3.2 サービスロボット分野

3.2.1 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

3.2.1.1 乱雑に積層された洗濯物ハンドリングシステムの研究開発

【(財)四国産業・技術進行センター、香川大学、(株)プレックス、
宝田電産(株)、香川県産業技術センター】

1)研究概要

1)-1 背景と目的

リネンサプライ業などで必要となる業務用洗濯ラインの工程は、図 2.1-1 に示すように大きく一括処理される洗濯ラインと単葉処理される仕上げラインから成っているが、その多くの工程が自動化されてきている。

しかし、ラインの入り口である投入作業は、布製品故の不定形のため、図 2.1-2 のように人手作業となっており、未だに自動化出来ていない。

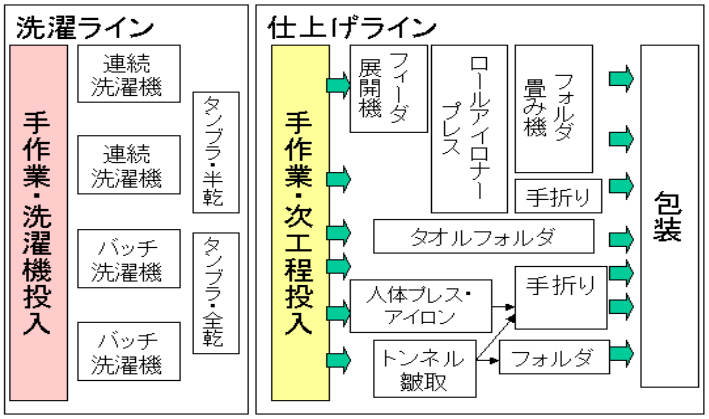


図 2.1-1　業務用洗濯ライン

図 2.1-2　仕上げラインへの洗濯物投入

このため、本洗濯物ハンドリングシステムを研究開発する事により、以下の目標を達成する。

（1）システムとしての目標

［投入ロボットの導入による洗濯ラインの全自動化］

・ラインの全自動化による作業者の過酷な作業からの解放

・今後の労働力減少による作業者不足への対策

・医療機関、危険作業現場からの危険を内在する洗濯物の無人ハンドリング

（2）技術的目標

［布製品のハンドリング技術の確立］

・柔軟な布形状の計測と端点検出可能な視覚技術の確立

・広い動作範囲を持ち力制御が可能なロボットハンドリング技術の開発

・洗濯物の把持、整形を行うための補助システムの整備

1)-2 開発するシステムの概要

本研究開発は、大きく２フェーズに分けて、実用的なシステム開発を行うことにより、柔軟物である布製品のハンドリング技術を確立する。開発するシステムは、平成20年度末迄の定型ライン投入システムと、平成22年度末までの混流ライン投入システム、コンパクトハンドリングシステムである。

平成20年度までの定型ライン投入システムでは、図 2.1-3 に示す、タオルやシーツなど四角形の布製品の定型洗濯物の仕上げラインへの、洗濯物の投入を行う。

本開発により、布製品ハンドリングの為の基本技術を開発、定型ラインで検証した。
本開発成果をもとに、平成21、22年度、実用展開のためのコンパクトシステム、および混流ラインでの洗濯物分類システムへ展開する。

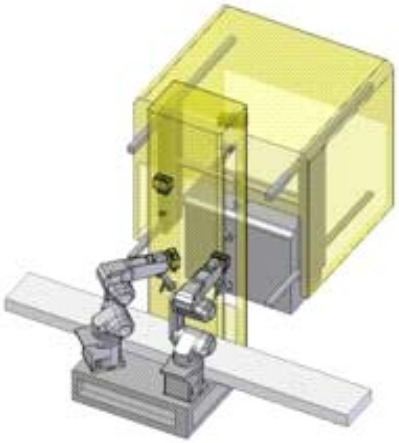


図 2.1-3　定型ライン投入システム

1)-3 開発成果の概要

平成 20 年度までの定型ライン投入システムで開発した要素技術は、大きく以下の項目である。

［項目１］布を迅速・確実にハンドリングできるマニピュレーション技術の開発

積層された洗濯物の山から布を一枚一枚取り出し、一辺を把持して位置を合わせて仕上げラインに投入するまでの工程を分析、布をハンドリングするための要素機能を分析、布ハンドリング技術の体系化を行った。

［項目２］対象物の位置姿勢を識別し、ハンドリングするための３次元視覚センサ

不定形状を持ち、表面にテクスチャが無い布の形を計測するための視覚センサとそれを使って布の把持位置を決定する画像処理アルゴリズムを開発した。

［項目３］器用なハンドおよび補助装置の開発

一枚の布をつまみ上げる、また、把持した布をたぐって辺を出すハンドを開発した。

［項目４］布ハンドリング制御技術の開発

平成 21、22 年度開発準備として、ハンド引き上げ中の把持枚数検出、絡み検出技術、およびタオルのマーク認識のための基礎技術を開発した。

以上の要素技術をまとめて定型ライン投入ロボットシステムを開発、総合動作を実現、次期プロトタイプ機での実用性能実現の見通しを得た。

以下、開発項目を説明する。

2）成果詳細

2)-1 布を迅速・確実にハンドリングできるマニピュレーション技術の開発

（１）布ハンドリング作業の分析

これまで布ハンドリングに対しては、ハンドリングの原則が与えられておらず、それが自動化を妨げていた。ここでは、作業者の布ハンドリング作業を分析、図 2.1-4 に示すように、本作業が(a)積層された布の山から１枚を分離・取り出すこと、(b)布の１つのコーナを認識、把持すること、(c)布の一辺を認識し、辺として把持すること、の３要素からなることを見いだした。

(a)布の分離･取り出し　(b)第１コーナ把持　(c)1 辺の把持

図 2.1-4　布ハンドリング作業の分析

（２）布の自由度制御技術の体系化

ハンドリング作業の分析から、布ハンドリングの要素機能は、(a)積層された布の山から１枚を分離・取り出すこと、(b)布の１つのコーナを認識、把持すること、(c)布の一辺を認識し、辺として把持すること、が分かった。最終的に、布の一辺を保持することで、位置だし、取り付け、加工が可能になる。しかし、これを実用的なシステムとして、迅速・確実で、実現可能なコストで構築するためには、置き方や形状の定まらない柔軟な布を１枚分離して取り出し、自由度を拘束、把持する技術の体系化が必要である。

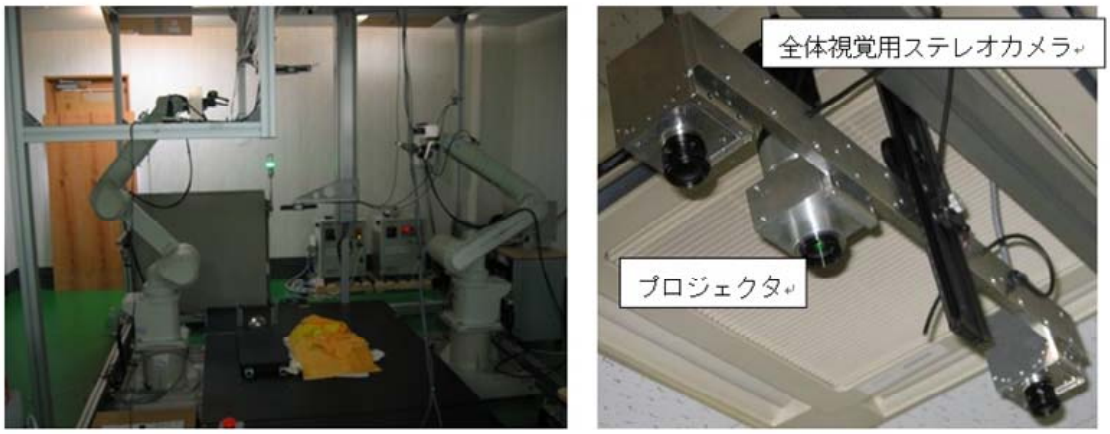


図 2.1-5　全体視覚センサとロボットが協調した最上位布取り出し

ここでは、布のマニピュレーション技術として、(a)積層された山からの分離取りだし技術を確立し、(b)布の１つのコーナを把持すること、(c)布の一辺を把持すること、について、自然な状態、補助的な自由度拘束、強制把持の枠組みを考え、要素技術の抽出を行った。このうち、積層された山からの分離取り出し技術については、図 2.1-5 に示す、全体視覚センサ（２．１．５にて説明）とロボットが協調した最上位布取り出し技術を開発したことで、実用化可能なレベルを達成できた。ここでは、(b)第１コーナ把持、(c)布の一辺把持について、詳細な検討を行った。

① 第１コーナの把持

コーナは、自然に、もしくは強制して、確実に抽出する必要がある。手法には図 2.1-6 に示す構成例のように、単に自然に垂れ下がらせて、真下に来るコーナをねらう方法、補助的に姿勢を拘束して、コーナが期待位置に出てくる確率を高める方法、強制的にコーナを繰り出す方法がある。“自然に垂れ下がらせてコーナを把持する方法、姿勢を拘束してコーナを把持する方法”については、およその端点らしき部位をまず把持して持ち上げると、下端に、ほぼ各実にコーナが現れる性質を利用する物であり、自動化の可能性が大きい。

この中から、確実性・迅速性とコストをもとに、実現可能なシステムを構築する。左側の図ほどロボットの自由度に頼り、右側ほど確実だが補助システムの構築が必要で、専用的・高コストになる。

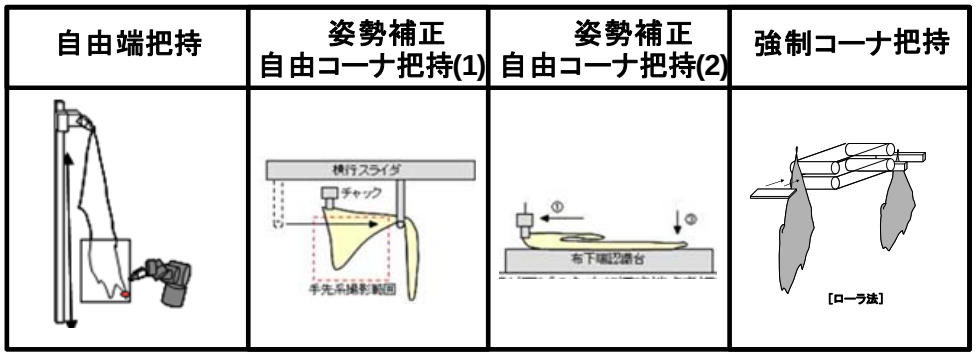


図 2.1-6　第１コーナ把持

② 布一辺の把持

布のコーナの確実な把持後、平行度を確保しながら、一辺の確実な把持を行う必要がある。手法には、図 2.1-7 に示すように基本的には現在把持しているコーナを頼りに、布のマチなどを利用してたぐって広げていく方法、センサで位置確認、補正動作により 平行度を得るたぐり方法、強制的に送りをかけながらたぐっていって、もう一つのコーナを把持する方法、がある。確実性やコストは、①と同様である。

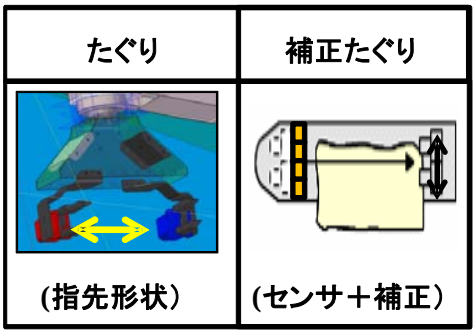


図 2.1-7　布の一辺把持

以下、本検討体系を利用したシステム構成法を示す。

（３）一枚の布の分離・取り出し機構

まず一枚一枚布を分離・取り出すことは、布ハンドリングの基本である。図 2.1-8 に示すように、２．１．５で述べる全体視覚３Ｄセンサを適用、山積タオルの最上部把持位置を認識するアルゴリズムにより、まず把持位置を決定して取り上げ、２．１．６で述べるピンハンド付き把持ロボットを操作して、補助コンベアと協調してタオル一枚の一つのコーナ近辺を確実に把持し、取り上げることが出来た。

図 2.1-8　一枚の布の分離・取り出し

なお、この引き上げ動作時に、布の把持枚数や絡み状態をチェックするための力制御技術についても基礎検討を終了した。この内容は、２．１．７に述べる。

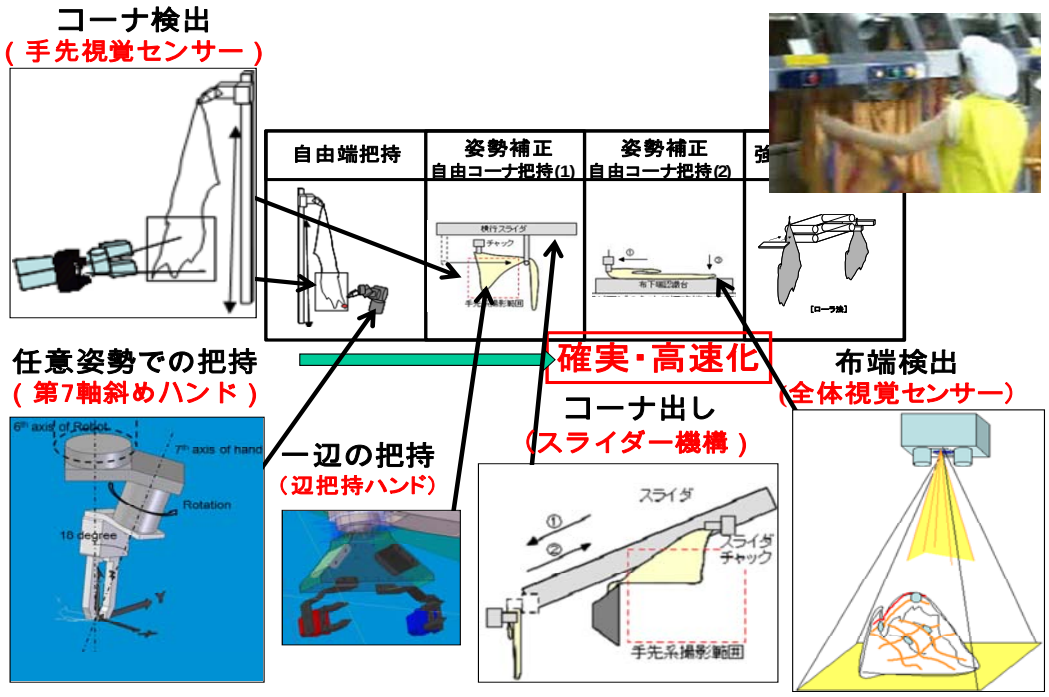


図 2.1-9　第１コーナの把持

（4）第１コーナ把持

布の第１番目のコーナを把持する為には、図 2.1-6 に示す、単に自然に下に来るコーナを得る方法、補助的に姿勢を制限してコーナを出す方法、強制的にコーナを繰り出す方法がある。このそれぞれに対し、図 2.1-9 に示すように、必要な要素技術を検討、開発を行い、評価した。

自由端把持では、手先視覚センサによるコーナの３次元位置・方向を測定、ロボットの姿勢自由度を高める第７軸斜めハンドを開発、システムを纏めた。

姿勢拘束が有る方式では、斜めスライダと姿勢補正機構の組み合わせによりコーナの出現位置と方向を規制、確実なコーナ把持を行った。

最終的には、信頼度の点から、姿勢拘束方式を採用した。

また、コーナ近傍の把持では、コーナ抽出補助コンベア上で、視覚センサでコーナ位置検出、ピン付き平行リンクフィンガーハンドを装着したロボットでコーナ近辺を確実に把持した。

（5）一辺の把持

図 2.1-10 の各分類に応じて、辺把持ハンドの開発、補正たぐり機構の開発を行い、それを利用した辺把持のためのマニピュレーションシステムを開発した。２．１．６にハンドの開発内容を示す。辺把持ハンドでは、図 2.1-9 の各システムで検出されたコーナを把持する。本開発では、部分的たぐりを行う２フィンガーのハンドとした。そして、本開発では、辺把持ハンドでつかんだ布を、補正たぐり機構上で仕上げ装置に対する平行度を補正しながらロボットで引き回し、プレスおよび折りたたみ装置に接続される排出用コンベアに、整列して載せる技術を開発した。なお、一辺の正確な把持と位置決めのための方式と

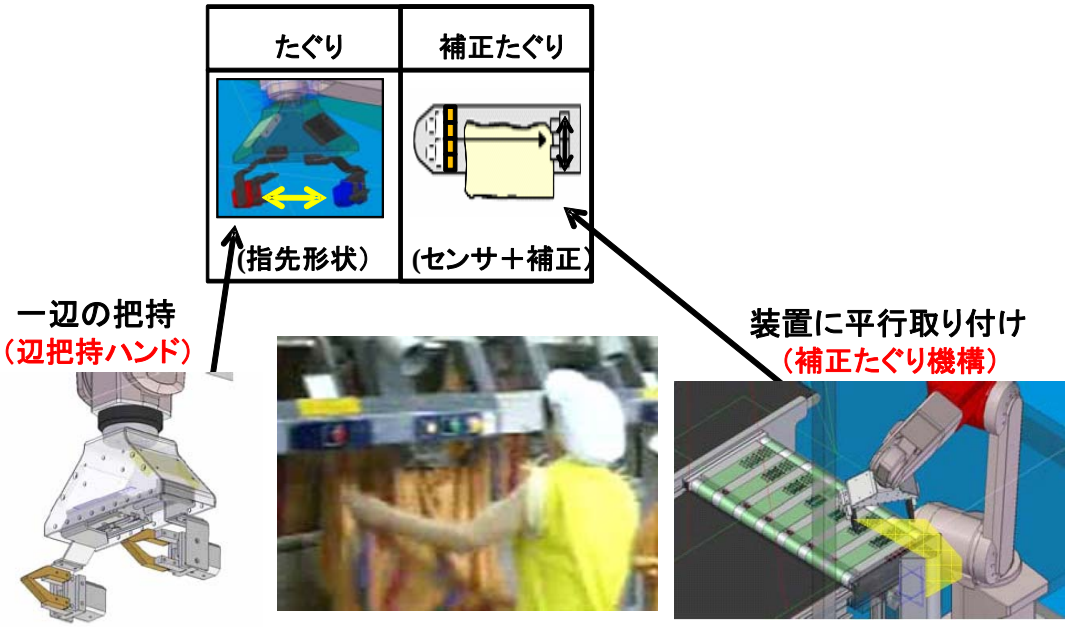


図 2.1-10　一辺の把持

しては、正確な姿勢を確保してプレスおよび折りたたみ装置に搭載するためには、より確実な方式が望まれる。そのため今後、図 2.1-10 で分類された強制たぐり方式についても検討を加えていかなければならない。

2)-2 対象物の位置姿勢を識別し、ハンドリングするための3次元視覚センサ

布のような、高度に柔軟で不定形で、位置・姿勢も定まらない物体を取り扱うためには、ロボットの把持位置や布の置かれている形状を測定する３次元的な視覚センサが不可欠である。リネンサプライ業で扱う布の多くは、模様が無く一様な色であるため、ステレオ方式での視覚センサでは計測困難だが、個々の布表面の連続性は保たれている。そこで投影パターン対応付けによるステレオ視覚センサを開発、積層洗濯物の全体形状を計測する全体視覚センサと、コーナ付近の把持位置、姿勢を正確に計測する手先視覚センサを開発した。

（１）視覚センサの光学的特徴

本視覚センサの光学的特徴は、図 2.1-11 のあおり光学系の採用である。２台のステレオカメラの撮像面、対物レンズの平行度を保ちながら、レンズ中心を中央にシフトして、視差を得ながら同一エリアを撮像するように工夫した光学系である。このような光学系とすることにより、対象物とカメラ間の距離が近くても、一般のステレオカメラでカメラを傾けたことによって起きる、左右カメラでの遠近ひずみを防止し、近傍物体計測の際のステレオマッチングの精度・安定度を向上した。

また、ステレオ対応を取るための投影パターンとしでは、図 2.1.12 の調密な格子パターンに、素位置決め用のドットを配置した。

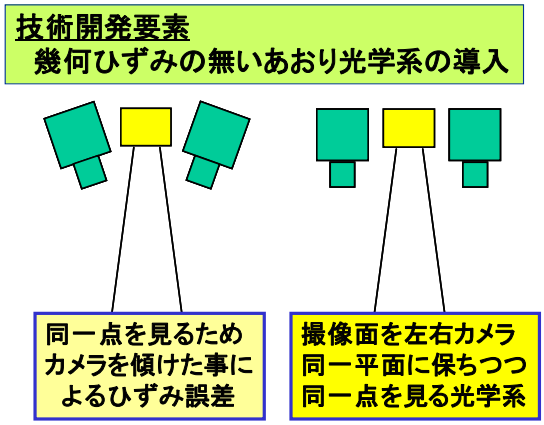


図 2.1-11　あおり光学系

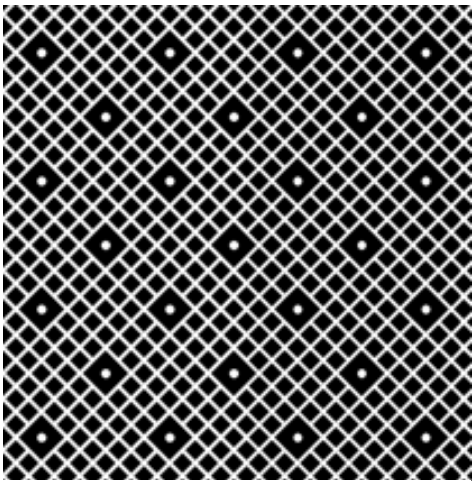


図 2.1-12　投影パターン

（２）認識アルゴリズム

洗濯物の置かれた形状やぶら下がった状態を計測する認識アルゴリズムには、全体視覚アルゴリズムと手先視覚アルゴリズムがある。全体視覚アルゴリズムは、1.5x1.5m の広さを 2mm の精度で計測する。手先視覚は、200x200mm の広さを 0.5mm の精度で計測する。認識アルゴリズムを以下に説明する。

［全体視覚の洗濯物形状抽出アルゴリズム］

図 2.1-8 に有るように、積層された布にパターン光を当てステレオ画像を撮像、ドットパターンで概略３次元測定し、そのあと格子パターンで精密測定する。投影パターンを抽出、左右のカメラ間でステレオマッチングを行い、格子パターンの３次元位置を計測、一番高い位置を決定、ロボットの把持位置とする。

［手先視覚によるコーナ計測］

図 2.1-9 のスライダ機構などにより垂れ下がったコーナ部に、横からパターンを投影、全体視覚に述べたアルゴリズムにより、コーナ部近傍の３次元形状を計測する。２次元画像による精密コーナ抽出と組み合わせて、コーナ部の正確な位置・方向を計測、ロボットの把持位置、姿勢を決定する。

2)-3 器用なハンドおよび補助装置の開発

布の高度な柔軟さは、把持の点でも課題が大きい。視覚センサが把持位置決定を行い、ロボットが把持位置に正確に制御されても、10％程度の把持ミス、2－3％の布の不離れなどが起こる。また、コーナ抽出後の布ハンドリングの為には、基本的に辺把持でなければならない。このため、ピン付き平行リンクフィンガーハンド、辺把持ハンドを開発した。また、布の平行度を補正する装置として、たぐり補正機構を開発した。

2)-4 布ハンドリング制御技術の開発

布ハンドリング中の力制御については、２．１．４（３）一枚の布の分離・取り出し機構の中で必要性を述べた。また、洗濯物が混ざって投入される洗濯ラインでは、洗濯物の分類が必要である。平成 20 年度までの定型ライン投入システムの開発では組み込んでいないが、平成 21 年度からの、混流して置かれた洗濯物の分類システムの開発に組み込むために先行開発した。ハンドの力制御技術、布の表裏や種別判定技術の開発状況を述べる。

2)-5 定型ライン投入システムの開発

（１）システム構成

これまで述べてきた布ハンドリングのための布の自由度の扱い方や、それに基づく要素技術開発を組み合わせて、図 2.1-13 の構成をもつ定型ライン投入システムを開発した。構成したシステムの外観を、図 2.1-14 に示す。

まず認識台の上に積層して置かれた洗濯物は、上部に付けられた全体視覚センサで形状を抽出し、その一番番高い位置が把持位置として決定される。そして、ロボットＡにより取り上げられ、コーナ抽出補助コンベアの上に引きずりながら置かれる。再度、全体視覚センサにより布のコーナ近傍が抽出され、ロボットＡによりつかみ直され、横行スライダのハンドに渡される。スライダは、斜めに布を引き上げる。引き上げ動作により、布は姿勢補正バーに懸かり、布のコーナ部が抽出される。抽出されたコーナ部を、手先視覚センサで位置と姿勢を計測、ロボットによる把持位置と方向を決定する。抽出された布のコーナをロボットＢがたぐり機能付加辺保持ハンドで把持、辺だしを行い、そのまま布たぐり補助装置の上を通過させる。そして、補助装置により布を平行にして、排出コンベアで送り出し、仕上げラインに送る。

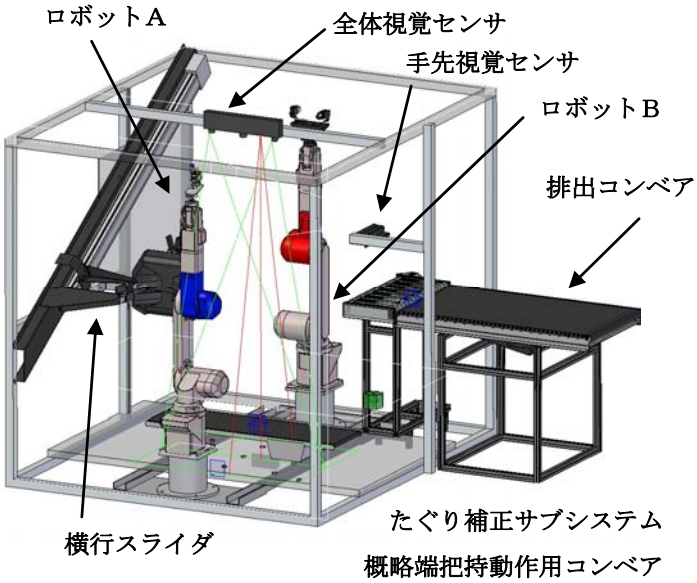


図 2.1-13　定型ライン投入システムの構成

図 2.1-14　定型ライン投入システムの外観

（２）開発結果

本システムについて、投入実験を繰り返して改良、調整を行い、性能を確認、平成 21 年２月末時点で総合投入成功率 65%（千枚あたり）を得た。成功率を構成する要素としては、表 2.1-1 に示すプロセスとして、(a)の１枚の布の取り出し、(b)の概略端点取りだし、(c-1)のコーナー提示、および(c-2)のコーナ把持、がある。この殆どが 98%を超えなければ、目標成功率 90%とはならない。

表 2.1-1　各ステップの成功率

プロセス	成功率
(a)　ピックアップ	９９％
(b)　概略端把持	９８％
(c-1)　コーナー提示	８４％
(c-2)　コーナー把持	９４％

３月末時点での成功率では、前半、後半の工程を分けて、各工程とも千枚あたり前半部で 97%、後半部総合で 78%を達成するまでになっている。主要工程での成功率は表 2.1-1 の通りであり。よって現時点では、総合で 75%以上の成功率を実現出来ているものと考えられる。

２月以降、個別のステップの改良を続け、後半工程の二つの工程を分割し、四つの工程とした。コーナー提示工程において工程分割を行い、概略端を把持し引き出しすハンドリング工程と、引き出されたタオルの概略端部とすその部分を保持してコーナー部を撮像範囲で保持する提示工程に分けたこと、さらにコーナー把持後、コンベア上でタオルの短辺周辺を展開する工程においても工程分割し把持した後、コーナー部の保持装置に受け渡す工程と、受け渡されたコーナー部をコンベア端部で位置を補正しながらスライドし短辺周辺を拡げて展開する工程に分けた。

3)「乱雑に積層された洗濯物ハンドリングシステムの研究開発」の纏め

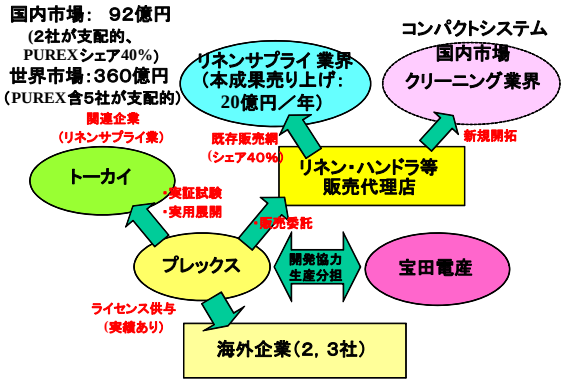
平成 18－20 年度、定型ライン投入システムをターゲットとして開発を進め、システム構成の考え方を纏め、３次元視覚センサーとその認識アルゴリズム、たぐり機能を中心とした布ハンドリングのための柔軟物ハンド、など要素技術を開発した。また、それらを纏めて、実用化に大きく近づいた定型ライン投入システムを構成することができた。

幸い 21－22 年度も、開発を継続できることとなった。定型ライン投入システムについては、実用プロトタイプ機開発まで展開していきたい。また、洗濯物投入分類システムについては、本開発をベースに分類機構を加えて試作を行い、実用化可能な性能を確認したい。

4） 成果の意義

① 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。

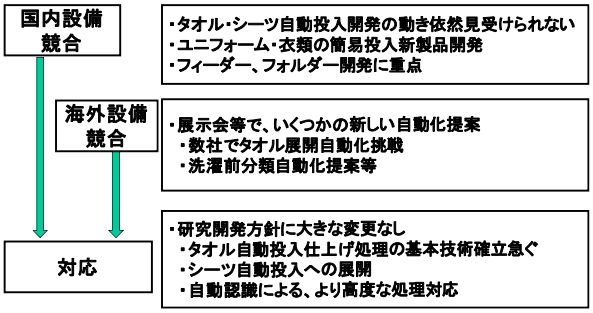
・タオルやシーツの投入機はこれまで市場には無かった製品であり、市場で新製品分野を形成できる。その規模は、国内は言うまでもなく、海外市場においても十分に期待できる。また、本内容を核にクリーニング業界用のハンドリングシステムを開発した場合、毎年の売り上げが期待できる。



② 成果は、世界初或いは世界最高水準か。

・本製品分野の属するリネンハンドリングシステム業界は、国内で 2 社、世界でも 5 社程度の寡占状態であり、その間で技術開発を競っている。

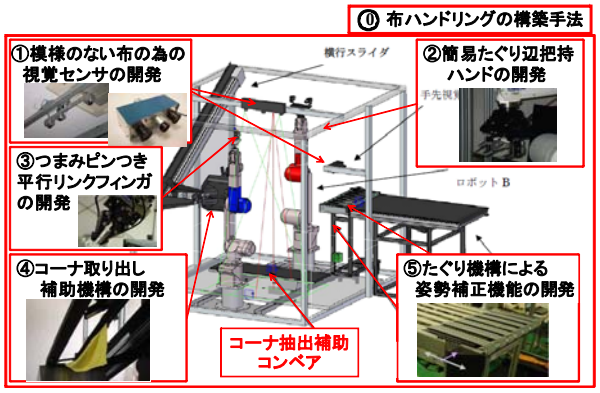
・本開発に類似した製品開発については、国内メーカでの動きは見られない。国際的には、既存自動機をベースにした提案が見られるが、センサ応用やロボット的なアプローチを取っていないため、十分な投入成功率を上げられていない。本開発成果は、センサ応用、ロボット応用の点で世界初であり、計画投入成功率、投入タクトを実現できれば、世界最高水準と言える。



③ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。　そして、

④ 成果は、汎用性があるか。

・本開発の成果概要を右図に示す。個々には視覚センサ、布製品のためのハンド、周辺補助装置の開発など、それだけでも布などの柔軟物ハンドリングの基本的技術と言えるものを開発したが、根本的には布ハンドリングシステムの構築技法に一定の考え方を構築できつつ有ることが最大の成果と考える。現在、考え方を纏め、これまでの開発成果を国内学会（精密工学会、ロボット学会、電気学会）、・国際学会（SICE, IEEE 関連の国際学会）等に発表すべく、論文準備を進めているが、布製品ハンドリング全体に通用する汎用技術として纏めたい。



⑤ 投入された予算に見合った成果が得られているか。

市場規模等は①に述べたとおりであるが、平成20年度までのステージゲートシステム開発により、定型洗濯物ハンドリングシステムについては製品化可能な技術開発が出来た。このため、今後21，22年度の開発で、製品プロトタイプの完成を目指しており、期待通りである。また、混流洗濯物、大型洗濯物ハンドリングについても、視覚センサー、力センサーなどの要素開発が進んであり、定型ライン投入システムをベースに、洗濯ライン投入システムの試作システムを開発する準備が整った。計画当初の期待通りの成果を得ており、予想される売り上げと比較しても、十分な成果と考える。

5） 特許の取得状況

表　　片付け作業用マニピュレーションＲＴシステム

特許の名称	特徴･強み･新規性
３次元形状の計測方法および装置 １件	粗密２種パタン投光とステレオカメラの組合せが特徴。エッジ成分がない対象物を高速に計測、布の端部形状を識別する強みと新規性あり。
ワークの把持方法および装置 １件	傾斜軸を組合せたハンド、把持方法。それとロボットの組合せに特徴。特異点対応、外部センサによるポーズ情報から布の特徴部を把持する新規性と強みあり。
布物の自動展開投入装置 １件	大きさが異なる布物の自動展開装置。混在布物の１台対応に特徴。山積みまたは各工程でセットした布を、カメラの形状情報からハンドが把持または端辺把持して移動し仕上げ機に送ることに新規性と強みあり。

※参考：添付資料用　国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
国内1	2008.05.07	特願2008-121246	３次元形状の計測方法および装置	香川大学（秦 清治）㈱プレックス（北條博崇）
国内2	2008.05.27	特願2008-133697	ワークの把持方法および装置	㈱プレックス（北條博崇）
国内3	2009.05.26	特願2009-126935	布物の自動展開投入装置	㈱プレックス（北條博崇､戸田晃明）

6） 成果の普及

表　　片付け作業用マニピュレーションＲＴシステム

論文等紙上発表(論文誌、学会誌、国際会議)		口頭発表		特許		報道(新聞、雑誌等)
国内	国外	国内	国外	国内	国外	
2	4	0	0	3	0	0

7） 実用化･事業化の見通し

１　事業化シナリオ

１．１　事業の目的と背景

リネンサプライ業向けに新規自動化製品事業を創出する。リネンサプライ業は病院やホテル等に清潔な寝具や衣類をリースして社会基盤の一つを形成するが、本研究開発事業により今後の労働力不足に対応する新製品を提供し社会貢献する。

想定する市場は、主として国内リネンサプライ業向けのリネン投入作業者の苛酷な環境での作業を自動化する分野である。同業界は、事業所数が約四千、従業員数が約十万人の規模で、従業者の多くは大規模洗濯工場での洗濯機や仕上げ機へ布類ワークの投入作業に従事している。投入作業は高温多湿下での作業が嫌われ、特に女性従業者の減少が加速している。図１に示すとおり平成 16～18 年では約 1.2 千人／年のペースで従事者が減少しており、社会基盤としての事業存続へのリスクとなっているため、これを自動化で対応したいという代換需要がある。

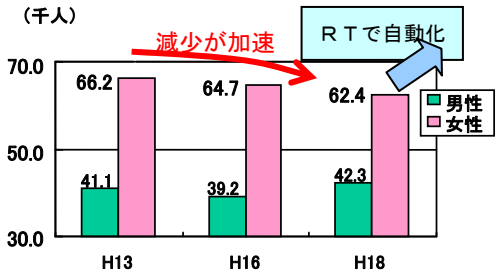


図１　従事者数の推移

データは総務省統計局　新産業分類（平成 19 年 11 月改定）による平成 13 年、16 年、18 年の特別集計の新産業（小分類）別民営事業所数及び男女別従業者数より得た）

１．２　研究開発の内容

本研究開発は対象物が布であり、形状変化に対応するための空間形状認識や多自由度動作制御と強制的に布に変形を与える技術を組み合わせて実用化をしていく。不定形・柔軟変形物のハンドリングに関する強制的に布に変形を与えて整形する技術についてはプレックスの製品に搭載しているが、そのハンドリングの起点になる特徴点の識別やその把持、設備への投入については人手で行うことを前提としていた。本研究開発では、このような人手作業で行っている部分の自動化を図るため、まず実験室で空間形状認識や多自由度動作制御の要素技術を搭載したプロトタイプを完成し、既存の仕上げ投入機製品に接続する。コア機能を完成したうえで大規模な生産現場に設置し実証・評価し新製品化する。

これまでの本研究開発では、３次元画像認識とマニピュレータ技術を組み合わせた柔軟物体操作に関する要素技術と、プレックスの布ハンドリングシステム技術を組み合わせた開発により、洗濯・乾燥機から取り出した状態のタオルの山から１枚を取り出して展開し、仕上げ機に投入する基本ハンドリング技術がプレックスに設置した実証システムで示されている。

今後の実用化はプレックスの製品化プロセスを経て行う。本研究開発提案時の製品候補は、①タオル仕上げ投入機、②シーツ仕上げ投入機・洗濯機分類投入機であった。①タオル仕上げ投入機は、計画通りにこれまで行った研究開発成果の利用と今後の開発見通しにより実用化への道筋が検討できるようになった。新製品化の流れとしては、開発継続によ

りコスト、タクトタイムを含めた中核機能の品質水準をクリアしたタオル投入プロトタイプをプレックスの実験室で平成 22 年に完成する。ここでは作業者や競合設備に対する優位性を示すことが重要であり、アウトプットの枚数や品質、設備自体の品質水準を実験室レベルから実用レベルまで上げていく必要がある。

以上の自動投入ロボットシステムを単体機としてのみで考えるのでなく、既存の自社製品との組み合わせしたときの統一システム化提案等により、さらに競合に対してより競争優位を得るための方法や、メンテ体制や販売方法を決定して製品販売を開始することになる。このようなプロセスを経て競争力のある製品化を行う。

なお、①および②のシステム化には、それぞれ異なる製品化課題があるが、今後は市場の状況や要素技術の変化等に対応しながら適切に優先度を検討し製品化課題を解決していきたい。

１．３　ビジネスモデル

製品事業のビジネスモデルとして、まず製品の販売網については、プレックスはリネンサプライ業者向けに投入されたシーツ、タオル等の自動仕上設備の製造販売が主たる業務であり、代理店経由でユーザーに提供する販売網を持っている。新製品はこの販売網から受注して市場提供したい。メンテナンスはプレックスと技術指導を受けた代理店サービス網で行う。

次に製造体制については、プレックス製品はファブレスで製造している。研究開発参画の宝田電産は部材調達と組立を行い、プレックスが最終検査後、客先に納品している。本研究開発の関連製品も同じ製造体制で実施する。

１．４　波及効果

製品化が進み、製品の生産が増えれば雇用の増加が見込まれる。これまで産業応用が進まなかったサービスロボット技術を、まず大きな生産工場に展開することで、将来、小規模事業者や家庭へのサービスロボット技術の展開にはずみをつける道筋となる。

２．事業化に向けての課題

事業化に向けての課題として最も重要なのは、製品プロトタイプの完成にある。図２に示すように、まずユーザでテストできる品質水準をクリアするプロト機を実験室で完成することである。具体的な製品候補としてあげた下記のシステムではプロトタイプ完成のためにそれぞれ異なる課題がある。

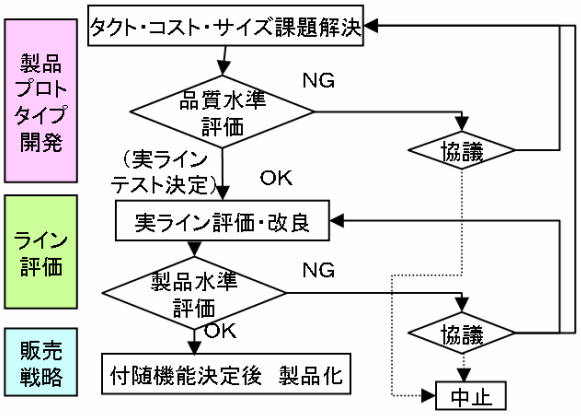


図２　製品化フロー

①タオル仕上げ投入ライン

当初タオルで製品化させるが、実働工場内での実証ラインで評価を得るための機能・性能向上とコスト対応の中核となる品質水準を確保することが第一課題である。ここでは競合設備となる自動投入装置も開発段階のレベルではあるものの展示会等でも出展されてきており、単に人手を代換えするだけでなく、それらに対しても仕上げのアウトプット枚数で優位性を出す必要がでてきている。また人手と同等の生産性確保にはワーク品質の検査機能強化が必要になる。実際の作業者は習熟すれば作業速度が早く、これらの作業をしながら完全とはいえないものの目視検査でシミや破れなどの不良ワークを除外する作業もこなす。また投入バッチごとに異なる客先別アイテムの分類等もこなす。本研究開発の成果では、投入タクト面では人手と同等レベルを目指した課題設定をしており解決する見通しであるが、さらに実用化に向けて、低コスト化、コンパクト化などの課題を解決する。そして検査機能強化課題解決には想定市場に対応するため追加研究開発が必要であり、これまでの研究成果の応用技術、既存の検査技術を用いて対応する。

プレックスのリネンサプライ設備事業に関連する新製品については試作機を同社が属するグループの株式会社トーカイで実ライン評価を受け、製品化課題をクリアすることを確認するプロセスを経て製品化する。また上記と異なる新製品として洗濯物分類投入システムを提案時より考えている。乱雑な洗濯物を確実に取り出して分類するための新たな柔軟物体操作に関する要素技術開発課題と流通管理に関する新技術や客先の経営・生産ラインのコンサルティング・ノウハウの獲得に関する課題がある。

３．事業化スケジュール

３．１　事業化計画

これまでの開発成果から、①のタオル仕上げ投入ラインについては、プロトタイプの改良や、上記に述べた課題のうち検査に関する課題解決の見通しをつけて、実用製品化開発に取りかかる。自動化実証機実ラインのユーザ評価を完了し、製品化する。

４．事業化体制

４．１　参加企業及び事業所

事業化体制（役割分担）は図３のようにプレックスが製造販売の事業主体となる。

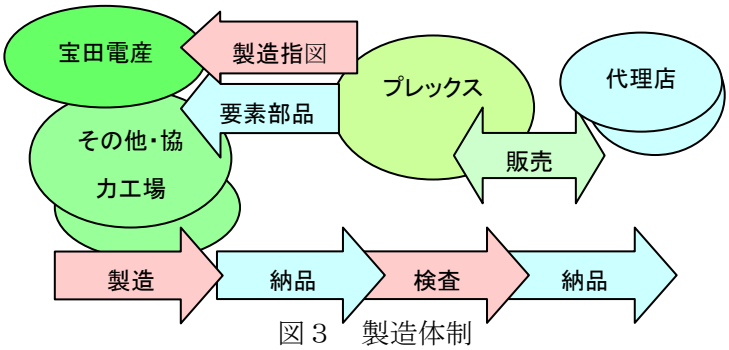


図３　製造体制

４．２　製造予定場所

製造予定場所については、プレックスを中心とする香川県内にある本研究開発の参画企業メンバーとその協力工場で行う。

リネンシステムについては香川県高松市のプレックスが製造する。部材調達や組立についてはプレックスおよび香川県三豊市の宝田電産で行う。センサその他要素部品については、まずリネンシステムに搭載する部品としての視覚センサや単体計測システムとしての視覚センサ、その他要素部品の製造販売については当面プレックスが製作する。

４．３　製造販売体制及びユーザ

リネンシステムについては図３のとおりプレックスが製造販売する。製造指示をプレックス、部品調達や組立については宝田電産を含む協力企業を利用し、プレックスが最終検査を行い代理店経由で最終ユーザである国内リネンサプライ業者に販売する。

販売代理店の候補はプレックスの既存製品の代理店企業である。メンテナンスはプレックスと代理店網で行う。また海外での事業はライセンス契約して展開する。視覚センサその他要素部品は、リネンシステムに搭載する部品としての視覚センサや単体計測システムとしての視覚センサ等要素技術部品の製造販売についてはプレックスが製作する。リネンシステムへの搭載以外での開発者向けのデモキット提供は、ライセンス供与による実施等も一つの方法として考えている。

５．まとめ

これまでに述べたように研究開発成果の産業界における具体的利用の形態については、既存の生産(サービス)工程の一部を代換えするもので明確である。

実用化に向けてのシナリオは平成 23 年度の製品化開始と、その後に続く新製品リリースに向けての基本計画を考えている。

産業技術の見極め（適用可能性の明確化）については、代換えメリットの有無にかかっているが、これまでの開発技術とプレックスの既存技術を組み合わせることで、製品の生産性、設置環境対応が実現可能だと判断しており、意欲を持って開発継続していく。

また当該分野の波及効果（当該分野の研究開発を促進）については、マシンビジョンとマニピュレータ技術と自動化周辺機器との組み合わせ実例ができることにより、適用できる関連分野の裾野が更に広がる。

また関連分野への波及効果としては、柔軟物ハンドリングのポテンシャルは高く、定型物ハンドリングで利用できる技術範囲は広いので、他の業界・分野へ紹介することで成果を拡大できると予測される。それぞれの要素技術についてもリネンサプライ業界以外にも適用可能な分野の開拓により、マーケットニーズに合わせた対応ができる。本事例紹介により、これまで市場が小さいために着手できなかったような部分へもロボット技術者の注意点をひきつけることができ、現場技術者と力を合わせて新たな自動化開発が可能になる。

3.2.1.2 食器洗浄・収納パートナロボットの研究開発

【東北大学、ｾｲｺｰｴﾌﾟｿﾝ(株)、野村ユニソン(株) 、(株)ﾊｰﾓﾆｯｸ･ﾄﾞﾗｲﾌﾞ･ｼｽﾃﾑｽﾞ】

1）研究成果概要

本研究開発では，ファミリーレストラン，ホテル，旅館，結婚式場等のバックヤードでの食器の洗浄・片付けを行う食器洗浄・収納パートナロボットシステムの研究開発を行う．このような現場では，毎日大量の食器を利用するため，それらを洗浄し，所定の場所に片付ける必要がある．こうした作業は，通常，食器洗浄機を利用して行われるが，その前後の作業に多くの人手を必要としているのが現状である．作業手順は、まず，食器に残っている食べ残しなどを廃棄し，食器を分類する．そして，その食器の汚れを簡単に洗い落とし，食器洗浄機のレーンやケースに入れ，食器洗浄機に投入し洗浄を行う．大型ホテルでは，食器の数が非常に多く，その処理を短時間で行う必要があるためコンベアタイプの食器洗浄機を利用する場合が多い．ファミリーレストランなどでは食器の数が比較的少なく，場所の制限もあることからボックスタイプの食器洗浄機を利用している場合が多い．洗浄後の食器は，人手によりレーンやケースから取り出され，収納・乾燥・殺菌等が行われる．

このような食器洗浄・収納の作業は，通常，アルバイトやパートなどを雇用して行われているが，決して楽で楽しい仕事とはいえず，それらの雇用者の急な欠勤への対応など，大きな問題となっている．また，大量の食器を一度に洗浄するので，どうしてもその扱いが雑になる傾向があり，食器の破損も多い．作業者が指等に怪我をしている場合には，食中毒が発生する可能性もあり，衛生面からみた安全性にも気を遣う必要がある．そこで，本研究では，このような食器洗浄・収納作業にロボットシステムを導入することを考え，作業をロボットに代行させ，業務用の食器洗浄機と統合することによって，人間の負担の軽減や作業時間の短縮，食器の破損防止，衛生面の向上，人件費の削減などを実現する．

本研究開発では，病院，介護施設，ホテル，旅館，結婚式場，レストラン等のバックヤードでの食器の洗浄・片付けを行う食器洗浄・収納パートナロボットシステムの研究開発を行うことを目標とする．食器洗浄・収納パートナは「高出力・軽量マニピュレータ」，「グラスピングシステム」，「統合センシングネットワーク」のロボット要素技術から構成される．これらの要素技術を用いた現時点での目標作業は，人間の手によって大まかに分類された食器類を，統合センシングネットワークを利用し認識し，それらの種類や位置・姿勢の情報をマニピュレータシステムおよびグラスピングシステムに伝える．グラスピングシステムはマニピュレータの先端に取り付けられ，食器のハンドリングを行う．ハンドリングされる食器は，食器洗浄機のラックに挿入される．その後，食器洗浄機で洗浄された食器類は，再びマニピュレータシステムおよびグラスピングシステムを用いてハンドリングされ，所定の場所に収納される．また，高出力・軽量マニピュレータ，グラスピングシステム，統合センシングネットワークは，高速ネットワークシステムによって相互に接続され，統合ソフトウエアによって管理される．統合ソフトウエアは，食器のハンドリングを適切に行うためのマニピュレーションスキルデータベースを有しており，統合センシング

ネットワークにて認識された食器の種類によって変化する作業戦略（ハンドリング技術）に基づき，マニピュレータやグラスピングシステムに適切な指令を送信する．また，作業内容をカスタマイズする機能やマニピュレーションスキルを教示する機能などを有するものとする．

本研究では，図 1 に示すように，高出力・軽量マニピュレータおよび側面把持機構に基づくグラスピングシステムを開発した．また，統合センシングネットワークを開発し食器の認識手法を構築した．各システムの動作・相互接続を実現する高速ネットワークシステムを実現するとともに，上記システムを用いて，机に置かれた食器をラックに挿入，ラックに挿入された食器の取り出し，かごへの挿入，ラックのハンドリング等の作業を実現し，食器洗浄・収納に関する一連の動作を連続して行うことに成功した．

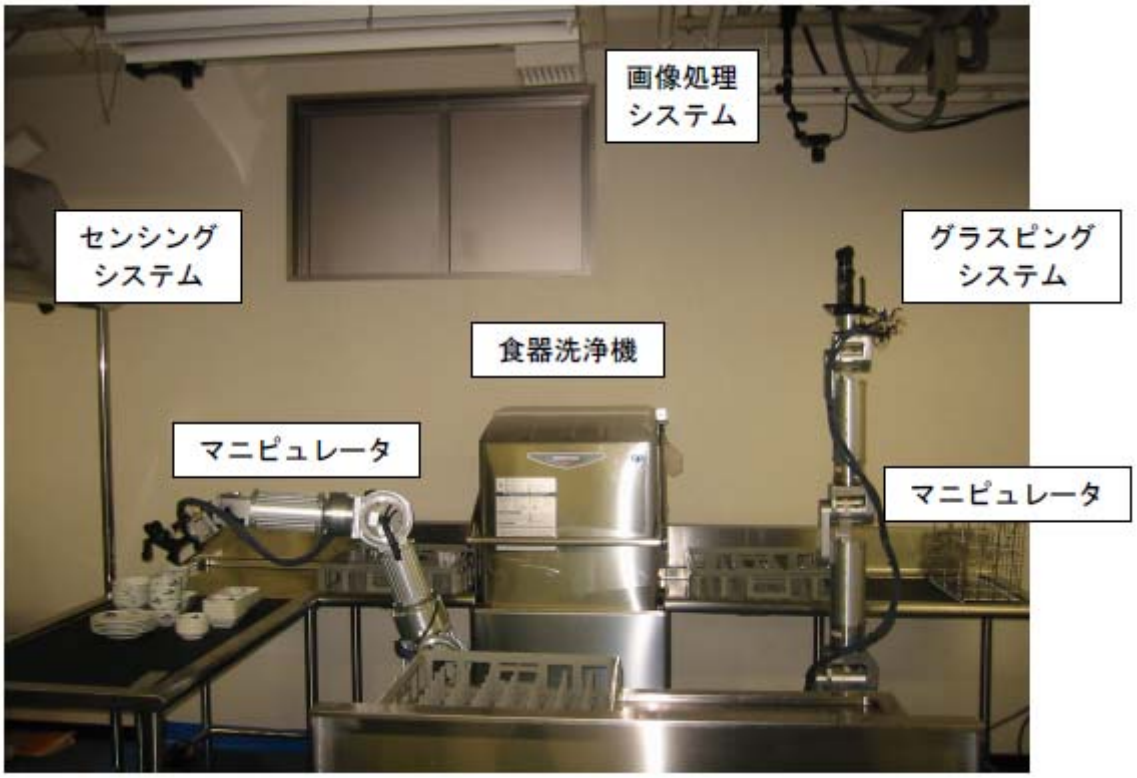


図１　開発された食器洗浄収納パートナロボット

2）目的に照らした達成状況

2)-1　多様な形状を有する対象物のマニピュレーション技術の開発

「システム統合コントローラの開発」

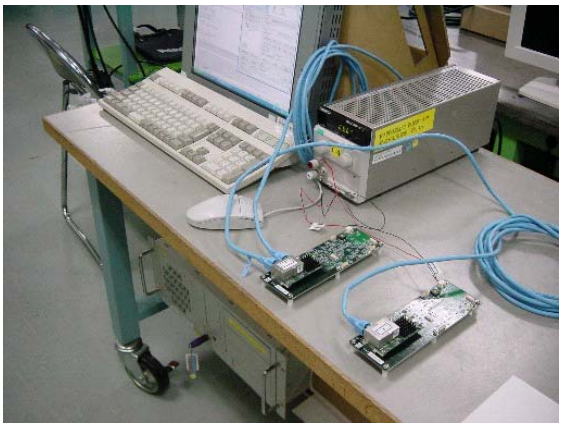
高出力・軽量マニピュレータ，グラスピングシステム，統合センシングネットワークを統合し，効果的に運用するための，統合コントローラおよびソフトウエアの開発を行った．特に図２に示すようなロボットドライバとコントローラとの高速ネットワーク通信の実現および各システムの運用を実現する運動制御ネットワークを構築した．また，食器のマニピュレーションを行うためのスキルデータベースを作成し，実際に図３～図５に示すようなセンシングネットワークとの統合による食器ハンドリング実験を実現した．

技術目標

- 食器マニピュレーションスキル　10 種類以上の対象物
- 食器ハンドリング可能食器数　10 種類程度
- 統合運動制御システムによるロボットの運動制御の実現

<u>統合ソフトウエアの開発</u>

各種要素技術を統合制御するための運動制御ネットワークインタフェース仕様を確立し，実際にロボットの統合運動制御を実現した．統合コントローラでは図３に示すように各ロボットの運動を制御するとともに，図４で示すように食器洗浄機のふたの開閉制御も実現した．



コントローラ（マスター）　　ロボットドライバ（スレーブ）

図２　ロボット統合コントローラ

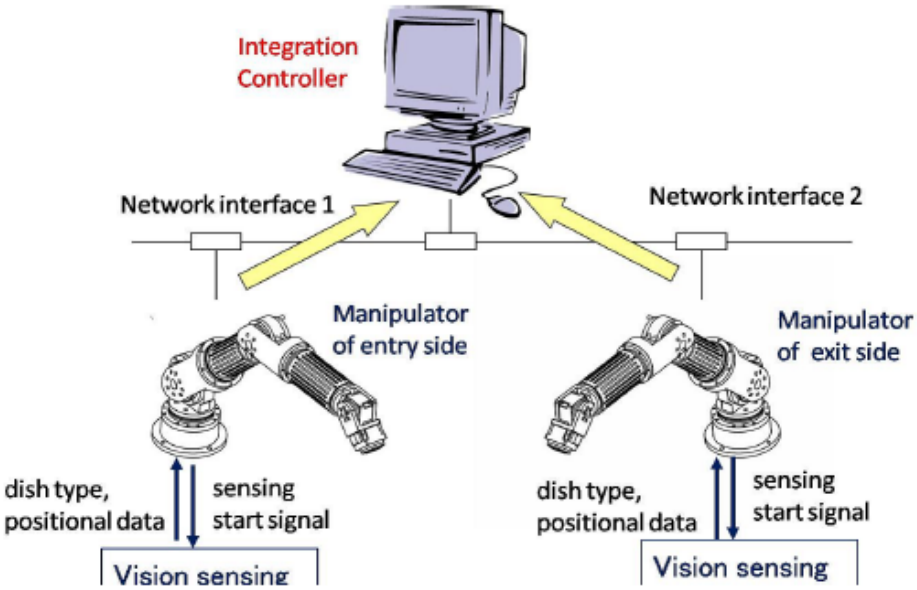


図３　統合コントローラによる各ロボットの制御

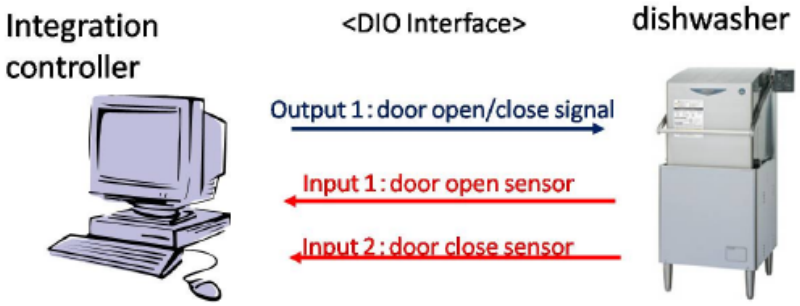


図４　統合コントローラによる食器洗浄機の制御

図５　食器ハンドリングのためのロボット統合制御実験

マニピュレーションスキルの解析ならびにスキルデータベースの構築

人間の物体ハンドリング技術の知見に基づき，新しいロボットハンドの構築を行い，そのロボットハンドにおける食器ハンドリングのための運動制御手法の構築を行った．また，その運動制御手法を複数の食器に適用できるようスキルデータベースを構築した．最終的には 10 種類以上の食器のマニピュレーションスキルをデータベース化し，統合コントローラに格納した．これにより，統合センシングネットワークによって認識された食器の種類に基づいて適切なマニピュレーションスキルをデータベースから抽出し，食器のハンドリングを実現した．図６に例として３種類の食器のマニピュレーションスキルを図示する．

物体ハンドリング技術の開発

積み重ねられた食器を洗浄ラックに収納する作業や，洗浄ラックに収納された食器を食器保管かごに積み上げるためのマニピュレーション技術を構築するために，ロボットハンドとマニピュレータの協調に基づく物体ハンドリング手法の構築を行った．これにより，マニピュレーションスキルデータベースに基づいて食器のハンドリングが可能となり，

実際にマニピュレーションスキルデータベースに格納された 10 種類以上の食器のハンドリングを実現した．また，食器の種類は非常に多岐にわたるが，似た形状同士で分類を行うと，その種類はそれほど多くはない．そのため，10 種類以上の食器のハンドリングが実現した本技術は，多少の形状の差異に関しては，容易に対応ができ，スキルデータベースの数を増やすことにより，非常に多くの種類の食器のハンドリングが可能となる．

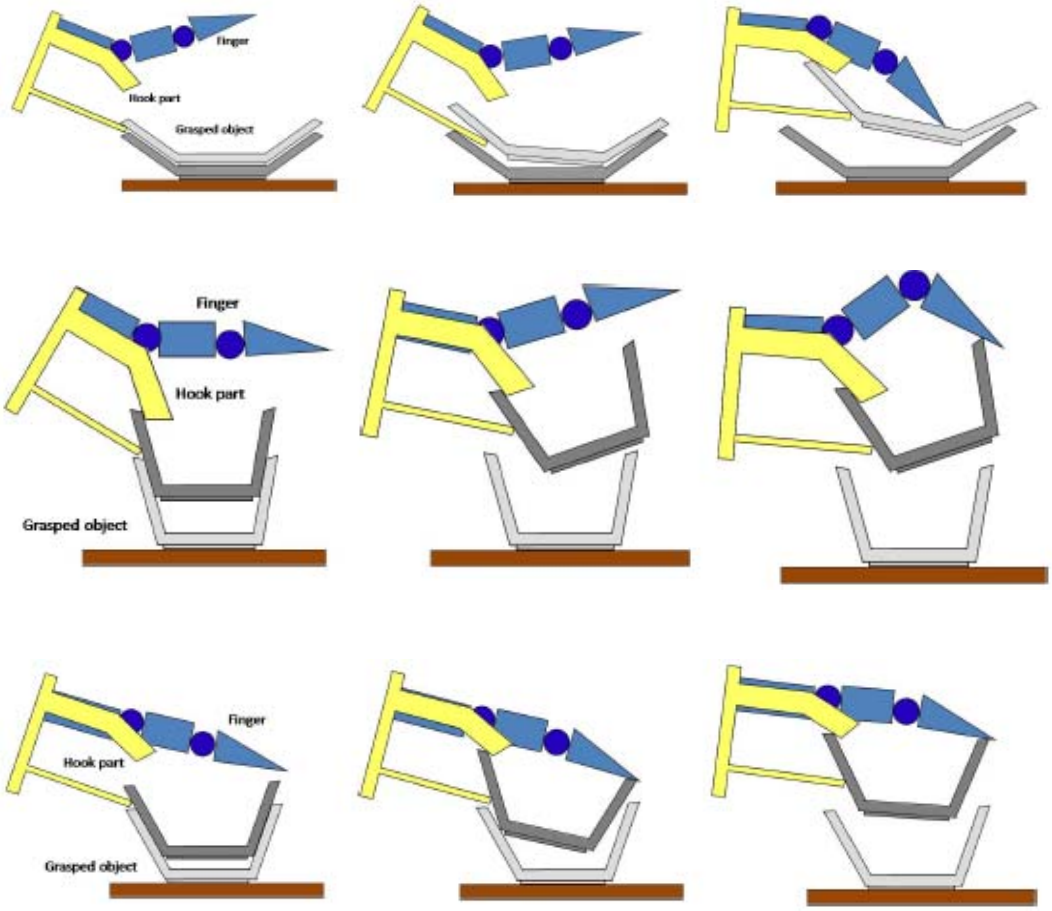


図６　様々な食器のマニピュレーションスキル

その他，食器を食器洗浄ラックに挿入するハンドリング技術の構築やラックから取り出すハンドリング技術，図７に示すような収納かごに挿入するハンドリング技術等の構築を行った．

図７　食器収納かごへの食器の収納タスク

2)-2　対象物の位置姿勢の認識技術の開発

「統合センシングネットワークの開発」

ハンドやマニピュレータで食器を扱うためには，多種多様な対象物を識別するためのセンサを利用した運用システムの開発が必要である．このようなシステムの実現には，IC タグ等を用いた操作対象及び作業環境の構造化が有力視され，多くの研究機関で開発が進められている．しかし，レストランやホテル等での実際の利用を想定した場合，グラスやスプーンを含む食器類すべてに IC タグを取りつけることは，コスト面でも美観の面でも受け入れ難い．そこで本研究では，多種多様な対象物を識別するためにカメラを利用したセンサシステムを開発した．食器の認識には，カメラで取得された画像を用いることにより食器の輪郭を抽出し，図８に示すような食器の種類，位置を検出する手法を開発した．さらに，レーザを用いた光切断法を食器の高さ認識に適用することにより，重ねられた食器の高さを計測する手法を開発した．画像より食器種類を識別し，把持位置をレーザでポイントすることにより 3 次元位置を計測し，TCP サーバとして動作し，マニピュレータ側からの要求に対して計測・応答を行った．また，取出側食器認識システムを開発し，図９に示すようにカメラの情報により，対象食器を認識し，把持部をロボットに送信するシステムを構築した．

技術目標

- 食器認識種類　　10 種類以上
- 認識速度　　0.5sec 以内

<u>対象物認識技術の開発</u>

カメラを用いることにより，食器の輪郭を抽出し，累積ヒストグラム手法を用いることによりテーブルに置かれた食器の種類を認識する基本技術の開発を行った．これにより認識できる食器の種類は 10 種類以上となり，またその認識速度も 0.5 秒以内という目標値を実現した．また，食器洗浄後の食器の位置を認識するカメラシステムも構築し，マニピュレータおよびグラスピングシステムは，そのカメラ情報から得られた食器位置に基づいて，食器のハンドリングを行い，片付け作業を実現した．

<u>対象物の位置・姿勢同定技術の開発</u>

上記のカメラからの画像に加えて，レーザを利用した光切断法を用いることにより，食器の位置・姿勢および高さを検出する手法の構築を行った．高さ情報は特にグラスピングシステムが食器をハンドリングするために非常に重要となる．

<u>作業・収納環境構造化技術の開発</u>

環境の構造化を実現するために，センサシステム用コントローラとロボットシステム用コントローラとの統合制御を実現した．また，ロボットの動作をセンサによって計測することにより，設置環境に依存するセンサシステムのキャリブレーションを適切に行う手法の構築を行った．

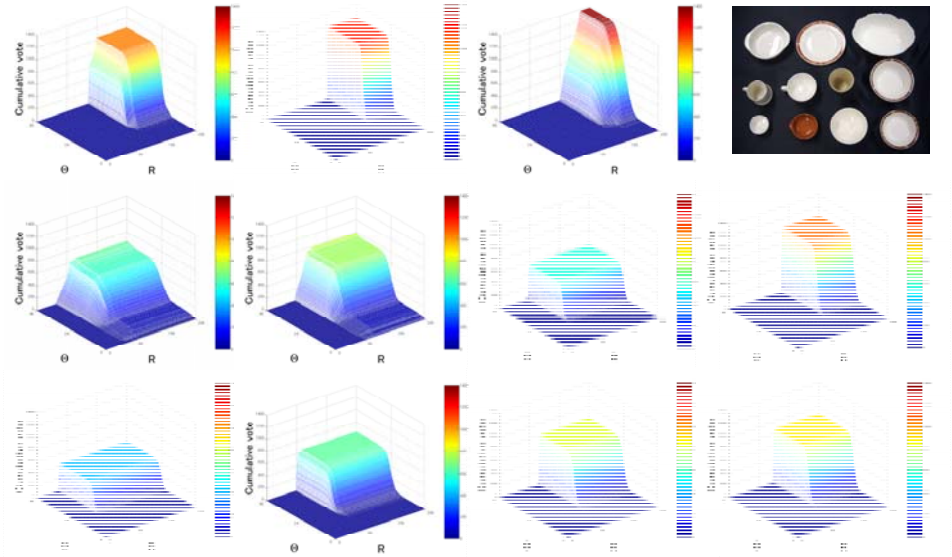


図８　カメラによる食器の特徴量抽出実験

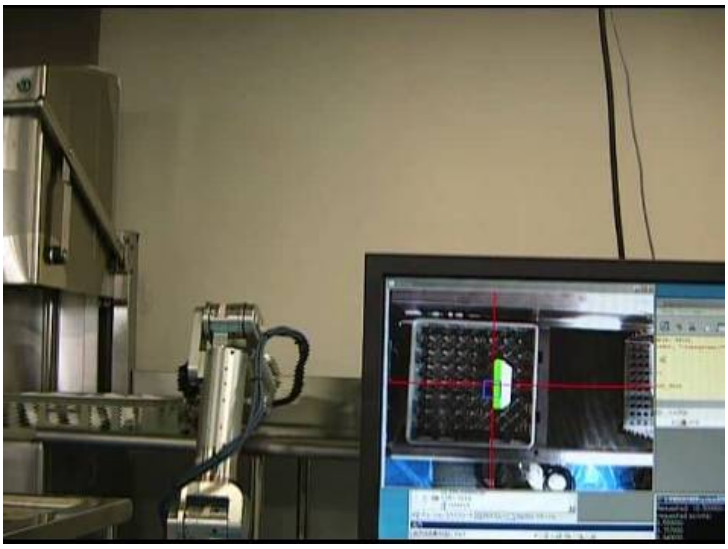


図９　画像情報を用いた食器取り出し実験

2)-3　器用なハンドおよび軽量高剛性マニピュレータの開発

「高出力・軽量マニピュレータシステムの開発」

提案する食器収納パートナは，従来開発されてきた業務用の食器洗浄機との統合を前提としている．そのため，人間が使いやすいように設計された食器洗浄機に対して，ロボットのマニピュレータが適切に動作する必要があり，また多種多様な食器洗浄機が存在するため，それらの形状や仕様に合わせて柔軟に対応する必要がある．そこで，本研究開発では，狭所など姿勢に制約を受ける環境下で作業を適切に実行するため，姿勢に自由度が高く，動作空間の広いマニピュレータの検討を行った．また，食器の重量は様々であり，シンクからの取り出しや，粗洗い等も考慮すると高剛性かつ高出力のマニピュレータが要求される．その他，人間や環境に対する安全性を考慮するとマニピュレータは軽量である必要がある．そこで，要求される剛性や出力を満足しかつ軽量なマニピュレータシステムの研究開発を行った．（図１０）．

技術目標

- マニピュレータ自由度　7
- マニピュレータ稼動範囲　半径90cm以上
- マニピュレータ本体重量　15kg
- マニピュレータ最大可搬重量　10kg
- アクチュエータ重量　既存同等トルク製品の3割以上減
- アクチュエータ最大トルク　既存製品体積比で2倍以上

<u>高出力・軽量アクチュエータユニットの開発</u>

磁気式角度センサを搭載した軽量・高出力アクチュエータを開発するとともに高速シリアルインタフェース搭載型ドライバの開発を行った．アクチュエータ重量は，既存同等トルク製品の 3 割以上減を実現し，また，最大トルクも既存製品体積比で 2 倍以上を実現した．これにより，高出力でかつ軽量のアクチュエータを開発することが可能となった．

<u>高出力・軽量マニピュレータ機構の開発</u>

高出力・軽量アクチュエータをユニット化し，それらを適切に接続することで高出力・軽量マニピュレータを実現した．実際に開発したマニピュレータは，高出力・軽量アクチュエータを 7 個用いた 7 自由度となり，可動範囲も半径 90㎝ 以上を実現した．また，本体重量 15kg に対して，最大可搬重量 10kg を実現し，高出力・軽量マニピュレータの開発に成功した．

「グラスピングシステムの開発」

レストランやホテルで使われる食器は多種多様であり，それらを適切にハンドリングす

るためには，対象物の属性に応じた把持・ハンドリング戦略を実行できる巧緻性を有するロボットハンドが必要である．そこで，小型で軽量かつ高出力のアクチュエータを開発することにより，上記の目標値を満足するハンドを構築した．自由度に関しては，多くの自由度を有するハンドを作ることは技術的には問題ないが，単純に人間の手を模倣し自由度を増やすよりは，各種食器を適切に把持するための多くの自由度を必要としない単純な構造でロバストな把持を実現する新しいハンド構造を提案し，実験および理論的解析によりその有効性を確認した．

技術目標

- ハンド本体重量　2kg程度
- 指関節トルク　1Nm程度
- 指関節最大幅　30ｍｍ以下
- フック構造によるロバスト把持

多指ハンド用アクチュエータユニットの開発

小型で軽量かつ高出力のアクチュエータおよびその駆動用ドライバを開発した．特に指関節トルクが 1Nm 程度となるように設計し，かた，指関節最大幅も 30mm 以下となるアクチュエータを開発した．アクチュエータ重量の軽量化は，ハンド重量自体の軽量化にも貢献し，実際に 2kg 以下のロボットハンドを開発した．

ロボットハンドシステムの開発

各種食器を適切に把持するために，単純な構造かつロバストな把持を実現する新しいハンド構造を提案し，実際にプロトタイプを開発することによりその有効性を確認した．このロボットハンドは図１１に示すように，フック構造を利用している．身の回りのもので側面把持の原理を用いている器具としてオーブンレンジの受け皿の取っ手が挙げられる．これは簡単な機構の取っ手の間に重い物体を引っ掛けることにより物体を拘束する．このような機構をロボットハンドに応用することでパッシブかつシンプルな構造によりロバストな把持を実現できると考えられる．オーブンレンジの取っ手の特徴を応用して設計されたフック構造ハンドは，把持物体に重力が作用してフック部分に引っかかり，接触点での内力と重力が釣り合うことで，シンプルな原理で確実な把持が可能となる．しかし，把持姿勢が変化すると重力によるフックへの引っ掛かりが弱くなり，物体を落下させてしまう恐れがある．そこで本研究では，オーブンレンジの取っ手の特徴を応用してパッシブなフック部分とアクティブな指によって構成されるロボットハンドを開発する．これにより，指による外力を付加することでフックへの引っ掛かりを補償でき，把持姿勢によらず物体を拘束できるようになる．本研究で提案するフック構造ロボットハンドによる把持の特徴は，把持対象に作用する重力方向の大きな力の多くを，フックに引っ掛けて賄うことを基本としながら，追加した指からの外力によって，フックへの引っ掛かりをより強くし把持

の安定性を向上させる．本ロボットハンドは主にパッシブなフック部分への引っ掛かりによって実現され，指による外力は付加的な役割をするため，従来の多指ハンドより必要とする駆動力が少なくなる．

0 次アーム　　1.5 次アーム　　2 次アーム

図１０　開発した 7 自由度マニピュレータ

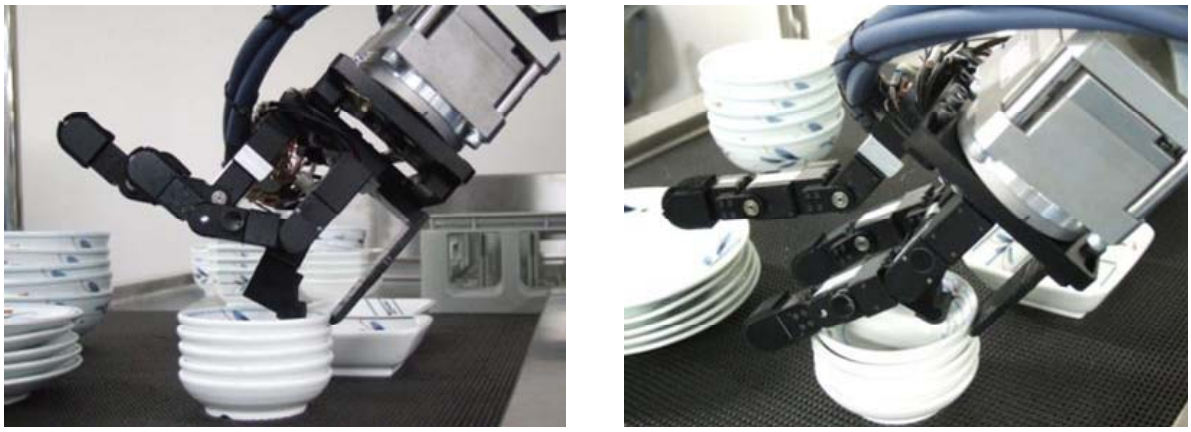


図１１　側面把持に基づいたグラスピングシステム

2)-4　統合化技術の開発

「システムインテグレーション技術」
「水平展開」

バックヤードでのトータルシステムを実現するためには，開発されたシステムを始め既存のシステムとの協調運動制御が必要となる．本プロジェクトにおいては，センシング情報に基づきマニピュレータとグラスピングシステムを統合コントローラを用いて制御し，食器のハンドリングやラックのハンドリングを実現した．また，それらの状況に応じて食器洗浄機のドアの開閉および洗浄作業のタイミングを制御する協調運動制御技術を開発した．また，この技術を応用することで，既存の食器消毒保管庫との連携も可能となり，その運用方法や改良すべき点等を検討した．

開発した技術は様々な分野への水平展開が可能であり，そのためのアクチュエータのユニット化が必要不可欠である．本研究開発では，マニピュレータに要求される剛性や出力を満足しかつ軽量なシステムを開発するために，図１２に示すような高出力かつ軽量のアクチュエータのユニット化を行った．

協調制御技術

食器洗浄機と開発システムの効果的な連携を実現するために，食器洗浄機の改良を行い，各種システムの協調的な統合運動制御を実現した．

食器消毒保管庫システム

開発システムとの連携により食器を適切に収納するための昇降システムを用いた食器消毒保管庫システムの検討を行った．

システムカスタマイズ・アップデート技術

ロボットだけではなく様々なインテリジェントシステムを構築する上で，アクチュエー

タ等のユニット化やカスタマイズの容易性は必要不可欠な技術であり，統合コントローラによる高速ネットワークインタフェースやRTミドルウエア等を含めたシステムカスタマイズ・アップデート技術の検討を行った.

アクチュエータブレーキ技術

アクチュエータの非駆動時にブレーキをかけるメカニズムの開発は必要不可欠であり，特に小型アクチュエータに搭載可能な小型・高出力ブレーキシステムの検討を行った.

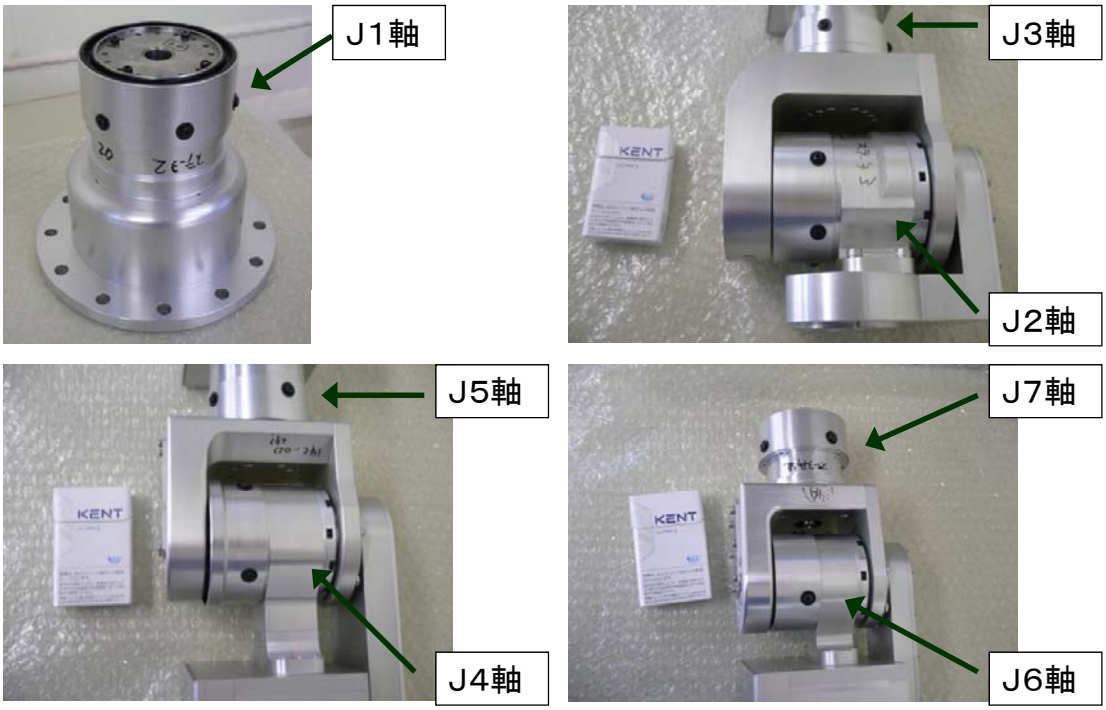


図１２　アクチュエータをユニット化

2)-5　安全性の検討

水・水蒸気環境での使用を想定しマニピュレータへの供給電圧を特別安全低電圧(交流42.4Vまたは直流60.0V)以下で構成することで，異常時でもオペレータを電撃からの保護できる構成とした. また，ロボットに関する各種安全規格を検討し，これらに適合できる非常停止，各種安全関連信号による電源遮断回路を試作機で実装した．その他，ソフトウエアを含めた各種安全規格の適合性評価と，マニピュレータの衝突検出に関する技術や作業者がロボットの作業領域内への侵入を検知する技術について，実際の使用環境を想定しながら検討を行った.

2)-6　実証ロボット（プロトタイプロボット）の開発及び実証実験

積み重ねられた食器をハンドリングし洗浄ラックに投入するマニピュレータおよびセンサシステムと，洗浄後のラックから食器を取り出し食器かごに挿入するマニピュレータおよびセンサシステムの 2 セットを用いることにより，実証システムを構築した．具体的な仕様は下記である．

マニピュレータおよびグラスピングシステム：2 セット
- ７自由度マニピュレータ
- フック構造型グラスピングシステム

センサネットワーク　：2 セット
- 食器位置，高さ，形状認識
- 食器位置，ラック位置認識

統合コントローラ
- システム統合制御
- スキルデータベース

食器洗浄機
- 上記システムとの連携

本実証実験では，人間の手によって大まかに分類された食器類を，統合センシングネットワークを利用し認識し，それらの種類や位置・姿勢の情報をマニピュレータシステムおよびグラスピングシステムに伝えられ，食器のハンドリングが行われた．ハンドリングされる食器は，食器洗浄機のラックに挿入された．その後，食器洗浄機で洗浄された食器類は，再びマニピュレータシステムおよびグラスピングシステムを用いてハンドリングされ，所定の場所に収納された．高出力・軽量マニピュレータ，グラスピングシステム，統合センシングネットワークは，高速ネットワークシステムによって相互に接続され，統合ソフトウエアによって管理された．統合ソフトウエアは，食器のハンドリングを適切に行うためのマニピュレーションスキルデータベースを有しており，統合センシングネットワークにて認識された食器の種類によって変化する作業戦略（ハンドリング技術）に基づき，マニピュレータやグラスピングシステムに適切な指令を送信した．実験の様子を図１３に示す．

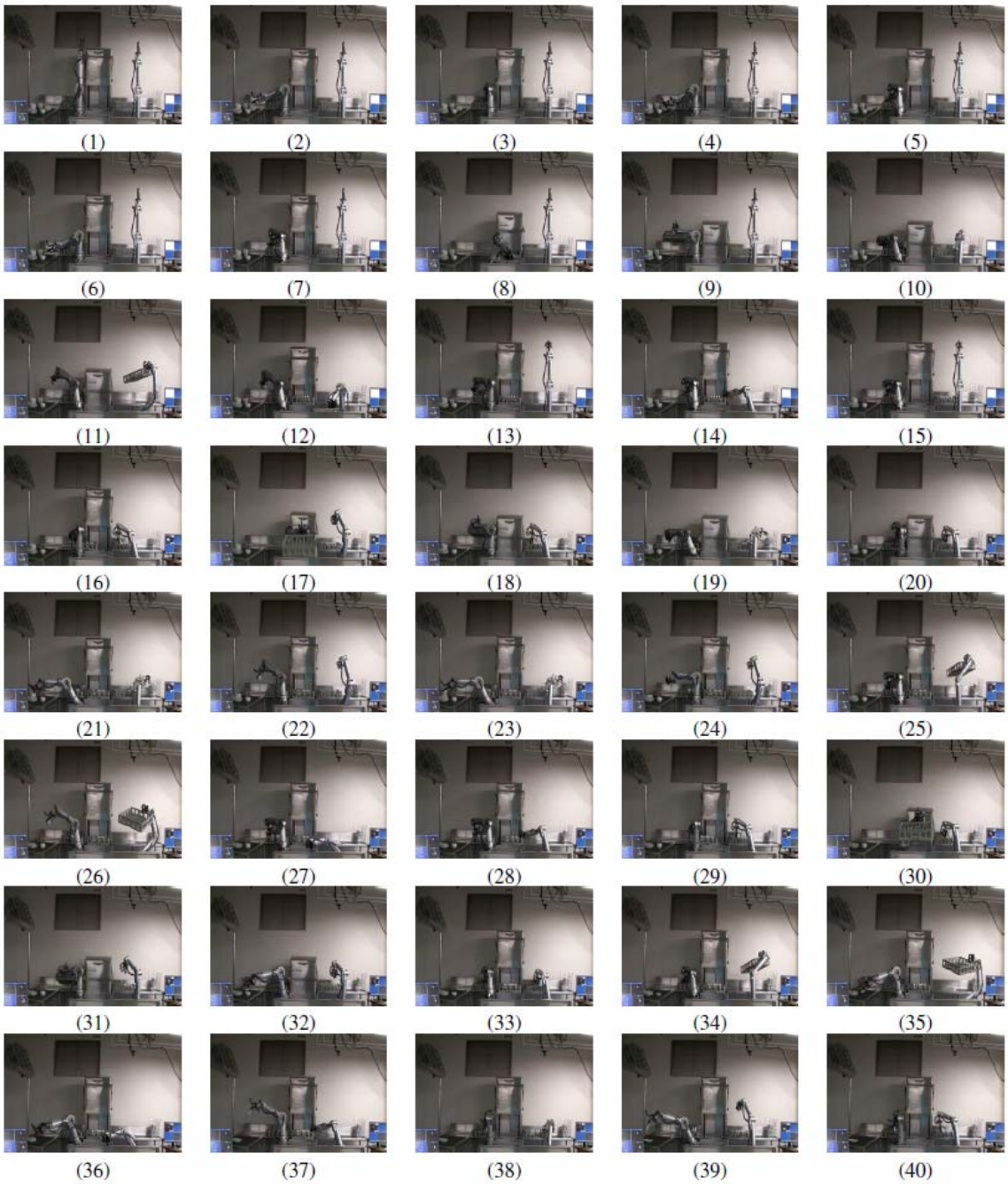


図１３　食器の洗浄・収納実験

3）成果の意義

食器の洗浄および収納作業という仕事は，従来，ほとんど人手によって行われてきた．しかし，非常に大量の食器の片付けを行うためには，水や洗剤を扱う過酷かつ単純な作業を短時間で行う必要があり，労働者の負担は非常に大きい．また，そのような複雑かつ大量の仕事を短時間で行うことから，食器の破損や衛生面の確保も難しいというのが現状である．その他，雇用者が一人でも欠勤をすると，役割分担が崩れ，仕事量が増えるばかりか，効率が格段に低下し，大きな問題となっている．

ここで提案するシステムは複雑な作業のほとんどをロボットに行わせることを目指しており，人間の負担軽減や仕事の効率化，安全性，衛生面の向上，人件費の削減等が期待できる．また，ホテルなどで行われる宴会後の大量の食器の片付けなどにおいては，深夜電力を使った無人食器洗浄・収納を実現できる可能性があり，新しいビジネスモデルが提案できると考えている．

4）特許の取得状況

表１　特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
ロボットハンドおよび板状物品のハンドリング方法　１件	フック構造ハンドを利用したロボットハンドであり，従来の多指ハンドに比べて，物体をロバストに把持することができる．

表２　国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	２００８年９月１０日	ＰＣＴ／ＪＰ２００８／００２４９９	ロボットハンドおよび板状物品のハンドリング方法	小菅一弘，平田泰久，一ノ瀬純也，小山順二，手塚俊一

5）成果の普及

表３　研究発表状況

論文内容	特徴・強み・新規性
ロボットハンド関連　２件	フック構造ハンドを利用したロボットハンドであり，従来の多指ハンドに比べて，物体をロバストに把持することができる．
センサシステム関連　３件	食器の種類や位置を認識する手法を提案している．従来の技術に比べて，高速かつ確実な認識手法を提案している．

表４　国内発表・国外発表

番号	著者	タイトル	講演会名等
1	Kazuhiro Kosuge, Jina Lee, Junya Ichinose, Yasuhisa Hirata	A Novel Grasping Mechanism for Flat-shaped Objects Inspired by Lateral Grasp	Proceedings of the 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics,(2008),282-288
2	李眞娥，一ノ瀬純也，小菅一弘，平田泰久	側面把持に基づく扁平物体の把持メカニズム	第26回日本ロボット学会学術講演会，2008
3	林悠，鏡慎吾，橋本浩一	食器洗浄作業自動化のための画像計測システム	計測自動制御学会東北支部第 249 回研究集会，2009
4	林悠，野村英祐，鏡慎吾，橋本浩一	スリットレーザを用いた画像に基づくガラス食器の認識手法の検討	計測自動制御学会東北支部第 236 回研究集会，2007
5	野村英祐，林悠，鏡慎吾，橋本浩一	画像上の輪郭特徴量を用いた食器認識システム	計測自動制御学会東北支部第 236 回研究集会，2007

表５　プレス発表

特許の名称	特徴・強み・新規性
食器洗浄・収納パートナーの開発 2009 年 3 月 24 日	食器の洗浄から収納までを行う，ここに例を見ないロボットシステムを発表し，デモンストレーションを行った．

6）事業化･実用化の見通し

１．事業化シナリオ

① 食器洗浄・収納パートナロボットシステム：

セイコーエプソン株式会社が統合センシングネットワーク，グラスピングシステム，マニピュレータを制御するためのシステム統合コントローラを開発する.ホシザキ電機株式会社が，システムインテグレータとして，食器洗浄機とこれらのシステムを組み合わせ，食器洗浄・収納パートナロボットを販売する.

② コンポーネント：

関節モジュール（アクチュエータ）およびロボットハンドについては，株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズが製造する．関節モジュールやロボットハンド単体でも販売し，量産効果によるコストダウンを図る.

③ 小型軽量７軸ロボット：

野村ユニソン株式会社とセイコーエプソン株式会社が共同で製造・販売を担当し，汎用ハンドリングロボットとしても販売することにより量産効果によるコストダウンを図る.

１． 事業化に向けての課題

① 食器洗浄・収納パートナロボットシステム：

・人との安全な作業を実現するシステムの構築
・厨房内の水周り作業を可能とする防水仕様の確立
・食器把持のさらなるロバスト化，高速化をはかりラッキング作業並びにかごへの移載作業時間を食器一枚あたり４秒以内に短縮
・より高密度・効率的なラッキング作業の確立
・製造コストの低減

② コンポーネント：

・ハンドモジュールの防水構造の技術確立
・低価格化を実現する機能の絞り込みと仕様の確定
・製造工程の見直しと製造コストの低減

③ 小型軽量７軸ロボット：

・悪環境下での長期間使用に耐えるメンテナンスフリー化
・軽量かつ高剛性かつ低コストな構造部品の開発
・食器洗浄・収納以外の多様なアプリケーションに対して誰もが簡単に利用できるプロ

グラミング

・教示環境の提供

・産業用組み立て作業にも適用できる性能の確保

・人手作業に対抗しうるコストの実現

３．事業化体制

① 食器洗浄・収納パートナロボットシステム：

販売・システムインテグレーション：ホシザキ電機株式会社

製造：野村ユニソン株式会社／セイコーエプソン株式会社／ホシザキ電機株式会社

② コンポーネント：

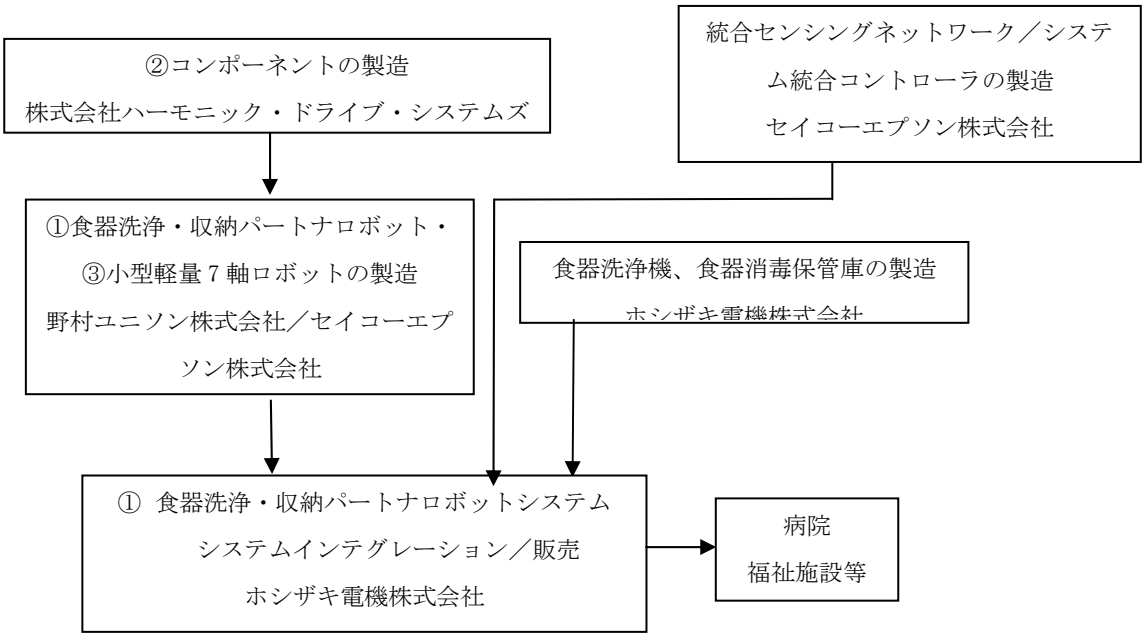
アクチュエータ/関節モジュール/ロボットハンド製造・販売：

株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ

③ 小型軽量７軸ロボット：

統合コントローラ/統合センシングネットワークの製造・販売：セイコーエプソン株式会社

７軸ロボット製造・販売：野村ユニソン株式会社／セイコーエプソン株式会社



４．　収支計画

①　食器洗浄・収納パートナロボットシステム：

収支計画策定に関する根拠		
①	想定顧客・市場	当初想定顧客は 100 床規模の病院及び福祉施設. 作業形態が定型化しやすく，厨房スペースも比較的広く導入が容易.
②	潜在的なニーズ	１００床程度の病院及び福祉施設関連，１０数施設への作業時間とその作業人員数を調査し，当システムによる省力効果を算出し，それに基づく価格設定を行い，ニーズの妥当性はあると判断する.
③	市場規模と根拠	厚生労働省，平成 13 年調査の医療施設（動態）調査・病院報告の概況における病床の規模別にみた施設数は約 9000 事業所．そのうち施設数を病床規模別にみると，病院は「50～99 床」が 2,418 施設（病院数の 26.2%）である.
④	競合状況	外国人労働者による安価な労働力提供による人手作業.
⑤	製品・サービスの提供体制	野村ユニソン株式会社／セイコーエプソン株式会社にて製造した収納パートナロボットをホシザキ電機製品に組み合わせ，ホシザキ電機グループ内の販売会社を通じ販売，メンテナンス，サポート等を行う.
⑥	価格、コスト	RT システム分の販売価格８８０万円
⑦	コスト構造分析、損益分岐分析	年間７台以上の販売が損益分岐点となる.
⑧	売上、利益計画	２年目１５台販売を計画し，8.7（百万円）の利益を予定する.
⑨	想定リスク	100 床規模の病院の経営悪化や医者不足による入院休止病院の増加し，市場規模が小さくなる.

各項目の根拠、考え方		
①	売価単価	RT システム分の販売価格８８０万円.
②	販売数量	初年度６台，２年目１５台，３年目３０台
③	直接材料費	RT システム分に関する直接材料費は３０８万円
④	直接労務費	1.5 人月のシステム設計、設置工事立会い調整含め１４０万円
⑤	その他経費	見込まない.
⑥	販売･管理費	年間３０（百万円）
⑦	成果物原価率	２９％
⑧	その他利益	見込まない.

コンポーネント：

収支計画策定に関する根拠		
①	想定顧客・市場	プロジェクトメンバー向け販売（平成２６年：３５００台）及び当社アクチュエータの既存市場であるＦＰＤ製造装置，半導体製造装置，ロボット関連分野（平成２６年：７００台）.
②	潜在的なニーズ	・プロジェクトメンバー向けについては，収納パートナロボットを主アプリケーションとした７軸ロボット. ・アクチュエータの既存市場の置き換え需要及び新たな分野を潜在的なニーズと考える.
③	市場規模と根拠	・プロジェクトのターゲット市場についてはメンバーの収支計画参照. ・アクチュエータに関して，弊社の実績でも年間３０億円３万台程度の規模があり，弊社減速機単体であればその１０倍以上の市場規模が存在する.
④	競合状況	モジュールに関しては，現在市場にあるアクチュエータ，モータ＋ギアヘッドが基本的な競合品と考える.
⑤	製品・サービスの提供体制	モジュールに関しては，アクチュエータとほぼ同等の製品として扱えると考えており，現行のサービス体制で対応可能.
⑥	価格、コスト	プロジェクトメンバーに対しては売価として，１軸７万円，一般顧客には １軸１０万円を想定.
⑦	コスト構造分析、損益分岐分析	上記価格でのモジュール販売を前提とした場合，最低でも２０００台／年 程度の数量確保が損益の分岐と予測する．また，ドライバ部は一式購入の形になる為，直接材料費の構成率が比較的高くなる.
⑧	売上、利益計画	平成２４年度より販売を開始．プロジェクトメンバー向けの販売とその ２０％程度の台数を既存市場に販売する.
⑨	想定リスク	プロジェクトメンバーの市場開拓が思うように進まない場合，製造台数が確保できずコスト改善が予定通り進まない.

各項目の根拠、考え方		
①	売価単価	プロジェクトメンバー向け：１軸７万円 一般顧客向け：１軸１０万円
②	販売数量	２４年度：４２０台 ２５年度：１６８０台 ２６年度：４２００台
③	直接材料費	製造原価の約７０％として計上.
④	直接労務費	主に組立てと検査業務を中心想定し，２．５時間程度，時間単価５０００円として計上.
⑤	その他経費	製造に関わる管理費分として製造費の１０％程度を計上.
⑥	販売･管理費	売価の３０％程度として計上.
⑦	成果物原価率	当社の製造範囲は従来品と異なる仕様の為１００％とする.
⑧	その他利益	見込まない.

小型軽量7軸ロボット：

収支計画策定に関する根拠		
①	想定顧客・市場	● バックヤード向け サービスロボット分野 プロジェクトで想定する食器 洗浄・収納パートナロボットシステム適用分野のほか，リテール・物流関連業界のバックヤード業務を自動化 ● 産業用組立作業ロボット分野 電気・電子業界を中心とした精密組立作業を自動化
②	潜在的なニーズ	● バックヤード業務： いわゆる3K業務として，人材確保が困難になりつつある． また，ニーズ多様化に適合するため，製品の最終加工を販売現場の近くで実施したいニーズがある．自動化を行うためには設置面積を小さくするニーズがある． ● 組立作業： 世界的な労務費高騰を背景に，従来手作業に頼っていた組立作業を自動化したいニーズがある．
③	市場規模と根拠	● プロジェクトのターゲット市場：メンバーの収支計画参照． ● その他サービスロボット分野：未知数，食器 洗浄・収納パートナロボット分野での実績をベースに顧客を獲得する． ● 組立作業分野：現在小型組立ロボット市場は全世界で1,000億円程度と見込まれ継続して成長しており，平成 24 年度でその 10%程度を見込む．
④	競合状況	最大の競合は作業者である． 一方，7 軸多関節ロボットは既存ロボットメーカ各社が取り組んでおり，競合状況は厳しくなると予測，個別アプリケーションへの適用がポイントとなる．
⑤	製品・サービスの提供体制	● 組立作業ロボット分野： セイコーエプソンの現行ロボット販売・サービス体制および野村ユニソンのシステム販売・体制を活用． ● サービスロボット分野： 上記体制を基盤に両社で新たな体制を構築する．
⑥	価格、コスト	ロボット単体として販売価格 250 万円とし，現状の小型組立ロボットと比較し，妥当な価格を設定する．なお、変動比率は初年度63%から開始し,3年目には53%実現する．
⑦	コスト構造分析、損益分岐分析	サービス作業および組立作業両分野へ共通のロボットを適用することで，生産台数を拡大する．また，生産合理化を進めることで直接材料加工費と直接労務費のコストリダクションを進める．
⑧	売上、利益計画	平成24年度より販売を開始し，平成26年度には年間500台，12.5億円の売上を達成し，収益がプラスに転じる．

⑨	想定リスク	労務費高騰が想定より進まずに、3K 作業においても労働力確保が容易となる．また，ロボット競合各社との間で価格競争が激化し，収益性が悪化する．

各項目の根拠、考え方		
①	売価単価	1 台 250 万円
②	販売数量	24 年度：50 台 25 年度：200 台 25 年度：500 台
③	直接材料費	24 年度：149 万円/台 25 年度：139 万円/台 材料加工費削減 26 年度：129 万円/台 材料加工費削減
④	直接労務費	24 年度：8 万円/台 組立および検査 25 年度：6 万円/台 組立および検査合理化 26 年度：4 万円/台 組立および検査合理化
⑤	その他経費	製造管理費として変動費の 30%を計上
⑥	販売・管理費	売上金額の 30%を計上
⑦	成果物原価率	当社の製造範囲は従来品と異なる仕様の為 100%とする．
⑧	その他利益	見込まない．

５．　波及効果

ここで提案するシステムは複雑な作業のほとんどをロボットに行わせることを目指しており，人間の負担軽減や仕事の効率化，安全性，衛生面の向上，人件費の削減等が期待できる．また，ホテルなどで行われる宴会後の大量の食器の片付けなどにおいては，深夜電力を使った無人食器洗浄・収納を実現できる可能性があり，新しいビジネスモデルが提案できると考えている．その他，使用施設にあわせてカスタマイズ機能を実現することにより，大小問わず多くの店舗に導入が可能になると考え，病院や介護施設，ホテル業界への波及効果は非常に大きく，かつ，将来的にレストランや一般家庭内でも導入することができれば，社会全体への波及効果は極めて大きいと考えられる．その他，このような複雑な作業を効率的に行うことが可能となれば，食器の洗浄・収納に限らず，たとえば産業用の部品の洗浄，医療器具の洗浄等にも展開していくことが可能である．

3.2.2 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

3.2.2.1 快適生活支援 RT システムの開発　【実施者:早稲田大学】

1）研究概要

高齢者と生活空間を共有して，その快適な生活を支援するロボットに必要となる技術を，特にロボットのコミュニケーション技術と住宅のロボット化の観点から検討することが本研究開発の目的である。具体的には，室内生活環境において、年齢、性別などユーザの個人的な状況に応じた対話を行うと同時に、RFID タグ、環境地図などの環境情報構造化と整備状況の程度に応じた適切な自律作業によりユーザ支援を行うサービスＲＴシステムの基盤的要素技術の研究とその成果を実証するためのプロトタイプシステムの試作を行った。以下に主な要素技術研究とプロトタイプシステムの概要を述べる。

（１）適応的コミュニケーション技術

声質と顔から相手の性別、年齢層などを推定し、相手に合わせた語彙と発話様式による会話の実現を行う。さらに，同時に開発する顔表情の生成機能や，ジェスチャの機能と連携して，自然な対話を実現する。

（２）集中マイクロホンによる音響処理技術

ロボット頭部に実装可能な，高精度の音源分離性能を持つマイクロホンを実現する。ロボット側頭部に 4 系統の MEMS 応用の指向性マイクを配置方式を対象として，実環境においてハンズフリー対話を可能とする信号処理方式を検討した。

（３）新しいメディアとしてのロボットの表情生成技術

対話の促進、感性的な意味の伝達などに加え，ロボットの体内の異常等、内部状態の表示メディアとしての顔表情生成機能を有する顔ロボットを開発し、ジェスチャの表出機能と併せて人間との豊かなインタラクションを実現する。そのために、顔ハードウェアの持つべき機能分析とそれに基づいた基本設計を行い，さらに 2 足歩行系に搭載可能な形状・重量を満たすプロトタイプの開発を行った。

（４）全方位からの人物認証と行動記録技術

ロボットが室内で行動することを想定し，そこで相手にする人間の人数の識別を行い，その行動を記録蓄積する技術を開発する。そのために，後頭部画像から個人識別がどの程度可能であるかを検討したまた，複数のカメラからの室内画像情報を融合して、室内の人物、ロボットの行動軌跡を 3 次元的に捉えアーカイブする手法を検討した。

（５）環境情報構造化技術

GPS や RFID タグ等の環境センサ群を利用した室内外・屋内外の人やロボットをシームレスに測位するシステム、および移動型作業ロボットや RT 家具等のハウス内 RT モジュールの情報統合を実現する技術を開発した。ロボットに搭載可能な受信機と信号処理ソフトウエアを開発し、測位精度の検討を行った。また、RFID を床に敷設し、タグ情報のみによるロボットナビゲーションの手法を開発するとともに、屋内 GPS との共用によるロボット制御の高度化を検討した。

（６）インテグレーション技術

各要素技術のインテグレーションによりサービスを実現するＲＴプラットフォームを組み上

げる中で、これを運用してサービスを生成のための一種のオペレーティングシステムを製作した。特に、サービスの作業分解に基づいたシナリオタイプのインテグレーションと条件と結果の集積による分散モジュールタイプのインテグレーションの混合を検討し、そのための情報共有を可能にするミドルウエア MONEA を改良し、プロトタイプシステムに実装した。

（７）プロトタイプシステムの開発

上述の基盤技術を組み込み，ステージゲートでのデモを念頭に、高齢者対応コミュニケーションに関するシナリオに基づいて、３機のプロトタイプシステムを完成させた。具体的なシナリオとしては、集団リクリエーションの場を想定し、(a)介護施設での受付における来場者の健康状態に関する対話を行うロボット、(b)問題数と対話制御の様式を追加的に増加できる難読漢字ゲームのアシスタントを行うロボット、および(c)簡単な身体運動の教示を解説しながら行う２足歩行ロボットを開発し、老人介護施設などでの実証実験を行った。

2)成果詳細

(1) 研究開発の成果

開発要素技術毎の当初計画の目標と成果は以下の通りである。

〔1〕適応的コミュニケーション技術

目標：年齢層の推定技術と、年齢層および心的状態に応じた会話制御法を開発する。

成果：顔画像処理により、性別識別９７％、年齢層推定（男性７０％、女性５９％)、人物認証８４％、心的状態（肯定／否定、快／不快）推定で８５％程度の成功率を達成し、その結果による会話制御を実現した。

〔2〕集中マイクロホンによる音響処理技術

目標：音響フォーカスにより１m程度の距離からのハンズフリー音声認識を可能とする。

成果：ロボット頭部に搭載可能なサイズのマイクロホンアレイにより、側方からの雑音下で、実音声文単位認識率７０％、タスク達成率８１％を実現した。

〔3〕新しいメディアとしてのロボットの表情生成技術

目標：顔面および身体ジェスチャによる基本５感情の表出の実現。

成果：比較的少ない自由度で表情表出可能なロボット頭部を設計・製作し、ヒューマノイド型ロボットに搭載して、怒り、幸福、驚き、恐れ、悲しみ、嫌悪、困惑の７表情について、平均７５％の認知度を実現した。

〔4〕全方位からの人物認証と行動記録技術

目標：後頭部の画像特徴抽出に基づく個人識別法の確立と複数カメラによる３次元環境認識法の確立。

成果：後頭部の画像特徴を抽出することにより、４０人について後方からの認識率８０％、４台のカメラにより３次元実時間行動記録を実現した。

〔5〕環境情報構造化技術

目標：ロボット搭載用室内 GPS 技術の確立と RFID タグによるロボット制御法の実現。

成果：屋内用測位演算で誤差数 cm を実現するとともにロボット搭載可能な小型化を実現した。

また、床に敷設したRFIDタグを用いてロボットの自律走行に成功した。

〔6〕インテグレーション技術

目標：ソフトおよびハードのモジュールを統合するフレームワークの実現

成果：メッセージ指向型ネットワークロボットアーキテクチャを通信ミドルウエアMONEAとして開発し、プロトタイプロボットの情報処理系に搭載した。

〔7〕プロトタイプシステム

目標：高齢者施設での使用を想定したロボットの開発

成果：3種類の人間型ロボットのプロトタイプを製作し、それぞれ、高齢者施設での受付、リクリエーションゲーム、体操教示を行う実証実験をいくつかの実環境で実施した。

以下に、基本計画の開発要求技術項目に沿って、成果の概要と詳細を述べる。

①さまざまな年齢層に適応した、会話を主体としたコミュニケーション技術

・頭部に設置した4系統のマイクロホン入力および自発話棄却用の1系統のライン入力によって，指向性雑音，拡散性雑音，自発話，ロボットの機械音の除去機能を実現した。この機能によって，1.5m程度ロボットから離れた場所からハンズフリーで会話をすることができる。

・会話によく見られる断片的な発話（一息で文を発話せず，途中で区切りながら話す発話）に対応する認識器を実現した。

・声・顔に表れるニュアンスを読み取る機能を実現した。認識結果に応じて，場に適応した会話を進めることができる。

・画像処理に基づく個人認識機能，性別・年齢の認識機能を開発し，これをロボットに組み込んだ。個人認証の結果に応じて，個人認識で未知人物と判定された場合には性別・年齢の結果に応じて，話す内容を選定して会話を進めることができる。

・人間の顔を瞬時に検出し，視線を向ける機能を実現した。顔が視野にないときも，手を振る動作で，および，声による呼びかけで，ロボットの視線を引き付ける機能を持たせた。

・会話中の顔画像データ，音声データを収集・蓄積し，これを基に認識用のモデルを適応させて精度を向上させる枠組みを実装した。

技術内容は以下の通りである。

(1) ハンズフリー音声認識

ロボット向け会話音声認識用に、小型正方形マイクロホンアレイを開発した。これに1系統のライン入力を加えて、ロボット頭頂部に設置することで、指向性雑音、拡散性雑音、ロボットの動作音、ロボットの発話の棄却能力に優れた音声入力系を実現している（図1）。

指向性雑音抑圧は、複数の指向特性を4つのマイクロホンで作成し、その出力の大小比較による帯域選択により実現する。これは、時間周波数空間で音がスパースである（ある周波数帯の音は、ある時間には特定の方向からしか到来しない）という仮定を設けることで、小型アレイで簡素に音源分離を行うものである。

ロボット正面を0度として、右回りに角度を正にとるものとし、ロボット頭部に4つの正方形マイクロホンを頂点がそれぞれ0度、±90度、180度の方向を向く用に設置し、0度方向（発話者方向）

に死角を向けたカージオイド（A)、180 度方向に死角を向けたカージオイド（B)、 0 度と 180 度に死角を向けた 8 の字（C）と±90 度に死角を向けた 8 の字（D）の 4 つの指向特性を作る。A より B が優位であり、かつ C より D が優位な周波数帯域は、－45 度から 45 度の方向から到来する音と考えることができる。よってこの帯域を D の出力から選択すれば、高い指向性を実現できる。このマイクロホンアレイは、ロボット頭頂部から見て下方向に死角を形成する。このためロボットの動作音を集音しにくい。また、ロボットの発話音声をライン入力で入力し、このレベルが高い帯域を除去する処理を行うことで、自発話の棄却を行う。このことにより、ロボットが発話の最中でも、会話相手の発話を受け付けることができる。

拡散性雑音の抑圧は、同様の 4 系統マイクロホンを利用したコヒーレンス計算によって雑音成分を推定することで実現した。指向性の音（目的音）はコヒーレンスが高く、拡散性の音（雑音）はコヒーレンスが低いことを利用して集音した音における雑音成分を推定するが、通常マイクロホンの設置間隔が小さいとき、低域において拡散性の音のコヒーレンスも高くなってしまい、雑音成分の推定精度が落ちる)。本方式では、4 系統マイクロホンによって、異なる指向性を作り、これらの出力間でコヒーレンスを求める。こうすると、低域のコヒーレンスを抑えることができ、雑音成分の推定精度を向上させることができる。

本方式を、ロボット静止、識別対象音声はスピーカから流す、SN 0dB という条件で、2 万単語の連続音声認識実験によって評価したところ、無処理やサイドローブキャンセラではほぼ 0%、時間周波数マスキングでは 40%であった単語認識精度を 80%にまで改善することができた。また、ロボットを実際に動作させながら、人が直接話すという条件で行った実験では、1100 語で構成される約 28 万文を表現する正規文法での認識を行って、70%の発話理解率(文単位の認識率)、タスク達成率(一連の対話を通じて、被験者が伝達項目を正しく伝えられた割合)で 81%を確認した。

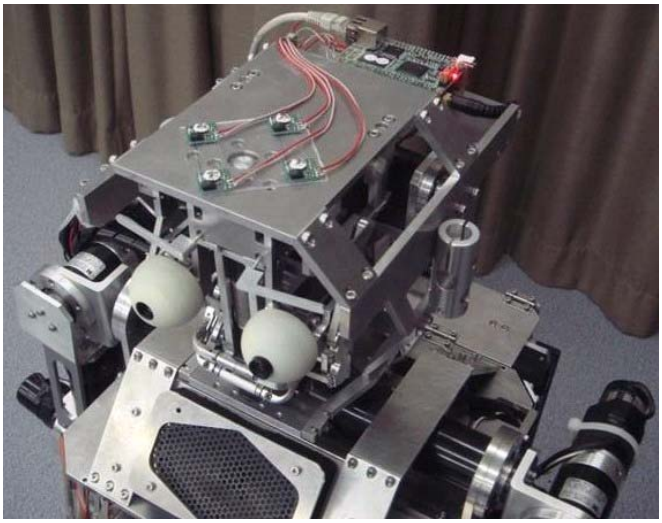


図１　マイクロホンアレイの実装状況

(2) 断片的な発話の理解

会話において会話相手は、常に一文を淀みなく発話するわけではなく、とぎれとぎれに発話することがある。通常の音声認識においては、文の探索は発話の区切りを単位として行われるため、これら断片的な発話（それだけでは通常の意味での文にはならない発話）を扱うためには、発話断片を形式

的に文として登録する必要があった。しかし、これら小断片は受理すべき文集合のパープレキシティを増加させ、認識率を著しく低下させる。小断片は、周囲の単語列と合わせて文の一部分として認識すると比較的認識しやすいが、単独で認識することは困難である。 そこで、文の探索を発話の区切りで終了させず、再び発話が入力されたときには、以前の文探索の中間状態を引き続き用いて文探索を継続することができる音声認識のアルゴリズムを開発した。新たな文に対応する発話なのか、以前の文の継続なのかは、両方の仮説に基づいて探索が行われ、尤もらしい方の出力が結果として採用されることとなる。

このアルゴリズムの採用により、従来技術ではほとんど扱うことができなかった断片的な発話を受理することが可能になり、対話の自然性は格段に向上した。また、誤って促音部分で発話を区切るなど、発話区間の切り出しミスにも柔軟に対応することができるようになった。

(3) パラ言語（発話のニュアンスなど）の理解

会話においては、発話に含まれる言語情報の他にも発話のニュアンスなどさまざまな情報が音声・表情などで伝えられ、コミュニケーションの円滑化に役立っている。 ここでは、韻律から、肯定／否定、および受理（相槌）／非受理（聞き返し）、表情から、快状態（笑顔）を検出する機能を実装した。

韻律については、音声認識と並行して基本周期の抽出を行い、抑揚のダイナミックレンジ、声の高さ、最終モーラの引き延ばしの有無などを特徴量として、発話毎にその発話が肯定的な態度で発話されたか、否定的な態度で発話されたかを認識したり、相槌であったか、聞き返しであったかを認識したりできる。現状で、ロボットに組み込んだシステムの評価はできていないが、接話マイクでの収録音を用いた評価実験の結果では肯定／否定で 89%、相槌／聞き返しで 88%の認識率を得た。

表情については、 まず AAM(Active Appearance Model）を用いて顔部品位置を詳細に抽出した上で顔形状を正規化する。このとき得られる正規化された Appearance の特徴と GMM（Gaussian Mixture Model）を用いて、笑顔であったか平常顔であったかを認識する。これにより、1000 枚の顔画像に対する認識実験で 85%の認識率を得た。

(4) 会話相手に応じた内容による会話の進行

相手が誰かに応じて、発話の内容を選んで会話をすることは様々な意味で重要である。伝えるべき情報や聞き出すべき情報が個人によって異なることは容易に想像できる。また、伝え方についても相手に応じて変更することが望まれる。このことから、顔画像による個人認証機能を実現した。表情認識と同様に AAM を用いて顔画像を抽出し、顔向きを正規化した上で Appearance の特徴と GMM を用いて尤度の算出を行う。また、目の周囲の領域を切り出して、目の領域の画像でも尤度計算を行い、これらを Dempster & Shafer の基本確率に変換し、結合して判定を行う。本方式の特徴は、他に音声など様々な特徴での尤度計算の結果を容易に判定に組み込めること、およびそのときの棄却の閾値を自動的に決定できることである。本手法の基本的な考え方はプロジェクト以前に考案したものであるが、本プロジェクトにおいては、特徴量の再検討を行ったうえで、ロボットに対する移植を行った。現状では、既知人物の認識率（既知人物の入力に対し、それが誰かを正しく判定できた割合）84%、未知人物の正答率（未知人物の入力に対し、ただしく未知人物と判定できた割合）78%を実現した。

また、並行して性別・年齢層を認識し、個人認証で未知人物と判定した場合にはこの結果を用いて発話内容を決める。例えば、男性で高齢者と判断した場合には、「おじいちゃん」と呼びかけたり、高齢者向けの内容を選んで話したりすることができる。年齢層認識は、AAM を用いて顔画像を抽出した後、Appearance 特徴量を CDLPP(Class Distance-weighted Locality Preserving Projection）と呼ぶ手法で座標変換し、GMM で認識することで実現している。CDLPP は、年齢クラスの近さに応じた重みを付きの分散を最大化する座標変換を求めるもので、結果として変換後の座標空間上でデータが年齢順に並ぶ性質を持つ。ロボットに組み込む前の実験では、15000 枚の画像を用いた実験で、男性で 70%、女性で 59%の年齢層認識率（50%の人間が許容できる年齢誤りに収まる確率）を実現した。また、性別の認識については、97%の認識率を得た。

(5) 視線制御

会話において、視線は、コミュニケーションのチャネルを確立するとともに、会話のターンの制御を行う重要な役割を演じる。このためには、人物の検出機能と、対話状態に応じた適切な視線制御機能とが必要である。まず、人物の検出は主に顔画像の検出によって行う。Viola・Jones のアルゴリズムによって大まかな顔位置の候補を選出し、AAM を用いて顔位置を詳細に定めた上で、顔／非顔の判定を行う。顔が視野に含まれないときは、手振り、声などでロボットを呼ぶことができる。ロボットには、オプティカルフローを基に細かな手振り動作を認識する機能を持たせてあり、これを検出すると、視線をその方向に向けることができる。ロボットには、音源の定位機能も持たせてあり、呼ばれた方向を向くことができる。このような機能を用いて、人の顔が視野に含まれないときも呼ばれた方向に顔を動かし、顔を視野に入れることができる。

一度顔を検出すると、原則として顔位置に視線を向けこれを追従する。このことは、ロボットが視線を向けた人と会話をする意思があることを表す行為として重要である。しかしながら、発話最中に会話相手を見つめてばかりいることは必ずしも自然ではない。このため、発話行動と関連させて、ときに視線を外しながら話し、発話終了時にターンを渡す相手に視線を向けるなどの行動をとらせることとした。

(6) 会話で取得した音声・画像データを次回の会話における精度向上に役立てる

上記コミュニケーション技術は、音声認識、画像認識等パターン認識技術で構成されている。パターン認識において、その性能を決める要素として最も重要なもののひとつとしてデータがある。実環境におけるシステム運用時のデータを収集して、認識用モデルの改良に役立てることが望まれる。

このため、顔データに関しては会話時のデータをサーバにアップし、これを基に個人認識用顔モデルを更新し、ロボットに戻す仕組みを実現し、運用している。また、音声データについては、会話時の音声データをサーバに転送・蓄積し、収集したデータの解析に基づいて修正した認識器をサーバから再配信するより汎用的な仕組みを作った。

②物理空間行動を伴うヒューマンロボットインタラクション技術

・コミュニケーションに伴うインタラクションとしてロボット特有の３次元的な運動による情動表出

を検討し、新しいメディアとしてのロボットの表情生成技術を確立した。
・首より下は保有技術である WABIAN-2 と同型で、首より上には現有の WE-4RII の頭部を元に新たに開発した頭部モジュールを搭載した情動表出 2 足歩行ロボット KOBIAN を開発した。
・ステレオ視と表情表出が可能な頭部により、若年者および高齢者を対象に表情認識率調査を行ない有効性の確認を行った。
・さらに，表情と全身の運動を組み合わせての感情表現を行ない、顔表情単体と比較して感情認識率の向上が３０％以上になることを確認した。
技術内容は以下の通りである。

（１）情動表出ロボットの製作
情動表出 2 足歩行ヒューマノイドロボット KOBIAN(図２)を開発した。KOBIAN は、検討した要求を満たすために、すでに開発してある WABIAN-2 と WE-4 をベースに設計された。このとき、2 足歩行ロボットの制約により、頭部を中心に大幅に自由度削減を行なった。また、KOBIAN の移動機構を車輪に置き換えた HABIAN（図３）も同様の仕様で製作した。
KOBIAN の頭部については、WABIAN-2 をベースに開発された身体に搭載可能なように、WE-4 の頭部をベースに軽量化、小型化、省自由度化を行なったものである。 省自由度化による表情認知度の低下を全身のジェスチャで補えるかが検討課題であった。

（２）情動表出評価
KOBIAN の表情表出が人間にどのような印象を抱かせるかについて評価実験を行なった。評価実験項目は次の通りである。
1.KOBIAN の表情認識率の測定
2.KOBIAN と WE-4 の比較
3.ロボットの表情に対する年齢・国籍による違い
以下の 3 つの被験者グループがこの実験に参加した.
A)127 名の日本人若年者（平均 23.0 歳，SD 2.82）
B)17 名の日本人高齢者（平均 68.0 歳，SD 12.8）
C)28 名のイタリア人（平均 30.8 歳，SD 9.62）
まず、被験者に、WE-4 の表情表出写真 7 枚（1 枚が Neutral 表情，6 枚が感情表出）と、KOBIAN の表情表出写真 17 枚（1 枚が Neutral 表情，16 枚が感情表出）を提示した。それぞれの感情表出写真は Neutral 表情写真と一緒に提示され, 被験者は感情表出写真がどのような感情を表出していると思うか、選択肢（怒り，喜び，驚き，嫌悪，悲しみ，恐れ，困惑，その他）から選んで回答させた。感情表出写真提示の順番は，被験者ごとにランダムとした。この実験は，グループ A とグループ C に対しては Web アプリケーションを用いたアンケートによって，グループ B に対しては A4 の紙を用いたアンケートによって行なわれた。なお，KOBIAN の顔外装は WE-4 と似たものを用いた。
アンケートにより得られた表情認識率を求めて比較した高齢者グループについての結果を検討した結果、全体として KOBIAN の表情認識率は WE-4 に比べて低下したが、これは自由度が 22 から 7 に減少していることに起因すると考えられる。ただし、嫌悪と困惑についてはどのグループでも WE-4

に比べて増加した。また、高齢者に対する表情認識率は WE-4 と KOBIAN 両方で若年者に比べて低下したことから、高齢者相手の情動表出にはより強調した表現が有効であると推察される。さらに、イタリア人については、KOBIAN の喜びが低く、また、恐れが高くなった。さらに詳細な調査が必要ではあるが、ロボットへの表情認識についての文化間での差異が示唆される。

次に、全身のジェスチャを併せての情動表出実験を行ったところ、怒り、幸福、驚き、恐れ、悲しみ、嫌悪、困惑の７表情について、平均７５％の認知度を実現。身体ジェスチャ付加による認知度向上が３３％であった。

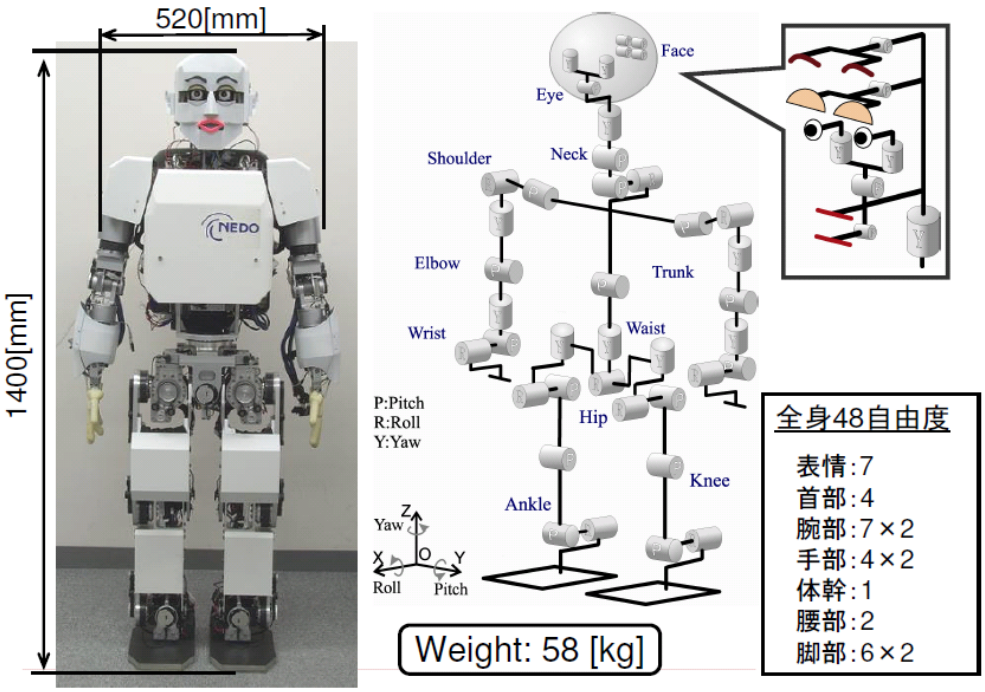


図２　KOBIAN の概要

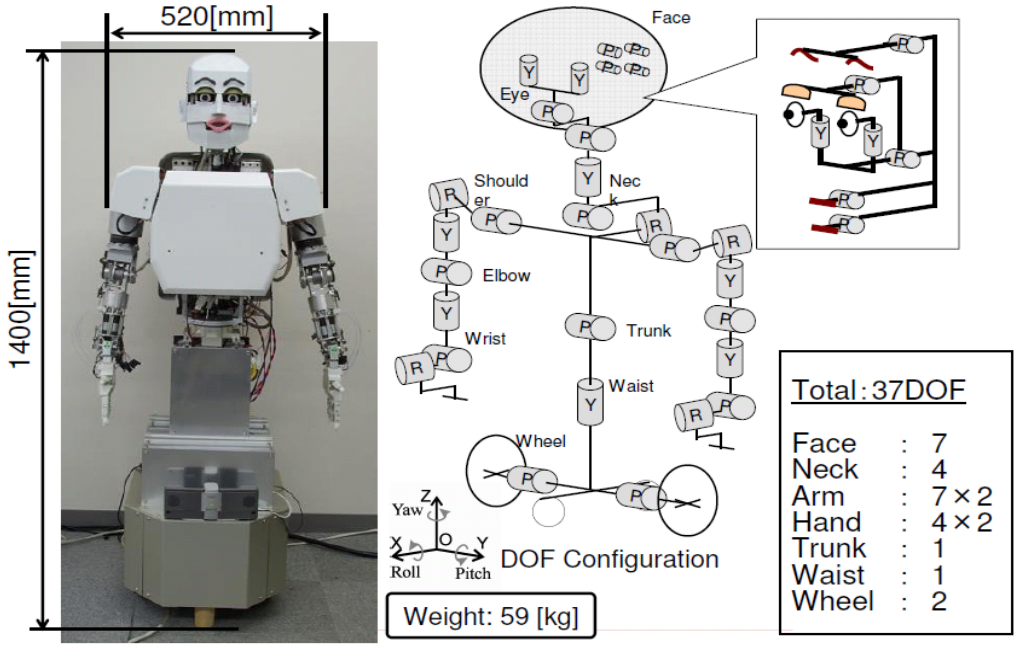


図３　HABIAN の概要

③室内における、人、物、コトの関係性を知識化する空間構造化技術
・最も難しいといわれる後頭部の画像特徴からの人物認証について８０％の精度を実現した。
・室内の４隅に配置したカメラ画像を統合して、室内の人物およびロボットの３次元的な行動を記録するシステムが完成した。これにより人、ロボットの位置と運動を全方位から把握し、室内のモデル情報と併せて、それらの関係と出来事のアーカイブを可能とする見通しが得られた。
・屋外 GPS とシームレスに使用可能な室内 GPS システム用のソフトウエアとハードウエアを開発し、屋内用測位演算で誤差数 cm を実現した。
・空間構造化のために床面に格子状に配置した RFID タグにより、ロボットの位置と姿勢を推定するとともに、室内家具類の識別が行える環境を構築し、新しい方式によるロボットの自律移動を実現した。
技術内容は以下の通りである。

（１）　全方位からの人物認証
ロボットが我々の生活において身近な存在となるためには、能動的に人間を識別する技術は不可欠である。従来の顔画像による識別では、正面顔のみでしか識別ができないといった問題があるため、人間を様々な方向から識別できる技術が求められる。特に、ロボットが人間に従って行動する場合は後姿を見る場合が多い。そこで、人間の後頭部に着目し、後頭部が個人識別において有効な特徴と成りえるかどうかを検討した。

まず、後頭部には形状、頭髪の分布や流れに特徴があると考え、円形度、領域面積比、エッジ方向比の 3 種類の特徴量で合計 15 次元の特徴ベクトルを抽出する。 これらの特徴量の個人識別における有効性を確認する実験を HOIP のデータベースに含まれる 40 人の後頭部画像 を用いて行った。入力画像には、データベース画像に含まれる人物の異なる画像を用い、データベース画像と入力画像の特徴ベクトルの相違度を計算する。相違度は 2 つのベクトルのユークリッド距離の二乗を用いた。計算された相違度を基に、40 人の画像に対して入力画像本人の個人識別を行った。入力画像パターンは後正面、右に 15°、左に 30°の画像とした。後正面については、画像サイズが 3/4(240 × 180pixel)、 1/2(160 × 120pixel) のものも入力画像とした。

表 1 に各入力画像パターンにおける本人の画像と他 39 名の相違度の平均と本人の画像における相違度の最大値、最小値を示す。表 2 に各入力画像パターンにおける個人識別率を示す。個人識別率は入力画像総数に対して入力画像とデータベース画像の特徴ベクトルの相違度が本人で最小になった割合である。

表 1: 相違度の比較

入力画像	平均相違度（本人）	平均相違度（他人）	最大値	最小値
正面	0.0142	0.1805	0.0313	0.0025
左 15°	0.0200	0.1850	0.0415	0.0077
右 30°	0.0355	0.1940	0.0759	0.0085
3/4	0.0183	0.1764	0.0502	0.0041
1/2	0.0256	0.1834	0.0740	0.0042

表 2: 個人識別率

入力画像	個人識別率 (%)
正面	92.5 %
左 15°	80.0 %
右 30°	57.5 %
3/4	75.0 %
1/2	67.5 %

いずれの入力画像パターンにおいても本人と他 39 名の相違度の平均に有意な差が見られた。角度に関しては、15° の場合では、後正面と比較して、各特徴量に大きな変化が現れないために良好な結果が得られているが、30° になると後頭部の形状が正面と比較して大きく変化するために、識別率が大きく下がった。特徴量が規格化されているため、画像のサイズによる影響が少ないと考えられるが、1/2 に縮小された画像では、エッジなどの情報が少なくなるため、相違度の値も大きくなり、識別精度が下がった。また、最大値と最小値の差が非常に大きいことから、個人に依存することが分かる。全入力画像パターンにおいて相違度が本人で最小になったのは 18 人であった。

次に、ロボットへの実装を念頭に、ノイズや光の変化が生じる、動画像における特徴量の有効性を検討した。USB カメラによって撮影した連続画像を用いて、1 枚目の画像と 2 枚目から 150 枚目までの画像との相違度計算した。その結果、本人の平均相違度は 0.0232 となり、特徴量はノイズや光の影響にも強いことが分かった。また、本人の場合と他人の場合でも相違度に大きな差が生じるため、閾値により後頭部を識別しながら人物を追跡することが可能であることが確認できた。

（2）ロボットおよび人の行動を記録するための複数カメラによる環境認識

床面に RFIC タグを設置した部屋の 4 隅に設置したカメラセンサ群を統括し、集中管理を行うシステムを構築した。システムはネットワークからの参照用画像の保存サーバおよび無圧縮画像の処理サーバの 2 系統からなる。保存サーバ用には Windows SERVER Standard2003 R2 を搭載し、JEPG エンコーダつき 4 台キャプチャカード Picolo Jet-X により、パーティション毎の 4 台の映像を JPEG 画像として圧縮・保存を行った（図 4）。

視体積交差法を用いることで、ロボットの周囲に存在するものを 3 次元空間で推定することが可能になる。視体積交差法では、まず複数のカメラ画像と事前に取得した背景画像との差分によりシルエット画像を得て、カメラ位置の関係に基づいて視体積の交差を投票により求めることで投票空間に 3 次元的なボクセルの検出ができる。このとき、室内を想定した投票空間の各ボクセル位置と対応する画像の画素を事前に求めておくことで、多重投票および回避チェックにかかる計算コストを減らすこと

ができる。

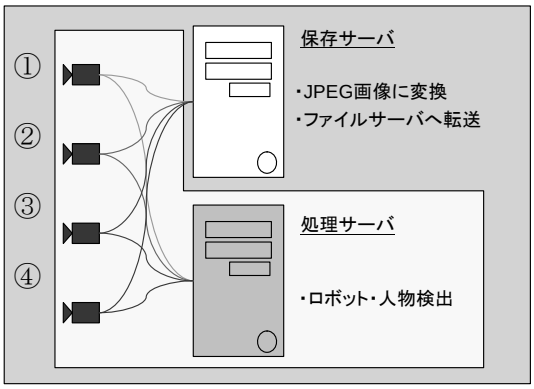


図４　映像集中管理システムの構成

セキュリティを目的とする場合、空間全体を監視する必要がある。しかし、ロボット自身が活動するための情報収集を目的とする場合は、近辺環境を詳細に検出することが重要であるが、遠方の情報は粗いもので構わないと考えられる。そこで、検出した RFID タグの位置を中心として、ロボットの大きさおよび移動速度に合わせた投票空間を構築する。

提案手法によりロボットの周囲環境の検出実験を行った。建物自体の設備構造（柱や什器など）は環境インフラ（カメラや RFID タグなど）同様、システム側で既知とし検出対象としないこととし、4 枚のシルエット画像から各ボクセルに対応する座標の濃度計算を行い、視体積交差法による検出を行い、ボクセル空間（サイズ 120×1200×40：分解能 5cm）とした場合の結果、ロボットから遠方の人間も検出可能であることが判った。このとき、処理速度は 220～250msec 程度であった。

（３）　環境情報構造化のための室内 GSP「スードライト」の開発

スードライト（Pseudolite）は擬似衛星と呼ばれるもので、GPS（Global Positioning System）衛星と同種の信号を伝送する装置である。GPS 信号の十分な受信が困難であるビル陰や屋内において、GPS を補完する目的で使われることが多いが、ロボット用には精度向上、屋内外でのシームレス接続、小型化などの課題が残っている。

まず、測位衛星技術（株）と協力してこれまでに開発した屋内型測位演算ソフト iPOS により、屋内でのロボットのリアルタイム測位を実現することができた。しかし屋内で多発するサイクルスリップの問題により継続的な測位が困難な状況であった。そこで、線形予測系を導入することで、移動追尾の不連続点（サイクルスリップによる推測誤り）の低減を可能とした。GPS の測位の原理は送信機と受信機の各々の距離を計算し、それらを用いて幾何学的に受信機の位置を算出するが、送・受信機の距離は、一般にはコード測位と呼ばれる方法で電波信号の到達時刻を用いて逆算されるものである。しかし屋内型 GPS ではコード測位では十分な解像度が得られず、搬送波自体の位相（波数）から得られる距離を求める方法が有効である。今回の計測では、搬送波位相は、NordNav から出力される搬送波位相を使用した。リアルタイム室内測位ソフト iPOS は、実環境において移動ロボットの測位を可能とした。しかし、iPOS を使用する際、ロボットの最初の位置を手動で入力しなくてはならないという初期位置問題があった。また iPOS は単独測位系でありモデルルーム内との通信を全く

行っていなかったため、センサ統合による測位性能評価が行えなかった。これらを改善するため、独自の測位演算ソフト nPOS を開発した。nPOS はホームサーバと無線通信することが可能であり、これにより RFID タグとの通信により初期値およびサイクルスリップ後の補正値を与えることが可能となった。モデルルームで実験により、nPOS が iPOS とほぼ同様の位置精度をもつことを検証すると同時に、IFID タグとの連携した測位が可能であることを確認した。

iPOS および nPOS により屋内における GPS 受信系のソフトウェアや計測法の確立はほぼ達成された。ただし 2 足歩行ロボットへの搭載、あるいは測位センサとして製品化を考えた場合、これらの受信機のサイズが大きすぎるという点や、システムの設定・利便性が煩雑であるという点が問題として残っていた。これらを解決するため、まず小型で開発の容易にできる小型受信機 Super Star II(図５)の内部ソフトウェア（オープンソース）をスードライト用・屋内 GPS に対応させた。また測位演算部はノート PC で処理するのではなく、Linux ベース小型端末である Armadillo に実装した。Armadillo は通信パケットも装備しており、nPOS 同様ホームサーバとの通信が可能である。実験の結果、ロボットの移動追尾が実現できることが確認できた。

図５　Super Star II

(4) RFID タグによるロボットの自律移動

自律移動ロボットのナビゲーションには自己位置や姿勢の推定が不可欠である。従来研究としてはデットレコニングやランドマークに基づいた手法が一般的であるが、これらは外部環境による影響や誤差の蓄積、そして膨大な情報量などの問題がある。ここでは、外部環境の影響に対して頑健に環境情報を取得することが可能な RFID(Radio Frequency Identification)を用いて、ユーザが指定した目的地までナビゲーション可能な自律移動ロボットを試作した。RFID では自己位置はわかるがロボットの姿勢はわからないため、過去の位置データにより姿勢を推定するアルゴリズムを検討した。

使用した現有の自律移動ロボットはロボットの駆動部、RFID システム、制御用 PC の３つの部分より構成される。駆動部は RFID システムから得られた情報に応じて、前進運動(約 80cm/sec)及び回転運動を行う。RFID システムはリーダ機、アンテナ、ISO15693 準拠の IC タグから構成されている。自律移動ロボットは、シリアル無線通信で床に敷かれた IC タグを読み取り、自己位置と姿勢をリアルタイムで算出し目的地へ移動する。このとき、ロボットは、現在の位置と姿勢を知る必要がある。IC タグからはその敷設位置の 2 次元座標 のみが取得できるため、ロボットは過去の通過位置と自身の運動データから、姿勢を推定するアルゴリズムを検討した。つまり、進行後にそれまでの姿勢を算出するのである。この移動と姿勢推定を繰り返しながらロボットは目的地点に向かうことになる。

実験では 216cm×396cm の領域の床面に 34cm 間隔の格子状に C タグを敷設した。領域外には IC

タグが存在しない。アンナの直径は24cmであるが、ICタグを認識できる範囲は実で約34cmである。各 IC タグのシリアル番号からタグが敷設されている２次元座標 を取得できる。IC タグの敷設範囲が限定されていたため、目的地到達の成功率は 70%程度であったが、IC タグが十分に設置してあれば、ロボットは遠回りをしながらも、他のセンサをまったく使わずに目的地に到達できると考えられる。

④指示に基づいて、簡単な作業を自律的に実行する技術

・開発した要素モジュールの組み合わせによるシステムインテグレーションを実現するために、メッセージ指向型ネットワークロボットアーキテクチャの通信管理ソフトウエア MONEA を開発した。

・MONEA の有効性を実証するために、複数のシナリオでのプロトタイプ運用実験を行うこととし、介護施設での健康状態を聞き取る受付作業およびリクリエーションゲームにおける司会者の指示に基づく自律的な補助作業を行うアシスタントロボットを製作するとともに、指示内容と自律作業の多様な関連付けを可能にするソフトウエアシステムを実現した。

詳細は以下の通りである。

（1）ロボット作業のインテグレーション技術

ロボットが適応的なコミュニケーションを行う為には、音声認識や画像処理などのメディア情報を扱うモジュールや、目や口、頭、腕などの自由度を制御するモジュールなどが有機的に統合される必要がある。この連携の為に MONEA（Message Oriented Network robot Architecture; メッセージ指向型ネットワークロボットアーキテクチャ）を通信ミドルウェアとして開発した。MONEA では、図６のような構成でネットワークに接続されたモジュール同士が非同期メッセージの送受信を行うことにより実現される情報共有フレームワークを利用し連携する。

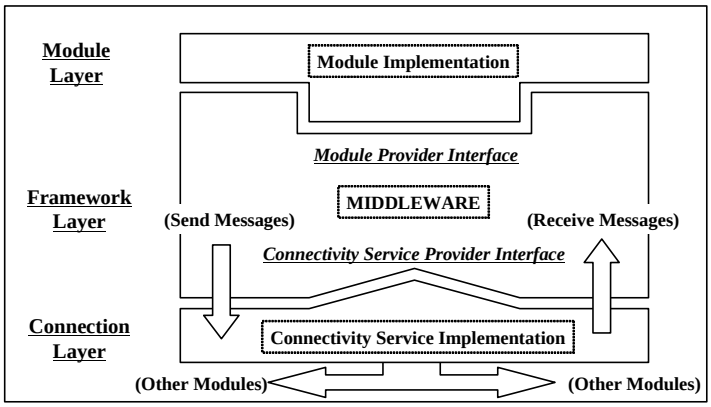


図６　MONEA を用いたモジュールのソフトウエア構成

各モジュールは自ら公開すべき情報や、他のモジュールに対する命令をメッセージとして送信する。また、他のモジュールが持つ注目すべき情報の更新時や、他のモジュールからの命令を同様にメッセージとして受信する。これらの通信は全てミドルウェアで処理する。モジュール開発者は、通信に関する定義を XML ファイルとして準備することで簡単に利用することができる。例えば、ロボット頭部に設置された遠隔マイクロホンを用いた音声認識においては、ロボットの頭部がユーザの顔方向を

向いていることが重要となる。したがって、画像処理モジュールは、ロボット眼部に設置されたカメラから取得した画像からユーザの顔を抽出し、カメラに対する角度を計算する。その角度と、制御モジュールが随時公開しているロボットの頭部姿勢情報をもとに、ロボット頭部の姿勢をどう変化させればよいかを計算し、制御命令を制御モジュールにメッセージとして送信する。実際のメッセージのやり取りは各モジュールに付属する MONEA のミドルウェアが担当する。

本研究の基本設計は本プロジェクト以前に完了しており、Linux 上で動作するものが実現されていたが、Windows 等では動作していなかったため一部のモジュールとの交信には利用できなかった。本プロジェクトで Windows 版およびリアルタイム OS である QNX Neutrino 6.3 版を開発し、すべてのモジュールの情報共有に利用できるようにした。

（2）具体的なシナリオに基づく実装

[1] 挨拶と健康関連の対話

現有ロボット機体 ROBISUKE 上で会話システムを開発した。これは、高齢者が施設に到着した際の挨拶を想定したタスクとなっている。通所型の高齢者施設では、高齢者はその日の体温や血圧を連絡帳に記載して持って来る。この会話システムは、来所した人が誰かを認識した上で、連絡帳を預かるか、あるいは連絡帳を忘れた高齢者に対しては、その場で体調、体温、血圧を聞き出すよう会話を行う。また、その日のスケジュールの確認、次に来所する予定等の確認もできる。

音声認識の対象は、1100 語で構成される正規文法によって表現された約 28 万文である。会話相手にマイクを持たせることなく音声認識ができ、ロボットの発話中でも、周囲で他人が発話をしていても音声認識を行うことができる。また、断片的な発話も受け付けることもできる。現状での性能は、実際の研究室環境（計算機、エアコンが動作しており、人の出入りに伴うドアの開閉音や電話音もある。数名の学生が傍らで会話を交えながら作業を進めており、ロボット自身も動作をしている状況）において、発話理解率で 70%、タスク達成率で 81%を確認した。

[2] 難読ゲーム

HABIAN 上で、コミュニケーション活性化システムを開発した。高齢者施設では、日常的に行われるイベントとして幾つかの体操、クイズ、歌などのレクリエーションがある。その中の一つに、難読ゲームがある。難読ゲームでは、司会者（介護スタッフの一人）が読みの難しい漢字をホワイトボードに書き、その読みを回答者である複数の高齢者が言い当てるというゲームである。このゲームの目的は、高齢者が積極的に参加し、活発に発言し、場が盛り上がることである。場を盛り上げる為には、司会者が場の雰囲気にあわせて適切な行動（発言を促す、ヒントを与える等）を取れることが重要になるが、これは素人には難しい。そこで、開発したロボット HABIAN をこのゲームに回答者として参加させる機能を開発した。

ロボットが、自らも様々な回答（珍回答）や、独り言を言ったり、時には他の回答者（高齢者）に回答を促したりすることによって、場が活性化する。このとき、ロボットは好き勝手に行動を取ればよいわけではなく、グループコミュニケーション参加者としての原則、ゲーム参加者（回答者）としての原則を守りながら、状況に応じてコミュニケーションが活性化するための行動を取る。図 7 は開発したシステムのソフトウエア構成である。

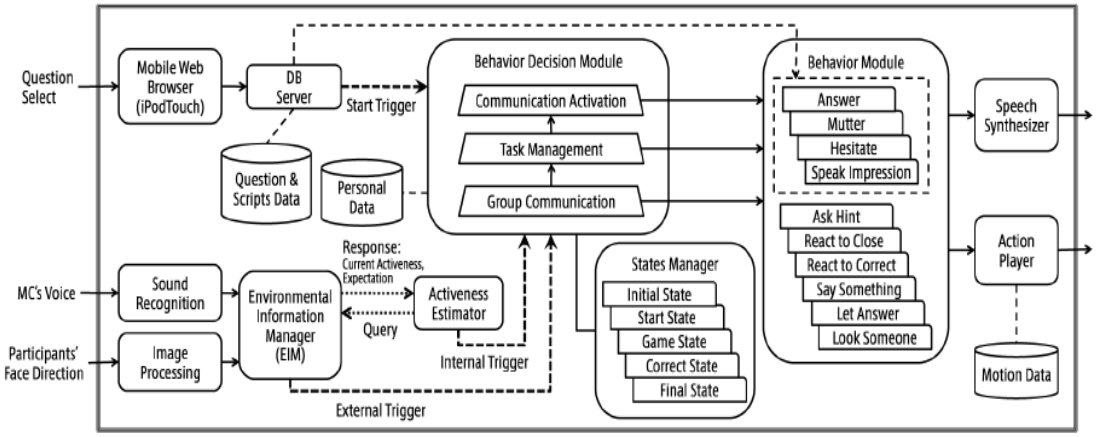


図７　コミュニケーション活性化システムのソフトウエア構成

ロボットは、司会者の発話の音声認識結果からゲームの進行を理解する。また、回答者の顔表情や頭部の動きを認識して、その時点での活性度（場がどれだけ活性しているか）を理解する。これらの情報を環境情報管理部が管理し、随時その場の状況に応じてあらかじめ用意された行動が、場の活性度をどれだけ上げるか、という評価基準に沿って評価される。ロボットは最も評価が高かった行動を取ることで、場の活性度を上げようと試みる。

あらかじめ用意された行動は、「ロボットが自ら回答する」「問題に関する感想を述べる」「正解に関するエピソードを披露する」等の幾つかのグループに分類される。これらの行動のコンテンツ（発話内容、具体的なしぐさ）は、問題毎に異なるが、これらはすべてデータベース内に格納いる。コンテンツ作成支援の Web インターフェースも開発しており、容易に多くの問題、あるいはそれに関する行動セットを増やすことが可能となっている。

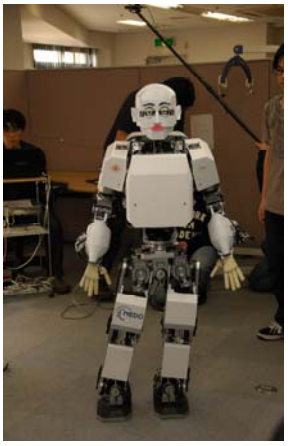


図８　体操教示例

[3] 体操教示

2 足歩行ロボット KOBIAN の物理的な身体特徴を活かして、高齢者に対して体操を教示するシステムを開発した。教示できる運動は 5 種類程度であるが、高齢者に身体の動かし方を教示し、呼びかけながら体操を行う。運動速度は遅いが、高齢者を相手にするには適していると考えられる。運動の種類は、シミュレータ上で確認しながら追加が可能である。

(2) 目的に照らした達成状況

計画書に記載した平成20年度終了時の目標は、ステージゲートでのデモを行うことを念頭に、１次試作のプロトタイプシステムを使って介護施設内での試用実験を行い、シナリオの妥当性を検討した後、2次試作のプロトタイプを完成し、2足歩行移動系と車輪移動系によるシステムの比較実験を行うことであった。

具体的なシナリオとしては、集団リクリエーションとして、難読漢字ゲームのアシスタントおよび身体運動の教示をロボットに行わせる。これらはいずれも事業化のキーとなるものである。

前述のように要素技術に関してほぼ目標の達成値を満足することができたが、上記目標に関しては、

１．介護施設での受付における来場者の健康状態に関する対話を行うロボット

２．問題数と対話制御の様式を追加的に増加できる難読漢字ゲームのアシスタントを行うロボット

３．簡単な身体運動の教示を解説しながら行う２足歩行ロボット

が完成し、実証システム評価のためのデモを行うことができたことから、目標をほぼ達成できたと考えている。これらは、成果の要約に記載の要素技術を組み合わせたものであり、組み換えなどに対する柔軟性が高いインテグレーション方式を採用して実現できたものである。

ハンズフリー音声対話およびロボットのジェスチャと表情により、最終目標にあるバーバル、ノンバーバルコミュニケーションは達成しており、物理空間作業に関しても、開発したロボットは５００ｇ程度の物を持つことが可能であることから、情報提供のみならず、ＲＴならではの物理空間作業も達成できる見込みを得ている。また、年齢推定機能を有することから、複数の年齢層に対し、適切なコミュニケーションは実現している。さらに、人とのやりとりを重ねながら、適切なコミュニケーションモデルに切り替えることはゲームの中で実現している。履歴の活用については、顔の記憶を実現しているが、対話内容の記録により、これまでに開発した統合システムの枠組みの中で実現できる見通しが得られている。

3）成果の意義、その他

本研究開発では、要素技術の研究開発とともに、複数のロボットを製作したが、これらは、共通のインテクレーションソフトウエアの下に、部品モジュールが統合されている。このアーキテクチャの特徴は、ロボットに新たにセンサ、アクチュエータなどのハードウエアモジュールあるいは認識処理プログラムなどのソフトウエアモジュールを付け加えることが容易であり、付け加えたモジュールが全体の中でどのように働かせるかの制御規則も加法的に行えるというところにある。また、ロボットには様々な状況に対応した行動制御手順をプログラムする必要がある。このような行動のコンテンツ（発話内容，具体的なしぐさ）は、状況毎に異なるが、これらはすべて本研究で定めた形式でデータベース内に格納している。コンテンツ作成支援の Web インターフェースも開発しており、行動コンテンツのセットを増やすことが可能となっている。Web インターフェースにより複数の人がコンテンツ制作に参加することができれば、ロボットを行動表出装置とする様々なコンテンツ作品が製作されることになり、ロボット行動の多様性が大幅に向上するばかりでなく、ロボットを中心としたコンテンツ産業の新しい拡大と市場の創出につながることが期待でき、世界的にみても新規性の高いものである。

また、個別要素技術について見れば、コミュニケーションに関わる音声・音響処理と対話生成モデ

ル、室内・屋外シームレスの GPS、表情表出ロボット頭部、映像アーカイブなど、いづれも世界初の新しい方式を提案しており、それぞれの分野で最高水準ということができる。さらに、ここで実現された、要素モジュールを加算的に付加することを可能にするロボット設計手法は極めて汎用性が高いものと考えている。これらの成果は、論文として公刊されるとともに国際会議等で発表されている。

ステージゲート通過は適わなかったが、特許出願は少ないもののソフトウエアとノウハウの蓄積は少なくないことから、事業戦略の練り直しと一般向けの情報発信を積極的に行うことを検討している。

4）特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
顔表情表出ロボットの表情可変構造　１件	比較的少ない自由度で豊かな表情を出すためのアクチュエータは位置を特徴とし、それらの制御方式にも新規性を有する。
対話活性化システム及び対話活性化ロボット　１件	ゲームを題材に、相手の表情などを読み、状況に応じた対話ができるためとこを特徴とし、音声認識と画像認識の情報を結合して会話を生成する新規性を有する。

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平成 20 年 5 月 16 日	特願 2008-128954	顔表情表出ロボットの表情可変構造	高西淳夫
2	平成 20 年 11 月 28 日	特願 2008-304140	対話活性化システム及び対話活性化ロボット	小林哲則

5）成果の普及

学会論文等

	著者	題名	論文誌,学会等の名称	巻,号,頁	年月	査読
1	坂本義弘，大竹正海，菅野重樹	スードライトと RFID を用いた屋内ロボットナビゲーション手法の提案	第 7 回システムインテグレーション部門講演会，計測自動制御学会	2B2-3	2006 年 12 月	なし
2	Shigeki Sugano	Environment Design and Positioning Method for Robots	ION National Technical Meeting	―	Jan., 2007.	なし
3	Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Noise reduction combining time-domain ε-filter and time-frequency ε-filter	Journal of the Acoustical Society of America	Vol.122, No.5, pp.2697-2705	May, 2007	あり
4	T. Yamaguchi, S. Hashimoto, F. Berton, G. Sandini	Edge-based extraction of a grasped object with retina-like sensor	Proc. of 14th International Conference on systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2007) and 6th EURASIP Conference Focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services (EC-SIPMCS 2007)	CD-Proc., pp.445-448	June, 2007	あり
5	小林哲則，藤江真也	マルチモーダル会話ロボット：ロボットが会話において「聴く」行為について	計測自動制御学会誌	Vol.46, No.6, pp.466-471	June, 2007	あり
6	Naoya Mochiki, Tetsuji Ogawa, Tetsunori Kobayashi	Ears of the robot: Three simultaneous speech segregation and recognition using robot-mounted microphones	IEICE Trans. on Information and Systems (ED)	Vol.E90-D, No.9, pp.1465-1468	Sep. 2007	あり
7	Shigeki Sugano, Yoshihiro Sakamoto, Kenjiro Fujii, Ivan G. Petrovski, Makoto Ishii, Kazuki Okano, and Seiya Kawaguchi	It's a Robot Life	GPS World	Vol. 18, pp. 48-55	Sep. 2007	あり
8	朴善洪，三枝亮，橋本周司	Passive RFID を用いた自律移動ロボットのナビゲーション	電子情報通信学会論文誌	A, pp.901-909	Dec. 2007	あり
9	Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Noise reduction combining time-frequency ε-filter and M-transform	Journal of the Acoustical Society of America	Vol.124, No.2, pp.994-1005	Feb. 2008.	あり
10	丹羽治彦，小鷹研理，坂本義弘，大竹正海，金森道，菅野重樹	マルチチャネルスードライトによる GPS に基づいた室内測位システム	第 25 回日本ロボット学会学術講演会	1C4-1	2007 年 9 月	なし
11	山畠利彦，藤江	視線運動の離散性を用いた	電子情報通信学会	vol.	2007 年	なし

	真也，小林哲則	視線認識	技術研究報告，パターン認識・メディア理解研究会	107, no. 206, pp. 77-82	9 月	
12	菅野重樹，丹羽治彦，小鷹研理，坂本義弘，大竹正海，金森道	GPS によるロボット制御	GPS/GNSS シンポジウム 2007	5.3	2007 年 11 月	なし
13	丹羽治彦，小鷹研理，坂本義弘，大竹正海，金森道，菅野重樹	マルチチャネルスードライトによる GPS に基づいた室内測位システム	第 8 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 (SI 2007)	1C4-1	2007 年 12 月	なし
14	阿部友実，松本光春，橋本周司	時間―周波数 M 変換によるミュージカルノイズ除去	日本音響学会 2008 年春季研究発表会講演論文集	CD-Proc., pp.513-514,	2008 年 3 月	なし
15	上田周，松本光春，橋本周司	プロソディ情報処理によるディサースリア発話の自然度の改善の試み	日本音響学会 2008 年春季研究発表会講演論文集	CD-Proc., pp.503-504	2008 年 3 月	なし
16	竹内寛史，高田晋太郎，小川哲司，赤桐健三，小林哲則，森戸誠	ロボット頭部に設置した 4 系統小型無指向性マイクロホンによるハンズフリー音声認識	日本音響学会講演論文集	1-Q-2	2008 年 3 月	なし
17	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	An acoustical array combining microphones and piezoelectric devices	Journal of the Acoustical Society of America	Vol.123, No.4, pp.2117-2125	Apr. 2008	あり
18	Naoya Mochiki, Tetsuji Ogawa, Tetsunori Kobayashi	Ears of the robot: Direction of arrival estimation based on pattern recognition using robot-mounted microphones	IEICE Trans. on Information and Systems	vol.E91-D, no.5, pp.1522-1530	May 2008	あり
19	Haruhiko Niwa, Kenri Kodaka, Yoshihiro Sakamoto, Masaumi Otake, Seiji Kawaguchi, Kenjirou Fujii, Yuki Kanemori, and Shigeki Sugano	GPS-based Indoor Positioning system with Multi-Channel Pseudolite	Proc. of IEEE-RAS International Conference on Robots and Automation (ICRA 2008)	pp. 905-910	May 2008	あり
20	Nobutsuna Endo, Shimpei Momoki, Massimiliano Zecca, Minoru Saito, Yu Mizoguchi, Kazuko Itoh, and Atsuo Takanishi	Development of Whole-body Emotion Expression Humanoid Robot	The 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008)	pp. 2140-2145, Pasadena, USA	May, 2008	あり
21	Kitti Suwanratchatamanee, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	A tactile sensor system for robot manipulator and continuous object edge tracking,	Proc. of the (7th France-Japan) and (5th Europe-Asia) Congress on Mechatronics	CD-Proc., No.140	May, 2008	あり
22	Nobutsuna Endo, Shimpei Momoki, Massimiliano Zecca, Kazuko	Design and Evaluation of the New Head for the whole-body Emotional Expression Humanoid Robot KOBIAN	The 6th International Conference of the International Society for	CD-ROM	June, 2008	あり

	Itoh, and Atsuo Takanishi		Gerontechnology (ISG 2008), Pisa, Italy			
23	M. Zecca, K. Endo, N. Endo, Y. Mizoguchi, T. Kusano, K. Itoh, A. Takanishi	Design and Evaluation of The Soft Hand WSH-1 For The Emotion Expression Humanoid Robot KOBIAN	The 6th International Conference of the International Society for Gerontechnology (ISG 2008), Pisa, Italy	CD-ROM	June, 2008	あり
24	Tomomi Abe, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Noise reduction based on cross TF ε-filter	Proc. of International conference on signal processing and multimedia applications (SIGMAP2008)	CD-Proc., pp.105-112	July, 2008	あり
25	Kitti Suwanratchatamanee, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Human-machine interaction through object using robot arm with tactile sensors	Proc. of the 17th IEEE Int'l. Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'08)	pp.683-688	Aug. 2008	あり
26	Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto	Internal noise reduction combining microphones and a piezoelectric device under blind condition	Proc. of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2008)	pp.498-502	Aug. 2008	あり
27	Tetsuji Ogawa, Hirofumi Takeuchi, Shintaro Takada, Kenzo Akagiri, Tetsunori Kobayashi	Ears of the robot: noise reduction using four-line ultra-micro omni-directional microphones mounted on a robot head	Eusipco 2008	CD-ROM	Aug. 2008	あり
28	Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto	Noise reduction combining microphones and laser listening devices	roc. of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA2008)	CD-Proc., WD1-4	Sep. 2008	あり
29	Mitsuharu Matsumoto, Tomomi Abe, Shuji Hashimoto	Performance evaluation of acoustical array by combining microphones and piezoelectric devices	Proc. of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA2008)	CD-Proc., WD1-3	Sep. 2008	あり
30	Kitti Suwanratchatamanee, Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	"A Novel Tactile Sensor Torch System for Robot Manipulator and Object Edge Tracking	Proc. of the 34th IEEE Annual Int'l. Conference of Industrial Electronics Society (IECON'08)	pp.2617-2622	Nov. 2008	あり
31	Haruhiko Niwa, Kenri Kodaka, Yoshihiro Sakamoto, Takuji Ebinuma, and Shigeki Sugano	Indoor GPS and Receiver for Robot Navigation - Seamless Positioning between Indoor and Outdoor Space -	Proc. of International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2008)	CD-ROM FB-4	Nov. 2008	あり
32	Haruhiko Niwa, Kenri Kodaka,	Indoor GPS Receiver for Mobile Robot	Proc. of International	C14a/7-54	Nov. 2008	あり

	Yoshihiro Sakamoto, Takuji Ebinuma, and Shigeki Sugano		Symposium on GPS/GNSS 2008(GNSS 2008)	2-a.		
33	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Nonverbal initiative exchange based on virtual field	Proc. of The IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control-ISC2008	pp.164-168	Nov. 2008	あり
34	Guillermo Enriquez, Shuji Hashimoto	Wireless Sensor Network-based Navigation for Human-Aware Guidance Robot	Proc. of ROBIO2008	pp.2034-2039	Dec. 2008	あり
35	Shinya Fujie, Daichi Watanabe, Yuhi Ichikawa, Hikaru Taniyama, Kosuke Hosoya, Yoichi Matsuyama, and Tetsunori Kobayashi	Multi-modal Integration for Personalized Conversation: Towards a Humanoid in Daily Life	Proc. Humanoids2008	pp.617-622	Dec. 2008	あり
36	Sun Hong Park, Shuji Hashimoto	“Indoor localization for autonomous mobile robot based on passive RFID	Proc. o f ROBIO2008	pp.1856-1861	Dec. 2008	あり
37	Yoshiaki Sorioka, Tomoyuki Yamaguchi, Shuji Hashimoto	Development of a Telescopic-Arm Type, Climbing Support Robot	Proc. of ROBIO2008	CD-Proc., pp.1818-1823	Dec. 2008	あり
38	Yoichi Matsuyama, Hikaru Taniyama, Shinya Fujie, and Tetsunori Kobayashi	Designing Communication Activation System in Group Communication	Proc. Humanoids2008	pp.629-634	Dec. 2008	あり
39	Kazuki Hoshiai, Shinya Fujie, and Tetsunori Kobayashi	Upper-body Contour Extraction and Tracking Using Face and Body Shape Variance Information	Proc. Humanoids2008	pp.391-398	Dec. 2008	あり
40	Massimiliano Zecca, Nobutsuna Endo, Shimpei Momoki, Kazuko Itoh, Atsuo Takanishi	Design of the humanoid robot KOBIAN - preliminary analysis of facial and whole body emotion expression capabilities-	The 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2008), Daejeon, South Korea	pp. 487 - 492	Dec. 2008	あり
41	Kazuki Hoshiai, Shinya Fujie, and Tetsunori Kobayashi	Upper-body Contour Extraction Using Face and Body Shape Variance Information	The 3rd Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2009)	pp.862-873	Jan. 2009	あり
42	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto	Internal noise reduction from dependent signal mixtures using microphones and a piezoelectric device under blind condition	Journal of the Acoustical Society of America	Vol.125, No.3, pp.1518-1528	Mar, 2009	あり
43	丹羽治彦, 小鷹研理, 坂本義弘, 大竹正海,	スードライトを用いたDGPS による屋内測位システム ―屋内と屋外のシー	ロボティクス・メカトロニクス講演会	CD-ROM	2008 年 6 月	なし

	金森道，菅野重樹	ムレス測位実現に向けて―				
44	松山 洋一，谷山 輝，藤江 真也，小林 哲則	人-人コミュニケーションの活性化支援ロボットの開発	第 53 回 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会(SIG-SLUD)	pp.15-22	2008 年 7 月	なし
45	星合 和樹，藤江 真也，小林哲則	形状変化傾向を考慮した動的輪郭モデルによる人の上体輪郭へのフィッティング	第 11 回 画像の認識・理解シンポジウム，MIRU2008	IS-5-28	2008 年 7 月	なし
46	丹羽治彦，海老沼拓史，小鷹研理，坂本義弘，大竹正海，金森道，藤井健二郎，菅野重樹	屋内 GPS を用いた移動ロボットの実時間ポジショニング -移動ロボット実装用としての GPS 受信機開発-	第 26 回日本ロボット学会学術講演会	CD-ROM	2008 年 9 月	なし
47	遠藤信綱，桃木新平，遠藤圭太，草野世大，Massimiliano Zecca，伊藤加寿子，高西淳夫	身を用いた情動表出が可能な２足歩行ヒューマノイドロボットの開発－情動表出が可能な頭部の評価－	第 26 回日本ロボット学会学術講演会	3J1-02	2008 年 9 月	なし
48	遠藤圭太，遠藤信綱，Massimiliano Zecca，草野世大，溝口裕，伊藤加寿子，高西淳夫	間形ソフトロボットハンド WSH-1 の設計と開発 -高齢者および若年者とのインタラクションの評価-	第 26 回日本ロボット学会学術講演会	1E2-03	2008 年 9 月	なし
49	丹羽治彦，小鷹研理，坂本義弘，大竹正海，金森道，菅野重樹，海老沼拓史	スードライトを用いた屋内 GPS によるロボットポジショニング	第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI 2008)	1B4-2	2008 年 12 月	なし
50	細谷 耕佑，小川哲司，藤江真也，渡辺 大地，市川 悠飛，谷山 輝，小林哲則	ロボットのためのハンズフリー音声対話システム	情報処理学会 音声言語情報処理研究会	SIG-SLP-74，pp.7-12	2008 年 12 月	なし
51	谷口 徹，藤江真也，小林 哲則	音声対話用音声認識システム	情報処理学会 音声言語情報処理研究会	SIG-SLP-74，pp.103-108	2008 年 12 月	なし
52	小林 哲則	音声対話ロボットの開発と将来展開	組み込み事例・応用講演会，東北工大	－	2009 年 2 月	なし
53	小林 哲則	マルチモーダル会話ロボットとグループコミュニケーション	電子情報通信学会 VNV 研究会，島根大学	－	2009 年 3 月	なし
54	藤江 真也，渡邊 大地，谷口徹，小林 哲則	音声対話システム用音声認識器の実現と音声対話ロボットへの応用	人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会	SIG-SLUD-A803	2009 年 3 月	なし
55	谷口 徹，藤江真也，小林 哲則	断片化したユーザ発話のための対話用音声認識システム	日本音響学会春季研究発表会	3-Q-7	2009 年 3 月	なし
56	高田諭，山口友之，橋本周司	“”意味”センサネットワークを用いた移動ロボット制御	ViEW2008 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集	pp.331-336	2008 年 12 月	なし

57	朴善洪, 橋本周司	RFID を用いた障害物回避及びナビゲーション	2009 年電子情報通信学会総合大会	pp.361	2009 年 3 月	なし
58	小瀬俊介, 山口友之, 朴善洪, 中村真吾, 橋本周司	積荷をインターフェースとしたクローラ・車輪型搬送ロボット Dai-Sha の開発	2009 年電子情報通信学会総合大会	pp.257	2009 年 3 月	なし
59	高田諭, 橋本周司	“意味”センサネットワークを用いたロボットシステムの制御	情報処理学会第 71 回全国大会講演論文集	CD-Proc., pp.311-312	2009 年 3 月	なし
60	阿部友実, 松本光春, 橋本周司	相関係数に基づく音響信号に対する ε-フィルタのパラメータ最適化	日本音響学会 2009 年春季研究発表会講演論文集	CD-Proc., pp.619-622	2009 年 3 月	なし
61	山畠祥子, 松本光春, 橋本周司	周波数スペクトルのピーク追随による音声のモノラル音源分離	日本音響学会 2009 年春季研究発表会講演論文集	CD-Proc., pp.677-680	2009 年 3 月	なし

6）実用化･事業化の見通し

研究開発した要素技術等は以下のような商品化の可能性を有しており、一部は事業化が既に行われている。

1)　対話における発話権の管理に関して検討し、適切に相槌の打つ自然な会話の実現している。相槌のタイミングの評価法は、音声応答システム一般への転用が可能である。

2)　モノラル混合音源の分離の新しい手法を検討し、3 音源の分離に成功した。ロボットの音声対話だけでなく、広い範囲の音響処理技術として利用が可能である。

3)　この他、以下の技術が再利用され商品化の目途が立っている。

・ロボットの発話のタイミングを定めるターンテーキングのモデルについては，携帯電話の会話アプリケーションに応用する目的で大手通信機器メーカにライセンスを行った。

・ロボット用の 4 系統マイクロホンによる雑音除去技術については，携帯電話に応用する目的で大手音響機器メーカにライセンスを行った。また，大手通信機器メーカにもライセンスを前提として技術移転を行っている。

・性別・年齢層推定のアルゴリズムは，NEC ソフトに技術移転を行い，商品化された。

・サーボドライバーは、特殊電装（株）が商品にしており改良版が出されている。

・GPS 受信モジュール（日立産機システム）も商品化される予定である。

製作した次の 3 種のプロトタイプロボットの商品化へ向けた評価を行い、産業的な視点からの見極めを行った。

１．ROBISUKE

現有のロボットに MONEA と音声対話、画像処理系を組み込み、健康状態の情報を対話により収集するプロトタイプロボット。身長 0.8m、体重 15kg、自由度構成（頭部：8、腕部：2x2、手部：4x2、台車：2）であり、ジェスチャを交えたハンヅフリーの対話ができる。1 時間以上のバッテリ連続稼動が可能。

２．HABIAN

リクリエーションとして行われる難読漢字ゲームのアシスタントを行うプロトタイプロボット。ゲームの司会者の指示に基づいて自律的にゲームの場を盛り上げるために、参加者を識別しながらジェスチャと表情を交えて、ヒントを出したり、正解の解説を行うなどができる。上半身が人間型の車輪移動ロボットで、身長：1.4m、体重：60kg、制御 OS：QNX Neutrino 6.3、自由度構成（全 37 自由度、頭部：7、首部：4、腕部：7x2、体幹・腰：2､)、バッテリ連続稼働時間は 2～3 時間。

３．KOBIAN

リクリエーションとして行われる体操の身体運動の教示を行う 2 足歩行ロボット。高齢者向けに表情と動作を交えて説明をしながら、体操への参加を促す。身長：1.4m、体重：62kg、制御 OS：QNX Neutrino 6.3、自由度構成（全 48 自由度、頭部：7、首部：4、腕部：7x2、手部：4x2、体幹：1、腰部：2、脚部：6x2)、体幹・首・眼の駆動により足元の視覚情報を取得可能、バッテリおよび無線 LAN 接続により，スタンドアローンで動作可能でありバッテリ連続稼働時間は約 30 分。

これらのうち、１（ROBISUKE）と２（HABIAN）は、実際の老人介護施設「ケアタウン小平」に持ち込み実証実験を行った。それぞれのロボットの具体的な機能は、研究開発の成果に記載してあるが、現場での参加型デモ実験は被介護者にも介護者にも好評であった。

また、３（KOBIAN）は安全性評を、経済産業省 産業機械課による「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」を参考に行った。その結果、商品化に向けて以下の指針を得た。

１．外装の安全性に関しては、反発力の少ない柔らかい外装材を調べて、現時点での最適な素材が見つかっている。

２．身体運動系の安全性に関しては、既に研究済みの柔らかい腕制御、いなし制御の適用と効果を検討した結果、対人安全性ばかりでなくロボット機体の安全確保にも有効であることが判った。

３．2 足歩行ロボットには、転倒、バランス安定性など固有の安全性問題があるが、非動作時（電源 OFF）および動作時（電源 ON）に分けた検討を始めているところである。

４．統合的な安全性に関しては、モジュールの 2 重化などが必須である。

５．さらに、自己診断による予防安全性の確保も重要である。

また、本研究開発の成果の事業化可能性について、企業の事業化責任者にも実機の評価を求めた。その結果、研究開発者と企業担当者との検討により、以下の 2 つの事業化シナリオを策定している。

１．事業化シナリオ I

１）事業化の概要

ロボットの有する客寄せ効果をもとに商品化を進め、まず、デパート、商店街等のエンターテイメント性の要求される分野で集客装置として製品化するとともに、研究プラットフォームとして利用する大学等の研究機関を対象に製造販売する。その後、安全性などの評価が定まったところで、一般の人々のいる環境である公共施設、オフィス等を対象とする受付案内用途で事業化を進める。さらに、信頼性のある技術が確立された段階で、家事支援、介護支援等の事業に展開する。

２）想定する顧客・市場

第１ステップとして、デパート、商店街、あるいは、科学館、博物館等のエンターテイメント分野、および、大学等の研究機関が対象となる。第２ステップとして、一般の人々のいる環境である公共施設、オフィスを対象とする受付案内用途で事業化を進める。従って、顧客は個人ではなく、事業者が中心となる。次の第３ステップでは、家事支援、介護支援等の事業に展開し、個人を顧客として想定する。

事業化の方法としては、次の３パターンを計画する。

①本開発要素を組み込んだロボット自体を販売（主にリースを想定）

②本開発要素を組み込んだロボットを保有し、都度一日単位、一週間単位などのレンタルを行う。これまでの調査から、１機 100 万円＋輸送費が妥当なレンタル料と考えられる。

③本開発要素技術のユニットを販売（他のメーカーへの販売など）

２足脚部、頭部、腕部などおよび制御ソフトウエアの販売、想定価格は平均 200 万円

３）潜在的なニーズ（波及効果）

第 1 ステップでは、展示が中心となり、地方自治体の科学館、デパートなどの集客用途が中心となる。第 2 ステップでは、本開発の成果を活かして、公共施設での窓口案内、商業施設での顧客との対話による商品推奨を目的とした用途が期待されている。第 3 ステップでは、当初計画の介

護施設での展開に入る。これまでの実証実験では、施設側の期待は大きいことは判っているが、資金的には公的機関の支援が必要であり、所管役所等への働きかけが重要である。また、WEB ベースのコンテンツ制作の手段が開発されていることから、ある程度の数の実機が社会に出ることにより、動作ディスプレイ装置としてのニーズが期待できる。特に平成 25 年以降には、ロボットを振り付けの対象とするビジネスの展開も予想される。

４）市場の規模

レンタルしてイベントを開催できるデパート、科学館・博物館は 50 程度と見込まれることから、第 1 ステップの市場規模は 5000 万円程度と考えられる。そのうちの 10 件程度を目標とする。第 2 ステップに関しては、デパートなどの大型商業施設でのロボットを使用するイベント開催に加えて、商品解説などの用途が集客目的で想定されるため、長期レンタルも期待できる。デジタルコンテンツ市場の規模が今年に 1 兆円を超えるといわれているが、第 3 ステップでの目標は、福祉関連の市場の内最も大きな住宅関係で 800 億程度であることから、それほど大きな期待はできないものの、第 3 ステップ以降には、RT とネットワークの接続による新たなコンテンツビジネスの立ち上がりに期待が持てる。

２．事業化シナリオⅡ

１）事業化の概要

独居高齢者の自立生活支援という目的で一般住宅に導入される自律型ロボットを対象とする。本研究開発では、一般にＩＴ弱者とされる高齢者を対象として利用者を選ばないヒューマンコミュニケーション技術が確立される。これにより、ロボットをフロントエンドとしたＩＴシステム、看護師の２４時間コールセンターという重層的な構造で独居高齢者に共同生活者の代替えとなりうる安全、安心を提供することを目的とする。

高所得者層ではバリアフリーや省エネルギー（高気密住宅）などのリフォームを行うこともあるが、独居高齢者のほとんどは既設住宅に居住している。防災や防犯の機能を高めた安全安心システムを提供することも重要であるが、対象とするニーズのほとんどは既設住宅に存在する。既設住宅に導入しやくするためには基本機能・基本サービスについて設置工事が容易であることが重要である。

移動するロボットは故障する確率が高い。また、その基本的な機能は変わらないとしても、技術の進歩や流行によって嗜好品として買い換えの対象となる。こうしたことから、ロボットを移動するパーツであるロボット本体と中核的な処理を行うホームサーバに分割し、故障を前提としたメンテナンス、修理、パーツ供給体制を構築する。ホームサーバは高機能なプロセッサを備えた上で、インターネットを経由したソフトウェアの遠隔改良の仕組みを作る。

２）想定する顧客・市場

主に次のセグメントを事業のターゲットとする。

・　６５歳以上の高齢者：２５００万人（２００５年統計）
・　単身：３８６万人（２００５年統計）
・　健常である：およそ３００万人・３００万世帯

昼間独居高齢者、慢性病の自宅療養者等も対象とする。また、購入の意志決定者として独居高齢者の別居家族（子供など）にも販売活動を行う。

３）潜在的なニーズ

少子高齢化により、独居高齢者の数は 2005 年で 385 万世帯とされている。高齢化しても自宅で過ごしたいという高齢者の希望は高い。独居でなくとも昼間独居といわれる世帯も多く、また病院の病床数の逼迫により自宅療養する高齢者も増えている。本事業では高齢者に万一の事態が発生した場合、共同生活者の援助の役割を果たすサービスを実現することを目標とするが、その潜在的なニーズは極めて高い。

独居高齢者が健康上急激に支障を来した場合、同居者がいないために救急支援が遅れがちであり、そうした状況に対処するものとして緊急通報サービスがある。緊急通報サービスの問題点は、日常的に使用することがないので利用者にその利点が認識されにくいことである。市場は自治体の行政サービスとして限られた住民を対象に約１６万件あるとされる。ただし、一般的には認知されておらず、独立の民間事業としては普及していない。その普及のためには単独のサービスではなく、なんらかの日常的に利用される機能と統合することが必要である。先端技術により高齢者の自立的な生活を支援するため、コミュニケーションロボットに緊急通報機能を備え、日常的に利用される機能として家庭用健康機器とのインターフェースや看護師のインターホンによる健康相談機能を統合する。

高齢者は慢性病の罹患率が高く、何らかの慢性病を患う高齢者は６０％程度と推測される。軽度の慢性病であれば自宅で家庭用の健康機器を用い、高齢者自身が症状をモニタリングすることが可能である。また、近年病院の別途数の不足により、長期入院患者は自宅療養に変更になる例が増えている。ロボットは利用者と日常的なコミュニケーションが実現できれば定期的な計測を促し、統計データとして蓄積、分析することができる。計測データに問題があれば、ロボットは利用者に看護師による相談の利用を勧めることができる。

提供されるサービスはベネフィットに調和するコストで提供されなければならない。一般住宅向けのサービスの例としては、省エネルギー（ＨＥＭＳ）やホームセキュリティがある。後者の月額サービス料金の一例は４，５００円、機器のレンタル料込みで９，０００円である。家庭にロボットを導入する場合の実際的なコストは利用者が日常的に有益と感じられる機能を統合したうえで、月額１万円以下と推定される。このレベルが実現できれば市場は大きな拡大が期待できる。

４）市場の規模

一般住宅へのロボットの導入はソニーの先駆的なペットロボットの例がある。２５万円で１５千台程度販売されたと推測されるが、その後家庭用ロボットから撤退したため、現時点でほぼ市場は存在しないと判断される。

緊急通報システムは地方自治体向けに１５万件の契約があると推定され、通報ボタンや無線ボタン付きの電話機が使用されている。契約件数は地方自治体の予算削減により漸減傾向にある。平均的な契約件数を５年とした場合、年間の新規契約者数は３万件程度と推定される。

市場規模は健常な独居高齢者３００万人のうち、都市部に居住するなどで近隣との交際が少なく、自身の健康に関心を持ち、危急の事態におけるＩＴ技術を活用した支援体制に関心のある層である。こうした層は全体の１０％として３０万人（３０万世帯）と推定される。

以上のように、関連分野への波及も大いに期待できるシナリオが考えられるが、事業化の時期はコストダウンばかりでなく、安全性、保守性の確保の技術開発を考え、4－5 年先になると想定している。

3.2.2.2 自律機能と遠隔対話を融合した知的インタラクションに基づく対話ロボットの開発【実施者:(株)けいはんな、奈良先端科学技術大学院大学、オムロン(株)、積水ハウス(株)】

1)研究開発の概要

高齢化社会において、ロボットの活躍の場として機械的な支援機能が大いに期待されており、現在研究開発が盛んに行われている。一方、高齢者が可能な限り人に頼らず快適な生活を営むことが、精神面も含め安全・安心な社会の実現につながり、ひいては社会の活性化に大いに貢献できる。そのためには、高齢者との意思疎通が十分にできるパートナーロボットを構築するための技術が必要である。そこで、本提案では、高齢者にとって、いつでも人に気兼ねなくものを頼めるロボットシステムの実用化を目標とし、人とロボットの自然なコミュニケーション機能の研究開発を行う。

実世界でロバストに機能するロボット対話の要素技術を確立するとともに、要素技術を融合してプラットホームシステム上に統合することにより、住宅内環境で機能する対話ロボットシステムを開発する。そのために、実時間顔情報計測、雑音にロバストな音声認識、および、自然言語対話を核として、知的ヒューマンロボットインタラクション技術を確立する。この技術を組み込んだプロトタイプロボットシステムを開発し、住宅内で、会話や身振り手振りに応じ、個人に適応した自然な会話を主体としたコミュニケーションを実現する。

対話型ロボットを実現するには、以下のような技術の開発が必要となる。これらの機能について研究開発を行い、実験住宅内で実験を行うとともに、住宅におけるロボットによるサービスのあり方に関して検討した。同時に、本プロジェクト（高齢者対応）に関わるニーズ・シーズの収集、分類、分析を行い、高齢者対応コミュニケーションＲＴシステムの実用化に向けて研究開発に取り組んだ。

(i)　顔情報計測機能
(ii)　顔画像センシング技術
(iii)　音声認識
(iv)　自然言語処理
(v)　知識情報の構造化
(vi)　遠隔コミュニケーション要素技術

以下に、各要素技術に関する研究開発成果を述べる。

２）成果詳細

（１）顔情報計測機能

顔情報計測機能に関しては、ロボットに搭載したカメラで顔情報（顔向き、視線など）をリアルタイムに計測するシステムを構築するとともに、その計測範囲を拡大した。さらに、音声認識モジュールとの統合によりマルチモーダル対話システムを構成した。話者がロボットに話しかけているかどうかを顔向きから認識し、話かけていると判断したときのみ返答する対話ロボットを構築した。

まず、ロボットに顔情報計測用のステレオカメラを搭載し、実時間での顔情報計測システムを構築した。カメラはPoint Grey社のFleaを用いた。次に、カメラ画像の処理解像度を640x480ピクセル

から 1024x768 ピクセルに向上することにより、顔情報の計測範囲を拡大した。顔情報計測は特徴領域のマッチング処理に基づいて行われている。従来の手法では特徴領域画像を１種類しか持っていなかったため、奥行き方向の計測範囲は約１m 以内と限定されていた。そこで、複数スケールの特徴領域画像を用意することで、奥行き方向の計測範囲拡大を実現した。約 2.5m に拡大することができた。

次に、音声認識システムと統合することにより、マルチモーダル対話システムを構成した。不特定話者による２万単語の認識機能を持っており、文法解析により、質問文の文型は固定しない、自由な発話が可能である。対話時に顔向きを計測することにより、ロボットに話しかけているかどうかが認識可能である。話しかけられたときだけ応答する機能を実現した。図１にその様子を示す。

（１）実験風景

（２）顔情報計測の結果

図 １　話かけられた時のみ応答する機能：人に話しかけている状態

（２）顔画像センシング技術

顔センシング技術においては、ロボットが高齢者に最適なサービスを提供や、コミュニケーションするために高齢者の認識および表情の推定ができることを目指し研究開発を行い、下記の成果を得た。

1)高齢者を認識するための性別年代推定技術において、照明変動、顔向き変動への対応

2)高齢者の表情を認識するのに必要な顔器官検出技術の照明変動、表情変化への対応

3)高齢者の表情を認識するための笑顔認識・居眠り推定の技術調査、初期検討

１．性別･年代推定技術の開発

プロジェクトの３年間は、屋内環境下において、顔にかかる照明、顔の向きが変化する条件での性別年代推定の精度向上を目指して技術開発を行った。具体的には下記の開発を行った：

1) 様々な特徴量の検証と新規特徴量の採用

2) 新たな多クラス識別手法の考案と採用

3) 顔向き別識別器の採用

4) 学習データの増強と精査

5) 動画データから推定に最適な顔を選択する手法の考案と採用

その結果、室内照明環境での高齢者の性別年代推定の性能向上ができた。複雑な照明環境

と顔向き変化が同時に発生する複合条件下において性別推定、年代推定の正解率を向上させることができた。

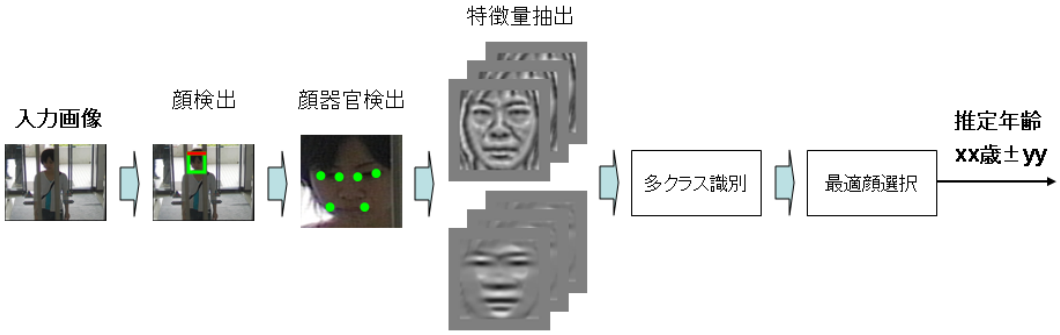


図 2 開発した性別年代推定技術概要

図 3 性別年代推定の結果例

２．　顔器官検出技術の開発

正確に表情を認識するためには、まず、顔の中の顔器官の位置を正確に検出する必要がある。従来の顔器官検出技術は照明変化に十分対応できなかった。屋内においても上からの照明、窓からの光による逆光、影などさまざまな照明条件の変化が考えられる。また、表情変化時にもロバストに検出を行う必要がある。本研究では、このような屋内のさまざまな照明条件、表情変化時において安定した顔器官検出を実現するための技術開発を行った。

1）照明補正手法検証

屋内のさまざまな照明条件下での特徴点検出精度向上対策として、画像正規化手法の検証を行った。具体的には、ヒストグラム平坦化により偏った輝度分布を均一に分布させることや、照明変動を吸収するフィルタを設計した。

2）学習による性能向上

屋内のさまざまな照明条件下・表情の顔画像データを学習することで、より屋内照明や表情変化に対してロバストな識別器を構築した。具体的には、屋内で想定される照明条件下の顔画像データを学習データとして使用し、屋内照明環境・表情変化に対する識別器の精度向上を図った。

3）形状モデルの学習強化

笑顔などの表情変化時にもロバストに顔特徴点追跡を行うために、形状モデルの表情対応を実施した。具体的には、顔表情変化に対応可能な可変パラメータを形状モデルに追加し、新たに表情変化画像をモデル学習に追加した。その結果、表情認識に必要な顔器官検出の表情変化へのロバスト性が向上した。

２−３．表情認識技術の開発

Ｈ１８年度から１９年度にかけて、高齢者の表情の中の笑顔を識別する技術の初期検討を、Ｈ２０年度は、高齢者の疲れを識別することを目的とした居眠り状態を識別する技術の初期検討を行った。これらの技術を実現するために

1) 推定アルゴリズム開発
2) 学習評価データ構築
3) 学習データ強化

を実施。

笑顔ではリアルタイムで笑顔度測定機能を実現。顔器官検出で見つけた顔の特徴点周辺のあらかじめ選択した識別に有効な周波数特徴量で笑顔度を推定。屋内で良い照明環境下で、左右 30 度までの顔向きで笑顔推定ができることを確認した（図２７参照)。

図 4 笑顔度推定の例

リアルタイムに居眠り度合い(起きているか、寝ているか)測定機能を実現。こちらは顔器官検出で見つけた目の上下まぶた特徴点の距離から推定。また精度向上のために、数フレーム内の居眠り度合いを用いて識別を実施。弊社独自のデータベースにおいて 80%以上の推定結果を実現。またデモ機作成完了（結果画像は図 6)。今後は実環境における精度向上を目指す。

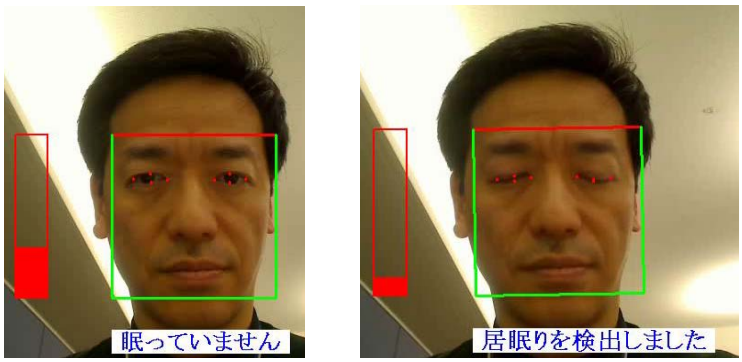


図 5 居眠り推定の例

評価結果画像。赤い点は検出特徴点。

ゲージは目開度を示している（ゲージが高いと目が開いている）。

（３）音声認識

音声認識モジュールの開発に関しては、ロバストな音声認識実現をめざした。

これを実現する要素技術として、以下の研究開発を行った。

1. 実環境音声データ収録とデータベース化
2. 高精度音韻モデルの構築と評価
3. ハンズフリー音声認識アルゴリズム

1. 実環境音声データ収録とデータベース化

平成 18 年度から 19 年度にかけて、実環境における音声データの収録とハンズフリー音声・音響データの収録を行った。特に、ハンズフリー音声・音響データに関しては、実際にロボットタスクで想定される遠隔発話音声のみならず、様々な実環境に存在する雑音も個別に収録し、それらを統合して音響データベースを構築するに至った

2. 高精度音響モデルの構築と評価

音声認識の対象が高齢者の場合、その音響的特長は通常の平均的な成人音声とはかなり異なることが知られている。よって、高齢者専用の音響モデルを構築することは非常に重要である。本項目において、まず我々は、高齢者音声データベース(260 人×200 文読み上げ)を用いて(読み上げ)高齢者音声モデルを構築した。これにより、読み上げタスクにおいては、通常の成人音声とほぼ同等の認識率(88.1%)が達成できることが分かった。つまり、高齢者専用の音響モデルを適切に構築できれば、高齢者を対象とした音声認識も十分可能であることが示された。

次に、上記の検討を鑑み、読み上げ音声タスクではなく、もっと一般的な「話し言葉」タスクにおける高齢者音響モデルの構築を試みた。ここでの問題点は、話し言葉専用の高齢者音声データベースが存在しないことである。これを解決するため、我々は、既存の話し言葉成人音声データから高齢者に合った音声データの選択学習手法を開発し、これにより 82%以上の認識率を得た。

3. ハンズフリー音声認識アルゴリズム

ロボットにおいて「人間と同様な距離感」で音声コミュニケーションを行う場合、システムのハンズフリー化（口を接話マイクに近づけず、遠隔から発話すること）は必須の技術となる。しかし、ハンズフリーで音声コミュニケーションを行う場合の問題点として、環境雑音や不要音が混入してしまうことが挙げられる。現在の音声認識アルゴリズムは雑音の混入に脆弱であることが知られており、上記のようなハンズフリー化は音声認識精度の大幅な劣化を招く危険性がある。特に高齢者は、その発話音量も小さく、またロボットに接近して発話する際の肉体的負担も大きいため、上記ハンズフリー技術の高精度化はロボット音

声コミュニケーション技術の開発において重要な位置をしめる。

前述の問題を解決するため、我々は、様々な雑音環境においても頑健に動作するハンズフリー音声認識アルゴリズム・システムの構築を行った。本プロジェクトにおけるハンズフリーシステム開発は、大きく分けて以下の要素技術開発に基づいて行われた。

(1) 独立成分分析(ICA)に基づくブラインド空間サブトラクションアレーの高精度化およびそのリアルタイム実装

(2) 音声認識処理に基づく頑健な発話区間検出法の開発と実装

(3) 上記(1)、(2)を統合したロボット音声対話プロトタイプシステムの開発と実装およびその評価

本統合システムを実環境シミュレータ内に設置し、典型的な雑音環境における実動作確認、評価を行った。ここでは、公共の場所(駅や展示会など)や室内環境など苛酷な雑音環境を模擬し、実際にロボット対話システムに向かって人間が 1.5～2 m(最大で 3 m 程度)離れた所から対話を行うという実験評価を行った。その結果、典型的な駅雑音環境において 93%の単語認識率が得られた。また、上記に加えて、妨害話者(ユーザとは無関係に横から話しかける話者)を加えた評価タスクにおいても、84%の単語認識率が得られた。これらの値は、通常の単一マイクを使用する場合(通常のハンズフリー化されていない音声認識システム)と比較して約 30%もの改善に相当する。実際の使用体感においても、ほぼ9割程度の対話成功率が達成されており、十分自然かつ満足感が得られる音声対話システムが実現できたと言える。

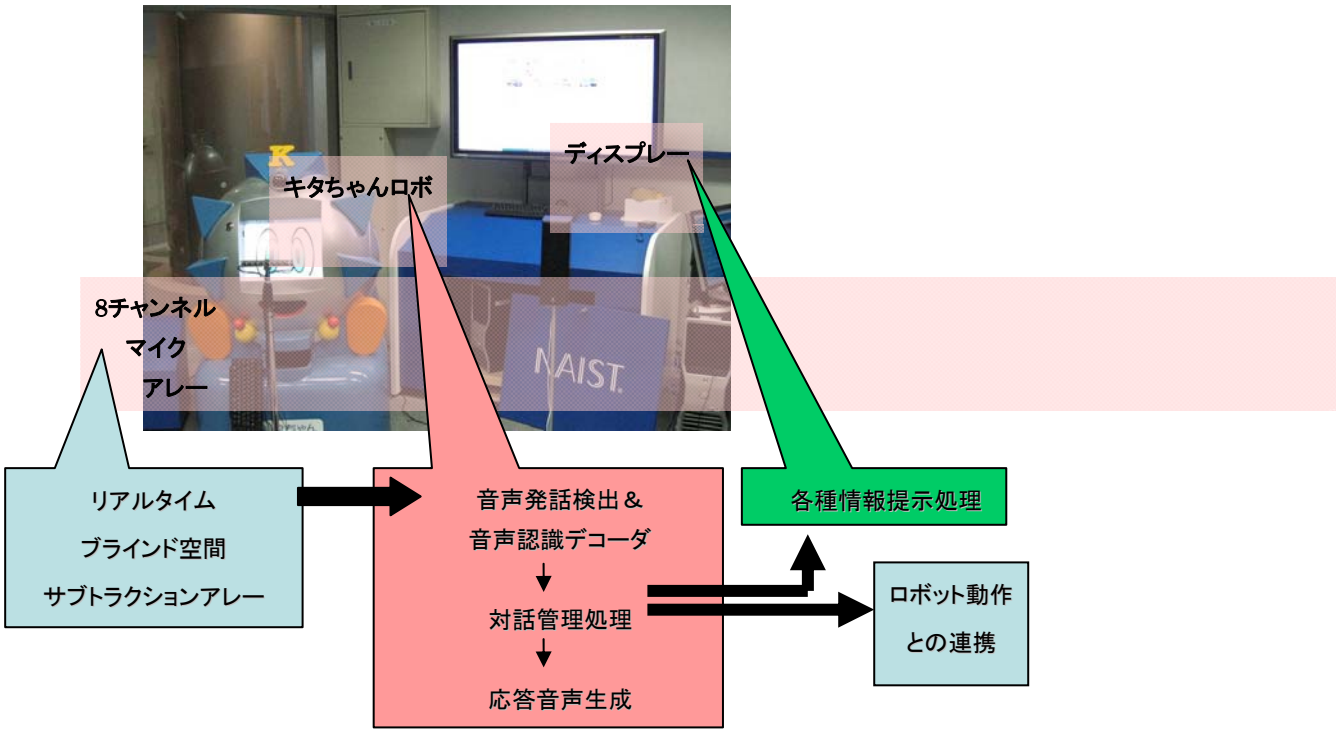


図 6　各種モジュールを統合した実環境動作可能な音声対話ロボットシステムの概観

（４） 自然言語処理

自然言語検索に基づく応答生成に関しては，(1) Webから自動収集したレストラン評判情報を利用する応答戦略，(2) ユーザ発話の内容に対して共感を示す応答戦略，(3) ユーザ発話に関連するニュースをWebから検索してユーザに教える応答戦略を設計し，プロトタイプシステム上に実現した．

1 つ目の対話戦略は、タスク指向の対話として、レストラン評判情報を利用した情報検索対話である。レストラン評判情報はブログなどのウェブから自動で獲得することが出来るが、より高精度に獲得するために食べログ(http://tabelog.com/)から獲得する。評判情報は表１のような構造で獲得できる。奈良のレストラン 871 店舗における評判情報を合計で 6,704 件獲得した。評価極性ごとに分類すると表２のようになる。これらの情報を利用して、以下のようにレストラン名やその評判情報を検索する対話を行うことが出来る。

表１　レストラン評判情報例

対象	属性	評価	評価局性
まりお	ラーメン	おいしい	positive
まりお	店員	やさしい	positive
タゴール	カレー	辛い	positive

表２ 奈良のレストラン評判情報

positive	Negative	neutral	unknown	other	
4,874	446	124	1,225	35	6,704

応答例

料理名から評判の良いレストランを検索する

User> 奈良のおいしいラーメン屋を教えてください

System> 尼辻町にあるまりおがラーメンがおいしいらしいですよ

レストランの評判を聞く

User> そこの評判はどうですか

System> まりおのレベルは高いらしいですね

System> まりおの店員さんは優しいらしいですね

レストランの住所を聞く

User> それはどこにありますか

System> まりおは奈良市尼辻町 433-3 にあるお店です．ラーメンがおいしいと評判ですよ

これらの対話は enon 上で音声によって行うことができる。

2 つ目の対話戦略として、ユーザ発話に含まれる名詞について、その名詞についての評価や評判を

含む相づちを打つことを実現する。つまり、ポジティブな評価を述べて相手に共感を示す応答を返すことを目的としている。例えば、以下のような対話が評価による応答(相づち) である。

応答例

User> お昼にうな重食べてきた

System> うな重は豪勢ですよね

User> お昼にモスバーガー行ってきた

System> モスバーガーは美味しいですよね

この戦略を実現するためには、名詞に対する評価表現が必要となる。それらを Google の Web 日本語 N グラム第 1 版(http://www.gsk.or.jp/catalog/ GSK2007-C/catalog.html)から獲得した。具体的には、7-gram データから名詞と共起する形容詞、形容動詞を獲得し、dice 係数によって共起頻度を計算した。約 17 万個の名詞について評価表現を獲得した。ユーザ発話中の名詞について、N グラムの中で最も良く共起する形容詞を利用し、発話テンプレートを用いてシステム発話を生成する。

また、N グラムの代わりにレストラン評判情報を利用し、ユーザ発話中のレストラン名については、評判情報中の属性とその評価を利用してシステム発話を生成することも行っている。これは、N グラム中にはレストラン名などの固有名詞が含まれていない場合が多いためである。構築したシステムで行った対話例を図 7 に示す。

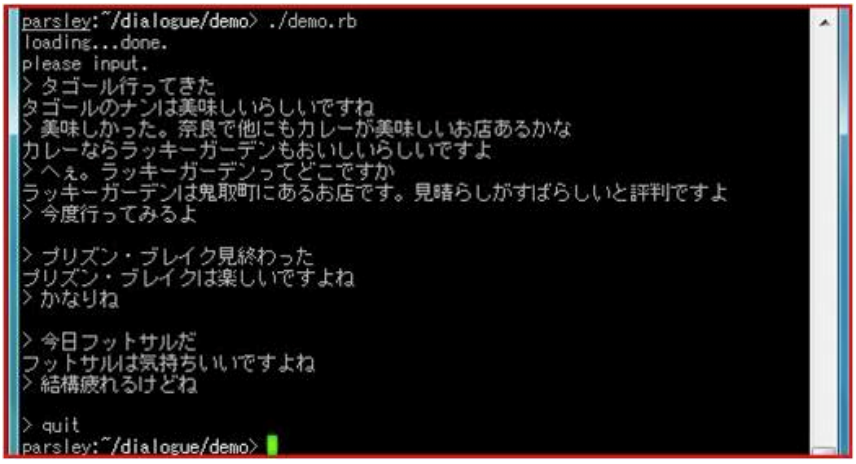


図 7 評価表現による応答例

3 つ目の対話戦略として、ユーザ発話の様々な話題を広くカバーするためにウェブニュースを利用し、ユーザ発話に関連する情報を利用した対話を実現した。まずユーザ発話に類似したウェブニュースを複数個(ここでは 100 個) 検索する。この検索には汎用連想計算エンジン GETA (http://geta.ex.nii.ac.jp/) を利用した。そして、複数個のウェブニュースのうち、本文中にユーザ発話のキーワード(ユーザ発話のうち、名詞、動詞、形容詞、形容動詞) が最も多く含まれており、

かつ時間情報が適合しているものを一つ選ぶ。時間情報の適合とは、例えばユーザ発話に“昨日” という単語が含まれていれば“昨日のニュース” を利用することである。これら二つの条件で検索結果から１ つのニュースを選ぶ。次にニュースからシステム発話の生成だが、ニュースのタイトルにはそのニュースに重要な単語がよく含まれていると仮定する。その仮定の下で、ニュースのタイトルを構成する単語がよく含まれる一文をニュース本文中から抽出する。抽出された文はニュースの内容を端的に示しており、かつタイトルほど簡略化されていないことが期待される。その文に対して語尾の変換(だ・である口調からです・ますロ調への変換、ユーザ発話が過去形であればシステム発話も過去形にするなど) や注釈(人名に付随する年齢など) を除去するといったルールによってシステム発話に変換して出力する。ニュースには毎日新聞(http://mainichi.jp/) と産経新聞(http://sankei.jp.msn.com/)を利用した。これらのニュースは別に構築したクローラによって収集されており、システム発話をあらかじめ生成しておくことによって実時間による対話を実現している。

これら 3 つの対話戦略による対話に関して、Ruby on Rails による CGI を構築し、ウェブブラウザを介して利用することを可能にした。さらに、プロトタイプロボットからの利用を可能にした。

（５） 知識情報の構造化

知識情報の構造化を実現するため、拡張記憶機構の開発を行った。ステレオカメラを用いてあらかじめ記録した長期間の行動映像から高齢者の基本的な４動作（歩く、立つなど）の認識を可能とした。さらに、その結果をユーザに提示するための検索エンジン・描画エンジンを開発し、ユーザの要求に応じて動作履歴を表示可能とした。

1. ステレオカメラを用いた視点変化に対して頑健な動作認識

ロボットに搭載されたカメラで高齢者の生活を記録した映像（行動記録映像と呼ぶ）から、基本動作の認識を行うまでのフローは図１６のようになる。

移動ロボットで撮影した行動履歴画像から動作を認識する場合、以下の２点が問題となる。

① ロボットと対象者の関係が不定であるため、任意の方向から見た映像での動作認識が必要。

② 照明などさまざまな環境変化や、対象者自身の衣服などの変化に対応することが必要。

これらの問題を解決するために、ステレオカメラを用いた動作認識アルゴリズムを考案した。概要は図９のようになる。

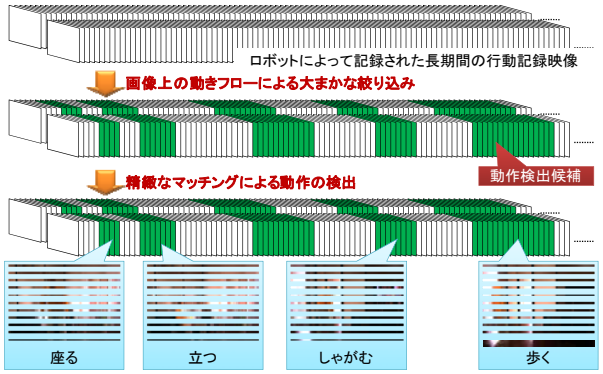


図 8 行動記録映像からの基本動作の認識

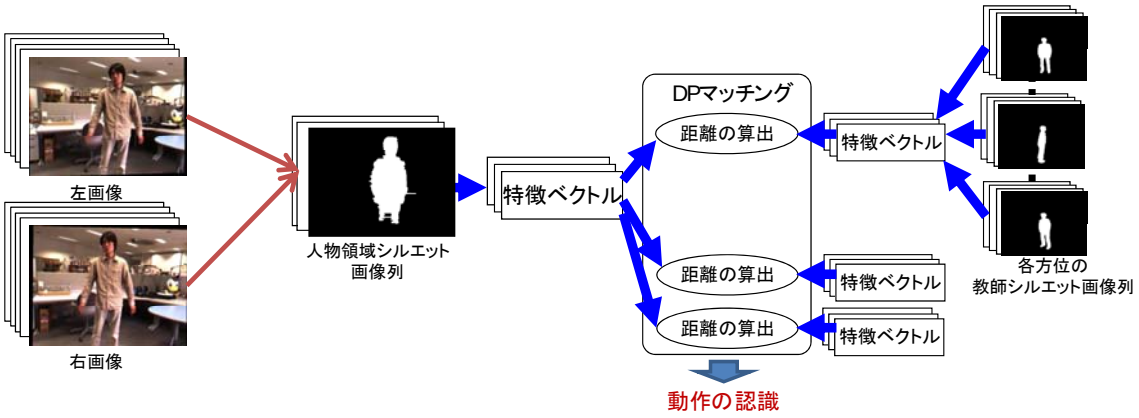


図 9　ステレオカメラを用いた動作認識

人物の動作を認識するためには、まず人物が存在する領域を抽出する必要がある。そのための技術としては、背景差分（あらかじめ用意した背景データと現在の画像を比較して人物を抽出する）がありさまざまな分野に応用されている。しかし、我々が想定しているサービスでは、ロボットは室内を動いて必要なサービスを行うため、固定カメラを仮定する背景差分は適用することができない。そこで、ステレオカメラから得られた奥行きデータと画像上の動き情報を用いて人物領域シルエットを検出する手法を考案した（図９の左半分）。

次いで、得られた人物領域シルエットから動作認識を行う。ここでは、先に述べたように、人物とロボットの間の相対的な位置関係が不定であるため、さまざまな方向からみた動作に対応する必要がある。そこで、図９右に示すように、あらかじめ多方向からみた動作のシルエット画像列を保持しておき、それとの比較を行うことで相対位置関係の変化に対応する。また、モーメント特徴量とＤＰマッチングを併用することで、動作の時間的な伸び縮みや、人物の体格・姿勢などの影響を受けない認識を実現する。

2.　　認識結果のユーザへの提示

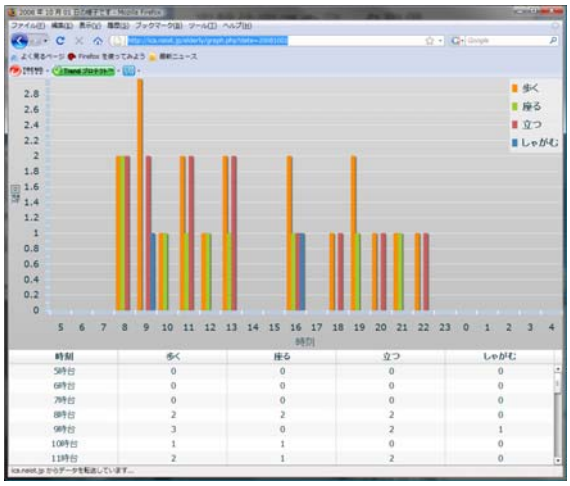
このように求まった動作認識結果を効果的にユーザへ提示するシステムの開発を行った。ここでは操作の簡便性や他のシステムとの親和性から以下のような構成をとることとした。

①　ユーザからの要求は Web ページへのアクセスとして受け付ける。

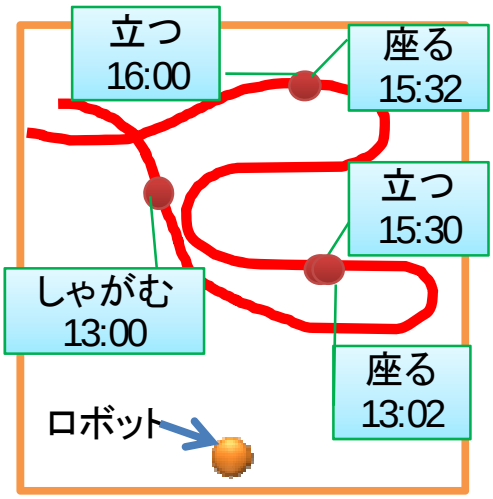
②　Web サーバー上で動作するプログラムが別途用意するデータベースサーバーに対して検索処理などを行う。

検索結果は Web 画面上にグラフなどの形で提示する。

この設計に基づくユーザへの情報提示画面のイメージは図１０のようになる。(a)はある特定の一日の動作検出結果のヒストグラムを示しており、ある時間帯にどのような動作が発生したかがわかるようになっている。(b)はロボットに対する対象者の相対的な位置関係と，そこで起こった動作を示している。



(a) 一日の動作のヒストグラム



(b) 対象者の動作軌跡

図 10　ユーザへの提示例

（６）　遠隔コミュニケーション要素技術

遠隔コミュニケーションを実現するためのジェスチャ認識や顔情報を遠隔に伝送する手法について検討し、認識・伝送手法の試作を行った。

１．ジェスチャ認識に基づくコミュニケーション

遠隔地にすむ家族が身振り手振りを交えた対話を行える機能について研究を行った。身振り手振りを交えて遠隔でコミュニケーションするためには、ジェスチャの認識が必要となる。カメラと距離センサを用いて人の上半身の動きを認識する手法について研究行い、机の前に座った人の肩の位置、手先の位置を求めることにより、幾何学解析により両腕の姿勢を認識するアルゴリズムを検証した（図１１）。

ステレオカメラを用いて左右の視差情報から距離情報を求め、これに基づいて肩と腕の姿勢推定を行う手法について研究を行い、5fps の処理速度での姿勢推定を可能にした。

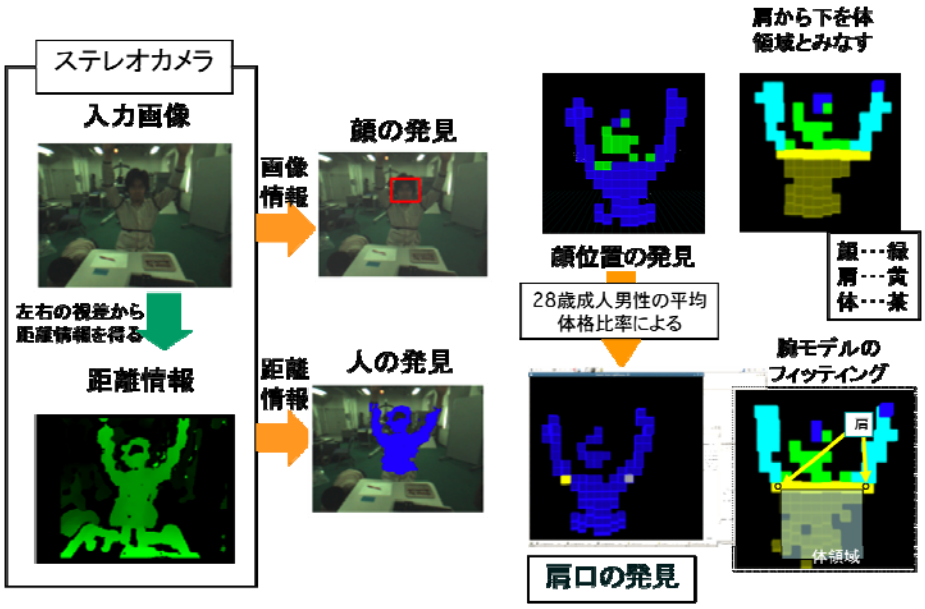


図 11　人の上半身（肩，腕）の姿勢推定手法

2. 行動情報転送機能の開発

高齢者は独居あるいは夫婦のみで生活しており、遠隔地にいる家族にとって、臨場感を伴うコミュニケーションが期待されている。また、高齢者施設などでは介助者が非介助者と別フロアに控えている。必要に応じて介助者とのコミュニケーションが必要となる。そこで、顔情報計測機能により計測された、顔向き、視線情報をロボットに伝送し、顔向きに応じてロボットの頭部を動かす手法の試作を行った。

顔向き・視線情報を用いて遠隔のロボットの頭部を制御する手法、カメラ画像を転送し運動視差に基づいて３次元表示を行う手法を検討し、ロボットによる稼働実験により有効性を確認した。

（７）　システム統合化と実験住宅における実験

開発した要素技術を統合することにより、プロトタイプシステムを構築した。

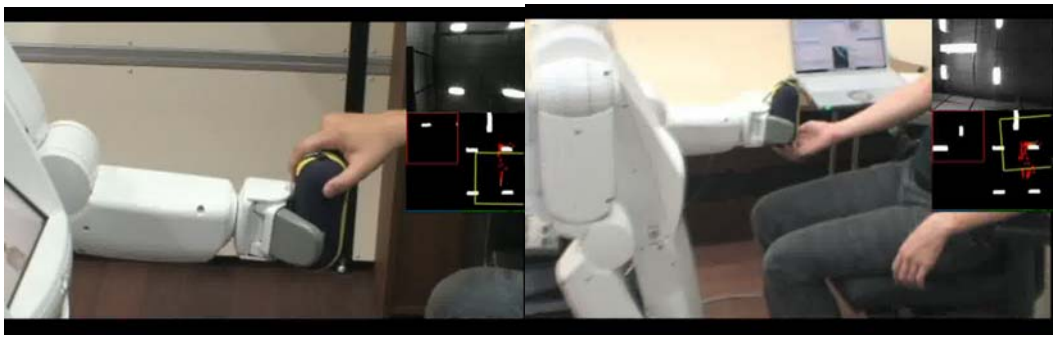
車輪による移動機能と両手を備えたサービスロボットをベースに、顔情報計測用カメラ、ナビゲーション用カメラ、音声認識用マイクロフォンを装着している。統合制御＋顔情報計測用ＰＣ，音声認識用ＰＣにより統合制御されるシステムである。無線 LAN により、自然言語検索、拡張記憶機構、顔センシング用ＰＣと情報のやりとりを行う。

プロトタイプロボットシステム用いて、下記のような機能が実現した。そして、実験住宅内でその動作を確認することができた。

- インターネットから、ニュース、天気予報などの情報を検索し、その内容を発話するとともに、表示できる。
- レストランに関する評判情報を予め Web から収集しておき、その情報を応答ルールに組込んだ評判情報の提供ができる。(500 件以上の)

・ 指示により、部屋から玄関までの自律移動が行える。来客との遠隔対話が可能であり、さらに、来客を部屋まで誘導できる。(自律移動には天井画像を用いた移動機能を用いる。)
・ TV 視聴中のような雑音レベルが高い環境でもロバストな音声認識が可能である。
・ カメラによる年代推定を行い、年代に応じた応答（声の大きさ・スピードの変更、文字の表示サイズの変更）が行える。

(1) 「眼鏡を取って来てください。」と指示　　(2) 移動中



(3) 眼鏡ケースを手渡してもらう　　(4) 依頼者に眼鏡ケースを手渡す

図 12　実験住宅における実験の様子：「眼鏡を取ってくる」

３）目的に照らした達成状況

高齢者対応コミュニケーションＲＴシステムの最終目標は、高齢者にも対応するコミュニケーション機能の開発を行い、実証ロボットで検証を行うことである。その際 RT システムとして下記のような機能を実現することを目標としている。

①バーバル（会話）やノンバーバル（ジェスチャー、指示具）コミュニケーションによる指示により、情報提供のみならず、ＲＴならではの物理空間作業を行う。

例えば、電気器具の使い方の質問に答える、指示に従って身の回りにある対象物を持ってくる、操作するなどの作業を自律的に行うものとする。

②複数の年齢層に対し、適切なコミュニケーションを実現する。また、人とのやりとりを重ねながら、適切なコミュニケーションモデルの選択、履歴の活用などが可能なものとする。

上記最終目標に向けて、下記のような中間目標を設定し、技術要素について、プロトタイプ機により最終目標に十分に到達する見込みを示すよう研究開発に取り組んだ。

・ 顔情報計測:

顔情報計測範囲の拡大を行うとともに、顔情報計測機能と音声認識機能を融合した対話システムの開発。

・ 音声認識モジュール:

年齢対応音韻モデルによる音声認識性能の向上とハンズフリー音声対話システムの構築。

・ 自然言語検索モジュール:

特定の話題の情報を要約して大規模辞書を構成する手法の開発および音声対話システムへの組み込み手法の開発。

・ 拡張記憶機構:

対象者の観察系列動画像を解析し、プリミティブ動作の認識の実現。自律移動ロボットによる行動履歴蓄積方式の開発。

・ 顔センシング技術:

高齢者を認識するための性別年代推定技術の精度向上、表情を認識するために必要な顔器官検出技術の精度向上の実現と高齢者の特定表情を推定できる機能のプロトタイプの実現。各機能において実用に十分な認識率の達成。

・ システム統合化技術：

各要素技術の統合化をベースにロボットのシステム開発を実施する。対話モード、遠隔コミュニケーション、自律移動モードが統合され、実験住宅で事業化利用想定に沿った動作を検証する。

この中間目標に対して研究開発を行った結果、下記のような成果を得ることができた。

・**顔情報計測**：

ロボットに搭載されたカメラにより、前にいる人の顔情報をリアルタイムで認識するとともに、音声認識モジュールとの統合によりマルチモーダル対話システムを構成した。話者がロボットに話しかけているかどうかを顔向きから認識し、話かけていると判断したときのみ返答する対話ロボットを構築した。

・**音声認識モジュール**：

BSSA（ブラインド空間サブトラクションアレイ）技術を８素子のマイクロホンアレイを用いて実装し音声認識結果に基づく発話区間検出機構を導入することで，ハンズフリー音声対話ロボットシステムを構築した。実環境（駅）で収録した雑音をサラウンドスピーカから再生した環境下で、マイクから１ｍ離れて発声したユーザ発話について、単語認識率において 90％以上という性能を達成した。

・**拡張記憶機構**：

実験住宅などにおいて動画情報を収集し、基本動作を認識するプロトタイプシステムを開発した。前もって切り出された基本動作に対して概ね 80％以上の認識率を得ており、今後の改良によってより高い精度が達成できる目処がたった。さらに、その結果をユーザに提示するための検索エンジン・描画エンジンを開発し、ユーザの要求に応じて動作履歴を表示可能とした。

・**自然言語検索モジュール**：

以下の３つの目標について，ほぼ実現した。

・ 対話において，ユーザが入力した料理について評判の良いレストランを検索し，その店名・具体的な評判事例・住所を答える。

・ 対話において，ユーザ発話中の名詞について，大規模なウェブテキストから獲得した評価表現を利用した相づちを行う。

・ 対話において，ユーザが発話した内容に関するニュースを検索し，総括的あるいは詳細な情報をシステム発話として出力する。

・**顔センシング技術**：

1)高齢者を認識するための性別年代推定の精度向上を実現。

2)高齢者の表情を認識するのに必要な顔器官検出の性能向上を実現。

3)笑顔認識・居眠り推定を実時間で行うことができるプロトタイプを完成。

・**システム統合化技術**：

プロトタイプロボットシステムを構築し、下記のような機能を構築した。そして、実験住宅内でその動作を確認することができた。

・年代推定を行い、年代に応じた応答（声の大きさ・スピードの変更、文字サイズの変更）が行える。

・インターネットから、ニュース、天気予報などの情報を検索し、その内容を発話するとともに、表示できる。また、評判情報を用いた対話が実現されている。

・ 指示により、部屋から玄関までの自律移動が行える。来客との遠隔対話が可能であり、さらに、来客を部屋まで誘導できる。

このように、要素技術に関しては、当初計画した中間目標をほぼ達成できた。

また、住宅内でのコミュニケーションロボットの活用に関して調査研究を行った。実験住宅ＲＴ環境に対して、PJ で開発中のロボットを接続し、実現可能なサービスの可能性、有効性、問題点の検証を行うための評価実験を実施した。高齢者、介護事業者及び生活関連事業者のニーズに応える、在宅介護サービスと連携した RT のサービス機能を盛り込んだ生活シーンを高齢者とロボットが演じ、アンケート評価を行った。結果、総合的には「RT による服薬管理」、「生活を報知・分析し、質の高い介護を実施」、「本や新聞を読んでくれ、話し相手になる」など、日常生活を支援する機能に関して高い評価を得た。さらに、仮説ニーズに対して、ヒアリングやマス調査等を行い、設定ニーズの妥当性検証を行なった。市場調査とロードマップ整備を行なった事業化に向けたマーケット調査を実施し、プロトタイプ構築の指針を得た。

これらの調査研究はプロトタイプシステムのデモシナリオに反映した。これにより、当初の計画に沿った実証実験を行うことができた。

さらに、事業化に向けて検討した結果、高機能なサービスロボットを実現するには全ての要素技術が必要である。コストの制約から各モジュールに関して機能を絞り込む、各モジュールをオプションにしておき、ユーザが希望するサービスに必要な機能のみを選択可能にしておくなどの工夫を行うことが必要であることが明らかになった。例えば、自律移動に関しては、コストを下げた対話サービス中心のロボットでは省略することを検討している。

このように、技術開発に関しては最終目標を達成するために必要な技術要素を目標どおり開発することができたとともに、事業化に向けた具体的な方針も明確にすることができ、当初の目標を十分達成することができた。

4）成果の意義

本技術開発で得られた成果は、年齢層に対応可能でロバストな音声認識技術や性別年代推定の可能な顔センシング技術など、従来にない性能を持ち、しかも実用化に近いレベルのものであり、要素技術としてもさまざまな分野でのサービス事業に展開可能である。ロボットシステムに関しても、対話機能はさまざまなロボットへの利用が期待できる技術である。各要素技術は世界最高水準のものであることは研究発表実績や受賞実績からも明らかである。それら要素技術を統合した対話ロボットシステムも当然ながら世界的に見ても

他に類をみない機能の対話ロボットのプロトタイプを構築できた。コミュニケーション機能はあくまで人とロボットとインタフェースとして用いるものであり、人を支援するロボットには必要不可欠であり、従来の技術では十分な実用に耐えなかったものを、本技術開発で実用化の目処を示す事ができたと考えている。また、その成果は十分な汎用性を有するものである。健康管理や高齢者施設での利用などが期待できる。今後は、サービスビジネスなどの市場開拓に向けて事業面の検討を行う必要があると考えている。

5）特許取得状況

２００６年度　　１件
２００７年度　　０件
２００８年度　　２件

国内特許

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
1	2007 年 1 月 22 日	2007-011281	年齢確認装置、年齢確認方法、及び年齢確認プログラム	オムロン株式会社
2	2008 年 2 月 25 日	2008-043517	年令推定装置	オムロン株式会社
3	2009 年 2 月 23 日	2009-039276	年令推定装置	オムロン株式会社

6）成果の普及

論文数一覧

	査読付き	その他
２００６年度	２０件	７件
２００７年度	７件	１７件
２００８年度	１０件	７件

査読付き論文

（２００８年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2008年10月	日本顔学会誌	３次元顔情報計測に基づく対話ロボットを介した遠隔コミュニケーション	怡土順一，上田悦子,松本吉央，小笠原司
2	2008年6月	IEICE Trans. Fundamentals	Fast Convergence Blind Source Separation Using Frequency Subband Interpolation by Null Beamforming	Keiichi Osako, Yoshimitsu Mori, Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
3	2008年9月	IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems	Real-time implementation of blind spatial subtraction array for hands-free robot spoken dialogue system	Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
4	2008年9月	INTERSPEECH2008	Development and evaluation of hands-free spoken dialogue system for railway station guidance	Hiroshi Saruwatari, Yu Takahashi, Hiroyuki Sakai, Shota Takeuchi, Tobias Cincarek, Hiromichi Kawanami, Kiyohiro Shikano
5	2008年5月	Joint Workshop on Hands-free Speech Communication and Microphone Arrays	Blind Source Extraction For Hands-Free Speech Recognition based on Wiener Filtering and ICA-based Noise Estimation	Yu Takahashi, Keiichi Osako, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
6	2008年8月	22ndInternational Conference on Computational Linguistics	Two-phased event relation acquisition: coupling the relation-oriented and argument-oriented approaches	Shuya Abe, Kentaro Inui and Yuji Matsumoto
7	2008年8月	22ndInternational Conference on Computational Linguistics	Emotion classification using massive examples extracted from the Web	Ryoko Tokuhisa, Kentaro Inui and Yuji Matsumoto
8	2008年12月	2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence	Experience Mining: Building a Large-Scale Database of Personal Experiences and Opinions from Web Documents	Kentaro Inui　他
9	2008年7月	画像の認識・理解シンポジウム	3Dモデル高速フィッティングによる顔特徴点検出・頭部姿勢推定	木下、小西、勞、川出
10	2008年9月	8th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition	A Fast and Robust 3D Head Pose and Gaze Estimation System	Kinoshita and Lao

（２００７年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
11	2008年6月	IEICE Transactions Fundamentals	Fast convergence blind source separation using frequency subband interpolation by null beamforming	Keiichi Osako, Yoshimitsu Mori, Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
12	2007年8月	IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing	MLSP2007 Data Analysis Competition: Two-Stage Blind Source Separation Combining SIMO-Model-Based ICA and Binary Masking	Yoshimitsu Mori, Keiichi Osako, Shigeki Miyabe, Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
13	2007年10月	IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics	Fast convergence blind source separation based on frequency subband interpolationby null beamforming	Keiichi Osako, Yoshimitsu Mori, Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
14	2007年6月	Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning (EMNLP-CoNLL)	Extracting Aspect-Evaluation and Aspect-Of Relations in Opinion Mining	Nozomi Kobayashi, Kentaro Inui and Yuji Matsumoto
15	208年1月	3rd International Joint Conference on Natural Language Processing	Acquiring Event Relation Knowledge by Learning Cooccurrence Patterns and Fertilizing Cooccurrence Samples with Verbal Nouns	Shuya Abe, Kentaro Inui and Yuji Matsumoto
16	2008年3月	情報処理学会論文誌, Vol.49, No.3	大域的な情報を用いた未知語の品詞推定	中川哲治，松本裕治
17	2008年3月3日	インタラクション2008	リアルタイム笑顔度推定	小西他

（２００６年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
18	2006年10月	情報処理学会論文誌	リアルタイム顔･視線計測システムの開発と知的インタフェースへの応用	松本吉央 他
19	2007年1月	IUI2007	Robotics Telecommunication System based on Facial Information Measuremen	Junichi Ido, et al.
20	2006年10月	IROS2006	Humanoid with Interaction Ability Using Vision and Speech Information	Junichi Ido, et al.
21	2006年9月	EUSIPCO2006	Two-Stage Blind Separation of Moving Sound Sources with Pocket-Size	Yoshimitsu Mori, et al.

			Real-Time DSP Module	
22	2006年9月	Interspeech2006	Acoustic Modeling for Spoken Dialogue Systems Based on Unsupervised Utterance-based Selective Training	Tobias Cincarek, et al.
23	2006年9月	SCIS&ISIS2006	Real-Time Blind Separation of Acoustic Signals Using SIMO-Model-Based Independent Component Analysis	Hiroshi Saruwatari, et al.
24	2006年9月	IWAENC2006	Blind spatial subtraction array with independent component analysis for hands-free speech recognition	Yu Takahashi, et al.
25	2006年11月	ASA/ASJ Joint Meeting	Beyond the ICA: new blind acoustic sound separation in real world via SIMO-ICA	Hiroshi Saruwatari, et al.
26	2006年11月	ASA/ASJ Joint Meeting	Blind spatial subtraction array based on independent component analysis for speech enhancement and recognition	Yu Takahashi, et al.
27	2006年11月	ASA/ASJ Joint Meeting	Acoustic modeling of spontaneous speech of Japanese preschool children	Izumi Shindo, et al.
28	2006年11月	ASA/ASJ Joint Meeting	Database construction and analysis of user speech with real environment spoken guidance systems	Hiromichi Kawanami, et al.
29	2007年2月	ISSPA2007	Robust spatial subtraction array with independent component analysis for speech enhancement	Yu Takahashi, et al.
30	2007年2月	ISSPA2007	Noise-robust hands-free speech recognition using SIMO-model-based blind source separation	Yoshimitsu Mori, et al.
31	2007年3月	NCSP2007	Evaluation of blind source separation combining SIMO-ICA and SIMO-model-based binary masking in noisy environment	Yoshimitsu Mori, et al.
32	2007年3月	NCSP2007	Improvement of acoustic model for hands-free speech recognition using spatial subtraction array	Ayase Takagi, et al.
33	2007年3月	NCSP2007	Internal robot noise reduction by using NAM microphone for hands-free speech recognition	Naoya Tanaka, et al.
34	2007年３月	人工知能学会論文誌	Opinion Mining from Web Documents: Extraction and Structurization	Nozomi Kobayashi, Kentaro Inui, Yuji Matsumoto
35	2006年9月	The International Workshop on Data-Mining and Statistical Science	Opinion Mining from Weblogs: Extraction and Structurization	Nozomi Kobayashi, Kentaro Inui, Yuji Matsumoto
36	2006年8月	Lecture Notes in Artificial Intelligence 4012	Opinion Mining as Extraction of Attribute-Value Relations	Nozomi Kobayashi, Kentaro Inui, Yuji Matsumoto
37	2007年	Web Intelligence and Agent Systems	Real-time Cooperative Multi-target Tracking by Dense Communication among Active Vision Agents	Norimichi Ukita

その他

（２００８年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
38	2008年6月	ロボティクスメカトロニクス講演会2008	ロボットによる情報提示を目指した関心発生源マップの作成	河村雅人，怡土順一 ，栗田雄一，松本吉央，小笠原 司
39	2008年11月	ISBN: 978-953-7619-21-3, In-Teh	“Humanoid with interaction Ability Using Vision and Speech Information,” *Computer Vision*, Chapter 8	Junichi Ido, Yoshio Matsumoto, and Tsukasa Ogasawara
40	2009年3月	電子情報通信学会総合大会	日常生活パターン解析のための長期画像列中の基本動作スポッティング	木村優作，波部　斉，木戸出正繼
41	2008年6月	第１４回画像センシングシンポジウム	監視カメラ画像による実時間年齢推定技術	山本他
42	2009年3月	人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会	雑談対話のための評価表現を利用する相槌	清水友裕，乾健太郎，松本裕治
43	2009年3月	人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会	ウェブニュースを利用した雑談対話システム	水野淳太，乾健太郎，松本裕治
44	2009年3月	言語処理学会第15回年次大会	根拠情報抽出の課題設計と予備実験	飯田龍，乾健太郎，松本裕治

（２００７年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
45	2007年5月	ロボティクスメカトロニクス講演会2007	顔情報計測に基づくヒューマノイドロボットを介した遠隔コミュニケーション	末永剛,怡土順一, 上田悦子,松本吉央,小笠原司
46	2007年9月	第２５回日本ロボット学会学術講演会予稿集	人物の動線情報を用いた個人識別手法	小林純也，末永剛，竹村憲太郎，栗田雄一，松本吉央，小笠原司
47	2007年9月	第２５回日本ロボット学会学術講演会予稿集	ヒューマノイドによるレーザレンジファインダを用いた三次元環境地図作成	湯浅卓也，怡土順一，栗田雄一，松本吉央，小笠原司
48	2007年10月	情報処理学会関西支部大会 環境知能研究会	室内における動線情報を用いた個人識別	小林純也，末永剛，竹村憲太郎，栗田雄一，松本吉央，小笠原司
49	2007年12月	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	ヒューマノイドによるレーザレンジファインダを用いた三次元地図作成と障害物回避	湯浅卓也，怡土順一，栗田雄一，松本吉央，小笠原司
50	2008年3月	センシング技術応用研究会・第160回研究例会	音声信号処理で実現可能な音声対話技術やロボットコミュニケーション	猿渡 洋
51	2007年6月	IEICE Technical Report	死角制御型ビームフォーマによる周波数帯域補間を用いた高速ブラインド音源分離	大迫 慶一，森 康充， 猿渡 洋,鹿野 清宏
52	2007年9月	IEICE Technical Report	独立成分分析に基づく近接点音源除去の高速化	大迫 慶一，高橋　祐， 森 康充，猿渡 洋， 鹿野 清宏
53	2007年9月	音響学会講演論文集	独立成分分析に基づく近接点音源除去の検討	大迫 慶一，高橋　祐， 森 康充，猿渡 洋， 鹿野 清宏

54	2007年9月	音響学会講演論文集	ブラインド空間的サブラクションアレーによる駅環境音声認識	高橋　祐，大迫 慶一，猿渡 洋,鹿野 清宏
55	2007年11月	平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会	独立成分分析に基づく近接点音源除去におけるパーミュテーションの解決法	大迫 慶一,Jani Even,高橋　祐，猿渡 洋,鹿野 清宏
56	2007年11月	平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会	独立成分分析による雑音推定とウィーナフィルタ リングに基づくブラインド音源抽出法	高橋　祐，　猿渡 洋,鹿野 清宏
57	2008年3月	音響学会講演論文集	高速近接点音源除去アルゴリズムを導入したブラインド空間的サブトラクションアレー	大迫 慶一，高橋 祐,森 康充，Even Jani,猿渡 洋，鹿野 清宏
58	2008年3月	音響学会講演論文集	リアルタイム･ブラインド空間的サブトラクションアレーを用いたハンズフリー音声対話システムの構築	高橋 祐，宮部 滋樹,大迫 慶一，ツィンツァレクトビアス,竹内 翔大，酒井 啓行，川波弘道，猿渡 洋，鹿野 清宏
59	2008 年 3 月 22 日	電子情報通信学会福祉情報工学研究会	高齢者の生活管理を目的とした様々な視点からの動作画像列認識	西牧悠史，浮田宗伯，木戸出正継
60	2007年11月18日	ACCV07 Demo Session	Real-Time Estimation of Smile Intensity	小西他
61	2007年6月6日	第１３回画像センシングシンポジウム	監視カメラ画像による実時間顔属性推定システム	瀧川他

（２００６年度）

	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
62	2006年12月	第7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	顔情報計測技術とその応用	松本 吉央，小笠原 司
63	2006年12月	第7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	環境と協調するサービスロボットの開発	松本 修 他
64	2006年10月	情報処理学会関西支部大会 環境知能研究会	環境と協調するサービスロボットの開発	松本 修 他
65	2006年9月	ヒューマンインタフェースシンポジウム2006	ビデオ講義における受講者の行動計測･状態推定システムの提案	吉村 崇 他
66	2006年10月30日	NAIST産学連携フォーラム	広域分散カメラ群による多数対象追跡	浮田宗伯
67	2006年11月2日	Demonstration Session of Eighth International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'06)	A Gender and Age Estimation System Robust to Pose Variations	Takikawa, Kinoshita, Lao and Kawade
68	2006年12月5日	2006センシング技術応用セミナー	顔画像センシング技術	川出 雅人

（１）　その他の公表（プレス発表等）

２００６年度　２件
２００７年度　２件
２００８年度　０件

	公表年月日	公表内容
1	2008 年 3 月 4-7 日	Security Show2008 展示会展示
2	2007 年 10 月 2 日	Ceatec2007 展示会展示
3	2007 年 1 月 3 日	京都新聞：“離れた孫が遠隔操作：高齢者生活支援ロボット開発中”
4	2006 年 11 月 30 日～12 月 2 日	国際次世代ロボットフェア IRT2006 展示、プロジェクトの紹介

（２）　受賞
２００６年度　０件
２００７年度　６件
２００８年度　１件

	受賞年月日	受賞内容	受賞者
1	2008 年 6 月 12 日	2007 年度 人工知能学会業績賞	松本裕治
2	2007 年	日本音響学会関西支部　若手奨励賞	高橋　祐
3	2007 年 6 月	人工知能学会研究会優秀賞	高橋祐，高谷智哉，猿渡洋，鹿野清宏
4	2007 年 8 月	2007 IEEE workshops on Machine Learning for Signal Processing (MLSP2007) Data Analysis Competition Winner on Nonlinear Separation	Yoshimitsu Mori, Keiichi Osako, Shigeki Miyabe, Yu Takahashi, Hiroshi Saruwatari, Kiyohiro Shikano
5	2007 年 10 月 30 日	2007 年度 日本 OSS 貢献者賞、独立行政法人情報処理推進機構（IPA）	松本裕治
6	2007 年 8 月	情報処理学会平成１９年度山下記念研究賞	飯田龍
7	2008 年 3 月	言語処理学会第１３回年次大会優秀発表賞	飯田龍，小町守，乾健太郎，松本裕治

3.2.2.3 行動会話統合コミュニケーションの実現

【実施者:三菱重工業(株)、東京大学、東京工業大学、
(株)国際電気通信基礎技術研究所】

1)成果の概要

＜概要＞

本プロジェクト開発では，コミュニケーションを単なる対話ととらえるのではなく，人のロボットに対する指令，ロボットによる物操作を伴う人間への物理支援行動，それに対する確認などのような，意志表明，作業実施，並びに意図確認からなる統合過程ととらえ，このような行動と会話を不可欠の要素としてコミュニケーションを行う新しい「行動会話統合コミュニケーションRTシステム」を開発した。

「**状況依存モジュールに基づくコミュニケーション RT 技術の開発**」として，ユーザの指示と，人・モノの位置，利用者別会話履歴(コト）の状況に応じて，サービスの流れを制御する「行動会話統合状況依存モジュール技術」を開発。プロトタイプ機へ適用し，人・モノの位置，利用者別会話履歴(コト）のバリエーションに対応するできることを実験で確認した。

「**年齢に応じた発話と身振りのタイミング制御による違和感の少ないヒューマンロボットインタラクション技術の開発**」として，ロボットの「言葉・表示・動き」の各コミュニケーションチャネルのタイミングの影響を評価し，「言葉・表示・動き」の「行動会話統合タイミング制御技術」がロボットの親和性に影響を与えることを示した。

「**人・物・コトを体系的に記述する空間構造化フレームワーク技術**」として，ロボットが指示語（あれ，これ等)，色（「赤い」本等)，指差しを組み合わせた行動会話によって，空間内の対象物を特定する技術を開発した。また，室内の対象物の 3 次元座標を取得できる「指示デバイス」，人物行動を認識するシステムとの連携インタフェースを開発。プロトタイプ機においては，人物の入室を検知し，自発的にサービスを開始するシステムを実現した。

「**コミュニケーションRTプロトタイプシステムの開発，および実証試験**」として，タッチパネルデバイスを搭載したシステムを開発。ユーザに対するロボットの意図に応じて，ユーザの視野内外でタッチパネルを物理的に動かすことで，ロボットの意図を直感的に表現することが可能となった。また，ユーザはロボットに直接接触することで，直感的なインタラクションが可能となった。

これらを搭載した「行動会話統合コミュニケーションRTプロトタイプ機」を開発し，高齢者10名を対象に，有効性を検証する実験を実施。人間側からの印象を5類の形容詞（自然さ，親しみ，丁寧さ，好き，使いやすさ）を用いて評価した結果，全ての形容詞に対する評価で，従来システムに対する有意な差を確認した。

以上の結果，プロトタイプ機によって，下記の目標を達成する見込みが得られ，中間段

階での目標をすべて達成した。

①バーバル（会話）やノンバーバル（ジェスチャー，指示具）コミュニケーションによる指示により，情報提供のみならず，ＲＴならではの物理空間作業を行う。

②複数の年齢層に対し，適切なコミュニケーションを実現する。また，人とのやりとりを重ねながら，適切なコミュニケーションモデルの選択，履歴の活用などが可能なものとする。

プロトタイプ機を用いて，大型店舗向け広告・宣伝用途の実証実験を実施し，共同でロボットの事業化を進めるパートナー企業から高い評価を得られた。また，コミュニケーションロボットの積年の課題であった，顧客価値（金銭的メリット）の明確化につながる成果であることから，成果の実用化・事業化の可能性が飛躍的に高まった。

研究成果はパートナー企業と既に進めている事業化活動に積極的に導入し，評価をフィードバックしつつ，市場の認知を徐々に広げながら事業化を進める計画とする。

＜基本計画記載の中間目標＞

（１）【最終目標】実証ロボットでの実証

①バーバル（会話）やノンバーバル（ジェスチャー、指示具）コミュニケーションによる指示により、情報提供のみならず、ＲＴならではの物理空間作業を行う。

例えば、電気器具の使い方の質問に答える、指示に従って身の回りにある対象物を持ってくる、操作するなどの作業を自律的に行うものとする。

②複数の年齢層に対し、適切なコミュニケーションを実現する。また、人とのやりとりを重ねながら、適切なコミュニケーションモデルの選択、履歴の活用などが可能なものとする。

（２）【中間目標】

中間目標としては、提案者が最終目標として掲げる技術要素について、プロトタイプ機により最終目標に十分に到達する見込みを示すことが求められる。

＜提案者が最終目標として掲げる技術要素と，中間目標値＞

上記のとおり，基本計画では提案者が自主的に技術要素ごとに目標を設定することとしている。

本プロジェクト開発では，これまでにコミュニケーションロボットの開発，試験運用を行ってきた知見から，基本計画を達成するために不可欠な技術要素として以下の 6 項目を設定し，これを達成することを中間目標とした。

達成度の評価としては，高齢者を対象とした実証実験によって，要素技術の有効性とシステムの実現性を個別に検証することとした。

項目	中間目標値
1．システム統合の機能的優位性，新規性	一般住宅環境において，高齢者を対象に，物品搬送･家電操作のサービスを提供するシステムを構築し，システムの実現性のめどを得ること。会話だけでな

	く，動き・表示・指示具を統合した直感的なインタラクションを行い，空間内の対象物に関するコミュニケーションを行えること。
2. 要素技術の優位性，新規性	名称を思い起こしにくいモノや，言葉では伝えにくい作業について，モノの指し示し（人，ロボット），画面表示・画面操作を組み合わせることで，直感的な対話を可能とするコミュニケーション技術のめどを得ること。 「言葉・表示・動き」を適切なタイミングで制御することで，親和性の高いインタラクションを実現できるめどを得ること。
3. 有用性，汎用性	家庭内での物品搬送・家電操作を想定したシステムに開発した技術が適用できることを確認する。特定の環境・サービスに限定されないシステムであること。
4. 再現性，ロバスト性	一般住宅環境において，移動やセンシングを含むシステム全体が安定して動作すること。高齢者を対象とした実証実験の期間中，停止・誤動作なく安定して動作することを目標とする。
5. 安全性	ISO Guide51，および経済産業省次世代ロボット安全性確保ガイドラインに沿ったリスクアセスメントを行い，想定した利用環境・ユーザにおいて重大な怪我を引き起こさない設計とする。
6. 再利用性，モジュール化	コミュニケーションを，各動作要素単位でソフトウェアモジュールとして実装し，モジュールの組み合わせでサービスを実現するシステムとすること。

＜中間目標の達成度＞

本プロジェクト開発では，上記目標を達成するための要素技術として，人の意図を理解し，指示により作業を代行する RT サービス技術として以下の項目（開発技術）に取り組んだ。

①さまざまな年齢層に適応した，会話を主体としたコミュニケーション技術

②物理空間行動を伴うヒューマンロボットインタラクション技術

③室内における，人，物，コトの関係性を知識化する空間構造化技術

④指示に基づいて，簡単な作業を自律的に実行する技術

を開発することで，下記の目標を達成することが求められた。

以下に，中間目標に対する達成状況，ならびに基本計画における「開発技術」（①～④）との対応関係を示す。すべての中間目標を達成した。

項目	達成状況
1. システム統合の機能的優位性，新規性	可動式タッチパネルデバイス，対象物指示デバイスを追加したプロトタイプシステムを構築し，空間内の対象物に関する直感的な対話を可能するシステムを開発した（①，②）。 上記のコミュニケーション RT を用いた対話により，家庭内で物品搬送・家電操作のサービスを提供するシステムを構築し，技術の有用性を示した(③，④)。
2. 要素技術の優位性，	音声会話に，モノの指し示し（人，ロボット），画面表示・画面操作を組み合わ

新規性	せる「行動会話統ロボットスーツ技術」により，名称を思い起こしにくいモノや，言葉では伝えにくい作業を特定していく直感的な対話を可能とした(①，②)。 「言葉・表示・動き」のタイミングを個人に合わせて適切に制御するとすることで，コミュニケーションの親和性を向上できる見込みを，高齢者と対象とした実験から得た(①)。
3. 有用性，汎用性	家庭内で物品搬送・家電操作のサービスを提供するシステムを構築し，技術の有用性を示した。空間内の対象物に関するコミュニケーションをキー技術として，複数の環境，複数のサービスで汎用的に利用できることを確認した(④)。また，空間内の対象物に関するコミュニケーション技術は，商業施設での宣伝用途のニーズにも合致しているとして，パートナー企業からプロジェクト協業の内諾を得た。
4. 再現性，ロバスト性	一般住宅環境において，10名の高齢者を対象に，のべ4時間程度，合計150回の実証実験を実施。誤動作なく安定して動作し，再現性・ロバスト性が検証できた。また，サービス提供シナリオを通じて，移動やセンシングを含むシステム全体が安定して動作することを確認した(①，④)。
5. 安全性	ISO Guide51，および経済産業省次世代ロボット安全性確保ガイドラインに沿ったリスクアセスメントを行い，想定した利用環境・ユーザにおいて重大な怪我を引き起こさない設計とした(④)。
6. 再利用性，モジュール化	システムの各要素を「モジュール」として実装。複数のモジュールを組み合わせて，多数の複雑なサービスを実現できるシステムとした。これにより，物品搬送サービス，情報提供サービスを，共通モジュールを利用して実現できることを確認した。

2）成果詳細

本プロジェクト開発では、コミュニケーションを単なる対話ととらえるのではなく、人のロボットに対する指令、ロボットによる物操作を伴う人間への物理支援行動、それに対する確認などのような、意志表明、作業実施、並びに意図確認からなる統合過程ととらえ、このような行動と会話を不可欠の要素としてコミュニケーションを行う新しい「行動会話統合コミュニケーションRTシステム」を開発した。

「**状況依存モジュールに基づくコミュニケーション RT 技術の開発**」として，ユーザの指示と，人・モノの位置，利用者別会話履歴(コト）の状況に応じて，サービスの流れを制御する「行動会話統合状況依存モジュール技術」を開発。プロトタイプ機へ適用し，人・モノの位置，利用者別会話履歴(コト）のバリエーションに対応するできることを実験で確認した。

「**年齢に応じた発話と身振りのタイミング制御による違和感の少ないヒューマンロボットインタラクション技術の開発**」として，ロボットの「言葉・表示・動き」の各コミュニケーションチャネルのタイミングの影響を評価し，「言葉・表示・動き」の「行動会話統合タイミング制御技術」がロボットの親和性に影響を与えることを示した。

「**人・物・コトを体系的に記述する空間構造化フレームワーク技術**」として，ロボットが指示語（あれ，これ等)，色（「赤い」本等)，指差しを組み合わせた行動会話によって，空間内の対象物を特定する技術を開発した。また，室内の対象物の 3 次元座標を取得できる「指示デバイス」，人物行動を認識するシステムとの連携インタフェースを開発。プロトタイプ機においては，人物の入室を検知し，自発的にサービスを開始するシステムを実現した。

「**コミュニケーションRTプロトタイプシステムの開発、および実証試験**」として，タッチパネルデバイスを搭載したシステムを開発。ユーザに対するロボットの意図に応じて，ユーザの視野内外でタッチパネルを物理的に動かすことで，ロボットの意図を直感的に表現することが可能となった。また，ユーザはロボットに直接接触することで，直感的なインタラクションが可能となった。

これらを搭載した「行動会話統合コミュニケーションRTプロトタイプ機」を開発し，高齢者10名を対象に，有効性を検証する実験を実施。人間側からの印象を5類の形容詞（自然さ，親しみ，丁寧さ，好き，使いやすさ）を用いて評価した結果，全ての形容詞に対する評価で，従来システムに対する有意な差を確認した。

2)-1 状況依存モジュールに基づくコミュニケーション RT 技術の開発

(ア) 概要

タッチパネルをロボット各部位に取り付けてロボットの入出力インターフェイスとするロボッ

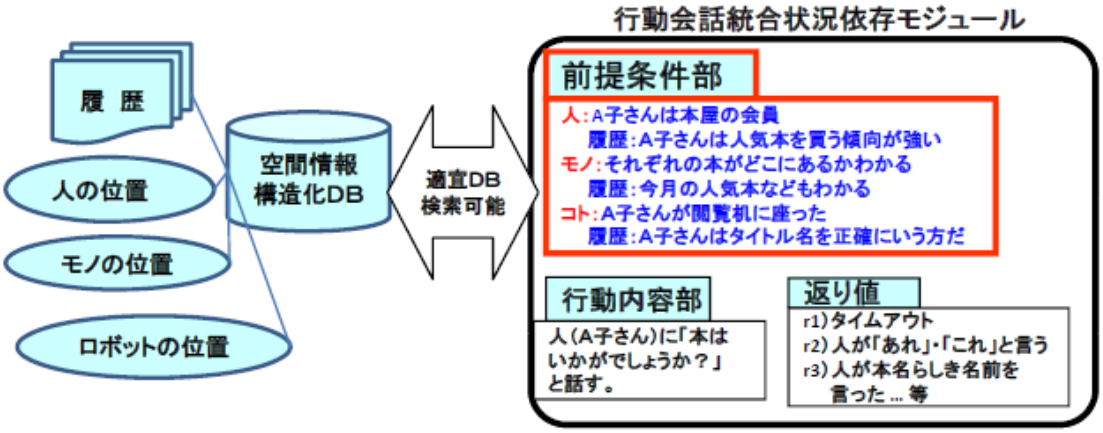
予め想定された状況変化のバリエーションに対して、対話行動(音声、ジェスチャ、モノに対する行動)を柔軟に変更できる技術を目指して研究を進め、利用者が指定した本（モノ）を持ってくる課題実験を通じて、以下のような成果をあげた。

(イ) 詳細

タッチパネルをロボット各部位に取り付けてロボットの入出力インターフェイスとするロボッ

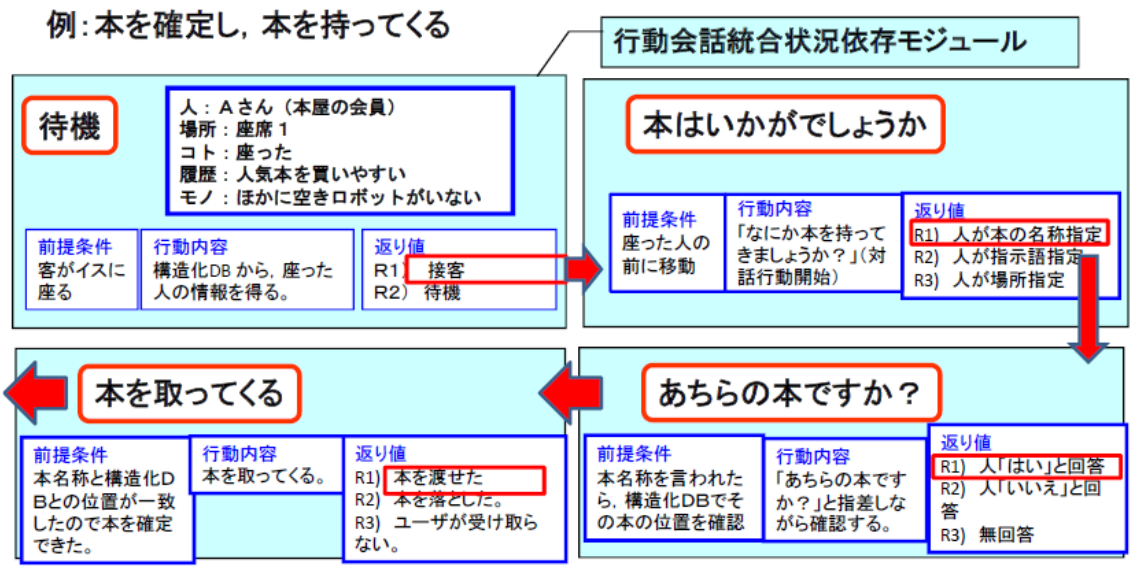
(1)既存の状況依存モジュールの改良

時々刻々変化する人・モノの位置、利用者別会話履歴(コト)は空間情報構造化データベースに蓄えられている。これらの情報を空間情報構造化データベースから利用可能になるように既存の状況依存モジュールの前提条件部を改良した。



行動会話統合状況依存モジュール

行動会話統合状況依存モジュールとその遷移列は遠隔対話制御実験を通じて事例ベースで構築した。利用者が見たい本を行動会話で確定し，本を書庫から取ってきて，人に渡すという一連の行動と会話の遷移列を実現できた。本手法は、本の代わりに家庭内のモノを利用者が特定し、ロボットがそれを運び、人に渡すという一連の行動にも適用可能な方式である。

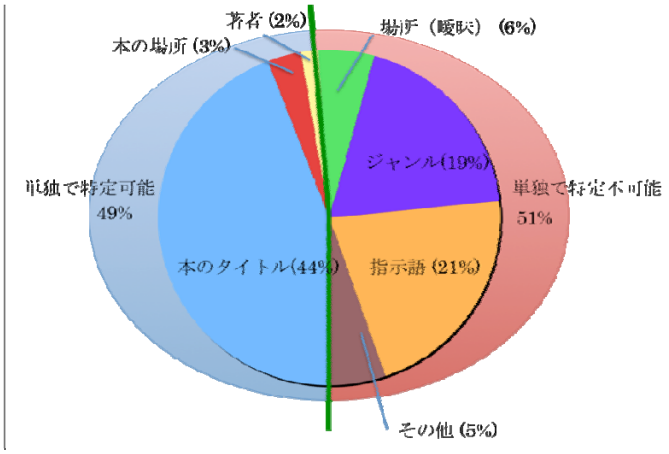


行動会話統合状況依存モジュールの遷移列

(2)様々なモノのバリエーションに対応できる行動会話統合状況依存モジュール群を事例ベースで構築できる見通しを得た。

モノを特定する場合、予め名称がわかっているものだけでなく、名称がわからないものまでもロボットは対応する利用シーンが考えられる。そこで、モノのバリエーションでは、モノの名称（本の名前等）以外に、ロボットが指示語（あれ、これ等）、色（「赤い」本等）、指差しを組み合わせた行動会話を導入することによって、利用者が指定したモノを特定（本を決定）できることを実験で確認した。

まず、部屋においてある6冊の本を利用者が指し示す「呼び方」を一般被験者25名に対して延べ、183回調べた結果、利用者が本を特定する場合に人が発する呼び方にはバリエーションを持つことが明らかになった。



行動会話を通じてモノを特定する場合の人の呼び方のバリエーション

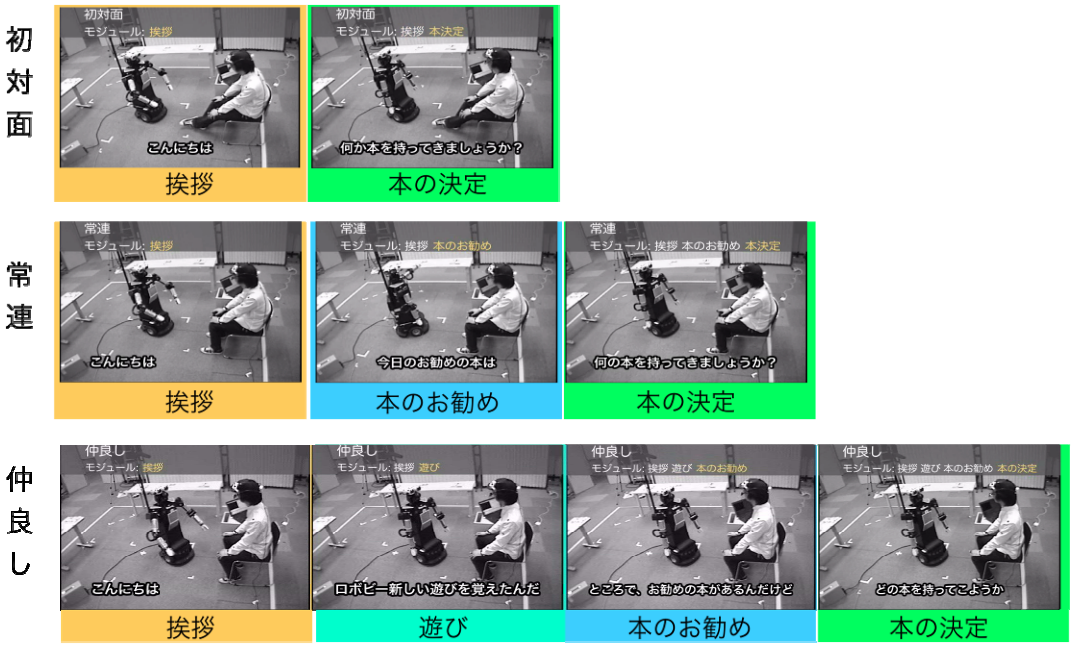
この円グラフから、発話のみによって本を特定できる指示の割合は４９％であり、ロボットが本のタイトル（名称）などを認識できたとしても、利用者の指し示すモノの５１％は特定できないことがわかる。そこで、本の名称以外に、指示語（あれ、これ、それ、手前、右、左など)、モノの色、指差しした方向を用いた会話と行動によって、利用者が指し示しているモノを特定する行動会話を実現した。この機能をモジュールに追加することによって、上記の５１％のモノの指示についても対処することが可能になった。指示語、モノの属性、指差しは、本以外の対象にも拡張が可能であり、日々の入替えが多い家庭内のモノについても有効な行動会話になる。

（３）いろいろな人のバリエーションに対しても、本モジュールで会話の切替えが可能に

次に、人（利用者）のバリエーションでは、利用者別会話履歴(コト）に基づいて、利用者を初対面か、常連か、仲良しに分けて、様々な会話に切り替わることを実験で確認した。

構造化された空間情報から得られるロボットと人の対話履歴から、その人のタイプ（初対面、常連、など）を判断し、初対面の人には丁寧な挨拶から用事を尋ねる会話を行い、体調が悪そうな親しい人には体調を聞く会話から用事を尋ねるなどの会話を行なうことができる。

人に関するバリエーションに対応する機能の動作確認では、構造化された空間情報から得られる人の履歴情報によって、初対面か仲良しかが判断され、「挨拶」「本の決定」「遊び」の会話の順序が各顧客に応じて切り替わることを確認した。



履歴に基づいて利用者を初対面・常連・仲良しに分類し、行動会話の順序が変化する事例

2)-2 年齢に応じた発話と身振りのタイミング制御による違和感の少ないヒューマンロボットインタラクション技術の開発

(ア) 概要

高齢者を含むさまざまな年齢層に対して親和性の高いコミュニケーションを可能とすることを目標として、ロボットの「言葉・表示・動き」の各コミュニケーションチャネルのタイミングの影響を評価した。

まず、人間同士の対話の分析から、対話のタイミング制御において、応答の発話タイミング（交替潜時）および応答の頷きタイミングの２つの要素が重要であることが示された。次に、人間とロボットの対話において、上記の２つのタイミングをロボット側で変化させ、人間側の印象への影響を評価したところ、若年者と高齢者では異なるタイミングを好むことが明らかになった。

若年者は、評価尺度の形容詞の種類によらず、常に速い応答発話タイミングとその発話に完全に同期した頷きタイミングを評価するという、単純なタイミング戦略を採用していることが明らかになった。

高齢者の場合は、頷き応答では若年者と大きく異なり、発話に 200ms 程度先行した頷きタイミングを好むことが示された。応答発話のタイミングでは若年者と類似して速い方を評価する傾向が観察されたが、「丁寧さ」の評価ではゆっくりした応答タイミングが好まれており、高齢者は印象に応じて多様なタイミング戦略を使用していることが示された。

以上の評価試験より、「言葉・表示・動き」の「行動会話統合タイミング制御技術」がロボットの親和性に影響を与えることが示された。また若年者よりも高齢者の方がタイミング制御を重視していることから、高齢者におけるコミュニケーションの親和性向上への有効性が強く期待される。

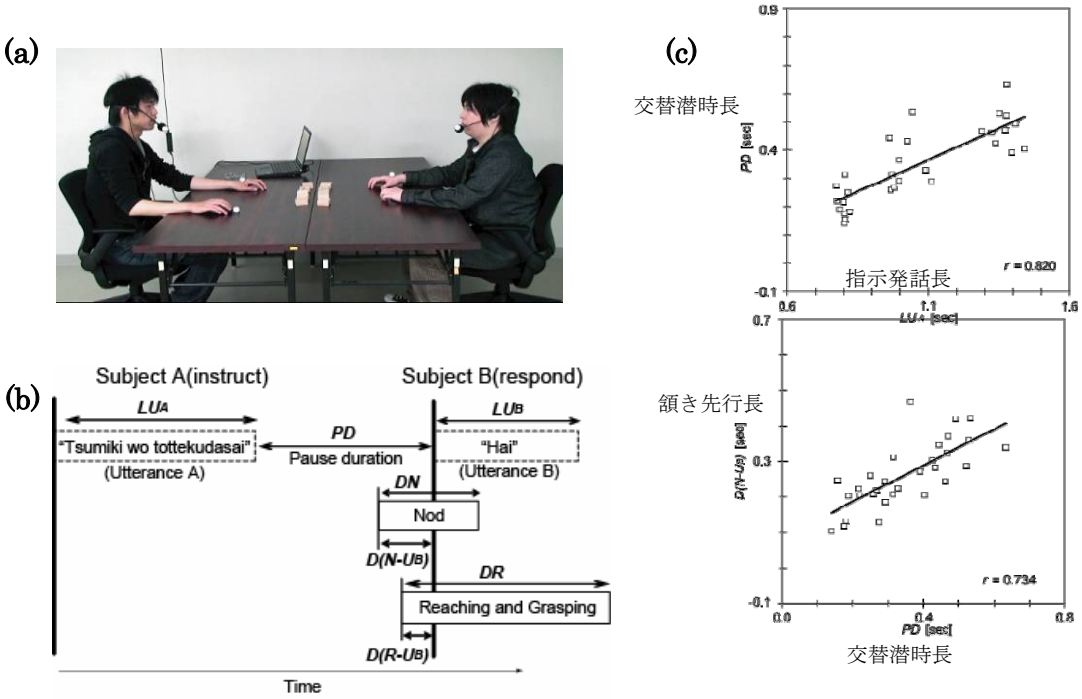
(イ) 詳細

高齢者を含むさまざまな年齢層に対して親和性の高いコミュニケーションを可能とすることを目標として、ロボットの「言葉・表示・動き」の各コミュニケーションチャネルのタイミング制御からの影響を評価した。具体的には、人間同士の対話における発話と身振りのタイミング機構の分析と、人間とロボットの対話におけるタイミング制御の実装と評価を行った。

まず、人間同士の対話では、「それとってください」「はい」という、指示-応答の関係に注目し、発話開始タイミングと動作開始タイミングが分析された。ここでは下図 a のような対面での対話状況が用いられ、その対話における発話と身振りのタイミングは下図 b のように変数を定義して分析された。

その結果、下図 c のように、指示発話長と交替潜時長（指示発話の終了から応答発話の開始の時間）の関係、および、交替潜時と応答者の頷きの先行長（応答者の発話開始タイミングと頷き開始タイミングの時間ずれ）の関係に、正の相関のあることが確認された。つまり指示発話長が長くなれば、交替潜時長も頷きの先行長も長くなるということである。

したがって、対話のタイミング制御においては、交替潜時長と頷きの先行長の２つの要素に注目することが有効である。



人間同士の対話コミュニケーションの分析

a）対話実験の様子、b）タイミング変数の定義、c）2種類の相関関係

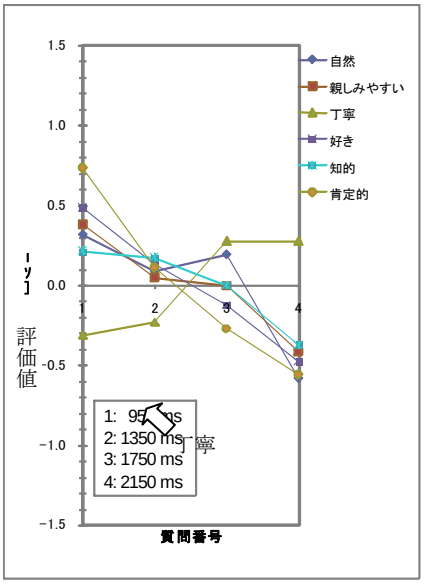
次に、人間とロボットの同様の対話において、交替潜時および頷きの先行長を変化させ、タイミング制御からロボットの親和性への影響を評価した。特に、若年者と高齢者を比較することで、さまざまな年齢層に適応できるタイミング制御の可能性を探った。具体的には、人間側からのロボットの印象を６種類の形容詞（自然さ、親しみ、丁寧さ、好き、知的、肯定的）を用いて調査した。手順としては、一対比較法（中屋の変法）を採用し、高齢者（男６名、女６名、平均年齢 71.7 歳）および若年者（男６名、女６名、平均年齢 22.3 歳）に適用した。

若年者では、下図 b のように、いずれの形容詞に対しても、交替潜時が短いほど評価が高くなることが示された($p<0.01$)。ここで交替潜時は 950～2150ms の間で４段階に変化させている。また、下図 d のように、いずれの形容詞に対しても、頷き先行長が 0ms に近いほど評価が高くなることが示された($p<0.01$)。ここで頷き先行長は-600～800ms の間で４段階に変化させている。したがって発話開始と頷き開始のタイミングが一致し、かつ、できるだけ速い応答が好まれることが明らかになった。

一方、高齢者では下図 a のように、交替潜時の短い方が若年者と同様に評価の高くなる傾向はあるが($p<0.01$)、「丁寧さ」は逆の傾向を示した($p<0.01$)。また、頷き先行長では、全体的に 200ms 程度先行するのを好む傾向があったが($p<0.05$)、「知的」という評価では、

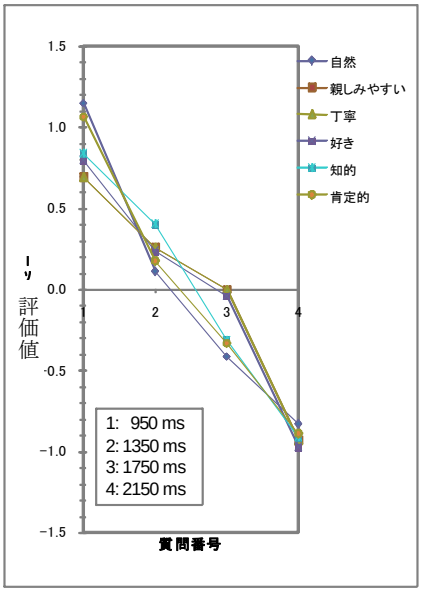
それと逆の傾向を示した(p<0.01)。

(a) 高齢者
交替潜時長の影響



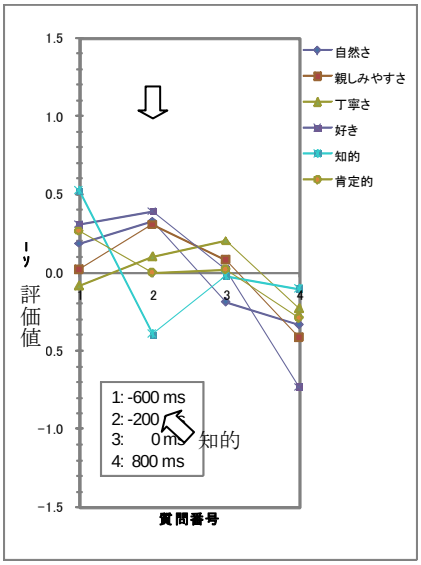
交替潜時長

(b) 若年者
交替潜時長の影響



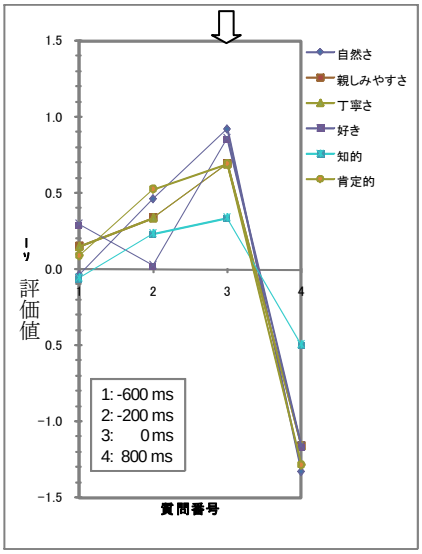
交替潜時長

(c) 高齢者
頷き先行長の影響



頷き先行長

(d) 若年者
頷き先行長の影響



頷き先行長

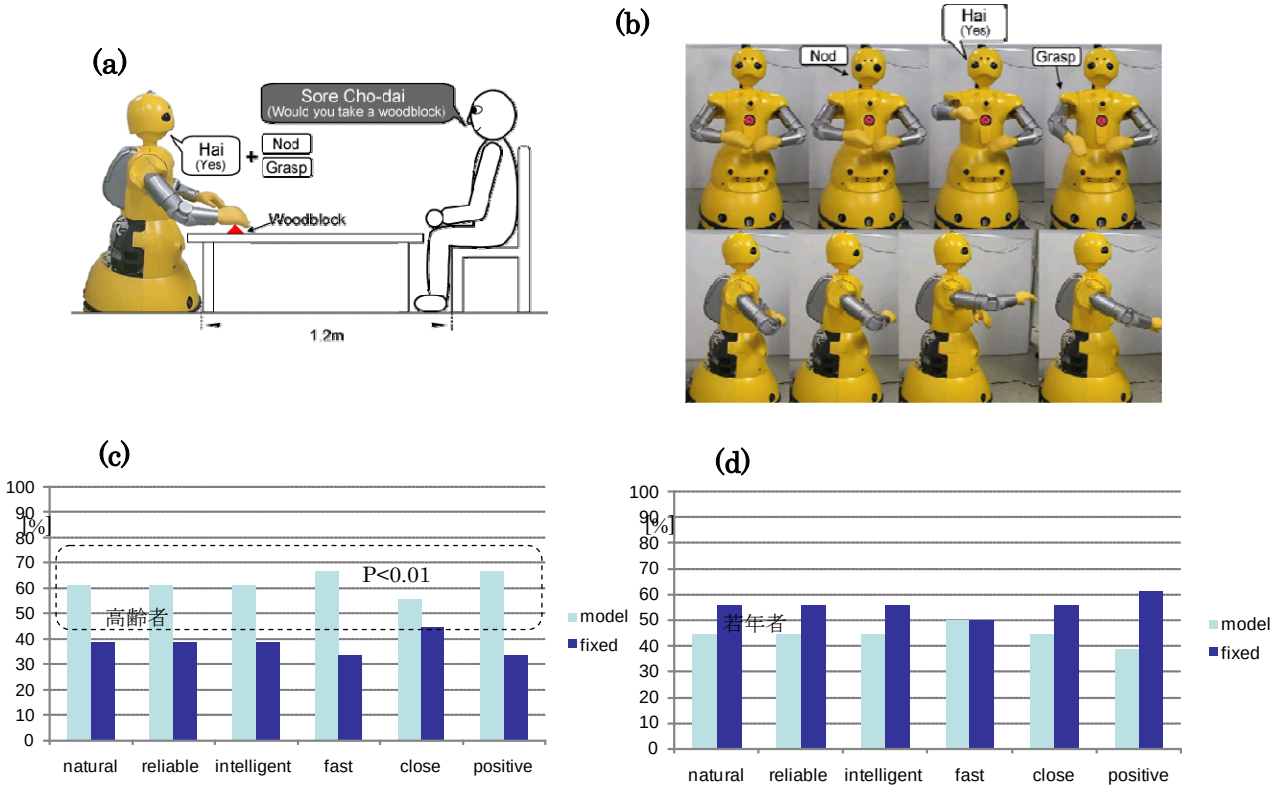
人間とロボットの対話における交替潜時と頷き先行長の影響

a) 高齢者・交替潜時、b) 若年者・交替潜時

c) 高齢者・頷き先行長、d) 若年者・頷き先行長

このように、高齢者と若年者は、対話におけるタイミング機構が大きく異なっていることが明らかになった。若年者は単純に速い発話と、それに同期した身振りを好む傾向があるが、高齢者の場合は印象評価に応じてタイミング機構を多様に使い分けている可能性がある。したがって、高齢者の方が若年者よりも、対話におけるタイミングを重視していることが示された。このことはコミュニケーションチャネルのタイミングを制御することで、ロボットの対人印象を制御できることを意味している。

最後に、下図 a，b のように、人間側の指示発話長に応じて、ロボット側の交替潜時長や頷き先行長を動的に制御するタイミング制御モデルを実装し、タイミング固定の場合と比較することで、高齢者と若年者への印象を評価した。高齢者（男９名、女９名、平均年齢 69.0 歳）および若年者（男９名、女９名、平均年齢 22.9 歳）に適用した。



人間とロボットの対話におけるタイミング制御の影響

a）対話実験の様子、b）ロボットの発話と身振り

c）高齢者による印象、d）若年者による印象

その結果、若年者ではタイミング制御と固定のあいだに有意な差が観察されなかったが、高齢者において動的タイミング制御の顕著な有効性が示された($p<0.01$)。このことは、対話におけるタイミング制御が、高齢者のコミュニケーション支援に極めて有効であることを示している。

以上の評価試験より、「言葉・表示・動き」の「行動会話統合タイミング制御技術」がロボットの親和性に影響を与えることが示された。また若年者よりも高齢者の方がタイミング制御を重視していることから、高齢者におけるコミュニケーションの親和性向上への有効性が強く期待される。

2)-3 人・物・コトを体系的に記述する空間構造化フレームワーク技術

(ア) 概要

タッチパネルをロボット各部位に取り付けてロボットの入出力インターフェイスとするロボットスーツ技術を開発した.

ユーザが直感的な接触行動でロボット行動を入力可能，また，ロボットの身体部位の特徴をいかした表示入力機が可能であり、人間とロボット間のインタラクションの実現やロボットの内部状態の表示や指示などが視認性よく実現できるなど，円滑なロボット操作・インタラクションを可能にする.

ロボットスーツを装着した wakamaru を移動させる実験，物品を説明するタスクでその有効性を確認した.

(イ) 詳細

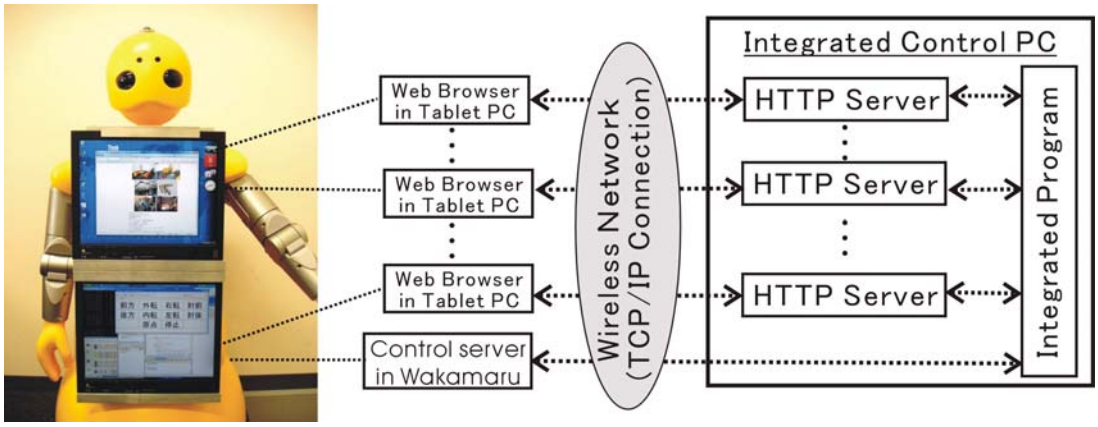
ヒューマノイド型ロボットとのインタラクションでは，会話などを通じたインタラクションに頼りがちであるが，実際には音声認識技術の精度などから円滑なコミュニケーションは難しく，実用化における問題の一つとなっている．一方で，テレオペレーションの分野では，マスターマニピュレータやリモートコントローラをはじめとするヒューマンロボットインタラクションデバイスをもちいたユーザインターフェイスの研究が古くから行われており，人の操縦動作や意思の伝達およびロボット状態や作業状況の提示が追求され，成果をあげている.

そこで，従来は，遠隔作業の人間側に準備されてきたヒューマンインターフェースデバイスを，作業ロボットに装着することで，ロボットサービスをうける人間が，ロボットに指示を与える操作者の役割をはたせることを可能にした．具体的にいうと，従来は，ロボットの胸や胴体，手などの部位ごとに入力および出力装置として利用可能なタッチパネルデバイスを取り付け，ユーザが対面するロボットをマスターかつスレーブロボットとみなすことで，ユーザとの頑健なインタラクションが可能なロボットスーツ技術を開発した.

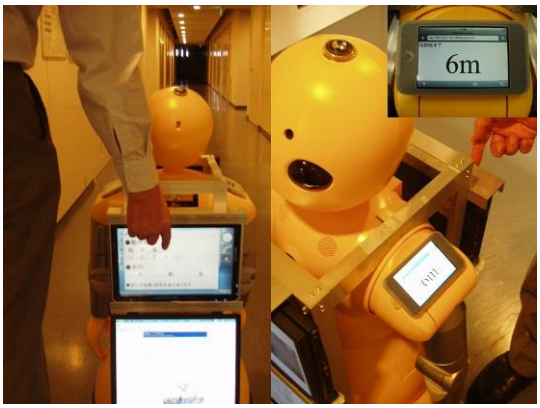
通常の案内ロボットに付属するような前面タッチパネルだけでなく，腕や背中などスーツとして各部位に装着するアプローチは他に見ないものである．その効果として，手の部分への接触に対してロボットの手の動きの補正が可能になるなど直観的かつ頑健な入力を可能とする一方で，ディスプレイとして対応する部位の内部状態や部位が関連する作業状況が，正常に稼動中かどうかなどを表示することが可能となり，ユーザにとってロボット

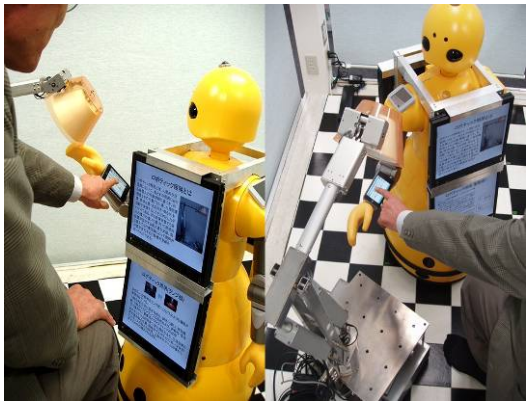
が何をしているのかや，何を求めているのかの効果的な提示が可能となるとともに，ユーザのロボットへの安心感の醸成にもつながる．さらに，ロボットの手の部分にはロボットの手の動作にかかわる下位情報，ロボットの胸の部分には，ロボットが提供できるサービスの全体像の提示を，最後にロボットの胴体部にはそれに関連した付帯情報を提示することで，効果的な体系的は情報提示が可能になる．また，動作・作業・対象者などに応じて，適宜ディスプレイするボタンや表示画面を切り替えることが可能なため，高齢者に対しては表示画面を大きくするなどの対応も容易に実現できる特徴もあり，実用性の高いものである．

検証実験用プロトタイプとして，wakamaru 用スーツ(下図 a)を開発し，その機能の検証実験を行った．題材として 2 つの作業タスクに対応するスーツを利用したインタフェースを開発した．一つは，ロボットを接触により移動させるインターフェイス（下図 b）であり，ユーザがロボットとともに移動行動をとりながらインタラクション説明をロボットに実施させることを想定したインターフェイス（下図 c）であり，前述した階層的な情報提示が，全体をみとおしながら詳細を効果的に提示する効果のあることを確認した．以上示したロボットコミュニケーションスーツは，高齢者とインタラクションしたりできるため，通常のリモコンのようなインタフェースで操作するときに比べて，より作業目的を共有した状況でのインタラクションが可能であることを確認した．また，もう一つのシナリオタスクは，ロボットに物品の説明を例題としてとりあげ，本やディジタルカメラのショッピングセンタで商品説明をするロボットに有効に応用できる技術である．



a：wakamaru 用ロボットコミュニケーションスーツとシステム構成図





b：移動操作風景　　c：本の説明作業風景

2)-4 コミュニケーション RT プロトタイプシステムの開発，および実証試験

(ア) 概要

行動会話統合コミュニケーション RT プロトタイプ機を開発し，高齢者 10 名を対象に，有効性を検証する実験を実施。人間側からの印象を 5 類の形容詞（自然さ，親しみ，丁寧さ，好き，使いやすさ）を用いて評価した結果，全ての形容詞に対する評価で，従来システムに対する有意な差が観察された，

(イ) 詳細

（１）行動会話統合コミュニケーション支援デバイス開発

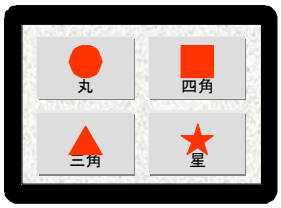
（１）-1　可動式タッチパネルデバイスの開発

（１）-1-1 有効性の検証

「行動会話統合ロボットスーツ技術」の 1 つである可動式タッチパネルの有効性を検証することと，その動きのタイミングを制御する「行動会話統合タイミング制御技術」の有効性検証を目的として，プロトタイプ機を用いた実証試験を行った。

実証実験では，「ロボットのタッチパネル画面に 4 つの選択肢を表示し，ロボットが『ここの中から〇〇を選んでください』という指示に基づいて，ユーザが 1 つを選択する」というタスクを対象とした。このタスクを，動きやタイミングの異なる 3 種類のコミュニケーション動作として実装し，これらを相互に比較し，人間側からの印象を 5 類の形容詞（自然さ，親しみ，丁寧さ，好き，使いやすさ）を用いて調査した。手順としては，一対比較法（中屋の変法）を採用し，高齢者 10 名（男 6 名，女 4 名，平均年齢 72.0 歳）に対して適用し，一般住宅環境において実施した。

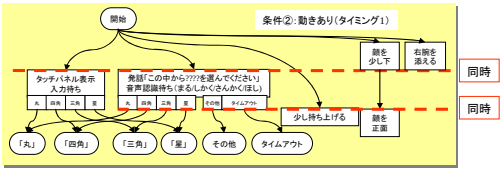
実験風景



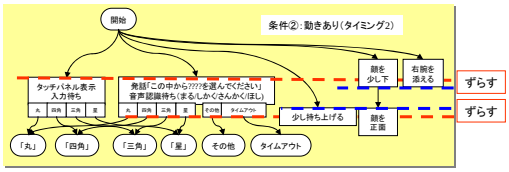
タッチパネル画面

3 種類の動作は，「言葉・表示・動き」の統合の度合いを変えたものであり，以下の違いがある。

- 動作①「動きなし」・・・音声と表示のみで，動かない動作
- 動作②「タイミング制御 1」・・・音声と表示に加え，発話タイミングにあわせてタッチパネル・右腕・視線（顔）を動かすもの。発話の開始/終了と，動きの開始/終了を同時にしたもの。
- 動作③「タイミング制御 2」・・・動作②と動きは同じ。動作②と異なるタイミングで，タッチパネル・右腕・視線（顔）を動かすもの。発話の開始/終了と，動きの開始/終了をずらしたもの。



動作②：タイミング制御 1

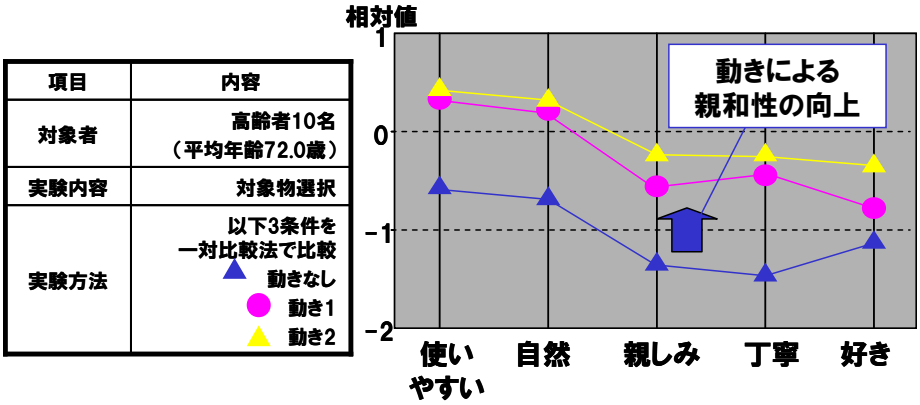


動作③：タイミング制御 2

タイミング制御の違い

実験の結果，動作なし（動作①）と動作あり（動作②，③）の間では，全ての形容詞に対する評価で有意な差が観察され，動作がある方が親和性が高い，との結果が得られた。

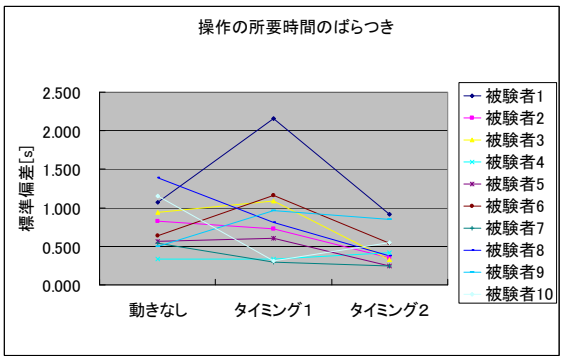
また，動作あり（動作②，③）ので比較すると，タイミング制御１とタイミング制御２は，形容詞ごとに，さらに被験者ごとに大きく好みが分かれる傾向があった。また，平均値だけからみると，「動作なし＜タイミング制御１＜タイミング制御２」の順番になっていた。



5 種類の形容詞による評価結果

さらに，システムの使いやすさを評価する客観的な指標として，「ロボットが選択を指示してから，ユーザが 1 つ選択する」までの所要時間を計測し，各手法でのばらつき（標準偏差）を評価した。使いやすいシステムでは，ロボットユーザのインタラクションのタイミングが安定し，結果としてばらつきが小さくなることが予想される。

所要時間のばらつき（標準偏差）は，80%(8 名)のユーザで，「動きなし＞タイミング制御 2」「タイミング制御 1＞タイミング制御 2」との結果が得られ，タイミング制御によって，使いやすさが異なることがわかった。



操作の所要時間のばらつき

以上から，タイミング制御は，ロボットに対する被験者の印象形成に影響することが示された。ただし，どのようなタイミング制御とすることが望ましいかについては，個々の被験者や形容詞に依存する傾向が強いので，今後継続した調査が必要といえる。

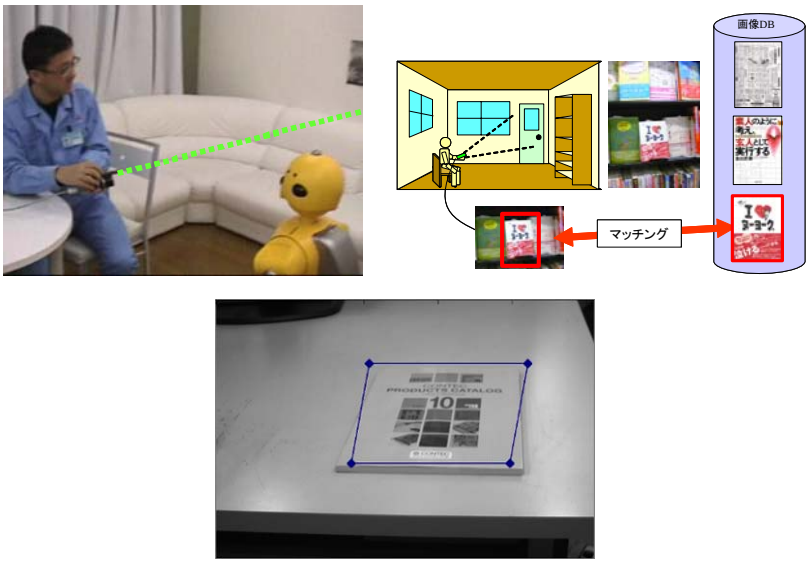
（1）-1-2 ロバスト性の確認

従来の腕に比べて重量の大きなタッチパネルディスプレイを搭載し，一定の提示角度を維持したまま，または人目を引くように動かしながら，かつロボットが自立的に移動を行う条件で，モータやサーボドライバの加熱・焼損，熱による著しい劣化が生じないことを，

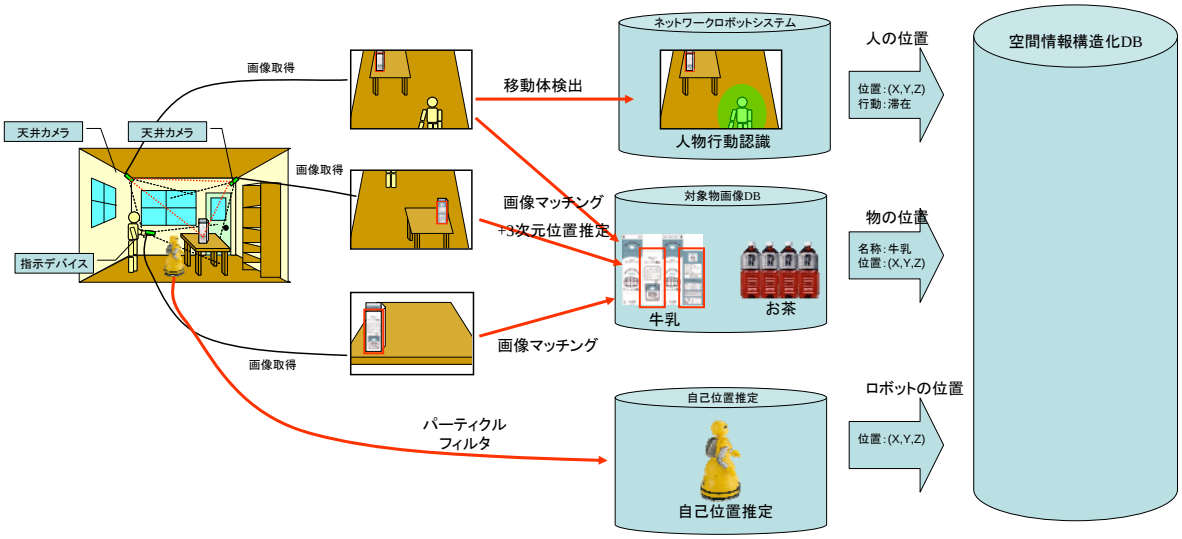
連続動作試験によって確かめた。

（１）-2　指示デバイスの開発

対象物を指し示すデバイスについては，室内の対象物の 3 次元座標を取得できる「指示デバイス」を開発。空間内に設置した天井カメラと連携することで，空間内の任意位置の対象物を指示できる目処を得た。



物の位置を指示する「指示デバイス」



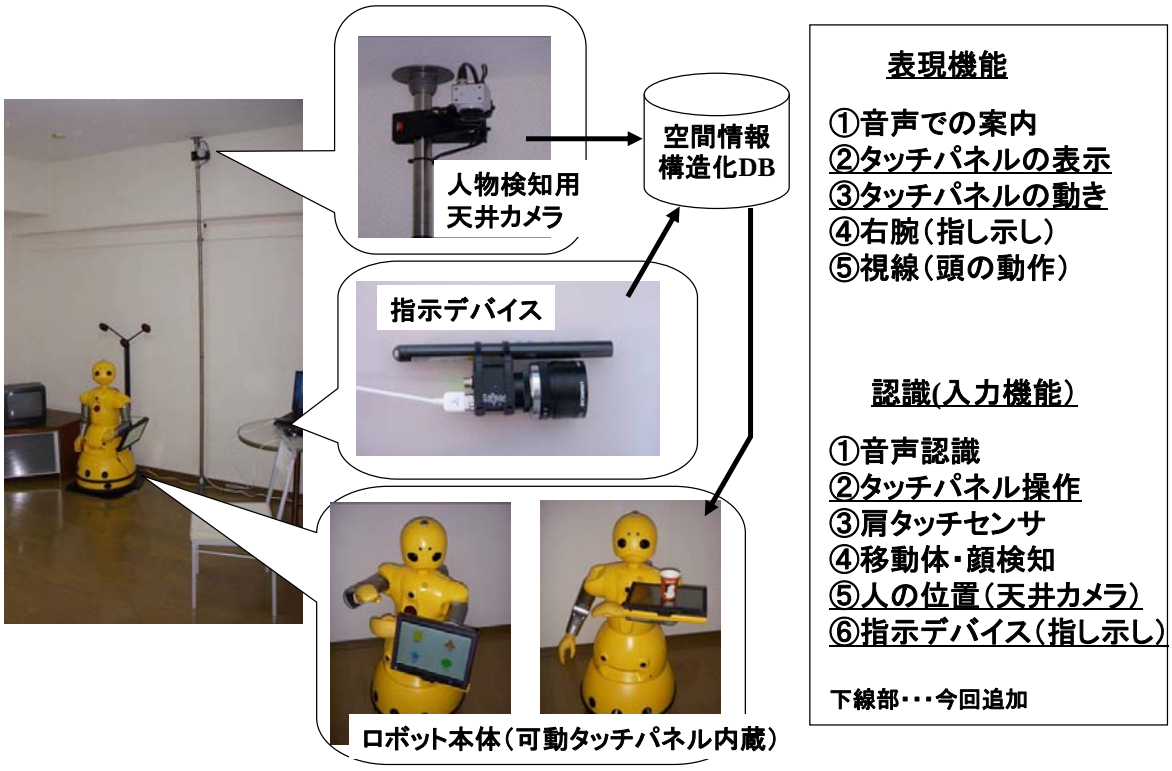
物・人・ロボットの位置センシングに関するシステム構成

（２）行動会話統合コミュニケーションRTプロトタイプシステムの開発

（２）-1 プロトタイプシステムの開発

中間段階の成果を反映したプロトタイプＲＴシステムとして，（１）開発技術で説明した各々の技術を搭載したプロトタイプ機を開発し，2台製作した。

「行動会話統合ロボットスーツ技術」の知見に基づき，プロトタイプ機には音声認識に加えて，直感的な操作が可能なタッチパネルディスプレイを搭載した。タッチパネルディスプレイは，プロトタイプ機の左腕部に搭載することで，右腕や首，音声と組み合わせて表示内容を強調したり，ユーザの操作を促すような動作ができるほか，ディスプレイを高く掲げて多くの人に説明を行ったり，小物を乗せて持ち運んだりすることができるようにした。左腕部はこのような動作ができるように特別な軸構成・構造で設計製作した。



プロトタイプ機は「行動会話統合状況依存モジュール」によって対話の流れを制御する。

プロトタイプ機が得たユーザからの入力や外部のシステムから収集した情報は，「空間情報構造化データベース」を介して「行動会話状況統合依存モジュール」に入力され，「人・物・コト」の状況に応じた適切な応答を行う。入力は，ロボット本体による音声認識，肩・手のひらのタッチセンサ，タッチパネル操作，動体検知・顔検知，登録した物体の認識 に加え，ロボット外に設置したものとして，指示デバイスによる認識結果，天井設置したカメラによる人の位置検出 の情報に対応している。

また，ロボットの発話，画面表示，ジェスチャー動作は「行動会話統合タイミング制御技術」に基づき，各々を発現させるタイミングを目的に応じて制御できるようにした。

【プロトタイプ機の仕様】

ロボット本体（下線部は従来の wakamaru からの変更部）

軸構成

右腕 ： ４軸（指し示し対応）

左腕 ： ３軸（タッチパネルディスプレイ提示動作対応）

首 ： ３軸（視線表現等）

台車 ： ２軸（スキッドステア方式）

機能

音声認識・音声合成 機能

タッチパネル（内蔵）表示・入力 機能

顔検知・移動体検知 機能

登録した物体の認識 機能

自律移動機能・障害物回避機能 （最大移動速度 時速 1km）

自動充電機能

タッチセンサ（肩，腕）

衝突検知機能（力検知）

無線 LAN 接続機能

一般仕様

サイズ 1005mm×530mm×480mm（ディスプレイ部除く）

重量 約 30kg

電源 リチウムイオン電池（稼働時間 ： 約 2 時間）

適用法規・規格

経済産業省 電気用品安全法（PSE マーク） 取得済み

経済産業省 次世代ロボット安全性確保ガイドライン 準拠

外部システム

指示デバイス

指し示した物体の認識（スケール不変特徴認識）

人位置検出

天井設置カメラによる人の位置検出（BLOB 推定方式）

外部タッチパネル表示・連動機能

Java アプレットによるブラウザ表示・操作機能（接続数無制限）

（２）-2 安全性の検討

wakamaru は平成 17 年度のパイロット販売に向けて，幅広い分野のスタッフによるリスクアセスメントを行い，そのプロセスについて第 3 者による鑑定を得ている。このため，これまで約 3 年，のべ 10,000 日・台以上に上る運用において，事故や安全性についての苦情等は発生していない。

本研究成果を反映したプロトタイプ機においても，同様の方法によってリスクアセスメントを行った。改造を行った腕部においては，リスクアセスメントの結果を踏まえ，以下のような対策を講じた。

これらの対策により，重大な怪我を引き起こす恐れはないと評価した。また評価試験の実施においては，この評価結果を元に，経済産業省の次世代ロボット安全性確保ガイドラインに従い，試験の実施者，被験者にリスクに関する情報を提供し，安全性を確保した。

１．　タッチパネルの追加による可動部重量増

可動部の重量が増加することにより，「衝突」による傷害の可能性増加が懸念される。これを低下させるため，肩の根元軸（S1 軸）の減速比を増し，突然の電源断にてもタッチパネル・腕がゆっくりと落下するようにした。S1 軸は手指の挟みこみが懸念される部分がないため，減速比の増加によるトルク増で手指への怪我を引き起こす可能性はないものと考えられる。

一方，肩の第２軸（腕を開く軸）は，最小隙間を確保しているが，手指の挟みこみが起き得る構造となるため，タッチパネル追加に伴ってトルクを増加するのでなく，動作しないように固定するものとした。

２．　追加軸

タッチパネルの角度を変更するために手首部に可動軸を追加した。この軸については衝突，挟み込み，巻き込まれの危険が想定された。衝突については，本軸からタッチパネルの動作先端部までの距離が 30cm 程度と小さく，理論的に可能な最大速度が小さいことから怪我につながる恐れはないものと判断した。挟み込みについては，他の部分と同様に玩具安全規格（ST 規格）を参照した最小隙間 10mm をメカニカルストッパーで確保することとした。巻き込みについては，可動部をカバーで多い，隙間を 2.5mm 以内となるようにして防止することとした。

３．　外装

鋭利な突起部や，指が入り込むような穴部などがない構造とした。

3） 成果の意義

本プロジェクト開発では、従来のようにコミュニケーションを単なる音声対話ととらえるのではなく、人のロボットに対する指令、ロボットによる物操作を伴う人間への物理支援行動、それに対する確認などのような、意志表明、作業実施、並びに意図確認からなる統合過程ととらえ、このような行動と会話を不可分の要素としてコミュニケーションを行う新しい「行動会話統合コミュニケーション RT システム」を開発した。このことにより，実際にロボットが支援・サービスを行う上で真に利用価値の高いコミュニケーション RT 技術が構成できたことに大きな意義がある。

また，これの技術を搭載した行動会話統合コミュニケーション RT プロトタイプ機を開発し，高齢者 10 名を対象に，有効性を検証する実験を実施。人間側からの印象を 5 類の形容詞（自然さ，親しみ，丁寧さ，好き，使いやすさ）を用いて評価した結果，全ての形容詞に対する評価で，従来システムに対する有意な差が観察された，

総合的に，本テーマで開発したコミュニケーション RT 技術は，ロボットの実用性･顧客価値を高められる技術として世界に類を見ないレベルに到達しており，予算および開発期間の制約の中で最大限の意義のある成果が得られたものと考える。

4） 知的財産権の取得と標準化の取組

本研究開発をとおして，下表に示す 8 件の特許を出願した。

表　特許の取得状況

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007 年 11 月 29 日	特願 2007-308144	ロボット制御システム	国際電気通信基礎技術研究所
2007 年 12 月 19 日	特願 2007-326924	対象物体特定方法および装置	国際電気通信基礎技術研究所
2008 年 3 月 18 日	特願 2008-069605	音声認識装置	国際電気通信基礎技術研究所
2008 年 3 月 18 日	特願 2008-069607	物品推定システム	国際電気通信基礎技術研究所
2008 年 3 月 18 日	特願 2008-069606	コミュニケーションシステム	国際電気通信基礎技術研究所
2006 年 12 月 19 日	特願 2006-341776	ロボットによる物体を移動するサービスに必要な情報の取得方法と該方法を用いたロボット	三菱重工業株式会社
2007 年 11 月 12 日	特願 2007-301424	位置特定装置および動作指示装置並びに自走式ロボット	三菱重工業株式会社
2008 年 9 月 30 日	特願 2008-252000	コミュニケーションロボット	三菱重工業株式会社

5）成果の普及

成果の普及のため，下表に示す機会において開発成果を発表した。

表 研究発表・講演実績

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年9月5日	ヒューマンインタフェースシンポジウム2007講演会予稿集	対話コミュニケーションにおける2種類の発話タイミング相関	山本知仁，平野作美，小林洋平，高野弘二，武藤ゆみ子，三宅美博
2007年9月5日	ヒューマンインタフェースシンポジウム2007講演会予稿集	音声対話インタフェースにおける発話タイミング制御とその評価	武藤ゆみ子，高野弘二，大良宏樹，小林洋平，山本知仁，三宅美博
2007年9月14日	第25回 日本ロボット学会学術講演会予稿集	日常生活支援のための行動会話統合ロボットシステム	石川 牧子,野口 博史,下坂 正倫,森 武俊,佐藤 知正
2007年11月30日	2007 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots	User specification method and humanoid confirmation behavior	Kazuhiko Shinozawa, Takahiro Miyashita, Masayuki Kakio, Norihiro Hagita
2007年12月20日	第8回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集	屋内環境における人・ロボット・物品の統一的位置情報取得ソフトウエア	野口 博史，石川 牧子，森 武俊，佐藤 知正
2007年12月22日	第8回 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集	対話コミュニケーションにおける「間」の創出と二重性	山本知仁，武藤ゆみ子，高野弘二，小林洋平，三宅美博

6） 実用化・事業化の見通し

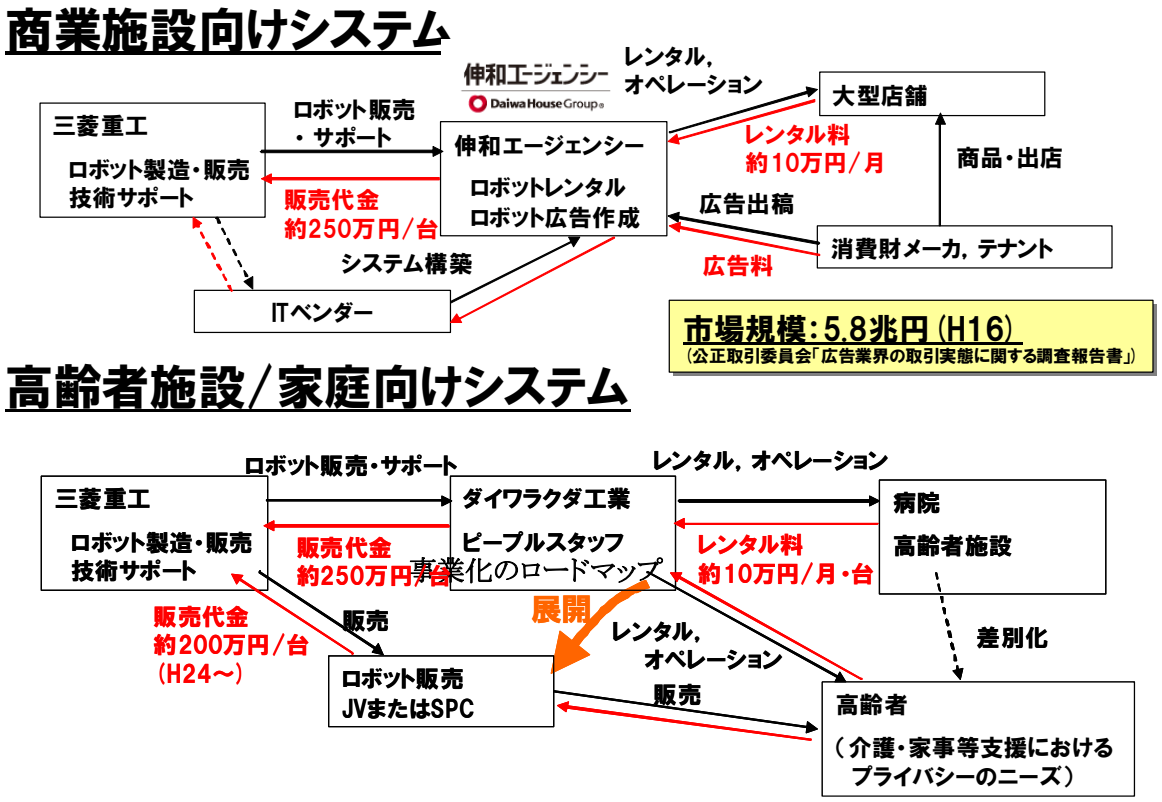
6)-1 成果の実用化可能性

本研究の成果により，直感的で親和性の高いコミュニケーションが可能になり，高齢者をはじめとした幅広いユーザが，情報提供のみならず，RT ならではの物理空間作業を，円滑に利用できるようになった。

従来のロボットを用いて市場開拓を進めてきた中で本技術へのニーズが顕著な 2 つの市場，①大型店舗向け広告・宣伝用途，②高齢者施設／在宅高齢者向け 機器操作・運搬補助用途にこの技術を投入し，事業化を図る。

特に，前者①大型店舗向け広告・宣伝用途では，本研究で行った実証実験により，共同でロボットの事業化を進めるパートナー企業から高い評価を得られたこと，またコミュニケーションロボットの積年の課題であった，顧客価値（金銭的メリット）の明確化につながる成果であることから，成果の実用化・事業化の可能性が飛躍的に高まった。

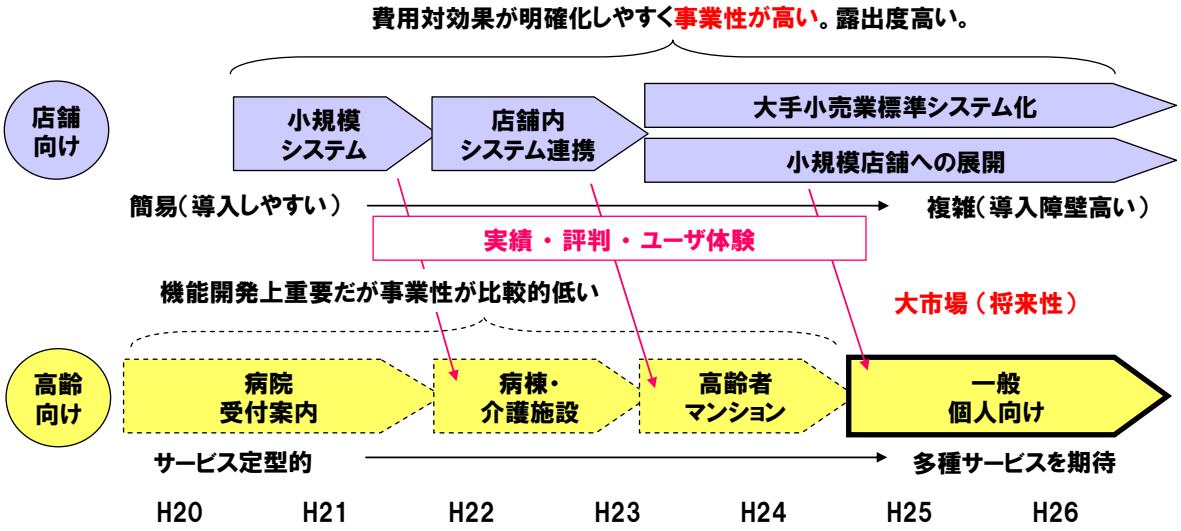
研究成果はパートナー企業と既に進めている事業化活動に積極的に導入し，評価をフィードバックしつつ，市場の認知を徐々に広げながら事業化を進める計画とする。



想定する事業モデル

6)-2 事業化までのシナリオ

事業性，将来性，露出度の異なる2つの事業領域を組み合わせて，課題解決を補完する。すなわち，早期に実用化可能な領域（①大型店舗向け広告・宣伝用途）から導入をはじめ，実績･評判･ユーザ体験を積み重ねることで大規模市場（②高齢者施設／在宅高齢者向け 機器操作・運搬補助用途）を喚起していく。



事業化までのシナリオ

① 大型店舗向け広告・宣伝用ロボットシステム事業

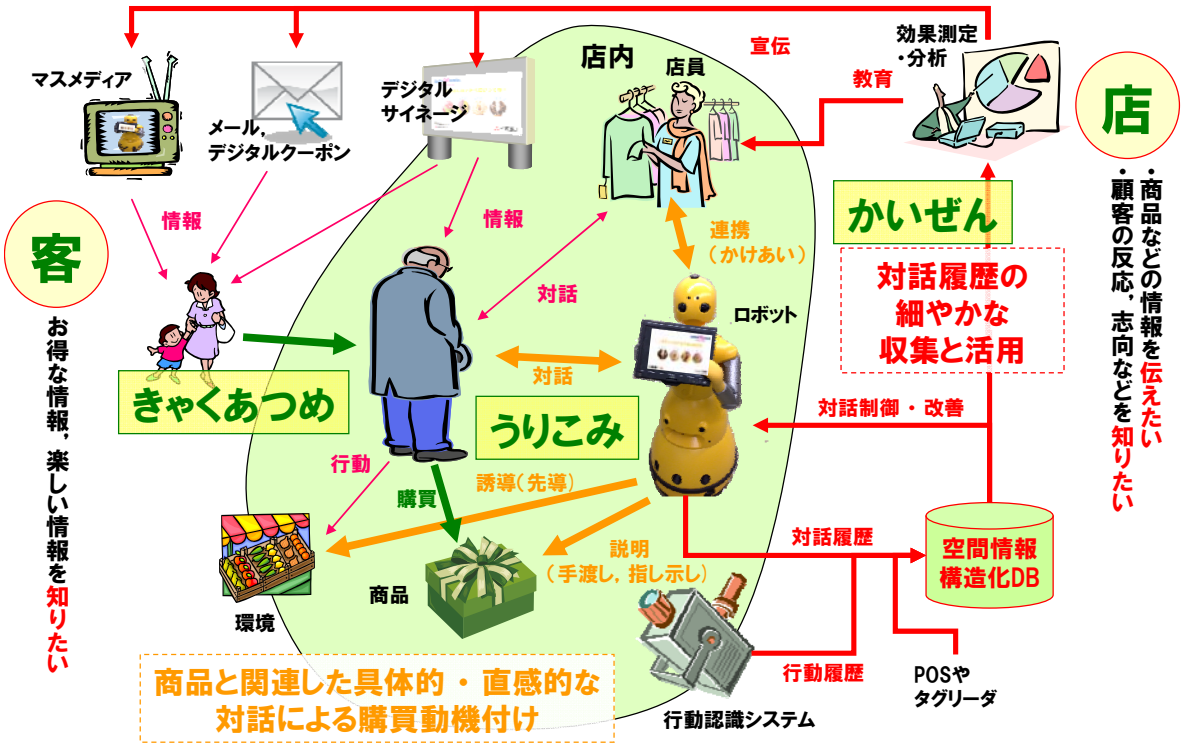
現在すでに，大型店舗向けの広告・宣伝事業を行っている伸和エージェンシー株式会社と共同で，コミュニケーションロボット「wakamaru」によるテナント・商品等の宣伝，販促事業の試行検証を，実際の大型店舗の協力を得ながら進めている。

ここでは，従来の wakamaru にない機能として，音声だけでなく画像を提示したり，店舗内にあるモノを指し示したりして直感的なコミュニケーションを行うことが求められている。また，高齢者を含む幅広い年齢層にとって親和性が高いことも必須の条件であり，本研究によりロボットの顧客価値を飛躍的に高められる分野である。

平成 21 年度は，中間開発成果をもとに，すでに保有している wakamaru を 20 台改造し，このうち 10 台を事業パートナーである伸和エージェンシーへ販売する。伸和エージェンシーは大型店舗においてこのロボットを用いた宣伝・販促のパイロット事業を開始する。伸和エージェンシーは，すでに展開を進めている「デジタルサイネージ（公共空間に設置する大型ディスプレイ）」とロボットを組み合わせ，入居テナントや一般消費財メーカからの広告出稿料，ならびに大型店舗経営者からの運営委託料によって収益を得る。当面は，筑波など都市近郊にオープンした先進的な大型店舗を中心にして，収益モデルを検証しつつも技術，運用，コンテンツなどの改良・ノウハウ蓄積を行う。

平成 22 年度，23 年度は，別途進めているコミュニケーションロボットの低コスト化・高性能化の各技術開発成果と，本研究課題によるコミュニケーション技術を反映したロボットを 2 年間で 500 台程度量産し，売り上げ規模を拡大していく。この段階では，前年度の実績をもとに大型店舗を展開するコングロマーチャントへの提案を行い，競合店舗出展や話題性低下などの大型店舗の課題解決策としてのポジション確立を目指す。そのためには，ロボットによって一方的に集客・宣伝を行うだけでなく，売り上げ向上のために顧客の流れを計測し制御することが重要である。外部のシステムと連携してより積極的に顧客の回遊性や購買行動を制御できるシステムを目指した開発・改良を行っていく。

平成 24 年度以降は，それまでのパイロット事業の実績を元に営業地域や対象顧客を拡大し，ロボットによる販促システムを普及させる。下記②に示す高齢者施設・在宅高齢者向けのロボットの展開とあわせて，さらにロボットの低コスト化，運用の容易性を高めつつ，中小規模の店舗や，大型店舗においてもテナント単位でロボットを導入できるようにすることで，販売台数を増加させる。



製品・システムのイメージ

② 高齢者施設／在宅高齢者向け 機器操作・運搬補助ロボットシステム

現在，レンタル業のダイワラクダ工業株式会社，人材派遣業のピープルスタッフ株式会社と，コミュニケーションロボット wakamaru を受付案内用として，病院や会社にレンタルする事業を試行している。

現在は，外置きのタッチパネル端末とロボットを組み合わせて建物内の案内を行っているが，タッチパネルとロボットが連携していることが直感的に理解されにくく，ユーザにとってロボットならではの親和性が感じられにくいという問題が抽出されている。この用途でも，高齢者を含む幅広い年齢層にとって使いやすい，直感的なコミュニケーションを行うことが必要である。また，身の回りのモノの持ち運びなど，モノと関連したコミュニケーションができるようになることで大きく市場が広がるチャンスがある。

平成 21 年度は，中間開発成果をもとに，すでに保有している wakamaru を 20 台改造し，このうち 10 台を事業パートナーであるダイワラクダ工業，およびピープルスタッフ株式会社へ販売する。両社は，これを病院での行き先や待ち時間等の案内システムとしてレンタル・派遣する。この時点では，中間開発成果のうち物の搬送にかかわる機能は搭載しない予定である。

平成 22 年度，23 年度は，別途進めているコミュニケーションロボットの低コスト化・高性能化の各技術開発成果と，本研究課題によるコミュニケーション技術を反映したロボットを 2 年間で 500 台程度量産し，売り上げ規模を拡大していく。

この段階では，ロボットの使用範囲を，病院の外来・受付を中心とした活用から，病棟や介護施設へ拡大していき，ソフトウェア面で，日常の生活に役立つ機能，たとえば家族との連絡の仲介や食事メニューの選択などといったサービスに展開していく。また，高齢者施設向けのセキュリティシステムや食事提供サービスなどといった他のシステム・事業との連携も拡大して，各種事業者を経由したシステム売りも志向する。

平成 24 年度には，本研究開発の成果のうち物の搬送にかかわる機能も搭載したロボットの量産(1000 台規模)を開始し，病棟や介護施設において，廊下など共用スペースに配布される食事等を，個室病室に運搬する機能も含めて実用化する。同時に，ダイワラクダ工業の親会社である大和ハウス工業を介し，高齢者向けのマンションへのテスト的な導入を開始する。(生産は 100 台ずつを 1 ロットとして順次行う)。

平成 25 年ごろに，前年度のテスト的導入の結果を踏まえ，高齢者の家庭において物の搬送を含め，家電の操作やコミュニケーションなどの機能を含めた在宅高齢者用ロボットの量産（1,000 台/LOT）を開始する。在宅高齢者用ロボットの販売・サポート等の体制については，平成 17 年度に在宅高齢者用ロボットとして wakamaru をテスト販売したときに構築し

た JV 体制（伊藤忠商事，三菱商事，オムロンフィールドエンジニアリング，ベルシステム24，西華産業，三菱重工）に，大和ハウスグループを加えた体制を改めて構築し，各社の出資により事業運営を行う方式を取る。

6)-3 波及効果

具体的な情報，たとえば商品や店舗の特徴や魅力といったものを，対象者に力強く，かつ不快感を与えず自然に提供できる技術は，たとえばテレビ，新聞などのマスメディアが広告を中心としたビジネスモデルで成立していることから見ても，ビジネス面での価値が非常に高いことは容易に理解できる。

それだけでなく，たとえば科学館や博物館などの教育施設，企業の展示館，駅や市区町村役場などの公共施設をはじめ，様々な場所で，人に代わって情報を伝達できる手段としてのビジネス面での波及が見込める。またこのことは，事業性以外にも，たとえば教育や公共サービスの向上といった面での波及効果も高い。

将来は，他分野で開発が進んでいる各種の作業ロボットに，本開発成果を適用することで，より直感的かつ自然な形で，人とロボットが作業の意思疎通を図れるようになると考えられ，サービスロボットの普及全般に波及する成果と考えられる。

3.2.3 ロボット搬送システム

3.2.3.1 環境情報の構造化を利用した搬送ロボットシステムの開発

【実施者：富士通(株)、横浜国立大学、電気通信大学】

1）研究概要

平成１８年度に開始された「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」において、富士通、横浜国大、電通大は、「環境情報の構造化を利用した搬送ロボットシステムの開発」というテーマでプロジェクトを受託した。①「人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術」として、環境情報構造化技術を活用してオフィス環境で移動ロボットのナビゲーションを実現することを目的とし、ＵＷＢ測位システム、およびＲＦＩＤ技術を活用する方法の研究開発を行った。また、②「人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術」として、オフィスでの搬送業務に適した、安全な走行機構を開発した。

ＵＷＢ測位システムでは、ロボットに搭載、および環境に設置可能な小型のＵＷＢ無線端末を開発した。無線周波数は 3.4～4.8GHz、無線出力は-41.3dBm/MHz である。ロボット搭載端末には指向性アンテナと受信部を３チャンネル設けて、いずれの方向から電波が来ても受信できるようにした。オフィスでは、ロボット周囲に人が集まることでロボット搭載無線端末と環境設置無線端末間の直接パスが遮蔽される場合ある。このような条件では誤差ノルム 68cm(RMS)と大きな誤差が発生した。これは、遮蔽された無線端末では、天井等で反射した反射波で測距するため、測距値が真値よりも長くなるためである。そこで、環境に冗長に設置されている端末に対して、特定の端末を除去して測位計算を行い、測位結果から逆算した距離誤差が最小となるように除去する端末を決める「ノード選択法」を用いた測位アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムにより、直接パスが遮蔽される環境での測位誤差が 16cm(RMS)となり、マルチパスがあっても高精度に測位できることを確認した。

ＲＦＩＤを活用した環境情報構造化技術として、ＵＨＦ帯域を用いて通信する、パッシブ型タグを用いた「ＲＦＩＤタグの位置推定方式」、および「ＲＦＩＤタグを用いた“住所情報”を取得する手法」を開発した。950MHz 帯の高出力型ＲＦＩＤタグリーダ搭載したロボットが、移動中に障害物に貼付したＲＦＩＤタグを検出してその位置を推定するため、ベイズの定理を用いたＲＦＩＤタグの位置推定アルゴリズムを開発した。プロトタイプシステムを構築し、オフィス環境において位置誤差 30cm 程度でタグの位置推定が行えることを確認した。また、部屋番号などの“住所情報”を記録したタグを予め環境に設置し、タグリーダを搭載したロボットが移動しながらタグから情報を取得する手法を開発した。以上の要素技術開発により、従来は人手で行っていたロボット用環境地図にモノの位置や場所情報を登録する作業を自動化して地図作成コストを大幅に低減できる見通しが得られた。

プロジェクトでは、オフィスで違和感の無いデザインをもつ搬送ロボットを開発した。リスクアセスメントを繰り返して安全設計を行い、高さ 2cm の段差を踏破可能、最大速度 1.2m/s で走行可能、可搬重量 20kg の走行機構を開発した。また、ステレオカメラや LRF(Laser Range Finder)などのセンサ情報を統合した自己位置推定方式、および障害物と衝突しないようにするための走行制御を実装した。

以上の開発したＲＴ（Robot Technology）搬送システムを用いて実証評価を行った。実際のオフィス環境でＵＷＢ測位システムを用いてロボットのポジショニングを行い、目的地まで自律走行して搬送作業が行えることを確認し、実用レベルで安定動作することを実証した。

2）成果詳細

【成果の要約】

＜ステージゲートの目標＞

- オフィス環境において、ＵＷＢ測位システムを使って搬送ロボットを位置精度 30cm で測位する。
- ＵＷＢ測位システム、およびロボット搭載センサシステムを用いて自己位置推定を行い、オフィス内の目的の場所まで自律走行するナビゲーション技術を開発する。
- ロボット搭載センサを用いて環境計測をおこない、オフィス環境の主動線上を安全に移動する走行制御技術を開発する。人の歩行速度の半分程度の速度で移動できることを目標とする。
- オフィス環境に適した搬送ロボットを開発する。

＜成果＞

- ＵＷＢ測位システムにより、オフィス環境においてロボットを位置誤差 15.7cm(RMS)で測位できることを確認した。この測位結果を使い、ロボットの初期位置・姿勢を計測できることを確認した。目標の２倍近い測位精度を達成した。
- ステレオビジョンで取得した３次元測距データ、およびレーザレンジファインダ（ＬＲＦ）で取得した２次元測距データを観測量とし、パーティクルフィルタを用いて自己位置推定する手法を開発した。指定された目的地までの最短経路を探索する手法、および最短経路に沿って移動する走行制御技術を統合してオフィスで自律走行する機能を実現した。オフィスの執務エリアでは、最大速度 0.7m/s で移動して目的地まで自律走行できることを確認し、人の歩行速度（4km/h≒1.1m/s）の半分以上の速度での自律移動を達成した。また、廊下環境では最大速度 1.2m/s で自律走行して目的まで移動できることを確認し、人の歩く速さ以上の速度での自律走行を達成した。また、ロボットがオフィス環境の主動線上を移動している時に、ＬＲＦ、超音波センサを用いて障害物を検知し、制動・停止する走行制御技術を開発した。
- オフィス環境の中で違和感のないデザインを持つ、幅 62cm、高さ 120cm、可搬重量 20kg の搬送ロボットを開発した。走行機構部は、20kg の荷物積載状態で、高さ 2cm の段差を踏破できること、最大５度の傾斜を移動できる性能を達成した。

【開発技術の成果】

①　<u>人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術</u>

（要約）

＜既存の技術＞

- ステレオビジョンによる 3 次元計測には、「次世代ロボット共通基盤プロジェクト」で開発した高速視覚処理 LSI を搭載した画像処理ボード（富士通製）を使用した。
- ロボットが提供するサービスの動作制御アプリケーションソフト（XMLを用いたロボットサービスシナリオの実行環境）は、富士通が開発したサービスロボット enon のソフトをベースに開発した。
- オフィス内の指定された目的地までの最短経路を探索する手法、および経路に沿って移動

する走行制御技術の一部は、サービスロボット enon の技術を利用した。

＜本プロジェクトで新規に開発した技術＞

- ロボットに搭載したＵＷＢ無線端末とオフィス環境に設置した複数のＵＷＢ無線端末間で距離を計測し、ロボットの位置を測定するＵＷＢ測位システム
- オフィス環境で障害物を検知する環境センシング技術
  - 超音波センサを用いた、ガラスドアの検知、開閉の確認
  - 各種センサの統合
- ステレオビジョンで取得した３次元測距データ、およびレーザレンジファインダ（ＬＲＦ）で取得した２次元測距データを観測量とし、パーティクルフィルタを用いて自己位置推定する手法
- ロボットがオフィス環境の主動線を移動している時にＬＲＦ、超音波センサを用いて障害物検知を行い、制動・停止する走行制御技術
- オフィス環境で自律走行できる機能・性能を持つ、搬送ロボットのハードウェア、ソフトウェアアーキテクチャ
- 上記技術を統合し、オフィス環境で違和感のないデザインを持つオフィス搬送ロボット。ロボットの概観を図 1に示す。
- RFID タグの位置推定技術

図 1. 開発したオフィスロボットの概観

（詳細）

Ⅰ．ＵＷＢ測位システム

ロボットに搭載、およびオフィス環境に設置するためのＵＷＢ無線端末を開発した。開発した環境設置端末の外観を図 2、仕様を表 1に示す。環境設置端末は受信アンテナに反射板を付けて指向性を持たせ感度向上を図るが、ロボット側は指向性があるとロボットの姿勢に制約ができ望ましくない。そこで、反射板付きアンテナを 3 台 120 度間隔で設置し、3 チャンネルの受信信号を入力可能なロボット搭載端末を開発した。図 3にロボット搭載端末をロボットに搭載した様子を示す。2 台の端末間で見通し環境で電波往復測距の実験を行い、１m～10m 範囲で誤差 -20cm～40cm、ばらつき 10cm であったが、距離誤差を直線近似で補正することで誤差±10cm とすることができた。移動端末と複数の環境設置端末間で測距を行い三角測量により移動端末位置を測定する測位システムを開発し、4 台の端末を 8.5m×7m の範囲に設置し、ロボットに搭載した端末との間で見通し環境で測距を行い、ロボット位置を測定する実験を行った。その結果、平均誤差は 15.7cm であり、目標精度 30cm を達成した。更に、冗長に設置した環境設置端末の中から見通し外環境にある端末を選択して測位計算から除去するアルゴリズムを開発し、5 台の端末を 6m×6m の範囲に設置し、ロボット搭載端末と環境設置端末間に人が立って電波を遮蔽する見通し外環境で位置測定の実験を行った。実験結果を図 4に示す。見通し外端末を除去しない場合の測位誤差 94cm に対して、除去後の誤差は 12cm であり、見通し外環境でも目標精度で測位できることを確認した。本システムをロボットに搭載し、ロボットの初期位置・姿勢を計測できることを確認した。

表 1. ＵＷＢ端末仕様

無線周波数	3.4～4.8GHz
無線出力	-41.3dBm/MHz
通信距離	10m
通信速度	400kbps
外部ｲﾝﾀﾌｪｰｽ	USB、 Ethernet
サイズ	W10cm×L10cm×H10cm(ｱﾝﾃﾅを含む)

図 2. ＵＷＢ端末概観

図 3. ロボット搭載の様子

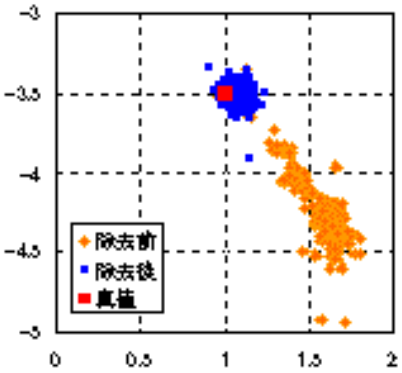


図 4. 見通し外測位結果

Ⅱ．環境センシング技術

図 5に示すように、近年のオフィスは、曲線を持つデザイン性の高いオフィス家具が配置されており、また、太陽光が差し込む空間、ガラス材の壁で囲まれた空間があるなど、ロボットにとって複雑な環境であり、この中でワーカーが働いたり行き来したりしている。こうした空間でロボットが動作するためには、数種類のセンサを組み合わせて環境を計測し、ロボットが周囲の状況を認識する必要がある。本プロジェクトでは、オフィス環境にある建材、家具などの材質を分類し、センサ特性を考慮して検出対象に適したセンサを選定してレイアウト設計を行った。

図 5. 近年のオフィス環境の一例

図 6にオフィス搬送ロボットの環境計測センサのレイアウトを示す。以下に、各センサの設置箇所と用途を示す。

ロボット上部には 3 ペアのステレオカメラがチルト台の上に搭載されている。ステレオカメラは、机の足、柱など、画像中の垂直方向の特徴点について距離を計測する。チルト台により、カメラは水平方向から±10 度の範囲で回転できる。

ロボット前面の荷台下にはレーザレンジファインダ（LRF）がチルト台の上に搭載されている。通常の走行時には、大人の膝の高さの水平面をスキャンして障害物検知に使用する。チルト台は水平方向から±25 度の範囲で回転し、ロボットの足元を 3 次元的に計測できるようした。

荷台下部の前後左右には超音波センサが設置されている。超音波センサにより、ガラス材の間仕切り、壁などを検知する。

段差検知や足元の障害物の検知の目的で、PSD 測距センサは荷台下部の 4 箇所に設置した。

ロボット裾部には接触センサを設置し、物体障害物との接触を検知する。

以上のセンサを組み合わせて使用し、オフィス環境の計測とロボット周囲の状況認識を行う。

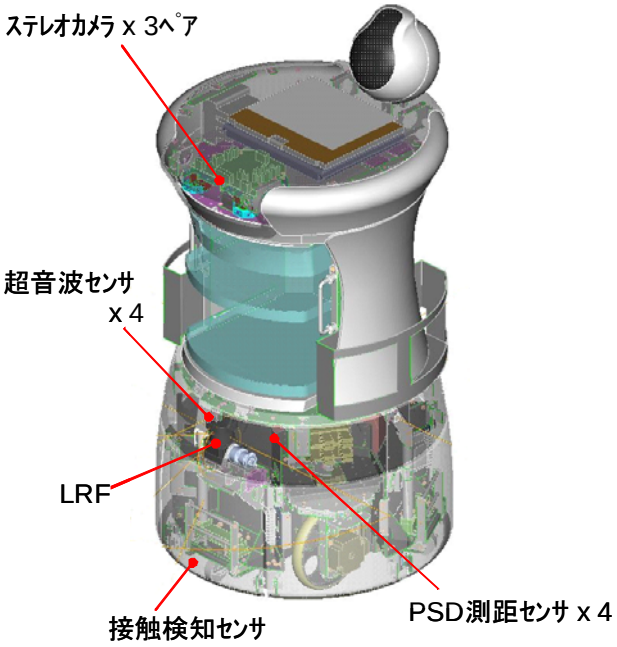


図 6. オフィス搬送ロボットの
環境計測センサレイアウト

Ⅲ. ロボットの自己位置推定技術

開発したロボットには、富士通が「次世代ロボット共通基盤プロジェクト」で開発した画像認

識モジュール（図 7(a)）を搭載している。この画像認識モジュールを用いてステレオビジョンによる 3 次元計測を行い、3 次元計測データと LRF の 2 次元計測データを用いた移動ロボットの自己位置推定方法を開発した。

左右のカメラ画像に対して特長抽出処理を行い、図 7(b)に示すような特徴点を抽出する。相関演算機能により左右画像のエピポーラ線上にある対応点を求め、カメラから見た特徴点までの 3 次元位置を求める。ステレオビジョンで取得した画像垂直方向の特徴点の 3 次元測距データ、および LRF で取得した水平面の測距データを予め用意した環境地図とマッチング処理を行い、パーティクルフィルタを用いてロボットの位置を推定する手法を開発した。

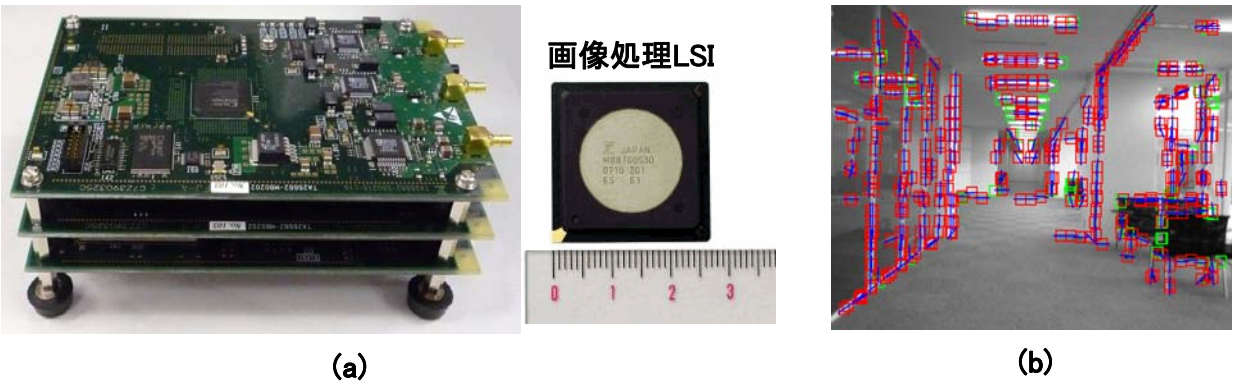


図 7.（a）画像処理ボード、(b) 画像から抽出した特徴点

Ⅳ．環境地図、経路探索、走行制御技術

環境地図、経路探索、および走行制御の一部は、富士通が開発したサービスロボット enon の既存技術を利用した。以下に概要を示す。

【環境地図】図 8にロボットが自律走行で使用する環境地図を示す。ベースとなる地図には、CAD で作成した建物の設計図面やオフィスのレイアウト図を使用する。図中の青紫の領域がロボットの通行領域である。フロア全体の通行領域は、複数のブロックに分割されている（図中の楕円で囲まれた領域)。ブロック内にはロボットが通過する“通過点”が設定されている。隣接するブロック間を移動したい場合は、ブロック内の通過点同士を“コネクタ”で接続する。ロボットの初期位置および到達位置はブロック内の任意の場所に設定でき、ワールド座標系から見た座標 (X,Y,θ) で指定する。

【経路探索】経路探索は、前述の地図の各ブロックをノード、コネクタを枝とするツリー構造のグラフを使って行う。現在位置を表すノードから目的地のノードまで A*探索を用いて最短経路を求める。

【走行制御】通常の走行では、ロボットは同一ブロック内の通過点同士を結ぶ直線経路に沿って移動するよう制御される。障害物回避で直線経路から外れた場合、ロボットの現在の位置から直線経路に復帰する“復帰経路”を生成し、その経路に沿って移動するように制御される。

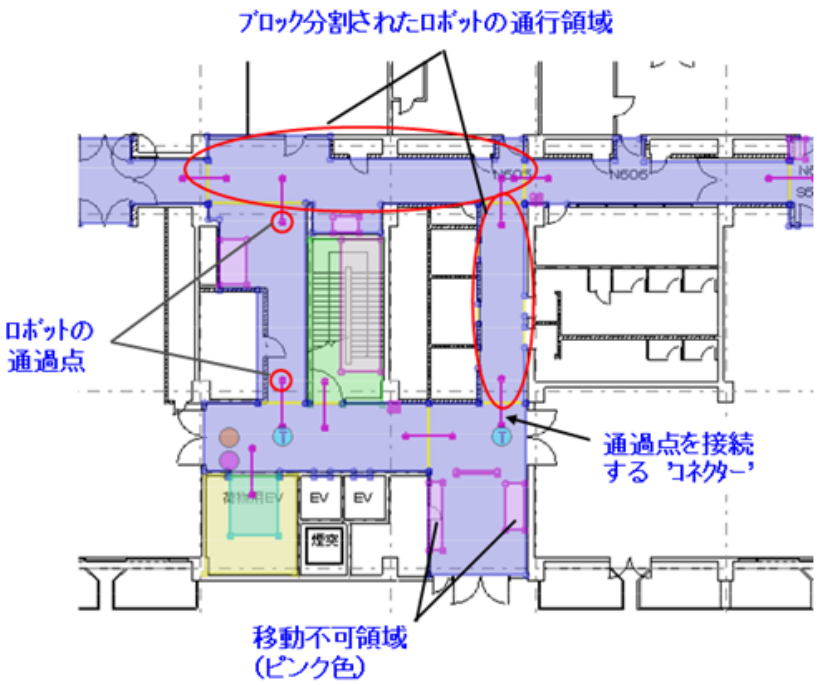


図 8. 自律走行に使用する環境地図の例

V．障害物との衝突を回避する制御技術

図 8 に示すようにロボット前方を３つのエリアに分割し、障害物の位置に応じて制動・停止制御を行う。減速開始ラインより内側に障害物を検知した場合、ロボットは減速を開始する。ロボットは徐々に減速し、徐行開始ライン付近で徐行速度（デフォルトは 10cm/s）になるように制御される。徐行エリア内では低速で移動し、停止開始ラインを超えたら最大加速度(1m/s2)で減速し、ロボットは障害物の手前で停止する。オフィスの狭隘環境では停止開始ラインを短め（デフォルト 20cm）に設定する。他方、廊下など広めの走行環境では停止開始ラインを長めに設定し、人が不快に感じるパーソナルスペース（人から半径 50cm 以内のエリア）に侵入しない動作を行う（図 9 参照）。

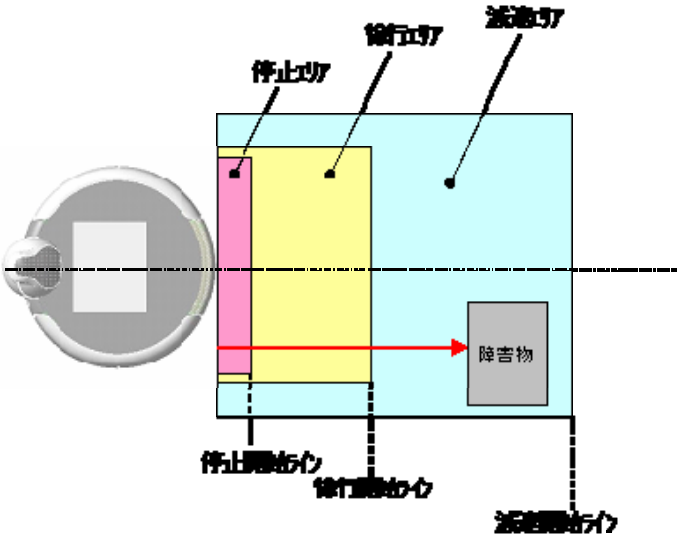


図 9. 障害物との衝突を回避する走行制御方式

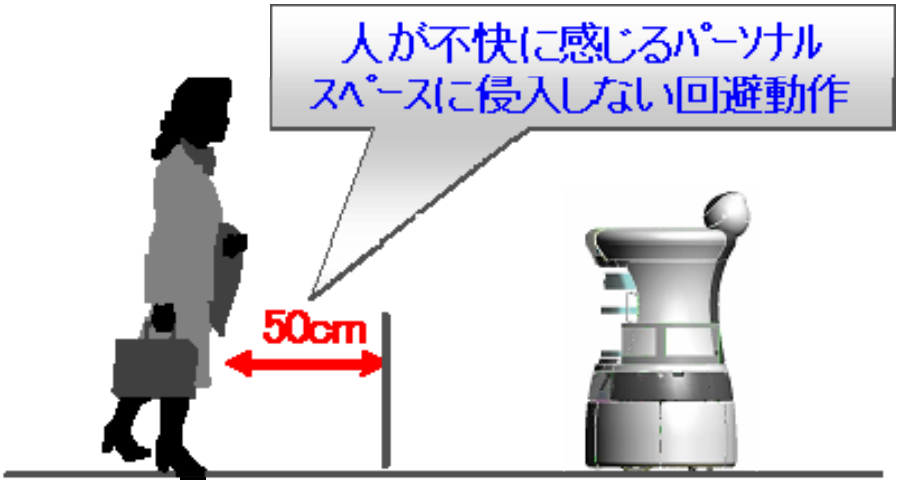


図 10．廊下など広い環境での歩行者との衝突回避

VI．オフィス搬送ロボットのアーキテクチャ

図 11に開発したオフィス搬送ロボットのアーキテクチャを示す。青線の囲みはハードウェア、赤線はソフトウェアを表す。ハードウェアは、①走行機構部、②環境計測センサ部、③コントローラ（ホスト PC）で構成される。また、ソフトウェアは、①非ＲＴ空間ソフトウェア、②ＲＴ空間ソフトウェアで構成される。

①走行機構部は、ハーモニックドライブギアドモータ、モータドライバ、デッドレコニング用センサ（ジャイロ、加速度センサ）およびデバイス制御用マイコンで構成される。モータドライバは CAN2。0B で、デバイス制御用マイコンは USB 通信でホスト PC と接続される。②環境計測センサ部は、ステレオビジョン、ＬＲＦ、超音波センサ、PSD 測距センサで構成される。ステレオカメラは３次元高速ビジョンボードに接続され、Ethernet 経由でホスト PC から制御される。LRF は USB、超音波センサと PSD 測距センサはデバイス制御用マイコンに接続され、USB 経由でホスト PC に接続される。③コントローラはマルチコアの汎用プロセッサを搭載した PC/AT 互換 PC であり、ロボット全体の制御を行う。

リアルタイム制御を行うため、OS には Microsoft 社の WindowxXP をリアルタイム拡張する IntervalZero 社（旧 Ardence 社）の RTX を採用した。①非ＲＴ空間ソフトウェアは、XML で記述されたロボット動作シナリオに従って制御するロボット全体制御ソフトウェア、自律走行をコントロールするナビゲーションモジュール、地図管理モジュールで構成される。②ＲＴ空間ソフトウェアは、デバイス制御ソフトウェア、デッドレコニングによる自己位置推定モジュール、障害物検知モジュール、および走行制御モジュールで構成される。

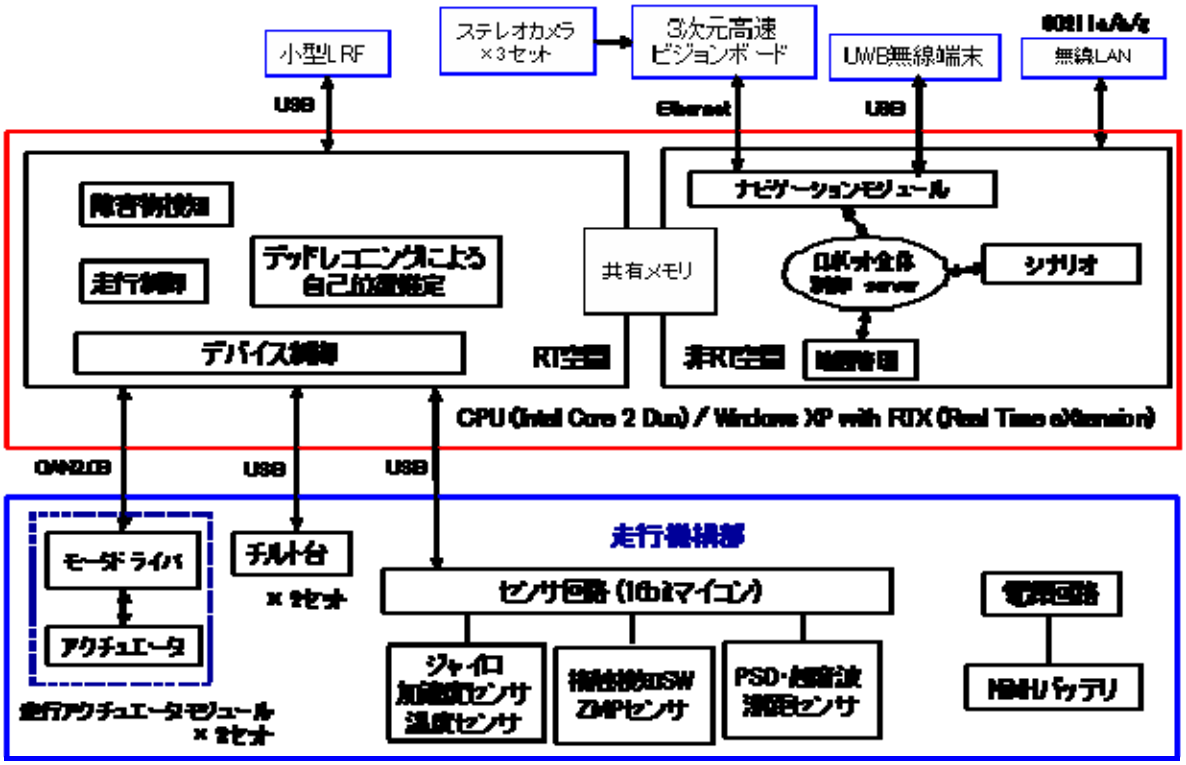


図 11．オフィス搬送ロボットのアーキテクチャ

Ⅶ．オフィス用搬送ロボット

図 1に示すような、オフィス環境で違和感のないデザインを持つ搬送ロボットを開発した。頭部に搭載している LED の発光パターンで目や口の表情をつくり、愛嬌などを表現できるようにした。テーブルトップは情報表示用モニタになっており、ワーカーはロボットを囲ってモニタに表示される情報を見ながらコミュニケーションを行うことができる。腹部の荷台は搬送するに荷物の形状に合わせてコンテナユニットを交換できる。裾部にはフロアライトを備えており、ロボットのフットプリントが周囲の人に分かり易いようになっている。

Ⅷ．RFID タグの位置推定技術の研究開発

＜研究開発の概要＞

本研究では、非整備環境である建物の中で自由に動いて、与えられたタスクを自律的に実行できるロボット搬送システムを対象にしている。そのためロボットを正確、安全に目的地まで誘導することが移動ロボットにとっては必要不可欠である。ロボットがタスクの実行に集中できるように、正確に周囲の環境を認識することが必要であり、特に、ロボットが事前に地図に表現できない移動可能な障害物に遭遇したとき、その位置情報を正確に取得することが必要である。

移動ロボットの障害物検出における従来の手法として、カメラのような視覚センサがよく用いられる。また、既存の多くのシステムにおいては、ＬＲＦ（Laser Range Finder)、レーダ、超音波センサなどがよく用いられる。しかし、これらのセンサはリアルタイムにパターンマッチングを行うため、物体の同定と位置の計測のための計算量が非常に多い。コンピュータ技術が発達した今でも、自律独立型のロボットに搭載可能な計算機では堪えがたい負荷になってしまうことがある。そこで、本研究では RFID(Radio Frequency Identification) に注目し、ID タグを障害物に貼り付

けて、障害物の検出を行う。その際、指向性が悪いＲＦＩＤ情報を位置推定に用いるために、統計学のベイズ理論を導入し、大量のデータから位置情報を抽出する方法を提案し、その実現可能性を検証した。

[平成１８年度]

研究テーマ：ＲＦＩＤを利用したロボットの位置推定と障害物検出方法の検討

研究内容：ＲＦＩＤを利用した障害物の検出と位置推定方法について検討する

研究成果：単一アンテナを持つＲＦＩＤタグリーダとアクティブタグを用いて、障害物に貼付したＲＦＩＤタグを検出し、ロボットから見たタグの位置を推定する提案し、システム実装と実験を行った。提案した手法は、ＲＦＩＤのセンシング情報に対しベイズ理論に基づく統計処理を行うことにより、移動ロボットが走行中に障害部に貼付したタグを検知し、平均誤差３０cm で位置を推定できることを確認した。

[平成１９年度、２０年度]

研究テーマ：マルチアンテナによる RFID タグ位置検出の効率化法の研究

研究内容 : RFID タグ位置推定のための、センサモデルとベイズ理論に基づく統計処理を効率的に行うため、マルチアンテナを用いる方法を提案し実装する。

研究成果 : RFID タグ位置推定のための、センサモデルとベイズ理論に基づく統計処理を効率的に行うため、アンテナを複数用いる手法を提案した。ロボットに３つのアンテナを搭載し、タグ位置推定の実験を行った。実験の結果、１アンテナに比べ、探索のための左右振り動作を約１／２にすることができた。

＜ベイズ理論に基づくタグの位置推定方法＞

一般に、ＲＦＩＤタグリーダは、検出可能エリア内にあるＲＦＩＤタグを検出することができるが、タグの正確な位置は知ることができない。そこで本研究では、ＲＦＩＤタグリーダのセンサモデルを作成し、ベイズ理論を用いてタグの位置を推定することとした。複数回タグの検出を試行し、その結果から ID タグの位置を推定する。

平成 18 年度は、単一アンテナを持つ、アクティブタグを使用するＲＦＩＤタグシステムを用いて研究開発を行った。使用したＲＦＩＤシステムのセンサモデルを図 12に示す。扇状の部分がタグの検出エリアで、タグの存在確率を 0.9 とし、その外側では 0.5 と設定した。

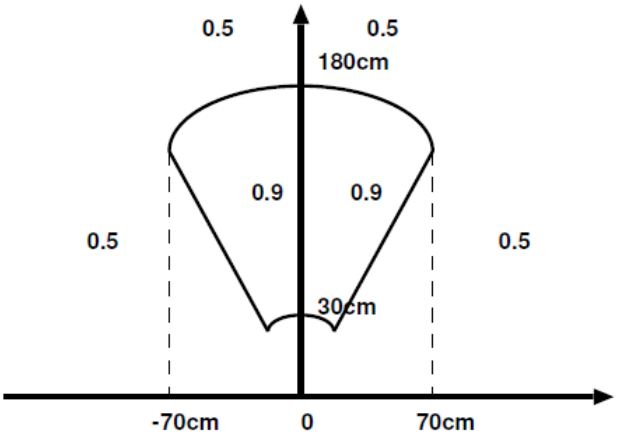


図 12. 単一アンテナを持つＲＦＩＦタグシステムのセンサモデル

本研究では、式(1)に示すベイズの定理の各要素を以下のように設定する。

$$P(E \mid O) \propto P(O \mid E)P(E) \qquad \cdots (1)$$

但し、

O ：タグリーダによる信号の受信

E ：障害物（ＩＤタグ）の存在

$P(E \mid O)$ ：信号を受信した場合障害物の存在事後確率

$P(O \mid E)$ ：障害物が存在する場合信号を受信する確率

$P(E)$ ：障害物が存在する事前確率

n 回更新した後の $P(E \mid O)$ は次式で求めることができる。

$$P_n(E \mid O) \propto P(O \mid E)P_{n-1}(E) \quad \cdots (2)$$

但し、

$P_n(E \mid O)$ ：n 回更新した後の存在する確率

$P(O \mid E)$ ：センサモデルに基づく（0。9 or 0。5）

$P_{n-1}(E)$ ：$n-1$ 回更新した後に障害物が存在する確率

上記のベイズ定理を適用する時に $P(O \mid E)$ は、センサを測定して得られるセンサモデルから決められる。以上の方法で求めたタグの存在確率を示す分布図を図 13に示す。

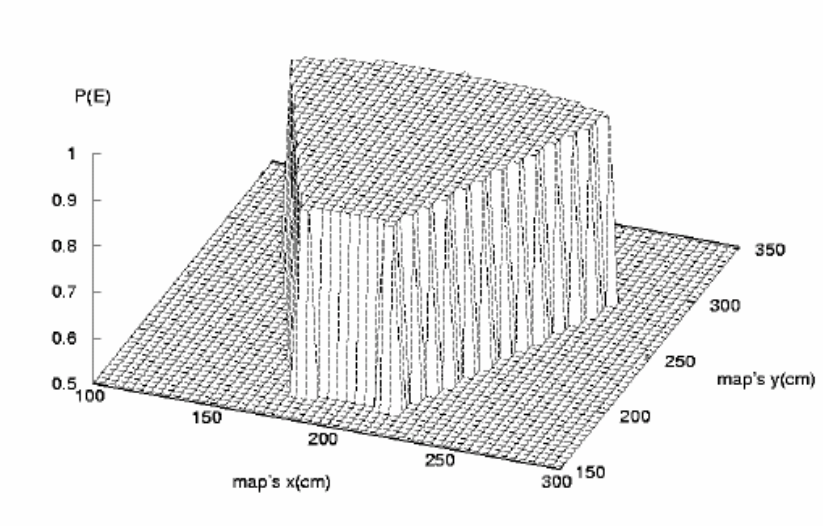


図 13．タグの存在確率を示す２次元マップの例（初期状態）

アンテナを能動的に振って確率マップを更新することで、示すような存在確率が高いピークが出現する。但し、$P(E \mid O)$ の XY 平面の分布はあるサンプリング間隔で離散化しており（即ちグリッドマップで表現される）、$P(E \mid O)$ が同じ箇所が複数出現する場合がある。そこで、タグが存在する可能性の高い領域の重心を障害物タグの位置とする。グリッドマップにおけるタグの存在領域から、障害物タグの座標 $(x_{obstacle}, y_{obstacle})$ を次式で求める。

$$x_{obstacle} = (x_{\max} + x_{\min})/2 \quad \cdots \quad (3)$$

$$y_{obstacle} = (y_{\max} + y_{\min})/2 \quad \cdots \quad (4)$$

但し、

$x_{\min}$ ：存在可能領域の最小の x

$x_{\max}$ ：存在可能領域の最大の x

$y_{\min}$ ：存在可能領域の最小の y

$y_{\max}$ ：存在可能領域の最大の y

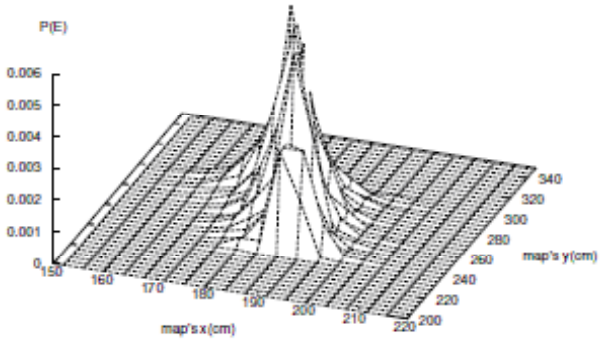


図 14. タグの位置に出現した存在確率の高い部分

＜平成１８年度の成果＞

図 15に障害物に貼付したＲＦＩＤタグの位置推定実験の設定を示す。ロボット前方 3 箇所にタグを設置し、その位置を推定する実験を行った。

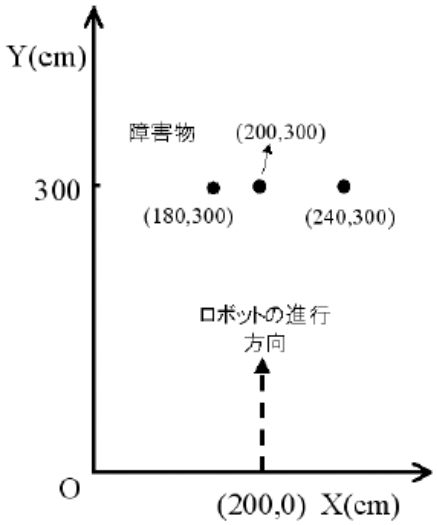


図 15. 障害物に貼付したＲＦＩＤタグの位置推定実験の設定

結果を

表 2に示す。

表 2. 単一アンテナとアクティブタグを用いたＲＦＩＤタグの位置推定結果

真の位置[単位:cm]	推定位置[単位:cm]	真値からの誤差（ノルム）
(180, 300)	(192, 292)	14cm
(200, 300)	(198, 304)	3cm
(240, 300)	(216, 318)	28cm

単一アンテナとアクティブタグで構成されるＲＦＩＤタグシステムを用いた実験では、移動ロボットが走行中に障害部に貼付したタグを検知し、平均誤差３０cm で位置を推定できることを確認した。平成 18 年度は、ベイズ理論に基づく統計処理を行うことにより、移動ロボットが走行中に障害部に貼付したタグを検知し、その位置を推定する方式を開発する目標を達成した。

＜平成１９～２０年度の研究内容＞

平成１８年度に開発した、単一アンテナとアクティブタグで構成されるＲＦＩＤタグシステムを用いる手法では、以下の欠点があった。

・ 単一アンテナでは、タグを検知する度に、その位置を求めるためロボットが大きく旋回してアンテナを振り、タグの存在確率が最も高い位置を決めなければならない。狭隘部では十分な旋回スペースが無い場合もあり、旋回動作が小さい方式が必要。
・ アクティブタグは高価であり、コスト面からオフィスでの大量導入が見込めない。より安価なタグが利用できることが必要。
・ アクティブタグにはバッテリの寿命がある。また、タグ自体がリジッドなため、任意の形状の障害物に貼付しにくい。バッテリ交換等が不要のメインテナンスフリーで、様々な物体に貼付しやすいタグの採用が必要。

以上の欠点を改善するため、平成１９～２０年度はマルチアンテナを使用できるＲＦＩＤタグシステムを採用し、そのセンサモデルとベイズ理論に基づいた RFID タグ位置推定方法を開発した。これにより、単一アンテナに比べてタグの位置推定のための旋回動作の回転量を約１／２にすることができ、タグの推定位置の平均誤差も３０ｃｍから２２ｃｍに低減した。また、ＵＨＦ帯を使用するパッシブ型ＲＦＩＤタグを採用することで、コスト性やメインテナンス性を改善した。

ＲＦＩＤタグリーダには、図 16に示すような富士通製のＵＨＦ帯タグリーダライタ TGU-RW362 を使用した．これは、リーダライタ部とアンテナ部が分離しており、アンテナは最大 4 台まで接続可能である。また、RFID タグはシール状のタグ「TGU-TL11x」を使用した。これはパッシブ型のタグで、安価、物体に容易に貼付できるという特徴を持つ。

（ａ）UHF 帯 RIFD タグリーダライタ　「TGU-RW362」　（ｂ）外付けアンテナ「TGU-AN12」

図 16. マルチアンテナ方式 UHF 帯 RFID タグリーダライタ（富士通製）

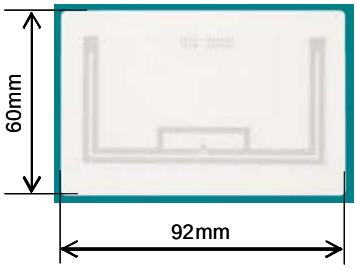


図 17. シール状のＲＦＩＤタグ「TGU-TL11x」

＜マルチアンテナのセンサモデル＞

開発した実験システムでは、3 つのアンテナを図 18に示すように移動ロボットに搭載した。

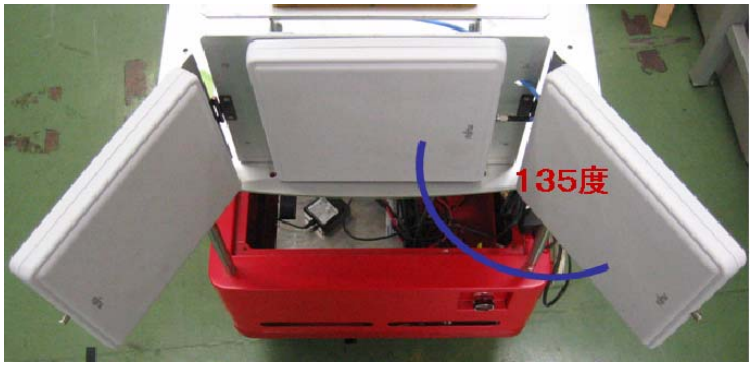


図 18. マルチアンテナの設置方法

実験により 1 台のアンテナのタグの検出範囲を求めたところ、図 19に示す青線で囲われた領域となった。そこで、1 台のアンテナのセンサモデルは、図 19の黄色で囲われた領域の内側ではタグの存在確率が 0.9、その外側を 0.5 とした。また、3 台のアンテナのセンサモデルは図 20のようになる。青色の部分は 1 台のアンテナでカバーされる検出エリア、ピンク色と黄色のエリアは 2 台のアンテナでカバーされるエリア、黄緑色は 3 台のアンテナでカバーされる検出エリアを表す。

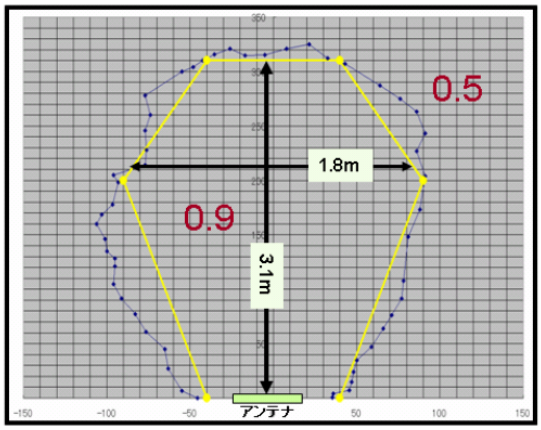


図 19. １台のアンテナのタグの検出エリア

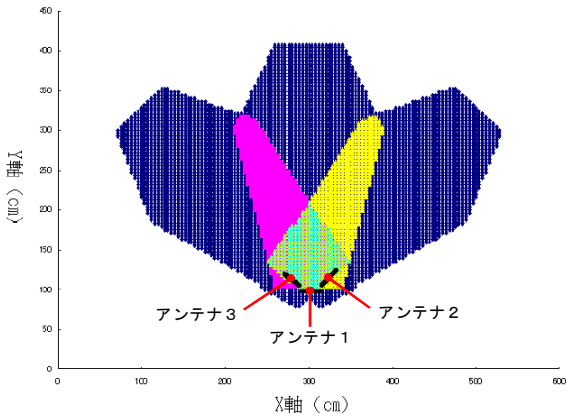


図 20. マルチアンテナのセンサモデル

＜平成１９～２０年度の成果＞

マルチアンテナを用いて、障害物に貼付したＲＦＩＤタグの位置を推定する実験を行った。結果を表 3に示す。

表 3. マルチアンテナを用いたＲＦＩＤタグの位置推定結果

真の位置[単位:cm]	推定位置[単位:cm]	真値からの誤差（ノルム）
(300, 400)	(309, 384)	18cm
(340, 400)	(360, 390)	22cm

マルチアンテナを用いた、障害物に貼付した RFID タグの位置推定実験では、移動ロボットが走行中に障害部に貼付したタグを検知し、平均誤差３０cm で位置を推定できることを確認した。

以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

- 平成 18 年度は、ベイズ理論を用いて統計的な処理を行うことにより、障害物に貼付したアクティブＲＦＩＤタグの位置を推定する方式を開発した。
- 平成 19～20 年度は、コスト性、メインテナンス性を考慮し、パッシブ型のタグを採用した。マルチアンテナを用いた手法を開発し、パッシブ型ＲＦＩＤタグを 30cm 程度の位置誤差で推定できることを確認した。
- 以上の研究成果により、障害物にＲＦＩＤが貼付されていれば、事前に地図に登録されていない場合でもそれを検知して同定し、位置情報を取得できる見込みが得られた。本技術を使うことで、これまで手作業で行っていた障害物の環境地図作成コストを削減することが可能である。

② 人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術

＜要約＞

ロボットを使用するオフィスの環境条件を設計事例などで調査・分析した。[illegible]トの形状やサイズ、モータ、センサは、本質安全を念頭において設計した。障害物を検知するセンサ情報は人の動きや環境条件を基準に選定した。積載物や使用する人によって安全性が大きく変わる荷物の積載機能に関しては、荷物の種別に応じた専用の収納ユニットで安定な積載状態が実現できるようにした。これらを実際のフィールドで走行テストし、人が共存した環境下で歩行

速度の半分程度で安定な走行ができることを確認した。
＜詳細＞
人と共存するロボットにおいて、並進走行や旋回時において想定しない人との接触機会を極力抑制、または仮に人と接触をしても安全性が高い外観デザインにすることは本質安全設計の見地から非常に重要と考える。平成 19 年度に試作した走行機構部はこの点に配慮した設計としている。具体的には、オフィス走行環境の主要動線通路幅 1200㎜ の半分である直径約 600㎜ とし、安全に旋回可能な円形状とした。ステアリング機能と駆動車輪、およびその制御回路は床面投影面でデッドスペースが極力小さくなるようモジュール化し、コスト要求や用途に応じて車輪数や配置をカスタマイズ可能な構造持つ走行機構として設計、製作した。車輪モジュールを 3 箇所等分配置し、その中心部に重量物であるバッテリを搭載することで転倒に対する安定性を向上させた。移動能力として、オープン走行時では最大速度 1.2 m/s、段差踏破能力 2 cm、傾斜対応 5 deg を実現している。また、自律走行時は最大速度 0.7m/s で移動できることを確認しており、プロジェクトの中間目標である「人の歩行速度の半分程度」での走行を達成している。平成 20 年度は、ロボットの適用フィールドであるオフィスの床面条件の調査結果を基に車輪モジュールの１個を受動車輪に変更した。このコストを削減した走行機構部に荷物を搬送する荷台と、オフィス走行時に周囲の環境状況をモニタし走行制御するセンサ、周囲の人とのコミュニケーションを行うデバイスを追加し、接触面圧を緩和するよう大きな曲率でデザインしたカバーで覆った。自社や他社のオフィス環境にて本ロボットの実環境での自律走行実験を行い、人が共存した環境下で、歩行の半分程度の速度で安定に走行できることを確認した。
安全性については、設計段階からリスクアセスメントを繰り返し実施した。具体的には、使用環境の条件を検討・設定し、ISO14121 付属書 A に示される危険源および危険事象をベースとした約 150 項目についてリスク低減方策を検討し、安全性向上のためのセンサ選定、配置を検討、確定し、ロボットシステムに組み込んだ。人と物理的に接触するロボットの外装カバーは、大きな円弧を基調とした突起を極力抑えたデザインとした。裾部には、分割式のカバーを押すことで接触を検知するバンパスイッチを設けるとともに、追加安全方策としてロボットのフットプリントサイズを視覚的に周囲の人が感じることができるような電飾機能を設けた。荷物の積載機能に関しては、脱落や規定外の荷物を積載することによる危険事象を抑制するために、単体で安全性の検証を実施して定型のユニットをユーザに提供する設計とした。そのユニットの積載状態をセンシング可能な荷重センサをロボット本体に設けた。

③　<u>実証ロボット（プロトタイプＲＴシステム）の開発および実証試験</u>

＜実証システムの内容＞
実証システムは、①オフィス環境に設置するＵＷＢ測位システム、②オフィス搬送ロボットで構成される。
①ＵＷＢ測位システム
実証試験では、オフィスの執務スペースの 6m×6m 範囲に環境設置端末を５台配置する。ロボットには 3 チャンネルの受信アンテナを入力可能なロボット用端末を搭載する。デモンストレーションでは、ＵＷＢ測位システムを使ってロボットの初期位置・姿勢の計測を以下の手順で行う。
1。ＵＷＢ測位エリア内の任意の位置Ａで、ロボット搭載端末と環境設置端末間で測位を行う。

2。ロボットは位置Ａから一定距離前進して位置Ｂに移動し、２回目の測位を行う。

3。位置Ａ、Ｂの２点での測位結果から、ロボットの初期位置・姿勢を求める。

②オフィス搬送ロボットプロトタイプ

オフィス搬送ロボットプロトタイプの主な仕様を表１に示す。

実証試験では、オフィス環境で以下のデモンストレーションを行う。

- 透過性ガラスのセキュリティゲートの検知および通過制御（ステージゲートでは、ガラスドアの操作は人が行う）。
- 人が荷物を載せ、搬送ロボットはオフィス執務スペースの主動線を自律走行して目的地点まで搬送する。自律走行では、通路幅 1.2m の狭隘部でも走行できることを示す。

＜実証試験の内容＞

2008 年 12 月 3 日に、プロジェクトの協力者である岡村製作所様のオフィス（都内）において、開発したオフィス用搬送ロボットシステムの実証試験を行った。実証試験では、次に示す２つの内容について実証評価を行った。

（1）オフィス内を自律走行して物品搬送を行う。

（2）UWB測位システムを用いてオフィス内を自律走行する。

実証評価（1）（2）について、ロボットのタスク実行の様子を図 21、図 22に示す。

実証評価（1）では、セキュリティゾーンの外側である初期位置①で荷物を載せて移動を開始する。ガラスのセキュリティゲート②の開閉を自動で検知して通過し、セキュリティゾーンである執務エリアに移動する。オフィス内を自律走行し、目的地③まで移動する。③で荷物をおろした後、次の目標地点④に移動する。

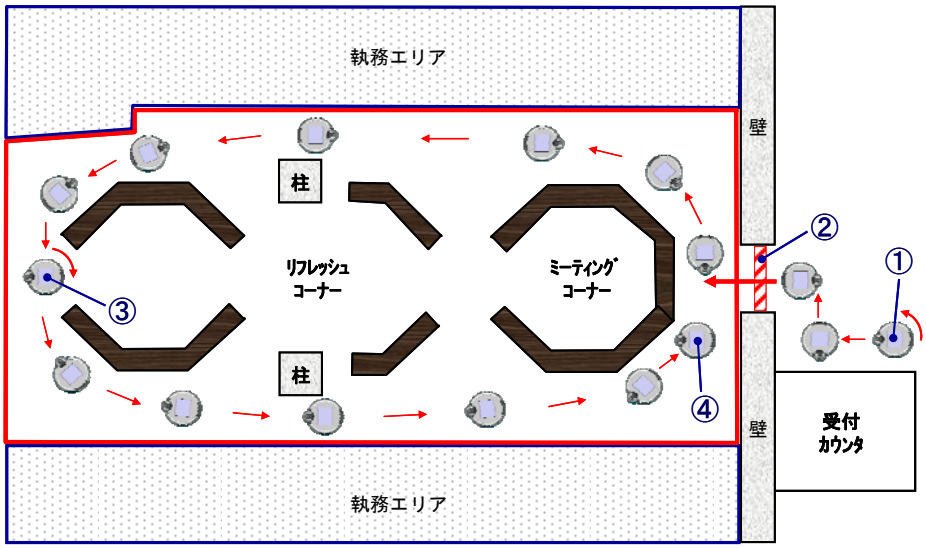


図 21. 実証評価１のロボットのタスク実行の様子

実証評価（2）では、図 22の地点①からロボットを手で押してUWB測位エリア内の地点②まで移動させる。ロボットは、UWB測位エリア内であれば任意の場所で位置姿勢を計測できる。UWB測位システムを用いて地点③でロボットの位置姿勢の情報を取得し、目的地④まで自律走行を行う。

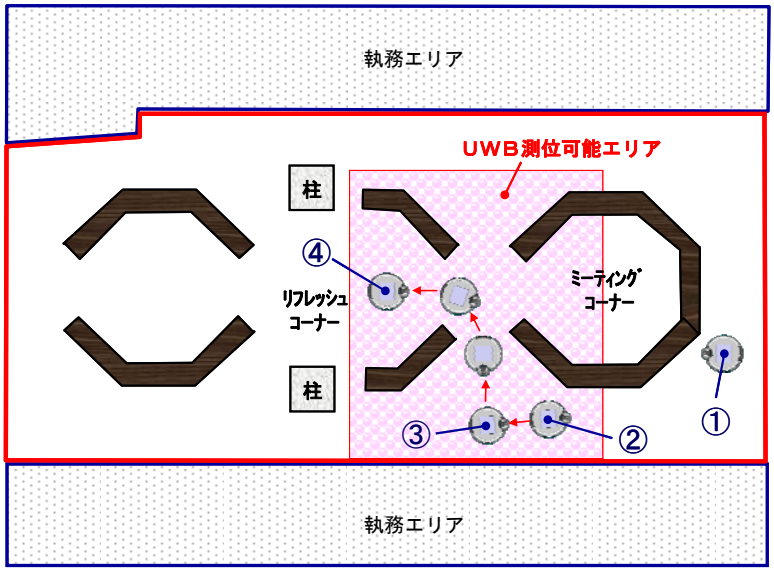


図 22. 実証評価２のロボットのタスク実行の様子

＜実証評価試験の結果＞

実証評価（１）の様子を図 23に示す。

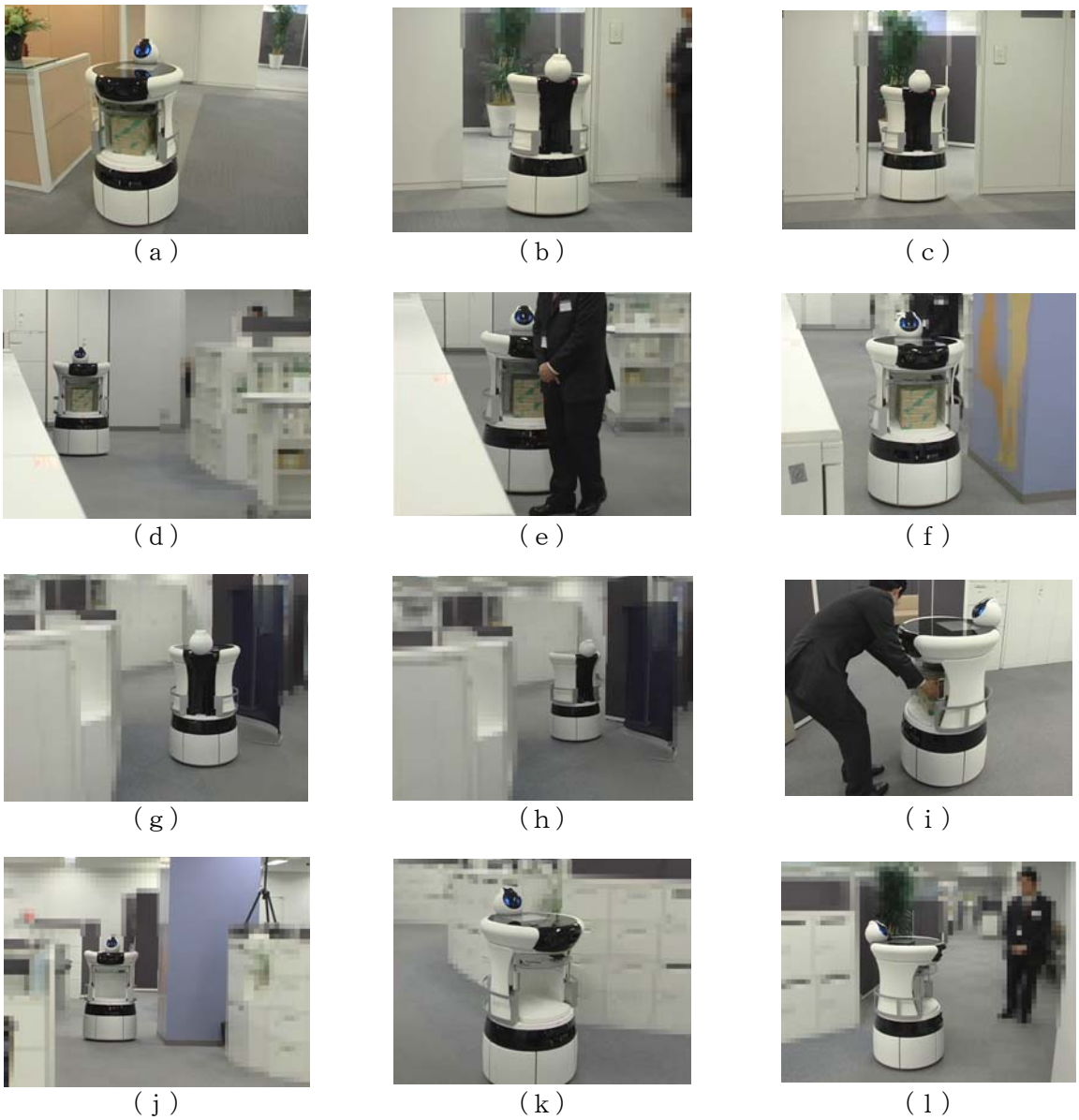


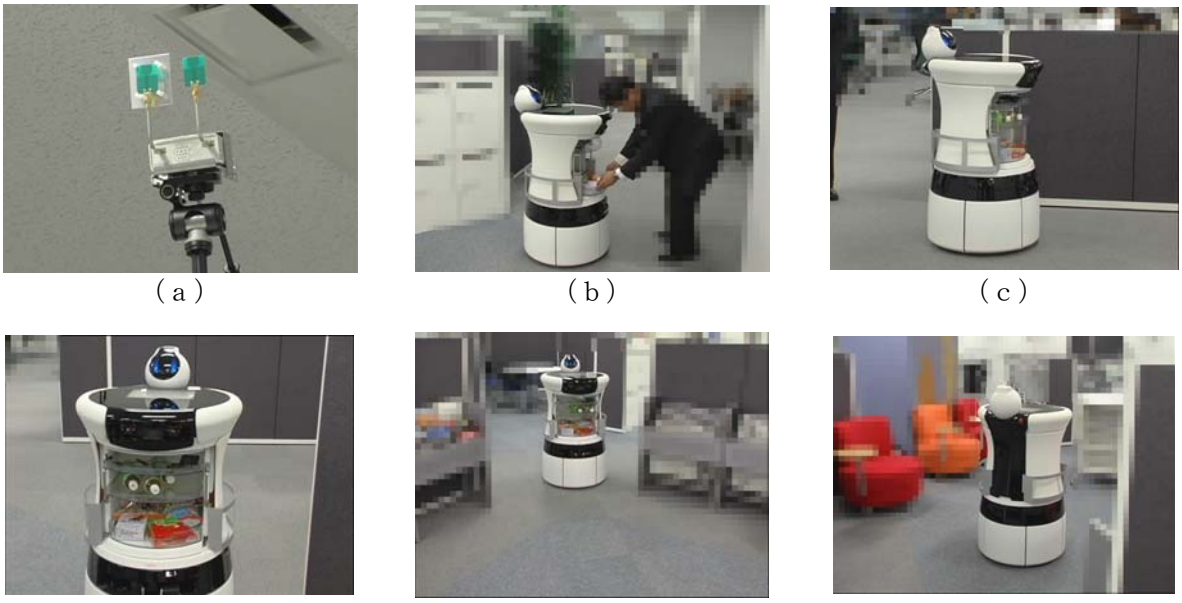
図 23．実証評価（１）の様子

- （ａ）：初期位置で人手により荷物を載せる。実験では、コピー用紙（A4 サイズ 2500 枚、約 10.2kg）を搬送物とした。
- （ｂ）～（ｃ）：ガラスドアのセキュリティゲートを通過する。扉が開いたことを超音波センサを使って自動検知し、セキュリティゾーン（執務スペース）に移動する。今回の実験では、ゲートの開閉は人が操作した。
- （ｄ）：執務スペース内を最大速度 0.7m/s で移動する。
- （ｅ）～（ｆ）：移動の途中で障害物を検知した場合は減速・停止するよう制御される。また、通路幅 1.2m の狭隘部では速度を落として移動する。
- （ｇ）～（ｈ）：カーブ状の通路を移動する。

・ 目的地（図 21の③）に到着。人手により荷物を降ろす。荷物を降ろした後、次の移動先を指示する。
・ 図 21の地点③から④を結ぶ経路を移動して目的地④に到着し、実証評価（１）のタスクを完了する。

実証評価（１）により、床面がタイルカーペットのオフィス環境において、障害物と商とすることなく安全に自律移動を行い、搬送タスクが行えることを実証した。

次に、実証評価（２）の様子を図 24に示す。



（ａ）　（ｂ）　（ｃ）

（ｄ）　（ｅ）　（ｆ）

図 24. 実証評価（２）の様子

・ （ａ）：実証評価では、ＵＷＢ無線端末を三脚に載せて環境中に 5 箇所設置した。
・ （ｂ）：図 22の地点①でお菓子や飲み物を載せる。
・ （ｃ）：ロボットを手で押してＵＷＢ測位エリア内の地点②に移動させる。地点②、③の 2 箇所でＵＷＢ測位システムによるポジショニングを行い、ロボットの位置姿勢を求める。
・ （ｄ）～（ｆ）：地点③からスタートし、目的地であるミーティングコーナー内の地点④に移動する。

実証評価（２）により、オフィスのようなマルチパスが生じやすい環境下でもＵＷＢ測位システムが安定に動作してロボットの測位が行えることを実証した。また、ＵＷＢ測位システムを移動ロボットのナビゲーションに活用できることを実証した。

３）成果の意義

プロジェクトにおける研究開発の主な成果は以下の通りである。

・ オフィス分野に適用可能な搬送サービスロボットを開発した。
・ オフィスのような複雑な環境でも安定してポジショニングが可能なＵＷＢ測位システムを開発した。
・ ＵＨＦ帯パッシブ型ＲＦＩＤタグの位置推定方式を開発した。

以上の成果の意義は以下の通りである。

オフィスはサービスロボットにとって未開拓の領域であり、市場規模の大きなオフィス向けのサービスロボットを開発したことには大きな意義がある。評価試験は実際のオフィスで行い、開発したロボットの環境計測性能、走行性能が実オフィスで十分使用できるレベルにあることを実証した。

ＵＷＢで正確な測距を行うためには、マルチパスが生じない、見通し環境で行う必要がある。一方、実際のオフィスでは、オフィス家具等の様々なモノが置かれており、マルチパスが生じやすい環境である。また、人の往来等により、容易に非見通し状態が起こり得る。こうした環境下でも安定して測位するためのアルゴリズムを開発し、実オフィスにおいて実証評価実験によりその有効性を確認した。ＵＷＢ測位システムは、大規模な１フロアオフィスで移動ロボットを安定してポジショニングするためのキーテクロノジーであり、開発の意義は大きい。ＵＷＢ測位システムを用いることで、ロボットのポジショニング以外の応用として、オフィス内において人やモノのプレゼンス管理を行うソリューションへの展開などが期待できる。

また、パッシブ型ＲＦＩＤタグをオフィス内のあらゆるモノに貼付し、ロボットは移動しながらモノの検出・同定・位置推定を行なうための基礎技術を開発した。この技術を活用することで、従来人手で行っていたロボットが使用する環境地図へのモノの登録を自動化することができ、地図作成コストを大幅に低減できるため、ロボットの導入の敷居を下げることが期待できる。また、本技術をオフィスロボットに適用することで、ロボットが移動するだけで、オフィス内の「どこに」「何があるか」を知ることができるため、現在企業が膨大なコストを掛けて行っている備品管理を自動化するソリューションへの展開が期待できる。これは、コストの安いパッシブ型タグを採用したため、このような見込みが得られた。

4）特許の取得状況

特許については、2009 年 3 月末時点までに 6 件を出願した。

国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007 年 3 月 29 日	特開 2008-249419	無線測位システム、移動体、そのプログラム	浅井 雅文 関口 英紀 藤井 彰
2	2007 年 8 月 24 日	特開 2009-52948	位置測定方法	関口 英紀 藤井 彰 浅井 雅文

※ 特許庁より公開されている特許のみ記載している。

5）成果の普及

成果の普及活動については、学術講演会において、国際会議 5 件、国内会議 10 件の計 15 件の口頭発表を行い、研究成果の発表を積極的に行った。

学会発表、論文、展示会、プレス発表等

【横浜国立大学】

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年10月19日	IEEE 7th International Symposium on Communications and Information Technologies	Multi-Channel UWB System Design based on Wavelet Packets	Hiroki Harada, Marco Hernandez, Ryuji Kohno
2007年12月4日	The 10th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications	Wavelet Packet Based Multiple Access for UWB Transmissions	Hiroki Harada, Marco Hernandez, Ryuji Kohno
2007年5月24日	電子情報通信学会　ITS研究会	直交波形と系列長の異なる複数系列を用いた並列送信型DS-UWBレーダに関する一検討	中山裕一，谷口健太郎，原田浩樹，河野隆二
2007年9月11日	電子情報通信学会ソサイエティ大会2007	Wavelet Packetsを用いたMulti-channel UWB多元接続方式に関する一検討	原田浩樹，マルコヘルナンデス，河野隆二
2007年9月11日	電子情報通信学会ソサイエティ大会2007	DS-UWBレーダのための複数系列を用いた並列送信方式	中山裕一，谷口健太郎，原田浩樹，河野隆二

【電気通信大学】

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年9月	Joint 3rd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 7th International Symposium on advanced Intelligent Systems	Network distributed monitoring system supporting the aged or disabled	Songmin Jia, Kunikatsu Takase

2006年12月	第７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	RFIDとステレオによる障害物の検出精度向上	盛金博、賈松敏、 中後大輔、高瀬國克
2006年12月	第７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	RFIDとステレオビジョンを用いた障害物の検出	賈　松敏、 阿部　貴史、 高瀬　國克
2007年5月	ROBOMEC’07	RFIDとステレオビジョンを用いた移動ロボットの環境認識	盛　金博、賈　松敏、 高瀬國克
2007年9月	第２５回日本ロボット学会学術講演会	RFIDとステレオカメラを用いた人検出法	盛　金博、賈　松敏、 高瀬國克
2007年12月	第８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	段差適応型ホロノミック全方向移動ロボットの開発	中後大輔、川端邦明、 嘉悦早人、 淺間　一、三島健稔、 高瀬國克
2007年12月	第８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	複数アンテナを用いた障害物の検出手法	盛　金博、賈　松敏、 中後大輔、高瀬國克
2007年12月	第８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	Navigation system for a mobile robot using RFID,	Songmin Jia, Jibuo Sheng, Daisuke Chugo, Kunikatsu Takase
2007年8月	Proc. of 2007 IEEE Intern. Conf. on Mechatronics and Automation	Obstacle recognition for a mobile robot in indoor environment using RFID and a stereo vision	Songmin Jia, Jibuo Sheng, Daisuke Chugo, Kunikatsu Takase
2007月12月	Proc. of 2007 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Biomimetics	Human recognitionusing RFID technology and stereo vision	Songmin Jia, Jibuo Sheng, Daisuke Chugo, Kunikatsu Takase
2008年	Computer Vision (Xiong Zhihui Ed.)	Development of Localization Method of Mobile Robot with RFID Technology and Stereo Vision	Songmin Jia, Jinbuo Sheng, Kunikatsu Takase
2009	Journal of Robotics and Mechatronics Vol.21 No.1	Human Recognition Using RFID Technology and Stereo Vision	Songmin Jia, Jinbuo Sheng, Daisuke Chugo, and Kunikatsu Takase

3.2.3.2 全方向移動自律搬送ロボット開発

【実施者：村田機械(株)、慶應義塾大学、(独)産業技術総合研究所】

1） 研究概要

本プロジェクトでは、人と併存するオープンな環境において安全な移動を実現するロボット要素技術を構築し、公共空間で広く利用可能な移動型サービスロボットを実現し、次世代ロボット市場形成の一翼を担うことを目的とする。本プロジェクトの特徴は、全方向移動機構の採用による機構的安全性確保に加えて、IF-THEN ルール制御やシナリオ制御だけに頼らない多次元時間スケール制御による動的障害物回避、ヒューマンインターフェースとアクティブセイフティなど、複層的な自律的安全制御を提案することにより、限定した環境における確実な搬送からオープンな環境における安全性、親和性を考慮した搬送ロボットである。

ステージゲート時点での目標として、単一フロア内での複数地点間のワゴン台車による牽引搬送、安全な障害物回避およびその他の安全技術の実現を目指し、各要素技術開発とその検証を行ってきた。具体的な成果として、既設病院へも導入可能とするため自動環境地図生成・自己位置同定技術（SLAM）を採用し、据付、レイアウト変更を容易化するシステムを構築した。その際、環状経路にも対応した SLAM、経路計画技術を開発し、環境地図生成と±3cm 以内の繰り返し精度で自己位置推定が可能なことを、製品プロトタイプロボットを用いて実験的に検証した。また、多種多様な搬送物へ対応可能な搬送方式として牽引式搬送を採用し、30kg の医療資材を想定した搬送が可能であることを実験的に確認している。さらに、全方向移動機構による柔軟な軌道実現と円滑な障害物回避を実現するために、マルチ時間スケール型行動制御手法を提案し、ロボットの障害物回避能力の定量的な評価を行った。また、ロボット搬送システムの運用方法をユーザーと共に検討するとともに、実際の病院内にて定期的な走行デモンストレーションを実施し、環境地図生成及び経路計画等、据付時の簡便性の確認を実施する共に、人などの動的障害物が存在する環境下において、牽引搬送による自律移動が可能であることを実証実験により確認した（図 1）。

図 1. 院内走行実験の様子

2） 成果詳細

本プロジェクトにおける【最終目標】及び【中間目標】を下記に示す。

【最終目標】

人間や障害物が多く存在する可変環境において、屋内を周囲の状況に応じた速度で移動でき、指定場所での搬送物の受け取り、受け渡しを円滑に行うユーザーインターフェイスを備え、ロボットが自律走行しながら指定された搬送先へ安全かつ信頼性高く搬送する。

本システムの有効性を確認するために、２ヶ所以上の病院で実証試験を行う。

（凹凸・段差１ｃｍ、隙間３ｃｍに対応。エレベータを利用した上下移動を含む屋内環境下を人の歩行速度程度で搬送）最終的にはプロジェクト終了後３年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。

【中間目標】

建物内の指定場所に設置された搬送箱を、ロボットが建物内を自律走行しながら指定された搬送先へ搬送する。

（凹凸・段差１ｃｍ、エレベータでの昇降を含む環境下を人の歩行速度の半分程度で搬送）

中間目標に対する具体的な目標値とその達成度を表 1に示す。

表 1. 目標の達成度

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術	(1)全方向移動可能な自律搬送ロボットの安定・安全移動機構の技術開発 ①全方向へ移動可能とする機構技術の開発 ②エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発 ③搬送物を安全に搬送する技術の開発	(1)-① ・段差 1cm 対応 ・人並みの 1/2 の走行速度（0.7m/sec） ・製品プロトタイプ台車製作・実証実験実施 (1)-② ・ロボットが昇降装置に乗降する際の問題点検証実施 (1)-③ ・着脱可能なワゴン牽引システムの製作・実証実験実施 ・同一フロア内におけるワゴン牽引搬送実現	(1)-① ・サスペンション付き全方向移動機構を搭載した製品プロトタイプを開発した。 (1)-② ・昇降装置乗降に必要な情報を取得した。 (1)-③ ・着脱可能なワゴン牽引システムを開発した。	(1)-①　目標達成 ・段差 1cm 対応 ・最高速度 0.7m/sec ・製品プロトタイプ台車製作し、京都第二赤十字病院にて実証実験実施。 (1)-②　目標達成 ・今期は、１フロアでの移動技術に開発を集中した。 (1)-③　目標達成 ・着脱可能なワゴン牽引システムを製作し、同一フロア内におけるワゴン牽引搬送のデモを実施した。
	(2)自律搬送ロボットのための高度な安全性を確保した RT 分散情報処理システムの開発 ①自動環境地図生成技術の開発 ②自己位置同定技術の開発 ③障害物回避技術の開発	(2)-① ・2 次元地図自動生成システム構築 ・誤差±3cm 以内 (2)-② ・自己位置同定アルゴリズム構築 ・誤差±3cm 以内	(2)-① ・レーザーレンジセンサを用いた 2 次元地図自動生成システムを構築した。 (2)-② ・レーザーレンジセンサを用いた自己位置同定アルゴリズムを構築した。	(2)-①　目標達成 ・誤差±3cm 以内 (2)-②　目標達成 ・誤差±3cm 以内。 ・充電ステーション近傍では誤差±3mm 以内、±0.5deg 以内。

		(2)-③ ・人並みの 1/2 の走行速度（0.7m/sec）で移動しながら、同速度で対向移動する障害物を安全に回避	(2)-③ ・障害物回避技術を取得した。 ・周囲環境に応じた障害物回避モードの切替の重要性を確認した。	(2)-③　目標達成 ・人並みの 1/2 の走行速度（0.7m/sec）で移動しながら、　同速度で対向移動する障害物を安全に回避するアルゴリズム開発 ・ロボットの走行速度の 7 割の速度で対向移動する障害物の回避を実機で検証
	(3)屋内環境自律移動ロボットの自己位置計測のためのセンサ・ネットワークの研究開発 ①超音波タグを用いた位置計測技術の高度化 ②大規模センサ・ネットワークの開発 ③大規模センサ・ネットワークにおけるタグ追跡のハンドオーバ技術の開発	(3)-① ・位置計測技術の精度向上 ・誤差 2-3cm ・加速度センサ内蔵型超音波タグシステムの開発（低消費電力機能実現） (3)-② ・超音波受信機 100 個以上の規模を持つ複数の大規模センサ・ネットワークの構築 (3)-③ ・大規模センサ・ネットワークにおけるタグのハンドオーバーアルゴリズムの開発検証	(3)-① ・超音波タグを用いた位置計測技術の高度化を実現した。 (3)-② ・大規模センサ・ネットワークを開発した。 (3)-③ ・大規模センサ・ネットワークにおけるタグ追跡のハンドオーバー技術を確立した。	(3)-①　目標達成 ・位置計測技術の精度向上 ・誤差 2-3cm ・加速度センサ内蔵型超音波タグシステムの開発（低消費電力機能実現） (3)-②　目標達成 ・超音波受信機 100 個以上の規模を持つ複数の大規模センサ・ネットワークの構築 (3)-③　目標達成 ・大規模センサ・ネットワークにおけるタグのハンドオーバーアルゴリズムの開発検証実施

人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術	(2)自律搬送ロボットのための高度な安全性を確保した RT 分散情報処理システムの開発 ④RT 分散処理技術の研究開 ⑤転倒防止技術の開発 ⑥安全・異常検知技術の開発 1.力センサレス衝突検出 2.車椅子等搬送のための移動支援技術 3.接触に関連した安全技術の開発 4.情報表現とアクティブセイフティ技術 ⑦安全性・耐故障性技術の開発	(2)-④ ・各機能モジュール・分散制御基板の設計・実装 (2)-⑤ ・瞬間最大加速度 0.5G の衝撃にも転倒しない転倒防止技術の開発 ・人並みの 1/2 の走行速度（0.7m/sec）での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現 (2)-⑥-1 ・反作用力推定アルゴリズムの構築 ・100msec での衝突検出 ・環境・人との衝突の識別アルゴリズム構築 ・制御精度±10N 以内の作用力検出 (2)-⑥-2 ・非ホロノミック拘束の影響度に基づいた電動車椅子の誘導制御アルゴリズムの確立 ・車椅子型移動ロボットの試作 ・制御精度±10cm 以内の支援軌道追従確認 ・障害物検出情報と移動ロボットの受動性に基づく、軌道再計画アルゴリズムの検証 ・シミュレーションによるアルゴリズムの検証 (2)-⑥-3 ・ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサの設計 ・接触検出確認（指先で 10g 程度） ・ロボットへの実装検討	(2)- ④ ・院内障害物（車椅子、ストレッチャー）を検出可能な超音波測距センサモジュール及び分散制御基板を開発した。 (2)-⑤ ・急発進、急停止に転倒しない搬送ロボットを開発した。 (2)-⑥-1 ・反作用力推定アルゴリズムの構築を完了した。 (2)-⑥-2 ・非ホロノミック拘束を考慮したアルゴリズムの構築を完了した. ・軌道追従制御アルゴリズムを構築し，シミュレーションによる検証を完了した. ・障害物検出は考慮せず，ロボットに作用する推定反力に基づいた軌道再計画アルゴリズムを構築完了 (2)-⑥-3 ・指先に装着可能な弾性触覚センサ技術を取得	(2)-④　目標達成 ・超音波センサ統合基板製作 ・４ch、測距時間 42msec ・16ch、測距時間 100msec (2)-⑤　目標達成 ・機構的転倒対策を実施し、ロボット本体を 10 度傾けた状態でも転倒しないことを確認した。 ・人並みの 1/2 の走行速度（0.7m/sec）での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現 (2)-⑥-1　目標達成 ・推定速度 100msec 以内を達成. ・人との衝突検出に関しては検証が不十分. ・精度±10N 以内の力検出を達成. (2)-⑥-2　目標達成 ・既存システムを改良し、車椅子型移動ロボットを試作。 ・制御精度±10cm 以内の支援軌道追従確認 ・障害物検出情報と移動ロボットの受動性に基づく、軌道再計画アルゴリズムの検証 ・シミュレーションによるアルゴリズムの検証 (2)-⑥-3　目標達成 ・ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサを設計し、接触検出確認（指先で 10g 程度）実施。

人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術		(2)-⑥-4 ・平常時に人間の活動を妨げない７段階の情報提示で、７割の人がタスクを遂行しながらロボットからの情報を取得できることを達成する ・人間へのアクティブな情報提示についてシステムの周囲 3m 四方の環境情報を、環境情報の評価結果で絞り込む機構を実現し、情報提示を選択する際の環境情報の参照を無くす ・人とロボットの位置関係に依存して、提示ジェスチャを変更する手法を開発する ・人の位置関係を考慮したジェスチャ生成を用いて、ロボットの移動意図が有意に伝わることを達成する (2)-⑦ ・コンピュータの暴走の検知を行うと共に、それぞれのセンサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐシステムの開発 ・コンピュータ、センサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐ基本システムの開発 ・人並みの半分の程度の移動速度領域におけるコンピュータ、センサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐ基本システムの実現	(2)-⑥-4 ・人を避ける際の発話・ジェスチャ生成を可能にするために認識機構を構築した。 ・画像データより選択的に人の顔画像領域を発見する手法を開発した。 ・ロボットの通過する意図を伝えるモジュールを開発した。 ・人に道を空けてもらうことを頼む発話および、ロボットが避ける方向を示すジェスチャを生成する機構を構築した。 (2)-⑦ ・腕にかかる過負荷に対する安全制御を確認した。	(2)-⑥-4　目標達成 ・ロボットの避けてほしいという意図が伝わること($p<0.05$)、およびジェスチャがある場合、ロボットが左右のどちらへ避けようとしているか伝わりやすいこと($p<0.1$)を確認。 (2)-⑦　目標達成 ・腕に過負荷が生じた際、脱力する安全制御を確認。

下記に成果詳細を示す。

＜人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術＞

（１）- ①全方向へ移動可能とする機構技術の開発

段差にも対応するため車輪カバー及びサスペンション機構を設計し、プロトタイプロボットを用いた実験により､ステージゲート時の目標値である段差1cmを乗り越えることを確認した。

また、製品プロトタイプロボットを製作し、村田機械本社Ｒ＆Ｄセンター8F 及び慶應義塾大学創想館 5F にて走行実験を実施すると共に、京都第二赤十字病院様で月 1 回、合計 9 回の院内走行実験を実施した。

その際、製品プロトタイプロボットを用いて、中間目標である走行速度 0.7m/sec で全方向に移動可能であることを確認した。

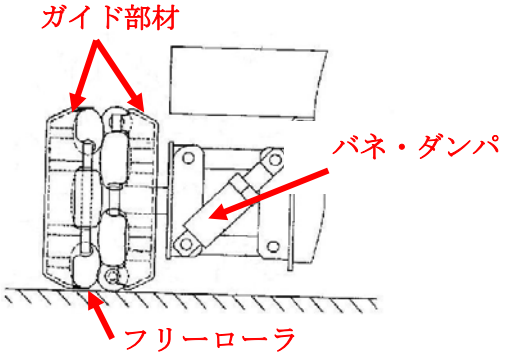


図 2. 車輪断面

図 3. オムニホイール外観

（1）- ②エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発

現行法ではロボットと人が一緒にエレベータに乗ることはできない。当初、人と一緒にロボットが乗降することを目指した開発計画であったが、実用化を重視し、エレベータへの乗降はロボットのみとするよう開発方針を変更し、ロボット単体での乗降を前提に調査を実施した。また、ロボット単体で、マニュアル走行にてエレベータへの乗降確認を実施し、社内及び院内既設エレベータと各フロアの継ぎ目にある隙間の乗り越え等、機構的に問題ないことを確認した。

（1）- ③搬送物を安全に搬送する技術の開発

搬送物に応じてワゴンの形状を変更することを念頭に、ワゴンを容易に着脱可能とするとともに、段差乗り越えにも対応可能な牽引ジョイント部を開発した。また、ワゴン部外周バンパーへの接触をロボット本体に物理的に伝達する機構を開発した。

また、30kg の医療資材を想定した搬送実験を行い、同一フロアにおいて、搬送可能であることを実験的に確認した。また、その際、牽引するワゴン形状を考慮した経路計画アルゴリズムを開発し、その有効性を確認した。

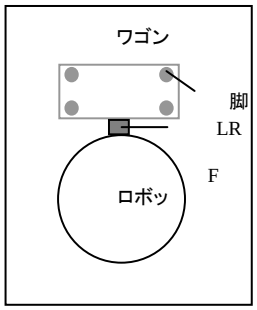


図 4　搬送形態(左)と配置(右)

（２）- ①自動環境地図生成技術の開発

複数センサを用いた自動環境地図生成技術の開発に向け、基礎検討を実施した。並行して実施した実システムの稼動環境の調査より、環状経路への対応が優先課題として抽出され、これに対して、ＳＬＡＭを用いた環境地図生成において分割地図方式（図 5）を提案し、環状経路にも対応できる手法を開発した。環状経路への対応可能を検証する環境として、村田機械 R&D センター8F（25m×12m、周回距離 65ｍの回廊）を用い、ターゲット（自律搬送デモ）システム上で自動環境地図生成アルゴリズムを動作させ、分割地図方式により搬送システム実現に十分な精度で環境地図が生成できることを確認した。また、実際の病院環境（京都第二赤十字病院）での環境地図作成実験を行い、準スタッフ専用エリア(50m×10m)及び一般病棟(50m×15m)で巡回搬送ができる環境地図が生成できることを確認した。

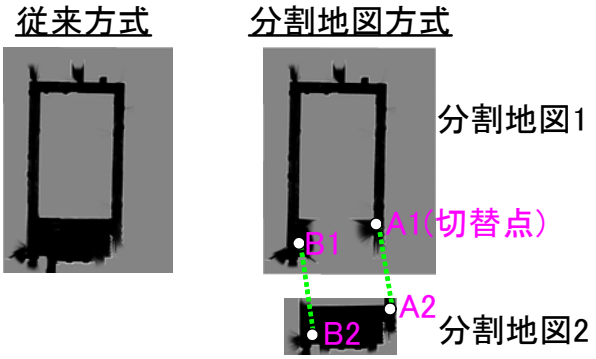


図 5. 分割地図方式

（２）- ②自己位置推定技術の開発

本プロジェクトにて開発した環状経路にも対応可能な自動環境地図生成技術に対応した自己位置推定技術を開発した。環状経路への対応可能を検証する環境として、村田機械 R&D センター8F（25m×12m、周回距離 65ｍの回廊）を用い、24 時間の連続走行実験を実施し、周回経路において一度も自己位置を見失うことなく完走（周回数 142 周、走行距離約 9.2km）することを確認した。また、充電ステーション近傍では、充電ステーション形状をランドマークとした自己位置同定アルゴリズムを開発し、±3mm 以内、±0.5deg 以内の繰り返し精度を確認した。

（２）- ③障害物回避技術の開発

ターゲット（自律移動ロボット）システム上における高負荷状況（搬送）下で、ステージゲートの目標値 0.7m/s で移動しながら、障害物回避アルゴリズムが動作する事を確認した。但し、実際の院内走行では、「人に与える安心感」の観点から走行速度を 0.5m/s まで落として実験を実施した。

本プロジェクトでは、人間が存在する環境における全方向移動自律搬送ロボットの行動生成に対して、各行動における時間スケールに着目し、安全かつ効果的な移動を実現するためのマルチ時間スケール型行動制御手法（図 6）を提案した。数値シミュレーションにより、提案手法を用いることにより障害物回避や緊急回避が必要となる状況においても適切に対応可能であることを確認した（図 7)。また、実機実験においても、事前に検出可能な静止障害物あるいは事前の検出が困難な移動体が突然現れるような状況においても、障害物に衝突することなく、目的地に到達できることを確認した。また、その際、障害物回避の定量評価のための動作パターンを設定し、障害物回避の有効性を数値化し比較を試みた。

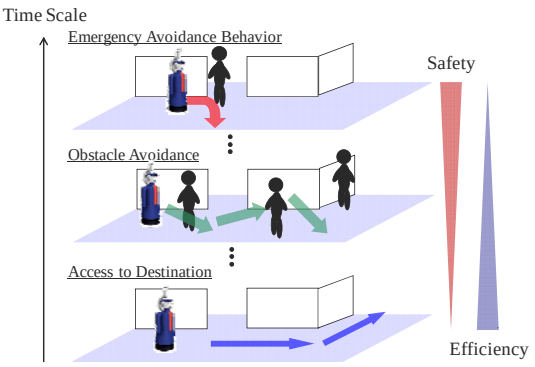
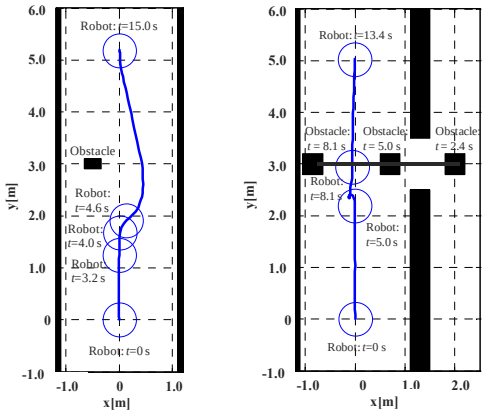


図 6. 提案手法のコンセプト



（通常回避時）　（緊急回避時）

図 7. 障害物通常回避時と緊急回避時のロボットの軌道

（３）- ①超音波タグを用いた位置計測技術の高度化

超音波タグの位置推定アルゴリズムとして、これまで利用してきた統計的なアルゴリズムによる位置計測の精度を向上させるため、確率的な位置推定アルゴリズムであるパーティクルフィルタを実装し、その性能を評価した。その結果、使用するパーティクル数が 400 を越えると、計測した距離データに大きな誤差を含む場合でもその影響を排除し、従来のアルゴリズム（平均誤差 5cm 程度）より高精度（同誤差 2～3cm 程度）でタグの位置を推定可能であることを明らかにした。

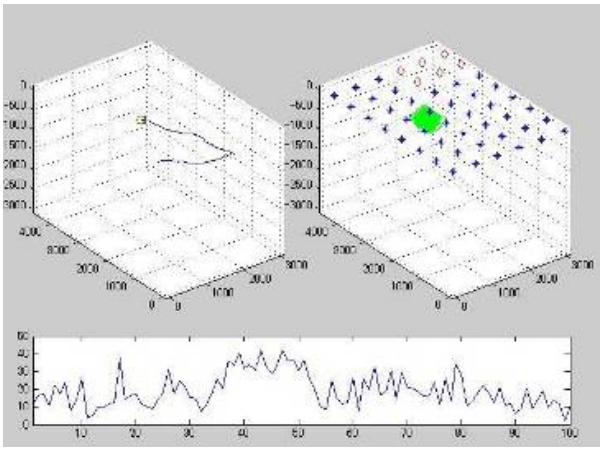


図 8. パーティクルフィルタを用いたロバストな高精度位置推定
（右上：タグの位置推定、左上：パーティクルの様子、下：誤差[cm]）

また、内蔵電池の消耗を約 70%程度削減することを可能とする加速度センサを内蔵した超音波タグ（図 9参照）を開発し、電池交換間隔を飛躍的に延ばす効果（約 3 倍）を確認した。

図 9. 加速度センサ付き超音波タグ

（3）- ②大規模センサ・ネットワークの開発

産総研で構築した既存の大規模センサ・ネットワーク（センサ受信機 272 個が 3LDK サイズの家に埋め込まれているセンサ・ネットワーク）を利用して、上述した加速度センサ内蔵型超音波タグシステムが動作する大規模センサ・ネットワークを構築した。具体的には、加速度センサ内蔵型超音波タグシステムが動作するコントローラを開発し、従来ユニットと置き換えた。このタグコントロールユニットは､センサ･ネットワーク内で複数個使うことができる仕様となっている。

（3）- ③大規模センサ・ネットワークにおけるタグ追跡のハンドオーバ技術の開発

タグをコントロールするユニットの電波到達範囲の限界により、電波が到達できない範囲が存在する。これを補うためには、コントロールユニットを複数配置し、互いに干渉することなく、タグをハンドオーバするアルゴリズムが不可欠となる。本研究では、そのためのコントロールユニットと、タグ探索アルゴリズムを開発することで、タグハンドオーバ機能を実現した。上述した大規模センサ・ネットワーク（センサ受信機 272 個が 3LDK サイズの家に埋め込まれているセンサ・ネットワーク）によって、開発したコントローラとハンドオーバ機能の有効性を検証した。

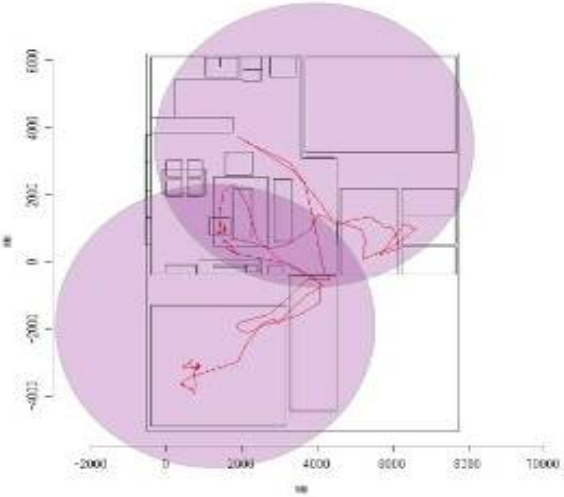


図 10. 大規模センサネットワーク構築可能なタグコントローラとハンドオーバ機能を利用した

広範囲タグ追跡

＜人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術＞

（２）- ④RT 分散処理技術の研究開発

ロボットの周囲に複数個装備される超音波測距センサのスキャン間隔を短縮し、ロボット制御 CPU 負荷を分散させることを目的として、測距時間 42msec（21msec×2 グループ）の 4 チャンネル測距可能な超音波システムを開発した。更に、開発した 4 チャンネル超音波センサ測距システムを展開し、16 チャンネル、測距時間 100msec を実現する超音波センサのための分散制御基板を開発し、ロボット搬送システムに組み込んだ。当分散制御基板により障害物までの距離情報を逐次計算し、走行制御における障害物検出時の減速及び回避処理に必要な情報伝達を実現した。

（２）- ⑤転倒防止技術の開発

ロボット構成要素における重量物の配置を再検討し、低重心とすると共に、駆動系ハードウェアを再設計し、サスペンションにバネ要素だけでなくダンパ要素を付加することにより、より安定した倒れにくい機構を開発した。これにより、ロボット本体を 10 度傾けた状態で手を離しても転倒しないことを確認した。

また、非常停止時における急激なモータ停止に伴うロボットの転倒防止に対して、走行モータの減速停止を制御した上で電源供給をカットするよう電気回路を設計した。これにより、最高速度 0.7m/sec で走行時に非常停止ボタンを押された場合にも、転倒することなく制動距離約 30cm 以下で停止することを確認した。

（２）- ⑥安全・異常検知技術の開発

（２）- ⑥ - １．力センサレス衝突検出

双腕型移動マニピュレータを仮定し、外部から加えられた力に対して 10～30N の力検出が可能であることを既存実験システムによる実機実験で確認した．ターゲットシステムの１軸に反作用力推定アルゴリズムを適応し、静止状況下で人が触れた程度の力を検出できることを確認した。

また、反作用力を利用したインピーダンス推定は困難であったが，推定反力と仮想インピーダンスモデルを用いることで，目標対象物の押し動作を安定に行えるアルゴリズムを確立した。

図 11．実験用ロボット

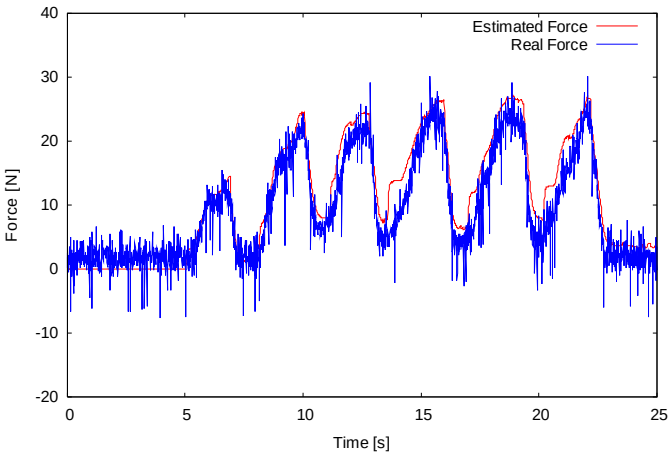


図 12．反力推定結果

（2）-⑥-２．車椅子等搬送のための移動支援技術

推定反力と仮想インピーダンスモデルを用いることで，障害物に対する反力に基づき適切に衝撃を緩和可能なアルゴリズムを確立した．腕付き移動ロボットを仮定し，数値シミュレーションによりその有効性の確認を行った。

また、車椅子を含む対象物体を押すための腕付き移動ロボットを仮定し，腕と移動機構を冗長システムとして捉えた場合の制御系の構成アルゴリズムを確立し，数値シミュレーションによりその有効性の確認を行った。シミュレーションにおいては，制御精度の目標（追従誤差は±10cm 以内）を達成した。

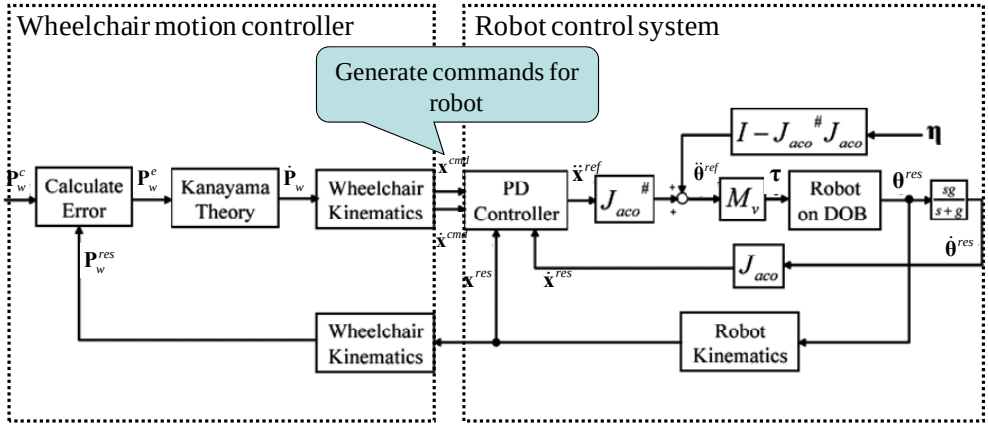


図 13. 案内ロボットの軌道追従制御

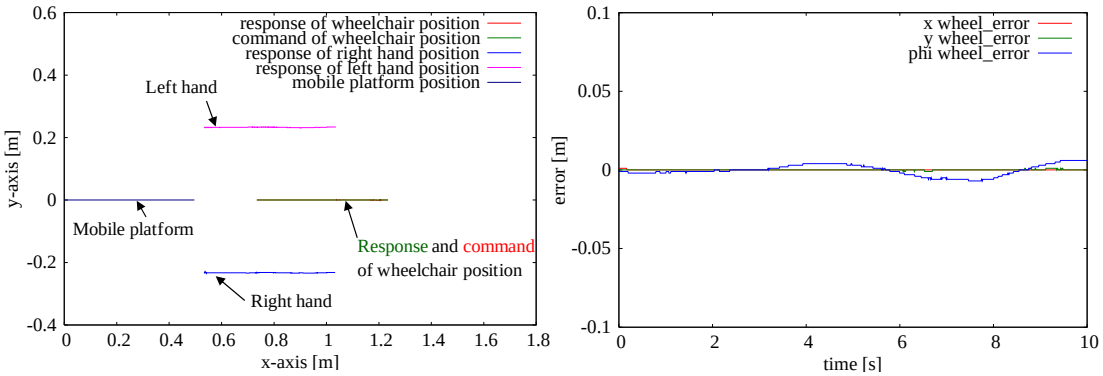


図 14. 直進動作指令時の軌道応答（左）および軌道追従誤差（右）

（2）-⑥-３．接触に関連した安全技術の開発

自律移動台車の場合、安全防護装置として、台車周囲にバンパースイッチを装着することが主流であるが、本ロボットではフロート式バンパーを開発し、より広い範囲で接触を検知することを可能とした。具体的にはバンパー部分に 4Kg 以上の力がかかると走行モータへの供給電力がカットされるよう設計しており、ロボットが暴走した際にも、周囲へ与える被害を最低限に抑えるよう特段の配慮を加えている。

また、ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサを設計・試作し、設計・製作した弾性触覚センサの性能も評価中である。

図 15. ロボット外観

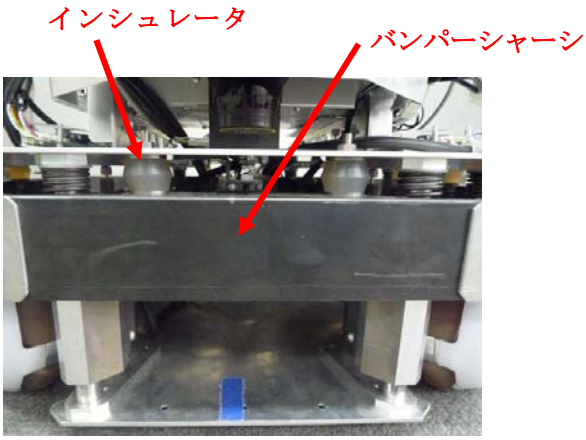


図 16. インシュレータによるフロート機構

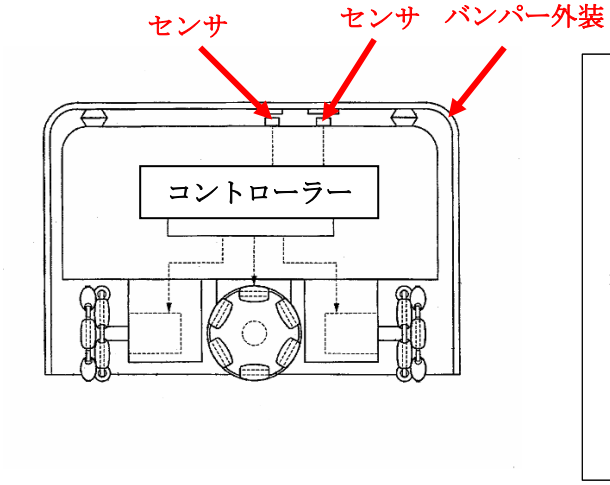


図 17. 多段スイッチの構成図

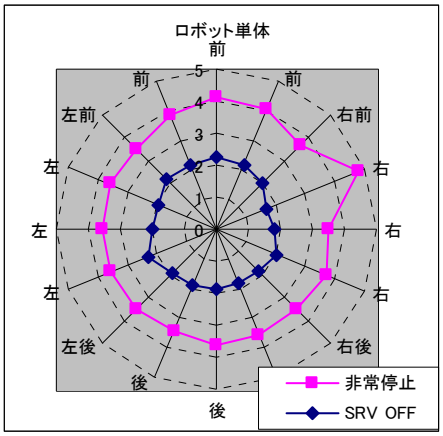


図 18. バンパーの感度特性

（2）-⑥- 4．情報表現とアクティブセイフティ技術

人を避ける際の発話・ジェスチャ生成を可能にするために認識機構を構築した。ロボットが移動中に左右 45 度の範囲内の 1.5m 以下の位置にレーザレンレンジファインダで人を発見すると回避発話およびジェスチャを生成するモジュールを起動する。また、胸の左右の超音波センサを用いて 50cm 以上の空領域がある場合にのみジェスチャを起動するようにもなっている。後者の機能は、ジェスチャを用いる際の安全性を保つために導入したものである。

また、レーザレンジファインダで障害物を発見した際に、障害物か人間かを判定するために、ロボットに搭載されたカメラの中から選択的に人の顔画像領域を発見する手法を開発した。

障害物回避のジェスチャを生成する際、障害物が人間である場合には、ロボットの視線を人間の立ち位置に会わせて向け、ロボットの通過する意図を伝えるモジュールを開発した。

また、通路内で人を避けてロボットが通過する際、人に道を空けてもらうことを頼む発話および、ロボットが避ける方向を示すジェスチャを生成する機構を構築した。この機構を評価するため、人がポスタを見るというタスクを遂行中に発話・ジェスチャ生成を行い、通過するロボットと、無言で通過するロボットを比較した。無言で通過するロボットに比べ、発話がある場合、ロボットの避けてほしいという意図が伝わること($p<0.05$)、およびジェスチャがある場合、ロボットが左右のどちらへ避けようとしているか伝わりやすいこと($p<0.1$)を明らかにした。

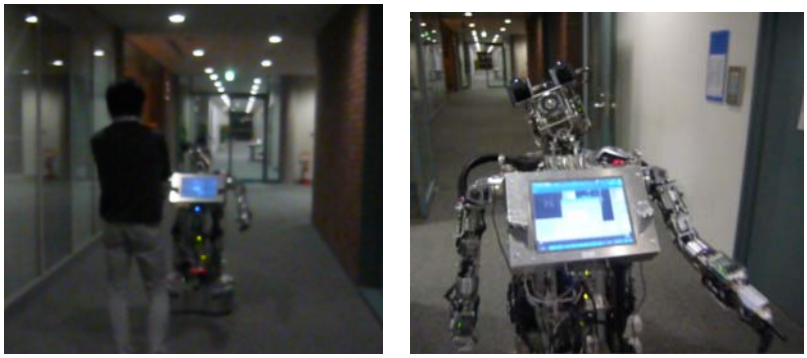


図 19. 情報表現実験の様子

（2）- ⑦安全性・耐故障性技術の開発

電流指令値をモニタリングすることで、腕に過負荷が生じた場合に腕のモータへの供給電力を遮断し、腕が脱力する安全制御を導入した。

プロトタイプロボット

a）正面　b）側面　c）ロボット背面

d）牽引時外観　e）牽引時側面　f）牽引時背面

図 20. プロトタイプロボット外観

主な仕様

ロボット全高	1200mm
ロボットフットプリント	550mm×550mm
ロボット重量	約 70Kg
走行速度	最高速度 0.7m/s、運用時 0.5m/sec 以下
可搬重量	ワゴンへの搭載 30kg 以下
走行車輪	独立懸架サスペンション付オム二ホイールによる 4 輪駆動 段差対応 1cm 以下
腕自由度	各腕 3 自由度
頭部自由度	2 自由度（パン・チルト）
連続稼働時間	1 時間　（充電時間　1.5 時間）

病院施設における実証実験

2008 年 4 月より、京都第二赤十字病院様（京都市内）にて毎月 1 回、合計 9 回、定期的に院内走行実験を開催し、医師、看護師、病院職員及び患者の声をフィードバックした開発を進めるとともに、院内特有の障害物に対するセンサ類の検知性能の検証を実施し、それら障害物の安全な回避実現を目指し実証実験を重ねてきた。

図 21. 院内走行実験

＜院内走行実験の進捗状況＞

第 1 回（2008 年 4 月 22 日）…電磁波影響テスト及び準スタッフ専用エリアでの
自動地図生成及び自律走行実験

第 2 回（2008 年 5 月 30 日）…院内移動体のセンシング及び準スタッフ専用エリアでの
自律走行実験

第 3 回（2008 年 6 月 30 日）…ステレオカメラによる院内移動体認識及び
ステレオカメラ情報も利用した障害物回避

第 4 回（2008 年 7 月 24 日）…障害物回避機能の確認（回り込み走行の試行）及び
現在位置認識精度の確認

第 5 回（2008 年 8 月 26 日）…院内障害物のセンシング（対策案の効果確認）

第 6 回（2008 年 9 月 16 日）…一般病棟での自動地図生成及び自律走行実験

第 7 回（2008 年 9 月 30 日）…製品プロトタイプを用いた一般病棟での自律走行実験

第 8 回（2008 年 11 月 18 日）…製品プロトタイプを用いた一般病棟での自律走行実験

第 9 回（2008 年 12 月 20 日）…製品プロトタイプを用いた一般病棟での自律走行実験

3）成果の意義

本プロジェクトにより開発を進めているロボット搬送システムの適用先である病院においては、ＩＴ化の流れによりペーパーレス化が進む一方で、医薬品、検体、医療資材等、物の流れは依然として残り、それら物流の効率化が大きな課題となっている。また、これまでの院内物流の担い手として看護師が主であった施設においても、近年、看護師の人材確保が難しく、看護師本来の業務以外の付帯業務を如何に軽減するかが課題であり、搬送設備導入、搬送の効率化に対する要望が強い。一方で病院経営は保険料見直し等により、年々厳しくなっており、病院設備の建替え等には大規模な投資ができるものの、既設病院への大型投資は減少している状況にあり、本プロジェクトで開発されるロボット搬送システムに寄せる期待は大きい。

従来、院内の搬送方式として、気送管による病院内搬送方式があるが、気送子に入れて搬送できる搬送物の容量、重量に制約があり、大きなもの、重たいものの搬送はレール等の施工を必要とする中型搬送システムや磁気テープ誘導方式の無人搬送車を用いたシステムでしか対応できなかった。これら中型搬送システムは施設側に大きな施工を必要とし、既設病院への導入は大変困難であるというのが現状であった。したがって、設備側への施工負担を最小限に、低いコストで既設病院へも導入可能な中型搬送システムは市場からも大いに期待されている状況である。

今回開発を進めているロボットに搭載されているナビゲーションシステムは、設備側に特別な誘導ガイドを設置することなく、自律移動を実現するもので、これまでの方式では導入が難しかった施設へも自律移動台車を展開することが可能となる。また、設置コストの抑制やレイアウト変更への柔軟な対応など、新しいナビゲーションシステムとして、病院以外の施設へも広く製品展開が期待できるものである。

4）特許等の取得

表 2. 特許取得状況

特許の名称	出願件数	特徴・強み・新規性
自律移動装置	10	– 複数に分割された環境地図を使用することによって「ループ解決」を実現した、環境地図作成技術及び自己位置推定技術 – 機体の大きさと通路の幅を考慮に入れた、より安全なロボットの移動を実現する走行制御技術 – 機体の傾斜角の変化に対応した、高精度自己位置推定技術 – 複数センサの効率的な使用方法 – 万一の障害物との衝突の際にも、衝突を多段階に検出することで安全にロボットを停止させることができる衝突検出技術
自律移動体及びその移動制御方法 他	3	– 自機及び障害物の移動を考慮に入れた、より安全なロボットの移動を実現する障害物回避技術
経路計画法、経路計画装置、及び自律移動装置 他	2	– 機体の大きさと障害物からの距離を考慮に入れた、より安全な移動経路生成技術
環境地図修正装置および自律移動装置	1	– オペレータが環境地図上でロボット侵入禁止領域等の設定を容易に行うことができるマンマシンインターフェイス技術
指示区画検知装置	1	– 焦電センサを複数ならべることによって、平面上におかれた人の腕の位置を検知する技術

特許の取得に関しては、自律移動のための要素技術において権利化を目指しており、事業戦略に沿って適切に出願を行い、かつ、権利化するための努力を行っている。

5）成果の普及

オフィスや施設等の人との併存環境下において、自由に動き回れるロボットを実現する自律移動技術が構築されることにより、様々な場所へのサービスロボット導入が期待される。特に病院においては、ＩＴ化の流れによりペーパーレス化が進む一方で、医薬品、検体、医療資材等、物の流れは依然として残り、それら物流の効率化が大きな課題となっている。また、これまでの院内物流の担い手として看護師が主であった施設においても、近年、看護師の人材確保が難しく、看護師本来の業務以外の付帯業務を如何に軽減するかが課題であり、搬送設備導入、搬送の効率化に対する要望が強い。本プロジェクトでは、このような病院内での搬送ニーズをターゲットに、医療品（薬剤・点滴等）／医療資材／事務用品等、多様な搬送物に柔軟に対応可能、かつ、人と同程度の搬送速度を実現する病院内搬送システムを提供するものである。

本システムでは、ワゴンへの搬送物の積み下ろしは自動化せず、人によるものとしているが、従来、人が物品を搬送する際においても、受け渡し側及び受け取り側には必ず人が居り、基本的には手渡しにて物品の受け渡しが行われており、本ロボットシステム導入により、看護師及び病院職員の手間が増えるというものではない。引き続き、ユーザーヒアリングを重ね、使いやすい搬送ロボットの形態について、更に検討を進めていく予定である。

＜論文等紙上発表＞

2008.8　Third Asian International Symposium on Mechatronics

2008.10　Proceedings of ISR 2008 (the 39th International Symposium on Robotics)

2008.11　日本機械学会論文集 C 編，074 巻 747 号

＜口頭発表＞

2008.3.27　電子情報通信学会技術研究報告：組込技術とネットワークに関するワークショップ　3 件

2008.4.21　第 21 回　回路とシステム軽井沢ワークショップ

2008.9.13　第 26 回日本ロボット学会学術講演会

＜メディアへの掲載及び放送＞

（新聞掲載）

2008.9.2　京都新聞夕刊

2008.10.14 日経新聞夕刊

2208.11.20 共同通信社配信

（テレビ放送）

2008.10.6　KAT ケーブルテレビ「KANSAI ニュース」

2008.11.25 フジテレビ「FNN スピークニュース」

2008.1.11　読売テレビ「大阪ほんわかテレビ」

（プレス発表）

2009.2.13　NEDO 主催　『早期の事業化を目指す 6 種類のロボットを決定』

ステージゲート選考結果報告：NEDO 日比谷オフィス広報センター

＜展示会出展＞

2008.10.11～13　ROBOJAPAN　：パシフィコ横浜

図 22. ROBOJAPAN　慶應義塾大学ブース

2008.11.26～28　国際次世代ロボットフェア　：インテックス大阪

図 23. 国際次世代ロボットフェア　村田機械ブース

6）実用化・事業化の見通し

事業化に向けての背景

＜市場＞

オフィスや施設等の人との併存環境下において、自由に動き回れるロボットを実現する自律移動技術が構築されることにより、様々な場所へのサービスロボット導入が期待される。特に病院においては、ＩＴ化の流れによりペーパーレス化が進む一方で、医薬品、検体、医療資材等、物の流れは依然として残り、それら物流の効率化が大きな課題となっている。また、これまでの院内物流の担い手として看護師が主であった施設においても、近年、看護師の人材確保が難しく、看護師本来の業務以外の付帯業務を如何に軽減するかが課題であり、搬送設備導入、搬送の効率化に対する要望が強い。一方で病院経営は保険料見直し等により、年々厳しくなっており、病院設備の建替え等には大規模な投資ができるものの、既設病院への大型投資は減少している状況にある。

＜搬送システムに対する市場の要望＞

従来、院内の搬送方式として、気送管による病院内搬送方式があるが、気送子に入れて搬送できる搬送物の容量、重量に制約があり、大きなもの、重たいものの搬送はレール等の施工を必要とする中型搬送システムや磁気テープ誘導方式の無人搬送車を用いたシステムでしか対応できなかった。これら中型搬送システムは施設側に大きな施工を必要とし、既設病院への導入は大変困難であるというのが現状であった。したがって、設備側への施工負担を最小限に、低いコストで既設病院へも導入可能な中型搬送システムは市場からも大いに期待されている状況である。

＜市場に対する既存搬送ロボットの状況＞

病院という環境で活動する上で､人との親和性が大変重要であることもユーザーヒヤリング（複数病院関係者）から明らかになってきた。

＜搬送ロボットに対する市場の懸念＞

病院内における搬送ニーズは多岐に渡り、搬送対象物が個人情報を含む場合や医薬品等、高いセキュリティを確保する必要がある。また、衛生面でも特段の配慮が必要といった病院内搬送特有の課題があり、人が現在行っている搬送作業をそのままロボットに置き換えることは大変難しい。また、ロボットの活動範囲を患者や老人、子供を含む不特定多数の通行人が行き来する空間に広げた場合、受容できるリスクは低いレベルに抑えることが必須であり、通行人とロボットの動線交錯が大きな課題となる。その結果、安全性確保と効率（搬送スピード）のトレードオフが搬送ロボット導入の高いハードルとなっている。

事業化シナリオ

＜提供するサービス内容＞

本プロジェクトでは、病院内での搬送ニーズをターゲットに、医療品（薬剤・点滴等）／医療資材／事務用品等、多様な搬送物に柔軟に対応可能、かつ、人と同程度の搬送速度を実現する病院内搬送システムを提供するものである。本システムでは、緊急性が低いものの、搬送頻度が多いもの、重量や嵩が大きく、一度の大量搬送が困難なものを搬送物として想定し、定期的に巡回搬送することにより、院内における新しい搬送システムを提案するものである。

本システムでは搬送ロボットの走行エリアとして、院内スタッフ専用エリア、もしくは患者や見舞客の通行が少ない準スタッフエリアを想定している。また、搬送形態としては定時巡回搬送方式とし、病院内にあらかじめ設定した搬送ポイントを一定時間ごとに巡回するものである。

本システムでは搬送ロボットがワゴンを牽引する方式を採用することにより、ロボット本体を変更することなく、適切にワゴンを設計することにより、多様な搬送物に対して柔軟に対応が可能である。

本システムでは、ワゴンへの搬送物の積み下ろしは自動化せず、人によるものとしているが、従来、人が物品を搬送する際においても、受け渡し側及び受け取り側には必ず人が居り、基本的には手渡しにて物品の受け渡しが行われており、本ロボットシステム導入により、看護師及び病院職員の手間が増えるというものではない。更にユーザーヒアリングを重ね、使いやすい搬送ロボットの形態について、検討を進めていく。

また、院内スタッフエリアにおいては、医師、看護師、職員との動線交錯が必然であり、円滑な障害物回避を実現すると共に、同じ職場で働く人間のパートナーとして、愛着を持って接せられる外観、しぐさを備え、職場の雰囲気つくりにも寄与するものを本システムに望む声も多い。したがって、搬送システムとしての機能に加えて、病院という特殊な環境の中で受け入れられるヒューマン・ロボット・インタフェースを備えているところに本システムの特徴がある。

また、本システムでは、導入時の設備側への施工負担を最小限に抑える自己位置認識システムを搭載するとともに、搬送ロボットを動産として扱うことにより、従来の搬送設備では困難であったリース及びレンタル販売を可能とし、導入にかかる初期コストを低く抑えることの出来る搬送システムを実現するものである。

＜実施設への適用シミュレーション＞

ロボット巡回搬送システムの有用性を検証するため、現在検討中の運用シナリオに基づき、実際の病院への適用シミュレーションを実施し、当初想定していた搬送能力を実現できることを確認した。

＜本システム拡販に向けて＞

当初は管理された空間である院内スタッフ専用エリアに走行範囲を限定し、本システムの稼動実績を積み上げていくことにより、人とロボットの動線交錯を含む搬送システムに対する市場の懸念の払拭を図る。次ステップとして、院内スタッフ専用エリアでの稼動実績を元に、準スタッフエリアへと適用範囲の拡大を図り、最終的には、一般患者、見舞客の行きかうエリアへの導入も目指していきたい。

＜製品・サービスの提供体制＞

ロボット搬送システムの研究開発、製造は村田機械株式会社が行い、株式会社日本シューターが販売する院内物流システムの商品ラインナップとして、ロボット搬送システムを組み込む。ロボット搬送システムの運用はユーザーである病院にて行っていただき、保守、メンテナンスサポートは株式会社日本シューターのサービス網を利用して行う。

事業化に向けての課題

〇定時巡回搬送システムとしてのユーザービリティ評価

京都第二赤十字病院様での定期院内走行実験を通じて、定時巡回搬送システムとしてのユーザビリティ評価、ワークフロー分析を行い、ユーザーの声を反映させ、より使いやすいシステムとなるよう開発を進める。

〇病院スタッフとの動線交錯における安全性確保と効率（搬送スピード）のトレードオフ

実際の病院内にて、走行実験を重ねることにより、適正な走行速度、障害物回避行動を検証し、安全性と搬送効率の最適化を図る。

〇量産化に向けた製造、組み立てコスト算定

現在、院内で安全に走行する上で必要な機能の確認を進めており、今後の実験結果によっては、形状を含めた仕様変更の可能性も考えられる。そのような仕様の変更にも柔軟に対応するとともに、量産化に向けた製造、組み立てコストの検討を進めていく。

＜波及効果＞

既存事業の製品への技術展開

村田機械が従来から保有している移動台車のナビゲーションシステムは、反射板や磁気テープなどのガイドを移動経路に設置し、そのガイドに沿って移動を行うものであった。今回開発を進めているナビゲーションシステムは、ガイドなしでの自律移動を可能とするこれまでとは違う方式を目指しており、この技術を構築することにより、これまでの方式では導入が難しかった施設へも自律移動台車を展開することが可能となる。システムとしてのロボットだけでなく、今回開発される新しいナビゲーションシステムとして、自社製品への展開が期待できるものである。

新規市場創出

人と共存する空間での円滑な移動技術を高次に実現することにより、自律移動ロボットの活動範囲が、日常空間にも広がることが期待される。現在、病院施設をターゲットとした搬送ロボットを開発中であるが、病院施設以外への展開も意識し、広く公共空間で移動できる技術の確立を目指している。

3.2.3.3 店舗応用を目指したロボット搬送システムの研究開発

【実施者：独)産業技術総合研究所、東芝テック(株)、(株)東芝】

1）研究概要

［目的］

ロボットの要素技術の進展は継続しているが，産業用ロボットを除けば，一般社会にロボットが普及し，受け入れられている状況にはほど遠い．少子高齢化が懸念されている日本の今後の社会において予想される社会ニーズを考え，サービスロボット分野におけるロボットの実用化，事業化を目指して，本研究開発では，ロボットの適用場所を大規模店舗と設定し，人間がいる環境で，人間と相互作用を持ちながら作業を行うシステムの開発を目的とした．ここで開発される技術は，店舗のみならず，ロボットが広く社会に進出するために必要な技術の核となることが期待される．

［概要］

スーパーマーケットやホームセンターのような大型店舗での，高齢者や障がい者への買物補助，さらに一般の買物客の補助をも安全確実に行える自律移動搬送ロボットシステムとして，人間に先導ないしは追従し，また必要なときは自律で移動する移動搬送ロボットシステムを研究開発した．搬送ロボットシステムとして自律移動ロボットと搬送カートを組み合わせたタイプを開発し，案内ロボットや搬送カートがそれぞれでも店舗内で利用できるような形態のものを目指した．

研究開発では店舗内情報収集や警備，商品補充，清掃といった作業へも拡張可能な基本技術の開発を意識するとともに，人間共存環境で安全に使える搬送ロボットシステムの開発，および人間共存環境で多用途に展開可能な移動ロボットプラットフォームの開発に重点を置いた．

2）成果詳細

① ハードウェアの開発

(a) 移動プラットフォーム

移動ロボットの基本性能を検証するために案内ロボットとしても利用可能な移動プラットフォームを開発した．人間共存下で安全に移動可能な移動ロボットの実験を行うための案内ロボット1次試作機を製作した（図１）．各種センサにはそれぞれ検出可能な領域，可能なサンプリング速度，

図１　案内ロボット1次試作機の全景

検出できない材質がある．そこで本ロボットでは，人間や障害物を確実に検出するために，ステレオカメラや全方位カメラ，超音波センサ，レーザーレンジファインダ（以下 LRF），赤外線カメラなど複数種類のセンサを搭載した．人への追従・人の先導が十分にできるような移動機構とセンサ系の検討を行い，移動速度に関してはゆっくりと人が店舗内で歩くことを考え，最高速度 0.6m/s を実現した．センサ系に関しては，店舗内での人を認識するステレオカメラを2軸の自由度を持つ頭部に備えると共に，人を一番注視する必要があるロボット前方に検出範囲が重なるように複数の LRF を配置した．

さらに移動機構に関しては，店舗内で想定される段差を乗り越える能力向上のため，補助輪キャスタの車輪部に円弧状の段差ガイドを設けた（図２）．これにより，走行可能段差 1cm の能力を持つ独立2輪台車を実現した（図３）．

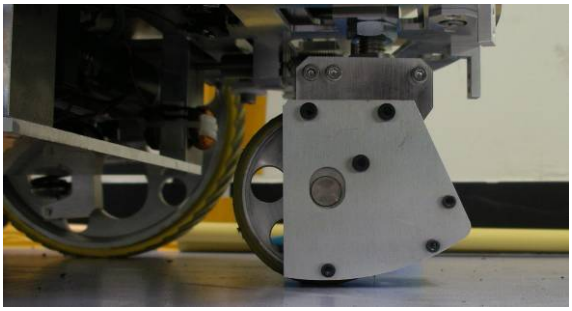


図２　補助輪キャスタ部の段差ガイド

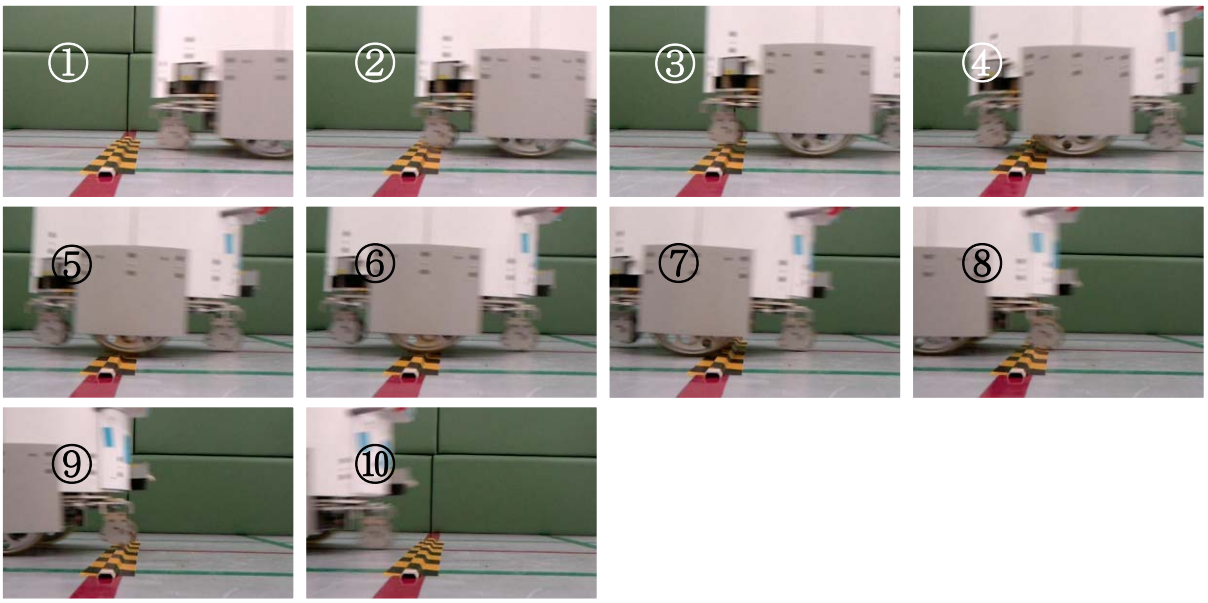


図３　高さ 10mm の段差を越える様子

開発した案内ロボット１次試作機での検証を受け，人間共存下での移動を行うためのセンサや機構を備えた案内ロボット２次試作機を作製した（図４）．案内ロボット２次試作機では，全体を丸く親和性を高めると共に，可動部における挟み込みによる事故防止のため隙間の少ないデザインとした．

ソフトウェアに関しては，案内ロボット１次試作機において移動台車用の標準 API を検討するとともに，移動制御ソフトを実装するとともに，RT コンポーネント化を行った．案内ロボット２次試作機へ API を移植し，再利用性が高いことを示すとともに，ステージゲート対応を通じて安定性を確認した．

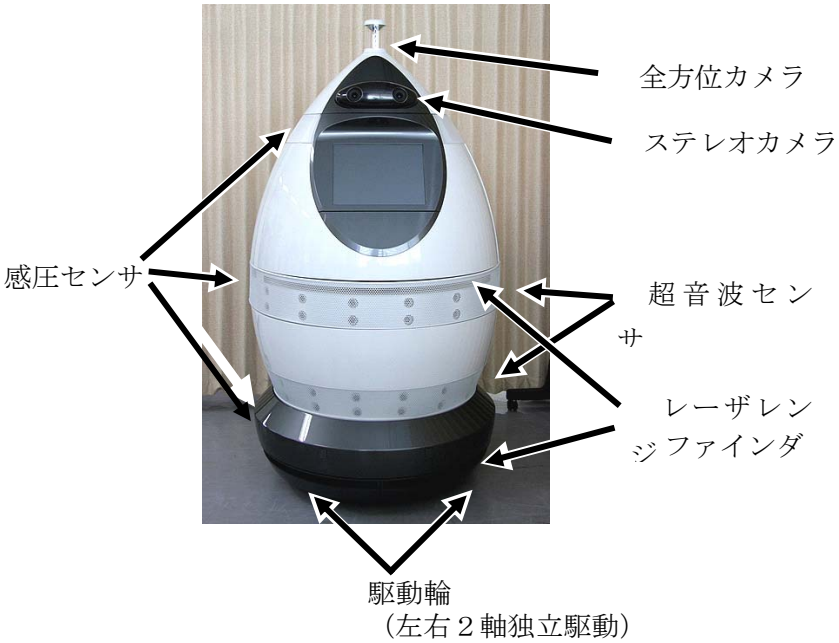


図４　案内ロボット２次試作機

(b) 安全ボディー

混雑状況での移動のように接触が不可避な場合や，棚陰などセンサの検出範囲外からの人の出現などを想定し，センサの配置，および得られるセンサ情報をどのように利用して人との接触の際の安全を保つかを検討した．その結果，人との接触検出のため，ロボットの最外円周部から接触時における力を検出する機構と力覚センサをロボットに搭載した．この機構を用いることで，ロボット周囲からの力成分を検出し，検出方向に対する移動の制限と移動方向の修正を行い，人との接触があった場合に停止，あるいは接触方向を避けるなどの処置を行うアルゴリズムを開発した．開発したアルゴリズム検証のため，ロボットが接触して通過できる間隔で複数の人を配置した環境で移

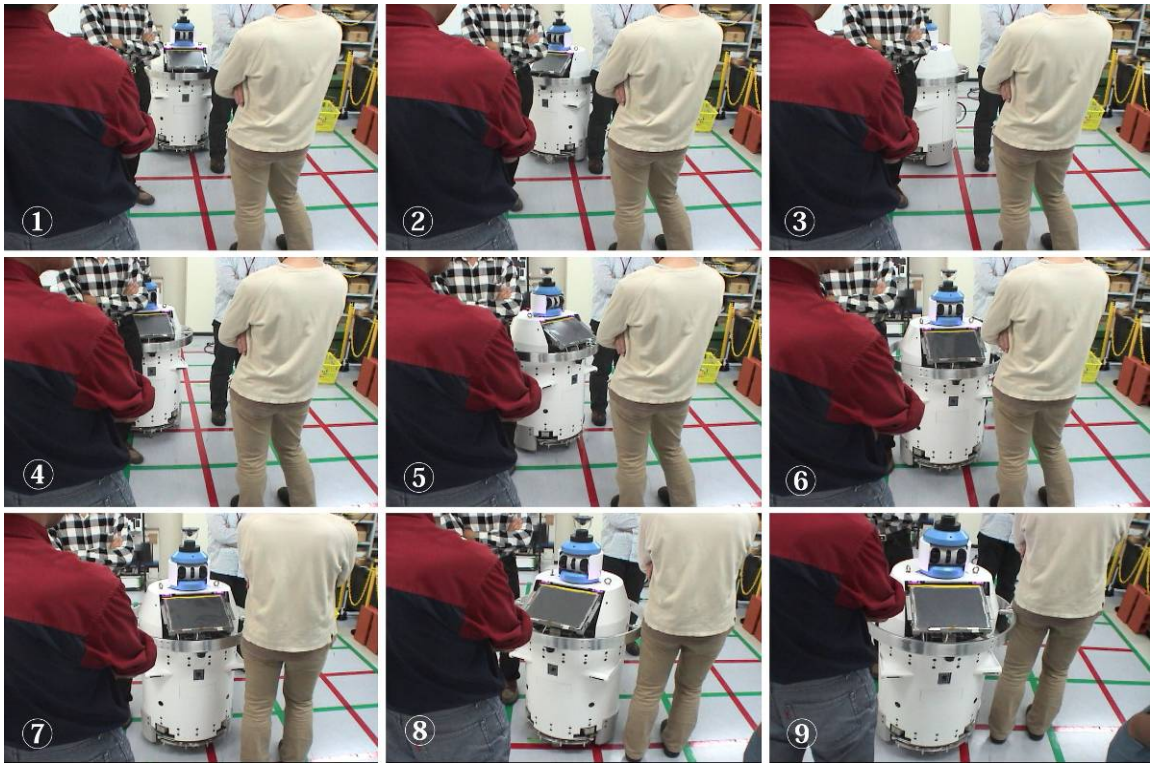


図５　接触時の回避移動の様子（床の赤と緑の四角枠は一辺 50cm）

動実験を行い，アルゴリズムの有効性を示した(図５)．さらに，案内ロボット２次試作機において，ロボット表面に圧力センサを多数備えることで，様々な姿勢の周辺の人が容易に移動中のロボットを停止する機能を開発した．これにより，接触時の自動制御機能に加え，安全に停止することを可能とした(図６)．

(a) 後方からの停止信号入力例(その１)　(b) 後方からの停止信号入力例(その 2)　(c) 前方からの停止信号入力例

図６　様々な姿勢からの停止信号入力

(c)搬送カート

案内ロボットと主要な構成を共用しつつ，荷物を搭載して先行する案内ロボットに自律的に追従走行をする搬送カートを開発した．荷物の積載性，基本的動特性，移動する目標物に追従するという主要機能を実現するために，最適と思われる駆動輪やセンサのレイアウトを検討し，独自設計を行った．

運動制御には実時間 Linux を用い，専用インターフェースを介して高周期でハードウェア制御をしている．障害物検知デバイスは USB2.0 を介してデータを出力し，運動制御 PC が軌道生成計算を行う．他に，通信やヒューマンインターフェースを担う WindowsPC を備えており，２台の PC 間は LAN，さらに外部のシステムとは，アクセスポイントを介して無線 LAN で接続されている．これらの全体構成を図７に示す．

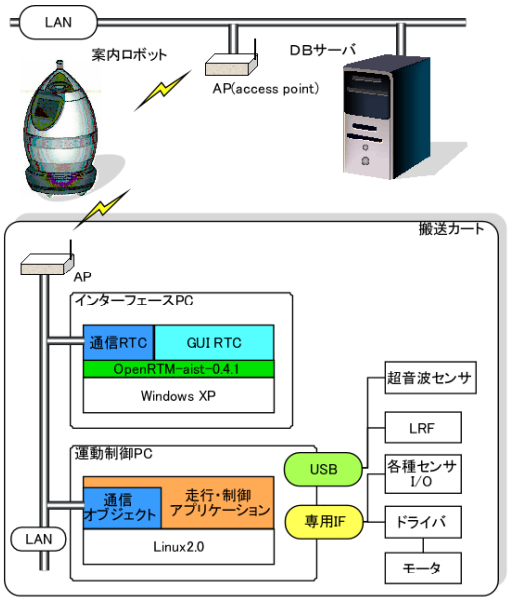


図７　搬送カート基本構成とシステム構成

GUI や走行制御プログラムを RT コンポーネント化することで案内ロボットや環境データベースなどの外部システムと容易に接続され，各々の管理するグローバル・ローカル座標系の値のデータ共有・修正やモードの切り替えなどによるロボット間の連携動作などを実現した．

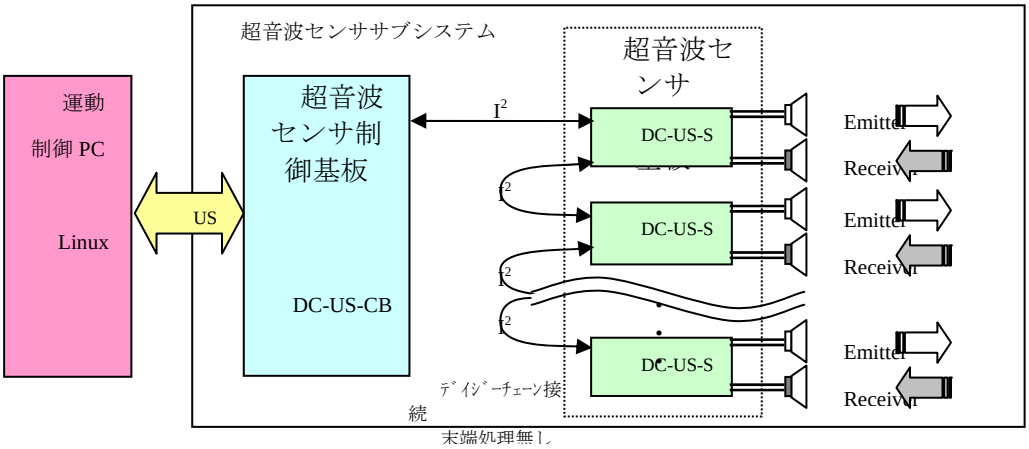


図８　超音波センサ接続概念図

店舗という環境の特徴として，幾何学的に見た周囲環境が複雑なことが挙げられる．周りを囲むものが平面でできた壁では無く，凹凸のある多数の障害物で構成されているような環境下を安全に走行するために，搬送カートの障害物検知システムは超音波センサを主体として考え，汎用的かつ繊細な測定マネジメントを行えるよう，図８に示すようなサブシステム化を行った．この超音波センササブシステムは制御 PC と USB2.0 で接続され, I^2C シリアルバスでつながれた複数のセンサユニットが，書き込まれた測定シーケンスに従って測定を行う．これにより制御 PC

は緻密なセンサシーケンスの制御から開放されて測定トリガの発行とデータ受信のみ行う．本システムは，40kHz 共振型の安価なセンサを使用することで汎用性が高く，その他のロボットなどへの応用が可能である．

また，今回の開発フェーズでは案内ロボットと搬送カートの二体一式構成となっており，双方とも 40kHz の共振型センサを使用している．このため，それぞれが環境計測のために自由に超音波を出し合うと，混信状態が生じることになる．これを避けるために本システムでは超音波センサにタイムシェア方式を採用した．これは超音波センサによる測定周期の半分ずつを案内ロボットと搬送カートがそれぞれ占有しあう．このとき，案内ロボットと搬送カートそれぞれのタイマのずれを修正するとともに，搬送カートに赤外線発光器を装着し，これを案内ロボットが搭載した赤外線リモコン受信機で受けることで，累積する誤差をリセットし，長時間同期しつづけることで混信を排除した．

搬送カートは前記の超音波センサシステムのほかに，環境計測用センサとして３台の LRF を前方高さ 600mm，前方および後方高さ 100mm に搭載して水平面で検出している．特に前方 600mm のものは先行する案内ロボット検知に使われている．すべてのセンサデータは図９のように融合し，VFH アルゴリズム[1]をベースにした障害物回避アルゴリズムによる判断や移動制御に使用される．図は追従目標位置を◎，超音波センサデータを●で示し，LRF のデータは短冊型で囲った点の集合からなる線となっている．

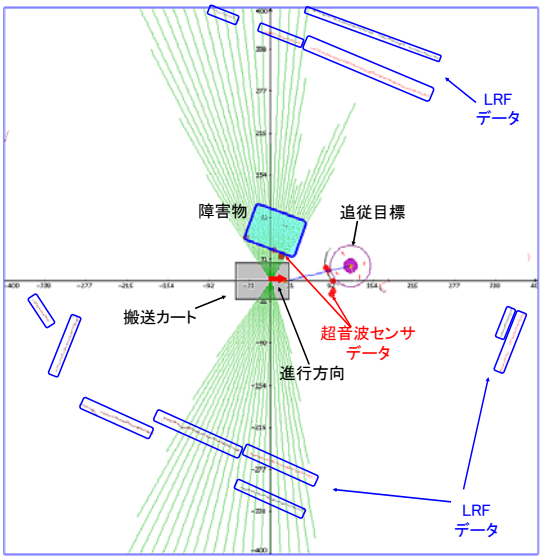


図９　障害物検出処理結果の一例

中央の長方形が搬送カートであり，LRF，超音波センサによって障害物が検知できた方向には，搬送カート中心から放射状の線で障害物存在確率が示されている．図９では，追従目標物の方向に障害物が存在しないため，進行方向は追従目標物の方向（青線で示した搬送カートから見て左側）である．しかし，搬送カート左側前方に障害物が検知されている．このとき，搬送カートは左方向へと旋回することができずに直進する．その結果，障害物に衝突することな

[1] J. Borenstein and Y. Koren, “THE VECTOR FIELD HISTOGRAM FAST OBSTACLE AVOIDANCE FOR MOBILE ROBOTS,” *IEEE Journal of Robotics and Automation Vol 7, No 3, pp. 278-288, June 1991*

く，追従目標物の追従を続けることができる．

その他の安全性については，本質安全として，軽量低重心化に努め，フレームやボディパーツにはアルミニウム合金を積極的に利用し，電池などの重量物を前後のホイールベース間の最下層に集約した構成とした．また，荷台と駆動輪を支持するサスペンションが連動して，高荷重急停止時に重心位置を後方に下げる機構を備えるほか，バンパはオイル封入ダンパにより 0.3m/s での衝突時，最大 637N の衝撃を吸収する性能を備えるとともに接触センサとしても機能する．

今回のシステムで(財)日本科学技術連盟のリスクマップ(R-map)手法による評価を行い，97 項目について評価をした結果，第三者による誤用など，本体システムだけの対応では困難な項目を中心に 33 項目でA領域（受け入れられないリスクの存在）と評価された．表 1 に開発した搬送カートの主要スペックを示す．

表 1　搬送カートの主要スペック

各部寸法	幅	550	mm
	長さ	785	mm
	高さ	850	mm
	駆動輪トレッド	400	mm
	その場回転半径	525	mm
動作仕様	搬送重量	10	kg
	段差乗り越え	2	cm
	最高速度	1.2	m/s
電源	定格電圧	29.4	V
	電流容量	16000	mAh
	連続動作時間	1.5	h

② 自律移動制御技術の開発

(a) 移動環境データベース（担当:産総研）

店舗応用を目指したロボットサーバのデータベース構築に関しての検討行い，ロボットサーバのためのメタデータ構成，リアルタイムデータベースの構築を行った．本データベースは，店舗内における実際的なロボットの自律的移動に用いられるほか，シミュレーションによる評価等，さまざまな用途への利用を想定する（図 10）．

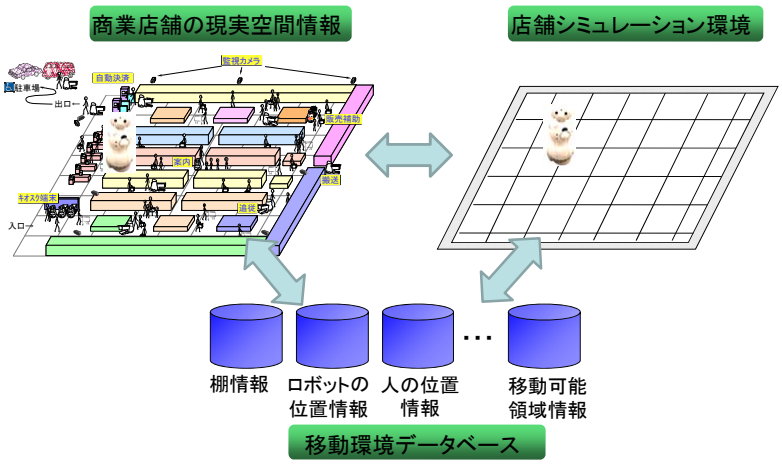


図 10　移動環境データベース

本研究ではデータベースの更新頻度に応じて，下記の 3 種類のデータベース設計を行った．

(1) データベースサーバ

データベースサーバは，ロボットサーバとネットワーク経由で接続し，店舗情報，利用者情報，および店舗地図情報など，比較的更新頻度の少ないデータを管理する．

(2) ロボットサーバ・データベース（二次記憶装置）

ロボットサーバ・データベース（二次記憶装置）は，ロボットサーバの二次記憶装置上に構築され，カメラの画像情報などデータの追加頻度が多いデータを格納する．その後，データマイニングを用いた分析などを行う必要があれば，データベースサーバに格納し，その必要がなければ，一定期間経過後，データを破棄する．

(3) ロボットサーバ・データベース（オンメモリ）

ロボットサーバ・データベース（オンメモリ）は，ロボットサーバのメモリ上に構築され，買物客，ロボット，カートの位置情報，および店舗地図情報など，データへのアクセス頻度の多いデータや時間的に鮮度の高いデータを格納する（図 11）．

データベースの速度に関する比較実験を下記の 3 つのデータベースについて行った．

- H2（組み込みモード，On Memory）
- H2（組み込みモード，二次記憶装置）
- PostgreSQL 8.3.0

その結果，オンメモリーデータベースである H2(Memory)は，非常に高速に動作することが確認できたが，扱えるデータ数は比較的小さく，一方，PostgreSQL の実行速度は，H2 と比較すると低速であるが，大規模データベースを構築するのに適しているのが分かり，上記で説明したデータベースサーバには，PostgreSQL を利用して実装し，ロボットサーバ・データベース（二次記憶装置），および，ロボットサーバ・データベース（オンメモリ）には，それぞれ，H2（組み込みモード，二次記憶装置），および，H2（組み込みモード，オンメモリ）を利用して実装することが適当と判断した．

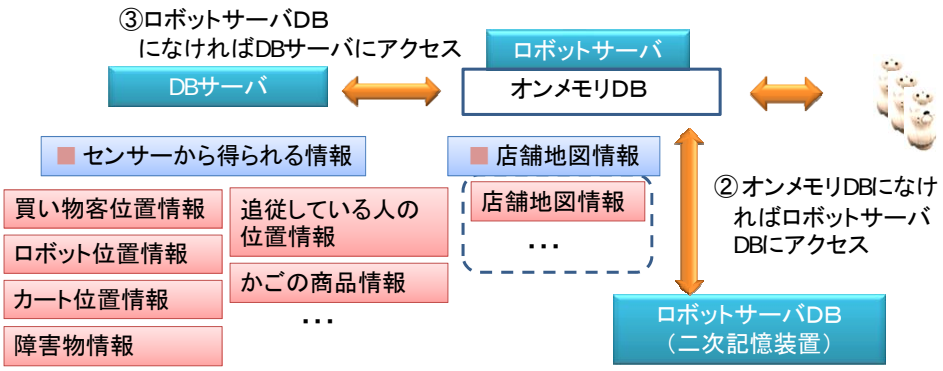


図 11　ロボットサーバとロボットサーバ・データベース（オンメモリ）の連携

(b) 自己位置推定技術

屋内環境における自己位置推定として車輪を用いる移動機構の車輪回転情報を計測するエンコーダと環境に設置した環境カメラから得られる位置情報とを統合して累積誤差の増大を抑える位置推定システムを構築して，移動制御実験を実施してその機能を検証した.

移動ロボットは２輪独立駆動型の小型移動ロボット Pioneer3-DX を使用し，その上部に環境カメラでのロボットの認識を容易にするため，LED マークを２つ取り付けた（図 12).

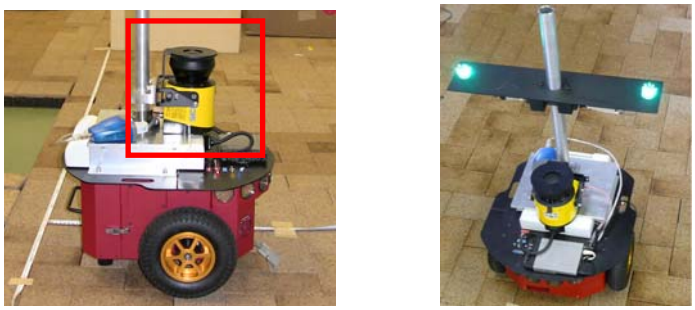


図 12　移動ロボットと LED マーク

実験室内に図 13 に示すように中央に棚を配置した周回路を設定し，その経路の２箇所においてロボットを検出可能なようにカメラを上部に設置した．ロボットの位置推定は車輪の回転角をエンコーダで読み出し，２輪独立駆動型の移動機構の運動学を用いて行い，ロボットがカメラ視野内を通過する際に，２つの LED マークを画像処理によって検出して，２点を結ぶ線分の中点を位置，その方向を姿勢角としてデッドレコニングによる位置推定を更新している. マーク検出の画像処理は，視野の中から明るさ情報を元に輝度の高い点としてマークを求めている．実験環境が 3.0 x 3.5 m の狭い周回路のため，移動速度は 0.3 m/s で周回実験を実施したが，カメラから位置情報を与えないと１周以上の移動が困難な状況に対して，安定した周回の継続が実現できることが分かった．図 14 に周回中のロボットの移動軌跡（図中，黒い実線）と移動中にロボットに搭載した LRF による人検出結果を合わせて示す.

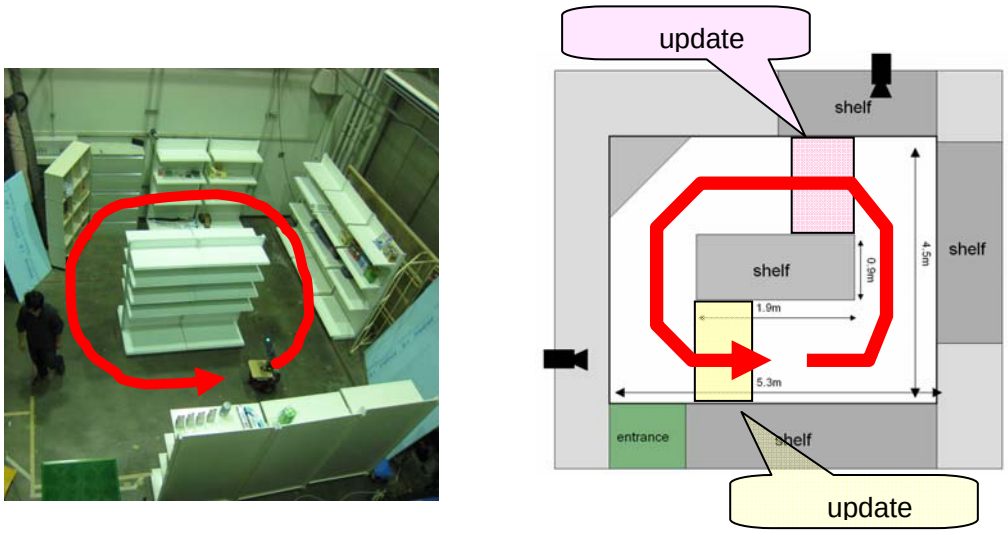


図 13　実験室内の通路環境と環境カメラ視野

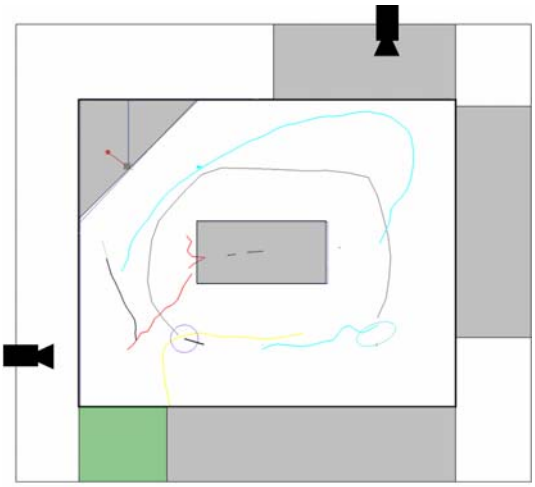


図 14　ロボットの周回移動制御実験結果と人の移動軌跡

（c）移動制御・静止障害物回避技術

店舗内において，人の追従・先導を行うロボットのための高加減速制御可能な移動制御アルゴリズムを開発した．人追従時など常に更新される相対目標位置に対して移動する場合は，地図を元にした回避経路生成など広域的な情報処理に比べ，高周期で運動制御のための計算処理を行うことが重要となる．そこで，高周期で計算する部分において，LRF による人追従機能を実装するとともに，別 PC で処理を行ったステレオカメラによる追従対象者の判別，および追従対象者の位置情報と情報統合することにより，リアルタイムでの追従対象者の追跡を可能とした．

また，高周期で計算する部分において，認識できる対象物の材質と認識可能な距離が異なる超音波センサと LRF からの情報を統合することにより，互いのセンサが検知できない障害物に対しても検知するアルゴリズムを開発した．この検出結果と，障害物の相対方位に応じて距離値が変化する異方特性を持った擬似的な距離成分を用いることで，障害物との相対位置関係に対応して滑らかに移動速度の制限と方向転換を行う障害物回避動作を開発した．その結果，店舗の常設棚と特売棚

の間のような静止障害物間を両側 20cm 程度のクリアランス(図 15)で通過可能なことを確認した(図 16)．また，この技術をステージゲートなど模擬店舗実験環境における実験で用いることで，棚などの複数の静的障害物や人など複数の動的障害物が存在する中でも衝突することなく移動できることを確認した．

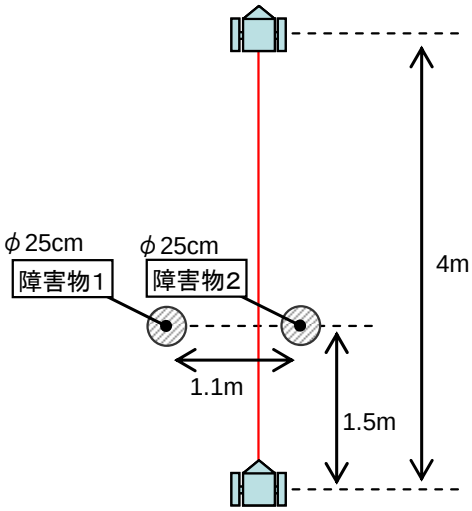


図 15 障害物間の移動能力検証実験

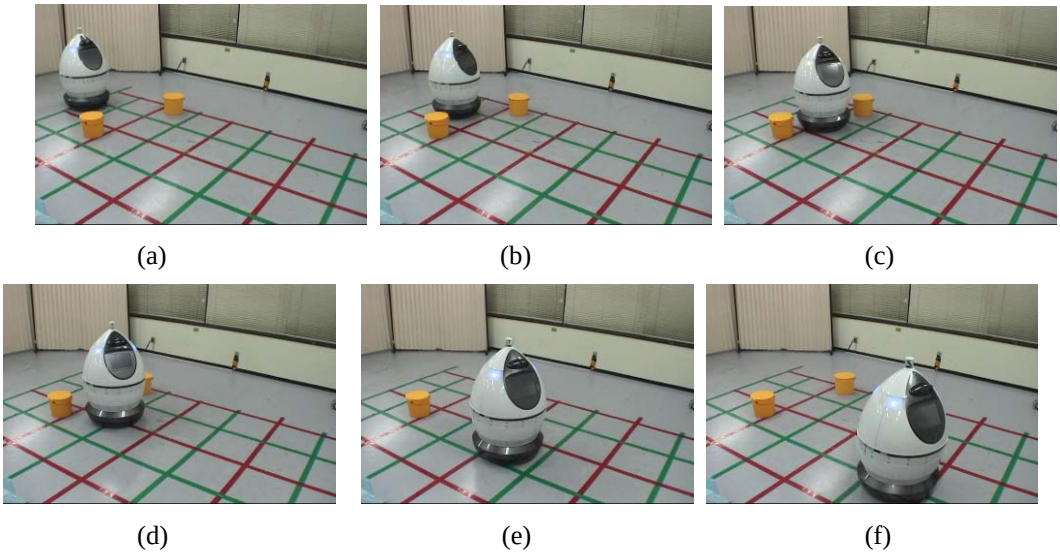


図 16　約 85cm の障害物間をロボット(直径約 65cm)が通過する様子

さらに障害物回避機能向上のために，全方位カメラの視覚情報を用いた障害物検知手法を開発した．障害物は床面上に設置しているものが多いので，床からの高さと姿勢が変化しないように搭載した全方位カメラを用い，障害物の床際候補点を検出することで，案内ロボットから見た障害物の距離と方向が検出できる．時系列で連続的に障害物方向・距離とロボットの移動量を比較することで，近傍障害物，静止障害物，移動障害物への識別を行った(図 17)．その結果，7 割から 9 割の位置正答率で検出することが可能となった．しかし，安全性を考慮すると

誤検出点の数はまだ多いという問題点や床面上の照明反射部分や，床面の色が若干変化している場所が存在する際の検出精度向上が課題となることが分かった．

③ 人対応安全技術の開発

(a) 人検出・予測技術

周囲の環境およびロボット周囲に存在する人位置を計測するシステムを開発し，その検出性能を調べた．店舗環境を対象とすること，極力環境に手を加えず，かつ高価な装置を使用せず設備に関する投資も抑えることを目指して，近年各所で使用されてきている監視カメラを用いて環境に存在する人位置を画像処理によって計測する手法を用いた．監視カメラを用いた方法については，実験室環境でひとつ，模擬店舗環境について２種類の方法を検討した．一方，ロボット周囲においてより精度よく人位置を計測する方法としてロボットに搭載した LRF を用いる手法も合わせて開発した．図 18 にシステム構成を示す．図のように複数のカメラをその視野が１部重なるように配置して人をカメラ視野内で画像処理によって追跡しながらその軌跡を計測し， 統合処理計算機に送る．一方，ロボット搭載のセンサによる周囲の人位置情報も統合処理計算機に送ってデータの統合を図る構成である．

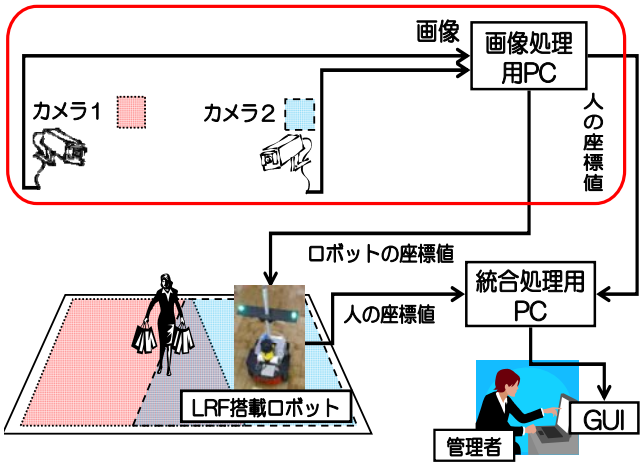


図 18　人位置計測システム

(1) 環境カメラ画像の背景差分を用いた人位置検出（実験室環境）

固定カメラで画像を得ているので，背景差分によって移動物体である人，およびロボットを検出する．このとき，背景差分は床面に作る影の影響をより受けにくくするため，画像を色相（H），彩度（S），明度（V）で表現するHSV空間に変換して，差分処理を行う．実験では一定以上の大きさをもつ移動体領域を人と認識し，それを楕円で近似し，画像座標系での頭部の位置を推定した．画像座標系内の点のワールド座標系への変換については，人の頭部高さに調整したマークを対象環境床面を一定間隔で移動し，その際のカメラ画像座標系の位置と測量器（トータルステーション）を用いて得たワールド座標系での位置の組から線形な変換行列を求めて行う．単一のカメラ画像内でのすれ違い時の追跡や隣接するカメラ間での追跡を安定に行うために着衣の色情報の利用も試みた．

人追跡の実験として，単体のカメラで人検出を行い，カメラ間での統合を行わない場合を図

19に示す．追跡が中断されているのが分かる．カメラ間での統合をして２人の追跡を行った場合を図20に示す．

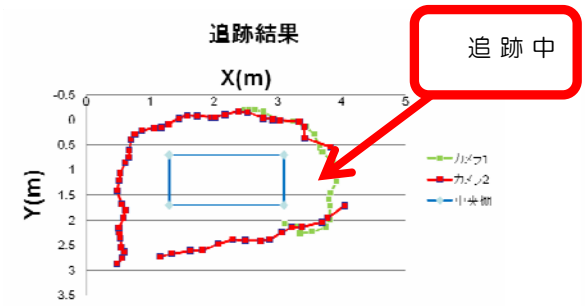


図19　人の追跡（カメラ間の統合無し）

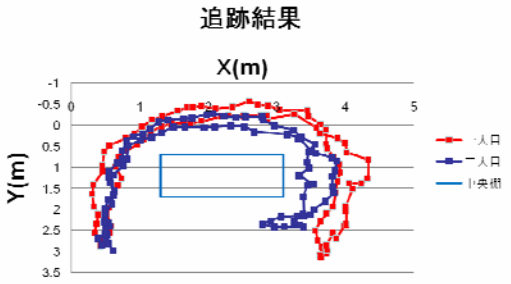


図20　人の軌跡（カメラ間の統合あり）

(2) 環境カメラ画像の動的背景差分とパターンマッチングを用いた人位置検出（模擬店舗環境）

模擬店舗環境では，背景差分の背景画像を動的に変化させる方式に変更し，移動体の検出についても背景差分によって得られる移動体領域の輪郭に沿って人の頭部の形状テンプレートを当てはめ，さらにロボットとの区別をするために色相のマッチングをする方式に更新した．動的背景差分によって検出した移動体領域のマッチングおいては，処理量を軽減するため，輪郭抽出を行い，一定の長さ以上の輪郭に沿ってマッチング処理を行う．頭部形状のマッチングした輪郭上の点について頭部の画像の色相ヒストグラムテンプレートのマッチングをとって，信頼性を高めて頭部位置を検出する．頭部の形状テンプレート（２値画像）は形状や大きさを変えたものを複数用意し，設定した閾値以上のマッチが得られるものについてその位置のマッチ度を重みとして加重平均して頭部位置を求める．色相ヒストグラムテンプレートについても頭部を見る複数の方向のものを予め用意し，最もマッチ度のいいものが設定した閾値を満たす場合に人の頭部位置を検出したとした．実験室と同様，単眼カメラで行ったキャリブレーション結果を利用してカメラ画像座標位置からワールド座標位置を求めている．図 21 は頭部形状テンプレートマッチングで４箇所の候補が見つかり (a)，色相ヒストグラムのマッチング処理によってロボットを除去して３人の人が検出される様子 (b) を示す．人の頭上に示したクロスマークが検出した人位置である．

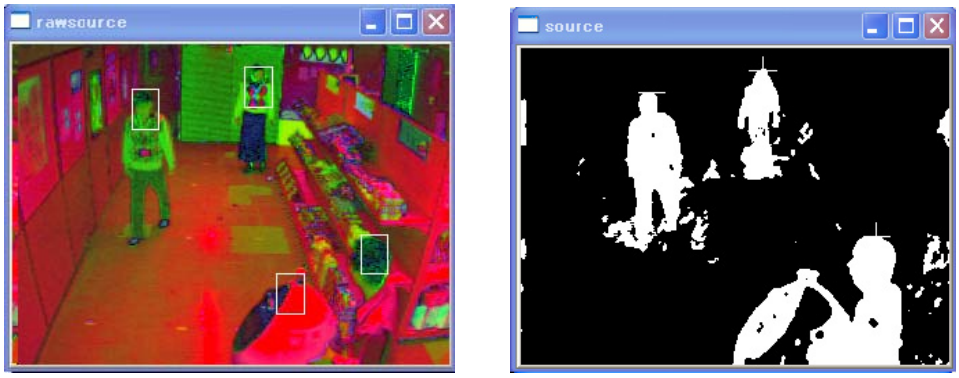


図 21　テンプレートマッチングによる人検出（(a) 人候補，(b) 人検出結果）

(3) ロボット位置と人の混雑度（模擬店舗環境）

大域的なロボットの経路計画の際には，人の移動軌跡よりは店舗内の通路にどれ位，人がい

るかの情報が役立つことが多い．ここでは，カメラ画像からロボット位置，および人混雑度と名づけた，人が通路のカメラ視野内にいる度合いの検出方法について述べる．

カメラから得られる入力画像に対して動的背景差分を適用して，店舗環境上の移動物体を検出する．移動物体には人とロボット両方が含まれるので，まず，入力画像とロボット全体のテンプレート画像とでマッチングをとり，マッチした部分画像とロボットの特徴画像（頭頂部搭載のカメラ）とで再度マッチングをとり，これらの結果からロボット検出を判定する．図22(a)はロボット検出と判定できたシーンを示す．事前に単眼カメラのキャリブレーションを行なっておき，ロボットの画像座標位置からワールド座標位置を求める．画像上のロボット領域をウォータシェッド法で求めて．入力画像からロボットを消去する．ロボットを除いた画像に透視変換を適用する．店舗で使用するカメラは天井から斜め下方を視野とする場合が多いが，距離により人の見え方の大小が変化する．そこで画像上の位置によらず人の見え方のサイズが一定になるよう，事前に求めておいた透視変換を適用する．人混雑度は，この変換画像の領域の面積として求まる．図22(b)はロボットを消去した前景画像から人が２人検出できたことを示す．前景画像は人の影も含むが，変換画像は人の上（下）半身を拡大（縮小）するので，結果的に人の下部の影の影響を減じることができる．

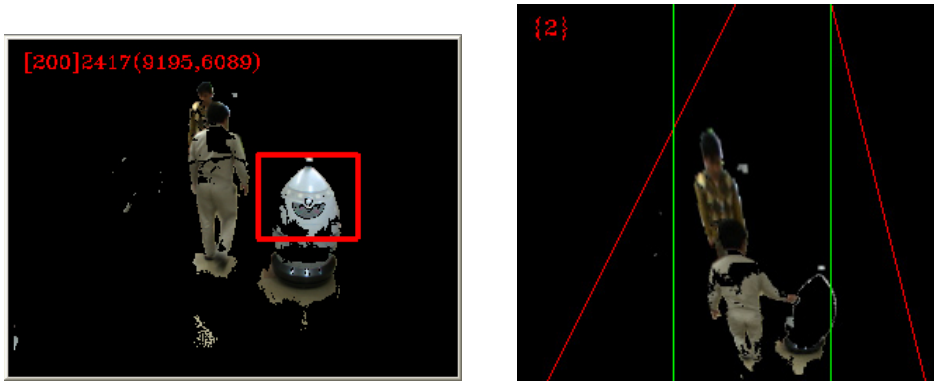


図 22　ロボット(a) と人の検出(b)

(4) 搭載 LRF による人位置検出

人の追従や先導の際の障害物検出などの用途を想定して，ロボットに搭載した LRF による人位置検出法を検討した．

LRF は図 12 に示すように走査面を床面に並行にロボットに取り付け，人の脚部を走査して，得られるレンジデータから人の位置を検出する．まず，メディアンフィルタによりノイズを除去し，ついで隣接するレンジデータ間で大きく値が変る点をもちいてクラスタリングを行う．各クラスタ化されたデータについて線分，円弧を最小二乗近似で当てはめ，線分要素と円弧要素を識別する．円弧要素や人の足のサイズに近い線分要素については脚要素候補として，人検出処理を行う．人検出の開始条件として２つ脚要素候補が人の２本足の間隔で存在するかを調べ，条件に合う場合，２つの脚候補の中心を人の位置として以後の追跡処理を行う．追跡開始後は，１つの脚要素候補についても１ステップ前の人位置から移動したものと予測されるものについては人として追跡する．このように人位置を推定することによって，人の軌跡をより精度よく求めることができる．実験結果としてロボットを通路環境で自律移動制御しながら，LRF で周囲を移動する複数の人の軌跡を計測

した結果を図 23 に示す．ロボットの移動速度に変動はあるが，0.6-0.8 m/s 程度の速度では安定に人の軌跡が計測可能であることが分かる．

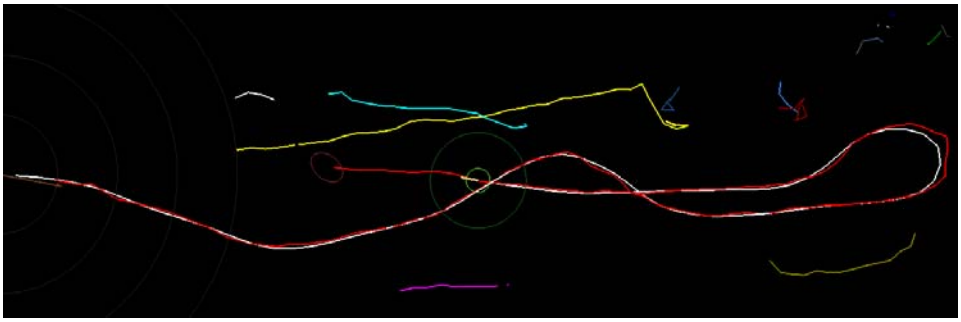


図 23 人の軌跡の計測結果（赤白の線はロボットの移動軌跡）

(b) 人間共存環境行動計画・動的障害物対応技術

案内ロボットの移動機能を図 24 に示すように多層構造で構成した．ロボットが利用可能な情報としては，ロボット搭載センサから取得できるローカル情報と，地図情報や環境に設置されたカメラなどロボット自身とは異なるシステムからの情報を統合したグローバル情報が考えられる．ローカル情報の特徴としては，更新頻度が高く，更新周期が比較的安定である一方，

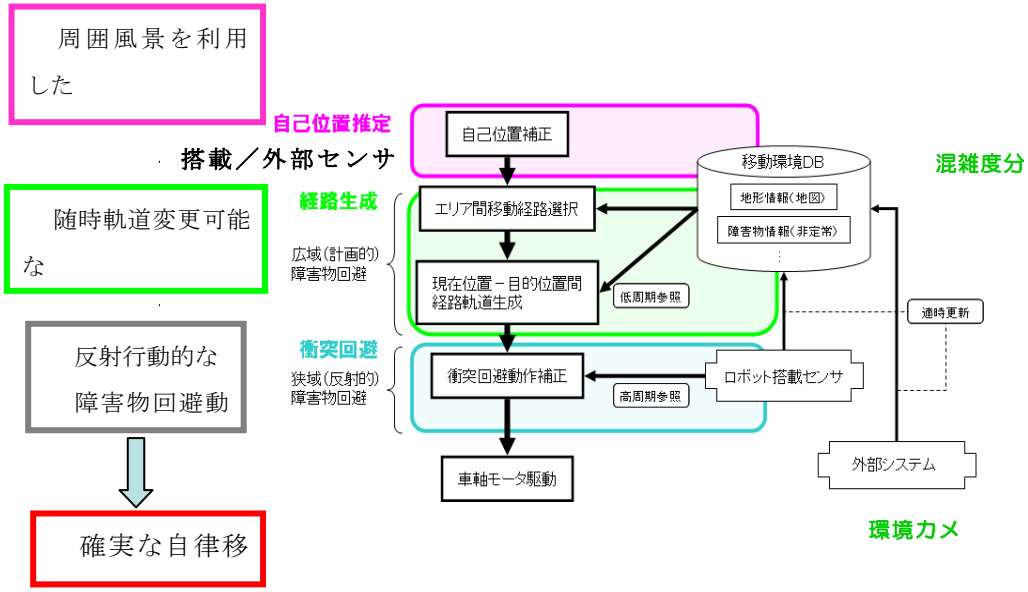


図 24　移動制御ソフトウェア構成

環境内の障害物やロボットの姿勢に応じて死角が生じるなどの問題がある．グローバル情報は，センサの設置位置や状態に応じてロボット単体ではカバーできない情報が得られる反面，更新頻度や更新周期が保証されない問題などが存在する．そこで移動(自律移動)機能は対象物との距離と対処に必要な時間を考慮し，経路生成部と衝突回避部で構成した．衝突回避部では，ロボット搭載センサからのローカル情報に限定し，近距離物体に対する回避・減速と，プリミティブな移動命令のみを実装することで，周期計算の負荷を軽くし，高周期で状態の認識とモータ制御を行った．その結果，近距離物体に対する反射的な停止または回避行動を可能とした．経路生成部においては，他システムからの情報を用いて行われる障害物の追加・変更・削除情報を用いて経路の生成と修正を行う．さらに，追加・変更された障害物が移動中の予定経路に

対して干渉する際は，実行中の移動行動に対し中断と変更を行う．これらにより，動的に変化する中・長距離の障害物に対応するだけでなく，ロボット搭載のセンサからの死角にある障害物に対し，事前に経路を修正することで，目的地への頑健な移動を可能とした．

計画的な経路生成層として，店舗などロボットのセンサを遮る物体や動的物体が多い環境を想定し，動的に障害物情報が変更される地図情報を用いて移動経路を算出・逐次修正を行う経路生成部を開発した．店舗では棚などが多数存在し，ロボット搭載のセンサのみでは移動開始地点から目標位置までを見渡すことが難しい．そこで，障害物情報を登録した地図情報を元に経路を算出する経路生成機能と，地図情報を登録・管理し，外部モジュールからも情報の追加・変更・削除を受け付けるシステムを構築した．これらを用いることで，ロボット搭載のセンサでは検知できない場所における動的な障害物情報に対し，移動中であっても予定経路の取り消し・変更が可能な，動的障害物回避機能を有する経路修正技術を開発した（図 25）．これらと先に述べた反射的な障害物回避機能を有する移動制御と，環境側に設置したカメラ情報処理結果を用いることで，模擬店舗実験環境において動的に移動経路を変更し，頑健に目的地にたどり着けることを確認した(図 26)．

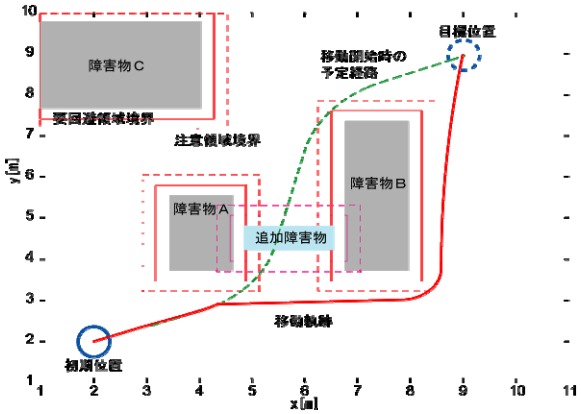


図 25　動的移動経路修正のシミュレーション結果

(a) 人が居ない経路を地図情報から算出（移動

(c) 移動中だった行動を中断して，経路を修正・移動

(b) ロボット移動中に予定経路上に複数の人が現れた事をグローバル情報（環境カメラ）から受け取る

(d) 近距離の物体に対してはローカル情報を用いて回避

図 26　人の移動に応じた移動経路の動的修

④ 店舗環境対応技術の開発

研究開発した案内ロボット，搬送カート，各種要素技術を統合して，実店舗環境に近い環境で買物行動の支援の可能性，有効性を実証するため，東芝テック三島事業所内の実験室に模擬店舗環境を構築して実証実験を行った．

構築した模擬店舗環境とシステム構成を図 27 に示す．図 28 の地図に示すように模擬店舗環境は約 8 x 9 m のスペースに平行に２列の陳列棚を配置するとともに周囲にも冷蔵ケース，セルフレジ機を配置している．通路幅はおよそ 1.8 – 2.0 m である．天井には人や案内ロボットの位置を計測する環境カメラとして単眼のカメラを 10 台，パン・チルトを固定して設置した．カメラから得られる画像データを処理する計算機を４台配置し，有線 LAN によってそれらをサーバ計算機に接続してシステムを構成した．案内ロボット，および搬送カートは無線 LAN によってサーバ計算機に接続される．

図 27　模擬店舗環境とシステム構成

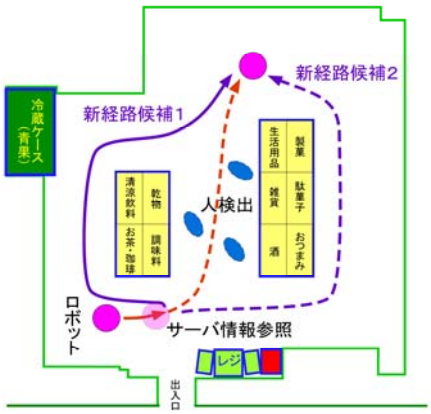


図 28　模擬店舗環境のマップ

位置情報をはじめとした店舗情報等の情報管理を行うデータベース，店舗内の人やロボット計測結果を提供する環境カメラ，案内ロボット，搬送カート，それぞれのシステム仕様を決定すると共に，全てのモジュールを RT コンポーネント化し，これら RT コンポーネント群をネットワークで結合して図 29 に示すようなシステムを構成した．

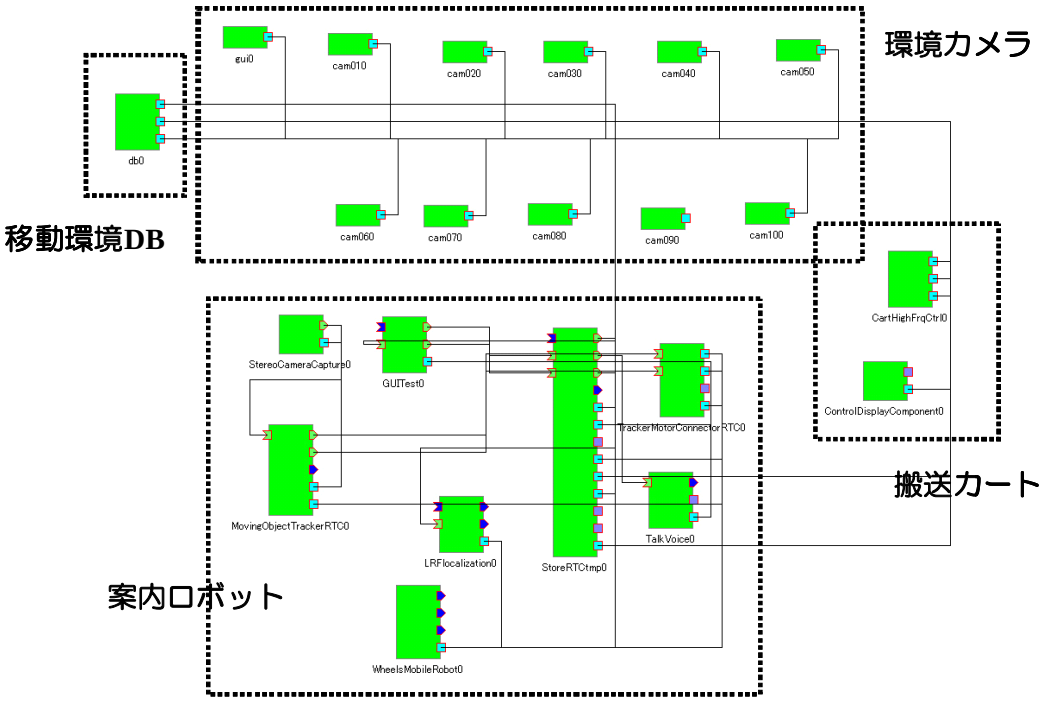


図 29　全体システムのソフトウェア構成

模擬実験環境を用いた店舗サービスのアプリケーションとして，売り場への案内機能と購入したものの搬送も行う買物サポート機能の２つを開発して，実験を実施した．

（1）案内機能

案内サービスにおいては，“待機”，“サービス選択フェーズ（搬送案内か案内サービスかを選択）”，“要求抽出フェーズ（目的地入力）”，“先導フェーズ”，“連続案内・終了選択フェーズ”の状態遷移を実装した．これらを実装し，模擬店舗環境にて実験した様子を図 30 に示す．“サービス選択フェーズ”において，図中(a)に示すロボット胸部のタッチパネルで案内サービスを選択した後，“要求抽出フェーズ”では，利用者の目的地をタッチパネル上の GUI で抽出する．目標地点の示し方としては，Map 上の任意の点を指定する方法と，商品カテゴリ分けしたツリーを選択し，木を展開していくことで，案内したい商品から目標位置を提示することも可能とした．

（a）案内サービスその１
（待機，サービス選択，
要求抽出フェーズ）

(b) 案内サービスその２
（先導フェーズ）

(c) 案内サービスその３
（先導フェーズ）

（d）案内サービスその４
（先導フェーズ）

(e) 案内サービスその５
（先導フェーズ）

(f) 案内サービスその６
（連続案内･終了選択フェーズ）

図 30 模擬店舗環境における案内機能の様子

(2) 買物サポート機能

荷物搬送サービスは初めに任意の相手を特定の人として登録し，その特定の人にサービスを提供する必要がある．そこで，登録フェーズを入れた下記の状態遷移を実装した．

① 待機フェーズ
② サービス選択・人物登録フェーズ（搬送案内か案内サービスかを選択）
③ 追従フェーズ
④ 商品選択フェーズ

（このフェーズ後，買い物終了か継続を選択．“選択”の場合は 4 の追従フェーズに戻り，“終了”を選択した場合は 6 へ）

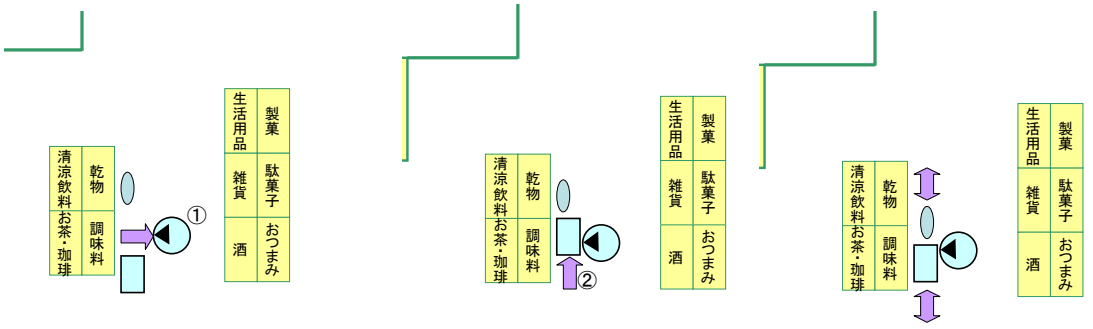
⑤ レジ先導～レジ処理フェーズ

“待機フェーズ”では，前方の物体接近を検出，「いらっしゃいませ．サービスを選択してください」と発話することで，任意の人に対して，サービス提供を行った．

“サービス選択・人物登録フェーズ”においては，サービスをロボット胸部にある GUI で選択してもらうと同時に，前方にいる人物をサービス対象者として自動登録をした．この登録動作により，特定人物をサービス対象者とすることが可能となった．

サービス選択後の“追従フェーズ”では，案内ロボットとカートロボットが登録者への追従を開始する．追従中は登録者に対し一定の距離を保ちつつ移動するとともに，衝突回避部の働きにより，サービス対象者以外の人物や棚などに対しては衝突回避動作を行った．その結果，先に歩くサービス対象者が曲がり角を曲り，ロボットと人との間に棚があった場合や他の客を人が先に避けた場合でも，人や棚に対して回避動作を行うことで衝突することなく追従することができた．また，常に追従目標に対し，ステレオカメラを使ったサービス対象者の参照情報との確認を行うことで，サービス対象者以外の人に追従することを防いだ．

人がカートの買い物カゴに商品を入れる際は，“商品選択フェーズ”に移行した．“商品選択フェーズ”においては，案内ロボットを横に待避させると同時に，搬送カートは直接人に追従させた(図 31)．これらにより，人の動きに合わせて買い物カゴ（搬送カート）が動くことが可能となる．商品を買い物カゴに入れ終えた後は，サービス対象者に買い物終了か継続を GUI で入力を行った．この入力結果により，「買い物継続」の場合は，初めに登録したサービス対象者情報を元に“追従フェーズ”を再開し，「買い物終了」を選択した場合は“レジ先導フェーズ”へ移行させた．



(a) 案内ロボット待避　(b) カートロボット，人を追従開始　(c) 人の動きに合わせて，

図 31 商品選択時の連係動作例

〈目標の達成度（別表添付）〉

本研究開発では中間目標として以下のようなものを設定した．

実証用模擬店舗内（環境にいる人は実験担当者のみ）の任意の位置で荷物を積載し，指定された位置まで自律移動搬送するロボットシステムを実現する．中間目標でのロボットの仕様を以下に示す．ロボット搬送システムを案内ロボットと搬送カートの組み合わせで実現する．

案内ロボット：積載重量 2kg，走行可能段差 1cm，転倒防止機構搭載，最高移動速度 0.6m/s

搬送カート：積載重量 5kg，走行可能段差 1cm，転倒防止機構搭載，最高移動速度 0.6m/s

自律移動制御時の位置認識精度は 10cm，対人安全技術として半径 5m の範囲にいる 5－6 人程度の人を個別に認識する．

模擬店舗環境を用いた実証実験時において，移動しながらの位置認識精度を除けば，これらの数値目標値を達成した．そして買物時のサポートの実証実験のように買物の場所で品物を搭

載し，設定した目標地であるレジまでの自律搬送を実現した．また，環境に存在する人を認識して，障害物として局所的に回避するとともに，通路の混雑状況に関する情報によって目的地までの経路を動的に再計画可能であることも確かめた．

3）成果の意義

① 市場の創造：事業化で検討し提案しているように，段階を踏む必要があり，時間を要するが期待はある．

② 世界初，世界最高水準か：同種の研究は多い．実環境で実証できれば，世界初となった．特に人密度が高く，接触してしまう際の検討例はあまりない．

③ 新技術領域の期待：人間共存環境でのロボットの実用化のためには，安全性，信頼性の確保関連の技術領域の開拓，および法整備が期待される．

④ 成果の汎用性：店舗応用を対象としたが，公共空間など不特定多数の人間との共存環境における案内，搬送作業支援に汎用性がある．

⑤ 予算に見合った成果か：模擬店舗環境でロボットシステムを運用して実証するには必要な予算投入である．

4）特許の取得状況

表　特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
移動台車　３件	急制動時に全体の荷重移動を利用して荷台を後方に移動させることにより安定した姿勢で停止させる.
障害物検知システムおよびその制御方法　２件	障害物検知のために超音波センサを有している移動体が複数存在する場合において，互いの送信する超音波が自己の障害物検知機能に影響を及ぼさないように，時間管理を行うための同期信号を別途送受信することで，お互いにタイムシェアして超音波の送信・受信を行うことを特徴とする. ディジーチェーン接続された障害物センサシステムにおいて，同一タイミングで複数障害物センサを制御することで，順々に障害物センサを制御する場合に比べ，効率よく障害物検知が可能である.
自律移動装置およびその制御方法　１件	目標物を追従する自律移動装置が，目標物を見失った場合の対処法
障害物検知システム及びこのシステムの障害物センサ診断方法　１件	移動体に障害物検知のために設けられた，シリアルバス接続されている超音波センサにおいて，自己の発する廻込み波を利用して超音波センサの異常を検出することを特徴とする.
自律移動装置　１件	縦に長い形状の自律移動装置であっても，障害物が多数存在する複雑な環境下においてスムーズに走行することができる.
移動ロボット制御方法及び装置,移動台車　計２件	移動ロボットが周囲の障害物と安全に接触しながら目標に向かって移動することで,人混みをかき分けて客に追従するような店舗内案内ロボットを提供する.
人位置予測方法及びロボット制御方法　１件	長期的に追従対象者が,ロボット搭載のセンシング範囲外に出たいた場合でも,店舗の情報,買い物客の移動傾向を元に,ロボットセンサのカバー範囲を考慮して,追従対象者を早期に発見することができる.
移動体検出装置および自律移動体　１件	移動空間の混雑度を指標とした融合率可変なセンサフュージョンを用いたトラッキング手法であり，人混みのような混雑環境での見失いを低減しつつ，通常環境での高速な移動にも追従可能なトラッキングを実現している.
動物体検出装置及び動物体検出方法　１件	広視野角カメラ画像の歪みの影響をあまり受けないエッジヒストグラム情報を用いて,移動する広視野角カメラで動物体を検出する.
物体検出装置及び物体検出方法　１件	本発明は,ロボット周囲の障害物を床面と障害物の境界線上の点で表し,各点が動的にパラメータを変更することで,頑健に周囲障害物の識別を行う.
画像処理装置および画像処理方法　１件	トラッキング可能な回転スケール不変特徴点を新たに目印とし，実時間で自己位置推定を行った.
制御装置及び制御方法　１件	実行中の移動命令に対する中断・破棄・修正を提供する.
経路選択方法　１件	動的な環境下における経路の選択方法を提供する.
障害物回避機能を有する移動制御装置　１件	異方性を有するポテンシャル概念に基づいて算出された疑似距離を用いた障害物回避手法．地図登録されていないイレギュラーな障害物や、設置位置ズレなどのノイズに強く，計算コストも低く抑えられている.

国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007 年 7 月 18 日	2007-187241	移動ロボット制御方法及び装置	大明 準治 尾崎 文夫 松日楽 信人
2	2007 年 7 月 12 日	2007-183523	人位置予測方法及びロボット制御方法	田崎 豪
3	2007 年 8 月 24 日	2007-218090	移動体検出装置および自律移動体	園浦 隆史
4	2007年9月25日	2007-247915	動物体検出装置及び動物体検出方法	田崎 豪
5	2008年1月7日	2008-660	移動台車（優先権取下げ）	佐野 雅仁 高野瀬 剛 沼田 亜紀子
6	2008 年 3 月 21 日	2008-074462	物体検出装置及び物体検出方法	田崎 豪
7	2008 年 7 月 30 日	2008-196668	画像処理装置および画像処理方法	田崎 豪
8	2008 年 10 月 21 日	2008-271365	制御装置及び制御方法	十倉 征司
9	2008年10月31日	2008-282419	移動台車	佐野 雅仁 高野瀬 剛 沼田 亜紀子
10	2008年10月31日	2008-282420	障害物検知システムおよびその制御方法	高野瀬 剛 佐野 雅仁 沼田 亜紀子
11	2008年10月31日	2008-282421	自律移動装置およびその制御方法	沼田 亜紀子 佐野 雅仁 高野瀬 剛
12	2008年10月31日	2008-282422	障害物検知システムおよびその制御方法	高野瀬 剛 佐野 雅仁 沼田 亜紀子
13	2008 年 11 月 25 日	2008-299958	経路選択方法	十倉 征司
14	2008 年 12 月 8 日	2008-312407	移動台車	田崎 豪 小川 秀樹
15	2008 年 12 月 5 日	2008-310744	障害物回避機能を有する移動制御装置	園浦 隆史
16	2009年1月7日	2009-1997	移動台車(優先権主張)	佐野 雅仁 高野瀬 剛 沼田 亜紀子
17	2009年3月10日	2009-56843	障害物検知システム及びこのシステムの障害物センサ診断方法	高野瀬 剛 佐野 雅仁 沼田 亜紀子
18	2009年3月10日	2009-56844	自律移動装置	沼田 亜紀子 佐野 雅仁 高野瀬 剛

5）成果の普及

(1) 研究発表・講演

学会発表

番号	タイトル	発表者	講演名	発表年
1	モノラル移動全方位カメラを用いた床際点トラッキングによる障害物識別	田崎 豪 尾崎 文夫	第 26 回日本ロボット学会学術講演会	2008
2	ロボット搬送システムの開発 ―環境カメラと複数ロボットの連携による買物支援システム―	小森谷 清 松日楽 信人 尾崎 文夫 田辺 佳史 佐野 雅仁	ロボティクス・メカトロニクス講演会	2009
3	ロボット搬送システムの開発 ―グローバル情報を考慮した動的経路生成―	十倉 征司 園浦 隆史 田崎 豪 大明 準治 松日楽 信人	ロボティクス・メカトロニクス講演会	2009
4	ロボット搬送システムの開発 ―環境カメラシステムによる人情報計測―	小森谷 清 堀内 英一 橋本 尚久 城吉 宏泰	ロボティクス・メカトロニクス講演会	2009
5	ロボット搬送システムの開発 ―複雑環境下における移動ロボット用センサシステム―	沼田 亜紀子 高野瀬 剛 佐野 雅仁 田辺 佳史	ロボティクス・メカトロニクス講演会	2009

(2) 文献

添付資料用　文献

番号	タイトル	雑誌名
1	周囲環境に適応するロバストなロボット移動技術	東芝レビュー　64 巻 1 号 pp.19-23
2	店舗応用を目指した搬送ロボット	東芝レビュー　64 巻 1 号 pp. 48-51

(3) その他の公表（プレス発表等）

番号	タイトル	掲載物	発表日時
1	東芝など　買い物支援ロボ開発	日刊工業新聞 1 面	2009 年 4 月 11 日

6） 実用化･事業化の見通し

本プロジェクトでは，スーパーやホームセンターなどの大型店舗内で確実に移動できる搬送ロボットの実用化を目指して開発を行った．そのために特に重要な技術として，人に接触しながらでも安全に移動できるというアイデアを盛り込んだ．これは従来の搬送ロボットでは実現できていないので，完成すればインパクトは大きい．原則は接触しないに尽きるが，接触することを恐れていると店内を自在に移動することはできなくなる．そこで，関連する法の整備，保険制度などの社会的な枠組み作りの様子を伺いながら，万一接触した場合にも，人間が痛みを感じない程度に接触圧を下げられる衝突緩和能力を持つ店舗用ロボットを目指して開発した．

ステージゲートまでの期間は，案内ロボット，搬送カートを別々に開発してきたが，将来的には，それぞれの必要な要素技術を組み合わせて一体化したものが最終的な店舗用搬送ロボット（案内・搬送一体式）の姿である．

しかしながら，現状の技術レベルではすぐに一般ユーザが自由に使用する自律移動搬送カートなどの商品に展開するのは，コスト，安全確保，法整備など種々の未解決の問題点があり，開発技術の早期の実用化を目指すには初めから全自律を目指すのではなく，パワーアシストや半自律の形態として始め，徐々に技術レベルを上げていきながら商品の水平展開を目指す方向で検討を行った．

１）ニーズ調査

検討に先立って，ニーズ調査を行った．調査は直接の顧客となる小売企業へのヒアリングと，実際に利用者（買い物客）となる一般ユーザ調査とを行った．

小売企業へは開発メンバーが直接２社の経営幹部，店長クラス社員にヒアリングを行うとともに，外部機関を通じて全国から５社を抽出し，その企画担当者にインタビュー型式でのヒアリングを行った．

一般ユーザへの調査については対面で行うグループインタビューとインターネットサイトを利用したアンケート調査を行った．

グループインタビューは対象者，30 代女性，40 - 50 代女性，60 代女性，30 - 50 代男性の４グループ各６名と行い，買い物時の行動や不満点などを確認した．インターネットアンケートは店舗でのロボット利用に関して 1527 人（男女比 35:65）から回答を得た．

その結果，企業側からは商品棚周りに関するロボット化，一般ユーザ側からはカート内の合計金額表示，レジの一括精算要求等，搬送以外の要求が多く聞かれたが，以下のような搬送技術の完成も期待されていた．

搬送に関する企業側要求

- レジ待ちの行列については苦情も多く何とかしたい
- 倉庫から商品棚までの自動搬送は可能性あり
- 駐車場から，カートの回収をしたい（自動帰巣も可）

搬送に関する一般ユーザ意見，要求

- ショッピングカートの動きに不満
- 押して歩く際，他人のカートが邪魔
- 替わりにレジにならぶ
- レジから駐車場，駐車場からの自動帰巣

２）商品化計画

これらの結果から，ロボット搬送システムで解決可能な要求もあり，コストが合えば，ロボット搬送システムの商品化の可能性はあると判断し，表１，および図１のような段階的な商品化を計画した．

一般ユーザの利用に関しては，まず，１．走行パワーアシストを開発し，次に２．自律移動機能を実現，最終的に３．屋外の駐車場を含む広範囲な自律移動を目指した．一方，ある程度の環境制限や利用者の教育が可能な従業員向けには１．の段階から自律移動ができるようなものにしていくことを考えた．各段階とも同程度の価格で提供し，機能向上分をコストダウンで補って，商品価値を向上，普及を図る収支計画を立てた．

なお，これらの計画についてはステージゲートの前に立てたものであるが，本報告時点では開発体制の見直しに加え，安全性，真のニーズを見極めた用途の再検討を行っており，それに伴い変更が行われているところである．

表１　商品展開案

商品展開案	一般ユーザ	従業員
0.商品化に向けた、信頼性UP、コストダウン検討、実証実験継続（2011年～2012年） 量産設計及び実証実験継続（2012年～2014年）	（プロトタイプ）	
1.一般ユーザが使用するアシストカート、自律移動機能付き（2014年～2017年）	人が操作する部分を残す	自律移動バックヤード対応
2.一般ユーザ対応の自律移動搬送カート 指定された駐車場対応（2017年～2020年）	自律追従　自律案内	
3.一般ユーザ対応の自律移動搬送カート 既存駐車場の自動帰巣対応（2020年～2023年）		

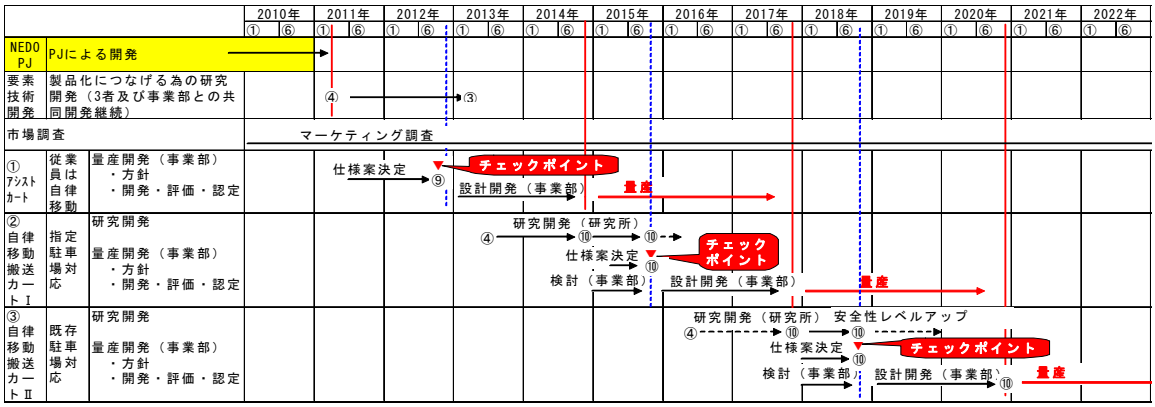


図１　商品計画案

・ **波及効果**

移動ロボットプラットフォームで開発した技術は店舗に限ったものではないので、移動技術をベースに必要とする他分野へ応用可能である。また、システムは RT ミドルウエアに基づく RTC で構成したために、必要に応じて RTC を入替えることで、開発が効率的に実施できる。開発の効率化では、技術のみならず、期間短縮、ソフトウエアの再利用など経済的なメリットもある。店舗内で開発した、目的場所への移動技術、障害物回避技術、人検出技術は施設内での移動としては共通技術であるので、他分野への適用が可能であり、人手不足分野への応用や、障がい者への自立支援にも応用でき、経済的、社会的に波及効果が期待できる技術である。

当課題の実施は、産総研と２つの企業との共同開発で研究から現場までをカバーしており、実応用に基づいた課題、例えば、実店舗にある障害物の回避技術、実際の照明下での画像処理技術、限られたカメラでの認識技術などに対して、研究室内に止まらず実応用可能な技術開発まで実施できた。さらに、実店舗での課題に対しては、店舗責任者、店舗運営者、店舗利用者などの生の声に基づいた研究開発が必要であり、他分野の人との交流を通して、広い視野をもつ人材育成が可能であった。特に、定期的なプロジェクトフォロー会議では、自組織に限らずいろいろな視点からの議論ができ、また、システムの完成度を上げるため、それぞれが独立に開発するのではなく、最適な場所で協調して開発を進めるなど、通常の研究開発では実施できない体制を経験する良い機会となった。