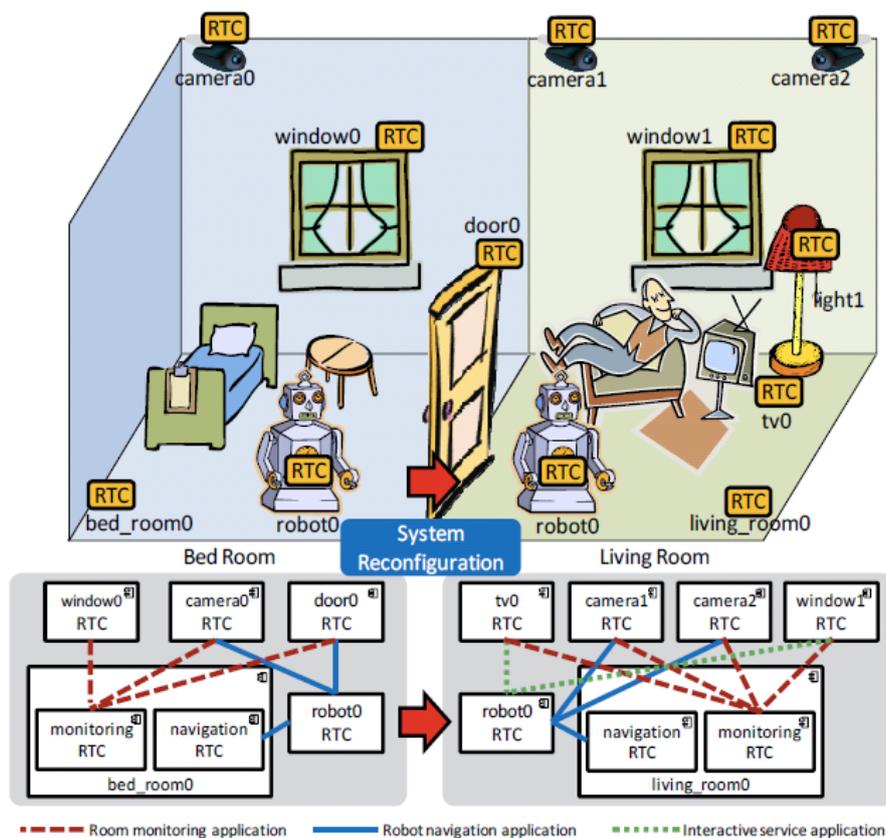


図 20 DDC4RTC が想定する動的システム

SupervisorFSM は多数のコンポーネントを監視しつつ、システム状態ごとに割り当てられた RTS Profile を各種イベントに応じて切り替え、システム構成の変更を行う。SupervisorFSM の基本的概念図を図 21 に示す。

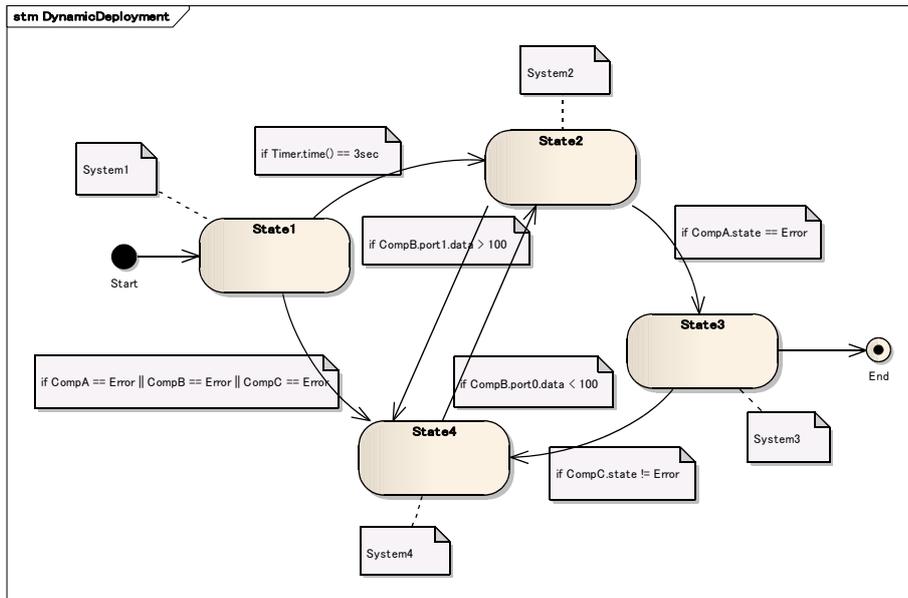


図 21 RT システムの動的構成変更の概念図

図 22 に DEPL 標準仕様と DDC4RTC 標準仕様の関係を示す。

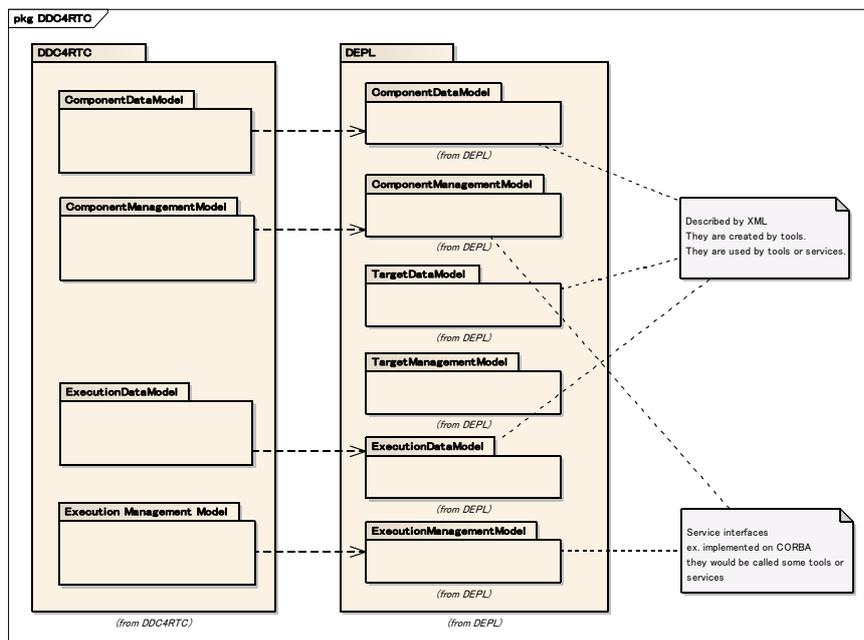


図 22 パッケージダイアグラム : DDC4RTC 標準と DEPL 標準の関係

統合仕様案は DEPL 標準を参照しつつ、拡張・追加した部分についてのみ記述されている。RTS Profile や RTC Profile 同様に MDA に基づき、PIM (プラットフォーム非依存モデル) と PSM (プラットフォーム依存モデル) に分けて定義されている。以下に統合仕様案の目次を示す。

1	Scope	8.4	Execution Data Model
2	Conformance	8.4.1	SupervisorFSM
3	Normative References	8.4.2	FSMState
4	Terms and Definitions	8.4.3	InitialState
5	Symbols	8.4.4	FinalState
6	Additional Information	8.4.5	Transition
6.1	Changes to Adopted OMG Specifications	8.4.6	Event
6.2	Acknowledgements	8.4.7	TransitionEvent
7	Introduction	8.5	Execution Management Model
7.1	Dynamic Deployment and Configuration	8.5.1	ApplicationSupervisor
7.1.1	Supervisors	8.5.2	Relation to the DEPL ApplicationManager
7.1.2	Target Environment	8.5.3	DirectoryManager
8	Platform Independent Model	9	Platform Specific Models
8.1	Overview	9.1	UML-to-IDL Transformation
8.2	Component Data Model	9.1.1	Basic Types and Literals
8.2.1	ComponentInstanceType	9.1.2	Classes and Interfaces
8.2.2	ComponentKind	9.1.3	Enumerations
8.2.3	ExecutionType	9.1.4	Packages
8.2.4	ActivityType	9.2	CORBA PSM
8.2.5	ComponentAction	9.2.1	Generic Transformation Rules
8.2.6	RTComponentActionDescription	9.2.2	Sequence of String
8.2.7	RTCImplementationDescription	9.2.3	Primitive Types
8.2.8	RTComponentPortDescription	9.2.4	Mapping to IDL
8.2.9	RTCPortInterfaceDescription	9.2.5	DEPL
8.2.10	PortInterfaceInstanceType	9.2.6	Notification Service
8.2.11	PortInterfacePair	Annex A:	XML Schema and IDL
8.2.12	RTCSubcomponentPortEndPoint		
8.3	Component Management Model		
8.3.1	Repository Manager		

コンポーネントデータモデル

RT コンポーネントの仕様を記述するデータモデルを、コンポーネントデータモデル (Component Data Model) と呼び DEPL のコンポーネントデータモデルを拡張する形で定義している。これは上述の RTC Profile を元に定義されており、RTC 特有のコールバックの実装に関する属性や、バージョン、作成・更新日時、コンポーネントのタイプ等を記述できるようになっている。図 23 にコンポーネントデータモデルのクラス図を示す。

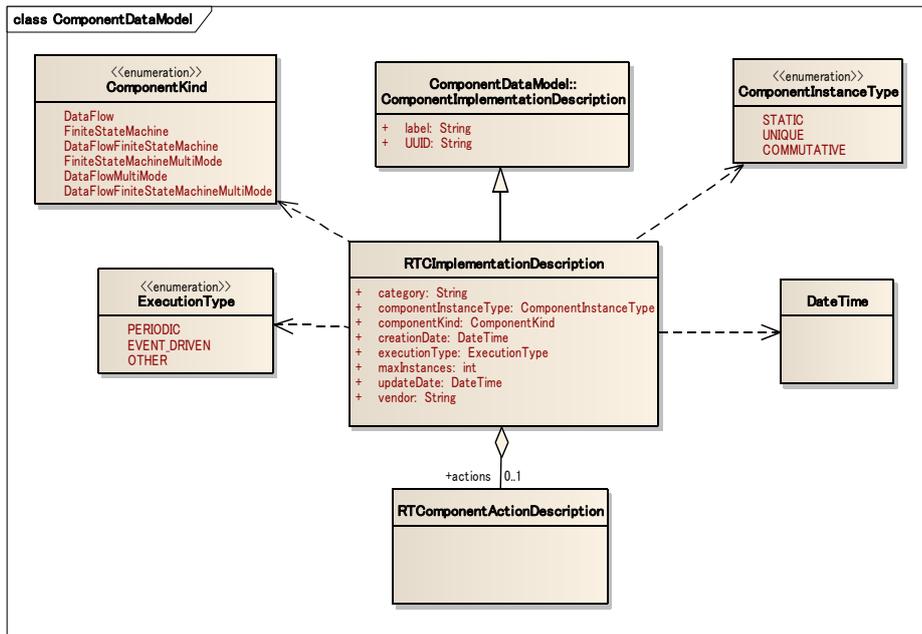


図 23 コンポーネントデータモデル (Component Data Model)

DEPLにおけるポートと、RTCにおけるポートは若干モデルが異なる。図 24 に示すように、DEPLでは、サービスインターフェースそのものをポートと呼び、インタフェース自体がコンポーネントに直接的に属している。一方 RTC においては、すべてのサービスインターフェースはポートと呼ばれる接続を管理する端点となるオブジェクトに属しており、複数のインタフェースをまとめて一つの相互作用端点と見ることができるようになっている。

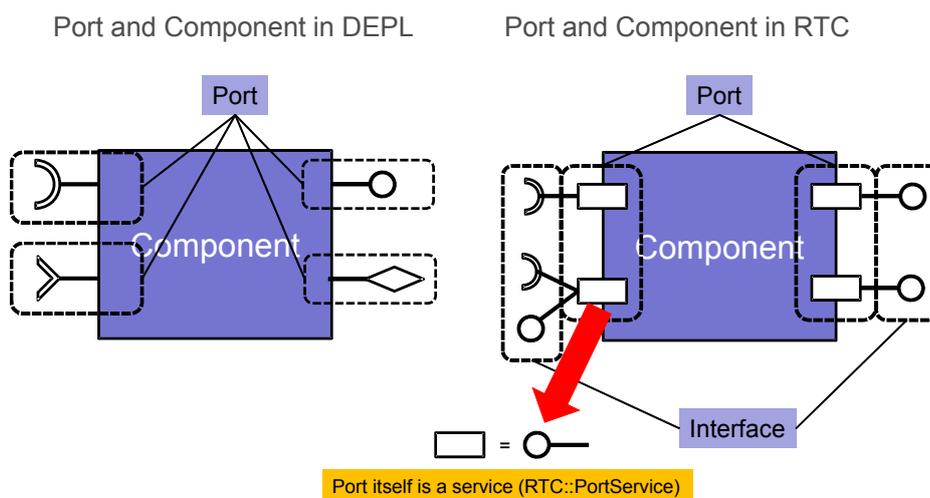


図 24 DEPL と RTC のポートの違い

このようなコンポーネントモデルの若干の差を吸収するために、図 25 に示すように、既存のポート記述に対して拡張を施している。

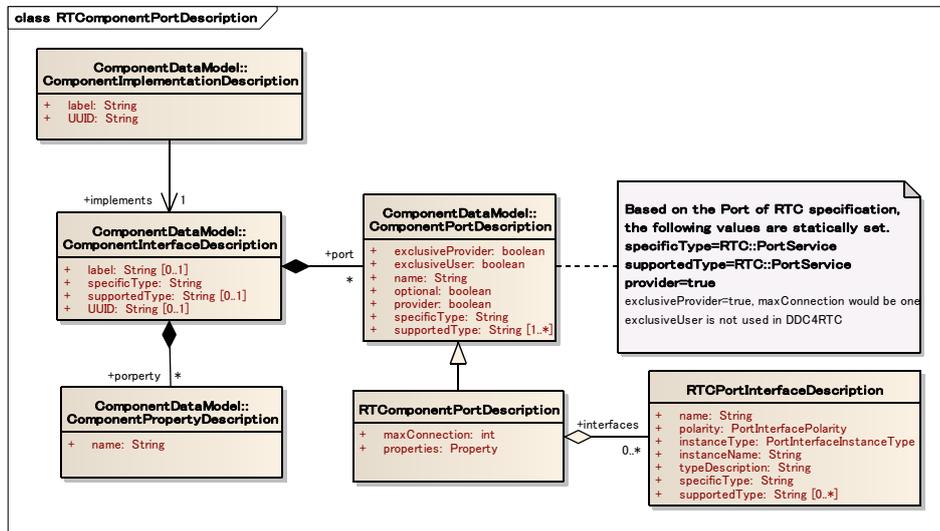


図 25 RTComponentPortDescription クラス図

以上により、DEPL を用いて RTC モデルに基づくコンポーネントを扱うことが可能となった。

ApplicationSupervisor

ApplicationSupervisor はシステムが受け取った何らかのイベントに応じて、事前に定義された状態遷移を行い、システム構成の動的変更を行うためのサービスの一種である。図 26 に ApplicationSupervisor のクラス図を示す。コンポーネントの管理を行う DEPL の ApplicationManager とシステム外からのイベント通知を受信するための NotificationService の StructuredPushConsumer を継承して実現されている。

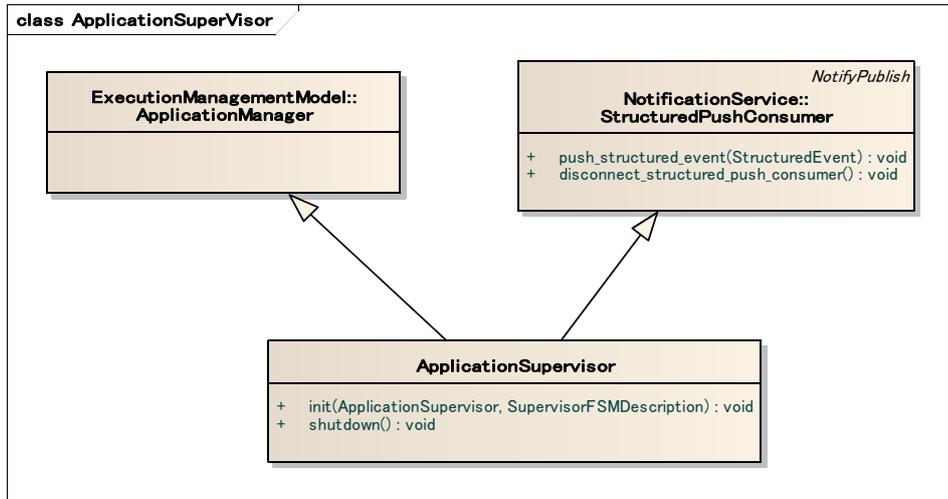


図 26 ApplicationSuperVisor クラス図

図 27 に ApplicationSuperVisor のシーケンス図を示す。何らかのイベントが発生すると、内部で管理する状態を遷移させ、遷移に割り当てられたシステム構成を起動するために、コンポーネントの起動、ポート間の接続の切断と再接続、コンフィギュレーション・パラメータの設定等を自動で行う。

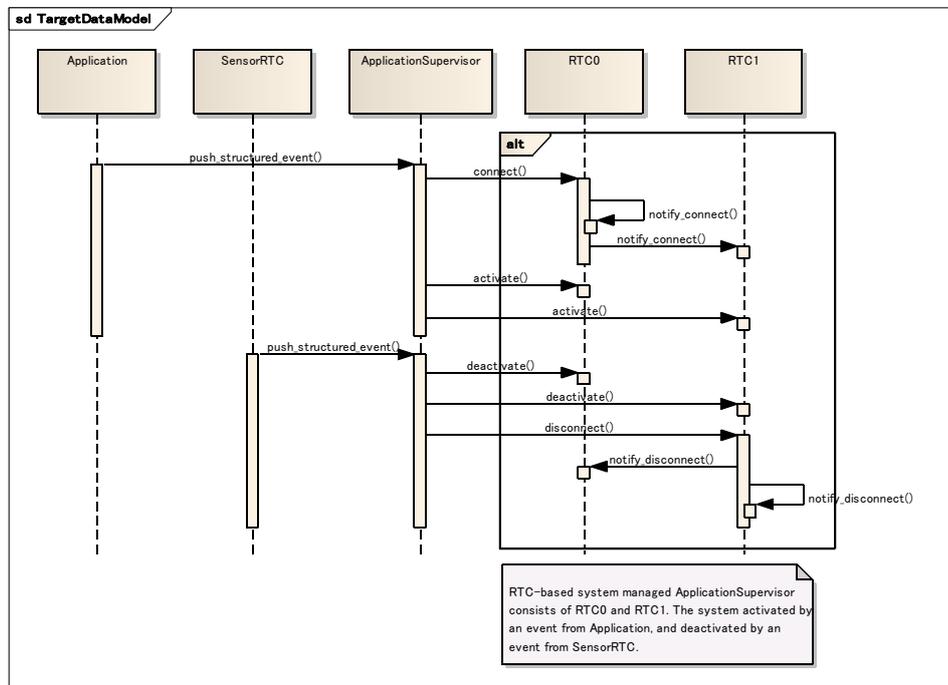


図 27 ApplicationSuperVisor のシーケンス図

プラットフォーム依存モデル

DDC4RTC においては、XML および CORBA IDL の PSM を仕様として提供する予定である。

まとめ

策定した RTC 仕様記述方式はプロジェクト参加組織に対して公開すると共に、Web ページ (<http://www.openrtm.org>)において一般にも公開し、意見・要望などを調査した。本仕様記述方式は、RTCBuilder や RTSystemEditor などで使用され、ツール間のデータ連携に寄与している。RTC Profile の国際標準化活動に関して詳細は、上述の標準化活動の項目で述べたように、RTS Profile および後述の RTC Profile を含め、RT コンポーネントの動的デプロイメントとコンフィギュレーションに関する各種データモデルやサービスインターフェースを標準化する取り組みを平成 20 年 12 月から OMG の Robotics DTF (Domain Task Force) ・ Infrastructure WG (Working Group)において行ない、DDC4RTC (RT コンポーネントに関する動的配置・設定に関する標準) の標準仕様策定作業における一次提案仕様に本仕様記述方式を取り入れた。

したがって、安定版の知能モジュール仕様記述方式を策定することができ、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開することができた。また、国際標準化組織である OMG で DDC4RTC の一部として国際標準化がすすめられている。

参考文献

- [1] Object Management Group, “Robotic Technology Component Specification Version 1.0”, formal/2008-04-04, <http://www.omg.org/spec/RTC/>
- [2] 産業技術総合研究所 知能システム研究部門, 「RTC 仕様記述方式」 version 0.2, <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/943>
- [3] Object Management Group, “Deployment and Configuration of Component-Based Distributed Applications”, formal/06-04-02, <http://www.omg.org/spec/DEPL>

(a-3) ハードウェア仕様記述方式

ハードウェア仕様記述方式は、RT コンポーネントに関連付けられたデバイスに関する種々の情報であり、RT コンポーネントのメタ情報の拡張情報に関する記述方式である。この情報は、RT コンポーネント作成時、シミュレーション時、システム構成時などに利用される。ハードウェア情報として、

- デバイスメタ情報

- データ型、意味、単位、分解能
- 出力レンジ、定格（センサデバイス等）
- 入力レンジ、定格（アクチュエータ等）
- 機構モデル（構造・形状・物理パラメータ）

等を記述することにした。最終目標としては、安定版のハードウェア仕様記述方式を策定するとともに、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開することである。

記述方式の検討

内部委員会にてハードウェア仕様記述方式を検討するとともに、全体委員会に対してハードウェア仕様記述方式草案を提示し意見交換を行った。草案では記述方式は2つの記述方式で構成することとした。センサ、アクチュエータ等のハードウェアコンポーネントの仕様に関する記述方式とそれらをつリー状に組み上げることによって定義される一体のロボットハードウェアの記述方式である。

ハードウェアコンポーネント記述方式

この記述方式はモータや各種センサなどロボットハードウェアを構成するハードウェアコンポーネントの仕様を記述するものであり、これをハードウェアコンポーネント（HWC）プロファイルと呼ぶ。HWCプロファイルは全てのHWCに関して共通の属性から構成される基本プロファイル部分と、HWCの種類別に定義される拡張プロファイルからなる。

基本プロファイルはHWCを一意に識別するための識別子を構成するベンダ名等の情報と動力学シミュレーションを行う際に必要となる質量、重心位置などの動力学パラメータおよび形状データから成る。

拡張プロファイルは以下の各種HWCそれぞれに特有のパラメータで構成される。

- 1 Motor
- 2 Gear
- 3 Accelerometer
- 4 Gyrometer
- 5 ForceSensor
- 6 Camera
- 7 RangeFinder
- 8 RangeFinder2D
- 9 Power

例えば Motor に関してはトルク定数、ロータ抵抗、ロータ慣性等のパラメータが、Camera に関しては画角や画素数等のパラメータが定義される。

以上のハードウェアコンポーネントプロファイルは XML 形式でファイルに格納さ

れる。

ロボットハードウェア記述方式

この記述方式はロボットのリンク機構の構造や各リンクの物理パラメータ等をつり構造として記述していくものである。

記述方式のベースとしては、科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進「次世代ロボット共通プラットフォーム技術の確立」において平成 19 年度末に開発を完了した「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」OpenHRP3 のモデルファイルを採用することとした。このベースに対して、

- A) ファイルのエンコーディングをどのように行うか
- B) ハードウェアコンポーネントの仕様記述をどのように組み込むかの検討を行った。

エンコーディングに関しては、

- A) VRML97+ プロトタイプ定義による拡張
- B) X3D(XML に対応した VRML97 後継規格)+ プロトタイプ定義による拡張
- C) 独自タグ定義の XML 記述

を候補として検討を行った。当初、比較的新しい標準規格である X3D の採用を検討したが、これには以下のような問題があったため、採用を見送った。

- A) 仕様が肥大化しており、対応にコストがかかる。
- B) X3D では、仕様の肥大化に付随する問題を避ける意図で、あらかじめいくつかの Subset 仕様がその大きさに関して段階的に定義されており、対応ツールは必要に応じて対応 Subset を選ばばよいとしている。しかし、モデルファイルで必要となるプロトタイプ定義が使える Subset は定義されている中でも大きいものになってしまっており、プロトタイプを使おうとすると結局肥大化した仕様を扱う必要が生じる。また、X3D を出力するツールが必ずしも小さいほうの Subset を出力するとも限らない。
- C) XML 記述においてプロトタイプ定義したノードを使う際には、記述が非常に煩雑になってしまう。これは X3D として XML のタグを定義した以上、X3D のファイルである ためには、ユーザは独自のタグを使うことはできないからである。
- D) 2004 年に ISO の国際標準規格として承認されているが、その後のツール類の対応状況は VRML97 よりも悪い。これに関しては、A) の問題も関連していると思われる。

X3D のこの状況と比較すると、VRML97 は比較的扱いやすく、従来の OpenHRP シミュレータでの使用実績もあるため、これを採用することとした。ただし、XML 記述されたハードウェアコンポーネント情報を組み込むための拡張が必要になる。

これに関しては、ハードウェアコンポーネント情報を記述したファイルへのリンクを張るための **Hardware-Component** ノードを定義することにより対応した。仕様記述方式の統一性を考えると、他の仕様記述が採用する XML による記述とするメリットも大きい。ただし XML に対応した X3D については上で述べた問題があるため、独自にタグを定義した XML によってモデルファイルのエンコーディングを行うことが考えられる。

Modelica の検討

前節で述べた草案を作成した段階で、同様のメカトロシステムの記述する言語として Modelica という言語が存在することが判明した。Modelica とは機械、電気、油圧、熱などのマルチドメインに対応したモデリング言語であり、非営利国際組織である Modelica 協会によって言語仕様の策定やメンテナンスが行われており、その標準ライブラリはフリーで公開されている。Modelica を採用しているシステムとしては CATIA Systems, Dymola, LMS AMESim, MapleSim 等が存在する。既存の仕様が十分な記述能力を持っているのであれば、その仕様に基づいて作成されているツール群の利用が可能となるため、Modelica の調査を行った。その結果十分な記述能力を持つことがわかったが、一方で従来の資産が継承できなくなる問題が発生することが予想されたため採用を見送った。

IDL によるハードウェア仕様記述

以上のように XML や Modelica などの特定のファイルフォーマットを用いたハードウェア仕様の記述方式を検討してきたが、特定のファイルフォーマットに記述方法を限定してしまうと、従来の資産が使用出来なくなるという問題が発生するため、ハードウェアの仕様記述自体はより抽象度の高いレベルで定義し、実際のファイルフォーマットへのマッピングは実装によって実現することとした。

仕様記述の記述言語として IDL(Interface Definition Language)を用い、記述方式を以下のように定義した。

```
module OpenHRP {
  /// ShapelInfo へのインデックス。ShapelInfo に対しては transformMatrix
  ///に格納された座標変換を適用する。
  struct TransformedShapelIndex {
    /// 変換行列。4x4 同次変換行列の上 3 行分を Row Major Array で格納したもの。
    DbfArray12      transformMatrix;
    /**
      本構造体が LinkInfo に格納されている場合、LinkInfo の
```

```

        inlinedShapeTransformMatrices へのインデックスを格納する。形状がモデルファイルにおいて inline ノードとして別ファイルに記述されている場合、inline ノードを読み込む側における変換のみを集積した行列とする。inline ノードが使われていない場合は -1 とする。
    */
    short inlinedShapeTransformMatrixIndex;
    short    shapelIndex;
    ///< BodyInfo::shapes における ShapelInfo のインデックス。
};
typedef sequence<TransformedShapelIndex> TransformedShapelIndexSequence;
typedef          sequence<TransformedShapelIndexSequence>
AllLinkShapelIndexSequence;

/// センサ情報を格納する構造体。
struct SensorInfo{
    /*
        センサの種類を表す文字列。現在のところ、以下が定義されている。
        "Force"          - 6 軸力センサ
        "RateGyro"       - レートジャイロセンサ
        "Acceleration" - 加速度センサ
        "Vision"        - ビジョンセンサ
        "Range"          - 距離センサ
    */
    string          type;
    string          name;          ///< 本センサの識別名
    long            id;            ///< センサの種類ごとのセンサ ID
    DbIArray3       translation;    ///< センサ設置位置(リンク座標系相対)
    DbIArray4       rotation;      ///< センサ設置姿勢(リンク座標系相対)
    FloatSequence  specValues;     ///< 各種仕様値
    string          specFile;      ///< 仕様記述ファイル名

    ///< 本リンクに対応する形状情報の変換行列付きインデックス列
    TransformedShapelIndexSequence shapelIndices;
    DbIArray12Sequence inlinedShapeTransformMatrices;
};
typedef sequence<SensorInfo> SensorInfoSequence;

```

```

/// ハードウェアコンポーネント情報を格納する構造体
struct HwclInfo{
    string      name;          ///< 本 HWC の識別名
    long        id;           ///< HWC の種類ごとの ID
    DbIArray3    translation;  ///< HWC 設置位置(リンクローカル座標)
    DbIArray4    rotation;    ///< HWC 設置姿勢(リンクローカル座標)
    string      url;          ///< HWC プロファイルの URL

    /// 本 HWC に対応する形状情報の変換行列付きインデックス列
    TransformedShapelIndexSequence shapelIndices;
    DbIArray12Sequence inlinedShapeTransformMatrices;
};
typedef sequence<HwclInfo> HwclInfoSequence;

/// セグメントの情報を格納する構造体。複数個のセグメントノードを持つリンク
/// を GUI から編集するために使用
struct SegmentInfo{
    string      name;          ///< セグメント名
    double      mass;          ///< 質量
    DbIArray3    centerOfMass;  ///< 重心位置
    DbIArray9    inertia;      ///< 慣性行列
    DbIArray12    transformMatrix;
    sequence<short> shapelIndices; ///< < TransformedShapelIndex のインデックス列
};
typedef sequence<SegmentInfo> SegmentInfoSequence;

/// 各リンクの情報を格納する構造体。
struct LinkInfo{
    string      name;          ///< リンク名
    short        jointId;      ///< 関節識別値
    string      jointType;     ///< 関節タイプ
    double      jointValue;    ///< 関節初期値
    DbIArray3    jointAxis;    ///< 関節軸(リンクローカル座標)
    DbISequence  ulimit;       ///< 最大関節値
    DbISequence  llimit;       ///< 最小関節値
};

```

```

DbISequence  uvlimit;      ///< 最大関節速度値
DbISequence  lvlimit;     ///< 最小関節速度値
DbIArray3    translation; ///< ローカル座標系原点(親リンク相対)
/// ローカル座標系姿勢(親リンク相対)。回転軸(x, y, z) + 回転角度の並びの
/// サイズ 4 の配列
DbIArray4    rotation;
double      mass;         ///< 質量
DbIArray3    centerOfMass; ///< 重心位置
DbIArray9    inertia;     ///< 慣性行列
double      rotorInertia; ///< ロータ慣性
double      rotorResistor; ///< ロータ抵抗
double      gearRatio;    ///< ギア比
double      torqueConst;  ///< トルク定数
double      encoderPulse; ///< エンコーダパルス
short       parentIndex;  ///< 親リンクインデックス
ShortSequence childIndices; ///< 子リンクインデックス列

/// 本リンクに対応する形状情報の変換行列付きインデックス列
TransformedShapeIndexSequence shapeIndices;
short AABBmaxDepth; ///< 形状データの AABBtree の階層の深さ + 1
short AABBmaxNum;   ///< 形状データの AABBtree の BoundingBox の最大個数
/// shapeIndices の inlinedShapeTransformMatrixIndex によって指し示される
/// 行列リスト
DbIArray12Sequence inlinedShapeTransformMatrices;
SensorInfoSequence sensors; ///< 本リンクに設置されたセンサの情報
HwcInfoSequence hwcs;
SegmentInfoSequence segments;
/// アクチュエータ・ギア等の仕様記述ファイル名リスト
StringSequence specFiles;
};
typedef sequence<LinkInfo> LinkInfoSequence;
/// 物体形状情報を格納する構造体。
enum ShapePrimitiveType { SP_MESH, SP_BOX, SP_CYLINDER,
                          SP_CONE, SP_SPHERE, SP_PLANE };
struct ShapeInfo{
/**

```

本 Shape が VRML の inline ノード内に格納されている場合は、inline されている VRML ファイルへのパスを格納する。inline ではなく直接メインの VRML ファイル内に形状が記述されていた場合は、本フィールドは空とする。

*/

string url;

/**

オリジナルの VRML モデルファイルにおけるプリミティブの種類を表す。クライアントは描画においてこの情報を利用することができる。ただし、primitiveType が MESH 以外のときも、プリミティブをメッシュに展開した際の幾何データ(vertices など)は持っているものとする。

*/

ShapePrimitiveType primitiveType;

/**

primitiveType が MESH 以外のとき、プリミティブの形状に関わるパラメータを格納する。各プリミティブにおける配列要素とパラメータの対応は以下とする。

- BOX 0-2: x, y, z のサイズ

- CYLINDER 0: radius, 1: height, 2: top, 3: bottom, 4: side

bottom, side, top については値が 0 のとき false、それ以外は true とする。

(CONE に関しても同様。)

- CONE 0: bottomRadius, 1: height, 2: bottom, 3: side

- SPHERE 0: radius

*/

FloatSequence primitiveParameters;

/// 表面メッシュを構成する頂点データ。連続する 3 要素が頂点位置の 3 次元

/// ベクトルに対応する。

FloatSequence vertices;

/**

表面メッシュを構成する三角形における頂点の組み合わせを格納したデータ。各要素は vertices に格納された頂点のインデックスを表し、連続する 3 要素によってメッシュを構成する三角形を指定する。メッシュ構成面は必ず三角形で表現されるものとする。なお、メッシュの表裏を区別する必要がある場合は、連続する 3 要素が反時計回りとなる面を表とする。

*/

LongSequence triangles;

```

    /// 本 Face に対応する AppearanceInfo の BodyInfo::appearances における
    /// インデックス。
    long appearanceIndex;
};
typedef sequence<ShapelInfo>      ShapelInfoSequence;
/// 表面の見え情報を格納する構造体。
struct AppearanceInfo{
    /// 本 Appearance に対応する MaterialInfo がある場合、BodyInfo::materials
    /// におけるインデックス。なければ -1。
    long          materialIndex;
    /**
        法線データ。連続する 3 要素を x, y, z とし、一法線ベクトルに対応。
        この配列のサイズが 0 の場合、法線はクライアントが必要に応じて生成し
        なければならない。
    */
    FloatSequence normals;
    /**
        法線対応付けデータ。normalPerVertex が true なら、ShapelInfo の
        vertices の並びと対応させる。normalPerVertex が false なら、ShapelInfo
        における三角形ポリゴンの並びと対応させる。normals があって
        normalIndices のサイズが 0 の場合、normals の要素を頂点または面に 1 対 1
        対応させる。
    */
    LongSequence  normalIndices;
    boolean       normalPerVertex;
    boolean       solid;
    float         creaseAngle;
    /**
        色データ。連続する 3 要素を R,G,B とし一色に対応。各要素の値の範囲は 0 か
        ら 1.0。この配列のサイズが 0 の場合、色は materialInfo のものになる。
    */
    FloatSequence colors;
    /**
        色対応付けデータ。colorPerVertex が true なら、ShapelInfo の vertices の
        並びと対応させる。colorPerVertex が false なら、ShapelInfo における三角
        形ポリゴンの並びと対応させる。colors があって colorIndices のサイズが 0

```

の場合、colors の要素を頂点または面に 1 対 1 対応させる。

```
*/
LongSequence colorIndices;
boolean colorPerVertex;
/// テクスチャデータ。BodyInfo::textures におけるインデックス。
/// 対応するテクスチャがなければ、-1。
long textureIndex;
FloatSequence textureCoordinate;
LongSequence textureCoordIndices;
DbfArray9 textransformMatrix;
};
typedef sequence<AppearanceInfo> AppearanceInfoSequence;
/**
    表面材質情報を格納する構造体。各要素は VRML の Material ノードと同様。
    全ての変数の値の範囲は 0.0 ~ 1.0。
*/
struct MaterialInfo{
    float ambientIntensity;
    FloatArray3 diffuseColor;
    FloatArray3 emissiveColor;
    float shininess;
    FloatArray3 specularColor;
    float transparency;
};
typedef sequence<MaterialInfo> MaterialInfoSequence;
/// テクスチャ情報を格納する構造体。各要素は VRML の PixelTexture ノードと同様。
struct TextureInfo{
    /**
        テクスチャの画像イメージ。VRML の SFImage から、先頭の width, height,
        num components を除いたものと同様。width, height, num components に対
        応する値は本構造体の width, height, numComponents で指定。元のデータ
        が url 指定の場合は、url フィールドに画像ファイルの位置が格納される。こ
        の場合、モデルローダ側で画像の展開が行われなかった場合は、image フィ
        ールドのサイズは 0 となっており、クライアントはファイル名からテクスチ
        ャを獲得する必要がある。image フィールドのサイズが 0 でなくて、url
        のサイズも 0 でない場合は、クライアントは好きな方のやり方でテクスチ
```

```

        ヤ画像を獲得すればよい。
    */
    OctetSequence image;
    short          numComponents;
    short          width;
    short          height;
    boolean        repeatS;
    boolean        repeatT;
    string         url;
};

typedef sequence<TextureInfo> TextureInfoSequence;
/// 形状データ一式を格納するオブジェクト。
interface ShapeSetInfo{
    /**
        表面の形状と見えの情報を格納する ShapeInfo のシーケンス。LinkInfo に
        おいて、Link に対応する情報が本シーケンスのインデックスとして指定さ
        れる。
    */
    readonly attribute ShapeInfoSequence shapes;
    /// Appearance 情報のシーケンス。ShapeInfo において、本シーケンスの
    /// インデックスが指定される。
    readonly attribute AppearanceInfoSequence appearances;
    /// Material 情報のシーケンス。AppearanceInfo において、本シーケンスの
    /// インデックスが指定される。
    readonly attribute MaterialInfoSequence materials;
    /// Texture 情報のシーケンス。AppearanceInfo において、本シーケンスの
    /// インデックスが指定される。
    readonly attribute TextureInfoSequence textures;
};
/// 物体モデル情報へのアクセスを提供するインタフェース。
interface BodyInfo : ShapeSetInfo{
    readonly attribute string name; ///< モデル名
    readonly attribute string url; ///< モデルファイルの URL
    /// Humanoid ノードにおける info フィールドに記述されたテキスト。
    readonly attribute StringSequence info;
    /**

```

リンクの機構情報を全リンクについて格納したデータ。本シーケンスにおける LinkInfo の並びは、linkIndex(モデルファイルにおける JointNode 出現順。 jointId とは異なる。)の順。

```
*/
readonly attribute LinkInfoSequence links;
/**
    リンクに対応する ShapelInfo のインデックス配列を、全てのリンクに関して
    格納した配列。リンクの並びは linkIndex の順とする。
*/
readonly attribute AllLinkShapelIndexSequence linkShapelIndices;
};
interface SceneInfo : ShapeSetInfo{
    readonly attribute string url; ///< 形状ファイルの URL
    ///< LinkInfo の shapelIndices と同じ
    readonly attribute TransformedShapelIndexSequence shapelIndices;
};
};
```

まとめ

本記述方式は、動力学シミュレータと共に一般に公開・配布されており、本プロジェクトで開発した動力学シミュレータ、ハードウェア設計支援ツール、移動動作設計ツールは本記述方式に基づいて実装されている。これらのツールは具体的なファイルフォーマットとしては VRML97 を用いている。また、これまでに東京大学、ゼネラルロボティクス(株)により COLLADA へのマッピングも実装が行われている。

(a-4) シナリオの記述方式

作業シナリオとは、時間及びイベントによりシステム構成を動的に変更しつつ、ロボットに一連の動作を行わせ目的作業を達成するための、ロボットの動きや手順を記述したファイルである。具体的には動作設計ツールにより生成される「動作記述」と、シナリオ設計ツールにより生成される「動作制御記述」に分けられる。

(A) 動作記述

「動作記述」はデータを主体とした記述方式であり、作業シナリオ中から呼び出

されるロボットのある定められた動作（動作パターン）の記述方式を定めるものである。基本的には、対象とするロボットの各関節の角度軌道を全関節分記述する。動作記述方式の策定に当たっては、本プロジェクトの各研究項目実施機関で開発、使用されるモジュール群での利用を勘案し、またそれらの機関での試用からのフィードバックを活用する。最終目標は、安定版の動作記述方式を策定するとともに、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開することである。

概要

「動作記述」はデータを主体とした記述方式であり、作業シナリオ中から呼び出されるロボットのある定められた動作（動作パターン）の記述方式を定めるものである。

本仕様の策定は開発項目のひとつである「動作パターン設計ツール」の開発を通して行った。ツールにおける動作パターンデータの保存・読み込み機能の実装を通して開発することで、実際の利用において扱いやすく効率的な記述方式を定めるとというのがそのねらいである。

実際に策定した記述方式の概要は以下の通りである。

- 基本フォーマットとして **YAML** を採用
- **YAML** において構造化されたノードとして、ロボットの関節角軌道やリンクの位置姿勢の軌道、およびそれらの属性を記述する。
- 各データのタイプは特定の文字列によって認識され、新たなタイプのデータを容易に追加し運用できる設計としている。

基本フォーマット

本項目の目的を達成するためには、**CSV** 形式のような単なるデータの羅列ではなく、何らかのかたちで構造化された記述方式であることが必要となる。これについて、新たな構造化フォーマットを考案することも考えられなくはないが、それよりは既に広く使われている構造化フォーマットを採用し、その上に動作記述のためのフォーマットを構築する方が、記述の理解や運用を容易にするにあたって有効である。

そのような基本とする構造化フォーマットの候補としては、当初 **XML** が最有力であった。何故なら、**XML** は **Web** を中心として既に広く使われているよく知られたフォーマットであり、読み書きのためのライブラリも充実しており、その構造化記述能力も本項目の目的を達成するにあたって十分なものであったからである。

しかしながら、実際に動作パターン設計ツールにおいて **XML** 形式での動作保存・読み出し機能の実装を進めたところ、**XML** 形式を採用した場合以下のような

問題があることが判明した。

- DOM, SAX 等の API に基づく標準的な XML 読み込みライブラリを用いた読み込み処理のプログラミングは実際には大変煩雑で多くのコーディングを要する。
- 上の問題とも関連して、ファイルの読み込みは比較的重い処理となってしまう。
- 実際の XML のテキストファイルは人間が読みやすく編集しやすいものではない。

このような問題が生じる大きな理由は、XML がもともとマークアップ言語として設計されたものであることによる。マークアップ言語は基本的に、何らかのデータ（テキスト等）があった上で、その各所にマークアップして属性を付加するという発想で設計されている。これは各種文書を格納するには適切な形式であるものの、比較的シンプルなデータ要素を構造化していく用途に対しては、必ずしも適切なものではない。XML はそのようなデータ構造もカバーできるようになっているが、マークアップ言語としての特性から記述の自由度が高く、そのようなデータ構造に対してはオーバースペックな仕様を持っているとも言える。そしてそのオーバースペックな部分が上記の問題の原因となっている。

読み込み処理のプログラミングが煩雑になる問題は、プラットフォーム側で読み込みのライブラリを提供することである程度は解決可能である。しかし、複数の言語に対してそのようなライブラリを開発し保守するのはそれなりのコストがかかる。また、プラットフォームが対応していない言語にて動作記述を扱いたい場合には、結局ユーザがあらたに読み込み処理を記述する必要がある。このことを考慮すると、フォーマット自体が目的に対して十分シンプルでプログラミングにおいても扱いやすいことは大変重要である。このことと他の 2 つの問題を考慮すると、必ずしも XML が適切とは言えない。

もちろん、XML の普及度や知名度は標準プラットフォームとして重要な要素になり得る。しかし XML の上に構築するデータ形式によって結局個別の処理コードが必要になるのであるから、これらの要素は本プラットフォームの目的に対してさほど実質的な意味をもつものではなく、イメージ的なものであると言える。

YAML 形式の採用

XML に関する以上の考察から他の適切なフォーマットを検討したところ、YAML 形式が有力な候補となった。YAML はマークアップ形式ではなく、データ記述の構造的に焦点を当てた XML よりシンプルなテキストフォーマットである。基本的には、数値、文字列等のいくつかのスカラー型を、リストとマップの組み合わせで構

進化できる仕様となっている。記述自体もインデントもしくはブレースを用いたシンプルなものとなっており、実際のテキストファイルも見やすいものとなっている。また、YAML は JavaScript 言語のデータ構造記述を抽出した”JSON”フォーマットのスーパーセットでもある。JSON も Web を中心として既に広く利用されている汎用的なフォーマットとなっており、YAML においてもその性質が受け継がれており、JSON 部分の記述に絞ることで対応ライブラリなどに関する汎用性をさらに向上させることも可能である。

プログラミングについては、多くの言語が YAML もしくは JSON フォーマットの読み込みをサポートしている。XML とは異なり、読み込んだ内容はそのまま各言語におけるリストやマップに格納された構造化データとなるため、その後のデータ抽出も容易である。具体的には、Java, Python, Ruby などの言語が標準で読み込みをサポートしている。また C/C++ についてはパースライブラリがいくつか存在し、さらにそれを用いて構造化データとして読み込む C++ ライブラリを動作パターン設計ツールのライブラリとして提供している。

読み込み処理の効率性についても XML より効率的なものとなっており、また実際のファイルの可読性についても一般的に XML より高いものとなっている。

以上の考察により、動作記述の基本フォーマットとして YAML を採用するに至った。

仕様

実際の仕様は以下のとおりである。なお、YAML 自体の仕様については、<http://yaml.org> にて配布されている仕様書を参照のこと。

トップレベル要素：

以下の要素を持つマップ型とする。

type: BodyMotion

本データファイルが動作記述であることを示すマップ要素。

components: 動作データの各コンポーネントを格納するシーケンス。

“components”シーケンスの要素：

以下のキーを有するマップ型とする。

type: コンポーネントの型を表す文字列を格納する。

content: コンポーネントの内容を表す文字列を格納する。

frameRate: フレームレートの数値を格納する。

numFrames: フレーム数を格納する。

numParts: コンポーネントのパート数を格納する。

frames: 動作データをフレーム順で並べたシーケンス型で格納する。

各フレームはさらに各パートを格納するシーケンス型とする。

“components”の “type” に対して定義されたデータタイプ :

MultiValueSeq: 1 フレームあたり浮動小数値が複数 (パート数分) 格納されたデータ型。関節角軌道などが対応する。

MultiValueSeq に対して通常使われる “content”タイプ :

JointPosition: 関節角軌道

MultiSE3Seq: 1 フレームあたり位置と姿勢の組が複数 (パート数分) 格納されたデータ型。リンクの位置姿勢軌道などが対応する。

MultiSE3Seq に対して通常使われる “content”タイプ :

LinkPosition: リンクの位置姿勢の軌道。numParts がリンク数に対応。

MultiSE3Seq に対して追加される属性キー。

format: 位置姿勢の記述方式を表す文字列。現在以下が定義されている。

“XYZQXQYQZQW”: 位置姿勢を、位置 X 座標、Y 座標、Z 座標、姿勢クオタニオン X 要素、Y 要素、Z 要素、W 要素の順に並べる

“XYZRPY”: 位置姿勢を、位置 X 座標、Y 座標、Z 座標、

オイラー角ロール要素、ピッチ要素、ヨー要素の順に並べる

MultiSE3Seq における “frames” の記述 :

「「位置姿勢の各要素を format に従って並べたシーケンス」をパート数分並べたシーケンス」をフレーム数分並べたシーケンス」とする。

拡張的な “components” 要素の例:

type: ZMP : ゼロモーメントポイントの軌道を格納する。

その他、ユーザが必要に応じて “components” 定義を拡張し、任意のデータを格納することが可能である。

実際のファイルの例

関節数 9 の PA10 型マニピュレータの関節角軌道とベースリンクの位置姿勢軌道を記述した例の一部を以下に示す。(PA10 はベース固定型のマニピュレータのため、リンクの位置姿勢については全て原点における基準姿勢となっている。)

```
type: BodyMotion
```

```
components:
```

```
-
```

```
  type: "MultiValueSeq"
```

```
  content: "JointPosition"
```

```
  frameRate: 1000
```

```
  numFrames: 9802
```

numParts: 9

frames:

- [0, 0.8, 0, 0.8, 0, 0.8, 1.57, -0.02, 0.02]
- [-1.97358397e-10, 0.800005396, -1.40737758e-09, 0.799999087, 5.62283517e-09, 0.799996667, 1.57, -0.0200000032, 0.0199999968]
- [-6.57865694e-10, 0.800017988, -4.69118959e-09, 0.799996956, 1.87427829e-08, 0.799988888, 1.56999999, -0.0200000105, 0.0199999895]
- [-1.69728014e-09, 0.80003754, -8.79723376e-09, 0.799993824, 3.7761151e-08, 0.799976848, 1.56999997, -0.020000021, 0.019999979]
- [-3.86731477e-09, 0.800063641, -1.1883735e-08, 0.799990069, 5.98847256e-08, 0.799960862, 1.56999996, -0.0200000326, 0.0199999674]
- [-7.65114255e-09, 0.800095844, -1.22456006e-08, 0.799986097, 8.24597226e-08, 0.799941292, 1.56999994, -0.0200000434, 0.0199999566]
- [-1.13293439e-08, 0.800133322, -1.30944252e-08, 0.799982963, 1.08604563e-07, 0.799918109, 1.56999993, -0.0200000521, 0.0199999479]
- [-1.36152256e-08, 0.800175421, -1.68277875e-08, 0.799981418, 1.40620736e-07, 0.799891464, 1.56999991, -0.0200000581, 0.0199999419]
- [-1.40161691e-08, 0.800221646, -2.41812465e-08, 0.799981935, 1.7893744e-07, 0.799861683, 1.56999989, -0.0200000617, 0.0199999383]
- [-1.24977426e-08, 0.800271576, -3.49259944e-08, 0.799984853, 2.22885144e-07, 0.799829159, 1.56999987, -0.0200000636, 0.0199999364]
- [-9.23578975e-09, 0.800324833, -4.8402442e-08, 0.799990442, 2.71328608e-07, 0.799794315, 1.56999985, -0.0200000646, 0.0199999354]

~

type: "MultiSE3Seq"

content: "LinkPosition"

frameRate: 1000

numFrames: 9802

numParts: 1

format: XYZQXQYQZQW

frames:

- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]
- [[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]]

~

利用状況

本記述形式は動作パターン設計ツールの動作パターンデータ読み込み・保存機能において採用しており、これを用いることで簡単に本記述形式を扱うことが可能である。具体的には、ツール上でキーフレーム機能を使って作成した動作を本記述形式で出力したり、本記述方式で記述された動作データを読み込んで 3D ビュアーやグラフ等でその動作を確認することが可能である。また、動作パターン設計ツールのプラグイン拡張機構を用いて、他の形式の動作データに対する読み込み・保存機能を実装することにより、他形式とのデータの変換も比較的容易に可能となる。実際、この枠組みを用いて、ヒューマノイドロボットの制御システムのひとつである”HRPSYS”で長年使われてきた動作パターン記述形式との相互変換も可能となっている。二足歩行ヒューマノイドロボットにおいては制御システムが目標関節角軌道に加えて ZMP 軌道などの付加的な情報も必要とすることが多いが、そのような ZMP などの付加的な情報も本記述形式を用いて自然に記述することが出来ている。さらに、動作パターン設計ツールのプラグイン拡張機能により、新たなロボット用ツールを開発した場合、基本的にそのツールも本記述形式に対応したものとなる。動作パターン設計ツール上に新たにプラグインとして構築されたツールとしては、把持計画のための”graspPlugin”があり、このツールで計画した動作も本記述形式で出力可能である。

このように、本記述形式は本プラットフォームにおいて標準的な動作記述方式として利用されている。

まとめ

前述の利用状況に述べたように、本動作記述は、動作パターン設計ツールのファイルフォーマットとして配布されおり、記述法についても公開されている。この記述方式を利用して、把持計画のための知能モジュールも開発されている。

(B) 動作制御記述

「動作制御記述」は時刻やイベントによるロボット制御のための制御構造を記述したファイルであり、シナリオ設計ツールにより生成される。RT コンポーネントや RT コンポーネントで構成されるサブシステムからのイベントの取得や、イベントや時刻によるシステム構成の変更、上記の動作記述の呼び出しによるロボットの制御等の制御構造を記述する。このような動作制御のための作業シナリオの記述方式を策定する。策定に当たっては、本プロジェクトの各研究項目実施機関で開発、使用されるモジュール群での利用を勘案し、またそれらの機関での試用からのフィードバックを活用する。本研究開発の最終目標は、安定版の動作制御記述方式を策定

するとともに、仕様を本プロジェクト外部に対しても公開することである。

動作制御記述の概要

動作制御記述の概要は以下のとおりである。本仕様に基づく RT コンポーネントはその役割によって

- リクエスタ 要求を出す側
- プロバイダ 要求を受け取り処理する側

の2種類がある。

それぞれ、少なくともメッセージをやり取りするための入力データポートと出力データポートを1つずつ装備する。

リクエスタとプロバイダは当事者 RT コンポーネント間の役割から見た定義であって、リクエスタが他の RT コンポーネントから見るとプロバイダになる場合もあるし、プロバイダが他の RT コンポーネントから見るとリクエスタになる場合もある。

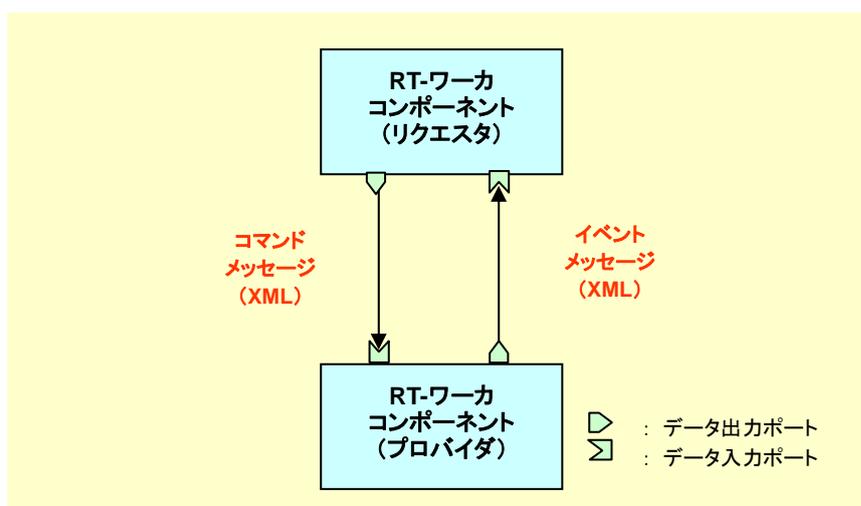


図 28 RT-ワーカコンポーネント間の通信

本仕様に基づく RT コンポーネント間でやり取りするメッセージには大きく次の 2 種類がある。

- コマンド リクエスタ→プロバイダに送られる要求
- イベント プロバイダ→リクエスタに送られる通知

コマンドは、プロバイダにおける要求入力であり、プロバイダが提供する機能の実行要求を積載する。コマンドのメッセージの中に、機能の名前やその引数が収容される。イベントは、プロバイダにおける結果(事象)出力であり、プロバイダにおける処理の実行結果を積載する。イベントのメッセージの中に、それが伝える事象の名前や付帯する引数が収容される。イベントはその通知先を特定の RT コンポーネ

ントに限定することも出来るし (ユニキャスト)、複数の通知先に同報通知することも出来る (マルチキャスト)、さらに通知先を特に指定しないことも出来る (ブロードキャスト)。

プロバイダは、コマンドの受理した際、あるいは、コマンドによって要求された処理を完了した際、のいずれかの時点で、リクエストにレスポンスと呼ばれるメッセージを返す必要がある。前者は、リクエストをプロバイダでの処理の終了に同期させない場合に、後者は同期させたい場合に用いる。

レスポンスは特殊なイベントとして定義される。コマンドに対する結果を戻り値としてリクエストに通知する。メッセージが積載する名前はコマンド名と同名である。通知先は通常コマンドを発行したリクエストだけに限定される (複数のコンポーネントに通知する同報の運用は可能)。リクエストがレスポンスを受け取るかどうか、リクエストの自由である。結果を受け取るまで次の処理を待ち合わせる場合には同期型の呼び出しとなり、待ち合わせの必要がない場合は非同期型の呼び出しとなる。非同期型の場合、さらにレスポンスをどこかで受け取るか、棄却するかを選択がある。

メッセージのデータ型は文字列型で XML 形式である。以下に UML 表記で示す。

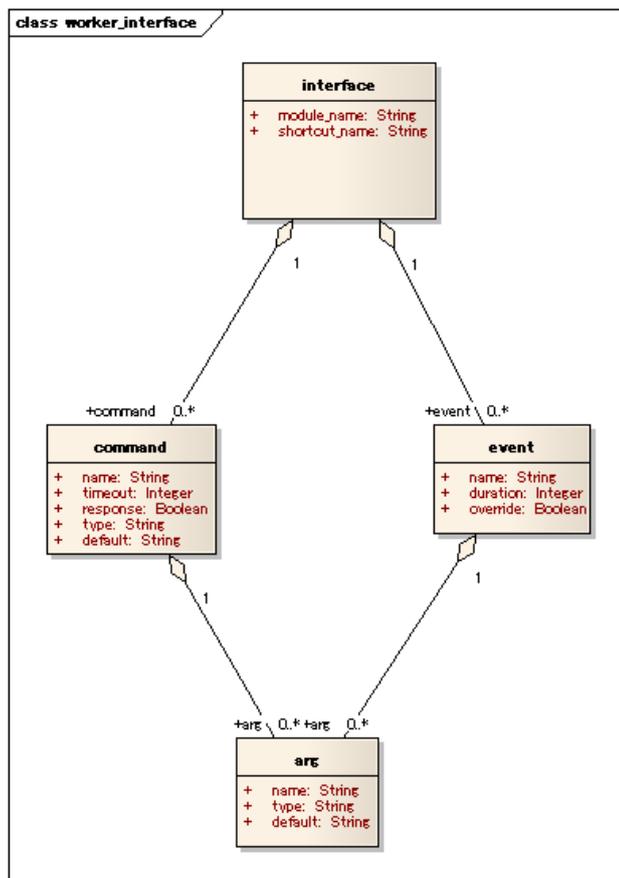


図 29 worker_interface のクラス図

RT コンポーネントがプロバイダとして提供する機能を上記のインタフェース仕様に基づいて定義する。定義はコマンドとイベントに対して行なう。定義書式は XML で供給され、必要により、リクエスタ/プロバイダの双方がこれを読み込み利用する。RT コンポーネント作成者は、このインタフェース仕様に基づいて、RT コンポーネントのインタフェース定義を作成し、コンポーネントと共に利用者に配布する。インタフェース定義は以下の用途に利用される。

- シナリオ開発ツールは、シナリオプログラマが作成したシナリオをパースする際に、このインタフェース定義を読み込み、シナリオと照合することで、シナリオの妥当性検証を行う。
- シナリオ実行系は、シナリオを実行する際に、このインタフェース定義に基づいて、メッセージを構成し、RT ワーカーコンポーネントに送信する。

まとめ

上述のような動作制御記述方式を詳細ドキュメント(表題 **RT-Worker Component Specification**, 英文、30 ページ)にまとめた。この仕様に基づいて、後述の作業シナリオ作成ツールを構築しており、同ツールのリリースパッケージに同ドキュメントを同梱して一般公開を行った。

(a-5) ロボットサービス仕様記述方式

RT コンポーネントに基づく RT システムが実現するサービスを記述するために、ロボットサービス仕様記述方式を策定する。ロボットサービスは UML もしくは SysML で記述し、コンテキスト図、ユースケース図などを用いて、ロボットが提供しようとするサービスとその前提条件を記述する。またサービスを複数の機能に分解して RT コンポーネントとして実装可能な要素に対応させる。

ロボットサービス仕様記述方式の最終的な成果物は、UML もしくは SysML で記述し、RT コンポーネントと対応可能なデータモデルであり、最終目標は、RT コンポーネントの仕様記述に変換可能なロボットサービス仕様記述方式について安定版の仕様を策定し、本プロジェクト外部に対して公開する。また OMG などの標準化組織での国際標準化を目指すことである。

ロボットサービス仕様記述方式の成果概要

知能ロボットを構成する内部的なモジュールはそれぞれ他のモジュールに対してある種のサービスを提供し、それらの集合体は最終的にユーザや環境に対してサービスを提供する。システムをサービスの集合体として体系的に記述し、ロボットシステム的设计・開発時に役立てることができれば、ユーザや外部システムからの要求

を的確に把握することができ、システム開発をより効率的に行うことが可能になる。そこで、RT コンポーネントで構成される RT システムに対して、システムが内包するサービスおよびシステムが提供するサービスを記述方法について検討を行った。ソフトウェアの仕様一般を形式的に記述する方式としてはUML(Unified Modeling Language) が知られているが、近年、ハードウェア、ソフトウェア、情報、人、手続、設備を含む複雑なシステムを定義、分析、設計および検証するための汎用的な図式モデリング言語としてSysML[1]が注目されている(図 30)。SysMLはUML2.0の一部(サブセット)を利用しつつ、システム記述に必要ないくつかの新しい記述方式を追加したものである(図 31)。

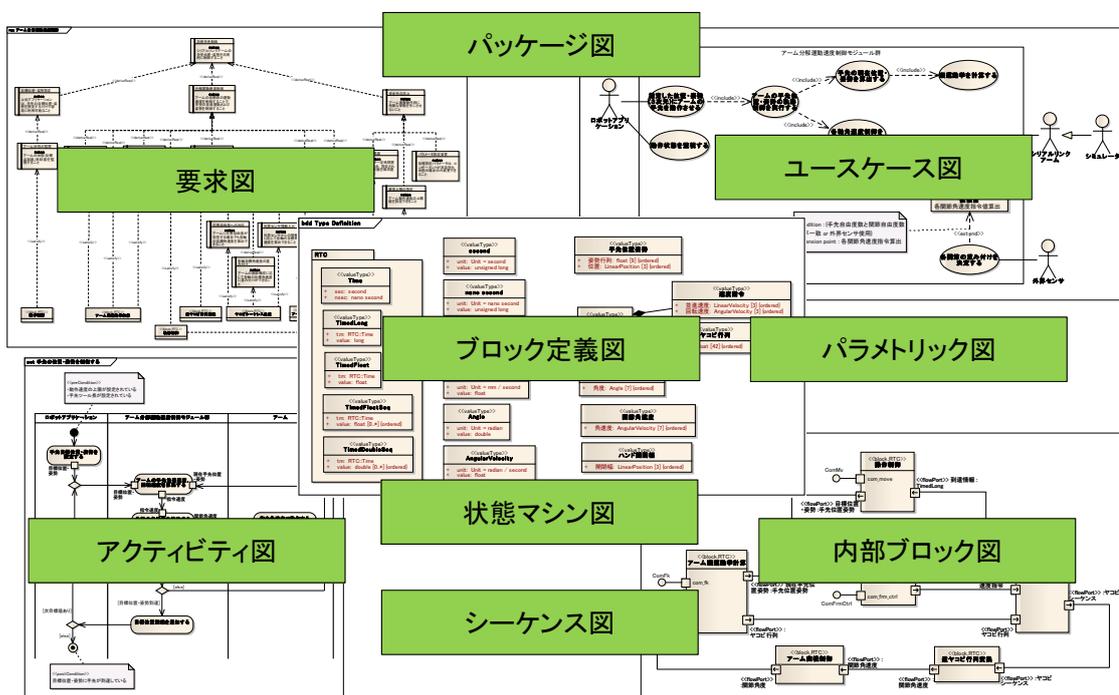


図 30 SysML および 9 種類のダイアグラム

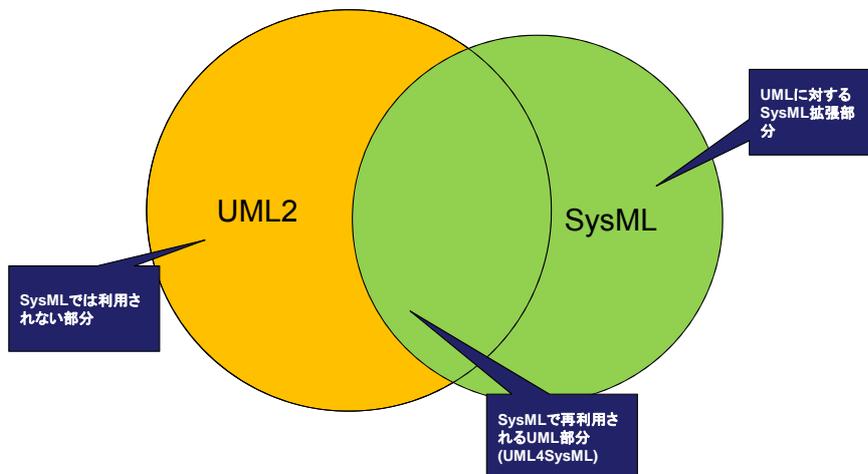


図 31 UML と SysML の関係

ロボットシステムは、ソフトウェアのみならずさまざまなエンジニアリング分野（機械、電気、ソフトウェア）にまたがるシステムであり、特にサービスロボットにおいてはシステムに加えて人（ユーザ）や環境・設備についても考慮し、設計・実装していかなければならない。そこで、SysML を利用し、ロボットが提供するサービス（ロボットサービス）をコンセプトの段階から、ユースケース、要件定義、システムの振る舞い記述、サービスを実現する機能への分割などを SysML により記述し、これをシステム設計・開発プロセスに利用する手法について検討を行った。

SysML モデル化の試み

既存のいくつかのシステムに対して、実際に SysML モデル化を行い、ロボットシステムやサービスがどのようにモデルとして記述可能か、またそれらの記述をどのようにシステム設計・開発プロセスに生かせるかの検討を行った。

ここでは、例の一つとしてアームの分解速度制御システムについて概要を述べる。アームの分解速度制御システムは、入力されたアームの手先速度を、関節角速度に分解し、シリアルリンク型のアームの各関節のモータを制御するシステムである。この例では、シミュレータと実機を切り替えて制御できるシステムを実現することを目指した。まず、このシステムに対する要求を SysML の「要求図」（図 32）として記述する。要求図では、このシステムの目的「シリアルリンクアームの手先位置姿勢を汎用的に制御すること」から出発して、より細かな要件へと分解していく。分解された要件は最終的にいくつかの機能ブロックとして定義される。本研究ではこれらのブロックは RTC として実現されることになる。

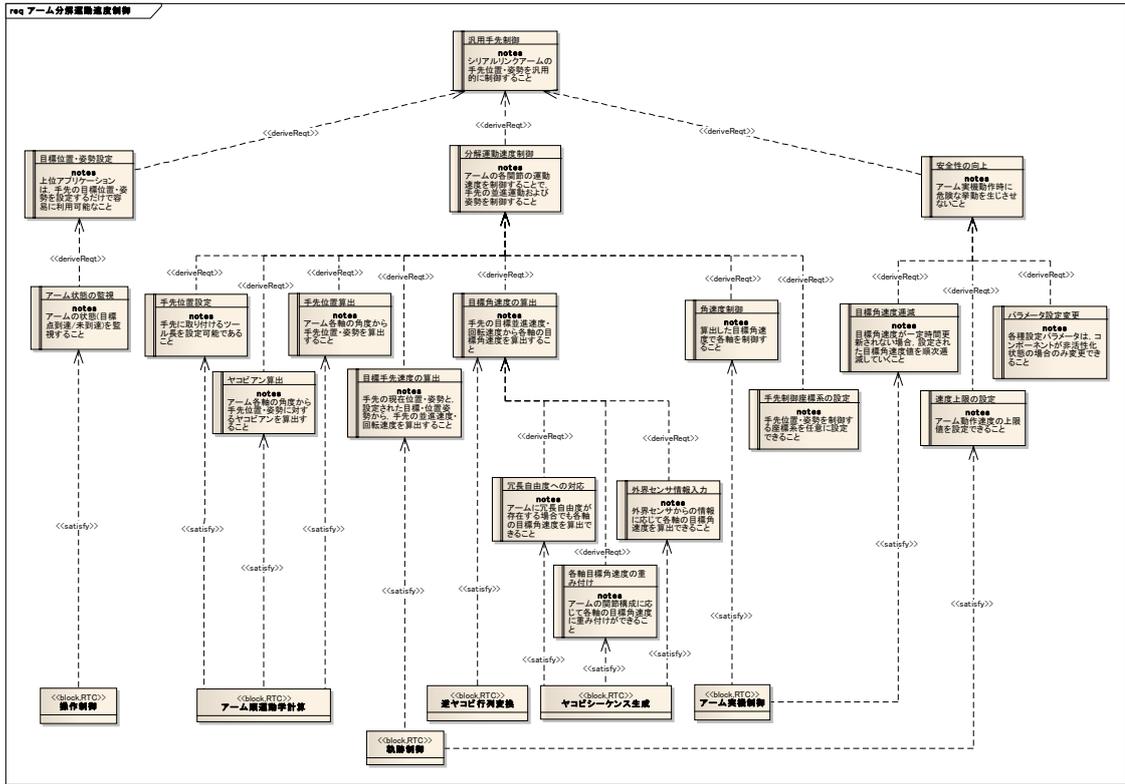


図 32 アームの分解速度制御「要求図」

アームの分解速度制御システムの使われ方を整理するために「ユースケース図」を作成した（図 33）。これにより、実現するシステムの機能とともに、より詳細な振る舞いへとブレークダウンする。

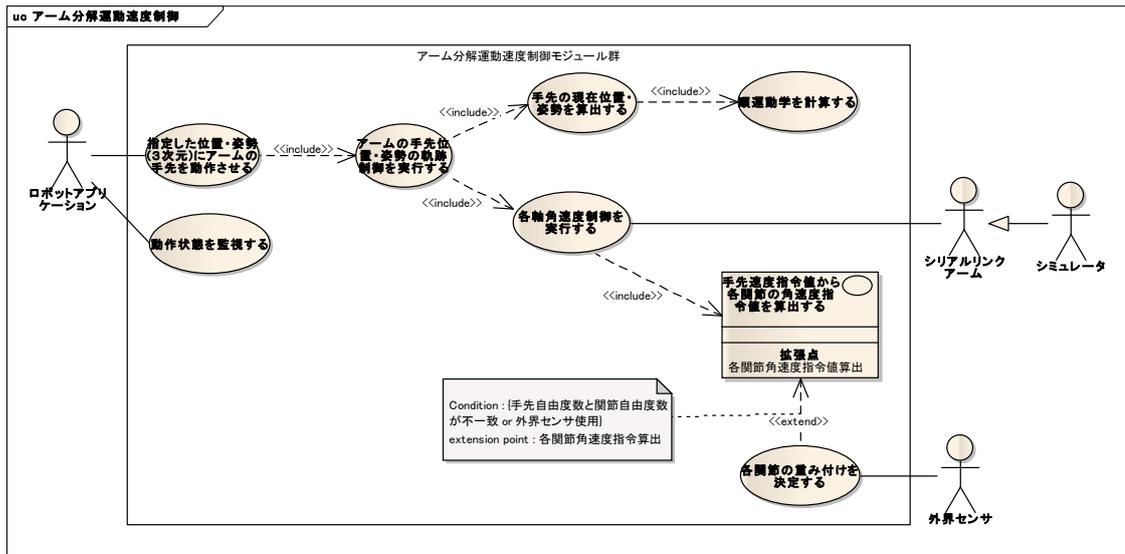


図 33 アーム分解速度制御「ユースケース図」

振る舞いを記述するためのダイアグラムとしては、アクティビティ図が利用できる。

アームの分解速度制御システムにおけるアクティビティ図は図 34 のようになる。

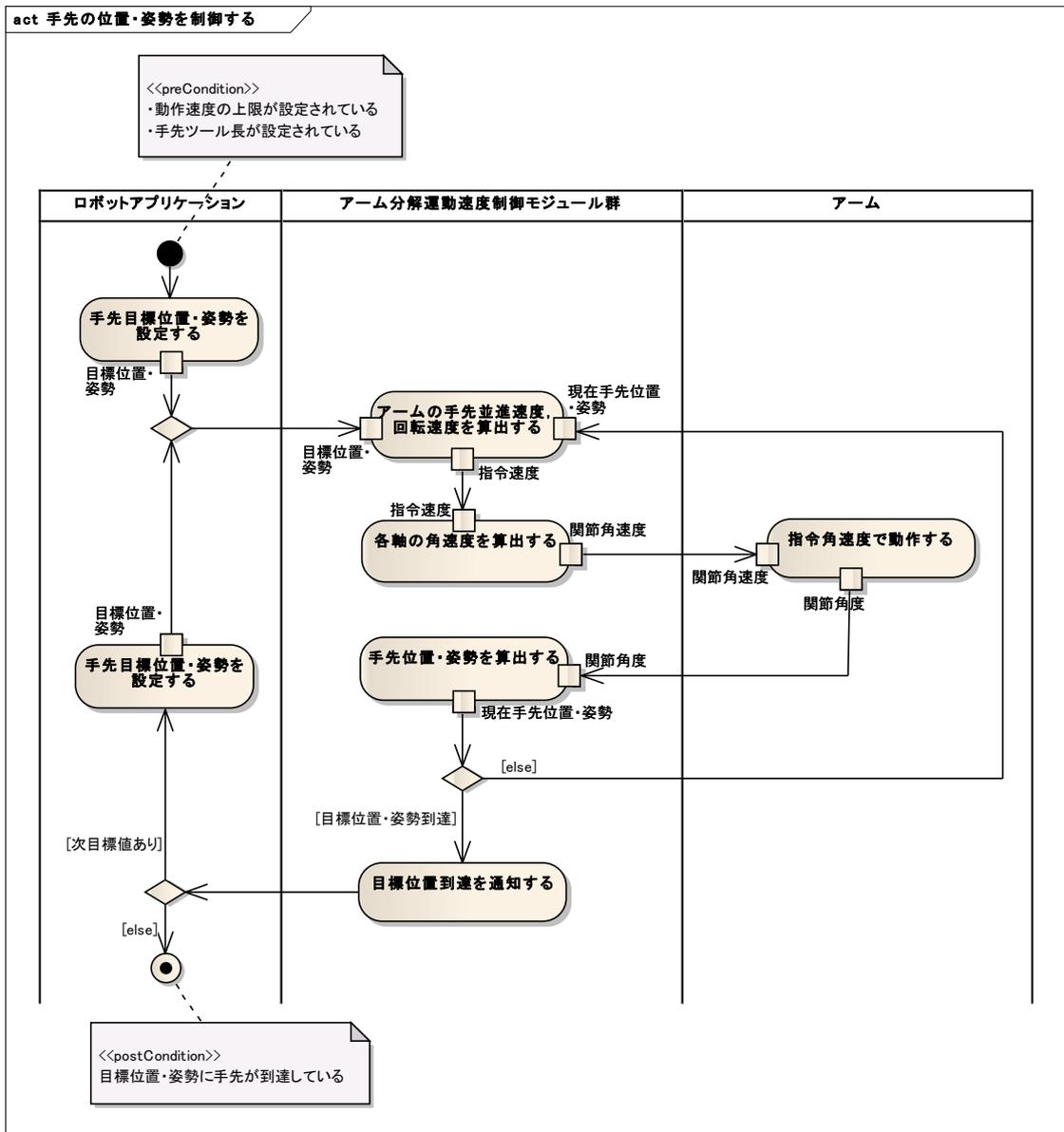


図 34 アーム分解速度制御「アクティビティ図」

以上から、アームの分解速度制御システムに必要な機能ブロックが図 35 のように定義される。

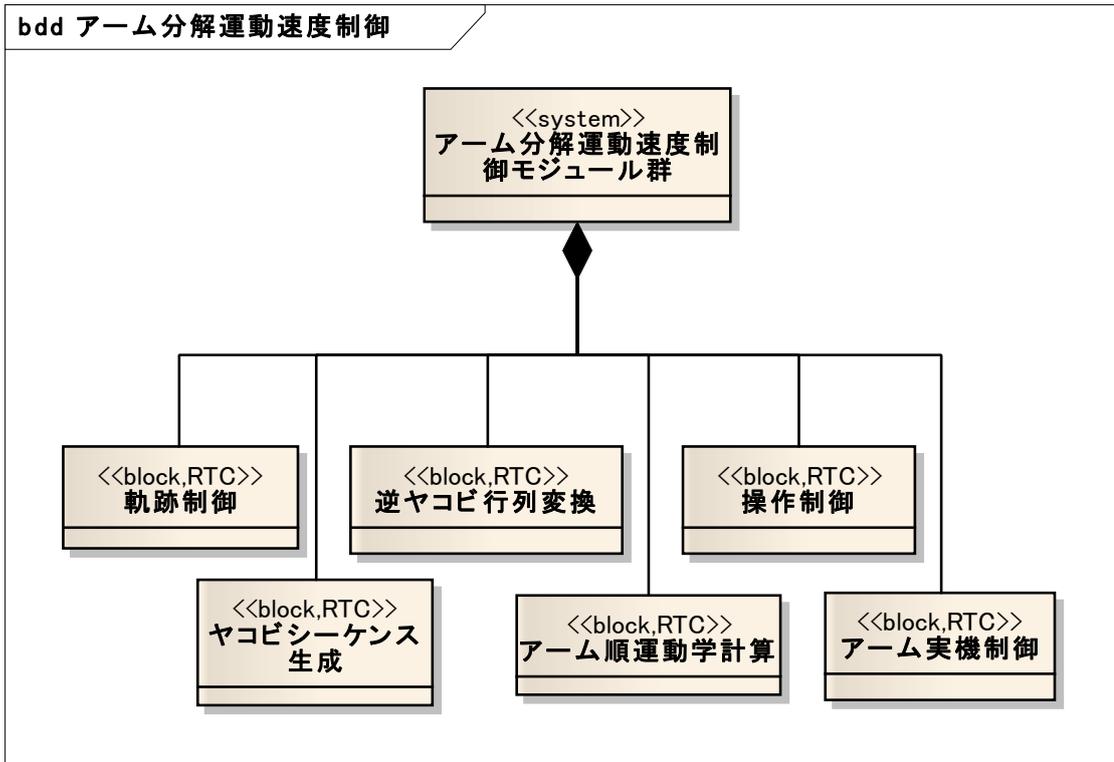


図 35 アーム分解速度制御「ブロック定義図」

さらに、ブロック定義図により定義された機能ブロックを利用し、システム構造を記述したものは内部ブロック図と呼ばれ図 36 のように記述できる。

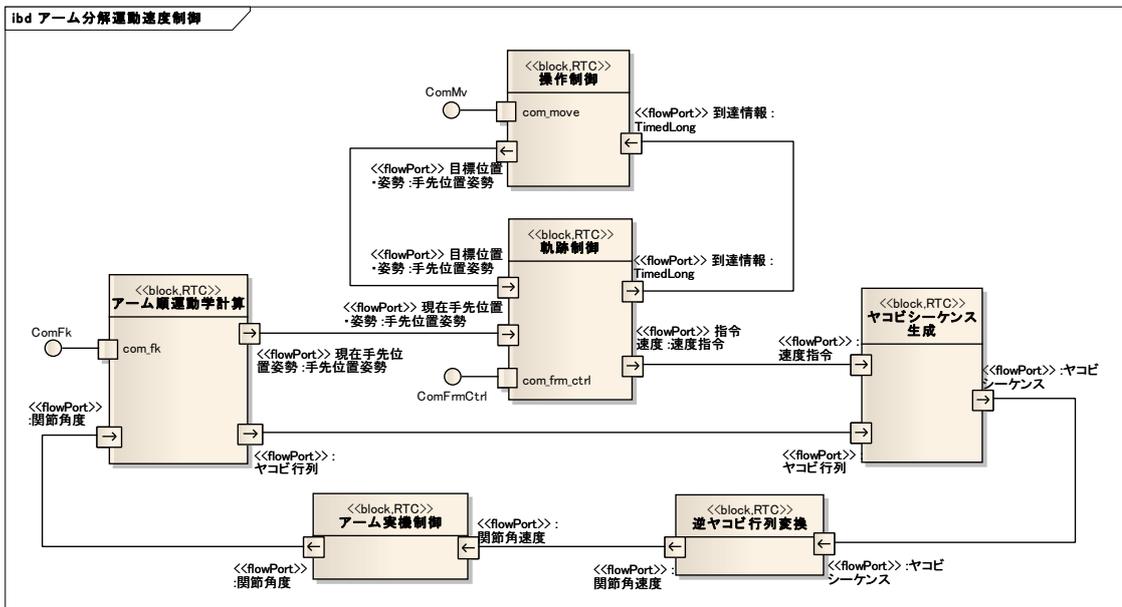


図 36 アーム分解速度制御「内部ブロック図」

以上、アームの分解速度制御システムを例にとり、ロボットシステムを SysML により表現し、システムの要求・要件定義から機能ブロックへの分解まで相互に関連

を保ちながら体系的に記述することができた。システムが SysML により記述されていれば、特定の機能がどの要件に関連付けられているかをトレースしたり、ある機能を変更した際に、どの機能ブロックに影響が及ぶかなどを容易に特定することができる。ただし、SysML で記述しただけでは、実際にトレースをすることは容易ではなく、ツールなどのサポートが必要となると考えられる。

SysML-RTCTProfile 変換ツール

SysML で記述された要素のうち、ブロック定義図(bdd: Block Definition Diagram) 定義される機能要素は、RTC として実現することが可能である。したがって、bdd で定義されたブロックを上述の RTCTProfile に変換することができれば、SysML によるシステム設計から RTCBuilder によるコンポーネント設計へ情報を伝達することができ、そこから RTC のソースコードを生成することができる (図 37)。コードが生成されれば、実装、デバッグなどの実装フェーズに進む OpenRTP ツールチェーンが想定したロボット設計・開発プロセスへとつなぐことができ、SysML による設計ツールをも OpenRTP ツールチェーンに組み込むことができる。

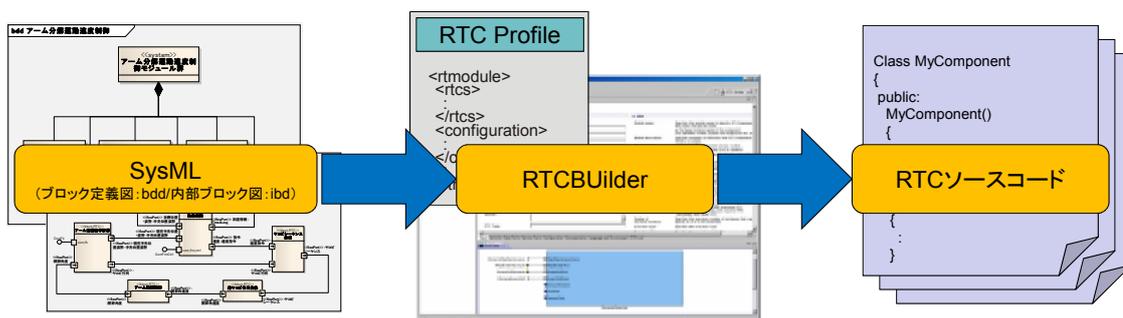


図 37 SysML-RTCTProfile 変換ツール

SysML ツールとしては、Sparx Systems 社製の Enterprise Architect+SysML プラグイン (以下 EA と呼ぶ) を想定し、EA が生成する XMI (XML Metadata Interchange) [2]を解析し RTCTProfile へと変換することで実現することとした。XMI は OMG で標準化されている UML や SysML のモデルの XML による記述方式で、異なるベンダのツール間でのモデルの交換に用いられている。

RTCBuilder に SysML の XMI インポートを行う機能を追加した。図 38 のように、変換ツール起動ボタンを押し、読み込む XMI ファイルを指定する。XMI に含まれる RTCTProfile へ変換可能なブロック (RTC Block) の一覧が表示されるので、変換したいブロックを指定する。これによりブロックが RTC Profile に変換され、定義された各種サービスインターフェースやデータポートなどが RTC のサービスポートやデータポートへと変換される (図 39)。

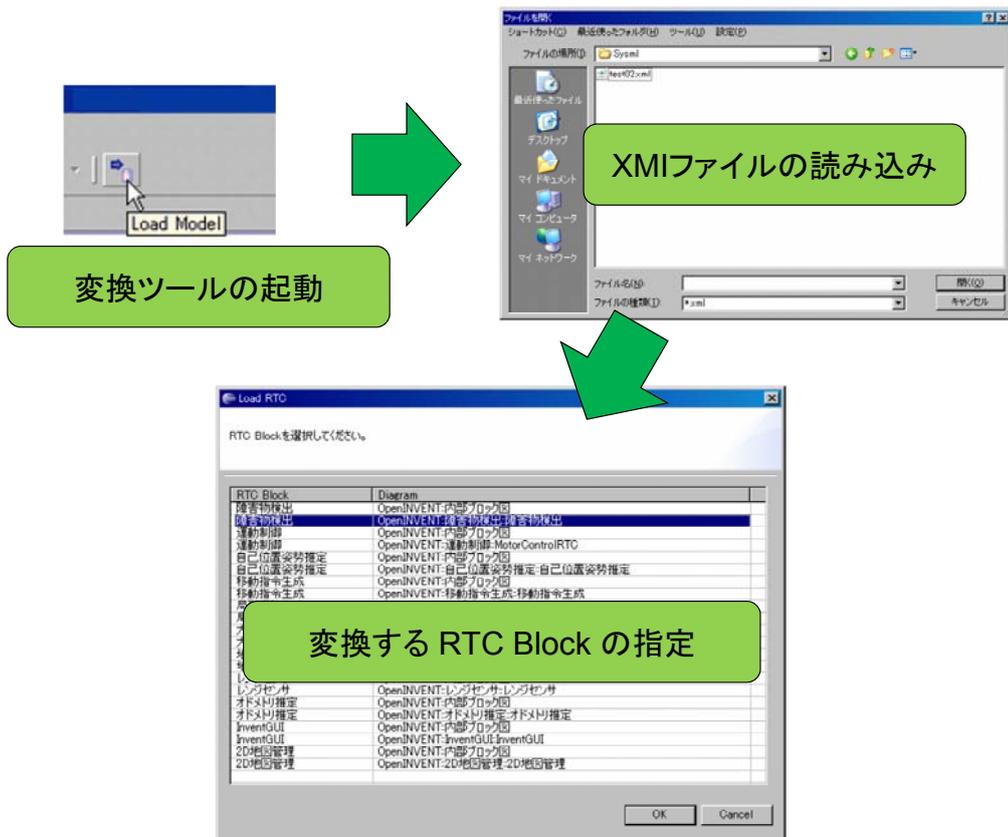


図 38 SysML-RTCPProfile 変換ツールの起動

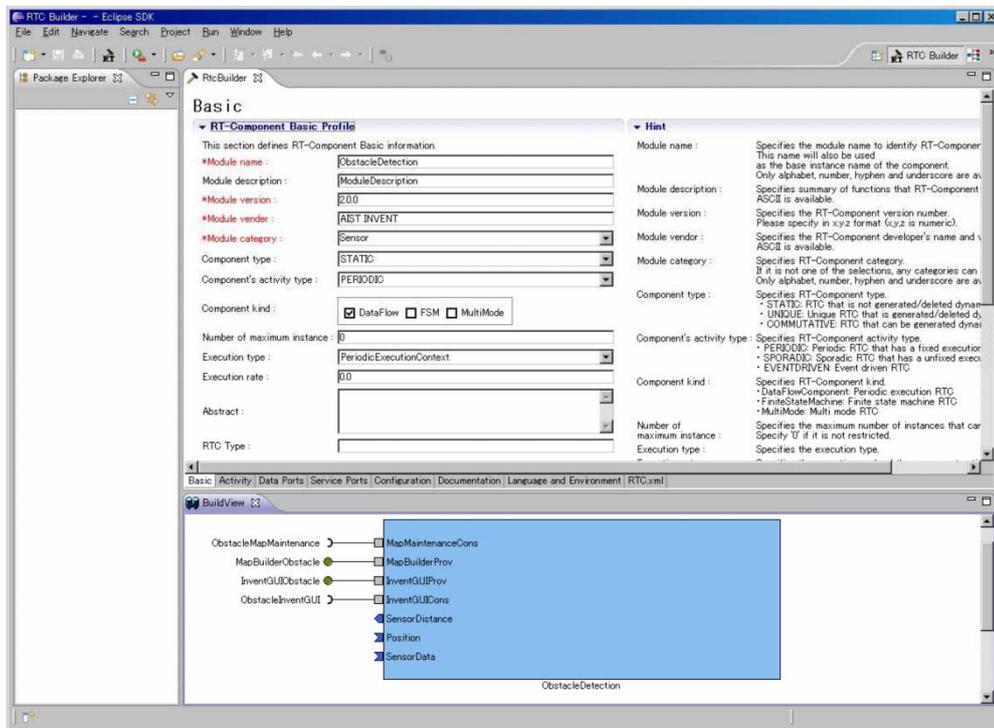


図 39 変換された機能ブロックのモデル

まとめ

ロボットシステムのサービスを中心としたシステム仕様記述について、いくつかのロボットシステムを例にとり SysML を用いてシステム記述を実施した。これにより、SysML がロボットサービス仕様記述に利用できることを確認した。

SysML により記述されたモデルのうち、機能ブロックについて、RTC Profile へ変換するツールを作成し SysML によるブロック定義を RTC 設計に利用できることを確認した。また、このツールの実現により、ロボットシステムの設計・開発をサポートする一連の OpenRTP ツールチェーンに SysML ツールを組み込むことを実現した。システム設計の上流段階である要件定義、要求仕様記述等を体系的に記述することで、設計に対する修正や変更に対するトレーサビリティを確保する手法について道筋をつけることができた。ロボットサービス仕様記述方式としてシステムを SysML 有用であることが明らかになり、本研究開発に成果である SysML-RTCProfile 変換ツールは、RTCBuilder に統合する予定である。

本研究項目は当初の実施計画にはなかったが、より利便性の高い知能ロボットシステム構築のために実施したものである。ロボットサービスの記述に関しては、一般化するには、その記述範囲が大きく標準化にするには時期尚早であったため、OMG に標準化提案がなされているロボット・インタラクション・サービス・フレームワーク等での議論を継続して実施している。

参考文献

- [1] OMG System Modeling Language (SysML™) version 1.2, formal/2010-06-01, <http://www.omg.org/spec/SysML/>
- [2] MOF 2 XMI Mapping (XMI®), MOF XMI specification, formal/2011-08-09, SysML <http://www.omg.org/spec/XMI/>

(b) RT コンポーネントビルダ、RT システムエディタ、RT コンポーネントデバッガ
RT コンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行うための RT コンポーネントビルダ、RT システムエディタ、RT コンポーネントデバッガの開発を行い、公開した。

(b-1) RT コンポーネントビルダ

RT コンポーネントビルダ (RTCBuilder) は RTC の仕様を入力することで、RTC Profile XML ファイルを生成するとともに、C++, Java, Python といった言語用の RTC のひな型コードを作成するツールである。プロジェクト開始以前には rtc-template と呼ばれるコマンドラインから利用するツールが存在したが、GUI で RTC を設計、コード生成する Eclipse 上のツールとして RTCBuilder を新たに開発

し、平成 20 年 9 月に公開した。本研究開発の最終目標は、RT コンポーネントビルダの修正・更新・機能拡張を進め、信頼性の高いツールを本プロジェクト外部に対して公開するとともに事業化を行うことである。

RTCBuilder の概要

RTCBuilder は Eclipse 上で動作するツールであり、図 40 に示すエディタ画面の各項目に RTC の名称、プロファイル情報、データポート・サービスポートに関する情報等を入力することで、上述の RTC Profile および各種言語の RTC のひな形コードを生成するツールである。生成したひな形コードに RTC の機能の中心となるロジック（コアロジック）を実装しコンパイルすることで、RTC を作成する。RTCBuilder を利用した RTC 開発の流れを図 41 に示す。

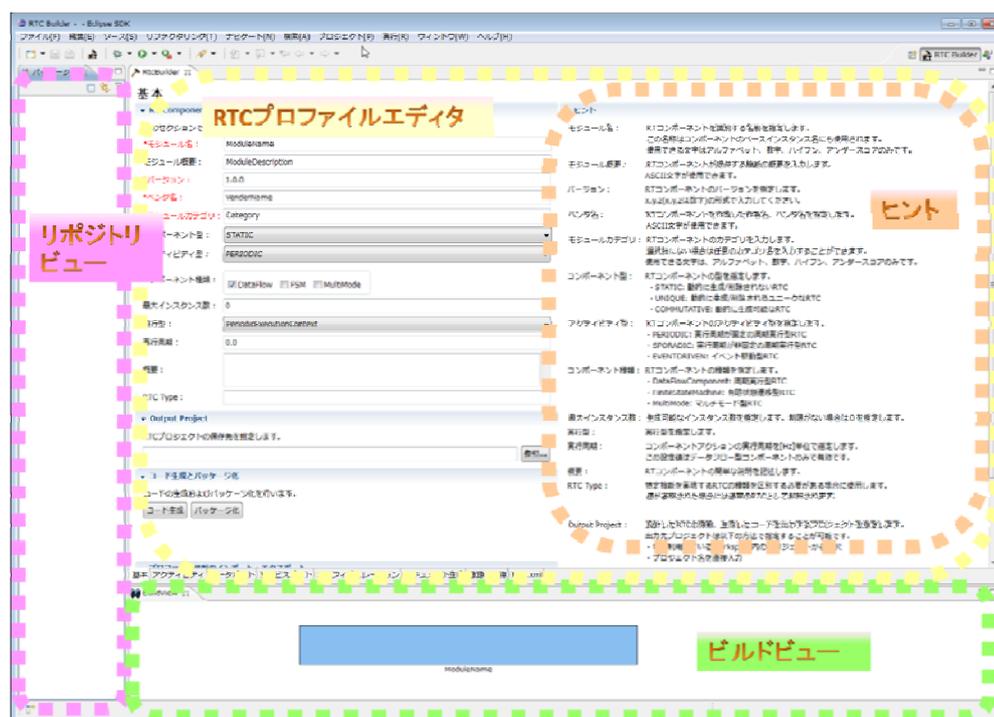


図 40 RTCBuilder 入力画面

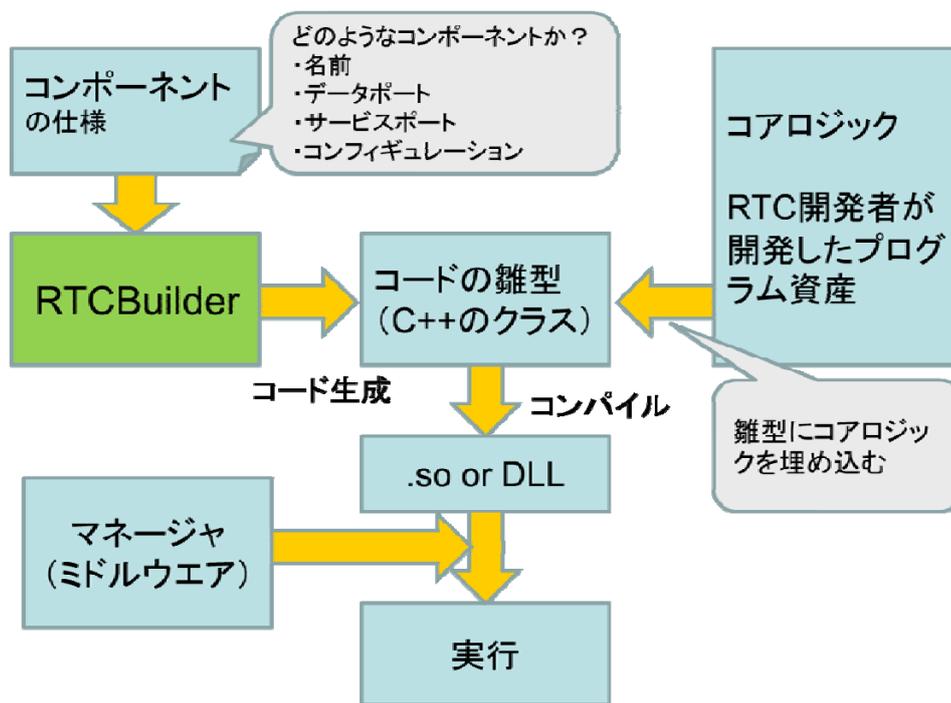


図 41 RTCBuilder を利用した RTC 開発の流れ

RTCBuilder の基本機能

RTCBuilder のエディタには、表 4 に示すサブエディタがあり、エディタ下部のタブで切り替えて使用する。

表 4 エディタの種類と機能

画面要素名	説明
基本プロファイル入力ページ	RT コンポーネントのプロファイル情報など、コンポーネントの基本情報を入力する。
アクティビティプロファイル	RT コンポーネントがサポートしているアクティビティ情報などを指定する。
データポートプロファイル	RT コンポーネントに付属するデータポートのプロファイルを入力する。
サービスポートプロファイル	RT コンポーネントに付属するサービスポートおよびサービスポートに付属するサービスインターフェースのプロファイルを入力する。
コンフィギュレーション	RT コンポーネントに設定するユーザ定義のコンフィギュレーション・パラメータセット情報およびシステムのコンフィギュレーション情報を入力する。

ドキュメント生成	生成対象の RT コンポーネントに追加する各種ドキュメント情報を入力する。
言語・環境	生成対象のコード選択や OS などの実行環境に関する情報を入力する。
RTC.xml	設定された情報を基に生成した RtcProfile の XML 形式での表示・編集を行う。

基本プロフィール

図 42 に示すように RT コンポーネントのプロファイル情報など、コンポーネントの基本情報（表 5）を入力するページである。

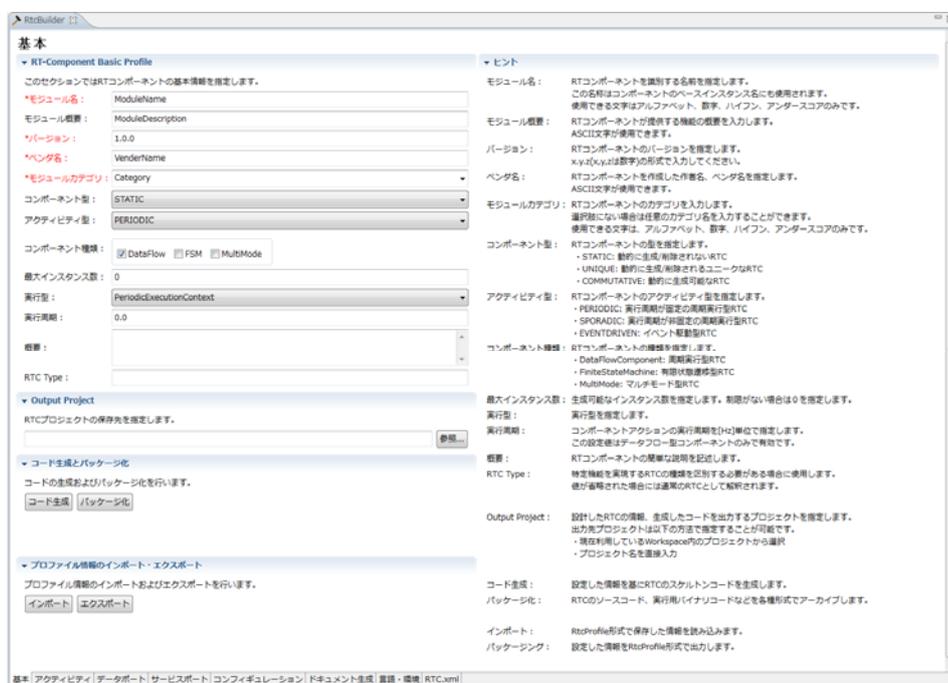


図 42 基本プロフィール入力ページ

また、このページには、入力の最後にコード生成、RTC Profile を出力する際の場合やファイル名を指定するボタン・項目等がある。

表 5 基本プロフィールの設定項目

項目	説明	必須
RT-Component Basic Profile		
モジュール名	RT コンポーネントを識別する名前です。必須入力項目。この名前は、	○

	生成されるソースコード中で、コンポーネントの名前に使用される。英数字でなければならない。	
モジュール概要	RT コンポーネントの簡単な概要説明。	-
バージョン	RT コンポーネントのバージョン。原則 x.y.z のような形式でバージョン番号を入力する。省略可能項目	-
ベンダ名	RT コンポーネントを開発したベンダ名。	○
モジュールカテゴリ	RT コンポーネントのカテゴリ。	○
コンポーネント型	RT コンポーネントの型。以下の選択肢の中から指定可能。 <ul style="list-style-type: none"> ・STATIC: 静的に存在するタイプの RTC で、動的な生成、削除は行われないもの。 ・UNIQUE: 動的に生成・削除はできるが、各コンポーネントが内部に固有状態を保持しており、必ずしも交換可能ではないタイプの RTC。 ・COMMUTATIVE: 動的に生成・削除が可能で、内部の状態を持たないため、生成されたコンポーネントが交換可能なタイプの RTC。 	○
アクティビティ型	RT コンポーネントのアクティビティタイプ。以下の選択肢の中から指定可能。 <ul style="list-style-type: none"> ・PERIODIC : 一定周期で RTC のアクションを実行するアクティビティタイプ ・SPORADIC : RTC のアクションを不定期に実行するアクティビティタイプ ・EVENT_DRIVEN : RTC のアクションがイベントドリブンであるアクティビティタイプ 	○
コンポーネント種類	RT コンポーネントの実行形態の種類。以下の選択肢から選択可能。 (複数選択肢の組み合わせ可) <ul style="list-style-type: none"> ・DataFlow : 周期的にアクションを実行する実行形態 ・FSM : 外部イベントによってアクションを実行する形態 ・MultiMode : 複数の動作モードを持つ実行形態 	○
最大インスタンス数	RT コンポーネント インスタンスの最大数。自然数を入力する。	-
実行型	ExecutionContext の型。以下から選択可能。 <ul style="list-style-type: none"> PeriodicExecutionContext : 周期実行を行う ExecutionContext ExtTrigExecutionContext : 外部トリガによって実行を行う 	○

	ExecutionContext	
実行周期	ExecutionContext の実行周期。正の double 型の数値が入力可能 (単位 Hz)。	-
概要	RT コンポーネントに関する説明。	-
RTC Type	特定機能を実現する RT コンポーネントを区別する必要がある場合に指定。	-
Output Project		
	生成コードの出力対象プロジェクト名。設定したプロジェクトが存在する場合には、そのプロジェクト内に、設定したプロジェクトが存在しない場合には、新規プロジェクトを生成する。	○

アクティビティプロファイル

図 43 に示すように、作成する RTC において、どのコールバックを実装するか、またその実装される予定のロジックについてのドキュメントを入力するページである。アクティビティとは RTC のライフサイクルの状態遷移ごとに定められたコールバック関数群のことであり、OMG RTC 仕様では ComponentAction とも呼ばれる。

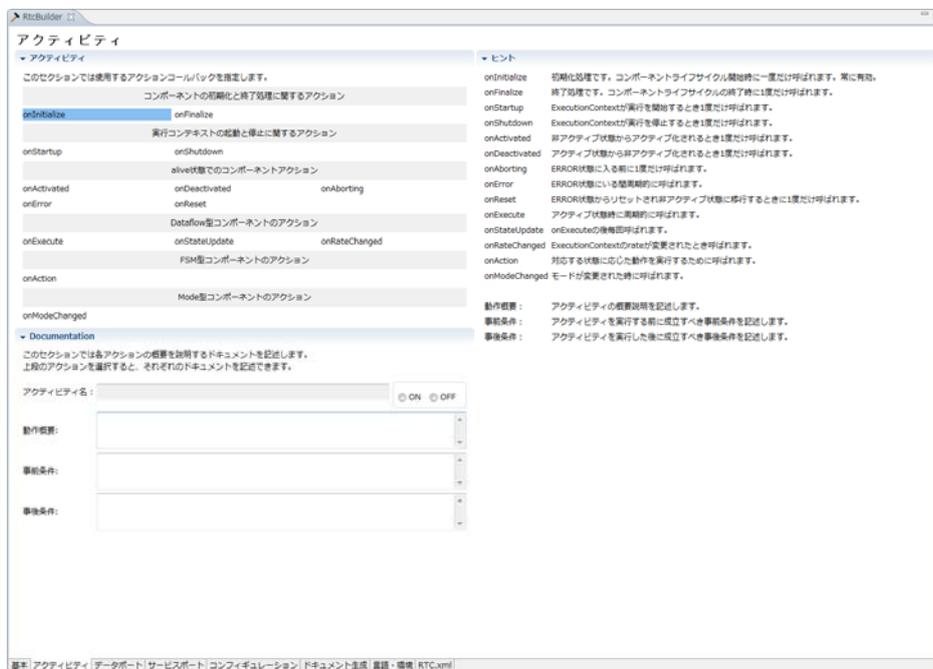


図 43 アクティビティプロファイル入力画面

アクティビティプロファイルの各入力項目の種類と意味は表 6 のとおりである。

表 6 アクティビティプロファイルの設定項目

項目	説明	必須
Activity Profile		
onInitialize	初期化処理です。コンポーネントライフサイクルの開始時に一度だけ呼ばれる。	-
onFinalize	終了処理です。コンポーネントライフサイクルの終了時に 1 度だけ呼ばれる。	-
onStartup	ExecutionContext が実行を開始するとき 1 度だけ呼ばれる。	-
onShutdown	ExecutionContext が実行を停止するとき 1 度だけ呼ばれる。	-
onActivated	非アクティブ状態からアクティブ化されるとき 1 度だけ呼ばれる。	-
onDeactivated	アクティブ状態から非アクティブ化されるとき 1 度だけ呼ばれる。	-
onAborting	ERROR 状態に入る前に 1 度だけ呼ばれる。	-
onError	ERROR 状態にいる間に呼ばれる。	-
onReset	ERROR 状態からリセットされ非アクティブ状態に移行するときに 1 度だけ呼ばれる。	-
onExecute	アクティブ状態時に周期的に呼ばれる。	-
onStateUpdate	on_execute の後毎回呼ばれる。	-
onRateChanged	ExecutionContext の rate が変更されたとき呼ばれる。	-
onAction	対応する状態に応じた動作を実行するために呼ばれる。	-
onModeChanged	モードが変更された時に呼ばれる。	-
Documentation		
アクティビティ名	現在選択されているアクティビティの名称を表示する。	-
動作概要	対象アクティビティが実行する動作の概要説明を記述する。	-
事前条件	対象アクティビティを実行する前に成立すべき事前条件を記述する。	-
事後条件	対象アクティビティを実行した後に成立する事後条件を記述する。ただし、事前条件が満たされない状態で対象アクティビティが実行された場合は事後条件の成立は保証されない。	-

データポートプロファイル

RT にはデータストリームを送受信するためのポート：データポートを付加することができる。RT コンポーネントは 0 個以上のデータポートを持ち、事前に定義されたデータ型に加えて、独自のデータ型を IDL で定義して利用することができる。データポートプロファイルページ (図 44) では、データポートの名前、型等を入力しデータポートを定義する。

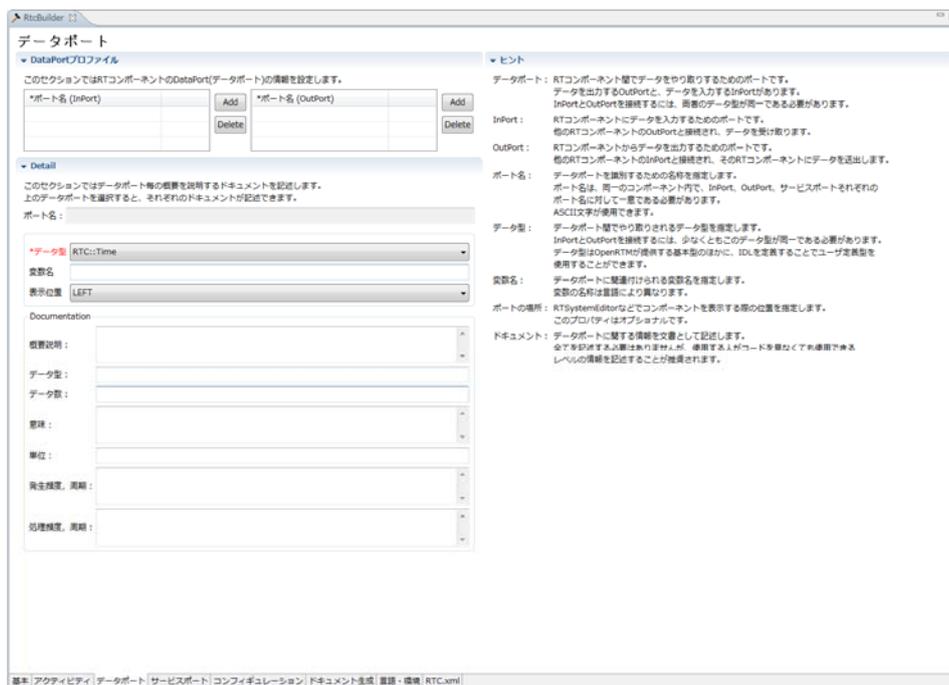


図 44 データポートプロファイル入力画面

各ポート (InPort/OutPort) を新規に追加する場合は、各セクションの「 Add 」ボタンを押す。次に使用するデータ型をプルダウンメニューから選択する。この他、このデータポートがどういった意味のデータを交換するかなどをドキュメント項目として入力する。入力項目は表 7 のとおりである。

表 7 データポートプロファイルの設定項目

項目	説明	必須
DataPort プロファイル		
ポート名	DataPort の名称です。半角英数字のみ入力可能。 Data OutPort、Service Port と併せてポート名称は一意でなければならない。	○
Detail		

ポート名	現在選択されている Data Port を「ポート名(InPort/OutPort)」の形式で表示。	—
データ型	DataPort が扱うデータ型。 設定画面にて指定した IDL 内で定義されているデータ型が利用可能。	○
変数名	DataPort に対応する変数名。	—
表示位置	ビルドビュー内での Data InPort の表示位置。	○
概要説明	データポートに対する概要説明を記述する。	—
データ型	データポートの扱う型に対する説明を記述する。	—
データ数	データが配列になる場合など、データ数に関する説明を記述する。	—
意味	データの意味の説明を記述する。	—
単位	データ単位に関する説明を記述する。	—
発生頻度, 周期	データの発生頻度、周期に関する説明を記述する。	—
処理速度, 周期	データの処理速度、処理周期に関する説明を記述する。	—

サービスポートプロファイル

データポートがデータストリームを送受信するためのポートであるのに対し、サービスポートはコマンドやオペレーションといった単位で RTC 間がコミュニケーションを行うためのチャンネルである。サービスポートの情報を入力するページは図 45 のとおり。

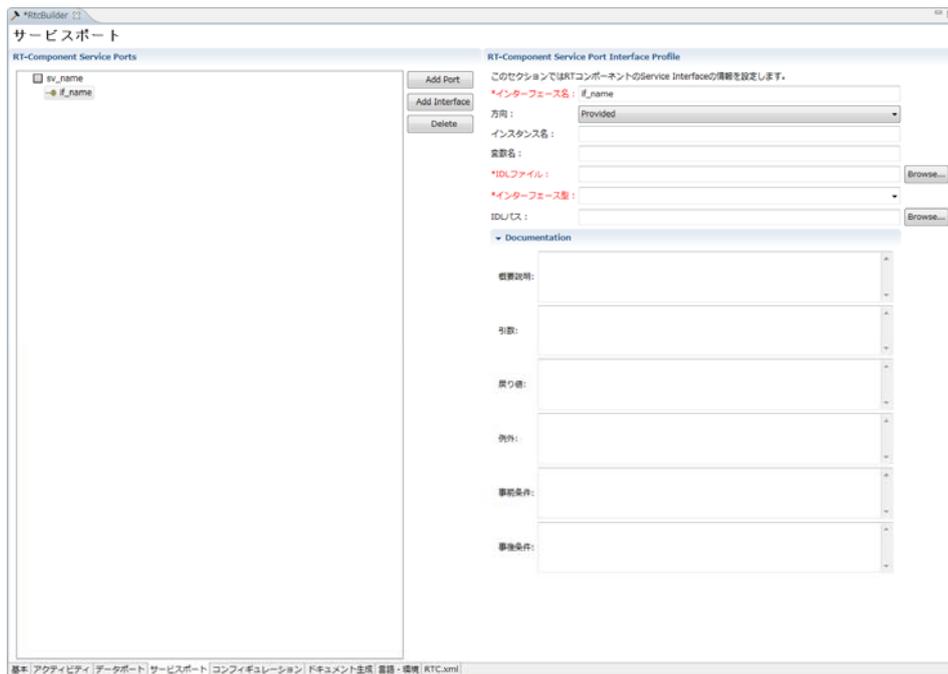


図 45 サービスポートプロファイル入力ページ

新規サービスポートは、画面左側「RT-Component Service Ports」欄の「Add Port」を選択することで追加する。画面左側「RT-Component Service Ports」にてサービスポートを選択した状態で、「Add Interface」を選択することで新規サービスインターフェースを追加することができる。画面左側「RT-Component Service Ports」にて、サービスポートもしくはサービスインターフェースを選択した状態で「Delete」を選択することで、選択したポート／インターフェースを削除する。以下に各入力項目について述べる。

表 8 サービスポートの設定項目

項目	説明	必須
RT-Component Service Port Profile		
ポート名	サービスポートの名称です。半角英数字のみ入力可能。 Data InPort、Data OutPort、Service Port 名称は一意でなければならない。	○
表示位置	ビルドビュー内でのサービスポートの表示位置。	○
Documentation		
概要説明	サービスポートに対する概要説明を記述する。	—

I/F 概要説明	サービスポートに付属するサービスインターフェースの概要説明を記述する。	—
----------	-------------------------------------	---

表 9 サービスポートインターフェースの設定項目

項目	説明	必須
RT-Component Service Port Interface Profile		
インタフェース名	サービスインターフェースの名称です。半角英数字のみ入力可能。 サービスインターフェース名は重複不可。	○
方向	サービスインターフェースの種類。以下の選択肢から選択可能。 ・Provided: 提供インタフェース(Service Provider 用) ・Required: 要求インタフェース(Service Consumer 用)	○
インスタンス名	サービスインターフェースのインスタンス名。半角英数字のみ入力可能。	○
変数名	サービスインターフェースの変数名。省略された場合は、インスタンス名を使用する。	—
IDL ファイル	サービスインターフェースで使用する IDL ファイル名を指定する。 「Browse...」ボタンをクリックすると、ファイル選択ダイアログが表示される。	○
インタフェース型	サービスインターフェースで使用するサービスの型。IDL file を指定すると IDL 内で定義されている型情報が表示される。半角英数字のみ入力可能。	○
IDL Path	IDL のサーチパス。「Browse...」ボタンをクリックすると、ディレクトリ選択ダイアログが表示される。	—
Documentation		
概要説明	サービスインターフェースに対する概要説明を記述する。	—
引数	サービスインターフェースの引数に関する説明を記述する。	—
戻り値	サービスインターフェースの戻り値に関する説明を記述する。	—
例外	サービスインターフェースの例外に関する説明を記述する。	—
事前条件	サービスインターフェースのオペレーションを実行前に満たしておくべき事前条件に関する説明を記述する。	—

事後条件	サービスインターフェースのオペレーションを実行後に満たす事後条件に関する説明を記述する。	—
------	--	---

コンフィギュレーション

同一の RTC を様々なシステムに適用する際に、RTC 内部のロジックで使用する各種パラメータを管理、実行時に外部から設定・変更する機能がコンフィギュレーション機能である。このような RT コンポーネントに設定するユーザ定義のコンフィギュレーション・パラメータ情報およびその他システムのコンフィギュレーション情報を入力するページを図 46 に示す。

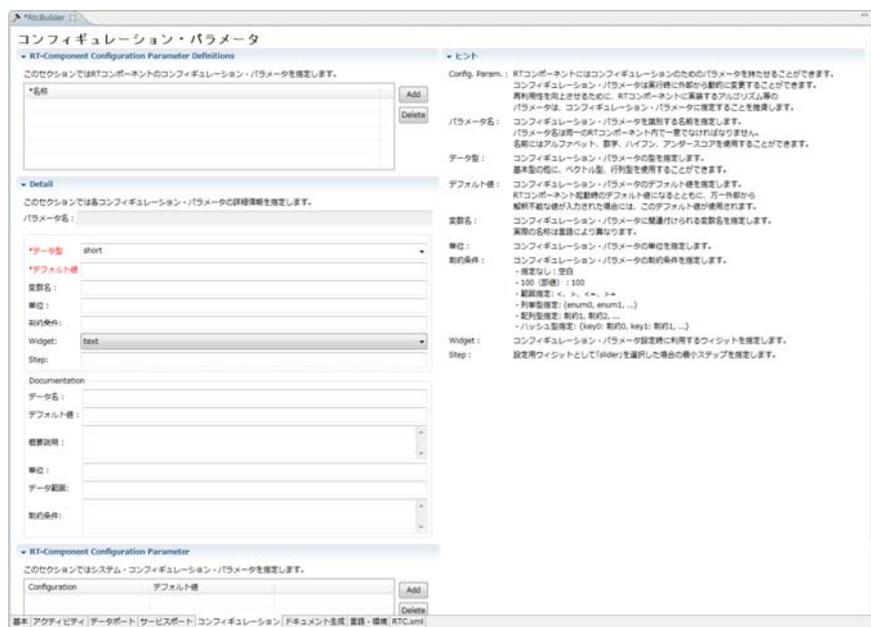


図 46 コンフィギュレーション入力ページ

ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータ情報およびシステム・コンフィギュレーション情報を新規に追加する場合は、「Add」ボタンを押し、名称、データ型等必要な項目を入力する。このように入力されたコンフィギュレーション・パラメータは、ソースコード内に専用の変数として宣言され、プログラム内部で代入・参照することができると共に、RTSystemEditor 等を用いて 外部から参照・変更することができる。

以下に各入力項目について説明する。

表 10 コンフィギュレーション・パラメータの設定項目

項目	説明	必須
RT-Component Configuration Parameter Definitions		
名称	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの名称です。半角英数字のみ入力可能。ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータ名称は一意でなければならない。	○
Detail		
パラメータ名	現在選択されているユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータを表示する。	—
データ型	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータのデータ型。設定画面にて指定した IDL 内で定義されているデータ型が利用可能。	○
デフォルト値	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータのデフォルト値。2バイト文字を含む任意の値を設定可能。	○
変数名	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの変数名。半角英数字のみ入力可能。	—
単位	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの単位。	—
制約条件	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータに対する制約条件を記述する。制約条件の記述方法については、表 11 制約情報の記述方式を参照のこと。	—
Widget	RTSystemEditor の ConfigurationView にてコンフィギュレーション・パラメータを設定する際に利用するコントロールを指定する。以下の値から選択可能。 <ul style="list-style-type: none"> •text: テキストボックス(デフォルト設定) •slider: スライダ •spin: スピンボタン •radio: ラジオボタン 	○
Step	入力用コントロールとして、「slider」を選択した場合に、スライダの刻み幅を指定する。	—
パラメータ名	現在選択されているユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータを表示する。	—
データ名	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの名称に対する説明を記述する。	—

デフォルト値	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータのデフォルト値に対する説明を記述する。	—
概要説明	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータに対する概要説明を記述する。	—
単位	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの単位に対する説明を記述する。	—
データレンジ	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータのデータ範囲に関する説明を記述する。	—
制約条件	ユーザ定義コンフィギュレーション・パラメータの制約条件に関する説明を記述する。	—
RT-Component Configuration Parameter		
Configuration	設定を行うコンフィギュレーション名。一覧から選択する。	○
デフォルト値	設定対象コンフィギュレーションのデフォルト値。予めデフォルト値が設定されている項目については、名称選択時にデフォルト値が設定される。	—

表 11 制約条件の書式

設定内容	設定書式
指定なし	空白
100(即値)	100
100 以上	$x \geq 100$
100 以下	$x \leq 100$
100 超	$x > 100$
100 未満	$x < 100$
100 以上 200 以下	$100 \leq x \leq 200$
100 超 200 未満	$100 < x < 200$
列挙型	(9600,19200,115200)
配列型	$x > 100, x > 200, x > 300$
ハッシュ型	{key0: $100 < x < 200$, key1: $x \geq 100$ }

ドキュメント生成

図 47 に示すように、コンポーネントの概要情報、入出力に関する情報、アルゴリズムなどの振る舞いに、ついてドキュメントを入力するページである。入力項目を表 12 に示す。

図 47 ドキュメント入力ページ

このページで入力された情報は、生成されたコードに Doxygen 形式で埋め込まれる。ソースコードを Doxygen で処理することで、LaTeX や HTML 形式でドキュメントを出力することができる (図 48)。

表 12 ドキュメント設定項目

項目	説明	必須
コンポーネント概要		
概要説明	生成する RT コンポーネントの概要説明を記述します。	—
入出力	RT コンポーネントの入出力に関する概略説明を記述します。	—
アルゴリズムなど	RT コンポーネントが使用しているアルゴリズムなどの説明を記述します。	—
その他		
作成者・連絡先	RT コンポーネントの作成者および連絡先に関する情報を記述します。	—
ライセンス, 使用条件	RT コンポーネントのライセンス情報、使用条件に関する情報を記述します。	—

参考文献	参考文献情報を記述します。	—
バージョンアップログ		
VersionUp Log	今回の変更内容に関するログ情報を記述します。	—
ライセンス, 使用条件	過去のバージョンアップ時のログ情報を表示します。	—

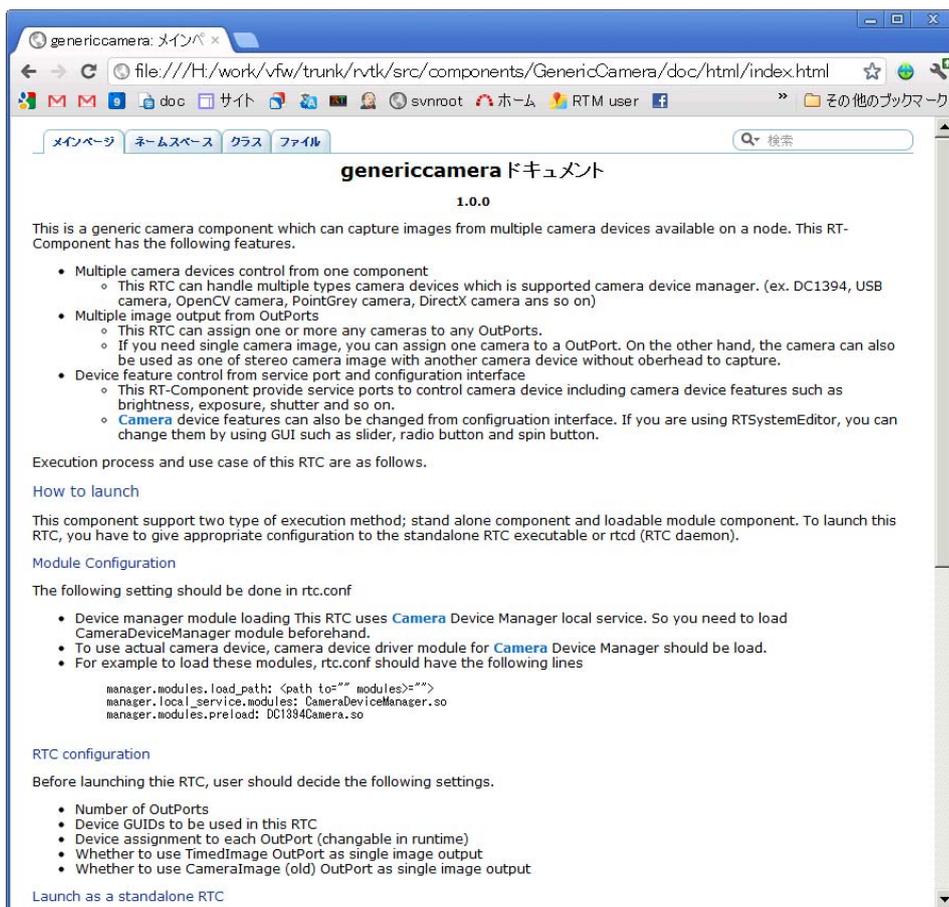


図 48 生成されたドキュメント (HTML) の例

言語・環境

図 49 に示すように、入力した RT コンポーネント仕様にに基づき生成するテンプレート・ソースコードの言語選択や、OS 等の実行環境、依存ライブラリなどを入力するページである。

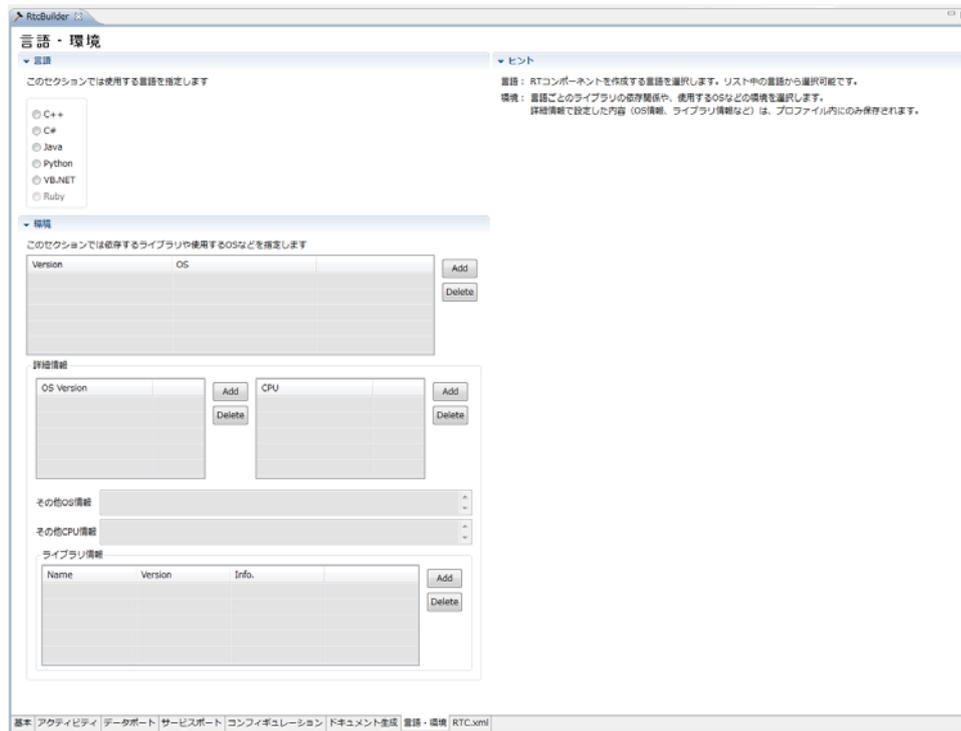


図 49 言語・環境ページ

生成したい言語のセクションを選択し、各言語固有の設定情報を入力する。コード生成実行時（基本プロファイル入力ページの「コード生成」ボタン押下時）に選択されていたセクションの言語用テンプレートコードが生成される。設定可能な項目を表 13 に示す。

表 13 言語・環境情報入力ページ設定項目

項目	説明	必須
言語	生成対象の言語を指定します。	○
環境		
Version	生成対象 RTC を実装している言語のバージョン情報を設定します。	—
OS	生成対象 RTC が動作する OS 情報を設定します。	—
OS Version	生成対象 RTC が動作する OS のバージョン情報を設定します。	—
CPU	生成対象 RTC が動作する CPU アーキテクチャ情報を設定します。	—
その他 OS 情報	生成対象 RTC が動作する OS について、バージョン情報以外の補足情報を設定します。	—

その他 CPU 情報	生成対象 RTC が動作する CPU について、アーキテクチャ情報以外の補足情報を設定します。	—
ライブラリ情報		
Name	生成対象 RTC が利用する外部ライブラリの名称を指定します。	○
Version	生成対象 RTC が利用する外部ライブラリのバージョン情報を指定します。	—
Info.	生成対象 RTC が利用する外部ライブラリの補足情報を指定します。	—

RTC.xml

上記の各設定項目は上述の RTC Profile に準拠した仕様記述方式の XML で表現される。通常この XML ファイルをユーザが直接編集する必要はないが、内容の確認および特別に編集が必要な場合のため、XML ファイルエディタが提供されている。設定項目を編集し、「Update」ボタンを押すと現在の設定内容が XML 形式で表示され、同時に編集も行うこともできる。

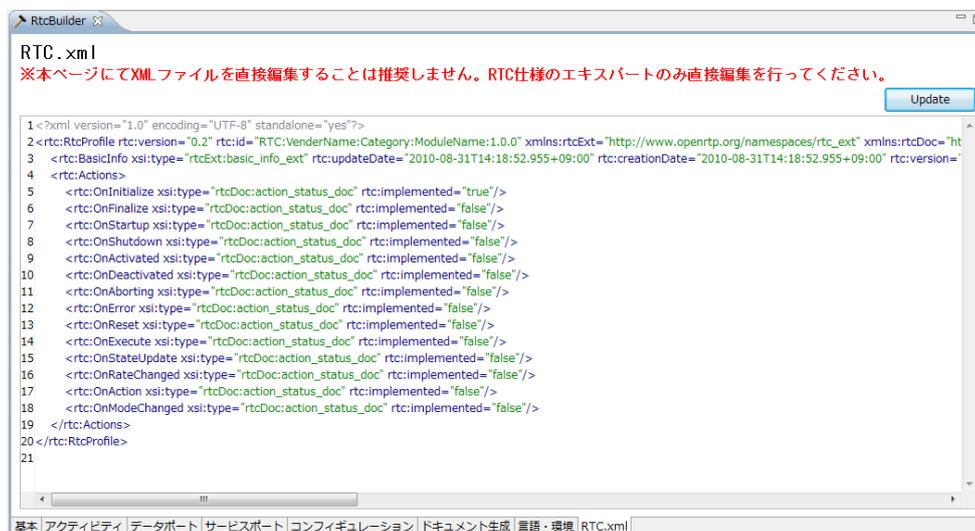


図 50 RTC.xml XML エディタ

OpenRTM-aist の新バージョンへの対応

プロジェクト期間中、OpenRTM-aist はバージョン 0.4、1.0 および 1.1-RC 版へとバージョンアップした。0.4 から 1.0 へのバージョンアップにおいては、API の変更があったため、ひな形コードにも大幅な変更が行われた。また、バージョン 0.4 配布後にユーザから寄せられたフィードバックを元に、入力画面の大幅な刷新を行った。まずひとつに、バージョン 0.4 においては、図 51 の左側の入力テキストボッ

クスのみの画面構成であったが、入力項目が多い上にそれぞれの入力項目の意味する内容が初心者にはわかりづらかった。このため、図 51 のエディタ画面右側のように、各項目の意味と入力例などをヒントとして表示するようにした。これにより、マニュアルなどを参照しなくても、各項目を素早く入力できるようになった。また、データポートの入力に関しても、事前に登録されたディレクトリから IDL を読み込み、利用可能なデータ型をプルダウンから選択可能にするなど、入力の効率化と入力ミス削減のために様々な GUI 上の工夫を施した。

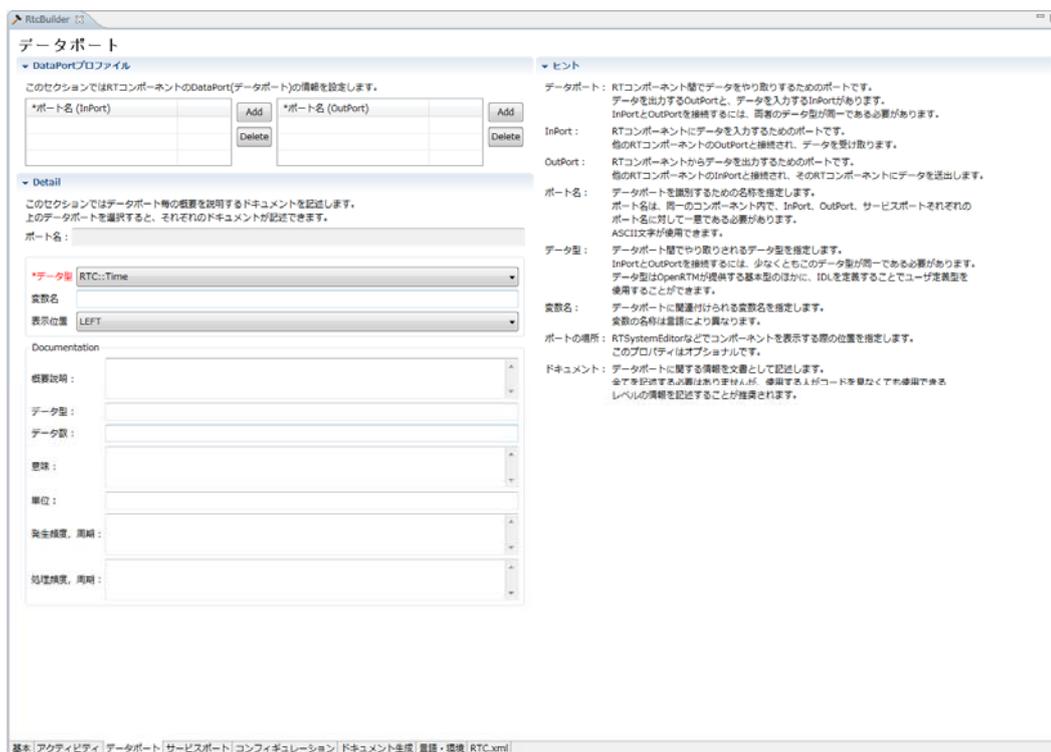


図 51 エディタ画面とヒント表示

また、作成する RTC は、第 3 者が利用する際に中身をブラックボックスとしても提供できるようにすべきであり、このため RTCBuilder にドキュメント入力機能も追加された。入力されたドキュメントは、ソースコード内に埋め込まれ、Doxygen で処理することで、LaTeX や HTML などに変換することが可能である。

また、作成する RTC の仕様は実装開始後も度々変更されるケースがあるため、実装開始後も RTCBuilder に戻り仕様変更を行った上で、再度コード生成ができるような機能を実現した。生成コードはある特定のタグで囲み、コードジェネレータはタグ内にしかコードを上書きしないため、開発者が作成したコードをそのままのこした上で、自動生成コードを再生成することができる。また、コードの上書きをする場合、図 52 に示すように生成済みコードと生成中コードの差分を表示する機能も

追加し、新旧のコードを見ながら新たなコード生成を行うことが可能となった。

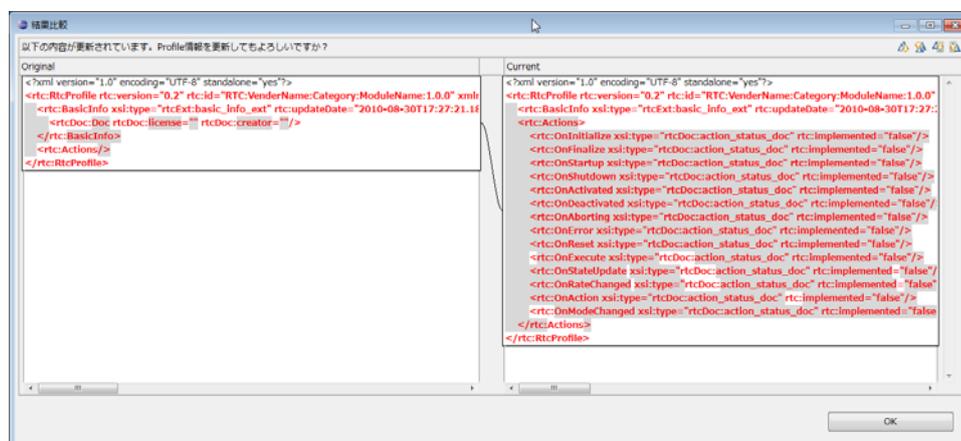


図 52 既存コードと生成コードの差分表示例

CMake への対応

近年、マルチプラットフォーム用のビルドシステムとして CMake が多くのソフトウェアプロジェクトで利用されている。CMake は一種のメタ make コマンドで、CMakeList.txt と呼ばれる CMake 用汎用 Makefile を作成することで、一般的な Makefile や Eclipse の project ファイルに加えて、Visual C++ (Visual Studio) 等のためのソリューションファイル、プロジェクトファイルを生成することが可能である (図 53、図 54)。RTCBuilder および rtc-template は独自のツールにより Visual C++ 2005/2008 のソリューション・プロジェクトファイルを生成する機能を持っていたが、Visual C++ 2010 以降これらのファイルフォーマットが大幅に変更されたため、今後のメンテナンスの容易さ等を考慮し CMake へ移行することとした。

CMake にはパッケージ作成機能もあるため、これを利用することで、作成したコンポーネントパッケージ化も容易になった (図 55)。また、RTCBuilder が生成する CMakeList.txt はドキュメントも同時に生成できるように設定されており、RTCBuilder のドキュメント入力ページで入力した内容からドキュメントも同時に生成できるようになっている (図 56)。

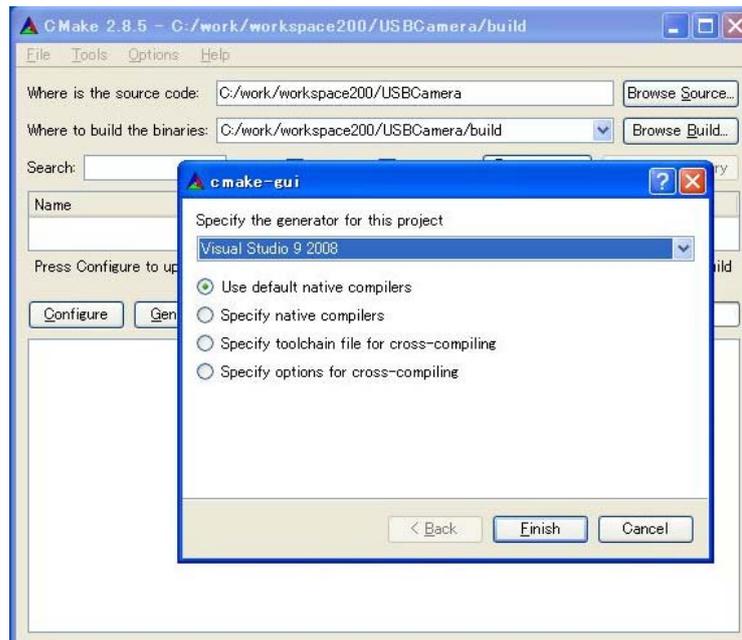


図 53 CMake による生成するプロジェクトタイプの指定

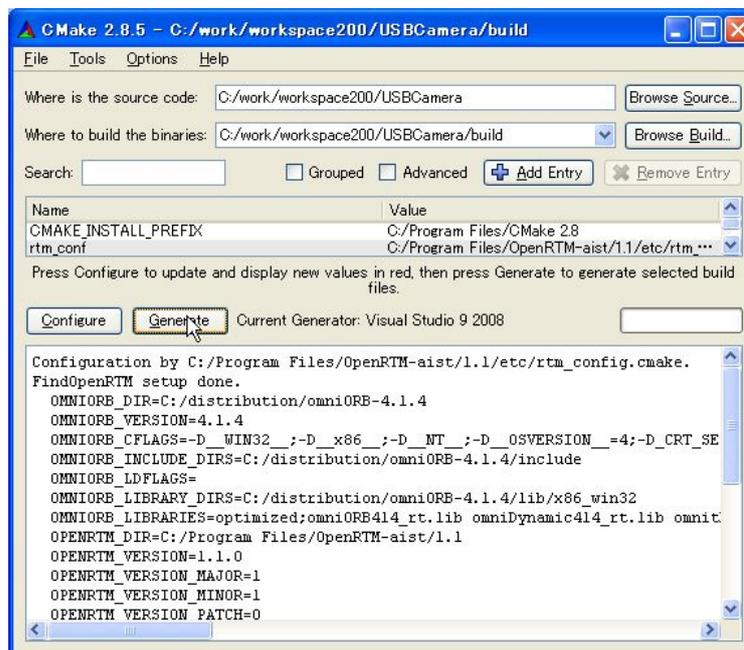


図 54 CMake による Visual Studio のプロジェクトファイルの生成

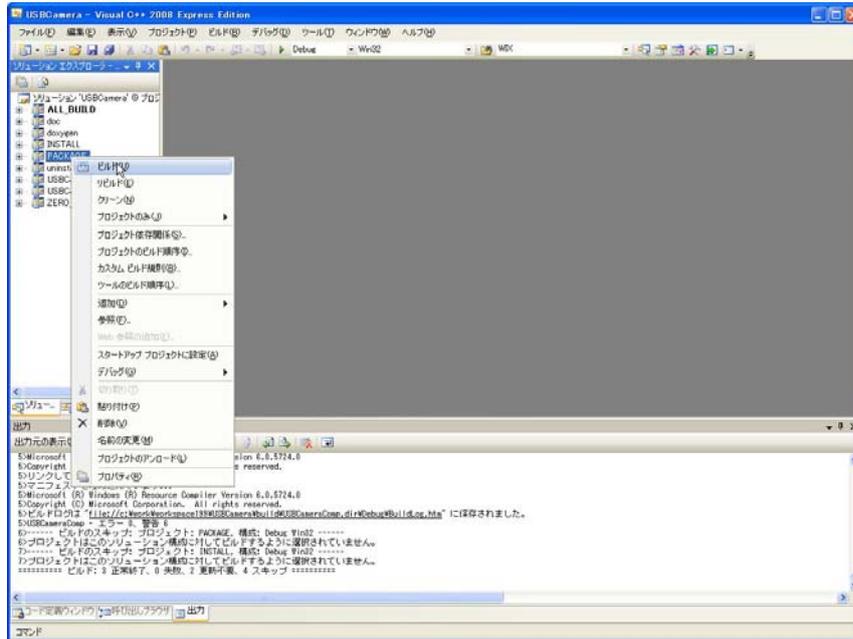


図 55 CMake を利用した Visual Studio からのパッケージ作成

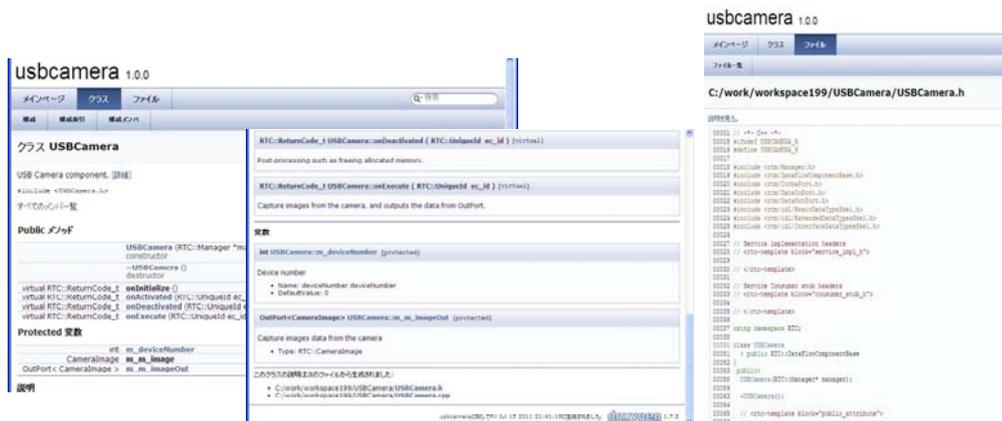


図 56 Doxygen により生成されたドキュメントの例

リリース履歴

- 平成 20 年 9 月 8 日 : RTCBuilder・RTSystemEditor version 0.4 リリース
- 平成 22 年 2 月 9 日 : RTCBuilder・RTSystemEditor version 1.0-RC1 リリース
- 平成 22 年 6 月 1 日 : RTCBuilder・RTSystemEditor version 1.0-RELEASE リリース
- 平成 23 年 5 月 2 日 : RTCBuilder・RTSystemEditor version 1.1-RC1 リリース

まとめ

以上、RTC のひな形コードを自動生成する RTCBuilder の機能について説明した。本プロジェクトで作成したこのツールは、14000 回以上ダウンロードされ、プロジェクト参加組織のみならず一般ユーザにも広く使われ、RTC 作成のための標準ツールとして定着したといえる。本ツールは、RT コンポーネント開発における基本ツールであるため、オープンソースライセンスと個別ライセンスのデュアルライセンスで公開を行っている。現在は、サポートに関しても開発者、ユーザによるコミュニティを中心に継続的な体制を構築しているが、商業利用も可能なライセンス形態をとっている。

(b-1) RT コンポーネントデバッガ

RT システムに、RT コンポーネントを組み込むためには、RT コンポーネント単体で事前に十分なテストとデバッグを行う必要がある。本項目では、RT コンポーネント単体のデバッグを行うためのツールとして、RT コンポーネントデバッガの研究開発を行う。最終目標は、RT コンポーネントデバッガに対して、機能・使い勝手向上、バグフィックスを行い、信頼性の高いツールを本プロジェクト外部に対して公開するとともに、事業化を行うことである。

成果の概要

RT システムに、RT コンポーネントを組み込むためには、RT コンポーネント単体で事前に十分なテストとデバッグを行う必要がある。しかしながら、これまでは最適なテストツールがなく、各々の開発者がテスト用のドライバやスタブを作成しており、RTC の開発効率は良いとは言えなかった。そこで我々は、RTC のテストやデバッグを行うツールとして RTC デバッガを開発した。実際に RTC デバッガを RTC 開発に適用したところ、RTC 単体のテスト工数を 4 割程度削減でき、開発効率が向上することを確認した。

RT コンポーネントデバッガは、RT コンポーネントのデバッグに特化した以下の機能を備える。

- データ入力ポート検証機能
- データ出力ポート検証機能
- アクティビティ検証機能
- コンフィグレーション検証機能
- サービスポート検証機能
- RT コンポーネント実行コンテキスト制御機能
- データプロット機能
- データストア機能

- データ再生機能

さらに、RT コンポーネントデバッガは、RT コンポーネントビルダや RT システムエディタなどの各種ツールと容易に連携できるよう、Eclipse プラグイン版および、Eclipse-RCP 版の 2 つの実装を開発した。

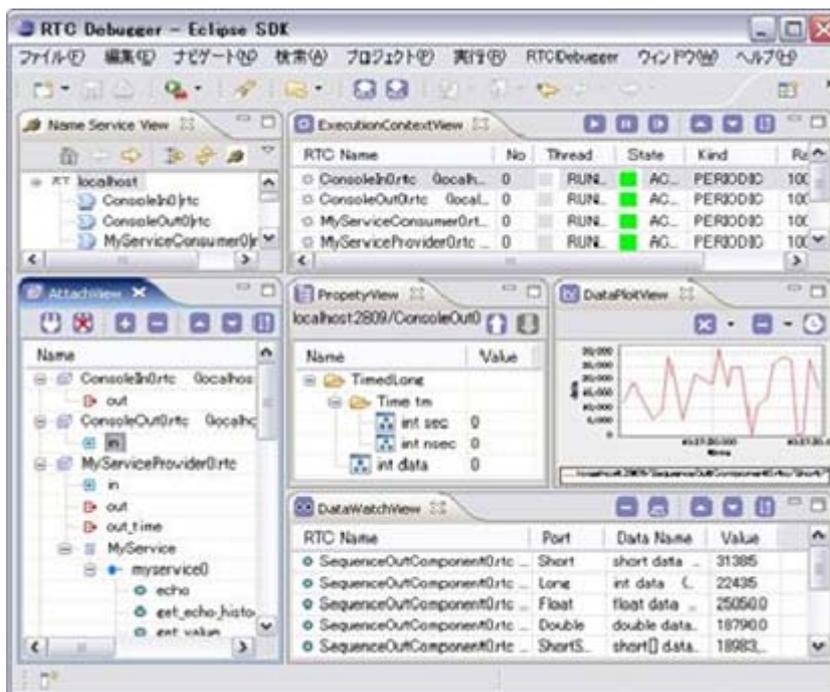


図 57 RTC デバッガ

以降に、RTC デバッガが備える主な機能を示す。

データ入出力／サービスポート検証機能では、データポートへのデータ書き込みや、出力データの表示、サービスポートの提供するサービスを呼び出すことができる。

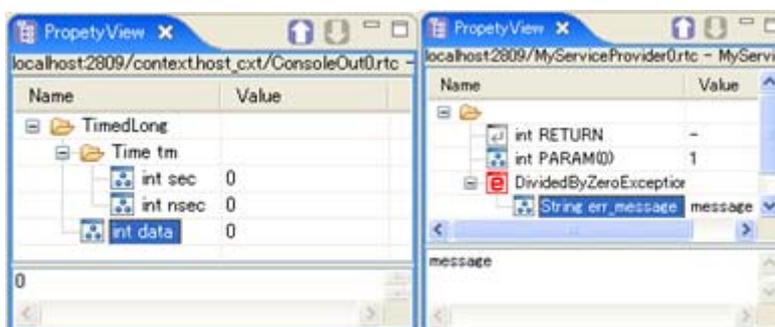


図 58 データ入出力／サービスポート検証機能

実行コンテキスト検証機能では、RT コンポーネントの状態を監視や RT コンポーネントへのコマンド送信や、動作周期の変更を行うことができる。

RTC Name	No	Thread	State	Kind	Rate	Player
ConsoleIn0rtc (localh...	0	RUNNING	ACTIVE	PERIODIC	1000.0	PLAY
ConsoleOut0rtc (localh...	0	RUNNING	ACTIVE	PERIODIC	1000.0	PLAY
MyServiceProvider0rtc ...	0	STOPPED	INACTIVE	PERIODIC	1000.0	PAUSE
MyServiceConsumer0rtc...	0	STOPPED	INACTIVE	PERIODIC	1000.0	PAUSE

図 59 実行コンテキスト検証機能

データプロット・ストア・再生機能では、データポートから出力されたデータのグラフ化や画像表示を行うことができる。さらに、データポートの出力をファイルにエクスポートする機能や、ファイルからインポートしたデータをデータポートに入力する機能を持つ。

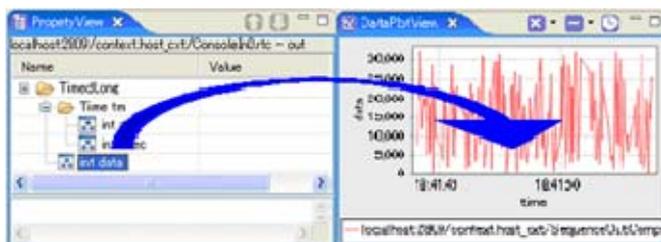


図 60 データプロット機能 (グラフ表示)

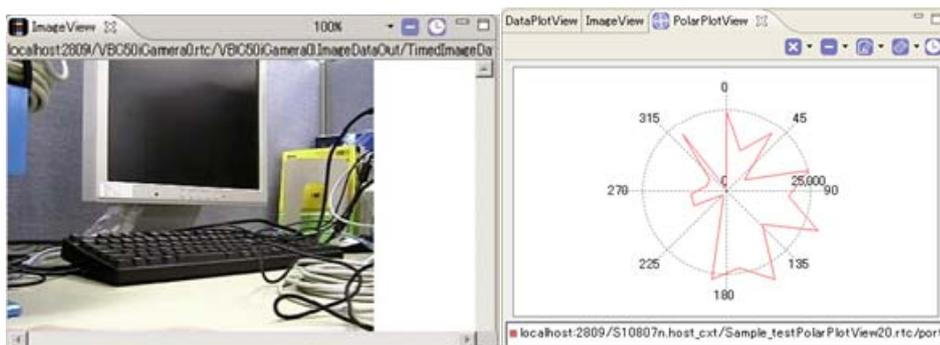


図 61 データプロット機能 (画像表示・極座標表示)

まとめ

RT コンポーネントデバッガのソフトウェアとマニュアルは、RT ミドルウェアによるロボットシステムの開発効率を向上するためのツールとして、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/index.html>) にて無償公開している。NEDO 次

世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの参画機関を始め、その他の大学や企業でも利用されており、RT ミドルウェアの普及に貢献している。

(b-3) RT システムエディタ

RT コンポーネントを組み合わせるシステム設計・開発を行う際には、静的または動的なシステム構成や、構成したシステムのシミュレーションといった作業が想定される。静的システム構成とは、コンポーネント間の静的接続を構成する作業であり、動的システム構成とは、時間軸及びイベントによりシステム構成を動的に切り替え一連のシナリオを実行するシーケンスを作成する作業である。RT システムエディタは前者の静的システム構成を支援するツールである。本研究項目の最終目標は、RT システムエディタの修正・更新・機能拡張をすすめ、信頼性の高いツールを本プロジェクト外部に対して公開するとともに事業化を行うことである。

RT システムエディタ (RTSystemEditor) 概要

RT System Editor は、OpenRTM-aist に含まれる開発ツールの1つであり、ネットワーク上で動作中の RTC をグラフィカル操作する機能を持つ。Eclipse 統合開発環境のプラグインとして作成されており、Eclipse 上にて既存のプラグインとシームレスに操作を行うことが可能である。プロジェクト開始前から同等の機能を持つ RtcLink と呼ばれるツールがあったが、OpenRTP ツールチェーンに組み込むために、いくつかの点で修正を行った上で、名称も RTSystemEditor と変更した。

RTsystemEditor は図 62 のような操作画面を持つ。基本的な操作は、左側のネームサービスビューに表示されている実行中の RTC を中央のエディタにドラッグアンドドロップし、RTC のアクティブ化・非アクティブ化、ポートの接続、コンフィギュレーション・パラメータの操作等を行う。

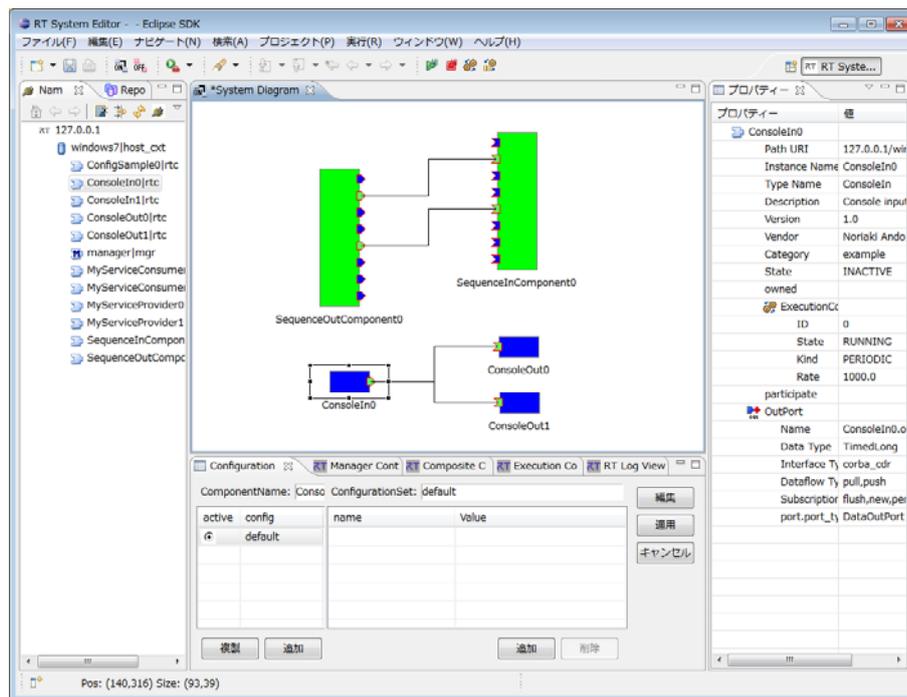


図 62 RTsystemEditor の操作画面

表 14 に RTSystemEditor の機能一覧を示す。

表 14 RTSystemEditor の機能

No	機能名称	機能概要
1	コンポーネントコンフィグレーション表示/編集機能	選択したコンポーネントのコンフィギュレーションプロファイル情報をコンフィグレーションビューに表示し編集する。
2	コンポーネント動作変更機能	選択したコンポーネントの動作を変更する。
3	RT システム組み立て機能	システムエディタ上でシステムの組み立てを行う。
4	システムセーブ/オープン機能	システムエディタの内容を RTS プロファイルとしてセーブする。RTS プロファイルをシステムエディタでオープンする。システムのポート接続、コンフィグレーションを変更しない)
5	システム復元機能	RTS プロファイルをシステムエディタでオープンし、プロファイルの内容を元にシステムを復元する。(プロファイルの内容でシステムのポート接続、コンフィグレーションを再構築する)

RT System Editor は、この OpenRTM-aist に含まれる開発ツールの 1 つであり、RTC をリアルタイムにグラフィカル操作する機能を持っています。また、その名前のおり Eclipse 統合開発環境のプラグインとして作成されており、Eclipse 上にて既存のプラグインとシームレスに操作を行うことができます。

RTSystemEditor の各種ビュー概要

Eclipse の画面は種々の機能を提供するビューやエディタと呼ばれるサブウィンドウ (ペインとも呼ぶ) から構成される。表 14 に RTSystemEditor のビュー一覧、図 63、図 64、図 65 にそれぞれのビューの外観を示す。

表 15 RTSystemEditor のビュー

No	ビュー名	説明
1	ネームサービスビュー	RTC が登録されているネームサービスの内容をツリー表示します。
2	コンフィグレーションビュー	選択されている RTC のコンフィグレーション情報を表示/編集します。
3	マネージャコントロールビュー	選択されているマネージャを制御します。
4	複合コンポーネントビュー	選択されている複合 RTC のポート公開情報を表示/設定します。
5	プロパティビュー	選択されている RTC のプロファイル情報を表示します。
6	システムエディタ	RTC をグラフィカルに表示し、RT システムを作成します。
7	オフラインシステムエディタ	RT リポジトリやローカルの RT コンポーネント仕様ファイルの内容をグラフィカルに表示し、RT システムを作成します。

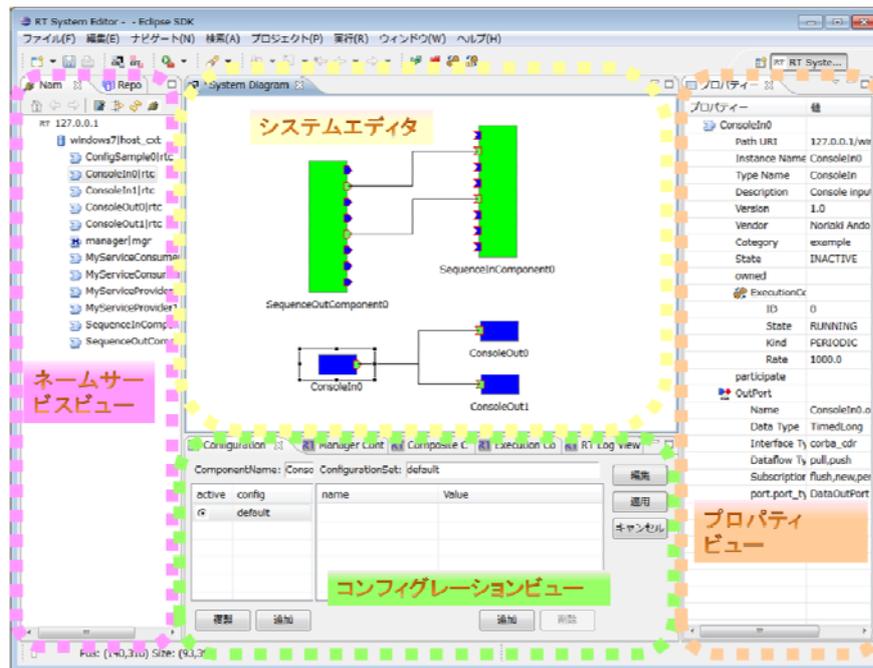


図 63 ネームサービス・コンフィギュレーション・プロパティ各ビューおよびシステムエディタ

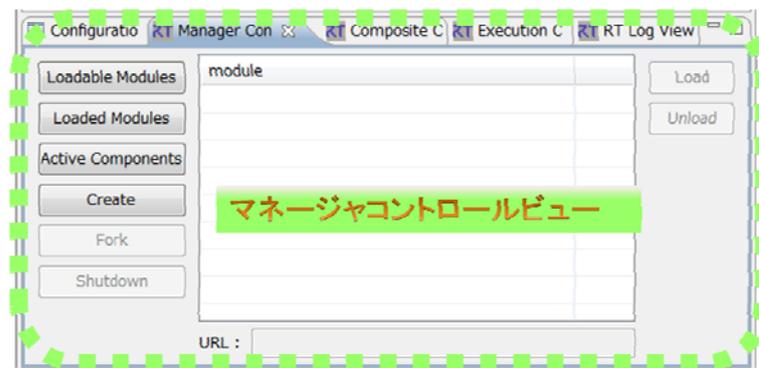


図 64 マネージャコントロールビュー

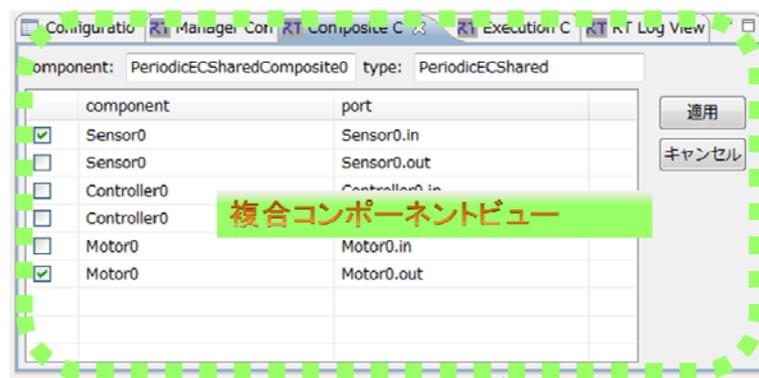


図 65 複合コンポーネントビュー

以下、操作の基本となるネームサービスビュー、システムエディタ、コンフィギュレーションビューについて説明する。

ネームサービスビュー

RTC をネットワーク上で動作させる際には、そのオブジェクトリファレンスと名前を一括で管理するネームサービスが必要となる。すべての RTC は起動後ネットワーク上に存在するネームサービスに名前とオブジェクト参照を登録する。アプリケーションや RTSystemEditor は登録されたオブジェクト参照を元に、各種コマンドを RTC に送ることで様々な操作を行う。

予めネットワーク上に1つ以上のネームサーバを起動しておき、起動する RTC の設定ファイル（通常は `rtc.conf`）に当該ネームサーバのアドレス（およびポート番号）を記述しておく。こうすることで、起動する RTC の名前とオブジェクト参照が自動的にネームサーバに登録される。

ネームサービスビューでは、ネームサーバに登録されている RTC の一覧を見ることができる。ネームサービスビューの接続アイコン（図 66）を押すと接続ダイアログ（図 67）が表示されるので、上記で設定したネームサーバのアドレスをダイアログに入力する。

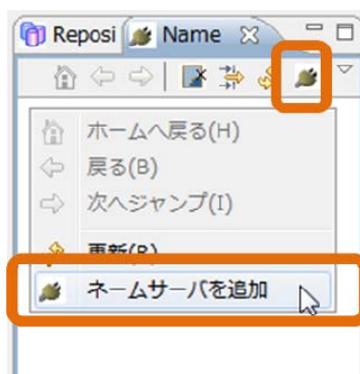


図 66 ネームサービスへの接続

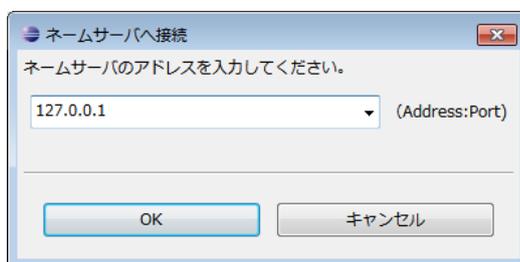


図 67 ネームサーバアドレスの入力

ネームサーバが正常に動作しており、かつ RTC が登録されている場合、図のように RTC の一覧がビューに表示される。

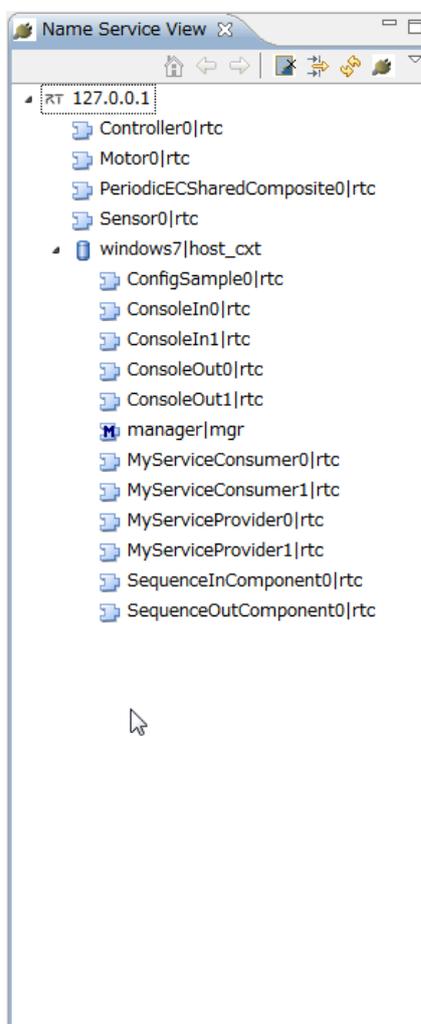


図 68 ネームサービスビューに登録された RTC 一覧

ツリー表示されるオブジェクトの種類とそのアイコンを表 16 に示す。

表 16 ネームサービスビュー上のアイコンとオブジェクトの種類

No	アイコン	種類 (KIND)	名前
1		host_cxt	ホストコンテキスト
2		mgr_cxt	マネージャコンテキスト
3		cate_cxt	カテゴリコンテキスト

4		mod_cxt	モジュールコンテキスト
5		上記以外	フォルダ(上記以外のコンテキスト)
6		なし	RTC
7		なし	マネージャ
8		なし	オブジェクト(RTC 以外のオブジェクト)
9		なし	ネームサーバにエントリされているが、実体のオブジェクトにアクセスできないゾンビオブジェクト

加えてネームサービスビューでは以下の操作を行うことができる。

- 複数のネームサーバの表示
- ネームツリーの階層ごとの表示
- 表示のフィルタリング
- ネームサーバエントリの削除
- オブジェクトエントリの追加・削除
- コンテキストの追加・削除
- ゾンビオブジェクトの削除
- RTC の基本操作 (アクティブ化・非アクティブ化・リセット等)

詳細については、OpenRTM-aist オフィシャル Web サイト (<http://www.openrtm.org>) の RTSystemEditor のドキュメントを参照されたい。

システムエディタ

システムエディタでは、RTC の状態 (Inactive・Active・Error) がアイコンの色 (青・緑・赤) でリアルタイムに表示される。またポート間の接続、コンフィギュレーションの変更、RTC の状態を変更することでシステム構築、動作検証を行う。システムを構築するためには、中央のシステムエディタに必要なコンポーネントを配置する必要がある。RTC をシステムエディタに配置するには、ネームサービスビューから RTC をドラッグ&ドロップする (図 69)。

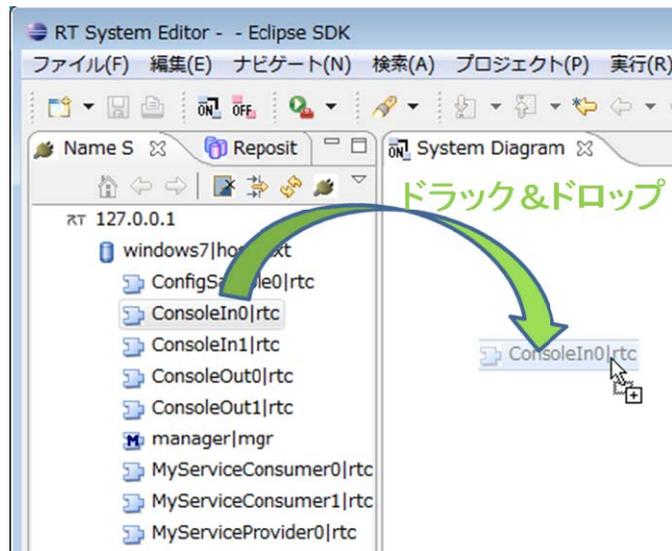


図 69 ドラッグ&ドロップによる RTC の配置

配置した RTC 同士は、必要に応じてポート間を接続する。ポートの接続は、図 70 のようにポートとポートをドラッグ&ドロップすることにより行われる。

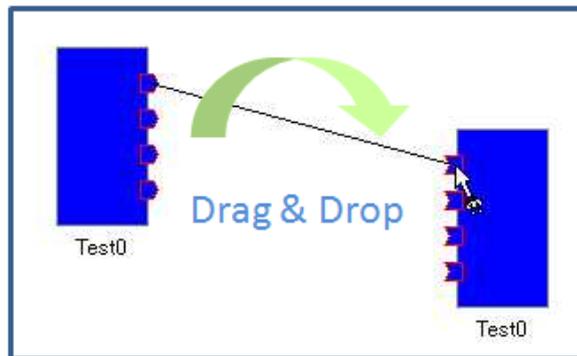


図 70 ドラッグ&ドロップによるポート接続

ドラッグ&ドロップ終了後、接続に必要な情報の入力を促すダイアログが表示される（図 71）。ここで設定される情報は **ConnectorProfile** と呼ばれ、送受信方向、データ転送のタイミング、バッファリングの設定など様々な設定を行うことができる。**ConnectorProfile** は、それぞれのポートが必要とする条件を満たすように作成される必要があるが、このダイアログは必要な条件を満たす値のみが入力されるようプルダウンで促す。

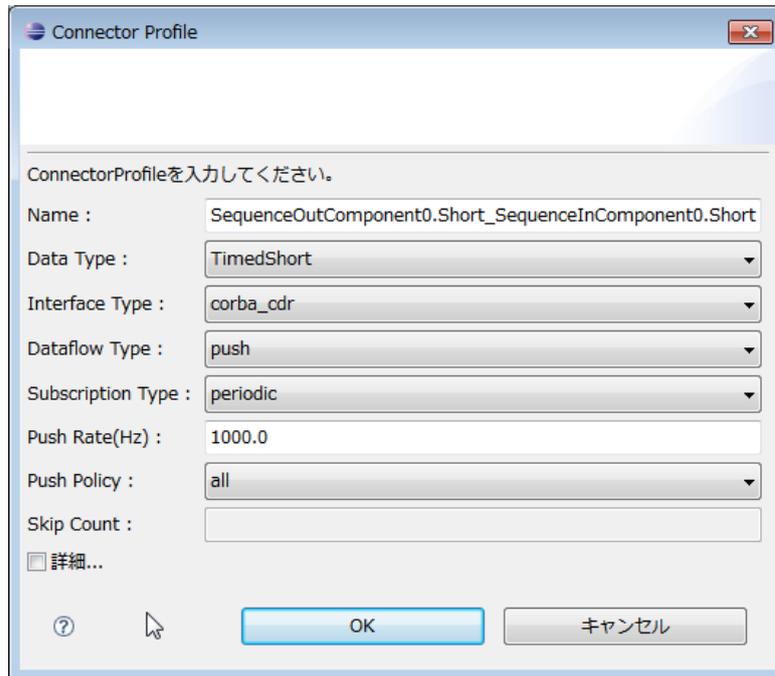


図 71 ConnectorProfile の作成ダイアログ

RTC のポートを接続してシステムが構成できたら、次にコンポーネントをアクティブ化する。RTC をアクティブ化する方法には幾つかあり、図 72 に示すように、アクティブ化 (あるいは非アクティブ化) したい RTC を右クリックし、出てくるコンテキストメニューから「Activate」を選択することで RTC をアクティブ状態することができる。コンテキストメニューにはこの他「Deactivate」、「Reset」、「Finalize」、「Exit」、「Start」、「Stop」メニューがあり、それぞれ RTC に対してコマンドを送ることができる。

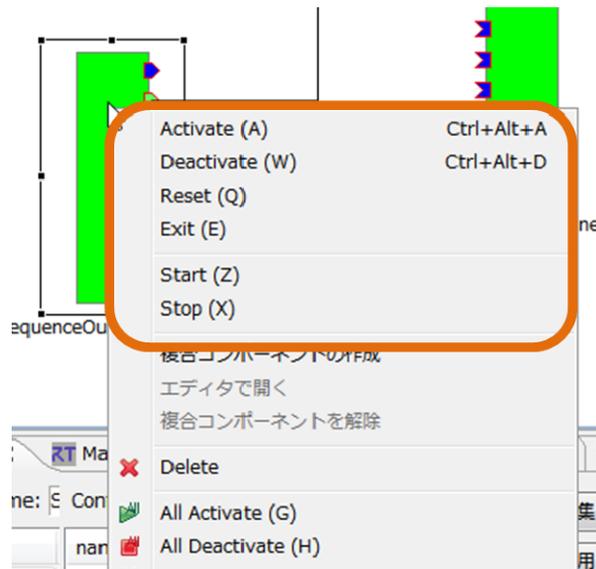


図 72 コンポーネントの状態の変更

この他、システムエディタの RTC 以外の部分を右クリックすると現れるコンテキストメニューを使うと、図 73 のように現在表示しているシステムエディタ上の RTC すべてを Activate (All Activate) また Deactivate (All Deactivate) することもできる。同時に表示される All Start および All Stop は各コンポーネントのデフォルトコンテキストのスレッドを開始・停止するためのコマンドであり、通常は使用しない。これら、All Activate/Deactivate および All Start/Stop メニューは、画面上部のメニューバーにも同一のものが常に表示されている。

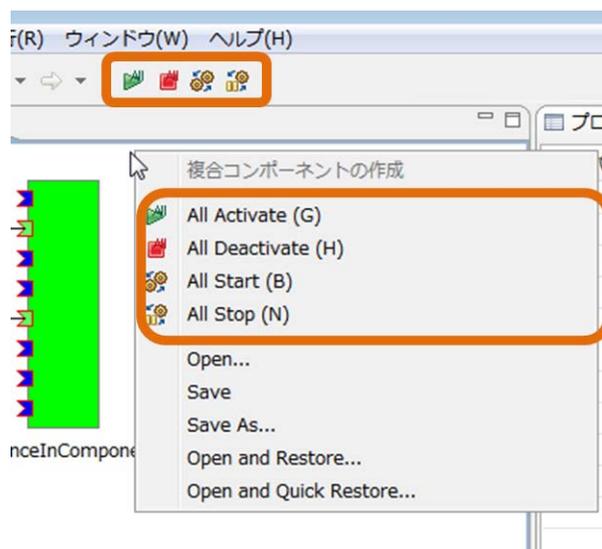


図 73 全 RTC の Activate/Deactivate を行うメニュー

コンフィギュレーションビュー

RTC におけるコンフィギュレーション（またはコンフィギュレーション・パラメータ）とは、RTC 内部の特定のパラメータを外部から参照・変更できるようにしたものである。これを操作するためのビューをコンフィギュレーションビューと呼ぶ。コンフィギュレーションビューでは、RTC を選択すると図 74 のように RTC のコンフィギュレーションセット（図左）およびコンフィギュレーション・パラメータ（図右）が表示される。

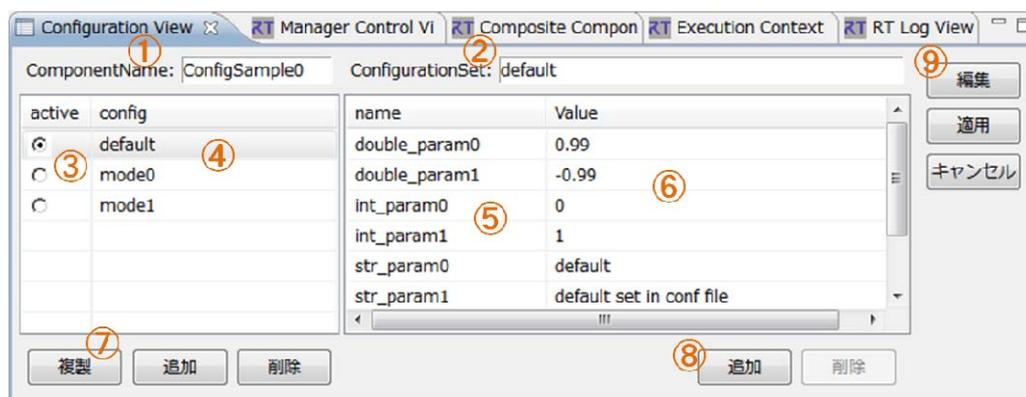


図 74 コンフィギュレーションビュー

変更したパラメータを⑥で選択し、パラメータの値を変更、⑨の更新ボタンを押すことによりパラメータの変更を行う。または⑨の編集ボタンを押し、図のようなダイアログを表示させ、パラメータの変更を行う。

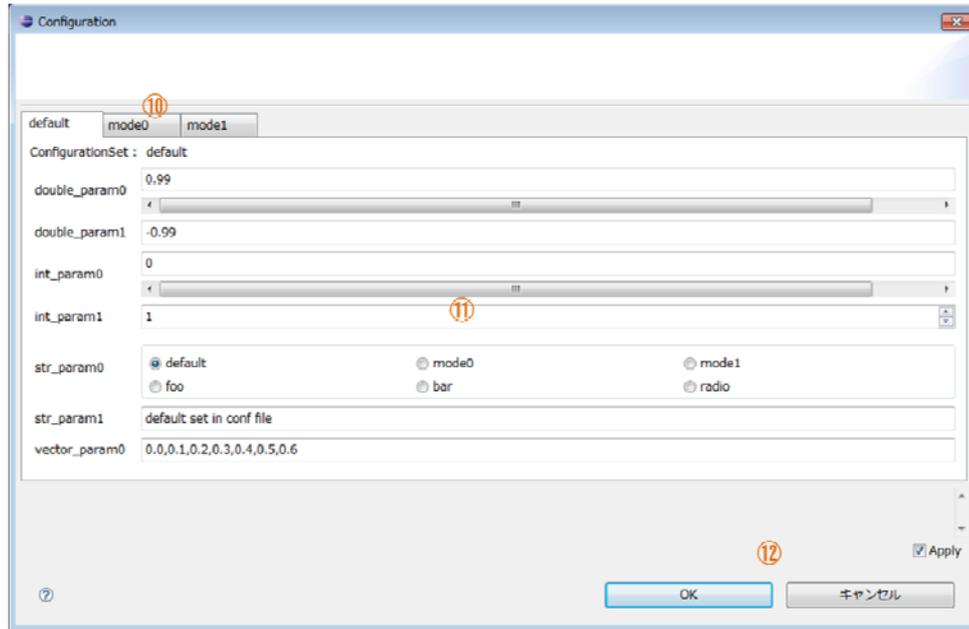


図 75 コンフィギュレーション・パラメータ編集ダイアログ

RTC 実装時に、コンフィギュレーション・パラメータに適切なサブオプションが指定されていれば、パラメータを「スライダ」「スピンドタン」「ラジオボタン」などで変更することができる。その際、ダイアログ右下の「Apply」チェックが入っている場合、操作ごとに連続して自動的にパラメータの更新が行われる。すなわち、スライダなどで値を変更すると、その RTC 内の値がリアルタイムに更新される。また、各パラメータは事前に制約条件を与えることもでき、不適切な値が入力された場合は、図 76 のようなダイアログが出てユーザに注意を促す。

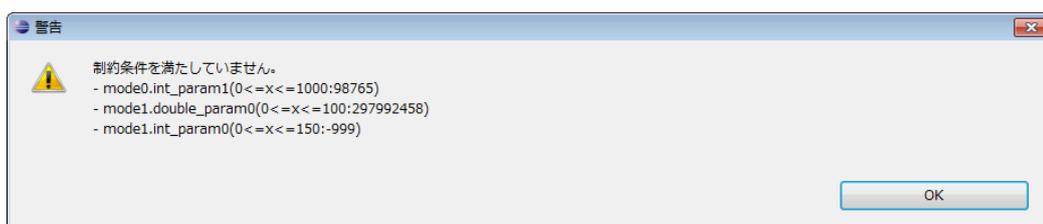


図 76 制約条件を満たさない値が入力された場合の警告ダイアログ

追加機能 (Observer)

RTSystemEditor は管理しているすべてのコンポーネントについて、その状態（ライフサイクル状態、接続情報、コンフィギュレーション・パラメータ等）を把握するために、一定周期でポーリングにより情報取得を行なっている。状態の変化が発生しなくとも常に情報取得を行っているため、管理するコンポーネントの数が増えた場合に処理時間の増加につながる。また、状態の変化を周期ごとにしか把握する

ことができないため、表示と実際の状態の間に不整合が発生する場合がある。これを解決するために、バージョン 1.1 において、OpenrRTM-aist と RTSystemEditor に ComponentObserver と呼ばれる仕組みを導入した。

RTC はサービスポート以外にポートに付属しないサービスインターフェース : SDOService を持つことができる。状態を通知するためのオブザーバーインターフェースを定義し、RTC 側に ComponentObserver 要求 (Required) インタフェース、RTSystemEditor 側に ComponentObserver 提供 (Provided) インタフェースを持たせる。定義した ComponentObserver インタフェースの IDL を図 77 に示す

RTSystemEditor は管理する RTC に対して、SDOService として ComponentObserver をアタッチ可能か問い合わせる。アタッチできない RTC (バージョン 1.1 未満) については従来通りポーリングで対処する。アタッチできる RTC に対しては、ComponentObserver オブジェクトを作成、ターゲットの RTC にアタッチする。これにより、RTC は内部状態の変更が発生した時にのみ RTSystemEditor に状態の変化が発生したこと、どのような種類の変更が発生したかを通知することができる。ポーリングに比べて、状態変更発生時に直ちに変更が通知されるためタイムラグが少なく、変更が発生した時のみ通信が発生するため効率的である。図 78 に ComponentObserver のシーケンス図を示す。

```
// 状態の種類
enum StatusKind
{
    COMPONENT_PROFILE, // RTC の Profile が変化した
    RTC_STATUS, // RTC の LifeCycle 状態が変化した
    EC_STATUS, // EC に関する変更があった
    PORT_PROFILE, // Port に関する変更があった
    CONFIGURATION, // Configuration に関する変更があった
    HEARTBEAT, // Hearbeat 信号
    STATUS_KIND_NUM
};

// ComponentObserver インタフェース
interface ComponentObserver
    : SDOPackage::SDOService
{
    oneway void update_status(in StatusKind status_kind, in string hint);
};
```

図 77 ComponentObserver インタフェース

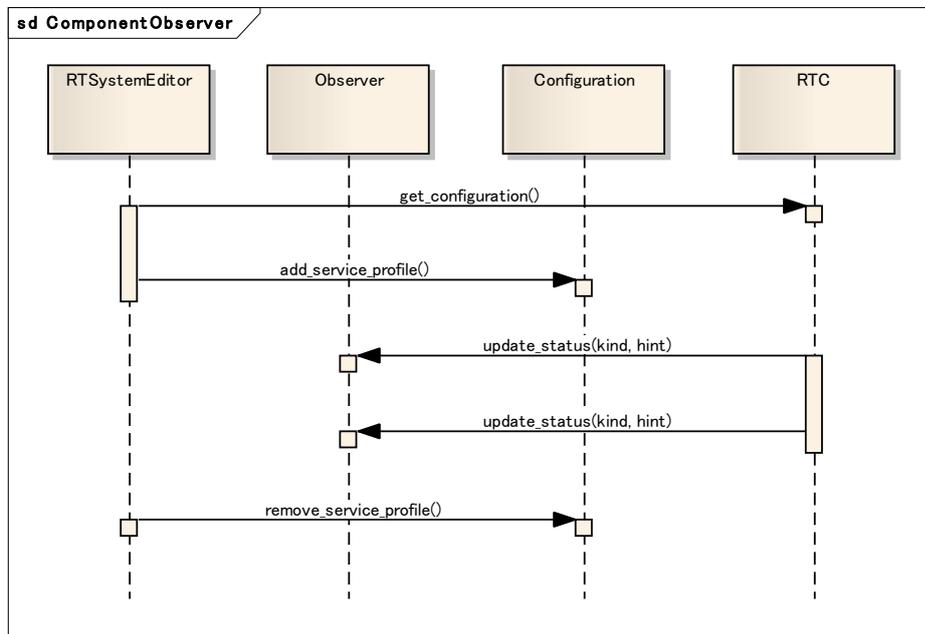


図 78 ComponentObserver の動作シーケンス

リリース履歴

- 平成 20 年 9 月 8 日 : RTCBuilder ・ RTSystemEditor version 0.4 リリース
- 平成 22 年 2 月 9 日 : RTCBuilder ・ RTSystemEditor version 1.0-RC1 リリース
- 平成 22 年 6 月 1 日 : RTCBuilder ・ RTSystemEditor version 1.0-RELEASE リリース
- 平成 23 年 5 月 2 日 : RTCBuilder ・ RTSystemEditor version 1.1-RC1 リリース

RTSystemEditor のまとめ

以上、RT システムを構築や RTC の操作を行う RTSystemEditor の機能について説明した。本プロジェクトで作成したこのツールは、14000 回以上ダウンロードされ、プロジェクト参加組織のみならず一般ユーザにも広く使われ、RT システム作成のための標準ツールとして定着したといえる。本ツールは、オープンソースライセンスと個別ライセンスのデュアルライセンスで公開を行っている。ツールのサポートに関して、開発者、ユーザのコミュニティを形成し継続的に実施している。また、個別ライセンスにより、商用化も視野にいたした開発を実施した。また、プロジェクト期間中にユーザからの要求に応じて、後述するコマンドラインベースのツール `rtshell` の開発も実施した。以下に、`rtshell` について述べる。

rtshell 概要

RTSystemEditor を利用すれば、GUI からネットワーク上の RTC を操作し、システムを構築することができる。また、システム情報のセーブ・リストア機能を用いれば、システムの起動を自動的に行うこともできる。しかしながら、Eclipse は使用メモリ量が多く、高速の CPU を必要とするアプリケーションであり、低速の PC から RTC を操作したい場合には向かない。また、GUI ツールである RTSystemEditor に対して、CUI (Command-line User Interface) で対話的に RTC を操作したいという要望は依然として強い。また、システムの運用を自動化したい場合、一般には GUI ツールは適しておらず、スクリプトによる RTC の操作が求められる。

こうした背景から、RTC および RT システムの操作を行うスクリプト用ライブラリ `rtctree/rtspfile` Python モジュールおよび、コマンドセット `rtshell` を開発した。`rtctree/rtspfile` を用いると、Python スクリプトから RTC オブジェクトの取得、RTC の各種操作、システム構成情報の取得やリストア等を容易に行うことができる。また、`rtshell` コマンド群は、Linux や Windows のコマンドラインシェルから利用でき、対話的に RTC の状態の取得や操作、システム情報の保存・リストアを行うことができる。`rtshell` コマンド群は比較的资源の乏しい PC でも動作し、開発から運用時までさまざまな場面で利用できるツールである。

rtshell コマンド群

`rtshell` は表 17 に示す多くのコマンド群から構成されている。

RTC の操作に関するコマンドは、予め設定されたネームサーバに登録された RTC を参照し、ターゲットとする RTC をコマンドの引数として与え各種操作を行う。ポートの接続等のコマンドは、RTC に加えてポート名も引数に指定する。システム全体に対する操作コマンドは、システムのプロファイルである `RTS Profile` ファイルを与え、そこに指定されている RTC に対して各種操作を行う。

UNIX 系のシステムにおいては、各コマンドに `man` によるマニュアルページが用意されているので、詳細はマニュアルを参照されたい。

表 17 `rtshell` コマンド一覧

コマンド名	機能
<code>rtact</code>	RTC を Activate する。Inactive 状態の RT コンポーネントを activate する。
<code>rtcat</code>	RTC の情報を表示する。RT コンポーネント、ポート及びマネージャのメタデータを読んでターミナルに表示する。
<code>rtcheck</code>	RT システムをチェックする。実行中の RT システムと <code>RTSProfile</code> とで矛盾がないかをチェックする。正しくない状態にあるコンポーネ

	ントや間違った接続などのようなエラーを報告する。
rtcomp	コンポジットコンポーネントの管理。実行している複数のコンポーネントを一つのコンポジットコンポーネントとして構成し、選択されたポートを外部に公開する。既存のコンポジットコンポーネントに新しいメンバーを追加、またはメンバーを削除する。
rtcon	二つ以上のデータポートやサービスポートを接続する。
rtconf	コンフィグレーションパラメータの管理。コンフィグレーションパラメータとセットを表示、編集する。
rtcryo	実行中の RT システムを RTSPProfile に保存する。コンポーネント間の接続とコンポーネントの現在のコンフィグレーションパラメータを保存する。接続されていないコンポーネントは保存されない。
rtewd	RTC ツリーの中の現在のワーキングディレクトリを変更する。
rtdeact	Active 状態の RT コンポーネントを deactivate する。
rtdel	ネームサーバから登録済みオブジェクトを消す。このコマンドでオブジェクト自身は終了されない。
rtdis	ポートの間の接続を削除する。一つのポートから全ての接続を消すこともコンポーネントから全ての接続を消すことも可能。
rtdoc	RT コンポーネントのドキュメンテーションを表示する。 ある RT コンポーネントは内部的にドキュメントを含んでおり、コンフィグレーションセットに保存されている。このコマンドでそのドキュメンテーションを複数のフォーマットで表示することができる。
rtexit	実行中の RT コンポーネントを終了させる。コンポーネントは終了手続きをして終了する。
rtfind	RTC ツリーのネームサーバ上でコンポーネントやマネージャなどを探索する。
rtinject	値を一つ以上のポートに送信する。デフォルトは一回のみ送信するが、複数回や定期的に送ることも可能。目的のポートに対して接続を作成する。
rtlog	コンポーネントがデータポートで送るデータをログファイルに保存したり、再生したりする。
rtls	RTC ツリーのディレクトリにあるオブジェクトをリストする。デフォルトは現在のワーキングディレクトリをリストする。
rtmgr	マネージャを介してコンポーネントと共有モジュールの管理を行う。マネージャにロードされた共有モジュールからコンポーネントをインスタンス化する。
rtprint	複数のアウトポートが送るデータを標準出力に表示する。
rtpwd	現在のディレクトリを表示する。
rtreset	エラー状態にある RT コンポーネントをリセットする。
rtresurrect	RTSPProfile ファイルをロードして実行中のコンポーネントを使って RT システムを復元する。コンポーネントの間の接続とコンポーネントのコンフィグレーションパラメータは RTSPProfile のものが反映される。

rtstart	すべてのコンポーネントを activate することによって RTSPProfile に保存された RT システムを起動する。コンポーネントは RTSPProfile が指定された順番に activate される。
rtstodot	Graphviz の dot フォーマットで RT システムをグラフとして表示する。RTSPProfile が指定されていない場合、stdin から読み込む。
rtstop	すべてのコンポーネントを deactivate することによって RTSPProfile に保存された RT システムを停止する。コンポーネントは RTSPProfile が指定された順番に deactivate される。
rtteardown	RTSPProfile に保存された RT システムのすべての接続を削除する。
rtvlog	個別の RT コンポーネントのログを取得して表示する。RT コンポーネントには SDO の Logger インタフェースに対応している必要がある。ログはターミナルに出力される。

YouTube によるチュートリアル公開

rtshell の使い方をわかりやすく説明しユーザを広げるため、YouTube 上に OpenRTM-aist のチャンネルを作成し、そこで rtshell のチュートリアルビデオを公開した。英語版では 887 回、日本語版では 534 回（平成 24 年 4 月現在）の閲覧があった。また、RT ミドルウェア講習会においても rtshell を取り入れ、利用法を解説し実習中にユーザに利用してもらうことで、普及を図ってきた。

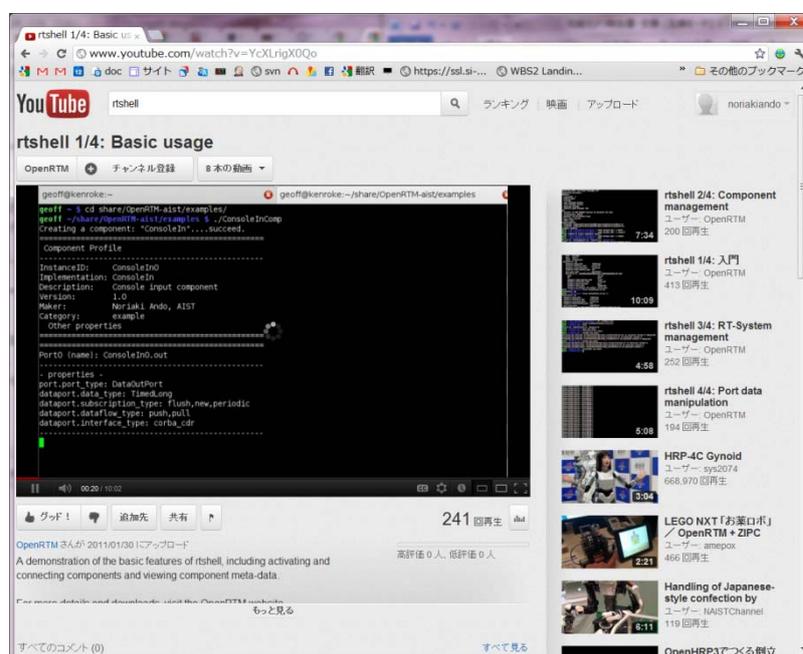


図 79 YouTube 上の rtshell チュートリアル

リリース履歴

- 平成 22 年 1 月 27 日：(rtshell の前身) rtcshell/rtsshell-1.0 リリース
- 平成 22 年 1 月 27 日：rtctree/rtspfile-1.0 リリース

- 平成 22 年 6 月 1 日 : (rtshell の前身) rtcshell/rtsshell-2.0 リリース
- 平成 22 年 6 月 1 日 : rtctree/rtprofile-2.0 リリース
- 平成 23 年 2 月 7 日 : rtshell-3.0、rtctree/rtprofile-3.0 リリース

rtshell のまとめ

rtshell はコマンドラインベースで RTC の種々の操作ができるツールとして、とくに Linux ベースでシステムを開発するユーザに好んで利用されている。また、rtctree/rtprofile により、システムや RTC の複雑な操作をスクリプトとして記述し、システムの起動や運用の自動化を容易に実現できるようになった。これにより、GUI による RTC 開発・システム開発から、スクリプト・アプリケーションプログラムにより自動実行・運用に至るまでの RT システム開発・運用フェーズすべてをサポートするプラットフォームを実現した。本研究開発項目は、当初の実施計画にはなかったがプロジェクト期間中にユーザからの要求に基づき実施したものである。RTSystemEditor とともに、多くのユーザから利用されるツールを実現することができた。

(c) RT ミドルウェアの開発

(c-1) RT ミドルウェアの各種 OS/言語対応

本項目では、RT ミドルウェアを利用できるプラットフォームを拡充するため、RT ミドルウェアの各種 OS/言語対応を行う。

OS 対応としては、リアルタイム OS である VxWorks 上で動作する RT ミドルウェアを研究開発する。言語対応としては、Microsoft 社の .NET (ドットネット) 環境で動作する RT ミドルウェア (OpenRTM.NET) の研究開発を行う。

その他の OS/言語対応については、ソフトウェア業界の動向、本プロジェクトの各研究項目実施機関からの要望を踏まえ、必要に応じて対応するプラットフォームを追加する。最終目標は、VxWorks および.NET 環境対応版の RT ミドルウェア以外に 1 つ以上の各種 OS/言語対応の RT ミドルウェアのラインナップを追加する。本研究項目の最終目標は、各種 RT ミドルウェアに対して、機能向上、バグフィックスを行い、本プロジェクト外部に対して公開するとともに、事業化を行うことである。

VxWorks 版 RT ミドルウェア

これまでに開発された RT ミドルウェアは、Linux や Windows などの汎用 PC 上で動作するものであったが、今後はリアルタイム OS、組込みマイコンなどの様々なアーキテクチャへの適用が期待されている。そこで我々は、リアルタイム OS である VxWorks 上に産総研が開発している、

OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE 版を移植した。

VxWorks 版 RT ミドルウェア (OpenRTM-aist for VxWorks) のシステム構成を示す。

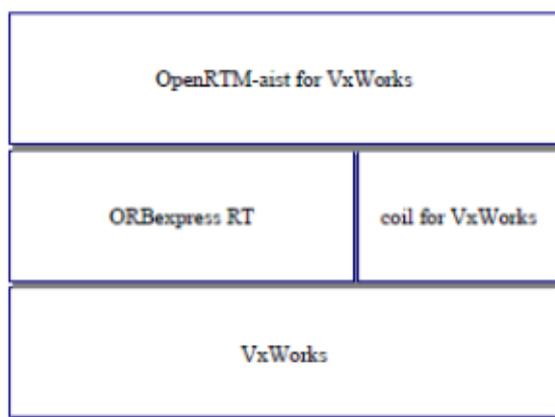


図 80 VxWorks 版 RT ミドルウェアのシステム構成

VxWorks は、WindRiver 社の開発するリアルタイム OS であり、産業用ロボットや航空宇宙機器など高い信頼性が要求される分野において広く利用されている。また、知能化プロジェクト内の開発対象となっている産業用ロボットにも利用されている。対応する VxWorks のバージョンは、メモリプロテクション機能を持ち、品質の高いアプリケーション開発が可能な 6.4 / 6.7 と、メモリプロテクション機能は持たないがパフォーマンス面で有利な 5.5.1 を対象とした。

ORBexpress RT は、OIS 社の開発する RT CORBA 1.0 Specification に準拠した CORBA 実装であり、航空宇宙や、原子力関連システムなどミッションクリティカルな分野で幅広く利用されている。オーバーヘッドが小さく、単純なソケット通信 (TCP) と比較しても遜色がない。また、ライブラリのサイズは 200~300KB 程度と小さい。

OpenRTM-aist では、移植性を向上させるため、OS 抽象化層 coil (Common Operating-system Infrastructure Layer) を用意している。これは、スレッドやタイマーなど、システムコールを抽象化した汎用的なライブラリである。今回、VxWorks5.5.1 用、6.4 用のそれぞれの coil 実装を用意した。

VxWorks 版の RT ミドルウェアは、次に示す PowerPC 搭載の CPU ボード上で検証を行い、リアルタイム動作が行えることが確認できた。



Board	EK7 - ESM™ Starter Kit with EM8 / MPC 8540
CPU	PowerPC MPC8540 / 800 MHz
Memory	512MB DDR SDRAM
I/O	Gigabit / Fast Ethernet UART PCI SLOT VGA USB 2.0 IDE PC 104
Size	170mm × 150mm
Weight	465g

図 81 VxWorks 版 RT ミドルウェアの評価環境 (その 1)



Board	WIND RIVER SBC8540
CPU	PowerPC MPC8540 / 800 MHz
Memory	512MB DDR SDRAM 64MB Flash DIMM 8MB Onboard Flash 64KB EEPROM
I/O	Gigabit / Fast Ethernet PCI SLOT RapidIO 8bit parallel bus 16pin JTAG COP Interface
Size	312mm × 128mm

図 82 VxWorks 版 RT ミドルウェアの評価環境 (その 2)

.NET 対応 RT ミドルウェア (OpenRTM.NET)

我々は、OMG (Open Management Group)で標準化され、平成 20 年 4 月に仕様が公開された RTC Specification 1.04) 準拠の RT ミドルウェアとして、OpenRTM.NET 1.0 を開発した。OpenRTM.NET 1.0 は Microsoft .NET Framework 上で動作する RT ミドルウェア実装であり、CORBA (Common Object Request Broker Architecture)だけでなく、SOAP によるインターネット経由の通信や、名前付きパイプによる高速な通信など、複数の通信方式を選択可能として

いる。また、アノテーションを活用することで、RT コンポーネントを簡略化した記述で実装することが可能となっている。OpenRTM.NET は次のような特徴を持つ。

- C#や Visual Basic を利用して、効率的に RT コンポーネントを開発することができる。
- インストーラがサポートされており、簡単に使い始めることができる。
- CORBA や WCF など、複数の通信ミドルウェアに対応している。

ここで、OpenRTM-aist は、通信ミドルウェアに CORBA (Common Object Request Broker Architecture)を利用して、ファイアウォールを通過した通信や、他のロボット用ミドルウェアへの透過的なアクセスを実現することは難しい。OpenRTM.NET では、RT コンポーネントフレームワークと通信ミドルウェアの構造を分離することにより、CORBA 以外の様々な通信ミドルウェアに対応できるようにしていることも大きな特徴である。

OpenRTM.NET は、CORBA PSM の実装に加え、Microsoft の通信基盤技術である WCF(Windows Communication Foundation)向けの PSM を規定し実装を行っている。WCF では、SOAP や REST(REpresentational State Transfer)、名前付きパイプなど、複数の通信プロトコルを透過的に利用することが可能であり、WS-Security を利用したセキュアな通信も実現することができる。また、通信ミドルウェア層を抽象化していることにより、CORBA や WCF 以外の新たな通信ミドルウェアを利用するための拡張が可能となっている。

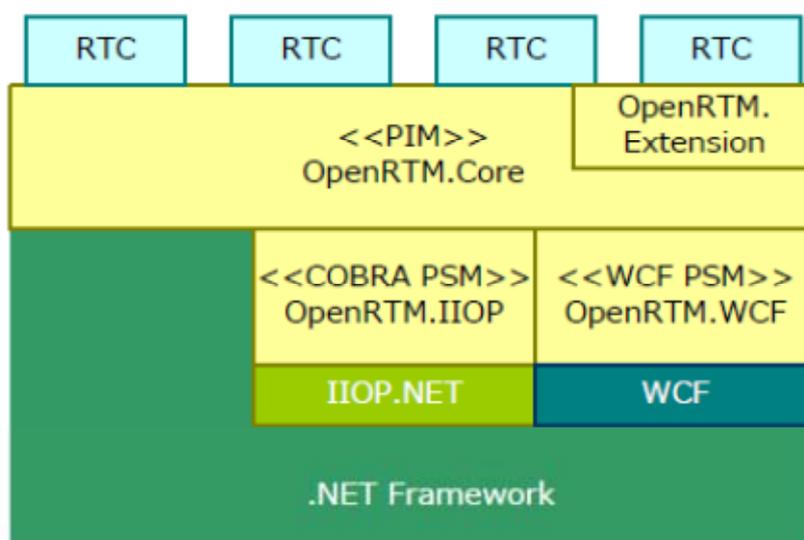


図 83 OpenRTM.NET のアーキテクチャ

通信ミドルウェアの抽象化を行った場合、通信ミドルウェアの実装に依存しない

形で、データやサービスのインタフェースを規定するための表現方式が必要となる。例えば、CORBA では IDL(Interface Definition Language)、SOAP では WSDL(Web Services Description Language)が利用されている。しかし、こういった IDL や WSDL のような形式を利用した場合、新たな記述方式を学習するためのコストが必要となる。また、開発の際に IDL コンパイル等の手間や、IDL とプログラミング言語間の実装の不一致が問題となる。そこで、OpenRTM.NET では、C#や Visual Basic など、RT コンポーネントを実装するプログラミング言語と同じ言語で共通インタフェースを記述する。ただし、共通インタフェースであることを表すための、カスタム属性(アノテーション)を付与することとしている。例えばデータ型の定義は、DataContract と DataMember を利用して、サービス型の定義は、ServiceContract と OperationContract を利用して、次のように記述することができる。

```
[DataContract]
public class MyData {
    [DataMember]
    public int value;
}
[ServiceContract]
public interface Myservice {
    [OperationContract]
    string echo(string message);
}
```

図 84 OpenRTM.NET におけるデータ型とサービス型の定義

この共通インタフェースを利用した RT コンポーネントを作成し、設定ファイル等で通信ミドルウェアに CORBA を選択して実行すると、OpenRTM.NET は、共通インタフェースの構造を解析し、IDL とスタブとスケルトンを自動生成する。さらに、スタブを利用したプロキシと、スケルトンを実装したアダプタも自動で生成される。この仕組みにより、通信部分のソースプログラムが動的に生成され、RT コンポーネントの実装を変更することなく、異なる通信ミドルウェア上で RT コンポーネントを動作させることが可能となる。

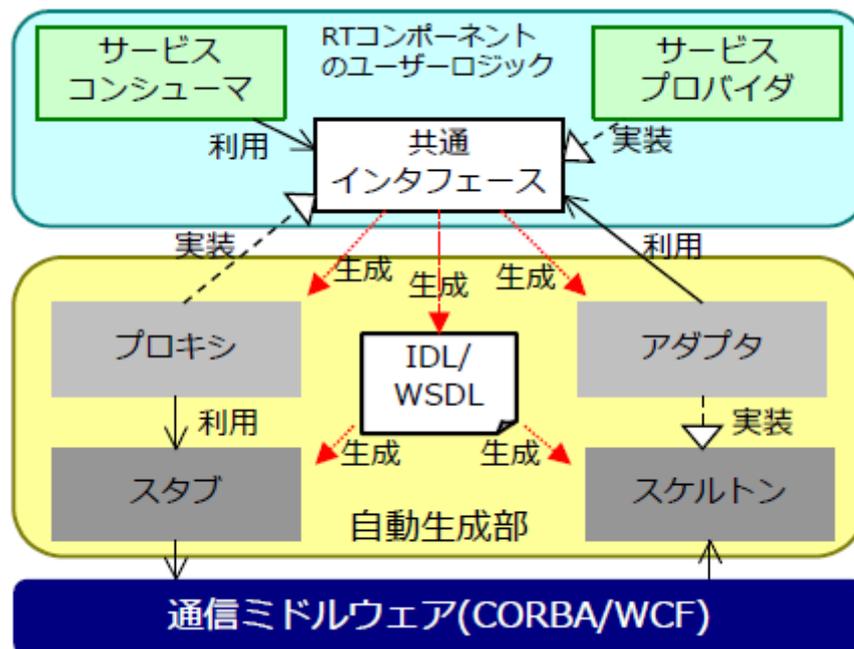


図 85 共通インタフェースによる通信部分のソースプログラムの自動生成

Android 版 RT ミドルウェア (RTM on Android)

異なる環境の智能モジュールをシームレスに接続可能とするため、様々な OS やプログラミング言語に対応した RT ミドルウェアを開発してきたが、急速に普及しているスマートフォンやタブレット PC への対応は、残念ながら遅れてきた。我々は、オープンソースで公開されている点、扱いやすいライセンス (Apache Software License v2) である点、豊富な Java API が公開されておりアプリケーションを開発しやすい点、などにおいて、今後益々の拡大が見込まれるプラットフォームである Android への適用は急務であると考え、Android 版の RT ミドルウェア (RTM on Android) を開発した。

Android のアーキテクチャを図に示す。

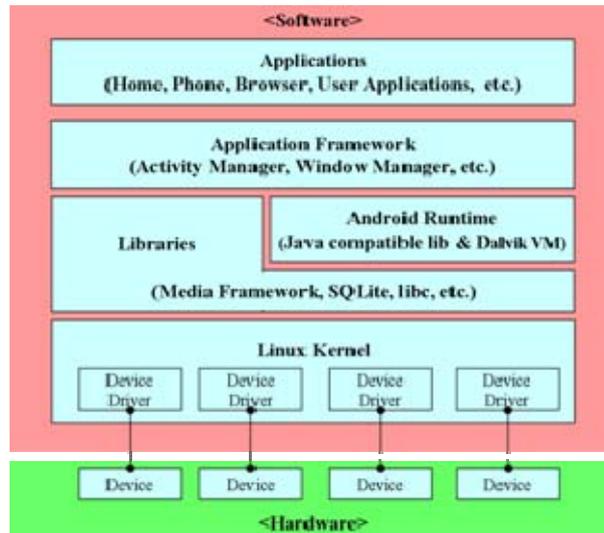


図 86 Android のアーキテクチャ

Android Runtime には、省メモリ、低スペック CPU などの環境に最適化された Dalvik VM が含まれている。各アプリケーションは、それぞれが独立した Linux のプロセスとなり、各アプリケーションに一つの Dalvik VM インスタンスが対応して動作する。一般的な Android アプリケーションは、UI を持つコンポーネントである Activity として実装される。Activity は画面の最上位に表示される場合のみ動作することができ、他の Activity が上位に表示されたり、Back や Home キーを操作されたりした場合には休止状態となるライフサイクルが決められている。一方、UI を持たず、バックグラウンドで継続的に動作する Service も代表的なコンポーネント単位である。

ここで、RTC は、必ずしも UI を必要としない。また、他 RTC との通信は継続的に実施できる必要がある。よって、RTM on Android では、RTC が Android 上で Service として動作する実装を行った。そして、UI が必要な場合は別途 Activity を必要なだけ追加できるようにし、これら全体で一つのアプリケーション単位 (apk) となるように考えられている。Service として RTC のコアな処理が動作することで、一つの Android 端末上にて複数の RTC を同時に Active な状態で稼働させることもできる。

RTM on Android は、OpenRTM の Android 実装を目指しており、CORBA 通信が必須である。標準の Android プラットフォームでは CORBA は未サポートであり、独自の実装が必要である。ただし、RTC を Service コンポーネントとしてバックグラウンドで継続的に動作させるため、実用化のためには、CORBA 実装を含め、システムリソースへの負荷を極力減らすことが重要である。この要求に応える CORBA 実装として、軽量 CORBA の RtORB を採用することとし、これを

Android にポーティングした。C 言語での実装を、Android 開発環境のツールキットとして Google 社より提供されている NDK(Native Development Kit)を利用することにより、ほぼそのままポーティングすることに成功した。ネーミングサービスとの I/F 実装についても、RtORB に同梱されている CosNaming.idl から C ソースを自動生成して同様にポーティングを行った。これらはともに、C のネイティブライブラリである .so 形式として生成し、組み込むことに成功した。

RTM on Android は、RTC 標準仕様 Ver1.0 に従った軽量 RTC の OpenRTM 拡張モデルとしての基本的な振る舞いに対応しつつ、実行時のシステムリソースへの負荷も軽い RTC が開発できることを目指している。よって我々は、OpenRTM の実装部分も IDL ファイルから C ソースを生成し、最低限のロジック実装を行い、やはり NDK の利用により .so 形式で組み込む実装を行った。

RtORB、CosNaming、OpenRTM の実装をネイティブライブラリとして組み込んだことで、あとはこれらを利用する RTC を簡単に実装／実行できる仕組みがあれば良い。RTM on Android では、これらを利用して Service コンポーネントとして RTC が動作するための Java クラス群、およびネイティブライブラリで提供される OpenRTM などの実装を Java 層から利用するために JNI (Java Native Interface) によりラッピングした独自ライブラリを実装することで、これを実現している。さらに、OpenRTM の基本データ型を扱うためのクラスや、RTC の状態遷移に伴い呼び出される Action の仕組み、またデータポートの入出力を行う仕組みなどを Java 層に実装した。この際、アプリケーション開発者が直感的かつシンプルに利用できる API を用意することで、簡単な最小限の記述を行えば RTC の実装が行えるように配慮している。

また、RTC には個々に任意の数のデータポートと対応するデータ型、コンフィグレーションの種類／データ型／初期値など、固有のプロファイル情報の指定が必須である。RTM on Android では、これらを定義する雛形 Java ソースを実装している。指定できるプロファイル情報は概ね OpenRTM-aist と同等であるが、CPU 負荷の調整を想定し、実行コンテキストの周期設定も有効となるようにした。さらに、Action の実装やデータポートからの入力時に呼び出されるコールバック実装を記述するための雛形 Java ソースを実装している。

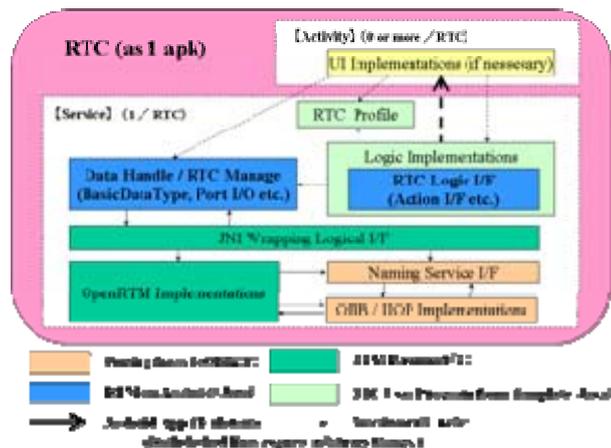


図 87 RTM on Android のアーキテクチャ

まとめ

本研究開発では、OS 対応としては、リアルタイム OS である VxWorks で動作する RT ミドルウェアおよび、スマートフォンやタブレットで採用されている Android で動作する RT ミドルウェアを開発した。言語対応としては、Microsoft 社の .NET 環境で動作する RT ミドルウェア (OpenRTM.NET) の開発を行った。産業用ロボットなどで数多く採用されている実時間 OS である VxWorks 向けの RT ミドルウェアを開発することは、RT ミドルウェアのビジネス利用を促進するために有効である。また、スマートフォンやタブレットなどの Android 端末は、ロボットと人のユーザインタフェースとしてのニーズが見込まれるため、RT ミドルウェアが Android に対応していることは意義があると考えている。さらに、プログラミング言語として普及している .NET 環境に RT ミドルウェアを対応させることは、RT ミドルウェアの利用の敷居を下げ、RT ミドルウェアの普及に貢献した。

これらの RT ミドルウェアおよびマニュアルは、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/index.html>) にて無償公開している。NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの参画機関を始め、その他の大学や企業でも利用されており、RT ミドルウェアの普及に貢献している。

(c-2) 軽量 RT ミドルウェアの開発

ロボットに搭載される組込みプロセッサでは、使用できる主記憶や動作クロックが一般のパソコンよりも大きく制限されることが多い。このようなプロセッサ上は、現在実装されている RT ミドルウェアの性能を十分に発揮することができない。その要因として、コンポーネント間の通信で使用されているライブラリ等が汎用性に重点が置かれて実装されているために、組込み向けプロセッサのような制限

されたりソース上で十分なパフォーマンスが発揮できないということが考えられる。そこで、RT ミドルウェアをこのような組込み向けのプロセッサで軽快に動作させるために、以下の方法で RT ミドルウェアの軽量化を実施した。本研究項目の最終目標は、軽量 CORBA インスマニュアル、移植マニュアルなどを整備し、軽量 CORBA ミドルウェア実装である OpenRTM-aist-1.0 および C 言語版 OpenRTM-aist-1.0 を実装し、外部に公開することである。

(A) 軽量 CORBA 実装による軽量化

RT ミドルウェア OpenRTM-aist では、知能モジュール間の通信に CORBA(The Common Request Broker Architecture)を用いている。CORBA は、国際標準機関OMG(Object Management Group)で策定された分散オブジェクト技術の仕様であり、それに基づいたさまざまな実装が存在する。CORBA は、一般的な分散オブジェクト技術に関わる仕様が作成されており、RT コンポーネントの要求する機能以上のさまざまな機能が実装されている。そのため、既存の CORBA ライブラリを用いると、組み込み機器のような省資源の環境で動作させることは困難である。そのため、RT ミドルウェアが提供する機能のみを抽出した軽量 CORBA ライブラリ RtORB を実装し、それを通信部分として用いた RT ミドルウェアの軽量化を行った。以下では、RT ミドルウェアの軽量化のために実装した軽量 CORBA ライブラリ RtORB について述べる。

RtORB の基本設計

RT ミドルウェアでは、RT コンポーネント開発者に対して、CORBA に関するほとんどの API を隠蔽されている。そのため、RT ミドルウェアで提供する API レベルで同等の機能を実装することで十分である。また、RT コンポーネントの動作を考えると RT ミドルウェアで利用している CORBA の機能は、静的な分散オブジェクトモデルのみであり、さらに、オブジェクト間の通信には IPv4 の TCP/IP ソケットを利用した IIOP のみであった。そこで、RtORB では、以下の基本方針を設定する。また、RtORB の基本設計には、CORBA-3.0.3 の仕様を用いることにする。

基本方針

- (A) 分散オブジェクトは静的なオブジェクトのみとし、オブジェクトごとのポリシー設定はしない
- (B) ORB および POA のインタフェースは実装するが、実行時に生成可能な POA は RootPOA のみとする
- (C) オブジェクト間の通信プロトコルは、IIOP-1.0 のみを使用し、同一ブ

プロセス内での CORBA オブジェクト間の通信は IIOP を使用せず、関数呼び出しを直接実行する。

- (D) 使用できるデータ型は、RT ミドルウェアのデータポートで利用しているデータ型のみとする
- (E) 実行時の計算資源を節約するために、できる限りスレッドを使用せず割り込み処理を利用する。

以下では、上記の基本方針に関する詳細を述べる。

OMG で規定されている CORBA の仕様には、静的起動と動的起動の 2 つの分散オブジェクトが定義されている。どちらのオブジェクトも CORBA クライアントは、CORBA サーバの参照へのアクセスを取得し、要求を満たすオペレーションを呼びだし、その要求を実行するという基本的な枠組みは変わらない。静的起動の CORBA オブジェクトの場合には、CORBA クライアントは、IDL コンパイラによって事前に生成されたスタブ (Stub) を介して CORBA サーバへの要を処理し、呼び出す必要があるオペレーションはすべてアプリケーションのコンパイル時に認識している。一方、動的起動の CORBA オブジェクトの場合には、CORBA クライアントは、そのアプリケーションのコンパイル時には CORBA オブジェクトのインタフェースを認識している必要はなく、インタフェースリポジトリから CORBA サーバへ要求に必要なオペレーションインタフェースを取得し、CORBA サーバへの要求を動的に生成、実行を行なっている。そこで、RtORB では、基本方針(A)の基づき静的起動のみをサポートした CORBA オブジェクトのみを実装する。

また、CORBA では、CORBA サーバアプリケーションを管理する機能として、BOA (Basic Object Adaptor) と POA (Portable Object Adaptor) の 2 つの種類が定義されている。BOA は CORBA-2.1 までの仕様で定義されていた基本的なサーバアプリケーションのインタフェースであり、現在利用可能な CORBA ライブラリのほとんどがこの機能をサポートしている。POA は、CORBA-2.2 からの仕様で提起されたサーバアプリケーションのインタフェースであり、BOA と比較してサーバオブジェクトごとに活性化された生存期間、スレッド処理などの様々なポリシーを定義することができ、多様な管理を実行することができる。RT ミドルウェアの実装では、POA を用いて実装されているが RT ミドルウェアでは、コンポーネント単位で CORBA サーバを管理、実行しているため複数の POA を単一コンポーネントで使用するようになっておらず、BOA も利用されていない。そこで基本方針(B)に基づき、

RtORB では POA のみを実装し、単一のポリシのみを定義、実装を行う。

次に、CORBA オブジェクト間の通信に関して述べる。CORBA オブジェクト間の通信に関しては、仕様書では CORBA 以外に分散オブジェクトへのプロキシに関する様々な定義が記載されている。また、CORBA のオブジェクト間の通信に関しては、現在でも共有メモリやマルチキャストプロトコルへの対応など CORBA オブジェクトで利用される通信方法に関して拡張が続けられている。RT ミドルウェアでは、コンポーネント間はイーサネットに接続し動作させることを基本にしており、同期的な通信のみを取り扱っている。そこで、RtORB では、CORBA の通信方法として、コネクション型の TCP/IP 上に実装された GIOP を用いることにする。GIOP は、CORBA オブジェクト間のメッセージングに関する規定であり、データの符号化として CDR (Common Data Representation) を利用したものである。特に TCP/IP 上に実装された GIOP は、IIOP と呼ばれている。IIOP では、1 つの要求を複数のメッセージに分割して通信する手段も定義されているが、IIOP-1.0 ではこの機能は定義されておらず、非常に単純な方法のみが定義されている。CORBA の仕様では、すべての CORBA ライブラリは下位互換を義務付けているため、IIOP-1.0 を用いることで他のほとんどの CORBA ライブラリを用いた CORBA オブジェクトで通信可能である。また、複数の CORBA オブジェクトを同一プロセスで起動している場合には、本来、オブジェクト間の通信もデータの符号化も必要がない。そこで、基本方針 (C) に従って、RtORB では、CORBA オブジェクト間の通信には、IIOP-1.0 を用い、同一プロセス内のオブジェクト間では、単純な関数呼び出しを用いるようにする。

CORBA オブジェクト間の通信に関して、GIOP ではデータの符号化として CDR が用いられていることを述べた。CORBA の仕様書では、CDR に関して様々な定義がなされている。しかしながら、ロボットのソフトウェアを実装するにあたり、プログラム言語でサポートしているデータ型に関する符号化処理をすべて実装することは、効率が悪い。また、RT ミドルウェアでは、ロボットのソフトウェア開発時に必要なデータ型のほとんどを予め定義している。そこで、RtORB では、RT ミドルウェアで使用するデータ型を中心にほとんど利用されない Fixed 型などのデータ型に関する符号化処理の実装を行わないとする。これが基本設計(D)となる。

現在広く普及している CORBA ライブラリの多くは、UNIX 系または Windows のような比較的大規模かつ高機能な計算機よりのオペレーティング

システムをターゲットに実装されている。そのため、CORBA オブジェクト間の通信に関してスレッドの利用を基本としており、多用されている。スレッドは、本来、軽量プロセスでありプログラム開発において容易に並行処理を実現する機能である。しかし、このスレッドを多用すると多くの計算資源を消耗することになる。特に、分散オブジェクト間の通信処理においてスレッドは非常によく利用されている。また、組み込み向けの CPU や軽量のオペレーティングシステムでは、スレッドそのものをサポートしていないものもある。そこで RtORB では、基本方針 (E) に従って、割り込み処理で実現できる機能は可能な限りスレッドを用いない実装をすすめる。これによって、CORBA オブジェクト間の実装方法に制限が加わる場合があるが、RT ミドルウェアの API レベルでこの問題を回避し、知能モジュールの開発者には、ソースコードレベルでの互換性を確保する。

RtORB の実装

前述の基本設計に基づき RtORB の実装を行った。RtORB の動作のターゲットは、汎用のオペレーティングシステムのみならず、組み込み向けの小型のオペレーティングシステムも含める。そのため、C++ 言語の処理系を持たないオペレーティングシステムもあることから、実装言語として C 言語を用いることとする。

CORBA は、本来、オブジェクト指向言語を持ちて実装されることを前提としている。そのため、C 言語で実装されたライブラリは非常に少ない。また、CORBA サーバへのオペレーション要求を定義するインタフェースは、IDL コンパイラによって生成されるものであり、CORBA の実装レベルでの表現は、この IDL コンパイラの出力と密接な関係がある。

RtORB では、IDL コンパイラとして ORBit2 (<http://projects.gnome.org/ORBit2/>) で実装されたものを使うことにする。

ORBit2 は、GNOME というデスクトップ環境を実現するライブラリ群の一部として開発されたものである。また、ORBit2 は、OMG の CORBA の C 言語のリファレンス実装になっているため、RtORB でもオブジェクトの構造に関しては ORBit2 の実装と非常に近いものになっている。

また、前述の基本設計から RtORB では、CORBA サーバーアプリケーションを管理する機能として POA のみの実装し、RootPOA のみを取り扱うことにしている。そのため、RtORB の内部では、CORBA の初期化時に ORB と RootPOA の 2 つのオブジェクトを生成し、他の CORBA オブジェクトの管理テーブルの持つ構造体として実装を行なっている。

RtORB における CORBA オブジェクトは、IDL コンパイラによって、その実装のひな形が出力されるようになっている。例えば、下記のように IDL において Echo オブジェクトが

```
interface Echo {
    string echoString(in string mesg);
};
```

定義された場合には、IDL コンパイラによって、以下のコードが生成される。

```
CORBA_Echo impl_Echo__create(PortableServer_POA poa,
                             CORBA_Environment *ev) {
    CORBA_Echo retval;
    impl_POA_Echo *newservant;
    PortableServer_ObjectId objid;
    Newservant = (impl_POA_Echo *)RtORB_calloc(1, sizeof(impl_POA_Echo),
                                              "create...");

    newservant->servant.vepv = &impl_Echo_vepv;
    newservant->poa = poa;
    POA_Echo__init((PortableServer_Servant)newservant, ev);
    /* Before servant is going to be activated all
       private attributes must be initialized. */
    /* ----- init private attributes here ----- */
    /* ----- end ----- */
    objid = PortableServer_POA_activate_object(poa, newservant, ev);
    RtORB_free(objid, "objid");
    retval = PortableServer_POA_servant_to_reference(poa, newservant, ev);
    return retval;
}
```

この構造体が RtORB における CORBA オブジェクトとなり、実際のオペレーションをこの中に定義する。

また、RtORB における CORBA オブジェクト間の通信の概要を下図に示す。

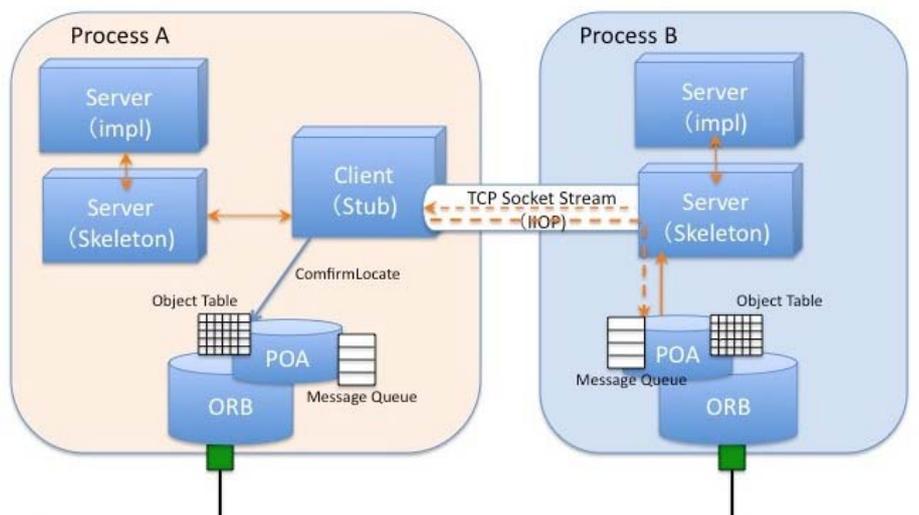


図 88 RtORB における CORBA オブジェクト間の通信

この図に示すように、RtORB では、ORB 部分は、自分のプロセス内の CORBA オブジェクト管理テーブルで管理しており、内部にあれば実装関数をコールし、そうでなければ、IIOP で対象 CORBA オブジェクトと通信するようになっている。また、各 CORBA オブジェクトはスレッドを生成せずに ORB のイベントループで通信を制御されている。

RtORB の詳細な実装と振舞に関しては、RtORB の配布パッケージおよび開発ホームページに記載している。

RT ミドルウェアに利用するための機能

前述のように RT ミドルウェアの軽量化のために、RtORB を C 言語で実装を行った。しかしながら、RT ミドルウェアは、C++ 言語での実装が行われており、実際に RtORB を RT ミドルウェアで使用するためには、RtORB のオブジェクトを C++ のオブジェクトとの互換性を確保するために、RtORB のオブジェクトおよび関数等の置き換えを行う必要がある。そこで、RT ミドルウェアで利用されている API を中心に C++ 言語へのラップの開発を実施した。さらに、IDL コンパイラにおいても IDL から生成されるスタブ、スケルトン、実装のテンプレートにおいても外部の C++ 言語で実装されたオブジェクトを利用可能にするような機能拡張を行なっている。そのため RT ミドルウェアで RtORB を利用するためのコード変更は、非常に軽微なもので実現されている。RtORB のラップは、OpenRTM-aist-1.0 及び OpenRTM-aist-1.1 に対応しており、OpenRTM-aist-1.1 以降では、正規のソースコードに統合されている。

まとめ

RT ミドルウェアを軽量化するアプローチとして、通信レイアで用いられている CORBA ライブラリの軽量化をはかり RtORB の実装を行った。RtORB では、IDL コンパイラ以外は、ANSI-C 準拠の機能のみを利用し、他のライブラリ等も使用していない。そのため、組込 MPU などへの CORBA ライブラリとしても利用可能になっている。また、RtORB の軽量化を評価するために、2 つの単純なデータ交換を行うコンポーネントを作成し、omniORB4 を用いた正規の OpenRTM-aist-1.0 との比較を実施したところ、通信速度は約 4 倍高速になり RT コンポーネントのフットプリントも約 1/2 に軽減することができた。

また、この RtORB を用いた RT ミドルウェアの実装は、Android OS や T-KERNEL といった組み込み向けのオペレーティングシステムへの展開に利用されている。

(B) ネイティブの通信媒体を直接利用した軽量化

PIC のようなリソースの乏しい CPU 上でも動作する RT コンポーネントを実現するために、RT コンポーネントの実行コンテキストのみをターゲット上で動作させ、より高速なホスト上で動作するプロキシコンポーネントと協調動作を行うことで通常の RT コンポーネントと同様のオブジェクトモデルを実現した軽量版 RT ミドルウェア eRTC (Embedded RTC) の開発を実施した。

平成 20 年度には、CORBA に依存せずネイティブの通信媒体を直接利用した軽量化 RT ミドルウェア eRTC の基本設計を行った。その結果、軽量 CORBA による実装との差異があまり大きくないことが確認され、この eRTC の開発は (A) 軽量 CORBA 実装による軽量化への統合することにした。また、リリース予定の OpenRTM-aist-1.0 の設計の見直しにより柔軟な通信方式を選択可能になったために、eRTC の開発で実施予定であった機能は、十分に実用できることが確認された。

(C) 組込み用途向け RT ミドルウェアの開発

前述の軽量 CORBA ライブラリ RtORB を用いると OpenRTM-aist を比較的資源の少ない MPU 上で動作させることが可能であることを述べた。しかしながら、この方法で実装された RT ミドルウェアの大部分については C++ 言語の従来の実装を利用しているため、これ以上の軽量化は困難である。一方で、既存の組込み MPU の大部分では、そのリソース不足のため OpenRTM-aist をそのまま動作させることは困難であり、RTC-Lite や

RTC-CANopen、あるいは mini/microRTC など、ホスト PC を利用したヘテロジニアスな構成をとらざるを得ないのが現状である。そこで、OpenRTM-aist の全体を C 言語で実装することで、従来の動的な特徴を極力減らし、より一層の軽量化を目指した RT ミドルウェア OpenRTM-aist-C の実装を行った。これにより、一般的な CPU から組込み MPU デバイスまでを RT コンポーネントとして統一的に扱うことが期待できる。以下は、OpenRTM-aist-C の実装のための基本設計と実装方法について述べ、OpenRTM-aist-C を用いた RT コンポーネントの開発方法とその制限等について述べる。

OpenRTM-aist-C の基本設計

RT ミドルウェアを用いたシステムでは、ロボットの機能要素を共通の仕様に基づいたソフトウェアのモジュール化することで、各機能コンポーネントの再利用性を実現している。この共通仕様は、OMG で「**Robotic Technology Component Specification ver.1.0**」(以下、仕様 RTC-1.0 と呼ぶ)として標準化されている。この共通仕様では、コンポーネントの基本構造が定義されているのみであるが、既存の RT ミドルウェアとの相互利用性を考慮するとコンポーネント間の通信規約についても OpenRTM-aist と共通化を行う必要がある。そこで、OpenRTM-aist-C では、下記のような基本設計を行った。

- ◇ RT コンポーネント間の通信には、RtORB を利用する
- ◇ RT コンポーネントは、原則として仕様 RTC-1.0 で規定された IDL に準拠する
- ◇ 省資源の MPU 上での動作を可能とするため、データポートのみを実装する
- ◇ サポートするデータ型は、RT ミドルウェアの基本データ型のみとする

OpenRTM-aist-C の実装

前述の基本設計に従って、OpenRTM-aist-C の実装を行った。OpenRTM-aist-C の実装においては、仕様 RTC-1.0 で定義されている IDL の定義ファイルを、RtORB の IDL コンパイラを適用することで得られた CORBA サーバのテンプレートに対して、RT ミドルウェアの API で使用している関数部分について実装を行った。

以下に、仕様 RTC-1.0 で定義された IDL のインタフェースの中で OpenRTM-aist-C で実装された部分を示す。

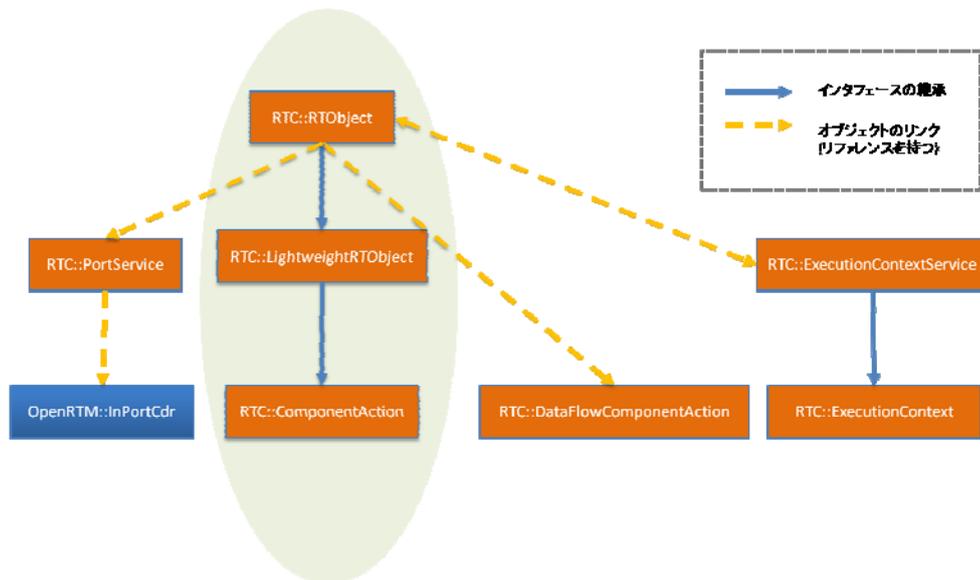


図 89 OpenRTM-aist-C のインタフェース構成（実装部分のみ）

「青矢印」がインタフェースの継承を意味し、「黄点線矢印」は継承はないが、インタフェースのオブジェクトリファレンスを持つことで、間接的にアクセス可能という意味を表している。

OpenRTM-aist-C において、RT コンポーネントのベースクラスは、「RTOBJECT」インタフェースとし、継承元の「LightweightRTOBJECT」「ComponentAction」の機能をそのまま持つように実装されている。また、周期的 Activity を含む「DataFlowComponentAction」については、その CORBA オブジェクトのリファレンスを「RTOBJECT」の CORBA オブジェクトに持たせることで、間接的に内部では継承関係を実現している。

さらに、実行コンテキスト用「ExecutionContextService」、Port 管理用「PortService」に関しても同様の実装方法がとられている。データ送受信用の「InPortCdr」は Port 接続時に生成管理させるため、「PortService」に関連づけを行っているが、OutPortCdr については、取り扱いがない。

なお、OpenRTM-aist-C は、軽量化を目指した最低限実装のため、OpenRTM-aist から若干構成変更を行っているが、共通性などに影響が出ないような実装を行っている。

次に、OpenRTM-aist-C を構成する全体のディレクトリ/ファイルを分割し、

概要について述べる。

- ディレクトリ構成

OpenRTM-aist-C のソースコードを展開すると表 18 のようなディレクトリが生成される。これらのディレクトリには、メイン実装部のヘッダファイルおよび C ソースファイル群があり、正規版の RT ミドルウェアと同様にインタフェース定義ファイルである IDL 群も含まれている。

また、OpenRTM-aist-C では、通信ライブラリとして RtORB を用いているために、そのソースのすべてを包含した構成となっている。

表 18 ディレクトリ構成一覧

ディレクトリ	ディレクトリ説明
idl-compiler/	RtORB 付属の IDL コンパイラ。当システムコンパイル時にプログラムが生成され、以降の IDL コンパイルの処理で使用される。(???。idl ファイルから [.h/.c] を生成するため)
CosName/	RtORB 付属の軽量化された NameServer。使用/未使用は任意で、本家の omniORB の NameServer を利用してもよい。
example/	本システム付属の RTC サンプル。[SimpleIO(単純データ送受信)] [SeqIO(可変長データ型送受信)] [MyDataIO(ユーザ定義データ型送受信)] の 3 種類がある。
template/	本システムで動作する RTC 用のテンプレートファイル。
include/	本システムの各種ヘッダファイル群。
include/RtORB/	本システムで使用する [RtORB] ソースのヘッダファイル群。
include/rtm/	本システム [OpenRTM-aist-C] のメイン処理部のヘッダファイル群。
lib/	本システムの各種 C ソースファイル群。
lib/orb/	本システムで使用する [RtORB] ソースの C ソースファイル群。
lib/rtm/	本システム [OpenRTM-aist-C] のメイン処理部の C ソースファイル群。
lib/rtm/idl/	CORBA のインタフェース定義ファイル「IDL」群。
lib/rtm/impl/	IDL コンパイラで、インタフェース定義の IDL 群をコンパイルして抽出される、「-skelimpl.c」において、1 ファイルのサイズが大きいことから、インタフェース毎に複数のファイルに分割した際の、各種分割 C ソースファイル群。

- インタフェース定義ファイル (lib/rtm/idl)

表 19 に示されたファイル群は、OpenRTM-aist-C で用いられているインタフェース定義である。OpenRTM-aist-C では、基本的に OpenRTM-aist で使用しているが、「データ型」の拡張版を扱う「ExtendedDataTypes.idl」「InterfaceDataTypes.idl」の 2 つの IDL ファイルは組み込んでいない。

表 19 IDL ファイル(lib/rtm/idl)構成一覧表

ファイル名	ファイル説明
OpenRTM-aist.idl	以下の各種 IDL ファイルを include している。IDL コンパイラでは、当ファイルがコンパイルされる。
BasicDataType.idl	データ送受信などで使用する、デフォルトのデータ構造の型を定義したもの。(本家の IDL に対して、[TimedWChar] [TimedWString] [TimedWCharSeq] [TimedWStringSeq] struct 定義を削除。(使用不可のデータ型とする。))
DataPort.idl	データ送受信用の[DataPort]の処理に関して定義したもの。
Manager.idl	CORBA_Manager インタフェースを定義したもの。(実際には、中身の機能はほとんど未使用。)
OpenRTM.idl	【未使用】
RTC.idl	RTC に関する、主要インタフェースやパラメータが定義されている、メイン IDL ファイル。(本家の IDL に対して、DataFlowComponent インタフェースの継承変更あり。)
SDOPackage.idl	SDO 用 IDL。(内部的に、他の IDL で使用されている部分のみ必要)

- ヘッダファイル(include/rtm)

表 20 に示したファイルは、OpenRTM-aist-C で用いているヘッダファイルである。このファイル群は、各種 C ソースファイルにて、include するために定義情報をまとめたヘッダファイルと、機能毎に分割された関数群のヘッダファイルから構成されている。

表 20 ヘッダファイル(include/rtm)構成一覧表

ファイル名	ファイル説明
OpenRTM.h	各種ヘッダファイルの include をしており、また、「RTC_RtcBase」の define がある。各 C ソースファイルから include されるメインヘッダファイル。(ユーザの RTC からは、当ファイルのみを include すればよい。)

ファイル名	ファイル説明
DefaultConfig.h	RTC 自体のコンフィグ情報用に、デフォルトで用意されたパラメータ群。(本家 C++版の「DefaultConfiguration.h」「version.h」の中身を一つにまとめ、さらに、Web マニュアルから必要項目を追加したもの。)
typedefs.h	各種データ型の typedef。「RTC_????」と定義。
rtm-defs.h	共通データの定義用ファイル。
RTComp.h	RTC の各種 Activity のコールバック用の関数ポインタと、内部変数用のポインタを用意したもの。(RTC の create()内で生成時にセットされ、Activity 関数から callback される時に使用される。)
Manager.h	Manager 関連関数用のヘッダファイル。Manager 構造体の宣言もあり。
RTOBJECT.h	RTOBJECT 関連関数用のヘッダファイル。
NamingManager.h	NamingManager 関連関数用のヘッダファイル。NamingManager 構造体の宣言もあり。
ExecutionContext.h	ExecutionContext 関連関数用のヘッダファイル。状態遷移用の構造体の宣言もあり。(本家 C++版の「PeriodicExecutionContext」「StateMachine」クラスの機能に相当。)
Port.h	Port 関連関数用のヘッダファイル。Port 管理やデータ管理用の構造体の宣言もあり。(本家 C++版の「PorAdmin」「PortBase」クラスの機能に相当。)
Properties.h	RTC のコンフィグレーション管理用関数のヘッダファイル。管理用データ構造体の宣言もあり。
Utils.h	各種文字列操作 Utility 関数のヘッダファイル。文字列管理用データ構造体の宣言もあり。
NVUtil.h	NameValue 型データの処理を扱う Utility 関数のヘッダファイル。

- Cソースファイル(lib/rtm)

次に、OpenRTM-aist-C 本体のソースファイル群について説明する。OpenRTM-aist-C のソースファイルは、lib/rtm の下に格納されている。これらの中身の実装は、OpenRTM-aist-C の処理の流れと一致するように実装を行っている。ただし、軽量化のためデータポートを介した通信機能を

実現する部分のみのコーディングが行われており、それ以外の部分は、空処理とした。

また、「OpenRTM-aist-?????」と名前付けられた「.h/.c」ファイルがいくつか存在するが、これらは、RtORBのIDLコンパイラにより、自動生成されたファイル群である。このファイルは、CORBAの通信を行う部分をブラックボックス化してくれている箇所であり、RTコンポーネントの開発者が手を入れる部分ではない。

ただし、「OpenRTM-aist-skelimpl」ファイルに関しては、IDLで定義されたインタフェースのメソッド部分の中身を実装する必要があるため、加筆している。なお、「OpenRTM-aist-skelimpl.c」ファイルについては、初期状態では全インタフェース情報が出力されておりソースコードが非常に長く可読性が悪い。そのため、次節で説明するように、実装コードは複数ファイルに分割されている。表 21 に、各ファイルの一覧を示す。

表 21 C ソースファイル(lib/rtm)構成一覧表

ファイル名	ファイル説明
Manager.c	RTC の各種管理を行う、Manager 関連関数の実装ファイル。
RTOBJECT.c	RTOBJECT 関連関数の実装ファイル。(RTC の生成(RTOBJECT 型オブジェクト)/削除、RTC コンフィグレーションのセット/取得、Port の生成/削除、データ送受信などの処理。)(ユーザの RTC からは、当ファイル内の関数を call する。)
NamingManager.c	NamingManager 関連関数の実装ファイル。(NameServer 名取得、登録用の RTC データ生成、RTC の登録/解除などの処理。)
ExecutionContext.c	ExecutionContext 関連関数の実装ファイル。(EC 用スレッド生成、RTC との相互リンク、RTC の状態遷移の管理などの処理。)
Port.c	Port 関連関数の実装ファイル。(Port 生成/削除、PortService オブジェクト生成/削除、PortProfile セット/取得、) 可変長データ型のセット/取得、データ送受信の Marshaling/Unmarshalin などの処理。)
Properties.c	RTC のコンフィグレーション管理用関数の実装ファイル。([RTC_Properties]型データの生成/削除/セット/追加/取得/

ファイル名	ファイル説明
	コピー/検索などの処理。)
Utils.c	各種文字列操作 Utility 関数の実装ファイル。(区切り文字による、文字列の分割と、そのデータ格納などの処理。)
NVUtil.c	NameValue型データの処理を扱う Utility 関数の実装ファイル。(NameValue 型データの生成/削除/セット/取得/コピーなどの処理。)
OpenRTM-aist.h	[IDL コンパイラが生成] 以降のファイルのヘッダ部。(define/typedef、関数宣言、インタフェースやパラメータの宣言など。)
OpenRTM-aist-decls.h	[IDL コンパイラが生成] 各種内部フラグの定義用。
OpenRTM-aist-skelimpl.h	[IDL コンパイラが生成] IDL で定義されたインタフェース部実装用のヘッダファイル。
OpenRTM-aist-common.c	[IDL コンパイラが生成] CORBA 通信先関数 call 用の共通処理用ファイル。 (操作関数、付随する各種データの定義、TypeCode データの定義など。)
OpenRTM-aist-stubs.c	[IDL コンパイラが生成] CORBA のスタブ機能に相当。
OpenRTM-aist-skels.c	[IDL コンパイラが生成] CORBA のスケルトン機能に相当。
OpenRTM-aist-skelimpl.c	[IDL コンパイラが生成] IDL で定義されたインタフェース部実装用の C ソースファイル。

- C ソースファイル(lib/rtm/impl)

上述のようにこのディレクトリに格納されているファイルは、OpenRTM-aist-skelimpl.c を各インタフェース単位で分割した後の実装コードである。これらのファイルは、OpenRTM-aist-skelimpl.c にインクルードされている。OpenRTM-aist-C の実装コードは、「Impl_モジュール名_インタフェース名.c」としている。

OpenRTM-aist-C では、データポートを利用した RT コンポーネントの機能を実現する部分と RT システムエディタ (RTSE) で操作する上で必須となるメソッド部分に関する実装だけを行っているものがある。表 22 に、各ファイルの一覧を示す。

表 22 C ソースファイル(lib/rtm/impl)構成一覧表

ファイル名	ファイル説明
Impl_OpenRTM_DataFlowComponent.c	【未使用】
Impl_OpenRTM_ExtTrigExecutionContextService.c	【未使用】
Impl_OpenRTM_InPortCdr.c	InPort 側でのデータ受信時の処理を実装したもの。
Impl_OpenRTM_OutPortCdr.c	【未使用】 (DataPort 送信は”PUSH”型のみのため。当ファイルは”PULL”型用)
Impl_RTM_Manager.c	【未使用】 (ManagerServant を現在未使用なため不要)
Impl_RTC_ComponentAction.c	RTC の各種 Activity(状態遷移時の処理)の内部処理を実装したもの。
Impl_RTC_LightweightRTObject.c	RTC のメイン処理部で、初期化/終了処理などの処理を実装したもの。
Impl_RTC_ExecutionContext.c	ExecutionContext の各種操作メソッドの実装と、パラメータのセット/取得用のメソッドを実装したもの。
Impl_RTC_DataFlowComponentAction.c	RTC の Activity の内、「on_execute0」「on_state_update0」「on_rate_changed0」の3メソッドに関して実装したもの。
Impl_RTC_DataFlowComponent.c	【未使用】
Impl_RTC_PortService.c	DataPort の接続/切断に関するメソッドと、Port 情報/接続情報などの 取得用のメソッドを実装したもの。
Impl_RTC_ExecutionContextService.c	ExecutionContext のオブジェクト生成と、 RTSE での内部処理対応のメソッドのを実装したもの。
Impl_RTC_RTObject.c	[LightweightRTObject]を継承し、さらに、RTC のプロファイル情報の 取得処理用のメソッドを実装したもの。
Impl_SDOPackage_SDOSystemElement.c	【限定使用】 (RTSE での内部処理対応でのみ使用)
Impl_SDOPackage_SDO.c	【限定使用】 (RTSE での内部処理対応でのみ使用)

ファイル名	ファイル説明
Impl_SDOPackage_Configuration.c	【未使用】
Impl_SDOPackage_SDOService.c	【未使用】
Impl_SDOPackage_Monitoring.c	【未使用】
Impl_SDOPackage_Organization.c	【未使用】

OpenRTM-aist との相違点

OpenRTM-aist-C は、RT ミドルウェアの C 言語版の実装であり、ライブラリ「libRTM.so」として コンパイル時に生成される。RT コンポーネント開発、実行時には、このファイルを用いることで OpenRTM-aist と相互運用を実現することができる。しかしながら、組み込み向け MPU への対応のため、多くの簡略化と軽量化をはかっている。そのため、正規の RT ミドルウェアとの機能の相違がある。以下に、OpenRTM-aist と OpenRTM-aist-C との機能の相違について述べる。

- 全体比較

OpenRTM-aist-C では、以下に示す機能が実装している。

- OpenRTM-aist.idl に記述されたインタフェースに準拠した内部処理の実装をしており、他の RTM 実装との連携が一部を除いて可能。
- 「rtc.conf」による、コンフィグレーションのセットが可能
- Manager による、RTC の管理機能が可能
- NameServer での RTC 管理ができるような登録/解除処理が可能
- ExecutionContext(以降、EC)により、RTC の状態遷移の管理が可能
- 一方向通信(push 型)のみ可能な DataPort を持ち、RTC 間で 1 対 1 の DataPort 接続をすることで、データの送受信が可能
- 可変長のデータ型、ユーザが定義する独自データ型でのデータ送受信が可能
- 一部のバージョンの RtSystemEditor などのツールでの操作が可能

また、OpenRTM-aist-C では、主に下記の機能が省略している

- Factory オブジェクトによる、RTC 生成/削除の管理機能
- ManagerServant オブジェクトによる、ロードブルモジュール管理機能
- ModuleManager オブジェクトによる、モジュール管理機能

- Connector オブジェクトによる、データ送受信の管理機能
- Publisher オブジェクトによる、データ送信の管理機能
- Provider/Consumer オブジェクトによる、データ送受信の管理機能
- Pull オブジェクトによる、データ送受信の管理機能
- Buffer オブジェクトによる、データ送受信の管理機能
- Listener/Callback オブジェクトによる、イベント同期時の実行機能
- ExtTrig オブジェクトによる、イベントドリブン EC の実行機能
- Composite オブジェクトによる、複合 RTC 管理機能
- Logger オブジェクトによる、ログ出力機能
- Timer オブジェクトによる、タイムスタンプ管理機能
- etc...

以上のように、大幅な省略を行っているので、シンプルな機能を持つシステムとなっている。現状は、**Manager** は一つの RT コンポーネントに対して割り当てられ、RT コンポーネントのオブジェクトと実行コンテキスト(**EC**)とは「1対1」を想定しているため、**Object/Module** の管理をする機能や、生成削除の **Factory** などの機能は省略している。また、一つの RT コンポーネントの処理機能を分散オブジェクト化することもしていないため、データ送信などで **Publisher/Provider/Consumer/Connector** などのオブジェクトは使用せず、内部でシーケンシャル処理として実装している。

図 90～図 92 は、**OpenRTM-aist** オブジェクトと、**OpenRTM-aist-C** のオブジェクトの比較を表したものである。**OpenRTM-aist** にて実装されているクラス等を左側に抽出し、**OpenRTM-aist-C** に 関連しているものだけを「楕円」で囲み、「黒矢印」で表示し、右側にある **OpenRTM-aist-C** 側の 該当ファイル名とリンクさせて記載している。関連項目の中での未使用機能や、機能そのものを未使用のものについては、「薄い透明色」にて表示している。また、図 93 は **OpenRTM-aist-C** で未実装のオブジェクトを示したものである。

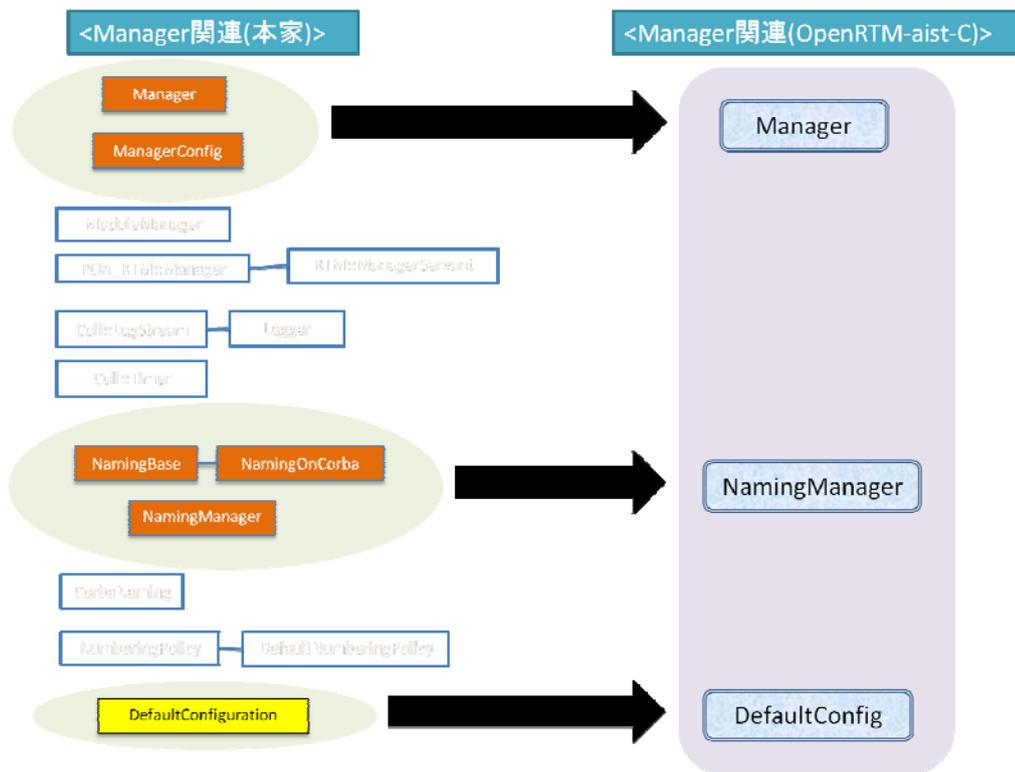


図 90 OpenRTM-aist オブジェクトと OpenRTM-aist-C のオブジェクトの比較(1)

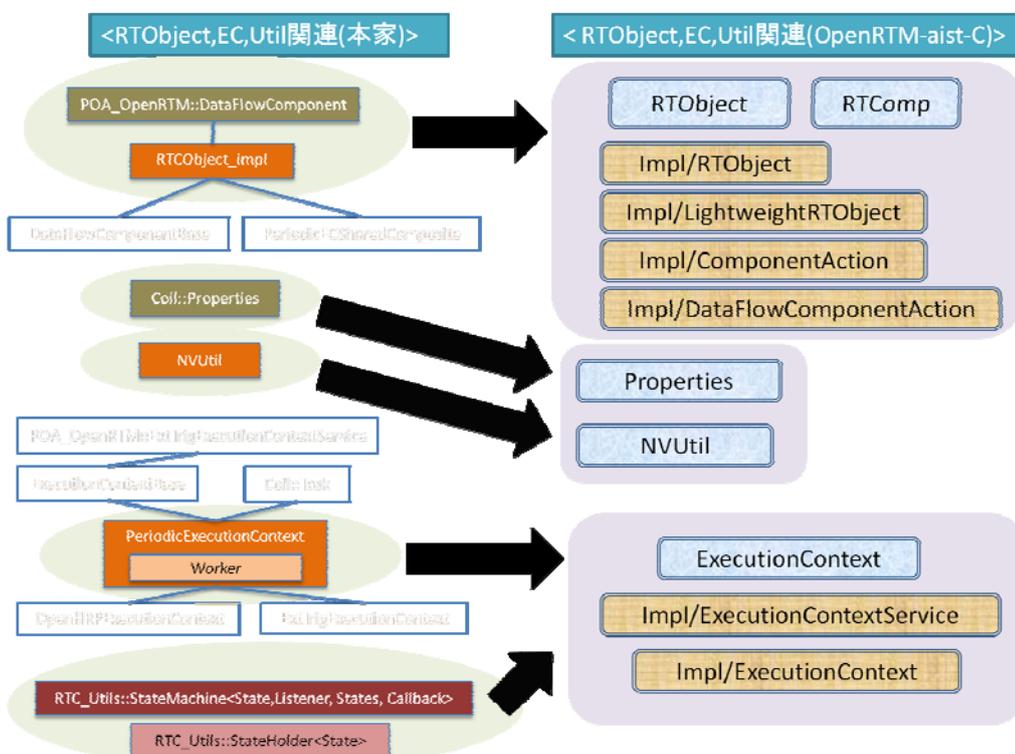


図 91 OpenRTM-aist オブジェクトと OpenRTM-aist-C のオブジェクトの比較(2)

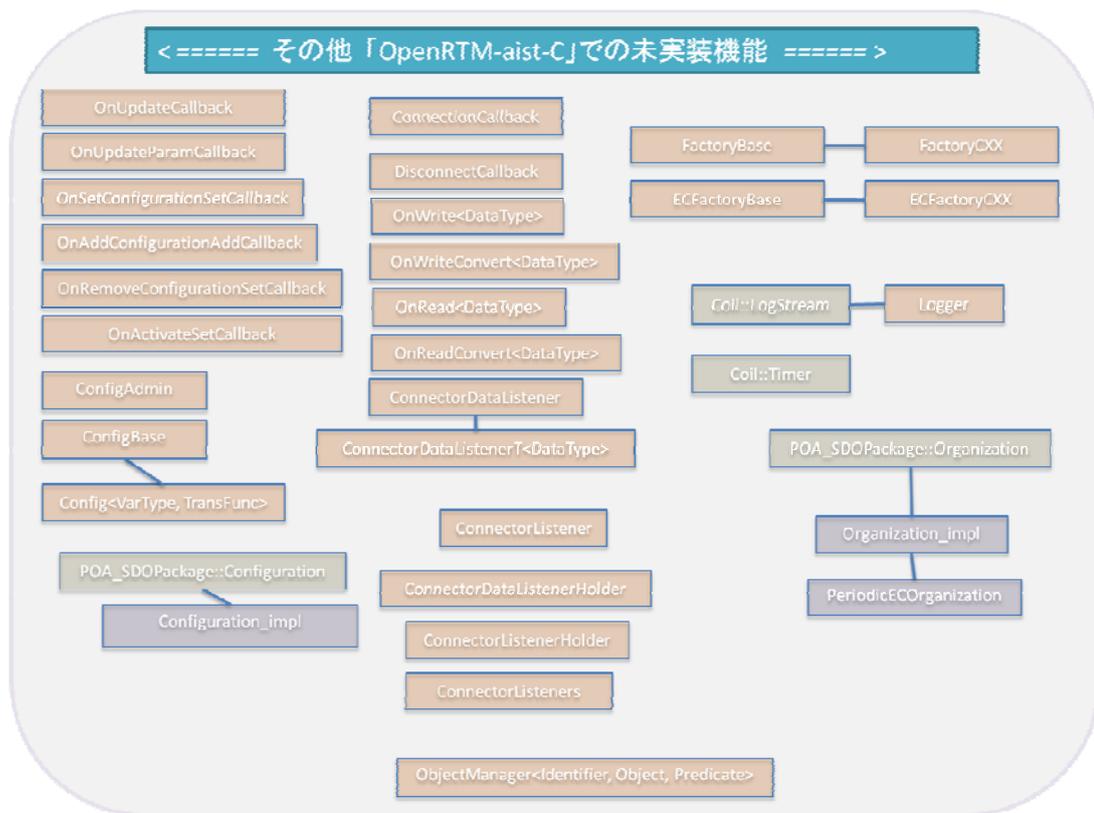


図 93 OpenRTM-aist-C で未実装のオブジェクト

まとめ

以上、OpenRTM-aist-1.0 の C 言語実装である OpenRTM-aist-C について述べた。この実装では、データポートを用いた RT コンポーネントのみを実装することで軽量化をはかっている。これは、組み込み向けの MPU 等では、その計算資源から多くの処理を同時に実行するよりも安定した周期実行の処理が望まれる場合が多く存在するためである。この OpenRTM-aist-C のソースコードとユーザマニュアル等の詳細ドキュメントに関しては、開発サイトに掲載を行っている。

(c-3) 高信頼 RT ミドルウェアの開発

実世界で人とともに活動するロボットシステムを実現するためには、システムを構成する要素や部品の故障リスクを低減するための安全機能が必要不可欠である。次世代知能ロボットシステムの安全装置等の知能モジュールを実現するためには、機能安全規格に準じた開発プロセスを規定し、その開発プロセスに沿って知能モジュールを開発する必要がある。そこで、IEC61508 の機能安全の国際規格に基づいた開発プロセスを構築し、機能安全規格に準じた RT ミドルウェアの開発を行った。本研究項目の最終目標は、機能安全規格 IEC61508 に基づいた開発プロセス

を想定し、その開発プロセスを構築、支援するためのツール群を開発し、機能安全規格を取得済みの OS 上に IEC61508 準拠の RT ミドルウェアを実装することである。

成果の概要

生活支援分野など人と共存するサービスロボットにおいては、安心・安全のために、機能安全への対応が求められている。機能安全の国際標準規格として IEC61508 や ISO26262、ISO13482 などがあり、将来的には、サービスロボットはこれらの国際標準に準拠しなければならなくなると考えられる。一方、サービスロボットが市場に出て行くためには、ロボットの技術革新だけでなく、コストダウンも必要であるが、機能安全に対応するロボット開発は、その開発プロセスが複雑で、開発の難易度も高いため、どうしてもコスト高にならざるを得ない。また、現状の RT ミドルウェアはオープンソースのものだけであり、機能安全に対応したサービスロボットで利用できる高品質な商用の RT ミドルウェアは存在していなかった。

そこで、我々は、機能安全対応のためのコストダウン、高品質な RT ミドルウェア、さらに、安全モジュールの再利用による開発効率の向上のため、機能安全に対応した高信頼 RT ミドルウェア「RTMSafety」（仮称）の開発に取り組んだ。

RTMSafety の開発にあたっては、従来の研究開発におけるトライ&エラーの開発やインクリメンタルな開発手法を採用することはできない。ウォーターフォール型のソフトウェア開発で用いられる V 字モデルの開発手法を取り入れるとともに、IEC61508 の機能安全対応の開発プロセスである全安全ライフサイクルに則って、RTMSafety の開発プロセスを策定し、RTMSafety を開発した。

V字モデル開発

全安全ライフサイクル

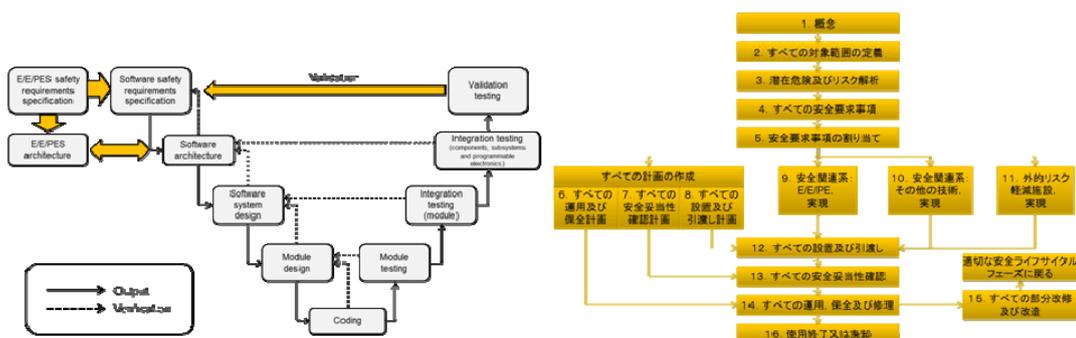


図 94 機能安全対応のシステムを開発するための開発プロセス

連系が安全関連系に影響を及ぼさないよう考慮している。また、OMG の RTC 仕様に基づくコンポーネント指向を採用していることで、安全関連系のコンポーネント（モジュール）間の依存関係はデータの授受だけであり、その仲介も RTMSafety が担うことで、機能安全モジュールの独立性も保証されている。これらの特徴により、機能安全対応のロボット開発におけるコストダウンや機能安全モジュールの再利用性を実現している。

非安全関連系が安全関連系に影響を及ぼさない	安全関連系のコンポーネント間の影響が最小限
<ul style="list-style-type: none"> • 非安全関連系が認証不要になる 	<ul style="list-style-type: none"> • コンポーネント変更時の認証負荷を減らす

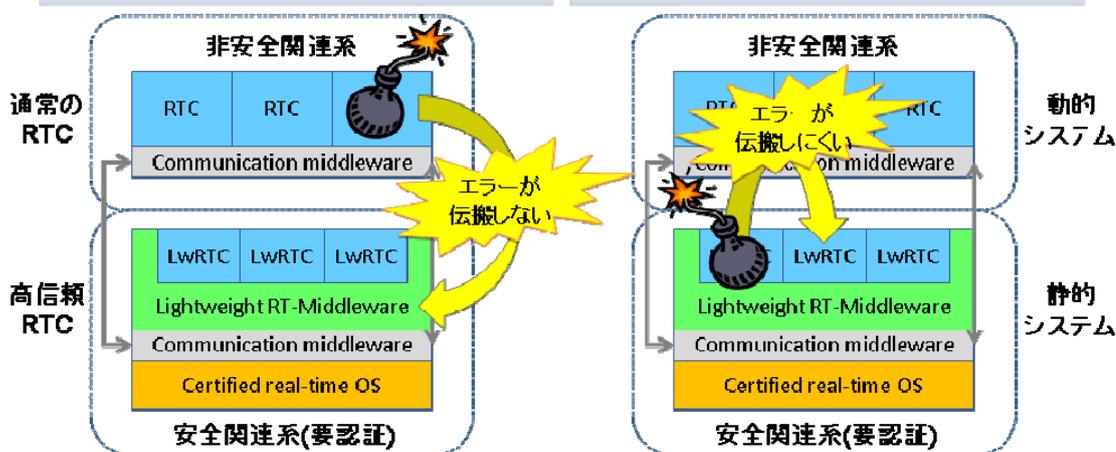


図 96 RTMSafety の構成とメリット

まとめ

RTMSafety は、機能安全に対応した OS である μ ITRON と QNX の 2 つのプラットフォームで動作するものを開発した。さらに、今後のプラットフォーム拡充のため、VxWorks への移植性も評価し、移植が可能なことを確認した。

本研究項目は、当初の実施計画にはなかったが、生活環境で動作するロボットにとって安全認証は必要不可欠であることが明らかになり実施したものである。

RTMSafety は、認証取得後に、世界初の安全コンセプトをもったロボット用ミドルウェアとして、セックより製品販売を計画している。

② 応用ソフトウェア開発支援機能

(a) 作業シナリオ設計ツールの開発

ロボットに組み込まれるアプリケーションロジックの実現を容易化するための仕組みとして、下記の 3 系統の作業シナリオ設計ツールを研究開発した。3 つのツールと実行系とも、OpenRTM-Aist1.0.0 Java 版に準拠し、すべてのコードを

Java6.0(JRE6.0)によって実装し、特にツール部分については本事業で実現される他の開発ツールとの連携できるように Eclipse プラグインとして実装した。本研究項目の最終目標は、後述の 3 つのシナリオ設計ツールとそれらの実行系を開発することであった。

(a-1) 長期時間駆動型シナリオ設計ツール

長時間の役務に従事するロボットへの適用を想定し、ロボットの役務の実行スケジュールを、主として分単位以上の時間の粒度で記述する作業シナリオを開発するためのツールを開発した。具体的には、後述する短期時間駆動型シナリオ設計ツールで作成された短時間のシナリオを画面の時間軸上に部品としてレイアウトしこれを連結して長時間のシナリオを出力するように実現した。

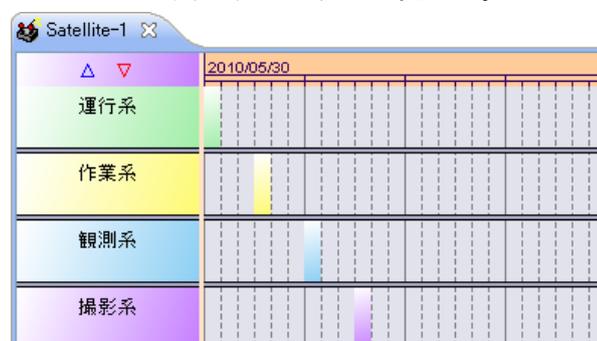


図 97 長時間駆動型シナリオ設計ツールの画面

画面上は縦軸にロボットの部位、横軸に時間が配置される。任意の位置を指示し、後述の短期時間駆動型シナリオ設計ツールで作成した短期時間シナリオを格納したファイル名を指定すると、同ファイルで記述された短期時間シナリオを表すボックスが表示される。これを繰り返し、長期時間シナリオを作成していく。最後に結果のエクスポートのコマンドを選ぶと、全ての短期時間シナリオが指定された時間順に連結された長期時間シナリオファイルが生成される。上記の図では一目盛りあたり 1 時間を表しているが、時間の刻みはカスタマイズすることも可能である。

(a-2) イベント駆動型シナリオ設計ツール

ほとんどのロボットへの適用を想定し、他の RT コンポーネントから出力されるイベント(非同期通知)を受信し、そのイベントへの反応として、別の RT コンポーネントのサービスを呼び出す作業シナリオを開発するためのイベント駆動型シナリオ開発ツールと、そこで開発された作業シナリオをインタプリタ形式で実行することができるイベント駆動型シナリオ実行 RT コンポーネントを開発し、EPL ライセンスに準拠したオープンソースとして一般公開した。また、詳細な英文ドキュメント(200 ページ)を作成し、公開パッケージに同梱した。

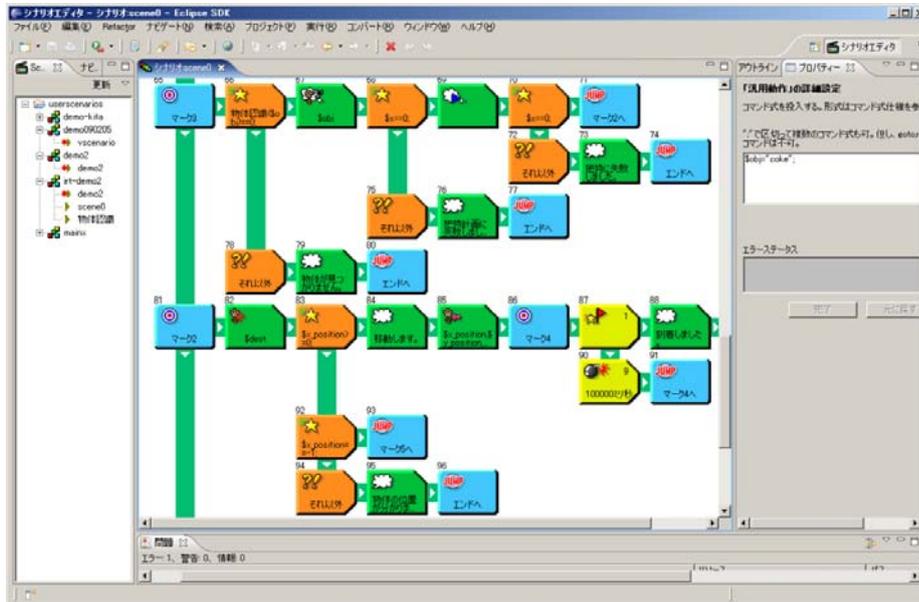


図 98 イベント駆動型シナリオ設計ツールの画面

イベント駆動型シナリオでは、ビジュアル部品と呼ぶ箱をビルディングブロックのメタファを用いて、シナリオをフローチャートのように組み立てていくことができる。ビジュアル部品の追加は下記のように追加する場所を選んでメニューを開き、メニューに表示されたビジュアル部品の種別を選択し引数を入力することで行うことができる。

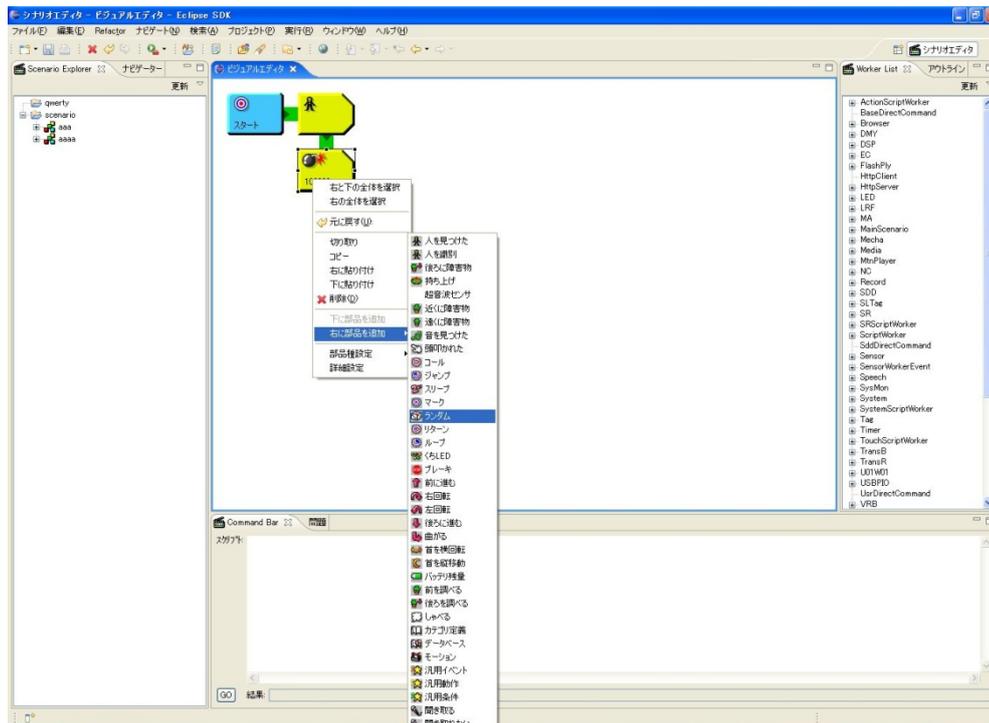


図 99 GUI によるビジュアル部品の追加

ビジュアル部品には 4 つの種類がある。

(1) 動作部品

ロボットに何かのアクションをさせるための部品である。水平方向に付け加えていくことができる。部品の色はミドリで示している。

(2) 動的条件部品

ロボットに外部イベントを判断させたいときに使う部品である。垂直方向に付け加えていくことができる。部品の色はきいろで示している。

(3) 静的条件部品

ロボットにイベントでない条件を判断させたいときに使う部品である。垂直方向に付け加えていくことができる。部品の色はきみどりで示している。

(4) ジャンプ部品

マーク部品まで処理の流れをジャンプさせたいときに使う。水平方向に付け加えていくことができる。部品の色はみずいろで示している。

(5) マーク部品

ジャンプ部品の飛び先を定義するための部品である。水平方向に付け加えていくことができる。部品の色はみずいろで示している。

このうち、動作部品、静的条件部品、動的条件部品の 3 種類は本ツールを用いてシ

ナリオを作成するロボットに合わせてカスタマイズすることができる。以下はカスタマイズを簡単化するためのカスタマイズツールの画面である。このカスタマイズツールはイベント駆動型シナリオ設計ツール内のコマンドから随時呼び出すことができる。



図 100 ビジュアル部品カスタマイズツールの画面

また、本ツールによって作成されるイベント駆動型シナリオを入力し、その記載にしたがって、他の RT コンポーネントを使役し、ロボット全体の動きを生成していくシナリオプレーヤを RT コンポーネントの形で開発した。その構成を RT システムビルダの画面で示す。

シナリオプレーヤ RT コンポーネントは、1つの入力ポートと N 個の出力ポート(図では 10 個。コードの変更により増減できる)を持つ。出力ポートにはシナリオプレーヤが使役する 1つの RT コンポーネントがコマンドとイベントを受け付ける入力ポートを結線する。入力ポートには、シナリオプレーヤが使役する全ての RT コンポーネントがコマンド、イベント、レスポンスを出力する出力ポートを結線する。シナリオプレーヤ RT コンポーネントは、実行するシナリオファイルの記載に従い、コマンドないしイベントを出力ポートを通じて、使役対象の RT コンポーネントに伝え、結果として使役対象の RT コンポーネントから戻ってくるレスポンスなどに従って、シナリオファイルに記載されたフローチャートを辿っていくという動作を行う。

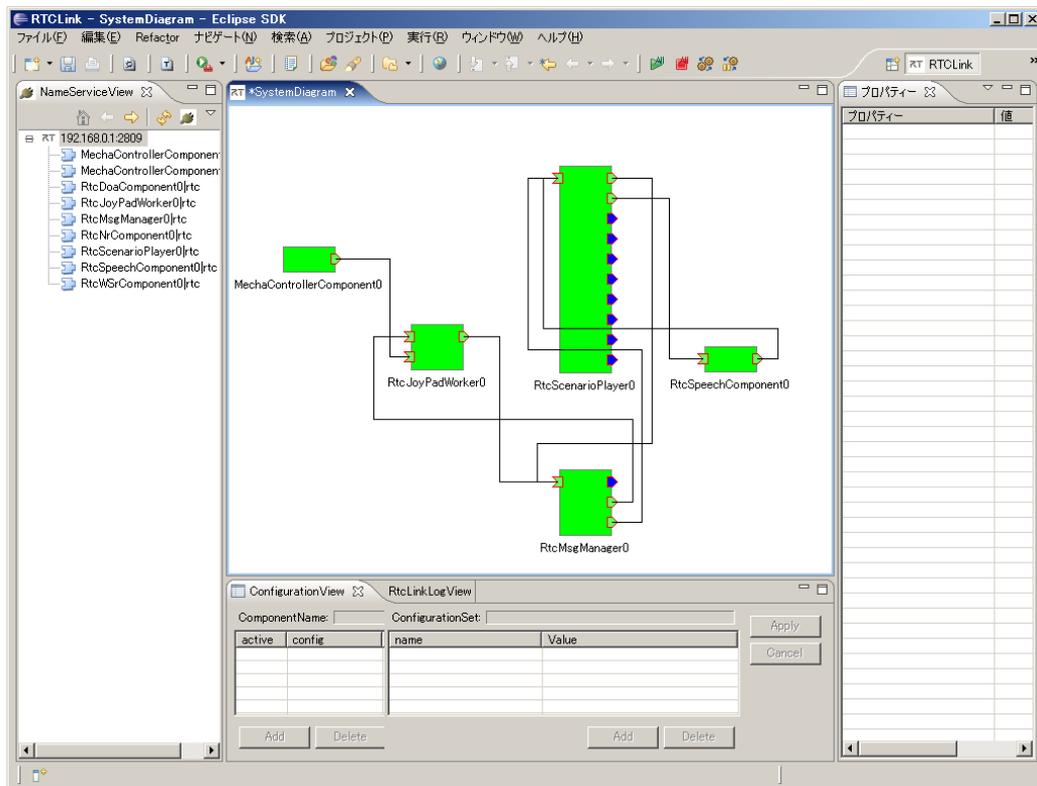


図 101 シナリオプレーヤ RT コンポーネントの結線例

(a-3) 短期時間駆動型シナリオ設計ツール

仕草などロボットの複数の部位を連動させる必要のあるロボットに適用されることを想定し、主として分単位以下の時間の粒度で、ロボットが有する複数の動作手段（手や足の動き、発話など）の同期・組み合わせを記述する作業シナリオを開発するための短期時間駆動型シナリオ設計ツールを開発した。

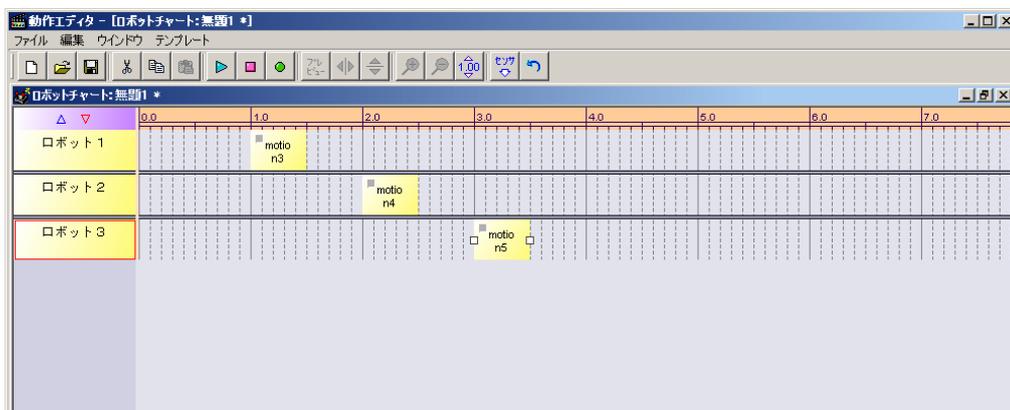


図 102 短期時間駆動型シナリオ設計ツールの画面

画面上は縦軸にロボットの部位、横軸に時間が配置される。任意の位置を指示し、クリックするとダイアログボックスが表示されるので引数を記入して確定させると、引数で指定された動作を示すボックスが表示される。これを繰り返し、短期時間シナリオを作成していく。最後にファイルへの格納のコマンドを選ぶと、動作列が時間順に整理された短期時間シナリオファイルが生成される。ここで生成された短期時間シナリオファイルと長期時間シナリオファイルを入力し、実行していくシナリオプレーヤを RT コンポーネントとして開発した。

まとめ

以上、ロボットに組み込まれるアプリケーションロジックを容易に作成するための作業シナリオ設計ツールを開発し、プロジェクト参加組織内に提供した。また、シナリオ編集系・実行系ともに作業シナリオ仕様記述方式で既定したシナリオメッセージ規約、ワーカ定義規約に基づいて実装している。特に、ビジュアルシナリオ編集系ではターゲットロボットに併せて、ビジュアルブロックをカスタマイズできる構成を持っており、リファレンスハードウェア向けのビジュアルブロックを作成し、平成 20 年度に実施した先行デモおよび後述の検証用知能モジュールの検証デモにおいて、その有効性を実証した。

(b) 動作設計ツールの開発

(b-1) 動作パターン設計ツール

多関節を有するロボット対して、関節角軌道として表現されるロボットの「動作パターン」をインタラクティブに編集するためのツールを開発した。編集した動作パターンは、作業における基本動作や、コミュニケーションにおけるジェスチャ、エンタテインメントコンテンツとしての活用及び機構設計時の検証用途に用いることを想定している。本研究項目の最終目標は、本事業内で開発された他のツールとの連携機能を強化し、事業化を検討することであった。以下、開発した動作パターン設計ツールについて述べる。

概要

多関節を有するロボット対して、関節角軌道として表現されるロボットの「動作パターン」をインタラクティブに編集するためのツールの開発を行った。編集した動作パターンは、作業における基本動作や、コミュニケーションにおけるジェスチャ、エンタテインメントコンテンツとしての活用及び機構設計時の検証用途に用いることを想定している。以下に開発したツール全体のスクリーンショットを示す。

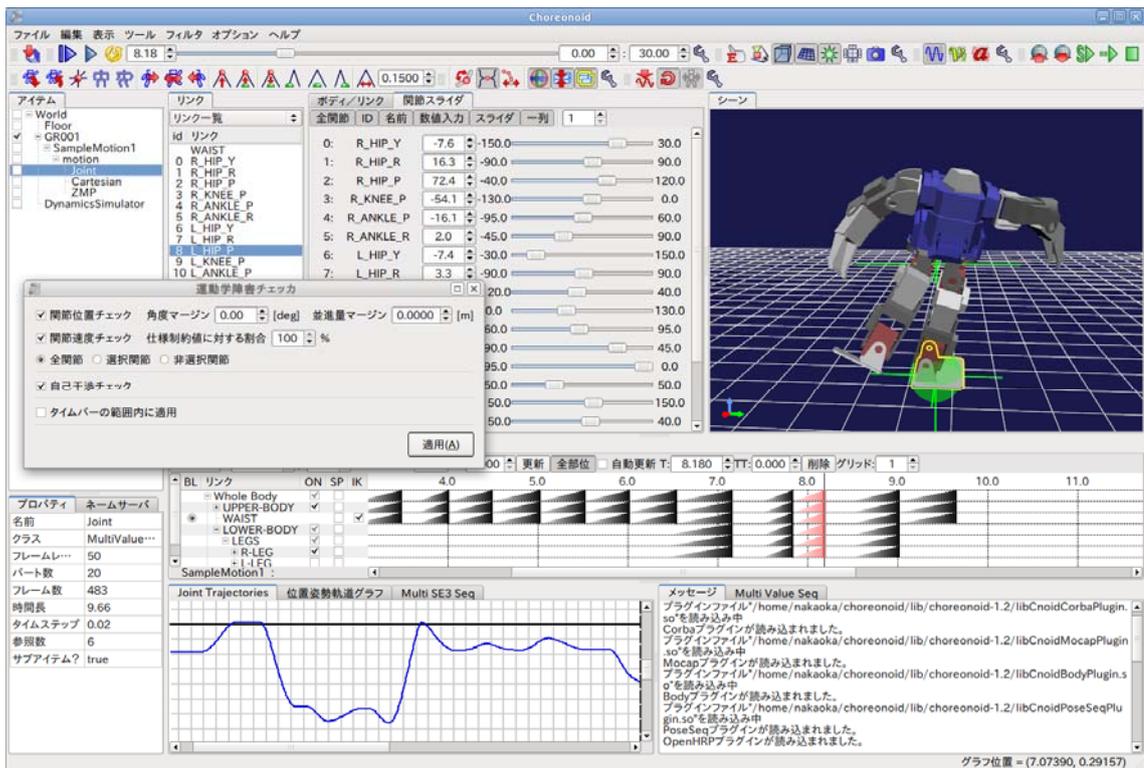


図 103 動作パターン設計ツールのスクリーンショット

基本設計

本ツールの基本的な設計は以下の方針に基づいて行った。

- ◇ 内部計算処理だけでなく、3D レンダリングを含む可視化、アニメーション、およびユーザ入力と内部計算との連携も含めて、コンピュータの性能を最大限活用可能な設計とする。
- ◇ 必要に応じてユーザが機能を柔軟に拡張可能とする。
- ◇ ロボットや計算機の専門家ではないユーザにも使いやすいツールとする。

これらの方針に基づき、具体的に以下のような設計を行った。

C++と非分散設計の採用

本ツールの想定する基本機能を実現するためには、グラフィックの描画や内部計算処理、およびそれらとユーザ入力との連携に関して、十分な高速性を確保する必要がある。なぜなら、動作の作成を直感的に行うためには、ツール上での編集操作を即座に動作データの更新と提示に結びつけることが重要だからである。従って、ツールの土台となる部分の設計は、内部計算処理だけでなく、3D レンダリングを含む可視化、アニメーション、およびユーザ入力と内部計算との連携も含めて、コンピュータの性能を最大限活用可能な設計となっている必要がある。

しかしながら、プラットフォームが標準 GUI として採用している Eclipse 環境

は、多くの面で優れた環境であるものの、上記の点に関してはその要求を十分に満たせるものではない。なぜなら、Eclipse は Java 言語で構築された環境であり、C/C++ で記述されたロボットモデルの運動学や動力学に関する内部計算処理と連携を行う際のオーバーヘッドが大きいからである。

具体的には、Java の JNI 機構を用いて C の関数を呼び出す場合、そのためのラッパインタフェース実装は煩雑であり、呼び出し速度も当然各言語内における関数呼び出しと比べて遅くなる。C++ の場合は C 以上に煩雑なラッパ実装が必要となる。また、動力学シミュレータで採用しているように、CORBA を用いてネットワーク経由で呼び出す場合、JNI と比べてさらにオーバーヘッドは大きくなってしまう。シミュレータにおいては基本的に動力学計算サーバの出力する剛体の位置姿勢情報を表示に反映できればよく、そのようなデータはデータ量もさほどではなく、そのやりとりも動力学計算全体からみると微々たるものなので、大きな問題とはなっていない。しかし、GUI 上での入力操作と連携させるにあたっては、このオーバーヘッドが問題となってくる。さらに、シミュレータの場合はやりとりすべきデータはほぼ確立されたシンプルなものであるが、動作データ作成に関しては多様な動作データをやりとりする必要があるため、JNI や CORBA で接続するためのラッパ実装のコストも開発において大きな負担となってしまふ。

これに関して、そもそもロボットモデルの計算処理自体を Java 言語で記述するという方法も考えられる。そのようにすれば、少なくとも関数呼び出しのオーバーヘッドは解消できる。また、Java は JIT コンパイル機能を備えており、状況によっては C++ と同等以上の実行速度が得られる可能性もある。

それでもなお、ロボットモデル計算処理を Java で記述することには問題が多い。まず、JIT によって実行速度が速くなるとしても、その程度は予測・制御ができない。また、Java では基本型以外のオブジェクトはすべてヒープ上に個別に確保されるため、例えば C++ のようにベクトル型や行列型をスタック上に確保したり、コンテナ上に直接（ポインタを介さず）配置したりするということもできない。Java のガベージコレクションは便利ではあるものの、その実行タイミングは制御しづらく、実行時には一定の負荷がかかってしまう。さらに、ネイティブコードに比べて新たなプロセスの起動が遅い。以上のような Java の性質は、やはり実行速度の最適化という点で C++ に大きく見劣りするものである。これは例えばロボット制御時に短い周期でリアルタイム実行をしなければならない場合や、シミュレーションや動作計画等において大量の計算処理を高速に行う必要がある際に、問題となる。また、C++ では演算子オーバーロードを用いて例えば行列・ベクトルについて数学的に自然な式記述をすることも可能であり、テンプレートを用いて多様な型に対してコードの共有と最適化を両立することも可能である。このような機能はロボットの計算処理の開発効率や保守性を高めるにあたって大変有用で

あるが、Java ではそのような機能がない。さらに、実際にロボティクスにおいて有用な多くの既存ライブラリが C/C++にて記述されている。それらを直接利用できるという点も、C++を用いる重要な利点のひとつである。そして、そのような既存ライブラリ資産は Java よりも C++が充実しているという事実自体、上記の考察を裏付けるものである。

以上まとめると、以下の2点が言える。

- 動作設計ツールにおいては、ロボットモデルの可視化や GUI 操作に関して、ロボットモデルの内部計算処理との高速かつ多様な連携が求められる。
- ロボットモデルの計算処理においては Java よりも C++が適しており、実際に多くの状況で C++が使われている。計算処理において有用な既存のライブラリ資産についても、C++の方が充実している。

以上を考慮した結論として、本ツールにおいて我々は Eclipse ではなく、自前の C++実装をフロントエンド部分に適用し、内部計算処理と直接リンクする非分散型的设计とすることにした。これに関して、Eclipse 上に GUI ツールを統一するという理想に反するものではないかという議論も行った。しかし、それを重視するあまり各ツールの目的を十分に達成できなければ本末転倒であり、さらにこのような性質を必要とする他のツールが必要となることも今後考えられることから、本プラットフォームの可能性を広げるためにも、本ツールのような設計をプラットフォームにおいてひとつ示しておくことは、重要であるという結論に至った。

ウィンドウシステム

動作パターン設計ツールにおいては、多くの機能を GUI 上に構築する必要がある。このため、GUI のウィンドウやツールバーといったコンポーネントについて、多様な種類のものをまとめる必要がある。そしてこれは作業内容に応じて適切な配置が行えることが望ましい。以上を考慮して、以下の設計のウィンドウシステムを採用することとした。

- ビューは基本的にひとつのメインウィンドウ上に配置される。
- ツールバーは機能ごとにまとめられ、各ツールバーの配置はユーザが自由に変更可能とする。
- ツールバーよりも広い領域を持ち、各種操作や可視化、データの編集等を行う矩形領域を「ビュー」とし、ビューについてはメインウィンドウ上に分割して配置する。
- 当面の作業に必要でないビューは、他のビューと同じ領域にて、他のビューの背後に隠すことができる。ある領域に含まれるビューはタブで管理され、任意のビューを表に出すことが可能である。
- 上記のビューの分割とタブ配置についても、ユーザが自由に設定可能とす

る。

以上の設計は基本的には Eclipse と同様のものであり、Eclipse 上に構築された他のツールと操作感を統一することが可能である。

汎用アイテムツリー設計

本ツールでは、多様な種類のデータを同時に扱うことが想定される。例えば、ロボットのモデルデータ、環境のモデルデータ、ロボットの動作を生成するキーフレームデータ、さらに生成されたデータを格納する動作軌道データなどである。さらに、これらのデータに加えて、ロボットの動作と同期して再生する音声データや、ロボットの動作データを時系列に並べて順番に再生するシナリオデータ、ロボットモデルと実機のロボットを接続するためのコントローラなども追加することが想定される。

本ツールの開発においては、そのような多様なデータをシンプルかつ統一的に扱うための「汎用アイテムツリー」を設計した。この設計のポイントを以下に示す。

- 本ツール上で明示的に操作対象となるモデルやデータは、「アイテム」として抽象化され、「アイテムツリー」にツリー構造で格納される。
- アイテムの生成・読み込み・保存、あるいは基本的な属性の表示や編集といった、共通となる機能については、共通の関数やインタフェースで行うことが可能である。
- 各アイテムをツリーのどの位置に配置するかは、基本的にユーザの自由とする。
- ある機能を実行する際にアイテム間の関係を知る必要がある場合、ツリー内での位置（親子関係も含む）によってその関係を判断する。
- どのような位置関係をアイテム間の関係ととらえるかは、各機能が自由に判断するものとする。
- 上記の関係性に関する操作体系の統一は、あらかじめ定められた厳密なルールに従うのではなく、慣習的なものとする。
- アイテムツリーの状態は、「プロジェクト」として一括して保存、読み込みが可能とする。

このようなツリーの扱いは、必ずしも今までのソフトウェアで一般的なものではない。確かにツリー構造は多くのソフトウェアで一般的に使われているが、そのほとんどは定められた特定の構造に従うか、ある特定のデータタイプのみを含むようなものである。例えばファイルツリーはファイルやディレクトリという特定の型のみを対象としたツリーである。あるいは、グラフィックソフトウェアやシミュレータ等においてよく見られる、3D 描画オブジェクトの階層構造を表現す

る「シーンツリー」は、描画に関連するオブジェクトのみを扱うものであり、取り得る親子関係についてもオブジェクトごとに定められている。あるいは、編集対象のいくつかの種類データをツリーで扱うソフトウェアもあるが、それらは多くの場合、特定の型ごとにグループ分けされた親ノードに対応する型を格納するものとなっている。

一方で、本ツールで設計した上記のツリーの扱いは、それら既存のツリーインタフェースと比べて、より柔軟性の高いものとなっている。ただし、ツリー配置のルールが厳密に定められていないため、配置の慣習を知らなければデータの関係性を適切に指定できないことにもなる。ただし、実際にこの運用法を実装して動作パターンを設計を多様なユーザにテストしてもらった結果、このことは大きな問題にならないことが分かった。つまり、関係性の記述は親子関係などをベースに人間にとって自然なかたちで運用されるので、そのような慣習はすぐにユーザが把握できている。一方で、この運用法の特徴である柔軟性の高さは、多様なモデルやデータを同時に扱い、さらに機能を拡張して新たなモデルやデータを追加していくにあたって、有効に機能することが確認できた。

以下はアイテムツリーの実例の利用例を示す図である。

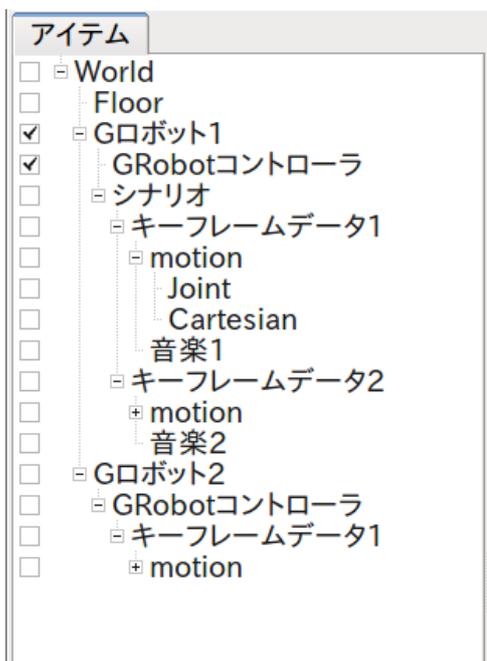


図 104 アイテムツリー

この例では、まずトップレベルのノードとして”World”というアイテムを配置している。このアイテムはひとつの仮想世界を示すものであり、このアイテムの子アイテム（子孫アイテム）としてロボットや環境のモデルに対応するアイテムを配置することにより、それらのモデルが同一ワールドに存在するものであることを表現する。そして、例えばモデル間の干渉チェックなどは、この関係を考慮して行われることになる。ロボットモデルの組み合わせについて、いくつかに分けて編集を進めたい場合は、この World アイテムを複数作成し、それぞれに適当なモデルアイテムを配置すればよい。

次に、World アイテムの子アイテムとして配置している、”Floor”, ”G ロボット 1”, ”G ロボット 2”というアイテムは、それぞれ床と、G ロボットというロボットモデルに対応している。ここでは”G ロボット 1”のみに左端のチェックを入れているため、3D ビューに表示されるのは”G ロボット 1”のみとなっている。

そして、”G ロボット 1”について、関連するアイテムを小アイテムとして配置し

ている。まず”GRobot コントローラ”というのは、実機の G ロボットを動作させる機能をアイテムとして抽象化したものである。実際にどのロボットを動かすかは、このアイテムの属性として設定可能である。そして、どのモデルがどの実機に対応するかは、アイテムの親子関係で表現される。ここでは、”G ロボット”が 2 体あり、それぞれのコントローラはそれぞれの親アイテムになっているモデルの動きに合わせて動くことになる。

“シナリオ”というアイテムは、いくつかの動作データや音楽データ等を定められたシナリオで順番に実行・再生していく機能を抽象化したアイテムである。自身の子アイテム（子孫アイテム）として配置されている動作データのアイテムや音楽データのアイテムを、ツリー上で上から順番に実行していく。このように、単にアイテムの配置を適切に行うだけで、何を、どの順番で実行していくか、という関係性を指定できていることになる。

“キーフレームデータ 1”というのは、後述するキーフレーム列に対応するデータである。本ツールではこのデータを編集することで、ロボットの動作パターンを作成可能となっている。また、このアイテムについても、どのモデルアイテム以下に格納されているかによって、データとモデルの組み合わせが指定されている。これにより、複数の動作データと複数のモデルを自由に組み合わせて同時に動作編集を進めることが可能であり、これをシンプルなツリーシステムで実現できていることが本ツールの大きな特徴である。

キーフレームアイテムは、自身の子アイテムとして”motion”というデータアイテムを持つ。これについてはユーザがツリー内で自由にアイテムの位置を変えられるという例外となっており、親アイテムが自前で生成して管理しているアイテムとなっている。このようなアイテムを、「サブアイテム」と呼ぶ。サブアイテムは、その配置をユーザが自由に帰られないという以外は、通常のアイテムと同じである。ここではキーフレームを補間して生成される動作軌道データを格納する目的で使われている。”motion”アイテム自体は、そのような動作軌道データを格納するアイテム型となっており、もともとこの型のアイテム用に用意された機能がそのまま利用可能である。例えば、実際の軌道をグラフ上で確認したい場合は、このアイテムを対象としてグラフを表示すればよい。また、動作データの再生機能や実機ロボットの制御などは、軌道データを対象に作成しておけば、キーフレームデータに対して新たに作成する必要はない。さらに、”motion”アイテムの子アイテムである”Joint”と”Cartesian”は、”motion”アイテムの子アイテムとなっている。それぞれ関節角軌道とリンクの位置姿勢軌道に対応する。このように必要に応じてひとつのデータを複数のアイテムで構成することで、機能の柔軟な共有が可能となる。

ここでは、キーフレームデータアイテムの子アイテムとして、さらに”音楽 1”と

いうデータアイテムが配置されている。これは音楽データに対応するアイテムで、選択して再生を行うと音楽が再生される。ここではこのアイテムをシナリオアイテム以下にキーフレームデータと並べて配置することで、シナリオにおける各動作にそれぞれ個別の音楽を対応付け再生するというを行っている。このような少々複雑な設定も、単にツリー内の適切な位置に音楽アイテムを配置するというシンプルかつ統一された操作で実現できる。

以上のように、本アイテムツリーの設計により、多様なデータをシンプルかつ統一的な操作で扱うことが可能となっている。

機能拡張のためのプラグインシステム

本ツールでは、上記のアイテムツリーの例でも示したように、使用するロボットごとにその実機をツール上から動かすためのコントローラアイテムを追加したり、動作データだけでなく音楽データも読み込めるようにしてロボットの動作と合わせて再生したりと、様々に活用することが想定される。これを実現するためには、想定される全ての利用法やロボットに対してあらかじめ機能を開発することは困難であり、ツールを利用者が自由に拡張できることが望ましい。

このため、本ツールの基本設計として、機能拡張のためのプラグインシステムを構築した。プラグインは共有ライブラリとして実装され、プラグインオブジェクトを生成するエントリ関数によってプラグインが生成される以外は、通常の共有ライブラリと同等のものである。従って、プラグインは他のライブラリの機能が利用できるだけでなく、他のプラグインの機能も利用できるようになっている。この場合、プラグイン間の依存関係を指定する機能も利用可能である。この設計は、特定の関数のみ追加を許すような、一般的なプラグインシステムと比べて非常に自由度の高いものとなっている。従って拡張の種類も特に限定されておらず、ユーザは必要な機能を自由に追加していくことが可能である。その際、追加したモデルやデータと既存のデータとの関係も、上述の柔軟なツリーシステムによって簡便かつ効果的に行うことが可能である。

このように本ツールのプラグインシステムは自由度の高いものであり、ツールの基本機能についてもプラグインとして実装することで、システム全体の統一性を高めることができる。このため後述するように、ツールの基本機能の多くが実際にプラグインとして実装されている。

実際のプラグインのコーディング例を以下に示す。ここでは、“Increment”と“Decrement”という2つのボタンをツールバーに追加し、“Increment”ボタンを押すと選択されているロボットモデルの全ての関節角度が一定値増加し、結果の姿勢がモデルの状態や表示に反映される。“Decrement”については同様に一定し減少させる。これらの結果として、3Dビューのロボットの描画や、関節角スライダ

の状態など、モデルと関連する全ての機能が影響を受ける。あまり意味のないプラグインではあるが、このように、「対象となるモデルを取得し」、「モデルに操作を加えて」、「その結果を全ての関連するアイテムやビューに反映させる」という比較的複雑な処理が、以下のシンプルなコードで実現できる。

```

class SamplePlugin : public Plugin {
public:
    SamplePlugin() : Plugin("Sample") { depend("Body"); }
    virtual bool initialize() {
        Toolbar* bar = new Toolbar("Sample1");
        Increment bar->addButton("Increment ")
            ->sigClicked().connect(bind(&onButtonClicked, +0.04));
        Decrement bar->addButton("Decrement ")
            ->sigClicked().connect(bind(&onButtonClicked, -0.04));
        addToolBar(bar);
        return true;
    }
};

void onButtonClicked(double dq) {
    ItemList<BodyItem> bodyItems =
        ItemTreeView::mainInstance()->selectedItems<BodyItem>();
    for(size_t i=0; i < bodyItems.size(); ++i) {
        BodyPtr body = bodyItems[i]->body();
        for(int j=0; j < body->numJoints(); ++j) {
            body->joint(j)->q += dq;
        }
        bodyItems[i]->notifyKinematicStateChange(true);
    }
}

```

図 105 プラグインのコーディング例

本コードを簡単に解説すると、まず”Plugin”クラスを継承したクラスを定義することで、プラグインを実装する。そして、コンストラクタの”depend”関数で本プラグインが”Body”という名前のプラグインに依存していることを示している。”Body”プラグインはロボットモデルを扱う基本的なクラスや関数を実装したプラグインとなっている。

次に”initialize”関数をオーバーライドし、初期化処理を記述している。ここでは”Increment”と”Decrement”の2つのボタンを有するツールバーを作成して追加している。各ボタンが押されたときに実行する関数をこのコードのようにシンプルに指定することが可能である。ここでは”sigClicked”というボタンが押されたときに発行されるシグナルに対して、”onButtonClicked”という関数と関数実行時のパラメータ（関節角の増減値）を結びつけている。

次に”onButtonClicked”関数内にて、ボタンが押されたときの処理を記述してい

る。ここでは前述のアイテムツリービューに対応する”ItemTreeView”のインスタンスに対して、”selectedItems<BodyItem>0” を実行することにより、ユーザが選択しているロボットモデルのアイテムを取得している。そして、取得した各ロボットモデルに対して、関節数分のループを回し、各関節の関節角を dq 分だけ増減させることで、モデルの状態を更新している。最後に、モデルのアイテムに対して”notifyKinematicStateChange” を実行することで、このモデルの運動学的状態が更新されたというシグナルを発生させている。モデルの状態と関連しているビューなどはこのシグナルに対して自身を更新する関数を結びつけているため、”notiyKinematicStateChange”をひとつ呼ぶだけで、関連する全てのビュー等の更新が可能となっている。これにより、他にどのようなビューが関連しているかを特に気にせずとも、それらのビューと連携することが可能であり、拡張性の高い設計となっている。

以上述べたように、本ツールのプラグインシステムによって、必要最小限の労力で機能を拡張し、既存の機能と連携させることが可能となっている。

モジュール構成

本ツールは以下の図に示すモジュール構成で構築されている。

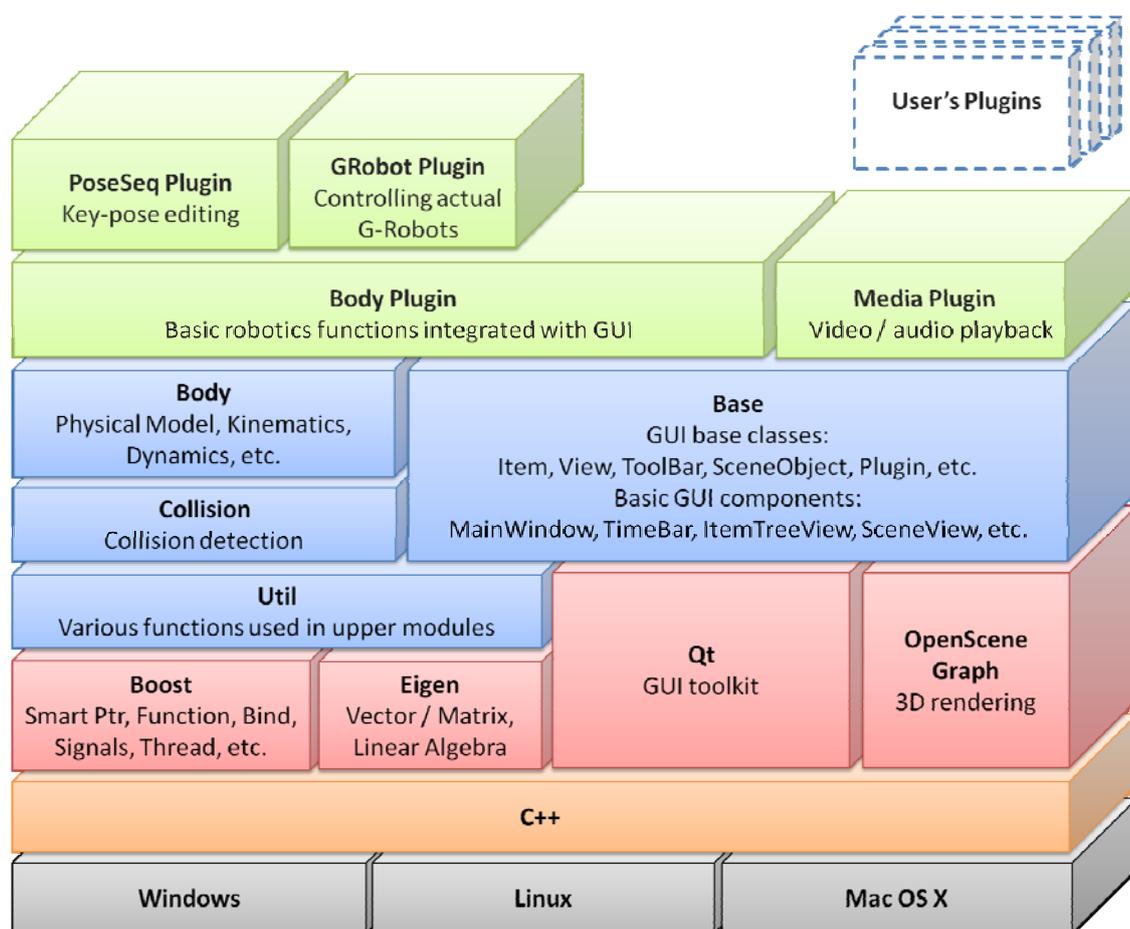


図 106 動作パターン設計ツールのモジュール構成

まず、本ツールはマルチプラットフォーム対応としており、Windows, Linux, および Mac OS X で動作可能としている。また、言語については、前述のように C++ を基盤としている。

GUI ツールキットや 3D シーングラフ描画、行列・ベクトル演算などに関しては、自前で全て開発するのではなく、既存のライブラリを用いることにしている。代表的なものとして以下のライブラリを利用している。

Boost C++ Libraries: C++の汎用的なライブラリ集で、標準ライブラリがカバーしない部分をカバーする大変有用なライブラリ集である。本ツールでは、柔軟な拡張性を実現するために、本ライブラリ集の **Signals, Bind, Function** といった関数の格納や呼び出しに関するライブラリが大きな役割を果たしている。それ以外にも多くのライブラリが本ツールの実装で使用されている。

Eigen: 行列・ベクトル演算をはじめとする線形代数処理を扱う C++のテンプレートライブラリである。演算子オーバーロードと式テンプレートの活用により、数

学における記述に近い記述を実際のコードでも実現でき、結果として生成されるコードもオーバーヘッドの少ない非常に高速なものとなっている。さらに SSE などの拡張 CPU 命令を扱う機能も備えており、手動のコード最適化に匹敵する最適化を得ることができる。また、固定サイズの行列・ベクトルと可変サイズの行列・ベクトルを同じ API で扱うことが可能であり、効率の高さと柔軟性を兼ね備えている。以上のような性質から非常に使いやすい上に高速で、大変有用なライブラリである。行列・ベクトル演算に関するライブラリとしては、他に `tvmet`, `uBlas`, `Blas`, `Lapack` 等が挙げられる。`Tvmet` については、固定サイズのみを扱うライブラリで、可変サイズを扱うことができない。`uBlas` は逆に可変サイズに特化して設計されたものであり、固定サイズの演算については十分な最適化が出来ない。`Blas` については元々 `Fortran` のライブラリであり、可変サイズを対象として関数呼び出し形式で使うため、比較的小さいサイズの行列・ベクトルに対しては効率が悪い。また API も数学的に自然な記述ができるものではない。`Lapack` は `Blas` を基盤とする線形代数ライブラリで、多様な線形代数演算ができる。これは `Eigen` がカバーしていない線形代数演算を行う際には有用であるが、本ツールの実装においては `Eigen` がカバーするもので十分となっている。以上の理由により、本ツールの開発においては `Eigen` を採用することとした。

Qt: GUI ツールキットライブラリで、多様で高品質な GUI 部品を提供する。GUI ツールキットとしては、他に `wxWidgets`, `Gtkmm`(`Gtk+`) 等がよく知られている。実際に本ツールの開発においては、我々は当初 `wxWidgets` を採用し、次に `Gtkmm` と入れ替え、最終的に `Qt` を採用するに至った。当初 `wxWidgets` を採用した理由は、各 OS のウィンドウシステムの比較的高レベルな API を直接利用するライブラリは `wxWidgets` のみであり、さらにライセンスも LGPL ベースで本プラットフォームの運用に問題なかったためである。この時点では `Qt` は商用ライセンスか GPL ライセンスとなっており、どちらもオープンかつ商用利用も可能なプラットフォームの運用では問題があった。また、`Gtkmm` については `Windows` や `Mac OS X` への対応の面で他のライブラリに劣ることが懸念された。しかしながら、実際に `wxWidgets` で実装を進めたところ、我々が必要とする GUI 機能が十分に実現できないことが分かった。また、そのような機能を工夫して実現しようとする、プラットフォームによって挙動が異なり、結局複数のプラットフォーム間でコードを共有できないという問題も生じた。次に `Gtkmm` に乗り換えた理由は、少なくとも `Windows` のサポートには改善がみられ、`Qt` は依然としてライセンスに関する問題があったからである。実際、`Gtkmm` は我々の要求を概ね満たすものであった。しかしながら、`Gtk+`バージョン 2.19 以降から再び `Windows` のサポートが悪くなり、`Windows` においてウィンドウが正常に描画されないなどの問題が生じた。そして、この時点までに `Qt` のライセンスが LGPL に変更されていたため、

Qt の採用に至った。Qt はもともと商用ライブラリとして開発されてきただけに、他の 2 つのライブラリと比較して細かい点までよく作り込まれており、現状では最適な選択となっている。

OpenSceneGraph: 3次元 CG 描画をシーングラフというハイレベルな API で行うためのライブラリ。OpenGL をベースに構築されており、必要であれば OpenGL の API を直接用いることも可能である。

これらはいずれもよく知られて広く使われている定評あるライブラリである。また、いずれもマルチプラットフォーム対応となっており、本ツールをマルチプラットフォーム対応させるにあたって重要な役割を果たしている。

以上のライブラリの上に、本ツールの基盤となる以下のモジュールを構築している。

Util: ツール実装の各所で使われるクラスや関数をまとめたユーティリティライブラリ。

Collision: 干渉チェック機能を提供するライブラリ。

Body: ロボットモデルの定義や各種計算処理を扱うライブラリ。

Base: ツールの GUI に関連する基盤機能をまとめたモジュール。

そして、これらのモジュールの上に、プラグインが構築される。本ツールが標準で提供するプラグインとして、以下がある。

BodyPlugin: ロボットモデルや動作データに関する GUI や処理を実装したプラグイン。主に Body ライブラリの機能を GUI 上で扱うためのコードを記述している。

PoseSeqPlugin: ロボットのキーフレーム編集を行う機能を実装したプラグイン。

GRobotPlugin: HPI ジャパン株式会社の小型ロボット”G-Robot”の実機をモデルの動作と連動させて動かすための機能を実装したプラグイン。同様のプラグインを書くことで、他のロボット実機への対応も可能となる。本プラグインはそのためのサンプルとして開発した。

MediaPlugin: ビデオや音声をロボットの動きと合わせて再生するためのプラグイン。このプラグインのように、直接はロボットと関係のない多様な機能をプラグインとして自由に追加することが可能となっている。

動作パターン作成のための基本機能

本ツールの本題である動作パターン作成機能に関しては、以下を開発目標として掲げていた。

- モデル読み込み機能

- 姿勢提示・編集機能
- 姿勢シーケンス編集機能
- 動作提示機能
- 制約適応支援機能

以下ではそれぞれの目標に対して、実際に開発した内容を述べる。

モデル読み込み機能

目標： 編集対象となるロボットについて、その関節構造や形状、各関節の仕様などの情報は、本プロジェクトで策定するハードウェア仕様記述に基づくモデルファイルから読み込むものとする。これにより、モデルファイルを用意することで、任意の形状・構造のロボットの動作パターンを編集可能とする。

本目標については、「ハードウェア仕様記述方式」にて述べた、VRML97に基づくロボットハードウェア記述方式に対応させており、問題なく実現することが出来た。なお、「IDLによるハードウェア仕様記述方式」については、現状では対応していない。これは、2.1で述べた「C++で非分散型」の設計思想に基づくものである。もちろん、IDLへの対応は必要に応じて追加プラグインのかたちで行うことが可能である。

姿勢提示・編集機能

目標： ロボット全身の姿勢を提示・編集するためのインタフェースとして、各関節角の数値表示によるものと、3Dグラフィック表示によるものを実装する。3Dグラフィックにおいては、表示されているロボットのリンクをドラッグすることで効率的に姿勢を編集可能なインタフェースを実現する。

本目標についても対応する機能の開発を行った。まず、下図に示す2つのビューは姿勢を数値形式で提示・編集するためのインタフェースである。

左側のビューは”BodyLinkView”であり、ロボットの各リンクについて、その関節角、リンク位置、姿勢等を数値形式で閲覧・編集することが可能である。また、リンク間の干渉状態についてもリンク名に対応する文字列で明確に確認することが出来る。

右側のビューは、”JointSliderView”であり、複数の関節の関節角度を一括して確認・編集できるビューである。数値による確認・編集に加えて、関節角に対応するスライダも提供しており、これらを使い分けることで効率的な関節角編集が可能である。

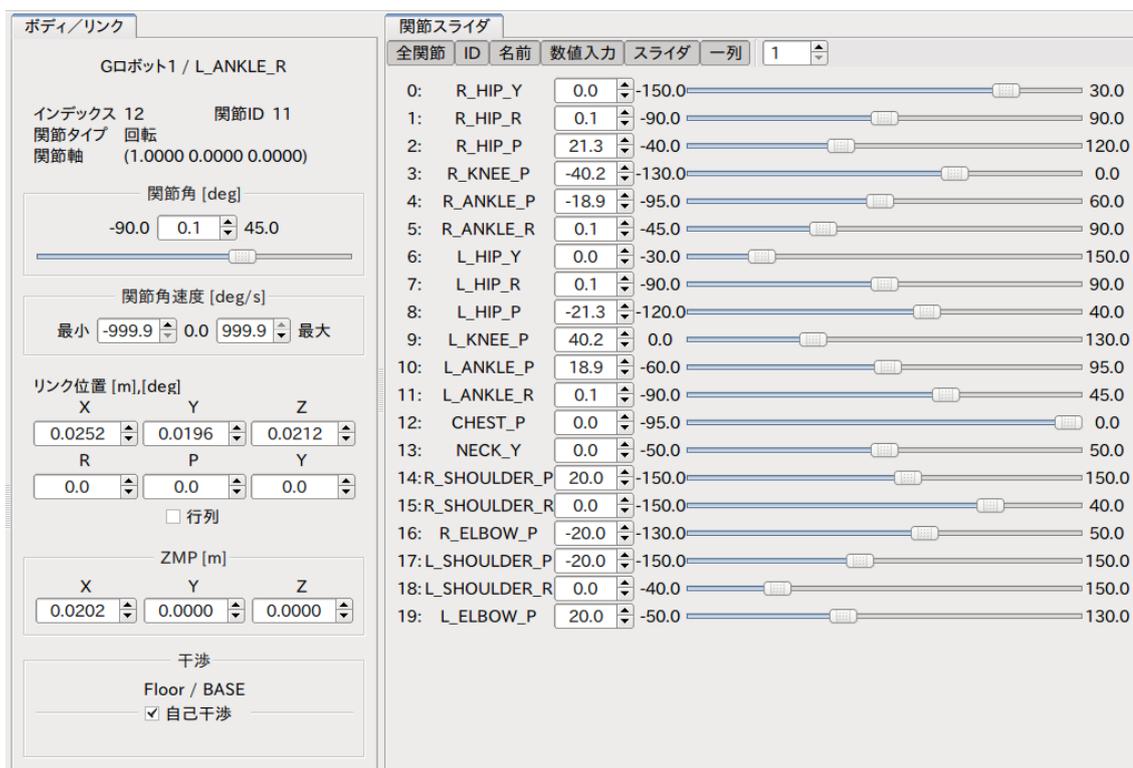


図 107 BodyLinkView と JointSliderView

3D グラフィック表示による姿勢の確認・編集は、本ツール全体の 3D 描画を行う”SceneView”に統合されている。以下に姿勢編集時の SceneView の状態を示す。

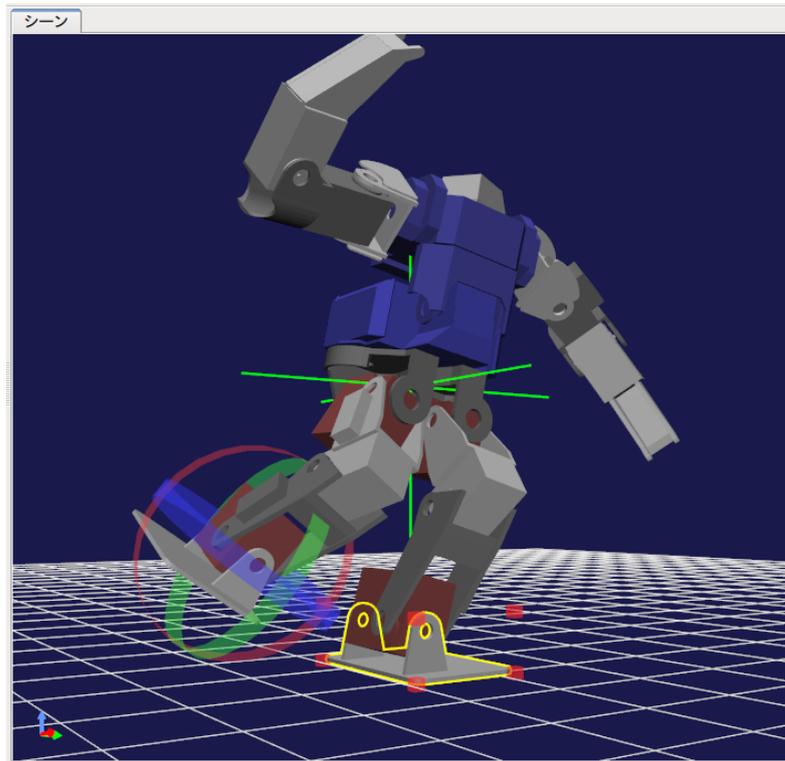


図 108 SceneView

このビュー上では、図から分かるようにロボットの姿勢を 3D グラフィックで確認できる。もちろん、作成した動作もアニメーション表示によって確認することが出来る。そして、3D モデルの各リンクをマウスでドラッグすることで、そのリンクの位置姿勢や、関節角度をダイレクトに編集することも可能である。編集には順運動学モード、逆運動学モード、およびハイブリッドモードが利用可能であり、これらを使い分けることで効率的な姿勢編集が可能である。また、それらの編集操作を支援するいくつかのツールバーも提供しており、モードの切り替えや、特定のパターンの姿勢の変更などは、それらのツールバーが提供するボタンを押すことで簡単に実現できる。

姿勢シーケンス編集機能

目標： 姿勢編集機能で作成した各姿勢を時間軸上に並べ、姿勢のシーケンスから動作を構成するためのインターフェースを実現する。ロボットの動作パターンとなる関節角軌道はユーザの提示した姿勢シーケンスからシステムが生成するものとする。

本目標を実現する機能として、主に”PoseSeq”アイテムと”PoseRoll”ビューを開発した。

まず、PoseSeq アイテムは、姿勢シーケンスを格納するデータ構造に対応したアイテムとなっている。そして、このアイテムの内容は、以下に示す PoseRoll ビューを用いて編集可能である。

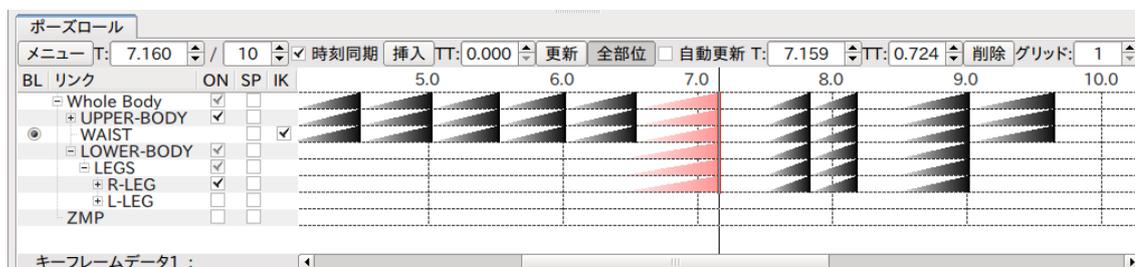


図 109 PoseRollView

PoseRoll ビューでは、横方向が時間軸となっており、適当な時間位置にて「挿入」ボタンを押すことで、現在のモデルの姿勢がキーフレームとして追加される。各キーフレームは遷移開始位置からキーフレーム到達位置までに渡る三角形で表示される。また、既存のキーフレームを選択状態にした上で姿勢編集を行うことで、各キーフレームの姿勢を変更することも可能である。さらに、ビュー上部の各種数値ボックスや、キーフレームに対応する三角形領域をドラッグすることなどにより、キーフレームの時刻や遷移時間などを効率的に編集することも可能である。

また、PoseRoll ビューの縦方向は各身体部位に対応している。ビュー左部のツリーは、リンクの階層構造と一致しており、ここに表示されている身体部位と、その右側に続くキーフレームが、それぞれ対応する。すなわち、キーフレームは全身に対して一括して設定することも出来、その場合は身体部位ツリーの全ての領域がキーフレーム表示で占められることになる。一方で、ある身体部位のみにキーフレームを設定することもでき、その場合は設定した身体部位に対応する縦位置のみでキーフレームが表示される。例えば、上半身と下半身、あるいは右手と左手でキーフレームのタイミングが異なる場合、あるいは単に首だけを動かしたい、といった場合には、それぞれの身体部位に対してキーフレームを設定すればよい。この設定はツリーのチェック状態で行うことが出来、後で変更することも可能である。また、身体部位ツリーの各ノードは状況に応じて展開したりまとめたりすることが出来る。細かい部位レベルで設定を行いたい場合、例えば足首関節だけ動かしたい、といった場合には、そのレベルまでツリーを展開すればよいし、逆にあるまとまった部位に対して設定したい場合は、ツリーの展開を閉じることで、細かい部分を気にせずに編集を進めることができる。このようにして、身体部位を考慮した効率的な姿勢シーケンスの編集が可能となっている。

PoseSeq アイテムのキーフレームからは対応する軌道データが自動で生成され、PoseSeq アイテムのサブアイテムである BodyMotion アイテムに格納される。単にアニメーションを確認したい場合には、元の PoseSeq アイテムを選択して確認することも可能であるが、軌道レベルの細かい処理、例えばグラフを用いた軌道の確認などを行いたい場合や、軌道データとしてファイルの保存を行いたい場合などは、サブアイテムである BodyMotion アイテムに対して操作を行えばよい。

動作提示機能

目標：姿勢シーケンス編集機能で作成された動作パターンを 3D グラフィックスのアニメーションとして提示、確認することができる機能を実現する。ツール内で実行される運動学シミュレーションに加え、シミュレータと連携した動力学シミュレーションも容易に実行可能とする。

アニメーション提示について、目標とする機能を実現した。下図に示すタイムバーを操作することで、作成した動作のアニメーション再生が可能である。



図 110 タイムバー

また、動力学シミュレーション機能についても、「動力学シミュレータ」において開発した動力学エンジンを組み込み、作成した動作パターンを本ツール上で直接動力学シミュレーションする機能を実現した。これにより、作成した動作パターンの力学的整合性を容易にチェックすることが可能である。

制約適応支援機能

目標：ロボットの制約条件を満たした動作パターンを効率的に作成できるようにするため、インタラクティブな編集操作と連動して制約とその逸脱を提示する機能を構築する。この機能により、関節仕様値の逸脱や力学的な安定性が編集操作の節々で確認可能となり、ユーザはロボットの制約条件を満たしたかたちで直接動作パターンを編集していくことが可能となる。

本目標に対応する機能として、関節角度や関節角速度の逸脱をグラフにてチェックする機能が利用可能である。リミット値の境界はグラフ上で明示的に表示されるので、グラフ上でリミット値を超えている部分が容易に分かるようになっている。また、グラフはキーフレームの更新時に連動して更新されるため、ユーザはリミット値を超えていないかを常に確認しながら作業を進めることが可能である。

力学的安定性に関しては、単に条件を満たしていないことを提示するだけでは、安定な動作を作成することは困難であることが判明した。これにより、力学安定性の制約逸脱を提示するだけの機能については開発を見送った。ただしこれに関しては、本ツールのテスト公開後に、産総研知能システム研究部門ヒューマノイド研究グループにて二足歩行ロボットのバランスを本ツール上で自動補正する機能が追加プラグインとして開発され、これを用いることでより発展的にこの問題を解決できるようになっている。これについては後述する。

利用状況

プラグイン開発事例

上で述べたように、本ツールはプラグインシステムによって機能を拡張可能となっている。そして、開発中の本ツールのテスト公開を平成 21 年 7 月に行ってから、いくつかのプラグインが開発されている。ここではそのうちの 2 点について報告する。

まず、二足歩行ロボットのバランスを自動補正するプラグインが、産総研知能システム研究部門ヒューマノイド研究グループにて開発された。これにより、バランスのとれた全身動作を作成することが難しい二足歩行ロボットに関しても、動作パターンを作成することが容易となった。

また、本プロジェクトの「HIRO 加速案件」の一環として”graspPlugin”という把持計画プラグイン群が開発された。これを用いることで、アームの先端にハンドが取り付けられたロボットシステムに対して、把持計画、動作計画、作業計画などを行うことができる。

以上のように、本ツールの動作パターン作成機能をベースとした拡張機能が開発され、ツールの応用範囲が広がってきており、本ツールがプラットフォームツールとして有効に活用されていることが確認できている。

公開状況

本ツールは開発中のものを平成 21 年 7 月よりテスト公開を行い、希望者には必要な情報を提供してきた。上記のプラグイン開発事例はその枠組みの中で行われたものである。

そして、平成 22 年 10 月 16 日に、上述のバランス補正プラグインと組み合わせた成果として、”Choreonoid (コレオノイド)”という命名で産総研プレスリリースを行った。その後平成 23 年 11 月 8 日より本ツールの公式サイトを立ち上げ、一般への公開を開始した。平成 24 年 4 月 11 日現在、計 2024 のダウンロードが確認されている。

まとめ

上述のように動作パターン設計ツールは、プラグイン機能を実装したことにより他のツール群との連携することが可能になっている。また、C++言語により実装を行ったことで十分な性能が実現でき、他のコンソで開発する知能モジュールのベースとしても利用されている。このツールはオープンソースライセンスで開発、公開されているが、独自のプラグインを開発することで様々なロボットアプリケーションへの応用することが可能であるため、外部企業による独自の事業化展開も期待できる。

(b-1) 移動動作設計ツール

移動動作設計ツールとは、ロボットの移動能力に応じた2次元平面上での移動動作を、a) ユーザがGUIを用いてインタラクティブに設計する方法、b) ロボットが計画エンジン呼び出して自律的に設計する方法、の2つの方法で設計可能なツールである。本研究項目の最終目標は、本事業内で開発された他のツールとの連携機能を強化し、事業化を検討することであった。以下、移動動作設計ツールの成果について述べる。

設計

ツールの全体設計

本ツールの利用方法として以下のような2つを想定する。

- 環境及びロボットの幾何モデルが既知の場合に、グラフィカルユーザインタフェース（以下 GUI）を用いて対話的に移動動作を設計し、それをシミュレーションや実際のロボットに適用するオフラインの使用法。
- ロボットが実際に動作している状態で計測結果等に応じて環境モデルを構築・更新し、その時々状況に応じた経路を計画し動作制御に使用するオンラインの使用法。

以上のような二通りの使用法を実現するため、本ツールは下図に示すような内部構造を持つ。

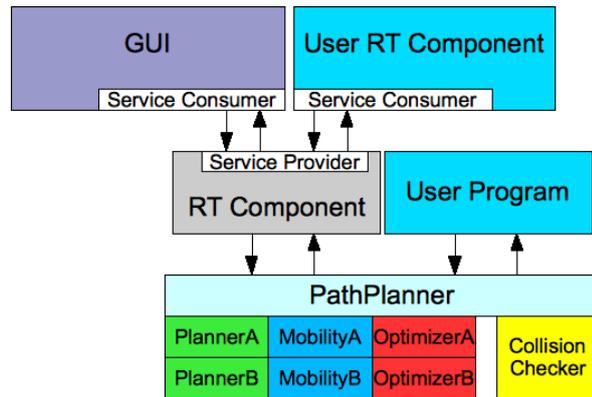


図 111 移動動作設計ツールの内部構造

大きく分けて以下の 3 つの部分からなる。

- a) 実際に経路計画を行う計画エンジン部（上図下段）
- b) 計画エンジン部を制御し、計画条件の設定、計画実行、計画結果の取得をサービスとして提供する RT コンポーネント（上図中段左の RT Component）
- c) RT コンポーネントのサービスコンシューマを内蔵し、計画条件の設定等に対話的に行い、計画結果を可視化する GUI（上図上段左の GUI）

これにより、前者の利用方法では GUI を介して RT コンポーネントを操作することでオフラインでの移動動作設計を行い、後者の利用方法ではユーザが開発した RT コンポーネント（上図中段右の User RT Component）からサービスを使用する、あるいはライブラリとして提供される計画エンジンを直接ユーザプログラム（上図中段右の User Program）にリンクすることでオンラインでの設計が可能となる。

計画エンジン部の設計

計画エンジン部は干渉検査部と 3 種類のアルゴリズムで構成される。干渉検査部はロボットの位置が指定された場合にロボットと環境との間に干渉が発生しているか否かを判定する。3 種類のアルゴリズムはそれぞれの種類毎に複数のアルゴリズムを登録できるようにし、移動動作設計対象のロボットや使用方法等に応じて種類毎に適切なアルゴリズムを選択し、組み合わせて使用する。

3 種類のアルゴリズムはそれぞれ以下のような部分機能を担当する。

- 移動アルゴリズム：始点と終点（回転角を含む）が指定された時に、干渉の有無は考慮せずに 2 点間を移動する局所的な経路を計画するアルゴリズムで

ある。平面上の 2 点間の移動の可否や移動する経路はロボットの移動機構による制約や移動動作制御アルゴリズムによって異なる。このために一つのアルゴリズムで全てのロボットを対象とすることは不可能であるので、この部分を独立させ、対象とするロボットに応じたアルゴリズムに差し替えられるようにする。

- 経路計画アルゴリズム：移動アルゴリズムを用いて生成される局所的な経路に対して干渉検査を行い、障害物と干渉しないものを組み合わせてロードマップを生成し、ロードマップから始点と終点を結ぶ経路を探索するアルゴリズムである。
- 経路最適化アルゴリズム：経路計画アルゴリズムによって計画された経路を修正し、経路の総延長等、何らかの評価基準に用いて最適化を行うアルゴリズムである。経路計画アルゴリズムにランダムサンプリングベースのアルゴリズムを用いた場合には不要な経路が含まれる場合があるため、そのような場合にこのアルゴリズムを適用する。

実装

前節で述べた設計に基づいて移動動作設計ツールの実装を行った。下図に GUI の実行画面を示す。

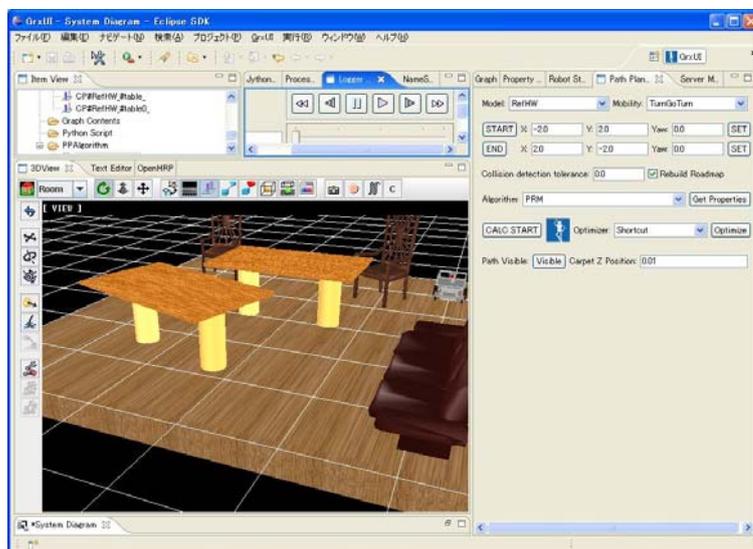


図 112 移動動作設計ツールの GUI

本 GUI は OpenRTP の一部である動力学シミュレータ、OpenHRP の GUI に計画条件の設定を行うビューを追加したものとなっており、3次元グラフィックスの表示部や、環境やロボットの幾何モデルや計画を行うシーンを記述するファイル形式等を共有している。これによりシミュレーションと移動動作の設計をシーム

レスに行うことが可能となっている。

計画エンジンを構成する各種アルゴリズムはそれぞれの機能を抽象化した C++の抽象クラスに対して実装を与えることで新たなアルゴリズムの追加を行う仕組みとしている。現在の所、移動アルゴリズムとしてはその場旋回と直進を組み合わせる移動するアルゴリズムと回転しながら直線移動するアルゴリズム、経路計画アルゴリズムとしては RRT と PRM、経路最適化アルゴリズムとしては経路を構成する局所経路の接続点の内ショートカット可能な点を削除するアルゴリズムが標準で組み込まれている。これらのアルゴリズムはユーザが抽象クラスを継承して実装することで追加することが可能であり、ユーザが保有するロボットに応じた移動アルゴリズムを追加したり、オープンソースのモーションプランニング開発ツールである OOPSMP や OpenRAVE, MPK や商用の開発ツールである Kineo Path Planner に含まれる高度な計画アルゴリズムを追加したりすることが可能である。

下図に経路計画アルゴリズムとして RRT を用いた場合の一例を示す。ロボットが右下から左上へ移動する経路を計画した結果である。緑が障害物、青が移動可能な空間を表す。赤細線で示したのが生成されたロードマップ、半透明の太線が計画された経路であり、左が最適化前、右が最適化後である。

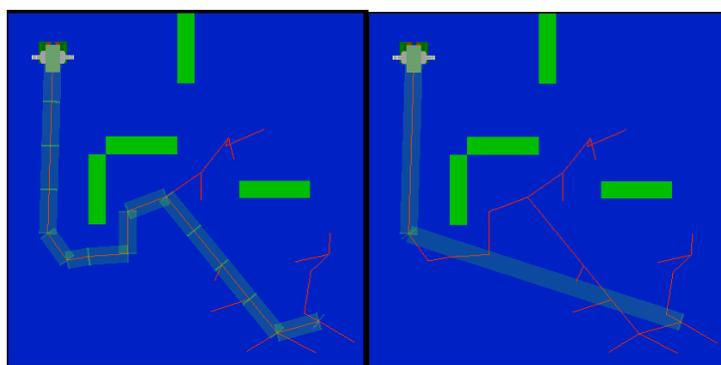


図 113 RRT を用いた経路計画の例

干渉検査部分についても OpenHRP に含まれる干渉検査機能を用いている。OpenHRP の干渉検査機能はオープンソースの干渉検査ライブラリ OPCODE をベースとしたものであり、三角形集合間の干渉を検査し、干渉している三角形のペアと干渉点、干渉法線、干渉深さを算出するものである。この干渉検査機能を用いた場合、干渉していない状態は全て同列として扱われるために障害物をかすめるような経路が計画される場合がある。そこで SSV(Swept Sphere Volume)を用いた近接距離計算機能を追加し、これを用いることで障害物までの安全距離を

設定できるようにしている。

下図に安全距離を 0 とした場合 (左) と 0.3[m] とした場合 (右) のそれぞれで PRM を用いて生成されたロードマップを示す。緑で示しているのが長辺 0.8[m] の障害物であり、安全距離が 0.3[m] の場合は障害物同士の距離が近いために障害物間をすり抜けるようなパスが生成されていないことが分かる。

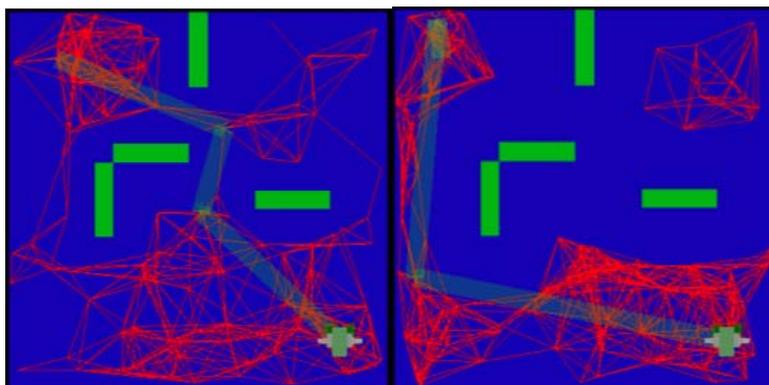


図 114 SSV を用いた経路計画の例

移動動作設計ツール利用手順

以下に移動動作設計ツールを用いて移動動作を設計する手順を示す。

初期設定

Eclipse 起動とパースペクティブの表示

通常通り Eclipse を起動し、GrxUI パースペクティブを表示する。GrxUI パースペクティブが表示されていない場合、「パースペクティブを開く(図 115 内[a])」→「その他」をクリックし一覧から選択する。(図 115)

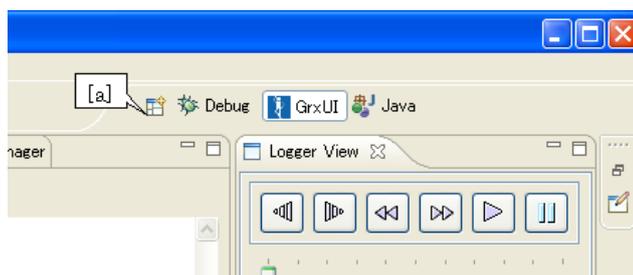


図 115 パースペクティブの選択

必要なビューの確認

3DView、Path Planning、Logger View、Property View、Item View など必要なビューが表示されていない場合、メニューバーの「ウィンドウ」→「ビューの表示」→「その他」をクリックし、追加する。(図 116)

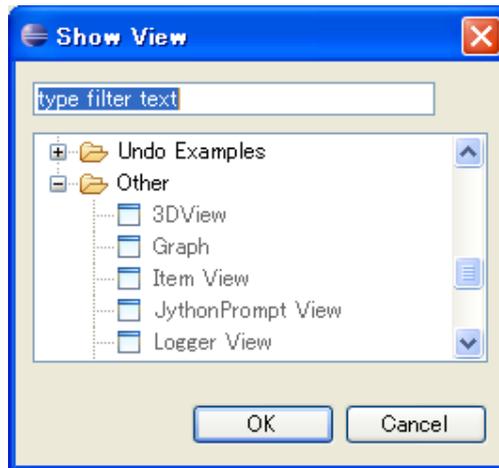


図 116 必要なビューの追加

シーン設定

Item View から” Model” を右クリックし「load」を選択する。(図 117)
 ファイル選択ダイアログが開くので、読み込む VRML ファイルを選択する。

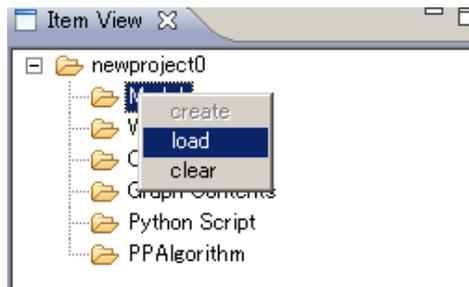


図 117 モデルのロード

この手順を繰り返してシーンに存在する全ての物体を読み込んだ後、干渉チェックを行うペアの設定を行う。以上のシーン構築手順は動力学シミュレータにおいてシーンを構築する手順と同一であり、動力学シミュレーション用に作成したシーン設定をそのまま移動動作設計に利用することも可能である。

計画アルゴリズムの設定

パラメータセットの作成

Item View から” PPArgolithm” を右クリックし「create」を選択する。(図 118)

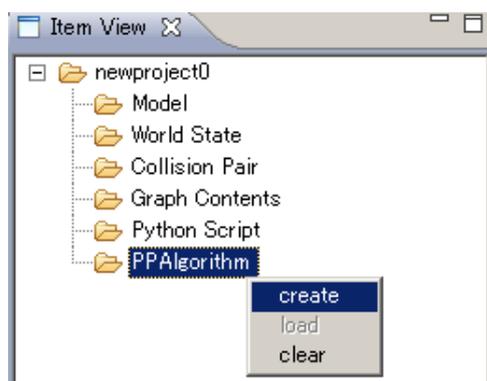


図 118 アルゴリズム設定の作成

計画アルゴリズムの設定

設定を変更したい PPAlgorithm を Item View で選択し、Property View からパラメータを変更する。(図 119)

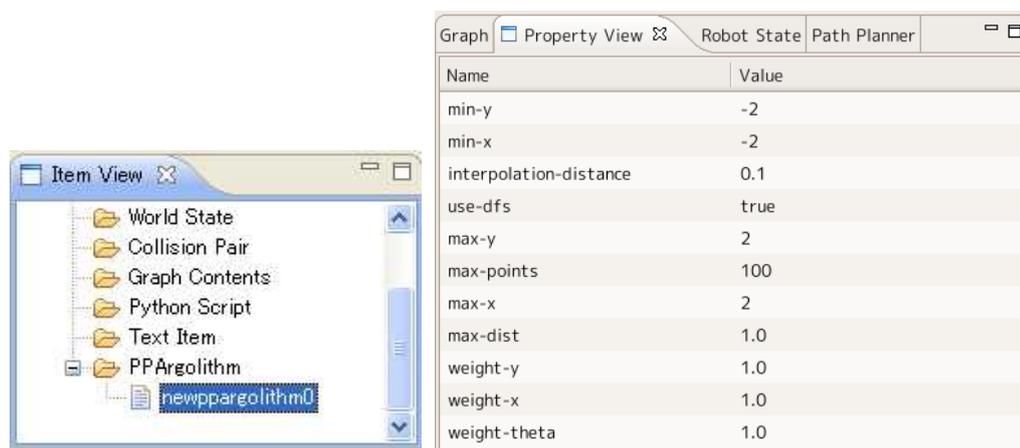


図 119 アルゴリズムの選択(左)と、そのプロパティ(右)

PRM、RRT の双方とも共通するプロパティは以下のとおりである。

乱数最大点 . . . ランダムサンプリングを行う範囲の最小 (min-x, min-y)

乱数最小点 . . . ランダムサンプリングを行う範囲の最大 (max-x, max-y)

距離の重み . . . 距離を算出する際の重み(weight-x, weight-y, weight-theta)

補間距離 . . . 干渉チェックを行う際に隣接する 2 点間の距離がこの値以下になるように補間される(interpolation-distance)。小さな値を設定すると 2 点間を細かく分割して干渉チェックを行うために干渉の発生を見落とす一方、計算時間がかかる。逆に大きな値を設定すると、干渉の発生を見落とす場合が生じる。

ランダムサンプリングを行う範囲は(-2,-2)~(2,2)の範囲に設定され、補間距離は 0.1、距離の重みは全て 1 に設定される。

PRM アルゴリズムは以下のプロパティを持つ。

近傍距離・・・ エッジを結ぶ近傍の距離 (**max-dist**)。 2点間の距離がこの値以下の場合、干渉を検査して干渉がなければ2点を結ぶエッジをロードマップに追加する。

サンプリング数・・・ ランダムサンプリングを行う数 (**max-points**)

デフォルト値では、近傍距離が 1.0、最大点数が 100 個となっている。

RRT アルゴリズムは以下のプロパティを持つ。

近傍距離・・・ RRT の追加されるノードの距離 (**eps**)

最大試行回数・・・ 探索を打ち切る回数 (**max-trials**)

デフォルト値では、近傍距離が 0.1、最大試行回数が 10000 回となっている。

計画条件の設定

下図の PathPlanning ビューを用いて計画条件の各種設定を行う。

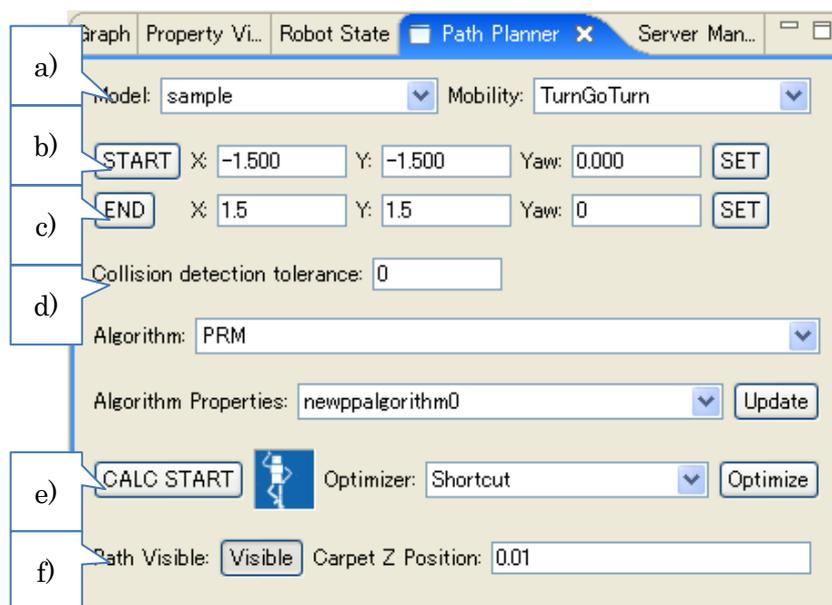


図 120 PathPlanning ビュー

- a) ロボット及びその移動アルゴリズムの選択
動作させるロボットを、モデル選択ボックスから選択する。またそのロボットが持つ移動アルゴリズムを選択する。
- b) 始点の指定
ロボットを希望の始点まで移動させ (図 121)、始点設定ボタン(2)を押す。もしくは始点入力エリアへ数値を直接入力する。

c) 終点の指定

始点の指定同様、ロボットを移動させ（図 121）、終点設定ボタン(3)を押す。
もしくは終点入力エリアへ数値を直接入力する。

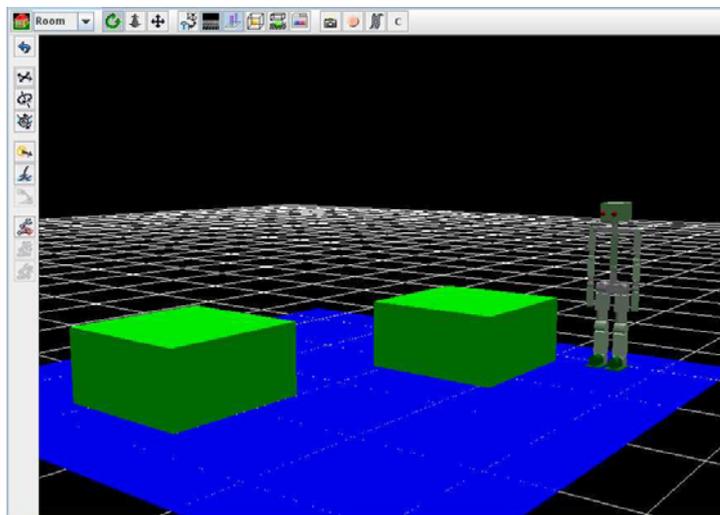


図 121 ロボットの移動

d) 干渉チェック時のトレランス

干渉チェック時のトレランスを設定する。干渉チェックを行う 2 つの物体の間の距離がこの値よりも小さい時、干渉が発生しているものと見なされる。これによって障害物との間に常に一定以上の距離を保つことが可能となる。

e) 計算開始

計算インジケータが表示され、計画中であることを示す。計算を中止する場合は再度ボタンを押す。

f) 計算結果の表示

計算が終了すると、経路表示ボタン(7)が選択可能になり、経路の表示・非表示を切り替えることができる。（図 122）



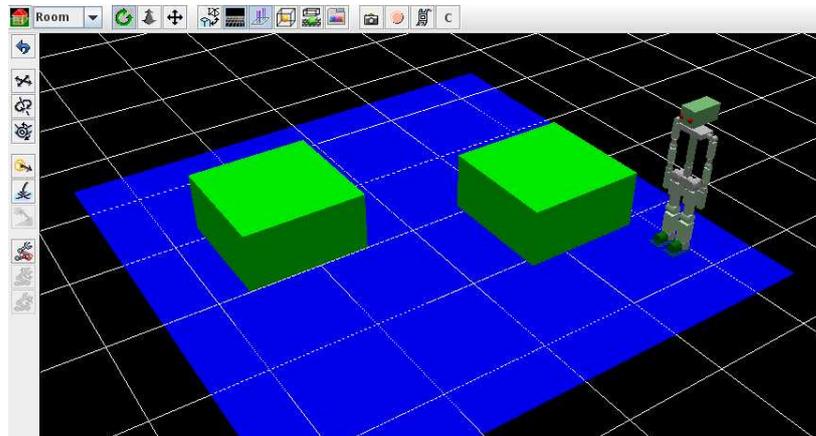


図 122 オフ状態の経路表示ボタン(左)と経路表示をオフにした状態(右)

また、Logger View 上のボタン（低速逆回し、高速逆回し、低速再生、高速再生、再生、ポーズの六種）およびスライダを動かすことで、経路上を移動させることができる。（図 123）

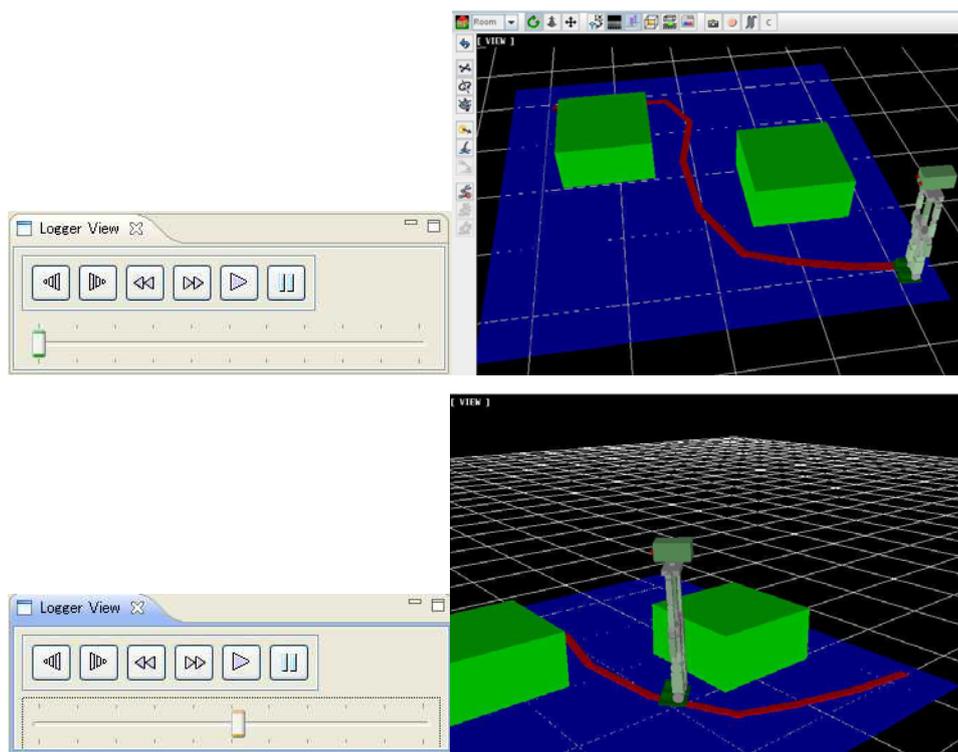


図 123 Logger View による経路上の移動

まとめ

開発した移動動作設計ツールは、動力学シミュレータに対する拡張モジュールとして実装されており、そのソースコード及びバイナリは動力学シミュレータと共

に一般に公開・配布されている。本ツールを用いることでリファレンスハードを始めとした様々なロボットで移動動作の計画が可能である。また計画エンジンは移動動作に限定された実装にはなっていないため、マニピュレータの動作計画等にも利用することが可能である。

(c) シミュレータ

作成されたロボットの動作及び作業シナリオの正当性・妥当性を、仮想世界を用いて検証するためのソフトウェアである動力学シミュレータ、およびで様々なロボットで利用が想定されている各センサの RT 部品機能のシミュレーション機能モジュール (RT コンポーネントシミュレータ)の開発を行った。

(c-1) 動力学シミュレータ

動力学シミュレータは、ロボットの動作及び作業シナリオの正当性、妥当性を仮想世界において検証するためのソフトウェアである。ロボットおよび作業環境を模擬可能な 3 次元シミュレーションを実現しており、他のツール群と連携して動作可能にし、一般公開を行った。本研究項目の最終目標は、ソフトウェアプラットフォームの他の機能との連携を強化し、事業化を検討することであった。

シミュレータのベースには、科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進「次世代ロボット共通プラットフォーム技術の確立」において平成 19 年度に開発を完了した「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」OpenHRP3 を利用し、他のツール群との連携を容易にすると共に使い勝手の向上、機能強化を行った。以下、成果の詳細を述べる。

モデルローダの改良

OpenHRP3 においては、ロボットの機構・形状・物理パラメータ等をモデルファイルとして記述し、このファイルは「モデルローダ」というコンポーネントを用いて読み込まれるようになっている。モデル読み込みに関わる処理の効率と保守性を向上させることと、本プロジェクトで新たに策定したハードウェア仕様記述方式へ対応させることを目的として、モデルローダの改良を行った。

改良前のモデルローダとそれに関わるシステムでは、以下の問題があった。まず、モデルファイルの読み込み処理が非常に重く、複雑なモデルを扱うシミュレーションを実行する際の操作性が良くなかった。また、モデルローダはグラフィック描画の際に必要な情報の全ては提供しないため、システムにおいてモデル描画を必要とする各コンポーネントはモデルローダとは別個に直接モデルファイルを読み込む処理が必要となっていた。これにより、モデル読み込みに関わる処理を複数のコンポーネント間で共有化しシステム全体の保守性を向上させるというモデルローダの役割が、十分果たされていなかった。

以上の問題の解決と、新たに策定するモデルファイルのフォーマットへの対応を行うため、モデルローダに関わるコンポーネントの改良を行った。

まず、改良前のモデルローダは **Java** で記述されたものであったが、この実装を検討しなおし、**C++**言語でモデルローダのベースを記述し直した。これにより、ベース処理の高速化を実現し、ソースの見通しもよくなった。さらにこのベースに対して、拡張的な **VRML** 要素への対応や、プリミティブ幾何形状を三角形メッシュベースの統一的な幾何形状表現へと変換する機能の追加を行った。また、モデルローダの **IDL** はハードウェア仕様記述方式に基づいて更新し、新しい **IDL** へ他のコンポーネントを対応させる作業も行った。

GUI の Eclipse プラグイン化

OpenHRP3 の GUI は **Java** の標準 GUI ライブラリである **Swing** を用いて実装されていた。ただし、本プロジェクトで作成する他のツールのうち、**Java** で実装されるものは基本的に **Eclipse** のプラグインとしており、ツール間の統一性や連携を考慮すると、シミュレータの GUI も **Eclipse** のプラグインとなることが望ましい。このため、GUI 部分を **Swing** ベースのものから **Eclipse** のプラグインへと移植する作業を行った。下図にユーザインタフェースの実行画面を示す。

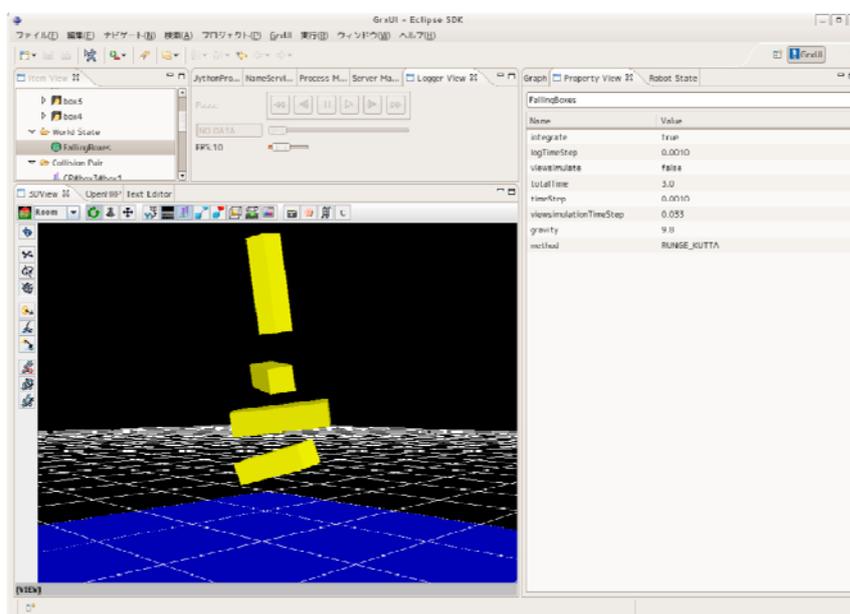


図 124 OpenHRP3 のユーザインタフェース

画面右の部分には、各種パラメータの一覧が表示され、編集が可能である。画面左下の部分にはシミュレーション世界の状況が 3 次元表示される。これらの他にグラフ表示を行うパネル等があり、タブで切り替えが可能となっている。上記画面の構成は一例であり、ユーザがウィンドウの配置やサイズ等を変更可能である。

距離センサシミュレーション機能

当初距離センサのシミュレーションは、OpenHRP の視野画像シミュレーション機能を用いて視野画像生成時のデプスバッファを取得し、距離を計算することで実現していた。しかしこのシミュレーション方法には以下のような問題があった。

- デプスバッファのデータ長が 32bit であり、距離の分解能が不足していた
- Java3D のバージョン 1.5 以降ではデプスバッファ取得部分にバグがあり、デプスバッファを取得するためには古いバージョンを使う必要があった
- Java3D によるオフスクリーンレンダリングが正しく機能しないため、視野画像を生成するためのウィンドウを常に手前に出しておく必要があった

以上の問題から、新たに半直線とポリゴン集合の干渉チェック機能を用いて距離センサのシミュレーションを行なうことが出来るようにした。OpenHRP では干渉チェックライブラリとして OPCODE を使用しており、これに含まれる干渉チェック機能を利用して実装している。

OpenHRP ではロボットや環境オブジェクトの記述に、VRML97 をベースにセンサ等を記述するためのプロトタイプノードを追加したものをを用いている。距離センサを記述するためのプロトタイプノードとして以下のノードを追加した。

```
PROTO RangeSensor [  
  exposedField SFVec3f    translation 0 0 0  
  exposedField SFRotation rotation    0 0 1 0  
  exposedField MFNode    children    []  
  exposedField SFInt32   sensorId    -1  
  exposedField SFFloat   scanAngle   3.14159  
  exposedField SFFloat   scanStep    0.1  
  exposedField SFFloat   scanRate    10  
  exposedField SFFloat   maxDistance 10  
]  
{  
  Transform {  
    rotation      IS rotation  
    translation   IS translation  
    children      IS children
```

```
}  
}
```

このノードを距離センサが取り付けられているリンクの子ノードとして定義し、搭載されているセンサの仕様に応じたパラメータ設定を行なうことで距離センサシミュレーションが可能となる。センサの出力は `scanRate` で設定した周期で仮想世界に存在するロボットに対応する `RT` コンポーネントの出力ポートから出力される。下図に距離センサを用いたシミュレーション中の実行画面を示す。半透明で示されているのは距離が検出されている部分である。

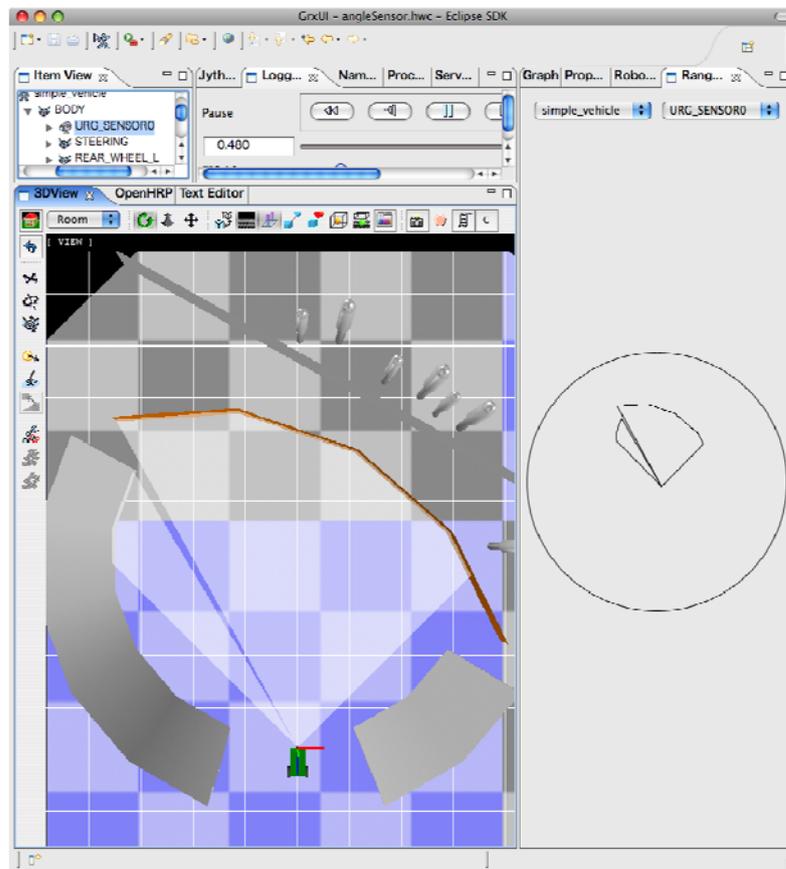
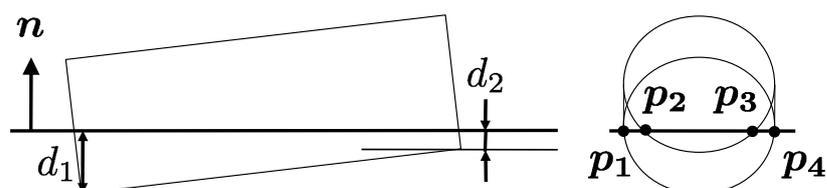


図 125 距離センサを用いたシミュレーション中の実行画面

円筒・平面干渉チェック機能

OpenHRP ではあらゆる形状は 3 角形分割され、物体間の干渉チェックはこの 3 角形ポリゴン集合に対して行なわれてきた。直方体や球といったプリミティブ形状しか扱うことの出来ないシミュレーション環境が多い中で、ポリゴン集合を用いることでどのような形状でも扱えるという利点があった。一方で車輪型移動ロ

ボットのシミュレーションをする場合に、本来真円であるはずの車輪を多角形で近似するために車輪が回転すると車体が上下に振動するという問題が発生した。細かくポリゴン分割を行なって真円に近づけることで振動は軽減できるが、処理するポリゴン数が多くなるためにシミュレーション速度が低下してしまう。この問題に対処するため、円筒と平面の干渉チェック機能を追加した。円筒と平面の間の干渉チェックが呼び出された場合に、円筒をポリゴン分割せずに干渉点、干渉法線、干渉深さを計算する機能である。干渉点、干渉法線、干渉深さはそれぞれ以下のように決定される(下図参照)。



- [干渉点] 円筒の両端の円が平面と交わる点 (p1~p4)
- [干渉法線] 平面の法線(n)
- [干渉深さ] 円筒の両端の円上の点で平面からの距離が最も遠い点と平面との距離(d1, d2)

図 126 円筒と平面の干渉チェック

これにより、車輪形状を多角形で近似することなくシミュレーションを行うことが可能となった。この機能は干渉チェックを行う 2 つの物体の形状データが円筒と平面として与えられた場合に適用される。

ハイブリッドシミュレーション機能

OpenHRP の動力学計算エンジンでは関節 (モータ等で駆動される回転、並進関節だけでなく、機構ツリーのルートにあたる自由関節も含む) のシミュレーション方法として 2 種類の方法を提供している。1 つ目は関節トルクを入力として与える方法、2 つ目は関節の位置、速度、加速度を与える方法である。前者をトルク制御モード、後者をハイゲインモードと呼んでいる。ハイゲインモードの場合、その関節は与えられた軌道通りに動くことになる。

モバイルマニピュレータを用いてマニピュレーションを主な対象としたシミュレーションを行なう場合、車輪の制御部分は省略して台車部分は計画した軌道通りに移動することとして、マニピュレーション部分のみを精密に検証する、といった利用法が考えられる。このような利用方法を可能とするため、ハイゲインモードとトルク制御モードで制御される関節が混在する環境のシミュレーションを可能とした。

モデルファイル作成機能

ロボットや環境オブジェクトのファイル形式は VRML97 を用いたものであるが、出力形式として VRML97 を扱える CG や CAD ソフトは存在するものの、VRML97 を読み込んで編集して再度出力することが出来るようなソフトウェアは皆無であり、従来はテキストエディタで編集するしかない状態であった。

そこで OpenHRP のグラフィカルユーザインタフェースにモデルファイルの作成機能を追加した。前述のように VRML97 形式で出力可能な CG, CAD ソフトウェアは存在するため、形状データに関してはあらかじめこれらのソフトウェアを用いて作成しておくこととし、この作成機能の主な役割は、それらのパーツを組み上げて機構ツリーを作成し、質量や重心といったパラメータを入力し、ロボットに搭載されたセンサを定義することとした。

以下にモデル生成の手順例を示す。

- a) 新たに作成するロボットに対応するモデルノードを作成する（下図左）。ノードを作成するとその子ノードとして一つのリンクが自動的に生成される（下図右）。

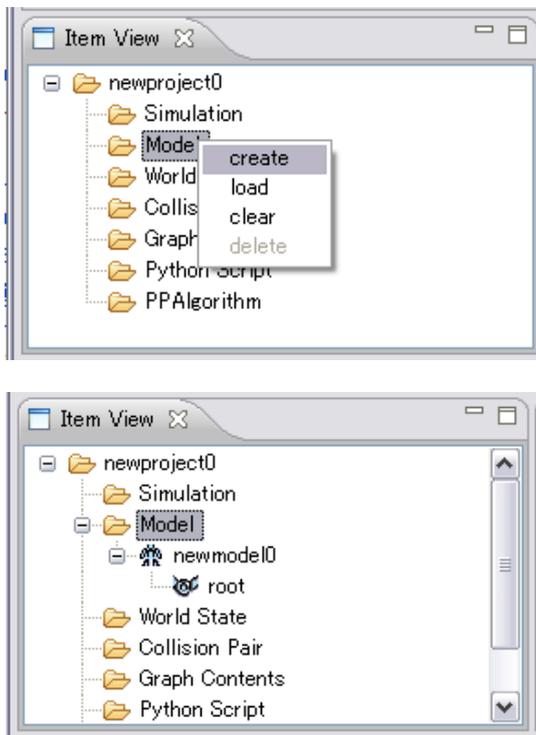


図 127 ロボットのモデルノードの作成

- b) 機構ツリーを作成する。自動的に生成されたリンクに対して子リンクを追加

したり、そのリンクに取り付けられているセンサを追加したりしながら機構ツリーを構築する。また移動台車とマニピュレータ等、既存のロボットを組み合わせて新たなロボットを作成する場合にはそれらのモデルファイルを読み込んで利用することも可能である。

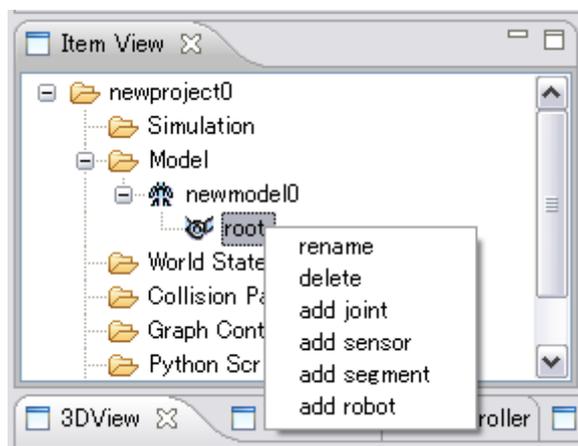


図 128 モデルファイルの読み込み

- c) 形状データを設定する。形状データの設定時にはプリミティブ形状を利用する方法と CAD ソフト等で生成した VRML ファイルを利用する方法がある。プリミティブ形状を利用する場合は直方体、円錐、円筒、球が形状として利用できる。

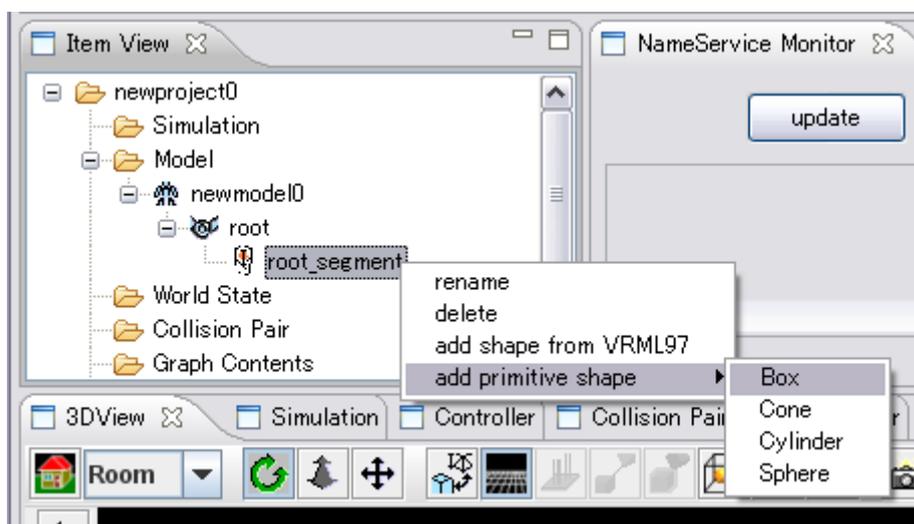
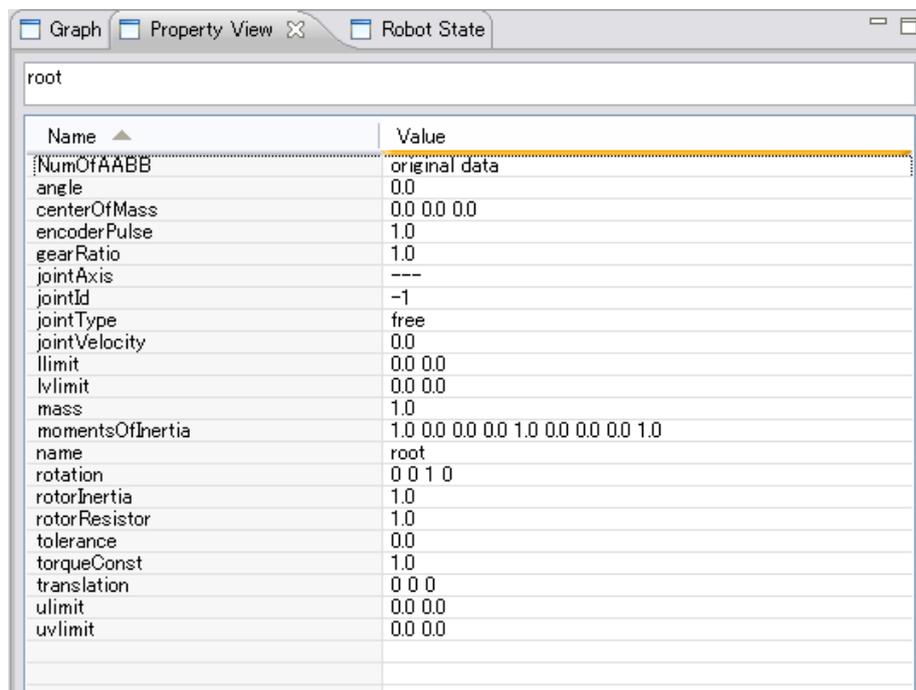


図 129 プリミティブ形状によるモデルの作成

- d) 各種パラメータを設定する。質量、重心位置、慣性モーメント等の動力学パラメータやリンク間の相対位置、姿勢、センサの特性情報といった各種パラメータをプロパティパネルを用いて設定する。下図は関節に対するプロパティ

イである。



Name ▲	Value
NumOfAABB	original data
angle	0.0
centerOfMass	0.0 0.0 0.0
encoderPulse	1.0
gearRatio	1.0
jointAxis	---
jointId	-1
jointType	free
jointVelocity	0.0
lLimit	0.0 0.0
lVlimit	0.0 0.0
mass	1.0
momentsOfInertia	1.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 1.0
name	root
rotation	0 0 1 0
rotorInertia	1.0
rotorResistor	1.0
tolerance	0.0
torqueConst	1.0
translation	0 0 0
uLimit	0.0 0.0
uVlimit	0.0 0.0

図 130 関節角に対するプロパティパネルの例

最後に作成したモデルをファイルに保存して完了である。下図に車輪移動型ロボット（下図左）のモデルを作成した際の最終的なツリー（下図右）を示す。

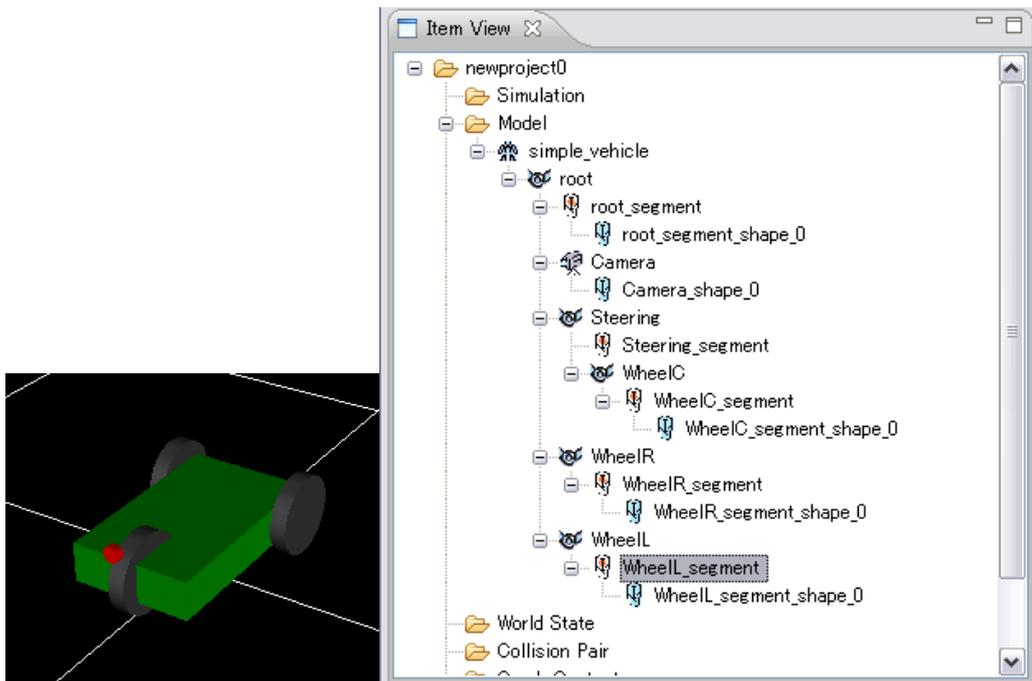


図 131 車輪移動型ロボットのモデルの例

近似形状を用いた干渉チェック

CAD モデル等から生成されたロボットの形状モデルは、形状が精密に表現される一方でポリゴン数が多くなり、シミュレーション時の干渉チェック処理時間を増大させる要因となる。ロボットのソフトウェア開発の初期段階においては形状の正確さよりもシミュレーションが短時間で実行できることが必要となる。そこで近似形状を用いて干渉チェックを行うことで処理時間を短縮する機能を追加した。近似形状をユーザが与える方法も考えられるが、ユーザの負担が増大するため、シミュレータが自動的に近似形状を生成することとした。近似形状の生成には、干渉チェックを効率的に行うために使用されているデータ構造 BVH (Bounding Volume Hierarchy) を利用した。これはロボットの形状を BV (Bounding Volume) のツリーによって近似したものであり、開発したシミュレータの場合には BV は AABB (Axis Aligned Bounding Box) で表現される。このツリーはルートに近づく程、少数の AABB によって形状が表現される。ユーザはロボットの形状をいくつかの AABB で近似するかを指定することができ、開発の段階に応じて近似度合いを変更することが可能である。

下図に AABB の個数を設定している画面を示す。①の部分で個数を指定する対象となるロボットのリンクを選択し、②の NumOfAABB というプロパティに対して所望の AABB の個数を入力することで形状の近似が行われる。③は近似形状の表示の ON/OFF を切り替えるボタンである。下図では近似形状が白線のワイヤフレ


```
        in double period);  
void unsubscribe(in OpenRTM::ExtTrigExecutionContextService ec);  
};  
};
```

新たに作成した実行コンテキストはこのサーバ機能のクライアントとして動作する。実行コンテキストが生成される際に `subscribe()` を呼び出して自分を実行して欲しい時間間隔と共に登録する。シミュレータはシミュレーションを実行するとともに登録されている時間間隔で実行コンテキストに対してクロックを送信し、実行コンテキストが RT コンポーネントを駆動する。

まとめ

開発した動力学シミュレータはオープンソース形式で一般に無償配布を行なっている。インストールの手間を軽減するためバイナリパッケージでの配布も行なっている。

(c-2) RT コンポーネントシミュレータ

本研究項目では、RT コンポーネントシミュレータとして、RT 構成要素のシミュレーションが行えるシミュレータを開発し、動作設計ツール、作業シナリオ作成ツールによって生成された作業シナリオ、動作を仮想環境内でシミュレートし、検証するための環境を提供することを目標とした。最終目標は、中間目標成果物に対して、プラットフォームのバージョンアップ対応、バグフィックスを行うとともに、新規デバイス向けの RT コンポーネントシミュレータ及び基本 RT コンポーネントを 4 種以上追加し、本プロジェクトの外部に対して公開、事業化を行うことであった。以下、開発した RT コンポーネントシミュレータについて述べる。

成果の詳細

DADS や ADAMS のような商用ソフトウェアや ODE のようなオープンソースソフトウェアにおいて動力学シミュレーション機能は提供されているが、ロボットのアプリケーションを開発する上で必要なセンサのシミュレーション機能は十分でない場合が多い。そこで、我々は、動力学計算によってシミュレート可能な加速度センサ、ジャイロ、力センサ等に加えて視覚センサや距離センサ等のシミュレーション機能を開発し、RT コンポーネントとして提供した。

さらに、仮想環境内で検証した RT システムを実環境にシームレスに移行できるよう、RT コンポーネントシミュレータと同じ仕様を持つ、実デバイスを用いた基本 RT コンポーネントの開発も行った。実デバイスは、レーザレンジファインダやネ

ネットワークカメラなど、知能ロボットシステムでよく利用される各種センサを対象とした。これらを RT ミドルウェア対応のロボットシステムで利用可能なようにモジュール（RT コンポーネント）化している。さまざまなロボットシステムで利用されている各種センサをモジュール化することで、ロボットシステムの開発効率の向上が期待できる。また、センサ種別毎に共通インタフェースを定義しているため、センサモジュールのバージョンアップ、交換も容易なものとした。モジュール化したセンサの実デバイスの例を下図に示す。



図 133 モジュール化した実デバイス例

RT コンポーネントシミュレータは、「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」OpenHRP3 と連携して動作するセンサシミュレーション用の RTC である。ロボットシステムにおいて、各種センサデバイスはなくてはならないものであるといえる。移動ロボットの分野では環境認識のために距離センサや加速度センサが用いられ、産業用ロボットの分野では物体認識のために力覚センサなどが組み込まれることが多い。OpenHRP3 では、センサデバイスモデルが出力する力覚データや加速度データなどの物理データを動力学計算によりシミュレーションすることが可能である。OpenHRP3 単独でも、各種デバイスの情報を出力することが可能であるが、RT コンポーネントシミュレータを併用すれば、センサ固有の機能や特性を考慮してデータを出力することが可能になる。OpenHRP3 から得られるセンサシミュレーションデータは、出力形式が予め決められている。ロボットシステム構築において、センサ類は独自開発のものではなく、センサメーカーが販売している既製品を利用することが少なくない。RT コンポーネントシミュレータは、これらの既製品を利用しているロボットシステムに対し、より正確なシミュレーションを実現するために有効な手段となる。RT コンポーネントシミュレータでは、センサ毎に固有のデータ分解能や測定範囲といった特性を考慮しており、図に示すように OpenHRP3 が出力するデータを RTC 内で加工する役割を果たし

ている。

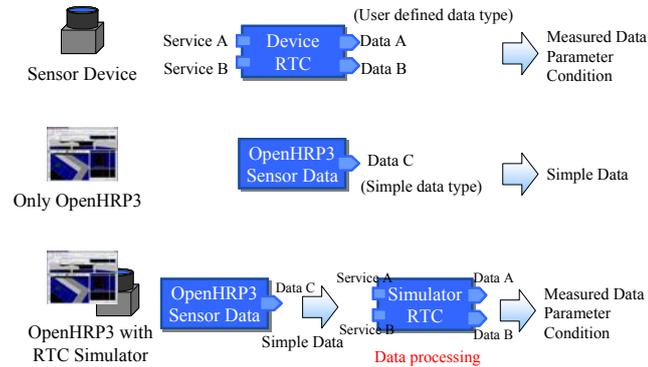


図 134 RT コンポーネントシミュレータの機能概念図

また、RT コンポーネントシミュレータのデータ出力インターフェースは、実デバイス RTC のインターフェースと同一にしているため、仮想環境 (OpenHRP3) 内で検証した RT システムを実環境へシームレスに移行することも可能である。

OpenHRP3 は、平成 20 年度末に OpenHRP3.1.0-beta がリリースされた。GrxUI が Eclipse プラグインとして動作するようになったほか、モデルローダ機能の実装を Java から C++に移行するなどの変更が行われた。中でも、RT コンポーネントシミュレータに関連する大きな変更として、距離センサ機能 (Range Sensor View) の追加が挙げられる。

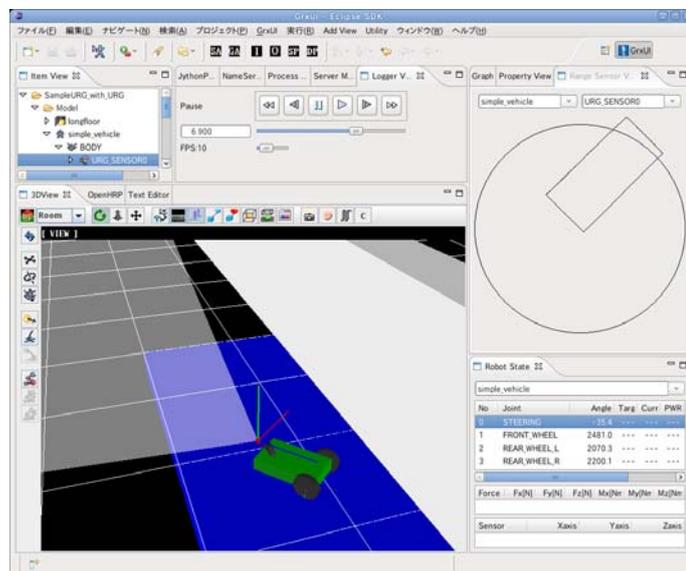


図 135 OpenHRP3.1.0-beta GrxUI

OpenHRP3.0.3 までは、OpenHRP3 において利用可能なセンサシミュレーション機能は動力学シミュレーションにもとづくデータのみであったため、距離情報については、直接取得することができなかった。そこで、RT コンポーネントシミュレータの距離センサシミュレーションとしては、Java3D の機能を利用して

3DView に表示されるモデルのデプス値（深度）を取得していた。このデプス値を以下の式により距離情報に変換し、RTC から出力する方式を採用していた。

$$Z = \frac{fn}{d(f-n) - f}$$

Z: distance(z-axis)、 f: far clipping、 n: near clipping、 d: depth value

しかし、このデプス値は式からも分かるように、計測する物体が遠くになればなるほど、距離データの精度が落ちるという性質がある。距離センサのうち、例えば SICK 社の LMS2xx シリーズは最大で 80m の距離まで計測可能であるが、デプス値を使った方法ではシミュレーション世界で十分な精度が得られない。また、Java3D に起因する制約から、3DView (Vision Sensor Window) を PC の画面上で前面に表示していなければ、距離情報を取得できないという問題もあった。そこで、OpenHRP3.1.0-beta では、モデル間の干渉検出を行うための干渉チェック機能を用いて物体までの距離情報を取得する方法が採用された。3DView に依存しない形式となったため、動力学計算で得られる加速度情報などと同じように、Controller Bridge から距離情報を出力可能となった。この OpenHRP3 の機能向上に伴い、RT コンポーネントシミュレータとしても、その実現方法を見直すこととした。OpenHRP3 の Controller Bridge のデータ出力は、コントローラ RTC (Virtual Robot RTC) の OutPort から出力される。そこで、RT コンポーネントシミュレータをコントローラ RTC の OutPort と接続可能な InPort を持つ RTC として実装した。システム構成を以下に示す。

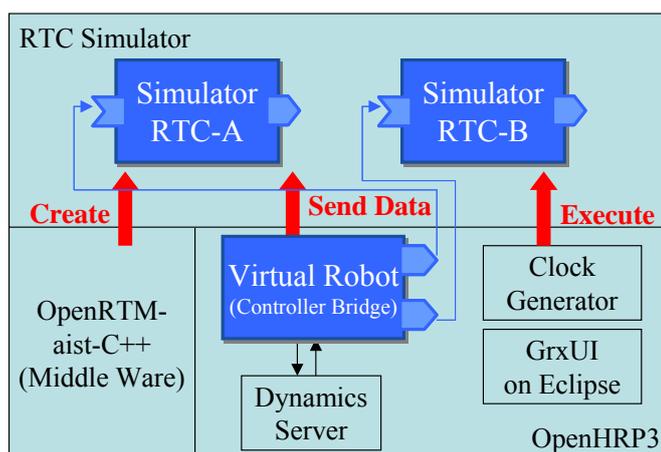


図 136 RT コンポーネントシミュレータのシステム構成

図中の RTC Simulator は RT コンポーネントシミュレータ本体であり、RT ミドルウェアの C++実装である OpenRTM-aist-C++の RTC として動作する。Virtual Robot (Controller Bridge)は、OpenHRP3 とのインタフェースを担うコンポーネ

ントであり、RT コンポーネントシミュレータでは、距離情報を Controller Bridge から取得している。

まとめ

ここで開発した RT コンポーネントシミュレータは、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証の検証用移動知能モジュール群の開発および検証で利用され、開発／検証効率の向上に寄与した。プロジェクト期間中、RT コンポーネントシミュレータは、OpenRTM-aist、OpenHRP3 のバージョンアップ等に対しての改修を継続して行った。また、実デバイスの RTC のソフトウェアとマニュアルは、セックのロボットサイトにて無償公開している。NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの参画機関を始め、その他の大学や企業でも多数利用されており、RT ミドルウェアの普及や開発の効率化に貢献している。

(d) 実時間ソフトウェア設計ツール

本開発項目では、実時間シミュレーション機能、実時間制御機能、実時間シミュレーションデバッグ機能の 3 つの機能を実現するため、「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」の成果を Eclipse プラグインとして実装し、本事業内で実装する他のツールとの連携をすることである。最終目標として、実時間ソフトウェア設計ツールに関しては、複数スレッド上での設計・デバッグ機能を追加し、Linux Preemptive OS 上で、機能を検証することであった。以下、成果の詳細を述べる。

実時間ソフトウェア設計ツールは実時間性を確認する部分を RT コンポーネントのうちの複合コンポーネントを仮定し、システムに組み込まれた RTC 群が与えられた時間内に終了するかどうかを検討するためのツールである。OpenRTM の利点はコンポーネント同士を容易に接続することができる点にある。しかし机上で様々な RT コンポーネントをシステムに導入し、機能的要求仕様を満足させたとしても、実際にシステムを動かしてみると各コンポーネントの実行時間と通信オーバーヘッドにより、期待した実時間性能が満たされないケースがでてくる可能性がある。この場合、正確な見積りは難しいとしても、およそループが 1 周するのにかかる時間などを知ることができれば、想定しているタスクが実現可能か、もしくは環境の変化に合せた動作が可能かどうかの判断が可能となる。

今後 RT コンポーネントの種類が増加していく中で、各 RTC の実行時プロファイルのデータベースが蓄積されれば、RT コンポーネントを組合せた RT システムの実現の可否を知る事はもちろん、同種の機能を持った別の RTC に切り替えた場合のパフォーマンスと比較することで、システムを構成する場合に必要な十分な機能を持った構成にしたり、実行時間により余裕を持たせた構成にしたりといった設計時の選

扱が容易に行える事が期待できる。

実時間シミュレーション機能

実時間シミュレーション機能は、分散コンポーネント型ロボットシミュレータ（以下 OpenHRP3）の成果を利用して、同シミュレータ上で動作する RTC 化されたコントローラフレームワークをベースとして開発を行った。ここで必要となる機能は以下のようなになる。

- RTC をシミュレーションで実行する機能
- シナリオデータ読み込み機能
- シミュレーション結果表示機能
- シミュレーション結果保存機能

RTC をシミュレーションで実行する機能

双腕ロボットをプラットフォームとして開発されたロボット制御ソフトウェアでは、RTC 群からなる上位側コントローラと、デバイスとの通信を行う下位側コントローラが存在し、両者は共有メモリを介して状態量や関節角度指令情報を共有している。上位側コントローラでは、実時間で同期が必要なロボットの運動制御を行う RTC 群を単一の実行コンテキスト上で動作させており、下位側のコントローラはシングルスレッドで実行される。この二つの実行コンテキストは、下位側から上位側へのシグナルを利用して同期をとりながら協調動作している。

OpenHRP3 でこれを実現するために、以下の実装を行った。

- 下位側コントローラの RTC への置き換え
- 周期毎に複数の RTC に対する tick 送信機能をシミュレーションスケジューラに追加

シナリオデータ読み込み機能

ある状態で実行可能な動作リストからなるシナリオリストを読み込んで、現在実行可能な動作ボタンのみを配置させ、対話的にシナリオを実行する簡易 GUI を作成した。簡易 GUI は python で記述しており、ロボットの起動、初期化ルーチンも含めたサンプルとして、パッケージ化し、ユーザ向けに公開した。

シミュレーション結果表示機能

各 RTC の実行時間計測結果を取得し、表示するために、Eclipse Plugin として以下の View を実装した。

- Benchmark Operator View … RTC の実行時間計測結果を取得・表示する
- Benchmark Explorer View … 過去の計測結果を選択する

Timing Chart View … 実行コンテキスト毎の計測結果をグラフ表示
 下図はその実行画面である。

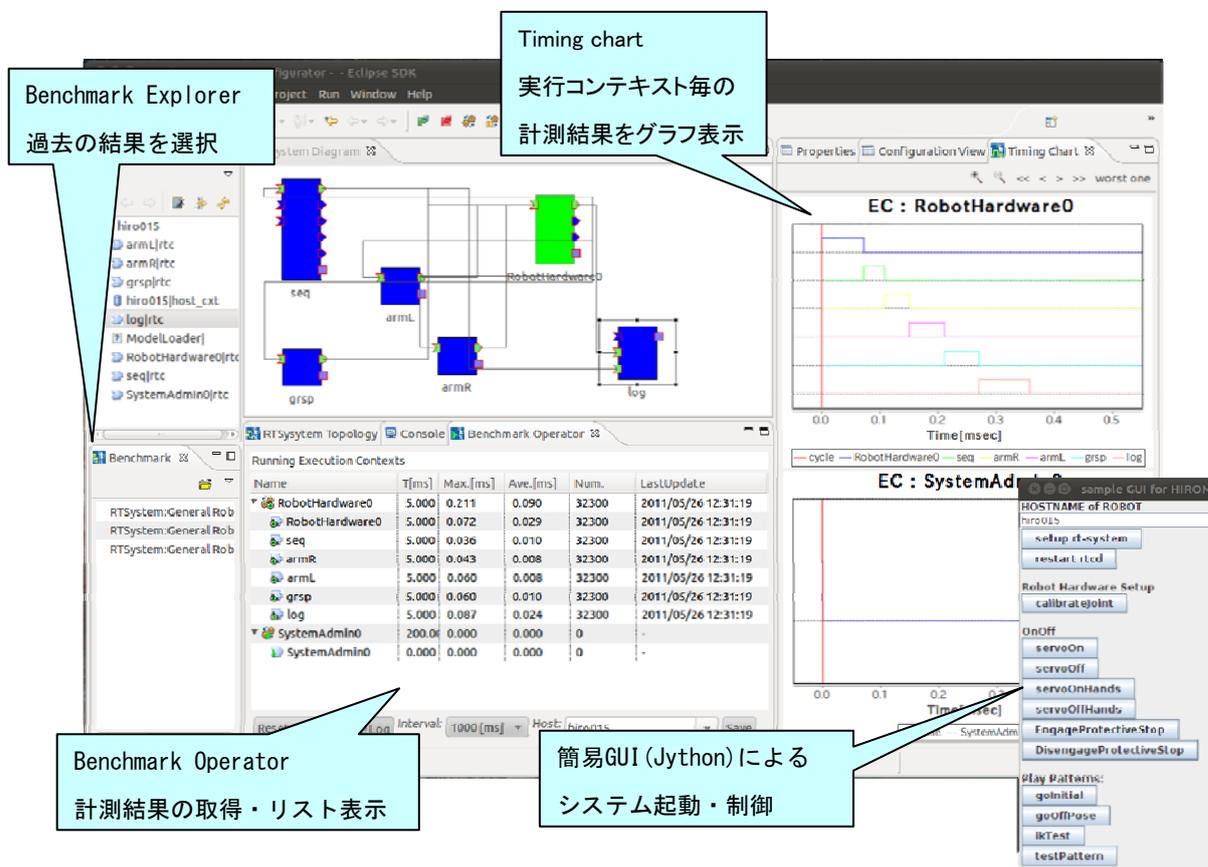


図 137 実時間ソフトウェア設計ツールの実行画面

シミュレーション結果保存機能

シミュレーション結果の保存機能は、Benchmark Operator View の Save Log ボタンとして実装した。保存したデータは、Benchmark Explorer 上で選択することで、Benchmark Operator View や Timing Chart View に表示される。

実時間制御機能

実時間制御機能はロボットハードウェアを制御するための機能である。具体的な機能として以下のようなものが上げられる。

- シナリオデータ読み込み機能
- RTC をロボットで起動するための機能
- ロボットで実行されている RTC からデータを読み出して表示する機能

シナリオデータ読み込み機能

RTC をシミュレーションで実行する機能の追加により、ロボット実機の下位側コントローラを置き換えた RTC 以外の RTC については、シミュレーションと同じバイナリを利用可能とした。下位側コントローラを置き換えた RTC では、スクリプトからは参照されないため、シミュレーションと実機とで、全く同じスクリプトを利用可能とした。

RTC をロボットで起動するための機能

シミュレーションでは、シミュレーション開始毎にコントローラが起動する。一方ロボット実機では、下位側コントローラはロボットホスト起動時から実行開始されシャットダウンの瞬間まで動作しつづけるが、上位側コントローラについては、はじめに RTC を統括する RTC マネージャのみが起動し、その後スクリプト言語 python によって各種 RTC のセットアップが実行される。RTC をロボットで起動するためには、RTC マネージャにアクセスして、RTC の読み込み・インスタンス生成、RTC 間の実行コンテキスト共有、ポート間接続等を実行する必要がある。これを python、もしくは jython で実行可能とするためのユーティリティスクリプトは、オープンソースプロジェクトとして産業技術総合研究所から配布されている。

hrpsys-base プロジェクト : <http://code.google.com/p/hrpsys-base/>

各 RTC を簡単に起動できるようにするために、このユーティリティスクリプトを利用したサンプルスクリプトと簡易 GUI を作成し、ネットワークインストールできるようにソフトウェアパッケージ化してユーザ向けに公開した。スクリプトはシミュレーションと実機とで完全に互換性があり、接続先のホスト名を変更するだけで、シミュレーションでも実機でも利用できるようになっている。スクリプトのカスタマイズ方法については、弊社サポートサイトのオンラインマニュアルにてユーザ向けに公開した。

ロボットで実行されている RTC からデータを読み出して表示する機能

ロボットで実行されている RTC からデータを読み出して表示する機能として、ツール側には以下を実装した。

- 単一 RTC の実行時間情報を取得する機能
- 複合 RTC の実行時間情報を取得する機能
- 取得した実行時間情報を元に、各 RTC の動作の実時間性を検証する機能

実行時間情報を取得する機能については、OpenRTM 側の仕組みが存在しないため、以下の機能を実行コンテキスト側に新たに実装した。その結果、実行コンテキストを専用のものに切り替える必要はあるものの、ユーザの RTC 自体を修正することなく実行時間の取得が可能となっている。

- 登録された RTC の実行時間をロギングする機能
- 外部クライアント側にロギングデータを提供する機能

各 RTC 動作の実時間性検証に関しては、実行コンテキストに設定された実行周期を基準として、以下の機能を実装した。

- RTC 群の実行時間合計が、設定時間の 1/2 倍を超える場合には数値を黄色で表示
- 設定時間を超える場合には赤色で表示
- Timing Chart View 上に、実行コンテキストの実行周期を表示

実時間シミュレーションデバッグ機能

実時間シミュレーションデバッグ機能とは、シナリオから生成したスクリプトを実行シミュレーション結果に基づいて、実時間性を実現させるための微調整等を行なう機能である。これを実現させるためには次の機能が必要となる。

- シナリオで使用する RTC の読み出し機能
- RTC のデータ保存機能
- シナリオ中のクリティカルパスを実行するために必要な時間を計算する機能
- クリティカルパス実行中に他のクリティカルでないサービスに割り当てられる時間の調整

シナリオで使用する RTC の読み出し機能

対象ロボットのホスト名を BenchmarkOperator View 上の host 欄に入力し、Update ボタンを押すと、上で起動した RTC 群は一定時間毎に全て読み出され、実行時間計測結果を表示する BenchMarkOperator View 上に一覧表示される。

RTC のデータ保存機能

読み出された RTC 群は、BenchmarkOperatorView に実装された RTC のデータ保存機能により、実行時間計測結果や実行環境情報と共にファイルに保存される。保存された計測結果は、Benchmark Explorer 上で選択する事により、後から内容を閲覧可能となる。

クリティカルパス実行に必要な時間を計算する機能

シナリオ中のクリティカルパスを実行するために必要な時間は、対象となる実行コンテキスト上に追加された RTC 群の実行時間を全て足し合わせ、BenchmarkOperatorView 上に表示させた。複数の View から参照できるように、OpenRTM の eclipse 向けライブラリをベースとしてデータモデルを構築し、表示対象が切り替わる度に実行結果を再計算する。

まとめ

以上、今回開発した実時間ソフトウェア設計ツールについて述べた。開発したツールは、Eclipse plugin として実装しており、下記の EclipsePlugin リポジトリにオープンソースライセンスで公開している。ソースコードは、下記の google code サイトにプロジェクトとして登録済みである。

Eclipse repository : <http://www.generalrobotix.com/update/>

GoogleCode Project:

<http://code.google.com/p/hrprtc-grx-realtimesystem-configurator/>

Eclipse Plugin、OpenHRP3、各種ロボット制御 RTC を含めた全てのソフトウェアは、簡単なコマンドでネットワークインストール可能とし、導入時のユーザの負担を大幅に軽減させた。本ツールは、後述する双腕ロボットプラットフォームの実装に利用され、Linux Preemptive OS 上で機能検証ができた。

(e) 双腕プラットフォーム向けソフトウェア整備

本研究項目は、プロジェクト内で開発された知能モジュールの統合検証システムの1つとして平成 22 年度から実施された「HIRO 加速案件」にて利用される双腕ロボットプラットフォームのソフトウェア整備を実施したものである。本研究項目は、当初の実施計画にはなかったがプロジェクトの加速化に寄与するために実施した。以下、実施したソフトウェア整備について述べる。

OpenRTM を商用実時間 OS へポーティング

OpenRTM を商用実時間 OS へのポーティングを行い、双腕ロボット向けのソフトウェアコントローラを構築した。

コントローラを構成するコンポーネントの多くをオープンソースでユーザに提供し、ユーザから見てブラックボックスとなっているコンポーネントをなくし、ユーザにコンポーネント開発を促すことも目指した。

コントローラシステムの基本コンセプトは次のようになる。

- コンポーネント制御方法によりコントローラ内で置く場所を決める
- ビジョンを使用したサーボをしやすくするため、新しい指令の実行を優先させる
- ユーティリティのような RTC も積極的に用意する

OpenRTM のポーティング作業は次のようなステップで構成される。

- OpenRTM が依存する CORBA のポーティング
- CORBA のユニットテストで動作確認
- 商用実時間 OS 上で実行している CORBA サーバ・クライアントの動作確認
- 商用実時間 OS 上で実行している CORBA サーバ・クライアントと、外部 OS 上で実行中のクライアント・サーバとの動作確認
- OpenRTM のポーティング作業
- OpenRTM のユニットテストの動作確認
- OpenRTM のサンプルの動作確認
- 商用実時間 OS 上で実行している OpenRTM コンポーネント同士の動作確認
- 商用実時間 OS 上で実行している OpenRTM コンポーネントと外部 OS で実行している OpenRTM コンポーネントの動作確認

ポーティング作業時には OpenRTM が開発途中であったため、一部の動作確認は OpenRTM の主要な実行環境である Linux でのみ実施した。

作業が終了した段階で改めて有効な変更かどうかを吟味した後、パッチを提出した。

シミュレーションおよび実機向けカメライメージ取込み RTC を作成・公開

ビジョン関連のユーティリティコンポーネントを作成した。双腕プラットフォームは頭部および両手にカメラが設置されているため、カメラを選択しやすいうように Video Stream RTC を作成した。このコンポーネントはオープンソースで公開しており、下記 Google Code サイトからダウンロード可能である。URL は <http://code.google.com/p/hrprtc-grx-video-stream> である。使用する時には下図のように接続する。

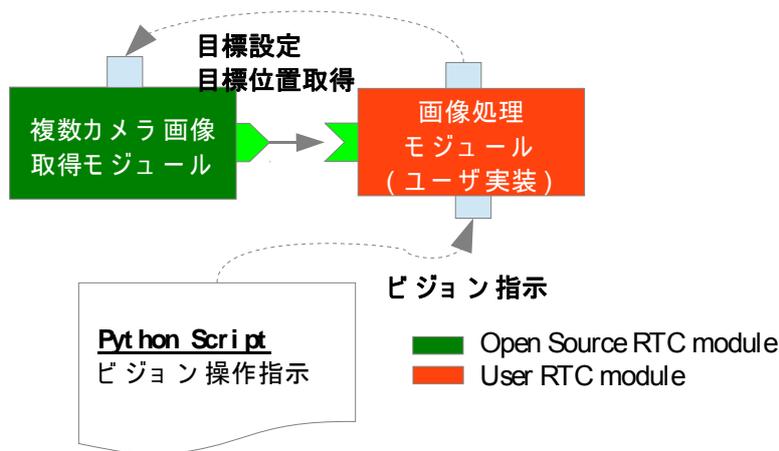


図 138 Video Stream RTC の接続

この RTC のインターフェースは本プロジェクトで作成した共通インターフェースに基づいている IDL ファイル、`Img.idl` で定義されているものを使用している。サービスポートを通してデータポートに流すデータを選択するようになっている。共通インターフェースには接続するカメラを定義する方法が出ていないため、`conf` ファイルを使って接続するカメラを定義するようになっている。この RTC を使ってシミュレーションからも画像を取り出すことも可能である。

下図は平成 23 年国際ロボット展で展示したデモのビジョンをシミュレーションで実行しているところで緑色のテープが張られている部分を `OpenCV` で検知しているところである。左がカメラ画像、中央が `OpenCV` が検知したテープを張られた場所で、右がテープの場所を赤く示したものである。

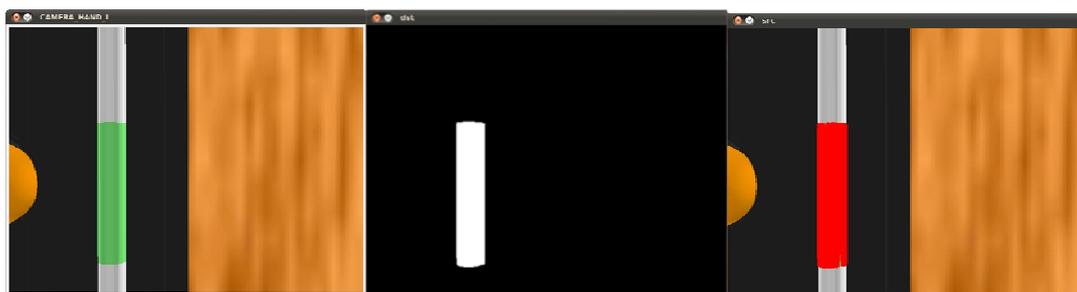


図 139 ビジョン処理のシミュレーション例

さらにユーティリティ RTC として座標変換に使用する RTC を作成した。多くのビジョンシステムは検知しているデータをカメラ座標で返すようになっている。このままでは物体を持ち上げる手先などで使用することができないため、座標系を手先を制御するためのものに変換する必要がある。双腕プラットフォームでは

稼動する頭部と手先にカメラを設置しているため、変換するためには現在の軸角度が必要となる。

この機能を満たすのが Coordinate Mapper RTC である。OpenHRP の使い方のよい例にもなるため、Video Stream RTC と同様に Google Code でソースを公開している。公開しているサイトの URL は

<http://code.google.com/p/hrprtc-grx-coordinate-mapper> である。

カメラとロボット本体等の座標変換用 RTC を作成・公開

Coordinate Mapper RTC には2つのメソッドが用意されている。

`calcLocal2Global` に引数でローカル座標での位置・姿勢、そしてローカル座標のついている関節の名前を渡すと、この情報を使い位置・姿勢をグローバル座標に変換して返すようになっている。

`calcGlobal2Local` に引数にグローバル座標での位置・姿勢と変換先のローカル座標が属しているジョイント名を渡すと、指定したローカル座標に変換された位置と姿勢を返すようになっている。

使用上の注意としては変換する時の関節角度が重要なため、動いている時に使用することはできない。新しい関節角度を受け取るために下図のような接続を構築し、最新の関節角度を RTC に送る必要がある。

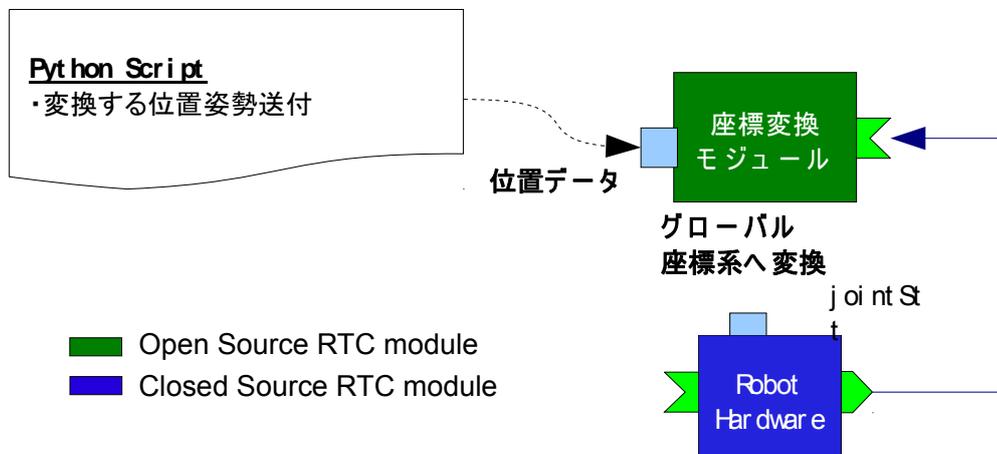


図 140 Coordinate Mapper RTC の接続

商用実時間 OS 向け RTC を Linux Preemptive へポーティング

商用実時間 OS 用の RTC を Linux Preemptive へもポーティングを行った。ポートした Linux のバージョンは Ubuntu Lucid で対応しているバージョン 2.6.31 である。この段階の Linux Preemptive は普通の Linux よりはリアルタイム性能は高いが、商用の実時間 OS と違いハードウェアの能力の影響を受けジッタが起きやすい。Hackbench を利用してシステムに負荷をかけた時にジッタを計測した結果が下記

のグラフである。

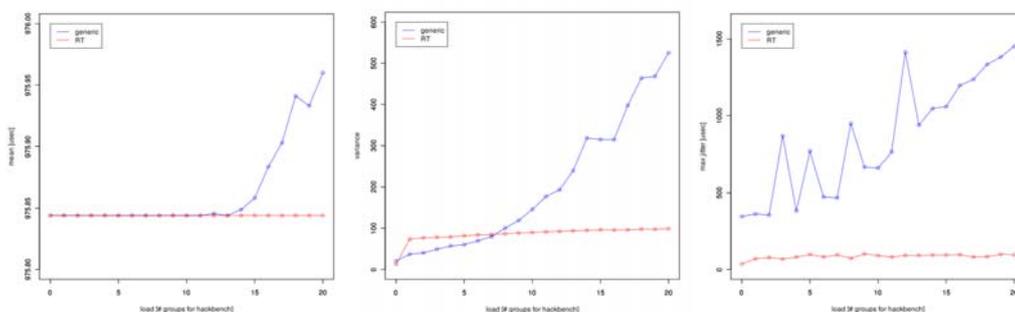


図 141 Hackbench を利用してシステムに負荷をかけた時にジッタの計測結果

左が平均、中央が分散、右が最大のジッタをプロットしたものである。RT カーネルは 10% くらいのジッタに抑えてあるが、使用した CPU が非力 (Atom) だったため、ジッタが大きく出ている。Linux の Preemptive カーネルの開発を追っていたが、2.6.31 から 2.6.39 くらいまでいろいろな不具合の影響でなかなか次のバージョンがリリースされず、試すことはできなかった。去年発表されたバージョン 3.0 をベースにしたバージョンは 1 年近く OSDL (Open Source Development Labs) で動作確認しており、これを用いた動作確認の結果を見る限り、リアルタイム性能がさらに上がっている。一般にリリースするためには、少なくとも 4 月以降にリリースされる Ubuntu Linux 12.04 を待つ必要があると考えられる。

ロボット角度補間 RTC に加速度台形制御の追加

双腕ロボットではビジョンを使用したサーボもできるよう、新しく入ってきた命令に追従することを狙いとしている。目標角度を変える時に把持しているワークを落とさないようにするためには、次の目標位置までスムーズに動くことが重要である。全身の動作を補間し再生する RTC をベースに動作補間 RTC を開発し、新たな動作が入力された際に古い動作をキャンセルして、加速度の制限値で一旦停止した後、新しい動作に移行する機能を追加した。この機能の追加により、ビジュアルサーボ制御を実行する事が可能となった。

Python から OpenHRP を使用可能にした統合環境を構築するベースを作成・公開

今までは Java で動作する Python, Jython をスクリプトで使用してきた。このスクリプト言語を使用する時に Python 用の OpenRTM を使用するのか、Java 用の OpenRTM を使用するのかハッキリせず、混乱しているユーザが多かった。さらに Jython では動作しない Python の拡張が多く、Python を使用する利点がかかなり減ってしまうという欠点があった。

Java を使用し、Eclipse との親和性が高い Jython にも利点もあった。しかし最近では Java がバンドルされていることは少なく、ユーザが自分でインストールする必要がある。さらに、正式な Java が存在しない ARM を使用することも増えてきている。プラットフォームの自由を考えると、純粋に Python で動くシステムの重要性が上がってきていると言える。

ユーザが自由にメニューを追加することができるという特性をそのままに、システムがどのような状態になっているかについて、メッセージをただ表示するだけではなく、対策を表示することにより把握しやすくした。

ユーザの意見を反映させ、メニュー方式は、1 つの窓にすべての機能を並べる方式と、現在適応できる項目だけ表示する方式の 2 つから選択可能とした。

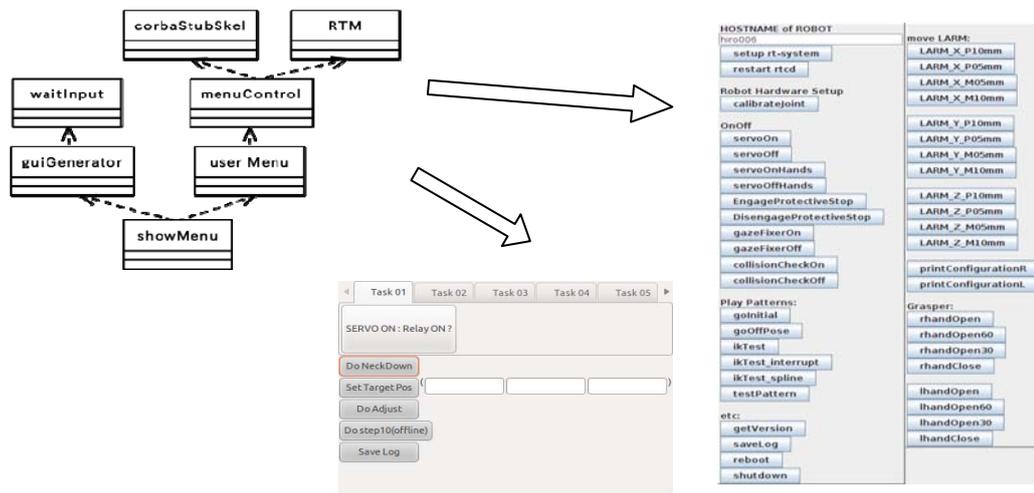


図 142 メニューのカスタマイズ

上図右側の形式が 1 つのメニューにすべての項目を並べる方式で、中央にあるのが現在適応可能なメニューを表示している方式である。この中で基本的にユーザが機能を追加する場合に編集するのは user Menu クラスの中のリストのみであるが、必要であれば menuControl 内の関数を追加することが可能である。どちらの方式を使用するかはメニューを構成するリストの形式でスイッチングするようにしている。双腕ロボットの場合はロボットを目の前にして実験することが多いため、ジョイントアングルなどの情報はここに表示していない。これらは eclipse の GUI に表示されるため、このインターフェースは軽量にロボットを制御するためという位置づけのものである。

まとめ

以上、実施した双腕ロボットプラットフォームのソフトウェア整備について述べた。本研究項目は、単に RT コンポーネントで動作するロボットプラットフォームの整備のみならず、前述の実時間ソフトウェア設計ツールや後述のロボットシステム構築ツールが活用され、両ツールの機能検証にも用いられた。また、本研究項目は、当初の実施計画にはなかったがプロジェクトの加速化に大きく貢献した。

③ロボットシステム設計支援機能

RT コンポーネントを再利用し、組み合わせてロボットシステムの構築を支援するためのツールとして、ロボットシステム設計ツールと RT リポジトリの開発を行った。

(a) ロボットシステム構築ツール

ロボットシステム構築ツールは、ロボットのハードウェア及び RT リポジトリにより実現されるソフトウェア情報を組み合わせてロボットシステムを構成し、目標とする作業シナリオを実現することが可能かどうか、さらにそのシナリオを実現する動作が実現可能かどうかをシミュレーションにより検証し、ロボットシステムの設計を支援する機能の実現を目指す。本研究項目の最終目標は、モデルに属する各種パラメータを編集するために必要な GUI 機能を追加し、検証を行い、マニュアルやサンプルを充実させ事業化するための準備を行うことである。以下、開発したツールの詳細について述べる。

ロボットシステム構築ツール

OpenHRP 用のシミュレーション環境をベースにロボットシステム構築ツールを開発した。新たに追加した機能として、従来用いていた VRML に加え、Collada の読み込み機能および書き出し機能も追加している。VRML の難点の一つは、VRML の長所でもあるフォーマットの自由さである。編集している VRML モデルをそのままではシミュレーションで使用できず、CAD データからシミュレーションで使用可能になるまでに数ステップの調整を要していた。また、近年 VRML をサポートしているソフトウェアが減少しつつあるため、ユーザが導入しやすい新たなデータフォーマットが必要となっていた。

Collada は OpenGL などの標準化を行っている Khronos Group が管理しているグラフィクスデータフォーマットで、もともとソニーのプレイステーションのゲームなどに使用されているものである。ソニーはこの技術を社内からスピンアウトし、広く使用することができるように第三の管理機関に委託している。もともとゲームで使用されているということもあり、ロボットのシミュレーションに必要なデータタイプがそろっている上、様々なモデリングツールがこのデータフォーマットをサポートしている。

これら機能を使って VRML を Collada に変換することも可能である。Collada には VRML に含まれない情報が保存されるため、情報を破棄することになる Collada から VRML への変換は行わない。これは Collada を上位フォーマットとして位置づけるためである。

当初は Collada ではなく ModelicaXML を使用するという案が挙がっていたが、Modelica はどちらかという物理的な特性のシミュレーションを目的とする言語で、現在使用している VRML の代替としては適切ではない。また、現状では Modelica データに対応している 3D モデリングソフトは存在しないため、ユーザに取っての利点もほぼ皆無と言える。Modelica を使用する利点はライブラリの作成にあるが、これは本開発の scope から大きく外れてしまうため、これは行っていない。Collada を使用しているロボット関連ソフトウェアが存在するため、双腕ロボットプラットフォームのモデルデータも Collada に変換し、下記サイトにて公開した。

モデル公開サイト：<http://code.google.com/openhrp-aist-grx/downloads/list>

下図のようにユーザインタフェースを通してアクチュエータやセンサを配置することが可能である。

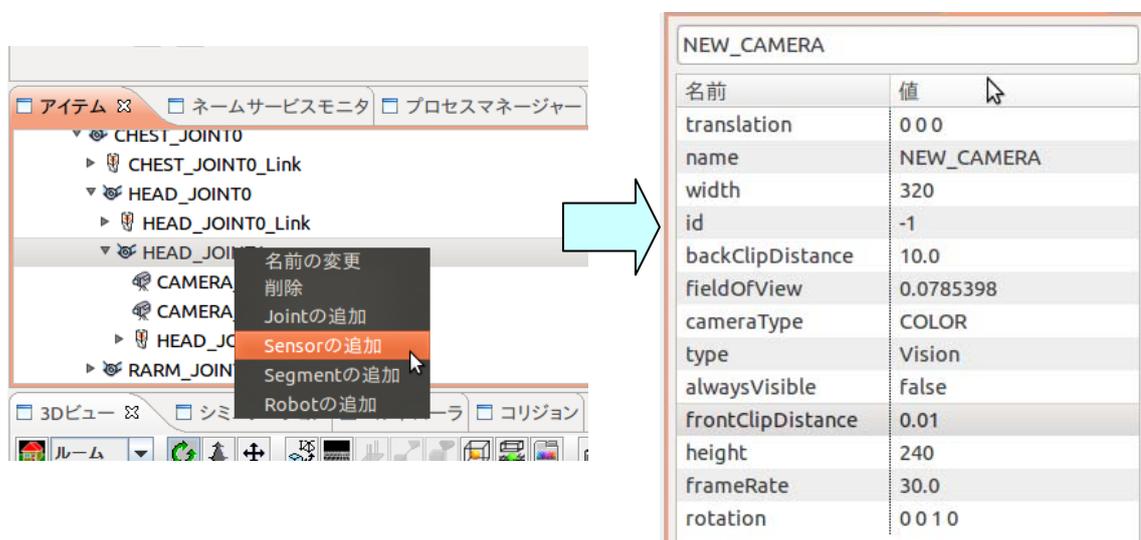


図 143 ロボットシステム構築ツールの操作例

また、追加したセンサの有効範囲を表示する機能も実装した。

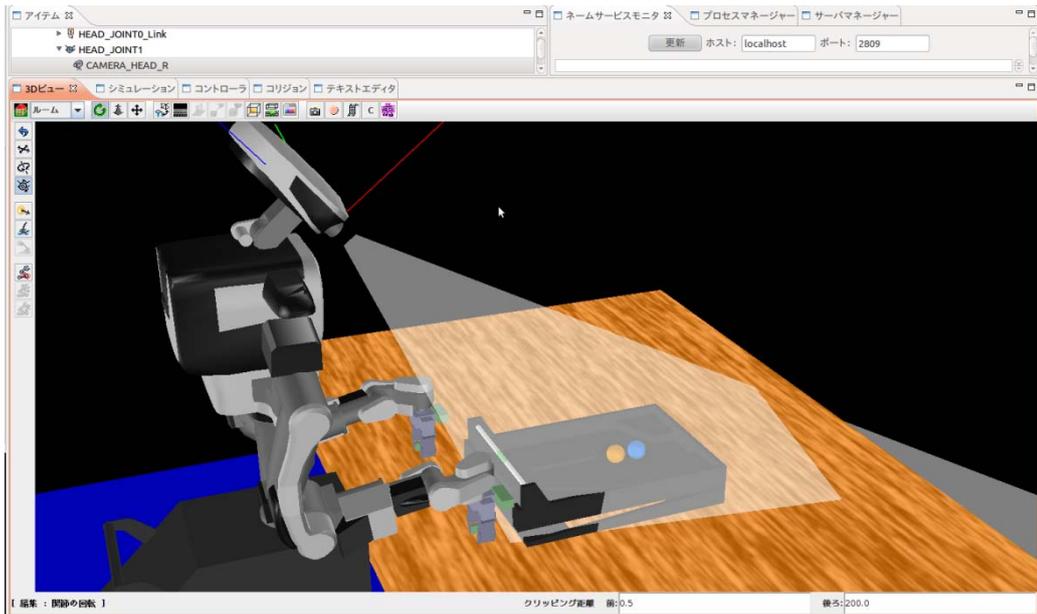


図 144 センサの有効範囲の表示

これらの成果は ROBOMECH2010 で発表している。

加速プロジェクトの双腕ロボットによって、上記機能の有効性を確認した。スケジューリングの問題から、同時進行していた双腕ロボットのハンドの詳細モデル決定を待たずに、簡易なモデルによってテストをスタートした。大まかな自由度配置が決まった時点で、本インターフェースを使用し、簡易モデルでテストをスタートした。モデルは非常に簡単なものでスタートし、新しい情報にあわせて随時モデルを更新して確認テストを継続した。下の左図は、最終段階の簡易モデルである。

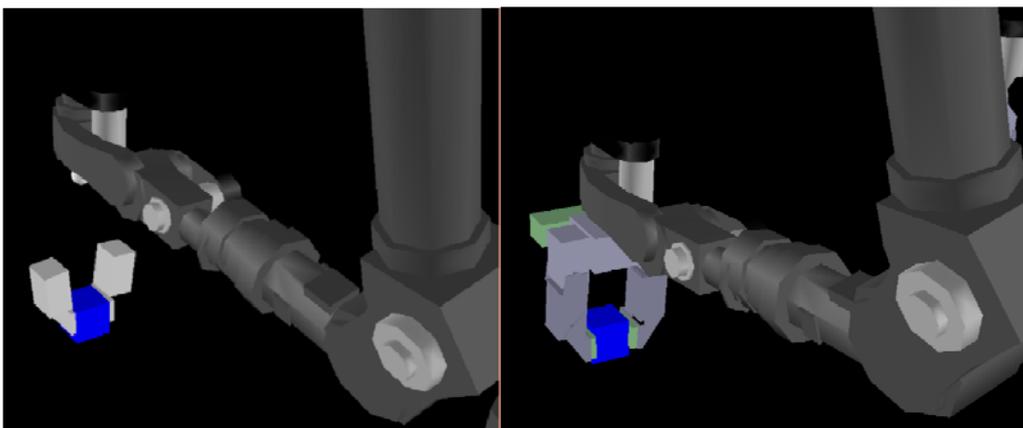


図 145 簡易なモデルによるテスト

ハンドのデザインの詳細が決まった後、右のような CAD モデルに基づいたデータと交換した。この体験は ROBOMECH2011 で発表している。

まとめ

以上、開発したロボットシステム設計ツールについて述べた。本ツールは、双腕ロボットプラットフォームの開発に利用され、その有効性が確認された。また、本ツールは、オープンソースライセンスとして開発し、マニュアルやサンプルのモデルについても公開を行っている。

(b) 分散型データベース

本研究項目は、「RT コンポーネント開発支援機能」において決定した知能モジュール・ハードウェアの仕様記述及び知能モジュールをコンテンツとする分散型データベースを開発することである。最終目標は、RTリポジトリおよび、RTポータルサイトが完成し、本プロジェクトの外部に対して公開するとともに、事業化を行うことである。以下、開発したRTリポジトリについて述べる。

RTリポジトリ

ロボットがロバスト性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要であるとともに、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが重要になる。これを実現するためには、ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上で動作するロボットの知能モジュール（RTコンポーネント（RTC））およびその仕様記述（RTプロファイル）を蓄積・管理し、容易に利用するための枠組みが必要となる。この枠組みは、開発者がロボットシステムを開発する際に、有用なRTコンポーネントを選定するために利用されるだけでなく、ロボットシステムが稼働中に、環境や状況に合わせて、必要なRTコンポーネントを動的に選択し、ロボットシステムに組み込み、動作できることも望まれる。

そこで、我々は、「RTコンポーネント開発支援機能」において決定した知能モジュールの仕様記述及び知能モジュールをコンテンツとする分散型データベースとして、RTリポジトリを開発した。

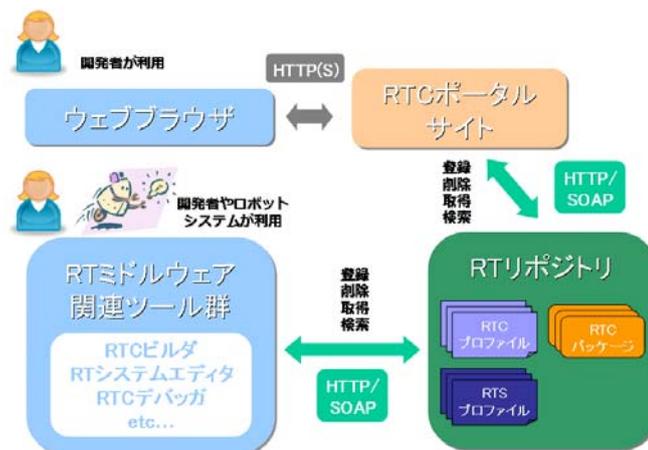


図 146 RT リポジトリ概念図

これまで、RTC は一般公開される機会が少なく、モジュール化の利点が活かされていなかった。ロボットシステムの効率的な開発には、散逸している資源を共有化し、誰でもアクセス可能な状態にすることが不可欠である。RT リポジトリは、これを実現するためのデータベースであり、ロボットシステムを構成するために必要な各種仕様記述（RT プロファイル）や RTC を登録し、一般に公開することができるようになった。これらの操作は、ウェブブラウザや GUI ツールを介して、容易に行うことができる。

RT リポジトリには、2 種類のコンテンツを登録することができる。一つは RTC のパッケージ、一つは RT プロファイルである。RT プロファイルとして、知能モジュール仕様記述である RTC プロファイルと、ロボットシステム仕様記述である RT システムプロファイルを管理できるようにした。RT リポジトリに登録されたコンテンツは、ウェブブラウザや GUI ツールを通じて、検索・ダウンロードすることができる。

一例として、あるセンサを自身のロボットシステムに組み込もうとした場合を挙げる。そのセンサを制御するための RTC をゼロから開発するのではなく、RT リポジトリに登録されている RTC を利用すれば、効率的に開発を進めることができる。また、ソースコードが公開されている RTC を選択すれば、それをベースにより目的に合致した RTC を作成でき、短期間でロボットシステムの品質を高めることができる。RT リポジトリにより、知能モジュールの再利用の仕組みが実現できるのである。ユーザは、RT リポジトリに対して、ウェブブラウザや RTC ビルダ、RT システムエディタ等のツールからアクセスする。これらのツールが、容易に RT リポジトリにアクセスできるよう、「アクセスライブラリ」を開発し、提供した。また、ウェブサービスでは、インタフェースが WSDL で規定されているため、ユーザ独自のアク

セスライブラリを作成することも可能である。以下の図に示す通り、RT リポジトリではウェブサービス実行環境としてオープンソースの Axis を採用しているが、その他のフレームワークを利用することも可能である。

アクセスライブラリを通じて RT リポジトリに送信されたコンテンツは、RT プロファイルは XML データベースに、RTC はファイルシステムに格納する。RT リポジトリで使用する XML データベースには、検索の高速性を考慮しセック製の Karearea を採用したが、大学や研究機関で無償利用することも考慮し、オープンソースの Xindice も利用可能である。

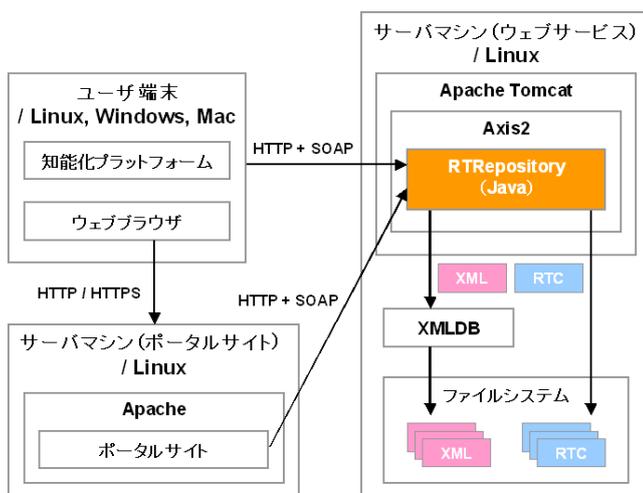


図 147 RT リポジトリのシステム構成

まとめ

RT リポジトリは、産業技術総合研究所および、RTC 再利用技術研究センターに無償提供・評価し、知能モジュールの蓄積、再利用を促進するための再利用 Web 実現に貢献した。

さらに、我々は、RT リポジトリの仕様について、OMG での国際標準として提案を進めている。「Deployment and Dynamic Configuration (DDC) of Robotic Technology Components (DDC4RTC)」は、RTC の動的配置 (Deployment) および設定 (Configuration) に関する標準仕様である。OMG の RTC 標準仕様では、コンポーネントレベルでの相互運用性を考慮し、基本的なコンポーネントのモデルのみを規定している。一方で、OpenRTM-aist や OpenRTM.NET や韓国 OPRoS プロジェクトの OPRoS コンポーネントなど、複数ベンダより RTC 標準仕様に基づいた、異なるフレームワークが提供されており、RTC の開発や運用時に使用するツール群の共通化および相互運用性の確保が必要となりつつある。DDC4RTC の標準仕様化により、RT リポジトリをはじめ、各ベンダがそれぞれに実装した開発ツ

ルやシステム管理ツールの共通化や相互運用性の向上が期待される。

3.1.2 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証

本節では、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証について述べる。この実施内容は、前述のロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発の成果物であるツール群および仕様記述方式に関して、実際のロボットシステムを研究開発する上で十分な機能を有するか否かを検証するために実施した知能モジュール群の開発及び検証ロボットシステムの研究開発である。検証用知能モジュール群は、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む知能モジュール群であり、知能化プロジェクトで開発される知能モジュール群の先行事例的な知能モジュール群である。また、この検証用知能モジュール群に関しては、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの基本的なツールの実装の完了およびRTC再利用技術研究センターの本格的活動開始にともない平成21年度にその研究開発を終了した。

また、次世代ロボット知能化開発プロジェクトにおいてオープンソースライセンスで開発が行われ知能モジュール群について、その再利用を促進するために、開発者とRTC再利用技術研究センター等の機関と共同して知能モジュールに関するドキュメント作成および知能モジュールの特許侵害調査を実施した。

① 検証用知能モジュール群の開発

検証用知能モジュール群は、リファレンスハードウェアに搭載することで、介助犬が行っているような室内で人の生活活動を支援するロボットを実現することを応用イメージとして、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む知能モジュール群である。ただし、ここで開発した知能モジュール群は、生活支援分野のみではなく、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用性を有するように留意したものである。

図148に開発した検証用知能モジュール群と検証ロボットシステムの全体構成を示す。

智能モジュール構成

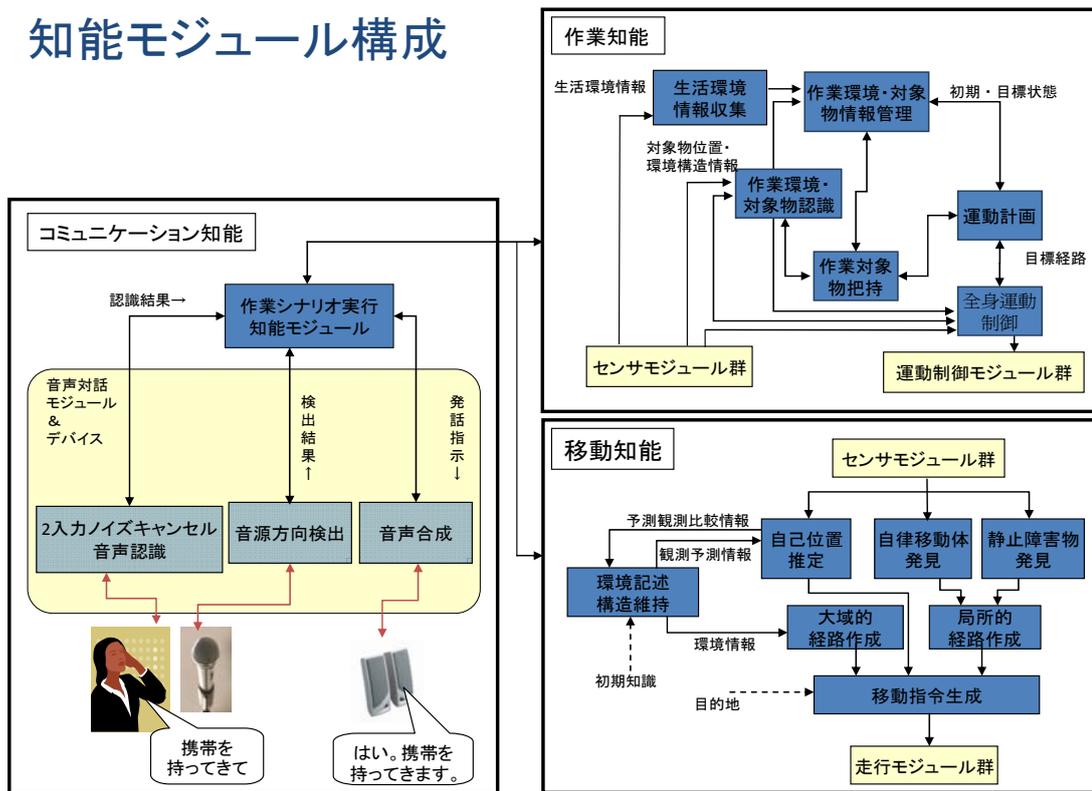


図 148 検証用知能モジュールおよび検証ロボットシステムの構成

また、ここで開発した検証用作業知能モジュール群ならびに検証用移動知能モジュール群は、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの RT コンポーネント開発ツール (RT コンポーネントビルダ、RT システムエディタ) を用いて開発されており、その知能モジュールは知能モジュール仕様記述方式で記述可能であることの検証を行っている。さらに、作業動作生成や移動動作生成に関する知能モジュールの動作検証には、動力学シミュレータを用いることにより、ハードウェアを使用せずとも効率よく開発することの検証も実施した。

さらに、検証用ロボットシステムの動作検証のための移動動作の設計やデモンストリオの作成には、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームのツールの 1 つである作業シナリオ設計ツールを使用し、その動作の検証を行った。

なお、検証用知能モジュール群として開発した RT コンポーネント (以降 RTC と略記) は一部を除いてオープンソースライセンスにて開発しており、再利用 WEB に登録し本プロジェクトの各研究項目実施機関に公開した。以下、具体的に開発した知能モジュール群について述べたあと、開発した検証用知能モジュール群を統合して実施した統合検証について述べる。

(a) 検証用作業知能モジュール群

(a-1) 作業環境・対象物認識知能モジュール群

この知能モジュール群は、ロボットが障害となるものを回避しながら日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置・姿勢、状態等）を必要な精度で認識する機能及び視覚センサでは捉えることのできない作業対象物との接触や、作業対象物の重さや環境との拘束状態を認識する機能作業対象物を把持できているかどうか判定する機能を実現したものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 幾何学特徴・アピアランス特徴視覚認識モジュール

ステレオ画像から物体の位置姿勢を検出するモジュールであり、③の検証用作業知能モジュール群接続図における **ObjectRecognitionRTC** として実装した。

(2) 触覚認識モジュール

対象物との接触状態を認識するモジュールであり、1.4 節の検証用作業知能モジュール群接続図における触覚認識 **RTC** として実装した。

(a-2) 作業環境・対象物情報管理知能モジュール群

この知能モジュール群は、作業中に得られた作業環境・対象物認識モジュール群による観測情報を用いて、ロボットが作業をするために有用な知識（環境・物体モデル）の記述を更新・管理し、さらに、マニピュレーションするために必要な情報（物体の位置、姿勢）が不足している場合には、それを獲得するためのセンシングプランを生成する探索機能を実現する。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 作業環境知識記述モジュール

(2) 物体知識記述モジュール

(3) 認識結果に基づく環境物体知識更新モジュール

(4) 作業環境・対象物表示モジュール

上記のモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における **InfoServerRTC** として実装した。

(a-3) 運動計画知能モジュール群

運動計画知能モジュール群により最終的に実現する機能は、認識可能な固定・移動障害物の存在する環境で、初期・目標位置間の移動体の衝突のない軌道の探索を行うことである。設定された時間内に解の有無を報告し、軌道が計画されたら出力することとする。

さらに、作業環境・対象物情報管理知能モジュール群などの外部モジュールにより検出された環境変化により軌道の実行が不可能となった場合、再探索を行う機能も実装する。

開発する知能モジュール群は以下の通りである。

(1) 基本軌道計画モジュール

与えられた環境で、初期位置から目標位置への移動体の衝突のない円滑な軌道を計画する。このモジュールは、動作中に環境の変化が検出された場合にも、必要に応じて軌道の再計画を行うことができる。

このモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における **MultiDevPlannerRTC** として実装した。

(2) ロボット運動指令生成モジュール

基本軌道計画モジュールの出力である経路を、ロボットの関節角、車輪の回転角などロボットシステムに適応した制御指令に変換する

このモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における **PathProviderRTC** として実装した。

(a-4) 作業対象物把持知能モジュール群

この知能モジュール群は、把持対象物・作業環境・ロボットの情報（種類、形状、位置・姿勢、状態など）を入力として、適切な把持形態の選定や、対象物へのアプローチから持ち上げまでの一連の把持動作を計画する機能を実現したものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 物体カテゴリーモデルデータベース

実際の把持対象物と把持の観点から抽象化した物体幾何形状（物体カテゴリーモデル）とを対応付けを行うためのデータベースであり、6種類以上の形状の異なる日常物に関する情報を格納している。

(2) 可能把持形態抽出モジュール

与えられた物体カテゴリーモデルや作業環境、ロボットの情報をもとに可能な把持形態を抽出する機能を実現する。

このモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における可能把持形態抽出 **RTC** として実装した。

(3) 把持動作計画モジュール

与えられた状況に応じて適切な把持点やアプローチ方向、持ち上げ方向を計画する。

このモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における把持動作計画 RTC として実装した。

(4) 把持確認モジュール

触覚認識 RTC と連動して、把持の成功・失敗の判定を行う。このモジュールは③の検証用作業知能モジュール群接続図における把持確認 RTC として実装した。

最終的には、リファレンスハードウェアに実装し、障害物のある作業環境において異なる日常物の把持を実現できることを確認した。

可能把持形態抽出モジュール、把持動作計画モジュールについては、複数の形状の異なる日常物についての把持を実験検証した。また、触覚認識 RTC と連動して、把持の成功・失敗の判定を行う機能を実装した。

(a-5) 全身運動制御知能モジュール群

全身運動制御知能モジュール群は、運動計画知能モジュール群で計画された運動指令に基づき、ロボットの全身運動を制御するとともに、作業環境・対象物認識知能モジュール群によって検出された作業環境・対象物との接触に対しても、運動計画知能モジュール群で計画されたように適切な応答を取ることのできる機能を実現するものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) アーム単体でのグリップ位置・姿勢制御モジュール

(2) アーム・台車自己干渉回避モジュール

(3) 移動台車とアームを協調させたグリップ位置・姿勢制御モジュール

なお、全身運動制御知能モジュール群のアーム・台車自己干渉回避モジュール、移動台車とアームを協調させたグリップ位置・姿勢制御モジュールについては、改良版基本軌道計画モジュールおよびロボット運動指令生成モジュール（③の検証用作業知能モジュール群接続図における MultiDevPlannerRTC と PathProviderRTC）の機能として組み込む形で実現した。さらに、リファレンスハードウェア試作 1 機、2 号機のシミュレーションモデルと実機で動作する全身運動制御モジュールを③の検証用作業知能モジュール群接続図における RH1ControllerRTC として実装した。

(a-6) 生活環境情報収集知能モジュール群

生活環境情報収集知能モジュール群の項目では、生活環境内で作業を実行するロボットが、生活環境の様々な情報を収集し、生活環境における異常状態の可能性を検出したり、温度・明るさ等の変化を検知したりすることができる知能モジュール群を開発する。また、室内の人の大まかな場所や動きの検出が可能な知能モジュール群を開発する。これらにより、温度や明るさの変化（寒くなった、暗くなった等）に応じて、窓を閉めたり照明を調節したりすることを促すメッセージを発するなどの機能や、人の生活パターンに異常がある可能性を検出する機能など、「見守り」の機能を実現できる。

具体的には、温度、湿度、気圧、におい（ガス）、照度、焦電等の、様々な生活環境情報を知覚できるセンサを用いた生活環境情報収集知能モジュール群の開発と、これらのセンサ利用知能モジュールを連携させることにより生活環境を総合的に認識する知能モジュール群の開発を行った。生活環境情報収集知能モジュール群で用いるセンサに関しては、安価なセンサと汎用なマイコン等を用いて知能モジュールソフトウェアをRTコンポーネントとして実装可能なPC等への接続が容易な形で公開した。

焦電センサ・温度センサ・湿度センサ・においセンサ・照度センサを搭載したユニット（長期間電池駆動可能）と、焦電センサアレイを搭載した生活環境情報収集モジュールを開発した。これにより人のいる方向を認識して、人の方向が変化すると、そちらを向き、照度センサ、温度センサ、湿度センサ、においセンサの状態が変化すると、それに応じて発話行動を行う知能モジュールを実現した。

また、熱源方向認識・24時間ログの各知能モジュール改良と、変化パターン記憶・異常状態検出の各知能モジュールβ版の開発を行い、試作したセンサ旋回用可動機構及び駆動モジュールにより検証した。

(b) 検証用移動知能モジュール群

検証用移動知能モジュール群は、リファレンスハードウェアのように車輪機構を有するロボットが屋内を安全に目的地まで移動するための機能を実現する知能モジュール群である。これらの知能モジュール群は、動力学シミュレータおよびリファレンスハードウェアに搭載し、動作検証が可能になるように開発を実施した。また、以下の知能モジュール群は、OpenINVENTとして、事業期間中にオープンソースライセンスの知能モジュール群として公開を実施した。

(b-1) 自己位置推定知能モジュール群

この知能モジュール群は、自己位置と 3D 点&直線群により構成される地図を状態ベクトルとして管理し、運動モデルによる予測、単眼及びステレオ画像入力による能動観測、さらにはオドメトリに基づき、拡張カルマンフィルタあるいはパーティクルフィルタで状態ベクトルを更新し、環境中の 3D 点&直線を選択的に地図に追加・削除することにより、照明条件や設置物が増える環境においても実時間で頑健に自己位置を推定しつつ地図を構築できる機能を実現したものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

- (1) 自己位置・3D 点群地図からなる状態管理モジュール
- (2) 拡張カルマンフィルタによる運動モデルに基づく状態予測更新モジュール
- (3) 予測状態に基づく 3D 点の単眼画像観測モジュール
- (4) 拡張カルマンフィルタによる単眼 3D 点観測誤差に基づく状態更新モジュール
- (5) 画像特徴量に基づく安定 3D 点特徴選択モジュール
- (6) 単眼画像による 3D 点特徴初期化モジュール
- (7) 拡張カルマンフィルタによるオドメトリに基づく状態予測更新モジュール
- (8) 単眼画像による拡張カルマンフィルタに基づく自己位置推定地図構築モジュール
- (9) オドメトリ計算モジュール
- (10) 自己位置推定融合モジュール

なお、自己位置・3D 点群地図からなる状態管理モジュール、拡張カルマンフィルタによる運動モデルに基づく状態予測更新モジュール、予測状態に基づく 3D 点の単眼画像観測モジュール、拡張カルマンフィルタによる単眼 3D 点観測誤差に基づく状態更新モジュール、画像特徴量に基づく安定 3D 点特徴選択モジュール、単眼画像による 3D 点特徴初期化モジュールは、モジュール化の粒度の検討を詳しく行った結果、単一の RT コンポーネントとして実装することが妥当であると結論し、単一の RT コンポーネントとして視覚による自己位置同定モジュールとして実装した（本 RTC に限り公開はしていない）。また、拡張カルマンフィルタによるオドメトリに基づく状態予測更新モジュールを実現するにあたり、実施計画にはないオドメトリ計算モジュール（③の検証用移動知能モジュール群接続図における OdometryRTC として実装）、自己位置推定融合モジュール（③の検証用移動知能モジュール群接続図における LocalizationRTC として実装）を開発した。

オドメトリ計算モジュール、視覚による自己位置同定モジュール、自己位置推定融合モジュールをリファレンスハードウェアに搭載し 30 平米の環境で実験検証した。

(b-2) 環境記述構築維持知能モジュール群

この知能モジュール群は、環境 DB から得た間取り図などから初期化した静的 3D 環境記述を、静止障害物などの情報に基づき更新し、他の移動知能モジュールに現状情報を提供する機能を実現するものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 環境記述初期化モジュール、

このモジュールは③の検証用移動知能モジュール群接続図における MapBuilderRTC として実装した。

(2) 静的 3D 環境記述更新モジュール

このモジュールは③の検証用移動知能モジュール群接続図における MapMaintenanceRTC として実装した。

これらの知能モジュール群をリファレンスハードウェアに搭載し、30 平米の環境で実験検証を実施した。これによって、実験環境において、間取り図あるいは平面図を初期知識として、移動に必要な障害物情報を自律的に獲得し、次に述べる静止障害物発見知能モジュール群が検出した環境条件の変化を維持できることが実現できた。

(b-3) 静止障害物発見知能モジュール群

この知能モジュール群は、センサから得られた距離情報に基づき移動経路上の静止障害物の検出と形状計測する機能を実現するものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 距離情報利用仮想バンパーモジュール

このモジュールは③の検証用移動知能モジュール群接続図における BumpDetectionRTC として実装した。

(2) 距離センサパンチルト制御モジュール

このモジュールは③節の検証用移動知能モジュール群接続図における PanTiltControlRTC として実装した。

(3) 距離情報利用移動経路上障害物候補検出

このモジュールは③の検証用移動知能モジュール群接続図における ObstacleDetectionRTC として実装した。

これらの知能モジュール群をリファレンスハードウェアに搭載し、30 平米の環境で実験検証を行い、床面からの高さ 10cm 以上で不透明で鏡面反射なく適度な模様を持つ障害物が 1 個/平米以内の場合を、実験環境において起こり得る 10 ケース以上抽出し、全ケースにおいて速度 0.5m/秒以上で走行中に障害物を認識しその位置を計測できることを確認することができた。

(b-4) 自律移動体発見計測知能モジュール群

この知能モジュール群は、画像情報に基づき移動経路上の移動体の検出と計測を行う機能を実現したものである。この知能モジュール群は、実施計画ではカメラからの画像処理により自律移動体の発見と計測を実装する予定であったが、前述の、静止障害物発見知能モジュール群の距離情報利用仮想バンパーモジュールを利用し、観測範囲内の 3 次元グリッドの障害物存在確率を計算することで移動体検出が行えることがリファレンスハードウェアに搭載した実装実験で明らかになった。これにより、自律移動体発見計測知能モジュール群は、静止障害物発見知能モジュール群と統合し、実装を行った。

また、実証実験を通じて、床面からの高さ 10cm 以上で不透明で鏡面反射なく適度な模様を持つ障害物が進路内に 1 個で速度 0.5m/秒以下で加速度ほぼない場合を、実験環境において起こり得る 10 ケース以上抽出し、全ケースにおいて速度 0.5m/秒以上で走行中に障害物を認識しその位置と速度を計測できることが確認できた。

(b-5) 大域的経路作成知能モジュール群

この知能モジュール群は、現在地から目的地までの大域的格子状経路を生成・更新する機能を実現するものである。具体的には、下記の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 拡張版静的 2D 環境記述に基づく大域的格子状経路生成モジュール

このモジュールは③節の検証用移動知能モジュール群接続図における GlobalPathPlanningRTC として実装した。

なお、拡張版静的 2D 環境記述に基づく大域的格子状経路生成モジュールは、静的 3D 環境記述に基づく大域的格子状経路生成モジュールを、処理の高速性の観点

から静的 2D 環境記述に基づく大域的格子状経路生成モジュールとして実装したものを拡張し実装したものである。この大域的格子状経路生成モジュールでは、リファレンスハードウェアを用いた 30 平米の環境で実験検証を行い、実験環境において任意の現在地と目的地の組み合わせに対して経路を生成できることが確認できた。

(b-6) 局所的経路作成知能モジュール群

この知能モジュール群は、大域的格子状経路をベースにして、障害物情報などに基づいて局所経路を生成・更新する機能を実現するものである。具体的には、以下の知能モジュールの開発を実施した。

(1) 静的 2D 環境記述に基づく局所的格子状経路生成モジュール

このモジュールは③の検証用移動知能モジュール群接続図における LocalPathPlanningRTC として実装した。

なお、静的 2D 環境記述に基づく局所的格子状経路生成モジュールは、静的 3D 環境記述に基づく局所的格子状経路生成モジュールを、処理の高速性の観点から静的 2D 環境記述に基づく局所的格子状経路生成モジュールとして改良し、実装したものである。

この知能モジュールをリファレンスハードウェアに統合し、30 平米の環境で実験検証したところ、実験環境において障害物発見に関して設定したすべての出現ケースに関して、障害物の位置情報を受け取って、1 秒以内に目的地への経路を局所的に動作再計画できることが確認できた。

(b-7) 移動指令生成知能モジュール群

この知能モジュール群は、現地から目的地への格子状及び滑らか経路を維持し、経路に沿って安全かつ効率良く走行するための移動速度指令を生成する機能を実現するものである。具体的には、以下の知能モジュールの実装を行った。

- (1) 経路形状と障害物情報に基づく移動速度指令生成モジュール
- (2) 経路形状と障害物情報に基づく移動共通速度指令生成モジュール
- (3) ジョイスティック操作に基づく移動共通速度指令生成モジュール
- (4) 移動共通速度指令生成モジュール
- (5) リファレンスハードウェア 0 号機台車部用移動指令変換モジュール
- (6) リファレンスハードウェア 1 号機台車部用移動指令変換モジュール

これらのモジュール群は③の検証用移動知能モジュール群接続図における DriveControlRTC に相当する。

なお、経路形状と障害物情報に基づく移動共通速度指令生成モジュールとジョイスティック操作に基づく移動共通速度指令生成モジュールは実施計画にはなかったが、平成 20 年に実施した先行共同デモのために必要であったため開発した。移動共通速度指令生成モジュールは、平成 21 年の国際ロボット展でのデモのために目標点列が逐次与えられる場合に拡張した。

また、(4)、(5) のリファレンスハードウェアに関する知能モジュールは、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの実機による検証のために開発したものである。

これらの知能モジュール群をリファレンスハードウェアに実装し、30 平米の環境で実験検証を行ない、実験環境において現在地と目的地と障害物出現の想定しうる 10 種以上の組み合わせに対して、平均速度 0.5m/秒以上で安全にスムーズに移動できることが確認できた。

(c) 検証用コミュニケーション知能モジュール群

この知能モジュール群は、実環境において人間とロボットの自然なコミュニケーションを実現するために必要な対話者の方向検出や音声認識機能を実現するためのものである。さまざまな実環境において安定した音声認識を実現するために、複数のマイクロホンを使って周辺雑音を取り除いたり、対話者の方向を検出したりするための機能を実現するものである。検証用コミュニケーション知能モジュールは、ロボットシステムでは、ユーザからの命令を効率よく入力するためのインタフェースを実現するための知能モジュールである。

以下に述べる知能モジュールは、平成 20 年度には、共通機能であるワーカフレームワーク (Linux 版、OpenRTM-aist-0.4.2 準拠、ライブラリ) を実現して、これを組み込むことで実現を行った。ワーカフレームワークは、「作業シナリオ仕様記述方式」に基づいて実装され、これを RT コンポーネントに組みこんで利用することにより、作業シナリオ実行系との規約に従ったメッセージングを実現している。本機能は、作業シナリオ実行ツールの実現にも利用された他、平成 21 年 1 月に実施した先行デモにおけるリファレンスハードウェアに組みこまれた作業や移動のための RT コンポーネントの実現でも利用され実証された。

ワーカフレームワークは産総研の RT ミドルウェア (OpenRTM-aist-1.0) の機能を拡張し、RT ミドルウェアに NEC のロボット技術のノウハウを組み込んだものである。ワーカフレームワークを導入することにより、複数のロボットアプリケーション (シナリオ) を随時切替ながら動作するようなロボットシステムを容易

に構築できる。特に音声認識や音声合成のコンポーネントと組み合わせることにより、ユーザとのインタラクションを行う対話型のシナリオを実現するのに適する。

ワーカフレームワークの概念図を以下に示す。ワーカフレームワークは、ロボットの行動決定を制御するためのシナリオスクリプトの実行環境である、シナリオプレーヤコンポーネントを中核とし、メカ、音声認識、音声合成などのロボット各部の機能を制御するワーカコンポーネントが RT ミドルウェアの枠組みで結合した構成を取る。

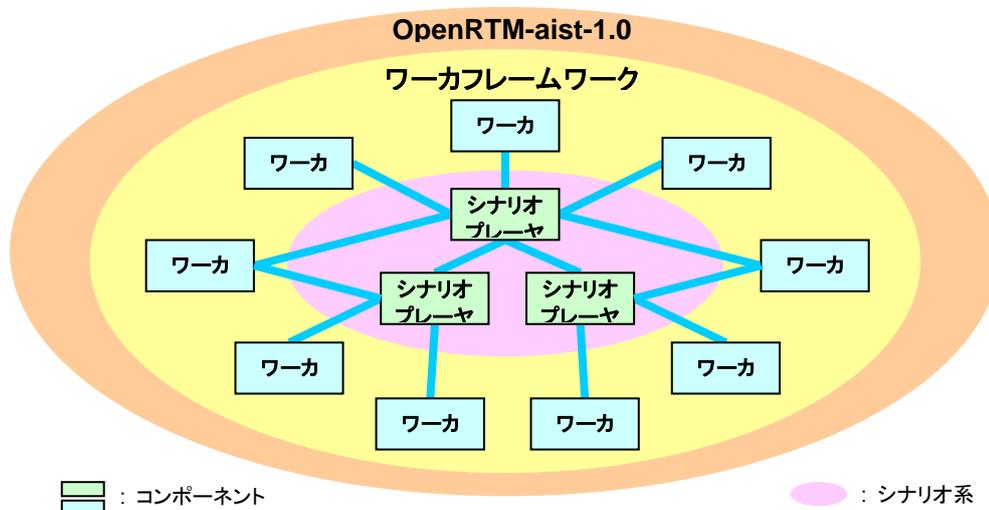


図 149 ワーカフレームの概念図

人間に例えると、ワーカが手足を直接司る小脳に相当するのに対し、シナリオプレーヤは手足を使った行動を司る大脳に対応する。

ワーカフレームワークのモジュール構成図を以下に示す。RT ミドルウェアは CORBA を利用した分散ミドルウェア環境であるため、その上に構築されたワーカフレームワークも分散ミドルウェアの性質を持ち、複数のコンピュータにまたがって稼動する。

モジュール構成図の最上位層にはシナリオスクリプトが位置し、これがロボット全体の行動決定を司る。シナリオスクリプトはシナリオプレーヤによって解釈・実行され、必要に応じてシナリオプレーヤから各ワーカにロボット各部の動作要求が発行される。

ワーカフレームワークは、これらの関係を効率良く行うためのメッセージマネージャや XML 変数空間のしくみを提供する。

以上のワーカ、シナリオプレーヤ、メッセージマネージャなどは全て RT ミドルウェアのコンポーネントとして実装され、RT ミドルウェアのポートを介して相互に

通信・連携し合う。

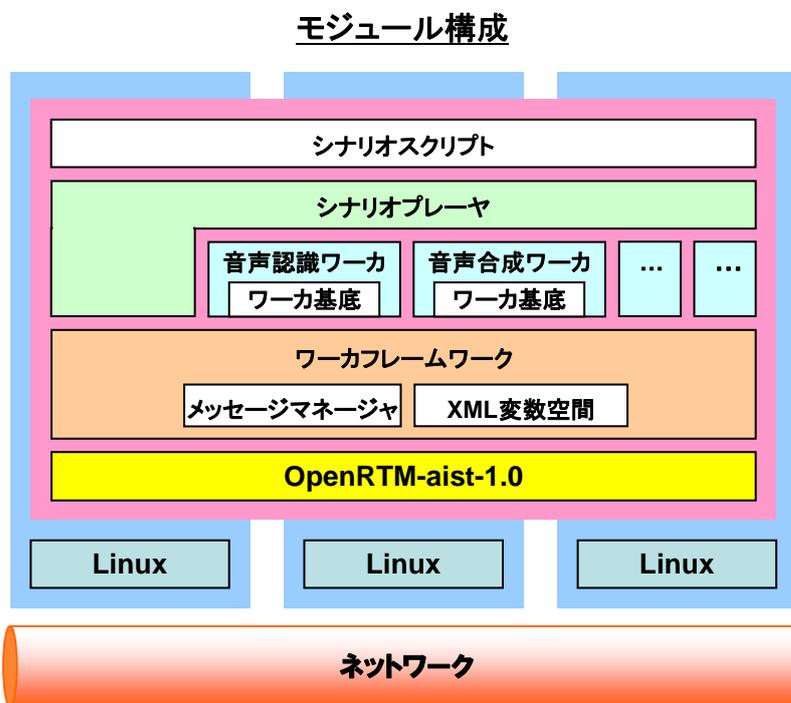


図 150 ワークフレームワークのモジュール構成図

次に、ワークフレームワークのクラス階層図を以下に示す。

RT ミドルウェアのコンポーネントの機能を活用するため、コンポーネントの基底クラス（DataFlowComponentBase）を継承するワーカ基底クラス（RtcWorkerComponentBase）を用意されている。ワーカ作成者は、このワーカ基底クラスを継承したワーカ派生クラス（RtcXXWorker）を作成する。

ワーカ基底クラスは入力用／出力用のデータポートをそれぞれ1つずつ持ち、外部との入出力は全てこの2つのポートを介して行う。即ち、他のコンポーネントへのメッセージ送信には出力用のデータポートを、他のコンポーネントからのメッセージ受信には入力用のデータポートを用いる。ただしメッセージマネージャは出力用のポートを複数所有する。

ワークフレームワークでは、ポートにバッファリングされたデータに対して優先度管理などの独自の処理を行うため、上記データポートはRT ミドルウェアの標準のデータポートから派生させた、専用のデータポートクラスとする（MsgInPort／MsgOutPort）。

またワークフレームワークのマネージャにはメッセージマネージャ（RtcMsgManager）とコンフィグマネージャ（RtcConfigManager）の2つがあ

り、前者はメッセージの送受信の管理を、後者はワーカのインタフェース定義の管理を行う。

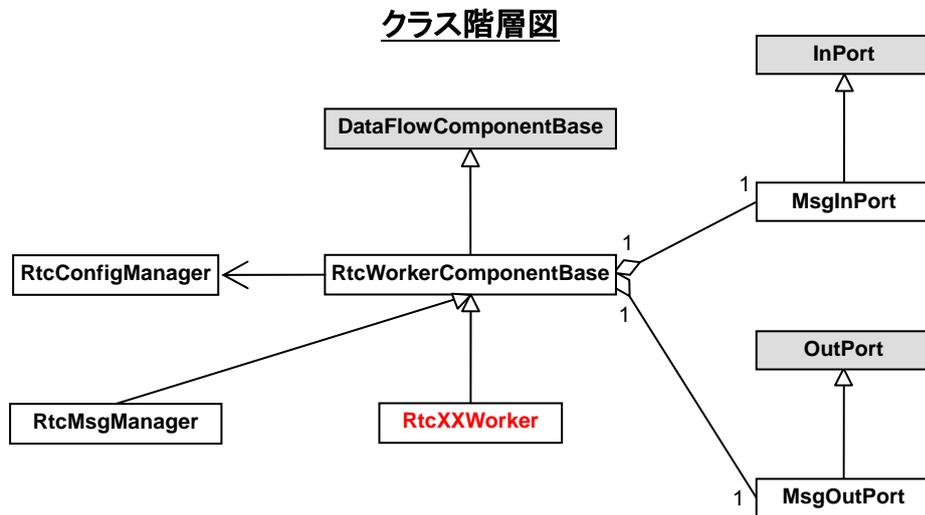


図 151 ワーカフレームワークのクラス階層図

ワーカフレームワークを構成する各コンポーネント（ワーカ、シナリオプレーヤ、メッセージマネージャ）は専用の起動プロセスの管理下であり（*.a/*so）、フレームワーク全体の起動はこの起動プロセスが担う。

起動プロセスは、まず配下の各コンポーネントモジュールを初期化したのち、コンポーネントのインスタンスを生成する（図 152 ①）。次に、コンポーネントのリンク情報を読み込み、その指示に従ってコンポーネントのポート同士をリンクする（図 152 ②）。リンク情報の詳細は、OpenRTM-aist-1.0 の仕様に準ずる。その後、コンポーネントを順次 Active 化していく（図 152 ③）。この時にはメッセージマネージャ→ワーカ→シナリオプレーヤの順に Active 化を行う。ワーカフレームワークが複数のコンピュータにまたがる場合は、初期化・生成は各々のコンピュータの起動プロセスが行うが、リンク・Active 化はメインの起動プロセスが行う。

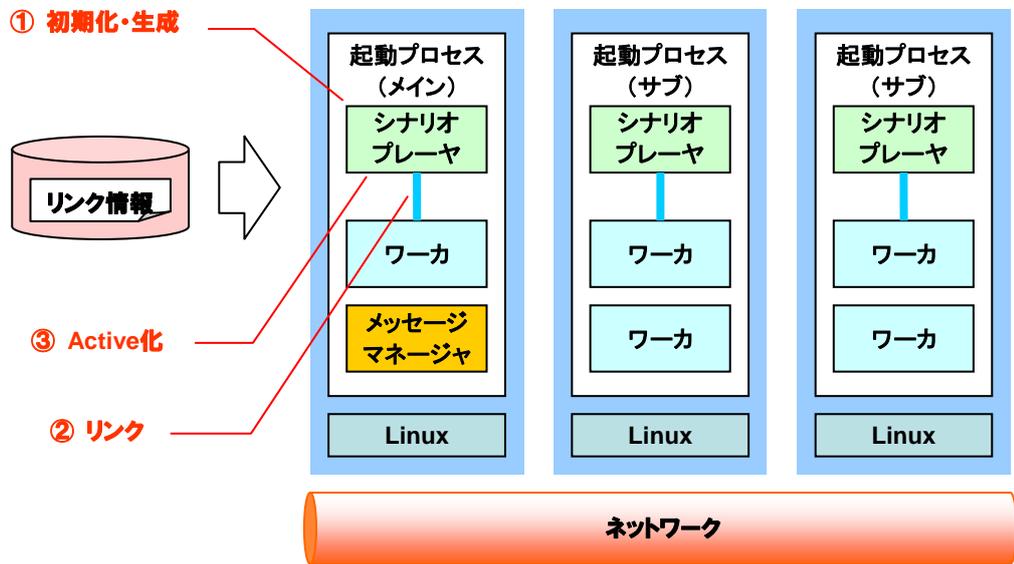


図 152 ワーカフレームワークの起動

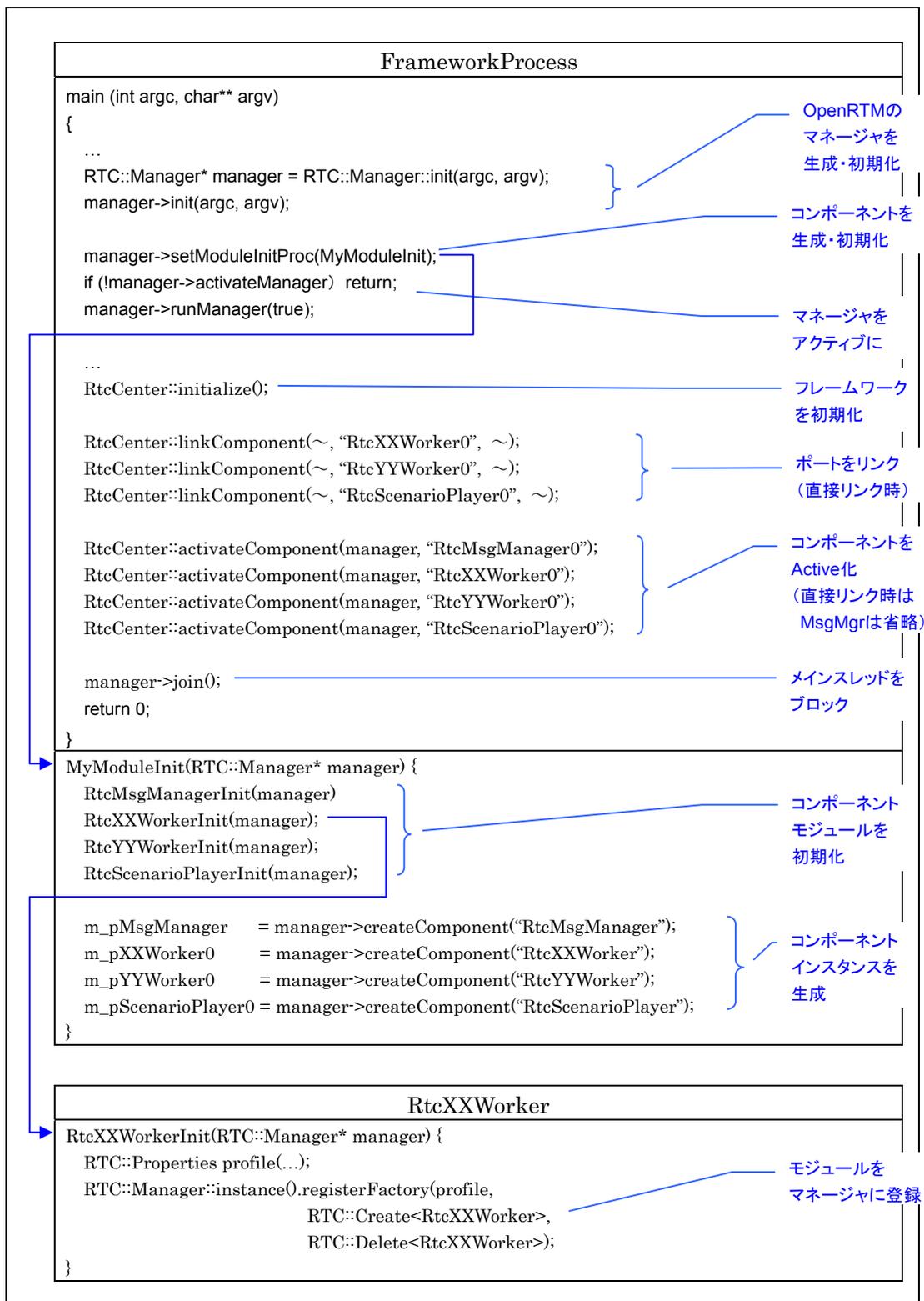


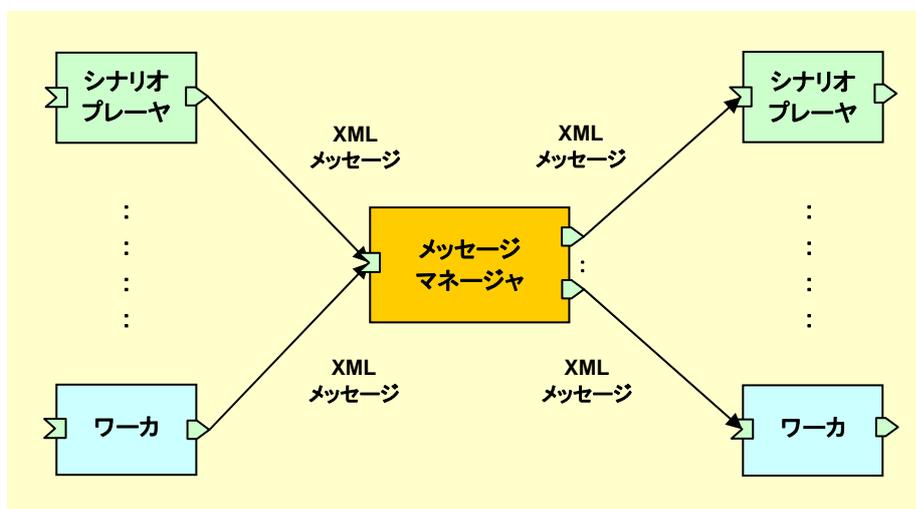
図 153 ワークフレームワークの起動プロセスの例

ワークフレームワークにおけるメッセージングは、基本的に全てデータポートを介して行う（サービスポートは各ワークの事情により使っても良いが、ワークフレームワークはサービスポートについては関知しない）。

フレームワークを構成する各ワークは、データ入力ポートとデータ出力ポートをそれぞれ1つずつ所有し、コマンド／レスポンス／イベントといったメッセージは全てこの2つのポートを介して授受される。

通常の場合、ワークから他のワークにメッセージを送る場合は、メッセージマネージャが仲介する。ただしシステムの構成が非常にシンプルな場合や、高速なメッセージ応答性を要求される場合は、ワーク同士を直接リンクすることも許す。メッセージには宛先の概念があり、自分宛でないメッセージを受信したワークは、単にそれを破棄する。例えばコマンドは通常、特定のワークを宛先にして送られ、他のワークがそのコマンドを受信した場合には破棄される。同様に、コマンドに対するレスポンスもコマンドの要求元を宛先として送られ、それ以外のワークがレスポンスを受信しても破棄される。例外はイベントで、通常は全てのワークに対して同報配信される。

以上のメッセージは全て XML 文字列の形で送受信される。



▷ : データ出力ポート
◁ : データ入力ポート

図 154 メッセージングの全体像

(c-1) 2入力ノイズキャンセル音声認識モジュール

この知能モジュールは、正面マイクと後方マイクの2つのマイク入力を用いて後方雑音抑制をしつつ、日本語単語音声認識する機能を実現するものである。特定実験環境における耐雑音下での認識精度 70%以上で認識することを目標とした。本モジュールは共通基盤プロジェクトで開発された音声対話モジュール上で専用に動作するモジュールとして実装する。共通基盤プロジェクトでの実装に含まれる RoboStudio フレームワークを再構成し、OpenRTM-aist-1.0 版への対応を行った。音声対話モジュールの形でリファレンスハードウェアに組み込み、他のモジュール群と連携動作させることを目標とした。

このモジュールが提供する単語音声認識機能は、「離散単語音声認識」という音声認識手法に基づいた音声認識エンジンを使用し、予め決められた単語セットのみを音声認識する機能である。音声認識させる単語（以降、認識語と呼ぶ）セットを記述したものを音声認識辞書と呼ぶ。アプリケーション開発者は、開発する音声認識アプリケーションに応じた音声認識辞書を作成する必要がある。また、音声認識は常時行うものではなく、認識を行うタイミングは AP 側で適宜制御する必要がある。

音声認識の一般的な流れのイメージ図を以下に示す。音声認識機能は、音声認識機能を司る制御プログラムを指す。本音声認識機能は、シングルセッションで行う仕様であり、複数のモジュールから同時に音声認識処理を呼び出すことはできない。

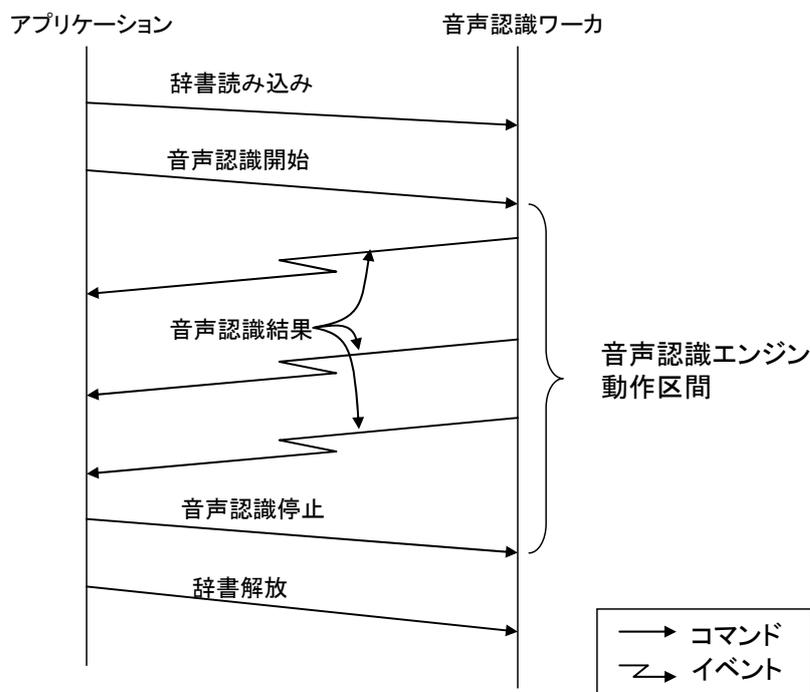


図 155 音声認識の一般的な処理の流れ

音声認識機能のコマンドの概要を以下に示す。

表 23 音声認識機能のコマンド

API 名	説明
Start	指定した認識ルールを用いて、音声認識処理を開始する。音声認識開始コマンドに相当。
Stop	音声認識を停止する。音声認識停止コマンドに相当。
LoadGrammar	音声認識辞書を音声認識エンジンにロードする。辞書読み込みコマンドに相当。
ReleaseGrammar	読み込み済音声認識辞書をアンロードする。辞書解放コマンドに相当。
GetStatus	音声認識状態を取得する。
GetUser	使用中の話者データを取得する
SetUser	話者データを変更する。 共通の話者データを設定済みであり、変更不可とする。

以下に、音声認識機能のイベントの詳細を示す。音声認識イベントは、音声認識エンジンが処理を行った結果、何らかの認識語であるという認識結果が出た場合のみ要求元のモジュール側へ返送される。音声認識処理においてリジェクトされた場合にはイベントの返送は行わない。音声認識結果は、下記の要素を持った XML 構造のテキストデータとして RTM 経由で返送される。

表 24 音声認識機能のイベント

SpeechRecognized			
要素名	型	要素数	説明
status	int	1	エラーステータス。
pron	var	3	認識結果の第1～第3 候補の読み。
grapheme	var	3	認識結果の第1～第3 候補の表記。
group	var	3	認識結果の第1～第3 候補の意味。
score	int	1	認識結果のスコア。

また、平成 21 年度には、前述のワーカフレームワーク (OpenRTM-aist-0.4.2 ベース) を、音声対話モジュール H/W(ARM9)に移植し、これをベースに、音声認識 RT コンポーネントを移植した。また、RT コンポーネントの性能評価を完了し、特定実験環境における耐雑音下での認識精度 70%以上で認識することを確認

した。

(c-2) 音源方向検出モジュール

この知能モジュールは、ロボットの周囲の水平同心円上に3つ、ないし4つの周囲マイクを配置し、それらからの入力を用いて、音源方向（360度）の検出機能を実現するものである。静環境下での方向推定精度80%以上で検出することを目標とした。本モジュールは共通基盤プロジェクトで開発された音声対話モジュール上で専用に動作するモジュールとして実装した。共通基盤プロジェクトでの実装に含まれるRoboStudioフレームワークを再構成し、OpenRTM-aist-1.0版への対応を行った。音声対話モジュールの形でリファレンスハードウェアに組み込み、他のモジュール群と連携動作させることを目標とした。

音源検出機能のコマンドの概要を以下に示す。

表 25 音源検出機能のコマンド

コマンド	説明
start	音源方向検出処理を開始し、イベント送信を行う。
stop	音源方向検出処理を停止する。

音源方向検出機能のイベントの詳細を以下に示す。

表 26 音源方向検出機能のイベント

DoaDetected		
付加情報名	型	説明
Type	int	1:確定イベント 0:不定イベント
Direction	int	検出した音源の方向（初期値:-186） レンジ：-180~180 不定値：-186
Volume	int	検出した音源の音量の平均値（初期値:-1） レンジ：0~32768
機能詳細		音がしたと判定したことを通知する。イベントの種別、方向、音量の情報を持つ。

平成21年度には、平成20年度に開発を行った「2入力ノイズキャンセル音声認識モジュール」、「音源方向検出モジュール」、「音声合成モジュール」の共通機能

であるワーカフレームワークを、音声対話モジュール H/W(ARM9)に移植し、これをベースに、音源方向検出 RT コンポーネントを移植した。また、RT コンポーネントの性能評価を完了し、水平同心円上に3つの周囲マイクを配置し、それらからの入力を用いて、音源方向 (360 度) の検出において、静環境下での方向推定精度 80%以上で検出可能であることを確認した。

(c-3) 音声合成モジュール

この知能モジュールは、日本語発話テキストをコマンドポートから入力し、言語解析、音素合成を行って、サウンド出力より合成発話を実現するものである。本モジュールは共通基盤プロジェクトで開発された音声対話モジュール上で専用に動作するモジュールとして実装した。共通基盤プロジェクトでの実装に含まれる RoboStudio フレームワークを再構成し、OpenRTM-aist-1.0 版への対応を行った。音声対話モジュールの形でリファレンスハードウェアに組み込むことを目標とした。

以下の表に音声合成モジュールが備えるコマンドとイベントの一覧とその概要を示す。

表 27 音声合成モジュールが備えるコマンド

コマンド	説明
StartSpeak	引数文字列の発話/再生を行う
StopSpeak	発話/再生を停止する
SetDefaultSpeaker	デフォルトの話者の設定を行う
GetSpeakStatus	発話/再生状態の問い合わせを行う
SetSpeakVolume	デフォルトのボリュームを設定する
GetSpeakVolume	デフォルトボリュームを取得する
SetDefaultEffect	再生時の効果を指定する
SetDefaultEffectChange	再生時効果の大きさを指定する
SetDefaultPitch	デフォルトのピッチを設定する
SetDefaultSpeckSpeed	デフォルトの再生速度を設定する
SetDefaultIntonation	デフォルトの抑揚の設定を行う

表 28 音声合成モジュールにおけるイベント

イベント	説明
SpeckReceived	発話再生が開始されたことを通知する。
SpeckFailed	発話再生開始時にエラーを検出したことを通知する。
SpeakStatus	発話再生の終了を通知する。正常時・異常時ともこのイベントを使用する。

この知能モジュールは、平成 20 年度には、上述のように「2 入力ノイズキャンセル音声認識モジュール」、「音源方向検出モジュール」とともに共通機能であるワーカフレームワーク（Linux 版、OpenRTM-aist-0.4.2 準拠、ライブラリ）で実現を行った。

② リファレンスハードウェアの開発

本研究項目は、本プロジェクトで開発される各種知能モジュール群を適宜装着することで、これらの機能を検証することが可能なプラットフォームロボット（リファレンスハードウェア）を開発することである。最終目標として、量産機の開発を完了して一般向けにリファレンスハードウェアを販売できる体制を整え、事業化を図ることである。以下、本研究開発の詳細を述べる。

開発の背景および目的

本プロジェクトでは、次世代ロボットシステムを効率よく開発するためのロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行い、また、一般家庭の屋内で活動する介助犬の作業を想定し、この機能を実現するための各種知能化モジュールを開発し、これらを研究用ロボットに実装することで、ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証および改良を行っていく。本研究ではその一環として、ソフトウェアプラットフォームで開発された知能化モジュールを実機で検証するためのロボット「リファレンスハードウェア」を開発した。

研究用ロボットとして要求されるのは、ユーザ側で自由にソフトウェアが構築できるライブラリ、API が公開されていることである。しかしながらこれらの条件を満たした市販の研究用ロボットは海外製のものが多く、日本国内で購入すると数百万円と高価であり、容易に導入するのが難しい。

そこで、既存のプラットフォームロボットに較べて低コストで導入可能で、かつ知能化モジュールを随時追加しながらこれらの動作を検証することが可能な「リファレンスハードウェア」を開発することとなった。

リファレンスハードウェアの基本仕様の策定

開発に先立ち、屋内で活動する介助犬が行う作業について、同じコンソーシアムに参加している産業技術総合研究所検証用知能モジュール群開発チームに検討いただいたところ、以下の2点が挙げられた。

- ・ 500[ml]ペットボトル飲料を床から 700[mm]上方の机の上まで持ち上げる能力および可動範囲
- ・ 平らな床面で 800[mm]の安全通路をその場旋回できる移動能力

それに伴い、関係機関と共同でリファレンスハードウェアの仕様を検討した結果、ロボットの構成は直列リンク型多関節アーム1台と独立2輪移動機構による電動台車1台とし、アームのリンク長、および関節軸、動輪構成を図1と定めた。また、マニピュレータ先端での可搬重量はエンドエフェクタと 500[ml]ペットボトルとハンドに装着するセンサ類を合わせた重量を想定して 2[kg]、一方台車の可搬重量についてはマニピュレータユニットと制御用 PC を搭載したことを想定して 20[kg]とし、それに伴い各軸の可動範囲、目標定格トルクおよび目標最大回転数を表1のように定めた。

試作1号機の開発

図2に試作1号機の外観を示す。マニピュレータユニットおよび電動台車ユニットはモジュール化を図っているため、台車からマニピュレータユニットを取り外してそれぞれ単独での動作も可能であり、移動機構またはハンドリング機構が不要な研究用途でも個別に対応できるようにした。なお、各ユニットの電源電圧は DC24[V]である。以下に各ユニットの詳細について述べる。

マニピュレータユニット

まず、関節各軸には他社製に比べると小型でありながら高出力で、様々なロボットで採用実績のある Maxon 製コアレス DC モータを動力源として採用した。この場合、モータの出力は労働安全衛生規則での産業用ロボットの適用除外となるよう、全軸 80[W]未満に抑えた。また、全軸ハーモニックギアを用いて高減速比化および関節機構の小型化を図り（図3）、図4のように2軸、3軸には非常停止時にマニピュレータが自重で動かないよう無励磁ブレーキ機構を実装した。各部の寸法はなるべく人間の腕に近い印象を持たせるようスリム化を図ったが、マニピュレータ自体小型化させると電機システムの内部での配線処理が困難となるため、図5に示す超小型モータドライバ mrsvm100 を各軸ごとに配置し、RS485 を介してダイジーチェーン接続を行った。mrsvm100 はリファレンスハードウェア専用として(有)アールラボによって開発されたモータドライバで、外形寸法 40[mm]× 40[mm]、コアレス DC モータについて電圧 DC24[V]最大 10[A]のドラ

イブ能力を有している。また、RS485 を介したコマンドによってモータの速度制御、位置制御が可能である。

これによって省配線化が実現しケーブル全てをマニピュレータ内部で引き回すことが可能となり、図 6 のように最大幅 102[mm] (2 軸周辺) 以内でスリムな印象を持たせることに成功した。アーム本体の材質にはアルミニウム合金を採用し、またカバーには ABS 樹脂を採用して、本体重量を 8.2[kg]まで軽量化させた。カバー作成に際しては 3 次元プリンタを利用することで、少ロットでも複雑なデザインにも対応して製作することができた。

なお、マニピュレータの各関節の仕様は表 2、可動範囲は図 7 の通りである。

台車ユニット

図 8 に台車ユニットの外形図を示す。800[mm]の通路を旋回できることをふまえ、幅 500[mm]、全長 543[mm]とした。また、上記マニピュレーションユニットの要求諸元として挙げた「床から 700[mm]上方の机までペットボトルを持ち上げる」という事項を考慮して、アームの取付ベース高さを床面から 250[mm]、最大高さを 290[mm]とした。本体重量はバッテリー含めて 45.5[kg]である。車輪構成は旋回半径をできるだけ小さくとれるようにし、かつある程度の段差乗り越えにも対応できるよう、前輪 2 駆動輪、後方 2 キャスタとした。また、10[mm]までの段差乗り越えや平地からスロープへ移動する際に起こりがちな空転への対策として、図 9 に示すラバースプリング (製品名ロスタ) を適用したサスペンション機構を考案し、実装した。

動力源にはマニピュレータユニット同様 Maxon 製コアレス DC モータを採用し、また非常停止時に確実に停止できるよう、モータ後端軸側に無励磁ブレーキ機構を追加した。

モータドライバはマニピュレーションユニットと同様 mrsvm100 を採用し、RS485 を介して左右輪個別に制御が可能である。台車ユニット後方の蓋を開けると B5 ノートまたはネットブック PC を収納できるブラケットがあり (図 10)、オプションでハーフサイズ 4 スロット PCI バスラックにも交換可能とした。電源として 12[V]16[Ah]の密閉型鉛蓄電池を採用し、底面に横置きして低重心化を図った。

外装は当初マニピュレータユニット同様 3 次元プリンタを利用して ABS 樹脂で製作したが、強度不足であるのとマニピュレータユニットのカバーに比べて大型化して製作コストおよび製作時間がかかったため、焼き付け塗装を施した鋼板に変更した(図 11)。

台車前方にあるマニピュレータの取り付け台座では、マニピュレータを前方中心の他、図 12 のように右または左にオフセットして取り付けられるようにした。

その他、非常停止対策として、前方および後方にタッチスイッチが内蔵されたラバーバンパーを装着するとともに、台車後方から有線で非常停止スイッチボックスを引き出し、実験で異常動作が見られた際に実験補助者 1 名がスイッチを押せる状態にした。

試作エンドエフェクタ

エンドエフェクタはユーザごとで仕様が多種多様となることから、マニピュレータユニット先端のフランジに装着、取り外しできる構造とし、ユーザで使用希望するエンドエフェクタがある場合はそのフランジに合わせた取り付け部品を用意していただくこととした。今回は多種多様なエンドエフェクタの一例として、500[ml]ペットボトル飲料を把持することを想定した、開閉 1 自由度型のエンドエフェクタを試作した。図 13 に外観および外形図を示す。まず、グリップの形状は固定側が 1 本、可動側が 2 本指とし、3 本指で対象物を把持できる。これらのグリップは取り外し可能な構造で、ユーザ各自が考案・設計した他の形状のものへ交換することもできる。また、ペットボトルからちり紙といった多様な把持対象を想定して開閉幅は 0 ~ 75[mm]、把持力は 10[N]とした。モータドライバにマニピュレータユニットと同様 mrsvm100 を採用することで、エンドエフェクタ自体 RS-485 を介して 1 つのモジュールとして単独動作できるようにした。固定側グリップの根元には 3 軸ベクトルセンサ（ミネベア製 MX020）を内蔵させることで、把持力の計測ばかりでなく固定側グリップ先端を触覚のように用いて把持対象の位置や形状を探ることも可能である。さらに、図 14 のように上面には小型 USB カメラを取り付けることができ、ハンドアイビジョンも実現可能である。本体の重量は 0.7[kg]である。

試作 1 号機のシステム構成

図 15 にリファレンスハードウェア試作 1 号機のシステム構成を示す。マニピュレータユニットと台車ユニットはそれぞれ RS485 を介して通信を行っているが、2 つのユニット同時に制御するには 2 ポート確保する必要がある。また、RS485 インタフェースを標準で実装する PC が存在しないため、現実には USB-RS485 変換ケーブルまたはインタフェースが必要となる。検証用知能モジュールは Linux で開発が進められる一方で、USB-RS485 変換器が Windows でしか動作しないものがほとんどだという問題も存在した。その結果、Linux でもデバイスドライバが用意されており、入手性がよいなどの理由から moxa 製インタフェース（Uport1130 または Uport1450。図 16 参照）が以後本プロジェクトで標準インタフェースとして利用されることとなった。

試作 1 号機用の試用状況について

試作 1 号機は 2008 年度に 4 セット製作し、2009 年 3 月に産業技術総合研究所 検証チームへ 2 セット供給した。供給の際にはモータドライバ開発会社である(有)アールラボより、モータドライバ制御ライブラリのサンプルとして提供いただいたリファレンスハードウェア制御ソフトウェアを同梱し、産総研検証チームではこれを参考にしてリファレンスハードウェア用 RTC を開発していただいた。なお、供給したソフトウェアは Linux (カーネル 2.6、Ubuntu7 または 8.04LTS で動作確認) で動作し、以下の 3 種類である。

- `calib_arm` : マニピュレータ原点位置出し動作
- `joydrive` : マニピュレータユニットをゲーム用ジョイパッドで制御できる (マニピュレータの動作確認に利用)
- `joybase` : 台車ユニットをゲーム用ジョイパッドで制御できる (台車ユニットの動作確認に利用)

残りは同じコンソーシアムの東京農工大へ 2009 年 8 月に、コンソーシアム外ではあるが RTC 再利用技術研究センターへ 2009 年 6 月に引き渡した。

なお、1 セットを 2009 国際食品工業展 (FOOMA2009) 前川製作所ブースにて展示デモを行った。展示では床に置いた 500[ml] のペットボトルを右側面のテーブルに置くというシーケンス動作を行った。図 16 に当時の状況を示す。

試作 1.5 号機の開発

産総研で試用いただいている間にいただいた要望を 2 号機的设计へフィードバックするためと、奈良先端大学院大学での利用が平成 21 年 4 月に決まり、1 セット追加で必要になったことから、試作 2 号機先行検証用という位置付けて試作 1.5 号機を 1 セット製作した。マニピュレータユニット、台車ユニットとも 1 号機と外形およびシステム構成は変わらないが、アーム関節軸のメカリミット部の強化と (位置決めピンからブロックへ変更)、4 軸 (旋回) のトルク強化が図られた。平成 21 年 7 月に完成し、その後奈良先端大へ貸し出した。なお、リファレンスハードウェア専用開発されたモータドライバ `mrsvm100` の開発元である (有)アールラボが平成 21 年 3 月末で廃業したため、試作 1.5 号機以降のモータドライバの改良および販売窓口はゼネラルロボティクス (株) へ移管された。

試作 2 号機の開発

試作 1 号機、1.5 号機を各機関で試用いただいている間に以下の問題点が上がった。

- マニピュレータユニットの 5 軸 (J5) の強度が弱く、動作中に障害物と干渉し

た際に 5 軸が破損することがある。

- ・ バッテリーを充電するには、台車ユニット本体から一度バッテリーを取り出さなくてはならず、作業に手間がかかる。
- ・ バッテリーの放電状況が確認できないため、最適な充電時期が把握できず、場合によっては実験中電圧不足で突然停止することがあった。

また、試作 1 号機ではデザイン先行で設計を行ったため、部品の一部に複雑な形状のものが存在し、部品製作費のコストがかかっていた。そこで、平成 21 年度はこれらの問題への改善を図った試作 2 号機の開発を行った。

マニピュレータユニット

図 17 に試作 2 号機の外形図を示す。試作 1 号機の 5 軸、6 軸については当初の要求仕様にあげた定格トルクは満たしていたものの、実験中操作ミス、プログラムのバグ等で暴走して障害物と干渉した際、その衝撃に耐えられず破損することが見られたため、図 18 に示すように 5 軸、6 軸を強化し、関節軸トルクも表 3 のように変更した。これによって、試作 2 号機を試用いただいている機関で当該箇所が故障したというトラブルはその後見られなかった。なお、その他の外形、関節軸の仕様等には変更はない。

台車ユニット

試作 1 号機からの大きな変更点は、電源システムの改良である。まず、バッテリーを本体から取り出さなくても充電ができるよう、図 17(a)のように台車ユニット左側面に充電コネクタを新設した。充電コネクタへの電気系統はメカニカルリレーを利用してメインスイッチが切れるとともにバッテリーとコネクタが接続され、メインスイッチが入ると充電系統が遮断される構成とした。また、充電コネクタの上方にアナログ電圧計を設置し、バッテリーの電圧状況を目視できるようにした。一方、右側面には図 17(b)のように外部からの電源供給コネクタおよび電源系統切り替えスイッチを新設した。これにより、リファレンスハードウェア用ソフトウェアのデバッグを行う際、外部から電源を確保すればバッテリー切れを気にすることなく長時間稼働させることが可能となった。その他、試作 1 号機、1.5 号機では測域センサを前面底面付近に搭載することを想定して前面下方に開口部が設けられていたが、実際にはマニピュレータユニットを側方へ寄せて正面台座に測域センサを設置するといった使用方法がとられることが多く、測域センサを台車ユニット前面下部には設置しないとの意見が多数であったため、前面の開口部を廃止した。なお、外形寸法、移動機構などその他のハードウェアについては試作 1 号機から大きな変更はない。

エンドエフェクタ

試作 2 号機では試作 1 号機開発時に試作したベクトルセンサ内蔵版の他に、ベクトルセンサを省略版を新たに開発し、試作 2 号機配布先の要望に応じてどちらか一方を装着した。

ベクトルセンサ省略版ではベクトルセンサ設置スペースが空いた分、可動範囲が 75[mm]から 90[mm]へと拡大した。

試作 2 号機改の開発

平成 21 年度後半の予算追加により、3 セット追加製作することが平成 21 年 9 月に決まったため、基本性能はそのまま、台車ユニットの組立やすさの改善を図った試作 2 号機改を開発した。

大きな変更点は台車ユニットの電気機器の配置で、試作 2 号機では上述のように電気系統が改良されたものの、その一方で 1 号機に比べて電気機器が増加し、台車内部の空いた箇所に随時機器を配置したため、電気配線の引き回しが複雑になった。そこで 2 号機改では作業を容易にするため、図 18 のように台車天板カバーをあけるとすぐ電機機器にアクセスできるよう配置させた。

試作 2 号機の試用状況について

試作 2 号機は 6 セット製作し、まず平成 21 年 10 月に完成した後、産業技術総合研究所へ先行で 1 セット搬入し、平成 21 年 11 月に開催された国際ロボット展 2009 にて展示およびデモ対応で利用された。図 19 に当時のデモの様子を示す。その後大阪大学、東京理科大学、東京農工大学、RTC 再利用技術研究センターへ搬入した。また、平成 22 年 7 月には、試作 3 号機を試用する予定になっていた東芝にも 1 セット、試作 3 号機が完成後交換という条件で一時貸し出した。なお、東京理科大で使用していたセットのうち、マニピュレータユニットのみ東京理科大と同じコンソーシアムに参画している筑波大学へ平成 22 年 6 月に移籍し、また東京農工大で使用していたセットについては、平成 23 年 1 月に RTC 再利用技術研究センターへ移籍した。特に RTC 再利用技術研究センターでは、知能モジュール統合検証実験において、知能化プロジェクト参画機関から収集した知能モジュールを統合検証するための検証用ロボットとして利用いただいている。

一方、試作 2 号機改は産業技術総合研究所、奈良先端科学技術大学院大学へ 1 セットずつ引き渡し、残り 1 台は前川製作所で他機関での故障時のバックアップ用として保管している。

試作 3 号機の開発

平成 22 年度では試作 2 号機改までの改良機という位置づけで試作 3 号機を開発

し、知能モジュールの有効性検証の実験を行う機関（RTC 再利用技術開発センターなど）へ配布することとなった。この場合、各機関で再利用性の実証を迅速に行えるようにするため、ソフトウェア開発パッケージ、下位の制御システムの仕様を統一し、さらにセンサなど各機関共通に必要なオプションも併せて追加して、リファレンスハードウェア標準モデルとして提供することとなった。なお、ソフトウェア関連についてはモータドライバを開発、提供いただいているゼネラルロボティクス(株)が担当することとなった。

産総研、RTC 再利用技術開発センターなど関係機関で試作 3 号機に装着する共通オプションを検討した結果、以下の通りとなった。

- ・ 測域センサ：北陽電機製 Top-URG (UTM-30LX)
- ・ ハンドアイステレオカメラ：IEEE1394b 単眼カメラ× 2 台や IEEE1394b ステレオカメラ× 1 台等、複眼かつ高速で同期撮影が可能な製品
- ・ スピーカ：USB 接続のステレオスピーカ
- ・ その他：ハンド取り付け部に 6 軸力覚センサを取り付けられるよう対応

しかしながら現状の仕様でこれらオプションを装備すると、マニピュレータの可搬重量を超えるため、マニピュレータユニットのトルク仕様を再策定した。

一方、下位制御システムの仕様統一に関連して、台車ユニットに Mini-ITX 仕様の PC 基板を内蔵させ、リファレンスハードウェア専用制御 RTC（ゼネラルロボティクス製）を稼働させることとなったため、台車内部の構造を見直すこととなった。

マニピュレータユニット

図 20 にマニピュレータユニットの外形図を示す。まず標準オプションを搭載することを前提に、エンドエフェクタの質量を 1.5 倍、6 軸先端に力覚センサを取り付けたことによるエンドエフェクタの先端までの延長分を+50[mm]という条件で各関節軸のトルクを見直した結果、表 4 の通りになった。

特に屈曲軸(J2, J3, J5)のトルク増大が約 1.5 ～ 2 倍必要となるため、その対応案として以下の 2 案が出された。

(a)使用するモータの出力を上げる

(b)使用するモータはそのまま、ギヤ比を上げる

上記(a)案ではギヤ比の変更を必要としないため 2 号機までの関節速度は維持でき、また 2 号機までの外見的な設計変更はあまり必要としない。一方、(b)案ではギヤ比を上げた分だけ速度が低下し、またハーモニックギヤや前段のプーリの大型化などに伴う大幅な設計変更が必要であり、それに伴いデザイン変更、外形大型化

という懸念がなされた。しかしながら(a)案では 2 軸で 80[W]以上のモータを必要とすることになり、研究用途では適用外ではあるが、他の用途に将来利用した場合労働安全衛生規則に抵触する可能性がある。さらに、2 号機までの関節速度では速すぎるといった意見も挙がった。同じコンソーシアムである産業技術総合研究所と対応案を検討した結果、大幅な改良となるものの(b)案で開発を進めることにした。表 5 にマニピュレータユニットの各関節の仕様を示す。

トルクの増大化やリンク長、可動範囲の見直しを行った結果試作 1 号機、2 号機と比較すると外形が一回り大きくなり、最も外形が増えたのが 2 軸関節周辺の幅で 80[mm]から 105[mm]へ、全長も 755[mm]から 785[mm]へ増加した。それにもかかわらず図 21 の通り基本的なデザインを維持できた。また本体重量も増えて 10.2[kg]となった。その他、マニピュレータユニットへの通電状況が目視で把握できるよう、電源コネクタ近辺に通電を知らせるための LED を追加した。

台車ユニット

図 22 に外形図を示すこれまでの試作 1 号機、2 号機から大きく変更となった点は、Mini-ITX 仕様の PC 基板を搭載して、台車ユニット自体が下位制御システムとしての機能を持たせた点である。搭載する PC の仕様については RTC 再利用技術研究センターで試作 2 号機に搭載して使用していた機器と同一とすることにし、表 6 に示す仕様の製品を採用することとした。

また、2 号機改に続いて電機機器配置の見直しを行い、これまで台車ユニット用の電機機器が配置されていたスペースの上方に Mini-ITX 基板を搭載した。図 23 に PC 基板搭載に伴う変更箇所を示す。ストレージは走行時の衝撃等を考慮してソリッドステートディスクを採用することとしたが、バックアップ等交換作業を容易にするため、後方に最大 2 ドライブまで収納可能なストレージラック（但しホットスワップには未対応）を搭載した。PC 用の電源は DC24[V]から ATX 規格の電源を供給できる DC-DC 変換基板 M4-ATX（mini-box 製、250[W]）を採用した。本基板には電源監視用の USB 端子が設けられているため、PC に接続して電源のマネジメントが可能である。その他、台車ユニット背面に PC 起動スイッチおよび通電通知用 LED を設置し、PC 起動スイッチには実験時の誤操作を防止するため、スイッチカバーを設けた。図 24 に試作 3 号機台車ユニットの外形図を示す。

これら PC 関連機器を搭載した結果、台車ユニットの外形寸法のうちこれまでの試作機と比較して全高が 20[mm]増えた。逆に本体重量は製造コスト低減の観点から部品点数を減らした結果、2 号機までの台車ユニットよりも若干軽くなり、44.9[kg]となった。

オプションの装着については、前方正面に測域センサを取り付け、その右側に USB 接続のステレオスピーカを配置した。この場合、図 24 のようにマニピュレータの姿勢（特に床へアプローチする姿勢）によっては測域センサと干渉する。そこで、測域センサを上下逆に取り付けて、万が一マニピュレータがセンサに干渉した際に測域センサの取り付けブラケットが先に当たるようにした。

試作 3 号機のシステム構成

図 25 に試作 3 号機のシステム構成を示す。試作 3 号機では台車に内蔵された PC をメインコントローラと位置付け、USB-RS485 変換インタフェースを介して台車ユニット、マニピュレータユニットと通信を行う。また、PC には OS としてプリエンブティブカーネルパッチが施された Ubuntu10.04LTS(64 ビット版)がインストールされており、ゼネラルロボティクス社が開発した制御用ソフトウェアもインストールされている。開発当初は 4 ポート USB-RS485 インタフェースである Uport1405i(MOXA 製)を台車ユニットに内蔵し、マニピュレータユニット、台車ユニットを USB ケーブル 1 本で一括して通信しようとしたが、リファレンスハードウェア制御ソフトウェアでマニピュレータを動作させたところステッピングモータによる間欠駆動のような不連続動作となったため、2 号機以前と同様 1 ポート版 USB-RS485 変換ケーブル Uport1130(MOXA 製)2 本で個別通信することとなった。また、試作 3 号機の電気系統図を図 26 に示すが、PC を搭載したことによって 1 号機、2 号機に比べて電気系統が複雑になっている。測域センサなどオプションの給電に関しては、台車左側面にオプション給電用電源端子を介して行う。電圧は 24[V]（バッテリーから直接出力）、12[V]、5[V]（台車に内蔵された DC-DC コンバータで変換）3 種類存在する。非常停止ボタンを入れた際には、各ユニットの動力系統、オプション機器の電源が切れるが、PC への給電は常時供給するようにした。

試作 3 号機の試用状況

平成 22 年当初の計画では RTC 再利用技術研究センター、東芝、奈良先端大学院大学、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）で試用される予定であり、平成 22 年 10 月に 4 セット完成して配布準備を進めていた。しかしながら、同時に配布される予定であったゼネラルロボティクス製リファレンスハードウェア専用ソフト

ウェアの開発が遅れたため、まず平成 22 年 11 月に RTC 再利用技術研究センターへ先行で引き渡すとともに、RTC 再利用技術研究センターらと共同でソフトウェアを中心とした動作検証を進めてきた。その後平成 23 年 1 月に計画変更で ATR への試用が取りやめとなり、代わりにリファレンスハードウェア制御用ソフトウェア開発検証用にゼネラルロボティクスへ 1 セット引き渡した。その後平成 23 年 2 月末にソフトウェアが完成したのを受けて、3 月目処で他機関へ配布準備を進めていた。しかしながら平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災に見舞われ、エネルギー供給不足や計画停電等の影響で交通手段や運搬手段の確保が困難になったため 3 月下旬にずれ込んだが、年度内には東芝および奈良先端大への引き渡し完了した。

目標に照らした成果の達成度および今後の展開について

当該年度内でのプロジェクトの達成度については、まず試作 1 号機の段階でプロジェクト開始当時に掲げた要求諸元を満たす動作を実現し、その後 2 号機で信頼性、使いやすさの向上を図り、3 号機では要求諸元の大幅な見直しが入ったものの、2 号機までの開発ノウハウを生かしつつ基本的デザインを維持することに成功した。また 1 号機から 3 号機まで合計 18 セットをプロジェクト期間中に製作を完了させ、産総研、RTC 再利用技術センターをはじめ、知能化プロジェクトに参画している研究機関へ配布した。さらに知能化プロジェクトで作成されたすべての知能モジュールを検証する機関である RTC 再利用技術研究センターでは知能モジュール統合検証実験（来訪者受付システム）でリファレンスハードウェアが活用され、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、日本ロボット学会学術講演会、計測自動制御学会 SI 部門講演会といったロボット関連学会にてリファレンスハードウェアを活用した研究成果が発表されるなど（表 7 参照）、知能モジュール研究用プラットフォームロボットとしての役割を果たしていると考えられる。以上のことより、プロジェクト実施期間中での目標を達成した。

今後の展開については、現在社内で製造、販売体制を構築するとともに、リファレンスハードウェア組立マニュアルの作成など、製造への引き継ぎ作業を行っている。平成 23 年 9 月開催の日本ロボット学会学術講演会などで販売のアナウンスを行い、平成 23 年 12 月頃に web での受注開始というスケジュールで進める予定である。販売価格は海外製研究用マニピュレータロボットと電動台車ロボット 1 セット分の半額以下（300 万円台）に押さえるようにしたい。

③ ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

(a) 検証用知能モジュール群の統合検証

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの機能検証の一環として、開発した検証用知能モジュール群の統合システムの統合検証を実施した。

平成 20 年度には、NEC の開発したコミュニケーション知能モジュール、シナリオ実行モジュールとともに前川製作所が開発したリファレンスハードウェア試作 0 号機台車に市販ロボットアーム Katana を搭載したロボットに搭載し、その有効性を平成 21 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。また、検証用移動知能モジュール群については芝浦工大コンソ、日本 SGI コンソとともに先行共同デモを行い共通仕様に基づくモジュール化の有効性を示した。

先行デモに引き続き、前川製作所の開発したリファレンスハードウェア試作 1 号機に平成 21 年度に開発したいくつかの検証用知能モジュールを搭載し、その有効性を検証した。

また、検証用移動知能モジュール群については平成 21 年 11 月に開催された国際ロボット展において芝浦工大コンソ、日本 SGI コンソとともに共同デモを行い共通仕様に基づくモジュール化の有効性を示した。

平成 21 年度最終四半期には、検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアシステム試作 2 号機に RT コンポーネントとして搭載し、図 156 に示す面積 30 平米の検証環境において介助犬の行う種類の介助動作（図 157 参照）を図に示したように開発した検証用知能モジュール群を統合することで実行できることを検証した。

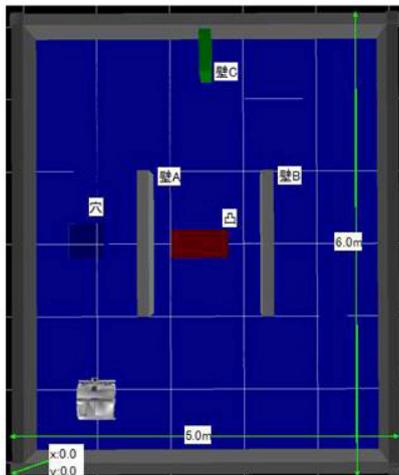


図 156 面積 30 平米の検証環境

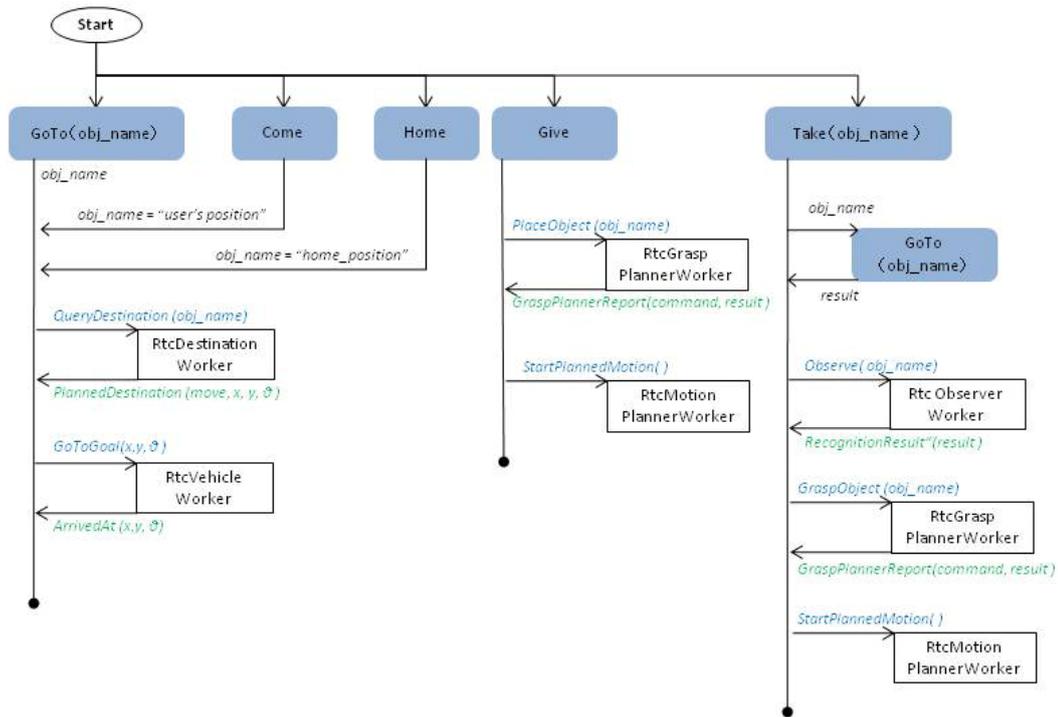


図 157 介助犬の行う 5 種類の介助動作

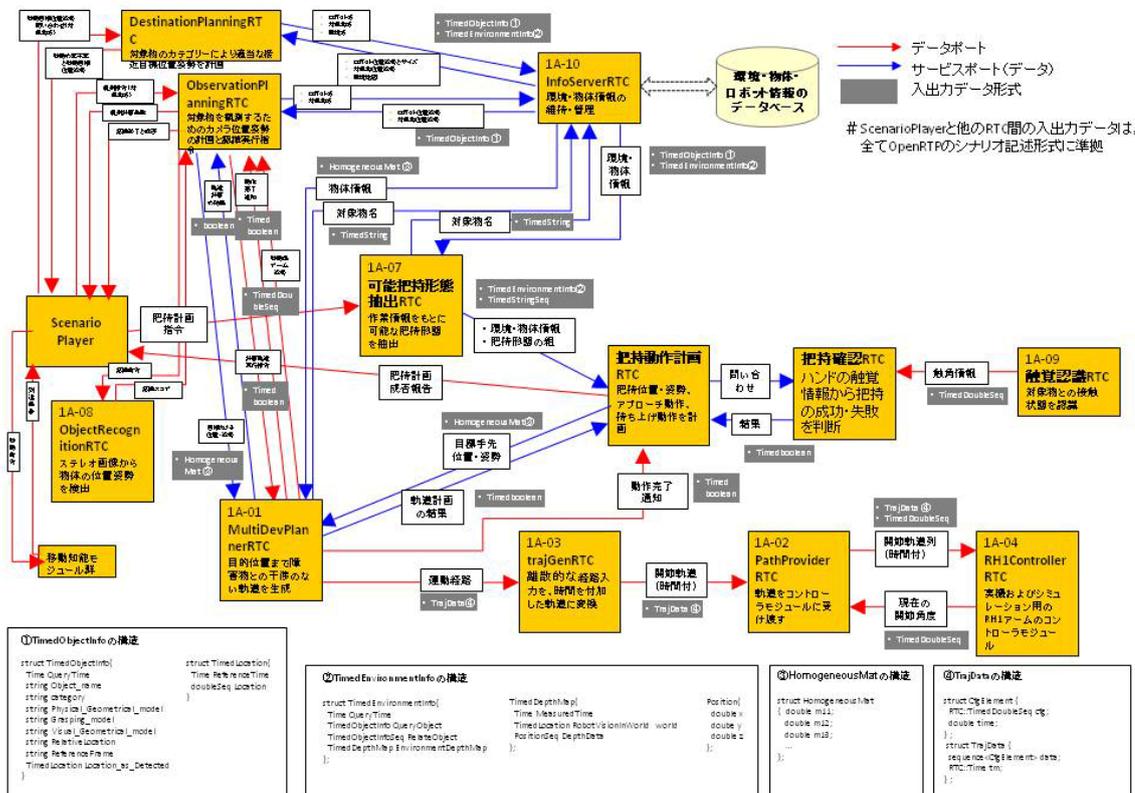


図 158 検証用作業知能モジュール群接続図

(b) オープンソースライセンスの知能モジュール群のドキュメント作成

本プロジェクト内で開発されたオープンソースライセンスの知能モジュール群について、その再利用を促進するために、開発者と RTC 再利用技術研究センター等の検証機関で共同してドキュメント作成を行うためのシステムを構築し、知能モジュールおよび知能モジュールを組み合わせた RT システムの構築に関するドキュメントの作成を実施した。本研究開発項目は、当初の実施計画にはなかったが、知能モジュールの検証と、再利用性を向上させるために実施した。

本プロジェクトに対する期待として、マニュアルや仕様書の書式統一だけでなく、ソフトウェア品質作り込み基準、プログラミング作法、モジュール入出力仕様の考え方などの統一を図ることで、利用者が混乱することなく容易に利用可能で、かつ信頼性を担保したソフトウェアモジュールの実現が望まれていた。さらに、RT ミドルウェアの利用者の拡大に向けた施策（マニュアル作成、プラットフォームの使い勝手と信頼性の向上、情報開示の拡大、啓蒙、サポート）に力点を移していく必要性もあった。

そこで、我々は、知能モジュール群やそれらを組み合わせたロボットシステムのマニュアル、仕様書や開発の統一基準の策定、再利用性確保のためのガイドラインを整備するとともに、利用者の拡大、普及促進に向けた初心者向けパンフレットやチュートリアルを作成を行った。

パンフレットは、本プロジェクトの内容やロボットのモジュール化の意義、移動知能、作業知能、コミュニケーション知能の代表的なモジュール例とモジュールの構成例を、一般のロボット開発者に分かりやすいものとなるように作成した。このパンフレットは、国際平成 23 ロボット展にて、2000 部を一般配布し、「概念が理解できた」、「モジュール化にイメージが分かった」など、高評価を得た。



図 159 パンフレット「モジュール化でロボットをモット身近なものに」

次に、RT ミドルウェアを用いたロボットシステムの開発や、知能モジュールを再利用するための敷居を下げるため、初心者向けのチュートリアルを作成した。チュートリアルでは、移動知能、作業知能、コミュニケーション知能の各種モジュールを組み合わせた統合ロボットシステムについて、シミュレータ上で開発を体験できる内容とした。さらに、知能モジュールの利用の裾野を広げるために、市販の2足歩行ホビーロボットへのRT ミドルウェアの適用方法についてもチュートリアルとしてまとめた。

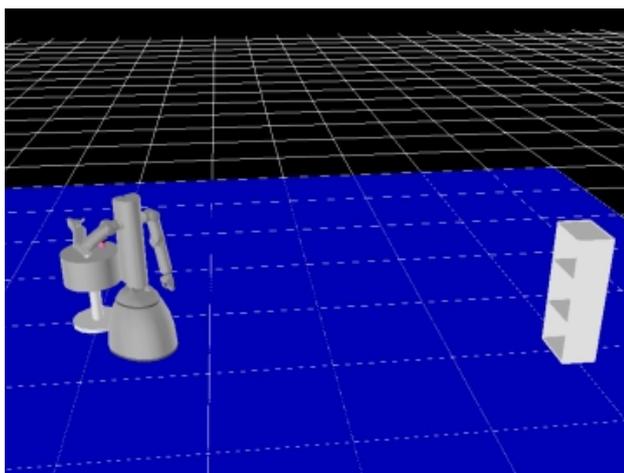


図 160 統合ロボットシステムのチュートリアル

知能ロボットシステムのマニュアルとしては、自律移動システム、双腕ヒューマノイド作業システム、音声対話システムなど 8 種類ロボットシステム（チュート

リアルを含む) の利用手順をまとめた。また、知能モジュール群のマニュアルとしては、移動知能、作業知能、コミュニケーション知能の9つのモジュール群(74モジュール)の仕様、利用手順をマニュアル化した。これにより、それぞれの知能ロボットシステムや知能モジュール群の再利用性が向上した。さらに、これらのマニュアルをオープンに公開することで、マニュアルの共通書式として、マニュアルの記述レベルや品質を再利用することが可能になった。



図 161 知能ロボットシステムおよび、知能モジュール群のマニュアル例

プログラミング作法やモジュール入出力仕様の共通化などの知能モジュールの再利用性確保に向けては、RTC 再利用技術開発センターと共同で、知能モジュールの共通インタフェース (I/F) 仕様書を作成した。この共通 I/F 仕様では、本プロジェクトで共通化が図れた移動共通 I/F、作業共通 I/F、コミュニケーション I/F、カメラ画像共通 I/F、作業用画像認識共通 I/F、双腕ロボット共通 I/F の6つの共通インタフェースについて、仕様を取りまとめ、一般に公開することができた。この共通 I/F に準拠した知能モジュールも多数公開されており、モジュールの再利用性の向上に寄与することができた。



図 162 知能モジュール共通インターフェース仕様書例

作成したパンフレット、チュートリアル、各種マニュアル、共通インターフェース仕様書については、OpenRTM-aist サイトや各機関、セックのロボットサイトにて、一般公開している。これらのドキュメントのライセンスはクリエイティブ・コモンズ「表示 2.1 ライセンス」で配布しており、ドキュメント自体の再利用も可能となっている。

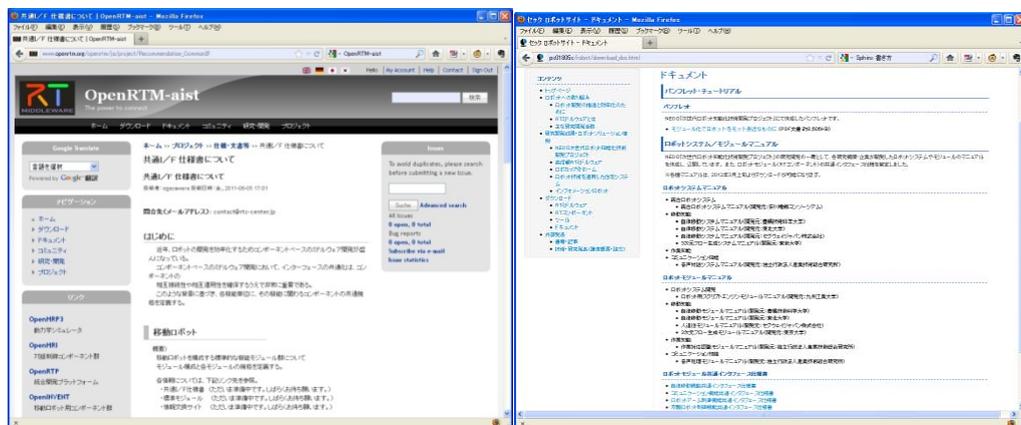


図 163 ドキュメントの公開サイト

(c) オープンソースライセンスの知能モジュール群の特許侵害調査

本プロジェクト内で開発されたオープンソースの知能モジュール群について、その再利用を促進するために、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の一部について、特許侵害調査を実施した。これは、当初の実施計画には含まれなかったがオープンソースライセンスの知能モジュールを広く再利用し、産業化を促進するために、平成 23 年に実施した。

本調査は、知能モジュール群で用いているアルゴリズム等に関して、日本、米国、

欧州を中心に既存の第三者特許に関する権利侵害の可能性を調査したものである。この調査の対象としては、RTC 再利用技術研究センターにおいて実施した統合検証システムで用いた移動知能モジュール群とコミュニケーション知能モジュール群の中でもオープンソースライセンスによって開発されたものに限定をした。対象としたプログラムを特徴づける技術内容（技術仕様）について、既存の国内、米国の特許について、権利侵害の可能性を技術仕様との関連性の度合として捉え、ランク分けを行い、傾向分析を実施した。

また、この調査の目的は、オープンソースで開発された知能モジュール群が広く利用されるために、そのプログラムで利用されている技術が、すでに登録または出願済の特許又は実用新案の権利侵害可能性を明らかにすることとした。このような侵害予防調査では、知財ビジネスでいう製品化前調査、サービス実施前調査と同様であり、プログラム仕様と第三者特許を対比して比較・分析する手法が適用でき、一般にはクレームチャート分析、関連性評価等といわれている。しかし、本調査に当たって、調査対象となる技術仕様書は製品販売前の製品仕様や実施前のサービス仕様として記載することが困難であったため、仕様規定を包括的に記載したものを使用した。したがって、このような場合の侵害予防調査では、上記のクレームチャート分析をベースに、関連性の評価ランクの設定を工夫し、関連性の高い特許を包括的な判断によって抽出する必要がある。関連性には、一致/類似性、包含性、基本性等が含まれる。

この調査では、大きくは3ランク（その上位、下位に3ランクを設定）での絶対評価を行い、個々に評価の観点や対比コメントを付すことによる分析を行った。

移動知能モジュールに関する技術的な特徴は以下のように整理した。

表 29 移動知能モジュールに関する技術的な特徴

	技術区分	技術要素	主なキーワード
自己位置推定	オドメトリ	既知の初期位置から移動車輪の単位時間当たりの回転角を積算して位置を算定	移動車輪ロボット 移動ロボット
	天井画像マッチング	<ul style="list-style-type: none"> ● 移動範囲全体にわたる天井画像（蛍光灯の配置パターンを利用）を地図とする ● 広角レンズ撮影画像と地図を比較（テンプレートマッチング） 	天井画像 蛍光灯配置 広角レンズ撮影画像 テンプレートマッチング

		<ul style="list-style-type: none"> ● 並進移動と回転移動を推定 	併進移動、回転移動
	<p>LRF 距離データを用いた自己位置推定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 距離センサにて周囲の障害物までの距離を測定 ● 占有格子地図のどこの地点にいるかを推定 ● 事後確率最大化またはベイズ推定 	<p>測距センサ、LRF</p> <p>占有格子地図</p> <p>モンテカルロ位置推定 (パーティクルフィルタ)</p>
経路計画	<p>所与の経路地図で、現在位置から目的地までの二次元の地図上で移動すべき最短経路をダイクストラ法により検索</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 経路地図の表現形式 ● 最短経路の検索方式 	<p>経路地図</p> <p>最短経路の検索</p> <p>ダイクストラ法</p>
経路追従	経路の追従制御	直進移動とその場回転の組み合わせ移動	<p>直進移動</p> <p>その場回転</p>
障害物検知	ある高さの二次元平面上を測域センサでスキャン	<ul style="list-style-type: none"> ● 二次元平面 ● 測域センサでスキャン 	<p>二次元平面</p> <p>測域センサスキャン</p>
	ロボットの中心座標及び位置を計算	中心座標及び位置計算	位置計算
	ロボットの中心から一定距離以内の円筒物体を障害物として検知	自己中心から一定距離内の障害物検知	中心から一定距離内円筒物体
障害物回避	ロボット移動系のキネマティクスから、所定の加速度・角加速度の範囲内で停止可能か否かを判断	キネマティクス (時間経過に伴う空間的なロボットの運動 (変位) 利用	キネマティクス 停止可能性判断

	障害物と衝突せず、かつ当初の目標速度に近い移動速度を出力	<ul style="list-style-type: none"> ● 回避優先では移動速度を維持しつつ回避経路を生成 	障害物回避 回避優先 減速優先
	回避経路の生成では、回避優先か減速優先かいずれかを選択可能	<ul style="list-style-type: none"> ● 減速優先では角度を維持しつつ減速する動作生成 	

また、コミュニケーション知能モジュールに関する技術的な特徴は以下のように整理した。

表 30 コミュニケーション知能モジュールに関する技術的な特徴

	技術区分	技術要素	主なキーワード
システム系	ネットワーク分散コンポーネント技術による音声入力・音声認識・対話処理システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 音声入力・音声認識・対話処理システムがコンポーネント化 ● ネットワーク上の複数 PC で処理分散 ● ロボット依存 	コンポーネント、ネットワーク、分散処理
音声認識系	HMM による音響モデルを用いた音声認識システム	HMM と有限状態オートマトンによる記述文法	HMM、有限状態オートマトン、音響モデル、記述文法
	単語信頼度を算出する音声認識システム	2 パス探索アルゴリズムによる単語信頼度を計算	2 パス探索アルゴリズム、単語信頼度
音声認識・対話系	GMM を用いた音声区間検出処理、デコーダベースの音声区間検出処理		GMM、デコーダベース音声区間検出
	認識文法を動的に切り替える音声認識・対話処理システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 対話処理で有限状態オートマトンによる文脈管理情報を生成 ● 音声認識文法の切り替え 	有限状態オートマトン、文脈管理、認識文法切り替え

		<ul style="list-style-type: none"> ● ロボット依存 	
	音声認識の第一候補だけでなく第2候補以降を利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 第2候補以降選択 ● ロボット依存 	単語信頼度を用いた対話処理
入力フィルタリング系	適応フィルタによるエコーキャンセル処理	雑音低減処理	適応フィルタ エコーキャンセル処理
	MMSE-STSA 法に基づく雑音低減処理	雑音低減処理	MMSE-STSA 法 雑音低減処理
	SRP-PHAT 法に基づくマイクロホンアレイを用いた音源定位処理	マイクロホンアレイを用いた音源定位	SRP-PHAT 法 音源定位処理
	音線の位相差を用いた雑音抑制処理	<ul style="list-style-type: none"> ● 音源定位結果に基づくマイクロホンアレイの各マイクに入力される音線信号処理 ● 明瞭な音声信号抽出 ● ロボット依存 	位相差、雑音抑制処理

この調査では、下記の結果が得られた。

移動知能モジュールに関して、調査母集団の選定・抽出は、技術仕様書を精査し、技術的なポイントに合致する特許を検索できる特許分類（IPC、FI、F ターム、OSPC）とプロダクトの特性を示すキーワードの組み合わせによって行った。

その結果、国内特許 1657 件、米国特許 1325 件、計 2982 件を抽出し、技術仕様書との対比調査をおこない、一次スクリーニングで 130 件、二次スクリーニングで 35 件を抽出し、その特許の請求項と技術仕様書の関連性について詳細調査をおこなった。

関連性が高いと評価された（評価 4～5）公報の出願人傾向、出願の年次推移を調査した。

また、コミュニケーション知能モジュール群に関しては、調査母集団の選定・抽出は、技術仕様書を精査し、技術的なポイントに合致する特許を検索できる特許分類（IPC、FI、F ターム、USPC）と産総研プロダクトの特性を示すキーワード

の組み合わせによって行った。

その結果、調査母集団として国内特許 1219 件、米国特許 1294 件、計 2513 件を抽出し、技術仕様書との対比調査を行った。さらに、1 次スクリーニングで 194 件、2 次スクリーニングで 20 件を抽出し、その特許の請求項と技術仕様書の関連性について詳細調査を行った。

関連性が高いと評価された（評価 4～5）公報の出願人傾向、出願の年次推移を調査した。

今回の調査では、さらに以下のような課題が残されている。関連性に関しては、今回はプログラム全体の基本仕様、概念設計仕様のレベルで対比した。今後、侵害可能性を事前に把握するには、今回提示された各技術項目について、場合によってはクレームチャート等の手法を使った詳細な検討が必要となる。

今回の調査では、外国特許として主に米国特許に絞った調査を行った。今後、侵害予防の観点からは、欧州をはじめ、中国や韓国への出願特許調査をも考慮する必要がある。

近年、新製品の販売開始を機に、パテントトロールといわれる企業が、製品に関する基本特許の保有を主張するケースが増えている。この傾向から、予防措置としてこの種の調査は、技術の産業界への普及の促進する作用が期待され、継続的な調査が必要となる。

この調査の詳細に関しては、各知能モジュール群の公開サイトに公開した。

3.1.3 結び

本研究開発では、次世代ロボットシステム開発に必要な作業、移動、コミュニケーションを行うための知的機能を共通部品化し、それを組み合わせることさまざまなタイプのロボットシステムを効率的かつ低コストで実現しうるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発を行った。開発したロボット知能ソフトウェアプラットフォームは、主に、様々なロボット知能化技術を RT コンポーネントとしてモジュール化し、これらを統合して次世代ロボットシステムのシステム設計、シミュレーション、動作生成、シナリオ生成を効率よく実施するためのツール群、開発した知能モジュール群を多種多様な実行環境で動作させるためのミドルウェアから構成されている。このロボット知能ソフトウェアプラットフォームは、プロジェクトの他の研究機関で開発される知能モジュール群の基盤となるため、プロジェクトの前半において知能モジュール開発に必要な機能の実装を行い、プロジェクト内の他の研究機関への提供する必要性があったため、本研究開発においては、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む検証ロボットシステム開発を、ソフトウェアプラットフォームのツール群の開発と並行して実施することで、より使いやすく安定したツール群に開発を実現することができた。また、ここで開発を実施した検証用知能モジュール群は、

そのほとんどをオープンソースライセンスで開発を実施することで、ソフトウェアプラットフォームの機能検証のみならず、他の研究項目で開発されている知能モジュール群との共通のインタフェースを実装していたため、研究開発が終了したプロジェクトの後半でも他の研究項目において活用され続けていた。

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに関しては、プロジェクト前半において知能モジュール群を開発するための基本ツール群をほぼ完成することができ他の研究項目で活用されてきた。また、プロジェクト後半においては、プロジェクト内の他の研究実施機関からの要求に応じて、当初の実施計画に含まれないツール群の研究開発や統合システムのためのプラットフォーム開発を実施し、プロジェクト全体の進行と社会環境の推移にしたがって出てきた双腕ロボットプラットフォームの開発や高信頼 RT ミドルウェア、組込機器対応の RT ミドルウェア研究開発等を実施した。このようにプロジェクトの各研究開発項目の開発状況に応じて柔軟に研究開発項目の追加の実施を行うことで、より充実したソフトウェア開発基盤を実現することができた。

本事業における基本計画における最終目標は、以下の通りであった。

- ① 次世代ロボットシステムの応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて効率よく実施できること。
- ② 本プロジェクトで開発される、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールのすべてが、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること。
- ③ 次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること。

本事業で行ったロボット知能ソフトウェアプラットフォームのツール群および検証用知能モジュールの研究開発等の成果より、上記の最終目標は達成できたと考えられる。

また、基本計画にはなかったが、プロジェクト内で開発された知能モジュール群の再利用、普及を促進するための活動の一環として、プロジェクト内で開発されたオープンソースの知能モジュール群についてその開発者と RTC 再利用技術研究センター等の機関と共同して知能モジュールに関するマニュアル、解説等のドキュメント作成整備や特許侵害の調査を実施した。これらは、今後、プロジェクトの成果を広く普及させるための重要な成果であると考えられる。

3.2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

【実施者：(独)産業技術総合研究所、富士ソフト株】

1) 研究開発の概要

我が国では、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザ産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有するとともに、生産現場においても、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働している等、自他ともに認める「ロボット大国」といえる。しかし、その技術開発は、垂直型の開発として行われており、各研究室・メーカーの中に閉じられたものとなっている。その各研究室・メーカーに蓄積された基盤的なロボット技術（RT）を活用・高度化することにより、これらの諸課題を解決することが期待されている。

この蓄積された技術を、RTミドルウェアを用いた共通基盤となる開発環境にてロボット機能の部品化（モジュール化）を行い、部品化された知能モジュールを蓄積・管理し、又組み合わせ情報等を提供することにより知能モジュールの普及・促進を図る再利用化推進体系を構築する必要がある。

本プロジェクトでは、知能モジュールの再利用性向上を実現するため、以下の研究開発を行う。

(1) ロボット知能モジュールの開発体制の整備

研究開発項目②から⑦の各研究体（以下「各研究体」という。）の知能モジュール開発工程において、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備しつつ、再利用性の高い高品質ソフトウェア群を開発するための手法を確立する。

(2) ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

2) 研究開発の目標

(1) ロボット知能モジュールの開発体制の整備

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

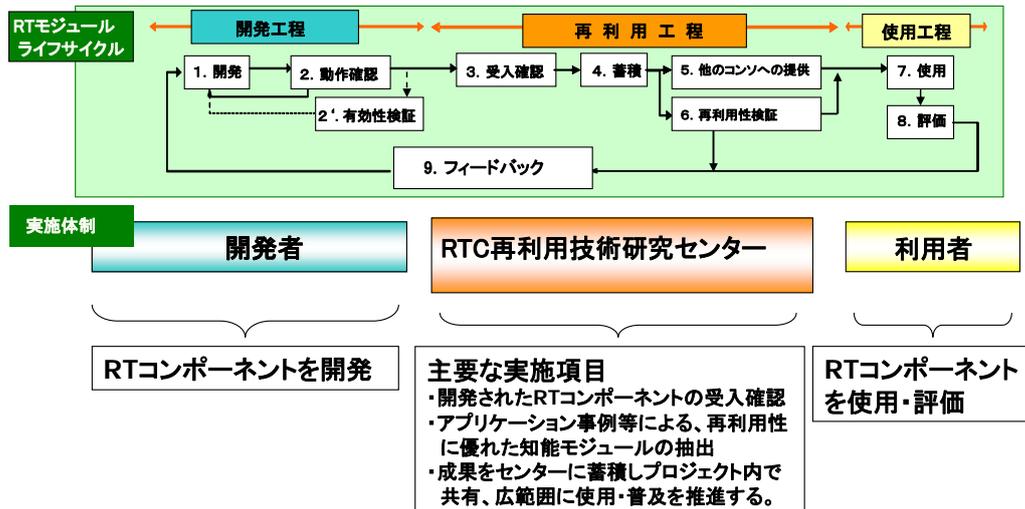


図 1 知能モジュール・ライフサイクル

また知能モジュール開発工程において、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備しつつ、再利用性の高い高品質ソフトウェア群を開発するための手法を確立する。

(2) ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

3) 研究開発の成果

(1) 目標の達成度

1 ロボット知能モジュールの開発体制の整備

- 蓄積・提供

知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用 Web システム」を H21 年 11 月に開設。プロジェクト終了の H24 年 2 月までに合計 362 件の知能モジュールの登録が行われた。

- 全件検証

既存のロボットを再利用性試験プラットフォーム（図 2-図 5）として導入を行ない、動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの策定を行い、H22 年 7 月から運用を開始。以後プロジェクト内の実施者から登録された全件のモジュールについて受入確認/動作確認を実施。H24 年 2 月に全 362 件が終了した。



図 2 知能モジュール検証用リファレンスハードウェア



図 3 搭乗型移動ロボット



図 4 RTC-CANopen リファレンスロボット



図 5 汎用ロボット PA10

- 開発手法

ロボットシステム開発の一例として開発対象を小さな機能に分割し、1つの機能を反復と呼ばれる短い期間単位で1つの機能を開発し、その反復のサイクルを継続して機能を追加開発していくような開発モデルであるアジャイル型のソフトウェア開発モデルを適用・実践し、合計4回の有効性・再利用性の検証を行った。その成果として各反復におけるソース、ドキュメント、ガイドライン等はプロジェクト内に随時公開。大学を中心とした研究体に波及し、モジュールの再利用性及び品質の向上に貢献した。

上記の通り開発手法、検証・蓄積方法の確立。当初の目的であった、RTC 再利用技術研究センターを介して開発者、利用者間の情報提供・交換が活発に行われたことにより、「知能モジュール・ライフサイクル」の構築が実現し、目標を目的を達成したとの認識である。

2 ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

統合検証に適用したモジュールについて、その評価・要望を各研究体にフィードバックを実施。また統合検証における全てのドキュメント・プログラムについて、「再利用Webシステム」に併設する形で公開サイトを開設し、プロジェクト内部向けに随時公開した。最終版については外部公開サイトにも登録、公開。複数の研究機関のモジュールを使用する上での雛形的なロボットサービスとして、プロジェクトの内外において知能モジュール再利用・相互利用が行われ、目標を達成したとの認識である。

来訪者受付システム

来訪者受付システム
 投稿者:ogawara 投稿日時:2011-06-10 11:40

問合せ(メールアドレス):trinion@rsl.co.jp

概要
 来訪者の入館・退館における受付業務を定としたサービスを行うものとする。
 このシステムで行われるサービス内容は、表「サービス一覧」に添字サービスに分類されておりサービス種及び、サービス種での動作も可能とする。

【サービス一覧】

No	名称	サービス内容
1	受付	訪問者の検知、検察操作による自動ロボットの検出、担当者への連絡を行う。
2	給仕	来訪者に飲み物も提供する
3	案内	飲み終わった空き容器的回収・案内を行う
4	管理	上記のサービスの状態管理や来訪者の入館・退館管理及び、各端末・ロボットの状態管理を行う。

Download
 Ver 1.0
 Ver 0.5

ライセンス
 各モジュールのライセンス説明に準拠します。

連絡先
 富士ソフト株式会社 ロボット事業グループ 商品開発ユニット
 E-Mail :trinion@rsl.co.jp

注意事項・免責事項
 ・本サイトのコンテンツをご利用される場合には、以下の記載事項・条件にご同意いただいたものとします。
 ・利用者がコンテンツを利用することにより生じたいかなる損害についても一切責任を負いません。
 ・コンテンツの変更、削除等は、原則として利用者への手配なしに行います。
 ・また、本サイトを無断に複製したり、コンテンツの公開を中断あるいは中止させたことにより損害が生じても一切責任を負いません。
 ・コンテンツの情報の変更、削除、公開の申請、中止により、利用者にご迷惑が生じたいかなる損害についても一切責任を負いません。

謝辞
 本システムは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)次世代ロボット技術化推進開発プロジェクトの一環として開発されたことを記し、ここに感謝の意を表する。

NEDO-07C1

図 6 統合検証成果「来訪者受付システム」公開ページ

3 一般公開用 Web システムの構築（加速案件）

本プロジェクト全体で開発されてきた多くの知能モジュールや、インターフェース定義、ノウハウ、ドキュメント等を集積し、共有し、一般向けに公開するための Web システムの整備・構築を行い、平成 23 年 7 月 27 日に一般公開した。また「RTC 再利用 Web システム」上に登録されている動作可能なモジュール（ドキュメントを含む）231 件を公開可能な状態にし、本目標を達成した。

URL : <http://openrtm.org/openrtm/ja/content/プロジェクト-0>

The screenshot shows the 'Project' page on the OpenRTM website. At the top, there is a navigation bar with 'ホーム >> プロジェクト' and a 'プロジェクト' header. Below the header, there is a paragraph explaining the project's goal and a list of four categories: RT components, RT middleware, tools, and related documents. A registration form follows, asking for a name, affiliation, email, and a confirmation to create a project. Below the form are links for 'Project creation manual' and 'New project creation'. The main content area is titled '推奨コンポーネント群' and contains four sections: 'RTコンポーネント', 'RTミドルウェア', 'ツール', and '仕様・文書等'. Each section has a brief description, a '詳細検索' link, and an icon. At the bottom right, there are social media sharing icons for 'Share / Save'.

図 7 一般公開 Web システム

4 特徴ベース物体認識に基づく日用品等のハンドリング（加速案件）

日用品把持のための画像認識モジュールとして、軽量かつロバストなバーコード認識、文字認識、テンプレートマッチングによる物体の認識機能を実装した。また、ロボットに把持物体の把持位置とアプローチ方向を指示するコンポーネントを開発した。これらのコンポーネントは、プロジェクト内において策定された共通カメラインタフェースに対応させ、オープンソースで構成しており、以下のサイトにおいて公開した。

URL : http://robotics.naist.jp/nedo_project/index.php

また、双腕ロボットプラットフォーム上に作業知能を統合した日用品等のハンドリングに関しては、奈良先端大、阪大、東京理科大、筑波大と連携しながら 2011 国際ロボット展にてデモンストレーションを行った。以上により、日用品等のハンドリングの高度化のためのオープンソースソフトウェアとしての作業知能の開発という目標を達成した。

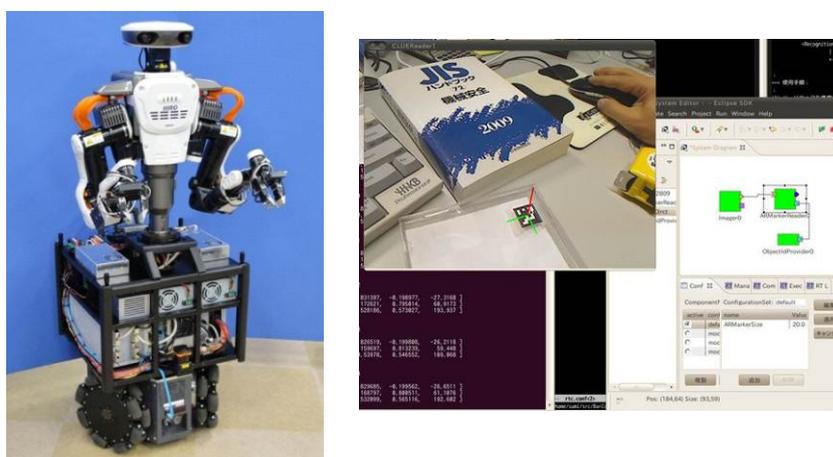


図 8 双腕ロボットプラットフォーム（左）と日用品把持のための画像処理モジュールの認識結果例（右）

(2) 成果の意義

- 各研究体から登録された 362 件の知能モジュールについては、「再利用 Web システム」を通じて相互利用が行われ、プロジェクト全体として多くの開発時間の削減による効率化が実現できた。
- 「再利用 Web システム」に登録された全てのモジュールについて受入確認試験、動作確認試験の二段階で試験の実施を行った。受入確認試験については、登録されたモジュールのダウンロードをし、使用（環境構築、起動、操作）するまでの手順について記載された資料が最低限揃っているか、動作確認試験については、登録されたモジュールを第三者が使おうとした時に最低限使えるレベルにあるのか否かの観点で確認を行い、NG のモジュールについては改善点を指摘した上で、当該モジュールの更新更新を随時促した。これにより大学を中心としてプロジェクト全体のソフトウェア品質の向上に貢献することができた。
- 検証を通じて蓄積したノウハウを元に作成されたドキュメント・ガイドラインをロボットシステム開発の雛形として提示することにより、第三者が知能モジュールの機能やインターフェース等を理解しやすくなり、開発者同士のコミュニケーションが取りやすくなることにより、知能モジュールについての共通認識が生まれ、ロボットシステム開発者の理解と発展に貢献することができた。

上記の通り、本プロジェクト全体で開発されてきた多くの知能モジュールや、インターフェース定義、ノウハウ、ドキュメント等はプロジェクト内において十分に有効性の確認を行った後、広く一般に公開した。これにより共通基盤として RT ミドルウェアを用いたロボット開発の効率化と、利用者の裾野のさらなる拡大が期待できる。

(3) 成果の普及

前項の通り、一般への成果物公開を実施して以降国内外において大学・研究機関を中心に徐々にユーザーが増え始め、問い合わせに随時対応している状況である。代表的な利用例は以下の通り。

① 芝浦工業大学 HRI 研究室

「来訪者受付システム」の移動機能を再利用し、RTC-CANopen リファレンスロボット (beego タイプ) を用いた郵便物受け渡しサービスを実現。

※公開 URL (RTC-CANopen リファレンスロボット)

http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID366

② 東京大学 情報システム工学研究室(JSK)

「来訪者受付システム」の OpenHRP3 シミュレータ動作環境を「RTM-ROS 相互運用プロジェクト」にて、教材としてご利用頂いた。

※公開 URL (リファレンスハードウェアシミュレータプログラム)

http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/wiki/RTM_Example_ReferenceHardwareSimulation

③ 埼玉大学 設計工学研究室

本システムをベースとした教育用のコンパクトな移動ロボットキットの開発を実施。当該キットは「RT ミドルウェアコンテスト 2011」にて数々の賞を受賞。

④ 東京都立産業技術研究センター

都内中小企業向けにサービスロボットの事業化を支援することを目的として開発されている移動ロボットベース上に本システムの移動知能 RTC 群を再利用する形で搭載し、サポートを継続的に実施中。

また③の教育用移動ロボットキットを中小企業向けの講習会に採用頂いている。

4) 実用化について

前項までに述べたとおり、検証を行った 362 件の知能モジュールを整理し、そのうち 231 件を一般公開。またそれらを使用するための雛形的なロボットサービスシステムを作成。さらにシステム構築に必要なノウハウとして共通インターフェースや RTC 開発ガイドラインを整備し、こちらも一般公開を行っている。

公開された広範囲の知能モジュールの利用ニーズとしては、主に研究用途で大学・研究機関による利用が大半であるが、公的機関を通じて中小企業に紹介や講習会を行うなど、利用者の裾野の拡大に努めている。

5) まとめ

本研究では、開発された知能モジュールの再利用性向上を目的として、知能モジュールの開発と検証試験、知能モジュールの蓄積・提供、普及促進、知能モジュール評価結果の開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の構築を目指し、本プロジェクト内においては十分に達成できたものと考えている。

なお、本プロジェクトにおいて、各研究機関が開発し、登録された合計 362 件のうち、231 件のモジュールを平成 23 年 7 月 27 日に一般公開を行い、以降国内外において大学・研究機関を中心に徐々にユーザーが増え始めている状況である。

また本プロジェクトに参画する企業・大学・研究機関の中で議論し、策定された知能モジュール共通インターフェースも平成 24 年 2 月 24 日に一般公開された。これにより開発者が共通インターフェースに準拠したモジュールを開発することで、既存の知能モジュールとの相互接続性が確保され、ロボットシステムの開発が容易になることが大いに期待できる。

3.3.1. 作業知能（生産分野）の研究開発

3.3.1.1. IDEC 編

3.3.1.1.1. はじめに

基本計画に則り、生産設備の稼働状況に着目し、生産設備の停止時間を極力短縮するアプローチとして取り組んでおり、そのコンセプトは次のとおりとなる。

図1に生産現場での工程フローについて、(X)従来のロボットセル生産システムと、(Z)今回開発する世界標準を目指したロボットセル生産システムの比較を示す。横軸は時間と生産に関わる各種のイベントを示しており、図1は生産設備の設計、立ち上げから始まり、設備が稼働すると単位時間当たりの生産量と稼働時間の積に応じて、生産量が増加する様子を示している。異常・故障や工程切り替え（いわゆる段取り替え）などのイベントが発生すると、復旧処理が終了して再稼働するまで設備は停止し、単位時間当たりの生産量はゼロとなる。

製品の競争力を強化するには、製品単価を低減することが有効な手段であり、そのためには、いかに効率よくものづくりをするのかという視点が重要であり、特に異なる複数の製品を生産するようなシステムでは、工程切り替え時間等の短縮が最も重要となる。簡単に言えば、図1(X)の停止時間を極力短くし、(Z)のような生産設備の稼働時間を増やせば良い。

非稼働つまり設備停止の原因は、設備設計、立ち上げ、移設、異常・故障処理、メンテナンス、工程切り替え、改良設計、人身事故の8つに区分され、図1では、それぞれ ΔT_n または $\Delta T'_n$ ($n=1\sim 8$)の記号で関連付けている。

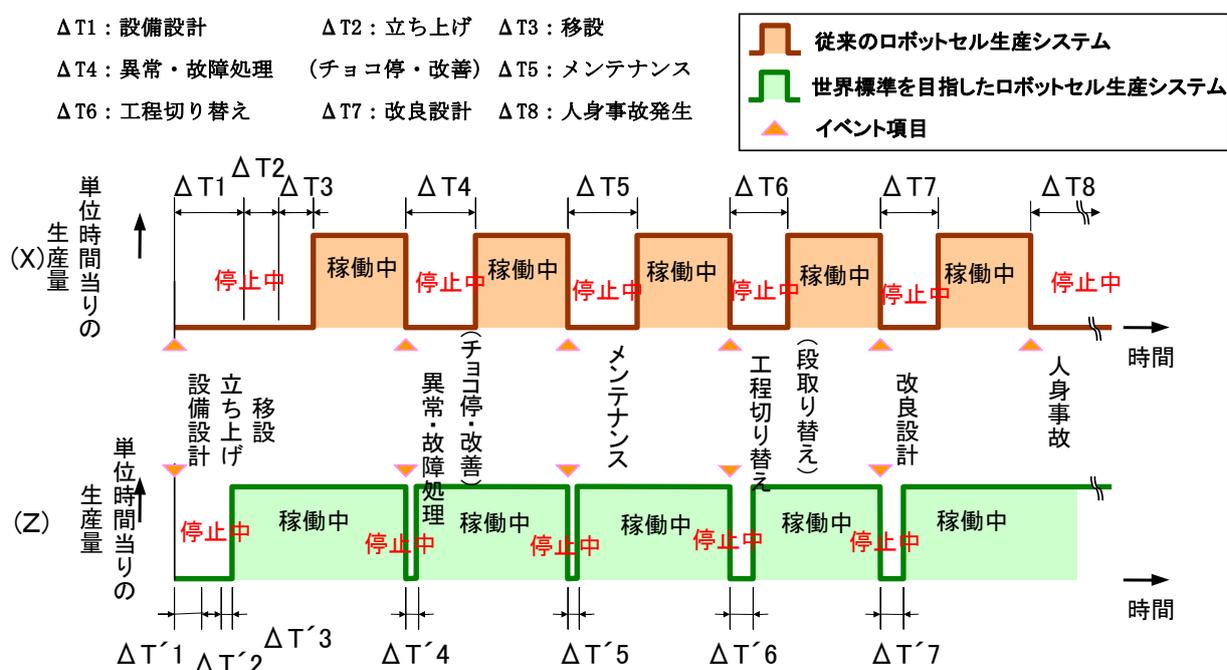


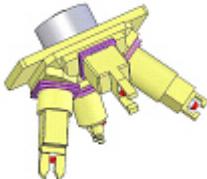
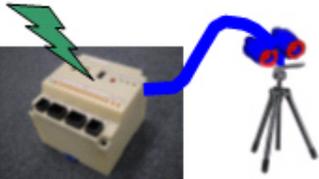
図1 生産現場での工程フローにおける生産効率を阻害するイベントとその改善

これまでも、この生産設備停止時間短縮の観点から要素技術開発を実施してきており、これらロボット制御セル生産システムの豊富な稼働経験と絶え間ない技術開発をベースとして、図1に示す生産現場での工程フローにおける生産効率の阻害要因となる作業時間： $\Delta T_2\sim T_8$ を極力短縮する、あるいは抹消することを狙いとして、基本計画の達成目標を実現すべく研究開発テーマを推進する。

3.3.1.1.2. 開発した知能デバイス

続いて、IDECが開発したハードウェアである4つの知能デバイスを表1に示し、それら知能デバイスについて具体的に説明する。

表1 研究開発する知能デバイス群の名称・概略説明と外形イメージ

	名称・概略説明	外形イメージ
A・知能ハンドデバイス群	a1) 組立知能ハンドデバイス 指の間に眼(カメラ)を搭載し、指が部品を掴む直前の状況を撮影できる。その映像から部品のズレを検出して手に搭載したアクチュエータで(手が独自に)部品との位置を自動補正する。	
	a2) 自動復帰知能ハンドデバイス 組立知能ハンドデバイスで部品を掴めない時など、チョコ停が発生した時に、自動復帰知能ハンドデバイスが、搭載したカメラの映像で状況を判断し、自動復帰を実現する。	
B・マニピュラ作業激減知能デバイス群	b1) 無線操作知能デバイス 本研究で使用する3種類のカメラのモニタ役を務める。ティーチング作業時は、タッチパネルで画面上に写った部品と指先を選択して部品座標の自動補正を行う。	
	b2) 画像処理知能デバイス 画像処理知能デバイスに繋がったカメラと自動復帰知能ハンドデバイスモジュールのカメラの画像処理を行い、ロボットに部品座標補正の指示を与える。3種類のカメラ画像をワイヤレス通信で無線操作知能デバイスに送る。	ワイヤレス通信 

次に、図 1 に示した本研究開発で実施する生産工程の生産設備の停止時間 $\Delta T_2 \sim \Delta T_8$ における課題とその改善点を全体が分かり易いように表 2 にまとめ、簡単に説明する。表中の従来の対応の欄の×印は、頻度は少ないが停止時間の長い項目を指し、□印は、1 回の停止時間は短いが頻度が多い項目を示している。また、本研究開発における改善点の欄の□印は、停止時間抹消に近い高い効果が見込める項目であり、○印も抹消するまでは行かないが効果のある項目を示す。

表 2 停止時間 $\Delta T_2 \sim \Delta T_8$ における課題と改善点

停止時間 ΔT_n	従来の対応	ΔT_n における課題	本研究開発における改善点	
ΔT_2 : 立ち上げ ΔT_3 : 改良設計 ※作業内容や課題が共通しているので ΔT_2 と ΔT_7 を合わせる	ロボットの位置決めティーチングにかなりの時間がかかる。	× ロボットの位置決めティーチング時間短縮を実現したい。	B. マニュアル作業激減知能デバイス群 b 1) 無線操作知能デバイス b 2) 画像処理知能デバイス A. 知能ハンドデバイス群 a 1) 組立知能ハンドデバイス 画像処理知能デバイスのカメラからの映像を無線操作知能デバイスに表示し、タッチパネルで部品の輪郭を指定することで簡単に座標設定が可能となり、さらに、組立知能ハンドデバイスの指の間に搭載したカメラで、部品との微妙な位置ズレを画像処理にて検出し、ロボットを動作させる。 このようにロボット座標を自動補正することによりティーチング時間を激減する。	○
ΔT_3 : 移設 ΔT_6 : 工程切り替え ※作業内容や課題が共通しているので ΔT_3 と ΔT_6 を合わせる。	ロボットやフレーム個体としての誤差を吸収できない。	△ ロボットやフレーム個体としての誤差をキャリブレーション機能でシステムとして吸収することでティーチング時間を短縮できないか。	A. 知能ハンドデバイス群 a 1) 組立知能ハンドデバイス ロボットにセルフキャリブレーション機能はあるが、それだけでは誤差を吸収しきれないのが現状であり、その誤差を、組立知能ハンドデバイスで完全に吸収する。 <座標再設定工数の抹消>	◎
ΔT_4 : 異常・故障処理 (チョコ停・改善)	部品の供給ミスやハンドリングミスでチョコ停が発生する。	△ 微妙な部品の位置ズレはシステムで吸収することで、それによるハンドリングミスをなくせないか。 また、軽微なチョコ停は自動復帰できないものか。	A. 知能ハンドデバイス群 a 1) 組立知能ハンドデバイス a 2) 自動復帰知能ハンドデバイス B. マニュアル作業激減知能デバイス群 b 2) 画像処理知能デバイス 微妙な部品の位置ズレは組立知能ハンドデバイスが画像処理にて検出し、ハンドに搭載されたアクチュエータを動作させ、自動補正を行い、部品の位置ズレを補正する。 部品不良等でチョコ停が発生すると、自動復帰知能ハンドデバイスが、それを自動復帰させる。 <軽微なチョコ停の抹消>	○ ◎

<p>Δ T 5 : メンテナンス</p>	<p>長時間ロボットを稼働し続けることに伴い、ロボット動作やハンドの指にズレが発生し、蓄積していく。</p>	<p>△</p>	<p>ロボット稼働で蓄積したズレ量を修正するため、定期的に座標位置を再設定しているが、この停止時間を短縮したい。</p>	<p>A. 知能ハンドデバイス群 a 1) 組立知能ハンドデバイス 組立知能ハンドデバイスの指の間に搭載したカメラで常にズレを画像処理にて検出し、指に搭載したアクチュエータにより、ハンド自身で自動補正することでズレを吸収する。 <メンテナンス時の位置ズレ再設定工数抹消></p>	<p>◎</p>
<p>Δ T 8 : 人身事故</p>	<p>ティーチング時にはイネーブルスイッチを握りながら、装置に近づいてロボットハンドと部品の位置を確認している。</p>	<p>×</p>	<p>ティーチング作業は、たとえそれが許容可能なリスクの範囲内であっても、より本質的な安全化を目指し、可能な限り危険源から離れて操作できるようにしたい。</p>	<p>B. マニュアル作業激減知能デバイス群 b 1) 無線操作知能デバイス b 2) 画像処理知能デバイス A. 知能ハンドデバイス群 a 1) 組立知能ハンドデバイス ティーチング時には、画像処理知能デバイスのカメラを従来の作業確認位置に配置し、作業者はその映像を手元の無線操作知能デバイスの画面で確認することで離れて操作でき、より本質的に安全となる。</p>	<p>○</p>

そして、図2に本研究開発で開発するデバイス群のシステム構成の概略と各停止時間 $\Delta T_2 \sim \Delta T_8$ との関係を示す。

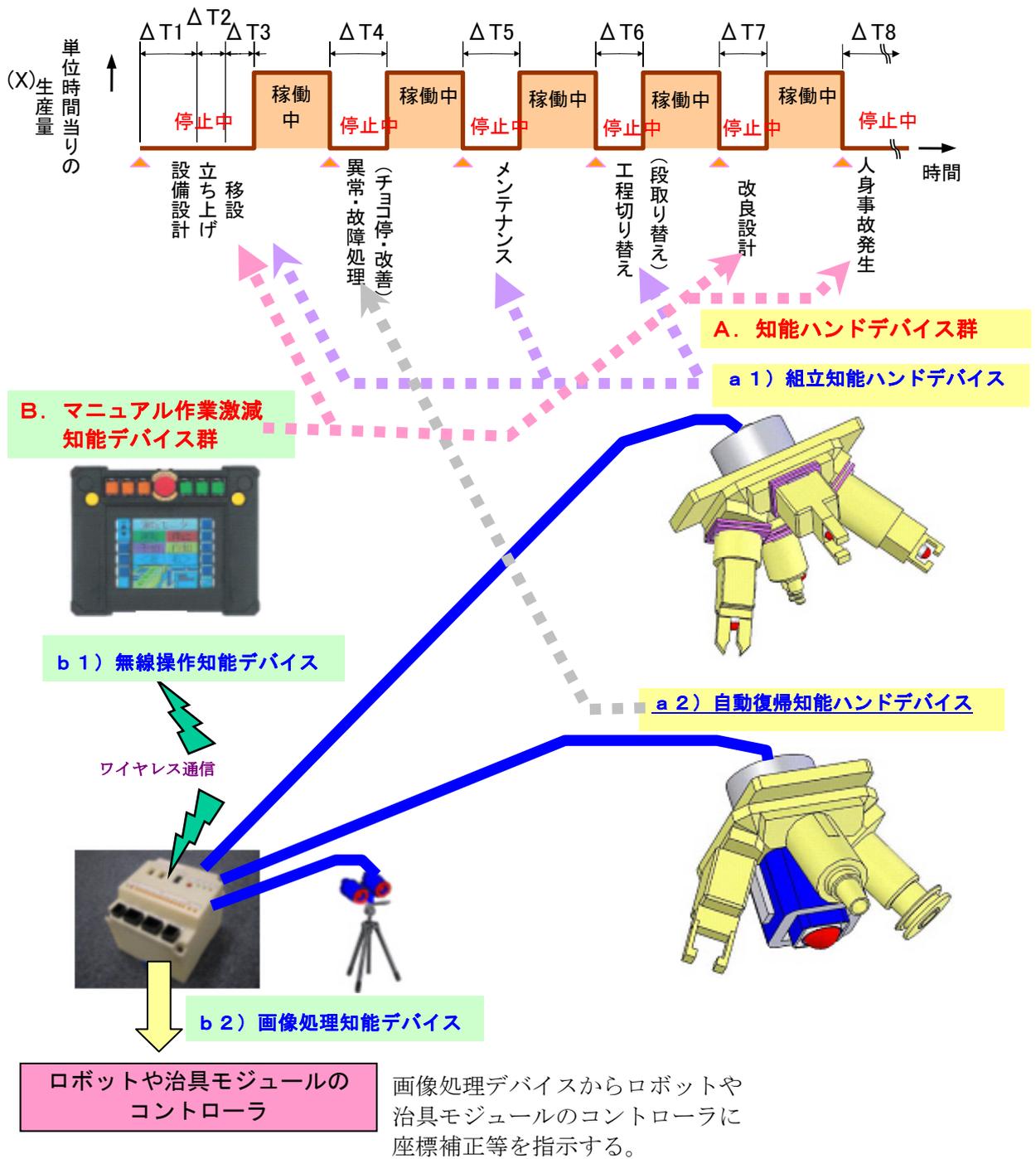


図2 概略システム構成と $\Delta T_1 \sim \Delta T_8$ との関係

開発した知能モジュール群

ハードウェアである各知能デバイスとソフトウェアとしてのRTコンポーネント（以下、RTCと示す）を組み合わせる機能させる知能モジュール群を構成する。IDECが開発した知能モジュールは図3に示した3つの項目に着目しており、具体的には、次の3つの知能モジュール群を開発した。

- (1) 教示支援知能モジュール群
- (2) チョコ停事前回避知能モジュール群
- (3) チョコ停自動復帰知能モジュール群

①「ティーチング時間の短縮」

部品トレイ上の部品の把持位置を画像処理技術にてオートティーチングを行い、ティーチング時間を短縮する。

②「チョコ停からの自動復帰」

チョコ停の状態を画像処理技術を用いて検査し、復帰動作を行うことでチョコ停から自動復帰する。

③「チョコ停の事前防止」

部品トレイ上の部品の状況を画像処理技術にて検査し、異常部品を把持しないことでチョコ停を事前防止する。

ロボット制御セル生産システムの進化

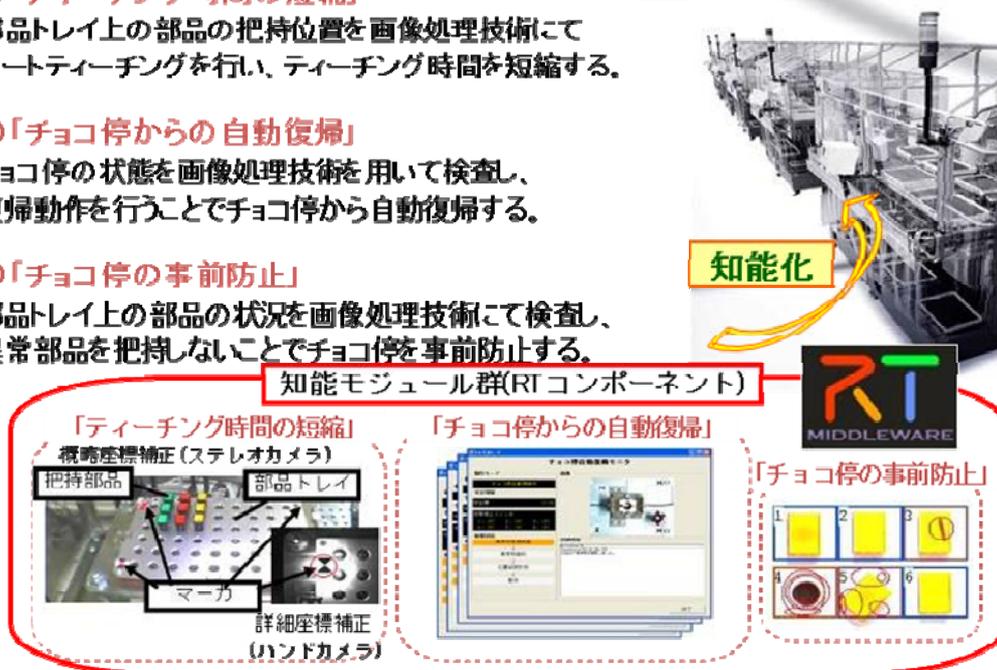


図3 開発した知能モジュール群

これら知能モジュール群を構成するIDECが開発したRTCのリストを表3に示す。

表3 開発したRTC

②作業知能(生産分野) 世界標準を目指したロボットセル生産用知能ハンドモジュール群と マニュアル作業激減知能モジュール群の開発と検証 (IDEC)		
ID:394	ace向けカメラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:307	Flea2向けカメラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:308	Flea2向けステレオカメラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:393	MCM4302向けカメラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:317	セル生産コントロールRTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:400	セル生産システムモニタRTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:327	チョコ停事前回避コントロールRTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:310	チョコ停状態検査RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:315	チョコ停自動復帰コントロールRTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:304	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:35	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:318	三菱重工製PA10ロボットコントローラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:37	三菱重工製PA10ロボットコントローラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:305	三菱電機製ロボットコントローラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:36	三菱電機製ロボットコントローラ制御RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:328	事前トレイ検査RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:314	教示支援・座標位置補正コントロールRTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:306	概略座標位置検出RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)
ID:316	詳細座標位置検出RTC	OSSで公開(ライセンス名:EPL)

そして、これらRTコンポーネントを接続して構成される知能モジュール群の接続図は、図4のようになる。

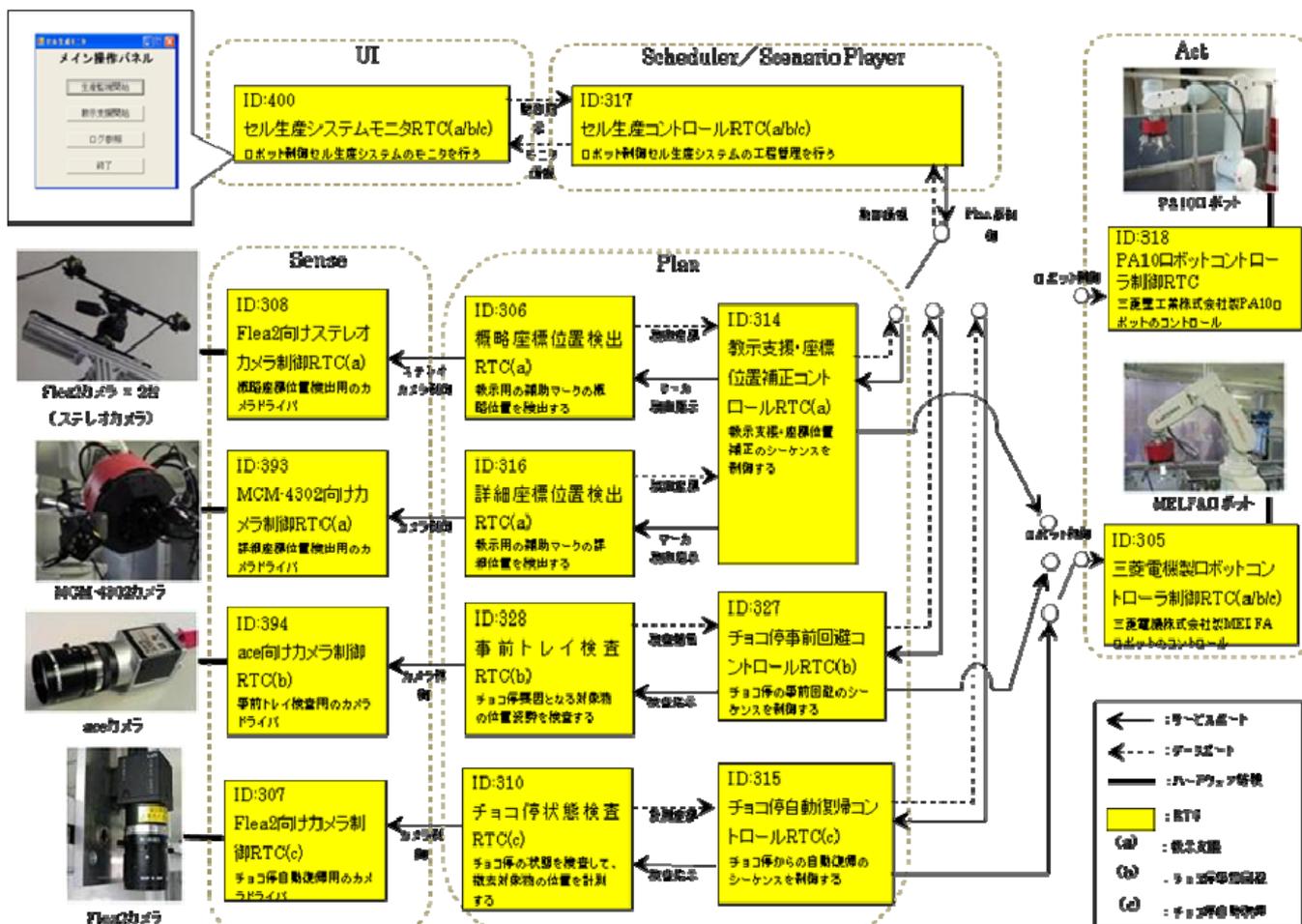


図4 知能モジュール群のRTコンポーネント接続図

3.3.1.1.3. 2層化 RTC 構造の開発

RTコンポーネント(以後、RTC)にて構成した知能モジュール群の開発を行ってきた。このプロジェクトは、ロボットシステムを構成するソフトウェア部品として、様々な RTC を広く提供することで、ロボットシステムを新たに作成する際のハードルを下げるのが目的の一つであり、RTCの再利用性が大きな課題である。

そこで我々は、RTCの再利用性、実装容易性を向上させる一つのアプローチとして、RTCの内部構造を2層に分割して開発する2層化 RTC という仕組みを考案した。ここで、考案した2層化 RTCの内容について述べる。

3.3.1.1.3.1. 2層化 RTCの概要

2層化 RTCとは、図5に示すように、RTC内部の構造を『仕様』と『実装』とに明確に分離し、個別に開発出来る仕組みを持った RTC である。『仕様』では、RTMの作法や制約、インタフェース仕様などを吸収し、『実装』では純粋なロジック部分を吸収するように分ける。例えば、カメラを制御する RTC の場合は、カメラとして共通のインタフェースなどは『仕様』で定義、実現し、カメラの専用ライブラリを用いたキャプチャ処理は『実装』側で受け持つものである。

このような構造とすることで、『仕様』や『実装』を個別に再利用しやすくなる。『仕様』部分を再利用する場合、I/Fが変わらないために他の RTCへ影響がなく、同時に RTMに関わる処理は『仕様』部分にまとめているために、『実装』部分の開発は、RTMに馴染みがなくても可能となる。また、『実装』部分を再利用すれば、プラットフォーム毎に異なる RTM への対応や、RTM 自身のバージョンアップ対応などは『仕様』の変更だけで対応することが出来る。

また、RTC 内部を『仕様』と『実装』とに明確に分割しているために、変更時の影響範囲やテストで機能毎に考慮すべき範囲が狭くなり、保守性・信頼性の面でも効果的である。



図 5 2層化 RTC の構造

3.3.1.1.3.2. 2層化 RTC の種類

2層化 RTC は、『仕様』と『実装』の分離パターンによって、デバイス制御型 2層化 RTC、状態遷移型 2層化 RTC、画面遷移型 2層化 RTC の 3種類に分けられる。これは、RTC をその役割に応じて「Sense」「Plan」「Act」「GUI」に分類し、それぞれの役割に応じた『仕様』と『実装』の分離パターンの検討結果から導き出したものである。RTC の役割とその内容を表 4 に、2層化 RTC のパターンと RTC の役割の対応を図 6 に示す。

まずデバイス制御型 2層化 RTC とは、レーザレンジセンサやカメラなどのセンシングデバイスを制御する「Sense」系 RTC およびロボットやアクチュエータのような実働デバイスを制御する「Act」系 RTC へ適用する分割パターンである。機能が同じで、デバイス毎・メーカ毎に異なるインタフェースを共通化し、共通部分を容易に再利用出来る構成とした 2層化 RTC である。

次に状態遷移型 2層化 RTC とは、システム動作の内容を状態遷移表で記述し、容易に動作を変更できるようにした 2層化 RTC である。

最後に画面遷移型 2層化 RTC とは、「GUI」系 RTC の画面の遷移を画面遷移表と呼ぶ状態遷移表のような形式で記述し、容易に画面遷移を変更できるようにした 2層化 RTC である。

表 4 RTC の分類とその役割

分類	役割	例
「Sense」	カメラ制御やセンサなど、外界情報を取り込む。	ace 向けカメラ制御 RTC 等
「Act」	アクチュエータなどにより外界に働きかける。	三菱電機製ロボット コントローラ制御 RTC 等
「Plan」	動作計画を行う。	セル生産コントロール RTC 等
「GUI」	UI として情報の提示や操作受付を行う。	セル生産システムモニタ RTC 等

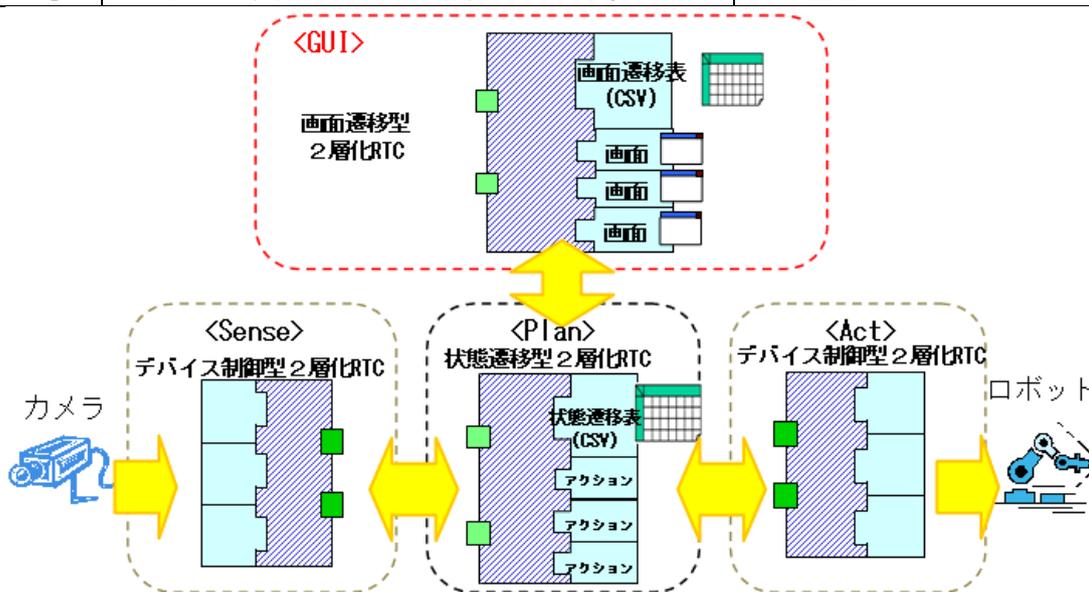


図 6 2層化 RTC の種類

我々は、図 6 で示した各 RTC に 2 層化 RTC を適用し、再利用性・実装容易性の向上を実現してきた。表 5 に開発した RTC と 2 層化 RTC の対応を示す。

表-5 開発した RTC 群と 2 層化 RTC の対応

2 層化 RTC パターン	RTC の分類	適用 RTC
デバイス制御型 2 層化 RTC	「Sense」	Flea2 向けステレオカメラ制御 Flea2 向けカメラ制御 MCM-4302 向けカメラ制御 ace 向けカメラ制御
	「Act」	三菱電機製ロボットコントローラ制御 PA10 ロボットコントローラ制御
状態遷移型 2 層化 RTC	「Plan」	セル生産コントロール 教示支援・座標位置補正コントロール 概略座標位置検出 詳細座標位置検出 チョコ停事前回避コントロール 事前トレイ検査 チョコ停自動復帰コントロール チョコ停状態検査
画面遷移型 2 層化 RTC	「GUI」	セル生産システムモニタ

3.3.1.1.4. 検証システム

今まで紹介したハードウェアである智能デバイスとソフトウェアである智能モジュール群を弊社滝野事業所で実際に稼働しているロボット制御セル生産システムと同等のスイッチコンタクト組立て生産システムに導入し、図 7 の検証システムを立ち上げた。

実稼働の生産システムに研究成果を導入することにより、実用性があり、ロバスト性の高いロボット制御セル生産システムであることを確認し、知能化ロボットの実証実験の集大成となった。

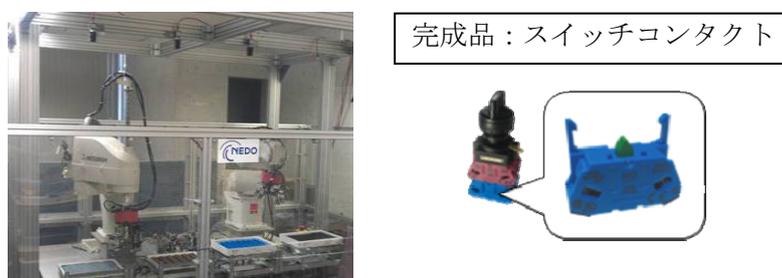


図 7 検証システム全景

3.3.2.4.1. ハードウェア構成

検証システムのハードウェア構成を図 8 に示し、その一覧表が表 6 である。本検証システムは、2 台のロボットの協調動作によるロボット制御セル生産システムへ各種知能化モジュールを追加したものである。

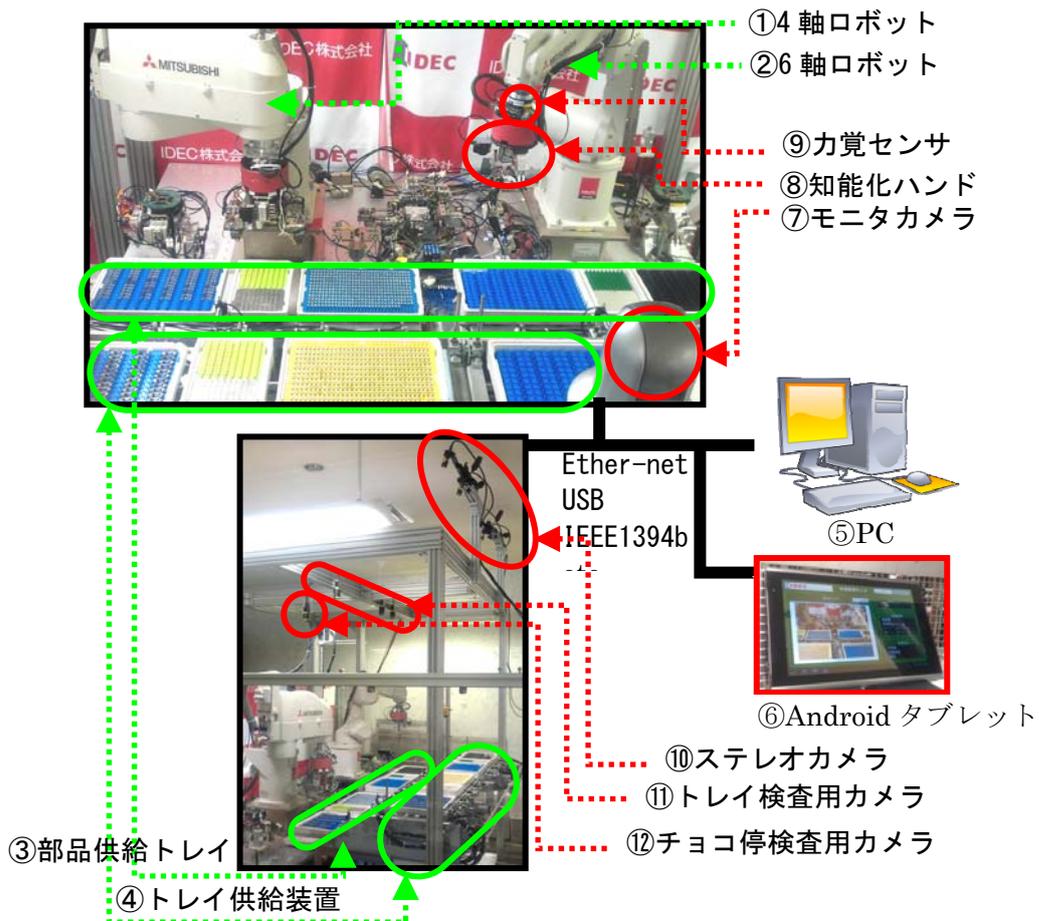


図 8 検証システムのハードウェア構成

表 6 検証システムのハードウェア一覧

No	項目名	備考
①	4 軸ロボット	三菱電機製の 4 軸直交型ロボット。 <型番> RV-12SH
②	6 軸ロボット	三菱電機製の 6 軸関節型ロボット。 <型番> RV-6SQ
③	部品供給トレイ	ワークを種類毎に整列して並べたトレイ。ロボットはここから各ワークを把持し、組立した後、再び所定のトレイへ完成品を戻す。
④	トレイ供給装置	③部品供給トレイが空になった場合に、新しい部品供給トレイを自動的に供給する装置。
⑤	PC	知能化モジュール群や画像処理ソフトなどを制御するための PC。
⑥	Android タブレット	生産状態や各種知能化モジュール群の動作内容をモニタするための表示端末。詳細は「Android タブレット版セル生産システムモニタ」を参照。
⑦	モニタカメラ	システムの動作を、⑤PC や⑥Android タブレットでリアルタイム監視するためのネットワークカメラ (図 9)。遠隔操作によるパン・チルトが可能。
⑧	知能化ハンド	組立生産用に準備されたハンドとは別に、各種知能化モジュール群の機能を実現するためのハンドモジュール (図 10)。 [ハンドカメラ] 教示支援知能モジュール群の詳細座標補正機能で、マーカーなどの位置計測をするカメラ。詳細は「3.3.1.1.5 教示支援知能モジュール群の開発」を参照。 [撤去チャック] [撤去バキューム] チョコ停自動復帰知能モジュール群の異物撤去機能で、対象物に合わせた撤去を行うための指先。撤去チャックでは把持、撤去バキュームでは吸い付きにより撤去を行う。
⑨	力覚センサ	教示支援知能モジュール群で使用。
⑩	ステレオカメラ	詳細は「3.3.1.1.5 教示支援知能モジュール群の開発」を参照。
⑪	トレイ検査カメラ	チョコ停事前回避知能モジュール群で使用。 詳細は「チョコ停事前回避知能モジュール群の開発」を参照。
⑫	チョコ停検査カメラ	チョコ停自動復帰知能モジュール群で使用。 詳細は「チョコ停事前回避知能モジュール群の開発」を参照。



図 9 モニタカメラ

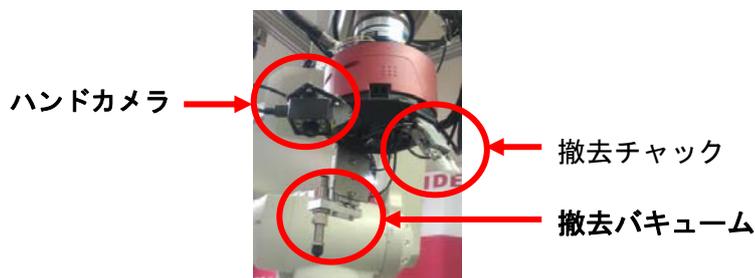


図 10 知能化ハンド

3.3.2.4.2. ソフトウェア構成

図 11 に検証システムのソフトウェア構成を示す。

通常の生産動作は、ロボットコントローラのロボットプログラムと PLC のラダープログラムの連携により実現する。一方、各種知能モジュール群の教示支援やチョコ停対応に関する動作は、PC の各 RT コンポーネントとロボットコントローラのロボットプログラムとの連携により実現している。

教示支援／チョコ停対応

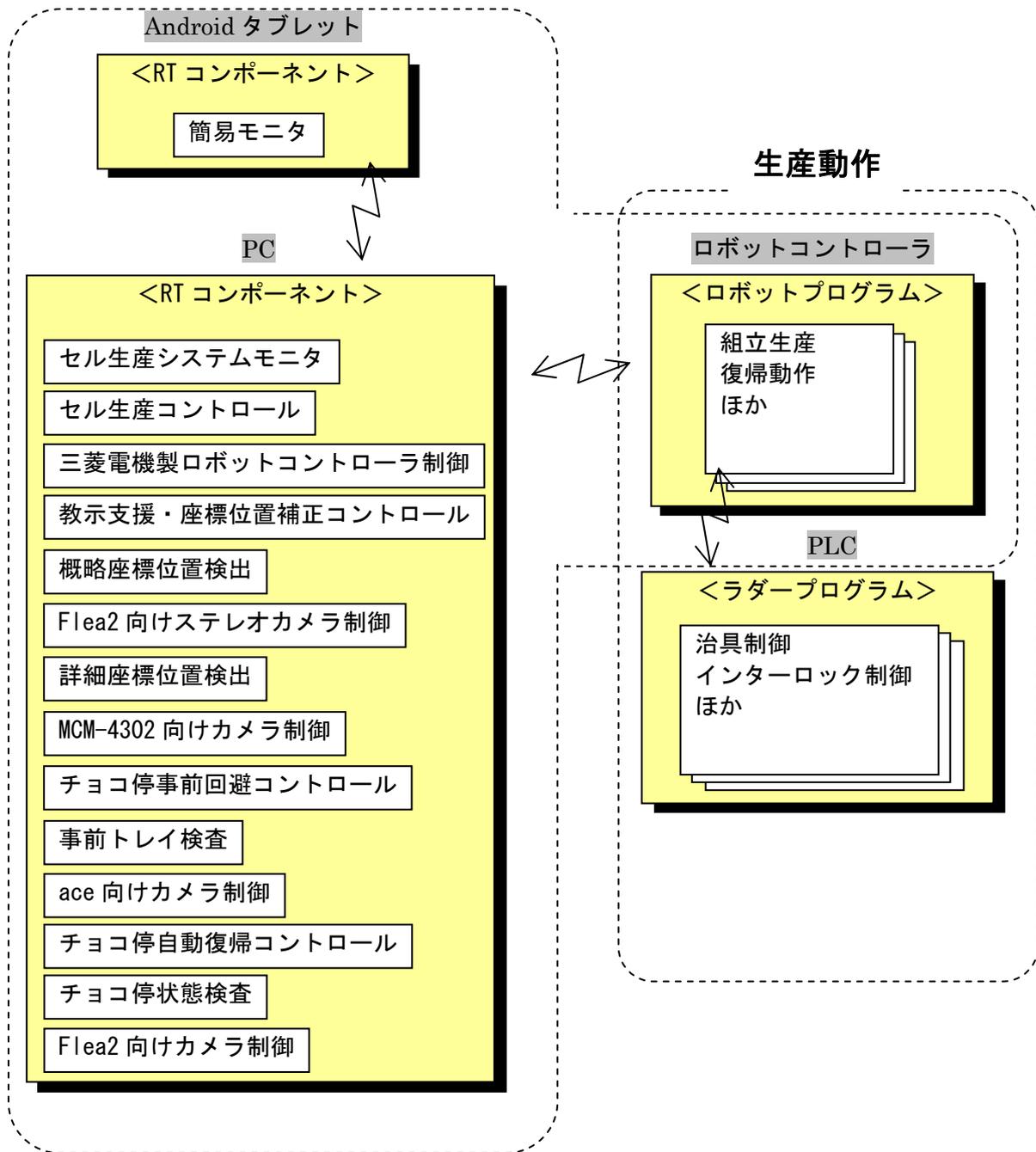


図 11 検証システムのソフトウェア構成図

3.3.2.4.3. 動作内容

検証システムの生産動作を示す。

IDEC の滝野事業所で実稼働中の生産システムと同等レベルの検証システムを構築した。本検証システムでは、図 12～14 に示した機器構成にて、弊社の主力製品である産業用スイッチの組み立てをタクトタイム（製品 2 つを組み立てる時間）約 50 秒で行う。また、部品供給モジュールを導入し、長期連続稼働での検証を行えるようにしている。

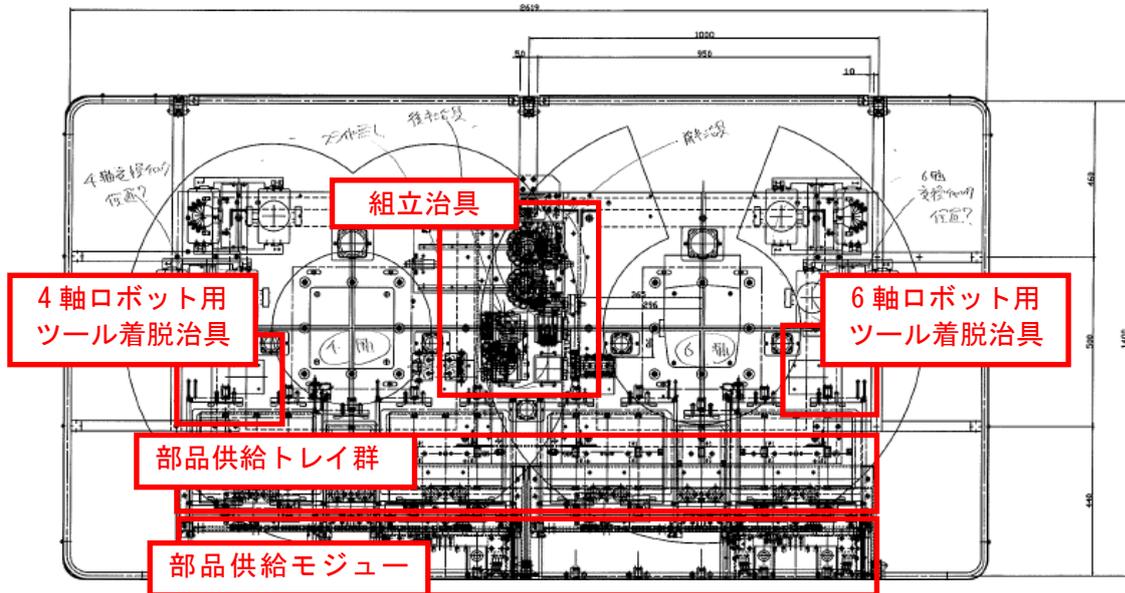


図 12 検証システムを真上から見た図



図 13 検証システムで組み立てる産業用スイッチ



部品供給モジュールにより、写真左側の部品が満載された部品トレイを写真右側のロボットが把持するトレイ位置へ供給する。

図 14 部品供給モジュールによる部品トレイの交換

3.3.1.1.5. 目的に照らした達成状況

教示支援知能モジュール群の開発

研究開発の目的

ロボット制御セル生産システムにおいて、ロボットに組立て作業を実行させるには、部品同士を勘合させたりするため、精度良く位置座標をティーチングする必要があり、より多くのティーチング時間を要することになる。本研究開発では、ティーチング作業の自動化を支援し、ティーチング時間の大幅短縮を実現するための知能モジュール群（「教示支援知能モジュール群」と呼ぶ）を開発する。

研究開発の目標

中間目標

教示における作業時間が、教示支援知能モジュール群を利用しない場合に比較して 2/3 以下に減少すること。

最終目標

教示における作業時間が、教示支援知能モジュール群を利用しない場合に比較して 1/3 以下に減少し、かつ、同一作業を繰り返すときのタクトタイムが初期状態に比べて短くなること。

研究開発の成果

中間成果

中間成果の検証では、図 15 のスイッチを組み立てる検証システムを設定した。このシステムでの実測値や IDEC が今まで生産ラインを立ち上げ時にかかったティーチング時間の実績を合わせて分析し、部品供給トレイのティーチングに一番多くの時間を割いている（20 時間中 9 時間）ことが明確になった。この部品トレイのティーチングを図 16 のように画像処理技術を使って、マーカを検出する概略・詳細座標補正機能によるオートティーチングを実現し、また、ティーチングペンダント画面で障害物を回避する機能や LED 指示棒によりティーチング座標と指先の方向を生産現場にて一発でティーチングできる機能を用いてティーチング時間が 20 時間から 13.2 時間へと 2/3 以下への削減に繋り、基本計画の中間目標を達成できた。

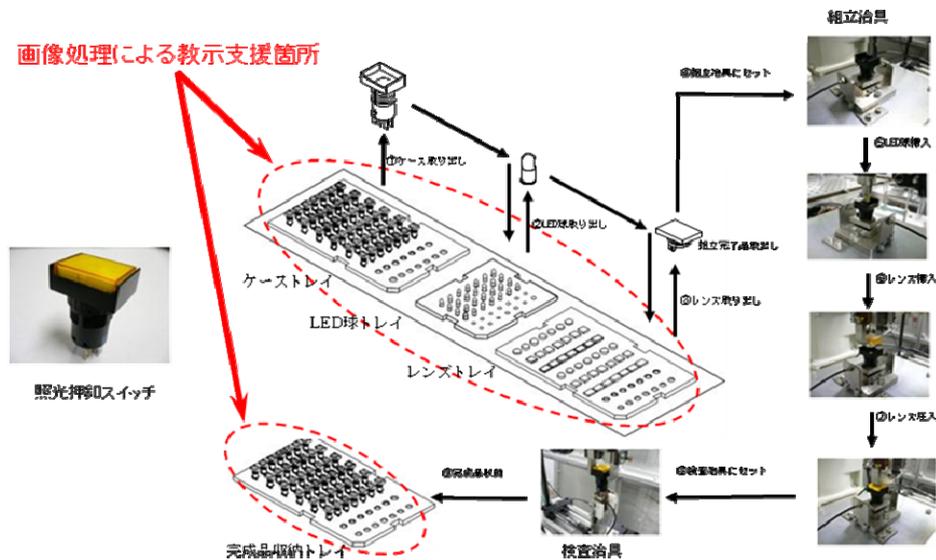


図 15 ティーチング時間削減の中間成果の実証システム

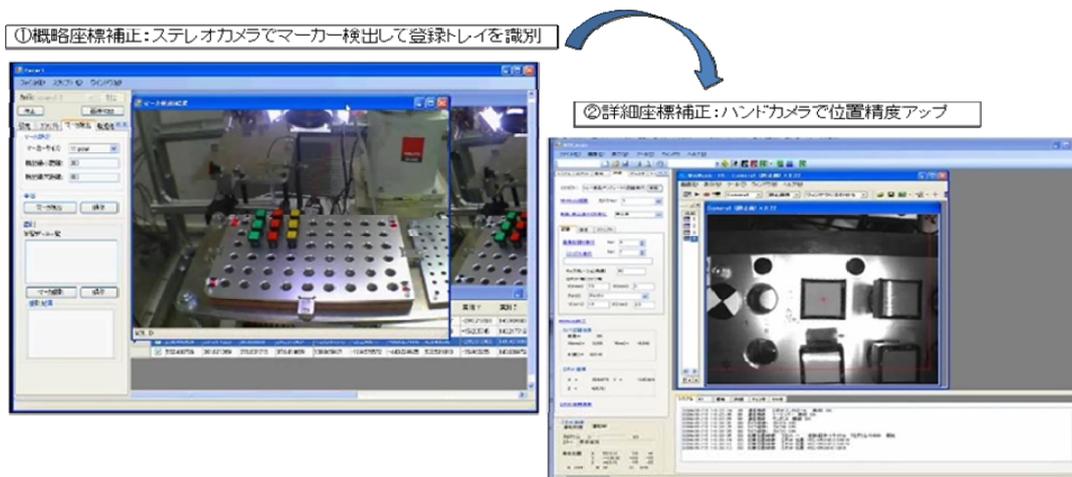


図 16 マーカを使った概略・詳細座標補正機能によるオートティーチング

最終成果

最終成果の検証では、図 7 に示す検証システムを構築して、「1.3.1 中間成果」で述べた成果に加えて、マーカ検出によるオートティーチングを適用する部品トレイ点数の増加や部品勘合とツールチェンジの教示作業に力覚センサを適用することで、教示における作業時間が、教示支援知能モジュール群を利用しない場合と比較して 1/3 以下に減少することを確認した。

教示作業時間の内訳と削減成果を「表 7」と「図 17」に示す。

表7 ティーチング時間の内訳と削減成果

分類	工程 No	作業工程	所要時間(h)		
			現状	画像処理	
設備設計	①	設計図作成	2		
	②	システム整備	7		
	③	工程図、工程表作成	3		
	④	ロボットプログラム作成	5		
教示	⑤	6軸4軸RB動作経路教示A(設計図から位置座標教示)	4	1	
	⑥	6軸4軸RB動作経路教示B(TBから位置座標教示)	6		
	⑦	実機による確認運転&試運転	2	2	
	⑧	ハンド交換教示(4箇所)	1	0.2	
	⑨	本体・完成品収納トレイ教示	1	0.3	
	⑩	ホルダ・セムスパネトレイ教示	2		
	⑪	本体トレイ教示	1		
	⑫	セムスネジトレイ教示	1		
	⑬	橋絡片・復帰バネ・橋絡片パネトレイ教示	3		
	⑭	固定片トレイ教示	1		
		⑮	組立工程教示	4	3.1
		⑯	実機による確認運転&試運転	3	3
テスト運転	⑰	実機によるテスト運転(エージング)	5		
教示時間合計(工程 No. ⑤~⑯)			29	9.6	

※ 工程 No.⑤~⑯に要した時間を教示時間と規定する。

※ 「現状」の「所要時間(h)」は上級技術を兼ね備えた作業員が行った結果を参考にしてている。

教示時間を従来比 1/3 まで削減。

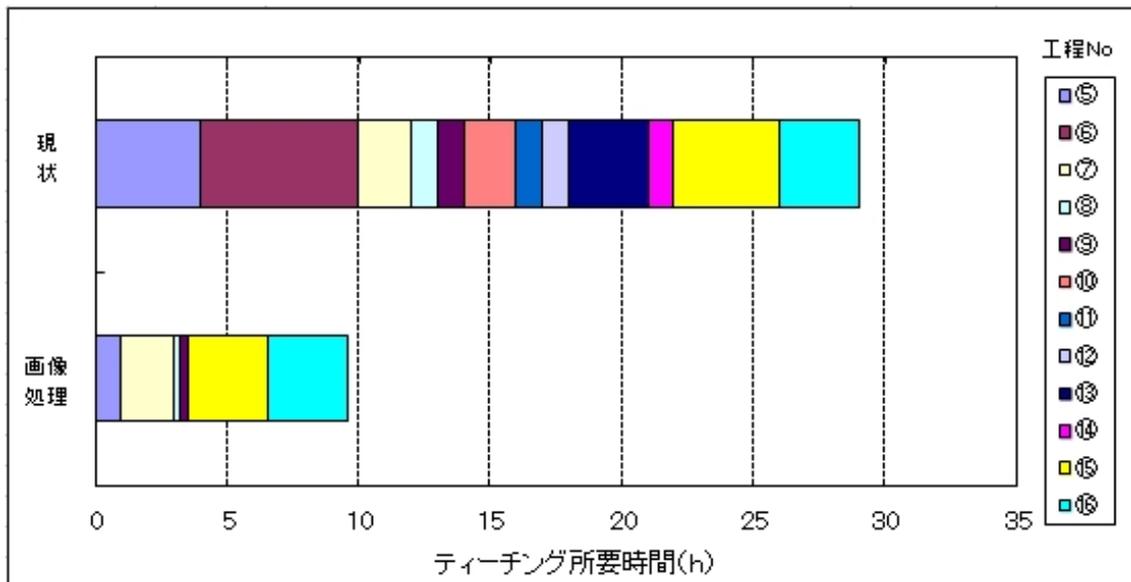


図17 ティーチング時間の削減成果

研究開発の内容

サービス仕様

教示支援知能モジュール群では、図 18 で示すように、画像処理技術を用いて部品トレイ上のマーカの座標を自動検出し、部品トレイ上の部品把持のオートティーチングを実現する。まず、①概略座標補正の機能を利用して、ステレオ画像から部品トレイ上の複数のマーカの 3 次元座標を得る。次に、この 3 次元座標からマーカの上部へハンドカメラを移動させ、②詳細座標補正の機能を用いてマーカの詳細な 2 次元座標を数百 μm 程度の位置精度で検出する。予め登録しておいた、部品トレイ上のマーカと部品の位置関係や部品の点数から、把持対象部品の座標を算出して、ロボットコントローラへ書き込む。これにより、自動で部品トレイ上の部品把持のティーチングが完了する。更に、③力覚センサを利用することで、部品勘合時やツールチェンジのティーチングをより正確に短時間で実現する。

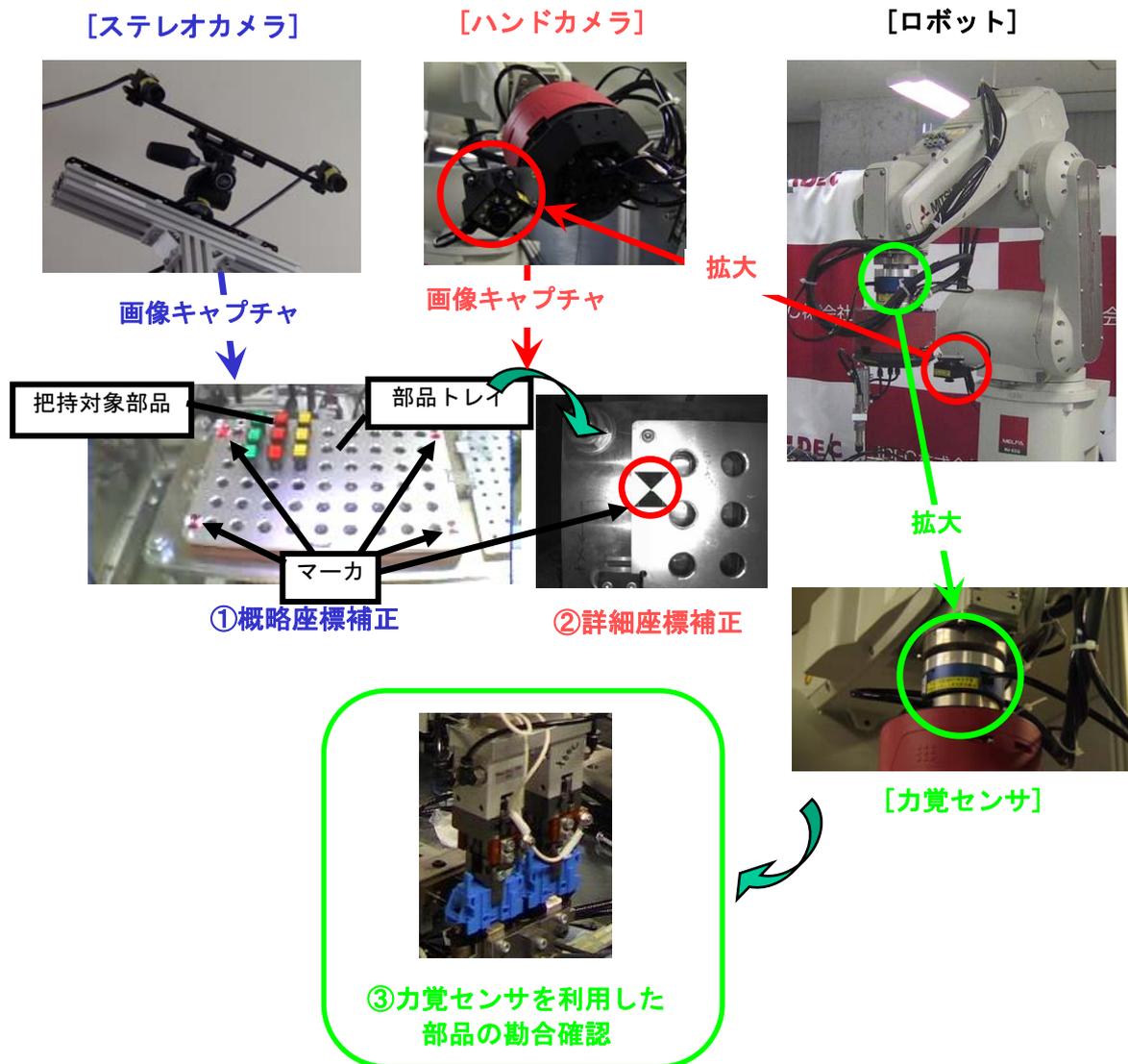


図 18 教示支援知能モジュール群のサービスイメージ図

システム構成

1) ハードウェア構成図

教示支援知能モジュール群のハードウェアの構成を図 19 に示す。従来のロボット制御セル生産システムに、ステレオカメラとハンドカメラ、力覚センサの各種センシングデバイスを適用し、それらデバイスを制御して教示支援を行うソフトウェア（教示支援 RT コンポーネント群）を開発・適用する。

IEEE1394b

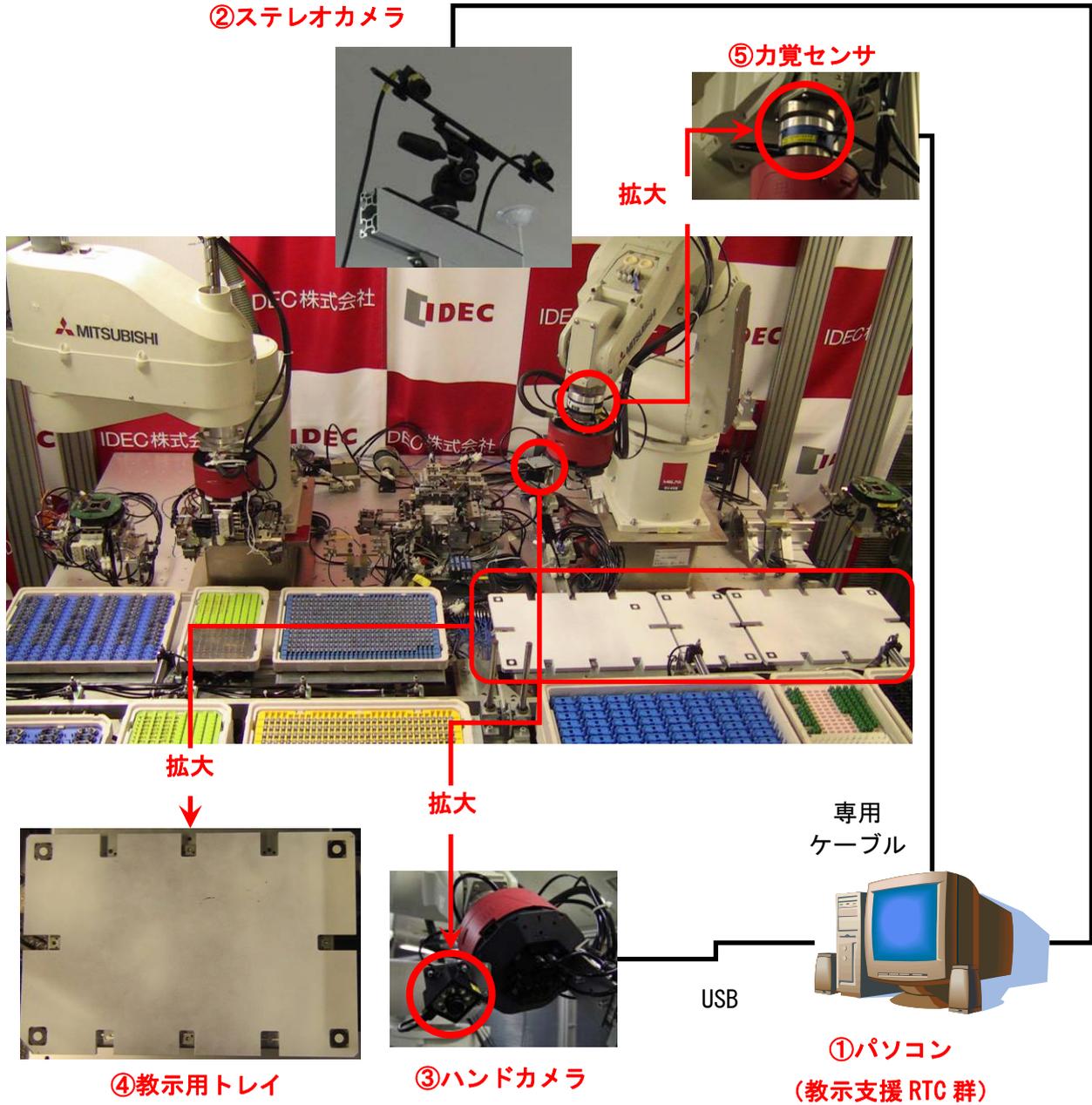


図 19 ハードウェア構成図

2) ハードウェア一覧

教示支援知能モジュール群のハードウェアの一覧表を表 8 に示す。

表 8 ハードウェア一覧表

No	項目名	型番／要件
①	パソコン	<p>教示支援 RT コンポーネント群が動作する PC。</p> <p><動作確認済み PC のスペック></p> <p>CPU : Intel Core2 Duo 3.16G Hz</p> <p>HDD 容量 : 218G Byte</p> <p>メモリ容量 : 2.98G Byte</p> <p><PC インタフェース></p> <p>Ethernet ポート : 「MELFA ロボット」 通信用</p> <p>IEEE1394b ポート (×2) : 「ステレオカメラ」 通信用</p> <p>USB ポート (×2) : 「ハンドカメラ」 通信用</p> <p>PCI レシーバボード : 「力覚センサ」 通信用</p>
②	ステレオカメラ	<p>Point Grey Research 社製の 1394b カメラ 2 つを使用したステレオカメラ。概略座標補正機能で利用する。本サービスでは最大で 2 つのステレオカメラを制御可能。</p> <p><動作確認済み 1394b カメラの型番></p> <p>FL2G-13S2C</p>
③	ハンドカメラ	<p>マイクロビジョン社製の USB カメラ。詳細座標補正機能で利用する。本サービスでは最大で 2 つのハンドカメラを制御可能。</p> <p><動作確認済み USB カメラの型番></p> <p>MCM-4302LED</p>
④	教示用トレイ	<p>教示専用の部品トレイ。部品トレイ上の定位置に教示用のマーク (マーカ) を配置したトレイ。</p>
⑤	力覚センサ	<p>ニッタ社製の力覚センサ。部品勘合時のティーチングで利用する。</p> <p><動作確認済み力覚センサの型番></p> <p>IFS-67M25A15-140</p>

3) ソフトウェア構成図

教示支援知能モジュール群のソフトウェアの構成を図 20 に示す。教示支援知能モジュール群は、Windows OS 上で動作する RT ミドルウェアである OpenRTM-aist をプラットフォームとする教示支援 RT コンポーネント群と、ロボットやカメラを制御するための各種ミドルウェアやカメラで撮影した画像から被写体の位置姿勢を計測する画像処理ライブラリで構成される。

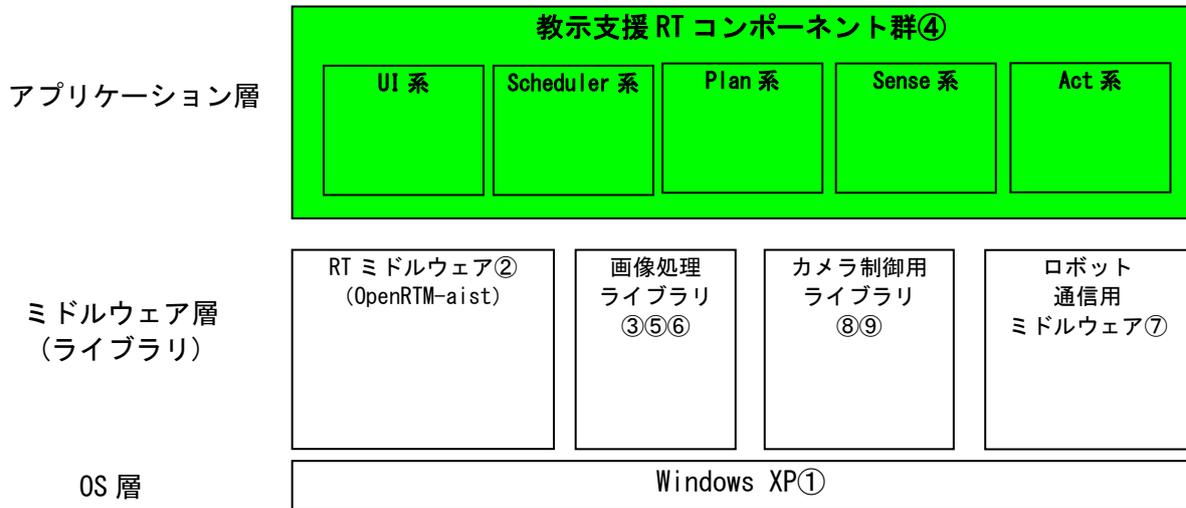


図 20 ソフトウェア構成図

4) ソフトウェア一覧

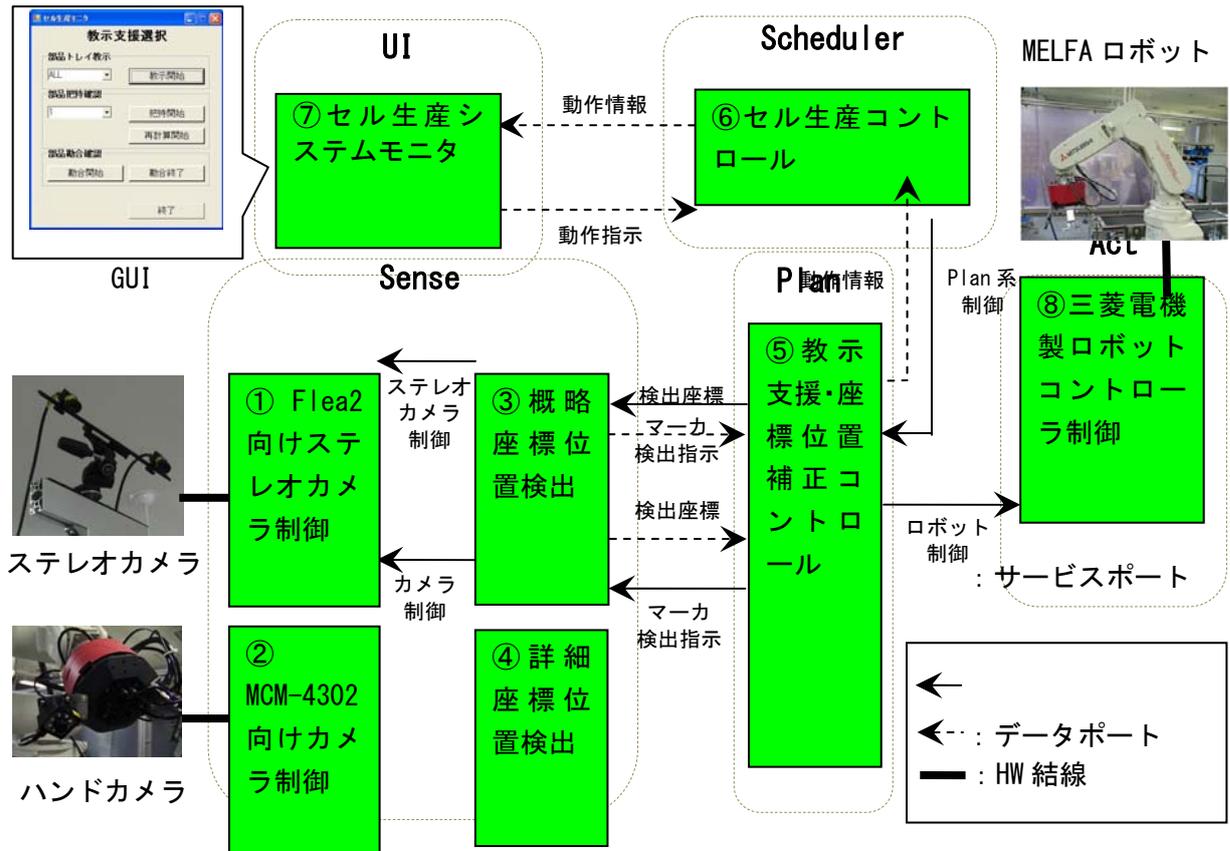
教示支援知能モジュール群のソフトウェアの一覧を表 9 に示す。

表 9 ソフトウェア一覧表

No	項目名	バージョン	備考
①	Windows XP Professional	SP3 以上	OS。
②	OpenRTM-aist 一式 (Windows Visual C++ 2008 版)	1.0.0-RELEASE	RT ミドルウェア。
③	OpenCV	1.0	画像処理で利用。
④	教示支援 RT コンポーネント群	2.0 以上	詳細は「0 知能モジュール群の構成」参照。
⑤	画像処理ソフトウェア群 (株式会社アップライド・ビジョン・システムズ製)	-	概略座標補正で利用。
⑥	画像処理ソフトウェア群 (株式会社アドイン研究所製)	-	詳細座標補正で利用。
⑦	MELFA ロボットコントローラ通信用ソフトウェア群 (三菱電機株式会社製)	-	MELFA ロボットコントローラとの通信に必要。
⑧	PGR FlyCaptureSDK (Point Grey Research 社製)	1.8. x	Flea2 カメラの制御に必要。
⑨	MCM4302 ライブラリ (マイクロビジョン株式会社製)	1.26 以上	MCM-4302 カメラの制御に必要。※UVC ドライバでは動作しない。

知能モジュール群の構成

教示支援 RT コンポーネント群の構成を図 21 に示す。図に示したように複数の RT コンポーネントが連携して機能する。



※ 力覚センサの制御は、三菱電機株式会社にて開発した RT コンポーネント（複合情報 GUI モジュールと MELFA 外部制御モジュール）を再利用して実現する。

図 21 教示支援 RT コンポーネント群の構成図

教示支援 RT コンポーネント群の RT コンポーネントの一覧を表 10 に示す。

表 10 RT コンポーネント一覧表

No	RTC 名称	説明
①	Flea2 向けステレオカメラ制御 RTC	概略座標位置検出用のカメラドライバ。Point Grey Research 社製の Flea2 カメラ 2 つを 1 つのステレオセットとして制御して、Bitmap 形式のステレオ画像データを生成する。本 RTC は最大で 2 つのステレオセットを制御可能。
②	MCM-4302 向けカメラ制御 RTC	詳細座標位置検出用のカメラドライバ。マイクロビジョン社製の MCM-4302 カメラ 1 つを制御して、Bitmap 形式の画像データを生成する。
③	概略座標位置検出 RTC	教示用の補助マーク（マーカ）複数点の概略位置を検出する。Bitmap 形式のステレオ画像データを読み込んで、ステレオ画像データ上のマーカ複数点を検出して、ロボット座標系における 3 次元座標を算出する。なお、以下の場合には画像処理のエラーとして扱う。

		<ul style="list-style-type: none"> ● ステレオ画像データ上に 3 点以上のマーカが検出できない場合。 ● 検出したマーカの配置パターンが、予め登録している配置パターンのどれにも合致しない場合。
④	詳細座標位置検出 RTC	<p>教示用の補助マーク（マーカ）の詳細位置を検出する。Bitmap 形式の画像データを読み込んで、画像データ上のマーカ 1 点を検出して、予め登録している画像データからの xy 方向へのずれ量を計測し、そこからロボット座標系における 2 次元座標を算出する。概略座標位置検出 RTC より高精度の 2 次元座標の検出が可能。本 RTC は最大で 2 つの MCM-4302 向けカメラ制御 RTC を制御可能。なお、以下の場合は画像処理のエラーとして扱う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 画像データ上にマーカが検出できない場合。 ● 検出したマーカと予め登録しているマーカの画像データを比較した結果、マーカの一致率が基準値以下の場合。
⑤	教示支援・座標位置補正コントロール RTC	<p>教示支援 RTC 群のシーケンスを制御する。セル生産コントロール RTC からの教示支援実行指示を受け付けて、概略座標位置検出 RTC と詳細座標位置検出 RTC を制御して部品トレイ上のマーカの座標を検出する。次に、検出したマーカの座標と予め登録している設備情報から部品トレイ上の把持対象部品の座標を算出して、MELFA ロボットコントローラ制御 RTC を介して算出した座標をロボットコントローラへ書き込む。本 RTC は最大で 2 つの MELFA ロボットコントローラ制御 RTC を制御可能。</p>
⑥	セル生産コントロール RTC	ロボット制御セル生産システム全体の工程管理を行う。
⑦	セル生産システムモニタ RTC	ロボット制御セル生産システム全体を操作・モニタする為のユーザインタフェースを提供する。
⑧	MELFA ロボットコントローラ制御 RTC	三菱電機社製の MELFA ロボットコントローラの制御を行う。

1) 機能の概要

教示支援知能モジュール群の機能概要について記載する。教示支援知能モジュール群は、大別して以下の機能を有する。

表 11 教示支援知能モジュール群の機能一覧表

機能	概要
概略座標補正	セル設備内に設置されたステレオカメラの画像から、部品トレイ上の複数（3 点以上）のマーカの 3 次元座標を数 mm 程度の位置精度で検出する。
詳細座標補正	概略座標補正機能で検出した各マーカの上空位置へロボットハンドを移動させ、ロボットハンドに搭載したカメラの画像から、部品トレイ上の各マーカの 2 次元座標を数百 μm 程度の位置精度で検出して、より高精度なマーカの座標を求める。
部品座標算出・登録	概略／詳細座標補正機能で求めた各マーカの 3 次元座標と、予め登録しておいた部品トレイ情報から、把持対象部品の 3 次元座標を算出して、ロボットコントローラのロボット位置変数へ書き込む。
部品把持確認・座標補正	部品座標算出・登録機能で求めた座標にて、部品が把持できることを確認する。実際の部品トレイと部品を対象に低速動作にてロボットを部品把持位置へ自動で移動させる。更に、部品把持位置にズレがある場合は部品把持座標を一括補正することも可能。
部品勤合確認	適切な力で部品が勤合できていることを確認する。

チョコ停事前回避知能モジュール群の開発

研究開発の目的

チョコ停防止に関する知能モジュール群の開発では、ロボット制御セル生産システムで発生するチョコ停をいかに効率良く防ぐかが重要である。そこで実際に滝野事業所で稼動している生産システムにおいて発生するチョコ停を分析したところ、図 22 に示したように部品供給トレイから部品を取り出す際の部品取出しミスや、部品が把持出来ても正常に把持出来なかったことに起因する部品組立ミスが最も多かった。

うまく把持出来ない大きな理由の一つは、そもそも部品供給トレイに並んだワークの位置姿勢がずれており、あらかじめ教示で決められた動作を行うロボットでは対応出来ないためである。一般に広く研究されているワークの位置姿勢を計測して把持する「バラ積みからのピッキング」は、その解決方法の一つである。しかし、画像撮影のためにロボットが余分な動作を強いられる場合があり、タクトタイムに悪影響を及ぼす懸念がある。また、そもそも位置姿勢が異常なワークは、ワーク形状自体に異常を持っている可能性もある。

そこで本研究開発では、IDEC のロボット制御セル生産システムの特徴である部品供給トレイをタクトタイムに影響しない形で画像処理によって検査し、正常ワークのみを把持対象物とすることで、チョコ停の発生を防ぐことを目的とする。

本手法は、把持する前にワーク状態の検査を行うことから、事前トレイ検査と呼ぶこととする。またここで、本章で述べるチョコ停防止に関する知能モジュール群は、チョコ停が発生する前に回避することが目的であることから、チョコ停事前回避知能モジュール群と呼ぶ。

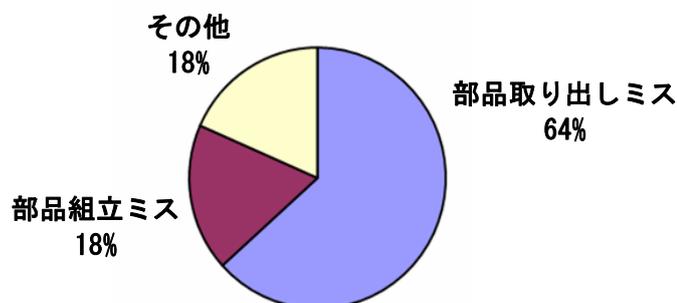


図 22 発生するチョコ停の種類と割合

研究開発の目標

「チョコ停を誘発する頻度が高い原因（規定外のワークの混入、位置ずらし等）を、人為的に検証システムに与えた時、チョコ停の事前回避を実現すること。」

研究開発の成果

図 23 および、図 8 に示したロボット制御セル生産システムに対してチョコ停事前回避知能モジュール群の適用を行った。この中で、図 24 に示したようなチョコ停原因（ワークの位置ずれ、異常ワークの混入など）を意図的に起こした部品供給トレイに対して事前トレイ検査を実施し、その結果から正常ワークのみを把持することで、チョコ停の発生を事前に回避できることを確認した。

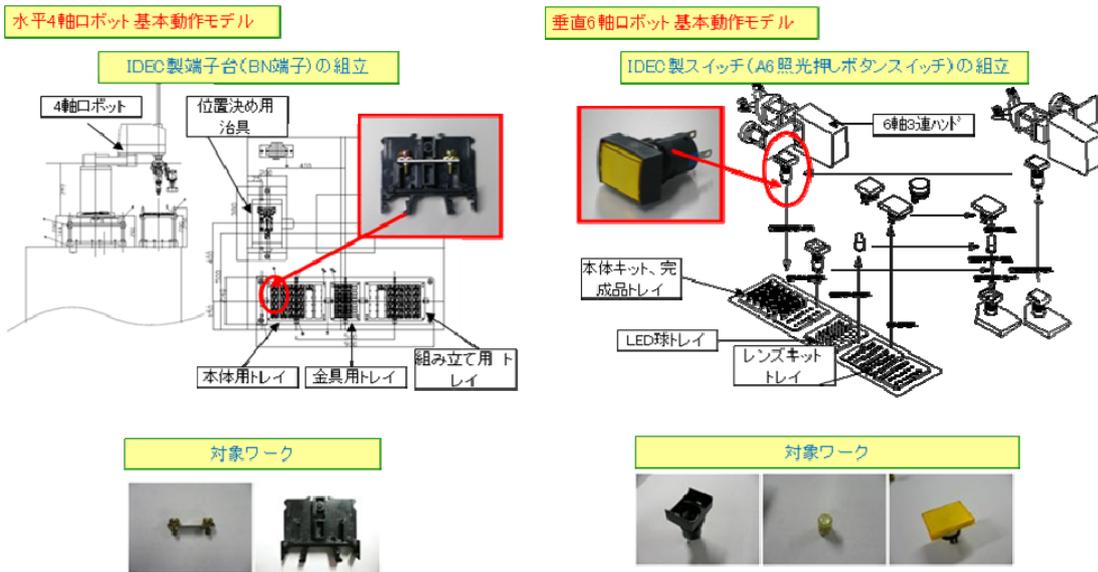


図 23 チョコ停事前回避知能モジュール群の適用対象システム

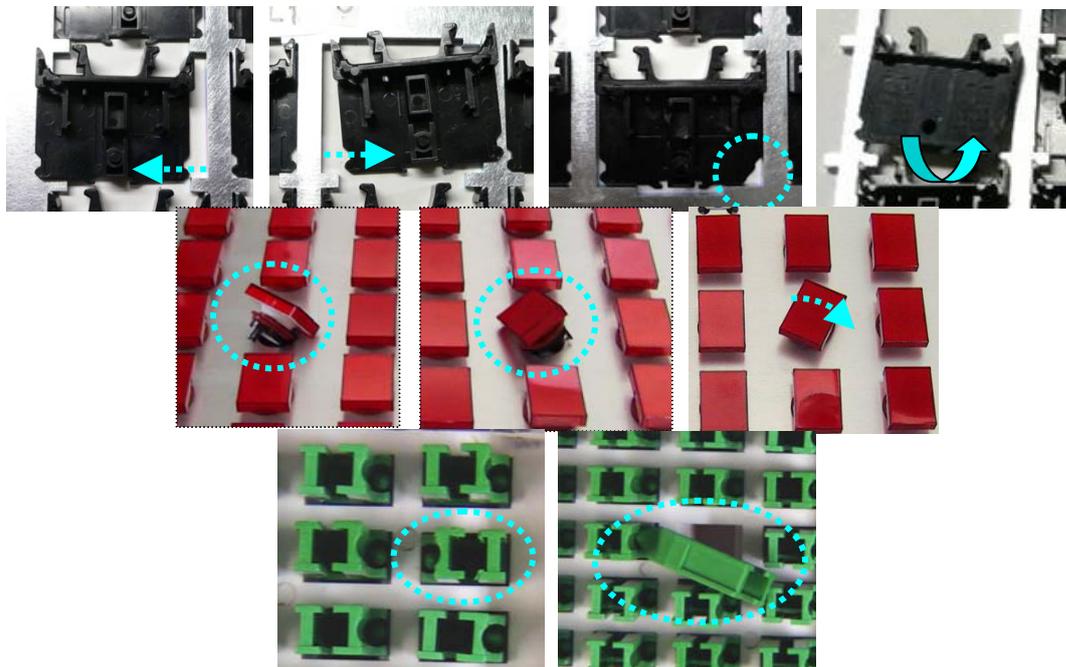


図 24 事前トレイ検査の対象とした異常ワーク

システム構成

1) ハードウェア構成

本知能モジュールのハードウェア構成を図 26 に示す。本知能モジュール群は、通常のロボット制御セル生産システムに必要なハードウェアに加えて、①制御用 PC、②検査用カメラ、③ロボットコントローラで構成される。①制御 PC 内にある制御用ソフトウェアによって、各種ハードウェアと連携しながら、把持前に部品供給トレイの検査を行うものである。

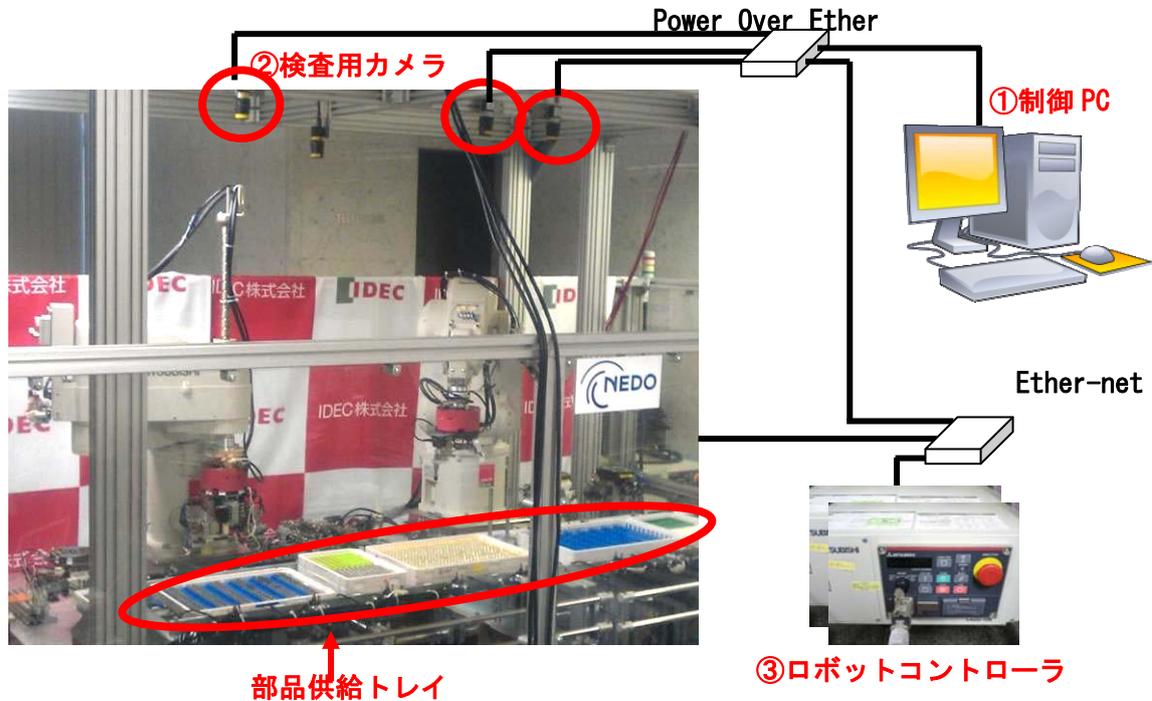


図 26 ハードウェア構成図

2) ハードウェア一覧

ハードウェアの一覧を表 12 に示す。

表 12 ハードウェア一覧

No	項目名	備考
①	PC 一式	事前トレイ検査知能モジュール群が動作する PC
②	Basler 社製 ace シリーズ (GigE カメラ)	Basler 社の PylonSDK が動作するカメラ。Ether ケーブルによる電源供給 (PoE) に対応している GigE カメラ。 acA1300-30gc で動作確認。
③	三菱電機製ロボットコントローラ	三菱電機製のロボット制御用ソフト MelfaRXM.ocx で動作可能なロボットコントローラ

3) ソフトウェア構成

本知能モジュール群のソフトウェアの構成を図 27 に示す。事前トレイ検査知能モジュール群は Windows OS 上で動作する RT ミドルウェアである OpenRTM-aist をプラットフォームとして動作する事前トレイ検査 RT コンポーネント群と、ロボットやカメラを制御するための各種ミドルウェアやカメラで撮影した画像から被写体の状態を検査する画像処理ライブラリで構成される

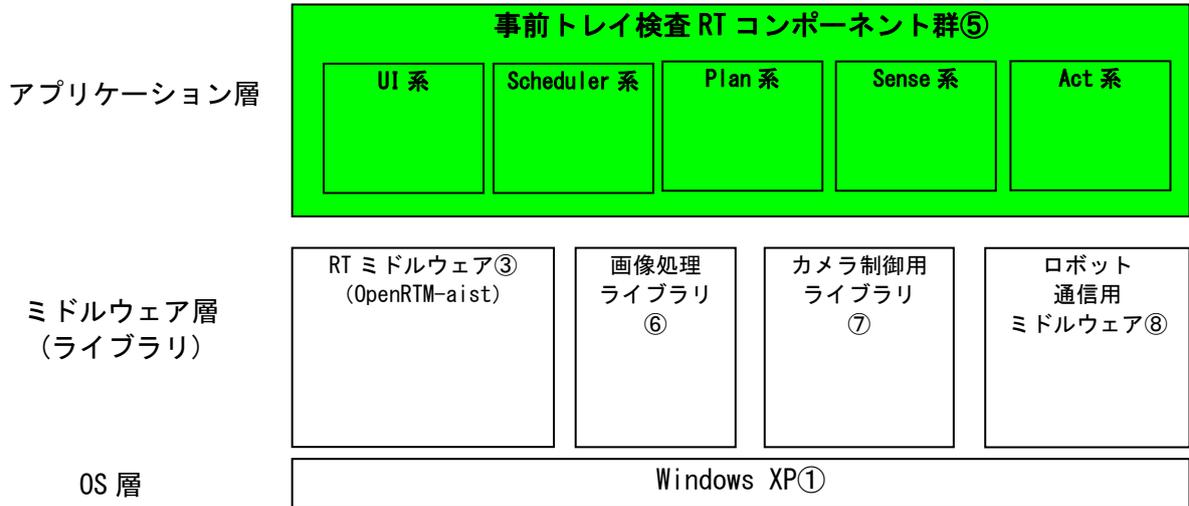


図 27 ソフトウェア構成図

4) ソフトウェア一覧

ソフトウェアの一覧を表 13 に示す。

表 13 ソフトウェア一覧

No	項目名	version	備考
①	Windows XP Professional	SP3	OS
②	OpenRTM-aist 一式 (Windows Visual C++ 2008 版)	1.0.0-RELEASE	—
③	チョコ停自動復帰 RT コンポーネント群	1.0	
④	株式会社アドイン研究所製 画像処理ソフトウェア (AdinScope)	—	チョコ停状態の検査用の画像処理ソフトウェア。以下が含まれる。 ・異常有無検出ソフトウェア ・異常状態の識別ソフトウェア ・異常物の位置計測ソフトウェア
⑤	Basler 社製 Pylon Driver	2.2	Basler 社製 IEEE-1394 or GigE カメラのカメラデバイスドライバ
⑥	MELFA ロボットコントローラ通信用ソフトウェア群 (三菱電機株式会社製)	-	MELFA ロボットコントローラとの通信に必要。

知能モジュール群の構成

チョコ停事前回避 RT コンポーネント群の構成を図 28 に示す。また、RTC の一覧が表 14 となる。複数の RT コンポーネントを組み合わせ、事前トレイ検査機能を実現している。

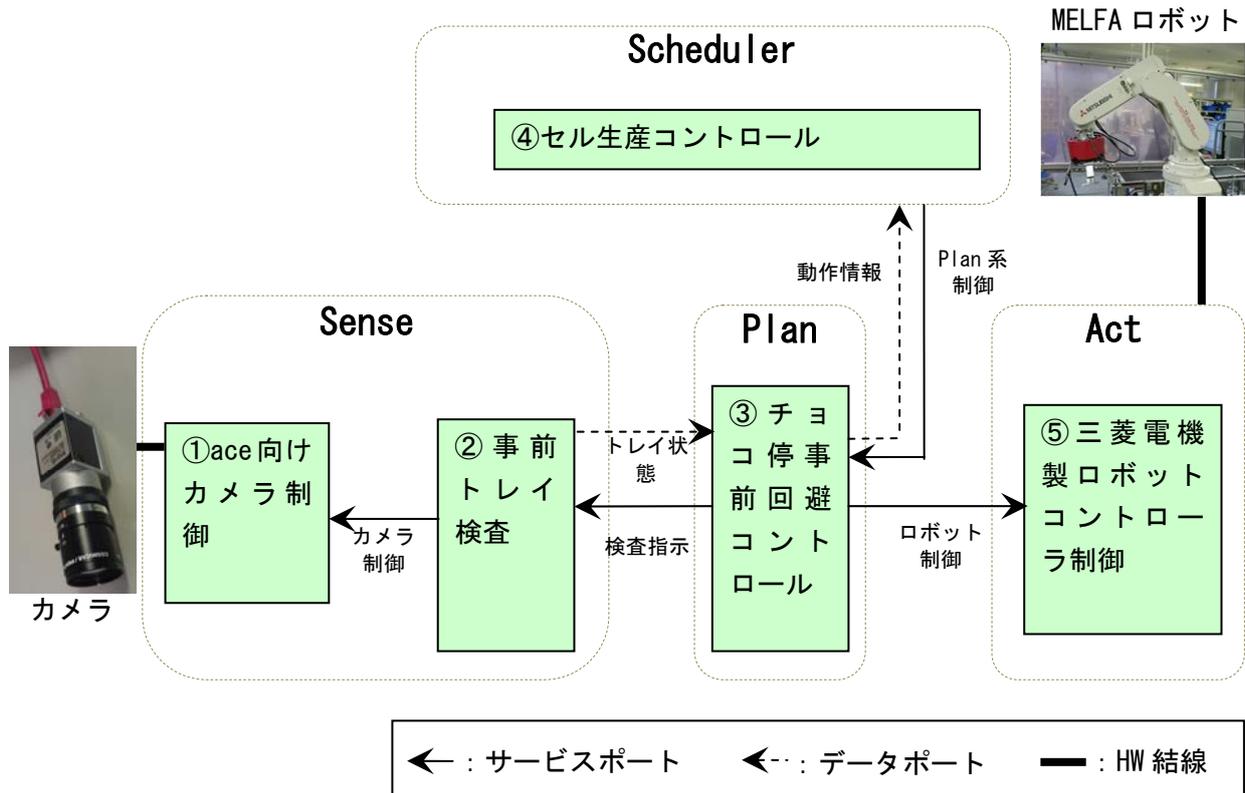


図 28 チョコ停事前回避 RT コンポーネント群の構成図

表 14 チョコ停事前回避で使用する RT コンポーネント一覧

No	RTC 名称	説明
①	ace 向けカメラ制御 RTC	部品供給トレイ撮影用のカメラドライバ。指定されたシリアル番号のカメラを使い、指定されたフォルダへ Bitmap 形式の画像データを保存する。
②	事前トレイ検査 RTC	指定された部品供給トレイの画像を撮影し、そのワーク状態を検査し、ワーク毎の正常/異常を判定するモジュール。
③	チョコ停事前回避コントロール RTC	生産中におけるシステムの監視、および事前トレイ検査の起動を行うモジュール。事前トレイ検査の起動の際は、ロボットシステムから指定されたタイミングで部品供給トレイの検査指示を発行し、その結果をトレイ状態として受け取り、ロボットシステムへ通知する。
④	セル生産コントロール RTC	ロボット制御セル生産システムの状態を監視し、下位に構成された各モジュールへ動作指示を行うことにより、生産活動中やティーチング中における各種機能を実現するモジュール。
⑤	MELFA ロボットコントローラ制御 RTC	MELFA (三菱電機) ロボットのコントロール。 MelfaRXM.ocx を使用して、MELFA ロボットコントローラを制御する。

1) 機能の概要

本知能モジュールの機能概要について述べる。

本知能モジュール群の機能は、図 29 に示したように、「監視」と「事前トレイ検査」に分けられる。ロボットシステムの生産動作を監視し、生産動作の邪魔にならないタイミングで指定された部品供給トレイを検査する機能である。

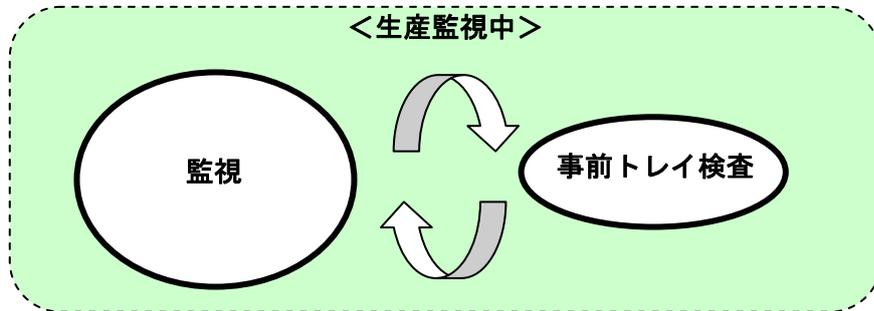


図 29 事前トレイ検査知能モジュール群の機能概要

2) 監視機能の概要

図 30 に示したように、知能モジュール群は、生産動作中のロボットシステムを監視し、異常発生（非常停止、チョコ停発生など）の検知や、トレイ検査許可フラグの読み出しを行う機能を持つ。具体的には、ロボットのアラーム情報や所定のチョコ停発生フラグ、トレイ検査許可フラグなどを監視することで、各種変化を検出し、前出の機能を実現する。

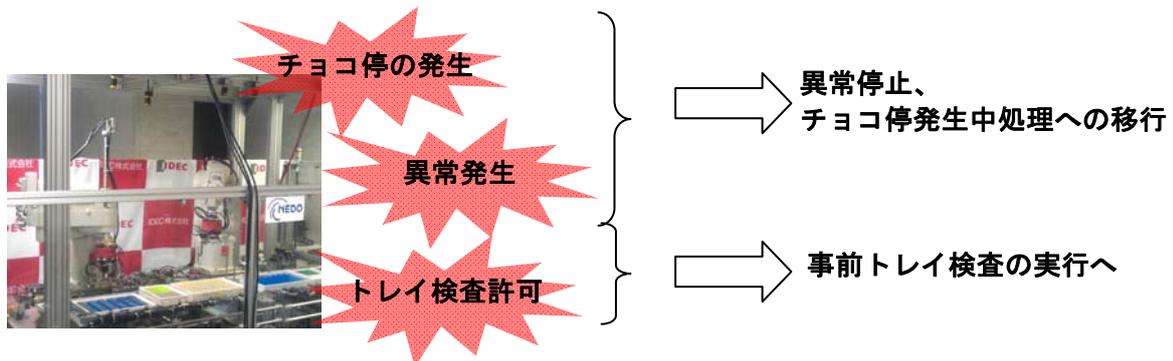


図 30 監視機能の概要

3) 事前トレイ検査機能の概要

本知能モジュール群は、ロボットシステムから所定の事前トレイ検査許可信号を検知した場合に、当該トレイの画像を撮影し、位置姿勢が異常なワークを検出する機能を持つ。概要を図 31 に示した。具体的には、事前に用意するワーク正常画像とトレイ空画像に対して、撮影した現在のトレイ画像を比較することで、位置姿勢が異常なワークを判定するものである。

本機能は、検査画像内の複数のワーク状態を一度に判定出来るため、ロボットがトレイからワークを把持する度に検査する必要がなく、撮影タイミングの自由度が高い。

また、ロボットの生産動作と画像処理は独立して実行しているため、ロボットがトレイ上にいないタイミングで検査画像の撮影ができれば、その後はロボットの生産動作とは無関係に画像処理を実行できる。したがって、本機能はタクトタイムに影響しない。

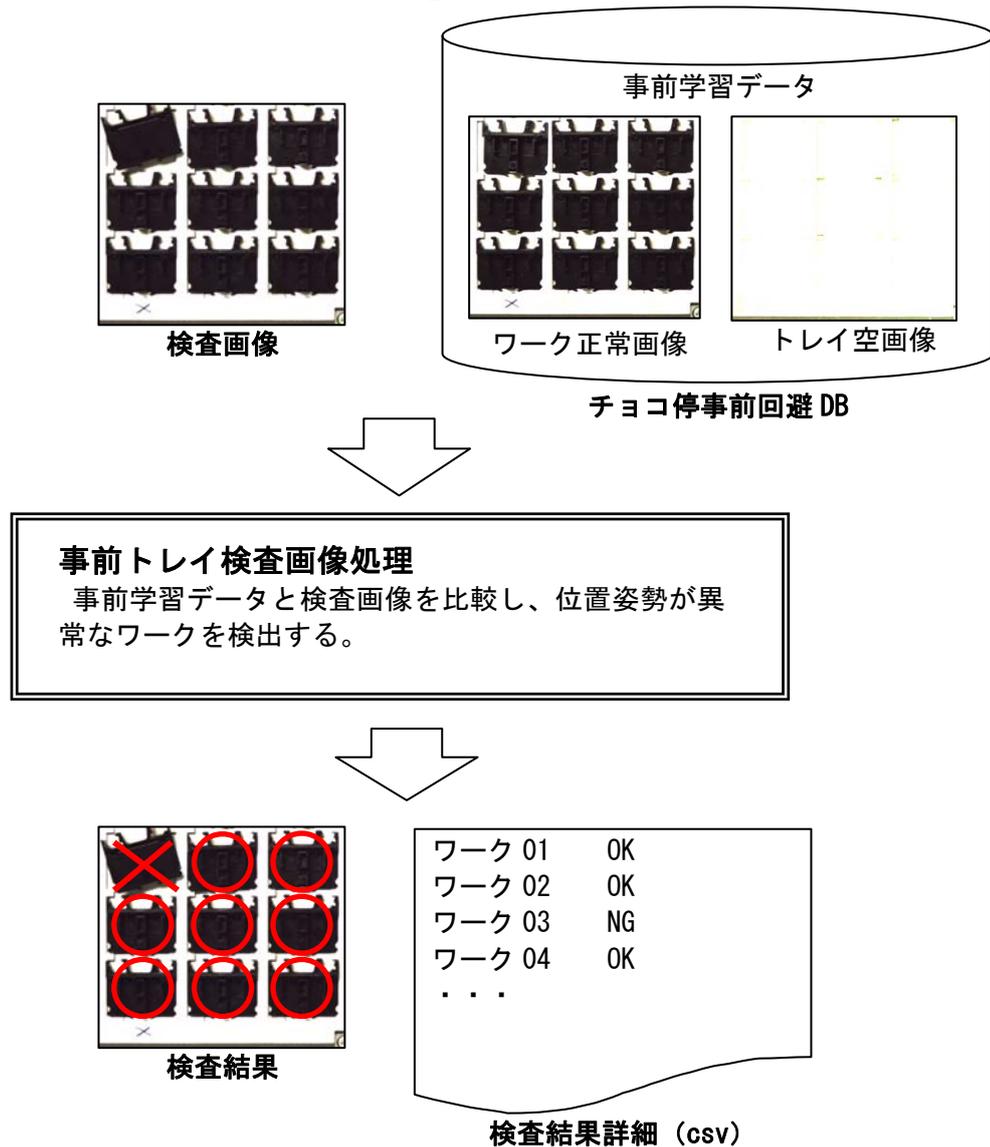


図 31 検査機能の概要

チョコ停自動復帰知能モジュール群の開発

研究開発の目的

ロボット制御セル生産システムの長時間連続稼働を目指す上での課題の一つに、作業中の一時的なエラー発生による停止（チョコ停）への対応が挙げられる。通常、チョコ停が発生した場合は人間が現場でチョコ停原因を取り除くことで生産を再開する。しかし、このように人手を要する対応は、ロボット制御セル生産システムを導入する目的から逆行するものであり、稼働効率やコスト面に問題がある。

そこで本知能モジュール群では、ロボット制御セル生産システムで発生したチョコ停状態を画像処理で判断し、状態に応じた復帰動作を行い、自動的に生産活動を再開することを目的としている。

ここで、チョコ停対応に関する知能モジュール群を、以降ではチョコ停自動復帰知能モジュール群と呼ぶ。

研究開発の目標

中間目標

「エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状（3種類以上）・材質（2種類以上）が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること」

最終目標

「チョコ停を誘発する頻度が高い原因（規定外のワークの混入、位置ずらし等）を、人為的に検証システムに与えた時、多少のタクトタイムの増加を伴いながらも自動復帰が実現すること。」

研究開発の成果

中間成果

中間成果の検証では、図 32 に示す検証システムおよび作業対象物を用いて、エラー状態から正常状態への復帰処理の検証を行った。検証時の復帰処理の様子を図 33,34 にそれぞれ示す。

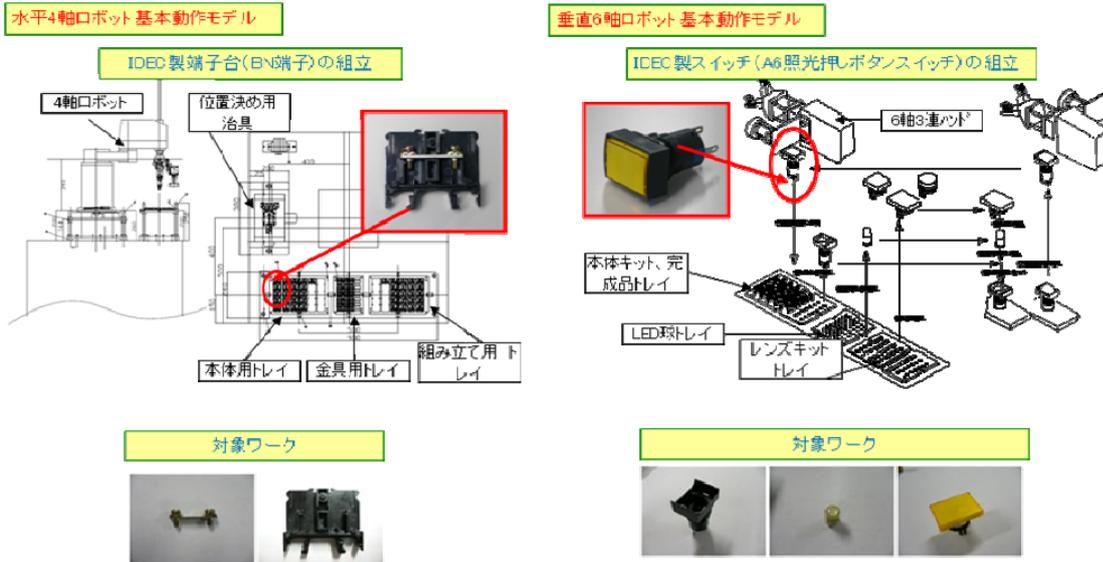


図 32 チョココ停自動復帰の作業対象物

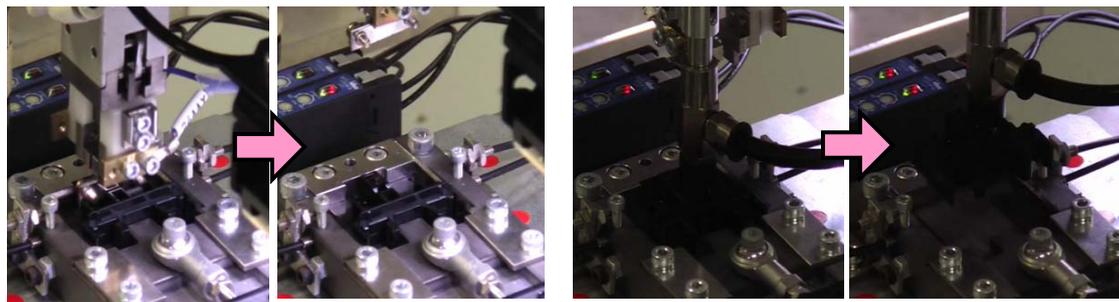


図 33 水平4軸ロボット基本動作モデルにおける復帰動作

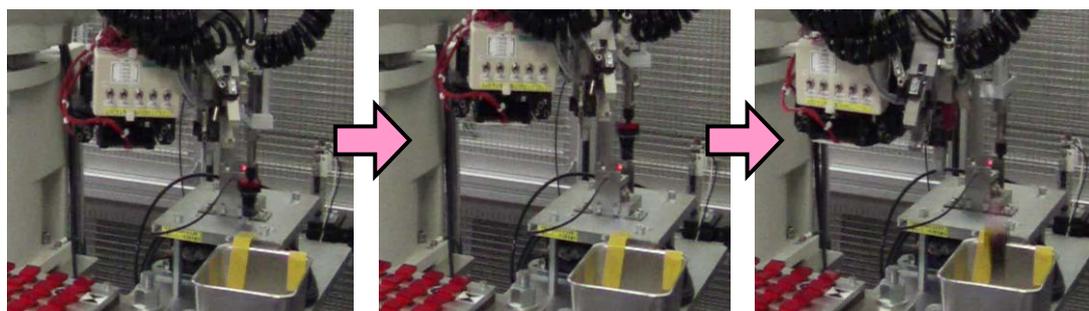


図 34 垂直6軸ロボット基本動作モデルにおける復帰動作 (撤去から廃棄)

最終成果

最終成果の検証では、図 2-8 で示した検証システムに対して、組立異常を誘発する異常ワークを人為的に混入させ、この時に発生するチョコ停からの自動復帰について検証した。

図 35,36 に示したチョコ停に対して、小形チャックによる把持とバキュームによる吸着の 2 種類の撤去方法を用意し、ワークに合わせて撤去方法を選択して実行し、生産再開を行った。この残留物撤去動作を図 37 に示す。

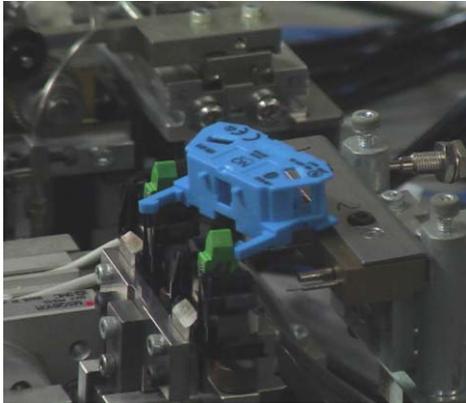


図 3-35 組立中の異常ワーク残留 1

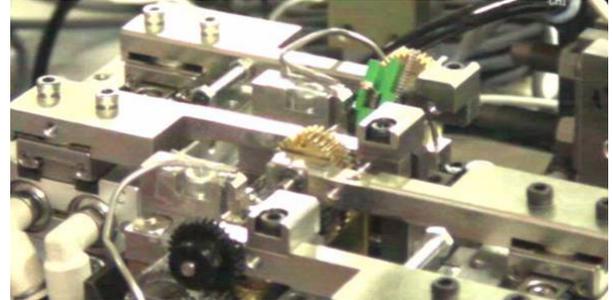


図 3-36 組立中の異常ワーク残留 2

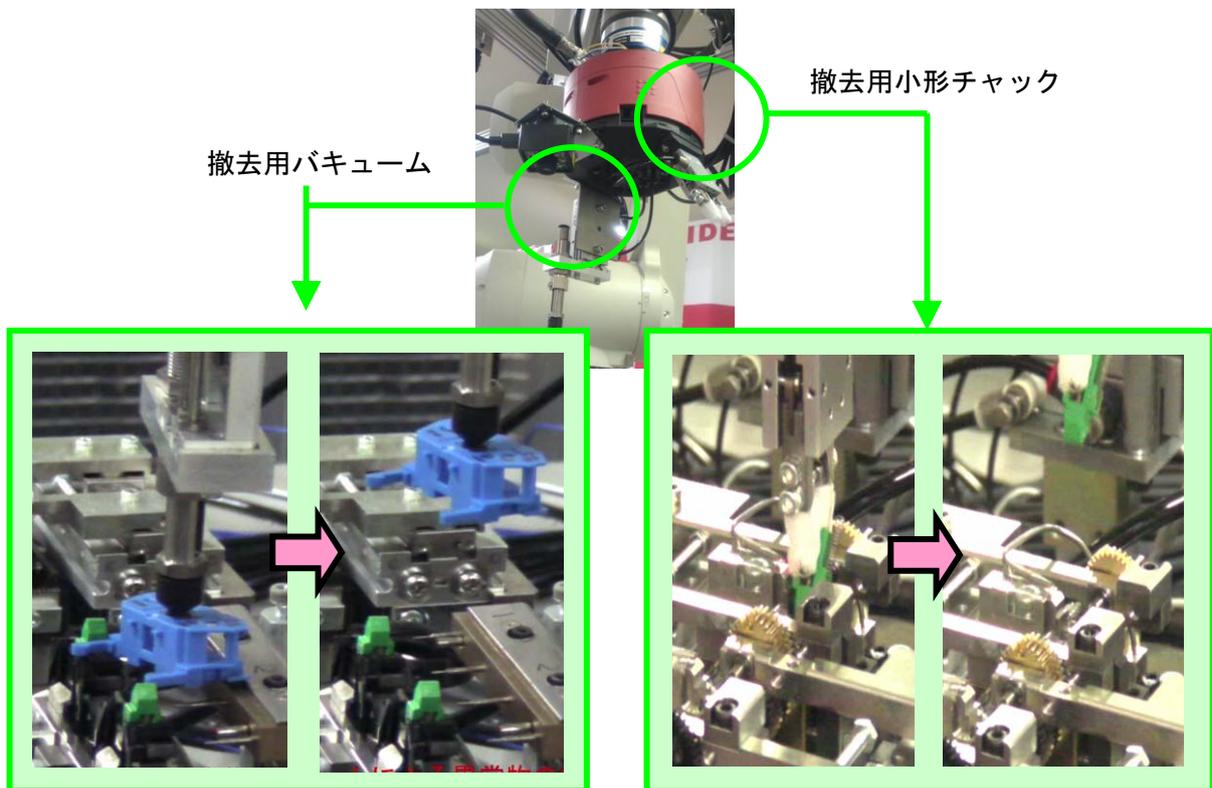


図 37 復帰手段と復帰動作

研究開発の内容

サービス仕様

チョコ停自動復帰知能モジュール群は、チョコ停が発生した場合に、画像処理を利用してチョコ停発生状態からの自動復帰を行い、生産再開を実現する知能モジュール群である。

図 38 に本知能モジュール群が提供するサービスの概要を示す。本知能モジュール群は、生産活動中のロボットシステムを常時監視することで、チョコ停発生を検知する。チョコ停発生を検知すると、生産エリア上空に取り付けられたカメラを用いてチョコ停発生エリアを撮影し、その画像から現在の状態を把握する。ここで生産再開の障害となる仕掛品などの異常物を検出した場合、状況に応じた撤去動作を選択して、ロボットシステムへ撤去指示を行い、撤去および生産再開を行う。

基本的なシナリオを以下に示す。

1. ロボットがセル生産活動を、継続的に実施する。
2. 軽微なエラーが原因で、チョコ停が発生する。
3. システムが一時停止する。
4. チョコ停から自動復帰する。
 - 4-1. チョコ停発生要因の特定
 - 4-2. 特定した要因によって、復帰動作の実施。
5. システム全体のイニシャライズ動作（生産再開前の準備）
6. ロボットがセル生産活動を再開する。

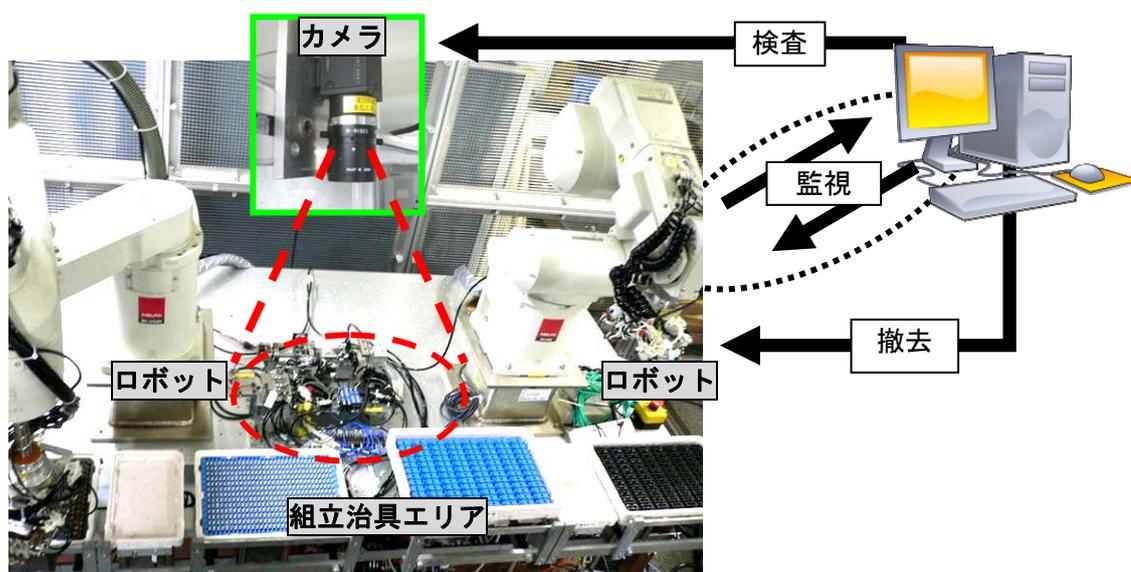


図 38 サービス概要

システム構成

1) ハードウェア構成

本知能モジュールのハードウェア構成を図 39 に示す。本知能モジュール群は、通常のロボット制御セル生産システムに必要なハードウェアに加えて、①制御用 PC、②検査用カメラ、③ロボットコントローラで構成される。①制御 PC 内にある制御用ソフトウェアによって、各種ハードウェアと連携しながら、チョコ停からの自動復帰を行うものである。

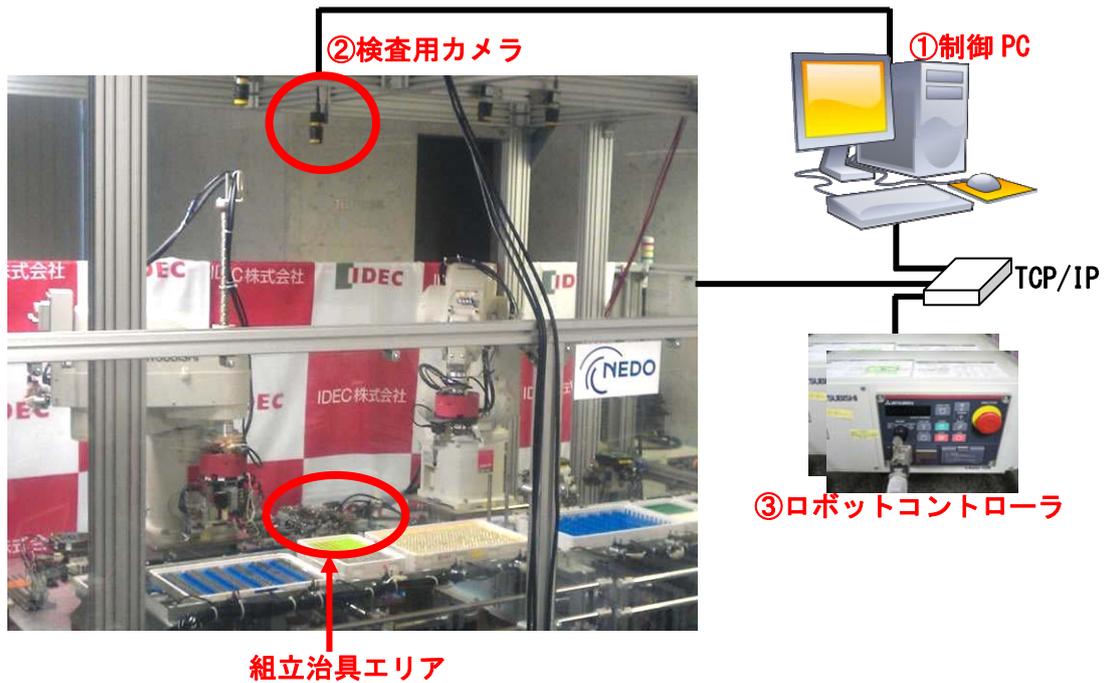


図 39 ハード構成図

2) ハードウェア一覧

ハードウェア一覧を表 15 に示す。

表 15 ハードウェア一覧

No	項目名	備考
①	PC 一式	チョコ停自動復帰知能モジュール群が動作する PC
②	Point Grey Research 社製 IEEE-1394b カメラ (Flea2)	PointGrayReserch 社の FlyCaptureSDK が動作可能なカメラ。 動作確認済みカメラ : FL2G-13S2C
③	三菱電機製ロボットコントローラ	三菱電機製のロボット制御用ソフト MelfaR XM.ocx で動作可能なロボットコントローラ

3) ソフトウェア構成

本知能モジュール群のソフトウェアの構成を図 40 に示す。チョコ停自動復帰知能モジュール群は Windows OS 上で動作する RT ミドルウェアである OpenRTM-aist をプラットフォームとして動作するチョコ停自動復帰 RT コンポーネント群と、ロボットやカメラを制御するための各種ミドルウェアやカメラで撮影した画像から被写体の位置姿勢を計測する画像処理ライブラリで構成される。

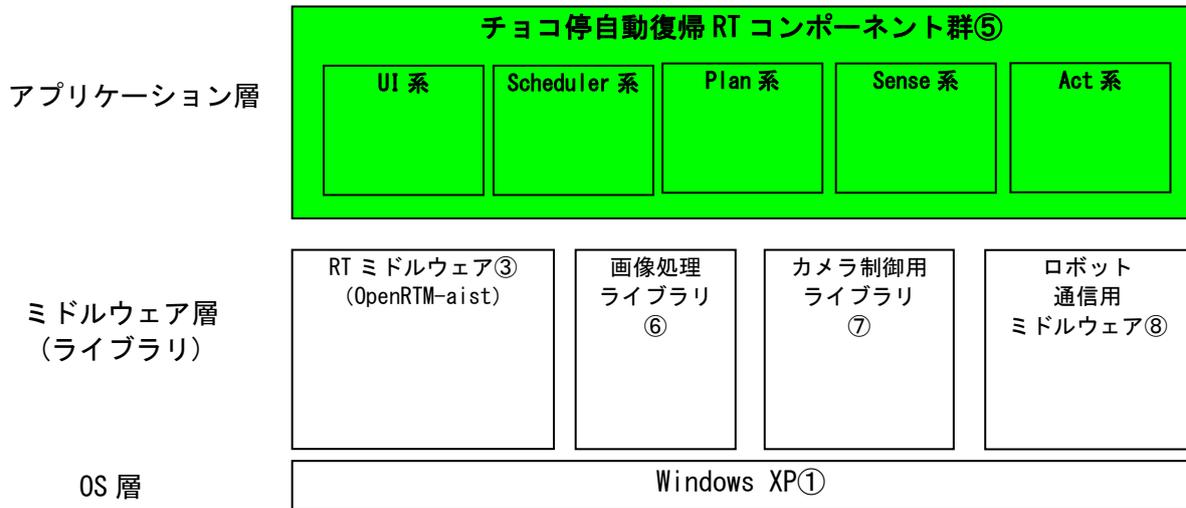


図 40 ソフトウェア構成図

4) ソフトウェア一覧

ソフトウェアの一覧を表 16 に示す。

表 16 ソフトウェア一覧

No	項目名	version	備考
①	Windows XP Professional	SP3	OS
②	OpenRTM-aist 一式 (Windows Visual C++ 2008 版)	1.0.0-RE LEASE	—
③	チョコ停自動復帰 RT コンポーネント群	1.0	
④	株式会社アドイン研究所製 画像処理ソフトウェア (AdinScope)	—	チョコ停状態の検査用の画像処理ソフトウェア。以下が含まれる。 ・異常有無検出ソフトウェア ・異常状態の識別ソフトウェア ・異常物の位置計測ソフトウェア
⑤	Point Grey Research 社製 FlyCapture SDK	1.8	Point Grey Research 社製 IEEE-1394b カメラ (Flea2) のカメラ デバイスドライバ
⑥	MELFA ロボットコントローラ通信用 ソフトウェア群 (三菱電機株式会社製)	-	MELFA ロボットコントローラとの 通信に必要。

知能モジュール群の構成

チョコ停自動復帰 RT コンポーネント群の構成を図 41 に示す。RTC の一覧表が表 17 であり、複数の RT コンポーネントを組み合わせ、チョコ停自動復帰を実現している。

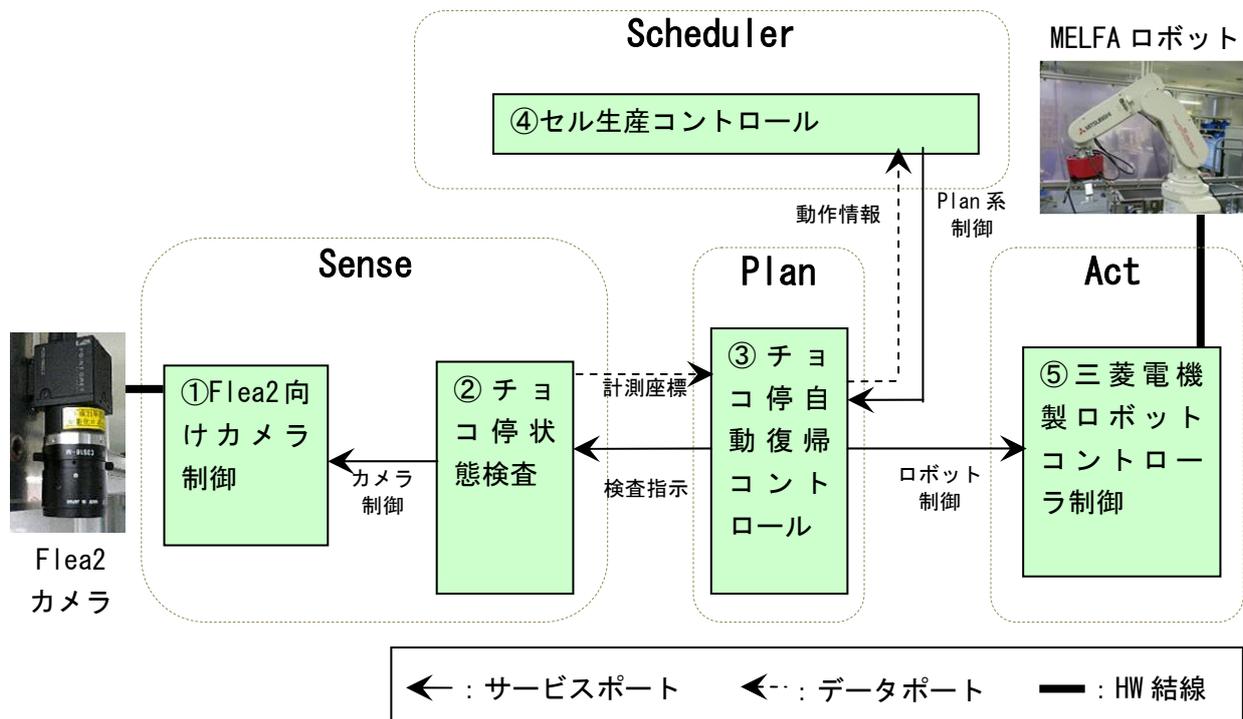


図 41 チョコ停自動復帰 RT コンポーネント群の構成図

表 17 チョコ停自動復帰用 RT コンポーネント一覧

No	RTC 名称	説明
①	Flea2 向けカメラ制御 RTC	チョコ停発生エリア撮影用のカメラドライバ。PointGreyResearch 社のカメラを 1 つ使い、指定されたフォルダへ Bitmap 形式の画像データを保存するモジュール。
②	チョコ停状態検査 RTC	指定されたエリアの画像から、そのエリアで発生している異常の有無、および異常物の位置を返すモジュール。
③	チョコ停自動復帰コントロール RTC	チョコ停復帰における動作の統括を行う。具体的には、検査用モジュールを使ってチョコ停発生エリアを検査し、検査結果に応じて復帰動作の指示を復帰動作モジュールへ指示することにより、チョコ停復帰を実現するモジュール。
④	セル生産コントロール RTC	ロボット制御セル生産システムの状態を監視し、下位に構成された各モジュールへ動作指示を行うことにより、生産活動中やティーチング中における各種機能を実現するモジュール。
⑤	MELFA ロボットコントローラ制御 RTC	MELFA (三菱電機) ロボットのコントロール。MelfaR XM.ocx を仕様して、MELFA ロボットコントローラを制御する。

1) 機能の概要

本知能モジュール群の機能概要について述べる。

本知能モジュール群の機能は、図 41 に示した「検査機能」と「復帰機能」で構成する。

チョコ停発生時に対象エリアを画像処理によって検査し、その結果を元に復帰動作を行い、復帰結果を再検査で確認することにより、生産再開を行うための機能である。

ここで、生産監視中の「監視機能」は、チョコ停事回避知能モジュール群が持つ機能である。

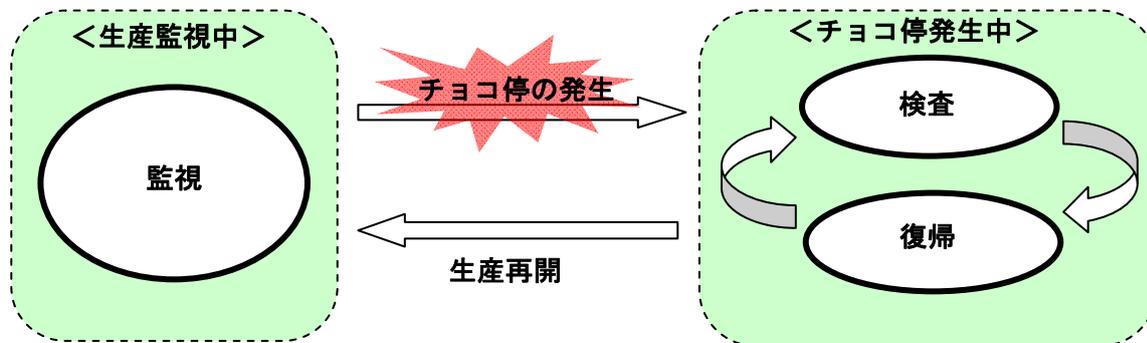


図 42 チョコ停自動復帰知能モジュール群の機能概要

2) 検査機能の概要

図 43 が検査機能の概要であり、本知能モジュール群は、チョコ停が発生した場所を検査し、異常の有無や、異常があった場合にはどんな異常物がどこにあるかを特定する検査機能を持つ。具体的には、検査対象エリアの画像データと、チョコ停 DB 内に保存された事前学習データ（正常時の画像、異常物モデル画像など）を入力として検査を行い、検査画像中の異常の有無や異常内容の詳細を出力とする機能である。

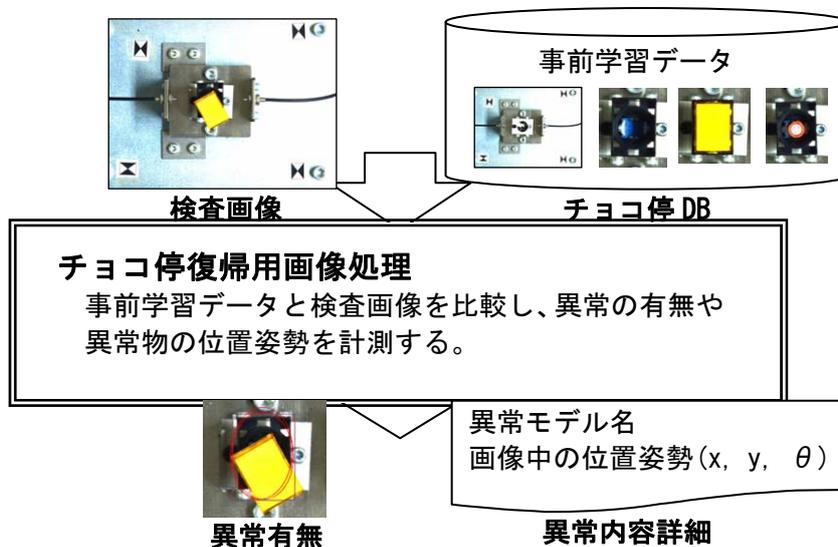


図 43 検査機能の概要

3) 復帰機能の概要

図 44 が復帰機能の概要であり、本知能モジュール群は、チョコ停発生時の異常内容が判明した際に、その異常内容に基づいて復帰手段を実行する機能を持つ。これは、異常内容の詳細とチョコ停 DB に保存された復帰手段やカメラ座標からロボット座標への座標変換パラメータを入力として、生産再開につなげる為の復帰処理を実行するものである。

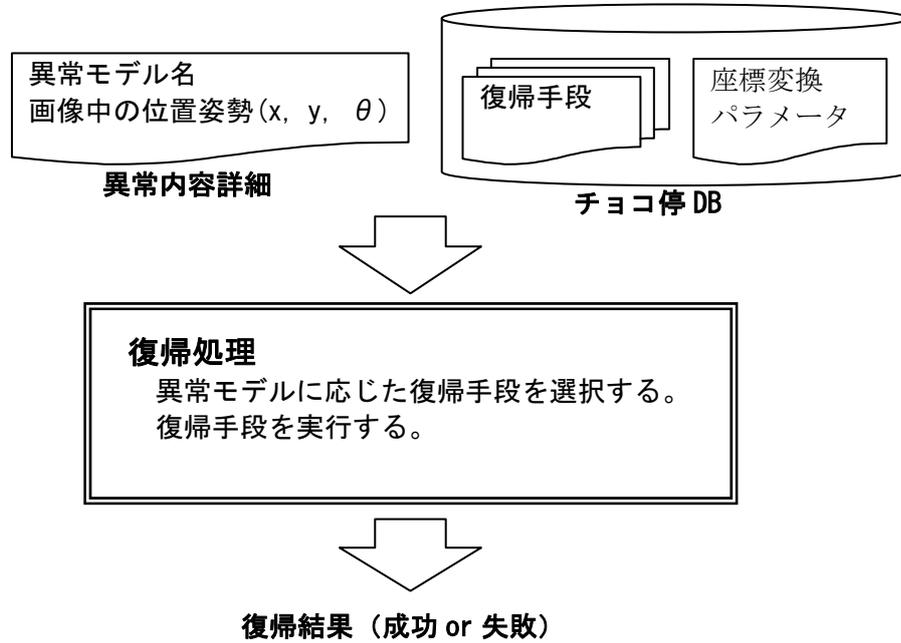


図 44 復帰機能の概要

ロボットハンドの進化と事業化推進

ロボットハンドの進化

生産性と安全性を両立させ、第一回「ものづくり日本大賞・優秀賞」を受賞した多品種変量に最適な「千手観音モデル」ロボット制御セル生産システムとして、これまで多品種で高品質な制御機器(スイッチやリレーなど)を約 5200 万個以上も生産してきた。これまで、ロボットハンドは、表 18 に示したように第三世代にわたる進化を遂げてきている。この小型垂直多関節ロボット用として進化した第三世代の高機能のマルチハンドをロボット制御セル生産システムの普及を目的に、2011 年 5 月に市場投入し、事業化を実現させた。

表 18 ロボットハンドの進化

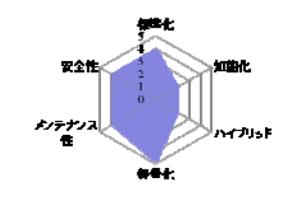
項目	第一世代ハンド	第二世代ハンド	第三世代ハンド
特長	一品一様で設計された金属製ハンド	標準化を実現した樹脂製ハンド	進化を続けるマルチハンド
外形(写真)			
特長・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・一品一様 (都度設計) ・金属製で重量大 ・標準品が無い ・製作コスト高 	<ul style="list-style-type: none"> ・金型成型品 ・標準化を実現 ・重量 (樹脂<金属) →40%削減 	<ul style="list-style-type: none"> ・通信基板モジュール搭載 ・電磁弁内蔵 ・センサ入力 16 点 ・省配管化
実用性	<ul style="list-style-type: none"> ・IDEC ロボット制御セル生産システムで 11 年連続稼動中 ・実用化済み 	<ul style="list-style-type: none"> ・IDEC ロボット制御セル生産システムで 5 年連続稼動中 ・実用化済み 	<ul style="list-style-type: none"> ・2011 年 5 月発売
総合評価			



図 45 MH1A 形マルチハンド

発売したロボットマルチハンド

図 45 が IDEC が発売した MH1A 形マルチハンドであり、その特長は以下のとおり。

【マルチハンドの特長】

- 軽量化：
一部の樹脂化により軽量化し、小型垂直多関節ロボットでも使用可能である
- 各種ハンド搭載可能：
ハンドアダプタにより、各種ハンドの取付・交換が可能である。最大4個のハンド搭載。
- 停電時ワーク保持機能：
ダブルソレノイド搭載により、停電時ワークを保持し、ワーク落下による破損を防止する。
- 高機能：
センサ入力16点をハンドに搭載し、ワークの把持状態の確認可能。

マルチハンド仕様

マルチハンドの主な仕様を表 19 に示す。

表 19 マルチハンド仕様

項目	三菱電機ロボット専用タイプ	パラレル I/O タイプ
電源電圧	DC24V±10%	
最大消費電力	7.2W 以下(全入力 ON 時)	10W 以下(DC26.4V)
入力	16 点(約 7mA/1 点 : DC24V)	16 点(DC24V)
センサ入力コモン切替	スライドスイッチにてコモン切替(初期設定 : COM(+))	
出力	8 点(制御出力/ダブルソレノイド)	
外部機器との接続	シリアル通信	パラレル I/O
使用周囲温度	0~+40°C(ただし、氷結なきこと)	0~+45°C(ただし、氷結なきこと)
使用周囲湿度	10~90% RH	
エア配管	入力側(1次) : φ6×1 本/出力側(2次) : φ3×8 本	
最大使用空気圧	Max 0.7MPa	
外形寸法	φ130×118.5mm	
最大可搬質量	1.0kg(ハンド本体/アダプタ先端負荷(2N・m 以下))	
質量(約)	1.5kg(ハンド除く)	

三菱ロボット専用通信タイプの特長

マルチハンドには、2つのタイプがあり、三菱電機ロボット専用通信タイプの特長は次のとおりである。

- 省配線：
三菱電機製の産業用垂直多関節ロボット(RV-2SD)の標準搭載シリアル通信に対応し直接接続が可能である。ベースユニットへの配線は、通信ケーブル1本、配管1本によるシンプル配線になり、ロボットの動作が柔軟、かつ高速化を実現できる。
- 簡単セットアップ：

ロボット言語(MELFA-BASIC)で簡単制御できる。各ハンドの軸座標(ツール座標)に対応しており、ツール座標をパラメータに入力する必要がない。

●簡単操作：

ティーチングボックスから簡単操作が可能(デバック操作など)

マルチハンド(三菱電機ロボット専用タイプ)のブロック図を図46、配線・配管図を図47に記す。

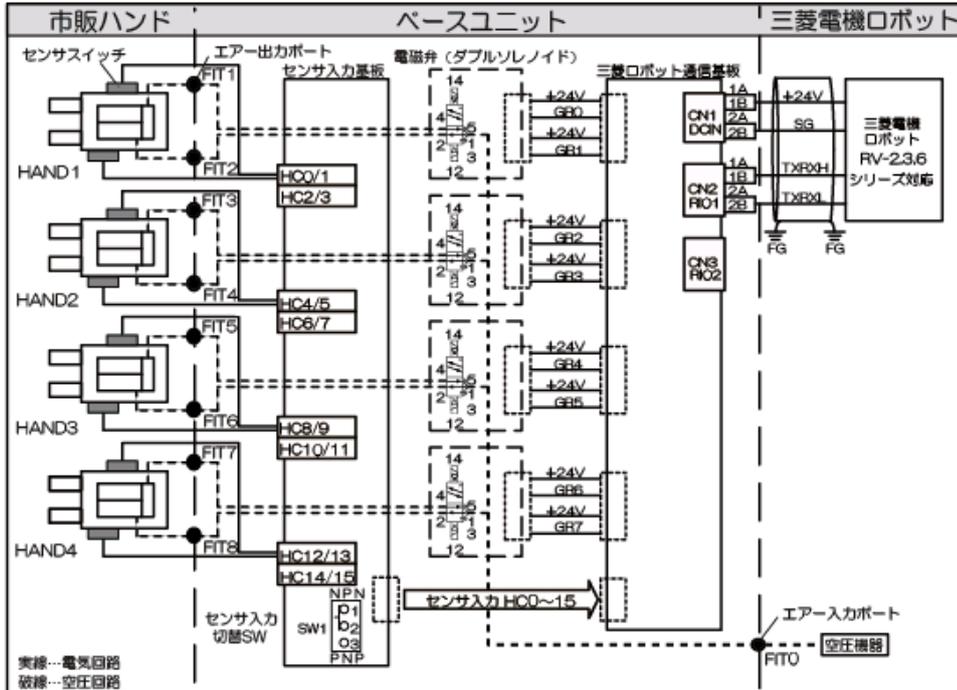


図46 三菱電機ロボット専用タイプブロック図

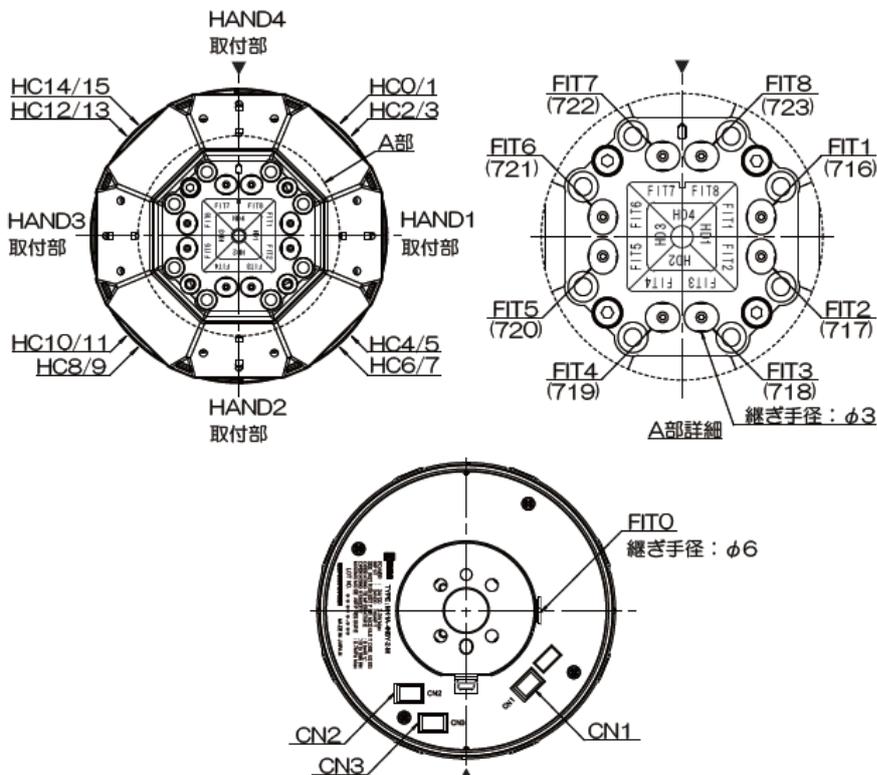


図47 三菱電機ロボット専用タイプ配線・配管図

パラレル I/O タイプの特長

マルチハンドのもう一つのタイプであり、汎用的に様々なロボットに対応可能なパラレル I/O タイプの特長は次のとおりである。

●省配線：

三菱電機製の産業用垂直多関節ロボット (RV-2SD) の標準搭載シリアル通信に対応し直接接続が可能である。ベースユニットへの配線は、通信ケーブル 1 本、配管 1 本によるシンプル配線になり、ロボットの動作が柔軟、かつ高速化を実現できる。

マルチハンド (パラレル I/O タイプ) のブロック図を図 48、配線・配管図を図 49 に示す。

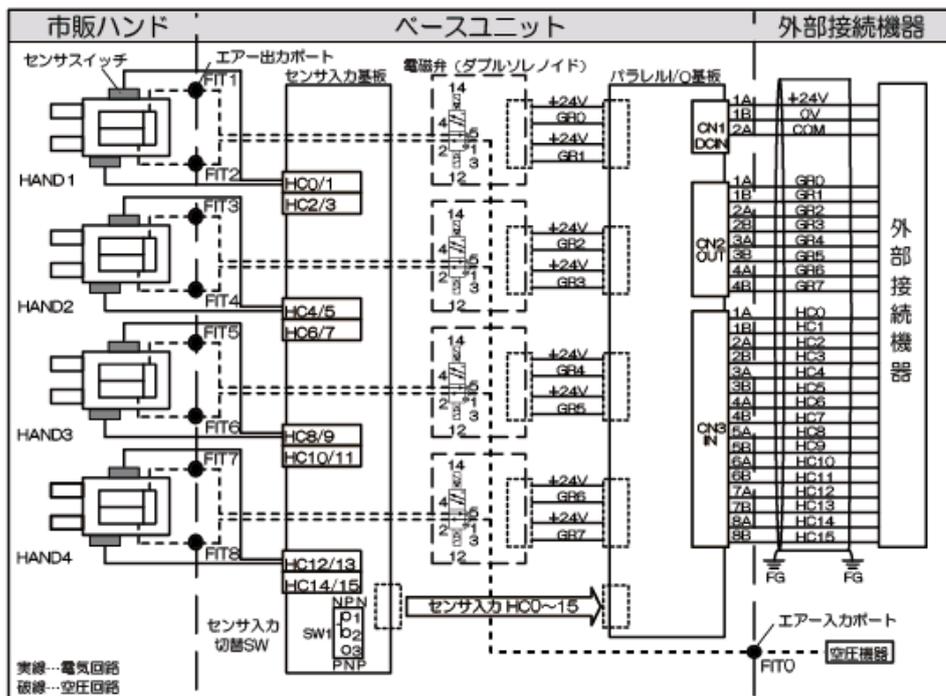


図 48 パラレル I/O タイプブロック図

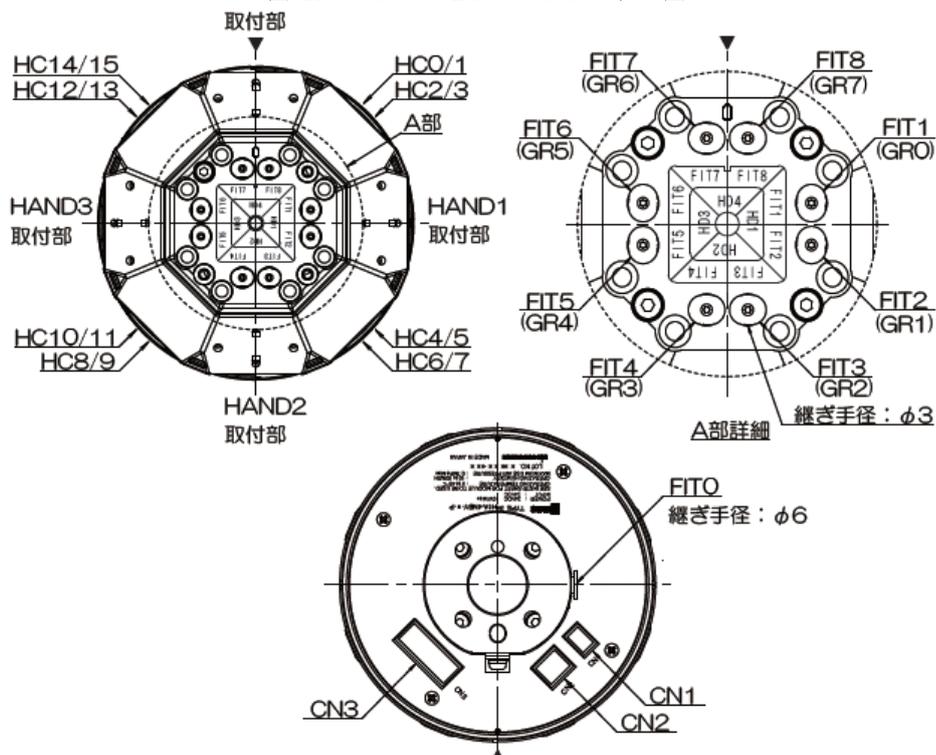


図 49 パラレル I/O タイプ配線・配管図

マルチハンドの公表

国際ロボット展 2009

国際ロボット展 2009 の NEDO ブースの IDEC コーナーにおいて、図 50 の写真のように、三菱重工と三菱電機の異なるメーカーのロボットを同一インターフェースで動作させ、RTC の再利用性の良さを訴求する汎用ロボットコントローラ RTC による IDEC ロゴの並び替えの実機デモを実演した。

また、このデモでは、ロボットマルチハンドを取り付けて、一度に 4 つのワークを把持することにより、タクトタイムが短縮できることを実演して見せた。



【NEDO ブースの IDEC コーナー】



【ワーク並び替えデモ】

図 50 国際ロボット展 2009 のデモの写真

国際ロボット展 2011

国際ロボット展 2011 においても、NEDO ブース、IDEC ブース並びに、三菱電機ブースにおいて、2011 年 5 月に発売したマルチハンドを搭載したロボットの実演デモを行い、マルチハンドを世の中に広く公表できた。

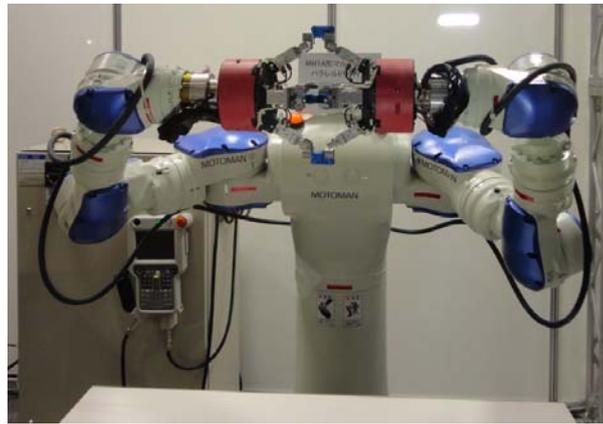
IDEC ブースでは、図 51 の写真のように、ワーク持ち替えデモ(デモ①)とオートツールチェンジャー (Auto Tool Changer : ATC)機能を備えたマルチハンド(開発中)による多機能工程デモ(デモ②)を出展した。

生産工程では、単純な作業をする単機能生産工程と多くの作業を 1 つの生産工程で行う多機能生産工程がある。単機能生産工程では、タクトタイムが優先され、従来では 1 ハンド/1 ロボットでロボットの高速度動作を活用してタクト短縮を図ってきたが、マルチハンドを使うことにより、1 度に複数ワークを把持できることから、効率的な単機能生産工程が実現できる特長を訴求した。

また、多機能生産工程においては、従来では 1 ハンド(ATC 付)でハンドを切り替えていたが、マルチハンド(4 ハンド搭載/ATC 付)を使えば、最大 7 台のハンドベース切り替えが可能であり、合計 28 種類の部品把持などができることを訴求した。



【IDEC ブース】



【デモ①】



【デモ②-1】



【デモ②-2】

図 51 国際ロボット展 2011 のデモの写真

デモの内容の詳細と考察は次のとおりである。

■デモ①（単機能生産工程デモ）

双腕ロボットの両手に4ハンド搭載のマルチハンドを取り付けて、4つのワークを把持したマルチハンドから、もう一方のマルチハンドへロボットの協調動作により、4つのワークを一度に持ち替える動作をさせ、ワークの受け渡し工程におけるタクトタイム削減効果をマルチハンドで訴求した

■デモ②（多機能生産工程デモ）

垂直多関節ロボットにマルチハンド(ATC付)を取り付け、作業エリアの隅にATC用ハンドベース4台(4ハンド搭載2台、8ハンド搭載2台)を設置し、ロゴの組立デモとATC脱着動作デモを行い、マルチハンドを使うことにより、少ない作業エリアにおいて、多機能生産工程が実現できる特長を訴求した。

■考察

デモ①（単機能生産工程デモ）とデモ②（多機能生産工程デモ）から、マルチハンドを使った生産システムでユーザの要望にあったマルチハンド選択が可能であることを説明し、今回のデモ内容に対して来場者に好評を博し、ロボットハンド事業の大きな手応えを感じ取ることができた。

相互検証

本研究プロジェクトでは、それぞれのコンソーシアムで開発したRTCを違うコンソーシアムで相互に検証することにより、RTCの再利用性を確認することを推進してきた。その活動において、つぎのような相互検証作業を行った。

無線ペンダントの貸し出し

表1に示した無線操作知能デバイスとして、平成20年度の成果報告書2章2.3でも記述した無線安全信号処理を搭載した無線ペンダントを試作し、フィールドテストを目的として三菱電機株式会社先端技術総合研究所ソリューション技術部、および、京都大学大学院工学研究科メカトロニクス研究室に貸し

出した。本項では貸し出したシステムの構成を示す。

システム構成

システム構成図

システム構成図を図 52 に示す。

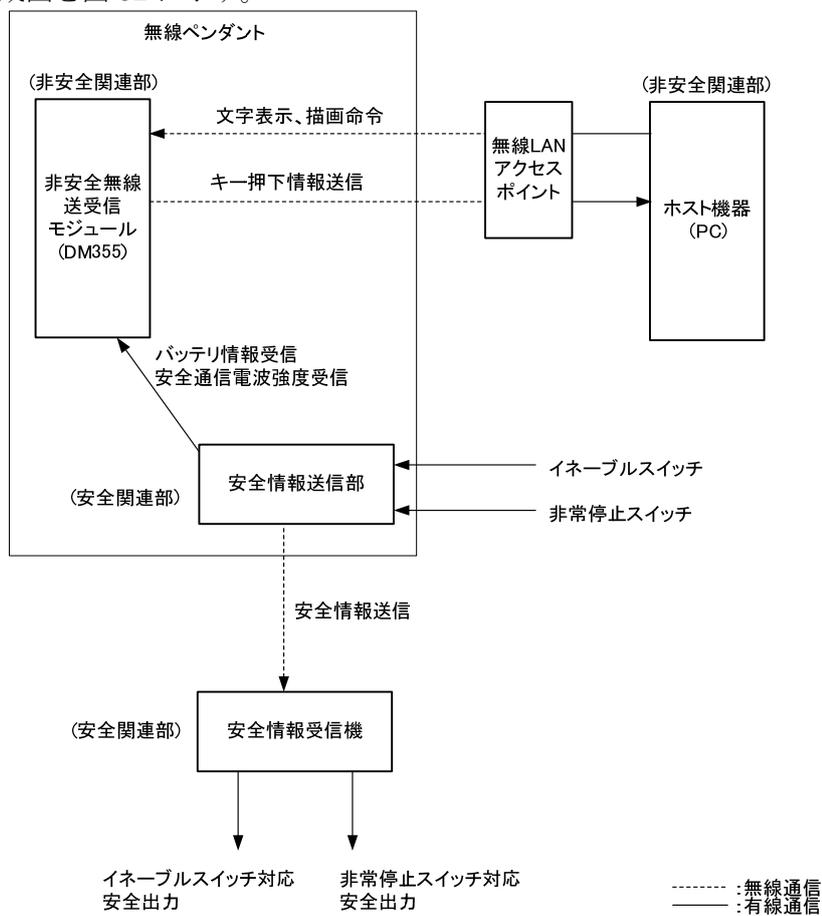


図 52 無線ペンダントシステム構成

2) 貸し出しシステム全体

今回貸し出したシステム全体の写真が図 53 である。

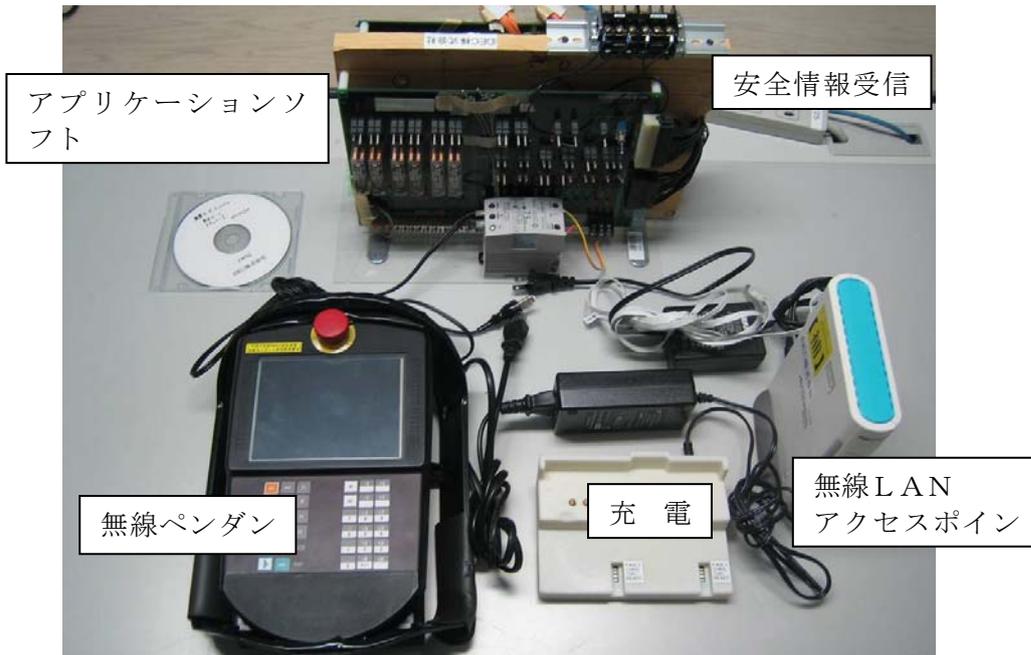


図 53 無線ペンダントシステム

3) テスト風景

実際のテスト風景を図 54 に示す。



図 54 三菱電機株式会社でのテスト実施風景

三菱力覚センサモジュールの評価 力覚センサモジュール導入の意義

知能モジュール群の再利用性の検証として、三菱電機株式会社が開発した力覚センサの力情報をモニタする RT コンポーネント群（「力覚センサモジュール」と呼ぶ）を IDEC の検証システムに導入した。ロボットに組立て作業を実行させるには、部品同士を勘合させたりするため、より高精度なティーチングが求められる。下図に示すように、部品勘合のティーチング作業に力覚センサを利用することで、部

品同士の勘合時に無理な力が加わっていないことを確認できて、より高精度なティーチングを正確に短い時間で実現できる。

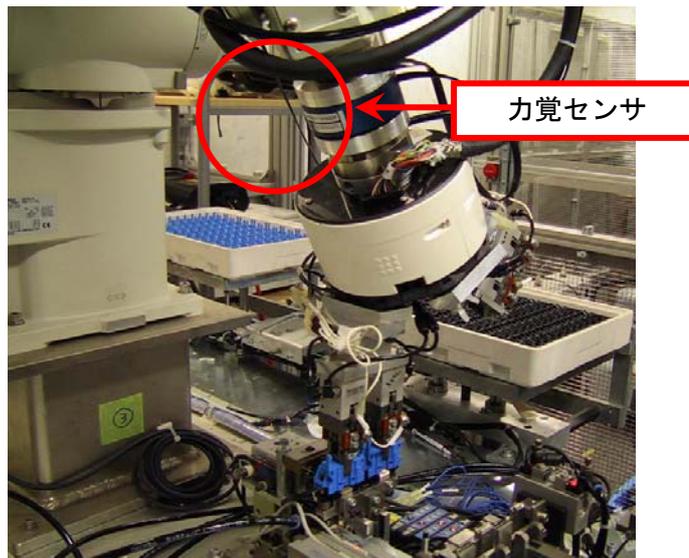


図 55 力覚センサによる部品の勘合確認

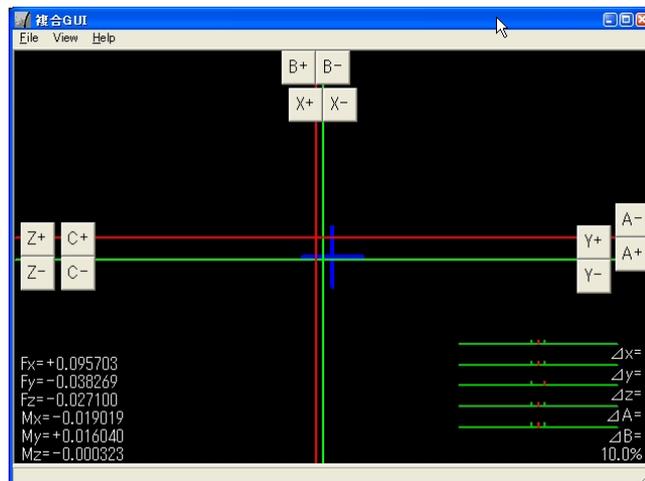


図 56 三菱電機株式会社製の力情報をモニターする RT コンポーネントの画面

再利用性の検証

図 57 で示した検証システムに力覚センサモジュールを適用して「部品勘合」と「ツールチェンジ」の作業における、再利用性と有効性を検証した。

1) 部品勘合

- 適用箇所

部品勘合時のティーチングに力覚センサを適用する。

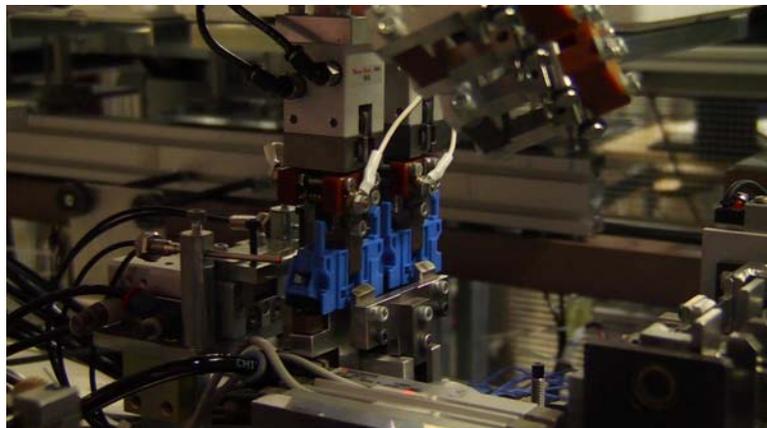


図 57 部品勘合確認のロボット動作

- 解決すべき課題

部品勘合時に押し込み過ぎるとロボットと勘合対象の部品に必要な以上の負荷が発生し、不良率が上がるだけでなく、ロボットや組立治具など生産設備の寿命を短くすることに繋がる。部品勘合のティーチングに力覚センサを活用することで、必要以上の負荷が発生しない押し込み位置を探る。

- 力覚センサによるティーチング座標の補正方法

1. まず、部品勘合が完了した部品を把持して、かつ、組立治具と非接触の状態（ロボットに不要な負荷がかかっていない状態）における、力情報を基準（Reset Offset、レンジ設定 1.0）とする。その様子が、図 58 となる。

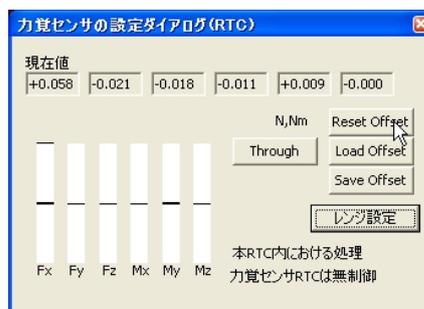


図 58 複合情報 GUI モジュールの力覚センサの Reset Offset 操作 GUI

2. 次に、力情報を示す画面を視認しながら、ティーチングペンダント操作で部品勘合（部品押し込み）する。その際、力情報を示す画面で必要以上の負荷がかかる位置（緑色の線が振れる位置）まで押し込み、そこから、力情報を示す画面を視認しながら、ティーチングペンダント操作で押し込みを戻していき、必要以上の負荷がかからない位置（緑色の線が振れない位置）を確認する。その時の座標が最適な部品勘合位置となる。その様子が、図 59 となる。

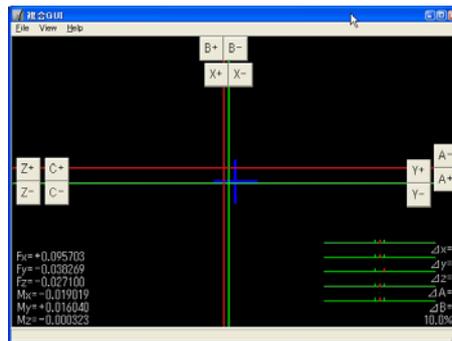


図 59 複合情報 GUI モジュールの部品勘合確認操作 GUI

- 力覚センサによる座標補正結果

部品勘合位置の Z 座標が 160.86 で負荷がかかっていない状態となった。手作業でティーチングしていた際は、試行錯誤の末に Z 座標を 158.96 でティーチングしていた。力覚センサモジュールを再利用して 1.9mm の補正を数分の作業で実現できた。

2) ツールチェンジ

- 適用箇所

図 60 の写真のように、ツールを脱着させるツールチェンジのティーチングに力覚センサを適用する。



図 60 ツールチェンジのロボット動作

- 解決すべき課題

ツール脱時の着脱治具への押し込みの際に、押し込み過ぎるとロボットに必要以上の負荷が発生し、ロボットやツールなど生産設備の寿命を短くすることに繋がる。ツール脱時のティーチングに力覚センサを活用することで、必要以上の負荷が発生しない押し込み位置を探る。

- 力覚センサによるティーチング座標の補正方法

1. まず、ツール着脱治具の直前の位置姿勢、かつ、着脱治具と非接触の状態（ロボットに不要な負荷がかかっていない状態）における、力情報を基準（Reset Offset、レンジ設定 1.0）とする。その様子は、図 58 参照のこと。
2. 次に、力情報を示す画面を視認しながら、ティーチングペンダント操作でツール脱位置へ移動（治具へ押し込み）する。その際、力情報を示す画面で必要以上の負荷がかかる位置（緑色の線が振れる位置）まで押し込み、そこから、力情報を示す画面を視認しながら、ティーチングペンダント操作で押し込みを戻していき、必要以上の負荷がかからない位置（緑色の線が振れない位置）を確認する。その時の座標が最適なツール脱位置となる。その様子は、図 59 参照のこと。

- 力覚センサによる座標補正結果

ハンドの脱位置の Z 座標が 250.58 で負荷がかかっていない状態となった。手作業でティーチングしていた際は、試行錯誤の末に Z 座標を 251.050 でティーチングしていた。力覚センサモジュールを再利用して 0.47mm の補正を数分の作業で実現できた。

Android タブレット版セル生産システムモニタ

Android 端末に対応した RT ミドルウェア（株式会社セックが開発した「RTM on Android」）を活用して、Android タブレット上にてロボット制御セル生産システムの監視を行う Android タブレット版セル生産システムモニタ RT コンポーネント（「簡易モニタ RT コンポーネント」と呼ぶ）を開発・導入した。

簡易モニタ RT コンポーネントは、パソコン上で動作する他の RT コンポーネント群と同じようにデータ授受を行うことができる。図 61 の写真に見られるように、遠隔地に居ながら、チョコ停の発生を認識できたり、セルに設置したネットワークカメラから生産状況をライブ映像で視認でき、非常停止スイッチと安全扉の安全信号の ON/OFF 状態も Android タブレット上で手軽にモニタ可能となる。



図 61 Android タブレットの簡易モニタ RT コンポーネントの画面

3.3.1.2. 三菱電機・京都大学・神戸大学編

3.3.2.1. 研究開発の内容及び成果等

本プロジェクトにおいては、再利用可能な多数の智能モジュール（インタフェース仕様を共通化したソフトウェア）を柔軟に組み合わせて、多様なロボットアプリケーションの構築を可能にすることが目標となっている。そこで本事業では、この思想に基づくシステムインテグレータとして、他のプロジェクト参画者が開発したモジュール群を最大限利用しつつ、生産現場へ導入可能な機種切り替えが迅速かつ長時間連続操業可能なロボットセル生産システム実現のために必要とされる追加モジュール群の開発、及び、その検証のため、統合システムを完動させることを目的とした。

機種切り替えとは、生産する機種品目の変更のことを云う。これを迅速に行なうためには、ロボット教示時間の短縮が有効である。このため、教示に関する智能モジュール群が必要となる。

長時間連続操業を可能とするためには、作業エラーの抑制、作業誤差に対するロバスト化が、効果的である。このため、エラーリカバリ支援に関する智能モジュールが必要となり、さらに、認識に関するモジュールが必要となる。さらに、開発する智能モジュールの有効性検証のため、統合システムが必要となる。図 1.1 に開発目標と、そのポイントを示す。

本報告書では、本プロジェクトで開発した 11 個の智能モジュールと、2 つの統合システムについて述べると共に、開発された智能モジュール群を用いることで、教示時間 3 分の 1 以下に短縮、ロボットが同一動作を繰り返す際のタクトタイム 44%短縮、チョコ停が発生した時に多少のタクトタイムの増加を伴いながらの自動復帰動作実現、10 種以上の小型電機製品の部品のばら置き状態からの組み付け実行を確認し、目標を達成したことを述べる。

以下、次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトを「知能化 PJ」、産業技術総合研究所が開発した智能モジュールのための共通インタフェース仕様ミドルウェアを使用した智能モジュールを「RT コンポーネント」、あるいは「RTC」と呼ぶことにする。

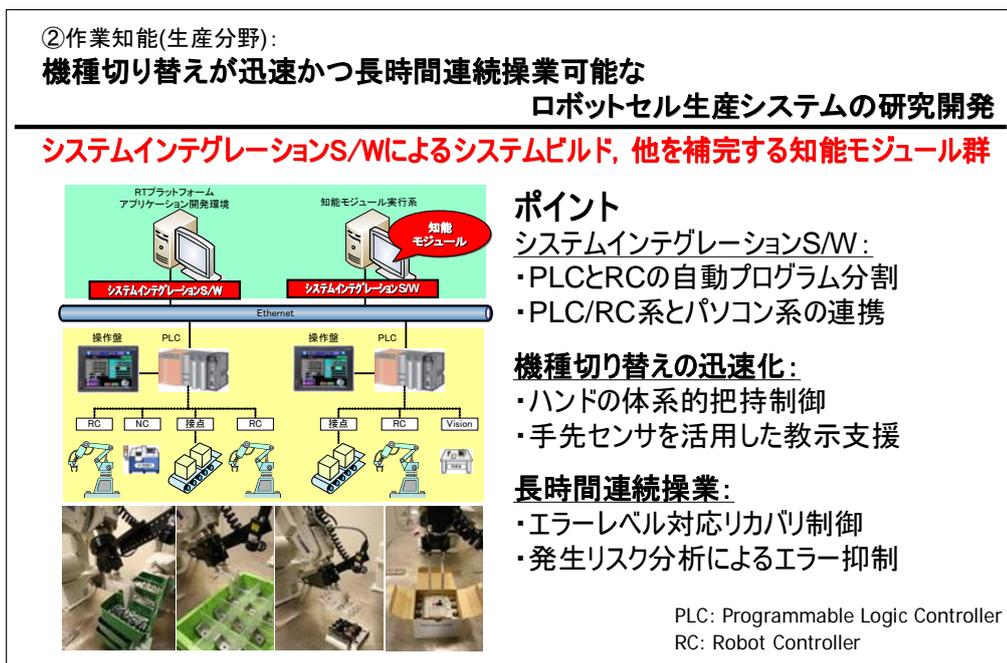


図 1.1 開発目標とポイント

(1) 統合システムの概要

本委託事業では、自律型セル生産ロボットシステムを実現するために必要な知能モジュールの開発を進めたが、本報告書では、まず、開発した知能モジュールを用いて、どのようなロボットシステムを構築できるのかを示すため、知能モジュールの統合システムについて、説明する。本委託事業では、ロボットによるセル生産の典型例として、本章に示す2種類の統合システムを構築した。2つの統合システムの関係であるが、例えば、工場内で、バラ積み部品供給システムが、部品トレイ上に部品を整列させ、その部品トレイが組立システムに供給されて、部品から製品へと組立てられる、というような普遍的な生産ラインレイアウトを想定したものである。以下、それぞれについて、簡単に説明する。

自動組立システムへのバラ積み部品供給システム

自動組立システムでは、部品供給が問題になる。パーツフィーダと呼ばれる専用装置、あるいは人手に頼っているのが現状であるが、機種切替時のリードタイム、コスト、フットプリントなどの問題がある。ロボットによる自動化も試みられてきたが、最近ようやく吸着パッドで吸い付けられる板金物、軸物、穴が有って内掴み可能な物など、部品の形状を限定した上での実用化が見えてきた段階にある。本委託事業では、ロボットによるバラ積み部品供給を例題とした。

図2.1.1に構築した統合システムを示す。4台のロボットで部品を持ち替えて、部品の姿勢を整え(図2.1.2)、緑色のバラ積み部品箱内の部品を、赤枠内に示した部品トレイ上に整列させていく(図2.1.3)。これまで人手に頼るしかなかった複雑な形状の部品を、最速3秒台で整列させられることが特徴である。このとき、開発した知能モジュールを用いてシステムを構築し、立ち上げられること、および、各知能モジュールにより、「機種切り替えが迅速」「長時間連続操業可能」の各機能が発揮されるかを検証した。本システムは、2011年度の国際ロボット展に出展した。

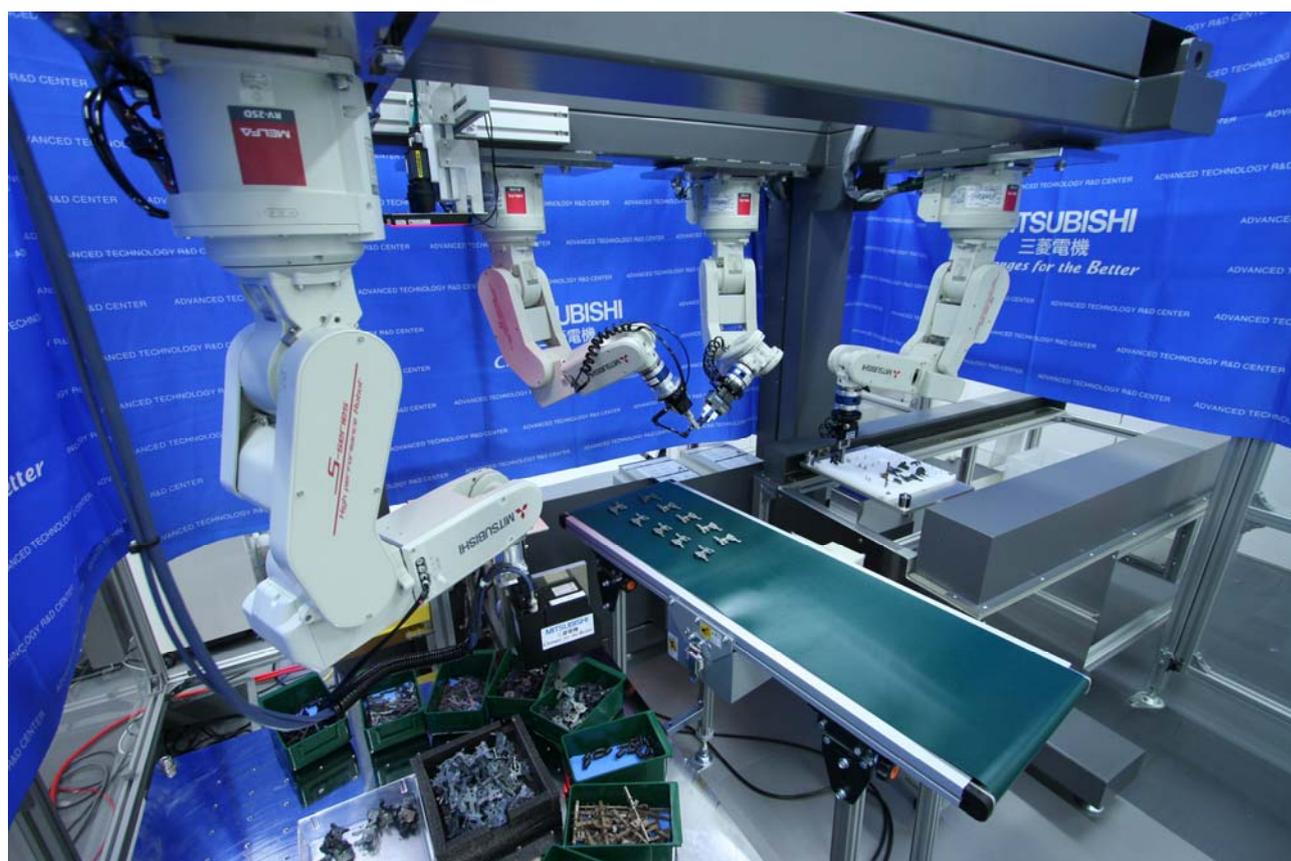


図 2.1.1 統合システムその1 自動組立システムへの、バラ積み部品供給システム

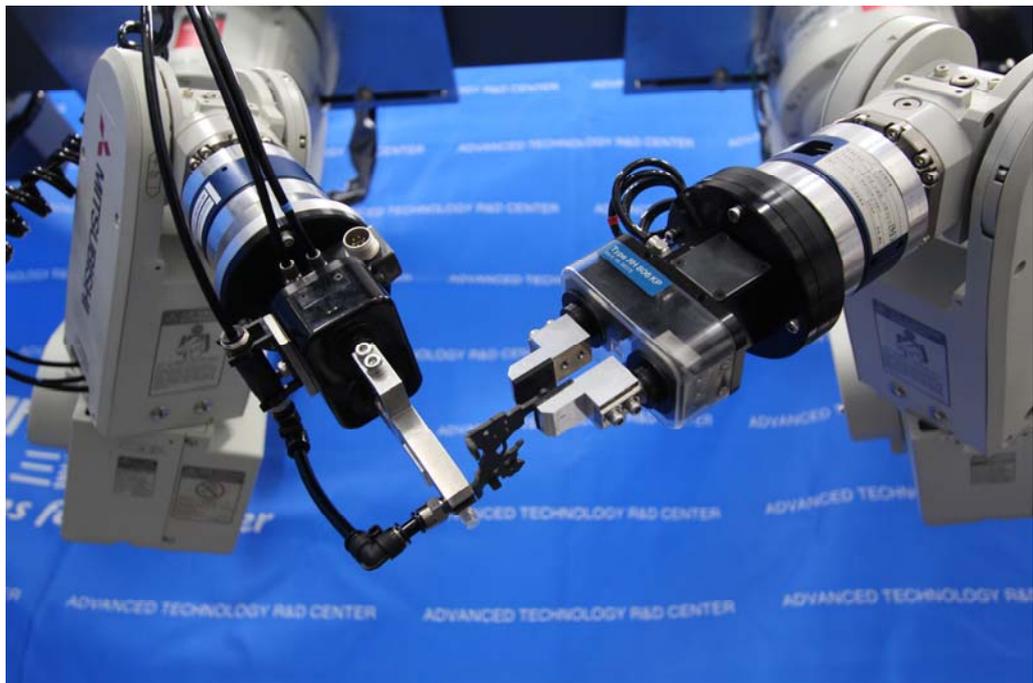


図 2.1.2 統合システムその 1 複数ロボットによる部品の持ち替え

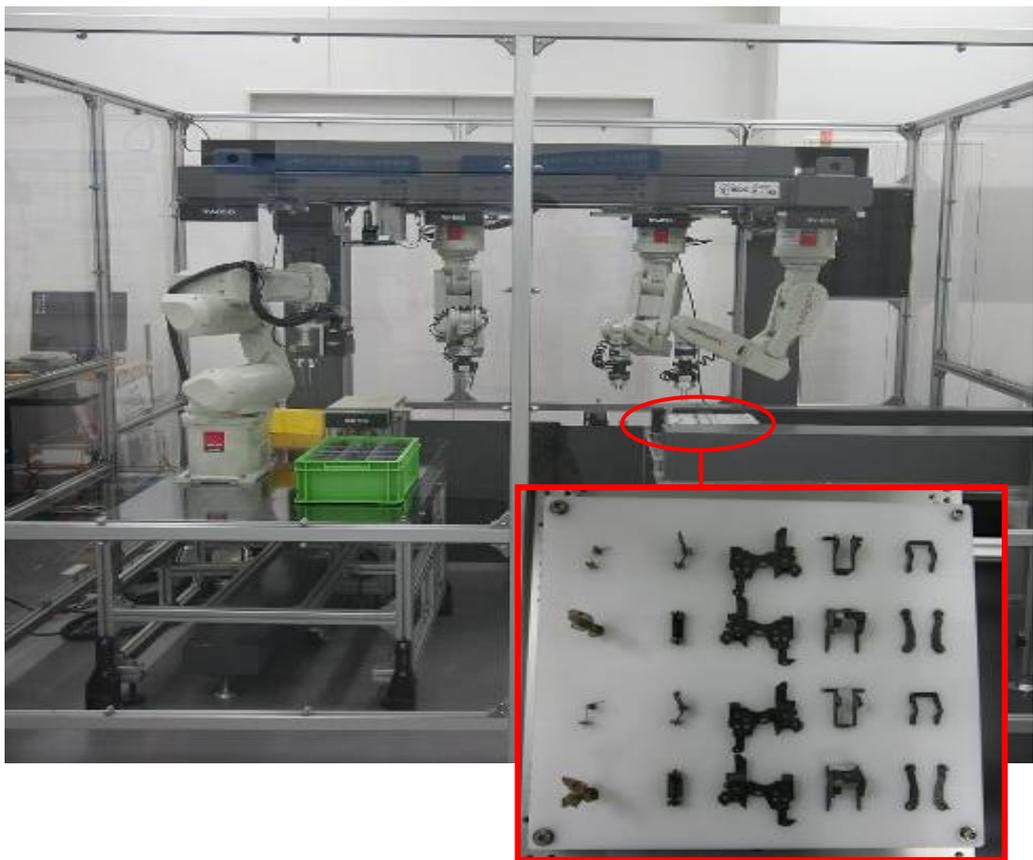


図 2.1.3 統合システムその 1 バラ積み部品の整列

小型電気電子製品の自動組立システム

約 10cm 立方から 60cm 立方程度のサイズの、部品点数 数 10 点程度、多品種中量生産の電気電子製品の自動組立を例題にして、統合システムを構築した。図 2.2.1 にその写真を示す。図からわかるとおり、ロボットは 2 台用いている。この統合システムにおいて、部品の供給（図中手前の円盤状の部品台車から）、組立、検査、払い出し（中右下の緑色のコンベアへ）という一連の生産活動が、1 カ所で実施される。すなわち、典型的なロボットによるセル生産システムの構築事例である。図 2.2.2 に組立作業動作の様子、図 2.2.3 に、対象ワークの例を示す。

この統合システムを用いて、開発した知能モジュールを用いてシステムが構築でき、実際に、組立システムとして立ち上がること、および、各知能モジュールにより、「機種切り替えが迅速」「長時間連続操業可能」の各機能が発揮されるかを検証した。本システムは、2009 年度の国際ロボット展に出展した。



図 2.2.1 統合システムその 2 小型電気電子製品の組立システム



図 2.2.2 統合システムその 2 における組立作業の様子



図 2.2.3 統合システムその 2 が組立対象とする小型電気電子製品

(2) 開発した知能モジュール群

産業用ロボットを用いた生産システム全体の主要コストは、実は、エンジニアリングコストである。エンジニアリングには、ロボットの教示、作業エラーの抑制、エラー発生後の対策が含まれる。このエンジニアリングを支援することが、機種切替の迅速化、長時間無人運転の実現につながる。そこで、本委託事業では、オフラインおよびオンライン教示を支援する知能モジュール、エラーリカバリ支援に関する知能モジュール、ロボストに対応するための認識に関する知能モジュール、知能モジュール群とレガシーロボットシステムを統合するためのシステムインテグレーション・ソフトウェアの開発を進めた。以下、各モジュールについて列挙する。

オフライン教示支援に関する知能モジュール群の開発

ハンドライブラリモジュール

様々な形状の部品を、その初期位置・姿勢誤差に対して、ロボストに把持する汎用ハンドのための把持戦略の計画を目的とする知能モジュールとして、ハンドライブラリモジュールを開発した。

ロボットハンドが物体を把持していく過渡現象において、ハンドの指が物体を押していくことになる。その現象を押し操作と呼ぶことにする。この押し操作の準静的解析に基づいたロボットハンドの把持解析を行なうための機能が提供される。摩擦のある水平面上に置かれた対象物体を複数の指で押した際の指の動きから、対象物体の動きをシミュレーションすることが特長である。

把持解析は以下の条件下で行われる。

- 把持対象物は形状、面密度、ならびに指との反発係数が既知の2次元剛体とする。
- 対象物と支持面（水平面）の間に働く摩擦はクーロン摩擦であり、動摩擦係数は既知とする。
- ハンドの指先は剛体とする。
- 把持対象物とハンドの指は有限個の点で摩擦なし点接触をし、線接触は生じないとする。
- 指の輪郭は対象物との接触点とその近傍で十分滑らかであり、2階微分可能であるとする。

このモジュールにより、物体の位置姿勢を様々に変化させて把持シミュレーションを行なうことで、物体把持可能な初期位置姿勢の許容誤差領域を求めることができ、この領域の大きさから選択したハンドの機構およびその機構で計画した把持戦略の把持対象物体の初期位置姿勢誤差に対するロボスト性を評価することができる。

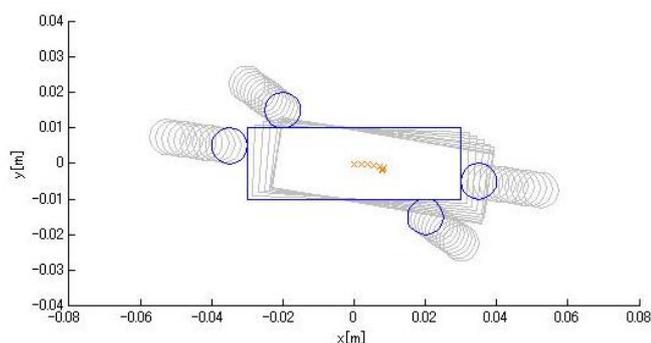


図 3.1.1.1 指と把持対象物の運動の軌跡のシミュレーション動作表示例

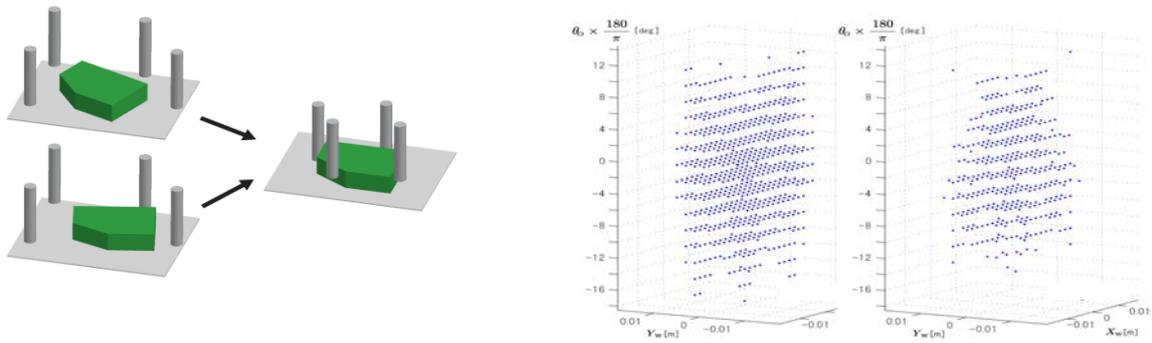


図 3.1.1.2 : 物体把持可能な誤差領域 (青色の領域内) のシミュレーション結果表示

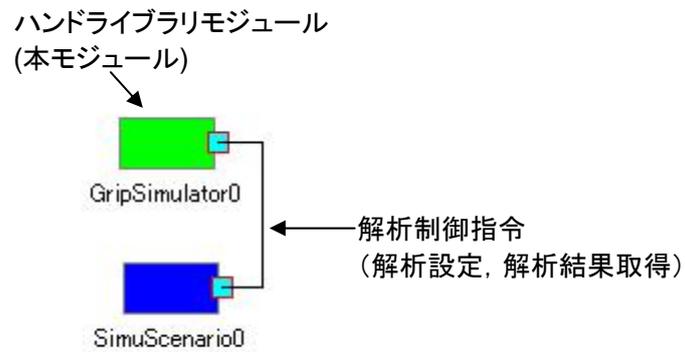


図 3.1.1.3 : RTC としての実行表示例

開発環境 : OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP,
Matlab7.5.0(R2007b),
Matlab Optimization ToolBox

3.1.2 作業エラー処理モジュール

作業エラー処理モジュールは、エラー発生リスク分析の役割を担う。具体的には、エラーが少ない作業手順の選択をフロントローディングするために、ベイジアンネットワークによる確率的信頼性評価 (Probabilistic Safety Analysis) を導入し、エラー発生を抑えられるロバストな作業計画を生成・評価するための手法を開発し、知能モジュール化した。

この結果、作業手順でのエラー発生リスクを推定して最適な手順を選択する (図 3.1.2.1) とともに、エラー発生時には観測されたデータに基づいてエラー発生要因を分析することで、工程ごとに同質でない動的ベイジアンネットワークによる分析を実現した (図 3.1.2.2, 3.1.2.4)。

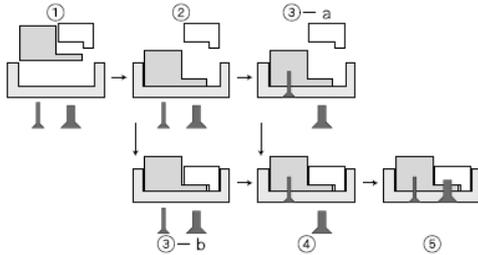


図 3.1.2.1 エラー発生リスク分析の例：
①→②→③a→④→⑤、①→②→③b→④→⑤のいずれの工程を取るべきかを分析

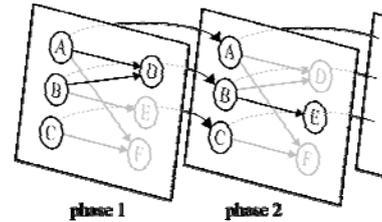


図 3.1.2.2. 同質でない動的ベイジアンネットワークによるエラー発生リスク分析

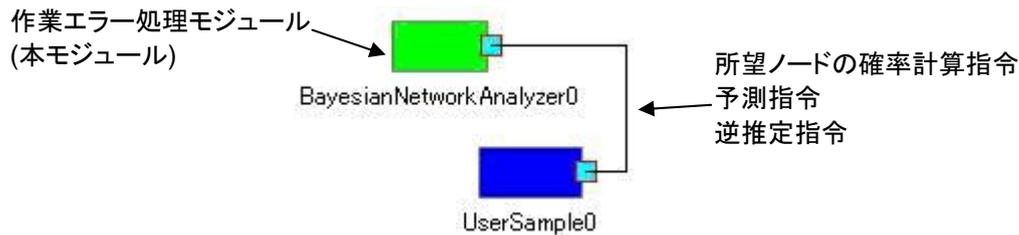
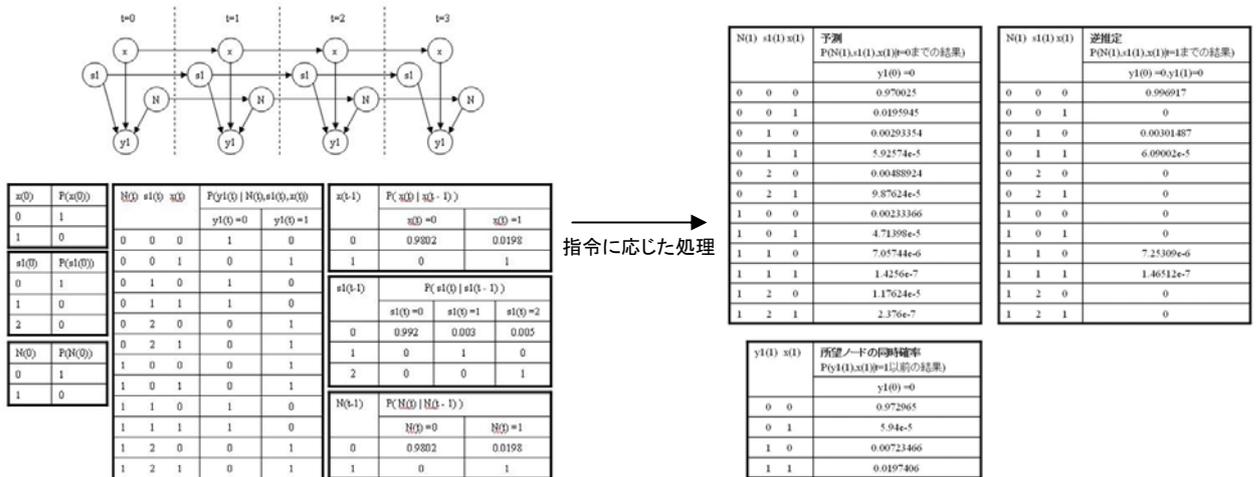


図 3.1.2.3 RTC としての実行表示例



ベイジアンネットワーク確率モデルデータ(入力データ例)

$t=0$ における確率予測、所望ノードの同時確率予測および $t=1$ における逆推定

図 3.1.2.4 モデルの構築と、モデルを利用した未来の予測と、過去の逆推定

オンライン教示支援に関する知能モジュール群の開発

複合情報 GUI モジュール

産業用ロボットは、その据付調整時に、ロボットの動きを、逐一教え込む必要がある。これは、産業用ロボットの動作プログラムの大部分が、ティーチングプレイバック方式によるからである。この作業時間の短縮が課題になっている。この作業は、「教示」と呼ばれており、図 4 に示すように、教示作業者が、ティーチングボックス（あるいはティーチングペンダント）と呼ばれる操作箱を握り、主として目視を頼りに実施している。その際、教示点 1 点毎に作業時間を要し、点数は 100 点以上に及ぶことがあり、作業者の技量に応じて、教示作業の完了に要する時間と、ロボットに教え込まれた動作の巧拙に、ばらつきが生じる。つまり、この教示作業時間の短縮とノウハウレス化が課題となる。本委託事業では、まず、ロボットによる部品組付け動作の教示作業内容の構造を分析した。その結果、教示作業の進行状況を、教示作業者が知覚できるように提示することが、教示作業支援に有効であることが判った。そこで、ロボットに取り付けた力覚センサ情報を含む複合情報を GUI (Graphical User Interface) を用いて、効果的に教示作業者に提示する枠組みを知能モジュール化した (図 3.2.1.2)。



図 3.2.1.1 産業用ロボットの教示作業：ティーチングペンダントで位置・姿勢を調整

この複合情報 GUI モジュールでは、手先に装着されたカメラで撮影された画像に、目標までの位置と姿勢の偏差情報を重畳表示することで、目標位置・姿勢の実現に必要な操作をガイドし、ロボット教示時におけるオペレータの操作を支援する。

作業目標位置の直感的な把握に適した GUI 表示を用いることで、教示時間を短縮する直感的指示、後述するハイブリッド視覚補正モジュールを併用することで、例えば画像コントラストを改善するなど、画面を見やすくできることが特徴である。

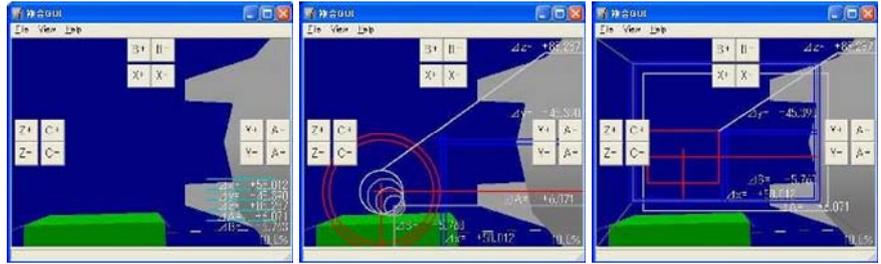
このモジュールの効果は、統合システムにおいて複数の事例を確認したので、以下に列挙する。

- 作業者が 1 時間を要した複雑な連結機構の位置決め教示作業時間を 3 分に短縮。(時間短縮 1/20)
- 作業者が 1 時間を要した部品組付け軌道の教示を 15 分に短縮。(時間短縮 1/4)
- 統合システム内の特定箇所での教示作業を例題とする被験者試験 (のべ 10 人, 51 試行) を実施し、作業時間が 1/3 に短縮されることを確認。(時間短縮 1/3)

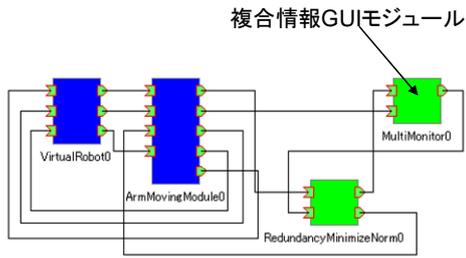
開発環境：OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP



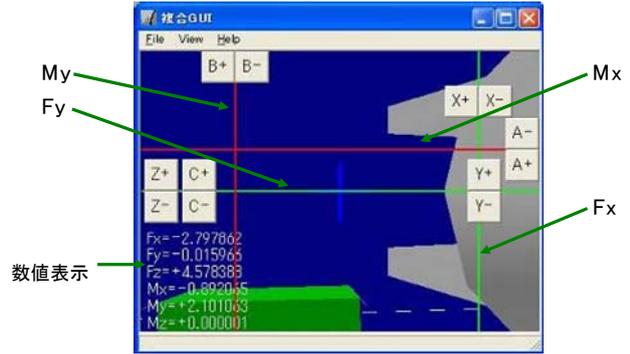
力覚センサ設定
ダイアログ



視覚、力覚による各種GUI
(注: 本例では手先カメラをシミュレーションした画像を入力)



結合例



力覚センサ値の表示

図 3.2.1.2 複合情報 GUI モジュールの実行例

習熟機能モジュール

人は、ある作業を繰り返すとき、その作業に習熟して速度や成功率が上がっていく。本委託事業では、このような現象のメリットを、与えられたプログラムを繰り返すだけのロボットに取り込むことを考えた。人による習熟は、「次にどのような試行をすれば自分は、より習熟できるか」を常に考え続けることで、効率的に進行する。そこで、ある時点までに得られている観測信号を用いて次の試行の最適化を行ないながら探索試行を繰り返して、系の性能を上げていく能動探索アルゴリズムを開発した。これを知能モジュール化したものが、習熟機能モジュールである。図 3.2.2.1 に示すように障害物を回避する軌道を教示する際、現状は、障害物に接触せず、かつ、動作時間の短くなるような経路点の位置姿勢を、作業者が手動で探している。作業者が選んだ経路点による動作時間を図 3.2.2.2 の赤色の線に示す。このとき、本知能モジュールで自律的に経路点を探索したところ、同図の青線に示すような習熟現象が観測され、動作時間が最大 44%短縮された。

本技術は、ロボットをはじめ、モデル化困難な複雑な制御系において、パラメータを熟練者が調整するしかない局面で、ノウハウレス化と調整時間の短縮が期待できる。実際に、ロボットをはじめ、制御パラメータを調整する必要のある複雑な系に適用し、効果を確認した。例えば、前述のハンドライブラリモジュールと結合し、ハンドの基本構造設計及び把持戦略の組み合わせ総数 847 通りの空間から、最適な把持戦略が、わずか 21 試行目で効率的に発見されることを確認している(図 3.2.2.3)。

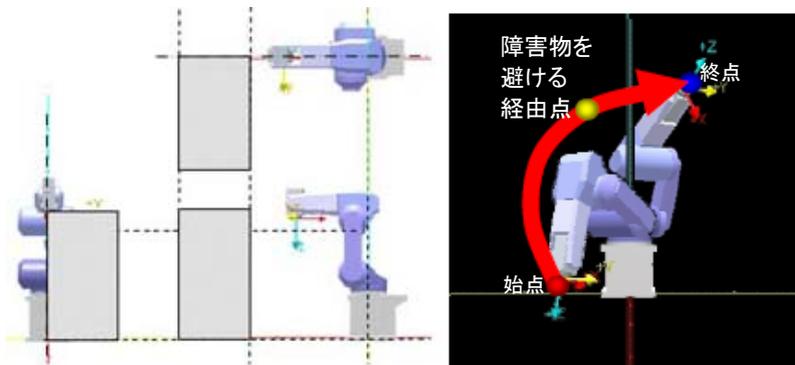


図 3.2.2.1 始点、障害物を避ける経路点、終点をつなぐ軌道

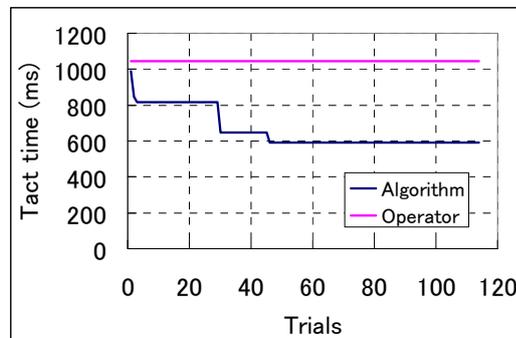


図 3.2.2.2 障害物を避けながら腕を振り上げる動作の動作時間が短縮されていく例

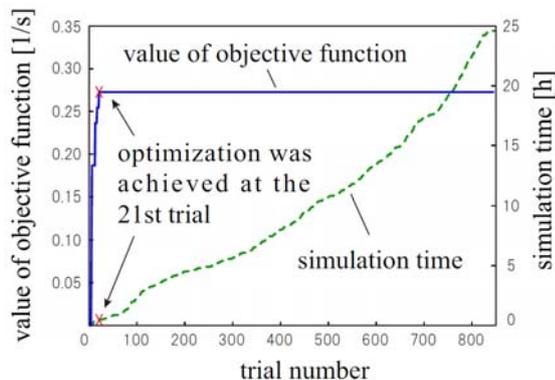
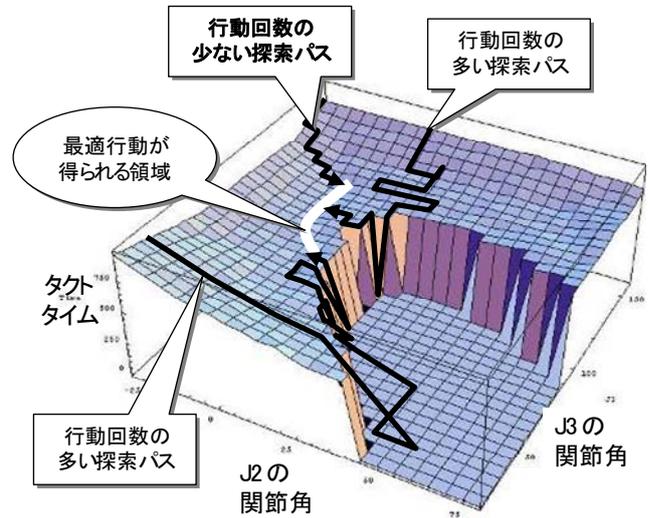


図 3.2.2.3 習熟機能とハンドライブラリによる効率的な最適把持戦略の導出

- 次の行動パターンを、それ以前の行動によって得られた結果を用いて逐次最適化することにより、より少ない行動回数で最適な行動パターンを見つける自律的学習理論をモジュール化
- パラメータ調整の必要な系に適用可能



ロボットに応用した場合の
タクトタイムを習熟させるアプリケーションの構成例



タクトタイムを習熟させる自律的な探索の概念図

図 3.2.2.4 RTC としての構成例と、自律的な探索の概念図

開発環境： OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP

習熟機能(振動抑制)モジュール

ロボットアームが高速に運動したのち静止するとき、ロボットアーム手先の残留振動が、しばしば問題になる。次の作業に影響が出なくなるまで、手先の振動が収まる待ち時間を入れて、次の作業に移行することで、タクトタイムが伸びてしまうからである。

このとき、ロボットアームの屈伸動作と旋回動作は、時間によって慣性モーメントが変化する時変の系となる(図 3.2.3.1)。このような系の残留振動を制御で減ずることは容易ではない。

本委託事業では、まず時変系におけるインパルス応答の重ね合わせ原理を定式化した。そしてロボットアームの2自由度の屈伸に関する残留振動をロボットアームの台形則加減速パターンを整形して停止時の残留振動を抑制する加減速パターンを生成する手法を開発し、知能モジュール化した。実験の結果、残留振動を最大振幅比 98.6%抑制し、静定待ち時間 1.61 秒が 0.92 秒となり、タクトタイムが短縮する効果を、確認した。



図 3.2.3.1 ロボットアームによる時変な運動の例 (2 自由度運動)

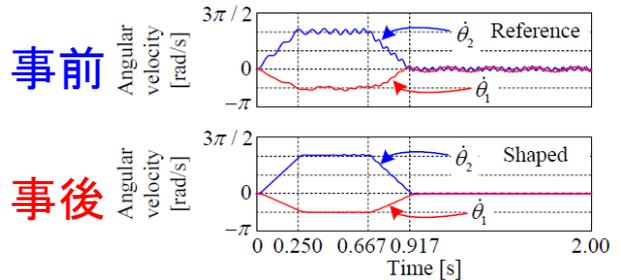
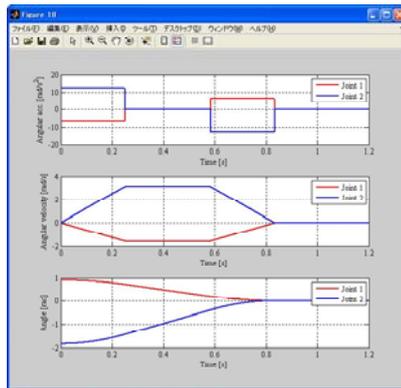
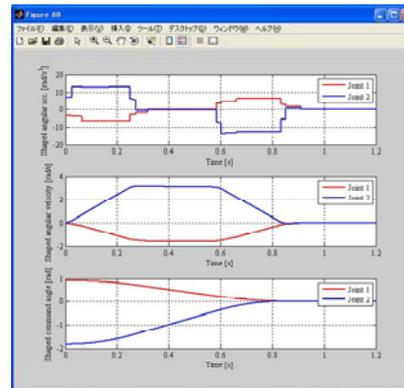


図 3.2.3.2 残留振動の比較

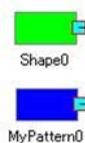


台形則加減速パターン



整形後加減速パターン

動作習熟(振動抑制)モジュール
(本モジュール)



加減速パターン生成指令
(設定、結果取得)

結合例

計算に必要な機械的パラメータ

- ・リンク2の質量
- ・リンク1の関節1軸まわりの慣性モーメント*
- ・リンク2の関節2軸まわりの慣性モーメント
- ・関節1の関節剛性*
- ・関節2の関節剛性*
- ・関節1と関節2間の距離
- ・関節2とリンク2重心間の距離
- ・関節2とリンク2先端間の距離
- ・減衰係数

(*これら3つのパラメータについては、打撃試験で得られる加速度パワースペクトルから推定する機能も提供する)

図 3.2.3.3 RTC としての結合例および動作例

開発環境 : OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP,
Matlab7.5.0(R2007b),
Matlab Optimization Toolbox,
Matlab Signal Processing Toolbox

エラーリカバリ支援に関する知能モジュール群の開発

複合 GUI モジュールのエラーリカバリへの応用

複合 GUI モジュールを用いて、エラー発生時にロボット動作の再教示を実施する際、複数センサの情報を用いた作業状態の直感的提示の基礎実験を実施し、作業対象物に対し、ロボットがどのような相対位置姿勢にあるかを、作業者が把握することが、教示作業の迅速化の効果を得た。例えば、作業対象部品表面の法線方向と、ロボットハンドの指の法線方向のずれ量の提示することで、作業時間が短縮されるのである。

この結果に基づいて、複合 GUI モジュールで表示される手先カメラ画像の視認性向上機能（エッジ強調画像生成、コントラスト改善等）モジュール 2 種を実装した（図 3.3.1.2 および 3.3.1.2）。3 次元ビジョンセンサで、把持対象物を計測したデータのうち、2 次元画像と対応する 3 次元情報をリンクさせたハイブリッド視覚補正機能として、対象物体内あるいは拘束対象面内の指示領域の平均法線方向を出力する機能を有する。なお、ハイブリッド視覚補正モジュールの内容については、認識知能モジュールの章、3.4 章で説明する。

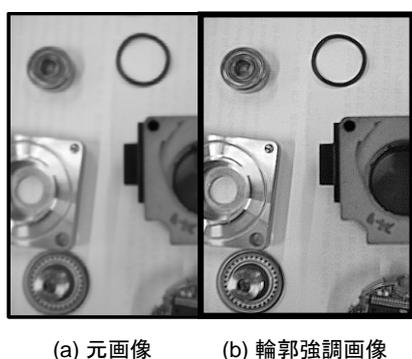


図 3.3.1.1 画像強調による視認性向上例

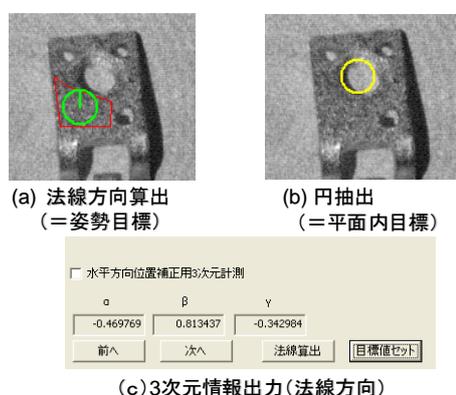


図 3.3.1.2 3次元座標出力処理例

エラーリカバリ行動制御モジュール

エラーリカバリ行動制御では、まず、統合システムで組み立て対象とする電気電子製品の部品のうち、材質 3 種類、形状 8 種の部品について、欠品や把持姿勢ずれなど、人為的な把持ミス誘発による擬似エラー信号を発生させ、エラー状態の検知と正常状態への復帰が達成されることを確認した。また、ハンド制御の電流値による把持エラー検知、2 次元ビジョンセンサによる正常状態でないことの検知、力覚センサによる異常値の検知など、複数のエラー状態検知機能を実装した。

次に、エラー検知後にリカバリ行動を生起するため、エラーリカバリ行動制御モジュールの開発を進めたところ、レガシーシステムと知能モジュールシステム間で、分散状態での実装に至った。

統合システムで組み立て対象とする様々な材質・形状をもつ実際の電気電子製品の部品（プラスチック成形品 4 種、板金物 9 種、バネ 3 種他）のバラ積み供給整列作業において、間違い部品の供給も含め、連続運転を実施してチョコ停の発生実験を行なったところ、エラー発生時にリカバリ動作を生起して、多少のタクトタイムの増加を伴いながらも、正常状態に自動復帰することを確認した。オペレータコールが必要な場面では、システム停止の上、ワーク除去など、オペレータによるマニュアル操作による介入後に、動作復帰させた。

また、エラー検知用視覚モジュールとして、エッジ位置検出結果の統計処理データを用いた部品の姿勢やサイズ違いに起因するエラー検知用画像処理機能を試作し、基本動作を確認した。

開発環境： OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE, Windows 系 OS,
三菱電機製ロボット MELFA シリーズ
三菱電機製シーケンサ MELSEC シリーズ

認識知能モジュール群の開発

部品ピッキング用物体認識モジュール

組立ロボットに対し、通常はパーツフィーダと呼ばれる部品の位置決め専用装置か、人手で位置決め整列した部品トレイを用いて、作業対象部品が供給されており、機種切替のリードタイムを長くするとともに、位置ズレなどでチョコ停が発生する問題がある。これに対し、ロボットが、バラ積み状態で供給される部品の位置姿勢を自ら認識して、正確に把持することができれば、機種切替時のリードタイム短縮および長時間無人運転に対して効果が見込める。そこで、部品ピッキング用物体認識モジュールを開発した。図 3.4.1.1 は、実行の様子である。

開発した部品ピッキング用物体認識モジュールは、三菱電機製の 3 次元センサからの、3 次元奥行き情報を用いて、対象物体の掴みやすい位置を計算する。その際、対象となる部品ごとの 3 次元モデルを必要とせず、2 つのパラメータ設定のみで、立ち上げが容易であるという特徴を持つ。また、認識演算時間は、0.5sec 以下 (Core2Duo 2GHz, RAM 2GB 時) を達成した。図 3.4.1.2 は、弦巻バネの把持点を認識している結果の例である。



図 3.4.1.1 部品ピッキング用物体認識モジュールの実行の様子

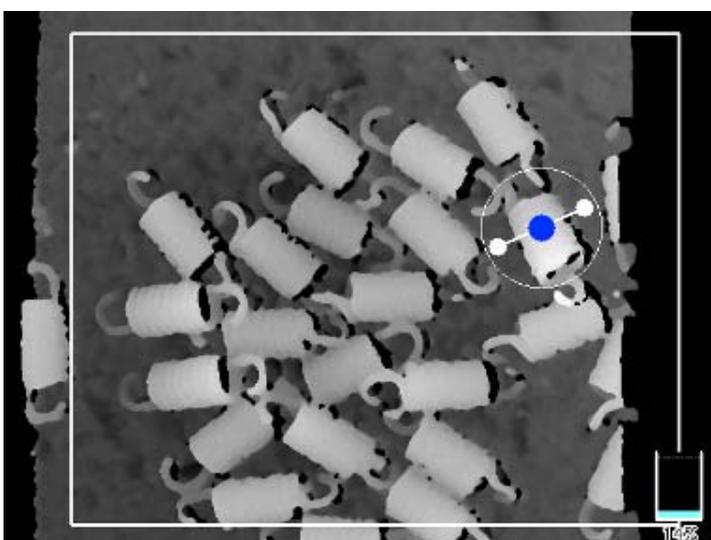


図 3.4.1.2 バラ積みされた弦巻バネ部品の把持点の認識演算結果

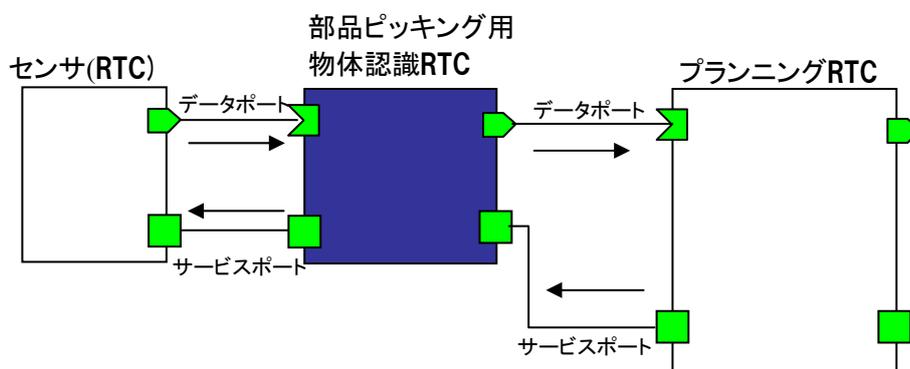


図 3.4.1.3 RTC としての実行例

開発環境：OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE, Windows 系 OS

ハイブリッド視覚補正 (2D) モジュール, および, ハイブリッド視覚補正 (3D) モジュール

カメラ画像の視認性向上機能 (エッジ強調画像生成, コントラスト改善等) および, 3次元認識結果を用いた視覚補正機能に関するモジュール, 2種を実装した.

具体的には, 3次元センサからの3次元奥行き情報・2次元濃淡画像情報を取得し, 2次元画像上で指定した任意の箇所に関する, 3次元計測データの表示を行なうモジュールで, ロボットの教示作業時の, 作業時間の短縮が目的である.

オペレータが直感的に指さしやすい2次元画像上の任意の位置に対して, ロボットが必要とする3次元認識処理結果のデータを得る (図 3.3.1.2 3次元座標出力処理例). 認識処理に関して調節可能なパラメータを図 3.4.2.1 に示す. また, その2次元画像について, 低コントラスト画面でも見やすい表示品質を実現する (図 3.3.1.1 画像強調による視認性向上例). 2次元画像処理アルゴリズムは, 一般的によく知られている画像鮮鋭化処理アルゴリズムと処理パラメータを選ぶことができる.

[PROCESS_INFO] 処理パラメータに関する情報	
HPosCalcType	水平方向目標位置算出方法 0:2値化→重心&主軸方向算出, 1:エッジ抽出→円当てはめ→中心算出 2:エッジ抽出→定義位置算出、3:濃淡TM、4:2値化→TM、 5:ヒストグラムTM
BinarizeThreshold1	2値化:閾値(有効範囲の最低値)
BinarizeThreshold2	閾値(有効範囲の最大値)
EdgeType	エッジ抽出:フィルタタイプ(0:Canny,1:Sobel,2:Laplacian)
EdgeOperatorSize	フィルタのオペレータサイズ
EdgeThreshold1	閾値(Cannyの場合)
EdgeThreshold2	閾値(Cannyの場合)
CircleMinDist	円検出:中心座標間の最小間隔
CircleParam1	閾値(Cannyエッジ検出の場合高い方の閾値)
CircleParam2	中心検出計算時の閾値
CircleMinRadius	検出すべき円の最小半径
CircleMaxRadius	検出すべき円の最大半径
LineThreshold	線抽出:閾値

図

3.4.2.1 ハイブリッド視覚補正 (3D) における処理パラメータ群

開発環境 : OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE, Windows 系 OS

システムインテグレーションソフトウェアの開発

図 3.5.1 は、典型的な産業用ロボットシステムの構築例について、制御系に注目してプロットしたものである。図から判るとおり、産業用ロボット以外にも、多くのアクチュエータや接点とそれらのコントローラを組み合わせ、知能化プロジェクトで開発される知能モジュールの大半が、パーソナルコンピュータ上で実行されることから、それとのインタフェースをとることが必要となる。

言い換えると、従来の産業用ロボットシステムは、複数のレガシーFA コントローラ等で構成される。ここに、知能モジュールをアドオンして、これまでに無い自律的ロボット動作の実現を目指した。

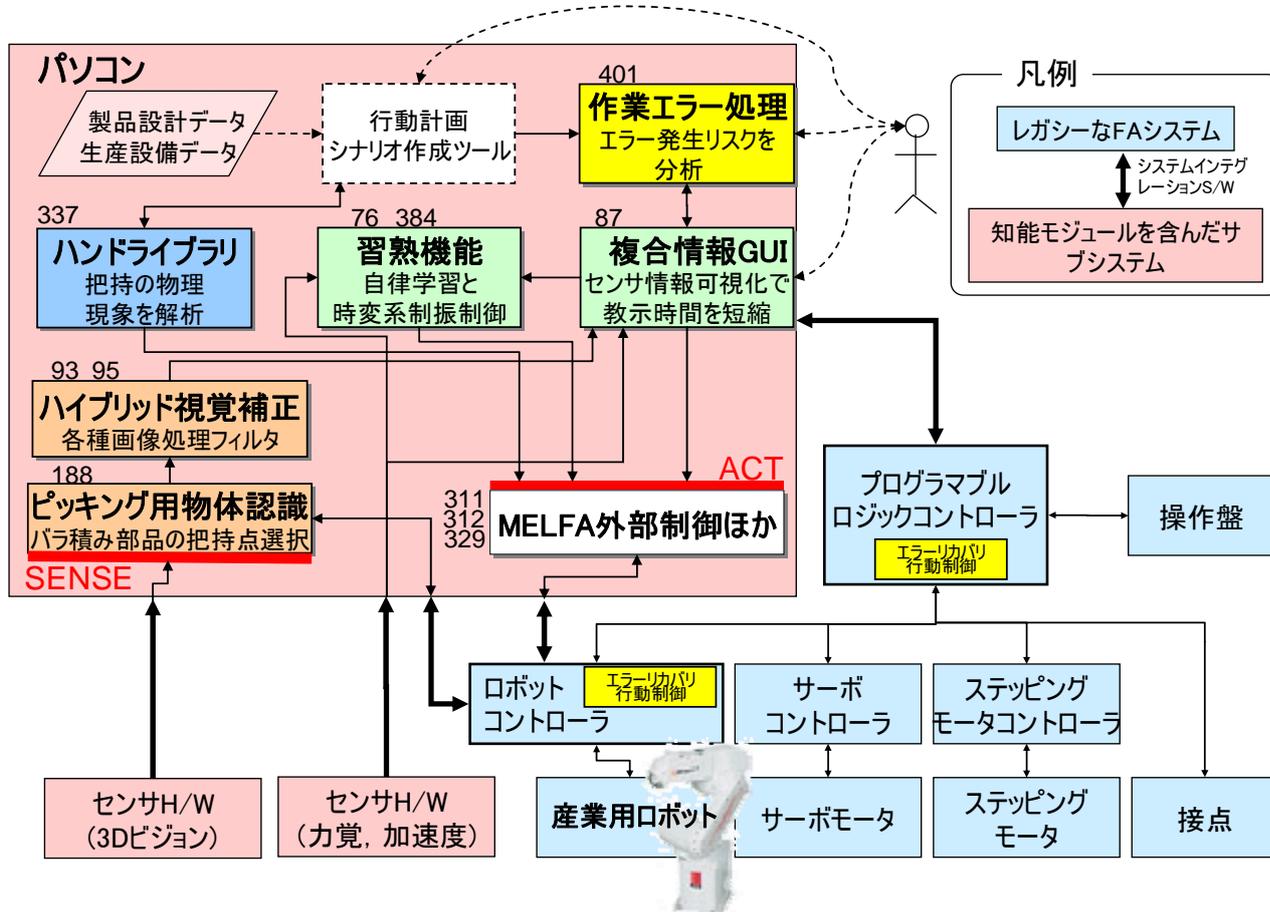


図 3.5.1 典型的産業用ロボットシステム(レガシーシステム)と知能モジュールのインテグレーション

このとき、レガシーシステムと知能モジュールを含むサブシステム間を結びつける必要がある。そこで、図 3.5.1 中の太い矢印で示すようなインタフェースを司るソフトウェアを開発することで、知能モジュールの機能と効果を活用することにした。本委託事業では、これらのインタフェースソフトを、“システムインテグレーション・ソフトウェア”と呼んでいる。なお、図中の“ACT”、“SENCE”というのは、知能化 PJ 内の企画調整会議において策定した、共通インタフェースに準拠したものである（4 章にて後述）。

さて、これらシステムインテグレーション・ソフトウェアのうち、図 3.5.1 中の「MELFA 外部制御ほか」と記された知能モジュール ID311, 312, 329 の 3 つについて、以下に報告する。

産業用ロボット MELFA (ACT 低レベル)

まず、知能化 PJ の“ACT”インタフェースについて説明する。ロボットアームに対する指令値は、一般的に、作業、移動、位置、速度、トルクなどの階層に分けることができる。そこで、知能化 PJ では、図 3.5.1.1 に示すように、アプリケーションレベル（何らかのロボット作業を実行するアプリケーションの起動）、コマンドレベル（ロボット言語の 1 つのコマンドの起動）、サーボレベルその 1（ロボットの制御点の位置姿勢を同時変換行列で指定）、サーボレベルその 2（ロボットの関節座標値の指定）の各レベルを定義した。そのうち、コマンドレベルを「ACT 中レベル I/F」と定義し、また、サーボレベルその 1 を、「ACT 低レベル」と定義し、それぞれ API を設計した。

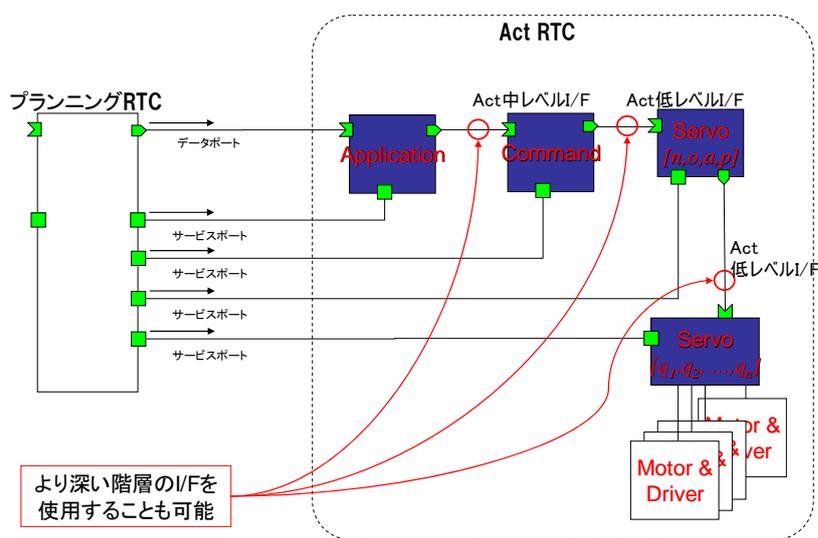


図 3.5.1.1 ロボットアームに対する指令値の階層の設計

このとき、三菱電機製産業用ロボットに対する指令値を、ACT 低レベル I/F で与える知能モジュールが、本節で述べる知能モジュールである。例えば、垂直 6 軸ロボットに対し、上位のプランニングモジュールで計算したロボット軌道に基づいて、軌道上の姿勢を表わす関節角指令値を与えることができる。



図 3.5.1.2 RTC としての実行例

インタフェース：	
入力データポート：	関節角度指令値
出力データポート：	関節角度フィードバック値
入力サービスポート：	共通コマンドサービス

図 3.5.1.3 入出力インタフェース

オペレーション名	概要
clearAlarms	アラームクリア
getActiveAlarm	アラーム情報の取得
getFeedbackPosJoint	関節座標系の位置フィードバック情報の取得
getManipInfo	マニピュレータ情報の取得
getSoftLimitJoint	関節座標系のソフトリミット値を取得
getState	ユニットの状態取得
servoOFF	全軸サーボ OFF
servoON	全軸サーボ ON
setSoftLimitJoint	関節座標系のソフトリミット値設定

図 3.5.1.4 共通コマンドサービス仕様

開発環境： OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP,
MELFA コントローラ通信用 DLL

産業用ロボット MELFA (ACT 中レベル)

三菱電機製産業用ロボットに対する指令値を、ACT 中レベル I/F で与える智能モジュールが、本節で述べる智能モジュールである。例えば、垂直 6 軸ロボットに対し、上位のプランニングモジュールで計算したロボット軌道に基づいて、ある 2 点間を結ぶ制御点直線補間移動指令を与えることができる。



図 3.5.2.1 RTC としての実行例

インタフェース：

入力サービスポート： 中レベルモーションコマンドサービス

入力サービスポート： 共通コマンドサービス

図 3.5.2.2 入出カインタフェース

オペレーション名	概要
clearAlarms	アラームクリア
getActiveAlarm	アラーム情報の取得
getFeedbackPosJoint	関節座標系の位置フィードバック情報の取得
getManipInfo	マニピュレータ情報の取得
getSoftLimitJoint	関節座標系のソフトリミット値を取得
getState	ユニットの状態取得
servoOFF	全軸サーボ OFF
servoON	全軸サーボ ON
setSoftLimitJoint	関節座標系のソフトリミット値設定

図 3.5.2.3 共通コマンドサービス仕様

オペレーション名	概要
closeGripper	グリッパを閉じる
getBaseOffset	マニピュレータの設置位置を取得
getFeedbackPosCartesian	直交座標系の位置フィードバック情報の取得
getMaxSpeedCartesian	直交動作時の最大動作速度を取得
getMaxSpeedJoint	関節動作時の最大動作速度を取得
getMinAccelTimeCartesian	直交動作時の最小動作加速時間を取得
getMinAccelTimeJoint	関節動作時の最小動作加速時間を取得
getSoftLimitCartesian	直交座標系のソフトリミット値を取得
moveGripper	グリッパの開閉動作
moveLinearCartesianAbs	直交座標の直線補間（絶対指令）
moveLinearCartesianRel	直交座標の直線補間（相対指令）
movePTPCartesianAbs	関節座標の直線補間（直交・絶対指令）
movePTPCartesianRel	関節座標の直線補間（直交・相対指令）
movePTPJointAbs	関節座標の直線補間（関節・絶対指令）
movePTPJointRel	関節座標の直線補間（関節・相対指令）
openGripper	グリッパを開く
Pause	動作の一時停止
Resume	動作の再開
Stop	動作の停止
setAccelTimeCartesian	直交動作時の加速時間を設定
setAccelTimeJoint	関節動作時の加速時間を設定
setBaseOffset	マニピュレータの設置位置を設定
setControlPointOffset	制御点のフランジ面からのオフセット量を設定
setMaxSpeedCartesian	直交動作時の最大動作速度を設定
setMaxSpeedJoint	関節動作時の最大動作速度を設定
setMinAccelTimeCartesian	直交動作時の最小動作加速時間を設定
setMinAccelTimeJoint	関節動作時の最小動作加速時間を設定
setSoftLimitCartesian	直交座標系のソフトリミット値を設定
setSpeedCartesian	直交動作時の速度を設定
SetSpeedJoint	関節動作時の速度を設定

図 3.5.2.4 中レベルモーションコマンド仕様

開発環境： OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP,
MELFA コントローラ通信用 DLL

3.5.3 MELFA 外部制御モジュール

三菱電機産業用ロボット（MELFA）とニッタ製力覚センサにより構成される系を制御するアプリケーションについて、上記アプリケーションレベルの入出力を提供するモジュールである。



図 3.5.2.1 RTC としての実行例

インタフェース：

入力データポート：ロボット指令（位置姿勢、速度オーバーライド、汎用入出力信号要求データ）

出力データポート：ロボット情報（位置姿勢、力覚センサ値、速度オーバーライド、汎用入出力信号応答データ）

図 3.5.2.2 入出力インタフェース

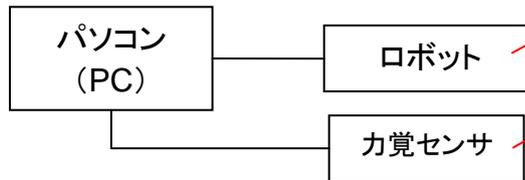


図 3.5.2.3 実行時のシステム構成例



図 3.5.2.4 メイン GUI



図 3.5.2.5 ロボット通信設定ダイアログ



図 3.5.2.6 力覚センサ設定ダイアログ

開発環境： OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP,
MELFA コントローラ通信用 DLL,
ニッタ製力覚センサ用ドライバ

(3) その他の成果

4.1 知能モジュール共通インタフェース仕様の共同開発

知能化PJ内に組織された企画調整WGにて、知能モジュールの共通インタフェース仕様を共同開発した。そこでの議論では、インタフェースに関するアイデアを、次のように整理した。

ロボットアームで物体を操作するロボット動作は、PJ内に遍在し、共通性がある。サービスロボットであれば配膳、産業用ロボットであればキッティングといった作業が、センサーフィードバック制御により、実行される。これを“リファレンスタスク”と定義する。なお、対象物は、各実施コンソごとに違いがあり、多様性がある。

この動作は、「(物体を)見る」、「考える」「把持・運ぶ・離す」というサブ動作からなる。このとき、このサブ動作を実現するための知能モジュールは、SENSE, PLAN, MODEL, ACT という4つの機能群に分類でき、かつ、システム全体をサブ機能の集合体としてモデル化できる。これを“リファレンスモデル”と定義する。すると、これら“機能群間のインタフェースを共通化”することができる。

この考え方のもと、作成したインタフェース仕様を、図4.1.1に示す。このインタフェースに準拠したモジュールは、共通性を保ちながら、同時に多様性を持つ。

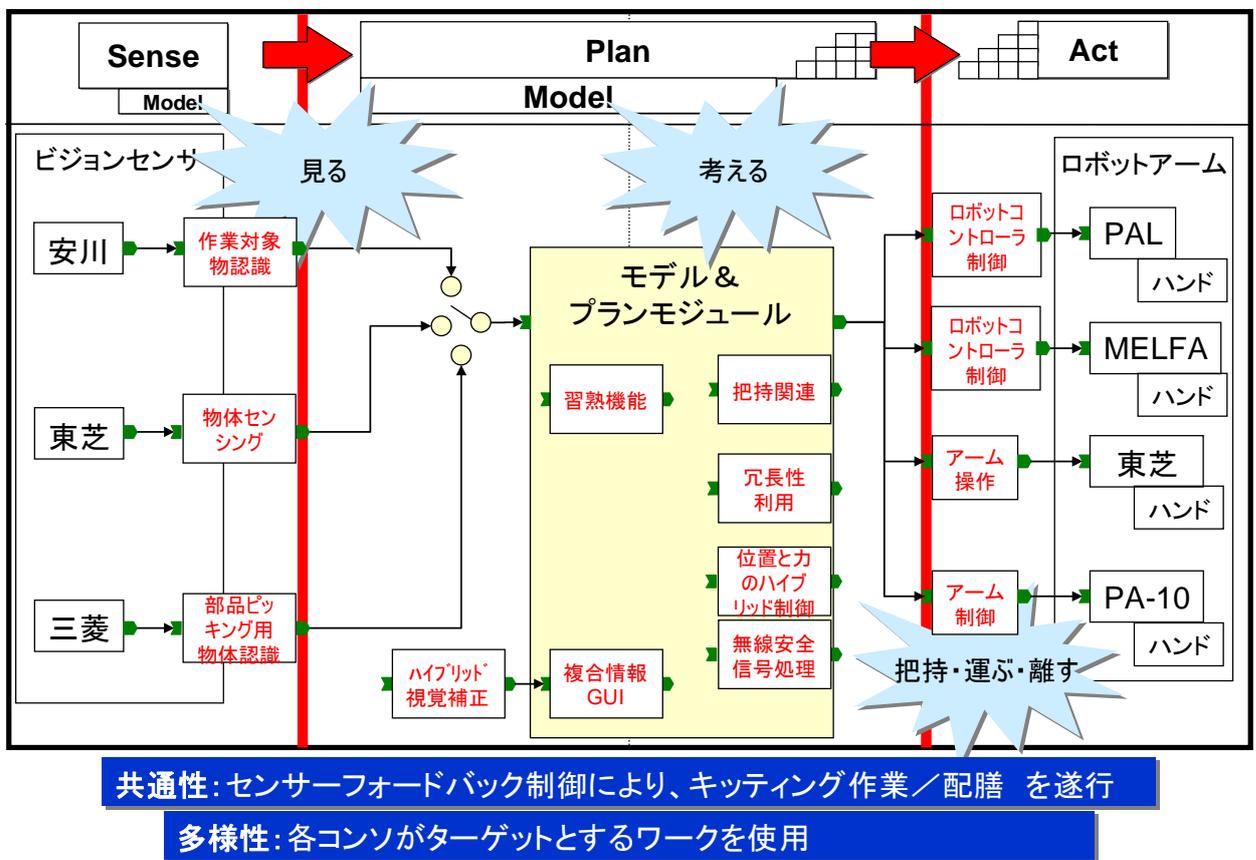


図 4.1.1 共同開発したリファレンスモデルとリファレンスタスク，共通インタフェース，および知能モジュールの例

本委託事業においては、「部品ピッキング用物体認識」，「MELFA 外部制御」，「産業用ロボット MELFA(ACT 低レベル)」，「産業用ロボット MELFA(ACT 中レベル)」の，4つの知能モジュールが、本共通インタフェースに準拠している。

3.3.2.2. 目的に照らした達成状況

(1) 基本計画の達成

表 1 に、本委託事業の基本計画の達成状況を示す。

表 1. 基本計画と、その達成結果

基本計画分類	中間目標	達成状況	達成状況
	最終目標		
教示支援	教示作業時間が従来に比べ 2/3 以下に低減されること。	達成	<p>インタフェース設計理論に基づく、ロボット手先の作業状況を直感的に作業者に提示する複合情報 GUI 機能の有無により、検証システム内の特定箇所の教示作業を例題とする被験者試験(のべ 10 人, 51 試行)を実施し、作業時間が 1/3 から 1/20 に短縮されることを確認。</p> <p>自律学習アルゴリズムを知能モジュール化し、同一動作の繰り返し時に、タクトタイム短縮(最大 44%短縮)を確認。</p>
	教示における作業時間が、知能モジュールを利用しない場合に比較して 1/3 以下に減少し、かつ、同一作業を繰り返すときのタクトタイムが初期状態に比べて短くなること。		
チョコ停対応	エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3 種類以上)・材質(2 種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。	達成	<p>検証システムで組み立て対象とする小型電気電子製品の部品のうち、材質 3 種類、形状 8 種の部品について、把持に関する擬似エラー擬似信号を発生させ、エラー状態の検知と正常状態への復帰が達成されることを確認。</p> <p>様々な材質・形状をもつ実際の電気電子製品の部品(プラ 4 種、板金物 9 種、バネ 3 種他)のバラ積み供給整列作業において、エラー発生時にリカバリ動作を生起して自動復帰することを確認。</p> <p>部品供給トレイの事前検査モジュールにより、把持ミスに起因するチョコ停の事前回避を確認。</p>
	チョコ停を誘発する頻度が高い原因(規定外のワークの混入、位置ずらし等)を、人為的に検証システムに与えた時、チョコ停の事前回避、あるいは多少のタクトタイムの増加を伴いながらも自動復帰が実現すること。		
認識	形状・材質が異なる 10 種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ 5 秒以下でロバストに認識できること。	達成	<p>検証システムで組み立て対象とする小型電気電子製品の部品のうち、ばら置き状態から、3 秒以内に、ロバストに部品を把持、組み付け工程が実行できることを、形状・材質が異なる 10 種類の部品について確認。</p>

(2) 成果の普及について

知能モジュールの普及については、製品への **Embedded** 型のビジネスモデルが考えられる。社内の生産技術部門の手を経て、社内工場における活用(図 1 の右ループ)、および製品をシステムインテグレータ(Sier)に提供してエンドユーザのシステムを構築する(図 1 の左ループ)で、立上時間短縮、長時間無人運転の機能により、生産能力の維持・拡大と投資効率の向上の効果を得て、知能モジュールの普及が加速する。その際、知能モジュールは、図 2 に示すような、プロダクト・フローとサプライ・チェーンを経てエンドユーザに届けられる。なお、知能モジュール **Embedded** 型モデルは、ロボット以外の製品への水平展開も可能である。

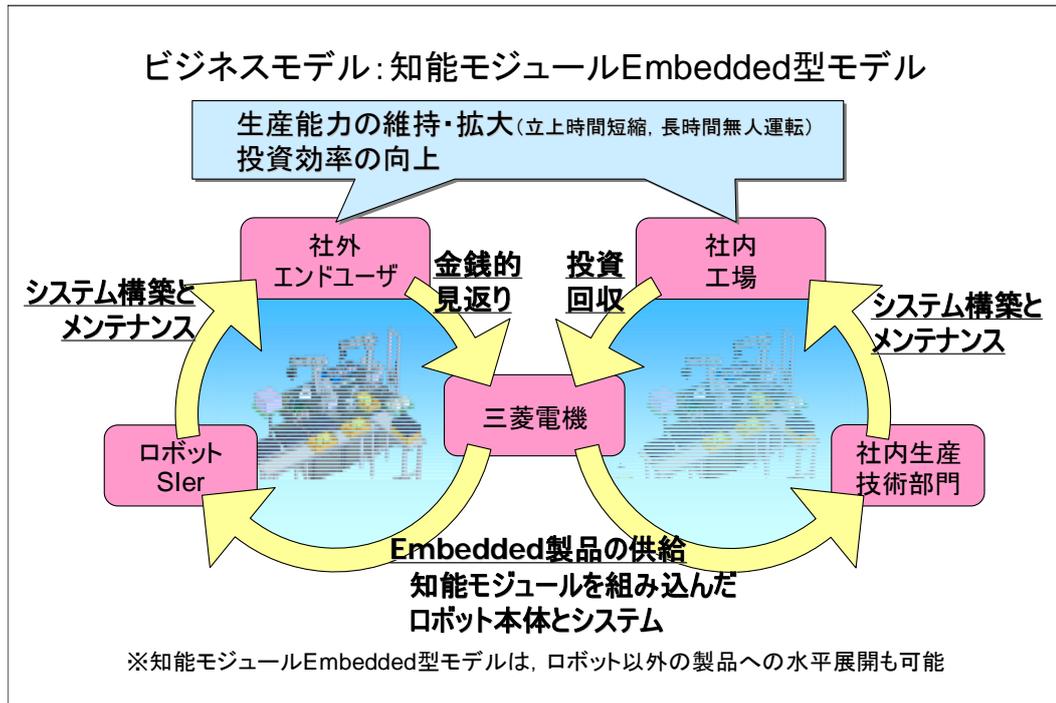


図 1. 成果普及の見通し

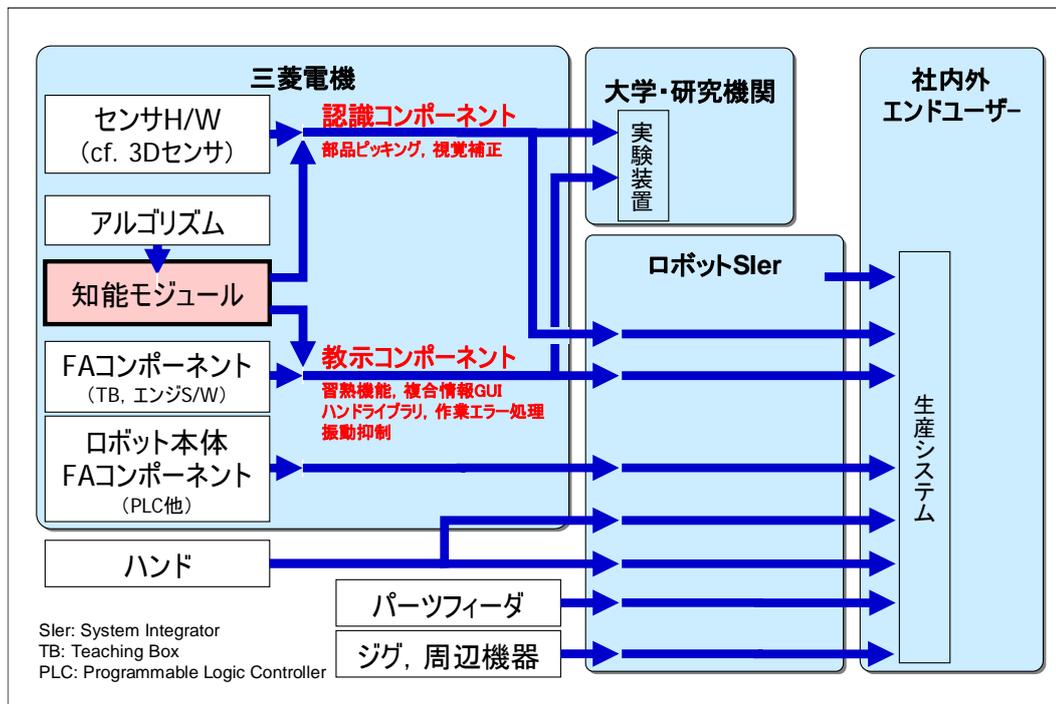


図 2. プロダクト・フロー&サプライ・チェーン

3.3.1.3. 研究発表・講演, 文献, 特許等の状況

(1) 研究発表・講演

【口頭発表】

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2008年9月10日	日本ロボット学会 学術講演会 2008(日本)	ティーチングペンダント	IDEC
2	2008年10月22日	IEEE CASE2008 (アメリカ)	Robot Control Cell Production System of Senju (thousand-handed) Kannon Model that Demonstrated Optimality to the Multi-product Production in Varying Volumes for Eight Years	IDEC
3	2008年12月5日	SICE SI2008 講演会 (日本)	ものづくり文化を革新する千 手観音モデルによるロボット 制御セル生産システム	IDEC
4	2009年3月12日	ISR 2009(アメリカ)	Development of the Highly-Efficient End-effector of Robot Control Cell Production Systems for the Productivity Improvement in Multi-product Production in Varying Volumes	IDEC
5	2009年7月24日	HCI International 2009(アメリカ)	Development of Portable Robotic Operation Terminals to Achieve Increased Safety and Usability and a Study on the Effectiveness of Wireless Terminals	IDEC
6	2009年9月15日	日本ロボット学会 学術講演会 2009(日本)	汎用機能モジュールとデバイ ス依存モジュールを組合せ た2層化 RTCによる再利用性、 実装容易性の向上	IDEC
7	2009年9月15日	日本ロボット学会 学術講演会 2009(日本)	ロボット制御セル生産システ ムにおけるチョコ停からの自 動復帰手法	IDEC
8	2009年12月24日	SICE SI2009 講演会 (日本)	千手観音モデルによるロボッ ト制御セル生産システムの進 化	IDEC
9	2010年6月11日	大阪府工業協会主催 2010 メカトロニクス技術 講座プレセミナー	第3世代にわたり進化を継続 するものづくり文化を革新す る千手観音モデルによるロボ ット制御セル生産システム	IDEC
10	2010年9月24日	日本ロボット学会 学術講演会 2010(日本)	状態遷移型2層化 RTCによ る再利用性、実装容易性の 向上	IDEC
11	2010年12月24日	SICE SI2010 講演会 (日本)	ロボット制御セル生産システ ムにおける事前部品トレイ検 査を用いたチョコ停回避	IDEC
12	2011年6月29日	滋賀県工業技術センタ ー ものづくり IT 研究会 第40回例会 【ロボット応用技術の現 状と将来】	ものづくり文化を革新する千 手観音モデルによるロボット 制御セル生産システム	IDEC

13	2011年8月25日	IEEE CASE2011 (イタリア)	Long-Term Operational Experience with a Robot Cell Production System Controlled by Low Carbon-Footprint Senju (thousand-Handed) Kannon Model Robots and an Approach to Improving Operating Efficiency	IDEC
14	2011年9月9日	日本ロボット学会 学術講演会 2011(日本)	画面遷移型2層化 RTCによる再利用性、実装容易性の向上	IDEC
15	2011年12月23日	SICE SI2011 講演会 (日本)	ロボット制御セル生産システムにおける画像処理技術を利用した稼働率向上への取り組み	IDEC
16	平成20年5月18日	システム制御情報学会 第52回研究発表講演会	6F3-8 手先カメラを用いたロボット教示を支援する情報可視化	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
17	平成20年5月18日	システム制御情報学会 第52回研究発表講演会	6U1-5 垂直多関節型ロボットの最適軌道学習手法	永谷達也, 野田哲男, 岩本貴司
18	平成20年5月21日	9th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM9)	Inspection Planning of Safety Protective Systems using Bayesian Networks	Takehisa Kohda, Hiroki Tokunaga
19	平成20年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会	RSJ2008AC1F2-01 物体の押し操作解析に基づく組立作業用汎用ハンドのロボスタ把持戦略	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
20	平成20年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会	RSJ2008AC1F2-02 能動探索アルゴリズムによる産業用ロボットの動作習熟	野田哲男, 永谷達也
21	平成20年11月11日	電子情報通信学会 第5回「手」研究会	ロボットセルにおける組立作業用汎用ハンドの設計手法	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
22	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E1-1 (Keynote[2]) 物・人・知の統合的循環を目指す自律型セル生産ロボットシステム	榎木哲夫
23	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-1 組立作業ロボットの汎用ハンドライブラリ構築のためのロボスタ把持戦略の検討	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
24	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-2 セル生産ロボットに向けた機械要素に関する基礎的研究—減速装置に関する検討—	小森雅晴
25	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-3 MRブレーキを用いたアーム残存振動の低減研究	宇津野秀夫, 原 藪 泰信, 松久寛, 山田 啓介, 前川清石
26	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-1 ロボット教示作業支援のための複合情報 GUI の開発	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
27	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-2 画像インタフェースを用いたロボットへの直感的作業教示手法	奥田晴久, 野田哲男, 北明靖雄, 堀口由貴男
28	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-3 ビンピッキング向けの距離データを用いた物体認識	北明靖雄, 奥田晴久, 川戸慎二郎, 鹿毛裕史, 鷲見和彦
29	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-4 ベイジアンネットワークを用いた工程設計と故障原因分析	風間慎一, 幸田武久, 野田哲男

30	平成 20 年 12 月 5 日	第 9 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	1E3-6 産業用ロボットの動作習熟における能動型探索アルゴリズム	野田哲男, 永谷達也, 長野陽
31	平成 21 年 5 月 24 日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH 2009	2A1-A14 ロボット教示作業支援のための複合情報 GUI の開発—精確な動作点教示のための力情報利用の検討—	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
32	平成 21 年 6 月 10 日	The 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete Systems	Maintenance Planning of Safety Protective Systems using Dynamic Bayesian Networks	Takehisa Kohda, Hiroki Tokunaga
33	平成 21 年 9 月 15 日	第 27 回日本ロボット学会 学術講演会	能動探索アルゴリズムによる組立作業用汎用ハンドのロボバスタ把持戦略の最適化	土橋宏規, 野田哲男, 横小路泰義, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
34	平成 21 年 10 月 30 日	CoTeSys Fall Workshop 2009	Intelligent Robot Technologies for Cell Production System	NODA Akio, TANAKA Ken'ichi, OKUDA Haruhisa
35	平成 21 年 10 月 20 日	APSS (Asia Pacific Safety Symposium) 2009	Phased-Mission System represented by Inhomogeneous Dynamic Bayesian Network	Shin-ichi Kazama, Takehisa Kohda, Akio Noda
36	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	記号過程を内包した次世代ロボットシステムの展望	榎木哲夫
37	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	次世代セル生産を実現するロボット知能化技術	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 永谷達也, 北明靖雄, 堂前幸康, 榎木哲夫, 横小路泰義, 堀口由貴男, 幸田武久, 宇津野秀夫, 松久寛, 水山元, 小森雅晴, 泉井一浩, 西脇真二
38	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	把持シミュレーションに基づく組立作業用汎用ハンドのロボバスタ把持戦略の実験的評価	土橋宏規, 野田哲男, 横小路泰義, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
39	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産ロボットハンド用アクチュエータに関する研究	小森雅晴, 大賀荘平, 野田哲男, 奥田晴久, 田中健一
40	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	ロボットアームの残留振動を抑制する加減速パターン	磯村圭佑, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利, 野田哲男
41	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	産業用ロボットの組付け作業教示支援技術	永谷達也, 野田哲男, 黒野晃平, 堀口由貴男, 田中健一, 中西弘明, 榎木哲夫
42	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	産業用ロボットの組付け動作教示を支援する複合情報 GUI	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一
43	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	リスク解析に基づいた保全・エラーリカバリ方法	吉永信一, 幸田武久, 野田哲男
44	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	3次元情報の逐次利用に基づくロボットへの作業教示	奥田晴久, 北明靖雄, 鷺見和彦, 野田哲男, 田中健一
45	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産ロボットにおける知能化技術のシステムインテグレーション	野田哲男, 永谷達也, 長野陽, 奥田晴久, 北明靖雄, 堂前幸康, 田中健一
46	平成 22 年 3 月 17 日	機械学会関西支部 第 85 期定時総会講演会	ロボットアームの残留振動を抑制するためのモータの加減速パターンの研究	磯村圭佑, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利
47	平成 22 年 6 月 13 日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010	動作点探索戦略の分析に基づくロボット教示作業支援 GUI の開発	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一
48	平成 22 年 7 月 12 日	2010 International Symposium on Flexible Automation	Permissible Initial Pose Error Region of an Object Grasped By a Universal Hand	Hiroki Dobashi, Yasuyoshi Yokokohji, Akio Noda, Haruhisa Okuda

49	平成 22 年 7 月 12 日	2010 International Symposium on Flexible Automation	INTELLIGENT ROBOT TECHNOLOGIES FOR CELL PRODUCTION SYSTEM	NODA Akio, TANAKA Ken'ichi, OKUDA Haruhisa, NAGATANI Tatsuya, KITAAKI Yasuo, DOMAE Yukiyasu, DOBASHI Hiroki, YOKOKOHJI Yasuyoshi, KURONO Kohei, HORIGUCHI Yukio, NAKANISHI Hiroaki, SAWARAGI Tetsuo, ISOMURA Keisuke, UTSUNO Hideo, MATSUHISA Hiroshi, KAZAMA Shin'ichi, KOHDA Takehisa
50	平成 22 年 7 月 20 日	International congress on sound and vibration	Acceleration and Deceleration Pattern to Suppress Residual Vibration of the Robot Arm	Hideo Utsuno, Keisuke Isomura, Hiroshi Matsuhisa, Keisuke Yamada
51	平成 22 年 8 月 31 日	The 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems	Ecological Interface Design for Teaching Assembly Operations to Industrial Robot	Yukio Horiguchi, Kohei Kurono, Hiroaki Nakanishi, Tetsuo Sawaragi, Tatsuya Nagatani, Akio Noda, Ken'ichi Tanaka
52	平成 22 年 8 月 31 日	Preprints. of The 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems	Semiotic Design of Human-Machine and Human-Environment Systems	Tetsuo Sawaragi
53	平成 22 年 9 月 8 日	14th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2010)	A Semiotic View of Social Intelligence for Realizing Human-Machine Symbiotic Systems (Keynote Speech)	Tetsuo Sawaragi
54	平成 22 年 9 月 16 日	日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2010	ロボット旋回停止時の自由振動を抑制する加減速パターンの研究	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 松久寛, 山田啓介
55	平成 22 年 9 月 24 日	第 28 回日本ロボット学会 学術講演会	動力学的押し操作解析に基づく把持戦略のロバスト性の考察	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
56	平成 22 年 10 月 20 日	2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	Derivation of Optimal Robust Grasping Strategy under Initial Object Pose Errors	Hiroki Dobashi, Akio Noda, Yasuyoshi Yokokohji, Hikaru Nagano, Tatsuya Nagatani, Haruhisa Okuda
57	平成 22 年 11 月 6 日	第 53 回自動制御連合講演会	動力学的押し操作解析に基づく準静的把持動作解析の妥当性の検証	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
58	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産を実現するロボット知能化技術開発の展望	田中健一, 榎木哲夫
59	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	自律型セル生産ロボットシステムのレイアウト多目的最適化	末光一成, 村雲泰, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也
60	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	産業用ロボットと環境間の座標系校正による教示作業の再構築	永谷達也, 野田哲男, 田中健一

61	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	バラ積みされたコネクタ付ケーブルのピンピッキング	北明靖雄, 奥田晴久, 堂前幸康, 鹿毛裕史, 鷺見和彦
62	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2 自由度ロボットアームの残留振動を抑制するための加減速パターン	中本崇志, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 野田哲男
63	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	セル生産ロボットシステムのハンド用アクチュエータに関する研究	小森雅晴, 大賀荘平, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
64	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	対象物体の初期誤差に対する把持戦略のロバスト性への動力学的要素の影響	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
65	平成 23 年 1 月 20 日	Human Factors Interest Group Seminar at the University of Toronto	Development of Configural Display to Support Teaching Operations to Industrial Robot	堀口由貴男
66	平成 23 年 3 月 14 日	2011 年度精密工学会春季大会学術講演会	ロボットによる組立工程のレイアウト最適設計支援	末光一成, 村雲泰, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也
67	平成 23 年 3 月 20 日	機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会	多関節型ロボットアームの残留振動を抑制する加減速パターン	中本崇志, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利, 野田哲男
68	平成 23 年 5 月 28 日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011	セル生産ロボットハンド用アクチュエータの研究	小森雅晴, 大賀荘平, 朱龍輝, 張帥, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
69	平成 23 年 9 月 14 日	第 29 回日本ロボット学会学術講演会	ロボットセル生産のためのロバスト把持戦略を用いた三次元形状物体を含む多形状物体の組立作業	土橋宏規, 平岡隼一, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
70	平成 23 年 9 月 14 日	第 30 回日本ロボット学会学術講演会	物体形状に依存せず高速なバラ積み物体の取り出し方法	堂前幸康, 奥田晴久, 北明康雄, 永谷達也, 野田哲男
71	平成 23 年 9 月 14 日	第 31 回日本ロボット学会学術講演会	ロボットによるバラ積み部品供給	野田哲男, 堂前幸康, 永谷達也, 長野陽, 田中健一
72	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	エラー解析に対するダイナミックベイジアンネットワークの応用	阪田隆司, 幸田武久, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也
73	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	協調型複数ロボットセル生産システムにおける多目的レイアウト最適化	末光一成, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
74	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	バラ積み部品供給可能なセル生産ロボットのシステム設計論	野田哲男, 永谷達也, 堂前幸康, 長野陽, 北明靖雄, 田中健一
75	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	産業用ロボットによる高速なバラ積み部品取り出し	堂前幸康, 奥田晴久, 永谷達也, 野田哲男
76	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	力制御パラメータ調整のための可視化項目の検討	安田圭佑, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男
77	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	座標系校正による産業用ロボットの位置復旧支援技術	永谷達也, 野田哲男, 田中健一
78	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	ロボットセルにおける組立作業のためのロバスト把持戦略の計画手法	土橋宏規, 平岡隼一, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
79	平成 24 年 1 月 25 日	SCI12 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会	協調作業における産業用ロボットの位置復旧支援技術	永谷達也, 野田哲男, 田中健一

(2) 文献

【論文（査読付き）】

番号	投稿年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	平成 21 年 7 月 24 日	日本ロボット学会論文誌 Vol.28, No.10, pp.1201-1212, 2010	準静的押し操作解析にも とづく把持シミュレーシ ョンと対象物体の許容初 期誤差範囲の導出	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
2	平成 23 年 4 月 20 日	計測自動制御学会論文集 Vol.47, No.12, pp.656-665, 2011	産業用ロボット教示作業 支援のための複合情報 GUI	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一

【解説記事】

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2009 年 4 月 15 日	日本ロボット学会誌 第 27 卷 3 号(日本)	千手観音モデルによるロ ボット制御セル生産シス テム	IDEC
2	2009 年 8 月 21 日	日刊工業新聞(日本)	知能化ロボットの研究	IDEC
3	2009 年 10 月 24 日	日本経済新聞(日本)	知能化ロボットの研究	IDEC
4	2010 年 1 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 192 号(日本)	画像処理を付加した低炭 素ロボット制御セル生産 システム	IDEC
5	2010 年 6 月 15 日	日本ロボット学会誌 第 28 卷 5 号(日本)	国際ロボット展 2009 : 世 界標準を目指したロボッ トセル生産用ハンドモジ ュール群とマニュアル作 業激減知能モジュール群 の開発と検証	IDEC
6	2010 年 7 月 1 日	Assembly Automation Volume30, Number4, 201 0 (アメリカ)	IDEC's robot-based cellular production system : a challenge to automate high-mix low-volume production	IDEC
7	2010 年 7 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 195 号(日 本)	世界標準を目指したロボ ットセル生産用ハンドモ ジュール群とマニュアル 作業激減知能モジュール 群の開発と検証について	IDEC
8	2011 年 12 月 1 日	日刊工業新聞社 機械設 計 2011Vol.55No.12	解説 2 ロボットセルの 価値を高める知能化技術- システム構築を容易にす る RTC と 2 層化 RTC	IDEC
9	2011 年 12 月 1 日	日刊工業新聞社 機械設 計 2011Vol.55No.12	事例 1 低炭素な千手観 音モデルロボット制御セ ル生産システム	IDEC
10	2012 年 3 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 205 号(日 本)	水平/垂直多関節ロボット による多品種変量生産に 最適な 千手観音モデルロボット 制御セル生産システム	IDEC

11	2009年11月	日本ロボット工業会機関誌「ロボット」2009年11月号, Vol.191	次世代のセル生産を実現するロボット知能化技術の開発	田中健一, 野田哲男, 奥田晴久, 榎木哲夫, 横小路泰義
12	2010年11月	システム制御情報学会会誌, システム/制御/情報, 54(11)	組立ロボットへの作業教示の記号過程	堀口由貴男, 水山元
13	2011年11月	日刊工業新聞ロボット展特集第2部8面	循環型産業創成を目指した自律型セル生産ロボットシステム	横小路泰義

【紀要】

1	平成23年1月25日	三菱電機技報, Vol.85, No.1, pp.38, 2011	産業用ロボットによる組付け作業の教示支援技術	永谷ほか
2	平成24年1月25日	三菱電機技報, Vol.86, No.1, pp.40, 2012	産業用ロボットによるバラ積み部品の供給技術	野田ほか

(3) 特許等

番号	出願日	出願番号	発明の名称	発明者
1	2008年11月27日	特願 2008-302547	ロボットハンド	IDEC
2	2008年12月25日	特願 2008-330518	ロボットハンド	IDEC
3	2008年12月25日	特願 2008-329764	ロボットハンド	IDEC
4	2008年12月25日	特願 2008-329779	ロボットハンド	IDEC
5	2009年11月20日	特願 2009-265704	ロボット制御システムの教示用補助具、その教示用補助具を用いた教示方法、およびその教示方法によって教示を行うロボット制御システム	IDEC
6	2009年11月24日	特願 2009-266808	ロボット制御方法、ロボット制御プログラムおよびロボット制御方法に用いられるティーチングペンダント	IDEC
7	2009年11月24日	特願 2009-266809	ロボット制御システムおよびロボット制御方法	IDEC
8	2009年11月24日	特願 2009-266810	ロボット制御方法およびロボット制御システム	IDEC

9	2009年2月12日	2009029374 日本	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
10	2009年11月13日	2009259681 日本	駆動装置	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 小森雅晴, 大賀荘平
11	2009年11月30日	2009272305 日本	ロボットの教示装置、及 びロボットの制御装置	永谷達也, 野田哲男, 田中健一, 堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫
12	2009年12月21日	2009289375 日本	ロボットの教示装置、お よびロボットの制御装置	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
13	2009年12月22日	2009290832 日本	振動抑制方法	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 野田哲男, 田中健一
14	2010年2月10日	201080007473.4 中国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
15	2010年2月10日	112010000775.6 ドイツ	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
16	2010年2月10日	5756/CHENP/2011 インド	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
17	2010年2月10日	2010550536 日本	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
18	2010年2月10日	10-2011-7018727 韓国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
19	2010年2月10日	13/147415 米国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
21	2010年2月10日	PCT/JP2010/051962 WIPO	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
22	2010年6月22日	2010141865 日本	振動抑制方法	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 野田哲男, 田中健一

(4) その他の公表（プレス発表等）

【三菱電機ニュースリリース】

1	平成 20 年 9 月 25 日	■ニュースリリース 開発 No.0812 三菱電機と京都大学は「自律型セル生産ロボットシステム開発」の産学連携活動を本格的に開始	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2008/0925-a.htm
2	平成 21 年 7 月 15 日	■ニュースリリース 開発 No.0911 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2009/0715.htm
3	平成 23 年 10 月 11 日	■ニュースリリース 開発 No.1112 バラ積み部品を整理するロボットシステムを開発	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/1011.html

【展示会】

1	平成 20 年度	計測自動制御学会 2008 年国際学術講演会 展示会
2	平成 20 年度	玉川大学 脳とロボット展
3	平成 21 年度	IEEE ICCV(International Conference on Computer Vision)2009 Exhibition
4	平成 21 年度	国際ロボット展
5	平成 22 年度	玉川大学 脳とロボット展
6	平成 22 年度	神奈川県ロボフェスタ
7	平成 23 年度	画像センシングシンポジウム 2011 特別展示 DS1-01
8	平成 23 年度	国際ロボット展
9	平成 23 年度	神奈川県ロボフェスタ

【TV】

1	平成 20 年 9 月 25 日	サンテレビ「SUN-TV ニュース」 14:55～
2	平成 20 年 9 月 25 日	テレビ大阪（関西圏のみ）「ニュース Biz」 17:13～
3	平成 20 年 9 月 25 日	朝日放送（関西圏のみ）「NEWS ゆう」 18:17～18:54
4	平成 21 年 7 月 15 日	NHK 総合（全国）「ニュース」 18:00～18:10 （18:08 頃放送）
5	平成 21 年 7 月 15 日	NHK 大阪 「ニューステラス関西」 18:10～18:59 （18:13 頃放送）
6	平成 21 年 7 月 17 日	KBS 京都 京 bizW （金）21:25～2:25
7	平成 21 年 7 月 22 日	NHK 総合 NHK ニュース おはよう日本 5:00～ 5:53 頃放送
8	平成 24 年 1 月 11 日	TBS 朝ズバ 5:00～ 8:10 ごろ放送

【新聞】

1	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 京大 ロボットでセル生産 熟練工の動き移植へ研究	日経産業新聞	朝刊 10 面
2	平成 20 年 9 月 26 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機 自律型セル生産ロボ 京大と 2011 年度以降事業化	日刊工業新聞	朝刊 31 面 3 段写真あり
3	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 兵庫尼崎市の先端技術総合研究所 一流技術融合 強い製品作り 竣工の IS 棟を活用	電波新聞	朝刊 1 面 3 段写真あり
4	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機と京大が共同研究 自律型セル生産ロボットシステム開発	電波新聞	朝刊 2 面 3 段写真あり
5	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 京都大学と自律型ロボの開発へ 産学連携活動を強化	電気新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
6	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機－京大 セル生産ロボット開発へ 3 年以内に試作品	化学工業日報	朝刊 5 面 2 段
7	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機と京大 セル生産ロボ 開発本格化 尼崎に研究拠点 業界初、実用目指す	京都新聞	朝刊
8	平成 21 年 10 月 1 日	三菱電機と京都大学 産学連携活動を本格開始 自律型セル生産ロボットシステム開発	F T ジャーナル	2008 年 10 月 1 日
9	平成 20 年 10 月 2 日	三菱電機 IS 棟イノベーション&シナジーセンター 研究開発の拠点に産学連携を一層強化	電材流通新聞	朝刊 3 面写真あり
10	平成 20 年 10 月 3 日	ロボットテクノロジー セル生産ロボ進化 高度化続くアクチュエーター 形状中空にし小型軽量化 モーター向け新材料も開発	日刊工業新聞	
11	平成 20 年 10 月 7 日	三菱電 京大と開発へ 複数作業対応のロボット 尼崎の新拠点	神戸新聞	朝刊 9 面写真あり
12	平成 20 年 10 月 10 日	「自律型セル生産ロボットシステム」連携を本格化 三菱電機と京都大学が共同研究	オール電気	
13	平成 20 年 10 月 15 日	"熟練ロボ"めざせ 三菱電機京大	朝日新聞(大阪)	朝刊 15 面写真あり
14	平成 20 年 10 月 16 日	三菱電機 京都大学 自律型セル生産ロボットシステム	機械新聞	朝刊
15	平成 20 年 12 月 10 日	逆風に克つ 次の一手 機能高度化する産業用ロボ 新規用途開拓へ技術磨く	日刊工業新聞	

16	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機—京大 小型電機製品など ロボット知能化技術開発 セル生産 方式に対応	化学工業日報	朝刊 5 面 3 段写真あり
17	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 ロボに熟練工ノウ ハウ 1 台で多工程対応	日本経済新聞	朝刊 11 面 2 段写真あり
18	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機京大 ロボが「セル生産」 学習機能で作業最適化	日経産業新聞	朝刊 14 面 3 段写真あり
19	平成 21 年 7 月 16 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機と 京大 ミス、自動でやり直し セル生 産ロボ高度化	日刊工業新聞	朝刊 6 面 3 段写真あり
20	平成 21 年 7 月 16 日	多品種少量生産ロボ開発 匠の技 3 分で学習	産経新聞	朝刊 10 面 2 段
21	平成 21 年 7 月 16 日	人手いらすのセル生産ロボ 三菱電 機と京大 共同開発	産経新聞	大阪朝刊 8 面 2 段写真あり
22	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 セル生産対応ロボ ット開発	フジサンケイビジ ネスアイ	朝刊 6 面 3 段写真あり
23	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機 熟練工の減少に対応 生 産工程をロボット化	電気新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
24	平成 21 年 7 月 20 日	三菱電機と京都大学 次世代セル生 産へ ロボット知能化技術開発	電波新聞	朝刊 5 面 3 段写真, 図あり
25	平成 21 年 7 月 20 日	三菱電機 京都大学 次世代セル生 産を実現 ロボット知能化技術	機械新聞	朝刊 5 段写真あり
26	平成 21 年 7 月 30 日	三菱電機と京都大学が開発 次世代 セル生産を実現するロボット知能化 技術	でんき業界	5 段
27	平成 21 年 7 月 30 日	三菱電機と京都大学 次世代セル生 産を実現するロボット知能化技術を 開発	電波タイムス	朝刊 5 段写真あり
28	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京都大学開発 熟練工の 技をこなす ロボット 複雑な製造 過程に対応	東京新聞	朝刊 7 面 3 段写真あり
29	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京都大が開発 ロボで熟 練の技	中日新聞	朝刊 10 面 3 段写真あり
30	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京大が開発 多品種少量 対応で ロボに熟練工技能	中部経済新聞	3 面 4 段
31	平成 21 年 8 月 4 日	熟練工の技担うロボット 三菱電機 と京大が共同開発 失敗回避や修正 技術も	信濃毎日新聞	朝刊

32	平成 21 年 8 月 4 日	ロボットに熟練工の技—三菱電機と京大が開発	静岡新聞	朝刊 6 面写真あり
33	平成 21 年 9 月 28 日	ロボット"共存"社会へ 夢と現実 第 6 部 変わる産学官連携 ①信頼性の確保 「産業用」メーカー間で温度差 進むかオープンイノベーション	日刊工業新聞	朝刊 10 面 4 段写真あり
34	平成 21 年 10 月 8 日	2009 年度技術トレンド調査(第 3 回) 健康や情報守る研究上位 三菱電機、京大 ロボに熟練工ノウハウ、1 台で多工程対応	日経産業新聞	17 面 6 段
35	平成 21 年 10 月 24 日	技術ウォッチ 「多能工ロボ」開発加速 三菱電機、誤差抑え最適動作	日本経済新聞	朝刊 12 面 4 段写真あり
36	平成 21 年 11 月 4 日	第 4 回モノづくり連携大賞受賞一覧 特別賞 「自律型セル生産ロボットシステムの研究開発」 三菱電機 京大大学院工学研究科	日刊工業新聞	朝刊 1 面, および 3 面
37	平成 21 年 11 月 20 日	第 4 回モノづくり連携大賞 受賞紹介 独創的で多彩な産学官連携の実現へ 【自律型セル生産ロボットシステムの研究開発】	日刊工業新聞	6 面
38	平成 21 年 11 月 25 日	ロボットテクノロジー 産ロボ、新市場開拓急ぐ 食品医薬や電機組み立て 高度作業 武器に	日刊工業新聞	
39	平成 21 年 12 月 4 日	産学官をつなぐ モノづくり連携大賞受賞例から(6)＝特別賞 三菱電機など 知恵と技術結集 ロボでセル生産	日刊工業新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
40	平成 21 年 12 月 15 日	進化続ける産業用ロボット 「画像認識」で微調整/人と共存「両腕タイプ」	朝日新聞	20 面
41	平成 22 年 1 月 8 日	三菱電機下村社長に聞く コスト削減積み増しも 各事業連携、シナジー強み	日経産業	
42	平成 22 年 12 月 14 日	フロンティア 知恵を絞る 三菱電機先端技術総合研究所(上)＝産学連携、基礎から議論	日経産業	朝刊 10 面 4 段 写真・表あり
43	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機「セル生産」 部品の供給も自動化 3Dセンサを活用	日本経済新聞	朝刊 11 面 3 段 写真あり
44	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 セル生産部品供給にロボット 広がる用途、新顧客狙う	日経産業新聞	朝刊 20 面 4 段 写真・図あり
45	平成 23 年 10 月 12 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機が部品供給ロボ 3次元画像認識技術確立 箱内の乱雑部品を整列	日刊工業新聞	朝刊 6 面 3 段 写真あり
46	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 整頓ロボットを開発 部品の整列作業を全自動化	フジサンケイビジネスアイ	朝刊 6 面 2 段 写真あり
47	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 ロボットシステム開発 部品形状認識し整列	電気新聞	朝刊 4 面 3 段 写真あり

48	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 ロボットシステム開発 ばら積み部品を整理	化学工業日報	朝刊 11 面 3 段 写真あり
49	平成 23 年 10 月 24 日	三菱電機 部品整理バラ積みロボを開 発	鉄鋼新聞	9 段 写真あり
50	平成 23 年 10 月 28 日	バラ積み部品を整理 三菱電機 ロ ボットシステム開発	電気日日新聞	4 段
51	平成 24 年 1 月 12 日	難題だった部品供給にめど	日刊工業新聞	テクノ編集局 129
52	平成 24 年 1 月 12 日	取材ノート 三菱電機の部品供給ロ ボット	日刊工業新聞	1 段

【Web】

1	平成 20 年 9 月 2 日	三菱電機と京大、多品種少量生産ロボ ットを共同開発	NIKKEI NET	http://www.nikkei.co.jp/news/sangyo/20080925AT1D2505S25092008.html
2	平成 20 年 9 月 25 日	自律型セル生産ロボシステム共同研 究 三菱電機と京大	京都新聞	http://www.kyoto-np.co.jp/article.php?mid=P2008092500191&genre=B1&area=K00
3	平成 20 年 9 月 25 日	三菱電機と京都大、自立型セル生産ロ ボットシステムを共同開発へ	YAHOO!ニュース	http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20080925-00000038-rps-ind
4	平成 20 年 9 月 25 日	三菱電機 京大と自律型セル生産ロ ボットシステムの共同開発で連携本 格化	ロボメディア 2008	http://robomedia2006.blog.so-net.ne.jp/2008-09-25
5	平成 20 年 9 月 26 日	三菱と京大、自律型セル生産ロボの開 発を本格化、2011 年度以降に事業化	ロボナブル	http://robonable.typepad.jp/news/2008/09/20080926-2011-e.html
6	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、熟練工のノウ ハウ再現可能なロボット開発	NIKKEINET	http://www.nikkei.co.jp/news/sangyo/20090715AT1D1509015072009.html
7	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、ロボットによる 自動化セル生産システムを試作	TechOn!	http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090715/173054/
8	平成 21 年 7 月 15 日	三菱と京大、セル生産方式に対応する ロボットの知能化技術を開発	マイコミジャーナ ル	http://journal.mycom.co.jp/news/2009/07/15/068/?rt=na
9	平成 21 年 7 月 15 日	セクター情報電気機器＝三菱電機－ 京都大学と次世代セル生産を実現す るロボット知能化技術を開発	MORNINGSTAR	http://www.morningstar.co.jp/StockInfo/info/snap/6503
10	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、次世代セル生 産を実現するロボット知能化技術を開 発	Response	http://response.jp/issue/2009/0715/article127344_1.html

11	平成 21 年 7 月 15 日	エラー回避に自律習熟 三菱と京都大、セル生産対応ロボット技術	@IT MONOist	http://monoist.atmarkit.co.jp/fpro/news/2009/07/15mitsubishi.html
12	平成 21 年 7 月 15 日	Industrial robot with high skills developed	NHK WORLD English	http://www.nhk.or.jp/daily/english/15_20.html
13	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 セル生産対応ロボット開発	Businessi.	http://www.business-i.jp/news/ind-page/news/200907160076a.nwc
14	平成 21 年 7 月 16 日	人手いらずのセル生産ロボ 三菱電機と京大 共同開発	産経関西	http://www.sankei-kansai.com/2009/07/16/20090716-012394.php
15	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発	日刊工業新聞 BusinessLine	http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0120090716bcam.html
16	平成 21 年 7 月 16 日	複数工程ロボット開発 三菱電機と京大	神戸新聞 NEWS	http://www.kobe-np.co.jp/news/keizai/0002130378.shtml
17	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発	asahi.com	http://www.asahi.com/digital/nikkanko/NKK200907160005.html
18	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機、京大とロボット知能化技術を開発	TheChemicalDaily (化学工業日報)	http://www.chemicaldaily.co.jp/news/200907/16/04601_2131.html
19	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京都大学、次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	carview	http://www.carview.co.jp/bbs/122/?ct2=1&ct3=111672
20	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大、セル生産用ロボットの知能化技術を開発	SemiconductorJapanNet	http://www.semiconductorjapan.net/newsflash/appli/090716_01.html
21	平成 21 年 7 月 17 日	三菱電機と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発、ブレーカの組立で実証	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2009/07/20090716-18bb.html
22	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	Tech-On!	http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20111011/199153/
23	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	日経 BPnet	http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20111011/286886/
24	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、ランダムビンピッキングを可能にしたロボットシステム開発	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/10/mitsubishi-1011.html
25	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品を整列するロボットシステムを開発	財経新聞	http://www.zaikei.co.jp/article/20111011/83072.html
26	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品を整列するロボットシステムを開発	ARC ジャパンホーム	http://www.arcweb.com/arc-japan/arcwire/lists/posts/post.aspx?id=3393

27	平成 23 年 10 月 11 日	工場での部品整列作業を自動化 三菱電機がロボット開発	産経ニュース	http://sankei.jp.msn.com/economy/news/111011/biz11101113460007-n1.htm
28	平成 23 年 10 月 11 日	工場での部品整列作業を自動化 三菱電機がロボット開発	SankeiBiz	http://www.sankeibiz.jp/business/news/111011/bsc1110111346001-n1.htm
29	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	Cybouzu net	http://news.cybozu.net/news/nikkeibp/products/2011101120267.html
30	平成 23 年 10 月 25 日	SI の海外進出支援が必要、三菱電機 FA シス事業本部、小平紀生主管技師長	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/10/kodaira-mitsubishi-1025.html
31	平成 23 年 11 月 4 日	2011 国際ロボット展 (iREX2011)、過去最大規模で開催—ランダムビンピッキング、ロボットセル、人共存システムに注目	ロボナブル	http://www.robonable.jp/special/2011/11/preview-irex2011.html
32	平成 23 年 11 月 22 日	三菱電機、サーマルリレー組立ロボットセル公開、協調動作により組み付け	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/11/mitsubishi-1122.html
33	平成 23 年 11 月 24 日	三菱電機、簡素なロボットセルと複数ロボの連携による部品供給セル公開	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/11/mitsubishi-1124.html
34	平成 23 年 12 月 28 日	年末企画 分野別に振り返るロボット業界 2011	ロボナブル	http://www.robonable.jp/special/2011/12/part4.html
35	平成 24 年 1 月 18 日	三菱電機、効率的なシステム提案を可能にするロボットセル設計論を紹介	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2012/01/mitsubishi-0118.html

【雑誌】

1	平成 21 年 8 月 1 日	速報 生産革新 ロボットによる自動化セル生産 三菱電機と京都大学が実証段階に	日経ものづくり	2009 年 8 月号 P.21
2	平成 21 年 8 月 19 日	京大ら、熟練工並み新型ロボット開発—1 台で多工程対応	KIPPO NEWS MONTHLY	2009 年 8 月 19 日 Vol.16 No.593 (日本語版, 英語版)
3	平成 21 年 8 月 25 日	次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	日経サイエンス	2009 年 10 月号 P.113
4	平成 21 年 9 月 1 日	新技術トピックス 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術	工業調査会 国際技術情報誌「M&E」	2009 年 9 月号 P.30
5	平成 21 年 9 月 1 日	テクノロジー 三菱電機京大の産学連携 「ロボットセル」向け知能化技術を開発	月刊 生産財マーケティング	2009 年 9 月号 P. A68-A69

6	平成 21 年 9 月 1 日	三菱電機、京都大学 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発 生産機種切り替えの迅速化などを実現	技術総合誌 OHM	2009 年 9 月号 P.55
7	平成 21 年 10 月 1 日	熟練工の技を継承するロボットを開発	子供の科学	2009 年 10 月号 P.7
8	平成 21 年 10 月 1 日	system integration 自律型動作習熟を実現したセル生産ロボットシステムの開発 3次元画像認識で計測分解能 0.3mm 以下を達成	design news Japan	2009 年 10 月号 P. CE4-CE5
9	平成 21 年 10 月 26 日	特集 カイゼンを壊せ 第 3 章 トヨタ神話崩壊の後で 問われる自己革新力 新世代ロボットで変化に対応	日経ビジネス	10 月 26 日号 P.34
10	平成 21 年 10 月 31 日	三菱、京大と「自律型セル生産ロボットシステム開発」で産学連携	業界春秋	2008 年 10 月号 P.7
11	平成 21 年 11 月 1 日	研究開発 次世代のセル生産を実現するロボット知能化技術の開発	ロボット	No.191 P.35-40
12	平成 21 年 12 月 1 日	2009 国際ロボット展 小型垂直多関節ロボットの最新製品「RV-2SQ」のほか、京都大学と共同開発のロボット知能化技術を用いた次世代セル生産システム（第 4 回モノづくり連携大賞「特別賞」を受賞）を参考出展	プレス技術	Vol.47 No.13 P.8(特別企画誌上)
13	平成 21 年 12 月 1 日	2009 国際ロボット展 小型垂直多関節ロボットの最新製品「RV-2SQ」のほか、京都大学と共同開発のロボット知能化技術を用いた次世代セル生産システム（第 4 回モノづくり連携大賞「特別賞」を受賞）を参考出展	機械設計	Vol.53 No.15 P.8(特別企画誌上)
14	平成 22 年 1 月 1 日	"人間らしさ"で付加価値の高いセル生産へ ～三菱電機と京都大学のコラボで自律型セル生産ロボットが誕生！～	工場管理	2010 年 1 月号(Vol.56 No.1) P.13
15	平成 22 年 1 月 1 日	三菱電機、京都大学 "人間らしい"技術で自立型生産ロボを実用化	機械設計	2010 年 1 月号(Vol.54 No.1) P.6
16	平成 22 年 2 月 1 日	企業の活路第 41 回 介護、移動用、人間型国産ロボット最前線 夜、ヒトがいないセル生産ロボット	PRESIDENT	2010 2.1 号 P.111
17	平成 22 年 2 月 1 日	Robots at the International Robot Exhibition 2009 in Tokyo	Industrial Robot: An International Journal	Volume 37 Issue 3

18	平成 23 年 11 月 1 日	バラ積み部品を整列するロボット 三菱電機がプログラムの工夫で実現	日経ものづくり	2011 年 11 月号 P30-31
19	平成 23 年 12 月 1 日	バラ積み部品を整列するロボットシ ステム	プラスチックエー ジ	2011 年 12 月号 P35
20	平成 24 年 4 月 27 日	Robots at the International Robot Exhibition 2011 in Tokyo	Industrial Robot: An International Journal	Volume 39 Issue 3

(5) 表彰

1	第 9 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2008 年 12 月
2	フジサンケイビジネスアイ フルスペース広告部門 金賞	2009 年 10 月
3	日刊工業新聞 モノづくり連携大賞 特別賞	2009 年 11 月
4	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2009 年 12 月
5	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2010 年 12 月
6	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2010 年 12 月
7	2011 年度計測自動制御学会 学術奨励賞 研究奨励賞	2012 年 02 月
8	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
9	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
10	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
11	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月

(6) 開発知能モジュールリスト

②作業知能(生産分野)「世界標準を目指したロボットセル生産用知能ハンドモジュール群とマニュアル作業激減知能モジュール群の開発と検証 (IDEC)			
394	ace 向けカメラ制御 RT コンポーネント		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
307	Flea2 向けカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
308	Flea2 向けステレオカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
393	MCM4302 向けカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
317	セル生産コントロール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
400	セル生産システムモニタ RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
327	チョコ停事前回避コントロール RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
310	チョコ停状態検査 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
315	チョコ停自動復帰コントロール RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
304	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
35	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
318	三菱重工製 PA10 ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
37	三菱重工製 PA10 ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
305	三菱電機製ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
36	三菱電機製ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
328	事前トレイ検査 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
314	教示支援・座標位置補正コントロール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
306	概略座標位置検出 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
316	詳細座標位置検出 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
②作業知能(生産分野)「機種切り替えが迅速かつ長時間連続操業可能なロボットセル生産システム」(三菱電機グループ)			
76	習熟機能モジュール	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
87	複合情報 GUI モジュール	京大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用
93	ハイブリッド視覚補正(2D)	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
95	ハイブリッド視覚補正(3D)	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
188	部品ピッキング用物体認識	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
311	産業用ロボット MELFA(ACT 低レベル)	三菱電機	自社製品購入者に提供
312	産業用ロボット MELFA(ACT 中レベル)	三菱電機	自社製品購入者に提供
329	MELFA 外部制御モジュール	三菱電機	自社製品購入者に提供
337	ハンドライブラリモジュール	神大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用
384	習熟機能(振動抑制)モジュール	関大+三菱電機	自社製品に組み込んで使用
401	作業エラー処理モジュール	京大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用

3.3.2 作業知能（社会・生活分野）の研究開発

本テーマでは、4つの知能モジュール群（作業計画に関する知能モジュール群、作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群、作業対象物認識に関する知能モジュール群、対人作業に関する知能モジュール群）の研究開発を実施し、各知能モジュールをRTCとして開発し、その成果を公開した。

これら知能モジュールを双腕移動型ロボット（SmartPal）、リファレンスハード、OpenHRP3上の仮想ロボット（SmartPal, PA10, 東芝サービスロボット）に統合し、各シナリオにしたがって実証を行い、各知能モジュールの有効性を確認した。

また、作業知能SWGにおいて、モジュールの粒度、インタフェース等に関して検討を行った。その結果、作業対象物を認識するSense部、作業計画を行うPlan部、そして、ロボットの制御を行うAct部に分けるリファレンスモデルを決定し、各モジュールの共通インタフェースを定義した。このモデルに沿って来訪者受付システムを構築し、その有効性を実証した。

さらに、工業部品のピッキング、パレタイジング、搬送などに必要な作業知能モジュール群をオープンソースソフトウェアとして開発し、双腕ロボットプラットフォーム（HiroNX）において統合し、その有効性を実証した。また、モジュールのソースコードだけでなく、システムの仕様書等も公開した。

上記の4つのモジュール群に追加して、ロボットの手先に単眼カメラを搭載し、ビジュアルフィードバック動作で対象物の把持等が行えるよう、簡易な形状のマーカを使い対象物の位置・姿勢情報を正確に獲得する単眼位置姿勢計測表示モジュールと相対位置決め制御モジュールを開発した。OpenHRP3のシミュレータ、リファレンスハードウェア、東芝サービスロボットで有効性を検証実験で確認すると共に、モジュールを公開した。

対象物の認識に必要な視覚機能、コミュニケーションに必要な音声機能の基本機能に関して別途オープンソース版のモジュール群を開発し、それぞれOpenVGR, OpenHRIとして公開した。

以下に、実施計画書に沿った各研究項目の、目標、研究開発成果および達成度を示す。

3.3.2.1 作業計画知能モジュール群の開発

3.3.2.1.1 国立大学法人九州工業大学

目標	研究開発成果	達成度
人から受けた指示をもとにロボットが遂行可能な作業計画を構築する機能を実現する。	作業計画モジュールを開発し、ドキュメントも含めて公開した。	達成
作業計画を立てるために必要な情報が指示に含まれていない場合、他のモジュールに問い合わせる情報を補完して	作業計画モジュールは、データポートの入出力、サービスポート（プロバイダー、コンシューマー）をモジュール	達成

計画することができる。	に容易に追加できる。物体の位置を管理するモジュールと接続し不足する情報を補完して作業計画を立てることができる。	
指示や問い合わせは、音声認識・音声合成や持ち運びが容易な携帯端末装置を利用することができる。	産業技術総合研究所で開発された OpenHRI 或は九州工業大学で開発した音声理解モジュールを接続し、音声による指示や問い合わせを受け付けることができる。	達成

3.3.2.1.2 独立行政法人産業技術総合研究所

目標	研究開発成果	達成度
作業対象物をエンドエフェクタ（グリッパ）で把持するための作業遂行知能として把持動作計画モジュールを開発する。また、基本機能に関し、対象物をグリッパで把持するオープンソース版把持動作計画モジュールを開発する。	グリッパによる作業対象物の把持姿勢を導出する機能を有する把持動作計画モジュールを開発し、オープンソースとして公開した。加えて、把持動作計画モジュールを含むように様々な機能を有する graspPlugin for Choreonoid の開発を行い、公開した（図 3.3.2.1.2-1）。	達成
把持に至るまでの途中経路においてアームやハンドと周辺環境との干渉を考慮に入れた把持動作計画を行う。	graspPlugin for Choreonoid において視覚センサから得られた対象物の位置・姿勢の情報を基にロボットが作業対象物を把持する動作を周辺環境との干渉を回避しながら行う機能を開発した。	達成
実証ロボットである双腕移動型ロボットに把持動作計画モジュールを搭載し、作業対象物を把持でき、マニピュレーション機能を実行できることを確認する。	形状や大きさの異なる日用品（ペットボトル、缶、菓子箱等）を安定して把持し、指示された場所（机の上、棚の中、冷蔵庫の中、人の手等）間で移動できることを有効性検証ロボット（SmartPal）を用いて検証した（図 3.3.2.1.2-2）。	達成

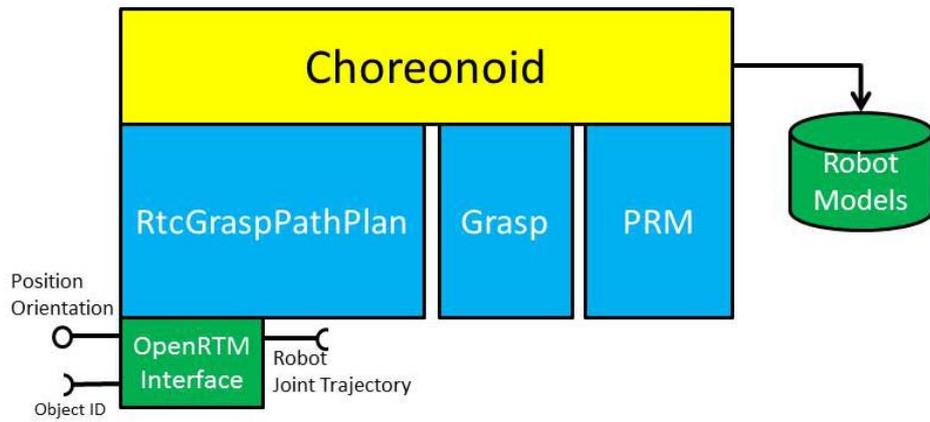


図 3.3.2.1.2-1 graspPlugin for Choreonoid におけるプラグイン構成



図 3.3.2.1.2-2 SmartPal による有効性検証

3.3.2.1.3 株式会社東芝

目標	研究開発成果	達成度
<p>作業計画モジュール群（実時間プランニングモジュール，知識・状況管理モジュール等）をRTCとして開発する．これらのモジュール群を他モジュールと接続し，動作検証用ロボット上で統合試験を行う．</p>	<p>作業計画に関する知能モジュール群として，知識・状況管理モジュールと実時間プランニングモジュール，および，その他関連モジュール群（知識変換パーサ，アクセスモジュール群，および，分散知識DBフレームワーク）を開発した（図 3.3.2.1.3-1）．知識・状況管理モジュールと実時間プランニングモジュールに関しては，RTMにより他のモジュールと接続し，2種類の検証実験用ロボット（東芝，安川電機）を用いた物品のピック&プレイスに関する検証実験を行った上で公開した（図 3.3.2.1.3-2、図 3.3.2.1.3-3）．</p>	<p>達成</p>

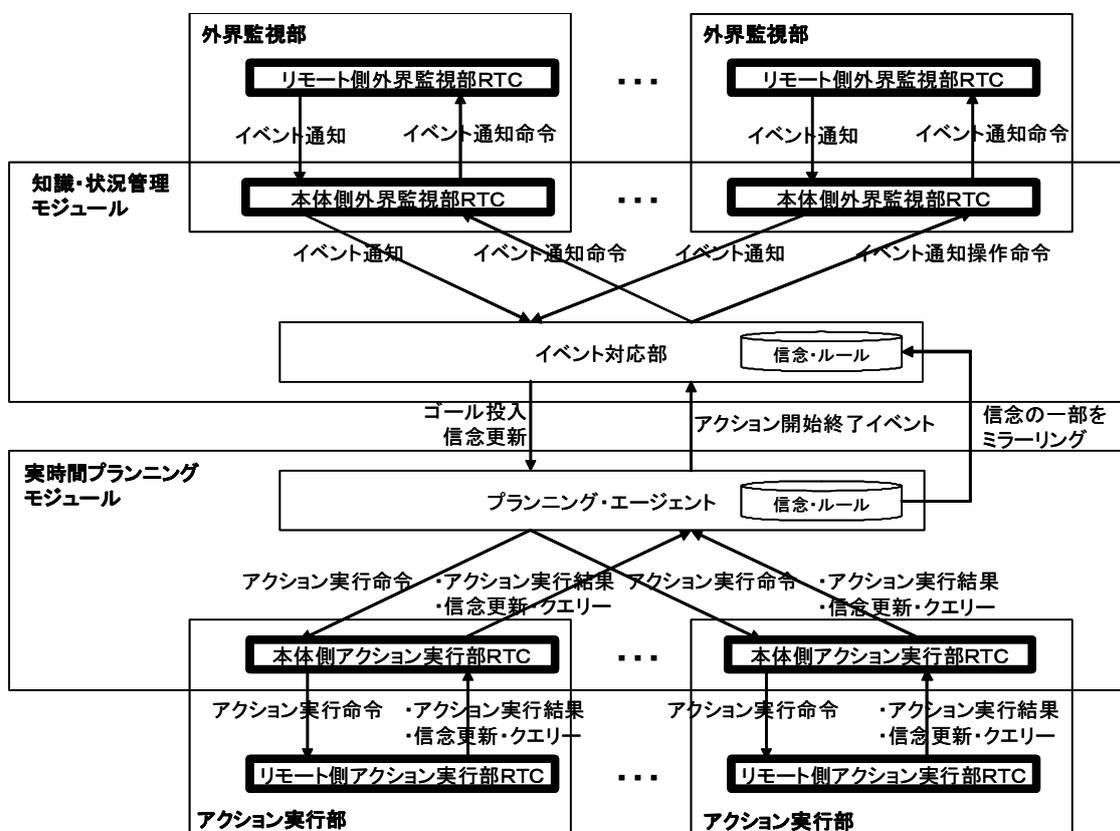


図 3.3.2.1.3-1 知識・状況管理モジュールと実時間プランニングモジュール



図 3.3.2.1.3-2 実験用ロボット（東芝）による検証

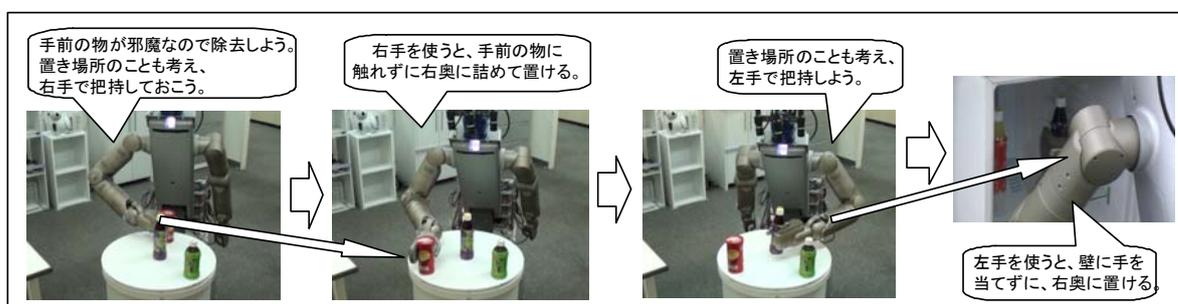


図 3.3.2.1.3-3 実験用ロボット（安川）による検証

3.3.2.2 作業対象物追跡・位置管理に関する智能モジュール群

3.3.2.2.1 国立大学法人九州大学

目標	研究開発成果	達成度
人やロボット、物品の位置情報を収集、管理すると共に、問い合わせに応じて提供するタウンマネジメントシステム RTC を開発する。	施設内の移動体や物品の位置および地図などの環境情報を収集・管理し、ロボットからの問い合わせに応じて提供する環境情報管理機構である施設内 TMS を開発し、RTC 化を行い、「タウンマネジメントシステム RTC」として EPL ライセンスで登録・公開した。	達成
ビジョンセンサとレーザレンジファインダを搭載した 3 体以上のロボットが高精度に自己位置同定を行いながら移動する分散ロボットシステムからのレーザ計測により点構造環境データを取得する三次元計測モジュールを開発する。対象空間は中規模施設の一階分に	レーザ計測により三次元点群地図を自動的に作成する分散ロボットシステムからなる「三次元計測モジュール」を開発し、中規模施設の一階分に相当する 500m ² 程度の空間の三次元構造を、1m 以下の絶対精度で近接物体同士は 0.2m 以下の相対精度で獲得できること	達成

<p>相当する 500m²程度とし、全空間の三次元構造を 1m以下の絶対精度、近接物体同士は 0.2m以下の相対精度で獲得する。</p>	<p>を確認した（図 3.3.2.2.1-1、 図 3.3.2.2.1-1）。</p>	
<p>点構造環境データに面情報やテクスチャ情報を付加し、幾何構造情報を有する環境地図を作成するマップ生成モジュールを開発する。</p>	<p>点構造環境データに面情報やテクスチャ情報を付加し、幾何構造情報を有する環境地図を作成する「マップ生成モジュール」の開発を行い、大規模建造物の計測実験を通してその有効性を確認した。</p>	達成
<p>環境内に持ち込まれた作業対象物体の在庫や位置を、人間やロボットにより登録する機能を持つ物体登録モジュールを開発する。</p>	<p>日本で最も普及している商品識別コードである JAN コードを用いた物品情報と位置を、施設内 TMS で管理しロボットへ提供できるようになった。</p>	達成
<p>収納庫内やテーブル上の未登録物体の検出を、重量センサ、2次元バーコードリーダー、IC タグリーダー等により行う物体検出モジュールを開発する。対象とする物の種類はペットボトル、缶、菓子など 3種類 6品目以上とする。また、登録された物の施設内で位置は、実時間かつ 0.2m以下の相対精度で同定可能とする。</p>	<p>収納庫内やテーブルに置かれた作業対象物の位置を、重量センサ、2次元バーコードリーダー、IC タグリーダー等を用いて計測・管理する「物体検出モジュール」の開発を行った。開発したモジュールを介護施設の模擬環境に設置し、6つ以上の物品に対して、0.2m以下の相対精度で位置を計測・管理・提示できることを確認した（図 3.3.2.2.1-3、図 3.3.2.2.1-4）。EPL ライセンスで公開した。</p>	達成
<p>環境内の人やロボットの位置を、ビジョンセンサ、レーザレンジファインダおよびロボットが自己発信する情報を用いて計測するロボット位置同定モジュールと人物追跡モジュールを開発し、RTC 化を行う。追跡可能な移動体数は人物とロボットを合わせて 3 以上とし、施設内での位置は実時間かつ 0.2m以下の相対精度で同定可能とする。</p>	<p>環境に設置したビジョンセンサとレーザ距離センサを利用して人間やロボットなどの移動体の位置を計測する「人物追跡モジュール」を開発し、人物とロボットを合わせて 3 体以上の移動体を 0.2m以下の相対精度で追跡できることを確認した。RT コンポーネント化してバイナリで公開した。</p>	達成
<p>ドアが開くなど日常生活で起こる出来事を抽象化したものであるイベントの</p>	<p>ドアが開くなど日常生活で起こるイベントの発生を施設内 TMS へ通知する</p>	達成

<p>発生を、ロボットからの通報および環境に設置されたセンサからの情報により直接検知するイベント検知モジュールを開発する。作業計画・検証モジュール群と接続し、実機と組み合わせた動作試験を行う。</p>	<p>「イベント検知モジュール」を、施設内 TMS へのイベント通知用 API という形で開発し、ロボットや環境に埋め込まれたセンサシステムから施設内 TMS へイベントの発生通知が行えることを確認した。</p>	
<p>時系列イベントの記録および移動体計測データの収集と管理を行うログ作成・管理モジュールを開発する。</p>	<p>時系列イベントの記録および移動体計測データの収集と管理を行う「ログ作成・管理モジュール」を、施設内 TMS へのログ情報登録用 API という形で開発し、ロボットのログ情報を施設内 TMS で管理できることを確認した。</p>	<p>達成</p>
<p>床上の物体位置を計測するフロアセンシングシステムを開発し、床上の物品位置を計測する。0.5m 以下の相対精度で同定可能とする。</p>	<p>レーザ距離センサを用いて床上に置かれた作業対象物の位置を計測し、介護施設の模擬環境で、0.5m 以下の相対精度で位置を計測・管理・提示できることを確認した（図 3.3.2.2.1-5、図 3.3.2.2.1-6）。</p>	<p>達成</p>



図 3.3.2.2.1-1 分散ロボットシステム

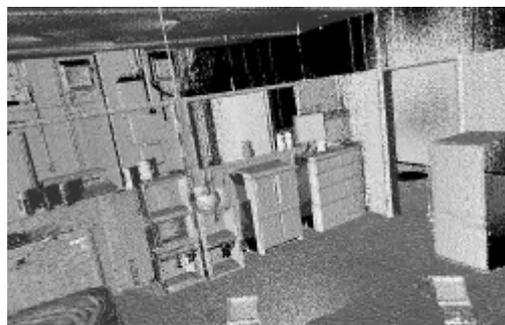


図 3.3.2.2.1-2 室内の距離画像



図 3.3.2.2.1-3 物体検出モジュール

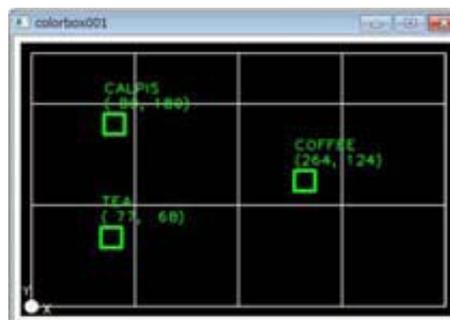


図 3.3.2.2.1-4 計測結果



図 3.3.2.2.1-5 フロアセンシングシステム
による計測

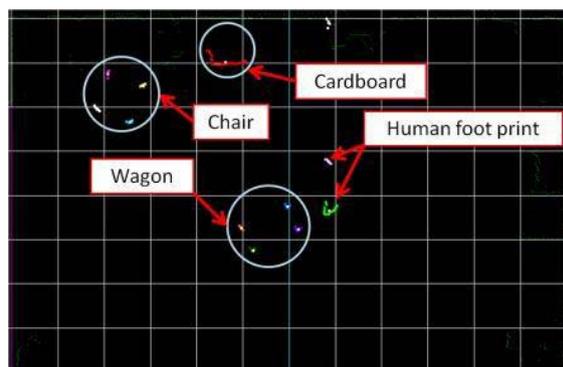


図 3.3.2.2.1-6 計測結果

3.3.2.2.2 国立大学法人東京大学

目標	研究開発成果	達成度
<p>各種センサ, RFID リーダなどによって計測した可動オブジェクト, 静止オブジェクト, 移動オブジェクトの位置情報を解釈し, データベースに登録し, また, 各モジュールからの要求に応じてデータベースの検索を行い, 座標変換等の解釈を施した上でオブジェクトの位置情報を提供するモジュールを開発する. (H20-21: 位置管理モジュール/環境サーバ, H22-23: データ解釈モジュール)</p>	<p>H20-H21 年度には, 位置管理モジュール, 環境サーバとして左記の機能を持つモジュールのプロトタイプを開発した.</p> <p>H22-23 年度には, 上記 2 モジュールの機能を整理し, データ解釈モジュールとして RTC 化し公開した (図 3.3.2.2.2-1) .</p>	<p>達成</p>
<p>データ解釈モジュール (H20-21 は環境サーバ) からロボットおよび人の位置情報を取得し, 安全度を計算した上で, ロボットが安全に動作するために必要な情報を出力するとともに, 必要に応じて周囲の人に情報を提示するためのモジュールを開発する (H20-21: 安全度評価モジュール, H22-23: 安全情報提供モジュール)</p>	<p>H20-21 年度には, 安全度評価モジュールとして, 環境内に設置されたセンサ情報に基づいて人の移動軌跡を予測し, 移動ロボットの安全度を評価するモジュールのプロトタイプを開発した.</p> <p>H22-23 年度には, 安全情報提供モジュールと名称変更し, ロボット及び人に対して安全情報を提供するモジュールを RTC 化し公開した (図 3.3.2.2.2-2, 図 3.3.2.2.2-3) .</p>	<p>達成</p>

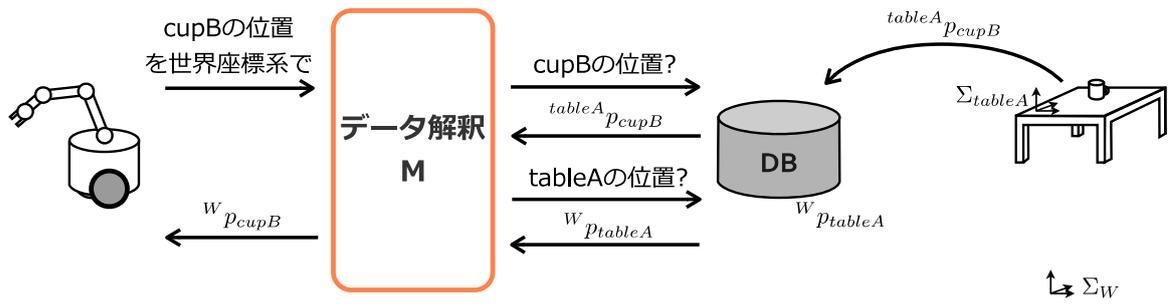


図 3.3.2.2-1 データ解釈モジュールの機能概念図 (ロボットによる cupB の位置取得)

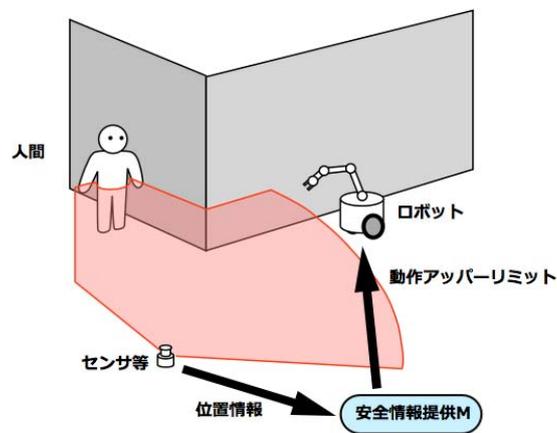


図 3.3.2.2-2 安全情報提供モジュールの概念図

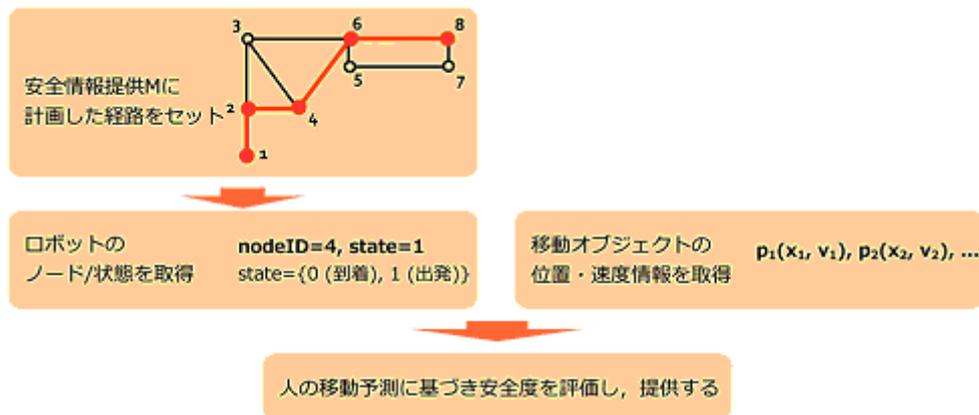


図 3.3.2.2-3 安全情報提供モジュールの動作プロセス

3.3.2.3 作業対象物認識に関する知能モジュール群

3.3.2.3.1 独立行政法人産業技術総合研究所

目標	研究開発成果	達成度
<p>距離が 500mm 離れた位置から広さ 500mm×500mm の領域に置かれた 6 種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、ロボットが日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置、姿勢・状態等）を必要な精度で認識する機能を実現するモジュール群を開発する。</p>	<p>ステレオカメラを利用した作業対象物認識モジュール群を開発し、距離 500mm、広さ 500mm×500mm の状況において 6 種類以上の形状が異なる対象物の認識、及び、差し出された手の位置の検出を実現した(図 3.3.2.3.1-1)。</p>	<p>達成</p>
<p>作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できる機能を開発する。</p>	<p>作業対象物が重ねられた状態で複数の認識結果が得られた時に、ユーザが指定した任意の方向に従って結果を並び替える機能の追加を行い、一番上にある作業対象物を認識することが可能になった(図 3.3.2.3.1-2)。</p>	<p>達成</p>

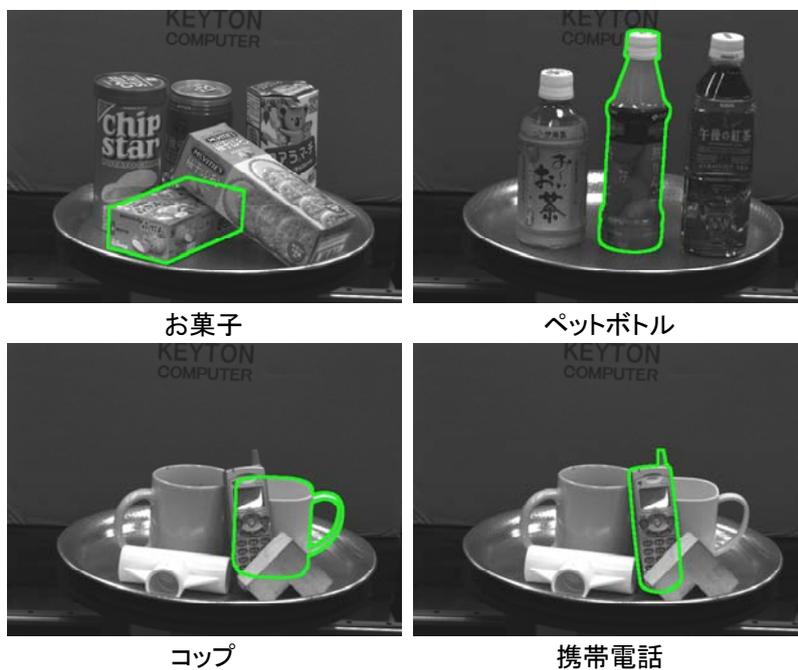


図 3.3.2.3.1-1 作業対象物認識結果例

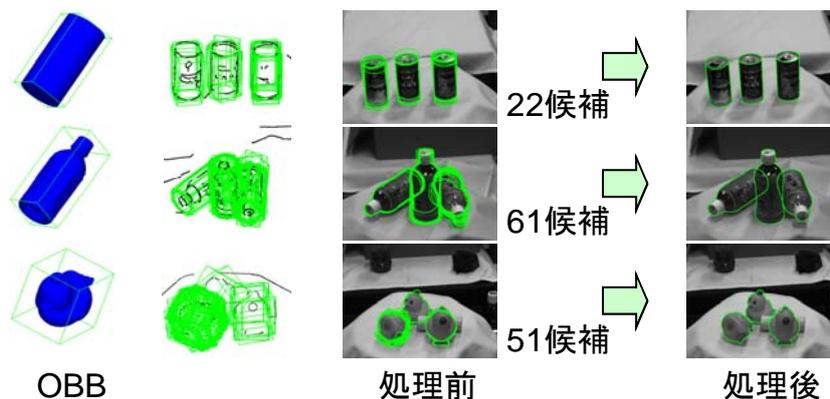


図 3.3.2.3.1-2 重複認識結果の削減処理

3.3.2.3.2 株式会社東芝，国立大学法人東北大学

目標	研究開発成果	達成度
<p>(基本計画書)</p> <p>②作業遂行知能モジュール群の開発</p> <p>(a)作業対象物認識に関する知能モジュール群</p> <p>距離が 500mm 離れた位置から広さ 500mm×500mm の領域に置かれた 6 種類以上の形状が異なる作業対象物に対して，マニピュレーションに必要な情報（種類，位置・姿勢等）を認識し，提示できること．作業対象物が重なった状態で置かれている場合，一番上にある作業対象物の情報を提示できること．</p>	<p>東北大学で開発した BOK (Bag of Keypoints) 技術と東芝で開発したステレオ楕円認識技術を組み合わせ，6 種類の形状の異なる作業対象物の種類・位置・姿勢などを認識し提示した（図 3.3.2.3.2-1）．</p> <p>なお，開発した「ステレオ楕円画像認識モジュール」と，BOKによる「作業対象物認識モジュール」を公開した．</p>	達成
<p>(委託業務変更実施計画書(平成 20 年度～平成 23 年度))</p> <p>触覚認識モジュールおよび部分エッジ画像認識モジュールは，平成 23 年度オープンソース化のための開発を行う．</p>	<p>触覚認識モジュール（図 3.3.2.3.2-2）および部分エッジ画像認識モジュールをオープンソース化し公開した（図 3.3.2.3.2-3 ～図 3.3.2.3.2-6）．</p>	達成

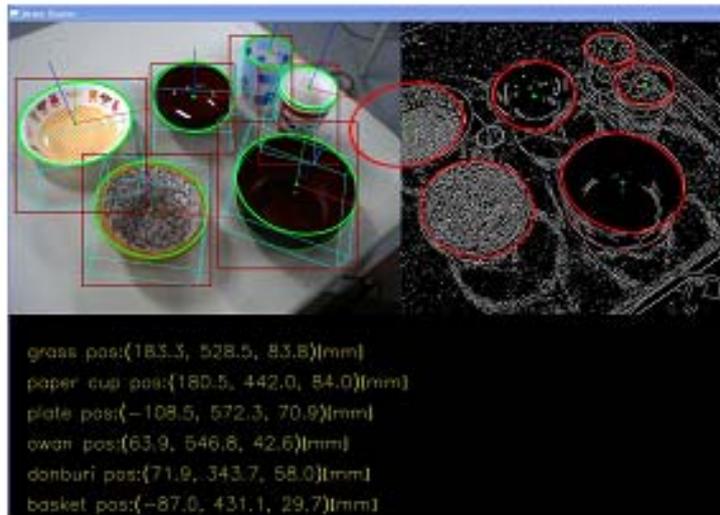


図 3.3.2.3.2-1 6種類の作業対象物の認識

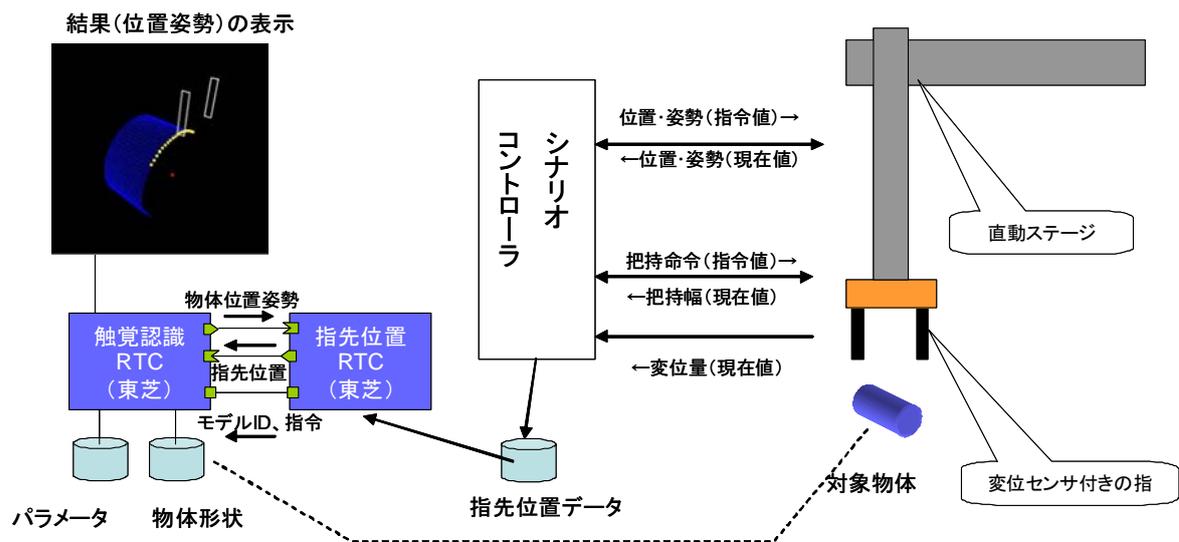


図 3.3.2.3.2-2 触覚認識モジュールのシステム構成

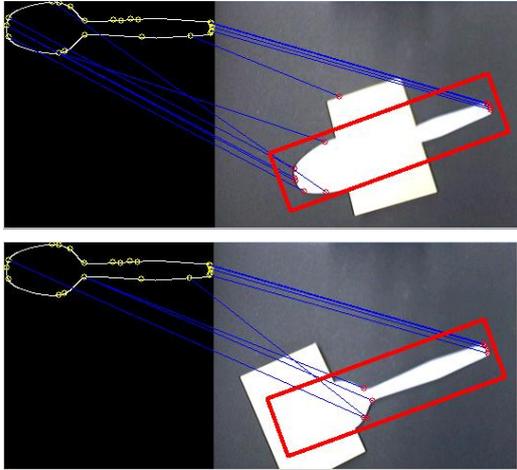


図 3.3.2.3.2-3 部分隠れ状態での認識結果

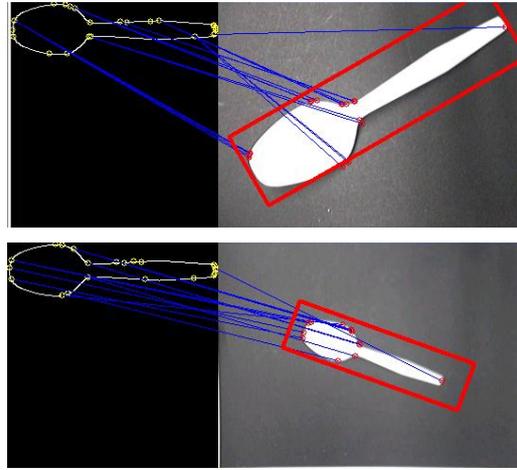


図 3.3.2.3.2-4 拡大縮小状態での認識結果

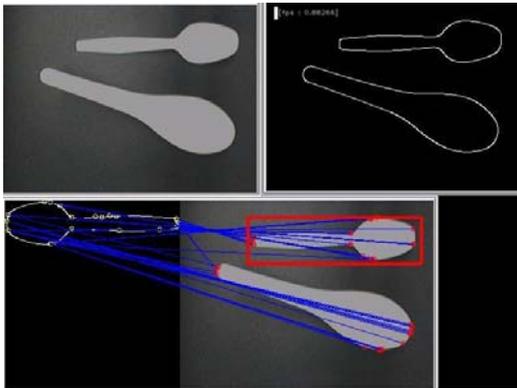


図 3.3.2.3.2-5 混在状態での認識結果

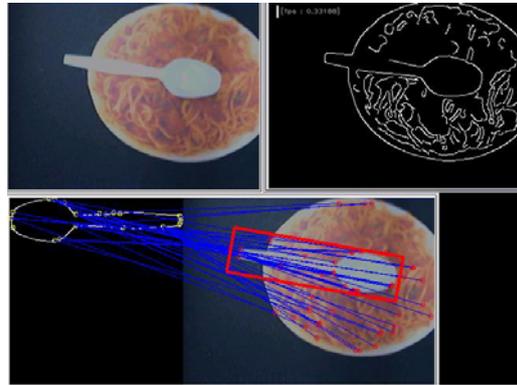


図 3.3.2.3.2-6 乱雑状態での認識結果

3.3.2.4 対人作業に関する知能モジュール群

3.3.2.4.1 株式会社安川電機

目標	研究開発成果	達成度
既存のアームユニット，移動ユニット，グリップユニット，腰ユニットと協調制御ユニットを RTC 化し， RTC 化する以前から実装されていた各ユニットの機能が， RTC 間通信を介して利用できることを確認する．さらに有効性検証に必需となる機能の強化開発を行う．	アームユニット，移動ユニット，グリップユニット，腰ユニット及び協調制御ユニットを RTC 化した．特にアームユニットと移動ユニットについては，マニュアル整備及び試験を行い公開した．	達成
組み込み用 RT ミドルウェア及び，組み	株式会社セックと協業で安川製ユニッ	達成

<p>込み用 CORBA を安川製ユニット・コントローラに移植し，RTC モジュールを再構築する．これにより外部 PC 上で動作させていた Wrapper 方式の RTC モジュールと外部 PC とを不要とする．</p>	<p>ト・コントローラ（VxWorks）に OpenRTM-aist を移植し，同コントローラで動作する RTC を構築することにより，外部 PC の設置を不要とした（図 3.3.2.4.1-1～図 3.3.2.4.1-3）．</p>	
<p>アーム関連の智能モジュールの I/F 共通化について，他のコンソーシアムと協力して検討を行い，I/F の共通化を計る．</p>	<p>作業サブ WG の活動として，ACT 共通 I/F 仕様書を作成した．また，アームユニット RTC は本 I/F 仕様に合わせたバージョンを再開発した（図 3.3.2.4.1-4）． http://sites.google.com/site/nedointelligentprj/home/mu-ci</p>	<p>達成</p>
<p>SmartPal¹のような7軸アーム，腰軸，移動台車（全方向）といった冗長自由度を備えたロボットにおいて，アーム先端の制御点をロボット座標系に基づく目標位置指令をもとに各関節への低レベル位置指令を生成する汎用モーション RTC を開発する．</p>	<p>左記仕様の汎用モーション RTC を開発し，SmartPal のアームや PA10 でその動作を確認した．開発したモジュールを公開した（図 3.3.2.4.1-5、 図 3.3.2.4.1-6）．</p>	<p>達成</p>

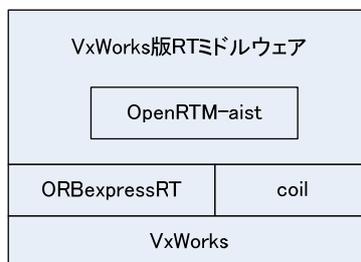


図 3.3.2.4.1-1 VxWorks 版 RT ミドルウェアのシステム構成

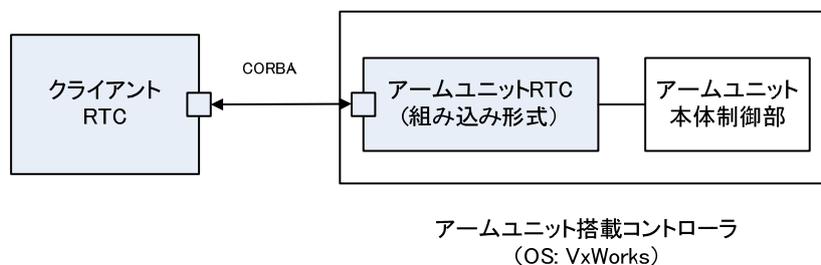


図 3.3.2.4.1-2 組み込み形式の RTC

¹ SmartPal は，（株）安川電機の登録商標です．



7自由度アーム



全方向移動ユニット



SmartPal V

図 3.3.2.4.1-3 組み込み形式 RTC 搭載ユニット

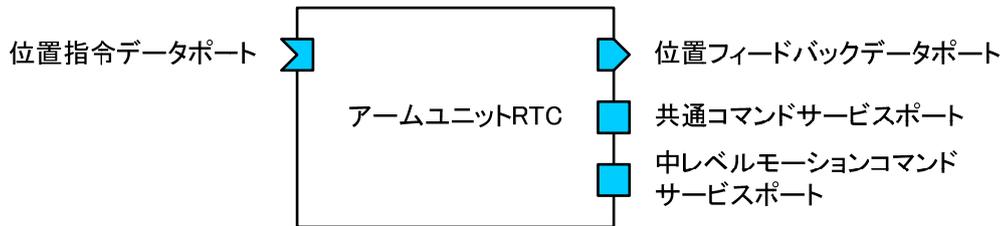


図 3.3.2.4.1-4 ACT 共通 I/F 対応アームユニットの RTC ブロック図

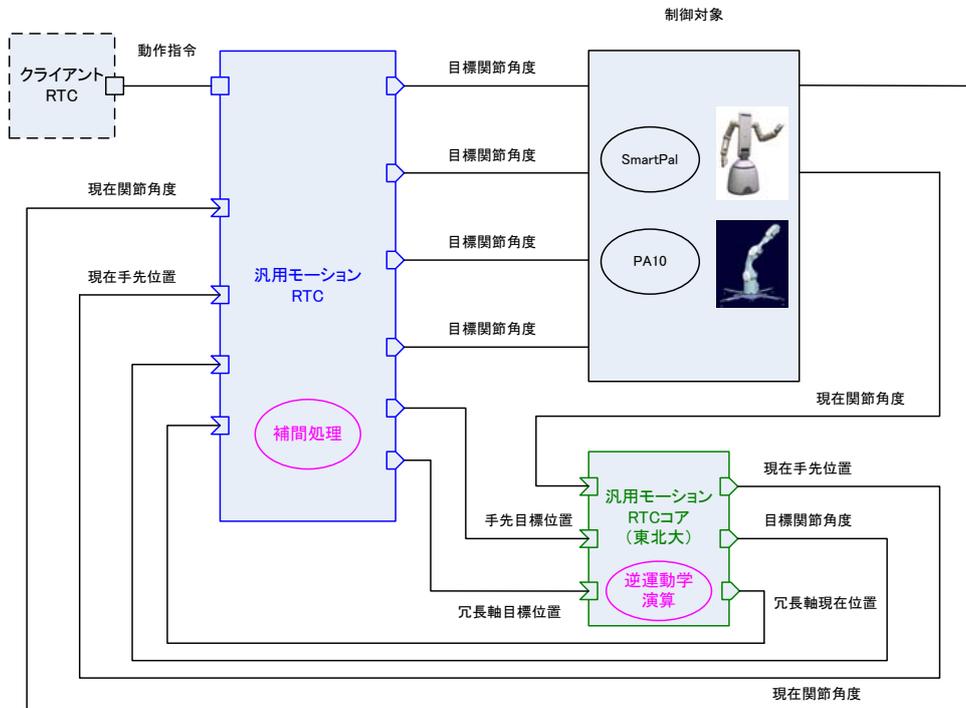


図 3.3.2.4.1-5 汎用モーション RTC の概略システム構成



図 3.3.2.4.1-6 汎用モーション RTC による動作検証

3.3.2.4.2 国立大学九州工業大学

目標	研究開発成果	達成度
ロボットの前にいる人物が、ロボットに対して発話を行っているかを口の動きから推定することにより、音声認識の精度を向上させる。	発話推定モジュールを RTC 化し公開した。	達成
ロボットの前にいる人物が、誰なのかをカメラに写った顔画像から識別する。	目・鼻・口および顔全体の情報を利用し、データベースとの照合を行うことで、6 人の被験者に対して 95% の精度を達成した。	達成
ロボットと音声により対話するために必要となる。発話に作業計画のために必要な情報が欠けている場合、それ以前の発話の内容から、省略された要素を推定する機能を実現する。	音声理解モジュールを RTC 化し公開した。入出力は共通規格に対応し、OpenHRI に含まれる音声認識 RTC と容易に組み替えが可能である。	達成

3.3.2.4.3 株式会社東芝

目標	研究開発成果	達成度
リファレンスハードアーム制御モジュールの開発：リファレンスハードのアームを制御するモジュールを開発し、RTC 間通信を介して利用できることを確認する。	リファレンスハードのアームに対して手先位置制御および関節角制御するモジュールを開発し、RTC 化した。マニュアル整備および試験を行い公開した (図 3.3.2.4.3-1)。	達成
リファレンスハード移動制御モジュールの開発：リファレンスハードの台車を制御するモジュールを開発し、RTC	リファレンスハードの台車を位置制御するモジュールを開発し、RTC 化した。マニュアル整備および試験を行い公開	達成

間通信を介して利用できることを確認する。	した (図 3.3.2.4.3-2).	
中位動作計画モジュールの開発：取得した把持対象物の ID, 位置姿勢, 把持位置姿勢に対してマニピュレーションモジュール群に対し, モーション指令を与え, モーションの評価を行う。	上位系からの指令を受けてアームや台車の制御モジュールへモーション指令を与えるモジュールを開発し, RTC 化した. マニュアル整備および試験を行い公開した (図 3.3.2.4.3-3).	達成

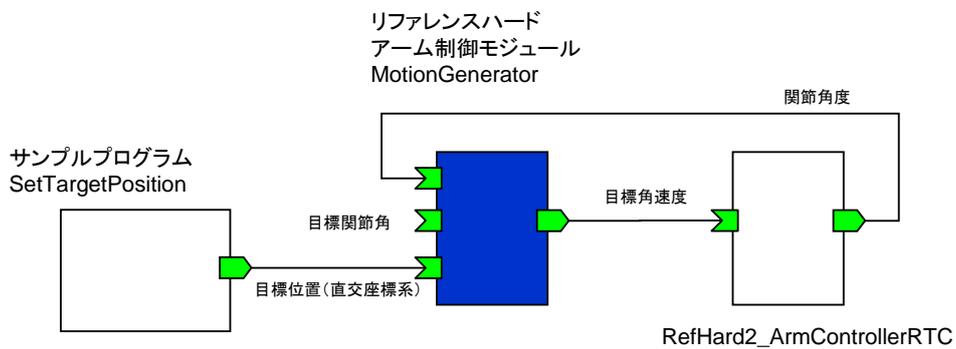


図 3.3.2.4.3-1 リファレンスハードアーム制御の RT コンポーネント構成 (直交座標系位置指定)

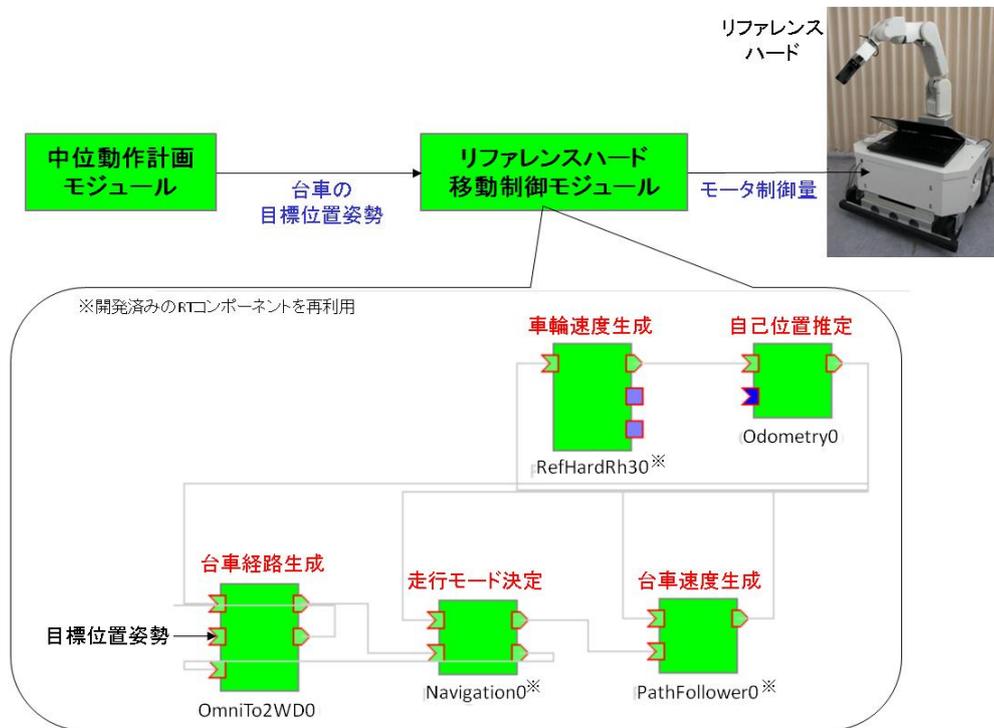


図 3.3.2.4.3-2 リファレンスハード移動制御モジュールの RT コンポーネント構成

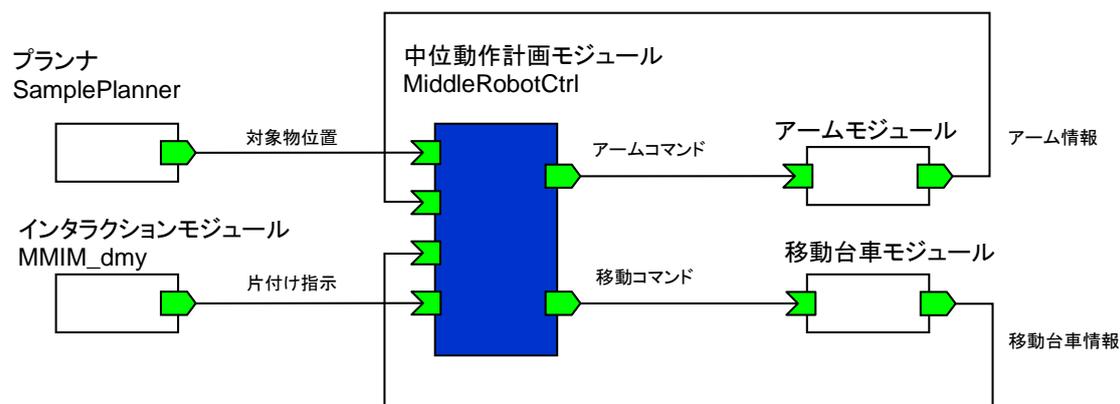


図 3.3.2.4.3-3 中位動作計画モジュールの RT コンポーネント構成例

3.3.2.4.4 公立大学法人首都大学東京

目標	研究開発成果	達成度
作業指示を人にあったモダリティ（音声認識や指差しなどのジェスチャー）で受け付け、統合し、検証作業を実施する。また、汎用的に利用できるモジュールとする。	マルチモーダルインタラクションモジュールを開発し、汎用的に利用できることを検証するために、双腕移動型ロボットによる有効性検証として安川電機の模擬環境において全機関のモジュールを統合した実証実験を実施した。実証実験の結果、ロボットがジェスチャー認識および音声認識を統合し、片付け作業を遂行することが可能であることを示した（図 3.3.2.4.4-1）。	達成
環境構造化を積極的に利用し、人とのインタラクションに必要なローカルな空間における不足情報（対象物の大まかな位置、形、重さ）を収集する。また、人とのインタラクションに必要な空間の履歴を収集する。さらに、ロボット制御（ロボットの移動・オブジェクトの移動マニピュレーション）における不足情報の補完にも利用する。	空間知モジュールを開発し、汎用的に利用できるモジュールとした。空間知モジュールを汎用的に利用できることを検証するために、双腕移動型ロボットによる有効性検証として安川電機の模擬環境において全機関のモジュールを統合した実証実験を実施した。実証実験の結果、環境構造化技術を積極的に利用することで、片付け作業を遂行することが可能であることを示した（図 3.3.2.4.4-2）。	達成



図 3.3.2.4.4-1 マルチモーダルインタフェースモジュールによる指差し認識



図 3.3.2.4.4-2 「片付け」を「捨てて」と解釈して作業実施することの検証

3.3.2.4.5 国立大学東北大学

目標	研究開発成果	達成度
二本のロボットアームのモデル，作業対象物のモデルから運動学を解き，目標内力，目標外力，コンプライアンスを実現するための，目標角度偏差を出力する「双腕協調制御モジュール」を開発する．	開発した「双腕協調制御モジュール」を発展させ，「双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証」のモジュールに統合した．	達成
ロボットのモデル，作業対象物のモデルから運動学を解き，現在受けている外力から拘束面を推定し，拘束力を一定にしつつ指定された目標位置に最も近くなる目標角度偏差を出力する「手先拘束下でのマニピュレーション知能	「手先拘束下でのマニピュレーション知能モジュール」を開発し公開した（図 3.3.2.4.5-1）．	達成

モジュール」を開発する。		
冗長性を持つロボットアームにおいて、ユーザーが指定する手法で冗長自由度を決定し、現在値との偏差を出力する「冗長性利用モジュール」を開発する。	「冗長性利用モジュール」を開発し公開した (図 3.3.2.4.5-2).	達成
現在の姿勢が特異姿勢へどれだけ近づいているかの指標を出力する特異点解析モジュールを開発する。	「特異点解析モジュール」を開発し「汎用モーション RTC コア」の中に組み込んだ (図 3.3.2.4.5-3、図 3.3.2.4.5-4). 「汎用モーション RTC コア」は、産総研 Web サイトにて公開した。	達成
頭部カメラによる 3 次元位置認識では誤差が大きく把持が困難になる場合への対処法として、手先にカメラを持つロボットアームでビジュアルフィードバックを行うためのモジュールを開発する。	ロボットアームでビジュアルフィードバックを行うための「相対位置決めモジュール」を開発し、東芝が開発した「単眼位置姿勢計測・表示モジュール」と組み合わせ公開した。	達成
与えられた作業を遂行できない場合に、対象物の最新位置データ、認識された対象物の位置姿勢、現在の力情報から現在の作業状態を推定し、遷移可能な作業状態へと移行するための、移動台車、ロボットアームへの指令を出力する「エラーリカバリーモジュール」を開発する。	現在の状態から作業のどの部分を遂行中かを判断し、エラーが発生したときに適切な状態へと推移する機能を含んだ「作業計画モジュール」を開発し、OpenHRP3 による有効性検証での食器片付け模擬システムで使用した。	達成

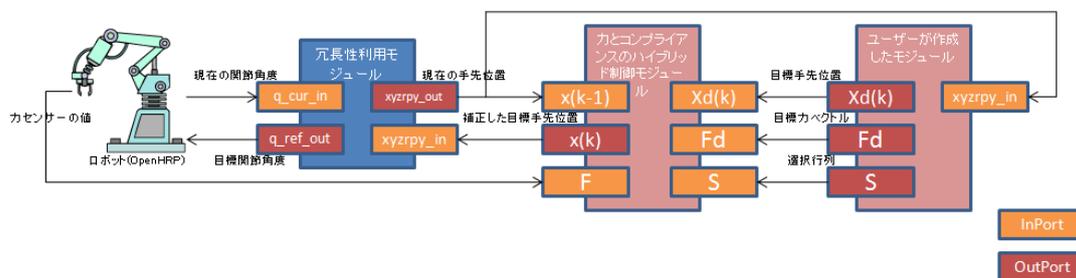


図 3.3.2.4.5-1 手先拘束下でのマニピュレーション知能モジュール概要

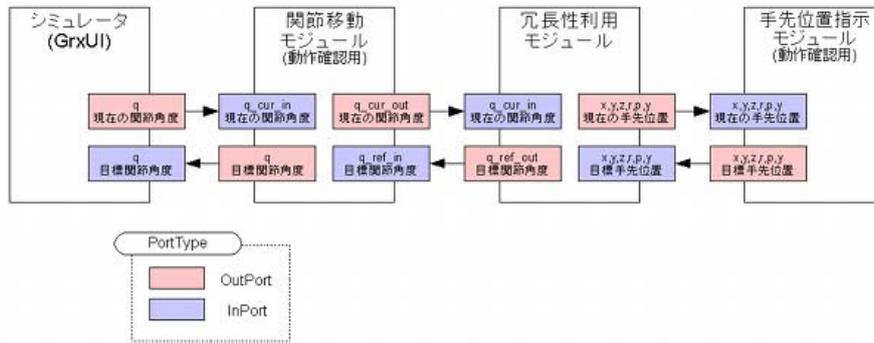


図 3.3.2.4.5-2 冗長性利用モジュール接続例

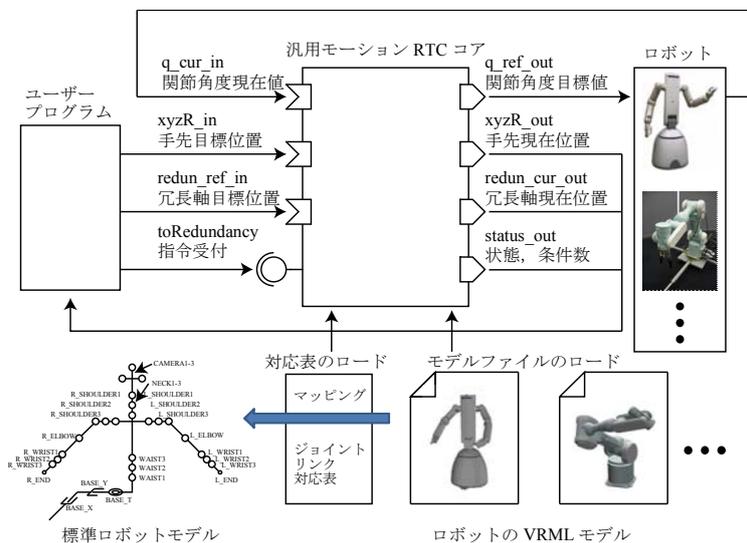


図 3.3.2.4.5-3 汎用モーション RTC コア概要

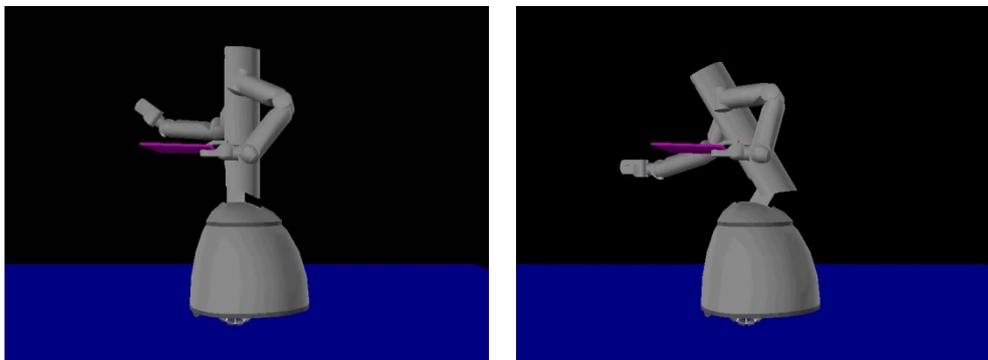


図 3.3.2.4.5-4 汎用モーション RTC コアを利用した SmartPal の動作生成例

3.3.2.4.6 独立行政法人産業技術総合研究所

目標	研究開発成果	達成度
<p>摘み上げ機能，ならびに，握りこみ機能や持ち上げる機能モジュールを開発し，RTC化する．</p>	<p>携帯電話の摘み上げ機能モジュールや，ポテトチップスやペットボトルを掴んで持ち上げる機能を開発し，実験により有効性を検証した（図3.3.2.4.6-1）．把持形態選択モジュール群と把持動作計画モジュール群を統合しハンドRTCとして開発を行った．</p>	<p>達成</p>
<p>物体を把持した状態で，指先の力センサの情報をフィードバックし，外力に把握が耐えられる制御モジュールを開発する．</p>	<p>指先の力センサの情報をフィードバックして物体を把持する際の指の姿勢を制御するモジュールを開発し，シミュレーションで有効性を確認した（図3.3.2.4.6-2）．</p>	<p>達成</p>
<p>把持姿勢を決定する機能をグループ内に提供し，要望があれば一部知能化PJ内に有償で提供する．また，模擬環境における統合実験を行い評価する．</p>	<p>把持動作計画モジュールをグループ内に提供し，有効性検証ロボット（SmartPal）の腕に多指ハンドを搭載し，模擬環境における統合実験に用いた．</p>	<p>達成</p>



図 3.3.2.4.6-1 ハンドを用いた統合実験の様子

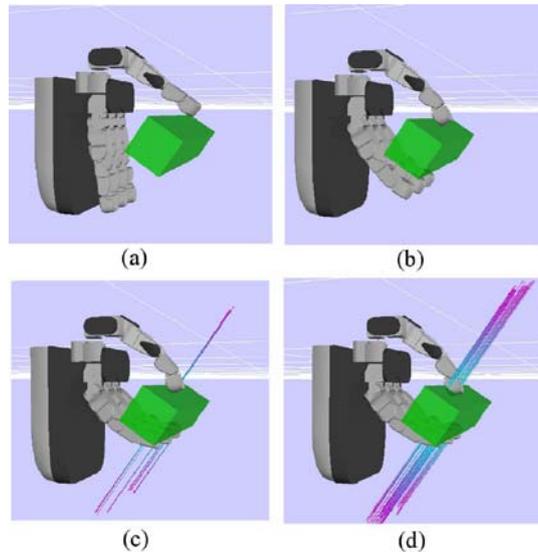


図 3.3.2.4.6-2 把持力制御のシミュレーション結果

3.3.2.4.7 国立大学法人東京大学

目標	研究開発成果	達成度
<p>ヒト（ユーザ）に対して、情報提示、誘導などのサービスを提供するモジュールのプロトタイプを開発する（H20-21: サービス提供モジュール）</p>	<p>オブジェクトの位置情報等のセンサ情報に基づいて、ユーザに対して情報提示等のサービスを提供するモジュールのプロトタイプを開発した（図 3.3.2.4.7-1）．実際の商業施設でプロトタイプの実動作検証を行い、有用性を確認した（図 3.3.2.4.7-2）．</p>	<p>達成</p>

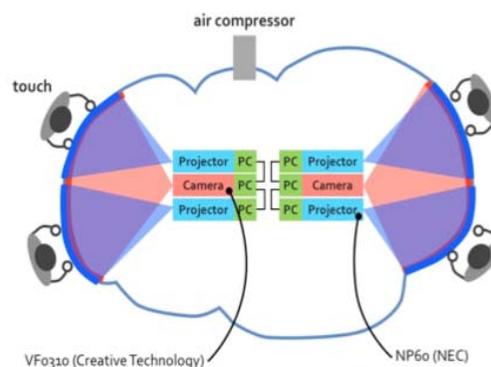


図 3.3.2.4.7-1 クラウドディスプレイ



図 3.3.2.4.7-2 実証試験の様子

3.3.2.5 作業知能モジュール群の有効性検証

3.3.2.5.1 双腕移動型ロボットによる有効性検証（安川電機）

目標	研究開発成果	達成度
各組織が研究開発した作業知能モジュールを，双腕移動型ロボット（安川電機製 SmartPal）に搭載，或いは有線 LAN / 無線 LAN で接続し，日用品の取寄せや片付け等の作業が実施することにより，各作業知能モジュールの有効性を検証する．	全機関の主要知能モジュールを SmartPal に統合し，安川電機小倉事業所の施設を模擬した環境において，日用品の取寄せサービスを実現し，各知能モジュールの有効性を実証した（2012 年 1 月 26 日）．	達成
平成 23 年度中に基本計画の最終目標を達成していることを確認する．	上記実証システムを用いて異なる把持対象物，把持場所，作業の種類のを組み合わせを 18 通りで実験し，基本計画の最終目標を達成していることを確認した（図 3.3.2.5.1-1～図 3.3.2.5.1-1）．	達成

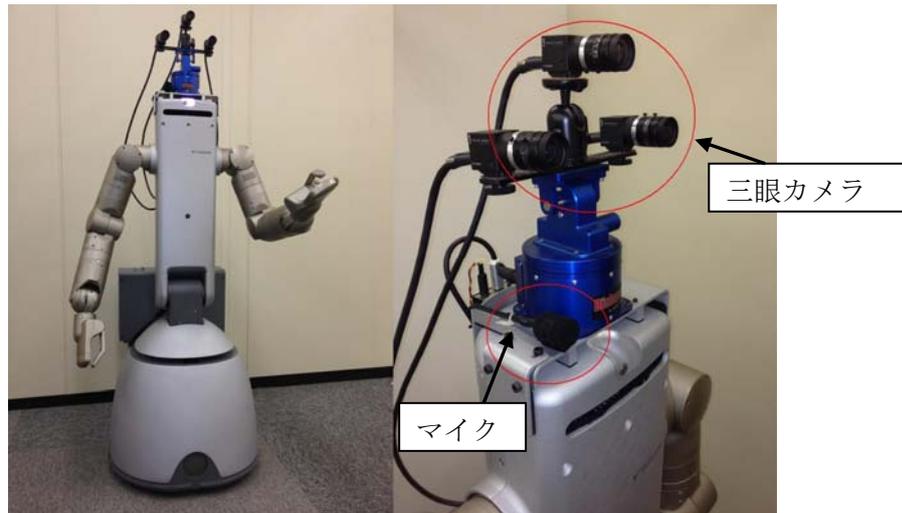


図 3.3.2.5.1-1 実証用ロボット

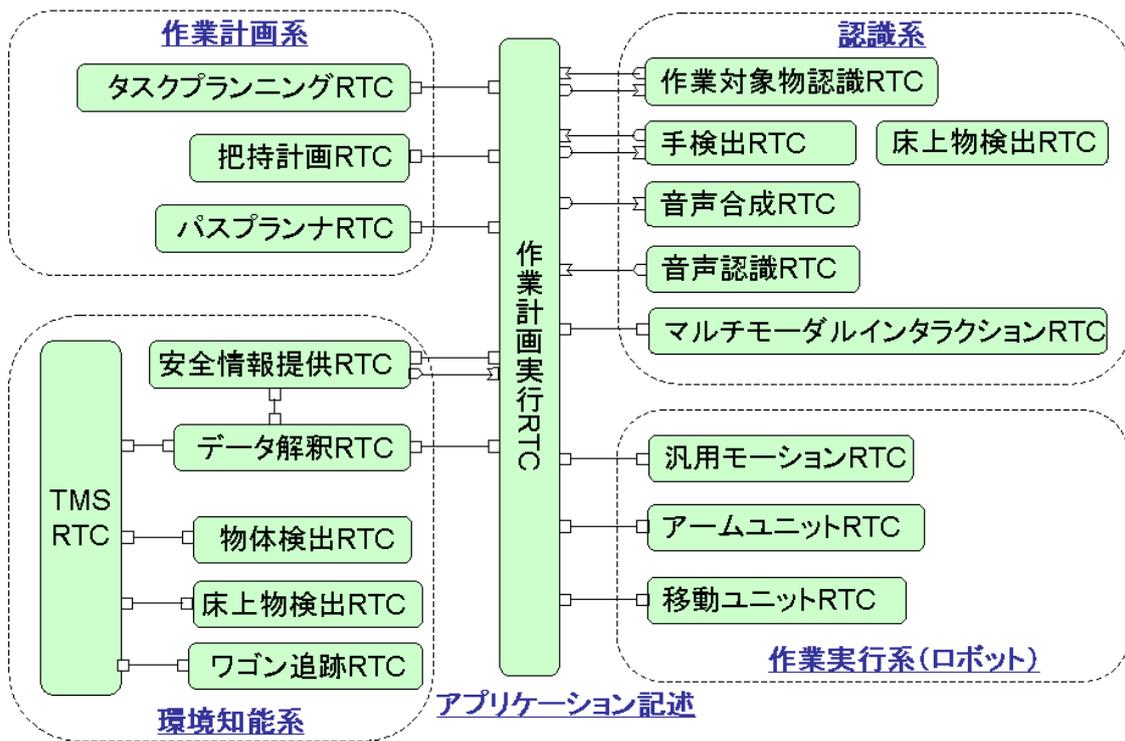


図 3.3.2.5.1-2 知能モジュール接続図

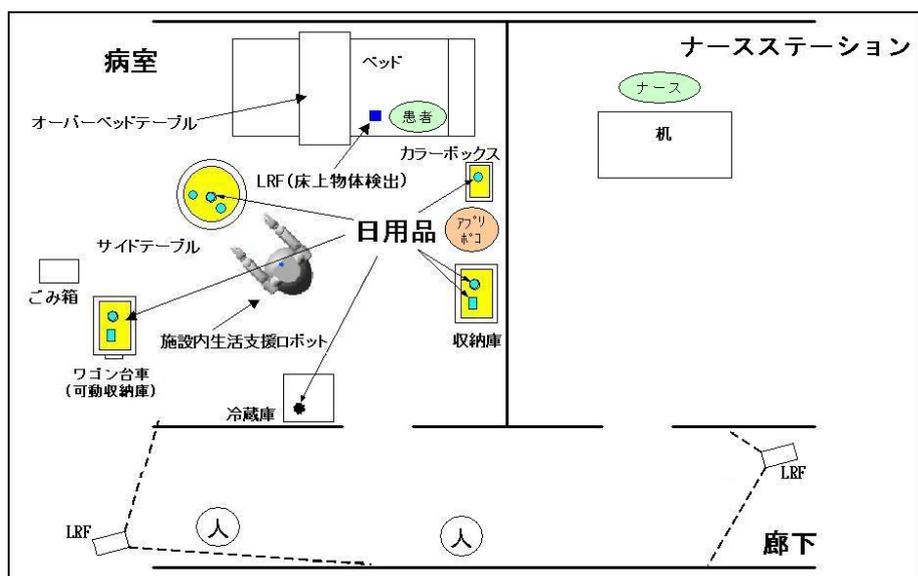


図 3.3.2.5.1-3 作業環境



図 3.3.2.5.1-4 作業対象物



図 3.3.2.5.1-5 実証実験の様子

3.3.2.5.2 リファレンスハードウェアによる有効性検証（東芝，産総研）

目標	研究開発成果	達成度
安川・東芝コンソの各組織が研究開発した作業知能モジュールを，本知能化プロジェクトで開発されたリファレンスハードウェアに搭載，或いは有線 LAN／無線 LAN で接続し，簡単な模擬作業による実証実験を実施することにより，各種作業知能モジュール群の有効性と再利用性の検証を行う．	リファレンスハードウェア制御モジュール，リファレンスハード移動制御モジュール，中位動作計画モジュールをリファレンスハードウェアに搭載し，台車やアームの移動ができることを確認した（図 3.3.2.5.2-1、図 3.3.2.5.2-2）．	達成
リファレンスハードウェアにオープンソース版音声認識モジュールを搭載し，音声対話機能が実時間で動作するとともに安定した認識を行うことができることを確認する．	リファレンスハードウェア他，受付端末 PC 等，異なる CPU・メモリ環境においてもオープンソース版音声認識モジュールは実時間動作すること，安定した認識を行うことができることを確認した．	達成

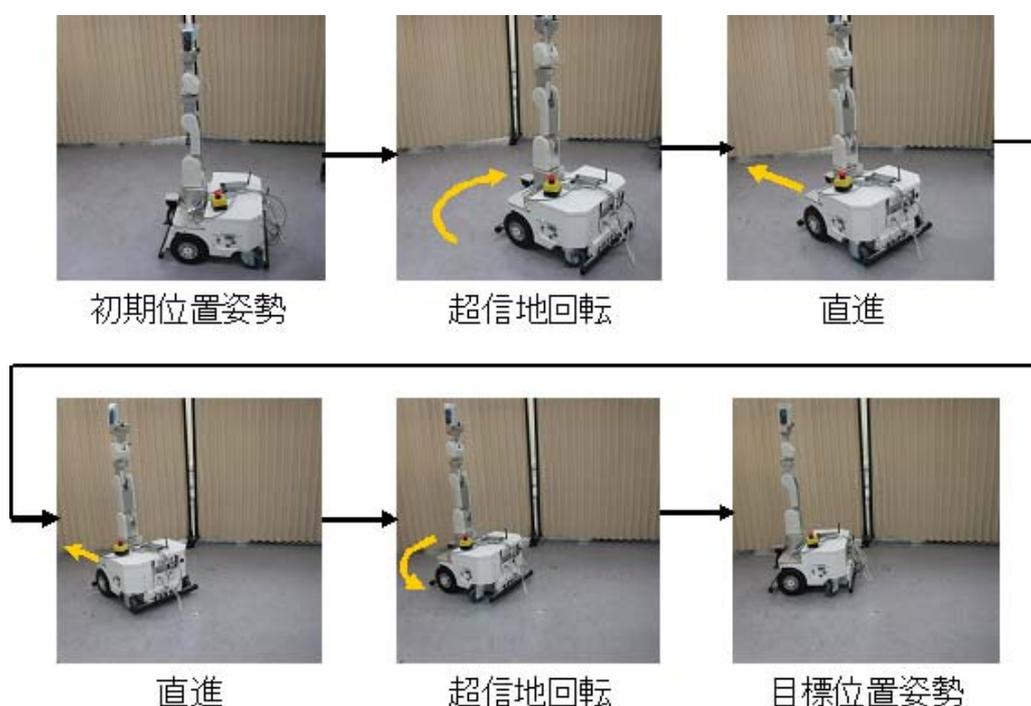


図 3.3.2.5.2-1 移動検証実験の様子

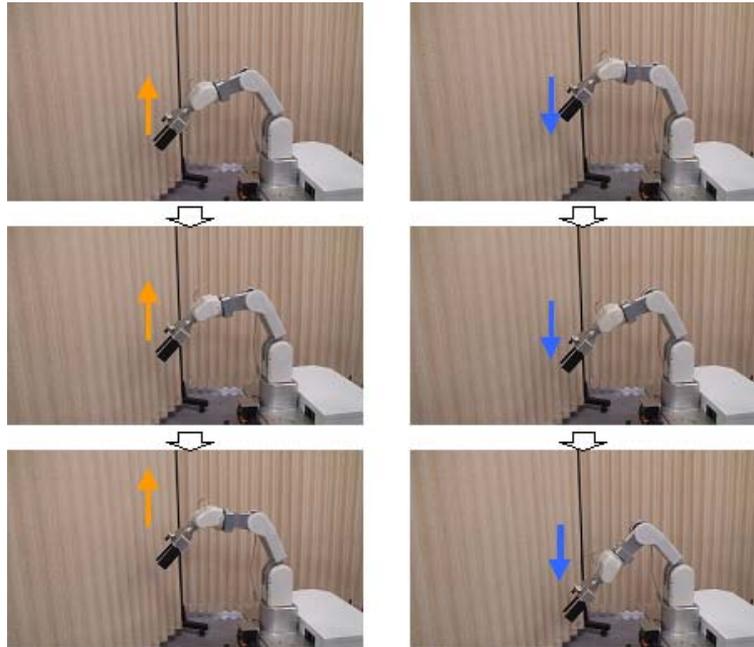
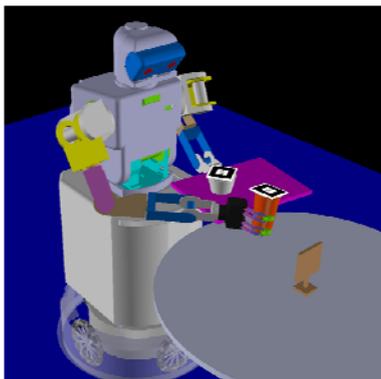


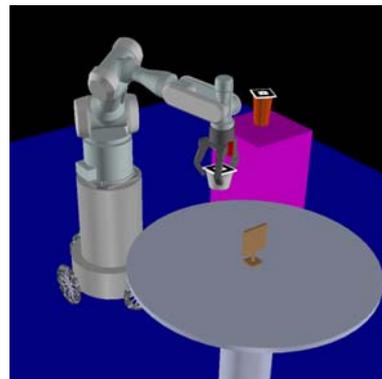
図 3.3.2.5.2-2 アーム動作制御の様子

3.3.2.5.3 OpenHRP3 による有効性検証 (東北大学)

目標	研究開発成果	達成度
SmartPal および三菱重工 PA10 の VRML モデルを用いて、開発したモジュール群の部分検証を OpenHRP3 上で行う。	SmartPal , 全方向移動台車と PA10, 東芝ロボットの三つのプラットフォームで、開発したモジュール群の部分検証を OpenHRP3 上で行った (図 3.3.2.5.3-1).	達成



(a) 東芝ロボットによる食器片づけ



(b) PA10 と移動台車による食器片づけ

図 3.3.2.5.3-1 複数のロボットによる検証

3.3.2.5.4 作業知能 SWG で検討しているリファレンスモデル・リファレンスタスクによる再利用性検証（産総研，東北大学）

目標	研究開発成果	達成度
対象物認識モジュールのインタフェースに関して関係機関と協議の上，共通化を図る。	作業知能 SWG における協議により認識結果共通インタフェースを策定し，仕様書を公開した（図 3.3.2.5.4-1）。この成果は，作業対象物の認識に関わる各機関のモジュール開発においてインタフェースの共通化に貢献した。	達成
再利用センターのリファレンスタスクに応じて動作検証，有効性検証を行う，	再利用センターが中心に取り組んだ統合システム「来訪者受付システム」に OpenVGR を導入し，ドリンクの給仕システム部において動作検証と機能の有効性を示し，各機関が開発したモジュールとの組み合わせに耐えうる再利用性を示した（図 3.3.2.5.4-2）。	達成
双腕の特徴を活かした組み付け動作などに必要な，動作計画モジュール，双腕協調制御モジュールを開発する。	「双腕協調制御モジュール」を開発し，上半身型ヒューマノイドロボット Nextage に実装した。双腕協調搬送作業実験を行い，その実験の動画を国際ロボット展で披露した。	達成

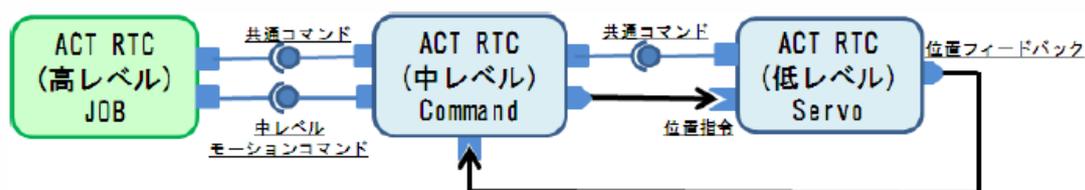


図 3.3.2.5.4-1 ロボットアーム制御共通インタフェース

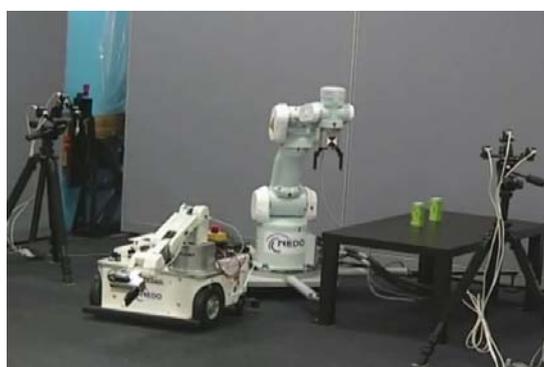


図 3.3.2.5.4-2 来訪者受付システム

3.3.2.5.5 国際ロボット展への出展デモ (安川電機)

目標	研究開発成果	達成度
<p>安川・東芝コンソの各組織が研究開発した作業知能モジュール (RTC) と他コンソが開発した知能モジュール (RTC) を組み合わせたロボットシステムを構築し、作業系サービスのデモンストレーションを国際ロボット展で実施する。このデモを通して、各 RTC の利便性や再利用性 (他の RTC との交換性) などアピールする。</p>	<p>本項目は、NEDO からの指示で静態展示へ変更となった。以下の3点を静態展示し、本プロジェクトで開発した知能モジュール (RTC) で動作するハードウェアとしてアピールを行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● SmartPal ● インテリジェント収納棚 ● アプリポコ 	<p>達成</p>



SmartPa.1



インテリジェント収納棚



アプリポコ

図 3.3.2.5.5-1 IREX2011 への展示

3.3.2.6 双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証

目標	研究開発成果	達成度
テクスチャ特徴が少ない部品を検出するために必要な、対象物検出モジュールの開発する。	テクスチャ特徴を用いるのではなく、頂点・円特徴に基づく 3 次元物体認識モジュール群 OpenVGR を開発し、ロボットと連携して動作させるツール群と合わせてオープンソースソフトウェアとして公開した。	達成
テーブルに置かれた対象物のパレタイジングを実現するために対象物を片方のハンドで掴んだり、片方のハンドで掴んだ対象物をもう片方のハンドに持ち替える把持動作を計画する。	ハンド把持面の柔軟性を考慮して、グリッパによる把持計画を行った。また、同時に対象物を置く位置の計画も行った。さらに、持ち替えを含む形で、対象物をピックアップしてからプレースするまでの一連の動作の計画を可能にし、ソフトウェアをオープンソースソフトウェアとして公開した。	達成
片方のハンドにより対象物をビンピッキングした上で持ち替えを行いながらパレタイジングする動作を検証する。	持ち替えを含むピックアンドプレースのパレタイジング動作を双腕ロボットである川田工業 HiroNX を用いて検証した。	達成
ハンドにおける力やモーメント、あるいは視覚などのセンサ情報を考慮し、把持位置の誤差を修正するように微調整をかける。	ハンドの手首に力センサを仮定したシミュレーションにより、力制御によりハンドの位置に微調整をかける制御を実装し、誤差に対する微調整を可能にした。	達成
開発したモジュールの有効性を検証するため、双腕ロボットで統合検証を行い、有効性を示す。	双腕ロボット HiroNX を用いて、各種モジュールを組み合わせることで部品のピックアンドプレース作業等を国際ロボット展において実証し、有効性を示した。また、 OpenRTM-aist の Web ページにて、モジュールだけでなく、統合システムに関する情報も公開した (図 3.3.2.6-1)。	達成

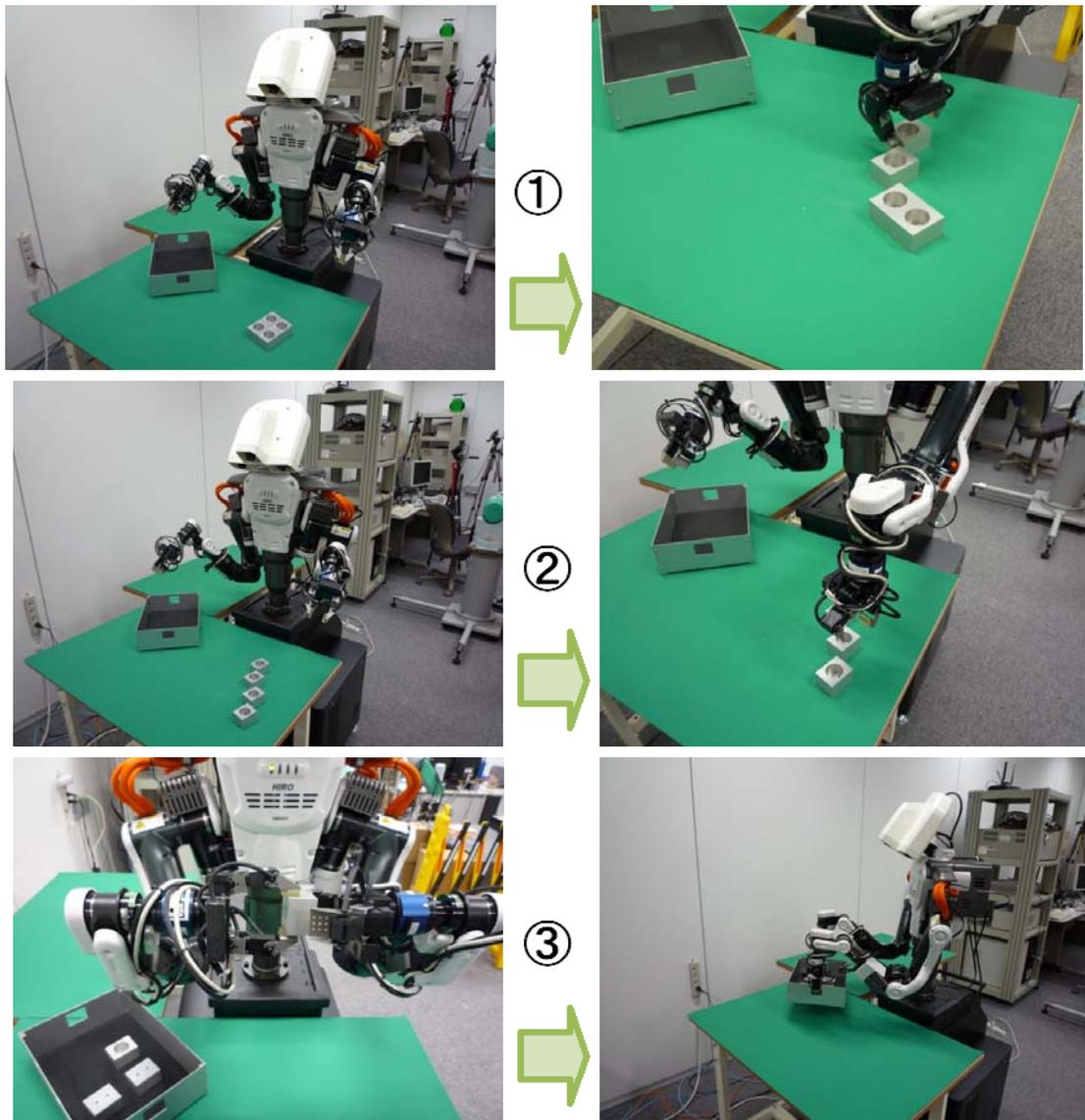


図 3.3.2.6-1 作業知能統合検証サービス動作

3.3.2.7 単眼位置姿勢計測・表示モジュールおよび相対位置決め制御モジュールの開発

3.3.2.7.1 単眼位置姿勢計測・表示モジュール

目標	研究開発成果	達成度
<p>マーカのコーナー点や直線部の幾何学的特徴を使って、マーカが書かれた平面の三次元法線ベクトルを計算し、マーカの位置・姿勢を算出する。マーカの姿勢計算には、四元数を使ったICP(Iterative Closest Point)法を用い、繰り返し計算により姿勢精度を向上させる。マーカとしては、多角形や凹凸など数種類に対応する。また、マーカの実写画像に、その位置姿勢を表す矢印等を重畳させ、操作・監視者にわかりやすいインタフェース画面を提示する。</p>	<p>本モジュールをRTM1.0準拠で作成し、検証試験の後、公開サーバに登録した(下記 URL)。マーカは、正方形、六角形、凹形、凸形の四種類に対応し、各々についてICPを適用し、従来手法より高精度に位置・姿勢検出ができることを確認した。また、マーカの実写画像上に、検出した位置・姿勢を重畳させて分かり易く提示出来るようにした。実際に東芝の検証ロボットの手先にハンド・アイ・カメラを載せ、把持対象物にマーカを貼り付けて、ビジュアルフィードバック制御による物体ハンドリング検証試験を行った。さらにリファレンスハード実機でも、手先にハンド・アイ・カメラを載せ、下記②相対位置決め制御モジュールと接続し、ビジュアルフィードバック制御による物体把持の検証試験を実施した。そして、OpenHRP3のシミュレータ内でリファレンスハードの手先にハンド・アイ・カメラを載せたモデルを構築し、ViewSimulatorと接続することによりビジュアルフィードバックによる物体把持の検証試験を実施した(図3.3.2.7.1-1)。</p>	<p>達成</p>

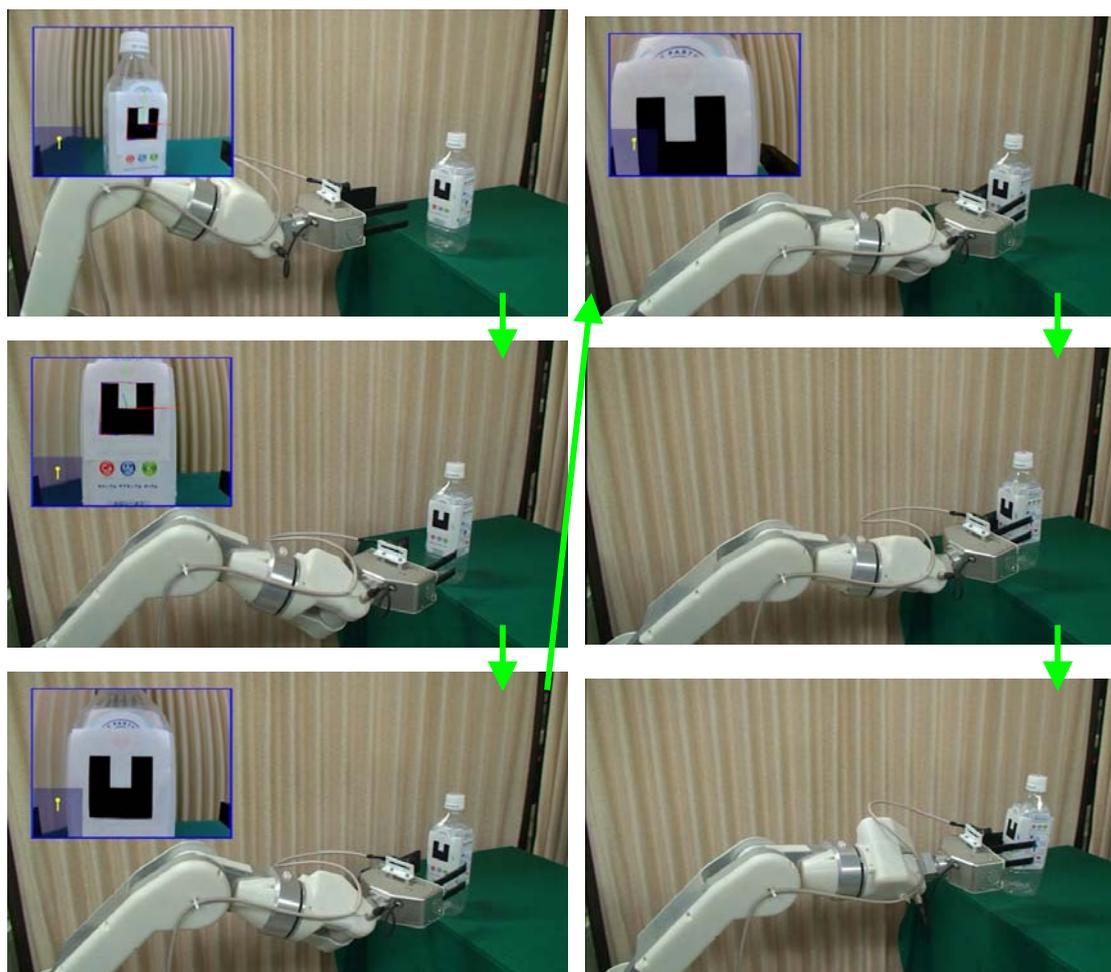


図 3.3.2.7.1-1 リファレンスハードウェアでのビジュアルフィードバック

3.3.2.7.2 相対位置決め制御モジュール

目標	研究開発成果	達成度
対象物の位置姿勢情報からアームの相対位置決めを行う。対象物の位置姿勢変化とアームの姿勢変化を関連付ける画像ヤコビアンを時系列データから推定し、カメラと対象物との位置関係変化に対応する。またカメラ画像上でのアームの動作方向を算出し、単眼位置姿勢計測・表示モジュールへ出力する。	本モジュールを RTM1.0 準拠で作成し、検証試験の後、公開サーバに登録した(下記 URL)。東芝が開発した①単眼位置姿勢計測・表示モジュールや、ARtoolkit と呼ばれる視覚処理ライブラリーでは、物体との相対位置姿勢の 6 自由度が単眼視で既に得られるため、画像ヤコビアンを用いずに上記の物体認識モジュールと組み合わせて用いる相対位置決め制御モジュールを開発した。東芝開発の単眼位置姿勢計測・表示モジュールをはじめ、Artoolkit を組	達成

	み込んで検証試験を行い，どちらのモジュールとの組み合わせでも動作することを OpenHRP3 上の ViewSimulator で確認した（図 3.3.2.7.2-1）.	
--	---	--

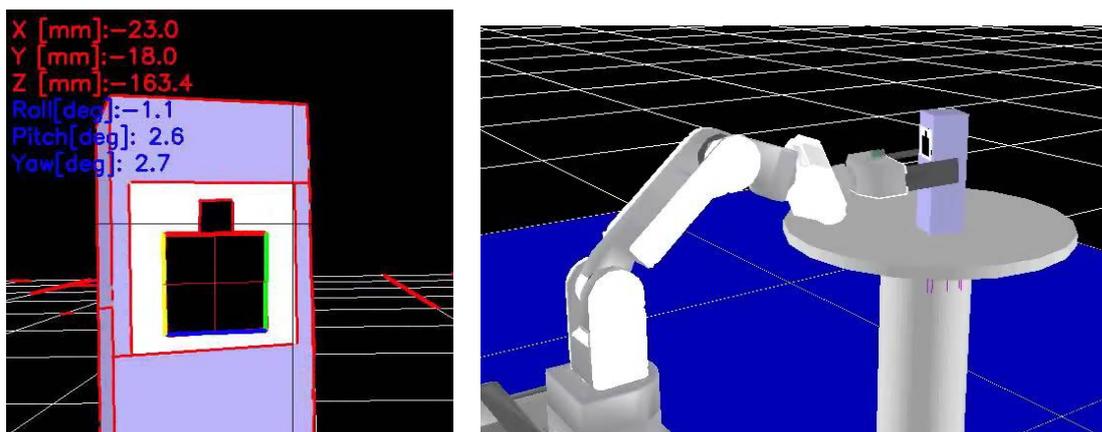


図 3.3.2.7.2-1 OpenHRP3 でのシミュレーション

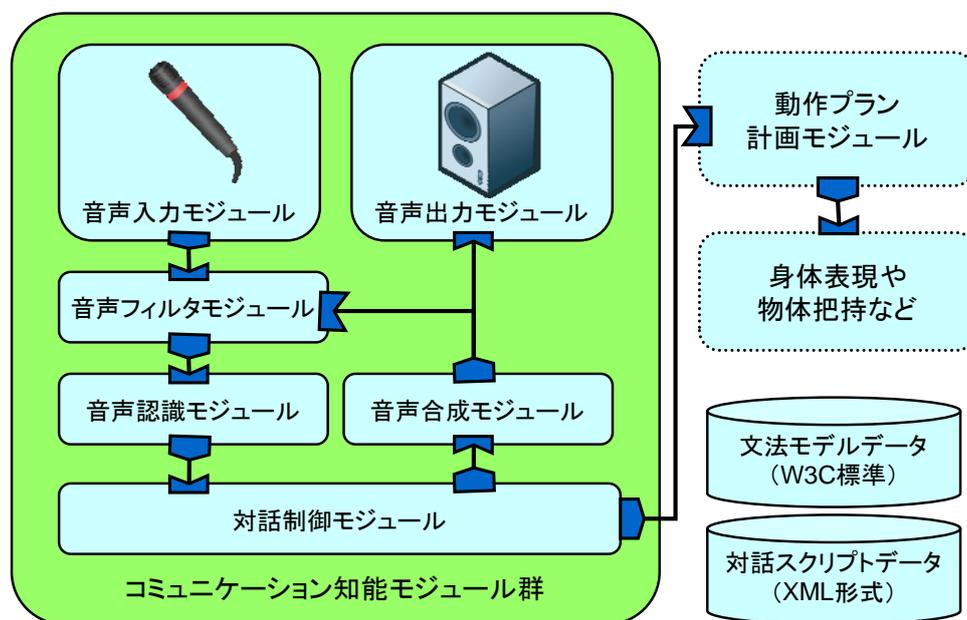
3.3.2.8 オープンソース提供の智能モジュール

3.3.2.8.1 視覚モジュール（産総研）

目標	研究開発成果	達成度
ステレオ画像取得から作業対象物認識までが一通りに行えるオープンソース版作業対象物認識モジュール群（ステレオカメラキャリブレーションツール，ステレオ画像取得モジュール，3次元距離計測モジュール，作業対象物認識モジュール，モデル作成ツール，画像表示モジュール，認識結果表示モジュール）を開発する。	ステレオカメラを用いる 3次元物体認識モジュール群 OpenVGR を開発し，オープンソースソフトウェアとして公開した．公開場所の Web サイトはプロジェクト終了後も存続し，左記のモジュール群が成果物として公開される．	達成
ステレオ画像取得モジュールのインターフェースに関して関係機関と協議の上，共通化を図る。	阪大，奈良先端大等と協議し，画像取得モジュールインターフェースの共通仕様を定めた．また OpenVGR を本インターフェースに準拠させた．	達成

3.3.2.8.2 音声モジュール (産総研)

目標	研究開発成果	達成度
再利用センターに登録された音声モジュールを調査し、オープンソースで提供できる音声認識モジュール、音声合成モジュール、音声処理モジュール、対話制御モジュールの開発を行う。	再利用センターに登録された音声モジュールを調査し、コミュニケーション知能モジュールの共通仕様を定めた。インタフェースに準拠したオープンソースの音声認識モジュール、音声合成モジュール、音声処理モジュール、対話制御モジュールを開発し、OpenHRIとして公開した (図 3.3.2.8.2-1)。	達成
開発したオープンソース版音声認識モジュール、オープンソース版音声合成モジュール、音声処理モジュール、対話制御モジュールの一部を改良し、プロジェクトの定める標準ロボットシステムなどに接続して動作検証、有効性検証を行う。	プロジェクトの定める標準ロボットシステム (リファレンスハードウェア) および安川電機の SmartPal に各モジュールを接続し、実証実験を通して有効性を示した。実環境で精度の高い認識を実現するのに必要な雑音フィルタなどの改良モジュールを追加で作成し、実用的な性能を達成した。	達成



※IFは全て各社共通形式(どのモジュールでも差し替え可能です)

図 3.3.2.8.2-1 コンポーネントの全体構成

特許

[登録]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年9月26日	特許第4592794号	ロボットハンド	株式会社 東芝

[公開]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2009年7月17日	特開2011-022066	3次元物体位置姿勢計測方法	独立行政法人産業技術総合研究所

[出願]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2010年3月4日	出願番号：P2010-48307	ロボットハンド	株式会社 東芝
2011年01月12日	出願番号：P2011-3592	画像認識装置、画像認識方法及びプログラム	株式会社 東芝
2011年9月28日	出願番号：P2011-213297	把持機構	株式会社 東芝
2009年8月21日	特願2009-192249	人とのインタラクションにおける安全度を考慮したロボットの制御	増田寛之，福里友介，山口亨，下川原英理

学会発表及び論文

平成20年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年5月2日	第27回AIチャレンジ研究会	非定常環境下における自己位置推定法	辻塚弘一, 大橋 健
2008年5月21日	Proc. of 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008), pp.1162-1168	Fast Grasp Planning for Hand/Arm Systems Based on Convex Model	K.Harada, K.Kaneko, F.Kanehiro
2008年5月22日	IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2013-2018	Singularity Avoidance by Inputting Angular Velocity to a Redundant Axis During Cooperative Control of a Teleoperated Dual-Arm Robot	M. Hayakawa, K. Harada, D. Sato, A. Konno, and M. Uchiyama
2008年6月6日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008,2P1-H12	アスペクト指向を用いて横断知識を記述するロボット行動フレームワーク	尾崎文夫,大賀淳一郎
2008年6月12日	人工知能学会第22回全国大会, J1-04	対話型ロボットのための口領域動画像に基づく発話推定	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉
2008年7月7日	17th CISM-IFTtoMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control (RoManSy2008), pp. 325-331	Experiments on Hammering a Nail by a Humanoid Robot HRP-2	S. Komizunai, T. Tsujita, F. Nishii, Y. Nomura, T. Owa
2008年7月8日	the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC/08) pp.8215-8220	Generating Robot Arm motion by Using Generalized Environmental Information	Siliang Wang, Eri Sato, Toru Yamaguchi
2008年7月30日	画像の認識理解シンポジウム MIRU2008, pp.10	ロボットとの対話のための発話推定に関する事例	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉

	15-1020	研究	勉
2008年7月31日	画像の認識・理解シンポジウム2008 (MIRU2008), pp.1626-1631	STL CAD モデルを用いた遮蔽輪郭線による任意形状物体認識	丸山健一, 河井良浩, 吉見隆, 富田文明
2008年8月1日	the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN) pp.526-531	Multi Phase Environment Information Interface by using "kukanchi: Interactive Human-Space Design and Intelligence"	Yusuke Fukusato, Shoichiro Sakurai, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2008年8月21日	SICE Annual Conference 2008 pp.3529-3533	Service offer system in "Kukanchi: Interactive Human-Space Design and Intelligence" using multi phase environmental information	Yusuke Fukusato, Eri Sato-Shimokawara, Jun Nakazato and Toru Yamaguchi
2008年8月22日	Multisensor Fusion and Intelligent Systems (MFI2008) pp.332-337	Service offer system using Multi-Phase Environmental Information Interface	Yusuke Fukusato, Eri Sato-Shimokawara, Jun Nakazato and Toru Yamaguchi
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会RSJ2008	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発:プロジェクト概要と進捗	松日楽, 吉見卓, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-08	知能化環境構築のための位置管理モジュールおよび環境サーバの設計	河寅勇, 田村雄介, 森下壮一郎, 浅間一, 野田五十樹, 羽田靖史, 岡本浩幸
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 E3-01	視覚情報に基づく多指ハンドの把持計画	原田研介, 辻徳生, 金子健二, 金広文男, 丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 E3-03	摩擦円錐の楕円近似を用いた把持安定性の高速評価	辻徳生, 原田研介, 金子健二

2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-RO M 1F2-03	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -移動ユニットとアーム ユニットのRTC化-	足立 勝, 亀井泉寿, 中 村高幸, 横山和彦
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-04	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業 対象物認識に関する知能 モジュール群の開発-	丸山健一, 富田文明, 河 井良浩
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-RO M 1F2-05	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業計画に関する知能 モジュール群の開発(作業 計画モジュール)	小田謙太郎, 大橋 健, 榎田修一, 嶋田和孝, 江 島俊朗
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-06	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業 対象物把持に関する知能 モジュール群-	金子健二, 原田研介, 辻 徳生
2008年9月18日	Joint 4th International Conference on Soft Co mputing and Intelligen t Systems and 9th Inte rnational Symposium o n advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS20 08) pp.299-304	Service Offer System i n "Kukanchi: Interactiv e Human-Space Design and Intelligence" usin g Natural Gesture	Yusuke Fukusato, Sho ichiro Sakurai, Eri Sa to-Shimokawara, Toru Yamaguchi
2008年9月23日	NLP若手の会 第3回シン ポジウム	複数の音声認識器からの シンプルで高精度な認識 結果の選択手法	嶋田和孝, 宇津巻彰
2008年9月25日	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robo ts and Systems	Target Tracking Using SIR and MCMC Particl e Filters by Multiple C ameras and Laser Ran ge Finders	R. Kurazume, H. Yam ada, K. Murakami, Y. Iwashita, and T. Has egawa
2008年10月28日	Proc. of IEEE Int. Con f. on Sensors	A Structured Environm ent with Sensor Netwo	K. Murakami, T. Has egawa, R. Kurazume,

		rks for Intelligent Robots	and Y. Kimuro
2008年11月20日	The 22 nd Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation, pp.350-357	An Effective Speech Understanding Method with a Multiple Speech Recognizer based on Output Selection using Edit Distance	Kazutaka Shimada, Satomi Horiguchi and Tsutomu Endo
2008年11月21日	Proc. Int. Conf. Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.485-488	Design of Location Management Module and Environment Server for Constructing of Intelligent Environment Space	Inyong Ha, Yusuke Tamamura, Soichiro Morishita, Hajime Asama, Itsuki Noda, Yasushi Hada, and Hiroyuki Okamoto
2008年11月21日	THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS ROBOTS AND AMBIENT INTELLIGENCE (URAI 2008) pp.434-437	Human-Robot interaction using indicating behavior for service robot	Eri sato-Shimokawara, Shoichiro Sakurai, Toru Yamaguchi
2008年11月21日	Proc. of Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence	Human Tracking by Cooperative Sensing of Distributed Environment Sensors and Mobile Robots	T. Hasegawa, K. Mohri, R. Kurazume, and K. Murakami
2008年11月30日	コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会 学会誌), Vol.25, No.4, pp.238-251, 雑誌	実世界で動作するプランニング・エージェントのためのバックグラウンド・センシング・コントロール	林久志, 十倉征司, 尾崎文夫, 土井美和子
2008年12月2日	Proc. IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots (Humanoid 2008), pp.54-60	Selecting a Suitable Grasp for Humanoid Robots with Multi-Fingered Hand	T.Tsuji, K.Harada, K.Kaneko, F.Kanehiro, Y.Kawai
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション	環境固定カメラと複数移動ロボットによる協調位	安陪隆史, 長谷川勉, 村上剛司, 倉爪亮

	ョン部門講演会講演予稿集	置姿勢計測	
2008年12月9日	Proc. of 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008), TuBCT8.41	3D Object Localization Based on Occluding Contour Using STL CAD Model	K.Maruyama, Y.Kawai, T.Yoshimi, F.Tomita
2009年1月1日	東芝レビュー, VOL.64, NO.1, pp. 36-39,雑誌	Dynagent TM - ロボットのフレキシブルな動作を実現するプランニング エージェント	林久志
2009年1月12日	電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2008-199	境界表現に基づく複数観測点からのステレオデータの統合	安達栄輔, 吉見隆, 河井良浩, 富田文明
2009年2月	In: L. C. Jain and N. T. Nguyen (Eds.), Knowledge Processing and Decision Making in Agent-Based Systems, Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 170, Springer, pp. 13-41,書籍	Towards Real-World HTN Planning Agents	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, and Fumio Ozaki
2009年3月12日	情報処理学会 第71回全国大会, CD-ROM 5T-3	対話型ロボットのための口領域動画像と音情報に基づく発話推定	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤勉
2009年3月17日	第14回ロボティクスシンポジウム講演会予稿集	移動ロボット群を用いた大規模文化遺産のデジタルアーカイブ	野田裕介, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉
2009年3月20日	The IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications, in the International MultiConference of Engineers and Comp	Handling Emergency Goals in HTN Planning	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Fumio Ozaki, and Tetsuo Hasegawa

	uter Scientists (IMECS) , pp.118-126, Hong Kong, March 2009		
2009年3月30日	2009 IEEE Workshop on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space, pp. 121-128.	Perceptual system for intelligent service robot by using a three-dimensional range camera	H. Masuta and N. Kubota

平成21年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年4月	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No4, pp. 443-452, 2009.	A Service System Adapted to Changing Environments Using “Kukachi”	Yusuke Fukusato, Erisato-Simokawara, Toru Yamaguchi, and Makoto Mizukawa
2009年5月16日	Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3200-3205	Laser-based Geometric Modeling using Cooperative Multiple Mobile Robots	Ryo Kurazume, Yusuke Noda, Yukihiro Tobata, Kai Lingemann, Yumi Iwashita, Tsutomu Hasegawa
2009年5月25日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’09, CD-ROM 1A1-E13	LRFを搭載した群ロボットによる未知環境三次元地図の自動作成	横矢剛, 長谷川勉, 倉爪亮
2009年5月25日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’09, CD-ROM 1A1-F06	LRFを用いた移動用3次元地図作成	古賀勇多, 大橋健, 小田謙太郎
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’09, CD-ROM 2A2-C01	軽作業計画用のハンドアームRTコンポーネント	大橋健, 大塚康裕, 小田謙太郎
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’09, CD-ROM 2A1-D08	インターフェースが変化しても再実装を必要としないRTコンポーネントとその自動生成法	小田謙太郎, 大橋健, 石村俊幸

2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A2-A19	ヒューマノイドロボットのための多指ハンド把握モジュール	原田研介, 辻徳生, 金子健二, 丸山健一
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A2-B06	操作力楕円体と摩擦円錐の楕円近似による把持安定性の高速評価	辻徳生, 原田研介, 金子健二
2009年6月22日	知能と情報, vol21, No5, pp.856-869,雑誌	Dynagent: 割込みHTNプランニングエージェント	林久志, 十倉征司, 尾崎文夫, 長谷川哲夫
2009年7月	IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 156-161	Planning Footsteps in Obstacle Cluttered Environments	Yasar Ayaz, Atsushi Konno, Khalid Munawar, Teppei Tsujita, Masaru Uchiyama
2009年7月20日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS1-68	環境に固定されたマーカを用いたハンドアイキャリブレーション	川端聡, 永田和之, 河井良浩
2009年7月22日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS3-38	遮蔽輪郭線を用いたモデルベース3次元物体位置姿勢計測	丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2009年7月22日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS3-40	曲面形状表現のための曲率線ネットの生成	西村悠, 吉見隆, 西卓郎, 河井良浩, 富田文明
2009年8月20日	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.4, pp.453-459	Supporting Robotic Activities in Informationally Structured Environment with Distributed Sensors, RFID Tags	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Ryo Kurazume, Yoshihiko Kimuro
2009年8月21日	Proc. 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.1492-1495, 2009	Home Appliance Components using RT Middleware – Development of the Interface and an	Toshiyuki Kusunoki, Kazuyoshi Wada and Hayato Takayama

		Example System	
2009年8月22日	FUZZ-IEEE2009 pp.1474-1479	Domestic Robot Service based on Ontology applying Environmental Information	Yusuke Fukusato, Shojiro Sakurai, Silian Wang, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2009年9月4日	Proceedings of the 11th Conference of the Pacific Association for Computational Linguistics (PACLING2009), pp. 262-267, 2009.	Speech Understanding in a Multiple Recognizer with an Anaphora Resolution Process	Kazutaka Shimada, Akira Uzumaki, Mai Kitajima and Tsutomu Endo
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D3-05	移動型サービスロボット向けの安全度評価モジュールの基本構成	村上弘記, 田村雄介, 浅間一
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D3-06	位置管理モジュールおよび環境サーバ実装のためのシステム設計	河寅勇, 田村雄介, 森下壮一郎, 浅間一, 岡本浩幸, 野田五十樹, 羽田靖史
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, 1D3-01	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発: システム統合化へ向けて	松日楽信人, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, 1D3-04	ロボットハンドリングのための触覚による物体姿勢検出アルゴリズム	菅原淳
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D2-05	施設内生活支援ロボット知能の研究開発—観測不能領域を考慮した施設内人物追跡システム—	八田啓希, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D2-07	施設内生活支援ロボット知能の研究開発—作業計画に関する知能モジュール群の開発 (第2報)	大橋健, 小田謙太郎, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗
2008年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-ROM	施設内生活支援ロボット知能の研究開発	包原 孝英, 亀井泉寿, 中村高幸, 足立 勝, 横

	M 1D2-08	-作業知能モジュール群 の有効性検証-	山和彦
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 R3-03	カラーヒストグラムを用 いたレーザ・カメラによ る複数移動体追跡	曾我部光司, 倉爪亮, 長 谷川勉
2009年9月16日	第27回日本ロボット学術 講演会	人とのインタラクション に基づく 食器片付けの ためのロボットアーム制 御	増田寛之
2009年9月16日	IWI2009 (WI-IAT2009), pp.1-4, 2009.	Visualization Cube: Mo deling Interaction for Exploratory Data Anal ysis of Spatiotemporal Trend Information	Y. Takama, T. Yamad a
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 F2-04	ステレオ視による3次元 物体位置姿勢計測とその RTコンポーネント化	丸山健一, 川端聡, 河井 良浩, 富田文明
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 F2-05	マーカ1点の複数回撮影 によるハンドアイシステ ムの簡便な較正法とその RTコンポーネント化	川端聡, 丸山健一, 河井 良浩
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 A2-02	接触面曲率情報を用いた 多指ハンドの把持計画	辻徳生, 原田研介, 金子 健二
2009年9月17日	第27回日本ロボット学 会学術講演会, 講演番号 1D3-02	片付け作業のためのマル チモーダルインタラクシ ョン	福里 友介, 岩澤 正也 山口 亨, 下川原 (佐藤) 英理
2009年9月27日	Proc. of The Ninth Asi an Conference on Com puter Vision (ACCV200 9), MP3-20	Model-based 3D Object Localization Using Oc cluding Contours	K. Maruyama, Y. Ka wai, F. Tomita
2009年9月29日	平成21年度第62回電気関 連学会九州支部連合大会 , 09-2P-11	分散カメラシステムによ る実時間人間動作計測	斉藤暢記, 倉爪亮, 岩下 友美, 村上剛司, 長谷川 勉
2009年9月30日	第17回電子情報通信学会 九州支部学生会	顔特徴と衣服特徴に基づ く人物識別	山口純平, 嶋田和孝, 遠 藤 勉

2009年10月12日	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 1830-1837	Easy and Fast Evaluation of Grasp Stability by Using Ellipsoidal Approximation of Friction Cone	T. Tsuji, K. Harada, K. Kaneko
2009年10月12日	2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	The Intelligent Control based on Perceiving-Acting Cycle by using 3D-range camera	H. Masuta and N. Kubota
2009年10月30日	Proc. Int. Conf. Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.340-344	Identification of Types of Obstacles and Obstacle Map Building for Mobile Robots	Yusuke Tamura, Yu Murai, Hiroki Murakami, and Hajime Asama
2009年11月29日	Proc. IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, pp.95-100	Detection of Change in the Number of Humans in a Monocular Image Sequence for Pedestrian Motion Tracking	Hidetaka Koseki, Soichiro Morishita, and Hajime Asama
2009年12月	IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 361-366	Footstep Planning for Humanoid Robots Among Obstacles of Various Types	Yasar Ayaz, Takuya Owa, Teppei Tsujita, Atsushi Konno, Khali d Munawar and Masaru Uchiyama
2009年12月16日	International Journal of Intelligent Information and Database Systems, Inderscience Publishers, vol.3, no.4, pp.483-501, 雑誌	Background sensing control for planning agents working in the real world	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Fumio Ozaki, and Miwako Doi
2009年12月	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.1443-1445	食器片付け作業のための作業計画コンポーネントの開発	小水内俊介, 野村勇樹, 菊地隆浩, 近野敦, 内山勝
2009年12月	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 145	冗長マニピュレータ搭載型全方向移動ロボットのための制御システムの構	野村勇樹, 小水内俊介, 近野敦, 内山勝

	0-1452	築	
2009年12月24日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009, p. 1718-1721.	距離画像カメラを用いたロボットアームのための環境知覚	増田寛之, 檜皮えりこ, 久保田直行
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.570-571	サービス提供モジュールの開発	岡本浩幸, 浅間一, 森下壮一郎, 辻邦浩, 羽田靖史
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.1747-1750	混合分布推定に基づく単一カメラによる動画像の人物検出に関する研究 — 分布パラメータの比較による人物の増減判定	小関英剛, 森下壮一郎, 浅間一
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集, pp.1197—1200	情報構造化環境における人間行動予測に基づく移動ロボットの動作計画	斧山佳史, 長谷川勉, 倉爪亮, 村上剛司
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009, p. 237-240	物体認識のための距離画像センサを用いた能動知覚	檜皮えりこ, 増田寛之, 久保田直行
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.1487-1488	RTミドルウェアを用いた家電ネットワーク管理システムの構築	高山勇人, 和田一義
2010年1月15日	日本ロボット学会誌, Vol. 27, Num.1, pp. 65--76	SIR/MCMCパーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡	倉爪亮, 山田弘幸, 曾我部光司, 村上剛司, 岩下友美, 長谷川勉
2010年1月	人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 58-67, 2010.	時空間的動向情報の探索的分析を支援するインタラクティブな情報可視化システム	高間 康史, 山田 隆志

2010年2月	日本機械学会論文集（C編），第76巻，第762号，p p.331-339	直方体モデルに基づく多指ハンドの把持計画	原田研介，辻徳生，金子健二，金広文男，丸山健一
2010年2月26日	広島県画像処理活用研究会&中国地域産総研技術セミナー	高機能3次元視覚システムVVVの研究開発—ステレオ画像処理による3次元形状計測，認識とロボットへの応用—	河井良浩
2010年3月15日	電子情報通信学会，パターン認識・メディア理解研究会(PRMU)，信学技報，Vol. 109, No.470, p p. 25-30	顔特徴とコンテキスト情報に基づく顔の隠れに頑健な人物識別	山口純平，嶋田和孝，榎田修一，江島俊朗，遠藤勉

平成22年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2010年4月1日	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.2, pp.230-238	Grasp Planning for a Multi-fingered Hand with a Humanoid Robot	T. Tsuji, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Maruyama
2010年6月1日	日本ロボット学会誌 Vol. 28, No. 5, pp. 22-23	(解説) RTミドルウェアによるロボットアーキテクチャーコミュニケーションシステム—	松坂 要佐
2010年6月	ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-B20	RTコンポーネントを活用したロボットサービスの実現例	野村勇樹，小水内俊介，菊地隆浩，近野敦，内山勝
2010年6月14日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, CD-ROM 1P1-C12	移動ロボットの衝突回避のための人間の移動予測アルゴリズム	濱崎峻資，田村雄介，浅間一
2010年6月16日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演論文集, 2A1-C09	人間・ロボット共生環境における日用品追跡システム	村上剛司，重松康祐，野原康伸，長谷川勉，倉爪亮，Ahn Byong

			-won
2010年6月16日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演論文集, 2A1-F22	レーザレンジファインダと鏡による床面上の日用品位置計測システム	野原康伸, 長谷川勉, 村上剛司
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010,2A1-F20	ロボアームに作業を実行するためのソフトウェアモジュール群の開発と検証 実験用ロボット	田中淳也, 松日楽信人, 小川秀樹, 菅原淳, 廣川潤子, 林久志, 園浦隆史, 大賀淳一郎, 十倉征司, 西山学, 香月理絵
2010年7月22日	Journal of Robotics, Article ID 301923, 14 pages	An Extensible Dialogue Script for a Robot Based on Unification of State-Transition Models	Yosuke Matsusaka, Hirayuki Fujii, Isao Harada
2010年7月23日	電子情報通信学会 言語理解とコミュニケーション研究会 (NLC) 信学技報, pp. 69-74	3つの異なる種類の音声認識器を利用した照応解析	嶋田和孝, 棚町範子, 遠藤 勉
2010年7月27日	画像の認識・理解シンポジウムMIRU2010 論文集, IS1-35, pp. 276-283	ステレオビジョンシステムのための3次元輪郭モデル生成とその応用	丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2010年7月28日	画像の認識・理解シンポジウムMIRU2010 論文集, OS7-3, pp. 1380-1387	単純な繰り返しパタンの参照平面を用いた複数カメラの較正法	川端 聡, 河井良浩
2010年8月19日	SICE Annual Conference 2010 pp.390-391	Domestic Robot System Considering Generalization	Takahiro Iijima, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2010年8月20日	SICE Annual Conference 2010, pp. 392-397	Information Reduction for Environment Perception of an Intelligent Robot Arm Equipped with a 3D Range Camera	H. Masuta, N. Kubota
2010年8月24日	Proc. of 20th International Conference on Pattern Recognition (ICP)	3D Contour Model Creation for Stereo-vision Systems	K. Maruyama, Y. Kawai, F. Tomita

	R2010),		
2010年9月19日	19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2010), pp. 260-265	Active Perception based on Hough Transform and Evolutionary Computation using 3D Range Sensor,	H. Eriko, H. Masuta, and N. Kubota
2010年9月22日	第28回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM R SJ2010AC3P1-6	行動ダイナミクスに基づく歩行者の目的地推定における候補点の抽出	寺田善貴, 森下壮一郎, 浅間一
2010年9月22日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3I2-02	既知の平面パターンを用いたステレオカメラの簡便な較正法	川端 聡, 河井良浩
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 2P2-2	ステレオビジョンシステムを用いた3次元物体位置姿勢計測と同一形状物体の計数	丸山健一, 川端聡, 河井良浩, 富田文明
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 103-2	把握面に柔軟性を有するパラレルグリッパの把握計画	原田 研介, 辻 徳生, 他 4名
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 103-3	Grasplan: 把持計画ツールボックスの開発	辻 徳生, 原田 研介, 中岡 慎一郎, 河井 良浩
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発: システム統合と実証実験	松日楽信人, 小川秀樹, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM R SJ2010AC3P1-3	施設内生活支援ロボット知能の研究開発ー作業知能モジュール群の有効性検証(第2報)ー	中村高幸, 足立勝, 村上剛司, 長谷川勉, 嶋田和孝, 大橋健, 川端聡, 丸山健一, 辻徳生, 原田研介
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3P1-7	知的収納庫とFloor Sensing Systemを用いた物品追跡システム	村上剛司, 松尾一矢, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮
2010年9月25日	The 2010 International Symposium on Intellig	A cyclical learning by using spiking-neural	H. Masuta, N. Kubota

	ent Systems (iFAN 2010)	network for a robot perception and action	
2010年10月	5th International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 498-503	Application of Robot Service by using RT Components	Yuki Nomura, Takahiro Kikuchi, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama
2010年10月6日	International Conference on Advanced Mechatronics	Specification and Implementation of Open Source Software Suite for Realizing Communication Intelligence	Yosuke Matsusaka, Isao Hara, Hideki Asoh, Futoshi Asano
2010年10月12日	2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 3405-3412	Perceptual System using Spiking Neural Network for an Intelligent Robot	H. Masuta and N. Kubota
2010年10月19日	Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.3875-3880	Extraction of Candidate Points for a Destination Estimation Method Based on Behavior Dynamics	Yoshitaka Terada, Soichiro Morishita, and Hajime Asama
2010年10月19日	Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.3887-3892	Smooth collision avoidance in human-robot coexisting environment	Yusuke Tamura, Tomohiro Fukuzawa, and Hajime Asama
2010年10月19日	IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.1030-1035	Floor Sensing System Using Laser Range Finder and Mirror for Localizing Daily Life Commodities	Yasunobu Nohara, Tsutomu Hasegawa, and Kouji Murakami
2010年10月20日	IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.3712-3718	Position Tracking System for Commodities in a Daily Life Environment	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Yasunobu Nohara, Byong Won Ahn, and Ryo Kurazume
2010年10月22日	IROS 2010 Workshop on Towards a Robotics Software Platform	Open Source Software for Human Robot Interaction	Yosuke Matsusaka

2010年10月27日	情報処理学会 組み込みシステムシンポジウム	(チュートリアル) RT-ミドルウェア -ロボット用ソフトウェアのコンポーネントベース開発とその開発事例	松坂 要佐
2010年10月28日	第60回 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-B002-06, pp. 27-30	対話型ロボットのための複数の音声認識器を利用した発話理解	嶋田和孝, 遠藤 勉
2010年11月	Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol. 14, No. 7, pp. 770-775,	An Integrated Perceptual System of Different Perceptual Elements for an Intelligent Robot	Hiroyuki Masuta and Naoyuki Kubota
2010年11月3日	IEEE Int. Conf. on Sensors, pp.1879-1882	Position Tracking System for Commodities in an Indoor Environment	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Yasunobu Nohara, Byong Won Ahn, and Ryo Kurazume
2010年11月5日	Proceedings of the 24th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation (PACLIC24), pp. 281-290	Combination of 3 types of speech recognizers for anaphora resolution	Kazutaka Shimada, Noriko Tanamachi and Tsutomu Endo
2010年11月9日	2010 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2010) pp.459-464	Home Appliance Service System by using an object Position and Multimodal Interaction with Communication robot	Masaya Iwasawa, Toru Yamaguchi and Yasunari Fujimoto
2010年11月9日	IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Science, pp. 453-458	Structured Intelligence for Cyclic Learning based on Spiking-Neural Network for Human Friendly Robots	H. Masuta and N. Kubota
2010年11月11日	Proc. of 10th Asian Co	Correspondence-Free Mu	S. Kawabata, Y. Kawai

	ference on Computer Vision (ACCV2010), pp.1831-1841	lti Camera Calibration by Observing A Simple Reference Plane	
2010年11月17日	International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, pp.275-287	Implementation of Distributed Production System for Heterogeneous Multiprocessor Robotic Systems	Yosuke Matsusaka, Isao Hara
2010年12月	IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 206-211	Verification of the Versatility of the RT Modules by the Multiple Robots Platform	Yuki Nomura, Shuhei Ogawa, Takahiro Kikuchi, Atsushi Konno, and Masaru Uchiyama
2010年12月	計測自動制御学会 第11回システムインテグレーション部門講演会, 1G2-4	手先視覚を用いたロボスタな物体把持	小川修平, 安孫子聡子, 近野敦, 内山勝
2010年12月24日	計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集	自己拡張するRTコンポーネントの実装	松坂 要佐
2010年12月24日	計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1411-1414	環境配置センサ群と作業ロボットによる日用物品の追跡	関屋翔, 村上剛司, 松尾一矢, 長谷川勉, 倉爪亮
2010年12月25日	計測自動制御学会 第11回システムインテグレーション部門講演会2010	触覚センサを使った物体姿勢検出によるロボスタなハンドリング ~接触点座標と三次元物体モデルのマッチング~	菅原淳, 田中 淳也, 原口貴史, 佐藤 和広, 小川秀樹
2010年12月	In: S.-I. Ao, O. Castillo, and X. Huang (Eds.), Series: Lecture Notes in Electrical Engineering , Vol. 52 Intelligent Automation and Computer Engineering, ,	Emergency Planning HTN	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Tetsuo Hasegawa, and Fumio Ozaki

	Chapter 3, pp.27-40, Springer,書籍		
2011年3月14日	2011年度精密工学会春季 大会学術講演会講演論文 集, pp.413-414	不完全に情報化された環 境におけるサービスロボ ットのためのオブジェク ト位置管理	渡辺周介, 田村雄介, 淺 間一
2011年3月14日	第16回ロボティクスシン ポジア	把握面の柔軟性を考慮し たパラレルグリッパの把 握計画と検証	原田 研介, 辻 徳生, 他 4名

平成23年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2011年4月	Intelligent Service Rob otics, vol.4, no.2, pp.99- 105	Identification of Types of Obstacles for Mobile Robots	Yusuke Tamura, Yu Murai, Hiroki Murak ami, and Hajime Asa ma
2011年4月1日	日本知能情報ファジィ学 会誌, 知能と情報, Vol. 2 3, No. 2, pp.13-21	顔特徴とコンテキスト情 報に基づく人物識別	山口純平, 嶋田和孝, 榎 田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉
2011年5月27日	ロボティクス・メカトロ ニクス講演会2011, 4 pa ges	室内における壁情報を事 前情報として利用したSL AM	古賀勇多, 大橋健
2011年5月27日	ロボティクス・メカトロ ニクス講演会2011, 3 pa ges	作業計画モジュールにお けるアプリケーション記 述支援機能	大橋健
2011年8月1日	電子情報通信学会論文誌, J94-D-8, pp.1314-1323	参照平面上の局所座標系 間の対応推定による複数 カメラの較正法	川端聡, 河井良浩
2011年9月	International Journal o f Advanced Robotic Sys tems, Vol. 8, No. 4, pp. 98-109	A Human-Like Approac h Towards Humanoid Robot Footstep Plannin g	Yasar Ayaz, Atsushi Konno, Khalid Muna war, Teppei Tsujita, S hunsuke Komizunai a nd Masaru Uchiyama
2011年9月7日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 B3-4	知能化環境におけるオブ ジェクトの位置データ解 釈とロボットへの安全情	田村雄介, 寺田善貴, 濱 崎峻資, 森下壮一郎, 岡 本浩幸, 淺間一

		報の提供	
2011年9月7日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, 3I1-02巻,4p ages	室内における壁を利用し た自己位置推定手法	古賀勇多,大橋健
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3B2-7	共通カメラインタフェー スの提案	大原賢一, 川端聡, 河井 良浩
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, C D R O M	物体マニピュレーション のためのタスクプランニ ング	林久志, 足立勝, 横山和 彦, 小川秀樹, 松日楽信 人
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, C D R O M 3B3-3	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 ー作業知能モジュール群 の有効性検証(第3報)ー	足立勝, 横山和彦, 辻徳 生, 長谷川勉, 大橋健, 林久志, 田村雄介, 山口 亨, 川端聡, 松坂要佐
2011年9月13日	第27回ファジィシステム シンポジウム2011, pp.5 31-536	パートナーロボットにお ける未知物体把持のため の環境知覚	増田寛之
2011年9月14日	SICE Annual Conferen ce 2011, pp. 1270-1275, 2011	Environmental percepti on for grasping an unk nown object based on 3D range distance info rmation	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年10月11日	IEEE International Co nference on System, M an, and Cybernetics, p p. 244-249	Robot Perception of Un expected Objects based on Human Visual Str ucture using a 3D Ran ge Camera	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年10月28日	エージェント合同シンポ ジウム (Joint Agent Wo rkshops & Symposium) (JAWS), U S Bメモリ	障害物を考慮した物体マ ニピュレーションのため のHTNプランニング	林久志, 足立勝, 横山和 彦, 小川秀樹, 松日楽信 人
2011年12月6日	4th International Confe rence on ICIRA 2011, Part II, LNAI 7102, pp . 210-219	Control Architecture fo r Human Friendly Rob ots Based on Interactin g with Human	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年12月8日	Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimeti	Prediction of Human's Movement for Collision	Shunsuke Hamasaki, Yusuke Tamura, Atsu

	cs, pp.1633-1638	Avoidance of Mobile Robot	shi Yamashita, and Hajime Asama
2011年12月9日	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics	Grasp Planning for Parallel Grippers with Flexibility on its Grasping Surface	K. Harada, T. Tsuji, K. Nagata, N.Yamanobe, K.Maruyama, A.Nakamura, Y. Kawai
2011年12月	IEEE/SICE International Symposium on System Integration	Cooperative Object Transportation by Multiple Humanoid Robots	Meng-Hung Wu, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama
2012年12月14日	OMG Santa Clara Meeting	Domestic Standardization Activity for Standardizing Voice Interface for Service Robots in Japan	Y.Matsusaka
2011年12月21日	The Fourth Symposium in System Integration (SII2011) pp293-298	Interactive System for Sharing Objects Information by Gesture and Voice Recognition between Human and Robot with Facial Expression	Jiguo Zhen, Hirotaoka Aoki, Eri sato-Shimokawara, Toru Yamaguchi
2011年12月23日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会1K3-2	ポータブルコンポーネントマネージャの実装	松坂要佐
2012年1月1日	InTech - The Future of Humanoid Robots - Research and Applications	Grasp Planning for a Humanoid Hand	T. Tsuji, K. Harada, K.Kenji, F. Kanehiro, K. Maruyama
2012年2月1日	Journal of Robotics and Mechatronics Vol.24 No.1 pp. 86-94	Specification and Implementation of Open Source Software Suite for Realizing Communication Intelligence	Y.Matsusaka, H.Asoh, I.Hara, F.Asano
2012年2月2日	第85回人工知能基本問題研究会 (SIG-FPAD) ,予	サービスロボットによる投機的アクション実行準	林久志, 足立勝, 小川秀樹, 横山和彦

	稿集	備と再計画	
2012年3月15日	第17回ロボティクスシンポジウム予稿集	双腕ロボットによるピックアップアンドプレース動作計画	原田研介, Foissotte Torea, 辻徳生, 永田和之, 山野辺夏樹, 中村晃, 河井良浩

展示会及びプレス発表

- ・「経済産業省産業機械課長」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2008/08/04)
- ・「科学技術政策担当大臣」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2008/08/12)
- ・「日中韓ロボット研究者交流ワークショップの来日韓国代表团」視察対応デモンストレーション [作業対象物認識] (2008/10/01)
- ・「日中韓ロボット研究者交流ワークショップの来日中国代表团」視察対応デモンストレーション [作業対象物認識, 把持動作計画] (2008/10/03)
- ・産総研オープンラボ [作業対象物認識, 把持動作計画] (2008/10/20-21)
- ・デモンストレーション:「ジェスチャインタラクシオンロボット」国際次世代ロボットフェア ICRT JAPAN2008 インテックス大阪にて(2008/11/26/～2008/11/28)
- ・サービス提供モジュールによる情報提供サービスデモ展示: サービス提供モジュールを組み込んだシステムを大阪・北ヤード ナレッジキャピタルトライアル 2009 において実際に使用し, 動作などの確認を実施(2009/3/12～2009/3/13)
- ・「独法評価委員会」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2009/04/07)
- ・ESEC2009 東京ビックサイトにて, 東芝ステレオ楕円画像認識モジュールと首都大サービス記述遂行モジュールを連携した実証デモを実施(2009/5/13～2009/5/15)
- ・産総研オープンラボ「作業サービスロボット技術」 [作業対象物認識](2009/10/15～2009/10/16)
- ・経済産業省産業技術環境局視察, [作業対象物認識] (2010/06/17)
- ・第28回日本ロボット学会学術講演会・機器展示, [アームユニット, 移動ユニット] (2010/09/22～2010/09/24)
- ・サウジアラビア国家議員視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/07)
- ・経済産業省製造産業局産業機械課視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/12)
- ・産総研オープンラボ「ハンドアイによる日用品の把持と簡便な複数カメラの較正法」, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/14,15)
- ・第10回産学連携フェア・機器展示, [アームユニット, 移動ユニット] (2010/10/27～

2010/10/29)

- NEDO 機械システム部視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/29)
- プレス発表「日本初のロボット用知能ソフトモジュールを公開 -ロボットの高性能化, 低コスト化などに貢献-」, [作業対象物認識] (2011/07/27)
- 「2011 国際ロボット展」出展・デモンストレーション, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2011/11/09~2011/11/12)
- 米沢電機工業会, 米沢 BNO, 米沢電振協「作業サービスロボット技術」[作業対象物認識](2009/11/20)
- プレス発表「生活支援ロボットの実現を目指し共同研究開発 - RT ミドルウェアを活用したロボットシステムの有効性検証 -」, (2012/1/27)
- プレス発表「知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群 - ロボット開発用基盤ツール ROBOSSA の開発を完了 -」, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2012/2/23)
- 商業施設である「ららぽーと柏の葉」にてサービス提供モジュールの実証試験を実施 (2009/12/23~2009/12/25)

オープンソース開発物リスト

担当	知能モジュール名	公開サイト
安川	汎用モーション RTC	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID396
九大	タウンマネジメントシステム RTC	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID121
	物品位置計測モジュール	http://fortune.is.kyushu-u.ac.jp/r-city-j.html
九工大	作業計画モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID323
	発話推定モジュール Ver1	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID192
	音声認識モジュール Ver2	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID191
	音声合成モジュール Ver1	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID190
産総研	頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1001
	オープンソース版作業対象認識モジュール群	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID367
	オープンソース版作業対象認識モジュール群座標系変換ツール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID370
	graspPlugin for Choreonoid	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1002
	HiroNXInterface	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1003
	ハンド把持動作計画モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID226
	オープンソース版 音声認識モジュール Ver1,2	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/openhri

	オープンソース版 音声合成モジュール Ver1,2	
	オープンソース版 音声処理モジュール群 Ver1,2	
	オープンソース版 対話制御モジュール Ver1,2 および基本音声対話コンテンツ	
東芝	リファレンスハードウェア制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID398
	リファレンスハードウェア移動制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID389
	中位動作計画モジュール (汎用版)	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID399
	触覚認識モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID240
	部分エッジ画像認識モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID235
首都大	マルチモーダルインタラクションモジュール	http://www.sd.tmu.ac.jp/yamaguchi/NEDO_project.html
	空間知モジュール	http://www.sd.tmu.ac.jp/yamaguchi/NEDO_project.html
東大	データ解釈モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID_392
	安全情報提供モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID_395
東北大	作業対象物認識モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID089
	冗長性利用モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID088
	手先拘束下でのマニピュレーション知能モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID090

作業対象コンプライアンス制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4001 (本モジュールを含むシステムとして実現)
非マスタ・スレーブ型双腕協調制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4002
特異点解析モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID402 (汎用モーションコアの一部機能として実現)
カメラヤコビアン計算モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID403 (東芝の相対位置決めモジュールに統合)
ビジュアルフィードバックモジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID403 (東芝の相対位置決めモジュールに統合)

3.4.1 移動知能（サービス産業分野の研究開発）

3.4.1.1 研究開発の概要

少子高齢化、労働力不足等の社会問題が顕在化する中、商業施設・交通施設・オフィス等時間的・空間的に変動し、人・障害物が混在する環境において、安全かつ適切な速度で移動し、案内・誘導・作業等の各種サービスを提供するロボットが、今後の高齢者の社会生活の質的向上及びサービス産業の発展に寄与する等大きな期待が寄せられている。しかしながら、従来の自律移動ロボットは、誘導ガイド・ランドマーク・反射板等によって位置を同定し、予め入力した経路地図により移動しながら仕事を行う等、その活用範囲は限定的なものとなっていた。また、ランドマーク等の設置や、周囲環境の地図作成を人が行っている点にも大きな制約があり、物品の配置が頻繁に変化する環境での稼働のためには、ランドマーク類や環境地図の更新・管理に膨大な人的コストが要求されている。公共施設等の、人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境で作業する移動ロボットの実用化には、

- ・様々な作業環境に対する導入と運用のロバスト性の向上
- ・作業環境内での作業遂行のロバスト性の向上

を実現する知能化技術の開発が不可欠であった。

本研究開発では、人が存在して複雑に変化しやすい環境下で、ロボットが確実に活動するために必要な知能化技術として、

- ・動的に変化する環境の中で安定にロボットが自己位置を認識する技術
- ・ロボット自身が周囲環境のセンシング結果を蓄積して環境地図を生成・管理する技術
- ・人や動く障害物を認識する技術
- ・人や障害物との衝突を回避しながら安全に走行する技術

を開発した。そして、これらの技術を様々なロボットシステムで利用できる形でモジュール化し、ロボットに統合して実環境で検証した。

本研究開発で開発した移動知能モジュールにより、作業環境内での作業遂行のロバスト性の向上に加え、自律移動に必要な情報をロボット自身が取得・更新することで、新規環境での動作開始に至るまでの準備作業の簡便化と運用中の物品の配置変化等への自動対応が可能となる。これにより、新規環境へのロボットの導入と運用に関するコストを大幅に削減できることから、今後期待される様々な施設へのロボットの普及を大幅に加速することが期待できる。

さらに、移動知能に限らず知能ソフトウェアの高度化、普及促進を図るため、双腕ロボットを用いた作業知能オープンソースの統合検証、環境側組み込み機器向け RT ミドルウェア導入キットの開発と知能モジュール群の連携評価、次世代ロボット知能化技術の相互運用性の検証を行った。

本研究開発の成果の普及のため、開発したモジュールの一般公開や国際ロボット展(2009年/2011年)でのデモ展示を行った。さらに、ステレオ画像処理ハードウェアは製品化し、販売を行っている。

3.4.1.2 研究開発の目標

本研究開発では、公共施設等の、人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境で、障害物や人に衝突することなく確実に目的地に到達できる移動ロボットの智能化技術を開発する。視覚認識をベースとした環境認識技術によりロバストな移動を実現することに加え、主要な機能単位でモジュール化して様々なロボットシステムで利用可能な再利用性を実現することを目指し、以下の機能モジュールで構成される移動知能モジュール群を開発した。

(1) 移動環境認識知能モジュール群

- ①自己位置認識に関する知能モジュール群（富士通、奈良先端大、豊橋技科大）
カメラやレーザレンジファインダ等のセンサを用いて、ロボットの位置をロバストに認識するモジュール群
- ②地図情報生成に関する知能モジュール群（富士通、豊橋技科大）
センシングの不確かさを考慮した確率モデルを用いて計測データを統合し、作業環境の地図を生成、管理するモジュール群

(2) 人環境安全移動知能モジュール群

- ①人・障害物認識に関する知能モジュール群（東大、東京理科大、豊橋技科大、富士通）
ステレオビジョンによる計測で得られる運動物体・静止物体の情報や人パターン情報を用いて、人や障害物を検出するモジュール群
- ②動的経路計画に関する知能モジュール群（豊橋技科大、富士通）
人や物体の動き、地図の不確かさを考慮した移動計画を行うモジュール群
- ③安全移動制御に関する知能モジュール群（豊橋技科大、富士通）
計画された経路に追従する走行計画を行うとともに、センサを利用して不測の異常接近事態を検出して安全に緊急停止を行うモジュール群

(3) 知能モジュール群の有効性検証

- ①画像処理ハードウェア技術（富士通）
- ②移動知能用 RT ミドルウェア（セック）
- ③検証用ロボットシステムの構築・検証実験（各機関）

そして、上述したモジュール群を搭載した移動ロボットシステムが人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成することを目標とした。

3.4.1.3 研究開発の成果

3.4.1.3.1 移動知能モジュール群の開発

3.4.1.3.1.1 移動知能システム構成

様々なロボットシステムで利用可能な再利用性の高い移動知能モジュール群を実現するために、本研究開発では移動機能を主要な機能要素単位で分割してモジュール化した。モジュールの粒度を主要な機能要素としたのは、これより大きくすると機能単位での再利用が難しくなり、逆に小さくするとモジュール間インタフェースを規定することが困難となるためである。

本研究開発の移動知能システムの構成図 3.1.1.-1 に示す。自己位置認識、地図情報生成／管理、人障害物認識、大域経路計画、局所経路計画、センサや走行制御等の機能モジュールから構成されており、これらの機能モジュールを各機関で分担して開発した。開発したモジュールを相互に接続することができるように、インタフェースを移動知能 SWG の共通インタフェースをベースにして揃えた。開発した移動知能モジュール群はハードウェア、ソフトウェア両方の再利用性を実現しており、様々なロボットシステムに利用することができる。

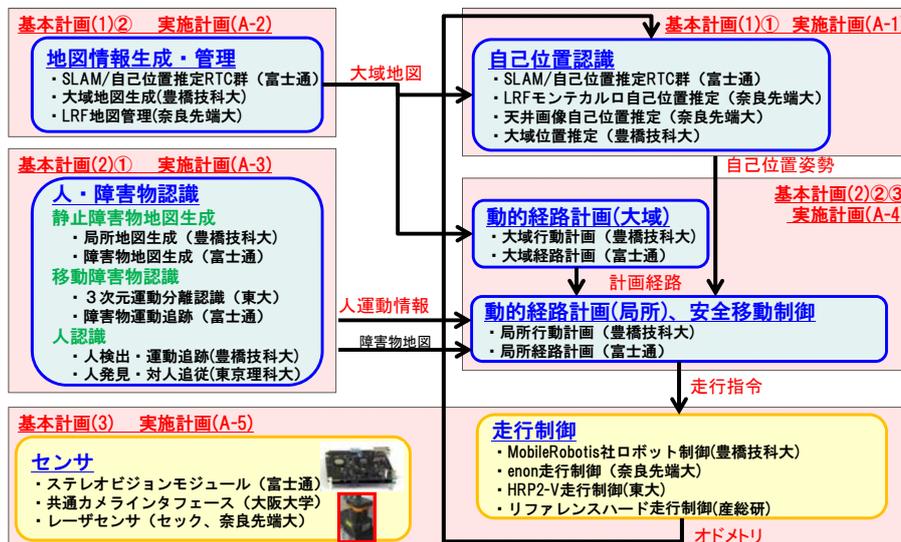


図 3.1.1.-1 移動知能システム構成

以下、各機関が開発したモジュールの詳細を記す。

3.4.1.3.1.2 環境認識、制御、ルート計画に関する智能モジュール群の研究開発（富士通株式会社）

（1）画像処理ハードウェアと画像処理モジュール群の開発

ロボットが人・障害物が混在する動的な環境を認識して安全かつ適切に行動を行うためには、膨大な画像データをリアルタイムで処理する能力が要求される。しかし、高性能 CPU はバッテリー動作する移動ロボットにとっては消費電力が大きく、市販の組み込み用プロセッサでは処理能力が不十分であるという課題があった。そこで、我々は NEDO「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」（平成 17～19 年度）で次世代ロボットの視覚機能の基盤となる画像処理用 LSI を開発した。そして、次世代ロボット共通基盤プロジェクトの開発成果を様々なロボットで活用できるようにするために、本研究開発ではこのデバイスを活用したステレオ画像処理ハードウェアと本ハードウェア上で動作する画像処理用モジュール群を開発した。ハードウェアだけではなくソフトウェアも整備することで、成果の広い普及を目指している。

ステレオ画像処理ハードウェアは既に製品化しており、富士通九州ネットワークテクノロジーズより製品名「ステレオビジョンモジュール」で販売を行っている。さらに、画像処理用モジュール群もステレオビジョンモジュール製品サイトで公開している。

(1)-①画像処理ハードウェアの開発

【（3）智能モジュール群の有効性検証：①画像処理ハードウェア】

(a) 画像処理 LSI

NEDO「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発した LSI(ステレオビジョン LSI)の外観を図 3.1.2.-1 に示す。ステレオビジョン LSI は、パターンマッチング処理、特徴抽出処理、フィルタリング処理、カラー処理を実行する専用の演算回路と、画像データ管理、外部プロセッサインタフェースを 1 チップに内蔵した LSI である。高い画像処理性能を実現するために、256 個の Processing Element が周波数 200MHz で動作して、並列に演算処理を行う。消費電力は 3W と低消費電力を実現している。

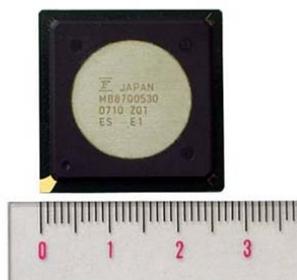
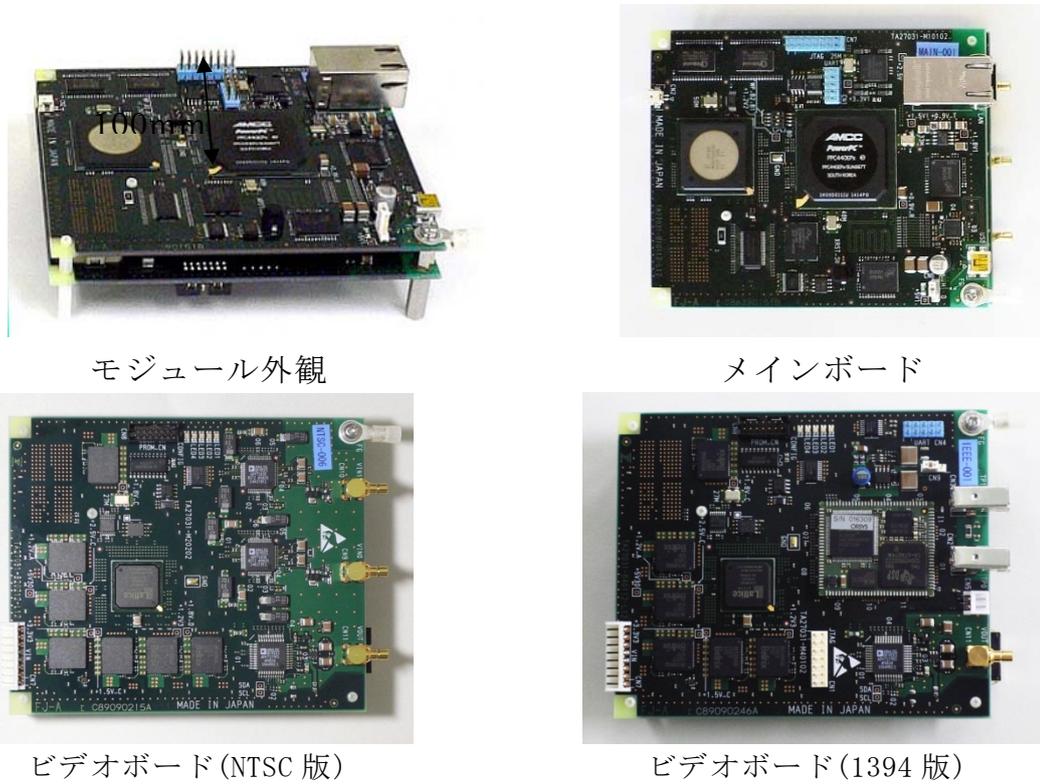


図3.1.2.-1 ステレオビジョンLSI

(b) ハードウェア構成

ステレオビジョンモジュールの外観を図 3.1.2.-2 に、主要諸元を表 3.1.2.-1 に示す。



モジュール外観

メインボード

ビデオボード (NTSC 版)

ビデオボード (1394 版)

図 3.1.2.-2 ステレオビジョンモジュール

外形寸法は 120mm×100mm×40mm、重量は 180g であり、小型・軽量の画像処理ハードウェアを実現した。消費電力は 13W と低消費電力を実現した。ステレオビジョンモジュールはメインボードとビデオボードの 2 枚ボードで構成されており、ビデオボードを交換することで NTSC カメラと IEEE1394 カメラに対応できる。IEEE1394 版は YUV(4:2:2)又は Y(mono)のデータフォーマットで出力する HDC 準拠 IEEE1394 カメラが利用可能である。また、カメラの解像度やブライトネス・コントラストなどのパラメータを制御することも可能とした。

表 3.1.2-1 ステレオビジョンモジュール主要諸元

CPU	AMCC PowerPC 440 EPX 660MHz
CPU 用メモリ	256M バイト
Flash メモリ	128M バイト
画像処理 LSI	ステレオビジョン LSI 動作周波数 200 MHz
画像メモリ	64M バイト (1024×1024×16bit×32 面)
画像入力 IF	NTSC アナログ ×2 又は IEEE1394×2
画像出力 IF	NTSC アナログ ×1
外部 IF	Ethernet (1000Base-T)
外形寸法	120 mm×100 mm×40 mm
重量	180g
消費電力	約 13W

(c)ソフトウェア構成

ステレオビジョンモジュールは、CPU には PowerPC を、OS には富士通コンピュータテクノロジーズ㈱で開発した組込み Linux(カーネルバージョン 2.6.27)を採用した。LSI を活用した画像処理機能を利用するために、ステレオビジョン LSI の Linux ドライバと画像処理 API ライブラリを開発した。図 3.1.2.-3 のソフトウェア構成図に示すように、ユーザの画像処理アプリケーションは、画像処理 API を介してハードウェアによる画像処理を実行する

OS に Linux を採用したことにより、安価な開発環境を実現し、さらに RT ミドルウェアを容易に利用できるようになった。また、画像処理 API ライブラリをユーザに提供することにより、ハードウェアを活用した独自アプリケーション開発をユーザが開発することができる。

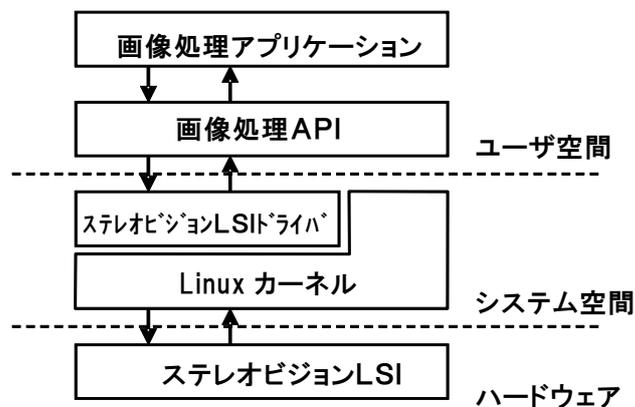


図 3.1.2.-3 ソフトウェア構成

(d) 性能

ステレオビジョンモジュールは 2700 の領域からのコーナー特徴の抽出とステレオ計測（視差 0～63 画素）を 20ms、2700 点の動き計測（画像サイズ 8×8、探索範囲-8 画素～+7 画素）を 13 ms で処理できており、2000 点以上の領域に対する 3次元計測と動き計測をフレームレートで処理できる演算性能を有することを確認した。

ステレオビジョンモジュールと計算機用 CPU(Core2Duo 3GHz)の比較を表 3.1.2.-2 に記す。ステレオビジョンモジュールは正規化演算で 10 倍の演算性能を約 1/6 の消費電力で実現しており、性能/電力比では計算機用 CPU の約 60 倍を実現した。

表 3.1.2.-2 ステレオビジョンモジュールと計算機用 CPU の性能比較

	ステレオビジョンモジュール	Core2Duo
動作周波数	LSI 200MHz CPU 666MHz	3.0GHz
消費電力	13W	75W
正規化相関	7575 回 (10.3)	735 回 (1.0)
性能/電力比	59.9	1

(1)-② 画像処理用 RTC 群の開発

【(1) ①自己位置認識に関する知能モジュール群、(2) 人環境安全移動知能モジュール群の開発：①人・障害物認識に関する知能モジュール群】

ステレオ画像処理ハードウェアを活用した画像処理機能を容易に利用できるようにする画像処理用 RTC 群を開発した。株式会社セックがステレオビジョンモジュール上で RT ミドルウェアを利用するための仕組みを構築しており、富士通株式会社はこの仕組みを活用して、以下の画像処理 RTC 群を開発した。

- ・ステレオ計測モジュール
- ・顔検知モジュール
- ・距離画像計測モジュール
- ・障害物クラスタ抽出モジュール
- ・障害物クラスタ追跡モジュール

(a) ステレオ計測モジュール

ステレオビジョンを用いて、コーナーやエッジを抽出して 3次元位置を計測するモジュールである。精度の高い 3次元計測情報のみを抽出することができる。本モジュールは 640 画素×480 画素の分解能のステレオ画像から特徴点を抽出して 3次元位置計測を行い、毎秒 15 フレームで処理結果を出力する(図 3.1.2.-4)。奥行き精度の高い 3次元位置計測が可能であり、広い奥行きの範囲での 3次元環境計測、人や障害物の位置の計測に活用できる。

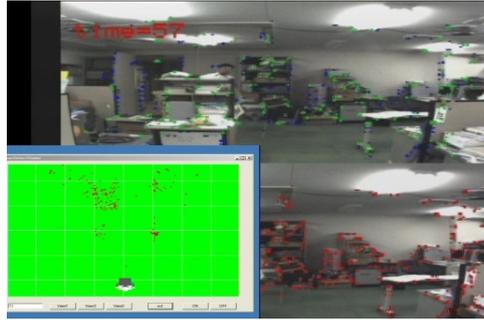


図 3.1.2.-4 ステレオ計測モジュール

(b) 距離画像計測モジュール

160 画素×120 画素に縮小したステレオ画像の各画素の 3 次元位置情報を毎秒 6~8 フレームで出力する(図 3.1.2.-5)。縮小画像のため奥行き精度は低いものの、密な 3 次元位置情報を得ることが可能であり、ロボットに近い物体の計測に活用できる。

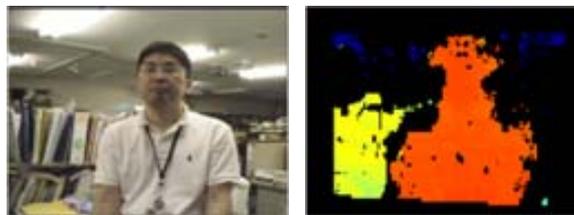


図 3.1.2.-5 距離画像計測モジュール

(c) 顔検知モジュール

ステレオビジョンを用いて、特徴点の 3 次元計測と顔パターン判別を組み合わせた顔位置の計測を行い、顔の位置と特徴点の 3 次元位置を毎秒 15 フレームで出力する(図 3.1.2.-6)。



図 3.1.2.-6 顔検知モジュール

出力する特徴点の 3 次元位置情報、顔の位置情報を利用することで、人の 3 次元位置計測を実現できる。豊橋技科大の局所行動計画モジュールと結合して、サービスロボット enon による人物発見追従・地図自動生成ロボットシステムを構築し、2009 年の国際ロボット展でデモンストレーションを実施した。実ロボット・実環境で動作することを示し、本モジュールの有効性を示した。

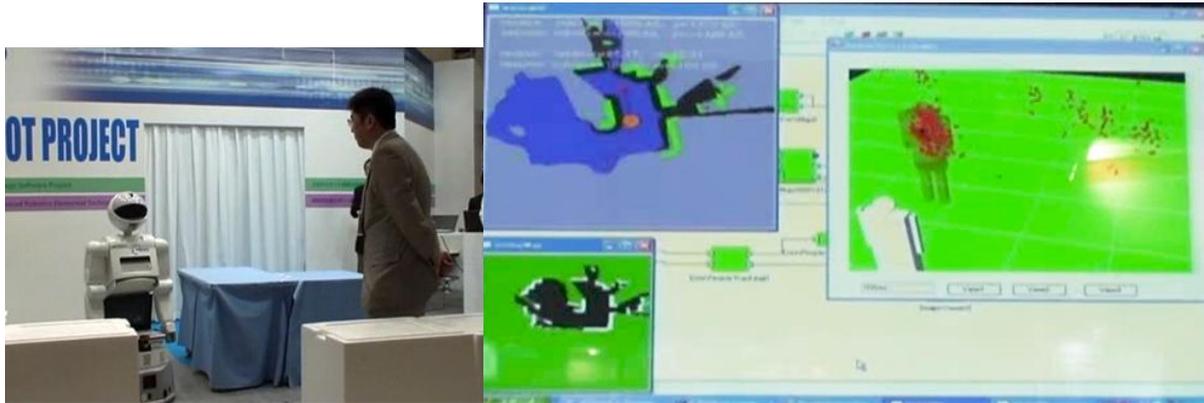


図 3.1.2.-7 2009 年国際ロボット展での人物発見追従・地図自動生成デモ

(d) 障害物クラスタ抽出モジュール

コーナーやエッジ等の特徴点の 3 次元位置を計測し、その情報を用いて特徴点クラスタの検出を行う(図 3.1.2.-8)。ロボット周辺にある物体の 3 次元位置と大きさ情報を毎秒 15 フレームで出力することが可能であり、ロボット周辺に存在する障害物のリアルタイム検出に活用できる。

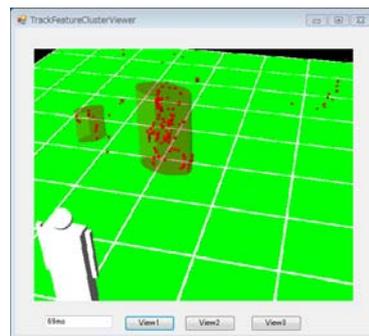


図 3.1.2.-8 特徴点クラスタ抽出モジュール

(e) 障害物クラスタ追跡モジュール

コーナーやエッジ等の特徴点の 3 次元位置と運動を計測し、その情報を用いて特徴点クラスタの追跡を行う。ロボット周辺にある物体の 3 次元位置、運動、大きさの情報を毎秒 15 フレームで出力する(図 3.1.2.-9)。ロボット周辺の移動障害物の位置運動情報の取得やロボットに人が近づいたイベントの抽出等に活用できる。

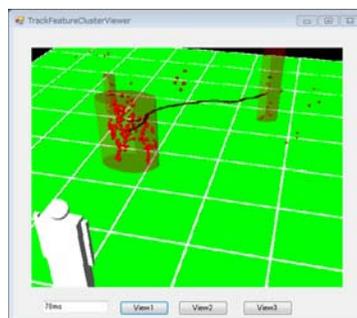


図 3.1.2.-9 特徴点クラスタ追跡モジュール

障害物クラスタ追跡モジュールの有効性を検証するために、図 3.1.2.-10 に示すリファレンスハードウェアを用いた対人追従システムを構築した。対人追従システムの構成を図 3.1.2.-11 に示す。経路計画には豊橋技科大の局所経路計画モジュールを用いており、障害物クラスタ追跡モジュールが出力する人物の位置情報を用いて、人物を追従するように経路計画を行う。図 3.1.2.-12 のオフィス廊下のような狭い環境でも人追従ができることを確認した。また、豊橋技科大の局所経路計画モジュールとの接続できることやリファレンスハードウェアで利用できることを示すことにより、再利用性も確認した。



図 3.1.2.-10 リファレンスハード

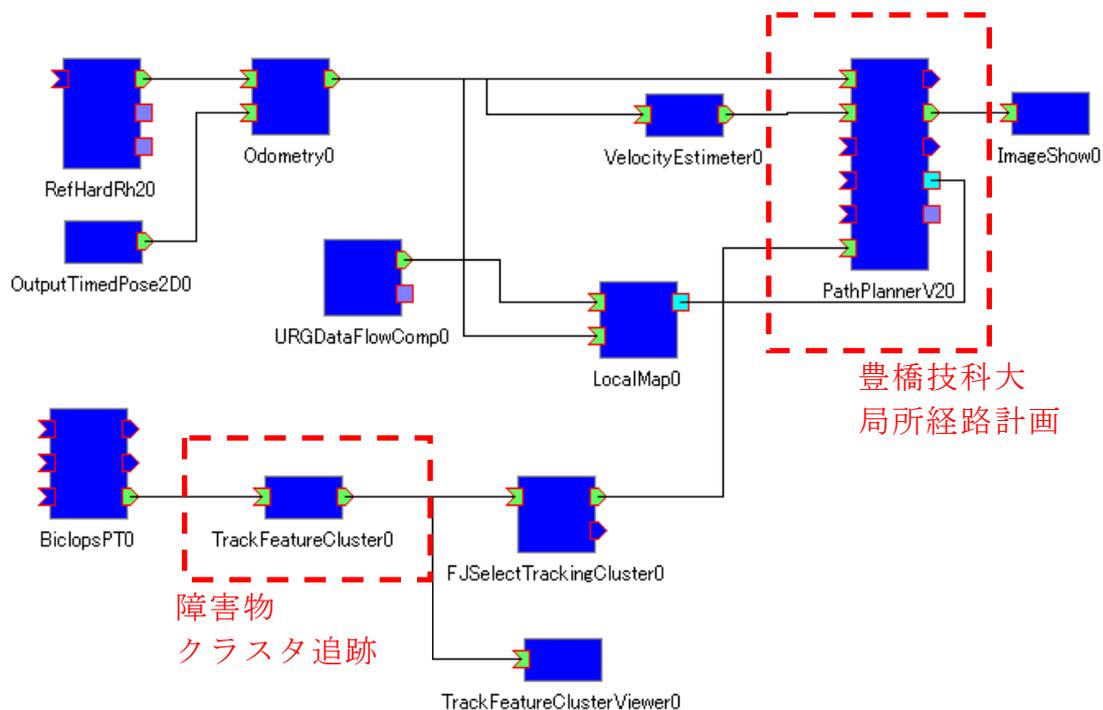


図 3.1.2.-11 人物追従システム構成

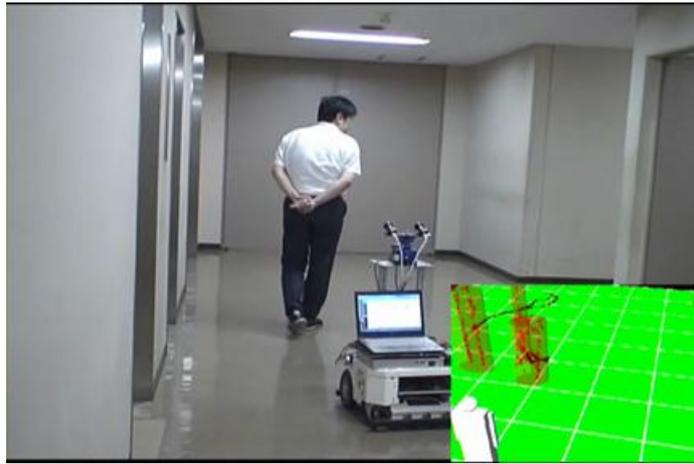


図 3.1.2.-12 人物追従動作

(2) 地図生成／自己位置推定モジュール群の開発

- 【(1) ①自己位置認識に関する知能モジュール群、
- (1) ②地図情報生成に関する知能モジュール群】

環境地図を自動生成する地図生成モジュール群、ロボットの自己位置を推定する自己位置推定モジュール群を1つのパッケージにした「地図生成／自己位置推定モジュール群」を開発した。

自己位置推定モジュール群は、レーザ測距センサによるレイアウト地図を用いた自己位置推定とランドマーク画像認識によるランドマーク地図を用いた自己位置推定を併用し、2つのセンサ情報を併用して相互に補い合うことで安定した自己位置推定を実現するモジュールである。ロボットが複雑な動的環境下で自律移動する際に、ナビゲーションの安定性を向上することができる。

地図生成モジュール群は、自己位置推定で事前地図として使用するレイアウト地図とランドマーク地図を自動生成するモジュールである。ロボットを予め決めた経路上を移動させて、オドメトリ・レーザ測距データ、ランドマーク情報を取得して保存しておけば、レイアウト地図とランドマーク地図をオフラインで自動生成することが可能である。

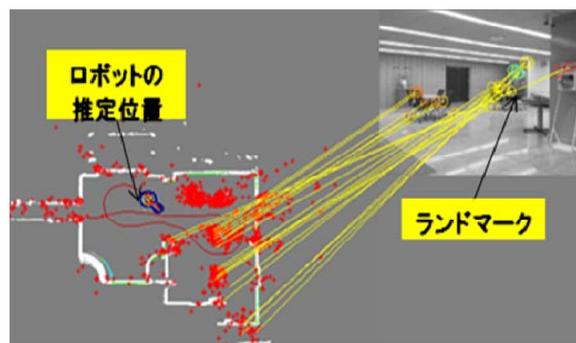


図 3.1.2.-13 ランドマーク自己位置推定 RTC

さらに、ロボットが自律移動する際に、事前地図だけではなく環境の最新地図も逐次作成し、最新地図も利用して自己位置推定を行う機能をランドマーク自己位置推定 RTC に実装しており、レイアウトが変化する環境下でも安定した自己位置推定を可能とした。

自己位置推定モジュール群と地図生成モジュール群はステレオビジョンモジュール製品サイトで公開している。

(2)-① 地図生成モジュール群

[開発背景]

地図生成技術は、ロボットの自律移動において、重要かつ不可欠な要素技術である。ロボットの自己位置推定を行うためには、ロボットに搭載したセンサの計測データと環境地図を照合する必要がある。従来はロボットの移動する実環境の建物内の地図を人手で作成して利用してきたが、ロボットを新しい環境に導入する準備作業での人的コストが大きい。特に、ショッピングセンタや公共場所などのような大規模かつ複雑である場合、手作業での地図作成は極めて困難な作業である。また、人の手入力では実環境の情報を正確に地図に反映することは困難であり、作成した地図と実環境の不整合により自己位置推定の精度が低下する問題も生じる。そこで、近年ではレーザ測距センサと **SLAM(Simultaneous localization and mapping)** アルゴリズムを用いて環境のレイアウト地図を自動生成することが広まってきている。しかし、ロボットが移動する実環境は動的で複雑であり、単一のセンサや単一の地図に基づいた自己位置推定では外乱による影響を受けやすく、ロバスト性が低下する可能性がある。このため、複数のセンサや複数の地図を同時に使用し、統合することによって自己位置推定のロバスト性を向上させることが望ましい。

そこで、本研究開発では、レーザ測距センサの距離情報とカメラから得られる画像ランドマーク情報の2つのセンサ情報を用いて地図を生成し、ロバストな自己位置推定を実現することを目指した。

複数のセンサ情報を用いて地図を生成する場合、各センサ情報の地図の座標系を一致させる必要がある。複数の地図を独立に作成すると作成した地図の座標系がそれぞれ異なる問題が生じ、このまま自己位置推定を行うと推定した座標値もそれぞれ異なってしまう。そこで、本研究開発では、座標系の不一致の問題が生じないように、統一した座標系でレイアウト地図と画像ランドマーク地図を同時に生成する手法を開発した。

さらに本手法を広く利用できるようにするために、レイアウト地図とランドマーク地図を自動生成する地図生成モジュール群としてモジュール化した。

[開発内容]

我々が開発した **SLAM** アルゴリズムでは、パーティクルフィルタに基づいてロボットの位置推定と地図生成を同時に行う。各パーティクルは、ロボットの位置姿勢、環境のランドマーク地図、レイアウト地図を情報として持つ。図 3.1.2.-14 にパーティクルフィルタに基づく環境地図生成の構成図を示す。各パーティクルを初期化した後に、走行系から読み取ったロボットの移動量に基づいてパーティクルの状態の予測更新を行う。次に **LRF** とカメラの計測情報に基づいて各パーティクルへの重みの評価更新を行う。最後に、レイアウト地図とランドマーク地図を同時に更新する。

パーティクルを共有して地図を同時更新することにより、2つの地図の座標系を一致させたまま地図を生成することが可能となる。

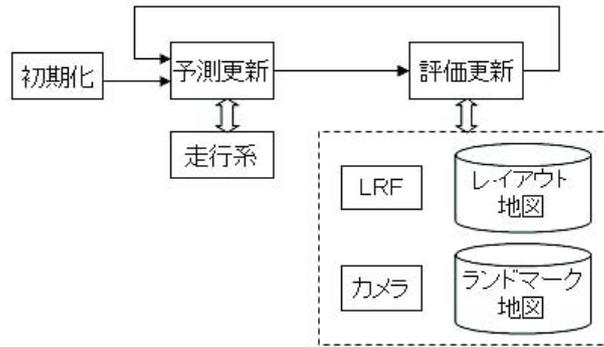


図 3.1.2.-14 ランドマーク地図とレイアウト地図との同時作成処理の流れ

この処理により、以下のレイアウト地図とランドマーク地図が生成される。

(1) レイアウト地図

レイアウト地図はレーザ測距センサの情報を用いて、壁や障害物などの物の配置情報を記述した地図である。地図は2次元のグリッドマップの形式であり、各グリッドの値は、物の存在する尤度を表している。

大規模な環境ではグリッド地図のデータ量が問題となる。メモリ消費を低減するために、環境地図をサブマップに分割して管理する手法を採用した。計算機のメモリにはロボットに近い位置にあるサブマップのみを保持し、ロボットからの距離が遠く離れたサブマップは外部のハードディスクに保存するよう管理する。自己位置推定の際もロボットの周辺のサブマップを読み込むだけ良く、大規模な環境下でのメモリ使用量を大きく削減できる。

(2) ランドマーク地図

ステレオカメラ画像の中にある特徴的な画像パターンをランドマークとして定義している。ロボットが所定の移動経路を移動し、ランドマークのパターン ID と位置情報で構成される画像ランドマーク情報を収集して、地図を生成する。

レイアウト地図とランドマーク地図を図 3.1.2.-15 に示す。下敷きとなっているグレーの地図は環境のレイアウト地図であり、その上に描いている緑の+は3次元のランドマークを平面のレイアウト地図に投影したものである。黒い線分は壁や障害物存在の確率の高い領域を示している。グレーの領域は自由領域であり、白の領域は未知の領域を示している。

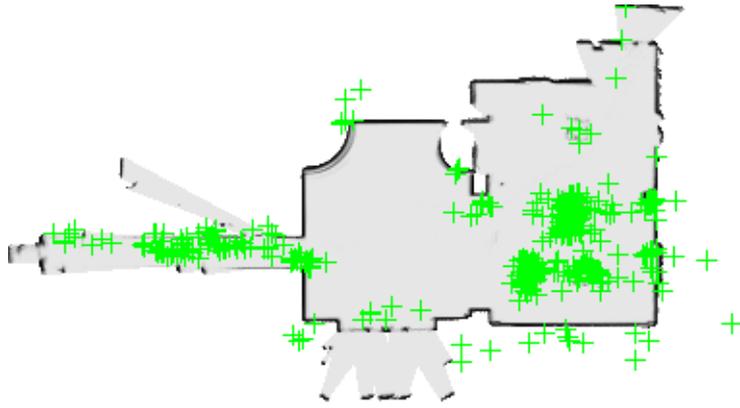


図 3.1.2.-15 生成されたレイアウト地図とランドマーク地図

[モジュール構成とインターフェース仕様]

本研究開発で開発した地図生成 RTC 群は、ロボットの移動の際に各時刻で収集した画像・レーザ・オドメトリのデータファイルを逐次読み込んでオフラインで地図生成を行う。図 3.1.2.-16 のセンサ情報収集コンポーネント群と図 3.1.2.-17 の地図生成コンポーネント群で構成される

地図作成には、まずセンサ情報収集コンポーネント群を用いて、ロボットを事前に決めた経路に沿って移動させてセンサ情報を収集する。その後、地図生成コンポーネント群を用いて収集したセンサのデータを逐次に読み込んで地図を作成する。

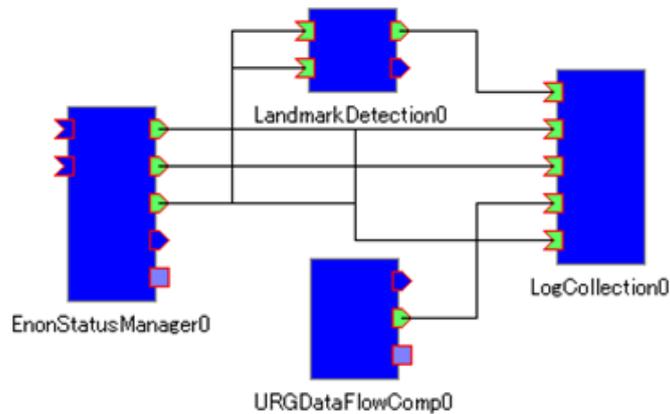


図 3.1.2.-16 地図作成のためのセンサ情報収集コンポーネント群



図 3.1.2.-17 地図生成コンポーネント群

外部インターフェースは表 3.1.2-3 の通り移動知能サブ WG で規定された IF をベースにしており、移動知能サブ WG に合わせた IF を持つ走行ハードウェア制御モジュールを利用することができる。

表 3.1.2.-3 外部インターフェース

データポート名	データ型	説明
Odometry	IIS::TimedPose2D	エンコーダ等に基づいて推定したロボットの位置姿勢情報
Velocity	IIS::TimedVelocity2D	ロボットの速度情報
LRF	RTC::RangeData	レーザ測距センサが計測した距離データ
PanTilt	FJ::FJPanTiltInfo	カメラのパンチルト角度

(2)-② 自己位置推定モジュール群

[開発背景]

ショッピングセンタ等の公共施設では、人や障害物が存在し、環境も頻繁に変化する。レーザ測距センサと建物のレイアウト地図のみを用いた自己位置推定法では、レーザの測距距離を超えるオープンスペースや人、障害物の多い領域等でレイアウト地図との照合に失敗し、自己位置推定精度が劣化して移動の安定性が低下する問題があった。

そこで、移動の安定性を向上させるためにレーザ測距センサに加え、画像ランドマークを用いた自己位置推定方式を開発した。画像ランドマークを用いた自己位置推定では、ステレオビジョンを用いてロボットが位置推定するための目印となる画像特徴の位置を計測し、その位置を記したランドマーク地図と照合することでロボットの位置を推定する。

[開発内容]

我々が開発した自己位置推定モジュールは以下の二つの特徴を持っている。

1) レーザ測距センサと画像ランドマークを併用した自己位置推定

ロボットが複雑な動的環境下で自律移動する際に、人や障害物などによってレーザ測距センサの計測データと地図との照合に誤差が生じる可能性がある。また、ロボットがレーザの届かないオープンな領域に進入した場合、自己位置推定の手がかりとする情報が不足し、自己位置推定に失敗する可能性がある。

我々が開発した自己位置推定モジュールは、レーザ測距センサと画像ランドマーク情報を併用して相互に補い合って自己位置推定を行う。人が存在してレーザが遮蔽されるような場合でも、人の上にある高い場所にあるランドマーク情報を位置推定に利用することができる。

2) レイアウト地図の更新

ショッピングセンタのように商品の並び方でレイアウトが変化する環境下では、事前に作成した地図と実環境の不整合が発生する。この場合、自己位置推定の安定性が低くなり、自律移動に失敗することがある。そこで、ロボットが自律移動する際に、環境の最新地図も逐次作成し、レイアウト変化を反映した最新地図も利用して自己位置推定を行う方式を開発した。

移動する地点の指定は事前地図を基にして行うため、最新地図の座標系と事前地図の座標系と一致する必要がある。我々が開発した方式は、事前地図を事前知識として用いて最新地図を生成することにより、事前地図と同じ座標系となる最新地図を生成する。

このように最新地図と事前地図と連携することによって、レイアウト変化がある場合でも安定した自己位置推定を実現した。

[モジュール群の構成と仕様]

開発した自己位置推定モジュール群は、ランドマーク観測 RTC、ランドマーク自己位置推定 RTC、フィルタ RTC の3つの RTC で構成される。

- ・ランドマーク観測 RTC (LandmarkDetection RTC)

自己位置推定に用いる画像ランドマークの検出、3次元位置の計算、特重量の算出を行う。ステレオ画像ハードウェアで処理する。

- ・ランドマーク自己位置推定 RTC (LandmarkLocalization RTC)

画像ランドマーク情報とレーザ測距センサ情報を利用した自己位置推定を行う。事前地図と最新地図と連携した自己位置推定を行う機能を持つ。また、画像ランドマーク情報のみを用いた自己位置推定も可能。

- ・フィルタ RTC (EstimatedPoseFilter RTC)

ランドマーク自己位置 RTC の推定結果とオドメトリ情報を統合し、推定のばらつきを抑えるフィルタ処理を行う。フィルタ結果はオドメトリ情報が入力される毎に出力される。

これら RTC は、実行するハードウェアや実行周期に違いがあるため、異なる RTC として実装されている。図 3.1.2.-18 に富士通サービスロボット enon を用いる場合の自己位置推定モジュール群の構成を示す。

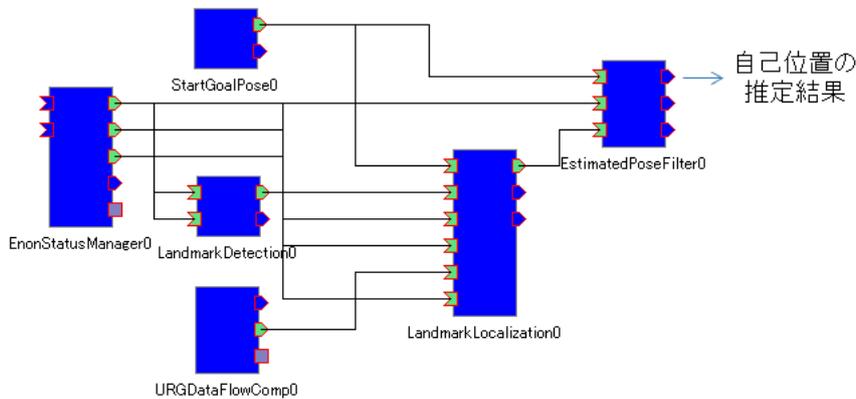


図 3.1.2.-18 自己位置推定モジュール群の構成

外部インターフェースは表 3.1.2.-4 の通り移動知能サブ WG で規定された IF をベースにしており、移動知能サブ WG に合わせた IF を持つ走行ハードウェア制御モジュールを利用することができる。

表 3.1.2.-4 自己位置推定モジュール群の外部インターフェース

入力ポート

データポート名	データ型	説明
StartPose	IIS::TimedPose2D	ロボットの位置姿勢の初期値
Odometry	IIS::TimedPose2D	エンコーダ等に基づいて推定したロボットの位置姿勢情報
Velocity	IIS::TimedVelocity2D	ロボットの速度情報
LRF	RTC::RangeData	レーザ測距センサが計測した距離データ
PanTilt	FJ::FJPanTiltInfo	カメラのパンとチルト角度

出力ポート

データポート名	データ型	説明
Pose	IIS::TimedPose2D	推定したロボット位置姿勢
GridMap	FJGridMap	グリッドマップ地図
Error	RTC::TimedString	モジュールのエラーステータス情報

(3)モジュールの検証

オフィス廊下、オフィスロビー、大学食堂、展示会等の人が混在する複数の環境で、地図生成／自己位置推定モジュール群を用いた自律移動を行い、安定した自律移動ができることを確認した。また、enon、リファレンスハードウェア、トヨタ自動車実験用ロボット、HRP2-Vの4つのロボットでの自律移動動作を確認した。これにより、地図生成／自己位置推定モジュール群の環境に対するロバスト性と複数のロボットシステムに利用できる再利用性を示した。

この検証の詳細についてはサービスロボットの有効性検証で述べる。

(3) 経路計画モジュール群の開発

【(2) ②動的経路計画に関する知能モジュール群】

動的経路計画に関する知能モジュール群は、指定したゴール地点へ移動するように経路計画を行うモジュール群である。このモジュール群は大域経路計画モジュール、局所経路計画モジュール、走行軌道制御モジュールの3つのモジュールで構成されている。

・大域経路計画モジュール

事前に作成したグラフ形式で表現された環境のトポロジー地図を用いて、スタート地点からゴール地点への経路を探索して出力する。トポロジー地図は、移動可能な自由空間凸領域をグラフのノード、自由空間凸領域間を結ぶコネクタをエッジとしたグラフ形式の地図である。移動開始地点とゴール地点を与えると、自由空間凸領域間のコネクタを通る最短経路を探索し、通るコネクタ点列を経由点列として出力する。さらに、移動中に人や障害物によって経路が塞がれた場合、迂回経路を生成する機能も実装した。

・局所経路計画モジュール

自己位置推定モジュール群で推定した自己位置と姿勢、障害物の位置情報に基づき、大域経路に沿ってかつ障害物と衝突しないようにロボットの移動経路を計画する。障害物の回避機能と障害物に近づきすぎたスタック状態から脱出する例外処理機能を実装した。

・走行軌道制御モジュール

局所経路計画モジュールが生成した移動経路から、ロボットの直進速度と回転速度を算出して、走行制御モジュールに送る。レーザ測距センサの情報を用いて近くにある障害物の位置情報を監視して停止する安全機能を実装した。

このように、迂回経路計画機能を有する大域経路計画モジュール、障害物回避やスタック脱出機能を有する局所経路計画モジュール、安全機能を有する走行軌道制御モジュールを組み合わせることによって、公共施設等の人が混在する環境下で安全に自律移動する機能を実現した。

(4) 統合実験用モジュール群の開発

【(3) 知能モジュール群の有効性検証】

移動知能モジュール群を検証するために、下記のようなロボットハードウェアに関するモジュールと移動モジュール群の管理を行うモジュール群を開発し、移動知能モジュール群の有効性を検証できる環境を構築した。

- ・ enon 走行制御モジュール

富士通サービスロボット enon の走行を制御するモジュールである。走行軌道制御モジュールから出力した直進速度と回転速度に従いロボットの移動制御を行う。また、エンコーダなどの内的センサに基づいて推定したロボットの位置姿勢、回転速度、カメラのパンチルト角度の情報を出力する。

- ・ 移動指示 GUI モジュール

予め設置した複数の地点の中から、ユーザが目的地を選択してロボットの移動指示を行うための GUI 機能を提供する。

- ・ 移動タスク管理モジュール

ユーザからの移動指示等に基づき、自己位置推定モジュール群と経路計画モジュール群等の各モジュールの起動制御を行うモジュールである。各モジュールの内部ステータスを監視しており、エラーを検出したらロボットが即停止するように、各モジュールを停止させる。経路計画モジュール群からロボットが目的地に到達したことを通知されたら、各モジュールを停止させ、新しい移動タスクを受けとるまで待機状態にする。

(5) まとめ

共通基盤プロジェクトで開発した LSI を活用したステレオ画像処理ハードウェア、本ハードウェアを利用した画像処理用モジュール群、画像ランドマークとレーザセンサを用いた地図生成／自己位置認識モジュールを開発した。

さらに、経路計画モジュール群と統合実験用モジュール群もあわせて開発し、各移動知能モジュールを統合した自律移動を検証するための環境を構築した。

ステレオ画像処理ハードウェアは既に製品化しており、富士通九州ネットワークテクノロジーズより製品名「ステレオビジョンモジュール」で販売を行っている。さらに、画像処理用モジュール群と地図生成／自己位置認識モジュールをステレオビジョンモジュール製品サイトで公開し、成果の普及に務めた。

3.4.1.3.1.3 地図情報生成および移動行動計画に関する智能モジュール群

の研究開発（豊橋技術科学大学）

（1）地図生成／自己位置推定モジュール群の研究開発

【（1）①自己位置認識に関する智能モジュール群，（1）②地図情報生成に関する智能モジュール群】

本項目では，地図生成（局所地図，大域地図）および自己位置推定に関する智能モジュールを開発する．以下に開発したモジュールの説明を行う．

（ア）局所地図生成モジュール

ロボット周囲の局所的な領域の障害物の配置を記した地図（局所地図）を生成する．地図はロボットを中心とし，ロボット座標系で記述した確率的グリッド地図とし，安全な移動行動の計画に利用する．距離データの誤りや移動物体の存在を考慮した確率的観測モデルを用いて，新たなデータが得られるたびに，ベイズ則により情報を統合し，各位置での障害物の存在確率を更新する．局所地図の生成の際には，ロボットの移動量は小さく誤差も小さいとして，オドメトリによって得られた移動量を用いて，複数距離情報の統合を行う．

図 3.1.3-1 は局所地図の生成例である．図中，左に示すシーンで生成された地図を右に示す．地図中の三角形はロボットの位置と向きを示し，暗いところほど物体の存在確率が低いことを示す（黒が確率 0，白が確率 1）．ロボット右前方の壁が明確に認識されていることが分かる．

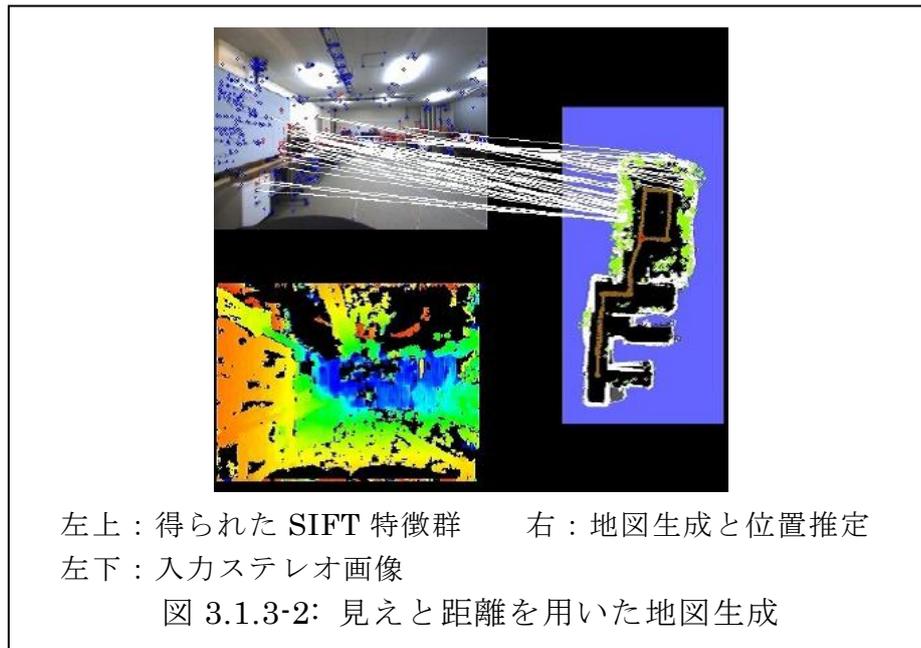


（イ）大域地図生成モジュール

広域の地図を生成する際には，ロボットの移動量の誤差を無視できない．そこで，位置と地図の同時推定（SLAM, Simultaneous localization and mapping）を行う必要がある．廊下のような環境では距離センサを用いて周囲の壁を検出することが容易である．一方，室内で机や椅子，その他多くの物体が存在するときには，多くの視覚特徴が得られるため，それらを利用することが考えられる．そこで，画像から得られる見え情報（SIFT 特徴）とレーザ距離センサから得られる距離情報を併用して，信頼性の高い地図を生成する．SLAM 問題を位

置の推定と位置がわかった上での地図の推定に分割して扱う FastSLAM アルゴリズムを基本として，SIFT 特徴の種類と位置を記録したランドマーク地図と距離センサデータを利用した確率的グリッド地図を併用し，どちらか一方の情報だけを用いた場合に比べてより精度の高い地図生成が可能である。

図 3.1.3-2 は地図生成過程の例である。左上の画像中で抽出された SIFT 特徴と地図に記録されたランドマークとの対応が白い線で示されている。開発したモジュールでは，2 種類の情報の両方，あるいはどちらか一方のみを用いた地図生成が行える。また，図 3.1.3-3 に距離センサのみを用いて広域の地図を生成した結果を示す。



(ウ) 自己位置認識モジュール

前項の大域位置推定で生成した地図，あるいは別途作成し同じフォーマットで記述した地図を用いてモンテカルロ位置推定を行う。見え情報と距離情報の両方，あるいはどちらか一方を位置推定に利用する。

(2) 人発見・追跡モジュール群の研究開発

【(2) ①人・障害物認識に関する知能モジュール群】

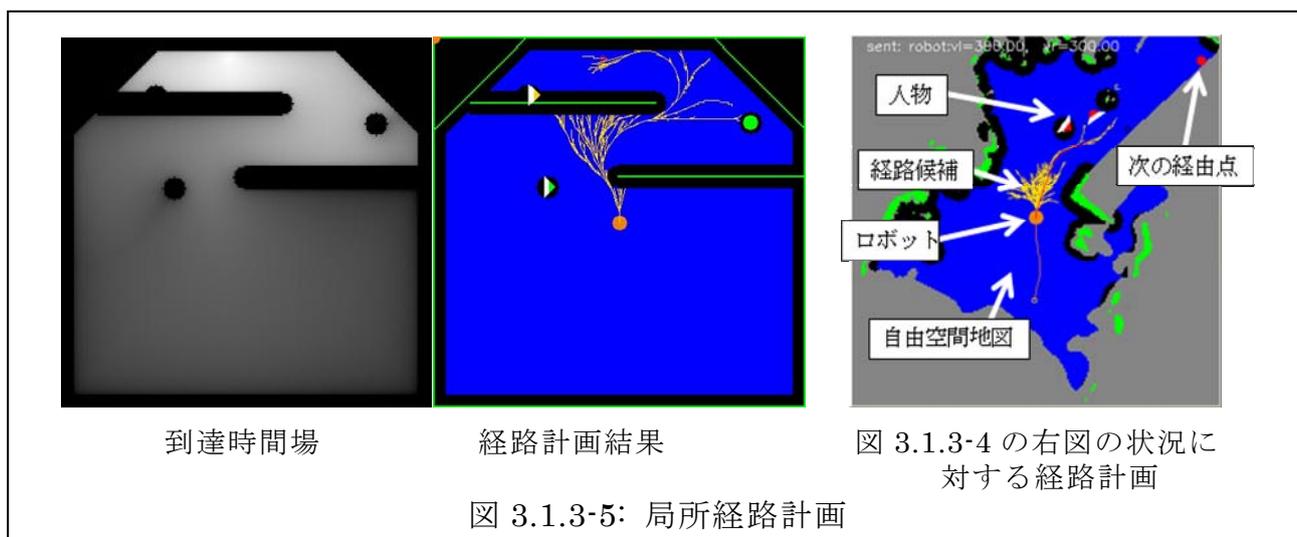
公共空間では多くの人物が存在し、それらを確実に認識し回避することは不可欠である。また、サービスロボットでは特定の人物を認識し、付き添いなどの行動を行う必要がある。ここでは、ステレオ画像を入力とし、距離画像テンプレートを基に人物候補領域を検出し、さらにサポートベクトルマシンに基づく人物識別器で偽候補を排除し人物を検出する。図 3.1.3-4 に検出の様子を示す。



(3) 移動行動計画モジュール群の研究開発

【(2) ②動的経路計画に関する知能モジュール群】

本項目では、ロボット周囲の動的および静的障害物の状況から安全な経路をリアルタイムで計画する局所経路計画、および広い環境において現在位置から目的位置までの効率のよい経路を生成する大域経路計画を行うモジュールを開発する。



(ア) 局所経路計画

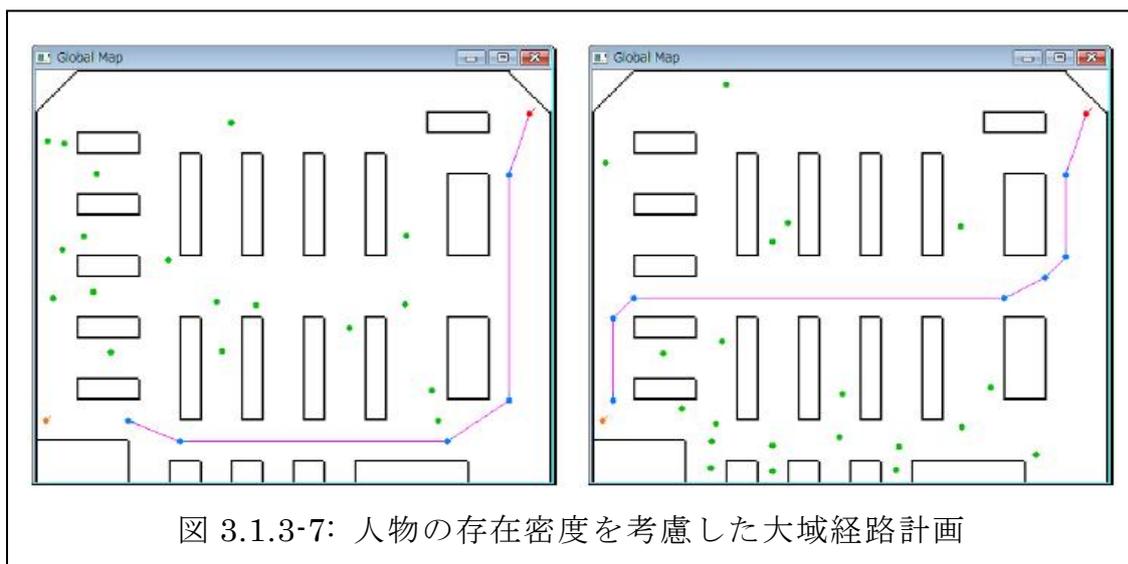
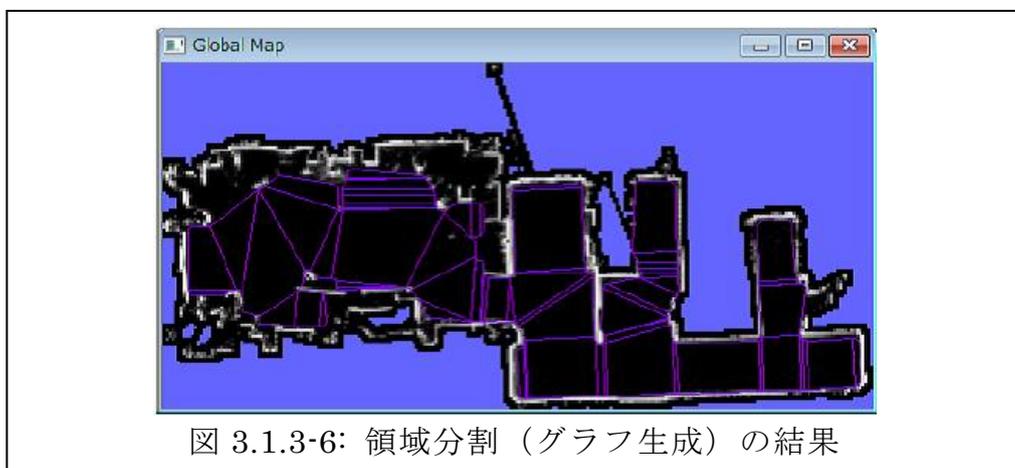
人が行き交う環境で移動するためには、安全な移動動作を高速に生成する必要がある。そして、可能な限り無駄な動きをしないようにすることが望まれる。また、車輪移動ロボットでは多くの場合、運動学的・動力学的拘束 (kinodynamic

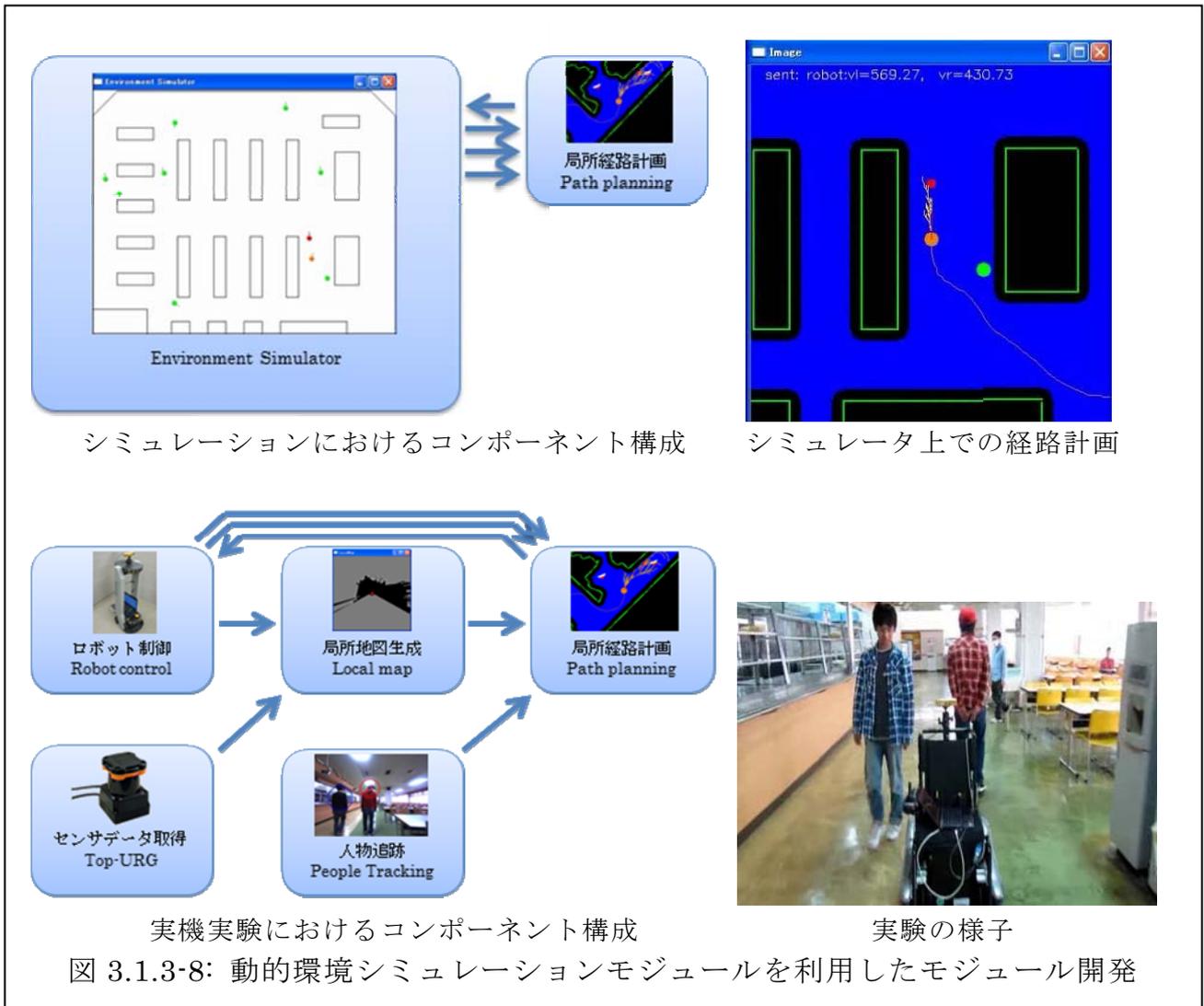
constraints) を考慮する必要がある。そこで、拘束を満たす動作セットをあらかじめ与えておくものとし、高速に経路生成が可能な RRT (Rapidly-exploring Random Tree) 法により拘束を満たす経路を探索する。RRT 法は一般に空間を幅広く探索するので、通行可能領域の解析に基づいて計算した有望な移動方向に関する情報（到達時間場と呼ぶ）で制御することにより、効率的に経路生成を行う。図 3.1.3-5 の左の図は到達時間場を表し、明るい場所ほど目的位置に近いことを表す。中央の図は経路計画の結果を表し、目的位置へ向かう方向へ探索が集中していることが分かる。また、右の図は図 3.1.3-4 の右図の状況に対応した経路計画結果である。

開発したモジュールは検出された人物の中の特定の人物を追跡するモードと、指定された経路点系列を順にたどるモードの 2 つをもち、状況に応じて使い分けることができる。

(イ) 大域経路計画

自由空間（衝突せずに移動できる空間）の地図が与えられて、現在位置から目的位置へ移動するための、経路点の系列を生成する。そのために、自由空間を制約付きドロネー三角形分割を基本とする方法により凸多角形の集合に分割し、各凸多角形領域をノード、領域の連結関係をリンクとするグラフを作成し、グラフ上で経路を生成する。経路点間の移動は局所経路計画モジュールが担当するため、この段階ではロボットの機構等は考慮せず、その代わりに各領域の人の密度を考慮して、密度に依存した速度を設定することにより、混雑を避ける経路を生成することができる。図 3.1.3-6 に大域地図生成モジュールが作成した自由空間地図の分割・グラフ化の例を示す。また、図 3.1.3-7 に人物の密度を考慮した経路生成の例を示す。





(4) 動的環境シミュレーションモジュールの開発

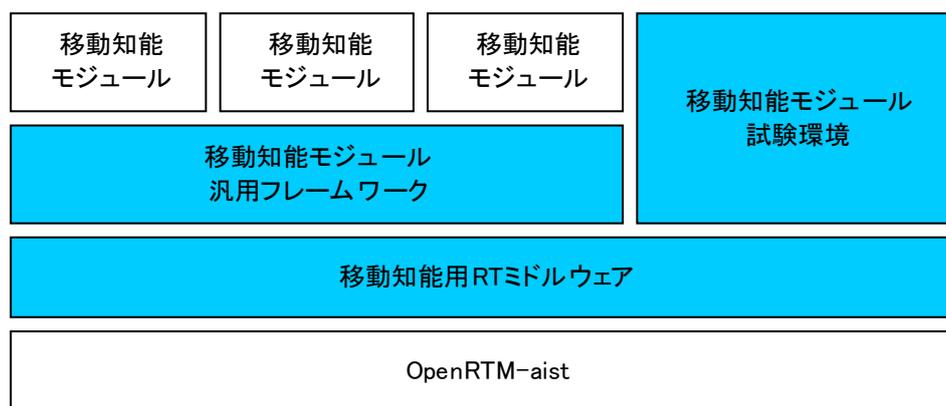
【(3) 知能モジュール群の有効性検証】

モジュール化ソフトウェア開発では、必要なコンポーネントをすべて組み合わせた実験のみでなく、各コンポーネントを個別に開発・検証できる環境が重要である。開発した動的環境シミュレーションモジュールは、環境の形状、人物の動きなどを細かく設定することができ、また仮想ロボット制御、仮想センサデータ取得、人物追跡情報、地図情報などを共通化されたインターフェースで入出力することができるため、シミュレーションモジュールを用いて開発したコンポーネントをそのまま実際のロボットに利用して実験を行うことが可能である。図 3.1.3-8 にシミュレーションと実機での実験の様子を示す。これは、シミュレーションモジュールを利用して開発した局所経路計画モジュールを、実際のロボットに適用して実験を行う過程を示している。

3.4.1.3.1.4 移動知能用 RT ミドルウェアの開発（株式会社セック）

人や障害物が混在する状況において、ロバストで汎用的な移動知能モジュールを実現するためには、リアルタイム処理はもちろんのこと、モジュール間の優先度や同期制御、センサなどのリソースの管理なども考慮する必要がある。本実施項目では、こうした移動知能モジュールを実現するために必要となる、実時間並列協調動作のためのフレームワークとして、移動知能用 RT ミドルウェアの開発及び検証を目的として、研究開発を実施した。

本実施項目での具体的な開発項目は、移動知能用 RT ミドルウェア、移動知能モジュール汎用フレームワークおよび移動知能モジュール試験環境である。移動知能用 RT ミドルウェアは、独立行政法人産業技術総合研究所が開発した RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist をベースとし、移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提供するミドルウェアである。移動知能モジュール汎用フレームワークは、移動知能用 RT ミドルウェアを用いて容易に移動知能モジュールを開発するための枠組みを提供する。移動知能モジュール試験環境は、開発した移動知能モジュールの動作検証を容易に行うための環境を提供することを目的としている。開発項目間の関係図を以下に示す。



移動知能用 RT ミドルウェアの開発項目間の関係図

以降では、開発項目ごとの開発内容を述べる。

(a) 移動知能用 RT ミドルウェア及びシステム系モジュールの研究開発

移動知能用 RT ミドルウェアは、OpenRTM-aist をベースとし、移動知能ロボットを構築するために有益な共通機能を実装したミドルウェア層ソフトウェアである。移動知能用 RT ミドルウェアでは、RT ミドルウェアを移動知能用に拡張するとともに、他の研究開発項目で開発される移動知能モジュールで共通的、汎用的に利用できるモジュールを、システム系モジュール群として提供する

移動知能用 RT ミドルウェアは、以下のモジュールから構成される。

移動知能用 RT ミドルウェアのモジュール一覧

モジュール名称	機能概要
システム管理	システムの起動処理や終了処理を管理する。また、システム内の RT コンポーネントの動作管理を行う。異常が検出されれば、対応する異常処理を行い、システムを停止する。
リソース管理	システム内の RT コンポーネント間を流れるデータリソースの最適化管理、同期管理を行う。
デバッグ管理	システム内の RT コンポーネントのデバッグ情報をコントロールし、蓄積する。
外部システム接続	既存レガシーシステムの接続を容易にする。

以降では、上記モジュールごとの開発内容について述べる。

(a-1) システム管理モジュール

移動知能ロボットは、移動制御、自己位置推定、障害物検知、地図生成、行動計画など、多くのロボット技術によって構成される。本実施項目では、これらのロボット技術をモジュール化した RT コンポーネントを組み合わせることで移動知能ロボットを構築する。

移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントは数十個にもなるため、RT コンポーネントの起動や終了、RT コンポーネント間の接続を自動的に行う仕組みが必要になる。また、RT コンポーネントは、移動知能ロボット内部に搭載された複数のプロセッサ上に分散して配置されるため、ネットワークを介して RT コンポーネントの起動終了や RT コンポーネントの動作管理を行う仕組みも必要になる。

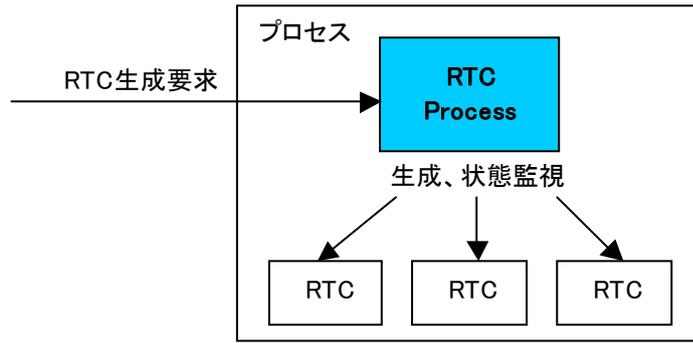
移動知能用 RT ミドルウェアは、これらの仕組みを提供するために、システム管理モジュールを用意する。システム管理モジュールは、以下の 4 つの子モジュールにより構成される。

- (1) RTC Process
- (2) RTC Process Factory
- (3) Subsystem
- (4) System Controller

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

(a-1-1) RTC Process

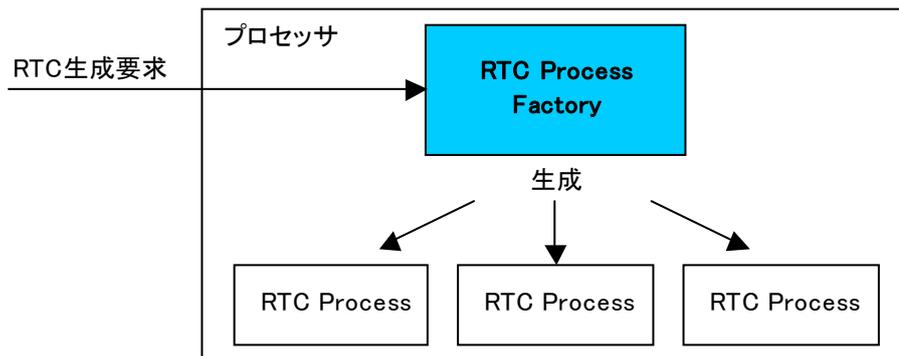
RTC Process は、RT コンポーネントのライフサイクルを管理する。プロセス毎に 1 つ存在し、外部からの要求に応じて、自らが所属するプロセスに RT コンポーネントを生成する。また、生成した RT コンポーネントの状態監視を行い、異常を検知すると、外部に通知する仕組みも備える。



RTC Process による RT コンポーネントの生成、監視

(a-1-2) RTC Process Factory

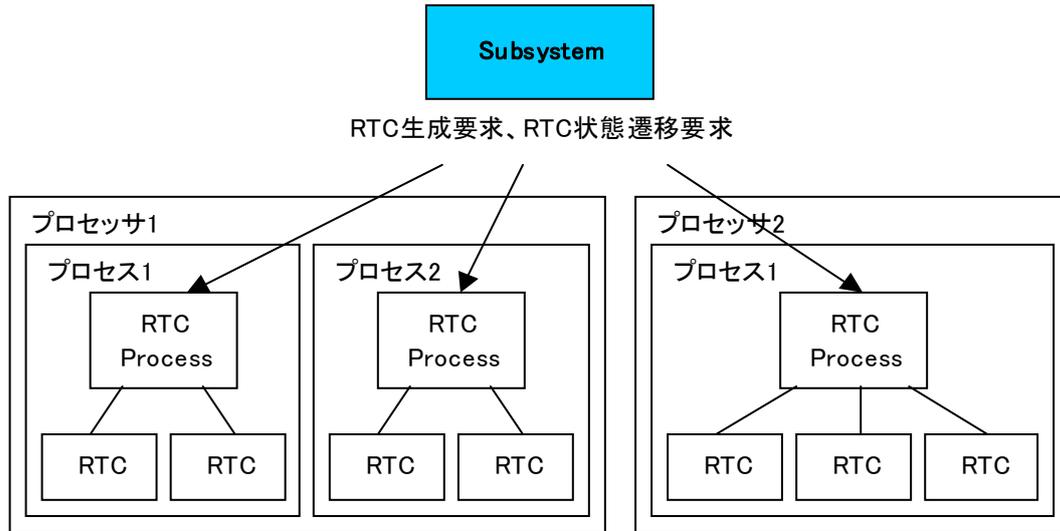
RTC Process Factory は、プロセッサごとに 1 つ存在し、RT コンポーネントの生成要求を受け付ける。外部から RT コンポーネントの生成要求があった場合、RTC Process Factory は RTC Process を生成し、RTC Process に RT コンポーネントの生成を要求する。



RTC Process Factory による RTC Process の生成

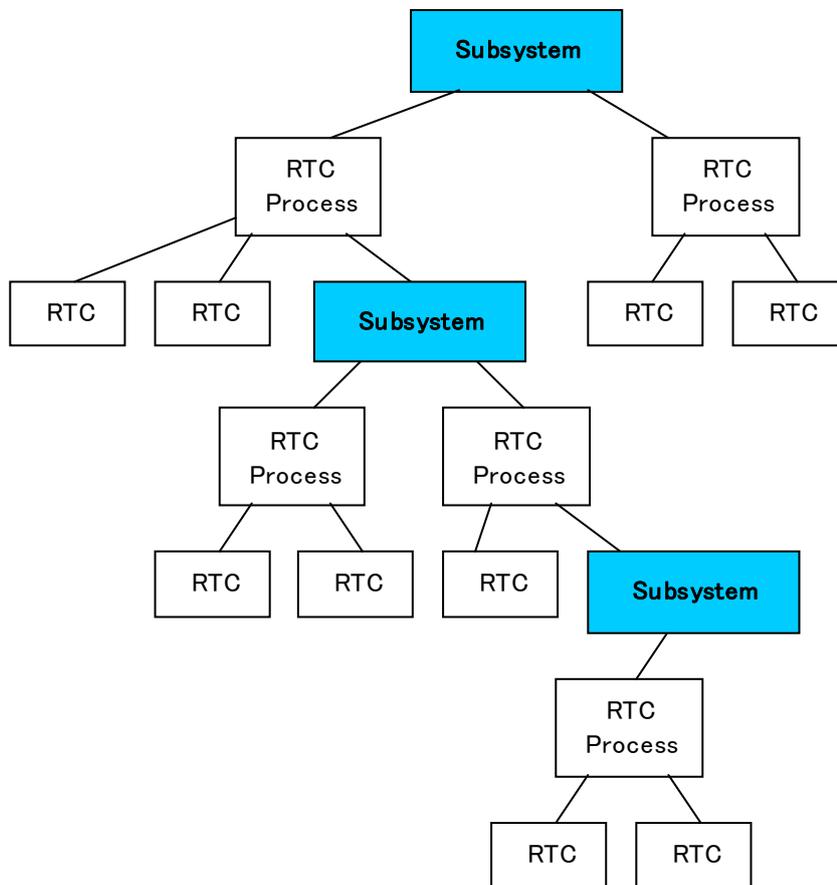
(a-1-3) Subsystem

Subsystem は、システム構成を管理する。RTC Process Factory が生成した RTC Process を用いて、システムに必要な RT コンポーネントを生成する。また、RT コンポーネント間の接続、RT コンポーネントへの状態遷移の指示も行う。



Subsystem による RT コンポーネントの生成

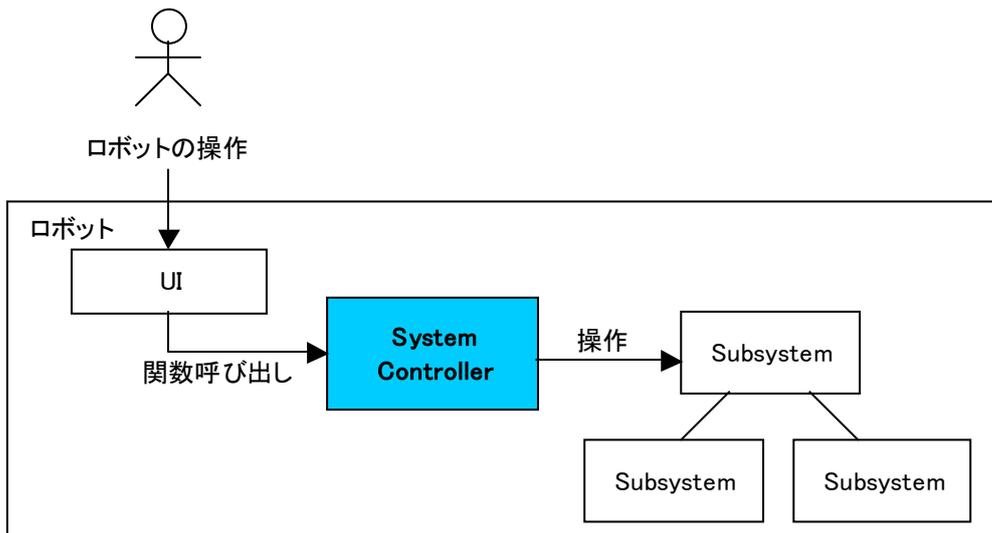
Subsystem の名称に”Sub”が付与されているのは、Subsystem を階層化し、Subsystem が他の Subsystem を管理するようにシステムを構成することが可能だからである。これにより、例えば、移動知能ロボットを管理する Subsystem を階層化し、複数の移動知能ロボットで構成されるロボットシステムを構築することが可能になる。



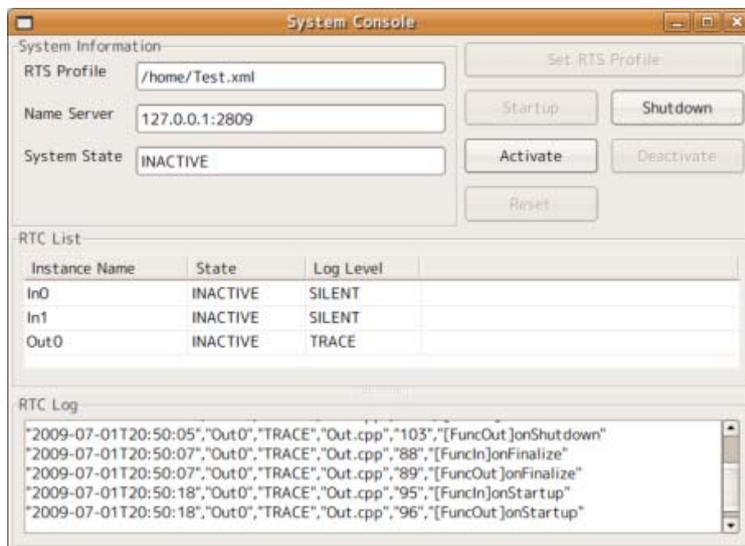
Subsystem の階層化

(a-1-4) System Controller

System Controller は、階層化された Subsystem のうち、最上位の Subsystem を操作するためのライブラリである。主に、移動知能ロボットの起動を行う UI アプリケーションを作成するために用いる。単純化された UI アプリケーションを介して Subsystem を操作することによって、RT ミドルウェアの知識を持たない利用者でも容易にロボットを操作できるようにする。



System Controller による Subsystem の操作



System Controller を利用した GUI の例

(a-2) リソース管理モジュール

RT ミドルウェアを用いた移動知能ロボットは、内部に搭載された複数のプロセス上に RT コンポーネントを分散して配置する。RT コンポーネント間でのデータ

の送受信はネットワークを介して行われるため、RT コンポーネントの数が増加するに伴い、ネットワークトラフィックが増加する課題がある。

移動知能用 RT ミドルウェアでは、この課題を解決するため、リソース管理モジュールを用意する。リソース管理モジュールは次の 2 つの子モジュールから構成される。

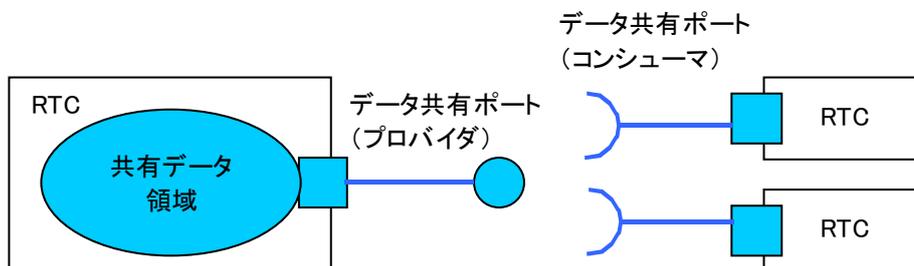
- (1) データ共有ポート
- (2) データ同期ポート

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

(a-2-1) データ共有ポート

データ共有ポートは、RT コンポーネント間でデータを共有するためのポートである。OpenRTM-aist では、RT コンポーネント間の通信手段としてデータポートとサービスポートという 2 種類のポートを用意している。データ共有ポートは、サービスポートを拡張し、データ共有のための機能を実装している。

データ共有ポートには、サービスポートと同様に、プロバイダとコンシューマという 2 種類のインタフェースがある。プロバイダは、共有データ領域を持ち、他の RT コンポーネントにデータ共有領域を公開する。コンシューマは、プロバイダが公開している共有データ領域を RT コンポーネントから操作する手段を提供する。

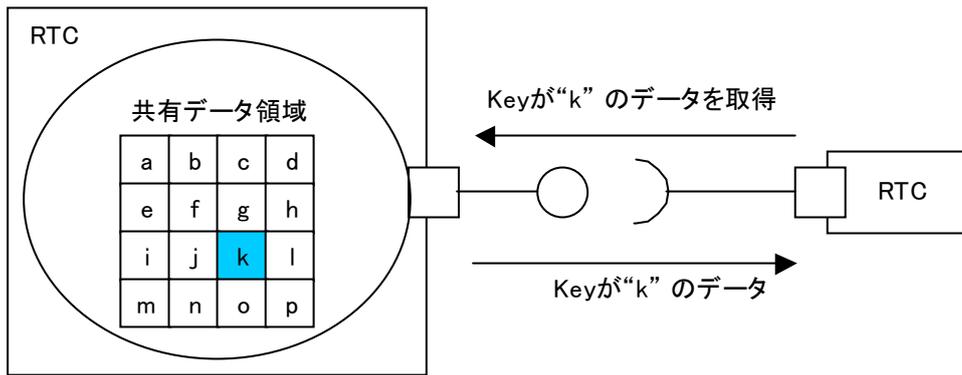


データ共有ポートのプロバイダとコンシューマ

データ共有ポートは、次の 2 つの方法を採用することで、ネットワークトラフィックを削減する。

(1) 共有データの分割管理

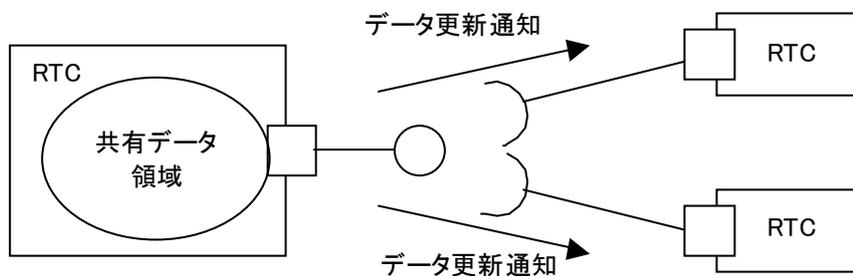
データ共有ポートのプロバイダが持つ共有データ領域は、Key-Value Store (KVS) として構成される。これにより、Key を指定してデータの一部分のみを取り出すことが可能になり、ネットワークトラフィックを削減できる。例えば、地図データを管理する場合、人や障害物情報の追加や更新、経路計画などに必要となるデータは、地図データ全体の一部分であることが多い。この場合に、地図データ全てを送信するのは非効率である。人や障害物の ID、地図上の座標などを Key として、必要な地図データだけを取り出して送受信することで、ネットワークトラフィックの増加を抑えることができる。



共有データ領域から Key を指定してデータを取得する

(2) データ更新通知

コンシューマが共有データ領域のデータを取得する方法としては、コンシューマ側が能動的に共有データ領域を参照する方法と、データが更新された場合にプロバイダ側からコンシューマに通知する方法が考えられる。どちらの方法がより効率的かは、データの更新頻度によって異なる。そのため、データ共有ポートは、コンシューマ側が能動的に共有データ領域を参照するインタフェースだけでなく、コンシューマ側にデータ更新通知を行う仕組みも備えている。データ更新通知を行う際は、データそのものは通知せず、更新されたデータの Key のみを通知することで、ネットワークトラフィックを削減する。

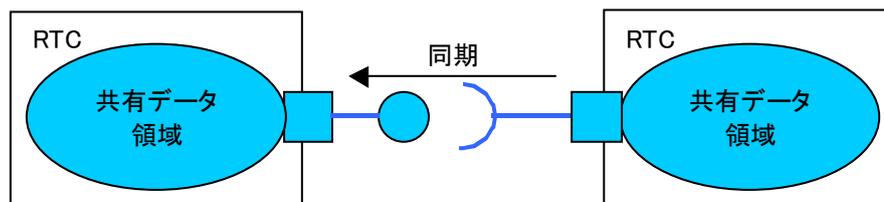


共有データ領域からのデータ更新通知

(a-2-2) データ同期ポート

データ共有ポートは、共有データ領域を持つ1つのプロバイダを複数のコンシューマが参照する構成になっている。コンシューマの数が増加するに伴い、データ共有ポートが利用する特定通信路のネットワークトラフィックが増加する問題がある。この回避策として、共有データ領域を分散管理し、ネットワークトラフィックを複数の通信路へ分散させる方法が考えられる。この方法を採用する場合、複数の共有データ領域間で、データの同期を取る必要がある。

データ同期ポートは、2つの共有データ領域の同期を行うポートである。データ共有ポートと同様に、OpenRTM-aist のサービスポートを拡張して実装している。データ同期ポートを利用することで、データ共有ポートのプロバイダが持つ共有データ領域の内容を同期させることができる。



データ同期ポートによる共有データ領域間の同期

(a-3) デバッグ管理モジュール

RT ミドルウェアを用いた移動知能ロボットの開発では、RT コンポーネントに対するデバッグ作業が頻繁に行われる。RT コンポーネントはネットワーク上に分散して配置されているため、RT コンポーネントのデバッグ情報もネットワーク上に分散している。移動知能ロボットのように多数の RT コンポーネントを扱う場合、分散したデバッグ情報を統合するだけで多くの手間がかかり、デバッグ作業の効率が低下する。

移動知能 RT ミドルウェアでは、デバッグ管理モジュールによって、RT コンポーネントのデバッグ情報を一元管理するための仕組みを提供する。

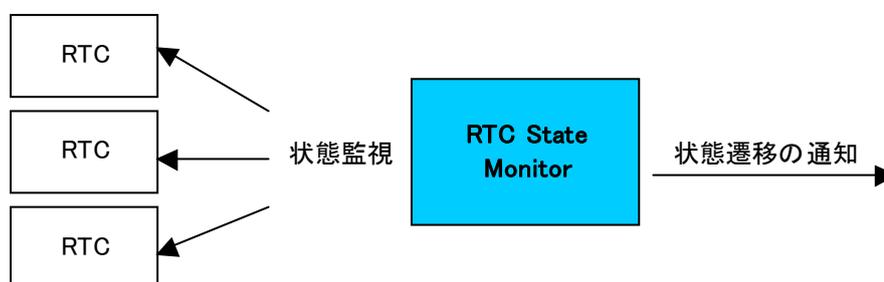
デバッグ管理モジュールは次の 2 つの子モジュールから構成される。

- (1) RTC State Monitor
- (2) Log Collector

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

(a-3-1) RTC State Monitor

RTC State Monitor は、移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントの状態遷移の情報を管理する。移動知能ロボットを構成する全ての RT コンポーネントの状態を周期的に監視し、状態が遷移した RT コンポーネントがあれば、外部に情報を通知する。

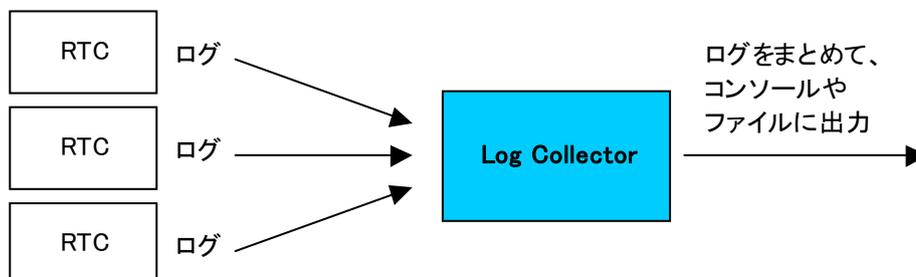


RTC State Monitor による RT コンポーネントの状態監視

(a-3-1) Log Collector

Log Collector は、移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントが出力するログ情報を一元管理する。Log Collector が各 RT コンポーネントから収集したログ情

報は、まとめてコンソールやファイルに出力できる。また、ログ情報にはログの出力レベルが設定されており、重要度や必要性に応じてフィルタリングを行うことができる。ログの出力先や、ログ出力レベルによるフィルタリングの設定は、コンフィギュレーションファイルに記述されており、これを書き換えることで、設定を変更できる。



Log Collector による RT コンポーネントのログ収集

ログ出力レベル一覧

ログレベル		意味
高	FATAL	重大なエラー
	ERROR	一般的なエラー
↑	WARN	警告
↓	INFO	情報の通知
低	DEBUG	デバッグ用
	TRACE	コードのトレース用

(a-4) 外部システム接続モジュール

RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築する際、全ての機能を新規に開発するのではなく、既存の資産を流用して開発を進める場合が多い。移動知能 RT ミドルウェアでは、移動知能モジュール汎用フレームワークが提供するソースコード生成機能を用いることで、コアロジックを容易に RT コンポーネント化できる。これにより、既存資産を容易に RT コンポーネント化し、RT ミドルウェアをベースとしたシステムに統合できるようになる。移動知能モジュール汎用フレームワークについては次項で述べる。

移動知能 RT ミドルウェアの開発では、RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提案、開発してきた。これらの機能の多くは、移動知能ロボットに限らず、RT ミドルウェアを用いたあらゆるロボットの構築に必要な不可欠である。そのため、移動知能 RT ミドルウェアのシステム管理モジュールとデバッグ管理モジュールが提供する機能は、移動知能 RT ミドルウェアが

ベースとしている RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist のバージョン 1.1.0-RC3 (2012 年 2 月末時点の最新バージョン) に取り込まれた。これにより、RT ミドルウェアを利用する全てのロボット開発者がより容易にロボットを構築することが可能になった。

(b) 移動知能モジュール汎用フレームワークの研究開発

OpenRTM-aist は、RT コンポーネント開発に有用な機能を多数提供しており、それらの機能を活用することで、高機能な RT コンポーネントの開発が可能になる。しかし、その一方、多くの特殊な機能をむやみに利用すると、汎用性が低下し、再利用が困難になる場合がある。また、利用方法が難しい機能も多くあり、OpenRTM-aist の内部実装に精通していないと、誤った利用によって RT コンポーネントの品質の低下を招く恐れがある。

OMG で標準化されている RT コンポーネント仕様は、汎用的なコンポーネントモデルは規定しているものの、RT コンポーネントの実装方法や RT コンポーネント間のインタフェースについては規定していない。

そこで、移動知能モジュール汎用フレームワークでは、コアロジックの RT コンポーネント化とインタフェース規定についての枠組みを提供する。これにより、汎用性と再利用性が高い RT コンポーネントを容易に開発できるようになる。

移動知能モジュール汎用フレームワークは、以下の 2 つの要素から構成される。

- (1) RT コンポーネント実装ガイドライン
- (2) ソースコード生成

以降では、上記要素の概要について述べる。

(b-1) RT コンポーネント実装ガイドライン

移動知能モジュール汎用フレームワークでは、OpenRTM-aist が提供する機能を効果的に利用して RT コンポーネントを開発するためのガイドラインを定めた。主なガイドラインは次の通りである。

- RT コンポーネントのインタフェースとしては、サービスポートよりもデータポートを優先して利用する。
- データポートから受け取るデータの処理は、RT コンポーネントの周期処理の中で行い、データポートのコールバック機能は利用しない。
- コアロジックの初期化処理は RT コンポーネントの活性時に行う。
- コアロジックの終了処理は RT コンポーネントの非活性時に行う。
- コアロジックは、RT コンポーネントのクラスと分離して実装する。

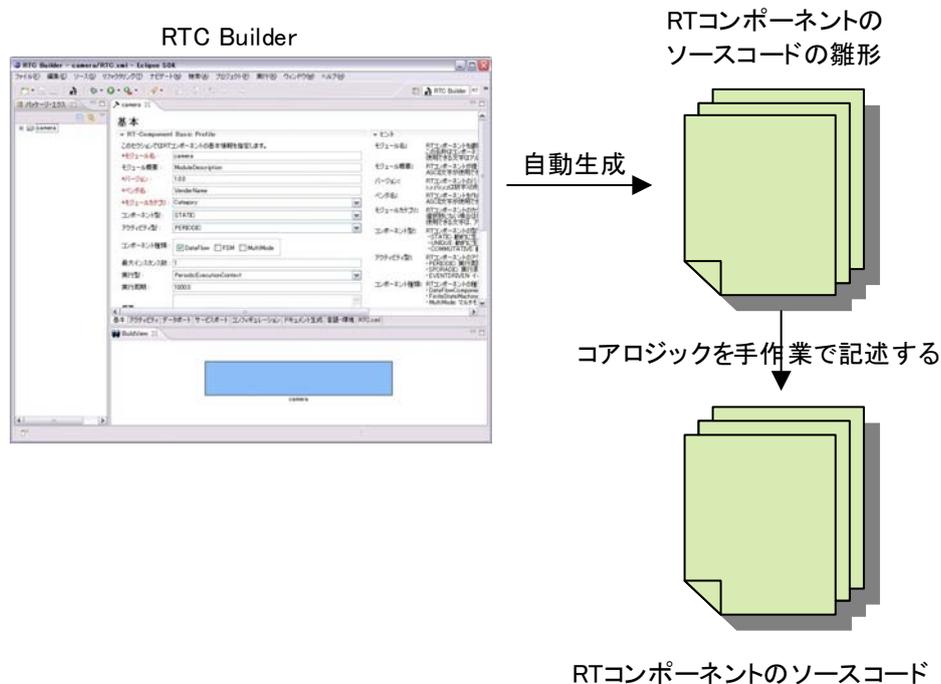
これらのガイドラインは、後述するソースコード生成機能を用いて RT コンポーネントのソースコードを生成することで自動的に適用されるようになっている。

(b-2) ソースコード生成

移動知能モジュール汎用フレームワークは、RT コンポーネントの開発を容易にするため、RT コンポーネントに共通して必要となる処理を記述したソースコード

を自動生成する機能を備える。

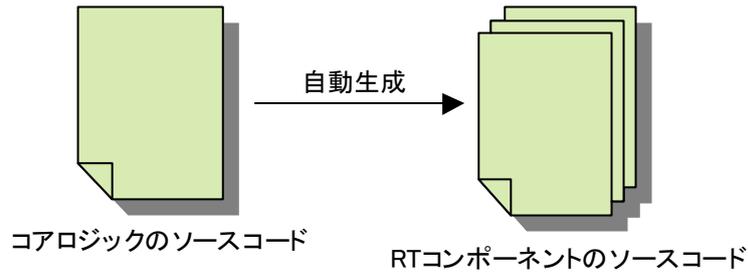
OpenRTM-aist は、ソースコードを自動生成する **RTC Builder** というツールを提供している。**RTC Builder** は GUI を持っており、テキストボックス等に入力された **RT コンポーネント** の情報を元に、**RT コンポーネント** のソースコードの雛形を自動生成する。**RT コンポーネント** 開発者は、自動生成されたソースコードの雛形に、コアロジックを埋め込んで、**RT コンポーネント** を開発する。



RTC Builder によるソースコード生成

この手法は新規に **RT コンポーネント** を開発する場合には有効である。しかし、一度開発した **RT コンポーネント** を改造する場合、自動生成されるソースコードと、開発者が手作業で記述したコアロジックのソースコードとの間に競合が発生する。コアロジックを修正するたびに、**RTC Builder** でのソースコード再生成、コアロジックのソースコードとのマージ、という作業を繰り返さなければならず、**RT コンポーネント** の保守が困難になる。

そこで、移動知能モジュール汎用フレームワークでは、プログラミング技法の一種であるメタプログラミングと **DSL (Domain Specific Language)** の概念を元にした手法を用いてソースコードを生成する。移動知能モジュール汎用フレームワークでは、ある一定のルールに従って記述されたコアロジックのソースコードを元にして、**RT コンポーネント** 化したソースコードを実行時に自動生成する。**RTC Builder** が採用する手法とは異なり、**RT コンポーネント** のソースコードの雛形にコアロジックを手作業で埋め込むわけではないため、コアロジックのソースコードを修正してもマージ作業が発生せず、**RT コンポーネント** の保守が容易になる。



移動知能モジュール汎用フレームワークによるソースコード生成

例えば、データ入力ポートとデータ出力ポートを1つずつ持ち、入力された整数に1を加算した値を出力する RT コンポーネントを、移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて記述すると、以下のようなソースコードになる。

```
import RTC
import rtseam.openrtm

# RTC のプロファイル情報.
profile = rtseam.Profile(name="AddOne",
                        inports={"Value": RTC.TimedLong},
                        outports={"Result": RTC.TimedLong})

# RTC のコアロジック. 入力値に 1 を加算して出力する.
def add_one(input_data):
    output_data = {}
    if "Value" in input_data:
        value = input_data["Value"]
        value.data += 1
        output_data["Result"] = value
    return output_data

# profile と add_one を使って RTC を生成し, 起動する
rtseam.openrtm.run(profile, add_one)
```

このソースコードを実行すると、以下のソースコードと等価なソースコードを移動知能モジュール汎用フレームワークが自動生成し、コアロジックを RT コンポーネント化する。

```
import sys
import RTC
import OpenRTM_aist
```

```

addone_spec = ["implementation_id", "AddOne",
               "type_name",        "AddOne",
               "description",      "no_description",
               "version",         "0.0.0",
               "vendor",          "no_vendor",
               "category",        "no_categor",
               "activity_type",   "STATIC",
               "max_instance",    "1",
               "language",        "Python",
               "lang_type",       "SCRIPT",
               """]

class AddOne(OpenRTM_aist.DataFlowComponentBase):
    def __init__(self, manager):
        OpenRTM_aist.DataFlowComponentBase.__init__(self,
                                                    manager)

        self._d_Value = RTC.TimedLong(RTC.Time(0,0), 0)
        self._ValueIn = OpenRTM_aist.InPort("Value",
                                           self._d_Value)
        self._d_Result = RTC.TimedLong(RTC.Time(0,0), 0)
        self._ResultOut = OpenRTM_aist.OutPort("Result",
                                               self._d_Result)

    def onInitialize(self):
        self.addInPort("Value", self._ValueIn)
        self.addOutPort("Result", self._ResultOut)
        return RTC.RTC_OK

    def onExecute(self, ec_id):
        if self._ValueIn.isNew():
            value = self._ValueIn.read()
            value.data += 1
            self._ResultOut.write(value)
        return RTC.RTC_OK

def AddOneInit(manager):
    profile = OpenRTM_aist.Properties(defaults_str=addone_spec)
    manager.registerFactory(profile,
                            AddOne,

```

```

                                OpenRTM_aist.Delete)

def MyModuleInit(manager):
    AddOneInit(manager)
    comp = manager.createComponent("AddOne")

def main():
    mgr = OpenRTM_aist.Manager.init(sys.argv)
    mgr.setModuleInitProc(MyModuleInit)
    mgr.activateManager()
    mgr.runManager()

if __name__ == "__main__":
    main()

```

移動知能モジュール汎用フレームワークが備えるソースコード生成機能は強力な仕組みであるため、移動知能用 RT ミドルウェアの外部システム接続モジュールと、後述する移動知能モジュール試験環境にも応用されている。ソースコード生成機能を利用するこれらのモジュールは PyRTSeam というソフトウェアに統合され、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

(c) 移動知能モジュール試験環境の研究開発

多数の RT コンポーネントを組み合わせる移動知能ロボットの開発において、品質や開発効率を向上させるには、個々の RT コンポーネントが仕様通りに正しく動作することが最低限必要である。移動知能モジュール試験環境は、移動知能ロボットを構成する個々の RT コンポーネントの品質を保証するために、RT コンポーネントの単体試験を容易に行う仕組みを提供する。

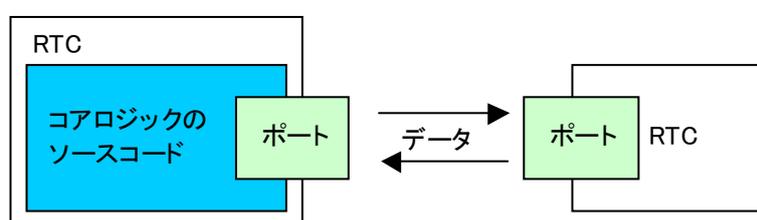
一般的なソフトウェア開発では、JUnit や CppUnit など、xUnit と総称されるテストフレームワークを用いて、自動化された単体試験が行われている。試験が自動化されていることにより、試験を繰り返し実施することが容易になる。これにより、ソフトウェアが仕様通りに動作することを常に確認できるため、品質が保証されるとともに、開発効率が向上する。

RT コンポーネント開発においても、テストフレームワークを導入するこ

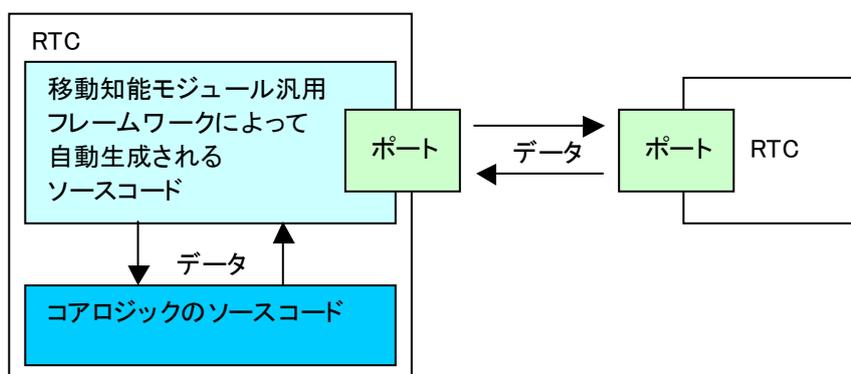
とによって、品質の保証と開発効率向上が期待できる。移動知能モジュール試験環境は、RT コンポーネント開発へのテストフレームワークの導入を支援する。

テストフレームワークを用いて RT コンポーネントを試験する際には、データの入出力方法を工夫する必要がある。RT コンポーネントは、ポートと呼ばれる通信機構を介してデータを入出力する。テストフレームワーク上でポートを扱うためには、OpenRTM-aist の内部実装に関する知識が必要となり、容易ではない。

移動知能モジュール試験環境では、利用移動知能モジュール汎用フレームワークが備えるソースコード生成機能を用いて、ポートを扱う処理を自動生成する。これにより、試験対象となるソースコードでは、ポートを扱う必要がなくなり、テストフレームワークを用いた試験が容易に実施できるようになる。



通常の RT コンポーネントにおけるコアロジックのソースコードの範囲



移動知能モジュール試験環境におけるコアロジックのソースコードの範囲

移動知能モジュール試験環境は、移動知能モジュール汎用フレームワークや移動知能用 RT ミドルウェアと統合され、PyRTSeam というソフトウェアとしてセックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

(d) RT ミドルウェア・移動知能モジュール汎用フレームワークの実ロボットによる動作検証

RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークを実ロボットに適用し、動作検証を行った。また、ステレオ画像処理ハードウェア上への RT ミドルウェア動作環境の構築を行った。

(d-1) 実ロボットへの適用

実ロボットへの RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークの実ロボットへの適用実験として、以下の 2 つを行った。

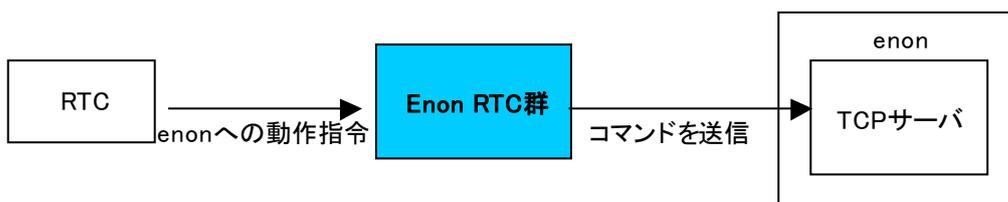
- (1) RT コンポーネントによる富士通サービスロボット enon の制御
- (2) 移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従 RT コンポーネントの開発

以降では、上記動作検証の概要について述べる。

(d-1-1) RT コンポーネントによる富士通サービスロボット enon の制御

富士通サービスロボット enon は、RT ミドルウェアを用いていない既存のシステムである。enon に RT ミドルウェアを適用するために、enon と通信する RT コンポーネントを開発した。これにより、他の RT コンポーネントから enon を制御できることを確認した。

enon と RT コンポーネントとの関係図を以下に示す。



enon と RT コンポーネントとの関係図

enon と通信する RT コンポーネントの一覧を以下に示す。

enon と通信する RT コンポーネント一覧

RT コンポーネント名	機能概要
EnonPanTilt	enon のパンチルトの角度操作とパンチルト角度情報取得の手段を提供する。
EnonSensor	enon に搭載されている距離センサとジャイロセンサのデータを周期的に取得し、データポートから出力する。
EnonVehicle	enon の走行制御に関する操作手段を提供する。
EnonCamera	enon のカメラのレジスタ取得・設定と、画像取得に使用するカメラの設定の手段を提供する。

(d-1-2) 移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従 RT コンポーネン

トの開発

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて RT コンポーネント群を開発し、人追従システムを構築することによって、RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークの動作検証を行った。本システムの特徴を以下に示す。

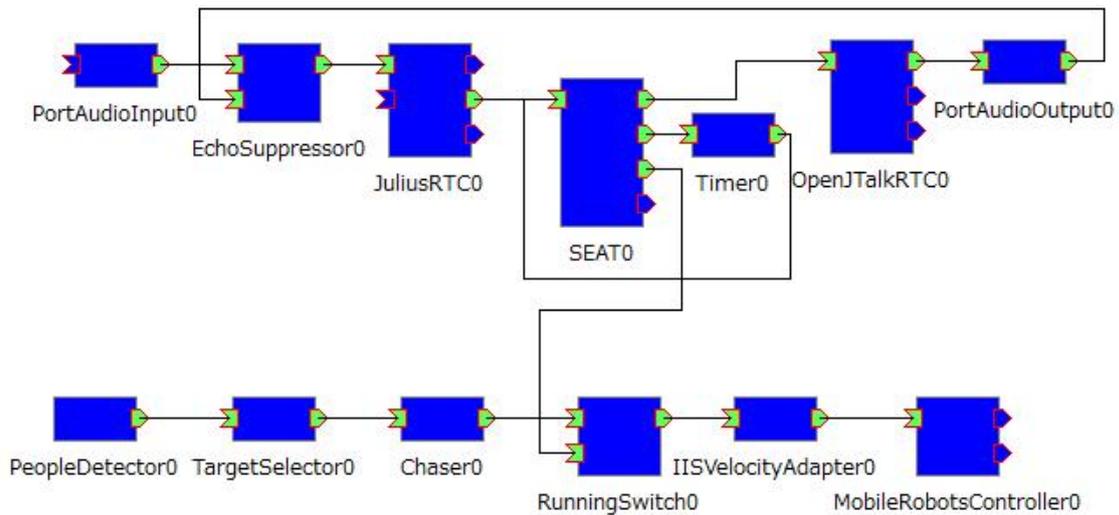
- ASUS 社のモーションセンサ Xtion PRO LIVE を用いて人を認識し、その人を追従するようにロボットを移動させる。
- 音声対話のための RTC 群である OpenHRI を利用し、音声指示によって追従開始と停止を指示できる。
- ロボットは MobileRobots 社の Pioneer P3-DX を利用する。

本システムを構成する RT コンポーネントのうち、移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した RT コンポーネント群の一覧を以下に示す。

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した RT コンポーネント一覧

RT コンポーネント名	機能概要
Chaser	人の座標を入力すると、一定距離を保って人を追従するための速度を出力する。
IISVelocityAdaptor	RTC.TimedVelocity2D 型の速度情報を受け取り、IIS.TimedVelocity2D 型に変換する。
PeopleDetector	ASUS 社のモーションセンサ Xtion PRO LIVE を用いて、認識した人の三次元座標を出力する。
RunningSwitch	台車を動かす RTC に接続することで、台車の移動、停止を切り替えるスイッチとして作用する。
TargetSelector	入力された 3 次元点群の中から 1 点を選択し、出力する。
Timer	任意の文字列を入力すると、一定時間経過した後に、入力された文字列をそのまま出力する。ワンショットタイマとして利用できる。

上記 RT コンポーネント群に、産業技術総合研究所が開発した音声対話のための RTC 群である OpenHRI、豊橋技術科学大学が開発した MobileRobots 社ロボット用制御 RTC を加えて、本システムを構築した。本システムの RT コンポーネント構成図を以下に示す。



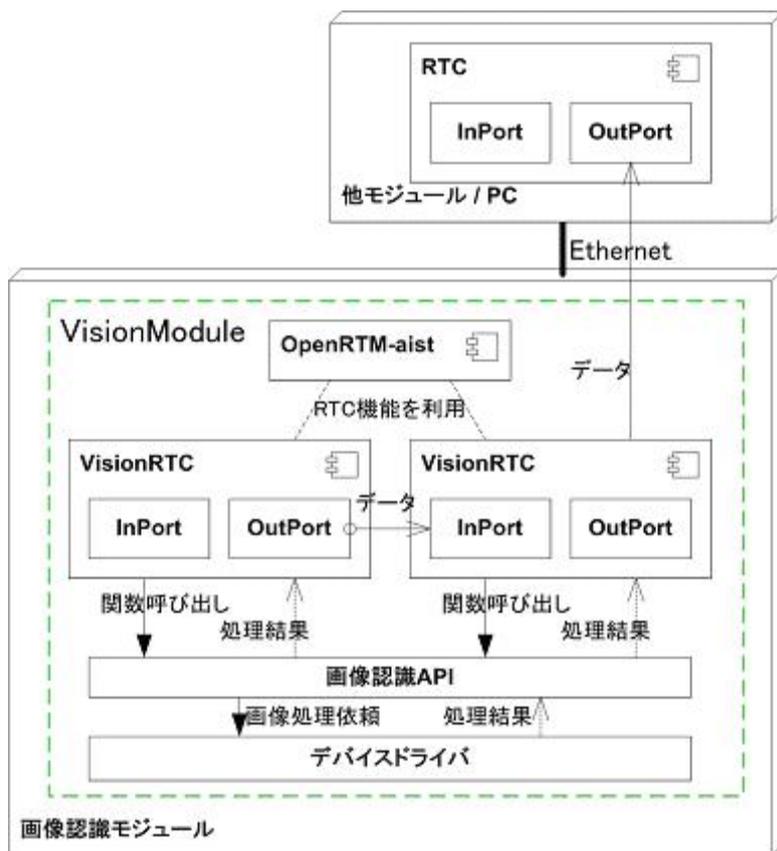
移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従システムの RT コンポーネント構成図

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した人追従 RT コンポーネント群は、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

(d-2) ステレオ画像処理ハードウェア上への RT ミドルウェア動作環境の構築

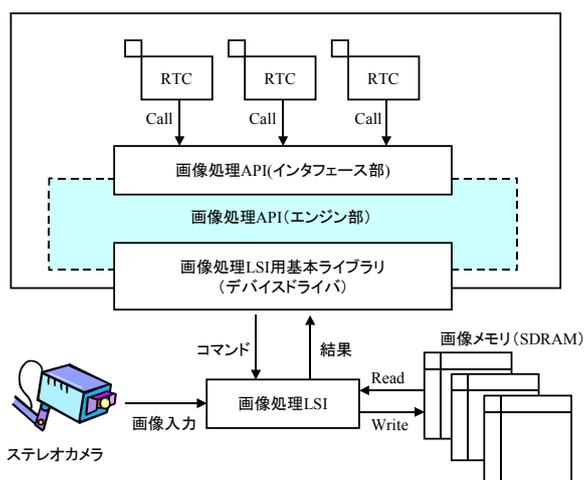
2005 年度から実施された次世代ロボット共通基盤開発プロジェクトでは、DSP 版のステレオ画像処理ハードウェア上に RT ミドルウェア動作環境を構築し、外部の RT コンポーネントとの通信を可能にした。本実施項目では、DSP 版のステレオ画像処理ハードウェア上に構築された RT ミドルウェア動作環境を、Linux 版のステレオ画像処理ハードウェア上に移植し、外部の RT ミドルウェアとの通信を可能にした。

Linux 版ステレオ画像処理ハードウェア上における RT ミドルウェア動作環境のシステム構成図を以下に示す。



ステレオ画像処理ハードウェア上での RT ミドルウェア動作環境のシステム構成図

上記の RT ミドルウェア動作環境を用いて、画像処理 RT コンポーネント群および、画像処理結果を表示するビューワ RT コンポーネント群を開発し、動作検証を行った。画像処理 RT コンポーネントのソフトウェア構成と、RT コンポーネントの一覧、画像処理結果の例を以下に示す。



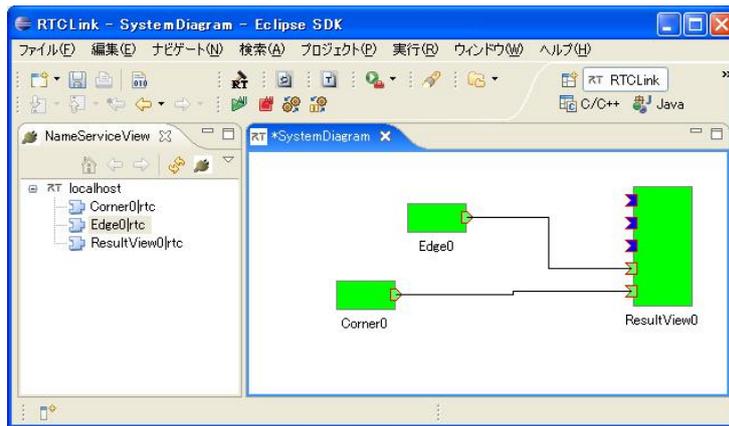
画像処理 RT コンポーネントのソフトウェア構成

画像処理 RT コンポーネント一覧

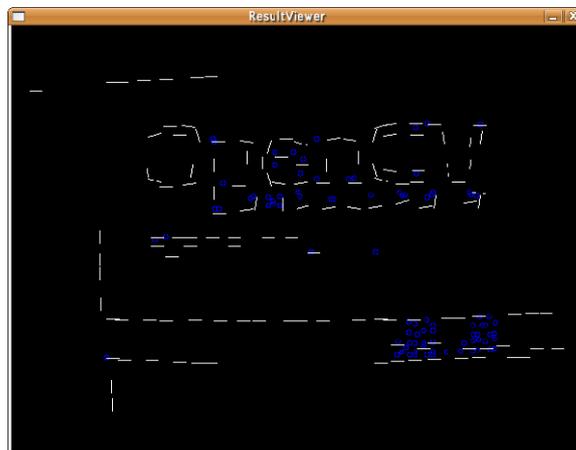
RT コンポーネント名	機能概要
OpticalFlow	画像の時間変化を調べ、2次元のベクトルデータを取り出す。
TemplateMatching	テンプレート画像として入力された画像を、探索画像から探す。
TemplateTracking	テンプレート画像として入力された特徴点（領域）を追跡する。
Corner	微分フィルタリングによる勾配ベクトルを使って、コーナーを抽出する。
Edge	微分フィルタリングによる勾配ベクトルを使って、エッジを抽出する。
Sobel	Sobel フィルタの処理を入力カメラ画像に対して行う。
Histogram	入力された画像から画像の明るさの分布を取得する。
Segmentation	入力画像を、白と黒の二値画像に変換する。
ImageStream	様々な画像形式の入力に対応した、実データを出力するコンポーネントである。
Video2HSV	入力された画像を、HSV 形式に変換して出力する。
Video2RGB	入力された画像を、RGB 形式に変換して出力する。
ImageCapture	カメラ画像の指定した領域を、画像メモリに格納して出力する。

画像処理 RT コンポーネントの処理結果を表示するビューワ RT コンポーネント一覧

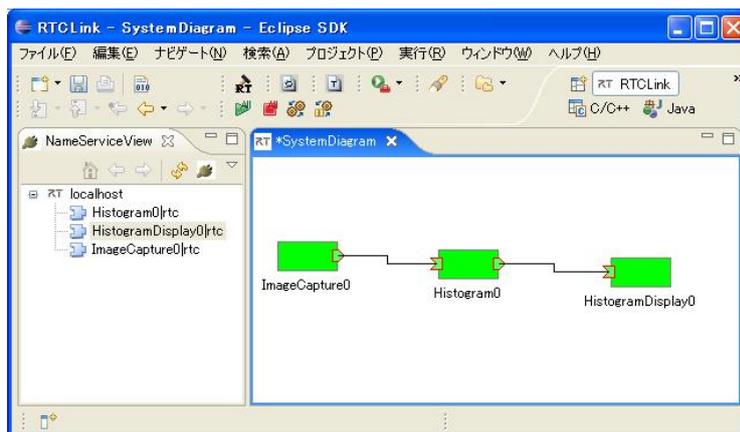
RT コンポーネント名	機能概要
ImageDisplay	画像を描画する。
ResultViewer	オプティカルフロー、エッジ抽出、コーナー抽出、エッジ抽出、テンプレートトラッキング、テンプレートマッチングの演算結果を描画する。
HistogramDisplay	ヒストグラムを描画する。



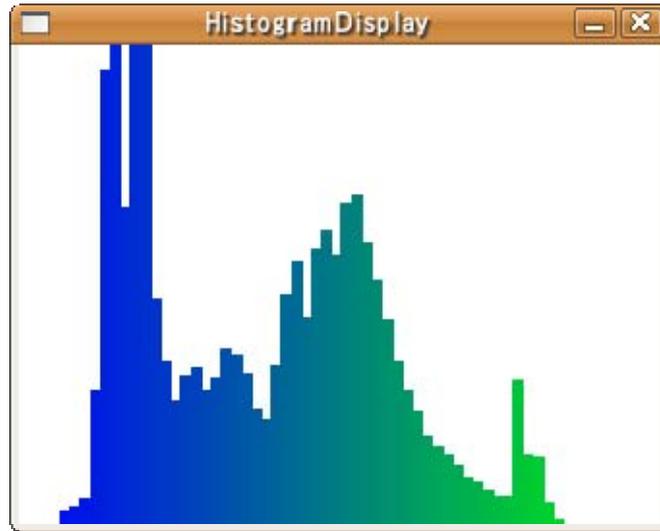
エッジ抽出・コーナー抽出 RT コンポーネントの接続図



エッジ抽出・コーナー抽出の演算結果描画



ヒストグラム RT コンポーネントの接続図



ヒストグラム描画コンポーネント

3.4.1.3.1.5 移動知能モジュールの3次元対応とその有効性検証（東京大学）

（1）実時間3次元オプティカルフローモジュールの開発

3.1.2にて、富士通株式会社が開発したステレオ画像認識ボード上で動作する特徴点追跡型実時間3次元オプティカルフロー生成RTCを開発することにより、ロボットや人が動く際の環境中の3次元特徴点群を30fpsの速度で追跡することが可能になった（図3.1.5.1）。実際に、ステレオ画像認識ボードを頭部に内蔵した検証用ヒューマノイドヘッドを用いて、歩行中の頭部3次元揺動下においても動作する揺れ補正アルゴリズムの実現と検証を行った。開発したRTCはオープンソースにて公開した。



図 3.1.5.1: 3次元オプティカルフロー

（2）3次元運動分離認識モジュール群の開発

（1）で開発、検証してきた実時間3次元オプティカルフローをベースに実時間で自己運動軌道と他者運動軌道を分離して推定するRTC群を開発した。開発したRTCモジュール群は図3.1.5.2に示すように主に4つのRTCから構成され、センサデバイス組込によりヒューマノイドロボット、リファレンスハードウェア、Enonなど多様なロボットで検証を行った。また、ヘッドマウン

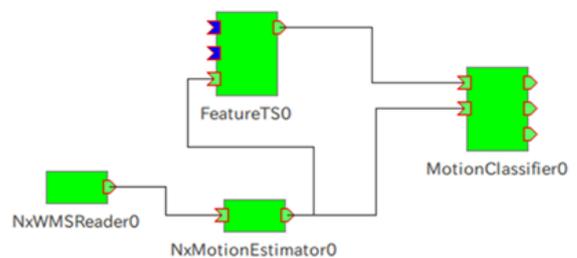


図 3.1.5.2: 3次元運動分離認識モジュール群

ト型デバイスを開発することによって、ロボットや人間のような様々な移動体に取り付け可能で自己運動、他者運動、環境情報の三者を同時認識可能なシステムを実現した（図3.1.5.3）。開発したRTCはオープンソースにて公開した。また、実時間30fpsで3次元的に自己運動と他者の運動の分離推定を行うことが可能な

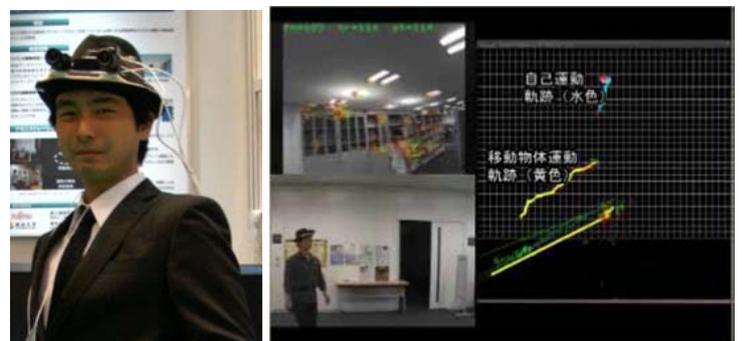
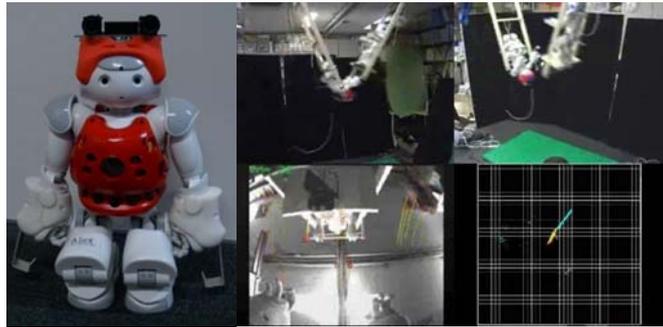


図 3.1.5.3: ヘッドマウント型デバイスによる歩行時の自己（水色）・他者（黄色）運動の推定

特性を活かすことにより、図3.1.5.4に示す空中ブランコ動作のように互いに高速で動作する際の運動軌道推定とそれに基づく動作生成が可能なることも示すことができた。



(3) 多様なロボットシステムにおける有効性検証

(2) で開発した 3 次元運動分離認識モジュール群に関して，様々なロボットで動作検証を行い，その有効性を検証した．図 3.1.5.5 にリファレンスハードウェア頭部にステレオカメラを，台座部にステレオ画像処理ハードウェア及びモジュール群を実行するノート PC を載せた形で室内を走行させ，その自己運動軌跡

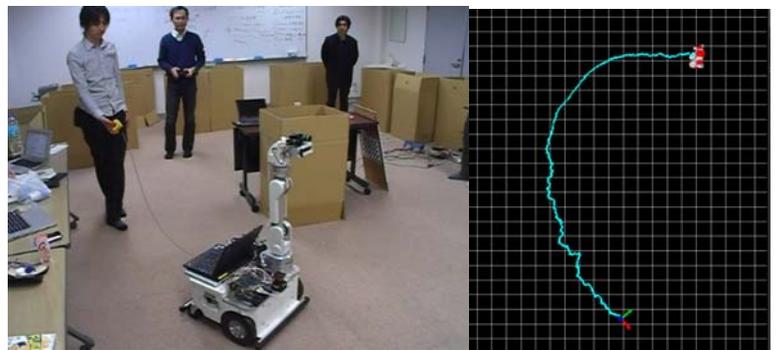


図 3.1.5.5: リファレンスハードウェア走行中の自己運動軌跡

を推定している様子を示す．また，リファレンスハードウェアと同様の 3 次元運動分離認識の検証を行ったロボットシステムの例を図 3.1.5.6 に示す．左端のものは等身大台車型，中央及び右端のものは等身大二脚型であるが，左端及び中央のロボットにおいてはロボットに直接センサシ



図 3.1.5.6: 3 次元運動分離認識モジュールの検証を行ったロボットシステム

ステムを搭載して組み込んだ形にしているのに対して，右端のロボットではヘッドマウント型デバイスを装着させることで，検証を行なっている．

(4) まとめ

東京大学では，移動知能モジュールを 3 次元対応するために，動的な環境においてロボットが動きまわる際の自己の 3 次元運動を実時間で認識するモジュール群を開発した．開発したモジュールは富士通株式会社がプロジェクトにおいて開発した

ステレオ画像処理ハードウェア上で動作する特徴点追跡型3次元オプティカルフロー生成モジュールがコアとなっており，そこから得られる情報を元に点群のクラスタリングを行い，30fpsで自己運動と他者運動に分離して認識することが可能である．開発したモジュール群の有効性を確認するために，ヒューマノイドロボット，リファレンスハードウェアなどのロボットシステムに組み込んで検証するだけでなく，人やロボットが容易に装着可能なヘッドマウント型デバイスを開発し，実際に人間や等身大二脚型ヒューマノイドロボットにおける検証を行い，その有効性を確認した．また，ここで，開発したRTCはオープンソースライセンスにて公開した．

3.4.1.3.1.6 移動環境視覚認識モジュールの研究開発（奈良先端科学技術 大学院大学）

- ・カメラを用いた位置推定モジュール
（奈良先端科学技術大学院大学）

天井画像に基づく位置推定の基本ソースコードを RTC 再利用技術研究センタに提供し，RT コンポーネント化された天井画像を用いた自己位置推定モジュールを共同開発した．また，提供された天井画像に基づく位置推定モジュールをリファレンスハードウェアと enon に搭載し，奈良先端大の情報研究科棟内と積水ハウス総合住宅研究所の実験設備にて位置推定と移動ロボットのナビゲーションが可能であることを確認した．



天井画像に基づく位置推定を行うリファレンスハードウェア

- ・レーザレンジファインダを用いた位置推定モジュール
（奈良先端科学技術大学院大学）

レーザ測域センサから得られた距離データを元に位置推定を行うモンテカルロ位置推定モジュールを RT コンポーネントとして開発し，サービスロボット enon やリファレンスハードウェアにて動作検証を行った．また国際ロボット展においては富士通コンソーシアムとの連携を行った．富士通コンソーシアム製の地図生成モジュールにより作成された地図情報を再利用し，地図管理モジュールを介して読み込むことで他のモジュールを書き換えることなく位置推定が実現可能であることを確認した．

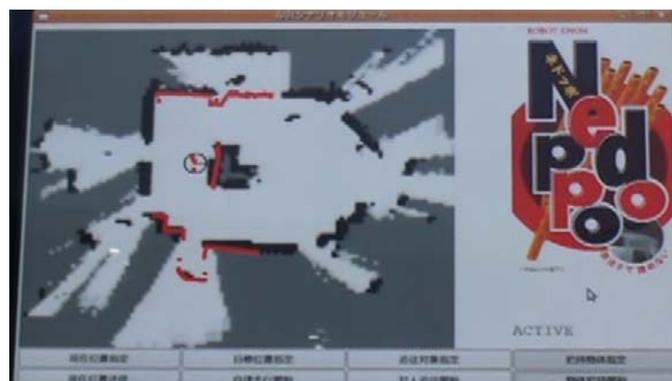


図 ** 国際ロボット展でのモンテカルロ位置推定

・ LRF データ取得モジュール
(奈良先端科学技術大学院大学)

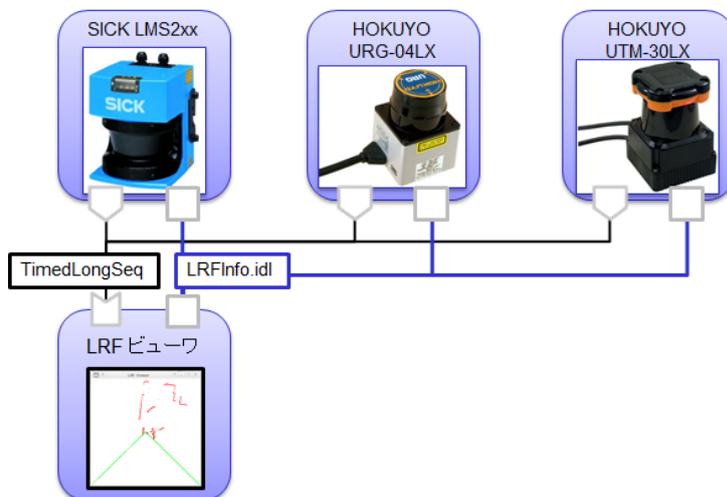
レーザレンジファインダ SICK 社製 LMS2xx シリーズ及び北陽電機社製 URG シリーズの距離データを取得するモジュールを開発した。デバイス名，距離分解能をコンフィギュレーションセットから設定することが可能とした，様々な LRF に対応するようインタフェース仕様が一般化されており，SICK 社用コンポーネントと北陽電機社用コンポーネントは入れ替え可能とした。後述のデータ描画コンポーネントと組み合わせることで容易にデータ取得と表示が可能となる。



LRF データ取得モジュール

・ LRF 距離データ描画モジュール
(奈良先端科学技術大学院大学)

レーザレンジファインダの距離データを受け取り，ウィンドウ上に表示するモジュールを開発した。コンフィギュレーションセットから中心位置，姿勢，描画解像度（スケール）を設定可能とした。様々な LRF に対応するようインタフェース仕様が一般化されており，前述の LRF データ取得モジュールと組み合わせることで容易にデータ取得と表示が可能となる。

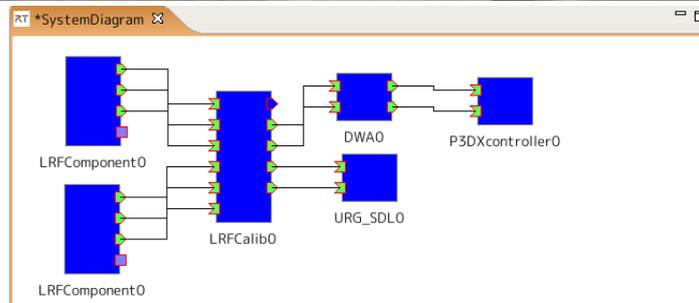
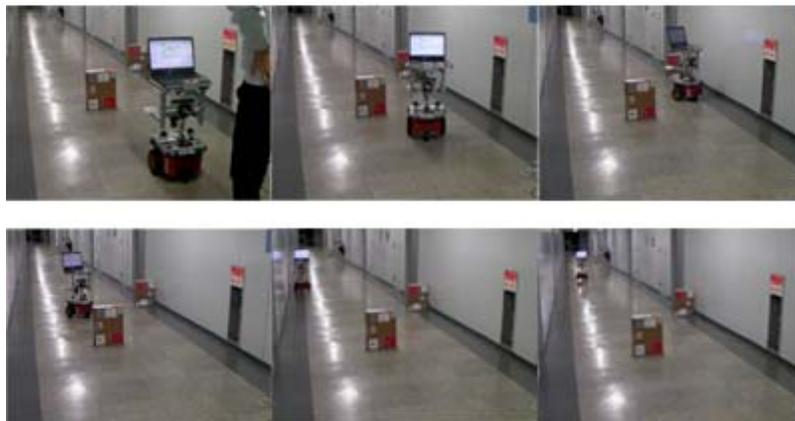


LRF データ表示モジュール

・カメラを用いた行動学習モジュール
(和歌山大学)

全周囲距離データ取得モジュール，距離データに基づく局所動作計画モジュールに関して研究を行った．全周囲距離データ取得モジュールについては，周囲約 240 度の範囲を計測可能な距離センサを 2 台組み合わせ，全周囲データを取得可能なモジュールとして実現した．また局所動作計画を実現するために Dynamic Window Approach アルゴリズムを利用したモジュールを作成した．今年度作成したモジュールと前年度作成した車輪型移動ロボット制御モジュールを組み合わせ，模擬環境において動作確認実験を行い，静的障害物に対して回避動作が実現できることを確認した．

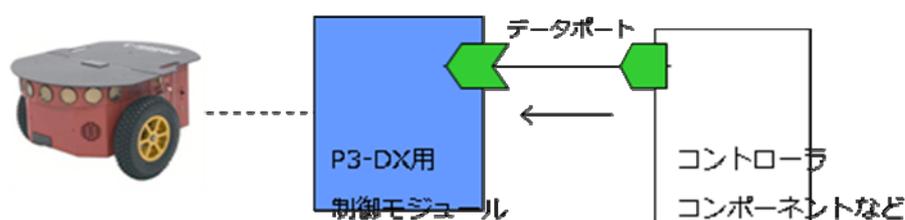
また，走行状況推定モジュール試作のために，車輪型移動ロボットの車輪の回転角度の測定値から外乱オブザーバを用いて車輪が地面を蹴る力を推定するシステムを構築し，シミュレーションによりその妥当性を確認した．



局所動作計画モジュールの試作

- Mobile Robot社製P3-DX用制御モジュール
(和歌山大学)

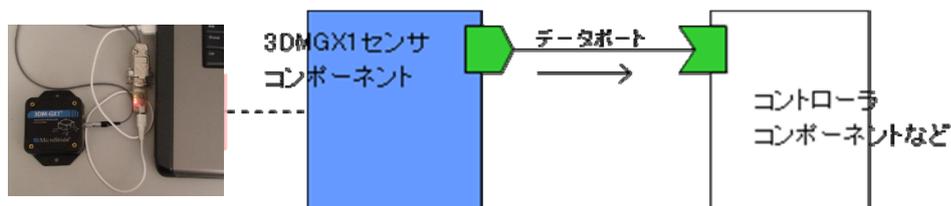
車輪型移動ロボットの研究で頻繁に利用される Mobile Robot 社製の車輪型移動ロボット P3-DX に関する RT コンポーネントを作成した. P3-DX ロボット制御 RTC は, ロボットの PC インタフェースとして用意されている RS232C を使用することを前提としている. 市販の RS232C-USB 変換ケーブルを使用して P3-DX ロボットと PC を接続する. P3-DX ロボット制御 RTC は, 入力用ポートから受け取った並進速度, 回転速度に基づいてロボットを動かす. P3-DX ロボット制御 RTC のコンポーネント構成を下図に示す.



P3-DXロボット制御RTC の構成

- 3DMGX1センサRT コンポーネント
(和歌山大学)

MicroStrain社製の小型3軸角度センサ3DMGX1用のRTコンポーネントを作成した. 3DMGX1センサ RTC は, 3DMGX1センサからロール, ピッチ, ヨー角, x方向加速度, y方向加速度, z方向加速度, x方向角速度, y方向角速度, z方向角速度, タイムスタンプを取得し, 出力用ポートへ出力する. 3DMGX1センサ RTC は, ロボットの PC インタフェースとして用意されている RS232C を使用することを前提としている. 市販の RS232C-USB 変換ケーブルを使用して 3DMGX1センサと PC を接続する. 3DMGX1センサ RTC のコンポーネント構成を下図に示す.



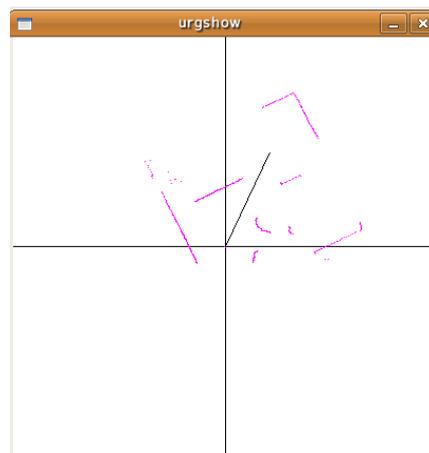
3DMGX1センサRTC の構成

• VFHアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール
(和歌山大学)

距離センサ (UTM-30LX, URG04-LX)からの距離データを利用して, Vector Field Histogram(VFH)法に基づいて, ロボットの進行方向を求めるRTコンポーネントを作成した.

VFHアルゴリズムでは, 距離センサのスキャン結果を利用して極座標系で障害物の存在確率密度を表すヒストグラムを作る. 障害物の存在確率密度が最も小さく, 最も目標地点の方向に合っているものを選んでロボットの進行方向を決定する.

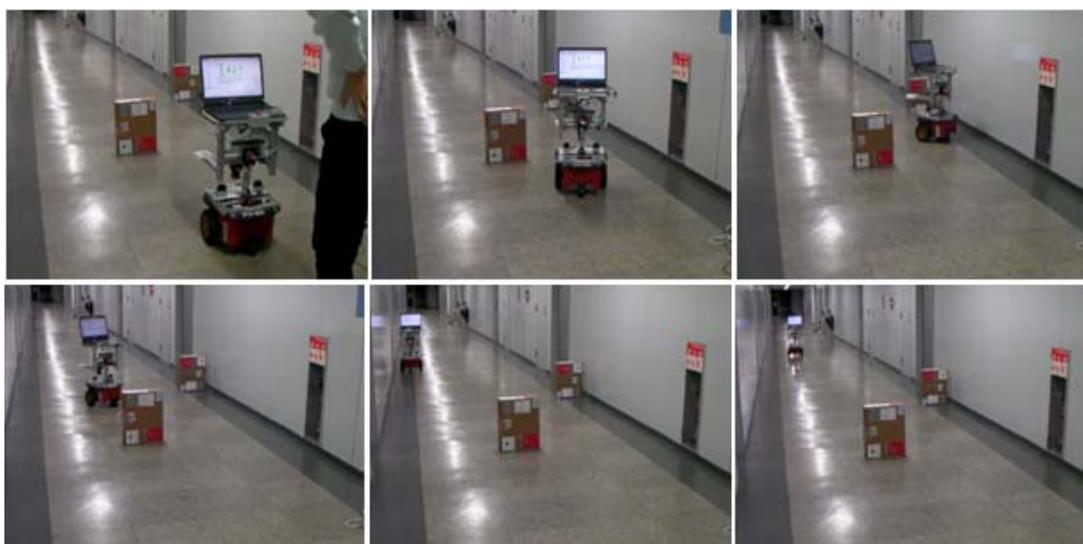
作成したコンポーネントでは, ロボット周辺の距離データと進行方向をSDL, OpenGLを使用してリアルタイムに表示する. その例を下図に示す. この図では, 座標系の原点に距離センサが存在する. 原点から斜めに伸びる直線がこのコンポーネントにより求められたロボットの進行方向を表している. 赤い点群はロボット周辺の距離データを表している.



VFHアルゴリズムに基づく局所計画モジュールの出力例

• DWAアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール
(和歌山大学)

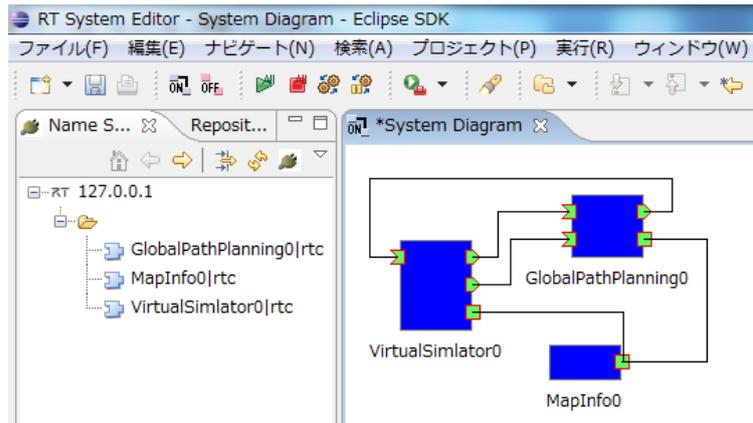
入力される距離データからDynamic Window Approach(DWA)アルゴリズムに基づいて, 並進速度, 回転速度を出力するRTコンポーネントを作成した. DWAアルゴリズムでは, 平行2輪駆動台車のノンホロノミックな拘束や最大速度・角速度, また車体の形状を考慮して, 速度・角速度空間において探索を行い障害物回避を行うことが可能である. 下図に, 両端は壁で廊下に段ボール(障害物)を置いた直線的な廊下環境において, 作成したモジュールにより障害物回避を行った例を示す.



DWAアルゴリズムに基づく局所計画モジュールによる障害物回避

- ・大域的経路計画モジュール
(大阪電気通信大学)

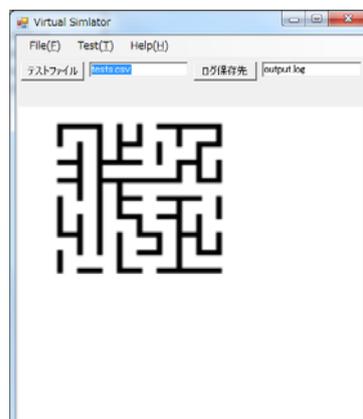
大域的経路計画に関して研究開発を行った。具体的には、事前に与えられる静的な障害物の地図情報と、移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、障害物に接触することなく、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力するモジュール群を研究開発した。その中で、大域的経路計画マップ管理モジュールの地図情報と移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力する大域的経路計画モジュールを作成した。



- ・大域的経路計画マップ管理モジュール
(大阪電気通信大学)

大域的経路計画に関して研究開発を行った。具体的には、事前に与えられる静的な障害物の地図情報と、移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、障害物に接触することなく、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力するモジュール群を研究開発した。

大域的経路計画マップ管理モジュールは経路計画を行うにあたり、地図情報の管理、参照を目的として作成した。また、本モジュールを用いて大域的経路計画モジュールの研究開発を行った。また、これらについて、モジュールの開発・評価を行うことを目的として、検証用のシミュレータの作成を行った。下の図のように地図上を経路計画するモジュールを作成した。このシミュレータ上で大域的経路計画モジュールの実験と評価を実施した。

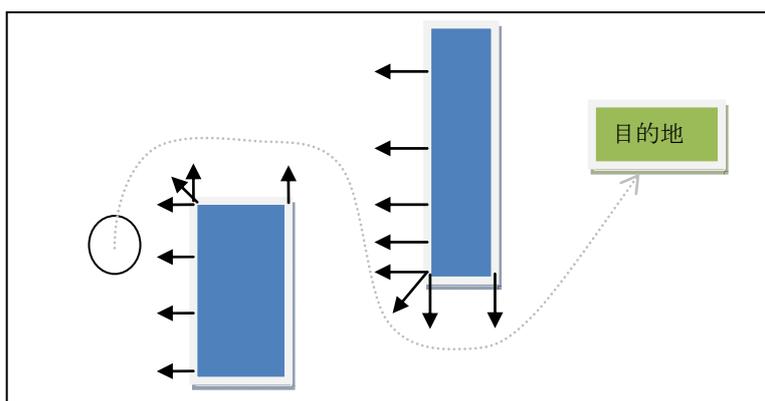


・センサベースト・モデルベースト融合経路計画モジュール

(大阪電気通信大学)

設定されている環境情報から準最適経路を算出し、現在位置から目標地点への中間経路を出力するモジュールである。間に壁や障害物があるなど複雑な経路であっても、その地点への経路を大域的に探し出し中間経路を出力する。

本モジュールでは、既知の地図上ではモデルベーストパスプランニングにより経路計画を行い、未知の地図上ではセンサベーストパスプランニングにより経路計画を行う。これら二つの経路計画機能を融合することにより、より正確に経路計画を行うことができる。

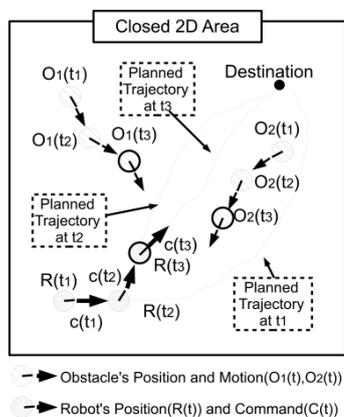


・StRRT軌道計画に基づく速度指令生成モジュール

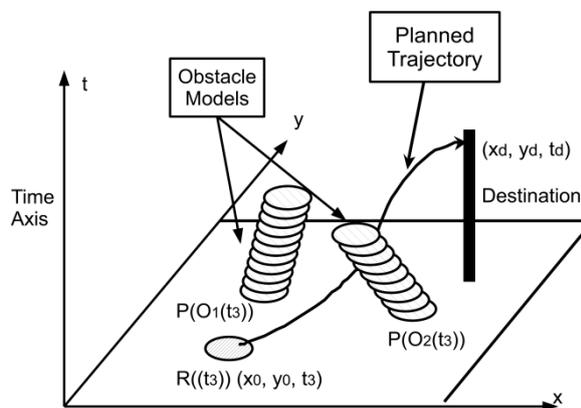
(大阪電気通信大学)

StRRT に基づいて軌道計画を行い、速度指令を出力するモジュールの研究開発を行った。ロボットと障害物の位置と速度情報、目標地点情報の三つの情報を入力すると、生成される軌道によって決まる速度指令値を出力する。

StRRTは、高速に空間を探索する確率的手法Rapidly-exploring Random Tree(RRT)を時空間に展開し、空間の軌道生成問題を時空間の経路探索問題に置き換えた手法である。本モジュールで想定している環境は、静的な障害物と円形の移動障害物群が存在するxyの2次元平面内の閉じた領域である。これに時間軸を追加し、時間の制約を考慮して3次元空間で経路を生成する。作成したモジュールを他のモジュールと組み合わせて、シミュレータを用いて有効性を検証した。



問題設定



時空間における経路生成

- ・ 移動物体の運動推定モジュール
(大阪電気通信大学)

複数移動物体の運動推定を行うモジュールを開発した。このモジュールは「StRRT軌道計画に基づく速度指令生成モジュール」と組み合わせて使うためである。しかし、より高度な運動推定アルゴリズムと差し替え使ったり、このモジュールを別の目的で利用したりすることも想定して、独立したモジュールにした。

誤差を含むオブジェクトの位置情報を繰り返し入力すると、等速直線運動モデルに基づいて位置情報と速度情報を推定し、出力する。推定にはカルマンフィルタを利用している。カルマンフィルタが対象とするシステムは、以下に示す状態方程式と観測方程式で記述される線形、有限次元の離散時間システムである。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{i+1} &= \mathbf{F}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{G}_i \mathbf{w}_i & \mathbf{x}_i &= [x_i, y_i, \theta_i, v_{xi}, v_{yi}]^T \\ \mathbf{y}_i &= \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_i & \mathbf{y}_i &= [x_i, y_i, \theta_i]^T \end{aligned}$$

ここで、 \mathbf{x}_i は時刻 t_i におけるシステムの状態であり、システムノイズ \mathbf{w}_i を入力とする線形システムで表される。また、 \mathbf{y}_i は観測値であり、状態 \mathbf{x}_i と観測ノイズ \mathbf{v}_i によって表される。

3.4.1.3.1.7 対人移動視覚認識モジュールの研究開発（東京理科大学）

- ・ 人発見・対人追従モジュール
（東京理科大学）

人発見モジュール，対人追従モジュールに関して研究開発を行った．具体的には，距離画像とレーザレンジファインダとそれぞれから得られる距離情報の融合を図り，また，距離情報と色情報を用いた人物候補領域検出および人物認識モジュールとの接続を行った．これらについて，国際ロボット展において検証デモンストレーションを実施した．

また，実機を利用せずともモジュールの開発・評価がある程度可能となることを目指して模擬環境(シミュレータ上の仮想環境)の構築に着手した．まず，右図に示すような東京理科大学廊下と富士通enonとのモデル化を行った．また，この模擬環境においてセンサ単体実験と評価を実施した．



国際ロボット展での検証デモの一場面



構築に着手した模擬環境例

- ・ 顔認識モジュール
（筑波大学）

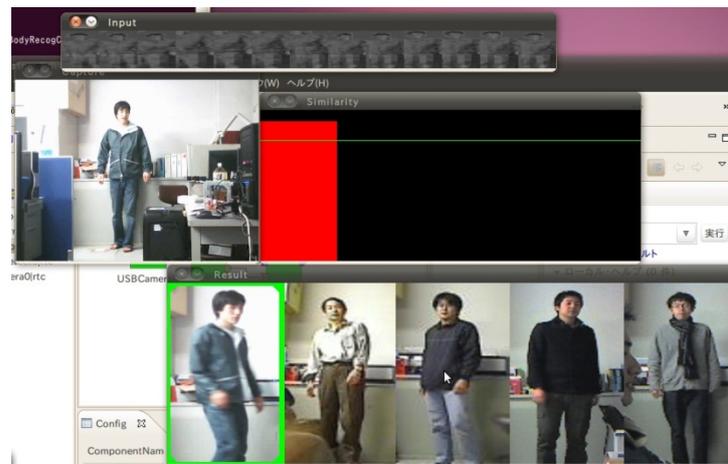
入力画像から顔領域を検出し，それが事前に登録された人物の内の誰であるかを入力する顔認識モジュールを開発した．本モジュールは **FaceLearning** モジュールと **FaceRecog** モジュールから構成される．**FaceLearning** モジュールは，各人物の辞書と，識別特徴を抽出するための直交変換行列を生成する．**FaceRecog** モジュールは **FaceLearning** で生成された各人物の辞書と変換行列を用いて個人認識を行う．



顔認識モジュールの処理画面

- ・全身像認識モジュール
(筑波大学)

入力画像から全身領域を検出し，検出された人物が事前に登録された人物の誰であるかを出力する全身像認識モジュールを開発した．本モジュールは **BodyLearning** モジュールと **BodyRecog** モジュールから構成される．**BodyLearning** モジュールは認識処理で用いる各人物の辞書と，識別特徴を抽出するための直交変換行列を生成する．**BodyRecog** モジュールは **BodyLearning** で生成された辞書と変換行列を用いて個人認識を行う．基本的な処理構成は顔認識モジュールと同じであるが，顔認識モジュールでは濃淡画像を用いて識別しているのに対して，全身像認識モジュールではカラー画像から得られる **Hue** ヒストグラムを用いて識別している．

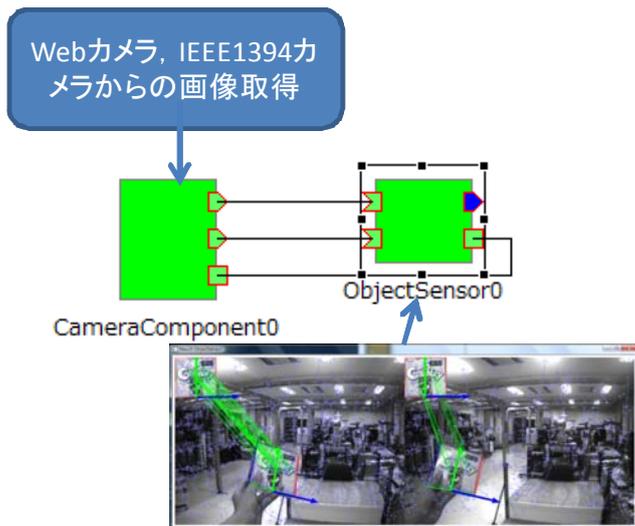


全身像認識モジュールの処理画面

3.4.1.3.1.8 物体把持視覚認識モジュールの研究開発（大阪大学）

- ・ 物体把持視覚認識知能モジュール群
（大阪大学）

ロボットマニピュレータを用い、視覚情報に基づいた物体把持の実現を目指し、カメラモジュール、アピアランスベース物体位置・姿勢推定モジュールの開発を行った。これらのモジュール群の評価として、コンソーシアム内でのモジュール統合実験および国際ロボット展におけるデモンストレーションを行った。また開発したモジュール群について、再利用センターを介してプロジェクト内での公開を行った。



SIFT アルゴリズムを用いた物体位置・姿勢推定

- ・ 物体把持計画モジュール
（大阪大学，奈良先端科学技術大学院大学）

作業に関わるモジュール群の構造を整理し、モジュールとして実現するうえでの切り分け方を考案し、物体把持計画に関わる再利用可能なモジュール群の創出について検討を行った。また作業サブワーキンググループへの参加を通じ、情報収集を行いワーキンググループ内でのモジュールの相互運用方法について検討を進めた。本検討結果の実証として、コンソーシアム内でのモジュール統合実験、および国際ロボット展におけるデモンストレーションを行った。



国際ロボット展における物体把持

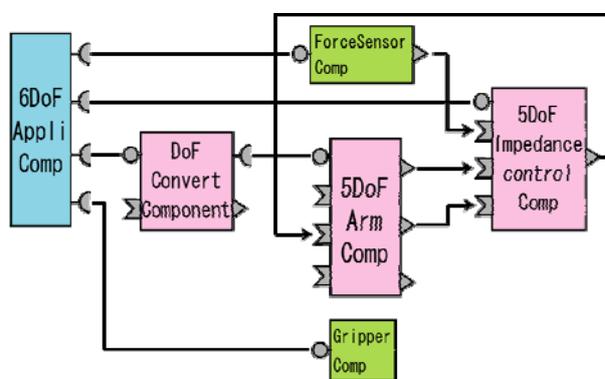
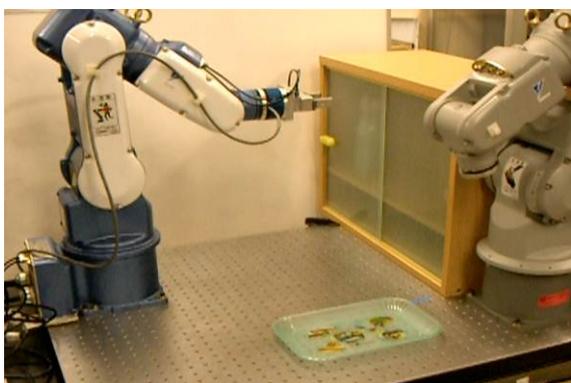
・拘束下運動制御モジュール

(筑波大学)

二種類の運動拘束条件下で作業を遂行する制御モジュールの開発を行った。一つは、扉など、可動方向と拘束方向の存在する作業対象に対するもの、もう一つは、マニピュレータ側の自由度が不足している場合に対するものである。

拘束方向の存在する作業に対してはインピーダンス制御系をモジュールとして追加することで作業を遂行する。可動方向には固く、拘束方向には柔らかく、マニピュレータ手先の仮想剛性を設定することで、運動が拘束されている場合に対応している。

マニピュレータの運動自由度の不足に対しては、フル（6自由度）の運動命令を送る上位アプリケーションモジュールとアームモジュールの間に、運動の変換アルゴリズムを有する自由度変換モジュールをはさむことで、作業を遂行する。



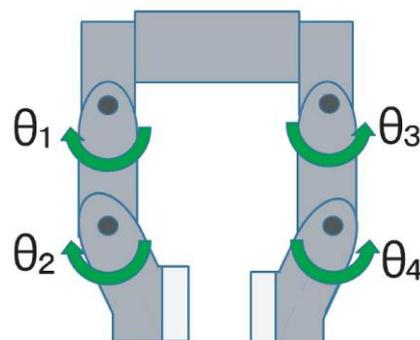
・物体把持実行モジュール

(筑波大学)

マニピュレータの作業として把持を実行するための方式としては、(1)アームモジュールの一部機能として組み込む、(2)独立した把持部モジュールとして組み込む、という二種類の方式が考えられる。本モジュールは(2)に即した方式でモジュールを開発したものである。この理由としては、多指ハンドなどアームの一部機能とはみなせない場合がある、ことのほか、ツールチェンジャなどで様々な把持部等を切り替えて使う場合がある、ためである。

単純な開閉のみを行うエアグリッパモジュールや図のようにラジコン用サーボモータを組み合わせ、4自由度を有するHiroハンドのためのモジュールを構築している。

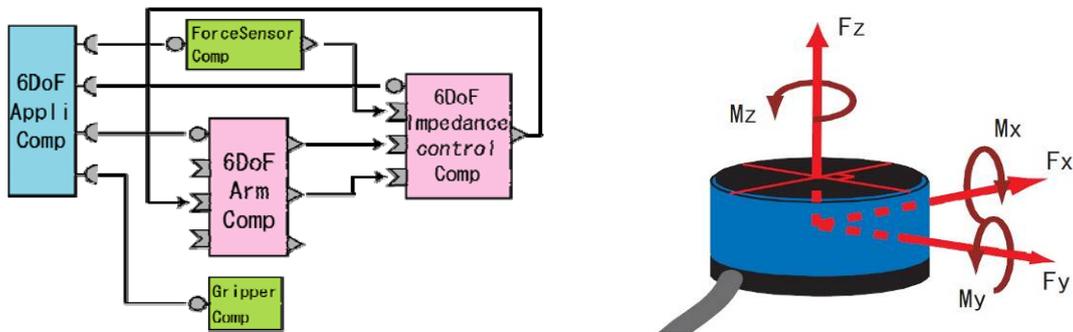
基本的な構成は、サービスポートを利用したコマンド方式としている。単純なエアグリッパであれば、open, close, status(開閉状態を返す) などであり、Hiroハンドでは、各関節ごとの開き角制御のほか、左右対称把持部平行として、把持部の開き幅のみを指定して4関節とも制御するコマンドなどを用意している。



- ・ニッタカセンサ IFS-70M35A25-M50B (ISAバス版)
(筑波大学)

ニッタ社製6軸力／トルクセンサ IFS-70M35A25-M50B のためのモジュールである。この力／トルクセンサは、本体内にアンプや演算部を内蔵しており、P Cからは専用の通信ボードを介してデータを取得する仕組みである。本モジュールは ISAバス版 のためのものである。通信ボードの仕様(メモリマップ等)はPCI版でも同様であり、改造は可能なようである。

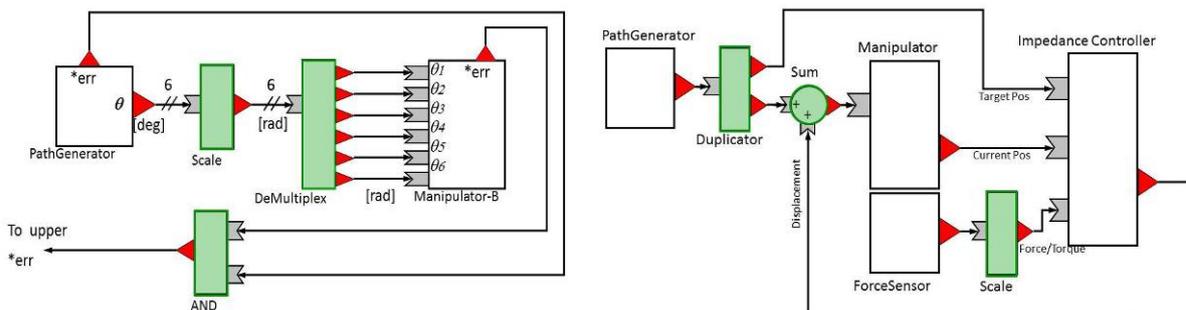
図のようにインピーダンス制御系などと組み合わせて使用できるように6軸の力／トルクデータをデータポートから常時出力しているほか、サービスポートを使用して、座標系指定、データ読み込み、取得レンジ設定、平滑フィルタ設定など本センサの有する機能を全て利用できるようになっている。基本的な座標系設定は図のようになっているが、座標系の指定により自由に変更可能である。



- ・SimuLike-コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群
(筑波大学)

様々なモジュールが様々な機能、個人により開発されているが、その仕様(使いやすさ)は開発各者に任されている場合が多い。データポートで受け渡しをしようとしても、あるモジュールは角度を deg で出力し、あるモジュールは rad で入力する仕様となっていると、それだけで接続は不可能となり、モジュールのソースコードを変更する必要があるなど、一般のユーザにとって大変使いにくくなってしまふ。

そのために、データ型等をさまざまに変換するアダプタツール群を作成し、様々な既存のモジュールを容易に接続できる環境を整えた。図の緑のモジュールが今回開発したモジュール群であり、データの複製、配列と多数ポートの切り替え、加減乗算、論理演算など様々なデータ変換をサポートしている。

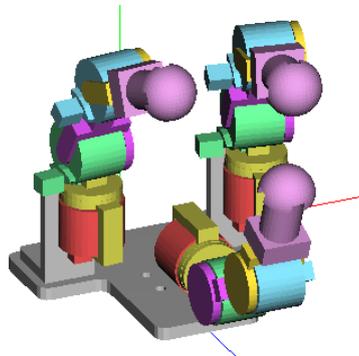


- 3D-CADモデルを利用したロボット動作モニタ
(筑波大学)

新たなアプリケーションプログラム等を開発した場合, すぐにロボットを動作させるのは, 安全面から不安がある. そこで, マニピュレータなどのロボットと同じ準運動学モデルをもったシミュレータ(表示機能のみ)を作成し, O p e n G Lの3次元グラフィックスで表示させるモジュールを作成した.

このモジュールは, 運動学モデルを内部に持たず, 設定パラメータファイルとして与える仕様となっており, 設定ファイルを変更するだけで, 様々なロボット, もしくは動かない環境や対象物などを表示することができる. 一般ユーザは設定ファイルだけ用意すればよく, モジュールのソースコード等を触る必要はない.

また, 表示するモデルは, 3D-CADで作成したSTLファイルを各リンク(関節で結ばれる剛体)形状の表現に指定することで, 容易に正確なグラフィック表示が可能である.



3.4.1.3.2 移動知能モジュール群の有効性検証

3.4.1.3.2.1 サービスロボットによる有効性検証（富士通株式会社）

（1）ロバスト性の検証

公共施設では、狭い通路、オープンなスペース、人の混雑度など様々な環境が存在する。自律移動技術の実用化するためには、様々な実環境、様々な外乱の中で、安定して自律移動ができる必要がある。

そこで、オフィス廊下、オフィ스로ビー、大学食堂、展示会場などの異なる実環境で自律移動実験を行い、有効性を検証した。各環境で用いた自律移動システムの構成を表 3.2.1.-1 に示す。富士通モジュールを統合した構成や各機関で開発したモジュールを統合した構成で検証を行った。

表 3.2.1.-1 検証した環境とシステム構成

環境	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	ハードウェア
オフィス廊下、	富士通	富士通	富士通	enon
オフィ스로ビー	富士通	富士通	富士通	enon
	富士通	富士通	富士通	トヨタ実験ロボット
大学食堂	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	enon
展示会場	富士通	富士通	富士通	enon
オフィス部屋	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V

実験①：オフィス廊下

公共施設では狭く長い通路が多く存在する。このような通路では、進行方向上にコーナー等の幾何学的な特徴が少なく、進行方向の自己位置推定誤差が大きくなる可能性がある。また壁に衝突しないように安全に経路計画を行う必要がある。そこで、狭く長い通路があるオフィス廊下でロボスタ性の検証実験を行った。

外乱へのロボスタ性を検証するために、ロボットの移動途中に表 3.2.1-2 に示す人・障害物による外乱を加え、ロボットのゴール地点での停止位置を測定して、評価した。

表 3.2.1-2 人・障害物による外乱の設定

人・障害物条件		
パターン	人数	人の行動
(1)	0	なし
(2)	1	正面に立つ（静止）
(3)	1	ロボット正面で動き続け、迂回経路を選択させる。
(4)	1	急に接近し、ロボット停止させる
(5)	2	片側を開けるように立つ（静止）
(6)	2	真ん中を開けるように立つ（静止）
(7)	3	前後並んで立つ（静止）
(8)	3	前に1人、後ろに2人立つ（静止）
(9)	3	横に並んで道を塞いだのち、道を空ける。
(10)	6	ロボットが移動できないよう取り囲む。
(11)	6	ランダムに動いて人が移動。

移動の成功・失敗は目的地での停止位置精度をもとに判定した。ロボットの停止位置の要求精度は自律移動後に実行する業務に依存するが、案内業務を想定して目的地の地点から 100cm 以内に到達して停止することを成功とした。地図には歪みなどがあるため、目的地を実環境と地図で正確に対応付けることが難しい。自律移動を複数回行なって、ロボットが停止した実際の位置と地図上で推定された位置のオフセットを求めて使用することが多く、この場合、停止位置のばらつきが停止位置の精度を表すことになる。そこで、本評価実験では、自律移動の停止位置を平均した位置を目的地とし、そこからのずれを誤差として停止位置を評価することとした。

図 3.2.1-1 にオフィス廊下の実験で使用した移動知能モジュール群の構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール群、移動経路計画モジュール群、enon 走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示 GUI モジュールで構成される。

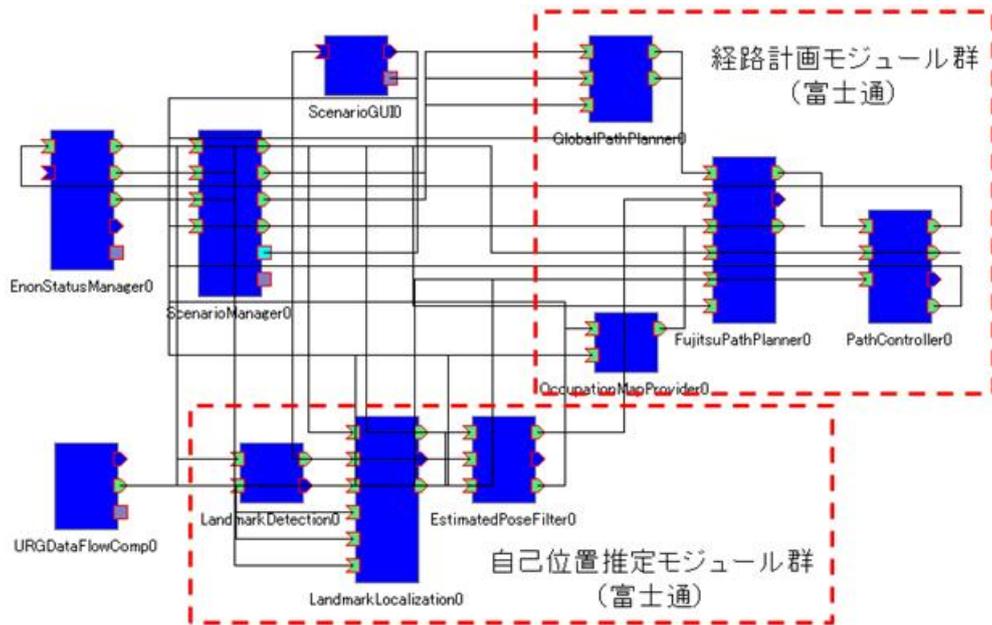


図 3.2.1.-1 富士通モジュールを統合した自律移動システムの構成

自律移動を行った環境のレイアウト地図を図 3.2.1.-2 に、実験環境の様子を図 3.2.1.-3 に示す。廊下の全体の長さは約 70m、通路の幅は約 2.3m である。図 3.2.1.-2 に示すように C を経由して A と B の間を移動する。移動経路 A と B の間の走行距離は約 40m である。ただし、C と B の間の経路が塞がれる場合は、迂回経路として、経路 C-D-B が選択される。



図 3.2.1.-2 オフィス廊下平面地図と自律移動経路



図 3.2.1.-3 オフィス廊下実験環境

表 3.2.1.-3 に実験結果を示す。オフィス廊下のように狭い通路がある環境でも表 3.2.1.-2 で設定した外乱に対応する移動成功率は 100%であることを確認した。

表 3.2.1.-3 オフィス廊下実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	位置誤差 (cm)	結果
1	(1)	A→B	29	○
2	(2)	B→A	27	○
3	(3)	A→B	41	○
4	(4)	B→A	35	○
5	(5)	A→B	9	○
6	(6)	B→A	29	○
7	(7)	B→A	29	○
8	(8)	A→B	25	○
9	(9)	A→B	15	○
10	(10)	A→B	37	○
11	(11)	B→A	34	○
		成功率	100%	

実験②：オフィスロビー

オフィス等でロボットが案内を行う場合、玄関ロビーが用いられることが多い。玄関ロビーはオープンな空間が多い、人の往来がある、外光により照明条件が変化するという特徴がある。

人・障害物からの外乱、移動の成功・失敗の判定条件、システム構成はオフィス廊下と同じものを用い、富士通社内オフィスのロビーで行った。

自律移動を行った環境のレイアウト地図を図 3.2.1.-4 に、実験環境の様子を図 3.2.1.-5 に示す。図 3.2.1-4 に示すようにロボットをポイント A, B, C の間に往復させる。A と B の直線距離が約 11.6m、A と C との直線距離が約 13.1m、B と C との直線距離が約 7.1m である。

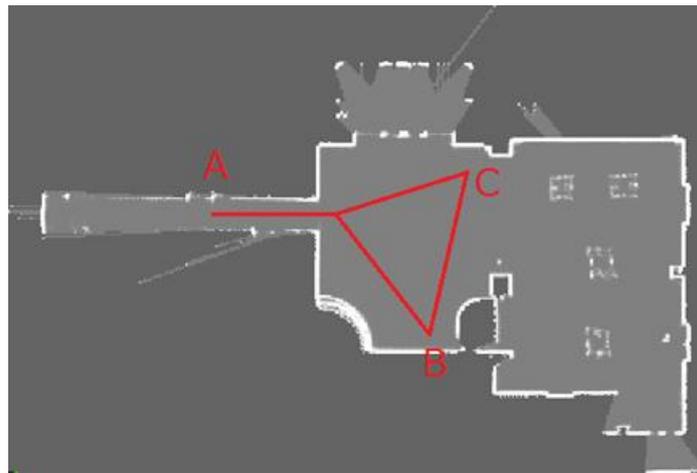


図 3.2.1.-4 オフィスロビー平面地図と自律移動経路



図 3.2.1.-5 オフィスロビー実験環境

外光があるため実験は昼と夜の異なる照明条件の下で行った。表 3.2.1.-4 に実験結果を示す。オフィスロビーのように外光条件が変化する環境でも、表 3.2.1.-4 で設定した外乱のパターンに対応する移動成功率は 100%であることを確認した。

表 3.2.1.-4 オフィスロビー実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	天井蛍光灯 OFF		天井蛍光灯 ON	
			位置誤差 (cm)	結果	位置誤差 (cm)	結果
1	(1)	B→A	32	○	12	○
2	(1)	A→C	16	○	13	○
3	(1)	C→B	4	○	5	○
4	(2)	C→B	8	○	9	○
5	(5)	B→C	13	○	42	○
6	(6)	C→B	11	○	2	○
7	(7)	C→B	16	○	5	○
8	(8)	B→C	35	○	27	○
9	(9)	B→C	46	○	45	○
10	(10)	B→C	26	○	19	○
11	(11)	B→C	20	○	43	○
12	(11)	B→C	65	○	14	○
13	(11)	C→B	11	○	12	○
14	(11) (4)	B→C	29	○	20	○
15	(11) (4)	C→A	32	○	12	○
16	(11) (4)	A→B	12	○	21	○
		成功確率 (%)	100%		100%	

実験③オフィスロビー（再委託先：トヨタ自動車）

公共施設で自律移動するための知能モジュールを統合したシステムの有効性の検証を行った。実験は公共施設を模擬した環境として、トヨタ広瀬工場のパートナーロボット棟の1Fエントランスで行った。

使用した移動ロボットを図3.2.1.-6に示す。頭部にはパンチルトユニットが設置され、その上部にはステレオカメラ、富士通のステレオビジョンモジュール、北陽社製のTOP-URGが搭載されている。処理部はトヨタ自動車で通常使用しているCPU基板が用いられている。台車部の上に水平方向に同じくTOP-URGが設置され、障害物検知に利用される。移動台車部はPioneer3DXを使用している。カメラとしてはビュープラスのF1ea2(VGA)にコーワの超広角メガピクセルレンズLM3NC1Mを搭載する。また安全を考慮して非常停止用バンパー、落下防止のための磁気センサを搭載した。

富士通の自己位置推定モジュール群、移動経路計画モジュール群、移動ロボット用走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示GUIモジュールで構成される。

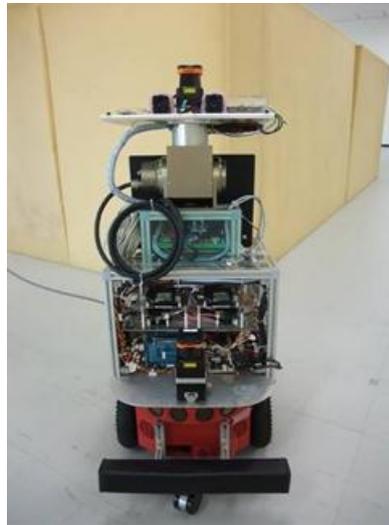


図 3.2.1.-6. R Tミドルウェア動作確認用移動ロボット

本実験の目的は、公共施設での有効性の検証である。検証の切り口として、以下の項目を挙げた。

- A. 停止位置における自己位置推定のばらつき
何らかのタスクをロボットが遂行する場合、精度良く目的地に停止する必要がある。そのためには、少なくとも自己位置推定の精度が要求される。
- B. 移動成功率、目的地到着率
失敗することなく、目的地までの移動を完遂する割合を示す。
- C. 人なしの平均速度と人ありの到達時間の比較
人混在環境がロボットのタスク遂行に対してどれだけ影響を及ぼすかの指標となると考えられる。
- D. 照明条件の影響
公共施設は家庭環境に比べて採光が考慮され、ロボットは照明条件の影響を大きく受けると考えられる。

実験環境を図3.2.1.-7に示す。パートナーロボット1Fエントランスに3点目的地を設定し、三角を描くように4周させたときのデータを取得した。人無し条件と人有り条

件の様子を図3.2.1.-8に示す。

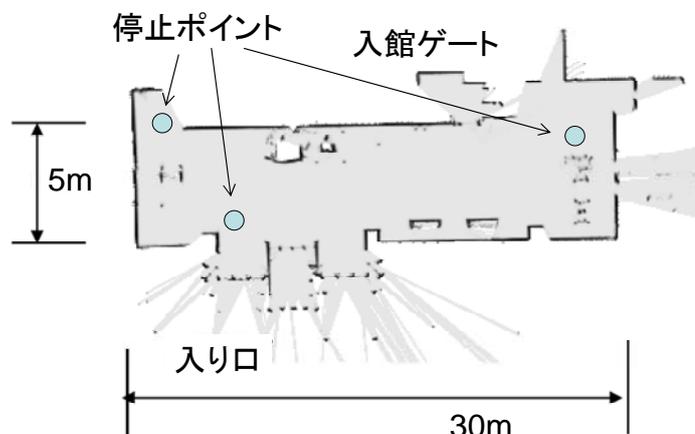


図3.2.1.-7 目標停止位置



図3.2.1.-8 人有り時の様子

A. 停止位置における自己位置推定のばらつき

人無し（1分に人が2、3人通り過ぎる程度）の条件と、人有り（常に2～3人がロボット周辺をうろついている）の条件で、自己位置推定の精度評価を行った。12回の目的地到着時の自己位置推定結果と、メジャーで計測したロボットの真の位置を比較した。結果を図3.2.1.-9に示す。

人無しの場合の平均停止誤差は9.8cm、2.1degであった。人有りの場合の平均停止誤差は29.3cm、1.2degであった。実際の位置に対する自己位置推定の誤差が大きいと、経路計画の誤りや停止誤差の増大を招く。しかし、公共施設でお客様に何らかのサービス（案内、荷物運搬）を行うことを考慮した場合、この程度の誤差がサービスの遂行に影響を及ぼすほどではないと考えられる。

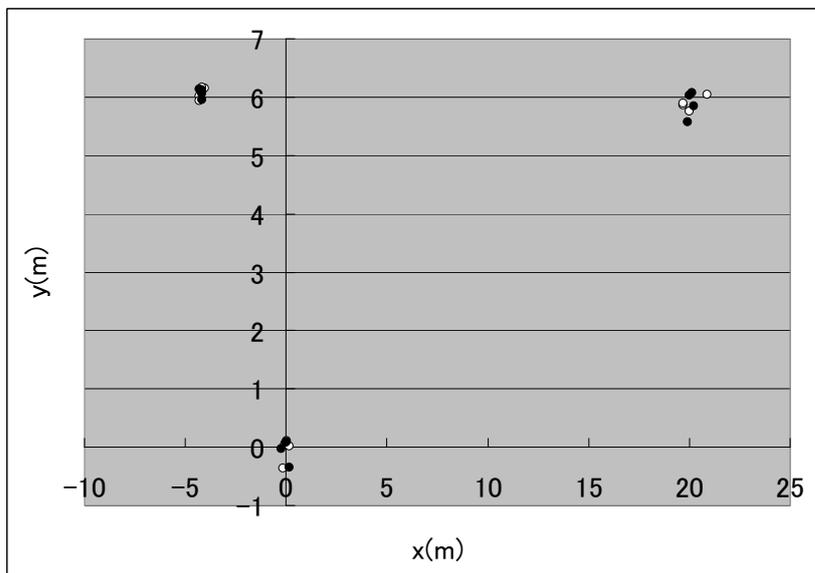
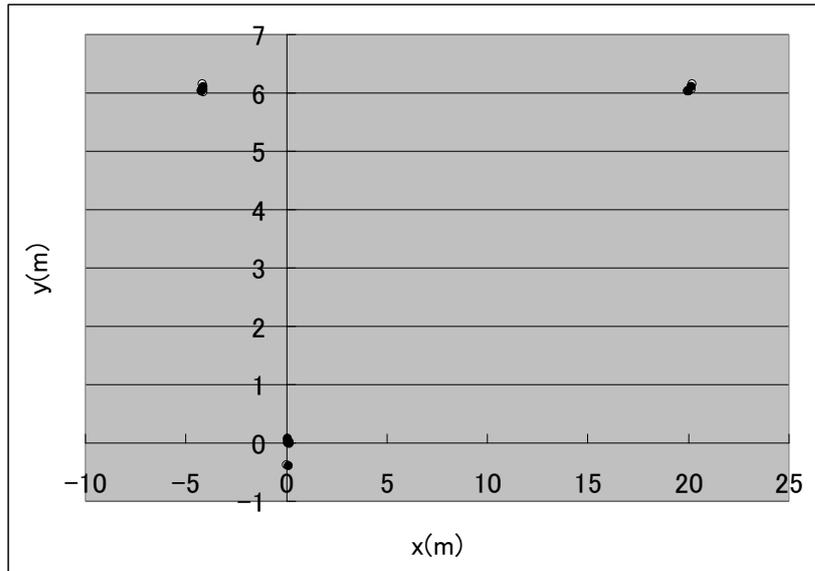


図3.2.1.-9. 停止位置と自己位置推定の比較
 (上図：人無し 下図：人有り)
 (●：実際の停止位置 ○：自己位置推定)

人回避パターンに対する成功率、目的地到着率
実験Aにおいて、人無し、人有り条件に関わらず、12回の移動を全て成功することができた。参考までに移動した軌跡を図3.2.1.-10に示す。

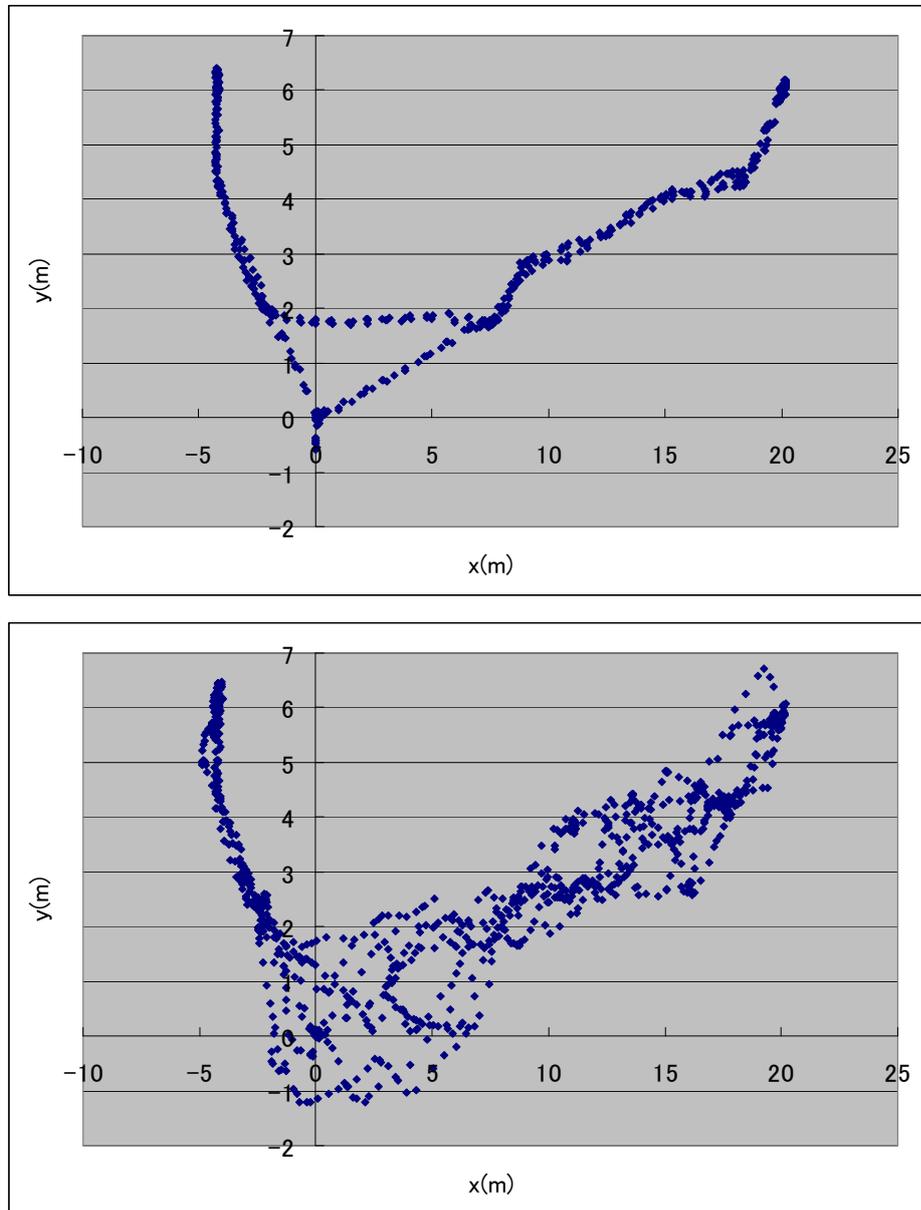


図3.2.1.-10. 自己位置推定の軌跡
(上図：人無し 下図：人有り)

B. 人無しの平均速度と人有りの到達時間の比較

人無し、人有りの条件化での移動速度の時間分布を図3.2.1.-11に示す。人無しでの平均移動速度は0.32m/s、人有りの平均移動速度は0.20m/sであった。

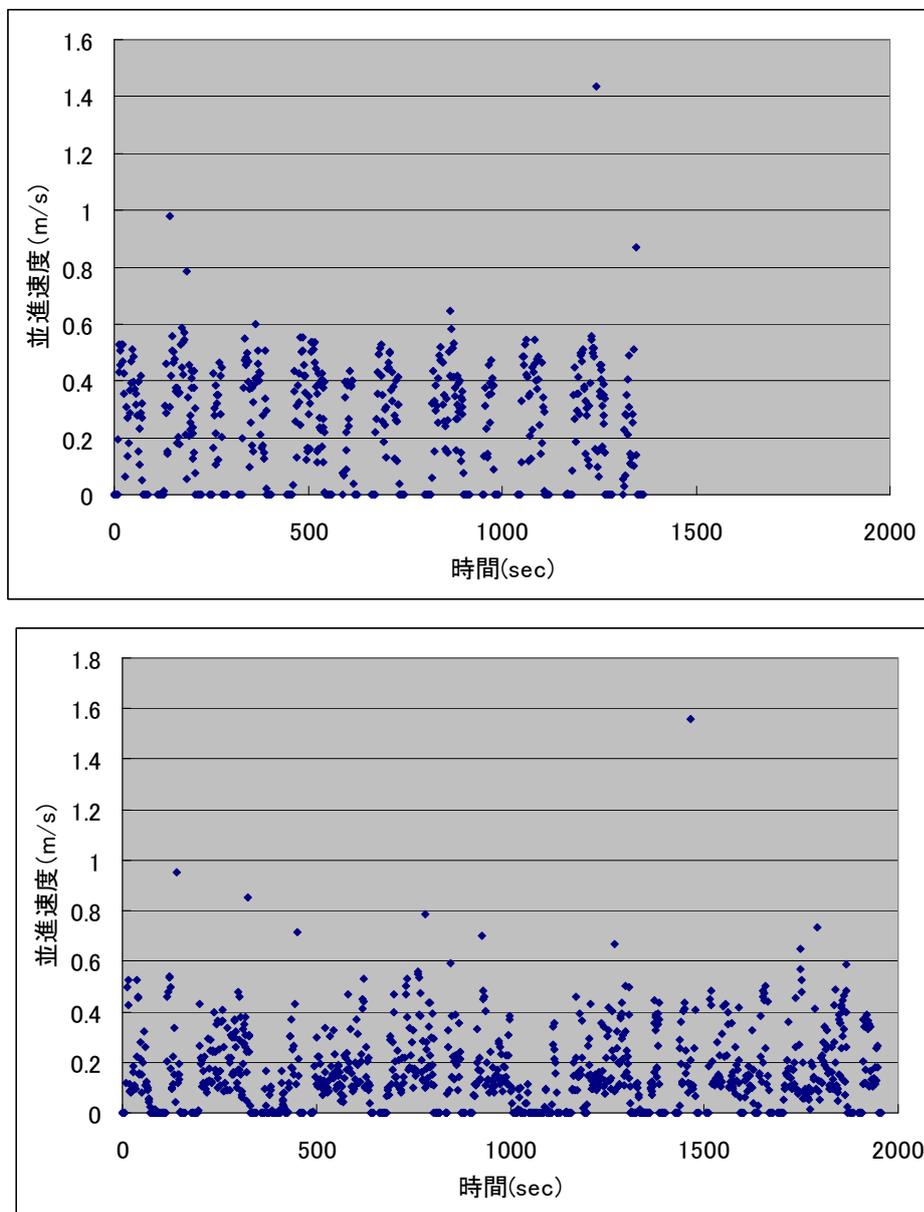


図3.2.1.-11 自己位置推定の軌跡
(上図：人無し 下図：人有り)

C. 照明条件の影響

午前10時に収集されたデータを元にSLAMによって生成された地図を用い、午前11:30～12:00、16:00～17:30にかけて上記の実験および動作確認を行ったが、移動成功率は全て100%であり、照明条件による移動性効率の違いはなかった。参考までに午前と午後の実験時の様子を図3.2.1.-12に示す。



図3.2.1.-12 実験の様子
(上図：11時頃 下図：17時頃)

(まとめ)

有効性検証の目標は、全モジュールを統合したシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成することを確認する、ことである。

その目標に対して、停止位置における自己位置推定のばらつき、移動成功率、平均移動速度を、人無し、人有り条件の違いで比較し、富士通株式会社が開発した知能モジュールの動作に問題がないことを確認した。さらに、照明条件が異なる環境下で実験を行い、照明条件が移動性効率に影響を及ぼさないことを確認することができ、上記の目標を達成することが出来た。

実験④：大学食堂（富士通、豊橋技科大の共同実験）

ショッピングセンタなどの公共施設では、物品のレイアウトが変化することが多く、人通りも多い。そこで、人通りがあり、物品を運ぶ台車の位置が変わるレイアウト変更が発生する環境として、大学食堂で実験を行った。

図 3.2.1.-13 に大学食堂実験で使用した移動知能モジュール群の構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、豊橋技科大の移動経路計画モジュール、豊橋技科大の人発見モジュール、enon 走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示 GUI モジュールで構成される。

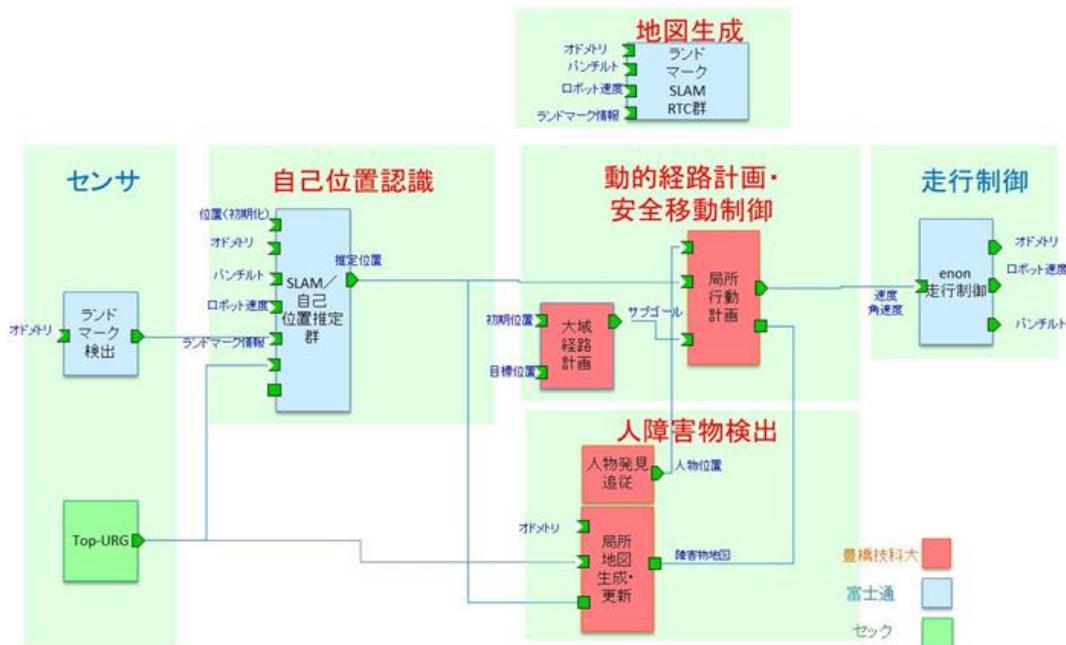


図 3.2.1.-13 富士通自己位置推定モジュール、豊橋技科大経路計画モジュール、豊橋技科大人発見モジュールを統合した自律移動システムの構成

大学食堂の平面地図を図 3.2.1.-14 に、実験環境を図 3.2.1.-15 に示す。ロボットはポイント A と B の間を移動する。A と B の間の直線距離は約 29.3m である。

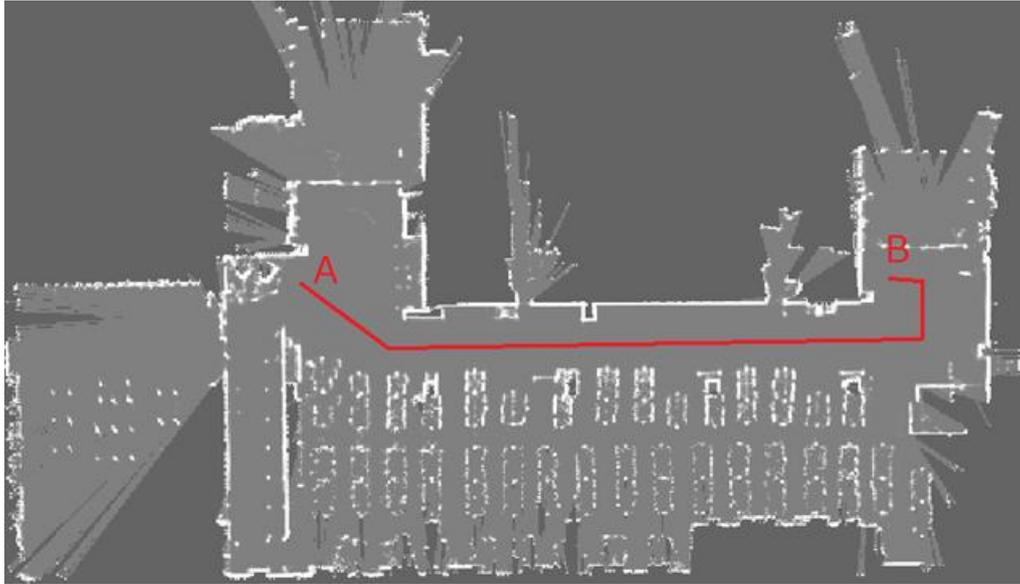


図 3.2.1.-14 大学食堂の平面地図と移動経路



図 3.2.1.-15 大学食堂実験環境

自律移動の実験結果を表 3.2.1.-5 に示す。本実験では、実験番号 8 のように位置誤差が 93cm と他と比較して大きくなる場合が発生した。ゴール到達前に食堂の従業員を回避したあと位置推定の誤差が発生し、到達位置の誤差が大きくなった。しかし、その到達地点から次の目的地への移動の際には、推定位置のずれから復旧して次の移動作業は成功しており、案内業務の遂行に必要な移動はできた。

このように環境内の物の配置が変化する環境でも、確実に移動できることを確認した。

表 3.2.1.-5 大学食堂実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	位置誤差(cm)	結果
1	なし	A→B	6	○
2	なし	B→A	10	○
3	人1人停止	A→B	3	○
4	人2人(片側配置)停止	A→B	2	○
5	人2人(両脇配置)停止	B→A	8	○
6	人3人(横一列)停止	A→B	9	○
7	人3人(前後)停止	A→B	7	○
8	複数人ランダム移動	B→A	93	○
9	複数人ランダム移動	A→B	14	○
10	複数人ランダム移動	B→A	16	○
11	複数人ランダム移動	A→B	6	○
12	複数人ランダム移動	B→A	16	○
13	複数人ランダム移動	A→B	9	○
14	複数人ランダム移動	B→A	15	○
		成功率	100%	

実験⑤：展示会場

展示会場はオープンな環境であり、人の移動や物の配置も大学食堂よりはるか複雑である。そこで、このような複雑な環境下でのロボスタ性を検証するため、2011年の国際ロボット展の展示会場で自律移動の実証実験を行った。システム構成はオフィス廊下と同じものを用いた。

展示会場の平面地図を図 3.2.1.-16 に、実験環境を図 3.2.1.-17 に示す。地図を開催日の前日に作成し、自律移動の実証実験は開催日の開場時間と閉場時間で行った。この時間帯では密集しない程度で人通りがある状況であった。ロボットは図 3.2.1.-16 に示すポイント A, B, C の間に連続的に往復させる。A と B の間の移動距離は約 101m、A と C の間の移動距離は約 73m である。

展示会では目的地の精度の測定ができないため、移動の成功・失敗は目的地近辺に到達したかを目視で確認して判定した。3 地点間で計 15 回を移動し、すべて成功となった。

この実験により、大規模なオープンな環境下で、人通りが複雑な場合でも、ロボットがロボスタに自律移動を行えることを確認した。

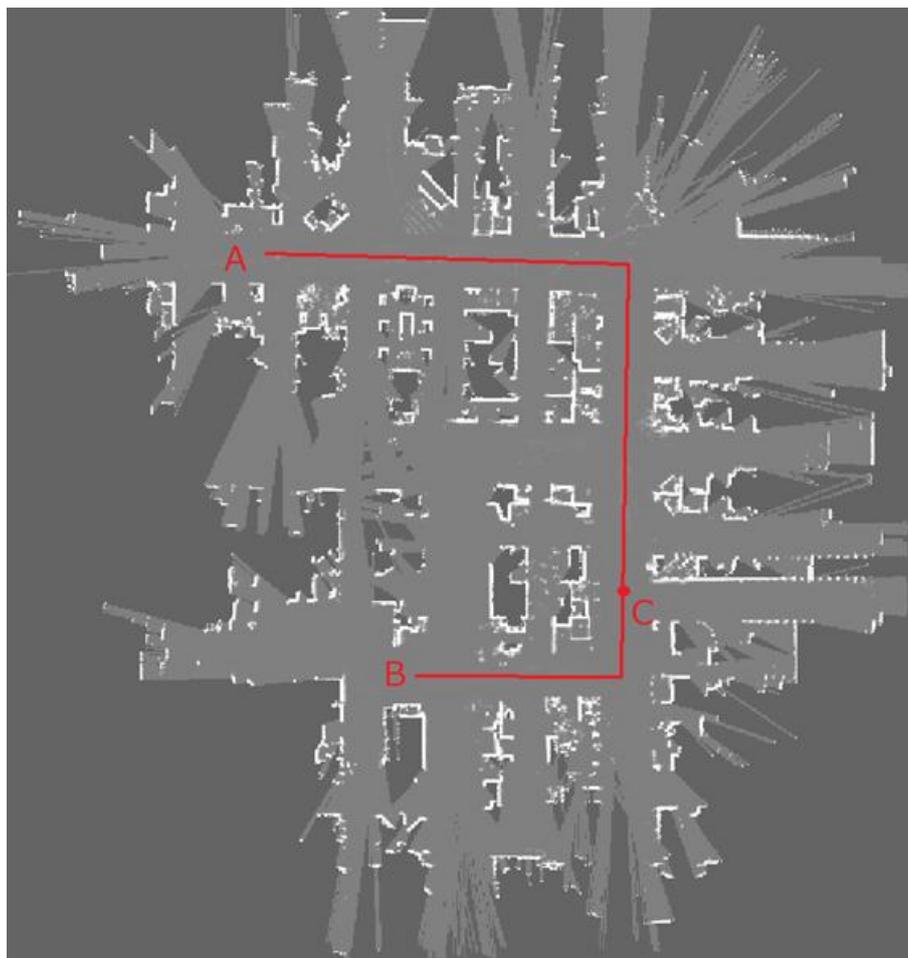


図 3.2.1.-16 展示会場(2011年国際ロボット展)の平面地図と移動経路



図 3.2.1.-17 展示会場(2011年国際ロボット展)の環境

(2) 再利用性の検証

様々なロボットシステムで利用可能な再利用性の高い移動知能モジュール群を実現するために、本研究開発では移動機能を主要な機能要素で分割し、各機関で分担して開発した。開発したモジュールを相互接続できるように、インタフェースを移動知能 SWG の共通インタフェースをベースにして揃えた。そこで、様々なロボットシステムでハードウェア、ソフトウェア両方の再利用性の検証を行った。表 3.2.1-6 に検証したシステムの構成を示す。

表 3.2.1-6 複数のロボットシステムでの検証

ソフトウェア				ハードウェア
	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	
構成 1	富士通	富士通	富士通	enon、リファレンスハード、トヨタ実験ロボット
構成 2	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	enon
構成 3	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V
構成 4	奈良先端大	富士通	富士通	enon

上記のうち、一部のシステムはロバスト性の検証で既に示した。以下ではこれまで示さなかった構成での検証について説明する。

実験⑥：リファレンスハードウェアによる検証

開発した知能モジュール群が異なるロボットハードウェアでも利用できることを確認するためにリファレンスハードウェアで自律移動実験を行った。図 3.2.1-18 にリファレンスハードウェアの自律移動システム構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、移動経路計画モジュール、リファレンスハードウェア走行制御モジュール、移動シナリオを管理するモジュールユーザインタフェースモジュールで構成される。

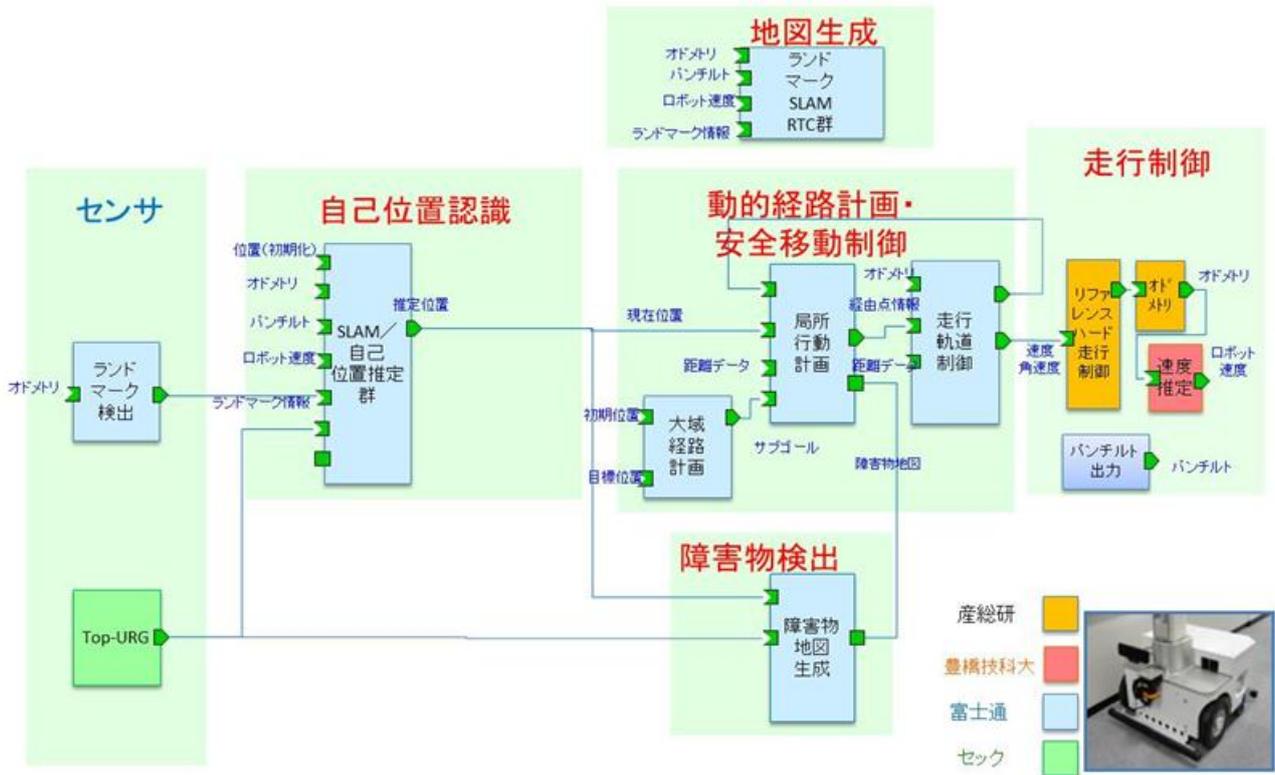


図 3.2.1.-18 リファレンスハードウェアを用いた自律移動システムの構成

本システムを用いてオフィス廊下にて自律移動実験を行い、目的地まで人を回避しながら移動できることを確認した。



図 3.2.1.-19 リファレンスハードウェアを用いた自律移動実験

実験⑦：HRP2-V による検証

開発した知能モジュール群が異なるロボットハードウェアでも利用できることを確認することに加え、各機関で開発したモジュールの相互接続性を確認するために、各機関のモジュールを統合して HRP2-V で検証を行った。図 3.2.1-19 に HRP2-V の自律移動システム構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、豊橋技科大の移動経路計画モジュール、東京大学の 3 次元運動分離認識モジュール、enon 走行制御モジュール、移動シナリオを管理するモジュールユーザインタフェースモジュールで構成される。

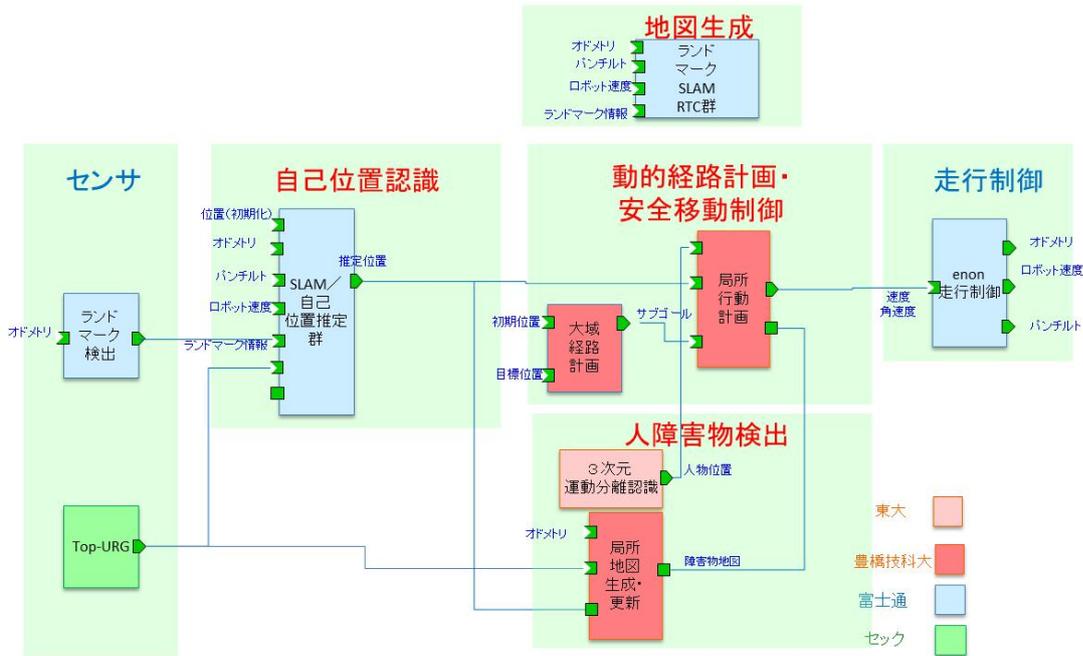


図 3.2.1.-19 リファレンスハードウェアを用いた自律移動システムの構成

本システムを用いて東大秋葉原拠点のオフィス環境にて自律移動実験を行い、目的地までの移動を 15 回行い、15 回成功することを確認しており、各機関で開発したモジュールの再利用性を確認した。



図 3.2.1.-20 リファレンスハードウェアを用いた自律移動実験

実験⑧： 自己位置推定モジュール群の可換性の検証

富士通の自己位置推定モジュールと奈良先端大の自己位置推定モジュールの可換性を検証するために、富士通自己位置推定モジュールを奈良先端大 LRF 位置推定に置き換えた構成で実験を行った。

図 3.2.1.-21 は図 3.2.1.1 に示す富士通の自己位置推定モジュール群を奈良先端大の自己位置推定モジュール群に置き換えた構成を示す。奈良先端大の自己位置推定モジュールは、富士通の地図生成モジュールで生成した地図を利用できるようにインタフェースを揃えている。富士通が開発した地図情報出力モジュールがグリッド地図情報をサービスポート経由で出力し、奈良先端大の自己位置推定モジュールで利用する。

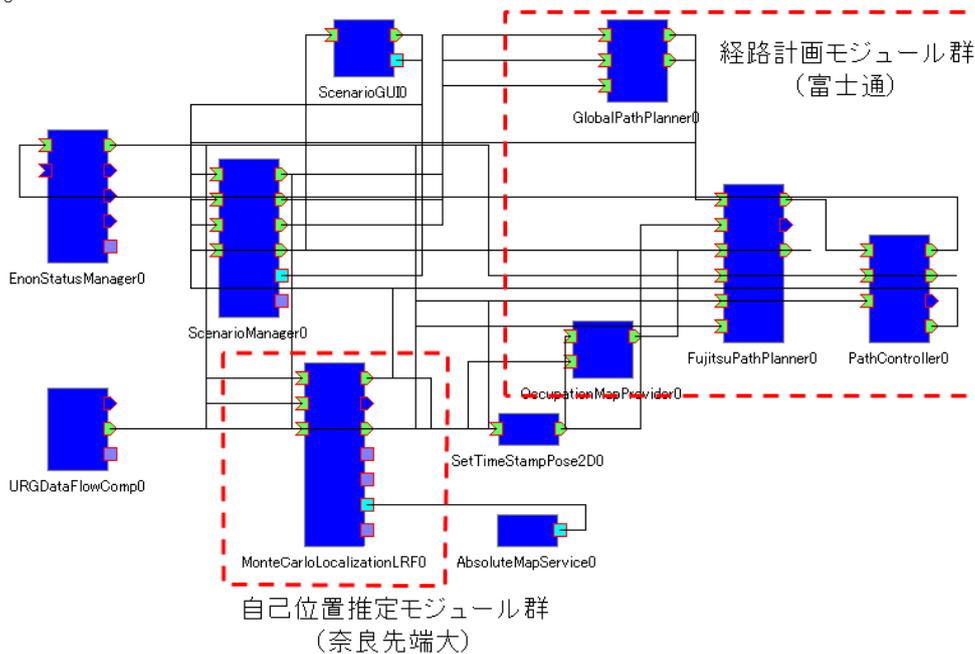


図 3.2.1.-21 奈良先端大自己位置推定モジュールを利用した移動智能モジュール群の構成

図 3.2.1.-22 は、奈良先端大の自己位置推定モジュールを利用した場合の環境地図と移動経路を示している。ロボットがポイント A から出発して、障害物を回避しながら、A→B→C→D→E→F→A の順に 5 往復を連続に行った。合計 25 回の移動行ったが、全て位置を見失うことなく目的地まで移動できることを確認した。



図 3.2.1.-22 奈良先端大自己位置推定モジュールを利用した際の自律移動環境地図と経路

(3) まとめ：

開発したモジュールのロバスト性と再利用性を検証するための実証実験を実施した。表 3.2.1-7 に示すように開発したモジュールを搭載したロボットシステムがオフィス廊下、オフィ스로ビー、食堂、展示会場の複数の環境で目的位置まで自己位置を見失うことなく移動できており、開発したモジュールのロバスト性を実証した。移動作業を 80%以上遂行できており、基本計画を達成した。

また、各モジュールを enon、リファレンスハード、トヨタ実験用ロボット、HRP2-V の 4 種のロボットに搭載し、それぞれのロボットシステムが移動できることを確認し、モジュールの再利用性も実証した。

表 3.2.1-7 実証実験結果

	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	ハードウェア	成功率
オフィス廊下	富士通	富士通	富士通	Enon	11/11
	奈良先端大	富士通	富士通	Enon	25/25
オフィ스로ビー	富士通	富士通	富士通	Enon	32/32
	富士通	富士通	富士通	トヨタ実験ロ ボット	12/12
大学食堂	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	Enon	14/14
展示会場	富士通	富士通	富士通	Enon	15/15
オフィス部屋	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V	15/15

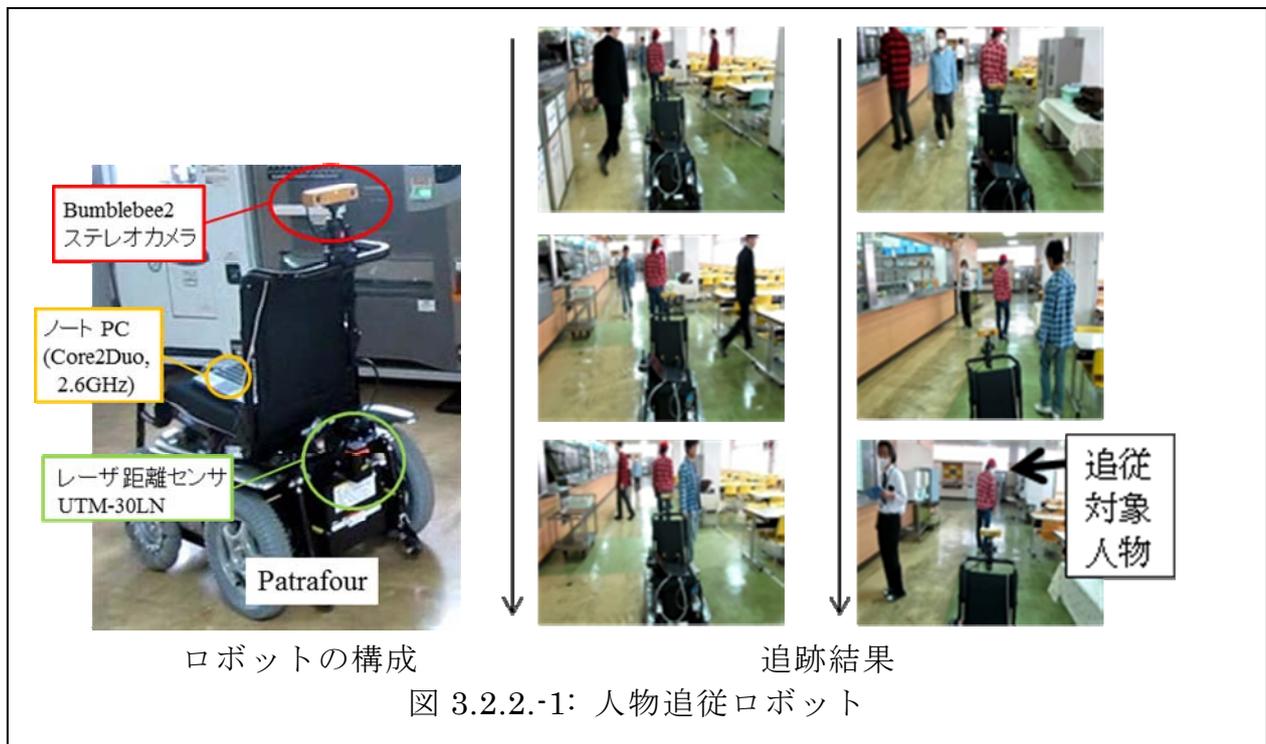
3.4.1.3.2.2 地図情報生成、移動行動計画モジュール群の実ロボットによる動作検証（豊橋技術科学大学）

（１）実ロボット用制御モジュールの開発

国内外の研究機関で広く利用されている MobileRobots 社のロボット (PeopleBot, Pioneer2, ARIA ライブラリを使用) 用のモジュールと、屋外走行も可能な関東自動車の Patrafour 電動車椅子用のモジュールを開発した。

（２）人物追従ロボットの構築と実験

障害物や他の人物を避けながら特定人物に追従することのできるロボットシステムを開発した。図 3.2.2-1 にロボットと大学食堂での追従行動の様子を示す。ロボットはステレオ視により人物を発見・追跡し、レーザ距離センサによって障害物地図を生成する。それら環境認識と局所経路計画、およびセンサデータ処理やロボットの制御を 1 台のノート PC で行い、約 0.5 秒のサイクルで処理を行っている。実験室、食堂、展示会場などさまざまな場所で実験を行い、ロボストに動作することを確認した (図 3.2.2.-2 参照)。なお、実験では、上記の PeopleBot, Patrafour に、ENON を加えた 3 種類のロボットを用いた。





実験室 2009 国際ロボット展 企業展示会場

図 3.2.2-2: さまざまな環境での人物追従実験

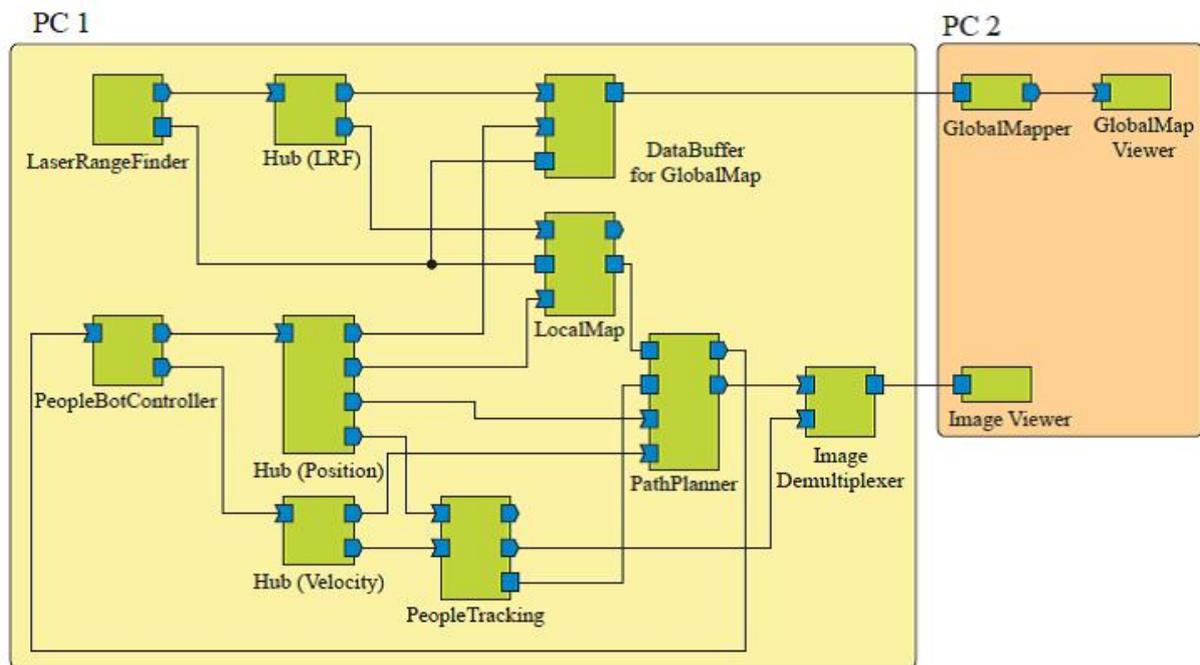
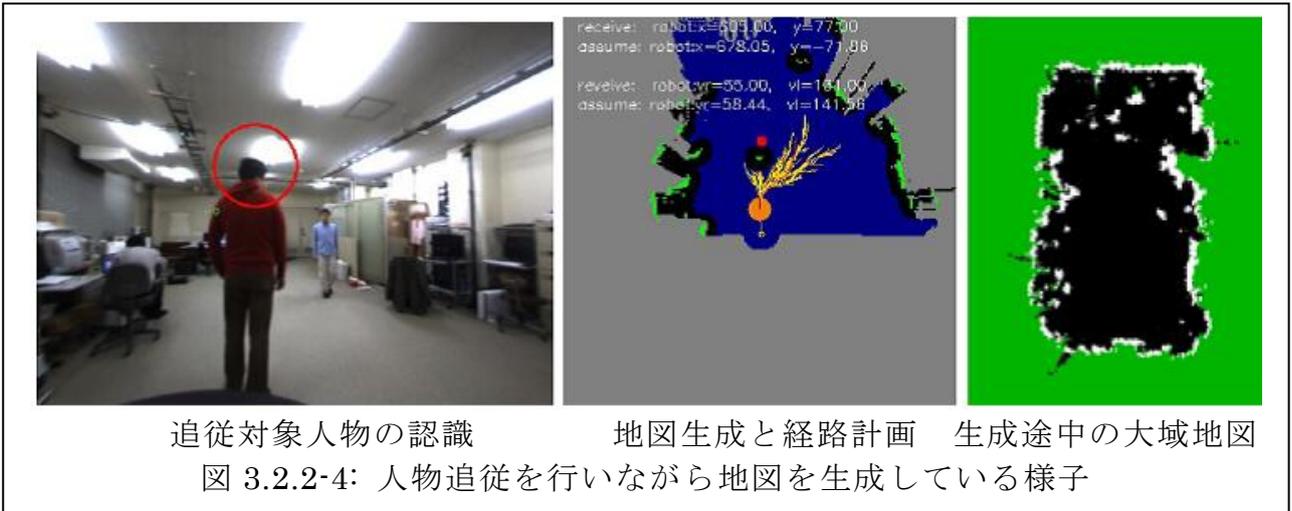


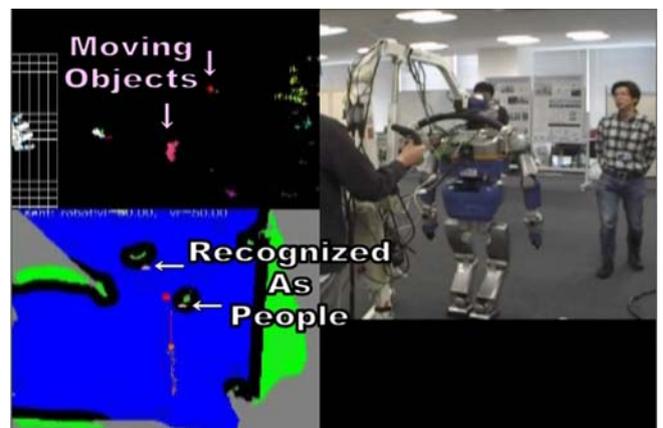
図 3.2.2-3: 人物追従・地図生成システムのコンポーネント構成

人物追従ロボットシステムに、大域地図生成モジュールを追加すると、連れて歩くだけで環境の地図を生成できるシステムができる。図 3.2.2-3 にコンポーネント構成を、図 3.2.3-4 に地図生成途中の結果を示す。図 3.2.2-2 の国際ロボット展でのデモンストレーションでも同様のシステムの実演を行った。

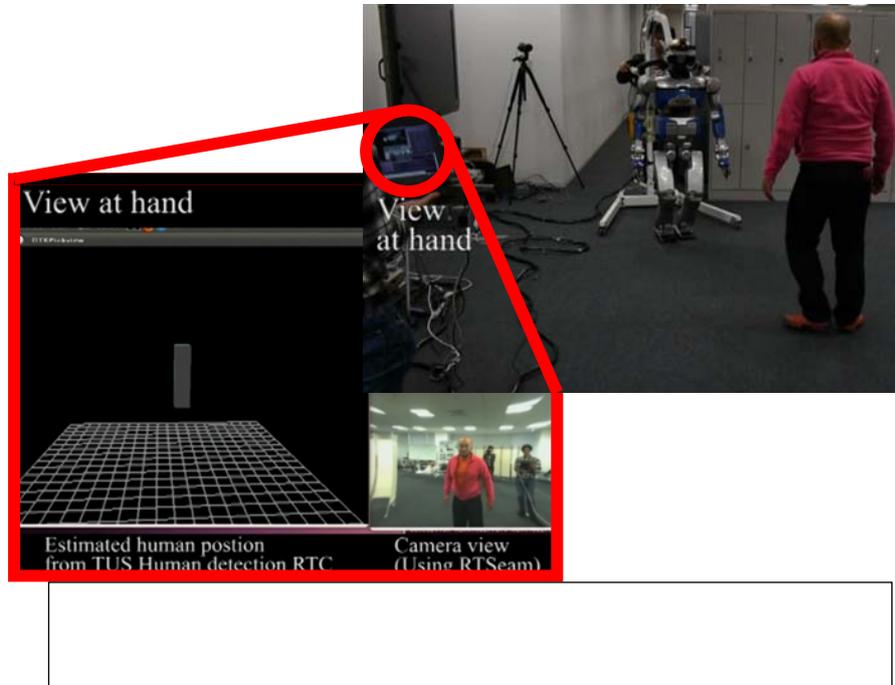


3.4.1.3.2.3 ヒューマノイドロボットによる有効性検証（東京大学）

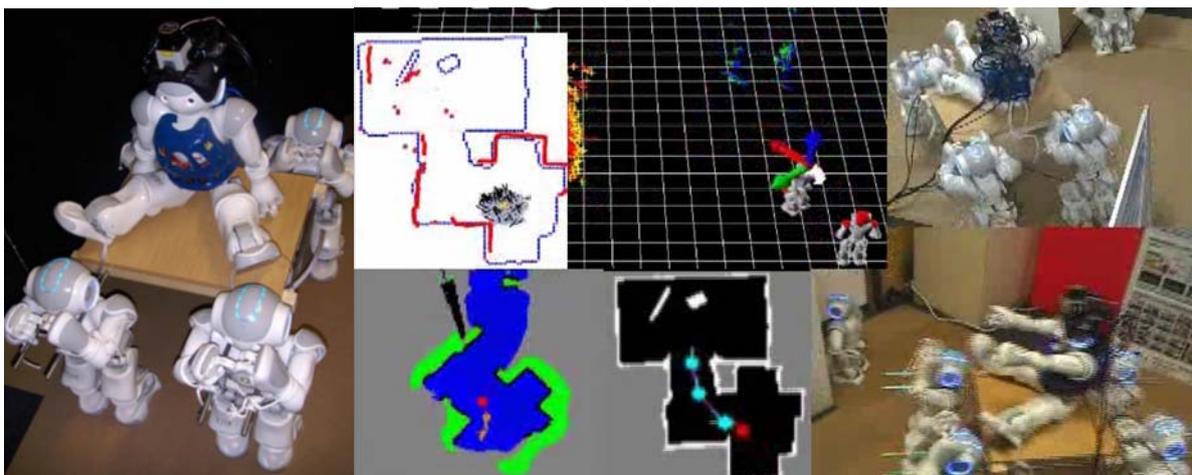
3.1.5 で開発した 3次元運動分離認識モジュール群と、コンソ内の他のグループで開発された自律移動知能コンポーネント群とを連携させた統合システムを構築することで、頭部に3次元揺動が生ずる二脚型ヒューマノイドロボットにおいても問題なく屋内でのナビゲーション行動が可能であることを検証した。図 3.2.3.1 に、等身大ヒューマノイド HRP-2 を用いて、秋葉原オフィス環境において自律移動を行っている様子を示す。ここでは、3次元運動分離認識を行うことで、自己位置の修正を行いつつ、地図との照合による自己位置推定（奈良先端大）、局所地図生成・移動経路計画（豊橋技科大）を利用することで二脚型のロボットにおいても車輪型ロボット用に開発された自律移動知能コンポーネントを再利用することが可能になっている。また、3次元運動分離認識モジュールから得られる複数の移動物体の3次元点群を人障害物として扱い、局所経路計画において、回避移動経路を計算している様子を図 3.2.3.2 に示す。



また、自律移動中に同時に人発見モジュール（東京理科大）及び、共通画像インタフェース（大阪大），RTSeam（セック）を用いて手元のノート PC にロボット視野と人発見結果の 3 次元位置の描画を行なっている様子を図 3.2.3.3 に示す。



さらに、歩行よりも 3 次元揺動が大きな場合の例として、複数ヒューマノイドロボットが台の上に環境認識ヒューマノイドを載せて移動する神輿行動においても、同様の自律移動が可能であることを検証し（図 3.2.3.4），構築した統合モジュールシステムのロバスト性を確認した。



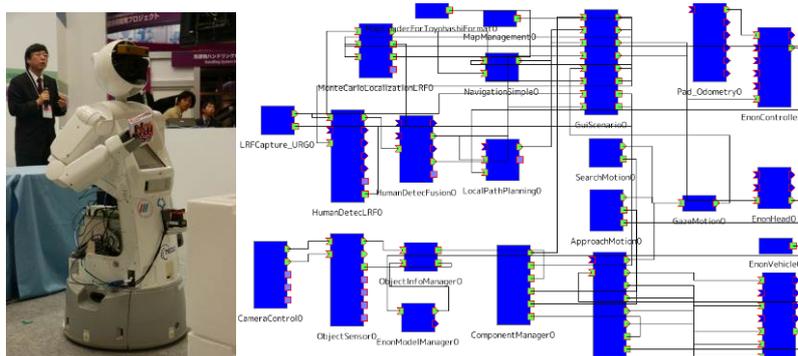
3.4.1.3.2.4 知能モジュール群の有効性検証（奈良先端科学技術大学院大学、大阪大学、東京理科大学）

検証用統合システムおよび検証用実験環境の構築

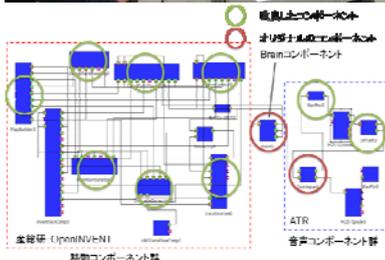
検証用統合システムとして、富士通サービスロボットenonにステレオカメラ、レーザ測域センサを搭載し、RTコンポーネントにより動作するロボットシステムを構築した。国際ロボット展では、GUIによりナビゲーション、対人追従、物体把持を行うデモンストレーションを1日2回、会期中4日間で合計8回のデモンストレーションを実施した。

関連モジュールの評価と再利用の検討

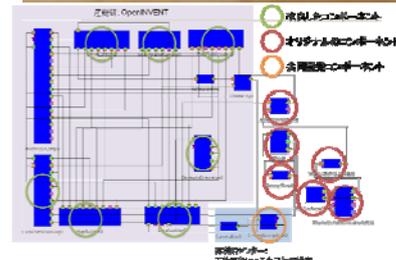
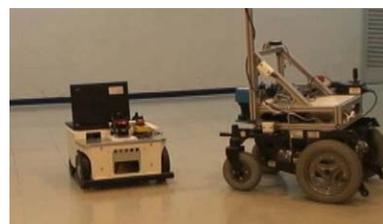
リファレンスハードウェアを用いて、再利用センターとの共同開発である天井画像を用いた自己位置推定モジュール、ATRグループより提供を受けた音声認識・合成モジュール、産総研より提供を受けた車輪移動モジュール群OpenINVENTの統合接続によるロボットシステム開発を行い、モジュールの再利用性について検証した。他開発者により作成されたモジュール群の再利用検証を通して、バイナリ配布によるOSやライブラリ依存等の問題点を確認すると共にモジュール開発における汎用性確保のための課題点を明確にした。



国際ロボット展デモシステム



音声入力からのナビゲーション



複数ロボットの位置情報共有

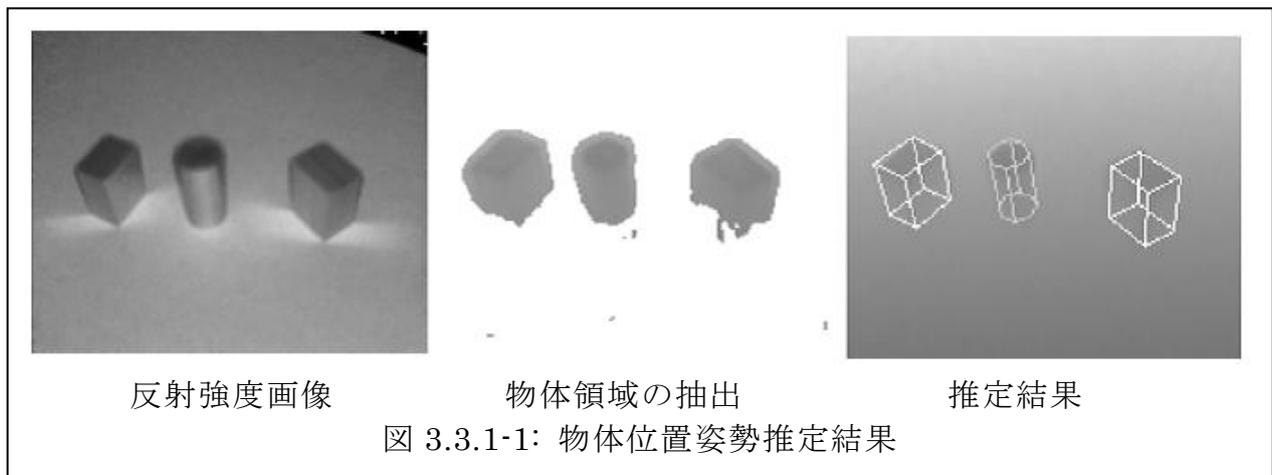
3.4.1.3.3 双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合 検証（豊橋技術科学大学，東京大学，奈良先端科学技術大学院大学、筑波 大学、大阪大学、東京理科大学）

3.4.1.3.3.1 部品のパレタイジング（豊橋技術科学大学，東京大学）

（a）部品のパレタイジング作業のための知能モジュール群の開発（豊
橋技術科学大学）

（1）距離センサによる部品位置姿勢推定モジュール群の開発

スイス MESA 社製 3 次元距離測定カメラ SwissRanger SR4000 からのデータを基に、
机上の直方体・円筒物体の 3 次元空間上での位置と姿勢を推定する。反射強度画像
を用いたカメラキャリブレーション結果を利用して、世界座標系での位置姿勢を出
力する。あらかじめ計測した作業機の位置姿勢を基に机上物体を抽出し、物体ごと
にモデルとの照合を行い、ICP アルゴリズムで位置姿勢推定を行う。モデルデータ
ベース RTC にモデルを追加することにより、さまざまな寸法の物体を推定可能であ
る。図 3.3.1-1 に位置姿勢推定結果を示す。



(2) 双腕ロボットと搬送ロボットの連携作業のためのモジュール群の

開発

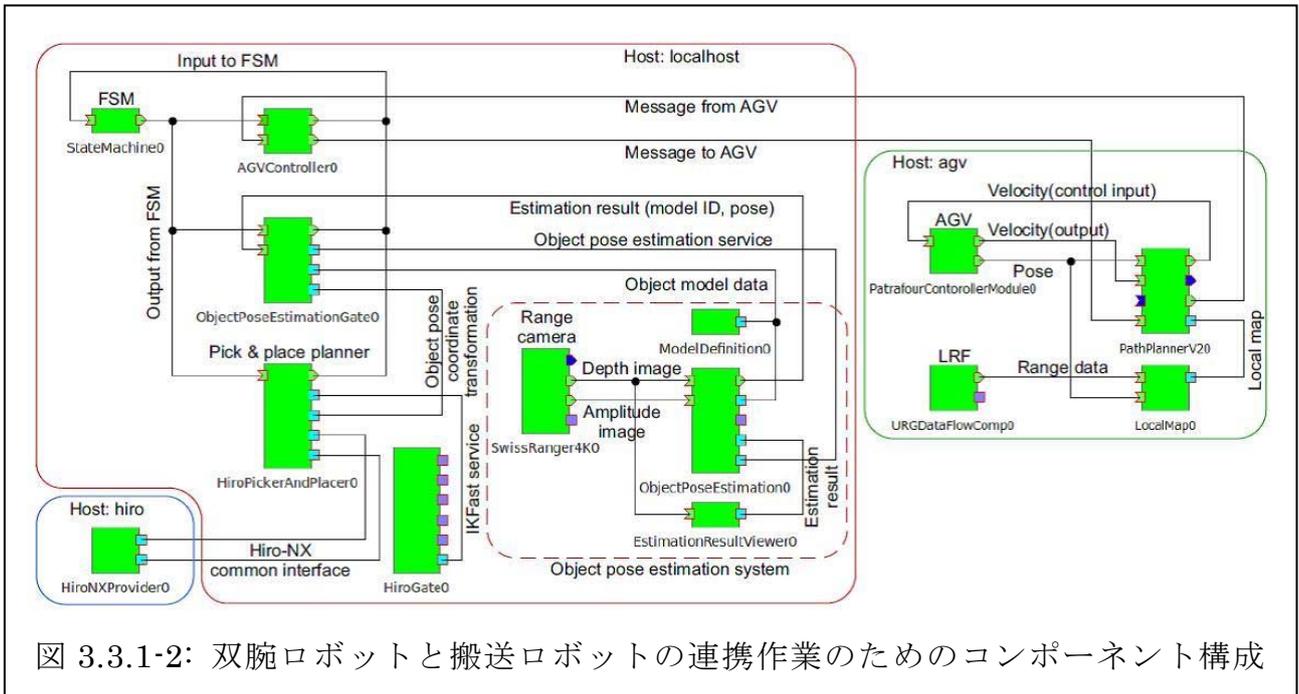


図 3.3.1-2: 双腕ロボットと搬送ロボットの連携作業のためのコンポーネント構成

双腕ロボットと搬送ロボットの連携により，部品搬送とパレタイジングを行うシステムを構築した．本システムは，上記の物体位置姿勢推定モジュールに加え，実行順序を制御する状態機械モジュール，ピックアンドプレースモジュール，搬送ロボット制御モジュールから成る（図 3.3.1-2 参照）．

(ア) 状態機械モジュール

状態機械モジュールは文字列を入出力するデータポートを一組持つ．この入出力データポートは，作業の状態遷移を表す有限状態機械における遷移のトリガとなる入力と遷移時の出力に対応しており，他のモジュールはこの出力を受けて各処理を行い，処理の終了時に状態機械モジュールに入力を行う．状態機械は図 3.3.1-3 に示す形式の XML ファイルに記述し，アクティベート時に読み込む．このようにすることで，本システムに限らず，文字列の入出力データポートを持つさまざまなモジュールの動作を一元的に制御できる．

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<statemachine>
  <state>
    <name>AGV outward</name>
    <next in="AGV_OUT_ARRIVED" out="OPE_EST_START"
          timing="manual">OPE estimation</next>
    <error>Error<error>
  </state>
  <...
</statemachine>

```

State name: AGV outward
 Transition output: OPE estimation
 Input (trigger of transition): AGV_OUT_ARRIVED
 Next state name: OPE estimation
 Error state name: Error
 manual: transition on pressing button
 auto: transition automatically

図 3.3.1-3: 状態機械の XML 表現

(イ) ピックアンドプレースモジュール

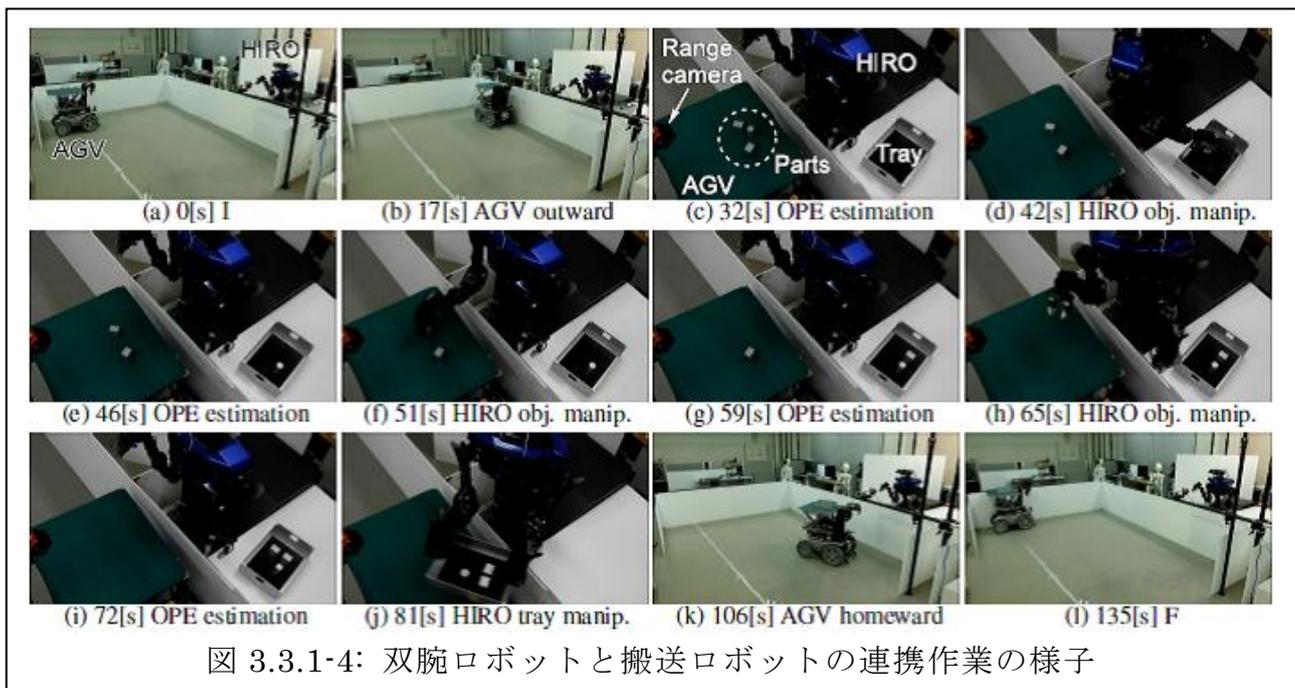
物体位置姿勢モジュールの推定結果を受けて、双腕ロボット HIRO による搬送ロボット上から指定されたトレイ内への物体のピック&プレースを行う。軌道生成時に逆運動学の解を得るために IKFast を利用している。また、HIRO の動作には共通インタフェースである HiroNXInterface を用い、求めた関節角度を与えて HIRO を動作させる。

(ウ) 搬送ロボット制御モジュール

搬送ロボットの制御には 3.1.3 節で述べた、地図情報生成および移動行動生成のための知能モジュール群を利用する。ただし、局所経路計画モジュールについては、双腕ロボットとの相対的な位置決めのために、壁沿い走行モードを新たに付け加えている。

(エ) 統合実験

図 3.3.1-4 に統合実験の様子を示す。図中(c) (e) (g) (i) では物体の位置姿勢推定を、(d) (f) (h) では各物体のピック&プレースを行っている。トレイの位置は既知としているが、物体の配置は距離センサの視野に入る範囲で自由に配置できる。



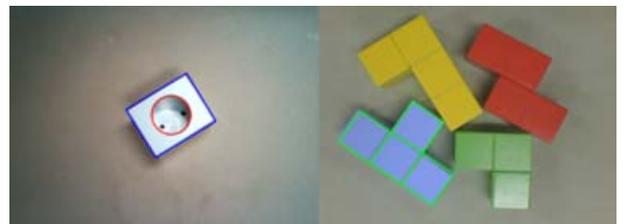
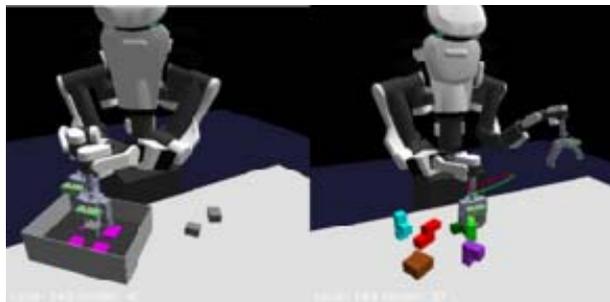
(B) パレタイジングのための動作、作業計画（東京大学）

双腕ロボットによるハンドアイベースのマニピュレーション作業を実現するために必要となる、アームの動作生成モジュールの開発および、対象物の認識、把持、搬送動作の生成、動作の実行といった一連の作業を記述する部分の開発を行った。その後、インタフェース共通化によりセンサ切り替えが容易になったことを示すため、手先カメラを用いて作業対象物を認識するモジュールを追加開発、両手を使って効率的に部品を箱詰めするシステムを実現することでモジュールの有効性を検証した。開発したモジュールはすべてオープンソースで公開済である。

図 3.3.1-5 は、動作生成モジュールの実行画面である。本モジュールは、左右の手および、手と他の環境の干渉を生じないハンドやアームの動作を生成する。Python 環境における幾何モデルを用いた動作システムを柔軟に構築するためのスクリプト群を基に、これを RT コンポーネント化することで実装している。

また、このスクリプト群と `RtcHandle` を用いることで、Python 対話環境上で両手同時把持、左手で掴んだものを右手に持ち替えて置くといった、作業シナリオの記述を実現した。

図 3.3.1-6 は、追加開発したモジュールにより、手先カメラを用いて平面内での対象物の位置と姿勢を認識している様子である。



モジュール統合による作業システムの検証を行うため、上記モジュール群にカメラ出力共通 I/F 準拠のモジュール（大阪大学）、双腕ロボット用制御モジュール（産総研）を統合することで、部品パレタイジングシステムを実現した（図 3.3.1-7）。本システムは、手先カメラを動かして作業台上をスキャンし、認識結果を統合することで、複数の対象物を認識する。そして、両手が干渉しない場合、左右の手でそれぞれ対象物を把持することで効率的に作業を進める。本システムは、国際ロボット展でデモを行った。更に、モジュール化、インターフェース共通化の恩恵により、双腕作業と移動の統合システム、手先カメラによる認識モジュール群と把持計画モジュール（産総研）の組み合わせによる作業システムを短期間で構築できることを確認した。



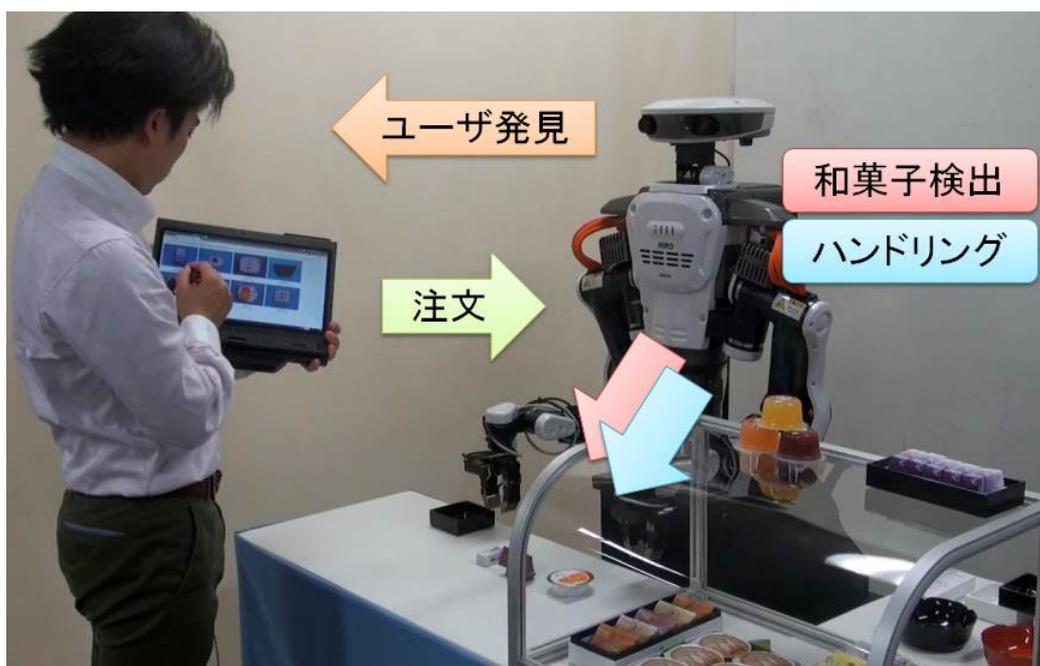
3.4.1.3.3.2 特徴ベース物体認識に基づく日用品等のハンドリング（奈良先端科学技術大学院大学，筑波大学，大阪大学，東京理科大学）

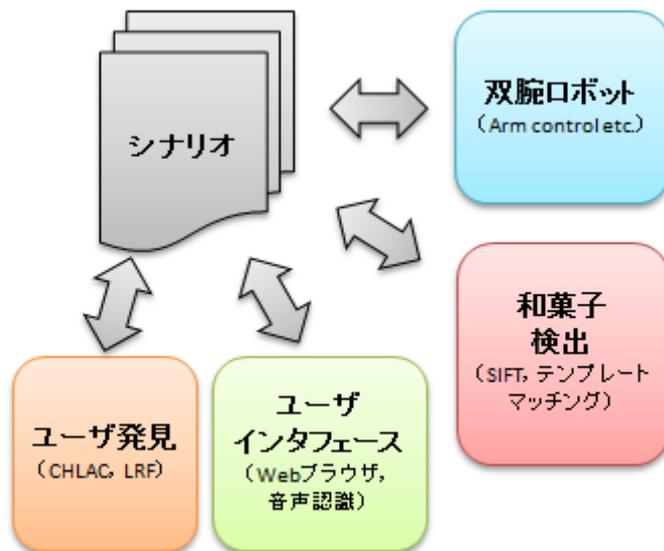
近年，工場などの閉じた環境だけでなく，一般社会で活動できるサービスロボットへのニーズが高まっている．本節では，作業知能に関するコンポーネントの再利用性検証・統合システム事例の創出を目的に，双腕ロボットをプラットフォームとして，オープンソース RT モジュールの組合せで日用品のハンドリングを行うサービスシステムについて報告する．具体的には和菓子の店頭販売をイメージし，ユーザの発見，ユーザから注文の受付け，注文された和菓子の認識とハンドリングを行った．図 3.3.2-1 に構築した双腕サービスシステムの概要を示す．

図 3.3.2-2 に示すように，本システムは各機能を実現するための様々なモジュールを，Python で書かれたシナリオから適宜利用することによって，短時間で構築可能なサービスシステムとなっている．

本システムの特徴は次のようにまとめることができる．

- OpenRTM の Web サイト (<http://openrtm.org/>) で公開されているオープンソース RT モジュールを利用したシステム構築
- 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおいて標準化されたインタフェースに基づいて開発されたモジュールを利用
- スクリプト言語を用いたシステム統合





・ LRF を用いた人物発見モジュール

事前に登録しておいたサイズの人間がロボットの近くに存在するかを，LRF のデータから判断するモジュールを開発した．単純なアルゴリズムであるため，容易に再利用が可能である．

・ カメラを用いた人物発見モジュール

東京理科大学によって開発されたカメラ画像を用いた人物発見の研究成果を応用したモジュールを開発した．ロボットの近くに設置したカメラの画像から，ロボットの近くに人がいる場合といない場合の CHLAC 特徴量を計算し，人物発見を行うモジュールである．事前に様々なシチュエーションを学習すれば，それぞれの特徴量の違いからシチュエーションの判別が可能となる．

・ 音声認識によるオーダーモジュール

産業技術総合研究所によって開発された OpenHRI (<http://openhri.net/>) を利用して，音声認識による注文受けモジュールを開発した．OpenHRI は，音声認識・音声合成・対話制御などを実現するのに必要なコンポーネント群である．本システムでは注文だけではなく，OpenHRI を用いてユーザとの簡単な音声コミュニケーションも実現している．

・ GUI によるオーダーモジュール

Web ブラウザを用いた GUI による注文受けモジュールを開発した．ユーザはブラウザ上に設置されたボタンをクリックすることで，物品を注文することができる．入力された注文はデータベースに登録され，任意のタイミングでシナリオから参照することが可能である．

・ テンプレートマッチングを用いた物体認識モジュール

事前に登録しておいた操作対象物体の画像から正規化相関によるテンプレートマッチングにより、2次元位置姿勢推定を行うモジュールを開発した。本手法は比較的計算量が少なく、計算機的能力が低い場合でも利用することが可能である。

・ SIFT 特徴量を用いた物体認識モジュール

大阪大学によって開発された、SIFT 特徴に基づく物体認識モジュールを本システムにおいて再利用する。事前に登録しておいた操作対象物体の画像から SIFT 特徴量を用いて操作対象物の3次元位置姿勢推定を行う。CUDA を用いて物体認識アルゴリズムを GPU で計算させることにより、実行速度の高速化を測っており実サービスにおいても十分に利用可能である。

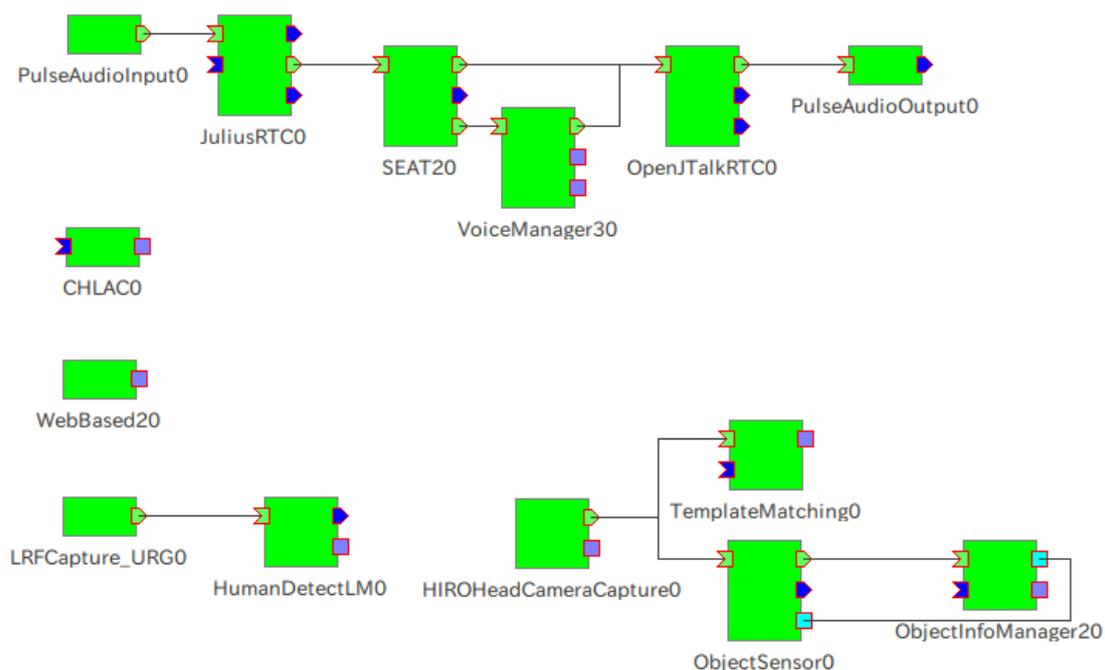
・ サービスシステムを用いた再利用性検証

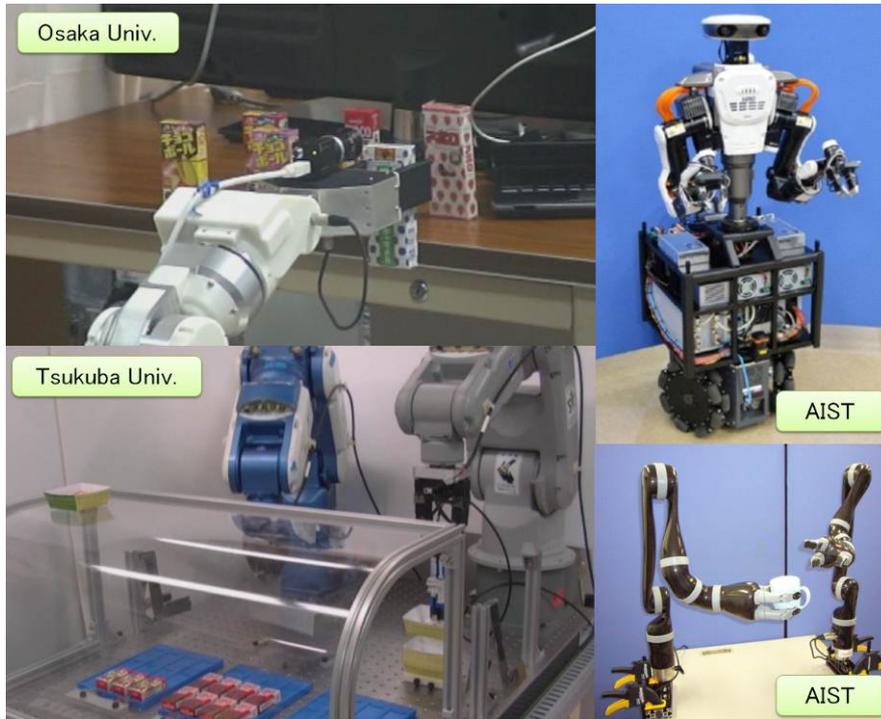
開発したモジュールを統合して、図 3.3.2-3 に示すような和菓子の店頭販売をイメージしたデモンストレーションを実施するためのサービスシステムを構築した。

双腕ロボットとして HIRO (川田工業株式会社) を用い、操作対象物体の認識にはロボット頭部に搭載されたカメラを使用した。また、ユーザ発見用のセンサとして Top-URG (北陽電機株式会社) と Bumblebee (Point Grey) を用いた。

Python で書かれたシナリオから各コンポーネントのサービスポートにアクセスすることで、機能の切り替えや和菓子のハンドリングを実現している。

構築したサービスシステムを用いて 2011 国際ロボット展においてデモンストレーションを実施し、利用するモジュールを変更することでセンサやアルゴリズムを容易に入れ替えることが可能であることを示した (図 3.3.2-4)。





また、国際ロボット展に向けて構築したサービスシステム以外にも、図 3.3.2-5 に示すようなロボットを用いて類似のサービスシステムを構築し、各機能モジュールが様々な種類のロボットで再利用可能であることを示した。短期間で容易に構築可能な双腕サービスロボットシステムを構築した。構築したシステムは国際ロボット展で4日間のデモンストレーションを行い、安定性と有効性を広く社会に示すことができた。

構築したシステムの有効性（ロバスト性，再利用性）を検証するために実施したデモンストレーション等の一覧を示す。

有効性の検証

実施機関	環境	内容	ハードウェア
全関係機関	国際ロボット展 2011	モジュールの解説を含めたデモンストレーションを多人数の前で実施（4日間）	HIRO
奈良先端大	オープンキャンパス	受験生向けにシンプルなデモンストレーションを実施（1日）	HIRO
奈良先端大	スプリングセミナー	学部生が構築したシステムを利用して簡易なデモを作成（3日間）	HIRO
東京電機大学	東京電機大学実験室	奈良先端大等で開発したシステムを0から移植，デモの確認	HIRO
筑波大学	筑波大学実験室	双腕協調動作モジュールの動作確認及び菓子アソートのデモ	産業用マニピュレータ 2台
大阪大学	大阪大学実験室	移動モジュールと物体認識モジュールを用いて日用品ハンドリングを確認	リファレンスハード
産総研	産総研実験室	物体認識モジュールを用いて日用品ハンドリングを確認	Mobile HIRO

3.4.1.3.4 次世代ロボット智能化技術の相互運用性の検証（東京大学）

3.4.1.3.4.1 OpenRTM-ROS 相互運用プロジェクト

3.4.1.3.4.1.1 プロジェクトの目的

本検証項目では近年急速にユーザを増やしている ROS 等のオープンソースのロボットプロジェクトのと OpenRTM の間にはどのような連携の形があり、どう行うのが良いのか、その相互運用性について検証した。また、プロジェクト終了後の継続的な展開を含めた相互運用のあり方についても検討と検証を行った。

3.4.1.3.4.1.2 OpenRTM と ROS

OpenRTM と RTM の比較を下の表に示す。

	OpenRTM	ROS
開発主体	経産省・文科省・NEDO等	米国民間企業
ライセンス	オープン/クロズド共存	オープンライセンスが基本
基盤開発設計方針	産業技術総合研究所 コンポーネント化	ウィローガレージ社+有志 ライブラリ化
注力分野	再利用性を重視し厳格化 コンポーネント開発環境 知能ソフト開発中心	開発効率を重視し緩い規格 コミュニティ環境 開発者の支援，繋がり構築
品質管理	国際組織による規格化 再利用センタによる保証	無し（利用者コミュニティ内での 自主的相互確認）

OpenRTM は RTM 規格に基づいた品質保証されたコンポーネントの開発に主眼があり企業が利用しやすいようになっている。一方 ROS は知能モジュール開発環境の提供に主眼があり、また、基盤ソフトの更新が頻繁に行われ研究者コミュニティ向けである。

OpenRTM と ROS の利用機関，ソフトウェアモジュールの数を比較する。ROS の利用機関数は 114(内企業数 14≒8%)，ソフトウェアモジュール数は 150(ROS Stack 数, Package 数は 3000 以上) (<http://www.ros.org/wiki/Metrics> より)。一方で OpenRTM の利用機関数は 45(内企業数 15≒33%，コンソ参加企業数)，ソフトウェアモジュール数 322 件(再利用センタ登録件数)となり，OpenRTM は国内を中心に企業に広く浸透している点が特徴と言える。



<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=209668390659853657363.00049c608b78bc7779683>

<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdfb>

3.4.1.3.4.1.3 OpenRTM-ROS 相互運用の方針

OpenRTM と ROS は同じロボットミドルウェアとして競合する存在ではなく、それぞれのターゲットとする領域は大きく異なるものになっている。OpenRTM ではコンポーネント開発を基盤として再利用性の高い知能モジュールの開発と、これを用いたアプリケーション開発やサービス事業化等に注力が置かれてきているが、ROS は Linux for Robotics を標語とし、ロボティクス研究に必要なソフトウェア開発環境やデバッグツールの構築と、ユーザコミュニティの創出に力を注いでいる。特に、複数機関にまたがる共同研究者のグループがソースコードを共有しながら開発を進めていくため巧妙な仕組みを提供するソフトウェア開発ツールが提供されており、これらはロボティクス研究に関わらず大変有用であることから、ROS に依存しない独立したツールとして展開しようとしている段階にある (REP125 rosdep2 <http://ros.org/repos/rep-0125.html>, REP 114 rospkg standalone Python library <http://www.ros.org/repos/rep-0114.html> 等)。

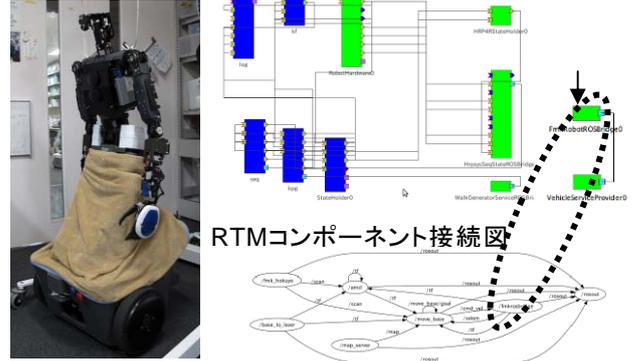
そこで本研究開発項目では、これらの ROS に依存しないスタンドアロンツール化が進められているオープンソースツール上に OpenRTM-ROS 統合環境を構築し、OpenRTM モジュールの効率的な開発・保守環境を構築するとともに、OpenRTM 以外のオープンソースのロボットライブラリとの連携が容易な環境を実現し、世界中の研究成果を OpenRTM を採用する知能システム・モジュールに取り込み統合出来るようにすることとした。

3.4.1.3.4.2 相互運用プラットフォームハードウェア構成の設計

相互運用プラットフォームとして移動 SW グループの共通インタフェース仕様へ対応した移動台車構成を beego ロボットをベースに設計した。また、作業移動タスクへの対応のために関節指令インタフェースを利用した作業移動ロボットの設計も行った。以下に移動台車ロボットと作業移動ロボットの概観、並びに OpenRTM コンポーネント・ROS ノードの相互接続の様子、実験状況を示す。



検証プラットフォームによるROS移動モジュールとRTMコントローラの連携検証



作業移動ロボット外観 移動ROSモジュール接続

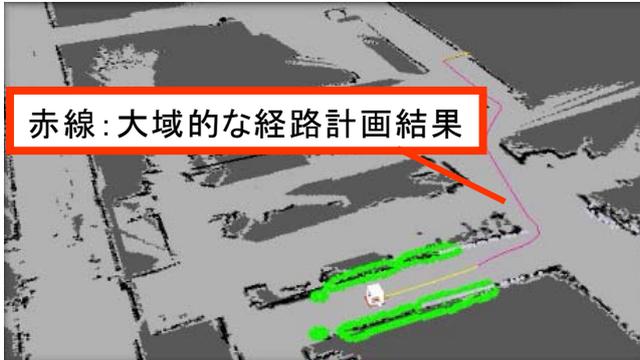


作業移動ロボットによるRTMコントローラとROSユーザインタフェースの連携検証

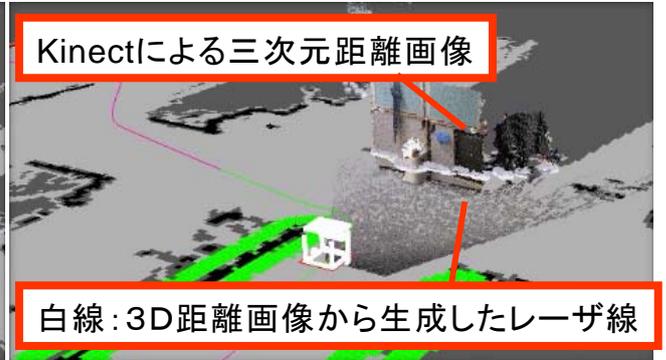


トレイ運搬タスクの例

また、以下の OpenRTM 台車モジュールと ROS ナビゲーション機能を接続したときのオンライン経路計画による移動タスク中の状況を示す。

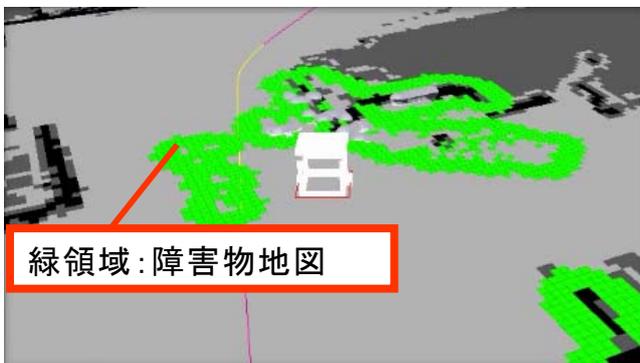


赤線:大域的な経路計画結果



Kinectによる三次元距離画像

白線:3D距離画像から生成したレーザ線



緑領域:障害物地図



赤線:センサに基づく局所経路

黄線:再計画された大域経路

オンラインの経路再計画の様子

3.4.1.3.4.3 OpenRTM－ROS 相互運用開発環境

複数機関にまたがる共同研究者のためのパッケージソースコード一括ダウンロードツール(rosinstall)対象のパッケージが依存するすべてのパッケージを正しい順番で、かつ、必要なインクルードパスやライブラリのリンク情報を自動的に抽出しながらコンパイルするパッケージ依存関係自動解決コンパイルツール(rosmake)、複数のプログラムコンポーネントの実行、パラメータ設定、ポート接続を行うプログラムコンポーネント実行管理ツール(roslaunch)の各コマンドを OpenRTM で利用可能な形で拡張した。

3.4.1.3.4.3.1 パッケージソースコード一括ダウンロードツール

rosinstall はソースコードのリポジトリをリストアップした、.rosinstall ファイルから svn, git など対応するバージョン管理ツールを用いてこれらのソースコードをダウンロードし、ダウンロードしたパスを環境変数の形で記憶する。このツールは ROS とは関係なく利用できる状態にあり、今回準備した http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/agentsystem_ros_tutorials/rtm-ros-robotics.rosinstall ファイルの一部は以下の様になっている。

```
- svn: {local-name: rtm-ros-robotics/rtmros_common, uri:
  'https://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtmros_common',
  version: -r2863}
- svn: {local-name: rtm-ros-robotics/agentsystem_ros_tutorials, uri:
  'https://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/trunk/agentsystem_ros_tutorials', version: -r2863}
- svn: {local-name: jsk-ros-pkg, uri:
  'https://jsk-ros-pkg.svn.sourceforge.net/svnroot/jsk-ros-pkg/trunk',
  version: -r3037}
```

これにより、

```
$ rosinstall ~/prog/rtm-ros-robotics
http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/agentsystem_ros_tutorials/rtm-ros-robotics.rosinstall
```

というコマンドでカレントディレクトリに必要なパッケージのソースコードがダウンロードされる。また、上記の.rosinstall ファイルでは version 属性が指定されており、リポジトリから任意のバージョンのソースコードをダウンロードする。このバージョン番号は後述する自動検証プロセスを経て動作確認されたバージョンのものが書かれており、信頼できる組み合わせになっている。インストール後は

```
$ source ~/prog/rtm-ros-robotics/setup.bash
```

とすると以下のツールを利用するのに必要な環境変数をセットすることが出来る。

3.4.1.3.4.3.2 パッケージ依存関係自動解決コンパイルツール

rosmake は対象のパッケージが依存するすべてのパッケージを正しい順番で、かつ、必要なインクルードパスやライブラリのリンク情報を自動的に抽出しながらコンパイルするパッケージ依存関係自動解決コンパイルツールであり、これを OpenRTM に対応するよう idl ファイルの検出、コンパイル、並びに生成されたインクルードファイルのパスの設定、ライブラリのパスとリンクの設定の機能を拡張した(http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtmros_common/rtmbuild/cmake/rtmbuild.cmake)。

例えば mrobot_ros_bridge パッケージにあるコンポーネントのソースコード (src/MobileRobotROSBridgeComp.cpp) のコンパイルでは、いくつかの設定をファイルに記述しておけば、

```
$ rosmake mrobot_ros_bridge
```

の 1 コマンドで ROS, RTM が混在する複雑な依存関係を解析し、必要な全てのパッケージにおいて idl ファイルの扱いを含めたコンパイルを行うことが出来るようになっている。

あらかじめ準備が必要な設定は以下の 2 つファイルになる。一つはパッケージ設定ファイル (manifest.xml) である。これに対象とするパッケージが依存するソースコードや idl メッセージを含むパッケージを depend タグを利用して記述するものである。

```
<package>
  <description brief="mrobot_ros_bridge">mrobot_ros_bridge</description>
  <depend package="openhrrp3"/>           ☑ OpenHRP3
  <depend package="iis_idl"/>           ☑ 知能移動モジュール標準 IDL

  <depend package="move_base"/>         ☑ ROS移動モジュール
  <depend package="amcl"/>             ☑ ROS自己位置同定モジュール
  <depend package="jsk_maps"/>         ☑ 実験環境の地図情報
</package>
```

もう一つはコンパイル設定ファイル(CMakeLists.txt)であり、ソースコードと実行ファイル名を記述する。

```
rtmbuild_init()
rtmbuild_add_executable(MobileRobotROSBridgeComp
                        src/MobileRobotROSBridge.cpp src/MobileRobotROSBridgeComp.cpp)
```

また、idl ファイルを含むパッケージでは以下の様に idl コンパイルを指示する

```
rtmbuild_init()
rtmbuild_gen_idl()
```

これらの設定ファイルを準備することで rosmake コマンドで依存関係の解決を含めて必要な手続きを全て行っている。具体的には以下のことが行われる。

1. `openrtm` に必要な `bomniidl4` 等のライブラリの `apt` によるダウンロード
2. `openrtm` のダウンロードとコンパイル, 成果ライブラリを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
3. `openrtm` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
4. `openhrrp3` に必要な `java` 等のライブラリの `apt` によるダウンロード
5. `openhrrp3` のダウンロードとコンパイル, 成果ライブラリを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
6. `openhrrp3` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
7. `iis_idl` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
8. `move_base`, `amcl` 等の ROS コンポーネントのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
9. `mrobot_ros_bridge` にあるコンポーネントのとコンパイル, これが依存する上記ライブラリとのリンク

これにより `OpenRTM` と ROS (あるいは, `rosmake` に対応している `OpenRAVE`, `OpenCV`, `PCL`, `Orocos`, `yarp` などのライブラリやミドルウェア) が混成した開発環境において, 従来のように開発するプログラムコンポーネントが依存する様々なパッケージや `idl` ファイルの場所を一つずつ確認し, インクルードパス, ライブラリパス, リンクライブラリ名などをコンパイル時に指定することなく, 1つのコマンドで, 全てを透過的かつ簡便にに処理することができるコンパイルツールを実現でき, `OpenRTM-ROS` 相互運用開発におけるプログラムの生成手順が劇的に簡素化し, 開発の効率化に大いに貢献した.

3.4.1.3.4.3.3 プログラムコンポーネント実行管理ツール

`roslaunch` は 複数のプログラムコンポーネントの実行, パラメータ設定を行うプログラムコンポーネント実行管理ツールであり, プログラムコンポーネントが不正に終了した際には自動で再起動することも可能になっている. このツールを `OpenRTM` に対応させるためにコンポーネントの状態遷移, データポートおよびサービスポートの接続を行えるよう `rtconnect`, `rtactivate` という新しいタグを導入し拡張を行った (<http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtm-ros-common/openrtm/scripts/rtmlaunch.py>). `roslaunch` スクリプトは `.launch` を拡張子にもつ実行管理設定ファイルの内容を読み取り, プログラムの起動等の処理を行う. 例えば移動ロボットのシミュレータを実行するための設定ファイル (`beego_simulator.launch`) の例は以下の様になる.

```

<launch>
  <node name="rtm_naming" pkg="openrtm" type="rtm-naming-restart" />
  <arg name="openrtm_args" value='-o "corba.nameservers:localhost:2809
    -o "naming.formats:%n.rtc" -o "logger.file_name:/tmp/rtc%p.log"' />
  <node pkg="openhrop3" name="grxui" type="grxui.sh" args="$(find
    mrobot_ros_bridge)/launch/beegoSimulation.xml"/>
  <node name = "BeegoCtrl" pkg = "mrobot_ros_bridge" type = "IISBeegoControllerComp" />
  <node name = "controller_bridge" pkg = "openhrop3" type = "openhrop-controller-bridge" />
  <node name = "MRBridge" pkg = "mrobot_ros_bridge" type = "MobileRobotROSBridgeComp" />
  <node name="rtmlaunch" pkg="openrtm" type="rtmlaunch.py"
    args="$(find mrobot_ros_bridge)/launch/beego_simulator.launch" />
  <rtconnect from="IISBeegoController0.rtc:torque"
    to="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:torque" />
  <rtconnect from="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:velocity"
    to="IISBeegoController0.rtc:velocity" />
  <rtconnect from="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:angle"
    to="IISBeegoController0.rtc:angle" />
  <rtconnect from="IISBeegoController0.rtc:out" to="MobileRobotROSBridge0.rtc:in" />
  <rtconnect from="MobileRobotROSBridge0.rtc:out" to="IISBeegoController0.rtc:in" />
  <rtactivate component="IISBeegoController0.rtc" />
  <rtactivate component="MobileRobotROSBridge0.rtc" />
</launch>

```

この設定ファイルを利用し、mrobot_ros_bridge パッケージにある移動シミュレータを起動するには以下の1つのコマンドを実行する。これで、beegoの移動機能シミュレーションに必要な全てのROS, RTMコンポーネントの起動と相互接続を行う。

```
$ roslaunch mrobot_ros_bridge beego_simulator.launch
```

具体的にプログラムコンポーネント実行管理ツールを利用することで自動的に実行される手続きを以下に示す。

1. openhrp3 シミュレータ(openhrp-controller-bridge)の起動
2. OpenRTM 移動制御プログラム(IISBeegoControllerComp)を起動
3. OpenRTM-ROS 相互運用コンポーネント(MobileRobotROSBRidgeComp)を起動
4. OpenRTM コンポーネント間のデータポート, サービスポートの接続
5. OpenRTM コンポーネントの活性化

本ツール開発の意義は次のようにまとめることができる。一般に OpenRTM や ROS 等のモジュール型のシステムでは大量のコンポーネントプログラムを起動しそれらの接続関係を記述する必要がある。OpenRTM ではそれぞれのコンポーネントプログラムを手動で起動し、これらのコンポーネント間の接続は GUI ツールで行われるのが一般的であった。しかし本ツールを用いることで OpenRTM,

ROS 混成環境でのコンポーネントプログラムの実行，ポート接続，状態遷移を 1 つの起動コマンドで管理することができるようになり，更に効率的なコンポーネントプログラムの実行管理ツールとして提供できるようになった。

また特筆すべきは，起動コマンドに終了シグナルを送出すれば，このコマンドから生成されたすべてのコンポーネントプログラム群が終了する点である。従来はそれぞれ手動で起動したプログラムを一つずつ手動で終了するため，プログラム実行，動作確認，プログラム終了，プログラム修正，の開発ループに手間と時間が掛かっていた。本ツールの開発は OpenRTM-ROS 相互運用環境における開発の効率化に大いに貢献した。

3.4.1.3.4.4 OpenRTM-ROS 自動相互運用実行システム

3.4.1.3.4.4.1 ノード-コンポーネントの自動変換による相互運用実行ツール

ROS のノードプログラムから自動的に ROS と OpenRTM の間で情報を変換するブリッジコンポーネントを生成することができれば，簡便に ROS ノードプログラムを OpenRTM から利用できるだけでなく，将来 ROS のノードプログラムの仕様に変更があった際にも，OpenRTM 側で明示的に対応する必要なく，継続的にブリッジコンポーネントを利用することが出来るようになる。

このようなノードの自動変換による相互運用実行にはオンラインの変換方式とオフラインの変換方式が考えられる。

オンライン変換方式は起動しているノードプログラムの入出力を調べこれに対応した idl ファイル並びにブリッジコンポーネントプログラムのソースコードを生成し，自動変換された相互運用ブリッジコンポーネントプログラムを生成する方式である。この方式はプログラムの入出力がそのプログラムを実行するまで明らかで無いようなシステムを対象とした場合に有効な方法であり，例えば ROS のノードプログラムにおいては，メッセージインターフェース定義ファイルはデータの入出力を定義するが，それがどのノードプログラムが提供するものなのかは明記されていないため，ROS のノードプログラムから OpenRTM のコンポーネントプログラムを生成する場合は，オンライン変換方式が適切であると言える。

一方，オフライン変換方式はノードのインタフェース定義ファイルであるメッセージ・サービスファイルを解析し，そこから対応した idl ファイルを生成し，ブリッジコンポーネントプログラムのソースコードを生成し，自動変換された相互運用ブリッジコンポーネントプログラムを生成する方式である。この方式はプログラムの入出力がインタフェース定義ファイルに明記されている場合に有効な方法であり，例えば OpenRTM のコンポーネントプログラムは，コンポーネントに対応したインタフェース定義ファイルを解析することで，そのコンポーネントがどのようなサービスポートを提供するか分かるため，OpenRTM のコンポーネントプログラムから ROS のノードプログラムを生成する場合はオフライン変換方式が適切であると言える。

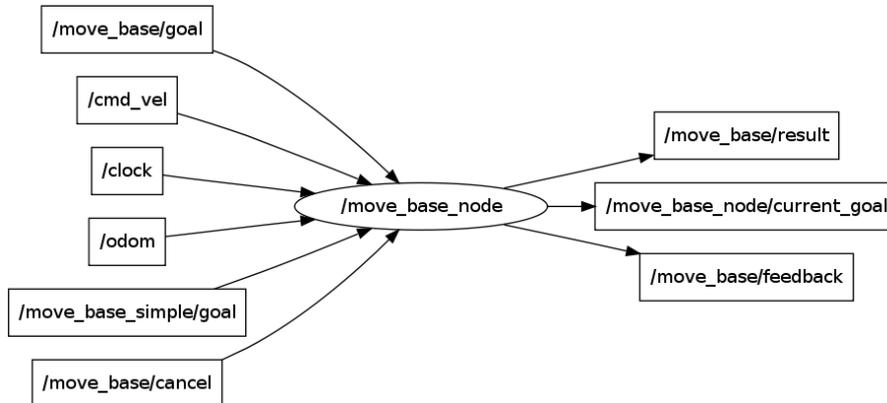
3.4.1.3.4.4.2 ROS ノード-OpenRTM コンポーネントブリッジ自動生成ツール

既存の ROS ノードの機能を OpenRTM から利用するため，ROS ノードプログラム-OpenRTM コンポーネントプログラムの自動変換ツールをオンライン変換

方式に基づき開発した。以下にその手続きをを ROS ナビゲーションチュートリアルを例題に示す。チュートリアルの例題は以下の様にして実行できる。

```
$ roslaunch move_base_stage_tutorial robot.launch
```

これで以下のような ROS ナビゲーションチュートリアルのノードプログラムが起動される。



ROSのナビゲーションプログラムのノードの様子(一部)

ROS ナビゲーションチュートリアルで立ち上がる中核的なプログラムノード (move_base_node)の入出力について、例えばナビゲーションのゴールを指示する /move_base/goal というデータは以下の様にして、 Move_base_msgs/MoveBaseActionGoal という型を持つことが分かる。

```
$ rostopic info /move_base/goal
Type: move_base_msgs/MoveBaseActionGoal
$ rosmmsg show move_base_msgs/MoveBaseGoal
geometry_msgs/PoseStamped target_pose
  Header header
    uint32 seq
    time stamp
    string frame_id
  geometry_msgs/Pose pose
    geometry_msgs/Point position
      float64 x
      float64 y
      float64 z
    geometry_msgs/Quaternion orientation
      float64 x
      float64 y
      float64 z
```

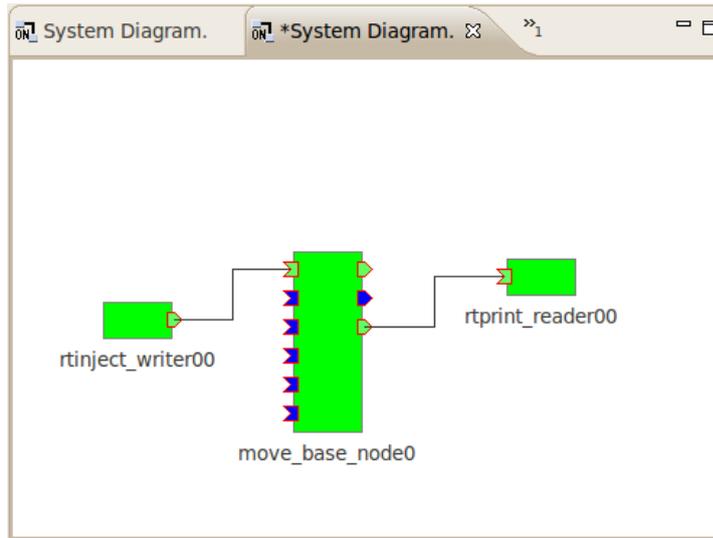
次に，自動変換ツールを立ち上げる

```
$ roslaunch rosnode_rtc stage_sample.launch
```

これにより，以下の手続きが実行される

1. 稼動している ROS モジュールの入出力メッセージを解析
2. 対応する OpenRTM 用の idl ファイルを出力
3. 生成された idl ファイルを利用して OpenRTM コンポーネントを自動生成.

これにより，以下のような ROS ナビゲーション機能を提供する OpenRTM コンポーネントが自動生成される.



自動生成されたROSナビゲーション機能を提供するRTMコンポーネント

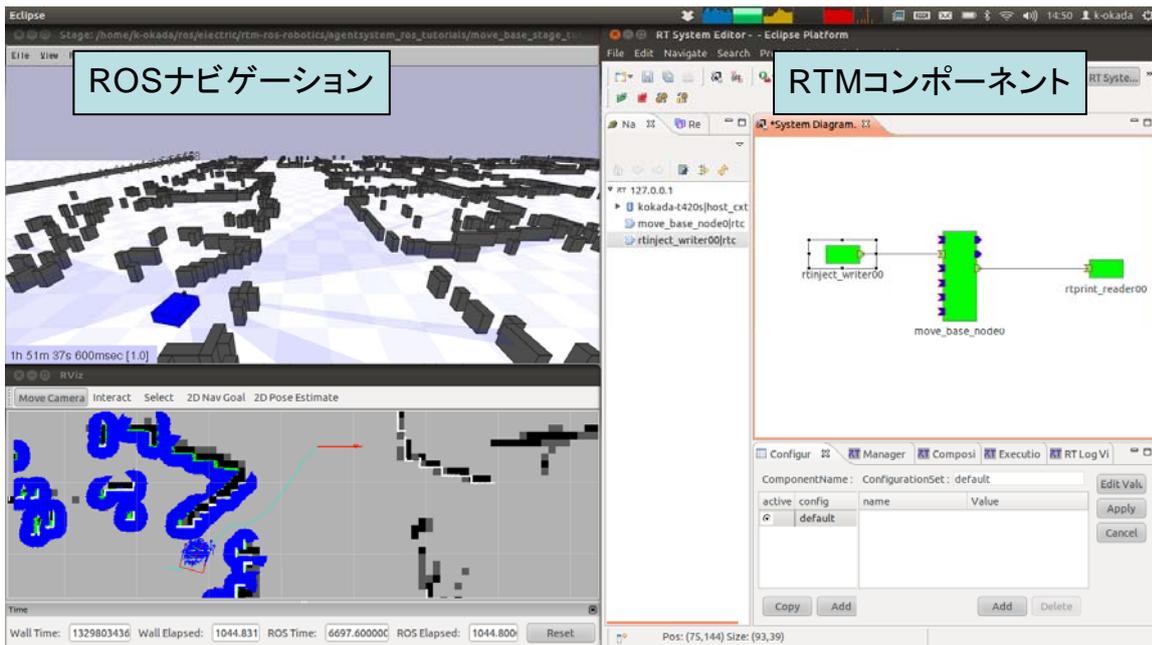
具体的には，ROS の `move_base_msgs/MoveBaseActionGoal` データ型が idl で記述されたデータ型として，`move_base_msgs_MoveBaseGoal` に変換される.

```

#include "BasicDataType.idl"
module RTMROSDataBridge
struct std_msgs_Header {
    unsigned long seq;
    RTC::Time stamp;
    string frame_id;
};
struct geometry_msgs_Point {
    double x, y, z;
};
struct geometry_msgs_Quaternion {
    double x, y, z, w;
};
struct geometry_msgs_Pose {
    geometry_msgs_Point position;
    geometry_msgs_Quaternion orientation;
};
struct geometry_msgs_PoseStamped {
    std_msgs_Header header;
    geometry_msgs_Pose pose;
};
struct move_base_msgs_MoveBaseGoal {
    geometry_msgs_PoseStamped target_pose;
};

```

上記の2つのコマンド実行のより以下のシミュレーション画面が生成される。



左側が ROS のナビゲーションチュートリアルが生成される二次元のナビゲーション

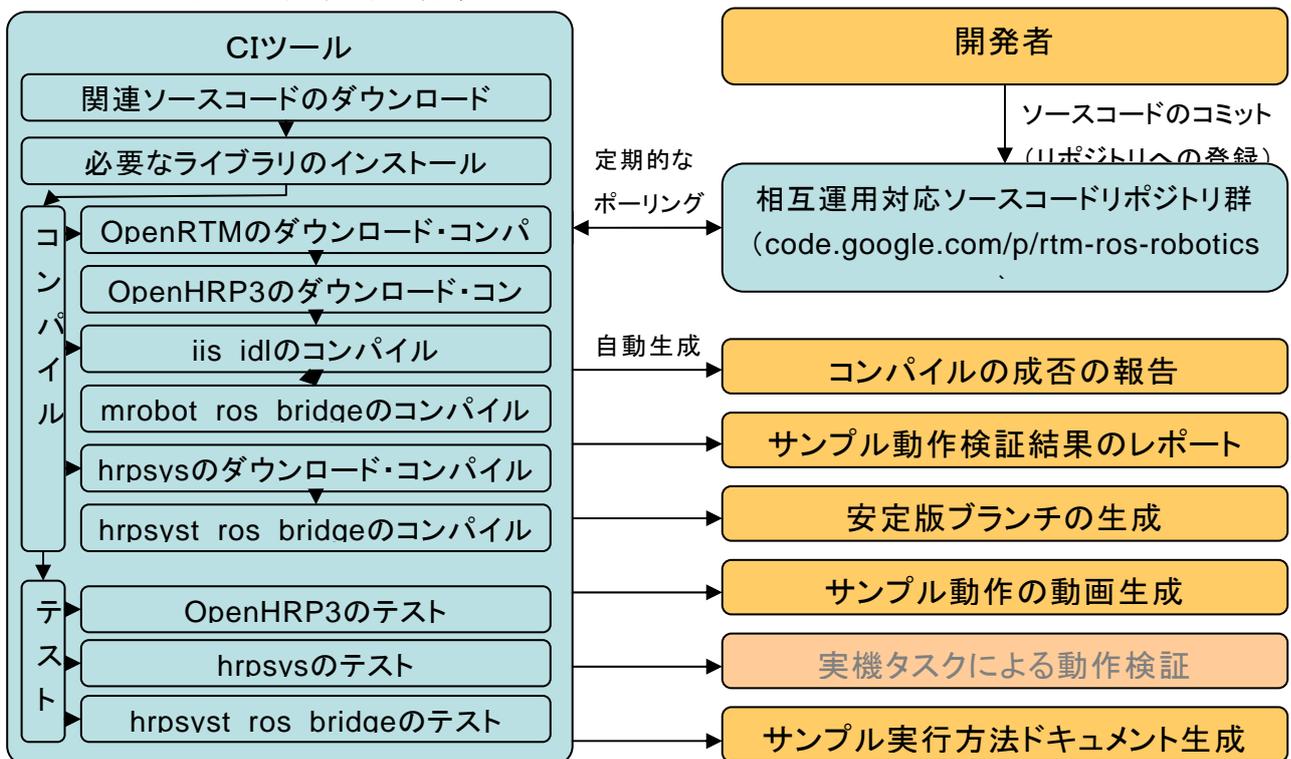
ョンシミュレータ（上）と、そのセンサ情報表示（下）あり、右がはそこで稼動している ROS のナビゲーションノードから自動的に生成された OpenRTM のナビゲーションコンポーネントを RTSysEditor で表示している様子になっている。

3.4.1.3.4.5 OpenRTM – ROS 相互運用検証システム

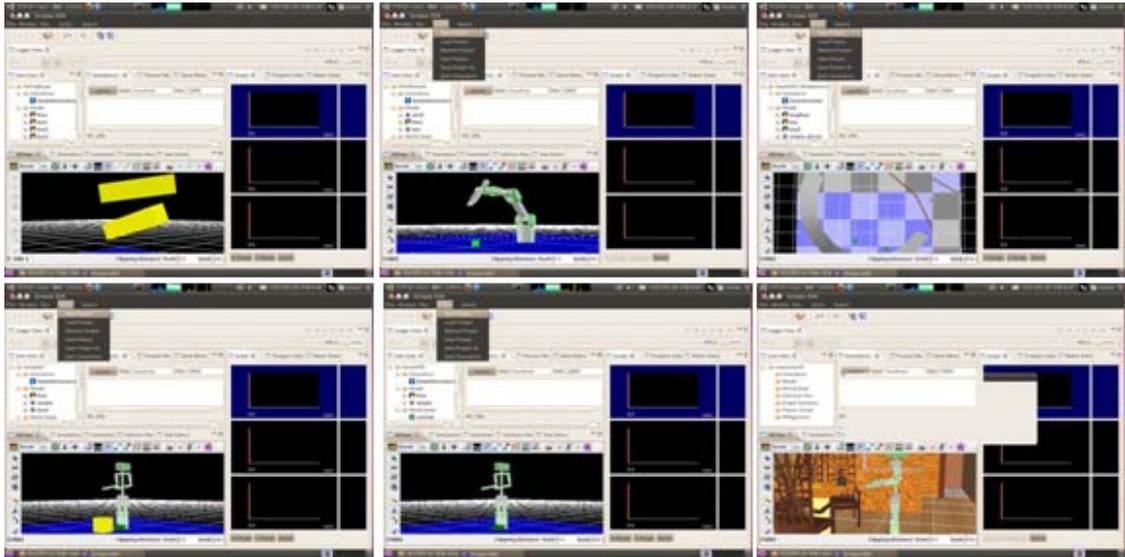
OpenRTM と ROS という 2 つの巨大ソフトウェアプロジェクトの相互運用を、プロジェクト終了後も継続的に続けていくための仕組みがなければ、プロジェクトとして開発した知能コンポーネントが直ぐに陳腐化して動かなくなってしまう。そこで本検証では、知能コンポーネントの検証プロセスそのものを限りなく省力化する技術を開発した。

3.4.1.3.4.5.1 知能化コンポーネントの生成・動作・文章化の自動検証環境

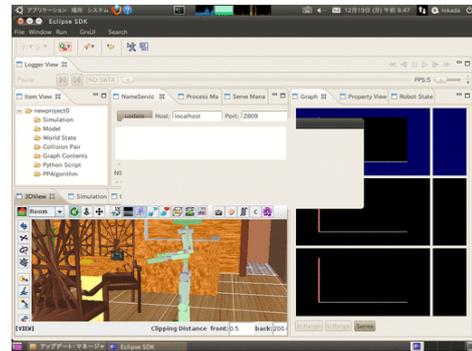
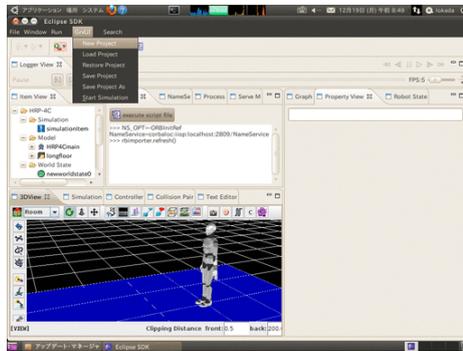
以下に自動検証環境の概要を示す。ここでは、開発者がソースコードをコミットすると、コンパイル成否の報告、サンプル動作検証結果のレポート、安定版ブランチの生成、サンプル動作の動画生成、サンプル実行方法ドキュメント生成、のプロセスを全て自動的に行う。



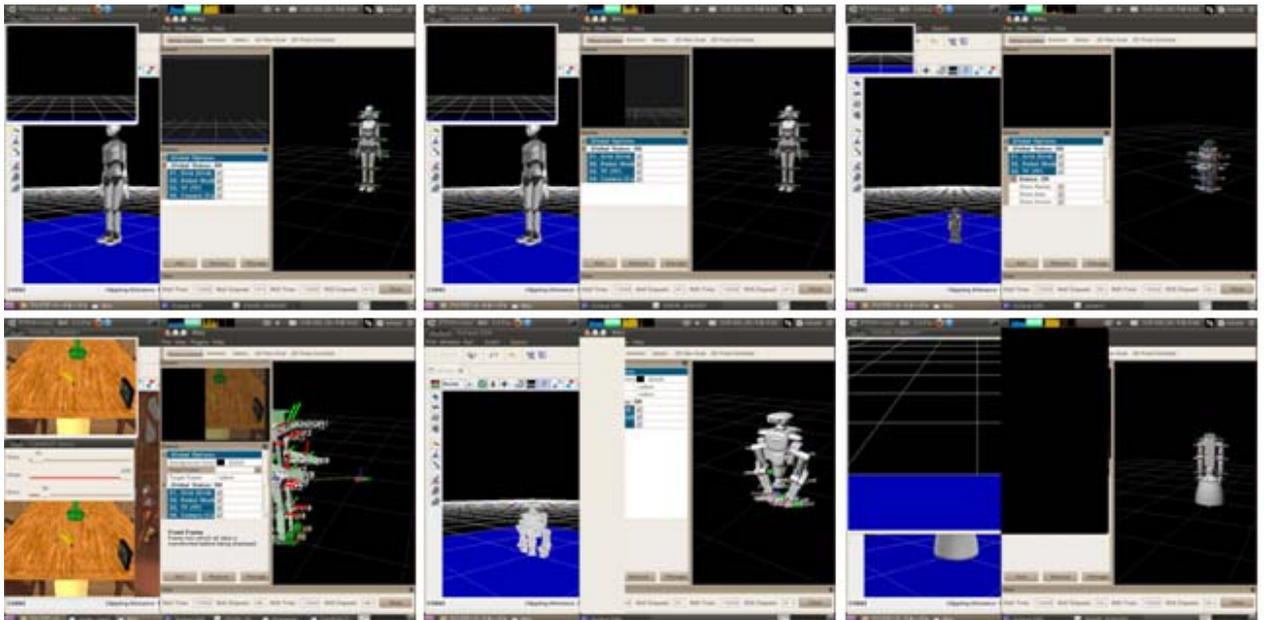
これらの仕組みはオープンソースで配布されている継続的インテグレーションツール 1 つである Jenkins を利用している。これはソースコードのコミットがトリガを取りがにスクリプトを起動でき、その成否でソースコードコミットに結果をメールすることができたり、その成否のデータベース化、あるいは、テストプログラムの結果の集計を行うシステムを容易に構築できるツールである。以下に、OpenHRP3, hrpsys, 並びに hrpsys_ros_bridge の各パッケージにおいて自動的に生成されたサンプル動作動画を示している。



サンプル動作の自動動画生成(openhrp3)

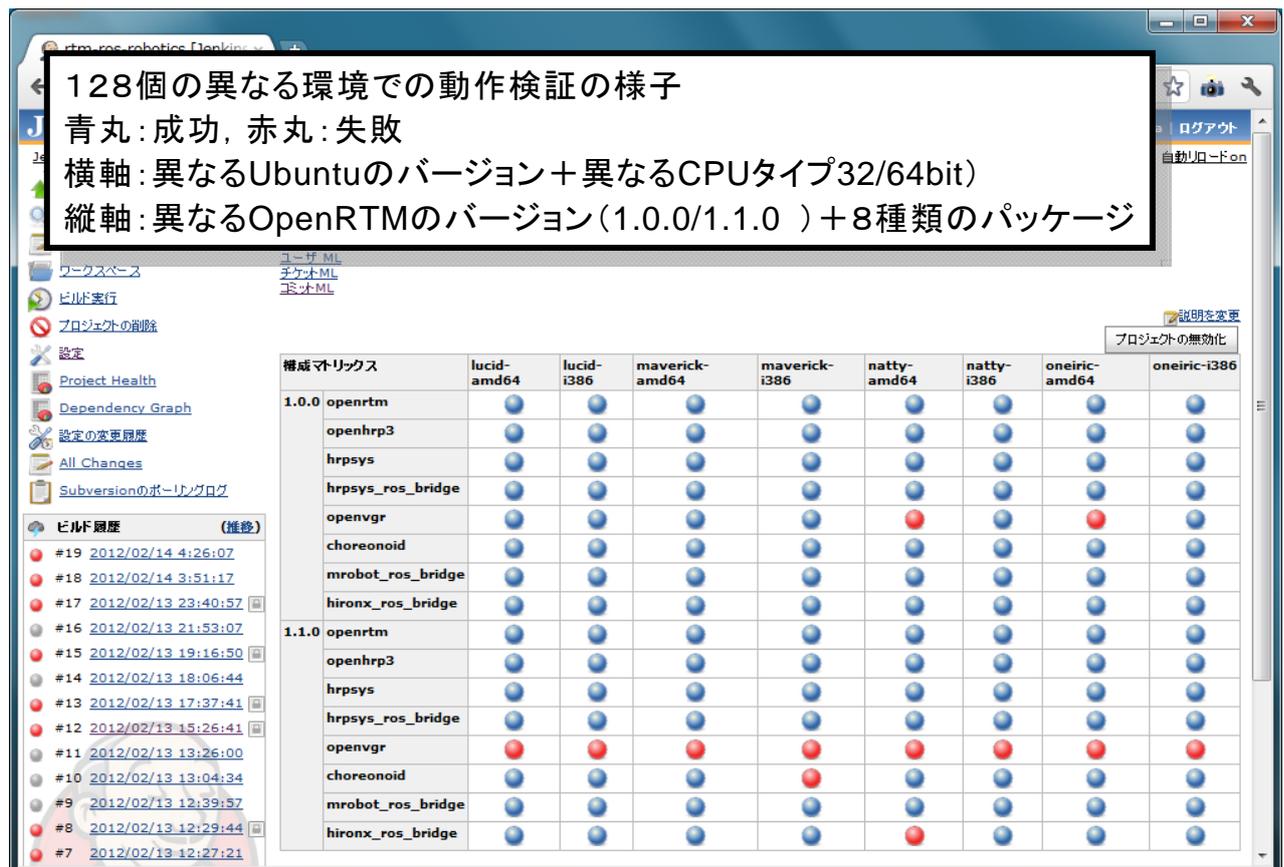


サンプル動作の自動動画生成(hrpsys)



サンプル動作の自動動画生成(hrpsys_ros_bridge)

これらのツールを活用し、OSやミドルウェアのバージョンアップに対する検証機構として、一般的な開発実行環境として考えられる全ての組み合わせに対して、知能モジュールの生成検証を行うことが可能になる。以下では32bit (i386), 64bit (amd64)のそれぞれのCPU, Ubuntu 10.04, 10.10, 11.04, 11.10のそれぞれのOSバージョン, 1.0.0, 1.1.0のそれぞれのOpenRTMバージョンの合計16通りの組み合わせに対して8個の各知能コンポーネントの動作を検証している様子を示している。横軸がCPU x OSの8通りの組み合わせであり、縦軸は7個のコンポーネントの組み合わせを示し、それぞれ2つのRTMバージョンで検証している



3.4.1.3.4.6 OpenRTM-ROS 相互運用プロジェクトの成果のまとめ

本プロジェクトの成果は以下のようにまとめることができる。

1) 開発した全 16 パッケージを <http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/> で公開した。

- 相互運用ツール : rtmbuild

- 相互運用ソフトウェア : mrobot_ros_bridge, hrpsys_ros_bridge, hironx_ros_bridge, fmk_rs_bridge, beego_navigatoin, rtm_node

- 既存 OpenRTM ソフトウェアの相互運用例 : openrtm, openhrp3, openinvent, openvgr, hrpsys, choreonoid, iis_idl, RS003

2) OpenRTM と ROS の相互運用を可能にする環境の構築。

パッケージソースコード開発管理ツール、プログラムコンポーネント実行管理ツールによる効率のよい開発環境を構築し、OpenRTM と ROS の相互運用だけ

でなく、OpenRAVE、OpenNI (kinect) などの他のソフトウェアライブラリとの相互連携が容易な環境を構築した。

3) プロジェクト終了後も継続的に智能化コンポーネントを維持・発展する環境として、コンポーネント自動テスト・文章化ツールによる、省労力の動作検証環境とドキュメント管理方法の確立と ROS モジュールから自動的に RTM コンポーネントを生成するプログラムの開発を行った。特に後者は世界中にある全ての ROS パッケージを自動的に OpenRTM コンポーネントから利用できる形に変換することができる大変強力なツールになっている。

3.4.1.4 目標の達成度

	目標	研究成果	達成度
① 動環境認識知能モジュール群の開発	①自己位置認識に関する知能モジュール群 周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。	<p>周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識するモジュール群を開発し、最終目標を達成した。開発したモジュール群は各環境や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周囲環境をレーザセンサとカメラを用いてセンシングして得られたレーザセンサ情報と画像ランドマーク情報を手がかりに、記憶しているグリッド地図とランドマーク地図と照合し、自己位置を認識する機能を自己位置推定 RTC 群を開発。（富士通） ・周囲環境をレーザセンサを用いてセンシングして得られた情報を手がかりに、記憶しているグリッド地図情報と照合し、自己位置を認識する LRF モンテカルロ位置推定モジュールを開発。（奈良先端大） ・周囲環境をカメラを用いてセンシングして得られた天井画像を手がかりに、記憶している天井地図を照合し、自己位置を認識する天井カメラを用いた位置推定モジュールを開発。（奈良先端大） ・周囲環境をレーザセンサとカメラでセンシングして得られた距離データと視覚特徴を手掛かりに、記憶していた障害物グリッド地図と視覚特徴地図と照合し自己位置を認識する大域位置推定モジュールを開発。（豊橋技科大） 	達成

<p>①移動環境認識知能モジュール群の開発</p>	<p>②地図情報生成に関する知能モジュール群 新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモジュール群。(1) ①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて行う機能を実現すること。</p>	<p>ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を自動生成するモジュール群を開発し、最終目標を達成した。地図を自動生成したことにより、新規環境での準備作業を簡便にし、物品の配置変化にも速やかに対応可能となる。さらに、生成した地図は自己位置認識に関する知能モジュール群でも利用可能である。開発したモジュール群は各環境や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・レーザ距離センサとカメラでセンシングして得られたレーザセンサ情報と画像ランドマークの情報から、レイアウト地図とランドマーク地図の事前地図を同時に自動生成する機能を自己位置 RTC 群で提供。また、レイアウト変化に対応するため、ロボット移動時に事前地図を更新するオンライン SLAM 機能も開発。生成した地図はランドマーク自己位置推定 RTC[富士通] や LRF モンテカルロ位置推定モジュール [奈良先端大] で利用可能。(富士通) ・レーザ距離センサとカメラでセンシングして得られた距離データと視覚特徴を用いて、グリッド地図および視覚特徴地図の生成を行う大域地図生成モジュールを開発。生成した地図は大域位置推定モジュール [豊橋技科大] や LRF モンテカルロ自己位置推定モジュール [奈良先端大] で利用可能。(豊橋技科大) <p>また、上記以外に地図生成に関し以下のモジュールも開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステレオ画像処理ハードウェアから得られる三次元特徴点の追跡結果を元に計算されるビジュアルオドメトリを応用し、ロボットの自己運動推定と環境の計測情報から三次元点群地図を生成する、3次元視覚による三次元地図生成コンポーネントを開発。(東京大学) 	<p>達成</p>
---------------------------	---	--	-----------

<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>①人・障害物認識に関する知能モジュール群 静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する機能を実現するモジュール群。</p>	<p>静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。人や障害物などの対象や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 静止障害物の位置認識 レーザ距離センサを用いてロボットを中心とする局所領域の障害物グリッド地図を生成する局所地図生成モジュールを開発。（豊橋技科大） ・ 静止障害物の位置、移動障害物の位置・動きの認識 <ul style="list-style-type: none"> - ステレオビジョン画像処理ハードウェアを活用し、特徴点の運動情報を利用して、静止障害物及び運動障害物の位置と運動の認識を行う障害物クラスタ追跡モジュールを開発。（富士通） - ステレオビジョンモジュールからの3次元特徴量追跡の情報とモーションセンサによるカメラ姿勢情報をセンサフュージョンすることで、自己運動と視野内の他の静止物体の位置、移動物体の位置と運動を30Hzの実時間で分離して計測する、3次元運動認識モジュールを開発。（東大） ・ 人の位置と動きの認識 <ul style="list-style-type: none"> - ステレオカメラで得られる距離情報と画像情報を用いてロボットの周囲の人物の発見と追跡を行い、人の位置と運動を認識する人発見運動追跡モジュールを開発し、一般公開を予定。（豊橋技科大） - ステレオカメラやレーザセンサから得られる距離情報と色情報とを用いて人の位置と動きを認識し、追従動作を実現する対人追従モジュール群を開発。動作中の明るさの変化による視差情報、色情報の誤りにもロバストな手法を開発。（東京理科大） 	<p>達成</p>
----------------------------	---	---	-----------

<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>②動的経路計画に関する知能モジュール群</p> <p>(a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、補正又は再計画を自動的に行いながら、目的地に到達可能な機能を実現するモジュール群。</p> <p>(b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる機能を実現するモジュール群。</p>	<p>(a) (b)の経路計画機能を実現する以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。</p> <p>(a)の機能を実現するモジュール群： グリッド地図を基に現在地と目的地を結ぶ経路（経由点の系列）を生成する大域行動計画モジュールを開発した。（豊橋技科大）</p> <p>さらに、ロボット周囲の環境の情報から安全な移動経路を計画する局所行動計画モジュール（開発済、一般公開を予定）により、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、経路を再計画することによって常に目的地への経路を生成できる。（豊橋技科大）</p> <p>(b)の機能を実現するモジュール群： 上述の局所行動計画モジュールにより、人の位置・速度情報を基にその動きを予測し、人や静止障害物との衝突を起こさない安全な軌道を生成できる。（豊橋技科大）</p>	<p>達成</p>
<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>③安全移動制御に関する知能モジュール群</p> <p>移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現するモジュール群。</p>	<p>移動環境及びその状況に応じて、移動速度制御を行う以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。本機能を以下の複数のモジュールで実現している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上述の局所行動計画モジュールにより、人および障害物の情報を参照しながらさまざまな速度で移動した際の安全性確認を行い、衝突を起こさない適切な速度を選択できる。（豊橋技科大）。 ・ 移動環境で障害物が接近する状況において、レーザセンサを用いてロボットを安全に停止させるよう速度制御を行う緊急停止モジュールを開発した。（東京理科大） 	<p>達成</p>

最終目標	開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること	表 3. 2. 1-7 に示すように知能モジュールを搭載したロボットシステムが複数の環境の中、失敗することなく移動できることを確認した。	達成
------	--	--	----

特記事項

	目標	研究成果	達成度
(2)	NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイスを利用することを推奨する。	共通基盤で開発した LSI を搭載したステレオ画像処理ハードを活用した以下のモジュールを開発。 <ul style="list-style-type: none"> ・自己位置推定 RTC (富士通) ・障害物クラスタ追跡モジュール (富士通) ・3次元運動認識モジュール (東大) 	達成
(4)	上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。	移動知能としての必要最小限の機能要素単位でモジュール化し、再利用できるようにコンソ内でインタフェースを揃えて、相互に接続できる形で開発。	達成

<p>(6)</p>	<p>知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・局所地図生成、大域地図生成モジュールを「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のOpenHRP3シミュレータで動作させ、適切に動作することを検証（豊橋技科大） ・対人追従モジュール群を「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のOpenHRP3シミュレータで動作させ、機能検証を実施。（東京理科大） 	<p>達成</p>
<p>(7)</p>	<p>本研究開発項目④に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。</p>	<p>移動知能に係わる本研究開発項目の上記モジュール以外にも以下のモジュールも開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステレオ画像処理ハードウェア用画像処理 RTC、RT ミドルウェア 汎用的な画像処理に利用可能なモジュールとして、ステレオ計測モジュール、顔検知モジュール、距離画像計測モジュールを開発。ステレオビジョンモジュール購入者に提供を予定。（富士通）。富士通製ステレオ画像処理ハードウェア上で OpenRTM-aist を動作させるためのノウハウ、ツール、拡張機能を提供。（セック）。 ・人物の自由な動き、ロボットの制御、距離センサの取得を任意の空間でシミュレーションできる環境シミュレータを開発。（豊橋技科大） ・作業知能のための対象物位置・姿勢推定モジュール ロボットが指定された対象物を把持する際に必要となる対象物の位置・姿勢を推定し、作業知能 WG で規定されたフォーマットで出力する知能モジュールを開発。（大阪大学） 	<p>達成</p>

3.4.1.5 成果の意義

(富士通株式会社)

商業施設等の人や障害物が混在する環境の中で作業する移動ロボットの実用化を目指し、様々なロボットがロボスタに移動するための、ステレオ画像処理ハードウェア、本ハードウェアを利用した画像処理用モジュール群、地図生成／自己位置認識モジュールを開発した。

ステレオ画像処理ハードウェアは小型（外径寸法 120mm×100mm×40mm、重量 180g）かつ低消費電力（13W）でありながらも、特徴点の3次元位置計測やオプティカルフロー等の画像処理をリアルタイムで処理する性能を実現している。画像認識機能を実ロボットへの組込むには重量・消費電力の点で最適である特徴を持つ。また、本ハードウェアをロボットの研究開発に広く利用できるように、RTミドルウェア利用環境を整備し、画像処理用モジュール群も開発した。

地図生成／自己位置認識モジュールは、画像ランドマークとレーザセンサの2種のセンサ情報を併用することで安定したロボットの自己位置認識を実現し、さらに地図を自動生成することにより、ロボット運用時におけるロボットのセットアップ工数を削減することができる。

実ロボット組み込みに最適な画像処理ハードウェア、画像ランドマークとレーザセンサを併用した自己位置推定による自律移動のロボスタ性の向上、ロボット運用時のセットアップ工数削減を実現した点に特徴があり、公共施設等への次世代ロボットの本格的な導入の加速が期待できる。

(豊橋技科大)

サービスロボットの移動知能においては、ロボット周囲の環境の認識と安全な行動の計画が最も基本的かつ重要である。そこで、地図生成・位置推定、大域経路計画、局所起動計画、人物発見・追跡に関する知能ソフトウェアモジュール群を開発し、RTコンポーネント（RTC）として実現した。また、屋内動的環境シミュレータ RTC を開発し、各機能モジュールを個別かつ容易に開発・評価できる環境を実現した。開発したモジュール群を統合した試作システムを構築し、特定人物追従や地図の自動生成の実験を行った。複数のプラットフォームを用い、通常のオフィス環境、学生食堂などさまざまな環境で実験を行い、開発したモジュールの再利用性、ロボスタ性を検証した。開発したモジュール群は、自律移動ロボットに必要な基本的なモジュールをすべて含んでおり、今後のサービスロボットの開発に大きく貢献できるものと考えている。

(セック)

移動知能用 RT ミドルウェアの開発では、RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提案、開発してきた。これらの機能の多くは、移動知能ロボットに限らず、RT ミドルウェアを用いたあらゆるロボットの構築に必要な不可欠である。そのため、移動知能用 RT ミドルウェアのシステム管理モジュールとデバッグ管理モジュールが提供する機能は、移動知能用 RT ミドルウェアがベースとしている RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist のバージョン

1.1.0-RC3 (2012年2月末時点の最新バージョン)に取り込まれた。これにより、RTミドルウェアを利用する全てのロボット開発者がより容易にロボットを構築することが可能になった。移動知能用RTミドルウェアが果たした功績は大きかったと考えている。

移動知能モジュール汎用フレームワークで実現したソースコード生成機能は非常に強力な仕組みであり、RTコンポーネントの開発と保守の効率を向上させるものである。RTミドルウェア初心者に対しては、RTミドルウェア導入のハードルを下げ、習得を容易にする入門用ソフトウェアとして機能し、熟練者に対しては開発効率を向上させるツールとして有益である。特に、入力データの表示やデータの型変換を行うような小さなユーティリティRTコンポーネントを開発する際に効果がある。従来と比較してソースコードを最大で8割削減できるため、数分ですばやくRTコンポーネントを開発することも可能になる。本プロジェクト内外を問わずRTコンポーネントは数多く開発されているが、移動知能モジュール汎用フレームワークのように、既存のRTミドルウェアをベースにしてRTコンポーネントの開発を容易にする仕組みを提供する例は見られない。移動知能モジュール汎用フレームワークの開発はこれまでにない新規性と実用性を兼ね備えたものであったと考えている。

移動知能モジュール汎用フレームワークは、移動知能モジュール試験環境や移動知能用RTミドルウェアの一部と統合し、PyRTSeamというオープンソースソフトウェアとしてセックのロボットサイトで公開しており、誰でも自由に利用できる。また、PyRTSeamの動作検証のために開発した人追従RTコンポーネント群もオープンソースソフトウェアとして公開している。このRTコンポーネント群は、PyRTSeamの利用例を示すだけでなく、RTミドルウェアを用いたシステムの具体例としての価値もある。これにより、世の中にRTミドルウェアへの理解が広まると共に、RTミドルウェア導入のハードルが下がり、RTミドルウェアがより一層普及すると考えている。

また、実ロボットへのRTミドルウェアの適用実験の一環として、富士通九州ネットワークテクノロジーズ株式会社から販売されているステレオ画像処理ハードウェア上にRTミドルウェア動作環境を構築し、汎用PC上で動作するRTコンポーネントとのシームレスな連携を可能にした。ステレオ画像処理ハードウェア上にRTミドルウェア動作環境を構築するためのノウハウはドキュメントにまとめ、セックのロボットサイトで公開しており、誰でも自由に利用できるようになっている。一般に販売されているハードウェアモジュール上に直接RTミドルウェアを搭載して動作させる例は未だ稀であり、新規性と実用性の高い開発であったと考えている。

(東大)

本研究開発では、コンソ内で開発されてきた移動知能モジュールの3次元対応により、移動時にカメラ計測系に揺れを伴うような状況においても移動知能モジュールを利用可能なようにすることで、そのロバスト性、再利用性の向上を目指し、実時間3次元運動分離認識モジュール群を開発した。

開発したモジュール群では、富士通株式会社がプロジェクト内で開発したステレオ画像処理ハードウェア上で動作する実時間30fps3次元オプティカルフロー生成

コンポーネントから得られる3次元特徴点群を元に自己運動軌道と視野内の複数の移動物体運動軌道、静止環境特徴点を実時間30fpsで認識できることが大きな特徴となっている。このモジュール群を利用し、3次元的な自己運動軌道を得ることによって、歩行中に頭部カメラ系に複雑な揺動を生じる二足歩行ロボットなどへも既存の移動知能モジュールが適用できることを実際の行動実験を通して検証するとともに、開発したモジュール群をオープンソースで広く一般に公開することによって、世界中の多数のヒューマノイド研究者に対して、本プロジェクトで開発した知能モジュールを利用可能にするための方法を提供することができた。

また、ヘッドマウント型でワイヤレスにて運用可能なセンサデバイスを開発し、人間やロボットの頭部にかぶせるだけで上記の3次元運動分離認識モジュール群をすぐに運用するシステムを実現し、様々なロボットシステムにてモジュール群の動作検証を行った。二足歩行ロボットだけでなく、台車型ロボットでも揺れを伴う路面での運用を行う場合や、セグウェイタイプのように揺動を伴う移動台車においては、本研究開発の成果を利用することで既存の移動知能モジュール群を利用することが可能になったといえることができ、大きな意義がある。

これまでの台車型ロボットの屋内の平坦な床面での利用だけでなく、今後、様々なシーンでロボットが広く活躍していく中で移動知能モジュール群を展開していく際に、本プロジェクトでの開発した成果が礎となることで、研究開発のより大きな加速が期待される。

(奈良先端大)

移動ロボットのナビゲーション機能等では、位置推定モジュール・LRFデータ取得及び描画モジュール・地図管理モジュールなどの開発を行い、照明変化の頑健性が向上し、屋内外で利用可能な性能を実現した。

同一アルゴリズムで屋内外の走行を実現している例は世界的に見ても少なく、またビューベースのみでの走行距離で最高水準の機能を実現できていると言える。コンポーネント間の接続問題を解決するコンバータコンポーネントを提案及び開発したことで、再利用性の向上に貢献している。

加速案件である日用品ハンドリングロボットの開発では、オープンソースで開発された人物発見・対象物検出・ユーザインタフェース・物体ハンドリングの各モジュールを組み合わせて統合検証システムを構築し、4種類のハードウェアと5箇所の実施機関において作業知能に関するコンポーネントの再利用性を確認した。

また、本プロジェクトの成果として5件の受賞実績があり、対外的な評価も十分に受けていると言える。

(大阪大学)

本研究開発では、人間共存環境において移動・作業を行う知能ロボットのための知能モジュールを研究開発することを目的とし、把持対象物体の位置・姿勢推定情報を獲得する知能モジュールの性能を向上、および開発した知能モジュールの普及を目指した共通カメラインタフェースの策定を行った。共通カメラインタフェースについては関連するモジュールの開発、およびツール群の開発も合わせて行った。

開発したモジュールを組み合わせて使うことにより、把持対象物体を見つけ、そ

の位置・姿勢を推定することにより、腕をもつ移動ロボットによる物体把持を実現した。物体把持は様々な対人サービスを行うための基本となる作業であることから、その意義は大きい。また、策定した共通カメラインタフェースに基づき開発されたカメラコンポーネントの開発により、視覚機能を実現するモジュールの再利用性が向上することから、知能モジュールの普及拡大に貢献している。

(東京理科大)

本研究開発では、人間共存環境において移動・作業を行う知能ロボットのための知能モジュールを研究開発することを目的とし、対人追従しながら荷物を運搬する場面を想定し、対人追従に係わる知能モジュール群の開発を行った。開発したモジュールを組み合わせて複数のセンサを用いることにより照度変化に対しての頑健性が向上し、屋内だけでなく屋外でも利用可能な性能を実現した。さらに、複数の移動ロボットで同時に検証を行うことにより、開発知能モジュール群の再利用性を確認した。対人追従機能は様々シーンでの利用が可能であることから、その意義は大きい。また、本プロジェクトの成果として4件の受賞実績があり、対外的な評価も十分に受けていると言える。

(全体)

本研究開発では、視覚認識をベースとしたロバストで再利用性のある移動知能モジュール群を開発した。また、RT ミドルウェアの開発ツール、共通カメラインタフェースの策定、OpenRTM/ROS 相互運用など、移動知能に限らず RT ミドルウェアを普及させるための開発も行った。

開発成果は、55 個の知能モジュールをオープンソースとして公開、10 個のモジュールをバイナリ公開しており、今後の移動ロボットの開発に大きく貢献できるものと考えている。また、2009 年と 2011 年の国際ロボット展の展示、学会発表などの成果普及に向けた取り組みを実施し、受賞などの対外的な評価も受けている。さらに富士通株式会社では開発した画像処理ハードウェアを製品化して実用化も進めた。

本研究開発で行った知能モジュールの開発、普及活動、事業化は今後のサービスロボットの普及に大きく貢献するものと考えている。

3.4.1.6 成果の普及

- 成果の公開状況（オープンソース公開、バイナリ公開）

オープンソースモジュールリスト		
モジュール名	機関名	ライセンス形態
大域位置推定モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
局所地図生成・更新モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大域地図生成・管理モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
人検出・運動追跡モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
局所行動計画モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大域行動計画モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
地図表示モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
MobileRobots社ロボット制御モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
RT-Seam(移動知能用RTミドルウェア)	株式会社セック	OSSで公開(ライセンス名: MITライセンス)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用RTミドルウェア	株式会社セック	OSSで公開(ライセンス名: クリエイティブ・コモンズライセンス)
既知ランドマークを利用した3次元自己位置認識モジュール(3次元視覚による自己位置推定コンポーネント群)	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3次元視覚による三次元地図生成コンポーネント群	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
基本形状表現型ランドマーク獲得コンポーネント群	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
自己及び人・障害物の3次元運動認識モジュール	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3次元フロー生成コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
NECトリーク3Dモーションセンサコンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
2次元オペティカルフロー・3次元ステレオ切り替え動作	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大局地図への3次元情報追記コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
環境中高速3次元物体姿勢認識コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
箱状物体検出コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
軌道補間コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRFモンテカルロ位置推定モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
天井カメラを用いた位置推定モジュール	奈良先端大、再利用センター	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF地図管理モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
VFHアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
DWAアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
StRRT経路計画に基づく速度指令生成モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
移動物体の運動推定モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
全方位カメラの画像に基づく測域モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
緊急停止モジュール	東京理科大学、奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
走行制御モジュール	東京理科大学、奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
対人追従モジュール群	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
HumanDetecLRF	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
HumanDetecCamera	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
人物認識モジュール(全身版)	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
アピアランスベース物体認識知能モジュール(CPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
アピアランスベース物体認識知能モジュール(GPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体モデル管理モジュール	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体位置姿勢推定モジュール	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SIFTマッチングモジュール(CPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SIFTマッチングモジュール(GPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
拘束下運動制御モジュール	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体把持実行モジュール	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF SICK LMS2xx距離データ取得モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: GPL2)
LRF 北陽 URG距離データ取得モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF距離データ描画モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
ニッタカセンサIFS-70M35A25-M50B(ISAバス版)	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3軸加速度・角速度・角度計測	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
カメラコンポーネント	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Mobile Robot社製P3-DX用制御モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
GUIジョイスティックモジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SimuLike-コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3D-CADモデルを利用したロボット動作モニタ	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
関東自動車製Patrafour電動車椅子制御モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
屋内環境シミュレータモジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用ステレオカメラキャリブレーションコンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用ステレオ画像出力コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)

バイナリ公開モジュールリスト		
モジュール名	機関名	ライセンス形態
自己位置推定RTC群	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
ステレオ計測モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
顔検知モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
距離画像計測モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
障害物クラスタ抽出モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
障害物クラスタ追跡モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
大域的経路計画マップ管理モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
大域的経路計画モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
センサベースト・モデルベースト融合経路計画モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
人物認識モジュール（顔版）	筑波大	共同研究者に提供

※ソフトウェアを管理している「株式会社Embedded Wings」にお問い合わせください。

これらのモジュールは以下の URL で公開している。

(1) 富士通株式会社

<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/support/nxv/>

(2) 豊橋技術科学大学

<http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/RTC/>

(3) 株式会社セック

<http://www.sec.co.jp/robot/>

(4) 東京大学

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/rtm/>

(5) 奈良先端科学技術大学院大学

http://robotics.naist.jp/nedo_project/

(6) 大阪大学

<http://www-arailab.sys.es.osaka-u.ac.jp/CameraIF/>

(7) 東京理科大学

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/hmlab/rtcomponent.html>

(8) 東京大学 OpenRTM-ROS 相互運用

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

- 成果の普及に向けた取り組み（学会発表、展示会）

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 （プレス発表 等）
	国内	外国	PCT※出 願	査読付 き	その他	
H20FY	0	0	0	3	17	1
H21FY	5	0	1	17	36	6
H22FY	1	0	0	18	34	5
H23FY	4	0	0	21	35	9

3.4.1.7 実用化、事業化の見通し

(1) 富士通株式会社

共通基盤プロジェクトで開発したLSIを活用したステレオ画像処理ハードウェアを2009年に製品化し、これまでロボット研究開発を行なっている大学、研究機関、企業を中心に販売している。また、本プロジェクトで開発した知能モジュール群(画像処理RTC群、SLAM/自己位置推定RTC群)をステレオビジョンモジュール製品サイトで公開し、自社製品(ハードウェア)購入者に無償提供している。

ステレオ画像処理ハードウェアは小型・低消費電力・高性能という特徴を持っており、バッテリー動作する移動ロボットにリアルタイム画像処理機能を搭載するのに適したハードウェアプラットフォームである。

さらに、提供するSLAM/自己位置推定RTC群は、複数の環境・ロボットで再利用性とロバスト性を実証しており、多くのロボットシステムに適用可能である。

製品販売と開発成果の提供により、ロボットの研究開発機関に開発成果が広く利用され、普及が進むことを期待している。

(2) 株式会社セック

セックは、RTミドルウェアを普及促進することで、ロボット産業を活性化することを狙い、本実施項目の成果である以下のソフトウェアとドキュメントを公開した。これらは全てオープンソースライセンスが適用されており、セックのロボットサイトから自由にダウンロードできるため、幅広い利用が可能になっている。

- ・ 移動知能モジュール汎用フレームワーク、移動知能モジュール試験環境、移動知能RTミドルウェアの外部システム接続モジュールを統合したソフトウェアであるPyRTSeam
- ・ 人追従RTコンポーネント群
- ・ ステレオ画像処理ハードウェア上にRTミドルウェア動作環境を構築するためのノウハウをまとめたドキュメント

株式会社セック
SEC System Engineering Consultants Co., Ltd.

人とロボットが共存する社会を目指して
ROBOT Research & Development

セックは、ユビクitous社会の究極の形態はロボットであると考え、ロボット分野の研究開発に取り組んでいます。ロボットのユビクitous化を目指すRTミドルウェアを開発するとともに、人と共存するロボットの実用化を目標し、機能安全の国際規格であるISO15532と適合したロボットのソフトウェアの開発にも力を入れています。

RTミドルウェア
ロボットのユビクitous化を実現するためのソフトウェアを開発しています。ロボットアプリケーションの開発と開発安全の国際規格であるISO15532と適合したソフトウェアの開発にも力を入れています。

研究開発
機内での開発と実用化のための開発環境を整えています。開発環境を整備し、ロボット開発の効率を高めています。

開発安全への取り組み
人と共存するロボットの開発に向けて、機能安全の国際規格であるISO15532と適合したソフトウェアを開発しています。

ロボットソリューション
ロボットのユビクitous化を実現するためのソフトウェアを開発しています。

What's New

- ・ RTミドルウェアソフトウェア、マニュアル、仕様のアップデートを開始しました。(2012/03/01)
- ・ ロボットサイトを開発しました。(2012/02/24)

お問い合わせ
ロボットサイトのコンテンツやソフトウェアについてのお問い合わせは下記までご連絡ください。
robot@sec.co.jp

コンテンツ

- ・ ロボットサイトトップページ
- ・ ロボット分類
- ・ ロボット開発の推進と効率化のために
- ・ RTミドルウェアとは
- ・ 主な研究開発活動
- ・ 研究開発成果(ロボットソリューション)一覧
- ・ NEDO次世代ロボット知能社会構築プロジェクト
- ・ 高度情報科学技術研究推進プロジェクト
- ・ ロボットフォーラム
- ・ ロボット技術連携強化推進プロジェクト
- ・ インフォメーションロボット
- ・ オープンロード
- ・ RTミドルウェア
- ・ RTコンポーネント
- ・ ツール
- ・ ドキュメント
- ・ 外部発表
- ・ 書籍 記事
- ・ 動画 研究発表(講演録 書 録)

リンク

- ・ 株式会社セック
- ・ OpenRTM-aist

セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>)

PyRTSeam および人追従 RT コンポーネント群は、玉川大学工学部 岡田浩之教授とセックが共同で取り組んでいる、ロボカップ@ホームへの RT ミドルウェアの導入に活用されている。ロボカップ@ホームは、人と共に作業を行う自律移動ロボットが、キッチンやリビングルームなどの家庭環境で様々な課題に取り組み、その達成度により勝敗を競う競技会である。様々なロボット技術を統合してロボットを開発し、人と協調した多くのタスクをこなす必要があるため、新規参入が容易ではない。RT ミドルウェアを導入することで、プラットフォームの共通化、部品化された RT コンポーネントの再利用が可能となる。これにより、ある 1 つのタスクを実現するシステムの一部を組み替えるだけで、様々なタスクを実現できるため、ロボカップ@ホームへの新規参入が容易になると考えている。セックのロボットサイトで公開している人追従 RT コンポーネント群は、ロボカップ@ホームで要求されるタスクの 1 つを実現するリファレンスシステムとなっている。そのため、RT ミドルウェアを用いてロボカップ@ホームに新規参入する際の一助になると考えている。

セックでは、今後、ロボカップ@ホームへの RT ミドルウェア導入の取り組みを継続していくと共に、公開したソフトウェアのサポート、大学や研究機関での RT ミドルウェア講習会の開催などを行っていく。これらの活動を通して、これまで RT ミドルウェアを利用していない開発者にも RT ミドルウェアを広め、より一層 RT ミドルウェアを普及促進することで、ロボット産業の活性化に貢献していく。

3.4.1.8 結論

- サービスロボットが人の存在する実環境を安全かつ効率的に移動するために、必要となる基盤機能をすべてカバーする知能モジュール群を開発した。
- 同一の機能（例えば、地図生成や行動計画）であっても、異なる状況に対応できるように複数のモジュールを並行して開発した。
- 移動ロボットに必要な機能の分割を検討し、インタフェースを共通化してモジュール開発を行うことにより、各研究機関で開発されたモジュールを組み合わせ、サービスロボット **enon**、リファレンスハードウェア、**peoplebot**、**PatraFour**、トヨタ自動車実験用ロボット、**HRP2-V**、**HRP-2** の 7 種のロボットハードウェアで利用できる再利用性を実現した。
- オフィス廊下、オフィスロビー、大学食堂、展示会場の 4 通りの環境で実証実験を行い、極めてロバストに動作することを示し、基本計画の最終目標を達成した。
- 55 個の知能モジュールをオープンソースとして公開、10 個のモジュールをバイナリ公開した。
- オープンソースで開発された人物発見・対象物検出・ユーザインタフェース・物体ハンドリングの各モジュールを組み合わせ、日用品のハンドリングシステムを構築し、作業知能に関するコンポーネントの再利用性を確認した。
- **O p e n R T M** 対応のパッケージソースコード開発管理ツール、プログラムコンポーネント実行管理ツールを構築し、ROS だけでなく **O p e n R A V E**、**O p e n N I** (kinect)、**P C L** などの他のソフトウェアライブラリと **O p e n R T M** との相互連携・相互運用を可能な効率のよい開発環境を実現した。また、コンポーネント自動テスト・文章化ツールを用いた省労力動作検証環境とドキュメント管理方法を確立し、プロジェクト終了後も継続的に知能化コンポーネントを維持・発展させ続けている。さらに、ROS モジュールから自動的に **R T M** コンポーネントを生成する技術を開発した。これにより、世界中のすべての ROS モジュールを **R T M** コンポーネントとして取り込むことができるようになり、**O p e n R T M** の更なる発展を可能にした。
- 共通基盤プロジェクトで開発した **LSI** を活用した画像処理ハードウェアを開発して製品化した。

研究発表・講演、文献、特許等の状況

[富士通株式会社]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	Linux 搭載共通基盤画像認識モジュールと 画像認識用RTC の開発	中尾学、沢崎直之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマーク地図とレイアウト地図を併用した移動ロボットの自律走行	陳彬、沢崎直之
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマークとレイアウト地図を用いた移動知能ナビゲーションシステムの開発	○陳彬、中尾学、深貝卓也、沢崎直之
2010年10月22日	IROS2010 Workshop	RT Modules for Visually Controlled Mobile Robot	○中尾学(富士通)、沢崎直之(富士通)、三浦純(豊橋技科大)、小田桐康暁(セック)、中本啓之(セック)、吉海智晃(東大)、稲葉雅幸(東大)
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(1)	○中尾学、深貝卓也、陳彬、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(2)	○陳彬、中尾学、深貝卓也、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(3)	○深貝卓也、中尾学、陳彬、神田真司

(2) 文献

2010年6月	日本ロボット学会学会誌	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他
2010年6月	機関誌ロボット	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他

(3) 特許等

出願番号	出願日	出願人
特許2009-197531	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-197532	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-242759	2009年10月21日	富士通株式会社
特許2011-40712	2011年2月25日	富士通株式会社
特許2011-110740	2011年5月17日	富士通株式会社
特許2011-128549	2011年6月8日	富士通株式会社
特許2011-119676	2011年5月27日	富士通株式会社
特許2011-157099	2011年7月15日	富士通株式会社

(4) その他の公表（プレス発表等）

- ・ 2009年9月12日プレス発表

「世界最高性能！次世代ロボット向け画像処理モジュールの販売開始」

(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2009/0724.html>)

- ・ 2011年9月7日プレス発表

「使いやすさを追求！画像処理装置「ステレオビジョンモジュール」の筐体版販売開始」

(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2011/0907.html>)

- ・ 日経産業新聞 2012年02月14日朝刊

「富士通 自律走行ロボの新ソフト 経路周辺の変化 迷わず位置把握」

[豊橋技術科学大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月7日	2008年ロボティクス・メカトロニクス講演会	屋内環境における移動ロボットによる環境情報要約	○増沢広朗, 三浦 純
2008年10月23日	電子情報通信学会技術報告, PRMU2008	ステレオカメラを用いた移動ロボットのための人物追跡	○佐竹純二, 三浦 純
2008年12月6日	SI2008	移動ロボットによる環境情報要約のための物体の見えのモデル化	○増沢広朗, 三浦 純
2009年3月6日	動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2009)	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	○佐竹純二, 三浦 純
2009年5月12日	Proc. ICRA-2009 Workshop on Person Detection and Tracking	Robust Stereo-Based Person Detection and Tracking for a Person Following Robot	J. Satake and ○J. Miura
2009年5月21日	Proc. 2009 IAPR Conf. on Machine Vision Applications (MVA 2009)	Multi-Person Tracking for a Mobile Robot using Stereo	○J. Satake and J. Miura
2009年5月25日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボット実現のためのオンライン経路計画	○石川裕基, 尹 柱燮, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	局所地図の時系列統合による大域地図の生成	○北島健太, 増沢広朗, 三浦 純, 佐竹純二
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた人物追従ロボットの開発	○増沢広朗, 石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	移動ロボットによる環境情報要約のための効率的な観測計画生成	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	動的環境下での移動ロボット経路計画RTCの開発	○石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ステレオ視による人物発見・追跡RTCの開発	○佐竹純二, 三浦 純
2009年10月14日	Proc. 2009 IEEE/R	Observation Planning for Efficient	H. Masuzawa and

	SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Environment Information Summarization	○J. Miura
2009年12月25日	SI2009	局所地図の時系列統合による大域地図生成手法の信頼性評価	○北島健太, 増沢広朗, 三浦純, 佐竹純二
2010年3月 日	日本機械学会東海支部第59回講演会	移動ロボット経路計画アルゴリズムの開発と多数人物動きシミュレータによる検証	○石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年5月13日	Proc. ICAPS-2010 Workshop on Planning and Scheduling under Uncertainty	Observation Planning with On-line Algorithms and GPU Heuristic Computation	○M. Boussard and J. Miura
2010年5月27日	情報処理学会CVIM研究会	移動ロボット制御のための人物シルエットの重なりを考慮した複数人物追跡	○佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた再利用性を考慮した人物追従システムの構築	○北島健太, 増沢広朗, 石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボットの実現とその実験的評価	○千葉誠哉, 石川裕基, 北島健太, 増沢広朗, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	公共空間での人物動きシミュレーションとロボット経路計画への応用	○重村敦史, 石川裕基, 三浦純, 佐竹純二
2010年7月28日	MIRU2010	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いたステレオビジョン複数人物解析	○佐竹純二, 三浦純
2010年8月26日	Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition	Stereo-Based Multi-Person Tracking Using Overlapping Silhouette Templates	○J. Satake and J. Miura
2010年8月31日	Proc. 11th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems	Development of a Person Following Robot and Its Experimental Evaluation	○J. Miura, J. Satake, M. Chiba, Y. Ishikawa, K. Kitajima, H. Masuzawa
2010年9月7日	Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Multi-sensor Fusion and	A Hierarchical SLAM for Uncertain Range Data	K. Kitajima, H. Masuzawa, ○J. Miura, J. Satake

	Integration for Intelligent Systems		
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	オンライン観測プランナとそのRTC化	○Matthieu Boussard, 三浦 純
2010年10月6日	Proc. 2010 Int. Conf. on Advanced Mechatronics	People Movement Simulation in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	○A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake
2010年10月19日	Proc. 2010 IEEE/R SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Observation Planning for Environment Information Summarization with Deadlines	H. Masuzawa and ○J. Miura
2010年12月24日	SI2010	人物追従ロボットのための視覚人物発見追跡	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	見え情報と距離情報を用いた移動ロボットの地図生成と自己位置推定	北島健太, 三浦 純, ○佐竹純二
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	確率的サンプリングを用いた動的環境における移動ロボットの時空間経路計画	石川裕基, ○三浦 純
2011年9月8日	第29回日本ロボット学会学術講演会	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いた人物発見・追跡RTCの改良	○佐竹純二, 三浦 純
2011年9月26日	Proc. IROS-2011 Workshop on Active Perception and Object Search in the Real World	Object Search: A Constrained MDP Approach	○M. Boussard and J. Miura
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	到達時間場を利用したランダム探索に基づく移動ロボットのオンライン経路計画	I. Ardiyanto, ○三浦 純
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	人物追従ロボットのためのSIFT特徴に基づく人物識別の改良 ~ 距離に依存した見えモデルの利用	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年11月15日	ロボットシンポジウム名古屋2011	付き添いロボットの研究開発	○三浦 純
2011年11月29日	Proc. 1st Asian Conf. on Pattern Recognition	A Fast Stereo-Based Multi-Person Tracking using an Approximated Likelihood Map for Overlapping Silho	○J. Satake and J. Miura

		uette Templates	
2011年12月8日	Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics	Heuristically Arrived Time Field-Based (HeAT) Random Tree: An Online Path Planning Algorithm for Mobile Robot Considering Kinodynamic Constraints	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2011年12月23日	SI2011	移動ロボットのソフトウェア開発のための屋内環境シミュレータRTC	○重村敦史, 三浦 純
2012年5月発表予定	Proc. 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation	3D Time-space Path Planning Algorithm in Dynamic Environment Utilizing Arrival Time Field and Heuristically Randomized Tree	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアによる双腕ロボットとAGVの協調作業システムの構築	○杉山淳一, 後藤拓喜, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた移動サービスロボット用遠隔運用システム	○河原木政宏, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	視覚を持つ双腕ロボットによる物体操作システムの開発	○近嵐公太, 杉山淳一, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	3次元距離センサとエスパアンテナを用いた特定人物の発見と追跡	○三栖一城, 三浦 純, 佐竹純二

(2) 文献

2010年10月	日本ロボット学会誌	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	増沢広朗, 三浦 純
2010年11月	日本ロボット学会誌	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	佐竹純二, 三浦 純
2012年2月	J. of Robotics and Mechatronics	An RT Component for Simulating People Movement in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake

(3) 特許等 なし

(4) その他の公表 (プレス発表等)

プロジェクトの成果について, 以下の展示を行った.

- 2009年2月11日，名古屋市の愛知県産業貿易館本館で開催された「あいちロボット技術フェスタ」において，局所地図生成モジュールと人発見モジュールを実演展示した．
- 2009年8月22日～28日，浜松市の浜松科学館で開催された「ロボワールド2009」において，RTコンポーネントを利用した地図生成システムを実演展示した．
- 2009年11月25日～28日，2009国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，人物追跡および地図生成のデモンストレーションを行った．
- 2011年11月9日～12日，2011国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，地図生成・行動計画モジュールの紹介と，部品パレタイジングの実機デモンストレーションを行った．
- 2012年1月19日，名古屋市のナゴヤドームで開催された展示会にて，RTコンポーネントを利用した人物追従ロボットを実演展示した．

[セック]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月6日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008におけるポスター発表	移動知能用RTミドルウェアの研究開発	○松本哲也 小田桐康暁 渡邊勇介 中本啓之 長瀬雅之
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	移動知能用RTミドルウェアによるRTC遠隔監視	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	コンポーネント間の効率的なデータ共有を実現するためのデータ共有ポートの開発	○鈴木大資 小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年12月26日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RT System Manager によるシステム起動	○小田桐康暁 鈴木大資 西之原寛 中本啓之
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010におけるポスター発表	IDLを作成せずに使用できるサービスポートの提案	○小田桐康暁 中本啓之
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011におけるポスター発表	RTコンポーネント開発へのテスト駆動開発手法の導入	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	RTコンポーネントを容易に開発するためのフレームワーク	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年7月28日	玉川大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁
2011年11月22日	金沢工業大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁

2011年12月18日	玉川大学において開催されたロボカップ@ホーム キャンプにおける講習会	RTミドルウェアによるロボカップ@ホームのタスクの実現	○小田 桐康暁 中本啓之
-------------	------------------------------------	-----------------------------	-----------------

(2) 文献

なし

(3) 特許等

なし

(4) その他の公表（プレス発表など）

- ・ 2008年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 (ROBOMECH 2008 in NAGANO)にて、3件の論文を発表しました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20080610.html>)
- ・ 2009年11月20日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「「2009 国際ロボット展」にて RT ミドルウェア関連の研究開発成果を展示します」
(<http://www.sec.co.jp/news/20091120.html>)
- ・ 2010年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH 2010 in ASAHIKAWA)にて、5件の論文発表を行います」
(<http://www.sec.co.jp/news/20100610.html>)
- ・ 2011年5月26日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH 2011 in OKAYAMA)にて、2件の論文を発表します」
(<http://www.sec.co.jp/news/20110526.html>)
- ・ 2011年9月12日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「第29回日本ロボット学会学術講演会にて論文発表を行いました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20110912.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」成果報告会に参加しました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20120224.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボットサイトをオープンしました」

(http://www.sec.co.jp/news/20120224_2.html)

- 2012年2月24日 セックロボットサイトにてプロジェクト成果のダウンロード提供を開始

(<http://www.sec.co.jp/robot/>)

[東京大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	EusLispとRTミドルウェアを用いたプロトタイピングの容易なネットワーク分散型感覚行動統合システムの実現	西野環, ○吉海智晃 中西雄飛, 岡田慧 水内郁夫, 稲葉雅幸
2008年7月24日	IAS-10(知能自律システム国際会議)における口頭発表	Simultaneous Learning and Recalling System for Wholebody Motion of a Humanoid with Soft Sensor Flesh	○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2008年8月22日	MFI2008(マルチセンサフュージョンに関する国際会議)における口頭発表	Development of Whole Body Multisensory Soft Flesh with Vibrotactile and Deep Pressure Sensor for Humanoid Close Interaction	林摩梨花, 石坂唯 ○吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年3月16日	第14回ロボティクス・シンポジウムにおける口頭発表	深部多軸変形感覚のための埋込型柔軟触覚センサシステムの開発と柔軟肉質外装への実装	○門脇明日香, 林摩梨花, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	局所相関演算を用いたカメラ揺動推定に基づくロボット動作時の画像安定化補償の実現	○後藤健文, 吉海智晃, 白山翔太, 植木竜佑, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	柔軟センサ肉質外装と自動復帰可能な関節過負荷保護機構を備えたヒューマノイドの設計と開発	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 植田亮平, 稲葉雅幸
2009年7月1日	First International Symposium on Quality of Life Technologyにおける口頭発表	Solid Model Construction in Daily-Life Environment Using Head-Mounted 3D Multi Sensor	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口	次世代知能化視覚モジュールによる動的視覚機能を備えたヒューマノイドロボットにおける移動知能	○吉海智晃, 矢口裕明, 山本邦彦, 植木竜佑, 後藤健文, 稲

	頭 発 表	の 開 発	葉 雅 幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドヘッドの開発と5眼連携による注視制御の実現	○植木竜佑, 白山翔太, 小島光晴, 後藤健文, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	実時間3次元フロー計算による等身大ヒューマノイド歩行時の揺動評価とそれに基づく自己運動推定RTコンポーネント設計	○後藤健文, 吉海智晃, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2009年10月1日	18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communicationにおける口頭発表	Development of Soft Sensor Exterior Embedded with Multi-axis Deformable Tactile Sensor System	門脇明日香, ○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Design and Development of a Humanoid with Soft 3D-Deformable Sensor Flesh and Automatic Recoverable Mechanical Overload Protection Mechanism	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 後藤健文, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Head-Mounted 3D Multi Sensor System for Modeling in Daily-Life Environment	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを用いた歩行中の頭部3次元運動推定による視覚揺動抑制機能の実現	○後藤健文, 植木竜佑, 小島光晴, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドによる人注意観察機能の実現	○吉海智晃, 植木竜佑, 後藤健文, 小島光晴, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演	視覚による箱状物体検出RTコンポーネントに基づく二次元地図の三次元拡張の実現	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸

	会におけるポスター発表		
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTミドルウェアを用いた車輪型全方位移動ロボット用システムの開発事例	山本邦彦, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月24日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RTミドルウェアによる移動ロボットのためのハイブリッドナビゲーションシステムの構築	○矢口裕明, Isaac Anthony, 山本邦彦, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールを備えた小型ヒューマノイドロボットによる落下物体認識拾い上げ行動の実現	○秋元貴博, Isaac Anthony, 後藤健文, 小林一也, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールによる自己運動・移動物体認識コンポーネントの開発	○後藤健文, 秋元貴博, 小林一也, 矢口裕明, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己／他者運動分離認識RTCを用いたヒューマノイドの近傍移動物体軌跡推定・追従行動の実現	○秋元貴博, 後藤健文, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	案内ロボットの実現におけるRTコンポーネントの再利用性に着目したシステム構成法	山本邦彦, Anthony Isaac, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	移動ロボットの自己位置推定のための画像ランドマークデータベース構築手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロ	Enhancing Localization Using Ran	○Youssef Ktiri,

	ボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	dom Ferns Based Vision and Multi-Robot Collaboration	吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTMEXTender: OpenRTM開発支援ツール	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己/他者運動分離認識RTCを用いた ヒューマノイドによる空中ブランコ行動の実現	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	Depth-based Scope Switching and Image Skeletonization for Gesture Recognition	○Anthony Isaac, 吉海智晃, 矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年6月23日	15th International Conference on Advanced Roboticsにおける口頭発表	Achievement of Trapeze Motion for Humanoid Robots Based on Realtime Ego-Motion / Moving Objects' Motions Recognition Algorithm	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年9月7日	第28回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	頭部装着型全方位ステレオカメラによる人間行動観察システム	○矢口裕明, 小島光晴, Anthony Issac, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月8日	2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimeticsにおける口頭発表	Motion Generation for Human-Robot Collaborative Pick and Place based on Non-obstructing Strategy	○花井亮, 大矢良輔, 伊沢多聞, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	An Actively Altruistic Mobile Robot System for Identifying Someone Who Looks Lost Using Head Pose Tracking	○Anthony Isaac, 矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE	Multi-Robot Exploration Framew	○Youssef Ktiri,

	International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	ork Using Robot Vision and Laser Range Data	吉海智晃
2011年12月23日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	マルチヒューマノイド協調神輿動作における実時間揺れ補正システム	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	シーン認識の為に画像からの特徴構造発見手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュール・頭部LRF統合RTC群による歩行動作中の実時間自己位置推定の実現	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸

(2) 文献

2012年刊行予定 (採択済み)	Journal of Robotics and Mechatronics	RTMEXTender: Developer Support Tool for OpenRTM	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
------------------	--------------------------------------	---	------------------------

(3) 特許等

出願番号	公開番号	出願日	出願人
特許出願2009-149868	特許公開2011-7557	2009年6月24日	国立大学法人 東京大学

(4) その他の公表 (プレス発表等)

- ・朝日新聞 2009年1月12日朝刊「やわらかロボットへの試み」
- ・国際ロボット展 NEDO ブースにおける, 等身大ヒューマノイド揺れ補償検証ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型5眼ヘッドによる人発見注視行動の実機デモンストレーション発表(2009/11/25-28)

・国際ロボット展 NEDO ブースにおける，等身大二足歩行ヒューマノイドによる自律移動行動実験ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型小型ヒューマノイドおよびヘッドマウント型デバイスによる 3次元運動分離認識機能の実機デモンストレーション発表(2011/11/9-12)

[奈良先端科学技術大学院大学, 筑波大, 大阪電通大]

(1) 研究発表・講演 (口頭発表も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5-7日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集 (ROBOMECH2008)	マニピュレータが協調作業を行うための RT ミドルウェアによるシステムの構成論 - インパクト・マニピュレーションを用いたデスクトップ組立てシステムの構築 -,	佐藤和輝, 富田信悟, 相山康道
2008年7月29-31日	第11回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008)	ステレオ視差パターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川 景介, 福井 和広
2008年9月9-11日	第26回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2008)	移動ベクトルによる屋外ビューシーケンスナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2008年12月5-7日	第9回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2008)	SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発	渡部努, 相山康道
2009年1月12日	電子情報通信学会 研究会 PRMU	ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川景介, 福井和広
2009年3月16-17日	第14回ロボティクスシンポジウム	屋内外環境のためのビューシーケンスナビゲーションの拡張	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	RT コンポーネント間の柔軟なデータ通信支援ツール	末永剛, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司

	(ROBOMECH2009)		
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	マルチスレッドに対応した動作計画コンポーネント	近藤豊, 怡土順一, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	RTミドルウェアを用いた汎用的なマニピュレータシステムの構成の検討	渡部努, 相山康道
2009年6月10-12日	第15回画像センシングシンポジウム (SSII2009)	頭部モデルを考慮したパーティクルフィルタによる瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年8月31日-9月1日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No.182, PRMU2009-61, pp.7-12	ベクトル長を考慮した相互部分空間法に基づく動作認識	児玉吉晃, 福井和広
2009年9月	日本ロボット学会誌, Vol.27, No.7 pp.768-773	ビューシーケンスに基づく照明変化に頑健な屋内外ナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	即域センサ搭載型ロボットのための汎用三次元環境地図の利用	竹村憲太郎, 荒木天外, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	移動・作業知能のための視覚に基づくロバストな知能モジュール群の開発～位置推定と再利用へ向けた通信支援～	末永剛, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年10月11-15日	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent	View-Sequence Based Indoor/Outdoor Navigation	Yoichiro Yamagi, Junichi Ido, Kentaro Takemura,

	Robots and Systems (IROS2009)	Robust to Illumination Changes	Yoshio Matsumoto, Jun Takamatsu, Tsukasa Ogasawara
2009年11月7-8日	Proc. of the 8th IEEE Int. Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games	On the Repeatability of Octree-Based Rheology Mass-Spring-Damper Model	Hiroshi Noborio
2009年12月17日-18日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No. 344, PRMU2009-136, pp. 13-18	眼球の位置と姿勢を考慮した顔向き変化に頑健な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	共有メモリを用いたRTコンポーネント間の大容量データ通信	渡部努, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	3DCADモデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発	引頭一樹, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	頭部姿勢を考慮したパーティクルフィルタによる高精度な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2010年1月	日本ロボット学会誌, Vol28, No. 1, pp. 106-111	汎用三次元環境地図を用いた移動ロボットナビゲーションのための地図生成	荒木天外, 竹村憲太郎, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2010年3月10~	日本機械学会関東	多様な協調システ	長瀬和行, 相山

11日	支部第16期総会 講演会	ムのためのロボッ ト用ミドルウェア における作業座標 系統一機能の提案	康道
2010年6月	日本ロボット学会 学会誌, Vol. 28, No. 05, pp. 37-38,	国際ロボット展 2009 移動・作業知 能のための視覚に 基づくロバストな 知能モジュール群 の開発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月	日本ロボット工業 会機関誌ロボッ ト, No. 195, pp. 36-39	移動・作業知能の ための視覚に基づ くロバストな知能 モジュール群の開 発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010)	RTミドルウェアを 用いた汎用移動コ ンポーネント群設 計の検討	日永田 佑介, 竹 村 憲太郎, 伊藤 晃大, 桑原 潤一 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010)	RTミドルウェアを 利用した異種ロボ ット間での位置情 報共有	桑原 潤一郎, 伊 藤 晃大, 日永田 佑介, 竹村 憲太 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年7月27-29 日	第13回画像の認 識・理解シンポジ ウム (MIRU2010)	混合相互部分空間 法の提案とその顔 画像識別への応用	秋廣 直紀, 福井 和広
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	RTミドルウェアに 基づく買い物支援 サービスロボット	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	ユニバーサルマッ プを利用した異種 ロボットにおける 位置情報共有	桑原 潤一郎, 竹 村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小 笠原 司
2010年10月4-6 日	International Conference on Advanced Mecha tronics 2010	Data Communicat ion Support fo r Reusability of RT-Component	Tsuyoshi Suena ga, Kentaro Ta kemura, Jun Ta kamatsu and Ts

		s - Converter Classification and Prototype Supporting Tool	ukasa Ogasawara
2010年11月9日	The 3rd International Workshop on Subspace Methods	Compound Mutual Subspace Method for 3D object recognition: A theoretical extension of Mutual Subspace Method	Naoki Akihiro, Kazuhiro Fukui
2010年11月8-12日	The Tenth Asian Conference on Computer Vision	3D Object Recognition Based on Canonical Angles between Shape Subspaces	Yosuke Igarashi, Kazuhiro Fukui
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	移動ロボットのネットワーク化と制御用RTコンポーネント	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	時空間RRTに基づく移動ロボットナビゲーション用RTコンポーネント群の開発	金谷境一, 升谷保博
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	視覚からの仮想反力を用いたインピーダンス制御による把持目標への手先アプローチ手法	長瀬和行, 相山康道, 木村真也
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	未知環境下での手探り動作による把持目標への手先アプローチ手法	木村真也, 相山康道, 長瀬和行
2011年7月	電子情報通信学会論文誌D, Vol. J94-D, No. 7,	形状空間の幾何学的な関係に基づく三次元物体認識	五十嵐洋介, 福井和広

	pp. 1125-1134		
2011年8月	電子情報通信学会論文D, J94-D, No. 8, pp. 1240-1247	混合相互部分空間法の提案とその顔画像識別への応用	秋廣直紀, 福井和広
2011年9月5日	電子情報通信学会PRMU研究会PRMU2011-69	Local Binary Patternの隣接関係に基づく照明変動に頑健な特徴抽出	野坂龍佑, 大川泰弘, 福井和広
2011年9月7-9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	RTミドルウェアを利用した異種ロボット間での粒子群最適化を用いた相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2011年11月20-23日	The Fifth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2011)	Feature Extraction Based on Co-occurrence of Adjacent Local Binary Patterns	Nosaka Ryusuke, Yasuhiro Ohkawa, Kazuhiro Fukui
2011年12月20-22日	IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (SII2011)	Collision Avoidance of Two Manipulators Using RT-Middleware	Jianing Zhou, Kazuyuki Nagase, Shinya Kimura and Yasumichi Aiyama
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4	G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	再利用可能なRTミドルウェアコンポーネントを利用した異種ロボット間での相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2012年2月	Journal of Robotics and	Data Communication	Tsuyoshi Suenaga,

	Mechatronics	Support for Reusability of RT-Components - Converter Classification and Prototype Supporting Tool -	Kentaro Takemura, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara
--	--------------	---	--

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標 題	出願人
2009年10月16日	特願2009-239548	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学
2009年11月17日	PCT/JP2009/069465	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

(3) 受賞実績

- RT ミドルウェアコンテスト 2008 「奨励賞(トヨタ自動車賞)」「奨励賞(安川電機賞)」
渡部, 相山: “SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発,” SI2008, 1L4-2, 2008. 12. (受賞)
- RT ミドルウェアコンテスト 2009 「奨励賞 (安川電機賞)」
引頭, 相山: “3DCAD モデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発”, SI2009, 1A3-5, 2009. 12.
- H20 年度電子情報通信学会 PRMU 研究会「[研究奨励賞](#)」
北川景介, 福井和広: “ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚”, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 108, No. 374, PRMU2008-201, pp. 71-76, 2009.
- RT ミドルウェアコンテスト 2010 「奨励賞(世界一軽い RT コンポーネント賞), 奨励賞 (NTT データを変える力を, とともに生み出す賞)」
桑原 潤一郎, 竹村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司: “移動ロボットのネットワーク化と制御用 RT コンポーネント”
- RT ミドルウェアコンテスト 2011 「奨励賞(グローバルスタンダード賞)」
G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司: “RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4”

3. その他特記事項 (当該年度分についてのみ記載)

(1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年7月～9月
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 講義プロジェクト実習「RTミドルウェアを用いたロボットプログラミング」を実施.
- 2009年10月
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 2009年10月8日
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師: 大阪大学大原助教)
- 2009年11月25～28日
2009国際ロボット展 新エネルギー・産業技術総合開発機構ブースにてステージデモおよびブース展示.
- 2009年12月
書籍「UMLとRTミドルウェアによるモデルベースロボットシステム開発」を出版. (大阪大学大原助教著)
- 2009年12月3日
日本ロボット学会関西ロボット系若手研究者ネットワーク研究専門委員会主催の第2回研究会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師: 大阪大学田窪助教, 大原助教)
- 2010年3月15～16日
第15回ロボティクスシンポジウム(実行委員長: 奈良先端大小笠原司教授)にて, プレシンポジウム「RTミドルウェア技術ワークショップ(ユーザ情報交換のためのBOFミーティング)」およびオーバーナイトセッション「ロボットミドルウェアを語ろう!」を開催.
- 2010年11月29日
第2回和歌山大学産学官交流会『ロボット関連技術プレゼンテーション会』において「生活支援ロボット開発に向けた取り組み」というタイトルで和歌山の企業の経営者、技術者、従業員の方を対象にして, RTミドルウェアを用いたロボット開発について研究紹介を行った.

(2) その他

- 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 国際ロボット展にて, フジテレビ「めざましテレビ」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 読売テレビ「未来探Q学園」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 開発したサービスシステム全体の詳細な説明と全てのモジュールを奈良先端科学技術大学院大学ロボティクス研究室のWebサイト ([http://robotics.naist.jp/nedo¥_ project/](http://robotics.naist.jp/nedo¥_project/))にて公開

[大阪大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008/7/	画像の認識・理解シンポジウム	階層物体モデルを用いた特定部位の検出	高橋英泰, 前泰志, 田窪朋仁, 新井健生
2008/9	第26回日本ロボット学会学術講演会	階層物体モデルを用いた特定部位の空間探索	高橋英泰, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	ロバストな物体姿勢推定コンポーネントの開発	高橋英泰, 崔宰溢, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Constructing a RT-component for GPU-based SIFT Feature Extraction	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Multi-Surfaces SIFT Matching by Stereo Vision	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2009/10	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IRS2009)	Interoperable RT Component for Object Detection and 3D Pose Estimation for Service Robots	Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Layered Structure on Module-Based Robot Control System for Service Robots	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Jaeil Choi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Implementation and Evaluation of the Scale-Invariant Feature Transform on GPU	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai

2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Object Pose Estimation by Multi-Surfaces SIFT Matching for Manipulation	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2010/09	第28回日本ロボット学会学術講演会	RTコンポーネントによるWeb画像ベース物体認識システム	前泰志, 岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生,
2010/10	Proceedings of The 5th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2010)	SysML-Based Robot System Design for Manipulation Tasks	Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai
2011/01	Journal of Intelligent Service Robotics	Component-based robot system design for grasping tasks	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2011/04	Mechatronics	Interoperable vision component for object detection and 3D pose estimation for modularized robot control	Yasushi Mae, Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai:
2011/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	作業移動ロボットの再利用性を考慮に入れたコンポーネント構造の検討	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生
2011/09	第29回日本ロボット学会学術講演会	共通カメラインタフェースの提案	大原賢一, 川端聡, 河井良浩
2011/11	The 8th	Component-based	Kenichi Ohara, Kyohe

	International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence	Robot Software Design for Pick-and-Place Task Described by SysML	iIwane, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai
2011/12	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	音声認識による物体認識システムの開発	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標 題	出願人

(3) 受賞実績

- ・RT ミドルウェアコンテスト 2011「奨励賞(システムインテグレーション賞)」, 「奨励賞(やっぱ, カメラたくさんで賞 part2)」
岩根享平, 吉永悠一郎, 大原賢一, 前泰志, 新井健生, ”音声認識による物体認識システム”

3. その他特記事項

(1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年10月に日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会において RT ミドルウェア講習会を開催し, 大阪大学大原助教が講師を努め, RT ミドルウェアでのモジュール作成方法について講演を通して, モジュール創出につながる基盤技術に関わる普及活動を行った.
- 2011年10月13日~14日産業技術総合研究所オープンラボ 2011にて, 共通カメラインタフェース対応のコンポーネントについて展示
- 2011年11月9日~12日, 国際ロボット展 2011において, リファレンスハードウェアによる物体把持システムおよび組み込みRTM学習用ロボットアームを展示
- 2012年1月13日に画像応用技術専門委員会2011年度第5回研究会にて, 「RTミドルウェアの画像処理応用への展望」というタイトルで大阪大学大原助教が講演.

[東京理科大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年3月 12-13日	Proceedings of Tokyo University of Science – Northwestern Polytechnical University 2008 International University Exchange Seminar	Person Following Mobile Robot Based on Distance and Color Information	Hiroshi Takemura
2008年12月5-7 日	第9回計測自動制 御学会（SICE）シ ステムインテグレ ーション部門講演 会(SI2008)	屋内外実環境にお ける移動ロボットの ための対人追従モ ジュールの開発	根本 善太郎, 三 ツ橋 晋洋, 竹村 裕, 溝口 博
2009年3月6日	日本機械学会関東 支部 第48回学生 員卒業研究発表講 演会	ロボット視覚プロ グラムを変更不要 で実環境に適用可 能とする視覚的再 現性のある仮想環 境の構築	羽根 青玄, 竹村 裕, 溝口 博
2009年5月 24-26日	日本機械学会ロボ ティクス・メカト ロニクス講演会 2009 (ROBOMEK200 9)	RTミドルウェア を用いた屋内外実 環境における対人 追従モジュール	藤原 交重起, 根 本 善太郎, 竹村 裕, 溝口 博,
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009),	Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment	Hiroshi Takemur, Nemoto Zentaro, Hiroshi Mizoguchi
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	Visually Realistic Environment for Safety Development of Vision-based Robot	Seigen Hane, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi,

	(ROBIO2009),	-Making Vision Program Applicable to Real Environment without Modification-	
2009年12月 24-26日	第10回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会(SI2009)	外界センサベースロボットの実機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境",	羽根 青玄, 根本 善太郎, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	ロボットのための照度変化に頑健な発見・追跡技術の定量的評価 ～暗いところでも見失わない～	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	店舗から駐車場まで往復可能な買い物カートを目指した移動ロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	照度変化に頑健なロボット用発見・追跡視覚機能の実現に向けた定量的評価手法の提案	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	駐車場から店舗まで戻ってこられる買い物カートロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	SpatioGrams と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法	多田 和樹, 竹村 裕, 溝口 博

2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボ ティクス・メカト ロニクス講演会 2010 (ROBOMEC2010).	LRFを用いた追 従対象の速度ベク トル推定	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月4-7 日	Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/Systems , Computers and Communications (ITC-CSCC2010)	Quantitative Evaluation of Robust Visual Detector and Tracker Using Color Information under Illumination Change	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Quantitative Evaluation of Robust Detecting and Tracking Methods under Illumination Changes Using Color Stereo Camera	Yuta Kimura Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Study of Functions for Robot Returned from Parking to Store Autonomously	Ryoma Arai, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	Robust Tracking Method by Mean-Shift using SpatioGrams	Kazuki Tada, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2010年10月 10-13日	2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	Quantitative Evaluation Methods of Robust Detecting and Tracking	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi

	(SMC2010),	with Color Camera under Illumination Changes	
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従	内田 頼望也, 荒井 亮磨, 木村 祐太, 奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	LRFを用いた移動ロボットのための対人並走に関する研究	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	HLACとHOGとの連携による頑健な人物検出	森田 美帆, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	対象人物数が増えても処理時間変動がないHLAC利人物検出システム	北野 裕介, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	速い動きにも耐えられるロボット視覚に向けた定量的評価	木村 祐太, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011	構内環境で動的障害物への衝突回避が可能な自律移動ロボットの研究	荒井 亮磨, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年7月3-7日	Proceedings of the 2011 IEEE/ASME International Conference on	Constant execution time multiple human detector regardless of	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi

	Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011),	target number increase based on HLAC	Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Human Detection Method Based on Feature Co-occurrence of HLAC and HOG"	Miho Morita, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Quantitative Evaluations of Stable and Adaptive Tracking using The Updating HS-histogram Method	Yuta Kimura, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Constant execution time multiple human detectors regardless of target number increase based on CHLAC	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Mobile Robot System Realizing Autonomous Locomotion -- Combination of Person Following and Autonomous Returning --	Ryoma Arai, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2012年3月25日	日本機械学会論文集C編 Vol. 78 (2012), No. 787 pp.799-811	SpatioGrams を用いた平均値シフトと確率的予測による頑健な物体追跡手法	多田 和樹, 丁明, 竹村 裕, 溝口 博

(2) 特許等

(該当なし)

(3) 受賞実績

- ・「SI2009 優秀講演賞」
羽根，根本，竹村，溝口：“外界センサベースロボットの实機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境”，SI2009，2D2，2009.12.
- ・「SI2010 優秀講演賞」
内田，荒井，木村，奥村，竹村，溝口：“次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従”，SI2010，1B2-5，2010.12.
- ・「日本機械学会若手優秀講演フェロー賞」（2011年5月受賞）
多田，竹村，溝口：“SpatioGrams と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法”
ROBOMECH2010，2A2-F12，2010.6.

3. その他特記事項（当該年度分についてのみ記載）
(該当なし)

契約管理番号	08000398-0
契約管理番号	08000399-0
契約管理番号	08000400-0
契約管理番号	08000401-0

契約管理番号	08000404-0
契約管理番号	08000405-0
契約管理番号	08000406-0

研究開発項目④「移動知能（サービスロボット分野）の開発」

研究開発テーマ「オフィスビル移動ロボットの知能化」

委託先名 富士重工業株式会社

Ⅲ. 研究開発成果について

3. 各テーマの成果詳細

3.4 移動知能の開発

3.4.2 オフィスビル移動ロボットの知能化

1) 研究開発の概要

(1) 事業目的

①背景

21世紀の我が国においては、社会の少子高齢化の進展やサービス経済化の流れに沿って、消費者の生活分野、公共分野、医療福祉分野から様々な産業分野に至るまでの幅広い活動を支援するロボットへの期待が高まっている。これらの生活分野の中で、当面、大きな市場ニーズを有するものの1つとして清掃を行うロボットが挙げられる。現実には、オフィスビル、空港、マンション、工場等の広域空間の清掃作業現場においては、過酷な労働条件下において多くの労働力及び人件費が必要とされることから、自動化への要求は高い。

しかしながら、現状の技術レベルでは上記の要求に対して、ロボットが実用化できる用途や使用条件は限定的であると言わざるを得ない。

②目的

この状況を打破するため、確実性を持った自律的な活動に必要な知能化技術の開発が求められる。したがって、これまで開発されてきた高性能センシング等の要素技術を十分に活用しつつ、知能化技術の研究開発を重点的に推進することで、生活空間や多種少量生産の製造現場等、状況が変わりやすい環境下において、より幅広い用途と人間共存環境での実用が可能な次世代ロボットの実現に繋げられることを目的とし、機能の高度化に必要な知能化技術を開発し、自律的な次世代ロボットの要素技術を確立する。

その実現のため、本事業では、以下の点に重点をおき、実施する。

- ・ 富士重工業株式会社で開発済の技術を知能モジュールとして、RTM化し早期に提供する。また、開発する特徴的なコア技術も知能モジュールとして順次提供する。
- ・ 自社技術だけにこだわらず、外部の優れた再利用可能な知能モジュールを積極的に使用し当社が開発済又は開発する特徴的なコア知能モジュールと組み合わせ、再利用可能な形で実用的ロボットの知能化向上に結びつける。
- ・ これらの再利用可能な知能モジュールを用いて、実用的なロボットの開発実績における知能化向上に結びつける。
- ・ 評価時には、成果の文書化やサンプル公開等のまとめを行う。

(2) 事業概要

①対象とするロボット

サービス産業分野の知能ロボットにおいて、当面、大きな市場ニーズを有するものとして、清掃分野の作業を行うロボットが挙げられる。

以前より、オフィスビル、マンション、空港、駅、工場などの広域空間の清掃作業現場においては、過酷な労働条件下において多くの労働力及び人件費が必要とされることから、自動化への要求は高かった。さらに最近では清掃作業が深夜に行われるケースが多くなってきていることと、少子高齢化による作業不足によって、作業者の確保が難しくなっており、清掃ロボットの社会的必要性が高くなっている。

また富士重工業株式会社は、以前より屋内型清掃ロボットの実用化を進めており、数々のオフィスビルや空港等に導入してきた。

しかし、導入してきた場所は、建物の中の限られた部分であった。今後の技術の発展により、ロボットの適用フィールドを広げることが可能と考えている。

さらにゴミ箱搬送ロボット、農業用薬液注入口ロボット等の異なる分野のロボットへの展開も行うことにより、再利用性の検証を行う。

そこで既に清掃ロボットを導入してきたユーザからの意見を取り入れた上で、本プロジェクトでの再利用可能な知能モジュールを用いて知能化するロボットとして以下の4つを対象とする。

■閉鎖空間清掃ロボット

- ・専用部小型清掃ロボット（事務所等の専用エリア）
- ・共用部清掃ロボット（廊下、エレベータホール等の共用エリア）

■開放空間清掃ロボット

■閉鎖空間分別ゴミ箱等搬送ロボット

（IC タグによるゴミ計量・課金システムを含む）

■農業用薬液注入口ロボット

閉鎖空間：オフィスビル事務所、廊下、エレベータホール、マンション、図書館等（500m²以下の空間）

現状

物が置かれない廊下、エレベータホール等



六本木ヒルズ

実行目標



専用部（机や椅子が移動）



共用部（病院等の物が置かれ、移動する廊下）

図 3.4.2.1 閉鎖空間におけるロボット運用の現状と実行目標

開放空間：空港、駅、展示場 等（500m²以上の空間）

現状

物が置かれない通路（メインエリア）



中部国際空港

実行目標



椅子などの物が置かれ、移動するエリア（サブエリア）

図 3.4.2.2 開放空間におけるロボット運用の現状と実行目標

(a) 閉鎖空間清掃ロボット

i) 専用部小型清掃ロボット

オフィスビルにおいて各階のフロアは、廊下やエレベータホール等、利用者が共用して使う共用部と、事務所や会議室等、特定の人を使う専用部という 500 m²以下の閉鎖空間に分けられる。一般にオフィスビルにおいては、ビルの性質上、専用部の面積は共用部の面積よりも、はるかに広く作られている。そのため、ビルメンテナンス会社からの専用部の清掃の自動化の要望は非常に高い。

しかし、専用部においては、机やゴミ箱等の移動による環境変化が頻繁であり、未だに人手で清掃を行っている。その結果、深夜や早朝のオフィスが稼動する前の短い時間に大量の作業員が必要となっており、今後の少子高齢化により作業員の確保が難しくなることが懸念されている。

そこで、オフィスビルの専用部 500 m²を無人で清掃するロボットが求められている。ロボット清掃は当面は夜間に行うが、セキュリティ等の関係上、昼間のロボット清掃の要求もあり、したがって人との共存が必要となる。このロボットの働きとして、

- ・ 机等を回避しながら床面を清掃
- ・ 物が置かれても回避しながら清掃
- ・ 経路変更への迅速な対応を図るためCAD図からロボットの走行プログラムを自動生成
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行
- ・ 作業員と比べ遜色のない清掃品質
- ・ 専用部を移動可能なサイズ 全長 450mm 全幅 450mm 全高 450mm
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ 清掃吸気排気フィルタ搭載

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



事務所（オフィスビル専用部）



図書館

※机、キャビネット、
事務機器は移動しない
(椅子は、人が机の上にあげる)

図 3.4.2.3 実行目標を想定した応用例（閉鎖空間）

ii) 共用部清掃ロボット

既に共用部の清掃ロボットは事業化している。廊下に物を置かせない等の環境の変化を運用面でなくすことで清掃ロボットを実用化している。

しかし今後、更なる市場を創出することは難しい。そこでこのロボットの働きとして、

- ・ 夜間清掃から、人と共存する昼間清掃への対応
- ・ 机等を回避しながら床面を清掃
- ・ 物が置かれても回避しながら清掃
- ・ 経路変更への迅速な対応
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行
- ・ 作業者と比べ遜色のない清掃品質
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ 清掃吸気排気フィルタ搭載

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。

iii) 専用部小型清掃ロボット・共用部清掃ロボットの共通事項

実用化・導入した共用部清掃ロボットの運用は、1台のエレベータに対し1台のロボットが乗降し、各フロアを清掃している。

しかし、ロボットが1つのフロアを清掃している間、エレベータは待機しているため、清掃効率をより向上させる必要がある。そこで、このロボットの働きとして、複数のロボットが、1台のエレベータに乗降できることが要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。

(b) 開放空間清掃ロボット

空港、駅、ビル群の共同ロビー、地下通路等の 500 m²以上の開放空間での清掃は、清掃面積が広く、かつ公共空間であることから短時間で清掃することが求められている為、自動化、ロボット化の要求は高い。これらの開放空間においては、人の導線の中心となるメインエリアと、休憩や待合等が出来るサブエリアに分かれる。メインエリアは、ゴミ箱や植木等の固定物を後から置くような環境変化は、ほぼ起こりえないため、既に清掃ロボットが導入されている。

しかし、サブエリアは固定物が後から置かれる、移動されるという環境変化が頻繁に起こるため、人手によって清掃が行われている。閉鎖空間と同様、今後の少子高齢化により作業者の確保が難しくなることが懸念されている。

そこで、空港、駅、ビル群の共同ロビー、地下通路等の 500 m²以上の開放空間の清掃を無人で行うロボットが求められている。このロボットの働きとして、

- ・ ゴミ箱やイス等の固定物を回避しながら清掃
- ・ ゴミ箱、植木等の固定物を、後から置かれるような環境変更への対応
- ・ 広範囲の清掃を限られた清掃時間で行う為、最大速度 50m/min での清掃
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



空港



ビル群共用ロビー

- ・ 空港
- ・ 駅
- ・ ビル群の共用ロビー
- ・ 地下通路

図 3.4.2.4 実行目標を想定した応用例（開放空間）

※実用化済の清掃ロボット仕様

- ・ 全長 850mm 全幅 720mm 全高 1150mm
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ サイドブラシによる壁際清掃可能
- ・ 雨天走行可、カーペット可、ハードフロア可
- ・ 病院向、薬品会社向（排気フィルタ付、清浄度クラス 1000 以下）



図3.4.2.5 実用化済の清掃ロボット

(c) 閉鎖空間分別ゴミ箱等搬送ロボット

現在オフィスビル等では、地球環境問題、ゴミの再資源化の観点から、ゴミの分別及びゴミ排出量の数値化が自治体の指導等により義務付けられている。また、平成 18 年、生ゴミを 2 割削減する食品リサイクル法が施行された。

またオフィスビルの高層化が進み、1 つのビルに設置されるゴミ箱は増加している。例えば、40 階建てのビルでは 14 分別、1 フロア当り 2 ヲ所のゴミ箱ステーションがあると考えると 1120 個にもなる。

しかし、それらのゴミ箱又はゴミ箱の中のゴミ袋は、人がごみ処理室まで運び、計量器にのせ、重量データを取得、ゴミ箱・ゴミ袋を人がバーコードでスキャンし、テナント名、ゴミ種別を取得している。これらのデータはコンピュータに入力され、集計、管理、課金されている。その結果、ゴミの運搬と重量の集計管理を行う作業員のコストが発生するとともに、エレベータを使用してゴミ箱を運搬するため、エレベータの待ち時間が長くなり、他の業務への支障をきたす問題も発生している。

そこで人のいなくなる夜間等に無人でゴミ箱を交換し運搬する搬送ロボットシステムの開発が求められている。本ロボットシステムは、ゴミ箱に IC タグを貼り付けることで、自動的にゴミの重量を、テナント、ゴミ種別ごとに計量し、管理及び課金することで、ゴミ排出量の明確化、リサイクルの促進が行われる。ロボットを用いていないゴミ計量課金システムは既に事業化しているが、本システムにより、ゴミの排出量は導入前の 1/2~1/3 となった実績がある。このロボットの働きとして、

- ・最大 30kg の搬送重量
- ・ゴミ箱を自動連結
- ・エレベータ自動乗降し、ゴミ処理室まで搬送
- ・最大速度 30mm/min

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



オフィスビル内の分別ゴミ箱



屋外での IC タグを用いた
ゴミ箱搬送・計量システム
(愛知万博での実証試験)



ビルのゴミ処理室

図 3.4.2.6 実行目標を想定した応用例 (閉鎖空間ゴミ箱等搬送ロボット)

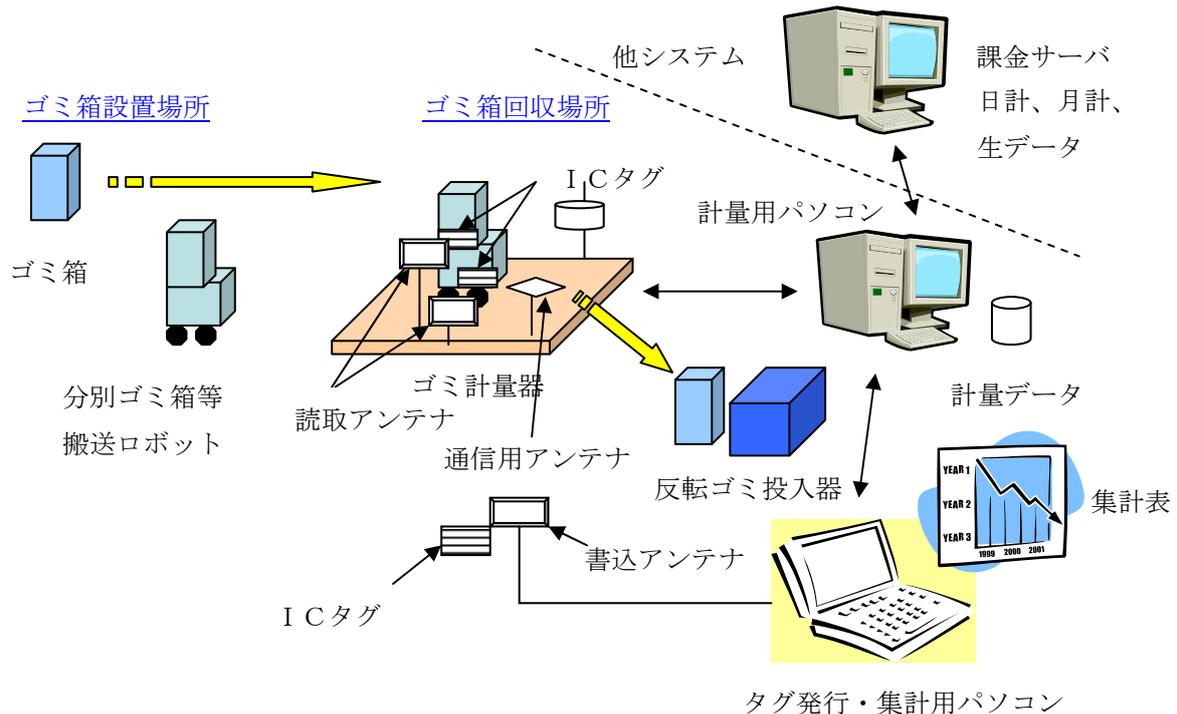


図3.4.2.7 ICタグを用いたゴミ箱搬送・計量システム

(d) 農業用薬液注入ロボット

現在の農業において、作物を収穫した後、土壌障害、防虫等のために、クロロピクレンという消毒薬を人が農業機械を用いて地中に打込んでいます。

しかし、クロロピクレンは劇薬であり、多量に吸い込むと死亡するケースもある。そのため、使用時には、防護服の着用が義務付けられているが、夏季など高温中で使用する場合、作業者の負担が大きいものとなっている。

そこで、クロロピクレン打込み作業を自動化するロボットが求められている。このロボットの働きとして

- ・不整地での走行
- ・広大な農地を限られた時間でクロロピクレンを打込むための最大 30m/min での走行
- ・クロロピクレンを農地全体に均一に打込むための高精度かつ確実な走行

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールをできるだけ再利用して使い、再利用性の検証を行う。

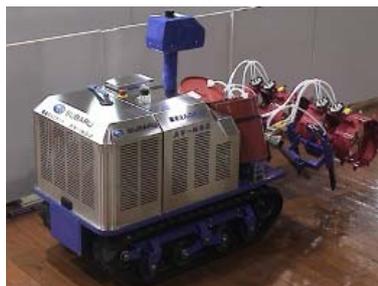


図 3.4.2.8 農業用薬液注入ロボット 2号機

2) 研究開発の成

(1) 目標の達成度

本事業の基本計画で定められた最終目標は、「開発した知能モジュール群を搭載したロボットシステムが人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること。」であった。

それに対し、表 3.4.2.1 に示す成果を得た。閉鎖空間ゴミ箱等搬送ロボットについては、検証機を連結式搬送ロボットとしたため、工場内の台車を搬送することとしたが、それ以外のロボットは、当初の想定の仕事で検証を行い 100%達成することができた。

そのため、最終目標を十分に達成したと考えている。

表 3.4.2.1 ロボット毎の達成度

No.	対象とするロボット	ロボット名	試験場所	作業内容	達成度
1	閉鎖空間 清掃ロボット	専用部 小型清掃 ロボット	晴海トリトン スクエア Y 棟	専用部分の 床面清掃	100%
			住友商事 八重洲ビル	専用部分、共用部分 の床面清掃	100%
		トイレ用小型 清掃ロボット	新東名高速道路 掛川実験センター	トイレ床面の清掃	100%
			新東名高速道路 浜北実験センター	トイレ床面の清掃	100%
		共用部 清掃 ロボット	エレベータ連動 清掃ロボット	晴海トリトン スクエア等	共用部分の清掃
2	開放空間清掃ロボット	空港向 清掃ロボット	中部国際空港 国際線ターミナル	通路の床面清掃	100%
3	閉鎖空間分別ゴミ箱等 搬送ロボット	連結式 搬送ロボット	医薬品工場 包装ライン	医薬品工場内 製品台車搬送	100%
4	農業用薬液注入ロボット	農業用薬液注入 ロボット 試作 2 号機	(有)マルクリ ファーム	ビニールハウス内 圃場へのクロロピ クレン注入	100%

①移動知能モジュールの達成度

開発した知能モジュールとその達成度を以下に示す。スバル知能モジュールは、既存のプログラムをRTMに実装できるよう体系化、言語書き換えを行った知能モジュールを示す。スバルコア知能モジュールは、対象とするロボットの機能を実現するため、新たに作成した知能モジュールである。スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュールは、スバル知能モジュールに、他のコンソーシアムで開発された知能モジュールを組み合わせて、機能実現のために開発された知能モジュールである。

(a) スバル知能モジュール

開発目標に対する具体的な移動知能モジュールについての開発達成度は、表 3.4.2.2 に示す成果を得た。

表 3.4.2.2 開発した知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①直進制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	◎
			②旋回制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し旋回制御	◎
			③ジャイロ認識	角度を認識	◎
			④ジャイロ情報管理	センサからのデータを処理し格納	◎
			⑤レーザ三角測量認識	センサから入力したデータ（位置座標データ、角度）を他の知能モジュールへ出力	○
			⑥レーザ三角測量情報管理	レーザ三角測量認識モジュールからのデータを目標位置からのずれ量に変換し、出力	○

◎：大幅達成 ○：達成 ×：未達成

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	⑦ レーザ三角測量による直進制御	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○
			⑧ 磁気情報板認識	磁気情報板より、現在地を認識	○
			⑨ 磁気情報板情報管理	磁気情報板より、データを処理し格納	○
			⑩ 車輪オドメトリ	車輪の回転数から走行距離を算出	○
			⑪ 画像によるライントレース	床や天井等のラインマーカを抽出	○
			⑫ 画像によるライントレース情報管理	床や天井等のラインマーカのデータを処理し格納	○
			⑬ 画像によるライントレース走行制御 (群)	画像装置からのデータを基に、目標ラインとのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○
			⑭ 画像による壁距離計測	ロボットと壁までの距離を認識	○
			⑮ 画像による壁距離計測情報管理	画像による壁距離計測データを処理し格納	○
			⑯ 画像による壁沿い走行	画像によりロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○
		(2) 地図情報生成に関する知能モジュール群	① レーザセンサによる壁距離計測	ロボットと壁までの距離を測定	○
			② 超音波センサ認識	ロボットと壁までの距離を認識	○
			③ 超音波センサ情報管理	センサからのデータを処理し格納	○

◎ : 大幅達成 ○ : 達成 × : 未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度	
④	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関するモジュール群	①レーザ測距認識	ロボットと人・障害物までの距離を認識	○	
			②レーザ測距情報管理	センサのデータを処理し格納	○	
		(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○	
			②壁距離計測用レーザセンサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	○	
			③超音波センサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○	
			④壁距離計測用超音波センサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	○	
			⑤磁気ガイドセンサ走行制御 (群)	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○	
		3. エレベータ乗降モジュール群の開発		①1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降	エレベータに自動乗降するため、行先階指定、扉開閉等の信号を送受信 (但し、1台のエレベータには、1台のみロボットが乗降可)	○
		4. 走行プログラム自動生成モジュール群の開発		①走行プログラム自動生成	<ul style="list-style-type: none"> 建物図にCAD上で経路を入力すると知能モジュールを選択し、走行プログラムを自動生成するシステム ユーザでの試験運用を行い、改良・改善を行うとともに、実用化に必要な機能盛り込む 	○

◎：大幅達成 ○：達成 ×：未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

(b) スバル知能モジュールと外部知能モジュールと組合せた知能モジュール

スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュールの開発を行い、表 3.4.2.3 に示す成果を得た。

表 3.4.2.3 スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①自己位置認識に関する知能モジュール群 (閉鎖空間長距離走行)	直線走行距離 30m~50m をターンしながら最大 90 往復、ターン回数最大 150 回、連続走行距離最大 3500m、走行速度 30m/min、走行床面はカーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±50mm、オーバーシュート等の位置精度±50mm を実現	○
			②自己位置認識に関する知能モジュール群 (開放空間長距離走行)	直線走行距離 50m~70m をターンしながら最大 150 往復、ターン回数最大 250 回、連続走行距離最大 8000m、走行速度 50m/min、走行床面は、カーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±100mm、オーバーシュート等の位置精度±100mm を実現	○
	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関する知能モジュール群	①人・障害物認識に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・環境条件にロバストかつ高速に人・障害物を認識 ・人を含む移動物と固定物を区別 ・検出範囲は、ロボット最大速度 50m/min(0.8m/s) でロボットが緊急停止可能な 5m 	○
			(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①安全移動制御に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・人を含む移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現 ・走行速度は最大 50m/min、スムーズな加減速

◎ : 大幅達成 ○ : 達成 × : 未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

(2) 成果の概要

表 3.4.2.4、表 3.4.2.5 に示す知能モジュールを開発し、実環境にて有効性検証を行った。知能モジュールの開発については、対象のロボットに対して要求される仕様を明確にし、それを実現するための知能モジュールの粒度、仕様を検討しながら開発を行った。知能モジュールの開発に当たっては、RTミドルウェア（以下、RTMとする。）の開発元である独立行政法人産業技術総合研究所の指導の下、実施した。

その手順としては、まず、既存の清掃ロボット等で用いられているプログラムをRTMに実装できるように体系化した。（スバル知能モジュールの体系化）また同時に、上記のロボットを運用するために必要なプログラムを既存プログラムにて開発した。（スバルコア知能モジュールの開発）

次に開発したスバル知能モジュールをRTMに実装できるようにプログラム言語の書き換えを行った。そして、RTM上に実装した。

これらの手順を踏んで開発した知能モジュールを検証用ロボットに実装し、実環境にて有効性の検証を行った。その結果、改良が必要なものは、都度行った。そして、ロボットに与えられた作業をこなせるレベルまで知能モジュールの実用性を高めた。（図 3.4.2.9）

一部の知能モジュールについては **Eclipse Open Source License** で公開した[2][3]。公開をするモジュールを選んだ基準としては、オフィスビル内でロボットが稼動するために最低限必要な機能（直進、旋回、障害物検知等）を今までの経験から選定した。また、マニュアルの整理を行い、再利用センターへの登録、公開の体制を整えた。

一方、知能モジュールそのものの開発の他に、知能モジュールを有効活用するための走行プログラム自動生成システムの開発に取り組んだ。

表 3.4.2.4 開発したスバル知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①直進制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.1
			②旋回制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し旋回制御	3.4.2.A.2
			③ジャイロ認識	角度を認識	3.4.2.A.3
			④ジャイロ情報管理	センサからのデータを処理し格納	3.4.2.A.4
			⑤レーザ三角測量認識	センサから入力したデータ（位置座標データ、角度）を他の知能モジュールへ出力	3.4.2.A.5
			⑥レーザ三角測量情報管理	レーザ三角測量認識モジュールからのデータを目標位置からのずれ量に変換し、出力	3.4.2.A.6

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④ 1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群		⑦ レーザ三角測量による直進制御	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.7
			⑧ 磁気情報板認識	磁気情報板より、現在地を認識	3.4.2.A.8
			⑨ 磁気情報板情報管理	磁気情報板より、データを処理し格納	3.4.2.A.9
			⑩ 車輪オドメトリ	車輪の回転数から走行距離を算出	3.4.2.A.10
			⑪ 画像によるライントレース	床や天井等のラインマーカを抽出	3.4.2.A.11
			⑫ 画像によるライントレース情報管理	床や天井等のラインマーカのデータを処理し格納	3.4.2.A.12
			⑬ 画像によるライントレース走行制御 (群)	画像装置からのデータを基に、目標ラインとのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.13
			⑭ 画像による壁距離計測	ロボットと壁までの距離を認識	3.4.2.A.14
			⑮ 画像による壁距離計測情報管理	画像による壁距離計測データを処理し格納	3.4.2.A.15
			⑯ 画像による壁沿い走行	画像によりロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.16
	(2) 地図情報生成に関する知能モジュール群		① レーザセンサによる壁距離計測	ロボットと壁までの距離を測定	3.4.2.A.17
			② 超音波センサ認識	ロボットと壁までの距離を認識	3.4.2.A.18
			③ 超音波センサ情報管理	センサからのデータを処理し格納	3.4.2.A.19

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関するモジュール群	①レーザ測距認識	ロボットと人・障害物までの距離を認識	3.4.2.A.20
			②レーザ測距情報管理	センサのデータを処理し格納	3.4.2.A.21
		(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.22
			②壁距離計測用レーザセンサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	3.4.2.A.23
			③超音波センサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.24
			④壁距離計測用超音波センサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	3.4.2.A.25
			⑤磁気ガイドセンサ走行制御 (群)	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.26
3. エレベータ乗降モジュール群の開発	①1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降	エレベータに自動乗降するため、行先階指定、扉開閉等の信号を送受信 (但し、1台のエレベータには、1台のみロボットが乗降可)	3.4.2.A.27		
④	4. 走行プログラム自動生成モジュール群の開発	①走行プログラム自動生成	<ul style="list-style-type: none"> 建物図にCAD上で経路を入力すると知能モジュールを選択し、走行プログラムを自動生成するシステム ユーザでの試験運用を行い、改良・改善を行うとともに、実用化に必要な機能盛り込む 	iv - 2 - 17 頁「④走行プログラム自動生成システム」参照	



は、Eclipse Open Source License で提供

表 3.4.2.5 スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①自己位置認識に関する知能モジュール群 (閉鎖空間長距離走行)	直線走行距離 30m~50m をターンしながら最大 90 往復、ターン回数最大 150 回、連続走行距離最大 3500m、走行速度 30m/min、走行床面はカーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±50mm、オーバーシュート等の位置精度±50mm を実現	3.4.2.A.28
			②自己位置認識に関する知能モジュール群 (開放空間長距離走行)	直線走行距離 50m~70m をターンしながら最大 150 往復、ターン回数最大 250 回、連続走行距離最大 8000m、走行速度 50m/min、走行床面は、カーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±100mm、オーバーシュート等の位置精度±100mm を実現	3.4.2.A.29
		(1) 人・障害物認識に関する知能モジュール群	①人・障害物認識に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・環境条件にロバストかつ高速に人・障害物を認識 ・人を含む移動物と固定物を区別 ・検出範囲は、ロボット最大速度 50m/min(0.8m/s) でロボットが緊急停止可能な 5m 	3.4.2.A.30
			(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①安全移動制御に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・人を含む移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現 ・走行速度は最大 50m/min、スムーズな加減速



図 3.4.2.9 専用部小型清掃ロボットの有効性検証（住友商事八重洲ビル）

①検証用ロボット改造

対象とするロボットで、知能モジュールの有効性を検証するため、以下の検証用ロボットを用いた。これらのロボットには、極力富士重工業株式会社の実用化済みの既存ロボットを用いたが、知能モジュールを搭載するために一部改造、または試作機を製作することとした

表 3.4.2.6 検証用ロボット

閉鎖空間 清掃ロボット	(a) 専用部小型清掃 ロボット	<ul style="list-style-type: none"> ・専用部小型清掃ロボット試作機を製作 ・トイレ用小型清掃ロボットを改造
	(b) 共用部清掃ロボット	既存清掃ロボットを改造
開放空間 清掃ロボット	既存の清掃ロボットを改造	
閉鎖空間 分別ゴミ箱等 搬送ロボット	既存の連結式容器交換ロボットを改造	
農業用薬液 注入口ロボット	既存の農業用薬液注入口ロボット2号機を改造	

②独立行政法人産業技術総合研究所からの指導

スバル知能モジュールのRTM化、他の研究体の知能モジュールを搭載できるようRTMに準拠したロボットへの改造をするため、独立行政法人産業技術総合研究所（以下、産総研と記載）と開発契約を締結し、研究員を派遣した。RTMについて指導を受け、スバル知能モジュールのRTM化を開始した。また、検証用ロボットのシステムやコントローラ等について検討を行った。RTM化した知能モジュールは、産総研所有の小型台車ロボット「ビーゴ」と富士重工業所有の清掃ロボットに同じ知能モジュールを搭載し、再利用性を検証した。（図3.4.2.10）

その結果は、良好で、芝浦工業大学でのデモンストレーションにて紹介した。



産総研からの指導



RTM化したソフトウェアの文書作成



小型台車ロボット「ビーゴ」による検証

図 3.4.2.10 産業技術総合研究所での智能モジュール作成

③特殊塗料とブラックライトによるライントレース走行

閉鎖空間清掃ロボットに、カメラとブラックライト、画像によるライントレース走行モジュールを搭載し、建物内での適用を目指した天井ライントレース走行試験を、晴海トリトンスクエアにて行った。これは特殊な塗料を塗付した透明テープとブラックライトを用いて、オフィスビル内でも外観に影響を与えないインフラによる走行法である。

(図 3.4.2.11)



通常時 (透明)



ブラックライト照射時

走行時にロボットからブラックライトを当て、ラインを検出



実証試験 (晴海トリトンスクエア)



ライン検出画像

図 3.4.2.11 特殊塗料とブラックライトを用いたライントレース走行試験

④ 走行プログラム自動生成システム

H20 年度に第 1 フェーズとして、作業者が作成した走行経路図面に基づき、PC 上で知能モジュールを一覧から選択することで、走行プログラムを自動生成するシステムを開発した(図 3.4.2.12)。H21 年度までに第 2 フェーズ(CAD 連携)を開発した(図 3.4.2.13)。本成果は 2009 国際ロボット展にて実演を行った。

H22 年度、H23 年度に第 3 フェーズ(ユーザ販売)に向け、改良改善を行った。そして、ユーザと協議の結果、図 3.4.2.14 に示すような管理機能を付加し、販売の目処をつけた。



図 3.4.2.12 走行プログラム自動生成システム

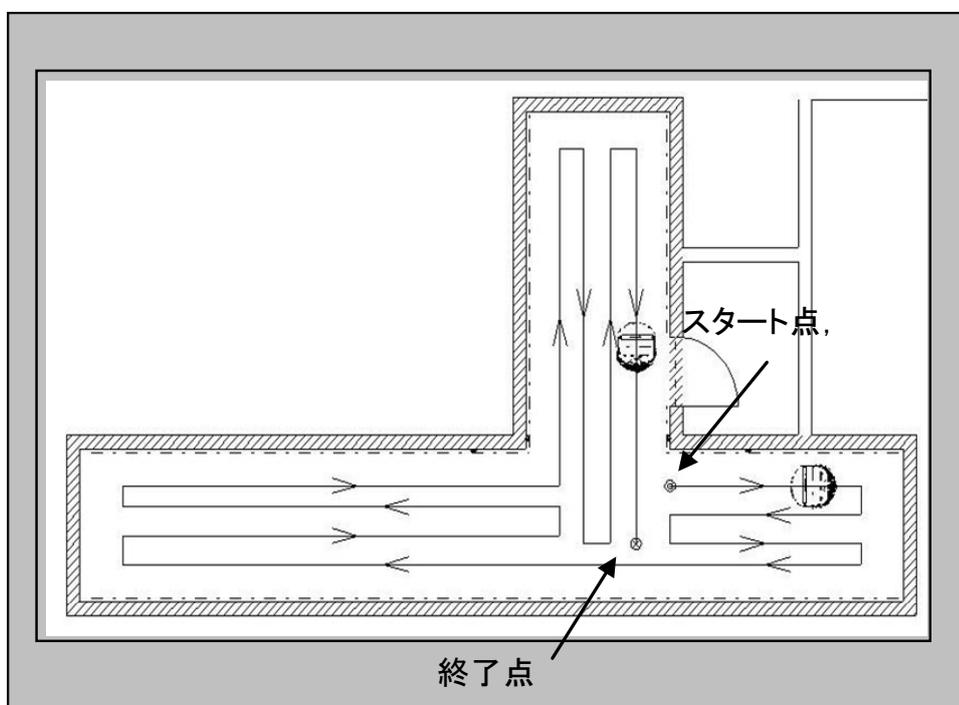
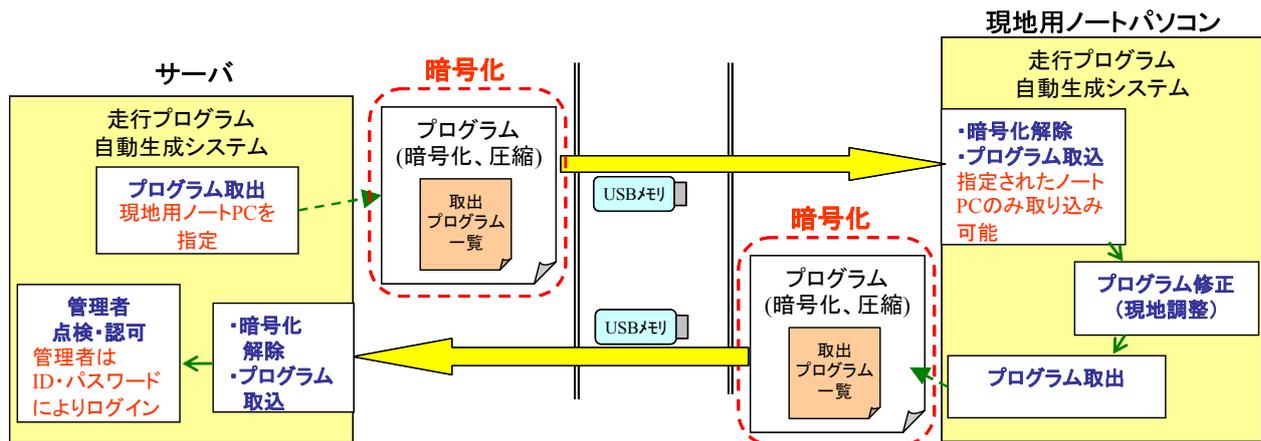


図 3.4.2.13 走行プログラム自動生成システム CAD 入力



- ・プログラム及び建築図面、走行線図は、全てサーバに保管される一元管理により、ソフトウェアの品質を確保
- ・サーバからのプログラムの取り出し時は、プログラム一式を圧縮、暗号化しUSBメモリ等に出力する。現地用ノートパソコンで暗号を解除し、プログラムを取込むことで外部へのプログラム流出を防止
- ・プログラム取出し中のサーバでのプログラム変更は不可
- ・現地用ノートパソコンからサーバにプログラムを戻すときは、管理者の点検、認可を得るといったような業務手順をふまないとプログラム取込不可（業務手順管理）
- ・現地で修正したプログラムとサーバ内のプログラムの不一致を防止

図 3.4.2.14 走行プログラム自動生成システム管理機能

⑤専用部小型清掃ロボット

H20年度、専用部小型清掃ロボットの仕様及び運用方式について、住友商事グループと検討会を行った。検討会において、実証試験フィールドとして晴海トリトンスクエア Y 棟専用部を提供してもらうことが決定した。

H21年度には、必要に応じて改良を行い、晴海トリトンスクエア Y 棟の専用部にて、開発した知能モジュールの実証試験を行った（図 3.4.2.15）。

H22年度は、三角測量走行モジュールを搭載し、晴海トリトンスクエア Y 棟 19 階及び W 棟 4 階にて有効性検証を行った。さらに改良改善を行った。これにより人と共存した環境でも運用可能であることを確認した(図 3.4.2.16)。



図 3.4.2.15 専用部小型清掃ロボット
知能モジュール実証試験



図 3.4.2.16 三角測量モジュール有効性検証

⑥リフレクタ座標登録治具の開発

レーザ三角測量センサにリフレクタ座標を登録するための治具を開発した（図 3.4.2.17）。レーザ三角測量センサの測定精度は、現実のリフレクタ座標とセンサに登録するリフレクタ座標の誤差が大きく影響する。開発した治具により、その誤差が大きく改善された。

また、これにより、センサへのリフレクタ座標の登録作業を高精度かつ効率よく行うことができるようになった。治具を使用した場合、しなかった場合と比較してリフレクタ座標登録作業時間は約 30%となった。レーザ三角測量による直進制御モジュールが簡単かつ有効に使用できるようになった。

本治具は図 3.4.2.17 に示すように、水平方向 (x-y) と回転方向 (θ) 及び高さ方向 (水平度) の微調整が容易にできる機構とした。

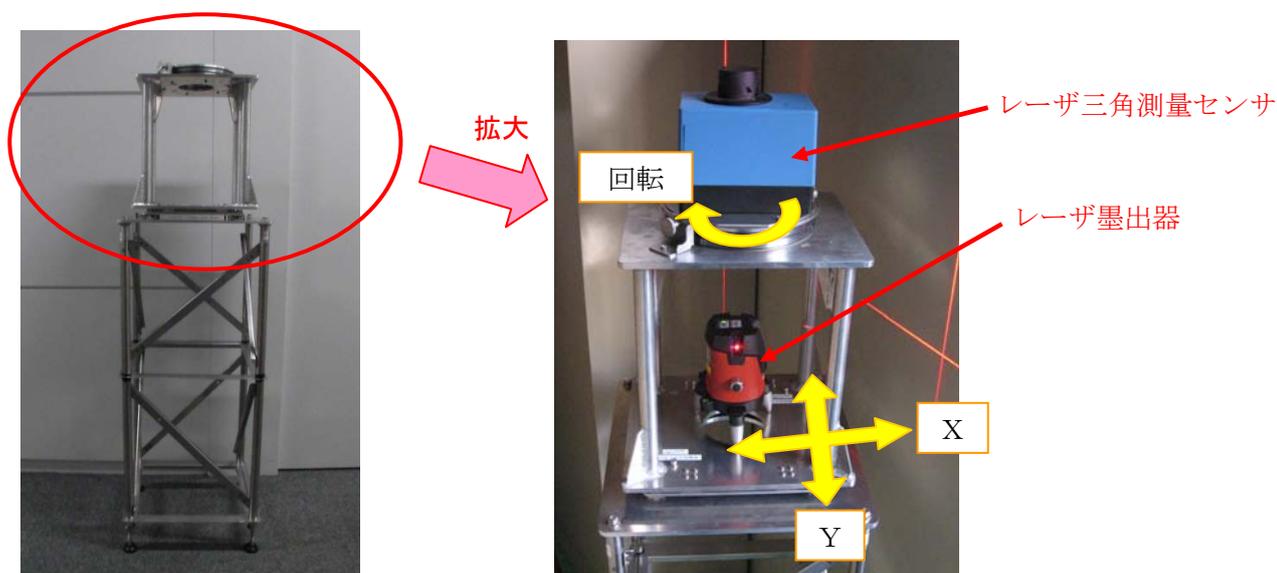


図 3.4.2.17 リフレクタ座標登録治具

⑦トイレ用小型清掃ロボット

H21 年度、中日本高速道路株式会社と共同開発契約を締結し、サービスエリア等のトイレ用小型清掃ロボットの試作 1 号機（図 3.4.2.18）に智能モジュールを搭載し、閉鎖空間での実証試験、有効性検証を行った。

H22 年度には、サービスエリア等のトイレ用小型清掃ロボットに開発した智能モジュールを搭載した。第 2 東名高速道路の掛川パーキングエリア、浜北パーキングエリアでの有効性検証を通して改良改善を行った



図 3.4.2.18 トイレ用小型清掃ロボット

⑧農業用薬液注入口ロボット

H21年度、農業用薬液注入口ロボットの試作1号機を改良し、2号機を開発した。

H21年11月25日～28日に開催された2009国際ロボット展に出展した(図3.4.2.19)。また、本ロボットにも知能モジュールを搭載し、実際の農場にて実証試験及び有効性検証を行った(図3.4.2.20)。

H22年度は、農業用薬液注入口ロボットの試作2号機に知能モジュールを搭載した。これにより、走行経路中の旋回と直進を組み合わせた矩形の旋回方法から曲線を用いた円弧旋回に切り替える等、複雑な走行が可能となった。また、知能モジュールの再利用性により経路の変更が容易になった。曲線走行への変更の結果、従来問題となっていた圃場の傷みが軽減された(図3.4.2.21)。



図 3.4.2.19 国際ロボット展出展



図 3.4.2.20 実証試験及び有効性検証



図 3.4.2.21 曲線経路走行

⑨容器搬送ロボット

医薬品の顆粒充填工程用の容器搬送ロボットにも同様に知能モジュールを搭載し、有効性検証、改良改善を行った。これにより開発期間の短縮、開発コストの低減を実現し、知能モジュールの有効性を確認できた(図3.4.2.22)。



図 3.4.2.22 容器搬送ロボット

⑩他コンソーシアムの知能モジュールの有効性検証

富士重工業(株)の開発した知能モジュールおよび他コンソーシアムが開発した知能モジュールの検証用ロボットを既存の清掃ロボットをベースに開発した(図 3.4.2.23)(表 3.4.2.7)。

インターフェースは RS-232C であり、USB 等に変換することで様々なコントローラに対応できる(図 3.4.2.24)。

他コンソーシアムが開発した知能モジュールを検証用ロボットに搭載し有効性検証を行う。その一例を図 3.4.2.25 に示す。



図 3.4.2.23 検証用ロボット

表 3.4.2.7 検証用ロボット主仕様

項目	仕様
車体寸法	全長 850mm 幅 720mm 高さ 1000mm
車体重量	160Kg (バッテリー 100Ah×2 個の場合)
清掃方式	吸引
動力	鉛バッテリー
走行速度	清掃時 : 10m/min, 20m/min, 30m/min 移動時 : 最大 50m/min

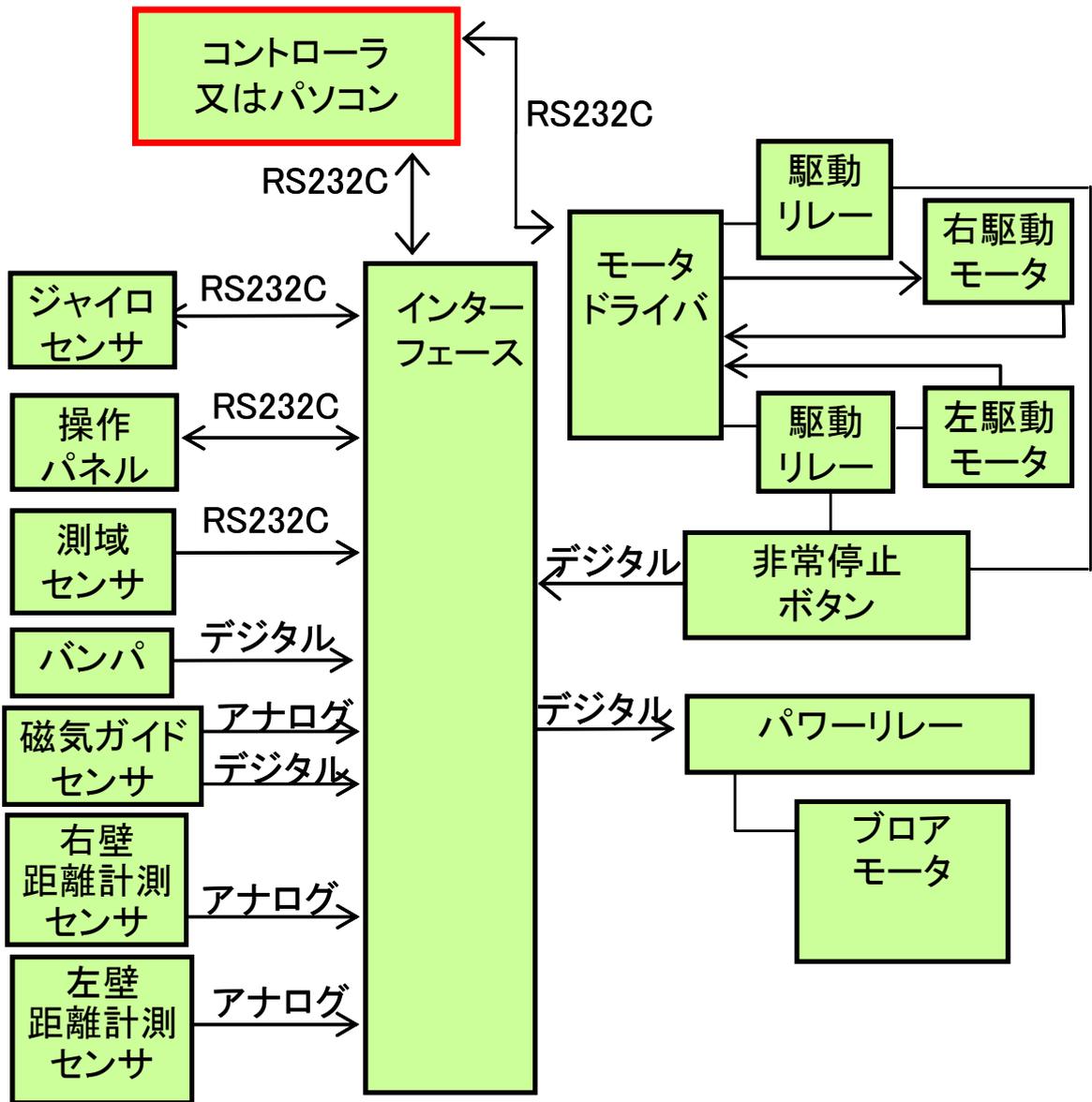


図 3.4.2.24 検証用ロボットハードウェア構成

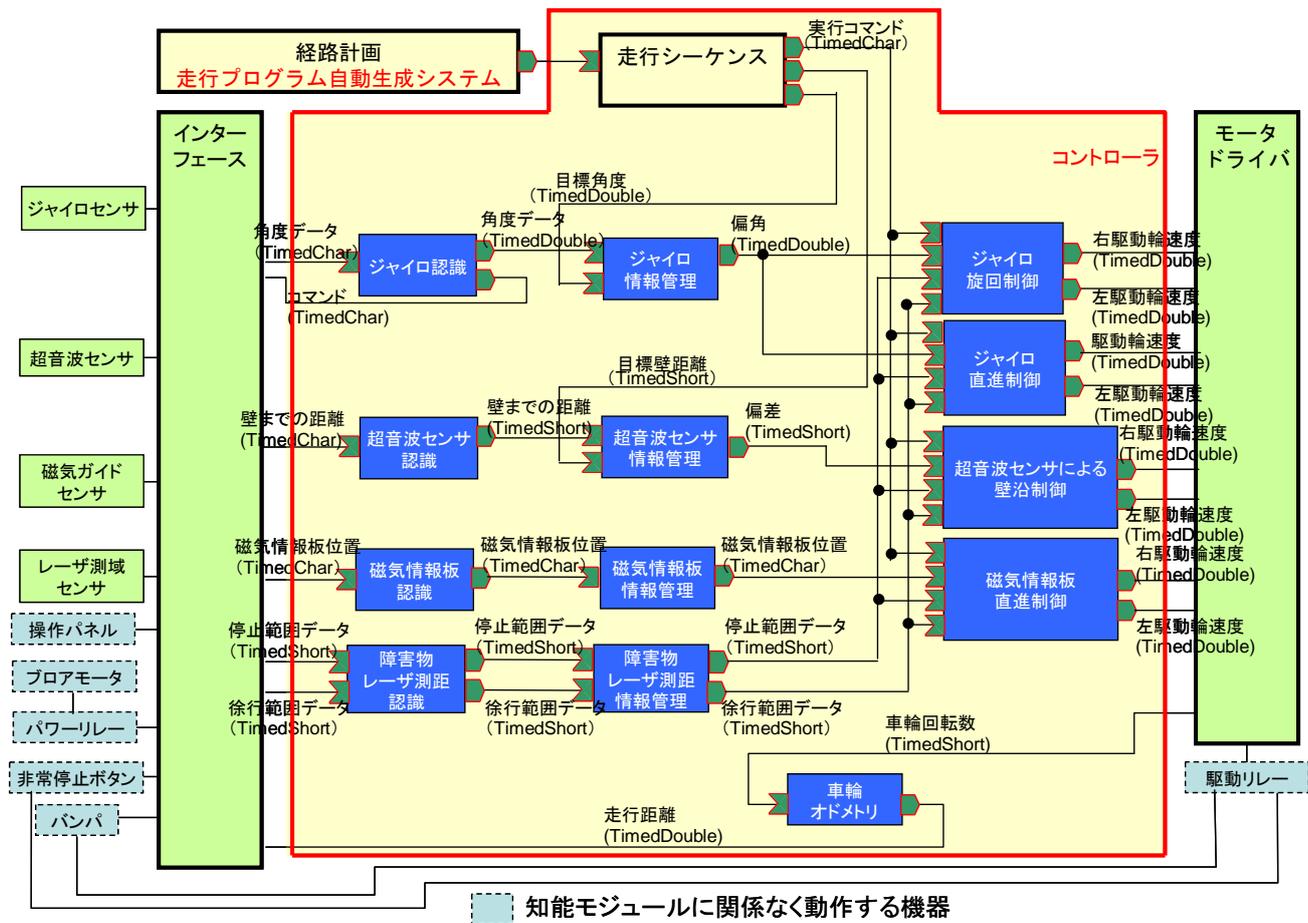


図 3.4.2.25 検証用ロボット統合システムの一例

⑪オープンライセンスでの提供

表 3.4.2.8 にオープンソースで公開した知能モジュールを示す。オープンソースライセンスの型式は「Eclipse Public License」とする。移動ロボットがオフィス内を移動するために最低限必要なものを提供するという視点で選定した。これらのモジュールは、知能化プロジェクト作成モジュール紹介サイト内の富士重工業モジュール一覧で閲覧することができる[2][3]。

表 3.4.2.8 オープンライセンスで公開した知能モジュール

No.	知能モジュール名	公開年月	添付資料
1	直進制御モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.1
2	旋回制御モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.2
3	ジャイロ認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.3
4	ジャイロ情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.4
5	磁気情報板認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.8
6	磁気情報板情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.9
7	レーザ測距認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.20
8	レーザ測距情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.21

(3) 成果の意義

①ホームランモジュール（開発した知能モジュールで特に有用性の高いもの）

開発した知能モジュールの中で特に有用性の高いものとしては、「直進制御モジュール」、
「旋回制御モジュール」であると考える。

これらのモジュールは、ジャイロセンサからロボットの角度データを取得し、任意の目標
角度になるように左右の駆動車輪の速度を算出、出力し、直進制御及び旋回制御を行うもの
である。

一見単純なモジュールに見えるが、我々が、重要視する理由は、以下の通りである。

- ・ オフィスビルの移動ロボットは、直進と旋回の組み合わせで動作可能
(清掃ロボットで10年以上、導入先として40箇所以上の実績あり)
- ・ 高精度な直進、旋回ができることで、オフィス内で運用される警備ロボットや案内ロボ
ット等の他の作業の移動ロボットにも展開が可能
- ・ 実環境での有効性検証を実施しているため、電磁場や10mm程度の段差が存在しても問
題なく走行できる。

これらの有用性、再利用性から、屋内のあらゆる車輪型移動ロボットへの展開が期待できる。
これらのオープンソースライセンスでの公開により、ロボット市場の発展に寄与できること
を願っている。

②走行プログラム自動生成システム

本システムは、知能モジュールを有効活用するためのシステムである。

オフィスビルでは、度々、テナントの入れ替え等の理由から建物のレイアウト変更が生じ
る。その様な場合に、ビル管理会社やロボットオペレータが自由にロボットの走行経路を変
更出来ることは、非常に要望が高い。何故ならば、サービスロボットは、人の作業をロボッ
トが代替するものであり、プログラム変更の度にロボットメーカーに依頼をしては、費用
的な負担が大きく、ロボットを使用するメリットが失われてしまうからである。

そのため、ロボット及び知能モジュールが有効に活用されるために本システムの果たす役
割は大きいと考えている。本事業では、CAD上でロボットの経路を入力することで自動的
にプログラムを作成するだけでなく、プログラムの管理機能を搭載することで、プログラ
ムの品質の確保を試みた。

本システムの有効性は、清掃ロボットでは顕著に現れており、プログラム作成時間が約半
分になった。また、知能モジュールの再利用性も向上した。

これらのことから、知能モジュールの発展のためのキラーアプリケーションであると考え
る。

(4) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

特許の取得状況を表 3.4.2.9 に示す。オフィスビル移動ロボットの重要な技術であるエレベーター自動乗降制御に関する特許を中心に、計 6 件を出願・取得した。取得状況等の詳細は、添付資料 3.4.2.B.1 に示す。

表 3.4.2.9 特許件数

年度 \ 区分	国内	外国	PCT※出願
H20FY	2 件	0 件	0 件
H21FY	0 件	0 件	0 件
H22FY	0 件	0 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	0 件

※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約

(5) 成果の普及

成果の普及の取組状況を表 3.4.2.10 に示す。日本ロボット学会、日本機械学会等の学術講演会等を通して、成果の公表と普及に努めるとともに学識者との質疑応答などを通し、改善点等を把握した。更に、プレス発表等も積極的に行い、本事業のアピールを広く行った。また、プレス発表、展示会参加等も積極的に行い、本事業のアピールを広く行った。詳細は添付資料 3.4.2.C.1～6 に示す。

表 3.4.2.10 論文、外部発表等成果普及件数

年度 \ 区分	論文		講演	受賞	プレス発表等	展示会
	査読付	その他				
H20FY	0 件	2 件	0 件	0 件	11 件	0 件
H21FY	1 件	11 件	3 件	3 件	28 件	3 件
H22FY	2 件	9 件	3 件	2 件	11 件	7 件
H23FY	2 件	12 件	1 件	0 件	6 件	3 件

(6) 実用化の見通し

※非公開版に掲載

3) 添付資料

(1) モジュールの RTC の仕様

添付資料 3.4.2.A.1

■モジュール名称 直進制御モジュール

■概要 ジャイロセンサを用いて、任意の方向に直進制御を行う。
 ジャイロセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

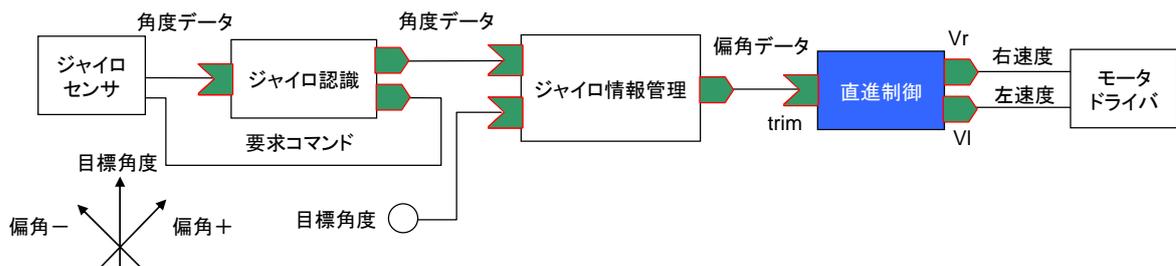
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01°単位)	ジャイロセンサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 旋回制御モジュール

■概要 ジャイロセンサを用いて、任意の方向に旋回制御を行う。
 ジャイロセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

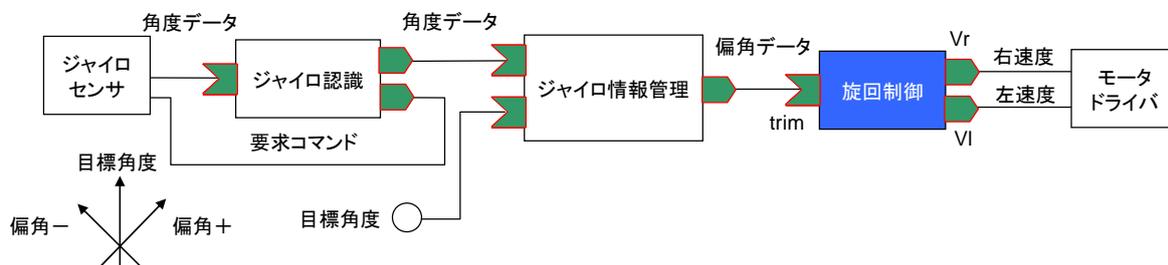
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



添付資料 3.4.2.A.3

■モジュール名称 ジャイロ認識モジュール

■概要 ジャイロセンサに要求コマンドを送信し、角度データを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

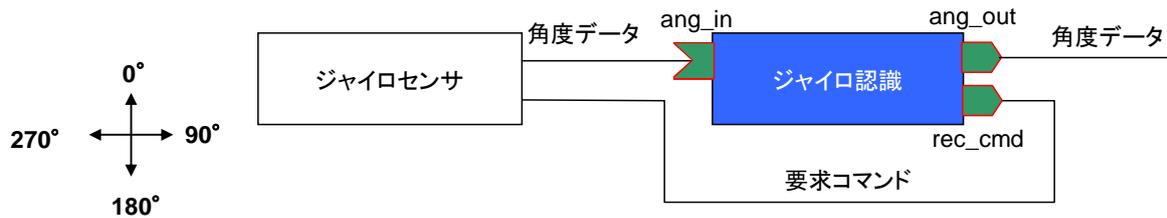
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_in	TimedChar	8	角度データ (アスキー)	ジャイロセンサのデータ長に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_out	TimedDouble	1	角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に合せた
rec_cmd	TimedChar	3	角度要求コマンド (アスキー)	ジャイロセンサのコマンド長に合せた

■構成



添付資料 3.4.2.A.4

■モジュール名称 ジヤイロ情報管理モジュール

■概要 ジヤイロセンサの角度データと目標角度データを入力し、両者の偏角を演算し、偏角データを出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

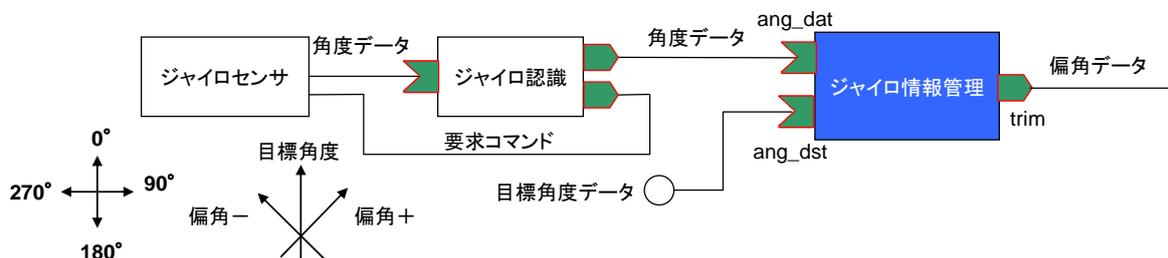
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_dat	TimedDouble	1	角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた
ang_dst	TimedDouble	1	目標角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた

Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた

■構成



■ **モジュール名称** レーザ三角測量認識モジュール

■ **概要** レーザ三角測量センサに要求コマンドを送信し、角度データを入力する。

■ **基本情報**

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ **ポート情報**

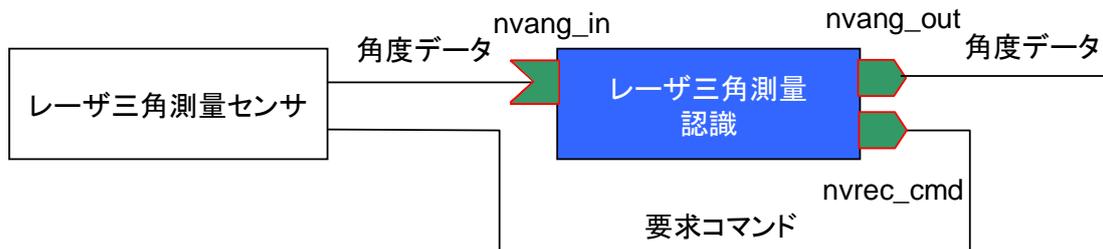
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_in	TimedChar	17	角度データ(アスキー)	レーザ三角測量センサのデータ長に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_out	TimedDouble	1	角度データ(0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた
nvrec_cmd	TimedChar	5	要求コマンド(アスキー)	レーザ三角測量センサのコマンド長に合せた

■ **構成**



添付資料 3.4.2.A.6

■モジュール名称 レーザ三角測量情報管理モジュール

■概要 レーザ三角測量センサの角度データと目標角度を入力し、両者の偏角を演算し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

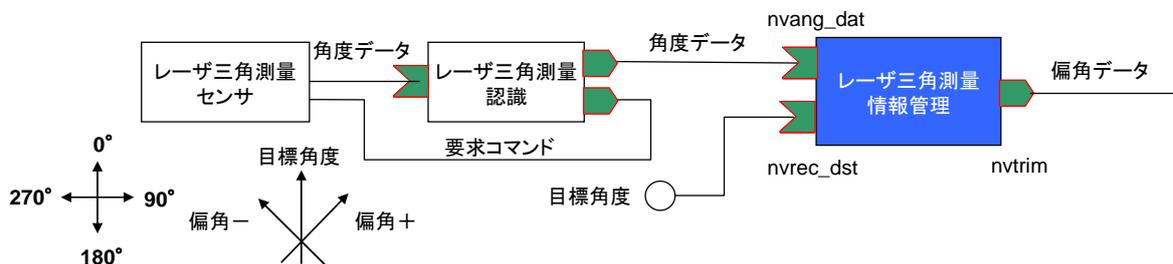
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_dat	TimedDouble	1	角度データ (0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた
nvrec_dst	TimedDouble	1	目標角度 (0~360, 0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた

・ Output

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvtrim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180, 0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた

■構成



■モジュール名称 レーザ三角測量による直進制御モジュール

■概要 レーザ三角測量センサを用いて、任意の方向に直進制御を行う。
 レーザ三角測量センサセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、
 左右の車輪速度を決定し、出力する

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

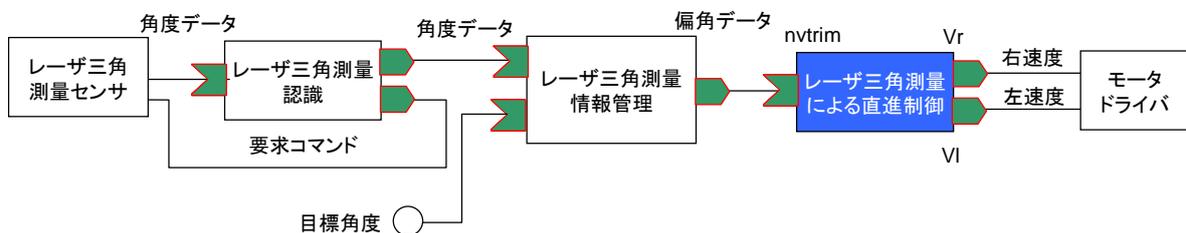
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvtrim	TimedDouble	1	偏角	レーザ三角測量センサの精度に合せた

・ Output

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 磁気情報板認識モジュール

■概要 磁気ガイドセンサから、センサ中心に対する磁気情報板の偏差または磁気情報板の有無を示すデータを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

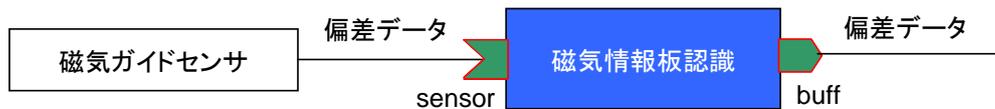
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
sensor	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48:磁気なし 64~95:偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
buff	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48:磁気なし 64~95:偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 出力するため

■構成



添付資料 3.4.2.A.9

■モジュール名称 磁気情報板情報管理モジュール

■概要 磁気ガイドセンサからの入力データを[mm]単位の偏差データに変換し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
buff	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48 : 磁気なし 64~95 : 偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
mger	TimedChar	1	磁気情報板位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため
mger	TimedChar	1	磁気情報板位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため

■構成



■モジュール名称 車輪オドメトリモジュール

■概要 車輪の回転数から走行距離を算出し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
kyo_in	TimedShort	1	車輪回転数	パルスのカウントに使用するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
kyo_out	TimedDouble	1	走行距離 (0.1mm 単位)	モータの分解能に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース制御モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）とラインマーカを用いて、直進制御を行う。
カメラの偏差データから、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lner	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース情報管理モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）からの入力データを[mm]単位の偏差データに変換し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

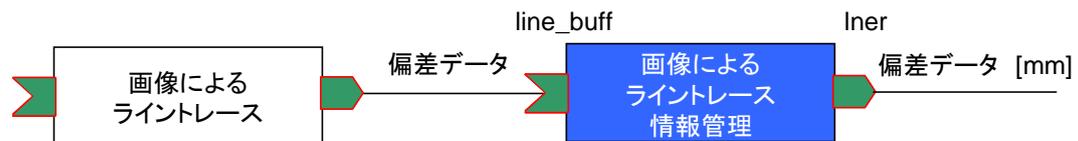
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
line_buff	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (48：ラインマーカなし 64～95：偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lner	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース走行制御（群）モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）とラインマーカを用いて、直進制御を行う。
カメラの偏差データから、偏差から、左右の車輪速度を決定し、
ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
line	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (48：ラインマーカなし 64～95：偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁距離計測モジュール

■概要 画像センサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

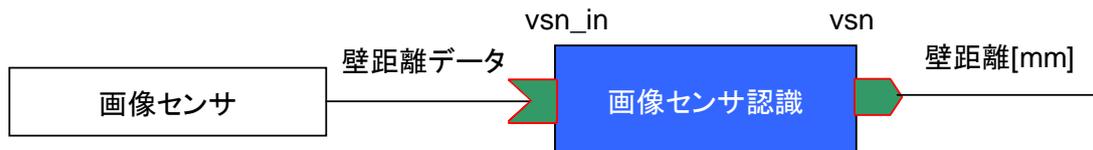
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁距離計測情報管理モジュール

■概要 画像センサから入力した基準壁までの距離データと目標距離を入力し、その偏差を[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

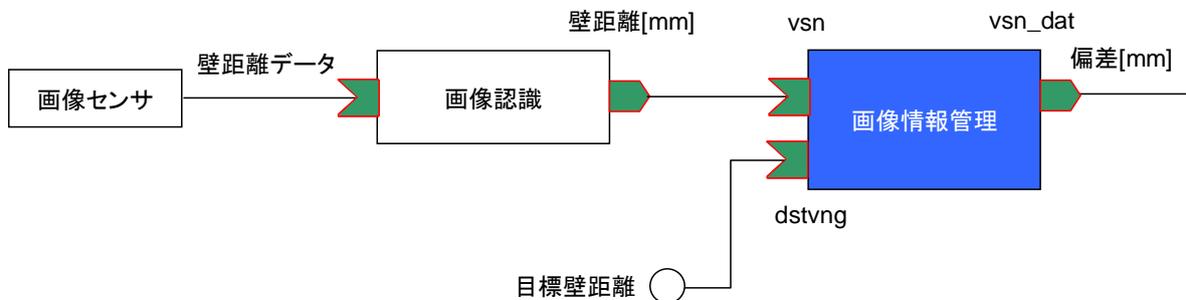
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた
dstvng	TimedShort	1	目標壁距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と 目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁沿い走行モジュール

■概要 画像センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 画像センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

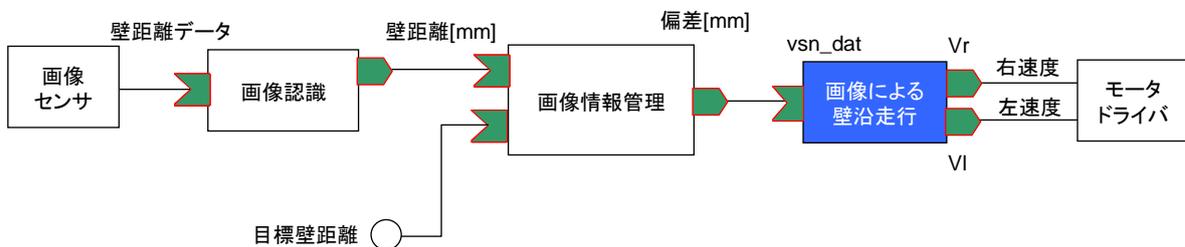
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	画像センサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 レーザセンサによる壁距離計測モジュール

■概要 レーザセンサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

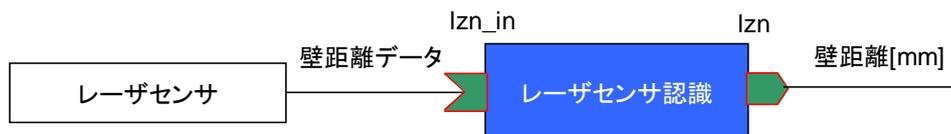
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	レーザセンサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサ認識モジュール

■概要 超音波センサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

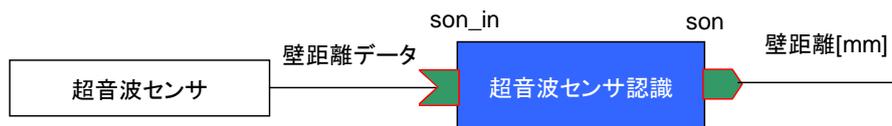
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサ情報管理モジュール

■概要 超音波センサから入力した基準壁までの距離データと目標距離を入力し、その偏差を[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

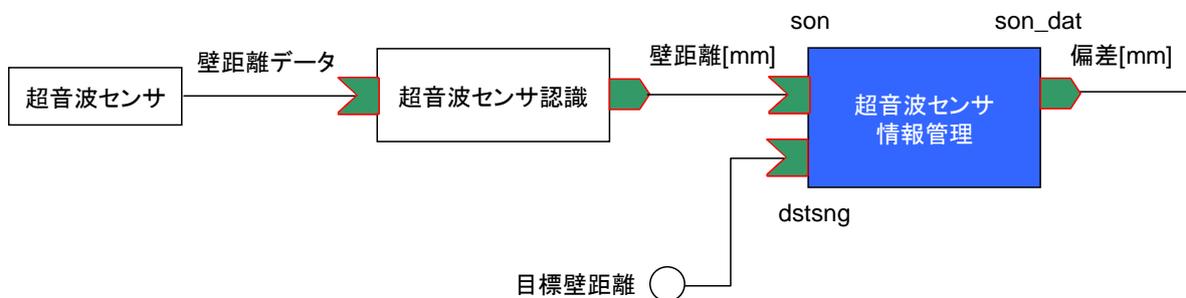
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた
dstsng	TimedShort	1	目標壁距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と 目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 レーザ測距認識モジュール

■概要 レーザ測距センサから、停止範囲、徐行範囲の障害物有無データを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	100.0Hz

■ポート情報

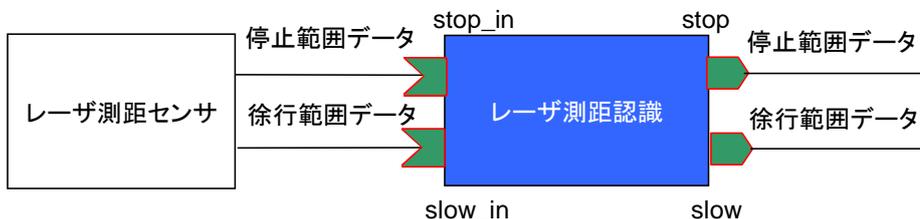
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

■構成



■モジュール名称 レーザ測距情報管理モジュール

■概要 レーザ測距センサからの停止範囲、徐行範囲の障害物有無データに基づきロボットの停止、徐行判断のデータを出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	100.0Hz

■ポート情報

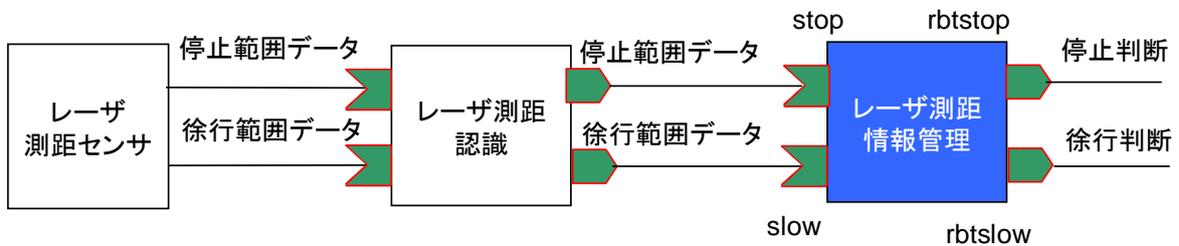
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
rbtstop	TimedShort	1	ロボットの停止判断 (1: 停止 0: 停止せず)	ロボットの停止判断を 0.1 で示すため
rbtslow	TimedShort	1	ロボットの徐行判断 (1: 徐行 0: 徐行せず)	ロボットの徐行判断を 0.1 で示すため

■構成



■モジュール名称 レーザセンサによる壁沿走行モジュール

■概要 レーザセンサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 レーザセンサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

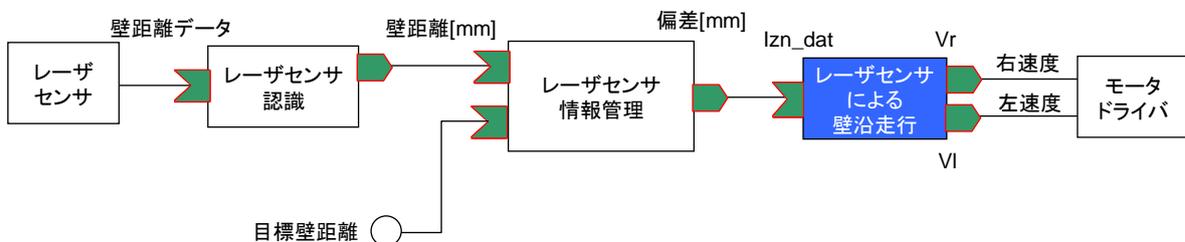
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Izn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	レーザセンサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 壁距離計測用レーザセンサ走行制御（群）モジュール

■概要 レーザセンサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 レーザセンサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

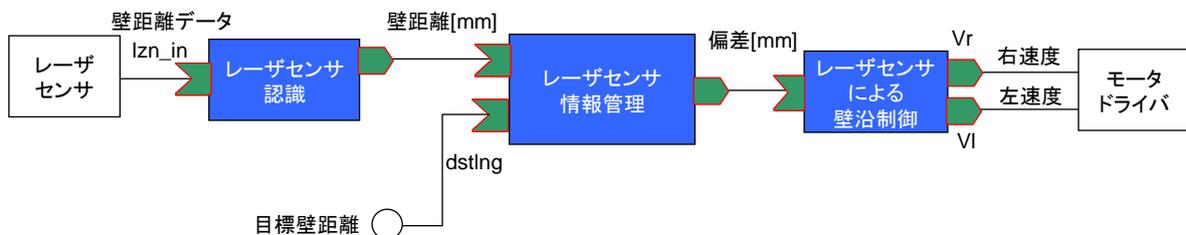
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため
dstlng	TimedShort	1	目標壁距離（10mm 単位）	レーザセンサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサによる壁沿走行モジュール

■概要 超音波センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 超音波センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

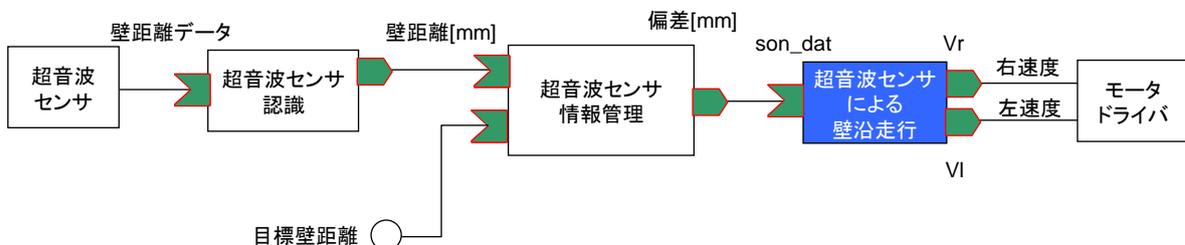
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 壁距離計測用超音波センサ走行制御（群）モジュール

■概要 超音波センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 超音波センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

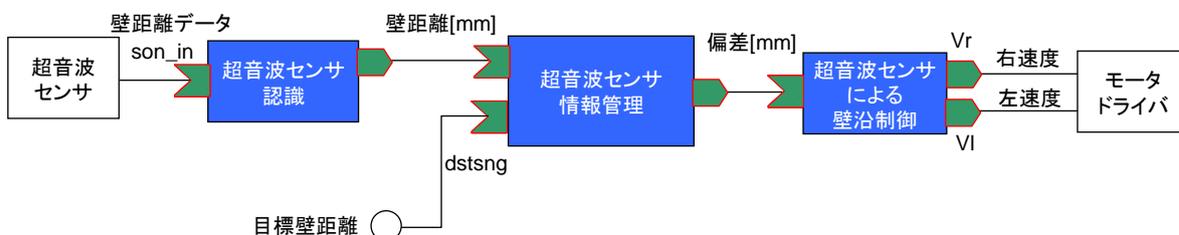
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため
dstsng	TimedShort	1	目標壁距離（10mm 単位）	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 磁気ガイドセンサ走行制御（群）モジュール

■概要 磁気ガイドセンサと磁気情報板を用いて、直進制御を行う。
 磁気ガイドセンサの偏差データから、左右の車輪速度を決定し、
 磁気ガイドセンサと磁気情報板中心が一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
sensor	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48：磁気なし 64～95：偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた

■構成



■ **モジュール名称** 1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降モジュール

■ **概要** 光伝送装置を用いてエレベータと通信し、エレベータの呼び出し、扉開閉、行先階の指定を行う。

■ **基本情報**

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ **ポート情報**

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
elv_in	TimedChar	8	エレベータからの受信信号	光伝送装置 8bit の信号を入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
elv_out	TimedChar	8	エレベータからの送信信号	光伝送装置 8bit の信号を出力するため

■ **構成**



■モジュール名称 自己位置認識に関する知能モジュール群（閉鎖空間長距離走行）

■概要 自己位置認識に関する知能モジュール群（閉鎖空間）より位置姿勢情報を取得し、直進、旋回を行う。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・直進制御
- ・旋回制御
- ・レーザ三角測量による直進制御
- ・超音波センサによる壁沿走行
- ・画像による壁沿走行

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

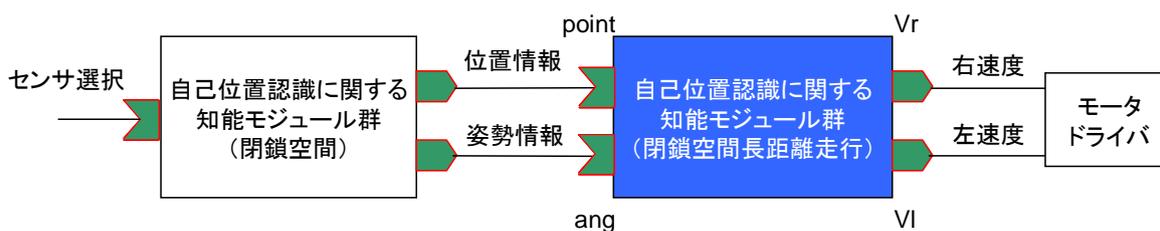
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
point	TimedDouble	1	位置情報	センサの精度に合わせた
ang	TimedDouble	1	姿勢情報	センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 自己位置認識に関する知能モジュール群（開放空間長距離走行）

■概要 自己位置認識に関する知能モジュール群（開放空間）より位置姿勢情報を取得し、直進、旋回を行う。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・直進制御
- ・旋回制御
- ・レーザ三角測量による直進制御
- ・超音波センサによる壁沿走行
- ・レーザセンサによる壁沿走行
- ・画像による壁沿走行

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

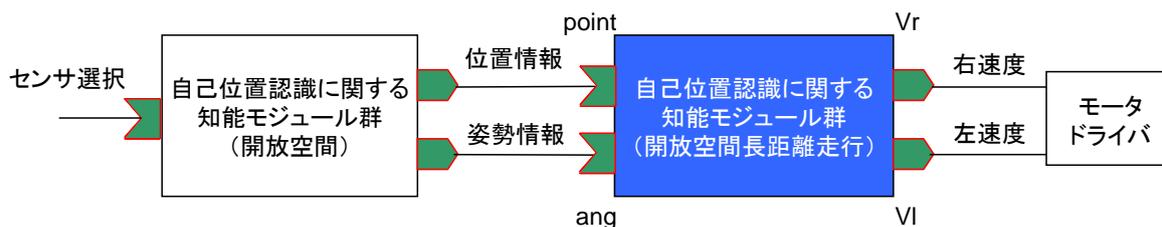
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
point	TimedDouble	1	位置情報	センサの精度に合わせた
ang	TimedDouble	1	姿勢情報	センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 人・障害物認識に関する智能モジュール群

■概要 レーザ測域センサ及び画像を用いて、人・障害物を認識する。人を含む移動物と固定物を区別する。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・レーザ測距認識
- ・レーザ測距情報管理
- ・静止障害物発見モジュール（外部）
- ・自律移動体発見計測モジュール（外部）

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

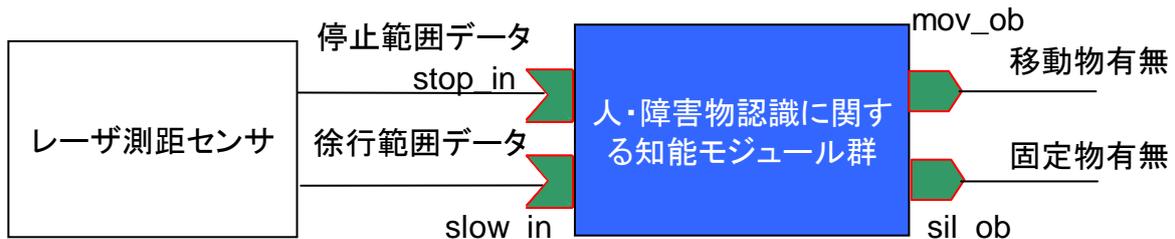
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
mov_ob	TimedShort	1	移動物有無 (1: 有り 0: 無し)	ロボットの停止判断を 0, 1 で示すため
sil_ob	TimedShort	1	固定物有無 (1: 有り 0: 無し)	徐行判断を 0, 1 で示すため

■構成



■モジュール名称 安全移動制御に関する知能モジュール群

■概要 ジャイロセンサ、レーザ三角測量センサ、超音波センサ、レーザセンサ、画像センサ、レーザ測域センサを用いて、状況に応じて走行速度を制御し、安全な速度で移動する。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・ジャイロ認識
- ・ジャイロ情報管理
- ・直進制御
- ・旋回制御
- ・レーザ三角測量認識
- ・レーザ三角測量情報管理
- ・レーザ三角測量による直進制御
- ・超音波センサ認識
- ・超音波センサ情報管理
- ・超音波センサによる壁沿走行
- ・画像認識
- ・画像情報管理
- ・画像による壁沿走行
- ・レーザセンサ認識
- ・レーザセンサ情報管理
- ・レーザセンサによる壁沿走行
- ・レーザ測距認識
- ・レーザ測距情報管理

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

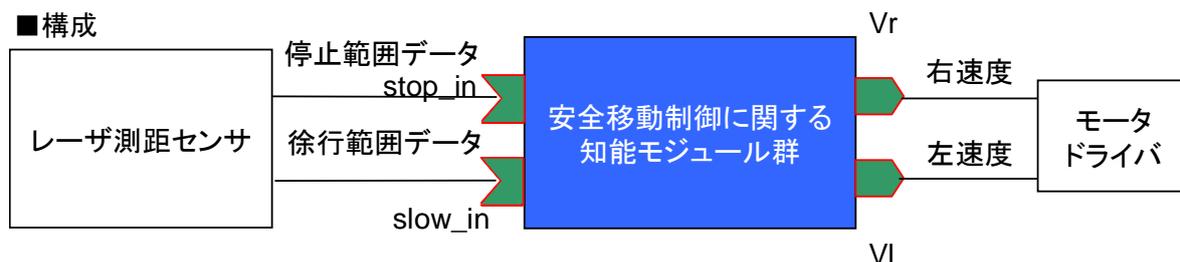
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた

■構成



3.4.3 移動知能(サービス産業分野)の開発

3.4.3.1 移動ロボット用基本知能モジュール化

【実施者:筑波大学、富士ソフト(株)】

1) 研究開発の概要

本プロジェクトでは、サービスロボットの自律移動に必要な実用性のある基本知能モジュールを開発した。人や障害物が存在する複雑な実環境中で、ロボット自身の位置・姿勢を認識し、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなくロボットが移動するための汎用的なモジュールを開発した。モジュール開発と同時にニーズ調査・アルゴリズム検討・開発手法等の検討も行い、よりモジュールの実用性が高くなることを目指した。

開発した移動知能モジュールは、例えばリモコン等でロボットを移動して周囲の環境地図を作成しておき、その環境地図を基に行動可能なロボットの経路・目的地を人間が教示すると、ロボットが自己位置を認識しながら最短経路を自律的に走行するものである。また、ロボットが走行中に障害物が存在する場合は安全な速度に減速又は停止し、可能な場合は別経路に乗り換えるというものとした。また、環境地図さえあれば、ロボットが置かれた位置を推定する機能や、静止障害物を回避する機能も開発した。

ロバストであり、汎用的なロボットの移動基本モジュール群を開発し、その利用方法、運用・保守方法を含めて研究し、実用的なロボットモジュールの開発を行った。また、その結果を利用してロボット用ソフトウェアモジュールを統合した案内ロボットを開発して、実運用に近い形で評価を実施した。図 3.4.3.1.1 に案内ロボットのイメージを示す。



ポイント

1. 内界・外界センサよりの情報を基にした自己位置推定
2. 操作性の良い環境地図生成・経路教示ユーザ I/F
3. 予定経路上で障害物を見つけて減速・停止

図 3.4.3.1.1 案内ロボットのイメージ

開発している移動ロボット用基本知能モジュール群を利用した一例として、博物館等での案内サービスへの適用が考えられる。この応用例では人のいる環境にて指定された経路を循環して、特定の地点にて説明を行うことが目的となる。企業での受付業務での会議室への案内や、来訪者に情報を提示する業務等もこなせるものが考えられる。図 3.4.3.1.2 に本プロジェクトで開発したモジュール群の応用例のイメージを示す。

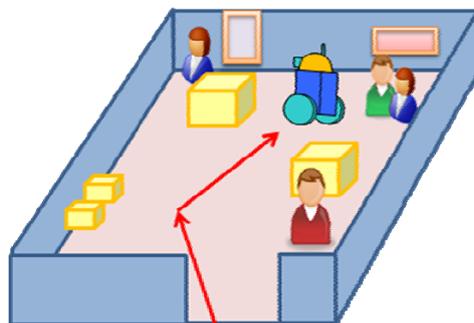


図 3.4.3.1.2 モジュール応用例

案内サービスを実現する場合には、ロボットが走行する場所を予め人間がリモコン等でロボットを走行させ環境地図を作成しておく。その地図を必要があれば人間がユーザ I/F を利用して補正し、その地図を参照しながら走行させたい経路をユーザ I/F (図 3.4.3.1.3) を用いて引く。運用時には指定された目的地に向かい、ロボットが自律的に指定経路を走行することとなる。この際に障害物が予定走行経路に存在すると走行速度と落とし、障害物が継続的に存在した場合には走行経路を変更するというような対応をとる。

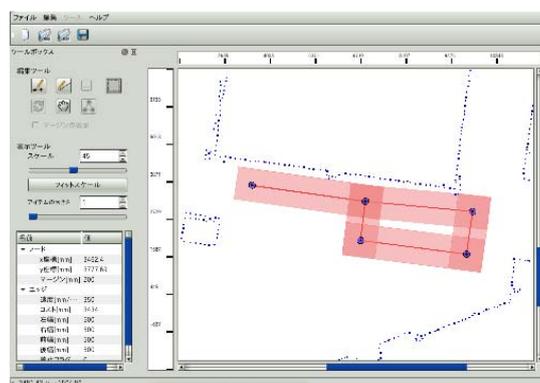


図 3.4.3.1.3 経路生成アプリケーション (ツール) の画面イメージ

開発したモジュールは、目的に応じたモデルにて統合され、実機に載せて屋内・屋外の様々な環境にて評価を実施した。

2) 研究開発の目標

(1)最終目標

開発したモジュール群を統合して機能の有効性に主眼に置き、有機的にモジュールを結合し有効に働くことを実証する。具体的には開発モジュール群全てを搭載した評価ロボットにて、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成する。

3) 研究開発の成果

(1) 開発したモジュール群

基本モジュール群としての開発成果を示す。

項番	モジュール名・プログラム名	概要
1	自己位置管理	移動ロボットの自己位置を管理する。
2	測域センサデータと環境地図による自己位置補正	予め用意した環境地図と外界センサの補正情報を基に自己位置補正情報を生成する。
3	環境地図管理	環境地図を管理する。
4	経路地図管理	経路地図を管理する。
5	経路計画	トポロジカルマップにおいて、開始点、目標点を指定すると最短経路を求める。
6	障害物監視	移動の方向の障害物を監視する
7	動作管理	経路計画した経路毎にどういった動作するかの実行管理を行う。
8	走行制御	現時点の状態以最適な走行制御を行う。
9	統括	統合仕様に応じたシステム全体の統合モデルを実現する。

研究モジュールとツール群の開発成果を示す。

※実用化という観点で、比較的安価なセンサにて自律移動精度が上げられないかという評価も実施した。

項番	モジュール名・プログラム名	概要	補足
1	外界センサによるロボットの環境内絶対位置情報取得モジュール	外界センサの情報をもとに最尤推定によりロボットの推定位置を修正するために必要な情報を求める。 (線ランドマーク)	研究モジュール (移動のロバスト性向上)
2	大域的自己位置推定モジュール	環境地図範囲の任意の位置にロボットが置かれた (起動した) 場合に、未知の自己位置を求める。	研究モジュール (移動のロバスト性向上)
3	BeeGo 向け走行 I/F	テクノクラフト社製 BeeGo の車体との I/F を行う。	評価用
4	LRF I/F	北陽電機製の LRF の I/F を行う。	評価用
5	GPS I/F	GPS デバイスとの I/F を行う。	評価用 (デバイス: アンタレス48)
6	ジャイロセンサ I/F	ジャイロデバイスとの I/F を行う。	評価用 (デバイス: シリコンセンシング CRS-94S)
7	オフライン SLAM	オフラインにて SLAM を行う。	評価用
8	リモコン I/F	遠隔制御 I/F を実現する	評価用
9	環境地図生成システム	移動ロボットをリモコン操作で環境地図を作成する	移動ロボット導入の簡易化
10	環境地図編集アプリケーション	環境地図生成にて取得した地図の間引き・ノイズ除去・矩形削除等の機能を有する GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) アプリケーション。	移動ロボット導入の簡易化
11	経路地図生成アプリ	環境地図を参考にして (背景表示	移動ロボット導入の

	リケーション	し) ロボットの移動可能経路を引くための GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) アプリケーション。	簡易化
1 2	コマンドラインユーザ I/F	コマンドラインを利用してユーザと対話を行う。	移動ロボット導入の簡易化

(2) 有効性検証およびその結果

評価用の移動ロボットプラットフォームとして以下の3機種を用意した。

①北陽電機社製の測域センサ URG (URG-04LX) を取り付けた屋内用小型移動ロボット (図 3.4.3.1.4)

②北陽電機社製の測域センサ URG (UTM-30LX) を取り付け、サスペンション機構を持つ屋外用中型移動ロボット (図 3.4.3.1.5)

③北陽電機社製の測域センサ URG (UTM-30LX または URG-04LX) を取り付け、音声認識・発話機能、顔認識機能等の知能を統合した屋内案内ロボット (図 3.4.3.1.6)



図 3.4.3.1.4 屋内評価機「BeeGo」 図 3.4.3.1.5 屋外評価機「Tufs」 図 3.4.3.1.6 案内ロボット「ATERO」

人の往来する試験環境において目的地までの自律走行をさせる評価として、つくば市の遊歩道を走行させる、「つくばチャレンジ」に参加し、屋外評価を実施した (図 3.4.3.1.7)。これにより一般の人の往来する環境や、8月～11月の季節変化という環境変化、朝～夕方までの時間的な変化、経路上の様々な環境 (陸橋、並木道、藪の中等) での課題等の知見を得るとともに、試走会において 1km の環境を自律的に 10 回連続で走破した。これによりモジュールの有用性が明らかになり、各モジュールのロボスタ化も進んだ。また、筑波大学周辺や、駐車場付近等を走行評価も実施を繰り返し、小雨の環境や光反射率の高い側面を持つ車両の付近の通行等様々な知見を得るとともにロボスタ化を進めた。



図 3.4.3.1.7 屋外評価「つくばチャレンジ」

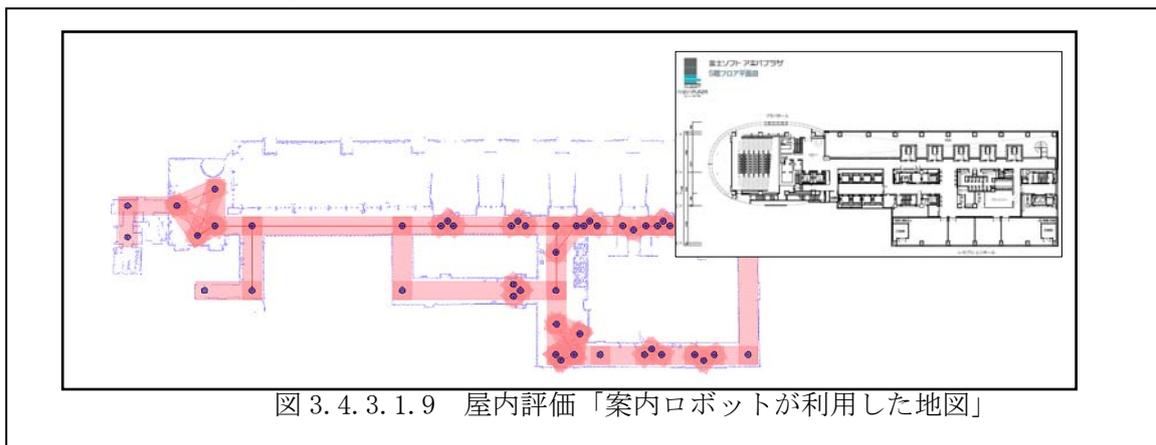
開発したモジュールのうちの一部に関しては、筑波大学の知能ロボット研究室の研究者（40名）の標準走行サブシステムとして利用され、知能ロボット研究室で開催された「デモプロコンテスト」においては、各学生のデモ用のアイデアをそれぞれ実現させて走行させたが、その中で精度・品質ともにクリアした。この中で研究者からの要望等を入れ、より利用性の高いモジュールの開発へのフィードバックを得た。その他に一部企業にソフトウェアを提供し評価を得ている。

実際の業務での課題を抽出するために、案内ロボットを開発し、「つくば市役所」「富士ソフト秋葉原ビル」等の様々な環境（屋内）にて実際の利用に即した運用評価を実施して、実運用で発生する課題の対応を行った。

具体的には、板、コンクリ、柵、一部ガラスを含むような壁のある建物で、道幅も1m弱の経路や数m四方の広いロビーのようなところ、オフィスのデスクが並んだ部屋等の環境で評価を実施した。また、案内ロボットは市役所等の一般の人がいる環境等での走行も評価した。



具体的に実施した結果として、70m四方の広さの走行で作成した環境地図に経路を引いたものを図3.4.3.1.9に示す。会議室の入り口やエレベータの前、洗面所の前等に案内した。青色が環境地図、赤い線が経路で、薄い赤色の部分が走行可能な道幅を示し、自律走行において道幅内の局所的な障害物回避が可能であった。



(3)目標の達成度

前述3)の(2)の屋外評価での「つくばチャレンジ」においては8月～11月の期間において屋外における一般の人の往来する遊歩道1kmを10回走破した。また前述3)の(2)の屋内評価「案内ロボット」において、ある程度広い(40×70m 四方)スペースも含め案内する業務形態で評価を行い、その際に抽出された課題に対応することにより、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以

上自律走行可能という目標を達成した。

(4)成果の意義

- ・モジュールを販売するための検討を行っている中で、モジュールのインテグレーション・導入・保守における課題等も含めて、必要な導入ツール等や、保守容易性等も含めて検討するとともに、開発モジュール粒度を小さくし、富士ソフト自体がコンポーネント化又は他のプラットフォームで容易にインテグレートをすることも検討した。実際に顧客先でのデモで数十 m 四方のオフィスにおける評価は半日以下の準備で自律走行が可能であった。

- ・本開発は、“市場で使える技術(実用化)”を目指しているプロジェクトであり、その点で歴史のある筑波大学のアルゴリズムの中で実用性の高いものをモジュール化したことは世界的に見ても、初めてのことであり、技術的な価値があるものと判断される。

- ・実用化を検討すること自体が今までにない技術領域であり、実用性のある地図等の検討も実施しており、この実用化の中で検討された事項は新たな技術領域であり、特許として検討した点も存在している。

- ・実用的なモジュールは、当初より様々なプラットフォームにて利用できる汎用性を目指しているものである。現在独自のプラットフォーム上でコンポーネント化されたいくつかのモジュールが動作していることで実証されている。

3.4.4 研究開発項目⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発

【実施者】学校法人芝浦工業大学

学校法人千葉工業大学

NEC ソフト株式会社

セグウェイジャパン株式会社

国立大学法人東北大学

国立大学法人京都大学

非営利特定法人国際レスキューシステム研究機構

3.4.4.1 事業目的

我が国では、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザー産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有するとともに、生産現場においても、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働している等、自他ともに認める「ロボット大国」といえる。ただし、1990年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途も特定の産業分野に限られていた。しかし、ロボットを巡る状況は、着実に変わりつつある。製造業においては、ロボット・セルのように、さらに高度化した産業用ロボットが生産現場に投入されつつある。また、サービス業の分野においても、2005年の愛知万博では、サービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われるとともに、実際のビジネスにおいても、清掃ロボットや食事支援ロボット、災害復旧作業を行う遠隔操作型ロボット等の導入が進んでいる。このように、我が国のロボット産業・技術は、次の成長段階に踏みだし、まさに「第2の普及元年」の幕開けを迎えている。

他方、我が国は、少子高齢化・人口減少、アジア諸国の台頭等を背景とした国際競争の激化や、地震や水害等大規模災害に対する不安といった社会的課題に直面している。これらの諸課題に対し、我が国に蓄積された基盤的なロボット技術(RT)を活用・高度化することにより、解決に取り組むことが期待されている。上記解決に求められる最重要な技術課題の一つは、「知能化技術」である。特に、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロボスタ性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。また、当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが必要である。これにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野(自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等)にも広く波及することが期待される。

本プロジェクトは、以上のような知能化に係る技術課題を解決することを目的として、経済産業省が推進する「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として実施する。

3.4.4.2 事業概要

人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在は自動車や自転車が確立されているが、ショッピングセンターや娯楽施設等、これらの移動手段では対応できず、歩行が必要な環境が多く存在している。一方で、高齢化が進展するにつれ、長時間・長距離の歩行が困難となる層が拡大すると予想されることから、このような環境において活用される歩行に代替する自

由度の高い移動手段として、携行可能性を備えた乗物ロボット（モビリティロボット）の実用化が期待されている。このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて安全に移動する機能を実現する汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

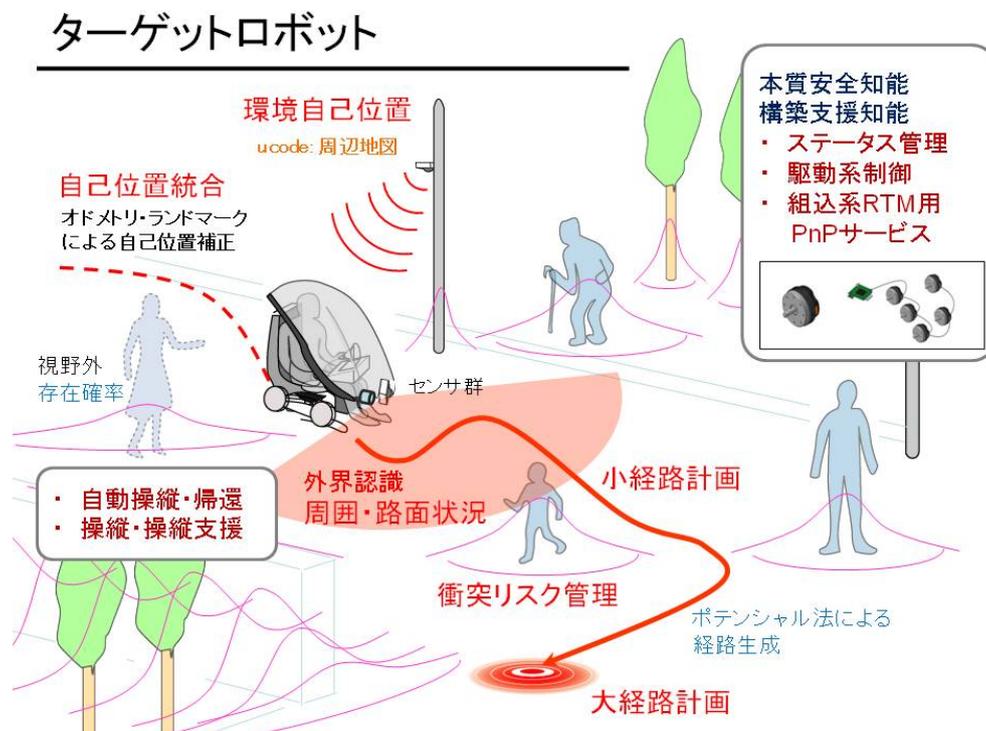


Fig. 1 モビリティロボットの動作概要

3.4.4.3 事業内容

2009年度まで、個別開発を実施していた以下の2つの研究体を統合して、1つの研究体（統合した研究体）とする。また、筆頭委託先をTable. 1に記した組織とする。本章では、これらの研究体が担当した、知能モジュール群、RTM対応組込みプラットフォーム群について順次説明する。

Table. 1 組織担当概要表

第1の研究体 搭乗用知能移動およびその構築を簡便にするモジュール群の開発 (RTM対応組込みプラットフォーム群)	学校法人芝浦工業大学（統合後、筆頭委託先）
	学校法人千葉工業大学
	NECソフト株式会社
第2の研究体 自律と操縦が融合したインテリジェント立ち乗り電動モビリティシステム (知能モジュール群)	セグウェイジャパン株式会社 (2009年4月1日付けで日本SGI株式会社から権利義務承継)
	国立大学法人東北大学
	特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構
	国立大学法人京都大学 (2009年4月1日付けで国立大学法人電気通信大学から権利義務承継)

3.4.4.3.1 知能モジュール群

(1) 移動知能モジュール群の開発 安定走行に関する知能モジュール群

(ア) 車輪移動モジュール

開発モジュール名称： 車輪移動モジュール (Omni-Wheel / Four-X)

オープンソースライセンス Apache Lisence 2.0

開発実施者： 千葉工業大学

開発目的：

移動形態（全方位置移動，ステアリング駆動，Fig.2参照）によらず，また，開発機関に依存しない共通 IF で移動指示が可能なモジュールを開発する．そのために，移動形態に依存する処理部分はモジュール内にカプセル化した．駆動モジュールには，NEDO 次世代ロボット共通基盤プロジェクトで開発された運動制御モジュール FTMD を用いることで，NEDO プロジェクトの成果の展開をはかった．また，ソースコードを公開することで，成果の普及を目的とした．

成果：

市販の電動車いすを NEDO 次世代ロボット共通基盤プロジェクトの成果である運動制御モジュール FTMD (Fig. 2、Fig. 3参照) を用いることで，搭乗型車輪移動ロボットへと改変を行った．これにより，任意の車輪速度，モータ電流が指定可能となった．また，それらの車輪回転数，モータ電流値が取得可能となった．これにより，開発した車輪制御モジュールでは，共通 IF を通して任意の移動指令およびオドメトリの取得が可能となった．



Fig. 2 RT ミドルウェアに対応させた「Omni-Wheel」(左)，「Four-X」(右)

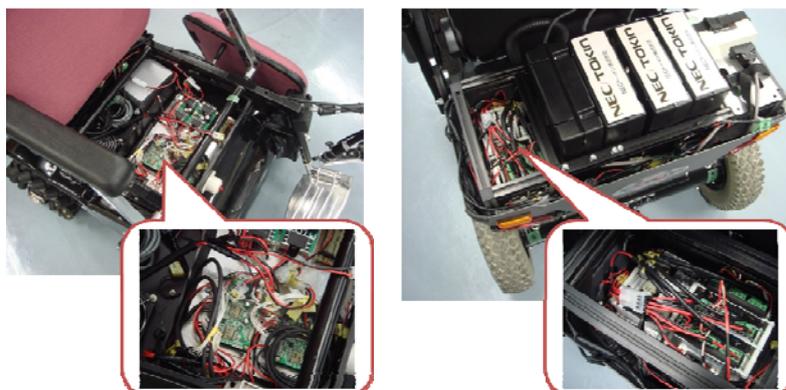


Fig. 3 運動制御モジュール FTMD を搭載した移動ロボット「Omni-Wheel」(左)，「Four-X」(右)

とくに車輪移動モジュールを適用された Four-X 移動ロボットは、基本計画に定められた走行距離 2km, 踏破可能斜度 10 度の条件をいずれも 3.6km 走行 (Fig. 4参照), 16 度斜度踏破 (Fig. 5参照) を実現し、基本計画の条件を満たしている。



Fig. 4 Four-X による 3.2km 走行軌跡 (左) とそのときの様子 (右)



Fig. 5 Four-X による斜度 16 度の走行の様子

(イ) 台車モジュールの開発

開発モジュール名称： 台車モジュール(SegwayRMP/Blackship)

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件
開発実施者： セグウェイジャパン株式会社

開発目的：

再利用性を考慮した複数のプラットフォームロボット用の台車モジュールを開発し、これらを他の開発実施者(次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト内(以下、知能化PJ内))と協力し仕様の統一化を図る。開発する対象には、移動ロボット研究用プラットフォーム「SegwayRMP」「BlackShip」などをベースに開発を実施する。開発した台車モジュールは、プロジェクト外部にソフトウェアモジュールの形で提供(無償)する。

成果：

「SegwayRMP 台車モジュール」「Blackship 台車モジュール」が RT ミドルウェアのモジュールとして完成しており、Linux 版、Windows 版の異なる OS を前提とした開発を実施した (Fig. 6)。開発したモジュールはプロジェクト内・外の大学・研究機関に配布を実施し、再利用性の検証を実施した。また移動ロボット向けの共通インターフェースに対応し再利用性が考慮された台車走行モジュールが完成した。完成した台車走行モジュールは移動台車の販売時などにオープンソースの形で無償添付し配布を実施した。

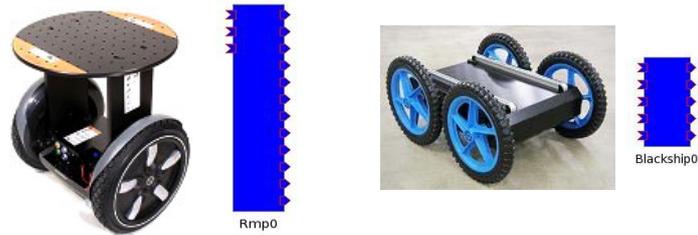


Fig. 6 RT ミドルウェアに対応させた「SegwayRMP」(左), 「BlackShip」(右)

(2) 縦移動知能モジュール群の開発 障害物回避に関する知能モジュール群

開発モジュール名称：

- 回避行動モジュール
 - 衝突判定モジュール
 - 障害物検知モジュール
- オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合，修正 BSD ライセンスが適用，商用利用の際には，個別に使用条件
開発実施者： 東北大学

開発目的：

外界センサを利用した人を含む障害物の検知機能，衝突リスク見積もり機能，回避行動生成機能等，外界との衝突を避けるための回避機能群を備えているモジュール群の開発を行う。

成果：

障害物検知及び回避行動の生成，衝突判定，移動障害物検知を行うモジュールの開発を行った。特徴として，これらモジュールはセンサデータから障害物の検知を行うモジュールと，ロボットの経路の変更を行う回避動作生成モジュールとに分けて実装しており，その間を抽象化した障害物情報で接続することで，モジュールの組み合わせにより様々なセンサを様々な回避動作に対応させることができる。また，回避動作生成モジュール回避動作生成モジュールの入出力をロボットの車体速度とすることで，多様なロボットに適用可能とする。下記に各モジュールについて示す。

・回避行動モジュール

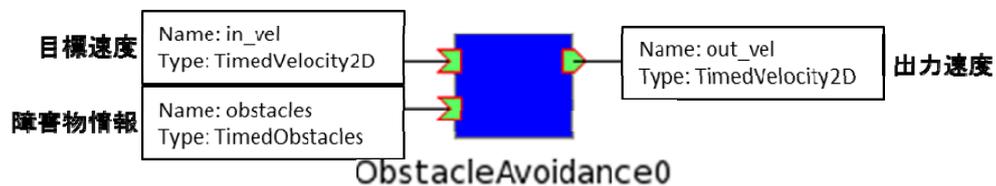


Fig. 7 回避行動モジュール

回避行動モジュール (Fig. 7) は入力された目標車体速度にて予想された経路に対して，入力された障害物情報が衝突する可能性がある場合に，回避可能かつ目標車体速度に近い速度を出力する。回避経路の探索には DynamicWindowApproach を応用しており，現在車体速度から最大加速度で減速した場合でも衝突する場合に衝突の可能性ありと判定する。また入力車体速度の周辺速度

に対して安全性と入力との差異から経路の評価を行い，評価値が最大となるものを出力する．評価値には衝突するか否かに加え，ユーザーが任意に設定可能な速度・角速度に関する重みパラメータにより，入力速度重視（回避重視）または経路重視の設定が可能である．

・衝突判定モジュール

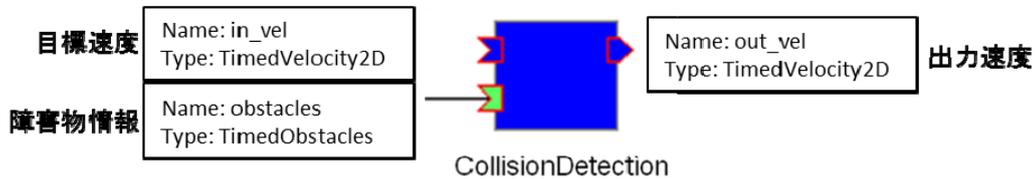


Fig. 8 衝突判定モジュール

衝突判定モジュール（Fig. 8）は入力された目標車体速度にて予想された経路に対して，入力された障害物情報が衝突する可能性がある場合に，経路を維持しつつ最大加速度で減速した際障害物に接触しない速度を出力する．無人搬送車等の経路を維持することが求められる用途に対して適している．障害物回避モジュールの経路重視としたものとほぼ等化である．

・障害物検知モジュール

障害物検知モジュール（Fig. 9）は測域センサの情報から，障害物情報に変換する．障害物情報は大きさを持った点群として表現され，測域センサの高密度な情報を等間隔に間引き情報量の削減を行う．またロボット中心座標系への座標変換を行う．

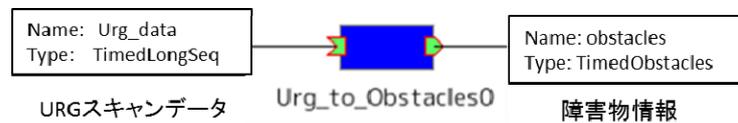
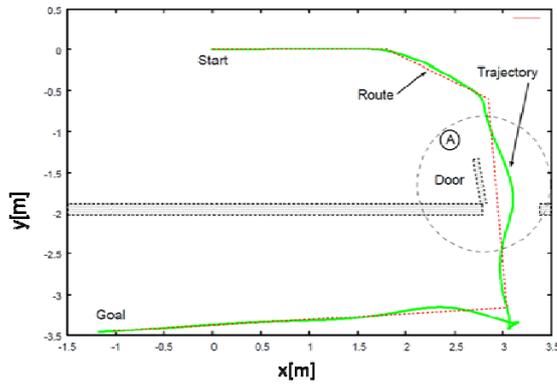


Fig. 9 障害物検知モジュール

・障害物検知モジュール及び回避モジュールの動作

障害物検知モジュール及び回避モジュールの動作について示す．前述したように回避経路生成モジュール及び衝突検知モジュールはロボットの車体速度を入出力とするため，様々なロボットの制御系に組み込むことが可能である．

Fig. 10に自律移動に回避経路生成モジュール及び障害物検知モジュールを組み込んだ際の自律移動の結果を示す．図中（a）において赤点線が目標経路であり，緑実線が推定位置である．図中（a）において，ロボットは Start から Goal まで走行した．この際多くの部分では目標経路に推定位置が重なっているが，㊸部においては目標経路から離れている．この場所はFig. 10図中(b)に示すドア部となっており，推定位置の精度では通過が困難であったが，障害物検知により経路が修正され走行することができている．

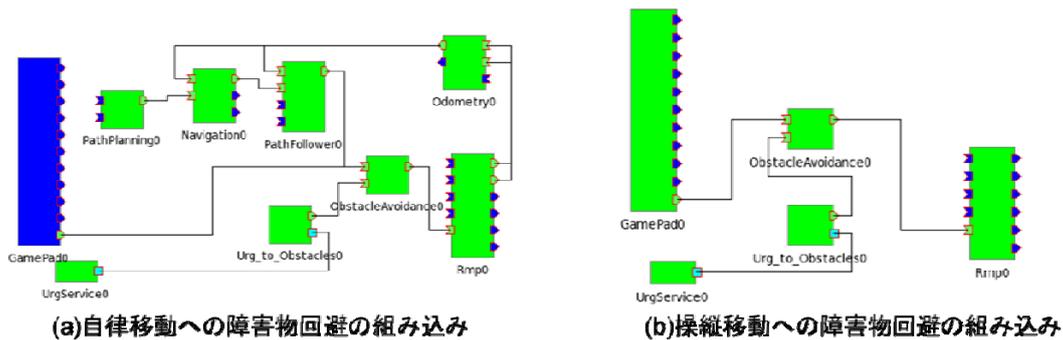


(b) 回避によるドアの通過 (A 部)

(a) 目標経路と走行軌跡

Fig. 10 自律移動モジュール群と障害物回避モジュールによる障害物回避

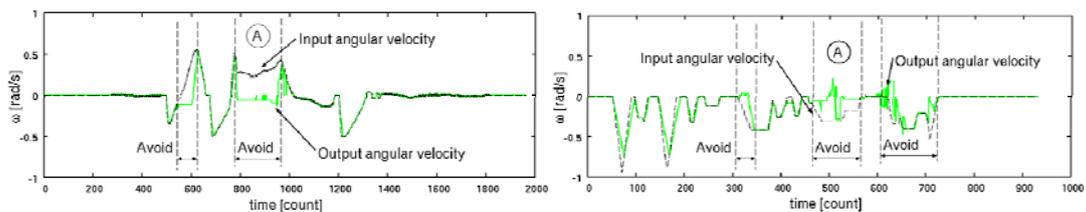
下図に自律移動へ組み込んだ場合と操縦移動に組み込んだ場合のモジュールの構成及び、走行を行った際の角速度出力を示す. Fig. 10中(A)で示す部分が回避経路生成モジュールにより回避が行われた部分であり, 入力角速度に対して出力角速度が大きく変化している. 以上のように, ロボットに入力する車体速度に回避行動生成モジュール等を挟む事により回避が実現できるため, 自律や操縦等様々な制御系に適用可能であり再利用性が非常に高い.



(a) 自律移動への障害物回避の組み込み

(b) 操縦移動への障害物回避の組み込み

Fig. 11 自律移動と操縦移動へ回避経路生成モジュールの適用



(a) 自律移動と障害物回避の角速度出力

(b) 操縦と障害物回避の角速度出力

Fig. 12 自律移動と操縦移動に回避経路生成モジュールを適用した際の入力角速度および出力角速度

- ・ 移動障害物検知モジュール

測域センサの情報およびロボットの位置情報から, 移動障害物情報に変換する. 障害物情報は大きさ及び速度を持った点群として表現される.

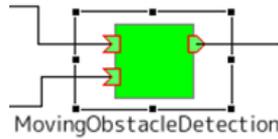


Fig. 13 移動障害物検知モジュール

移動障害物の検知には MixtureParticleFilter を用いることで、複数の移動障害物の検知と、ある程度の隠れにも対応する。移動障害物検知の処理は、まず測域センサから得られた点群を距離が大きく変わる点にてクラスタリングを行い、移動物体候補を生成する。次に測域センサの情報を用いて生成した占有度グリッドマップを用い、移動物体候補から占有領域に存在する候補を削除し、移動物体候補を限定する。後に、MixtureParticleFilter の各群と対応付けを行い、重みの更新を行う。この際、移動物体候補に対し対応するパーティクル群が存在しない場合、新しい移動物体を検知したとし、移動物体候補近傍にパーティクルを生成し、またパーティクル群近傍に一定期間以上移動物体候補が現れなかった場合は移動物体が消失したとする。Fig. 14に移動障害物検知モジュールの動作例を示す。図中赤点群が移動物体を表すパーティクル群であり、緑矢印が移動物体の速度ベクトルを示す。

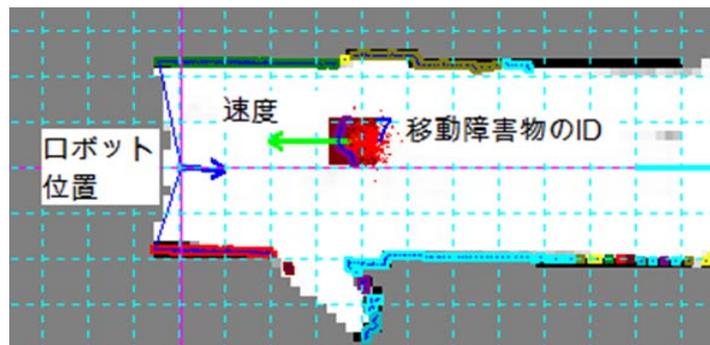


Fig. 14 移動障害物検知モジュールの動作例

また、Fig. 15に複数の人を移動物体としてトラッキングした際の実験結果を示す。図中左図が移動物体の位置、右図が速度の推移を示し、移動障害物検知モジュールにより各移動物体の位置及び速度ベクトルが算出されている。

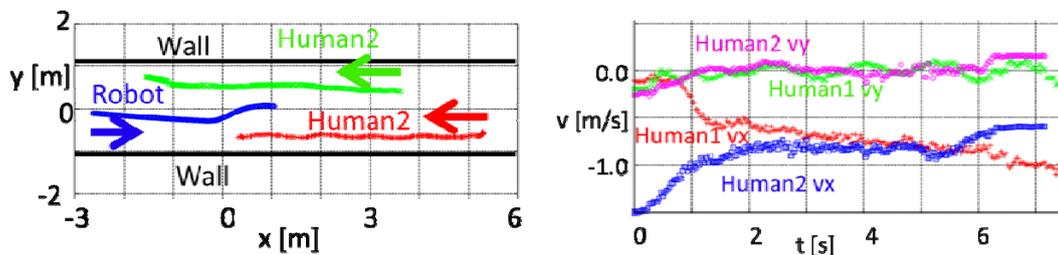


Fig. 15 移動障害物検知モジュールによる複数人物のトラッキング

(3) 縦移動知能モジュール群の開発 操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

(ア) 自律と操作の融合モジュール

開発モジュール名称：

自律と操作の融合モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件

開発実施者：

京都大学

開発目的：

移動ロボットを移動させる手段として、オペレータによる「操作」とロボット自身による「自律」走行によるものが考えられる。本モジュール群では、操作と自律移動とを切り替えるモジュールの開発を行う。

成果：

遠隔操作指令と自律操作指令を切り替えるためのモジュール群を開発した。開発したモジュールはFig. 16に示すように、オペレータからの速度指令値と自律移動アルゴリズム等からの速度指令値を受け取り、オペレータからの指示のもと、出力を切り替えている。また、非常停止ボタンからの信号も受け取り、ソフトウェア非常停止機能も実装している。例えば、非常停止ボタンが押された場合には、オペレータからの速度指令値や自律移動アルゴリズムからの速度指令値に関わらず停止信号を出力するようになっている。また、同様に、非常停止ボタンの状態が取得できない場合にも停止信号を優先して出力するようになっている。

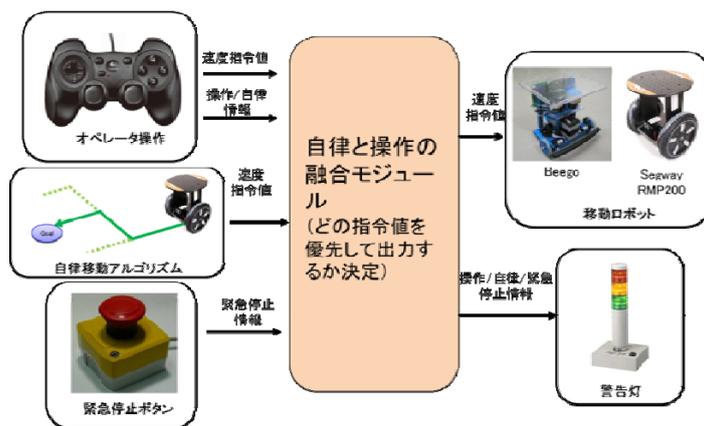


Fig. 16 自律と操作の融合モジュール

本知能モジュールの使用例を下図に示す。図中の「CommandSelector」が自律と操作の融合モジュールである。CommandSelectorは、本構成例ではGamePadによる操作指令値と自律走行機能モジュール(RVC2011)からの指令値を受け取り、オペレータが与えた切り替え信号に基づき、それらの出力切り替えを行う。また、非常停止管理デバイスモジュール「DeviceControl」と接続し、非常停止ボタンの情報の取得、警告灯を介した状態通知を行っている(詳細は別紙参照)。本構成例は後述の「速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール」の実験においても用いており、その際には操作・自律・(ソフトウェア)非常停止とをスムーズに切り替えることができ実験の効率・安全性の向上を図ることができた。

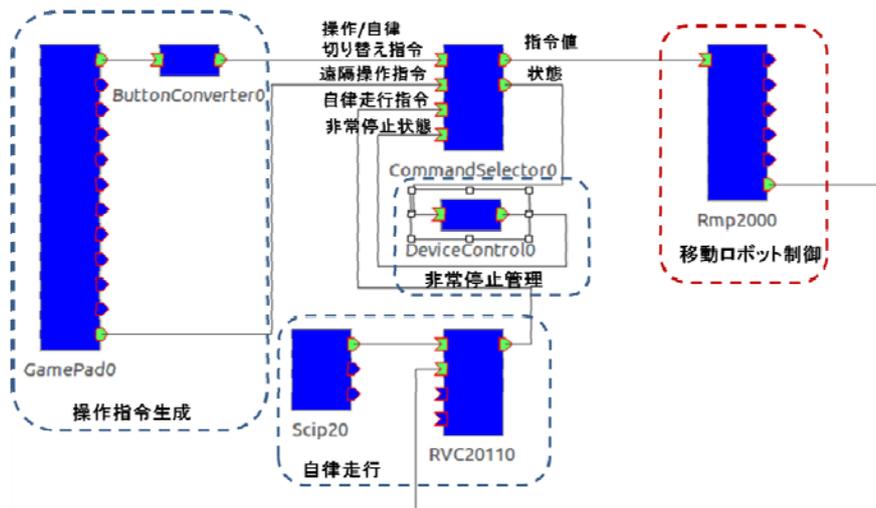


Fig. 17 融合モジュールを使用したモジュール構成の例

(イ) 複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール

開発モジュール名称：

複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合，修正 BSD ライセンスが適用，商用利用の際には，個別に使用条件
開発実施者：

京都大学・国際レスキューシステム研究機構（名古屋工業大学）

開発目的：

広範囲の利用者層に対して移動ロボットの使用を簡便にするため，操縦者が使用する携帯デバイスの使用を視野に入れて，操作インターフェースの開発を行う．開発したインターフェースは，ソフトウェアモジュールの形で提供する．

成果：

本開発プロジェクトでは，ゴルフ場やテーマパーク等での移動ロボットの利用を想定している．このような環境で移動ロボットを利用するには，利用者のいる場所に利用者が必要とする台数だけロボットを「配車」する必要がある．本成果のインターフェースは，複数台の移動ロボットを簡易に「配車」するためのインターフェースである．

本知能モジュールでは，地図上でスケッチを描くように複数台のロボットを簡単に操縦できる．複数台ロボットの LRF データを受け取り，それらを結合した地図を画面上に表示する．操作者は表示された地図上で線を描くことで，ロボット群のグループ化や目標軌跡の入力を行う．操作者の入力に基づいて各ロボットが目標軌跡に追従するような目標速度を出力する．グループ群は並列的に複数のグループに対して操作を行うことができる．

また，このインターフェースの検証には複数台のロボットが必要となるため，実機での検証が困難となる．そこで，インターフェースの検証用にシミュレータのモジュールも開発した．

これらのモジュールは単体でも動作するが，インターフェースモジュールとシミュレータモジュールと接続し，検証を行った．これらを接続する際の結線は Fig. 18 のように行う．

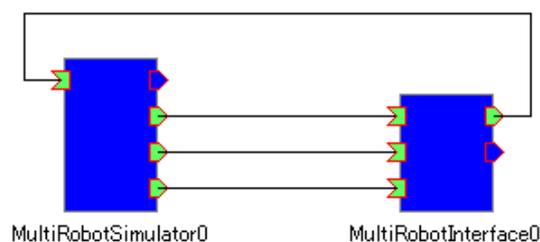


Fig. 18 インターフェースモジュールとシミュレータモジュールの結線図

【インターフェースモジュールの仕様】

インターフェースモジュールでは、地図上でスケッチを描くように複数台のロボットを簡単に操作できる。モジュールを起動し、適切に入出力ポートを接続したのちに activate すると、Fig. 19 (a)のような画面が表示される。赤い円がロボットを表し、青い点が障害物を表す。センサで検出している範囲が白く表示され、灰色のエリアは未検出エリアである。ロボットの右下に表示されている数字はロボットの現在の速度を表している。

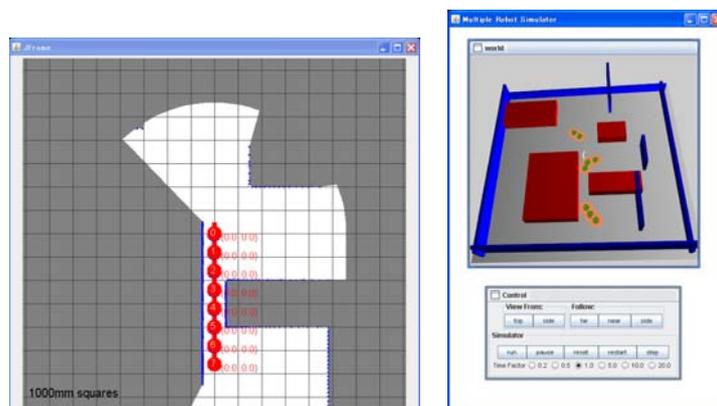


Fig. 19 (a)シミュレータモジュールのGUI画面(左)
(b)シミュレータモジュールのGUI画面(右)

【シミュレータモジュールの仕様】

シミュレータモジュールでは、ロボットの速度群を入力として、それに基づいて仮想環境内をロボットが移動する。出力ポートからはロボットの移動に基づき、シミュレータ内ロボットの位置情報、速度情報、仮想的にロボットに搭載したLRFデータが出力される。

シミュレータのスクリーンショットをFig. 19 (b)に示す。中央の緑の円柱がロボットを表し、赤が障害物、青が壁を表す。

【開発モジュールによる移動ロボットの操作方法】

ここでは、「複数台ロボットシミュレータモジュール」と接続した場合を例にとり、本インターフェースを用いる際のロボットの操作方法を説明する。

(1)モジュールの起動

モジュールを起動すると、Fig. 20のようにインターフェース画面(右上)とシミュレータ画面(左上)が表示される。

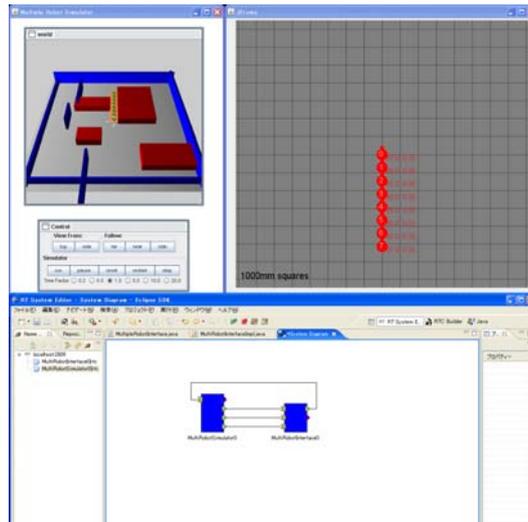


Fig. 20 モジュールの起動画面

(2) Activate

モジュールを Activate すると，入出力ポートからデータのやり取りが行われるため，インターフェース画面にロボット群から送られてくる L R F データに基づいた地図が表示される (Fig. 21(a)).

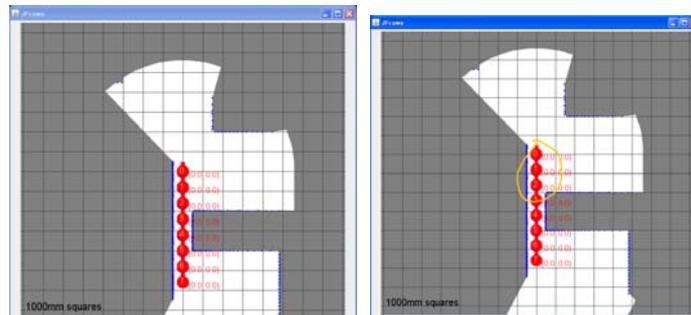


Fig. 21 (a) activate すると地図が表示される(左)
(b) 移動対象ロボットのグループ化(右)

(3) 移動対象ロボットの選択

インターフェース画面上でマウスのドラッグ操作で囲んだロボットが移動対象のロボットとなり，一つのグループとなります (Fig. 21 (b)).

(4) 目標軌跡の入力

グループの各ロボットの追従させたい軌跡 (オレンジライン) を地図上に描く. この際ラインの始点はグループの枠内からスタートする必要があるため中が必要 (Fig. 22 (a)).

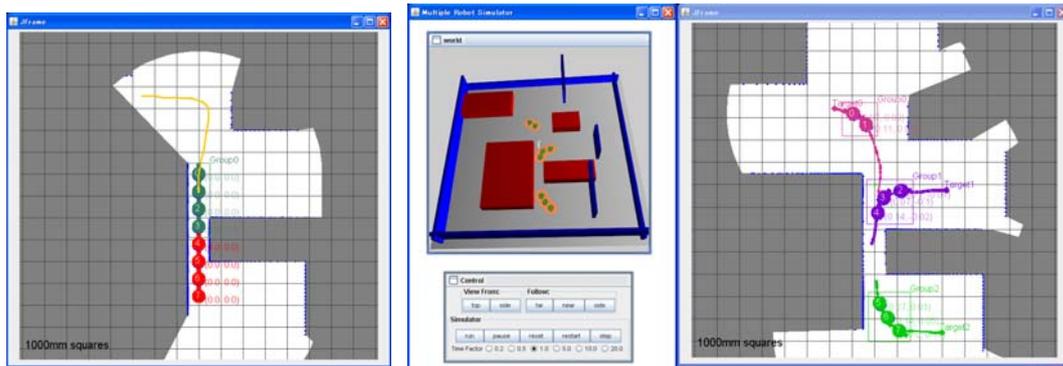


Fig. 22 (a)目標軌跡の入力(左)
(b) ロボットの移動(右)

(5)ロボットの移動

入力された軌跡に各ロボットが追従するための目標速度を出力ポートから出力する．計算の際には入力ポートから入力されるロボットの位置情報や速度情報を使用する．そのため，適切に入出力ポートが接続されていない場合，ロボットが目標軌跡に追従しないので注意が必要である．複数のグループ化・目標軌跡の入力も可能となっている (Fig. 22(b))．

【実験】

複数台の移動ロボットの操作における開発したインターフェースの操作性を検証するために実験を行った．複数の実ロボットを用いて検証するのは準備や機材調達が困難であるため，ここではシミュレータモジュールを使用した．ロボットの台数は8台である．シミュレータ内で用意した走行環境をFig. 23に示す．手前に並んでいる8つの円柱状の物体がロボットであり，青い壁によって廊下と部屋が構成されている．

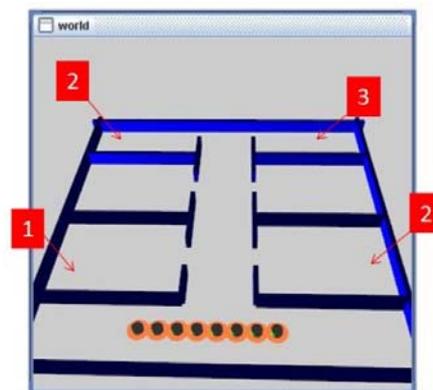


Fig. 23 操作性検証実験の走行環境

本実験では，Fig. 23のようにロボットが手前に並んでいる状態を初期状態とし，操作者は指定された台数のロボットを各部屋に配置する．操作者はシミュレータモジュールの画面を見ずに，インターフェースの画面のみを見て操作を行う．開発したインターフェースの有用性を検証するために比較手法として，以下の3手法を用いた．

- ・手法1「提案手法」：タッチペンを用いて，地図上で操作指令を入力する．ロボットアイコン

を囲むことによるグループ化機能を有する。

- ・手法2「グループ化なし地図上入力」：タッチペンを用いて、地図上で操作指令を入力する。ただし、ロボットアイコンを囲むことによるグループ化機能は有していない。
- ・手法3「一般的遠隔操作」：操作入力ゲームパッドによって行う。グループ化の機能は有さない。

被験者数は6名で、各手法について5分程度の練習をした後に、実験を行った。実験中は、初期状態からロボットが動き始めて各部屋に指定台数移動できるまでの走行時間と、操作者が操作入力を行った回数を記録した。また、走行終了後には5段階のアンケートを行い、操作に対する主観評価を行った。

走行回数と操作入力回数の結果を表ウ-1に、アンケートの結果を図ウ-10に示す。これらは全操作者の平均値を示している。Table. 2から、提案手法は走行時間、操作回数ともに低く抑えることができていることがわかる。手法1、2と手法3を比較する。従来手法（手法3）では、ロボットを同時に1台しか操作できないため時間がかかっている。一方、地図上で目標軌跡を入力し、各ロボットがその軌跡に追従するように同時に制御する（手法1、2）ことで、走行時間を大幅に減少させることができる。また、手法1と手法2を比較すると、手法2では1台1台のロボットに目標軌跡を入力する必要があった。一方、手法3ではグループ化の機能によって、同じ部屋に移動させるロボットは一度グループ化し、そのグループに一つの軌跡を入力するので、操作の煩雑さを回避できている。操作回数の違いはこれによるものだと考えられる。

Table. 2 走行時間と入力回数の平均

Method Number	1	2	3
run time [s]	103.7	98.8	144.2
input counts[times]	24	68	23

操作性に関するアンケート (Fig. 24) では、全体的な操作性、環境把握の容易さ、入力のしやすさ、ロボット選択のしやすさについて、質問を行った。操作者は5を最高点とする5段階で評価した。提案した手法が全体的な操作のしやすさ、ロボットの選択のしやすさにおいて優っている。一方、環境把握の容易さは従来手法が良かった。これは、手法1、2ではロボットが複数動いていたため、たくさんのロボットの周囲を確認するため、操作者に負荷が大きかったものと考えられる。この点はインターフェースとしての今後の課題である。あるいは、ロボットに障害物回避機能を搭載し、多くのロボットに注意を払わなくて済むようにするという解決策も考えられる。入力のしやすさに関するアンケート結果では従来手法が良い結果となった。これは今回の実験では従来手法でのロボット操作に慣れている人を被験者としたためである。このことから、提案手法は5分程度の練習をするだけで、従来手法とほぼ変わらない入力のしやすさを実現できていたことがわかる。したがって、提案するインターフェースは多くの人にとって操作が容易なものとなっている。

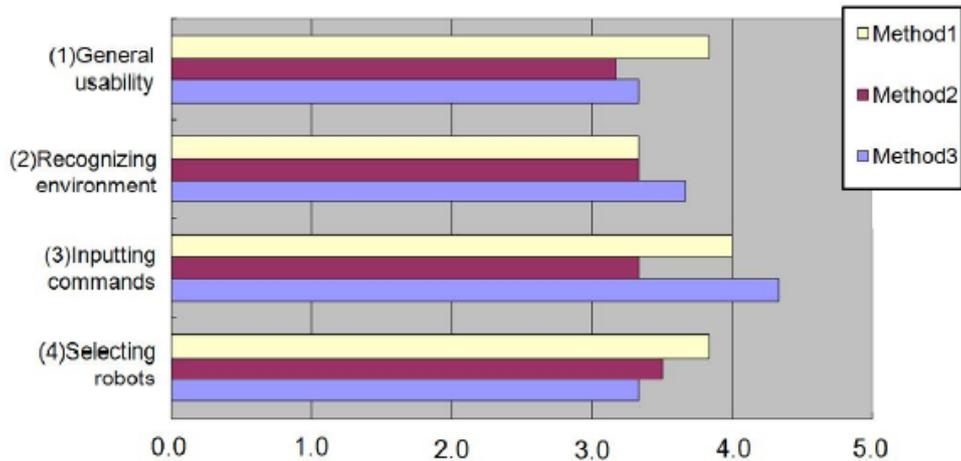


Fig. 24 アンケートの結果

(ウ) iPhone 通信モジュール

開発モジュール名称：

iPhone 通信モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件

開発実施者：

京都大学・国際レスキューシステム研究機構（名古屋工業大学）

開発目的：

広範囲の利用者層に対して移動ロボットの使用を簡便にするため、操縦者が使用する携帯デバイスの使用を視野に入れて、操作インターフェースの開発を行う。開発したインターフェースは、ソフトウェアモジュールの形で提供する。

成果：

本開発プロジェクトでは、Segway に代表される立ち乗り電動モビリティを警備用途、もしくはテーマパーク・ゴルフ場において利用することを想定し、自律移動機能、複数台での連係動作、操作インターフェースに関する研究開発を行っている。iPhone は、マルチタッチスクリーン、加速度センサ、GPS、カメラなどを搭載し、携帯電話の電波到達範囲であればいつでもインターネットに接続可能であるという特長を持つため、操作用のデバイスとして応用の幅が広いと考えられる。

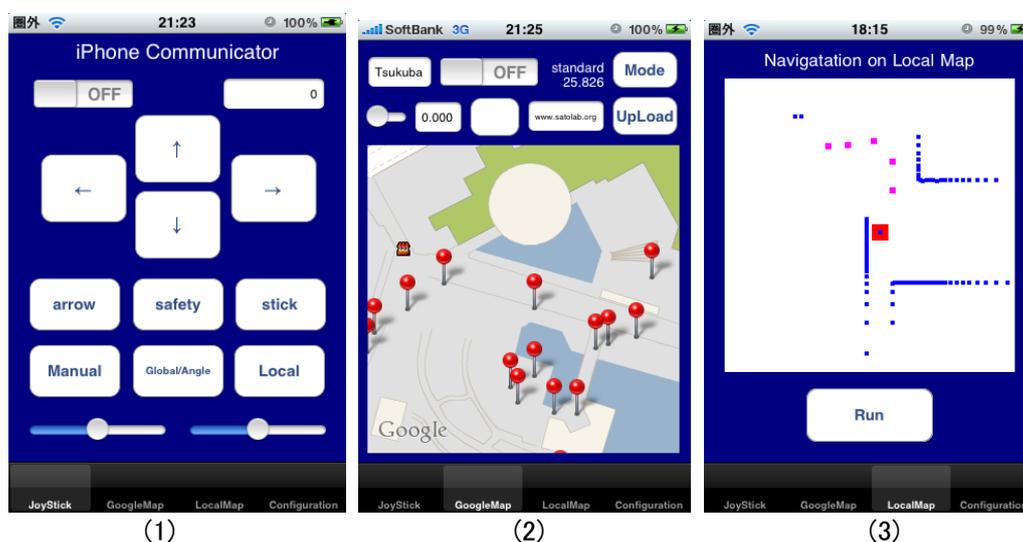
本開発プロジェクトでは、iPhone 上のアプリケーションと通信をし、操作者が iPhone 上で行った入力を RT システムに反映させると同時に、RT システムの状態を iPhone 上の GUI に提示することができるインターフェースを開発した。

開発したインターフェースの機能の一覧表を Fig. 25 に示す。Fig. 26 (1) は、リアルタイム操縦用の機能である。ここでは、ロボットの目視操作として十字キー操作、遠隔操作として LRF (Lazar Range Finder) の情報をもとにした地図上での操作が可能である。また、移動ロボットの事前経路計画を行うための機能として、比較的広範囲なものとは狭い範囲のものに分けて開発を行った。Fig. 26 (2) に示す広範囲なものとしては、「GoogleMap」と連携しあらかじめ決めておいた経由点を表示するとともに、速度制約領域と呼ばれる領域の入力を可能にした。Fig. 26 (3) に示す狭い範囲での走行についてはロボットから送られてくる LRF データを表示し、その地図上で目的地点と経

由点を入力することができる。さらに、地図を見ながらロボットに進ませたい方向に iPhone を傾けることでロボットを操作できる。iPhone 上の GUI 画面のスクリーンショットを Fig. 26 に示す。

リアルタイム操縦		事前経路計画	
(1) ロボットを目視	十字キー	(2) Global計画	GoogleMap+保存経路点
	操縦桿式操縦		速度制約領域を考慮した走行 (領域の入力)
(3) 遠隔操作	LRF地図+iPhone傾斜	Local計画	LRF地図+経路点入力

Fig. 25 開発したインターフェースの機能一覧



(1)

(2)

(3)

Fig. 26 iPhone 上の GUI のスクリーンショット。

(1)ロボットの目視操作時の画面。(2)Global 計画時の画面。(3)遠隔操作時の画面。

【システム構成】

本インターフェースを使用する際のシステム構成の一例を Fig. 27 に示す。ハードウェアとしては、iPhone、ロボット、ロボットに搭載された PC、ロボットに搭載された LRF、RTSystemEditor 用の PC (ロボット搭載 PC で行ってもよい) が必要である。ただし、ロボットやセンサなどハードウェアに依存する部分については、シミュレータで代用可能である。シミュレータを使用する際には 1 台の iPhone と 1 台の PC が最低必要となる。

本開発プロジェクトでは、iPhone の OS 上で直接動作する RT ミドルウェアは開発するのは困難であると考え、ここでは iPhone 上のアプリケーションと UDP で通信する智能モジュール(RTC)を開発した。iPhone と通信するモジュールが、入力ポートから受け取ったロボットの位置情報や LRF 情報を iPhone へ送信し、iPhone 上で行われた操作者の入力や iPhone に搭載されたセンサ情報はこのモジュールの出力ポートから出力される。

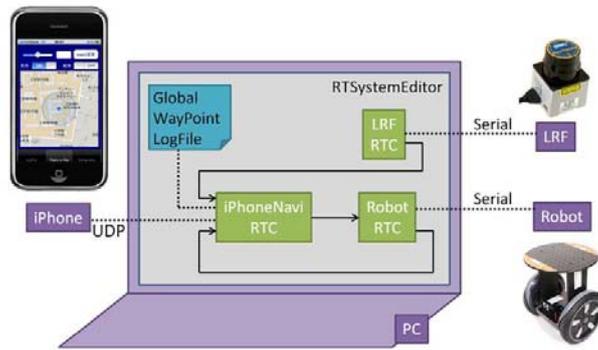


Fig. 27 iPhone 通信モジュール利用時のシステム構成図。
本図では「iPhoneNaviRTC」が iPhone 通信モジュールに相当する。

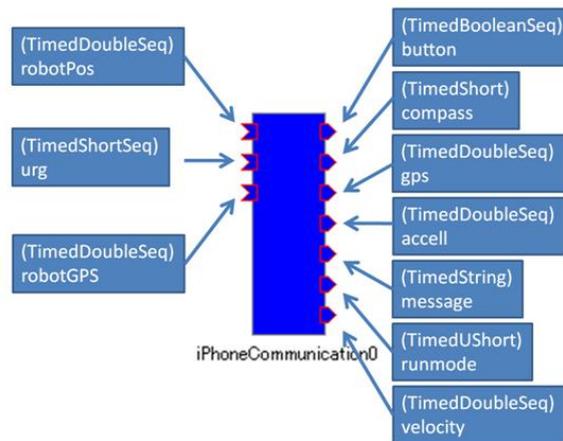


Fig. 28 モジュールの入出力ポート

【実機検証】

本モジュールを利用した実機検証をFig. 29に示す. 左列が十字キー操作, 右列が操縦桿式操縦の様子である. このように本モジュールにより iPhone を用いて倒立二輪型の移動ロボットを操作可能であることが分かる.

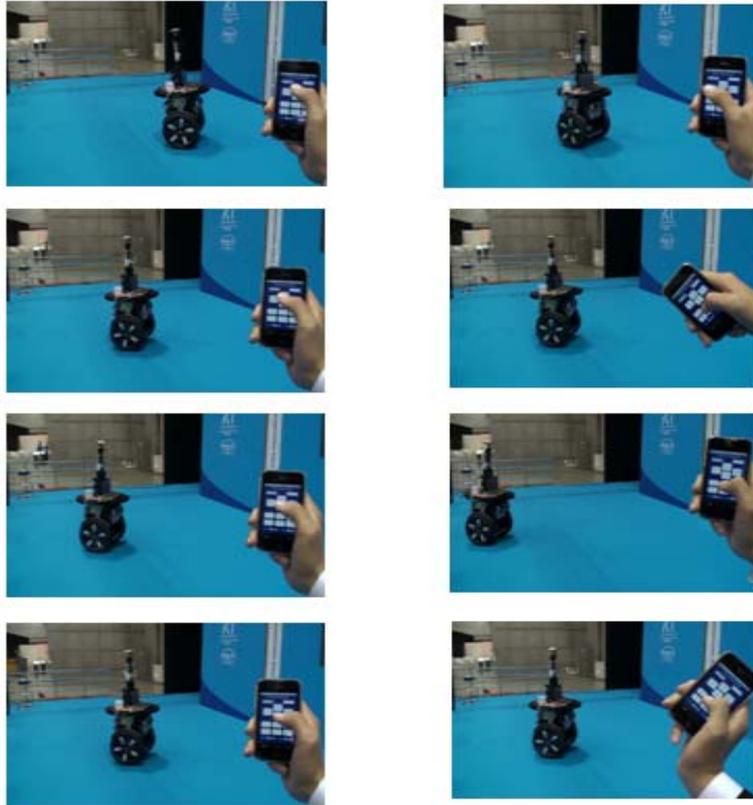


Fig. 29 (左) 十字キー操作による前後移動。
(右) 操縦桿式操縦による前後移動

(4) 自律移動知能モジュール群の開発 自律走行に関する知能モジュール群

開発モジュール名称

- ・自律移動モジュール群
 - 経路計画モジュール
 - マップマッチングドライブモジュール (経路追従コマンド生成)
 - マップマッチングドライブモジュール (経路追従)
- ・位置推定モジュール群
- ・速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者： 東北大学，京都大学

開発目的：

自律移動のための走行制御，高精度自己位置推定，リアルタイム経路計画等，自律走行に必要な機能を備えているモジュール群の開発を行う。

成果：

自律走行を実現するためのコンポーネント群と，位置推定を行うためのモジュール群を開発した。

自律移動モジュール群を設計する上で，再利用性の向上のため，必要粒度に分割することと，その構造をシンプルとすることを重視した。下図にその全体構成を示す。自律移動モジュール

群は、紫枠で示す部分であり、目標位置と現在位置を入力として、車体速度を出力する。また、緑枠はFig. 30で示した障害物回避モジュール群であり、自律移動モジュール群が出力した車体速度に対し回避経路を出力する。また青枠部は位置推定モジュール群であり、多様なセンサに対応できるように構成されている。特に位置推定モジュール群は、モジュール化や処理の分散による通信遅延、処理遅延等が存在する場合でも位置修正が可能なくみを実現している。

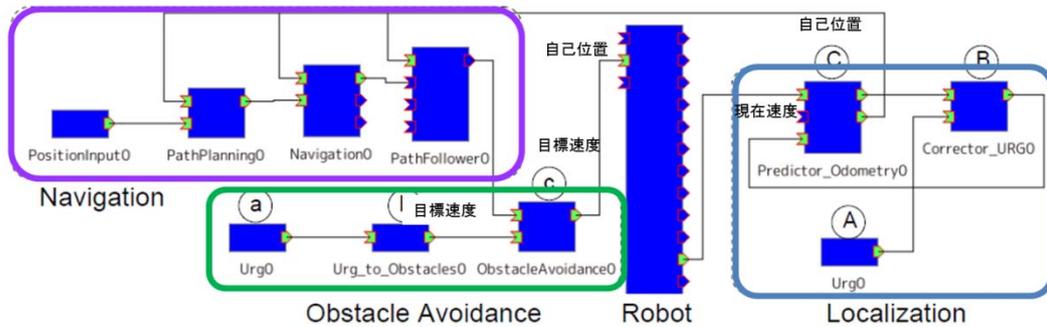


Fig. 30 自律移動モジュール群

開発した自律移動モジュール群は地図位置ベースのナビゲーションを実現するものであり、与えられた経路地図をもとに、現在位置と目的位置から最短経路を求め、推定した位置が経路に追従するように車体速度指令を出すことで、目的までの移動を実現する。無人搬送車等のように走行可能な場所・経路が定められている場合等を想定している。下記に自律移動モジュール群のそれぞれのモジュールの詳細を述べる。

・経路計画モジュール

経路地図を用いて Dijkstra 法により最短経路を探索し出力する。

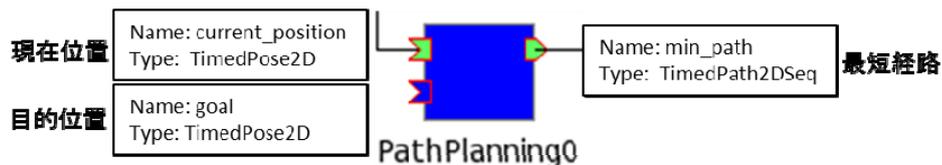


Fig. 31 経路計画モジュール

・マップマッチングドライブモジュール（経路追従コマンド生成）

経路計画モジュール等により得られた目標経路リストに対して、対向二輪型移動ロボットの行動を生成する。目標経路リストにおいて、直線区間については直線追従指令を生成し、経由点近傍に来た場合に、次の直線との角度に応じて、直線もしくはその場旋回指令を生成する。ステアリング方式等のロボットに対しては、その場旋回指令の出力を行わず、切り替える判定距離を大きく取ることによりある程度対応可能である。

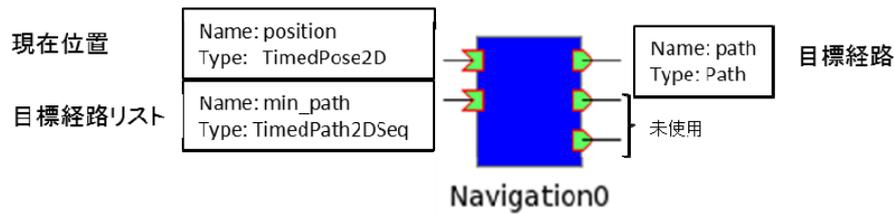


Fig. 32 マップマッチングドライブモジュール (経路追従コマンド生成)

・マップマッチングドライブモジュール (経路追従)

入力された目標経路情報と現在位置に応じて、目標車体速度を生成する。

経路情報としては、直線走行・その場旋回、円弧追従等が可能であり、目標経路への追従には、目標経路と現在位置姿勢の距離、角度及び角速度に比例した角速度を出力する。

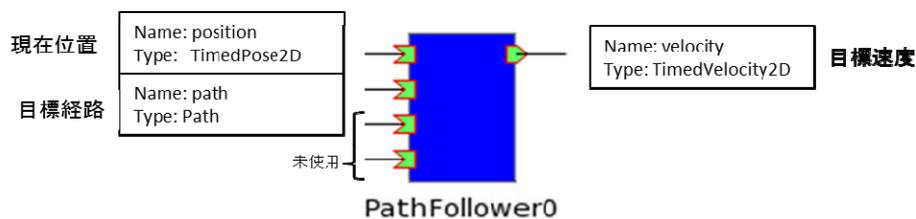


Fig. 33 マップマッチングドライブモジュール (経路追従)

・位置推定モジュール群

位置推定モジュール群はパーティクルフィルタを用いた位置推定を行うものであり、多種・複数の外界センサによる位置推定を、モジュールの交換により対応可能とするものである。位置推定モジュール群は下図に示すように位置予測コンポーネントと、位置修正コンポーネントからなり、外界センサに対応する位置修正コンポーネントを用意することで、位置修正に適用することが可能である。

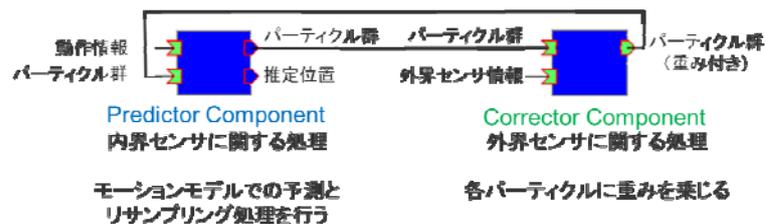
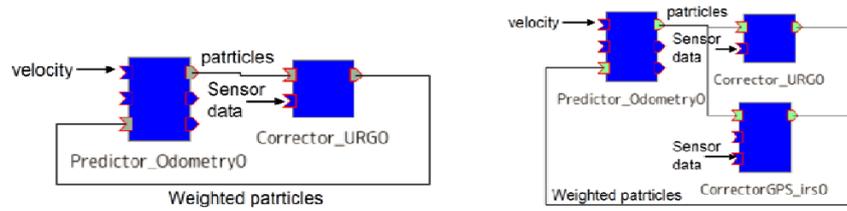


Fig. 34 位置推定モジュール群

下図に単一センサ及び複数センサによる位置推定を行う場合の構成を示す。複数センサにて位置推定を行う場合には下図(b)のように並列に位置修正コンポーネントを接続することにより実現可能である。



(a) 位置推定モジュール群(単一センサ) (b) 位置推定モジュール群(複数センサ)

Fig. 35 単一及び複数センサによる位置推定を行う場合の構成

複数センサを用いて位置修正を行うためには、計算に要する時間を考慮しなければならない。すなわち、位置修正の計算に時間がかかることで過去の位置に対しての修正情報となってしまうことと、処理時間の異なるセンサがある場合、順番が逆転してしまう可能性がある。これら問題に対し、我々は過去に遡り位置を修正する、遡及的位置推定機能をパーティクルフィルタにおいても可能であることを導き、これを位置予測モジュールに組み込む事により解決した。また、OpenRTM1.0 から正式サポートされた、一つのポートからの複数ポートへの出力、及び複数ポートからの一つのポートへの入力機能を利用することにより、一つの位置予測モジュールからパーティクルを出力し、複数の位置修正モジュールにより重み付けを行い、位置予測モジュールに返す事により位置修正を実現する枠組みを実現した。

拡張カルマンフィルタによる遡及的位置推定の枠組みは前山らにより提案されているが、パーティクルフィルタによる遡及的位置推定の枠組みについては知るところにはない。そこで我々はパーティクルフィルタによる位置推定でも遡及的位置推定が可能であることを検討した。その結果、パーティクルフィルタにおいてはリサンプリング処理を行わなければ、遡及処理そのものが不要無きこと、及びリサンプリング処理を行った場合でも、各パーティクルがどのようにリサンプリングされたかを記録しておくことにより対応可能であることを示した。また、リサンプリング処理は高頻度に行う必要はなく、数秒前の情報が与えられた場合でも現実的な時間及び記憶量で遡及処理が実現可能であることを示した。[Robomec2010, ロボット学会誌]

複数センサにて位置推定を行った場合のシミュレーション実験の結果について述べる。実験には下図に示すように、一つの位置予測モジュールに対して、3つの異なる軸に対しての修正、異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを接続した。また実験において円形の経路を走行するとし、これに誤差を加えた速度情報を位置予測モジュールに、誤差を加えた位置情報を位置修正モジュールに出力し、これをセンサ情報とする。

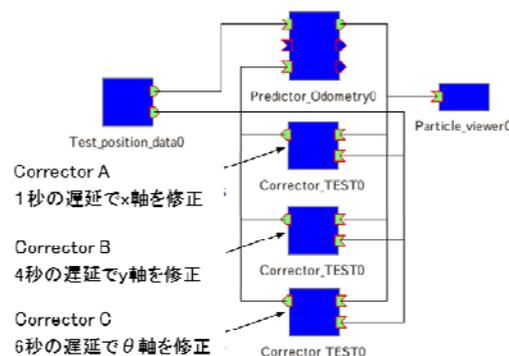


Fig. 36 異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを用いた複数センサによる位置修正シミュレーション実験

下図にシミュレーションの結果を示す。下図左部赤線に位置推定モジュール群により得られた推定位置を、緑線にシミュレーション上の真値を示す。また下図左部に推定位置のパーティクルの標準偏差と通信タイミングを示す。下図において、修正情報の反映に最大6秒の遅延がありながら推定位置が真値近傍に沿っており、正しく位置修正が行われていることがわかる。また右図から、AB部に着目すると入力された順番と出力された順番が異なり、センサによる修正の順番が入れ替わっている。これにより本モジュール群はモジュール化により起こりうる時間遅れやそれによる順番の入れ替わり等に対応可能であることが示されている。

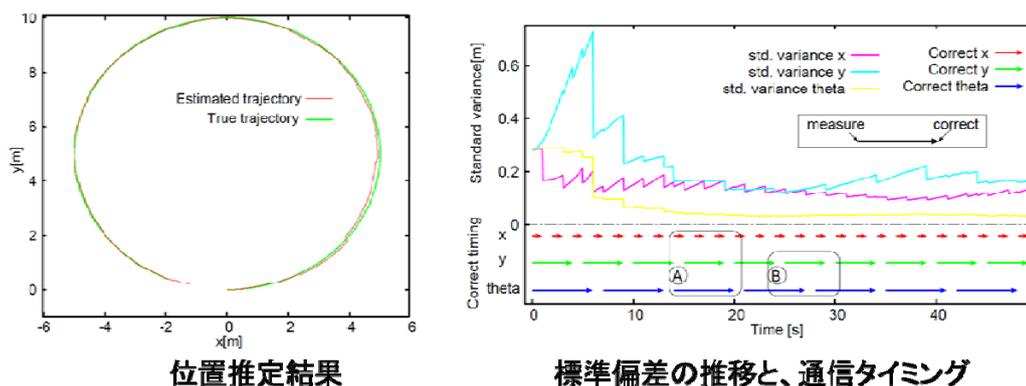


Fig. 37 異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを用いた複数センサによる位置修正シミュレーション実験

・自由空間観測モデルによる位置修正モジュール

位置修正モジュールとして、測域センサを用いた位置修正モジュールを開発した。位置修正のための観測モデルとして、自由空間観測モデルを提案した。これは、レーザは障害物を貫通しないという仮定のもと、パーティクル位置から計測されたレーザをマッピングした際に既知障害物を貫通する場合、そのパーティクルの重みを下げるものであり、未知障害物に対して非常に強い。

実験の構成を下図に示す。実験環境は廊下片道約 25m であり、実験ではこれを 3 往復（計 150m）走行する経路を自律走行させた。

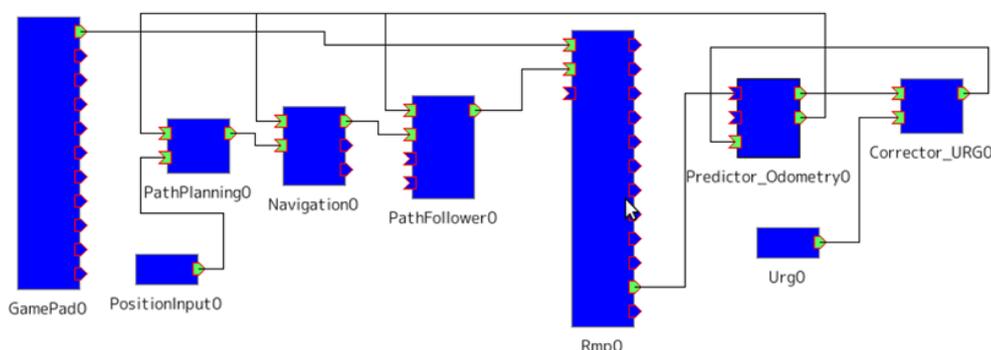


Fig. 38 位置修正モジュールを用いた自律移動実験のモジュール構成

実験結果をFig. 39に示す。図中緑線が修正しない場合のオドメトリであり、赤線が位置修正モジュール群により得られた推定位置である。また図中青線は位置修正に用いた既知障害物である。

実験においては通行人等地図に記載されていない未知障害物が存在するが、破綻することなく位置修正が実現でき、 Fig. 40のように自律走行が実現された。

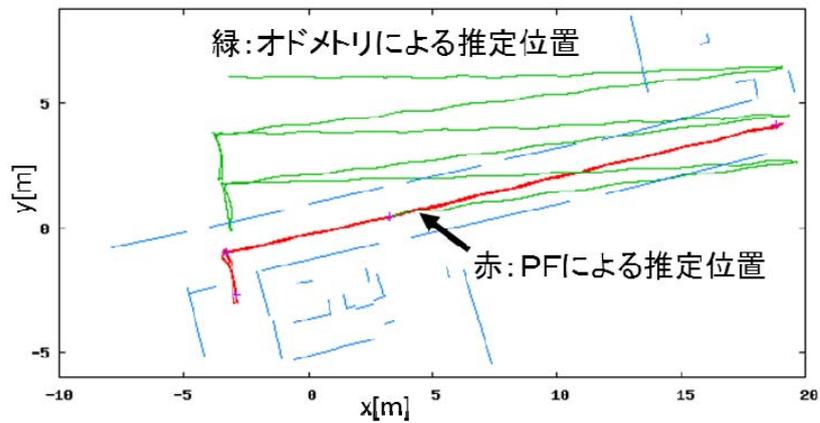


Fig. 39 自律移動実験により得られた推定位置



Fig. 40 自律走行の様子

・速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール

本知能モジュールは、障害物をリアルタイムに回避しながら自律移動ロボットを目標位置に移動させるための軌道計画を行うものである。本知能モジュールは、特に“速度制約領域”に着目した軌道計画法を提案・実装したものである。

速度制約領域とは、ロボットが移動するには危険な領域(例えば、Fig. 41の起伏の激しい領域、人の交通量の多い領域など)に対して設定される領域であり、その領域に応じた速度制約が設けられる。この速度制約情報は事前に地図情報として移動ロボットに与えられる。移動ロボットは設定された速度制約に従い軌道を計画し自律走行する。したがって、移動ロボットは危険領域では、速度を落として走行するため、より安全性の高い自律走行を実現できるものと期待されるものである。

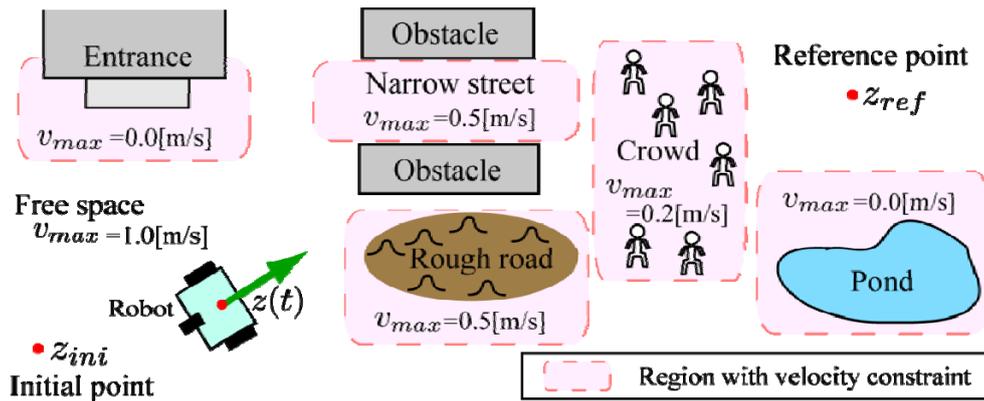


Fig. 41 速度制約領域を考慮した軌道計画の概念

提案した軌道計画法は、経路計画手法である Navigation Function と軌道計画手法である Global Dynamic Window Approach に基づく手法で、それらを速度制約領域が考慮できるように拡張を行ったものである。また、オンラインで軌道の再計画が可能ないようにアルゴリズムを拡張し、移動ロボットに搭載した LRF などのセンサから取得した障害物情報に基づき、未知障害物も回避できるようにした。

本知能モジュールを用いた構成例を Fig. 42 に示す。下記の構成では、「操作と自律の融合モジュール」により、操作指令と自律走行の指令値を切り替え、移動ロボットに出力するように設定している。本知能モジュールは「RVC2011」であり、移動ロボットの搭載した LRF から障害物情報を取得し、また移動ロボットから現在位置情報（本構成ではオドメトリ）を取得し、それらに基づき自律走行するための速度指令値を生成・出力している。

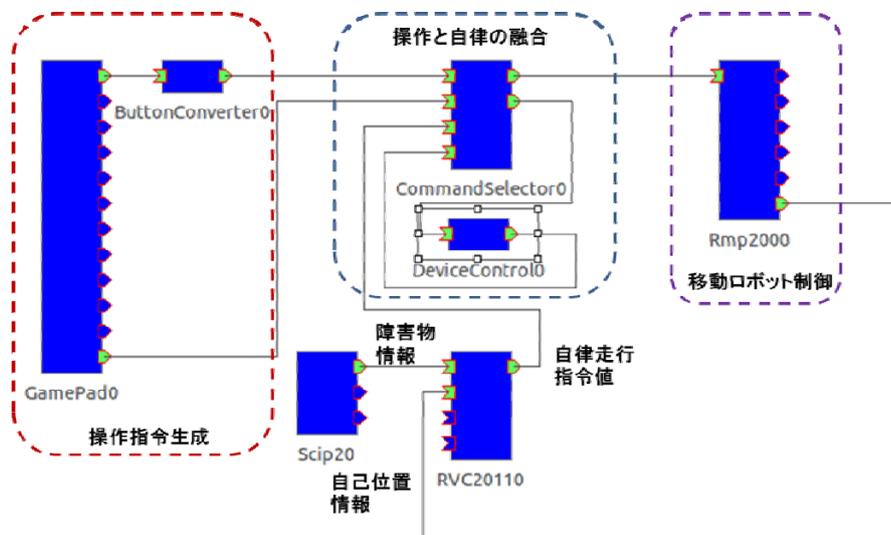


Fig. 42 速度制約領域を考慮した軌道計画モジュールを用いた構成例

本知能モジュールを用いて行った実験結果を Fig. 43 に示す。実験は Fig. 43 (a) のように Start 地点から Goal 地点まで約 240m の一般の遊歩道にて行った。移動ロボットの最大速度は、走行環境に応じてあらかじめ設定した。本実験の場合、Fig. 43 (b) のように領域での許容最大速度を最大速度の 50%、75%、50% に制約した 3 つの領域を設定している。これらの領域は人通りの多い領域や交差点などであり、移動ロボットの最大速度が抑えられるようにあらかじめ設定し

た. 本実験では, Start 地点から Goal 地点まで, 環境中に存在した未知障害物を含むすべての障害物等と衝突を起こすことなく, 到達することができた.

この時の移動ロボットの並進速度を示したグラフがFig. 43 (c)である. このグラフより, 設定された速度制約も満たしていることが確認できる. このように, 本知能モジュールを用いることで, 設定された速度制約を満たし, かつ障害物を回避しながら目標位置までの自律移動を実現できた.

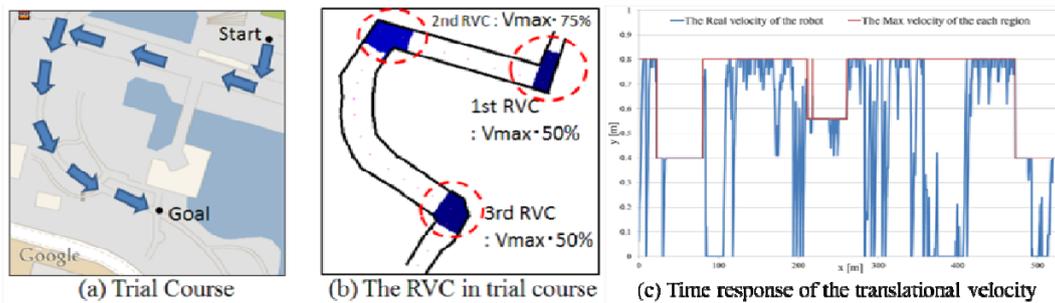
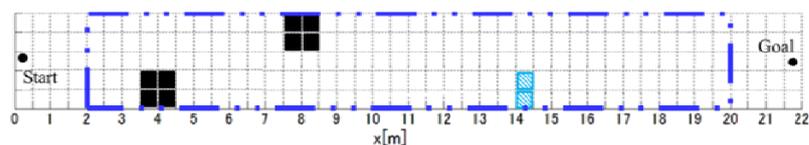
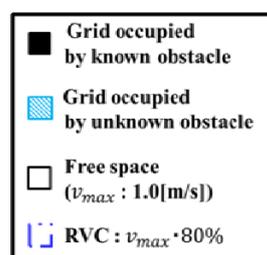


Fig. 43 速度制約領域を考慮した軌道計画モジュールを用いた実験結果

しかしながら, この実験から, 提案して軌道計画手法では速度制約領域の近傍で不必要に速度を低減化した軌道を生成してしまうという問題点も明らかとなった. すなわち, 速度制約領域を設定した環境では, 速度制約を満たすものの, とても遅い軌道が生成されてしまうということである. そこで, 生成される軌道の最適性向上を図るべく, 軌道計画法の改良も行った. その効果を, 比較実験により示す. 実験を行った環境を示した図がFig. 44である. この図に示すように, Start 地点から Goal 地点までの間に複数の既知の障害物と未知の障害物が配置されており, 点線で囲まれた領域が速度制約領域として設定されている. この環境下において, 軌道計画法の改良を行う前のものを行った後の2つについて実験を行い, その結果を比較した.



(a) 走行環境を表すグリッド地図

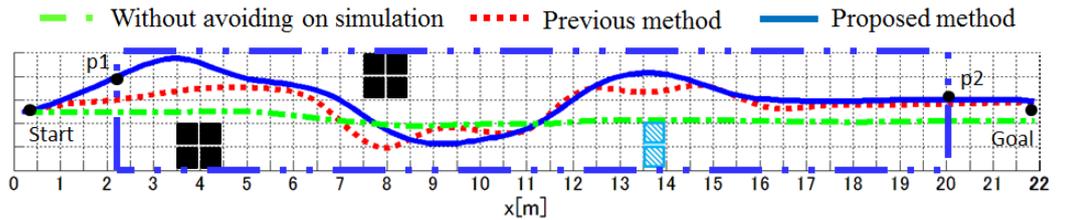


(b) 走行環境

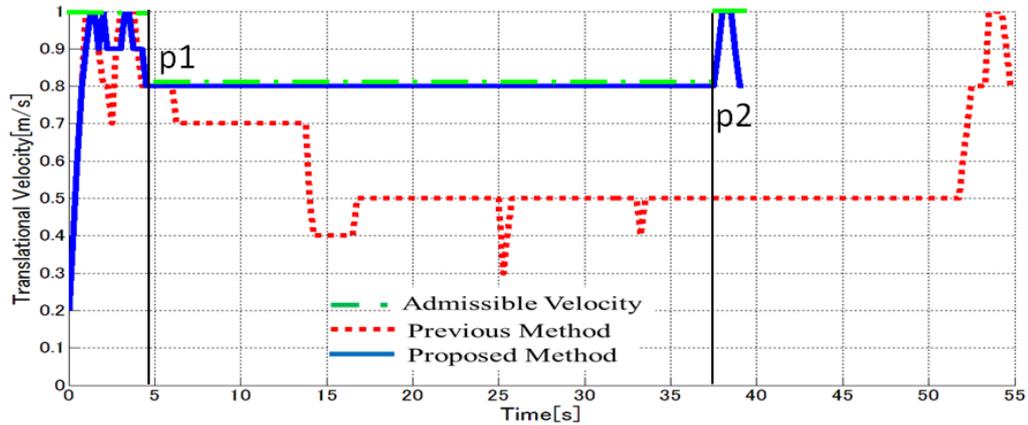
Fig. 44 比較実験の実験環境の設定

比較実験結果を示したものがFig. 45である. Fig. 45 (a)は改良前後の手法それぞれを用いて行った実験での移動ロボットの軌跡を表している. 軌道計画手法の改良に関わらず, 障害物を回避しながら目標位置まで移動できていることが確認できる. 一方, その際の並進速度の時間応答の結

果を示した図Fig. 45 (b)をみると、改良の前後で大きな差が生じていることが確認できる。改良を行う前の手法を用いた場合、不必要に並進速度が抑えられてしまい、Goalに到達するまでに時間がかかってしまっていることが分かる。実際、速度制約領域内では0.8[m/sec]まで速度を出せるにも関わらず、0.5~0.7[m/sec]程度と不必要に減速してしまっていることが確認できる。一方、改良を行った後の軌道計画法を用いた場合には、速度制約領域においても速度制約の0.8[m/sec]まで出せており、ゴールに到達する時間も15[sec]程度短縮できていることが確認できる。このように、速度制約領域を考慮した軌道計画法の性能の向上も実現できた。



(a)移動ロボットの走行軌跡



(b)並進速度の時間応答

Fig. 45 比較実験の結果

(5)自律移動知能モジュール群の開発 自律帰還に関する知能モジュール

(ア) 位置推定機能モジュール

開発モジュール名称：位置推定機能モジュール群

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者： 国際レスキューシステム研究機構

開発目的：

GPS からデータを受け取り、現在位置などを算出するモジュール。座標変換により世界測地系、平面直角座標系、ロボット座標系に変換し、自己位置推定などに使用可能。

成果：

システム構成図とシステム概要をFig. 46とFig. 47に示す。位置情報は株式会社トプコン製 LEGACY-E+のドライバモジュールを作成し、このドライバモジュールより GPS 情報を取得し出力する GPS デバイスモジュール、GPS からの生データを処理する情報処理モジュール、座標変換をおこなう座標変換モジュールから構成されている。

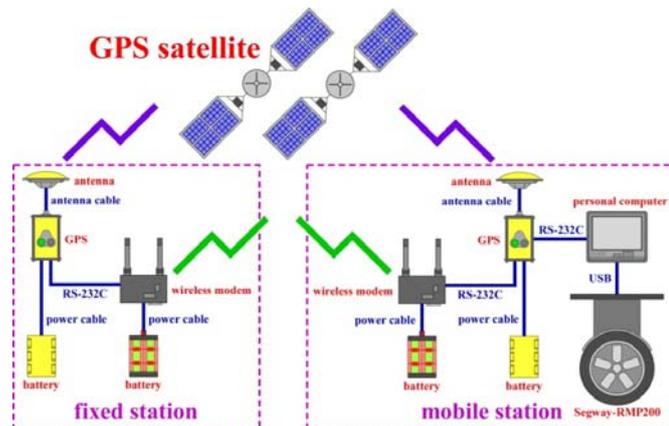
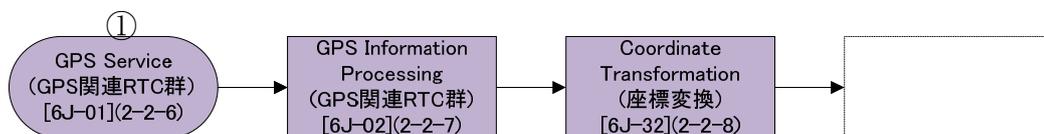


Fig. 46 システム概要図



(A) コネクタ情報

NO	データタイプ	説明
(1)	TimedLegacyData	GPS が受信した生メッセージ
(2)	TimedJpd2000Position	GPS の位置データ(世界測地系)
	TimedGpsData	GPS の情報データ
(3)	TimedJpd2000Position	GPS の位置データ(世界測地系)
	Timed19Position	GPS の位置データ(平面直角座標系)
	TimedRobotPosition	GPS の位置データ(ロボット座標系)

(B) モジュール一覧

NO	名称	種別	備考
①	GPS デバイスモジュール	RTC	
②	GPS 情報処理モジュール	RTC	
③	座標変換モジュール	RTC	

Fig. 47 システム構成

(イ) 地図管理機能モジュール

開発モジュール名称：地図管理機能モジュール群

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者：国際レスキューシステム研究機構

開発目的：

モビリティロボットが自律走行時などにおいて利用する地図情報を管理・配信するモジュール。地図情報管理には、ラスターデータとベクターデータの2つが使用可能で、ラスターデータについては、bitmapを用いることで管理および編集が容易になる知能モジュールである。

成果：

システム構成図とシステム概要をFig. 48とFig. 49に示すし。位置情報は株式会社トプコン製 LEGACY-E+のドライバモジュールを作成し、このドライバモジュールより GPS 情報を取得し出

力する.

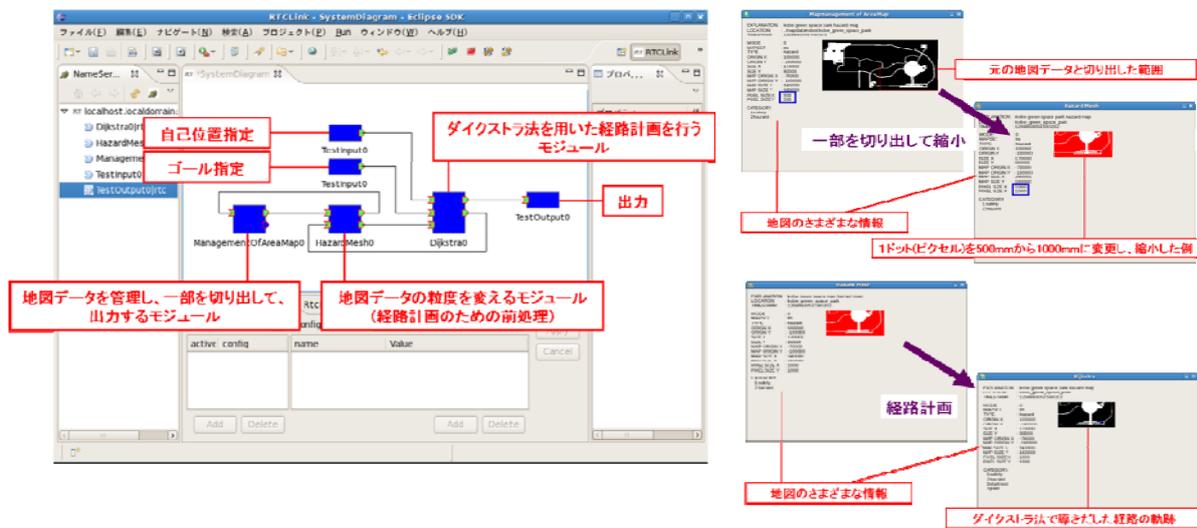
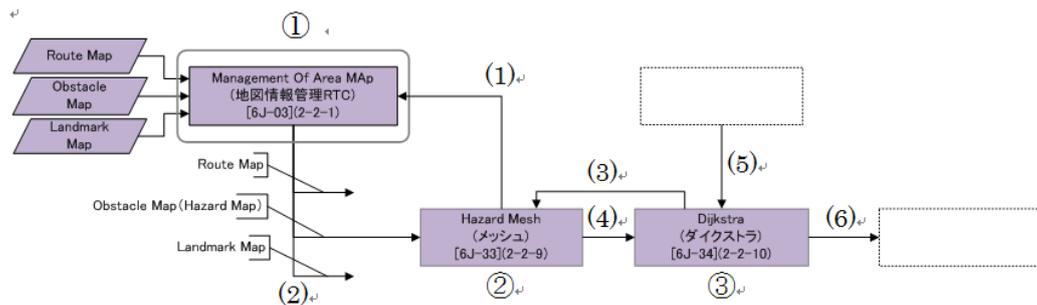


Fig. 48 地図管理機能モジュール概要図



(A) コネクタ情報

N O	データタイプ	説明
(1)	TimedMapOrder	地図情報要求(生データ)
(2)	TimedMapData	地図情報データ(ラスターデータ)
	TimedArcNode	地図情報データ(ベクターデータ)
	TimedLandmark	地図情報データ(ランドマーク)
(3)	TimedMeshOrder	地図情報要求(メッシュデータ)
(4)	TimedMapData	地図情報データ(メッシュデータ)
(5)	TimedRobotPosition	スタート位置(ロボット自己位置)
	TimedRobotPosition	ゴール位置
(6)	TimedPath	経路データ

(B) モジュール一覧

N O	名称	種別	備考
①	地図情報管理モジュール	RTC	
②	メッシュモジュール	RTC	
③	ダイクストラモジュール	RTC	

Fig. 49 地図管理機能モジュール構成

(6)自律移動知能モジュール群の開発 協調走行に関する知能モジュール群

(ア) フォーメーション走行用モジュール群の開発

開発モジュール名称： フォーメーション走行用モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合，修正 BSD ライセンスが適用，商用利用の際には，個別に使用条件

開発実施者： 京都大学

開発目的：

複数台の移動ロボットを協調走行(フォーメーション走行)させるためモジュール群の開発を行う。

成果：

複数の移動ロボットを協調走行(フォーメーション走行)させるためモジュール群の開発を行った。本モジュール群では，移動ロボット群を協調走行させるため，Leader-Follower 型のアルゴリズムに基づく制御系を実装した。Leader-Follower 型の制御系とは移動ロボット群のうち 1 台を Leader，残りを Follower と区別し，Follower を Leader に対して一定の相対位置関係で追従させることでフォーメーション走行を実現するものである。Leader は外部からの指令(例えば，遠隔操作指令あるいは自律走行モジュールからの指令)に基づき走行を行う。したがって，本モジュール群を用いると Leader のみを遠隔操作あるいは自律走行させることで，その他の Follower ロボットは一定の位置関係で追従してくるため，移動ロボット群の移動の省力化・衝突危険性の低減化を図ることが期待される。

Fig. 50は3台の移動ロボットを用いた例を示している。先頭の1台が Leader ロボットであり，後方の2台のロボットが Follower ロボットであり，3 角形の形状を形成するような相対位置関係でそれぞれが Leader ロボットへの追従を行っている。本モジュール群は，このような Follower が Leader に対して一定の相対位置関係で走行する際の速度指令値を生成している。

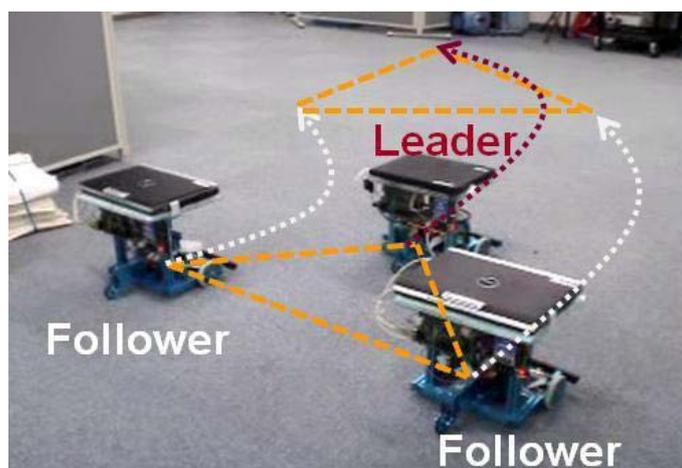


Fig. 50 移動ロボット群による協調(フォーメーション)走行例(3台の場合)

Fig. 51はFig. 50の3台の移動ロボットをフォーメーション走行させるためのモジュール構成を示している。

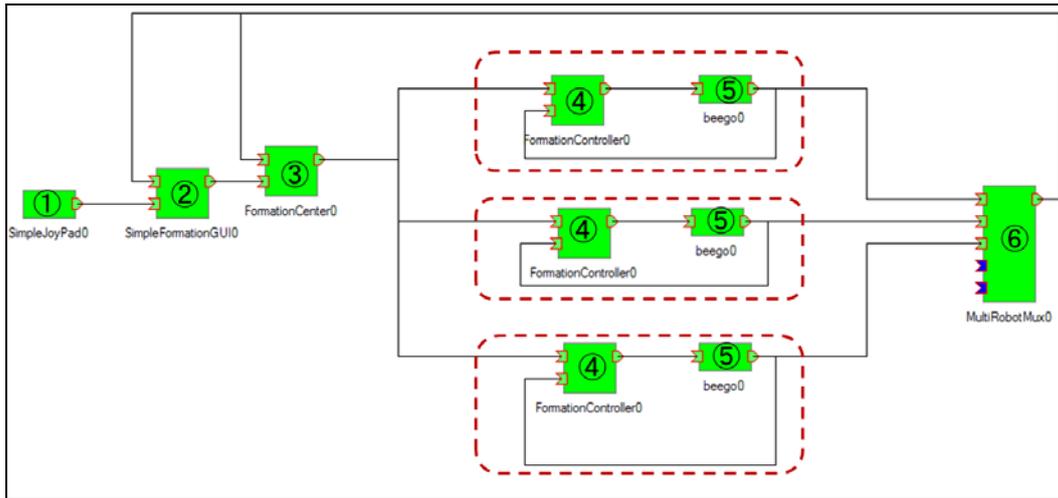


Fig. 51 フォーメーション走行用モジュール構成

Fig. 51に示すように、フォーメーション走行モジュール群には以下の5つの智能モジュール、①SimpleJoyPad、②SimpleFormationGUI、③FormationCenter、④FormationController、⑤移動ロボット制御用モジュール(本例では beego)、⑥MultiRobotMux が含まれる。①の SimpleJoyPad は Leader を遠隔操縦させるための速度指令値を生成するためのモジュールである。②の SimpleFormationGUI は後述の GUI 画面によりフォーメーション走行させたい移動ロボットの設定を行うものである。⑤は移動ロボット制御用のモジュールであり、本モジュールを置き換えることで他移動ロボットへの適用も図ることができる。⑥は移動ロボットの位置データを集約するためのモジュールである。集約された移動ロボットの位置データが、フォーメーションの設定や制御に使用される。③、④がフォーメーションの設定や制御入力を生成するためのモジュールであるあり、本モジュール群で中心私的な役割を果たすものである。その概略を以下に示す。その他のモジュールについては別紙を参照されたい。なお、移動ロボットの台数の増減は赤線部分に含まれる④FormationController と⑤移動制御用モジュールの計 2 モジュールをロボットの台数に応じて増減させるのみで対応が可能であり、最大 5 台の移動体まで対応している。

・ FormationCenter モジュール

Fig. 51中、③の FormationCenter モジュールでは移動ロボット群の位置情報とフォーメーションのグループ情報に基づき、各移動ロボットの目標位置を決定・出力する。フォーメーションのグループ情報とは、フォーメーションを組ませたい移動ロボットのグルーピング情報、Leader・Follower の設定、目標とする形状情報が含まれたものである。

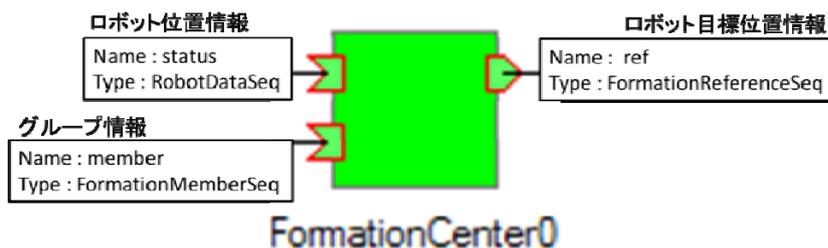


Fig. 52 FormationCenter モジュール

フォーメーションのグループ情報はFig. 53に示す GUI (②SimpleFormationGUI) 上で設定することができる。本モジュール群には、複数のグループの設定とグループの設定を行う簡易 GUI モジュールも含まれており、グループの数、グループに含まれる移動ロボット、Leader ロボット・Follower ロボットの設定、目標とする形状設定などができる。

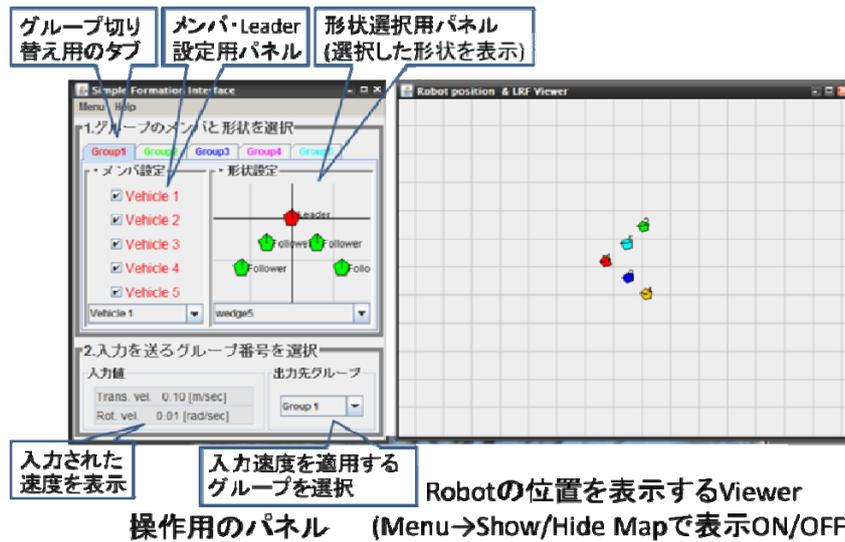


Fig. 53 フォーメーション設定の GUI 画面 (②SimpleFormationGUI モジュール)

・ FormationController モジュール

Fig. 51中, ④FormationController モジュールでは、与えられた目標相対位置関係で Leader ロボットに追従するための速度指令値を生成する。目標位置情報は前述の FormationCenter モジュールを用いることで生成でき、出力を移動ロボット制御用のモジュールに接続することで、Leader ロボットへの追従を実現することができる。

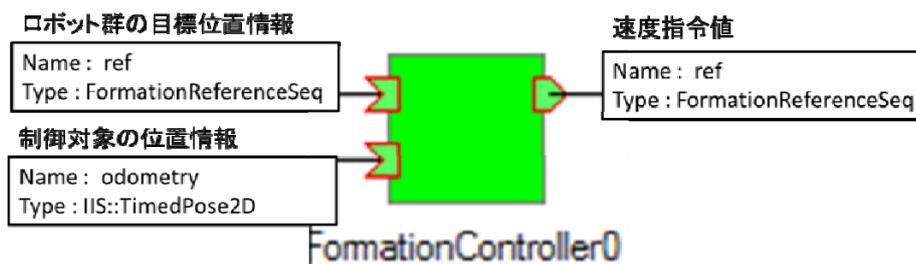


Fig. 54 FormationController モジュール

Fig. 55は、2 台の移動ロボットを用いてフォーメーション走行モジュール群の検証を行った実験の様子を示したものである。この実験ではFig. 50とは異なる移動ロボットに本モジュール群を適用している。このように、本モジュールは、移動ロボット制御用のモジュールを入れ替えることによって、他移動ロボットに対しても容易に適用が可能になっている。



Fig. 55 フォーマーション走行モジュール群を用いた実験例

(イ) 人追従機能 RTC モジュール群の開発

開発モジュール名称：人追従機能 RTC モジュール群

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件
開発実施者：セグウェイジャパン株式会社

開発目的：

モビリティロボットと使用者間で、ロボットと人が 1 対 1 で追尾可能な協調行動が可能な
人追従機能モジュールの開発を行う。

成果：

人追従機能 RTC は、レーザーレンジセンサと USB カメラ、台車モジュールなどから構成
されており、台車モジュールは、研究用移動台車「Blackship」と「SegwayRMP シリーズ」とい
う異なる台車に対して、共通インターフェースを用いて共通化を行い、動作の異なる台車に対
して相互利用ができることを示した。

完成した人追従機能モジュールはセグウェイジャパン株式会社より販売している、移動ロボ
ット向け環境シミュレータ「.env」（ドットエンヴ）や、研究用移動台車「Blackship」と
「SegwayRMP シリーズ」に対して、オープンソースの形で無償添付し、さらに .env については、
セグウェイジャパンの Web ページより無償体験版に添付する形で公開を行っており、ロボットの
研究開発を簡便に実施することができる環境を整えた上で配布を実施した。 Fig. 56 に人追従機
能 RTC のイメージ図と構成図を示す。

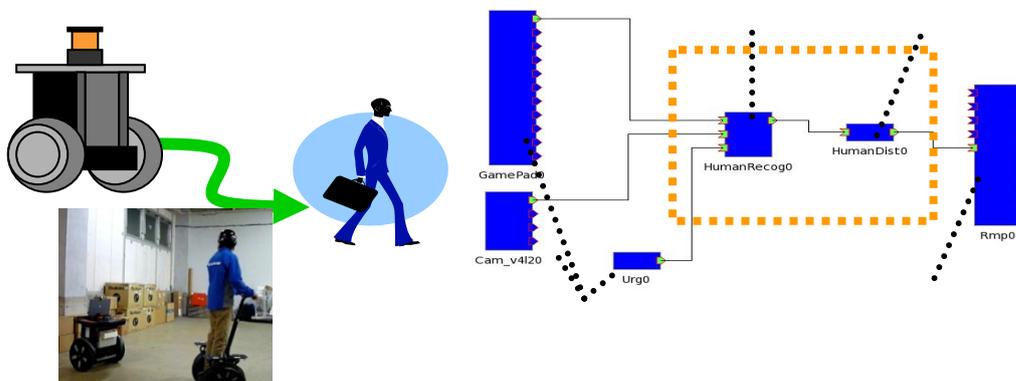


Fig. 56 人追従機能 RTC モジュール群のイメージ図(左)
人追従機能 RTC モジュール群の構成図(右)

(7) 統合実験

(ア) 先行・実証デモンストレーション

RTミドルウェアの普及促進を加速する目的に、平成20年度に開発中のモジュールを主に知能化PJ従事者向けに実施された「先行・実証デモンストレーション(以下、先行デモ)」(平成21年1月実施)にて、モジュールの公開と実機や動画によるデモンストレーションを実施した(Fig. 57)。

ここでは、屋内デモンストレーションが可能な「人追従機能モジュール群」「フォーメーションモジュール群」などの開発中の知能モジュールを、実機を用いてデモンストレーションを実施し、屋外でのデモンストレーションが必要な機能については、動画で紹介を実施した。また、RTミドルウェア対応組込みプラットフォーム群組込モジュールの、実機展示とデモンストレーションを実施した。

この時点までは、機能ごと個別に開発を実施していたが、先行デモにおいてそれぞれの機能のプロトタイプが動作していることを、実機を用いてデモンストレーションを行うことが出来たため、これ以降は機能を統合する開発フェーズに移行した。



Fig. 57 先行デモンストレーションにおけるデモ風景
「人追従機能モジュール群」の動作風景(左)
「フォーメーションモジュール群」の動作風景(右)

(イ) 長期間実証実験

実施目的：

2007年から2011年まで、茨城県つくば市内の公共空間で、ロボットを自律走行させる実証実験「Real World Robot Challenge」(通称：つくばチャレンジ、主催：財団法人ニューテクノロジー財団)が実施された。つくばチャレンジは、ロボットがヒトと共存している環境で、ヒトと親和性を保ちつつ安全に動作するための技術を追求することを目的とし、本研究開発の目的と合致するため、つくばチャレンジに参加することで開発したモジュールの屋外環境での長期間の検証実験を実施した。

つくばチャレンジでは約1～1.5 kmのコースを自律移動ロボットが自律移動することが目的であり、自律移動のために環境に手を加える等を行わない、ありのままの環境での自律移動機能の実現が求められる。本来屋外環境とくに公道での実験では公的機関等の許可が必要であり、容易ではない。しかしながら、つくばチャレンジにおいてはつくばチャレンジ実行委員会により、公道等の仕様許可が事前に警察及びつくば市等の許可が取られており、また安全確保のための人員

等の配備などがなされている。そのため長期間の、比較的人の多い公園や公道を用いての実験が行いやすい状態であり、屋外自律移動のためのモジュールの検証実証に適している。

安全確保のため、つくばチャレンジに参加するためには、安全のため下記のような条件が課されている。(各年により、細かな規定は異なる)

- ・最大時速 4km
- ・重量 100kg 以内 (重量により安全責任者の人数が定められている)
- ・緊急停止スイッチの用意
- ・危険な部位等がないこと。

その他、細かな安全遵守事項が定められており、これら条件下のもと自律走行実験が可能となる。つくばチャレンジは毎年 7 月末から 11 月半ばまでの間の 3~4 ヶ月間開催される。我々は 2008 年から 2011 年まで参加し、開発したモジュール群の長期的な検証を行うと共に、屋外自律走行での知見をモジュールへ実装し蓄えることを目的とする。

成果：

2008 年度から 2011 年度まで下記のように各年度段階的に開発を行った。

2008 年度はセンサデータの蓄積と、ハードウェアやジョイスティックやロボット等基本モジュールの長期検証実験を行うとともに、屋外長距離自律移動に必要な機能の基礎理論を実装し検証を行った。

2009 年度はセンサデータの蓄積、RTC 化を進めると共に、屋外長距離自律移動に必要な基本機能の実現を目指し実装を行い、1 km の自律走行を実現した。

2010 年度はセンサデータの蓄積に加え、開発したすべての機能の RTC 化を行った。

2011 年度はセンサデータの蓄積に加え、より高度な自律移動のための、動作計画に関する機能の拡充を行った。

下記に各年の詳細を述べる。

・つくばチャレンジ 2008

Fig. 58 に用いたロボットとモジュールの構成を示す。実験には SegwayRMP200 を用い、内界センサとしてオドメトリ、IMU (Crossbow IMU440)、外界センサとして DGPS (Hemisphere A100)、レーザスキャナ (北陽電機 UTM-30LX 2 個、URG-04LX 2 個) を用いた。レーザスキャナは 1 個を除きサーボモータにより駆動することで能動的に 3 次元計測が可能な構成とした。また安全装置としてバンパセンサ、緊急停止スイッチ、イネーブルスイッチを搭載した。

自律移動のためのソフトウェアとして、SegwayRMP、ジョイスティック、自律移動モジュール群を利用した。しかしながら、実験にて生じた諸問題に対応するため、ソフトウェアの変更を行ったため、自律移動 RTC を一つの RTC に統合した形となった。また位置推定機能として、2 次元の環境地図を用いた測域センサの自由空間観測モデルによる位置推定機能を開発した。これにより、人や未知物体が多数存在する環境にて安定した位置推定を実現した。

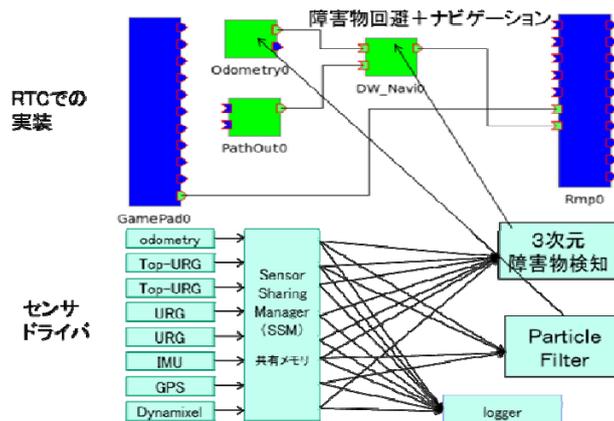


Fig. 58 つくばチャレンジ2008にて実験に用いたロボットとモジュール構成

屋外環境は人や車等の地図に記されていない動的・静的な多数の未知の物体が存在し、また様々な形状の障害物する。そのため位置推定機能として、未知物体にロバストである自由空間観測モデルを提案し、2次元環境地図を用いた位置推定を実現した。Fig. 59左に開発した機能により1kmを通して位置推定を行った結果を示す。また、障害物検知機能として、様々な形状の障害物に対応するため、レーザスキャナを振ることで3次元計測を行い、未観測領域を表現する機能を実現することで、死角に存在する障害物への衝突を避ける障害物検知機能を実現した。障害物検知の一例をFig. 59右に示す。従来のセンサデータを蓄積する手法では、死角への対応がある程度可能となるが、その分移動物体まで蓄積してしまい過剰に検出してしまいう問題があったが、開発した障害物検知機能は死角への対応が可能でありながら、移動障害物への対応も可能である。

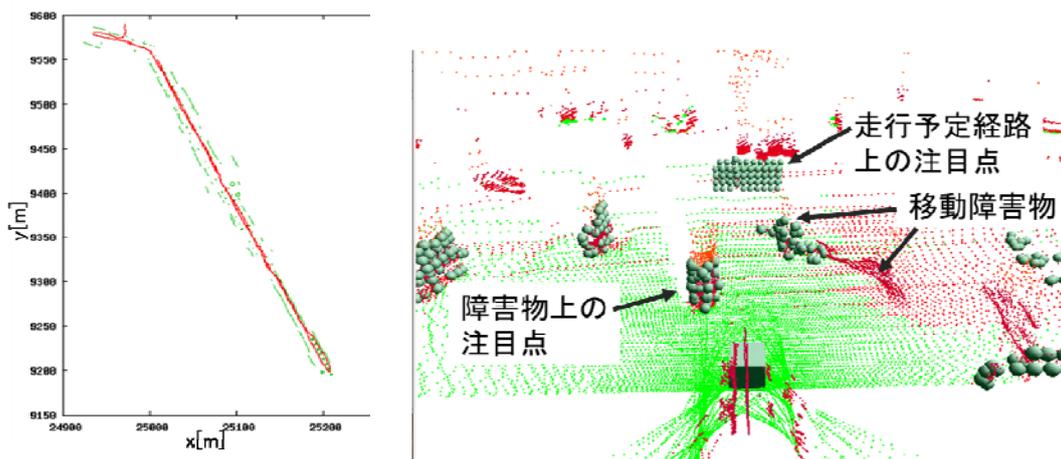


Fig. 59 つくばチャレンジ2008での位置推定結果と障害物検知機能

つくばチャレンジ2008には試走会として8月3日、10月5日、10月19日、11月2日、11月18日、11月19日の計6回、および11月20日のトライアル走行及び11月21日の本走行に参加した。試走会においては、一時的に手動操作に切り替える場合はあったが、1kmを自律走行することが確認できた。トライアル走行の100mは達成したが、本走行では電源切替時に制御用に用いていたノートPCのCPU周波数が遅くなる問題により、制御周期が回らな

くなり制御が発散し失敗した。

実験により、様々な知見が得られた。試走会は 10 時から 16 時まで 5~6 時間行われ、その間コースを 2~3 往復しているが、今回用いた SegwayRMP200 はバッテリーが切れる事なく、走行することが可能であった。またコース上には坂等が存在するが、走行に問題は生じなかった。位置推定機能について、2次元平面を仮定していたがコースが坂道等高低差を含む環境であったため位置推定の破綻するケースが見られた。RTC を eclipse 上で構成する際、モジュール構成が記録されない場合があり、その場合の再構成に時間が掛かる問題があった。測域センサ (UTM-30LX) を利用している際、太陽光が入ると故障と診断され、再起動が必要となる場合が生じた。これは特に冬の太陽が低い際に顕著に見られた。

・つくばチャレンジ2009

つくばチャレンジ 2009 では位置推定機能の 3 次元化及び開発した RTC の再利用を促進した。また、RTC 化の利点を活かし、複数 PC での分散処理に取り組んだ。

Fig. 60に用いたロボットとモジュール構成を示す。ロボット、センサ等はほぼ 2008 年度と同様である。利用したモジュールはジョイスティック、SegwayRMP、自律移動 RTC 群、障害物回避 RTC である。位置推定については外部プログラムにより実装した。

7月から11月の4ヶ月間において、6回の試走会・トライアル・本走行に参加し、22回のログデータを収集（全コース有効データは12回分）した。11月18日試走会以降安定して走行。試走会では5回完走。うち1回は雨天時に走行した。トライアル・本走行・デモンストレーション走行を完走し、計6回の自律走行を行った。全コースログデータに対して位置推定を行い、安定して位置推定が可能であることを確かめた。

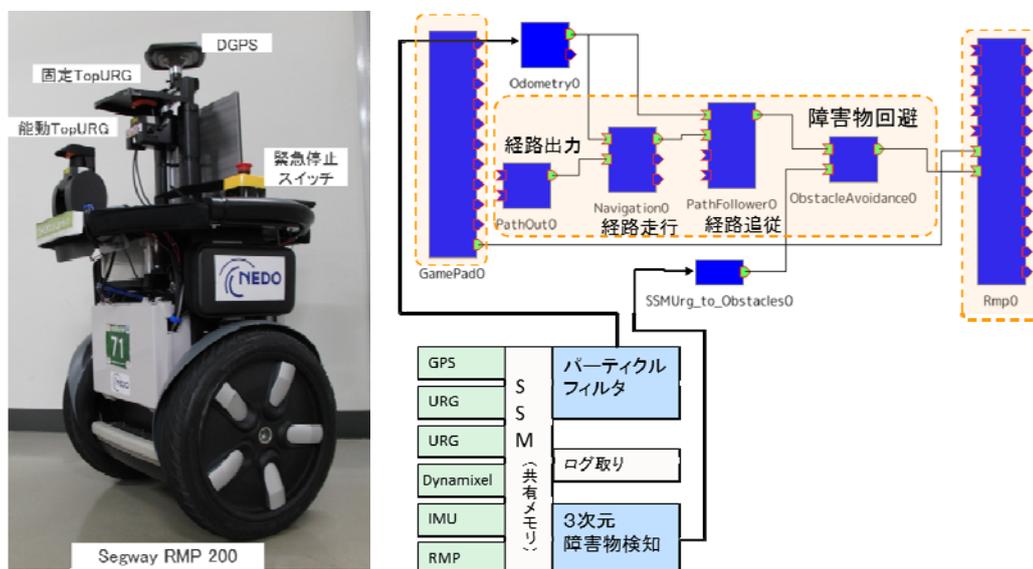


Fig. 60 つくばチャレンジ 2009 で用いた移動ロボットとモジュール構成



Fig. 61 つくばチャレンジ2009の様子

屋外長距離自律移動に必要な基本機能として、未知物体にロバストな位置推定機能の実現を行った。2008年度の反省を踏まえ、地図の3次元化を行った。Fig. 62に位置推定に用いた3次元地図を示す。これにより、安定した位置推定が可能となり、得られた有効なログデータ12個に対して破綻せず位置推定が可能であることが確かめられた (Fig. 63)。

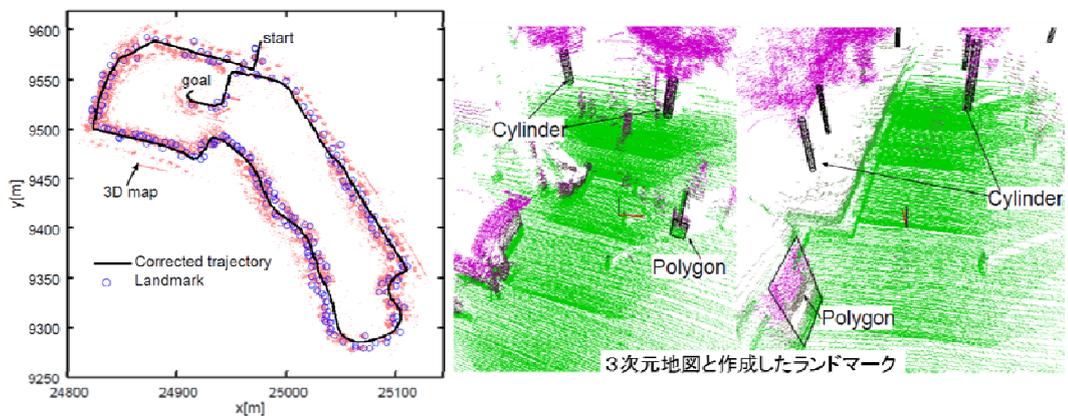


Fig. 62 図位置推定に用いた3次元地図

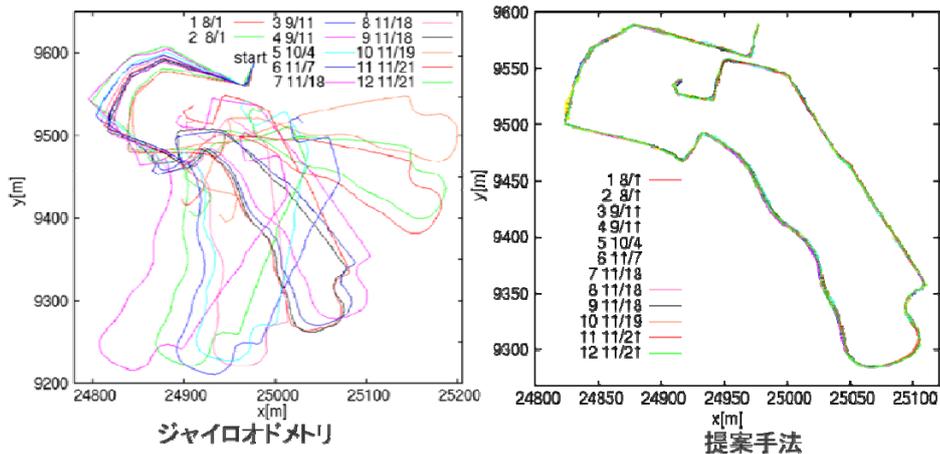


Fig. 63 12回のログデータに対しての位置推定結果

また、試験的に複数PCでの分散処理を行った。Fig. 64に示す橙の領域がPC1であり全体のナビゲーションを行い、緑色の領域がPC2でありGPSによる位置推定を行った。GPSの誤差により経路からは外れていたが、プログラミングすることなく容易に構成が変更可能であることが確かめられた。

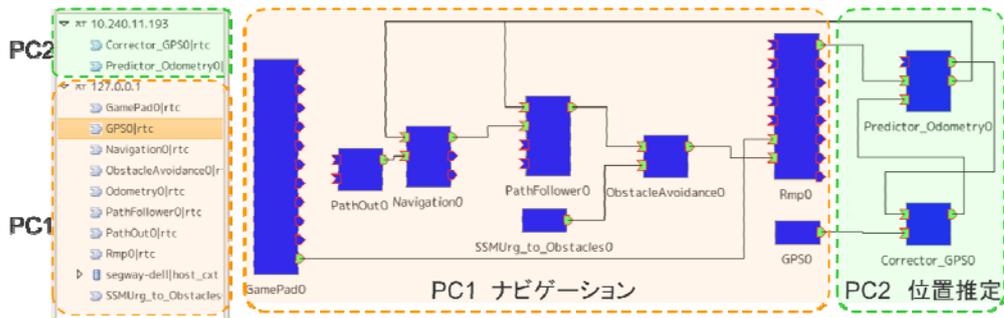


Fig. 64 複数 PC での分散処理

・つくばチャレンジ2010

2010年度は完全 RTC 化を目指し開発を行い、5回の実験走行・トライアル・本走行に参加した。用いたロボット及びモジュール構成をFig. 65に示す。モジュールはこれまで外部モジュールであった位置推定及び障害物検知についてもすべての RTC 化され、障害物検知及び位置推定に用いるセンサの構成変更が可能な枠組みを実現した。このうち、ナビゲーション機能はほぼ変更なしで用いており、位置推定と障害物回避については一般化のため、3次元化されたものを用いている。

本モジュールを用いて位置推定を行った例をFig. 66に示す。機能はほぼ2009年度に実現したものと同様であり、安定した位置推定が可能である。

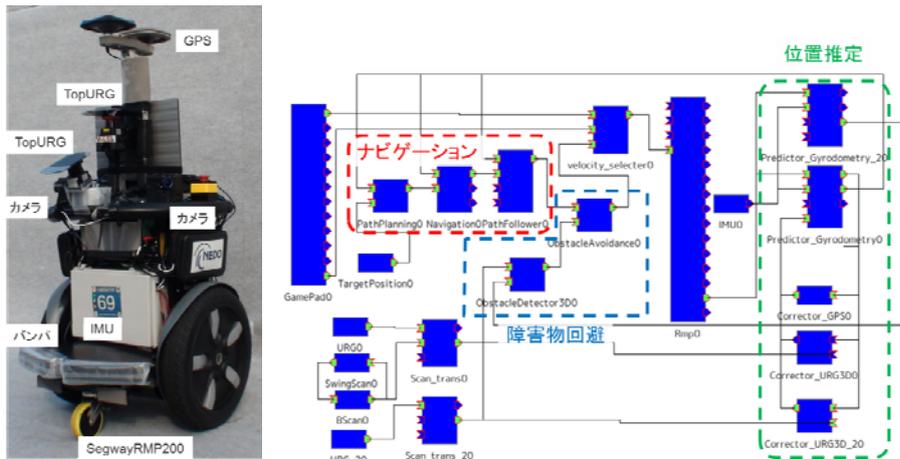


Fig. 65 つくばチャレンジ2010 に用いたロボットとモジュール構成

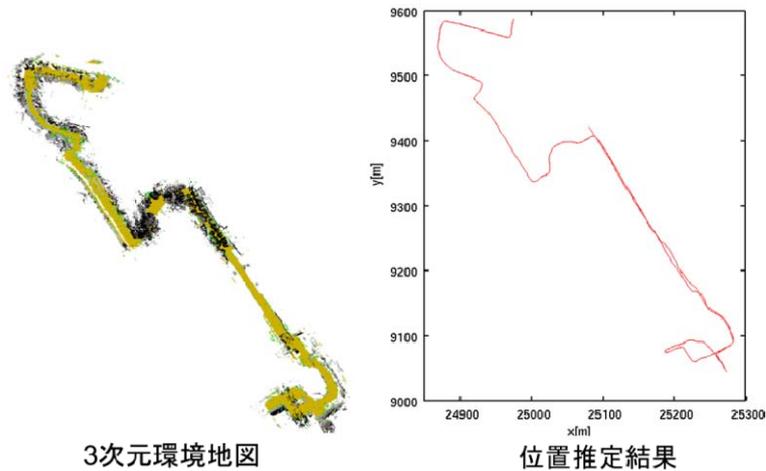


Fig. 66 環境地図と位置推定モジュールにより推定した推定位置

ほぼすべての機能を RTC 化することが実現されたが、それによる問題も生じた。モジュール化の際に一般化して実装を行うため、いくつかセンサに特化した処理を省略せざるを得なかった。そのため、つくばチャレンジ2009にて対策したセンサ個別のノイズ対策等のフィルタ処理が実装できず、最終的に本走行での失敗につながった。しかしながら、全機能の RTC 化を行なっても処理量等は単一 PC でも実現可能であり、懸念していた RTC 化によるオーバーヘッドは実際の処理量に対して大きな問題とならないことが確かめられた。

・つくばチャレンジ2011

つくばチャレンジ2011では、2010年度までに開発したモジュール群を再利用し、また機能の高度化を行った。2011年度はエレベータへの乗り込み等、これまでと異なる課題が課された。これに対し、3次元計測に基づく経路計画機能を追加し、これに対応した。また、これまで移動ロボットとして SegwayRMP 200 を用いてきたが、今回はエレベータへの搭乗のため、狭い場所を通過する必要があることから、幅の狭い対向二輪型の移動ロボットを用いた (Fig. 67 参照)。ロボットの変更は行ったが、RTC はほとんどパラメータの変更もなく利用することが可能であった。

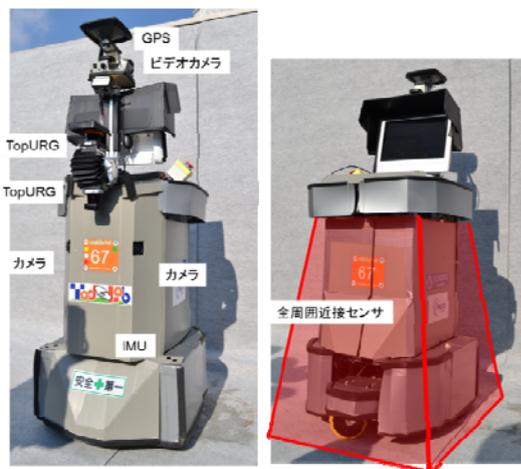


Fig. 67 つくばチャレンジ2011に用いたロボット

モジュール構成図を下図に示す。下図において点線部は2010年度開発機能の再利用部であり、実線部を新規開発もしくは改良を行った。再利用を行う事により、新規機能の開発に集中することが可能となった。

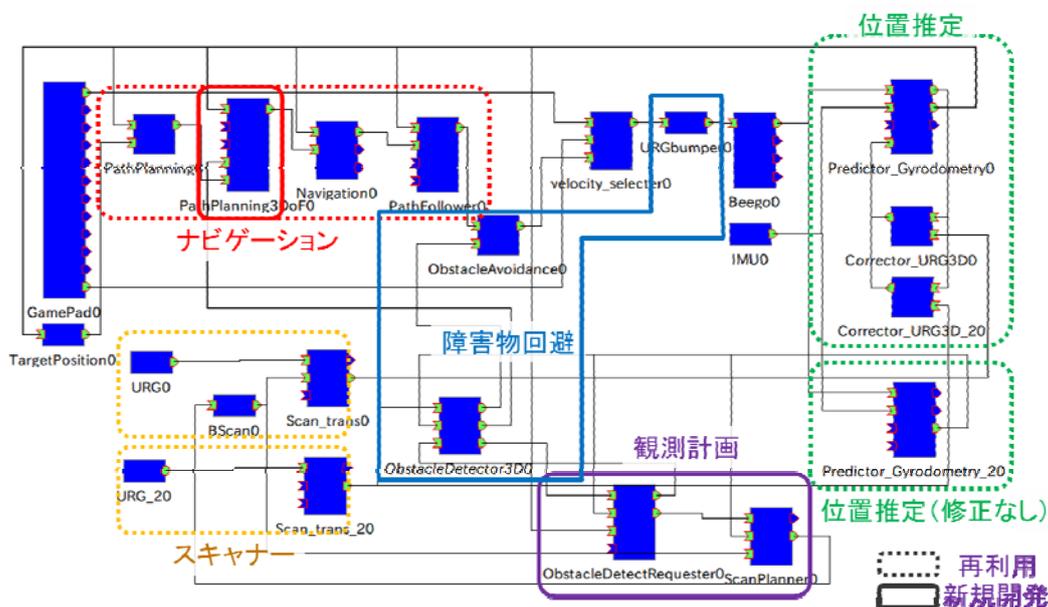


Fig. 68 つくばチャレンジ2011でのモジュール構成

下図に実験走行及びトライアル走行時の様子を示す。実験走行及びトライアル走行では、人に囲まれる等のシーンが多く見られたが、障害物回避機能により周囲に危険を与える事なく走行することが実現できた。また、新規開発した3次元計測に基づく3自由度経路計画機能により、エレベータへの搭乗を、詳細な経路を指示することなく実現した。



Fig. 69 実験走行の様子

下図に実験に用いた3次元計測に基づく3自由度経路計画の結果を示す。環境は大小様々な物体が存在する環境であり、ロボットはほぼ直方体の形状をしており、目的位置への到達のためには繰り返し等を必要とする。それに対し、3次元計測に基づき障害物検知を行い、ロボット形状を考慮した3自由度の経路計画を行う事により、目的位置へ衝突せずに移動する経路を得ることができている。

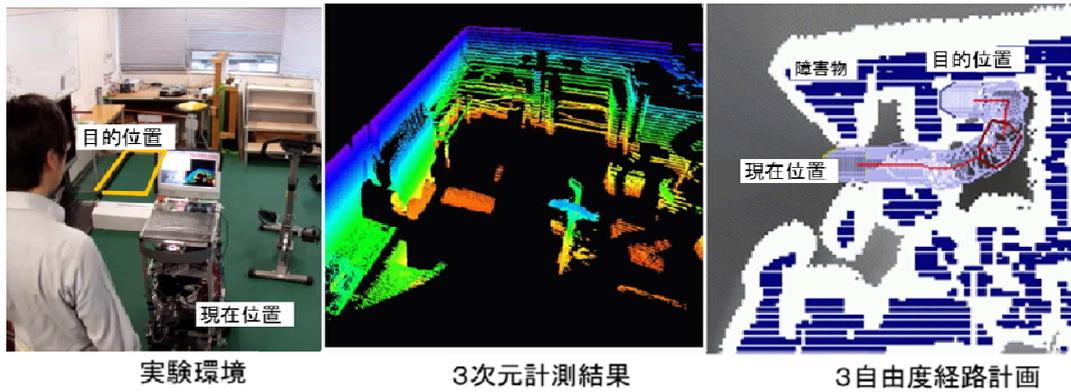


Fig. 70 3次元計測に基づく3自由度経路計画

(ウ) 機能統合実機実験 (神戸実験)

これまで開発した, 各機能モジュールの連携動作を目的とする実機実験を 2010 年 3 月に神戸の公園にて実施した. 機能モジュールの連携内容は以下に示す 6 通りを実施し, 6 種類すべてにおいて連携動作することを確認した. すべてのモジュールを統合したモジュール結線図を Fig. 71 に示す.

- 1 : 経路追従+地図管理 (=自律移動基本形)+走行系
- 2 : 経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系 (Fig. 73)
- 3 : 経路追従+地図管理+障害物回避+走行系
- 4 : 経路追従+地図管理+位置推定+走行系
- 5 : 経路追従+地図管理+位置推定+障害物回避+走行系 (Fig. 74)
- 6 : 人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系 (Fig. 72)

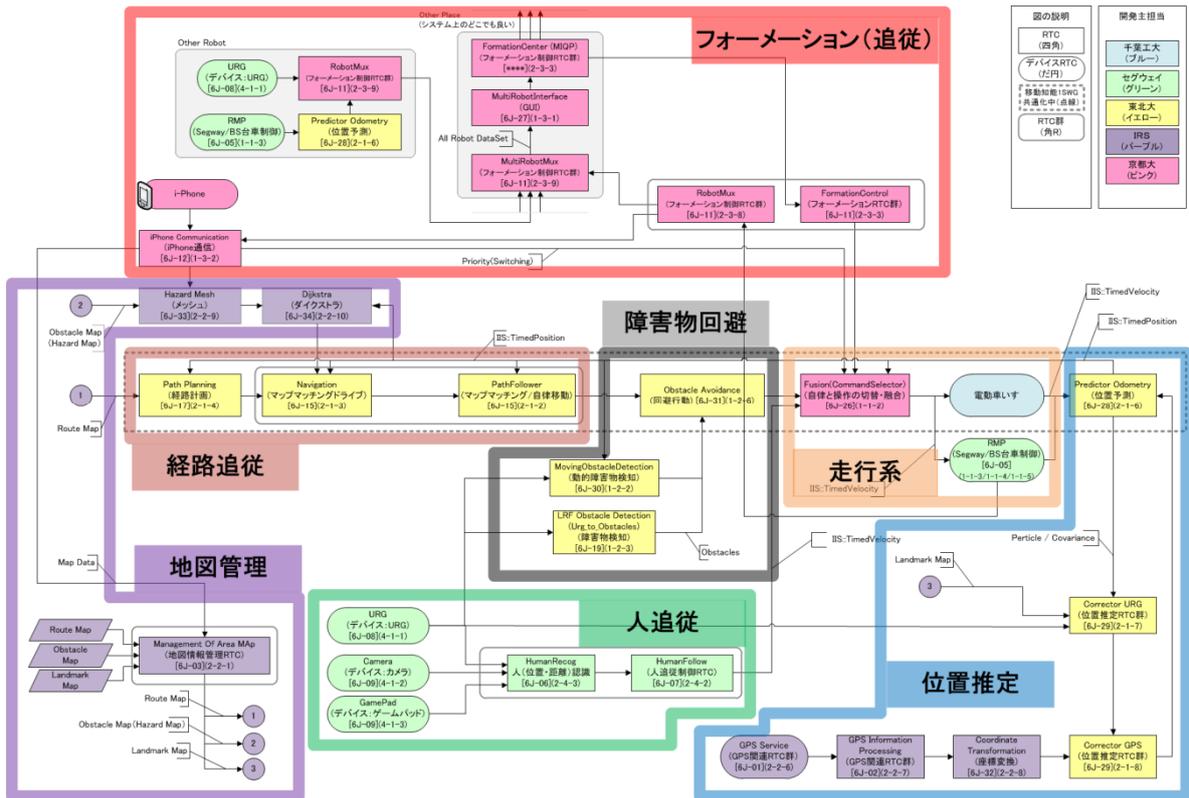


Fig. 71 全てのモジュールを統合した結線イメージ図

・人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系

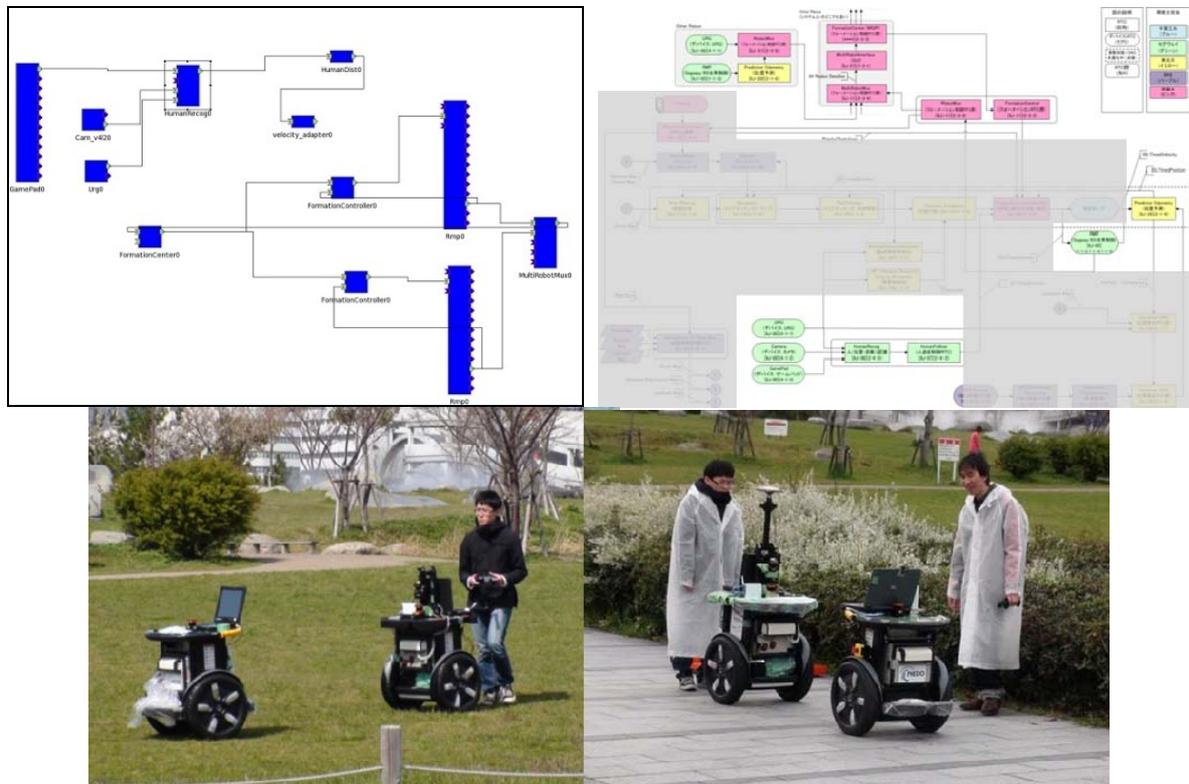


Fig. 72 人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

・経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系

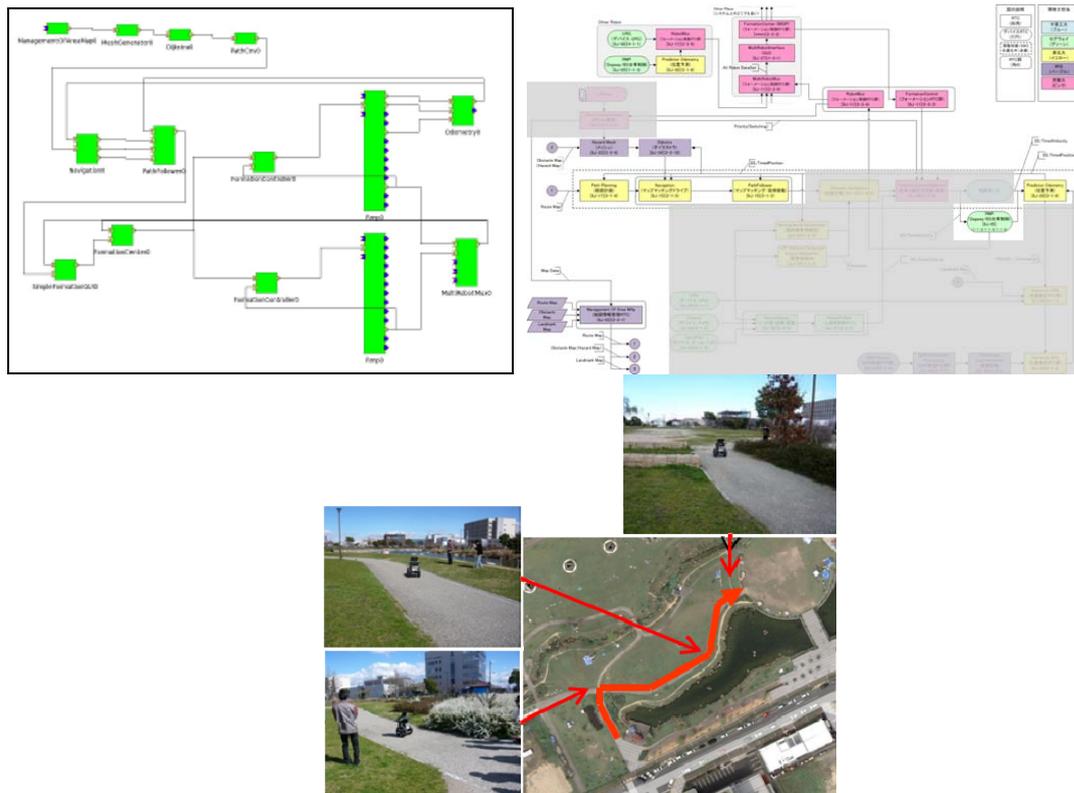


Fig. 73 経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

・経路追従 + 地図管理+位置推定+障害物回避+走行系

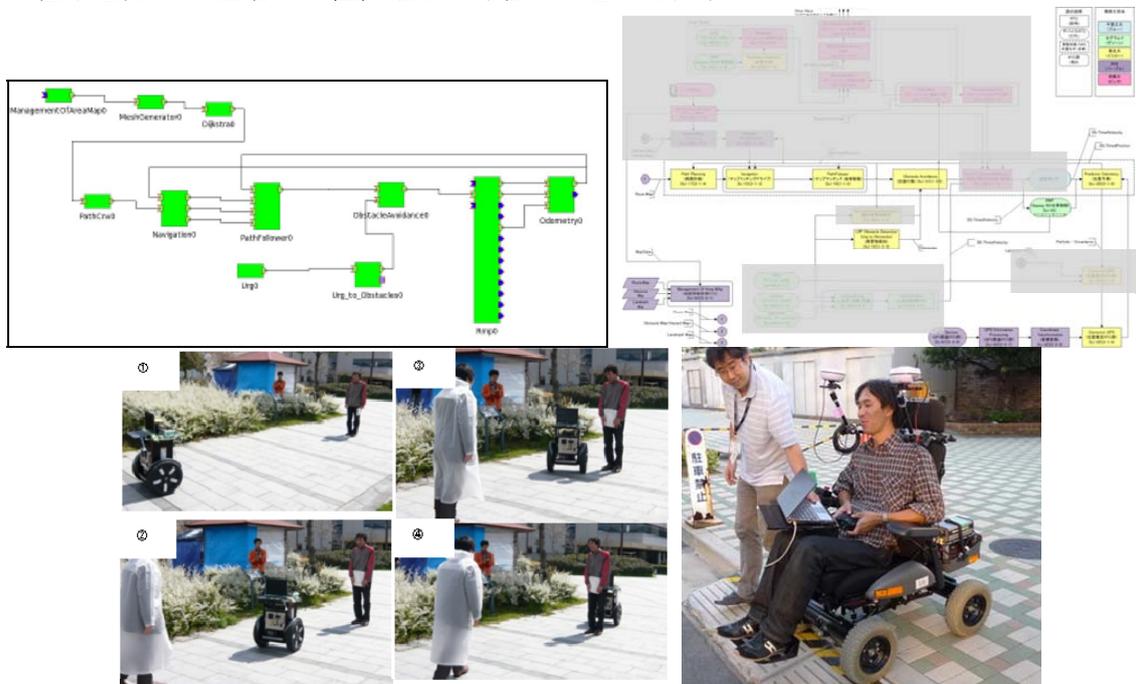


Fig. 74 経路追従 + 地図管理+位置推定+障害物回避+走行系
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

(エ) 機能統合実機実験（千葉工業大学実験）

目的：

開発したモジュール群を統合し，動作することを検証する．

成果：

・実験環境

実験は2011年1月に，千葉工業大学内道路で行い，ロボットとして千葉工大にて開発を行った4輪ステアリング型移動ロボット Four-X を用いる．実験に用いたロボットを下図に示す．Four-X はステアリング型の4輪駆動車であり，前後車輪がそれぞれペアとなり，ステアリング機構を有する特殊な構造を有する．ステアリング機構と同様に前後旋回動作が可能であるが，超信地旋回及び車軸方向移動はできない．しかしながら，4輪駆動であることから斜面等の登坂性能や不整地走行性能等は優れており，屋外利用に適している．



Fig. 75 実験に用いた電動車いす Four-X と搭乗時の様子

実験に用いたモジュール構成を下図に示す．モジュールには Four-X 用モジュール，測域センサモジュール，自律移動モジュール群，位置推定モジュール群，及びマップ管理モジュール群を用いた．Four-X は旋回時にロボット中心が車軸方向に移動するため，y 軸方向の速度が発生する．また，Four-X は内部で推定位置を計算し，位置のみを出力する実装となっている．そのためオドメトリ-車体速度の変換モジュールを作成することにより，これらの問題に対応した．また，位置推定モジュール群の入力については y 軸方向速度の入力も可能な実装となっており，そのまま入力することで対応可能であった．

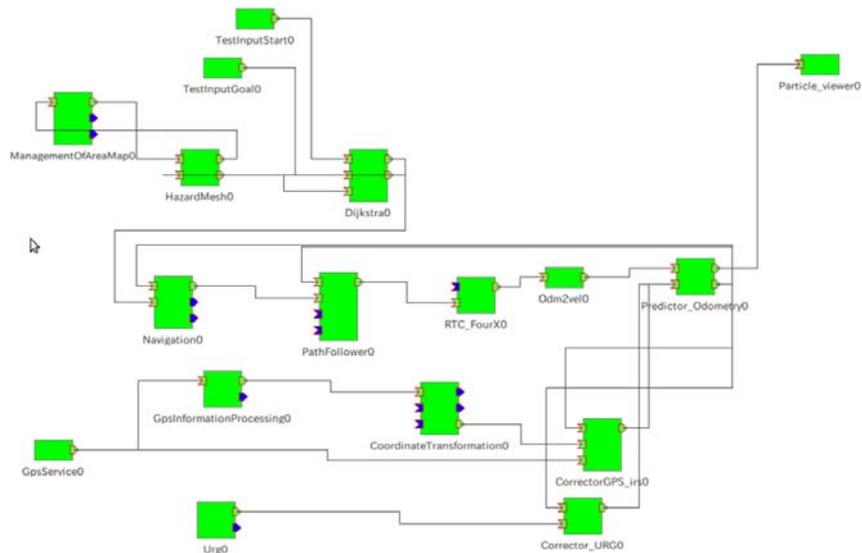


Fig. 76 モジュール構成

前述したように、Four-Xはその場旋回ができない．そのため、その場旋回を前提としたマップマッチングドライブモジュール群ではそのままでは対応出来ない．しかしながら、経路走行のためのパラメータを、その場旋回を行う許容角度を最大値とし、2 m 前から次の直線に乗り換えるよう設定することで、その場旋回を避け、スムーズな走行を実現した．

下図に実験に用いたハザードマップを示す．図中黒色で示す部分が進入不可とされている領域であり、1ピクセルが50cmであり、原点座標が関東9系直交座標系にて16933.83 -34632.67、角度19.5度である．実験においては図中Start(関東9系直交座標系16943.0, -34605.0)からGoal(関東9系直交座標系16965.0, -34602.0)の2点を指示し、マップ管理モジュールにより経路計画を行い、得られた経路を自律走行モジュール群に入力し自律移動を行った．

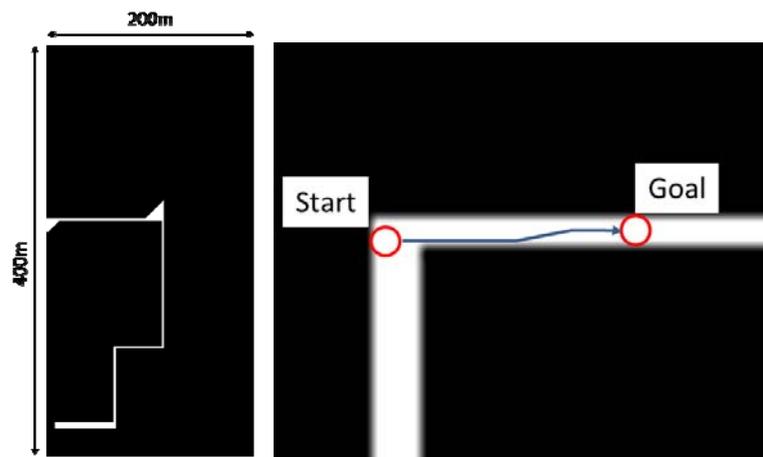


Fig. 77 ハザードマップ

下図に実験の様子を示す．実験は2011年1月9日と、2月23日に行った．実験ではモジュールの起動と共に、目的位置を出力しマップ管理モジュール群により経路を生成し、自律走行モジュール群によりFour-Xに人が搭乗した状態で走行を行い、目的地までの移動を行った．



Fig. 78 実験の様子

下図に実験の際に得られた推定位置の軌跡を示す。下図において、スタート直後に図中下方向にずれて走行している。これはハザードマップが50cm単位でありその中央が走行経路とされることと、ハザードマップの座標変換によるものである。

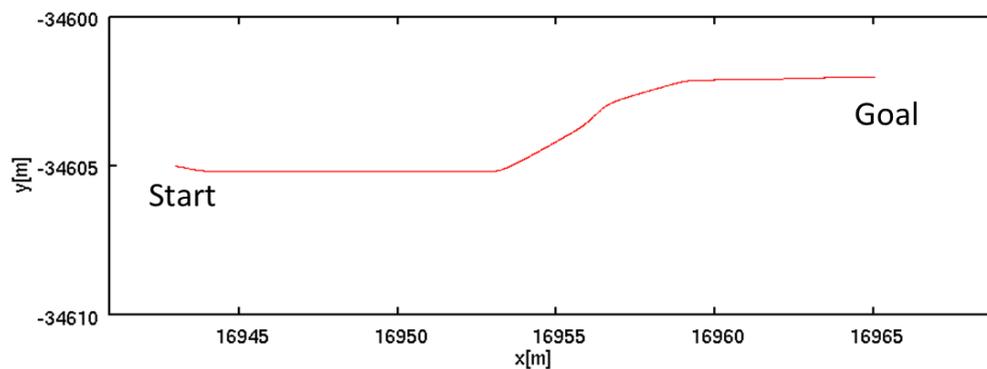


Fig. 79 走行実験により得られた推定位置の軌跡

実験を行う際に、デバッグ用に表示していたテキストが高負荷となってしまう、PCの処理速度が低減し制御ループがうまく回らず、蛇行走行することが見られた。RT-SystemEditorの保存機能が効かず、毎回パラメータを入力することになったため準備に時間を要する等、モジュールのインターフェースの整合だけでなく、システム全体を動作させる上での課題が多々見られた。

(オ) 機能統合実機実験（東北大学実験）

目的：

東北大学工学部周辺にて、開発したモジュールを用いた統合実験を行った。実験には千葉工業大学の全方向車椅子を移動台車として用い、人が搭乗した状態での実験を行った。

成果：

実験は2011年12月に下記図に示す、東北大学構内にて、実験を実施した。実験環境を下図に示す。経路は緑線で示す全周約300mの経路である。



Fig. 80 実験環境および走行経路

実験に用いたロボットを下図に示す。実験には千葉工大にて開発された全方向車椅子台車を用い、位置推定及び障害物回避のため測域センサを搭載した。また、走行状態の記録のためGPSおよびビデオカメラを搭載した。実験では測域センサを用いて位置修正及び障害物回避を行い、自律移動により経路を走行する。また、途中ジョイスティックによる操縦に切り替え、手動操縦により走行を行う。



Fig. 81 実験に用いた全方向車椅子および搭乗時の様子

モジュール構成を下図に示す。モジュールにはジョイスティック及び自律移動モジュール群、障害物回避モジュール群、位置推定モジュール群及び全方向車椅子モジュールを用いる。また、全方向車椅子からの出力がオドメトリのみであることから、オドメトリから車体速度に変換するモジュールを介した。

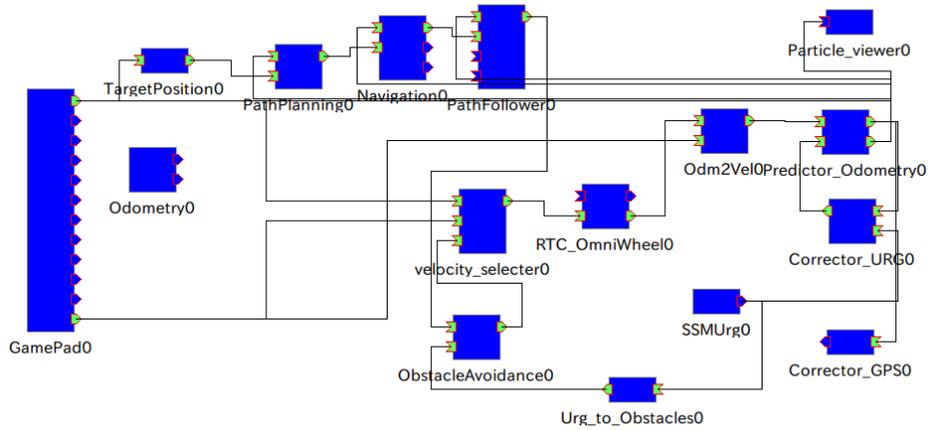


Fig. 82 モジュール構成図

下図に実験により得られた走行経路及びその様子を示す。図中緑線が目標経路であり、赤線が位置推定モジュール群により推定された推定位置、青線が位置修正のための既知物体情報である。ロボットは人を乗せた状態で図中 A からスタートし地図中を左回りに走行し E へ戻る経路を走行する。実験にて、図中 B に示す場所で障害物回避動作を行い、図中 C、D にて手動操縦に切り替え移動を行った。

これらの場所では推定位置が目標経路から離れ、自律走行モードから切り替わっていることが見られる。これにより、人乗りの車椅子による自律走行及び操縦を操縦者の意図のもと切り替えつつ走行を行うことが可能であることが確かめられた。

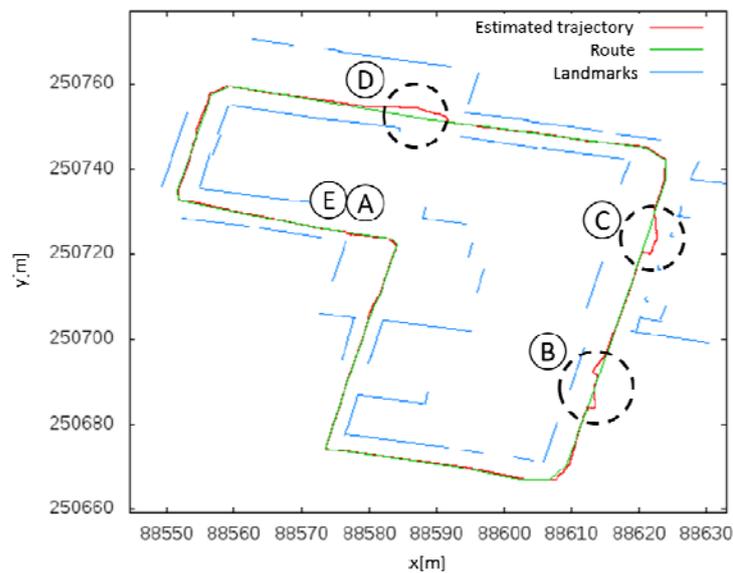


Fig. 83 走行経路及び位置修正用既知障害物地図



Fig. 84 自律移動 (A~E)



Fig. 85 回避 (B地点)



Fig. 86 操縦 (C, D地点)

なお、今回位置推定及び記録のため GPS を設置した。しかしながら、周囲が高い建物で囲まれているため、電波の反射等により十分な精度の測位が行われなかった。Fig. 87に実験時の GPS の測位値を示す。GPS の補正情報として JENOBA 社から得られる VRS-RTK-GPS 用の補正情報を用いた。図中青点線が走行した経路、赤で示す部分が Float 解であり、緑色で示す部分が Code-differential (DGPS) 解である。なお実験中数cm程度の精度が得られる Fix 解は得られなかった。Fig. 87において、一部を除いて Float 解及び DGPS 解ともに走行経路から大きく離れている。このため、GPS による補正が可能な場所が限られ、また良好な測位値と大きな誤差を含む測位値との判別が困難であるため今回は位置推定への利用を行わなかった。

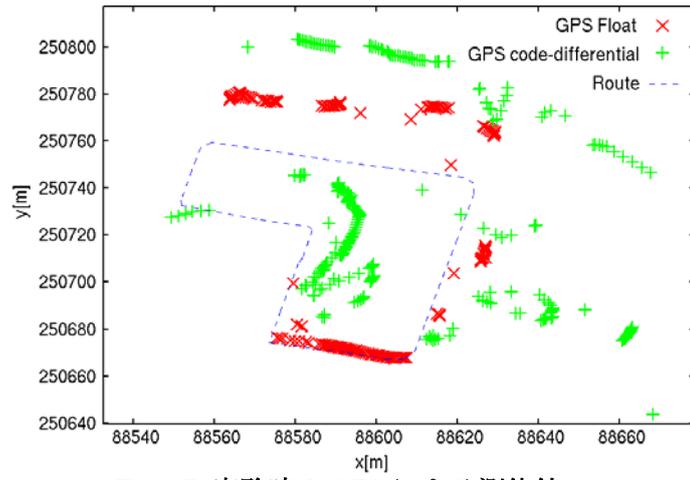


Fig. 87 実験時の GPS による測位値

3.4.4.3.2 共通インターフェース

(1) はじめに

RTM では、RTC 間で情報を授受するための接続インターフェース（以後、IF）を、インターフェース記述言語 IDL で独自に設定可能であり、特定の形式を規定していない。位置情報を例に具体例を挙げて説明すると、位置情報は、GPS、オドメトリ、環境インフラセンサなど様々な方法で取得可能である（Fig. 88参照）。これら位置情報を処理する RTC 間及びその RTC により制御されるロボット群で位置情報を授受する場合を想定すると、扱いを容易にするため Fig. 88 中の TimedPosition や Position 構造体のように位置の各座標の値を含んだ新たに設定した独自 IF を定義することが可能である。しかし、位置情報の構造体としての表現方法は Fig. 88 に示すように位置の情報だけではなく、その情報を取得した時間を追加したい場合や、さらに構造体の名前は無数に設定可能であるため、位置情報を扱う RTC 開発機関において同じような位置情報を表現した独自 IF が無数に定義されることになる。ここで、単独機関で開発された RTC 間で位置情報を授受するのであれば、独自 IF を用いても問題はない。しかし、Fig. 88 に示すように異なる機関で開発された移動ロボット A、C 間また環境インフラ型センサから移動ロボット B において位置情報を授受しようとする場合、IF の型があわず直接 RTC 間を接続することができないといった問題が発生する。独自 IF を用いると、この様な問題が位置情報に限らずあらゆる情報のやりとりで発生する。そのため本来ロボット機能を RTC として実装し部品化することで得られるはずの利点である再利用性を低下させるだけではなく、RTC により制御されるロボット間の情報共有、コミュニケーションに対しても余分な手続きを要することになる。このような理由から、RTC の IF 仕様を共通化することで初めて、1) ロボット用ソフトウェア部品の再利用性、交換性の向上、2) RTC 間及びそれにより制御されるロボット間の情報共有性の向上、といったロボットソフトウェア機能を部品化することの本来の利点を広範囲で実現することが可能となる。

そこで、知能化 PJ において、複数の研究機関により構成される移動知能ロボットに関するワーキンググループ（以後、移動 WG）を組織し、移動知能ロボット用 RTC の IF の共通化を進めた。移動 WG を構成する機関は、1) 産業技術総合研究所（以後、産総研）、2) 芝浦工業大学を主幹としたコンソーシアム（芝浦工業大学、千葉工業大学、NEC ソフト、以後、芝浦工大コンソ）および、3) セグウェイジャパンを主幹としたコンソーシアム（セグウェイジャパン、東北大学、国際レスキューシステム研究機構、京都大学、以後、セグウェイコンソ）となっている。

この移動 WG が組織される以前は、上記各研究コンソーシアム内で独自に IF を定義し RTC の開発を進めていた。そのため、各コンソーシアムの IF 定義を最初から全て共通化することは困難だと考え、移動 WG における共通化検討の基本方針として、共通化項目を段階的に拡張し、積み上げていくことで利点や問題点の抽出およびその改善といったフェーズを繰り返していくこととした。第 1 フェーズでは、移動知能ロボットの自律移動機能を構成する共通モジュール群を定義し、共通 IF を規定するための検討を行った。検討の中心課題を、暫定的にでも共通 IF を早期に設定し、共通 IF に準拠することによる利点や実装上の問題点の抽出とした。そのため共通化項目を限定しシンプルな構成の実証実験を 3 研究機関共同で実施した。第 2 フェーズでは、第 1 フェーズで抽出され、確認された利点を拡大するために共通化項目を増やし、またすでに共通化された項目についても再検討を行った。検討を踏まえて、第 2 フェーズの共通 IF 策定し、再度の共同実証実験を行った。第 3 フェーズでは、さらに共通化項目を経路計画部分まで拡張した。さらに、

OpenRTM-aist 1.0 において標準で定義された型に準拠するように、これまで共通化してきた IF 定義についても改訂を行った。

以上のように、本稿では、RTC 規格では定義されていない移動知能ロボットの機能構成や IF を共通化し、RTC の交換性、再利用性、情報共有性の向上を図る具体的な試みについて順次述べていく。

なお、本稿におけるモジュールとは、概念レベルの機能ブロックを表している。この概念機能ブロックを、RTM を利用して RTC として実装する。

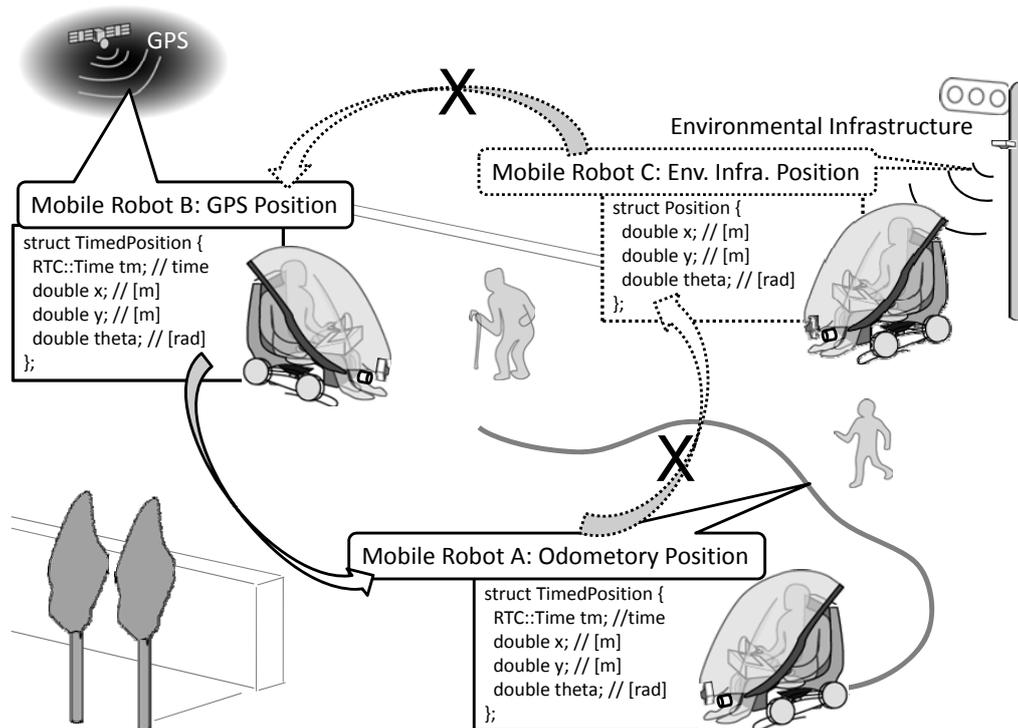


Fig. 88 位置情報の交換例

(2) インターフェースの共通化: 第 1 フェーズ

第 1 フェーズでは、検討の中心課題を、暫定的にでも共通 IF を早期に設定し、実際の RTC として実装して相互に交換可能であるか検証し、利点や問題点を抽出することを目標とした。そのため共通化項目を限定したシンプルな構成により共同実証実験を行った。

① 共通モジュール構成

移動ロボットの知能モジュール群の IF 共通化を実現するためには、まず移動ロボットの機能モジュール群の構成を定義する必要がある。各研究機関では、既に独自に規定した IF を基に移動知能ロボット用 RTC を開発していたため、そのモジュール構成について共通点の確認を行った。その結果、導き出された移動知能ロボットの共通モジュール構成を Fig. 89 に示す。移動知能ロボットの基本機能を経路計画、軌道追従、走行系、オドメトリで構成した。共通化した各機能モジュールは、入出力 IF については統一されるが、機能実現のためのアルゴリズムや処理は規定しない。

この共通モジュール構成を示すことで、各モジュール間の IF に必要な情報を明確化することが可能となった。

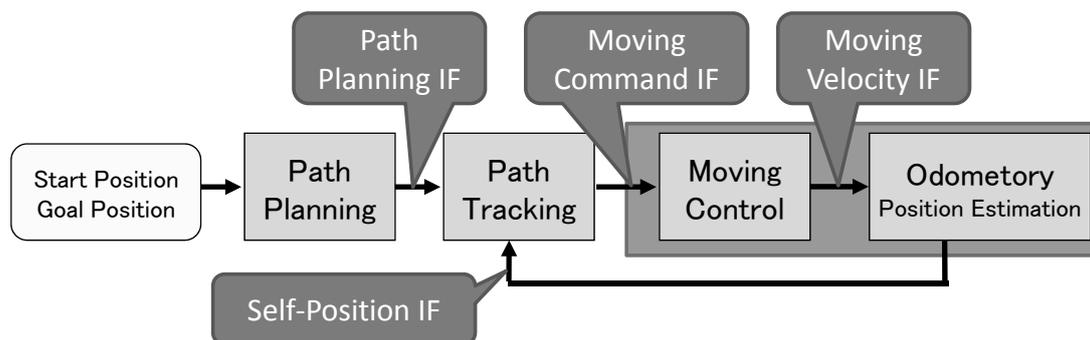


Fig. 89 移動知能ロボット共通モジュール構成

② 第1フェーズ共通インターフェース

第1フェーズでは、まず走行指令 IF (Fig. 89中、Moving Command IF) を共通化の対象とした。走行指令の物理量は、並進速度および回転速度とした。また、詳細な実証実験内容について次小節で述べるが、操縦により走行指令を出力し、移動知能ロボットを走行させるタスクを想定した。また、想定している移動知能ロボットの移動形態は、差動2輪移動および全方位移動とした。

第1フェーズの検討方針により、セグウェイコンソにおいて規定されていた走行指令 IF である RTC::TimedVelocity (Fig. 90参照) を共通の IF として採用した。RTC::TimedVelocity は、差動2輪移動ロボットへの適用を考慮して定義された IF であり、進行方向の速度 v [m/s] および回転速度の w [rad/s] により構成されている。この走行指令 IF では、並進速度指令が進行方向のみに限られているため、想定ロボットの移動方式のうち全方位移動の横方向の運動を実現することはできない。この点に関しては、第2フェーズにて検討することとし、早期に共通 IF にそろえた実証実験を行うことを優先した。

```

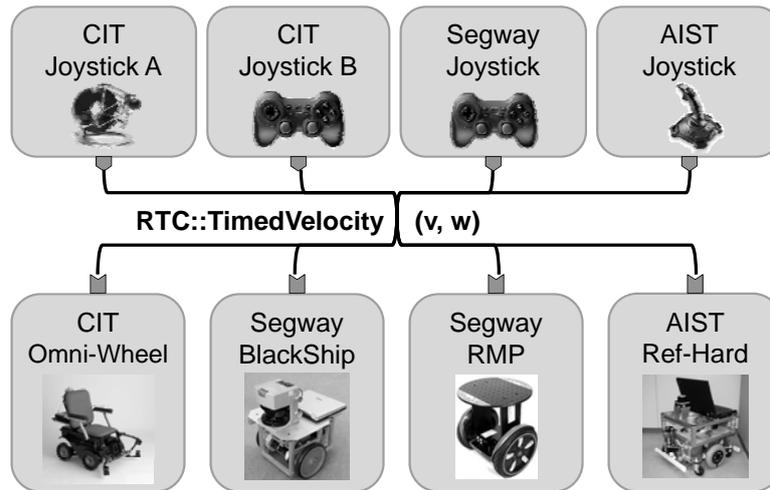
module RTC {
  struct TimedVelocity {
    Time tm;
    double v; // [m/s]
    double w; // [rad/s]
  };
};

```

Fig. 90 第1フェーズ走行指令インターフェース IDL

③ 共同実証実験

移動WGの各研究機関の操縦ジョイスティック及び移動知能ロボットの走行指令 IF を第1フェーズ共通形式にそろえて実装を行った。これにより、Fig. 91に示すように走行指令 RTC::TimedVelocity を出力する操縦ジョイスティックとそれを受けて走行する移動知能ロボットをどの組み合わせでも接続することが可能となる。



CIT: Chiba Institute of Technology, Segway: Segway Japan,
AIST: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Fig. 91 共通走行指令インターフェースによる接続形態

共通 IF をもつ RTC が実際に交換可能で再利用性があるかを示すため、各研究機関で実装された移動知能ロボットを用いて実証実験を行った。ここでは、Fig. 91に示すような複数のロボットと操縦ジョイスティックの組み合わせから、Fig. 92に示すような Ref-Hard および Omni-Wheel の 2 台の移動知能ロボットを 1 つの操縦ジョイスティックで同時に操作する共同実証実験を行った。

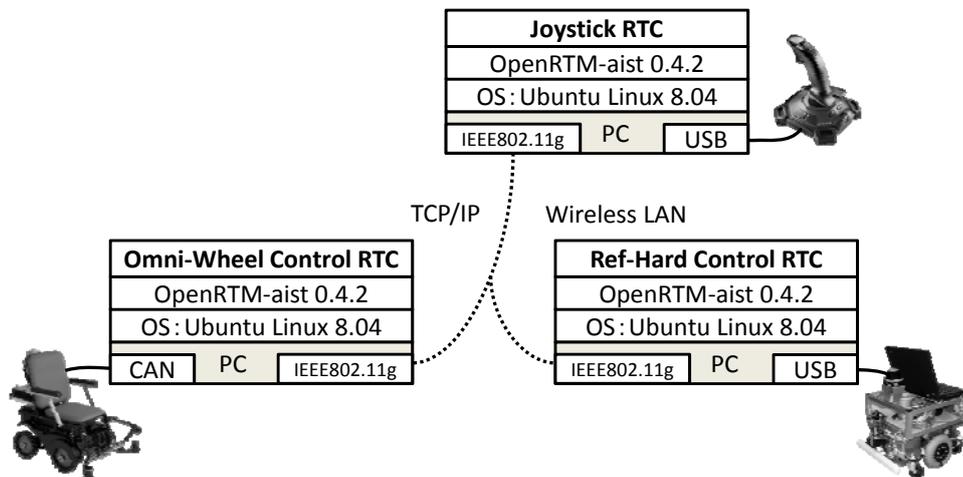


Fig. 92 実験システム構成

本実験では、Fig. 92で示すように 2 台の移動ロボットや操縦ジョイスティックは、それぞれ異なる PC により制御される。これらの制御ソフトウェアは、RTC として実装されている。RTM では、それぞれの RTC が実行される PC が TCP/IP でネットワーク接続されていれば、ネットワーク接続に関するプログラムやどの RTC と接続するかを規定するプログラムを実装すること無しに、異なる PC 上で実行される RTC を接続することが可能となる。そこで、本実験では、移動ロボットや操縦ジョイスティックを制御する PC をワイヤレス LAN により接続し、上記の RTM の機能を用いて RTC 間の情報伝達を実現している。RTM では、通常、先ほども述べたように RTC の内部に特定の RTC と接続するための処理は実装しない。その代わりに、RTC の入出力の IF を規定し、

入力 IF からの情報の受入処理や出力 IF へ情報を出力するといった処理を実装する。そこで RTC 間の接続を実現するツール (RT System Editor) が RTM の一部機能として提供されている。この RTC 接続ツールを用いることで, GUI で RTC 間接続を視覚的に確認しながら操作可能である。RTM ではこのようなフレームワークを提供しているため, IF を共通化することで Fig. 91 に示したような移動ロボットと操縦ジョイスティックの様々な接続形態を簡便に実現可能である。

Fig. 92 の構成で行った実証実験の様子を Fig. 93 に示す。実験の結果, 1 つの操縦ジョイスティックから出力される走行指令に基づき 2 台のロボットが同期して走行している様子が確認できた。

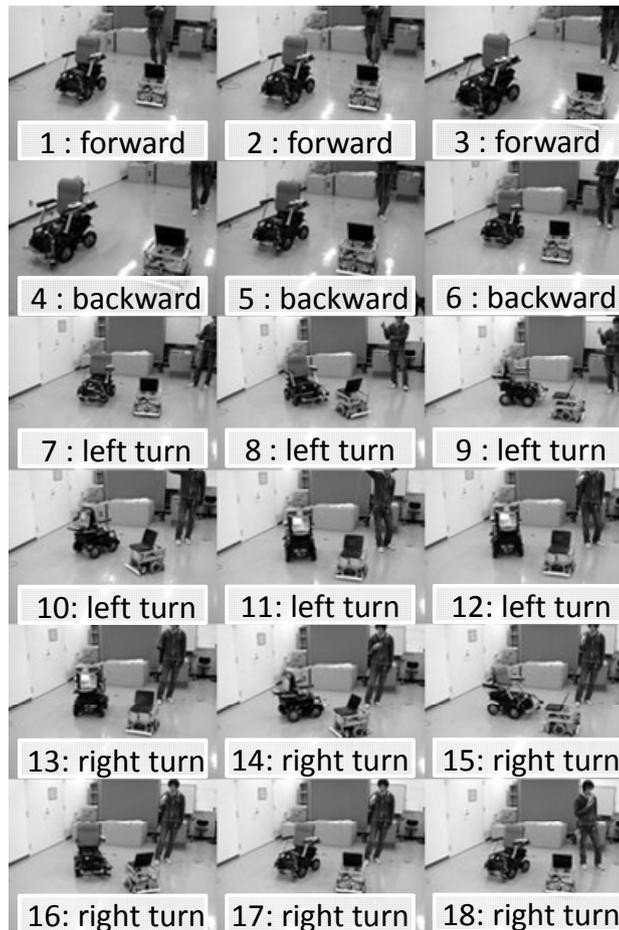


Fig. 93 単一操縦ジョイスティックの操縦による同期動作

④ まとめ

第 1 フェーズでは, まず, 共通 IF を採用することの利点確認を主目的として, 移動ロボットの共通モジュール構成を策定し, 走行指令 IF という非常に限られた範囲での共通化を行った。策定された共通 IF に基づき, 各研究機関においてロボット制御用 RTC を実装し, 共同実証実験を行った。実験の結果, 共通 IF を採用する操縦ジョイスティックや移動ロボットの走行制御部が相互に交換可能であり, 再利用できることを確認した。走行指令 IF という非常に限られた共通化にも関わらず, 複数の研究機関で共通 IF を採用することで, 交換可能な RTC の組み合わせは拡大し, その効果を増大させることも確認できた。

(3) インターフェースの共通化: 第 2 フェーズ

第1フェーズでの結果を受け、第2フェーズでは、第1フェーズにて共通化した走行指令 IF の表現形式の見直しと共通 IF の策定範囲の拡大を目標とした。また、RTC のインターフェース共通化の利点として挙げた RTC の再利用性・交換性・情報共有性の向上を確認するために、新たに策定した共通 IF を実装したロボット群により共同実証実験を行った。

① 第2フェーズ共通インターフェース

見直しの結果、策定された第2フェーズ走行指令 IF と第2フェーズで追加した共通 IF である位置姿勢 IF を表現する IDL を Fig. 94 に示す。Fig. 95 は、策定された共通 IF の座標系を示している。第1フェーズの共通走行指令 IF では、全方位移動ロボットのすべての動作を実現することができない。そこで第2フェーズ共通走行指令 IF の表現型 `IIS::TimedVelocity` では、並進動作の速度指令値として x 軸速度 v_x [m/s]、y 軸速度 v_y [m/s] にわけて設定することで全方位への走行指令を可能とした。回転速度 w [rad/s] は第1フェーズと同様である。また、ロボットの位置情報に関する標準規格 (OMG Robotic Localization Service, RLS) [6] において、規定されている時間 tm 、識別子 id 、エラー $error$ を加えた。識別子やエラーは、OMG RLS においても様々な表現を許容しているため、アプリケーションによって自由に設定して良いこととし、柔軟な表現を可能とするため `long` や `double` の `sequence` 型 (可変長配列型) とした。なお、次に述べる共同実証実験では、識別子 id は移動ロボットの固体を判別するために利用した。一方、エラー $error$ については実験条件上不要であったため利用していない。走行指令 IF の変更に加えて、位置姿勢 IF (Fig. 90 中、Self-Position IF) を共通化した。第1フェーズでの実証実験では、1つの操縦ジョイスティックから出力される走行指令により複数の移動ロボットの同期動作を実現した。しかし、ロボットの状態をフィードバックしないため、車輪のスリップなどの影響で時間経過と共にロボット位置、姿勢が同期しなくなってくる。そこで、第2フェーズでは、移動ロボットの自己位置、姿勢の表現型を `IIS::TimedPosition` として共通化した。`IIS::TimedPosition` では、x 軸位置 x [m]、y 軸位置 y [m]、方位角度 $theta$ [rad] によりロボットの位置、姿勢を表現する。また、走行指令 IF と同様に時間 tm 、識別子 id 、エラー $error$ を加えて OMG RLS への準拠を考慮している。なお座標の原点は、現時点において、タスク依存として特定していない。

```

module IIS {
    struct TimedVelocity {
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        double vx;    //[m/s]
        double vy;    //[m/s]
        double w;     //[rad/s]
        sequence<double> error;
    };

    struct TimedPosition {
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        double x;     //[m]
        double y;     //[m]
        double theta; //[rad]
        sequence<double> error;
    };
};

```

Fig. 94 第2フェーズ共通 IF の IDL

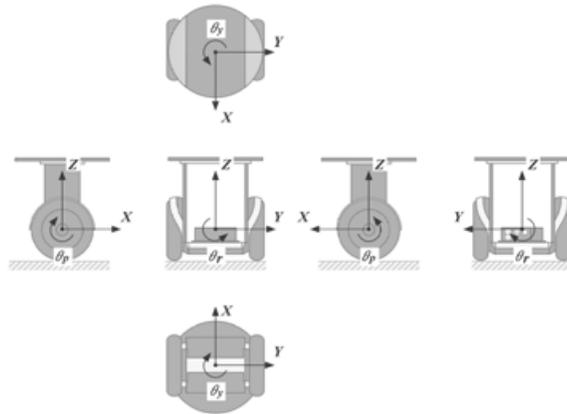


Fig. 95 第2フェーズ共通IFの座標系

② 共同実証実験

第2フェーズでは、情報共有性・交換可能性についての確認を行うため3種類の共同実験を行った。まず実験Aとして3台の移動ロボットを用いた前方ロボットへの縦列追従実験を行った。さらに実験B1として4台のロボットを用いた追従対象ロボットの動的変更実験の実施した。最後に実験B2として実験B1のロボット構成は変えず、RTCの接続をさらに変更し、単一走行指令に対する4台の移動ロボットによる同期動作実験を行った。これらの共同実験では、詳細については各実験で述べるが、IFのみを共通化し、各研究機関で開発されているロボット制御用ソフトウェアであるRTCやその構成については、各機関独自に開発を行っている。本実験においても、フェーズ1の実験と同様、各ロボットを制御するPCは無線LANにより接続されRTMのフレームワークを用いてRTC間通信やRTCの接続構成の変更が可能である。

<実験A: 前方ロボットへの縦列追従>

本実験では、RTC間の情報交換可能性を示すため、Fig. 96に示すように、前方のロボット自己位置を後方ロボットの目標位置として設定し、前方ロボットに後方ロボットが追従する実験内容とした。前方ロボット自己位置と後方ロボット目標位置を、それぞれ共通化されたIIS::TimedPosition形式で実装したため、前方ロボットが出力する位置姿勢情報をそのまま変更することなく、後方ロボットへの目標位置として入力することが可能となる。本実験では、自己位置及び目標位置のIFは共通化するが、前方ロボットから出力される自己位置、すなわち後方ロボットの目標位置に追従する方法については特に規定せず、各研究機関が独自に実装を行った。産総研における追従方式では、前方ロボットの走行位置を一定時間間隔で抽出し、その抽出位置軌跡に対して追従する。一方、セグウェイ及び千葉工大では、一定時間前の前方ロボット位置へ追従するという比較的簡単な方法で実装を行った。

Fig. 96に示すように、Ref-Hardを先頭に、Segway RMP, Omni-Wheelの追従順で6[m]x7[m]の範囲で実験を行った。実験の様子をFig. 97示す。Fig. 97より分かるように、先頭のRef-Hardが円を描く様に移動する後をSegway RMPが追従し、そのSegway RMPにOmni-Wheelが追従可能であることが確認できた。

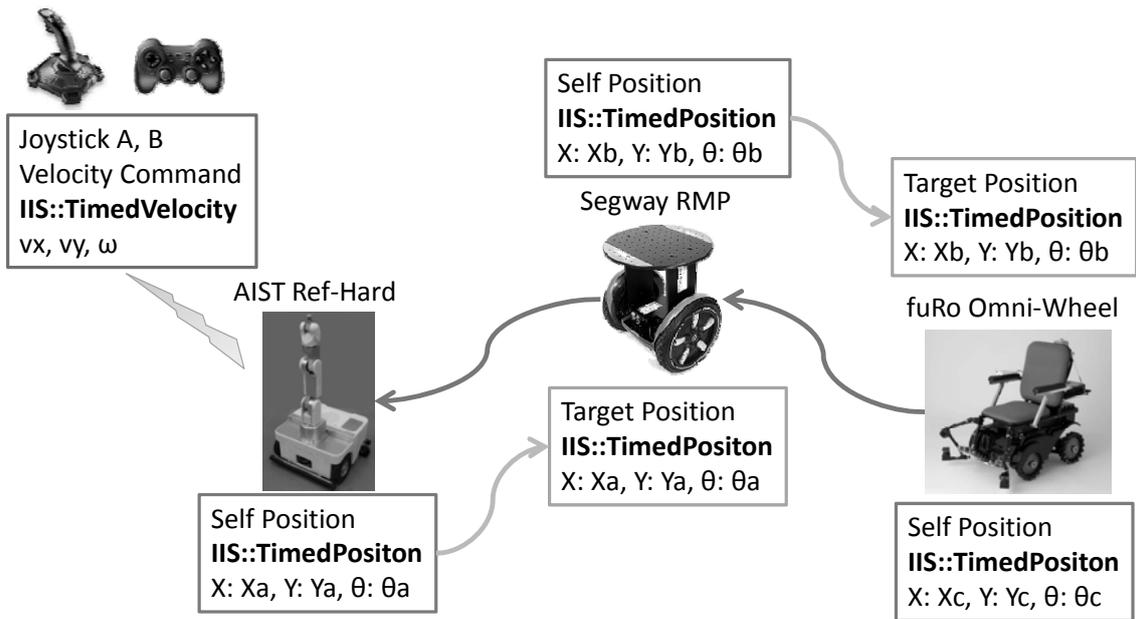


Fig. 96 縦列追従実験の構成



Fig. 97 縦列追従実験の様子

丸は Ref-Hard, 三角形は Segway RMP, 四角形は Omni-Wheel を示している
右下数字は経過時間

<実験 B1: 追従対象ロボットの動的変更>

本実験では, 実験 A1 と同様に前方ロボットへの追従動作を行うが, さらに, システムを止め

ることなく動的に、追従対象のロボットの変更を行う。これにより、共通 IF による各ロボット間の情報共有性や情報交換性向上を確認する。そのため 4 台のロボットを操縦されるロボットと、それに追従するロボットの 2 組に分け実験を行う。この 2 台の組で操縦されるロボットの自己位置を目標位置として後方ロボットが追従する動作を実現する。以上の動作を実現する RTC の接続構成を Fig. 98 に示す。この図において、長方形が各 RTC を表しており、RTC に付属する入出力 IF の接続関係が線で示されている。RTM では、このような RTC の接続関係をシステムを停止することなく動的に変更可能な GUI ツールである RT System Editor (RTSE) が提供されている。Fig. 98 は、RTSE のキャプチャ画面を用いて作成されている。RTC 間で接続可能な IF は、IF 形式が同様のものに限られている。そのため複数機関のロボット群で連携した動作を実現させるためには、各研究機関において開発されるロボット用 RTC に共通 IF を採用し、相互に接続可能とする必要がある。以上のように、RTM フレームワークで提供されている機能と先で述べた共通 IF を用いることで、操縦されるロボットおよび追従ロボットは、実験開始時に、Fig. 98 中の実線(a)で示された RTC 接続構成により位置姿勢情報を交換可能である。さらに、実験では、実線(a)の組で追従走行を行った後、追従する対象ロボットを点線(b)で示した構成に変更し走行を続行させる。(a)から(b)へ構成を切り替える際には、まず、RTSE を用いて実線(a)の接続を削除する。これにより目標位置情報が伝達されなくなり、後方ロボットは最後に受信した目標位置と一定の距離を保って停止する。この状態で点線(b)の構成で RTC を接続すると、新たな追従対象ロボットの位置情報が受信可能となりその位置情報をもとに、後方ロボットは再び追従動作を開始する。

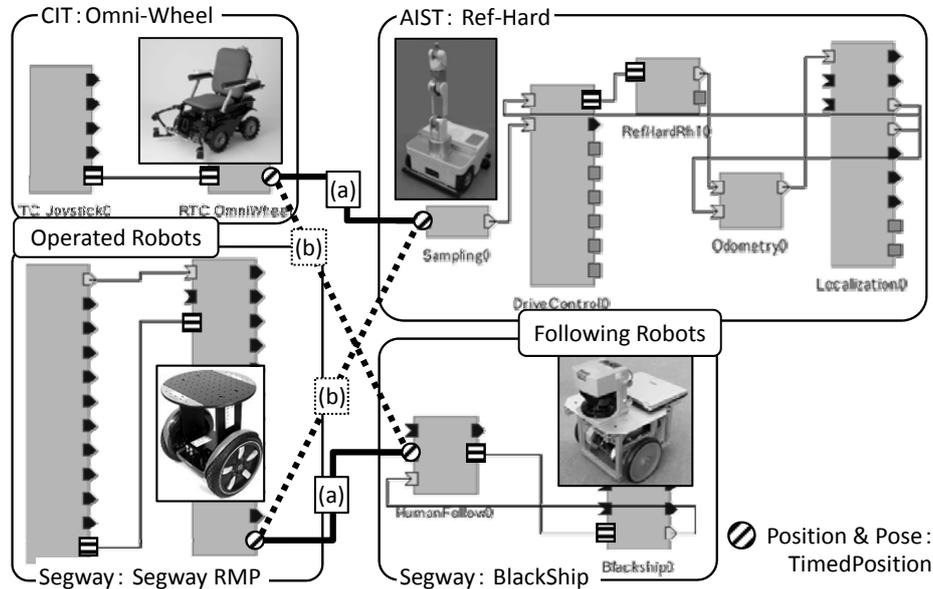


Fig. 98 追従対象ロボットの動的変更実験における RT コンポーネント接続構成

実験 B1 の結果として Fig. 99 に Ref-Hard において前方操縦ロボットの位置情報から算出された計画経路 (図中黒色線) とオドメトリにより算出された実際の走行軌跡 (図中灰色線) を示す。Fig. 99 中では、矢印がロボットの走行方向と順序を示している。1 回目の追従切替え(1)で、Fig. 98 中(a)から (b) に RTC 接続線を変更し追従対象のロボットを変更している。そのため切替え前の

まだ走行していない経路計画が黒色線で示されている。切替えの後は、Fig. 99中矢印2の方へ計画経路が設定されその経路通り走行しているため計画経路と走行経路が重なっていることが分かる。同様に追従切替え(2)においてFig. 98中(b)から(a)へRTC接続を再度行っている。以上のように、追従対象のロボットを動的に切り替えているにも関わらず、適切に追従対象ロボットの位置情報を取得し追従可能であることがわかる。

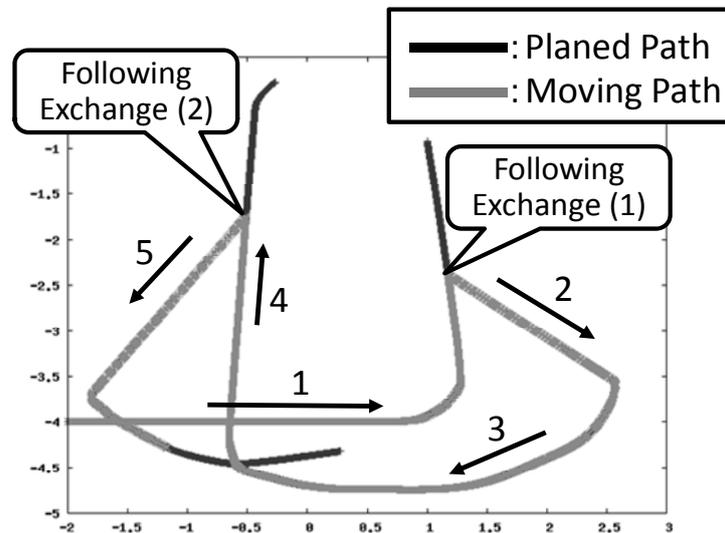


Fig. 99 Ref-Hard の追従計画経路と走行軌跡

また、同様の構成で行った実験 B1の様子としてFig. 100を示す。このFig. 100では、右下に経過時間が記載されている。Ref-Hard を例に説明すると、初期設定での接続(a)では、Omni-Wheel に追従しているが、経過時間 48 秒と 2 分 21 秒の間で、RTSE を用いて接続構成をFig. 98で示す接続 (b)に変更している。この接続変更作業により、追従対象ロボットが Omni-Wheel から Segway RMP に変更され、その後の図から分かるように Segway RMP に追従できていることが示されている。



Fig. 100 追従ロボット動的変更実験の様子

丸は Ref-Hard, 三角形は Segway RMP, 四角形は Omni-Wheel を示している, 右下数字は経過時間

<実験 B2: 単一走行指令に対する 4 台ロボット同期動作>

本実験では, 第 1 フェーズにて 2 台のロボットを用いて行った実験を 4 台のロボットを用いて行った. また, 共通化された走行指令 IF も第 2 フェーズにて策定された IIS::TimedVelocity を用いている. 本実験では, 上記の実験内容を実験 B1 で行ったロボット構成そのままにシステムを停止することなく, RTC の接続を動的に変更することで実現する. 実験 B2 における RTC 構成を Fig. 101 に示す. Fig. 101 中の実線(c)で示されるように, 単一の操縦ジョイスティック RTC により, 移動ロボット 4 台を同時に操作する.

実験の様子を Fig. 102 に示す. 右下の数字は, Fig. 100 で示した実験 B1 の続きからの経過時間を示している. Fig. 100 の 2 分 54 秒で実験 B1 の動作が終了した段階で, RTSE により Fig. 101 の RTC 接続構成に変更し, 再び Fig. 102 に示す 6 分 37 秒より実験 B2 が開始されている. この間に RTSE を用いて, 位置姿勢情報を授受していた RTC 間接続を削除したため, 各移動ロボットの走行制御 RTC には走行指令が伝達されずロボット群は停止している. しかし, システムそのものは稼働しており, 走行指令が発せられれば, ロボットはいつでも動作可能な状態である. そこで, Fig. 101 の (c) の構成で操縦ジョイスティック RTC と各ロボットの走行制御 RTC を接続し, ジョイスティック操作により走行指令を発すると, 各ロボットは直ちに動作する. この結果, Fig. 102 に示されて

いるように、フェーズ1の実験と同様に4台の移動ロボットが単一の走行指令に従って同期して動作可能であることが確認できた。

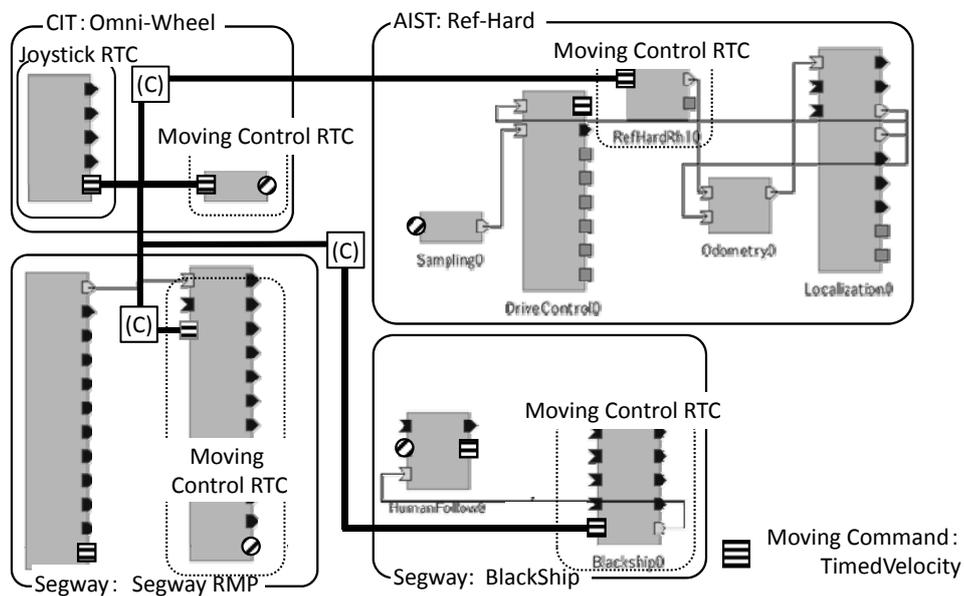


Fig. 101 単一走行指令に対する4台ロボット追従実験 RT コンポーネント接続構成



Fig. 102 単一走行指令に同期して動作する4台のロボット (右下数字は経過時間)

③ まとめ

第2フェーズでは、共通IFとして位置姿勢IFを追加した。これら策定された共通IFを採用することの利点について確認を行うため、移動WGを構成する3研究機関による共同実験を行った。共同実験では、ロボット間のIFを共通化することで情報共有化が容易に実現でき、異なる研究機関のロボット群にも関わらず、またそのため共通IF以外は、異なる実装にもかかわらず、追従動

作の実現を確認した。また、RTM のフレームワークと共通 IF を採用することで、システムが稼働中にもかかわらず、動的に RTC の接続関係を変更可能であり、ロボット群システムのような複雑なシステムにおいても RTC の交換性を確保できることが示された。これらの結果は、RTC のインターフェース共通化が、情報共有化およびロボットソフトウェア部品の再利用・交換に有効であることを示している。

(4) インターフェースの共通化:第3フェーズ共通インターフェース

①共通モジュール構成

第3フェーズでは、経路計画部の IF についても共通化を検討するため、第1フェーズにて定義した共通モジュール構成を詳細化し定義した。定義した共通モジュール構成をFig. 103に示す。

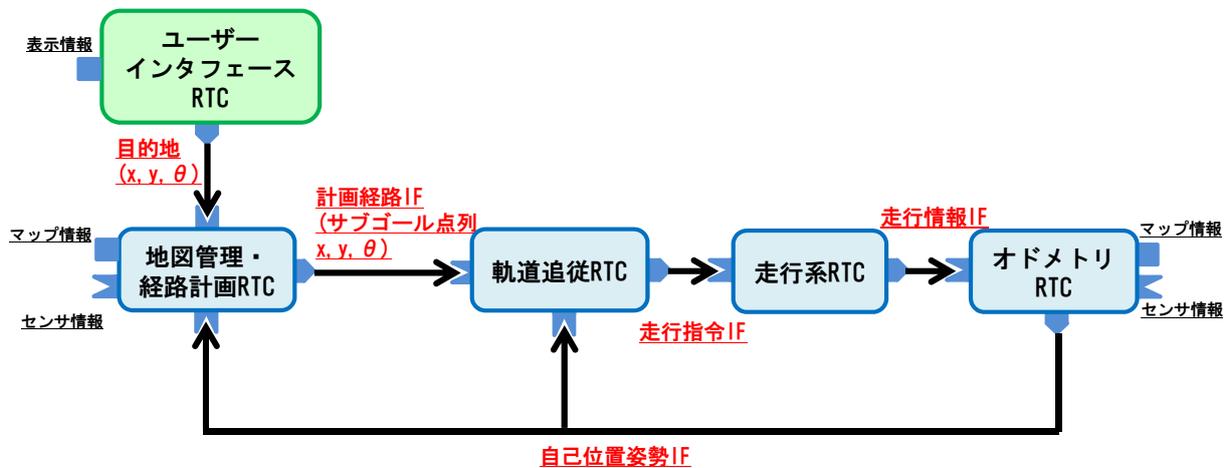


Fig. 103 第3フェーズ共通モジュール構成

② 第3フェーズ共通インターフェース

第3フェーズにて共通化された IF を表現する IDL をFig. 104に示す。第3フェーズでは、経路計画部の IF についても共通化を行った。また、すでに共通化された IF についても、OpenRTM-aist1.0 で導入された標準型に準拠するために全面的に改定を行った。そのため各変数の物理量単位についても OpenRTM-aist の標準型に準拠している。そのため本報告では、これらの定義については省略する。

ロボット中心の座標系については、第2フェーズと同様であるが、今回新たに経路計画部の IF を定義するに当たり地図座標系をFig. 105のように定義した。地図座標系では、原点、X軸方向ともに任意の位置、方向に指定可能な右手系を想定している。また、各要素の単位は、位置[m]、速度[m/s]、角度[radian]、角速度[radian/s]を想定しており、radian の範囲は $0 \sim 2\pi$ で正規化されていると仮定している。更に、可能であれば平面直角座標系を推奨している。以下、各共通 IF についての詳細について述べていく。

```

/* version 1.0 */
#ifndef IIS_IDL
#define IIS_IDL
#include "BasicDataType.idl"
#include "ExtendedDataTypes.idl"

module IIS {
    structTimedPose2D {                //推定位置 IF
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        RTC::Pose2D data;
        sequence<double> error;
    };

    structTimedPath2DSeq {            //計画経路 IF
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        sequence<RTC::Pose2D> pose;
        sequence<RTC::Velocity2D>velocity;    //進行方向
        sequence<double> error;
    };

    structTimedVelocity2D {           //走行指令・走行情報 IF
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        RTC::Velocity2D data;
        sequence<double> error;
    };

    structTimedPose2DSeq {            //目的地 IF
        RTC::Time tm;
        sequence<long> id;
        sequence<RTC::Pose2D> data;
        sequence<double> error;
    };
};
#endif /* IIS_IDL */

```

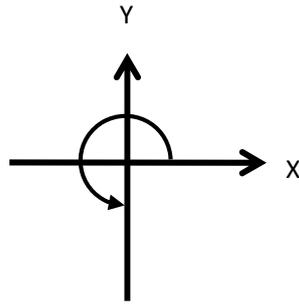
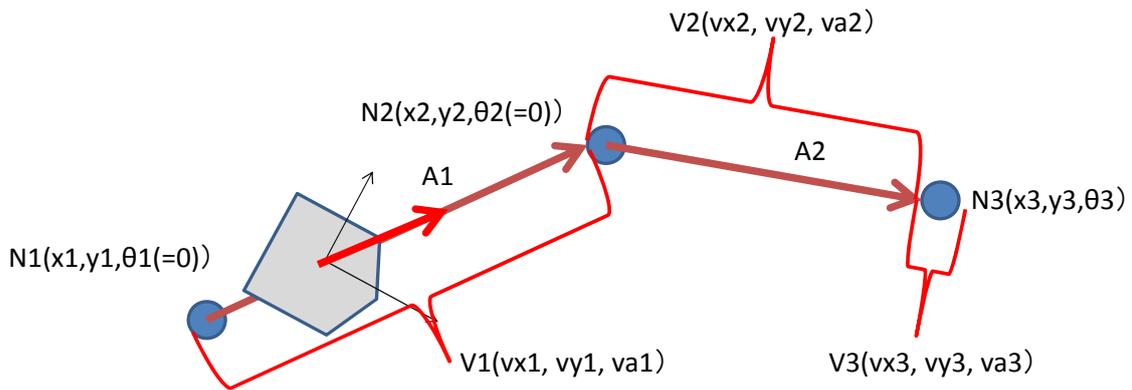


Fig. 105 地図座標系

<計画経路インターフェース>

共通モジュール構成 (Fig. 103参照) における地図管理モジュールから軌道追従モジュールへ目標経路を伝達するためのインターフェースである。

目標経路は, TimedPath2DSeq 型を用いてウェイポイント列(x,y,θ)で表現されている。ただし, ウェイポイントの間隔および個数は任意である。ウェイポイント列の表現例をFig. 106に示す。



ノード位置 (x, y, θ): そこの位置、姿勢 値が入っていても無視される場合もある
速度(vx,vy,va) : 走行最大速度、無視してもいい。ロボット座標系。

Fig. 106 ウェイポイント列の表現例

対象ロボットをバックさせる場合には, vx が負数, vy がゼロの指定となる。また, ウェイポイントの角度指定については, 最後のポイント以外は無視しても良い。更に, ウェイポイントの各パラメータは必ず守らなければならないものではなく, ロボットの構造や走行制御系によっては θ や vy, va 等は無視する場合もある。

新しいウェイポイントを受信した場合, 既に受け取っている旧ウェイポイント情報は破棄し, 新たに受け取ったウェイポイント列を採用する。ただし, ウェイポイント切り替え処理時にロボットを停止させるかどうかについては実装依存である。また, ウェイポイント列のデータ長がゼロである場合は, その場で停止する事を意味しており, 旧ウェイポイント情報は破棄する。

ウェイポイント列の1番目のデータは, スタート地点を表現する。このため, 本インターフェースを用いて伝達するデータには少なくとも2つのウェイポイント情報が必要となる。

ウェイポイント列 1 番目のデータで表現しているスタート点と自己位置にズレが存在する場合の修正動作については未定義である。

計画のための経路地図のフォーマットやプランニングについては、使用するシナリオに依存するので、実装依存となる。

本仕様自体は最低限のナビゲーションのための経路情報の仕様であり、充電や制御しながらの移動等、動作に特殊な制御が入るような場合は、専用のモジュールに制御を移す。

< 走行指令, 走行情報インターフェース >

走行指令インターフェースは、共通モジュール構成 (Fig. 103参照) における軌道追従モジュールから走行系モジュールへ走行指令情報を伝達するためのインターフェースである。また、走行情報インターフェースは、走行系モジュールからオドメトリ(位置推定)モジュールへ現状の走行情報を伝達するためのインターフェースである。

走行指令, 走行情報ともに `TimedVelocity2D` 型を用いており、ロボット中心座標系における速度 (V_x, V_y, V_a) を設定する。

走行情報インターフェースでは、時間が重要な意味を持つので、`RTC::Time tm` の情報を付加することを推奨する。また、10ms 程度以下の周期で出力することも推奨する。

< 確率的自己位置姿勢インターフェース >

共通モジュール構成 (Fig. 103参照) におけるオドメトリ(位置推定)モジュールから軌道追従モジュールと地図管理・経路計画モジュールに自己位置姿勢を伝達するためのインターフェースである。

`TimedPose2D` 型を用いて、地図座標系における位置と姿勢 (x, y, θ) を設定する。

< 目的地インターフェース >

共通モジュール構成 (Fig. 103参照) における UI モジュールから地図管理・経路計画モジュールに目的地情報を伝達するためのインターフェースである。

`TimedPose2DSeq` 型を用いて、地図座標系における位置と姿勢 (x, y, θ) を伝達する。型定義としては `sequence` 型であるため、複数のデータを設定可能であるが、1 番目のデータのみが有効であり、その他のデータについては無視する。

新しい目的地位置姿勢を受信した場合、過去に受け取った旧目的地位置姿勢情報は破棄し、新しい目的地位置姿勢情報を採用する。

受け取った目的地位置姿勢情報のデータ長がゼロだった場合は、目的地情報のクリアを意味しており、旧目的地位置姿勢情報は破棄する。目的地情報がクリアされた場合の経路計画モジュールの動作については実装依存であるが、その場で停止することを推奨する。

< 走行状態インターフェース >

共通モジュール構成 (Fig. 103参照) における移動モジュールから地図管理・経路計画モジュールへロボットの走行状態を伝達するためのインターフェースである。

`TimedPose2D` 型を用いて、ウェイポイント番号と走行状態(走行中または、停止中)を伝達する。本インターフェースは、与えられたウェイポイント列の中から、ウェイポイントを通過する度

に、通過したウェイポイント番号を送信する。また、停止した場合には、フラグを立てるとともに、最後に通過したウェイポイントの情報を送信する。

(5) おわりに

本稿では、RTMによりロボット機能のモジュール化、部品化は容易に実現可能であるが、これらソフトウェアモジュールの再利用、交換、またモジュール間の情報共有を実現するためには、RTC インターフェースの共通化が重要であることを説明した。そこで、複数の研究機関により構成される移動WGにおいて、移動知能ロボットを対象としてロボット機能構成やインターフェースの共通化を行った。共通化したIFを実際に各研究機関のロボットに実装し、共通化の利点を確認するため共同実験を行った。実験の結果、共通化の利点であるRTCの再利用、交換、RTC間、ひいてはロボット間の情報共有が容易に実現可能であることを確認した。

参 考 文 献

- [1] Kotoku, Robot Middleware and its Standardization in OMG - Report on OMG Technical Meetings in St. Louis and Boston -, Proceedings of SICE-ICCAS2006, pp.2028-2031, (2006)
- [2] Robotic Technology Component (RTC), <http://www.omg.org/spec/RTC/>
- [3] Ando, Suehiro, Kitagaki, Kotoku, and Yoon, RT-middleware: distributed component middleware for RT (robot technology), Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on robots and intelligent systems, pp. 3555-3560, (2005)
- [4] Ando, Suehiro, Kitagaki and Kotoku, RT(Robot Technology)-Component and its Standardization - Towards Component Based Networked Robot Systems Development -, Proc. of SICE-ICCAS2006, pp.2633-2638, (2006)
- [5] Okano, Yasukawa, Overview of Intelligent RT Software Project, Proc. of the 27th Annual Conference of the Robotics Society of Japan, RSJ2009AC1D1-01, (2009), in Japanese
- [6] Nishino, Standard for Robotic Localization, Workshop Proc. of SIMPAR 2008 Intl. Conf. on SIMULATION, MODELING and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS, pp. 604-615, (2008)

3.4.4.3.3 RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群

(1) 目的

NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト[1]において、RT ミドルウェア (OpenRTM-aist) [2]を利用した知能モジュール群が、複数の参画機関により開発されている。これらの知能モジュールのフレームワークを提供する RT ミドルウェアは、PC や Ethernet といった資源の豊富なシステムレイヤによって実現されている。一方、知能ロボットを構築するためには、モータ制御等の組込システムレイヤのモジュール群も必要となる。そのためFig.107に示すように、これら異なるレイヤのモジュール群が RT コンポーネント規格のフレームワークでシームレスな連携を実現することで知能ロボットを簡便に構築することが可能となる。

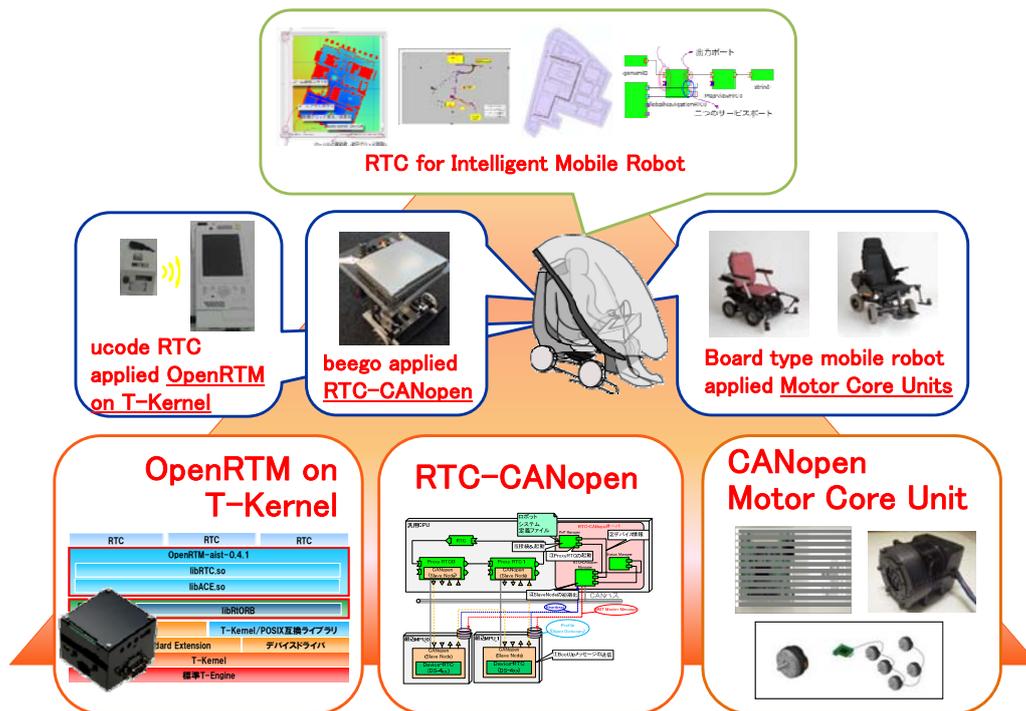


Fig.107 Intelligent mobile robots constructed by embedded RT-Middleware platforms

そこで芝浦工業大学を主幹として、千葉工業大学、NEC ソフト、ピューズによりコンソーシアム（芝浦工大コンソ）を構成し、RTC フレームワークにより PC レイヤと組込みレイヤのモジュールがシームレスに連携し知能ロボットを簡便に構築可能な組込みプラットフォーム群として下記の3項目を新たに開発した。

- RTC-CANopen[3]（芝浦工業大学）
産業用機器で機器間のネットワークとして広く採用されている CAN バス及び CAN バスなど Native バスを広くサポートする標準プロトコルである CANopen と RT ミドルウェアをシームレスに連携接続可能なフレームワーク。
- CANopen 対応デバイス・ツール群（千葉工業大学、ピューズ）
モータ駆動に必要なセンサ、モータドライバ、モータ、ギアをワンパッケージにしたモータモジュール。CAN バスを装備し、CANopen に対応するモータコアユニット。多機能組込みマイコン用オープンソースファームウェア f-palette-CANopen。汎用の CAN バスモニターソフト FCAN-View。
- OpenRTM on T-Kernel（NEC ソフト）

組込 OS として広く普及している TRON 準拠 OS である T-Kernel 上で稼働する、OpenRTM-aist 互換 RT ミドルウェア

本プロジェクトでは、これらのフレームワーク、デバイス、ツール群を開発するに当たり下記の3点を開発の基本方針とした。

- ・ 既存の国際標準規格である RTC や CANopen に準拠
- ・ 既存ソフトウェア資産である OpenRTM-aist や T-Kernel との互換性を重視
- ・ 開発したソフトウェアをオープンソースで公開

これらの方針を採用することで、開発された RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群の再利用性、持続性また接続性を確保することを狙っている。本稿ではこれらの RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群について順次説明していく。

(2) RTC-CANopen (芝浦工業大学)

以下では、RTC-CANopen の開発目的、動作仕様、特徴、適用例や標準化作業について説明する。

① 開発目的

ロボット開発では、モータ駆動やセンサ情報の取得等に用いられる I/O デバイスが必要である。RT ミドルウェア専用に I/O デバイスを開発するアプローチ[4]もあるが、このアプローチで開発されるデバイスは RT ミドルウェアに最適化される一方、多くのデバイスラインナップをそろえるために多くの開発コストがかかる。また、既存の I/O デバイスを RT ミドルウェアに対応させるためには、個別対応が必要となる。

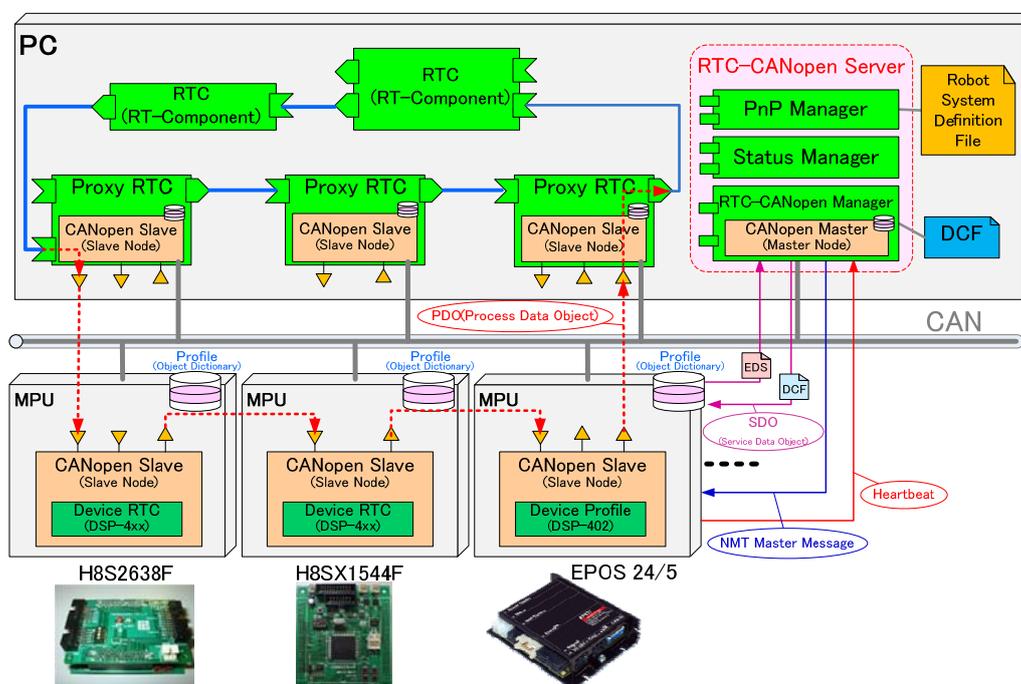


Fig.108 System configuration of RTC-CANopen

一方、組込 I/O デバイスの通信プロトコルやデバイスプロフィールを規定している仕様が CiA

により CANopen[3]として標準化されている。この CANopen は、現在、CAN バス¹で動作する組込 I/O デバイスに適用され広く普及している。そのため市場において様々な機能を実現した CANopen 対応デバイスを手入手可能である。

そこで CANopen 対応デバイスと RT ミドルウェアフレームワークで構築された RT コンポーネントをシームレスに連携可能な RTC-CANopen の開発を進めた (Fig.108参照)。これにより、豊富な選択肢を提供する CANopen 対応デバイスを用いて簡便に RT コンポーネントと連携可能なロボットシステムを構築可能である。また、新規開発の I/O デバイスも CANopen に対応させることで、既存デバイスが混在したロボットシステムでも同じフレームワークで構築可能となり開発効率の向上が図れる。

② 動作仕様

CANopen とは、CAN(Controller Area Network)をはじめとする様々なネイティブバスをサポートするネットワークプロトコルである。そして、CANopen は、1995 年に欧州で CiA (CAN in Automation)により規格の標準化が行われ、鉄道車両や医療機器など様々な装置の内部制御に利用されており、実用的な安全バスシステムであると言える。

CANopen のデバイスモデルは、大きく分けて CAN メッセージのタイミングを含めた送受信を行う通信オブジェクトと、通信部とアプリケーション部の橋渡しをするデータの参照テーブルの Object Dictionary(OD)、各デバイスのアルゴリズムを実装したアプリケーションの 3 つに分割される。OD では、デバイスの取得したセンサ情報や通信に利用する ID、送受信するメッセージの情報の記述が行われている。また、OD に格納するデータは、CiA により規定されており、プロファイルという形で情報公開が行われている。CANopen のプロファイルでは、Communication Profile と呼ばれる通信に関する規格書(DS-3xx)、Device Profile や Application Profile と呼ばれるデバイスの機能やアプリケーション全体の制御に関する規格書(DS-4xx)の 2 種類がある。通信オブジェクトでは、PDO(Process Data Object)と SDO(Service Data Object)の 2 つがある。PDO はセンサのアナログデータやデジタルデータなど連続的なデータを CAN バスへ送信する通信に利用する。また、SDO は、上位のアプリケーションが各 CANopen デバイスの持つ OD へ設定を書き込む際の離散的なデータに利用する通信である。

RTC-CANopen は、OpenRTM-aist をプラットフォームとして、組み込み系プロセッサを制御する RT Component である。実用的なものとするためオートメーション用安全バスシステムの 1 つである CANopen を取り入れたシステムとなっている。

RTC-CANopen では利用実績の高い CANopen と RT ミドルウェアを利用することで実用性の向上を図っている。

RTC-CANopen において、システムを構成するソフトウェアは、組み込み MPU 上で動作する DeviceRTC、DeviceRTC を OpenRTM フレームワーク上で管理・操作するための ProxyRTC、システム全体を管理するアプリケーションの 3 つ(以降、RTC-CANopen サーバ)である。RTC-CANopen サーバ、および ProxyRTC は汎用 PC 上で動作し、DeviceRTC は組込 MPU 上で動作する (Fig. 109 参照)。

¹ CANopen の適用は CAN バスに限らず、リアルタイムイーサネット規格の EtherCAT でも標準の通信プロトコル・デバイスプロファイルとして採用されている。

<ポートのマッピング>

OMG-RTC では外部モジュールとの通信, 相互作用を行うための要素として Port が定義されている。また, Port を利用した通信方式については, OMG-RTC において以下の3つのパターンが定義されている。

- Periodic Sampled Data Processing : 一定周期で連続してデータ送受信を実行するパターン
- Stimulus Response Processing : 外部イベントに応じてデータ送受信を実行するパターン
- Modes of Operation : データ送信を含む動作モードの切り替えを行うパターン。単独で利用するのではなく, 他のパターンと併せて利用する。

これらの定義済みパターンの中で, Periodic Sampled Data Processing については, CANopen 仕様中の PDO 通信と同等な機能と考えられる。そこで, RTC-CANopen では PDO 通信を実行する要素(Transmit PDO, Receive PDO)を RT-Component の Port にマッピングする。また, ProxyRTC は対応する DeviceRTC の状態を監視するために, ハートビートコンシューマの機能を有する。ProxyRTC と DeviceRTC 及び PDO とポートのマッピングをFig. 109に示す。

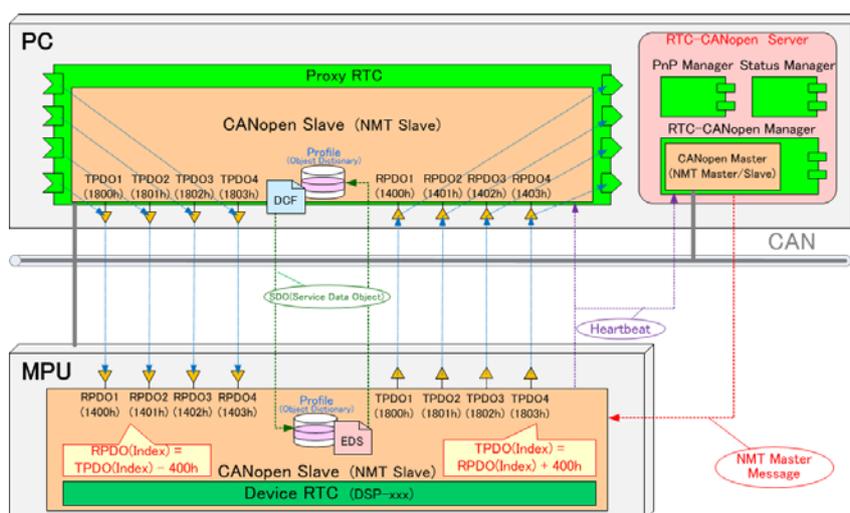


Fig. 109 DeviceRTC and ProxyRTC

<ステートのマッピング>

RTC-CANopen では, OMG-RTC で定義されているステートマシンを基に, RT-Component の各状態を NMT ステートマシンの各状態にTable. 3に示すようにマッピングを行う。OMG-RTC の仕様では, Error 状態からの復帰についてはリセット処理が成功した場合のみ Error 状態から抜けるため, NMT 状態の Stopped, Reset Application, Reset Communication は全て RT-Component の Error 状態にマッピングした。ただし, NMT 状態の Reset Application, Reset Communication に関しては, 電源投入直後に RT-Component が生成された状態とも対応するため, Created 状態にもマッピングを行った。マッピング結果を OMG-RTC で定義されているステートマシンに埋め込んだ結果をFig. 110に示す。また, マッピング結果を基に, NMT ステートマシンを書き換えると, Fig. 111に示すようなモデルとなる。

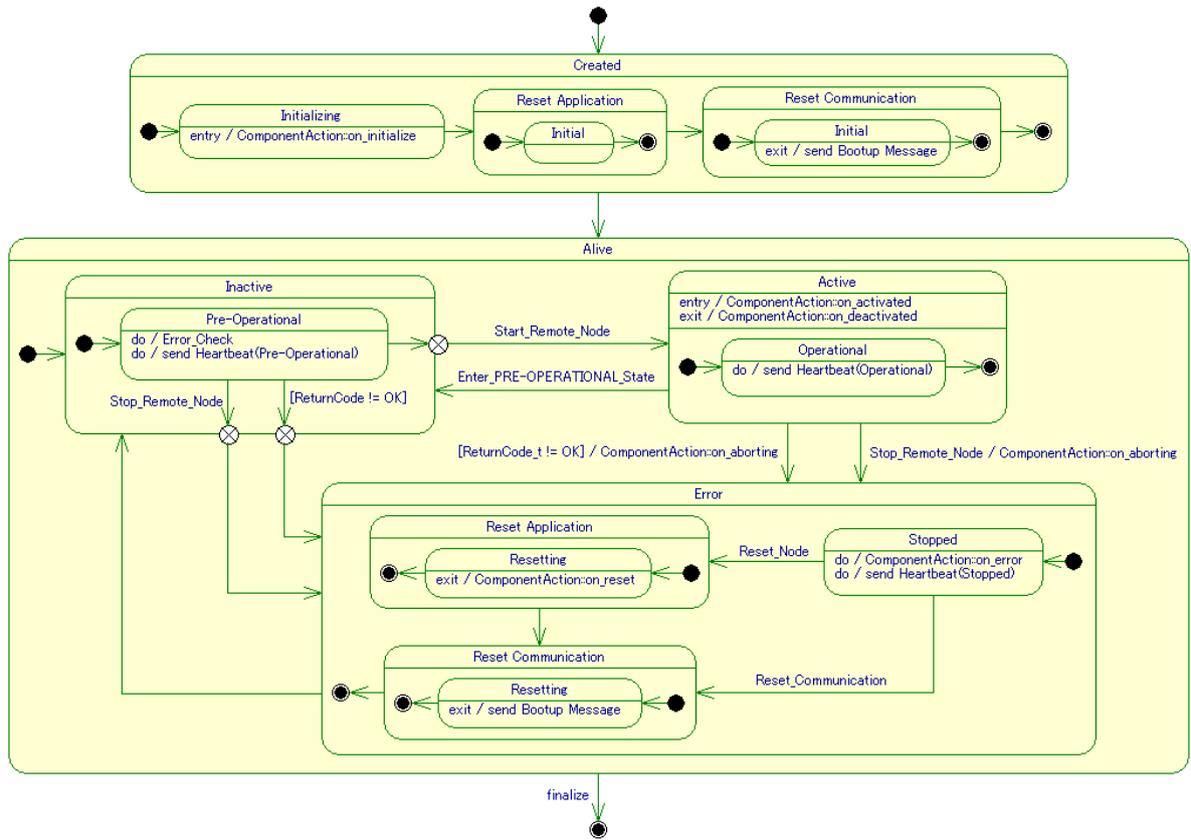


Fig. 110 Merged RTC and NMT state machine

Table. 3 State mapping

RTC 状態	NMT 状態
Created	Initializing Reset Application Reset Communication
Inactive	Pre-Operational
Active	Operational
Error	Stopped Reset Application Reset Communication

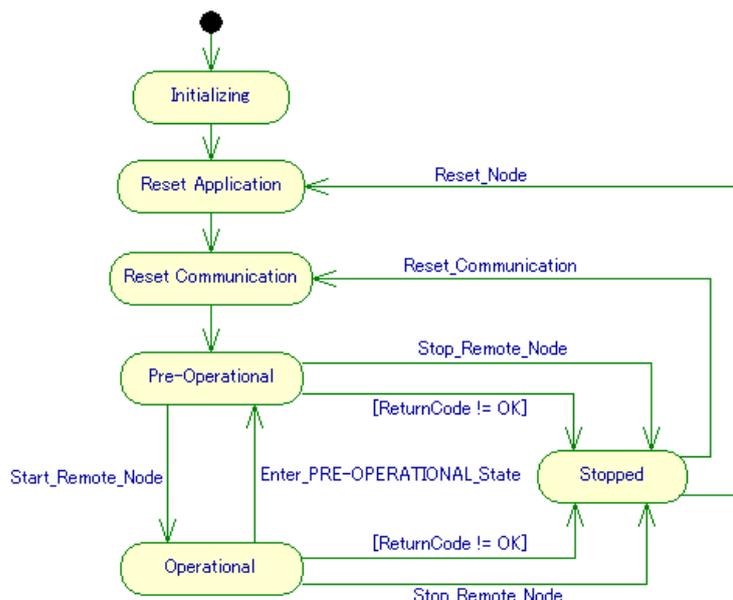


Fig. 111 NMT state machine

<データタイプのマッピング>

MG-RTC と CANopen ではデータ型の定義が異なっている。そのため、データ型間のマッピングをTable. 4に示すように定義する。また、プロファイルに OMG-RTC の設定情報の記述方法についても定義している。

Table. 4 Data type mapping

RTC	CANopen	Data width(bit)	Encoding(Hex)
Boolean	BOOLEAN	1	01
Octet	UNSIGNED8	8	05
Character	VISIBLE_CHAR	8	A0
Short	INTEGER16	16	03
UnsignedShort	UNSIGNED16	16	06
Float	REAL32	32	08
Long	INTEGER32	32	04
UnsignedLong	UNSIGNED32	32	07
Double	REAL64	64	11
Unsigned LongLong	UNSIGNED64	64	1B
Integer	INTEGER8 ※1	8	02
	INTEGER16 ※1	16	03
	INTEGER32 ※1	32	04
String	VISIBLE_STRING	—	09
WideCharacter	UNICODE_STRING	—	0B
WideString	UNICODE_STRING	—	0B

※1) Integer 型については、使用するデバイス(マイコン)の bit 数と合わせて CANopen 側の型を選択する形とする。

③ 特徴

RTC-CANopen の特徴を挙げると下記のようなになる。

【軽量性】 RT ミドルウェア対応組込向けフレームワークとして CANopen に対応する組込 MPU

でも動作する軽量仕様

【ロバスト性】 全体を監視する仕組みを配置することによりシステムのロバスト性を向上

【リアルタイム性】 CAN の特徴を活かし、高速で信頼性の高いコンポーネント間通信を実現

【柔軟性】 コンポーネントの PnP 機能など、システムの構成を柔軟に変更可能なシステム

【再利用性向上】 CANopen を使用することによってデバイスの再利用性が向上

【簡便性】 CANopen 対応デバイスと RT ミドルウェアをシームレスに連携可能でありロボットシステムを簡便に構築可能

【マルチプラットフォーム】 Windows, Linux に対応(動作検証:Windows XP SP3, Windows7, Ubuntu 9.10,10.04LTS).

【オープンソース】 当初, 商用ライブラリにより実装されている機能をオープンソースライブラリで再実装し, オープンソースソフトウェア (OSS) としてリリースした.

④ 適用例

テクノクラフト社製 beego のモータドライバを CANopen に対応した Maxon 社製 EPOS モータドライバに換装し, RTC-CANopen を適用してロボットシステムを構築した (Fig. 112参照). 既存のハードウェアや RT コンポーネントが利用可能なことで, 周辺回路製作を含め, 芝浦工業大学学部生 3 名により 2 週間程度で構築が可能であった.

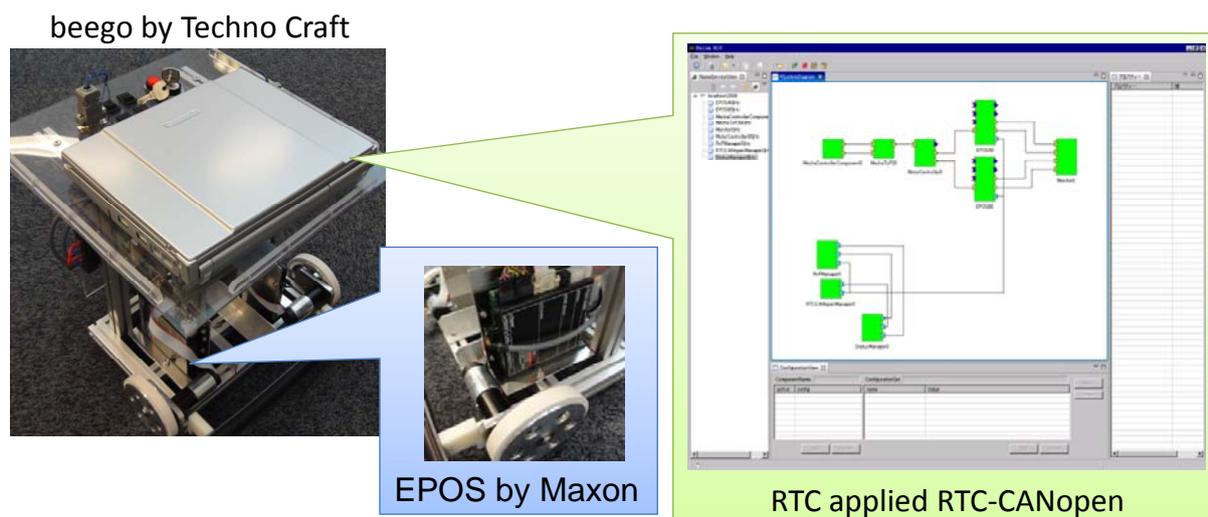


Fig. 112 Example of RTC-CANopen application: beego mobile robot

この, ロボットはその後小型リファレンスロボット (Beego 改) として,

- ・ 再利用センターへ 知能モジュールの検証プラットフォームの一つとして提供

- ・ 知能モジュールを再利用統合して、室内運搬サービスデモの実施（再利用センターと共同）
- ・ 東京大学における ROS-RTM 連携実験
に使用された。

このほか、適用事例としては以下を挙げる。

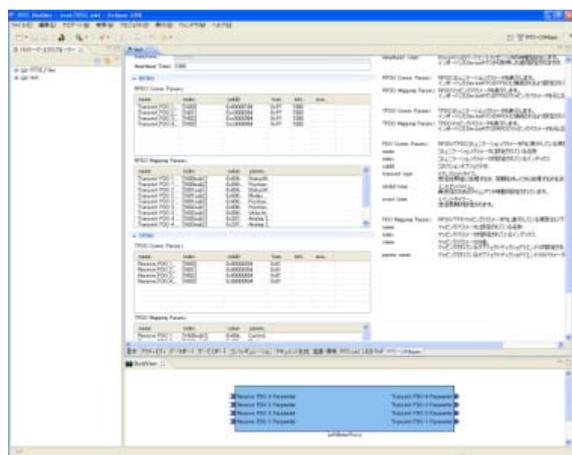
RTC-CANopen の提供

- セグウェイジャパン株式会社
- 京都大学
- 大阪大学
- 東京大学
- 名古屋工業大学
- 長岡技術科学大学

2010 年、2011 年つくばチャレンジ機体への適用

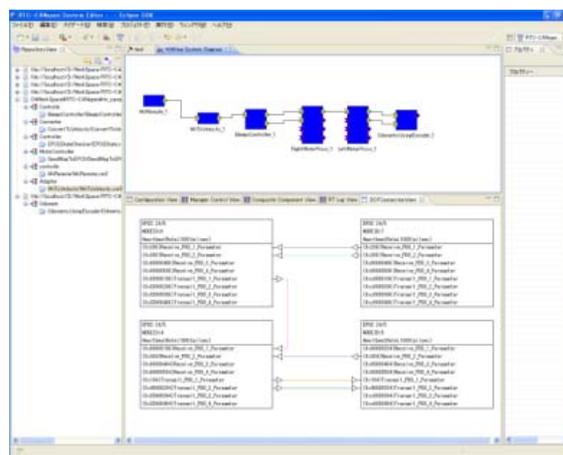
さらに、RTC-CANopen は、既存 CANopen 製品に対応可能だが、開発者が CANopen デバイスである DeviceRTC を開発することも可能にする。現在、ルネサスエレクトロニクス社製 H8SX、SH2 マイコンと、ARM 系マイコンを使用している THK 社製の SEED^[9](Smart End Effector Devices)に RTC-CANopen を適用し、その機能と動作を確認している。これら開発環境として、システムエディタの Eclipse プラグインである次の設定ツールを提供している。

- RTC-CANopen Builder
- RTC-CANopen System Editor



(A)

Fig. 113_A) RTC-CANopen Builder



(B)

(B) RTC-CANopen System Editor

⑤ 国際標準化作業

CAN や CANopen の仕様を管理している CiA において RTC-CANopen を標準仕様として規格化するため、2008 年より活動を開始、2010 年に参加者を募集し、2011 年に Service Robot SIG (Special Interest Group) を発足（議長：水川真（芝浦工業大学））させ、作業を行った。その結果、上位と

下位のインターフェース規定として、規格作業原案（Working Draft）

CiA318: Implementation guideline - Mapping of RTC to CANopen

CiA460: Service robot Controller profile - NMT master application and CANopen device proxies

を策定し、審議を経て 2012 年 2 月上旬に DSP (Draft Standard Proposal) として、規格承認され CiA に公開した。

(3) CANopen 対応デバイス・ツール群（千葉工業大学・ピューズ）

① 開発目的

ロボットシステムを構築しようとした場合、アクチュエータとしてのモータの駆動がほぼ必須となる。モータを駆動するシステムには、構成要素としてモータの他に減速機、角度センサ、モータ駆動用回路（モータドライバ）が必要となる。さらに多軸のモータ駆動制御を実現するためには、通信のためのネットワーク機能も必要となる。これらの機能を実現するためには通常、それぞれの構成要素を独自に組み合わせて、システムを設計、構築する必要がある。これではアクチュエータ部分の設計、構築に手間がかかり、簡便にロボットシステムを構築することが難しい。

そこで波動歯車減速機、減速機軸絶対角度エンコーダ、ブラシレス DC モータ、モータ軸エンコーダ、CAN バス通信機能付きモータドライバを一体化したモータコアユニットの開発を行った（Fig. 114参照）。これにより多モータロボットシステムを簡便に構築可能としている。減速機軸に絶対角度エンコーダを搭載しているため、初期位置出し動作が不要となる。さらに CAN バスの通信プロトコルを国際標準規格である CANopen に則り実装した。

簡便にロボットシステムを構築するためにはアクチュエータ機能だけではなく、各種センサ情報などを取得可能な IO 機能も必要となる。そこで、多機能・低価格なマイコンボード f-palette に CANopen フレームワークを実装した。実装したファームウェア f-palette-CANopen は、オープンソースで公開済みである。これにより、だれでも公開されているソースコードを元に、所望の IO 機能を実現可能となった。

以上のようにロボットシステムを簡便に構築可能にする CANopen 対応デバイスの開発を行ってきた。これらのデバイス群をより簡便に扱うために汎用 CAN バスモニターソフト FCAN-View を開発した。このソフトウェアもバイナリソフトだけではなく、ソースコードまで無償で入手可能なように公開されている。

本小節では、これらの CANopen 対応デバイス・ツール群について順次説明する。

② CANopen 対応モータコアユニット

これまで述べたコンセプトもと実装したモータコアユニット Ver1.1 を Fig. 115 に示す。新たに Fig. 116 示す小型モータドライバ FTMD 1 axis を開発することでモータコアユニットは名刺大のフットプリントを実現した。それぞれのハードウェア仕様を Table. 5, Table. 6 に示す。

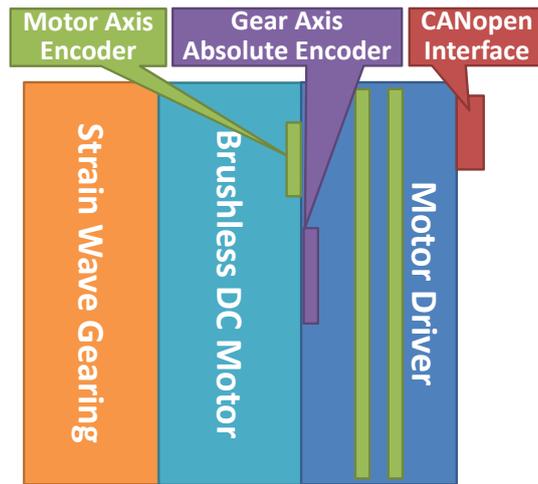


Fig. 114 Configuration of Motor Core Unit



Fig. 115 Motor Core Unit Ver. 1.1



Fig. 116 Motor driver: FTMD 1 axis

Table. 5 Specifications of Motor Core Unit Ver. 1.1

Size	ϕ 70[mm] x L 80 [mm]	
Weight	1132 [g]	
Torque	continuous	15 [Nm] (Target)
	peek	30 [Nm] (Target)
Velocity	60 [rpm] (@ 60V)	

Table. 6 Specifications of motor driver: FTMD 1 axis

Size	75[mm] x 55[mm] x 24[mm]	
Weight	97 [g] (include heatsink)	
Current	continuous	7[Arms]
	peek	10[Arms]
Voltage	control	5[V]
	motor	10~60 [V]
Command Mode	Torque, Velocity, Angle	
Network Interface	Bus	CAN 2.0B
	Protocol	CANopen

CANopen 対応機能としては、下記にあげるプロファイルを実装した。

- ・ コミュニケーションプロファイル
 - ・ 標準規格 DS301 準拠
 - ・ プロセスデータオブジェクト PDO (PDO マッピング)
 - ・ サービスデータオブジェクト SDO
 - ・ ブートアップ
 - ・ 同期 Sync
 - ・ Heart Beat
- ・ デバイスプロファイル
 - ・ I/O デバイスプロファイル (標準プロファイル DS401) 準拠
 - ・ モータ制御プロファイル
 - ・ 電流モード
 - ・ 速度モード
 - ・ 角度モード

③ CANopen 対応モータドライバ適用例：搭乗型移動ロボット FourX

モータコアユニットに内蔵されているモータドライバ FTMD 1 axis を用いて搭乗型移動ロボット FourX を構築した。システム構成を Fig. 117 に示す。FourX は 4 輪独立駆動のステアリング方式の搭乗型移動ロボットである。この各車輪のモータを FTMD 1 axis により駆動制御している。各 FTMD 1 axis は組込 PC と CAN バスで接続されており、これにより指令値や各種状態を取得することが可能である。

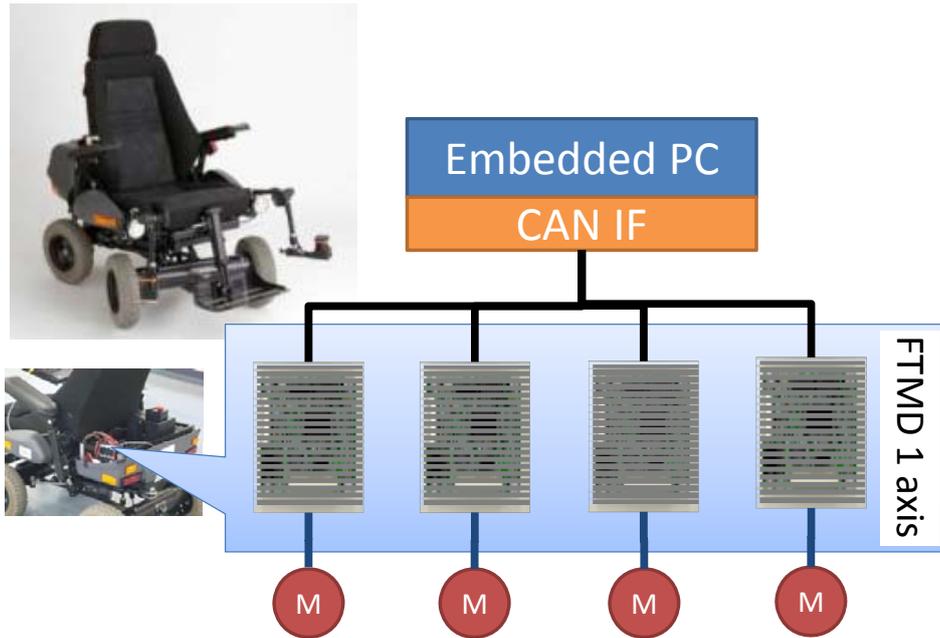


Fig. 117 System configuration of FourX

④ オープンソース多機能組込みマイコンボード用 CANopen ファームウェア:f-palette-CANopen

多機能組込みマイコンボードである f-palette (Fig. 118参照) [6]で動作する CANopen フレームワークファームウェアを実装した。実装したファームウェアは、Table. 7にあげるサイトにてオープンソースで入手することが可能である。また、詳細な利用マニュアルも公開されている。これにより、ロボット構築に必要な IO 機能を CANopen 対応デバイスとして誰でも、簡便に実装することが可能となった。CANopen 対応機能としては、下記にあげるプロファイルを実装した。

- ・ コミュニケーションプロファイル
 - ・ 標準規格 DS301 準拠
 - ・ プロセスデータオブジェクト PDO (PDO マッピングは、外部 GUI ツールにて可能)
 - ・ サービスデータオブジェクト SDO
 - ・ ブートアップ
- ・ デバイスプロファイル
 - ・ I/O デバイスプロファイル (標準プロファイル DS401) 準拠
 - ・ アナログインプット
 - ・ デジタルインプット
 - ・ デジタルアウトプット

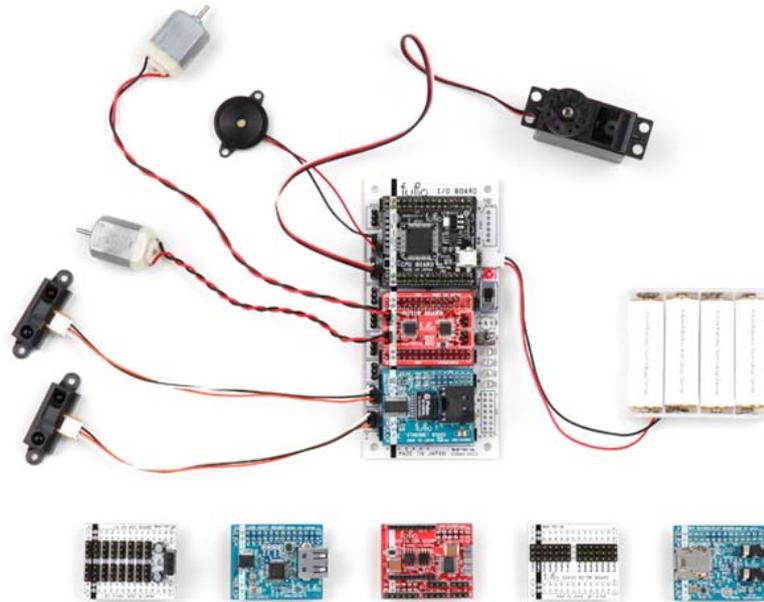


Photo: Fuminari Yoshitsugu

Fig. 118 多機能組込マイコンボード f-palette

Table. 7 f-palette-CANopen の公開サイトおよびオープンソースライセンス

公開サイト	http://code.google.com/p/f-palette-CANopen/
オープンソースライセンス	LGPL

⑤ オープンソース汎用 CAN バスモニターソフト FCAN-View

CANopen 対応デバイスの開発・実装を支援するために CANopen だけではなく汎用の CAN バス上に流れるデータを記録，グラフ化可能なツール FCAN-View を開発した。画面構成を Fig. 119 に示す。

本ツールも Table. 8 にあがるオープンソースライセンスの元，ソースコードを公開し，実行ファイルについても無償で入手可能である。開発に利用しているツール，ライブラリも無償入手可能なソフトウェアに限定しているため，だれでも簡単にソフトウェアの改変，再配布を可能としている。本ツールの機能を列挙すると下記のような。

- ・ 受信 CAN データ記録
- ・ CAN データ単発（周期）送信
- ・ シーケンス CAN データ送信
- ・ 受信 CAN データのグラフ化（保存受信データおよびリアルタイム受信データ対応）
- ・ 上記機能の設定保存，呼び出し

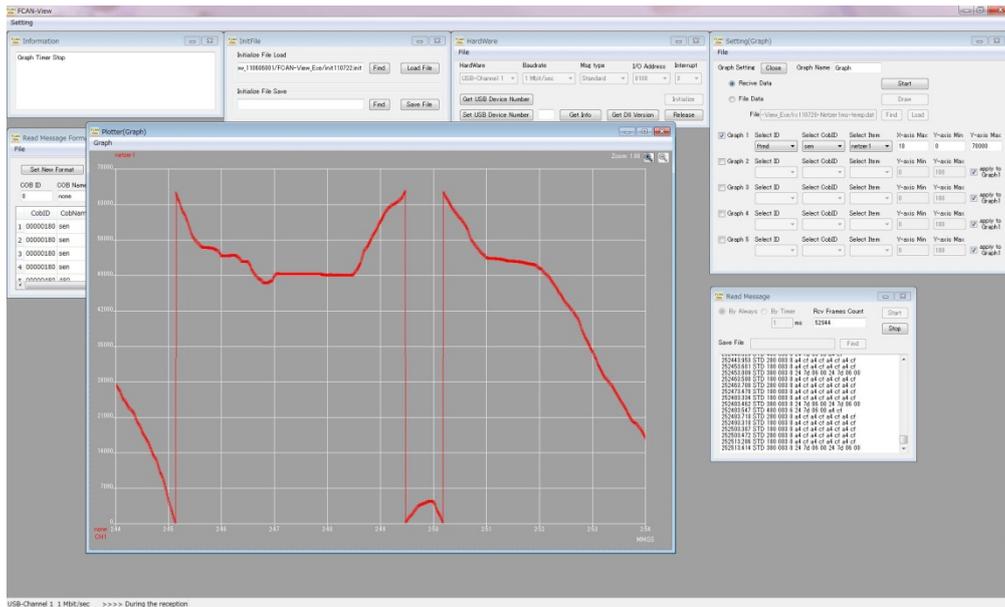


Fig. 119 FCAN-View のデータグラフ化, 設定画面

Table. 8 FCAN-View の公開サイトおよびオープンソースライセンス

公開サイト	http://code.google.com/p/FCAN-view/
オープンソースライセンス	Apache License 2.0

⑥ CANopen デバイス・ツール群統合実装例実装例

開発した CANopen 対応デバイス, ツール群の実装例として Fig. 120 にあげる構成でシステムを構築した。

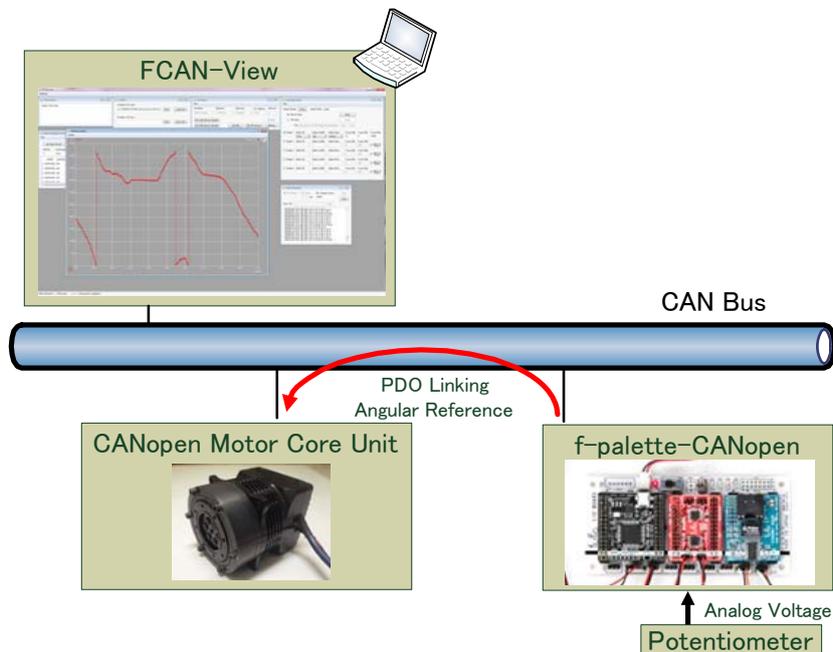


Fig. 120 CANopen デバイス・ツール群実装構成図

この実装例では, モータコアユニットに f-palette から角度指令を CANopen の機能である PDO リンキングを使って送信する. f-palette では, 可変抵抗が AD ポートにつながっており, この可変

抵抗の値を角度指令値として CANopen プロトコルに則り送信している。これら f-palette からの角度指令に基づいてモータコアユニットが動作する構成では、PC が介在することなく実現可能である。

このような PC レスの CANopen デバイス群の動作状況を CAN バスを介してモニター、ロギングするために PC ソフトウェアとして FCAN-View が動作している。

本実装例で示しているように国際標準規格の CANopen 対応デバイス群を採用することで、簡単にシステムが構築可能となる。また、FCAN-View を用いることで、これらの CANopen デバイス群の挙動を CAN バスに流れている情報をもとに把握することが容易となり、システム構築やメンテナンスを簡便化することが可能となった。

(4) OpenRTM on T-Kernel (NEC ソフト)

組込分野に RT ミドルウェア技術を導入するために、既に市場で普及している CANopen 対応機器と RT ミドルウェアを連携させる RTC-CANopen フレームワークは有効である。ただしこのアプローチでは、組込機器にフルスペックの RT ミドルウェア仕様を実現することは難しい。そこで組込分野で広く使用されている TRON 準拠の OS である T-Kernel が動作する組込機器において OpenRTM-aist と互換性をもった RT ミドルウェアとして OpenRTM on T-Kernel を開発した。

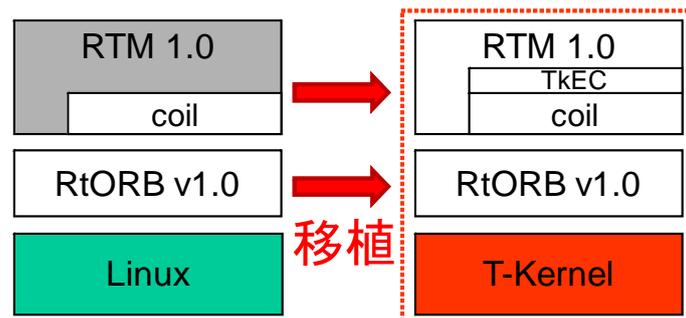


Fig. 121 RTM porting on T-Kernel

① 実装

OpenRTM-aist との互換性を重視するため、フルクラッチで実装するのではなくソースコードが公開されている OpenRTM-aist を T-Kernel で稼働するよう移植している。

初期実装バージョンにおいて、開発ターゲットであるパーソナルメディア製 Teacube (MIPS コア CPU) では RT ミドルウェアの動作でほとんどのリソースを消費してしまっていた。これは、OpenRTM-aist 0.4 で利用されているオープンソースミドルウェアである ACE や omniORB が多くのリソースを消費していることが原因であった。

そこで産総研にて開発されている軽量 CORBA である RtORB[7]を利用し、さらに T-Kernel 向け実行コンテキスト (EC) を追加しリアルタイム性を改善し実装した (Fig. 121参照)。成果はドキュメントを含めオープンソースとして公開済みである。

② 適用例1:測域センサ RTC

開発した ARM 版 OpenRTM on T-Kernel を利用し、OSS 測域センサ RTC (産総研 RTC : HokuyoAist) ARM コア CPU ボード上で動作するように実装した (Fig. 122参照)。開発、実装し

た測域センサ URG の RTC，ビューワ RTC の評価を実施し，サンプル事例として国際ロボット展に展示をおこなった。

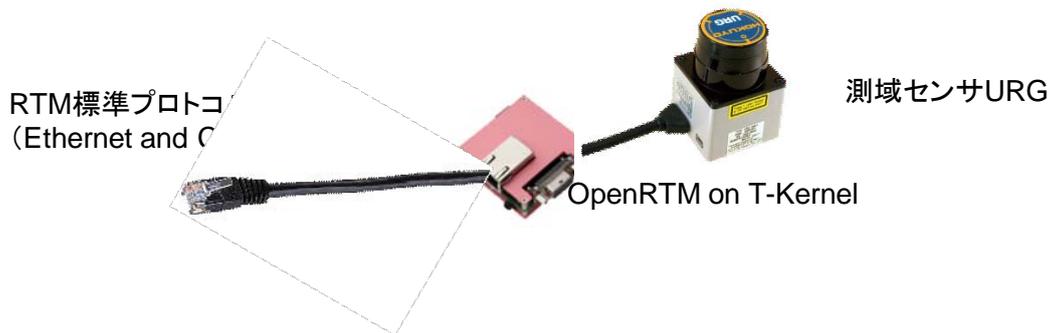


Fig. 122 Laser Range Finder RTC operated on OpenRTM on T-Kernel

③ 適用例2:環境自己位置同定 RTC

実装した OpenRTM on T-Kernel 上で動作する環境自己位置同定 RT コンポーネント群を開発した (Fig. 123参照)。個々のものや場所を識別するための ID 番号である ucode を発信する赤外線マーカを環境中に設置する。赤外線リーダ RT コンポーネントでは，この ucode を赤外線リーダを介して読み込むことができる。ucode 解決，コンテンツ解釈 RT コンポーネントにより，読み込まれた ucode から紐付けられた位置情報を取得することが可能となる。この様に動作している RT コンポーネント群は，OpenRTM-aist と互換性がとれているため，PC 上で動作している OpenRTM-aist の RT コンポーネントとシームレスに接続可能である。

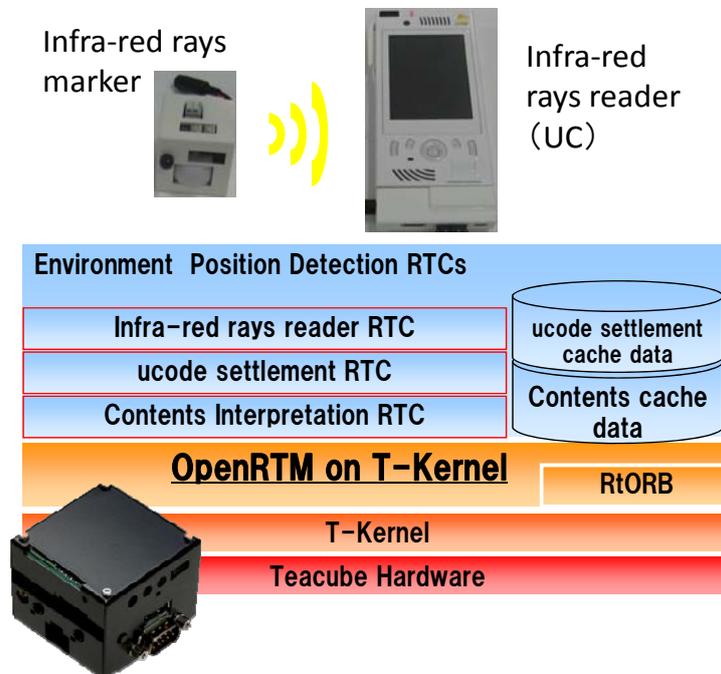


Fig. 123 ucode RTCs operated on OpenRTM on T-Kernel

(5) まとめ

本稿では、RT ミドルウェア技術を組込み分野に導入するためのプラットフォーム群として 1)RTC-CANOpen, 2)CANOpen 対応デバイス・ツール群, 3)OpenRTM on T-Kernel について説明した。本プラットフォーム群は、既に広く普及している規格に準拠して実装されているために、組込みレイヤのアプリケーションに容易に導入可能であることについて述べた。これにより PC レイヤの高度な知能モジュールと組込みレイヤのモジュールがシームレスに連携可能になり、ロボットシステムを簡便に構築できるプラットフォーム群を構成することができる。

参 考 文 献

- [1] 岡野克弥, 安川裕介: “次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの概要”, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC1D1-01, 2009.
- [2] 神徳徹雄, 水川真: ”ロボット用ミドルウェアの標準化活-OMG サンタクララ会議に向けて-”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 661-662, 2008.
- [3] 田中基雅, 安藤吉伸, 水川真: “CANOpen を用いた組込 RTC -RTC-CANOpen の開発-”, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-01, 2009.
- [4] 大和 秀彰, 清水 正晴, 奥村 悠, 戸田 健吾, 古田 貴之: ”ロボット用モータ制御モジュール FTMD の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 2, p.34, March, 2009.
- [5] ”CANOpen Web Site”, <http://www.CANOpen.org/>
- [6] “f-palette Web Site”, <http://www.f-palette.org/>
- [7] 原功, 安藤慶昭, 神徳徹雄, 末廣尚士: ”軽量 CORBA RtORB による OpenRTM の実装と評価”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, 2A2-D05, 2009.
- [8] ”T-Engine フォーラム”, <http://www.t-engine.org/>
- [9] 遠藤嘉将, 永塚正樹(THK(株)), 「SEED 次世代ロボット向けエンドエフェクタ構成要素-FA・ロボット・RT 住宅への適応例-」, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2010, 1E4-5, 2010/12
- [10] 水川 真, 石田 宏司, 座間 勇輔, 山口 健太, 田畑 伸頼, 坂本 武志, 中本 啓之, 松永 夏真, RTC-CANOpen の国際標準化活動報告, 第 12 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P1-1(1-4), 2011.12.25

3.4.4.4 目標の達成度

Table. 9に基本計画に挙げられた研究開発項目毎の、基本計画の要求、目標、成果、主な開発モジュール群、および達成度を示す。さらに、Table. 10に特筆すべき研究開発項についての、研究項目、目標、成果、主な開発モジュール群、および達成度を示す。

Table. 9 研究開発項目毎の達成度

	基本計画の要求	目標	成果	主な開発モジュール群	達成度
(1) 操縦移動知能モジュール群の開発	①安定走行に関する知能モジュール群：基本的な移動機能群を備えている	再利用性を考慮した複数のプラットフォームロボット用の台車モジュールを開発し、これらを他の開発実施者（次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト内（以下、知能化PJ内））と協力し仕様の統一化を図る。	Omni-Wheel 台車モジュール、不整地走行用 Four-X 台車モジュール、SegwayRMP 台車モジュール、Blackship 台車モジュールの計4種類の台車モジュールをすべて共通 IF に準拠して開発した。	各種台車モジュール	目標を達成
	②障害物回避に関する知能モジュール群：外界との衝突を避けるための回避機能群を備えている	外界センサを利用した人を含む障害物の検知機能、衝突リスク見積もり機能、回避行動生成機能等、外界との衝突を避けるための回避機能群を開発を行う。	障害物検知及び回避行動の生成、衝突判定、移動障害物検知を行うモジュールの開発	障害物回避に関する知能モジュール群	目標を高いレベルで達成
	③操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群：習熟が不要な新しい操作インターフェースに必要な機能群を備えている	①操作と自律移動とを切り替えるモジュールの開発を行う。 ②広範囲の利用者層に対して移動ロボットの使用を簡便にするため、操縦者が使用する携帯デバイスの使用を視野に入れて、操作インターフェースの開発を行う。	①遠隔操作指令と自律操作指令を切り替えるためのモジュール群を開発。 ②「GUIモジュール」として「複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール」を、「入力デバイスによる操作支援モジュール」として「Phone 通信モジュール」を開発。	<ul style="list-style-type: none"> 自律と操作の融合モジュール 複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール iPhone 通信モジュール 	目標をほぼ達成
	基本計画の要求	目標	成果	主な開発モジュール群	達成度
(2) 自律移動知能モジュール群の開発	①自律走行に関する知能モジュール群：操縦者不在時や操縦アシスト時を含めた自律・半自律走行に必要な機能群を備える	自律移動のための走行制御、高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画等、自律走行に必要な機能を備えているモジュール群の開発を行う。	自律走行を実現するための知能モジュール群と、位置推定を行うためのモジュール群を開発。	<ul style="list-style-type: none"> 自律移動モジュール群 位置推定モジュール群 速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール 	目標を高いレベルで達成
	②自律帰還に関する知能モジュール群：あらかじめ指定した対象物が存在する場所に自律走行で帰還するために必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> GPS からデータを受け取り、現在位置などを算出する。 モビリティロボットが自律走行時などにおいて利用する地図情報を管理・配信する 	位置推定機能を実現するためのモジュール群と、地図管理機能を行うためのモジュール群を開発。	<ul style="list-style-type: none"> 位置推定機能モジュール群 地図管理機能モジュール群 	目標をほぼ達成
	③協調走行に関する知能モジュール群：追従制御機能等の協調行動を行うために必要な機能群を備えている	複数台の移動ロボットを協調走行(フォーメーション走行)させるためモジュール群の開発を行う。	複数の移動ロボットを協調走行(フォーメーション走行)させるためモジュール群の開発。	<ul style="list-style-type: none"> フォーメーション走行用モジュール群 人追従機能 RTC モジュール群 	目標を達成

基本計画の要求	目標	成果	主な開発モジュール群	達成度
(3) 知能モジュール群の有効性検証	(a) 小型軽量化: バッテリ, 駆動ユニット, 躯体を含めて携行利用も可能な重量, 寸法 (b) 走行性能: 人間の歩行程度の速度 (最大 10km/時), 最小航続距離 2km, 安全で十分な回避, (c) 操作インターフェース: 年少者から高齢者まで簡便に利用できる	搭乗可能かつ基本計画に合致した仕様を満足する搭乗型移動プラットフォームを開発する. 開発された移動プラットフォームを用いて諸条件が満足されているか検証し, さらに, 統合実験においてもこれらの開発された移動プラットフォームを用いることで, その有効性を検証する.	① Segway RMP 移動台車を用いて統合実験を行い開発したモジュールが統合され動作することを確認した. ② Segway RMP, Black ship, Omni-Wheel 移動プラットフォームを用いて共同実験を行い, 共通 IF で動作することを実証した. ③ 不整地用 Four-X 移動プラットフォームにおいて, 速度 6km/h, 航続距離 3.6km, 最大斜度 16 度を実現した. ④ つくばチャレンジにおいて, Segway RMP を用いた長期統合実験をおこない, 3ヶ月以上の稼働実績で開発されたモジュールの長期安定動作を実証した. ⑤ Omni-Whee 移動プラットフォームにおいて実際に人が搭乗した状態での統合実験を行い, 統合された知能モジュールが所定の機能通り動作することを, 複数の試行により示した.	統合された知能モジュール全般 目標を達成
	長期間の技術実証試験	①つくばチャレンジに参加することで開発したモジュールの屋外環境での長期間の検証実験を行う. ②開発したモジュール群を統合し, 動作することを検証する. ③再利用センターにてすべての知能モジュールの検証を受ける	①2008年度から2011年度まで各年度段階的に開発と実験を実施し動作を確認. ②開発した電動車椅子を用いて, モジュール群を統合し動作することを確認. ③開発された知能モジュールはすべて再利用センターの検証を受け, 第三者が利用可能なドキュメントも含め整備されていることが検証されている.	利用するためのドキュメントも含めた統合された知能モジュール全般 目標を達成

Table. 10 特筆べき研究開発

項目	成果	主な開発モジュール群	達成度
共通インターフェース策定	複数のコンソーシアムにより構成される移動 WG を組織し, 共通 IF を策定した. 策定された共通 IF を複数の参画団体が採用し, 共同実験や個別の統合実験を通して, 再利用性向上等の有効性を確認した.	・ 共通 IF を採用した団体の知能モジュール全般 ・ 再利用センターの統合システム	目標を高いレベルで達成
RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群	国際標準規格準拠, 既存ソフトウェア互換を実現した RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群を実現した. 特に, RTC-CANopen は国際標準規格として規格化された.	・ RTC-CANopen 規格 CiA DSP318, DSP460 ・ オープンソースツール群	目標を高いレベルで達成

3.4.4.5 成果の意義

本プロジェクトで開発した技術は、移動知能ロボット用ソフトウェアをオープンソースの形で公開や、市販の研究用プラットフォームに添付させるなど普及促進を実施し、移動知能ロボットの研究開発促進に寄与していると考えている。また、移動知能ロボット用ソフトウェアは、他の複数の研究機関と共にインターフェースの共有化（共有 IF）を図り、再利用性を向上させた。策定された共有 IF は、知能化プロジェクト内外の研究機関や民間企業により採用され、ここでも研究開発に広く寄与するものとする。

さらに、RTC フレームワークにより PC レイヤと組込みレイヤのモジュールがシームレスに連携し知能ロボットを簡便に構築可能な RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群を開発し、提案フレームワークは、国際標準化団体において国際標準として規格化されるなど、特筆した成果をあげている。

本プロジェクトで開発した技術および研究に関連して、下記の賞を受賞した。

1. SICE SI2008 RTミドルウェアコンテスト(2008.12) 参加, 奨励賞(産総研賞)受賞
2. SICE SI2008 優秀講演賞「清水正晴, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, ” Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化”, 第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008), pp.881-882, 12月5日 -7日, 岐阜, 2008」
3. SICE SI2008 優秀講演賞「田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTコンポーネントのプラグアンドプレイ化に関する研究, RTC-CANopenのためのシステム設計ツール”, 第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008), pp.677-678, 12月5日 -7日, 岐阜, 2008」
4. RoboCup2009 ジャパンオープン(2009.5) 京都大学・電気通信大学: レスキュー実機リーグ 優勝
5. RoboCup2009 世界大会(2009.7) 京都大学・電気通信大学: レスキュー実機リーグ 総合 4 位, モビリティチャレンジ 3 位
6. RSJ/SICE/JSME 第15回ロボティクスシンポジウム優秀論文賞「田中 基雅, 藤田恒彦, 鷹栖堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTC-CANopenの研究開発”, 第15回ロボティクスシンポジウム, pp20-26, 3月15日-16日, 吉野, 2009」
7. SICE SI2009 優秀講演賞「清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 五十嵐広希, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用RTコンポーネントの共通インターフェース 一次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動1サブWG 活動報告(第2報)”, 第10回システムインテグレーション部門講演会(SI2009), pp.1453-1456, 12月24日 -26日, 東京, 2009」
8. SICE SI2009 優秀講演賞「田中基雅, 水川真, 安藤吉伸, “RTC-CANopenにおけるプラグアンドプレイシステム”, 第10回システムインテグレーション部門講演会(SI2009), pp.1457-1460, 12月24日 -26日, 東京, 2009」
9. 2009年11月 東北大学 田所研究室 つくばチャレンジ完走. つくば市長賞を受賞.
10. 2009年8月 SI2008優秀講演賞「自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第8報:安全な長距離自律移動を目的とした 能動的センシングシステム, SI2008」に対して

- 11.2010年3月 SI2009 優秀講演章：「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 14 報：屋外自律移動システムの RT-Middleware による分散処理」に対して。
- 12.2010年3月 ROBOMECH2009 ベストプレゼンテーション表彰 「自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定手法」に対して。
- 13.Thailand Rescue Robot Championship 2010(2010.12) 京都大学・電気通信大学： the BEST AUTONOMOUS
- 14.RoboCup2010 ジャパンオープン(2010.5) 京都大学・電気通信大学：計測自動制御学会学会賞
- 15.2011年9月 第15回ロボティクスシンポジウムで発表した下記の論文に対してロボット学会研究奨励賞 受賞：竹内 栄二郎, 大野和則, 田所諭, “3次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定”, 第15回ロボティクスシンポジウム(3A1), 2010.

3.4.4.6 特許等の取得

下記の特許を出願した。

出願番号	出願日	発明の名称	発明者
特願 2010-073386	2010-03-26	経路設定装置, 経路設定方法, 及びプログラム	NEC ソフト

3.4.4.7 成果の普及

Table. 11に示すような論文発表などを行うことにより, 成果の技術的学術的な普及を行い, 展示・デモ, 一般講演会, メディア等での発表を精力的に行い, 本研究成果が, 技術者・研究者だけでなく, 国内外のユーザーや一般市民にも広く知られるようになった。

Table. 11 論文発表, 展示・デモ, 一般講演会, メディア等の件数

	論文 (査読つき)	海外研究発表	解説	一般講演会	メディア 記事	展示・デモ
平成19年度	0	0	0	0	4	0
平成20年度	0	1	0	38	7	1
平成21年度	1	1	0	31	25	6
平成22年度	3	4	6	45	8	0
平成23年度	3	7	0	18	9	2
合計	7	13	6	132	53	9

(1) 査読付き論文

1. 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, “予測時刻間の障害物回避を考慮したモデル予測制御に基づく軌道計画法”, 計測自動制御学会誌, 第45巻8号, pp.406-413, 2009
2. 後藤 清宏, 根和幸, 松野文俊, “速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”, 日本ロボット学会学会誌, 第28巻8号, pp.930-937, 2010
3. 清水 正晴, 戸田 健吾, 林原 靖男, 大和 秀彰, 古田 貴之, “Linux 標準機能を利用した RT

ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化 - ハプティックジョイスティックによる全方位移動電動車椅子操縦システムへの適用-” , 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 1, pp. 16-23, 2010.

4. Masaharu Shimizu, Nobuyuki Kita, Toshihisa Saito, Eijiro Takeuchi, Yusuke Nakajima, Naohito Takegawa, Hiroki Igarashi, Yasuo Hayashibara, Hideaki Yamato, Kengo Toda, Takayuki Furuta, and Makoto Mizukawa, “The Joint Interface of RT-Componets for Mobile Robots: The Activity Report Inform the Mobile Robot Working Group of the NEDO Intelligent RT Software Project,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.6, PP.767-776, 2010
5. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, “三次元地形情報およびGPSを用いたパーティクルフィルタによるマルチパスを考慮した自己位置推定”, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.8, pp.42-49, 2011.
6. 竹内栄二郎, 山崎将志, 田中一志, 大野和則, 田所諭, ”複数の外界センサを用いた位置推定モジュール群による屋外環境における位置推定”, 日本ロボット学会誌 Vol.30, No.3, 2012
7. Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno, “Path planning for an autonomous mobile robot considering a region with a velocity constraint in a real environment”, ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS, Vol. 16, No.4, pp. 514-518, 2012

(2) 海外研究発表

1. Hiroki Igarashi, Toshihisa Saito, Takaya Kinjyo and Fumitoshi Matsuno, "Development of an autonomous inverted pendulum mobile robot for outdoor environment", Proc. SICE Annual Conference 2008, pp.2282-2285, August, 2008
2. Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno, “Trajectory Generation based on Model Predictive Control with Obstacle Avoidance between Prediction Time Steps, SYROCO, F3B3, September, 2009
3. E. Takeuchi, K. Ohno and S. Tadokoro, ”Autonomous Navigation in Crowded Environments over the Seasons using Free-space Observation Model of Laser Scanner”, The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2010), 2010.11.
4. E. Takeuchi, K. Ohno and S. Tadokoro, “Robust Localization Method based on Free-space Observation Model using 3D-Map”, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2010), 2010.12.
5. Kiyohiro Goto, Kazuyuki Kon and Fumitoshi Matsuno, “Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot Considering Regions with Velocity Constraint”, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), Taipei, pp.3269-3274, 2010
6. Noritaka Sato, Takahiro Inagaki and Fumitoshi Matsuno, “Teleoperation System Using Past Image Records Considering Moving Objects”, Proc. of The eighth IEEE Int. Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2010), July, 2010
7. M.Azizi A. Rahman; Akira Yasuda; Makoto Mizukawa, MODEL-BASED DESIGN FOR SERVICE ROBOT SYSTEM DEVELOPMENT: A CONTRIBUTION TO SOCIETY, Intensive Workshop of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, pp39-42, 2011.2
8. M.Azizi A. Rahman; Akira Yasuda; Makoto Mizukawa, MODEL-BASED DESIGN FOR SERVICE

- ROBOT SYSTEM DEVELOPMENT: A PROPOSAL OF GENERAL DESIGN, Proceedings of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, pp379-384, 2011.2
9. Makoto Mizukawa; Tsunehiko Fujita; Yusuke Zama, ROBOT TECHNOLOGY(RT)MIDDLEWARE EXPANSION TO EMBEDDED SYSTEMS AND NATIVE BUSES, Proceedings of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, pp375-378, 2011.2
 10. Eijiro Takeuchi, Masashi Yamazaki, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro “GPS Measurement Model with Satellite Visibility using 3D Map for Particle Filter”, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011), 2011.
 11. Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno: Path planning of an autonomous mobile robot considering region with velocity constraint in real environment, Proc. of The Sixteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2011 (AROB 16th'11), pp. 842-845, Beppu, Jan, Japan
 12. Noritaka Sato, Kazuyuki Kon and Fumitoshi Matsuno, “Navigation Interface for Multiple Autonomous Mobile Robots with Grouping Function”, Proc. of The eighth IEEE Int. Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2011), Nov., 2011
 13. Hayato Shin, Kazuyuki Kon, Hiroki Igarashi, Yuichi Anbe, TaeHyon Kim, Sohei Hanamoto, Ryuta Yamasaki, Satoshi Toyoshima, Noritaka Sato, Tetsushi Kamegawa and Fumitoshi Matsuno, “Hardware-Software Integration of a Practical Mobile Robot Platform”, 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, F4-1, 2011

(3) 解説

1. 水川 真, 古田 貴之, 清水 正晴[他], “搭乗用移動知能及びその構築を簡便にするモジュール群の開発について (特集 NEDO プロジェクトの開発推進状況の報告)”, PP. 40-44, ロボット (195), 2010-07.
2. 清水 正晴, ”共通で使える知能ロボット用のソフトウェア部品を創る”, TRONWARE, Vol. 126, pp. 56-57, 2010.
3. 清水 正晴, 喜多 伸之, 齋藤 俊久, 竹内 栄二郎, 中島 裕介, 武川 直史, 五十嵐 広希, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, 水川 真, ”国際ロボット展 2009 移動ロボット用 RTC の共通インターフェース策定活動”, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp.33-34, 2010.
4. 五十嵐広希, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 前田弘文, 佐藤徳孝, 秋元 大, 田所諭, 高森 年, 松野文俊, : “搭乗型モビリティロボット用ソフトウェアの開発進捗状況の報告”, 日本ロボット工業会, ロボット 195 号, 2010.
5. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭: “季節の変化や人ごみにロバストな自己位置推定による屋外公道の自律移動”, 計測自動制御学会, 計測と制御 Vol49, No.9, 2010.
6. 竹内 栄二郎, “3次元環境地図と移動ロボット技術” 日本測量協会, 測量 5月号, 2010.

(4) 国内研究発表

< 2008 年度 >

1. 水川 真ほか, 屋外自律移動ロボットの機能要素コンポーネントの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E03, 2008. 6
2. 水川 真ほか, RT コンポーネントのプラグアンドプレイシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E06, 2008. 6
3. 水川 真ほか, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E11, 2008. 6
4. 水川 真ほか, DFIT 方式の提案とRT コンポーネント化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E19, 2008. 6
5. 水川 真ほか, 物理エージェントロボット搭載バッテリーのマネジメントに関する研究 バッテリー容量計測監視システムの検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E20, 2008. 6
6. 水川 真ほか, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムの構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E21, 2008. 6
7. 水川 真ほか, つくばチャレンジ -実世界で働くロボットを目指して- 2007年度の記録と2008年度の計画, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-C03, 2008. 6
8. 水川 真ほか, 歩道における自律移動ロボットの移動に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-C20, 2008. 6
9. 水川 真ほか, GPS を用いた屋外ロボット用自律走行システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-D21, 2008. 6
10. 三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発, 水川 真, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-04, 2008.9
11. 田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-05, 2008.9
12. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込RT-Middlewareにおけるプラグアンドプレイシステム, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008 講演論文集), 1F3-06, 2008.9
13. Motomasa TANAKA, Makoto Mizukawa, Yoshinobu Ando, Design of Plug and Play System for RT-Component, Proc. SICE Annual Conference 2008(SICE2008), 3B21-2, 2008.8
14. 三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発, 水川 真, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-04, 2008.9
15. 田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-05, 2008.9
16. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込RT-Middlewareにおけるプラグアンドプレイシステム, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008 講演論文集), 1F3-06, 2008.9
17. 鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, 自律移動ロボットにおける DFIT コンポーネント, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 1L3-1, 2008.12
18. 路面画像によるデッドレコニングを用いた屋外用自律移動ロボットの開発, 酒井 大介, 鷹栖 堯大, 高橋 彬, 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集 2I3-1, 2008.12

19. RT ミドルウェアにおけるシミュレータ併用手法の提案,藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-1,2008.12
20. RT コンポーネントのプラグアンドプレイ化に関する研究,RTC-CANopen のためのシステム設計ツール,田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-2,2008.12
21. CANopen を用いた実用的な分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発,三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, 水川 真, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-5,2008.12
22. DFIT のロバスト性向上手法の提案,鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-2,2008.12
23. 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究,知能化バッテリーの開発,田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-3,2008.12
24. 物理エージェントロボット搭載バッテリーのマネジメントに関する研究,個体差を考慮した残容量の算出,計盛 智也, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-4,2008.12
25. Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化, 清水 正晴, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-4,2008.12
26. 竹内栄二郎, Daniele Calisi, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第2報: 障害物回避用モジュール群”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-08, 2008.9.
27. 竹内栄二郎, 大野和則, 緑川直樹, 鈴木志穂子, 桜田健, 石倉路久, 宮原直紀, 田所諭, 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第8報: 安全な長距離自律移動を目的とした 能動的センシングシステム”, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008), 1I4-5,2008.12 (平成21年8月優秀講演章受賞)
28. 竹内栄二郎, 大野和則, 緑川直樹, 鈴木志穂子, 桜田健, 石倉路久, 宮原直紀, 田所諭, “安全な長距離自律移動を目的とした能動的センシングシステム”, つくばチャレンジシンポジウム, 2009.1.
29. 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, 田所諭, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第1報: プロジェクトの概要と開発するモジュール”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 神戸, 2008
30. 佐藤徳孝, 根 和幸, 福島 宏明, Chattarjee Ranajit, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 長谷川晶一, 金城 隆也, 田所 諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第3報: 複数ロボットのための地図上ナビゲーションインターフェースモジュール”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-09, 神戸, 2008
31. 根和幸, 佐藤 徳孝, 福島 宏明, Chattarjee Ranajit, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 金城 隆也, 田所 諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第4報: 編隊制御モジュール群”, 第26回日本ロボット学会学術講演会,

1F3-10, 神戸, 2008

32. 根和幸, 佐藤徳孝, 五十嵐広希, 岩切淳, 後藤清宏, 金井僚太郎, Chatterjee Ranajit, 松野文俊, 金城隆也, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 7 報: RWRC における屋外自律ナビゲーションシステムの開発”, 計測自動制御学会 第 9 回システムインテグレーション部門講演会, 114-3, 岐阜, 2008
33. 五十嵐広希, 木村哲也, 松野文俊, “屋外自律型サービスロボットのリスクアセスメント”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
34. 根和幸, 佐藤徳孝, 五十嵐広希, 岩切淳, 後藤清宏, 金井僚太郎, Chatterjee Ranajit, 松野文俊, 金城隆也, 田所諭, 高森年, “屋外自律移動ロボット用 RTC の開発と RWRC での実証実験”, つくばチャレンジ開催記念シンポジウム, バンダイナムコゲームス未来研究所ファンシアター, 2009
35. 五十嵐 広希, 松野文俊, 飯島純一, “つくばチャレンジ2008の安全について”, つくばチャレンジシンポジウム 2008, 2009
36. 前田弘文, 高森年, 大坪義一, 五百井清, 田所諭, 松野文俊, 金城隆也, 五十嵐 広希, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第 5 報: RTK-GPS を用いた仮想軌道走行のための RTC”, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-10, 神戸, 2008
37. 前田弘文, 八木 秀樹, 高森年, 大坪義一, 五百井清, 田所諭, 松野文俊, 金城隆也, 五十嵐 広希, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第 6 報: グリッドマップに基づく広域エリア内のハザード回避走行”, 第 14 回ロボティクスシンポジア, 2009
38. 本嶋 宗泰, 木村 哲也, 五十嵐 広希, 高森 年, “パーソナルモビリティロボットにおけるユーザーのリスク理解に関する実験的評価”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008

< 2009 年度 >

39. 清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用 RT コンポーネントの共通インターフェース – 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動 1 サブ WG 活動報告 –”, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-03, 横浜, 2009/9/15-17
40. 清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 五十嵐広希, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用 RT コンポーネントの共通インターフェース – 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動 1 サブ WG 活動報告 (第 2 報) –”, 第 10 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2009), pp.1453-1456, 12月24日 -26日, 豊洲, 2009
41. 清水 正晴, 戸田 健吾, 林原 靖男, 大和 秀彰, 古田 貴之, “Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化 – ハプティックジョイスティックによる全方位移動電動車椅子操縦システムへの適用 –”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 1, pp. 16-23, 2010.
42. 三浦俊宏, 田中基雅, 安藤吉伸, 水川 真, CANopen を用いた分散制御ロボット用組込 RT ミドルウェア RTC-CANopen の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 2A1-D04(1)-(4), 福岡, 2009年5月
43. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込 RT ミドルウェアにおけるプラグアンドプレイシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 2A2-B14 (1)-(3), 福

岡, 2009年5月

44. 田淵 裕樹, 水川 真, 安藤 吉伸, RTC-CANopenのロボット用知能化バッテリーへの適用に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09講演論文集, 2A2-C03 (1)-(2), 福岡, 2009年5月
45. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, RTミドルウェアにおける既存シミュレータ使用手法の検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09講演論文集, 2A2-D04 (1)-(3), 福岡, 2009年5月
46. 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, CANopenを用いた組込RTC, 第27回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-01, 横浜, 2009/9/15-17
47. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 既存シミュレータを用いたRTコンポーネントのシミュレーション, 第27回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-02, 横浜, 2009/9/15-17
48. 鷹栖 堯大, 藤田 恒彦, 田中 基雅, 水川 真, Wiiリモコンとゆかいな仲間たち, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 1A4-2, 2009年12月
49. 石黒 佑樹, 石川 浩, 坂入 隆, 広瀬 紳一, 安田 瑛, 石田 宏司, 座間 勇輔, 真山 勝博, 鷹栖 堯大, 藤田 恒彦, 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 小林 和雄, RTC-CANopenを用いた屋外用自律移動ロボットの開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 1B2-5, 2009年12月
50. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 田中 基雅, RTC-CANopenの設計・開発 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D1-2, 2009年12月
51. 座間 勇輔, 田中 基雅, 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, RT-コンポーネントのUSB PnPシステムの設計開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D1-3, 2009年12月
52. 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, RTC-CANopenにおけるプラグアンドプレイシステム 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D2-2, 2009年12月
53. 安田 瑛, 石川 浩, 坂入 隆, 広瀬 紳一, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, SysMLを用いたロボットシステムのモデルベース設計に関する研究屋外用自律移動ロボットへの適用, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D2-6, 2009年12月
54. 鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, CANopenを用いた移動ロボットのプロフィール構築の提案, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D3-1, 2009年12月
55. 石田 宏司, 水川 真, 安藤 吉伸, 田中 基雅, CANopenを用いたロボット用知能化バッテリーの開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D3-4, 2009年12月
56. 石黒 佑樹, 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, コアコンポーネントの二重化によるRTC-CANopenのロバスト性向上手法の提案, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D4-2, 2009年12月
57. 真山 勝博, 田中 基雅, 安藤 吉伸, 水川 真, RTC-CANopenにおけるファームウェアアップデート

トの提案，第10回（社）計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2009)講演論文集,3D4-3, 2009年12月

58. 田中 基雅, 藤田恒彦, 鷹栖堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTC-CANopenの研究開発”,第15回ロボティクスシンポジア, pp20-26, 3月15日-16日, 吉野, 2009
59. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, "移動ロボットによる障害物検出のための3次元計測計画," ロボティクスメカトロニクス講演予稿集(ROBOMECH2009),1A1-D13, 2009.5.
60. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, "自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定手法," ロボティクスメカトロニクス講演予稿集(ROBOMECH2009),1A1-E20, 2009.5. (平成22年3月ベストプレゼンテーション表彰)
61. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 齋藤俊久, 高森年, 松野文俊, "自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 - 第11報:自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定 RTC-, " 第27回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 3D1-05, 2009.9.
62. 竹内 栄二郎 , 大野 和則, 山崎 将史, 田中 一志, 田所 諭, 五十嵐 広希, 齋藤 俊久, 高森 年, 松野 文俊,"自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第14報:屋外自律移動システムの RT-Middleware による分散処理," 第10回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 予稿集(SI2009), 3B2-1, 2009.12.(平成22年3月 優秀講演章受賞)
63. 前田弘文,西谷幸久,高森年,大坪義一,五百井清,田所諭,松野文俊,齋藤俊之,五十嵐広希,“「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第9報 Segway-RMP200 におけるデッドレコニングの精度向上”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 3D1-07, 2009
64. 後藤清宏, 根和幸, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第10報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 3D1-07, 2009
65. 佐藤徳孝, 根和幸, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第12報ロボット操縦用 iPhone 通信モジュール”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 横浜, 2009
66. 後藤清宏, 五十嵐広希, 佐藤徳孝, 根和幸, 松野文俊, 田所諭, 高森年, 齋藤俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第13報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの实機検証”, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2B1-1, 2009
67. 五十嵐 広希, 木村 哲也, 松野 文俊, “屋外自律移動ロボットの安全性の課題”, 安全工学シンポジウム 2010, July/2010
68. 佐藤徳孝, 後藤清宏, 根和幸, 五十嵐広希, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第16報 iPhoneを用いた移動ロボットの地図上ナビゲーション”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 1A2-5, Dec, 2009.(奨励賞ベストコンセプト賞受賞)
69. 後藤清宏, 佐藤徳孝, 根和幸, 五十嵐広希, 松野文俊, “速度制約領域を考慮した行動計画とユーザインターフェースによるナビゲーション”, つくばチャレンジ開催記念シンポジウム, バンダイナムコゲームス未来研究所ファンシアター, 2010

<2010年度>

70. 座間勇輔,藤田恒彦,田中基雅,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システムの設計開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会(Robomec'10), 2A1-G04, 2010年6月13日-16日, 旭川

71. 鷹栖堯大,水川真,安藤吉伸,吉見卓, CANopen を用いた移動ロボットのプロファイル構築と検証, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G05, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
72. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓,田中基雅, CANopen を用いた組み込み系 RTC-RTC-CANopen の開発ー, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G06, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
73. 石黒佑樹,田中基雅,水川真,吉見卓,安藤吉伸, システムの二重化実現に向けた RTC-CANopen の改良, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G16, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
74. 真山勝博,田中基雅,吉見卓,安藤吉伸,水川真, RTC-CANopen におけるファームウェアアップデートシステムの設計, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-B23, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
75. 石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓, CANopen を用いた知能化バッテリープロファイルの評価及び検証, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-C08, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
76. 安田瑛,安藤吉伸,石黒佑樹,吉見卓,座間勇輔,石川浩,真山勝博,広瀬紳一,水川真,坂入隆, SysML を用いたロボットシステムのモデルベース設計に関する研究 ー屋外用自律移動ロボットへの適用ー, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-C09, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
77. 座間勇輔,藤田恒彦,田中基雅,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システムの設計開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G04, 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
78. 木村哲也, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第 17 報 人搭乗型ロボット操縦システムの安全性を向上させる RTC の開発”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2010 年 6 月 13 日-16 日, 旭川
79. 一澤, 藤本, 清水, 大和, 入江, 古田, 王, 林原, ”距離画像センサを用いた人の足先検出に関する検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 1P1-E07 (CD-ROM)(2010)
80. 林, 内田, 清水, 大和, 入江, 古田, 林原, ”駆動方式の異なるロボットを対象とする経路の検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 2A1-G18 (CD-ROM)(2010)
81. 伊藤, 清水, 大和, 入江, 古田, 林原, ”形状を考慮したポテンシャル法による障害物回避アルゴリズム”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 2A1-G17 (CD-ROM)(2010)
82. 鷹栖堯大,藤田恒彦,座間勇輔,石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓,坂本武志, 知能モジュールの再利用を考慮した自律移動ロボットのモデルベースデザイン, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-2, 2010 年 9 月
83. 座間勇輔,藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システム設計開発 ～支援ツールの開発～, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-2, 2010 年 9 月
84. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen の研究・開発 ーRTC-CANopen を用いたロボット開発ー, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-3, 2010 年 9 月
85. 田畑伸頼,真山勝博,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen におけるファームウェアデータベ

- ースの設計, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 1B1-1, 2010 年 12 月
86. 真山勝博,水川真,吉見卓,安藤吉伸,abulrahman,MOHDAZIZI,石黒佑樹, 自動サービスプロバイダに適したミドルウェアの提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, pp1386-1387, 2I2-3, 2010 年 12 月
87. 水川真,清水正晴,高瀬弘勝,青木利憲,大和秀彰,松尾龍磨,青島一朗,中村享大,古田貴之, 知能ロボットの構築を簡便にする RT ミドルウェア対応組込プラットフォーム群の開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B1-2, 2010 年 12 月
88. 座間勇輔,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTCPnP における柔軟なシステムビルダの設計開発動的変更に対応したプロファイルの提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B1-3, 2010 年 12 月
89. 鷹栖堯大,藤田恒彦,座間勇輔,石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓,坂本武志, 既存 RTC を用いた自律移動ロボットのモデルベース設計, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-1, 2010 年 12 月
90. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen の研究・開発ー移動ロボットへの適用ー, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-3, 2010 年 12 月
91. 山口健太,水川真,吉見卓,安藤吉伸,藤田恒彦,鷹栖堯大, RTC-CANopen を適用したリファレンスロボットの開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-4, 2010 年 12 月
92. 安田瑛,大平杏奈,勝あゆみ,田畑伸頼,代宮司隼人,前田佳男,山口健太,水川真,安藤吉伸,吉見卓,河田文昭,与沢信行,小川弘和, SysML による自律移動ロボットシステムのモデルベース設計に関する研究, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-6, 2010 年 12 月
93. 石田宏司,水川真,吉見卓,安藤吉伸, 電力プロファイル自動生成システムの開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B3-4, 2010 年 12 月
94. 加藤歳弘,水川真,安藤吉伸,吉見卓, 空間知におけるロボット連携のための管理システムに関する研究, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-4, 2010 年 12 月
95. 前田佳男,加藤歳弘,水川真,安藤吉伸,吉見卓, 空間知におけるロボットリソース管理に関する提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月
96. 青木 利憲, ”OpenRTM on T-Kernel 概説”, T-Engine Forum 総会(2010/6 開催), 2010.
97. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭: “3 次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定”, 第 15 回ロボティクスシンポジウム, pp.257-263,2010.3. (平成 23 年 9 月 ロボット学会 研究奨励賞 受賞)
98. (五十嵐広希,齋藤俊久,竹内栄二郎,前田弘文,佐藤徳孝, 秋元 大,田所 諭,高森 年,松野文俊, : “搭乗型モビリティロボット用ソフトウェアの開発進捗状況の報告”, 日本ロボット工業会, ロボット

195号,2010.)

99. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 五十嵐 広希, 齋藤 俊久, 高森 年, 松野 文俊, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 19 報: 外界センサの追加変更が可能な移動ロボット用ナビゲーション RTC 群, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 3P3-5, 2010.9.
100. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, 3 次元地形情報及び GPS を用いたパーティクルフィルタによるマルチパスを考慮した自己位置推定, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-1, 2010.
101. 山崎将史, 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 3 次元地図を用いたマルチパス除去を含む GPS による移動体の位置推定 – 衛星の影を用いた GPS 測位の高精度化 –, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A1-D20, 2010.
102. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 遡及的位置推定可能なパーティクルフィルタとそのモジュール化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A2-E24, 2010.6.
103. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, パーティクルフィルタでの位置推定によるジャイロオフセットおよび車輪径の推定, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1P1-E14, 2010.6.
104. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 齋藤 俊久, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 高森 年, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発, SI2010, 2A3-6, 2010.12.
105. 田中 一志, 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, 屋外自律移動のための移動物体検知モジュール群, SI2010, 3A1-2, 2010.12.
106. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 不可視衛星を考慮した GPS による位置推定 RT-Component の開発, SI2010, 3A1-4, 2010.12.
107. 竹内栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野和則, 田所諭, “3 次元環境地図を用いたロバストな自己位置推定による自律移動”つくばチャレンジ 2010 シンポジウム, 2011.1.
108. 佐藤徳孝, 安野俊幸, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 18 報移動ロボットのための簡易デバッグコンポーネント”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 3P3-4, 2010
109. 五十嵐 広希, 木村 哲也, 松野 文俊, “屋外自律移動ロボットの安全性の課題”, 安全工学シンポジウム 2010, July.2010
110. 金兌炫, 後藤清宏, 五十嵐広希, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, 田所諭, 高森年, 齋藤俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 20 報 確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2A3-4, 2010
111. 五十嵐広希, 木村哲也, 松野文俊, “屋外自律移動ロボットの実証実験における安全対策について”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3A2-2, 2010
112. 金兌炫, 後藤清宏, 五十嵐広希, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, “確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, つくばチャレンジ 2010 開催記念シンポジウム, つくばチャレンジ 2010 レポート集 No55, 2011
113. 前田弘文, 濱路 克洋, 大坪義一, 小林 滋, 五百井清, 高森年, “OpenRTM-aist を用いた汎用的操作モジュール MMM の設計”, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月

114. 前田弘文, 濱路 克洋, 大坪義一, 小林 滋, 五百井清, 高森年, “MMM による子ロボットのカメラサーボ機構”, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月

<2011 年度>

115. 田畑信頼;水川真;吉見卓;安藤吉伸, RTC-CANopen におけるファームウェアデータベースの開発, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H03, 2011 年 5 月
116. 山口健太;藤田恒彦;水川真;吉見卓;安藤吉伸, RTC-CANopen を適用したリファレンスロボットの開発(第 2 報), 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H04, 2011 年 5 月
117. 安田瑛;鷹栖堯大;水川真;安藤吉伸;吉見卓, モデルベース設計を適用した移動知能ロボットの機能実現, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H05, 2011 年 5 月
118. 真山勝博;藤田恒彦;水川真;吉見卓;安藤吉伸, 空間知に基づく RTC-CANopen を用いた物体運搬システムの開発, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 2P1-L01, 2011 年 5 月
119. 座間 勇輔;石田 宏司;山口 健太;田畑 伸頼;水川 真;安藤 吉伸;吉見 卓, RTC-CANopen の研究・開発, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 3B1-3, 2011 年 9 月
120. 藤岡 峻, 石黒 佑樹, 石田 宏司, 眞山 勝博, 大平 杏奈, 田畑 伸頼, 前田 佳男, 山口 健太, 大島 雄介, 大橋 和貴, 二坂 良平, 伏見 正嗣, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 坂本 武志, 屋外用自律移動ロボット「PAR-11」の開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 1O4-4(1-3), 2011 年 12 月
121. 藤岡 峻, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 屋外用自律移動ロボットにおける地図情報を用いた経路設定に関する提案, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 1O4-5(1-3), 2011 年 12 月
122. 水川 真, 石田 宏司, 座間 勇輔, 山口 健太, 田畑 伸頼, 坂本 武志, 中本 啓之, 松永 夏真, RTC-CANopen の国際標準化活動報告, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P1-1(1-4), 2011 年 12 月
123. 山口 健太, 水川 真, 田中 基雅, 山下 智輝, ロボットシステム安定性向上のためのソフトウェア実装評価, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P2-5(1-3), 2011 年 12 月,
124. 石田 宏司, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 物体搬送サービスにおける消費電力予測システムの開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P3-1(1-3), 2011 年 12 月
125. 座間 勇輔, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 坂本 武志, RT ミドルウェアの動的設定システム研究開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P3-2(1-3), 2011 年 12 月
126. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 大野 和則, 田所 諭, 3 次元地図を用いた回折波を考慮した GPS 衛星の可視性判別, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011(ROBOMECH2011), 2A1-M02, 2011.5.
127. 竹内 栄二郎, 田中一志, 廣 信利, 福井 貴久, 李昭曠, 菅原 直樹, 荒川 尚吾, 大野 和則,

- 田所 諭, 齋藤 俊久, 五十嵐広希, 松野 文俊, 高森 年, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発, 第 12 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2011), 202-5, 2011.12.
128. 竹内栄二郎, 田中一志, 廣信利, 福井貴久, 李昭瞳, 菅原直樹, 荒川尚吾, 大野和則, 田所諭, “自律移動 RTC 群を用いた屋内外ナビゲーション”, つくばチャレンジ 2011 シンポジウム, 2012
129. 後藤清宏, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, “乗り心地と速度制約を考慮した搭乗型自律移動ロボットの軌道計画”, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011
130. 金 兌炫, 根 和幸, 安部 祐一, 新 隼人, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 田所 諭, 高森 年, 齋藤 俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 22 報 速度制約領域を考慮した軌道計画の改良と検証”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 103-5, 2011
131. 新 隼人, 根 和幸, 五十嵐 広希, 金 テヒョン, 豊島 聡, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊, “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 1 報: 開発コンセプトとハードウェア構成”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-3, 2011
132. 根 和幸, 金 テヒョン, 新 隼人, 安部 祐一, 花本 惣平, 山崎 隆太, 五十嵐 広希, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊, “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 2 報: 遠隔と自律に対応したソフトウェアモジュールの開発”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-2, 2011

(5) プレス発表・メディア媒体での掲載

Web	インプレス他	2007 年 10 月	「日本 SGI が自律型インテリジェント・ロボットを開発へ経済産業省の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」に参画 東北大, 国際レスキューシステム研究機構 (IRS), 電通大と共同で」など 4 件
Web	Impress Robot Watch	2008 年 11 月 14 日	「つくばチャレンジ 2008 試走会」レポート～さらに過酷なコースに挑戦するロボットたち」東北大・電気通信大学,
Web	マイコミジャーナル	2008 年 11 月 25 日	「ロボットカーが遊歩道を走る! 50 台が挑んだ「つくばチャレンジ 2008」東北大・電通大
雑誌	ROBOCON Magazine No.63	2008 年 7 月	「つくばチャレンジ 2008」電気通信大学
TV	テレビ東京	2009 年 1 月 16 日	「ロボつく」千葉工大ロボット研究室に潜入!
雑誌	R25	2009 年 3 月 5 日	未来予報図 2025/Part④ロボット編
TV	BS11	2009 年 3 月 13 日	「INsideOUT」全方位移動型電動車イス
TV	テレビ東京	2009 年 3 月 27 日	「ロボつく」ユビキタス体験レポート
雑誌	MANAGEMENT SQUARE	2009 年 4 月 1 日	未来への視座/ロボット開発の現状と未来③
雑誌	ロータリーの友	2009 年 4 月 1 日	ロボットと共生する未来/先端の技術が未来の技術ちは限らない
雑誌	ROBOCON Magazine No.63	2009 年 4 月 15 日	「FLY TO THE FUTURE 100 年先の未来をつくろう!」「あのロボットをつくった人

			に会いたい」「車椅子ロボットでまち歩き」
雑誌	GOETHE	2009年4月25日	もう人型ロボットは作りません。世界制覇が目前なので・・・
TV	テレビ東京	2009年5月3日	ロボつく 空想科学バラエティ 第30回 「ロボットが人を助ける!？」
雑誌	FOCUS NEDO	2009年5月8日	搭乗用移動知能の構築を簡便にするモジュール群の開発～脚・車輪ロボット：環境インフラと連動するパーソナルモビリティ～
雑誌	日経エレクトロニクス	2009年6月1日	fuRoの夢(下)/開発と人材教育の両輪でロボットを社会に融合する
Web	Impress Robot Watch	2009年6月3日	「ロボカップジャパンオープン2009大阪」開催(京都大学・電気通信大学)
TV	フジテレビ	2009年6月10日	「ラボ☆マイスター」ロボット技術はどこまで進歩しているの？全方位移動型電動車イス
TV	大阪テレビ	2009年7月19日	「大阪ほんわかテレビ」全自動で目的地まで行く電動車イスを開発中
雑誌	ロボコンマガジン	2009年7月	「ロボカップジャパンオープン2009大阪」京都大学・電気通信大学:UIモジュールの検証
TV	テレビ東京	2009年10月3日	生きるを伝える/ロボットで人を幸せにしたい
雑誌	WINWING	2009年10月10日	進化するロボット技術最前線/主役は人！家や街もロボット化/安心・安全、心の満足を目指す
新聞	朝日新聞	2009年11月22日	"自走ロボ快調5チーム完走" 写真入りで紹介(東北大学)
TV	日本テレビ系列	2009年11月25日	「スッキリ！」 "つくばチャレンジ完走ロボット"として紹介(東北大学)
Web	インターネットテレビ Channel	2009年11月～	"つくばチャレンジ完走ロボット"として紹介(東北大学)
雑誌	TRONSHOW2010	2009年12月9日	千葉工業大学未来ロボット技術研究センター/搭乗用移動知能およびその構築を簡単にするモジュール群の開発
雑誌	電機連合	2009年12月25日	第30回技術者フォーラム報告書/特別講演
新聞	船橋よみうり	2010年1月3日	実用化はすぐそこ・・・/最先端の千葉工大
TV	日本テレビ	2010年3月12日	「ザ・未来予想 TV 未来からの訪問者」
新聞	船橋よみうり	2010年1月3日	実用化はすぐそこ・・・/最先端の千葉工大
Web	http://spectrum.ieee.org/	2011年3月18日	Japan Earthquake: More Robots to the Rescue
Web	日刊協業新聞 ロボナブル	2010年3月19日	京大の松野教授、八戸工大でレスキューロボによる調査活動へ
TV	日本テレビ	2010年3月12日	ザ・未来予想 TV 未来からの訪問者
Web	http://spectrum.ieee.org/	2011年3月25日	Japanese Robot Surveys Damaged Gymnasium Too Dangerous for Rescue Workers
ラジオ	J-WAVE	2010年5月5日	J-WAVE GOLDEN SPECIAL 「THINK THE FUTURE」
書籍	PHP 研究所	2010年9月24日	不可能は、可能になる
TV	フジテレビ	2010年10月7日	LIVE2010 ニュースジャパン

TV	日本テレビ	2010年10月8日	「ズームインスーパー」3DOORS-池上彰が見たロボットの未来
雑誌	TRONWARE	2010年12月20日	「学校のTRON」共通で使える知能ロボット用のソフトウェア部品を創る
TV	テレビ東京	2011年1月6日	カンブリア宮殿「ニッポン人よ、大志を抱け！～夢を仕事にした人スペシャル～」
Web	ロボタイムズ	2011年1月10日	「京大+電通大合同チーム SHINOBIの「HIEI」タイのTRRC2010で最優秀自律走行賞を受賞」
雑誌	ロボット 199	2011年3月20日	特集-ロボット技術の自動車への応用/次世代パーソナルモビリティのための基盤技術の研究開発
雑誌	ALUMINIUM アルミニウム 2011 Vol.18 No.81	2011年5月30日	特集 新分野/ロボット開発の現状と将来動向
雑誌	FOCUS NEDO 第42号	2011年8月	ロボットの「頭脳」を共通部品化し、効率的に高性能、低コスト化/次世代ロボット「開発を加速
TV	TOKYO MX	2012年1月8日	松沢しげふみの日本の標
TV	NHK	2012年1月15日	NHK おはよう関西 実用化進む”災害ロボット”最前線 京都大学
TV	テレビ朝日	2012年1月16日	スーパーJチャンネル:遠隔操作型レスキューロボット KOHGA3や自律型レスキューロボット HIEI を中心
TV	NHK	2012年1月18日	NHK 全国版 実用化進む”災害ロボット”最前線 京都大学
TV	BS日テレ	2012年1月22日	よい国のニュース “災害対応ロボット”
Web	日刊工業新聞社 ロボナブル	2012年2月10日	「京大・松野研、災害対応向け移動ロボットプラットフォーム公開、線量計測に活用」
雑誌	ROBOCON Magazine No.81	2012年4月15日	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト成果報告会「移動知能(社会・生活分野)の開発(搭乗用ロボット)」

(6) イベント・展示

- つくばチャレンジシンポジウム 2008, 芝浦工業大学・電気通信大学 ロボットの展示(2009.1)
 - 開催地: 東京都品川区
 - 概要: 自律移動ロボットシンポジウムへ実機ロボットの展示
- RoboCup2009 ジャパンオープン, 京都大学・電気通信大学(2009.5)
 - 開催地: 大阪府大阪市
 - RT ミドルウェアを用いた災害対応ロボットにてユーザーインターフェースモジュールの検証を実施,
- RoboCup2009 世界大会京都大学・電気通信大学(2009.7)
 - 開催地: オーストリア
 - 概要: RT ミドルウェアを用いた災害対応ロボットにてユーザーインターフェースモジュールの検証を実施
- 国際ロボット展 2009 NEDO ブース出展 移動1SWG 共同実証実験実施 (2009.11.25-28)
 - 開催地: 東京都
- 国際ロボット展 2009 産学交流プラザ出展 (2009.11.25-28)
 - 開催地: 東京都
- TRONSHOW2010 出展 (2009.12)
 - 開催地: 東京都
- ロボットテクノロジーを活用した製品・サービスの実証実験にて大阪市役所を走行するロボット実証実験実施 (2010.2.2-5)

- 開催地：大阪府大阪市
- 8. 国際ロボット展 2011 NEDO ブース出展(2011.11)
 - 開催地：東京都
- 9. 名工大・名市大合同テクノフェア 2011 (2011.10.19-22)
 - 開催地：愛知県名古屋市
 - 概要：大学シーズの見本市. TECH Biz EXPO2011 (東海地区最大の産業見本市) と同時開催



Fig. 124 国際ロボット展 2009 産学交流プラザ出展の様子

3.4.4.8 実用化の見通し

(1)オープンソース開発物リスト

オープンソースで提供している知能モジュールのリストをTable. 12に示す。これらのモジュールは、再利用センターにて検証済みであり、第三者が利用可能なように、ソースコードだけでなく詳細なドキュメントもあわせて下記のサイトにて入手可能で有る。

Table. 12 オープンソース開発物リスト

開発者	知能モジュール [公開先]	ライセンス形態
芝浦工業大学	RTC-CANopen [www.hri.ee.shibaura-it.ac.jp/download.html]	EPL (自己開発分についてオープンソース提供)
	DFIT (Dual Flow Image Tracking) [www.hri.ee.shibaura-it.ac.jp/download.html]	
	GPS ナビゲーションコンポーネント [www.hri.ee.shibaura-it.ac.jp/download.html]	
	WiiRemote Components [www.hri.ee.shibaura-it.ac.jp/download.html]	
千葉工業大学	移動知能モジュール群 (小経路計画 RTC 群, 障害物回避モジュール等を含む) [code.google.com/p/rtc-for-intelligent-mobile-robot/]	EPL 1.0
	全方位移動電動車椅子型ロボットコントローラモジュール [code.google.com/p/rtc-for-intelligent-mobile-robot/]	
	操縦モジュール (コントローラ RTC) [code.google.com/p/rtc-for-intelligent-mobile-robot/]	
	FCAN-View [code.google.com/p/fcan-view/]	Apache License, Version 2.0
	f-palette CANopen [code.google.com/p/f-palette-canopen/]	LGPL
NEC ソフト	環境自己位置同定 (ucode) モジュール [sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel]	Apache License, Version 2.0
	大経路計画モジュール [sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel]	Apache License, Version 2.0
	OpenRTM on T-Kernel [sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel]	デュアルライセンス方式 (EPL+個別契約)
	測域センサ RTC [sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel]	EPL
セグウェイジャパン 東北大学 京都大学 国際レスキューシステム研究機構	① 自律・操作モードの融合モジュール群 (SegwayRMP 制御 RTC) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID054] (Blackship 制御 RTC) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID055] (緊急停止デバイス管理モジュール) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID369]	デュアルライセンス方式 (修正 BSD+個別契約)
	② 障害物回避に関する知能モジュール群 (障害物回避モジュール群) (回避行動モジュール) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID060] (衝突判定モジュール) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID261] (障害物検知モジュール) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID262]	
	③ 縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群 (自律と操作の融合モジュール) [http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID368] (iPhone 通信モジュール)	

	<p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID048] (複数台ロボット操縦モジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID046] (beego 制御モジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID331] (複数台ロボットシミュレータモジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID047] ⑤自律走行に関する知能モジュール群 (自律移動 RTC 群) (経路計画モジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID260] (マップマッチングドライブモジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID061] (領域制約走行モジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID062] ⑥自律帰還に関する知能モジュール群 (GPS 自己位置推定モジュール群)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID085] (地図情報管理モジュール)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID058] ⑦協調走行に関する知能モジュール群 (フォーメーション制御モジュール群)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID330] ⑧自動追尾機能モジュール群 (人追従機能 R T C モジュール群)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID053] (ゲームパッド RTC)</p> <p>[http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID052]</p>	
--	---	--

(2) 成果の普及

(ア) 災害対応ロボットへの活用

2011年3月に発生した東日本大震災において、災害対応ロボットの重要性が再認識された。国際レスキューシステム研究機構、京都大学松野研究室、東北大学田所研究室らは、これまでの研究開発の成果と、本プロジェクトで得られた成果を元に災害対応ロボットの研究開発に活用し、成果を広く発信していく。具体的には、すでに RT ミドルウェアに対応済みの研究開発用災害対応ロボット(Fig. 125, Fig. 126)を、民間企業などへの技術移転を目指し、研究開発の効率化を目指す。

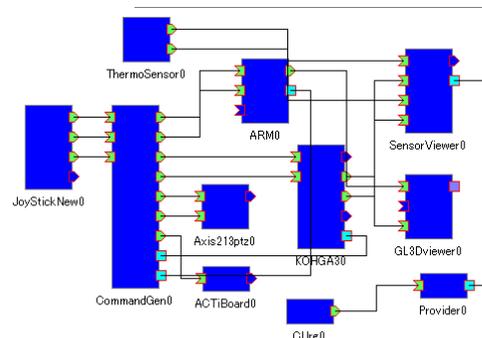


Fig. 125 RT ミドルウェアで実装済み研究用災害対応ロボット「KOHGA3」

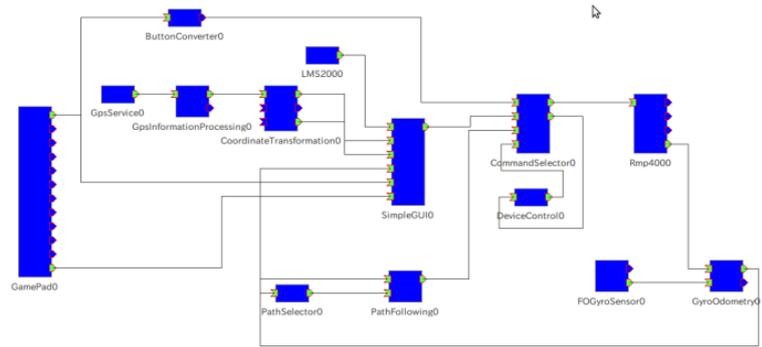


Fig. 126 RT ミドルウェアで実装済み研究用災害対応ロボット「MATOI」

研究期間外ではあるが、本プロジェクトの成果を元にして、電力会社などの民間企業と共に、実際の現場で RT ミドルウェアを用いたロボットの実証実験を着手している。2012 年 5 月時点では、平時と災害時の相互で利用可能な「道具」の開発をしており、RT ミドルウェアを用いる事で、「試行錯誤」が比較的容易に行えるために、研究開発が加速できると考えている。実験の様子の一部をFig. 127、Fig. 128に示す。



Fig. 127 発電所施設内での動作実験（屋外実験の様子）



Fig. 128 発電所施設内での動作実験（室内実験の様子）

※ ブルーシートは部品落下時の施設内への落下防止のため敷設

（イ）RT ミドルウェアを活用した商業展開

セグウェイジャパンらは、開発した知能モジュールなどを活用し「移動ロボットのサービスの提供」や「コンサルティング・支援」などの事業化を実施し、プロジェクト終了後は東北大学、京都大学、国際レスキューシステム研究機構らより技術支援を受けながら、RTC ユーザーのサポートを実施する。

また、NECソフトらは、開発成果の再利用とノウハウ活用し、知能モジュール組み込みソリューションを、を提供すると共に、社内の各部門と連携を強化し、事業利用に向けた要望吸い上げ、提案活動などを実施する。

（ウ）RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群

RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群の開発で説明したように、開発方針として国際標準規格に準拠すること、既存ソフトウェアとの互換性を維持すること、実用化されている技術をベースとすること、を基本に開発を進めた。その結果、開発された成果は、国際標準規格に準拠しており、また、既存ソフトウェアとも互換性を有している。これにより、すでに市場で販売されている製品との互換性も確保しており、開発された技術水準も実用化されている製品をベースとしているため、実用化は非常に簡便である。

特に、RTC-CANopen は、Fig. 129に示す様に、国際標準化団体 CiA において、プロジェクト期間中に国際標準規格として規格化されており、今後、CAN バスをはじめとする様々なネイティブバスを用いたロボットシステムを構築する際には、全世界的に参照することが奨励される規格と

なっている。このことは、普及に関して非常に大きな効果をもたらしている。



Fig. 129 RTC-CANopen 仕様書 (Draft Standard Proposa 1) 表紙
(表紙掲載の許可は CiA から受諾済み)

以上

3.5 コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発

公共空間における情報支援知能モジュール群の開発

【実施者:株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)、
株式会社イーガー、オムロン株式会社、三菱重工業株式会社】

1) 研究開発の概要

本プロジェクトでは、より幅広い用途と人間共存環境での次世代ロボットの実用化に繋げるため、生活空間や多品種少量生産の製造現場など状況が変わりやすい環境下において、ロボットが確実性を持って自律的に活動するための技術開発とその普及を促進することを目的として、生活空間で使用可能なロバストなコミュニケーション知能モジュール群を開発した。開発したコミュニケーション知能モジュールは、コミュニケーションを行なう場面において、必須となる「見る」「聞く」「話す」「ジェスチャする」機能の基本を担う環境状況対象認識知能、対話支援知能、対話制御知能、対話管理知能に細分化される。これらの組み合わせによって、人に情報提供を行う多くの場面に対応でき、さらに、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用的知能モジュールとなっている。

図 3.5.1 に本プロジェクトで設定したゴールを示す。一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設(65dBa 以上の騒音環境)において、「巡回・見守り・道案内」「商品説明」「受付・情報提供」の3種類のタスクが適切に動作することが最終目標である。各タスクは、人を見つけ、個人を同定し、履歴に応じて発話内容を変化させ、返答を聞き、動作を伴って分かりやすく情報を提供することを行なう。開発したモジュールを表 3.5.1 に示す。各モジュールは、オープンソース提供のドライバ部分とバイナリ提供部分からなり、すべて RT コンポーネントとして実現することで、容易に再利用可能とした。オープンソースのドライバ部分のライセンスは、修正 BSD ライセンスを採用し、用途に応じて自由な改変が可能となっている。RT コンポーネント化されたモジュールは、リファレンスモデルマニュアル(モジュールの利用説明書)を整備したことで、簡便に利用が可能である。開発したすべてのモジュールは、再利用技術研究センターに登録し動作検証を受け、特定ハードウェアに依存しない汎用性の高いモジュールであることを確認した。

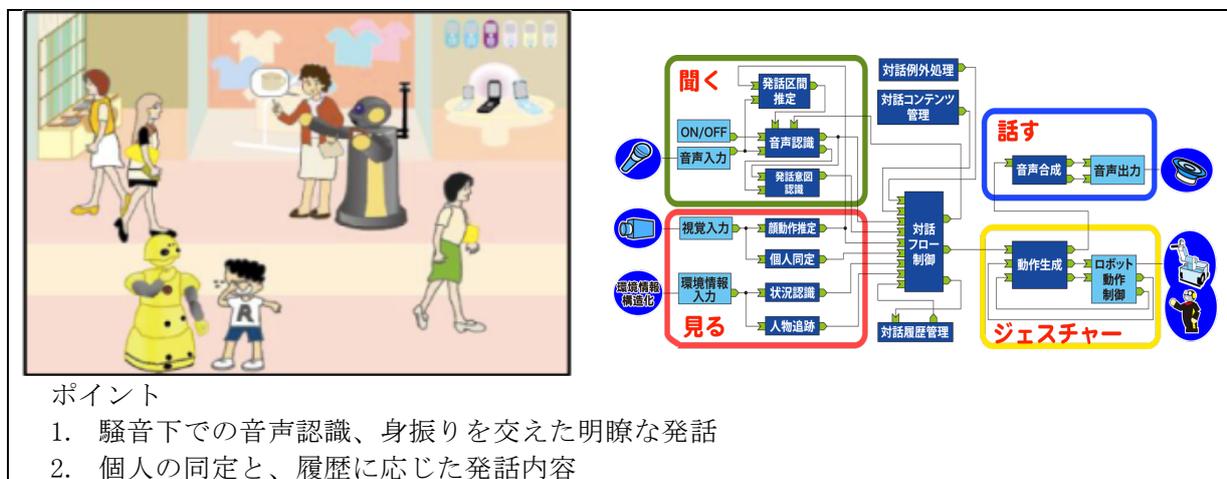


図 3.5.1 設定ゴールのイメージ

評価は、上半身が人型であるロボット（やRobovie-II など）を用いて、一般的な騒がしさのスーパー等の施設において、3種類のタスクが適切に動作することを確認した。具体的には、実利用環境において、「巡回・見守り・道案内タスク」「受付・情報提供タスク」「商品説明タスク」の3つのタスクについてタスク達成率を評価し、タスク達成率70%以上、ユーザ満足度70%以上（アンケート調査）を満たしたことを確認した。

表 3.5.1 開発したモジュール群

基本計画		機能	開発モジュール群（開発者）	
(1)環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発	①環境・状況認識	人の位置・行動	状況認識モジュール(ATR・イーガー) 人物追跡モジュール(ATR・イーガー)	
	(2)対話支援知能モジュール群の開発	①音声認識	聞く(語彙)	音声認識モジュール(ATR・イーガー) 発話区間推定モジュール(ATR・イーガー)
②音声合成		話す(発話)	音声合成モジュール(ATR・イーガー)	
③行動理解		a	見る(口開閉)	顔動作推定モジュール(オムロン・イーガー)
		b	聞く(非語彙:「え?」「ええーっ!」)	発話意図認識モジュール(ATR)
	c	ジェスチャ(あっち、こっち)	動作生成モジュール(ATR)	
(3)対話制御知能モジュール群の開発	①対話コンテンツ管理	話す(コンテンツ)	対話コンテンツ管理モジュール(ATR)	
	②対話制御	話す(自律・遠隔)	対話フロー制御モジュール(ATR) 対話例外処理モジュール(ATR)	
(4)対話管理等知能モジュール群の開発	①対話対象同定	個人同定(ID)	個人同定モジュール(オムロン・イーガー)	
	②対話履歴管理	対話履歴	対話履歴管理モジュール(ATR)	

2) 研究開発の目標

(1) 最終目標

研究開発の概要で述べた知能モジュール群(表 3.5.1)をすべて搭載したロボットシステムが、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設(65dBA以上の騒音環境)において、「巡回・見守り・道案内」「商品説明」「受付・情報提供」の3種類の実用的なコミュニケーションのタスクを実行し、成功率70%以上のタスク達成率と、70%以上のユーザ満足度を得る。さらに、タスク内での対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションとして、少なくとも200以上を保有できるようにする。

(2) 中間目標

① 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

(a) 環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボットの前方5m以内の人物の配置が70%以上の精度で検出できるようにする。

② 対話支援知能モジュール群の開発

(a) 音声認識に関する知能モジュール群

BGM が聞こえるスーパーや、TV がついているリビング等の実用的な環境（65dBA の騒音環境下）において、子供や高齢者を含む不特定話者の音声を 70%以上の精度で認識できるようにする。

(b) 音声合成に関する知能モジュール群

子供や高齢者を含む不特定の相手とのコミュニケーションにおいて、70%以上の精度で内容が伝達できるようにする。

(c) 行動理解に関する知能モジュール群

人の身振りや仕草の認識に関しては、顔の向きや視線検出の結果から、3種類の身振り仕草（うなずき、否定、かしげ）の認識ができるようにする。人の表情や非言語の発声の認識については、非語彙的発話を検出し、「肯定・相槌」、「否定」、「聞き返し」、「考え中」、「不満・非難」などの意図・態度・感情を表現したカテゴリーを 60%以上の精度で認識できるようにする。ロボットの形状や仕草により人に適切に情報やロボットの状況を伝える技術については、対話コンテンツの指示に従って動的生成された身振り仕草と、話す内容に応じて自動的に生成された身振り仕草を統合し、対話コンテンツによって定まるロボットの発話に応じて動作（身振りや仕草）を合成できるようにする。この技術によるロボットの身振りや仕草の効果をアンケートによって検証する。

③ 対話制御知能モジュール群の開発

(a) 対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

200 以上の対話コンテンツを格納でき、また状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を保有できるようにする。

(b) 対話制御に関する知能モジュール群

選択された対話コンテンツのフローを制御し、特定タスクについて初心者ユーザに対して 70%以上の成功率でタスクを達成できるようにする。

④ 対話管理等知能モジュール群の開発

(a) 対話対象同定に関する知能モジュール群

100 人を対象に 80%以上の精度で人物を同定できるようにする。

(b) 対話履歴管理に関する知能モジュール群

100 人以上の対話履歴を管理し、その履歴から得られた情報を対話に反映できる機能を保有できるようにする。

3) 研究開発の成果

各モジュールの研究開発の成果について、次の研究項目 m-1～m-9 で述べる。統合システムの検証結果については、研究項目 m-10 で有効性検証の詳細を述べる。

m-1 環境状況認識(ATR、株式会社イーガー)

環境状況認識は、ロボット前方の人物の位置・人数、および、接近等の行動を検出する機能である。本モジュールは、状況認識モジュールと、人物追跡モジュールからなる。状況認識モジュールにおける人行動検出機能は、文部科学省の平成18年度科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」の成果である環境情報構造化プラットフォームの出力を利用し、人の行動出力(「歩いている」「走っている」などの意味づけされたラベル)を、RTコンポーネントの仕様へ変換して出力することで実現した。さらに、「ロボットへの接近行動」の認識アルゴリズムを開発し、出力できる人の行動をロボットに対する行動へ拡張した。人物追跡モジュールは、環境情報構造化プラットフォームの出力を利用して、ロボットから見た人の位置検出(ロボット前方 5m 以内検出率 70%)を実現した。これらにより、ロボット前方の人物の位置、人数、そしてロボットを基準にした人の相対位置を得る機能を実現した。

m-2 音声認識 (ATR、株式会社イーガー)

音声認識は、ATRで既開発の音声認識システム(音声認識ベースシステム)を改良して、RTコンポーネント化を行った。音声認識ベースシステムは、

- A) マイクロホンアレイによる目的方向外からの雑音抑圧
- B) パーティクルフィルタによる定常および非定常雑音の抑圧
- C) 音声および雑音のガウシアン混合モデルによる発話区間検出
- D) 複数の音声認識器によるパラレルデコーディング

からなる。商業施設などの環境では雑音が多いため、音声認識で重要な発話区間を正確に検出することが難しい。そこで、騒音環境でも精度良く発話区間を検出できる単一話者発話区間検出機能を実現するため、E)話者の動画像より得られる唇の動きを用いる方法を開発した。具体的には、研究項目m-4の顔画像推定モジュールから顔の特徴点を取得し、顔の大きさに正規化した唇の開閉度合いの微分波形により、話者が発話しているか否かを判定している。A), B), C), E)を統合した発話区間検出モジュールは、従来よりも発話区間を高い精度で検出できる。この発話区間検出モジュールによって精度良く抽出された発話区間と、D)を組み合わせることで、65dBAの騒音環境下で70%以上の音声認識性能を実現した。

m-3 音声合成 (ATR、株式会社イーガー)

本研究項目では、対話すべき内容が与えられたとき、周囲環境や子供や高齢者を含む対象者に対して、適切な話し方で、聞き取りやすい音声の生成を行う機能を実現する。本機能は、ATRで既開発した音声合成システムをベースとして、周囲の騒音環境が厳しい場合においても、聞き取りやすい音声合成できるように改良を行う。ベースの音声合成システムは、入力されたテキストを解析して発音記号列、韻律情報を推定し、これをもとにスペクトル・韻律ターゲットを生成して、波形データベースからターゲットに対して最適となる音声素片列を選択して接続することにより音声波形を生成する。周囲の騒音が高い環境には、調音が明瞭で了解度の高い発声を合成に利用可能にすることが重要である。そこで、調音が明瞭で了解度の高い発声を収録した音声データベースを構築し、音素および韻律に関する情報のラベリングを施し、これを用いてスペクトルおよび韻律ターゲットモデルと音声合成向け音声波形素片データベースを開発した。ター

ゲットモデル及び音声波形素片データベースを用いて、調音の明瞭な、了解度の高い発声による音声合成を実現した。65dBAの騒音環境下で、70%以上の精度で内容の伝達が可能であることを確認した。

m-4 顔動作推定 (オムロン株式会社、株式会社イーガー)

本研究項目では、ロボットが的確に人とコミュニケーションを行うために、人の顔からその人の状態や意思を理解する機能を実現する。本機能は、既にオムロン株式会社で開発した OKAO Vision をベースに改良して、RT コンポーネント化を行った。商業施設のような人が多く集まる場所では、ロボットの前に複数の方がいる場合が多いため、対話を行う対象がどの人なのかを、その人の顔の向きや視線から検知し、その人の口の開閉度合いから話者を検出する機能が必要である。また、ロボットの前に複数人がいる場合、それぞれの顔画像の解像度が低いため、低解像度でもそうした推定を高精度に実行できることが重要となる。このためにまず、顔向き推定において、低解像度対応を実施した。具体的には、50×50 ピクセルの画像から、顔器官(目、口)の開閉を推定する機能と視線推定機能を実現、これらの機能を用いた顔動作推定コンポーネントをロボットへ搭載し、ロボットがユーザの顔を検出できることを確認した。

また、顔の向きや視線検出の結果を用いて、顔による3種類の意思表示(うなずき、否定、かしげ)の認識機能を実現した。単純な顔の角度のみの判断では、3種類の意思表示の判断は難しい。そこで一定時間内の角度変化量・角速度などを元に意思表示を認識できる認識アルゴリズムを開発し、意思表示の認識精度を向上した。本機能を用いることで80%以上の意思表示の認識精度を実現した。

m-5 発話意図認識 (ATR、株式会社イーガー)

本研究項目では、人間とロボットとの対話コミュニケーションを円滑に行うため、対話相手の発話によって伝達される意図・態度・感情に関するカテゴリーを認識する機能を実現する。言葉自体が意味を持つ語彙的発話よりも、「うん」や「え」のようにその言い方(発話スタイル)によって意図が伝達される非語彙的発話に焦点を当てる。非語彙的発話は、日常対話のおよそ半分を占めており、対話相手の発話に対して、なんらかの反応を示すために用いられ、意図・態度・感情の情報が豊富に含まれている。

非語彙的発話の分析に必要なデータの収集(対話音声の収集、書き起こし、発話意図のラベリングなど)を行った。具体的には、既存の自然会話音声コーパスやロボットが実環境で人間とコミュニケーションを行った既存の対話音声データを用いて、「うん」「え」「あ」「おー」「へえ」「はー」「ほー」「あら」「あれ」など、感動詞類を含んだ非語彙的発話に対し、どのような発話スタイルで発声された場合、どのような機能(発話意図・態度・感情)をもたらすのかを調べた。また、発話「うん」および「え」に対し、ATRで既に開発されている韻律特徴および声質特徴抽出を用いて、静かな環境で作動する発話意図認識のプロトタイプを構築した。

非語彙的発話の韻律特徴抽出において重要な雑音への頑健性を向上させた。通常の韻律特徴抽出は基本周波数成分に基づくため雑音を含む音では困難になる。基本周波数の倍音となる調波成分に基づいて基本周波数を推定する手法を考案し、雑音下において、より頑健な韻律特徴抽出を

実現した。これらを用いて、非語彙的発話のリストを対象に、韻律特徴抽出と音声認識モジュールが出力するテキスト内容から、{肯定・相槌;否定;聞き返し;考え中;不満・非難}の意図・態度・感情を表すカテゴリーを認識する発話意図認識モジュールを構築し、65dBAの雑音環境で60%以上の認識精度を実現した。

開発した発話意図認識モジュールは、RTコンポーネント化し、ベータ版として知能化プロジェクト内へ提供したが、予算削減のため、本研究項目は、平成21年度で終了した。

m-6 動作生成 (ATR)

本研究項目では、ロボットの形状や身振り仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える機能を実現することを目指す。ロボットが話す内容に応じて自動的に適切な身振り仕草を生成する技術を実現し、心理学的・認知的知見に基づき適切なタイミングでこれらを統合することにより身振り仕草を用いたコミュニケーション技術を実現する。このため、人への情報状況伝達に有用であるロボットの身振り仕草の「動的生成」、「自動生成」、「動作合成」の3つの機能を実現し、モジュール化する。動作生成モジュールは、生成した身振り仕草を様々なロボットで利用可能にするため、動作生成と動作実行を独立したRTコンポーネントとし、対話制御モジュール・対話履歴管理モジュールと接続して動作する。「動的生成」は、対話コンテンツ中で指定された対話相手・指示対象の位置などのラベルから、対話相手・指示対象にあわせた身振り仕草を生成する。対話制御モジュール群において生成される対話コンテンツは、発話に加えて身振り仕草などの明示的な身体動作を制御する情報を保持する仕様となっている。動作生成モジュールを、この身体動作制御情報を受けて身振り仕草を生成し、ロボットに実行させるように実装した。実験室内に模擬環境を構築し、物体などを配置して基礎的な実験を行い、案内対象を適切に示すような身振り仕草が動作生成モジュールによって生成できることを確認した。「自動生成」は、対話コンテンツから明示的な身振り仕草の指示が無い場合に、対話相手の振る舞いに応じてロボットの身振り仕草を自発的に行う動作を自動的に生成する。この自発的動作は、ロボット自らの発話に関連するような身振り仕草のことであり、ロボットが質問を行う場合に、問いかけを行うような身振り、例えば首かしげ、を自動的に生成できることを確認した。「動作合成」は、動的生成された身振り仕草と、自動生成された身振り仕草を適切に統合し、対話コンテンツによって定めるロボットの発話に応じて、動作を合成する。ロボットが話し手か、聞き手か、待機中かなどのコミュニケーション属性を利用して合成を行う実装を進めた。評価実験を実施して身振り仕草の効果をアンケートによって検証したところ、20名中19名がこのシステムにより実現された身振り仕草がある方が良いとの回答を得た。これにより、動作生成モジュールが人に適切に情報やロボットの状況を伝えることができることを確認した。

m-7 対話制御 (ATR)

本研究項目では、対話コンテンツ管理と対話フロー制御に関する知能モジュール群を実現する。対話コンテンツ管理は、ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択できる機能である。また、多くの対話コンテンツを作成する作業は負担が大きいため、作成負荷を軽減する対話コンテ

ンツ編集インタフェースを実現する。対話フロー制御は、対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスクを実行できる機能である。

対話コンテンツと対話フロー制御ルールは対話コンテンツ管理モジュールによって保管され、ロボットの実行時に参照される。対話フロー制御の中で、次に実行する対話コンテンツが次々に選ばれ実行されてゆく時に、対話している人が予想外の発話を行ったり、複数人の発話が発出されたり、対話妨害者が現れたりするなど、本来の対話コンテンツの流れに対する例外事象は、人間の操作者の介入を可能にする対話遠隔制御機能により、対処される。

上記機能を、RTコンポーネント化して知能モジュール群として提供できるように開発を進めた。作成負荷を軽減できる対話コンテンツ編集インタフェースを実現し、対話コンテンツ管理モジュールが編集結果を読み込み可能にし、また、格納・検索機能を実装し、1000 コンテンツの格納が可能であることを確認した。対話ロボット上で動作する対話フロー制御モジュールはルール照合機能を実装し、さらに、センサ情報の入力に対応することによって、ロボットの振り舞いをセンサ値に応じて変えることを可能にした。このモジュール群を利用して、パソコンの商品説明タスクを行う評価実験を実験室内で実施し、タスクの達成率が93%(16名中15名に対して成功)であることを検証した。これにより、対話制御が、多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択でき、対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスクを実行できることを確認した。

m-8 個人同定 (オムロン株式会社、株式会社イーガー)

ロボットが人とコミュニケーションする際に、相手が誰なのか、あるいはどんな人なのかを理解することが極めて重要である。本研究項目では、対話対象を画像情報により同定する機能の実現を目指した。このための個人同定の手法として、①顔の個人性に基づく手法、②顔の性別・年齢等の属性に基づく手法、③眼鏡や帽子、ヒゲと言った顔に付加された属性に基づく手法、④服装の色情報に基づく手法、を開発した。①の顔認識技術においては、照明変化に対するロバスト性向上や顔向き変化に対するロバスト性向上に注力して開発を行った。その結果、左右の顔向き40度以内に対応し、エラー率10%以下を達成した。②の性別年代推定においてはオムロン株式会社で実施した独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト「高齢者対応コミュニケーションRTシステムの研究開発」の成果(目標正解率80%)を取り込んで活用した。③に関しては、用いられる属性情報としては無数に考えられるので(眼鏡の種類、帽子の種類、ヒゲの種類、髪型の種類およびその組み合わせ)、様々な属性に対応できる人物属性認識手法を開発し様々な属性に対して85%程度の認識率を実現した。④に関しては、カメラや照明条件の違いが発生したときにも、その違いを吸収し正しく個人同定できる個人同定手法を提案した。同種の手法において10位以内認識率が約30%程度であるのに対し、55%の認識率を実現した。一方、実用化には80%程度の認識率が必要と考えられ、精度改善は今後の課題である。

m-9 対話履歴管理 (ATR)

本研究項目では、対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に

反映できる機能を実現するモジュール群を開発する。同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、個人の属性や履歴を利用した対話コンテンツ作成やフロー制御の基礎的メカニズムについては研究項目m-7の対話フロー制御技術を利用する。本項目では、個人の属性の格納方法や利用方法を検討し、対話履歴を格納する機構や個人の属性に応じた対話をするための適応機構を実現する。対話履歴管理の基本的な部分であるDBへの格納機能及びその入出力仕様を検討し、個人IDを入力とし個人適応情報を出力とする対話履歴管理基本モジュールと、個人ID/関連情報/DB操作イベントを入力とし、DBへの格納を行うと同時に検索結果を出力とする個人属性情報管理基本モジュールを開発した。個人属性情報管理基本モジュールと連動し、対話制御モジュールで行った対話に関する動的履歴を蓄積・管理する機能を実現し、センサ関連や対話制御のモジュールからの入力を擬似的に与えるようなソフトウェア環境や、実験室内に構築した模擬環境を利用して、モジュールが対話履歴を格納し個人の属性に応じた対話が実現されていることを確認した。

m-10 有効性検証（三菱重工業（平成21年度まで）、ATR、株式会社イーガー）

コミュニケーション知能では、人とロボットの対話というリアルタイム性の高いタスクを実行することから、単に個々のモジュールの性能を高めるだけでなく、複数のモジュールが実時間で効率的に連携し、タイミングよく音声などの入出力を行うことで、応答の正確性やユーザである人の理解度・満足度を高めることが重要である。有効性検証では、開発した知能モジュール同士を結合した上で、複数のモジュールの連携動作により実現されるコミュニケーション知能の機能・性能を実時間性という軸で評価することにより、コミュニケーション知能の高度化という命題に対するモジュール群、及びモジュール間インタフェース設計の有効性を検証し、サービス産業での対話に関する単純労働の代替をロボットで実現可能な知能モジュール群であることを示す。

まず音声対話に関連するモジュール群、すなわち音声認識モジュール、対話コンテンツ管理モジュール、対話フロー制御・例外処理モジュール、音声合成モジュールを相互に接続した検証システム（音声対話セット）を設計・構築し、機能的検証、システム性能評価、対話性能評価の3種類の検証・評価を行った。機能的検証で、音声対話のシステム動作に問題がないことを確認した。CPU時間を評価するシステム性能評価から音声合成モジュールの計算負荷が高く実時間性に問題があったが、実装方法を改良することによって解決できる見込みを得た。対話性能評価では、人工的な対話を連続的に行え、騒音環境を変化させられる「対話ユーザ模擬システム」を構築し、模擬騒音環境を変化させることで、音声認識率が変動することを確認した。さらに、発話区間推定モジュール、顔動作推定モジュールを追加し、視覚ベースの発話区間推定アルゴリズムの性能検証を行い対騒音性能の向上を確認した。最終的には、開発したモジュール群の統合版を構築し、最終目標の性能検証を実施した。以下に、主な有効性検証についての詳細を述べる。

中間目標に対する有効性検証

本プロジェクトで開発した「見る・聞く・話す・ジェスチャする」機能に関連するモジュール群は、RTミドルウェアを利用して図3.5.2に示す構成のように組み合わせ、動作確認を行った。まずロボットの前に人が立つと、ロボットのカメラ入力画像信号を顔動作推定モジュール（「見る」）に通し、人の顔が検出された場合、対話フロー制御モジュールが音声認識モジュールに音声

を取り込む指令を送り、入力された音声信号の音声認識結果が戻される（「聞く」）。対話フロー制御は認識された結果に応じて、発話動作指令を動作生成モジュールに送り、動作生成モジュールでユーザへの応答生成を行う。応答生成としては、音声合成モジュールで発話を合成し（「話す」）、その発話に伴う適切な身振りもロボット動作制御へ指令を送ることにより生成する（「ジェスチャーする」）。

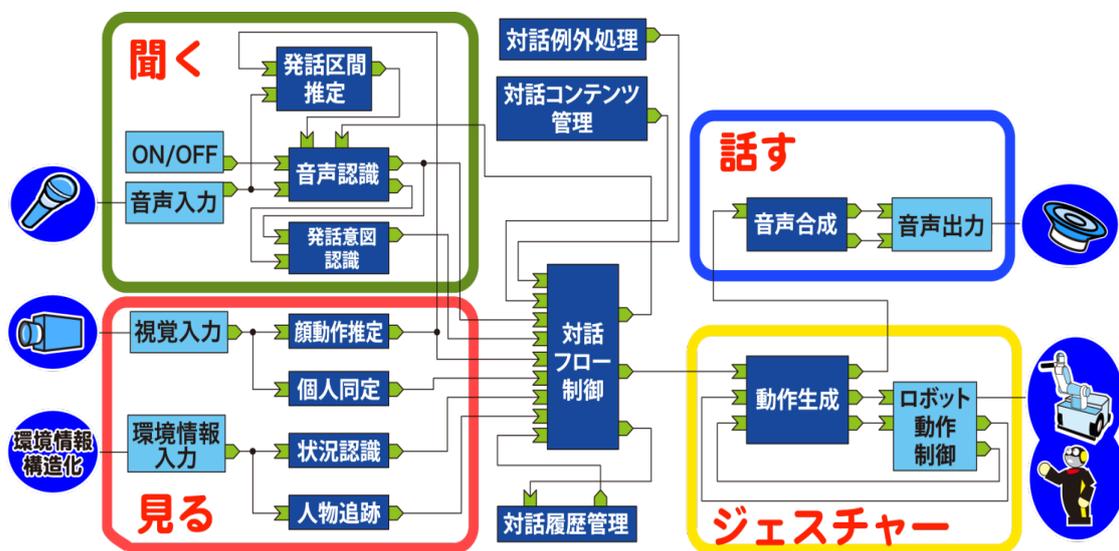


図3.5.2 コミュニケーション知能のためのモジュール構成

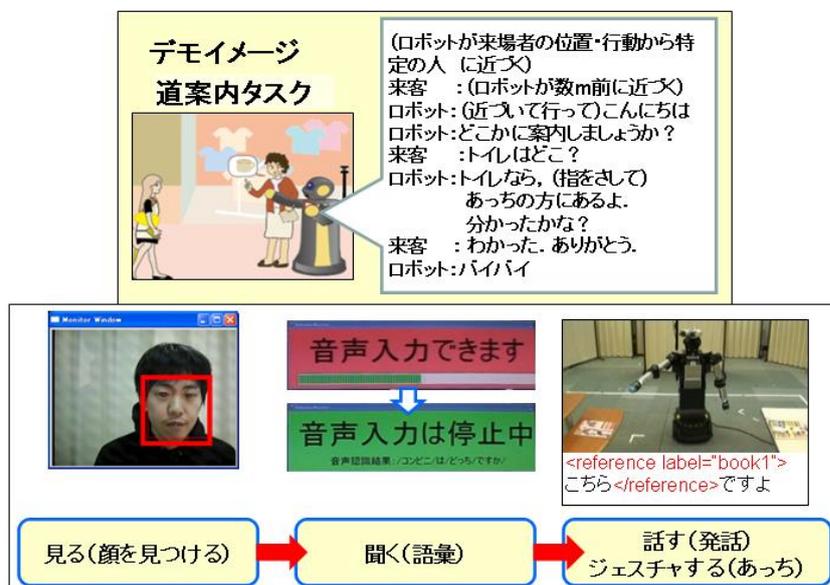


図3.5.3 道案内タスクの概要

2009年1月21日に実施した先行デモでは、図3.5.2のモジュール構成の中で、対話例外処理モジュール、状況認識モジュール及び人物追跡モジュールを除いてシステムを構成することにより、図3.5.3に示すような道案内タスクを実現した。デモには、ロボットに命令を与えるのではなく、例えばロボットが「こんにちは、どこかへ案内しましょうか？」と問いかけ、これに対してユーザが「トイレはどこ？」と尋ねると、ロボットが身振りを交えて「トイレならあっちの方にあるよ」と応えるように、ユーザと会話によるインタラクションを行い、「トイレ」、「コンビニ」、「喫

茶店」など10種類の場所を案内できるタスクを構築した。評価実験では、一般的な騒がしさの商業施設の騒音レベルである背景雑音が65dBにおいて、中間目標の認識精度70%を超える75%の精度でユーザとのインタラクションが成立した。また、モジュールの再利用性も確認し、3種類のロボット（子供サイズのRobovie II、デスクトップ用の小型サイズのRobovie mini-R2、バーチャルのwakamaru simulator）で、開発したモジュール群が同様に動作することを確認し、デモを実施した。

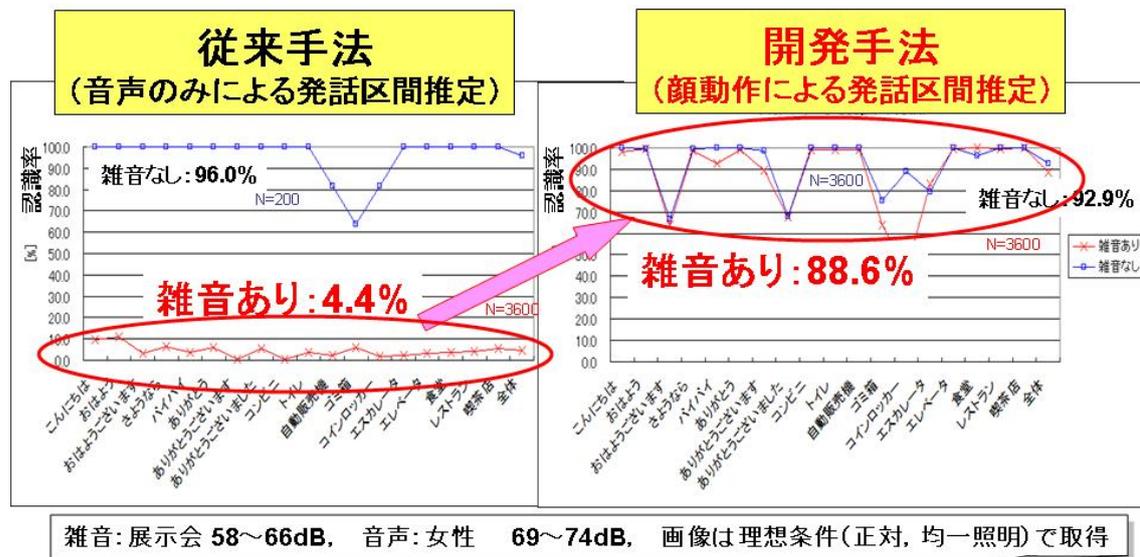


図3.5.4 顔動作による発話区間推定を用いた音声認識実験結果

雑音環境下での音声認識性能を向上するために、顔動作（口の開閉）と音声を併用した発話区間推定モジュールの開発と、これを用いた音声認識性能の検証を実施した。すなわち、顔画像の口部分の開閉情報から音声の開始時間と終了時間を相補的に抽出する方法による音声認識性能の向上の効果を検証した。結果として、図3.5.4に示すように、約65dBの雑音環境下で顔動作を併用した発話区間推定を行わない場合の音声認識率は平均4.4%であったのに対し、顔動作を併用した発話区間推定を行った場合の音声認識率は平均88.6%となり、大幅な音声認識率の向上を達成した。

動作生成、対話制御モジュール群に関しては、商品説明を模した被験者実験を行い、有効性の検証を行なった。ロボットと接した経験のない被験者（初心者ユーザ）19名に対して、ロボットが身振りを交えた商品説明を行ったところ、図3.5.5に示すようにほとんどの被験者が身振り有りの方が分かりやすいと回答し、身振り仕草の効果を確認した。また、被験者（初心者ユーザ）15名に対してパソコンに関する商品説明タスクを行う実験を実施したところ、図3.5.6に示すように93%の被験者が商品の情報を得られたと回答した。即ちこの実験による商品説明タスクのタスク達成率は93%であり、初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成するという中間目標を達成した。

身振り有り無し、どちらが分かりやすい？

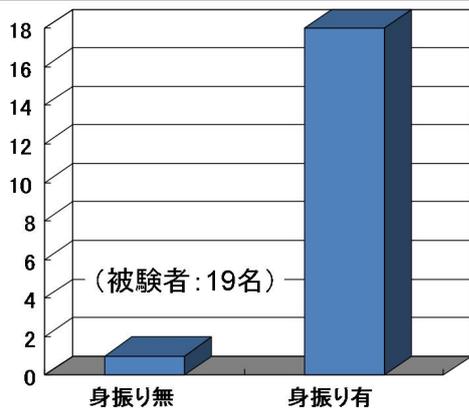


図3. 5. 5 身振りを交えた商品説明に対する
分かりやすさのアンケート結果

ロボットの説明で商品情報を得られた？

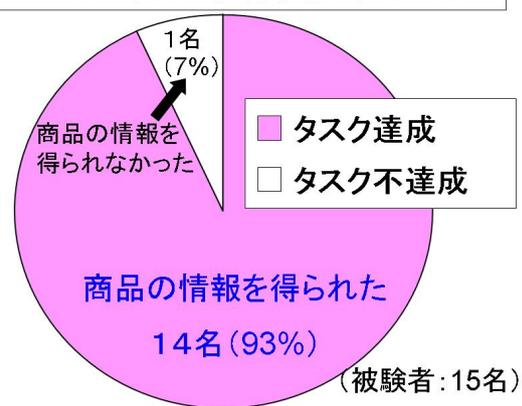


図3. 5. 6 商品説明タスクのタスク達成率

中間目標に対する主な研究開発成果の達成状況は、以下の通りである。環境・状況認識に関する知能モジュール群に関しては、ロボットの前方5m以内で複数人の人物の配置が精度99%以上であることを確認した。これは、中間目標である「ロボットの前方5m 以内の複数人の人物の配置が70%以上の精度で検出可能であること」を大きく上回っている。音声認識に関する知能モジュール群に関しては、前述したように顔動作を併用した発話区間推定技術などによって、65dBAの雑音環境下で音声認識率75%以上を達成しており、これも中間目標である「BGMが聞こえるスーパー等の実用的な環境で子供や高齢者を含む不特定話者の音声を70%以上の精度で認識できること」を上回る。対話制御知能モジュール群に関しては、中間目標である「200以上の対話コンテンツを格納でき、状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を有する」対話コンテンツ管理モジュールを開発済みであり、実験により商品説明タスクについて中間目標である「初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成できること」を確認した。対話管理等知能モジュール群に関しては、開発した個人同定モジュールにより顔画像に基づいて500人を対象に80%以上の精度で人物同定を達成しており、中間目標である「100人を対象に80%以上の精度で人物を同定できること」を確認した。以上のように、中間目標の達成を確認した。

最終目標に対する有効性検証

開発したすべての知能モジュールを標準ロボットシステムへ実装し、2つの実証実験を行い、最終目標の達成を確認した。基本計画における最終目標は、2) 研究開発の目標で述べたように、開発したすべてのモジュールを搭載したロボットシステムが3種類以上の実用的なタスク((a-1)、(b)を含む)を実行し、タスク達成率70%以上、ユーザ満足度70%以上を実現する。

(a-1) BGM や人の話し声が聞こえる、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設において、顧客からの商品に関する質問の聞き取りや商品説明を行う対話が可能であること。

(b) タスク内での対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションは、少なくとも200以上とする。

以上の目標を検証するため、開発した知能モジュール群を図3. 5. 2のように組み合わせ、店舗内サービス実証実験と商業施設内サービス実証実験を実施した。

店舗内サービス実証実験

店舗内でのサービスとしてロボットに期待される代表的な2つのサービス（商品説明と売り場案内）をコミュニケーション知能モジュールを利用して実現し、来店客の意見を収集する実験を実施した。図3.5.7に、店舗内サービスで利用される主要なモジュール群を示す。

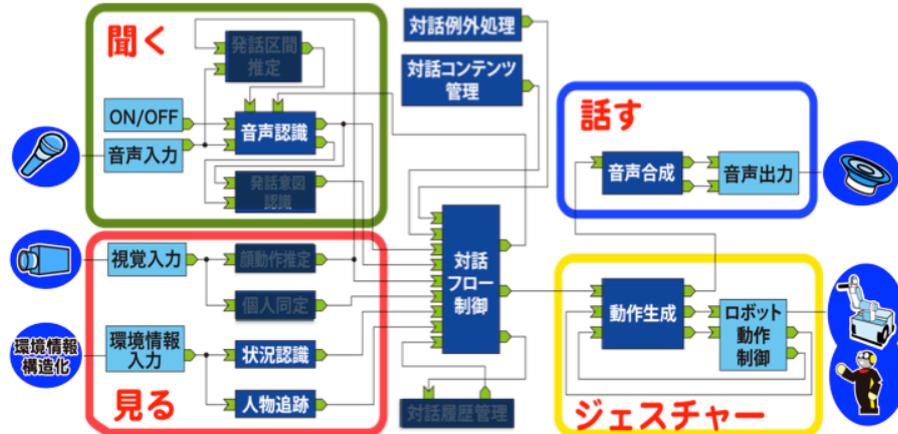


図3.5.7 適切な商品説明や売り場案内を実施するための基本モジュール群

このサービスは、店舗内に設置された移動しないロボット (Robovie-mR2) が、近寄ってきた来店客への挨拶を行い、店舗内にある商品に関する質問に対して、音声認識・合成で回答するタスクである。実証実験の店舗は、「ロボラボ いちびり庵」を利用した。「ロボラボ いちびり庵」は、大阪市住之江区南港の複合商業施設ATC内にあり、2011年度大阪市「スマートコミュニティ実証事業」で整備された店舗面積71m²の広さを持つ店舗である。店舗で扱っている主な商品のカテゴリーは、大阪土産、地方物産やロボットグッズで、商品数1300～2000種類を有し、毎日営業を行っている。実験は、6日間実施した。図3.5.8に、実験時の様子を示す。



図3.5.8 店舗内サービス実証実験の様子

ロボットの挨拶は、「こんにちは」「こんばんは」などの単純なものを含めて30種類を実施した。対話対象の商品は32種類とし、商品の属性（価格、場所、人気、特徴、味）に対する回答を行った。最後に、来店客にタスク達成（ロボットが客の質問や対話に適切に回答できた）と満足

度について、筆記のアンケートを実施し、回収を行った。アンケートを回収した243名の結果を図3.5.9に示す。

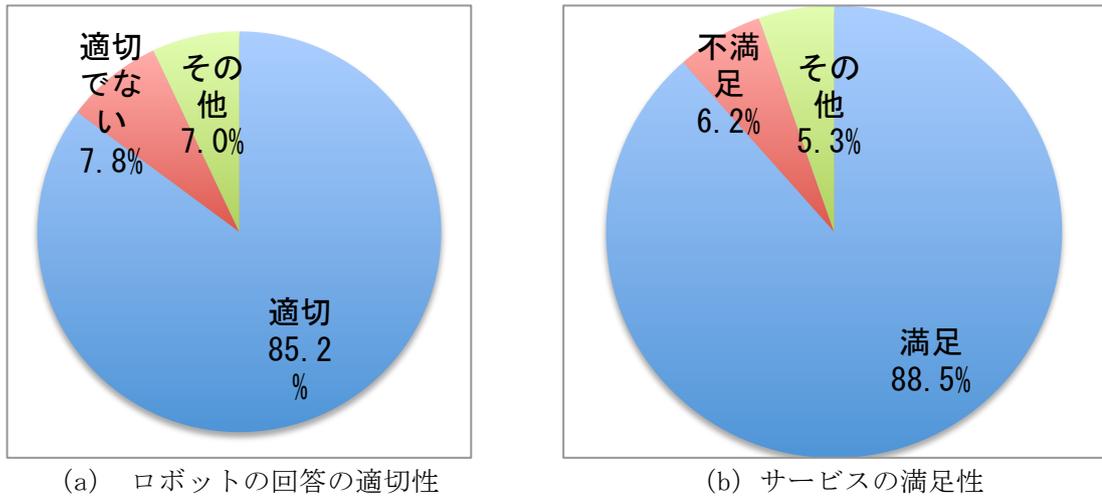


図3.5.9 店舗内サービス実証実験の結果

図3.5.9 は、タスク達成率とユーザ満足度が、ともに70%を大きく超えた85.2%と88.5%であることを示している。

商業施設内サービス実証実験

商業施設内のサービスとしてロボットに期待される代表的な2つのサービス（道案内と商品案内）をコミュニケーション知能モジュールを利用して実現し、被験者実験を実施した。図3.5.10 に、商業施設内サービスで利用される主要なモジュール群を示す。

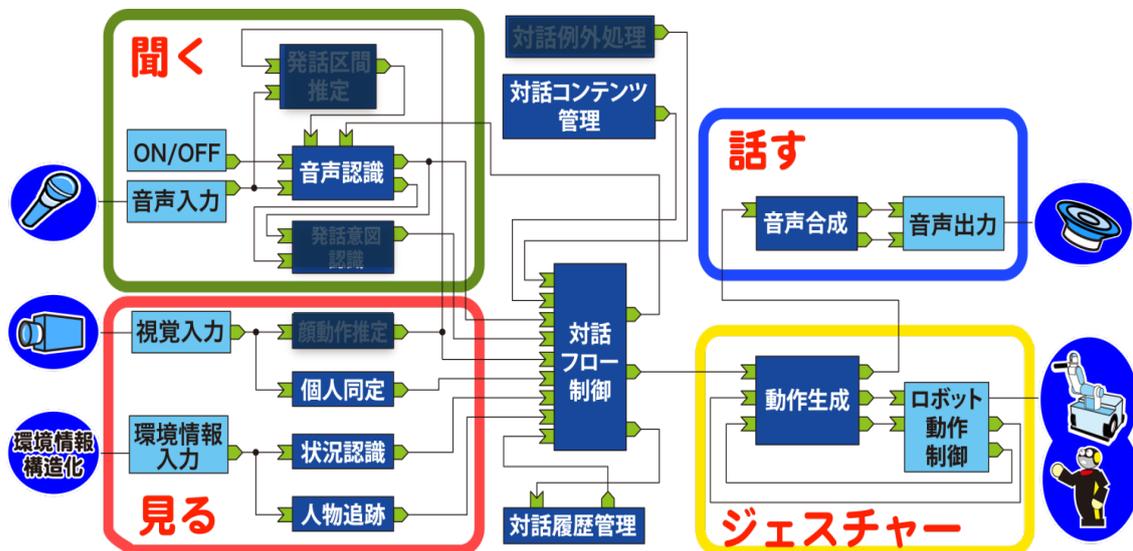


図3.5.10 適切な道案内や商品案内を実施するための基本モジュール群

ロボットの道案内は、来店客に先導して店舗近くまで案内するタスクであり、商品案内は店舗内の商品の情報を紹介するタスクである。タスクの成否については、ロボットが来店客の質問や対話に適切に回答でき、かつ目的地の店舗までたどり着ければタスクが成功したと判定する。実証実験は、アピタ精華台店（京都府相楽郡精華町精華台9丁目2番地4）の西館で実施した。実験は、2012年2月5日に実施した。図3.5.11 に、実施している様子を示す。



図3.5.11 商業施設内サービス実証実験の様子

サービスは、来店客（被験者）の受付を行った後、来店客が行きたい店舗（78店舗）を発話するとロボットが音声認識して店舗名を確認したのち、店舗までロボットが先導する道案内と、店舗付近で客を識別して店舗の商品を案内し、別れの挨拶をして終了する商品案内である。ロボットは来店客が店舗に行きたい店舗を告げているときに顔画像登録をし、商品案内時に利用している。1店舗につき、2～4の商品情報ののべ260種類の対話が可能である。最後に、被験者にサービスの満足度についてのアンケートを実施した。図3.5.12 に、タスクの達成率と、満足度の結果を示す。サービスの満足度は、1:不満足、2:やや不満足、3:どちらでもない、4:やや満足、5:満足を表している。

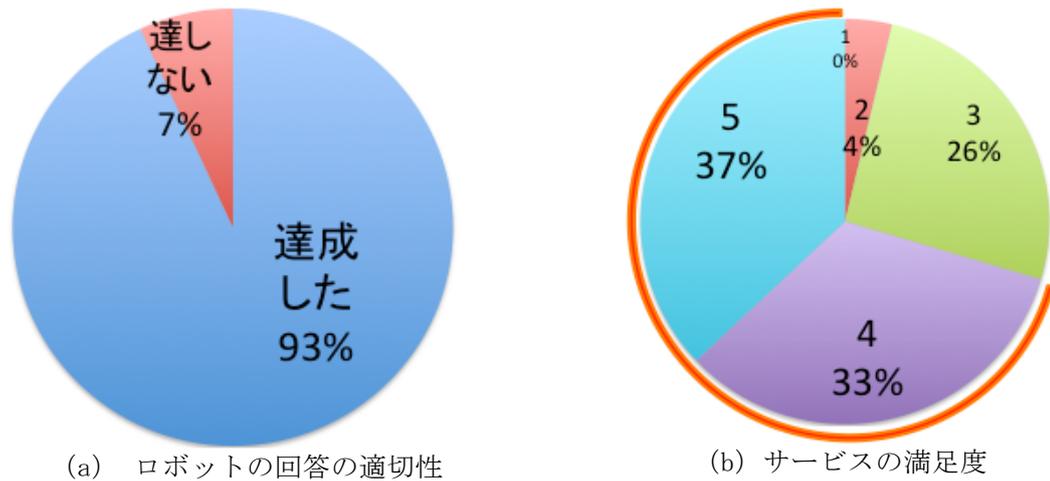


図3.5.12 店舗内サービス実証実験の結果

図3.5.12 は、タスク達成率とユーザ満足度が、ともに70%を超えた93%と70%であることを示している。

上記、店舗内サービスと商業施設内サービス実証実験結果が、タスク達成率70%以上とユーザ満足度70%以上であることから、最終目標を達成していることを確認した。

他知能で開発されたモジュールとの組み合わせ検討

コミュニケーション知能モジュール群から、他の知能モジュールが利用できれば、より多くの場面や状況で開発したコミュニケーション知能モジュール群が利用できることになる。そこで、開発したコミュニケーション知能モジュール群の一部と、移動知能モジュール群（東北大学、セグウェイジャパン（株）が開発）を組み合わせ、模擬店舗内で商品案内サービスの試行実験を行った。実験で利用した移動知能モジュール群を表3.5.2に、コミュニケーション知能モジュール群を表3.5.3に示す。図3.5.13 に、それらを実際に組み合わせた構成図を示す。

表3.5.2 移動知能モジュール群

RTC名	モジュール名
Urg_to_Obstacles	障害物検知モジュール
PathPlanning	経路計画モジュール
Navigation	マップマッチングドライブモジュール
ObstacleAvoidance	回避行動モジュール
Urg	人追従機能モジュール群 レーザーレンジRTC

表3.5.3 コミュニケーション知能モジュール群

RTC名	モジュール名
BehaviorGenModule	対話制御モジュール
HistoryManModule	対話履歴管理モジュール
EnvDataModule	環境データモジュール
SoundInModule	音声入力モジュール
AtrasrModule	音声認識モジュール
XimeraModule	音声合成モジュール
SoundOutModule	音声出力モジュール

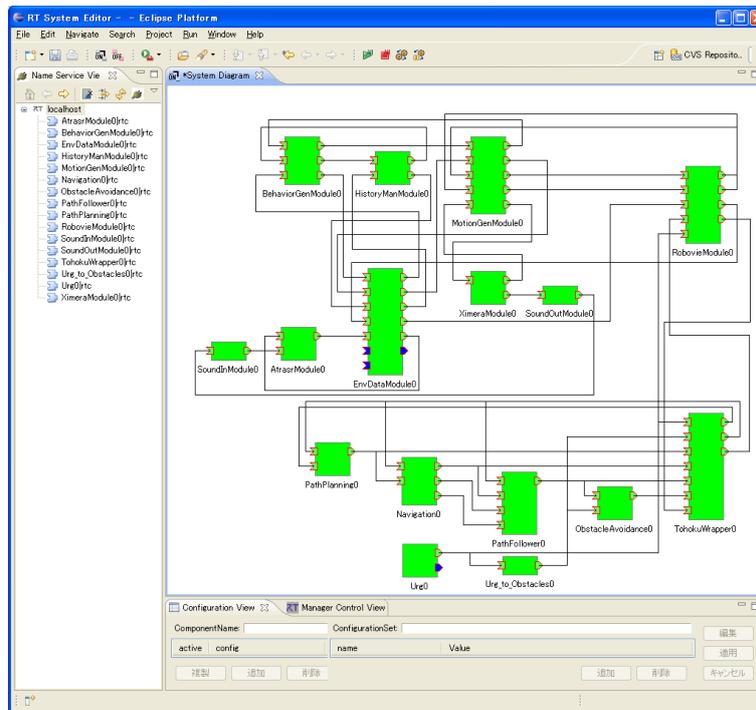


図3.5.13 移動知能モジュールと組み合わせたモジュール構成図



(a) 待機状態



(b) ビール売り場へ案内



(c) ミネラルウォーター売り場へ案内



(d) お茶売り場へ案内

図3.5.14 移動知能モジュールと組み合わせたロボット動作の様子

試行実験の商品案内は、以下の流れで行われる。まず、模擬店舗の入り口において来店者が商品名をロボットへ告げると、ロボットは搭載されているセンサを利用して予め作成された売り場地図上の自己位置を推定し、対応する商品棚付近に移動し、到着した後に反転して、売り場に到着したことを来店者へ告げる。3種類の商品について試行実験を行っている様子を図3.5.14に示す。いずれも、商品棚付近へ移動することができており、組み合わせたモジュール群によって商品案内動作が正しく行われた。この実験によって、開発したコミュニケーション知能モジュールから移動知能モジュールが利用可能であることを確認した。多くの場面や状況で利用可能であることが期待できる。

4) 研究発表・講演、文献、特許などの状況

(1) 研究発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	井尻善久,他	オムロン株式会社	高精度な顔認識とサングラス検出を用いた不審者検出システム	SSII 2008	無	2008
2	井尻善久,他	オムロン株式会社	高速な顔認証と顔属性推定を応用した顔検索システム	SSII 2008	無	2008
3	Y. Ma, etc	オムロン株式会社	Re-weighting Linear Discrimination Analysis under Ranking Loss	CVPR 2008	有	2008
4	井尻善久,他	オムロン株式会社	属性に基づく学習型人物検索	電子情報通信学会論文, J93-D, No.11, pp.2495--2504, 2010/11	有	2010
5	井尻善久,他	オムロン株式会社	Jensen Shannon カーネルとカーネル最大マージン成分分析によるカメラの違いの影響を受けにくいカメラ間人物照合	電子情報通信学会論文誌, J95-D, No.4, 2012/04	有	2012
6	井尻善久,他	オムロン株式会社	Efficient Facial Attribute Recognition with A Spatial Codebook	Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010), pp.1461--1464, 2010/08.	有	2010
7	井尻善久,他	オムロン株式会社	Human Re-Identification Through Distance Metric Learning Based On Jensen-Shannon Kernel	Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2012), pp.603--612, 2012/02	有	2012
8	井尻善久,他	オムロン株式会社	多様な属性に柔軟に対応できる人物属性認識の準教師付き学習フレームワーク	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), pp.97--102, 2009/10	無	2009
9	井尻善久,他	オムロン株式会社	非線形距離指標学習によるカメラ間人物照合	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), pp.139--146, 2011/05	無	2011
10	井尻善久,他	オムロン株式会社	カメラ台数が多い時に有効な非線形距離指標学習に基づく複数カメラ間人物トラッキング	画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 論文集, pp.765--772, 2011/07	有	2011
11	井尻善久,他	オムロン株式会社	サーベイ論文:カメラ間人物照合	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), 111(317), pp.117--124, 2011/11	無	2011
12	井尻善久,他	オムロン株式会社	顔属性に基づく学習型人物検索	画像ラボ, 22(9), 2011/09	無	2011
13	下倉健一郎, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	公共空間における情報提供を支援するコミュニケーション知能モジュール群の開発	第26回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2008AC2L2-03	無	2008
14	日浦亮太,他	三菱重工業(株)	コミュニケーション知能モジュールにおける音声対話機能の RT コンポーネント化と接続検証	第26回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2008AC2L2-03	無	2008
15	石井 カルロス寿憲, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	RT Components for Human Robot Interaction: Look, Listen and Talk	ICRA2009 CD-ROM proceedings	無	2009
16	S. Lao	オムロン株式会社	Face Recognition and Its Application to Human Robot Interaction	ICRA2009 CD-ROM proceedings	有	2009
17	秋本 高明, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	道案内サービスのためのコミュニケーション知能モジュール群の開発	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	無	2009

18	日浦亮太,他	三菱重工業(株)	画像により検出した顔動作と音声入力を併用して発話区間を推定するコミュニケーション知能モジュール	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	無	2009
19	秋本 高明,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	商品説明サービスのためのコミュニケーション知能モジュール群の開発	第27回日本ロボット学会 学術講演会 RSJ2009AC3D2-01	無	2009
20	伊藤順吾,他	オムロン株式会社	顔画像と音声入力を併用した発話区間推定コミュニケーション知能モジュール群の開発	第27回日本ロボット学会 学術講演会	無	2009
21	石井 カルロス寿憲,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	コミュニケーション知能における音声認識モジュール群に関する一考察	第28回日本ロボット学会 学術講演会講演概要集	無	2010
22	石井 カルロス寿憲,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Evaluation of utterance interval detection by using audio-visual information	The 9th International Conference on Auditory-Visual Speech Proceedings (AVSP 2010) 81-84	有	2010
23	HERACLEOUS Panikos,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Investigating the Role of the Lombard Reflex in Visual- and Audio-visual Automatic Speech Recognition	The 9th International Conference on Auditory-Visual Speech Proceedings (AVSP 2010) 69-72	有	2010
24	宮下 敬宏,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Guide and Recommendation services using RT-modules for Human-Robot Interaction	The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010) Workshops/Tutorials CD-ROM "Towards a Robotics Software Platform"	有	2010
25	石 超,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Easy Development of Communicative Behaviors in Social Robots	2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Conference DVD Proceedings IROS 2010 5302-5309	有	2010
26	GLAS Dylan Fairchild,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	An Interaction Design Framework for Social Robots	ROBOTICS SCIENCE AND SYSTEMS ONLINE PROCEEDINGS Robotics: Science and Systems VII	有	2011

(2) 特許等

国内出願・国外出願

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-050127	国内	2009/3/4	出願	移動体管理システム、移動体管理装置および移動体管理プログラム	塩見昌裕他
2	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-050431	国内	2009/3/4	出願	グループ行動推定装置およびサービス提供システム	塩見昌裕他
3	(株)国際電気通信基礎	特願 2009-064131	国内	2009/3/17	出願	発話意図情報検出装置及びコンピュータプログラム	石井カルロス 寿憲他

	技術研究所						
4	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-071586	国内	2009/3/24	出願	対物行動推定装置およびサービス提供システム	塩見昌裕他
5	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-102738	国内	2009/4/21	出願	コミュニケーションロボット開発支援装置	神田崇行他
6	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-143871	国内	2009/6/17	出願	コミュニケーションロボット開発支援装置	神田崇行他
7	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-143872	国内	2009/6/17	出願	案内ロボット	塩見昌裕他
8	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-146168	国内	2009/6/19	出願	コミュニケーションロボット	神田崇行他

添付資料1 (学会発表、論文、展示会、プレス発表等)

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発

(1) 研究発表／講演 (口頭発表を含む)

- 1) 山野辺 夏樹 (産総研)、永田 和之 (産総研) : ”平行 2 指ハンドによる物体把持のための対象物のモデル化”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、長野、2008.06
- 2) 池添明宏(セック)、村永和哉(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”リアルタイム OS 向けの RT ミドルウェアの研究開発”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、長野、2008.06
- 3) 村永和哉(セック)、水野紀子(セック)、原史江(セック)、池添明宏(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム向け分散型データベースの開発”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、長野、2008.06
- 4) 原功 (産総研)、比留川博久 (産総研)、平井成興 (産総研)、高野陽介 (NEC)、中本啓之(セック)、齋藤元 (GRX) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム”、第 26 回日本ロボット学会学術講演会、(2008) RSJ2008AC1F1-02 (CD-ROM)
- 5) 安藤慶昭 (産総研)、坂本武志 (テクノロジックアート)、中本啓之 (セック)、”OpenRT Platform/RT ミドルウェア・ツールチェーンのためのモジュールおよびシステム仕様記述方式”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会、(2008) RSJ2008AC1F1-03 (CD-ROM)
- 6) 中岡慎一郎 (産総研)、金広文男 (産総研)、比留川博久 (産総研) : ”OpenRT Platform/ロボットシミュレータ OpenHRP3”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会、(2008) RSJ2008AC1F1-05 (CD-ROM)
- 7) 横井 一仁 (産総研)、喜多 伸之 (産総研)、吉田 英一 (産総研)、Neo Ee Sian (産総研)、永田 和之 (産総研)、山野辺 夏樹 (産総研)、水内 郁夫(東大)、高野 陽介 (NEC)、岩沢 透(NEC) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群”、第 26 回日本ロボット学会学術講演会、(2008) RSJ2008AC1F1-06 (CD-ROM)
- 8) 山野辺 夏樹 (産総研)、永田 和之 (産総研) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群/作業対象物把持知能モジュール群”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会(2008) RSJ2008AC1F1-07 (CD-ROM)
- 9) 吉田 英一 (産総研)、角尾 晋一(産総研/首都大)、横井 一仁 (産総研) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群／運動計画・全身運動制御知能モジュール群 (第 1 報) ”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会 (2008) RSJ2008AC1F1-08 (CD-ROM)

- 10) 喜多 伸之 (産総研)、中島 裕介 (産総研)、武川 直史 (産総研)、Kwak Nosan (産総研)、横井 一仁 (産総研) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群/車輪型移動ロボットを制御する知能モジュール群”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会 (2008) RSJ2008AC2L1-01 (CD-ROM)
- 11) 水内郁夫(東大)、稲葉雅幸(東大) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群//生活環境情報収集知能モジュール群”、第 26 回 日本ロボット学会学術講演会(2008) RSJ2008AC2L1-02 (CD-ROM)
- 12) 高野陽介(NEC)、宇田安規男 (NEC)、石田雅一 (NEC) : ”OpenRT Platform / RT コンポーネントを制御するシナリオ編集・実行系の実現”、第 26 回日本ロボット学会学術講演会、(2008) RSJ2008AC1F1-04 (CD-ROM)
- 13) Noriaki ANDO(AIST)、Takashi SUEHIRO(AIST)、Tetsuo KOTOKU(AIST): ”A Software Platform for Component Based RT-System Development: OpenRTM-Aist”, International Conference on SIMULATION, MODELING and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS (SIMPAR 2008), pp.87-98,2008.11, Venice, Italy, ISSN 0302-9743
- 14) 池添明宏(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック): ”RTC Specification 1.0 に準拠した RT ミドルウェア : OpenRTM.NET 1.0”、第 9 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2008 (SI2008)、長良川国際会議場、2008.12
- 15) 高橋公一(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック): ”OpenRT Platform / RT コンポーネントデバッガ”、第 9 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2008 (SI2008)、長良川国際会議場、2008.12
- 16) 村永和哉(セック)、池添明宏(セック)、坂口智哉(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック) : ”OpenRT Platform / RT コンポーネントシミュレータ”、第 9 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、長良川国際会議場、2008.12
- 17) 原史江(セック)、村永和哉(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック) : ”OpenRT Platform / RT リポジトリ”、第 9 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2008 (SI2008)、岐阜、2008.12
- 18) 安藤慶昭(産総研)、清水昌幸 (静岡大)、原功 (産総研)、比留川博久 (産総研) : ”RT コンポーネントの複合化とその分類および構築ツールについて”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
- 19) 金広文男 (産総研)、中岡慎一郎 (産総研)、比留川博久 (産総研) : ”OpenRT Platform/移動動作設計ツール”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
- 20) 中岡慎一郎 (産総研)、比留川博久 (産総研) : ”OpenRT Platform / 動作パター

- ン設計ツール”、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
- 21) 喜多伸之 (産総研)、中島裕介 (産総研)、武川直史 (産総研)、Kwak Nosan (産総研) :”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群／移動知能モジュール群 OpenINVENT-2.0.0”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 22) 喜多伸之 (産総研)、中島裕介 (産総研)、武川直史 (産総研)、横井一仁 (産総研) :”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群／移動知能モジュール群による障害物回避自律移動の実証”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 23) 原功 (産総研)、安藤慶昭 (産総研)、神徳徹雄 (産総研)、末廣尚士(電通大) :”軽量 CORBA RtORB による OpenRTM の実装と評価”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 24) 山野辺夏樹 (産総研)、Neo Ee Sian (産総研)、吉田 英一 (産総研)、喜多伸之 (産総研)、永田 和之 (産総研)、横井 一仁 (産総研)、高野 陽介(NEC) :”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群／移動・作業・コミュニケーション知能モジュール群の作業シナリオ実行系による統合”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 25) 村永和哉(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック) :”OpenRT Platform / RT コンポーネントシミュレータ(第 2 報)”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 26) 高橋公一(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック) :”OpenRT Platform / RT コンポーネントデバッガ(第 2 報)”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 27) 齋藤元 (ゼネラルロボティクス)、川角祐一郎 (ゼネラルロボティクス)、西垂水明 (ゼネラルロボティクス)、金広文男 (産総研)、中岡慎一郎 (産総研) :”OpenRTM 用実時間ソフト設計支援ツールとハードウェアシステム設計支援ツールの開発”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 28) 廣瀬俊典 (東大)、水内郁夫 (東京農工大)、稲葉雅幸(東大) :”ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群／RT ミドルウェアを用いた生活環境観察システムの構築”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、福岡、2009.05
 - 29) 山下智輝, 柏原直哉, 江龍晃, 熊沢四郎, 坂本直樹 : 知能モジュール群検証用リファレンスハードウェアの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 福岡, 2009/05/26
 - 30) 山本潔 (産総研)、浅野太 (産総研)、松坂要佐 (産総研)、原功 (産総研)、麻生

英樹（産総研）、大谷真（東北大）、岩谷幸雄（東北大）：“ヒューマノイドロボットにおける音響シミュレーションの検討”、電子情報通信学会 応用音響研究会、北海道、2009.05

- 31) Isao Hara(AIST), Fumio Kanehiro(AIST): "OpenRT Platform: An Open Software Platform for Robotics Technology", ICRA 2009 Workshop on Open Source Software in Robotics, Kobe, 2009.05
- 32) Natsuki Yamanobe(AIST), Ee Sian Neo(AIST), Eiichi Yoshida(AIST), Nobuyuki Kita(AIST), Kazuyuki Nagata(AIST), Kazuhito Yokoi(AIST), and Yosuke Takano(NEC): "Integration of Manipulation, Locomotion, and Communication Intelligent RT Software Components for Mobile Manipulator System Using Scenario Tools in OpenRT Platform", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 3, 2010/06/20.
- 33) 金広文男（産総研）、中岡慎一郎（産総研）、原功（産総研）、比留川博久（産総研）：“OpenRT Platform/ロボットシミュレータ OpenHRP 3.1”、第 27 回 日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 34) 松坂要佐（産総研）、原功（産総研）：“OpenRT Platform/OpenRTM 上での分散プロダクションシステムの実装”、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 35) 喜多伸之（産総研）：“ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群/OpenRT Platform による異常処理の実装方法の提案”、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 36) 吉田英一（産総研）、横井一仁（産総研）：“ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群/運動計画・全身運動制御知能モジュールの開発（第 2 報）：リアクティブな再計画手法の構築”、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 37) 池添明宏(セック)、中本啓之(セック)：“OpenRT Platform / OpenRTM.NET ～ RT システム開発効率向上への取り組み～”、第 27 回 日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 38) 阿部真弓(NEC)、宇田安規男(NEC)、石田雅一(NEC)、高野陽介(NEC)：“OpenRT Platform/OpenRT Platform: シナリオ編集・実行系によって制御される RT コンポーネントの実現”、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09
- 39) 水内郁夫（東京農工大）、廣瀬俊典（東大）、稲葉雅幸（東大）：“ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム検証用知能モジュール群 – 生活環境情報収集のための無線センサユニットとセンサ駆動機構の開発 –”、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、横浜国立大学、2009.09

- 40) 村永和哉(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform / RT コンポーネントシミュレータ(第3報)”、第10回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2009 (SI2009)、芝浦工業大学、2009.12
- 41) 池添明宏(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform / OpenRTM.NET ~RTC フレームワークと通信ミドルウェアの分離による効用~”、第10回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2009 (SI2009)、芝浦工業大学、2009.12
- 42) 山下智輝(前川製作所)、柏原直哉(前川製作所)、坂本直樹(前川製作所)、熊沢四郎(前川製作所): RT コンポーネント検証用としてのリファレンスハードウェアロボットについて、計測自動制御学会第10回システムインテグレーション部門講演会、東京、2009/12/26
- 43) 怡土順一(産総研)、原功(産総研)、山下智輝(前川製作所)、柏原直哉(前川製作所)、熊沢四郎(前川製作所)、坂本直樹(前川製作所): リファレンスハードウェア用基本制御モジュールの開発、計測自動制御学会第10回システムインテグレーション部門講演会、東京、2009/12/26
- 44) 安藤慶昭(産総研)、栗原眞二(産総研)、ビッグズ ジェフ(産総研)、神徳徹雄(産総研):”OpenRTM-aist-1.0におけるRTコンポーネントマネージャ”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010、北海道 旭川、2010.06、
- 45) Geoffrey BIGGS(AIST), Noriaki ANDO(AIST), Tetsuo KOTOKU(AIST),”rtcshell: Command-line tools for OpenRTM-aist”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010、北海道 旭川、2010.06
- 46) 栗原眞二(産総研)、片見剛人(富士ソフト)、白田浩昭(テクノプロ・エンジニアリング)、宮本晴美(テクノプロ・エンジニアリング)、坂本武志(テクノロジックアート)、安藤慶昭(産総研):”OpenRTM-aist-1.0 における新しいデータポートの実装”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2010、北海道 旭川、2010.06
- 47) 村永和哉(セック)、高橋公一(セック)、佐藤啓(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform / RT コンポーネントデバッグ(第3報)”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2010、北海道 旭川、2010.06
- 48) 池添明宏(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform/RT ミドルウェアのVxWorks対応”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2010、北海道 旭川、2010.06
- 49) 川角祐一郎(ゼネラルロボティクス)、齋藤元(ゼネラルロボティクス)、西垂水明(ゼネラルロボティクス)、金広文男(産総研)、中岡慎一郎(産総研):”OpenRTM 用実時間ソフト設計支援ツールとハードウェアシステム設計支援ツールの開発 第2報”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会

2010、北海道 旭川、2010.06

- 50) 安藤慶昭 (産総研) : “初心者のためのRTミドルウェア入門 - OpenRTM-aist-1.0とその使い方 -“, 日本ロボット学会誌28巻5号、550頁~555頁, 2010.06
- 51) 原功 (産総研) : ”RT ミドルウェアによるロボットシステム構築”, 日本ロボット学会誌28巻5号、562 頁~563 頁、2010.6
- 52) 原功 (産総研) : ”ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発について”, ロボット (社) 日本ロボット工業会 195 号、24 頁~27 頁、2010.7
- 53) Shin'ichiro Nakaoka(AIST), Shuuji Kajita(AIST), Kazuhito Yokoi(AIST), "Intuitive and Flexible User Interface for Creating Whole Body Motions of Biped Humanoid Robots", 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October, 2010.
- 54) Eiichi Yoshida(AIST), Kazuhito Yokoi (AIST) and Pierre Gergondet(AIST), "Online Replanning for Reactive Robot Motion: Practical Aspects", Proc. IEEE/RSJ 2010 International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS 2010), 5927-5933, 2010.
- 55) Hajime Saito (General Robotix, Japan): Open Source Manipulation Software for Upper-torso Humanoid Robots, IROS2011 Workshop on Toward a Robotics Software Platform, 2010.10
- 56) Geoffrey BIGGS(AIST), Noriaki ANDO(AIST), Tetsuo KOTOKU(AIST), "Native robot software framework inter-operation", International Conference on SIMULATION, MODELING and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS (SIMPAN 2010), pp.180-191, 2010.11, Darmstadt, Germany, ISBN 978-3-642-17318-9, ISSN 0302-9743
- 57) Geoffrey BIGGS(AIST), Noriaki ANDO(AIST), Tetsuo KOTOKU(AIST), "Run-time management of component-based robot software from a command line", International Conference on SIMULATION, MODELING and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS (SIMPAN 2010), pp.192-203, 2010.11, Darmstadt, Germany, ISBN 978-3-642-17318-9, ISSN 0302-9743
- 58) 安藤慶昭 (産総研)、栗原眞二 (産総研)、Geoffrey BIGGS (産総研)、神徳徹雄 (産総研) : “RT コンポーネントはどのように作ればよいか?”, 第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 2010 (SI2010)、宮城県 仙台、2010.12
- 59) 安藤 慶昭 (産総研)、中坊 嘉宏 (産総研)、Geoffrey BIGGS (産総研)、大場 光太郎 (産総研) : “コンポーネント指向ディペンダブルシステム開発に向けて --機能安全の観点からみた RT ミドルウェア --“, 第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 2010 (SI2010)、宮城県 仙台、2010.12

- 60) 中本啓之(セック)、村永和哉(セック)、池添明宏、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform/DDC4RTC に準拠したRT リポジトリの研究開発”、第11回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会2010 (SI2010)、宮城県 仙台、2010.12
- 61) 村永和哉(セック)、三之宮遵(セック)、池添明宏(セック)、中本啓之(セック)、長瀬雅之(セック):”OpenRT Platform/AndroidプラットフォームにおけるRT ミドルウェアの開発”、第11回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会2010 (SI2010)、宮城県 仙台、2010.12
- 62) 吉田 英一(産総研)、金広 文男(産総研)、横井 一仁(産総研)、Pierre Gergondet (産総研):”経路の変形と再探索を併用したオンライン動作再計画”、日本ロボット学会誌、Vol. 29 No. 8, pp.716-725, 2011.
- 63) Geoffrey Biggs (産総研)、安藤慶昭(産総研)、神徳徹雄(産総研):”rtshell 3.0: RT ミドルウェア用コマンドラインツール”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、岡山、2011.05
- 64) 村永和哉(セック)、岡田浩之(玉川大学)、村山純一(セック)、小田桐康暁(セック)、中本啓之(セック):”ロボカップ@ホームのオープンプラットフォーム化”、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、岡山、2011.05
- 65) 安藤慶昭(産総研)、“OMG における Robotic Technology Component (RTC) および関連仕様の標準化動向”、日本ロボット学会誌、Vol.29, No.4, pp.333-336, 2011.05, ONLINE ISSN: 1884-7145, PRINT ISSN: 0289-1824
- 66) Noriaki ANDO(AIST), Shinji KURIHARA(AIST), Geoffrey BIGGS(AIST), Takeshi SAKAMOTO(Global Assist), Hiroyuki NAKAMOTO(SEC), “Software Deployment Infrastructure for Component Based RT-Systems”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.3, pp.350-359, 2011.06
- 67) Geoffrey Biggs(AIST), Noriaki Ando(AIST), Tetsuo Kotoku(AIST): “Open-source software in the RT-Middleware project”, In: Proceedings of The 29th annual conference of the Robotics Society of Japan (September 2011)
- 68) Geoffrey Biggs(AIST), Noriaki Ando(AIST), Tetsuo Kotoku(AIST): “Rapid data processing pipeline development using OpenRTM-aist”. In: Proceedings of the 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (December 2011)
- 69) S.Nakaoka(AIST), “Choreonoid as a Software Framework for Implementing Graphical Robotics Applications”, The 29th Annual Conference of the Robotics Society of Japan (International Session: Advances in Open-source Robotics Tools), 2Q1-2, September, 2011

70) 川口仁(セック)、中本啓之(セック)、池添明宏(セック)、佐藤美帆(セック)、濱千代貴大(セック)、長瀬雅之(セック)：“OpenRT Platform / Android プラットフォームにおける RT ミドルウェアの開発 (第 2 報) ～RTM on Android～”、第 12 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2011 (SI2011)、京都、2011.12

(2) 特許等

なし

(3) 受賞実績

- SI2010 優秀講演：安藤慶昭、栗原眞二、Biggs Geoffrey、神徳徹雄（産総研）「RT コンポーネントはどのように作ればよいか?」、2010.12.25
- SI2011 優秀講演：川口仁、中本啓之、池添明宏、佐藤美帆、濱千代貴大、長瀬雅之(セック)「OpenRT Platform / Android プラットフォームにおける RT ミドルウェアの開発 (第 2 報) ～RTM on Android～」

(4) その他の特記事項

1) プレスリリース等

- 産総研プレスリリース：「次世代ロボット開発の共通基盤技術となるシミュレーションソフトウェア」、
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2008/pr20080618/pr20080618.html、2008/6/18
- ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」（日刊工業新聞）「前川，知能化プロのリファレンスハード紹介， 来年度には無償の貸し出しを予定」，
<http://robonable.typepad.jp/news/2009/05/20090527-5922.html>，2009/5/27
- ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」（日刊工業新聞）「産総研、OpenRT プラットフォームの動作パターン設計ツール「v0.1」を紹介」、
<http://robonable.typepad.jp/news/2009/05/20090529-openrt.html>、2009/5/29
- Impress Robot Watch、「【iREX2009】NEDO、10 のロボットとソフトウェア研究を出展～「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」と「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」の成果を展示」、
http://robot.watch.impress.co.jp/docs/news/20091126_331537.html、2009/11/26
- 産総研プレスリリース：「人間型ロボットの動作を簡単に作成できる統合ソフトウェアを開発」、

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20101016/pr20101016.html, 2010/10/16

- ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」(日刊工業新聞)「次世代ロボット知能化プロ、RT ミドルウェアの機能安全対応に着手」、<http://www.robonable.jp/news/2011/09/sec-0928.html>, 2011/09/28
- ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」(日刊工業新聞)「セック、アンドロイド版 RT ミドルウェア公開、簡易な遠隔制御に最適」、<http://www.robonable.jp/news/2011/11/sec-1114.html>, 2011/11/14
- 産総研プレスリリース:「知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群 -ロボット開発用基盤ツール ROBOSSA の開発を完了-」、http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120223/pr20120223.html, 2012/2/23
- セックウェブサイトにてニュースリリース「ロボットサイトをオープンしました」、http://www.sec.co.jp/news/20120224_2.html, 2012/2/24
- ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」(日刊工業新聞)「セック、来月に高信頼 RTM で SIL3 相当の機能安全認証を取得、外販へ」、<http://www.robonable.jp/news/2012/02/sec-0228.html>, 2012/02/28
- セックウェブサイトにてプロジェクト成果のダウンロード提供を開始、<http://www.sec.co.jp/robot/>, 2012/3/1

2) 書籍出版等

- 2008/7/26 「はじめてのコンポーネント指向ロボットアプリケーション開発～RT ミドルウェア超入門～、長瀬雅之、中本啓之、池添明宏、毎日コミュニケーションズ、ISBN-10: 4839929009、ISBN-13: 978-4839929008」を出版
- 2009/6/4 「SE のための RT システム概論、長瀬雅之(セック)」として ThinkIT にて連載記事を執筆、<http://thinkit.co.jp/article/950/1/>

3) 講習会、展示会等

- 2008/6/11 産総研にて OpenHRP3 の講習会を実施
- 2008/12/5 SI2008 にて OpenHRP3 のチュートリアルを実施
- 2009 国際食品工業展 (FOOMA2009) 前川製作所ブース, リファレンスハードウェアの展示, 東京ビッグサイト, 2009/6/9 ~ 2009/6/12
- 2009/6/11 産総研 (お台場) にて OpenHRP3 の講習会を実施
- 2009/12/5 SI2008 にて OpenHRP3 のチュートリアルを実施
- IROS2009 にて OpenRTM-aist のチュートリアルを開催
- 2009 国際ロボット展にて展示

- RT ミドルウェア講習会、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010、北海道,旭川市
- 2010 産総研オープンラボにてプロジェクトを紹介
- ROBOMECH2011 にて RT ミドルウェア講習会開催
- 2011/7/28 玉川大学において RT ミドルウェア講習会「RT ミドルウェア入門と実践」を開催
- 産総研オープンラボ 2011 にてプロジェクトを紹介
- 国際ロボット展 2011 にて RTM・Coreonoid・OpenHRI 講習会開催
- 2011/11/22 金沢工業大学において RT ミドルウェア講習会「RT ミドルウェア入門と実践」を開催
- 2011/12/18 ロボカップ@ホームキャンプ 2011 (玉川大) において講習会「RT ミドルウェアによるロボカップ@ホームのタスクの実現」を開催
- 2012/2/2 電気通信大学において RT ミドルウェア講習会「第1回 ピクトラボ匠講演会」を開催、
<http://www.pict-lab.uec.ac.jp/n-event-detail.php?pf=20120202>

4) その他の活動

- 2008/6/18 OpenHRP3 の一般配布を開始
<http://www.openrtp.jp/openhrp3/>
- ICRA2009 にて Workshop on Open Source Software in Robotics をオーガナイズ
- 2009/6/18 OpenHRP3 の一般配布を開始 <http://www.openrtp.jp/openhrp3/>
- 2010/1/28 rtcshell と rtsshell(OpenRTM-aist-1.0.0 用)をリリース
- ロボティクスシンポジウム 2010 で RT ミドルウェアワークショップを開催
- IROS2010 にて Workshop on Toward a Robotics Software Platform をオーガナイズ

オープンソース開発物リスト

独立行政法人 産業技術総合研究所

1. ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム (Eclipse Public License)
 - RT コンポーネントビルダ
 - RT システムエディタ
 - 動作パターン設計ツール
 - 移動動作設計ツール
 - 動力学シミュレータ OpenHRP3
 - 軽量 CORBA RtORB
 - RT ミドルウェア C 言語版 OpenRTM-aist-C
2. 検証用知能モジュール群 (Eclipse Public License)
 - OpenINVENT : 車輪型移動ロボット制御用 RTC 群
 - 全身運動制御知能モジュール群 (リファレンスハード1号機)

日本電気株式会社

1. イベント駆動型シナリオ編集ツール (Eclipse Public License)
2. イベント駆動型シナリオ実行 RTC (Eclipse Public License)

株式会社セック

1. RTC デバッガ (無償でのバイナリ提供、独自ライセンス)
2. VxWorks 版 RT ミドルウェア (Eclipse Public License)
3. .NET 版 RT ミドルウェア (無償でのバイナリ提供、独自ライセンス)
4. Android 版 RT ミドルウェア (無償でのバイナリ提供、独自ライセンス)
5. RT コンポーネント (無償でのバイナリ提供、独自ライセンス)
 - 北陽電機製レーザレンジファインダ Classic-URG RT コンポーネント
 - 北陽電機製レーザレンジファインダ Top-URG RT コンポーネント
 - SICK 製レーザレンジファインダ LMS100 RT コンポーネント
 - SICK 製レーザレンジファインダ LMS200 RT コンポーネント
 - スイス MESA 製赤外線 3次元距離センサ SR4000 RT コンポーネント
 - Hemisphere 製 GPS センサ CrescentA100 RT コンポーネント
 - Canon 製ネットワークカメラ VB-C50i RT コンポーネント
 - Canon 製ネットワークカメラ VC-C50i RT コンポーネント
 - Crossbow 製加速度センサ CXL02LF3 RT コンポーネント
 - TOKYO KEIKI 製加速度センサ VSAS2 RT コンポーネント
 - NITTA 製力覚センサ XFS-18M20A10 RT コンポーネント

6. RT リポジトリ（無償でのバイナリ提供、独自ライセンス）
7. 各種マニュアル（クリエイティブ・コモンズ・ライセンス）

ゼネラルロボティクス株式会社

1. 実時間ソフトウェア設計ツール（Eclipse Public License）
2. ロボットシステム構築ツール（Eclipse Public License）

国立大学法人 東京農工大学

1. 生活環境情報収集線作用知能モジュール群（Eclipse Public License）

ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

年度毎の特許、論文、外部発表等の情報

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	1件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	3件	0件
H22FY	0件	0件	0件	0件	9件	0件
H23FY	0件	0件	0件	0件	3件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 20 年 12 月 5 日	第 9 回 計測自動制御学会 システム インテグレーション部門講演会	RtcHandle	末廣 尚士
平成 21 年 9 月 18 日	第 27 回 日本ロボット学会 学術講演会	RT コンポーネント再利用性向上への、RT コンポーネント・ライフサイクル構築とモ ジュールマップ作成の取組み	小笠原 哲也
平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回 計測自動制御学会 システ ムインテグレーション部門講演会	関節角速度制御アーム RTC の使い方	末廣 尚士
平成 21 年 12 月 25 日	第 10 回 計測自動制御学会 システ ムインテグレーション部門講演会	アプリケーション事例に基づく知能モジ ュール検証の取組み	二宮 恒樹
平成 22 年 6 月 15 日	日本ロボット学会論文誌 vol. 28, no. 5 特集号「使える RT ミドルウエ ア」	RT ミドルウェアによるロボットアーキテ クチャ移動ロボットシステム	松本 吉央
平成 22 年 6 月 15 日	日本ロボット学会論文誌 vol. 28, no. 5 特集号「使える RT ミドルウエ ア」	RT ミドルウェアによるロボットアーキテ クチャマニピュレーションシステム	末廣 尚士
平成 22 年 6 月 15 日	日本ロボット学会論文誌 vol. 28, no. 5 特集号「使える RT ミドルウエ ア」	「RT ミドルウェアによる再利用性向上と ビジネス展開」	小笠原 哲也

平成 22 年 9 月 23 日	第 28 回日本ロボット学会学術講演会	全方位車両システムのためのオープンソース RT コンポーネントによる統合実証	鈴木 夢見子
平成 22 年 9 月 23 日	第 28 回 日本ロボット学会学術講演会	「RT コンポーネント再利用性検証としてのアプリケーション事例検討の取組み」	小笠原 哲也
平成 22 年 10 月 16 日	2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	Open Source Software for Navigation on a Mobile Platform	松本 吉央
平成 22 年 12 月 24 日	第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	「RT コンポーネント再利用性に関する報告と提案」	小島 幸也
平成 22 年 12 月 25 日	第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	「RT コンポーネント再利用性向上の研究 (第 2 報) (RT コンポーネント統合検証その 1)」	二宮 恒樹
平成 22 年 12 月 25 日	第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	オープンソースで構築する全方位車両システム	鈴木 夢見子
平成 23 年 9 月 9 日	第 29 回日本ロボット学会学術講演会	「RT コンポーネント再利用性向上の研究 (第 3 報)」	二宮 恒樹
平成 23 年 12 月 24 日	第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	双腕と全方向移動機構を有するロボットプラットフォーム “MobileHIRO”	阪口健
平成 23 年 12 月 25 日	第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	「作業系モジュールの I/F 共通化による再利用性向上の検証」	小島 幸也

(2) 特許等
なし

(3) 受賞実績研究発表・講演 (口頭発表も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成 20 年 12 月 5 日	SI2008 RT ミドルウェアコンテスト 奨励賞 (日本ロボット工業会賞)	RtoHandle	末廣 尚士

(4) その他

【プレス発表】

発表年月日	発表タイトル	発表 URL
平成 24 年 2 月 23 日	産総研、知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群	http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120223/pr20120223.html

【ロボット情報ポータルサイト「ロボナブル」(日刊工業新聞)】

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表 URL
平成 21 年 9 月 18 日	報道	富士ソフト、RTC 再利用センターの活動を紹介、教育分野に向けた RTC の提供を検討	http://robonable.typepad.jp/news/2009/09/20090917-rtcrtc.html
平成 21 年 9 月 18 日	報道	着々と進む RTM 化、目標の完遂には再利用技術研究センターの活動がカギに	http://robonable.typepad.jp/trendwatch/2009/10/rtm-4e27.html
平成 22 年 1 月 5 日	報道	富士ソフト、RTC の再利用性を紹介、第三者によるレビューで技術的な底上げが必要	http://robonable.typepad.jp/news/2010/01/05fujisoft.html
平成 22 年 9 月 27 日	報道	富士ソフト、再利用性の検証を踏まえ RT コンポーネントの作成法などガイドライン提案へ	http://www.robonable.jp/news/2010/09/27fsi.html

作業知能（生産分野）の開発

(1) 研究発表・講演

【口頭発表】

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2008年9月10日	日本ロボット学会 学術講演会 2008(日本)	ティーチングペンダント	IDEC
2	2008年10月22日	IEEE CASE2008 (アメリカ)	Robot Control Cell Production System of Senju (thousand-handed) Kannon Model that Demonstrated Optimality to the Multi-product Production in Varying Volumes for Eight Years	IDEC
3	2008年12月5日	SICE SI2008 講演会 (日本)	ものづくり文化を革新する千 手観音モデルによるロボット 制御セル生産システム	IDEC
4	2009年3月12日	ISR 2009(アメリカ)	Development of the Highly-Efficient End-effector of Robot Control Cell Production Systems for the Productivity Improvement in Multi-product Production in Varying Volumes	IDEC
5	2009年7月24日	HCI International 2009(アメリカ)	Development of Portable Robotic Operation Terminals to Achieve Increased Safety and Usability and a Study on the Effectiveness of Wireless Terminals	IDEC
6	2009年9月15日	日本ロボット学会 学術講演会 2009(日本)	汎用機能モジュールとデバイ ス依存モジュールを組合せ た2層化 RTCによる再利用性、 実装容易性の向上	IDEC
7	2009年9月15日	日本ロボット学会 学術講演会 2009(日本)	ロボット制御セル生産システ ムにおけるチョコ停からの自 動復帰手法	IDEC
8	2009年12月24日	SICE SI2009 講演会 (日本)	千手観音モデルによるロボッ ト制御セル生産システムの進 化	IDEC
9	2010年6月11日	大阪府工業協会主催 2010 メカトロニクス技術 講座プレセミナー	第3世代にわたり進化を継続 するものづくり文化を革新す る千手観音モデルによるロボ ット制御セル生産システム	IDEC
10	2010年9月24日	日本ロボット学会 学術講演会 2010(日本)	状態遷移型2層化 RTCによ る再利用性、実装容易性の 向上	IDEC
11	2010年12月24日	SICE SI2010 講演会 (日本)	ロボット制御セル生産システ ムにおける事前部品トレイ検 査を用いたチョコ停回避	IDEC
12	2011年6月29日	滋賀県工業技術センタ ーものづくり IT 研究会 第40回例会 【ロボット応用技術の現 状と将来】	ものづくり文化を革新する千 手観音モデルによるロボット 制御セル生産システム	IDEC

13	2011年8月25日	IEEE CASE2011 (イタリア)	Long-Term Operational Experience with a Robot Cell Production System Controlled by Low Carbon-Footprint Senju (thousand-Handed) Kannon Model Robots and an Approach to Improving Operating Efficiency	IDEC
14	2011年9月9日	日本ロボット学会 学術講演会 2011(日本)	画面遷移型2層化RTCによる再利用性、実装容易性の向上	IDEC
15	2011年12月23日	SICE SI2011 講演会 (日本)	ロボット制御セル生産システムにおける画像処理技術を利用した稼働率向上への取り組み	IDEC
16	平成20年5月18日	システム制御情報学会 第52回研究発表講演会	6F3-8 手先カメラを用いたロボット教示を支援する情報可視化	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
17	平成20年5月18日	システム制御情報学会 第52回研究発表講演会	6U1-5 垂直多関節型ロボットの最適軌道学習手法	永谷達也, 野田哲男, 岩本貴司
18	平成20年5月21日	9th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM9)	Inspection Planning of Safety Protective Systems using Bayesian Networks	Takehisa Kohda, Hiroki Tokunaga
19	平成20年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会	RSJ2008AC1F2-01 物体の押し操作解析に基づく組立作業用汎用ハンドのロボスタ把持戦略	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
20	平成20年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会	RSJ2008AC1F2-02 能動探索アルゴリズムによる産業用ロボットの動作習熟	野田哲男, 永谷達也
21	平成20年11月11日	電子情報通信学会 第5回「手」研究会	ロボットセルにおける組立作業用汎用ハンドの設計手法	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
22	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E1-1 (Keynote[2]) 物・人・知の統合的循環を目指す自律型セル生産ロボットシステム	榎木哲夫
23	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-1 組立作業ロボットの汎用ハンドライブラリ構築のためのロボスタ把持戦略の検討	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
24	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-2 セル生産ロボットに向けた機械要素に関する基礎的研究—減速装置に関する検討—	小森雅晴
25	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E2-3 MRブレーキを用いたアーム残存振動の低減研究	宇津野秀夫, 原 藺 泰信, 松久寛, 山田 啓介, 前川清石
26	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-1 ロボット教示作業支援のための複合情報 GUI の開発	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
27	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-2 画像インタフェースを用いたロボットへの直感的作業教示手法	奥田晴久, 野田哲男, 北明靖雄, 堀口由貴男
28	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-3 ビンピッキング向けの距離データを用いた物体認識	北明靖雄, 奥田晴久, 川戸慎二郎, 鹿毛裕史, 鷺見和彦
29	平成20年12月5日	第9回計測自動制御学会 SI部門講演会	1E3-4 ベイジアンネットワークを用いた工程設計と故障原因分析	風間慎一, 幸田武久, 野田哲男

30	平成 20 年 12 月 5 日	第 9 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	1E3-6 産業用ロボットの動作習熟における能動型探索アルゴリズム	野田哲男, 永谷達也, 長野陽
31	平成 21 年 5 月 24 日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH 2009	2A1-A14 ロボット教示作業支援のための複合情報 GUI の開発—精確な動作点教示のための力情報利用の検討—	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男
32	平成 21 年 6 月 10 日	The 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete Systems	Maintenance Planning of Safety Protective Systems using Dynamic Bayesian Networks	Takehisa Kohda, Hiroki Tokunaga
33	平成 21 年 9 月 15 日	第 27 回日本ロボット学会 学術講演会	能動探索アルゴリズムによる組立作業用汎用ハンドのロボバスタ把持戦略の最適化	土橋宏規, 野田哲男, 横小路泰義, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
34	平成 21 年 10 月 30 日	CoTeSys Fall Workshop 2009	Intelligent Robot Technologies for Cell Production System	NODA Akio, TANAKA Ken'ichi, OKUDA Haruhisa
35	平成 21 年 10 月 20 日	APSS (Asia Pacific Safety Symposium) 2009	Phased-Mission System represented by Inhomogeneous Dynamic Bayesian Network	Shin-ichi Kazama, Takehisa Kohda, Akio Noda
36	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	記号過程を内包した次世代ロボットシステムの展望	榎木哲夫
37	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	次世代セル生産を実現するロボット知能化技術	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 永谷達也, 北明靖雄, 堂前幸康, 榎木哲夫, 横小路泰義, 堀口由貴男, 幸田武久, 宇津野秀夫, 松久寛, 水山元, 小森雅晴, 泉井一浩, 西脇真二
38	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	把持シミュレーションに基づく組立作業用汎用ハンドのロボバスタ把持戦略の実験的評価	土橋宏規, 野田哲男, 横小路泰義, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
39	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産ロボットハンド用アクチュエータに関する研究	小森雅晴, 大賀荘平, 野田哲男, 奥田晴久, 田中健一
40	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	ロボットアームの残留振動を抑制する加減速パターン	磯村圭佑, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利, 野田哲男
41	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	産業用ロボットの組付け作業教示支援技術	永谷達也, 野田哲男, 黒野晃平, 堀口由貴男, 田中健一, 中西弘明, 榎木哲夫
42	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	産業用ロボットの組付け動作教示を支援する複合情報 GUI	黒野晃平, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一
43	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	リスク解析に基づいた保全・エラーリカバリ方法	吉永信一, 幸田武久, 野田哲男
44	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	3次元情報の逐次利用に基づくロボットへの作業教示	奥田晴久, 北明靖雄, 鷺見和彦, 野田哲男, 田中健一
45	平成 21 年 12 月 24 日	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産ロボットにおける知能化技術のシステムインテグレーション	野田哲男, 永谷達也, 長野陽, 奥田晴久, 北明靖雄, 堂前幸康, 田中健一
46	平成 22 年 3 月 17 日	機械学会関西支部 第 85 期定時総会講演会	ロボットアームの残留振動を抑制するためのモータの加減速パターンの研究	磯村圭佑, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利
47	平成 22 年 6 月 13 日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010	動作点探索戦略の分析に基づくロボット教示作業支援 GUI の開発	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一
48	平成 22 年 7 月 12 日	2010 International Symposium on Flexible Automation	Permissible Initial Pose Error Region of an Object Grasped By a Universal Hand	Hiroki Dobashi, Yasuyoshi Yokokohji, Akio Noda, Haruhisa Okuda

49	平成 22 年 7 月 12 日	2010 International Symposium on Flexible Automation	INTELLIGENT ROBOT TECHNOLOGIES FOR CELL PRODUCTION SYSTEM	NODA Akio, TANAKA Ken'ichi, OKUDA Haruhisa, NAGATANI Tatsuya, KITAAKI Yasuo, DOMAE Yukiyasu, DOBASHI Hiroki, YOKOKOHJI Yasuyoshi, KURONO Kohei, HORIGUCHI Yukio, NAKANISHI Hiroaki, SAWARAGI Tetsuo, ISOMURA Keisuke, UTSUNO Hideo, MATSUHISA Hiroshi, KAZAMA Shin'ichi, KOHDA Takehisa
50	平成 22 年 7 月 20 日	International congress on sound and vibration	Acceleration and Deceleration Pattern to Suppress Residual Vibration of the Robot Arm	Hideo Utsuno, Keisuke Isomura, Hiroshi Matsuhisa, Keisuke Yamada
51	平成 22 年 8 月 31 日	The 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems	Ecological Interface Design for Teaching Assembly Operations to Industrial Robot	Yukio Horiguchi, Kohei Kurono, Hiroaki Nakanishi, Tetsuo Sawaragi, Tatsuya Nagatani, Akio Noda, Ken'ichi Tanaka
52	平成 22 年 8 月 31 日	Preprints. of The 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems	Semiotic Design of Human-Machine and Human-Environment Systems	Tetsuo Sawaragi
53	平成 22 年 9 月 8 日	14th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2010)	A Semiotic View of Social Intelligence for Realizing Human-Machine Symbiotic Systems (Keynote Speech)	Tetsuo Sawaragi
54	平成 22 年 9 月 16 日	日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2010	ロボット旋回停止時の自由振動を抑制する加減速パターンの研究	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 松久寛, 山田啓介
55	平成 22 年 9 月 24 日	第 28 回日本ロボット学会 学術講演会	動力学的押し操作解析に基づく把持戦略のロバスト性の考察	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
56	平成 22 年 10 月 20 日	2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	Derivation of Optimal Robust Grasping Strategy under Initial Object Pose Errors	Hiroki Dobashi, Akio Noda, Yasuyoshi Yokokohji, Hikaru Nagano, Tatsuya Nagatani, Haruhisa Okuda
57	平成 22 年 11 月 6 日	第 53 回自動制御連合講演会	動力学的押し操作解析に基づく準静的把持動作解析の妥当性の検証	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
58	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会	セル生産を実現するロボット知能化技術開発の展望	田中健一, 榎木哲夫
59	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	自律型セル生産ロボットシステムのレイアウト多目的最適化	末光一成, 村雲泰, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也
60	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	産業用ロボットと環境間の座標系校正による教示作業の再構築	永谷達也, 野田哲男, 田中健一

61	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	バラ積みされたコネクタ付ケーブルのピンピッキング	北明靖雄, 奥田晴久, 堂前幸康, 鹿毛裕史, 鷺見和彦
62	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2 自由度ロボットアームの残留振動を抑制するための加減速パターン	中本崇志, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 野田哲男
63	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	セル生産ロボットシステムのハンド用アクチュエータに関する研究	小森雅晴, 大賀荘平, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
64	平成 22 年 12 月 23 日	第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	対象物体の初期誤差に対する把持戦略のロバスト性への動力学的要素の影響	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
65	平成 23 年 1 月 20 日	Human Factors Interest Group Seminar at the University of Toronto	Development of Configural Display to Support Teaching Operations to Industrial Robot	堀口由貴男
66	平成 23 年 3 月 14 日	2011 年度精密工学会春季大会学術講演会	ロボットによる組立工程のレイアウト最適設計支援	末光一成, 村雲泰, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也
67	平成 23 年 3 月 20 日	機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会	多関節型ロボットアームの残留振動を抑制する加減速パターン	中本崇志, 宇津野秀夫, 松久寛, 山田啓介, 澤田勝利, 野田哲男
68	平成 23 年 5 月 28 日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011	セル生産ロボットハンド用アクチュエータの研究	小森雅晴, 大賀荘平, 朱龍輝, 張帥, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
69	平成 23 年 9 月 14 日	第 29 回日本ロボット学会学術講演会	ロボットセル生産のためのロバスト把持戦略を用いた三次元形状物体を含む多形状物体の組立作業	土橋宏規, 平岡隼一, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
70	平成 23 年 9 月 14 日	第 30 回日本ロボット学会学術講演会	物体形状に依存せず高速なバラ積み物体の取り出し方法	堂前幸康, 奥田晴久, 北明康雄, 永谷達也, 野田哲男
71	平成 23 年 9 月 14 日	第 31 回日本ロボット学会学術講演会	ロボットによるバラ積み部品供給	野田哲男, 堂前幸康, 永谷達也, 長野陽, 田中健一
72	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	エラー解析に対するダイナミックベイジアンネットワークの応用	阪田隆司, 幸田武久, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也
73	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	協調型複数ロボットセル生産システムにおける多目的レイアウト最適化	末光一成, 泉井一浩, 西脇眞二, 野田哲男, 永谷達也, 田中健一
74	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	バラ積み部品供給可能なセル生産ロボットのシステム設計論	野田哲男, 永谷達也, 堂前幸康, 長野陽, 北明靖雄, 田中健一
75	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	産業用ロボットによる高速なバラ積み部品取り出し	堂前幸康, 奥田晴久, 永谷達也, 野田哲男
76	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	力制御パラメータ調整のための可視化項目の検討	安田圭佑, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男
77	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	座標系校正による産業用ロボットの位置復旧支援技術	永谷達也, 野田哲男, 田中健一
78	平成 23 年 12 月 23 日	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	ロボットセルにおける組立作業のためのロバスト把持戦略の計画手法	土橋宏規, 平岡隼一, 横小路泰義, 野田哲男, 長野陽, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
79	平成 24 年 1 月 25 日	SCI12 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会	協調作業における産業用ロボットの位置復旧支援技術	永谷達也, 野田哲男, 田中健一

(1) 文献

【論文（査読付き）】

番号	投稿年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	平成 21 年 7 月 24 日	日本ロボット学会論文誌 Vol.28, No.10, pp.1201-1212, 2010	準静的押し操作解析にも とづく把持シミュレーシ ョンと対象物体の許容初 期誤差範囲の導出	土橋宏規, 横小路泰義, 野田哲男, 奥田晴久
2	平成 23 年 4 月 20 日	計測自動制御学会論文集 Vol.47, No.12, pp.656-665, 2011	産業用ロボット教示作業 支援のための複合情報 GUI	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 永谷達也, 野田哲男, 田中健一

【解説記事】

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2009 年 4 月 15 日	日本ロボット学会誌 第 27 卷 3 号(日本)	千手観音モデルによるロ ボット制御セル生産シス テム	IDEC
2	2009 年 8 月 21 日	日刊工業新聞(日本)	知能化ロボットの研究	IDEC
3	2009 年 10 月 24 日	日本経済新聞(日本)	知能化ロボットの研究	IDEC
4	2010 年 1 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 192 号(日本)	画像処理を付加した低炭 素ロボット制御セル生産 システム	IDEC
5	2010 年 6 月 15 日	日本ロボット学会誌 第 28 卷 5 号(日本)	国際ロボット展 2009 : 世 界標準を目指したロボッ トセル生産用ハンドモジ ュール群とマニュアル作 業激減知能モジュール群 の開発と検証	IDEC
6	2010 年 7 月 1 日	Assembly Automation Volume30, Number4, 201 0 (アメリカ)	IDEC's robot-based cellular production system : a challenge to automate high-mix low-volume production	IDEC
7	2010 年 7 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 195 号(日 本)	世界標準を目指したロボ ットセル生産用ハンドモ ジュール群とマニュアル 作業激減知能モジュール 群の開発と検証について	IDEC
8	2011 年 12 月 1 日	日刊工業新聞社 機械設 計 2011Vol.55No.12	解説 2 ロボットセルの 価値を高める知能化技術- システム構築を容易にす る RTC と 2 層化 RTC	IDEC
9	2011 年 12 月 1 日	日刊工業新聞社 機械設 計 2011Vol.55No.12	事例 1 低炭素な千手観 音モデルロボット制御セ ル生産システム	IDEC
10	2012 年 3 月 20 日	日本ロボット工業会機関 誌 ロボット 205 号(日 本)	水平/垂直多関節ロボット による多品種変量生産に 最適な 千手観音モデルロボット 制御セル生産システム	IDEC

11	2009年11月	日本ロボット工業会機関誌「ロボット」2009年11月号, Vol.191	次世代のセル生産を実現するロボット知能化技術の開発	田中健一, 野田哲男, 奥田晴久, 榎木哲夫, 横小路泰義
12	2010年11月	システム制御情報学会会誌, システム/制御/情報, 54(11)	組立ロボットへの作業教示の記号過程	堀口由貴男, 水山元
13	2011年11月	日刊工業新聞ロボット展特集第2部8面	循環型産業創成を目指した自律型セル生産ロボットシステム	横小路泰義

【紀要】

1	平成23年1月25日	三菱電機技報, Vol.85, No.1, pp.38, 2011	産業用ロボットによる組付け作業の教示支援技術	永谷ほか
2	平成24年1月25日	三菱電機技報, Vol.86, No.1, pp.40, 2012	産業用ロボットによるバラ積み部品の供給技術	野田ほか

(2) 特許等

番号	出願日	出願番号	発明の名称	発明者
1	2008年11月27日	特願 2008-302547	ロボットハンド	IDEC
2	2008年12月25日	特願 2008-330518	ロボットハンド	IDEC
3	2008年12月25日	特願 2008-329764	ロボットハンド	IDEC
4	2008年12月25日	特願 2008-329779	ロボットハンド	IDEC
5	2009年11月20日	特願 2009-265704	ロボット制御システムの教示用補助具、その教示用補助具を用いた教示方法、およびその教示方法によって教示を行うロボット制御システム	IDEC
6	2009年11月24日	特願 2009-266808	ロボット制御方法、ロボット制御プログラムおよびロボット制御方法に用いられるティーチングペンダント	IDEC
7	2009年11月24日	特願 2009-266809	ロボット制御システムおよびロボット制御方法	IDEC
8	2009年11月24日	特願 2009-266810	ロボット制御方法およびロボット制御システム	IDEC

9	2009年2月12日	2009029374 日本	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
10	2009年11月13日	2009259681 日本	駆動装置	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 小森雅晴, 大賀荘平
11	2009年11月30日	2009272305 日本	ロボットの教示装置、及 びロボットの制御装置	永谷達也, 野田哲男, 田中健一, 堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫
12	2009年12月21日	2009289375 日本	ロボットの教示装置、お よびロボットの制御装置	堀口由貴男, 黒野晃平, 中西弘明, 榎木哲夫, 野田哲男, 永谷達也, 奥田晴久, 田中健一
13	2009年12月22日	2009290832 日本	振動抑制方法	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 野田哲男, 田中健一
14	2010年2月10日	201080007473.4 中国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
15	2010年2月10日	112010000775.6 ドイツ	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
16	2010年2月10日	5756/CHENP/2011 インド	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
17	2010年2月10日	2010550536 日本	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
18	2010年2月10日	10-2011-7018727 韓国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
19	2010年2月10日	13/147415 米国	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
21	2010年2月10日	PCT/JP2010/051962 WIPO	産業用ロボットシステム	野田哲男, 奥田晴久, 田中健一, 松久寛, 榎木哲夫, 横小路泰義, 宇津野秀夫, 小森雅晴, 水山元, 中西弘明
22	2010年6月22日	2010141865 日本	振動抑制方法	宇津野秀夫, 磯村圭佑, 野田哲男, 田中健一

(3) その他の公表（プレス発表等）

【三菱電機ニュースリリース】

1	平成 20 年 9 月 25 日	■ニュースリリース 開発 No.0812 三菱電機と京都大学は「自律型セル生産ロボットシステム開発」の産学連携活動を本格的に開始	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2008/0925-a.htm
2	平成 21 年 7 月 15 日	■ニュースリリース 開発 No.0911 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2009/0715.htm
3	平成 23 年 10 月 11 日	■ニュースリリース 開発 No.1112 パラ積み部品を整理するロボットシステムを開発	http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/1011.html

【展示会】

1	平成 20 年度	計測自動制御学会 2008 年国際学術講演会 展示会
2	平成 20 年度	玉川大学 脳とロボット展
3	平成 21 年度	IEEE ICCV(International Conference on Computer Vision)2009 Exhibition
4	平成 21 年度	国際ロボット展
5	平成 22 年度	玉川大学 脳とロボット展
6	平成 22 年度	神奈川県ロボフェスタ
7	平成 23 年度	画像センシングシンポジウム 2011 特別展示 DS1-01
8	平成 23 年度	国際ロボット展
9	平成 23 年度	神奈川県ロボフェスタ

【TV】

1	平成 20 年 9 月 25 日	サンテレビ「SUN-TV ニュース」 14:55～
2	平成 20 年 9 月 25 日	テレビ大阪（関西圏のみ）「ニュース Biz」 17:13～
3	平成 20 年 9 月 25 日	朝日放送（関西圏のみ）「NEWS ゆう」 18:17～18:54
4	平成 21 年 7 月 15 日	NHK 総合（全国）「ニュース」 18:00～18:10（18:08 頃放送）
5	平成 21 年 7 月 15 日	NHK 大阪 「ニューステラス関西」 18:10～18:59（18:13 頃放送）
6	平成 21 年 7 月 17 日	KBS 京都 京 bizW（金）21:25～2:25
7	平成 21 年 7 月 22 日	NHK 総合 NHK ニュース おはよう日本 5:00～ 5:53 頃放送
8	平成 24 年 1 月 11 日	TBS 朝ズバ 5:00～ 8:10 ごろ放送

【新聞】

1	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 京大 ロボットでセル生産 熟練工の動き移植へ研究	日経産業新聞	朝刊 10 面
2	平成 20 年 9 月 26 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機 自律型セル生産ロボ 京大と 2011 年度以降事業化	日刊工業新聞	朝刊 31 面 3 段写真あり
3	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 兵庫尼崎市の先端技術総合研究所 一流技術融合 強い製品作り 竣工の IS 棟を活用	電波新聞	朝刊 1 面 3 段写真あり
4	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機と京大が共同研究 自律型セル生産ロボットシステム開発	電波新聞	朝刊 2 面 3 段写真あり
5	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機 京都大学と自律型ロボの開発へ 産学連携活動を強化	電気新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
6	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機－京大 セル生産ロボット開発へ 3 年以内に試作品	化学工業日報	朝刊 5 面 2 段
7	平成 20 年 9 月 26 日	三菱電機と京大 セル生産ロボ 開発本格化 尼崎に研究拠点 業界初、実用目指す	京都新聞	朝刊
8	平成 21 年 10 月 1 日	三菱電機と京都大学 産学連携活動を本格開始 自律型セル生産ロボットシステム開発	F T ジャーナル	2008 年 10 月 1 日
9	平成 20 年 10 月 2 日	三菱電機 IS 棟イノベーション&シナジーセンター 研究開発の拠点に産学連携を一層強化	電材流通新聞	朝刊 3 面写真あり
10	平成 20 年 10 月 3 日	ロボットテクノロジー セル生産ロボ進化 高度化続くアクチュエーター 形状中空にし小型軽量化 モーター向け新材料も開発	日刊工業新聞	
11	平成 20 年 10 月 7 日	三菱電 京大と開発へ 複数作業対応のロボット 尼崎の新拠点	神戸新聞	朝刊 9 面写真あり
12	平成 20 年 10 月 10 日	「自律型セル生産ロボットシステム」連携を本格化 三菱電機と京都大学が共同研究	オール電気	
13	平成 20 年 10 月 15 日	"熟練ロボ"めざせ 三菱電機京大	朝日新聞(大阪)	朝刊 15 面写真あり
14	平成 20 年 10 月 16 日	三菱電機 京都大学 自律型セル生産ロボットシステム	機械新聞	朝刊
15	平成 20 年 12 月 10 日	逆風に克つ 次の一手 機能高度化する産業用ロボ 新規用途開拓へ技術磨く	日刊工業新聞	

16	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機—京大 小型電機製品など ロボット知能化技術開発 セル生産 方式に対応	化学工業日報	朝刊 5 面 3 段写真あり
17	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 ロボに熟練工ノウ ハウ 1 台で多工程対応	日本経済新聞	朝刊 11 面 2 段写真あり
18	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機京大 ロボが「セル生産」 学習機能で作業最適化	日経産業新聞	朝刊 14 面 3 段写真あり
19	平成 21 年 7 月 16 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機と 京大 ミス、自動でやり直し セル生 産ロボ高度化	日刊工業新聞	朝刊 6 面 3 段写真あり
20	平成 21 年 7 月 16 日	多品種少量生産ロボ開発 匠の技 3 分で学習	産経新聞	朝刊 10 面 2 段
21	平成 21 年 7 月 16 日	人手いらすのセル生産ロボ 三菱電 機と京大 共同開発	産経新聞	大阪朝刊 8 面 2 段写真あり
22	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 セル生産対応ロボ ット開発	フジサンケイビジ ネスアイ	朝刊 6 面 3 段写真あり
23	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機 熟練工の減少に対応 生 産工程をロボット化	電気新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
24	平成 21 年 7 月 20 日	三菱電機と京都大学 次世代セル生 産へ ロボット知能化技術開発	電波新聞	朝刊 5 面 3 段写真, 図あり
25	平成 21 年 7 月 20 日	三菱電機 京都大学 次世代セル生 産を実現 ロボット知能化技術	機械新聞	朝刊 5 段写真あり
26	平成 21 年 7 月 30 日	三菱電機と京都大学が開発 次世代 セル生産を実現するロボット知能化 技術	でんき業界	5 段
27	平成 21 年 7 月 30 日	三菱電機と京都大学 次世代セル生 産を実現するロボット知能化技術を 開発	電波タイムス	朝刊 5 段写真あり
28	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京都大学開発 熟練工の 技をこなす ロボット 複雑な製造 過程に対応	東京新聞	朝刊 7 面 3 段写真あり
29	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京都大が開発 ロボで熟 練の技	中日新聞	朝刊 10 面 3 段写真あり
30	平成 21 年 8 月 4 日	三菱電機と京大が開発 多品種少量 対応で ロボに熟練工技能	中部経済新聞	3 面 4 段
31	平成 21 年 8 月 4 日	熟練工の技担うロボット 三菱電機 と京大が共同開発 失敗回避や修正 技術も	信濃毎日新聞	朝刊

32	平成 21 年 8 月 4 日	ロボットに熟練工の技—三菱電機と京大が開発	静岡新聞	朝刊 6 面写真あり
33	平成 21 年 9 月 28 日	ロボット"共存"社会へ 夢と現実 第 6 部 変わる産学官連携 ①信頼性の確保 「産業用」メーカー間で温度差 進むかオープンイノベーション	日刊工業新聞	朝刊 10 面 4 段写真あり
34	平成 21 年 10 月 8 日	2009 年度技術トレンド調査(第 3 回) 健康や情報守る研究上位 三菱電機、京大 ロボに熟練工ノウハウ、1 台で多工程対応	日経産業新聞	17 面 6 段
35	平成 21 年 10 月 24 日	技術ウォッチ 「多能工ロボ」開発加速 三菱電機、誤差抑え最適動作	日本経済新聞	朝刊 12 面 4 段写真あり
36	平成 21 年 11 月 4 日	第 4 回モノづくり連携大賞受賞一覧 特別賞 「自律型セル生産ロボットシステムの研究開発」 三菱電機 京大大学院工学研究科	日刊工業新聞	朝刊 1 面, および 3 面
37	平成 21 年 11 月 20 日	第 4 回モノづくり連携大賞 受賞紹介 独創的で多彩な産学官連携の実現へ 【自律型セル生産ロボットシステムの研究開発】	日刊工業新聞	6 面
38	平成 21 年 11 月 25 日	ロボットテクノロジー 産ロボ、新市場開拓急ぐ 食品医薬や電機組み立て 高度作業 武器に	日刊工業新聞	
39	平成 21 年 12 月 4 日	産学官をつなぐ モノづくり連携大賞受賞例から(6)＝特別賞 三菱電機など 知恵と技術結集 ロボでセル生産	日刊工業新聞	朝刊 4 面 3 段写真あり
40	平成 21 年 12 月 15 日	進化続ける産業用ロボット 「画像認識」で微調整/人と共存「両腕タイプ」	朝日新聞	20 面
41	平成 22 年 1 月 8 日	三菱電機下村社長に聞く コスト削減積み増しも 各事業連携、シナジー強み	日経産業	
42	平成 22 年 12 月 14 日	フロンティア 知恵を絞る 三菱電機先端技術総合研究所(上)＝産学連携、基礎から議論	日経産業	朝刊 10 面 4 段 写真・表あり
43	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機「セル生産」 部品の供給も自動化 3Dセンサを活用	日本経済新聞	朝刊 11 面 3 段 写真あり
44	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 セル生産部品供給にロボット 広がる用途、新顧客狙う	日経産業新聞	朝刊 20 面 4 段 写真・図あり
45	平成 23 年 10 月 12 日	ロボットテクノロジー＝三菱電機が部品供給ロボ 3次元画像認識技術確立 箱内の乱雑部品を整列	日刊工業新聞	朝刊 6 面 3 段 写真あり
46	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 整頓ロボットを開発 部品の整列作業を全自動化	フジサンケイビジネスアイ	朝刊 6 面 2 段 写真あり
47	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 ロボットシステム開発 部品形状認識し整列	電気新聞	朝刊 4 面 3 段 写真あり

48	平成 23 年 10 月 12 日	三菱電機 ロボットシステム開発 ばら積み部品を整理	化学工業日報	朝刊 11 面 3 段 写真あり
49	平成 23 年 10 月 24 日	三菱電機 部品整理バラ積みロボを開 発	鉄鋼新聞	9 段 写真あり
50	平成 23 年 10 月 28 日	バラ積み部品を整理 三菱電機 ロ ボットシステム開発	電気日日新聞	4 段
51	平成 24 年 1 月 12 日	難題だった部品供給にめど	日刊工業新聞	テクノ編集局 129
52	平成 24 年 1 月 12 日	取材ノート 三菱電機の部品供給ロ ボット	日刊工業新聞	1 段

【Web】

1	平成 20 年 9 月 2 日	三菱電機と京大、多品種少量生産ロボ ットを共同開発	NIKKEI NET	http://www.nikkei.co.jp/news/sangyo/20080925AT1D2505S25092008.html
2	平成 20 年 9 月 25 日	自律型セル生産ロボシステム共同研 究 三菱電機と京大	京都新聞	http://www.kyoto-np.co.jp/article.php?mid=P2008092500191&genre=B1&area=K00
3	平成 20 年 9 月 25 日	三菱電機と京都大、自立型セル生産ロ ボットシステムを共同開発へ	YAHOO!ニュース	http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20080925-00000038-rps-ind
4	平成 20 年 9 月 25 日	三菱電機 京大と自律型セル生産ロ ボットシステムの共同開発で連携本 格化	ロボメディア 2008	http://robomedia2006.blog.so-net.ne.jp/2008-09-25
5	平成 20 年 9 月 26 日	三菱と京大、自律型セル生産ロボの開 発を本格化、2011 年度以降に事業化	ロボナブル	http://robonable.typepad.jp/news/2008/09/20080926-2011-e.html
6	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、熟練工のノウ ハウ再現可能なロボット開発	NIKKEINET	http://www.nikkei.co.jp/news/sangyo/20090715AT1D1509015072009.html
7	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、ロボットによる 自動化セル生産システムを試作	TechOn!	http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090715/173054/
8	平成 21 年 7 月 15 日	三菱と京大、セル生産方式に対応する ロボットの知能化技術を開発	マイコミジャーナ ル	http://journal.mycom.co.jp/news/2009/07/15/068/?rt=na
9	平成 21 年 7 月 15 日	セクター情報電気機器＝三菱電機－ 京都大学と次世代セル生産を実現す るロボット知能化技術を開発	MORNINGSTAR	http://www.morningstar.co.jp/StockInfo/info/snap/6503
10	平成 21 年 7 月 15 日	三菱電機と京都大学、次世代セル生 産を実現するロボット知能化技術を開 発	Response	http://response.jp/issue/2009/0715/article127344_1.html

11	平成 21 年 7 月 15 日	エラー回避に自律習熟 三菱と京都大、セル生産対応ロボット技術	@IT MONOist	http://monoist.atmarkit.co.jp/fpro/news/2009/07/15mitsubishi.html
12	平成 21 年 7 月 15 日	Industrial robot with high skills developed	NHK WORLD English	http://www.nhk.or.jp/daily/english/15_20.html
13	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大 セル生産対応ロボット開発	Businessi.	http://www.business-i.jp/news/ind-page/news/200907160076a.nwc
14	平成 21 年 7 月 16 日	人手いらずのセル生産ロボ 三菱電機と京大 共同開発	産経関西	http://www.sankei-kansai.com/2009/07/16/20090716-012394.php
15	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発	日刊工業新聞 BusinessLine	http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0120090716bcam.html
16	平成 21 年 7 月 16 日	複数工程ロボット開発 三菱電機と京大	神戸新聞 NEWS	http://www.kobe-np.co.jp/news/keizai/0002130378.shtml
17	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発	asahi.com	http://www.asahi.com/digital/nikkanko/NKK200907160005.html
18	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機、京大とロボット知能化技術を開発	TheChemicalDaily (化学工業日報)	http://www.chemicaldaily.co.jp/news/200907/16/04601_2131.html
19	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京都大学、次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	carview	http://www.carview.co.jp/bbs/122/?ct2=1&ct3=111672
20	平成 21 年 7 月 16 日	三菱電機と京大、セル生産用ロボットの知能化技術を開発	SemiconductorJapanNet	http://www.semiconductorjapan.net/newsflash/appli/090716_01.html
21	平成 21 年 7 月 17 日	三菱電機と京大、セル生産ロボシステムの高度化技術を開発、ブレーカの組立で実証	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2009/07/20090716-18bb.html
22	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	Tech-On!	http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20111011/199153/
23	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	日経 BPnet	http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20111011/286886/
24	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、ランダムビンピッキングを可能にしたロボットシステム開発	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/10/mitsubishi-1011.html
25	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品を整列するロボットシステムを開発	財経新聞	http://www.zaikei.co.jp/article/20111011/83072.html
26	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品を整列するロボットシステムを開発	ARC ジャパンホーム	http://www.arcweb.com/arc-japan/arcwire/lists/posts/post.aspx?id=3393

27	平成 23 年 10 月 11 日	工場での部品整列作業を自動化 三菱電機がロボット開発	産経ニュース	http://sankei.jp.msn.com/economy/news/111011/biz11101113460007-n1.htm
28	平成 23 年 10 月 11 日	工場での部品整列作業を自動化 三菱電機がロボット開発	SankeiBiz	http://www.sankeibiz.jp/business/news/111011/bsc1110111346001-n1.htm
29	平成 23 年 10 月 11 日	三菱電機、バラ積み部品をパレット上に整列するロボットシステムを開発	Cybouzu net	http://news.cybozu.net/news/nikkeibp/products/2011101120267.html
30	平成 23 年 10 月 25 日	SI の海外進出支援が必要、三菱電機 FA シス事業本部、小平紀生主管技師長	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/10/kodaira-mitsubishi-1025.html
31	平成 23 年 11 月 4 日	2011 国際ロボット展 (iREX2011)、過去最大規模で開催—ランダムビンピッキング、ロボットセル、人共存システムに注目	ロボナブル	http://www.robonable.jp/special/2011/11/preview-irex2011.html
32	平成 23 年 11 月 22 日	三菱電機、サーマルリレー組立ロボットセル公開、協調動作により組み付け	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/11/mitsubishi-1122.html
33	平成 23 年 11 月 24 日	三菱電機、簡素なロボットセルと複数ロボの連携による部品供給セル公開	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2011/11/mitsubishi-1124.html
34	平成 23 年 12 月 28 日	年末企画 分野別に振り返るロボット業界 2011	ロボナブル	http://www.robonable.jp/special/2011/12/part4.html
35	平成 24 年 1 月 18 日	三菱電機、効率的なシステム提案を可能にするロボットセル設計論を紹介	ロボナブル	http://www.robonable.jp/news/2012/01/mitsubishi-0118.html

【雑誌】

1	平成 21 年 8 月 1 日	速報 生産革新 ロボットによる自動化セル生産 三菱電機と京都大学が実証段階に	日経ものづくり	2009 年 8 月号 P.21
2	平成 21 年 8 月 19 日	京大ら、熟練工並み新型ロボット開発—1 台で多工程対応	KIPPO NEWS MONTHLY	2009 年 8 月 19 日 Vol.16 No.593 (日本語版, 英語版)
3	平成 21 年 8 月 25 日	次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発	日経サイエンス	2009 年 10 月号 P.113
4	平成 21 年 9 月 1 日	新技術トピックス 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術	工業調査会 国際技術情報誌「M&E」	2009 年 9 月号 P.30
5	平成 21 年 9 月 1 日	テクノロジー 三菱電機京大の産学連携 「ロボットセル」向け知能化技術を開発	月刊 生産財マーケティング	2009 年 9 月号 P. A68-A69

6	平成 21 年 9 月 1 日	三菱電機、京都大学 次世代セル生産を実現するロボット知能化技術を開発 生産機種切り替えの迅速化などを実現	技術総合誌 OHM	2009 年 9 月号 P.55
7	平成 21 年 10 月 1 日	熟練工の技を継承するロボットを開発	子供の科学	2009 年 10 月号 P.7
8	平成 21 年 10 月 1 日	system integration 自律型動作習熟を実現したセル生産ロボットシステムの開発 3次元画像認識で計測分解能 0.3mm 以下を達成	design news Japan	2009 年 10 月号 P. CE4-CE5
9	平成 21 年 10 月 26 日	特集 カイゼンを壊せ 第 3 章 トヨタ神話崩壊の後で 問われる自己革新力 新世代ロボットで変化に対応	日経ビジネス	10 月 26 日号 P.34
10	平成 21 年 10 月 31 日	三菱、京大と「自律型セル生産ロボットシステム開発」で産学連携	業界春秋	2008 年 10 月号 P.7
11	平成 21 年 11 月 1 日	研究開発 次世代のセル生産を実現するロボット知能化技術の開発	ロボット	No.191 P.35-40
12	平成 21 年 12 月 1 日	2009 国際ロボット展 小型垂直多関節ロボットの最新製品「RV-2SQ」のほか、京都大学と共同開発のロボット知能化技術を用いた次世代セル生産システム（第 4 回モノづくり連携大賞「特別賞」を受賞）を参考出展	プレス技術	Vol.47 No.13 P.8(特別企画誌上)
13	平成 21 年 12 月 1 日	2009 国際ロボット展 小型垂直多関節ロボットの最新製品「RV-2SQ」のほか、京都大学と共同開発のロボット知能化技術を用いた次世代セル生産システム（第 4 回モノづくり連携大賞「特別賞」を受賞）を参考出展	機械設計	Vol.53 No.15 P.8(特別企画誌上)
14	平成 22 年 1 月 1 日	"人間らしさ"で付加価値の高いセル生産へ ～三菱電機と京都大学のコラボで自律型セル生産ロボットが誕生！～	工場管理	2010 年 1 月号(Vol.56 No.1) P.13
15	平成 22 年 1 月 1 日	三菱電機、京都大学 "人間らしい"技術で自立型生産ロボを実用化	機械設計	2010 年 1 月号(Vol.54 No.1) P.6
16	平成 22 年 2 月 1 日	企業の活路第 41 回 介護、移動用、人間型国産ロボット最前線 夜、ヒトがいないセル生産ロボット	PRESIDENT	2010 2.1 号 P.111
17	平成 22 年 2 月 1 日	Robots at the International Robot Exhibition 2009 in Tokyo	Industrial Robot: An International Journal	Volume 37 Issue 3

18	平成 23 年 11 月 1 日	バラ積み部品を整列するロボット 三菱電機がプログラムの工夫で実現	日経ものづくり	2011 年 11 月号 P30-31
19	平成 23 年 12 月 1 日	バラ積み部品を整列するロボットシ ステム	プラスチックエー ジ	2011 年 12 月号 P35
20	平成 24 年 4 月 27 日	Robots at the International Robot Exhibition 2011 in Tokyo	Industrial Robot: An International Journal	Volume 39 Issue 3

(4) 表彰

1	第 9 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2008 年 12 月
2	フジサンケイビジネスアイ フルスペース広告部門 金賞	2009 年 10 月
3	日刊工業新聞 モノづくり連携大賞 特別賞	2009 年 11 月
4	第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2009 年 12 月
5	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2010 年 12 月
6	第 11 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2010 年 12 月
7	2011 年度計測自動制御学会 学術奨励賞 研究奨励賞	2012 年 02 月
8	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
9	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
10	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月
11	第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会 優秀講演賞	2012 年 03 月

(6) 開発知能モジュールリスト

②作業知能(生産分野)「世界標準を目指したロボットセル生産用知能ハンドモジュール群とマニュアル作業激減知能モジュール群の開発と検証 (IDEC)			
394	ace 向けカメラ制御 RT コンポーネント		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
307	Flea2 向けカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
308	Flea2 向けステレオカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
393	MCM4302 向けカメラ制御 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
317	セル生産コントロール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
400	セル生産システムモニタ RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
327	チョコ停事前回避コントロール RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
310	チョコ停状態検査 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
315	チョコ停自動復帰コントロール RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
304	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
35	ロボットコントローラ制御汎用機能モジュール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
318	三菱重工製 PA10 ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
37	三菱重工製 PA10 ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
305	三菱電機製ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
36	三菱電機製ロボットコントローラ制御		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
328	事前トレイ検査 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
314	教示支援・座標位置補正コントロール		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
306	概略座標位置検出 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
316	詳細座標位置検出 RTC		OSS で公開(ライセンス名 : EPL)
②作業知能(生産分野)「機種切り替えが迅速かつ長時間連続操業可能なロボットセル生産システム」(三菱電機グループ)			
76	習熟機能モジュール	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
87	複合情報 GUI モジュール	京大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用
93	ハイブリッド視覚補正(2D)	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
95	ハイブリッド視覚補正(3D)	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
188	部品ピッキング用物体認識	三菱電機	自社製品に組み込んで利用
311	産業用ロボット MELFA(ACT 低レベル)	三菱電機	自社製品購入者に提供
312	産業用ロボット MELFA(ACT 中レベル)	三菱電機	自社製品購入者に提供
329	MELFA 外部制御モジュール	三菱電機	自社製品購入者に提供
337	ハンドライブラリモジュール	神大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用
384	習熟機能(振動抑制)モジュール	関大+三菱電機	自社製品に組み込んで使用
401	作業エラー処理モジュール	京大+三菱電機	自社製品に組み込んで利用

作業知能（社会・生活分野）の開発

特許

[登録]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年9月26日	特許第4592794号	ロボットハンド	株式会社 東芝

[公開]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2009年7月17日	特開2011-022066	3次元物体位置姿勢計測方法	独立行政法人産業技術総合研究所

[出願]

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2010年3月4日	出願番号：P2010-48307	ロボットハンド	株式会社 東芝
2011年01月12日	出願番号：P2011-3592	画像認識装置、画像認識方法及びプログラム	株式会社 東芝
2011年9月28日	出願番号：P2011-213297	把持機構	株式会社 東芝
2009年8月21日	特願2009-192249	人とのインタラクションにおける安全度を考慮したロボットの制御	増田寛之，福里友介，山口亨，下川原英理

学会発表及び論文

平成20年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年5月2日	第27回AIチャレンジ研究会	非定常環境下における自己位置推定法	辻塚弘一, 大橋 健
2008年5月21日	Proc. of 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008), pp.1162-1168	Fast Grasp Planning for Hand/Arm Systems Based on Convex Model	K.Harada, K.Kaneko, F.Kanehiro
2008年5月22日	IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2013-2018	Singularity Avoidance by Inputting Angular Velocity to a Redundant Axis During Cooperative Control of a Teleoperated Dual-Arm Robot	M. Hayakawa, K. Harada, D. Sato, A. Konno, and M. Uchiyama
2008年6月6日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008,2P1-H12	アスペクト指向を用いて横断知識を記述するロボット行動フレームワーク	尾崎文夫,大賀淳一郎
2008年6月12日	人工知能学会第22回全国大会, J1-04	対話型ロボットのための口領域動画像に基づく発話推定	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉
2008年7月7日	17th CISM-IFTtoMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control (RoManSy2008), pp. 325-331	Experiments on Hammering a Nail by a Humanoid Robot HRP-2	S. Komizunai, T. Tsujita, F. Nishii, Y. Nomura, T. Owa
2008年7月8日	the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC/08) pp.8215-8220	Generating Robot Arm motion by Using Generalized Environmental Information	Siliang Wang, Eri Sato, Toru Yamaguchi
2008年7月30日	画像の認識理解シンポジウム MIRU2008, pp.10	ロボットとの対話のための発話推定に関する事例	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉

	15-1020	研究	勉
2008年7月31日	画像の認識・理解シンポジウム2008 (MIRU2008), pp.1626-1631	STL CAD モデルを用いた遮蔽輪郭線による任意形状物体認識	丸山健一, 河井良浩, 吉見隆, 富田文明
2008年8月1日	the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN) pp.526-531	Multi Phase Environment Information Interface by using "kukanchi: Interactive Human-Space Design and Intelligence"	Yusuke Fukusato, Shoichiro Sakurai, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2008年8月21日	SICE Annual Conference 2008 pp.3529-3533	Service offer system in "Kukanchi: Interactive Human-Space Design and Intelligence" using multi phase environmental information	Yusuke Fukusato, Eri Sato-Shimokawara, Jun Nakazato and Toru Yamaguchi
2008年8月22日	Multisensor Fusion and Intelligent Systems (MFI2008) pp.332-337	Service offer system using Multi-Phase Environmental Information Interface	Yusuke Fukusato, Eri Sato-Shimokawara, Jun Nakazato and Toru Yamaguchi
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会RSJ2008	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発:プロジェクト概要と進捗	松日楽, 吉見卓, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-08	知能化環境構築のための位置管理モジュールおよび環境サーバの設計	河寅勇, 田村雄介, 森下壮一郎, 浅間一, 野田五十樹, 羽田靖史, 岡本浩幸
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 E3-01	視覚情報に基づく多指ハンドの把持計画	原田研介, 辻徳生, 金子健二, 金広文男, 丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 E3-03	摩擦円錐の楕円近似を用いた把持安定性の高速評価	辻徳生, 原田研介, 金子健二

2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-ROM M 1F2-03	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -移動ユニットとアーム ユニットのRTC化-	足立 勝, 亀井泉寿, 中 村高幸, 横山和彦
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-04	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業 対象物認識に関する知能 モジュール群の開発-	丸山健一, 富田文明, 河 井良浩
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-ROM M 1F2-05	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業計画に関する知能 モジュール群の開発(作業 計画モジュール)	小田謙太郎, 大橋 健, 榎田修一, 嶋田和孝, 江 島俊朗
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 F2-06	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 -作業 対象物把持に関する知能 モジュール群-	金子健二, 原田研介, 辻 徳生
2008年9月18日	Joint 4th International Conference on Soft Co mputing and Intelligen t Systems and 9th Inte rnational Symposium o n advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS20 08) pp.299-304	Service Offer System i n "Kukanchi: Interactiv e Human-Space Design and Intelligence" usin g Natural Gesture	Yusuke Fukusato, Sho ichiro Sakurai, Eri Sa to-Shimokawara, Toru Yamaguchi
2008年9月23日	NLP若手の会 第3回シン ポジウム	複数の音声認識器からの シンプルで高精度な認識 結果の選択手法	嶋田和孝, 宇津巻彰
2008年9月25日	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robo ts and Systems	Target Tracking Using SIR and MCMC Particl e Filters by Multiple C ameras and Laser Ran ge Finders	R. Kurazume, H. Yam ada, K. Murakami, Y. Iwashita, and T. Has egawa
2008年10月28日	Proc. of IEEE Int. Con f. on Sensors	A Structured Environm ent with Sensor Netwo	K. Murakami, T. Has egawa, R. Kurazume,

		rks for Intelligent Robots	and Y. Kimuro
2008年11月20日	The 22 nd Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation, pp.350-357	An Effective Speech Understanding Method with a Multiple Speech Recognizer based on Output Selection using Edit Distance	Kazutaka Shimada, Satomi Horiguchi and Tsutomu Endo
2008年11月21日	Proc. Int. Conf. Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.485-488	Design of Location Management Module and Environment Server for Constructing of Intelligent Environment Space	Inyong Ha, Yusuke Tamamura, Soichiro Morishita, Hajime Asama, Itsuki Noda, Yasushi Hada, and Hiroyuki Okamoto
2008年11月21日	THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS ROBOTS AND AMBIENT INTELLIGENCE (URAI 2008) pp.434-437	Human-Robot interaction using indicating behavior for service robot	Eri sato-Shimokawara, Shoichiro Sakurai, Toru Yamaguchi
2008年11月21日	Proc. of Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence	Human Tracking by Cooperative Sensing of Distributed Environment Sensors and Mobile Robots	T. Hasegawa, K. Mohri, R. Kurazume, and K. Murakami
2008年11月30日	コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会 学会誌), Vol.25, No.4, pp.238-251, 雑誌	実世界で動作するプランニング・エージェントのためのバックグラウンド・センシング・コントロール	林久志, 十倉征司, 尾崎文夫, 土井美和子
2008年12月2日	Proc. IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots (Humanoid 2008), pp.54-60	Selecting a Suitable Grasp for Humanoid Robots with Multi-Fingered Hand	T.Tsuji, K.Harada, K.Kaneko, F.Kanehiro, Y.Kawai
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション	環境固定カメラと複数移動ロボットによる協調位	安陪隆史, 長谷川勉, 村上剛司, 倉爪亮

	ョン部門講演会講演予稿集	置姿勢計測	
2008年12月9日	Proc. of 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008), TuBCT8.41	3D Object Localization Based on Occluding Contour Using STL CAD Model	K.Maruyama, Y.Kawai, T.Yoshimi, F.Tomita
2009年1月1日	東芝レビュー, VOL.64, NO.1, pp. 36-39,雑誌	Dynagent TM - ロボットのフレキシブルな動作を実現するプランニング エージェント	林久志
2009年1月12日	電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2008-199	境界表現に基づく複数観測点からのステレオデータの統合	安達栄輔, 吉見隆, 河井良浩, 富田文明
2009年2月	In: L. C. Jain and N. T. Nguyen (Eds.), Knowledge Processing and Decision Making in Agent-Based Systems, Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 170, Springer, pp. 13-41,書籍	Towards Real-World HTN Planning Agents	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, and Fumio Ozaki
2009年3月12日	情報処理学会 第71回全国大会, CD-ROM 5T-3	対話型ロボットのための口領域動画像と音情報に基づく発話推定	元吉大介, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗, 遠藤勉
2009年3月17日	第14回ロボティクスシンポジウム講演会予稿集	移動ロボット群を用いた大規模文化遺産のデジタルアーカイブ	野田裕介, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉
2009年3月20日	The IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications, in the International MultiConference of Engineers and Comp	Handling Emergency Goals in HTN Planning	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Fumio Ozaki, and Tetsuo Hasegawa

	uter Scientists (IMECS) , pp.118-126, Hong Kong, March 2009		
2009年3月30日	2009 IEEE Workshop on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space, pp. 121-128.	Perceptual system for intelligent service robot by using a three-dimensional range camera	H. Masuta and N. Kubota

平成21年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年4月	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No4, pp. 443-452, 2009.	A Service System Adapted to Changing Environments Using “Kukachi”	Yusuke Fukusato, Erisato-Simokawara, Toru Yamaguchi, and Makoto Mizukawa
2009年5月16日	Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3200-3205	Laser-based Geometric Modeling using Cooperative Multiple Mobile Robots	Ryo Kurazume, Yusuke Noda, Yukihiro Tobata, Kai Lingemann, Yumi Iwashita, Tsutomu Hasegawa
2009年5月25日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 1A1-E13	LRFを搭載した群ロボットによる未知環境三次元地図の自動作成	横矢剛, 長谷川勉, 倉爪亮
2009年5月25日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 1A1-F06	LRFを用いた移動用3次元地図作成	古賀勇多, 大橋健, 小田謙太郎
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A2-C01	軽作業計画用のハンドアームRTコンポーネント	大橋健, 大塚康裕, 小田謙太郎
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A1-D08	インターフェースが変化しても再実装を必要としないRTコンポーネントとその自動生成法	小田謙太郎, 大橋健, 石村俊幸

2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A2-A19	ヒューマノイドロボットのための多指ハンド把握モジュール	原田研介, 辻徳生, 金子健二, 丸山健一
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09, CD-ROM 2A2-B06	操作力楕円体と摩擦円錐の楕円近似による把持安定性の高速評価	辻徳生, 原田研介, 金子健二
2009年6月22日	知能と情報, vol21, No5, pp.856-869,雑誌	Dynagent: 割込みHTNプランニングエージェント	林久志, 十倉征司, 尾崎文夫, 長谷川哲夫
2009年7月	IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 156-161	Planning Footsteps in Obstacle Cluttered Environments	Yasar Ayaz, Atsushi Konno, Khalid Munawar, Teppei Tsujita, Masaru Uchiyama
2009年7月20日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS1-68	環境に固定されたマーカを用いたハンドアイキャリブレーション	川端聡, 永田和之, 河井良浩
2009年7月22日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS3-38	遮蔽輪郭線を用いたモデルベース3次元物体位置姿勢計測	丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2009年7月22日	第12回画像の認識・理解シンポジウム MIRU2009, IS3-40	曲面形状表現のための曲率線ネットの生成	西村悠, 吉見隆, 西卓郎, 河井良浩, 富田文明
2009年8月20日	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.4, pp.453-459	Supporting Robotic Activities in Informationally Structured Environment with Distributed Sensors, RFID Tags	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Ryo Kurazume, Yoshihiko Kimuro
2009年8月21日	Proc. 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.1492-1495, 2009	Home Appliance Components using RT Middleware – Development of the Interface and an	Toshiyuki Kusunoki, Kazuyoshi Wada and Hayato Takayama

		Example System	
2009年8月22日	FUZZ-IEEE2009 pp.1474-1479	Domestic Robot Service based on Ontology applying Environmental Information	Yusuke Fukusato, Shojiro Sakurai, Silian Wang, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2009年9月4日	Proceedings of the 11th Conference of the Pacific Association for Computational Linguistics (PACLING2009), pp. 262-267, 2009.	Speech Understanding in a Multiple Recognizer with an Anaphora Resolution Process	Kazutaka Shimada, Akira Uzumaki, Mai Kitajima and Tsutomu Endo
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D3-05	移動型サービスロボット向けの安全度評価モジュールの基本構成	村上弘記, 田村雄介, 浅間一
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D3-06	位置管理モジュールおよび環境サーバ実装のためのシステム設計	河寅勇, 田村雄介, 森下壮一郎, 浅間一, 岡本浩幸, 野田五十樹, 羽田靖史
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, 1D3-01	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発: システム統合化へ向けて	松日楽信人, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, 1D3-04	ロボットハンドリングのための触覚による物体姿勢検出アルゴリズム	菅原淳
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D2-05	施設内生活支援ロボット知能の研究開発—観測不能領域を考慮した施設内人物追跡システム—	八田啓希, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 D2-07	施設内生活支援ロボット知能の研究開発—作業計画に関する知能モジュール群の開発 (第2報)	大橋健, 小田謙太郎, 嶋田和孝, 榎田修一, 江島俊朗
2008年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会講演, CD-ROM	施設内生活支援ロボット知能の研究開発	包原 孝英, 亀井泉寿, 中村高幸, 足立 勝, 横

	M 1D2-08	-作業知能モジュール群 の有効性検証-	山和彦
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 1 R3-03	カラーヒストグラムを用 いたレーザ・カメラによ る複数移動体追跡	曾我部光司, 倉爪亮, 長 谷川勉
2009年9月16日	第27回日本ロボット学術 講演会	人とのインタラクション に基づく 食器片付けの ためのロボットアーム制 御	増田寛之
2009年9月16日	IWI2009 (WI-IAT2009), pp.1-4, 2009.	Visualization Cube: Mo deling Interaction for Exploratory Data Anal ysis of Spatiotemporal Trend Information	Y. Takama, T. Yamad a
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 F2-04	ステレオ視による3次元 物体位置姿勢計測とその RTコンポーネント化	丸山健一, 川端聡, 河井 良浩, 富田文明
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 F2-05	マーカ1点の複数回撮影 によるハンドアイシステ ムの簡便な較正法とその RTコンポーネント化	川端聡, 丸山健一, 河井 良浩
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 A2-02	接触曲面率情報を用いた 多指ハンドの把持計画	辻徳生, 原田研介, 金子 健二
2009年9月17日	第27回日本ロボット学 会学術講演会, 講演番号 1D3-02	片付け作業のためのマル チモーダルインタラクシ ョン	福里 友介, 岩澤 正也 山口 亨, 下川原 (佐藤) 英理
2009年9月27日	Proc. of The Ninth Asi an Conference on Com puter Vision (ACCV200 9), MP3-20	Model-based 3D Object Localization Using Oc cluding Contours	K. Maruyama, Y. Ka wai, F. Tomita
2009年9月29日	平成21年度第62回電気関 連学会九州支部連合大会 , 09-2P-11	分散カメラシステムによ る実時間人間動作計測	斉藤暢記, 倉爪亮, 岩下 友美, 村上剛司, 長谷川 勉
2009年9月30日	第17回電子情報通信学会 九州支部学生会	顔特徴と衣服特徴に基づ く人物識別	山口純平, 嶋田和孝, 遠 藤 勉

2009年10月12日	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS 2009), pp. 1830-1837	Easy and Fast Evaluation of Grasp Stability by Using Ellipsoidal Approximation of Friction Cone	T. Tsuji, K. Harada, K. Kaneko
2009年10月12日	2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	The Intelligent Control based on Perceiving-Acting Cycle by using 3D-range camera	H. Masuta and N. Kubota
2009年10月30日	Proc. Int. Conf. Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp.340-344	Identification of Types of Obstacles and Obstacle Map Building for Mobile Robots	Yusuke Tamura, Yu Murai, Hiroki Murakami, and Hajime Asama
2009年11月29日	Proc. IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, pp.95-100	Detection of Change in the Number of Humans in a Monocular Image Sequence for Pedestrian Motion Tracking	Hidetaka Koseki, Soichiro Morishita, and Hajime Asama
2009年12月	IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 361-366	Footstep Planning for Humanoid Robots Among Obstacles of Various Types	Yasar Ayaz, Takuya Owa, Teppei Tsujita, Atsushi Konno, Khaldun Munawar and Masaru Uchiyama
2009年12月16日	International Journal of Intelligent Information and Database Systems, Inderscience Publishers, vol.3, no.4, pp.483-501, 雑誌	Background sensing control for planning agents working in the real world	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Fumio Ozaki, and Miwako Doi
2009年12月	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.1443-1445	食器片付け作業のための作業計画コンポーネントの開発	小水内俊介, 野村勇樹, 菊地隆浩, 近野敦, 内山勝
2009年12月	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 145	冗長マニピュレータ搭載型全方向移動ロボットのための制御システムの構	野村勇樹, 小水内俊介, 近野敦, 内山勝

	0-1452	築	
2009年12月24日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009, p. 1718-1721.	距離画像カメラを用いたロボットアームのための環境知覚	増田寛之, 檜皮えりこ, 久保田直行
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.570-571	サービス提供モジュールの開発	岡本浩幸, 浅間一, 森下壮一郎, 辻邦浩, 羽田靖史
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.1747-1750	混合分布推定に基づく単一カメラによる動画像の人物検出に関する研究 — 分布パラメータの比較による人物の増減判定	小関英剛, 森下壮一郎, 浅間一
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集, pp.1197—1200	情報構造化環境における人間行動予測に基づく移動ロボットの動作計画	斧山佳史, 長谷川勉, 倉爪亮, 村上剛司
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009, p. 237-240	物体認識のための距離画像センサを用いた能動知覚	檜皮えりこ, 増田寛之, 久保田直行
2009年12月25日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.1487-1488	RTミドルウェアを用いた家電ネットワーク管理システムの構築	高山勇人, 和田一義
2010年1月15日	日本ロボット学会誌, Vol. 27, Num.1, pp. 65--76	SIR/MCMCパーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡	倉爪亮, 山田弘幸, 曾我部光司, 村上剛司, 岩下友美, 長谷川勉
2010年1月	人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 58-67, 2010.	時空間的動向情報の探索的分析を支援するインタラクティブな情報可視化システム	高間 康史, 山田 隆志

2010年2月	日本機械学会論文集（C編），第76巻，第762号，p p.331-339	直方体モデルに基づく多指ハンドの把持計画	原田研介，辻徳生，金子健二，金広文男，丸山健一
2010年2月26日	広島県画像処理活用研究会&中国地域産総研技術セミナー	高機能3次元視覚システムVVVの研究開発ーステレオ画像処理による3次元形状計測，認識とロボットへの応用ー	河井良浩
2010年3月15日	電子情報通信学会，パターン認識・メディア理解研究会(PRMU)，信学技報，Vol. 109, No.470, p p. 25-30	顔特徴とコンテキスト情報に基づく顔の隠れに頑健な人物識別	山口純平，嶋田和孝，榎田修一，江島俊朗，遠藤勉

平成22年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2010年4月1日	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.2, pp.230-238	Grasp Planning for a Multi-fingered Hand with a Humanoid Robot	T. Tsuji, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Maruyama
2010年6月1日	日本ロボット学会誌 Vol. 28, No. 5, pp. 22-23	(解説) RTミドルウェアによるロボットアーキテクチャーコミュニケーションシステムー	松坂 要佐
2010年6月	ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-B20	RTコンポーネントを活用したロボットサービスの実現例	野村勇樹，小水内俊介，菊地隆浩，近野敦，内山勝
2010年6月14日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, CD-ROM 1P1-C12	移動ロボットの衝突回避のための人間の移動予測アルゴリズム	濱崎峻資，田村雄介，浅間一
2010年6月16日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演論文集, 2A1-C09	人間・ロボット共生環境における日用品追跡システム	村上剛司，重松康祐，野原康伸，長谷川勉，倉爪亮，Ahn Byong

			-won
2010年6月16日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演論文集, 2A1-F22	レーザレンジファインダと鏡による床面上の日用品位置計測システム	野原康伸, 長谷川勉, 村上剛司
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010,2A1-F20	ロボスタに作業を実行するためのソフトウェアモジュール群の開発と検証 実験用ロボット	田中淳也, 松日楽信人, 小川秀樹, 菅原淳, 廣川潤子, 林久志, 園浦隆史, 大賀淳一郎, 十倉征司, 西山学, 香月理絵
2010年7月22日	Journal of Robotics, Article ID 301923, 14 pages	An Extensible Dialogue Script for a Robot Based on Unification of State-Transition Models	Yosuke Matsusaka, Hirayuki Fujii, Isao Harada
2010年7月23日	電子情報通信学会 言語理解とコミュニケーション研究会 (NLC) 信学技報, pp. 69-74	3つの異なる種類の音声認識器を利用した照応解析	嶋田和孝, 棚町範子, 遠藤 勉
2010年7月27日	画像の認識・理解シンポジウムMIRU2010 論文集, IS1-35, pp. 276-283	ステレオビジョンシステムのための3次元輪郭モデル生成とその応用	丸山健一, 河井良浩, 富田文明
2010年7月28日	画像の認識・理解シンポジウムMIRU2010 論文集, OS7-3, pp. 1380-1387	単純な繰り返しパタンの参照平面を用いた複数カメラの較正法	川端 聡, 河井良浩
2010年8月19日	SICE Annual Conference 2010 pp.390-391	Domestic Robot System Considering Generalization	Takahiro Iijima, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi
2010年8月20日	SICE Annual Conference 2010, pp. 392-397	Information Reduction for Environment Perception of an Intelligent Robot Arm Equipped with a 3D Range Camera	H. Masuta, N. Kubota
2010年8月24日	Proc. of 20th International Conference on Pattern Recognition (ICP)	3D Contour Model Creation for Stereo-vision Systems	K. Maruyama, Y. Kawai, F. Tomita

	R2010),		
2010年9月19日	19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2010), pp. 260-265	Active Perception based on Hough Transform and Evolutionary Computation using 3D Range Sensor,	H. Eriko, H. Masuta, and N. Kubota
2010年9月22日	第28回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM R SJ2010AC3P1-6	行動ダイナミクスに基づく歩行者の目的地推定における候補点の抽出	寺田善貴, 森下壮一郎, 浅間一
2010年9月22日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3I2-02	既知の平面パターンを用いたステレオカメラの簡便な較正法	川端 聡, 河井良浩
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 2P2-2	ステレオビジョンシステムを用いた3次元物体位置姿勢計測と同一形状物体の計数	丸山健一, 川端聡, 河井良浩, 富田文明
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 103-2	把握面に柔軟性を有するパラレルグリッパの把握計画	原田 研介, 辻 徳生, 他 4名
2010年9月23日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 103-3	Grasplan: 把持計画ツールボックスの開発	辻 徳生, 原田 研介, 中岡 慎一郎, 河井 良浩
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会	ロボストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発: システム統合と実証実験	松日楽信人, 小川秀樹, 浅間一, 山口亨, 近野敦
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM R SJ2010AC3P1-3	施設内生活支援ロボット知能の研究開発ー作業知能モジュール群の有効性検証(第2報)ー	中村高幸, 足立勝, 村上剛司, 長谷川勉, 嶋田和孝, 大橋健, 川端聡, 丸山健一, 辻徳生, 原田研介
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3P1-7	知的収納庫とFloor Sensing Systemを用いた物品追跡システム	村上剛司, 松尾一矢, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮
2010年9月25日	The 2010 International Symposium on Intellig	A cyclical learning by using spiking-neural	H. Masuta, N. Kubota

	ent Systems (iFAN 2010)	network for a robot perception and action	
2010年10月	5th International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 498-503	Application of Robot Service by using RT Components	Yuki Nomura, Takahiro Kikuchi, Atsushi Kanno and Masaru Uchiyama
2010年10月6日	International Conference on Advanced Mechatronics	Specification and Implementation of Open Source Software Suite for Realizing Communication Intelligence	Yosuke Matsusaka, Isao Hara, Hideki Asoh, Futoshi Asano
2010年10月12日	2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 3405-3412	Perceptual System using Spiking Neural Network for an Intelligent Robot	H. Masuta and N. Kubota
2010年10月19日	Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.3875-3880	Extraction of Candidate Points for a Destination Estimation Method Based on Behavior Dynamics	Yoshitaka Terada, Soichiro Morishita, and Hajime Asama
2010年10月19日	Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.3887-3892	Smooth collision avoidance in human-robot coexisting environment	Yusuke Tamura, Tomohiro Fukuzawa, and Hajime Asama
2010年10月19日	IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.1030-1035	Floor Sensing System Using Laser Range Finder and Mirror for Localizing Daily Life Commodities	Yasunobu Nohara, Tsutomu Hasegawa, and Kouji Murakami
2010年10月20日	IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.3712-3718	Position Tracking System for Commodities in a Daily Life Environment	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Yasunobu Nohara, Byong Won Ahn, and Ryo Kurazume
2010年10月22日	IROS 2010 Workshop on Towards a Robotics Software Platform	Open Source Software for Human Robot Interaction	Yosuke Matsusaka

2010年10月27日	情報処理学会 組み込みシステムシンポジウム	(チュートリアル) RT-ミドルウェア -ロボット用ソフトウェアのコンポーネントベース開発とその開発事例	松坂 要佐
2010年10月28日	第60回 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-B002-06, pp. 27-30	対話型ロボットのための複数の音声認識器を利用した発話理解	嶋田和孝, 遠藤 勉
2010年11月	Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol. 14, No. 7, pp. 770-775,	An Integrated Perceptual System of Different Perceptual Elements for an Intelligent Robot	Hiroyuki Masuta and Naoyuki Kubota
2010年11月3日	IEEE Int. Conf. on Sensors, pp.1879-1882	Position Tracking System for Commodities in an Indoor Environment	Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Yasunobu Nohara, Byong Won Ahn, and Ryo Kurazume
2010年11月5日	Proceedings of the 24th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation (PACLIC24), pp. 281-290	Combination of 3 types of speech recognizers for anaphora resolution	Kazutaka Shimada, Noriko Tanamachi and Tsutomu Endo
2010年11月9日	2010 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2010) pp.459-464	Home Appliance Service System by using an object Position and Multimodal Interaction with Communication robot	Masaya Iwasawa, Toru Yamaguchi and Yasunari Fujimoto
2010年11月9日	IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Science, pp. 453-458	Structured Intelligence for Cyclic Learning based on Spiking-Neural Network for Human Friendly Robots	H. Masuta and N. Kubota
2010年11月11日	Proc. of 10th Asian Co	Correspondence-Free Mu	S. Kawabata, Y. Kawai

	ference on Computer Vision (ACCV2010), pp.1831-1841	lti Camera Calibration by Observing A Simple Reference Plane	
2010年11月17日	International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, pp.275-287	Implementation of Distributed Production System for Heterogeneous Multiprocessor Robotic Systems	Yosuke Matsusaka, Isao Hara
2010年12月	IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 206-211	Verification of the Versatility of the RT Modules by the Multiple Robots Platform	Yuki Nomura, Shuhei Ogawa, Takahiro Kikuchi, Atsushi Konno, and Masaru Uchiyama
2010年12月	計測自動制御学会 第11回システムインテグレーション部門講演会, 1G2-4	手先視覚を用いたロボスタな物体把持	小川修平, 安孫子聡子, 近野敦, 内山勝
2010年12月24日	計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集	自己拡張するRTコンポーネントの実装	松坂 要佐
2010年12月24日	計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.1411-1414	環境配置センサ群と作業ロボットによる日用物品の追跡	関屋翔, 村上剛司, 松尾一矢, 長谷川勉, 倉爪亮
2010年12月25日	計測自動制御学会 第11回システムインテグレーション部門講演会2010	触覚センサを使った物体姿勢検出によるロボスタなハンドリング ~接触点座標と三次元物体モデルのマッチング~	菅原淳, 田中 淳也, 原口貴史, 佐藤 和広, 小川秀樹
2010年12月	In: S.-I. Ao, O. Castillo, and X. Huang (Eds.), Series: Lecture Notes in Electrical Engineering , Vol. 52 Intelligent Automation and Computer Engineering, ,	Emergency Planning HTN	Hisashi Hayashi, Seiji Tokura, Tetsuo Hasegawa, and Fumio Ozaki

	Chapter 3, pp.27-40, Springer,書籍		
2011年3月14日	2011年度精密工学会春季 大会学術講演会講演論文 集, pp.413-414	不完全に情報化された環 境におけるサービスロボ ットのためのオブジェク ト位置管理	渡辺周介, 田村雄介, 淺 間一
2011年3月14日	第16回ロボティクスシン ポジア	把握面の柔軟性を考慮し たパラレルグリッパの把 握計画と検証	原田 研介, 辻 徳生, 他 4名

平成23年度

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2011年4月	Intelligent Service Rob otics, vol.4, no.2, pp.99- 105	Identification of Types of Obstacles for Mobile Robots	Yusuke Tamura, Yu Murai, Hiroki Murak ami, and Hajime Asa ma
2011年4月1日	日本知能情報ファジィ学 会誌, 知能と情報, Vol. 2 3, No. 2, pp.13-21	顔特徴とコンテキスト情 報に基づく人物識別	山口純平, 嶋田和孝, 榎 田修一, 江島俊朗, 遠藤 勉
2011年5月27日	ロボティクス・メカトロ ニクス講演会2011, 4 pa ges	室内における壁情報を事 前情報として利用したSL AM	古賀勇多, 大橋健
2011年5月27日	ロボティクス・メカトロ ニクス講演会2011, 3 pa ges	作業計画モジュールにお けるアプリケーション記 述支援機能	大橋健
2011年8月1日	電子情報通信学会論文誌, J94-D-8, pp.1314-1323	参照平面上の局所座標系 間の対応推定による複数 カメラの較正法	川端聡, 河井良浩
2011年9月	International Journal o f Advanced Robotic Sys tems, Vol. 8, No. 4, pp. 98-109	A Human-Like Approac h Towards Humanoid Robot Footstep Plannin g	Yasar Ayaz, Atsushi Konno, Khalid Muna war, Teppei Tsujita, S hunsuke Komizunai a nd Masaru Uchiyama
2011年9月7日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, CD-ROM 3 B3-4	知能化環境におけるオブ ジェクトの位置データ解 釈とロボットへの安全情	田村雄介, 寺田善貴, 濱 崎峻資, 森下壮一郎, 岡 本浩幸, 淺間一

		報の提供	
2011年9月7日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, 3I1-02巻,4p ages	室内における壁を利用し た自己位置推定手法	古賀勇多,大橋健
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会概要集, 3B2-7	共通カメラインタフェー スの提案	大原賢一, 川端聡, 河井 良浩
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, C D R O M	物体マニピュレーション のためのタスクプランニ ング	林久志, 足立勝, 横山和 彦, 小川秀樹, 松日楽信 人
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会 学術講演会, C D R O M 3B3-3	施設内生活支援ロボット 知能の研究開発 ー作業知能モジュール群 の有効性検証(第3報)ー	足立勝, 横山和彦, 辻徳 生, 長谷川勉, 大橋健, 林久志, 田村雄介, 山口 亨, 川端聡, 松坂要佐
2011年9月13日	第27回ファジィシステム シンポジウム2011, pp.5 31-536	パートナーロボットにお ける未知物体把持のため の環境知覚	増田寛之
2011年9月14日	SICE Annual Conferen ce 2011, pp. 1270-1275, 2011	Environmental percepti on for grasping an unk nown object based on 3D range distance info rmation	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年10月11日	IEEE International Co nference on System, M an, and Cybernetics, p p. 244-249	Robot Perception of Un expected Objects based on Human Visual Str ucture using a 3D Ran ge Camera	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年10月28日	エージェント合同シンポ ジウム (Joint Agent Wo rkshops & Symposium) (JAWS), U S Bメモリ	障害物を考慮した物体マ ニピュレーションのため のHTNプランニング	林久志, 足立勝, 横山和 彦, 小川秀樹, 松日楽信 人
2011年12月6日	4th International Confe rence on ICIRA 2011, Part II, LNAI 7102, pp . 210-219	Control Architecture fo r Human Friendly Rob ots Based on Interactin g with Human	H. Masuta, E. Hiwad a and N. Kubota
2011年12月8日	Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimeti	Prediction of Human's Movement for Collision	Shunsuke Hamasaki, Yusuke Tamura, Atsu

	cs, pp.1633-1638	Avoidance of Mobile Robot	shi Yamashita, and Hajime Asama
2011年12月9日	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics	Grasp Planning for Parallel Grippers with Flexibility on its Grasping Surface	K. Harada, T. Tsuji, K. Nagata, N.Yamanobe, K.Maruyama, A.Nakamura, Y. Kawai
2011年12月	IEEE/SICE International Symposium on System Integration	Cooperative Object Transportation by Multiple Humanoid Robots	Meng-Hung Wu, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama
2012年12月14日	OMG Santa Clara Meeting	Domestic Standardization Activity for Standardizing Voice Interface for Service Robots in Japan	Y.Matsusaka
2011年12月21日	The Fourth Symposium in System Integration (SII2011) pp293-298	Interactive System for Sharing Objects Information by Gesture and Voice Recognition between Human and Robot with Facial Expression	Jiguo Zhen, Hirotaoka Aoki, Eri sato-Shimokawara, Toru Yamaguchi
2011年12月23日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会1K3-2	ポータブルコンポーネントマネージャの実装	松坂要佐
2012年1月1日	InTech - The Future of Humanoid Robots - Research and Applications	Grasp Planning for a Humanoid Hand	T. Tsuji, K. Harada, K.Kenji, F. Kanehiro, K. Maruyama
2012年2月1日	Journal of Robotics and Mechatronics Vol.24 No.1 pp. 86-94	Specification and Implementation of Open Source Software Suite for Realizing Communication Intelligence	Y.Matsusaka, H.Asoh, I.Hara, F.Asano
2012年2月2日	第85回人工知能基本問題研究会 (SIG-FPAD) ,予	サービスロボットによる投機的アクション実行準	林久志, 足立勝, 小川秀樹, 横山和彦

	稿集	備と再計画	
2012年3月15日	第17回ロボティクスシンポジウム予稿集	双腕ロボットによるピッキングアンドプレース動作計画	原田研介, Foissotte Torea, 辻徳生, 永田和之, 山野辺夏樹, 中村晃, 河井良浩

展示会及びプレス発表

- ・「経済産業省産業機械課長」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2008/08/04)
- ・「科学技術政策担当大臣」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2008/08/12)
- ・「日中韓ロボット研究者交流ワークショップの来日韓国代表团」視察対応デモンストレーション [作業対象物認識] (2008/10/01)
- ・「日中韓ロボット研究者交流ワークショップの来日中国代表团」視察対応デモンストレーション [作業対象物認識, 把持動作計画] (2008/10/03)
- ・産総研オープンラボ [作業対象物認識, 把持動作計画] (2008/10/20-21)
- ・デモンストレーション:「ジェスチャインタラクシオンロボット」国際次世代ロボットフェア ICRT JAPAN2008 インテックス大阪にて(2008/11/26/~2008/11/28)
- ・サービス提供モジュールによる情報提供サービスデモ展示: サービス提供モジュールを組み込んだシステムを大阪・北ヤード ナレッジキャピタルトライアル 2009 において実際に使用し, 動作などの確認を実施(2009/3/12~2009/3/13)
- ・「独法評価委員会」視察対応デモンストレーション [把持動作計画] (2009/04/07)
- ・ESEC2009 東京ビックサイトにて, 東芝ステレオ楕円画像認識モジュールと首都大サービス記述遂行モジュールを連携した実証デモを実施(2009/5/13~2009/5/15)
- ・産総研オープンラボ「作業サービスロボット技術」 [作業対象物認識](2009/10/15~2009/10/16)
- ・経済産業省産業技術環境局視察, [作業対象物認識] (2010/06/17)
- ・第28回日本ロボット学会学術講演会・機器展示, [アームユニット, 移動ユニット] (2010/09/22~2010/09/24)
- ・サウジアラビア国家議員視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/07)
- ・経済産業省製造産業局産業機械課視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/12)
- ・産総研オープンラボ「ハンドアイによる日用品の把持と簡便な複数カメラの較正法」, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/14,15)
- ・第10回産学連携フェア・機器展示, [アームユニット, 移動ユニット] (2010/10/27~

2010/10/29)

- NEDO 機械システム部視察, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2010/10/29)
- プレス発表「日本初のロボット用知能ソフトモジュールを公開 -ロボットの高性能化, 低コスト化などに貢献-」, [作業対象物認識] (2011/07/27)
- 「2011 国際ロボット展」出展・デモンストレーション, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2011/11/09~2011/11/12)
- 米沢電機工業会, 米沢 BNO, 米沢電振協「作業サービスロボット技術」[作業対象物認識](2009/11/20)
- プレス発表「生活支援ロボットの実現を目指し共同研究開発 - RT ミドルウェアを活用したロボットシステムの有効性検証 -」, (2012/1/27)
- プレス発表「知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群 - ロボット開発用基盤ツール ROBOSSA の開発を完了 -」, [作業対象物認識, 把持動作計画] (2012/2/23)
- 商業施設である「ららぽーと柏の葉」にてサービス提供モジュールの実証試験を実施 (2009/12/23~2009/12/25)

オープンソース開発物リスト

担当	知能モジュール名	公開サイト
安川	汎用モーション RTC	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID396
九大	タウンマネジメントシステム RTC	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID121
	物品位置計測モジュール	http://fortune.is.kyushu-u.ac.jp/r-city-j.html
九工大	作業計画モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID323
	発話推定モジュール Ver1	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID192
	音声認識モジュール Ver2	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID191
	音声合成モジュール Ver1	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID190
産総研	頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1001
	オープンソース版作業対象認識モジュール群	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID367
	オープンソース版作業対象認識モジュール群座標系変換ツール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID370
	graspPlugin for Choreonoid	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1002
	HiroNXInterface	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1003
	ハンド把持動作計画モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID226
	オープンソース版 音声認識モジュール Ver1,2	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/openhri

	オープンソース版 音声合成モジュール Ver1,2	
	オープンソース版 音声処理モジュール群 Ver1,2	
	オープンソース版 対話制御モジュール Ver1,2 および基本音声対話コンテンツ	
東芝	リファレンスハードウェア制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID398
	リファレンスハードウェア移動制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID389
	中位動作計画モジュール (汎用版)	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID399
	触覚認識モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID240
	部分エッジ画像認識モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID235
首都大	マルチモーダルインタラクションモジュール	http://www.sd.tmu.ac.jp/yamaguchi/NEDO_project.html
	空間知モジュール	http://www.sd.tmu.ac.jp/yamaguchi/NEDO_project.html
東大	データ解釈モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID_392
	安全情報提供モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID_395
東北大	作業対象物認識モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID089
	冗長性利用モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID088
	手先拘束下でのマニピュレーション知能モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID090

作業対象コンプライアンス制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4001 (本モジュールを含むシステムとして実現)
非マスタ・スレーブ型双腕協調制御モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4002
特異点解析モジュール	http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID402 (汎用モーションコアの一部機能として実現)
カメラヤコビアン計算モジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID403 (東芝の相対位置決めモジュールに統合)
ビジュアルフィードバックモジュール	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID403 (東芝の相対位置決めモジュールに統合)

移動知能（サービス産業分野）の研究開発

研究発表・講演、文献、特許等の状況

[富士通株式会社]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	Linux 搭載共通基盤画像認識モジュールと 画像認識用RTC の開発	中尾学、沢崎直之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマーク地図とレイアウト地図を併用した移動ロボットの自律走行	陳彬、沢崎直之
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマークとレイアウト地図を用いた移動知能ナビゲーションシステムの開発	○陳彬、中尾学、深貝卓也、沢崎直之
2010年10月22日	IROS2010 Workshop	RT Modules for Visually Controlled Mobile Robot	○中尾学(富士通)、沢崎直之(富士通)、三浦純(豊橋技科大)、小田桐康暁(セック)、中本啓之(セック)、吉海智晃(東大)、稲葉雅幸(東大)
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(1)	○中尾学、深貝卓也、陳彬、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(2)	○陳彬、中尾学、深貝卓也、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(3)	○深貝卓也、中尾学、陳彬、神田真司

(2) 文献

2010年6月	日本ロボット学会学会誌	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他
2010年6月	機関誌ロボット	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他

(3) 特許等

出願番号	出願日	出願人
特許2009-197531	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-197532	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-242759	2009年10月21日	富士通株式会社
特許2011-40712	2011年2月25日	富士通株式会社
特許2011-110740	2011年5月17日	富士通株式会社
特許2011-128549	2011年6月8日	富士通株式会社
特許2011-119676	2011年5月27日	富士通株式会社
特許2011-157099	2011年7月15日	富士通株式会社

(4) その他の公表（プレス発表等）

- ・ 2009年9月12日プレス発表
「世界最高性能！次世代ロボット向け画像処理モジュールの販売開始」
(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2009/0724.html>)
- ・ 2011年9月7日プレス発表
「使いやすさを追求！画像処理装置「ステレオビジョンモジュール」の筐体版販売開始」
(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2011/0907.html>)
- ・ 日経産業新聞 2012年02月14日朝刊
「富士通 自律走行ロボの新ソフト 経路周辺の変化 迷わず位置把握」

[豊橋技術科学大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月7日	2008年ロボティクス・メカトロニクス講演会	屋内環境における移動ロボットによる環境情報要約	○増沢広朗, 三浦 純
2008年10月23日	電子情報通信学会技術報告, PRMU2008	ステレオカメラを用いた移動ロボットのための人物追跡	○佐竹純二, 三浦 純
2008年12月6日	SI2008	移動ロボットによる環境情報要約のための物体の見えのモデル化	○増沢広朗, 三浦 純
2009年3月6日	動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2009)	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	○佐竹純二, 三浦 純
2009年5月12日	Proc. ICRA-2009 Workshop on Person Detection and Tracking	Robust Stereo-Based Person Detection and Tracking for a Person Following Robot	J. Satake and ○J. Miura
2009年5月21日	Proc. 2009 IAPR Conf. on Machine Vision Applications (MVA 2009)	Multi-Person Tracking for a Mobile Robot using Stereo	○J. Satake and J. Miura
2009年5月25日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボット実現のためのオンライン経路計画	○石川裕基, 尹 柱燮, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	局所地図の時系列統合による大域地図の生成	○北島健太, 増沢広朗, 三浦 純, 佐竹純二
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた人物追従ロボットの開発	○増沢広朗, 石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	移動ロボットによる環境情報要約のための効率的な観測計画生成	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	動的環境下での移動ロボット経路計画RTCの開発	○石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ステレオ視による人物発見・追跡RTCの開発	○佐竹純二, 三浦 純
2009年10月14日	Proc. 2009 IEEE/R	Observation Planning for Efficient	H. Masuzawa and

	SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Environment Information Summarization	○J. Miura
2009年12月25日	SI2009	局所地図の時系列統合による大域地図生成手法の信頼性評価	○北島健太, 増沢広朗, 三浦純, 佐竹純二
2010年3月 日	日本機械学会東海支部第59回講演会	移動ロボット経路計画アルゴリズムの開発と多数人物動きシミュレータによる検証	○石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年5月13日	Proc. ICAPS-2010 Workshop on Planning and Scheduling under Uncertainty	Observation Planning with On-line Algorithms and GPU Heuristic Computation	○M. Boussard and J. Miura
2010年5月27日	情報処理学会CVIM研究会	移動ロボット制御のための人物シルエットの重なりを考慮した複数人物追跡	○佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた再利用性を考慮した人物追従システムの構築	○北島健太, 増沢広朗, 石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボットの実現とその実験的評価	○千葉誠哉, 石川裕基, 北島健太, 増沢広朗, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	公共空間での人物動きシミュレーションとロボット経路計画への応用	○重村敦史, 石川裕基, 三浦純, 佐竹純二
2010年7月28日	MIRU2010	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いたステレオビジョン複数人物解析	○佐竹純二, 三浦純
2010年8月26日	Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition	Stereo-Based Multi-Person Tracking Using Overlapping Silhouette Templates	○J. Satake and J. Miura
2010年8月31日	Proc. 11th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems	Development of a Person Following Robot and Its Experimental Evaluation	○J. Miura, J. Satake, M. Chiba, Y. Ishikawa, K. Kitajima, H. Masuzawa
2010年9月7日	Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Multi-sensor Fusion and	A Hierarchical SLAM for Uncertain Range Data	K. Kitajima, H. Masuzawa, ○J. Miura, J. Satake

	Integration for Intelligent Systems		
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	オンライン観測プランナとそのRTC化	○Matthieu Boussard, 三浦 純
2010年10月6日	Proc. 2010 Int. Conf. on Advanced Mechatronics	People Movement Simulation in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	○A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake
2010年10月19日	Proc. 2010 IEEE/R SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Observation Planning for Environment Information Summarization with Deadlines	H. Masuzawa and ○J. Miura
2010年12月24日	SI2010	人物追従ロボットのための視覚人物発見追跡	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	見え情報と距離情報を用いた移動ロボットの地図生成と自己位置推定	北島健太, 三浦 純, ○佐竹純二
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	確率的サンプリングを用いた動的環境における移動ロボットの時空間経路計画	石川裕基, ○三浦純
2011年9月8日	第29回日本ロボット学会学術講演会	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いた人物発見・追跡RTCの改良	○佐竹純二, 三浦 純
2011年9月26日	Proc. IROS-2011 Workshop on Active Perception and Object Search in the Real World	Object Search: A Constrained MDP Approach	○M. Boussard and J. Miura
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	到達時間場を利用したランダム探索に基づく移動ロボットのオンライン経路計画	I. Ardiyanto, ○三浦純
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	人物追従ロボットのためのSIFT特徴に基づく人物識別の改良 ~ 距離に依存した見えモデルの利用	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年11月15日	ロボットシンポジウム名古屋2011	付き添いロボットの研究開発	○三浦 純
2011年11月29日	Proc. 1st Asian Conf. on Pattern Recognition	A Fast Stereo-Based Multi-Person Tracking using an Approximated Likelihood Map for Overlapping Silho	○J. Satake and J. Miura

		uette Templates	
2011年12月8日	Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics	Heuristically Arrival Time Field-Based (HeAT) Random Tree: An Online Path Planning Algorithm for Mobile Robot Considering Kinodynamic Constraints	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2011年12月23日	SI2011	移動ロボットのソフトウェア開発のための屋内環境シミュレータRTC	○重村敦史, 三浦 純
2012年5月発表予定	Proc. 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation	3D Time-space Path Planning Algorithm in Dynamic Environment Utilizing Arrival Time Field and Heuristically Randomized Tree	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアによる双腕ロボットとAGVの協調作業システムの構築	○杉山淳一, 後藤拓喜, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた移動サービスロボット用遠隔運用システム	○河原木政宏, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	視覚を持つ双腕ロボットによる物体操作システムの開発	○近嵐公太, 杉山淳一, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	3次元距離センサとエスパアンテナを用いた特定人物の発見と追跡	○三栖一城, 三浦 純, 佐竹純二

(2) 文献

2010年10月	日本ロボット学会誌	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	増沢広朗, 三浦 純
2010年11月	日本ロボット学会誌	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	佐竹純二, 三浦 純
2012年2月	J. of Robotics and Mechatronics	An RT Component for Simulating People Movement in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake

(3) 特許等 なし

(4) その他の公表 (プレス発表等)

プロジェクトの成果について, 以下の展示を行った.

- 2009年2月11日，名古屋市の愛知県産業貿易館本館で開催された「あいちロボット技術フェスタ」において，局所地図生成モジュールと人発見モジュールを実演展示した．
- 2009年8月22日～28日，浜松市の浜松科学館で開催された「ロボワールド2009」において，RTコンポーネントを利用した地図生成システムを実演展示した．
- 2009年11月25日～28日，2009国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，人物追跡および地図生成のデモンストレーションを行った．
- 2011年11月9日～12日，2011国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，地図生成・行動計画モジュールの紹介と，部品パレタイジングの実機デモンストレーションを行った．
- 2012年1月19日，名古屋市のナゴヤドームで開催された展示会にて，RTコンポーネントを利用した人物追従ロボットを実演展示した．

[セック]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月6日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008におけるポスター発表	移動知能用RTミドルウェアの研究開発	○松本哲也 小田桐康暁 渡邊勇介 中本啓之 長瀬雅之
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	移動知能用RTミドルウェアによるRTC遠隔監視	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	コンポーネント間の効率的なデータ共有を実現するためのデータ共有ポートの開発	○鈴木大資 小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年12月26日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RT System Manager によるシステム起動	○小田桐康暁 鈴木大資 西之原寛 中本啓之
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010におけるポスター発表	IDLを作成せずに使用できるサービスポートの提案	○小田桐康暁 中本啓之
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011におけるポスター発表	RTコンポーネント開発へのテスト駆動開発手法の導入	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	RTコンポーネントを容易に開発するためのフレームワーク	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年7月28日	玉川大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁
2011年11月22日	金沢工業大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁

2011年12月18日	玉川大学において開催されたロボカップ@ホーム キャンプにおける講習会	RTミドルウェアによるロボカップ@ホームのタスクの実現	○小田 桐康暁 中本啓之
-------------	------------------------------------	-----------------------------	-----------------

(2) 文献

なし

(3) 特許等

なし

(4) その他の公表（プレス発表など）

- ・ 2008年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 (ROBOMECH 2008 in NAGANO) にて、3件の論文を発表しました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20080610.html>)
- ・ 2009年11月20日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「「2009 国際ロボット展」にて RT ミドルウェア関連の研究開発成果を展示します」
(<http://www.sec.co.jp/news/20091120.html>)
- ・ 2010年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH 2010 in ASAHIKAWA) にて、5件の論文発表を行います」
(<http://www.sec.co.jp/news/20100610.html>)
- ・ 2011年5月26日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH 2011 in OKAYAMA) にて、2件の論文を発表します」
(<http://www.sec.co.jp/news/20110526.html>)
- ・ 2011年9月12日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「第29回日本ロボット学会学術講演会にて論文発表を行いました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20110912.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」成果報告会に参加しました」
(<http://www.sec.co.jp/news/20120224.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース
「ロボットサイトをオープンしました」

(http://www.sec.co.jp/news/20120224_2.html)

- 2012年2月24日 セックロボットサイトにてプロジェクト成果のダウンロード提供を開始

(<http://www.sec.co.jp/robot/>)

[東京大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	EusLispとRTミドルウェアを用いたプロトタイピングの容易なネットワーク分散型感覚行動統合システムの実現	西野環, ○吉海智晃 中西雄飛, 岡田慧 水内郁夫, 稲葉雅幸
2008年7月24日	IAS-10(知能自律システム国際会議)における口頭発表	Simultaneous Learning and Recalling System for Wholebody Motion of a Humanoid with Soft Sensor Flesh	○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2008年8月22日	MFI2008(マルチセンサフュージョンに関する国際会議)における口頭発表	Development of Whole Body Multisensory Soft Flesh with Vibrotactile and Deep Pressure Sensor for Humanoid Close Interaction	林摩梨花, 石坂唯 ○吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年3月16日	第14回ロボティクス・シンポジウムにおける口頭発表	深部多軸変形感覚のための埋込型柔軟触覚センサシステムの開発と柔軟肉質外装への実装	○門脇明日香, 林摩梨花, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	局所相関演算を用いたカメラ揺動推定に基づくロボット動作時の画像安定化補償の実現	○後藤健文, 吉海智晃, 白山翔太, 植木竜佑, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	柔軟センサ肉質外装と自動復帰可能な関節過負荷保護機構を備えたヒューマノイドの設計と開発	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 植田亮平, 稲葉雅幸
2009年7月1日	First International Symposium on Quality of Life Technologyにおける口頭発表	Solid Model Construction in Daily-Life Environment Using Head-Mounted 3D Multi Sensor	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口	次世代知能化視覚モジュールによる動的視覚機能を備えたヒューマノイドロボットにおける移動知能	○吉海智晃, 矢口裕明, 山本邦彦, 植木竜佑, 後藤健文, 稲

	頭 発 表	の 開 発	葉 雅 幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドヘッドの開発と5眼連携による注視制御の実現	○植木竜佑, 白山翔太, 小島光晴, 後藤健文, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	実時間3次元フロー計算による等身大ヒューマノイド歩行時の揺動評価とそれに基づく自己運動推定RTコンポーネント設計	○後藤健文, 吉海智晃, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2009年10月1日	18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communicationにおける口頭発表	Development of Soft Sensor Exterior Embedded with Multi-axis Deformable Tactile Sensor System	門脇明日香, ○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Design and Development of a Humanoid with Soft 3D-Deformable Sensor Flesh and Automatic Recoverable Mechanical Overload Protection Mechanism	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 後藤健文, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Head-Mounted 3D Multi Sensor System for Modeling in Daily-Life Environment	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを用いた歩行中の頭部3次元運動推定による視覚揺動抑制機能の実現	○後藤健文, 植木竜佑, 小島光晴, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドによる人注意観察機能の実現	○吉海智晃, 植木竜佑, 後藤健文, 小島光晴, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演	視覚による箱状物体検出RTコンポーネントに基づく二次元地図の三次元拡張の実現	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸

	会におけるポスター発表		
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTミドルウェアを用いた車輪型全方位移動ロボット用システムの開発事例	山本邦彦, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月24日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RTミドルウェアによる移動ロボットのためのハイブリッドナビゲーションシステムの構築	○矢口裕明, Isaac Anthony, 山本邦彦, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールを備えた小型ヒューマノイドロボットによる落下物体認識拾い上げ行動の実現	○秋元貴博, Isaac Anthony, 後藤健文, 小林一也, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールによる自己運動・移動物体認識コンポーネントの開発	○後藤健文, 秋元貴博, 小林一也, 矢口裕明, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己／他者運動分離認識RTCを用いたヒューマノイドの近傍移動物体軌跡推定・追従行動の実現	○秋元貴博, 後藤健文, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	案内ロボットの実現におけるRTコンポーネントの再利用性に着目したシステム構成法	山本邦彦, Anthony Isaac, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	移動ロボットの自己位置推定のための画像ランドマークデータベース構築手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロ	Enhancing Localization Using Ran	○Youssef Ktiri,

	ボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	dom Ferns Based Vision and Multi-Robot Collaboration	吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTMEXTender: OpenRTM開発支援ツール	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己/他者運動分離認識RTCを用いた ヒューマノイドによる空中ブランコ行動の実現	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	Depth-based Scope Switching and Image Skeletonization for Gesture Recognition	○Anthony Isaac, 吉海智晃, 矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年6月23日	15th International Conference on Advanced Roboticsにおける口頭発表	Achievement of Trapeze Motion for Humanoid Robots Based on Realtime Ego-Motion / Moving Objects' Motions Recognition Algorithm	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年9月7日	第28回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	頭部装着型全方位ステレオカメラによる人間行動観察システム	○矢口裕明, 小島光晴, Anthony Issac, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月8日	2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimeticsにおける口頭発表	Motion Generation for Human-Robot Collaborative Pick and Place based on Non-obstructing Strategy	○花井亮, 大矢良輔, 伊沢多聞, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	An Actively Altruistic Mobile Robot System for Identifying Someone Who Looks Lost Using Head Pose Tracking	○Anthony Isaac, 矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE	Multi-Robot Exploration Framew	○Youssef Ktiri,

	International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	ork Using Robot Vision and Laser Range Data	吉海智晃
2011年12月23日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	マルチヒューマノイド協調神輿動作における実時間揺れ補正システム	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	シーン認識の為に画像からの特徴構造発見手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュール・頭部LRF統合RTC群による歩行動作中の実時間自己位置推定の実現	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸

(2) 文献

2012年刊行予定 (採択済み)	Journal of Robotics and Mechatronics	RTMEXTender: Developer Support Tool for OpenRTM	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
------------------	--------------------------------------	---	------------------------

(3) 特許等

出願番号	公開番号	出願日	出願人
特許出願2009-149868	特許公開2011-7557	2009年6月24日	国立大学法人 東京大学

(4) その他の公表 (プレス発表等)

- ・朝日新聞 2009年1月12日朝刊「やわらかロボットへの試み」
- ・国際ロボット展 NEDO ブースにおける, 等身大ヒューマノイド揺れ補償検証ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型5眼ヘッドによる人発見注視行動の実機デモンストレーション発表(2009/11/25-28)

・国際ロボット展 NEDO ブースにおける，等身大二足歩行ヒューマノイドによる自律移動行動実験ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型小型ヒューマノイドおよびヘッドマウント型デバイスによる 3次元運動分離認識機能の実機デモンストレーション発表(2011/11/9-12)

[奈良先端科学技術大学院大学, 筑波大, 大阪電通大]

(1) 研究発表・講演 (口頭発表も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5-7日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集 (ROBOMECH2008)	マニピュレータが協調作業を行うための RT ミドルウェアによるシステムの構成論 - インパクト・マニピュレーションを用いたデスクトップ組立てシステムの構築 -,	佐藤和輝, 富田信悟, 相山康道
2008年7月29-31日	第11回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008)	ステレオ視差パターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川 景介, 福井 和広
2008年9月9-11日	第26回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2008)	移動ベクトルによる屋外ビューシーケンスナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2008年12月5-7日	第9回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2008)	SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発	渡部努, 相山康道
2009年1月12日	電子情報通信学会 研究会 PRMU	ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川景介, 福井和広
2009年3月16-17日	第14回ロボティクスシンポジウム	屋内外環境のためのビューシーケンスナビゲーションの拡張	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	RT コンポーネント間の柔軟なデータ通信支援ツール	末永剛, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司

	(ROBOMECH2009)		
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	マルチスレッドに対応した動作計画コンポーネント	近藤豊, 怡土順一, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	RTミドルウェアを用いた汎用的なマニピュレータシステムの構成の検討	渡部努, 相山康道
2009年6月10-12日	第15回画像センシングシンポジウム (SSII2009)	頭部モデルを考慮したパーティクルフィルタによる瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年8月31日-9月1日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No.182, PRMU2009-61, pp.7-12	ベクトル長を考慮した相互部分空間法に基づく動作認識	児玉吉晃, 福井和広
2009年9月	日本ロボット学会誌, Vol.27, No.7 pp.768-773	ビューシーケンスに基づく照明変化に頑健な屋内外ナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	即域センサ搭載型ロボットのための汎用三次元環境地図の利用	竹村憲太郎, 荒木天外, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	移動・作業知能のための視覚に基づくロバストな知能モジュール群の開発～位置推定と再利用へ向けた通信支援～	末永剛, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年10月11-15日	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent	View-Sequence Based Indoor/Outdoor Navigation	Yoichiro Yamagi, Junichi Ido, Kentaro Takemura,

	Robots and Systems (IROS2009)	Robust to Illumination Changes	Yoshio Matsumoto, Jun Takamatsu, Tsukasa Ogasawara
2009年11月7-8日	Proc. of the 8th IEEE Int. Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games	On the Repeatability of Octree-Based Rheology Mass-Spring-Damper Model	Hiroshi Noborio
2009年12月17日-18日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No. 344, PRMU2009-136, pp. 13-18	眼球の位置と姿勢を考慮した顔向き変化に頑健な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	共有メモリを用いたRTコンポーネント間の大容量データ通信	渡部努, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	3DCADモデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発	引頭一樹, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	頭部姿勢を考慮したパーティクルフィルタによる高精度な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2010年1月	日本ロボット学会誌, Vol28, No. 1, pp. 106-111	汎用三次元環境地図を用いた移動ロボットナビゲーションのための地図生成	荒木天外, 竹村憲太郎, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2010年3月10~	日本機械学会関東	多様な協調システ	長瀬和行, 相山

11日	支部第16期総会 講演会	ムのためのロボッ ト用ミドルウェア における作業座標 系統一機能の提案	康道
2010年6月	日本ロボット学会 学会誌, Vol. 28, No. 05, pp. 37-38,	国際ロボット展 2009 移動・作業知 能のための視覚に 基づくロバストな 知能モジュール群 の開発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月	日本ロボット工業 会機関誌ロボッ ト, No. 195, pp. 36-39	移動・作業知能の ための視覚に基づ くロバストな知能 モジュール群の開 発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010)	RTミドルウェアを 用いた汎用移動コ ンポーネント群設 計の検討	日永田 佑介, 竹 村 憲太郎, 伊藤 晃大, 桑原 潤一 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010)	RTミドルウェアを 利用した異種ロボ ット間での位置情 報共有	桑原 潤一郎, 伊 藤 晃大, 日永田 佑介, 竹村 憲太 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年7月27-29 日	第13回画像の認 識・理解シンポジ ウム (MIRU2010)	混合相互部分空間 法の提案とその顔 画像識別への応用	秋廣 直紀, 福井 和広
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	RTミドルウェアに 基づく買い物支援 サービスロボット	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	ユニバーサルマッ プを利用した異種 ロボットにおける 位置情報共有	桑原 潤一郎, 竹 村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小 笠原 司
2010年10月4-6 日	International Conference on Advanced Mecha tronics 2010	Data Communicat ion Support fo r Reusability of RT-Component	Tsuyoshi Suena ga, Kentaro Ta kemura, Jun Ta kamatsu and Ts

		s - Converter Classification and Prototype Supporting Tool	ukasa Ogasawara
2010年11月9日	The 3rd International Workshop on Subspace Methods	Compound Mutual Subspace Method for 3D object recognition: A theoretical extension of Mutual Subspace Method	Naoki Akihiro, Kazuhiro Fukui
2010年11月8-12日	The Tenth Asian Conference on Computer Vision	3D Object Recognition Based on Canonical Angles between Shape Subspaces	Yosuke Igarashi, Kazuhiro Fukui
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	移動ロボットのネットワーク化と制御用RTコンポーネント	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	時空間RRTに基づく移動ロボットナビゲーション用RTコンポーネント群の開発	金谷境一, 升谷保博
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	視覚からの仮想反力を用いたインピーダンス制御による把持目標への手先アプローチ手法	長瀬和行, 相山康道, 木村真也
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	未知環境下での手探り動作による把持目標への手先アプローチ手法	木村真也, 相山康道, 長瀬和行
2011年7月	電子情報通信学会論文誌D, Vol. J94-D, No. 7,	形状空間の幾何学的な関係に基づく三次元物体認識	五十嵐洋介, 福井和広

	pp. 1125-1134		
2011年8月	電子情報通信学会論文D, J94-D, No. 8, pp. 1240-1247	混合相互部分空間法の提案とその顔画像識別への応用	秋廣直紀, 福井和広
2011年9月5日	電子情報通信学会PRMU研究会PRMU2011-69	Local Binary Patternの隣接関係に基づく照明変動に頑健な特徴抽出	野坂龍佑, 大川泰弘, 福井和広
2011年9月7-9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	RTミドルウェアを利用した異種ロボット間での粒子群最適化を用いた相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2011年11月20-23日	The Fifth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2011)	Feature Extraction Based on Co-occurrence of Adjacent Local Binary Patterns	Nosaka Ryusuke, Yasuhiro Ohkawa, Kazuhiro Fukui
2011年12月20-22日	IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (SII2011)	Collision Avoidance of Two Manipulators Using RT-Middleware	Jianing Zhou, Kazuyuki Nagase, Shinya Kimura and Yasumichi Aiyama
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4	G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	再利用可能なRTミドルウェアコンポーネントを利用した異種ロボット間での相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2012年2月	Journal of Robotics and	Data Communication	Tsuyoshi Suenaga,

	Mechatronics	Support for Reusability of RT-Components - Converter Classification and Prototype Supporting Tool -	Kentaro Takemura, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara
--	--------------	---	--

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標 題	出願人
2009年10月16日	特願2009-239548	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学
2009年11月17日	PCT/JP2009/069465	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

(3) 受賞実績

- RT ミドルウェアコンテスト 2008 「奨励賞(トヨタ自動車賞)」 「奨励賞(安川電機賞)」
渡部, 相山: “SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発,” SI2008, 1L4-2, 2008. 12. (受賞)
- RT ミドルウェアコンテスト 2009 「奨励賞 (安川電機賞)」
引頭, 相山: “3DCAD モデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発”, SI2009, 1A3-5, 2009. 12.
- H20 年度電子情報通信学会 PRMU 研究会 「[研究奨励賞](#)」
北川景介, 福井和広: “ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚”, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 108, No. 374, PRMU2008-201, pp. 71-76, 2009.
- RT ミドルウェアコンテスト 2010 「奨励賞(世界一軽い RT コンポーネント賞), 奨励賞 (NTT データを変える力を, とともに生み出す賞)」
桑原 潤一郎, 竹村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司: “移動ロボットのネットワーク化と制御用 RT コンポーネント”
- RT ミドルウェアコンテスト 2011 「奨励賞(グローバルスタンダード賞)」
G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司: “RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4”

3. その他特記事項 (当該年度分についてのみ記載)

(1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年7月～9月
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 講義プロジェクト実習「RTミドルウェアを用いたロボットプログラミング」を実施.
- 2009年10月
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 2009年10月8日
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師:大阪大学大原助教)
- 2009年11月25～28日
2009国際ロボット展 新エネルギー・産業技術総合開発機構ブースにてステージデモおよびブース展示.
- 2009年12月
書籍「UMLとRTミドルウェアによるモデルベースロボットシステム開発」を出版. (大阪大学大原助教著)
- 2009年12月3日
日本ロボット学会関西ロボット系若手研究者ネットワーク研究専門委員会主催の第2回研究会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師:大阪大学田窪助教, 大原助教)
- 2010年3月15～16日
第15回ロボティクスシンポジウム(実行委員長:奈良先端大小笠原司教授)にて, プレシンポジウム「RTミドルウェア技術ワークショップ(ユーザ情報交換のためのBOFミーティング)」およびオーバーナイトセッション「ロボットミドルウェアを語ろう!」を開催.
- 2010年11月29日
第2回和歌山大学産学官交流会『ロボット関連技術プレゼンテーション会』において「生活支援ロボット開発に向けた取り組み」というタイトルで和歌山の企業の経営者、技術者、従業員の方を対象にして, RTミドルウェアを用いたロボット開発について研究紹介を行った.

(2) その他

- 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 国際ロボット展にて, フジテレビ「めざましテレビ」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 読売テレビ「未来探Q学園」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 開発したサービスシステム全体の詳細な説明と全てのモジュールを奈良先端科学技術大学院大学ロボティクス研究室のWebサイト ([http://robotics.naist.jp/nedo¥_ project/](http://robotics.naist.jp/nedo¥_project/))にて公開

[大阪大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008/7/	画像の認識・理解シンポジウム	階層物体モデルを用いた特定部位の検出	高橋英泰, 前泰志, 田窪朋仁, 新井健生
2008/9	第26回日本ロボット学会学術講演会	階層物体モデルを用いた特定部位の空間探索	高橋英泰, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	ロバストな物体姿勢推定コンポーネントの開発	高橋英泰, 崔宰溢, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Constructing a RT-component for GPU-based SIFT Feature Extraction	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Multi-Surfaces SIFT Matching by Stereo Vision	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2009/10	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IRS2009)	Interoperable RT Component for Object Detection and 3D Pose Estimation for Service Robots	Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Layered Structure on Module-Based Robot Control System for Service Robots	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Jaeil Choi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Implementation and Evaluation of the Scale-Invariant Feature Transform on GPU	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai

2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Object Pose Estimation by Multi-Surfaces SIFT Matching for Manipulation	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2010/09	第28回日本ロボット学会学術講演会	RTコンポーネントによるWeb画像ベース物体認識システム	前泰志, 岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生,
2010/10	Proceedings of The 5th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2010)	SysML-Based Robot System Design for Manipulation Tasks	Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai
2011/01	Journal of Intelligent Service Robotics	Component-based robot system design for grasping tasks	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2011/04	Mechatronics	Interoperable vision component for object detection and 3D pose estimation for modularized robot control	Yasushi Mae, Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai:
2011/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	作業移動ロボットの再利用性を考慮に入れたコンポーネント構造の検討	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生
2011/09	第29回日本ロボット学会学術講演会	共通カメラインタフェースの提案	大原賢一, 川端聡, 河井良浩
2011/11	The 8th	Component-based	Kenichi Ohara, Kyohe

	International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence	Robot Software Design for Pick-and-Place Task Described by SysML	iIwane, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai
2011/12	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	音声認識による物体認識システムの開発	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人

(3) 受賞実績

- ・RT ミドルウェアコンテスト 2011「奨励賞(システムインテグレーション賞)」, 「奨励賞(やっぱ, カメラたくさんで賞 part2)」
岩根享平, 吉永悠一郎, 大原賢一, 前泰志, 新井健生, ”音声認識による物体認識システム”

3. その他特記事項

(1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年10月に日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会において RT ミドルウェア講習会を開催し, 大阪大学大原助教が講師を努め, RT ミドルウェアでのモジュール作成方法について講演を通して, モジュール創出につながる基盤技術に関わる普及活動を行った.
- 2011年10月13日~14日産業技術総合研究所オープンラボ 2011にて, 共通カメラインタフェース対応のコンポーネントについて展示
- 2011年11月9日~12日, 国際ロボット展 2011において, リファレンスハードウェアによる物体把持システムおよび組み込みRTM学習用ロボットアームを展示
- 2012年1月13日に画像応用技術専門委員会2011年度第5回研究会にて, 「RTミドルウェアの画像処理応用への展望」というタイトルで大阪大学大原助教が講演.

[東京理科大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年3月 12-13日	Proceedings of Tokyo University of Science – Northwestern Polytechnical University 2008 International University Exchange Seminar	Person Following Mobile Robot Based on Distance and Color Information	Hiroshi Takemura
2008年12月5-7 日	第9回計測自動制御学会（SICE）システムインテグレーション部門講演会(SI2008)	屋内外実環境における移動ロボットの為の対人追従モジュールの開発	根本 善太郎, 三ツ橋 晋洋, 竹村裕, 溝口 博
2009年3月6日	日本機械学会関東支部 第48回学生員卒業研究発表講演会	ロボット視覚プログラムを変更不要で実環境に適用可能とする視覚的再現性のある仮想環境の構築	羽根 青玄, 竹村 裕, 溝口 博
2009年5月 24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 (ROBOMECH2009)	RTミドルウェアを用いた屋内外実環境における対人追従モジュール	藤原 交重起, 根本 善太郎, 竹村裕, 溝口 博,
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009),	Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment	Hiroshi Takemura, Nemoto Zentarou, Hiroshi Mizoguchi
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	Visually Realistic Environment for Safety Development of Vision-based Robot	Seigen Hane, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi,

	(ROBIO2009),	-Making Vision Program Applicable to Real Environment without Modification-	
2009年12月 24-26日	第10回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会(SI2009)	外界センサベースロボットの实機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境",	羽根 青玄, 根本 善太郎, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	ロボットのための照度変化に頑健な発見・追跡技術の定量的評価 ～暗いところでも見失わない～	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	店舗から駐車場まで往復可能な買い物カートを目指した移動ロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	照度変化に頑健なロボット用発見・追跡視覚機能の実現に向けた定量的評価手法の提案	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	駐車場から店舗まで戻ってこられる買い物カートロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	SpatioGrams と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法	多田 和樹, 竹村 裕, 溝口 博

2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010).	LRFを用いた追従対象の速度ベクトル推定	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月4-7日	Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2010)	Quantitative Evaluation of Robust Visual Detector and Tracker Using Color Information under Illumination Change	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Quantitative Evaluation of Robust Detecting and Tracking Methods under Illumination Changes Using Color Stereo Camera	Yuta Kimura Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Study of Functions for Robot Returned from Parking to Store Autonomously	Ryoma Arai, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	Robust Tracking Method by Mean-Shift using Spatiograms	Kazuki Tada, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2010年10月 10-13日	2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	Quantitative Evaluation Methods of Robust Detecting and Tracking	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi

	(SMC2010),	with Color Camera under Illumination Changes	
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従	内田 頼望也, 荒井 亮磨, 木村 祐太, 奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	LRFを用いた移動ロボットのための対人並走に関する研究	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	HLACとHOGとの連携による頑健な人物検出	森田 美帆, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	対象人物数が増えなくても処理時間変動がないHLAC利人物検出システム	北野 裕介, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	速い動きにも耐えられるロボット視覚に向けた定量的評価	木村 祐太, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011	構内環境で動的障害物への衝突回避が可能な自律移動ロボットの研究	荒井 亮磨, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年7月3-7日	Proceedings of the 2011 IEEE/ASME International Conference on	Constant execution time multiple human detector regardless of	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi

	Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011),	target number increase based on HLAC	Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Human Detection Method Based on Feature Co-occurrence of HLAC and HOG"	Miho Morita, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Quantitative Evaluations of Stable and Adaptive Tracking using The Updating HS-histogram Method	Yuta Kimura, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Constant execution time multiple human detectors regardless of target number increase based on CHLAC	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Mobile Robot System Realizing Autonomous Locomotion -- Combination of Person Following and Autonomous Returning --	Ryoma Arai, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2012年3月25日	日本機械学会論文集C編 Vol. 78 (2012), No. 787 pp.799-811	SpatioGrams を用いた平均値シフトと確率的予測による頑健な物体追跡手法	多田 和樹, 丁明, 竹村 裕, 溝口 博

(2) 特許等

(該当なし)

(3) 受賞実績

- ・「SI2009 優秀講演賞」
羽根，根本，竹村，溝口：“外界センサベースロボットの実機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境”，SI2009，2D2，2009.12.
- ・「SI2010 優秀講演賞」
内田，荒井，木村，奥村，竹村，溝口：“次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従”，SI2010，1B2-5，2010.12.
- ・「日本機械学会若手優秀講演フェロー賞」（2011年5月受賞）
多田，竹村，溝口：“Spatiograms と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法”
ROBOMECH2010，2A2-F12，2010.6.

3. その他特記事項（当該年度分についてのみ記載）

(該当なし)

オフィスビル移動ロボットの知能化

※非公開版に掲載

移動ロボット用基本知能モジュール化

【実施者:筑波大学、富士ソフト(株)】

特許等の取得

国内出願・国外出願

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
平成22年3月30日	特願2010-078912	ロボットのプログラム及び情報処理装置のプログラム	筑波大学、富士ソフト

成果の普及

成果の一部のモジュールに関しては筑波大学の知能ロボット研究室にて研究者(40名程度)に利用され、フィードバックを得ている。

顧客80社程度に案内ロボットのデモを実施し、引き合いもあり、顧客からの評価依頼等もきている。

期間中には「つくばチャレンジ」等で一部モジュールを利用したいという教育機関には、モジュールの提供や情報提供等も積極的に実施した。

また現状の成果内容に関してはWEBにてドキュメントを公開している。(図3.4.3.1.10)



図 3.4.3.1.10 成果公開 WEB

成果の普及活動については、下記の学術講演会において口頭発表やポスターセッションでの発表を行い、研究成果の発表を積極的に行った。また、公の大会である「つくばチャレンジ」に出場し、本プロジェクトの成果であることを明示して、つくば市の遊歩道を走行した。

また、筑波大学は、OMG における移動ロボットの位置情報標準化に関する議論に積極的に参加している。

学会発表、論文、展示会、プレス発表等

(a)学会等の公開状況

研究成果に関しては、以下の学会等にて発表を実施した。

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年9月9日	第26回日本ロボット学会学術講演会	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト	油田 信一
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会	富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジへの取り組み	石田 卓也
2009年1月10日	つくばチャレンジシンポジウム	つくばチャレンジ2008 富士ソフト・筑波大学ジョイントチーム	岡村 公望、他
2009年5月26日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2009	自律移動ロボットのための実用ソフトウェア開発について(つくばチャレンジでの有効性検証)	石田 卓也、他
2009年9月15日	2009 日本機械学会 茨城講演会	移動ロボットの汎用基本ソフトウェアモジュールの開発ー大域的自己位置推定モジュールの実装と評価ー	山田 大地
2009年9月15日	第27回日本ロボット学会学術講演会	再利用性を考慮した移動ロボット用ソフトウェアモジュールの開発ー大域的自己位置推定機能の実現ー	山田 大地
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	再利用性を考慮した移動ロボット用ソフトウェアモジュールの開発ー目的地までの指定経路走行に適した障害物回避手法ー	石田 卓也
2009年9月17日	第27回日本ロボット学会学術講演会	移動ロボット用基本知能のモジュール化 ～開発モジュールの紹介とRTC化への取り組み～	岡村 公望
2009年12月24日	第10回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会	第10回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	石田 卓也
2010年1月9日	つくばチャレンジシンポジウム	つくばチャレンジ2009 富士ソフト・筑波大学ジョイントチーム	石田 卓也
2010年2月16日	つくば産産学連携促進市in アキバ	つくばチャレンジ等の屋外評価に関する成果を公開	岡村 公望、他
2010年12月23日	第11回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会	富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジ2010への取組み	山田 大地
2011年1月8日	つくばチャレンジシンポジウム	つくばチャレンジ2010 富士ソフト・筑波大学ジョイントチーム	山田 大地
2012年1月7日	つくばチャレンジシンポジウム	つくばチャレンジ2010 富士ソフト・筑波大学ジョイントチーム	山田 大地

(b)プレス報道

- ・自律移動ロボット事業に関する記事 日刊工業新聞 2009.2.10
- ・ロボット事業参入に関する記事 神奈川新聞 2009.2.11

(c)論文の掲載

つくばチャレンジ 2009 への取り組み [富士ソフト・筑波大学チーム]. 岡村公望, 石田卓也, 大矢晃久. 「計測と制御」第49巻, 第9号, 604~607 (2010)

(d)つくばチャレンジにおいては完走したことにより2度にわたり、つくば市長賞を受けた。

(図 3.4.3.1.11)



図 3.4.3.1.11 つくばチャレンジ結果よりつくば市長賞を受ける

補足 1. オープンソース

開発してきたものの中で自律移動の基本的な部分はオープンソースとした。

以下の表に示す。

項番	モジュール名	カテゴリ	概要
1.	自己位置管理 C	自己位置認識のためのコンポーネント	オドメトリを基に算出した推定自己位置、外界センサによる自己位置補正情報を基に自己位置を管理する。
2.	測域センサデータと地環境図による自己位置補正 C		予め用意した環境地図と外界センサの補正情報を基に自己位置補正情報を生成する
3.	環境地図管理 C	地図生成・管理のためのコンポーネント	環境地図の管理を行う
4.	障害物監視 C	障害物認識のためのコンポーネント	予定走行軌跡上の障害物の監視を行う
5.	経路地図管理 C	経路計画のためのコンポーネント	経路地図の管理を行う
6.	経路計画 C		経路地図より現在位置と目的地を基に最適な経路を算出する
7.	動作管理 C	移動制御のためのコンポーネント	動作計画を管理し、適切な地点での走行指示を発行する
8.	走行制御 C		走行指示を基に現在の状態で最適な走行制御を行う
9.	統括 C	その他のコンポーネント	ロボットの動作目的に対してそれを実現するためのシステムの統合管理をおこなう(障害物回避等の機能を必要に応じて持つ)

移動知能（社会・生活分野）の研究開発

本プロジェクトで開発した技術は、移動知能ロボット用ソフトウェアをオープンソースの形で公開や、市販の研究用プラットフォームに添付させるなど普及促進を実施し、移動知能ロボットの研究開発促進に寄与していると考えている。また、移動知能ロボット用ソフトウェアは、他の複数の研究機関と共にインターフェースの共有化（共有 IF）を図り、再利用性を向上させた。策定された共有 IF は、知能化プロジェクト内外の研究機関や民間企業により採用され、ここでも研究開発に広く寄与するものとする。

さらに、RTC フレームワークにより PC レイヤと組込みレイヤのモジュールがシームレスに連携し知能ロボットを簡便に構築可能な RT ミドルウェア対応組込みプラットフォーム群を開発し、提案フレームワークは、国際標準化団体において国際標準として規格化されるなど、特筆した成果をあげている。

本プロジェクトで開発した技術および研究に関連して、下記の賞を受賞した。

1. SICE SI2008 RTミドルウェアコンテスト(2008.12) 参加, 奨励賞(産総研賞)受賞
2. SICE SI2008 優秀講演賞「清水正晴, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, ” Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化”, 第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008), pp.881-882, 12月5日 -7日, 岐阜, 2008」
3. SICE SI2008 優秀講演賞「田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTコンポーネントのプラグアンドプレイ化に関する研究, RTC-CANopenのためのシステム設計ツール”, 第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008), pp.677-678, 12月5日 -7日, 岐阜, 2008」
4. RoboCup2009 ジャパンオープン(2009.5) 京都大学・電気通信大学: レスキュー実機リーグ 優勝
5. RoboCup2009 世界大会(2009.7) 京都大学・電気通信大学: レスキュー実機リーグ 総合 4 位, モビリティチャレンジ 3 位
6. RSJ/SICE/JSME 第15回ロボティクスシンポジウム優秀論文賞「田中 基雅, 藤田恒彦, 鷹栖堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTC-CANopenの研究開発”, 第15回ロボティクスシンポジウム, pp20-26, 3月15日-16日, 吉野, 2009」
7. SICE SI2009 優秀講演賞「清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 五十嵐広希, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用RTコンポーネントの共通インターフェース 一次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動1サブWG 活動報告(第2報)”, 第10回システムインテグレーション部門講演会(SI2009), pp.1453-1456, 12月24日 -26日, 東京, 2009」
8. SICE SI2009 優秀講演賞「田中基雅, 水川真, 安藤吉伸, “RTC-CANopenにおけるプラグアンドプレイシステム”, 第10回システムインテグレーション部門講演会(SI2009), pp.1457-1460, 12月24日 -26日, 東京, 2009」
9. 2009年11月 東北大学 田所研究室 つくばチャレンジ完走. つくば市長賞を受賞.
10. 2009年8月 SI2008優秀講演賞「自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第8報:安全な長距離自律移動を目的とした 能動的センシングシステム, SI2008」に対して

- 11.2010年3月 SI2009 優秀講演章：「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第14報：屋外自律移動システムの RT-Middleware による分散処理」に対して。
- 12.2010年3月 ROBOMECH2009 ベストプレゼンテーション表彰 「自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定手法」に対して。
- 13.Thailand Rescue Robot Championship 2010(2010.12) 京都大学・電気通信大学： the BEST AUTONOMOUS
- 14.RoboCup2010 ジャパンオープン(2010.5) 京都大学・電気通信大学：計測自動制御学会学会賞
- 15.2011年9月 第15回ロボティクスシンポジウムで発表した下記の論文に対してロボット学会研究奨励賞 受賞：竹内 栄二郎, 大野和則, 田所諭, “3次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定”, 第15回ロボティクスシンポジウム(3A1), 2010.

3.4.4.2 特許等の取得

下記の特許を出願した。

出願番号	出願日	発明の名称	発明者
特願 2010-073386	2010-03-26	経路設定装置, 経路設定方法, 及びプログラム	NEC ソフト

3.4.4.3 成果の普及

Table. 1に示すような論文発表などを行うことにより, 成果の技術的・学術的な普及を行い, 展示・デモ, 一般講演会, メディア等での発表を精力的に行い, 本研究結果が, 技術者・研究者だけでなく, 国内外のユーザーや一般市民にも広く知られるようになった。

Table. 1 論文発表, 展示・デモ, 一般講演会, メディア等の件数

	論文 (査読つき)	海外研究発表	解説	一般講演会	メディア 記事	展示・デモ
平成19年度	0	0	0	0	4	0
平成20年度	0	1	0	38	7	1
平成21年度	1	1	0	31	25	6
平成22年度	3	4	6	45	8	0
平成23年度	3	7	0	18	9	2
合計	7	13	6	132	53	9

(1) 査読付き論文

- 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, “予測時刻間の障害物回避を考慮したモデル予測制御に基づく軌道計画法”, 計測自動制御学会誌, 第45巻8号, pp.406-413, 2009
- 後藤 清宏, 根和幸, 松野文俊, “速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”, 日本ロボット学会学会誌, 第28巻8号, pp.930-937, 2010
- 清水 正晴, 戸田 健吾, 林原 靖男, 大和 秀彰, 古田 貴之, “Linux 標準機能を利用した RT

ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化 - ハプティックジョイスティックによる全方位移動電動車椅子操縦システムへの適用-” , 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 1, pp. 16-23, 2010.

4. Masaharu Shimizu, Nobuyuki Kita, Toshihisa Saito, Eijiro Takeuchi, Yusuke Nakajima, Naohito Takegawa, Hiroki Igarashi, Yasuo Hayashibara, Hideaki Yamato, Kengo Toda, Takayuki Furuta, and Makoto Mizukawa, “The Joint Interface of RT-Componets for Mobile Robots: The Activity Report Inform the Mobile Robot Working Group of the NEDO Intelligent RT Software Project,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.6, PP.767-776, 2010
5. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, “三次元地形情報およびGPSを用いたパーティクルフィルタによるマルチパスを考慮した自己位置推定”, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.8, pp.42-49, 2011.
6. 竹内栄二郎, 山崎将志, 田中一志, 大野和則, 田所諭, ”複数の外界センサを用いた位置推定モジュール群による屋外環境における位置推定”, 日本ロボット学会誌 Vol.30, No.3, 2012
7. Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno, “Path planning for an autonomous mobile robot considering a region with a velocity constraint in a real environment”, ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS, Vol. 16, No.4, pp. 514-518, 2012

(2) 海外研究発表

1. Hiroki Igarashi, Toshihisa Saito, Takaya Kinjyo and Fumitoshi Matsuno, "Development of an autonomous inverted pendulum mobile robot for outdoor environment", Proc. SICE Annual Conference 2008, pp.2282-2285, August, 2008
2. Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi Matsuno, “Trajectory Generation based on Model Predictive Control with Obstacle Avoidance between Prediction Time Steps, SYROCO, F3B3, September, 2009
3. E. Takeuchi, K. Ohno and S. Tadokoro, ”Autonomous Navigation in Crowded Environments over the Seasons using Free-space Observation Model of Laser Scanner”, The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2010), 2010.11.
4. E. Takeuchi, K. Ohno and S. Tadokoro, “Robust Localization Method based on Free-space Observation Model using 3D-Map”, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2010), 2010.12.
5. Kiyohiro Goto, Kazukuki Kon and Fumitoshi Matsuno, “Motion Planning of an Autonomous Mobile Robot Considering Regions with Velocity Constraint” , Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), Taipei, pp.3269-3274, 2010
6. Noritaka Sato, Takahiro Inagaki and Fumitoshi Matsuno, “Teleoperation System Using Past Image Records Considering Moving Objects” , Proc. of The eighth IEEE Int. Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2010), July, 2010
7. M.Azizi A. Rahman; Akira Yasuda; Makoto Mizukawa, MODEL-BASED DESIGN FOR SERVICE ROBOT SYSTEM DEVELOPMENT: A CONTRIBUTION TO SOCIETY, Intensive Workshop of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, pp39-42, 2011.2
8. M.Azizi A. Rahman; Akira Yasuda; Makoto Mizukawa, MODEL-BASED DESIGN FOR SERVICE

- ROBOT SYSTEM DEVELOPMENT: A PROPOSAL OF GENERAL DESIGN, Proceedings of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium,pp379-384, 2011.2
9. Makoto Mizukawa; Tsunehiko Fujita; Yusuke Zama, ROBOT TECHNOLOGY(RT)MIDDLEWARE EXPANSION TO EMBEDDED SYSTEMS AND NATIVE BUSES, Proceedings of The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium,pp375-378, 2011.2
 10. Eijiro Takeuchi, Masashi Yamazaki, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro “GPS Measurement Model with Satellite Visibility using 3D Map for Particle Filter”, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),2011.
 11. Tae Hyon Kim, Kiyohiro Goto, Hiroki Igarashi, Kazuyuki Kon, Noritaka Sato and Fumitoshi Matsuno: Path planning of an autonomous mobile robot considering region with velocity constraint in real environment, Proc. of The Sixteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2011 (AROB 16th'11),pp. 842-845, Beppu, Jan, Japan
 12. Noritaka Sato, Kazuyuki Kon and Fumitoshi Matsuno, “Navigation Interface for Multiple Autonomous Mobile Robots with Grouping Function” , Proc. of The eighth IEEE Int. Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2011), Nov., 2011
 13. Hayato Shin, Kazuyuki Kon, Hiroki Igarashi, Yuichi Anbe, TaeHyon Kim, Sohei Hanamoto, Ryuta Yamasaki, Satoshi Toyoshima, Noritaka Sato, Tetsushi Kamegawa and Fumitoshi Matsuno, “Hardware-Software Integration of a Practical Mobile Robot Platform” , 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, F4-1, 2011

(3) 解説

1. 水川 真,古田 貴之,清水 正晴[他], “搭乗用移動知能及びその構築を簡便にするモジュール群の開発について (特集 NEDO プロジェクトの開発推進状況の報告)”, PP. 40-44, ロボット (195), 2010-07.
2. 清水 正晴, ”共通で使える知能ロボット用のソフトウェア部品を創る”, TRONWARE, Vol. 126, pp. 56-57, 2010.
3. 清水 正晴, 喜多 伸之, 齋藤 俊久, 竹内 栄二郎, 中島 裕介, 武川 直史, 五十嵐 広希, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, 水川 真, ”国際ロボット展 2009 移動ロボット用 RTC の共通インターフェース策定活動”, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 5, pp.33-34, 2010.
4. 五十嵐広希, 齋藤俊久, 竹内栄二郎,前田弘文,佐藤徳孝, 秋元 大,田所諭,高森 年,松野文俊, : “搭乗型モビリティロボット用ソフトウェアの開発進捗状況の報告”,日本ロボット工業会,ロボット 195 号,2010.
5. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭: “季節の変化や人ごみにロボスタな自己位置推定による屋外公道の自律移動”, 計測自動制御学会, 計測と制御 Vol49,No.9, 2010.
6. 竹内 栄二郎, “3次元環境地図と移動ロボット技術”日本測量協会,測量 5月号,2010.

(4) 国内研究発表

< 2008 年度 >

1. 水川 真ほか, 屋外自律移動ロボットの機能要素コンポーネントの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E03, 2008. 6
2. 水川 真ほか, RT コンポーネントのプラグアンドプレイシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E06, 2008. 6
3. 水川 真ほか, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E11, 2008. 6
4. 水川 真ほか, DFIT 方式の提案と RT コンポーネント化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E19, 2008. 6
5. 水川 真ほか, 物理エージェントロボット搭載バッテリーのマネジメントに関する研究 バッテリー容量計測監視システムの検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E20, 2008. 6
6. 水川 真ほか, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムの構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 1P1-E21, 2008. 6
7. 水川 真ほか, つくばチャレンジ -実世界で働くロボットを目指して- 2007年度の記録と2008年度の計画, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-C03, 2008. 6
8. 水川 真ほか, 歩道における自律移動ロボットの移動に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-C20, 2008. 6
9. 水川 真ほか, GPS を用いた屋外ロボット用自律走行システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, ROBOMECH'08 講演論文集, 2P2-D21, 2008. 6
10. 三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発, 水川 真, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-04, 2008.9
11. 田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-05, 2008.9
12. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込RT-Middlewareにおけるプラグアンドプレイシステム, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008 講演論文集), 1F3-06, 2008.9
13. Motomasa TANAKA, Makoto Mizukawa, Yoshinobu Ando, Design of Plug and Play System for RT-Component, Proc. SICE Annual Conference 2008(SICE2008), 3B21-2, 2008.8
14. 三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, CANopen を用いた分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発, 水川 真, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-04, 2008.9
15. 田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008)講演論文集, 1F3-05, 2008.9
16. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込RT-Middlewareにおけるプラグアンドプレイシステム, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2008 講演論文集), 1F3-06, 2008.9
17. 鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, 自律移動ロボットにおける DFIT コンポーネント, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 1L3-1, 2008.12
18. 路面画像によるデッドレコニングを用いた屋外用自律移動ロボットの開発, 酒井 大介, 鷹栖 堯大, 高橋 彬, 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集 2I3-1, 2008.12

19. RT ミドルウェアにおけるシミュレータ併用手法の提案,藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-1,2008.12
20. RT コンポーネントのプラグアンドプレイ化に関する研究,RTC-CANopen のためのシステム設計ツール,田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-2,2008.12
21. CANopen を用いた実用的な分散制御ロボット用RT-Middlewareの研究開発,三浦 俊宏, 田中 基雅, 安藤 吉伸, 水川 真, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-5,2008.12
22. DFIT のロバスト性向上手法の提案,鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-2,2008.12
23. 分散制御系を持つロボットにおける電力監視システムに関する研究,知能化バッテリーの開発,田淵 裕樹, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-3,2008.12
24. 物理エージェントロボット搭載バッテリーのマネジメントに関する研究,個体差を考慮した残容量の算出,計盛 智也, 小川 和哉, 水川 真, 安藤 吉伸, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L3-4,2008.12
25. Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化, 清水 正晴, 林原 靖男, 大和 秀彰, 戸田 健吾, 古田 貴之, 第9回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, 2L2-4,2008.12
26. 竹内栄二郎, Daniele Calisi, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第2報: 障害物回避用モジュール群”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-08, 2008.9.
27. 竹内栄二郎, 大野和則, 緑川直樹, 鈴木志穂子, 桜田健, 石倉路久, 宮原直紀, 田所諭, 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第8報: 安全な長距離自律移動を目的とした 能動的センシングシステム”, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008), 1I4-5,2008.12 (平成21年8月優秀講演章受賞)
28. 竹内栄二郎, 大野和則, 緑川直樹, 鈴木志穂子, 桜田健, 石倉路久, 宮原直紀, 田所諭, “安全な長距離自律移動を目的とした能動的センシングシステム”, つくばチャレンジシンポジウム, 2009.1.
29. 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊, 田所諭, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第1報: プロジェクトの概要と開発するモジュール”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 神戸, 2008
30. 佐藤徳孝, 根 和幸, 福島 宏明, Chattarjee Ranajit, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 長谷川晶一, 金城 隆也, 田所 諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第3報: 複数ロボットのための地図上ナビゲーションインターフェースモジュール”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-09, 神戸, 2008
31. 根和幸, 佐藤 徳孝, 福島 宏明, Chattarjee Ranajit, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 金城 隆也, 田所 諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第4報: 編隊制御モジュール群”, 第26回日本ロボット学会学術講演会,

1F3-10, 神戸, 2008

32. 根和幸, 佐藤徳孝, 五十嵐広希, 岩切淳, 後藤清宏, 金井僚太郎, Chatterjee Ranajit, 松野文俊, 金城隆也, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 7 報: RWRC における屋外自律ナビゲーションシステムの開発”, 計測自動制御学会 第 9 回システムインテグレーション部門講演会, 114-3, 岐阜, 2008
 33. 五十嵐広希, 木村哲也, 松野文俊, “屋外自律型サービスロボットのリスクアセスメント”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
 34. 根和幸, 佐藤徳孝, 五十嵐広希, 岩切淳, 後藤清宏, 金井僚太郎, Chatterjee Ranajit, 松野文俊, 金城隆也, 田所諭, 高森年, “屋外自律移動ロボット用 RTC の開発と RWRC での実証実験”, つくばチャレンジ開催記念シンポジウム, バンダイナムコゲームス未来研究所ファンシアター, 2009
 35. 五十嵐 広希, 松野文俊, 飯島純一, “つくばチャレンジ2008の安全について”, つくばチャレンジシンポジウム 2008, 2009
 36. 前田弘文, 高森年, 大坪義一, 五百井清, 田所諭, 松野文俊, 金城隆也, 五十嵐 広希, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第 5 報: RTK-GPS を用いた仮想軌道走行のための RTC”, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-10, 神戸, 2008
 37. 前田弘文, 八木 秀樹, 高森年, 大坪義一, 五百井清, 田所諭, 松野文俊, 金城隆也, 五十嵐 広希, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第 6 報: グリッドマップに基づく広域エリア内のハザード回避走行”, 第 14 回ロボティクスシンポジア, 2009
 38. 本嶋 宗泰, 木村 哲也, 五十嵐 広希, 高森 年, “パーソナルモビリティロボットにおけるユーザーのリスク理解に関する実験的評価”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008
- < 2009 年度 >
39. 清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用 RT コンポーネントの共通インターフェース – 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動 1 サブ WG 活動報告 –”, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-03, 横浜, 2009/9/15-17
 40. 清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 五十嵐広希, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真, “移動ロボット用 RT コンポーネントの共通インターフェース – 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動 1 サブ WG 活動報告 (第 2 報) –”, 第 10 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2009), pp.1453-1456, 12月24日 -26日, 豊洲, 2009
 41. 清水 正晴, 戸田 健吾, 林原 靖男, 大和 秀彰, 古田 貴之, “Linux 標準機能を利用した RT ミドルウェア周期実行機能のリアルタイム化 – ハプティックジョイスティックによる全方位移動電動車椅子操縦システムへの適用 –”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 1, pp. 16-23, 2010.
 42. 三浦俊宏, 田中基雅, 安藤吉伸, 水川 真, CANopen を用いた分散制御ロボット用組込 RT ミドルウェア RTC-CANopen の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 2A1-D04(1)-(4), 福岡, 2009年5月
 43. 田中 基雅, 三浦 俊宏, 水川 真, 安藤 吉伸, 組込 RT ミドルウェアにおけるプラグアンドプレイシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 2A2-B14 (1)-(3), 福

岡, 2009年5月

44. 田淵 裕樹, 水川 真, 安藤 吉伸, RTC-CANopenのロボット用知能化バッテリーへの適用に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09講演論文集, 2A2-C03 (1)-(2), 福岡, 2009年5月
45. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, RTミドルウェアにおける既存シミュレータ使用手法の検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09講演論文集, 2A2-D04 (1)-(3), 福岡, 2009年5月
46. 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, CANopenを用いた組込RTC, 第27回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-01, 横浜, 2009/9/15-17
47. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 既存シミュレータを用いたRTコンポーネントのシミュレーション, 第27回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2009AC3D1-02, 横浜, 2009/9/15-17
48. 鷹栖 堯大, 藤田 恒彦, 田中 基雅, 水川 真, Wiiリモコンとゆかいな仲間たち, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 1A4-2, 2009年12月
49. 石黒 佑樹, 石川 浩, 坂入 隆, 広瀬 紳一, 安田 瑛, 石田 宏司, 座間 勇輔, 真山 勝博, 鷹栖 堯大, 藤田 恒彦, 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 小林 和雄, RTC-CANopenを用いた屋外用自律移動ロボットの開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 1B2-5, 2009年12月
50. 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, 田中 基雅, RTC-CANopenの設計・開発 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D1-2, 2009年12月
51. 座間 勇輔, 田中 基雅, 藤田 恒彦, 水川 真, 安藤 吉伸, RT-コンポーネントのUSB PnPシステムの設計開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D1-3, 2009年12月
52. 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, RTC-CANopenにおけるプラグアンドプレイシステム 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D2-2, 2009年12月
53. 安田 瑛, 石川 浩, 坂入 隆, 広瀬 紳一, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, SysMLを用いたロボットシステムのモデルベース設計に関する研究屋外用自律移動ロボットへの適用, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D2-6, 2009年12月
54. 鷹栖 堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, CANopenを用いた移動ロボットのプロファイル構築の提案, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D3-1, 2009年12月
55. 石田 宏司, 水川 真, 安藤 吉伸, 田中 基雅, CANopenを用いたロボット用知能化バッテリーの開発, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D3-4, 2009年12月
56. 石黒 佑樹, 田中 基雅, 水川 真, 安藤 吉伸, コアコンポーネントの二重化によるRTC-CANopenのロバスト性向上手法の提案, 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 (SI2009) 講演論文集, 3D4-2, 2009年12月
57. 真山 勝博, 田中 基雅, 安藤 吉伸, 水川 真, RTC-CANopenにおけるファームウェアアップデート

トの提案 , 第10回 (社)計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2009)講演論文集,3D4-3, 2009年12月

58. 田中 基雅, 藤田恒彦, 鷹栖堯大, 水川 真, 安藤 吉伸, “RTC-CANopenの研究開発”,第15回ロボティクスシンポジア, pp20-26, 3月15日-16日, 吉野, 2009
59. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, "移動ロボットによる障害物検出のための3次元計測計画," ロボティクスメカトロニクス講演予稿集(ROBOMECH2009),1A1-D13, 2009.5.
60. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, "自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定手法," ロボティクスメカトロニクス講演予稿集(ROBOMECH2009),1A1-E20, 2009.5. (平成22年3月ベストプレゼンテーション表彰)
61. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 齋藤俊久, 高森年, 松野文俊, "自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 - 第11報:自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定 RTC-, " 第27回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 3D1-05, 2009.9.
62. 竹内 栄二郎 , 大野 和則, 山崎 将史, 田中 一志, 田所 諭, 五十嵐 広希, 齋藤 俊久, 高森 年, 松野 文俊,"自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第14報:屋外自律移動システムの RT-Middleware による分散処理," 第10回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 予稿集(SI2009), 3B2-1, 2009.12.(平成22年3月 優秀講演章受賞)
63. 前田弘文,西谷幸久,高森年,大坪義一,五百井清,田所諭,松野文俊,齋藤俊之,五十嵐広希,“「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第9報 Segway-RMP200 におけるデッドレコニングの精度向上”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 3D1-07, 2009
64. 後藤清宏, 根和幸, 松野文俊, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第10報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 3D1-07, 2009
65. 佐藤徳孝, 根和幸, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第12報ロボット操縦用 iPhone 通信モジュール”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 横浜, 2009
66. 後藤清宏, 五十嵐広希, 佐藤徳孝, 根和幸, 松野文俊, 田所諭, 高森年, 齋藤俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第13報:速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの実機検証”, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2B1-1, 2009
67. 五十嵐 広希, 木村 哲也, 松野 文俊, “屋外自律移動ロボットの安全性の課題”, 安全工学シンポジウム 2010, July/2010
68. 佐藤徳孝, 後藤清宏, 根和幸, 五十嵐広希, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第16報 iPhoneを用いた移動ロボットの地図上ナビゲーション”, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 1A2-5, Dec, 2009.(奨励賞ベストコンセプト賞受賞)
69. 後藤清宏, 佐藤徳孝, 根和幸, 五十嵐広希, 松野文俊, “速度制約領域を考慮した行動計画とユーザインターフェースによるナビゲーション”, つくばチャレンジ開催記念シンポジウム, バンダイナムコゲームス未来研究所ファンシアター, 2010

<2010年度>

70. 座間勇輔,藤田恒彦,田中基雅,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システムの設計開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会(Robomec'10), 2A1-G04, 2010年6月13日-16日, 旭川

71. 鷹栖堯大,水川真,安藤吉伸,吉見卓, CANopen を用いた移動ロボットのプロファイル構築と検証, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G05, 2010年6月13日-16日, 旭川
72. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓,田中基雅, CANopen を用いた組み込み系 RTC-RTC-CANopen の開発ー, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G06, 2010年6月13日-16日, 旭川
73. 石黒佑樹,田中基雅,水川真,吉見卓,安藤吉伸, システムの二重化実現に向けた RTC-CANopen の改良, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G16, 2010年6月13日-16日, 旭川
74. 真山勝博,田中基雅,吉見卓,安藤吉伸,水川真, RTC-CANopen におけるファームウェアアップデートシステムの設計, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-B23, 2010年6月13日-16日, 旭川
75. 石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓, CANopen を用いた知能化バッテリープロファイルの評価及び検証, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-C08, 2010年6月13日-16日, 旭川
76. 安田瑛,安藤吉伸,石黒佑樹,吉見卓,座間勇輔,石川浩,真山勝博,広瀬紳一,水川真,坂入隆, SysML を用いたロボットシステムのモデルベース設計に関する研究 ー屋外用自律移動ロボットへの適用ー, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A2-C09, 2010年6月13日-16日, 旭川
77. 座間勇輔,藤田恒彦,田中基雅,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システムの設計開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2A1-G04, 2010年6月13日-16日, 旭川
78. 木村哲也, “「自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発」第17報 人搭乗型ロボット操縦システムの安全性を向上させる RTC の開発”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (Robomec'10), 2010年6月13日-16日, 旭川
79. 一澤, 藤本, 清水, 大和, 入江, 古田, 王, 林原, ”距離画像センサを用いた人の足先検出に関する検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 1P1-E07 (CD-ROM)(2010)
80. 林, 内田, 清水, 大和, 入江, 古田, 林原, ”駆動方式の異なるロボットを対象とする経路の検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 2A1-G18 (CD-ROM)(2010)
81. 伊藤, 清水, 大和, 入江, 古田, 林原, ”形状を考慮したポテンシャル法による障害物回避アルゴリズム”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10予稿集, 2A1-G17 (CD-ROM)(2010)
82. 鷹栖堯大,藤田恒彦,座間勇輔,石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓,坂本武志, 知能モジュールの再利用を考慮した自律移動ロボットのモデルベースデザイン, 第28回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-2, 2010年9月
83. 座間勇輔,藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, USB デバイスの RTC PnP システム設計開発 ～支援ツールの開発～, 第28回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-2, 2010年9月
84. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen の研究・開発 ーRTC-CANopen を用いたロボット開発ー, 第28回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2010)講演論文集, 3P3-3, 2010年9月
85. 田畑伸頼,真山勝博,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen におけるファームウェアデータベ

- ースの設計, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 1B1-1, 2010 年 12 月
86. 真山勝博,水川真,吉見卓,安藤吉伸,abulrahman,MOHDAZIZI,石黒佑樹, 自動サービスプロバイダに適したミドルウェアの提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, pp1386-1387, 2I2-3, 2010 年 12 月
87. 水川真,清水正晴,高瀬弘勝,青木利憲,大和秀彰,松尾龍磨,青島一朗,中村享大,古田貴之, 知能ロボットの構築を簡便にする RT ミドルウェア対応組込プラットフォーム群の開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B1-2, 2010 年 12 月
88. 座間勇輔,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTCPnP における柔軟なシステムビルダの設計開発動的変更に対応したプロファイルの提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B1-3, 2010 年 12 月
89. 鷹栖堯大,藤田恒彦,座間勇輔,石田宏司,水川真,安藤吉伸,吉見卓,坂本武志, 既存 RTC を用いた自律移動ロボットのモデルベース設計, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-1, 2010 年 12 月
90. 藤田恒彦,水川真,安藤吉伸,吉見卓, RTC-CANopen の研究・開発ー移動ロボットへの適用ー, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-3, 2010 年 12 月
91. 山口健太,水川真,吉見卓,安藤吉伸,藤田恒彦,鷹栖堯大, RTC-CANopen を適用したリファレンスロボットの開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-4, 2010 年 12 月
92. 安田瑛,大平杏奈,勝あゆみ,田畑伸頼,代宮司隼人,前田佳男,山口健太,水川真,安藤吉伸,吉見卓,河田文昭,与沢信行,小川弘和, SysML による自律移動ロボットシステムのモデルベース設計に関する研究, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B2-6, 2010 年 12 月
93. 石田宏司,水川真,吉見卓,安藤吉伸, 電力プロファイル自動生成システムの開発, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3B3-4, 2010 年 12 月
94. 加藤歳弘,水川真,安藤吉伸,吉見卓, 空間知におけるロボット連携のための管理システムに関する研究, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-4, 2010 年 12 月
95. 前田佳男,加藤歳弘,水川真,安藤吉伸,吉見卓, 空間知におけるロボットリソース管理に関する提案, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月
96. 青木 利憲, ”OpenRTM on T-Kernel 概説”, T-Engine Forum 総会(2010/6 開催), 2010.
97. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭: “3 次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定”, 第 15 回ロボティクスシンポジウム, pp.257-263,2010.3. (平成 23 年 9 月 ロボット学会 研究奨励賞 受賞)
98. (五十嵐広希,齋藤俊久,竹内栄二郎,前田弘文,佐藤徳孝, 秋元 大,田所 諭,高森 年,松野文俊, : “搭乗型モビリティロボット用ソフトウェアの開発進捗状況の報告”, 日本ロボット工業会, ロボット

195号,2010.)

99. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 五十嵐 広希, 齋藤 俊久, 高森 年, 松野 文俊, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 19 報: 外界センサの追加変更が可能な移動ロボット用ナビゲーション RTC 群, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 3P3-5, 2010.9.
100. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, 3 次元地形情報及び GPS を用いたパーティクルフィルタによるマルチパスを考慮した自己位置推定, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 1F3-1, 2010.
101. 山崎将史, 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 3 次元地図を用いたマルチパス除去を含む GPS による移動体の位置推定 – 衛星の影を用いた GPS 測位の高精度化 –, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A1-D20, 2010.
102. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 遡及的位置推定可能なパーティクルフィルタとそのモジュール化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A2-E24, 2010.6.
103. 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, パーティクルフィルタでの位置推定によるジャイロオフセットおよび車輪径の推定, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1P1-E14, 2010.6.
104. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 齋藤 俊久, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 高森 年, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発, SI2010, 2A3-6, 2010.12.
105. 田中 一志, 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 大野 和則, 田所 諭, 屋外自律移動のための移動物体検知モジュール群, SI2010, 3A1-2, 2010.12.
106. 山崎 将史, 竹内 栄二郎, 田中 一志, 大野 和則, 田所 諭, 不可視衛星を考慮した GPS による位置推定 RT-Component の開発, SI2010, 3A1-4, 2010.12.
107. 竹内栄二郎, 山崎 将史, 田中 一志, 大野和則, 田所諭, “3 次元環境地図を用いたロバストな自己位置推定による自律移動” つくばチャレンジ 2010 シンポジウム, 2011.1.
108. 佐藤徳孝, 安野俊幸, 松野文俊, 齋藤俊久, 田所諭, 高森年, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 18 報移動ロボットのための簡易デバッグコンポーネント”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 3P3-4, 2010
109. 五十嵐 広希, 木村 哲也, 松野 文俊, “屋外自律移動ロボットの安全性の課題”, 安全工学シンポジウム 2010, July.2010
110. 金兌炫, 後藤清宏, 五十嵐広希, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, 田所諭, 高森年, 齋藤俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 20 報 確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2A3-4, 2010
111. 五十嵐広希, 木村哲也, 松野文俊, “屋外自律移動ロボットの実証実験における安全対策について”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3A2-2, 2010
112. 金兌炫, 後藤清宏, 五十嵐広希, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, “確率的自己位置推定と速度制約を考慮した軌道生成法”, つくばチャレンジ 2010 開催記念シンポジウム, つくばチャレンジ 2010 レポート集 No55, 2011
113. 前田弘文, 濱路 克洋, 大坪義一, 小林 滋, 五百井清, 高森年, “OpenRTM-aist を用いた汎用的操作モジュール MMM の設計”, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月

114. 前田弘文, 濱路 克洋, 大坪義一, 小林 滋, 五百井清, 高森年, “MMM による子ロボットのカメラサーボ機構”, 第 11 回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会(SI2010)講演論文集, 3I1-5, 2010 年 12 月

<2011 年度>

115. 田畑信頼;水川真;吉見卓;安藤吉伸, RTC-CANopen におけるファームウェアデータベースの開発, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H03, 2011 年 5 月
116. 山口健太;藤田恒彦;水川真;吉見卓;安藤吉伸, RTC-CANopen を適用したリファレンスロボットの開発(第 2 報), 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H04, 2011 年 5 月
117. 安田瑛;鷹栖堯大;水川真;安藤吉伸;吉見卓, モデルベース設計を適用した移動知能ロボットの機能実現, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 1A1-H05, 2011 年 5 月
118. 真山勝博;藤田恒彦;水川真;吉見卓;安藤吉伸, 空間知に基づく RTC-CANopen を用いた物体運搬システムの開発, 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門講演会(Robomec'11) 講演論文集, 2P1-L01, 2011 年 5 月
119. 座間 勇輔;石田 宏司;山口 健太;田畑 伸頼;水川 真;安藤 吉伸;吉見 卓, RTC-CANopen の研究・開発, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 3B1-3, 2011 年 9 月
120. 藤岡 峻, 石黒 佑樹, 石田 宏司, 眞山 勝博, 大平 杏奈, 田畑 伸頼, 前田 佳男, 山口 健太, 大島 雄介, 大橋 和貴, 二坂 良平, 伏見 正嗣, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 坂本 武志, 屋外用自律移動ロボット「PAR-11」の開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 1O4-4(1-3), 2011 年 12 月
121. 藤岡 峻, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 屋外用自律移動ロボットにおける地図情報を用いた経路設定に関する提案, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 1O4-5(1-3), 2011 年 12 月
122. 水川 真, 石田 宏司, 座間 勇輔, 山口 健太, 田畑 伸頼, 坂本 武志, 中本 啓之, 松永 夏真, RTC-CANopen の国際標準化活動報告, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P1-1(1-4), 2011 年 12 月
123. 山口 健太, 水川 真, 田中 基雅, 山下 智輝, ロボットシステム安定性向上のためのソフトウェア実装評価, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P2-5(1-3), 2011 年 12 月,
124. 石田 宏司, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 物体搬送サービスにおける消費電力予測システムの開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P3-1(1-3), 2011 年 12 月
125. 座間 勇輔, 水川 真, 安藤 吉伸, 吉見 卓, 坂本 武志, RT ミドルウェアの動的設定システム研究開発, 第 12 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2011)講演論文集, 3P3-2(1-3), 2011 年 12 月
126. 竹内 栄二郎, 山崎 将史, 大野 和則, 田所 諭, 3 次元地図を用いた回折波を考慮した GPS 衛星の可視性判別, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011(ROBOMECH2011), 2A1-M02, 2011.5.
127. 竹内 栄二郎, 田中一志, 廣 信利, 福井 貴久, 李昭曠, 菅原 直樹, 荒川 尚吾, 大野 和則,

- 田所 諭, 齋藤 俊久, 五十嵐広希, 松野 文俊, 高森 年, 自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発, 第 12 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2011), 202-5, 2011.12.
128. 竹内栄二郎, 田中一志, 廣信利, 福井貴久, 李昭瞳, 菅原直樹, 荒川尚吾, 大野和則, 田所諭, “自律移動 RTC 群を用いた屋内外ナビゲーション”, つくばチャレンジ 2011 シンポジウム, 2012
129. 後藤清宏, 根和幸, 佐藤徳孝, 松野文俊, “乗り心地と速度制約を考慮した搭乗型自律移動ロボットの軌道計画”, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011
130. 金 兌炫, 根 和幸, 安部 祐一, 新 隼人, 五十嵐 広希, 松野 文俊, 田所 諭, 高森 年, 齋藤 俊久, “自律と操縦に対応した移動ロボット用 RTC の開発 第 22 報 速度制約領域を考慮した軌道計画の改良と検証”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 103-5, 2011
131. 新 隼人, 根 和幸, 五十嵐 広希, 金 テヒョン, 豊島 聡, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊, “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 1 報: 開発コンセプトとハードウェア構成”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-3, 2011
132. 根 和幸, 金 テヒョン, 新 隼人, 安部 祐一, 花本 惣平, 山崎 隆太, 五十嵐 広希, 佐藤 徳孝, 亀川 哲志, 松野 文俊, “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発 第 2 報: 遠隔と自律に対応したソフトウェアモジュールの開発”, 第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-2, 2011

(5) プレス発表・メディア媒体での掲載

Web	インプレス他	2007 年 10 月	「日本 SGI が自律型インテリジェント・ロボットを開発へ経済産業省の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」に参画 東北大, 国際レスキューシステム研究機構 (IRS), 電通大と共同で」など 4 件
Web	Impress Robot Watch	2008 年 11 月 14 日	「つくばチャレンジ 2008 試走会」レポート～さらに過酷なコースに挑戦するロボットたち」東北大・電気通信大学,
Web	マイコミジャーナル	2008 年 11 月 25 日	「ロボットカーが遊歩道を走る! 50 台が挑んだ「つくばチャレンジ 2008」東北大・電通大
雑誌	ROBOCON Magazine No.63	2008 年 7 月	「つくばチャレンジ 2008」電気通信大学
TV	テレビ東京	2009 年 1 月 16 日	「ロボつく」千葉工大ロボット研究室に潜入!
雑誌	R25	2009 年 3 月 5 日	未来予報図 2025/Part④ロボット編
TV	BS11	2009 年 3 月 13 日	「INsideOUT」全方位移動型電動車イス
TV	テレビ東京	2009 年 3 月 27 日	「ロボつく」ユビキタス体験レポート
雑誌	MANAGEMENT SQUARE	2009 年 4 月 1 日	未来への視座/ロボット開発の現状と未来③
雑誌	ロータリーの友	2009 年 4 月 1 日	ロボットと共生する未来/先端の技術が未来の技術ちは限らない
雑誌	ROBOCON Magazine No.63	2009 年 4 月 15 日	「FLY TO THE FUTURE 100 年先の未来をつくらう!」「あのロボットをつくった人

			に会いたい」「車椅子ロボットでまち歩き」
雑誌	GOETHE	2009年4月25日	もう人型ロボットは作りません。世界制覇が目前なので・・・
TV	テレビ東京	2009年5月3日	ロボつく 空想科学バラエティ 第30回 「ロボットが人を助ける!？」
雑誌	FOCUS NEDO	2009年5月8日	搭乗用移動知能の構築を簡便にするモジュール群の開発～脚・車輪ロボット：環境インフラと連動するパーソナルモビリティ～
雑誌	日経エレクトロニクス	2009年6月1日	fuRoの夢(下)/開発と人材教育の両輪でロボットを社会に融合する
Web	Impress Robot Watch	2009年6月3日	「ロボカップジャパンオープン2009大阪」開催(京都大学・電気通信大学)
TV	フジテレビ	2009年6月10日	「ラボ☆マイスター」ロボット技術はどこまで進歩しているの？全方位移動型電動車イス
TV	大阪テレビ	2009年7月19日	「大阪ほんわかテレビ」全自動で目的地まで行く電動車イスを開発中
雑誌	ロボコンマガジン	2009年7月	「ロボカップジャパンオープン2009大阪」京都大学・電気通信大学:UIモジュールの検証
TV	テレビ東京	2009年10月3日	生きるを伝える/ロボットで人を幸せにしたい
雑誌	WINWING	2009年10月10日	進化するロボット技術最前線/主役は人！家や街もロボット化/安心・安全、心の満足を目指す
新聞	朝日新聞	2009年11月22日	"自走ロボ快調5チーム完走" 写真入りで紹介(東北大学)
TV	日本テレビ系列	2009年11月25日	「スッキリ！」 "つくばチャレンジ完走ロボット"として紹介(東北大学)
Web	インターネットテレビ Channel	2009年11月～	"つくばチャレンジ完走ロボット"として紹介(東北大学)
雑誌	TRONSHOW2010	2009年12月9日	千葉工業大学未来ロボット技術研究センター/搭乗用移動知能およびその構築を簡単にするモジュール群の開発
雑誌	電機連合	2009年12月25日	第30回技術者フォーラム報告書/特別講演
新聞	船橋よみうり	2010年1月3日	実用化はすぐそこ・・・/最先端の千葉工大
TV	日本テレビ	2010年3月12日	「ザ・未来予想 TV 未来からの訪問者」
新聞	船橋よみうり	2010年1月3日	実用化はすぐそこ・・・/最先端の千葉工大
Web	http://spectrum.ieee.org/	2011年3月18日	Japan Earthquake: More Robots to the Rescue
Web	日刊協業新聞 ロボナブル	2010年3月19日	京大の松野教授、八戸工大でレスキューロボによる調査活動へ
TV	日本テレビ	2010年3月12日	ザ・未来予想 TV 未来からの訪問者
Web	http://spectrum.ieee.org/	2011年3月25日	Japanese Robot Surveys Damaged Gymnasium Too Dangerous for Rescue Workers
ラジオ	J-WAVE	2010年5月5日	J-WAVE GOLDEN SPECIAL 「THINK THE FUTURE」
書籍	PHP 研究所	2010年9月24日	不可能は、可能になる
TV	フジテレビ	2010年10月7日	LIVE2010 ニュースジャパン

TV	日本テレビ	2010年10月8日	「ズームインスーパー」3DOORS-池上彰が見たロボットの未来
雑誌	TRONWARE	2010年12月20日	「学校のTRON」共通で使える知能ロボット用のソフトウェア部品を創る
TV	テレビ東京	2011年1月6日	カンブリア宮殿「ニッポン人よ、大志を抱け！～夢を仕事にした人スペシャル～」
Web	ロボタイムズ	2011年1月10日	「京大+電通大合同チーム SHINOBIの「HIEI」タイのTRRC2010で最優秀自律走行賞を受賞」
雑誌	ロボット 199	2011年3月20日	特集-ロボット技術の自動車への応用/次世代パーソナルモビリティのための基盤技術の研究開発
雑誌	ALUMINIUM アルミニウム 2011 Vol.18 No.81	2011年5月30日	特集 新分野/ロボット開発の現状と将来動向
雑誌	FOCUS NEDO 第42号	2011年8月	ロボットの「頭脳」を共通部品化し、効率的に高性能、低コスト化/次世代ロボット「開発を加速
TV	TOKYO MX	2012年1月8日	松沢しげふみの日本の標
TV	NHK	2012年1月15日	NHK おはよう関西 実用化進む”災害ロボット”最前線 京都大学
TV	テレビ朝日	2012年1月16日	スーパーJチャンネル:遠隔操作型レスキューロボット KOHGA3や自律型レスキューロボット HIEI を中心
TV	NHK	2012年1月18日	NHK 全国版 実用化進む”災害ロボット”最前線 京都大学
TV	BS日テレ	2012年1月22日	よい国のニュース “災害対応ロボット”
Web	日刊工業新聞社 ロボナブル	2012年2月10日	「京大・松野研、災害対応向け移動ロボットプラットフォーム公開、線量計測に活用」
雑誌	ROBOCON Magazine No.81	2012年4月15日	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト成果報告会「移動知能(社会・生活分野)の開発(搭乗用ロボット)」

(6) イベント・展示

- つくばチャレンジシンポジウム2008, 芝浦工業大学・電気通信大学 ロボットの展示(2009.1)
 - 開催地: 東京都品川区
 - 概要: 自律移動ロボットシンポジウムへ実機ロボットの展示
- RoboCup2009 ジャパンオープン, 京都大学・電気通信大学(2009.5)
 - 開催地: 大阪府大阪市
 - RT ミドルウェアを用いた災害対応ロボットにてユーザーインターフェースモジュールの検証を実施,
- RoboCup2009 世界大会京都大学・電気通信大学(2009.7)
 - 開催地: オーストリア
 - 概要: RT ミドルウェアを用いた災害対応ロボットにてユーザーインターフェースモジュールの検証を実施
- 国際ロボット展 2009 NEDO ブース出展 移動1SWG 共同実証実験実施 (2009.11.25-28)
 - 開催地: 東京都
- 国際ロボット展 2009 産学交流プラザ出展 (2009.11.25-28)
 - 開催地: 東京都
- TRONSHOW2010 出展 (2009.12)
 - 開催地: 東京都
- ロボットテクノロジーを活用した製品・サービスの実証実験にて大阪市役所を走行するロボット実証実験実施 (2010.2.2-5)

- 開催地：大阪府大阪市
- 8. 国際ロボット展 2011 NEDO ブース出展(2011.11)
 - 開催地：東京都
- 9. 名工大・名市大合同テクノフェア 2011 (2011.10.19-22)
 - 開催地：愛知県名古屋市
 - 概要：大学シーズの見本市. TECH Biz EXPO2011 (東海地区最大の産業見本市) と同時開催



Fig. 1 国際ロボット展 2009 産学交流プラザ出展の様子

公共空間における情報支援知能モジュール群の開発

(1) 研究発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	井尻善久,他	オムロン株式会社	高精度な顔認識とサングラス検出を用いた不審者検出システム	SSII 2008	無	2008
2	井尻善久,他	オムロン株式会社	高速な顔認証と顔属性推定を応用した顔検索システム	SSII 2008	無	2008
3	Y. Ma, etc	オムロン株式会社	Re-weighting Linear Discrimination Analysis under Ranking Loss	CVPR 2008	有	2008
4	井尻善久,他	オムロン株式会社	属性に基づく学習型人物検索	電子情報通信学会論文, J93-D, No.11, pp.2495--2504, 2010/11	有	2010
5	井尻善久,他	オムロン株式会社	Jensen Shannon カーネルとカーネル最大マージン成分分析によるカメラの違いの影響を受けにくいカメラ間人物照合	電子情報通信学会論文誌, J95-D, No.4, 2012/04	有	2012
6	井尻善久,他	オムロン株式会社	Efficient Facial Attribute Recognition with A Spatial Codebook	Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010), pp.1461--1464, 2010/08.	有	2010
7	井尻善久,他	オムロン株式会社	Human Re-Identification Through Distance Metric Learning Based On Jensen-Shannon Kernel	Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2012), pp.603--612, 2012/02	有	2012
8	井尻善久,他	オムロン株式会社	多様な属性に柔軟に対応できる人物属性認識の準教師付き学習フレームワーク	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), pp.97--102, 2009/10	無	2009
9	井尻善久,他	オムロン株式会社	非線形距離指標学習によるカメラ間人物照合	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), pp.139--146, 2011/05	無	2011
10	井尻善久,他	オムロン株式会社	カメラ台数が多い時に有効な非線形距離指標学習に基づく複数カメラ間人物トラッキング	画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 論文集, pp.765--772, 2011/07	有	2011
11	井尻善久,他	オムロン株式会社	サーベイ論文:カメラ間人物照合	電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU), 111(317), pp.117--124, 2011/11	無	2011
12	井尻善久,他	オムロン株式会社	顔属性に基づく学習型人物検索	画像ラボ, 22(9), 2011/09	無	2011
13	下倉健一郎, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	公共空間における情報提供を支援するコミュニケーション知能モジュール群の開発	第26回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2008AC2L2-03	無	2008
14	日浦亮太,他	三菱重工業(株)	コミュニケーション知能モジュールにおける音声対話機能の RT コンポーネント化と接続検証	第26回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2008AC2L2-03	無	2008
15	石井 カルロス寿憲, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	RT Components for Human Robot Interaction: Look, Listen and Talk	ICRA2009 CD-ROM proceedings	無	2009
16	S. Lao	オムロン株式会社	Face Recognition and Its Application to Human Robot Interaction	ICRA2009 CD-ROM proceedings	有	2009
17	秋本 高明, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	道案内サービスのためのコミュニケーション知能モジュール群の開発	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	無	2009

18	日浦亮太,他	三菱重工業(株)	画像により検出した顔動作と音声入力を併用して発話区間を推定するコミュニケーション知能モジュール	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	無	2009
19	秋本 高明,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	商品説明サービスのためのコミュニケーション知能モジュール群の開発	第27回日本ロボット学会 学術講演会 RSJ2009AC3D2-01	無	2009
20	伊藤順吾,他	オムロン株式会社	顔画像と音声入力を併用した発話区間推定コミュニケーション知能モジュール群の開発	第27回日本ロボット学会 学術講演会	無	2009
21	石井 カルロス寿憲,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	コミュニケーション知能における音声認識モジュール群に関する一考察	第28回日本ロボット学会 学術講演会講演概要集	無	2010
22	石井 カルロス寿憲,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Evaluation of utterance interval detection by using audio-visual information	The 9th International Conference on Auditory-Visual Speech Proceedings (AVSP 2010) 81-84	有	2010
23	HERACLEOUS Panikos, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Investigating the Role of the Lombard Reflex in Visual- and Audio-visual Automatic Speech Recognition	The 9th International Conference on Auditory-Visual Speech Proceedings (AVSP 2010) 69-72	有	2010
24	宮下 敬宏,他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Guide and Recommendation services using RT-modules for Human-Robot Interaction	The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010) Workshops/Tutorials CD-ROM "Towards a Robotics Software Platform"	有	2010
25	石 超, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	Easy Development of Communicative Behaviors in Social Robots	2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Conference DVD Proceedings IROS 2010 5302-5309	有	2010
26	GLAS Dylan Fairchild, 他	(株)国際電気通信基礎技術研究所	An Interaction Design Framework for Social Robots	ROBOTICS SCIENCE AND SYSTEMS ONLINE PROCEEDINGS Robotics: Science and Systems VII	有	2011

(2) 特許等

国内出願・国外出願

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-050127	国内	2009/3/4	出願	移動体管理システム、移動体管理装置および移動体管理プログラム	塩見昌裕他
2	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-050431	国内	2009/3/4	出願	グループ行動推定装置およびサービス提供システム	塩見昌裕他
3	(株)国際電気通信基礎	特願 2009-064131	国内	2009/3/17	出願	発話意図情報検出装置及びコンピュータプログラム	石井カルロス 寿憲他

	技術研究所						
4	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-071586	国内	2009/3/24	出願	対物行動推定装置およびサービス提供システム	塩見昌裕他
5	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-102738	国内	2009/4/21	出願	コミュニケーションロボット開発支援装置	神田崇行他
6	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-143871	国内	2009/6/17	出願	コミュニケーションロボット開発支援装置	神田崇行他
7	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-143872	国内	2009/6/17	出願	案内ロボット	塩見昌裕他
8	(株)国際電気通信基礎技術研究所	特願 2009-146168	国内	2009/6/19	出願	コミュニケーションロボット	神田崇行他

NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト
自律移動モジュール群マニュアル

1.0 版

豊橋技術科学大学

株式会社セック



改版履歴

版数	改版日	改版内容	備考
1.0	2012/02/29	初版作成	

目次

1	総則	1
1.1.	目的	1
1.2.	適用範囲	1
1.3.	関連文書等	1
1.3.1.	適用文書	1
1.3.2.	関連文書	1
1.3.3.	参考文書	2
1.4.	定義	2
1.4.1.	用語	2
1.4.2.	座標系	4
1.5.	ライセンス	8
1.5.1.	自律移動モジュール群	8
1.5.2.	使用ツール・ライブラリ	8
2	コンポーネント構成	10
2.1.	コンポーネント概要	10
2.2.	動作環境	11
2.3.	ハードウェア仕様	11
2.4.	利用ソフトウェア仕様	17
3	コンポーネント仕様	18
3.1.	コンポーネント一覧	18
3.2.	データ型一覧	19
3.3.	コンポーネント仕様 (BUMBLEBEE2MODULECOMP)	42
3.3.1.	基本情報	42
3.3.2.	アクティビティ	43
3.3.3.	インタフェース仕様	44
3.4.	コンポーネント仕様 (SHOWIMAGECOMP)	46
3.4.1.	基本情報	46
3.4.2.	アクティビティ	47
3.4.3.	インタフェース仕様	48
3.5.	コンポーネント仕様 (STEREOIMAGEVIEWERCOMP)	49
3.5.1.	基本情報	49
3.5.2.	アクティビティ	50

3.5.3.	インタフェース仕様.....	51
3.6.	コンポーネント仕様 (URGDATAFLOWCOMP)	52
3.6.1.	基本情報.....	52
3.6.2.	アクティビティ.....	53
3.6.3.	インタフェース仕様.....	54
3.7.	コンポーネント仕様 (PEOPLETRACKINGV2COMP)	58
3.7.1.	基本情報.....	58
3.7.2.	アクティビティ.....	59
3.7.3.	インタフェース仕様.....	60
3.8.	コンポーネント仕様 (PEOPLETRACKINGTESTCOMP)	62
3.8.1.	基本情報.....	62
3.8.2.	アクティビティ.....	63
3.8.3.	インタフェース仕様.....	64
3.9.	コンポーネント仕様 (LOCALIZATIONCOMP)	65
3.9.1.	基本情報.....	65
3.9.2.	アクティビティ.....	66
3.9.3.	インタフェース仕様.....	68
3.10.	コンポーネント仕様 (SIMPLEGLOBALMAPLOADERCOMP)	71
3.10.1.	基本情報.....	71
3.10.2.	アクティビティ.....	72
3.10.3.	インタフェース仕様.....	73
3.11.	コンポーネント仕様 (SLAMCOMP)	75
3.11.1.	基本情報.....	75
3.11.2.	アクティビティ.....	76
3.11.3.	インタフェース仕様.....	77
3.12.	コンポーネント仕様 (GLOBALMAPVIEWERCOMP)	80
3.12.1.	基本情報.....	80
3.12.2.	アクティビティ.....	81
3.12.3.	インターフェース仕様.....	82
3.13.	コンポーネント仕様 (LOCALMAPCOMP)	84
3.13.1.	基本情報.....	84
3.13.2.	アクティビティ.....	85
3.13.3.	インターフェース仕様.....	86
3.14.	コンポーネント仕様 (LOCALMAPVIEWERCOMP)	88
3.14.1.	基本情報.....	88
3.14.2.	アクティビティ.....	89

3.14.3.	インタフェース仕様	90
3.15.	コンポーネント仕様 (ENVIRONMENTSIMULATORCOMP)	92
3.15.1.	基本情報	92
3.15.2.	アクティビティ	94
3.15.3.	インタフェース仕様	95
3.16.	コンポーネント仕様 (PATHPLANNERV2COMP)	100
3.16.1.	基本情報	100
3.16.2.	アクティビティ	102
3.16.3.	インタフェース仕様	103
3.17.	ツール仕様 (MOTIONSET_SETTING)	107
3.17.1.	make_MotionSet.exe	108
3.17.2.	read_MotionSet.exe	109
3.18.	コンポーネント仕様 (MOBILEROBOTSCONTROLLERCOMP)	110
3.18.1.	基本情報	110
3.18.2.	アクティビティ	111
3.18.3.	インタフェース仕様	112
3.19.	コンポーネント仕様 (DUMY_VELOCITY_DATACOMP)	114
3.19.1.	基本情報	114
3.19.2.	アクティビティ	115
3.19.3.	インタフェース仕様	116
3.20.	コンポーネント仕様 (GLOBALPATHPLANNERCOMP)	117
3.20.1.	基本情報	117
3.20.2.	アクティビティ	118
3.20.3.	インタフェース仕様	119
3.21.	コンポーネント仕様 (DUMMY2POSESENDERCOMP)	121
3.21.1.	基本情報	121
3.21.2.	アクティビティ	122
3.21.3.	インタフェース仕様	123
4	取扱手順	125
4.1.	環境構築	125
4.1.1.	インストールの準備	125
4.1.2.	インストール	126
4.1.3.	動作確認環境の準備	130
4.2.	設定・カスタマイズ手順	132
4.2.1.	ステレオカメラの準備	132

4.2.2.	レーザ距離センサの準備	132
4.3.	起動・終了手順	133
4.3.1.	起動	133
4.3.2.	終了	135
5	制限事項	136
5.1.	ロボット自己位置推定コンポーネント	136
5.2.	MOBILEROBOTS 社ロボット用制御コンポーネント	136
5.3.	大域経路計画コンポーネント	136
6	付録	137
6.1.	メッセージ一覧	137
6.1.1.	メッセージ一覧 (Bumblebee2ModuleComp)	137
6.1.2.	メッセージ一覧 (ShowImageComp)	137
6.1.3.	メッセージ一覧 (StereoImageViewerComp)	137
6.1.4.	メッセージ一覧 (URGDataFlowCompComp)	137
6.1.5.	メッセージ一覧 (PeopleTrackingV2Comp)	141
6.1.6.	メッセージ一覧 (PeopleTrackingTestComp)	141
6.1.7.	メッセージ一覧 (LocalizationComp)	141
6.1.8.	メッセージ一覧 (SimpleGlobalMapLoaderComp)	142
6.1.9.	メッセージ一覧 (SLAMComp)	142
6.1.10.	メッセージ一覧 (GlobalMapViewComp)	142
6.1.11.	メッセージ一覧 (LocalMapComp)	143
6.1.12.	メッセージ一覧 (LocalMapViewComp)	143
6.1.13.	メッセージ一覧 (EnvironmentSimulatorComp)	143
6.1.14.	メッセージ一覧 (PathPlannerV2Comp)	144
6.1.15.	メッセージ一覧 (MobileRobotsControllerComp)	145
6.1.16.	メッセージ一覧 (Dummy_velocity_dataComp)	145
6.1.17.	メッセージ一覧 (GlobalPathPlanner)	145
6.1.18.	メッセージ一覧 (Dummy2PosesSenderComp)	146
6.2.	トラブルシューティング	147

表目次

表 1-1	関連文書一覧.....	1
表 1-2	参考文書一覧.....	2
表 1-3	作業対象認識モジュール用語一覧.....	2
表 2-1	コンポーネント概要.....	10
表 2-2	動作環境.....	11
表 2-3	自律移動ロボットシステム ハードウェア一覧.....	11
表 2-4	Bumblebee2 のハードウェア仕様.....	12
表 2-5	コンピュータ推奨スペック.....	13
表 2-6	Top-URG センサのハードウェア仕様.....	13
表 2-7	PeopleBot のハードウェア仕様.....	15
表 2-8	Pioneer 3-DX のハードウェア仕様.....	16
表 2-9	動作に必要なソフトウェア.....	17
表 2-10	操作に必要なソフトウェア.....	17
表 3-1	コンポーネント一覧.....	18
表 3-2	データ型一覧.....	19
表 3-3	コンポーネントとデータ型の I/O 一覧.....	20
表 3-4	型名定義.....	20
表 3-5	IIS::TimedPose2D データフォーマット.....	21
表 3-6	IIS::TimedPose2DSeq データフォーマット.....	22
表 3-7	IIS::TimedVelocity2D データフォーマット.....	22
表 3-8	IIS::TimedVelocity2D データ詳細.....	23
表 3-9	IIS::TimedPoseVel2DSeq データフォーマット.....	23
表 3-10	IIS::TimedPoseVel2DSeq データ詳細.....	24
表 3-11	MRFC::TimedEstimatedPose2D データフォーマット.....	25
表 3-12	MRFC::TimedEstimatedPose2D データ詳細.....	25
表 3-13	MRFC::TimedRelativeOGMapData データフォーマット.....	26
表 3-14	IIS::TimedRelativeOGMapData データ詳細.....	26
表 3-15	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData データフォーマット.....	26
表 3-16	IIS::TimedFloatRelativeOGMapData データ詳細.....	27
表 3-17	MRFC::TimedPeopleTrackingData データフォーマット.....	27
表 3-18	MRFC::PeopleTrackingData データフォーマット.....	28
表 3-19	MRFC::PersonData データフォーマット.....	28
表 3-20	MRFC::TimedPeopleTrackingData データ詳細.....	28
表 3-21	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData データフォーマット.....	29

表 3-22	<i>MRFC::TimedAbsoluteOGMapData</i> データ詳細.....	29
表 3-23	<i>MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData</i> データフォーマット.....	29
表 3-24	<i>MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData</i> データ詳細.....	30
表 3-25	<i>TUT::TimedImageData</i> データフォーマット.....	30
表 3-26	<i>TUT::ImageData</i> データフォーマット.....	31
表 3-27	<i>TUT::TimedImageData</i> データ詳細.....	31
表 3-28	<i>TUT::TimedStereoData</i> データフォーマット.....	32
表 3-29	<i>TUT::StereoData</i> データフォーマット.....	32
表 3-30	<i>TUT::TimedStereoData</i> データ詳細.....	33
表 3-31	<i>TUT::TimedAreaInfo</i> データフォーマット.....	33
表 3-32	<i>TUT::AreaInfo</i> データフォーマット.....	34
表 3-33	<i>TUT::AreaLink</i> データフォーマット.....	34
表 3-34	<i>TUT::BorderLine</i> データフォーマット.....	35
表 3-35	<i>TUT::TimedAreaInfo</i> データ詳細.....	35
表 3-36	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData</i> データフォーマット.....	35
表 3-37	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::MeasuredData</i> データフォーマット.....	36
表 3-38	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData</i> データ項目.....	36
表 3-39	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus</i> データフォーマット.....	37
表 3-40	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::Status</i> データフォーマット.....	38
表 3-41	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus</i> データ詳細.....	39
表 3-42	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSServiceException</i> データフォーマット.....	40
表 3-43	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSServiceException</i> 型の code メンバ値.....	41
表 3-44	<i>Bumblebee2ModuleComp</i> プロファイル.....	42
表 3-45	<i>Bumblebee2ModuleComp</i> アクティビティ一覧.....	43
表 3-46	アウトポート一覧.....	44
表 3-47	ファイル一覧.....	44
表 3-48	<i>rtc.conf</i> 設定項目一覧.....	44
表 3-49	<i>ShowImageComp</i> コンポーネントプロファイル.....	46
表 3-50	<i>ShowImageComp</i> アクティビティ一覧.....	47
表 3-51	アウトポート一覧.....	48
表 3-52	ファイル一覧.....	48
表 3-53	<i>StereoImageViewerComp</i> コンポーネントプロファイル.....	49
表 3-54	<i>StereoImageViewerComp</i> アクティビティ一覧.....	50

表 3-55	インポート一覧.....	51
表 3-56	ファイル一覧.....	51
表 3-57	<i>rtc.conf</i> 設定項目一覧.....	51
表 3-58	<i>URGDataFlowCompComp</i> コンポーネントプロファイル.....	52
表 3-59	<i>URGDataFlowCompComp</i> アクティビティ一覧.....	53
表 3-60	アウトポート一覧.....	54
表 3-61	プロバイダーポート一覧.....	54
表 3-62	<i>SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSService</i> : I / F 仕様.....	54
表 3-63	コンフィギュレーション一覧.....	56
表 3-64	ファイル一覧.....	57
表 3-65	<i>rtc.conf</i> 設定項目一覧.....	57
表 3-66	<i>PeopleTrackingV2Comp</i> コンポーネントプロファイル.....	59
表 3-67	<i>PeopleTrackingV2Comp</i> アクティビティ一覧.....	59
表 3-68	インポート一覧.....	60
表 3-69	アウトポート一覧.....	60
表 3-70	プロバイダーポート一覧.....	60
表 3-71	<i>MRFC::PeopleTrackingService</i> : I / F 仕様.....	60
表 3-72	コンフィギュレーション一覧.....	61
表 3-73	ファイル一覧.....	61
表 3-74	<i>PeopleTrackingTestComp</i> コンポーネントプロファイル.....	62
表 3-75	<i>PeopleTrackingTestComp</i> アクティビティ一覧.....	63
表 3-76	インポート一覧.....	64
表 3-77	ファイル一覧.....	64
表 3-78	<i>LocalizationComp</i> コンポーネントプロファイル.....	66
表 3-79	<i>LocalizationComp</i> アクティビティ一覧.....	66
表 3-80	インポート一覧.....	68
表 3-81	アウトポート一覧.....	68
表 3-82	コンシューマーポート一覧.....	68
表 3-83	<i>MRFC::AbsoluteMapService</i> : I / F 仕様.....	69
表 3-84	コンフィギュレーション一覧.....	69
表 3-85	ファイル一覧.....	70
表 3-86	<i>SimpleGlobalMapLoaderComp</i> プロファイル.....	71
表 3-87	<i>SimpleGlobalMapLoaderComp</i> アクティビティ一覧.....	72
表 3-88	プロバイダーポート一覧.....	73
表 3-89	<i>MRFC::AbsoluteMapService</i> : I / F 仕様.....	73
表 3-90	コンフィギュレーション一覧.....	74

表 3-91	ファイル一覧.....	74
表 3-92	<i>SLAMComp</i> コンポーネントプロファイル.....	75
表 3-93	<i>SLAMComp</i> アクティビティ一覧.....	76
表 3-94	インポート一覧.....	77
表 3-95	アウトポート一覧.....	77
表 3-96	プロバイダーポート一覧.....	77
表 3-97	<i>MRFC::AbsoluteMapService</i> : I / F 仕様.....	77
表 3-98	コンフィギュレーション一覧.....	78
表 3-99	ファイル一覧.....	78
表 3-100	<i>rtc.conf</i> 設定項目一覧.....	79
表 3-101	<i>GlobalMapViewComp</i> コンポーネントプロファイル.....	80
表 3-102	<i>GlobalMapViewComp</i> アクティビティ一覧.....	81
表 3-103	インポート一覧.....	82
表 3-104	コンシューマーポート一覧.....	82
表 3-105	<i>MRFC::AbsoluteMapService</i> : I / F 仕様.....	82
表 3-106	コンフィギュレーション一覧.....	83
表 3-107	ファイル一覧.....	83
表 3-108	<i>LocalMapComp</i> コンポーネントプロファイル.....	84
表 3-109	<i>LocalMapComp</i> アクティビティ一覧.....	85
表 3-110	インポート一覧.....	86
表 3-111	プロバイダーポート一覧.....	86
表 3-112	<i>MRFC::RelativeMapService</i> : I / F 仕様.....	86
表 3-113	コンフィギュレーション一覧.....	87
表 3-114	ファイル一覧.....	87
表 3-115	<i>LocalMapViewComp</i> コンポーネントプロファイル.....	88
表 3-116	<i>LocalMapViewComp</i> アクティビティ一覧.....	89
表 3-117	インポート一覧.....	90
表 3-118	コンシューマーポート一覧.....	90
表 3-119	<i>MRFC::RelativeMapService</i> : I / F 仕様.....	90
表 3-120	コンフィギュレーション一覧.....	91
表 3-121	ファイル一覧.....	91
表 3-122	<i>EnvironmentSimulatorComp</i> コンポーネントプロファイル.....	93
表 3-123	<i>EnvironmentSimulatorComp</i> アクティビティ一覧.....	94
表 3-124	インポート一覧.....	95
表 3-125	アウトポート一覧.....	95
表 3-126	プロバイダーポート一覧.....	95

表 3-127	<i>MRFC::AbsoluteMapService</i> : I / F 仕様	95
表 3-128	<i>MRFC::RelativeMapService</i> : I / F 仕様	96
表 3-129	<i>TUT::AreaInfoService</i> : I / F 仕様	96
表 3-130	コンフィギュレーション一覧	97
表 3-131	ファイル一覧	99
表 3-132	<i>PathPlannerV2Comp</i> コンポーネントプロファイル	101
表 3-133	<i>PathPlannerV2Comp</i> アクティビティ一覧	102
表 3-134	インポート一覧	103
表 3-135	アウトポート一覧	103
表 3-136	コンシューマーポート一覧	104
表 3-137	<i>MRFC::PeopleTrackingService</i> : I / F 仕様	104
表 3-138	<i>MRFC::RelativeMapService</i> : I / F 仕様	104
表 3-139	コンフィギュレーション一覧	104
表 3-140	ファイル一覧	106
表 3-141	<i>rtc.conf</i> 設定項目一覧	106
表 3-142	<i>MotionSet_setting</i> の構成	107
表 3-143	<i>make_MotionSet.exe</i> プロファイル	108
表 3-144	<i>read_MotionSet.exe</i> プロファイル	109
表 3-145	<i>MobileRobotsControllerComp</i> コンポーネントプロファイル	110
表 3-146	<i>MobileRobotsControllerComp</i> アクティビティ一覧	111
表 3-147	インポート一覧	112
表 3-148	アウトポート一覧	112
表 3-149	コンフィギュレーション一覧	112
表 3-150	ファイル一覧	113
表 3-151	<i>Dumy_velocity_dataComp</i> コンポーネントプロファイル	114
表 3-152	<i>Dumy_velocity_dataComp</i> アクティビティ一覧	115
表 3-153	アウトポート一覧	116
表 3-154	ファイル一覧	116
表 3-155	<i>GlobalPathPlanner</i> コンポーネントプロファイル	117
表 3-156	<i>GlobalPathPlannerComp</i> アクティビティ一覧	118
表 3-157	インポート一覧	119
表 3-158	アウトポート一覧	119
表 3-159	コンシューマーポート一覧	119
表 3-160	<i>TUT::AreaInfoService</i> : I / F 仕様	119
表 3-161	コンフィギュレーション一覧	120
表 3-162	ファイル一覧	120

表 3-163	<i>Dummy2PosesSenderComp</i> コンポーネントプロファイル.....	121
表 3-164	<i>Dummy2PosesSenderComp</i> アクティビティ一覧.....	122
表 3-165	アウトポート一覧.....	123
表 3-166	コンフィギュレーション一覧.....	123
表 3-167	ファイル一覧.....	124
表 4-1	コンポーネントとソフトウェアパッケージの関係.....	125
表 4-2	<i>OpenRTM-aist</i> のダウンロード URL.....	126
表 4-3	<i>JRE</i> のダウンロード URL.....	126
表 4-4	<i>OpenCV2.1</i> 、 <i>OpenCV2.2</i> のダウンロード URL.....	127
表 4-5	<i>FlyCapture</i> のダウンロード URL.....	127
表 4-6	<i>Triclops 3.2</i> のダウンロード URL.....	127
表 4-7	<i>ARIA 2.7.1</i> のダウンロード URL.....	128
表 4-8	<i>Intel TBB</i> のダウンロード URL.....	128
表 4-9	<i>CGAL</i> のダウンロード URL.....	129

図目次

図 1-1	レーザ距離データの座標系.....	4
図 1-2	ロボット位置・姿勢の座標系.....	5
図 1-3	大域地図の座標系.....	6
図 1-4	局所地図の座標系.....	7
図 2-1	<i>Top-URG</i> センサの接続イメージ.....	13
図 2-2	<i>Top-URG</i> センサの計測範囲.....	14
図 3-1	<i>TimedPoseVel2Dseq</i> について.....	24
図 3-2	ステレオカメラ「 <i>Bumblebee2</i> 」.....	42
図 3-3	<i>Bumblebee2ModuleComp</i> のコンポーネント構成.....	42
図 3-4	<i>ShowImageComp</i> の出力画面.....	46
図 3-5	<i>ShowImageComp</i> のコンポーネント構成.....	46
図 3-6	<i>StereoImageViewerComp</i> の出力画面.....	49
図 3-7	<i>StereoImageViewerComp</i> のコンポーネント構成.....	49
図 3-8	<i>URGDataFlowCompComp</i> のコンポーネント構成.....	52
図 3-9	<i>PeopleTrackingV2Comp</i> の出力画面.....	58
図 3-10	<i>PeopleTrackingV2Comp</i> のコンポーネント構成.....	58
図 3-11	<i>PeopleTrackingTestComp</i> の出力画面.....	62
図 3-12	<i>PeopleTrackingTestComp</i> のコンポーネント構成.....	62
図 3-13	自己位置推定結果の例.....	65
図 3-14	<i>LocalizationComp</i> のコンポーネント構成.....	65

図 3-15	大域地図画像の例.....	71
図 3-16	<i>SimpleGlobalMapLoaderComp</i> のコンポーネント構成.....	71
図 3-17	<i>SLAMComp</i> のコンポーネント構成.....	75
図 3-18	大域地図の表示例.....	80
図 3-19	<i>GlobalMapViewComp</i> のコンポーネント構成.....	80
図 3-20	局所地図の表示例.....	84
図 3-21	<i>LocalMapComp</i> のコンポーネント構成.....	84
図 3-22	<i>LocalMapViewComp</i> のコンポーネント構成.....	88
図 3-23	シミュレータの画面.....	92
図 3-24	<i>EnvironmentSimulatorComp</i> のコンポーネント構成.....	93
図 3-25	経路計画の様子(画像表示 RTC 利用時).....	100
図 3-26	<i>PathPlannerV2Comp</i> のコンポーネント構成.....	101
図 3-27	<i>make_MotionSet.exe</i> 実行: 動作セットの定義.....	108
図 3-28	定義ファイルパス入力: 動作セットの定義.....	108
図 3-29	動作数入力: 動作セットの定義.....	108
図 3-30	動作数表示: 動作セットの定義.....	109
図 3-31	旋回半径入力: 動作セットの定義.....	109
図 3-32	速度入力: 動作セットの定.....	109
図 3-33	<i>MobileRobotsControllerComp</i> のコンポーネント構成.....	110
図 3-34	<i>RT SystemEditor</i> からの <i>com_port_no</i> の設定.....	113
図 3-35	<i>Dumy_velocity_dataComp</i> のコンソール画面.....	114
図 3-36	<i>Dumy_velocity_dataComp</i> のコンポーネント構成.....	114
図 3-37	<i>GlobalPathPlannerComp</i> のコンポーネント構成.....	117
図 3-38	<i>Dummy2PosesSenderComp</i> のコンポーネント構成.....	121
図 4-1	<i>RT SystemEditor</i> の起動.....	130
図 4-2	ネームサーバの起動.....	131
図 4-3	コンポーネントの起動.....	133
図 4-4	カメラ選択ウィンドウ.....	134
図 4-5	コンポーネントの終了.....	135
図 6-1	カメラが表示されない場合.....	148

1 総則

1.1. 目的

本書は、技術者を対象に、自律移動モジュール群で使用するコンポーネントについて記述した文書である。

1.2. 適用範囲

本書は、以下のコンポーネントに対して適用する。

- ・ PointGrey 社製ステレオカメラ「Bumblebee2」用データ取得 RTC
- ・ Top-URG センサ RTC
- ・ 人物検出 RTC
- ・ ロボット自己位置推定 RTC
- ・ 大域地図生成・表示 RTC
- ・ 局所地図生成・更新 RTC
- ・ 移動ロボットのソフトウェア開発のための屋内環境シミュレータ RTC
- ・ 経路計画 RTC
- ・ MobileRobots 社ロボット用制御 RTC
- ・ 大域経路計画 RTC

1.3. 関連文書等

本書の適用文書、関連文書、参考文書について記述する。

1.3.1. 適用文書

なし

1.3.2. 関連文書

本書の関連文書を表 1-1 に示す。

表 1-1 関連文書一覧

No	文書名	版数	発行元
1	自律移動ロボットシステムマニュアル	1.0	独立行政法人産業技術総合研究所
2	Bumblebee2Module コンポーネント取扱説明書	平成 23 年 7 月 30 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
3	URG センサ RT コンポーネントマニュアル	1.8	株式会社セック
4	センサ RTC 共通マニュアル	1.7	株式会社セック
5	SCIP2.0 準拠 “URG” シリーズ通信仕様書	最新版	北陽電機株式会社
6	人物検出コンポーネント	平成 23 年 7 月 19 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
7	自己位置推定コンポーネント取扱説明書	平成 23 年 10 月 27 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室

No	文書名	版数	発行元
8	SLAM コンポーネント取扱説明書	平成 23 年 10 月 27 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
9	LocalMap コンポーネント取扱説明書	平成 23 年 7 月 19 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
10	環境シミュレータ RTC 取扱説明書	平成 23 年 11 月 7 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
11	経路計画コンポーネント	平成 23 年 7 月 21 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
12	MobileRobots 社ロボット用制御コンポーネント	平成 23 年 7 月 16 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室
13	大域経路計画コンポーネント	平成 24 年 1 月 11 日	豊橋技術科学大学 行動知能システム学研究室

1.3.3. 参考文書

本書の参考文書を表 1-2 に示す。

表 1-2 参考文書一覧

No	文書名	版数	発行元
1	【Web】行動知能システム学研究室 http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/ http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/RTC/index.html	—	豊橋技術科学大学

1.4. 定義

1.4.1. 用語

表 1-3 作業対象認識モジュール用語一覧

No	用語	説明
1	RTM	RT ミドルウェア
2	RTC	RT コンポーネント
3	CORBA	分散オブジェクト技術の仕様
4	ステレオ距離画像	左右に配置した 2 台のカメラで撮影した 2 枚一組の画像に写った物体等の対応点を比較し、対応する点のずれ（視差）をもとに、対象物までの距離を算出した距離データ付きの画像情報。
5	カメラキャリブレーション	カメラの位置・向きといったカメラ外部のパラメータや、焦点距離、CCD の画素の縦横費といった内部的なパラメータをもとめ、カメラを使用可能な状態にすること。これにより、二次元画像と三次元空間の点との対応関係を求めることができる。

6	大域地図	距離データやロボットの移動量などをもとに作成した、ロボット周囲の障害物存在確立地図のこと。PNG などの画像データ形式で作成される。局所地図に比べ、比較的広い範囲で作成され、ロボットの経路計画の作成や、現実世界の自己位置の推定、壁やドアのような静的な障害物を検出に利用することができる。
7	局所地図	距離データやロボットの移動量などをもとに作成した、ロボット周囲の障害物存在確立地図のこと。自律移動モジュール群では、局所地図をリアルタイムで作成、使用することで、人物といった動的な障害物を検出することが可能となる。
8	レーザ距離センサ	レーザ光線により、対象物との距離計測を行うことができるセンサ。自律移動モジュール群が使用する Top-URG センサは、半円状のフィールドをスキャンし、対象物との距離を角度ごとに取得することができる測域センサである。
9	オドメトリ	ロボットの走行距離を制御するためには、自己位置の推定が必要となる。そのための手法の一つで、タイヤの車輪やステアリングの回転角度から移動量を求め、ロボットの事故位置を推定する方法の総称。または、それにより得られた情報のこと。
10	SCIP2.0	測域センサコマンドインタフェース研究会(筑波大学知能ロボット研究室(http://www.roboken.esys.tsukuba.ac.jp))が制定した、測域センサとの通信プロトコル。URG センサーコンポーネントが通信する Classic-URG、Top-URG はともに SCIP2.0 に対応しており、各センサとの通信で使用している。
11	ステップ番号	URG センサにおいて、角度を示す値。
12	まとめるステップ数	URG センサに設定する値。 URG センサでは、角度毎の距離データを出力する。本ステップ数分のデータがまとめられる。センサの規定の角度解像度ではなく、より大きい角度解像度のデータとしたい場合に使用する。 例えば、200 ステップ分の距離データを要求し、まとめるステップ数として“02”を設定した場合、100 ステップ分の距離データが出力される。まとめられたデータは、各ステップグループ中の最小値となる。
13	間引きスキャン数	URG センサに設定する値。本スキャン数おきに距離を出力する。 例えば‘3’が指定された場合、1 スキャンの計測・距離出力後 3 スキャンを間に挟んで 1 スキャンの計測・送信を行う。

1.4.2. 座標系

コンポーネントが使用している座標系について記述する。

(1) レーザ距離データの座標系

レーザ距離センサから距離データを取得するための座標系。

- ・ 原点：右方向を基準 (0°) とする。
- ・ 計測開始位置 (degree)、計測終了位置 (degree) を指定し、計測データの間隔 (degree) に応じて、各方向の物体までの距離 (mm) を計測する事ができる。

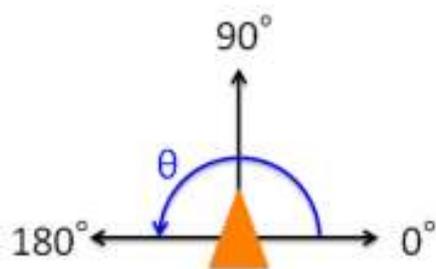


図 1-1 レーザ距離データの座標系

(2) ロボット位置・姿勢の座標系

ロボットの位置・姿勢を取得するための座標系。

- ・ x : 原点座標から X 軸方向の距離 (m)
- ・ y : 原点座標から Y 軸方向の距離 (m)
- ・ heading : X 軸方向を原点としたロボットの向き (radian)

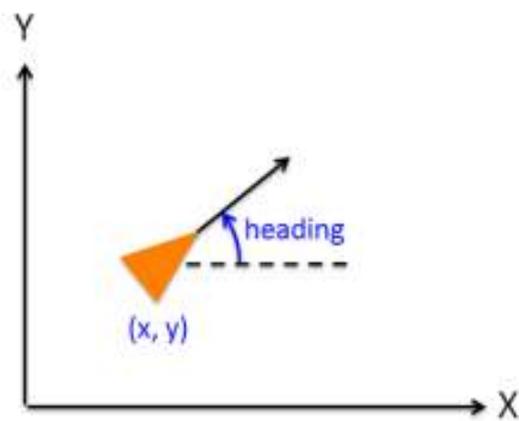


図 1-2 ロボット位置・姿勢の座標系

(3) 大域地図の座標系

大域地図の座標系は、大きさやスケールといった情報で表現される。

なお、大域地図を扱う場合の **origin** の姿勢情報には常に 0 となる。

- **xScale** : X 軸方向の地図のスケール (m/cell)
- **yScale** : Y 軸方向の地図のスケール (m/cell)
- **width** : X 軸方向の地図の大きさ (cell)
- **height** : Y 軸方向の地図の大きさ (cell)
- **origin** : ロボット中心から見た cell(0,0)の絶対座標

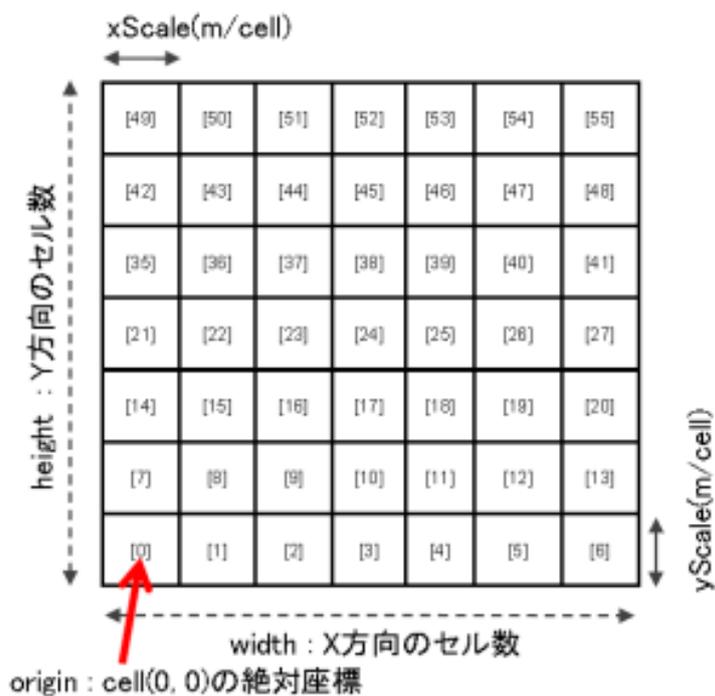


図 1-3 大域地図の座標系

(4) 局所地図の座標系

局所地図の座標系は、大きさやスケールといった情報で表現される。

- xScale : X 軸方向の地図のスケール (m/cell)
- yScale : Y 軸方向の地図のスケール (m/cell)
- width : X 軸方向の地図の大きさ (cell)
- height : Y 軸方向の地図の大きさ (cell)
- origin : ロボット中心から見た cell(0,0)の絶対座標
- pose : ロボット中心の絶対座標

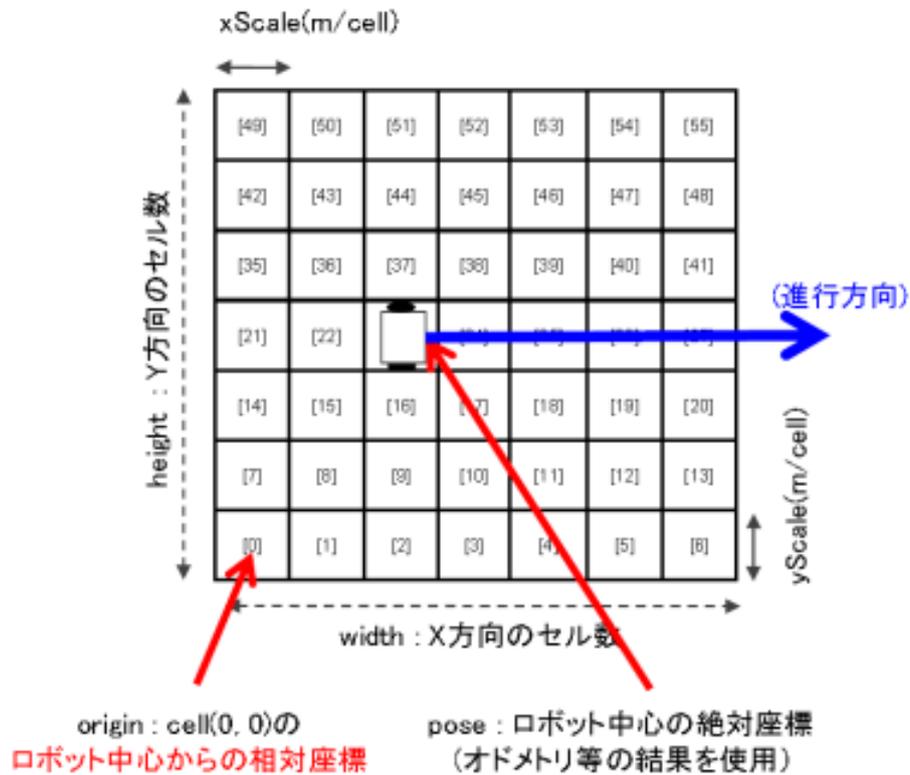


図 1-4 局所地図の座標系

1.5. ライセンス

1.5.1. 自律移動モジュール群

自律移動モジュール群のうち、豊橋技術科学大学が作成した RTC のライセンスは、修正 BSD ライセンスに従う。

Top-URG センサ RTC のライセンスは、株式会社セック(以降、権利者)が所有している。

Top-URG センサ RTC、並びに、これに使用するサンプル RTC、操作説明等のドキュメント(以降、Top-URG センサ RTC 等)の利用は、以下の条件に同意した個人、またはグループ(以降、利用者)にのみ許諾されるものとする。

- (1) 権利者は、Top-URG センサ RTC 等の利用、利用不能、サポートサービスの提供、サポートサービスの不提供により利用者に生じる一切の損害に関して、一切の責任を負わない。たとえば、権利者がこのような損害発生の可能性について事前に知らされていた場合でも同様。
- (2) Top-URG センサ RTC 等のリバースエンジニアリング(調査・解析を行い、プログラム構造などの技術を探知する行為)を禁止する。

なお、本書は、クリエイティブ・コモンズ 表示 2.1 ライセンス

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.1/jp/>) の下に提供される。



1.5.2. 使用ツール・ライブラリ

自律移動モジュール群が内部で用いているソフトウェアは、各々のライセンスに従う。

(1) Open-rtm-aist 1.0.0 (C++版)

Open-rtm-aist 1.0.0 (C++版)は、EPL (Eclipse Public License) ライセンス、または産業技術総合研究所 (AIST) との個別契約のうち、一つから選択するデュアルライセンス方式で利用することができる。

(2) omniORB

omniORB は、GPLv2 (GNU General Public License v2)、LGPLv2 (GNU Lesser General Public License v2) の下で自由に利用することができる。

詳細は omniORB の公式サイトを参照。

<http://omniorb.sourceforge.net/>

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

(3) OpenCV

OpenCV およびそのソースコードのライセンスは、BSD ライセンスに従う。

詳細は OpenCV の公式サイトを参照。

<http://opencv.willowgarage.com/wiki/>

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

(4) FlyCapture、Triclops

FlyCapture、Triclops の権利は、PointGrey 社が所有している。

FlyCapture のライセンスは以下の URL に記載された条項（英文）に従う。

<http://www.ptgrey.com/support/kb/data/eula.rtf>

[2012 年 2 月 1 日現在（URL は変更される場合があります）]

Triclops のライセンスは、ダウンロードした Triclops に同梱される、「Triclops Software Development Kit(SDK) Manual Reference（英文）」に記載されるライセンス条項に従う。

Triclops は、PointGrey 社のサイトよりダウンロードできる。

<http://www.ptgrey.com/index.asp>

[2012 年 2 月 1 日現在（URL は変更される場合があります）]

(5) ARIA

ARIA およびそのソースコードのライセンスは、GPL（GNU General Public License）に従う。ただし、独自のディストリビューション（例えば、独自のソースコードを公開しない場合）は商用ライセンスが必要。

詳細は、MobileRobots 社のサポートサイト(英文)を参照。

<http://robots.mobilerobots.com/wiki/ARIA>

[2012 年 2 月 1 日現在（URL は変更される場合があります）]

(6) Intel TBB

IntelTBB は、商用ライセンスと GPL v2（GNU General Public License v2）ベースのオープンソースライセンスが存在し、利用者の条件に応じて適切なライセンスを選択することができる。

詳細は、intel 社のサイト(英文)を参照。

<http://software.intel.com/en-us/articles/intel-threading-building-blocks-faq/>

<http://threadingbuildingblocks.org/wiki/index.php?title=Licensing>

[2012 年 2 月 1 日現在（URL は変更される場合があります）]

(7) CGAL

CGAL のライセンスデュアルライセンス方式となっており、オープンソフトウェアで使用する場合は、LGPL（GNU Lesser General Public License）、もしくは、QPL（Q Public License）のもとで使用することが可能。

詳細は、CGAL のサイト(英文)を参照。

<http://www.cgal.org/license.html>

[2012 年 2 月 1 日現在（URL は変更される場合があります）]

2 コンポーネント構成

2.1. コンポーネント概要

自律移動モジュール群は、目的地までの走行経路（ルート）を計画し、ロボットが自律して移動するためのソフトウェアである。各コンポーネントの概要を表 2-1 に記述する。

表 2-1 コンポーネント概要

No.	コンポーネント	説明	モジュール名／ツール名
1	PointGrey 社製ステレオカメラ「Bumblebee2」用データ取得コンポーネント	ステレオカメラ「Bumblebee2」から画像およびステレオ距離画像を取得する。	Bumblebee2ModuleComp
			ShowImageComp
			StereoImageViewerComp
2	Top-URG センサコンポーネント	センサから距離データを取得する。	URGDataFlowCompComp
3	人物検出コンポーネント	ステレオカメラ「Bumblebee2」の情報から人物を検出し、それぞれの人物の位置と移動速度を出力する。	PeopleTrackingV2Comp
			PeopleTrackingTestComp
4	ロボット自己位置推定コンポーネント	距離データとロボットの移動量を用いて大域地図上でのロボット位置を推定する。	LocalizationComp
			SimpleGlobalMapLoaderComp
5	大域地図生成・表示コンポーネント	距離データとロボットの移動量を用いて大域地図を生成する。	SLAMComp
			GlobalMapViewComp
6	局所地図生成・更新コンポーネント	距離データとロボットの移動量を用いてロボットの周囲の障害物存在確率地図を生成する。	LocalMapComp
			LocalMapViewComp
7	屋内環境シミュレータコンポーネント	屋内環境、そこで行動するロボット、そして環境内の人の動きを再現するシミュレータ。	EnvironmentSimulatorComp
8	経路計画コンポーネント	静止・移動障害物を回避しながら、指定物体を追う経路を計画するコンポーネント。	PathPlannerV2Comp
			make_MotionSet.exe
			read_MotionSet.exe
9	MobileRobots 社ロボット用制御コンポーネント	MobileRobots 社のロボットを制御するコンポーネント。	MobileRobotsControllerComp
			Dummy_velocity_dataComp
10	大域経路計画コンポーネント	大域地図の情報を基にロボットが移動する大域的な経路を計画するコンポーネント。	GlobalPathPlanner
			Dummy2PosesSenderComp

2.2. 動作環境

自律移動モジュール群の動作環境を表 2-2 に記述する。

表 2-2 動作環境

No.	要求環境			備考
1	OS	Windows	WindowsXP SP3	
2	ミドルウェア	OpenRTM-aist	1.0.0-RELEASE (C++)	
3		omniORB	4.1.4	
4	ツール	RT SystemEditor		RTC の操作に必要となる

2.3. ハードウェア仕様

自律移動モジュール群で使用するハードウェアについて記述する。

表 2-3 自律移動ロボットシステム ハードウェア一覧

No	種別	メーカー	型番	説明
1	Bumblebee2	PointGrey 社	BB2-08S2C-25	ステレオカメラ (XGA、カラー、画角 110 度)
2	Top-URG	北陽電気	UTM-30LX	レーザ式測域センサ
3	PeopleBot	MobileRobots 社	—	ロボット
4	Pioneer3-DX	MobileRobots 社	—	ロボット

(1) Bumblebee2

Bumblebee2 は、PointGrey 社製ステレオカメラである。Bumblebee2 のハードウェア仕様を表 2-4 に示す。エラー! 参照元が見つかりません。エラー! 参照元が見つかりません。

表 2-4 Bumblebee2 のハードウェア仕様

パラメータ	Bumblebee2
カメラ仕様	IIDC 1394-based Digital Camera Specification v1.31
センサ仕様	Sony® ICX204 progressive scan CCD 解像度：1032×776, ピクセルサイズ：4.65μm×4.65μm
ベースライン	120mm
焦点距離	画角：97° 2.5mm、画角：66° 3.8mm、画角：43° 6mm
アパーチャ	F/2.0 (2.5mm、3.8mm)、F2.5 (6.0mm)
A/D 変換	12bit アナログ/デジタル変換
ホワイトバランス	Auto/Manual (Colormode)
フレームレート	20FPS
入出力端子	IEEE-1394A 6pin (カメラ制御、ビデオデータ伝送) GPIO Connector 12pin (デジタル入出力 4pin)
電圧	8-30V (IEE-1394A、GPIO Connector)
消費電力	2.5W (12V)
ゲイン	Auto/Manual
シャッター	Auto/Manual (15FPS で 0.01ms ~66.63ms)
トリガーモード	DCAM v1.31 トリガーモード 0,1,3,14
S/N 比	60dB
幅/高さ/奥行き	157×36×47.4mm
重量	342g
レンズマウント	2×M12
仕様温度	0 ~+45°C
保存温度	-30~60°C

(2) Top-URG

Top-URG センサは、外部インタフェースとして RS-232C、USB2.0 を搭載しており、これらのインタフェースを使ってデータを PC に送信する。PC に Top-URG センサを URB2.0 インタフェースで接続した場合、図 2-1 のようになる。本書では USB2.0 を使って接続した手順を示す。RTC はセンサと接続した PC 上で動作する。

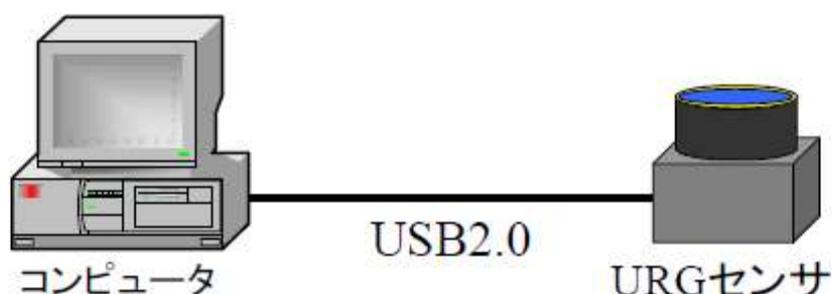


図 2-1 Top-URG センサの接続イメージ

表 2-5 コンピュータ推奨スペック

No.	項目	内容
1	OS	Microsoft Windows XP SP3
2	CPU	Intel Pentium4 2.40GHz
3	メモリ	512MB
4	ハードディスク	1GB 以上の空き
5	入出力ポート	1 個以上の USB2.0 ポート

Top-URG センサの計測範囲や計測可能距離などハードウェア仕様について表 2-6 に、センサの計測範囲を図示したものを図 2-2 に示す。図 2-2 では、Top-URG センサ RTC が計測範囲を指定する場合に、基準となる角度 0° 、 180° を示している。Top-URG センサの詳細については、1.3 関連文書 (No.5) に示す SCIP2.0 準拠”URG”シリーズ通信仕様書を参照のこと。

表 2-6 Top-URG センサのハードウェア仕様

パラメータ	Top-URG センサ
有効計測エリア角 (deg)	270 (センサ前方)
計測角度分解能 (deg/個)	0.25 (360/1440)
最大出力距離データ数 (個)	1080
モータ回転速度 (rpm)	2400
計測可能距離 (mm)	60000

動作確認済みファームウェアバージョン

L.1.5z (13/May./2008)

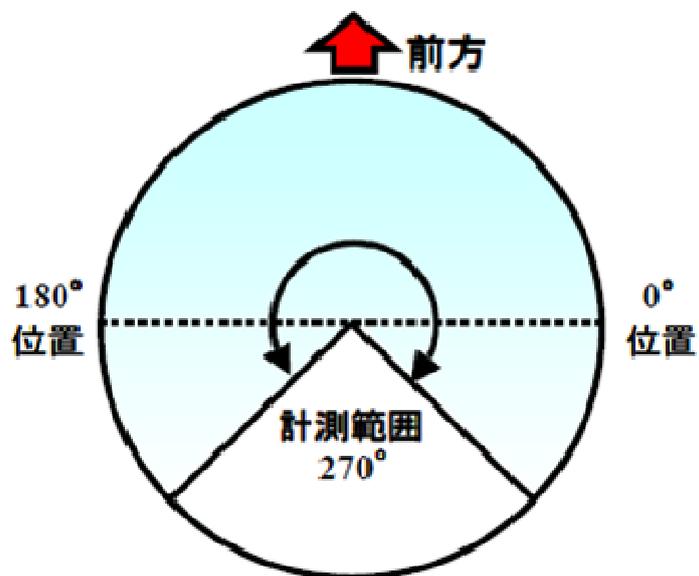


図 2-2 Top-URG センサの計測範囲

(3) PeopleBot

PeopleBot は、MobileRobots 社製のヒューマンインターフェースを備えた車輪付きロボットである。PeopleBot のハードウェア仕様を表 2-7 に示す。エラー! 参照元が見つかりません。エラー! 参照元が見つかりません。

表 2-7 PeopleBot のハードウェア仕様

パラメータ	PeopleBot
本体構成	1.6mm のアルミ (粉体塗装)
タイヤ	発泡充填ゴム
重量	21kg
可搬重量	8kg
旋回半径 (両輪)	0cm
旋回半径 (片輪)	33cm
最大速度 (前方/後方)	0.8m/s
回転速度	150° /s
通行可能な段差	15cm
通行可能な溝	5cm
通行可能な勾配	11%
シチュエーション	屋内 (車椅子が通行可能な場所)
駆動時間	8h/バッテリー×3 (付属品無し)
充電時間	2.4h (大容量充電器)
電源供給	5V/1.5A 12V/2.5A
バッテリー	12v/7.2A の鉛蓄電池 (密封型) ×3 ホットスワップ対応
入出力ポート (マイクロコントローラ)	シリアルポート (※) デジタル入力ポート×32 デジタル出力ポート×8 アナログ入力ポート×7 拡張ポート×3

(※) ロボットに特定の付属品が装備されている場合、一部のポートが使用できない場合があります。

(4) Pioneer 3-DX

Pioneer 3-DX は、MobileRobots 社製の小型軽量 2 輪ロボットである。Pioneer 3-DX のハードウェア仕様を表 2-8 に示す。エラー! 参照元が見つかりません。エラー! 参照元が見つかりません。

表 2-8 Pioneer 3-DX のハードウェア仕様

パラメータ	Pioneer 3-DX
本体構成	1.6mm のアルミ (粉体塗装)
タイヤ	スポンジタイヤ
重量	9kg
可搬重量	17kg
旋回半径 (両輪)	0cm
旋回半径 (片輪)	26.7cm
最大速度 (前方/後方)	1.2m/s
回転速度	300° /s
通行可能な段差	2.5cm
通行可能な溝	5cm
通行可能な勾配	25%
シチュエーション	屋内 (車椅子が通行可能な場所)
駆動時間	8~10h/バッテリー×3 (付属品無し)
充電時間	12h (標準) 2.4h
電源供給	5V/1.5A 12V/2.5A
バッテリー	12v/7.2A の鉛蓄電池×3 ホットスワップ対応
入出力ポート (マイクロコントローラ)	ダイレクトプラグイン ドッキングステーション パワーキューブ
本体構成	シリアルポート (※) デジタル入力ポート×32 デジタル出力ポート×8 アナログ入力ポート×7 拡張ポート×3

(※) ロボットに特定の付属品が装備されている場合、一部のポートが使用できない場合があります。

2.4. 利用ソフトウェア仕様

自律移動モジュール群の動作に必要なソフトウェアを表 2-9 に、RTC を操作するために必要なツールを

表 2-10 に示す。これらのインストール手順および基本操作については、「4.1.2」を参照のこと。

表 2-9 動作に必要なソフトウェア

名称／バージョン	説明	参考 URL
Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)	RT コンポーネント開発者向けプラットフォーム	http://www.openrtm.org/
omniORB 4.1.4	CORBA オブジェクトリクエストブローカー	http://omniorb.sourceforge.net/
OpenCV 2.1、2.2	画像処理/画像認識用ライブラリ	http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/
FlyCapture 1.8	動画画像処理ライブラリ	http://www.ptgrey.com/
Triclops 3.2	画像処理ライブラリ	http://www.ptgrey.com/
ARIA 2.7.1	MobileRobots/ActivMedia プラットフォームライブラリ	http://robots.mobilerobots.com/wiki/Main_Page
Intel TBB 4.0	マルチ CPU/マルチコア CPU 向けのライブラリ	http://threadingbuildingblocks.org/
CGAL 3.7	計算幾何学アルゴリズムライブラリ	http://www.cgal.org/

表 2-10 操作に必要なソフトウェア

名称／バージョン	説明	参考 URL
RT SystemEditor／1.0.0	RTC に対する基本操作機能を提供する GUI ツール	http://www.openrtm.org/

3 コンポーネント仕様

3.1. コンポーネント一覧

自律移動モジュール群の一覧を表 3-1 に記述する。

表 3-1 コンポーネント一覧

No	RTC／ツール名	概要
1	Bumblebee2ModuleComp	PointGrey社製ステレオカメラ「Bumblebee2」から画像およびステレオ距離画像を取得し出力する。
2	ShowImageComp	カメラ画像を表示する。
3	StereoImageViewerComp	ステレオ距離画像を表示する。
4	URGDataFlowCompComp	北陽電機株式会社のレーザ式測域センサより距離データを取得し出力する。
5	PeopleTrackingV2Comp	ステレオカメラ（Bumblebee2）の情報から人物を検出し、それぞれの人物の位置と移動速度を出力する。
6	PeopleTrackingTestComp	「PeopleTrackingV2Comp」の動作を確認する。
7	LocalizationComp	距離データとロボットの移動量を用いて大域地図上でのロボット位置を推定する。
8	SimpleGlobalMapLoaderComp	大域地図データをファイルから読み込み出力する。
9	SLAMComp	距離データとロボットの移動量を用いて大域地図を生成する。
10	GlobalMapViewComp	生成された大域地図を表示する。
11	LocalMapComp	距離データとロボットの移動量を用いて局所地図を生成する。
12	LocalMapViewComp	生成された局所地図を表示する。
13	EnvironmentSimulatorComp	屋内環境、そこで行動するロボット、そして環境内の人の動きを再現するシミュレータ。
14	PathPlannerV2Comp	静止・移動障害物を回避しながら、指定物体を追う経路を計画する。
15	MotionSet_setting	ロボットの動作セットの定義ファイルを作成するツール。
16	MobileRobotsControllerComp	MobileRobots社のロボットを制御する。
17	Dummy_velocity_dataComp	「MobileRobotsControllerComp」の動作を確認する。
18	GlobalPathPlannerComp	開始位置と目的地位置を結ぶロボットの移動経路を計算する。
19	Dummy2PosesSenderComp	「GlobalPathPlanner」の動作を確認する。

3.2. データ型一覧

自律移動モジュール群のインタフェースとして取り扱う独自のデータ型について記述する。その他のデータ型については、OpenRTM ドキュメントを参照のこと。

表 3-2 データ型一覧

No	データ型名	概要
1	IIS::TimedPose2D	ロボットの位置・姿勢を格納するデータ型
2	IIS::TimedPose2DSeq	ロボットの位置・姿勢の系列を格納するデータ型
3	IIS::TimedVelocity2D	走行指令・走行情報を格納するデータ型
4	IIS::TimedPoseVel2DSeq	計画経路を格納するデータ型
5	MRFC::TimedEstimatedPose2D	推定位置とその推定位置におけるオドメトリ値をペアで出力するためのデータ型
6	MRFC::TimedRelativeOGMapData	局所地図を octed 型の系列で表現したデータ型
7	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	局所地図を float 型の系列で表現したデータ型
8	MRFC::TimedPeopleTrackingData	人間位置を格納するデータ型
9	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData	大域地図を octed 型の系列で表現したデータ型
10	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData	大域地図を float 型の系列で表現したデータ型
11	TUT::TimedImageData	画像データを格納するデータ型
12	TUT::TimedStereoData	ステレオ距離画像データを格納する型
13	TUT::TimedAreaInfo	エリア情報を格納するデータ型
14	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::Time dMeasuredData	センサの距離データを格納するデータ型
15	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::Time dStatus	センサのステータスを格納するデータ型
16	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRS ServiceException	LRSServiceのエラー情報を格納するデータ型

各コンポーネントのデータポートで使用するデータ型の I/O について、表 3-3 に示す。

表 3-3 コンポーネントとデータ型の I/O 一覧

No.	RTC/ツール名	TimedPose2D	TimedPose2DSeq	TimedVelocity2D	TimedPoseVel2DSeq	TimedEstimatedPose2D	TimedFloatRelativeOGMapData	TimedPeopleTrackingData	TimedImageData	TimedStereoData	TimedMeasuredData
1	Bumblebee2ModuleComp								O	O	
2	ShowImageComp							I			
3	StereoImageViewerComp									I	
4	URGDataFlowCompComp										O
5	PeopleTrackingV2Comp	I		I				O	O		
6	PeopleTrackingTestComp							I			
7	LocalizationComp	I/O				O			I	I	I
8	SimpleGlobalMapLoaderComp										
9	SLAMComp	I/O				O			I	I	I
10	GlobalMapViewComp	I			I						
11	LocalMapComp	I									I
12	LocalMapViewComp							I			
13	EnvironmentSimulatorComp	O		I/O				O			O
14	PathPlannerV2Comp	I		I/O	I		I	I	O		
15	MotionSet_setting										
16	MobileRobotsControllerComp	O		I/O							
17	Dummy_velocity_dataComp			O							
18	GlobalPathPlanner	I	I		O						
19	Dummy2PosesSenderComp	O	O								

(1) 型名定義

自律移動モジュール群、独自の型定義について記述する。

表 3-4 型名定義

No.	型名	既存データ型	説明
1	MRFC::OGMapFloatCells	sequence<float>	地図データの float 型配列

(2) データ型定義

自律移動モジュール群、独自の型定義について記述する。

(a) IIS::TimedPose2D

IIS::TimedPose2D はロボットの位置・姿勢を格納するデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-5 IIS::TimedPose2D データフォーマット

概要			
ロボットの位置・姿勢を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	id	ID 番号(配列)	sequence<long>
	data	ロボットの位置姿勢	RTC::Pose2D
	error	誤差分散(配列)	sequence<double>

表 3-5 IIS::TimedPose2D データ詳細

ラベル/メンバ	説明
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
id/ID 番号	コンフィギュレーションで設定された値が格納される。 (現在不使用)
data/ロボットの位置姿勢	ロボットの制御結果 (位置・姿勢) が格納される。座標系については、「1.4.2(2)」を参照のこと。
error/誤差分散	誤差分散が格納される。 (現在不使用)

(b) IIS::TimedPose2DSeq

IIS::TimedPose2DSeq はロボットの位置・姿勢の系列を格納するデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-6 IIS::TimedPose2DSeq データフォーマット

概要			
ロボットの位置・姿勢の系列を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	id	ID 番号(配列)	sequence<long>
	data	ロボットの位置姿勢(配列)	sequence<RTC::Pose2D>
	error	エラー情報(配列)	sequence<double>

表 3-5 IIS::TimedPose2DSeq データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
id/ID 番号	コンフィギュレーションで設定された値が格納される。 (現在不使用)
data/制御結果の位置	ロボットの制御結果 (位置・姿勢) の系列が格納される。座標系については、「1.4.2(2)」を参照のこと。
error/エラー情報	エラー発生時の情報が格納される。 (現在不使用)

(c) IIS::TimedVelocity2D

IIS::TimedVelocity2D は走行指令・走行情報を格納するデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-7 IIS::TimedVelocity2D データフォーマット

概要			
走行指令・走行情報を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type

tm	タイムスタンプ	RTC::Time
id	ID 番号(配列)	sequence<long>
data	走行情報	RTC::Velocity2D
error	エラー情報(配列)	sequence<double>

表 3-8 IIS::TimedVelocity2D データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
id/ID 番号	コンフィギュレーションで設定された値が使われる。 (現在不使用)
data/走行情報	X 軸 Y 軸の並進速度[m/s]、角速度[rad/s]が格納される。
error/エラー情報	エラー発生時の情報が格納される。 (現在不使用)

(d) IIS::TimedPoseVel2DSeq

IIS::TimedPoseVel2DSeq はロボットの移動経路を指示するための位置・姿勢（中間目的地）と速度の系列を表すデータ型である。中間目的地での最大速度を (vx,vy,va) で表現する。経路の速度制限に利用可能である。ただし、各パラメータは必ず守らなければならないものではなく、局所経路計画の実装次第では無視される。また、要素数 0 の場合は停止要求とみなし目的地を破棄して停止することを表す。データ構造について記述する。

表 3-9 IIS::TimedPoseVel2DSeq データフォーマット

概要	ロボットの移動経路を指示するための位置・姿勢(中間目的地)と速度の系列を表すデータ型		
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time

id	ID 番号(配列)	sequence<long>
data	目標地点の系列	sequence<RTC::PoseVel2D>
error	エラー情報(配列)	sequence<double>

表 3-10 IIS::TimedPoseVel2DSeq データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
id/ID 番	コンフィギュレーションで設定された値が使われる。 (現在不使用)
data/目標地点の系列	ロボットの移動経路を指示するための位置・姿勢（中間目的地）と速度の系列データを格納する。
error/エラー情報	エラー発生時の情報が格納される。 (現在不使用)

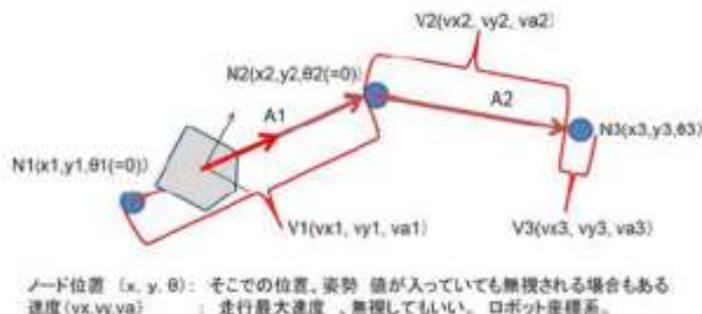


図 3-1 TimedPoseVel2Dseq について

(e) MRFC::TimedEstimatedPose2D

MRFC::TimedEstimatedPose2Dは、推定位置とその推定位置におけるオドメトリ値を格納するためのデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-11 MRFC::TimedEstimatedPose2D データフォーマット

概要			
推定位置とその推定位置におけるオドメトリ値を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	id	ID 番号(配列)	sequence<long>
	ododata	オドメトリ値	RTC::Pose2D
	estdata	推定位置	RTC::Pose2D
	error	誤差分散(配列)	sequence<double>

表 3-12 MRFC::TimedEstimatedPose2D データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
id/ID 番	コンフィギュレーションで設定された値が使われる。 (現在不使用)
ododata/オドメトリ値	推定位置におけるオドメトリ値が格納される。
estdata/推定位置	推定された自己位置が格納される。
error/誤差分散(配列)	誤差分散が格納される。 (現在不使用)

(f) MRFC::TimedRelativeOGMapData

MRFC::TimedRelativeOGMapData は、局所地図を octed 型の系列で表現したデータ型である。ここで、octed 型は 8bit の符号付整数(-128~127)であり、各セルの障害物の存在確率を 0 から 100 の値で格納する。また、そのセルが未観測の場合（未知領域の場合）は-1 が格納される。データ構造について記述する。局所地図の仕様については 1.4.2(4)を参照のこと。

表 3-13 MRFC::TimedRelativeOGMapData データフォーマット

概要			
局所地図を octed 型の系列で表現したデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	mapconfig	地図情報	RTC::OGMapConfig
	cells	octed 型 地図データ	RTC::OGMapCells
	pose	ロボット中心の絶対座標	RTC::Pose2D

表 3-14 IIS::TimedRelativeOGMapData データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
mapconfig/地図情報	大きさやスケールといった地図の情報が格納される。
cells/octed 型地図データ	各セルの値が格納される。
pose/ロボット中心の絶対座標値	ロボット中心の絶対座標値が格納される。座標系については、「1.4.2(2)」を参照のこと。

(g) MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData

MRFC::TimedFloatRelativeOGMapDataは局所地図をfloat型の系列で表現したデータ型である。ここで、float型は単精度浮動小数であり、セル毎の障害物の存在確率を0.0から1.0の値で格納する。また、そのセルが未観測の場合（未知領域の場合）は負の値を格納する。データ構造について記述する。局所地図の仕様については1.4.2(4)を参照のこと。

表 3-15 MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData データフォーマット

概要			
局所地図を float 型の系列で表現したデータ型			
	ラベル	メンバ	type

tm	タイムスタンプ	RTC::Time
mapconfig	地図情報	RTC::OGMapConfig
cells	float 型 地図データ	RTC::OGMapFloatCells
pose	ロボット中心の絶対座標	RTC::Pose2D

表 3-16 IIS::TimedFloatRelativeOGMapData データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
mapconfig/地図の大きさやスケール	大きさやスケールといった地図の情報が格納される。
cells/float 型の地図データ	各セルの値が格納される。
pose/ロボット中心の絶対座標値	ロボット中心の絶対座標値が格納される。座標系については、「1.4.2(2)」を参照のこと。

(h) MRFC::TimedPeopleTrackingData

データ構造について記述する。

表 3-17 MRFC::TimedPeopleTrackingData データフォーマット

概要			
人間位置を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	data	対象の速度・相対距離	MRFC::PeopleTrackingData

表 3-18 MRFC::PeopleTrackingData データフォーマット

概要			
各人物の位置情報が入った配列と、その中で追従対象とする人物の ID (配列番号)			
	ラベル	メンバ	type
	id	追跡物体のid	long
	person	移動物体のパラメータ系列 (配列)	sequence<MRFC::PersonData>

表 3-19 MRFC::PersonData データフォーマット

概要			
各人物の位置・速度情報			
	ラベル	メンバ	type
	position	移動物体までの相対位置	RTC::Point3D
	velocity	移動物体の速度	RTC::Velocity2D

表 3-20 MRFC::TimedPeopleTrackingData データ詳細

ラベル/メンバ		説明
tm/タイムスタンプ		接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
data/対象の速度・相対距離		各人物の位置・速度情報
	id/追跡物体の id	追従対象とする人物の配列番号
	person/移動物体のパラメータ系列	各人物の位置・速度情報が入った配列
	position/移動物体までの相対位置	人物の 3 次元位置
	velocity/移動物体の速度	人物の移動速度

(i) MRFC::TimedAbsoluteOGMapData

MRFC::TimedAbsoluteOGMapData は大域地図を octed 型の系列で表現したデータ型である。ここで、octed 型は 8bit の符号付整数(-128~127)であり、各セルの障害物の存在確率を 0 から 100 の値で格納している。また、そのセルが未観測の場合（未知領域の場合）は-1 が格納される。大域地図の仕様については 1.4.2(3)を参照のこと。

表 3-21 MRFC::TimedAbsoluteOGMapData データフォーマット

概要			
大域地図を octed 型の系列で表現したデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	mapcon	地図情報	RTC::OGMapConfig
	cells	octed 型 地図データ	RTC::OGMapCells

表 3-22 MRFC::TimedAbsoluteOGMapData データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
mapconfig/地図情報	大きさやスケールといった地図の情報が格納される。
cells/octed 型の系列	各セルの値が格納される。

(j) MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData

MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData は、大域地図を float 型の系列で表現したデータ型である。ここで、float 型は単精度浮動小数であり、各セルの障害物の存在確率を 0.0 から 1.0 の値で格納している。また、そのセルが未観測の場合（未知領域の場合）は負の値が格納される。大域地図の仕様については 1.4.2(3)を参照のこと。

表 3-23 MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData データフォーマット

概要	
大域地図を float 型の系列で表現したデータ型	

	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	mapconfig	地図情報	RTC::OGMapConfig
	cells	float 型 地図データ	MRFC::OGMapFloatCells

表 3-24 MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
mapconfig/地図情報	大きさやスケールといった地図の情報を格納する。
cells/float 型の系列	各セルの値が格納される。

(k) TUT::TimedImageData

TUT::TimedImageData はタイムスタンプ付きの画像データである。データ構造について記述する。

表 3-25 TUT::TimedImageData データフォーマット

概要			
タイムスタンプ付きの画像データを格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	data	画像データ	TUT::ImageData

表 3-26 TUT::ImageData データフォーマット

概要			
一枚の画像データを格納するためのデータ型 (このデータ型は OpenCV の IplImage 型を基にしている)			
	ラベル	メンバ	type
	nChannels	チャンネル数	long
	depth	1画素あたりのビット数	long
	origin	画像データの原点	long
	width	画像の横方向の画素数	long
	height	画像の縦方向の画素数	long
	imageSize	画像データのサイズ	long
	imgData	画素値の系列	sequence<char>
	widthStep	画像の横一行分のバイト数	long

表 3-27 TUT::TimedImageData データ詳細

ラベル/メンバ		備考
tm/タイムスタンプ		接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
data/画像データ		—
	nChannels/チャンネル数	1 or 2 or 3 or 4
	depth/1画素あたりのビット数	—

	origin／画像データの原点	0：左上原点（基準） 1：左下原点（デフォルト）
	width／画像の横方向の画素数	－
	height／画像の縦方向の画素数	－
	imageSiz／画像データのサイズ	バイト数を格納
	imgData／画素値の系列	－
	widthStep／画像の横一行分のバイト数	画素数とは異なる

(l) TUT::TimedStereoData

TUT::TimedStereoData はタイムスタンプ付きのステレオ距離画像データである。data には最も左上の画素に対応するデータを先頭に、画像の画素データと同じ順番で値を格納する。データ構造について記述する。

表 3-28 TUT::TimedStereoData データフォーマット

概要			
タイムスタンプ付きのステレオ距離画像を格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	width	画像の横幅	long
	height	画像の縦幅	long
	data	距離データの系列	sequence<StereoData>

表 3-29 TUT::StereoData データフォーマット

概要			
ステレオ距離画像の画素分の距離データを格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type

x	x 座標	double
y	y座標	double
z	z座標	double
dmy	(不使用)	sequence<short>

表 3-30 TUT::TimedStereoData データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。
width/画像の横幅	—
height/画像の縦幅	—
data/距離データの系列	—
x/x 座標	—
x/y 座標	—
z/z 座標	距離が取得できない場合、負の値が格納される。
dmy/ (不使用)	—

(m) TUT::TimedAreaInfo

TUT::TimedAreaInfo は、エリア情報（エリア内の人口、エリア境界線の座標、エリア外周の頂点など）を格納するためのデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-31 TUT::TimedAreaInfo データフォーマット

概要	タイムスタンプ付きのエリア情報を格納するためのデータ型		
	ラベル	メンバ	type

tm	タイムスタンプ	RTC::Time
data	エリア情報 (配列)	sequence<AreaInfo>

表 3-32 TUT::AreaInfo データフォーマット

概要			
エリア情報を格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	id	エリア ID	long
	population	エリア内の人口	long
	links	リンク	sequence<AreaLink>
	vertexes	エリア外周の頂点	sequence<RTC::Point2D >

表 3-33 TUT::AreaLink データフォーマット

概要			
エリア境界線を格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	id	リンク先のエリア ID	long
	border	エリアの境界線の座標	BorderLine

表 3-34 TUT::BorderLine データフォーマット

概要			
線を表すデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	p1	境界線を表す線分の片側の端点の座標	RTC::Point2D
	p2	境界線を表す線分のもう片側の端点の座標	RTC::Point2D

表 3-35 TUT::TimedAreaInfo データ詳細

ラベル/メンバ		備考	
tm/タイムスタンプ		接続先のデバイスの起動時、又はコンポーネントの起動時の経過時刻とローカル時間を合算した値が格納される。	
data/エリア情報 (配列)		—	
	id/エリア ID	そのエリア固有の番号	
	population/エリア内の人口	そのエリア内にいる人物の数	
	links/リンク	—	
		id/リンク先のエリア ID	境界線の先にある隣接エリアの ID
		border/エリアの境界線の座標	—
			p1/線分の端点の座標
	p2/線分の端点の座標		境界線を表す線分のもう片側の端点の座標
vertexes/エリア外周の頂点	エリアを表す多角形の頂点を順に格納した系列		

(n) SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData

SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData は株式会社セックが開発した北陽電機社 URG シリーズ用のコンポーネントで使用されているデータ型である。レーザ距離センサから距離データを取得するために使用する。データ構造について記述する。

表 3-36 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData データフォーマット

概要			
レーザ距離センサから距離データを取得するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type

tm	タイムスタンプ	RTC::Time
data	距離データ	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::MeasuredData

表 3-37 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::MeasuredData データフォーマット

概要			
距離データを格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	startPosition	distanceに最初に格納されているデータの方向	float
	endPosition	distance に最後に格納されているデータの方向	float
	scanInterval	スキャン間引き数	long
	dataGroupingNumber	まとめるステップ数	long
	distance	各方向に対する距離データ	sequence<long>
	dataInterval	各データ間の間隔	float
	sensorState	センサの状態	string

表 3-38 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData データ項目

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	センサ起動時から 1msec 毎に最大 24bit までカウントされるセンサ内時計に、センサ起動時のローカル時間を合算した値が格納される。

data/距離データ		センサから出力される計測データが格納される。
startPosition / 計測開始位置		距離データ(後述)は、計測した範囲について、角度の昇順で並べられている。startPosition に設定してある値が最初のデータの角度を示す。単位は degree(°)。座標系については「1.4.2(1)」を参照のこと。
endPosition / 計測終了位置		距離データにおける最後のデータの角度を示す。単位は degree(°)。座標系については「1.4.2(1)」を参照のこと。
scanInterval / 間引きスキャン数		本スキャン数おきに距離を出力する。 例えば 3 が指定された場合、1 スキャンの計測・距離出力後 3 スキャンを間に挟んで 1 スキャンの計測・送信を行う。
dataGroupingNumber / まとめるステップ数		Top-URG センサでは、角度毎の距離データを出力する際に、本項目で指定した数分のデータにまとめられる。センサの規定の角度解像度ではなく、より大きい角度解像度のデータとしたい場合に使用する。 例えば、200 ステップ分の距離データを要求し、まとめるステップ数として“02”を設定した場合、100 ステップ分の距離データが出力される。まとめられたデータは、各ステップグループ中の最小値となる。
distance / 距離データ		センサから取得した距離データを格納する。
dataInterval / データ出力間隔		各計測データの間隔を示す。単位は degree(°)。座標系については「1.4.2(1)」を参照のこと。
sensorState / センサ状態		センサの状態をいずれかの文字列で表す。 NORMAL(正常) ERROR(エラー) UPDATED(計測パラメータ変更)

(o) SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus

SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus はセンサステータス情報を格納するデータである。データ構造について記述する。

表 3-39 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus データフォーマット

概要			
センサステータス情報を格納するためのデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	tm	タイムスタンプ	RTC::Time
	data	センサステータス情報	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::Status

表 3-40 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::Status データフォーマット

概要		センサステータス情報を格納するためのデータ型	
	ラベル	メンバ	type
	startPosition	測定開始位置	float
	endPosition	測定終了位置	float
	dataInterval	各計測データの間隔	float
	minDistance	計測最小距離	long
	maxDistance	計測最大距離	long
	distanceNum	計測データ数	long
	scanInterval	スキャン間引き数	long
	dataGroupingNumber	まとめるステップ数	long
	periodicRate	スキャン周期	long
	sensorType	センサ型式情報	string
	motorSpeed	モータ回転速度	string
	baudRate	通信速度	string

measureMode	計測モード	string
sensorState	センサ状態	string
versionInfo	センサのバージョン情報	string
rangeUnit	計測範囲の単位	string
distanceUnit	計測値の単位	string

表 3-41 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus データ詳細

ラベル/メンバ	備考
tm/タイムスタンプ	センサ起動時から 1msec 毎に最大 24bit までカウントされるセンサ内時計に、センサ起動時のローカル時間を合算した値が格納される。
data/センサステータス情報	—
startPosition/測定開始位置	単位 : deg
endPosition/測定終了位置	単位 : deg
dataInterval/各計測データの間の隔	—
minDistance/計測最小距離	単位 : mm
maxDistance/計測最大距離	単位 : mm
distanceNum/計測データ数	—
scanInterval/スキャン間引き数	本スキャン数おきに距離を出力する。 例えば 3 が指定された場合、1 スキャンの計測・距離出力後 3 スキャンを間に挟んで 1 スキャンの計測・送信を行う。

dataGroupingNumber/まとめるステップ数	Top-URG センサでは、角度毎の距離データを出力する際に、本項目で指定した数分のデータにまとめられる。センサの規定の角度解像度ではなく、より大きい角度解像度のデータとしたい場合に使用する。 例えば、200 ステップ分の距離データを要求し、まとめるステップ数として“02”を設定した場合、100 ステップ分の距離データが出力される。まとめられたデータは、各ステップグループ中の最小値となる。
periodicRate/スキャン周期	単位 : /ms
sensorType/センサ型式情報	—
motorSpeed/モータ回転速度	例 : ”600 [rpm]”
baudRate/通信速度	例 : ”19200 [bps]”
measureMode/計測モード	“NORMAL” or “SHORT”
sensorState/センサ状態	“NORMAL” “ERROR” “SENSOR_STATEUPDATED”
versionInfo/センサのバージョン情報	—
rangeUnit/計測範囲の単位	“deg”
distanceUnit/計測値の単位	“mm”

(p) SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSServiceException

LRSServiceException は、LRSService から通知されるエラー情報を格納するデータ型である。データ構造について記述する。

表 3-42 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSServiceException データフォーマット

概要			
LRSService から通知されるエラー情報を格納するデータ型			
	ラベル	メンバ	type
	code	エラー番号	long
	message	エラーメッセージ	string

表 3-43 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSServiceException 型の code メンバ値

発生するエラー	エラー番号	説明
E_NOT_IMPL	-1	未実装サービスである。
E_NOT_PREPARED	-2	現在、サービスが利用できない。

3.3. コンポーネント仕様 (Bumblebee2ModuleComp)

3.3.1. 基本情報

Bumblebee2ModuleComp は、PointGrey 社製ステレオカメラ「Bumblebee2」から画像およびステレオ距離画像を取得し、データポートから出力するためのコンポーネントである。

なお、このコンポーネントが出力するカメラ画像は Bumblebee2 の右側のカメラで得られた画像である。



図 3-2 ステレオカメラ「Bumblebee2」

Bumblebee2ModuleComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

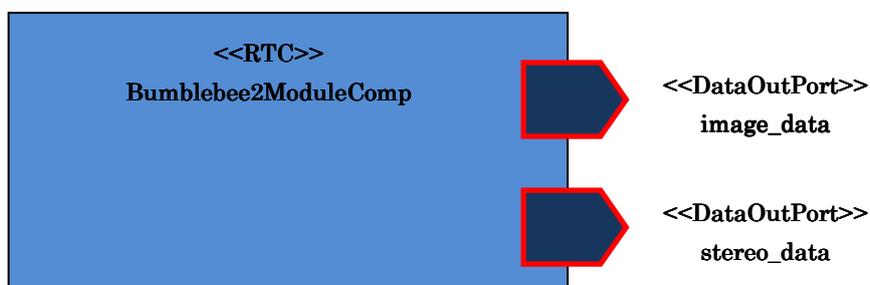


図 3-3 Bumblebee2ModuleComp のコンポーネント構成

表 3-44 Bumblebee2ModuleComp プロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008

依存ライブラリ	OpenCV 2.2、FlyCapture1.7、Triclops3.2、Intel TBB 4.0
実行周期	20Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.3.2. アクティビティ

Bumblebee2ModuleComp のアクティビティについて記述する。

表 3-45 Bumblebee2ModuleComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">データポートの初期化処理メモリの確保・初期化キャリブレーションファイルの読み込み
2	onActivated	—
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">画像およびステレオ距離データの取得
4	onDeactivated	—
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">メモリの解放
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.3.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

Bumblebee2ModuleComp で定義しているインポートはない。

(b) アウトポート

Bumblebee2ModuleComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-46 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	image_data	TUT::TimedImageData	corba_cdr	カメラ画像の出力
2	stereo_data	TUT::TimeStereoData	corba_cdr	ステレオ距離画像の出力

(2) サービスポート

Bumblebee2ModuleComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

Bumblebee2ModuleComp で定義しているコンフィギュレーションはない。

(4) 設定ファイル

Bumblebee2ModuleComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-47 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	calibdata_BB07_20081123.txt	カメラ設定ファイル
3	bumblebee8511440.cal	カメラキャリブレーションデータ
4	bumblebee8130511.cal	カメラキャリブレーションデータ

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、Bumblebee2ModuleComp 独自の設定項目について記述する。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

表 3-48 rtc.conf 設定項目一覧

No.	項目名	デフォルト値	説明
1	corba.args:	-ORBgiopMaxMsgSize 20000000	omniORB の通信におけるメッセージサイズの制限を設定する。

(c) `calibdata_BB07_20081123.txt`

カメラ設定ファイル

(d) `bumblebee8511440.cal`

カメラキャリブレーションデータ

(e) `bumblebee8130511.cal`

カメラキャリブレーションデータ

3.4. コンポーネント仕様 (ShowImageComp)

3.4.1. 基本情報

ShowImageComp は、カメラ画像を表示するためのコンポーネントである。データインポートからカメラ画像を受信し、画面に出力する。

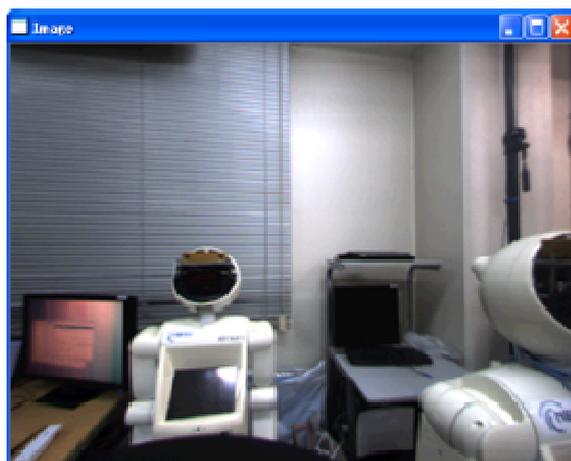


図 3-4 ShowImageComp の出力画面

ShowImageComp のコンポーネント構成を以下に示す。



図 3-5 ShowImageComp のコンポーネント構成

ShowImageComp のプロファイルを以下に示す。

表 3-49 ShowImageComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1

実行周期	4Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.4.2. アクティビティ

ShowImageComp のアクティビティについて記述する。

表 3-50 ShowImageComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ データポートの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ 画像を表示するウインドウの生成
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ データポートから画像データを取得
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ 画像を表示するウインドウの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.4.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

ShowImageComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-51 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	Image	TUT::TimedImageData	corba_cdr	カメラ画像の入力

(b) アウトポート

ShowImageComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

ShowImageComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

ShowImageComp で定義しているコンフィギュレーションはない。

(4) 設定ファイル

ShowImageComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-52 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、ShowImageComp コンポーネント独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.5. コンポーネント仕様 (StereoImageViewerComp)

3.5.1. 基本情報

StereoImageViewerComp は、ステレオ距離画像を表示するためのコンポーネントである。データインポートからステレオ距離画像を受信し、画面に出力する。

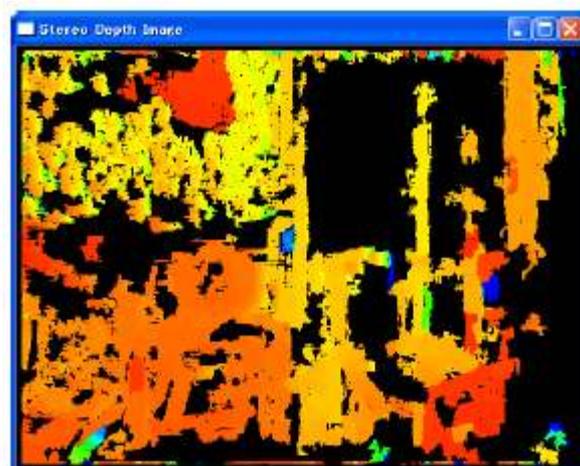


図 3-6 StereoImageViewerComp の出力画面

StereoImageViewerComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。



図 3-7 StereoImageViewerComp のコンポーネント構成

表 3-53 StereoImageViewerComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	10Hz

バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.5.2. アクティビティ

StereoImageViewerComp のアクティビティについて記述する。

表 3-54 StereoImageViewerComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ データポートの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ 画像を表示するウィンドウの生成
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ データポートからステレオ距離情報を取得
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ 画像を表示するウィンドウの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.5.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

StereoImageViewerComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-55 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	stereo	TUT::TimedStereoData	corba_cdr	ステレオ距離画像の入力

(b) アウトポート

StereoImageViewerComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

StereoImageViewerComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

StereoImageViewerComp で定義しているコンフィギュレーションはない。

(4) 設定ファイル

StereoImageViewerComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-56 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、StereoImageViewerComp 独自の設定項目について記述する。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

表 3-57 rtc.conf 設定項目一覧

No.	項目名	デフォルト値	説明
1	corba.args:	-ORBgiopMaxMsgSize 20000000	omniORB の通信におけるメッセージサイズの制限を設定する。

3.6. コンポーネント仕様 (URGDataFlowCompComp)

3.6.1. 基本情報

URGDataFlowCompComp は、センサから距離データを取得し出力するコンポーネントである。また、Top-URG センササービスプロバイダ用ポートを持ち、最新の距離データやセンサステータスの取得、Top-URG センサのリセット操作の要求を受け付ける。

URGDataFlowCompComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

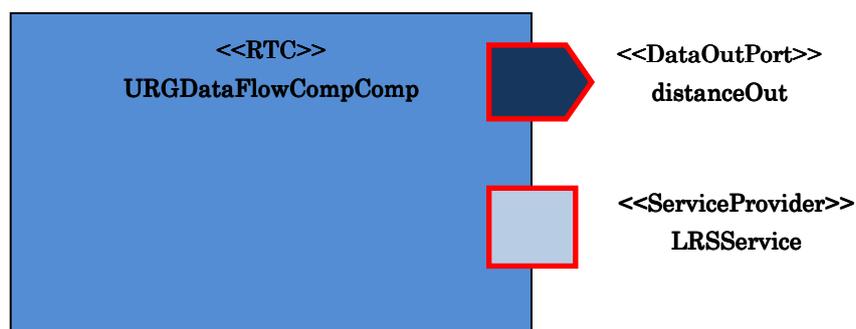


図 3-8 URGDataFlowCompComp のコンポーネント構成

表 3-58 URGDataFlowCompComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	株式会社セック
動作 OS	WindowsXP Pro SP3、Ubuntu10.0.4
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	VC++, C++
依存ライブラリ	omniORB 4.1.4
実行周期	100Hz
バージョン	2.0.0
最大インスタンス数	10

3.6.2. アクティビティ

URGDataFlowCompComp のアクティビティについて記述する。

表 3-59 URGDataFlowCompComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> パラメータの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> コンフィギュレーションのチェック センサのオープン (USB) 通信の設定 センサに対し、計測開始を指示 計測データ取得用スレッドを起動
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 計測データの取得 センサステータス情報の取得 アウトポートからの測定結果の出力
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> センサに対し、データ計測停止を指示 センサのクローズ (USB) 計測データ取得用の受信スレッドの停止
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 停止処理 (センサが動作している場合) RTC の終了処理
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.6.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

URGDataFlowCompComp で定義しているインポートはない。

(b) アウトポート

URGDataFlowCompComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-60 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	distanceOut	TUT::TimedImageData	corba_cdr	距離データの計測値を出力

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

URGDataFlowCompComp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。なお、サービスコンシューマと接続するには、以下のサービスポート名とサービスの型に一致させる必要がある。

例) `m_LRSServicePort.registerProvider(“LRSService”, “SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSService”, m_LRSService);`

表 3-61 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	LRSService	LRSService0	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSService	センサを制御するサービスポート。

表 3-62 SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::LRSService : I / F 仕様

No	関数名	説明	
1	resetSencer	概要	センサを起動直後と同じ状態に戻す。
		戻り値	boolean 実行の成否情報
		引数	なし —
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
2	getLatestData	概要	最新距離データを取得する。
		戻り値	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData (※) 最新距離データ
		引数	なし —
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外

No	関数名	説明	
3	getStatus	概要	センサステータス情報を取得する。
		戻り値	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedStatus センサステータス情報
		引数	なし —
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
4	setPositions	概要	計測開始終了位置の設定
		戻り値	boolean 実行の成否情報
		引数	float 計測開始位置[deg]
		引数	float 計測終了位置[deg]
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
5	setScanInterval	概要	スキャン間隔の設定
		戻り値	Boolean 実行の成否情報
		引数	long スキャン間隔
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
6	setDataGroupingNumber	概要	距離データのまとめ数の設定
		戻り値	boolean 実行の成否情報
		引数	long まとめる数
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
7	setParam	概要	各種パラメタの設定
		戻り値	boolean 実行の成否情報
		引数	float 計測開始位置[deg]
		引数	float 計測終了位置[deg]
		引数	long スキャン間隔
		引数	long まとめる数
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
8	getStartPosition	概要	計測開始位置の取得
		戻り値	float 計測開始位置[deg]
		引数	なし —
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
9	getEndPosition	概要	計測終了位置の取得
		戻り値	float 計測終了位置[deg]
		引数	なし —
		例外	LRSServiceException LRS サービスポート例外
10	getScanInterval	概要	スキャン間隔の取得
		戻り値	long スキャン間隔
		引数	なし —

No	関数名	説明		
		例外	LRSServiceException	LRS サービスポート例外
11	getDataGroupingNumber	概要	距離データのまとめ数の取得	
		戻り値	long	まとめる数
		引数	なし	—
		例外	LRSServiceException	LRS サービスポート例外

(※) C++の実装では、ポインタ型 (TimedMeasuredData_var, TimedStatus_var) として宣言する必要がある。

(b) コンシューマーポート

URGDataFlowComp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

URGDataFlowComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-63 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	baud_rate	long	19200	通信速度 (単位 : bps)、アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
2	device_name	string	COM1	センサ接続時に認識されたデバイス名、アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
3	scan_interval	long	0	URG センサのスキャン間引き数、アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
4	measure_mode	string	NORMAL	計測モード ("NORMAL"または"SHORT")、アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
5	start_position	float	0.0	計測開始位置 (単位 : deg) アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
6	end_position	float	180.0	計測終了位置 (単位 : deg) アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
7	data_grouping_number	long	5	まとめる方向 アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
8	sensitive_mode	string	OFF	高感度モード (“ON”, “OFF”)。 (Top-URG には高感度モードは存在しないため、“ON”であっても有効にならない) アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。
9	motor_slow_rate	long	0	モータ速度減速率 アクティブ時、または、サービスポートのコマンドにより反映される。

(4) 設定ファイル

URGDataFlowComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-64 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	urg.conf	URG センサ固有のパラメータ値を設定する。

(b) rtc.conf

URGDataFlowCompComp 独自の設定項目について記述する。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

表 3-65 rtc.conf 設定項目一覧

No.	項目名	デフォルト値	説明
1	Sensor.URGDataFlowComp.config_file	urg.conf	Top-URG センサ固有の設定ファイル名を指定する。

(c) urg.conf

Top-URG センサ固有のパラメータ設定ファイル。詳細については「3.6.3(3)」を参照のこと。

3.7. コンポーネント仕様 (PeopleTrackingV2Comp)

3.7.1. 基本情報

PeopleTrackingV2Comp は、ステレオカメラ (Bumblebee2) の情報から人物を検出し、それぞれの人物の位置と移動速度を出力するコンポーネントである。また、検出された人物の内、図で示す赤い領域が一番大きい人物の ID も付与しており、この情報は移動ロボットによる特定人物の追従などに使用する。



図 3-9 PeopleTrackingV2Comp の出力画面

PeopleTrackingV2Comp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

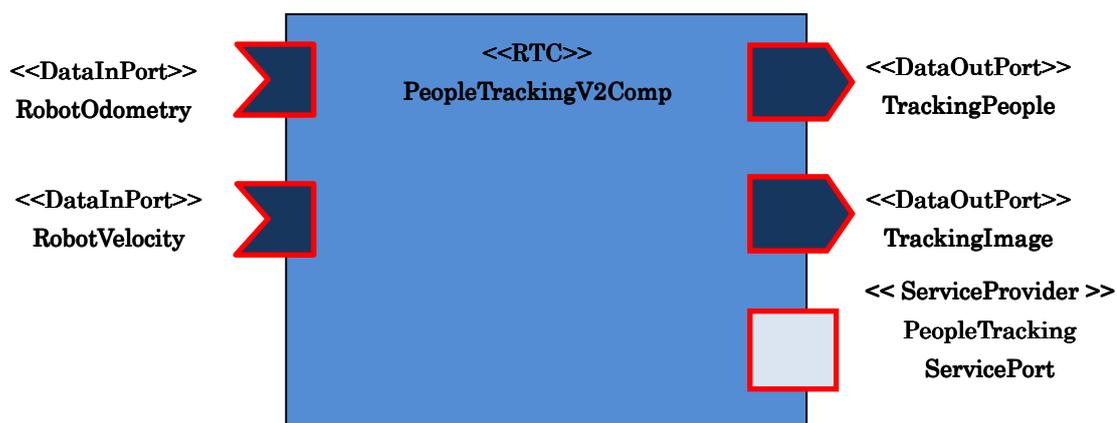


図 3-10 PeopleTrackingV2Comp のコンポーネント構成

表 3-66 PeopleTrackingV2Comp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	10000Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.7.2. アクティビティ

PeopleTrackingV2Comp のアクティビティについて記述する。

表 3-67 PeopleTrackingV2Comp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ メモリの確保・初期化
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ ウィンドウの表示
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ 人物の検出・追跡
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ ウィンドウの削除
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	以下の処理を行う。 ・ メモリの解放
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.7.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

PeopleTrackingV2Comp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-68 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	RobotOdometry	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボットの現在位置
2	RobotVelocity	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボットの現在速度

(b) アウトポート

PeopleTrackingV2Comp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-69 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	TrackingPeople	MRFC::TimedPeopleTrackingData	corba_cdr	追跡人物・移動人物データ出力
2	TrackingImage	TUT::TimedImageData	corba_cdr	経過画像出力

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

PeopleTrackingV2Comp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。

表 3-70 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	PeopleTrackingServicePort	(T.B.D.)	MRFC::PeopleTrackingService	追跡対象・移動障害物データの出力

表 3-71 MRFC::PeopleTrackingService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getTrackingData	概要	追跡対象・移動障害物のデータを取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedPeopleTrackingData	—
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(b) コンシューマーポート

PeopleTrackingV2Comp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

PeopleTrackingV2Comp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-72 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	DataPortOutputType IsRobotCoord	short int	(T.B.D.)	値が 0 のときは、データポート” TrackingPeople” の位置情報の出力 がカメラ座標系になり、値が 0 以外 ならロボット座標系になる。
2	ServicePortOutputType IsRobotCoord	short int	(T.B.D.)	値が 0 のときは、サービスポート” PeopleTrackingServicePort” の位 置情報の出力がカメラ座標系にな り、値が 0 以外ならロボット座標系 になる。

(4) 設定ファイル

PeopleTrackingV2Comp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-73 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	libSVM_gray_and_HOG_model.dat	人物判定に用いる SVM のモデルファイル
3	calibdata_BB07_20081123.txt	カメラパラメータファイル
4	depth_model (フォルダ)	人物形状のモデルファイル

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、PeopleTrackingV2Comp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

(c) libSVM_gray_and_HOG_model.dat

人物判定に用いる SVM のモデルファイル

(d) calibdata_BB07_20081123.txt

カメラパラメータファイル

(e) depth_model (フォルダ)

人物形状のモデルファイル

3.8. コンポーネント仕様 (PeopleTrackingTestComp)

3.8.1. 基本情報

PeopleTrackingTestComp は、PeopleTrackingComp の動作を確認するためのコンポーネントである。データインポートから追跡人物・移動人物データを受信し、画面に出力する。

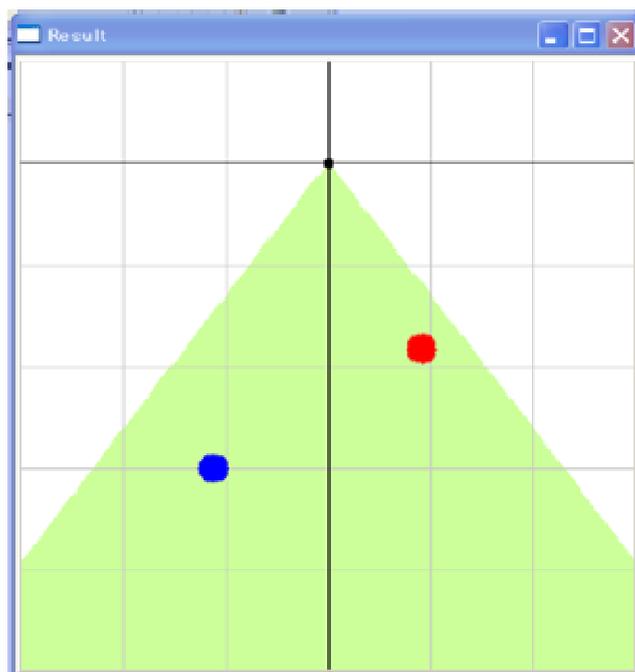


図 3-11 PeopleTrackingTestComp の出力画面

PeopleTrackingTestComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。



図 3-12 PeopleTrackingTestComp のコンポーネント構成

表 3-74 PeopleTrackingTestComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3

RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	10000Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.8.2. アクティビティ

PeopleTrackingTestComp のアクティビティについて記述する。

表 3-75 PeopleTrackingTestComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ メモリの確保・初期化
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ ウィンドウの表示
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ 人物位置の描画
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ ウィンドウの削除
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	以下の処理を行う。 ・ メモリの解放
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.8.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

PeopleTrackingTestComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-76 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	PeopleIn	MRFC::TimedPeopleTrackingData	corba_cdr	追跡人物・移動人物データの入力

(b) アウトポート

PeopleTrackingTestComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

PeopleTrackingTestComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

PeopleTrackingTestComp で定義しているコンフィギュレーションはない。

(4) 設定ファイル

PeopleTrackingTestComp で使用している設定ファイルについて記述する

(a) ファイル一覧

表 3-77 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、PeopleTrackingTestComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.9. コンポーネント仕様 (LocalizationComp)

3.9.1. 基本情報

LocalizationComp は、データポートから入力された距離データとロボットの移動量を用いて大域地図上でのロボット位置を推定するコンポーネントである。地図のスケールが 0.1[m/cell] の大域地図 (障害物存在確率地図) にのみ対応しており、コンポーネント起動時にサービスポートで受信する。

基本的にロボットが移動しながら位置を推定する事を前提としたコンポーネントであり、MobileRobotController コンポーネントに移動命令を入力することで、動き回りながらそのロボット自己位置を推定する事が可能となる。移動しながら自己位置を推定した結果は図 3-13 の様に表示される。地図上の赤い点は各パーティクルの位置を示している。

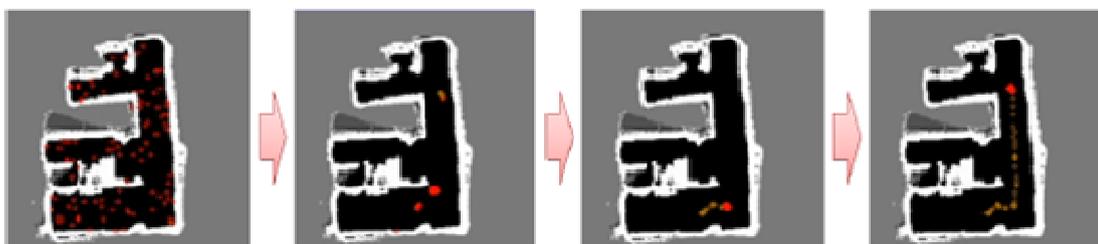


図 3-13 自己位置推定結果の例

LocalizationComp のコンポーネント構成とプロフィールを以下に示す。

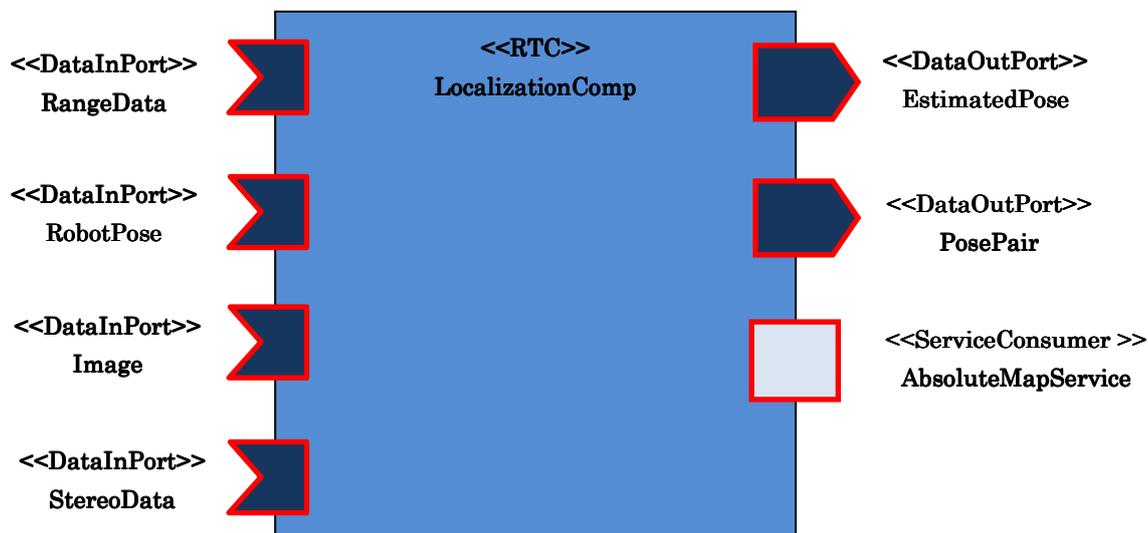


図 3-14 LocalizationComp のコンポーネント構成

表 3-78 LocalizationComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	200Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.9.2. アクティビティ

LocalizationComp のアクティビティについて記述する。

表 3-79 LocalizationComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 サービスポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 地図データの初期化 タイマの初期化と計測の開始
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 時間計測の開始（1 サイクル） 入力ポートからの値を取得 ロボットの自己位置推定 データの出力 時間計測の終了（1 サイクル）
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 処理時間計測結果の表示 地図データの破棄 変数の初期化
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—

12	onShutdown	—
----	------------	---

3.9.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

LocalizationComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-80 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	RangeData	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasuredData	corba_cdr	LRF からのデータ入力
2	RobotPose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボット移動量入力
3	Image	TUT::TimedImageData	corba_cdr	画像入力
4	StereoData	TUT::TimedStereoData	corba_cdr	ステレオ距離データ入力

(b) アウトポート

LocalizationComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-81 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	EstimatedPose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボット位置・姿勢の出力
2	PosePair	MRFC::TimedEstimatedPose2D	corba_cdr	推定位置の出力

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

LocalizationComp で定義しているプロバイダーポートはない。

(b) コンシューマーポート

LocalizationComp で定義しているコンシューマーポートについて記述する。

表 3-82 コンシューマーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AbsoluteMapService	AbsoluteMapService	MRFC::AbsoluteMapService	大域地図の取得

表 3-83 MRFC::AbsoluteMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明	
1	getAbsoluteOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。
		戻り値	RTC::OGMapConfig 地図情報
		引数	なし —
		例外	なし —
2	getAbsoluteOGMap	概要	引数で指定した範囲の地図を取得する。
		戻り値	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData 地図情報
		引数	double 絶対座標 X
		引数	double 絶対座標 Y
		引数	unsigned long セルの幅
		引数	unsigned long セルの高さ
		例外	なし —
3	getFloatAbsoluteOGMap	概要	引数で指定した範囲の地図を取得する。
		戻り値	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData 戻り値
		引数	double 絶対座標 X
		引数	double 絶対座標 Y
		引数	unsigned long セルの幅
		引数	unsigned long セルの高さ
		例外	なし —

(3) コンフィギュレーション

LocalizationComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-84 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	Particle	int	100	パーティクル数
2	debug_window	int	0	0 以外の値を指定するとデバッグ用のウィンドウを表示。
3	USE_INIT_POSE	int	0	0 を指定するとパーティクルを均等に散布。0 以外の値を指定するとパーティクルを指定した位置を中心に散布。
4	INIT_X	double	0.0	ロボット初期 X 座標(単位 : m) (USE_INIT_POSE が非 0 のときに有効)

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
5	INIT_Y	double	0.0	ロボット初期 Y 座標(単位 : m) (USE_INIT_POSE が非 0 のときに有効)
6	INIT_HEADING	double	0..0	ロボット初期方向(単位 : radian) (USE_INIT_POSE が非 0 のときに有効)

(4) 設定ファイル

LocalizationComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-85 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、LocalizationComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.10. コンポーネント仕様（SimpleGlobalMapLoaderComp）

3.10.1. 基本情報

SimpleGlobalMapLoaderCompは、大域地図データを画像ファイルから読み込み、それを基にサービスポートから地図を出力するコンポーネントである。読み込んだ大域地図画像データは、まずグレースケール化され、そのときの画素値が0に近いほど障害物の存在確率が低く（ロボットが通れる）、255に近いほど高い（ロボットが通れない）ことを表す。

画像データはOpenCVが読み込むことができる形式（PNGなど）でなければならない。図 3-15 に大域地図画像の例を示す。



図 3-15 大域地図画像の例

SimpleGlobalMapLoaderComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。



図 3-16 SimpleGlobalMapLoaderComp のコンポーネント構成

表 3-86 SimpleGlobalMapLoaderComp プロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	1Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.10.2. アクティビティ

SimpleGlobalMapLoaderComp のアクティビティについて記述する。

表 3-87 SimpleGlobalMapLoaderComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">・ サービスポートの初期化処理・ コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	—
3	onExecute	—
4	onDeactivated	—
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.10.3. インタフェース仕様

(1) データポート

SimpleGlobalMapLoaderComp で定義しているデータポートはない。

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

SimpleGlobalMapLoaderComp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。

表 3-88 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AbsoluteMapService	AbsoluteMapService	MRFC::AbsoluteMapService	大域座標系地図の出力

表 3-89 MRFC::AbsoluteMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getAbsoluteOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—
2	getAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	Double	絶対座標 X
		引数	Double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—
3	getFloatAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—

(b) コンシューマーポート

SimpleGlobalMapLoaderComp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

SimpleGlobalMapLoaderComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-90 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	MapData	string	data/gmap.png	読みこむ地図のファイル名を指定
2	InputMapScale	double	0.1	読みこんだ地図画像のスケール(単位: pixel)

(4) 設定ファイル

SimpleGlobalMapLoaderComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-91 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	data/gmap.png	地図画像ファイル

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、SimpleGlobalMapLoaderComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

(c) data/gmap.png

大域地図データの画像ファイル。

3.11. コンポーネント仕様 (SLAMComp)

3.11.1. 基本情報

SLAMCompは、データポートから入力された距離データとロボットの移動量を用いてロボットの周囲の障害物存在確率地図を生成するためのコンポーネントである。SLAMCompのコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

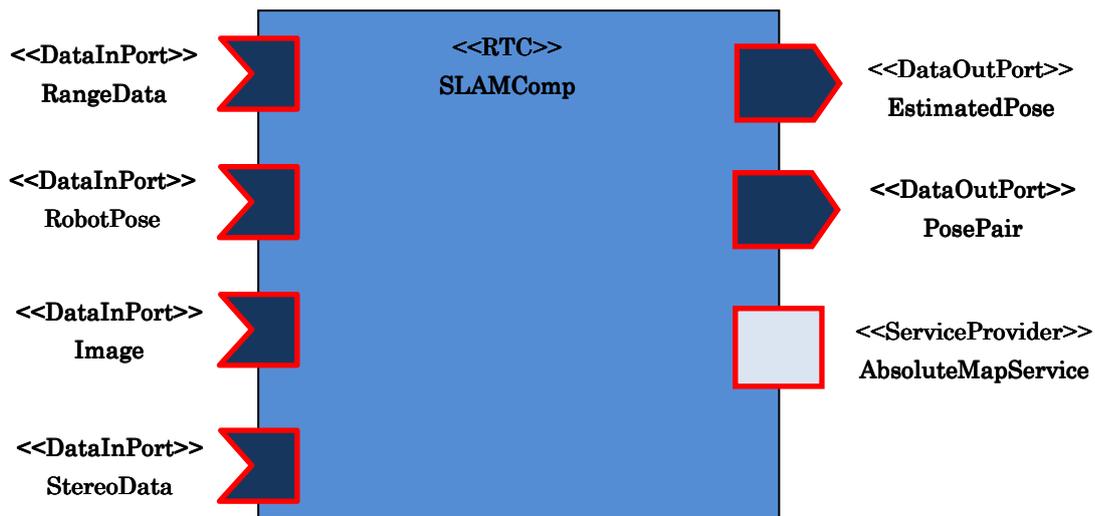


図 3-17 SLAMComp のコンポーネント構成

表 3-92 SLAMComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	200Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	0

3.11.2. アクティビティ

SLAMComp のアクティビティについて記述する。

表 3-93 SLAMComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 サービスポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 地図データの初期化 タイマの初期化と時間計測の開始
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 時間計測の開始 (1 サイクル) 入力ポートからの値を取得 大域地図の生成 データの出力 時間計測の終了 (1 サイクル)
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 処理時間計測結果の表示 生成した地図画像の保存 地図データの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.11.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

SLAMComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-94 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	RangeData	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimedMeasureData	corba_cdr	LRF からのデータ入力
2	RobotPose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボット移動量入力
3	Image	TUT::TimedImageData	corba_cdr	画像入力
4	StereoData	TUT::TimedStereoData	corba_cdr	ステレオ距離データ入力

(b) アウトポート

SLAMComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-95 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	EstimatedPose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	推定したロボット位置・姿勢の出力
2	PosePair	MRFC::TimedEstimatedPose2D	corba_cdr	推定したロボット位置・姿勢の出力

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

SLAMComp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。

表 3-96 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AbsoluteMapService	AbsoluteMapService	MRFC::AbsoluteMapService	大域地図の出力

表 3-97 MRFC::AbsoluteMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getAbsoluteOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	—
		引数	なし	—

No	関数名	説明		
		例外	なし	—
2	getAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—
3	getFloatAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—

(b) コンシューマーポート

SLAMComp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

SLAMComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-98 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	Particle	int	50	パーティクル数
2	debug window	int	0	0 以外の値を指定するとデバッグ用のウィンドウを表示。

(4) 設定ファイル

SLAMComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-99 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、SLAMComp 独自の設定項目について記述する。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

表 3-100 rtc.conf 設定項目一覧

No.	項目名	デフォルト値	説明
1	corba.args:	-ORBgiopMaxMsgSize 20000000	omniORB の通信におけるメッセージサイズの制限を設定する。

3.12. コンポーネント仕様 (GlobalMapViewComp)

3.12.1. 基本情報

GlobalMapViewCompは、大域地図を表示するコンポーネントである。表示しない場合は使用する必要はない。大域地図の表示例を図 3-18に示す。



図 3-18 大域地図の表示例

GlobalMapViewComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

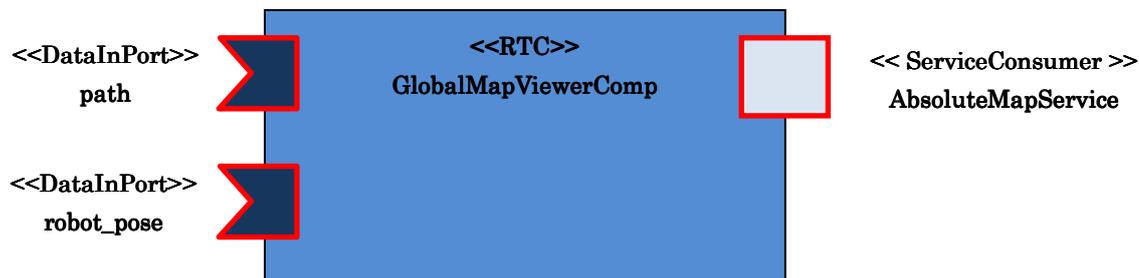


図 3-19 GlobalMapViewComp のコンポーネント構成

表 3-101 GlobalMapViewComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV 2.1
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	0 (無制限)

3.12.2. アクティビティ

GlobalMapViewComp のアクティビティについて記述する。

表 3-102 GlobalMapViewComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 サービスポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 大域地図を表示するウィンドウの生成 地図データの初期化処理 パラメータの初期化処理
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 入力ポートからの入力値を取得 大域地図の描画 (サービスポートが接続されていない場合、何もしない)
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 大域地図を表示するウィンドウの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.12.3. インターフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

GlobalMapViewComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-103 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	path	IIS::TimedPoseVel 2DSeq	corba_cdr	経路データの取得（不使用）
2	robot_pose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボット位置入力

(b) アウトポート

GlobalMapViewComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

GlobalMapViewComp で定義しているプロバイダーポートはない。

(b) コンシューマーポート

GlobalMapViewComp で定義しているコンシューマーポートについて記述する。

表 3-104 コンシューマーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AbsoluteMapService	AbsoluteMapService	MRFC::AbsoluteMapService	大域地図の取得。

表 3-105 MRFC::AbsoluteMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getAbsoluteOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—
2	getAbsoluteOGMap	概要	指定した範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—

No	関数名	説明		
3	getFloatAbsoluteOGMap	概要	指定した範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—

(3) コンフィギュレーション

GlobalMapViewComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-106 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	map_type	int	1	MRFC::AbsoluteMapService には octed 型の地図と float 型の地図の 2 種類の実装があり、どちらを用いるかを指定する。0 のときは octet 型を、非 0 のときは float 型の地図を用いる。
2	color_reverse	int	0	値が 0 のときは障害物の存在確率が高いセルを白で表示する。値が 0 以外のときは障害物の存在確率が高いセルを黒で表示する

(4) 設定ファイル

GlobalMapViewComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-107 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、GlobalMapViewComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.13. コンポーネント仕様 (LocalMapComp)

3.13.1. 基本情報

LocalMapCompは、移動ロボットがレーザーレンジセンサの距離データとロボットの移動量を基に周囲の障害物存在確率地図を生成するためのコンポーネントである。生成された局所地図の例を図 3-20に示す。

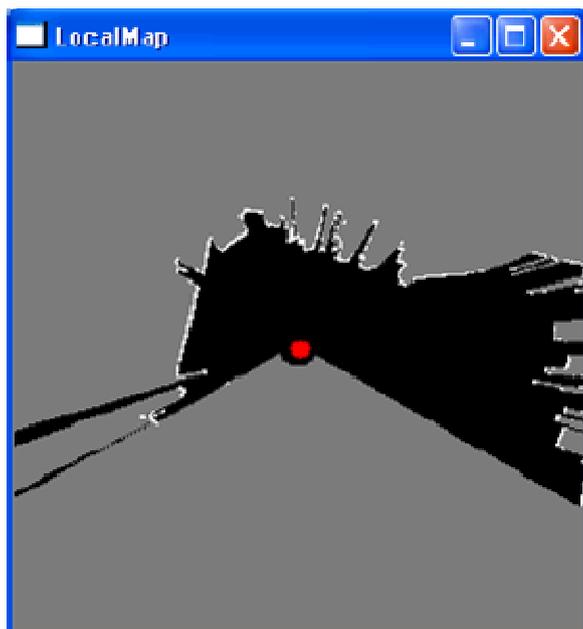


図 3-20 局所地図の表示例

LocalMapComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

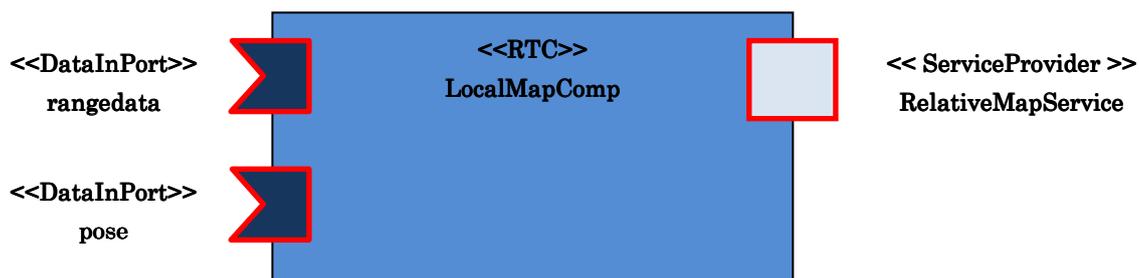


図 3-21 LocalMapComp のコンポーネント構成

表 3-108 LocalMapComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
----	-----

提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.13.2. アクティビティ

LocalMapComp のアクティビティについて記述する。

表 3-109 LocalMapComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 サービスポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 地図データの初期化
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 入力ポートからの値を取得 局所地図の生成
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 局所地図データの破棄
5	onAborting	未使用
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.13.3. インターフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

LocalMapComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-110 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	rangedata	SensorRTC::Laser RangeSensor::idl:: TimedMeasuredDa ta	corba_cdr	LRF からのデータ入力
2	pose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボット位置入力

(b) アウトポート

LocalMapComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

LocalMapComp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。

表 3-111 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	RelativeMapService	RelativeMapService	MRFC::RelativeMapService	局所地図の出力

表 3-112 MRFC::RelativeMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getRelativeOGMapConfig	概要	地図の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—
2	getRelativeOGMap	概要	局所地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—
3	getFloatRelativeOGMap	概要	局所地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(b) コンシューマーポート

LocalMapComp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

LocalMapComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-113 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	LocalMapWidth	int	200	地図の X 方向の大きさ (単位: cell)
2	LocalMapHeight	int	200	地図の Y 方向の大きさ (単位: cell)
3	LocalMapScale	double	0.05	1 グリッドのサイズ(単位: m/cell)
4	SensorPositionX_m	double	0.0	センサ取り付け位置(単位: m)
5	SensorPositionY_m	double	0.0	センサ取り付け位置(単位: m)
6	SensorPositionTheta_deg	double	0.0	センサ取り付け角度 (単位: degree)
7	SensorMaxDistance_mm	double	30000.0	センサの最大測定距離 (単位: mm)
8	SensorMinDistance_mm	double	20.0	センサの最大測定距離 (単位: mm)
9	Error_code	long	19	対象が遠すぎて値が取得できなかった際のデータ値 classicURG の場合は 19 TopURG の場合は 1
10	Error_mode	long	0	値に応じて URG のエラーコードの範囲を決定する。 classicURG の場合は 1 TopURG の場合は 2

(4) 設定ファイル

LocalMapComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-114 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、LocalMapComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.14. コンポーネント仕様 (LocalMapViewComp)

3.14.1. 基本情報

LocalMapViewComp は、生成された局所地図を表示するコンポーネントである。表示しない場合は必要ない。コンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。



図 3-22 LocalMapViewComp のコンポーネント構成

表 3-115 LocalMapViewComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV2.1
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	0 (無制限)

3.14.2. アクティビティ

LocalMapViewComp のアクティビティについて記述する。

表 3-116 LocalMapViewComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">データポートの初期化処理サービスポートの初期化処理コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">局所地図を表示するウィンドウの生成地図データの初期化
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">入力ポートからの値を取得局所地図の初期化 (サービスポートが接続されていない場合、何もしない)
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">局所地図を表示するウィンドウの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.14.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

LocalMapViewComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-117 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	peopledata	MRFC::TimedPeopleTrackingData	corba_cdr	人物データの取得（不使用）

(b) アウトポート

LocalMapViewComp で定義しているアウトポートはない。

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

LocalMapViewComp で定義しているプロバイダーポートはない。

(b) コンシューマーポート

LocalMapViewComp で定義しているコンシューマーポートについて記述する。

表 3-118 コンシューマーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	RelativeMapService	RelativeMapService	MRFC::RelativeMapService	局所地図の取得

表 3-119 MRFC::RelativeMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getRelativeOGMapConfig	概要	地図の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—
2	getRelativeOGMap	概要	地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—
3	getFloatRelativeOGMap	概要	地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(3) コンフィギュレーション

LocalMapViewComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-120 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	color_reverse	int	0	値が0のときは障害物の存在確率が高いセルを白で表示する 値が0以外の場合は障害物の存在確率が高いセルを黒で表示する
2	robot_radius	int	0	ロボット位置（原点）を示す円の表示サイズ
3	person_radius	int	5	人を示す円の表示サイズ

(4) 設定ファイル

LocalMapViewComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-121 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、LocalMapViewComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.15. コンポーネント仕様 (EnvironmentSimulatorComp)

3.15.1. 基本情報

EnvironmentSimulatorCompは、屋内環境、そこで行動するロボット、そして環境内の人の動きを再現するコンポーネント (シミュレータ) である。歩行者の動きは「大域的な動き」および「個人レベルの局所的な動き」に分類され、シミュレータではポテンシャルモデルと移動ネットワークを組み合わせる事によってこれを再現する。

障害物 (壁) の情報と人の行動に関する情報が記録された環境データはテキストファイルとして用意する。障害物の情報は2つの座標を結ぶ線分として表現されており、線分の集合として表現することができれば、ある程度複雑な環境でも再現することが可能である。

環境データのファイル名をシミュレータRTCのコンフィグレーションで指定することにより、簡単に環境を切り替えてシミュレーションを行う事が可能である。

環境シミュレータの画面を図 3-23に示す。この図の環境は食堂をモデル化し、再現したものである。図中では橙色の丸でロボットを表現し、緑色の丸で人を表現している。

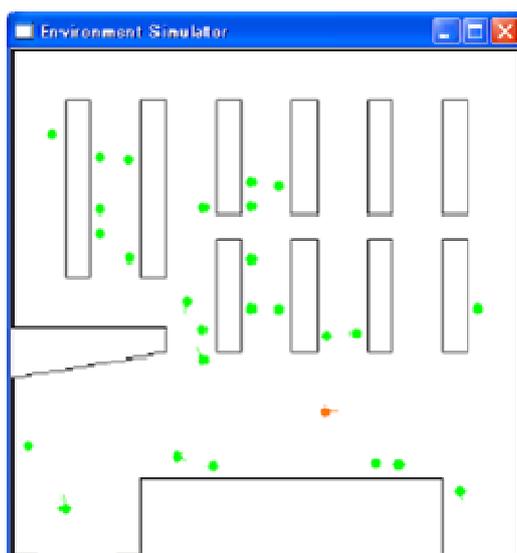


図 3-23 シミュレータの画面

また、シミュレータは人の移動に加え、「席で休む」「行列に並ぶ」といった公共空間で見られる特徴的な人の行動もモデル化し、再現することが可能である。

EnvironmentSimulatorComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

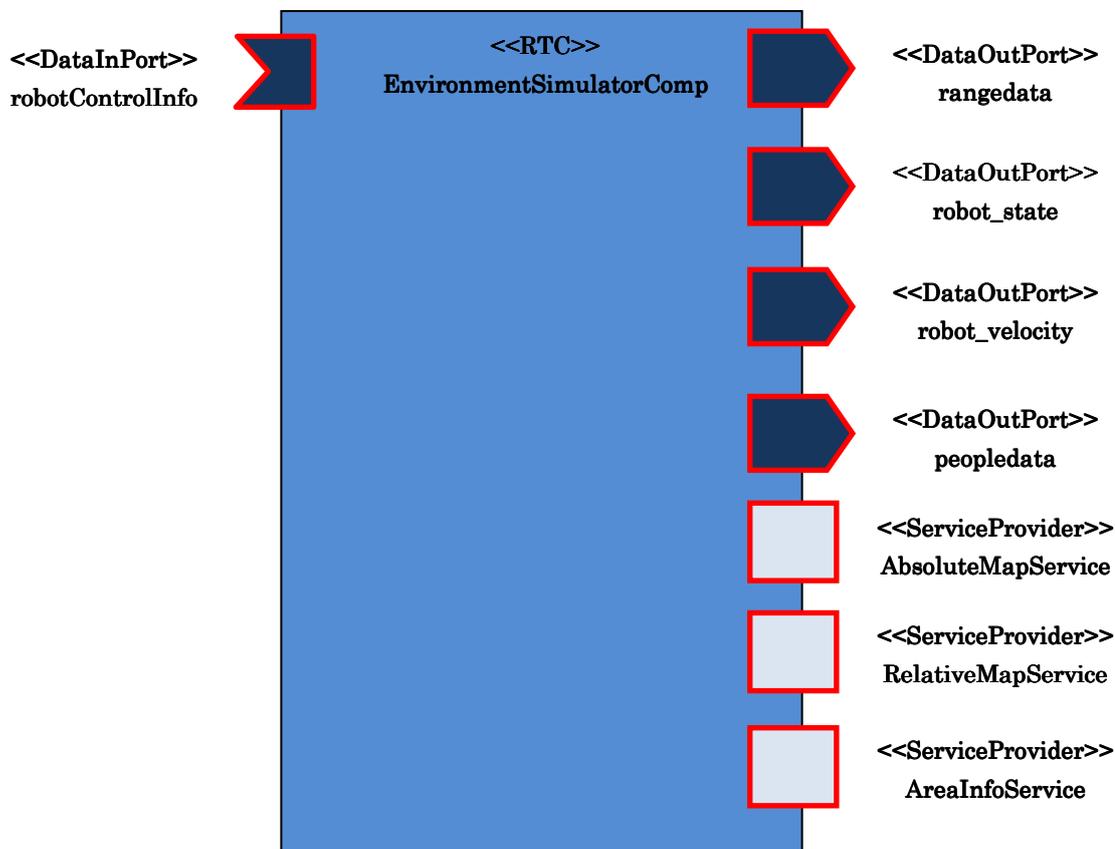


図 3-24 EnvironmentSimulatorComp のコンポーネント構成

表 3-122 EnvironmentSimulatorComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV2.1、CGAL 3.7
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	0 (無制限)

3.15.2. アクティビティ

EnvironmentSimulatorComp のアクティビティについて記述する。

表 3-123 EnvironmentSimulatorComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 サービスポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 環境データの構築 (環境データに入口が無い場合、デフォルトの環境データを構築する) 疑似ロボットの初期化 疑似センサの初期化 シミュレータの初期化 時刻計測の開始
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 時間計測の開始 (1 サイクル) ロボット情報の更新 多数人物シミュレータの実行 データの出力 地図データを生成し地図のウィンドウを表示 時間計測の停止 (1 サイクル)
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 時刻計測の終了 地図ウィンドウの破棄
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.15.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

EnvironmentSimulatorComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-124 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	robotControlInfo	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボット制御命令

(b) アウトポート

EnvironmentSimulatorComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-125 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	rangedata	SensorRTC::LaserRangeSensor::idl::TimeMeasuredData	corba_cdr	レーザ距離データの出力
2	robot_state	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボットのオドメトリ (大域座標)
3	robot_velocity	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボットの速度情報
4	peopledata	TimedPeopleTrackingData	corba_cdr	人物情報

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

EnvironmentSimulatorComp で定義しているプロバイダーポートについて記述する。

表 3-126 プロバイダーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AbsoluteMapService	AbsoluteMapService	MRFC::AbsoluteMapService	大域地図の取得
2	RelativeMapService	RelativeMapService	MRFC::RelativeMapService	局所地図の取得
3	AreaInfoService	AreaInfoService	TUT::AreaInfoService	経路計画用のグラフ情報の取得

表 3-127 MRFC::AbsoluteMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getAbsoluteOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—

No	関数名	説明		
		例外	なし	—
2	getAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—
3	getFloatAbsoluteOGMap	概要	指定された範囲の地図を提供する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatAbsoluteOGMapData	地図情報
		引数	double	絶対座標 X
		引数	double	絶対座標 Y
		引数	unsigned long	セルの幅
		引数	unsigned long	セルの高さ
		例外	なし	—

表 3-128 MRFC::RelativeMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getRelativeOGMapConfig	概要	地図全体の情報を取得する。	
		戻り値	RTC::OGMapConfig	地図情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—
2	getRelativeOGMap	概要	地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—
3	getFloatRelativeOGMap	概要	地図を取得する。	
		戻り値	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	局所地図
		引数	なし	—
		例外	なし	—

表 3-129 TUT::AreaInfoService : I / F 仕様

No	関数名	説明	
1	getAreaInfo	概要	エリア情報を取得する。

No	関数名	説明		
		戻り値	TUT::TimedAreaInfo	エリア情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(b) コンシューマーポート

EnvironmentSimulatorComp で定義しているコンシューマーポートはない。

(3) コンフィギュレーション

EnvironmentSimulatorComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-130 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	FieldDataFile	string	Field.txt	シミュレーションに用いる環境データのテキストファイルを指定。
2	walkingrate_mean	double	1.33	シミュレータ上で再現された人の歩行速度の平均 (単位: m/s)
3	walkingrate_std_deviation	double	0.1	シミュレータ上で再現された人の歩行速度の標準偏差 (単位: m/s)
4	localmap_width	int	200	シミュレータが出力する局所地図の縦の大きさ (単位: cell)
5	localmap_height	int	200	シミュレータが出力する局所地図の横の大きさ (単位: cell)
6	localmap_scale	double	0.05	シミュレータが出力する局所地図のスケール (単位: m/cell)
7	globalmap_scale	double	0.1	シミュレータが出力する大域地図のスケール (単位: m/cell)
8	following_target_id	int	2	シミュレータが何番目に出現した物を追従対象とするかを指定 追従対象を設定しない場合は負数を指定する
9	robot_tread	double	0.3325	ロボットのトレッド (車輪間距離) (単位: m)
10	robot_acceleration	double	0.400	ロボットの加速性能 (単位: m/s ²)
11	robot_deceleration	double	0.400	ロボットの減速性能 (単位: m/s ²)
12	robot_init_x	double	3.5	ロボット初期位置の X 座標 (単位: m)
13	robot_init_y	double	1.0	ロボット初期位置の Y 座標 (単位: m)
14	robot_init_heading	double	200.0	ロボット初期位置向き (単位: degree)

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
15	robot_move_error_x	double	0.0	ロボットが移動したときに制御命令に対して移動後の X 座標がどれだけずれるかを指定する (単位: m)
16	robot_move_error_y	double	0.0	ロボットが移動したときに制御命令に対して移動後の Y 座標がどれだけずれるかを指定する (単位: m)
17	robot_move_error_heading	double	0.0	ロボットが移動したときに制御命令に対して移動後の向きがどれだけずれるかを指定する (単位: degree)
18	range_start_position	double	-30.0	シミュレータ上のロボットが距離センサで計測する距離データの開始角度 (単位: degree)
19	range_end_position	double	210.0	シミュレータ上のロボットが距離センサで計測する距離データの終了角度 (単位: degree)
20	range_data_num	int	480	シミュレータ上のロボットが距離センサで出力する距離データ数
21	range_max_distance	double	30.0	シミュレータ上のロボットが距離センサで計測できる最大距離 (単位: m)
22	range_far_code	long	-1	シミュレータ上のロボットが距離センサで計測できる最大距離を越えた場合に返却する値
23	range_std_deviation	double	0.0	距離データに付加する計測誤差の標準偏差
24	range_peason_radius	double	0.2	シミュレータ上のロボットがレーザ距離データで写す人 (円形) の半径 (単位: m)
25	range_sensor_x	double	0.0	ロボットに距離センサが取り付けられている位置の X 座標 (単位: m)
26	range_sensor_y	double	0.0	ロボットに距離センサが取り付けられている位置の Y 座標 (単位: m)
27	range_sensor_heading	double	0.0	ロボットに距離センサが取り付けられている位置の向き (単位: degree)
28	show_map_scale	double	0.05	シミュレーションウィンドウの地図を表示するスケール (単位: m/pixel)
29	display_range_data	int	0	0 以外の値を指定すると、シミュレーションウィンドウに、レーザ距離データの計測した範囲を可視化して表示する

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
30	simulate_people	int	1	値を0に設定すると人物のシミュレーションは行われず（人が出現しない）状態でロボットの動作試験のみを行うことができる。
31	simulate_skip	int	1	0 の場合は人が誰もいない状態から、1 に設定すると最初の人が出現するところから、2 にすると following_target_id で指定した追従対象の人物が出現するところからシミュレーションを開始する。

(4) 設定ファイル

EnvironmentSimulatorComp で使用している設定ファイルについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-131 ファイル一覧

No.	ファイル名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	Field.txt	シミュレーションに用いる環境データのテキストファイル（簡単なサンプル）
3	Mensa.txt	シミュレーションに用いる環境データのテキストファイル（学食を想定したサンプル）
3	SuperMarkt.txt	シミュレーションに用いる環境データのファイル（スーパーマーケットを想定したサンプル）

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、EnvironmentSimulatorComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

(c) Field.txt

コンフィグレーションの FieldDataFile に指定することで、簡単なシミュレートが実行可能となる。

(d) Mensa.txt

コンフィグレーションの FieldDataFile に指定することで、学食を想定したシミュレートが実行可能となる。

(e) SuperMarkt.txt

コンフィグレーションの FieldDataFile に指定することで、スーパーマーケットを想定した簡単なシミュレートが実行可能となる。

3.16. コンポーネント仕様 (PathPlannerV2Comp)

3.16.1. 基本情報

PathPlannerV2Comp は静止・移動障害物を回避しながら、指定物体を追う経路を計画するコンポーネントである。例えば、`planning_img` ポートに対応する画像表示 RTC を接続している場合、図 3-25 のようなロボットを中心とした地図上において、ロボットが経路を探索している様子が表示される。

ここで、画像中央の橙色の物体がロボットであり、ゴール地点は赤丸で示している。ロボットが移動可能な領域は青で示され、黒い部分は移動不可能な領域である。緑色で示しているのは静止障害物あるいは止まっている人物が存在する地点であり、三角形で示しているのは移動中の人物とその向きである。ロボットがこれまでに通った経路は橙色のラインで示され、黄色で探索した経路を示す。



図 3-25 経路計画の様子(画像表示 RTC 利用時)

PathPlannerV2Comp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

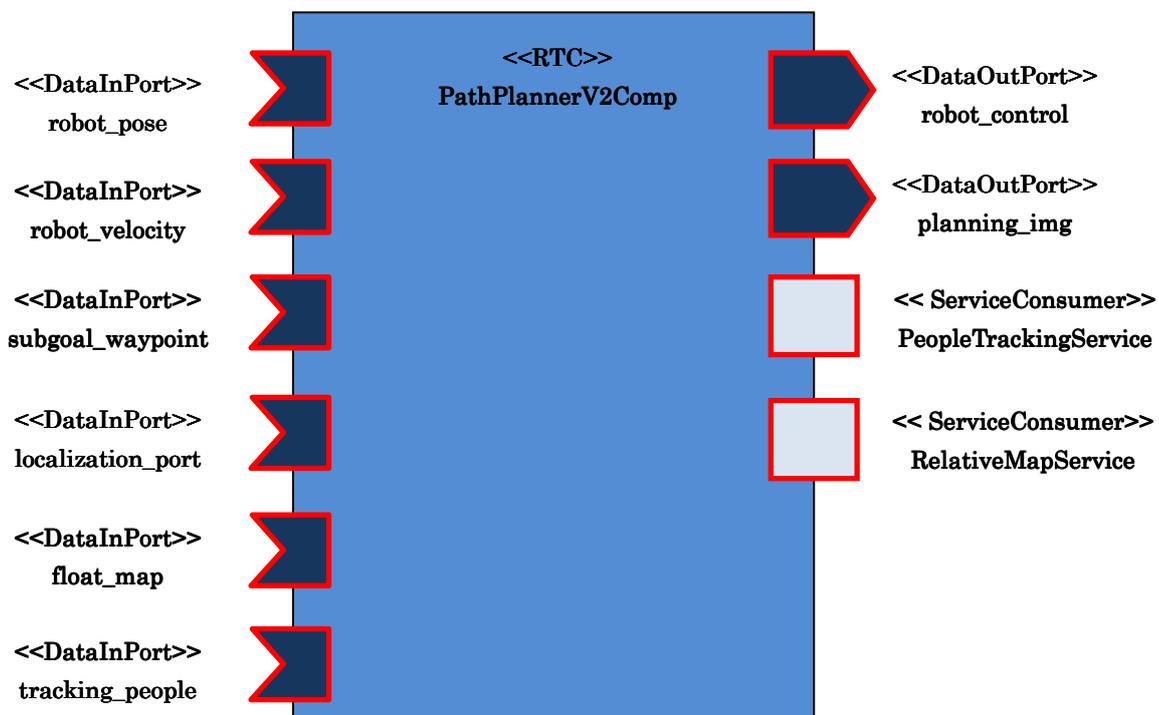


図 3-26 PathPlannerV2Comp のコンポーネント構成

表 3-132 PathPlannerV2Comp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	OpenCV2.1
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.16.2. アクティビティ

PathPlannerV2Comp のアクティビティについて記述する。

表 3-133 PathPlannerV2Comp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ コンフィギュレーションパラメータの読み込み ・ 大域変数の初期化 ・ motion set の読み込み
3	onExecute	以下の処理を順に行う。 ・ ロボットの位置と速度の読み込み ・ 地図の読み込み ・ 移動物体データ（人物データ）の読み込み ・ 目標位置、経由点位置データの読み込み ・ 経路計画のためのポテンシャル場の計算 ・ ランダム木探索による経路の生成 ・ ロボットへの移動コマンドの送出と経路計画結果の表示
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ 経路計画処理の終了
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.16.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

PathPlannerV2Comp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-134 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	robot_pose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボットの現在位
2	robot_velocity	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボットの現在速
3	subgoal_waypoint	IIS::TimedPoseVel2DSeq	corba_cdr	目標地点の系列
4	localization_port	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	確率的自己位置姿勢(不使用)
5	float_map	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	corba_cdr	地図データ
6	tracking_people	MRFC::TimedPeopleTrackingData	corba_cdr	移動障害物・追跡対象のデータの取得

(b) アウトポート

PathPlannerV2Comp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-135 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	robot_control	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	制御出力 (速度)
2	planning_img	TUT::TimedImageData	corba_cdr	処理経過画像出力

(2) サービスポート

MovingObstaclePort からは、移動物体（人物）の位置と速度が取得できる。また、そのうちのひとつを追跡するようになっている。情報は MRFC::PeopleTrackingService の getTrackingData というサービスから入力される。このサービスからの戻り値として MRFC::TimedPeopleTrackingData 型のデータを渡す。メンバ変数 data のメンバ変数の中に MRFC::PersonData 型の配列がある。この配列の要素の一つ一つが、人物（移動障害物）の情報であり、この中の指定された一つを追跡する。指定しなかったものは、移動障害物として判断され回避するような経路を作る。追跡対象はメンバ変数 id で指定する。人物（移動障害物）配列の要素番号が id と同じデータの人物（移動障害物）が追跡される。

(a) プロバイダーポート

PathPlannerV2Comp で定義しているプロバイダーポートはない。

(b) コンシューマーポート

PathPlannerV2Comp で定義しているコンシューマーポートについて記述する。

表 3-136 コンシューマーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	PeopleTrackingService	PeopleTrackingService	MRFC::PeopleTrackingService	移動障害物・追跡対象のデータを取得
2	RelativeMapService	RelativeMapService	MRFC::RelativeMapService	環境情報の取得

表 3-137 MRFC::PeopleTrackingService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getTrackingData	概要	対象の速度・絶対位置を取得	
		戻り値	MRFC::TimedPeopleTrackingData	—
		引数	なし	—
		例外	なし	—

表 3-138 MRFC::RelativeMapService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getFloatRelativeOGMap	概要	環境情報の取得	
		戻り値	MRFC::TimedFloatRelativeOGMapData	—
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(3) コンフィギュレーション

PathPlannerV2Comp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-139 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	GOAL_AREA	float	0.8	ロボットとゴール間の距離が指定値より小さくなったらロボットが停止する。 (単位 : m)
2	LOOP_TIME	float	0.5	経路計画のリプランニング周期の設定。 (単位 : 秒)
3	MOVING_OBSACLE_RADIUS	float	0.2	移動障害物の半径 (単位 : m)
4	ROBOT_ACCELERATION	float	0.4	ロボットの加速度 (単位 : m/s ²)

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
5	ROBOT_MAX_SPEED	float	0.5	許容するロボットの最大速度 (単位: m/s ²)
6	ROBOT_RADIUS	float	0.310	ロボットの半径(単位: m) ENON, PeopleBot, PatraFour の 3 種類
7	TREAD	float	0.3325	車輪トレッドの指定(単位: m) ENON, PeopleBot, PatraFour の 3 種類
8	MOTION_SET_FILE	String	Motion Set.mtn	ロボットが使用するモーションセットの定義
9	SOUND_SET	int	2	デバッグ音声の設定 0: 音声不使用 1: 音声セット 1 使用 2: 音声セット 2 使用
10	USE_WAYPOINT_PORT	int	2	目標地点に対して経路点を使うかどうか。 0: 経路点は使わず人物追跡データを使用する。 1: 経路点を使用。局所地図中で最も遠い経路点を目指す。 2: 経路点を使用。各経路点の一つ一つを追従。
11	USE_WAYPOINT_HEADING	int	0	経路点にロボットの方向を使うかどうか 0: 使わず、位置のみ。 1: 使う
12	USE_LOCALIZATION_PORT	int	0	robot_pose データポートからロボットの現在位置を得る場合は 0 を指定。 localization_port データポートからロボットの現在位置を取得する場合は 1 を指定。(現在は使用していない)
13	USE_PEOPLE_TRACKING	int	0	人物追跡を使うかどうか 0: 使わない 1: 使う
14	USE_VIDEO	int	0	local_map の結果をビデオで撮るかどうか 0: ビデオを撮らない 1: ビデオを撮る
15	USE_MAP_SERVICE	int	1	map_service_port を使うかどうか 0: サービスポートは使わずデータポートを使う 1: サービスポートを使う

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
16	USE_PEOPLE_SERVICE	int	0	people_tracking_service_port を使うかどうか 0: サービスポートは使わずデータポートを使う 1: サービスポートを使う

(4) 設定ファイル

PathPlannerV2Comp で使用している設定ファイル及び、フォルダについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-140 ファイル一覧

No.	ファイル/フォルダ名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。
2	PathPlannerV2Configuration.conf	複数の項目を設定したコンフィグレーションファイル。
3	MotionSet.mtn	ロボットの動作セットの定義ファイル。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、PathPlannerV2Comp 独自の設定項目について記述する。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

表 3-141 rtc.conf 設定項目一覧

No.	項目名	デフォルト値	説明
1	Category.PathPlannerV2.config_file	PathPlannerV2 Configuration.conf	PathPlannerV2Comp 独自のコンフィグレーションを設定したファイル名を指定する。

(c) PathPlannerV2Configuration.conf

あらかじめ用意された複数のコンフィギュレーションセットの値を指定したコンフィグファイル。

(d) MotionSet.mtn

初期設定で指定されている動作セットの定義ファイル。

3.17. ツール仕様 (MotionSet_setting)

このツールは、PathPlannerV2Comp で使用するロボットの動作セットを定義し、定義ファイルを作成するためのツールである。

表 3-142 MotionSet_setting の構成

No.	ツール名称	機能
1	make_MotionSet.exe	<ul style="list-style-type: none">ロボットの動作セットを定義する。定義ファイルを作成する。
2	read_MotionSet.exe	<ul style="list-style-type: none">設定ファイルの内容を確認する。

3.17.1. make_MotionSet.exe

(1) 基本情報

表 3-143 make_MotionSet.exe プロファイル

種別	ツール
提供元	独立行政法人産業技術総合研究所
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	—
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	—
バージョン	1.0
最大インスタンス数	—

(2) 使用方法

動作セットを定義するには、“MotionSet_setting”フォルダ内の”make_MotionSet.exe”を実行する。実行すると以下のようなコンソールが表示されるので、作成する動作セットの定義ファイルのパスを入力する。既に存在するファイルを指定した場合、内容は上書きされる。

```
Please input file name to create a motion file.
_
```

図 3-27 make_MotionSet.exe 実行：動作セットの定義

例として、定義ファイル名に “test.mtn”を指定した場合、外套フォルダに”test.mtn”のファイルが作成され、コンソールには以下のように表示される。

```
test.mtn
create file : test.mtn
```

図 3-28 定義ファイルパス入力：動作セットの定義

次に、定義する動作セットの数を入力する。動作セットの数に 10 指定した場合、以下のように表示される。

```
motion num =10
OK, motion num = 10.
```

図 3-29 動作数入力：動作セットの定義

次に、各動作セット、R（旋回半径[mm]）と V（速度[mm/sec]）を入力する。R に 0 を指定した場合、直進を意味する。動作セットの数で指定した数だけ、繰り返し入力する。R に 0（直進）、V に 100 を設定した場合、以下のように表示される。

```
input "R V"
1:
R=0
V=100
```

図 3-30 動作数表示：動作セットの定義

3.17.2. read_MotionSet.exe

(1) 基本情報

表 3-144 read_MotionSet.exe プロファイル

種別	ツール
提供元	独立行政法人産業技術総合研究所
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	—
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	—
バージョン	1.0
最大インスタンス数	—

(2) 使用方法

動作セット定義ファイルに定義されている内容を買う人するには、”MotionSet_setting”フォルダ内の”read_MotionSet.exe”を実行する。実行すると以下のようなコンソールが表示されるので、確認する動作セットの定義ファイルのパスを入力する。

```
Please input read file name.
```

図 3-31 旋回半径入力：動作セットの定義

指定したファイルに定義されている動作の数と各動作の値が表示される。

```
1:r=0.00      v=100.00
2:r=0.00      v=100.00
3:r=1600.00   v=50.00
4:r=1600.00   v=50.00
5:r=800.00    v=-50.00
6:r=800.00    v=-50.00
7:r=0.00      v=-100.00
8:r=-800.00   v=-100.00
9:r=-800.00   v=-50.00
10:r=-1600.00 v=0.00
```

図 3-32 速度入力：動作セットの定

3.18. コンポーネント仕様（MobileRobotsControllerComp）

3.18.1. 基本情報

このコンポーネントは MobileRobots 社のロボットを制御するためのコンポーネントである。コンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

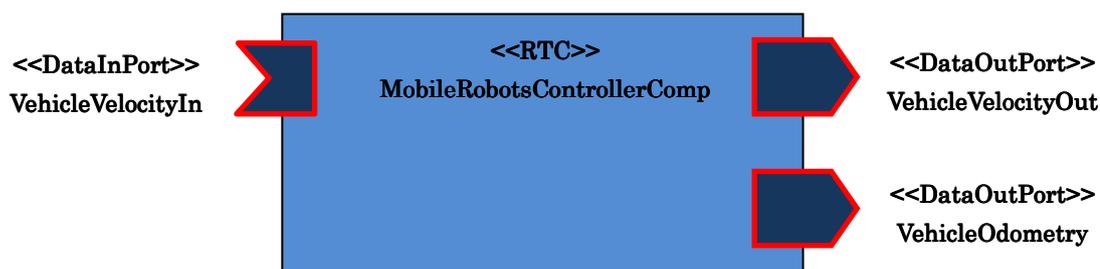


図 3-33 MobileRobotsControllerComp のコンポーネント構成

表 3-145 MobileRobotsControllerComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	ARIA 2.7.1
実行周期	200Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.18.2. アクティビティ

MobileRobotsControllerComp のアクティビティについて記述する。

表 3-146 MobileRobotsControllerComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ データポートの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ COM ポート番号の設定 ・ ロボットとの通信を開始
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ ロボットの位置姿勢及び速度の更新
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 ・ ロボットとの通信を終了
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.18.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

MobileRobotsControllerComp で定義しているインポートについて記述する。

表 3-147 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	VehicleVelocityIn	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボットの制御入力

(b) アウトポート

MobileRobotsControllerComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-148 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	VehicleVelocityOut	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	ロボットの現在速度
2	VehicleOdometry	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	ロボットの現在位置

(2) サービスポート

MobileRobotsControllerComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

MobileRobotsControllerComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-149 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	com_port_no (※)	short int	1	ロボットと PC 間の接続の COM ポート番号。1~16 の間で指定。
2	limit_speed_meter_per_second	double	0.8	ロボットの制御入力で受け付ける最大速度。(単位: m/sec)
3	limit_turn_dps	double	90	ロボットの制御入力で受け付ける最大角速度。(単位: degree/sec)

(※) ロボットと接続している COM ポート番号と”com_port_no”の値が異なる場合、ロボットを制御できない。RT SystemEditor の ConfigurationView で、ロボットと接続している COM ポート番号との com_port_no の値が同一であることを確認し、異なっている場合は値を変更する。

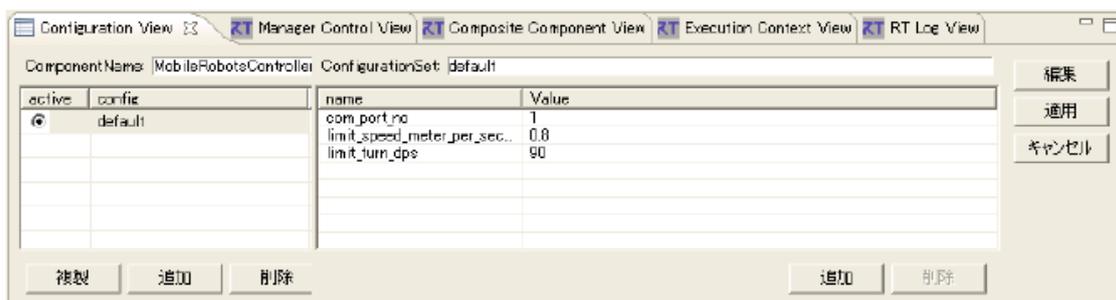


図 3-34 RT SystemEditor からの com_port_no の設定

(4) 設定ファイル

MobileRobotsControllerComp で使用している設定ファイル及び、フォルダについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-150 ファイル一覧

No.	ファイル/フォルダ名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、MobileRobotsControllerComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.19. コンポーネント仕様 (Dumy_velocity_dataComp)

3.19.1. 基本情報

Dumy_velocity_dataComp は、MobileRobotsControllerComp に速度情報を通知し、ロボットを疑似的に操作することを可能とする。手順は、コンソール画面に並進速度[m/s]角速度[rad/s]を順に入力し Enter を押下する。入力値の区切り文字は半角スペースとする。コンソール画面を図 3-35 に示す。

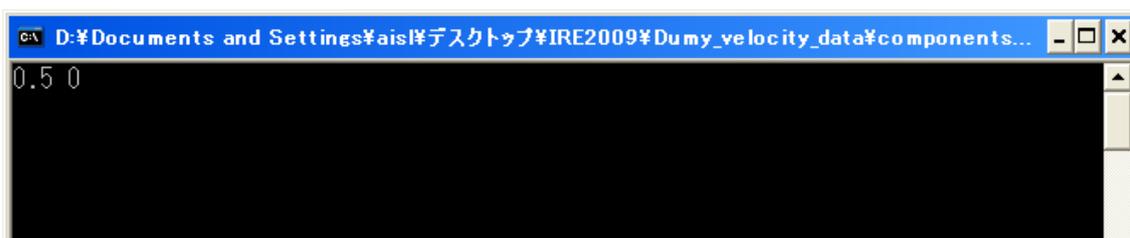


図 3-35 Dumy_velocity_dataComp のコンソール画面

Dumy_velocity_dataComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。



図 3-36 Dumy_velocity_dataComp のコンポーネント構成

表 3-151 Dumy_velocity_dataComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	200Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.19.2. アクティビティ

Dummy_velocity_dataComp のアクティビティについて記述する。

表 3-152 Dummy_velocity_dataComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 ・ データポートの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 ・ 並進および回転速度を 0 で初期化
3	onExecute	以下の処理を行う。 ・ 並進および回転速度の入力待ち ・ 並進および回転速度をデータポートへ出力
4	onDeactivated	—
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.19.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

Dummy_velocity_dataComp で定義しているインポートはない。

(b) アウトポート

Dummy_velocity_dataComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-153 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	Velocity	IIS::TimedVelocity2D	corba_cdr	速度情報を出力

(2) サービスポート

Dummy_velocity_dataComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

Dummy_velocity_dataComp で定義しているコンフィギュレーションはない。

(4) 設定ファイル

Dummy_velocity_dataComp で使用している設定ファイル及び、フォルダについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-154 ファイル一覧

No.	ファイル/フォルダ名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、Dummy_velocity_dataComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.20. コンポーネント仕様 (GlobalPathPlannerComp)

3.20.1. 基本情報

GlobalPathPlannerComp は、データポートから入力された開始位置と目的地位置を結ぶロボットの移動経路を計算し出力する。経路データは新しいデータが入力されたときに計算され出力される。また、出力する各中間目的地には速度情報が格納されるが、このコンポーネントではコンフィグレーションで指定した値が全ての中間目的地に設定される。

GlobalPathPlannerComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

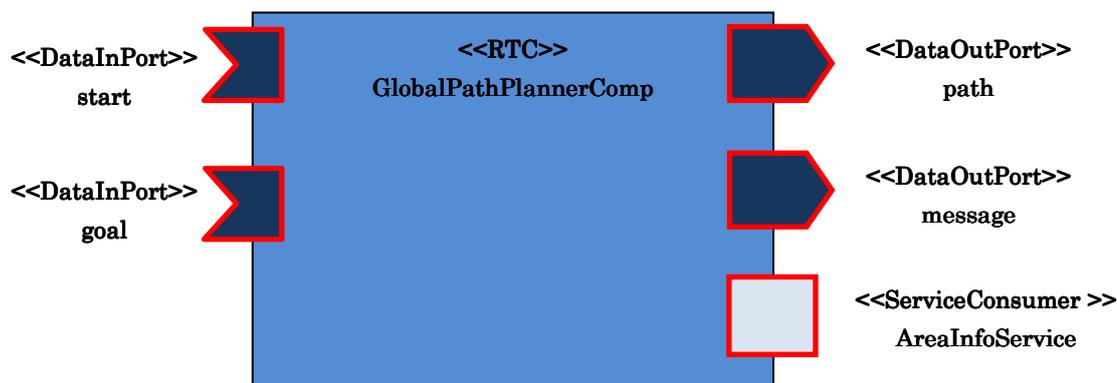


図 3-37 GlobalPathPlannerComp のコンポーネント構成

表 3-155 GlobalPathPlanner コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	10Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	10

3.20.2. アクティビティ

GlobalPathPlannerComp のアクティビティについて記述する。

表 3-156 GlobalPathPlannerComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">データポートの初期化処理サービスポートの初期化処理コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">変数の初期化
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none">入力ポートおよびサービスポートからの値を取得大域経路計画データの出力(サービスポートが接続されていない場合、何もしない)
4	onDeactivated	—
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.20.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

GlobalPathPlanner で定義しているインポートについて記述する。

表 3-157 インポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	start	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	経路計画の開始位置
2	goal	IIS::TimedPose2DSeq	corba_cdr	経路計画の目的位置

(b) アウトポート

GlobalPathPlanner で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-158 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	path	IIS::TimedPoseVel2DSeq	corba_cdr	ロボット移動経路を表す中間目的地系列を出力
2	message	RTC::TimedString	corba_cdr	経路探索の成否を出力

(2) サービスポート

(a) プロバイダーポート

GlobalPathPlanner で定義しているプロバイダーポートはない。

(b) コンシューマーポート

GlobalPathPlanner で定義しているコンシューマーポートについて記述する。

表 3-159 コンシューマーポート一覧

No	ポート名	インスタンス名	サービスの型	説明
1	AreaInfoService	AreaInfoService	TUT::AreaInfoService	経路計画用のグラフ情報を取得

表 3-160 TUT::AreaInfoService : I / F 仕様

No	関数名	説明		
1	getAreaInfo	概要	エリア情報を取得する。	
		戻り値	TUT::TimedAreaInfo	エリア情報
		引数	なし	—
		例外	なし	—

(3) コンフィギュレーション

GlobalPathPlanner で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-161 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	RobotSafetyRadius	double	1.0	障害物までの距離がこの値より近い点には中間目的地を生成しない (単位：m)
2	RobotVelocity	double	0.5	中間目的地に設定する速度 (単位：m/s)

(4) 設定ファイル

GlobalPathPlanner で使用している設定ファイル及び、フォルダについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-162 ファイル一覧

No.	ファイル/フォルダ名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、GlobalPathPlanner 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

3.21. コンポーネント仕様 (Dummy2PosesSenderComp)

3.21.1. 基本情報

Dummy2PosesSenderComp は、経路計画を行う開始位置および目的位置を表す位置・姿勢をデータポートから出力する動作確認用のコンポーネントである。

Dummy2PosesSenderComp のコンポーネント構成とプロファイルを以下に示す。

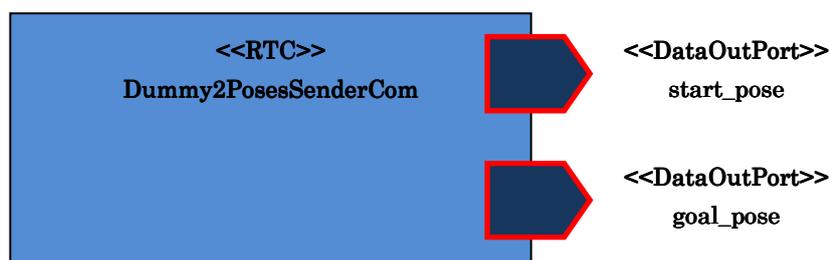


図 3-38 Dummy2PosesSenderComp のコンポーネント構成

表 3-163 Dummy2PosesSenderComp コンポーネントプロファイル

種別	RTC
提供元	豊橋技術科学大学
動作 OS	WindowsXP Pro SP3
RT ミドルウェア	Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
開発言語	Visual studio 2008
依存ライブラリ	—
実行周期	4Hz
バージョン	1.0.0
最大インスタンス数	0 (無制限)

3.21.2. アクティビティ

Dummy2PosesSenderComp のアクティビティについて記述する。

表 3-164 Dummy2PosesSenderComp アクティビティ一覧

No.	アクション関数名	処理概要
1	onInitialize	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> データポートの初期化処理 コンフィギュレーションの初期化処理
2	onActivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> パラメータの初期化処理 出力ポートへの開始/目的位置の書き込み
3	onExecute	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> コンフィギュレーション「continuous_output」の値が 0 の場合、非アクティブにする コンフィギュレーション「continuous_output」の値が 0 以外の場合、開始位置/目的位置を出力ポートへ書き込む
4	onDeactivated	以下の処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> コンフィギュレーション「continuous_output」の値が 0、又は、停止が通知された場合、データポートを初期化する
5	onAborting	—
6	onReset	—
7	onError	—
8	onFinalize	—
9	onStateUpdate	—
10	onRateChanged	—
11	onStartup	—
12	onShutdown	—

3.21.3. インタフェース仕様

(1) データポート

(a) インポート

Dummy2PosesSenderComp で定義しているインポートはない。

(b) アウトポート

Dummy2PosesSenderComp で定義しているアウトポートについて記述する。

表 3-165 アウトポート一覧

No	ポート名	型	インタフェース型	説明
1	start_pose	IIS::TimedPose2D	corba_cdr	開始位置・姿勢の出力
2	goal_pose	IIS::TimedPose2DSeq	corba_cdr	終了位置・姿勢の出力

(2) サービスポート

Dummy2PosesSenderComp で定義しているサービスポートはない。

(3) コンフィギュレーション

continuous_output の値が 0 以外の時は周期的にデータを出力し続ける。continuous_output の値が 0 の時は位置・姿勢データを起動直後に 1 度だけ出力して自動的にディアクティベートするが、この場合は deactivate_to_stop の値に関わらず空のゴールは出力されない。

Dummy2PosesSenderComp で定義しているコンフィギュレーションについて記述する。

表 3-166 コンフィギュレーション一覧

No.	パラメタ名	データ型	デフォルト値	説明
1	start_x	double	0.0	start_pose の X 座標
2	start_y	double	0.0	start_pose の Y 座標
3	start_heading	double	0.0	start_pose の向き
4	goal_x	double	0.0	goal_pose の X 座標
5	goal_y	double	0.0	goal_pose の Y 座標
6	goal_heading	double	0.0	goal_pose の向き
7	continuous_output	int	0	値が 0 のときは起動直後に 1 度だけ出力して自動的にディアクティベートする。
8	deactivate_to_stop	int	1	値が 0 以外のときはディアクティベート時に停止を意味する空のゴールを出力する。

(4) 設定ファイル

Dummy2PosesSenderComp で使用している設定ファイル及び、フォルダについて記述する。

(a) ファイル一覧

表 3-167 ファイル一覧

No.	ファイル/フォルダ名	説明
1	rtc.conf	ネームサービスやログ関連等の基本項目を設定する。

(b) rtc.conf

rtc.conf の設定項目において、Dummy2PosesSenderComp 独自の設定項目はない。基本的な設定内容については 4.1.3(2)を参照のこと。

4 取扱手順

Windows における自律移動モジュール群を使用する際の取り扱い手順について記述する。

4.1. 環境構築

4.1.1. インストールの準備

自律移動モジュール群を動作させるために、以下のソフトウェアパッケージをインストールする。各コンポーネントとの関係を表 4-1 に示す。

- Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)
- omniORB 4.1.4
- OpenCV 2.1、OpenCV 2.2
- FlyCapture 1.8
- Triclops 3.2
- ARIA 2.7.1
- Intel TBB 4.0
- CGAL 3.7

表 4-1 コンポーネントとソフトウェアパッケージの関係

No.	コンポーネント	Open-rtm-aist 1.0.0	omniORB	OpenCV 2.1	OpenCV 2.2	FlyCapture 1.8	Triclops 3.2	ARIA 2.7.1	Intel TBB	CGAL
1	Bumblebee2ModuleComp	○	○		○	○	○		○	
2	ShowImageComp	○	○	○						
3	StereoImageViewerComp	○	○	○						
4	URGDataFlowComp	○	○							
5	PeopleTrackingV2Comp	○	○	○		○	○			
6	PeopleTrackingTestComp	○	○	○						
7	LocalizationComp	○	○	○						
8	SimpleGlobalMapLoaderComp	○	○	○						
9	SLAMComp	○	○	○						
10	GlobalMapViewComp	○	○	○						
11	LocalMapComp	○	○							
12	LocalMapViewComp	○	○	○						

13	EnvironmentSimulatorComp	○	○	○							○
14	PathPlannerV2Comp	○	○	○							
15	MotionSet_setting	○	○								
16	MobileRobotsControllerComp	○	○					○			
17	Dummy_velocity_dataComp	○	○								
18	GlobalPathPlanner	○	○								
19	Dummy2PosesSenderComp	○	○								

4.1.2. インストール

(1) Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)

(a) Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)のインストール

OpenRTM-aist はロボットシステムをコンポーネント指向開発するためのソフトウェアプラットフォームである。以下の URL よりインストーラをダウンロードしインストールする。インストールの詳細は表 4-2 の「インストール方法の解説」を参照のこと。

表 4-2 OpenRTM-aist のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-100-release#toc2
ダウンロードファイル	OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE_vc9_100212.msi
インストール方法の解説	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/windows へのインストール

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

(b) JRE のインストール

OpenRTM-aist の Tool である RT SystemEditor を動かすためには、Java の JRE(Java Runtime Environment)または JDK(Java Development Kit)が必要である。以下の URL よりインストーラをダウンロードし、必要なパッケージをインストールする。インストールの詳細は表 4-3 の「インストール方法の解説」を参照のこと。

表 4-3 JRE のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.java.com/ja/download/manual.jsp
ダウンロードファイル	http://javadl.sun.com/webapps/download/AutoDL?BundleId=58139
インストール方法の解説	http://www.java.com/ja/download/help/windows_manual_download.xml

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

(2) omniORB 4.1.4

omniORB は OpenRTM-aist1.0.0 に同梱されている。個別のインストールは必要ない(※)。

(※) Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)をカスタムモードでインストールすると、omniORBpy がインストールされない場合があります。omniORB がインストールされているか確認してください。

(3) OpenCV2.1、OpenCV 2.2

OpenCV は画像処理のためのソフトウェアパッケージである。コンポーネントにより必要とする OpenCV のバージョンが異なるため、それぞれ以下の URL よりインストーラをダウンロードし、必要なパッケージをインストールする。インストールの詳細は表 4-4 の「インストール方法の解説」を参照のこと。

表 4-4 OpenCV2.1、OpenCV2.2 のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/
ダウンロードファイル	
OpenCV2.2	OpenCV-2.2.0-win32-vs2010.exe
OpenCV2.1	OpenCV-2.1.0-win32-vs2008.exe
インストール方法の解説	http://www.java.com/ja/download/help/windows_manual_download.xml

[2012 年 2 月 1 日現在 (URL は変更される場合があります)]

(4) FlyCapture 1.8

FlyCaputre はステレオカメラから得られる画像にアクセスするためのライブラリである。以下の URL よりインストーラをダウンロードし、インストールする。

表 4-5 FlyCapture のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.ptgrey.com/support/downloads/download.asp
ダウンロードファイル	flycapture_1_8_3_26_x86.exe
インストール方法の解説	—

[2012 年 2 月 1 日現在 (URL は変更される場合があります)]

(5) Triclops 3.2

Triclops はステレオカメラから得られる画像にアクセスするためのライブラリである。以下の URL よりインストーラをダウンロードし、インストールする。

表 4-6 Triclops 3.2 のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.ptgrey.com/support/downloads/download.asp
ダウンロードファイル	triclops3.3b03_x86.exe
インストール方法の解説	—

[2012 年 2 月 1 日現在 (URL は変更される場合があります)]

(6) ARIA 2.7.1

ARIA は MobileRobots プラットフォームのライブラリである。以下の URL よりインストーラをダウンロードし、インストールする(※)。

表 4-7 ARIA 2.7.1 のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://robots.mobilerobots.com/ARIA/download/archives/
ダウンロードファイル	ARIA-2.7.1.exe
インストール方法の解説	http://robots.mobilerobots.com/ARIA/INSTALL.txt

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

(※)version 2.7.1 以外のライブラリではコンポーネントが起動しない可能性があります。

(7) Intel TBB 4.0

Intel TBB はインテルが公開しているマルチ CPU/マルチコア CPUなどを搭載したコンピュータ上でアプリケーションを効率よく並列動作させるための C++テンプレートライブラリである。以下の URL よりライブラリをダウンロードする。

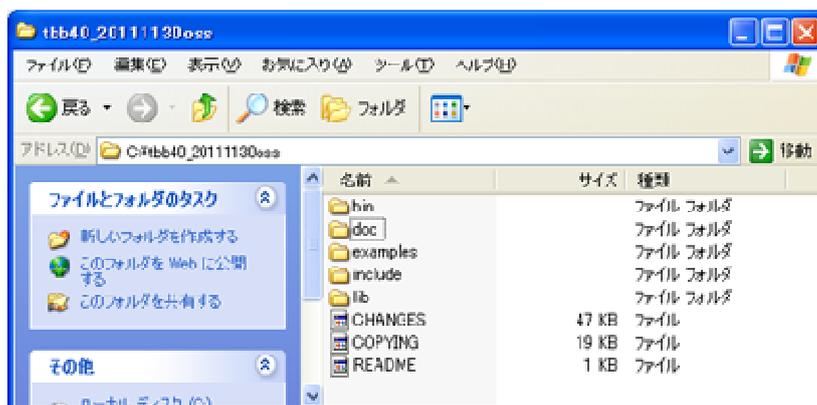
表 4-8 Intel TBB のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://threadingbuildingblocks.org/ver.php?fid=180
ダウンロードファイル	tbb40_20111130oss_win.zip
インストール方法の解説	—

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

ダウンロード後、任意のフォルダに展開し、ライブラリへの PATH を設定する。以下の例では C ドライブ直下に、ダウンロードしたファイルを展開している。設定例を以下に示す。

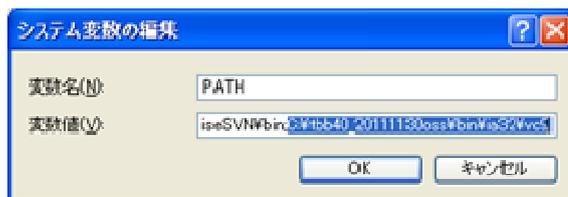
1. ダウンロードしたファイルを C ドライブ直下に展開する。



2. マイコンピュータを右クリックし、プロパティを選択する。詳細設定のタブを選択し、環境変数を押下する。



3. システム環境変数の PATH に“C:\¥tbb40_20111130oss¥bin¥ia32¥vc9”を追加する。



※PATH は、使用するアーキテクチャにより異なるため注意すること。

(8) CGAL 3.7

CGAL は計算幾何学アルゴリズムの C++ライブラリである。以下の URL よりライブラリをダウンロードする。

表 4-9 CGAL のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.cgal.org/download.html
ダウンロードファイル	CGAL-3.7-Setup.exe
インストール方法の解説	—

[2012 年 2 月 1 日現在 (URL は変更される場合があります)]

4.1.3. 動作確認環境の準備

(1) RT SystemEditor

RT SystemEditor は、RTC をリアルタイムにグラフィカル操作する機能を持つ OpenRTM-aist 1.0.0(C++版)に含まれる開発ツールの 1 つである。スタートメニューフォルダから「OpenRTM-aist」>>「C++」>>「tools」>>「RT SystemEditor」を選択し、RT SystemEditor を起動する。起動すると、図のような画面が表示される。

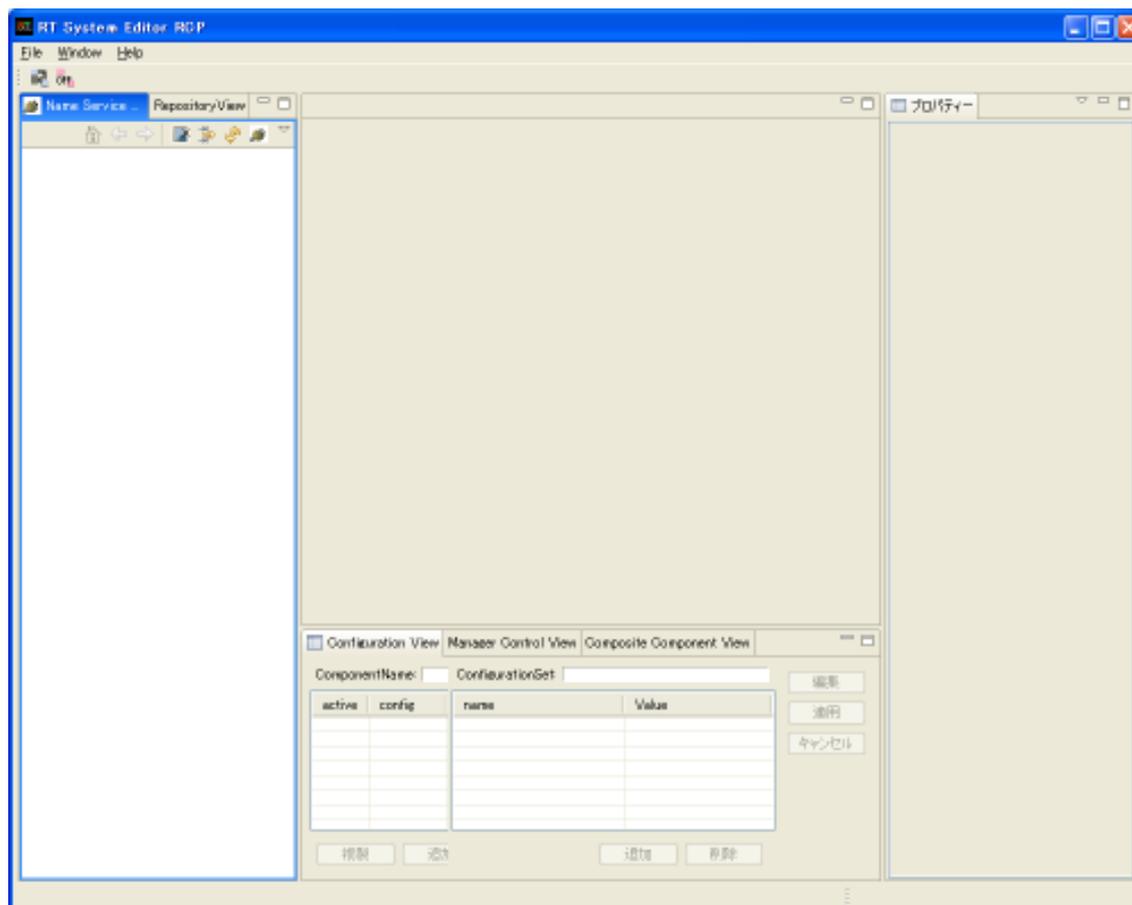


図 4-1 RT SystemEditor の起動

起動方法の詳細な手順については、以下の URL を参照のこと。

<http://openrtm.org/openrtm/ja/content/%E5%8B%95%E4%BD%9C%E7%A2%BA%E8%AA%8D-windows%E7%B7%A8%23toc11%23toc11%23toc11%23toc2#toc11>

[2012 年 2 月 1 日現在 (URL は変更される場合があります)]

(2) rtc.conf の作成

rtc.conf は、各コンポーネントのコンフィグレーション（ネームサービスやログ出力等）を設定するフ

ファイルである。コンフィギュレーションファイルは通常 `rtc.conf` という名前で作成されるが、任意の名前で作成したコンフィギュレーションファイルを渡すこともできる。各コンフィギュレーションの設定内容については、以下の URL を参照のこと。

<http://openrtm.org/openrtm/ja/content/%E8%A8%AD%E5%AE%9A%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB-%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E7%B7%A8#toc1>

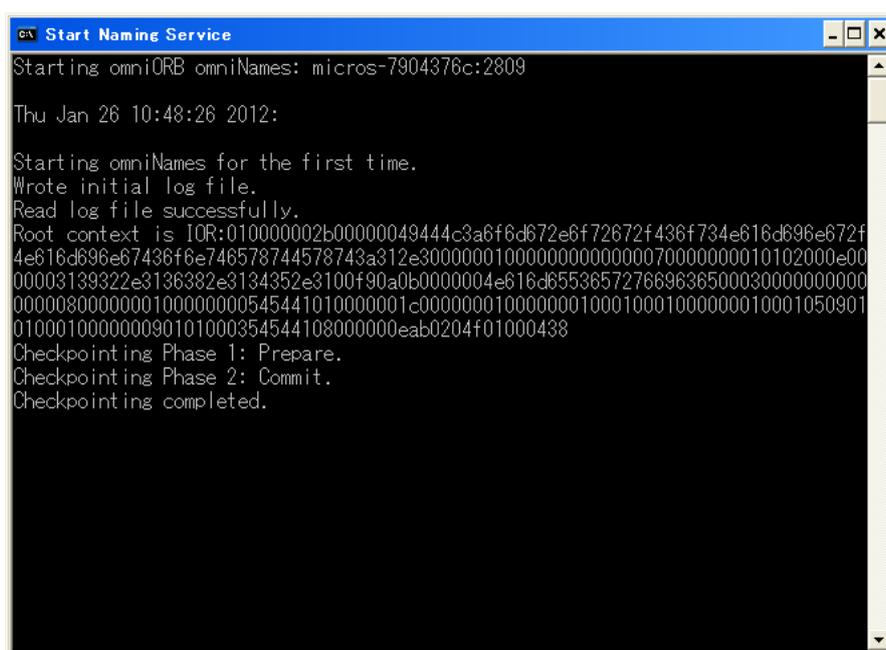
[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

コンポーネント独自のコンフィギュレーションのパラメータ項目と取り得る値については、各コンポーネントの『コンフィギュレーション』の項を参照のこと。

(3) ネームサーバの起動

ネームサーバは、コンポーネントの参照を登録するためのサーバである。スタートメニューフォルダから「OpenRTM-aist」>>「C++」>>「tools」>>「Start Naming Service」を選択し、ネームサーバを起動する。起動すると、図のようなコンソール画面が表示される。

(注意：コンソールを終了すると、RT SystemEditor 上でコンポーネントを参照することができなくなります)



```
Start Naming Service
Starting omniORB omniNames: micros-7904376c:2809
Thu Jan 26 10:48:26 2012:
Starting omniNames for the first time.
Wrote initial log file.
Read log file successfully.
Root context is IOR:010000002b00000049444c3a6f6d672e6f72672f436f734e616d696e672f
4e616d696e67436f6e746578744578743a312e3000000100000000000070000000010102000e00
00003139322e3136382e3134352e3100f90a0b0000004e616d655365727669636500030000000000
0000080000000100000000545441010000001c00000001000000010001000100000010001050901
010001000000090101000354544108000000eab0204f01000438
Checkpointing Phase 1: Prepare.
Checkpointing Phase 2: Commit.
Checkpointing completed.
```

図 4-2 ネームサーバの起動

起動方法の詳細については、以下の URL を参照のこと。

<http://openrtm.org/openrtm/ja/content/%E5%8B%95%E4%BD%9C%E7%A2%BA%E8%AA%8D-windows%E7%B7%A8#toc11%23toc11%23toc11%23toc11%23toc2#toc2>

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

4.2. 設定・カスタマイズ手順

4.2.1. ステレオカメラの準備

PointGrey 社製ステレオカメラ「Bumblebee2」を PC に接続する。

(1) ステレオカメラのキャリブレーション

ステレオカメラ「Bumblebee2」で使用するキャリブレーションデータは、コンポーネント起動時に自動的に取得するため、キャリブレーションは不要である。

ステレオカメラ「Bumblebee2」は、Bumblebee2ModuleComp、PeopleTrackingV2Comp で使用する。

4.2.2. レーザ距離センサの準備

Top-URG センサを URB2.0 インタフェースで PC に接続する。では接続が完了すると、センサはデバイス「COM*」として認識される。デバイスが PC に認識されたことを確認する方法について、デバイスマネージャを実行する。図 3-1 に Top-URG センサが PC に認識されたときのデバイスマネージャを示す。

このデバイスの名前は、Top-URG センサ RTC で使用され、「」で示すコンフィギュレーションのデバイス名が設定される。



4.3. 起動・終了手順

作業対象認識モジュールの各コンポーネントの起動手順、および、終了手順について記述する。

4.3.1. 起動

コンポーネントを起動すると、RT SystemEditor の NameServiceView に表示される。その後、該当のコンポーネントを SystemDiagram にドラッグ&ドロップすることで、他のコンポーネントとの接続が可能となる。図 4-3 は、LocalMapCmp と LocalMapViewCmp を起動しそれぞれ接続した例である。

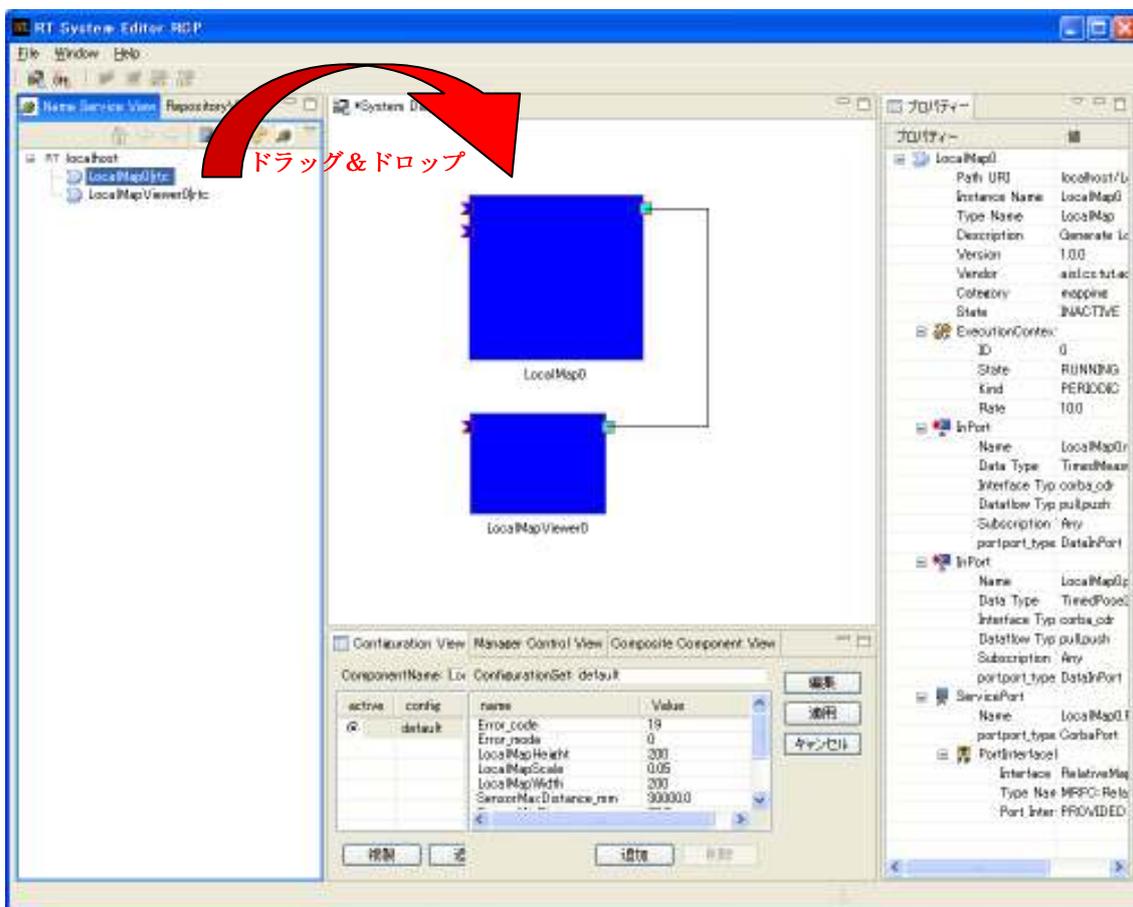


図 4-3 コンポーネントの起動

各コンポーネントは、実行ファイル (exe) をダブルクリックすることで起動するが、Bumblebee2ModuleComp と、PeopleTrackingV2Comp のみ、起動時にカメラを選択する必要がある。

(1) Bumblebee2ModuleComp、PeopleTrackingV2Comp の起動

実行ファイル (exe) をダブルクリックし起動する。

起動すると、図 4-4 のようなカメラ選択ウィンドウが表示されるので、使用するカメラを選択し OK ボタンを押下する。

なお、OK ボタンを押さずにしばらく放置しておくと、コンポーネントがタイムアウトと判断して終了してしまうため、その場合には再度起動する。

選択できるカメラが表示されていない場合、カメラと PC との接続を確認する。カメラの接続方法については、「4.2.1」を参照のこと。

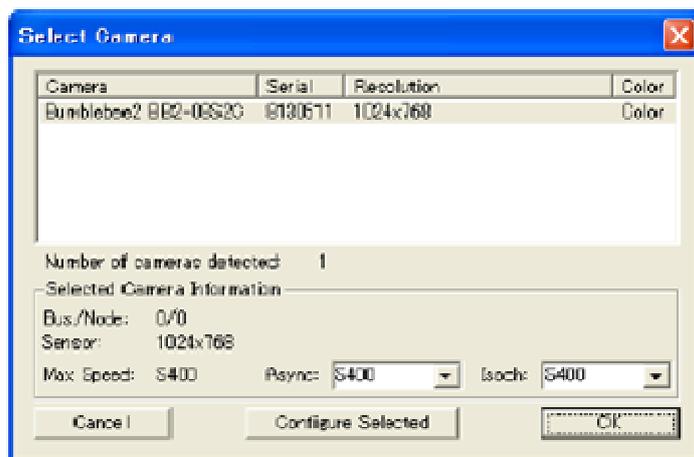


図 4-4 カメラ選択ウィンドウ

4.3.2. 終了

起動しているコンポーネントを終了させるには、RT System Editor 上の終了したいコンポーネントを選択し、右クリックメニューから **Exit** を選択する。図では、LocalMapViewCmp を終了する場合の例を示す。

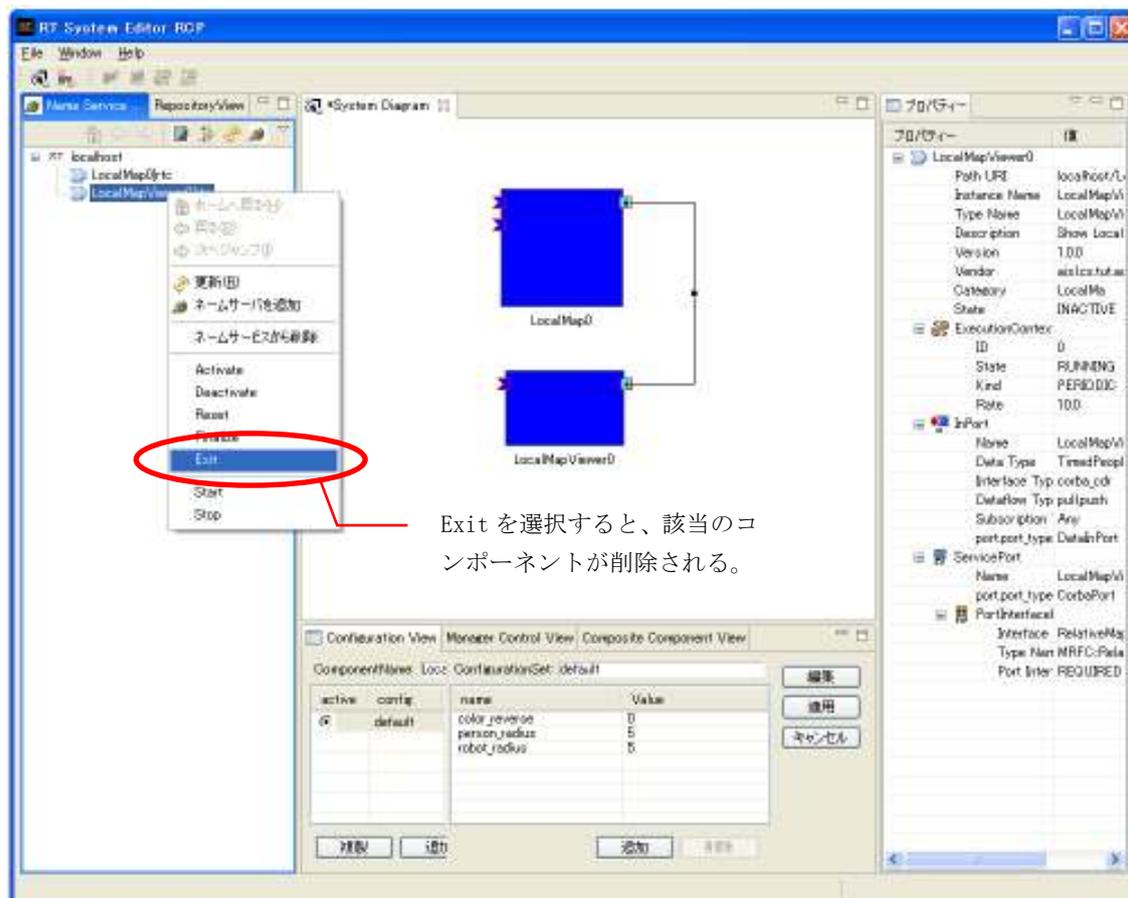


図 4-5 コンポーネントの終了

なお、各コンポーネントは、コマンドプロンプト上で **Ctrl+C** を入力することでも終了できる。

5 制限事項

5.1. ロボット自己位置推定コンポーネント

- LocalizationComp が読み込む地図データは、スケールが 0.1[m/cell]の大域画像にしか対応していない。その他のスケールの地図が入力された場合には処理を行わない。
- 画像データは、PNG といった OpenCV が読み込むことができる形式でなくてはならない。

5.2. MobileRobots 社ロボット用制御コンポーネント

- MobileRobotsControllerComp がロボットを操作するために必要なライブラリ「ARIA」は、最新版である 2.7.3 (2012 年 2 月 1 日現在) では動作しないため注意すること。

5.3. 大域経路計画コンポーネント

- 大域経路計画 RTC が取得する画像データは、PNG といった OpenCV が読み込むことができる形式でなくてはならない。

6 付録

6.1. メッセージ一覧

各コンポーネントにおいて出力するメッセージについて記述する。

ログの出力有無、出力形式、ログレベルは、設定ファイル (rtc.conf) の内容による。

設定ファイルの詳細は、「OpenRTM-aist デベロッパーズガイド>>RTC プログラム入門>>設定ファイル (基礎編)」を参照。

<http://openrtm.org/openrtm/ja/content/%E8%A8%AD%E5%AE%9A%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB-%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E7%B7%A8#toc3>

[2012年2月1日現在 (URLは変更される場合があります)]

6.1.1. メッセージ一覧 (Bumblebee2ModuleComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	flycaptureStart() reported The requested bandwidth would exceed the maximum.	IEEE1394 のドライバに問題があり、帯域速度が不十分であることを示す。Bumblebee2 のマニュアル、もしくは ViewPLUS の Web サイト (http://www.viewplus.co.jp/support/?p=87) を参考にパッチ fixSP2g.exe を当てる。
2	INFO	Calibration File successfully saved at bumblebee1234567.cal	カメラからパラメータを取得し、ファイルに保存したことを示す。数字はカメラのシリアル番号。
3	INFO	Get Context from bumblebee1234567.cal	ファイルからカメラパラメータを取得したことを示す。ファイルが存在しない場合には自動的にカメラから取得する。

6.1.2. メッセージ一覧 (ShowImageComp)

出力メッセージなし。

6.1.3. メッセージ一覧 (StereolImageViewerComp)

出力メッセージなし。

6.1.4. メッセージ一覧 (URGDDataFlowCompComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	LF echo back missing.	レーザ距離センサから取得した距離データの異常。
2	ERROR	LF Command Invalid status: %s	レーザ距離センサから取得した距離データの異常。
3	ERROR	LF missing.	レーザ距離センサから取得した距離データの異常。
4	ERROR	LF decode missing.	レーザ距離センサから取得した距離データの異常。
5	ERROR	RTC_LRSServiceImpl::<<コマンド名>>: start_position: invalid value -	サービスコマンドで指定した計測開始位置のパラメータ異常。

No.	レベル	メッセージ	説明
6	ERROR	RTC_LRSServiceImpl::<<コマンド名>>: end_position: invalid value -	サービスコマンドで指定した計測終了位置のパラメータ異常。
7	ERROR	RTC_LRSServiceImpl:: <<コマンド名>>: scan_interval: invalid value -	サービスコマンドで指定したスキャン間引き数のパラメータ異常。
8	ERROR	RTC_LRSServiceImpl:: <<コマンド名>>:data_grouping_number: invalid value -	サービスコマンドで指定したまとめるステップ数のパラメータ異常。
9	ERROR	Start Measurement Error. <<ステータス>>	レーザ距離センサの計測開始失敗。
10	ERROR	<<コマンド名>> failue of powre off.	サービスコマンドによりパラメータを変更した際に、レーザ距離センサの計測停止に失敗した。
11	ERROR	<<コマンド名>> failure of start measurement.	サービスコマンドによりパラメータを変更した後に、レーザ距離センサの計測開始に失敗した。
12	ERROR	resetSensor failue of reset sensor.	サービスコマンド（リセット）の際に、レーザ距離センサのパラメータリセットに失敗したことを示す。
13	ERROR	resetSensor failure of set motor slow rate.	サービスコマンド（リセット）の際に、レーザ距離センサのモータ回転速度の設定に失敗したことを示す。
14	ERROR	resetSensor failure of sensitive mode.	サービスコマンド（リセット）の際に、レーザ距離センサの計測モードの設定に失敗したことを示す。
15	ERROR	checkAllConfigureParameters error <<メッセージ>>	コンフィギュレーションパラメータの設定項目異常。
16	ERROR	getResponse Port closed.	RTCの制御異常、センサへアクセスしたがセンサのポートがオープンしていない。
17	ERROR	onActivated parameter error.	アクティブ化時のコンフィギュレーションパラメータの異常を示す。
18	ERROR	onActivated failure of reset sensor.	アクティブ化時に、レーザ距離センサのリセットに失敗したことを示す。
19	ERROR	onActivated failure of set motor slow rate.	アクティブ化時に、レーザ距離センサのモータ回転速度の設定に失敗したことを示す。
20	ERROR	onActivated failure of sensitive mode.	アクティブ化時に、レーザ距離センサの計測モードの設定に失敗したことを示す。
21	ERROR	onActivated failure of start measurement.	アクティブ化時に、レーザ距離センサの計測開始に失敗したことを示す。
22	WARN	characterDecode: length: %ld - mode: %ld - Length error	レーザ距離センサより取得した距離データの異常を示す。
23	WARN	parseVV Default value used.	レーザ距離センサより取得したレーザ距離センサの計測モードの異常を示す。
24	WARN	parsePP Default value used.	レーザ距離センサよりバージョン情報の取得に失敗したことを示す。
25	WARN	createMDMS Invalid value: %s. Default value: NORMAL used.	レーザ距離センサよりパラメータ情報の取得に失敗したことを示す。

No.	レベル	メッセージ	説明
26	WARN	createMDMS Invalid value: %ld. Default value: 44 used.	計測開始位置の設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
27	WARN	createMDMS Invalid value: %ld. Default value: 725 used.	計測終了位置の設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
28	WARN	createMDMS Invalid value: %ld. Default value: 5 used.	まとめるステップ数の設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
29	WARN	createSS Invalid value: %ld. Default value: 19200 used.	ポーレートの設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
30	WARN	createCR Invalid value: %ld. Default value: 00 used.	モータ回転速度の設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
31	WARN	createHS Invalid value: %s. Default value: OFF used.	計測モードの設定において、不正なパラメータが指定されたためデフォルト値を適用したことを示す。
32	WARN	getVersion Command VV no response.	レーザ距離センサより、バージョン情報取得コマンドの応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
33	WARN	getParam Command PP no response.	レーザ距離センサより、センサパラメータ情報取得コマンドの応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
34	WARN	resetParam Command RS no response.	レーザ距離センサより、リセットコマンドの応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
35	WARN	setMotorSlowRate Command CR no response.	レーザ距離センサより、モータ回転速度変更コマンドの応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
36	WARN	setSensitiveMode Command HS no response.	レーザ距離センサより、計測モード切替コマンドの応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
37	WARN	startMeasurement Command MD or MS no response.	レーザ距離センサより、計測開始要求の応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
38	WARN	powerOff Command QT no response.	レーザ距離センサより、計測停止要求の応答が一定時間経っても得られなかったことを示す。
39	WARN	onFileize called. receiver() exit	計測を停止せず RTC を終了し、強制的に計測を停止したことを示す。
40	WARN	receiver Status error.	レーザ距離センサより予期せぬ不正な情報を受信したことを示す。
41	WARN	getResponse Response buffer overflow.	レーザ距離センサより取得した距離情報の長さが不正(10KB 以上)を超えたことを示す。

No.	レベル	メッセージ	説明
			※この場合取得データは無視する。
42	INFO	Measurement starts.	レーザ距離センサへ計測開始コマンドを送信したことを示す。
43	INFO	Sensor ON	レーザ距離センサへ計測開始コマンドを送信したことを示す。
44	INFO	Sensor OFF	レーザ距離センサへ計測停止コマンドを送信したことを示す。
45	INFO	Parameters for mesurement reset.	レーザ距離センサへリセット計測開始コマンドを送信したことを示す。
46	INFO	Service: resetSensor	サービスコマンド（センサリセット）が実行されたことを示す。
47	INFO	Service: getLatestData	サービスコマンド（最新距離データの取得）が実行されたことを示す。
48	INFO	Service: getLatestData exit	サービスコマンド（最新距離データの取得）が終了したことを示す。
49	INFO	Service: getStatus	サービスコマンド（ステータス情報の取得）が実行したことを示す。
50	INFO	Service: getStatus exit	サービスコマンド（ステータス情報の取得）が終了したことを示す。
51	INFO	SerialPort Connected to [<<ポート番号>>].	レーザ距離センサが接続するシリアルポートに接続したことを示す。
52	INFO	SerialPort Disconnected.	レーザ距離センサが接続するシリアルポートと接続を切断したことを示す。
53	INFO	setBaudRate BaudRate OK.	ボーレートの設定に成功したことを示す。
54	INFO	setMotorSlowRate Motor slow rate OK.	モータ回転速度の設定に成功したことを示す。
55	INFO	setSensitiveMode Sensitive mode OK.	計測モードの切り替えに成功したことを示す。
56	INFO	startMeasurement Measurement starts.	レーザ距離センサの計測開始に成功したことを示す。
57	INFO	Power off.	レーザ距離センサの計測停止に成功したことを示す。
58	INFO	receiver Command accepted.	レーザ距離センサより計測開始の受付が返却されたことを示す。
59	INFO	setParams	計測パラメータの変更が行われたことを示す。
60	INFO	Start position:<<設定値>>	計測パラメータ（計測開始位置）の変更が行われたことを示す。
61	INFO	End position: <<設定値>>	計測パラメータ（計測終了位置）の変更が行われたことを示す。
62	INFO	Scan interval: <<設定値>>	計測パラメータ（スキャン間引き数）の変更が行われたことを示す。
63	INFO	Data grouping number: <<設定値>>	計測パラメータ（まとめるステップ数）の変更が

No.	レベル	メッセージ	説明
			行われたことを示す。
64	INFO	Device Already Opened.	RTC がレーザ距離センサとの接続を試み、既に接続されていたことを示す。
65	INFO	onInitialize Component created.	onInitialize が実行され、RTC が生成されたことを示す。
66	INFO	onFinalize Finalizing...	onFinalize が実行され、RTC の破棄が開始されたことを示す。
67	INFO	onFinalize Component finalized.	onFinalize が実行され、RTC が破棄されたことを示す。

6.1.5. メッセージ一覧 (PeopleTrackingV2Comp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	flycaptureStart() reported The requested bandwidth would exceed the maximum.	IEEE1394 のドライバに問題があり、帯域速度が不十分であることを示す。Bumblebee2 のマニュアル、もしくは ViewPLUS の Web サイト (http://www.viewplus.co.jp/support/?p=87) を参考にパッチ fixSP2g.exe を当てる。
2	INFO	Calibration File successfully saved at bumblebee1234567.cal	カメラからパラメータを取得し、ファイルに保存したことを示す。数字はカメラのシリアル番号。
3	INFO	Get Context from bumblebee1234567.cal	ファイルからカメラパラメータを取得したことを示す。ファイルが存在しない場合には自動的にカメラから取得する。

6.1.6. メッセージ一覧 (PeopleTrackingTestComp)

出力メッセージなし。

6.1.7. メッセージ一覧 (LocalizationComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Service port is not conected with service provider,.	プロバイダーポートが接続されていない異常
2	INFO	Waiting input initial pose.	入力データ待ち。
3	INFO	Input Robot Pose	ロボット情報が入力されたことを示す。
4	INFO	mao size = (<<値>>, <<値>>)	地図のサイズを示す。
5	INFO	Step : <<値>>	ステップ数を示す。
6	INFO	Start to predict and to update Global Map	予測開始、地図更新の開始を示す。
7	INFO	Finish to predict and to update Global Map	予測開始、地図更新の完了を示す。
8	INFO	Start to calculate Likelihoods	尤度計算処理開始を示す。
9	INFO	Finish to calculate Likelihoods	尤度計算処理終了を示す。
10	INFO	Start resampling process	リサンプリングの開始を示す。
11	INFO	Finish resampling process	リサンプリングの完了を示す。

12	INFO	Finish one cycle processing	1 サイクルの完了を示す。
13	INFO	Output Estimated Robot Pose (<<値>> , <<値>> , <<値>>)	ロボットの推定位置の出力を示す。
14	INFO	Input LRF Data	LRF データの入力を示す。
15	INFO	The end of Localization	コンポーネントの終了を示す。
16	INFO	Total Execution Time : <<値>> [s]	トータル実行時間を示す。
17	INFO	Required Time per cycle Average : <<値>> [ms/cycle] Maximum : <<値>> [ms] Minimum : <<値>> [ms]	1 サイクル辺りの実行時間を示す。

6.1.8. メッセージ一覧 (SimpleGlobalMapLoaderComp)

出力メッセージなし。

6.1.9. メッセージ一覧 (SLAMComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	INFO	Output Estimated Robot Pose (<<値>> , <<値>> , <<値>>)	ロボットの推定位置を示す。
2	INFO	Finish to calculate Likelihoods	尤度計算処理終了を示す。
3	INFO	Finish one cycle processing.	1 サイクル処理終了を示す。
4	INFO	Start to make GlobalMap	地図生成の開始を示す。
5	INFO	Finish to make GlobalMap	地図生成の終了を示す。
6	INFO	Input Robote Pose	ロボット位置の入力を示す。
7	INFO	Input LRF Data	LRF データの入力を示す。
8	INFO	Step : <<値>>	処理ステップ数を示す。
9	INFO	Start to predict and to update GlobalMap	予測と地図データの更新開始を示す。
10	INFO	Finish to predict and to update GlobalMap	予測と地図データの更新終了を示す。
11	INFO	The end of SLAM	コンポーネント終了を示す。
12	INFO	Total Execution Time : <<値>> [s]	トータル実行時間を示す。
13	INFO	Required Time per cycle Average : <<値>> [ms/cycle] Maximum : <<値>> [ms] Minimum : <<値>> [ms]	1 サイクル辺りの実行時間を示す。

6.1.10. メッセージ一覧 (GlobalMapViewComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	AbsoluteMap service port is not connected.	AbsoluteMapService ポートが接続されていない異常。
2	ERROR	Service provider of AbsoluteMap is not activated.	AbsoluteMapService ポートが非アクティブである異常。

3	ERROR	Component create failed.	コンポーネントの生成に失敗。
---	-------	--------------------------	----------------

6.1.11. メッセージ一覧 (LocalMapComp)

出力メッセージなし。

6.1.12. メッセージ一覧 (LocalMapViewComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Service port is not conected with service provider.	RelativeMapService ポートが接続されていない異常。。
2	ERROR	Service provider is not activated.	RelativeMapService ポートが非アクティブである異常。。
3	ERROR	Component create failed.	コンポーネントの生成に失敗。

6.1.13. メッセージ一覧 (EnvironmentSimulatorComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Component create failed.	コンポーネントの生成に失敗。
2	WARN	Start to build spatial network Number of generated Subareas ==<<値>> Number of optimised Subareas ==<<値>>	環境データから自動生成されたサブエリア（分割空間）の数を表す。
3	INFO	Start Initialization	アクティブ化時に、初期化が開始されたことを示す。
4	INFO	Finish Initialization	アクティブ化時に、初期化が終了されたことを示す。
5	INFO	The end of Simulation. Total Execution Time :<<値>>[s] Required Time per cycle Average :<<値>> [ms/cycle] Maximum : <<値>>[ms] Minimum : <<値>>[ms]	シミュレータの終了。トータル実行時間と 1 サイクル辺りの所要時間を示す。
6	INFO	[STEP <<値>>]	ステップ数を示す。
7	INFO	Number of persons = <<値>>	人間の数を示す。
8	INFO	Triangules are merged into convex polygons.	自由線分で接する多角形を凸型の範囲で統合したデータを加えたことを示す。
9	INFO	Start to load environment data.	環境データを読む処理の開始を示す。
10	INFO	Error! File “<<文字列>>” could not open.	環境データを開けなかった。
11	INFO	Error! Data format error!	環境データにフォーマット外の記述があり読めなかったことを示す。
12	INFO	Error! Data could not create. Need ',' or ';' at number's back.	環境データにフォーマット外の記述（座標等の値の後ろにコンマやセミコロンが存在しない箇所）があり読めなかったことを示す。
13	INFO	Error! Wall data could not create.	環境データ（壁）にフォーマット外の記述（与

		Data number error.	えるデータ数が異なる箇所) があり読めなかったことを示す。
14	INFO	Error! Entrance data could not create. Data number error.	環境データ (入口) にフォーマット外の記述 (与えるデータ数が異なる箇所) があり読めなかったことを示す。
15	INFO	Error! Destination data could not create. Destination type error(<<文字>>).	目的地の種類を指定する部分に仕様のない文字が記述されていることを示す。
16	INFO	Error! Destination data could not create. Data number error.	環境データ (目的地) にフォーマット外の記述 (与えるデータ数が異なる箇所) があり読めなかったことを示す。
17	INFO	Error! Action data could not create. Action type error(<<文字>>).	目的地の種類を指定する部分に仕様のない文字が記述されていることを示す。
18	INFO	Error! Action data could not create. Data number error.	環境データ (行動) にフォーマット外の記述 (与えるデータ数が異なる箇所) があり読めなかったことを示す。
19	INFO	Walls : <<値>> Entrances: <<値>> Destination Exits : <<値>> Destination Points : <<値>> Destination Seats : <<値>> Destination Queues : <<値>> Actions : <<値>>	ファイルから読み込んだ環境データに記述されていた壁、入口、各目的地、人の行動のデータ数を示す。

6.1.14. メッセージ一覧 (PathPlannerV2Comp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	WARN	danger!!!:COLLISION	衝突を示す。
2	WARN	Dilation2:Something wrong Possibility of collision	何かと衝突した可能性があることを示す。
3	INFO	PathPlanner: onInitialize	コンポーネントの初期化処理を示す。
4	INFO	Run Frequency: <<値>>	実行周期を示す。
5	INFO	Robot is here : x=<<値>> , y=<<値>> >> , direction=<<値>>	ロボット開始位置を示す。
6	INFO	path predict x=<<値>> y=<<値>> theta=<<値>>	経路予測を示す。
7	INFO	onExecute Start step=<<値>> call period t :<<値>> [sec]	onExecute の実行。呼び出された回数、呼び出された周期を示す。
8	INFO	Get a local map state time : <<値>> >>[msec]	局所地図のステータス情報を読み込むのにかかった時間を示す。
9	INFO	PathPlanner : <<値>>	コンポーネントの状態を示す。
10	INFO	Connected to PeopleBot	PeopleBot への接続完了を示す。
11	INFO	Number of motion set = <<値>>	動作セット番号を示す。
12	INFO	Goal Position x=<<値>> y=<<値>>	目的地座標を示す。
13	INFO	Best-first search start route	最良優先探索による経路計画の開始を示す。

14	INFO	BEST PATH and REUSE	最良優先探索と前回の経路再利用の結果を示す。
15	INFO	Time for making Best Tree = <<値>>[msec]	最良優先探索による経路計画の時間を示す。
16	INFO	node for best path <<値>>	最適な経路が引かれる地点を示す。
17	INFO	Route Search Computation time : <<値>> [msec]	経路探索の計測時間を示す。
18	INFO	Build Path Start, closest node=<<値>>	経路探索開始時の最も近い地点を示す。
19	INFO	build path : <<値>> node	経路探索に用いた地点を示す。
20	INFO	Memory consumption:<<値>> MByte	メモリ消費量を示す。
21	INFO	calculation period for this step : <<値>> [msec]	該当処理の計測時間を示す。
22	INFO	Total time : <<値>> msec	トータル実行時間を示す。
23	INFO	Total computation time : msec	トータル計算時間を示す。
24	INFO	An average computation time of the loop : <<値>> msec	平均計算時間を示す。
25	INFO	The maximum computation time :: <<値>> msec	最大計算時間を示す。

6.1.15. メッセージ一覧 (MobileRobotsControllerComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Syncing <<値>> No packet.	ロボットからの通信がない異常
2	ERROR	Could not connect, no robot Responding.	ロボットに接続できない異常。
3	ERROR	Failed to connect to robot.	ロボットとの接続に失敗。
4	ERROR	Failed to connect.	接続の失敗。
5	ERROR	asyncConnect failed because robot is not running in its own thread.	ロボットが起動していない異常。
6	WARN	Robot may be connected but not open, trying to dislodge.	ロボットを移動させると接続が抜ける場合があります。
7	WARN	Trying to close possible old Connection.	古い接続のクローズを試みることを示す。
8	INFO	COM:<<値>>	COM ポートのデバイス名を示す。

6.1.16. メッセージ一覧 (Dumy_velocity_dataComp)

出力メッセージなし。

6.1.17. メッセージ一覧 (GlobalPathPlanner)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Service provider is not activated.	サービスプロバイダーが非アクティブである異常。

2	WARN	Generated no waypoints (Coordinate is out of area)	座標が領域外であり、経路点を生成できないことを示す。
3	INFO	Compute Global Path from (<<値>>, <<値>>) to (<<値>>, <<値>>)	2点の座標値の経路計算を示す。
4	INFO	Number of Generated waypoints = <<値>>	生成された経路点の数を示す。

6.1.18. メッセージ一覧 (Dummy2PosesSenderComp)

No.	レベル	メッセージ	説明
1	ERROR	Component create failed.	コンポーネントの生成に失敗したことを示す。

6.2. トラブルシューティング

(1) ネームサーバが起動しない

ネームサーバのコンソール画面が開かないケースがあり、この場合、以下のような原因が考えられる。

(a) omniORB がインストールされていない。

Open-rtm-aist 1.0.0(C++版)には omniORB が含まれているが、カスタムインストールを選択すると、omniORB をインストールせずに OpenRTM-aist をインストールすることもできる。

omniORB が入っていない場合も考えられるので、omniORB がインストールされているか確認すること。

(b) 環境変数 OMNI_ROOT が設定されていない

「Start Naming Service」は“%RTM_ROOT%\bin\rtm-naming.bat”にあるバッチファイルからネームサーバ(omniNames.exe)を起動する。この際、“omniNames.exe”を参照するために環境変数 OMNI_NAMES を利用している。通常インストーラで OpenRTM-aist をインストールした場合には、OMNI_ROOT 環境変数が自動で設定されるが、何らかの理由で環境変数が無効になっていたり、手動でインストールした場合などは、環境変数が設定されていないことがある。

環境変数 OMNI_ROOT が設定されていることを確認すること。環境編集は、

「コントロールパネル」>>「システム」>>「詳細設定」タブ>>「環境変数」

「マイコンピュータ」を右クリック、「プロパティ」を選択、「詳細設定」タブ>>「環境変数」などから参照・編集することができる。

(c) その他

ユーザ名が 2 バイト文字の場合、ログを出力するフォルダを適切に設定できずに

“omniNames.exe”の起動に失敗する場合がある。その場合、環境変数 TEMP を 2 バイト文字を含まない場所に設定することで改善する場合がある。適当なテンポラリディレクトリ（以下のケースでは C:\temp）を作成し、そこを環境変数“TEMP”が指すように、“rtm-naming.bat”の先頭部分で以下のように設定する。

```
set cosnames="omninaes"
set orb="omniORB"
set port=%1
rem set OMNIORB_USEHOSTNAME=localhost
set PATH=%PATH%;%OMNI_ROOT%\bin\x86_win32
set TEMP=C:\temp
```

また、稀なケースだが、ホスト名やアドレスの設定の問題で、起動が上手くいかないケースがある。その場合、利用している PC の IP アドレスを“omniNames.exe”に教えてあげると上手

くいくケースがある。環境変数“OMNIORB_USEHOSTNAME”を以下のように設定する。(以下は、自ホストの IP アドレスが 192.168.0.11 の場合の例)。

```
set cosnames="omninares"  
set orb="omniORB"  
set port=%1  
set OMNIORB_USEHOSTNAME=192.168.0.11  
set PATH=%PATH%;%OMNI_ROOT%\bin\x86_win32
```

(2) PointGrey 社製ステレオカメラ「Bumblebee2」用データ取得 RTC

(a) RTC が起動しない

「tbb.dllが見つからなかったため、このアプリケーションを開始できませんでした。」のダイアログが表示された場合、Intel TBB の DLL が格納されているパスが、環境変数 PATH に設定されていない可能性がある。

環境変数の見直しを行うこと。

また、IntelTBB は、32bit 版、64bit 版が用意されている。

正しいアーキテクチャを選択しなかった場合、

「アプリケーションまたは DLL UNC (任意のパス) ¥tbb.dll は正しい Windows イメージではありません。」

のダイアログが表示される。環境変数の見直しを行うこと。

(b) カメラ選択ダイアログにカメラが表示されない

ステレオカメラが正しく接続されていない場合、カメラ選択画面に接続中のカメラが表示されない。ステレオカメラの接続を確認すること。

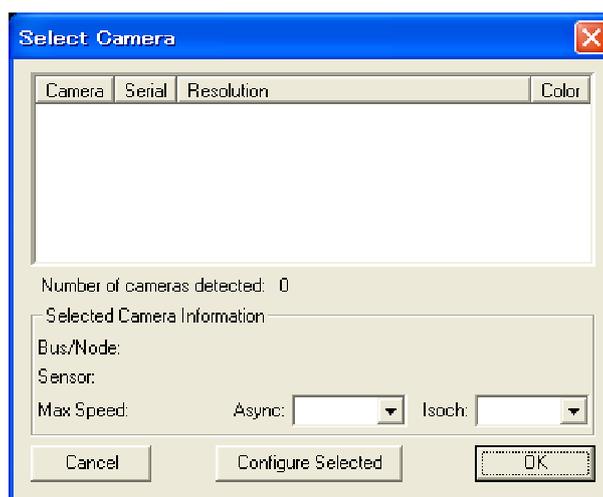


図 6-1 カメラが表示されない場合

(3) 環境シミュレータ RTC 上でロボットが移動しない

環境シミュレータ RTC 上で、仮想ロボットが動作しない場合、以下の原因が考えられる。

(a) RTC が正しく接続されていない

各 RTC が正しく接続されていない可能性があります。接続関係を確認すること。

(b) コンフィギュレーションが正しく設定されていない

環境シミュレータ RTC を経路計画コンポーネント (PathPlannerV2Comp) と組み合わせて使用し、人物追従を行う場合、経路計画コンポーネントのコンフィギュレーションが以下のように設定されている必要がある。

USE_PEOPLE_TRACKING	: 1 (人物追跡を使う)
USE_WAYPOINT_PORT	: 0 (経由点は使わず人物追跡データを使用する)

(4) Top-URG センサ RTC

(a) デバイス使用中のエラーが発生する

センサ RTC が異常終了し、デバイスのクローズ処理が正常に行われなかった場合、デバイスが使用中である情報が残ったままとなる。

この情報により、次回センサ RTC を実行し、アクティブ状態への遷移処理を行う場合、デバイスが使用中であるというエラーが発生する。

本エラーが発生した場合、エラー状態になったセンサ RTC をリセット (RT SytemEditor より操作) することで非アクティブ状態に復帰させ、再度アクティブ状態へ遷移させることを試みることで解決する。

(b) センサ RTC がアクティブ状態にならない。

センサ RTC のコンフィギュレーションの値が未対応である場合に、本現象が発生する。

このとき、各センサ RTC は、エラー状態になっており、RT SytemEditor において RTC の reset を行い、非アクティブ状態に戻す。そして、コンフィギュレーションの値を正しい値に設定した後、再度アクティブ状態へ遷移させる。

(c) データポートから出力されるデータが変化しない

センサ RTC は、周期的にセンサから距離データを取得しているため、出力用ポートから出力されるデータには変化があるはずである。しかし、この変化がなくなった場合、センサに異常が発生し、センサが応答しなくなっていることが考えられる。

このような場合、センサ RTC を終了させ、センサ本体の電源を入れ直し、再度センサ RTC の実行を試みる。

NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト

統合ロボットシステム
～人の生活を支援するロボット～
システムマニュアル

1.0 版

株式会社安川電機

九州工業大学

株式会社東芝

東北大学

独立行政法人産業技術総合研究所

株式会社セック



改版履歴

版数	改版日	改版内容	備考
1.0		初版作成	

目次

1	総則	1
1.1.	目的	1
1.2.	適用範囲	1
1.3.	関連文書等	1
1.3.1.	適用文書	1
1.3.2.	関連文書	1
1.3.3.	参考文書	2
1.4.	定義	2
1.4.1.	用語	2
1.4.2.	座標系	3
1.5.	ライセンス	5
1.5.1.	音声処理モジュール (OpenHRI)	5
1.5.2.	ロボット用スクリプトエンジンモジュール (SDLEngine)	5
1.5.3.	移動ユニット RTC (VehicleUnitRTC)	5
1.5.4.	アームユニット RTC (ArmUnitRTC)	5
1.5.5.	腰ユニット RTC	5
1.5.6.	単眼位置姿勢計測表示モジュール (MarkerRecogRTC)	5
2	サービス一覧	6
3	対話サービス	7
3.1.	サービス概要	7
3.2.	サービス内容	7
3.3.	動作条件・制約	7
3.4.	システム構成	8
3.4.1.	システム概要	8
3.4.2.	動作環境	9
3.4.3.	ハードウェア仕様	9
3.5.	環境構築	10
3.5.1.	ハード環境	10
3.5.2.	ソフト環境	10
3.5.3.	設定	13
3.6.	カスタマイズ手順	15
3.6.1.	音声認識	15

3.6.2.	ロボット用スクリプトエンジン	17
3.7.	起動	22
3.8.	終了	23
4	移動サービス	25
4.1.	サービス概要	25
4.2.	サービス内容	25
4.3.	動作条件・制約	25
4.4.	システム構成	26
4.4.1.	システム概要	26
4.4.2.	動作環境	27
4.4.3.	ハードウェア仕様	28
4.5.	環境構築	28
4.5.1.	ハード環境	28
4.5.2.	ソフト環境	28
4.5.3.	設定	30
4.6.	カスタマイズ手順	31
4.6.1.	音声認識	31
4.6.2.	ロボット用スクリプトエンジン	32
4.7.	起動	38
4.8.	終了	40
5	把持サービス	41
5.1.	サービス概要	41
5.2.	サービス内容	41
5.3.	動作条件・制約	41
5.4.	システム構成	43
5.4.1.	システム概要	43
5.4.2.	動作環境	44
5.4.3.	ハードウェア仕様	45
5.5.	環境構築	45
5.5.1.	ハード環境	45
5.5.2.	ソフト環境	45
5.5.3.	設定	46
5.6.	カスタマイズ手順	46
5.6.1.	音声認識	46
5.6.2.	ロボット用スクリプトエンジン	48

5.7.	起動	67
5.8.	終了	69
6	付録	70
6.1.	トラブルシューティング	70

表目次

表 1-1	適用文書一覧.....	1
表 1-2	関連文書一覧.....	1
表 1-3	参考文書一覧.....	2
表 1-4	統合ロボットシステム 用語一覧.....	2
表 2-1	統合ロボットシステム サービス一覧.....	6
表 3-1	対話サービス：使用 RTC 一覧.....	8
表 3-2	対話サービス：動作環境.....	9
表 3-3	対話制御システム ハードウェア一覧.....	9
表 3-4	JDK のダウンロード URL.....	10
表 3-5	環境変数の設定項目 (JDK 関連)	10
表 3-6	Python のダウンロード URL.....	10
表 3-7	OpenRTM-aist-Java 1.0.0-RELEASE のダウンロード URL.....	11
表 3-8	OpenRTM-aist-C++ 1.0.0-RELEASE のダウンロード URL.....	11
表 3-9	OpenRTM-aist-Python 1.1.0-RC1 のダウンロード URL	11
表 3-10	OpenRTM Eclipse tools 1.0-RELEASE のダウンロード URL	11
表 3-11	ANT の URL	12
表 3-12	環境変数の設定項目 (ANT 関連)	12
表 3-13	OpenHRI のダウンロード URL.....	12
表 3-14	SDLEngine のダウンロード URL.....	13
表 3-15	rtc.conf 設定項目.....	14
表 3-16	音声認識辞書ファイルの使用タグ	15
表 3-17	音声認識文法ファイルの使用タグ	15
表 3-18	対話サービス：SDLEngine インタフェース	17
表 3-19	対話サービス：対話制御.....	18
表 4-1	移動サービス：使用 RTC 一覧.....	26
表 4-2	移動サービス：動作環境.....	27
表 4-3	Visual C++ 2008 Express Edition のダウンロード URL	28
表 4-4	PyYaml のダウンロード URL	28
表 4-5	Java3D のダウンロード URL	29
表 4-6	OpenHRP3 関連ソフトウェアのダウンロード URL.....	29
表 4-7	OpenHRP3+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL.....	29
表 4-8	SDLEngine+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL.....	30
表 4-9	移動サービス：SDLEngine のインタフェース	32

表 4-10	移動サービス：対話、動作制御.....	33
表 5-1	把持サービス：使用 RTC 一覧.....	43
表 5-2	把持サービス：動作環境.....	44
表 5-3	OpenCV のダウンロード URL.....	45
表 5-4	OpenHRP3+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL.....	45
表 5-5	SDLEngine+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL.....	45
表 5-6	把持サービス：SDLEngine のインタフェース	48
表 5-7	把持サービス：対話、動作制御（移動モード）	50

図目次

図 1-1	カメラ座標系.....	3
図 1-2	ロボット座標系	3
図 1-3	関節座標系（回転方向）	4
図 1-4	直交座標系	4
図 2-1	対話サービスイメージ	6
図 2-2	移動サービスイメージ	6
図 2-3	把持サービスイメージ	6
図 3-1	対話サービス：概要.....	7
図 3-2	対話サービス：システム構成	8
図 3-3	SDLEngine コンソール.....	23
図 4-1	移動サービス：概要.....	25
図 4-2	移動サービス：シミュレーター画面	25
図 4-3	移動サービス：システム構成	26
図 4-4	移動サービス：シミュレータ（OpenHRP3）画面イメージ.....	39
図 5-1	把持サービス：概要.....	41
図 5-2	認識用マーク	42
図 5-3	把持サービス：シミュレーター画面	42
図 5-4	把持サービス：シミュレーター画面（ロボットの認識画像）	42
図 5-5	把持サービス：システム構成	43
図 5-6	把持サービス：対話・動作制御（把持モード）	51
図 5-7	把持サービス：シミュレータ（OpenHRP3）画面イメージ.....	68

1 総則

1.1. 目的

本書は、統合ロボットシステムとして、人の生活を支援するロボットのシステム使用方法について、記述した文書である。

まず最初に、音声によって情報をやりとりする対話サービスを実現する。

次に、対話サービスに移動ユニットを追加し、音声指示によって移動を行う移動サービスを実現する。

最後に、アームユニットと単眼位置姿勢計測表示モジュールを追加し、音声指示により、物を運ぶ把持サービスを実現する。

本書は RT ミドルウェア、RT コンポーネントを用いたロボットシステム開発者を対象としており、RT ミドルウェア、RT コンポーネントや関連ツールに関する一般的な知識を持つことを前提とする。

1.2. 適用範囲

本書は、統合ロボットシステムに対して適用する。

1.3. 関連文書等

1.3.1. 適用文書

本書の適用文書を表 1-1 に記載する。

表 1-1 適用文書一覧

No.	文書名	版数	発行元
1	コミュニケーション知能コンポーネント共通規格	第 1 版	NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト・コミュニケーション知能 SWG

1.3.2. 関連文書

本書の関連文書を表 1-2 に記載する。

表 1-2 関連文書一覧

No.	文書名	版数	発行元
1	【Web】OpenHRI Web サイト (http://openhri.net/)	—	独立行政法人産業技術総合研究所
2	音声処理モジュール群マニュアル	1.0	独立行政法人産業技術総合研究所
3	W3C-SRGS(Speech Recognition Grammar Specification) 音声認識文法を定義する規格	最新版	W3C
4	W3C-PLS(Pronunciation Lexicon Specification) 音声認識辞書を定義する規格	最新版	W3C
5	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト 施設内生活支援ロボット知能の研究開発 作業計画モジュール(SDL Engine)マニュアル	Ver.3.0	九州工業大学
6	BeanShell サイト (http://www.beanshell.org)	—	Pat Niemeyer
7	音声対話サービスマニュアル	1.0	独立行政法人産業技術総合研究所

8	ロボット用スクリプトエンジンモジュールマニュアル	1.0	九州工業大学
9	移動ユニット RTCVer2.0 インタフェース仕様書	2.0	株式会社安川電機
10	移動ユニット RTCVer2.0 操作マニュアル	2.0	株式会社安川電機
11	アームユニット RTCVer3.0 インタフェース仕様書	3.0	株式会社安川電機
12	アームユニット RTCVer3.0 操作マニュアル	3.0	株式会社安川電機
13	単眼位置姿勢計測・表示モジュール 機能仕様書	1.0	株式会社東芝
14	単眼位置姿勢計測・表示モジュール 操作手順書	1.2	株式会社東芝

1.3.3. 参考文献

本書の参考文献を表 1-3 に記載する。

表 1-3 参考文献一覧

No.	文書名	版数	発行元
1	【Web】 OpenHRP3 Web サイト http://www.openrtip.jp/openhrp3/	—	独立行政法人産業技術総合研究所
2	【Web】 介護予防リハビリ体操補助ロボット「たいぞう」 http://www.generalrobotix.com/product/taizo/index.htm	—	ゼネラルロボティクス株式会社

1.4. 定義

1.4.1. 用語

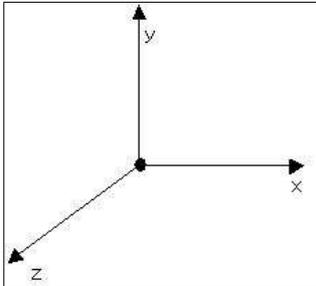
表 1-4 統合ロボットシステム 用語一覧

No.	用語	説明
1	RTM	RT ミドルウェア
2	RTC	RT コンポーネント
3	コンフィギュレーション	設定
4	OpenHRI	音声認識・音声合成・対話制御など、ロボットのコミュニケーション機能の実現に必要な各要素を実現する対話制御コンポーネント群
5	OpenHRP3	ロボットのソフトウェア開発・シミュレーションのための統合ソフトウェアプラットフォーム
6	関節空間	ロボットの関節角度によって座標系を構成し、関節数分の次元をもつ空間。

1.4.2. 座標系

RTC が使用している座標系について記述する。

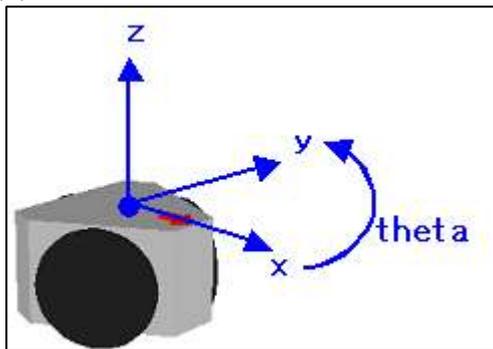
(1) カメラ座標系



- 原点：光学中心
- 軸方向：右手座標系（図 1-1）
- 使用 RTC：単眼位置姿勢計測表示モジュール

図 1-1 カメラ座標系

(2) ロボット座標系



- 原点：ロボット中心
- 軸方向：X=前方、Y=左方、Z=上方、
theta=反時計周り（図 1-2）
- 使用 RTC：
単眼位置姿勢計測表示モジュール、
移動ユニットコンポーネント

図 1-2 ロボット座標系

(3) 関節座標系

- 軸：7 軸（肩からグripperにかけて J1～J7）
- 軸方向：全軸 0 度で下方向に垂直に下ろした基本姿勢
各軸のプラス方向は、図 1-3 の矢印の通り
- 使用 RTC：アームユニットコンポーネント

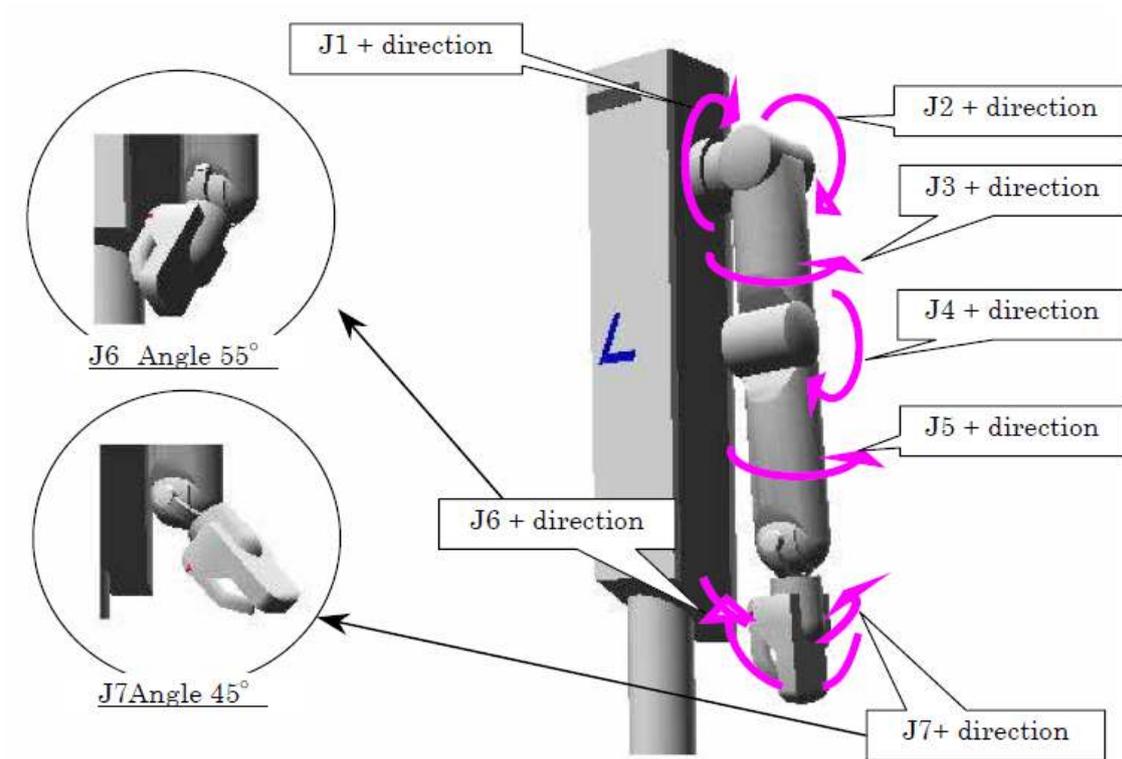
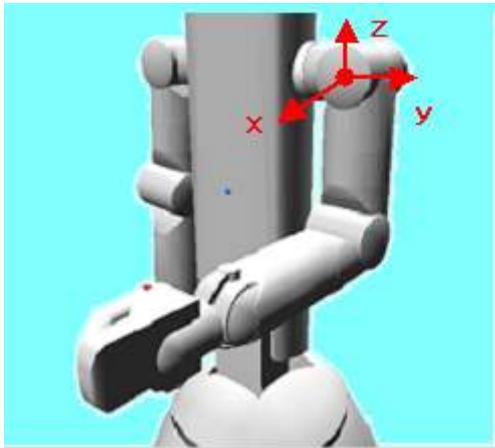


図 1-3 関節座標系 (回転方向)

(4) 直交座標系



- 原点：J1 と J2 の交差位置
- 軸方向：右手座標系 (
- 図 1-4)
- ※右アーム、左アームとも右手座標系
- 使用 RTC :
アームユニットコンポーネント

図 1-4 直交座標系

1.5. ライセンス

1.5.1. 音声処理モジュール (OpenHRI)

OpenHRI のライセンスは、Eclipse Public License (EPL)である。

<http://www.eclipse.org/legal/epl-v10.html>

EPL は、コードの改変や再配布、営利利用を許可するオープンソースライセンスであるが、場合によっては改変内容をライセンス元に開示する必要がある。

OpenHRI が内部で用いている Julius や Open JTalk などのそれぞれのソフトウェアについては、各々のライセンスに従う。

1.5.2. ロボット用スクリプトエンジンモジュール (SDLEngine)

1.5.3. 移動ユニット RTC (VehicleUnitRTC)

1.5.4. アームユニット RTC (ArmUnitRTC)

1.5.5. 腰ユニット RTC

本 RTC は、バイナリのみを公開し、以下の記載事項・条件に同意する場合にのみ、使用を許可する。

1.5.6. 単眼位置姿勢計測表示モジュール (MarkerRecogRTC)

本モジュールは、バイナリのみを公開し、以下の記載事項・条件に同意する場合にのみ、使用を許可する。

- ・ 本モジュールは独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」内実施者向けに評価を目的として提供するものであり、商用利用など他の目的で使用することを禁ずる。
- ・ 各ドキュメントに情報を掲載する際には万全を期していますが、それらの情報の正確性またはユーザにとっての有用性等については一切保証しない。
- ・ 利用者が本モジュールを利用することにより生じたいかなる損害についても一切責任を負わない。
- ・ 本モジュールの変更、削除等は、原則として利用者への予告なしに行う。また、止むを得ない事由により公開を中断あるいは中止させていただく場合がある。
- ・ 本モジュールの情報の変更、削除、公開の中断、中止により、利用者が生じたいかなる損害についても一切責任を負わない。

なお、本書は、クリエイティブ・コモンズ 表示 2.1 ライセンス

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.1/jp/>) の下に提供される。



2 サービス一覧

統合ロボットシステムのサービスを表 2-1 に記述する。

本書では、対話サービスから順にサービスを追加していくことにより、統合ロボットシステムを構築を行う。

表 2-1 統合ロボットシステム サービス一覧

No.	名称	概要
1	対話サービス	ユーザの発話内容に応じて応答を返す。
2	移動サービス	ユーザの発話内容に応じて移動する。
3	把持サービス	ユーザの発話内容に応じて物を把持する。

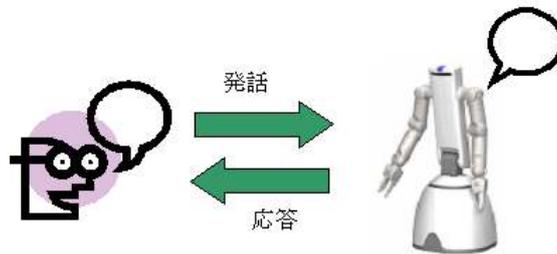


図 2-1 対話サービスイメージ

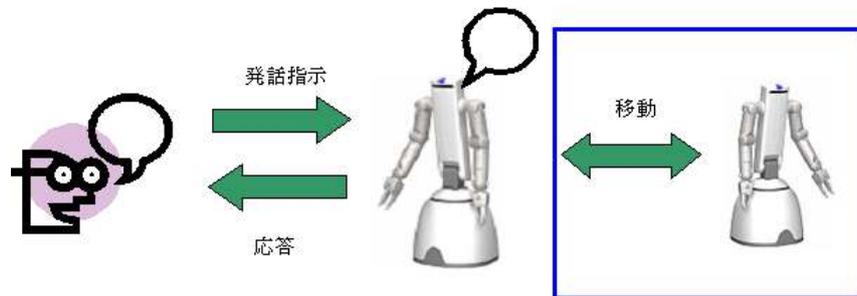


図 2-2 移動サービスイメージ

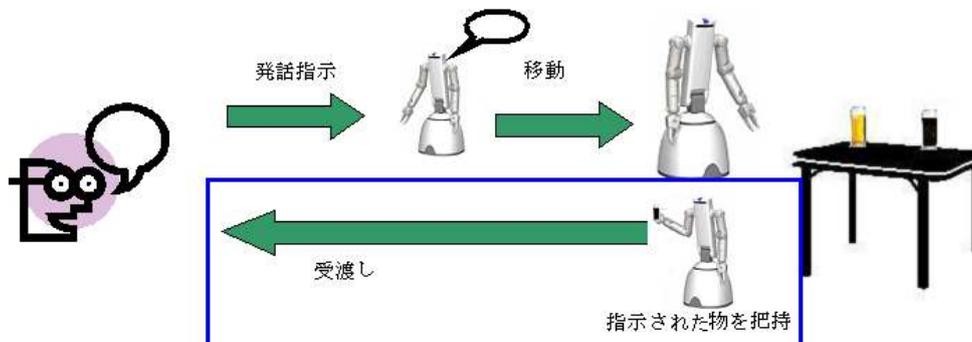


図 2-3 把持サービスイメージ

3 対話サービス

3.1. サービス概要

対話サービスは、計算機やロボットとの情報の授受を音声によって実現する機能である。

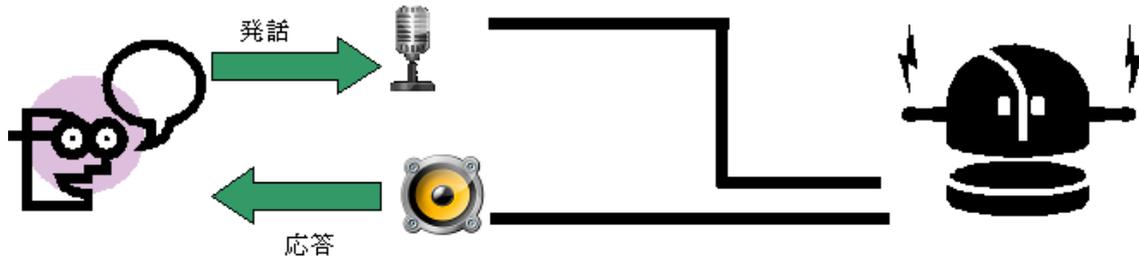


図 3-1 対話サービス：概要

3.2. サービス内容

対話サービスとして、挨拶を行う。

例えば、「おはよう」と話しかけた際には「おはようございます」

「こんにちは」と話しかけた際には「こんにちは」

「バイバイ」と話しかけた際には「またね」と応答する。

音声での応答とともに、応答文言をコンソールに表示する。

3.3. 動作条件・制約

- ・ 本処理は、周期的な処理ではなく、音声入力によるイベントドリブン処理となる。
- ・ 音声認識のために、入力音声のデータフォーマットは、サンプリング周波数 16kHz、量子化ビット数 16 ビットでなければならない。
- ・ 音声指示内容を認識するために、W3C-SRGS 形式の音声認識文法ファイルを必要とする。音声認識文法ファイル内に定義されていない言葉が発話された場合でも、定義内容から最も近い音声が発話されたものと認識する。
- ・ 出力音声のデータフォーマットは、サンプリング周波数 16kHz、量子化ビット数 16 ビットで、チャンネル数は1である。

3.4. システム構成

3.4.1. システム概要

対話サービスのシステム構成を図 3-2 に、使用 RTC を表 3-1 に記載する。

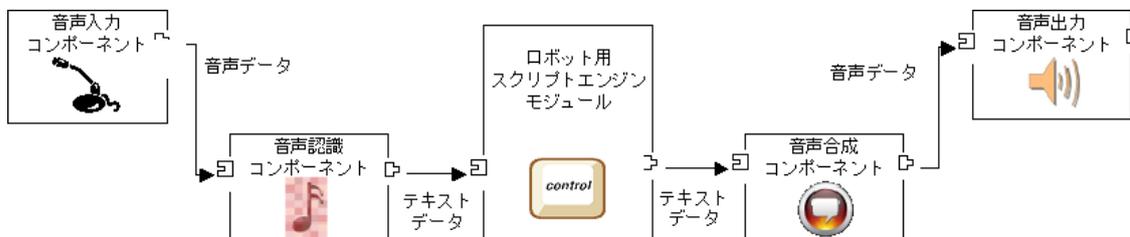


図 3-2 対話サービス：システム構成

表 3-1 対話サービス：使用 RTC 一覧

No.	コンポーネント	説明	RTC 名	数
1	ロボット用スクリプトエンジンモジュール	スクリプトを用いて、各 RTC の制御を行う。	SDLEngine	1
2	音声入力コンポーネント	デバイスより入力された音声データを取得する。	PortAudioInput	1
3	音声認識コンポーネント	音声データを認識し、テキストに変換する。	Julius	1
4	音声合成コンポーネント	応答文を音声化するた応答文を生成する。	OpenJTalk	1
5	音声出力コンポーネント	音声データをデバイスへ出力する。	PortAudioOutput	1

3.4.2. 動作環境

動作環境を表 3-2 に記載する。

表 3-2 対話サービス：動作環境

No.	要求環境			備考
1	OS	Windows	WindowsXP ／Windows7	
2	開発言語	Java Developer Kit (JDK)	1.6.0_23 (32bit 版)	http://java.sun.com/javase/ja/6/download.html Eclipse の動作に必要。
		Python	2.6.4	http://www.python.jp/
3	ミドルウェア	OpenRTM-aist	1.1.0-RC2 (Python)	http://www.openrtm.org/openrtm/ja
			1.0.0-RELEASE (C++)	
			1.0.0-RELEASE (Java)	
4	ツール	OpenRTM Eclipse tools	1.0.0-RELEASE	RTCBuilder および RTSystemEditor が組み込まれた Eclipse 統合 開発環境。RTC の操作に必要となる。
		Apache Ant	1.8.2	http://ant.apache.org/ SDLEngine のビルドを行う。 環境変数「ANT_HOME」を設定し、「PATH」 には%ANT_HOME%\bin;を追加すること。
5	依存ライブラリ	pulseaudio	0.9.21 以上	PortAudioInput,PortAudioOutput にて使用。 OpenHRIAudio インストーラーに含まれる。
		libJulius	4.1.2	Julius にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。
		open-JTalk	1.0.0 以上	OpenJTalk にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。

3.4.3. ハードウェア仕様

音声認識のための入力音声のデータフォーマットは、サンプリング周波数 16kHz、量子化ビット数 16 ビットでなければならない。本条件を満たすハードウェアであれば、メーカーや型番の指定は特にならない。

背景雑音が多い場所では、音声認識ができない場合がある。雑音の多い環境下で使用する場合、ヘッドセットマイクや指向性マイク等、雑音が入りにくいマイクの使用を推奨する。

表 3-3 対話制御システム ハードウェア一覧

No	種別	メーカー	型番	説明
1	音声入力装置	—	—	マイクروفオン等
2	音声出力装置	—	—	スピーカー等

3.5. 環境構築

3.5.1. ハード環境

- ・ PC 等の計算機にマイクを接続する。
- ・ PC 等の計算機にスピーカーを接続する。

3.5.2. ソフト環境

(1) インストール準備

各 RTC を動作させるために、以下のソフトウェアパッケージをインストールする。

- ・ Java Developer Kit JDK 1.6.0_23 (32bit 版)
- ・ Python 2.6
- ・ OpenRTM-aist-Java 1.0.0-RELEASE
- ・ OpenRTM-aist-Python1.0.0-RELEASE
- ・ OpenRTM Eclipse tools 1.1-RC2
- ・ Apache Ant 1.8.2

(a) Java Developer Kit (JDK) 1.6.0_23 (32bit 版)

① インストール

JDK ダウンロードページにアクセスし、「JDK ダウンロード」をクリックする。

「Java SE Development Kit 6u23」ブロックにある「Oracle Binary Code License Agreement for Java SE」と書かれたリンクをクリックするとライセンスが表示される。内容を確認し、同意できる場合、「Accept License Agreement」を選択し、「jdk-6u23-windows-i586.exe」をクリックして、ダウンロード、実行する。

表 3-4 JDK のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.oracle.com/technetwork/java/javasebusiness/downloads/java-archive-downloads-javase6-419409.html#jdk-6u23-oth-JPR
-----------	---

② 環境変数の設定

インストール後、表 3-5 にある環境変数を設定する。

表 3-5 環境変数の設定項目 (JDK 関連)

環境変数	設定内容
JAVA_HOME	JDK のインストール先
PATH	%PATH%;%JAVA_HOME%\bin;

(b) Python

① インストール

表 3-6 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 3-6 Python のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.python.org/download/releases/2.6.4/
-----------	---

ダウンロードファイル	http://www.python.org/ftp/python/2.6.4/python-2.6.4.msi
------------	---

(c) OpenRTM-aist-Java 1.0.0-RELEASE

① インストール

表 3-7 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 3-7 OpenRTM-aist-Java 1.0.0-RELEASE のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/933
ダウンロードファイル	http://www.openrtm.org/pub/Windows/OpenRTM-aist/java/OpenRTM-aist-Java-1.0.0.msi

(d) OpenRTM-aist-C++ 1.0.0-RELEASE

① インストール

表 3-8 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 3-8 OpenRTM-aist-C++ 1.0.0-RELEASE のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/849
ダウンロードファイル	http://www.openrtm.org/pub/Windows/OpenRTM-aist/cxx/OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE_vc9_100212.msi

(e) OpenRTM-aist-Python 1.1.0-RC1 のインストール

① インストール

表 3-9 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 3-9 OpenRTM-aist-Python 1.1.0-RC1 のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://openrtm.org/openrtm/ja/node/4526#toc5
ダウンロードファイル	http://www.openrtm.org/pub/Windows/OpenRTM-aist/python/OpenRTM-aist-Python-1.1.0-RC1.msi

(f) OpenRTM Eclipse tools 1.0-RELEASE

① インストール

表 3-10 の URL よりファイルをダウンロードし、展開する。展開すると eclips というディレクトリができる。

表 3-10 OpenRTM Eclipse tools 1.0-RELEASE のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-eclipse-tools-10-release#toc0
ダウンロードファイル	http://www.openrtm.org/pub/OpenRTM-aist/tools/1.0.0/eclipse342_rtm_tools100release_win32_ja.zip

(g) Apache Ant 1.8.2

① インストール

の URL にアクセスし、左側メニューの中の「Download」ブロックの中にある「Binary Distributions」と書かれたリンクをクリックする。



ページ中段付近の「Current Release of Ant」と書かれたブロックにある「apache-ant-1.8.0-bin.zip」と書かれたリンクをクリックし、ダウンロードを行う。ダウンロードしたファイルを展開する。展開すると「apache-ant-1.8.2」というディレクトリができる。

表 3-11 ANT の URL

Apache ANT	http://ant.apache.org/
------------	---

② 環境変数の設定

インストール後、表 3-12 にある環境変数を設定する。

表 3-12 環境変数の設定項目 (ANT 関連)

環境変数	設定内容
ANT_HOME	ANT のインストール先
PATH	%PATH%;%ANT_HOME%\bin;

(2) OpenHRI のインストール

① インストール

表 3-13 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 3-13 OpenHRI のダウンロード URL

ダウンロードファイル	http://openhri.net/getinstaller.php
------------	---

(3) SDLEngine のインストール

① インストール

表 3-14 の RTC 再利用センターへアクセスし、登録されている zip ファイルをダウンロードする。その後、eclipse にプロジェクトをインポートし、ビルドを実行する。

表 3-14 SDLEngine のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.sec.co.jp/robot/download_rtc.html
ダウンロードファイル	SDLEngine3.0.zip

② eclipse へのインポート

1. SDLEngine.3.0.zip を展開する。
2. eclipse を起動する。
3. Java パースペクティブにする。
4. ファイルメニューの「新規」から「Java プロジェクト」を選択し、プロジェクト名を SRPCCommon として作成する。
5. ファイルメニューから「インポート」を選択し、「一般」の「ファイル・システム」を選ぶ。
6. 次に進み、「参照」で SDLEngine.3.0 の中の SRPCCommon を選択する。
7. 「プロジェクトをワークスペースにコピー」を選択し、その後「終了」を選択する。
8. SDLEngine も 4.~7.の手順でインポートする。
9. SDLEngine 以下に lib と rtc/java のディレクトリを作成する。

③ ビルド

Eclipse あるいは Ant を用いて、ビルドを実行する。

■ Eclipse によるビルド

Eclipse 上でビルドを実行する。「自動的にビルド」が有効になっていれば、特に行うことはない。ビルド後に問題が発生していなければ、ビルドは完了である。

■ Ant によるビルド

ビルドファイルである SDLEngine/build.xml 中の compile ターゲットを起動する。

※ビルドエラーが発生する場合、以下を確認し、必要に応じて、正しく設定しなおす。

- ・ コンパイラ準拠レベルが 1.5 に設定されているか。
- ・ JAVA_HOME にインストールされている JDK が正しく設定されているか。
- ・ JAVA_HOME/bin にパスが設定されているか。

SDLEngine/build.xml 中の clean ターゲットを実行してから再度ビルドしてみる。

3.5.3. 設定

(1) 設定ファイル

インストールが完了すると、各 RTC のインストールディレクトリに、コンポーネントマネージャの設定ファイルである rtc.conf が配置される。

リスト 3-1 は rtc.conf の記述例である。記述例の設定項目については、表 3-15 に記載する。その他の設定項目、詳細については、[OpenRTM-aist のマニュアルの rtc.conf 設定項目一覧](#)を参照のこと。

なお、ネーミングサーバ (corba.nameservers) は、システム内の各 RTC で同じ値を設定すること。

リスト 3-1 rtc.conf

```
corba.nameservers: localhost:5005
corba.endpoint: 127.0.0.1:
naming.formats: %n.rtc
logger.enable: YES
logger.log_level: PARANOID
logger.file_name: stdout
exec_cxt.periodic.rate: 10.0
```

表 3-15 rtc.conf 設定項目

No.	パラメタ名	説明																		
1	corba.nameservers	ネーミングサーバを指定する。 指定フォーマット: host_name:port_number デフォルトポート: 2809(omniORB のデフォルト)																		
2	corba.endpoint	NIC が複数あるとき、ORB をどちらで listen させるかを指定する。 指定フォーマット: IP_Addr:Port																		
3	naming.formats	ネームサーバに登録する際のフォーマットを指定する。 指定子: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>%n</td><td>RTC のインスタンス名</td></tr> <tr><td>%t</td><td>RTC のタイプ名</td></tr> <tr><td>%m</td><td>RTC のモジュール名</td></tr> <tr><td>%v</td><td>RTC のバージョン</td></tr> <tr><td>%V</td><td>RTC のベンダ名</td></tr> <tr><td>%c</td><td>RTC のカテゴリ名</td></tr> <tr><td>%h</td><td>ホスト名</td></tr> <tr><td>%M</td><td>マネージャ名</td></tr> <tr><td>%p</td><td>プロセス ID</td></tr> </table> <p>指定フォーマット: <name>.<kind>/<name>.<kind>/... デフォルト値: %h.host_cxt/%n.mgr</p>	%n	RTC のインスタンス名	%t	RTC のタイプ名	%m	RTC のモジュール名	%v	RTC のバージョン	%V	RTC のベンダ名	%c	RTC のカテゴリ名	%h	ホスト名	%M	マネージャ名	%p	プロセス ID
%n	RTC のインスタンス名																			
%t	RTC のタイプ名																			
%m	RTC のモジュール名																			
%v	RTC のバージョン																			
%V	RTC のベンダ名																			
%c	RTC のカテゴリ名																			
%h	ホスト名																			
%M	マネージャ名																			
%p	プロセス ID																			
4	logger.enable	ログ出力の有効 (Yes) / 無効 (No) を指定する。																		
5	logger.log_level	ログレベルを指定する。 SILENT (何も出力しない) , ERROR, WARN, NORMAL, INFO, DEBUG, TRACE, VERBOSE, PARANOID (全出力)																		
6	logger.file_name	ログファイル名を指定する。(stdout : 標準出力)																		
7	exec_cxt.periodic.rate	実行コンテキストの周波数[Hz]を 0~1000000.で指定する。 デフォルト値: 1000.0																		

3.6. カスタマイズ手順

本システムでは、音声認識のための音声認識文法ファイル、音声認識辞書ファイルが必要である。また、対話制御は、ロボット用スクリプトエンジンモジュールで行うため、ロボット用スクリプトエンジンのカスタマイズ、およびスクリプトが必要となる。

3.6.1. 音声認識

(1) 音声認識辞書

音声認識辞書では、音声認識サービスで使用する語彙リストを定義する。

音声認識辞書フォーマットは、W3C-Pronunciation Lexicon Specification (<http://www.w3.org/TR/pronunciation-lexicon/>) に準拠する。

音声認識辞書ファイルで使用するタグについて、表 3-16 に記述する。

表 3-16 音声認識辞書ファイルの使用タグ

No.	タグ	説明
1	lexeme	表記と発音のセットを定義する。
2	grapheme	単語の表記を定義する。
3	phoneme	単語の発音を定義する

(2) 音声認識文法ファイル

音声認識文法ファイルには、音声入力の文法モデルを定義する。

音声認識文法フォーマットは、W3C-Speech Recognition Grammar Specification (<http://www.w3.org/TR/speech-grammar/>) に準拠する。本システムでは、W3C-Speech Recognition Grammar Specification の定める XML 形式フォーマットを使用することができる。

音声認識ファイルで使用するタグについて、表 3-17 に記述する。なお、本ファイルの文字コードは、UTF-8 でなければならない。

表 3-17 音声認識文法ファイルの使用タグ

No.	タグ	説明
1	lexicon	音声認識辞書(次のセクション参照)の URI を定義する。(任意)
2	rule	ID によって区別された各文法を定義する。 ID は音声認識文法の相互参照や、Julius 音声認識コンポーネントによって認識されるアクティブな文法を切り換えるのに利用する。
3	item	認識される単語や文を定義する。repeat プロパティで繰り返し替えされる回数を指定できる。
4	one-of	子項目で定義される文法がすべて許容できることを示す。
5	ruleref	uri で指定される文法を参照する。

(3) 対話サービスにおける音声認識定義

対話サービスでは、「おはよう」「こんにちは」「こんばんは」「バイバイ」「さようなら」という語彙を認識させる。この場合、音声認識辞書ファイルはリスト 3-2 のように、音声認識文法ファイルは、リスト 3-3 のように、定義することができる。

リスト 3-2 音声認識辞書ファイル例 (talk-lex.xml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<lexicon version="1.0"
  xmlns="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon
    http://www.w3.org/TR/2007/CR-pronunciation-lexicon-20071212/pls.xsd"
  alphabet="kana" xml:lang="jp">
  <lexeme>
    <grapheme>おはよう</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|おはよう]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>こんにちは</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|こんにちわ]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>こんばんは</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|こんばんわ]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>バイバイ</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|ばいばい]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>さようなら</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|さようなら]}</phoneme>
  </lexeme>
</lexicon>
```

リスト 3-3 音声認識文法ファイル例 (talk.grxml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<grammar xmlns="http://www.w3.org/2001/06/grammar"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/06/grammar
    http://www.w3.org/TR/speech-grammar/grammar.xsd"
  xml:lang="jp"
  version="1.0" mode="voice" root="command">
  <lexicon uri="greet-lex.xml"/>
  <rule id="command">
    <one-of>
      <item>おはよう</item>
      <item>こんにちは</item>
      <item>こんばんは</item>
      <item>バイバイ</item>
      <item>さようなら</item>
    </one-of>
  </rule>
</grammar>
```

3.6.2. ロボット用スクリプトエンジン

(1) SDLEngine のインタフェース定義 (build.xml)

SDLEngine は、様々な RTC との接続を前提としており、インタフェースは build.xml での定義に依る。なお、定義に使用する<arg>タグの value 属性は、rtc-template のコマンドライン引数となる。

(a) データポート

bulid.xml の gen-rtc-sdl-engine ターゲット (<target name="gen-rtc-sdl-engine">) に<arg>タグの value 属性の値として、以下を定義する。

- ・ インポート : `<arg value="-- inport =[ポート名]:[データ型]" />`
- ・ アウトポート : `<arg value="-- outport =[ポート名]:[データ型]" />`

※独自データ型のデータポートを定義する場合、IDL ファイル (ファイル名 : [当該データ型].idl) を SDLEngine/main/idl に配置する。

(b) サービスポート

サービスポートに対応する IDL ファイルを用意し、bulid.xml の gen-rtc-sdl-engine ターゲット (<target name="gen-rtc-sdl-engine">) に<arg>タグの value 属性の値として、以下を定義する。

- ・ プロバイダーポート
 - `--service=[ポート名]:[インスタンス名]:[サービス型]`
 - `--service-idl=[IDL ファイル名]`
 - `--idl-include=[IDL ファイルパス]`
- ・ コンシューマポート
 - `--consumer=[ポート名]:[インスタンス名]:[サービス型]`
 - `--consumer-idl=[IDL ファイル名]`
 - `--idl-include=[IDL ファイルパス]`

(2) 対話サービスにおける SDLEngine のインタフェース定義 (build.xml)

対話サービスにおける SDLEngine のインタフェースを表 3-18 に、インタフェース定義例をリスト 3-4 に記載する。

表 3-18 対話サービス : SDLEngine インタフェース

No.	コンポーネント	RTC 名	種別*	ポート名	型	SDLEngine	
						種別*	ポート名
1	音声認識 コンポーネント	Julius	O	result	TimedString	I	text_in
2	音声合成 コンポーネント	OpenJTalk	I	text	TimedString	O	text_out
3			O	status	TimedString	I	status

(*I : インポート、O : アウトポート、P : プロバイダーポート、C : コンシューマポート)

リスト 3-4 対話サービス：インタフェース定義 (build.xml) 例

```

<target name="gen-rtc-sdl-engine" description="Generate SDL Engine RTC code.">
    ...

    <!--インポート定義 -->
    <arg value="--inport=text_in:RTC::TimedString" />
    <arg value="--inport=status_in:RTC::TimedString" />
    <!-- アウトポート定義 -->
    <arg value="--outport=text_out:RTC:: TimedString" />

    ...

</target>

```

(3) SDLEngine の動作定義 (スクリプト)

SDLEngine は、BeanShell を基盤とするスクリプトにより動作する。

SDLEngine スクリプトは、主に以下の機能を有している。

- ・ Java1.4 に準拠したインタプリタ
- ・ 既存の Java クラスのインスタンス化と実行
- ・ BeanShell で用意された関数群の利用

(4) 対話サービスにおける SDLEngine の動作定義 (スクリプト)

対話サービスでは、以下の処理を行う。

1. SDLEngine をネームサービスへ登録する。
2. 以下の音声処理用コンポーネントの起動を確認し、起動している場合は、接続する。
 - ・ 音声入力コンポーネント (PortAudioInput)
 - ・ 音声認識コンポーネント (Julius)
 - ・ 音声合成コンポーネント (OpenJTalk)
 - ・ 音声出力コンポーネント (PortAudioOutput)
3. 音声入力 (発話) に応答する。

音声入力と応答内容の対応を表 3-19 に記載する。

表 3-19 対話サービス：対話制御

No.	音声入力	応答
1	おはよう	おはようございます。
2	こんにちは	こんにちは。
3	こんばんは	こんばんは。
4	バイバイ	またね。
5	さようなら	さようなら。

SDLEngine スクリプトの記述例をリスト 3-5 に記載する。

リスト 3-5 対話サービススクリプト例 (TalkService.bsh)

```

SubTalkstartFlag=false;
//SDLをネームサービスへ登録する
sdlEngine = rtc.local_component("SDLEngine", "SDLEngine");

//ネームサービスに登録されている全てのRTCオブジェクトを取得する
env = rtc.env("localhost", 2809);
handles = env.get_handles();

//-----
// RTC接続
//-----
// Juliusが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles["JuliusRTC0.rtc"] !=null ){
    env.connect(env.handles["SDLEngine0.rtc"].ports["SDLEngine0.text_in"],
                env.handles["JuliusRTC0.rtc"].ports["JuliusRTC0.result"]);

    // PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
    if( handles["PortAudioInput0.rtc"] !=null ){
        env.connect(
            env.handles["PortAudioInput0.rtc"].ports["PortAudioInput0.AudioDataOut"],
            env.handles["JuliusRTC0.rtc"].ports["JuliusRTC0.data"]);
        env.handles["PortAudioInput0.rtc"].activate();
    }
    env.handles["JuliusRTC0.rtc"].activate();
}
// OpenJTalkが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ){
    env.connect(env.handles["SDLEngine0.rtc"].ports["SDLEngine0.text_out"],
                env.handles["OpenJTalkRTC0.rtc"].ports["OpenJTalkRTC0.text"]);
    env.connect(env.handles["SDLEngine0.rtc"].ports["SDLEngine0.status"],
                env.handles["OpenJTalkRTC0.rtc"].ports["OpenJTalkRTC0.status"]);

    // PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
    if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ){
        env.connect(
            env.handles["PortAudioOutput0.rtc"].ports["PortAudioOutput0.AudioDataIn"],
            env.handles["OpenJTalkRTC0.rtc"].ports["OpenJTalkRTC0.result"]);
        env.handles["PortAudioOutput0.rtc"].activate();
    }
    env.handles["OpenJTalkRTC0.rtc"].activate();
}

// SDLEngineをactivate
env.handles["SDLEngine0.rtc"].activate();

//-----
// リスナー登録 (音声認識解析状態 : status)
//-----
sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.status"].addListener(new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListe
ner() {
    dataReceived(event) {
        print("status: " + event.getValue().data);
        if( event.getValue().data.equals("started")){
            SubTalkstartFlag=true;
        }
        if( event.getValue().data.equals("finished")){
            SubTalkstartFlag=false;
        }
    }
});
//-----

```

```
// スレッドクラス
//-----
public abstract class Thread_main extends Thread{
    public String sentence;
    public int getValue();
    public void run();
}
Thread_main tGetEvent;

//-----
// リスナー登録 (音声認識結果 : text_in)
//-----
sdlEngine.local_ports{"SDLEngine0.text_in"}.addListener(new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener() {
    dataReceived(event) {
        print("Received: " + event.getValue().data);

        String sentence = SubvoiceChk(event.getValue().data);
        //データポートで値を取得している間は、別のポートへ指令が出せない為、別スレッドで処理を行う
        tGetEvent = new SubvoiceChk2();
        tGetEvent.sentence = sentence;
        tGetEvent.start();
    }
});

//-----
// スリープ
//-----
SleepTime(long waitTime){
    try {
        Thread.sleep(waitTime);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

//-----
// 発話処理
//-----
kitTalk(String TalkingWords)
{
    if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
        kitTalk(TalkingWords,true);
    }
}

kitTalk(String TalkingWords, boolean wait)
{
    if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
        while (SubTalkstartFlag) {
            SleepTime(200);
        }
        // 発話内容を画面に表示
        print(TalkingWords);

        // OpenJTalkに発話内容を出力
        sdlEngine.local_ports{"SDLEngine0.text_out"}.put(TalkingWords);
        if( wait ){
            SleepTime(1500);
            while (SubTalkstartFlag) {
                SleepTime(200);
            }
        }
    }
}
```

```

}

//-----
// 音声認識結果より、認識語彙を取得
//-----
SubvoiceChk(String sentence) {
    String voicedata = "";
    String[] sentencearray = sentence.split("><");
    String chkword = "rank=¥"1¥";
    for(int i=0;i<sentencearray.length;i++){
        int chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
        if( chkwordpos != -1 ){
            chkword = "text=";
            chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
            voicedata = sentencearray[i].substring(chkwordpos+chkword.length()+1, sentencearray[i].length()-1);
            break;
        }
    }
    print(voicedata);
    return voicedata;
}

//-----
// 発話による応答制御
//-----
public class SubvoiceChk2 extends Thread_main {
    /** return用の値 */
    private int value;

    public void run() {
        if( match(sentence, ".*おはよう.*") ){
            kitTalk("おはようございます", false);
        }
        if( match(sentence, ".*こんにちは.*") ){
            kitTalk("こんにちは", false);
        }
        if( match(sentence, ".*こんばんは.*") ){
            kitTalk("こんばんは", false);
        }
        if( match(sentence, ".*バイバイ.*") ){
            kitTalk("またね", false);
        }
        if( match(sentence, ".*さようなら.*") ){
            kitTalk("さようなら", false);
        }
    }

    /**
     * 値取得用のメソッド。
     */
    public int getValue() {
        this.join();
        return this.value;
    }
}

//-----
// RTC切断
//-----
discon() {
    env.handles["SDLEngine0.rtc"].deactivate();
    if( handles["JuliusRTC0.rtc"] != null ){
        env.handles["JuliusRTC0.rtc"].deactivate();
    }
}

```

```

env.disconnect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_in"},
env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.result"});
if( handles{"PortAudioInput0.rtc"} !=null ){
env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.deactivate();
env.disconnect(
env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.ports{"PortAudioInput0.AudioDataOut"},
env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.data"});
}
}
if( handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"} !=null ){
env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.deactivate();
env.disconnect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_out"},
env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.text"});
env.disconnect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.status"},
env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.status"});
if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.deactivate();
env.disconnect(
env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.ports{"PortAudioOutput0.AudioDataIn"},
env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.result"});
}
}
}
}
}

```

3.7. 起動

対話サービスは以下の手順で起動する。

(1) ネームサーバを起動する。

SDLEngine のインストールディレクトリにある `omniNames.bat` をクリックする。

起動するネームサーバのポート番号が `rtc.conf` の設定内容と一致している必要がある。(リスト 3-6 参照。)

リスト 3-6 omniNames.bat

```

del /Q C:\temp\*. *
"%OMNI_ROOT%\bin\x86_win32\omniNames.exe" -start 5005
                                     ↑ポート番号

```

(2) 動作に必要な RTC コンポーネントを起動する。

(a) OpenHRI の起動

[スタート]メニュー-[すべてのプログラム]-[OpenHRI]から対応するコンポーネントを選択する。

- ・ 音声入力コンポーネント(PortAudioInput)
- ・ 音声出力コンポーネント(PortAudioOutput)
- ・ 音声認識コンポーネント(Julius)
- ・ 音声合成コンポーネント(OpenJTalk)

(3) SDLEngine を起動する。

① 起動

以下のいずれかの方法で起動する。

- ・ SDLEngine/build.xml 中の `run-console` ターゲットを起動する

- ・ Eclipse より `jp.ac.kyutech.SRP.Console` クラスを起動する
- ・ Ant を利用した `bat` ファイル(`SDLEngine/doc/SDLEngine.bat`)を起動する
正常に起動すると `SDLEngine` のコンソールウィンドウが表示される。

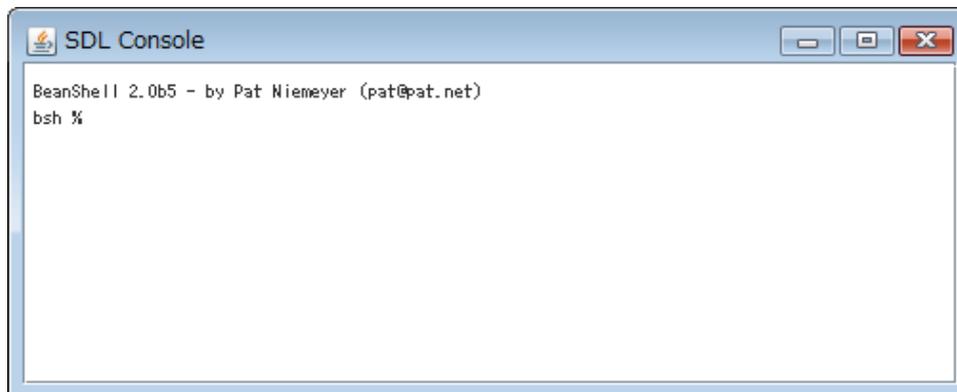


図 3-3 SDLEngine コンソール

② スクリプトの読込

SDLEngine コンソールで対話サービス用スクリプトファイルを読み込む。(リスト 3-7)

リスト 3-7 SDLEngine コンソール操作 (対話制御スクリプト読込)

```
bsh % source (" c:/SDLEngine/script/TalkService.bsh" ) :
```

(4) マイクにて話しかける

マイクにて、「おはよう」「こんにちは」「こんばんは」「バイバイ」「さようなら」と話しかけると「おはようございます」「こんにちは」「こんばんは」「またね」「さようなら」と応答を返す。

3.8. 終了

(1) SDLEngine を終了する。

SDLEngine コンソール上でリスト 3-8 を入力するか、コンソールウィンドウの終了ボタン

() を押下する。

リスト 3-8 SDLEngine コンソール操作 (終了)

```
bsh % exit();
```

(2) 各コンポーネントを終了する。

(a) OpenHRI

各コンポーネントのターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

- ・ 音声入力コンポーネント(`PortAudioInput`)
- ・ 音声出力コンポーネント(`PortAudioOutput`)

- ・ 音声認識コンポーネント(Julius)
- ・ 音声合成コンポーネント(OpenJTalk)

(3) **ネームサーバを終了する。**

ターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

4 移動サービス

4.1. サービス概要

移動サービスは、対話サービスに移動機能を追加したものである。ユーザの音声指示に応じて、移動を行うサービスである。

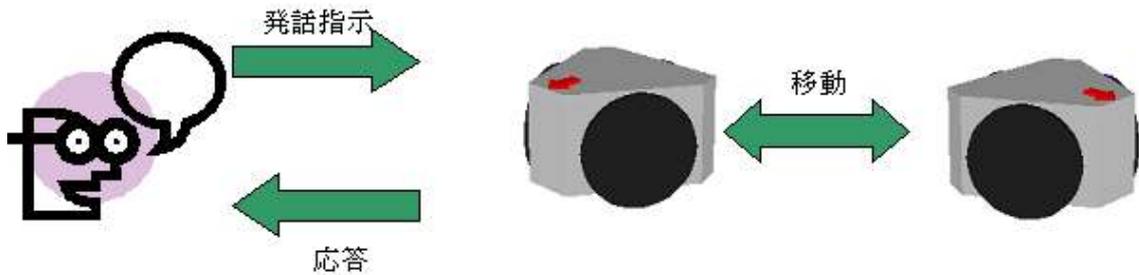


図 4-1 移動サービス：概要

4.2. サービス内容

- ・ 移動方向を指示すると音声による応答を返し、移動する。
例えば、「右」と指示した場合は、「右へ移動します。」と応答し、右方向へ移動する。
「後ろ」と指示した場合は、「後ろへ下がります。」と応答し、後ろへ下がる。

4.3. 動作条件・制約

- ・ 本処理は、周期的な処理ではなく、音声入力によるイベントドリブン処理となる。
- ・ 一度の指示で移動する距離を予め決めておく。（相対位置移動）
- ・ 実機ではなく、シミュレーター（OpenHRP3）上で動作させる。

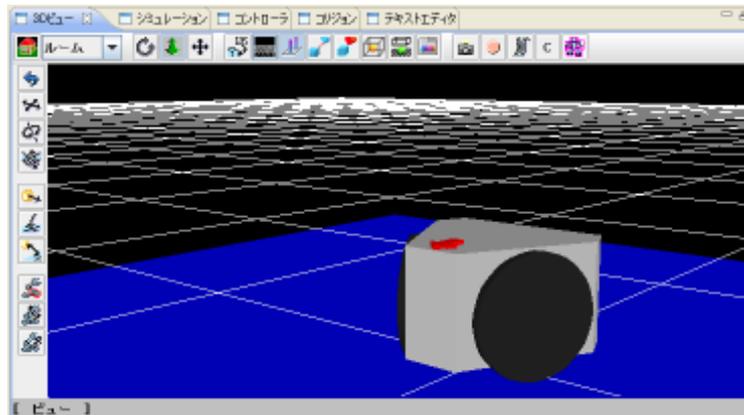


図 4-2 移動サービス：シミュレーター画面

4.4. システム構成

4.4.1. システム概要

移動サービスのシステム構成を図 4-3 に、使用 RTC を表 4-1 に記載する。対話サービスの構成に追加したものを青枠、あるいは、青字で示す。

図 4-3 移動サービス：システム構成

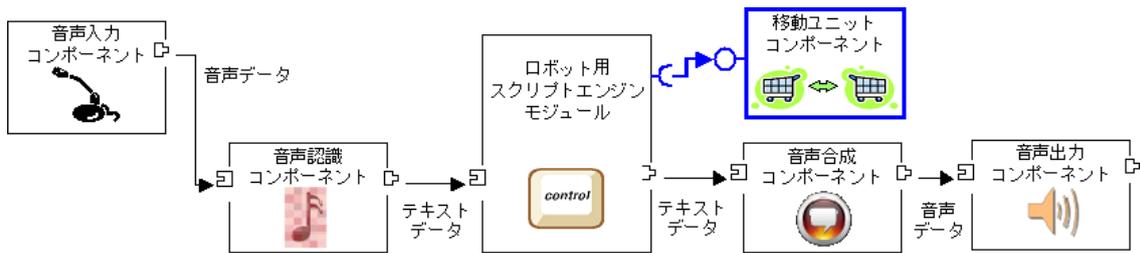


表 4-1 移動サービス：使用 RTC 一覧

No.	コンポーネント	説明	RTC 名	数
1	ロボット用スクリプトエンジンモジュール	スクリプトを用いて、各 RTC の制御を行う。	SDL Engine	1
2	音声入力コンポーネント	デバイスより入力された音声データを取得する。	PortAudioInput	1
3	音声認識コンポーネント	音声データを認識し、テキストに変換する。	Julius	1
4	音声合成コンポーネント	応答文を音声化するた応答文を生成する。	OpenJTalk	1
5	音声出力コンポーネント	音声データをデバイスへ出力する。	PortAudioOutput	1
6	移動ユニットコンポーネント	指定位置へ移動する。	VehicleServiceProvider	1

4.4.2. 動作環境

動作環境を表 4-2 に記載する。対話サービスの環境に追加したものを青字で示す。

表 4-2 移動サービス：動作環境

No.	要求環境			備考
1	OS	Windows	WindowsXP ／Windows7	
2	開発言語	Java Developer Kit (JDK)	1.6.0_23 (32bit 版)	http://java.sun.com/javase/ja/6/download.html
		Python	2.6.4	http://www.python.jp/
		VisualC++	2008 Express Edition 日本語版	http://www.microsoft.com/japan/msdn/vstudio/2008/product/express/
3	ミドルウェア	OpenRTM-aist	1.1.0-RC2 (Python)	http://www.openrtm.org/openrtm/ja
			1.0.0-RELEASE (C++)	
			1.0.0-RELEASE (Java)	
4	ツール	OpenRTM Eclipse tools	1.0.0-RELEASE	RTCBuilder および RTSystemEditor が組み込まれた Eclipse 統合 開発環境。RTC の操作に必要となる。
		Apache Ant	1.8.2	http://ant.apache.org/ SDLEngine のビルドを行う。 環境変数「ANT_HOME」を設定し、「PATH」 には%ANT_HOME%¥bin;を追加すること。
		OpenHRP3	3.1.1	http://www.openrtp.jp/openhrp3/
5	依存ライブラリ	pulseaudio	0.9.21 以上	PortAudioInput,PortAudioOutput にて使用。 OpenHRIAUDIO インストーラーに含まれる。
		libJulius	4.1.2	Julius にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。
		open-JTalk	1.0.0 以上	OpenJTalk にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。
		PyYAML	3.0.5 以上	OpenHRP3 にて使用。 http://pyyaml.org
		java3D API	1.4.0_01	OpenHRP3 にて使用 <a href="http://www.oracle.com/technetwork/java/javas
ebusiness/downloads/java-archive-downloads-
java-client-419417.html">http://www.oracle.com/technetwork/java/javas ebusiness/downloads/java-archive-downloads- java-client-419417.html

4.4.3. ハードウェア仕様

シミュレータ上で動作させるため、ハードウェアの追加はない。対話サービスで使用了したものと同一ものを使用する。

4.5. 環境構築

4.5.1. ハード環境

対話サービスの環境を利用する。

4.5.2. ソフト環境

対話サービスの環境に以下を追加する。

- (1) OpenHRPSDK のインストール準備
- (a) Visual C++ 2008 Express Edition 日本語版

- ① インストール

表 4-3 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 4-3 Visual C++ 2008 Express Edition のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.microsoft.com/japan/msdn/vstudio/2008/product/express/
ダウンロードファイル	http://go.microsoft.com/?LinkId=9348304

- (b) PyYaml

- ① インストール

表 4-4 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 4-4 PyYaml のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://pyyaml.org/wiki/PyYAML
ダウンロードファイル	http://pyyaml.org/download/pyyaml/PyYAML-3.10.win32-py2.6.exe

- (c) Java3D API

- ① インストール

表 4-5 にあるダウンロードページにアクセスし、
「OracleBinaryCodeLicenseAgreementforJavaSE」のリンク先の利用規約に同意できる場合、
「AcceptLicenseAgreement」を選択し、「java3d-1_4_0_01-windows-i586.exe」をダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。Java3D API 1.5 系には不具合があるため、本バージョンを使用すること。

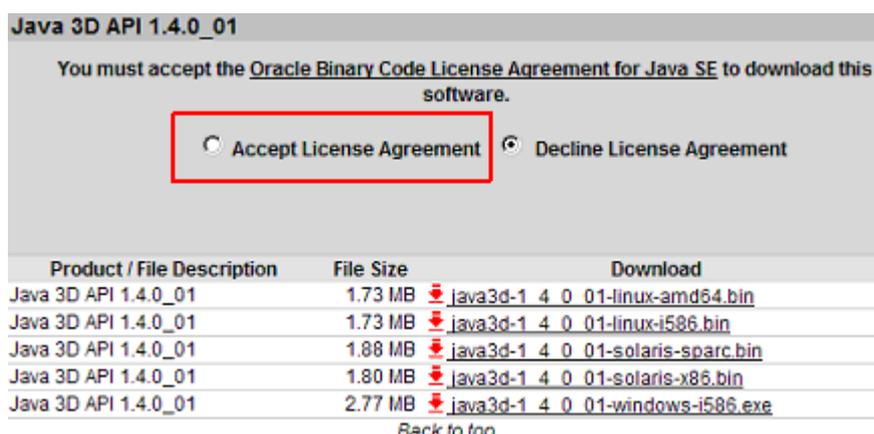


表 4-5 Java3D のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.oracle.com/technetwork/java/javasebusiness/downloads/java-archive-downloads-java-client-419417.html#java3d-1.4.0_01-oth-JPR
ダウンロードファイル	java3d-1_4_0_01-windows-i586.exe

(d) OpenHRP3 関連ソフトウェア

① インストール

表 4-6 の URL より、OpenHRP3 の環境構築に必要な関連ソフトウェアの一括インストーラ Package-1.2.0.zip(OpenHRP3.1.0β4 用)をダウンロードする。ダウンロードしたファイルを解凍し、install.cmd を実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 4-6 OpenHRP3 関連ソフトウェアのダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.openrtp.jp/openhrp3/jp/download.html#all_in_one
ダウンロードファイル	http://www.openrtp.jp/openhrp3/download/Package-1.2.0.zip

(2) OpenHRP3 と移動ユニットコンポーネント

① インストール

表 4-7 の URL より、OpenHRP3 と移動ユニットコンポーネントのセットをダウンロードし、C ドライブに解凍する。

表 4-7 OpenHRP3+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.sec.co.jp/robot/download_rtc.html
ダウンロードファイル	OpenHRP3_move.zip

(3) 移動ユニット対応 SDL Engine のインストール

① インストール

SDL Engineにて、移動ユニットコンポーネントを操作するためのクラス一式を用意している。表 4-8 の URL より、移動ユニット対応の SDL Engine をダウンロードし、C ドライブに解凍する。

表 4-8 SDL Engine+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.sec.co.jp/robot/download_rtc.html
ダウンロードファイル	SDL Engine_move.zip

4.5.3. 設定

(1) 設定ファイル

移動サービスのための設定は特になし。対話サービスと同様、必要に応じて、rtc.conf の設定を行うこと。詳細は、3.5.3(1)を参照のこと。

4.6. カスタマイズ手順

4.6.1. 音声認識

(1) 移動サービスにおける音声認識

移動サービスでは、「前」「後」「右」「左」「停止」「回転」という語彙を認識させる。この場合、音声認識辞書ファイルはリスト 4-1 のように、音声認識文法ファイルは、リスト 4-2 のように、定義することができる。

リスト 4-1 音声認識辞書ファイル例 (move-lex.xml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<lexicon version="1.0"
  xmlns="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon
    http://www.w3.org/TR/2007/CR-pronunciation-lexicon-20071212/pls.xsd"
  alphabet="kana" xml:lang="jp">
  <lexeme>
    <grapheme>前</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|まえ]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>後</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|うしろ]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>右</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|みぎ]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>左</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|ひだり]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>停止</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|ていし]}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>回転</grapheme>
    <phoneme>{[KANA|かいてん]}</phoneme>
  </lexeme>
</lexicon>
```

リスト 4-2 音声認識文法ファイル例 (move.grxml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<grammar xmlns="http://www.w3.org/2001/06/grammar"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/06/grammar
    http://www.w3.org/TR/speech-grammar/grammar.xsd"
  xml:lang="jp"
  version="1.0" mode="voice" root="command">

  <lexicon uri="move-lex.xml"/>

  <rule id="command">
```

```

<one-of>
  <item>前</item>
  <item>後</item>
  <item>右</item>
  <item>左</item>
  <item>停止</item>
  <item>回転</item>
</one-of>
</rule>

</grammar>
    
```

4.6.2. ロボット用スクリプトエンジン

(1) 移動サービスにおける SDLEngine のインタフェース定義 (build.xml)

移動サービスにおける SDLEngine のインタフェースを表 4-9 に、インタフェース定義例をリスト 4-3 に記載する。対話サービスからの追加箇所を青字で示す。

表 4-9 移動サービス : SDLEngine のインタフェース

No.	コンポーネント	RTC 名	種別*	ポート名	型	SDLEngine	
						種別*	ポート名
1	音声認識 コンポーネント	Julius	O	result	TimedString	I	text_in
2	音声合成 コンポーネント	OpenJTalk	I	text	TimedString	O	text_out
3			O	status	TimedString	I	status
4	移動ユニット コンポーネント	VehicleService Provider	P	VehicleService Provider	vehicleService :VehicleService	C	VehicleService Consumer

(*I : インポート、O : アウトポート、P : プロバイダーポート、C : コンシューマーポート)

リスト 4-3 移動サービス : インタフェース定義 (build.xml) 例

```

<target name="gen-rtc-sdl-engine" description="Generate SDL Engine RTC code.">
  ...
  <!--インポート定義 -->
  <arg value="--inport=text_in:RTC::TimedString" />
  <arg value="--inport=status_in:RTC::TimedString" />
  <!-- アウトポート定義 -->
  <arg value="--outport=text_out:RTC:: TimedString" />
  <!--コンシューマーポート定義 -->
  <arg value="--consumer=VehicleServiceConsumer:vehicleService:VehicleService" />
  <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/VehicleService.idl" />
  <arg value="--idl-include=${main.idl.dir}" />
  ...
</target>
    
```

(2) 移動サービスにおける SDLEngine スクリプト

移動サービスでは、以下の処理を行う。

1. SDLEngine をネームサービスへ登録する。
2. 以下のコンポーネントの起動を確認し、起動している場合は、接続する。
 - ・ 音声入力コンポーネント(PortAudioInput)
 - ・ 音声認識コンポーネント(Julius)
 - ・ 音声合成コンポーネント(OpenJTalk)
 - ・ 音声出力コンポーネント(PortAudioOutput)
 - ・ 移動ユニットコンポーネント (VehicleServiceProvider)
3. 移動ユニットの動作準備を行う。
4. 音声入力（発話）に応答し、指示に従った移動を行う。
音声入力と応答内容・動作の対応を表 4-10 に記載する。

表 4-10 移動サービス：対話、動作制御

No.	音声入力	応答	動作
1	前	前へ進みます。	前進する。
2	後ろ	後ろへ下がります	バックする。
3	右	右へ移動します。	右へ進む。
4	左	左へ移動します。	左へ進む。
5	回転	回転します。	左 90 度へ方向変換する。
6	停止	停止します。	停止する。

SDLEngine スクリプトの記述例をリスト 4-4 に記載する。

リスト 4-4 移動サービス：スクリプト例 (MoveService.bsh)

```

SubTalkstartFlag=false;
//-----
// RTC接続処理
//-----

//SDLをネームサービスへ登録する
sdLEngine = rtc.local_component("SDLEngine", "SDLEngine");

//ネームサービスに登録されている全てのRTCオブジェクトを取得する
env = rtc.env("localhost", 2809);
handles = env.get_handles();

// Juliusが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"JuliusRTC0.rtc"} !=null ){
    env.connect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_in"},
               env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.result"});

// PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
if( handles{"PortAudioInput0.rtc"} !=null ){
    env.connect(
        env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.ports{"PortAudioInput0.AudioDataOut"},
        env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.data"});
    env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.activate();
}
}

```

```
env. handles{"JuliusRTC0. rtc"}. activate();
}
// OpenJTalkが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"PortAudioOutput0. rtc" !=null ){
    env. connect( env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. text_out"},
                  env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. text"});
    env. connect( env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. status"},
                  env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. status"});

    // PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
    if( handles{"PortAudioOutput0. rtc" !=null ){
        env. connect(
            env. handles{"PortAudioOutput0. rtc"}. ports{"PortAudioOutput0. AudioDataIn"},
            env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. result"});
        env. handles{"PortAudioOutput0. rtc"}. activate();
    }
    env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. activate();
}
// VehicleServiceProviderが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"VehicleServiceProvider0. rtc" !=null ){
    env. connect(
        env. handles{"VehicleServiceProvider0. rtc"}. ports{"VehicleServiceProvider0. VehicleServicePro
vider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. VehicleServiceConsumer"});
    env. handles{"VehicleServiceProvider0. rtc"}. activate();
}
// OpenHRP3用の接続
//-----
if( handles{"UnitEmuAdapter0. rtc" !=null ){
    env. connect( env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. ports{"." transseqo"},
                  env. handles{"UnitEmuController0. rtc"}. ports{"UnitEmuController0. transseqi"});
    env. connect( env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. ports{"." valueseqo"},
                  env. handles{"UnitEmuController0. rtc"}. ports{"UnitEmuController0. valueseqi"});
    env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. activate();
}
//-----
// SDLEngineをactivate
env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. activate();

//-----
// スリープ
//-----
SleepTime(long waitTime){
    try {
        Thread.sleep(waitTime);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

//-----
// 移動ユニットの動作準備
//-----
// アラームクリア
sdlEngine.local_ports{"vehicleService"}. clearAlarm();
// 減速・停止
sdlEngine.local_ports{"vehicleService"}. stop();
// 主回路電源入
sdlEngine.local_ports{"vehicleService"}. setPower(true);
SleepTime(1000);
// サーボ制御入
sdlEngine.local_ports{"vehicleService"}. setServo(true);
```

```

//-----
// リスナー登録 (音声認識解析状態 : status)
//-----
SDL_Engine.local_ports["SDL_Engine0.status"].addListener(new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener() {
    dataReceived(event) {
        print("status: " + event.getValue().data);
        if (event.getValue().data.equals("started")) {
            SubTalkstartFlag=true;
        }
        if (event.getValue().data.equals("finished")) {
            SubTalkstartFlag=false;
        }
    }
});
//-----
// スレッドクラス
//-----
public abstract class Thread_main extends Thread {
    public String sentence;
    public int getValue();
    public void run();
}
Thread_main tGetEvent;
//-----
// リスナー登録 (音声認識結果 : text_in)
//-----
SDL_Engine.local_ports["SDL_Engine0.text_in"].addListener(
new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener() {

    dataReceived(event) {
        String sentence = SubvoiceChk(event.getValue().data);
        // データポートで値を取得している間は、
        // 別のポートへ指令が出せない為、別スレッドで処理を行う
        tGetEvent = new SubvoiceChk2();
        tGetEvent.sentence = sentence;
        tGetEvent.start();
    }
});
//-----
// 音声認識結果より、認識語彙を取得
//-----
SubvoiceChk(String sentence) {
    String voicedata = "";
    String[] sentencearray = sentence.split("><");
    String chkword = "rank=¥1¥";
    for(int i=0;i<sentencearray.length;i++) {
        int chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
        if (chkwordpos != -1 ) {
            chkword = "text=";
            chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
            voicedata = sentencearray[i].substring(
chkwordpos+chkword.length()+1, sentencearray[i].length()-1);
            break;
        }
    }
    return voicedata;
}
//-----
// 発話による応答制御
//-----
public class SubvoiceChk2 extends Thread_main {
    /** return用の値 */

```

```

private int value;

public void run() {
    if( match(sentence, ". *前.*") ) {
        kitTalk("前へ進みます", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(500.0, 0.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *後.*") ) {
        kitTalk("後ろへ下がります", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(-500.0, 0.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *右.*") ) {
        kitTalk("右へ移動します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, -500.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *左.*") ) {
        kitTalk("左へ移動します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, 500.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *停止.*") ) {
        kitTalk("停止します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
    }
    if( match(sentence, ". *回転.*") ) {
        kitTalk("回転します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, 0.0, 90.0);
    }
}
/**
 * 値取得用のメソッド。
 */
public int getValue() {
    this.join();
    return this.value;
}
}
//-----
// 発話処理
//-----
kitTalk(String TalkingWords)
{
    if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ) {
        kitTalk(TalkingWords, true);
    }
}
kitTalk(String TalkingWords, boolean wait)
{
    if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ) {
        while (SubTalkstartFlag) {
            SleepTime(200);
        }
        // 発話内容を画面に表示
        print(TalkingWords);

        // OpenJTalkに発話内容を出力
        sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.text_out"].put(TalkingWords);
        if( wait ) {
            SleepTime(1500);
            while (SubTalkstartFlag) {

```

```

        SleepTime(200);
    }
}

//-----
// 相対位置指定による移動
//-----
VclMoveLinearRel(double x, double y, double alpha) {
    int moveresult = 0;

    Position position = new Position();
    position.x = x;
    position.y = y;
    position.theta = alpha;

    moveresult = VclMoveLinearRel(position);

    return moveresult;
}
VclMoveLinearRel(Position position) {
    int moveresult = 0;

    Velocity vel = new Velocity();

    // 速度設定
    vel.translation = 120.0;
    vel.rotation = 23.0;
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setVelocity(vel);

    // 加速度設定
    vel.translation = 100.0;
    vel.rotation = 18.0;
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setAcceleration(vel);

    //相対位置として指定された目標位置・姿勢に移動
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].moveLinearRel(position);

    return moveresult;
}
//-----
// 移動ユニット終了処理
//-----
END() {
    // サーボ制御切
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setServo(false);
    // 主回路電源切
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setPower(false);
}
//-----
// RTC間の接続削除
//-----
discon() {
    env.handles["SDLEngine0.rtc"].deactivate();
    if( handles["JuliusRTC0.rtc"] !=null ){
        env.handles["JuliusRTC0.rtc"].deactivate();
        env.disconnect(env.handles["SDLEngine0.rtc"].ports["SDLEngine0.text_in"],
            env.handles["JuliusRTC0.rtc"].ports["JuliusRTC0.result"]);
    }
    if( handles["PortAudioInput0.rtc"] !=null ){
        env.handles["PortAudioInput0.rtc"].deactivate();
        env.disconnect(
            env.handles["PortAudioInput0.rtc"].ports["PortAudioInput0.AudioDataOut"],

```

```

        env. handles{"JuliusRTC0. rtc"}. ports{"JuliusRTC0. data"});
    }
}
if( handles{"OpenJTalkRTC0. rtc" } !=null ){
    env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. deactivate();
    env. disconnect( env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. text_out"},
        env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. text"});
    env. disconnect( env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. status"},
        env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. status"});
    if( handles{"PortAudioOutput0. rtc" } !=null ){
        env. handles{"PortAudioOutput0. rtc"}. deactivate();
        env. disconnect(
            env. handles{"PortAudioOutput0. rtc"}. ports{"PortAudioOutput0. AudioDataIn"},
            env. handles{"OpenJTalkRTC0. rtc"}. ports{"OpenJTalkRTC0. result"});
    }
}
if( handles{"VehicleServiceProvider0. rtc" } !=null ){
    env. disconnect(
        env. handles{"VehicleServiceProvider0. rtc"}. ports{"VehicleServiceProvider0. VehicleServicePr
ovider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. VehicleServiceConsumer"});
    env. handles{"VehicleServiceProvider0. rtc"}. deactivate();
}
if( handles{"UnitEmuAdapter0. rtc" } !=null ){
    env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. deactivate();
    env. disconnect( env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. ports{". transfseqo"},
        env. handles{"UnitEmuController0. rtc"}. ports{"UnitEmuController0. transfseqi"});
    env. disconnect( env. handles{"UnitEmuAdapter0. rtc"}. ports{". valueseqo"},
        env. handles{"UnitEmuController0. rtc"}. ports{"UnitEmuController0. valueseqi"});
}
}
}

```

4.7. 起動

移動サービスは以下の手順で起動する。

(1) ネームサーバを起動する。

SDLEngine のインストールディレクトリにある omniNames.bat をクリックする。詳細は、3.7(1)を参照。

(2) 動作に必要な RTC コンポーネントを起動する。

(a) OpenHRI の起動

[スタート]メニュー-[すべてのプログラム]-[OpenHRI]から対応するコンポーネントを選択する。詳細は、3.7(2)(a)を参照のこと。

(b) OpenHRP3+移動ユニット RTC の起動

① 起動

C:\¥OpenHRP-3.1.0.beta4_move¥_Ex¥OpenHRP.bat を起動する。

② プロジェクトファイルの読込

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[プロジェクトの読み込み]で以下のプロジェクトファイルを開くとモデルファイルが表示される。

プロジェクトファイル：C:\¥OpenHRP-3.1.0.beta4_move¥user¥projectSmartPal5.xml

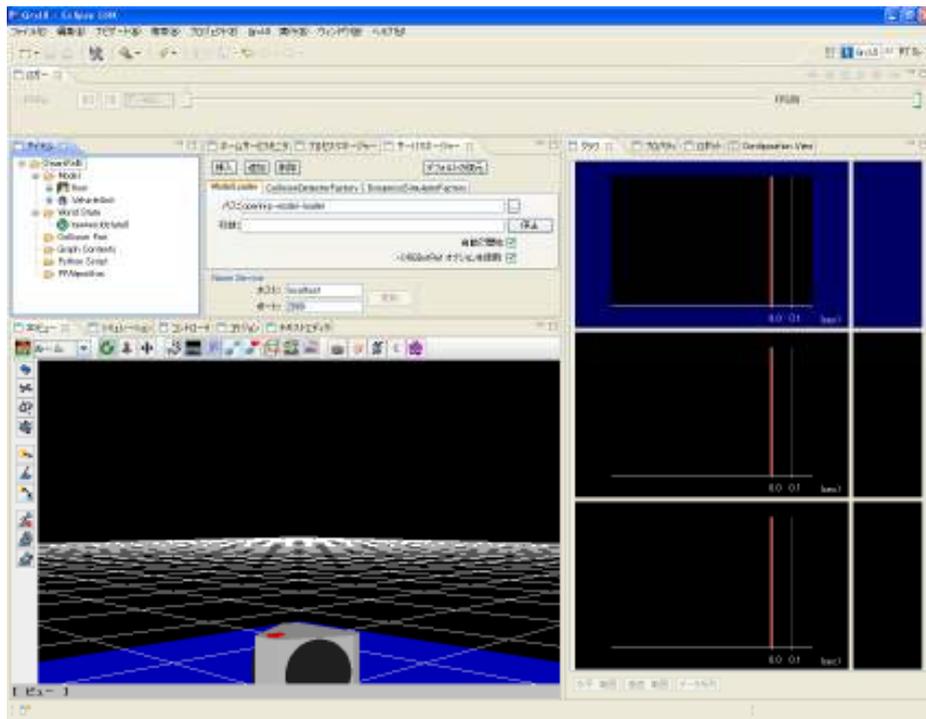


図 4-4 移動サービス：シミュレータ（OpenHRP3）画面イメージ

(3) SDLEngine を起動する。

① 起動

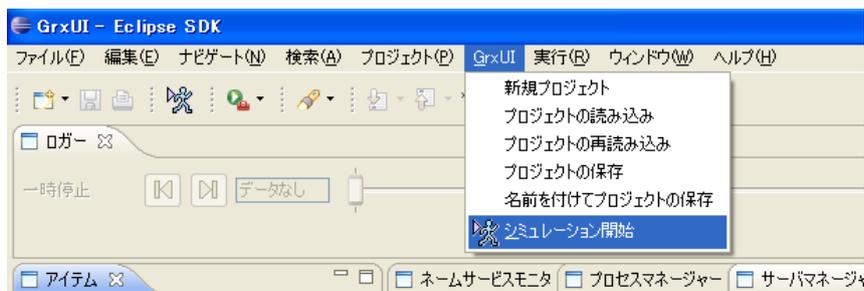
移動ユニット対応 SDLEngine には、起動のためのバッチファイルが用意されている。
C:¥SRP_HOME_MOVE¥SDLEngine.bat を起動する。

② スクリプトの読込

SDLEngine コンソールで移動サービス用スクリプトファイルを読み込む。
詳細は、3.7(3) ②を参照のこと。

(4) シミュレーションの開始

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[シミュレーション開始]、もしくは、シミュレーション開始ボタン () でシミュレーションを開始する。



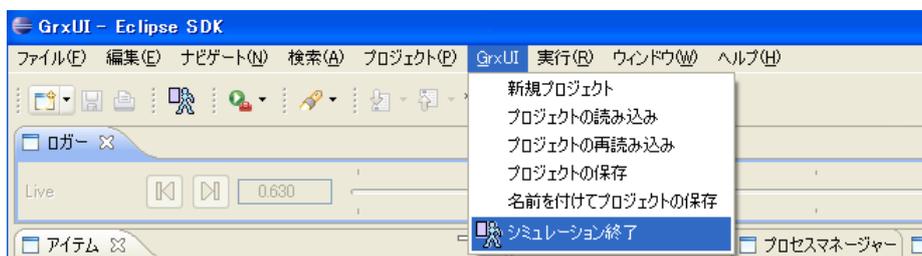
(5) マイクにて話しかける

マイクにて、「前」「後ろ」「右」「左」「回転」「停止」と話しかけると「前へ進みます」「後ろへ下がります」「右へ移動します」「左へ移動します」「回転します」「停止します」と応答し、シミュレーターのモデルが指示通りに動作する。

4.8. 終了

(1) シミュレーションの終了

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[シミュレーション終了]、もしくは、シミュレーション終了ボタン () でシミュレーションを終了する。



(2) SDLEngine を終了する。

SDLEngine コンソール上で終了コマンドを入力するか、コンソールウィンドウの終了ボタン () を押下する。詳細は、3.8(1)を参照のこと。

(3) 各コンポーネントを終了する。

(a) OpenHRI+移動ユニット RTC の起動

各コンポーネントのターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

(b) OpenHRP3

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[ファイル]-[終了]もしくは、終了ボタン () 押下で終了した後、OpenHRP3 を起動時のターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

(4) ネームサーバを終了する。

ターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

5 把持サービス

5.1. サービス概要

把持サービスは、移動サービスに把持機能を追加したものである。ユーザの音声指示に応じて、物を把持し、運ぶサービスである。

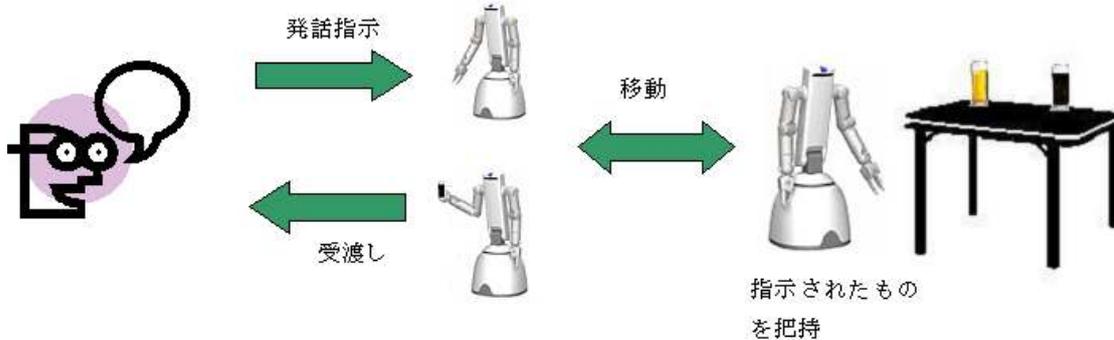


図 5-1 把持サービス：概要

5.2. サービス内容

- 移動方向を指示すると音声による応答を返し、移動する。
例えば、「右」と指示した場合は、「右へ移動します。」と応答し、右方向へ移動する。「後ろ」と指示した場合は、「バックします。」と応答し、後ろへ下がる。
- 「コップをとって」と指示した場合、「コップをとってきます」と音声による応答を返した後、コップ位置に移動する。「右と左どちらのコップをとりますか?」と質問し、ユーザが「右」あるいは「左」と指示すると、指示したコップを把持し、運ぶ。

5.3. 動作条件・制約

- 本処理は、周期的な処理ではなく、音声入力によるイベントドリブン処理となる。
- 移動指示による移動に関しては、一度の指示で移動する距離を予め定めておく。(相対位置移動)
- コップの配置位置およびコップを受け渡す位置を予め定めておく。(絶対位置移動)
- USB カメラあるいは OpenCV のキャプチャ関数と接続可能なカメラと接続し、対象物がカメラから撮影可能な状態とする。
- コップには、「右」「左」を認識するために以下のマークを付与する。

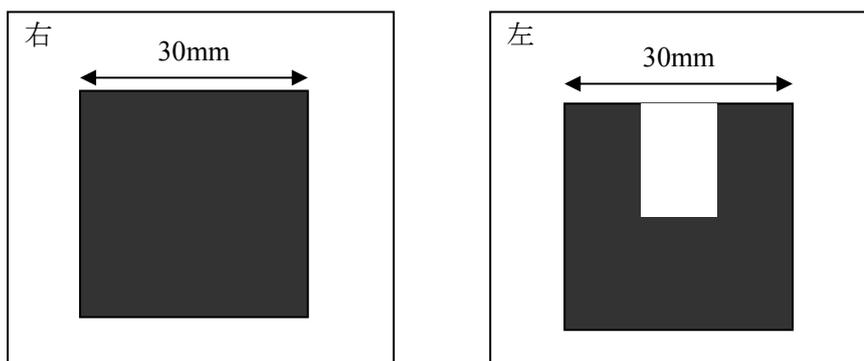


図 5-2 認識用マーク

- ・ 実機ではなく、シミュレーター（OpenHRP3）上で動作させる。

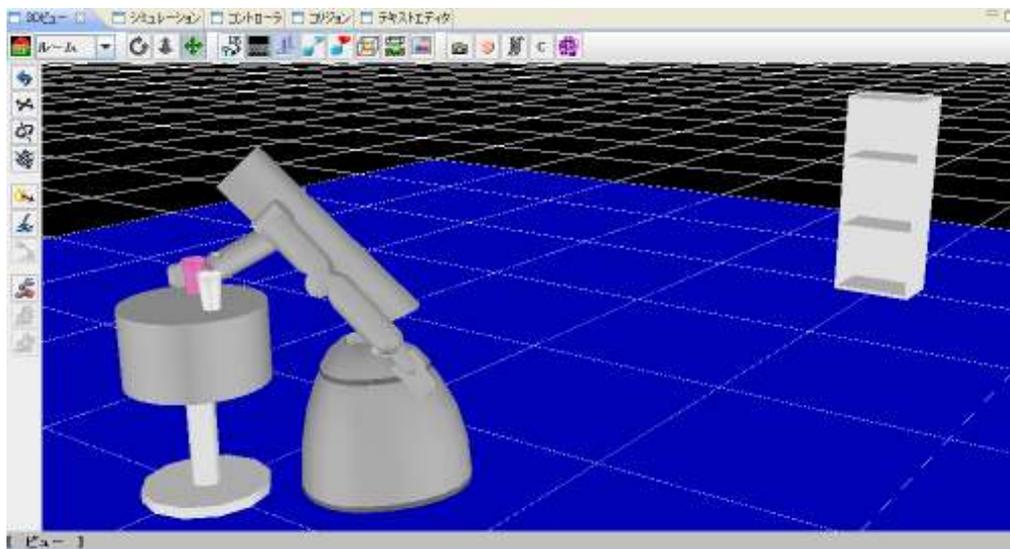


図 5-3 把持サービス：シミュレーター画面

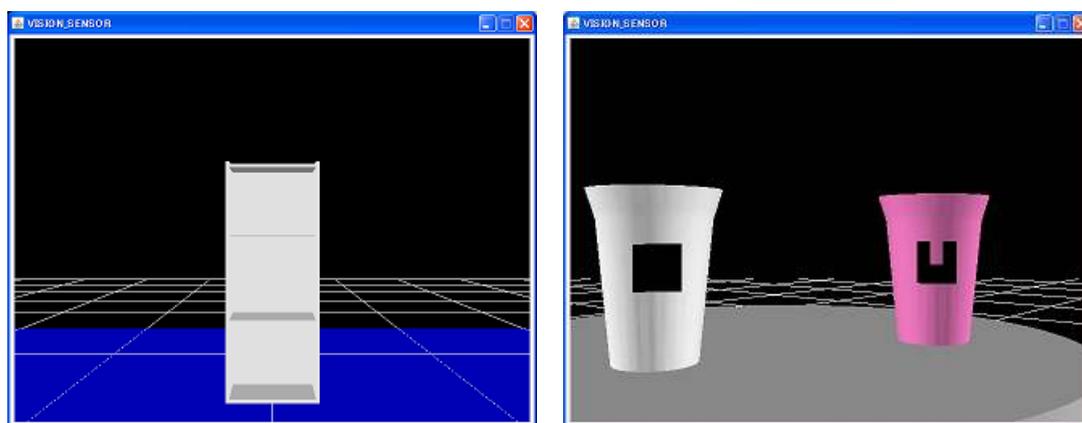


図 5-4 把持サービス：シミュレーター画面（ロボットの認識画像）

5.4. システム構成

5.4.1. システム概要

把持サービスのシステム構成を図 5-5 に、使用 RTC を表 5-1 に記載する。移動サービスの構成に追加したものを青枠、あるいは、青字で示す。

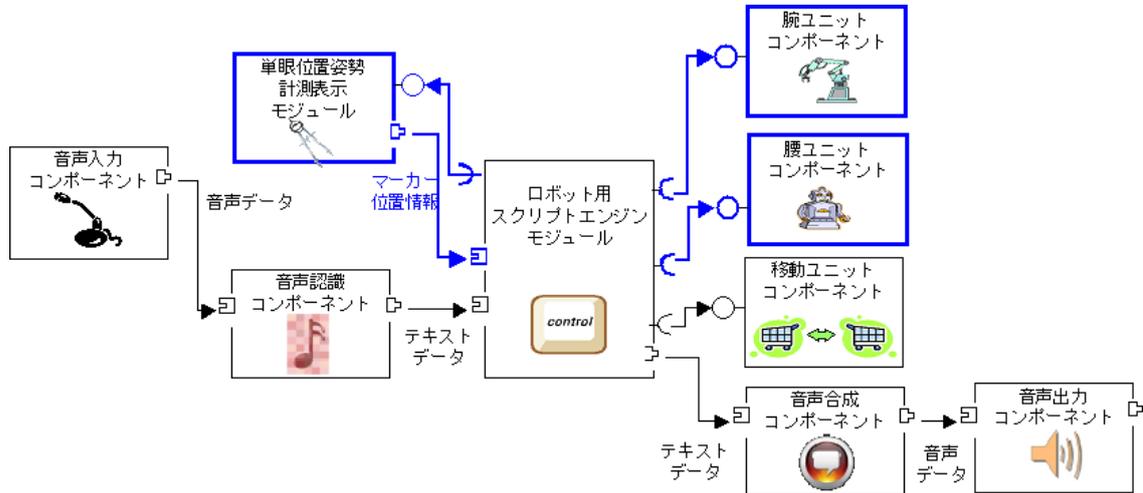


図 5-5 把持サービス：システム構成

表 5-1 把持サービス：使用 RTC 一覧

No.	コンポーネント	RTC 名	数
1	音声入力コンポーネント	PortAudioInput	1
2	音声認識コンポーネント	Julius	1
3	音声合成コンポーネント	OpenJTalk	1
4	音声出力コンポーネント	PortAudioOutput	1
5	ロボット用スクリプトエンジンモジュール	SDL Engine	1
6	移動ユニットコンポーネント	VehicleServiceProvider	1
7	腰ユニットコンポーネント	LumbarServiceProvider	1
8	アームユニット (右腕) コンポーネント	rightarmService	1
9	アームユニット (左腕) コンポーネント	leftarmService	1
10	単眼位置姿勢計測表示モジュール	MarkerRecognition	1

5.4.2. 動作環境

動作環境を表 5-2 に記載する。対話サービスの環境に追加したものを青字で示す。

表 5-2 把持サービス：動作環境

No.	要求環境			備考
1	OS	Windows	WindowsXP ／Windows7	
2	開発言語	Java Developer Kit (JDK)	1.6.0_23 (32bit 版)	http://java.sun.com/javase/ja/6/download.html
		Python	2.6.4	http://www.python.jp/
		VisualC++	2008 Express Edition 日本語版	http://www.microsoft.com/japan/msdn/vstudio/2008/product/express/
3	ミドルウェア	OpenRTM-aist	1.1.0-RC2 (Python)	http://www.openrtm.org/openrtm/ja
			1.0.0-RELEASE (C++)	
			1.0.0-RELEASE (Java)	
4	ツール	OpenRTM Eclipse tools	1.0.0-RELEASE	RTCBuilder および RTSystemEditor が組み込まれた Eclipse 統合開発環境。RTC の操作に必要となる。
		Apache Ant	1.8.2	http://ant.apache.org/ SDLEngine のビルドを行う。 環境変数「ANT_HOME」を設定し、「PATH」には%ANT_HOME%\bin;を追加すること。
		OpenHRP3	3.1.1	http://www.openrtp.jp/openhrp3/
5	依存ライブラリ	pulseaudio	0.9.21 以上	PortAudioInput,PortAudioOutput にて使用。 OpenHRIAUDIO インストーラーに含まれる。
		libJulius	4.1.2	Julius にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。
		open-JTalk	1.0.0 以上	OpenJTalk にて使用。 OpenHRIVoice インストーラーに含まれる。
		PyYAML	3.0.5 以上	OpenHRP3 にて使用。 http://pyyaml.org
		java3D API	1.4.0_01	OpenHRP3 にて使用 http://www.oracle.com/technetwork/java/javas ebusiness/downloads/java-archive-downloads-java-client-419417.html
		OpenCV	2.2	単眼位置姿勢計測表示モジュールにて使用。 http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/

5.4.3. ハードウェア仕様

シミュレータ上で動作させるため、ハードウェアの追加はない。対話サービス、移動サービスで利用したものと同じものを使用する。

5.5. 環境構築

5.5.1. ハード環境

対話サービス、移動サービスの環境を利用する。

5.5.2. ソフト環境

移動サービスの環境に以下を追加する。

(1) OpenCV

① インストール

表 4-3 の URL よりインストーラをダウンロードし、実行する。インストーラを実行するとウィザードが起動するので、ウィザードに従って、インストールする。

表 5-3 OpenCV のダウンロード URL

ダウンロードページ	http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/2.2/
ダウンロードファイル	http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/2.2/OpenCV-2.2.0-win32-vs2010.exe/download

(2) OpenHRP3 と各 RTC セット

① インストール

表 4-7 の URL より、OpenHRP SDK と必要な RTC のセットをダウンロードし、C ドライブに解凍する。

表 5-4 OpenHRP3+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.sec.co.jp/robot/download_rtc.html
ダウンロードファイル	OpenHRP3_grip.zip

(3) 把持サービス対応 SDLEngine のインストール

SDLEngine にて、把持サービス関連コンポーネントを操作するためのクラス一式を用意している。表 4-8 の URL より、移動ユニット対応の SDLEngine をダウンロードし、C ドライブに解凍する。

表 5-5 SDLEngine+移動ユニットコンポーネントのダウンロード URL

ダウンロードページ	http://www.sec.co.jp/robot/download_rtc.html
ダウンロードファイル	SDLEngine_grip.zip

5.5.3. 設定

(1) 設定ファイル

把持サービスのための設定は特にはない。対話サービスや移動サービスと同様、必要に応じて、`rtc.conf` の設定を行うこと。

5.6. カスタマイズ手順

5.6.1. 音声認識

(1) 把持サービスにおける音声認識

把持サービスでは、移動サービスの「前」「後」「右」「左」「停止」「回転」の語彙に加え、以下の語彙を認識させる。

- ・ コップ
- ・ コップをとって。
- ・ コップをとってください。
- ・ コップをとってきて。
- ・ コップをとってきてください。
- ・ コップを運んで。
- ・ コップを運んでください。

この場合、音声認識辞書ファイルはリスト 5-1 のように、音声認識文法ファイルは、リスト 5-2 のように、定義することができる。

リスト 5-1 把持サービス：音声認識辞書ファイル例 (`robot-lex.xml`)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<lexicon version="1.0"
  xmlns="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2005/01/pronunciation-lexicon
    http://www.w3.org/TR/2007/CR-pronunciation-lexicon-20071212/pls.xsd"
  alphabet="kana" xml:lang="jp">
  <lexeme>
    <grapheme>前</grapheme>
    <phoneme>{{KANA|まえ}}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>後</grapheme>
    <phoneme>{{KANA|うしろ}}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>右</grapheme>
    <phoneme>{{KANA|みぎ}}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>左</grapheme>
    <phoneme>{{KANA|ひだり}}</phoneme>
  </lexeme>
  <lexeme>
    <grapheme>停止</grapheme>
    <phoneme>{{KANA|ていし}}</phoneme>
```

```

</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>回転</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|かいてん]}</phoneme>
</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>コップ</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|こっぷ]}</phoneme>
</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>をとって</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|をとって]}</phoneme>
</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>をとってきて</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|をとってきて]}</phoneme>
</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>を運んで</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|をはこんで]}</phoneme>
</lexeme>
<lexeme>
  <grapheme>ください</grapheme>
  <phoneme>{[KANA|ください]}</phoneme>
</lexeme>
</lexicon>

```

リスト 5-2 把持サービス：音声認識文法ファイル例 (robot.grxml)

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<grammar xmlns="http://www.w3.org/2001/06/grammar"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/06/grammar
    http://www.w3.org/TR/speech-grammar/grammar.xsd"
  xml:lang="jp"
  version="1.0" mode="voice" root="command">

  <lexicon uri="robot-lex.xml"/>

  <rule id="command">
    <one-of>
      <item>前</item>
      <item>後</item>
      <item>右</item>
      <item>左</item>
      <item>停止</item>
      <item>回転</item>
      <item>コップ</item>
    </one-of>
    <one-of>
      <item repeat="0-1">をとって</item>
      <item repeat="0-1">をとってきて</item>
      <item repeat="0-1">を運んで</item>
    </one-of>
    <one-of>
      <item repeat="0-1">ください</item>
    </one-of>
  </rule>
</grammar>

```

5.6.2. ロボット用スクリプトエンジン

(1) 把持サービスにおける SDLEngine のインタフェース定義 (build.xml)

対話サービスにおける SDLEngine のインタフェースを表 5-6 に、インタフェース定義例をリスト 5-3 に記載する。移動サービスからの追加箇所を青字で示す。

表 5-6 把持サービス : SDLEngine のインタフェース

No.	コンポーネント	RTC 名	種別*	ポート名	型	SDLEngine	
						種別*	ポート名
1	音声認識 コンポーネント	Julius	O	result	TimedString	I	text_in
2	音声合成 コンポーネント	OpenJTalk	I	text	TimedString	O	text_out
3			O	status	TimedString	I	status
4	移動ユニット コンポーネント	VehicleService Provider	P	VehicleService Provider	vehicleService :VehicleService	C	VehicleService Consumer
5	腰ユニット コンポーネント	LumbarService Provider	P	.LumbarService Provider	LumbarService :LumbarUnit	C	LumbarService Consumer
6	アームユニット (右腕) コンポーネント	rightarmService	P	rightarmService	rightarmService :ArmUnit	C	RightArmService Consumer
7			P	ManipulatorCommon Interface_CommonProvider	rightarmService_Common :ManipulatorCommon Interface_Common	C	RightCommonService Consumer
8			P	ManipulatorCommon Interface_MiddleProvider	rightarmService_Middle :ManipulatorCommon Interface_Middle	C	RightMiddleService Consumer
9	アームユニット (左腕) コンポーネント	leftarmService	P	leftarmService	leftarmService :ArmUnit	C	LeftArmService Consumer
10			P	ManipulatorCommon Interface_CommonProvider	leftarmService_Common :ManipulatorCommon Interface_Common	C	LeftCommonService Consumer
11			P	ManipulatorCommon Interface_MiddleProvider	leftarmService_Middle :ManipulatorCommon Interface_Middle	C	LeftMiddleService Consumer
12	単眼位置 姿勢計測 表示モジュール	MarkerRecognition	O	object_position	TimedDoubleSeq	I	object_pos
			P	recognition_service	recognition_service: RecognitionService	C	RecognitionService Consumer

(*I : インポート、O : アウトポート、P : プロバイダーポート、C : コンシューマーポート)

リスト 5-3 把持サービス：インタフェース定義 (build.xml) 例

```

<target name="gen-rtc-sdl-engine" description="Generate SDL Engine RTC code.">
    ...

    <!--インポート定義 -->
    <arg value="--inport=text_in:RTC::TimedString" />
    <arg value="--inport=status_in:RTC::TimedString" />
    <arg value="--inport=object_pos:RTC::TimedDoubleSeq" />
    <!-- アウトポート定義 -->
    <arg value="--outport=text_out:RTC:: TimedString" />
    <!--コンシューマーポート定義 -->
    <arg value="--consumer=VehicleServiceConsumer:vehicleService:VehicleService" />
    <arg value="--consumer=LumbarServiceConsumer:LumbarService:LumbarUnit" />
    <arg value="--consumer=RightArmServiceConsumer:rightarmService:ArmUnit" />
    <arg value="--consumer=RightCommonServiceConsumer:rightarmService_Common:ManipulatorCommonInterface_Common" />
    <arg value="--consumer=RightMiddleServiceConsumer:rightarmService_Middle:ManipulatorCommonInterface_Middle" />
    <arg value="--consumer=LeftArmServiceConsumer:leftarmService:ArmUnit" />
    <arg value="--consumer=LeftCommonServiceConsumer:leftarmService_Common:ManipulatorCommonInterface_Common" />
    <arg value="--consumer=LeftMiddleServiceConsumer:leftarmService_Middle:ManipulatorCommonInterface_Middle" />
    <arg value="--consumer=RecognitionServiceConsumer:recognition_service:RecognitionService" />
    <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/VehicleService.idl" />
    <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/Arm.idl" />
    <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/VehicleService.idl" />
    <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/LumbarUnit.idl" />
    <arg value="--consumer-idl=${main.idl.dir}/RecognitionService.idl" />

    <arg value="--idl-include=${main.idl.dir}" />
    ...

</target>

```

(2) 把持サービスにおける SDLEngine スクリプト

把持サービスでは、以下の処理を行う。

1. SDLEngine をネームサービスへ登録する。
2. 以下のコンポーネントの起動を確認し、起動している場合は、接続する。
 - ・ 音声入力コンポーネント (PortAudioInput)
 - ・ 音声認識コンポーネント (Julius)
 - ・ 音声合成コンポーネント (OpenJTalk)
 - ・ 音声出力コンポーネント (PortAudioOutput)
 - ・ 移動ユニットコンポーネント (VehicleServiceProvider)
 - ・ アームユニット (右腕) コンポーネント (rightarmService)
 - ・ アームユニット (左腕) コンポーネント (leftarmService)
 - ・ 単眼位置姿勢計測表示モジュール (MarkerRecognition)
3. 音声入力 (発話) に応答し、指示に従い行動する。
 - ・ 移動モード: 起動後からコップ運搬を指示されるまでは、移動サービスと同様の動作を行う。移動モードでの音声入力と応答内容・動作の対応を表 5-7 に記載する。
 - ・ 把持モード: コップ運搬を支持されてからコップを運び終わるまでは、図 5-6 に記載するように対話しながら動作を行う。

表 5-7 把持サービス：対話、動作制御（移動モード）

No.	音声入力	応答	動作
1	前	前へ進みます。	前進する。
2	後ろ	後ろへ下がります	バックする。
3	右	右へ移動します。	右へ進む。
4	左	左へ移動します。	左へ進む。
5	回転	回転します。	左 90 度へ方向変換する。
6	停止	停止します。	停止する。
7	コップをとって	コップをとってきます。	把持モードに切り替わる。
	コップをとってください		
	コップをとってきて		
	コップをとってきてください		
	コップを運んで		
	コップを運んでください		

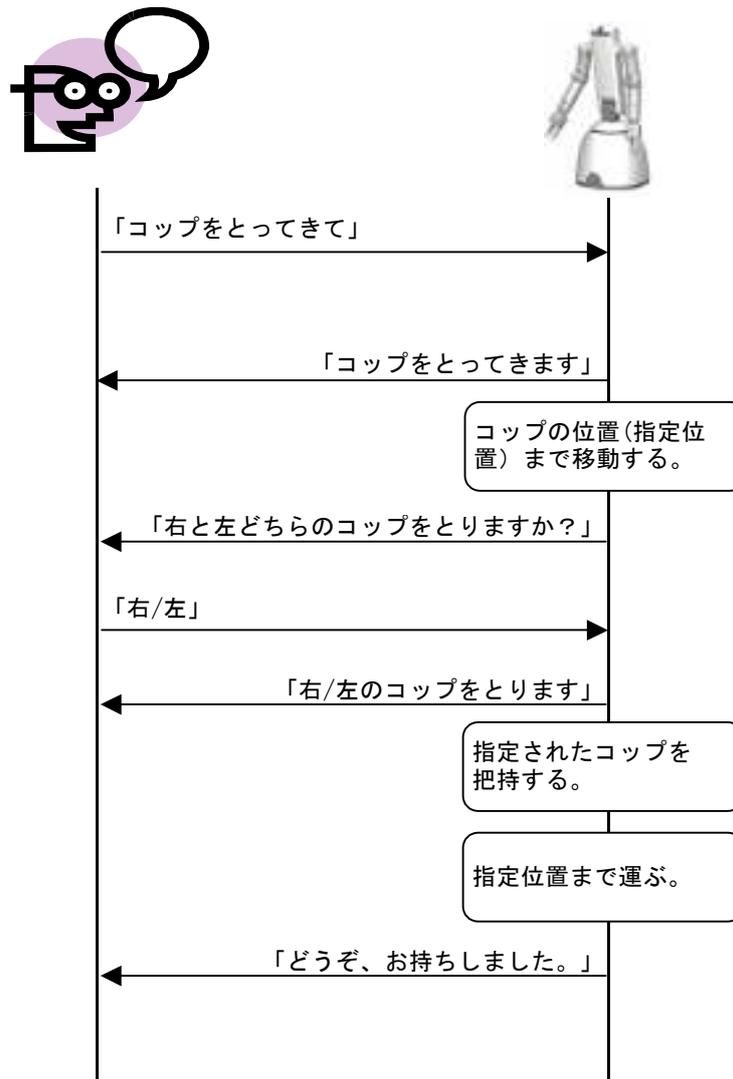


図 5-6 把持サービス：対話・動作制御（把持モード）

SDLEngine スクリプトの記述例をリスト 5-4 に記載する。

リスト 5-4 把持サービス：スクリプト例（GripService.bsh）

```

SubTalkstartFlag=false;
double[] object_pos = new double[12];
boolean find_flg = true;
int L_R_kind = 0; //0:左手把持,1:右手把持
boolean Grip_flg = false;
boolean Listener_flg = true;

//-----
// RTC接続処理
//-----
    
```

```
//SDLをネームサービスへ登録する
sdLEngine = rtc.local_component("SDLEngine", "SDLEngine");

//ネームサービスに登録されている全てのRTCオブジェクトを取得する
env = rtc.env("localhost", 2809);
handles = env.get_handles();

// Juliusが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"JuliusRTC0.rtc"} !=null ){
    env.connect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_in"},
               env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.result"});

    // PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
    if( handles{"PortAudioInput0.rtc"} !=null ){
        env.connect(
            env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.ports{"PortAudioInput0.AudioDataOut"},
            env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.data"});
        env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.activate();
    }
    env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.activate();
}

// OpenJTalkが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
    env.connect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_out"},
               env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.text"});
    env.connect(env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.status"},
               env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.status"});

    // PortAudioInputが起動していれば接続し、activate
    if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
        env.connect(
            env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.ports{"PortAudioOutput0.AudioDataIn"},
            env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.result"});
        env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.activate();
    }
    env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.activate();
}

// VehicleServiceProviderが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"} !=null ){
    env.connect(
        env.handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"}.ports{"VehicleServiceProvider0.VehicleServicePro
vider"},
        env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.VehicleServiceConsumer"});
    env.handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"}.activate();
}

// OpenHRP3用
//-----
if( handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"} !=null ){
    env.connect(env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.ports{".transfseqo"},
               env.handles{"UnitEmuController0.rtc"}.ports{"UnitEmuController0.transfseqi"});
    env.connect(env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.ports{".valueseqo"},
               env.handles{"UnitEmuController0.rtc"}.ports{"UnitEmuController0.valueseqi"});
    env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.activate();
}
//-----

// rightarmServiceが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"rightarmService0.rtc"} !=null ){
    env.connect(
        env.handles{"rightarmService0.rtc"}.ports{"rightarmService0.rightarmService"},
        env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.RightArmServiceConsumer"});
    env.connect
```

```

        (env. handles{"rightarmService0. rtc"}. ports{"rightarmService0. ManipulatorCommonInterface_CommonProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. RightCommonServiceConsumer"}));
    env. connect(
        env. handles{"rightarmService0. rtc"}. ports{"rightarmService0. ManipulatorCommonInterface_MiddleProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. RightMiddleServiceConsumer"}));
    env. handles{"rightarmService0. rtc"}. activate();
}

// leftarmServiceが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"leftarmService0. rtc" } !=null ){
    env. connect(env. handles{"leftarmService0. rtc"}. ports{"leftarmService0. leftarmService"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftArmServiceConsumer"}));
    env. connect(env. handles{"leftarmService0. rtc"}. ports{"leftarmService0. ManipulatorCommonInterface_CommonProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftCommonServiceConsumer"}));
    env. connect(env. handles{"leftarmService0. rtc"}. ports{"leftarmService0. ManipulatorCommonInterface_MiddleProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftMiddleServiceConsumer"}));
    env. handles{"leftarmService0. rtc"}. activate();
}

// LumbarServiceProviderが起動していれば、SDLEngineと接続し、activate
if( handles{"LumbarServiceProvider0. rtc" } !=null ){
    env. connect(env. handles{"LumbarServiceProvider0. rtc"}. ports{"LumbarServiceProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LumbarServiceConsumer"}));
    env. handles{"LumbarServiceProvider0. rtc"}. activate();
}

// MarkerRecognitionが起動していれば、SDLEngineと接続する
if( handles{"MarkerRecognition0. rtc" } !=null ){
    env. connect(env. handles{"MarkerRecognition0. rtc"}. ports{"MarkerRecognition0. recognition_service"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. RecognitionServiceConsumer"}));
    env. connect(env. handles{"MarkerRecognition0. rtc"}. ports{"MarkerRecognition0. object_position"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. object_pos"});
}

// SDLEngineをactivate
env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. activate();

//-----
// スリープ
//-----
SleepTime(long waitTime){
    try {
        Thread.sleep(waitTime);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

//-----
// 移動ユニットの動作準備
//-----
// アラームクリア
sdLEngine.local_ports{"vehicleService"}. clearAlarm();
// 減速・停止
sdLEngine.local_ports{"vehicleService"}. stop();
// 主回路電源入
sdLEngine.local_ports{"vehicleService"}. setPower(true);
SleepTime(1000);

```

```
// サーボ制御入
sdIEngine.local_ports["vehicleService"].setServo(true);

//-----
// アームユニット（右）の準備処理
//-----
if( handles["rightarmService0.rtc" ] !=null ){
    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Common"].servoON();
    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Common"].clearAlarms();

    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setAccelTimeCartesian(0.5);
    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setAccelTimeJoint(0.5);

    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setSpeedCartesian(100);
    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setSpeedJoint(100);

    double[] maxSpeedJoint = new double[7];
    maxSpeedJoint[0] = 25.0;
    maxSpeedJoint[1] = 25.0;
    maxSpeedJoint[2] = 25.0;
    maxSpeedJoint[3] = 25.0;
    maxSpeedJoint[4] = 25.0;
    maxSpeedJoint[5] = 25.0;
    maxSpeedJoint[6] = 25.0;

    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setMaxSpeedJoint(maxSpeedJoint);

    RTC.CartesianSpeed cartesianSpeed = new RTC.CartesianSpeed();
    cartesianSpeed.translation = 60.0;
    cartesianSpeed.rotation = 20.0;

    sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setMaxSpeedCartesian(cartesianSpeed);
}

//-----
// アームユニット（左）の準備処理
//-----
if( handles["leftarmService0.rtc" ] !=null ){
    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Common"].servoON();
    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Common"].clearAlarms();

    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setAccelTimeCartesian(0.5);
    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setAccelTimeJoint(0.5);

    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setSpeedCartesian(100);
    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setSpeedJoint(100);

    double[] maxSpeedJoint = new double[7];
    maxSpeedJoint[0] = 25.0;
    maxSpeedJoint[1] = 25.0;
    maxSpeedJoint[2] = 25.0;
    maxSpeedJoint[3] = 25.0;
    maxSpeedJoint[4] = 25.0;
    maxSpeedJoint[5] = 25.0;
    maxSpeedJoint[6] = 25.0;

    sdIEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setMaxSpeedJoint(maxSpeedJoint);

    RTC.CartesianSpeed cartesianSpeed = new RTC.CartesianSpeed();
    cartesianSpeed.translation = 60.0;
    cartesianSpeed.rotation = 20.0;
```

```

        sdlEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].setMaxSpeedCartesian(cartesianSpeed);
    }

//-----
// 腰ユニットの準備処理
//-----
if( handles["LumbarServiceProvider0.rtc"] !=null ){
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].clearAlarm();
    sdlEngine.local_ports["LumbarService"].clearAlarms();
    sdlEngine.local_ports["LumbarService"].tuOn();
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setPower(true);
    sdlEngine.local_ports["LumbarService"].servo0n();
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setServo(true);
}

//-----
// リスナー登録 (音声認識解析状態 : status)
//-----
sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.status"].addListener(new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener() {
    dataReceived(event) {
        print("status: " + event.getValue().data);
        if( event.getValue().data.equals("started")){
            SubTalkstartFlag=true;
        }
        if( event.getValue().data.equals("finished")){
            SubTalkstartFlag=false;
        }
    }
});

//-----
// リスナー登録 (単眼位置姿勢計測表示モジュール認識結果 : object_pos)
//-----
sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.object_pos"].addListener(new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener() {
    dataReceived(event) {
        if( event.getValue().data[4] != 0 ){
            if( !find_flg ){
                print("*****");
                for(int i=8;i<event.getValue().data.length;i++){
                    object_pos[i-8] = event.getValue().data[i];
                }
                for(int i=0;i<event.getValue().data.length;i++){
                    print "[" + event.getValue().data[i] + " ";
                }
                print("*****");
                find_flg = true;
            }
        }
    }
});

//-----
// スレッドクラス
//-----
public abstract class Thread_main extends Thread{
    public String sentence;
    public int getValue();
    public void run();
}
Thread_main tGetEvent;

//-----

```

```

// リスナー登録 (音声認識結果 : text_in)
//-----
sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.text_in"].addListener (
new jp.ac.kyutech.SRP.Scripting.InPortListener () {

    dataReceived(event) {
print("Listner_flg:"+Listener_flg);
print("Grip_flg:"+Grip_flg);

        if( Listener_flg ){
            // 把持モードの場合
            if( Grip_flg ){
                if( L_R_kind == -1 ){
                    if( match(event.getValue().data, ".*右.*") ){
                        L_R_kind = 1;
                    }
                    if( match(event.getValue().data, ".*左.*") ){
                        L_R_kind = 0;
                    }
                }
            }
            // 移動モードの場合
        }else{
            String sentence = SubvoiceChk(event.getValue().data);
            // データポートで値を取得している間は、
            // 別のポートへ指令が出せない為、別スレッドで処理を行う
            tGetEvent = new SubvoiceChk2();
            tGetEvent.sentence = sentence;
            tGetEvent.start();
        }
    }
}
);

//-----
// 音声認識結果より、認識語彙を取得
//-----
SubvoiceChk(String sentence) {
    String voicedata = "";
    String[] sentencearray = sentence.split("><");
    String chkword = "rank=¥1¥";
    for(int i=0;i<sentencearray.length;i++) {
        int chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
        if( chkwordpos != -1 ){
            chkword = "text=";
            chkwordpos = sentencearray[i].indexOf(chkword);
            voicedata = sentencearray[i].substring(
chkwordpos+chkword.length()+1, sentencearray[i].length()-1);
            break;
        }
    }
    return voicedata;
}

//-----
// 発話による応答制御
//-----
public class SubvoiceChk2 extends Thread_main {
    /** return用の値 */
    private int value;

    public void run() {
        if( match(sentence, ".*前.*") ){
            kitTalk("前へ進みます", false);
        }
    }
}

```

```

        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(500.0, 0.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *後. *") ) {
        kitTalk("後ろへ下がります", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(-500.0, 0.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *右. *") ) {
        kitTalk("右へ移動します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, -500.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *左. *") ) {
        kitTalk("左へ移動します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, 500.0, 0.0);
    }
    if( match(sentence, ". *停止. *") ) {
        kitTalk("停止します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
    }
    if( match(sentence, ". *回転. *") ) {
        kitTalk("回転します", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        VclMoveLinearRel(0.0, 0.0, 90.0);
    }
    if( match(sentence, ". *コップ. *") ) {
        kitTalk("コップを取ってきます", false);
        sdlEngine.local_ports["vehicleService"].stop();
        grip();
    }
}
/**
 * 値取得用のメソッド。
 */
public int getValue() {
    this.join();
    return this.value;
}
}
//-----
// 発話処理
//-----
kitTalk(String TalkingWords)
{
    if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ) {
        kitTalk(TalkingWords, true);
    }
}
kitTalk(String TalkingWords, boolean wait)
{
    if( handles["PortAudioOutput0.rtc"] !=null ) {
        while (SubTalkstartFlag) {
            SleepTime(200);
        }
        // 発話内容を画面に表示
        print(TalkingWords);

        // OpenJTalkに発話内容を出力
        sdlEngine.local_ports["SDLEngine0.text_out"].put(TalkingWords);
        if( wait ) {
            SleepTime(1500);
            while (SubTalkstartFlag) {

```

```

        SleepTime(200);
    }
}
}
}
//-----
// 相対位置指定による移動
//-----
VclMoveLinearRel(double x, double y, double alpha) {
    int moveresult = 0;

    Position position = new Position();
    position.x = x;
    position.y = y;
    position.theta = alpha;

    moveresult = VclMoveLinearRel(position);

    return moveresult;
}
VclMoveLinearRel(Position position) {
    int moveresult = 0;

    Velocity vel = new Velocity();

    // 速度設定
    vel.translation = 120.0;
    vel.rotation = 23.0;
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setVelocity(vel);

    // 加速度設定
    vel.translation = 100.0;
    vel.rotation = 18.0;
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setAcceleration(vel);

    //相対位置として指定された目標位置・姿勢に移動
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].moveLinearRel(position);

    return moveresult;
}
//-----
// 移動終了待ち
//-----
VclMoveEndWait() {
    org.omg.CORBA.ShortHolder statusHolder = new org.omg.CORBA.ShortHolder();
    org.omg.CORBA.StringHolder msgHolder = new org.omg.CORBA.StringHolder();
    while (sdlEngine.local_ports["vehicleService"].getState(statusHolder, msgHolder)) {

        SleepTime(200);

        if (statusHolder.value != 0x11) {
            break;
        }
    }
}
//-----
// 絶対位置指定による移動
//-----
VclMoveLinearAbs(double x, double y, double alpha) {
    int moveresult = 0;

    Position position = new Position();
    position.x = x;

```

```

    position.y = y;
    position.theta = alpha;

    moveresult = VclMoveLinearAbs(position);

    return moveresult;
}
VclMoveLinearAbs(Position position) {
    int moveresult = 0;
    VclMoveEndWait();

    // 速度設定
    Velocity vel = new Velocity();
    vel.translation = 170.0;
    vel.rotation = 30.0;

    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setVelocity(vel);

    // 加速度設定
    vel.translation = 170.0;
    vel.rotation = 30.0;
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setAcceleration(vel);

    //絶対位置として指定された目標位置・姿勢に移動
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].moveLinearAbs(position);

    VclMoveEndWait();

    return moveresult;
}

//-----
// 移動ユニットの終了処理
//-----
END() {
    // サーボ制御切
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setServo(false);
    // 主回路電源切
    sdlEngine.local_ports["vehicleService"].setPower(false);
}

//-----
// 腰ユニットの操作
//-----
LumbarmoveCooperative(double position, double velocity, double accel, boolean wait) {

    sdlEngine.local_ports["LumbarService"].moveCooperative(position, velocity, accel);
    // 待機指示のある場合、動作完了まで待機
    if( wait == true ) {
        while (true) {
            SleepTime(300);
            lumbarMoving = false;
            lumbarMoving = (boolean)sdlEngine.local_ports["LumbarService"].isMoving();
            if(!lumbarMoving) {
                break;
            }
        }
    }
}

//-----
//SubCarpas2HgMat
//-----
SubCarpas2HgMat(Carpas) {

```

```

Pai = 3.1415926535897932384626433832795;
rad = 180/Pai;
double[] mat = new double[12];

thx = Carpas[3];
thy = Carpas[4];
thz = Carpas[5];

srx = Math.sin(thx/rad);
crx = Math.cos(thx/rad);
sry = Math.sin(thy/rad);
cry = Math.cos(thy/rad);
srz = Math.sin(thz/rad);
crz = Math.cos(thz/rad);

mat[0] = cry*crz;
mat[1] = srx*sry*crz - crx*srz;
mat[2] = crx*sry*crz + srx*srz;
mat[4] = cry*srz;
mat[5] = srx*sry*srz + crx*crz;
mat[6] = crx*sry*srz - srx*crz;
mat[8] = -sry;
mat[9] = srx*cry;
mat[10] = crx*cry;

mat[3] = Carpas[0];
mat[7] = Carpas[1];
mat[11] = Carpas[2];

return mat;
}

//-----
// アームユニットの状態取得
//-----
boolean armisMoving(String unitName) {
    return (boolean)sdlEngine.local_ports{unitName+"armService"}.isMoving();
}

//-----
// 関節空間の絶対関節座標指定によるアームユニットの動作
//-----
movePTPJointAbs(double[] posArm, String unitName, boolean wait) {

    rtn=sdlEngine.local_ports{unitName+"armService_Middle"}.movePTPJointAbs(posArm);
    if( wait == true ){
        while (armisMoving(unitName)){
            SleepTime(200);
        }
    }
}

//-----
// 直行空間の絶対直行座標指定によるアームユニットの動作
//-----
ArmMoveLinearAbs(double[] posArm, double elbow, String unitName, boolean wait) {

    RTC.CarPosWithElbow carPoint = new RTC.CarPosWithElbow();

    double[] hgMat = SubCarpas2HgMat(posArm);
    carPoint.carPos = new double[3][4];

    int k=0;
    for(int i=0;i<3;i++){
        for(int j=0;j<4;j++){

```

```

        carPoint.carPos[i][j] = hgMat[k];
        k++;
    }
}
carPoint.elbow = elbow;

sdEngine.local_ports[unitName+"armService_Middle"].moveLinearCartesianAbs(carPoint);

if( wait == true ){
    while (armisMoving(unitName)) {
        SleepTime(200);
    }
}
}
//-----
// 把持処理
//-----
grip() {
    Listener_flg = false;

    env.handles["MarkerRecognition0.rtc"].activate();
    sdEngine.local_ports["recognition_service"].setModelID(1);
    Grip_flg = true;
    L_R_kind = -1;

    double[] reqDbf_ = new double[7];

    VclMoveLinearAbs(0.0,0.0,0.0,0.0);
    reqDbf_[0] = 0;
    reqDbf_[1] = -10;
    reqDbf_[2] = 0;
    reqDbf_[3] = 0;
    reqDbf_[4] = 0;
    reqDbf_[5] = 0;
    reqDbf_[6] = 0;
    movePTPJointAbs(reqDbf_,"right",false);
    movePTPJointAbs(reqDbf_,"left",false);
    LumbarmoveCooperative(0.0,10.0,10.0,false);
    VclMoveLinearAbs(-600.0,600.0,130.0);

    kitTalk("右と左、どちらのコップを取りますか?",true);
    Listener_flg = true;

    while (L_R_kind == -1) {
    }

    Listener_flg = false;

    if( L_R_kind == 0 ){
        kitTalk("左のコップを取ります",false);
        sdEngine.local_ports["recognition_service"].setModelID(0);
    }else{
        kitTalk("右のコップを取ります",false);
        sdEngine.local_ports["recognition_service"].setModelID(2);
    }

    //カメラ画像更新の為、数秒待機
    SleepTime(4000);
    find_flg = false;

    if( handles["MarkerRecognition0.rtc"] !=null ){
        // 認識待ち
        while (!find_flg) {

```

```
    }  
  }  
  
  //認識した位置より把持する物とアームを判断する。  
  if( object_pos[3] > 0 ){  
    // 右のアームを開く  
    sdlEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].openGripper();  
    // 腰ユニットを動作  
    LumbarmoveCooperative(10.0, 10.0, 10.0, false);  
  
    // 右のアームを動作  
    double[] reqDbf_ = new double[7];  
    reqDbf_[0] = 40;  
    reqDbf_[1] = -20;  
    reqDbf_[2] = 0;  
    reqDbf_[3] = 90;  
    reqDbf_[4] = 0;  
    reqDbf_[5] = 0;  
    reqDbf_[6] = 0;  
    movePTPJointAbs(reqDbf_, "right", true);  
    reqDbf_[0] = 40;  
    reqDbf_[1] = -20;  
    reqDbf_[2] = -20;  
    reqDbf_[3] = 90;  
    reqDbf_[4] = 20;  
    reqDbf_[5] = 0;  
    reqDbf_[6] = 0;  
    movePTPJointAbs(reqDbf_, "right", true);  
  
    double[] carPos = new double[6];  
    carPos[0] = 538.546;  
    carPos[1] = 22.071;  
    carPos[2] = 120.558;  
    carPos[3] = 167.080;  
    carPos[4] = -30.958;  
    carPos[5] = 30.511;  
    ArmMoveLinearAbs(carPos, 25.848, "right", true);  
  
    LumbarmoveCooperative(43.0, 10.0, 10.0, false);  
    double[] carPos = new double[6];  
    carPos[0] = 395.546;  
    carPos[1] = -15.071;  
    carPos[2] = 25.558;  
    carPos[3] = 140.0;  
    carPos[4] = -20.958;  
    carPos[5] = 70.511;  
    ArmMoveLinearAbs(carPos, 25.848, "right", true);  
  
    sdlEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].moveGripper(87);  
    SleepTime(4000);  
  
    RTC.CartesianSpeed cartesianSpeed = new RTC.CartesianSpeed();  
    cartesianSpeed.translation = 60.0;  
    cartesianSpeed.rotation = 20.0;  
    sdlEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].setMaxSpeedCartesian(cartesianSpeed);  
  
    LumbarmoveCooperative(0.0, 15.0, 15.0, false);  
    carPos[0] = 400.546;  
    carPos[1] = 75.071;  
    carPos[2] = 0.558;  
    carPos[3] = 155.0;  
    carPos[4] = -40.958;  
    carPos[5] = 40.511;
```

```
ArmMoveLinearAbs(carPos, 25.848, "right", true);

reqDbI_[0] = -19.68;
reqDbI_[1] = -43.25;
reqDbI_[2] = 5.29;
reqDbI_[3] = 109.740;
reqDbI_[4] = 40.94;
reqDbI_[5] = -0.28;
reqDbI_[6] = -10.12;
movePTPJointAbs(reqDbI_, "right", true);
}else{
// 左のアームを開く
sdIEngine.local_ports{"leftarmService_Middle"}.openGripper();
// 腰ユニットを動作
LumbarmoveCooperative(10.0, 10.0, 10.0, false);

// 左のアームを動作
double[] reqDbI_ = new double[7];
reqDbI_[0] = 40;
reqDbI_[1] = -40;
reqDbI_[2] = 0;
reqDbI_[3] = 90;
reqDbI_[4] = 0;
reqDbI_[5] = 0;
reqDbI_[6] = 0;
movePTPJointAbs(reqDbI_, "left", true);
reqDbI_[0] = 40;
reqDbI_[1] = -20;
reqDbI_[2] = -20;
reqDbI_[3] = 90;
reqDbI_[4] = 20;
reqDbI_[5] = 0;
reqDbI_[6] = 0;
movePTPJointAbs(reqDbI_, "left", true);

double[] carPos = new double[6];
carPos[0] = 308.546;
carPos[1] = 152.071;
carPos[2] = -50.558;
carPos[3] = 200.080;
carPos[4] = -35.958;
carPos[5] = -40.511;
ArmMoveLinearAbs(carPos, -55.848, "left", true);

LumbarmoveCooperative(35.0, 10.0, 10.0, false);
double[] carPos = new double[6];
carPos[0] = 355.546;
carPos[1] = 27.071;
carPos[2] = -120.558;
carPos[3] = 210.0;
carPos[4] = -30.958;
carPos[5] = -45.511;
ArmMoveLinearAbs(carPos, -55.848, "left", true);

sdIEngine.local_ports{"leftarmService_Middle"}.moveGripper(87);
SleepTime(4000);

RTC.CartesianSpeed cartesianSpeed = new RTC.CartesianSpeed();
cartesianSpeed.translation = 60.0;
cartesianSpeed.rotation = 20.0;
sdIEngine.local_ports{"rightarmService_Middle"}.setMaxSpeedCartesian(cartesianSpeed);

LumbarmoveCooperative(0.0, 15.0, 15.0, false);
carPos[0] = 400.546;
```

```
carPos[1] = 75.071;
carPos[2] = -60.558;
carPos[3] = 180.0;
carPos[4] = 0.958;
carPos[5] = 0.511;
ArmMoveLinearAbs(carPos, -25.848, "left", true);

reqDbI_[0] = -19.68;
reqDbI_[1] = -43.25;
reqDbI_[2] = 5.29;
reqDbI_[3] = 109.740;
reqDbI_[4] = 40.94;
reqDbI_[5] = -0.28;
reqDbI_[6] = -10.12;
movePTPJointAbs(reqDbI_, "left", true);
}

// 受け渡し場所に移動
VclMoveLinearAbs(2000.0, 250.0, -10.0);
VclMoveLinearAbs(2300.0, 250.0, -10.0);

kitTalk("どうぞ、お持ちしました。", true);

// 腰ユニットを動作
LumbarmoveCooperative(25.0, 10.0, 10.0, false);

if( object_pos[3] > 0 ){
// 右アームを動作
double[] carPos = new double[6];
carPos[0] = 480.546;
carPos[1] = 25.071;
carPos[2] = -40.558;
carPos[3] = 160.0;
carPos[4] = -25.958;
carPos[5] = 40.511;
ArmMoveLinearAbs(carPos, 25.848, "right", true);

double[] carPos = new double[6];
carPos[0] = 520.546;
carPos[1] = 25.071;
carPos[2] = -50.558;
carPos[3] = 160.0;
carPos[4] = -15.958;
carPos[5] = 40.511;
ArmMoveLinearAbs(carPos, 25.848, "right", true);
// 右のアームを開く
sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].openGripper();
SleepTime(4000);

// 腰ユニットを動作
LumbarmoveCooperative(0.0, 10.0, 10.0, false);
reqDbI_[0] = -19.68;
reqDbI_[1] = -43.25;
reqDbI_[2] = 5.29;
reqDbI_[3] = 109.740;
reqDbI_[4] = 40.94;
reqDbI_[5] = -0.28;
reqDbI_[6] = -10.12;
movePTPJointAbs(reqDbI_, "right", false);
// 右のアームを閉じる
sdIEngine.local_ports["rightarmService_Middle"].closeGripper();
while (armisMoving("right")){
SleepTime(200);
```

```
    }
    reqDbI_[0] = 0;
    reqDbI_[1] = -10;
    reqDbI_[2] = 0;
    reqDbI_[3] = 0;
    reqDbI_[4] = 0;
    reqDbI_[5] = 0;
    reqDbI_[6] = 0;
    movePTPJointAbs(reqDbI_, "right", false);
} else {
    // 左アームを動作
    double[] carPos = new double[6];
    carPos[0] = 480.546;
    carPos[1] = 25.071;
    carPos[2] = -40.558;
    carPos[3] = 200.0;
    carPos[4] = -25.958;
    carPos[5] = -40.511;
    ArmMoveLinearAbs(carPos, -25.848, "left", true);

    double[] carPos = new double[6];
    carPos[0] = 520.546;
    carPos[1] = 25.071;
    carPos[2] = -50.558;
    carPos[3] = 200.0;
    carPos[4] = -15.958;
    carPos[5] = -40.511;
    ArmMoveLinearAbs(carPos, -25.848, "left", true);
    // 左のアームを開く
    sdlEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].openGripper();
    SleepTime(4000);

    // 腰ユニットを動作
    LumbarmoveCooperative(0.0, 10.0, 10.0, false);
    reqDbI_[0] = -19.68;
    reqDbI_[1] = -43.25;
    reqDbI_[2] = 5.29;
    reqDbI_[3] = 109.740;
    reqDbI_[4] = 40.94;
    reqDbI_[5] = -0.28;
    reqDbI_[6] = -10.12;
    movePTPJointAbs(reqDbI_, "left", false);

    // 左のアームを閉じる
    sdlEngine.local_ports["leftarmService_Middle"].closeGripper();
    while (armisMoving("left")) {
        SleepTime(200);
    }
    reqDbI_[0] = 0;
    reqDbI_[1] = -10;
    reqDbI_[2] = 0;
    reqDbI_[3] = 0;
    reqDbI_[4] = 0;
    reqDbI_[5] = 0;
    reqDbI_[6] = 0;
    movePTPJointAbs(reqDbI_, "left", false);
}

VclMoveLinearAbs(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);

Grip_flg = false;

Listener_flg = true;
}
```

```

//-----
// RTC間の接続削除
//-----
discon() {
    env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.deactivate();
    if( handles{"JuliusRTC0.rtc"} !=null ){
        env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.deactivate();
        env.disconnect( env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_in"},
            env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.result"});
        if( handles{"PortAudioInput0.rtc"} !=null ){
            env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.deactivate();
            env.disconnect(
                env.handles{"PortAudioInput0.rtc"}.ports{"PortAudioInput0.AudioDataOut"},
                env.handles{"JuliusRTC0.rtc"}.ports{"JuliusRTC0.data"});
        }
    }
    if( handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"} !=null ){
        env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.deactivate();
        env.disconnect( env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.text_out"},
            env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.text"});
        env.disconnect( env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.status"},
            env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.status"});
        if( handles{"PortAudioOutput0.rtc"} !=null ){
            env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.deactivate();
            env.disconnect(
                env.handles{"PortAudioOutput0.rtc"}.ports{"PortAudioOutput0.AudioDataIn"},
                env.handles{"OpenJTalkRTC0.rtc"}.ports{"OpenJTalkRTC0.result"});
        }
    }
    if( handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"} !=null ){
        env.disconnect(
            env.handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"}.ports{"VehicleServiceProvider0.VehicleServicePr
ovider"},
            env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.VehicleServiceConsumer"});
        env.handles{"VehicleServiceProvider0.rtc"}.deactivate();
    }

    if( handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"} !=null ){
        env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.deactivate();
        env.disconnect( env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.ports{"transfseq"},
            env.handles{"UnitEmuController0.rtc"}.ports{"UnitEmuController0.transfseqi"});
        env.disconnect( env.handles{"UnitEmuAdapter0.rtc"}.ports{"valueseq"},
            env.handles{"UnitEmuController0.rtc"}.ports{"UnitEmuController0.valueseqi"});
    }

    if( handles{"rightarmService0.rtc"} !=null ){
        env.handles{"rightarmService0.rtc"}.deactivate();
        env.disconnect(
            env.handles{"rightarmService0.rtc"}.ports{"rightarmService0.rightarmService"},
            env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.RightArmServiceConsumer"});
        env.disconnect(
            env.handles{"rightarmService0.rtc"}.ports{"rightarmService0.ManipulatorCommonInterface_Com
monProvider"},
            env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.RightCommonServiceConsumer"});
        env.disconnect(
            env.handles{"rightarmService0.rtc"}.ports{"rightarmService0.ManipulatorCommonInterface_Mid
dleProvider"},
            env.handles{"SDLEngine0.rtc"}.ports{"SDLEngine0.RightMiddleServiceConsumer"});
    }
    if( handles{"leftarmService0.rtc"} !=null ){
        env.handles{"leftarmService0.rtc"}.deactivate();
        env.disconnect(
            env.handles{"leftarmService0.rtc"}.ports{"leftarmService0.leftarmService"},

```

```

        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftArmServiceConsumer"});
    env. disconnect(
        env. handles{"leftarmService0. rtc"}. ports{"leftarmService0. ManipulatorCommonInterface_Commo
nProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftCommonServiceConsumer"});
    env. disconnect(
        env. handles{"leftarmService0. rtc"}. ports{"leftarmService0. ManipulatorCommonInterface_Middl
eProvider"},
        env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LeftMiddleServiceConsumer"});
    }
    if( handles{"LumbarServiceProvider0. rtc" } !=null ){
        env. handles{"LumbarServiceProvider0. rtc"}. deactivate();
        env. disconnect(
            env. handles{"LumbarServiceProvider0. rtc"}. ports{". LumbarServiceProvider"},
            env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. LumbarServiceConsumer"});
        }
    if( handles{"MarkerRecognition0. rtc" } !=null ){
        env. handles{"MarkerRecognition0. rtc"}. deactivate();
        env. disconnect(
            env. handles{"MarkerRecognition0. rtc"}. ports{"MarkerRecognition0. recognition_service"},
            env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. RecognitionServiceConsumer"});
        env. disconnect(
            env. handles{"MarkerRecognition0. rtc"}. ports{"MarkerRecognition0. object_position"},
            env. handles{"SDLEngine0. rtc"}. ports{"SDLEngine0. object_pos"});
        }
    }
}

```

5.7. 起動

把持サービスは以下の手順で起動する。

(1) ネームサーバを起動する。

SDLEngine のインストールディレクトリにある omniNames.bat をクリックする。詳細は、3.7(1)を参照。

(2) 動作に必要な RTC コンポーネントを起動する。

(a) OpenHRI の起動

[スタート]メニュー-[すべてのプログラム]-[OpenHRI]から対応するコンポーネントを選択する。詳細は、3.7(2)(a)を参照のこと。

(b) OpenHRP3+関連 C の起動

① 起動

C:\OpenHRP-3.1.0.beta4_grip\Ex\OpenHRP.bat を起動する。

② プロジェクトファイルの読込

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[プロジェクトの読み込み]で以下のプロジェクトファイルを開くとモデルファイルが表示される。

プロジェクトファイル： C:\OpenHRP-3.1.0.beta4_grip\user\projectSmartPal5.xml

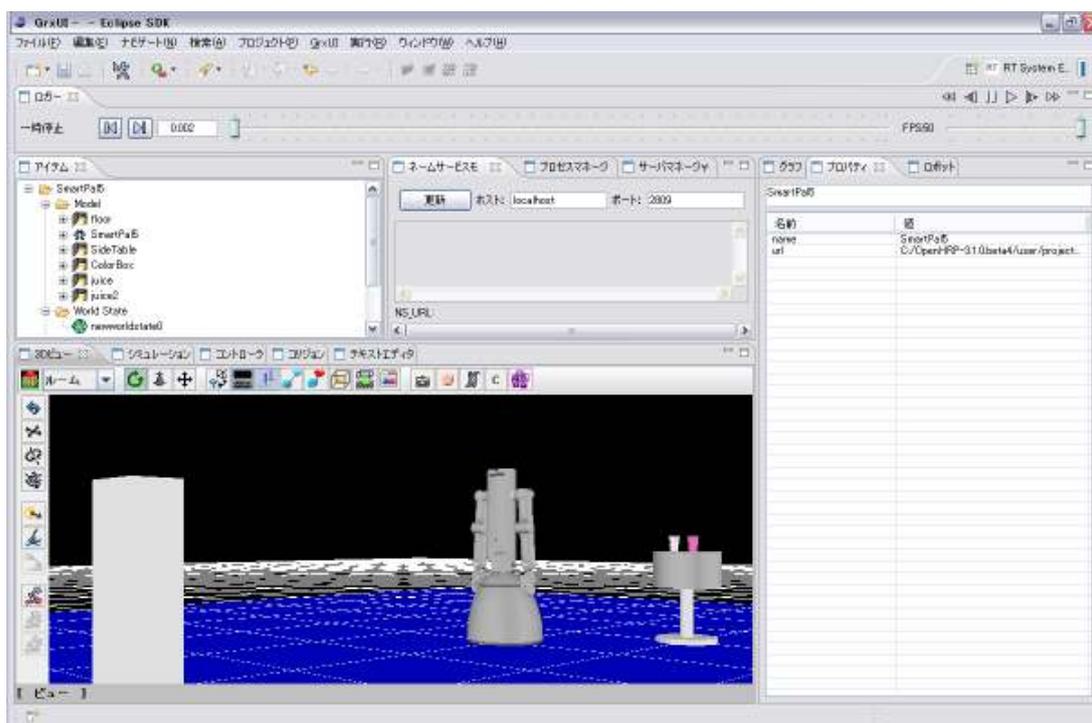


図 5-7 把持サービス：シミュレータ（OpenHRP3）画面イメージ

(3) SDLEngine を起動する。

① 起動

移動ユニット対応 SDLEngine には、起動のためのバッチファイルが用意されている。
C:¥SRP_HOME_GRIP¥SDLEngine.bat を起動する。

② スクリプトの読込

SDLEngine コンソールで移動サービス用スクリプトファイルを読み込む。
詳細は、3.7(3) ②を参照のこと。

(4) シミュレーションの開始

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[シミュレーション開始]、もしくは、シミュレーション開始ボタン () でシミュレーションを開始する。



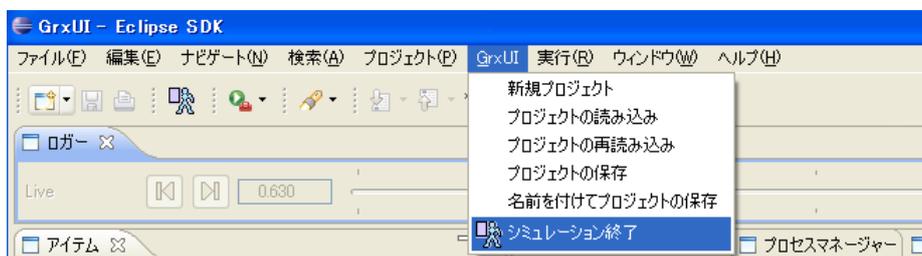
(5) マイクにて話しかける

マイクにて、「前」「後ろ」「右」「左」「回転」「停止」と話しかけると「前へ進みます」「後ろへ下がります」「右へ移動します」「左へ移動します」「回転します」「停止します」と応答し、シミュレーターのモデルが指示通りに動作する。

5.8. 終了

(1) シミュレーションの終了

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[GrxUI]-[シミュレーション終了]、もしくは、シミュレーション終了ボタン () でシミュレーションを終了する。



(2) SDLEngine を終了する。

SDLEngine コンソール上で終了コマンドを入力するか、コンソールウィンドウの終了ボタン () を押下する。詳細は、3.8(1)を参照のこと。

(3) 各コンポーネントを終了する。

(a) OpenHRI+移動ユニット RTC の起動

各コンポーネントのターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

(b) OpenHRP3

OpenHRP3(GrxUI)にて、メニューの[ファイル]-[終了]もしくは、終了ボタン () 押下で終了した後、OpenHRP3 を起動時のターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

(4) ネームサーバを終了する。

ターミナル上でコントロールキー+C キーを押下する。

6 付録

6.1. トラブルシューティング

■OpenHRI に関するトラブル

- 音声が出力されない
 - デバイスの音量や消音になっていないかを確認する。
⇒デバイスの音量を調整する。
 - 各コンポーネントでエラーが発生していないかをログで確認する。
⇒エラーの原因を除去する。なお、音声出力コンポーネントのバッファエラーが頻発する場合、動作マシンを高スペックのものにすることで解消される場合がある。
- 出力音声が途切れる
 - 音声出力コンポーネントのコンフィギュレーションにある出力バッファ長 (DelayCount) を確認する。
⇒DelayCount の値を増加させた後、アクティブにする。
- 音声認識されない
 - 音声認識コンポーネントの入力音声フォーマット (サンプリング周波数: 16kHz、量子化ビット数:16 ビット) を確認する。
⇒規定の入力音声フォーマットを使用する。
 - 音声認識文法ファイルの内容を確認する。
⇒文法誤りを修正する。
 - 音声認識の実行結果ログより、スコアを確認する。
⇒単調な発話の方が認識されやすい。

■SDL Engine に関するトラブル

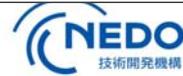
- 起動時にエラーが発生する。
 - JAVA_HOME にインストールされている JDK が正しく設定されているか。
 - JAVA_HOME/bin にパスが設定されているか。
 - Eclipse のデフォルト JavaVM が JDK になっているか。⇒誤りがある場合、正しく設定しなおす。
- スクリプト実行時にエラーが発生する。
 - コンソールに表示されたエラー情報を元にスクリプトを見直す。
⇒誤りがある場合、スクリプトを修正する。
 - RTSystemEditor にて、各 RTC の状態を確認する。
⇒エラーが発生している場合、RTSystemEditor 上で reset や Activate の操作を行う。

■シミュレータ (OpenHRP3) に関するトラブル

- モデルが動作しない。
 - シミュレーションを開始しているか。
⇒開始していない場合、シミュレーションを開始する。
 - RTSystemEditor にて、各 RTC の状態を確認する。
⇒エラーが発生している場合、RTSystemEditor 上で reset や Activate の操作を行う。

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。



経済産業省
ロボット・新機械イノベーションプログラム

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
事後評価分科会資料

公開部

技術開発推進部
2012年6月22日

公開



- A. 事業概要
 - B. 事業の位置付け・必要性について
 - C. 研究開発のマネジメントについて(設定)
 - D. 研究開発のマネジメントについて(運営)
 - E. 研究開発成果について(全体概要)
 - F. 実用化の見通しについて(全体概要)
- } NEDO
- } PL
- G. 研究開発の詳細成果および
実用化の見通しについて(個別)
- } 実施者

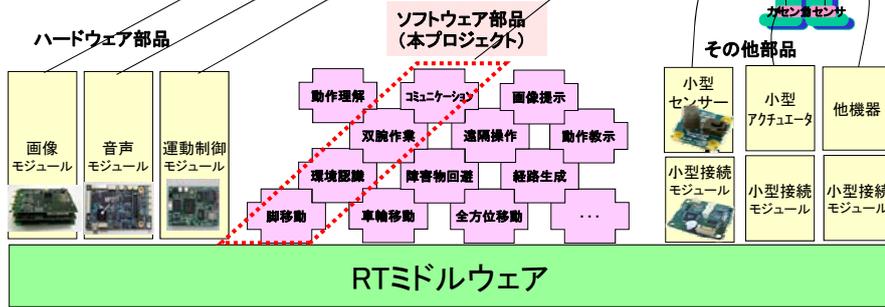
A. 事業概要

公開

事業概要

モジュール化に基づいたロボット構成法

- ・ロボットの機能部品を取り揃えること
- ・このプロジェクトではソフトウェア部品を開発する。



事業原簿 P.3

資料6 3/84

公開

B. 事業の位置付け・必要性について

資料6 4/84



国のプログラム、施策との関係

- 「科学技術基本計画」(2006年3月閣議決定)では、**ロボット・新機械技術は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野**(重点推進4分野)の一つである情報通信分野や、推進分野であるものづくり技術分野、社会基盤分野に位置づけられている
- 「経済成長戦略大綱」(2006年7月財政・経済一体改革会議。2007年6月改訂版を経済財政諮問会議に報告)の中で、**ロボット技術は産学官連携による世界をリードする新産業群の一つ**として位置づけられ、次世代ロボットの市場の拡大に向けて、**サービスロボット市場の整備、ロボットの認識技術の開発等必要な取組を継続**することとしている。
- 「イノベーション25」(2007年6月閣議決定)では、**ロボット・新機械技術は、生涯健康な社会や多様な人生を送れる社会の実現に向けて、中長期的に取り組むべき課題**として・・・今後の研究開発の進展等によって、その成果を社会に適用していく上で取組みが必要であるとともに、**随時見直し**をし、その取組を**加速・拡充**していくことが必要とされている。

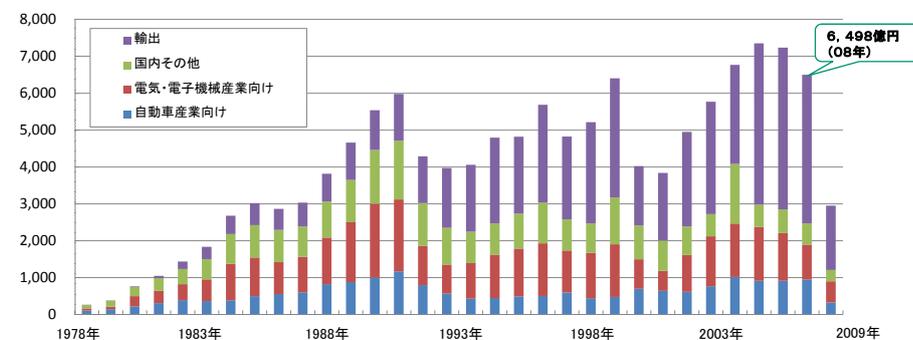


ロボット産業の現状

- 全世界における稼働台数は年々増加
- 日本の2008年のロボット出荷額は約**6,498億円**
- そのほとんどが**産業用ロボット**(塗装・溶接・電子部品実装等)
- 国内の産業用ロボットの稼働台数は**全世界の34%に相当(2008年)**

出荷額(億円)

ロボット出荷額の推移





ロボット産業の現状

産業ロボット以外の市場が未形成

新ロボット領域が起動しつつあるが原動力が不足。
単体ロボットによる市場開拓段階には至っていない。
⇒市場原理による実用化・産業化の発展は期待薄



NEDOが基盤的技術を開拓することにより
効率的な研究開発を推進



背景と目的

背景

- ・産業用ロボットは1990年代以降市場規模は穏やかな成長にとどまる。
- ・一方、ロボットセルなどの高度化した製造業、食事支援ロボット等で
次の成長段階に踏み出しつつあるが**芽はまだ小さい**。

市場ニーズ：

少子高齢化、国際競争の激化、大規模災害に対する不安等、大きな社会的課題に直面。我が国に蓄積された
基盤的なロボット技術（RT）を活用・高度化し、
これらの諸問題を解決。



上記の市場ニーズを実現するための技術課題：

⇒ **知能化技術**

- ・生活空間等の状況が変わりやすい環境下で、ロボットの稼働を可能とする**ロバスト性**
- ・ロボットの知能要素を**モジュール化**し、**蓄積・管理および統合化**を可能とする技術を開発。

B. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

公開



海外の技術開発動向

欧州 European Commission FP7 (Framework Programme 7)

新しい研究計画で、**ロボットを重点化**。

- ・Cognitive Systemsの枠組みで、**フレームワーク研究を強化**(FP7-ICT-3 Challenge 2)
- ・PHRIENDS (Physical Human-Robot Interaction: DepENDability and Safety)
人間と場を共有して協働することができる、“安全でかつ信頼性の高い”ロボットを開発することを目標とし、そのための**キー・コンポーネント**を開発する⁽¹⁾。
- ・ICT分野に**90億ユーロを投資**

韓国 Robot Promotion Project

(1):次世代ロボット分野における国内外技術動向調査動向調査報告書(2008),NEDO
(3):<http://www.worldtimes.co.jp/kansok/kan/seiji/090418-2.html>



実環境で動作検証を中心とした**実践的开发**を推進

- ・u-City (Ubiquitous City)
仁川経済特区に新設する**ロボット検証エリア**。ネットワークロボットを街中や家庭で実際に使用し、人間との相互作用の**実証試験**を行うことを計画。掃除ロボット、乗り物ロボット、シティ・マネージャー・ロボット、案内ロボット、運搬ロボットなど
- ・「第一次知能型ロボット基本計画」
2013年世界3大ロボット強国、2018年ロボット先導国家を目標。
今後5年間、ロボット研究開発などに**1兆ウォン**を投入⁽³⁾。

資料6 9/84

B. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

公開



海外の技術開発動向 米国

米国の製造業を復活に向けた、次世代ロボット開発投資

- ・Advanced Manufacturing Partnership
全米科学財団(NSF)、米航空宇宙局(NASA)、国立衛生研究所(NIH)、農務省が共同で、次世代ロボットの研究に対して**7,000万ドル(約60億円)**を助成する。これらの投資は、**人間のオペレーターと密接に働く次世代ロボットの開発を支援**。

DARPA「Robotics Challenge」

災害現場に於いて、以下の作業を行えるロボットの開発を競技会計式で実施する

- 1)業務用車を現場で運転する。2)下車し、がれきの上を移動する。
- 3)入り口をふさがれきを除去する。4)ドアを開けて建物の中に入る。
- 5)工場用ハシゴを上り、工場の通路を移動する。
- 6)道具を用いてコンクリート板を突破する。
- 7)漏れているパイプを発見し、近くのバルブを閉める。
- 8)冷却用ポンプのような部品を交換する

優勝者への賞金は**200万ドル**

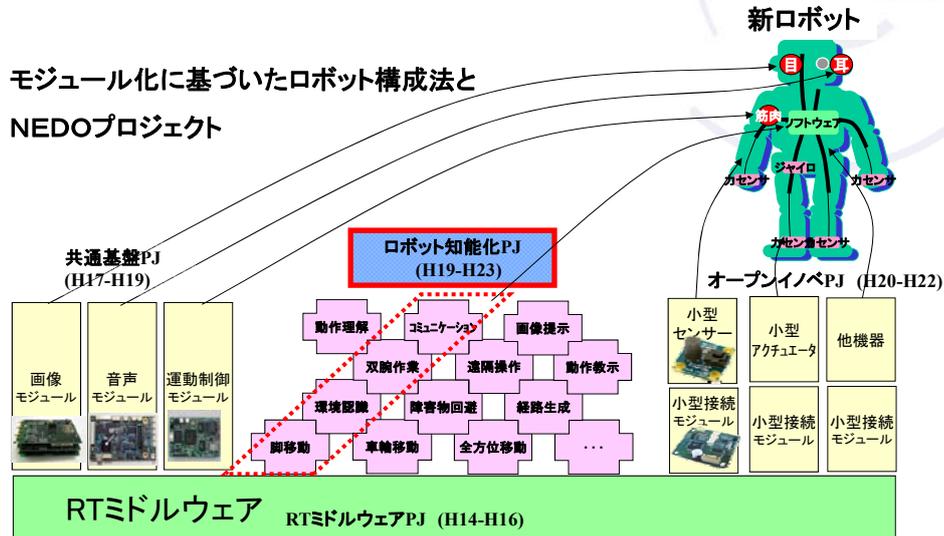


Open Source Robotics Foundation(OSRF)の設立

- ・DARPA「Robotics Challenge」で提供されるシミュレータ「GAZEBO」を受注。
- ・設立メンバーには、**Willow Garage**のBrian Gerkey氏、**iRobot社**の共同創業者のHelen Greiner氏、**韓国のYujin Robot**の幹部(Sam Park, executive vice president)らが名を連ねている

資料6 10/84

政策動向(経産省のモジュール化プロジェクト群の推移)



NEDOが関与することの意義(公的必要性)



○本事業はロボットの活用範囲を拡大するために必要な**基盤整備施策であり、公共性が高い**

○卵が先か、鶏が先か。**魅力的なモジュール群にするには数が必要**。
 知能モジュールが揃っていない現状では、魅力が少ない。
 単独でモジュール数を増加させる事業は**企業リスクが高い**

○本事業により、新規産業創出や産業活性化が期待でき、**産業政策的効果が高い**



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業



費用対効果

H19～23年度における事業費用：**67.4億円**

期間全体で、8テーマ(4領域)16グループ(**47社**)が参加し、
様々なミッションに対応した知能モジュール群を開発

- ・再利用率を重視し、モジュール群を組み合わせで**低コスト・短期間でのロボット開発**を可能とする。
- ・開発したモジュール群を**オープンソース**として一般向けに**公開・提供**し、普及に努める

将来貢献

ロボット市場は現在、産業用が6千億円程度で、掃除用など生活支援用が数十億円から200億円程度。37年に両方合わせて6兆円超に成長予想。開発費が10%、そのうち知能モジュール貢献割合が10%とすると、**年間600億円に貢献**。20年間使われると**合計1兆円の波及効果**となる。



事業目的

1. 我が国に蓄積されたロボット技術を活用
2. ロボットの基盤的要素技術およびシステム開発をさらに推進

そのために、幅広いロボット**知能をモジュール群**として準備し、**基盤となる統合化技術**を提供することにより、RT基盤として活用可能にすること。

- A.製造分野をはじめとする一部の分野に限られている**ロボット適応分野を拡大**
- B.ロボット産業を我が国の**基幹産業のひとつに成長**させること

B. 事業の位置付け・必要性について (2) 事業目的の妥当性

公開



事業目的

4領域8つのテーマ(ロボット利用領域)で
基盤技術とモジュール群を開発



事業原簿 P.59

I. 基盤技術開発

- ①-1ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発
- ①-2ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

II. 作業領域の知能モジュール群開発

- ② 作業知能(生産分野)の開発 (次世代産業用ロボット)
- ③ 作業知能(社会・生活分野)の開発 (介護やレストラン分野でのハンドリング)

III. 移動領域の知能モジュール群開発

- ④ 移動知能(サービス産業分野)の開発 (街やビル内の移動)
- ⑤ 高速移動知能(公共空間分野)の開発 (車両移動)
- ⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発 (搭乗用ロボット)

IV. コミュニケーション領域の知能モジュール群開発

- ⑦ コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発

公開



C. 研究開発のマネジメントについて
(設定)

C. 研究開発マネジメントについて (1)研究開発目標の妥当性 公開

研究開発目標 (PJ開始時の最終目標)

①**ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム**を開発して技術基盤を実現し、その上に6つ*1の**ロボット利用領域**で高性能で組合せ使用容易な②**モジュール型知能化技術を開発**する。目標は**ロボット利用領域*2ごとに具体的に示す**。その成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供する。これらの技術をロボットシステムに組み込む等により③**有効性を検証**し、他者が利用(再利用)できる形で④**可能な限り広範囲に提供**する。

(*1:8つのうちモジュール開発担当は6つ。*2 基本計画では「ロボット分野」として記載)

基本計画に反映

1998年度 (PJ前)

- ・事前検討委員会
- ・戦略技術マップ

事業原簿 P.58

C. 研究開発マネジメントについて (1)研究開発目標 公開

具体的開発目標と根拠

設定目標分野	テーマ対応	研究開発目標	根拠
① ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	基盤	1. プラットフォームの研究開発 <ul style="list-style-type: none"> ●以下②にて開発する知能モジュール群を統合 ●次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できる 2. 有効性の検証及び改良 <ul style="list-style-type: none"> ●検証用知能モジュール群の研究開発 ●リファレンスハードウェアを研究開発 	基盤統合技術の確立 ⇒ モジュール普及 <ul style="list-style-type: none"> ●知能モジュールを組合せ使用するための基盤となる体制を固める。すなわち、モジュール設計法を普及させるために、使いやすい環境を開発し提供する。 ●開発ツールやシミュレータにより知能ロボットの開発を効率化 ●プラットフォーム自体の機能・性能を検証し、確実化
	作業	1. モジュール型知能化技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ●環境変化に対応可能なロバスト性 ●用途が広く、利用が容易 2. 他者に提供 <ul style="list-style-type: none"> ●1. の成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供 ●提供は有償を含む。 	本プロジェクトの根幹 <ul style="list-style-type: none"> ●高品位で汎用的なモジュールを取り揃える ⇒ モジュール設計法の普及 ●普及のために以下が重要 <ul style="list-style-type: none"> ・機能・性能が充実し、汎用性があること ・再利用性があること
③ 有効性の検証	基盤	1. ①及び②の技術の有効性検証 <ul style="list-style-type: none"> ●テーマごとに応用目標を決め、開発した知能モジュールをロボットシステムで組み込み試験し、実環境の使用に耐えることを検証する。 2. 可能な限り広範囲に提供 <ul style="list-style-type: none"> ●成果であるソフトウェアモジュール ●他者が利用(再利用)できる形にする。 	開発技術の普及のための支えとなる項目 <ul style="list-style-type: none"> ●実使用に耐える機能性能を確認する ●用途例を示すことで普及を促進すること
	作業		
	移動		
	コミュ		

事業原簿 P.60 資料6 18/84

C. 研究開発マネジメントについて (1)研究開発目標

公開



研究開発目標(最終目標)

1. ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム

以下2. にて開発する知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行うとともに、検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。

2. モジュール型知能技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行って、その成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供(有償を含む。)する。

3. 有効性の検証

上記1. 及び1. に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用(再利用)できる形で可能な限り広範囲に提供(有償を含む。)する。

事業原簿 P.58

資料6 19/84

C. 研究開発マネジメントについて (1)研究開発目標の詳細

公開



4領域8テーマの項目ごとの詳細な研究開発目標

詳細は後述

研究開発項目(個別テーマ)	最終目標(H23)
①-1ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	次世代ロボットシステムの応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて効率よく実施できること。
①-2ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発	再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。
② 作業知能(生産分野)の開発	予定する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、実際の作業環境あるいはそれを模した模擬環境において、6つ以上の作業対象物に対する3つ以上の作業指示を成功率80%以上で達成すること。
③ 作業知能(社会・生活分野)の開発	予定する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること。
④ 移動知能(サービス産業分野)の開発	予定する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること
⑤ 高速移動知能(公共空間分野)の開発	中間評価結果への対応として平成21年度で終了(後述)
⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発	予定する知能モジュール群をすべて搭載したモビリティ・ロボットシステムが、長期間(3ヶ月程度)の技術実証試験において安定的に動作すること
⑦ コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	予定する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、3種類以上の実用的なコミュニケーションのタスクを実行し、成功率70%以上のタスク達成率と、70%以上のユーザ満足度を得ること。

C. 研究開発マネジメントについて (2)研究開発計画

公開



NEDOの研究加速制度を活用
～中間評価への対応と実用化へ向けた取組強化～

研究開発項目	個別項目	
Webへの公開環境構築	OpenRTM、ツール群、および知能モジュール公開の前倒し	NEDO知能化プロジェクトRTコンポーネント集 http://http://www.openrtm.org/openrtm/ja/node/4599
双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証	高度作業知能モジュールの追加開発, 双腕ロボットを用いた作業知能の統合検証	  パレタイジング作業 アソート作業
実用化への取組	組込機器へのRTミドルウェアの実装	OpenRTM on T-KernelおよびRTC-CANopenの開発
	安全認証取得RTMの開発	 IEC61508 SIL3 Capableの認証を取得できるRTM
	RTMとROSの連携	 と  の相互運用

事業原簿 p.88

資料6 21/84

C. 研究開発マネジメントについて (2)研究開発計画

公開

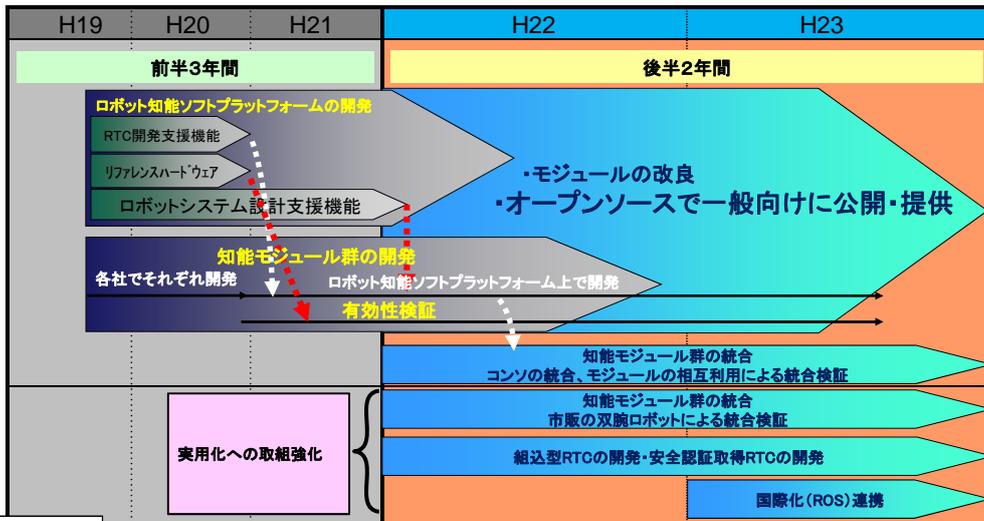


研究開発のスケジュール

事業費と研究開発期間

研究開発期間: 5年間(平成19年度～平成23年度)

予算実績: 平成19年度 19億円、平成20年度 15億円、平成21年度 13.5億円、平成22年度 10億円、平成23年度 9.8億円



事業原簿 P.79

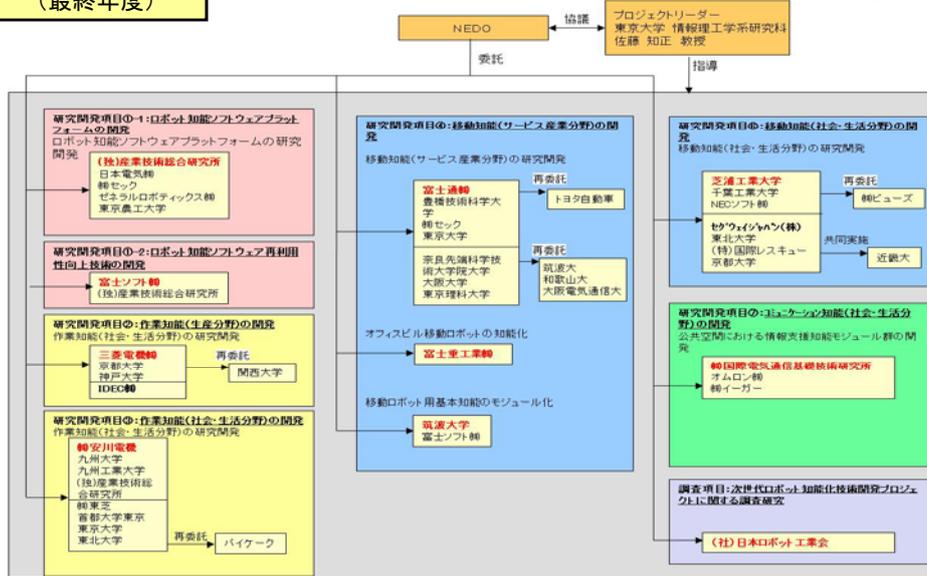
資料6 22/84

C. 研究開発マネジメントについて (3) 事業体制

公開

実施体制
(最終年度)

9事業体へ絞り込みを実施



事業原簿 p.81

資料6 25/84

C. 研究開発マネジメント (5) 情勢変化への対応等

公開

中間評価結果への対応

「概ね現行通り実施して良い」との評価であったが、実用化他に対して課題を指摘された。下記に、主な指摘事項を示す。



指摘事項(抜粋)	指摘事項を受けて計画の見直し実施	対応事項
1 ・RTコンポーネントの作成方法その使い方に関しては、 マニュアルか教科書を書いて啓蒙すべき	指摘事項を受けて計画の見直し実施	・マニュアルやカタログ等のドキュメント整備
2 ・プロジェクトが多岐に渡っているため、この中間審査を機に、 取捨選択を行うのも一つの方向性である		・実施体制の見直し ①類似の目標を持つコンソの統合 ②一部コンソの期間途中での終了
3 ・一部にプロジェクト全体の目的との つながりが希薄で孤立しているグループも見受けられる		・モジュールの相互利用による統合試験 ・再利用センターの対応 ①サービス仕様の作成 ②検証を行うためのロボットシステムの作成 ③動作試験およびモジュールの一般向け公開
4 ・実環境での使用に耐えられるか、ハードウェアとの相性を吸収できるような仕組みがあるのかどうか、といった視点から、客観的検証も必要 ・ 実使用に向けて、プラットフォームやモジュールの信頼性を高めていく努力も必要		・開発している各モジュールの提供方法(オープンソース/バイナリ)設定 ・オープンソースでの提供となっているモジュールの一般向け公開
5 個々のモジュールにおいても、再利用性を向上させるという観点での目標設定、評価を充実させることが望まれる		・機能安全の認証を受けることが可能な高信頼版RTミドルウェアの開発
6 目標とする成果の普及のためには、「 部品 」の 信頼性、安全性確保 が最大の課題とであり、この点に関する 具体的目標の設定 が望まれる		

事業原簿 p.90

C. 研究開発マネジメント (5) 情勢変化への対応等

公開

中間評価結果への対応



WTの設立

大学、企業に向けた啓蒙と開発したモジュールの再利用性強化、および信頼性、安全性確保に向けた取組を実施

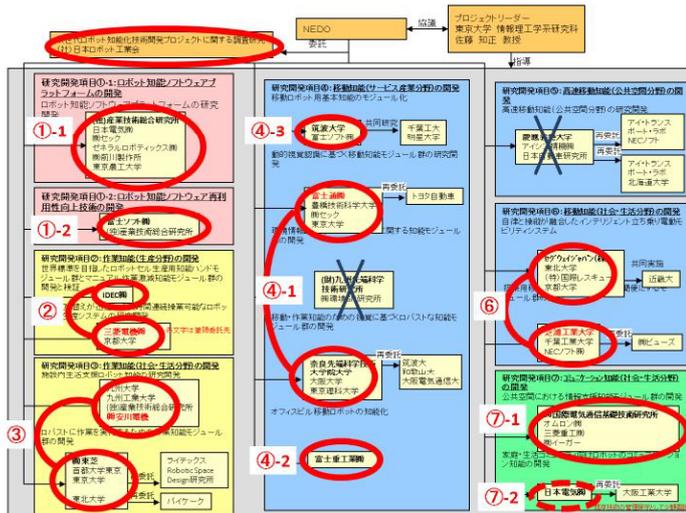
WT名	役割	中間評価コメント(抜粋)
プライマWT	ドキュメント整備	ソフトウェアのRTコンポーネント化のやり方とその使い方に関して、マニュアルか教科書を書いて啓蒙すべき
大学エバンジェリズムWT	大学に向けた啓蒙	モジュール化のやり方に関して、本プロジェクトに関与していないメーカーやユーザー、大学などから意見を聞いて議論したほうがよい
素人対応WT	普及に向けた啓蒙	
国際戦略WT	普及のための取組	
ソフトウェア手法WT(含品質管理)	信頼性・安全性確保	成果の普及のために、「部品」の信頼性、安全性確保を如何に目に見える形で担保するかが重要である
全数検証WT	再利用性強化	実使用に向けて、プラットフォームやモジュールの信頼性を高めていく努力も必要
オープンソフトウェア統合 & 再利用センタ統合強化WT	再利用性強化	

資料6 27/84

C. 研究開発マネジメント (5) 情勢変化への対応等

公開

実施体制の見直し



再利用性の強化による実用化への対応

1. 他のコンソとのつながりが薄い(独立している)事業を終了した
2. 統合検証を行うため、開発内容が近いコンソを統合した
3. 一部モジュールをオープンソースで提供することとした

資料6 28/84

C. 研究開発マネジメントについて (2)研究開発計画

公開



中間評価結果への対応

NEDOの研究加速制度を活用した実用化への取組強化

取組内容				
Webでの公開環境構築	OpenRTM、ツール群、および知能モジュールを公開した。			
双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合検証	高度作業知能モジュールの追加開発、双腕ロボットを用いた作業知能の統合検証を実施した。			
	<table border="1"> <tr> <td>パレタイジング作業</td> <td>事業内容部品のパレタイジングを実施した。</td> </tr> <tr> <td>アソート作業</td> <td>日用品等(文具、お菓子、etc、要はFA的でないもの)を対象物したアソート(分類、片付け、詰合わせ)を実施。</td> </tr> </table>	パレタイジング作業	事業内容部品のパレタイジングを実施した。	アソート作業
パレタイジング作業	事業内容部品のパレタイジングを実施した。			
アソート作業	日用品等(文具、お菓子、etc、要はFA的でないもの)を対象物したアソート(分類、片付け、詰合わせ)を実施。			
組込機器へのRTミドルウェアの実装	RTミドルウェアの普及を促進するため、CANOpen版・T-Kernel版等資源の少ない組込機器で動作するミドルウェアの開発を実施した。			
安全認証取得RTMの開発	IEC61508等の機能安全規格に基づいた開発プロセスを構築、支援するためのツール群の開発と機能安全規格に準じたRTミドルウェアの開発を実施した。			
RTMとROSの連携	次世代ロボット知能化技術の相互運用可能性を検証するため、ROSをターゲットとして相互運用プラットフォーム上で相互運用性を検証した。			

事業原簿 p.89

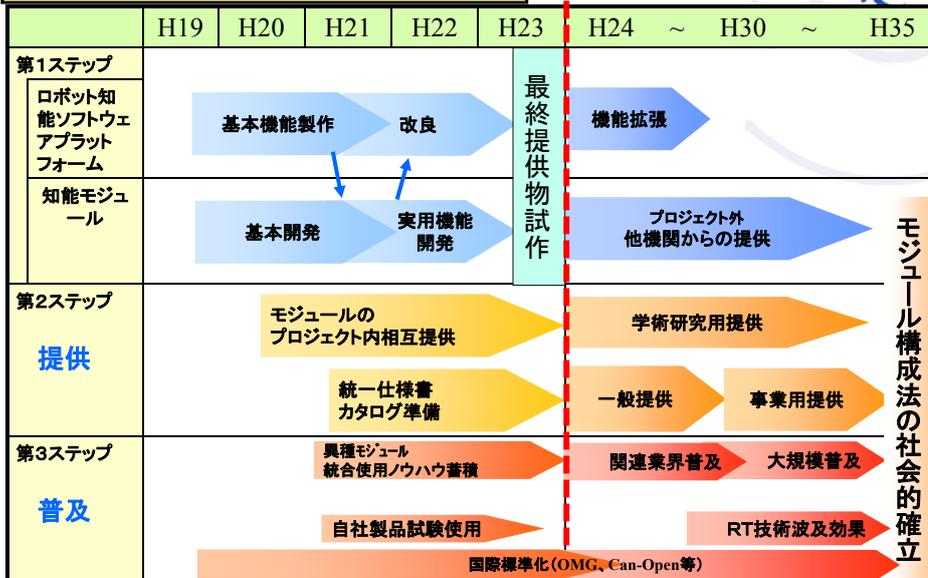
資料6 29/84

C. 研究開発マネジメント (5)情勢変化への対応等

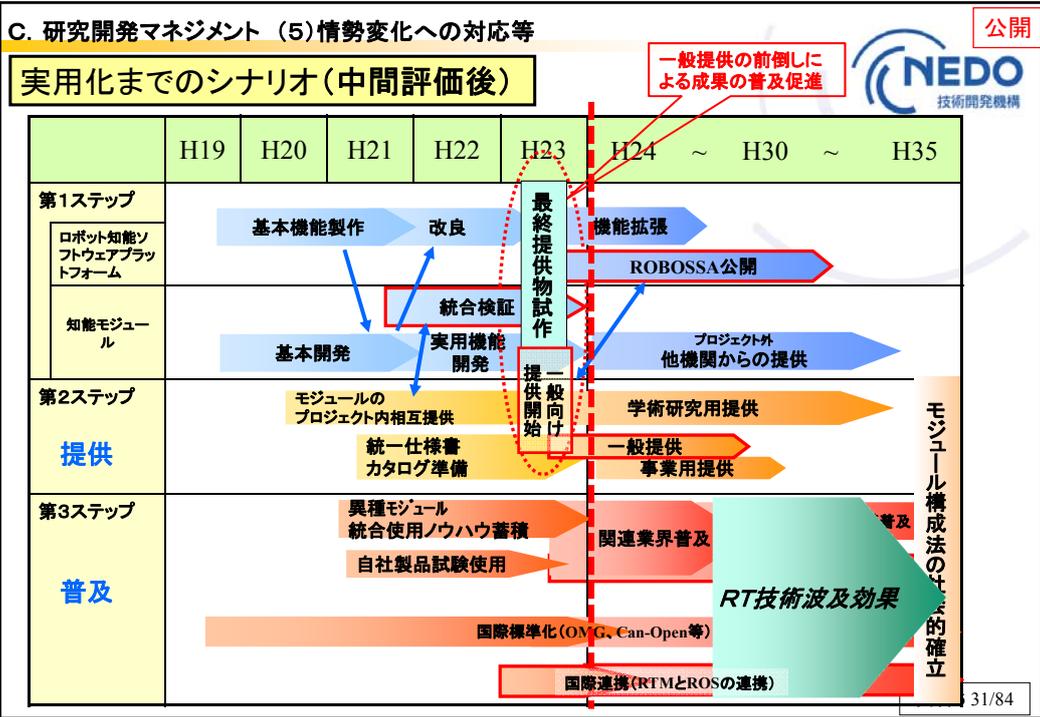
公開



実用化までのシナリオ(中間評価前)



資料6 30/84



公開

NEDO 技術開発機構

D. 研究開発のマネジメントについて (運営)

プロジェクトリーダー
東京大学教授 佐藤知正

資料6 32/84

D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理 公開



再利用性: プロジェクトのキー

・共通インターフェースを持つこと	サブWGを立ち上げ、共通のインターフェースを策定
・モジュールの統合性があること	統合検証デモを繰り返し実施して追求
・入れ替えが可能であること	<ul style="list-style-type: none"> ・活用を主体としたコンソを採択した ・コンソを統合し、相互にモジュールを利用し、統合検証を行うことで追求した ・策定した共通インターフェースを活用した
・素人にも利用が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> ・オープンソースでの提供を行うこととした ・ドキュメント(マニュアル等)を作成した
・有効なモジュールであること	<ul style="list-style-type: none"> ・展示会などでのデモンストレーションや統合事例 ・ドキュメント(マニュアル等)を作成した
・体系性(完備性)があること	・システムの構築や検証デモを行うことにより体系性の確認を実施



・モジュールの普及、情報発信	<ul style="list-style-type: none"> ・市販双腕ロボット(HiroNX)上でソフトウェアを構築 ・オープンソースで作成し、システム情報も開示した <ul style="list-style-type: none"> → 統合事例の提示 → 将来展開の基盤となる
-----------------------	---

D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理 公開



年度毎の研究開発マネージメント留意点

1年目の重点項目	<ul style="list-style-type: none"> ■何を成果とするかの明確化 ■知能ロボットの典型的使い方を可能とする"知能モジュール群とそれを可能とするライブラリー群"を成果とする ■迅速なプロジェクトの立ち上げ ■モジュール応用を中心とした実施者を追加公募
2年目の重点項目	<ul style="list-style-type: none"> ■知能ロボットの典型的使い方の明確化 ■SWG(サブワーキンググループ)の立ち上げとそれによる議論の深化 ■ソフトウェアの見える化 ■先行デモ、検証デモの実施(2年目の1月という早い段階での実施) ■再利用センター(秋葉原拠点)の準備
3年目の重点項目	<ul style="list-style-type: none"> ■再利用WG(秋葉原拠点)の立ち上げと充実 ■知能モジュールの集積と利用による再利用性向上 ■秋葉原拠点からのプロジェクトステアリング(毎週火曜日) ■秋葉原拠点での統合による知能モジュール再利用性の向上 ■レボジトリ登録、その宣伝 システムコンサルタントへの展開 ■中間評価への対応、WTの立ち上げ ■コンソの再構成(統合および廃止)
4年目の重点項目	<ul style="list-style-type: none"> ■統合検証の推進と内容の確認 ■加速資金を活用した実用化の推進
5年目の重点項目	<ul style="list-style-type: none"> ■統合検証の推進 ■ROSとの連携による国際化への展開 ■安全認証取得モジュールの開発 ■PJ終了後の実用化と普及のための展開

資料6 34/84

D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理

公開



基本計画策定にあたって留意したこと

(重要ポイント)

- このプロジェクトは、
再活用可能な知能モジュール群を構築するプロジェクト

- それを保障するためのしかけ
 1. 利用しやすい共通プラットフォームの提示
 2. 全ての知能モジュール群の共通プラットフォームへの統合を推奨
 3. どのような知能モジュールを実現するのかを明記して提案してもらう
 4. その各知能モジュールについて
年度展開と検証法を提案してもらう
 5. 各知能モジュールについての第三者による、
使ってみての評価を導入する

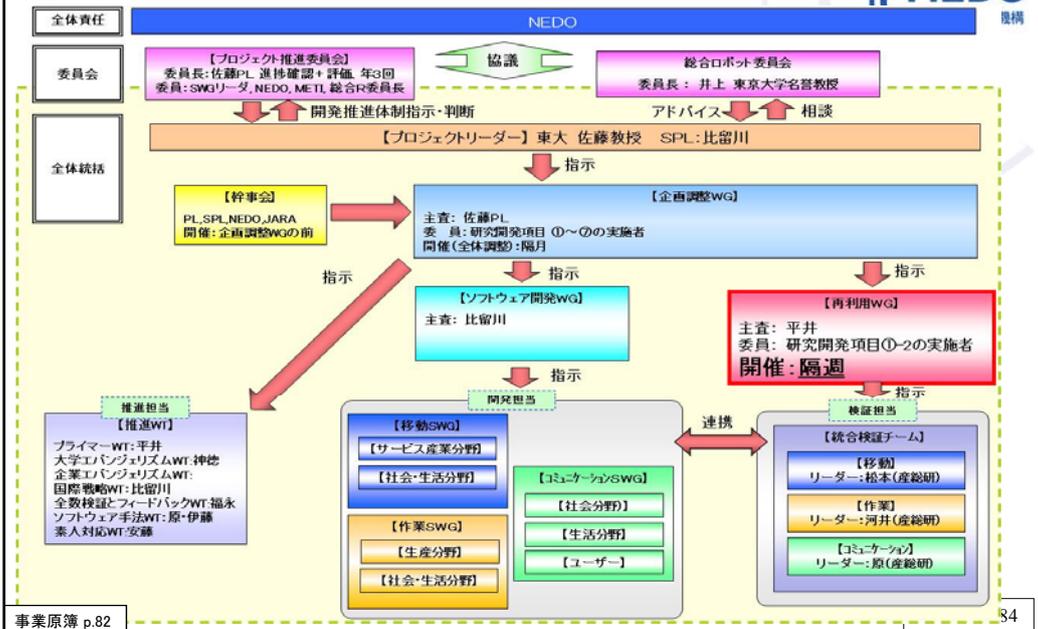
資料6 35/84

D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理

公開



実施にあたってのマネジメント上の工夫(体制)とその実施組織

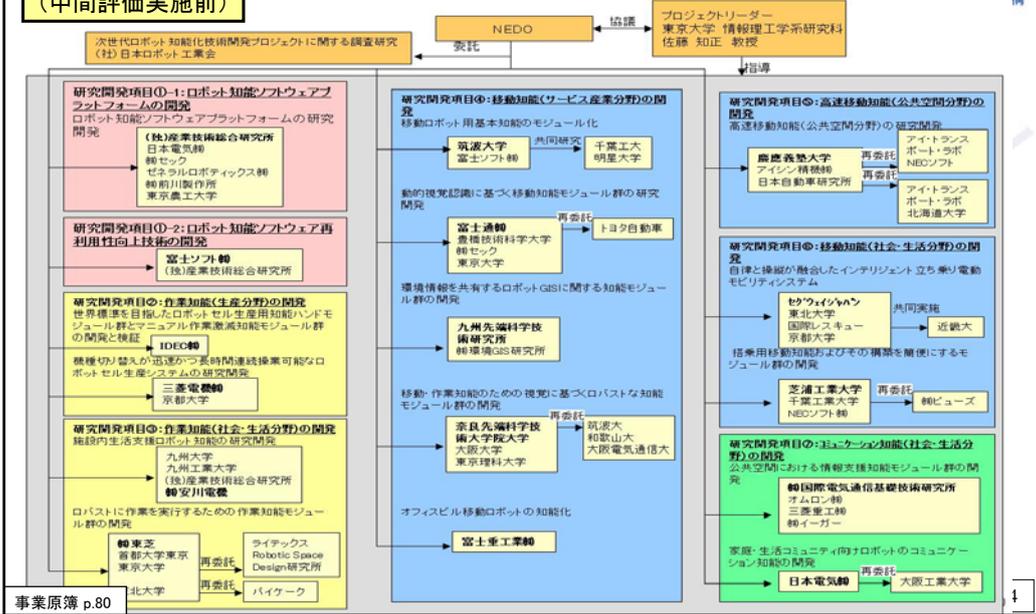


D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理

公開



実施体制 (中間評価実施前) 4領域8テーマで16事業体を採用

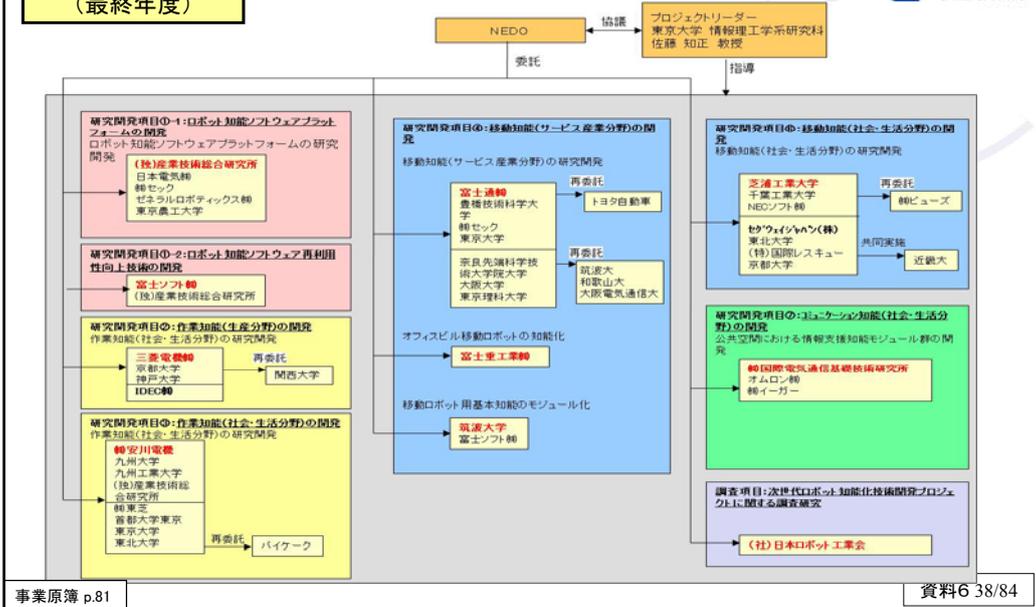


D. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の運営管理

公開



実施体制 (最終年度) 9事業体へ絞り込みを実施



D. 研究開発マネジメントについて (5) 研究開発の運営管理手法

公開

 NEDO 技術開発機構

プロジェクトの運営手法

	項目	説明	回数(/年)
計画・運営	運営会議	PL,NEDO,有識者による運営方針会議	開催26回(隔週開催)
	企画調整WG(実施者全体会議)	PLが実施者の進捗を把握し、指導・伝達	開催12回(月1回)
確認・指示	進捗ヒアリング	委託先が発表。進捗を確認し指導する場	開催2回
	サイトビジット	委託先を訪問し進捗チェック	PJ期間中のべ8回(随時)
促進	先行発表・検証デモ	委託先のロボット動作による進捗確認。	1回

事業原簿 p.85
資料6 39/84

D. 研究開発マネジメントについて (6) 情勢変化への対応

公開

 NEDO 技術開発機構

情勢変化への対応① (柔軟な体制変更): 初年度

モジュール開発担当Gr

→

モジュール応用重点Gr

採択時、
 知能モジュール開発者は採択できたが、
他社製モジュールの利用グループの応募がなかった。
 異種モジュールの統合使用の確認や、他用途利用の確認ができない



他社モジュールを含め、モジュール応用を中心とした実施者を追加公募。
 3社採択(2007年7月)
 他者モジュールを率先して使用して検証と改良促進を行う

グループ数			
研究種	開発中心	ベンチャー系(専門技術)	利用中心
基盤研究	2	-	-
MJ開発	9	2	追加 3

事業原簿 p.86



情勢変化への対応② (柔軟な体制変更): 2年目

他者モジュールの利用を主体的に先導する組織が不足

品質確認の問題。提供ルートの問題。一覧性、サポート、試用、提供契約の管理体制問題等

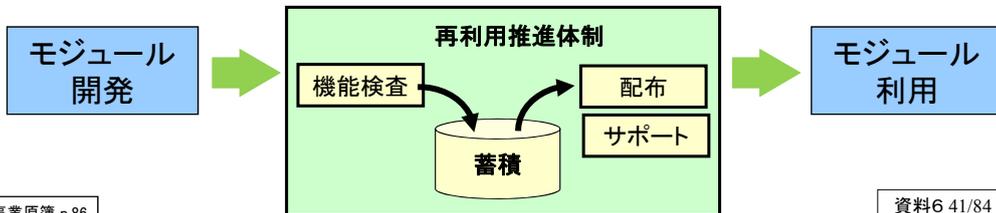


基本計画変更、研究開発項目の追加

再利用推進グループの追加 (H20)

MJ共通仕様書の作成、相互利用促進、モジュールの検品、蓄積・配布機能

再利用技術研究センターを開設 (H21年1月)



情勢変化への対応③ (オープンソース化)

知能化PJの特徴は、たくさんの人に使ってもらう「基盤」を開発するプロジェクトである



ソースコードの公開(オープンソース化)を推進

PJ後も各社保守管理が必要
→保守組織でも修正可能

利用障壁の低いロボット構成法
→普及が見込める

上級互換モジュール販売
→産業振興戦略



RTC再利用技術研究センター

開設:平成21年1月～平成24年2月
(秋葉原ダイビル13階)

目的:

- ・各社提供 **モジュールの検査と接続検証**
 - ・実ロボットによる機能・性能の第三者試験
→確認済印
- ・各社 **知能モジュールの混合使用実験**
 - ・異事業体によるモジュールの接続性検証
 - ・モジュール単位の交換性検証
 - ・実験促進による開発加速、改良加速



情勢変化への対応④ (状況に合わせた計画見直し):3年目

当初、研究体ごとの開発。知能モジュールの粒度、インタフェース等の統一性がない。
接続モデルがないため **再利用性・交換性が確保できない**

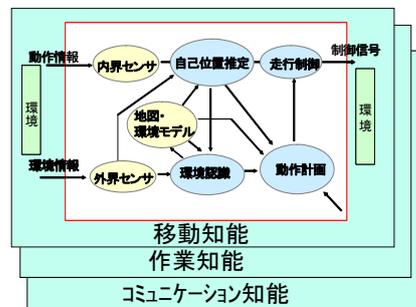


リファレンスモデルの設定

- ・サブWGごとに統一した知能モジュール接続モデル
- ・モジュールの設計規範となり再利用性が向上

リファレンスタスクの設定

- ・サブWGごとに統一した典型的な使用例。共通タスクで汎用性実証



E. 研究開発成果について（全体）

E. 研究開発成果について（1）目標の達成度

全体総括

各研究体が知能モジュールを開発し、実証タスク(ミッション)を想定した実証デモを用いて機能・性能の検証を実施。

開発した知能モジュールが活用され、普及することが重要。

→ **再利用性**

コンソ間でお互いのモジュールを活用し、統合的な検証を行う

コンソを統合し、統合検証を実施

達成度

全てのテーマで**目標達成**

E. 研究開発成果について (1) 目標の達成度

公開

 技術開発機構

研究開発目標の達成状況

設定目標分野	テーマ対応	研究開発目標 最終目標(平成23年度)	成果	達成度
①ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	基盤	1.研究開発 <ul style="list-style-type: none"> ●知能モジュール群を統合可能 ●ロボットシステムをシミュレート可能 2.有効性の検証及び改良 <ul style="list-style-type: none"> ●検証用知能モジュール群を開発 ●リファレンスハードウェアを開発 	ハンドと車輪型移動機構をもつ リファレンスハードウェアを開発 し、移動、作業、コミュニケーションの各知能モジュールを統合した検証システムを開発した。また、 リファレンスハードウェアのシミュレーションモデルを作成 し、ハードウェアを用いることなく知能モジュールの動作を可能とした。	◎
	作業 移動 コミュ	1.モジュール型知能化技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ●環境変化に対応可能なロバスト性を有する ●用途が広く、利用が容易 ●他者に提供 ●成果(知能モジュール)を実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供 	全てのテーマで最終目標を達成した。	◎
③有効性の検証	基盤	1.①及び②の技術の有効性検証 <ul style="list-style-type: none"> ●テーマごとに応用目標を決め、ロボットシステムで試験し、実環境の使用に耐えることを検証する。 2.可能な限り広範囲に提供 <ul style="list-style-type: none"> ●ソフトウェアモジュールとして ●他者が利用(再利用)できる形 	有効性検証として、要求仕様からトップダウンでの設計を行ない、システムに適合する知能モジュールを選出し、アプリケーションシステム例として「来訪者受付システム」の構築を実施した。その成果は一般公開し、 プロジェクトの内外問わず、利用(再利用)された。	◎
	作業			
	移動			
	コミュ			

事業原簿 P.92 ◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達 資料6 47/84

E. 研究開発成果について (1) 目標の達成度

公開

 技術開発機構

開発した知能モジュール

開発したモジュール数(当初目標:340)

H19	H20	H21	H22	H23	合計
48	136	120	16	42	362

開発した知能モジュールのリスト(一部)

コンソシアム代表機関	研究開発項目・研究開発テーマ名	基本計画の要求	開発するモジュール群(開発者)
14(国際電気通信基礎技術研究所)	⑦コミュニケーション知能(社会生活分野)	①環境・状況・対象認識	開発するモジュール群(開発者) 平成20年度までに開発したモジュールに☆印 そのうち提供可能モジュールに★印 無印は平成21年度予定モジュール 状況認識モジュール(ATR・イーガー) 人物追跡モジュール(ATR・イーガー) 音声認識モジュール(ATR・イーガー) 発話認識モジュール(ATR・イーガー)
		②対話支援知能	
研究開発項目	④	基本計画の要求	開発するモジュール群 平成20年度までに開発したモジュールに☆印、そのうち提供可能モジュールに★印、無印は平成21年度予定モジュール ★複数の作業対象物体の位置検出(ステレオ構内認識)モジュール(東芝、血やコップの検出が可能) ☆触覚による対象物の位置検出・認識モジュール(東芝、単純幾何形状認識シミュレータと実機デモ) ☆複数方向から見た作業対象物体の部分エッジ抽出モジュール(東芝、部分隠れに強い3D画像認識) 画像、触覚・力覚情報などの複数のセンサ情報を利用した認識モジュール(東芝、センサ融合でロバスト性up) ★作業対象物認識モジュール(東北大、特徴量ベースの画像による物体認識) ☆移動プロトタイプモジュール(東芝、目的地までの経路生成、生成経路に沿って動作させるための車輪回転制御) ☆アーム操作プロトタイプモジュール(東芝、各関節および手先位置の管理・座標変換処理、手先の目標位置姿勢を実現する)
		①作業対象物認識に関する知能モジュール群	

事業原簿 P.92

E. 研究開発成果について (2)研究 開発成果 (三菱電機) 公開

独自の自律学習アルゴリズムをコンポーネント化 (学術賞受賞)
タクトタイムを最大44%削減

習熟機能RTC

推定モデルを逐次更新

次の試行を実施

試行結果を観測

Tact time (ms)

Trials

Algorithm

Operator

ロボット自らが動作時間を習熟する例

・再利用性が高い モジュール接続例

高精度・高速・コンパクトな3D認識システムをコンポーネント化
13種以上の部品を、0.4秒で認識

部品ピッキング用物体認識RTC

データポート

サービスポート

XYZABC = 315.31 -714.13 -1.26
0.0 0.0 -60.00

ばら積み部品の把持点認識処理例

・商用性が高い モジュール接続例 資料6 49/84

E. 研究開発成果について (2)研究 開発成果 (三菱電機) 公開

関大

時変系メカの制御制御を実現する指令値整形アルゴリズムをコンポーネント化
静定時間1.61秒→0.92秒でタクト短縮

振動抑制RTC

水平2関節ロボットアーム

台形則加減速パターン入力応答(上)と整形後パターン入力応答(下)

・再利用性が高い

神大

物品把持時の過渡的な物理現象を解析するアルゴリズムをコンポーネント化 (学術賞受賞)
3本指, 4本指で3次元物体の把持現象を模擬

ハンドライブラリRTC

指と把持対象物の運動の軌跡のシミュレーション例

モジュール表示例

・再利用性が高い

京大

インタフェース設計理論から導出されたアルゴリズムによるGUIをコンポーネント化
教示作業時間を1/3以下に短縮

本モジュール

複合情報GUI RTC

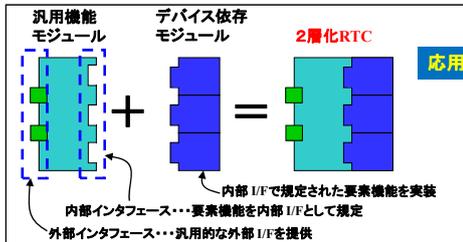
モジュール表示例

・商用性が高い 資料6 50/84

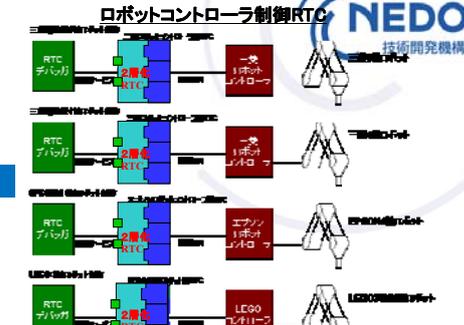
E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (IDEC)

公開

汎用機能モジュールと
デバイス依存モジュールを組合せた
2層化RTCによる再利用性・実装容易性の向上



応用具体例



実機にて検証

様々なメーカーの
マニピュレータに対応

利用者

ソフトウェアの変更無しに異なるメーカーのデバイスを切り替えて、システム構築可能

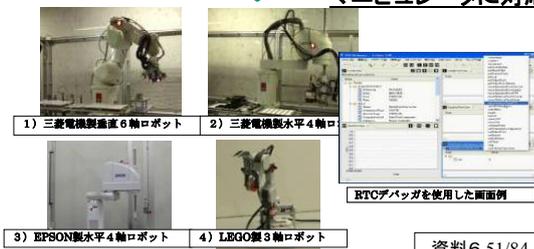
⇒ 再利用性の向上

RTC開発者

予め用意されている汎用機能モジュールの内部インタフェースに合わせて対象製品のデバイス依存モジュールを作成するだけで、目的のRTCを開発可能

⇒ 実装容易性の向上

・再利用性が高い

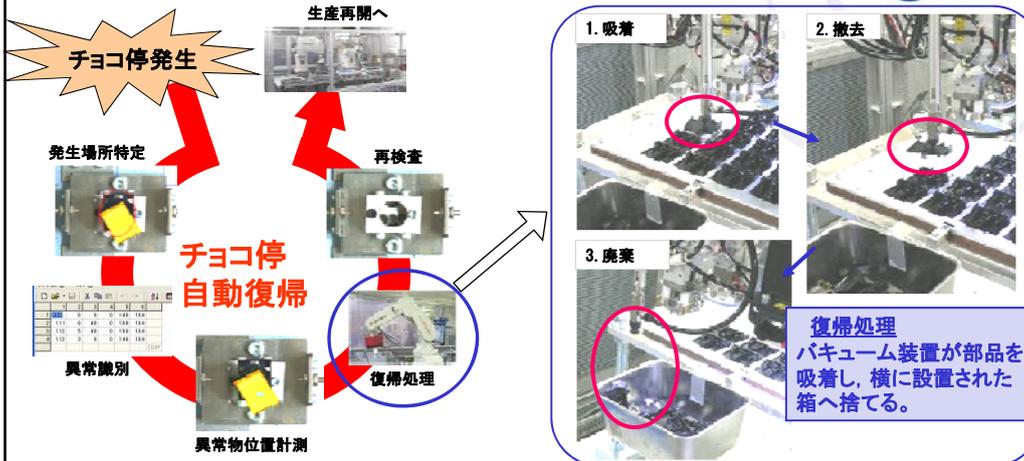


資料6 51/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (IDEC)

公開

チョコ停からの自動復帰知能モジュール群



- ・人の手を介すことなく、チョコ停からの自動復帰を実施した。
- ・チョコ停原因に合わせて、複数の復帰処理を定義可能とした。
- ・「発生場所特定」～「異常識別」では、事前学習していた画像と計測した画像の合致度で異常有無を判断しており、合致度の設定を変更することにより様々な環境やワークに対応できる仕組みを持たせた。
- ・自動復帰知能モジュール群が実現した

資料6 52/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果(安川・東芝コンソ)

公開



ロボットによる施設内での日用品搬送を実現するために必要な知能モジュール群を開発し、それらを施設を模擬した環境内で作業するロボットに統合することによって研究開発成果を検証する。



- ・ 知能モジュール化手法によるアプリケーション開発有効性の検証
- ・ 出来るだけ簡単な指示でロボットに作業させる知能化の実証



物の取り出し

床からの物の拾い上げ

人への物の手渡し

施設内での日用品搬送のイメージ

資料6 53/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果(安川・東芝コンソ)

公開



施設を模擬した環境での検証風景

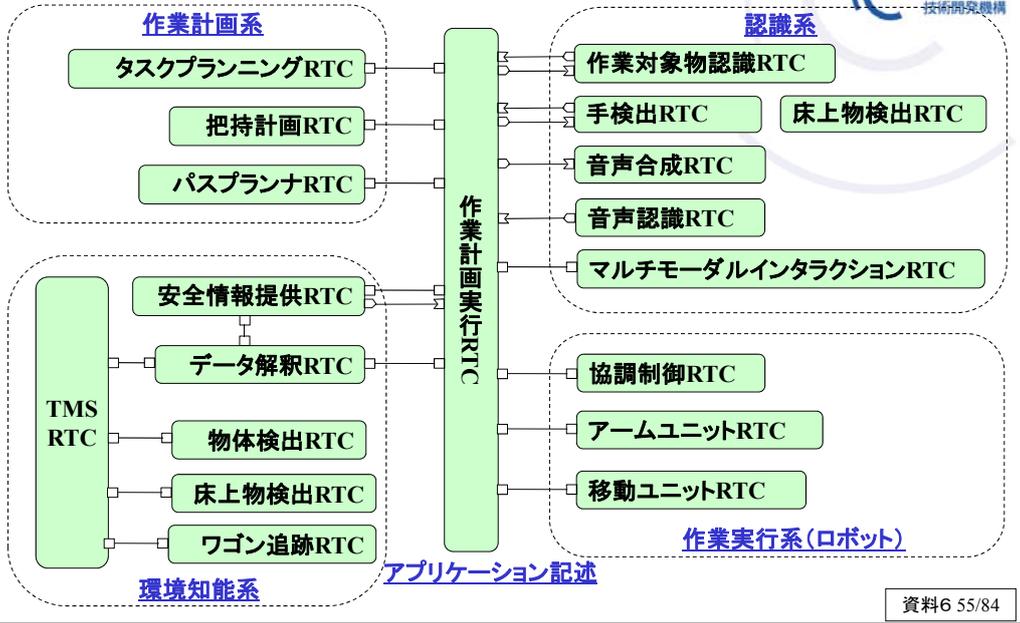


資料6 54/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果(安川・東芝コンソ)

公開

知能モジュールの接続構成(概略) 統合システムについて



資料6 55/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (東芝)

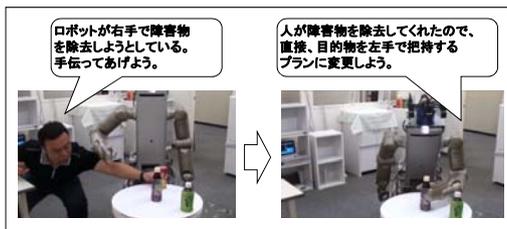
公開

タスクプランニングモジュールを使った統合検証デモ

①移動可能な障害物がある中での物体操作のためのプランニング



②人とロボットが協調した動的プランニング



★特徴(従来との差異)

	従来手法	本モジュール手法
デモ①	タスクプランニングではアームと障害物の干渉チェックは行ってこなかった	タスクプランニングでも周囲情報を使って、アームと障害物の干渉を大まかに考慮し、実行可能なプランを作成(左右の手の使い分け)
デモ②	人とのインタラクションを考慮しない物体移動計画	人と協調して物体移動計画を動的に修正、プラン修正後に不用となるアクションの実行を中断

資料6 56/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (東芝)

公開



タスクプランニングモジュール群

(知識状況管理モジュール+実時間プランニングモジュールで構成)

概要:

ヒューリスティックスをルールとして記述でき、準最小コストの作業計画を探索できる前向きHTN (Hierarchical Task Network)プランニングアルゴリズムを改良。作業環境の変化をセンサやデータベースから得られる情報で検出し、状況変化に応じて、インクリメンタルにプランを修正しながら実行する汎用的な「動的な前向きHTN (Hierarchical Task Network)プランニングエージェント(DynagentTM)」を開発した。

特徴:

- ◆ タスク分解のためのヒューリスティックスを記述できて実用的
- ◆ 複数の代替プラン群を継続的に保持・修正しながらの実行が可能
- ◆ 状況変化に応じ最小コストの代替プランに動的に切替え実行する
- ◆ プラン修正後に不要となったアクションの実行を中断する

インターフェース: OpenRTM-aist-1.0.0 (全てサービスポート)

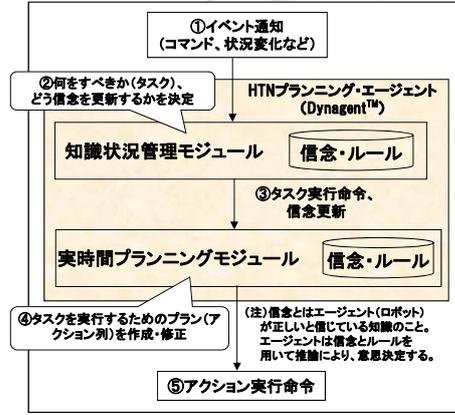


・知識状況管理モジュール
 入力: イベント通知
 出力: イベント監視命令

・実時間プランニングモジュール
 入力: アクション実行結果報告等
 出力: アクション実行命令等

プラットフォーム: Windows XP / Java(一般のPCで動作)

ライセンス(公開条件): 実行ファイルを無償で公開



プランニング処理の流れ

資料6 57/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (筑波大・富士ソフト)

公開



移動ロボット用基本知能モジュール化

概要:

移動ロボットのための地図生成、自律移動機能を実現するモジュール群

特徴:

- ◆ 地図生成(環境地図生成、経路地図生成)機能
 注: 走行範囲は人手で教示します。
- ◆ 自律移動(予め与えられた経路に従い目的地までの自律走行)機能
- ◆ 障害物回避機能
- ◆ 1km程度の屋外走行実績
- ◆ 核となるモジュールはC言語で開発し、移植性が高い

インターフェース:

(入力)経路指示(環境地図を参照し、人手で与える)

(入力)目的地

(出力)走行指示(並進、回転指示)

RTミドルウェアのバージョン: OpenRTM-aist-1.0.0

OS: Ubuntu 8.1.0

(GUIアプリケーションはQt4.5を利用)

ライセンス(公開条件):

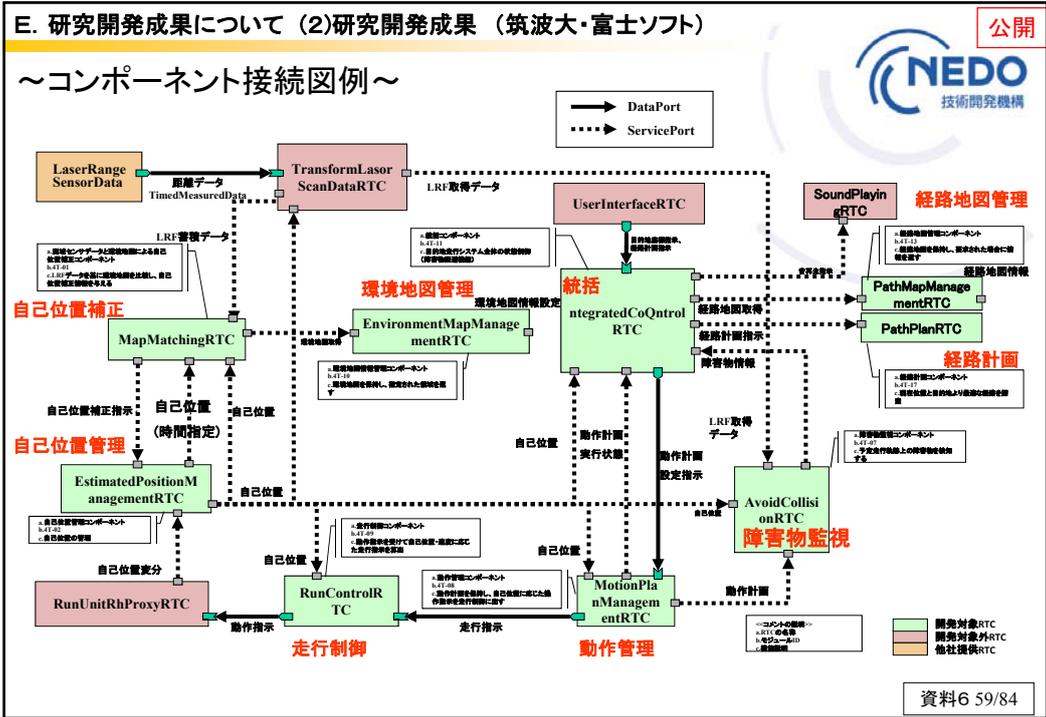
OSS(一部の版) GPLv3

バイナリ版 研究目的利用のみ



つくばチャレンジの実環境で動作確認実施

資料6 58/84



E. 研究開発成果について (2)研究開発成果 (筑波大・富士ソフト) 公開

モジュール群は以下の機能を実現します

1. 走行経路に沿って予め地図作成

※走行可能範囲を予め人手で操縦してセンサーで環境地図を作成します。

2. 環境地図補正・経路地図作成

※環境地図補正とは、センサーで写ったノイズや、ロボット走行時に変化する環境部分を削除するような編集機能です。(GUIアプリケーション)
経路地図は、ロボットが移動する経路とその付加情報(道幅指定、通過速度指定)です。

3. 目的地まで自律走行

人又は他システムより目的地が与えられると、最適な経路を求め自律走行いたします。(途中障害物等が走行範囲にある場合は回避します。)

コンポーネント一覧

項番	モジュール(コンポーネント)名	概要
1.	自己位置管理	自己位置の管理
2.	測域センサデータと環境地図による自己位置補正	予め用意した環境地図と外界センサの補正情報を基に自己位置補正情報を生成する
3.	環境地図管理	環境地図の管理を行う
4.	障害物監視	予定走行軌跡上の障害物の監視を行う
5.	経路地図管理	経路地図の管理を行う
6.	経路計画	経路探索による最適な経路を計画する
7.	動作管理	適切な地点での走行指示を発行する
8.	走行制御	走行指示を基に現在の状態で最適な走行制御を行う
9.	統括	システムの統合管理をおこなう

資料6 60/84

ステレオ画像処理ハードウェア(富士通)

■ ステレオマッチング、動き計測をLSIでハードウェア処理



ステレオマッチング

コーナー特徴抽出(2852点)
ステレオ探索範囲0~63画素
処理時間: 29 ms



動き計測

オプティカルフロー(4000点)
探索範囲:-8~+7画素
処理時間 19ms

ステレオ画像処理ハードウェア(富士通)

■ 小型・低消費電力・高性能なステレオ画像処理ハードウェアを開発。

富士通九州ネットワークテクノロジーズ(株)で**製品化して一般販売中**



製品名: ステレオビジョンモジュール

	ステレオビジョンモジュール	Core2Duo
動作周波数	LSI 200MHz CPU 666MHz	3.0GHz
消費電力	13W	75W
正規化相関	7575回(10.3)	735回(1.0)
性能/電力比	59.9	1

- ロボット全体の電力/規模を大きく増やさずに、実時間画像処理機能をロボットに搭載できる

■ 本ハードウェアをOpenRTM-aistで広く活用するための環境を提供

- 本ハードウェアを活用した画像処理機能を簡単に利用するためのRTC群を開発
 - ◆ 3次元計測、顔検出、運動障害物追跡等の画像処理RTC群(富士通)
 - ◆ 3次元運動分離認識モジュール(東京大学)
- 本ハードウェアを活用したRTCをユーザが独自開発する環境も用意
 - ◆ ハード機能を活用した画像処理ライブラリ、RTCのコンパイル方法を用意
- ライセンス: 自社製品(ステレオビジョンモジュール)購入者に提供

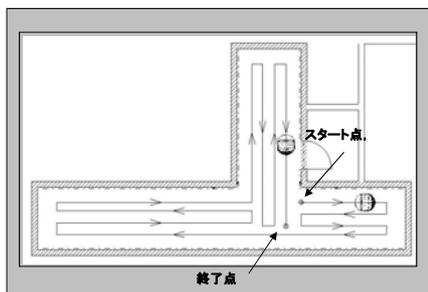
走行プログラム自動生成システム

概要

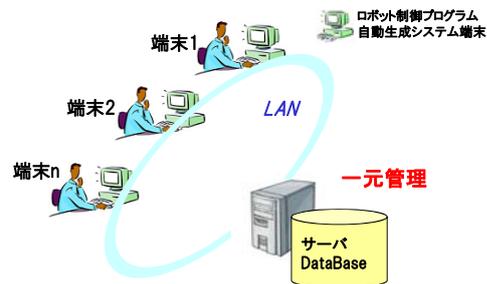
CADと連携し、建物の図面に経路地図を入力することで、モジュールを自動的に選択し、走行プログラムを自動生成

モジュール開発の意義

- ・オフィスビルでは、レイアウト変更がたびたび実施される。移動ロボットが対応できる。
- ・サービスロボットは、人的コストとの比較で導入が決定される。プログラム作成費用の削減に対応できる。



CAD上での走行経路入力画面



システム構成

資料6 63/84

強調できる点

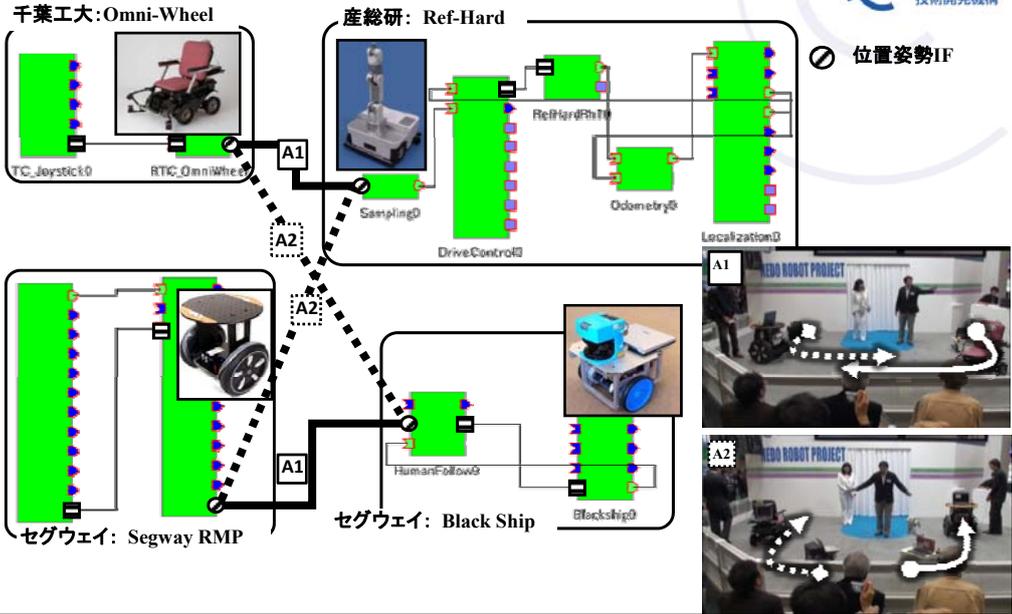
- ・RTMの再利用性が向上
→新規開発ロボットプログラム開発時間 90%減
(農業用薬液注入口ロボットでの実績)
- ・オフィスビルや空港等で、経路変更が発生しても容易に対応でき、更に人手の介在が最小限になるため、人為的ミスが減少
→品質、安全性の向上
- ・プログラム知識の無い方でも作成可能
→中部研修センター(愛知県豊田市)への清掃ロボット導入時には、プログラマーではない方も作成
プログラム作成費用が、約1/3に減少
- ・ユーザ側でも経路変更等が可能
- ・サーバでの一元管理により、メーカ管理プログラムと現場のロボットに実装されているプログラムの差異がなくなる

資料6 64/84

E. 研究開発成果について (2)研究開発成果(芝浦工大・セグウェイコンソ)

公開

共同実証実験のモジュール構成: 追従対象ロボット切替



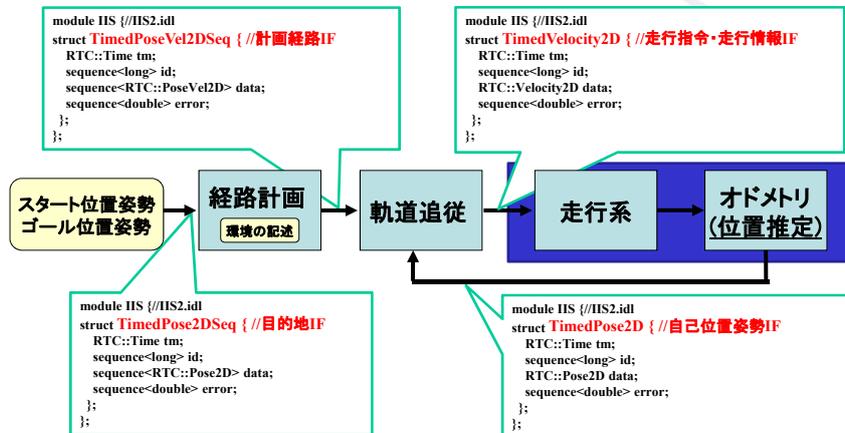
E. 研究開発成果について (2)研究開発成果(芝浦工大・セグウェイコンソ)

公開

「再利用性が高いモジュール(I/F)」
”移動ロボット共通インターフェース(I/F)”



概要: 移動知能モジュールの再利用性、交換性を実現するため、移動値のモジュール群の標準構成を定義し、モジュール間インターフェースの共通化を行った。また、複数の研究機関による共同実証実験による検証を通して共通インターフェースを改良、拡張した結果、移動知能モジュールの再利用性や交換性が向上したことを示した。





基本計画の最終目標

コミュニケーション知能の全てのモジュールを搭載したロボットシステムが、**3種類以上の実用的なタスク**((a-1)、(b)を含む)を実行し、**タスク達成率70%以上、ユーザ満足度70%以上**を実現する。

- (a-1) BGM や人の話し声が聞こえる、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設において、顧客からの商品に関する**質問の聞き取り**や**商品説明**を行う対話が可能であること。
- (b) タスク内での**対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションは、少なくとも200以上**とする。

次の2実証実験を行い、最終目標を達成

実用的なタスク
①商品説明
②売り場案内

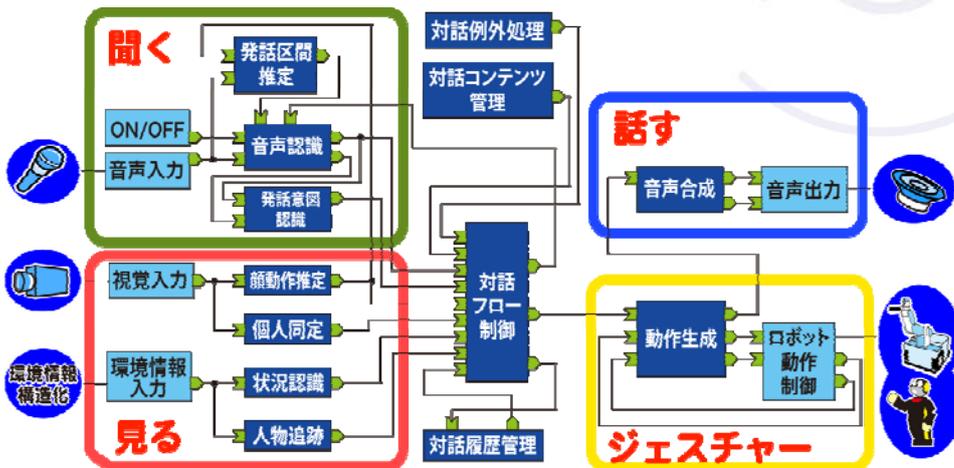
店舗内サービス実証実験1

実用的なタスク
②道案内
③商品案内

商業施設内サービス実証実験2



受付、商品説明、道案内を実現するために、**見る、聞く、話す、ジェスチャーに関するモジュールを開発**



E. 研究開発成果について (4) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

公開



知的財産等(年度推移)

領域	特許 (出願)	研究発表 (論文誌、学会誌、口頭発表)		報道	
		国際研究発表	国内研究発表	新聞・雑誌	展示会
H19~21	50(0)	55	336	119	57
H22	13(7)	53	172	44	5
H23	5(0)	51	99	60	11
合計	68(7)	159	582	223	73
		766			

括弧内は国際特許(内数)

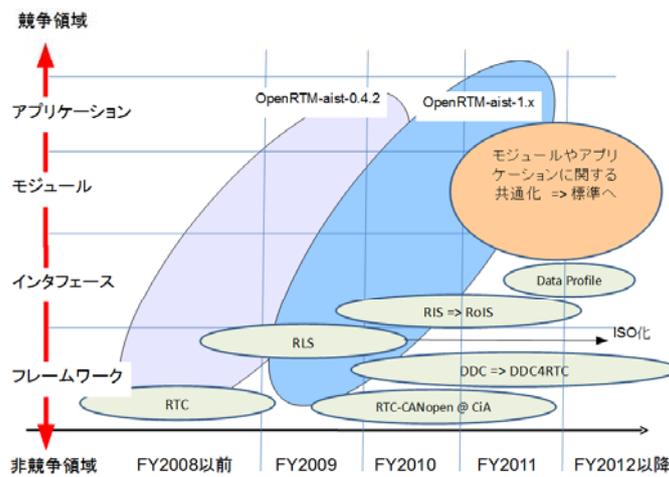
E. 研究開発成果について (4) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

公開



標準化の取組、国際化戦略

標準化の進捗とロードマップ





標準化の取組、国際化戦略

OMG (Object Management Group) での活動

- 1) RTコンポーネントモデル
理事会正式承認(H19.12)
標準仕様書公開(H20.5)
- 2) RLS (Robotic Localization Service: ロボット用位置情報標準)
最終案承認 (H21.6)
現在はSO/TC 211(Geographic Information/Geomatics)での標準化活動を進めている
- 3) RoIS (Robotic Interaction Service: 人—ロボット相互作用サービスの枠組)
最終文書化委員会 (Finalization Task Force)を組織。最終報告書提出予定(平成24年6月)
今後RoIS 1.0として発行される見込み
- 4) DDC4RTC (Dynamic Deployment and Configuration for RTC: 動的デプロイメント(コンポーネントのノードへの配置)と、コンフィギュレーション(RTCの各種パラメータや接続の設定)を行うための標準規格)
標準仕様案を提出予定(平成24年6月)



標準化の取組、国際化戦略

CiA (CAN in Automation) での活動

- RTC-CANopenの標準仕様
Service Robot SIG(議長: 芝浦工大水川先生)を設立、標準仕様化策定作業を実施した。
- 1) CiA318: Implementation guideline -Mapping of RTC to CANopen-
RTC側から見たRTC-CANopenの要件を規定した仕様
 - 2) CiA460: Service robot controller profile -NMT master application and CANopen device proxies-
CANopenの側から見たRTC-CANopenの要件を規定した仕様
- DSP(Draft Standard Proposal)として、発行された(平成24年2月10日)



成果普及

国際ロボット展2011にて
・知能モジュールの統合検証の成果発表
・カタログ配布による普及への取組
を動作デモンストレーションを交えて実施した

日時：
平成21年11月9～12日
会場：
東京ビッグサイト

ブース来場者：10,000名以上



資料6 73/84



成果普及

国内外の学術講演会、学会で成果を発表した
(下記は発表を行った主な学会)

国内学会学術講演会

- ・日本ロボット学会
- ・ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH)
- ・計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会

国際学会

- ・IROS
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
- ・ICRA
IEEE International Conference on Robots and Automation

日本ロボット学会誌で特集号を発行(予定含む)

- ・「使えるRTミドルウェア」特集号
平成22年6月発行
- ・次世代ロボット知能化PJ特集号
平成25年1月発行予定

資料6 74/84

F. 実用化の見通しについて（全体）

個別の実用化の見通しは、
午後の詳細説明にて説明

資料6 75/84

F. 実用化の見通しについて (1) 成果の実用化可能性

本プロジェクトにとっての実用化とは

第1ステップ

- ・実用的な**知能モジュールの多数の蓄積**
 - ・**十分な性能・機能、再利用性**を有するモジュールとして検査済であること
- ・モジュール開発を実現する**設計環境の開発**
 - ・**開発環境と試験環境**を作ること

第2ステップ

知能モジュールおよびモジュール構成法の**提供**

- ・提供のための仕組み（**蓄積・提供環境**）を作ること。
- ・カタログやマニュアルなどのドキュメントを整備し、提供すること。

第3ステップ

広く**普及**させること

- ・本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること

本プロジェクトにとっての実用化とは

第1ステップ

- ・実用的な**知能モジュールの多数の蓄積**
 - ・**充分な性能・機能、再利用性**を有するモジュールとして検査済であること
- ・モジュール開発を実現する**設計環境の開発**
 - ・**開発環境と試験環境**を作ること



- 1) 開発した知能化モジュールの全検査を実施した(再利用コンソ)
- 2) RTコンポーネントビルダ、RTシステムエディタ、RTShellなどの開発と提供

5.1.1および5.1.2で別途報告

本プロジェクトにとっての実用化とは

第2ステップ

知能モジュールおよびモジュール構成法の**提供**

- ・提供のための仕組み(**蓄積・提供環境**)を作ること。
- ・カタログやマニュアルなどのドキュメントを整備し、提供すること。



- 1) 知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」をH21年11月に開設した。
- 2) 一部の知能化モジュールについてドキュメントを作成した。

5.1.2および5.2.3で別途報告



本プロジェクトにとっての実用化とは

第3ステップ

広く普及させること

・本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること



1) リファレンスハードウェアの販売 (前川製作所製: 2012年10月頃発売予定)

2) 組込機器へのRTミドルウェア開発

3) 安全認証RTMの販売開始 (5月8日(株)セックより発売開始)

2)および3)について

5.2.2および5.2.3で別途報告



産総研における保守対応について

OpenRTM-aist:

(URL: <http://openrtm.org/>)

- ・MLやWeb上に設置したフォーラム等でユーザからの質問等に対応を実施中
- ・バージョンアップや不具合の修正に関しては利用者コミュニティ等の協力で進めている

OpenRTC-aist:

(URL: <http://openrtc.org/>)

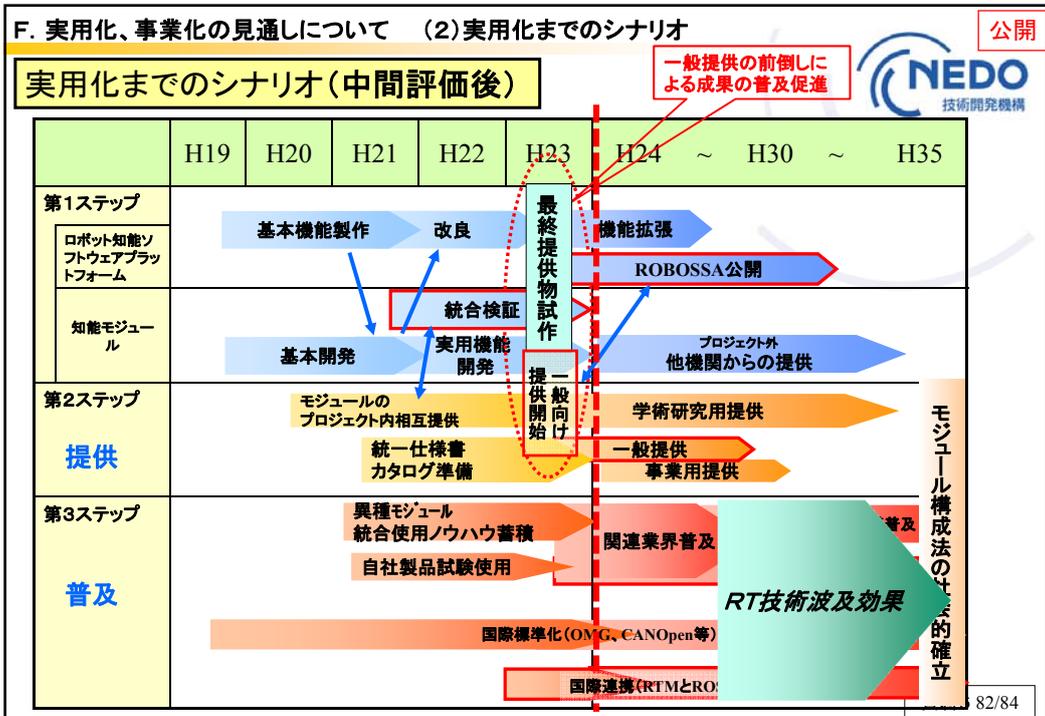
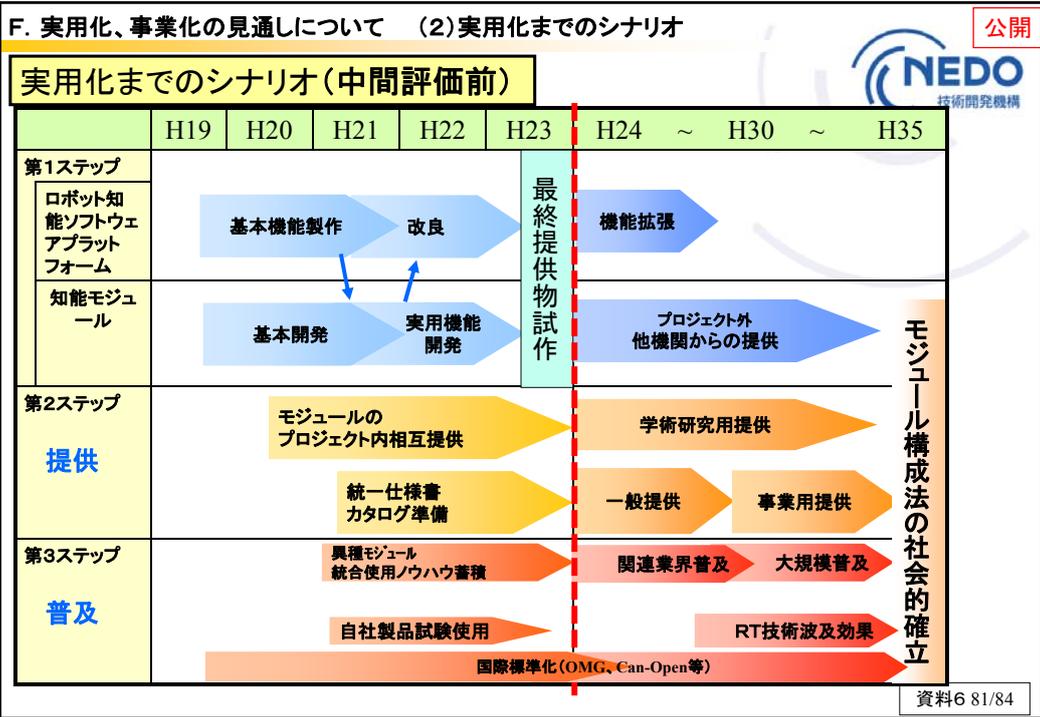
- ・OpenRTM-aistのバージョンアップ、OSのバージョンアップに対する対応を実施予定
- ・利用者コミュニティの形成やMLの準備を進めている



OpenRTM-aistのWebサイト



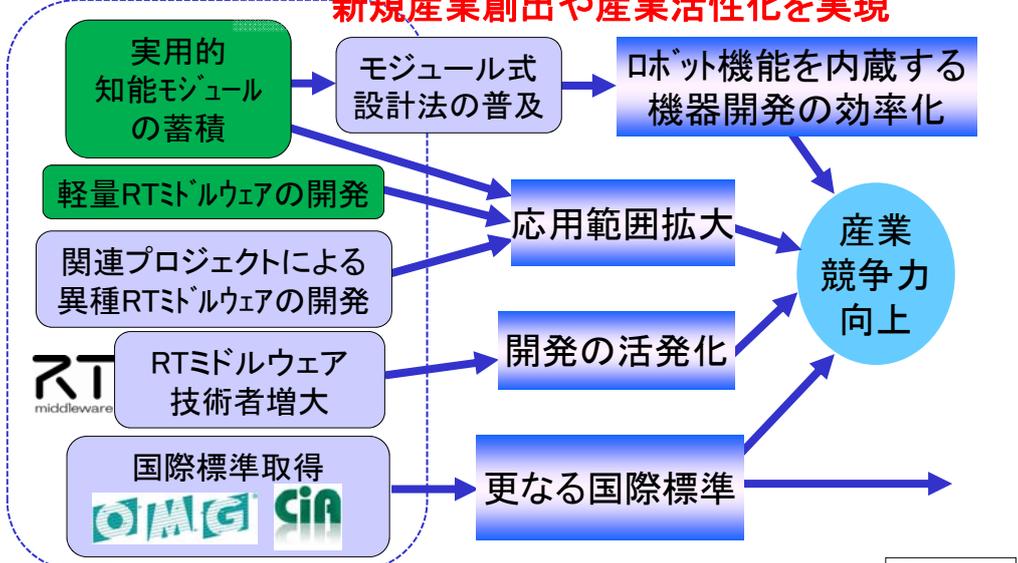
OpenRTC-aistのWebサイト



F. 実用化の見通しについて (3)波及効果

波及効果

次世代ロボット技術が広い製品分野に波及し、
新規産業創出や産業活性化を実現



公開



ご清聴ありがとうございました。

RTC再利用技術研究センターの成果について

開設期間:

平成21年1月～平成24年2月(秋葉原ダイビル13階)

成果:

- ・当初の目的は達成した。
検査モジュール数:346
→本プロジェクトで開発した全モジュールの検査を実施した
各社知能モジュールの混合使用実験
→異事業体によるモジュールの接続性検証やモジュール単位
の交換性検証を実施し、成果をWeb上で公開した

今後の予定について:

- ・再利用技術研究センターの役割を行う体制については実施者を含めて検討中。

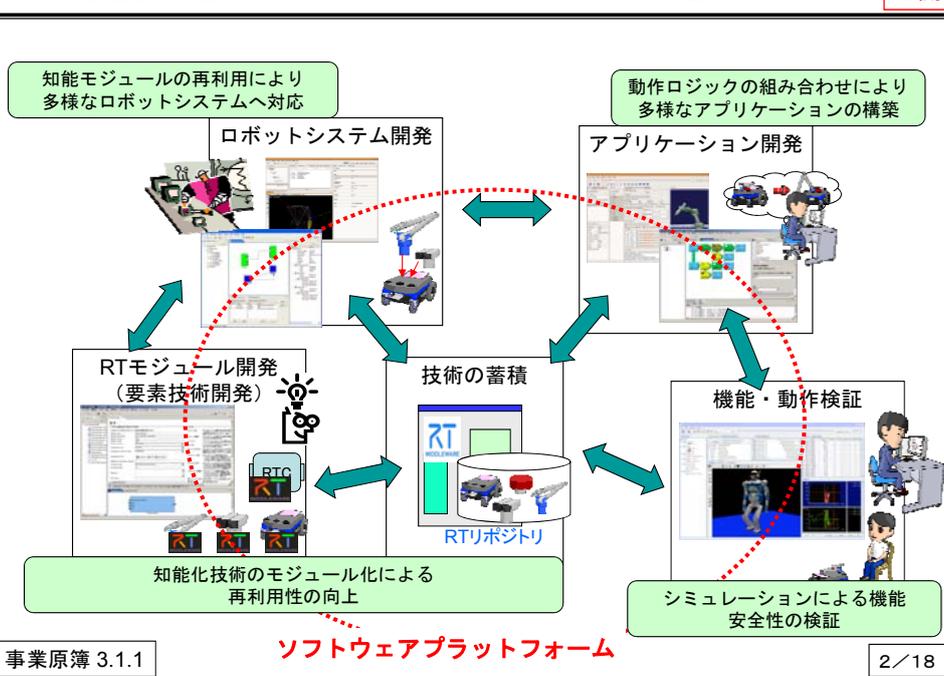
経済産業省
ロボット・新機械イノベーションプログラム
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
事後評価分科会資料

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発
ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発

(独)産業技術総合研究所、日本電気(株)、
(株)セック、ゼネラルロボティクス(株)、
(株)前川製作所、国立大学法人 東京農工大

1. 研究開発の概要 (1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム概要

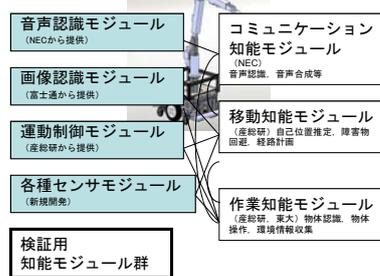
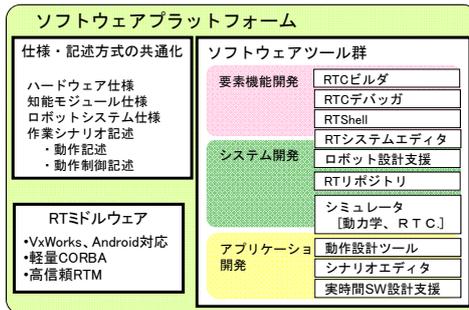
公開



1. 研究開発の概要 (1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム 開発項目 公開

- 次世代ロボットシステム開発のための開発環境
 - 仕様の共通化およびモジュール化による再利用性の確保
 - 要素機能・システム・アプリケーションの開発を統合支援するツール群
- ソフトウェアプラットフォームの検証
 - 検証用ロボットシステム
 - 介助犬の作業を想定した知能モジュール群
 - 電動移動台車とマニピュレータをモジュール化し装備したリファレンスハードウェア

H21年度に検証用システムの研究開発は終了



- プロジェクトで開発されたRTCのドキュメント作成
- 統合検証ロボットシステムの支援

3. 研究開発成果について (3) 目標の達成度 公開

研究課題	最終目標(平成23年度末)	達成内容	達成度
ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム	次世代ロボットシステム応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて 効率よく実施されること	<ul style="list-style-type: none"> ・統合開発環境であるEclipse上に実装することで、すべての作業をシームレスに実現できるように設計し、ツール群の基本機能を達成している。 ・rtshellによるCUIベースの開発もサポート。 ・ホームページ、ML、フォーラム等を利用した開発支援 ・講習会などを実施し、ツールの利用を推進 	◎
	本プロジェクトで開発される、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールのすべてが、 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること	<ul style="list-style-type: none"> ・リファレンスハードウェアの開発 ・検証用知能モジュール群による検証を実施。 	◎
	次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、 ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること	<ul style="list-style-type: none"> ・RTリポジトリを中心とした、知能モジュール群の再利用環境の構築。 ・ロボット知能ソフトウェアプラットフォームのツール群を活用し統合ロボットシステム開発支援(加速案件のベースロボットシステムのコントローラの開発) 	◎

3. 研究開発の顕著な成果 (AIST)

公開

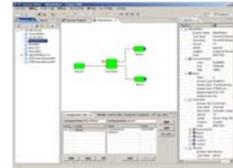
• RTコンポーネントビルダ

- コンポーネント基本的仕様を入力とし、コンポーネントの雛形コードを自動生成
(C++, Python, Java, .NET対応)
- OMG標準仕様準拠の初のRTC統合開発環境



• RTシステムエディタ

- コンポーネント間の静的接続を作成する
- コンポーネントの状態の制御
- 動的なシステム構築を可能にし、世界最高水準の開発環境



• RTShell

- コマンドラインでRTコンポーネントやRTシステムが制御可能
- スクリプト等でRTCやRTSの管理、テストを自動化可能

•RTコンポーネント開発とロボットシステム開発の基本となるツール群
•プロジェクト内外で多くの利用者あり

事業原簿 3.1.1 ①(b-1),(b-3)

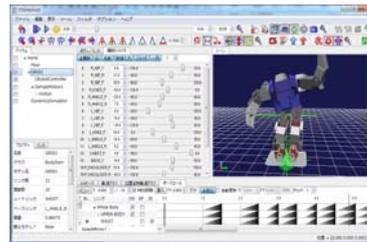
5/18

3. 研究開発の顕著な成果 (AIST)

公開

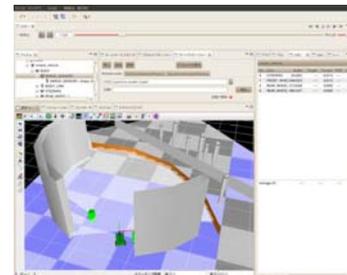
• 動作パターンツール

- キーフレームによる動作パターンの作成機能
- プラグイン機能拡張により、様々な機能拡張
 - 独自の動作生成アルゴリズムの組込
 - 動作指令用インターフェース(把持動作計画モジュールなど)
- フルC++実装による高速動作



• 動力学シミュレータ

- ロボットに搭載されたカメラやレンジセンサ、力センサなどの各種センサのシミュレーションが可能
- Eclipseプラグインとして実装されたユーザインタフェース
- ロボットや環境モデルはVRML97で記述
- 移動ロボットの経路計画を行う移動動作設計ツールを内蔵
- シミュレータを構成する運動学計算、動力学計算、干渉検査機能などをC++のライブラリとして提供



事業原簿 3.1.1 ②(b),(C)

6/18

- RTコンポーネントデバッガ
 - RTコンポーネントのテストツール
 - RTコンポーネントの**テスト効率向上、品質向上**に寄与。
- RTミドルウェアの各種OS/言語対応
 - .NET対応RTミドルウェアOpenRTM.NET
 - **学習や導入が容易**でRTミドルウェアの裾野拡大に貢献。
 - VxWorks版RTミドルウェア
 - 安川電機のロボットアーム、移動台車に適用。商用のリアルタイムOSに対応し、**産業用ロボットへの適用**も可能。
 - Android版RTミドルウェア
 - ロボットの**遠隔操作・監視**端末、**センサネットワーク**への応用が期待できる。
 - 機能安全対応RTミドルウェア
 - IEC61508の製品認証(予定)に対応した**世界初の機能安全対応**ミドルウェア。(詳細については別途報告)



- RTコンポーネントシミュレータ
 - 各種センサのRTコンポーネントおよび、OpenHRP3上で動作するセンサシミュレータを開発
 - 距離センサ、加速度センサ、力覚センサ、ネットワークカメラ、GPSセンサなどの**汎用的なセンサのRTコンポーネント**を提供。



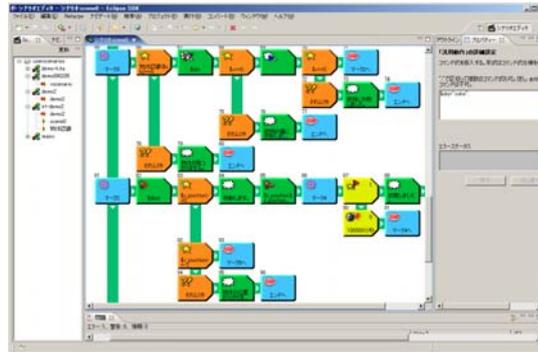
- 分散型データベース
 - RTコンポーネントやRTシステムの仕様と実行バイナリを格納・提供するRTリポジトリを開発
 - OMGのDDC4RTCのRepositoryManagerの仕様として**標準化提案**を実施。

3. 研究開発の顕著な成果 (NEC)

公開

シナリオエディタ

- 複数のRTコンポーネントを使役するアプリケーションを作成するためのロボット作業シナリオの編集機能とその実行機能を提供
- ブロックを組み合わせることでプログラムの知識の無いユーザでも簡単にロボットの作業を組み立てていくことができる。
- RTCを使役するロボットアプリケーションの開発を容易にする。小規模（簡単なデモ）から中程度（大量だが定型的な業務）の開発に適する。
- シナリオ実行系と接続するためのRTミドルウェアの上位ライブラリも実現



事業原簿 3.1.1 ②(a)

3. 研究開発の顕著な成果 (GRX)

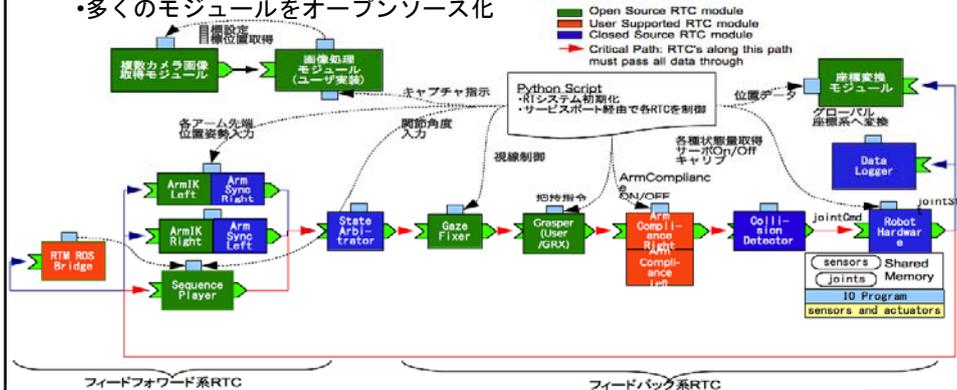
公開

双腕ロボット用ソフトウェアコントローラ

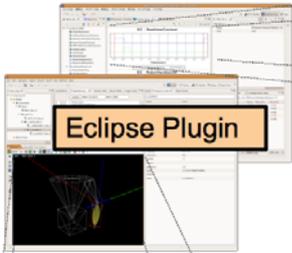
- 再生動作の中途切り替え機能
- RTMの強みを生かした実時間動作
- RTM-ROS相互乗入れに対応
- 多くのモジュールをオープンソース化

ライセンス

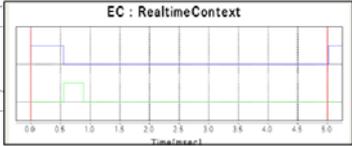
- 国内外に販売予定
- オープンソース部分については非商用利用の場合はEPL1.0を適用



事業原簿 3.1.1 ②(e)

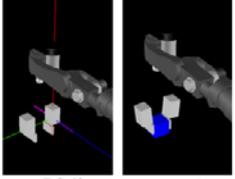


■ 実時間ソフトウェア設計ツール



- OS付属プロファイラの簡易代替ツール
- 実時間処理部の挙動を可視化
- 非商用利用についてはEPL1.0を適用

URL: <http://openrtm.org/openrtm/ja/project/rtswconfigurator>



試作 テスト

■ ハードウェア設計支援ツール

- 簡易モデルの作成
- シミュレーション上でのテスト
- 実機作成前の仕様検討に利用
- OpenHRP3と共にオープンソース化済み(EPL1.0)

URL: <http://code.google.com/p/openhrp-aist-grx/>

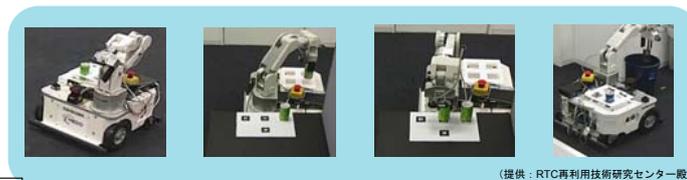
・リファレンスハードウェア

・ロボット知能ソフトウェアの検証のための標準プラットフォームとして開発

- ・シリアルリンク型6軸マニピュレータユニットと電動台車ユニットで構成。
- ・マニピュレータユニットはモータ用制御機器をすべて本体に内蔵させてモジュール化。電動台車ユニットと分離して個別に運用可能。
- ・マニピュレータユニット、台車ユニットともに80W未満のモータを採用。



- ・試作1号機～3号機を合計18台開発し、産総研、RTC再利用技術研究センターをはじめ知能化PJ参画機関（合計9機関）に貸与。
- ・RTC再利用技術研究センターが実施した「統合検証RS001～003」でも採用。



(提供：RTC再利用技術研究センター股)

4. 成果普及活動等について

公開

(独)産業技術総合研究所

- プロジェクト内外に対する利用者の拡大
 - オープンソースライセンスによるソフトウェアの公開
RTCビルダ、RTSエディタ、RTShell、OpenHRP3: EPL
Choreonoid、OpenRTM-aist: LGPL
 - 学会発表、講習会等による普及活動の継続的实施
- オープンソースRTコンポーネントの維持
 - プロジェクトの成果であるオープンソース版RTCのうち、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の各パッケージの作成とOS, RTMのバージョンアップへの対応
 - 利用方法のドキュメントの作成、HPの公開と維持
- OpenRTM-aistの継続的な研究開発
 - RTミドルウェアに関して高機能化、高信頼化に向けた研究開発の継続
 - OMG等への標準化活動の継続

13/18

5. ソフトウェアのダウンロード実績

公開

OpenRTM-aistおよび開発ツール

2012/02/05 現在

	2008	2009	2010	2011	2012	合計
C++	4978	9136	12049	1851	253	28267
Python	728	1686	2387	566	55	5422
Java	643	1130	685	384	46	2888
Tool	3993	6306	3491	967	39	14796
合計	10342	18258	18612	3768	393	51373

OpenHRP3:

ダウンロードフォームアクセス数 (ダウンロード数に相当) : 7493

Choreonoid:

Choreonoid (1.1 および1.0合計)	659
choreonoid-1.1.0.zip	157
Choreonoid-1.1.0-win32.exe	53
choreonoid-1.0.0.zip	340
Choreonoid-1.0.0-win32.exe	109

14/18

株式会社セック

- 成果のライセンス形態
 - 開発したミドルウェア、ツール、RTコンポーネントについては、非営利・非商用での利用に限り、実行形式で無償提供。商用利用については別途、保守契約などを個別に応相談。
 - ミドルウェア: OpenRTM.NET、VxWorks版RTミドルウェア、Android版RTミドルウェア
 - ツール: RTCデバッガ
 - RTコンポーネント: センサRTコンポーネント(距離センサ、加速度センサ、力覚センサ、ネットワークカメラ、GPSセンサなど)
 - 機能安全対応RTミドルウェアについては、製品として販売予定。
- 成果の実用化の可能性
 - ロボットの事業化支援
 - RTミドルウェアやRTコンポーネントの提供/保守、コンサルなどをおこない、RTミドルウェアを適用したロボットの事業化を目指す企業の支援をおこなう。
 - 機能安全ロボット開発/支援
 - 生活支援PJの参加企業などを中心に、機能安全対応RTミドルウェアの対応、機能安全ロボットの開発やコンサルをおこなう。

日本電気株式会社

- シナリオエディタ: OSSとしてリリース済み(1/17)である。詳細な英文マニュアルも付帯しており、広く一般の利用に委ねることで普及を狙う。
- シナリオエディタ(シナリオプレイヤー、ライブラリなどを含む)は、オープンソースライセンスである EPL を採用している

ゼネラルロボティクス株式会社

- 双腕ロボット
 - 国内外研究機関向けに販売
 - 販売済みの他機種ロボットにも随時適用
 - 安価な単アームロボットも販売予定
- 実時間ソフトウェア設計ツール
 - 弊社サポートの各種ロボット向けに試用開始予定
- ロボットハードウェア設計支援ツール
 - 双腕ロボット等の把持部設計での活躍



各種ロボット向けの制御ソフトウェアの販売・サポートを軸に、OpenRTMの普及、ツール群の開発を継続し、GoogleForumの利用やワークショップを開催する事で、アクティビに情報交換を行っていく予定。



株式会社前川製作所

○リファレンスハードウェアの事業展開について

プロジェクト終了時点（前川製作所は先行して2011年3月で終了）では、社内の組織・体制で販売することを検討したが、社内で検討を重ねた結果、経験豊富なロボット販売会社とパートナーシップを結んで販売する方針に転換。
株式会社アールティを国内総代理店として、2012年10月より販売開始。現在予約受付中

製品名：OROCHI
価格：3,675,000（税込）



17/18

•ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム

- ツール群を開発し、プロジェクト内外においてRTCの開発に利用されている
- AndroidやVxWork、.NET等への対応により様々なプラットフォームへ対応
- 高信頼RTMを開発し、次世代ロボットの安全機能へ対応

•知能ロボットプラットフォームの統合検証

- プロジェクト内の知能モジュール検証用としてリファレンスハードウェアを開発。
 - プロジェクト終了後に市販化を予定
- 加速案件のロボットプラットフォームである双腕ロボットに対するシステムソフトウェアの開発
 - 市販ロボットにも対応済み

18/18

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」 (事後評価)

「ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発」 (公開)

2012年6月22日

独立行政法人産業技術総合研究所
富士ソフト株式会社



1/14

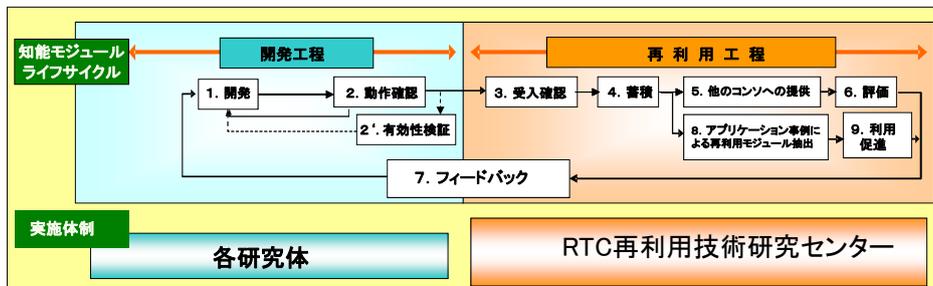
研究開発の概要

公開

～目的～

次世代ロボットを普及・発展させるため、単に高度な知能モジュールを開発するだけでなく開発された知能モジュールを再利用できる形で提供することが、重要である。

再利用化推進体系



研究開発の概要

公開

～研究開発項目～

知能モジュールの再利用性を実現するために、以下の研究開発を行う。

①「高品質な開発手法」の検討と推奨

⇒ドキュメント書式の周知・展開

②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する

内部ウェブサイトの構築

③「再利用性試験プラットフォーム」の構築

④「典型的応用例と組換え検証」の実施

⑤「一般公開用Webシステム」の構築

研究開発の概要

公開

～実施計画書・研究開発項目内容(1/2)～

研究項目	概要
①高品質な開発手法	知能モジュール開発工程において、再利用性の高い高品質ソフトウェア群の開発を支援するために、 標準書式や標準的开发手法を検討 し、再利用WGと協議の上、各研究体に推奨する。また、再利用性あるモジュール開発を実現するために、 モジュールの標準的な機能やインターフェースをリファレンスRTCとして検討 し、各研究体に仕様の叩き台として提供する。
②蓄積・受入確認・提供	次世代ロボットを普及させるためには、開発された知能モジュールを再利用できる形で提供することが重要であると考えている。その為、知能モジュールを蓄積し、利用者へ提供する為の体系として、 情報を一元的に管理ができ相互に利用可能なウェブサイト の構築を行う。また、提供する知能モジュールが(一定以上の)使用に耐えることが前提条件となる。本プロジェクトでは、知能モジュールの品質確保を行うため、ウェブサイトへ知能モジュールを登録する際の 受入確認・動作確認 手順等の検討、実施を行う。
③再利用性試験プラットフォーム	ロボットシステムの再利用性を検証するには、各研究体固有のロボット上での検証だけでは、不十分であり標準的な検証環境を設定し、その環境にて動作させ、どれだけ汎用性があるかを評価することが効果的である。そのため、収集した知能モジュール群に対し、幅広く再利用性検証ができる標準的な検証環境を設計・構築を行う必要がある。また、構築された検証環境を用いて知能モジュールの再利用性検証を行うと共に、その環境自体の妥当性についても検証を行い、 再利用性標準検証環境 の確立を図る。

研究開発の概要

公開

～実施計画書・研究開発項目内容(2/2)～

研究項目	概要
④典型的応用例と組換え検証	本プロジェクトの究極の目的は、ロボットシステムを構成する様々な知能モジュールを、RTミドルウェアに基づく共通インターフェースを備えたRTコンポーネントとして揃え、それによって様々な研究体が作成した知能モジュールを他の研究体でも容易に再利用できる体系を構築することである。この目的を遂行するアプローチとして、実際にそのRTコンポーネントが使われるであろうアプリケーションをイメージし、そのシステム構成を分析し、そこで必要となる知能モジュールとしては、どのようなものがあるかを検討する、というトップダウンアプローチを行う。このような事例検討をおこなう中で、登録されたRTコンポーネントの再利用性を高めるためのキーとなる要素の抽出を行う。
⑤一般公開用Webシステム	これまで本プロジェクト全体では、非常に多くのRTコンポーネント(RTC)が開発され、これらを集積・検証しプロジェクト内部で相互利用するため、「RTC再利用技術研究センター」および「RTC再利用Webシステム」の運営が行われてきた。「RTC再利用Webシステム」に登録されたRTCのうち、一部はオープンソース化され、一般公開が可能となる見込みである。しかし、現在これらの公開可能なRTC群を一般ユーザが手軽に入手可能な場がなく、ドキュメントが十分でないといった問題が指摘されている。また、これまで各分野のサブワーキンググループ内での議論により、インターフェースやデータ型の共通化と、仕様の文書化が行われている。こうした貴重な仕様文書を一般に公開し、ユーザ間で議論、実システムへの適用による検証、文書の継続的改訂により、将来的な標準化へつなげることも重要である。これらコンポーネント、ドキュメント、仕様文書、ノウハウに関する文書等を集積し、一般ユーザと共有・発展させていくWebシステムを作成、本プロジェクトの成果を永続的に利用される形で残すための仕組みを構築する。

研究開発の目標

公開

～プロジェクト基本計画・最終目標～

◆ロボット知能モジュールの開発体制の整備

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

◆ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

- ①「高品質な開発手法」の検討と構築
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と相換え検証」の実施
- ⑤「一般公開Webシステム」の構築

研究開発の成果

～①高品質な開発手法～

公開

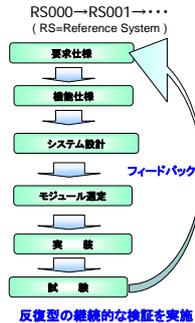
1) 検証システムの構築

モジュールの再利用性を高めるため、また、システムインテグレーションを行う上での問題点を洗い出すために、具体的なサービスロボットシステムを想定した統合検証(システム参考事例『来訪者受付システム』)を行った。

2) ドキュメントフォーマットの作成

1)の検証により、「ドキュメント不足」、また「複数のモジュールの交換性を保つための共通仕様が存在しない」、「RTC開発におけるルールやガイドラインが存在しない」などの問題点が明確になった。

その問題点に対し、その対策(各種ドキュメントフォーマット・サンプルの作成、モジュール間共通インターフェースの策定協力、ガイドラインの策定、実証検証)を行った。



3) 動作可能モジュールの蓄積・公開

3)の結果、動作可能なモジュール(ドキュメントを含む)231件を公開可能な状態にし、それらを使用するための雛形的なロボットサービスシステムを作成・公開。システム構築に必要なノウハウとして共通インターフェースやRTC開発ガイドラインを整備した。

<http://www.opentrm.org/opentrm/ja/node/4599>

- ①「高品質な開発手法」の検討と構築
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と相換え検証」の実施
- ⑤「一般公開Webシステム」の構築

研究開発の成果

～②蓄積・受入確認・提供～

公開

1) 蓄積・提供

知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」を平成21年11月に開設。合計362件の知能モジュールの登録が行われた。

No.	研究開発テーマ	登録モジュール数
①-1	ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	44
①-2	ロボット知能再利用性向上技術の開発	8
②	作業知能(生産分野)の開発	30
③	作業知能(社会・生活分野)の開発	52
④	移動知能(サービス産業分野)の開発	126
⑤	高速移動知能(公共空間分野)の開発	3
⑥	移動知能(社会・生活分野)の開発	52
⑦	コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	47
	合計	362

2) 受入確認

平成22年7月から運用を開始。以後プロジェクト内の実施者から登録された全数のモジュールについて受入確認/動作確認を実施。平成24年2月に全362件が終了した。

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

公開

研究開発の成果

～③再利用性試験プラットフォーム～

1) 再利用性試験プラットフォーム

既存のロボットを「再利用性試験プラットフォーム」として導入を実施。動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの策定を行った。

再利用性試験プラットフォーム



三菱重工 汎用ロボット PA10
 前川製作所 知能モジュール検証用リファレンスハードウェア (左:1号機, 右:2号機)
 千葉工業大学 搭載型移動ロボット
 セグウェイジャパン Segway RMP
 芝浦工業大学 RTC-CANopen リファレンスロボット (Beego)

2) 開発者へのフィードバック

検証においては以下の点に留意し、適宜フィードバックを行うことでソフトウェアモジュールとしての完成度を確保した。

- ✓ 各研究体のモジュールのソフトウェア上のバグチェック
- ✓ OpenRTM-aist-1.0 との整合性確認
- ✓ APIの整合性確認
- ✓ ドキュメンテーションの完備、質の向上

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組み換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

公開

研究開発の成果

～④典型的応用例と組み換え検証～

システム参考事例『来訪者受付システム』

概要:

RTCを用いたロボットシステムの標準的なものが必要と考え、リファレンスマodelに連携した実装を、来訪者の入館・退館における受付業務を主としたオフィスサービスを行う『来訪者受付システム』を事例として実施。

特徴:

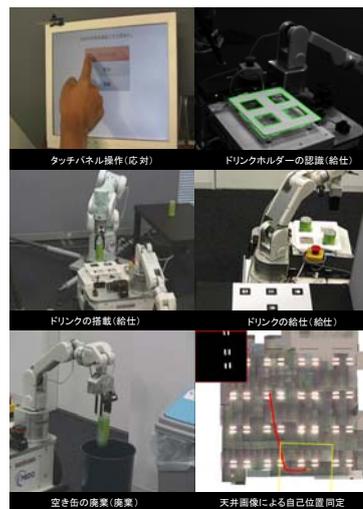
- ◆ 来訪者の入館・退館における受付業務を主としたオフィスサービスを行う。
- ◆ サービスは受付、給仕、廃棄、管理のサービスに分割され、各サービス毎およびサービス連動での動作を可能とする。

No.	名称	サービス内容
1	受付	訪問者の検知、端末操作による移動ロボットの呼び出し、担当者への連絡を行う。
2	給仕	来訪者に飲物を提供する。
3	廃棄	飲み終わった空き容器の回収・廃棄を行う。
4	管理	上記のサービスの状態管理や来訪者の入館・退館管理及び、各端末・ロボットの状態管理を行う。

- ◆ 7研究体48種類のRTコンポーネントを利用。
- ◆ ソースおよびドキュメント(RTC開発ガイドライン、仕様書、設計書、取扱説明書、その他マニュアル等)はRTCを用いたロボットシステム構築における雛形として公開中。

プラットフォーム:

OS : Ubuntu10.04LTS
 RTミドルウェア : OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE
 OpenRTM-aist-Python-1.0.0-RELEASE



タッチパネル操作(応対)

ドリンクホルダーの認識(給仕)

ドリンクの搭載(給仕)

ドリンクの給仕(給仕)

空き缶の廃棄(廃棄)

天井画像による自己位置 向き

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨
⇒ドキュメント書式の通知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

研究開発の成果

公開

～④典型的応用例と組換え検証～

本成果はOpenRTM-aistオフィシャルページにて公開中。

◆「来訪者受付システム」

http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO_Intelligent_PRJ_SYS001

また共通インターフェースに基づく本システムの移動機能と作業機能をリファレンスRTCとして切り出し、以下の通り公開中。

<作業機能>

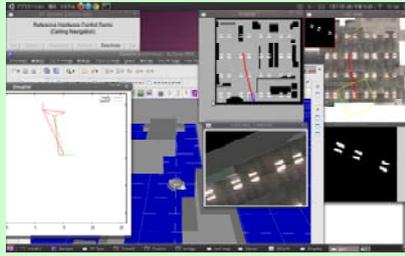
「ロボットアーム分解運動速度制御モジュール(ACT共通I/F対応版)」

http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID374

<移動機能>

産総研が取りまとめた基本的RTC群(移動機能)

<http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/OpenNavigation>



有効な知能モジュールを再利用することで、
利用者の機能ニーズに応じたロボットシステムを
短時間で構築可能であることを実証した。

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨
⇒ドキュメント書式の通知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

研究開発の概要

公開

～⑤一般公開用Webシステム～

本プロジェクト全体で開発されてきた多くの知能モジュールや、インターフェース定義、ノウハウ、ドキュメント等を集積・共有し、一般向けに公開するためのWebシステムの整備・構築を実施。平成23年7月27日に一般公開を行った。Webシステムの構築を行うとともに、「RTC再利用Webシステム」上に登録されている動作可能なモジュール(ドキュメントを含む)362件のモジュールについて機能分類、粒度の整理を実施した結果、231件を公開可能な状態にした。

URL: <http://openrtm.org/openrtm/ia/content/プロジェクト-0>



研究開発の成果

公開

～最終目標に対する目標の達成度(1/2)～

最終目標	成果	達成度
ロボット知能モジュールの開発体制の整備	<p>①知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」をH21年11月に開設。合計362件の知能モジュールの登録が行われた。</p> <p>②既存のロボットを再利用性試験プラットフォームとして導入を行ない、動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの策定を行い、H22年7月から運用を開始。以後受入確認/動作確認を実施。平成24年2月に全362件が終了した。</p> <p>③ロボットシステム開発の一例として開発対象を小さな機能に分割し、1つの機能を反復と呼ばれる短い期間単位で1つの機能を開発し、その反復のサイクルを継続して機能を追加開発していくような開発モデルであるアジャイル型のソフトウェア開発モデルを適用・実践し、有効性の検証を行った。その成果として各反復におけるソース、ドキュメント、ガイドライン等はプロジェクト内に公開。大学を中心とした研究体に波及し、モジュールの再利用性及び品質の向上に貢献した。</p> <p>上記の通り、開発手法、検証・蓄積方法の確立。当初の目的であった、RTC再利用技術研究センターを介して開発者、利用者間の情報提供・交換が活発に行われた。</p>	◎

◎:大幅達成(特筆すべき成果有り)、○:達成、△:一部未達、×:未達

事業原簿 3.2

12/14

研究開発の成果

公開

～最終目標に対する目標の達成度(2/2)～

最終目標	成果	達成度
ロボット知能モジュールの再利用環境の構築	<p>統合検証に適用したモジュールについて、その評価・要望を各研究体にフィードバックを実施。また統合検証における全てのドキュメント・プログラムについて、「再利用Webシステム」に併設する形で公開サイトを開設し、プロジェクト内部向けに公開。最終版については一般公開サイトに登録、公開を行った。</p>	◎

◎:大幅達成(特筆すべき成果有り)、○:達成、△:一部未達、×:未達

事業原簿 3.2

13/14

まとめ

公開

1)「知能モジュール・ライフサイクル」の達成

本研究では、知能モジュールの再利用性向上を目的として、知能モジュールの開発と検証試験、知能モジュールの蓄積・提供、普及促進、知能モジュール評価結果の開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の構築を目指し、本プロジェクト内においては十分に達成できたものと考えている。

2)ドキュメントフォーマットの作成

本プロジェクトで開発された知能モジュールを再利用し、リファレンスモデルに連携した統合システムの実装を実施。その成果としての各種ドキュメントフォーマット、ガイドライン等は大学を中心として、プロジェクト内に波及。モジュールの再利用性及び品質の向上に貢献した。

3)モジュール共通インターフェースの策定

本プロジェクトに参画する企業・大学・研究機関の中で議論し、策定された知能モジュール共通インターフェースも平成24年2月24日に一般公開された。これにより開発者が共通インターフェースに準拠したモジュールを開発することで、既存の知能モジュールとの相互接続性が確保され、ロボットシステムの開発が容易になることが大いに期待される。

4)モジュールの一般公開

本プロジェクトにおいて、各研究機関が開発し、登録された合計362件のうち、231件のモジュールを平成23年7月27日に一般公開を行い、以降国内外において大学・研究機関を中心に徐々にユーザーが増え始めている状況である。

5.1.3 有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

パレタイジング作業



産業技術総合研究所

東京大学

豊橋技術科学大学

東北大学

アソート作業



奈良先端科学技術大学院大学

大阪大学

東京理科大学

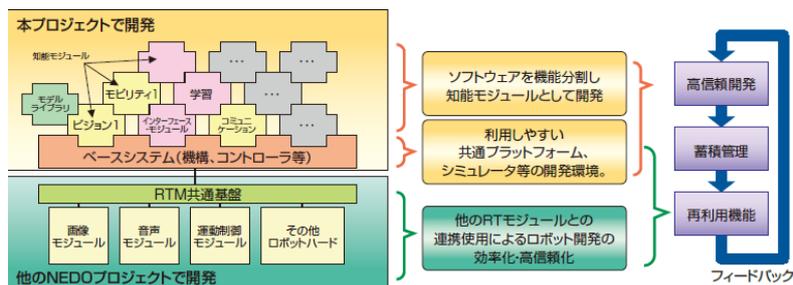
筑波大学

産業技術総合研究所

2012/06/22

公開

有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～



オープンソース作業知能モジュール
を組み合わせた2種類の作業の実証

産業応用

サービス
産業応用



基本計画最終目標

1. ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

以下2. にて開発する知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行うとともに、検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。

2. モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行って、その成果である 知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供(有償を含む。)する。

3. 有効性の検証

上記1. 及び2. に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用(再利用)できる形で可能な限り広範囲に提供(有償を含む。)する。

本課題の目標

- **再利用性**
 - 作業知能モジュール群を、オープンソースソフトウェアで再利用性を考慮して開発
- **有効性**
 - 双腕ロボットHiroNXを用い、マニピュレーション作業を実証
- **体系性**
 - モジュール群だけの公開でなく、システム情報も公開

新たに8機関(9グループ)でコンソを構成

- **テーマ1:パレタイジング作業** 産業応用をイメージ
- **テーマ2:アソート作業** サービス産業応用をイメージ

有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

産業応用

パレタイジング作業



産業技術総合研究所



東京大学



豊橋技術科学大学



東北大学

「パレタイジング作業」の目標

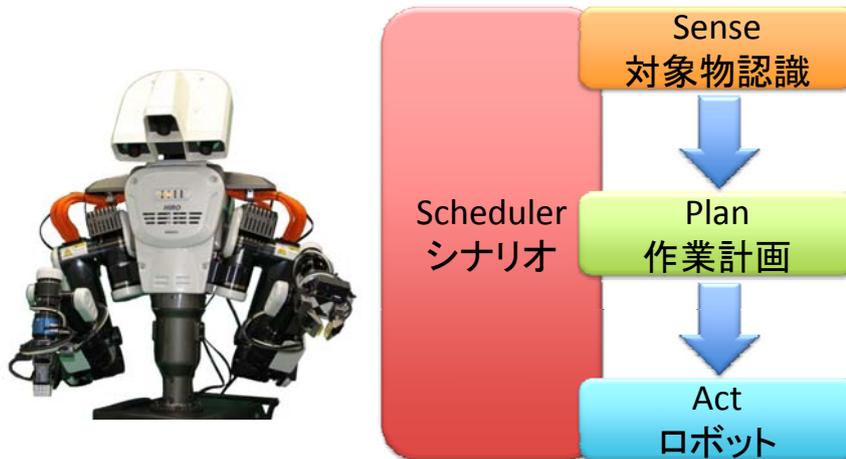
双腕ロボットによる工業部品などに対する

- ハンドアイベースのマニピュレーション作業の実現
- 作業知能モジュール群を
 - オープンソースソフトウェア で開発
 - 目的に応じて入替ができる形式
- モジュールだけでなく、システム情報も公開



作業例: ピッキング、パレタイジング、搬送など

作業知能モジュール群



作業サブWGで検討したモジュール体系、IFを活用

研究開発項目

- ① テクスチャ特徴が少ない部品を検出するために必要な、対象物検出モジュールの開発
- ② 部品をピックアップするために必要な、把持計画モジュール、動作計画モジュール、動作制御モジュールの開発
- ③ 双腕の特徴を活かした組み付け動作などに必要な、動作計画モジュール、双腕協調制御モジュールの開発
- ④ パレタイジングするために必要な、動作制御モジュールの開発
- ⑤ 作業用ロボットと搬送車の状態の監視と作業指示、情報交換などを行うための搬送用統合制御モジュールの開発
- ⑥ 全体の作業を統括するために必要な、作業計画モジュールの開発
- ⑦ モジュールの統合検証

システム構成



オープンソース作業知能モジュール群

- 再利用性が高いモジュール
- OSSで公開 (EPL, LGPL, 修正BSD)
- URL: <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/>

The screenshot displays the OpenRTM website, showcasing several open-source modules available for download and use. The modules listed include:

- オープンソース板視覚 (OpenVGR)モジュール群** (Open-source board vision module group)
- エッジベース二次元対象物認識モジュール** (Edge-based 2D object recognition module)
- 距離センサを用いた物体位置姿勢推定** (Object position and orientation estimation using distance sensors)
- graspPlugin for Choreonoid**
- (Vpython版)HiroNX動作生成モジュール** (Vpython version HiroNX action generation module)
- 双腕協調制御RTC** (Bilateral coordination control RTC)
- HiroNXInterface**

Each module entry includes a brief description, features, and download links. The website also features logos for AIST (産業技術総合研究所) and various academic institutions like the University of Tokyo and Tohoku University.

作業システム一覧

- 頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業(産総研) 
- 手先カメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム(東大) 
- 双腕ロボットとAGVの連携システム(豊橋技科大) 
- 双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業(東北大) 

頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業

AIST
産業技術総合研究所

概要:

双腕ロボットを使った、工場での部品整理をイメージしたサービスを行うマニピュレーションシステムです。具体的には、テーブルに特定の密集形態で置いた部品を個別に取れるように再配置し、個々の部品を検出して双腕を活かして箱に整理して入れ、それを別の場所に運ぶ動作を双腕ロボットで行うことができます。

特徴:

- ◆ 作業知能システムの代表的機能である対象物認識、検出結果に基づく作業・動作計画、実動作のRTO群で構成されたシステムで、各機能間は共通化されたインターフェースで接続されています。
- ◆ システムを構成するOpenVGR (Sense)、graspPlugin for Choreonoid (Plan)、HiroNXInterface (Act)等はオープンソースのソフトウェアとして提供し、合わせてサービス仕様書、動作手順書等も提供しています。

インターフェース:

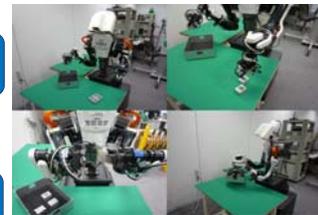
このプロジェクトで策定した「画像出力共通インターフェース」、「認識結果共通インターフェース」、「双腕ロボット制御共通インターフェース」に準拠しています。
(OpenRTM-aist-1.0.0)

プラットフォーム:

Ubuntu 10.04 LTS (x86)

ライセンス(公開条件):

EPL, LGPLで構成されています。詳しくは各モジュールを参照してください。

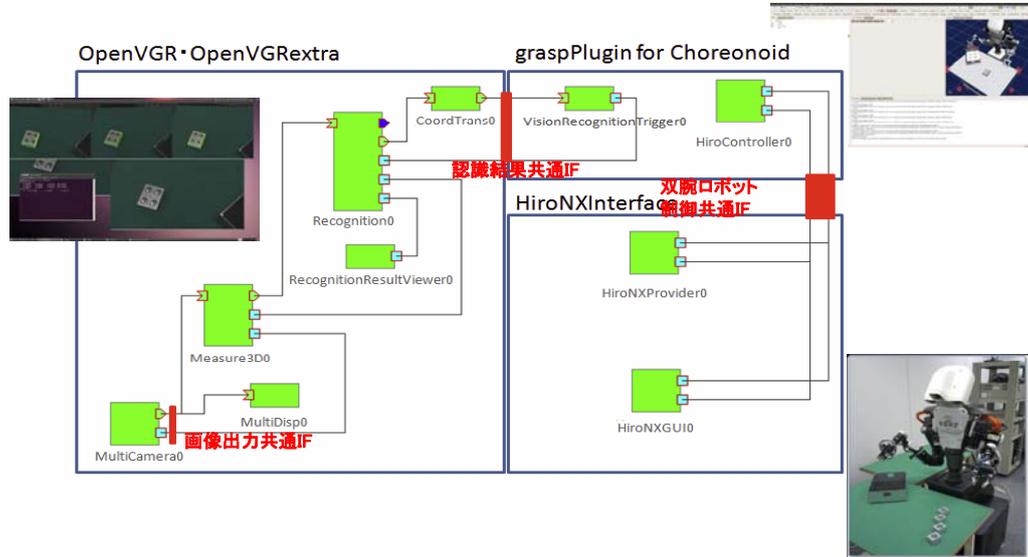


双腕ロボット-川田工業製 NxHiroを使用

URL:

http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1001

モジュール構成図



手先カメラを用いた双腕ロボットによる マニピュレーション作業システム



概要:

工業部品の箱詰めをイメージしたシステムです。各種共通インタフェースに従い、認識、動作計画、実行を統合し、両手を使って効率よく対象物を運びます。

特徴:

- ◆ 単眼で二次元的に対象物を認識、手先カメラを動かすことにより、手先カメラの視野の狭さを補います。
- ◆ オープンソースで公開するVPython版アーム動作生成モジュール、エッジベース二次元対象物認識モジュール、HiroNXInterface等を利用します。
- ◆ 双腕ロボットHIRO-NXの標準品である、両手先のUSBカメラと、1台の平均的性能のPCで動作します。

インタフェース:

プロジェクトで策定した「画像出力共通インタフェース」、「認識結果共通インタフェース」、「双腕ロボット制御共通インタフェース」に準拠します。

プラットフォーム:

Ubuntu Linux 10.04, OpenRTM-aist-1.0.0

ライセンス(公開条件):

本プログラムは、修正BSDライセンスにて公開します。

URL:

http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_5001

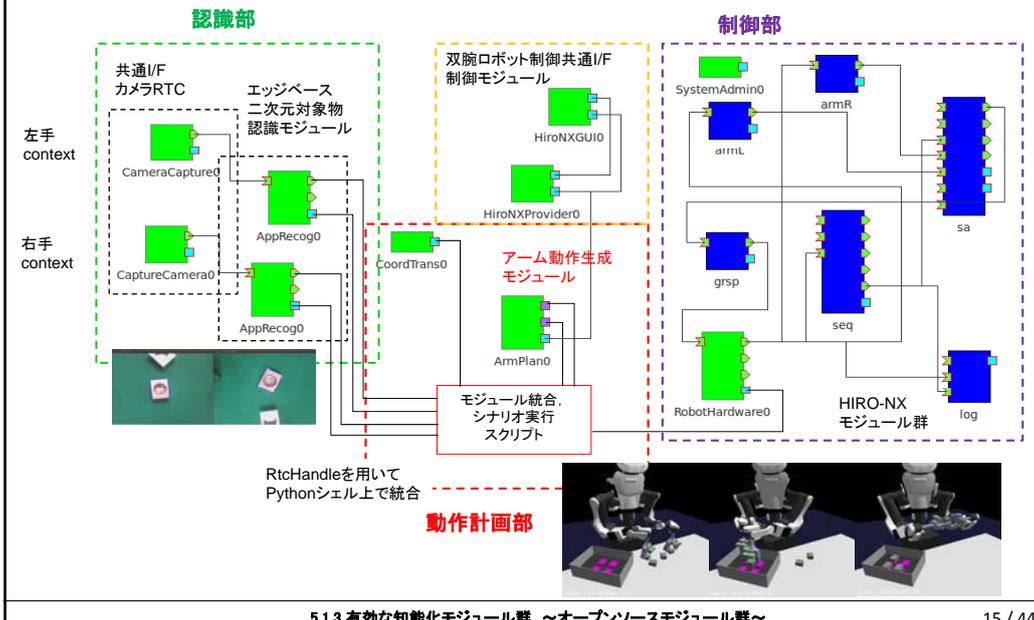


両手で作業台をスキャンし、手先カメラで対象物を認識します。



両手が干渉せずにアプローチできる場合には、2つ同時に運びます。

モジュール構成図:



双腕ロボットとAGVの連携システム

概要:

双腕ロボットとAGV(自動搬送車)が連携して、部品やパレットの搬送とマニピュレーションの複合タスクを実現できます。物体位置姿勢推定RTC、移動知能RTC群および、それらを制御するシーケンサRTCで構成されています。

特徴:

- ◆物体モデルを基に対象物体を探す位置姿勢推定RTC群です。
- ◆地図生成を行いながら安全な軌道を計画する移動知能RTC群です。出発地点、最終地点を自由に設定可能です。
- ◆共通化I/Fを利用しており、ステレオ視など他のセンサを利用可能です。

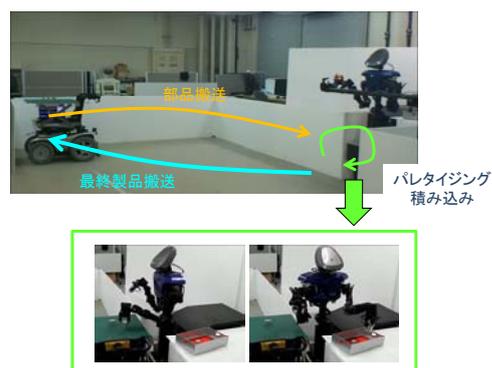
開発環境:

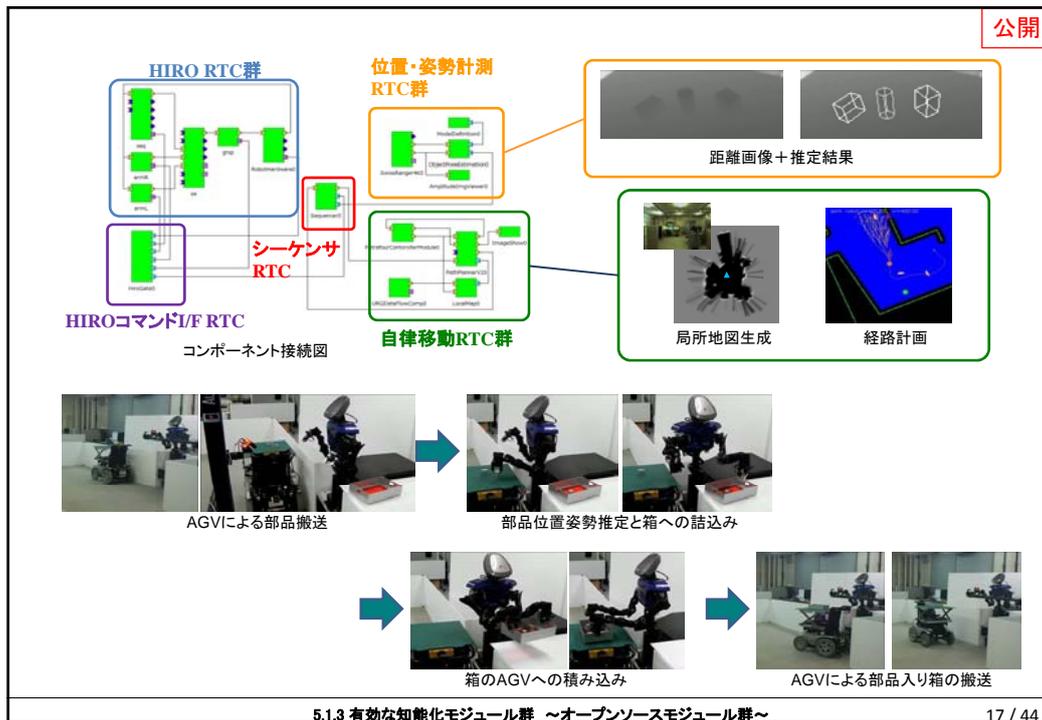
OpenRTM-aist-1.0.0、
Windows XP Pro SP3

ライセンス(公開条件):
修正BSDライセンス

URL:

http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_3001





双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業

東北大学 東北大学

概要:

片手では運べない重量物や大きい物体を、両手で搬送する作業をイメージしたマニピュレーションシステムです。物体中心座標の始点と終点を指定することで、自動的に補間軌道を生成し、両手で搬送します。カセンサが無いロボットシステムでは、両手先位置指令による簡易力制御が指定可能です。

特徴:

- ◆モデルファイルを替えることで様々なロボットに応用可能です。
- ◆5次多項式または4次-1次-4次多項式による補間軌道を選択可能です。どちらの補間軌道でも始点と終点で、位置、速度、加速度が連続となります。
- ◆OpenHRPでの検証用にロボットモデルとプログラムを添付しています。

プラットフォーム:

Ubuntu Linux 10.04, OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE, OpenHRP 3.1.0

ライセンス(公開条件):

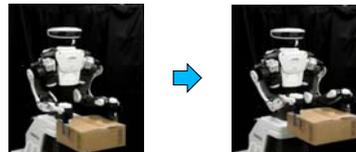
EPL (Eclipse Public License)に基づいて提供されます。

URL:

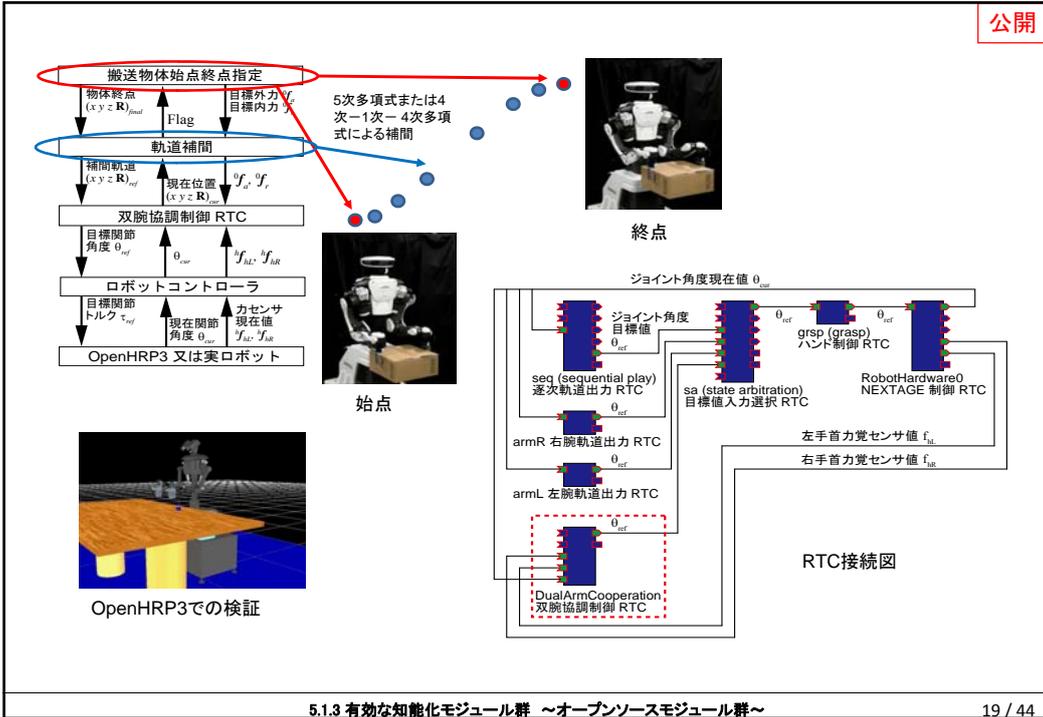
http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4001



内力を適切に制御しないと、把持物体を破損したり、落下させたりする危険性がある



内力を制御することで安定な搬送が可能となる



各システムの動作例



AIIST 頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業



東京大学 手先カメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム



TOYOHASHI 双腕ロボットとAGVの連携システム



東京大学 双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業

国際ロボット展2011における デモンストレーション



5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

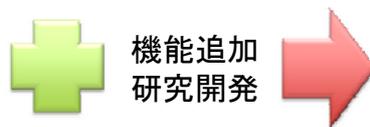
システム情報・モジュール群の公開

知能モジュール群

システム仕様書等

共通インタフェース

URL:
[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_\[1-5\]001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_[1-5]001)



次世代ロボットの
研究開発基盤が簡便
かつ低コストで実現
可能に！

プレス発表(2012/2/23、産総研)
「知能ロボット開発のための
知能ソフトウェアモジュール群」
ロボット開発用基盤ツール
ROBOSSA



5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

他システム(MobileHIRO)への導入例

- 既存モジュール: ハンドカメラ認識、graspPlugin for Choreonoid、マニピュレーション機能、移動機能
- 新規開発: ハンドスキャン認識機能
- 統合作業: 共通I/Fの利用で実質1日で統合を実現



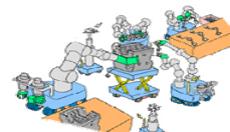
5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

まとめ「パレタイジング作業」

目標	成果	達成度	効果
再利用性	<ul style="list-style-type: none"> ・作業知能モジュール群をオープンソースソフトウェアで公開 ・作業サブWGで定めた共通IFに基づいた再利用性の高いモジュール 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・オープンソースのため、ユーザが手軽に利用でき、改良も可能 ・ユーザが目的に応じて必要なモジュールを選択・交換が可能
有効性	<ul style="list-style-type: none"> ・双腕ロボットHiroNXを用いて、各種マニピュレーション作業システムを構築、検証 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・国際ロボット展にて実証デモ ・プレス発表、HP等で成果発信
体系的性	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール群の公開だけでなく、システム情報も公開 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・マニピュレーション作業用ロボットシステム構築の基盤、参照システムとして利用可能

その後の展開:

- ・各種FA関連企業に成果紹介中
- FAの2大課題の1つ、ティーチングの省力化に関連して、自動動作計画モジュールに引き合いあり



5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

サービス
産業応用



アソート作業



奈良先端科学技術大学院大学



大阪大学



東京理科大学



筑波大学



産業技術総合研究所

「アソート作業」の目標

サービスロボット産業への応用を意識した
日用品のハンドリングシステムの開発を通して

システム統合の容易さの検証

知能モジュールのインターフェースの標準化

モジュールの入れ替えの容易さの検証

オープンソースを利用したシステムの構築と公開

コンポーネント統合事例の創出

「アソート作業」の研究開発項目

1. 軽量の画像処理による物体認識のためのRTC群の開発
2. 教示(視覚情報とマニピュレーションの対応付け)のためのRTC群の開発
3. 日用品ハンドリングのためのシステム統合
 - 双腕作業用テストベッドシステムの構築およびアソート作業の試作と動作実験
4. 双腕協調作業コンポーネントの作成
 - 双腕協調コンポーネントの開発および協調動作のコンポーネントへの導入
5. 特徴ベース認識コンポーネントの開発
 - 特徴ベース認識コンポーネントの試作・評価および多品種個別認識への対応・評価
6. 人との協調・安全コンポーネントの開発
 - 人と協調時の安全のための人認識モジュールの開発および人認識機能に基づく安全機能のコンポーネント化

対象物の検討 -お菓子-



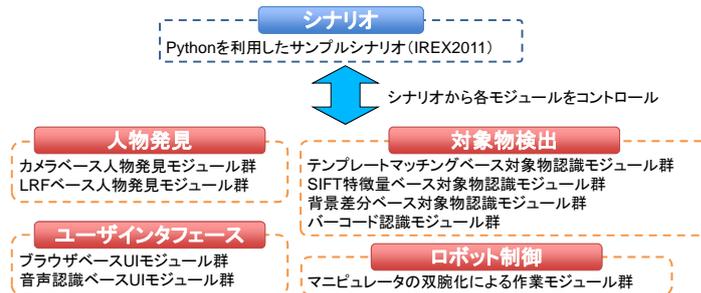
お菓子ハンドリングシステム

概要:

対象物のテクスチャ等の特徴量を基に 物体認識を行い、認識結果に基づいてお菓子などの日用品の多品種個別識別とそのハンドリングを行う。公開されているRTMおよび各機関の開発したRTMを短時間で統合し、双腕システム開発のひな形となる双腕ロボットプラットフォームを構成

特徴:

- 実作業をイメージしたタスクを公開されているコンポーネントの再利用によって実現
- 動作シナリオのサンプルなどを用意することにより、システムの再利用が容易
- 各モジュール群は共通IF仕様に従っており、アルゴリズムの追加・変更が容易

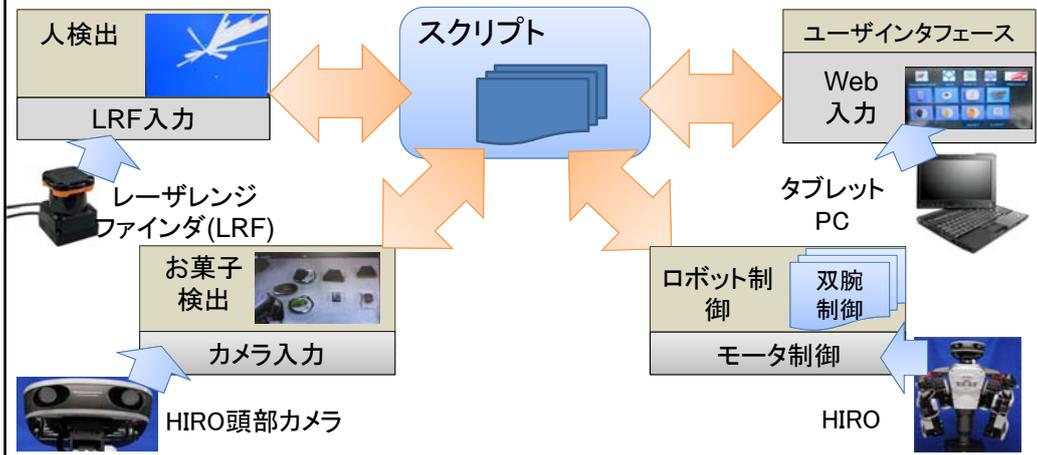


お菓子のハンドリング

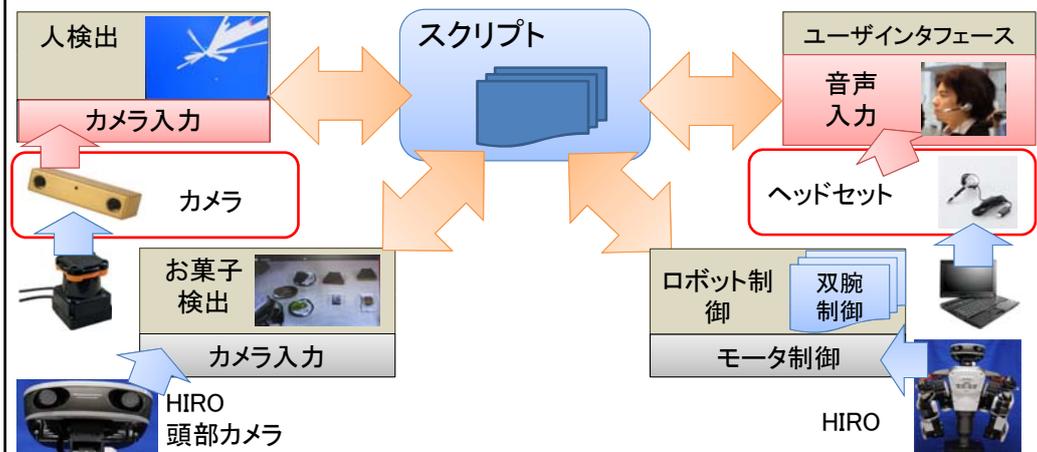


国際ロボット展2011

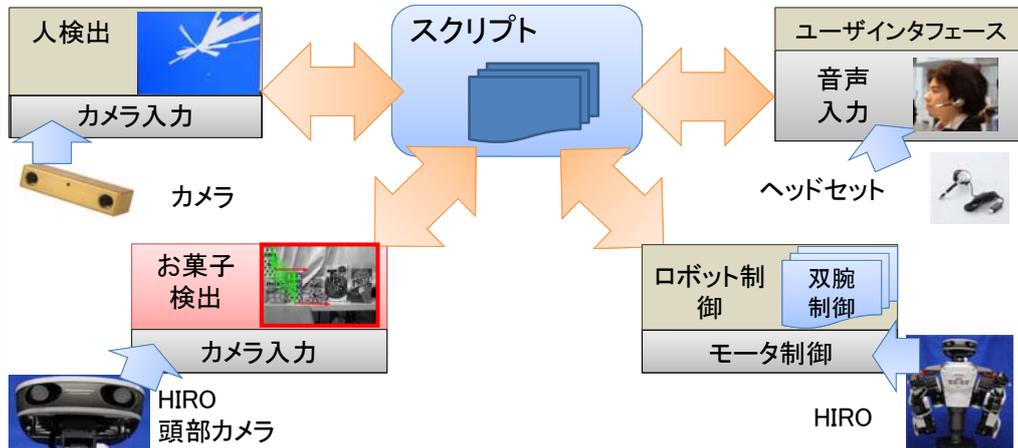
モジュール構成



モジュール構成:ハードウェアの変更



モジュール構成: 認識アルゴリズムの変更



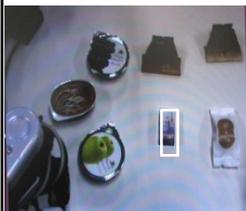
モジュールの入れ替え

より高機能かつ最新の研究成果を用いたモジュールが利用可能

対象物発見

テンプレートマッチング
位置・姿勢推定モジュール

アピランスペース
位置・姿勢推定モジュール



テンプレート
マッチング

SIFT特徴量を用いた
マッチング



和菓子のハンドリングのまとめ

オープンソースを利用したシステムを構築

プロジェクトで標準化された
インタフェースを持つ知能モジュール群

スクリプト言語を用いた容易なシステム統合

同一機能の異なるモジュールの入れ替えが容易

RTコンポーネントを再利用した統合システム事例

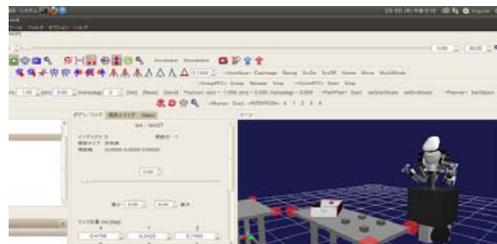
リファレンスハードウェアによる モジュールの検証(大阪大学)



物体位置・姿勢推定モジュール＋音声入力＋共通カメラインタフェース
をリファレンスハードウェアに実装

双腕ロボットプラットフォーム(産総研)

移動作業システム(実機およびシミュレーション環境)



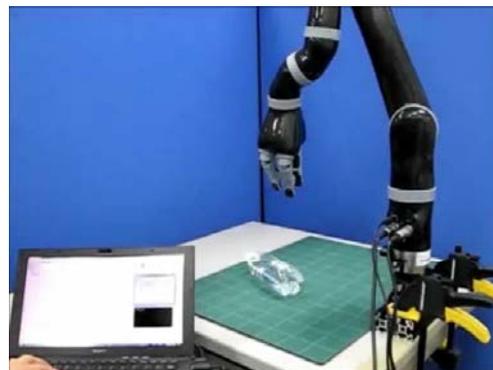
37

双腕ロボットプラットフォーム(産総研)

- 日用品把持用ロボットアーム(三指ハンド)



JACOアーム

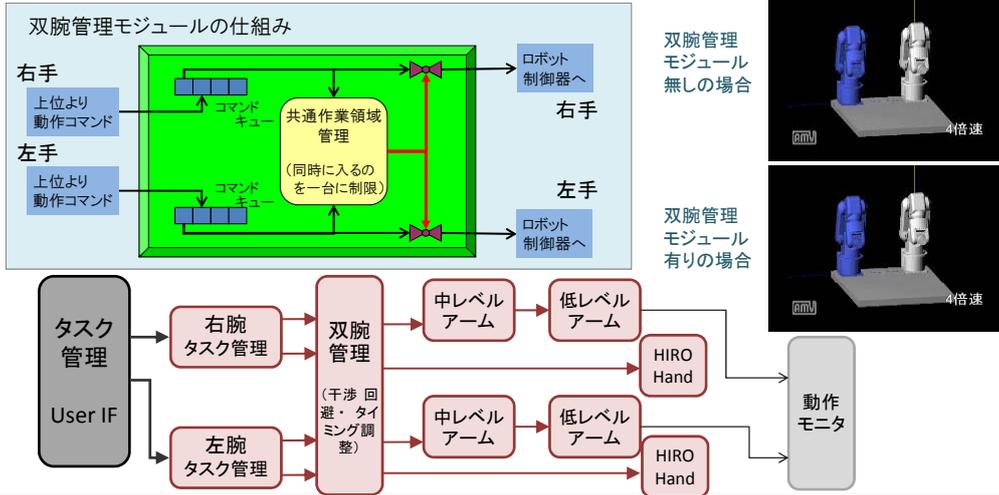


双腕ハンドリングシステム(筑波大学)

公開

概要: 共通作業領域の管理を行うコンポーネントを導入し, 動作タイミングを調整する

特徴: 動作コマンド毎に, 共通作業領域に関して排他的動作になるようにコマンドの発行タイミングを調整. 双腕作業インターフェースに準拠



双腕による菓子提供作業(筑波大)

公開



再利用・標準化に関する成果

- 共通インタフェースの策定
 - 共通カメラインタフェース
 - 双腕ロボット共通インタフェース
- 他機関開発コンポーネントの再利用
 - OpenHRI、OpenNI
 - グループ内開発コンポーネント
- 双腕ロボットプラットフォームの確立と公開
 - 和菓子のハンドリングシステムの構築
 - 移動作業システム、把持用ロボットアーム



普及に向けた取り組み

- 公開サイト http://robotics.naist.jp/nedo_project/
 - システムのコンポーネント、ツール群をオープンソースで
- ハンドアイ研究プラットフォームの公開
 - 東京電機大学へ公開： 文房具のハンドリング、2ヶ月で構築
- 専門家への普及
 - 学会の講習会講師
 - 大学での人材育成プログラムでの講義・プロジェクト実習
- 一般への情報発信
 - 国際ロボット展2011におけるデモ
 - テレビ取材： フジテレビ、読売テレビ

まとめ「アソート作業」

目標	成果	達成度	効果
再利用性	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ、双腕ロボットの共通インターフェースの策定 ・他機関開発コンポーネントの再利用 ・複数の双腕ロボットプラットフォームによる再利用 ・双腕ロボットを構成するモジュール群をオープンソースで公開 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・オープンソースのため、ユーザが手軽に利用でき、改良可能 ・目的に応じてモジュールを交換・追加可能
有効性	<ul style="list-style-type: none"> ・双腕ロボットHiroNXを用いて、和菓子ハンドリングシステムを構築、検証 ・短期間で文房具のハンドリングシステムを構築 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・国際ロボット展にて実証デモ ・HP、マスメディア等で成果発信
体系的性	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール群だけでなくシステム情報も公開 ・大学の初心者によるシステム立ち上げ検証例 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスロボットの基盤、参照システムとして柔軟物ハンドリング等の研究開発に利用可能

総括

知能化プロジェクトの成果を組み合わせた
2種類の作業知能の統合システム開発



オープンソースで公開されているRT
コンポーネントを利用して
システム構築が容易



知能モジュール群の再利用性、有
効性、体系的性を検証

産業用ロボット、サービスロボット
としての展開性

5.1.4 国際連携 RTMとROSの連携について

東京大学大学院情報理工学系研究科
情報システム工学研究室
稲葉雅幸, 岡田 慧
2012年6月22日 15:15-16:00

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

1

公開

内容

- (1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ
- (2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト
- (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

2

内容

- (1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ
 - OROCOS(産業用実時間向け), YARP(人型研究用)
 - Player/Stage(移動用), OpenCV(画像処理), OpenMP(アームプランナ)
 - ⇒ ROS(認識移動作業)が平成21年より急激に普及.
- (2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト
 - ROSパッケージとRTMの統合法を確立し, 実システムで運用評価
 - RTM-ROSの統合環境利用法の講義・演習・ホームページの公開
- (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境
 - RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメントの自動化
 - ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

3

(1) 世界のロボット分野に関連する オープンソースソフトの流れ

- オープンソースソフトウェア
 - コミュニティ型開発でデファクトとイニシアティブを獲得
 - 計算機分野ではLinux, Apache, Android等の成功事例
- ロボット分野におけるオープンソース
 - OpenCV, Player, OpenHRP, OpenRAVE等の知的モジュール
 - ヨーロッパではOrocosやiCubなど独自のプラットフォームが展開
 - わが国では国際標準規格に基づいたOpenRTMを推進
 - 本プロジェクト開始後, 米国を中心にROS (Robot Operating System) がユーザを増やしている
- 相互運用プロジェクト(平成23年度)
 - 背景: OpenRTMとROSはどのような連携があり, どう行うのが良いのか
 - 目的: プロジェクト後の継続的展開も含めた相互運用, 統合環境を示す
 - 成果: ROSの全てのモジュールを取り込むことができるようになった

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

4

OpenRTMとROSの比較

- OpenRTMはRTM規格に基づき、品質保証されたコンポーネントの開発に主眼があり、企業が利用しやすいようになっている。

- 一方ROSは知能モジュール開発環境の提供に主眼があり、また、基盤ソフトの更新が頻繁に行われ研究者コミュニティ向け。

	OpenRTM	ROS
開発主体	経産省・文科省・NEDO等	米国民間企業
ライセンス	オープン/クローズド共存	オープンライセンスが基本
基盤開発	産業技術総合研究所	ウィローガレージ社+有志
設計方針	コンポーネント化 再利用性を重視し厳格化	ライブラリ化 開発効率を重視し緩い規格
注力分野	コンポーネント開発環境 知能ソフト開発中心	コミュニティ環境 開発者の支援、繋がり構築
品質管理	国際組織による規格化 再利用センタによる保証	無し(利用者コミュニティ内での自主的相互確認)

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

OpenRTMとROSの利用機関数・ソフトウェアモジュール数

- ROSの利用機関数, ソフトウェアモジュール数
 - ・利用機関数 114 (内企業数14≒8%)
 - ・ソフトウェアモジュール数 150(ROS Stack数, Package数は3000以上)

出典: <http://www.ros.org/wiki/Metrics>

OpenRTMは企業に広く浸透しています

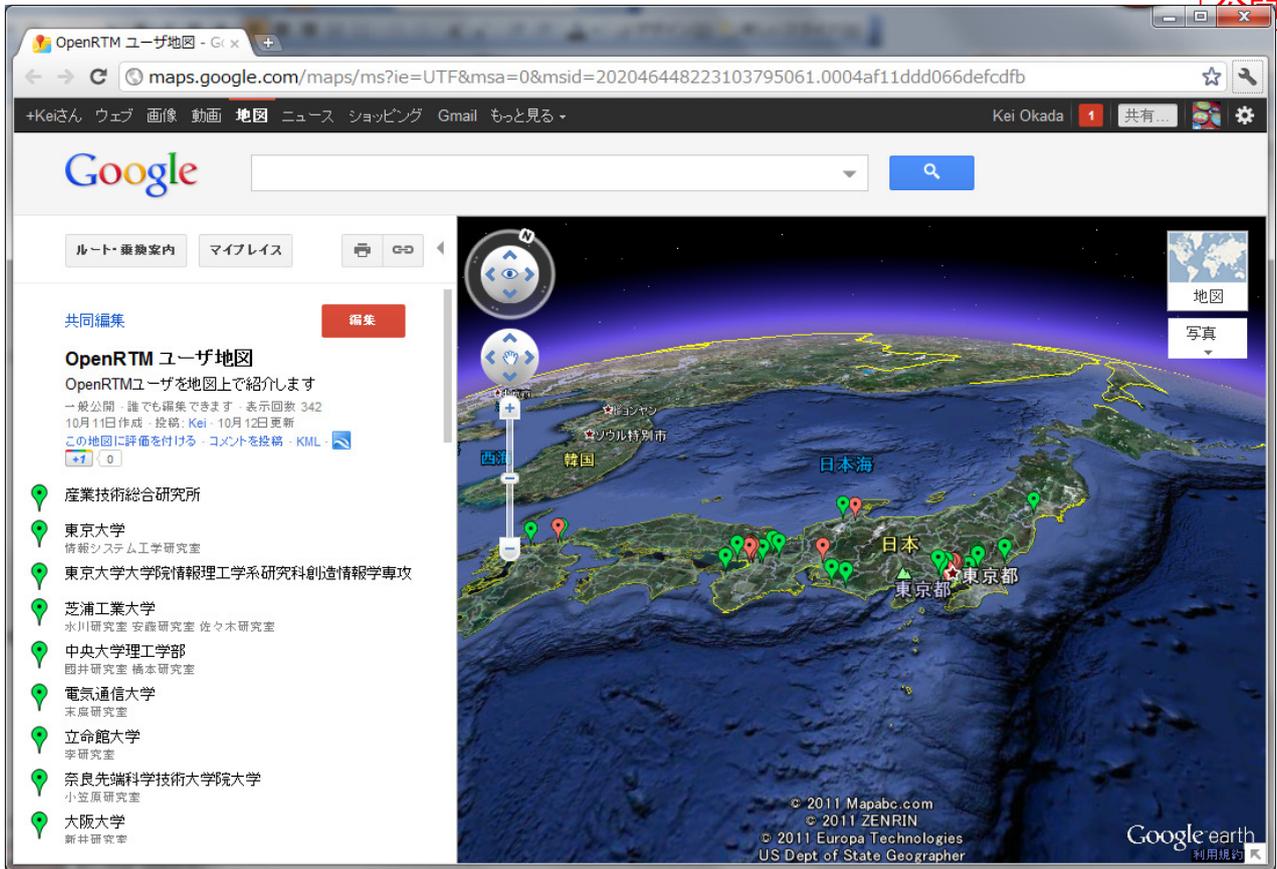
- OpenRTMの利用機関数, ソフトウェアモジュール数
 - ・利用機関数 45 (内企業数15≒33%, コンソ参加企業数)
 - ・ソフトウェアモジュール数 322件(再利用センタ登録件数)



<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=209668390659853657363.00049c608b78bc7779683>

<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdcbf>

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

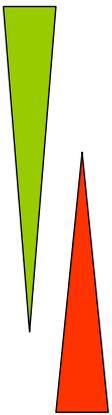


<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdfs>

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

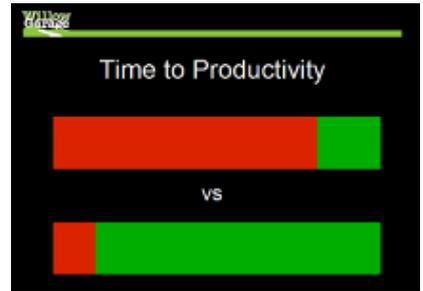
本相互運用プロジェクトにおける RTM-ROS統合方式

- アプリケーション
- 知能モジュール
- ライブラリ
- シミュレータ
- 通信ライブラリ
- デバイスドライバ
- 開発ツール



研究・事業化
RTM知能化の
ターゲット領域

ツール
ROSの得意とする
領域



WillowGarage社のスライドより. 赤が研究に必要なツール作成等の雑作業. 緑が研究そのもの. 現状は上. 多くの時間をツール作業に費やす. ROSは研究サポートを行うツール (Steve Cousins speaking at Robo Development: <http://www.willowgarage.com/blog/2008/11/17/steve-cousins-speaking-robot-development-tuesday> より)

→ オープンソースツール上にRTM-ROS統合環境を構築

- ねらい1: 世界中の研究成果をOpenRTMロボットに取り込み統合できるように
- ねらい2: RTMモジュールの効率的な開発・保守環境により更なる発展を可能に

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

(2) RTM-ROS相互運用プロジェクト

「次世代ロボット知能化技術の相互運用性の検証」(東京大学, 平成23年度より)
【平成23年度】

- 次世代ロボット知能化技術の相互運用可能性を検証する. 具体的にはROSプロジェクトからRTCには存在しない不正終了時の自己復帰機能を有する移動モジュールを抽出しこれを内蔵したRTCを開発し, 次世代ロボット知能化技術を搭載した相互運用プラットフォーム上で相互運用性を検証する.
- (A) 相互運用プラットフォームハードウェア構成の設計
 1. 動作, センサ, 計算機, 電源, 通信の要求仕様の策定
 2. 移動・認識用三次元距離センサの搭載
 3. エンドエフェクタのトレイ運搬への対応
 4. 相互運用プラットフォームの統合ハードウェアの検証
- (B) 相互運用プラットフォームソフトウェア構成の設計開発
 1. 初期開発検証移動機構上でのナビゲーション相互運用環境の確立
 2. 相互運用プラットフォーム上でのモジュール内蔵RTC統合検証
- (C) ロボット知能化コンポーネント統合開発支援環境
 1. 相互運用対応OpenRTM/HRPのオープン化・共用開発環境の構築
 2. RTM統合開発支援ツール
- (X1) 相互運用公開講義・講習会
- (X2) 知能化コンポーネントの生成検証・動作検証・文章化の自動化環境
- (X3) ROSモジュール自動相互運用RTC

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

9

(A) 相互運用プラットフォーム ハードウェア構成の設計

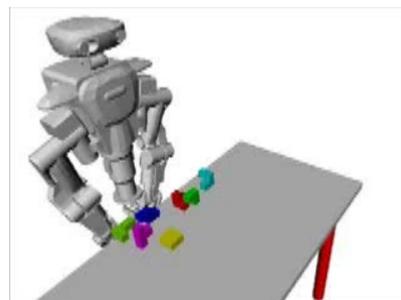
1. OpenRTM台車
+ ROSナビゲーション
 - 移動SWグループの共通インターフェース仕様への対応
2. OpenRTM台車
+ ROSナビゲーション
+ OpenRTM腕
+ OpenRAVE動作計画
 - 共通インターフェースは加速Gを中心に策定中
 - SequencePlayerの関節角度指令インターフェースでの利用



移動台車ロボットbeego



安川移動ユニット FMK



OpenRAVEを用いたHIROIによる3Dブロック操作

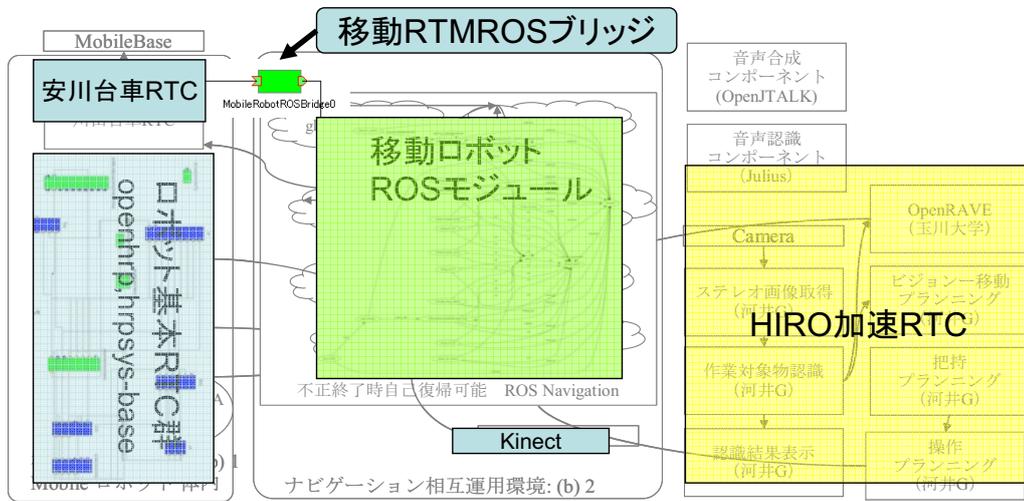


移動作業ロボット

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

10

(B) 相互運用プラットフォーム ソフトウェア構成の設計開発



各コンポーネントの説明

HIRO加速開発RTC	その他RTC	今回作成 相互運用対応 RTC (外部開発)	今回作成 ROS機能参考 内部開発RTC	コミュ知能RTC	RTC知能化モジュール群
					RTC加速モジュール群
					ROSモジュール群

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

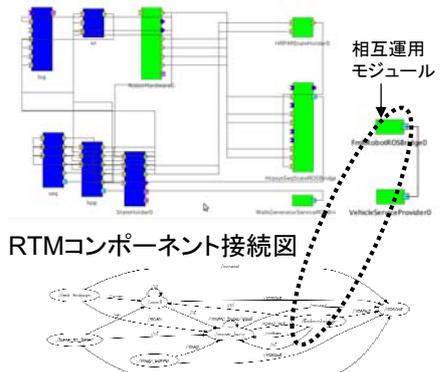
相互運用プラットフォームの実証実験



検証プラットフォームによるROS移動モジュールとRTMコントローラの連携検証



作業移動ロボット外観



RTMコンポーネント接続図

移動ROSモジュール接続図



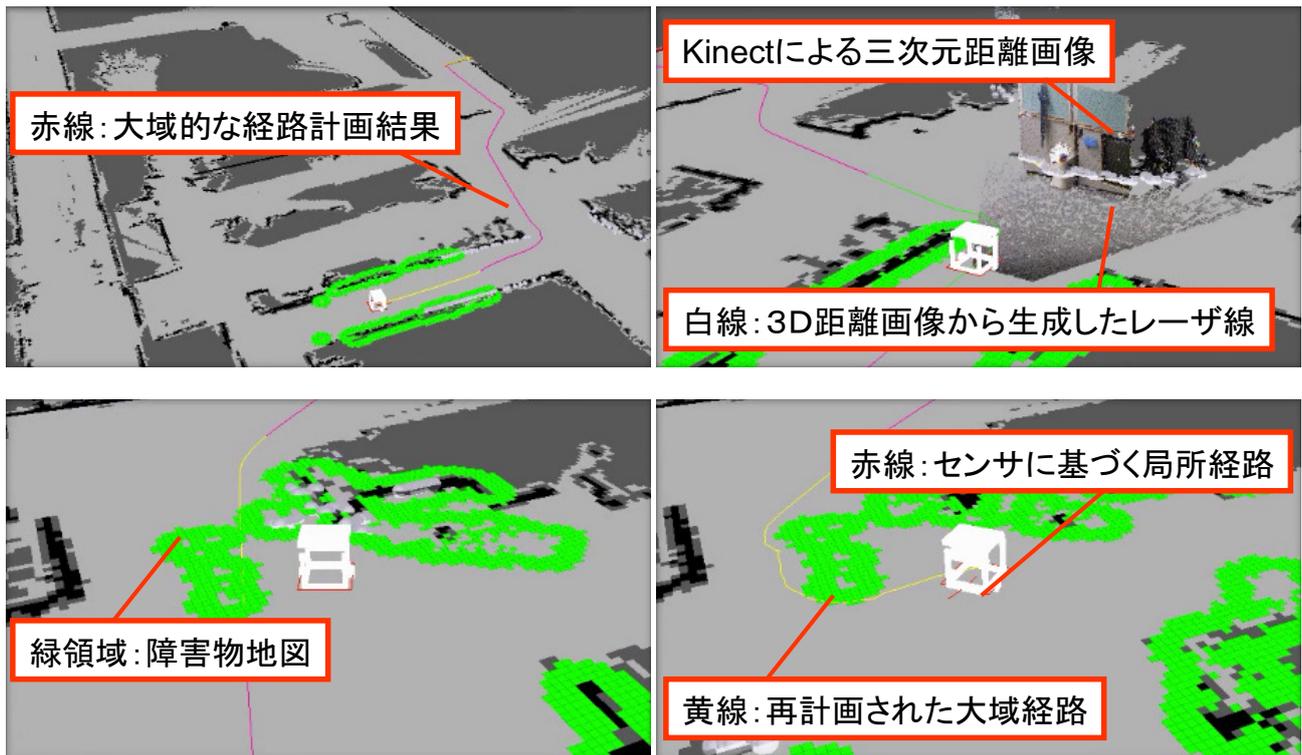
作業移動ロボットによるRTMコントローラとROSユーザインタフェースの連携検証



トレイ運搬タスクの例

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

ROSナビゲーション機能の様子



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/> オンラインの経路再計画の様子 13

(C) ロボット知能化コンポーネント 統合開発支援環境

C-1) 相互運用対応OpenRTM/HRPのオープン化・ 共用開発環境の構築

- 知能ロボット基本ソフトウェアプラットフォーム (openhyp3-aist-grx (齊藤@GRX))、ロボット身体非依存の知能ロボット動作制御コンポーネント群 (hrpsys-base(金広@AIST)) のオープンソース化
- RTC-CANOpen, rtshell, OpenRAVE, choreonoid, OpenVGRの共用環境の構築

C-2) RTM統合支援開発ツール

- 次ページで詳細を説明

(C-2)RTM統合支援開発ツール

C-2-A パッケージソースコード開発管理ツール

- パッケージの依存関係を解析し, 対象とするコンポーネントが依存するパッケージ群に対して, ヘッダファイルへのインクルード, ライブラリへのリンク, IDLファイルのコンパイル, リンクの自動的に行うツール.
- 例: `mrobot_ros_bridge` パッケージにあるコンポーネントの生成

```
$ rosmake mrobot_ros_bridge
```

1コマンドでROS, RTMが混在する複雑な依存関係を解析し, 必要な全てのパッケージのコンパイルやリンク, IDL生成を含めてターゲットコンポーネントの生成処理を行う.

- ROS機能を取り込んだRTMコンポーネントを生成可能.
- 複雑な手順を踏まなくともRTMコンポーネントのコンパイルを1コマンドで実現.

(C-2)RTM統合支援開発ツール

C-2-B プログラムコンポーネント実行管理ツール

- 複数のプログラムコンポーネントの実行, オンラインでのパラメータ設定, 引数設定, コンポーネント間のデータポート, サービスポートの接続を行うツール

- 例: `mrobot_ros_bridge` パッケージにある移動シミュレータを起動

```
$ roslaunch mrobot_ros_bridge beego_simulator.launch
```

1つのコマンドでbeegoの移動機能シミュレーションに必要な10個以上の全てのROS, RTMコンポーネントの起動と相互接続を行う.

- RTM, ROS混成環境でのコンポーネントの実行を1コマンドで実現

- 相互運用環境におけるコンポーネントのコンパイル並びに実行が容易なツール群を構築することで, 智能化コンポーネント動作検証・文章化の自動化環境が実現

(X1) 相互運用公開講義・講習会

- RTMROS相互運用講義
 - 2011年度夏学期 水曜日13:00~14:30
 - 本郷, 秋葉原 TV会議接続
 - 全12回, 補習3回: 大学院生42名が履修
 - 講義資料, 宿題, ソフトウェア, MLの公開



- 講義ホームページ: <http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>
- 講義メーリングリスト: <http://groups.google.com/group/rtm-ros-robotics>
- 講義ソースコードリポジトリ: <http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/trunk/>
- 講義ustream中継: <http://ustre.am/xKBj>



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

17

講義内容

1. イントロ- 講義予定、ロボット知能化プロジェクト
 1. 講義の位置付け・背景稲葉
 2. RTM チュートリアル吉海
 3. ROS チュートリアル岡田
2. ロボットソフトウェアの相互運用吉海、岡田
3. RTミドルウェア: RTM 吉海、矢口
4. ソフトウェアツール:ドキュメント、テスト検証魯仙
5. 動作計画、開発システム: OpenRAVE 魯仙(R. Diankov)
6. Robot オペレーティングシステム: ROS 岡田
7. RTM/ROS相互接続、ビジョンRTM 吉海
8. RTMビルドツール, 三次元ビジョン: RTMExTender 矢口
9. 双腕マニピュレーション: HIRONX, Vpython 花井
10. インタラクティブシステム: OpenHRI, Choreonoid 原(産総研)
11. 実時間対応: OpenHRP, OpenRTM HRP4 金広(産総研)
12. ロボットソフトウェアの発展的構成法稲葉

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

18

• 技術補佐員による講義を踏まえた相互運用検証例



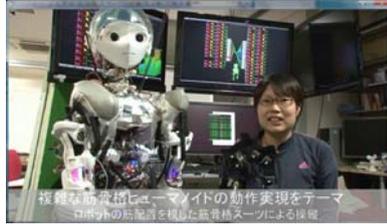
ROS移動機能検証



OpenHRI対話機能検証



OpenRAVE計画機能検証



筋骨格ロボットでの検証



NAOロボットでの検証



HRP2ロボットでの検証

• RTMROS相互運用プログラミングワークショップ

- 2012年1月26日・27日
- 加速HIROを対象としたRTMROS相互運用プログラミング環境の講習会
- 参加者
 - 国内研究機関研究員・国内大学教員
 - 国外研究機関研究員

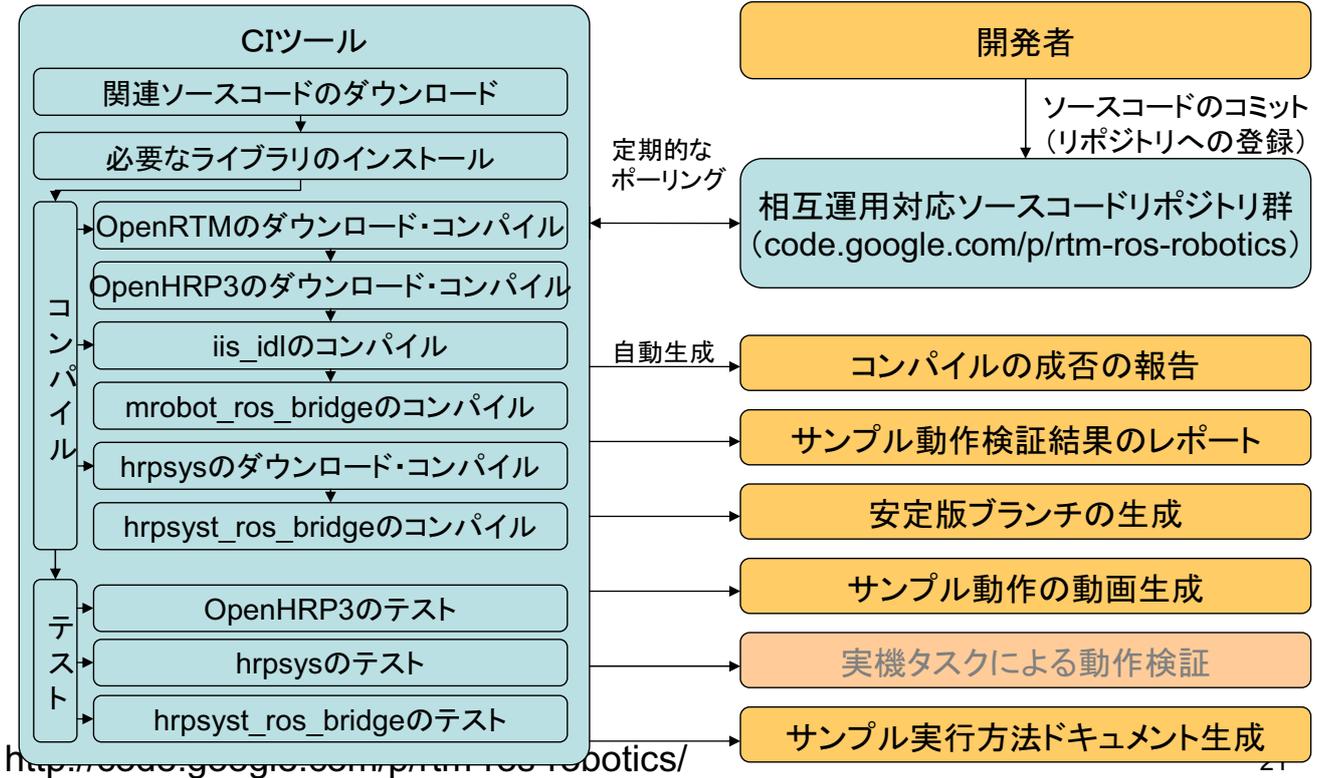


<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

(3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

- RTMとROSという2つの巨大ソフトウェアプロジェクトの相互運用を, プロジェクト終了後も継続的に続けていくための仕組みが必要
- 各ソフトウェアはそれぞれ独自に進歩するが, それらを吸収していけることが重要
 - 自動で知能化コンポーネントを検証する機構
 - 自動でROSコンポーネントをRTC化する機構

(X2) 知能化コンポーネントの生成検証・動作検証・文章化の自動化環境

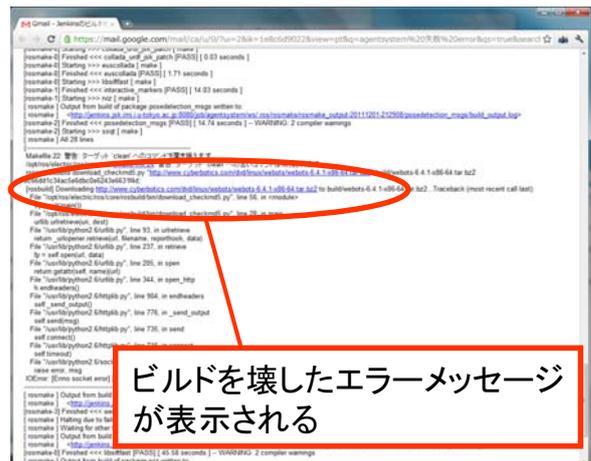
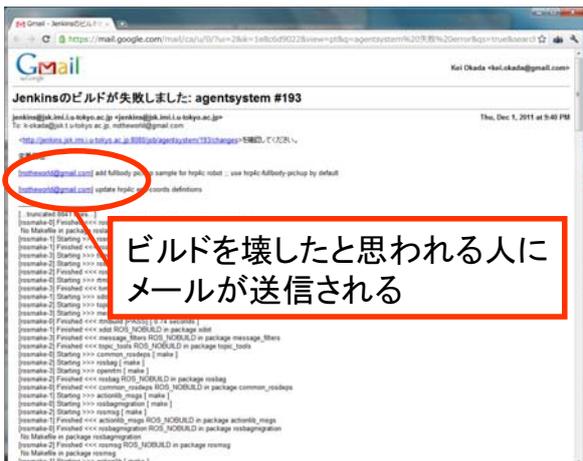


<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

知能化コンポーネント生成検証の例(1)

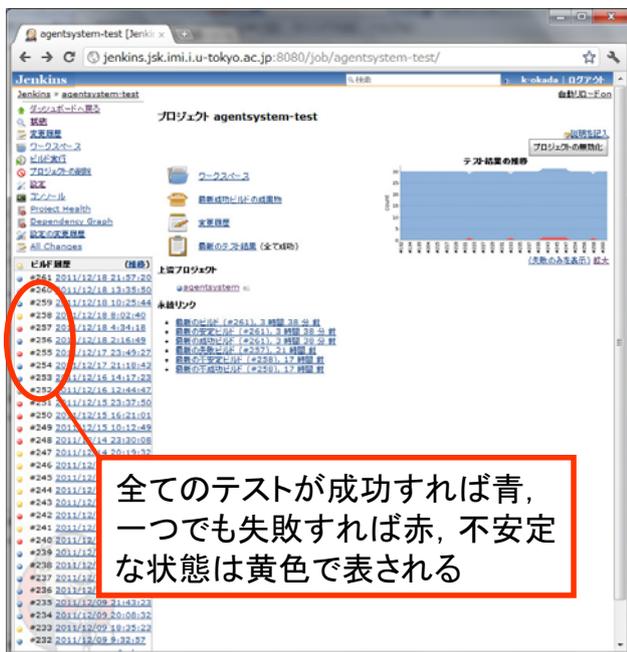
•コンパイルの成否の報告

- CIの起動はソースコードのコミットがトリガとなるため、原因となるコードをコミットした本人にコンパイルの成否が伝えられる。

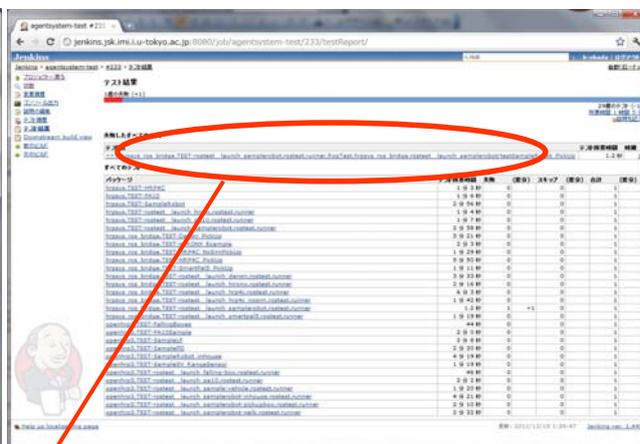


知能化コンポーネント生成検証の例(2)

• サンプル動作検証結果のレポート



全てのテストが成功すれば青、一つでも失敗すれば赤、不安定な状態は黄色で表される

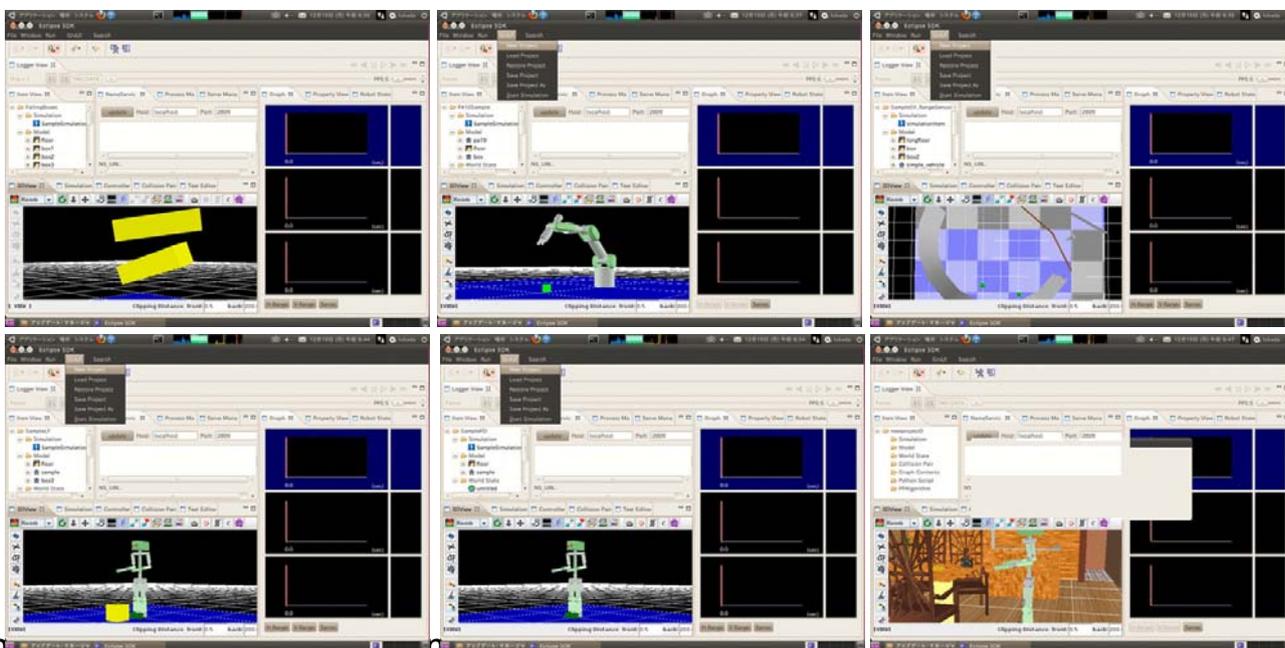


失敗したテストのレポートはwebインターフェースからも簡単に確認することが出来る

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/>

知能化コンポーネント動作検証の例(1)

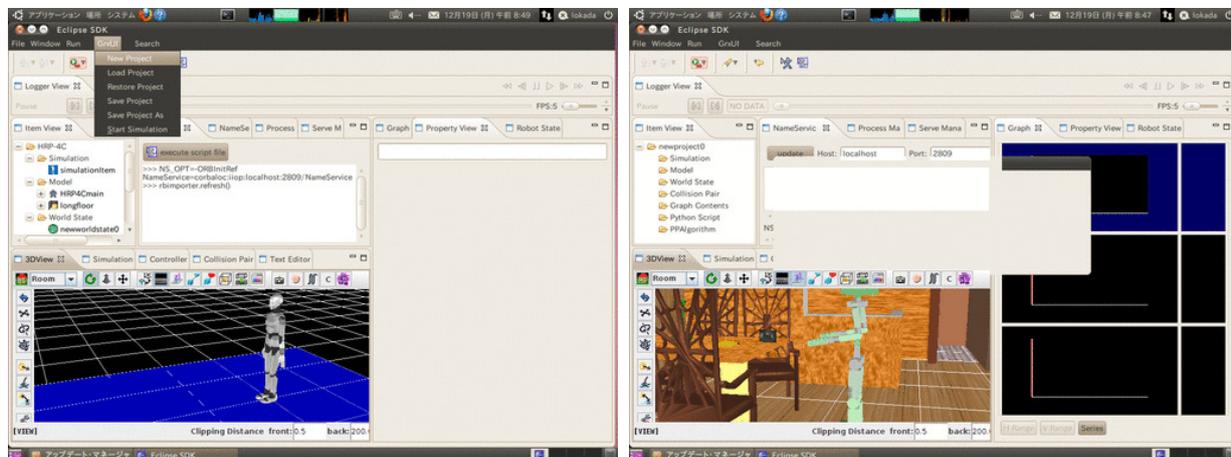
• サンプル動作の動画生成 (OpenHRP3)



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

知能化コンポーネント動作検証の例(2)

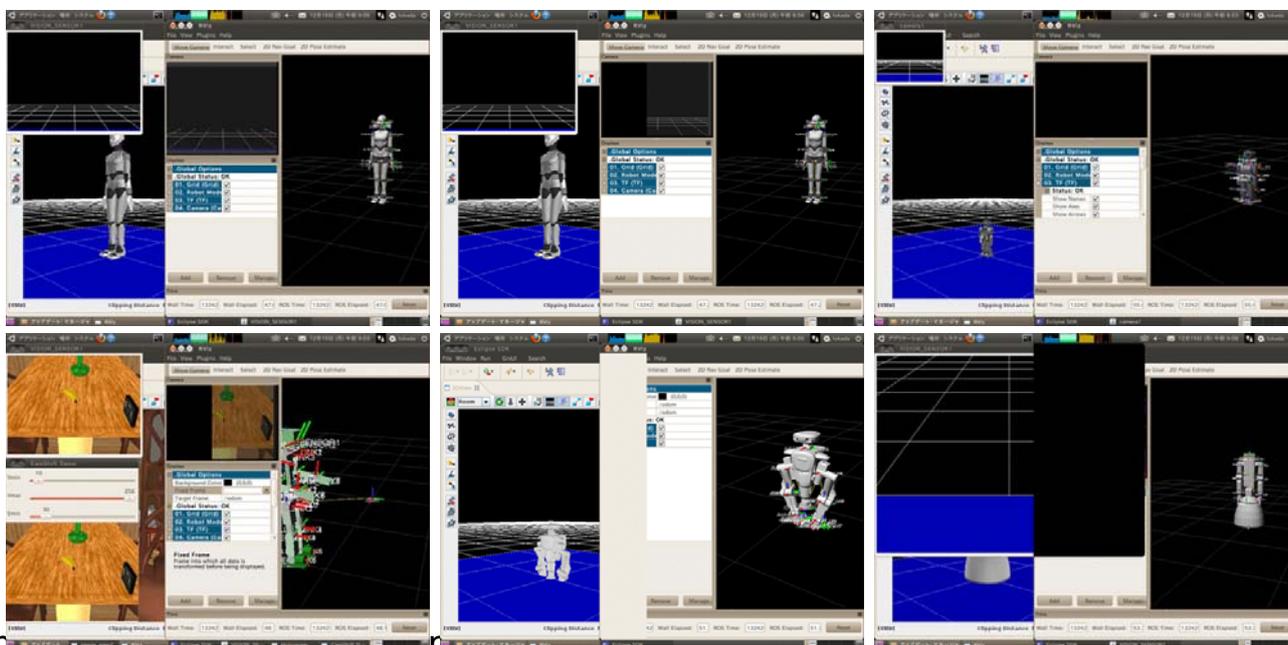
- サンプル動作の動画生成(hrpsys)



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

知能化コンポーネント動作検証の例(3)

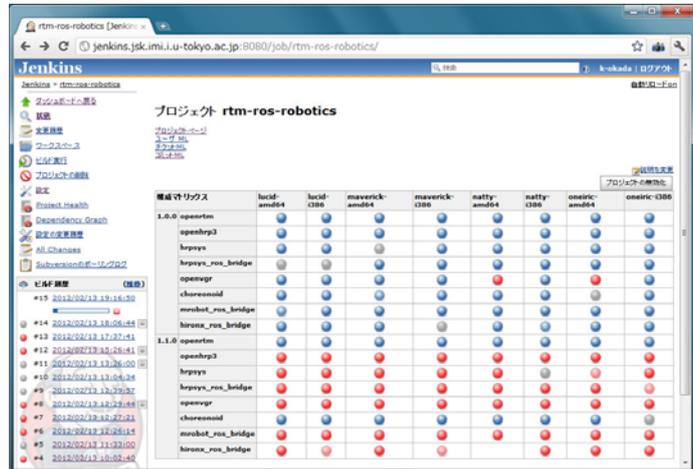
- サンプル動作の動画生成(hrpsys_ros_bridge)



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

バージョンの異なる CPU, OS, ミドルウェアでの検証

- OS, ミドルウェアのバージョンアップに対する検証
- 現時点で一般的な環境の組み合わせ
 - CPU: 32bit (i386), 64bit (amd64)
 - OS: Ubuntu 10.04, 10.10, 11.04, 11.10
 - OpenRTM: 1.0.0, 1.1.0
- 上記の16通りの組合せに対して各コンポーネントの動作を検証
- 右図は8個のコンポーネントに対する動作検証. 合計で128回の動作検証を行う様子

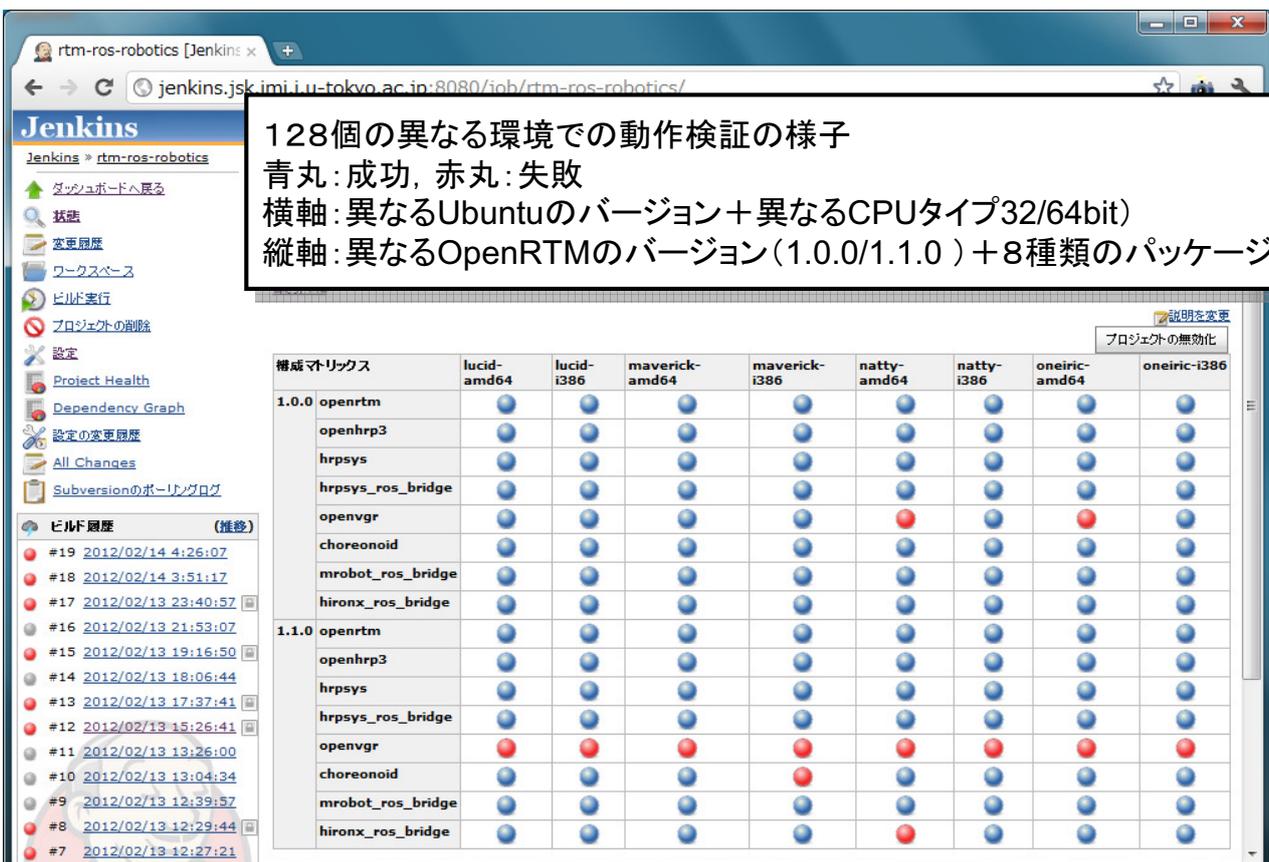


横軸: CPU x OS の8通りの組合せ
 縦軸: 7個のコンポーネントに対して, 2つのRTMバージョンで検証

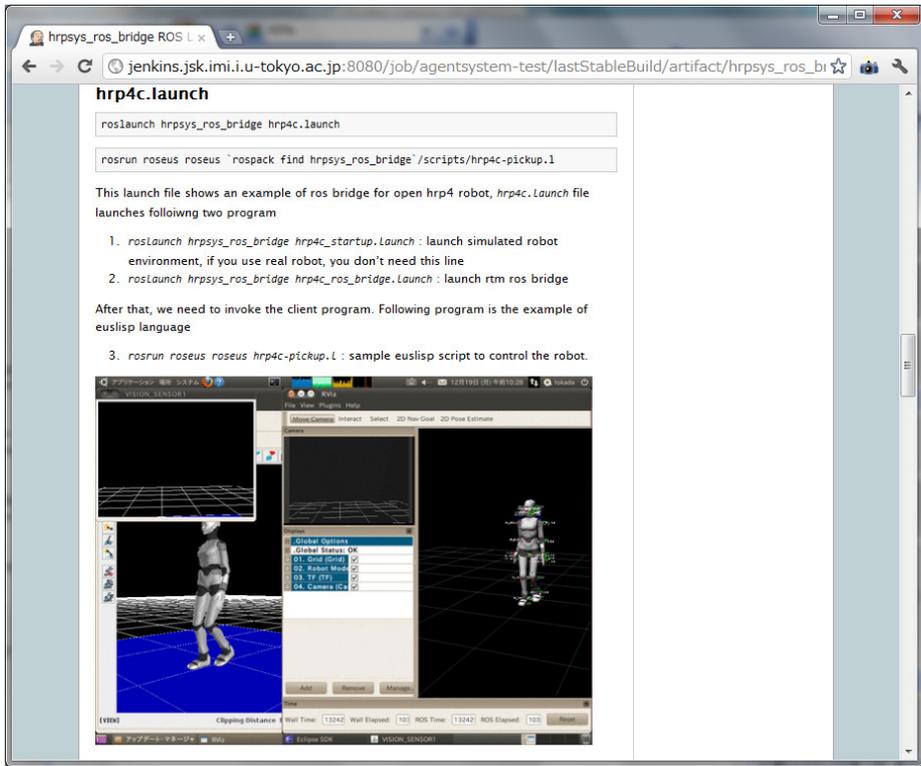
<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/rtm-ros-robotics/>

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

128個の異なる環境での動作検証の様子
 青丸: 成功, 赤丸: 失敗
 横軸: 異なるUbuntuのバージョン + 異なるCPUタイプ32/64bit)
 縦軸: 異なるOpenRTMのバージョン(1.0.0/1.1.0) + 8種類のパッケージ



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

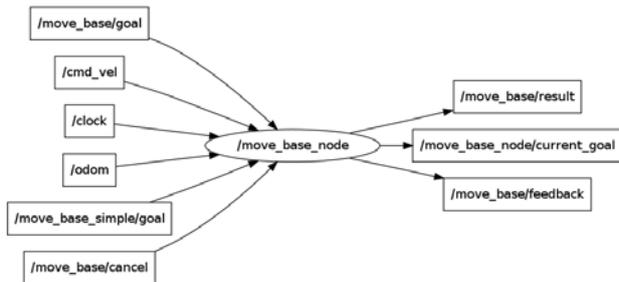


自動生成されたドキュメント例

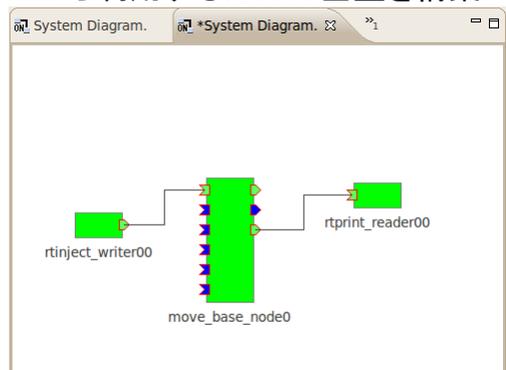
<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/openhrp3-example/index.html>
<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/hrpsys-example/index.html>
http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/hrpsys_ros_bridge-example/index.html
<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

(X3) ROSモジュール自動相互運用RTC

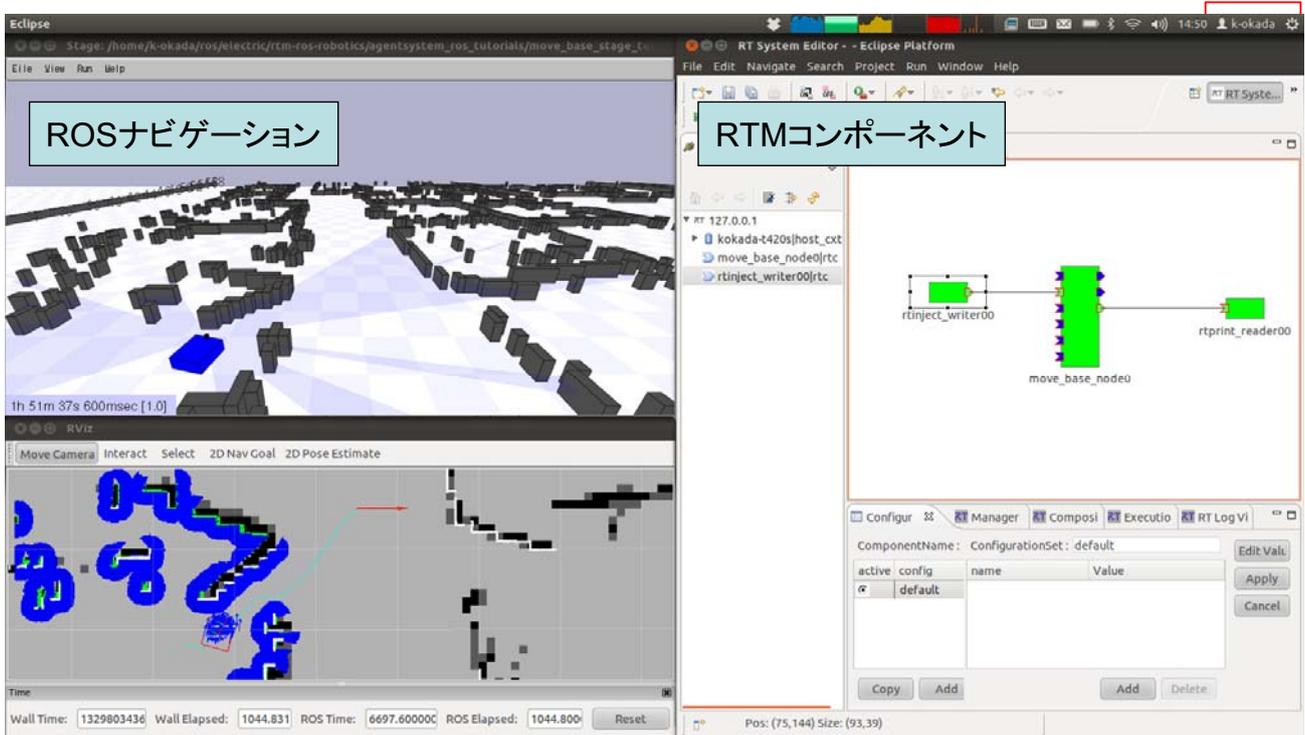
- 稼動しているROSモジュールから自動的にRTMコンポーネントを作成するプログラム
 - \$ roslaunch rosnode_rtc stage_sample.launch
 - 稼動しているROSモジュールの入出力メッセージを解析
 - 対応するOpenRTM用のIDLファイルを出力
 - 生成されたIDLファイルを利用してRTMコンポーネントを生成. ROSメッセージとRTMデータポートの相互変換を提供
- ROSで記述された3000のパッケージを全てRTMから利用するための基盤を構築



ROSのナビゲーションノード



自動生成されたROSナビゲーション機能を提供するRTMコンポーネント



ROSナビゲーションチュートリアルの実行

```
$ roslaunch move_base_stage_tutorial robot.launch
```

```
$ rosrn rviz rviz -d `rospack find movebase_stage_tutorial`/config/rviz.vcg
```

ROSノードからRTMコンポーネントの自動生成

```
$ roslaunch rosnode_rtc stage_sample.launch
```

RTMのデータポートからROSのナビゲーションを制御する例

```
$ rosrn rosnode_rtc stage_sample_send_goal.sh
```

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

31

ROSコンポーネントからRTCモジュール を自動生成するプログラムを実現

公開

- システム上で稼動しているROSノード(プログラム)から, 同等の入出インターフェースをもったRTMコンポーネントを生成するツール
 - ROSノードの入出力情報を取得
 - 対応するIDL(入出インターフェース情報)を出力
 - 出力したIDLを利用したRTCコンポーネントを生成・実行
- ROSで記述された3000のパッケージを全てRTMから利用するための基盤ツールを構築

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

32

開発したソフトウェア

• 開発したモジュール

全16パッケージを [http://rtm-ros-](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/)

[robotics.googlecode.com/](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/) で公開

- rtmbuild : 相互運用ツール
- mrobot_ros_bridge, hrpsys_ros_bridge, hironx_ros_bridge, fmk_rs_bridge, beego_navigatoin, rtm_node : 相互運用ソフトウェア
- openrtm, openhrp3, openinvent, openvgr, hrpsys, choreonoid, iis_id1, RS003 : 既存OpenRTMソフトウェアの相互運用例

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

33

まとめ

(1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ

- OROCOS(産業用実時間向け), YARP(人型研究用)
- Player/Stage(移動用), OpenCV(画像処理), OpenMP(アームプランナ)
- ⇒ ROS(認識移動作業)が平成21年より急激に普及.

(2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト

- ROSパッケージとRTMの統合法を確立し, 実システムで運用評価
- RTM-ROSの統合環境利用法の講義・演習・ホームページの公開

(3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

- RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメントの自動化
- ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

34

顕著な成果

- ROSパッケージとRTMの統合法を確立
 - パッケージソースコード開発管理ツール、プログラムコンポーネント実行管理ツールによる、効率のよい開発環境の構築.
 - RTMとROS、OpenRAVE、OpenNI (kinect)などの他のソフトウェアライブラリとの相互連携を実現
- 知能化コンポーネントの継続・発展環境
 - RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメント自動化
プロジェクト終了後も継続して動作検証環境とドキュメント生成できる自動テストツールを用いた省労力の管理方法の確立
 - ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現
ROSの全てのモジュールを自動的にOpenRTMから利用可能

5.2 実用化の見通しについて

5.2.1 本プロジェクトにおける 実用化の考え方

本プロジェクトにとっての実用化の基本的考え方

第1ステップ

- ・実用的な**知能モジュールの多数の蓄積**
 - ・**十分な性能・機能、再利用性**を有するモジュールとして検査済であること
- ・モジュール開発を実現する**設計環境の開発**
 - ・**開発環境と試験環境**を作ること

第2ステップ

知能モジュールおよびモジュール構成法の**提供**

- ・提供のための仕組み(**蓄積・提供環境**)を作ること。
- ・カタログやマニュアルなどのドキュメントを整備し、提供すること。

第3ステップ

広く**普及**させること

- ・本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること

知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群

— 知能ロボットプラットフォーム とモジュールの実現提供公開 —

蓄積

- ・開発した知能化モジュールの全検査を実施(再利用コンソ)
- ・RTコンポーネントビルダ、RTシステムエディタ、RTShellなどの開発

提供

- ・知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」をH21年11月に開設
- ・一部の知能化モジュールについてドキュメントを作成

普及

- ・産業用ロボット分野への知能モジュールの販売
- ・組込機器へのRTミドルウェアの開発とその実応用展開
- ・安全認証RTMの販売開始(5月8日(株)セックより発売開始)



汎用的なセンサ向けのRTコンポーネント(例)

本プロジェクトにとっての実用化1(正攻法) ～知能モジュールの継続的普及～



知能ロボット開発のための知能ソフトウェアモジュール群

— 知能ロボットプラットフォーム RobOSSAの実現 —

- ・次世代ロボットを、実現するためのソフトウェアスイート

蓄積

- RTミドルウェア OpenRTM-aist
- ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム OpenRTP-aist
- 知能ソフトウェアモジュール群 OpenRTC-aist

提供

市販ロボットを使って次世代ロボットの研究開発を容易に実現可能とする←Open Sourceのプロジェクト後の維持

普及

実社会で役立つロボット搭載による普及



作業ロボット例



移動ロボット例



対話ロボット例

公開HP



ROBOSSA
<http://robossa.org>

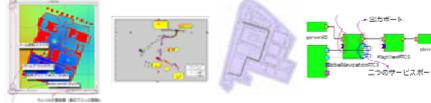
OpenRTC-aistで公開している知能モジュール

作業知能モジュール	
対象物認識	6
作業計画	2
ロボット操作	2
システム例	2
移動知能モジュール	
センシング	2
自己位置同定	4
経路計画・追従	4
走行系	3
操作IF	2
システム例	1
コミュニケーション知能モジュール	
音響入出力・処理	14
音声認識・合成	3
対話制御	2
その他	1
システム例	3

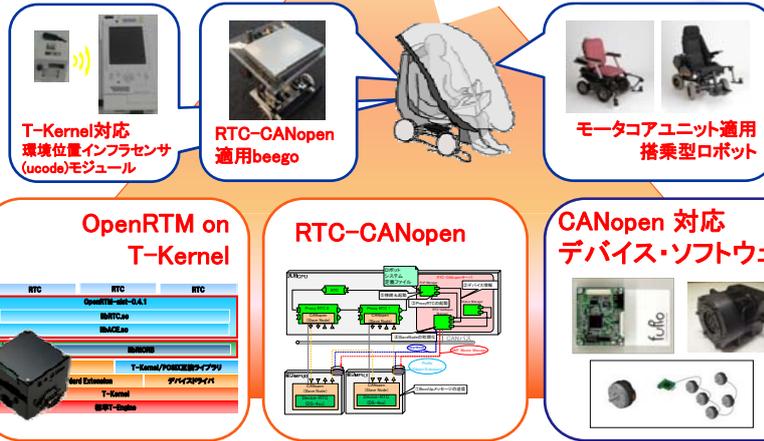
本プロジェクトにとっての実用化2(産業基盤ニーズへの切り込み)
 ~組み込みRTM,安全認証RTMの実現~

- **組み込みシステムの実現**
 - ・ミドルウェアとしての機能拡張
 - ・産業機器互換のRTCのフレームワーク
 - ・ T-Kernel(TRON準拠OS)やCANopen 対応デバイス・ソフトウェア等
- **安全モジュールの実現**
 - 世界初の安全コンセプトをもったロボット用ミドルウェア
 - ・様々なネットワークプロトコルに対応可能
 - ・OpenRTM-aistと連携する機能

RTミドルウェア対応組込プラットフォーム



移動制御系知能RTC



組込プラットフォーム群による成果の普及

既存規格, 国際標準規格に準拠

- ・ RTC コンポーネント規格(OMG) (ミドルウェアとしての機能拡張が国際標準として進行中(今月中旬予定))
- ・ CANopen 産業機器規格(CiA) (産業機器互換のRTCのフレームワークの国際標準化がなされた)

再利用の加速

- ・ コンポーネント化
- ・ 責任境界の明確化
- ・ 強みの発揮
- ・ 既開発品の導入容易化
- ・ 一般産業市場への展開

既存ソフトウェアとの互換性重視

- ・ OpenRTM-aist
- ・ T-Kernel(TRON準拠OS)

持続的進化

- ・ オープンソースにより常に進化
- ・ 標準規格により維持発展

接続容易化

- ・ マルチプラットフォーム対応
- ・ ハードからソフトモジュールまでシームレスに接続

オープンソース

- ・ EPL, etc

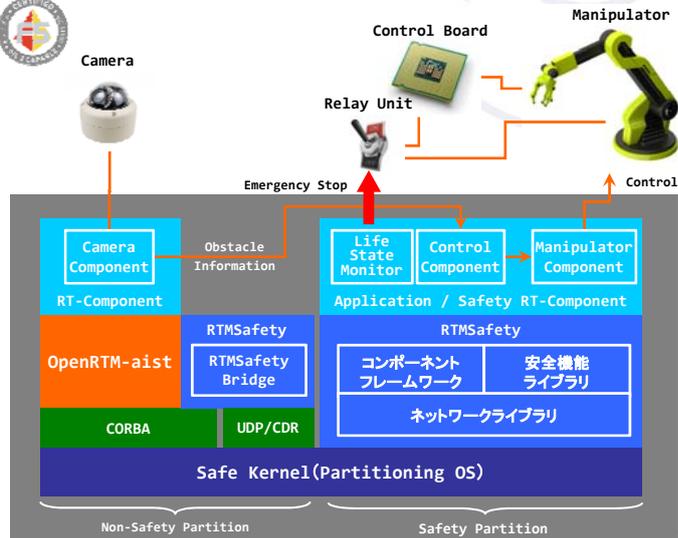
研究開発の成果 —安全認証取得RTMの開発—

IEC61508機能安全規格に準拠した安全認証取得RTミドルウェア

「RTMSafety」



- ◆世界初の安全コンセプトをもったロボット用ミドルウェアとして製品化
- ◆IEC61508 SIL3 Capableの製品認証を取得
- ◆ロボット用コンポーネント(RTC)とCPU負荷を均一化するフレームワークを提供
- ◆RTCの生存状況を監視する機能(Safety Function Library)を装備
- ◆GIOP / CDR準拠の軽量通信プロトコルを実装し、様々なネットワークプロトコルに対応可能(Network Protocol)
- ◆OpenRTM-aistと連携する機能を搭載(RTM Safety Bridge)



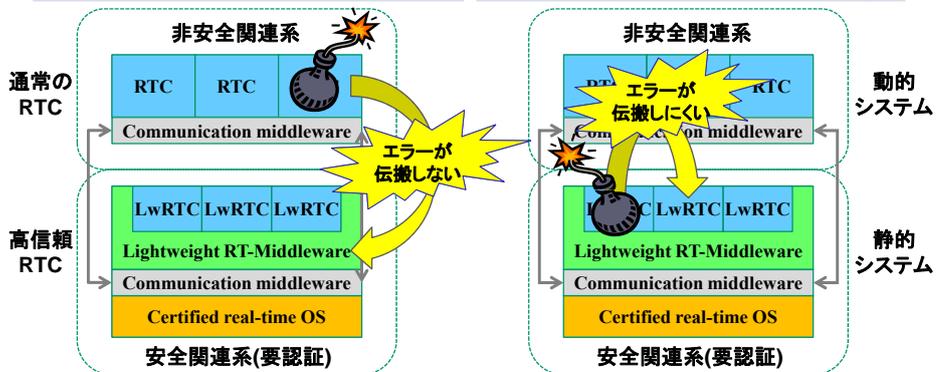
RTMSafetyの構成とメリット

非安全関連系が安全関連系に影響を及ぼさない

- 非安全関連系が認証不要になる

安全関連系のコンポーネント間の影響が最小限

- コンポーネント変更時の認証負担を減らす





本プロジェクトにとっての実用化3(国際レベルの知恵の結集)
～国際連携の実現～

●国際連携

広く普及させること

・本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること



RTMとROSの連携



ROS利用機関の分布

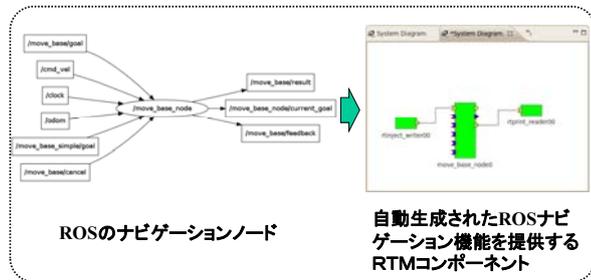


OpenRTM利用機関の分布

- ・アプリケーション
- ・知能モジュール
- ・ライブラリ
- ・シミュレータ
- ・通信ライブラリ
- ・デバイスドライバ
- ・開発ツール

研究・事業化
RTM知能化の
ターゲット領域

ツール
ROSの得意とする
領域



ROSのナビゲーションノード

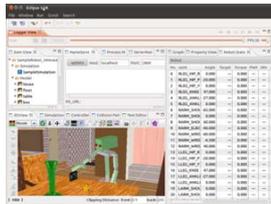
自動生成されたROSナビゲーション機能を提供するRTMコンポーネント



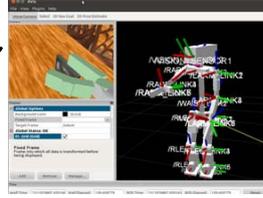
RTM,ROS相互運用

OpenRTM による
シミュレーション環境

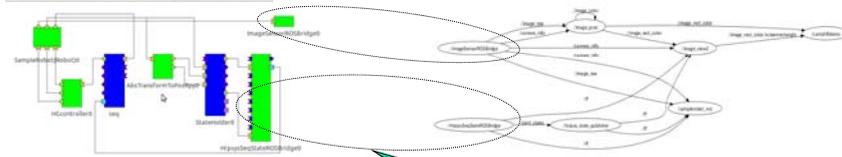
ROSを使った視覚処理,
センサービューワ



- RTM環境
- ・物理シミュレーション (干渉計算, モデルローダ)
 - ・ロボットモデル
 - ・コントローラ
 - ・シーケンサ
 - ・センサーホルダー



- ROS環境
- ・センサービューワ
 - ・画像処理



OpenRTM のコンポーネント表示

ROSのノード表示

相互運用プログラムは
OpenRTM,ROSの双方
のツールへ表示される



知能化コンポーネントの継続・発展環境

128個の異なる環境での動作検証の様子
青丸: 成功, 赤丸: 失敗
横軸: 異なるUbuntuのバージョン+異なるCPUタイプ32/64bit
縦軸: 異なるOpenRTMのバージョン(1.0.0/1.1.0)+8種類のパッケージ

バージョン	lucid-amd64	lucid-i386	maverick-amd64	maverick-i386	natty-amd64	natty-i386	oneiric-amd64	oneiric-i386
1.0.0	●	●	●	●	●	●	●	●
opentrm3	●	●	●	●	●	●	●	●
brpsys	●	●	●	●	●	●	●	●
brpsys_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●
openvgr	●	●	●	●	●	●	●	●
choreonoid	●	●	●	●	●	●	●	●
mrobot_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●
kirrox_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●
1.1.0	●	●	●	●	●	●	●	●
opentrm2	●	●	●	●	●	●	●	●
brpsys	●	●	●	●	●	●	●	●
brpsys_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●
openvgr	●	●	●	●	●	●	●	●
choreonoid	●	●	●	●	●	●	●	●
mrobot_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●
kirrox_ros_bridge	●	●	●	●	●	●	●	●



本プロジェクトにとっての実用化4(社会実装)
～実用化、販売、国民的ニーズへの対応～

第3ステップ

広く普及させること

・本プロジェクトの終了後も幅広い分野で成果が活用されること

非公開部分(詳細は後程説明)



まとめ ●実用化の基本的考え方(蓄積, 提供, 普及)

- 本プロジェクトにおける実用化1(正攻法)
～知能モジュールの実現、提供、普及～
- 本プロジェクトにおける実用化2(産業基盤ニーズへの切り込み)
～組み込みRTM,安全認証RTMの実現～
- 本プロジェクトにおける実用化3(国際レベルの知恵の結集)
～国際連携の実現～
- 本プロジェクトにおける実用化4(社会実装)
～実用化、販売、国民的ニーズへの対応～

ロボット・新機械イノベーションプログラム
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
RTミドルウェア対応組込みプラットフォーム群の開発

学校法人芝浦工業大学
学校法人千葉工業大学
NECソフト株式会社
2012/6/22

目次: 実施計画概要

目標:

搭乗型移動知能ロボットの構築を簡便にする
RTミドルウェア対応組込みモジュール群の開発

□RTC-CANopen:

- ・RTCとCANopenデバイスとのシームレスな連携を実現するフレームワーク
- ・国際標準規格として策定・発行
- ・マルチプラットフォームに対応した実装(サーバ、クライアント)・開発支援ツール

□CANopen対応デバイス・ソフトウェア群

- ・CANopen対応モータコアユニット
- ・OSS版汎用CANバスGUIモニター: fCAN-View
- ・OSS版CANopen対応組込ボード用ファームウェア: f-palette CANopen

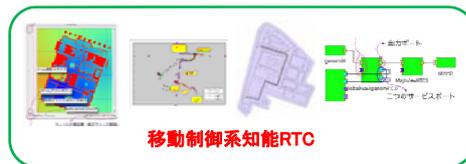
□OpenRTM on T-Kernel

- ・組込みリアルタイムOS(T-Kernel(TRON))におけるオープンソースRTミドルウェア互換環境
- ・複数のオープンソースサンプルRTコンポーネント

目標・成果内容・達成度

目標	成果内容	達成度	
RTM-CANopen	Non-OS, Native/バスのサポート	Non-OS, Native/バスを実現可能 でかつ標準化されている CANopen を基本にフレームワークを開発。	◎
	OpenRTM-aistとの互換性確保、PnP化	RTC-CANopen Server, Proxy RTC の実装により既存RTコンポーネントとシームレスに接続可能。PnPは PnP Manager 実装により対応。	◎
	国際標準規格対応	CIAにおいて 国際標準規格(DSP318, DSP460) として策定発行完了。	◎
	開発支援ツール	RTMの開発支援ツールと互換性を保ったプラットフォーム上に、 RTC-CANopen Builder, RTC-CANopen System Editor を実装。	◎
	マルチプラットフォーム対応・オープンソースソフトウェア(OSS)化	オープンソース版CANopenライブラリを利用することで Windows, Linux に対応し、フレームワーク実装も オープンソースソフトウェア として実現。	◎
	オープンソースRTC-CANopenクライアント	組込マイコン3種類 (H8SX, SH2, ARM)に対応したクライアントファームウェアを オープンソース で公開。	◎
	移動知能ロボットへの適用	小型リファレンスロボットに適用し再利用センター、ROS連携実験に供与。つくばチャレンジ機体等に適用。 市販CANopenデバイスを用いて簡便に実装 できることを確認。	◎
CANopen対応デバイス・ソフトウェア	CANopenに対応したモータコアユニット	CANopen DS301, DS401 に準拠し 絶対角度センサ搭載 により初期動作の必要のないモータコアユニットを実現。 従来比40%出力向上 したインバータ基板を搭乗型移動ロボットに搭載し動作を確認。	◎
	オープンソース版CANopenモータコアユニット用開発支援ソフトウェア	CANopenを含む汎用CANバス通信 をモニタリングできるGUIロガー FCAN-View を オープンソース で公開。	◎
	オープンソース版CANopen対応組込みMPUファームウェア(IO機能)	市販の多機能組込みボードt-palette (TiDSP採用)に CANopen対応ファームウェア を実装。 オープンソース で公開。	◎
OpenRTM on T-Kernel	軽量CORBA実装	産総研開発オープンソースRORB をT-Kernelに移植・実装。 多数のバグレポート、パッチ	◎
	OpenRTM-aist 1.0のT-Kernelへの移植	高い互換性とメンテナンス性を実現 。T-Kernel専用実行コンテキストを追加して リアルタイム性を改善 。 オープンソース 公開。	◎
	複数のプラットフォームに対応	MIPS, ARM コアCPUを採用した T-Engine標準プラットフォーム に対応。	◎
	OSS版サンプルRTCの実装	産総研OSS測域センサRTCを移植し、 オープンソース で公開。センサ情報をUSBではなく RTM標準プロトコル(Ethernet and CORBA) で 取得可能	◎

RTミドルウェア対応組込プラットフォーム：実装概要



T-Kernel対応
環境位置インフラセンサ
(ucode)モジュール



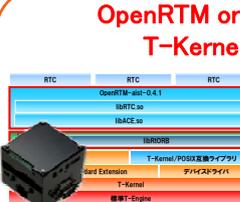
RTC-CANopen
適用beego



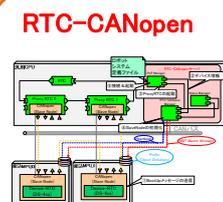
モータコアユニット適用
搭乗型ロボット



OpenRTM on T-Kernel



RTC-CANopen



CANopen 対応
デバイス・ソフトウェア



組込プラットフォーム群開発基本方針

既存規格, 国際標準規格に準拠

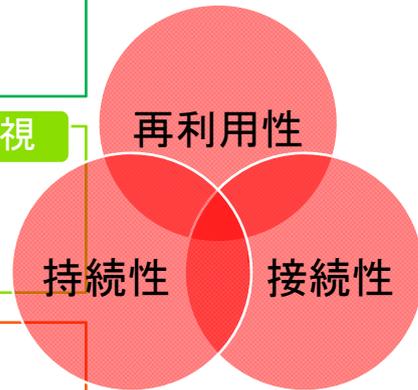
- RTC
- CANopen

既存ソフトウェアとの互換性重視

- OpenRTM-aist
- T-Kernel(TRON準拠OS)

オープンソース

- EPL, etc



RTミドルウェア対応組込プラットフォーム群開発

RTコンポーネント規格フレームワーク

PCLレイヤモジュール群

組込レイヤモジュール群

シームレスな連携
知能ロボット簡便に構築可能

RTミドルウェア対応組込プラットフォーム群

ネイティブバス対応
RTC-CANopen
(芝浦工業大学)

CANopen対応デバイス・
ソフトウェア群
(千葉工業大学)

OpenRTM on T-Kernel
(NECソフト)

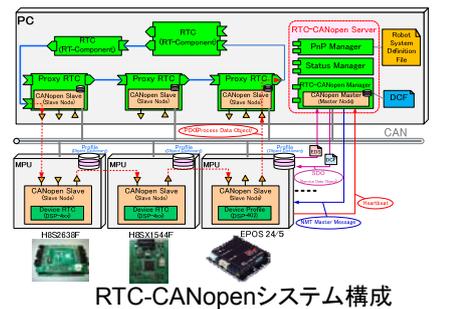
Non-OS, ネイティブバス対応RTミドルウェア 環境 RTC-CANopen

標準規格を拡張, 国際標準規格化完了
既存標準規格製品そのまま利用可能

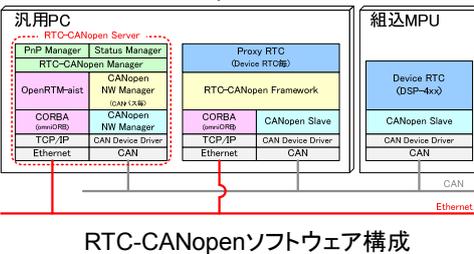
ロボット技術の商用普及・再利用を加速する
組込みモジュールプラットフォーム

芝浦工業大学

RTC-CANopen概要



RTC-CANopenシステム構成



RTC-CANopenソフトウェア構成

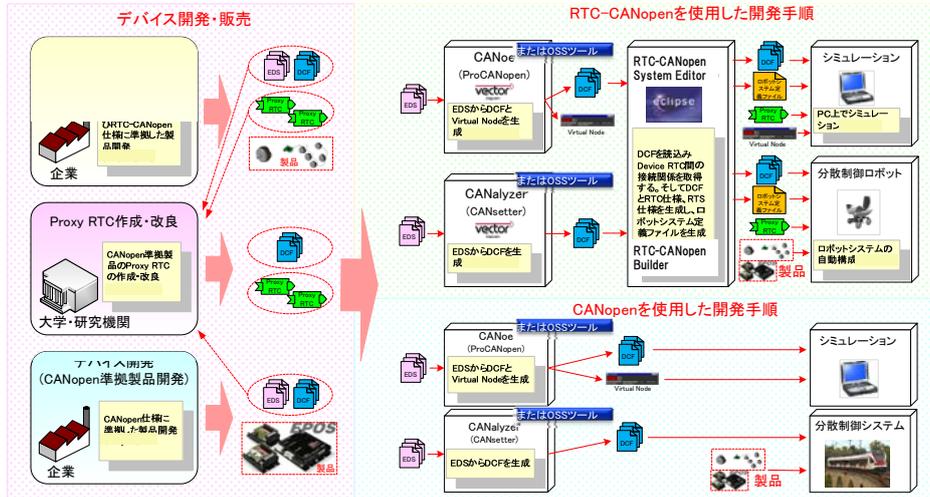
システム概要

CANなどネイティブバスを介して接続される各種デバイスと汎用PC上のRTCを相互に連携可能。RTC-CANopenは、"Device RTC", "Proxy RTC", "RTIC-CANopen Server"から構成される

特徴

- **軽量性** ... 組込み向けRT-Middlewareとして軽量の仕様
- **ロバスト性** ... 全体を監視する仕組みを配置することによりシステムのロバスト性を向上
- **リアルタイム性** ... CANの特徴を活かし、高速で信頼性の高いコンポーネント間通信を実現
- **柔軟性** ... コンポーネントのPnP機能など、システムの構成を柔軟に変更可能なシステム
- **再利用性の向上** ... CANopenを使用することによってデバイスの再利用性が向上
- **マルチプラットフォーム** ... Windows, Linuxに対応(動作検証:Windows XP SP3, Ubuntu 9.10)

RTC-CANopenを用いたロボット開発手順



RTC-CANopen標準化

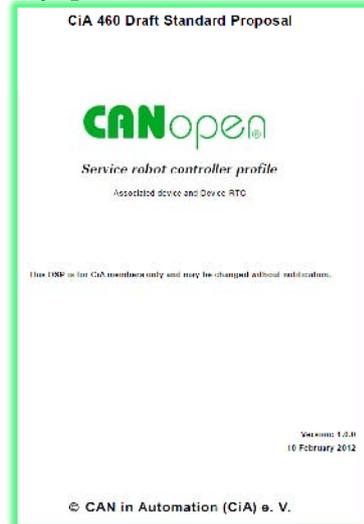
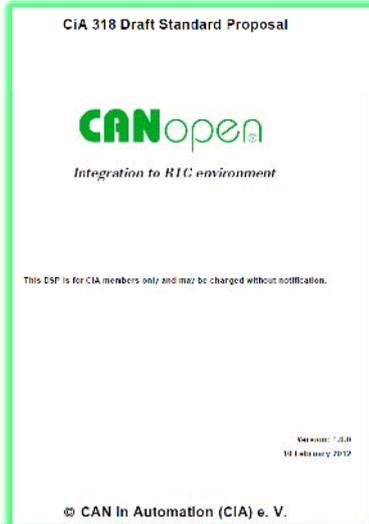
- ✓ 既存のCANopen準拠デバイスをRTMフレームワークで利用可能 (既製品を容易に利用)
- ✓ CANopen準拠である為、ロボット以外にも幅広く利用可能 (企業の参入を促進)

➡ **ロボット部品の大幅な種類増と低価格供給が期待**

- CANopenの標準化団体であるCiA(CAN in Automation)とRTC-CANopenの規格化に関して調整を開始(2008~)
 - CAN Newsletter にRTC-CANopen及び、 RT-Middleware紹介記事掲載(2010.6)
 - CiAより、Service Robot のCANopenプロファイル策定のため、CFE(Call for Expert)発出 (2010.7.14)
 - CiAキックオフミーティング実施 (2010.11.15)
 - サービスロボットSIG発足(2011.3.5) 議長 水川 真(芝浦工大)
 - **国際標準化**
 - CiAからの提案により、仕様を以下の2つに分割
修正版WDを作成(2011.11.04/11.18)
 - CiA318:Implementation guideline - Mapping of RTC to CANopen
 - CiA460:Service robot controller profile - NMT master application and CANopen device proxies
- CiAから、規格としてDSP(Draft Standard Proposal)発行(2012. 2.10)**

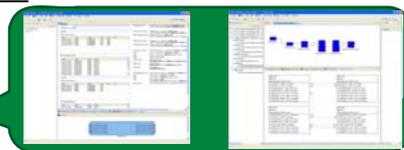


CiA標準規格として発行 2012年2月10日



開発成果

- RTC-CANopenの国際標準規格化
 - DSP318, DSP460
- 開発ソフトウェア
 - 設定ツール(Eclipseプラグイン)
 - RTC-CANopen Builder
 - RTC-CANopen System Editor
 - サーバー
 - Windows版: オープンソース公開 / 商用ライブラリ
 - Linux版: オープンソース公開
 - クライアント(Device)
 - すべてオープンソース公開
 - H8SX
 - SH2
 - ARM



対応インターフェース

Device: CANcardXL
Driver: GCPDriver

Windows

Device: IXXAT
USB-to-CAN compact
Driver: CANFestival



Device: PCAN-PCカード
Driver: Socket CAN

H8SX1544F



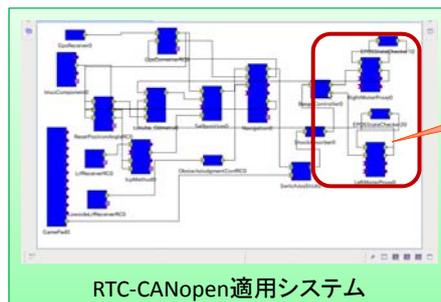
RTC-CANopenの利用状況

- RTC-CANopenの提供
 - セグウェイジャパン株式会社
 - 京都大学
 - 大阪大学
 - 東京大学
 - 名古屋工業大学
- 2010年、2011年つくばチャレンジ機体への適用
- 小型リファレンスロボット(Beego改)
 - 再利用センターへの提供
 - 室内運搬サービスデモ(再利用センターと共同)
 - ROS連携実験(東京大学)
- RTC-CANopenリファレンスマニュアルの公開

—企業からの問い合わせ3社

RTC-CANopenの利用実績

～2010年つくばチャレンジ～



知能化PJで開発したRTC群
及びRTC-CANopen

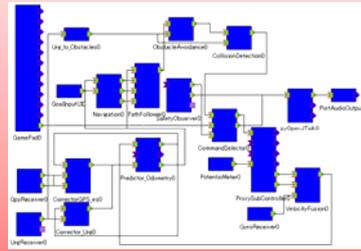


つくばチャレンジ用自律移動ロボット

- Maxon製EPOSを使用(既存CANopen製品の利用)
- 差動二輪型の移動機構
- 既存RTCを利用
- 汎用Proxyを利用

モジュールの利用実績 ~FourXへの適用~

- Chasswheel社FourX



システム構成

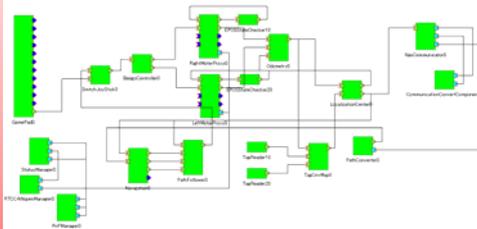
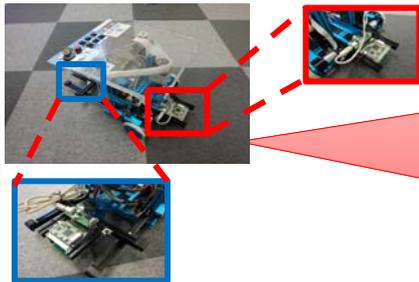
同コンソの東北大のモジュールを利用し、自律移動の動作を確認

再利用RTC

- CorrectorGps
- Navigation
- PathFollower
- Urg_to_Obstacles
- ObstacleAvoidance
- CollisionDetection
- Predictor_Odometry

モジュールの利用実績 ~サービスロボットへの適用~

- テクノクラフト社Beego改



システム構成

既存のRTCを利用し、移動ロボットを用いてサービスを行った

再利用RTC

- PathFollower
- Navigation

試験用ロボットbeego

- RFIDタグリーダーを利用
- Maxon製EPOSに置換(既存CANOpen製品を利用)
- 差動二輪型の移動機構

サービスシナリオ

- ①ユーザーは「手紙を持ってくる」サービス実行する
- ②移動ロボットはポストまで移動
- ③ポストが手紙をロボットへ渡す
- ④ロボットはユーザーの位置まで移動

CANopen対応デバイス・ソフトウェア群

標準規格CANopen採用

RTC-CANopen適用によりRTコンポーネント化可能

- ・CANopen対応モータコアユニット
- ・OSS版汎用CANバスGUIモニター: FCAN-View
- ・OSS版CANopen対応組込ボード用ファームウェア:
f-palette CANopen

商用性・再利用性が高い組込みモジュール

千葉工業大学, ピューズ

モータコアユニット



実用化技術ベース

次世代ロボット共通基盤開発PJ開発
市販のモータドライブ技術を応用

ユニット一体型

ギア・モータ・絶対角度センサ

標準規格CANopen採用

- ・複数ユニットをネットワーク化可能
- ・RTC-CANopen適用によりRTC化可能

簡便構築

搭乗型移動ロボット



CANopen対応モータコアユニット・内蔵モータドライバ



モータコアユニット仕様		
サイズ	φ70 x L 80 [mm](名刺大)	
重量	1132 [g]	
トルク	連続	15 [Nm] (Target)
	ピーク	30 [Nm] (Target)
速度	60 [rpm] (@ 60V)	
ネットワークIF	CAN bus CANopen	

モータ軸
エンコーダ

波動歯車減速機
ブラシレスモータ

ギア軸
絶対角エンコーダ

モータドライバ



CANopen
対応CAN-IF

モータドライバ FTMD 1 axis仕様

サイズ	75x55x24[mm] (名刺半分)	
電流	連続	7[Arms] 従来比40%UP
	ピーク	10[Arms] 従来比42%UP
電圧	10~60 [V] 従来比25%UP	

モータコアユニット：CANopen対応機能

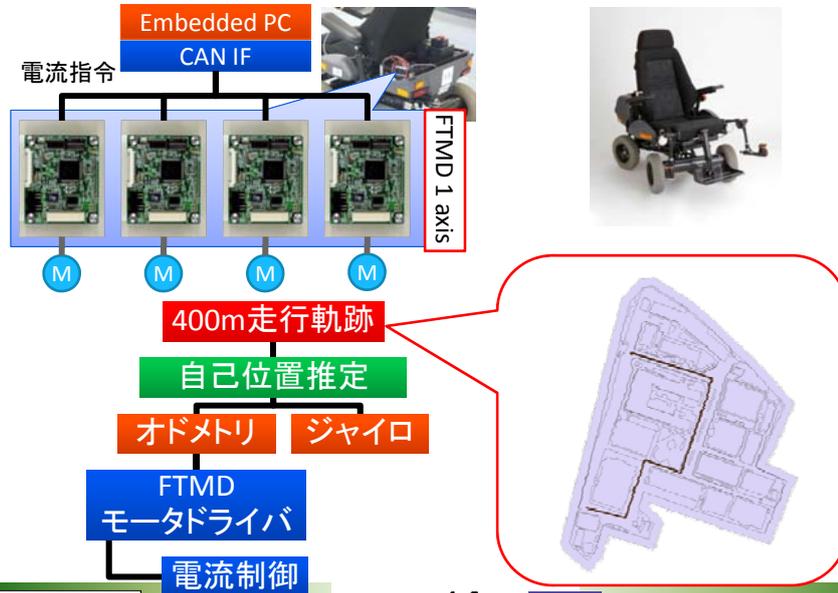
コミュニケーションプロファイル

- 標準規格DS301準拠
- プロセスデータオブジェクトPDO (PDOマッピング)
- サービスデータオブジェクトSDO
- 同期Sync
- Heart Beat

デバイスプロファイル

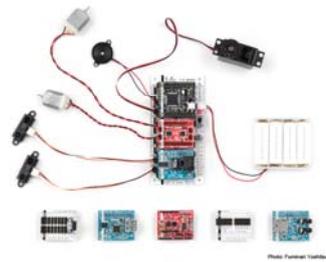
- I/Oデバイスプロファイル(標準プロファイルDS401)準拠
- モータ制御プロファイル
 - 電流モード
 - 速度モード
 - 角度モード

モータコアユニット: 搭乗型ロボットFourXへの適用



OSS版CANopen対応クライアント: f-palette CANopen

- CANopen基本機能実装
 - DS301標準準拠
 - SDO、NMT、BOOTUP、PDO
- オープンソース公開済み
 - DS401(汎用IOプロファイル)用サンプルプログラム
 - ドキュメント
 - <http://code.google.com/p/f-palette-canopen/>



OSS版汎用CANバスGUIモニター: FCAN-View

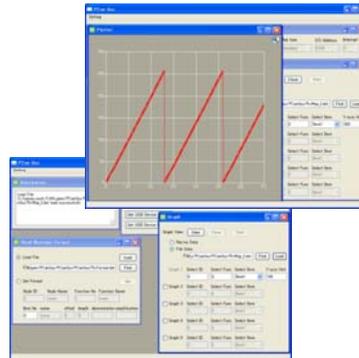
GUIにより簡便に利用可能

- モータコアユニットを簡単セットアップ
- CANopenプロトコル準拠データ可視化

オープンソース

- オープンソースライブラリを用いて開発
- CANopenデバイスに利用可能

- リリースバージョン作成完了
 - 全ての機能実装済み
 - ドキュメントも公開
- Google codeにて公開済み
<http://code.google.com/p/fcan-view/>



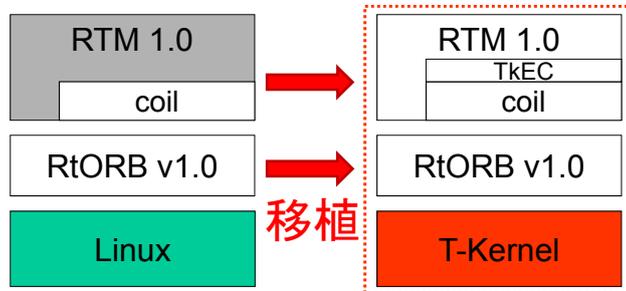
OpenRTM on T-Kernel

組込リアルタイムOS(T-Kernel(TRON))における
RTミドルウェア互換環境
既存組込環境にRTミドルウェア技術導入
知能モジュール組み込みソリューション

ロボット技術の商用普及・再利用を加速する
組込みモジュールプラットフォーム

NECソフト株式会社

OpenRTM on T-Kernel T-Kernel版RTミドルウェア



- PCベースのOpenRTM-aistをT-Kernelへ移植
 - 高い互換性とメンテナンス性
 - T-Kernel向け実行コンテキスト(EC)を追加しリアルタイム性を改善
- 公開
- オープンソースとして公開中
 - <http://sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel/>

OpenRTM on T-Kernelの対応プラットフォーム

T-Engine標準プラットフォームを採用

- 入手性: OK
- メンテナンス性: OK



MIPSコア: Teacube

- 52x52x45mm
- USBx2, Serialx2, CompatFlash, LAN, VGA, etc



ARMコア: Teamacaron

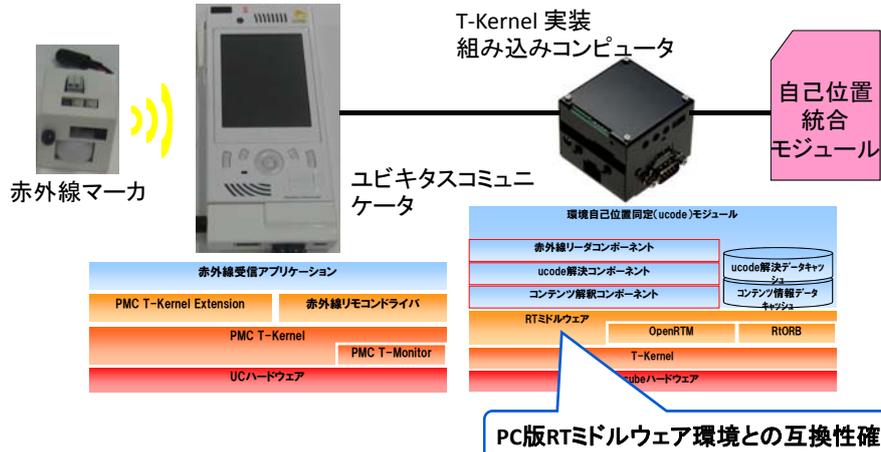
- 大幅な小型化とパフォーマンスアップを実現可能
- ARM11コア
- 50x50x16mm
- VGA, LAN, USB, microSD, Serialx2



OpenRTM on T-Kernel実装例1

ucode RTC ver.1

T-Kernel版環境自己位置同定(ucode)モジュール実装。



OpenRTM on T-Kernelの実装例2

- OSS測域センサRTC(産総研RTC:HokuyoAist)を移植
- センサ情報をUSBではなくRTM標準プロトコル(Ethernet and CORBA)で取得可能
- 測域センサURGのRTC、ビューワRTCをオープンソースベースで実装し評価を実施。サンプル事例として公開済み。
 - 成果は国際ロボット展に展示
- 公開
 - ドキュメントを含めオープンソースで公開済み
<http://sourceforge.jp/projects/rtm-t-kernel/>



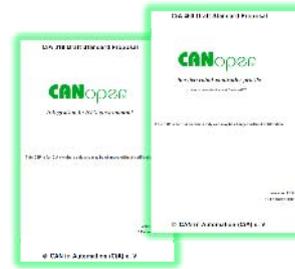
すべてのソフトウェア成果をオープンソースライセンスで公開

モジュール名	概要	特記事項	提供方法	公開済みサイト	提供元
DFITコンポーネント	路面画像を用いて自己位置推定を行う	移動SWG共通IF	OSS/EPL	水川研ホームページ www.hri.ee.shibaura-it.ac.jp/download.html	芝浦工大
GPS NAVIコンポーネント	GPSから受信したデータをもとに、ロボットのナビゲーションのために必要な処理を行うRTC	移動SWG共通IF	OSS/EPL		
WiiRemote Components	Wiiリモコン用のRTC	移動SWG共通IF	OSS/EPL		
Beegoモジュール群	小型移動ロボットBeegoを操作するためのモジュール群 (RTC:CANopen用)	移動SWG共通IF 標準規格提案	OSS/EPL		
RTC-CANopenミドルウェア群	RTCコンポーネントをCANopen上で動作させるためのミドルウェア群 (OSS版、商用ライブラリ版、ツール群含む)	国際標準規格として提案・発行される	OSS/EPL 商用版/バイナリ		
リアルタイム実行コンテキスト	Posixライブラリと標準Linuxリアルタイム機能を利用したリアルタイム対応実行コンテキスト	メインラインへの取り込み済み	OSS/GPL		
ゲームパッドRTC	市販ゲームパッド用のRTC	移動SWG共通IF	OSS/EPL	code.google.com/p/rtc-for-intelligent-mobile-robot/	千葉工大
全方位移動搭載型ロボット制御コンポーネント	全方位移動搭載型ロボットを制御するためのコンポーネント	移動SWG共通IF	OSS/EPL		
移動知能モジュール群	移動ロボット用知能モジュール群をオープンソース		OSS/EPL		
FCAN-View	CANopen対応モータユニットの使用を容易にするGUI計測コガ	CANopenを含む様々なCAN通信に対応	OSS Apache License V2.0	code.google.com/p/fcan-view/	
f-palette CANopen	多機能組込ボードのCANopen対応。ボードのDIO、AIを利用可能	汎用IOプロファイルに対応	OSS/LGPL	code.google.com/p/f-palette-canopen/	
大経路計画モジュール	環境GIS研究所が実装したRgisOperatorの経路探索サービスを使って経路計画するコンポーネント	他コンソRTCを再利用	OSS Apache License V2.0	sourceforge.jp/projects/rm-t-kernel	
ucodeモジュール	ucode環境インフラとのインタフェースが可能となり、ucodeに紐付けられた位置情報を検知可能	既存インフラ (ucode環境) との連携	OSS Apache License V2.0		
測域センサRTC	センサ情報をUSBではなくRTM標準プロトコル (Ethernet and CORBA) で取得可能	OSS測域センサRTC (産総研 RTC.HokuyoAist) を移植	OSS EPL		
OpenRTM on T-Kernel	T-Kernel (TRON) が動作する組み込みプラットフォームでOpenRTMを動作させることができるようになる	既存組み込みソフト資産 (TRON) の再利用と拡張	デュアルライセンス (EPL+個別契約)		

実用化の見込み: RTC-CANopen (芝浦工大)

- CiA (CANopen標準化団体) における世界展開

- Service Robot SIG
- DSP318, DSP460
RTC-CANopenの国際標準規格化に基づく
コンポーネントベース応用システム開発の加速



- 既存デバイスへの適用事例開発・公開

(開発実施: 芝浦工大)

- Maxon社 (スイス) EPOSモータドライバへの適用・実装
- THK社 (日本) 次世代ロボット向けエンドエフェクタ構成要素 SEED (Smart End Effector Devices) -MSへの適用・実装
- 市販Linux, Windows CANインタフェース対応

EPQS2 P



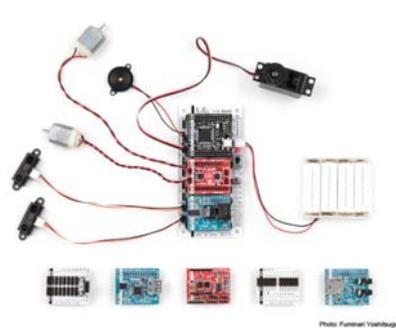
- 対応機種: CANopen (CANopen 2.0B/2.1B/2.2B/2.3B/2.4B/2.5B/2.6B/2.7B/2.8B/2.9B/3.0B)
- 対応機種: 産業用ロボット、産業用モータ
- 対応機種: 産業用ロボット、産業用モータ
- 対応機種: 産業用ロボット、産業用モータ
- CANopen 2.0B/2.1B/2.2B/2.3B/2.4B/2.5B/2.6B/2.7B/2.8B/2.9B/3.0B

<p>Linux</p> <p>Device: PCAN-PCカード Driver: Socket CAN</p>	<p>Windows</p> <p>Device: IXXAT USB-to-CAN compact Driver: CANFestival</p> <p>Device: CANcardXL Driver: GCPDriver</p>
--	--

オープンソース対応

実用化の見込み: CANopen対応デバイス・ツール群(千葉工大)

千葉工大発ベンチャー・フューロワークス(株)にて
CANopen対応多機能マイコンボードf-palette販売

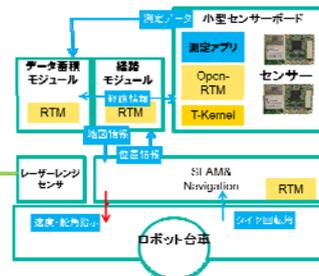


www.f-palette.org

実用化の見込み: OpenRTM on T-Kernel (NECソフト)

- 先端計測分析機器のソフトウェアプラットフォーム
 - ✓ 有償/無償(OSS)、さまざまなバリエーションをそろえていく方針とのことで、Teamacaron(ARM)向けの実行環境としてOpenRTM on T-Kernelを採用検討中
→RTOS対応について、情報提供、技術協力開始

- 自動計測機器用ロボット
 - ✓ セグウェイロボットPF上にOpenRTM on T-Kernelを搭載した小型センサーボードを搭載した自動計測機器を検討中



組込プラットフォーム群による成果の普及

既存規格, 国際標準規格に準拠

- RTC コンポーネント規格(OMG)
- (ロボットサービス機能拡張の国際標準化が進行中(今月中旬予定))
- CANopen 産業機器規格(CIA)
- (産業機器のRTC互換化フレームワークの国際標準化がなされた)

再利用の加速

- コンポーネント化
- 責任境界の明確化
- 強みの発揮
- 既開発品の導入容易化
- 一般産業市場への展開

既存ソフトウェアとの互換性重視

- OpenRTM-aist
- T-Kernel(TRON準拠OS)

持続的進化

- オープンソースにより常に進化
- 標準規格により維持発展

接続容易化

- マルチプラットフォーム対応
- ハードからソフトモジュールまでシームレスに接続

オープンソース

- EPL, etc

経済産業省
ロボット・新機械イノベーションプログラム
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
事後評価分科会資料

プロジェクトの詳細説明資料(公開)
5.2 実用化の見通しについて
5.2.3 安全認証取得RTMの開発について

株式会社セック
独立行政法人産業技術総合研究所
2012年6月22日

- I. 安全認証取得RTMの開発
 1. 実施計画(研究)の概要
 2. 研究開発の成果
 3. 成果普及の見通し
- II. 知能モジュールのドキュメント整備
 1. 実施計画(研究)の概要
 2. 研究開発の成果
 3. 成果普及の見通し

【実施計画】

- 実世界で人とともに活動するロボットシステムを実現するためには、システムを構成する要素や部品の故障リスクを低減するための安全機能が必要不可欠である。
- 次世代知能ロボットシステムの安全装置等の知能モジュールを実現するためには、機能安全規格に準じた開発プロセスを想定し、その開発プロセスに沿って知能モジュールを開発する必要がある。
- そこで、IEC61508等の**機能安全規格に基づいた開発プロセス**を構築、支援するための**ツール群の開発**と**機能安全規格に準じたRTミドルウェアの開発**を行う。

- **機能安全に対応した高信頼なRTミドルウェアの必要性**
 - 生活支援分野のサービスロボットや次世代産業用ロボットなどにおける機能安全の必要性
 - IEC61508、ISO26262、ISO13482など国際標準規格への対応
 - 機能安全対応のためのコストダウン、安全モジュールの再利用による開発効率の向上
 - 商用で利用できる高品質なRTミドルウェアへのニーズ



- 高信頼性RTミドルウェアを開発し、**IEC61508 SIL3 Capableの認証を取得した**

I. 2. 研究開発の成果 -安全認証取得RTMの開発-

公開

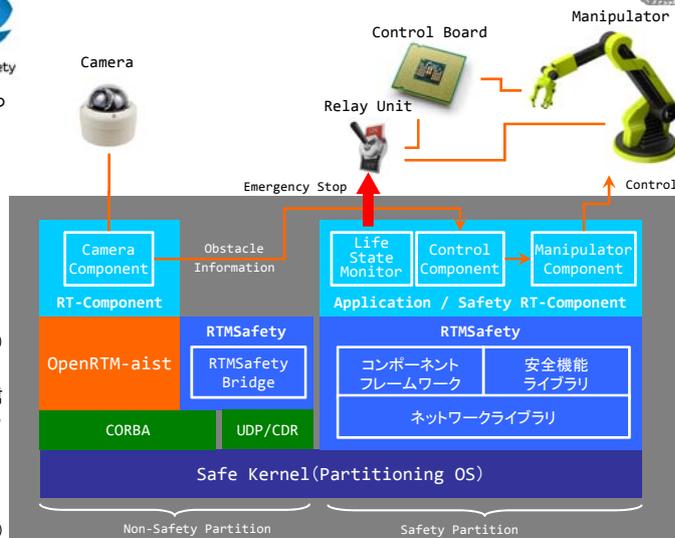
研究課題	最終目標(平成23年度末)	達成内容	達成度
高信頼RTミドルウェアの開発	機能安全規格IEC61508に基づいた開発プロセスを想定し、その 開発プロセスを構築、支援するためのツール群 を開発する。	•IEC61508の開発プロセスに準拠した モデルベースの開発プロセス を策定。	◎
	機能安全規格を取得済みのOS上に IEC61508準拠のRTミドルウェアを実装 する。	•Linux、μITRON、 QNX (IEC61508準拠) の3つのOS上で動作する 軽量・高信頼なRTミドルウェア を開発。 • VxWorks (IEC61508準拠) への移植性を評価。 •IEC61508 SIL3 Capableの認証を取得し、 RTMSafetyとして製品化	◎

I. 2. 研究開発の成果 -安全認証取得RTMの開発-

公開

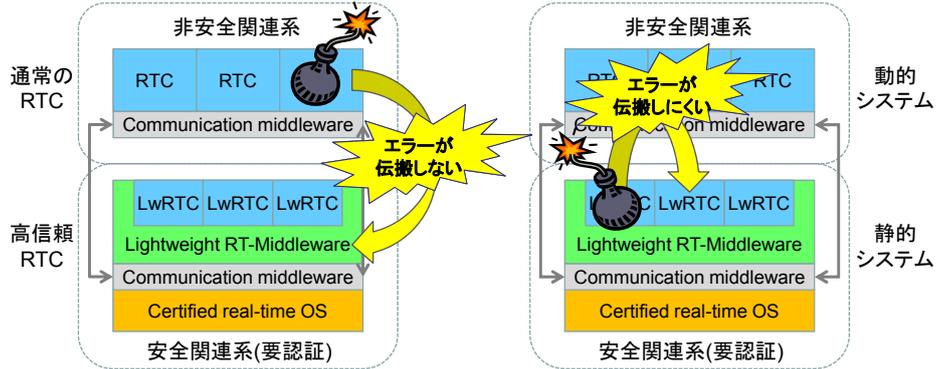
IEC61508機能安全規格に準拠した安全認証取得RTミドルウェア
「RTMSafety」

- ◆**世界初の安全コンセプト**をもったロボット用ミドルウェアとして**製品化**
- ◆**IEC61508 SIL3 Capableの製品認証**を取得
- ◆ロボット用コンポーネント(RTC)とCPU負荷を均一化するフレームワークを提供
- ◆RTCの生存状況を監視する機能(Safety Function Library)を装備
- ◆GIOP / CDR準拠の軽量通信プロトコルを実装し、様々なネットワークプロトコルに対応可能(Network Protocol)
- ◆OpenRTM-aistと連携する機能を搭載(RTM Safety Bridge)



RTMSafetyの構成とメリット

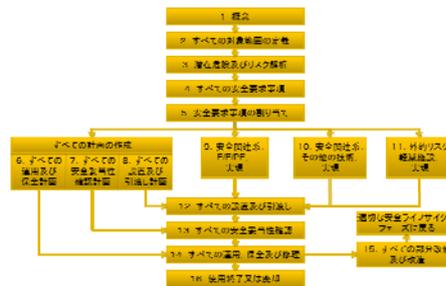
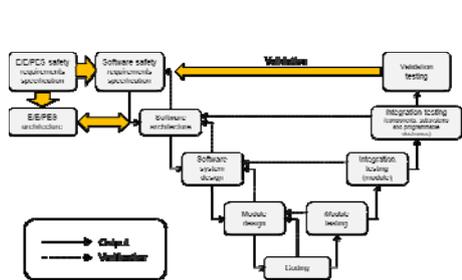
- | | |
|--|---|
| 非安全関連系が安全関連系に影響を及ぼさない
・非安全関連系が認証不要になる | 安全関連系のコンポーネント間の影響が最小限
・コンポーネント変更時の認証負担を減らす |
|--|---|



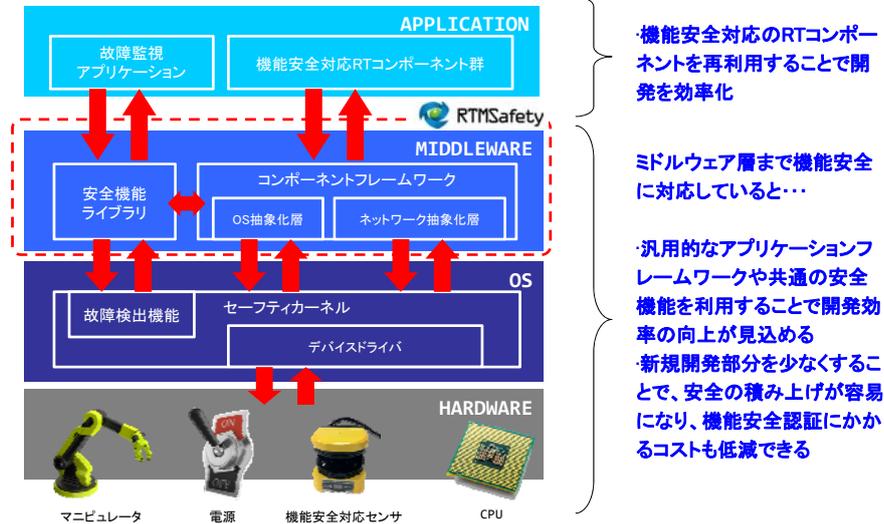
機能安全対応のロボットシステムを開発するための開発プロセス

V字モデル開発

全安全ライフサイクル



機能安全対応のロボットシステムの開発の効率化とコストダウンに貢献



- 安全認証取得RTM「RTMSafety」
 - 第三者認証機関exidaより、IEC61508 SIL3 Capableの認証取得
 - 日本のソフトウェア会社でIEC61508認証取得は2例目
 - 2012年5月8日より、製品販売を開始
 - 自律車両、次世代産業用ロボットへの適用
 - IEC61508はISO26262など他の安全規格の上位規格であり、**ロボット分野以外への適用も視野**
 - ESEC2012「ディペンダブル・ソフトウェアDAY」(キャッツブース)にて「安全性と生産性を両立させるミドルウェア」として「RTMSafety」を紹介



【実施計画】

- 本プロジェクト内で開発されたオープンソースの知能モジュール群について、その再利用を促進するために、開発者とRTC再利用技術研究センター等の検証機関で共同してドキュメント作成を行うためのシステムを構築し、**知能モジュールおよび知能モジュールを組み合わせたRTシステムの構築に関するドキュメントを整備**する。このドキュメント形式、内容については、再利用WGの決定に従う。

• 中間評価において以下のようなコメント

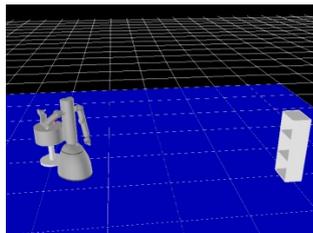
- 仕様書の書式統一だけでなく、ソフトウェア品質作り込み基準、プログラミング作法、モジュール入出力仕様の考え方などの統一を図ることで、利用者が混乱することなく容易に利用可能で、かつ信頼性を担保したソフトウェアモジュールの実現を目指して頂きたい。
- 利用者の拡大に向けた施策（マニュアル作成、プラットフォームの使い勝手と信頼性の向上、情報開示の拡大、啓蒙、サポート）に力点を移していくことも必要であろう。



- 知能モジュール群やそれらを組み合わせたロボットシステムの**マニュアル**、再利用性確保のための**ガイドライン**の必要性
- 利用者の拡大、普及促進に向けた初心者向け**パンフレット**や**チュートリアル**の必要性

研究課題	最終目標(平成23年度末)	達成内容	達成度
ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証	RTC再利用技術研究センターに登録されている本プロジェクトで開発されたオープンソースの知能モジュールおよび、知能モジュールを組み合わせる構築したRTシステムについて、機能や使用方法などを記述したドキュメントを作成する。対象とする知能モジュールおよび、ドキュメントの形式、内容、ライセンスなどについては、再利用WGの検討結果に従うものとする。	仕様書や開発の統一基準の作成および、利用者の拡大に向けた方策として、パンフレットの作成・配布やチュートリアル、知能モジュール群およびロボットシステムのマニュアル、知能モジュールの共通インターフェース仕様書の整備を実施。	◎

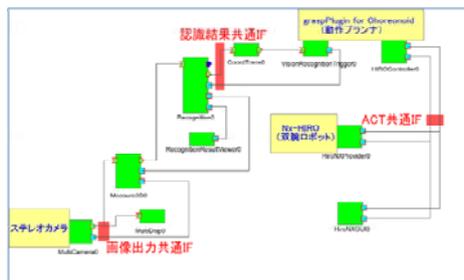
- パンフレット
 - 国際ロボット展で2000部を一般配布
- チュートリアル
 - 安川電機コンソの統合検証デモのシミュレーション
 - 移動/作業/コミュニケーションのモジュールを統合
 - 市販の2足歩行ロボットへのRTミドルウェア適用
 - 2足歩行、画像認識、音声処理のモジュールを統合



- 知能ロボットシステムのマニュアル
 - 自律移動システム、双腕ヒューマノイド作業システム、音声対話システム、統合システム(チュートリアル)などの**8種類ロボットシステム**の利用手順をマニュアル化
- 知能モジュール群のマニュアル
 - 移動知能、作業知能、コミュニケーション知能の**9つのモジュール群(74モジュール)**の仕様、利用手順をマニュアル化
- モジュール共通インタフェース(I/F)仕様書
 - 移動共通I/F、作業共通I/F、コミュニケーションI/F、カメラ画像共通I/F、作業用画像認識共通I/F、双腕ロボット共通I/Fの**6つの共通インタフェース仕様**を策定

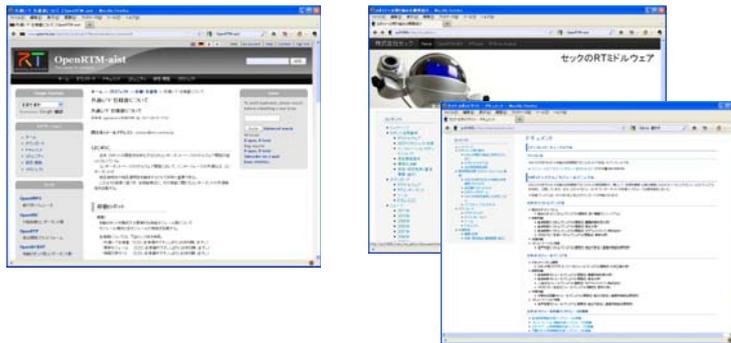


モジュール共通I/Fを策定したことで
モジュールの**再利用性が向上**



頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業 (産総研)

- 作成したパンフレット、チュートリアル、マニュアル、共通インタフェース仕様書は、OpenRTM-aistサイト、各機関やセックの公開サイトで**一般公開**
- 各ドキュメントのライセンスはクリエイティブ・コモンズ「表示 2.1 ライセンス」で配布するため、**再利用が可能** 



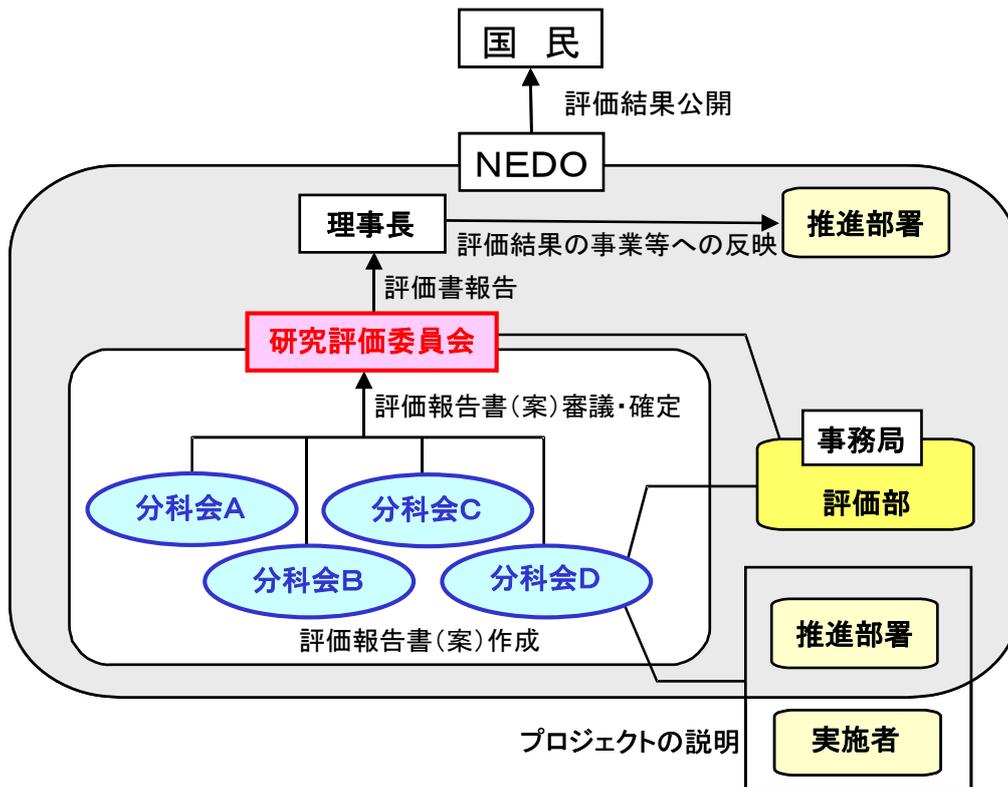
- **安全認証取得RTMの開発**
 - 機能安全対応ロボットの開発のための**モデルベース開発プロセス**を策定
 - **IEC61508 SIL3 Capable**の認証を取得した高信頼性RTミドルウェア「RTMSafety」を開発し、製品販売を開始
 - ⇒ **品質保証された初のRTミドルウェアとして、実用システムにRTミドルウェアが適用可能に**
 - ⇒ **機能安全対応のロボットシステムの開発効率向上、コスト削減に寄与**
- **知能モジュールのドキュメント整備**
 - 知能モジュールのドキュメント整備として、以下の**ドキュメントを作成し、公開**
 - パンフレット
 - チュートリアル
 - 知能ロボットシステムのマニュアル
 - 知能モジュール群のマニュアル
 - モジュール共通インタフェース仕様書
 - ⇒ **知能モジュールの利用促進やロボットシステムの開発の裾野拡大に貢献**

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

平成19年度に開始された「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環

境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に

沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1・・・、2・・・、3・・・、4・・・が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)・・・、(2)・・・が標準的評価基準、それぞれの基準中の・・・が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

*基礎的・基盤的研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

るか。

- 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- 成果は目標値をクリアしているか。
- 全体としての目標達成はどの程度か。
- 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- 成果は汎用性があるか。
- 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- 成果は公開性が確保されているか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

参考資料 3 分科会議事録

研究評価委員会
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」(事後評価)分科会
議事録

日 時：平成24年6月22日(金) 10:15~18:00

場 所：大手町サンスカイルーム A会議室

出席者(敬称略、順不同)

＜分科会委員＞

分科会長 奥乃 博 京都大学 大学院情報学研究科 知能情報学専攻 教授
分科会長代理 細田 祐司 一般社団法人 日本ロボット学会 事務局長
委員 梅田 和昇 中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授
委員 五内川 拓史 株式会社ユニファイ・リサーチ
委員 小林 哲則 早稲田大学 理工学術院 情報理工学科 教授
委員 三宅 徳久 パラマウントベッド株式会社 技術本部 フェロー
委員 藪田 哲郎 横浜国立大学 大学院工学研究院 システムの創生部門 教授

＜推進者＞

久木田 正次 NEDO 技術開発推進部 部長
大久保 一彦 NEDO 技術開発推進部 主任研究員
戸上 敦 NEDO 技術開発推進部 主査
有木 孝夫 NEDO 技術開発推進部 主査
真野 敦史 NEDO 技術開発推進部 課長代理
齋藤 弘一 NEDO 技術開発推進部 主査
草川 剛 NEDO 技術開発推進部 主査
高津佐 功助 NEDO 技術開発推進部 職員
北島 明文 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長
中坊 嘉宏 経済産業省 製造産業局 産業機械課 情報化推進係長

＜実施者＞

佐藤 知正 東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
平井 成興 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 副所長
原 功 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 インタラクシオンモデリング研究グループ
主任研究員
二宮 恒樹 富士ソフト株式会社 ロボット事業部 商品開発室 リーダー
河井 良浩 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 タスクビジョン研究グループ
研究グループ長
小笠原 司 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授
岡田 慧 東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授
水川 真 芝浦工業大学 工学部 電気工学科 教授・工学部長
中本 啓之 株式会社セック 開発本部 第四開発部 テクニカルマネージャ
濱田 彰一 ロボット工業会 技術部 部長

畑 能正 ロボット工業会 技術部 課長
 米澤 浩 IDEC 株式会社 電子製品事業部 企画開発部 開発リーダー
 荒金 淳 三菱電機株式会社
 野田 哲男 三菱電機株式会社 主席研究員
 宮下 敬宏 ATR(株式会社 国際電気通信基礎技術研究所) 知能ロボティクス研究所
 ネットワークロボット研究室 室長
 本田 英二 富士ソフト株式会社 ロボット事業部 マーケティング室 室長
 阪口 健 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 主任研究員
 菅原 淳 株式会社東芝 主任研究員
 小川 秀樹 株式会社東芝 研究主幹
 足立 勝 安川電機株式会社 係長
 包原 孝英 安川電機株式会社 係長
 和田 一義 首都大学東京 准教授
 清水 正晴 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 上席研究員
 高瀬 弘勝 NEC ソフト株式会社 第三ソリューション事業本部 UB システム事業 UAS-G
 プロジェクトマネージャ
 青木 利憲 NEC ソフト株式会社 第三ソリューション事業本部 UB システム事業 UAS-G
 リーダー
 油田 信一 芝浦工業大学 教授
 神田 真司 株式会社富士通 統括部長付
 中尾 学 株式会社富士通 研究員
 三浦 純 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 教授
 溝口 博 東京理科大学 理工学部 機械工学科 教授
 五十嵐 広希 京都大学 大学院工学研究科 特定研究員

<企画調整>

伊吹 信一郎 NEDO 総務企画部 職員

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長
 三上 強 NEDO 評価部 主幹
 梶田 保之 NEDO 評価部 主査
 松下 智子 NEDO 評価部 職員

一般傍聴者 3名

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
 - 4.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」
 - 4.2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」
 - 4.3 質疑
5. プロジェクトの詳細説明
 - 5.1 研究開発成果について
 - 5.1.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発
 - 5.1.2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発
 - 5.1.3 有効な知能化技術モジュール群 ～オープンソースモジュール群～
 - 5.1.4 国際連携 RT ミドルウェアと ROS の連携について
 - 5.2 実用化の見通しについて
 - 5.2.1 本プロジェクトにおける実用化の考え方
 - 5.2.2 組込機器への RT ミドルウェアの実装
 - 5.2.3 安全認証取得 RT ミドルウェアの開発について

(非公開セッション)

- 5.2.4 実用化の実例と波及効果

(公開セッション)

6. 全体を通しての質疑
7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
 - ・開会宣言（事務局）
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1-1、資料1-2に基づき事務局より説明および成立の確認。
 - ・奥乃 博分科会長挨拶
 - ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
 - ・配布資料確認（事務局）
2. 分科会の公開について
 - 事務局より資料2-1、資料2-2に基づき説明し、「議題5. プロジェクトの詳細説明」の内、5.2.4「実用化

の実例と波及効果」を非公開とすることが了承された。

3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

評価の手順を事務局より資料3-1～資料3-5に基づき説明し、了承された。

また、評価報告書の構成を事務局より資料4に基づき説明し、事務局案通り了承された。

4. プロジェクトの概要説明

4.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」

推進者(有木主査)より資料6に基づき「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント(設定)」の説明が行われ、続いて実施者(佐藤PL)より「研究開発マネジメント(運営)」の説明が行われた。

4.2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

実施者(佐藤PL)より資料6に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 ただいまのご説明に対してご意見、ご質問等がございましたらお願いいたします。なお技術の詳細につきましては、後ほど議題5で議論いたしますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性、マネジメントについてご意見を願います。

【薮田委員】 全体像の把握ですが、RT ミドルウェアに載ってモノを作っています。そうするとベースが転んだらすべて転んでしまうのだけれど、このRT ミドルウェアは絶対安全なのか。他に作っていないと言われればそれまでですが、これが壊れたとしても上だけ生き残るという戦略についてお聞きしたいのが先ず一つです。

二つ目、たぶんこれは共通プラットフォームが大事で、ここのコンセプトが非常に大事だと思うのですが、そこにおいしいものが入っていないとすべてがいい加減になります。そこをもっと強く教えてもらいたい。

三つ目は、私はハードウェア産業を見ていて思うのですが、一回問題点をとことん出して、あるところで全体を見直して良い共通プラットフォームで作っていくのが普通ですが、5年間ですから一気に最後まで行っているような感じがします。これは最初問題をあぶりだした段階なのか、全体を見直してもっと簡単にやっていくのか、そこは基本的にソフトのマネジメントで一番大事だと思いますので、その三つを教えてください。

【佐藤(PL)】 大変重要なお指摘をありがとうございます。先ず安全かどうかに関しては、とにかくRTMについてはなるべく早く仕上げていただいて、各コンソにそれを配って、使ってもらって虫出しをするというフェーズを行いました。それでだいたいこれで良いというところでOpenRTM-aist 1.0でフィックスして、その後はもう変えないということで、そのモジュールの開発にむしろ注力をしていただきました。

またソフトウェアの安全性が、最終的には非常に問題になるだろうということで、最終年度になりましたが、安全認証を取れたモジュールを会社に作っていただいて、それを発売するという形で対応を取らせていただきました。

二つ目の共通のプラットフォームの考え方ですが、RT ミドルウェアの一番の特徴ですが、実はこれに最初に着目して使われたのはどこかという、高エネルギー研究所です。それはなぜかという、要するにいろいろな計測機器をつなげる時に、その計測のモデルを持たないと全体としてうまくつながっていかないことを高エネルギー研は良く理解している。そういった意味ではこのRT ミドルウェアはそういうモデルを持っている。つまりロボットがどう働くのか、そのモデルがあって、その上に作られているのがこのRT ミドルウェアです。

それが逆にリアルタイム性が無いなどいろいろ批判を受けていますが、でもそういうモデルを持つことはこれから先、非常に大事なことで、特に知能モジュールが積み上がって行くことを考えた時に

は、非常に大事な視点になると思っています。したがって高エネルギー研が着目したことを考えてみても、これから先のロボットの展開、計算機がまだこれから先に安くなることを考えても、知能モジュールを積み上げていかなければいけないことも事実なので、そういった意味では大事な考え方になっているのではないかと考えています。

三つ目はフィードバックですが、おっしゃるとおりです。実は本当に早い機会に最初のデモを行いました。それは RT ミドルウェアでなくても良いという条件でやっていただきました。つまりもう今迄やっているもので良いからとにかく動かしてみてくださいと言いました。そうするといろいろ問題点が分かって、「これでは動かない」「そんなつまらないデモしかできないのか」等、いろいろ不満も出てきました。

先行デモと我々は呼んでいますが、その先行デモはかなり価値があったと思っています。そこで組み上げることの難しさ、あるいは共通に使えるモジュール、再利用性のあるモジュールとは何か、かなり考えさせられました。それを踏まえて再利用センターを作ろうということで、秋葉原にそのスペースを作りました。その時にも、やはり自分たちでも再利用センターそのものでもやってみないと再利用が分からないということで、案内ロボットを作ってもらいました。

できた案内ロボットは機能的にはあまり大したことはないのですが、ただその中で仕様書がどうあるべきか、どういうマニュアルになっていないと人は分からないか、あるいは汎用的な部分とデバイスに依存する部分とはどうすれば良いか等、かなり深く考えて、「こういう仕様書を作ってください」と各コンソにお願いしました。それがいま成果に結びついていると感じています。

国際ロボット展の時には、産業用ロボットの観点で、皆さん一生懸命やられていて、そういう観点からデモをしてフィードバックをかけました。特に最後の年の国際ロボット展では、たくさんのモジュール、ハードウェアを並べて、実はこの RT ミドルウェアでこれだけ沢山のロボット+デバイスが動くことを示すデモをしました。デモンストレーションとしては必ずしも成功しなかったのですが、そういうデバイスの多様性等も意識してソフトウェア開発を進めました。

そういう意味では2週間に1回プロジェクトの相談話をしたと先ほど言いましたが、かなりよく情勢を見ながら、そしてやってみて、これはまずいということをフィードバックしたつもりです。ソフトウェアのプロジェクトは、意外と簡単に進んで行くのかと思っていたのですが、やってみて大変なものであることがよく分かりました。

【細田分科会長代理】 先ほどの質問の安全性がらみで少し掘り込んで聞きたいのですが、最終的に企業などが製品化して使う場合、モジュールを使った製品の信頼性や安全性を PL 保証するとか、欧州ならば CE 保証しなければいけないとか、いろいろ担保しなければいけない話があります。先ほど質問でモジュールを安全認証の RTM モジュールを出されたという話ですが、これがどういった形でその安全性を世界に対してオーソライズしているのか良く分からない。どういう機関でどういうオーソライズをして出しているのか分からないところがあります。

あともう一つは、そのシステムを組む場合、モジュール単体ではなくてモジュールとモジュールを組み合わせてたり、モジュールとハードウェアとコンポーネントを組み合わせてたり、総体のシステムとして安全性や信頼性をどうするのか。そのあたりの製造責任がたぶんあると思います。それがモジュール供給元とモジュールコンポーネント側とどのようにシェアしてやるのか、その戦略、方針についてお聞かせください。

【佐藤(PL)】 安全の認証の受け方について、午後いずれ触れさせていただきますが、簡単にちょっとご説明いただけますか。

【中本(実施者)】 (株)セックの中本と申します。安全認証に関して、私どもで安全認証に対応した RT ミドルウェアを最終年度に開発させていただきました。詳細については午後に説明させていただきますが、

IEC61508 の機能安全の規格に則った開発プロセスでミドルウェアを開発して、第三者の認証を取ったミドルウェアを先ず作りました。それを使うことで、実際にこれから開発するロボット用のモジュール自体も安全認証を取ることができるものとして開発したので、それらをベースに、これから安全認証、安全性を保証したモジュールが出て来ることになります。

【奥乃分科会長】　そこで安全であるというところをチェックする標準実施法というか、そういうものは作られてやっているのですか。モジュール間をつないだ形で、要するにシステム作りの話なので、そういうものがあるのかどうか。

【中本(実施者)】　実際には、IEC61508 の国際規格があって、その規格に則った開発プロセスを取っているということで、安全なものとして開発していることが先ず一つです。あと実際に本当に安全かどうかというのは、リスクアセスメントをしていますので、それでその国際規格に出て来ている安全分析するための手法がいくつかあって、それに基づいてミドルウェアの安全性を評価しています。それらは実際にこれからモジュールとかロボットシステムを作る時にも適用可能なものですので、それらで安全を担保することになっています。

【佐藤(PL)】　また午後からご説明させていただきますので、是非またご質問いただければと思います。

二つ目のご質問のモジュールの組み合わせ、あるいはモジュールの信頼性に関してですが、これは大変難しい問題です。モジュールの信頼性については、再利用センターを設けて検証して動くことは確認していますが、やはりそれを売り物にするということは、そのモジュールについての信頼性をギャランティすることですので、オープンソースを推進する傍ら、モジュールをバイナリーとして売るということについても我々はきちんと対応することを考えていました。

それはモジュールの信頼性を含めてギャランティすることが大事だ。特に産業用ではそこにギャランティされないと使われないということもあって、そういうモジュールの信頼性を含め、売り物にするというところで確定をしていただくことを考えてプロジェクトを進めていました。

そのモジュールが組み合わさった時の信頼性については、これはやはり組み合わせる人が責任を持たなければ仕方がない問題であり、やはり全体の知識が作る人には不可欠ではないかと思っています。

これを言うと良くないのかも知れませんが、一つ RT ミドルウェアの使い方として、いろいろなモジュールがオープンソースで出来ているということがあるので、少し使ってみる、テストングをしてみることが非常に大事である側面がこれから先出て来るとしています。それはどうしてかという、市場の動きがすごく速く、いわゆるテストングのようなものが非常に速くできる。ディシジョンの速さも大事ですが、試してみる速さもすごく大事です。そういった意味でこの RT ミドルウェアは非常に大きな役割を果たすと思っています。

その時に、本当に小さなモジュールであれば、自分で完全に作り直してしまうことが信頼性を確実にするという意味では良いわけで、そういった使い方も含めて RT ミドルウェアは使われて行くのだろうと思っています。

【五内川委員】　研究開発成果のところ、開発した知能モジュールが目標 340 に対して 362 と、かなり頑張られたのではないかという気がします。この 360 がモジュール数としては、もっともっとどんどん増えていけば良いというものなのか、それともある程度適正な数を出すことができたので、これをベースに組み合わせの方をどんどん行ってもらえば良いのか。こういった数のイメージが私はよく分からないので、この数、あるいはその質的なものも含めて必要十分なのか、もっと拡充して行くべきものなのか、そういう数のイメージについてコメントをいただきたい。

それからこの資料の中で、モジュールのリストの一部が出ていますが、今回のプロジェクトではそれぞれのモジュールが全然重複しない形で 360 個ということなのか、あるいは例えばいくつか競合するようなものがあって、使う方がその特性に合わせて、同じような機能だけれども少しずつ性能の違

いがあるか、冗長性があるのか、などをお伺いしたいと思います。重複が必ずしも悪いとは思いませんので、開発した 360 のモジュールについてコメントをいただければと思います。

【佐藤(PL)】 ある意味で一番悩んだところですね。いくつかが適正なのか、どんどん増やしていけば良いのか。

結論は、おそらく RT ロボット技術はこれから進んでいきますので、新しい機能も必要になって来ると思われます。ですから数もどんどん増えるべきだし、増えて行くに違いないと思っています。その時に ROS は非常に強力な、研究者が自由に増やせる体制を作っていますので、それに対して我々も参画できるような ROS との連携体制を作りました。

その一方で、重複については、実はロボットをどう使いたいのか、何をやりたいのかでロボットのアーキテクチャーも決まって来て、しかもそのアーキテクチャーに応じて必要なモジュールの切り方も違ってきますし、モジュールの機能も違って来る。この辺を標準化できないか、私自身ずいぶん悩みました。

結論は、やはりアプリケーションの様相によって違うし、アーキテクチャーによっても違うわけですから、絶対的なものはないのではないかと。そういう観点でやって来ました。どのようにマネージしたかというところ、各々のところでシステムを幅広くデモンストレーションをして、本当に必要になったものを入れて行っていただく。各社コンソーシアムの中にたくさんの会社が入っていますので、うまく切っていくていただいているので、その辺を尊重いたしました。

最初、私自身も全体のアーキテクチャーを考えて、モジュールを全部並べてみて、重複がないようにとずいぶん考えたのですが、結局徒労に終わりました。それぐらい難しい問題でもあるし、逆に言うとう動いているものが非常に大事だという側面もある。そういった意味では重複もあるかも知れませんが、アーキテクチャーに応じたモジュールもある。したがって必ずしも全体として統一することはしませんでした。

ただ、大きな意味で SEE、PLAN、DO というレベルがあるとか、移動の間にどういうデータが受け渡されるとうまく全体として動くのかということは、サブ WG の中で共有して、それを皆さんの中で活かせるような体制を作ってモジュールに反映していただいた形になっています。

【梅田委員】 2 点お伺いさせていただきたいのですが、先ず一つ目は、中間評価を受けて、かなり絞り込みを実施されています。思ったよりも絞り込まれたという個人的な印象を持っていますが、その絞り込みが実際、結果的にどれだけ良かったのか、あるいはもし問題があったとしたらどういう問題があったのか、忌憚なきご意見をお伺いしたい。本当はプロジェクトリーダーの佐藤先生よりも、むしろ絞り込まれた側の皆さんのご意見も伺いたいところですが、その辺を教えてくださいたいと思います。

【佐藤(PL)】 先ず絞り込みに関しては、PL の側から先に言わせていただいて、その後、批判を言っただけであればと思います。

思い切って絞り込みました。一つは、ロボットという意味でこれから先、伸びて行かないようなものについては切りました。私自身ネガティブな発言をするのは大嫌いな人間ですが、切ることにしてもかなり躊躇はありましたが、やはり全体として大きく伸びないものについては、切らせていただきました。

コンソの数のについては、あるところは非常にたくさんの数を一つのコンソに詰め込みました。それはお互いに使ってみていくらのものであるし、お互いのモジュールを批判し合って良いモジュールになるということで、横山さんには非常にご迷惑をおかけしましたが本当に良くやってくださったと思っています。そのために各々のモジュールがリファインされたと思いますし、最後のデモンストレーションなどを見ていると、おびただしい数のモジュールが動いて一つのシステムになっていて、こ

れらはこれだけ多くの会社が参画しても出来るというのは、逆に言えばRTMの効果を示しているということがあって、絞った甲斐はあったと思っています。

絞って良くなかったことに関しては、PLにダイレクトに文句を言ってくださる方がなかなか少ない。時々はいらっしゃいますので、そういう時には私は財産だと思ってきちんと聞くようにしています。この場でも結構ですので、もしあればお聞かせいただければと思います。

【梅田委員】 今のご説明は大変よく分かりました。ありがとうございます。

【小林委員】 1点、本プロジェクトにおけるRTミドルウェアの位置付けを確認させていただきたいのですが、基本的にはRTミドルウェア本体は過去のプロジェクトで開発したものであって、その上に知能化モジュールを品揃えしようというところだと思うのですが、この中に、ただそうは言っても本格的にこのRTミドルウェアにいろいろな機能モジュールを載せてシステムを組むことは、本格的にやるのはおそらく今回が初めてだったのではないかと予測した時に、知能モジュールもそうですが、ミドルウェア本体の評価が問題としてあったのではないかと思います。

例えば組込みへの対応、ROSとの連携などのキーワードは確かに出ていますが、それ以外の部分で、RTミドルウェアの評価や改良などで大きな問題があったかどうか。あったとしたら、今日のお話の中ではどの辺でそういう問題は扱われるのか教えてください。

【佐藤(PL)】 大変難しいご質問ですが、実はこのプロジェクトを通して一つ救われたことがあります。ROSはロボットOSの上に載ったシステムとしてモジュールを作っています。ROSの上に載っていないと、そのモジュールが使えないということですが、ROSはOSも定めてやっているので、逆にハードウェアも定めて知能モジュールをどんどん良くして行く、あるいは面白い知能モジュールをどんどん取り込んで行くという意味においては非常に大きな役割を果たしていたし、力を持っていました。

その時に我々の方を見た時に、実はこれはミドルウェアになっている。ということは、要するにOSは何でも良いということになって、それが逆にROSとの連携を可能にしたというところがあります。RTミドルウェアというアプローチはそういう新しいものをどんどん取り込んで行くという意味においては非常に良いのではないかと、歴史的な観点も含めて体験させていただきました。

OSにディペンデントしないということは、逆に言ういろいろなOSに対して考慮しないといけないので弱点ではあるのですが、逆に枯れたOSの上に載せられるという意味では産業用として非常に良いのではないかと考えています。

従ってこのミドルウェアという考え方は、一つの考え方としてあり得ると思っていますし、一つの体系を作ったのではないかと思います。特にこれだけたくさんの方が参画をして、産業用も含めていろいろなモジュールを扱ったということは大きな一つの歴史にはなっていると思います。ただこのRTミドルウェアそのものが今後どういう評価を受けるのか、それは少し長い観点で見ないと何とも言えない側面もあるのではないかと思います。

【小林委員】 ミドルウェアとして位置付けること自体は、いまお話しになったことであろうかと思いますが、その仕様自体にもしかしたらいろいろ問題があったのか、簡単にお話ししていただきたいと思いました。もちろんROSとの連携でかなりの部分で道が開けたことは良く分かるのですが。

【佐藤(PL)】 ミドルウェアになっているので、例えばリアルタイム性がないのではないかとということで、リアルタイムのRTMを作って、本当にリアルタイムが必要な人にはそれを使っていただくという対策を取りました。したがってミドルウェアが持っている特徴と弱点がもちろんありましたが、このプロジェクトの中ではその弱点が弱点として残らないように対応しました。

世界的に見た時に、このミドルウェアについての評価は、私自身がこれからそういう歴史的な評価を受けるのではないかと考えているところもあって、そういう観点で少し長い目で見たいと思います。

【奥乃分科会長】 二つあるのですが、一つは外部状況への対応ということで、大きな流れで行くと米国ではサイバーフィジカルと言っていますが、単にロボットだけということだけではなくて、もっとバーチャルとフィジカルを統合した形でサポートする。そういうものが出ている中で、このプロジェクトではそういうことをどのように考えられたのか。あるいはデバイスで、キネクトが出て来て、例えばウィロー・ガレージが出しているロボットは、初め普通のカメラがついていたものを、全部キネクトに換えてしまうという対応などもしていますし、iPhone も出て来ています。

更にいま小林委員からありましたが、ミドルウェアでやった時に、例えば ROS という対抗のものがある、それに対して協調してやられています、これは国際の普及活動で、いわゆる戦争になっているとも考えて良いわけです。そういう中でどういうことをやられたのか。

更に ROS などでは、下に来る OS、例えば Windows に使うのか、Linux にするのか、そういうところへの対応ですが、お伺いしていると過去の流れを引きずって、いろいろなハードウェアを作って、その制約の下で研究開発をされているということですが、ここ 2~3 年、世の中はすごく変わって来ている。iPhone などが出て来ている。あるいはキネクトということで変わって来ている。それらにどのように対応されたのか、それが一つです。

もう一つは、ユーザーの普及ですが、実際にタスクを設定する時に、ご自身のプロジェクトとしてのタスクだけではなく、ここでは一部つくばチャレンジなどをやっておられます。あるいは RoboCup では RoboCup@Home として、ある意味で家庭内でのタスクをどうするのかということをやっておられます。そういうものに積極的にコミットをして、優位性を示して行くことも有り得たのではないかと。

あと中間評価のところマニュアル等の整備等を言われていますが、お聞きしているとこれはユーザーさんが何をしたいかというのが一番重要なので、それに対して FAQ、あるいはクックブックなどを作って、ユーザーが入れるものもサポートしていくことが必要ではないかと思えます。

以上 2 点、外部状況の変化への対応とユーザーに普及させて行くところでの取り組みについてお聞かせいただきたいのですが。

【佐藤(PL)】 先ずご指摘のとおり、サイバーフィジカルシステムが今かなり大事なアプローチであると言われてはいますが、それは足りないとは思っています。なぜかと言うとサイバーフィジカルシステムは、ロボットの人たちが情報処理と実際の世界を結びつけるという意味でここ 30 年やって来たことです。私はサイバー現場システムでないといけな思っています。

それは何かというと、要するに現場を踏まえて知能をきちんと書き出して、その書き出された機能を分解して統合できるような形で組み上げて行くことが大事だと思っています。そこに現場の知恵が組み込まれない限り、実際、ロボットは社会に定着しない。そういう意味ではサイバー現場システムが大事と思っています。もっともっと地道な活動まで踏まえたシステムでないといけな思っています。その時に、おっしゃるとおり何百万円のビジョンシステムを使えるということはありません、数万円のビジョンシステムが使えるのであれば大変良いと思っています。

一つの普及の活動の中で、今日はここでは触れませんが、サービスの社会実装ロボットコンテストをやりました。要するにロボットコンテストはものを作るコンテストですから、ものづくりを勉強してもらうという意味では非常に良いし、チームワークも勉強できるのでとても良いのですが、ともすれば「面白い」で終わってしまう。それではいけないので、RT ミドルウェアを使ったサービスの社会実装ロボットコンテストを行いました。

やってもらったことは、先ず最初に役に立つサービスを考える。例えばある人は年寄りに体操をさせようと考えた。2 番目に、そのサービスに必要なロボットを作る。これはロボコンと同じです。その人はビュートローバーという簡単な移動ロボットと、キネクトセンサを結び付けました。3 番目の要件は、それを実際の社会に持ち込んでフィードバックをかける。それが社会実装ロボットコンテ

トの要件でした。

その人は学校の運動会にそれを適用する、あるいは老人クラブに持って行って結果的にどうなったかということ、身体を動かすと移動ロボットが動いて、結果的に体操になってゴールに行く時間を競うようなゲームに仕立てた。そのように社会に受け入れられるようなことまで含めて考えるような、そんなことをやりました。

そういうことを考えると、こういうモジュールは社会に入って行って実用化するということがあって、キネクトセンサなどいろいろなセンサが自由に使えることが非常に大事です。2 回目の国際ロボット展で工夫した点として報告しましたが、いろいろなモジュールが RT ミドルウェアでは使えることをデモしようと、いろいろなセンサを多数並べて、こんなセンサにも、こんなセンサにも、こんなアクチュエータにも、モータにも RT ミドルウェアが使えることをデモしました。是非そういった簡易のセンサも含めて RT ミドルウェアが使えることが一般化すると、実用化に向かって進んで行くのではないかと考えています。

タスクについては、先ほども説明したように RoboCup も非常に大事なコンテストですが、もう一方で RT ミドルウェアコンテストも、実はやっています。たくさんの方々が参加してくださっています。賞品の数が多いことも一つの魅力かも知れませんが、それにしてもいろいろな方々が参画してくださっていて、いろいろな新しいアイデアが試されているので、こういうタスクを考える上でそういうコンテストも大事だと思っています。また先ほど言ったサービスの社会実装コンテストも含めてやっていることは是非お伝えしたいと思います。

マニュアルに関しては、素人の人が使えないといけないということで、最終的に作っていただいたマニュアルでは、ロボットは何ができるかということから始めて、どんなことがやりたいかに対し、どういうモジュールを、どのように組み合わせれば良いのかが分かるようにしました。我々はプライマーを作りたいと言っていたのですが、それはそんなことを意図して最終的にはマニュアルを作ったものです。

それが意図どおりになっているかどうかはまた評価していただきたいのですが、そんなことが非常に大事だということで、最終年度にはそのマニュアルを作ることにお金を費やしてこのプロジェクトのまとめにした次第です。

【細田分科会長代理】 最近中国や韓国がものすごく押して来ていますが、国際競争力の面でこのプロジェクトの成果はどういう位置付けにあるのか、もう一度お聞きしたい。

いま ROS との連携で、ROS の上にミドルウェアとしてうまく載ったことによって、国内ではたぶん使ってくれると思うのですが、アメリカ、ヨーロッパで同じような感じで ROS を使っている人たちに、RTM をどんどん使ってくれるようにするためにはどうしたら良いのか、そのあたりの戦略があったらお聞かせください。

【佐藤(PL)】 戦略としては ROS とどのように連携するのが非常に大事で、ROS との連携が取れたことが成果です。そういった意味では ROS で開発されているものもこの中で使えますし、逆に我々が作ったものを欧米の人たちに使っていただけるということで相互理解、相互運用が進んで行くと思っています。

その一方で、やはり標準化も非常に大事なことだと思っています。これは午後には水川先生からもご説明させていただきますが、割合に早くから取り組んでいて、ある程度の成果も出始めていると理解しています。ただ欧州と違って日本は一国でしかないの、その辺の弱さもあるかと思うのですが、時期的に非常に早くから取り組んでいることもあって、今後この路線を続けて行けば標準化についてもある一定の世界的なコントリビューションが出来ると思っています。

日中韓については、実は今度も日中韓のワークショップが開催されますが、その中でも RT ミドル

ウェアについて宣伝しようと思っていますし、こういうものがあることを宣伝して仲間づくりも今後進めて行きたいと思っていますし、そのための手当でも考えています。今後そういった方向を更に継続させて行けるのではないかと考えています。

大事なことは、これらが本当に使われるために、特に市場がない分野ではクリティカルマスをためないといけない。そのクリティカルマスを作るまでが大変だと思います。そういった意味では辛抱するところだと覚悟を決めています。

【細田分科会長代理】 いま RT ミドルウェアに対する国際的なライバルは存在しないのですか。

【佐藤(PL)】 韓国が OPRoS を作っていて、一緒にやりましょうと言っているのですが、必ずしも一緒にやっているわけでもないので、一つの競争相手になっているかも知れないとは思っています。

【三宅委員】 私の質問は個別の方が良いのではないかという気もしますが、では1点だけお聞きしたいのは、知能化となるとセンサを使って、機能別にモジュール化して行く。モジュール化ということは、ソフトウェアの構造化につながって行くと思いますが、そうするとアーキテクチャーの問題などかなり影響があります。

例えば、センサフュージョン的な考え方とサブサンプシジョンのようなビヘイビアフュージョン的な考え方とアーキテクチャー的にはまったく違います。そうするとこういうモジュール化の考え方は、両方に相性が良いのかがすごく気になっています。それは例えばユーザーが作る時に、先ほどのマニュアルとも関係してきますが、どういうことに注意してやれば良いのか、具体的にユーザーに分かるような形になっているのか、その辺に興味を持っていました。それは個別のところでは伺った方が良いのではないかと思いつながりながら聞いていました。

【佐藤(PL)】 大変大事な問題を含んでいます。というのは、このプロジェクトを立ち上げた時に、モジュールは小さい方が良いのか、大きい方が良いのか、だいぶ考えました。最初は機能をずっと分解して行って、小さく分けて、それで全体として整合性が取れるようにとずいぶん考えましたが、結論としては私自身の試みの中でうまく行きませんでした。結果的にモジュールは結構大きなものになりました。

やはり何をやりたいのかによってアーキテクチャーが決まり、今そのアーキテクチャーに適したモジュールになっている。ただ、それだけでは将来的な展開が望めないのが、結果的にはオープンソースを進めましたが、オープンソースになっているということは、中身が覗ける。自分のアーキテクチャーにとってもっと小さくしたくなった時には、それができることを意味します。将来的にはオープンソースの部分で、小モジュール化については対応して行くのではないかと。最終的には提供するモジュールについては結構グレインの大きなものになりました。

小さなモジュールについて、将来的に求められるかも知れないが、そういうことが起こることに対してはオープンソースの形で対応してもらおうといま考えています。

【奥乃分科会長】 ありがとうございます。他にもご意見、ご質問等があるかと思われませんが、本プロジェクトの詳細内容につきましては、この後に詳しく説明していただきますので、その際、質問等をいただくこととします。

(昼食)

5. プロジェクトの詳細説明

5.1 研究開発成果について

5.1.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

実施者(産総研の原主任研究員)より資料 7-1-1 に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願いします。

【藪田委員】 共通プラットフォームはベースとしては高エネ研のものを使われたのですか。

【原(実施者)】 高エネ研で作ったのは、われわれの OpenRTM をベースにカスタマイズしてミドルウェアに手を加えて高エネ研のシステムに合わせたということです。

【藪田委員】 ポイントは再利用、使いやすいということですね。どういう技術があるから使い易くなったということを分かりやすく説明してください。

次のポイントは、ダウンロード数がいっぱいありますが、これは使われた証拠ですね。この数でどれだけのくらい増えたら成功と自己評価されますか。

【原(実施者)】 最初の質問ですが、通常、ソフトウェアを作る時には、ロボットのソフトウェアとしてはドライバを入れたり、いろいろなものの相性がたくさんあって、それらをどう組み上げるかを全部考えなければいけない。RT ミドルウェアの場合には、同じような仕様のモジュールにすることで、単純にコピーすれば動くようにすることができるようになっている。あとは上位システムを作れば良い。

キネクトを例にとると、例えば人の動きを出しますというデータを出力するコンポーネントがあった時に、それを使う側は、キネクトを動かすとそういうデータが来るとして自分のコンポーネントを作れば良い。他のことをあまり気にしないで良いということがメリットになります。通常はキネクトなど SDK があって、起動の順番などをいちいち書いて行かないと自分の目的とするデータが取れないということがありますが、そういうところを全部ひっくるめて一つのコンポーネントとすることで、他の人が使い易くなります。

現状、この OpenRTM の RT コンポーネントのところでは、音声系が非常に良く使われています。なぜかという、音声認識のプログラムを利用しようとする、いろいろなパラメーターの設定があり、利用するためには、非常にたくさんのドキュメントを読まなければいけない。そうではなくて、RT コンポーネントの場合は、単にインストールして、そのようなデータ出力されるかがわかっているならば、それを利用したシステムを自分で開発することができる。そういうことで、他の人が作ったものを再利用しやすくしており、そのため、それが非常に活用されているところです。

移動ロボットにも同じことが言えます。移動ロボットのベースに、たとえばコミュニケーション機能を追加しようと思った場合、移動ロボットのハードウェアと必要な機能のソフトウェア (RT コンポーネント) を買って来て、それらをつなぐだけで動かすことができるようになると思います。

二つ目のダウンロード数の件ですが、評価が非常に難しい。どのくらいのダウンロード数があったら成功かというのは一概に言えません。学会等の発表や製品等でどのくらいものに組み込まれているかで評価しないと、成功か失敗かは言えないと思っています。

現状のダウンロード数を表示したのは、どのくらいの人がダウンロードしたかということを示したのみであり、より重要なのは、ダウンロードした人が講習会等に結構来ていて、使い方を覚えて帰っていただける。その方がウェブページなどでそのドキュメントを書いて、こういうのがあるということを広報として広げてくれているので、成果が普及しているということです。

今後ダウンロード数が伸びるというのはもちろん大事ですが、それよりも継続して使われる方を維持して行くことの方が重要です。そのために、講習会等を行い、民間企業とタイアップしてソフトウェアを販売、提供して行くことで、利用者を増やしていくことが一番重要だと考えています。

【藪田委員】 評価は、仲間づくり、仲間の数が増えた時に成功したということですか。

【原(実施者)】 そう思います。

【藪田委員】 技術について、先ずインターフェースは合わせる。プログラムの構造はブラックボックス化して使い易くしたと言われましたが、特にプログラムの技術などで、面白い構造、こういうところを

やったというのが出て来たのでしょうか。センシングとコントロールをして、こうしたらすごく面白いものが出来た、だから使ってくださいと営業できますね。ここがおいしいから使ってくださいと言わないと、お客さんは増えません。そういうので宣伝してください。

【原(実施者)】 これは動かしてみないと魅力がなかなか分からない。実際、我々のところでも講習会等をしてはいますが、その時は必ずデモンストレーションをします。

最近よく皆さんから評価していただいているのは、例えばキネクトは人動きを取れますが、これとロボットを組み合わせて、自分の動いたとおりのロボットが動いたり、音声も録れるので、声で命令を出すとモードが変わって、走ったり倒れたり出来るようになっています。こういうのを見せると、コンポーネントをやるとこの位のことが出来るということの評価していただいているので、言葉で宣伝するのは難しいのですが、ものを見ていただくとはっきり分かると思います。

【藪田委員】 ダウンロードの数が2010年まで順調で、2011年にガクンと落ちているのは理由があるのですか。

【原(実施者)】 2010年にもものすごく増えたのは、大きなバージョンアップが1回ありました。OpenRTMの1.0が公開されたのが2010年です。それ以降に関して1.1の正式リリースまでにRCの状態の時間が多くあって、正式リリース前で落ちているというのは間違いないと思います。

【梅田委員】 リファレンスハードウェアの話も伺いたいのですが、前川製作所で検討され云々と書かれています、OROCHIは結局マニピュレータだけですか。

【原(実施者)】 現状、売られるのはマニピュレータのみと聞いています。ただし要望があればオプションとして下の移動ベースを売って行くと考えています。ただし、他の移動ロボットを使って、RTミドルウェアでプログラムを組む時に、ある程度のサポートはしていただけると聞いています。

【奥乃分科会長】 そのダウンロードのところで、国内の比率はお分かりですか。

【原(実施者)】 そこまで調べていません。国内が圧倒的に多いと思いますが、ダウンロードされているのは国内と韓国、EUの三つが多く、米国その他はあまりないという状況です。

【三宅委員】 ロボットの知能化、特にリアルタイムでのセンサフィードバックをやる場合、センサのノイズの問題や、ノイズを取ろうとした場合のフィルタリングをすると、移送の遅れの問題、要するにセンサの動特性を含めた問題が出て来ると思いますが、コンポーネントシミュレータではそこまでサポートされていますか。

【原(実施者)】 そこまではやっていません。動特性等はあまりやっていないのが現状です。出来れば詳しくやりたいのですが、実は環境のモデルがノイズをあまり含んでいない状況で、そこにわざとノイズを乗せる以外には手が無いと思っています。

【細田分科会長代理】 RTコンポーネントシミュレータは、今のところここに記載されているセンサ類に限定されていると思いますが、最終的にユーザーをもっと広げるためには、センサ、アクチュエータ等のハードウェアの切り口を簡単に拡張できることが望ましい。自分でカスタマイズして、いろいろなセンサを付けられる形でモジュールが設計されていますか。

【原(実施者)】 そうなっています。モジュールの作り方も、どうすればシミュレータ自身を拡張できるかも含めてドキュメントとして公開しているので、そちらを読んでいただくと、ほぼ出来ると思います。

【細田分科会長代理】 RTコンポーネントシミュレータというのは、センサ用のインターフェースではなく、動作を確かめるためのシミュレータデバイスですか。

【原(実施者)】 そうです。センサをシミュレーションしているものです。

【細田分科会長代理】 システムはセンサをいっぱい持っているわけですが、それをソフトウェア、アクチュエータとつなぐためのハードウェアデバイスの切り口のカスタマイズはユーザーがちゃんと出来るのかを聞いたかったのです。

【原(実施者)】 カスタマイズは出来る筈です。

【細田分科会長代理】 そうしないと普及できない気がします。

【原(実施者)】 これもオープンソースで出しているの、ソースコードを読んでいただくことになると思いますが、そこで切り口が出来るようになっていきます。

【五内川委員】 今後の開発と営業のロードマップを簡単に説明していただければと思います。

【原(実施者)】 産総研のロードマップとしては、OpenRTM のミドルウェアに関して、それほどいろいろなプラットフォームに対応するとは考えていません。一番重要なのは標準化を進めることと考えていますので、標準化する仕様をすべて実装して行きたいということです。特に動的な環境でコンポーネントを使う上で、DDC4RTC のような標準を作り、それに対するリファレンスのミドルウェアを作っていく。また、どのような機能があるかを、ROBOMECH などロボット会系の学会等で講習会を開き、広く普及させて行きたいと思っています。

【五内川委員】 商売的なものに関しては、産総研ではなく、各参加企業あるいは株式会社に移行するということですか。

【原(実施者)】 全部を含めて株式会社で。どうしても手に負えない、もっといろいろなコミュニティから意見を聴きたいという場合、我々が中心になってコミュニティを作り、利用者部会、ボランティアがベースになると思いますが、そういうものを作りたいと思っています。

【小林委員】 RT ミドルウェアおよびここで開発したソフトウェアのメンテナンスという意味で、産総研と他の役割を明確に教えていただきたいのですが。

【原(実施者)】 産総研は公的機関ですので、オープンソースのものに関しては我々でメンテ等をある程度して行く。利用者側からどのような使い方があるのかというリクエストがあった時に、FAQ なりドキュメントを作成し、今後継続してホームページなり学会等の講習会等で普及活動をして行きたい。ただし、高信頼 RTM に関して、製品に組み込む場合には各社の対応になると思いますし、その中で技術的に分からないことがあれば我々も対応して行く。協力してやって行くことになると思います。

【小林委員】 例えば Eclipse を使ってソフトが開発され、自分たちの都合ではなくて仕様がどんどん変わっていった時に、追いかけるのは経験上すごく大変だと思っているのですが、そういうのは産総研でやるという覚悟ですか。

【原(実施者)】 出来る限りやって行くつもりです。

【小林委員】 どうもありがとうございました。安心しました。

【奥乃分科会長】 最後に、オープンソースで公開する時、ライセンスが EPL、LGPL とありますが、なぜ、ものによって EPL で、あるものは LGPL になっているのか説明をお願いします。

【原(実施者)】 基本的に我々は EPL を奨励しています。オープンソースのライセンスに関して、プロジェクトの始まりの時に調査しました。GPL はそれを使ったソフトウェアに関して、自社の秘匿したい独自技術が入ってしまうと、その部分まで公開しなければいけない。非常に強い横の方向の公開性を求められています。そのため、プロジェクト内の成果については GPL を採用するのは難しいだろうというのが我々の意見です。OpenRTM 自身は産業界で使っていただきたいので、自社の特許やノウハウ等を隠したままで、かつ利用が楽に出来るということで、EPL をほぼ選んでいます。

下の方で LGPL とあるのは、EPL にすると、GPL で開発されたライブラリなどをなかなか組み込めないというのがあります。Choreonoid は動作パターン設計ツールですが、いろいろなプラグインで拡張して行く時に、オープンソースのもの、特に GPL のものを入れる時には各ライセンサーの承認が全部必要になる可能性もあるために、LGPL を選んでいるところです。OpenRTM 自身はデュアルライセンスにしています。オープンソースのほうで LGPL にしており、製品等に組み込む場合には別のライセンス契約をしていただいて、守秘義務をちゃんと守れるライセンス契約でやっていただく

形で運用したいと思っています。

【奥乃分科会長】 商用になった時はどのように。

【原(実施者)】 商用の時には個別に相談していただいて、**LGPL** ではないものとしてライセンスする形にしています。我々の承認がなくて使ってしまったものは**LGPL** になるので。

5.1.2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

実施者(富士ソフト㈱の二宮リーダー)より資料 7-1-2 に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願い致します。

【薮田委員】 非常にいい枠組みだと思いますが、フィードバックを見ると開発モジュールを変えるようになっていきます。マイナーチェンジは良いと思いますが、より大きなチェンジをする時は共通プラットフォームまで変えた方が良いような気がします。そういうものは入っていますか。それとも、共通プラットフォームはフィックスしておいて、マイナーチェンジだけで対応しようとしていたのでしょうか。

【二宮(実施者)】 共通と言っても、実際のところ **RTM** 自体は通信の枠組みになっていて、各研究体がそこにコアロジックをはめるような形になっています。共通で使える簡単なものは **OpenRTM** 側に入っていますが、基本的には各研究体が研究しているものが徐々にバージョンアップして行く感じになります。

【薮田委員】 ということは、ある程度、構造は決めてしまって、その上の部分を変えていこうということですね。

【二宮(実施者)】 そうです。

【薮田委員】 抜本的に変えてみたいというのが良くありますが、そういう時の仕組みも少しあった方が良くないと思います。

あるところが決まってしまって惰性で行きますが、そうすると抜本的に変えたいところがありますね。そこはあった方がものすごく良くなる可能性があると思いました。佐藤 **PL** に聞きます。

【佐藤(**PL**)】 **OpenRTM-aist-1.0** でフィックスした時点で大きく変えることはあきらめて、むしろその上で動くものを作るということに特化しました。再利用技術研究センターはモジュールを今までの枠組みの上に乗せて良くするというように特化していたので、そういう点で残念でした。根本的なところはやりませんでした。

【五内川委員】 よく分からないのですが、この仕組みで将来、ベンチャー企業、大学、研究機関、あるいは大手企業がモジュールを開発してオープン化したり、場合によってはモジュールを売って行きたいということになったら、この仕組みを拡張して、アップロードが可能になったり、マーケットになっていくことはありうるのでしょうか。あるいは例でいうとアップルストアのように、無料や有料で公開できる、そういう仕組みに拡張していけるものと考えて良いですか。それはまた別な仕組みとして作って行く必要があるという理解でしょうか。

【二宮(実施者)】 現段階は先ずユーザーの裾野を広げて行くということで、私どもの成果も産総研にお願いして管理していただいています。ビジネス的な要素よりも公的な機関を通じて、講習といったところでいま普及に努めています。最終的に検証といった段階、もう少しビジネス的なユーザーが増えて来た段階で発生するものだと思っており、現段階では公的な機関を通じて普及を行っている状況です。

【五内川委員】 例えばそういうところに、将来、ビジネス的なモジュールを持ち込みたい、という話が増

えてきた時、この仕組みの延長線上で出来るものなのか。もう一回、抜本的に、それに合わせて、公開や再利用のための技術も含めて作り直す必要があるのか、その辺はいかがですか。

【二宮(実施者)】 既に登録されているモジュールはいろいろな品質のレベルがあります。オープンソースを使う時は、ソフトウェアエンジニアリングとして、保証を持たなければいけないところがあるので、品質はそれなりに集めた方が良いでしょう。オープンソースは中を見られるという意味で、同じ機能を実現するにも、例えば粒度が違えば、細かい粒度にすればするほど OpenRTM 側の通信のオーバーヘッドが大きくなってしまいます。

ガイドラインにまとめましたが、一つの大きな RTC にしてしまうと、その中のサイクルが速くなって、安定するけれども再利用性は少し乏しくなる。粒度を変えた試験をこちらでも行いましたが、ユーザーの要望に応じて組み換えて行くことが必要になります。RTM 上で乗る RTC という仕組みは、今後、簡単に組み換えられるという意味で非常に有効なものだと思います。

【小林委員】 利用の普及という意味で、ソフトウェアとして知能モジュールを使って行くか、ここの言葉で言うドキュメントをどう整備するかが重要だと中間の時に言いました。それにあたって、この内容から見ると「大切だから頑張りました」ということしか見られない。いったいどういう工夫がなされたかが見えにくいのです。

ドキュメントというと普通はきちりした仕様、情報が入っていて、一般的には厚くなってしまっていて使いにくくて誰も読まない。問題を抱えた人がどうやってこのモジュール群を使って解けば良いかに関する事例が体系的に見える形にすれば良いのではないかと、中間の時に話しました。そういったことに向けてどういう工夫がなされたか、簡単に説明できるものがあれば教えていただきたいのですが。

ドキュメントフォーマットの作成と書かれています、工夫されたものは何なのか。どういうドキュメントが出来たのかを知りたいのです。

【二宮(実施者)】 それに関しては、こちらで成果として出したドキュメントは、例えば単にあるモジュールを組み合わせて何かを作っただけだと、どうしてもユーザーのニーズと差分が生まれてしまいます。先ず、サービスを規定して、モジュールに依存しないサービス仕様書的なものを作りました。それに応じてモジュールを組み換えて、何が足りないかのフィードバックを行いました。

【奥乃分科会長】 具体的にどんなマニュアルを作ってもらったのか、中本さんから説明していただいた方が良いでしょう。

【二宮(実施者)】 最終的にまとめたものは、(株)セックさんにお問い合わせしました。最終的にサンプルとして入っています。

【中本(実施者、(株)セック)】 補足させていただきます。後ほど詳細は私からご説明しますが、お手元にある事業原簿の薄い方ですが、普通の開発で使うマニュアル、実際に業務として作るようなマニュアルを我々で作って、ここにあるようなドキュメントとして一般に公開するようにしています。

中には一つひとつのコンポーネント、モジュールのマニュアルもありますし、モジュールをどう組み合わせればシステムができるか。モジュールの組み合わせのマニュアルも作成して、ここにあるような内容で一般に公開するようにしました。

【小林委員】 「ここにあるように」と言った時に、どの辺を見れば端的に分かりますか。

【中本(実施者、(株)セック)】 通しのページが振られていませんが、真ん中に自律移動モジュール群のマニュアルがあります。これはロボットが実際に自律移動する時に使うモジュールのマニュアルになっていて、そこで使われるコンポーネントの一覧やインターフェースとしてどういうデータ型がやり取りされるか。どういう OS やハードウェアの環境が必要で、そういうものを使って環境を構築するにはどうすれば良いかという手順を書いてまとめています。

- 【小林委員】 サービス仕様書というお話があったと思いますが、その辺はどうでしょうか。
- 【二宮(実施者)】 それはこちらには入っていません。サンプルとして、いまウェブに公開している状況です。
- 【小林委員】 分かりました。こういう仕様書をイメージしていたのではなくて、抱えた問題点はどのように解かれるべきかに対して答えてくれるドキュメントが普及という観点で言うと重要なのではないかと、という指摘を中間の時にさせていただきました。
- 【二宮(実施者)】 ウェブサイトにノウハウの公開とありましたが、ダウンロードできる、OpenRTM-aistのページに併設して、フォーラムやメーリングリストといったものがあります。そういったところに蓄積できる形になっています。
- 【三宅委員】 7ページの表ですが、①-2に再利用性向上技術の開発ということでモジュールが登録されています。再利用性を向上するためのモジュールとしてどういうものを登録したか、すごく興味があります。あるいはそうではなくて、単純に来訪者受付システム関係のモジュールなののでしょうか。
- 【二宮(実施者)】 実際にシステムを構築する上での穴埋め的なモジュールもその中に含まれています。ただ、モジュールではないのですが、先ほどの来訪者受付システムもこの中にカウントしています。私どもがまとめたリファレンスモデルがこの中に入っている状態です。
- 【梅田委員】 いまのご指摘と絡むかもしれないですが、362件の登録が行われたことと、231件が公開可能な状態になったところを先ほどご説明いただきましたが、いま一つきちんと理解し切れていません。362件あるけれども、実質使えるのは231件ではないのですか。
- 【二宮(実施者)】 そういうわけではないです。ただ、先ほどプロジェクト全体のご説明があった時に、若干組織変更があった際に落ちてしまったモジュールなども実はその中に含まれています。
- 【梅田委員】 落ちてしまったモジュールも362には含まれるけれども、231からは外れている。
- 【二宮(実施者)】 そういったところや重複、粒度の問題です。
- 【梅田委員】 今のお話を伺うと、「最終的に完成したのは231です」と聞こえないでもないです。そんなことはないのですね。
- 【二宮(実施者)】 そんなことはないです。
- 【梅田委員】 分かりました。それから最終目標に対する達成度ということでお書きになっていて、確かにしかるべき達成をされていると思います。「達成」の○ではなく◎、「特筆すべき成果あり」と書かれている特筆すべき成果は、具体的には何でしょうか。
- 【二宮(実施者)】 特筆すべき成果というか、実際に各研究体と密にやり取りさせていただき、非常に円滑に回るようになりました。下にも書いてありますが、RTC 再利用技術研究センターを介して、開発者、利用者間の情報交換、提供交換が活発に行われました。
- 朝、佐藤 PL からご紹介がありましたが、RTC 再利用技術研究センター内でプロジェクトの幹部会が月 1~2 回ほど行われています。私どもだけでの解決ではなく、年度ごとにいろいろと対策が打たれたと思いますが、私どもが抱えていた問題がプロジェクト全体にフィードバックできたところは大きな成果かと思います。
- 【奥乃分科会長】 その次のスライドを見せていただけますか。そこも◎「大幅達成」となっています。「特筆すべき成果あり」は具体的には何ですか。
- 【二宮(実施者)】 実例として、先ほど来訪者受付システムというものがありましたが、その移動知能に関しては公的機関を通じて講習を行いました。毎年 SI の学会では、このプロジェクトにかかわっていない方々が RT ミドルウェアを通じてそれぞれ開発モジュールを作り、コンテストを行っています。
- 最終年度は、7月に公開が行われたあと、12月のSIでは、今回のわれわれの知能化プロジェクトで公開したモジュールがかなり再利用された形でコンテストに出されたものがありました。中には、

うまく再利用して教材を作ってくれたところがあり、そういったものがそのまま公的機関の講習に使われたり、今はかなり波及している状況です。

【奥乃分科会長】 4ページ、「ノウハウに関する文章等を集積し、一般ユーザーと共有・発展させていくウェブシステム」ということですが、公開するだけでは不足しているのではないかと思います。

【二宮(実施者)】 最終年度は、公開プラス、サポートを行いながら、実際に使ってもらって積極的に普及を行いました。

【細田分科会長代理】 その前のページ、で既存のロボットを再利用性試験プラットフォームとして導入されたということですが、任意の既存ロボットを使ってこういうプラットフォームを作る上での工夫、苦勞はだいぶあったと思います。

この辺はどんなものがあって、今後、あとに続く人はどうやってそういうものを継承できるのか。そういう仕掛け作りみたいな話があったら聴かせて欲しいのですが。

【二宮(実施者)】 例えばアームロボットはハードウェアによって制御周期が違うので、モジュールの粒度などが非常に影響するところがあります。そういうものを、先ほど言ったガイドラインに書きました。

【細田分科会長代理】 それは「こういうパターンがある」とカテゴライズして、「こういうケースにはこういうケース」というノウハウみたいな形が並べられているのか、もう少し根本的なところを押さえているのでしょうか。

【二宮(実施者)】 「こう制御したい時は粒度をこう規定すると良い」と。実際にどれ位の速度がかかったかといったノウハウを、そこに書いています。

【細田分科会長代理】 先ほどのモジュールの切り口の取り方をどうするかという、その辺のノウハウですね。

【二宮(実施者)】 はい。ガイドラインに書いているのは、ログ出力のノウハウ、モジュール動作の最適化、実際に RT ミドルウェアを動作する上での環境の最適化を書いています。今のものはモジュール動作の最適化にあたるかと思いますが、いろいろとパターンを変えて試したものがそこに書いてあります。

【奥乃分科会長】 時間が来ましたので次の発表に移ります。どうもありがとうございました。

5.1.3 有効な知能化技術モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

実施者(産総研の河井研究グループ長)より 7-1-3 に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願いします。

【細田分科会長代理】 サービスロボットはたぶんお題目としては大きいと思いますが、最終的にこれを普及させようとする、まだビジネス市場が確立されていなくて、爆発的にすぐ広がるとは思えません。そうすると、もう少しプラクティカルな産業用ロボットの提供も真剣に考えなければいけない。

大学の教育用と言われていますが、既存の産業ロボットメーカーにこのコンセプトを持って行った時に「すぐ使いたい」と言ってくれるのか。言ってくれないとしたら、何が足りなくて言ってくれないのか。その辺はどうでしょうか。まだそういう試みはしていませんか。

【河井(実施者)】 FA で引き合いがあるというところでは、ロボットの SI メーカーと産総研が連携協定をしているものがあったので、こういった技術があることを公開したら興味を持たれたので細かい説明に行きました。今後の展開としては、NDA を結んでもう少し突っ込んだ話をする段階に来ています。

先月あったロボメカという学会で、把持動作計画のところ、モジュールというよりも機能の部分だけを取り上げて発表したものがあり、その部分に関しては、大手生産メーカーから「これを使って自社のところに組み込めるか検討したいので、どういう契約をすれば良いか」という引き合いが先週来ました。それ以外にも、生産だけではなく物流などにも「こういう技術がある」と、こちらから訪問

して宣伝しています。

単に公開ただけで見てもらえることはなかなかありません。あとはオープンラボ、オープンハウスといったもので見せて、こういう技術を持っていることを民間に積極的に売り込んで行くつもりです。

【細田分科会長代理】 安川電機やファナックとか大手の産業ロボットメーカーは、ビジョンセンサー、3Dセンサーなどの智能制御を最近、表に打ち出して、かなり高性能のものを出しています。そういうところに売り込むという話なのか、それとも、中小のシステムハウス企業に「こういうものを使ってください」という形で普及して行くのか、その辺の見通しはどうでしょうか。

【河井(実施者)】 名前は言えませんが、比較的大手から引き合いが来ています。もう少し話をしてみないと成り立つかどうか、実際使ってもらえるかどうかは分かりませんが。今回の1つの目的は、ロボットをまだ導入していない中小企業的なところにもこういうものが入って行って欲しいのですが、その辺は「試すのにどれだけかかるの」という話があります。逆にオープンソースで試す分にはお金がかからないので、「公開しているものでやってください、分からなかったら聞いてください」という話もあると思います。

【佐藤(PL)】 補足しますと、非常に簡単な、単純な方向へ進むことが一つあると思います。とにかくセンサを導入したい、ちょっとしたアクティエータを導入したいことがあると思います。そういう時にRTMは非常にいいだろう。

作業ロボットを先導するという意味で、双眼・双腕マニピュレータをオープンソースでやると設定した理由は、いろいろなセンサも含めて、これからの産業ロボットで知能化が進んだあかつきには、双腕・双眼の方向になります。それを先導して必要なものは全部つくっておこうということで選びました。そういった意味で、ある意味での先導になっていると思います。

【奥乃分科会長】 「ちょっと試してみても」というのはすごく気になります。われわれは科学者なので、試してみる時に、ここでいろいろなセンサが使われていますし、いろいろなハードが使われています。例えばハードウェアに依存する部分とハードウェアに依存しない部分をモジュールとしてきちんと分けて、ハードウェアに依存する部分はいろいろ試してみる。ハードウェアに依存しないところはある意味でガチとしたものを作って、そういう形で再利用していく発想が初めからあれば、もう少しきれいな形で進められるのではないかと思います。その辺はいかがでしょうか。

【佐藤(PL)】 言われる通りだと思います。私が「試してみても」と言っている理由は、実際にいろいろなメーカーと話をしてみると、基本的には電波センサで部品の位置決めなどは出来るけれども本当に正確に測りたい部分がある。そういう時には、リミットスイッチでも良いわけです。あるいはもっと簡単なセンサ、もう少し複雑なセンサでも良いですが、そういうものを本当に試してみたいと思われているようです。そういう時に、こういう枠組みは非常に役に立つのではないかと思います。

【奥乃分科会長】 分かります。評価も、そこで得られたノウハウは何なのか。このセンサとこのセンサとこのセンサはこう違うので、こういうところでどういう知見が得られるか。例えばそういうノウハウ集が出来ます。そういうものは再利用のところで使います。そういうところにあまり触れられていないと思いました。

【佐藤(PL)】 そうですね。それは確かにノウハウになります。

【藪田委員】 切り口を変えてお聞きしたいと思います。佐藤 PL と私の夢は同じだと思います。私はいま通信業界にいますが、基本的にこういうソフトウェアで入力部分は携帯や iPhone でものすごく良いものが出来ています。我々が強いのは、どちらかというとコントロールや行動の部分です。通信業界や大きいところも、ダイナミックに絶対動くと思います。その時に、我々はどうするか。アクションの部分のノウハウを持てる筈です。そこを持たないと大きな流れの中で負けてしまいます。

これをいろいろやられて、うまく行ったところとそうでないところがあると思います。その時にロボット特有の技術が悪かったのか、作り込みが悪かったのか。そこを手に入れたらものすごく力があると思っていますが、そういうプレゼンが全然ありませんでした。

一番強いところでソフトを作って、どういう問題があっても、それが解決できれば、通信や他の業界に絶対に勝てる。そういうことがあると良いと思いますが。その点についてのコメントをお願いします。

【佐藤(PL)】 言われる通りです。インターネットは情報の流れで世の中を変えました。私はこれから先、スマートグリッドが変えると思います。情報の流れだけではなくてエネルギーの流れもつかんでいて、エネルギーの流れをつかむと人がどう動いているのか分かります。そこまで含めた新しいサービスが出来ると思います。

ところが、それだけでは絶対に不十分です。われわれが生活している時にはモノが動いて、人が動いて生活できるわけで、人とモノの動きが入って来ないと、最終的には役に立たない。ラスト1メートルは、絶対にロボットになる、ロボットテクノロジーだと思います。

その時にモノが絡むから摩擦が入って来たり、人が絡むから何か余分なものが入って来たりする。でも動かさなければいけない。動くものを保証することが、一番大事だと思います。

このプロジェクトの中で、一番最初に、そういうノウハウをこのモジュールの中に埋め込むことをすごく考えました。結局、埋め込めなかったのですが、動いているものが出来たことは実はその中に入っている。そういうものがとっかえひっかえ使えるのであれば、大変大事なツールになると思います。

単に情報を得る人が制御のプログラムを作っているのではなくて、動かしながら作って行ったところに僕らのアドバンテージがある。そういうモジュールとして将来使っていただけるのであれば、非常に価値がある。それが何か別のものとして取り出せて、ノウハウとして蓄えられれば一番良くて、最初はずっとそれを考えていましたが、なかなかそれは難しかったです。

【薮田委員】 たぶん今の感じだと、ブラックボックスとして置くと iPhone や携帯に使われてしまいますね。逆さまに、この方向から説き起こさないと乗り越えられないものがあるとすごく強いと思いましたが、何かコメントはありますか。

【佐藤(PL)】 いわゆるアンドロイドのようなもので、どんどん新しいサービスが出来て行くと思います。ところが先ほども言ったようにモノが動かないといけませんので、動かすことが入って来ると思います。

逆にそういうモノ、ハードウェアが入って来ると、サービスそのものが変わると思います。そういった意味で、これはそのきっかけになっている。これから先、具体的にそれがどんなふうに戻るかはこれからの課題だとは思いますが。いずれにしてもモノが入って来ることがベースにあって、それがサービスを変えようと思えます。

今までは、インターネットで世の中が変わったレベルでいま世の中は変わっていますが、最後は絶対に人とモノの流れがあるところで世の中を変えるようになります。これがベースになると思っていて、それが本当に出せるのはもう少し先になると思います。

【梅田委員】 大変面白く見させていただきましたが、例えば筑波大の双腕による菓子提供作業は、何モジュール分で構成されていますか。1ですか、それとも多くのものが組み合わさっていますか。

【小笠原(実施者)】 下の方にありますが、コンポーネントの数です。1、2、3、4、5、6、7、8、9が双腕を動かすところです。その上で、全体のタスクをやる。10個くらいになっています。

【梅田委員】 ありがとうございます。前半の河井さんの話ですが、別のグループに移行するのが1日だったという話でした。後半の小笠原さんの話で、電気大への公開で2か月だったという。1日と2か月の違いはどこで出て来ているのでしょうか。

【河井(実施者)】 私が前半で話したものは、HIRO などのプラットフォームはまったく同じです。同じものを持って来て、移動のモジュールなども含めたところに作業のモジュールを付けるので1日で済みました。

【小笠原(実施者)】 作業をした人のレベルが全然違います。前半は岡田先生がやり、後半はコンポーネントをまったく知らない、「とりあえずロボットは動かしたことがある」というレベルの助教の先生が、「これから双腕のシステムをコンポーネントで動かしてみたいのです」ということで始めました。コンポーネントを使って文房具をハンドリングするプログラムを作って動いた。そこまでが2か月です。岡田先生がやると、後半の部分については1日ということです。

【三宅委員】 先ほどから、モジュールの粒度という話が出ています。よく分かっていなかったのですが、モジュールは階層的に入れ子、包含関係に書けるものなのか。あるいは、並列にしか書けないものなのか。その辺の考え方はどうでしょう。その理由、なぜそうされたのかというあたりも含めてお願いします。

【小笠原(実施者)】 仕様としては階層化できます。ただし、階層化するとモジュールの数が増えて来る。モジュールが増えるとモジュール間の通信が増えてしまって、効率がどんどん悪くなる。

今までいくつかデモのシステムを動かしましたが、トータルで30、40くらいが、人がデバッグ出来て、しかも実用的な速度で動く限界だというイメージを持っています。双腕の時も、あまり細かくすると通信ばかりでオーバーヘッドが増えてしまって実効的に動かなくなる。それが頭の中にあるので、ある程度まとめたい。

ただし、「移動ロボットのモジュールです」と言って1個つくってしまうわけにもいかない。それでもコンポーネントと言えなくはないですが、そういうやり方も出来ますが、その間で、先ほどみたいにデバイスをうまく切って、デバイスを変えた時にもいける。あるいは、アルゴリズムを変えた時にもそこへ行けるみたいなことを考える。

後は人が頭の中で整理できるというと、1画面に出てきて最終的に10個、20個くらいに収まるとすごく良い。そういうノウハウが頭の中にあります。正直、それがどうしてもベースになって動いています。理想としては階層的に全部書けることが一番良いとは思いますが、そうすべきだと思いますが、実際はそうはいかない。その辺の経験を基に、いろいろ設計するしかないというのが正直な感想です。

【三宅委員】 ありがとうございます。そうすると複数のモジュール間通信があるとする、それは完全に非同期という考え方でですか。

【小笠原(実施者)】 そうです。

【五内川委員】 実際に1回インテグレーションを行ってみて、いまあるモジュールのセットでは足りない感じなのか、あるいは、いま言ったように階層別にモジュールが揃っているとして、中粒度のモジュールと、細かい動きのところは小さい粒度のモジュールというように、組み合わせでかなりのことができるようになるのでしょうか。粒度と個数、あるタスクを考えた場合に、これくらいライブラリが欲しいという要望や、モジュールはどれくらい増えて行くべきだという意見があったらいただきたいのですが。

【小笠原(実施者)】 本当は仕様記述言語を使ってしっかり書いて、それをベースにそこから落とすのが良い。OpenRTMはそれに対応していますが、我々のところはなかなかそこまで行きません。

ざっくり、これは何をやるものかと言った時、五つくらい大きい固まりを書きました。いろいろなことを考えたら、本当はこれぐらいの単位でやるのが一番やり易いです。この中を、場合によってさらに分けるだろうと思います。ロボット制御のところは、このシステムは筑波大のものを使っていないのでこちらで作ったものです。先ほど説明したように、例えば筑波大のものを持って来ようとする

と、この中が 10 個になります。つまり一つの機能の中に 10 個くらいモジュールがある。そのくらいの単位で作るのが良いと思います。

では、これで全部足りているか。これを作る時に足りなかったからその分を作ったのですが、他のセンサを持って来た時にそれに対応するものがなかったら作らざるをえない。河井さんの方にはプランニングの話やモジュールがもっと多くありますが、実はここではあまりプランニングを使っていないのですが、少しはあります。

あとは、内容によると思います。例えばプランニングでも、あるもので使えるなら問題ないですが、ないなら作る。ただ幸いなことに、ROS との連携が来ていますので、オープンソースで C のソースが転がって来たら、それにカバーを被せてコンポーネントにすることはそんなに困難なことではありません。その形でどんどん増やせばいい。OpenCV もあるし、足りなくても増やすことは難しいことではないと思います。

【小林委員】 私は必ずしも数の問題という気がしません。モジュール間の依存性の関係とモジュールのデバイス依存性、ハードウェア依存性がきちんと整理されていないと、「A システムを B システムに移植したら何日で出来ました」ということで、一般化して想像ができません。例えば、このシステムをどのくらいの手間をかければ私のロボットに移植できて、自由に動き回れるのだろうと想像するための指標、整理されたデータは、何かまとまっていますか。

【小笠原(実施者)】 基本的には、これに書いてある共通インターフェースという形で、新しいデバイスでやりたかったらこのインターフェースに合わせてデバイスの入出力モジュールを作ってくださいという形にはなっています。

【小林委員】 デバイスと言った時に、キネクトやカメラといったレベルだとかなり問題は楽です。どういう意味かという、企業としても切り分けが楽だから、そのレベルで取り替えることはできる。むしろ問題なのは、ロボットのハードウェアに依存して、制御はどれくらいのことで移植できるのか。このロボットに対する、例えば把持という機能をかなり抽象化したレベルでのモジュール化だとするならば、「それはハードウェア依存のものだから、うちのものには使えないだろう」という想像が出来ますが、その辺がどれくらい整理されているのか。

逆に言うと、視覚のモジュール化、音のモジュール化はそこでやれば良いので、それは指標だけ与えれば終わってしまったようなものです。ここで期待されているのは、ロボットの機能のモジュール化だと思います。その辺に対してどれくらいの答えが出ているか、教えていただきたいのです。

【小笠原(実施者)】 仕様は双腕のロボットを想定していたので、双腕ロボットの制御のインターフェースはこの中で検討して決めたつもりです。

【小林委員】 双腕のロボットは、例えばどのくらいのハードウェアの仕様が与えられると、それについてユニバーサルなものが……。

【小笠原(実施者)】 それに関しては正直、細かく検討していません。逆に、世の中にそれをちゃんと一般化したものはないと思います。その辺の細かいスペックの話は河井さんからお願いします。

【河井(実施者)】 例えばここで双腕ロボットの共通インターフェース的なものが書いてありますが、これ以前に、最初に出て来た PA10 や三菱電機の MELFA、リファレンスハードウェアの OROCHI などのアームに関して、単腕のアームの共通インターフェースの低レベルと中レベルを決めました。そのコンビネーションを変えれば行けるようなものは、このプロジェクトの中でやりました。

それに基づいて、双腕の場合は単腕が単に二つあるだけではないので、双腕専用のものを作りました。今回、まだ HIRO というものにしか適用していません。

【小林委員】 単腕のもので双腕が作れるということは、単腕がモジュールとして与えられていて、アプリケーションとして双腕を作ったと聞こえてしまいます。恐らくそうではないと思います。

そうした時に、ここで想定された双腕というものの境界条件があつて、それに従っていればここで提供したモジュールで出来るという関係性が見えないと、新しいものに应用できるのかどうか分かりにくいのではないのでしょうか。

【河井(実施者)】 そういう入れ替え性的なことを、単腕ではかなり細かくインタフェースも決めてやりました。実証、検証は1つ前の再利用センターの検証や、午前中は事業原簿の中だけの説明でしたが、各コンソなどもそれに基づいて動かしており、実証しています。

【小林委員】 お菓子がタイトルに出てハンドリングを強調された、お菓子がキーワードになっているのはなぜですか。

【小笠原(実施者)】 ある意味、一般の人にも分かりやすいことを多少意識しました。基本的に硬いもの以外、柔らかいもの、形が四角ではない、変形するもので身の回りにあるものということで、学術的ではないかも知れませんが、分かりやすいという意味で、お菓子、和菓子という用語で説明いたしました。

【小林委員】 お菓子というものを想定するようなハンドリングの難しさを扱うという意味で、コンポーネントが構成されていることがきちんと整理されていると思ってよろしいですね。「このお菓子とこのお菓子ができます」というのでは何の興味もないのですが。

【小笠原(実施者)】 確かにそこに関して、「お菓子はこうで」と理論的に分類することは、あまりやっていません。

【佐藤(PL)】 PLとしてお菓子をオーケーした理由は、産品ということで、産業用で、次に狙うとするとそこだと思ったからです。食品などです。

それが一般化されるかどうかについてはものすごく個別なので、このプロジェクトの範囲を明らかに超えています。ただ、ああいうものを扱えるのだということをオープンソースで示すことは、切り込み口として非常に意味があると思いました。

【小林委員】 モジュール化ですからね。モジュールとして再利用を狙ったものとして、何を出すのが良いかという視点は必要だと思います。

【細田分科会長代理】 産業用ロボットにしる、サービスロボットにしる、最終的に役に立つロボットということ考えると、素早さ、スムーズさは大事だと思います。先ほど、モジュールを30も40も付けると通信オーバーヘッドで動かなくなるという話があつて、そこは非常に気になるところです。

モジュールをこういう組み合わせで、この位の数を付けたらどれだけの速度性能が出るのか。そういうシミュレーションツールや設計の考え方は示されていますか。

【佐藤(PL)】 モジュールが大きくなっていった理由の一つは、速さがありました。ただ言われる通り実用を考えた時に、スピード、タクトタイムがものすごく大事になることは分かっています。私も、このプロジェクトのアドバイザーの井上先生も、とにかくデモを見るたびに「速くしろ、速くしろ」と言っていました。なかなか難しいところです。そういうところをきちんと評価するツールが出来れば良かったのですが、そこまでは出来ていません。

【河井(実施者)】 速さの点で言うと、今日、説明の中で三菱電機さんと IDEC さんは産業応用のところでやっていて、国際ロボット展でも電気部品の組み立てをやっています。メーカーはかなり意識してやっています。今回、オープンソースは1年でやれることでやったこともあつて、速度は求められていますが、そこまで行けませんでした。実際、やられているところもあります。

【奥乃分科会長】 どうもありがとうございました。モジュールの設計をどうするかは非常に難しい話です。機械の方はモジュール化が結構進んでいると思いますが、ソフトウェアは最近、やっと少しずつ確立して来ました。ロボットは機械とソフトウェアの間になりますので、どの辺にインターフェースを設けるか、あるいは階層的にどうやるか、いろいろ難しい話があります。

そういうノウハウがここでもっと出していただければ大きな成果になって行くと思いました。どうもありがとうございます。

(休憩)

5.1.4 国際連携 RT ミドルウェアと ROS の連携について

実施者(東京大学の岡田准教授)より 7-1-4 に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願いいたします。

【細田分科会長代理】 Google 自体は RTM に相当するようなミドルウェアの開発を自分でやる方針はないのですか。

【岡田(実施者)】 私の知っている限りでは、たぶんなくて、Willow Garage は最近わざと社員を外に移籍させていると思いますが、午前中に紹介があったオープンソースファウンデーションという NPO を作って、開発者が 1 人行きました。もう 1 人はメンテナンスをかなりやってくれていた方が、最近、Google に移ったという案内があったので、たぶん Google は ROS を使って何かやりたい。

Google は最近、Google カーを作っていますが、6 年前の DARPA Challenge が自動運転だったので、僕らの中では、Google ヒューマノイドを 5~6 年後に作るのではないかと勝手に予想しています。どうなるかわかりませんが、たぶん ROS を使って何かやろうとしています。

【藪田委員】 基本的な質問なのですが、この連携によるメリット、このプロジェクトはどういうおいしいところがあって、相手側はどういうおいしいところがあったかというところを聞かせてください。

それからプロジェクトを延長されますが、そうするとどういったおいしいところがあるのかという、そのアウトラインを教えてください。

【岡田(実施者)】 どっちがおいしいかというところは良く分からないのですが、先ず我々がおいしいところは、研究室には OpenRTM のロボットがもうあるわけです。それはコントローラー OpenRTM で動いています。

それとは別に世の中で ROS はそれなりにユーザーが多いので、ROS で作った知能モジュールがある。それを RTM で動かしたいと思った瞬間に、これがないと同じことを二つやることになってしまうので、われわれ研究室には研究運営の上で、ROS がなくてどうにもならないというのが一つです。

それぞれの陣営でのメリットとしては、OpenRTM からすると、ROS の知能モジュールの良いものが出来と言われた時に、それをすぐに取り込めるのはメリットだと思います。逆に ROS の人からすると、自分が使っているもののユーザーが増えれば、メリットになっているかも知れません。また、今日は紹介しませんが、OpenRTM のプログラムを ROS から使うツールも、我々はボランティア的に作っているので、逆にもなります。

基本的に世界全体で見れば、ロボットのビジネスや研究を進める上でおいしいところがあるということで、どっちが得をするか、プラスマイナスかというのは、価値判断の問題もありますが、少なくとも両方が得をするような形になっているのではないと思っています。

【藪田委員】 ずっと継続して行こうと思われているのですが、それも何かおいしい話が続くからということなのですか。

【岡田(実施者)】 ロボットはそのまま存在するし、ROS で作っているモジュールもあるし、OpenRTM ではそれぞれいろいろなモジュールが特に産総研さんから出て来ますから、これなしにはやっていけないというのが今の状況だと思っています。

【小林委員】 ROS は研究者が開発ベースで、寄ってたかって作っているようなイメージがあるのですが、

企業の立場から行った時に、両立てでやっていることのメリットがあるという気がしますが、そういう観点はないですか。例えば ROS で作っていると、商品は作りにくいですが、OpenRTM で作れば商品になりやすいというメリットはないですか。

【岡田(実施者)】 それはあります。ROS をやっている人たちによく聞かれるのは、OpenRTM はセーフティで仕様がきっちりしているから、商品化の時に楽ではないかということです。

【小林委員】 そっちの方向を目指して何か棲み分けというか、そういう利点が見えるような形で、RTM の存在価値を上げるような流れが作れないかと思ったのですが。

【岡田(実施者)】 我々がやっているのは、どちらかという基礎研究的な形ですが、例えば ROS で作っていた人たちが商品化しようと思ったとたんに困って、OpenRTM に載せたいと思った時に、「ちょっと試す」ということは全く出来ないわけです。全部作り直すことになるわけですが、これがあればとりあえず試してみることができます。

例えばロボットそのものは OpenRTM でカッチリと安全性を持たせ、今まで ROS で作っていたモジュールを動かしてみる。それでちゃんと動くということが分かれば、あとはインターフェースをどうしているか、機能がどうなっているかが分かるので、仕様書を書いて、安全設計の下できっちりした商品を作ることが出来ると思います。

そういう意味では開発のスピードを上げるような枠組みになっているということで、今は OpenRTM を推進するために、ROS の世界でいろいろなものを試してもらっているわけです。それで良いものを見つけたら、OpenRTM の安全設計で作って、商品化して行く。そういう流れが出来てしまえば、世界中で自動的にテストをしてくれて、プロトタイプを作ってくれるという状況になり、これを使ったビジネス化にはすごく大きなメリットになるのではないかと思います。

【奥乃分科会長】 RTM は基本的に中身が CORBA です。それに対して ROS はもっと軽い形です。そういう中で二つのものが混在するというのは、例えば全部 ROS で書けば、もっと軽いのに、重たくなってしまっているということがあると思います。

これから ROS がアップデートされるということになると、それに対してまたインターフェースを変えなければいけないとか、いろいろ難しい問題が出て来ます。そうするとプロジェクトで言われているモジュールの再利用については、別に RTM にこだわらずに ROS のライブラリとしてサポートしていけば、もっと軽くて、使われる人口も増えて行くのではないかと思います。そういう批判に対しては、どのようにお答えになりますか。

【岡田(実施者)】 個人的にはそれでも良いと思っているところもあるのですが、ここで作ったものは、先ほども紹介したように、逆側も出来て、OpenRTM のものを ROS から使えるようになっていきます。

私たちが OpenRTM のモジュールをいくつか作っているのですが、モジュールを作っている人からすると、その機能があることで、そのインターフェースを使って OpenRTM のモジュールが使えます。それはユーザーが増えるということでメリットになるかと思います。

重い、軽いという話については、基本的に ROS の本体そのものはあまり軽くすることは考えずに、どちらかという計算機が沢山ないと動かないようなものになっていて、彼らは困ったら計算機を増やせば良いという感じになっているかと思います。

いま私たちが作っているのは、プロトタイプ用の環境であって、これでとにかく何が出来るかを検証した後に、何らかの方法で、それは ROS かも知れませんが、OpenRTM かも知れませんが、商品化に適した方法でシステムを作り直すということが、事業化等を考えると必要になって来ると思っています。

【奥乃分科会長】 岡田さんのところでは、ROS を使ったプロジェクトが走っていると思います。それと OpenRTM と ROS を混在させたシステム、あるいは OpenRTM だけというものもありますが、そう

いう中で、どれが使い易いのかというのは、ここは公開ですが、少しご経験をお聞かせください。

【岡田(実施者)】 最初に紹介したように、ROSは一生懸命に開発ツールを作っています。使いやすい開発ツールを作ることが楽しい人たちが沢山いて、開発ツールが良いので、デバッグもしやすいし、いろいろビジュアライズして確認し易い。ただミドルウェアの通信に関しては、正直に言うと、プロトコルは何でも通信さえ出来れば同じなので、そこは関係ないという気がします。

知能モジュールに関しては、僕らはヒューマノイドを良く使っているもので、足が付いているものはOpenRTMしかない形になっています。あるいはアームも、カッコリした制御に関してはこちらの方が良いと思います。その代わり、認識、プランニングなどといったハイレベルなAI的なものに関しては、ROSの方があるという気がします。

もう一つ全然違うのはサポート体制で、ROSは民間企業ですが、少なくともあと5年ぐらいは会社がサポートする人をお金を出して雇って、質問したら、すぐ返って来るような状況が作られています。

OpenRTMは、いま産総研の方に聞くと、プロジェクトが終了し、手弁当でやらなければいけないので大変ですと良く言われるので、そういうところのサポートがリッチになると、OpenRTMはかなり使い易くなると思っています。

【細田分科会長代理】 RTMは組込制御対応をサポートするような形でやっています。一方、ROSはコンピューターがリッチだという前提で使われているということですが、ROSは組込みコンピューターに積むのはけっこう難しい存在なのではないでしょうか。そういう意味ではROS-RTM連合が生きるのでしょうか。

【岡田(実施者)】 ROSは特に誰がリーダーで何かやっているということではなくて、それぞれ作りたい人が作っているということで、例えばROSをarduinoというマイコンに入れるプロジェクトや、あるいは組込み用のROSを作ろうというプロジェクトは存在しています。

ただ組込みのプロジェクトは、この1年間は更新がないので、やろうと思ったけれども失敗したのか、飽きてしまったのかも知れませんが、そのような状況だと思っています。それからarduinoの基盤に対してROSを使うというのは、いまうまく行っています。

それに比べると、OpenRTMは組込みもそうですが、ちゃんと組織的に責任を持って行われているのが良い点で、その違いがとても顕著で、事業者からすると、どちらを選ぶかという時にはそういうところも見て選ばれることになるのではないかと思います。

【細田分科会長代理】 逆に国外向けの売り込みをやる時には、ちゃんとそこを主張してやると、ROSに勝てるかも知れません。

【奥乃分科会長】 それではどうもありがとうございました。

5.2 実用化の見通しについて

5.2.1 本プロジェクトにおける実用化の考え方

実施者(佐藤PL)より資料7-2-1に基づき説明が行われた。

5.2.2 組込機器へのRTミドルウェアの実装

実施者(芝浦工業大学の水川教授)より資料7-2-2に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願いいたします。

【薮田委員】 佐藤さんと水川さんに絡むのですが、この戦略では沢山のモジュールをばらまいてしまおうというところから始まりました。後はメンテナンスをしないといけないと思いますが、手弁当でやるとなると、みんな死んでしまいますから、先ずメンテナンスのお金を回すことを考えないといけないと思います。どういう形でお金を取り込んで、メンテナンスをやりながら生き延びようと思っています。

すか。

【水川(実施者)】 既存規格については、我々は既に標準化していますので、そのバージョンで使う限りは手はかかりません。

それから後はこれを使ったことによる責任範囲ですが、この規格に従っていれば、規格のメンテは標準化団体が面倒を見ます。それからデバイスについては、自分たちの得意なところを、このインターフェースや仕様に合わせて提供するというので、通常のビジネスに対してオプションな部分が若干付くぐらいで、それほどコスト的には負担がかからない。そこがメリットになると考えています。

【藪田委員】 もっと赤裸々な具体的なお金の流れについて、このプログラム使用についてのお金を回収するのは自分たちでやるのか、どこかメーカーさんを使ってやるのか、そういうビジネスモデルが見えなかったの、そこを聞いたのです。

多分そうしないと、メンテナンスも壊れてしまうので、簡単なパイロットプランのビジネスモデル、こうやって金を儲けながら、最後にこれが発展して行きますという感じで佐藤さんは言われていたの、最初に金が流れるビジネスモデルというのは何なのかなと思って聞きました。

【水川(実施者)】 我々はお金の回収までは考えていないというのが正確な表現だと思います。それはそれぞれのデバイスについて、デバイスメーカーさんが自分のビジネスモデルをお持ちの筈ですので、その中で回収をしていただければ良いと思います。

但し、それを使ったことによって生じるユーザーの責任について、どこまで責任を負うかというのは規格に準拠している以上、この範囲であるということは自分で主張できる訳です。従ってその負担が非常に小さくなるということで、この業界に参入しやすくなる。

それからシステムインテグレータの立場、ユーザーの立場からすると、個々のデバイスの中身までは責任を持たなくても良いということで、システム開発がとてもやり易くなる。なおかつオープンソースですので、いろいろな人の知識、知恵をここで統合して使うことが出来るということ、それから信頼性が高いことを要求するのであれば、市販のインターフェースカードやソフトウェアのモジュールをライセンスベースで購入していただければ良い。ですので、どのレベルの責任を取る覚悟があるのかによって、非常にフレキシブルにビジネス展開が出来るようになると申し上げたいと思います。

【藪田委員】 共通プラットフォームとモジュール群も含めて、あるメーカーさんに提供して、それからお金を回収するということを言われている訳ですね。

【水川(実施者)】 我々はオープンソースですので、そこについてのライセンスフィーは取るつもりはないのです。

【藪田委員】 そうするとそれ以外のところでお金を回収する手は何かあるのですか。それは製品を売ったときですか。

【水川(実施者)】 これは国のプロジェクトですので、産業活性化というところでオープンソースにすると決めた時点で、それはあきらめています。

【藪田委員】 そこは気にしないということは分かりましたので、この質問は行き過ぎでした。ただメンテナンスにお金がかかりそうな気がしたので、そこはどうなるのかなと思いました。メンテナンスをしないと、このプロジェクトはそこで終わりそうな気がします。そこは何か工夫がないのでしょうか。

【水川(実施者)】 それは仕様もオープンにしていますし、ソースコードもオープンにしています。

【藪田委員】 あとは勝手にやってということですか。

【水川(実施者)】 そういうことになります。現状、出ているバージョンについては、われわれが責任を持っています。そしてなおかつホームページで、それぞれのベンダさん、我々も含めて、持っているものはアップデートを常に行っているという状況です。私が大学を辞めれば分かりませんが。

【藪田委員】 完全に手放して、あとは勝手にやってくださいという感じなのですね。分かりました。

【水川(実施者)】 ただ先ほどの再利用センターでの検証は、ドキュメンテーションも含めて、していただいていますので、それなりのクオリティのものは提供できていると思っています。

【奥乃分科会長】 CAN のインターフェースでモータやセンサなどがたくさん売られているのですか。

【水川(実施者)】 はい。

【奥乃分科会長】 そういうものを繋ぐ時に、普通、コンピューターサイエンスですと、Linux レベルのドライバや Windows レベルのドライバがありますが、それがもっとローレベルの CAN というインターフェースの中で提供されている。

【水川(実施者)】 CAN は物理層のプロトコルの部分と、CANopen というのはアプリケーションレイヤの 7 層目のレイヤなので、その間については、例えば OS があれば Linux 用のドライバが、Windows であれば Windows 用のドライバが必要になります。

でも今回は動くドライバも一緒にありますし、オープンソースのドライバも使って、ここで提供しているということですので、その部分については特に問題はなくて、アプリケーションを作る時に、RT コンポーネントとシームレスに繋がって、なおかつハードウェアもソフトウェアに見えるということで、非常に使いやすい環境をここで提供したとご理解いただければ幸いです。

【奥乃分科会長】 リアルタイム処理をやる時に、こういうネットワーク経由でやると、けっこうパフォーマンスが落ちるのではないかと思います、そこはどうですか。

【水川(実施者)】 それはネイティブパスでローカルな通信をやるので、そこはそこで閉じてしまいます。従って少なくともサーボ系は大丈夫です。

それから千葉工大で開発したものは、Linux でリアルタイム化するという改造をして、1msec のループを保証していますので、これも必要であればお使いいただけることになっています。

【細田分科会長代理】 千葉工業大学で作っている CANopen 対応デバイス・ソフトウェア群と、その前の水川先生がやられたネイティブ対応 RT ミドルウェア環境の対応関係がよく分からないのですが。

【水川(実施者)】 簡単に言うと、RTC-CANopen というのは、RT コンポーネントを CANopen にマッピングしたものです。したがって CANopen のプロトコルをサポートするものが、RT コンポーネントとして動いて、使えるということになります。

千葉工大さんが開発したものは、CANopen 対応のデバイスになりますので、私どものツールを使って、デバイスプロファイルに数行加えていただくと、RTC-CANopen のデバイスになるということです。

【小林委員】 この部分の仕事の予算はどれぐらいだったのでしょうか。

【水川(実施者)】 本来の智能化モジュールを開発するところも含めて、全部で 3 億円かかっていると思います。

【小林委員】 予算的には、これを切り出した形で予算がついたわけではないのですか。

【水川(実施者)】 加速案件として付いたのは平成 22 年度、23 年度で、トータルで数千万円のオーダーだと理解しています。

【五内川委員】 このプロジェクトに関して、自動車メーカーの反応というのはいかがですか。これはロボットが自動車化するというか、自動車がロボット化するというか、そういった相互乗り入れにかなり近づく話なので、今一番こういう技術を使う体力もあって、関心があるのは自動車メーカーだと思いますが、この辺の反応はありますか。

【水川(実施者)】 CAN 自体は既に自動車の中でずいぶん使われておりますので、自動車メーカーさんは馴染みのあるものです。ここについては、自動車メーカーからの特別な問い合わせはないのですが、例えば産業機器の生産技術部などから聞かれています。

ただ CANopen 自体は、エレベータ、電車、トラクター、そういった輸送機器や産業機器で非常に

実績があります。今までは分野ごとの独自のインターフェースを決めていたところを、RT コンポーネントのモジュール化をすることによって、彼らはコンポーネントの再利用性を上げて分野拡大をしたいと考えています。特に日常のサービスロボットに適用したいということで、これからオープンするフィールドの拡大に努力したいと言っています。

【奥乃分科会長】 それでは時間も来ましたので、どうもありがとうございました。次の説明をお願いいたします。

5.2.3 安全認証取得 RT ミドルウェアの開発について

実施者(株)セックの中本テクニカルマネージャより資料 7-2-3 に基づき説明が行われ、続いて質疑応答が行われた。

【奥乃分科会長】 それでは質疑応答をお願いいたします。

【梅田委員】 大変素晴らしいものを開発されたと思います。基本的なところが分かっていなくて恐縮ですが、RTMSafety の上で走るコンポーネントと、それから OpenRTM-aist の上で走るコンポーネントというのは、基本的には共通の同じものが走るという理解で良いですか。

【中本(実施者)】 そこは説明できていませんでしたが、違うものになります。実際に産総研さんが作っているのは、C++、Java、Python といった言語で開発できるのですが、RTMSafety は組み込みで軽量に使えること、そして安全性を確保するために C 言語で開発することになっているので、別のものになります。

【梅田委員】 言語系のところは違うとして、例えば誰かが C++ で OpenRTM 用に開発したものを RTMSafety 用に書き換えようと思ったら、その負荷は大きいものになりますか。

【中本(実施者)】 実際に仕様としては OMG で標準化されたものに準拠していますので、フレームは同じですが、言語が違うので、その移植が必要になります。そんなに手間ではないと思いますが、本当に安全性を確保しようと思ったら、それなりの作りにしなければいけないので、プロトタイプ的に作ったものがそのまま行けるかという、そこはまた違います。ただし持って行けるのは持って行けません。

【梅田委員】 ブリッジのところの絵がよく分からないのですが、そのブリッジがどういうふうに機能するのか、もう少し詳しく教えていただけますか。

【中本(実施者)】 産総研のミドルウェアは CORBA という通信プロトコルでコンポーネントの間は連携しています。しかし CORBA 自体は安全認証を取れるものがないということもあって、RTMSafety は実際には OS の間のプロセス間通信、タスク間通信を使って通信しています。

ここは実際にネットワークを介して繋がっていますので、こちら側のデータをこちら側に TCP のプロトコルで送って、それを受け取って、中で変換して渡すということが相互に出来るようにしています。

【奥乃分科会長】 そのところが良く分からなかったのですが、安全のところは RTMSafety と、上のアプリケーションのセーフティがあります。そして一番下の Kernel のところがセーフティになっているということですが、例えばネットワークのライブラリがハックされないというのも一つあると思います。そういうもの以外に、どこかが落ちてネットワークが切れた時に、それがそのまま回らないで、落ちたということが適切に出て、何かが行くというようなことがやられるようになっているわけですか。

【中本(実施者)】 安全認証を取った部分にはネットワークのところは入っていません。ネットワーク層をどう安全に確実に通信するかというところは、普通の Ethernet では出来ないなので、今回の認証範囲

には入っていないのです。そこは今後の課題で、製品の範囲には入っていますから、継続して研究を続けるということで、産総研さんと協力しながらやって行くことになっています。

【奥乃分科会長】 それはどういうことが機能的に出来るのですか。例えばどこかの線が切れて、それが重要な線であった時に、それをディテクトできるというモニタ機能が提供されているということですか。

【中本(実施者)】 現状はそうです。エラーを検出して、それをアプリケーションに通知するという機能は持っています。

それをアプリケーションがどう判断して、止まるのか、何かするのかというのは、ロボットのアプリケーションによるので、そこまでは関知していません。

【奥乃分科会長】 その部分はプログラムを書かないと、事故モニタの情報を上げることはできるけれども、それを全部捨てて行ったら、何もならないということですね。

【中本(実施者)】 はい。

【奥乃分科会長】 分かりました。ありがとうございます。

【三宅委員】 安全機能ライブラリというのは具体的にどんなものなのでしょうか。

【中本(実施者)】 いくつかのことをやっているのですが、一つは実際にアプリケーションがすべて健全に機能しているかどうか、データの通信に遅れないか、そしてリアルタイム OS なので、決められた時間で処理が終わっているかといったことを検出するような機能、安全にシステムが動くために、それをフォローするような機能、それから OS や CPU でエラーが起きたという情報を吸い上げて、アプリケーションに渡す機能です。

そういうところは OS や CPU に寄りますので、その汎用的なアプリケーションを作ろうと思うと、その全部に対応しなければいけないのですが、間にミドルウェアがあることによって、そこを抽象化して通知することが出来るという機能です。

【藪田委員】 全然違う観点ですが、安全認証を得ると、将来これがないとロボットが使えなくなるというような規制が強いものなのか、それとも単にブランド的にあった方が良く売れるというものなのか。

【中本(実施者)】 どうなるのか分かりませんが、ヨーロッパに関しては、ISO で販売自体が出来ないように規制するという文化があるので、そういうところではそうなるでしょうが、米国などがそういうところまでやるのかというと、そこはまた文化の問題なので、分かりません。二つの側面があって、そういう規制を通すためには必要になるか、もしくはブランドとして持っておくというものです。

【三宅委員】 発表者の方にお聞きすることではないかも知れませんが、午前中の話の中で、作業領域、移動領域、コミュニケーション領域の知能モジュールの話があり、その知能モジュール自体の安全のお話だったのではないかと思います。これはミドルウェアの安全ということだと思いますが、モジュールの方の安全についてはいかがなのでしょう。

【中本(実施者)】 それはこれからということだと思いますが、まずはモジュールの安全性を保証するためには、そこまでの積み上げがないといけないので、ようやくそういうものが出来たということです。

実際にこのミドルウェアを使って、産総研さんが安全な車椅子ロボットを開発されていて、その中でいくつかの安全なコンポーネント、モジュールが作られつつあって、それをいま実証しているところ。プロジェクトを終わった後ですが、それぞれで実証しているということになります。

【小林委員】 ちょっと未だ理解できていないのですが、例えば故障検出という観点で言えば、必ず OS の情報を上げる仕組みは今までのものも持っていたに違いないと思います。

機能のレベル、コンポーネントフレームワークと安全に資する情報も、むしろそういう情報が出ていなかったというのは不自然なような気がするのですが、ここで整備されたのはどういうレベルなのでしょう。

先ほど抽象化という言葉が出ましたが、それは OS 依存に整備して、RT のミドルウェアという観点で共通のものを出したというものなのか、おそらくそれ以上のものがあるに違いないと想像するのですが。

【中本(実施者)】 先ず抽象化したというところが一つです。あとは今までこういうライブラリがなくても、各アプリケーションでそこまで踏み込んで作っていたものを、こういうライブラリを作って、マニュアルにそういうことを書くことで、何かエラーが起きた時は、このファンクションの中に処理を書けば良いという形を決めたということです。

それをすることによって、漏れがなくなり、いろいろなアプリケーションを作る時に、同じ仕組みになります。既存でここまでやっておられる企業さんはこれを使う必要はないのですが、新しく機能安全対応のロボットを作る時のベースの知識になります。そこがミドルウェアとしてのポイントだと思っています。

【奥乃分科会長】 ドキュメントの整備もありますので、そちらについても質疑応答があれば、よろしくお願いします。

【梅田委員】 先ほどのロボット展で 2000 部配布したパンフレットを最後までザッと見せていただけませんか。

【中本(実施者)】 モジュールを組み合わせて、ロボットを安く早く作ろうという概念から、「今までの NEDO のプロジェクトでどんなことに取り組んで来ました」ということを書いていて、モジュールを組み合わせることで、いろいろなロボットが簡単に作れるということ、自律移動、物をつかむ、そしてコミュニケーションといった三つの分野で、いろいろなモジュールを作って来たということです。

すごくデフォルメして書いているのですが、こういうものを組み合わせることで、いろいろな機能を変えたり、再利用性が高まるということ、最後にこういう代表的なモジュールの一覧を載せています。

【細田分科会長代理】 7 ページの説明が良く分からなかったのですが、左側は高信頼性 RTC は認証済みで、通常の RTC と独立させているからエラーが伝播しないという意味なのでしょうか。

【中本(実施者)】 そうです。

【細田分科会長代理】 エラーが伝播しないという意味がよく分からないのですが。

【中本(実施者)】 完全にパーティションが分かれていますので、上で起こった異常のせいで下が止まるということがないということです。

【細田分科会長代理】 高信頼性 RTC は上の影響を受けないから、安全は保証できる。他のエラーによってクリティカルな事故は起きないということです。

【中本(実施者)】 上で何か死んだというのはきちんと分かるので、それで止まるなりという判断を下は取れるだろうということです。

【細田分科会長代理】 右も良く分からなかったのですが、これはどういう意味でしょうか。

【中本(実施者)】 コンポーネントベースで開発していますので。

【細田分科会長代理】 安全認証したものがエラーを発生しているような絵に見えるのですが。

【中本(実施者)】 そういうわけではなくて、横の間のエラーの伝播がないということです。

【細田分科会長代理】 安全認証の系の中でのエラーの伝播がないということですか。

【中本(実施者)】 そうです。コンポーネントが独立しているので、何かを変更した時でも、そこだけを変えれば良いとか、そういう意図です。

【細田分科会長代理】 ちょっと図の見方が分からなくて、静的から動的に対する伝播がないのかと思いました。

【中本(実施者)】 そうではありません。

【細田分科会長代理】 分かりました。

【奥乃分科会長】 その左側の図を見ると、緑色のライトウエイト RT ミドルウェアのところ、実は上から来るデータのチェックを厳重にしているように見えますが、そうするとせっかくライトウエイトなのですが、実はそこでデータのインテグリティのチェックがいっぱい入って遅くなるという気がします。それは大丈夫なのですか。

【中本(実施者)】 最低限のチェックは必要なので、もちろんやっております。あとは普通の Linux や Windows だけではなくて、組込みの OS で動くようになっていきますし、ライトウエイトということで、メモリのフットプリントも数十キロぐらいになっています。それが重い、重くないの判断は難しいのですが、そういうものではなくて、リアルタイム処理が出来るというものになっています。ただしある程度のオーバーヘッドはもちろんあります。

【奥乃分科会長】 それからドキュメントのところ、英文のドキュメントを作られたのかということ、あるいはいろいろなマニュアルがありますが、そういったものに対するクロスリファレンス、インデクシングなどがあって、いろいろなところへ移ることができて、有用な情報が見られるといった工夫がされておられるのでしょうか。

【中本(実施者)】 英語化も出来ていませんし、そこまでは出来ていません。それも必要だろうという議論はプロジェクト内でもあったのですが、この5年間の中ではちょっと出来ませんでした。それからインデックスなども、未だ出来ていません。

まずはきっちり作ったというところで、実施者の方にもマニュアルを渡しますし、公開して、見ていただくように工夫をしているのですが、今後、メンテナンスして行くということが大事だと認識しています。

【小林委員】 これはこうやって出来ています、仕様はこうなっていますというのは、あって当然のものであって、使おうと思っている人は一生懸命それを読むと思いますが、普通にちょっと使ってみたいという人はそんなに読んでくれない。

自分が使う観点から、どんなものが欲しいかという、典型的な問題があった時に、この知能モジュールをどのように活用することで解かれるのか。ソフトウェアというデザインパターンみたいなものに類した、要するに使う立場で利用しやすいようなものです。

先ほどエラーのところ、そのような形で典型的なパターンが用意されていて、そこへ引き込むような枠組みがあるということだったので、そういったものがドキュメントの枠組みの中でも、使いやすいというか、素人でも上手な使い方が出来るような仕組みがあると良いのではないかと思います。今後また検討いただければと思います。よろしく願いいたします。

【中本(実施者)】 先ほどのインデックスの話と同じで、どう入っていけるか、そのドキュメントに辿り着けるかということが大事だと思いますので、今後、改善等をして行きたいと思います。

デザインパターンという意味では、このロボットシステムのマニュアルに、これでここまでのことができるということをいくつか示しているので、後はそれをどう変えて行くかという出発点にはなると思って作っている面もあります。まずは、こう使えるんだという出発点にさせていただくのが良いと思っています。

【奥乃分科会長】 予定の時間が来ましたので、どうもありがとうございました。

(休憩、入替)

(非公開セッション)

5.2.4 実用化の実例と波及効果

(公開セッション)

6. 全体を通しての質疑

7. まとめ・講評

【藪田委員】 佐藤 PL の夢と現実と悩みが非常に良く分かりました。全体的にソフトを作って使ってみたという感じが見えたのですが、本当はその中にもものすごいノウハウが多くあった筈です。それが出て来ると、すごく良かったと思います。私はそこに宝物があると思っています。だから佐藤 PL の思いがもっと出て来た方が良かったと思いました。

この評価は数年後、何に使ってもらったのか、お客さんが何人ついたかということです。私はそれを見て、うまく行ったら、「おめでとう」と言ってあげます。以上です。

【三宅委員】 今の藪田委員のコメントで尽きている気もするので、余計なことはあまり言いたくないですが、やはりこのソフトウェア基盤の確立を国の事業でやったということは、反面教師ではないですが、ROS の話でもあったように、あれを考へても非常に時宜を得たものだったと思います。

今日 1 日、いろいろ形を変えて議論になったことは、これをどう継続して行くかということではないかなと思います。作って終わりではなくて、それを継続して行くためには、例えば機能のアップデートやメンテナンス、いろいろなことが必要になると思います。それを事業になるまでの間、5 年先になるのか、それまでの間、やはり何らかの形で支援をする制度というものが必要なのではないか。そういう枠組みが、もし NEDO で出来るのであれば、そんなことも考へていただければ良い。そう感じながら、今日は伺っていました。

【小林委員】 私は中間評価にも参加させていただいたのですが、事業の整理も出来ているようですし、ROS のような新しいものへの対応も良く出来ており、非常に素晴らしいと思って聞かせていただきました。

ただ、継続性を考へた時に、やはり難しい問題をかかり抱えているということも事実だと思ひます。私は RTM に対して、ROS のようなものが出て来ても、それと共存して、産業界に資するための基盤として非常に期待するものがあるのか、これが是非とも育つような形で継続の仕組みを作っていただきたいと思ひております。よろしくお願ひいたします。

【五内川委員】 私も中間に出させていただきましたが、その時と比較しても、最終成果としてはかなり前進している、大きな変化があったのではないかと感じています。

ROS の話、組込みの話、安全性の話にしても、広いところ、あるいはインフラ的なところで、かなり目配せが出来ていて、非常に素晴らしい成果だったと思ひます。

他の委員の皆さんと同じで、やはり継続性の問題がこれから問われるということで、仲間づくりと申ひますか、システムインテグレータをどうやって引き込むか、あるいはこれを普及させるために、どういふエバンジェリスト、伝道師を育てて行くか。更にそういう人たちを集めるコミュニティなのか、コンソーシアムなのかは分かりませんが、どういふ形でこの成果を社会に還元して行くかという仕組みづくりが次に問われるので、そちらも期待したいと思ひます。

【梅田委員】 目標が大変難しいプロジェクトだったと思ひますが、これだけ立派な成果を挙げられた関係各位に心から敬意を表します。

私も中間評価と今日も出させていただいて、非常に新しい話がいふいふ出て来て、ある意味びっく

りました。まずセーフティの話が出て来たのは、今後の基盤として非常に有用だと思いましたが、ROS との連携の岡田先生の話も、それこそ中間評価の時には影も形もなかったのが、ROS が出来たことにこれだけパッと対応できている。迅速な展開が出来ているのは、本当に素晴らしいことだと思っています。ROS と RT ミドルウェアがこれからも良い形で共存しながら、ぜひ発展して行っていただきたいと思っています。

これはどこでも言われる話で、原発の話でも言われていたのですが、プロジェクトで一定の成果が挙がっても、それが終わった後にアフターケアがなくて、どうしても技術の発展が続かない。そこはわれわれ日本が反省しなければいけないところだと思います。

このプロジェクトに関しても、ぜひ関係各位には、これは NEDO の皆様、あるいは経産省の皆様かも知れませんが、何らかの措置をお考えいただきたい。例えば RT ミドルウェアの発展にこれからも予算が付くようなメカニズムが出来れば良いと思います。また新たにロボットの大型プロジェクトが近いうちに立ち上がることを切に望んでおります。少し余計なことを言い過ぎましたが、どうもお疲れ様でした。

【細田分科会長代理】 今日是有意義な議論を聞かせていただいて、ありがとうございました。やはり先ほどから何遍もありますように、プロジェクトの結果の継続性というのは最重要だと思います。

ボランティアでやるのかどうかというのも非常に大きな話で、これは絶対にビジネスで回らないといけない話だと思います。卵か鶏かと思いますが、ビジネスになると思えば、メーカーはオープンでも何でも自分から全力で取り込んで、安全性も取り込んで、何でもやると思います。だからこれがビジネスとして行けるかどうかの見通しにすべてかかっている。

一つは技術的な見通しが立つかどうかという話で、RT ミドルウェアですぐに試せるというのは非常に大きなファクターだと思います。

ただ、自分で目指したいロボットや、システムの仕様や性能に見合ったものが、この RT ミドルウェアで出来るのかどうかという確証が得られないと、たぶんスタート出来ないと思います。そのためにはコストパフォーマンスも含めて、ちゃんと自前でしっかり見積もることができるシステム、体制、情報、技術を整備して行くことがこれからの課題だと思います。

さらに、サービスロボット等のシステムをなぜ作らなければいけないのか。社会が必要としているのかといったところが一番大きな問題だと思っています。

先ほど佐藤 PL から一つのサジェッションとして、サービスロボットを受け入れる社会の仕組みから考えなければいけないというお話がありました。文化を創り出すということに近いのかも知れませんが、それをいまは国家プロジェクトの対象ではないという理由で、あまり取り組んでいません。

これは難しく、受益者負担でやる話なのかも知れませんが、これからそういうところも切り込んでプロジェクトとしてやるということがあれば、未知の市場に向かう人たちには大きな福音になると思います。一緒に考えて行ける形に進めたら嬉しいと思います。

【奥乃分科会長】 皆さん方、5 年間ご苦労様でした。私は事後評価だけなのですが、その間すごく大変だったと思います。特に最近のプロジェクトでは、プロジェクトが終わった時にやっと完成というのが昔のスタイルだったのですが、今は違っています。3 年目ぐらいから、モノを出して行って、そこで評価をして行くということですので、プロジェクトをやること自体が厳しいですし、中間評価でいろいろなことを言われて、それに対応されて行くので、本当にご苦労があったと思います。

その中で、従来ですとライブラリを作るということが多かったのですが、モジュール技術を作られて、いくつかのロボットに適用されて、その有効性を確認された。特に去年の 3 月 11 日に大震災がありましたが、それ以降、安全・安心というところに非常に注意が向けられています。中間評価以降、安全技術ということで、これはたぶん世界のロボット技術の中にはない技術だと思います。

国内だけではなくて、世界的に技術の先導性を示されたことに対して、非常に敬意を表したいと思います。

5年間やってこられたものを次にどうやるかというところですが、だいたい昔のプロジェクトは、プロジェクトが終わって大成功ということになると、後続のプロジェクトが続かないのです。もうそこで終わってしまいます。成功したのに、なぜもう一回やるのかということになります。

その辺りのところは、技術は螺旋で動いて行くので、要素技術とシステム技術、今回ですと、そのシステム技術のところで重要なことが言われたのですが、更に要素技術をもっと高めていかないと、システム全体が上がらないということです。

この螺旋の理論を NEDO、経済産業省がうまく組み立てられて、その次のステップ、次のプロジェクトを起こしていただいて、ロボット技術を更に発展させていただきたいと思います。

ヨーロッパ、韓国、アメリカといった辺りはロボット技術にすごくお金が投入されているのに、日本は先に行き過ぎたために、ある意味で少し元気がなくなっているところがありますので、そういったことも含めて、皆さん方の健闘をお祈りしたいと思います。

8. 今後の予定

事務局より資料 8 に基づいて説明が行われ、今後の予定が了承された。

9. 閉会

事務局の竹下部長からの挨拶の後、閉会した。

配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 NEDO 技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について (案)
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 NEDO における研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について (案)
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票 (案)
- 資料 4 評価報告書の構成について (案)
- 資料 5-1 事業原簿 (公開)
- 資料 5-2 事業原簿 (非公開)
- 資料 6 プロジェクトの概要説明資料 (公開)
 - 4.1 事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント
 - 4.2 研究開発成果及び実用化の見通し
- 資料 7-1-1 プロジェクトの詳細説明資料 (公開)
 - 5.1 研究開発成果について

- 5.1.1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発
- 資料 7-1-2 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.1 研究開発成果について
 - 5.1.2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発
- 資料 7-1-3 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.1 研究開発成果について
 - 5.1.3 有効な知能化技術モジュール群 ～オープンソースモジュール群～
- 資料 7-1-4 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.1 研究開発成果について
 - 5.1.4 国際連携 RT ミドルウェアと ROS の連携
- 資料 7-2-1 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.2 実用化の見通しについて
 - 5.2.1 本プロジェクトにおける実用化の考え方
- 資料 7-2-2 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.2 実用化の見通しについて
 - 5.2.2 組込機器への RT ミドルウェアの実装
- 資料 7-2-3 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
 - 5.2 実用化の見通しについて
 - 5.2.3 安全認証取得 RT ミドルウェアの開発について
- 資料 7-2-4 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
 - 5.2 実用化の見通しについて
 - 5.2.4 実用化の実例と波及効果
- 資料 8 今後の予定

以上

参考資料4

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価における主な今後の提言	今後の取り組み方針
<p>○本プロジェクトで得られた成果を今後も継続・発展させて次世代ロボット産業の発展につなげるための明確なフォローアップ体制が必要であり、ソフトウェアの更新・保守、恒常的なユーザーサポートなどを含めて、普及のための広報活動を継続的に行ってほしい。ユーザーにとってのメリットを明確に示す宣伝戦略が非常に重要である。</p> <p>○国際競争力の向上も大きな課題であり、OMG (Object Management Group) での国際化標準の主導的活動をさらに活性化してほしい。ROS との連携は、今回の大きな成果であるが、ROS に載るものの One of them にならないよう、RT モジュール自体の欧米への売り込み戦略も早急に考慮する必要がある。</p>	<p>○今後のRTM・RTC普及のための活動として、NEDOとしても「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開」(NEDO 特別講座)の事業の中で、平成24年度から平成25年度にかけて国際標準化、オープン化、モジュールの普及と社会定着などのソフトウェアインフラ等に係る技術経営について検討を引き続き行っていくとともに、委託調査を通じて、RTM/RTCの汎用性の高さを活用した特殊環境用ロボットへの応用可能性の検討や、現在NEDOが編集集中の「ロボット白書(仮称)」への記述の充実化、RTM・RTCに関する講義、セミナーの開催による人材育成等のあらゆる取り組みを行っていく予定である。</p> <p>また、プロジェクトで開発したソフトウェアの更新・保守等のサポートは、産総研にて継続的に実施していく予定である。</p>

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年10月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 梶田 保之

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージアム川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162