

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。

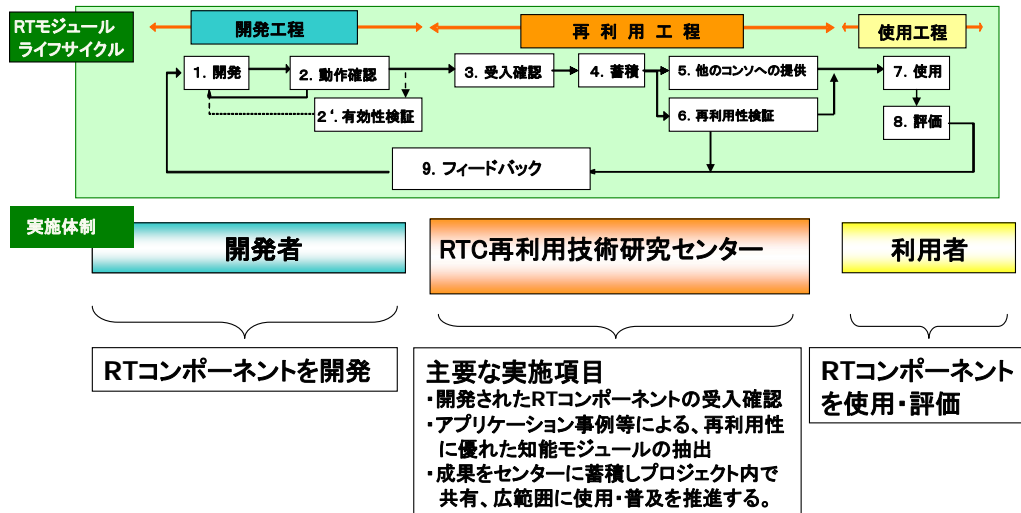


図 1 知能モジュール・ライフサイクル

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別及び、サービス種別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、検察操作による移動ロボットの検出、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の回収・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、公開の中断、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)次世代ロボット知能化技術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 a web page titled "プロジェクト" (Project) on the OpenRTM website. The page is divided into several sections:

- プロジェクト**: Introduction text explaining the project's goal of creating a public Web system for sharing RT components and tools. It lists four categories: RT components, RT middleware, tools, and related documents.
- 登録**: A registration form with fields for "氏名" (Name), "所属" (Affiliation), "メールアドレス" (Email address), and "どのようなプロジェクトを作成する予定か" (What kind of project do you plan to create?).
- 推奨コンポーネント群**: A section titled "RTコンポーネント" (RT Components) with a "続きを読む" (Read more) link and an icon of a green component.
- RTミドルウェア**: A section titled "RTミドルウェア" (RT Middleware) with a "続きを読む" (Read more) link and the RT Middleware logo.
- ツール**: A section titled "ツール" (Tools) with a "続きを読む" (Read more) link and an icon of a gear and wrench.
- 仕様・文書等**: A section titled "仕様・文書等" (Specifications, Documents, etc.) with a "続きを読む" (Read more) link and an icon of a document and pen.

At the bottom right, there is a "Share / Save" button with social media icons for Facebook, Twitter, and LinkedIn.

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。

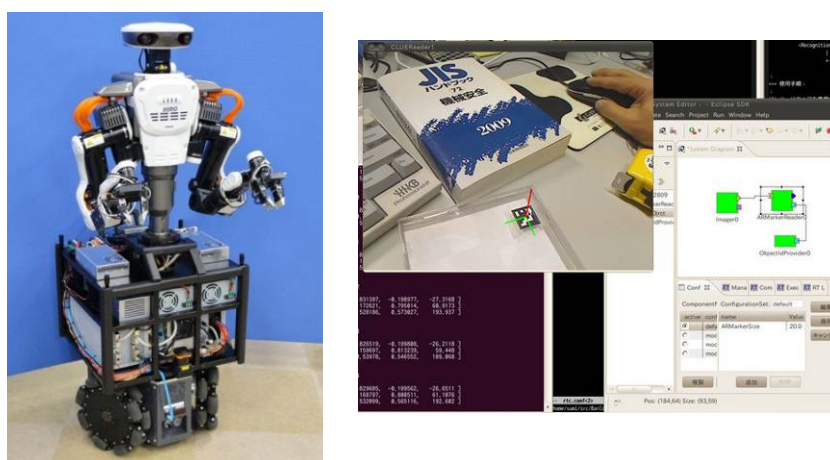


図 8 双腕ロボットプラットフォーム（左）と日用品把持のための画像処理モジュールの認識結果例（右）

(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。

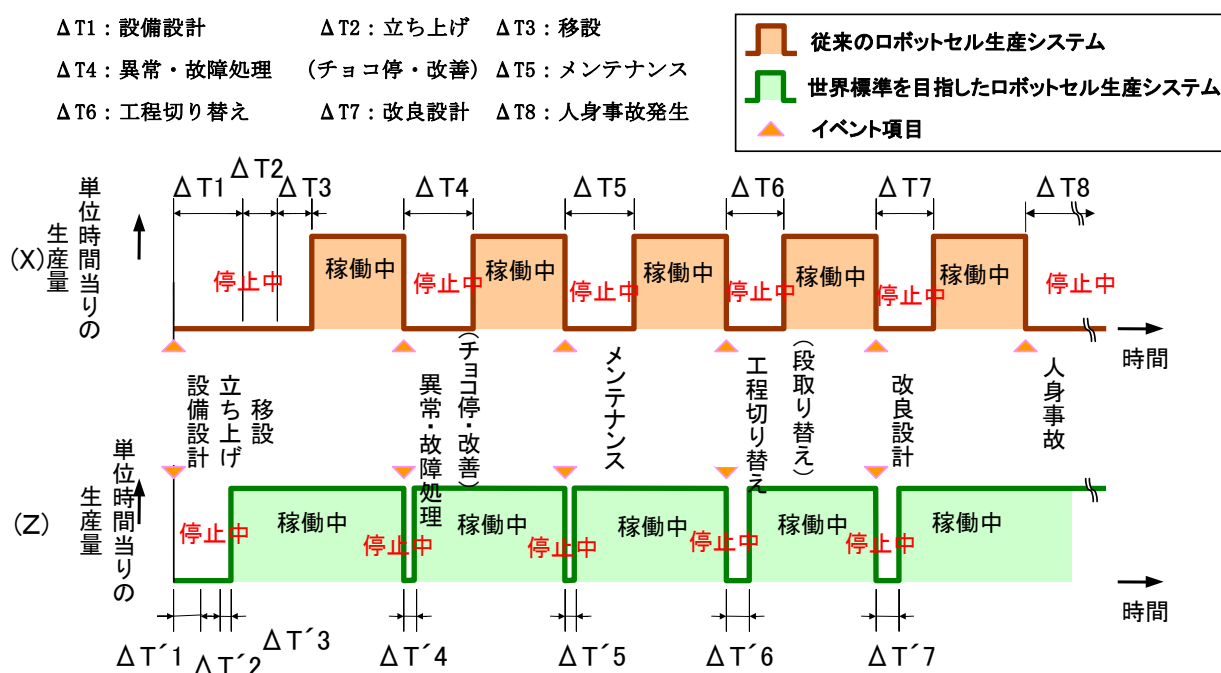


図1 生産現場での工程フローにおける生産効率を阻害するイベントとその改善

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高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 $\Delta T2 \sim \Delta T8$ との関係を示す。

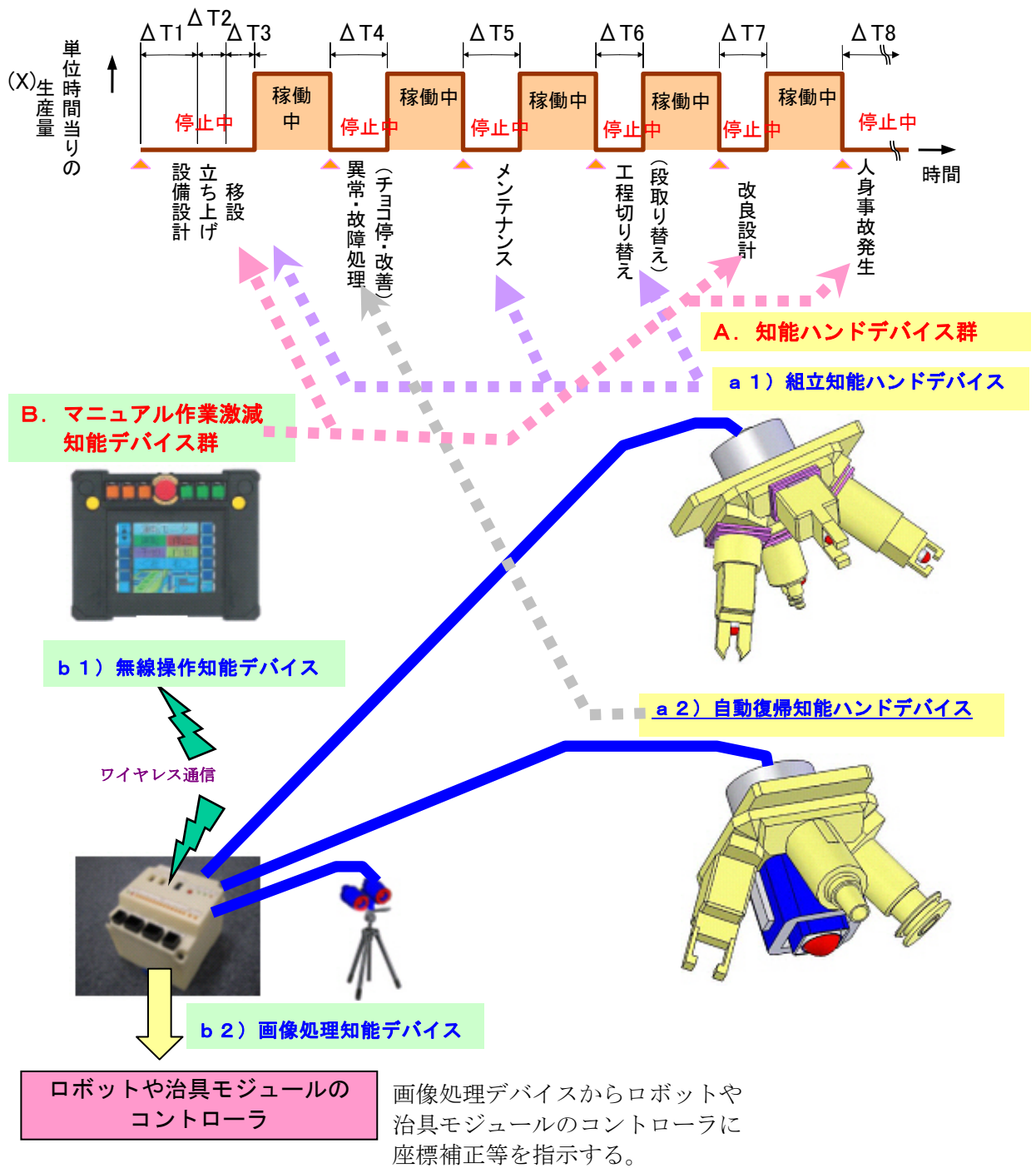


図2 概略システム構成と $\Delta T1 \sim \Delta T8$ との関係

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

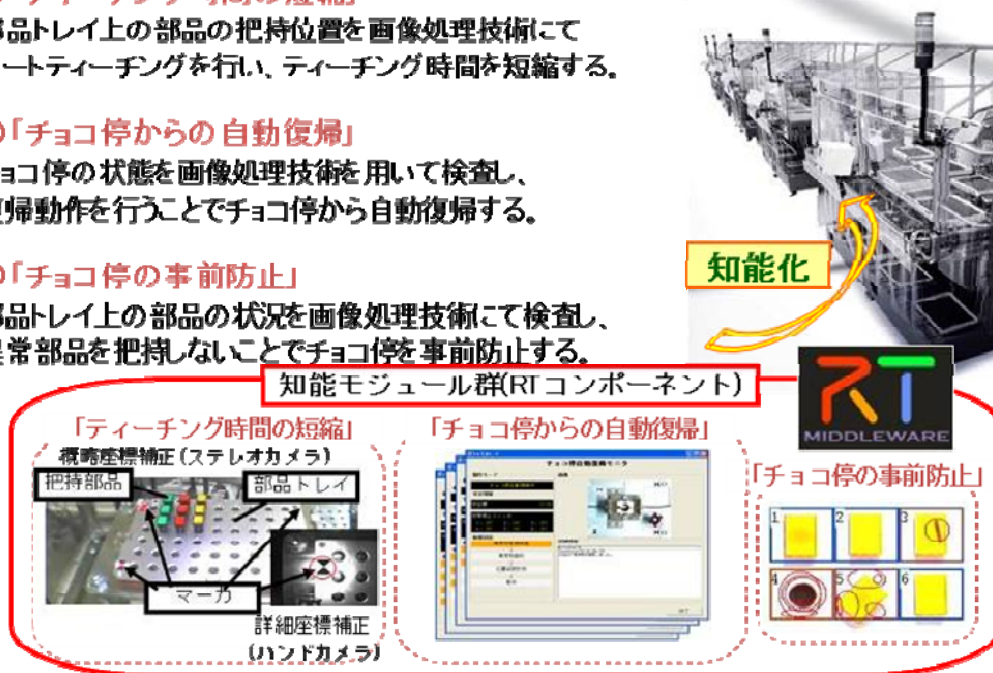


図3 開発した知能モジュール群

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。

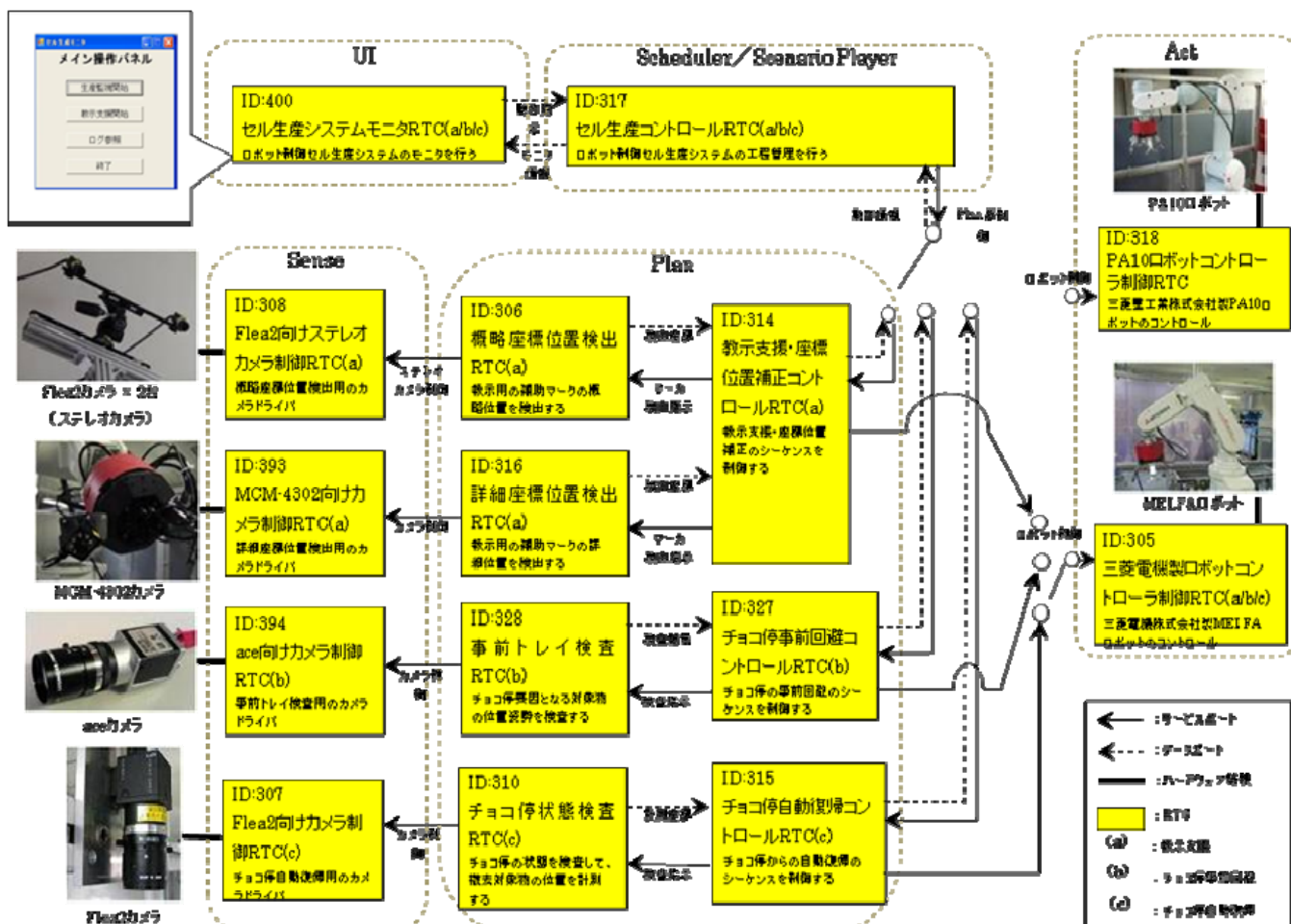


図4 知能モジュール群のRTコンポーネント接続図

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

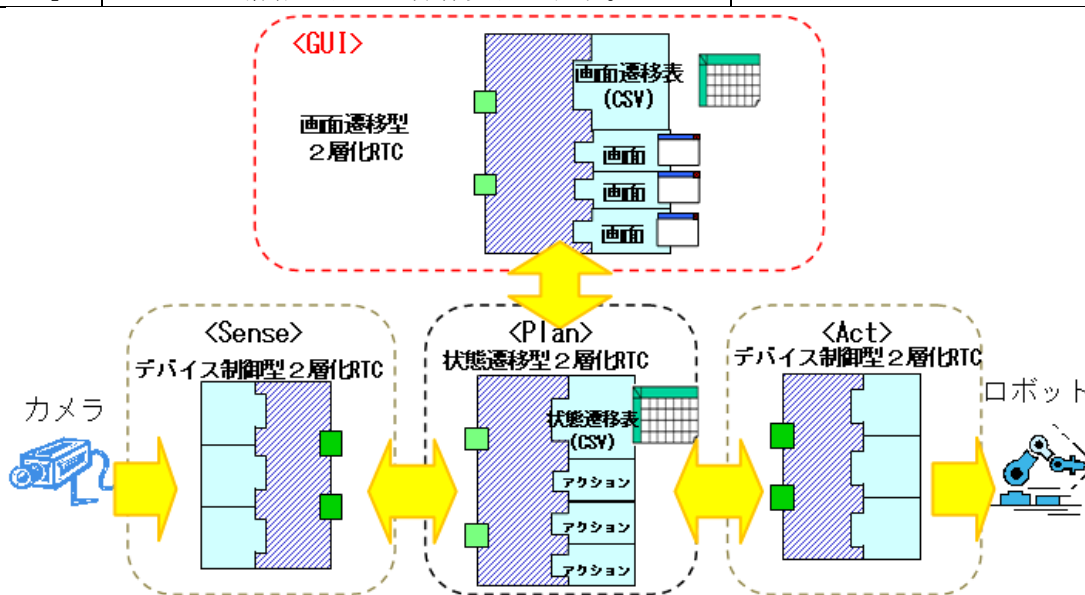


図 6 2層化 RTC の種類

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。

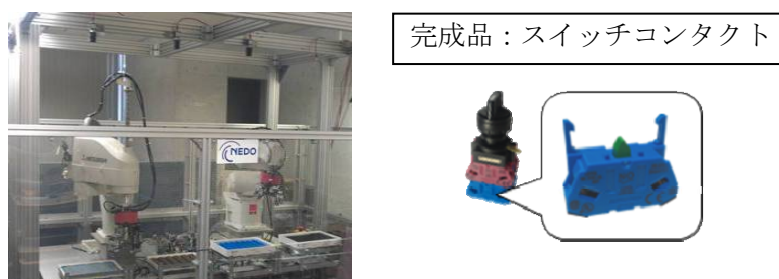


図 7 検証システム全景

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。

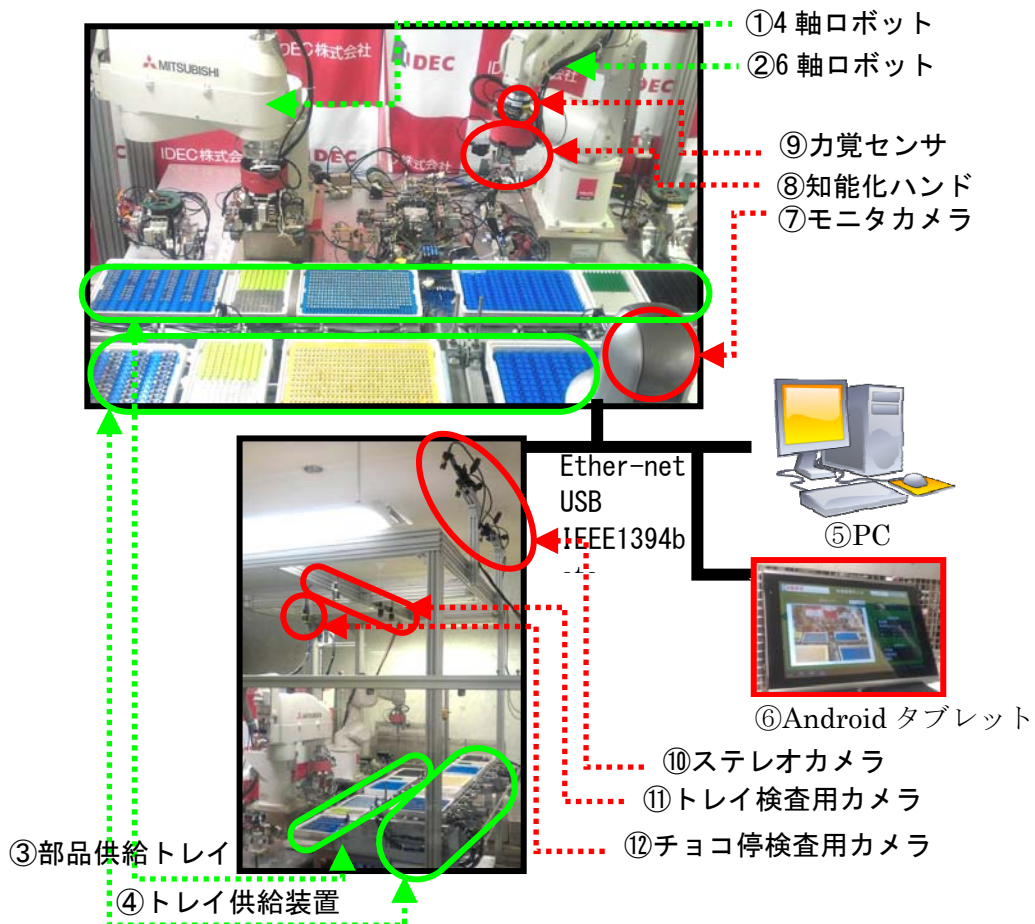


図 8 検証システムのハードウェア構成

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

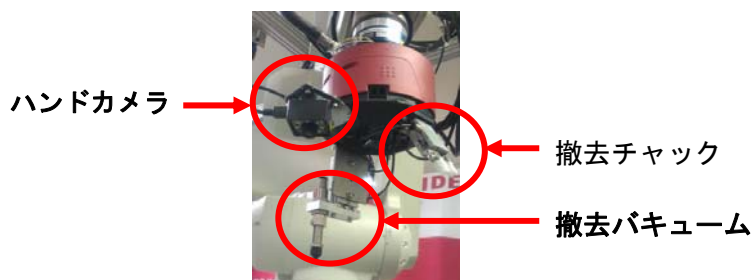


図10 知能化ハンド

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

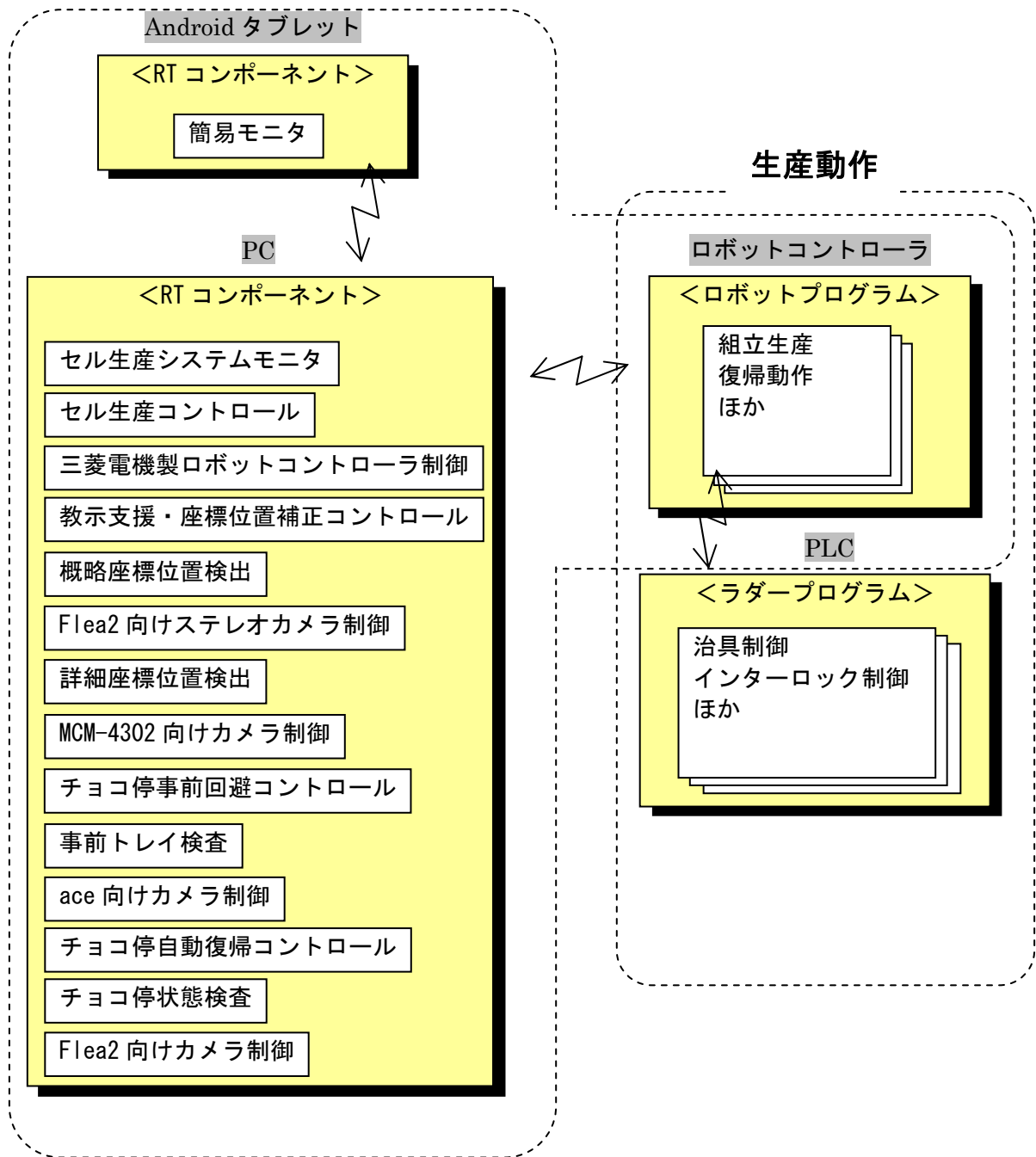


図 11 検証システムのソフトウェア構成図

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。

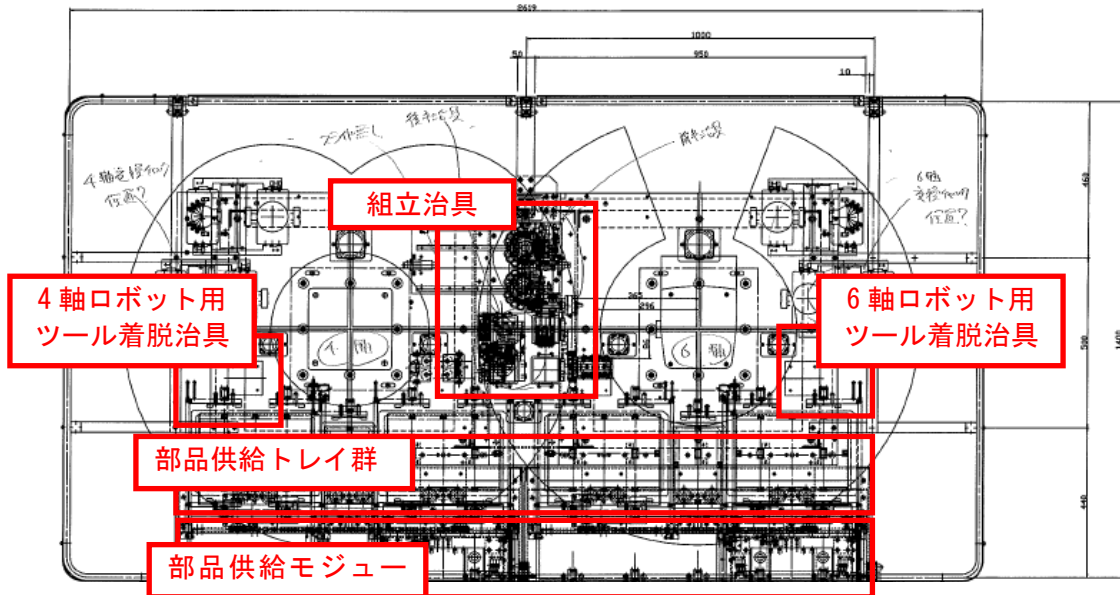


図 12 検証システムを真上から見た図



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 以下への削減に繋がり、基本計画の中間目標を達成できた。

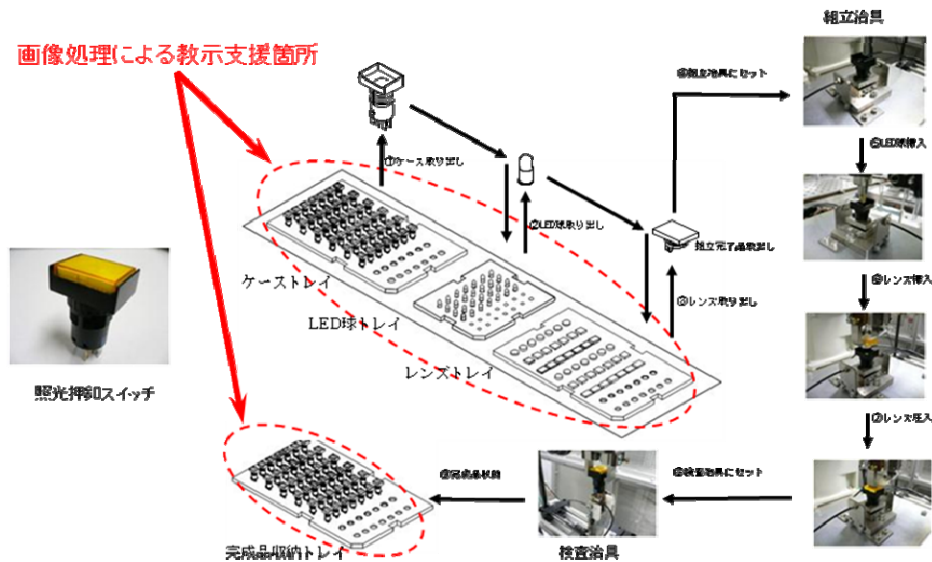


図 15 ティーチング時間削減の中間成果の実証システム

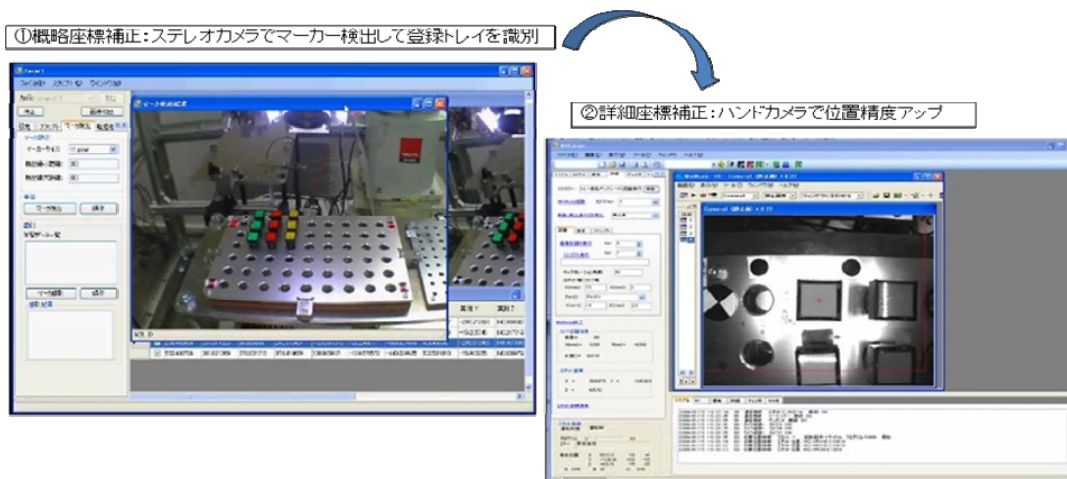


図 16 マーカーを使った概略・詳細座標補正機能によるオートティーチング

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、マーカー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指示作業に力覚センサを適用することで、指示における作業時間が、指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。

指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。

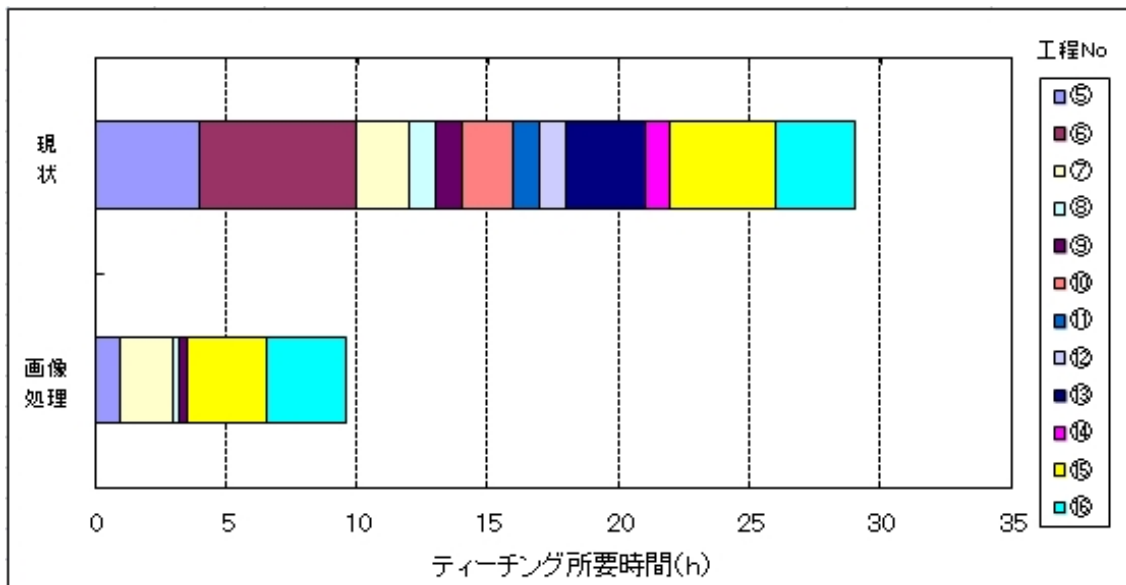


図17 ティーチング時間の削減成果

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。

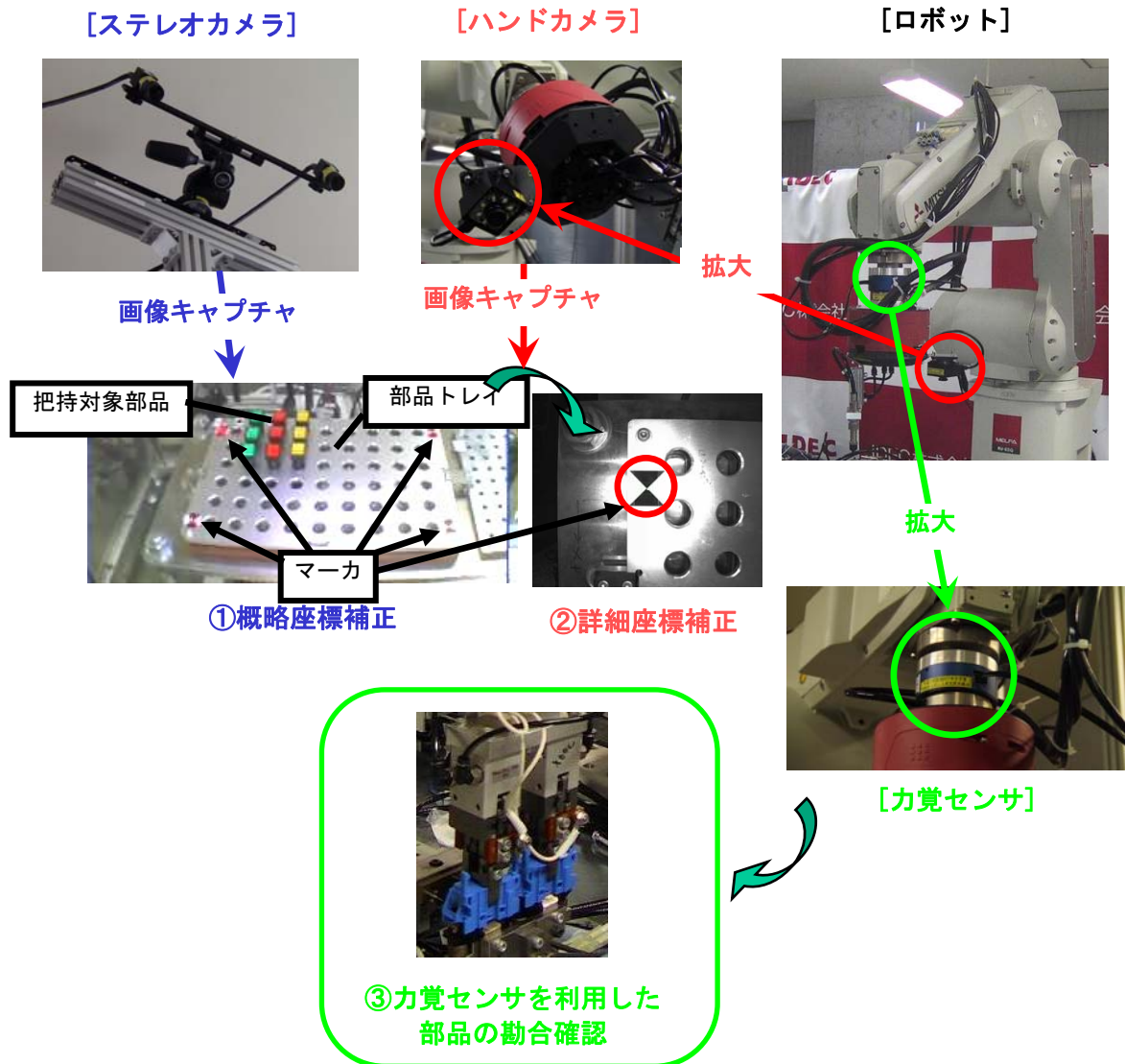


図 18 教示支援知能モジュール群のサービスイメージ図

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

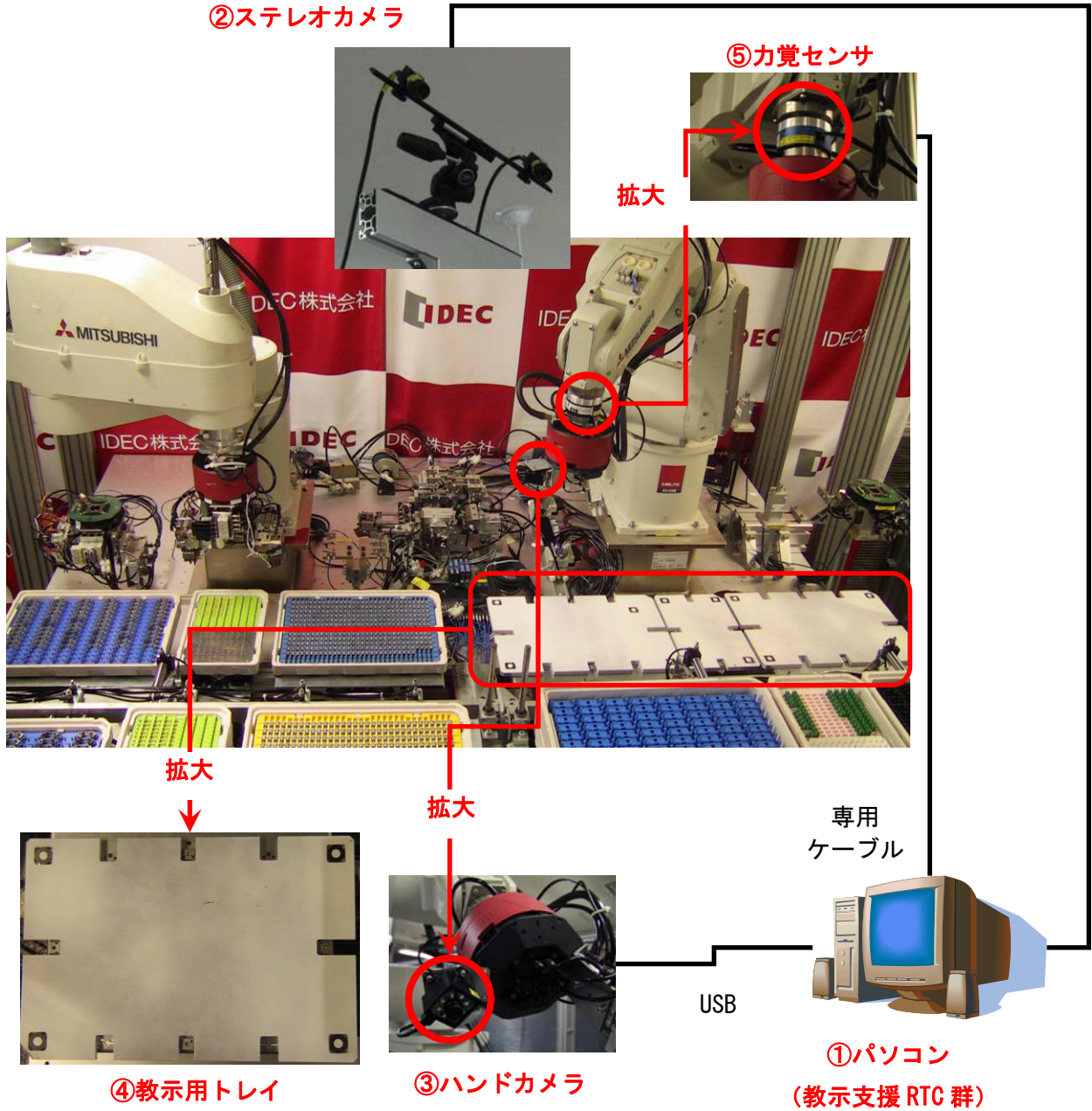


図 19 ハードウェア構成図

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。

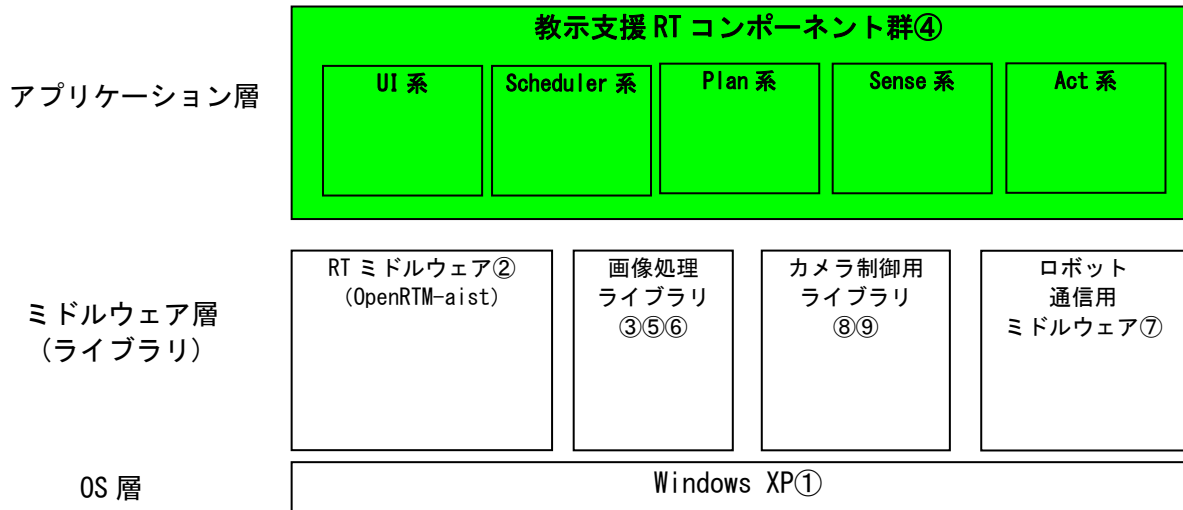


図 20 ソフトウェア構成図

4) ソフトウェア一覧

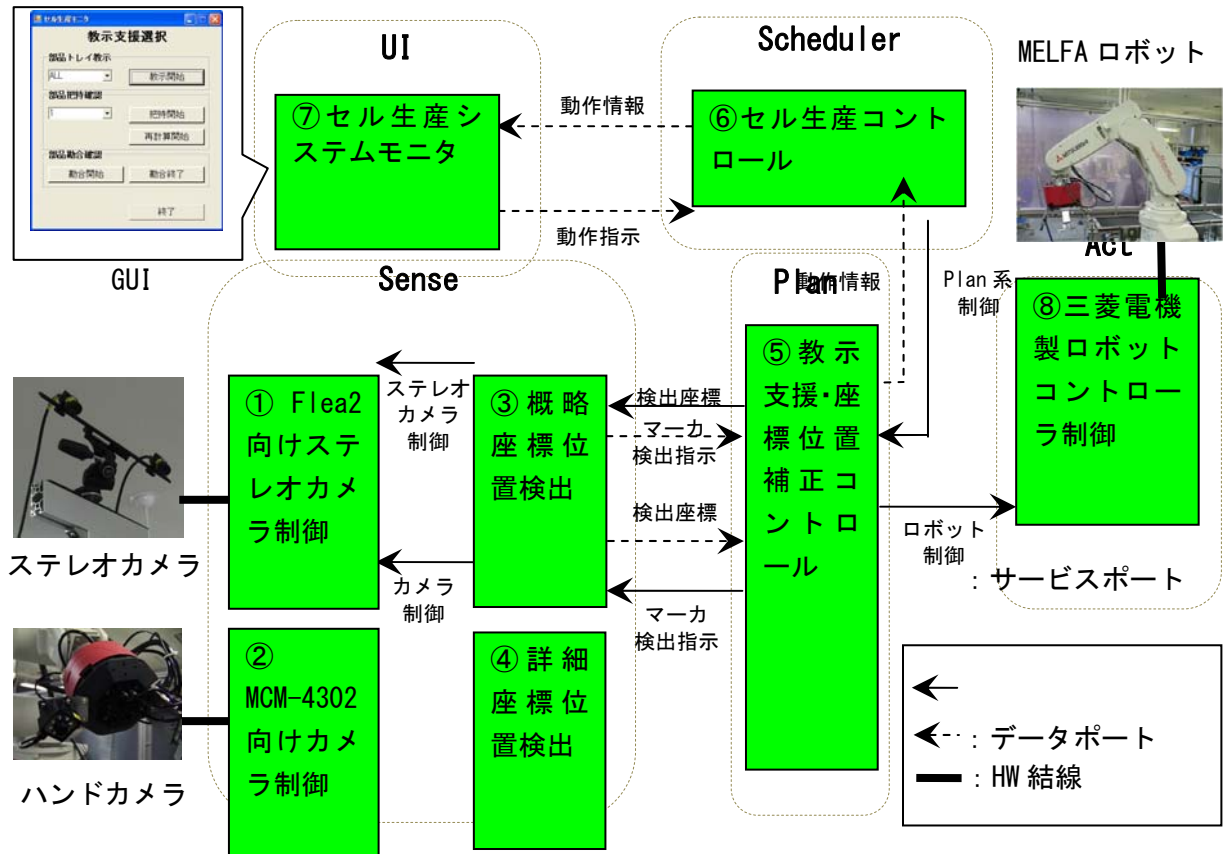
教示支援知能モジュール群のソフトウェアの一覧を表 9 に示す。

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 μ m 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。

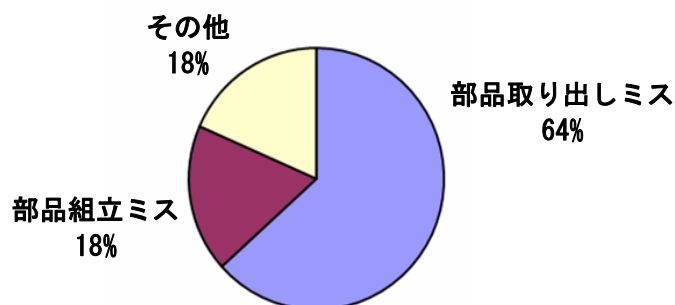


図 22 発生するチョコ停の種類と割合

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。

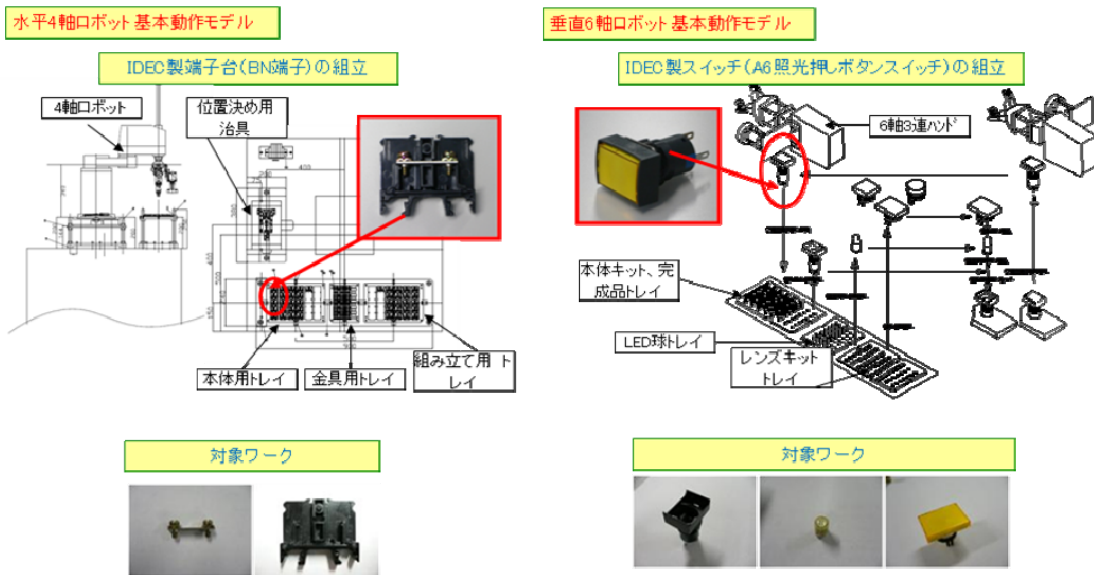


図 23 チョコ停事前回避知能モジュール群の適用対象システム

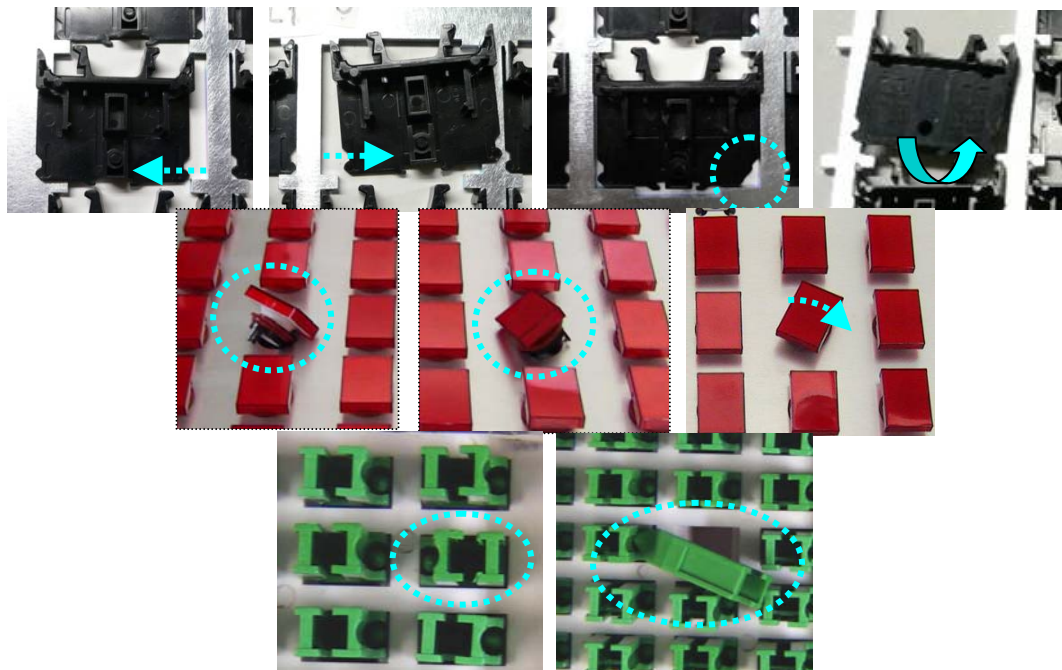


図 24 事前トレイ検査の対象とした異常ワーク

研究開発の内容

サービス仕様

チョコ停事回避知能モジュール群は、ロボットシステムが生産稼動中に、部品供給トレイ上の各ワーク状態（正常／異常）をロボットシステムへ通知することで、チョコ停発生要因となる異常ワークの把持を防止するサービスを実現するものである。

図 25 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、生産稼動中のロボットシステムの状態を監視しながら、所定のタイミングでカメラを用いて部品供給トレイを撮影する。この撮影画像から、部品供給トレイ上に整列した各ワークの状態（位置姿勢が正常かどうか）を判定し、その結果をロボットシステムへ通知する。

ここで、部品供給トレイの撮影タイミングは、生産稼動中のロボットシステムを停止させることのないよう、カメラと部品供給トレイの間にロボットがいないタイミングで行っている。

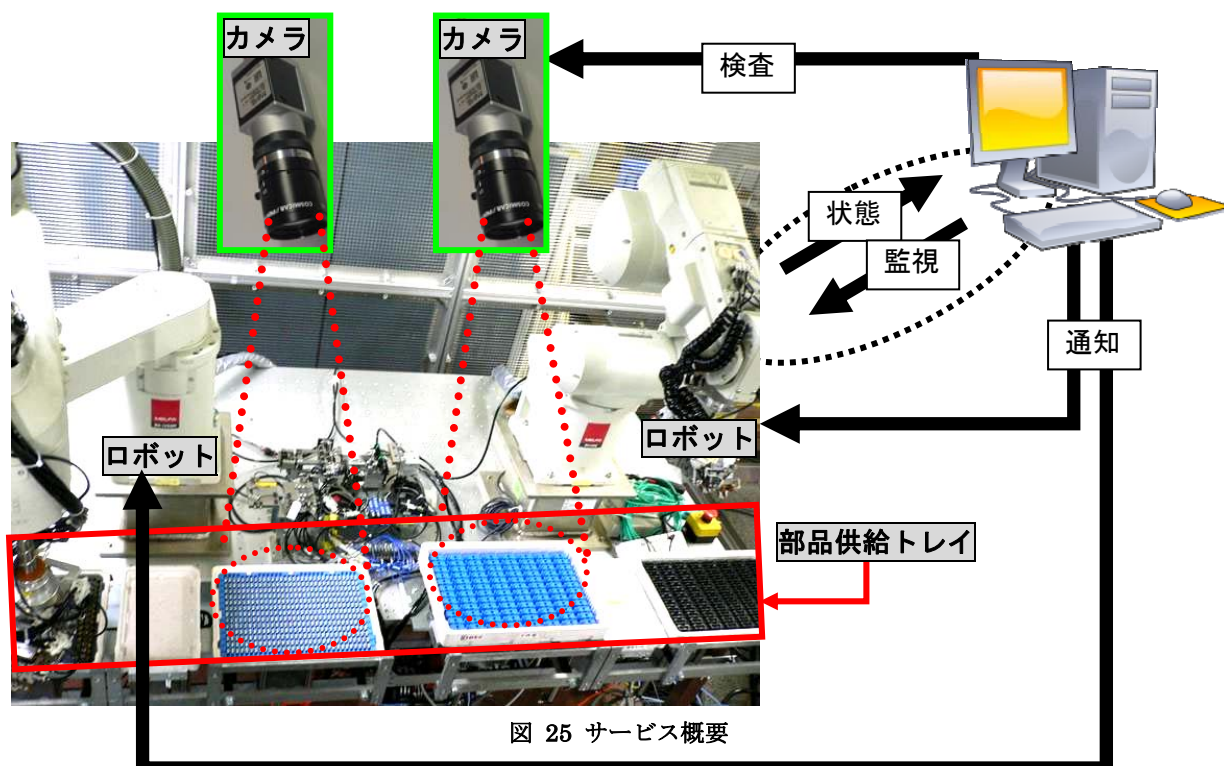


図 25 サービス概要

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 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。

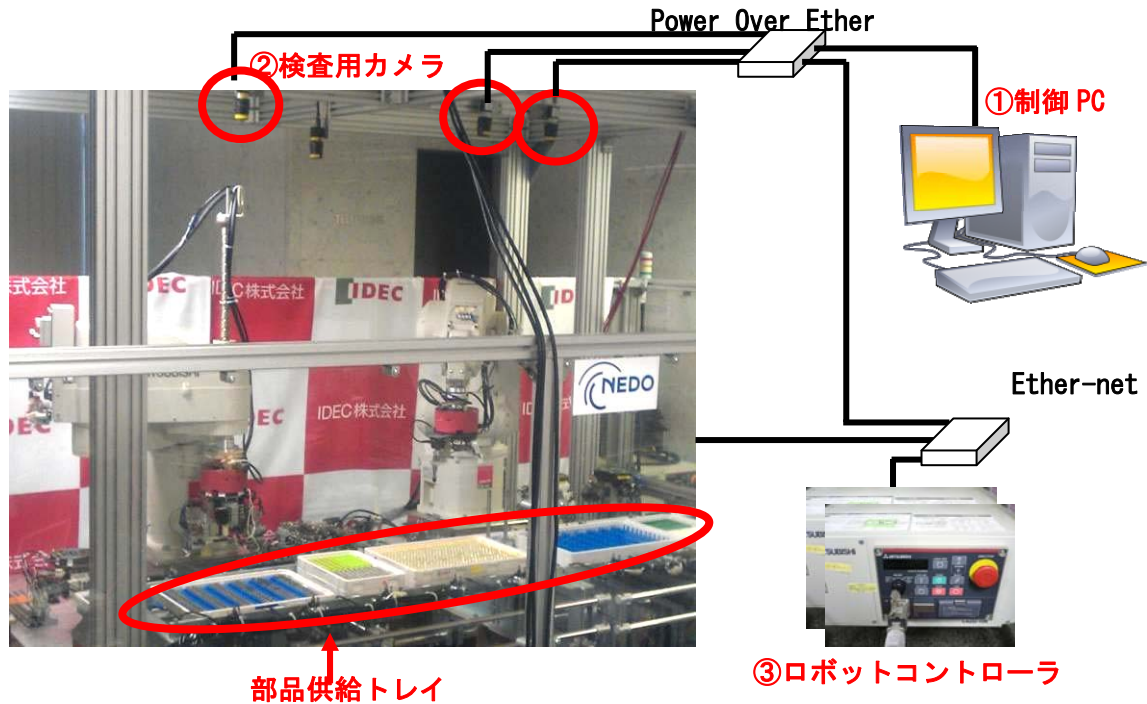


図 26 ハードウェア構成図

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

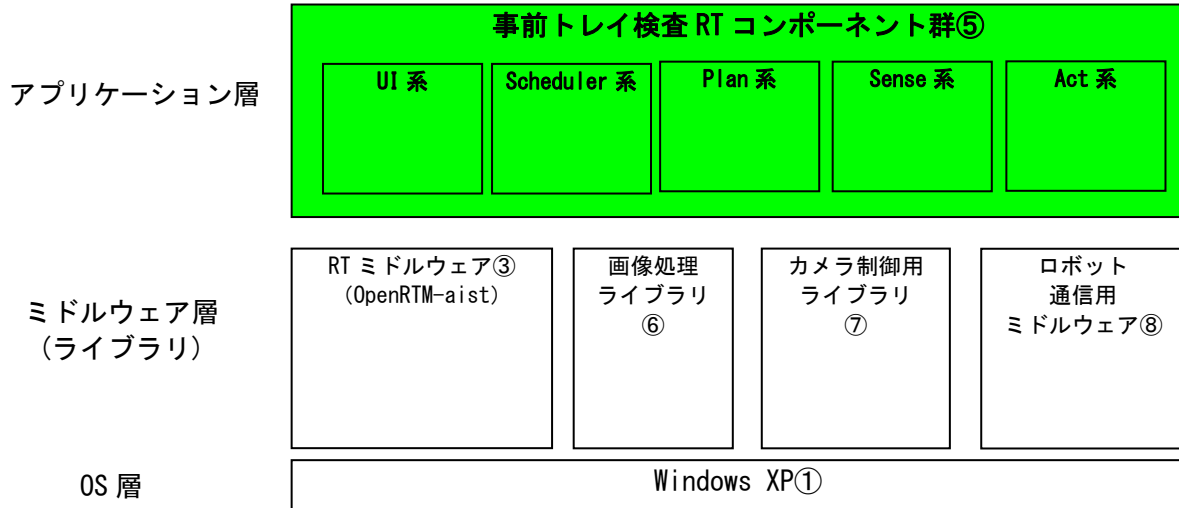


図 27 ソフトウェア構成図

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-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	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。

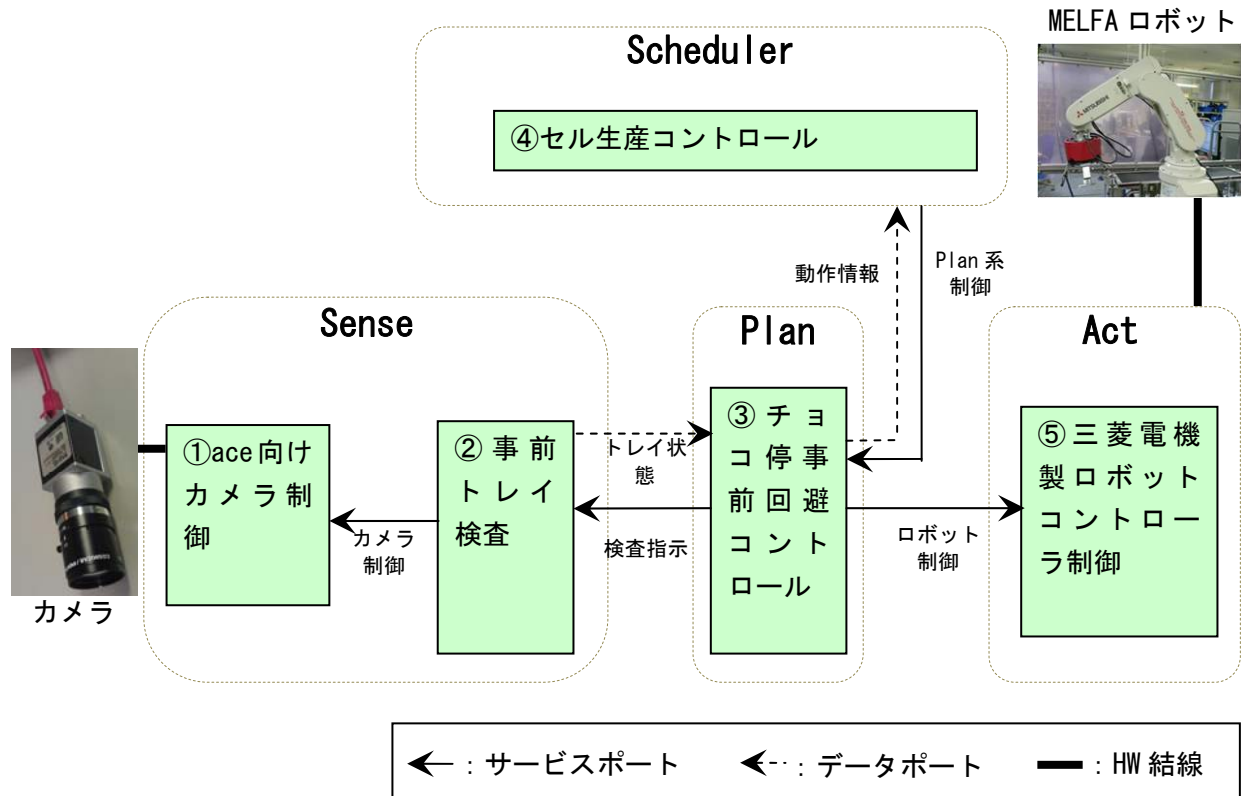


図 28 チョコ停事前回避 RT コンポーネント群の構成図

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。

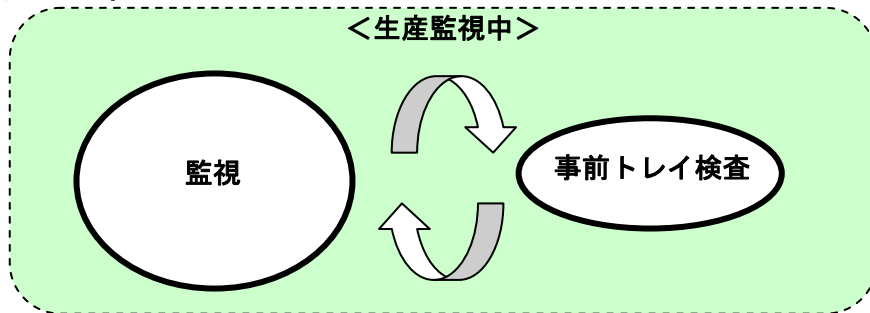


図 29 事前トレイ検査知能モジュール群の機能概要

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。

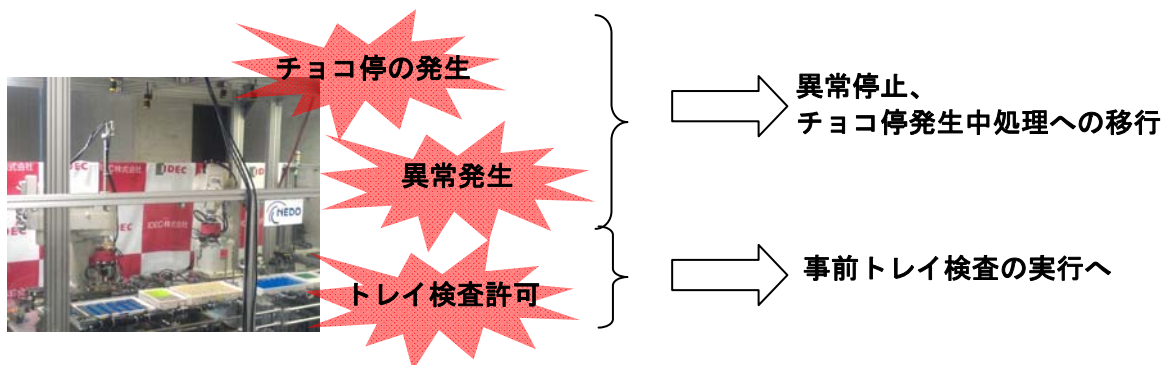


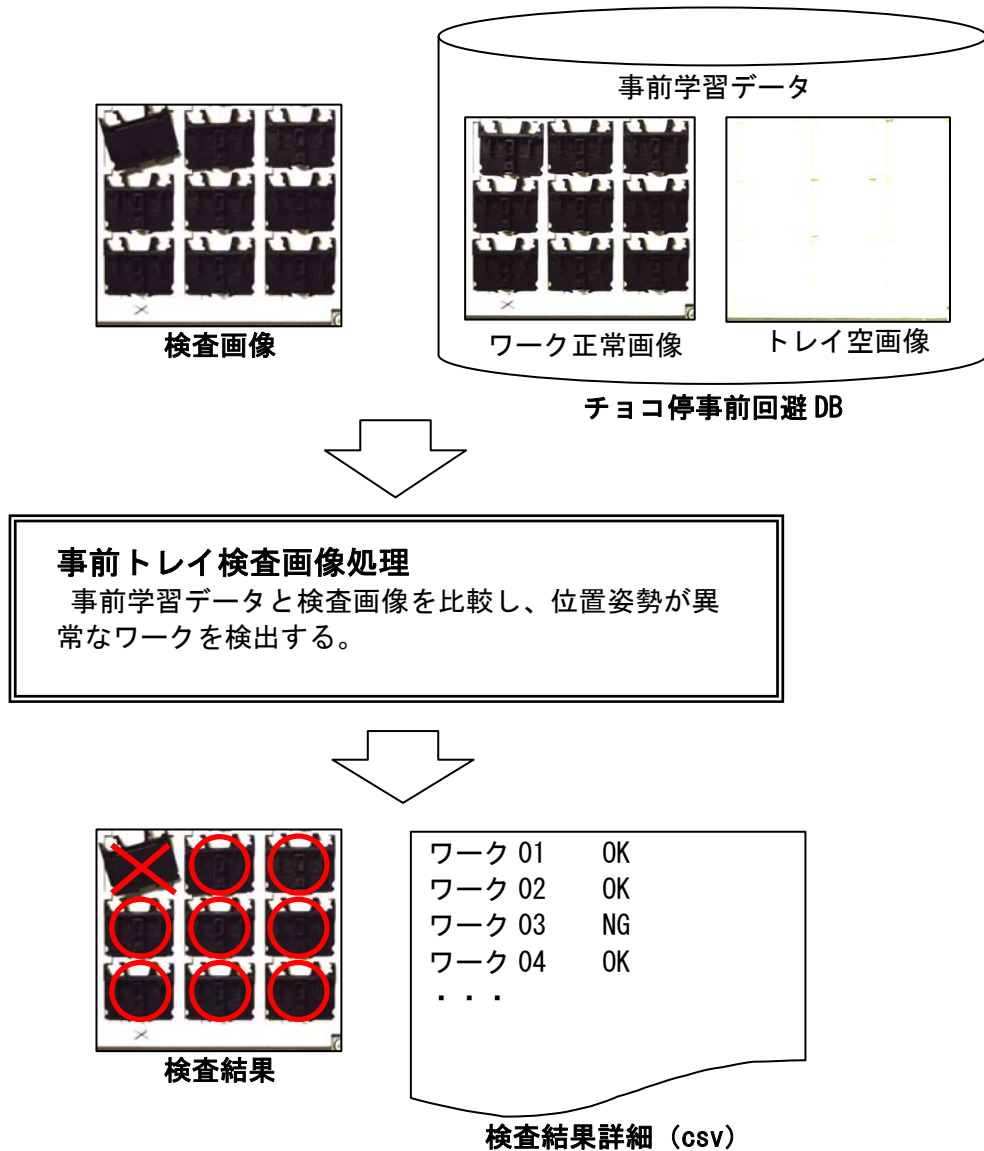
図 30 監視機能の概要

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。




事前トレイ検査画像処理

事前学習データと検査画像を比較し、位置姿勢が異常なワークを検出する。





検査結果

ワーク 01	OK
ワーク 02	OK
ワーク 03	NG
ワーク 04	OK
...	

検査結果詳細 (csv)

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。

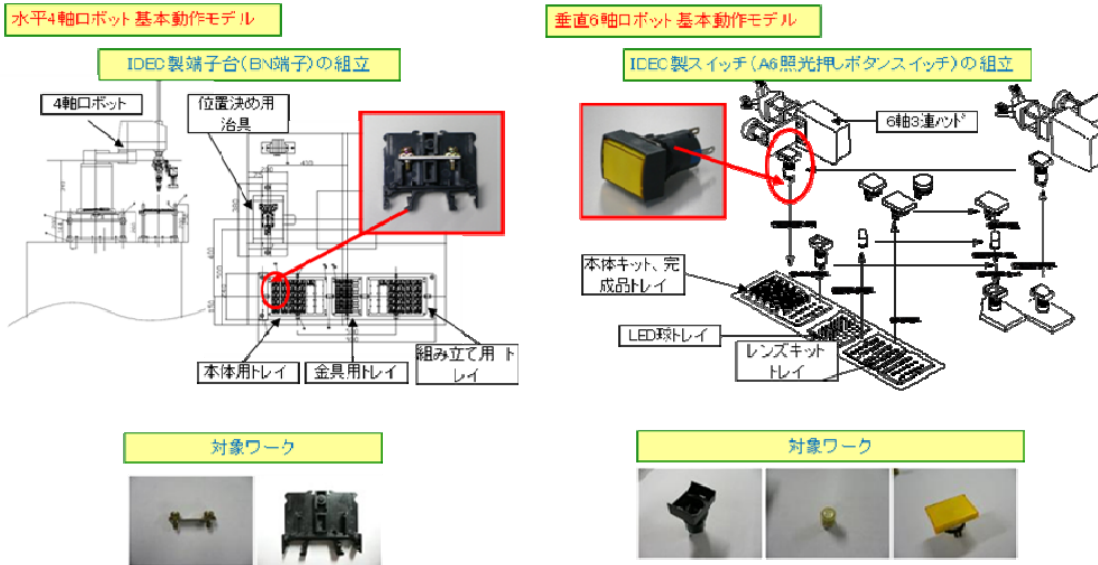
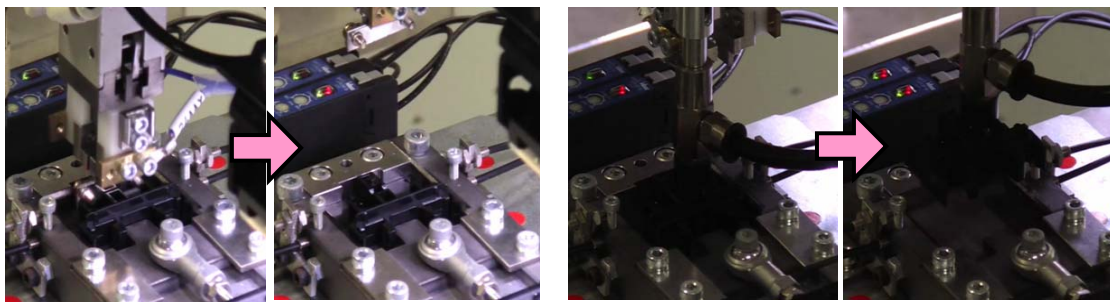


図 32 チョココ停自動復帰の作業対象物



＜小形チャックによる金属片撤去＞ ＜撤去用バキュームによる樹脂部品撤去＞
 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

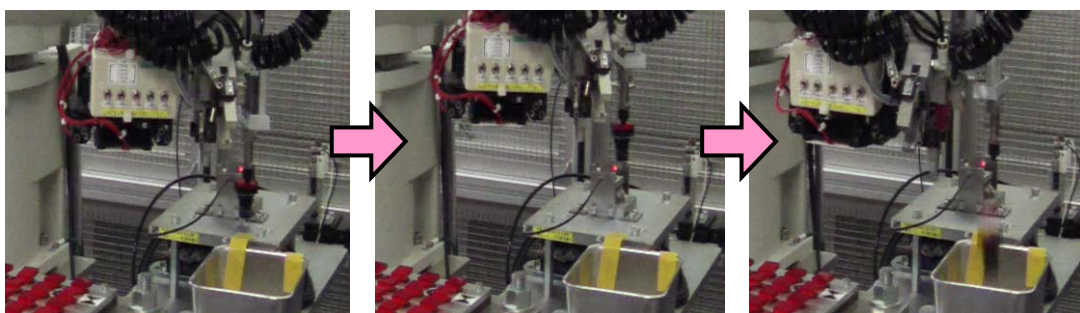


図 34 垂直 6 軸ロボット基本動作モデルにおける復帰動作（撤去から廃棄）

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。

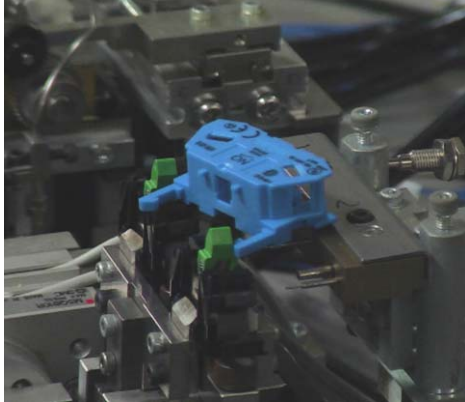


図 3-35 組立中の異常ワーク残留 1

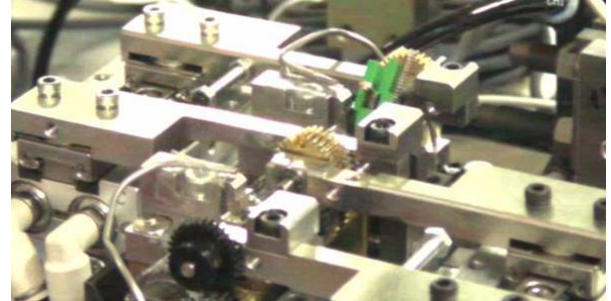


図 3-36 組立中の異常ワーク残留 2

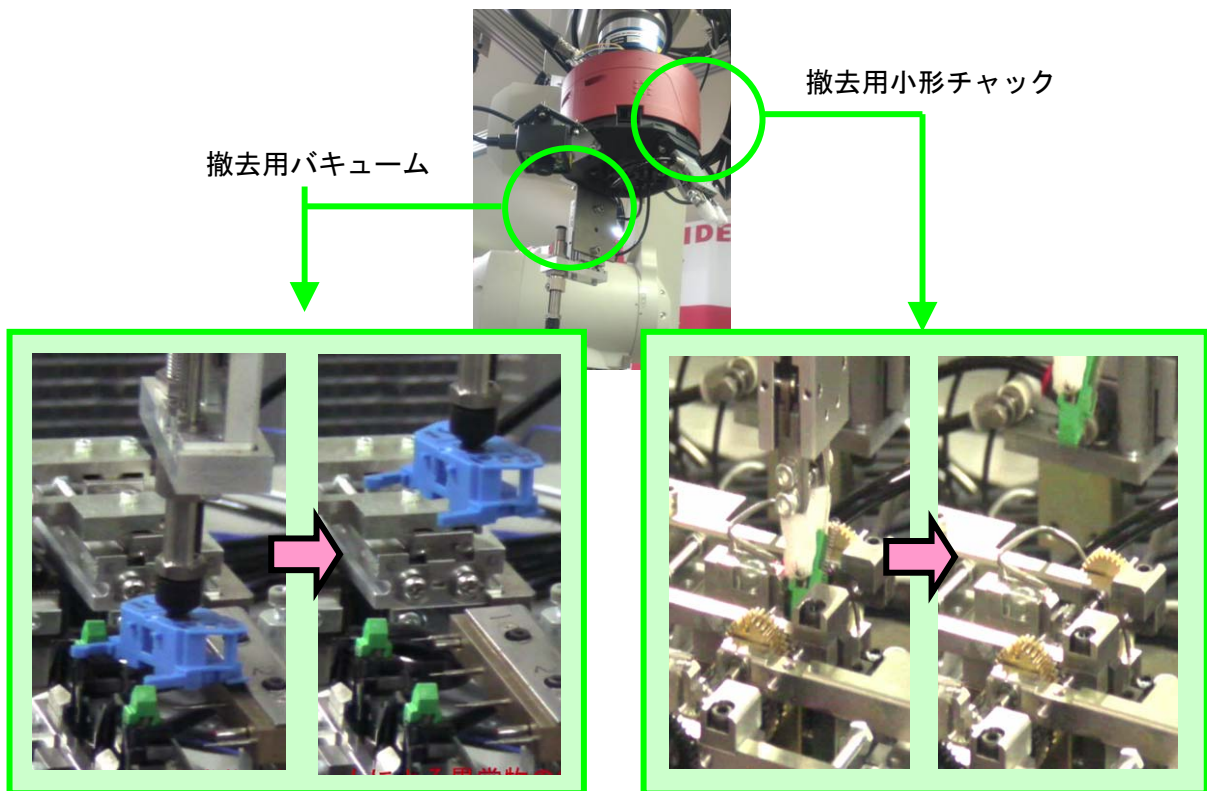


図 37 復帰手段と復帰動作

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。

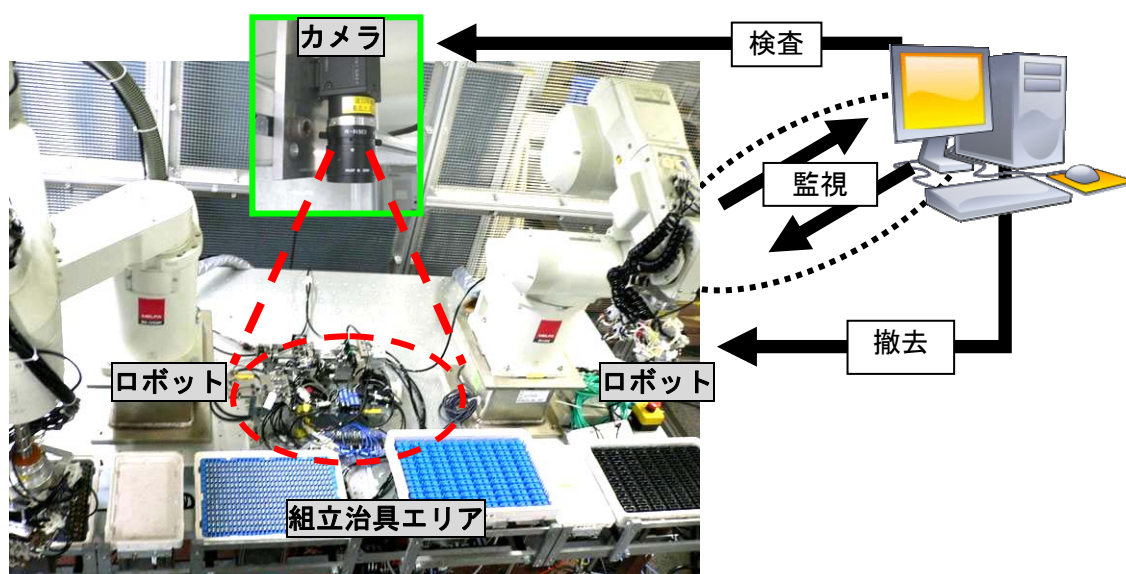


図 38 サービス概要

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。

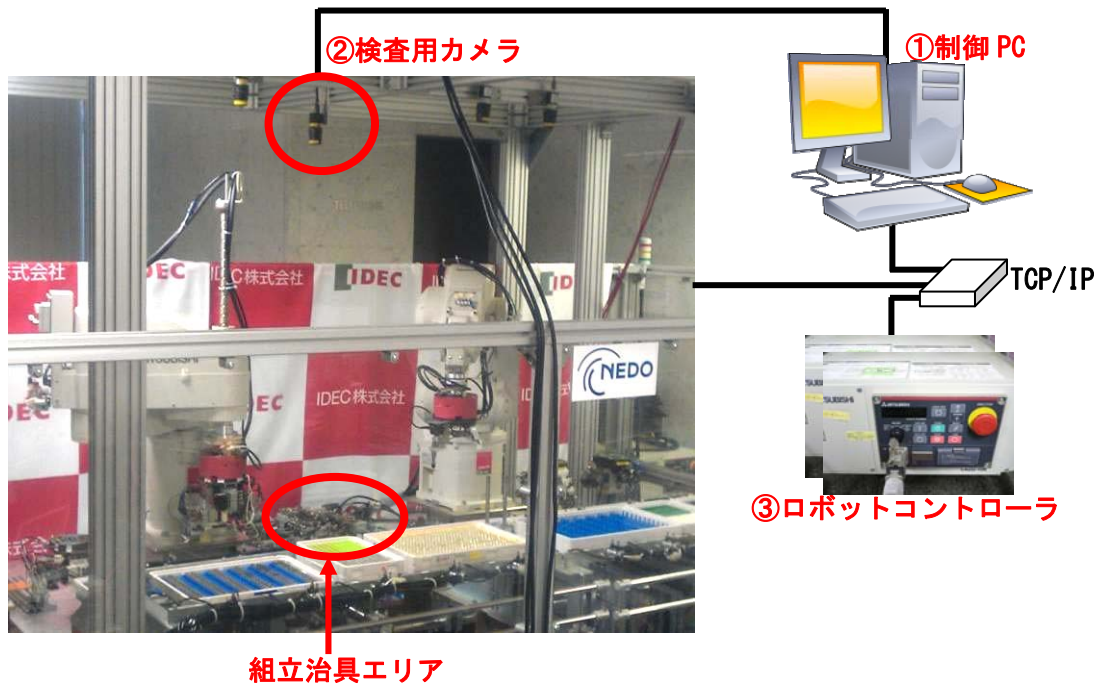


図 39 ハード構成図

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 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 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。

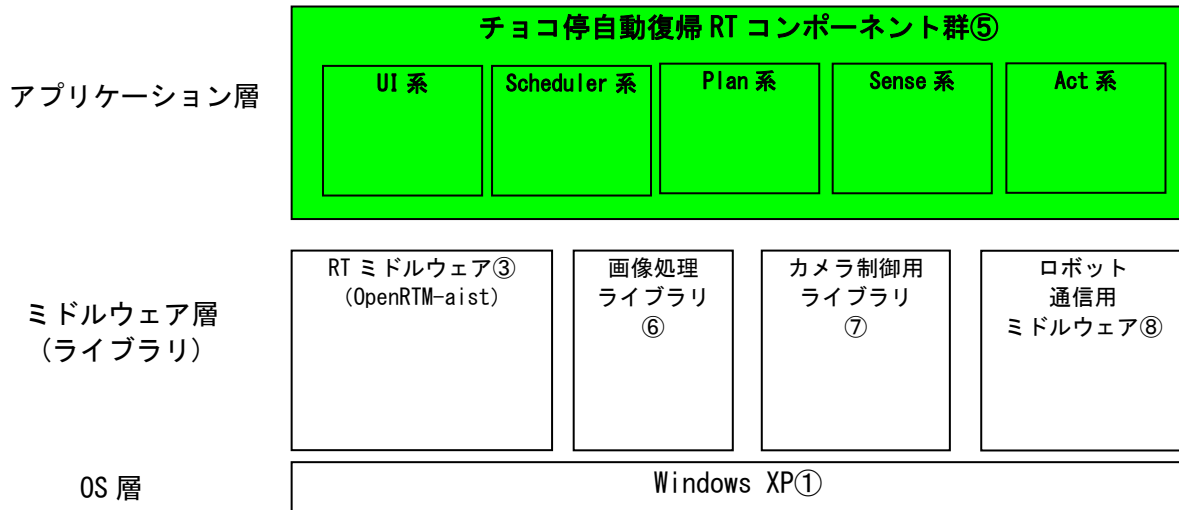


図 40 ソフトウェア構成図

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。

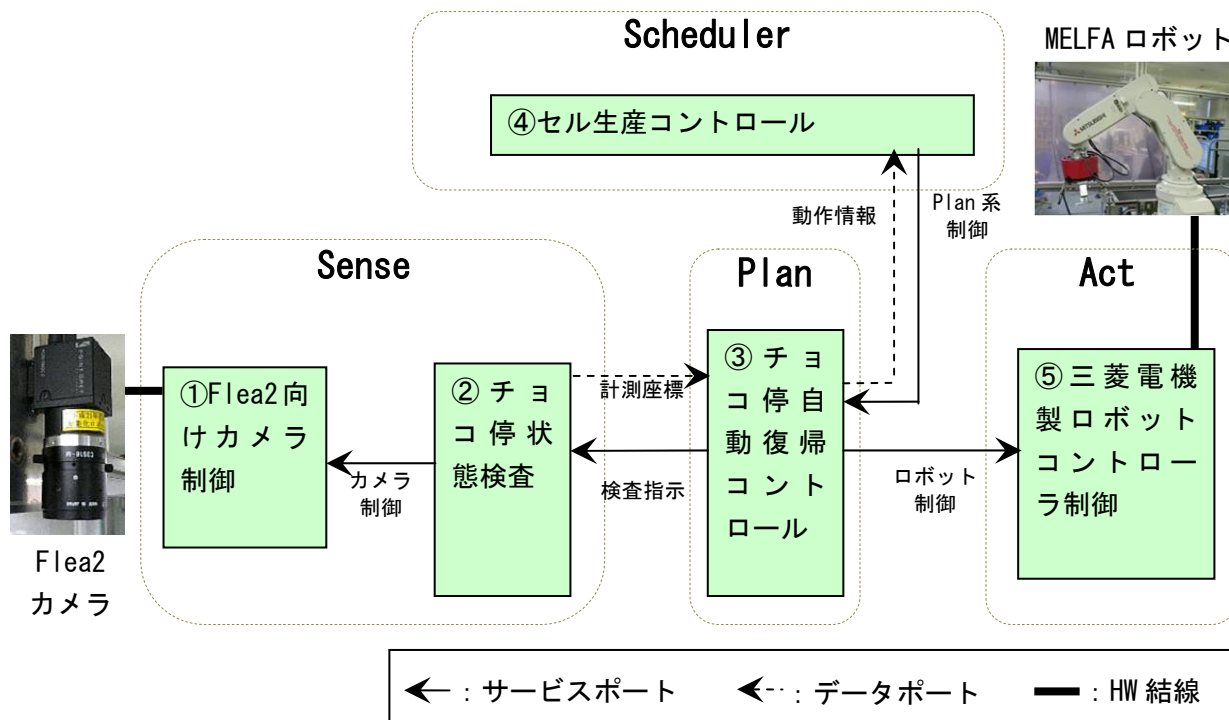


図 41 チョコ停自動復帰 RT コンポーネント群の構成図

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。

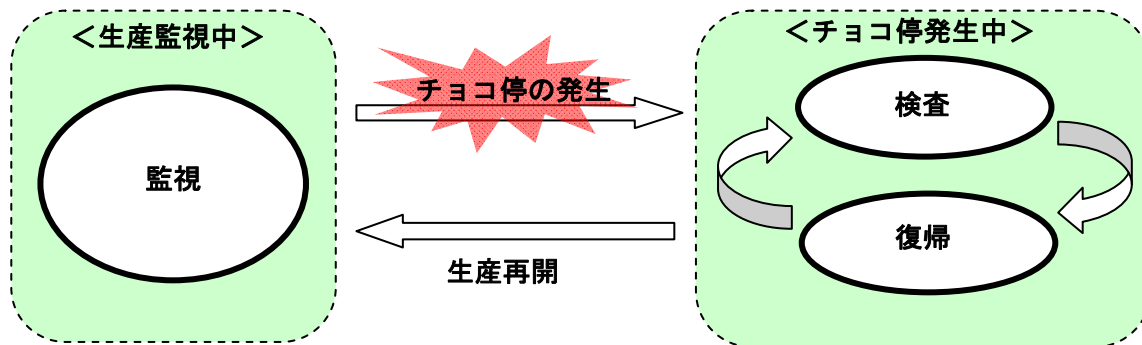


図 42 チョコ停自動復帰知能モジュール群の機能概要

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。

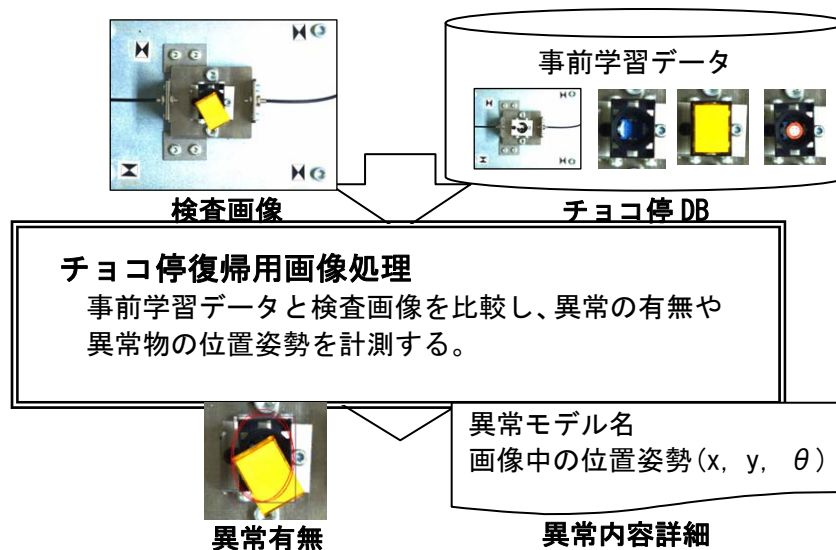


図 43 検査機能の概要

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。

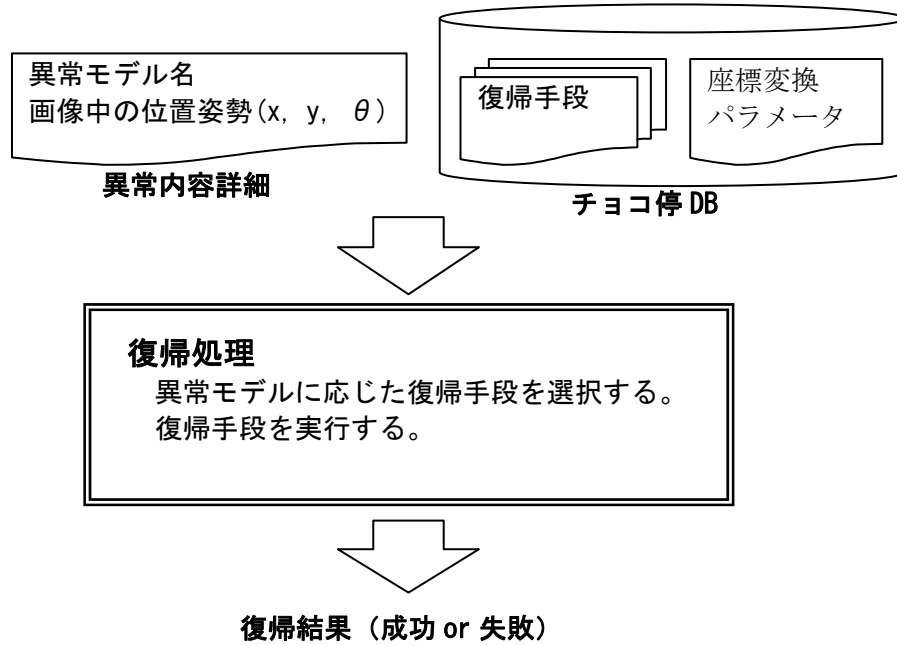


図 44 復帰機能の概要

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



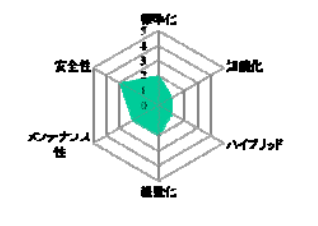
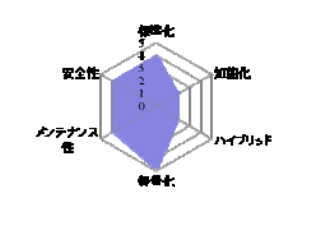
項目	第一世代ハンド	第二世代ハンド	第三世代ハンド
特長	一品一様で設計された金属製ハンド	標準化を実現した樹脂製ハンド	進化を続けるマルチハンド
外形(写真)			
特長・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・一品一様（都度設計） ・金属製で重量大 ・標準品が無い ・製作コスト高 	<ul style="list-style-type: none"> ・金型成型品 ・標準化を実現 ・重量（樹脂<金属） →40%削減 	<ul style="list-style-type: none"> ・通信基板モジュール搭載 ・電磁弁内蔵 ・センサ入力 16 点 ・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。

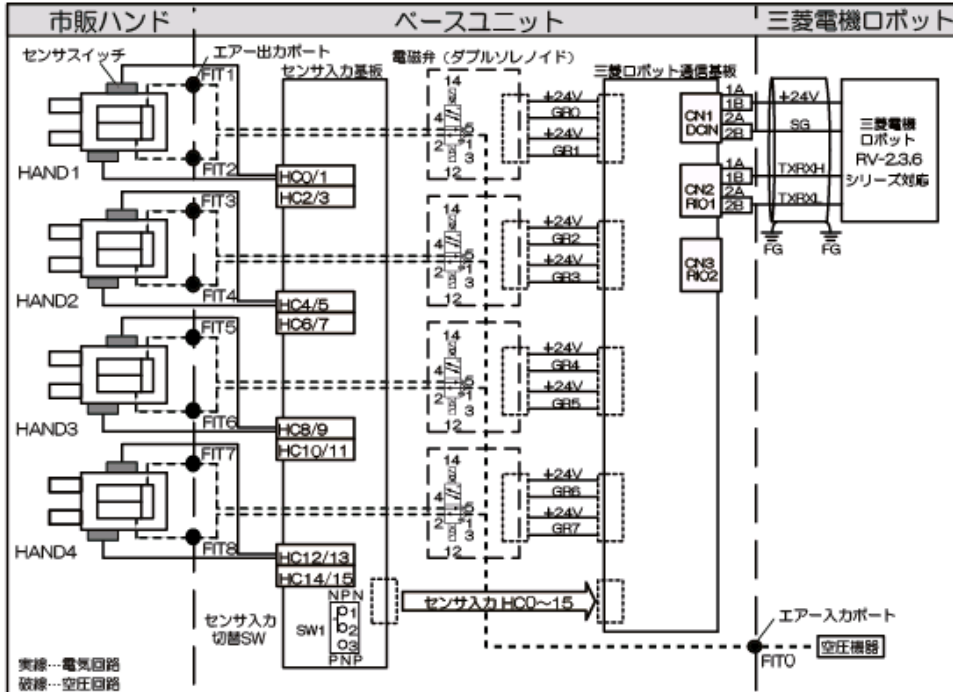


図46 三菱電機ロボット専用タイプブロック図

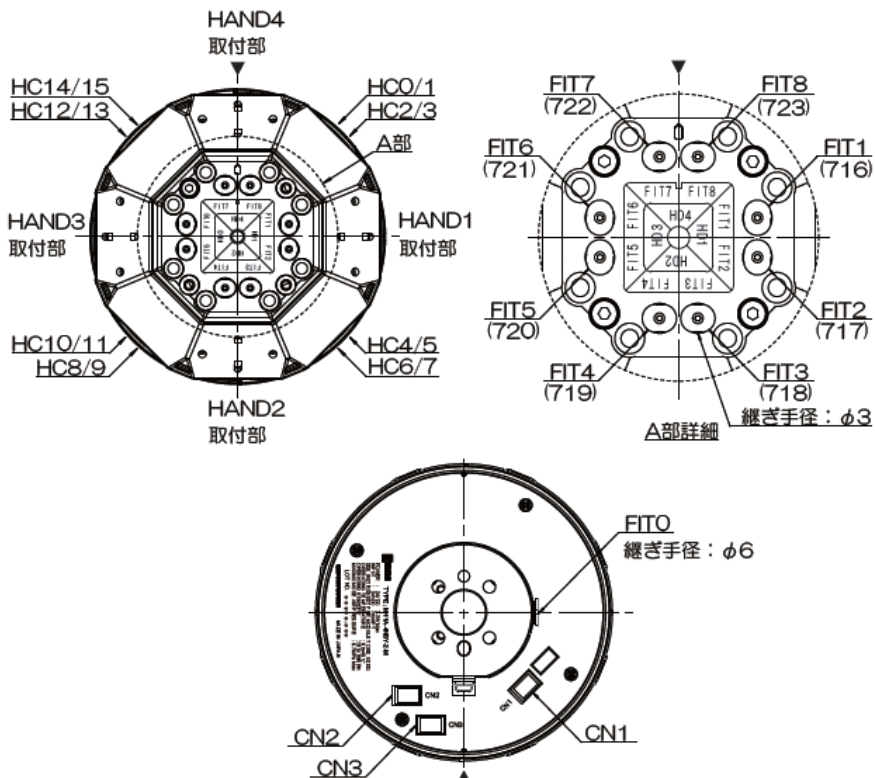


図47 三菱電機ロボット専用タイプ配線・配管図

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。

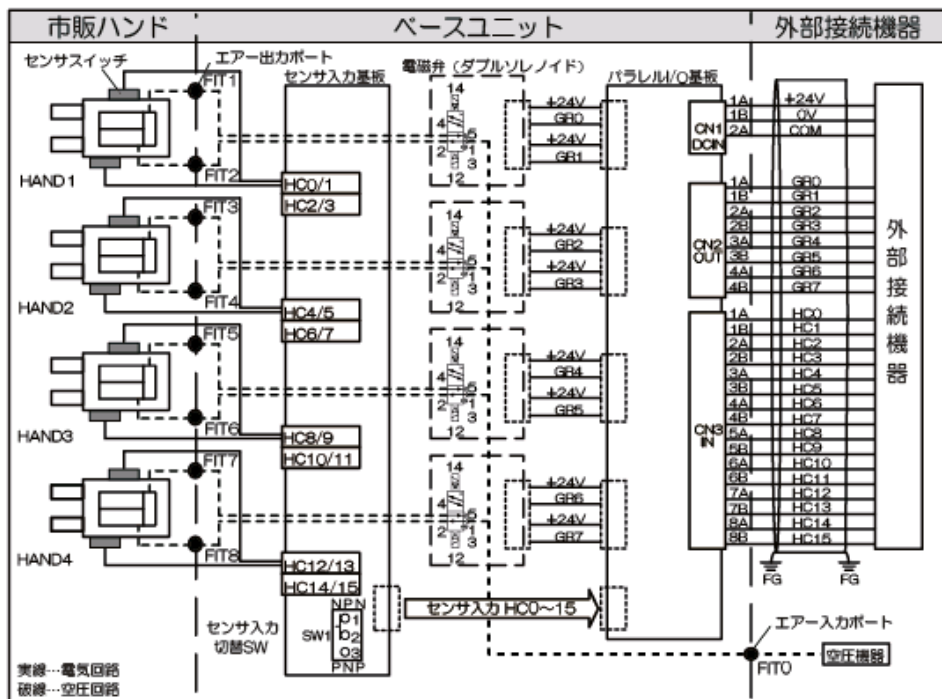


図 48 パラレル I/O タイプブロック図

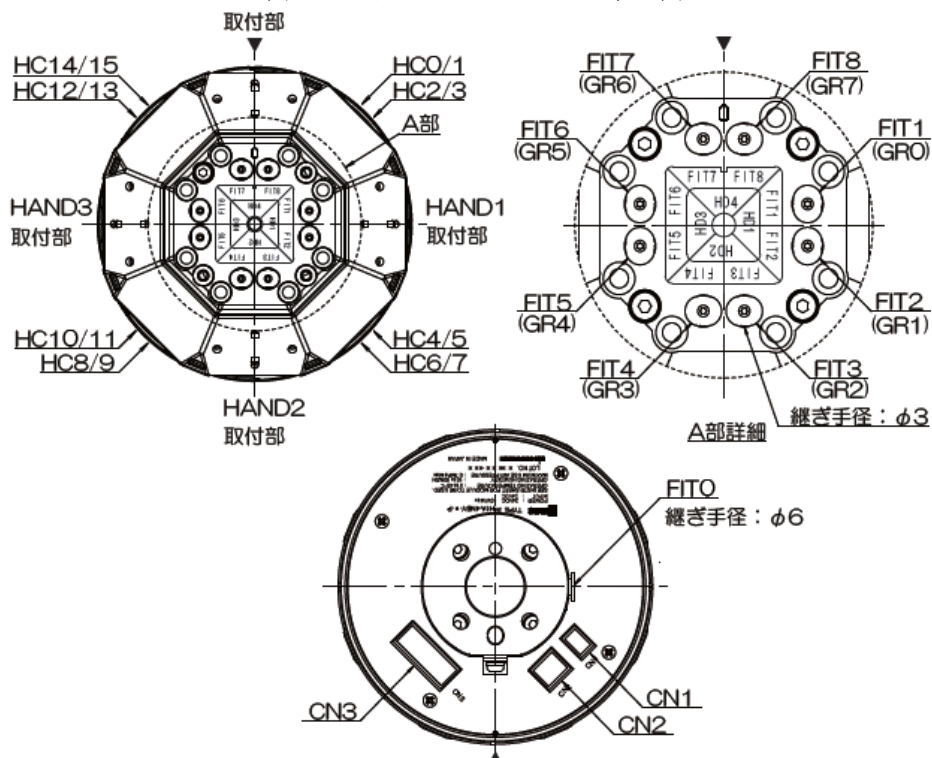


図 49 パラレル I/O タイプ配線・配管図

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。

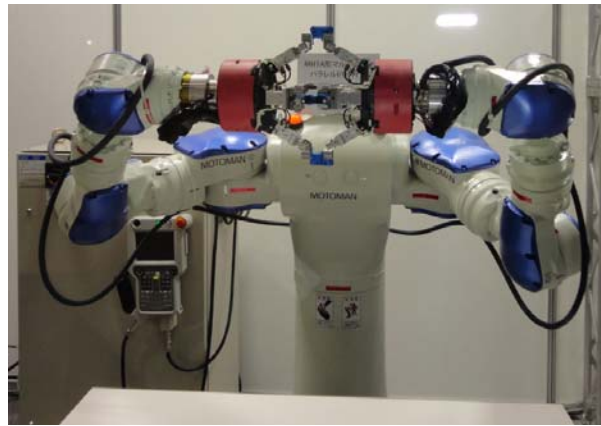
IDEC ブースでは、図 51 の写真のように、ワーク持ち替えデモ(デモ①)とオートツールチェンジャー (Auto Tool Changer : ATC)機能を備えたマルチハンド(開発中)による多機能工程デモ(デモ②)を出展した。

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。

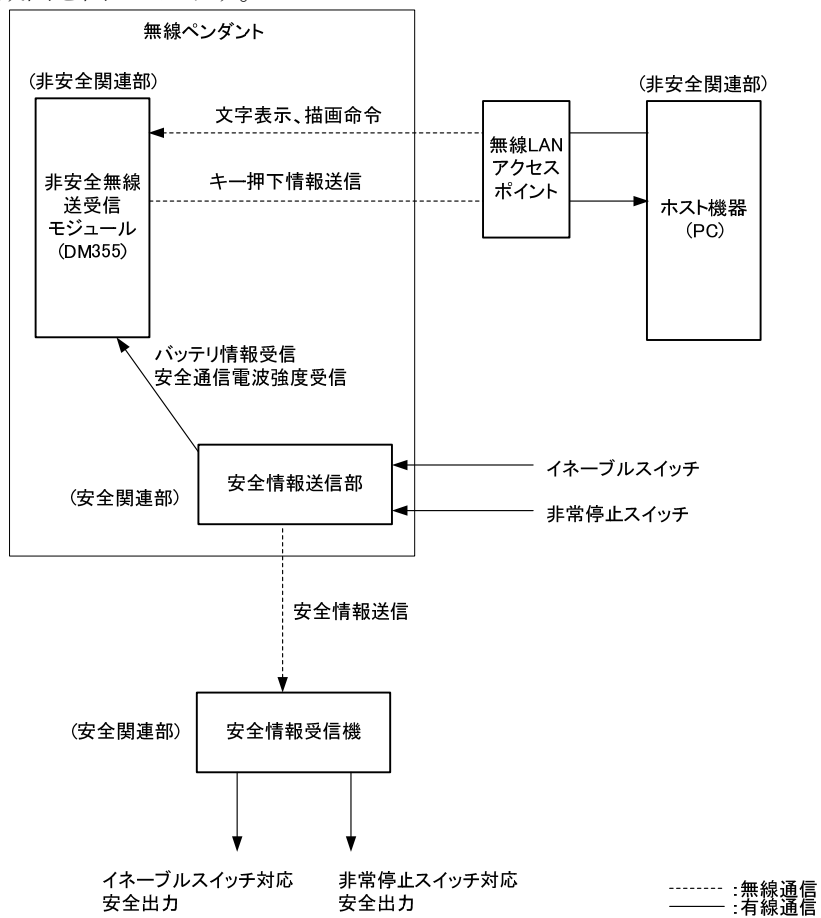


図 52 無線ペンダントシステム構成

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。

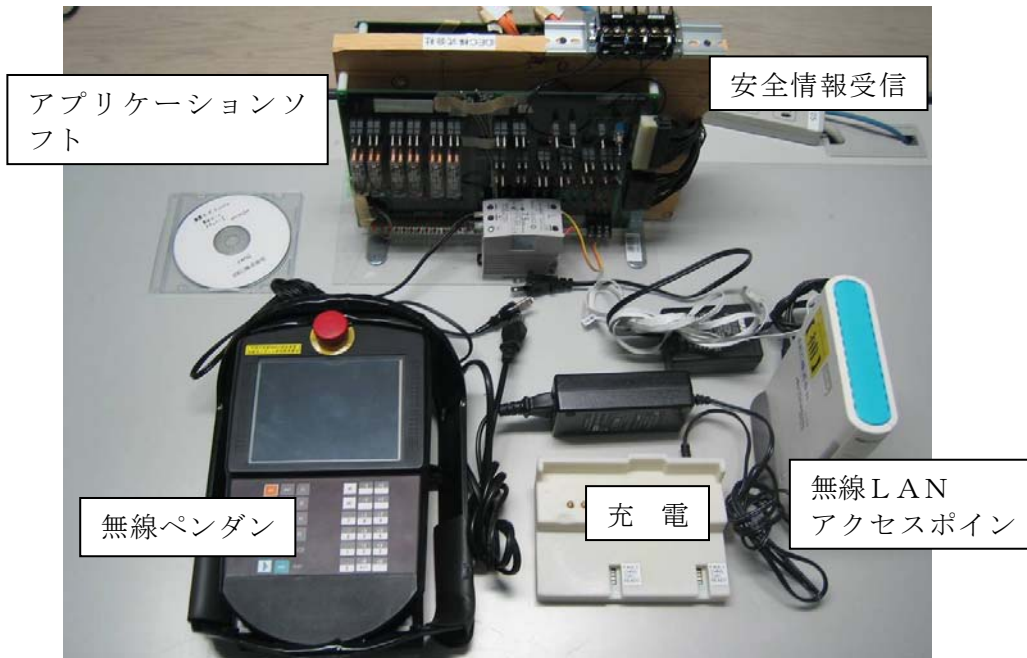


図 53 無線ペンダントシステム

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。

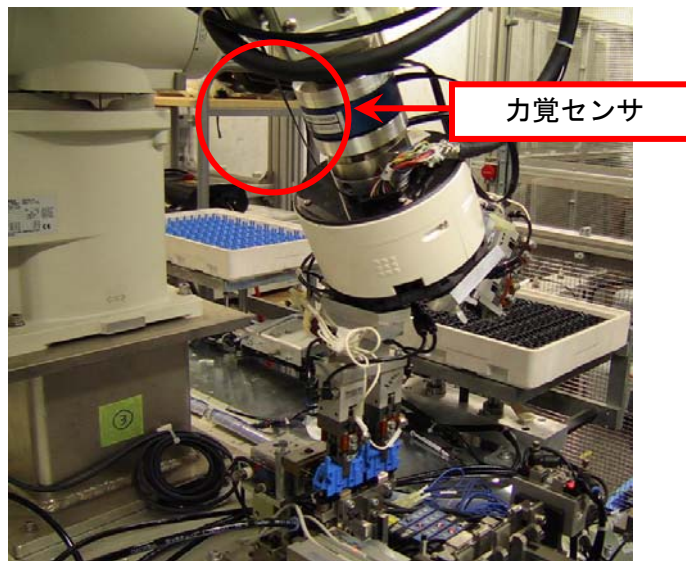


図 55 力覚センサによる部品の勘合確認

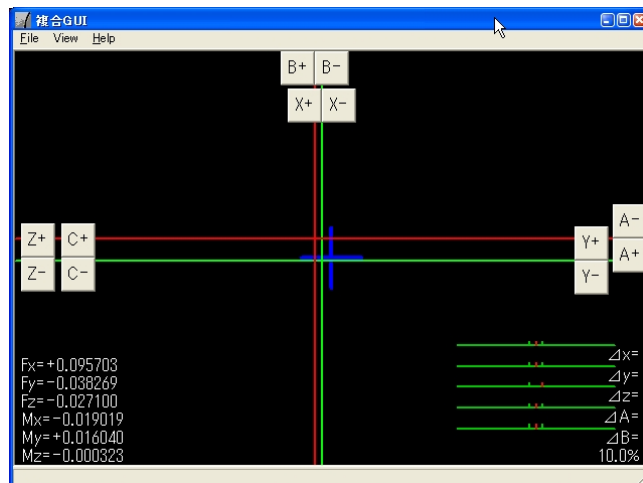


図 56 三菱電機株式会社製の力情報をモニターする RT コンポーネントの画面

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。

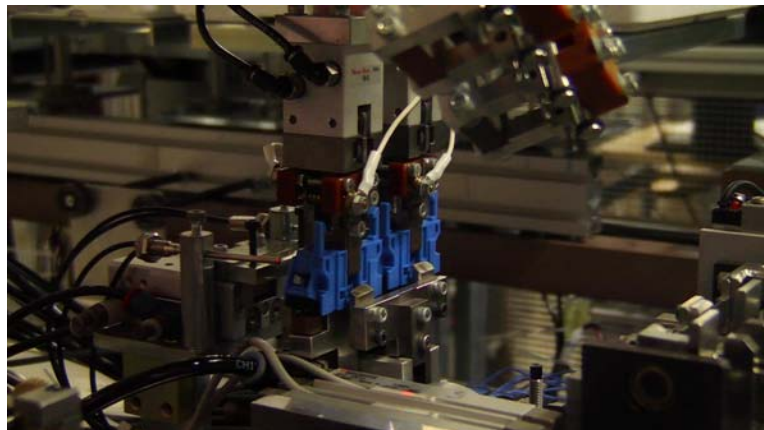


図 57 部品勘合確認のロボット動作

- 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。

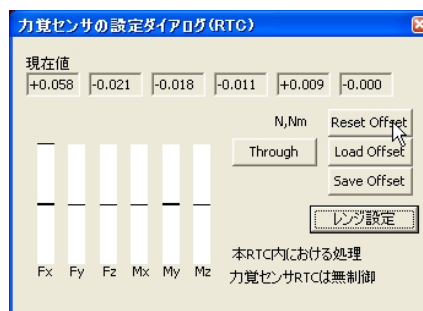


図 58 複合情報 GUI モジュールの力覚センサの Reset Offset 操作 GUI

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。

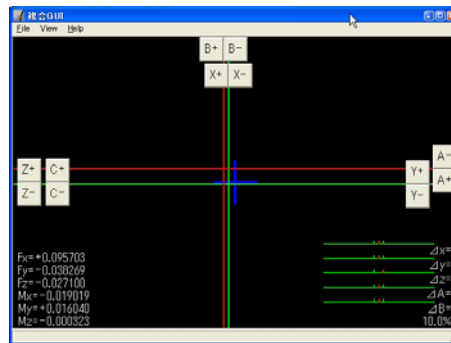


図 59 複合情報 GUI モジュールの部品勘合確認操作 GUI

- 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。

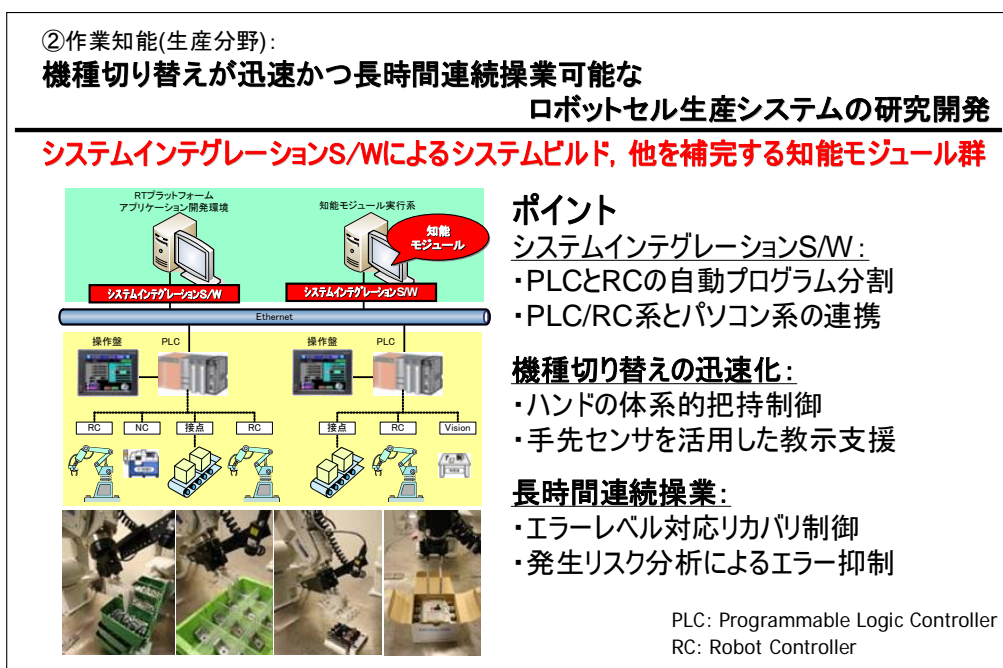


図 1.1 開発目標とポイント

(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。

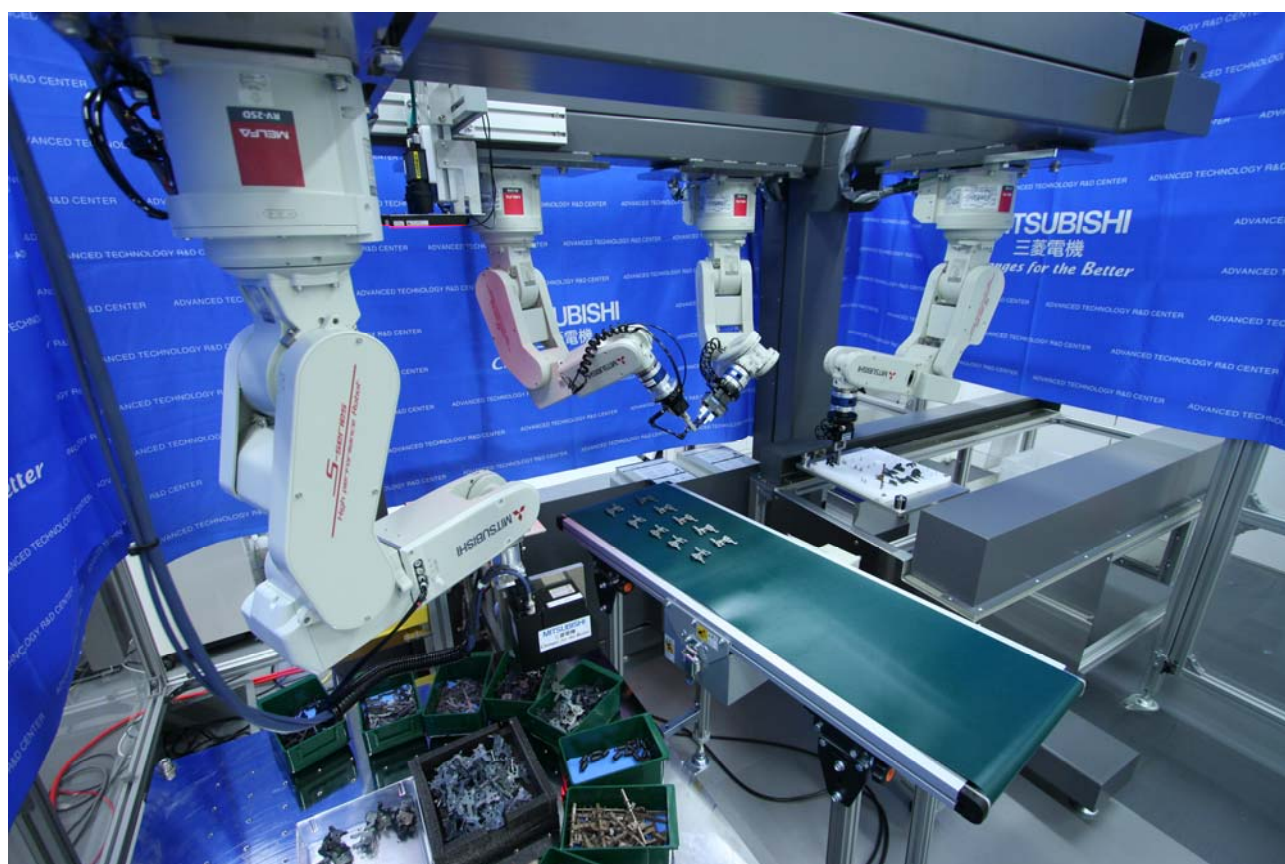


図 2.1.1 統合システムその1 自動組立システムへの、バラ積み部品供給システム

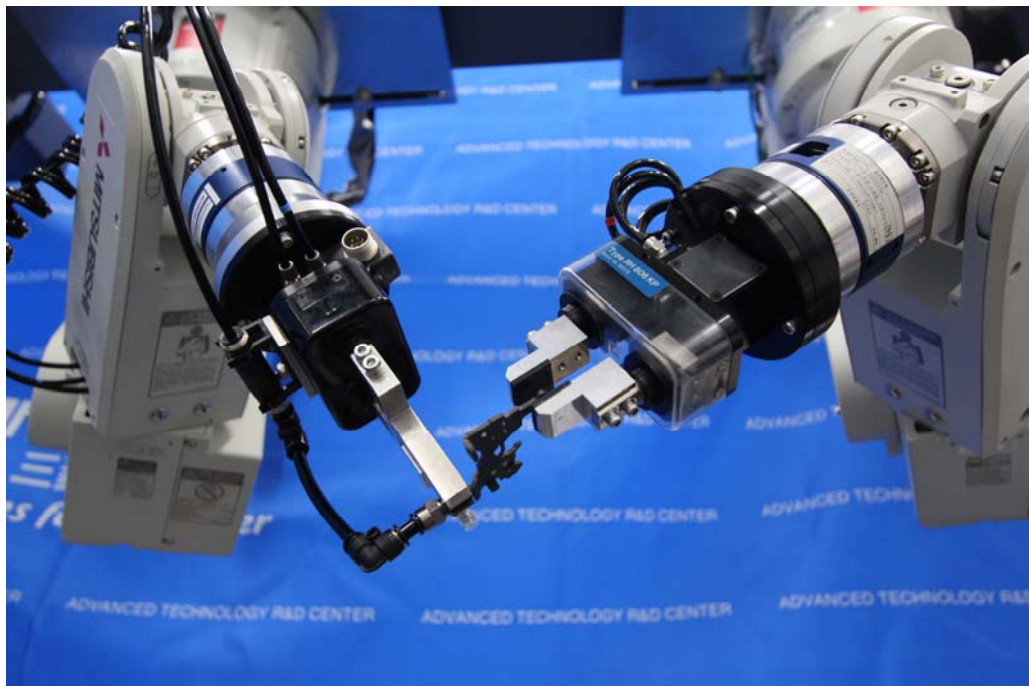


図 2.1.2 統合システムその 1 複数ロボットによる部品の持ち替え

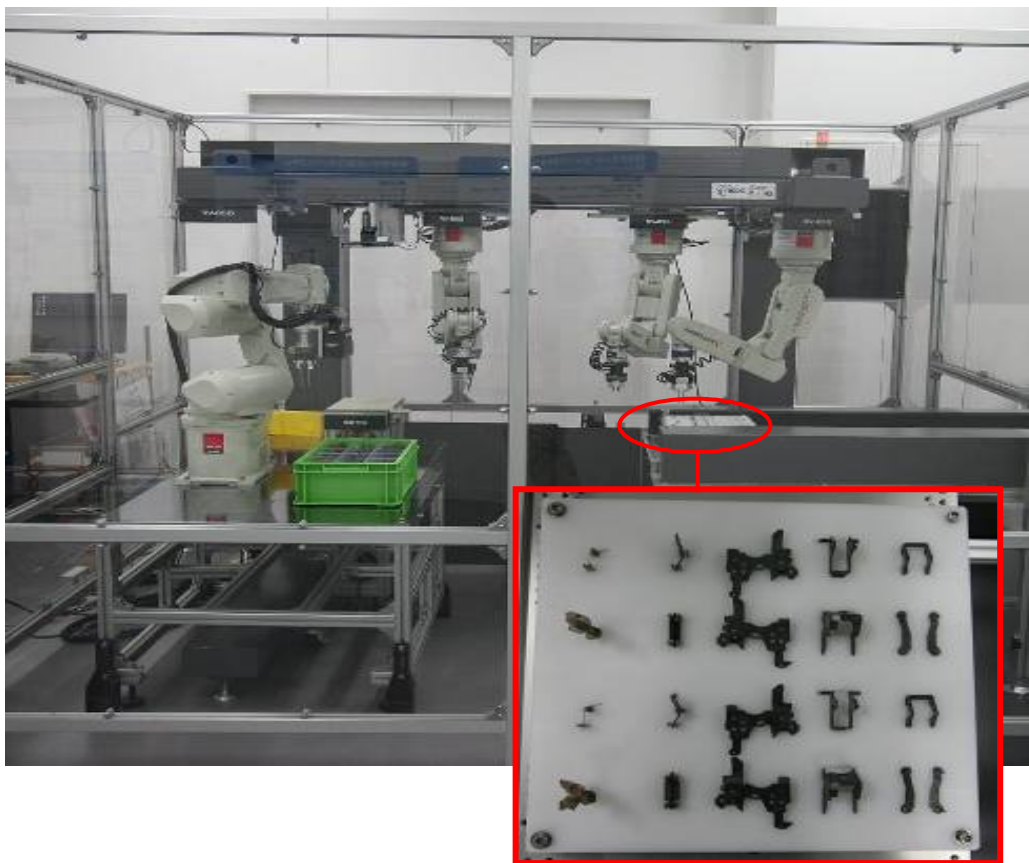


図 2.1.3 統合システムその 1 バラ積み部品の整列

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。

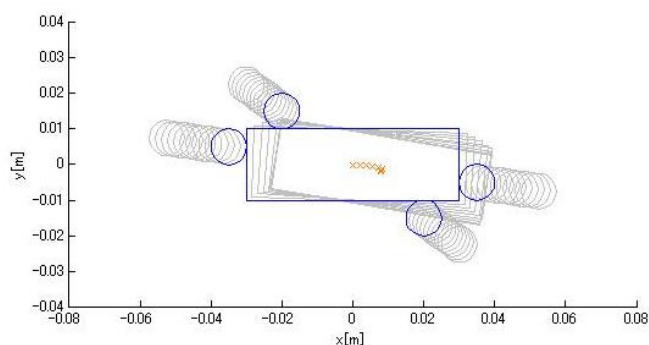


図 3.1.1.1 指と把持対象物の運動の軌跡のシミュレーション動作表示例

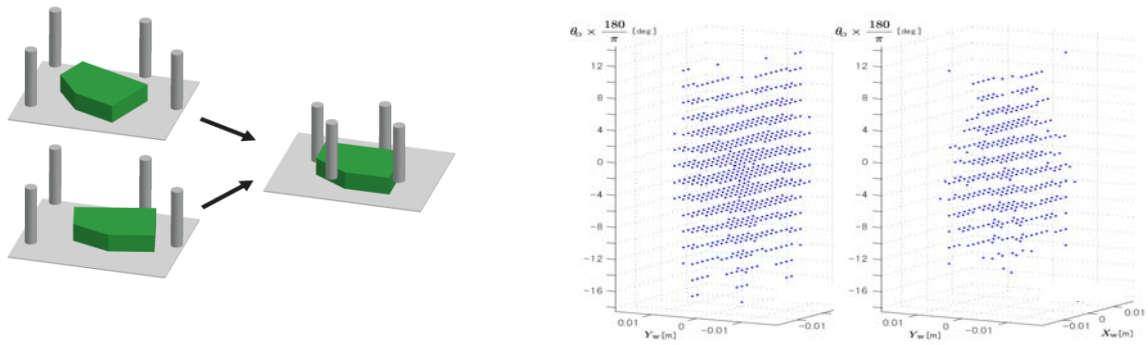


図 3.1.1.2 : 物体把持可能な誤差領域 (青色の領域内) のシミュレーション結果表示

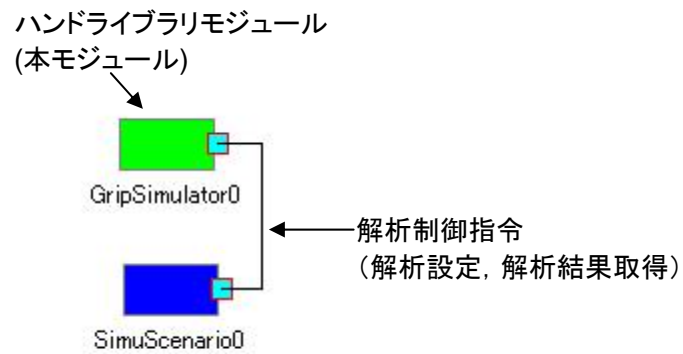


図 3.1.1.3 : RTC としての実行表示例

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)。

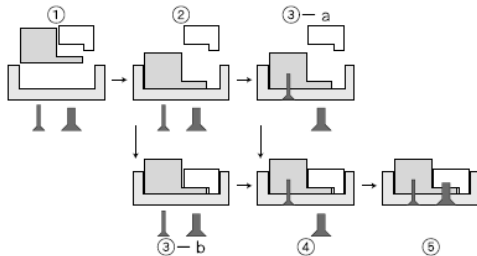


図 3.1.2.1 エラー発生リスク分析の例：
①→②→③a→④→⑤、①→②→③b→④→⑤のいずれの工程を取るべきかを分析

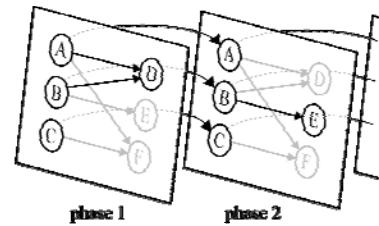


図 3.1.2.2. 同質でない動的ベイジアンネットワークによるエラー発生リスク分析

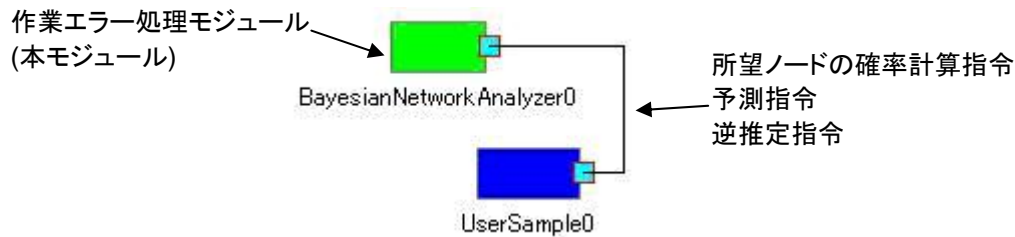
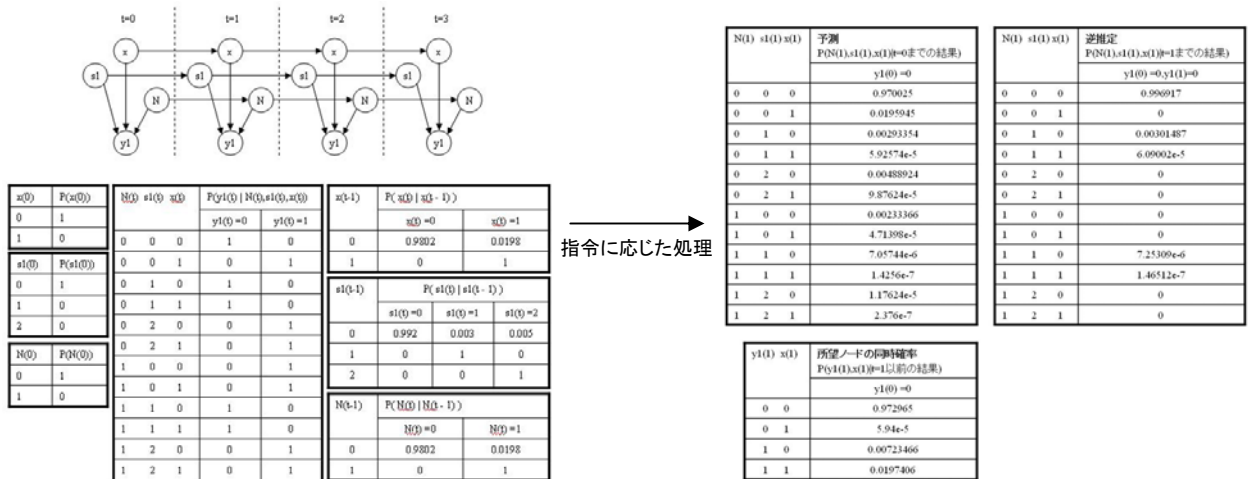


図 3.1.2.3 RTC としての実行表示例



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

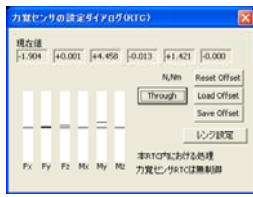
この複合情報 GUI モジュールでは、手先に装着されたカメラで撮影された画像に、目標までの位置と姿勢の偏差情報を重畳表示することで、目標位置・姿勢の実現に必要な操作をガイドし、ロボット教示時におけるオペレータの操作を支援する。

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。

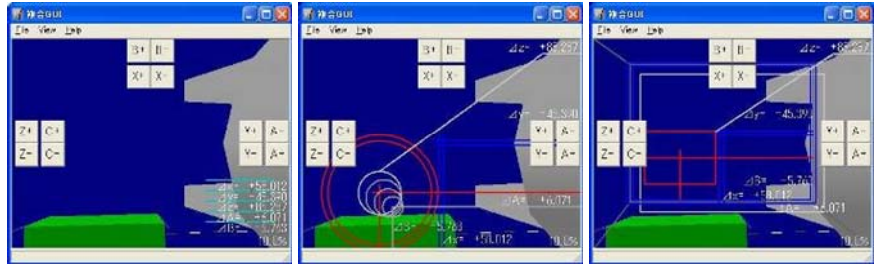
このモジュールの効果は、統合システムにおいて複数の事例を確認したので、以下に列挙する。

- 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)

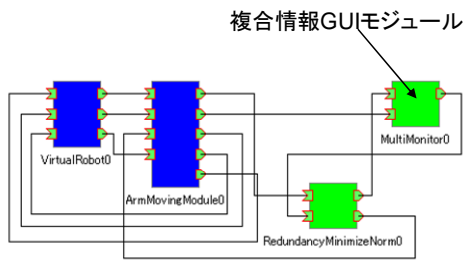
開発環境：OpenRTM-aist-1.0.0, Windows XP



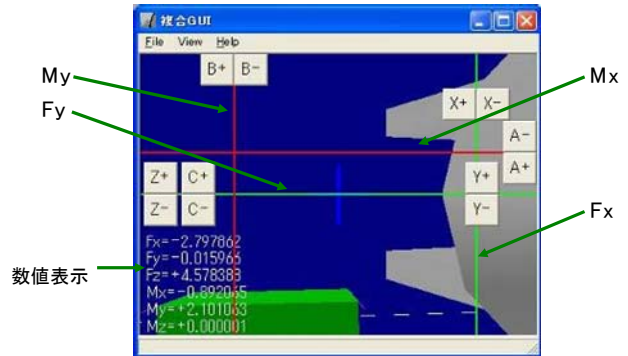
力覚センサ設定
ダイアログ



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)。

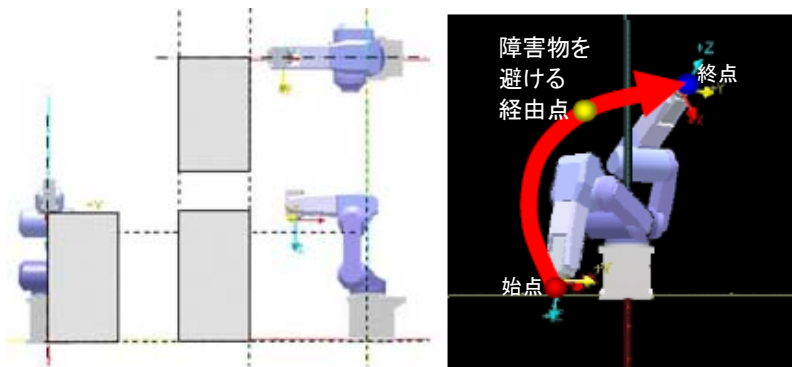


図 3.2.2.1 始点、障害物を避ける経路点、終点をつなぐ軌道

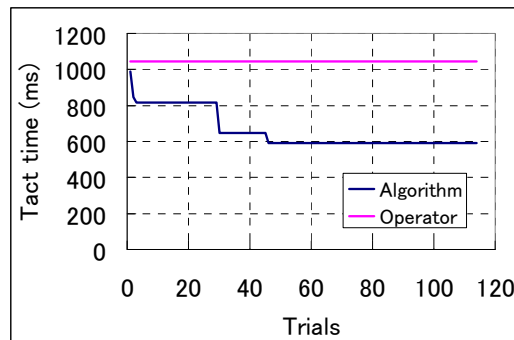


図 3.2.2.2 障害物を避けながら腕を振り上げる動作の動作時間が短縮されていく例

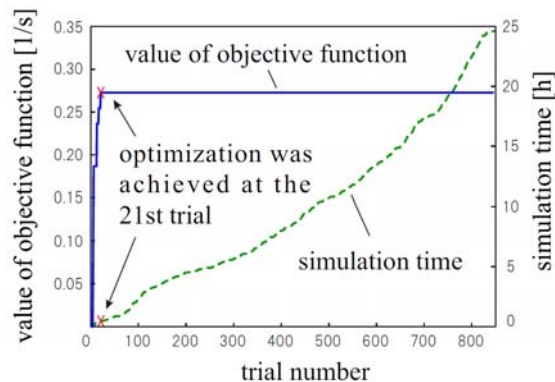
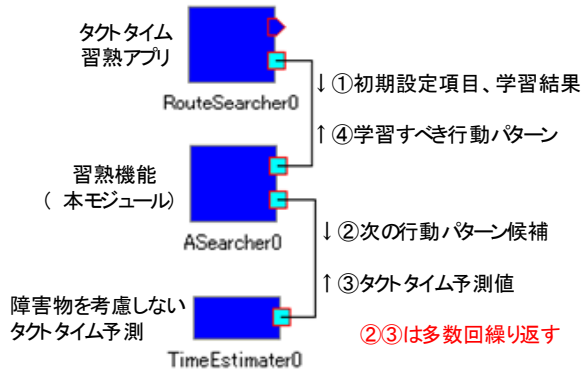
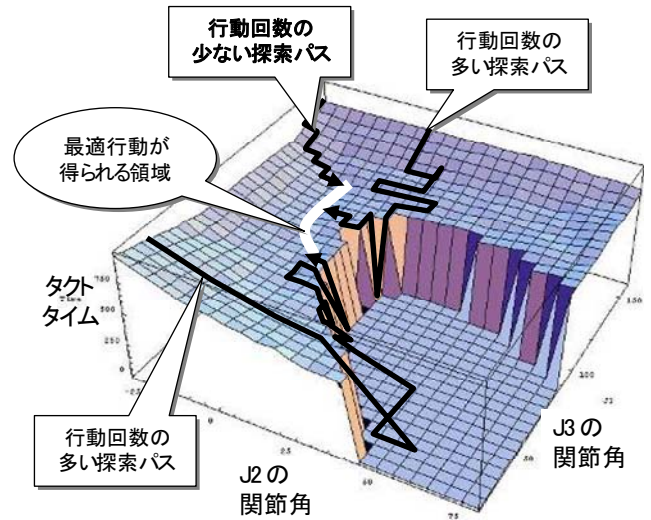


図 3.2.2.3 習熟機能とハンドライブラリによる効率的な最適把持戦略の導出

- 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)

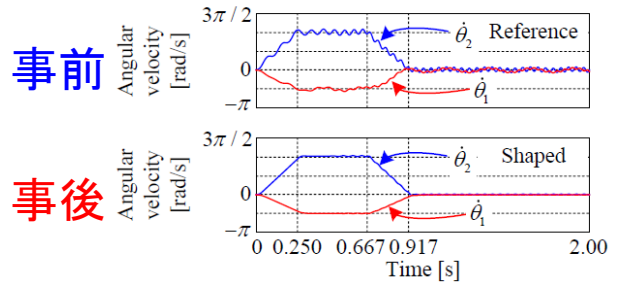
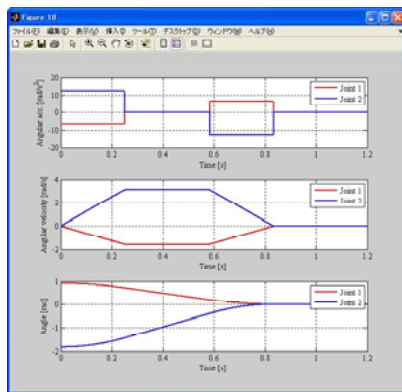
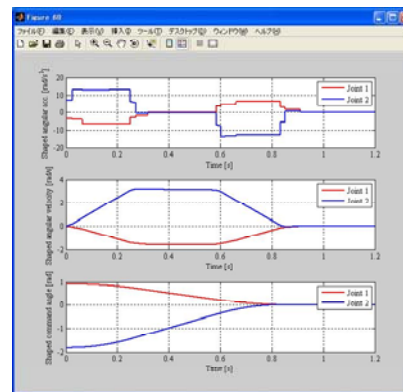


図 3.2.3.2 残留振動の比較



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。

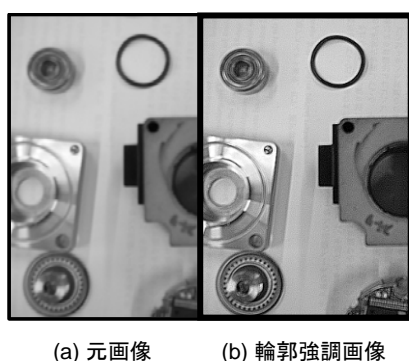


図 3.3.1.1 画像強調による視認性向上例

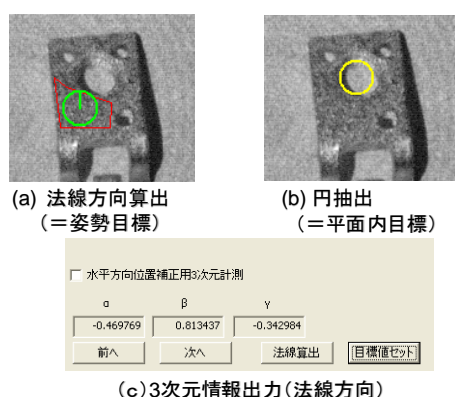


図 3.3.1.2 3次元座標出力処理例

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

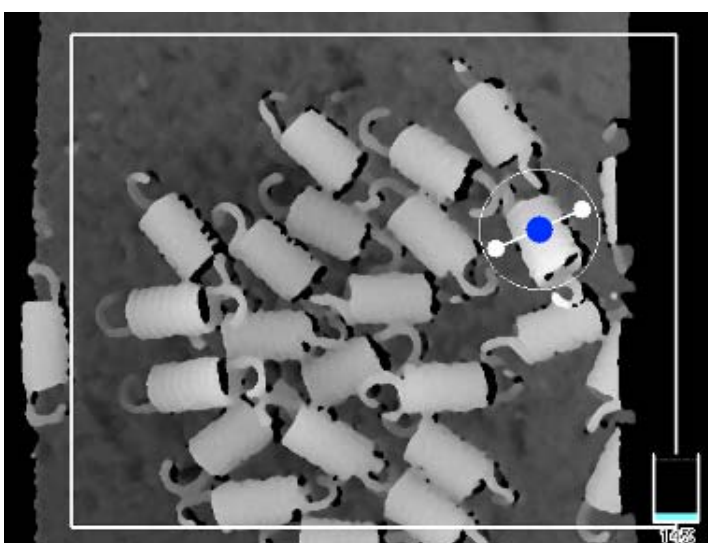


図 3.4.1.2 バラ積みされた弦巻バネ部品の把持点の認識演算結果

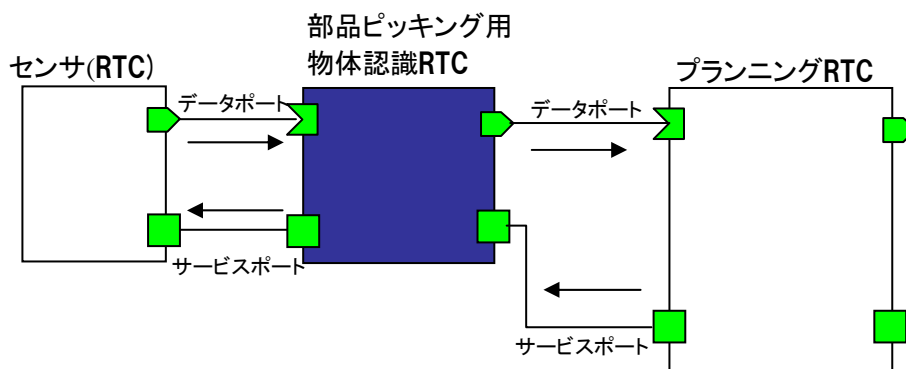


図 3.4.1.3 RTC としての実行例

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。

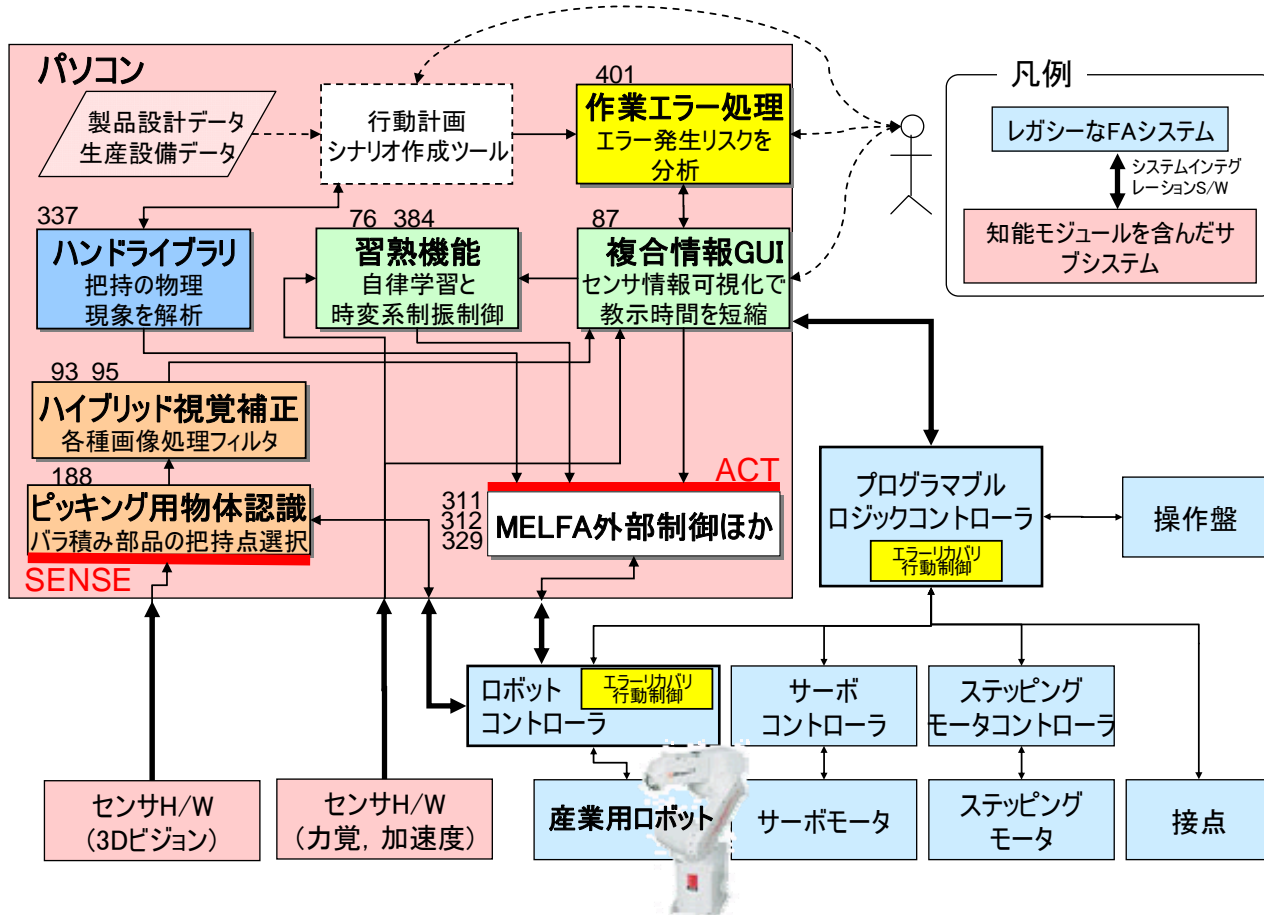


図 3.5.1 典型的産業用ロボットシステム(レガシーシステム)と知能モジュールのインテグレーション

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。

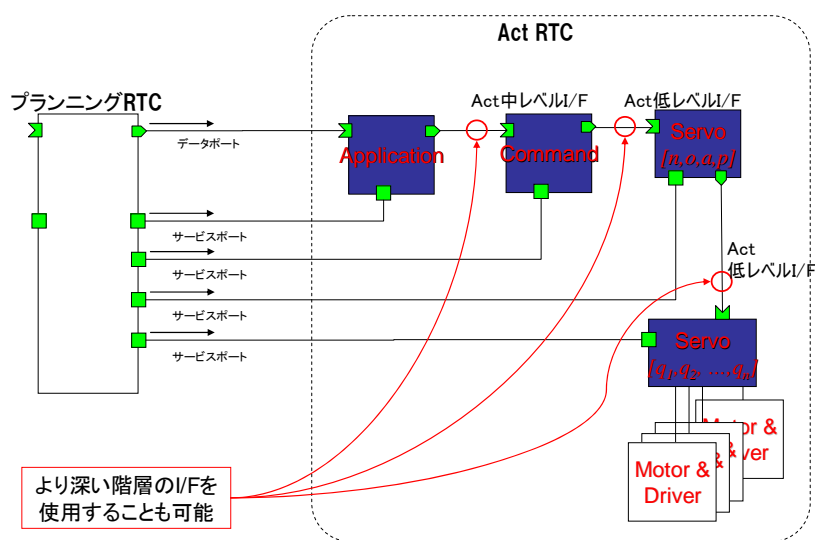


図 3.5.1.1 ロボットアームに対する指令値の階層の設計

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。

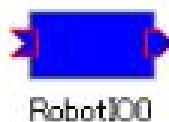


図 3.5.2.1 RTC としての実行例

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

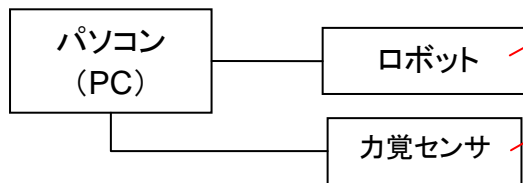


図 3.5.2.3 実行時のシステム構成例



図 3.5.2.4 メイン GUI

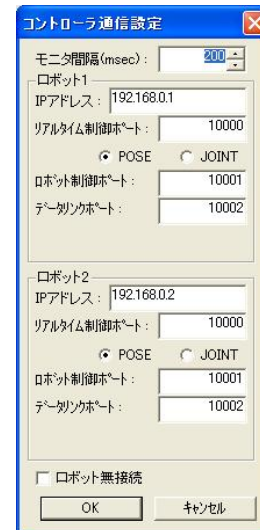


図 3.5.2.5 ロボット通信設定ダイアログ



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。

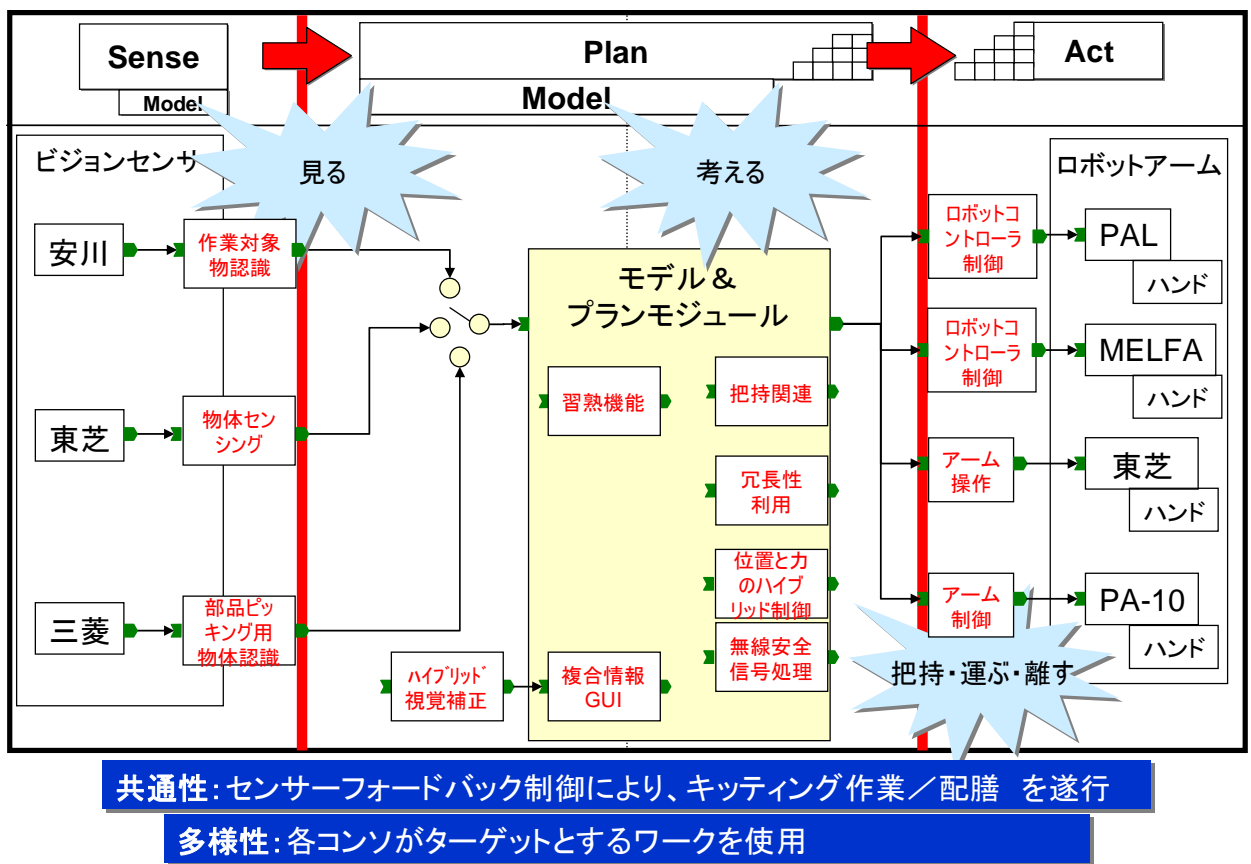


図 4.1.1 共同開発したリファレンスモデルとリファレンスタスク，共通インタフェース，および知能モジュールの例

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。

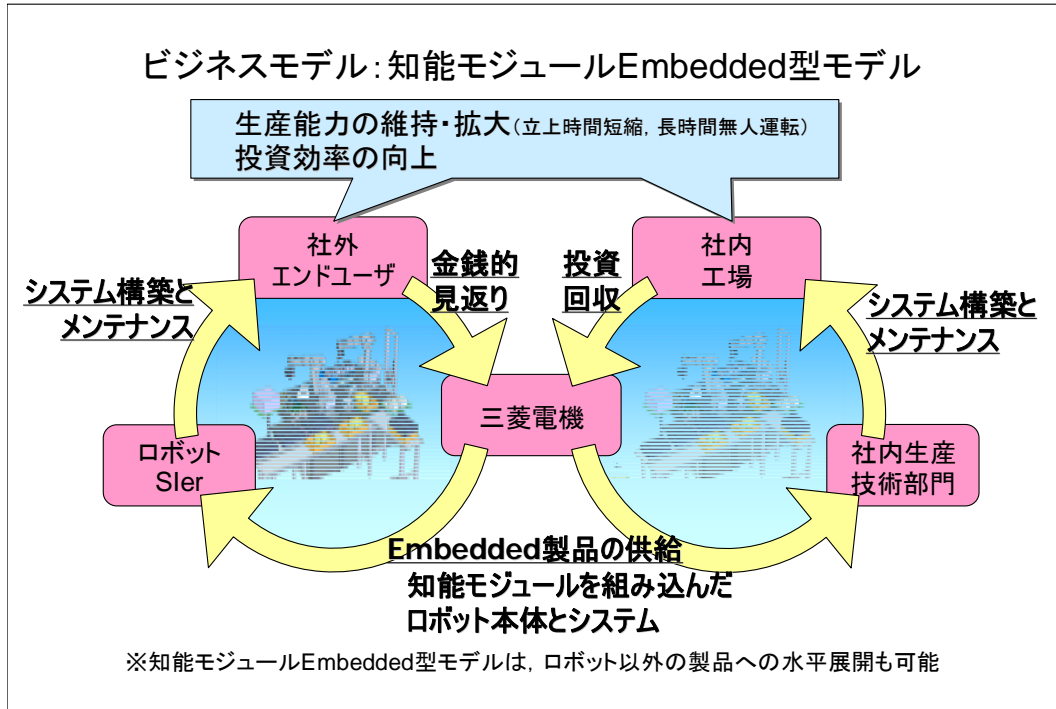


図 1. 成果普及の見通し

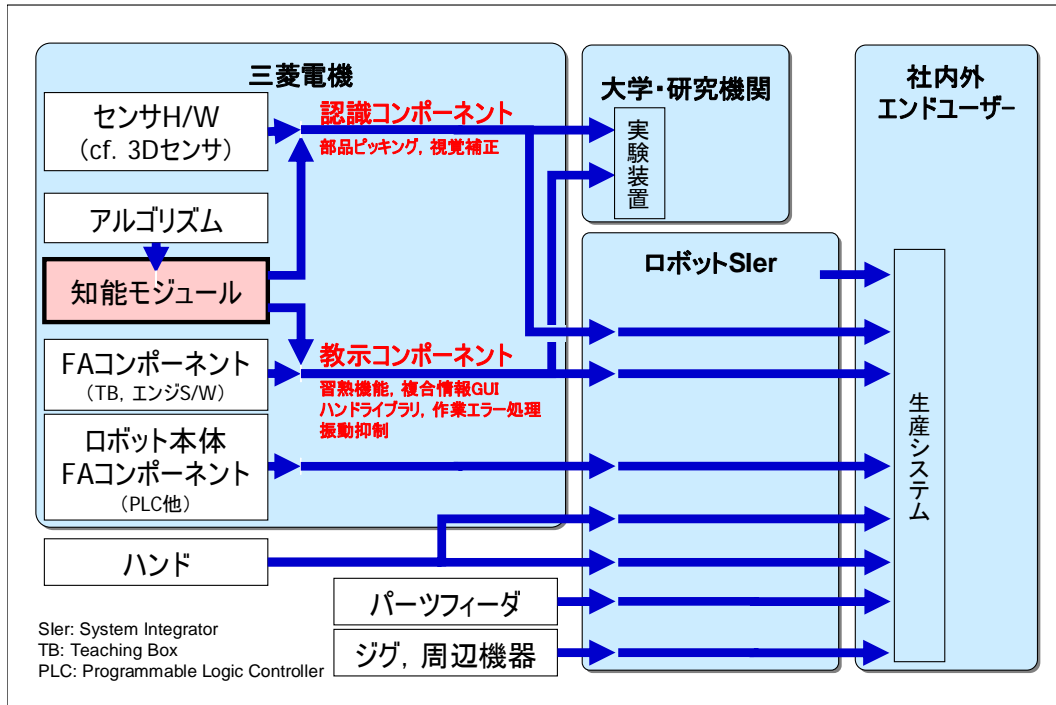


図 2. プロダクト・フロー&サプライ・チェーン

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, 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

(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 巻 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 巻 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