

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」  
事後評価報告書

平成24年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成24年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

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

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

## 目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-23
2. 1 次世代産業用ロボット分野	
2. 2 サービスロボット分野	
2. 3 特殊環境用ロボット分野	
3. 評点結果	1-45
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

## はじめに

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

本書は、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」の事後評価報告書であり、第28回研究評価委員会において設置された「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）に諮り、確定されたものである。

平成24年3月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」

事後評価分科会委員名簿

(平成23年10月現在)

	氏 名	所 属、役 職
分科会長	しらい よしあき 白井 良明	立命館大学 情報理工学部 知能情報学科 教授
分科会長 代理	かわさき はるひさ 川崎 晴久	岐阜大学 工学部 人間情報システム工学科 教授
委員	きじま ゆたか 木嶋 豊	株式会社 アイアックインターナショナル 代表取締役
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社 ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	まつまる たかふみ 松丸 隆文	早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 教授
	みやけ とくひさ 三宅 徳久	パラマウントベッド株式会社 技術本部 主席研究員
	やまもと もとじ 山本 元司	九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 教授

敬称略、五十音順

## 審議経過

### ● 第1回 分科会（平成23年10月28日）

#### 公開セッション

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

#### 非公開セッション

5. プロジェクトの詳細説明
6. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

### ● 第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

技術の高度化ではなく、実用化を主眼に置いたプロジェクトとして、開発事業者がサービスプロバイダとともに、産業界や社会で必要とされる問題を解決しようとする真摯な取り組み、多くのミッションで性能や機能上十分満足すべき実証レベルを達成し、更にそのうちのいくつかは事業化が有望な状況にあることは、高く評価できる。また、ステージゲート方式で競争的な開発を試みた点など、プロジェクト手法自体に斬新さがあり、評価できる。

しかし、ステージゲートで不採択となったグループの開発技術や事業がその後どうなったかについて情報が不足している。ステージゲートを不採択となったグループの成果も視野に入れた費用対効果を把握した最終報告が望まれる。さらに、ステージゲートで選択した理由をオープンにするとともに、開発項目自体も見直して絞り、重点化を図った方が良かった。

#### 2) 今後に対する提言

研究開発の成果を広く知らせ、その技術や製品のユーザを開拓したい。特に、災害時の移動ロボットのような公的機関に使ってほしいものには、情報を提供し、実績を作ることが必要である。このプロジェクトで開発したロボット技術は他社との差別化をはかるというより、真に使いたいロボット技術を生み出すことである。そのためには、開発してきた技術を、業界全体として、またユーザも巻き込んで普及に努力してほしい。

ステージゲート方式は、中間評価時点で各テーマ事業者に緊張感を与える点で有効であるが、ステージゲートで不採択となったグループのフォローアップ、開発した知財の活用方法など、ミッション型、ステージゲート方式の良かった点、問題を残した点の総括を行う必要がある。

また、新しい問題解決に先鞭を付けるような事業に関しては、日本市場に留まらず当初から海外をにらんだ展開を行って欲しい。

### 2. 各論

#### 1) 事業の位置付け・必要性について

ロボット技術は、従来は日本が世界をリードしていたが、最近では米国やヨーロッパ、韓国などで技術開発が進んでいる。また、工場や研究所が日本からアジア諸国へ移されつつあり、このままではロボット開発のインセンティブが低

下するおそれがあり、ロボットの技術開発を支援し、日本での生産の競争力を増すだけでなく、ロボットやそのシステムを輸出できるようにすることは意義がある。本プロジェクトにおける 7 つのテーマの何れもが、概ね民間活動のみでは達成が難しいもの、もしくは極めて公共性が高いものであり、NEDO が関与する事業として妥当であった。さらに、自動化や省人化のボトルネックを解消することに挑んだ事業が多く、実用性や社会的なインパクトも期待できる。

一方、概して、民間活動のみでは改善できないものであるが、中には実施機関が独自に開発できるように見受けられる技術も含まれている。この場合でも他企業、他業種へ、開発技術が波及すれば良いと考えられるので、今後、その波及を推進する仕組みも必要である。

## 2) 研究開発マネジメントについて

ミッション指向の研究開発という本プロジェクトの特徴は、研究成果が机上の空論とならないようにするためにも意味があり、実質的な目標を具体的に設定して適切に推進されたプロジェクトであったと考える。

開発目標は内外の技術動向や市場動向等を踏まえ、具体的にできるだけ定量的に設定されており、顧客ニーズと実用性に耐えるという基準に照らして多くは妥当であった。また、技術力と事業化能力を有する企業を実施者とし、研究開発能力のある研究機関とチームを組んでいるので、実用化、事業化が行いやすく、実施者自身あるいは関連の強い機関がユーザとなるケースが多いため、ユーザの要望が取り入れられていた。

さらに、DARPA（米国防総省高等研究計画局）のステージゲート方式を参考にして、競争的な研究開発マネジメントを取った点は評価できる。

一方、研究開発開始後の内外技術動向変化から鑑みると、目標値の設定、達成成果等において、民間企業の活動としても実施可能な技術レベルと見做せるものも一部見受けられる。この観点から、当初の目標設定あるいは目標の随時見直し等、さらにきめ細かいマネジメントが望まれる点は、今後の改善課題である。

## 3) 研究開発成果について

それぞれのグループは、最終目標をほぼ達成し課題も把握するなど、事業化の計画も進んでいる。世界に先駆けて、産業ロボット以外の市場を切り開こうという点では、成果の意義、水準、新市場開拓の可能性ともに、優れた成果があるといえる。

さらに、プロジェクト終了間際に発生した東日本大震災を鑑みても、極めて時期を得た開発であったと言える内容も含まれている（被災建物内移動 RT シス



テム) ことは、特筆に価する。

一方、実用化・事業化を主眼としたプロジェクトなので、先進的な新技術の研究開発に関しては物足りないグループもある。また、開発に成功した企業が商用化にも成功するとは限らない。自社でシーズを生かし切れない場合は、一定の期間において、ライセンスアウトやオープン化を行って社会に成果を還元することが望ましい。

今後、成果を汎用的にする、あるいは普及するという意味で、このプロジェクトで得られた知見・ノウハウ的な内容を業界内で同業他社でも共有できるようにするための良い施策を検討する必要がある。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

当初より実用化を標榜した研究開発プロジェクトであり、ユーザやサービスプロバイダの参加には一定の効果が認められ、自社工場での利用なども十分想定されており、産業技術として実用化の可能性は高いと判断される。

また、複数のグループにおいて、3~5年での事業化への道筋は明確になっている。顧客の問題を解決する技術が多く、一定のニーズが見込める。独自のソリューション方法を打ち出しており、国際的な競争力にも期待が持てる。

一方、市場性、すなわち商売として成立するかについて、数値的な十分な裏づけがないか、もしくは厳しい見通しのグループもあった。いずれのグループも、プロトタイプの開発ではない商用化モデルの開発、その量産体制とマーケティング体制の整備、コストダウンは今後の課題として残っている。

## 研究評価委員会におけるコメント

第31回研究評価委員会（平成24年3月28日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 （科学技術ジャーナリスト養成プログラム） 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	五十嵐 哲	学校法人工学院大学 工学部 応用化学科 教授
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル 生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	学校法人愛知工業大学 特任教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授

## 第1章 評価

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

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

技術の高度化ではなく、実用化を主眼に置いたプロジェクトとして、開発事業者がサービスプロバイダとともに、産業界や社会で必要とされる問題を解決しようとする真摯に取り組む、多くのミッションで性能や機能上十分満足すべき実証レベルを達成し、更にそのうちのいくつかは事業化が有望な状況にあることは、高く評価できる。また、ステージゲート方式で競争的な開発を試みた点など、プロジェクト手法自体に斬新さがあり、評価できる。

しかし、ステージゲートで不採択となったグループの開発技術や事業がその後どうなったかについて情報が不足している。ステージゲートを不採択となったグループの成果も視野に入れた費用対効果を把握した最終報告が望まれる。さらに、ステージゲートで選択した理由をオープンにするとともに、開発項目自体も見直して絞り、重点化を図った方が良かった。

#### 〈肯定的意見〉

- ミッション解決型で本当に世の中に役に立つロボットを開発しようとした点、ステージゲート方式で競争的な開発を試みた点など、プロジェクト手法自体に斬新さがあった。
- 開発事業者がサービスプロバイダーとともに、産業界や社会で必要とされる問題を解決しようとする真摯に取り組む、多くのミッションで性能や機能上十分満足すべき実証レベルを達成し、更にそのうちのいくつかは事業化が有望と思える状況にあることは、高く評価できる。
- 技術の高度化ではなく、実用化を主眼に置いたプロジェクトとして、大変有意義な研究開発が行われ、着実かつ実質的な成果を挙げることが出来たと考える。またステージ・ゲートによる研究テーマの選択と集中という運営方法についても、非常に有益かつ意味のある試みであった、と考える。
- 全体的にはほぼ目標通りの成果があげられたと思う。これは、ステージゲートにより、期間終了後までに成果が見込まれるテーマに絞られていたということが大きかったと考える。
- ステージゲートを設けた点は評価できる。米国の DARPA でも研究開発を2段階とし、1段階の結果に基づき、参加機関を選別していた。研究開発はやってみなければわからないこともあるので、最初はなるべく多くを採用し、途中で見込みの乏しいものを切ることは妥当である。
- 単なる開発でなく、実用化、事業化を重視して、それを実行できる機関が研究開発を実施してきた。

- 事業化を重視すると、技術開発自体がおろそかになる恐れがあるが、両者のバランスをとるようにプロジェクトリーダーやサブプロジェクトリーダーが支援してきた。
- 事業化に重点をおいたプロジェクトとして、その取り組みは評価できる。
- ステージゲートを活用した競争的な研究開発プログラムは革新的であり、ミッションの設定から案件の採択、推進委員による支援、中間評価ときめ細かいプロジェクトマネジメントが実施され、今後の多くの補助金プロジェクトにも参考になる優れたプロジェクトマネジメントがなされていた。
- ミッション達成型、ステージゲートの設定など、新しい試みに意欲的に挑戦したプロジェクトであったことを、高く評価したい。
- それぞれのグループでは、限られた期間の中で、限られた資金と人材の下で、それぞれなりに、実用化・事業化に大きく前進したと考える。
- 特にステージゲートを通過して5年間実施したテーマについては、実用化だけでなく事業化をぜひとも実現していただきたい。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 公的資金の投入を、特定の企業の事業化支援に終わらせない仕組みにすることが、NEDOの今後の課題だと考える。
- 例えば、プロジェクトをとおして得られた知的財産をそれぞれの実施者に帰属するものとしているが、それだけでは業界全体への貢献や波及効果が期待できない。
- また全期間実施したグループだけでなく、ステージゲートで落とされたグループの成果も活用できるようにすることが、NEDOにおける大きな課題である。
- 事業化が一企業の事業化ではなく、日本の新産業創出に繋がる事業化が期待される。その意味では、海外での事業化、特許戦略まで見通したサブプロジェクトへの採択基準の明確化、採択後の指導が必要と考える。
- 中間評価の結果、再募集で新規サブプロジェクトが開始されたが、再募集の採否は、応募内容のレベルで判断し、採択しないこともあることを前提に実施するのが望ましい。
- 事業化に重点を置くために、ブレークスルーとなる技術の説明が乏しかった。国の支援のもとでの事業化は、ブレークスルーとなる技術開発を求めたい。ブレークスルーを必要としない事業化は、ニーズがあれば企業が自ら取り組むと考える。
- 1次ステージゲートの落選者の成果も視野に入れた費用対効果を把握した最終報告が望まれる。ステージゲートで対象分野がすべて落選した分野に

ついて、追加公募を行ったが、当選プロジェクトはかなりレベルの低いものであり、追加公募は必要がなかったと思われる。

- ミッションの設定の妥当性、ステージゲート前後半の予算配分の硬直性に、改善点を残した（ただし、今回の方式全体を否定するほど致命的なものではない）。
- ステージゲート落選組の開発技術や事業がその後どうなったかについて、情報が不足している。
- 特定の問題解決に焦点を当てたため、市場適用分野の拡大や、事業者間の技術の伝播などに広がりやリスクがある。
- 本プログラムでは実用化を目的とし、また、一部を除いて事業化を目指すことが求められていた。しかし事業化は2、3年後としているものがほとんどであり、またその道筋は必ずしも明確でなかったものもあった。事業化を求めるなら、その結果の検証ができるような仕組みが必要ではないか？
- ステージゲートで選択した理由をオープンにし、落選した機関も納得できるようにしたかった。
- ステージゲートで、開発項目自体も見直して絞り、重点化を図った方がよかった。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 本プロジェクトではテーマを限定したうえで、実用化・事業化を求めるものとなっていたので、ある程度仕方ないかもしれないが、“戦略的先端ロボット要素技術開発”という点で、特に先端性に関しては一部のテーマを除き、全体的に物足りなかった印象を受けた。
- ・ 産業界では、製品のサイクルタイムがますます短くなり、次の製品のための準備に追われるばかりで、将来の技術やあるべき姿に目を向けている余裕がないと聞く。このような経済が停滞している状況だからこそ、将来を切り拓く技術の研究開発を支援する NEDO の役割は、ますます重要になってくると考える。
- ・ 成果報告の記述は、技術としての価値、事業家のための価値のいずれであるかを明確に述べた方がよい。
- ・ 事後評価が、今後の各プロジェクトの推進においてどのように反映されていくのかが、各サブプロジェクトでの取り組みに依存している。事後評価が今後の NEDO の事業のみならず、今回の各サブプロジェクトの今後にも反映できる仕組みが必要であろう。

- 5年間のプロジェクト全体の事後評価という意味では、ステージ・ゲートで選択を外れた内容も含めた評価を行うことが望ましいと言える。同時に、ゲートを通過したテーマに関しては、通過前の3年間の成果と、通過後の2年間の成果とを明確に区別して提示頂き、その上で評価を行うことが望ましいと考える。
- また、ステージ・ゲートで全グループが不通過となったテーマに関しては、後半2年間だけのグループを再募集することの是非を含めた議論と、それを踏まえた制度の検討が望まれる。



## 2) 今後に対する提言

研究開発の成果を広く知らせ、その技術や製品のユーザを開拓したい。特に、災害時の移動ロボットのような公的機関に使ってほしいものには、情報を提供し、実績を作ることが必要である。このプロジェクトで開発したロボット技術は他社との差別化をはかるというより、真に使いたいロボット技術を生み出すことである。そのためには、開発してきた技術を、業界全体として、またユーザも巻き込んで普及に努力してほしい。

ステージゲート方式は、中間評価時点で各テーマ事業者に緊張感を与える点で有効であるが、ステージゲートで不採択となったグループのフォローアップ、開発した知財の活用方法など、ミッション型、ステージゲート方式の良かった点、問題を残した点の総括を行う必要がある。

また、新しい問題解決に先鞭を付けるような事業に関しては、日本市場に留まらず当初から海外をにらんだ展開を行って欲しい。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ ミッション型、ステージゲート方式の良かった点、問題を残した点の総括を行う必要がある。その上で、この方式を更に改善するための手当を行うことが、望まれる。
- ・ 本プロジェクトで研究開発された技術をスムーズに実用化・事業化するためには、研究開発を支援すると同時に、必要な法規制を柔軟に改正できる仕組み、世界をリードしている技術を国際標準にしてゆく施策にも取り組んでいただきたい。
- ・ 研究開発の成果を広く知らせ、その技術や製品のユーザを開拓したい。とくに、災害時の移動ロボットのような公的機関に使ってほしいものには、情報を提供し、実績を作ることが必要である。そのためには、別の資金源を考えることが望ましい。
- ・ このプロジェクトで開発したロボット技術は他社との差別化をはかるというより、真に使いたいロボット技術を生み出すことである。そのためには、開発してきた技術を、業界全体として、またユーザも巻き込んで普及に努力してほしい。
- ・ 本プロジェクトは、実用化を標榜した研究開発である以上、各研究開発を実施した企業は、自社での事業化あるいは他社への技術供与を積極的に推進することが求められる。これに関する報告義務と所定の目標が達成出来なかった場合の資金返納等について、制度化を目指すことも今後検討の余地があるのではなかろうか。

- 中小企業が技術開発し実用化しても、海外で販売するにはスタッフ体制、販路の探索などの幾つかの壁があり、このため海外展開が難しいのが実情である。ロボット要素技術（モータ、センサ、ギヤ、ハンド、視覚システム etc）を実用化しても、その販路がなく国内販売に留まっていることが多い。こうした製品を、販売や保守対応ができる NEDO 支援の海外アンテナショップがあると、中小企業の海外事業展開が一步進めやすくなる。NEDO として海外事業展開の支援について検討を期待したい。
- ステージゲート方式は、中間評価時点で各テーマ事業者に緊張感を与える点で有効と思われる。しかし、ステージゲートで通過しなかったテーマについても、相当減額の上、内容を絞って実施などの方法もあったのではなかいか？今後、検討してほしい。
- 研究開発プロジェクトについては、今回の様なステージゲートを用いた競争的なプロジェクトが望まれるが、1次ステージゲートで落選したチームのフォローアップ、開発した知財の活用方法などについて改善の余地があると思われる。
- 事業化ができないなら、一定期間後の技術のオープン化やライセンス化を促す仕組みなどもあってよい。
- 他のロボット予算で開発された基礎技術等との連携が、もっとあってもよい（強制ではなく、Win-Win の関係が作れるという前提において）。
- 新しい問題解決に先鞭を付けるような事業に関しては、日本市場に留まらず当初から海外をにらんだ展開を行って欲しい。

#### 〈その他の意見〉

- 冊子資料と限られた時間でのプレゼンテーションだけでは、情報量が少なく、正しく評価しきれていないかもしれない。
- また特にロボットのように実働による効果が求められ、実用化を目的としたプロジェクトでは、実施現場で実物を見学して担当者と意見交換することは、必要不可欠だと考える。
- そのため、一時的な外部評価者だけではなく、NEDO の組織の中にも専任の専門的な知識をもった評価者が必要だと考える（実施者と評価者の利害関係をできるだけ小さくするためでもある）。
- 事後評価がどのように用いられるかが明確でない。事後評価が重要であり、それが今後反映されるという仕組みが必要である。
- NEDO での技術開発は、今後の日本の新産業の創出と日本が困窮している問題解決に向けた取り組みの両者が必要である。前者は、環境エネルギー、ロボットなどこれまでも NEDO が技術開発を支援してきた分野であ

る。後者は、原子力発電の保守・管理や林業分野における自動化・ロボット化支援技術の開発がある。後者は、現状では開発しても経済効果は低い  
が、日本の環境維持からは極めて重要である。例えば、森林は日本の環境  
維持や CO2 排出低減に向けて期待されているが、作業者の高齢化が進み、  
多くの山林が放置されている。先頃あった、奈良県での山斜面の崩壊は、  
過密に植えられた木が十分に間伐されないために、太陽光が地表面に届か  
ず、植生がなく地肌が現れているためと見る。今後、ますますこうした災  
害が増加するであろう。この状況の打開に向けた、高齢者でも作業が効率  
よくできるように林業作業の自動化・ロボット化支援技術の長期展望に基  
づく開発支援が必要と考える。開発する自動化・ロボット化支援機械は海  
外への販売も可能となろう。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

ロボット技術は、従来は日本が世界をリードしていたが、最近では米国やヨーロッパ、韓国などで技術開発が進んでいる。また、工場や研究所が日本からアジア諸国へ移されつつあり、このままではロボット開発のインセンティブが低下するおそれがあり、ロボットの技術開発を支援し、日本での生産の競争力を増すだけでなく、ロボットやそのシステムを輸出できるようにすることは意義がある。本プロジェクトにおける 7 つのテーマの何れもが、概ね民間活動のみでは達成が難しいもの、もしくは極めて公共性が高いものであり、NEDO が関与する事業として妥当であった。さらに、自動化や省人化のボトルネックを解消することに挑んだ事業が多く、実用性や社会的なインパクトも期待できる。

一方、概して、民間活動のみでは改善できないものであるが、中には実施機関が独自に開発できるように見受けられる技術も含まれている。この場合でも他企業、他業種へ、開発技術が波及すれば良いと考えられるので、今後、その波及を推進する仕組みも必要である。

#### 〈肯定的意見〉

- 自動化や省人化のボトルネックを解消することに挑んだ事業が多く、実用性や社会的なインパクトが期待できる。
- 不況や円高、アジア諸国との競争という経済状況に対して、我が国に物作りを残すという観点からも有益な技術開発、事業目標であったと思われる。
- 社会のニーズをもとに事業化を目指した技術開発を支援する取り組みは評価できる。
- 事業化を意識したプロジェクトとして、NEDO の事業として妥当である。
- 7 つのテーマの何れもが、概ね民間活動のみでは達成が難しいもの、もしくは極めて公共性が高いものであり、NEDO が関与する事業として妥当であった、と考える。
- わが国にとって重要な技術の開発を国が支援することは、世界で競争力のある産業を育成するために必要なことである。このような事業はほとんどの工業立国で行われていることである。
- ロボット技術は、従来は日本が世界をリードしていたが、最近では米国やヨーロッパ、韓国などで技術開発が進んでいる。また、工場や研究所が日本からアジア諸国へ移されつつあり、このままではロボット開発のインセンティブが低下するおそれがある。現在、ロボットの技術開発を支援し、日本での生産の競争力を増すだけでなく、ロボットやそのシステムを輸出できるようにすることは意義がある。

- さらに、災害時対応ロボット技術は、民間では開発しにくいので、このテーマが取り上げられたことは評価できる。
- ロボットの基礎技術に関して、常に先端的汎用的技術を開発し、国際競争力を維持していくためには本プロジェクトは NEDO 事業として有効だと考える。高齢社会対応や安全・安心社会実現のためにも、今後も、継続してこの分野を強化すべきだと考える。
- これまでに実用化・事業化できていなかったテーマに対して、目標を設定してこれを達成することを支援するという意味で、プロジェクトは妥当であったと考える。
- 民間の能力だけでもできないわけではないが、コストパフォーマンス比の観点から資源（金・人材・時間）の投入に確信がもてずに踏み切れなかった部分を、NEDO が支援したという位置付けだと考える。すなわち、民間に余裕や決断があれば独力でも実施していたはずの活動を、国や NEDO が政策的な観点などから先導したものである。さらに、民間企業に対して、資金の支援だけでなく、大学などの学術研究機関との連携・共同作業の機会を作るという意味でも、NEDO の事業として妥当である。
- NEDO が実施するプロジェクトでは、とかく大企業を事業者とすることが多いが、特に産業用分野や特殊環境用分野では、全国的な規模を持つ企業が担当することはある程度は妥当だと考える。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるかについては、実際に事業化がなされれば十分といえるが、事業化がなされないときは十分といえない。このため、事業化できないときの対処方策の検討が必要と考える。
- 概して、民間活動のみでは改善できないものであるが、中には実施機関が独自に開発できるように見受けられる技術も含まれている。そのように見られる技術開発にはそれなりの説明が求められる。
- ロボット技術が何であるかを明確にし、ロボット技術と関連の少ないものは本事業での開発に含めないほうがよい。
- すでに国内あるいは国外で類似のロボットが開発され、デモが行われたものがあるので、今回の技術開発のインパクトが小さいと見られる。そのように見られないためにも、それらとの違いを明確にしてほしい。
- 必ずしも、本プログラムで実施しなくても、企業内開発で達成できたものがあると考えられる。この場合でも他企業、他業種へ、開発技術が波及す

れば良いと考えられるので、今後、その波及を推進する仕組みも必要であろう。

- 国際競争力の観点から、どこに力を入れるべきかなどの視点がやや欠ける。
- 必ずしも民間活動だけでは改善できない、とまでは言い切れない事業もあった。資金力のある企業に関しては、R&D で行うべき事業も含まれていたのではないか。
- イノベーション=物事の「新機軸」「新しい切り口」「新しい捉え方」「新しい活用法」(を創造する行為)だとすれば、技術的な視点からは特に画期的なものではなく、従来技術の延長線上のもの、資金を投入すればある程度は達成できると思われテーマが多かった。
- 民間企業が真に支援を望んでいた事業であったのか、お付き合いと顔つなぎで応募したものであったのか、などの担当企業の真剣度・本気度をきちんと定量化できないか(こんな技術があったらよいだけでなく、これを実現するこの技術で何とか儲けようと考えているかなど)。成功した場合にはさらに報酬があり、失敗した場合には不利益があるくらいの取り決めがなければ、真剣度が保証できない、とも思われる。この報酬と不利益の仕組みは、プロジェクトの立案・監督者(NEDO や監督官庁)に対しても(予算投下に対して責任を持つために)、課しておくべきである。
- 特定の企業のみを支援しただけに終わるならば、税金を投入した公益性の観点から問題になる。ここで得られた技術を自社のものだけにするのではなく、技術を共有して一般化・汎用化すること、業界全体へ波及することなど、特定の企業の支援に終わらせない仕組みを、プロジェクトに開始時に設定しておくべきであった。NEDO の事業としては予算規模が比較的小さいプロジェクトのようだが、一般市民から見れば5年で40億円はかなり大きい。
- 特にサービス分野では、初期段階では市場規模が小さく、個別対応を求められることが多いので、ユーザの近くに位置して機動性に富む比較的小規模の企業が実質的な実施者となることが多い。このような中小企業を支援することを考えれば、地方自治体やその外郭団体などを介して、中小企業と連携するような仕組みも検討していただきたい。初めは特定地域のサービス支援になるが、モデル・プロジェクトであり、うまくいけば希望する他の地域での実施へと拡大すれば良い。

#### 〈その他の意見〉

- ・ ステージゲイト方式が適する事業と適さない事業がある。ブレイクスルーの技術開発を求める事業は適すると考えるが、今回のように事業化を主た

る目的とした技術開発は、予め費用対効果や技術の波及効果が見込めるため、採択時によく精査して開発支援対象を決定すれば良いと考える。

- 今回のサブプロジェクトで事業化に向けてさらに開発支援することで、より大きな効果が見込める、あるいは、公共性が極めて高く技術開発の継続が求められるものを支援する仕組みが望まれる。
- 5年間という長期間の研究開発であるため、開始後の内外動向の変化に伴って当初の目標値の設定あるいは一部の内容を変更、修正する必要性が生ずる可能性もあると考えられる。結果的に民間企業のみによる活動でも実施可能な内容やレベルの達成成果に留まったものとなることを防止するためには、適宜目標を補正可能とする方法を検討することも重要であると考えられる。

## 2) 研究開発マネジメントについて

ミッション指向の研究開発という本プロジェクトの特徴は、研究成果が机上の空論とならないようにするためにも意味があり、実質的な目標を具体的に設定して適切に推進されたプロジェクトであったと考える。

開発目標は内外の技術動向や市場動向等を踏まえ、具体的にできるだけ定量的に設定されており、顧客ニーズと実用性に耐えるという基準に照らして多くは妥当であった。また、技術力と事業化能力を有する企業を実施者とし、研究開発能力のある研究機関とチームを組んでいるので、実用化、事業化が行いやすく、実施者自身あるいは関連の強い機関がユーザとなるケースが多いため、ユーザの要望が取り入れられていた。

さらに、DARPA（米国防総省高等研究計画局）のステージゲート方式を参考にして、競争的な研究開発マネジメントを取った点は評価できる。

一方、研究開発開始後の内外技術動向変化から鑑みると、目標値の設定、達成成果等において、民間企業の活動としても実施可能な技術レベルと見做せるものも一部見受けられる。この観点から、当初の目標設定あるいは目標の随時見直し等、さらにきめ細かいマネジメントが望まれる点は、今後の改善課題である。

### 〈肯定的意見〉

- これまでにない画期的な技術を新たに研究開発するものではなく、これまでに研究開発された技術を現場で使えるものにする、あるいは既存の技術でもそれらを組み合わせて新しい価値を生み出す、という位置付けだと考えれば、目標は妥当だと考える。
- ステージゲートを通過したグループの成果のみが報告されたが、それらは前半での技術の蓄積を踏まえて後半で発展させたと考えられる。
- 「推進委員会」「技術委員会」「評価委員会」と組織が整えられている。
- 特許出願などの事業化に向けた施策がおおむね積極的になされている。
- 「ロボット政策研究会」や「ロボット技術戦略マップ」に基づいてミッションが設定されている。
- ダーパのステージゲート方式を参考にして、競争的な研究開発マネジメントを取った点は評価しうる。
- ミッション指向の研究開発という本プロジェクトの特徴は、研究成果が机上の空論とならないようにするためにも意味があり、実質的な目標を具体的に設定して適切に推進されたプロジェクトであった、と考える。



- 本プロジェクトのように分野ごとに、かなり具体的テーマを設定して実施主体を公募することは効率の良い、技術開発のための有効な手法だと思う。具体的なテーマ設定も重要な分野をカバーしていたと思う。
- 産業用ロボット以外のロボットの実用化が期待されていながら、民間企業の自主的な研究開発による実現が困難な現状を考えると、本事業で設定されたミッション達成のためのロボットシステムおよび要素技術を研究開発することは重要であり、このような研究開発への NEDO の関与も妥当である。
- 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、具体的に、できるだけ定量的に開発目標が設定されている。
- 技術力と事業化能力を有する企業を実施者としており、また研究開発能力のある研究機関とチームを組んでいるので、実用化、事業化が行いやすい。
- プロジェクトリーダーはロボット分野の研究を統括した経験をもち、サブリーダーはそれぞれの分野の第1人者である。
- 実施者自身あるいは関連の強い機関がユーザとなるケースが多いため、ユーザの要望が取り入れられている。
- 中間評価までに開発された技術の上に積み重ねられている。また、中間評価および中間での試作結果に対するユーザの要望を反映している。
- 3.11 東日本大災害での後片付けへの適用が試みられ、また原発事故への対処もおこなわれており、社会情勢への対処はできている。
- 顧客ニーズと実用性に耐えるという基準に照らして、開発目標の多くは妥当であり、また開発計画や事業体制も十分満足のいく水準にあったと判断される。
- ユーザーやサービスプロバイダーの参加には一定の効果が認められ、また自社工場での利用なども十分想定されており、全体として実用化や事業化を念頭に置いた開発が多かったと評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 1次ステージゲートで落選したグループの事後経過をフォローするべきである。また、1次ステージゲートで落選したチームの技術開発を淘汰したチームにもうまく取り入れる仕組みをプログラムの設計の時点から盛り込むべきである。
- ステージゲート方式の目標設定に、一部妥当性が低いものがあった。
- 前半から後半への予算配分において、硬直性があった。ステージゲート段階での、設定目標の見直し・変更・削除や、残った事業への資源配分などに、もっと柔軟性を持たせても良い。

- 目標は、定量化できない部分が多い。例えば、作業環境、対象物がどのように供給されるか、通信環境などであり、それらは定量化できる速度や力などより重要である。
- すでに開発され、デモが行われたものがある。これらは実用までにいたっていないので、それを実用まで持っていくことは有意義である。しかし、従来のシステムがなぜ実用化しなかったか、今度はなぜ実用化の見込みがあるかを明確にすることが必要であった。
- 最近さまざまな場面で、目標を定量的に設定することが求められるが、結果・効果が誰にも分かり易いという良い面もあるが、その定量化には難しいものが多い。数字は見方や設定の仕方によってどのようにも操作できるものが多いので、むやみに定量化を求めるべきではない、とも考える。実施者は正直に実情を知らせ、内容を理解している評価者がそれを正しく評価できるなら、それが最もふさわしいと考える。
- ステージゲートを通過できなかったグループの成果が、有効に活かされていない点が、大きな問題である。
- 「推進委員会」「技術委員会」「評価委員会」の体制は、その構成員を見ると独立した機関ではないため、それぞれが効果的に役割を担ったとは言えない。「推進委員会」は総括組織であり、実施にあたって技術的な助言をする「技術委員会」の上位組織だと考えられる。それらに対して「評価委員会」は、別の立場から実施状況や発技術内容を評価するべきものだと思うられるが、「技術委員会」のメンバとかなりの重複があるため、正しく評価・意見されているとは考えられない（特に別の立場での意見や批判的な意見が重要だと考えるため）。
- 国内出願だけにとどまり、外国出願にはあまり積極的ではないグループも見られる。自社で海外事業を展開しない・できない場合でも、事業化したときを考えて準備しておくべきである。このようなプロジェクトでは知的財産の管理などは実施者に任されているようだが、国費を投入している以上、プロジェクト運営主体（NEDO）も知財マネジメントに積極的に関与し、必要な指導などをおこなうべきである。
- ミッション設定の元となった「ロボット政策研究会」の提言や「ロボット技術戦略マップ」の内容は、そのときのメンバ・作成者（主に有識者といわれる方々）の個人的見解に依存するところが大きい。末端の（現場の）事業者・利用者（それも組織の長ではなく実務者・作業員）などの意見を常に調査しながら、随時改訂してゆくべきである。本プロジェクトのテーマは、2015年ごろに想定される市場ニーズ・社会ニーズから導かれる必要なロボットシステム・要素技術を考慮して設定されているそうだが、途

中でも見直すこともできる仕組みであることが望ましい。その一方で、ロボットシステムの研究開発では設計・製作・調整・試験の一連の実施に時間がかかるため、短いサイクルでの見直しが難しいことも理解できるが。

- 上記に関連し、設定された7つのテーマのうち高齢者対応コミュニケーションについてはステージゲート通過なしであったのは残念である。高齢社会対応でロボット関連テーマは、ほかにも考えられるので、テーマ設定自体の反省も必要かもしれない。この点で、再募集のときテーマ設定を柔軟に考えられても良かったのではと思われる。
- 研究開発開始後の内外技術動向変化から鑑みると、目標値の設定、達成成果等において、民間企業の活動としても実施可能な技術レベルと見做せるものも一部見受けられる。この観点から、当初の目標設定あるいは目標の随時見直し等、更にきめ細かいマネジメントが望まれる側面も否定出来ない点は、今後の改善課題である。
- 3分野に限定したミッションを設定しているが、ロボット技術による事業化はその他の分野も含め弱いことを考えると、分野を限定することなく、ロボット事業化の観点から有望で波及効果の大きい、あるいは公共的課題として重要なものを採択する方式にしても良かったのではと考える。
- このプロジェクトは事業化を重視しているが、技術的重要性、波及効果の点でいくつかのプロジェクトは多少弱いと考える。NEDO 事業としては企業内での通常の技術開発にとどまっていたら意味がなく、新たなロボットビジネスにつながる、もしくは、その産業への波及効果が大きく期待できるかが重要である。その意味では、企業内での通常の技術開発と見られる姿勢で取り組んでいるサブプロジェクトがあったように見受けられる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ ステージゲートで落選した事業の開発技術の再利用を促すことも有益。
- ・ 国際的競争力の優位性の確保の観点から、技術開発後の国際事業戦略や特許戦略等の説明が必要と考える。

### 3) 研究開発成果について

それぞれのグループは、最終目標をほぼ達成し課題も把握するなど、事業化の計画も進んでいる。世界に先駆けて、産業ロボット以外の市場を切り開こうという点では、成果の意義、水準、新市場開拓の可能性ともに、優れた成果があるといえる。

さらに、プロジェクト終了間際に発生した東日本大震災を鑑みても、極めて時期を得た開発であったと言える内容も含まれている（被災建物内移動 RT システム）ことは、特筆に価する。

一方、実用化・事業化を主眼としたプロジェクトなので、先進的な新技術の研究開発に関しては物足りないグループもある。また、開発に成功した企業が商用化にも成功するとは限らない。自社でシーズを生かし切れない場合は、一定の期間において、ライセンスアウトやオープン化を行って社会に成果を還元することが望ましい。

今後、成果を汎用的にする、あるいは普及するという意味で、このプロジェクトで得られた知見・ノウハウ的な内容を業界内で同業他社でも共有できるようにするための良い施策を検討する必要がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 何れのテーマに関しても概ね目標を達成しており、それぞれの分野におけるロボットの実用化に向けて有益な研究開発成果が得られたものと考えられる。また、プロジェクト終了間際に発生した一大事象を鑑みても、極めて時期を得た開発であったと言える内容も含まれている（被災建物内移動 RT システム）ことは、特筆に価することと考える。
- 多くのテーマにおいてその成果はかなり汎用性があると思う。投入された予算に対する成果もほぼ妥当なものと考えられる。
- 最終目標をほぼ達成しており、事業化の計画も進んでいる。世界に先駆けて、産業ロボット以外の市場を切り開こうという点では、成果の意義、水準、新市場開拓の可能性ともに、優れた成果があるといえる。
- 論文発表、マスコミでの引用など研究成果の波及効果が認められる。
- 目標も結果も定量化が求められているため、達成度が誰にとっても分かりやすい。
- それぞれのグループは、今後の事業化について、計画を立て、体制を整え、市場・サービス・顧客・仕様などを想定しているようであった。
- 技術的視点からみれば、本プロジェクトは実用化・事業化を主眼としたものであるため、従来の技術の延長だと見えるものが多かった。すなわち、

ある程度の資源を投入すればある程度の結果は獲られそうだと始めから予測がつくような内容が多かった。

- それぞれのグループは、特許出願などをおこない知的財産の取得に勤めているようであった。
- NEDO が先導して機会を整えていることもあり、学術講演会、展示会などを利用して、さまざまな広報活動がなされていた。
- 仕様からみる限り、ほとんどのプロジェクトにおいて、当初目標が達成され、あるいは達成への道筋が付いたと判断される。
- 世界的にみても実用化技術と言う点では、先駆的な開発は多かった。
- 全ての事業が成功しなくても、いくつかの事業が市場拡大に貢献するだけで、費用対効果としては効果があったと判断してよいのではないか。
- すべて当初の目標を達成していて、独自に決めた技術目標もほとんど達成されている。また、達成までの課題も把握している。
- 現在実用化していない技術の開発が多く、それらは世界初の技術であり、市場の創造につながる事が予想できる。
- 論文はロボットの研究分野にも多く発表されている。また、学会誌の特集など研究内容が適切に紹介されていて、情報発信は十分行われている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 国内のみならず海外市場向けの知財戦略を充実させる必要がある。
- 開発に成功した企業が商用化にも成功するとは限らない。自社でシーズを生かし切れない場合は、一定の期間において、ライセンスアウトやオープン化を行って社会に成果を還元することが望ましい。
- 外国への事業展開を考えると、もう少し外国特許を申請したほうがいい項目もある。
- 定量的な目標は達成されているが、使われる環境に依存する部分が多い。どのような環境で使えるかをもう少し詳しく設定してほしい。
- 技術的な新規性が少ないともよいとする実用化・事業化を NEDO が支援することには疑問がある。注目に値するブレークスルーとなる革新的な部分を作ることで、国際競争力も増す。技術的な新規性が少ない事業化は、すぐに真似されるであろう。
- 国内での特許出願は多数あるが、外国での出願が少ない。このことは、中間評価時点でも指摘されていた。しかし、幾つかのサブプロジェクトでは全く外国特許出願がなく、このことは新産業創出の観点からは残念である。この原因について分析するとともに、国際的な事業化の検討の動機付けが求められる。

- 成果の定量的な把握がやや不足している。
- 実用化を重視している点、市場を意識し、事業化を十分意識している点は評価できるが、ロボット要素技術開発という視点では、一部を除いて革新性や国際性などで十分な成果が出たかについては多少疑問が残る。
- 記載された定量化は、所詮は報告書上の言い値であり、裏づけ資料を開示させる必要がある。例えばあるグループでは、工期の短縮割合、コストの削減割合について数値が提示されているが、何回の試行の結果であるかを質問したところ、机上で計算した値であるとの回答があり、現実的に意味のある数字ではなかった。
- 立てられた事業化計画は実施者側の都合の記述が多いように見受けられた。(自社内でも良いのだが) 必ず使ってくれる顧客(リード・ユーザ)を確保しているグループは少ないようであった。そこで、今後のこのようなプロジェクトでは、必ず使ってくれるユーザを開始当初から組み入れておく、自社内で使うというのが言い訳にならないように、できればユーザとしての別機関をグループに入れておく、そのユーザの試用に対しても助成・支援ができるようにしておく、などの措置も NEDO には検討していただきたい。
- 実用化・事業化を主眼としたプロジェクトなので、画期的な新技術の研究開発という意味では物足りない。また成果を汎用的にする、あるいは普及するという意味では、このプロジェクトで得られた知見・ノウハウ的な内容も、業界内で同業他社でも共有できるようにする、標準化を目指す、という観点で、積極的な姿勢を示すグループは見られなかった。
- 特許出願は国内のみが多く、技術立国として世界中を相手に事業化しようという姿勢には欠けているように見受けられる。本プロジェクトで得られた技術を普及するために、その内容を公開する手段として、学会発表よりも特許出願を優先していると思われるが、特許出願が十分になされなければ、研究開発成果の汎用化・業界全体への広がりという大きな目的が果たされず、一社内だけに埋もれてしまう。こうならないための NEDO のフォローが不可欠である。
- 学会発表や実演展示などは、あるグループが実施した内容を広報することにはなる。この機関でこのような技術・実用化・事業化に取り組んでいるという事実を周知させることにはなる。しかし、それだけで他者にも使われることはあまり考えられない。NEDO には、成果を共有化し普及させる良い施策を検討していただきたい。

〈その他の意見〉

- 成果の汎用性とミッションの具体的実現性とはトレードオフの関係にあることが多く、この両者を念頭に置いた成果目標機能ならびにその値の設定を行うことが望ましい。
- 全体的に各テーマの提案の技術水準が日本あるいは世界でどの程度であるか判断するための客観資料や説明が乏しい。技術水準の国際比較の中で、事業の位置付けを明確にすることが必要である。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

当初より実用化を標榜した研究開発プロジェクトであり、ユーザやサービスプロバイダの参加には一定の効果が認められ、自社工場での利用なども十分想定されており、産業技術として実用化の可能性は高いと判断される。

また、複数のグループにおいて、3～5年での事業化への道筋は明確になっている。顧客の問題を解決する技術が多く、一定のニーズが見込める。独自のソリューション方法を打ち出しており、国際的な競争力にも期待が持てる。

一方、市場性、すなわち商売として成立するかについて、数値的な十分な裏づけがないか、もしくは厳しい見通しのグループもあった。いずれのグループも、プロトタイプの開発ではない商用化モデルの開発、その量産体制とマーケティング体制の整備、コストダウンは今後の課題として残っている。

#### 〈肯定的意見〉

- 適切なユーザに積極的に試用してもらっているグループ（被災構造物内移動）、当初からユーザを組み入れてやり取りしながら進めてきたグループ（洗濯物ハンドリング）などでは、適用可能性や今後の課題が特に明確になっているようだ。
- それぞれのグループでは、それぞれなりに事業化までのシナリオを策定している。
- 数年間のプロジェクトであるため、大学などの教育機関だけでなく企業においても、若手技術者・研究者に対する人材育成としての貢献は大きかったと思われる。
- ユーザーを巻き込んだ開発体制は、事業化に向けた実現性が高まる。ユーザーの意見を取り入れて方針を修正したり、あるいはさらに明確にしたりする形でプロジェクトを進めていることは、他の NEDO の事業と比べても、実用化の可能性を高めているといえる。
- ほぼ全てのサブプログラムが事業化に向けて計画がなされており、今後の普及に期待ができる。
- 当初より実用化を標榜した研究開発プロジェクトであり、実用化の可能性は何れのテーマについても高いと言うことが出来る。
- ほとんどの技術は実用化できる段階まで開発されていて、実用化および事業化までの計画はできている。そこでの課題とその解決方針も示されている。
- 事業化までの計画と市場規模予測がなされているものが多く、それらは経済的効果の見通しが述べられている。



- 成果は、産業分野では経済的、サービス分野では技術的、特殊環境分野では社会的な波及効果を期待できる。
- 実用化に向けた真のユーザーとの会話がなされているプロジェクトが多い。
- 実用化を重視している点、市場を意識し、事業化を十分意識している点は評価できる。ほとんどのプロジェクトにおける成果は実用化に近いものとなっていた。
- ユーザーやサービスプロバイダーの参加には一定の効果が認められ、自社工場での利用なども十分想定されており、産業技術として実用化の可能性は高いと判断される。
- 複数の事業において、3～5年での事業化への道筋は明確になっている。顧客の問題を解決する技術が多く、一定のニーズが見込める。独自のソリューション方法を打ち出しており、国際的な競争力にも期待が持てる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- プロトタイプの開発ではない商用化モデルの開発、その量産体制とマーケティング体制の整備、コストダウンは、これからの課題として残っている。
- 事業家までの過程で、NEDO 後継プロジェクト、NEDO 実用化助成などに申請することが考慮されていないものが多い。
- 開発実施機関での人材育成は行っているが、当該分野の人材育成を行うという明確な計画を持っていないものがある。
- 汎用的な作業を対象としたグループ（組立作業、搬送作業など）では、技術が汎用的であるために、かえって現場に導入しにくい面があると考えられる。そこでこれらのグループには、今後はより具体的に、ここまでに得られた技術を積極的に使ってみたいといってくれる適切なユーザと組んで、現実の組立ライン、実際の搬送現場など、日常的な現場で使ってもらう活動に取り組んでもらう必要がある。NEDO にはそれらをフォローする義務がある。
- すべてのグループにおける現時点の成果が、すぐに実用化・事業化されることは難しいと思われるが、このようなプロジェクトによる支援がなければ物事は進まないのも事実である。
- 関連分野全体への波及効果は、担当企業の姿勢・考え方に一存されているため、今後は、その成果を業界全体へ波及できる仕組みを NEDO が考案しておく必要がある。
- 市場性、すなわち商売として成立するかについて、数値的な十分な裏づけがないか、もしくは厳しい見通しのプロジェクトもあった。この場合でも、

他の産業への波及効果などで、成果もしくはその見通しを十分に示して欲しかった。また、国際特許戦略、国際市場戦略がほとんどのプロジェクトで見られなかった。

- 事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは、示されているようであるが明確でない。要素技術を切り出して製品化する際に、競合製品との性能、価格等が比較評価されていないので、本当に実現するのか疑問を感じるサブプロジェクトがある。継続できる事業としての説明が求められる。
- 実際の売上等の数値が不明であり、事業化のスケジュール、単価、販売数量、見込み顧客などが明確でないものが見受けられる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 事業化においては、投資回収の収益性など、技術開発とその実用性だけでは論じられない要素もあり、プロジェクト自体の問題点とは言い難いところもあるが、成果の事業化に向けた戦略が必ずしも明確とは言い切れないものも見受けられることは否定出来ない。
- ・ プロジェクト終了後に事業化が実際に実施されているかをチェックが必要で、事業化されていないときはその原因を明らかにし、今後の NEDO プロジェクトの計画立案に役立てて頂きたい。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 次世代産業用ロボット分野技術開発

#### 1) 成果に関する評価

2つのテーマは、産業用ロボットの市場を広げ国内製造業の生産技術の向上を図る上で、妥当なテーマ設定であり、ほぼ最終目標を達成している。

「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」は、自動化のボトルネック工程を埋めるもので新規の市場創造が見込める。さらに長期的には多様なケーブル類、ハーネスの取扱等への応用を期待したい。

「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」は、安全性を十分確保した上で、新しい生産性向上手法開発の可能性を見せたと言える。また、適切な作業情報を提供することにより労働負荷を軽減する、という新しい方向性も見いだしている。

一方、自社工場内で特定のタスクを遂行するという実証は行われてきているが、顧客や作業現場の状況、タスクやワークは千差万別であるので、今後汎用性を高めていくことが必要である。機能の追加、性能の向上、装置の適正サイズの発見やコストダウンは、これからの課題である。

#### 〈肯定的意見〉

- プロジェクト2件ともに、目標とした機能と性能を達成したと見られる。
- 2つのテーマは、産業用ロボットの市場を広げ国内製造業の生産技術の向上を図る上で、妥当なテーマ設定であり、ほぼ最終目標を達成している。
- 今後のFA分野における重要課題に対して、それぞれのグループの成果として一定の目標を達成していることは高く評価できる。
- 産業用ロボットによる組み立て作業において、柔軟物を含む部品の組み立ては簡単でないため、これを解決しようとする目標は適切である。
- 人間とロボットが協調してセル生産を行うために必要な技術として、安全管理、作業支援、情報提示があり、それぞれ目標を達成している。従来との作業能率を定量的に比較して、その有効性を示している。
- 柔軟ケーブル・コネクタの組み付け作業は、対象が明快であり、実現できた時の効果が明白であるため、ここで取り上げる意義は大きいと考える。
- 柔軟物をロボットで扱うための技術開発、ロボットを有効利用したセル生産システムとも、製造業を強くするロボット技術開発として重要な具体的テーマと考えられる。
- 「柔軟物も取扱える生産用ロボット」は目標を達成し、センサ利用技術は世界レベルの成果を達成している。

- ワイヤのついたコネクタを差し込むための視覚、力覚およびマニピュレーションの機能を実現し、目標を達成している。
- コネクタの種類を調査し、その大部分を扱うことができるマニピュレーションの方法を決めている。
- コネクタのハンドリングおよびねじ締め作業を失敗した場合野のエラーリカバリの方法を開発した。
- マニピュレーション時に、ワイヤの振動を減らすための方法を開発した。
- 組み立て部品の配膳をロボットが行うことにより、作業効率を改善している。また、作業のための情報を提示することにより、作業切り替え時の習熟期間を短縮し、作業間違いを減らすことにより、全体の作業効率を改善している。
- コネクタ取り付けは、自動化のボトルネック工程を埋めるもので、新規の市場創造が期待できる。長期的には、多様なケーブル類、ハーネスの取扱等への応用も期待できる。他社に同様の開発が見受けられず、競争優位性を持っていると考える。
- セル生産システムでは、部品配膳にロボットを導入して作業者の負担をできるだけ低減するという考え方は有効であり、ここに取り上げる意義は大きいと考える。
- 人間ロボット協調セル生産は、安全性を十分確保した上で、新しい生産性向上手法開発の可能性を見せたと言える。人間とロボットの協調方法については、更に多様な方法があると考えられるが、今回の開発が第一歩になるものと期待する。生産性向上だけでなく、労働負荷の軽減などにも新しい方向性が見いだせている。
- 「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」は智能化部品トレイを使った配膳自動化システムは波及性が認められる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- まだ特定のタスクを遂行することに限られており、今後汎用性を高めていくことが必要と見られる。機能の追加、性能の向上、装置の適正サイズの発見やコストダウンは、これからの課題である。
- 自社工場内での実証は行われてきているが、顧客や現場は千差万別であり、十分な適応力と耐久力を持つよう、製品としての完成度を上げる作業が不可欠である。
- 外国の特許出願を含め、海外展開を視野に見据えた布石が必要。
- ブレークスルーとなる技術は見受けられず、従来技術の延長に過ぎなく、個別の企業の困りごとの解決を図っている感がある。また、海外での事業

展開を考えると外国特許出願が必要であるが、積極的に取り組む姿勢は感じられない。海外事業展開のシナリオも公募時に提出を求める必要があったと考える。

- 「柔軟物も取扱える生産用ロボット」のオフラインプログラムはあまり高度な水準とはえず、さまざまな柔軟物を自由に取り扱える水準とはいえない。
- 柔軟物のハンドリング作業において、柔軟物がどのように供給されるかが明確でない。もし、整列されていれば、柔軟物の特色がなくなり、単なるコネクタのハンドリングとなる。
- ワイヤの3次元センシングは、センシングの結果に基づいてハンドリングが行えるかの検討がなされていない。また、処理時間が実用に耐えられるかが明確でない。
- 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムに関しては、開発終了時点でコスト的にも同等程度の要素技術製品が市場に現れているなど、目標設定とその修正において多少の改善点が残されていると考える。また人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステムに関しては、安全管理技術において既存技術との差異の創成に、若干の改善点が残されていると考える。
- 柔軟物を扱うテーマとなっていたものの、実際はコネクタ挿入の問題を中心とされており、ワイヤハーネス等の線形柔軟物の取り扱いを一般化するところまでは達していないと思う。産業用ロボット分野で重要な技術開発であるだけに残念である。
- 柔軟ケーブル・コネクタでは、数種類のコネクタに対応できる技術を開発したことが成果として挙げられているが、実際の現場でのコネクタ種別の割合も提示するべきである。使われている割合が高いコネクタを確実に扱えることに絞った手法の開発に特化することもありえた。また開発時には、基盤にコネクタのみが存在する状況でも良いが、現実には人が行っている作業状況にそのまま適用できるかの検証試験も実施するべきである。現在おこなわれている作業で人に置き換えるには、また新たに解決しなければならない課題があるようだと、今回のプロジェクトの意義が低下してしまう。ケーブルの取り扱いについても想定や前提が多いようだが、開発した技術が使える条件を明らかにする、実際の現場で置き換えることができる割合などを明示するべきである。現段階の技術ではそのまま現場に適用できる部分が少ないという意味で成果が不足しているように見えるが、このように投資しなければいつまでも解決できないので、ここで実施した意義はあると考える。しかし柔軟物をロボットが取り扱う経験や技術がある機関は別にもあり、この課題を取り上げた時点で、従来技術の調査やその機関に

参加・協力してもらおうなど、研究推進管理する立場のものがこれらを考慮すべきだったとも考える。

- セル生産システムでは、労働集約によるコスト削減がその主目的であったはずが、知能ロボットや各種周辺機器の導入によるコストの追加があっても、高効率・高信頼性の価値が勝ることができるかが、今後の課題だと思われる。
- ねじ締め作業のエラーリカバリは、処理速度やコストが明確でなく、実用化の見込みが明確でない。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 開発した部品配膳技術やビンピッキング技術の汎用性を示し、一般的に有用であることを説得する必要がある。
- ・ 「柔軟物も扱える生産用ロボットシステム」では、コネクタのハンドリングが主たる開発技術となっており、柔軟物の取り扱いに対する技術開発が弱い。開発目標に適した技術開発が必要と考える。
- ・ 「人間・ロボット協調型セル生産組み立てシステム」では、人間とロボットが協調したセル生産組立システムとしてプロトタイプを開発し、従来の作業者のみと比較して所要時間の短縮を実証できたことは評価できるが、中間評価の時点から何が開発されたのかがよく把握できなかった。説明において、中間評価時点での成果とその後の成果が区別できる説明があるとよい。

## 2) 実用化、事業化の見通しに関する評価及び今後に対する提言

ワイヤの扱いやセル生産へのロボットの応用は広く望まれている技術であり、実証システムによる実験により開発システムの有効性を技術的に確認しており、対象とする作業とその類似作業については、実用化の可能性は高いと考える。

「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」は、開発したビジョンシステム、力覚センサなどのハード、組立作業プログラミングシステム、およびワイヤ組み付けシステムの3種類の形体が提案されており、まずは実施者の工場で実用化し、次第に広めていくことができる。

「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」も、実施者はすでに固定軌道を動く配膳システムを事業化しており、ロボットによる組み立て作業システムを構築する経験もあり、まず自身の生産工程へ適用し、その後に事業化を進めていくことが可能である。

一方、2つのテーマとも、企業内開発の枠にとどまってしまう、他企業、他業種への波及がなされない可能性がある。これを自社内に留めてしまうのではなく、業界全体に広め、標準化できるように、知的財産の取得という形でも良いので、積極的に公開することが望まれる。

### 〈肯定的意見〉

- 組立工程の自動化のボトルネック解消や、更なる生産性向上、労働負荷の軽減などの点に鑑み、産業界のニーズを捉えている可能性は高いと考える。
- ワイヤの扱いやセル生産へのロボットの応用は広く望まれている技術であり、これが可能になると産業用ロボットの適用範囲が広がることが予想される。
- 2プロジェクトとも、自社工場での実証と導入→他社への外販、という道筋が明確になっている。対象となるワークや工場ライン環境への適応、コストダウンなど事業化に向けた課題も、ほぼ明確である。
- 当面は実施機関での研究開発や人材育成を促進してきたが、研究結果を公表しているため、当該分野の研究開発にいい影響を与えることが期待できる。
- いずれのグループに関しても、実用化ならびに事業化に向けた課題、道筋は明確であり、期待出来るものとする。
- 柔軟物取り扱い技術と、ロボットと人によるセル生産システムにおける開発技術の汎化と他業種への波及がすすめば、成果は大きいものとなることが期待できる。

- 対象とする作業とその類似作業については、実用化の可能性は高いと考える。実証システムによる実験により開発システムの有効性を技術的に確認しており、自社内での実用化・事業化に向けての見通しが立っており、それなりに波及効果も期待できる。
- 現下の円高に対応して、国内に物作り拠点を残すという意味では、本プロジェクトの成果活用への期待は高い。
- 柔軟ケーブル・コネクタでは、事業化取り組み体制が整備されている点が評価できる。
- 「柔軟物も取扱える生産用ロボット」のデバイスの販売を開始する予定であり、評価しうる。
- 柔軟物ハンドリングの事業化は、開発したビジョンシステム、力覚センサなどのハード、組立作業プログラミングシステム、およびワイヤ組み付けシステムの3種類の形体が提案されている。いずれも実現性があり、まずは実施者の工場で実用化し、次第に広めていくことができる。実施者は組み立て用産業用ロボットでは実績があるので、実現性は高い。
- セル生産システムも、実施者はすでに固定軌道を動く配膳システムを事業化しており、ロボットによる組み立て作業システムを構築する経験もあり、まず自身の生産工程へ適用し、その後に事業化を進めていくことが可能である。
- セル生産システムでは、社内ユーザの意見を取り入れている点が評価できる。
- 「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」の移動配膳ロボットは実用化が早期に期待できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 事業化は3年程度が一つの目処という計画だが、国内製造業の現下の厳しい状況を踏まえると、それらを支援する本プロジェクトの事業化は、更なるスピードアップを行うことが望まれる。
- 知財戦略（海外特許出願含む）や、自動化技術と競合する労働力が安価な国々への対応など、海外戦略の立案は今後必要になってくる。
- 2つのテーマとも、企業内開発の枠にとどまってしまい、他企業、他業種への波及がなされない可能性がある。この点で開発技術波及を推進する何らかのフォローが重要であろう。
- 異なる作業に対応するには、その作業毎の技術開発が必要となり、波及効果は限定的と考える。



- 組立作業における3次元センシングが効果的に使える場面で、低コストのシステムで現実的な作業が可能であることが示されていない。
- 配膳や情報提示のソフトは作業ごとに用意する必要があるが、そのコストの見積もり方の説明がない。
- 「柔軟物も取扱える生産用ロボット」で、柔軟物のどの程度適用できるのかは不明である。開発したデバイスの具体的な販売計画が示されていない。
- 柔軟ケーブル・コネクタでは、技術の一部が実現できただけであり、現実のラインで作業者に置き換えて導入されるには未解決の課題が多く、実用化・事業化はあまり近くはないのではないかという印象を受ける。
- 「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」は、自動車工場等への適用を考えた場合、大型化が必要であり、追加の研究開発が必要となろう。
- セル生産システムにおける部品配膳では、作業性・快適性の心的負担を考慮した安全基準を策定したとのことだが、これを自社内に留めてしまうのではなく、業界全体に広め、標準化できるように、知的財産の取得という形でも良いので、積極的に公開することが望まれる。社内に多くの生産システムがあり、その社内ユーザから要望もあがっているようなので、継続して取り組んでいただくとともに、その後の経過を含めて、社外に公開されることを望む。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 企業内での生産技術として活用する計画があり、その意味では実用化可能性は高い。これを海外を含めて外販できる新たなビジネスとして事業化を目指して頂きたい。
- ・ 組立作業における柔軟物の供給法として実現しやすい方法を提示することにより、本ロボットを普及しやすくすることが望まれる。
- ・ 配膳や情報提示のハードとソフトのコストも考慮した実用化への取り組みが必要である。とくに、ソフトは作業ごとに用意する必要があるため、そのコストを低くすることが望まれる。

## 2. 2 サービスロボット分野技術開発

### 1) 成果に関する評価

何れのグループも所定の目標を達成しており、その成果は評価に値するものであると考える。

「片付け作業用マニピュレーション RT システム」ではリネンサプライシステムへの適用を実証的に進めており、布ハンドリング法の開発や作業者の工夫を十分に解析し、シンプルなシステムで目標を達成している点は高く評価できる。

「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では、音声によるコンピュータへの入力、および高齢者が対応できるインターフェースの開発という目標を達し、システムを高齢者に使用してもらってアンケートをとっていることは評価できる。但し、当該ミッションは、IT それ自体の技術進歩の方が市場ニーズに迫っており、RT による解決は技術とコストの両面から競争優位を確保しにくい。IT 技術（情報端末の普及や、劇的なコスト低減）で代替不可能な、RT 独自の切り出し方を設定しないと、ミッションの妥当性を確保しにくい。

「ロボット搬送システム」は、全方向移動、エレベータ乗り込みを含めた自律移動、安全性という目標を達成している。病院 2 箇所で行って、機能を検証し、医療施設で実際のニーズを吸い上げ、一定の成果をあげたと考える。但し、海外で（技術以外の制度的な違いが大きいとはいえ）既に商用化が先行しており、今回の技術開発が、圧倒的な差別化・競争要因になっているとまではまだ言い難い。

#### 〈肯定的意見〉

- 何れのグループも所定の目標を達成しており、その成果は評価に値するものであると考える。特に、片付け作業用マニピュレーション RT システムについて、困難な課題に挑戦し、実用化のための基本となる技術を構築したことは高く評価出来る。
- 申告された目標の仕様については、概ね達成を見たと考える。
- サービスロボット分野では、凡そ、実用性のあるシステムが組み上げられている。特に、片付け作業用マニピュレーション RT システムではリネンサプライシステムへの適用を実証的に進めており、布ハンドリング法の開発や作業者の工夫を十分に解析し、シンプルなシステムで目標を達成している点は高く評価できる。
- 成果に関しては、市場ニーズの切実さと、それを現行の技術で一定程度クリアできそうか、という点から、片づけ作業を評価したい。片づけ作業は目標の速度を完全にはクリアしていないが、今後の開発継続で十分達成で

きる可能性があり、また 3K 市場の改善という実ニーズにも肉薄していると思われる。

- リネンサプライ工場における洗濯物ハンドリングシステムは、技術的困難さが予想されたにも関わらず、実用化の目途をたてられたことを高く評価する。
- 片付け作業用マニピュレーションで取り上げている布ハンドリングは、いくつかの先行研究があるが（例えば最近では UC Berkeley PR2 Robot Folds Laundry）、実用化されているものは見当たらないので、本プロジェクトで取り上げる価値がある（学術講演会でのポスター展示の前で担当者から、ビデオを見ながら詳細に話を聞いたことがある）。
- 洗濯物ハンドリングはロボットに行わせたい作業であるが、現在実用化していない。ここで開発したハンドリング技術は世界で最先端である。
- 混流柔軟物の分類システムとしては、新規性があり、目標は達成されている。
- 布を広げる作業のために、汎用でなく、その作業に適した実用的なマニピュレータを開発した。
- 整理されていない洗濯物の種類を識別することは困難であるが、洗濯物を引き上げるときの力の時間変化パターンを用いて、洗濯物の種類を高速に識別する方法を開発した。
- タオルの表面に織り方の差によってつけてあるマークの裏表を識別することは困難であるが、HOG 特徴を利用する方法を開発した。
- 高齢者対応コミュニケーションは、今後の高齢社会において必要な技術であるので、取り上げる意義は大きい。
- 高齢者対応コミュニケーションロボットは、音声によるコンピュータへの入力、および高齢者が対応できるインターフェイスの開発という目標を達した。システムを高齢者に使用してもらってアンケートをとっていることは評価できる。
- 搬送ロボットは、全方向移動、エレベータ乗り込みを含めた自律移動、安全性という目標を果たしている。病院 2 箇所で行って、機能を検証し、実用化の課題を明らかにしている。
- ロボット搬送システムにおけるロボットのエレベータ利用実用化に目途をたてられたことも評価する。
- 病院搬送ロボットシステムとしての課題目標は達成されている。
- 搬送用は、実証という意味では評価ができる。実機を使うことで、医療施設での実際のニーズの吸い上げることには、一定の成果をあげたと考える。

- ロボット搬送システムは、カルテ・薬剤などの院内物流を担うものとして、ある程度の需要は見込まれる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 片付け作業用マニピュレーションは、まず現在の人手による作業を分析することで、自動化に必要な機能の検討が十分になされている。また試作＋試用で経験を積むことで分かることが多く、それに基づいて次の課題を明確にして対処方法を検討する、というサイクルが、プロジェクト期間内でうまく回っていたように見られる。
- 高齢者対応コミュニケーションロボットは、音声対話、健康管理のいずれも革新的な技術とはいいがたい。
- 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では、新規性が明確でなく、計測するデータの項目が何の検査のためかが分析が十分とは言い難い。また、保険が適用できるシステムではないため、その事業性が見通しが不明瞭であるので、事業計画の見直しが必要と考える。
- 全方向移動ロボットによる病院での「ロボット搬送システム」では、軽量物品の搬送に対して、ロボットの重量は大きく、保守、安全性についてさらに検討が必要と考える。
- 「高齢者対応コミュニケーション R T システム」は、ロボット要素技術特有の成果として見るべきものは全くない。
- 高齢者対応は、チームの努力以前に、ミッション設定に問題があった可能性が高い。当該ミッションは、IT それ自体の技術進歩の方が市場ニーズに迫っており、RT による解決は技術とコストの両面から競争優位を確保しにくい。IT 技術（情報端末の普及や、劇的なコスト低減）で代替不可能な、RT 独自の切り出し方を設定しないと、ミッションの妥当性を確保しにくい。
- 高齢者対応コミュニケーションシステムは、これまでも多数の類似システムがあるため、開発者の思想や思い入れだけで始めるのではなく、従来システムの利点・欠点・問題点などの事例研究を十分におこなってから、取り組むべきであったと思う。
- センサー付いすによる在宅健康管理システムも、他に多くの同様なアイデアが提案され、また研究開発がなされている。ここで問題として掲げられている、これまでのシステムは“使えない・使い続けられない”という点が、この提案システムでどうして克服できたのか、あるいはこれからできるのかが必ずしも明らかではなかった。

- ロボット搬送システムでは、前期にある程度のシステムを開発し、後期の初めに顧客開拓して実証試験ができるユーザを見つけたようだが、最終的には汎用性のあるシステムにしたいとしても、最初は特定のユーザ向けのシステムを開発したほうが、実用化・事業化には近道だと思われる。最初に適切なリード・ユーザをつかまえていないために、超音波タグの開発、車椅子搬送用双腕型移動ロボットなど、最終システムには不要と思われる部分にも手を付けたことになったのではないか。
- 全方向移動は、移動はスムーズであるが、エンコーダが使いにくいという欠点もある。ここでの全方向移動の利点が明確でない。廊下に沿った移動やエレベータ乗り込み自体は、掃除ロボットなどで実現されており、それとの差が明確でない。
- 搬送用は、海外で（技術以外の制度的な違いが大きいとはいえ）既に商用化が先行している。今回の技術開発が、圧倒的な差別化・競争要因になっているとまではまだ言い難い。
- 搬送ロボットシステムに関しては、市場に現れている他の同種システムと比較して差異を明確化する上での特徴創出（例えば第三者に対する安全性）等において、更なる改善が望まれる点も皆無とは言えないと考える。
- ロボット搬送システムは、類似の開発案件が多く見られていたにも関わらず普及が進んでいなかった。これに関する問題点の十分な整理があったのか、またその問題点を意識し、ある程度焦点を絞った開発となっていないかという疑問が残る。もちろん様々な技術が必要であることは十分に理解できる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 3つのサブ・プロジェクトの中で、技術の新規性があり事業化が見込めるものは1件と思われる。プロジェクトの採択において、NEDO等の支援の下で技術開発がなされ、もう少し開発支援することで事業化に繋がるものを除き、ブレークスルーとなる新技術開発をベースとしない研究開発をNEDOの採択課題とすることに疑問である。
- ・ 高齢者対応コミュニケーションRTシステムに関しては、ステージ・ゲート後の2年間のみの研究開発であり、他のグループと同列に評価することは控えるが、音声に基づく健康状態推定に関する成果などにおいて、当初計画との比較において内容的には今後より一層の研究が望まれる点も否めないと考える。

## 2) 実用化、事業化の見通しに関する評価及び今後に対する提言

「片付け作業用マニピュレーション RT システム」では、実施者の関連企業で種々の実験を積み重ねてきており、精度と生産性を上げられれば、市場に投入することも可能で、一層の奮起を期待したい。経営には、先進国向けを中心に海外展開（輸出やライセンスアウトなど）も視野に入れて欲しい。

「高齢者対応コミュニケーション RT システム」は、住宅メーカーが住宅建築におけるオプションとして位置づけて販売しようとしている点が目新しい。一方、これまでもさまざまな類似のシステムがあり、当グループの特徴や優位点が明確ではなく、今後、さまざまな医療従事者に意見を求め、試用を繰り返しながら、実用化・事業化を図ってほしい。

「ロボット搬送システム」では、事業化に向けて、開発・製造社と販売・サービス社の体制を整えており、今後、ぜひとも使い続けてみて、何が問題なのかより明確にして欲しい。ロボット搬送システムには、これまでも多数の類似システムがあり、また人間共存型移動ロボットに広げればさらに多数の研究開発がある。そこで本システムの特徴を明確にして他のシステムとの差別化を図る必要があるとともに、実績、コストパフォーマンス比、などが今後の課題である。

### 〈肯定的意見〉

- いずれのグループについても、実用化に向けた課題は明確化されていると判断することが出来る。
- 洗濯物ハンドリングシステムに関する技術成果は、これまでロボットで扱うことが困難であった布などの不定形柔軟物ハンドリングなどの新たなロボット応用分野へ波及することが期待される。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」は企業内での事業はもちろん、3K 職場の改善としてもかなりの事業化が期待できる。
- 片づけは、実用化の方向は明確。精度と生産性を上げられれば、市場に投入することも可能で、一層の奮起を期待したい。経営には、先進国向けを中心に海外展開（輸出やライセンスアウトなど）も視野に入れて欲しい。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」での洗濯物ハンドリングについては、リネンサプライ企業での実証試験を踏まえて実証試験が実施されており、今回の多くの開発課題の中で最も事業化に結びつくシステムと評価できる。
- 洗濯物ハンドリングシステムは、実施者の関連企業で種々の実験を積み重ねてきたので、実用化を行いやすい。

- 洗濯物ハンドリングシステムに関する技術成果は、これまでロボットで扱うことが困難であった布などの不定形柔軟物ハンドリングなどの新たなロボット応用分野へ波及することが期待される。
- 病院内搬送ロボットはぜひとも使い続けてみて、何が問題なのかより明確にさせていただきたいと思う。運用技術も重要だと思う。病院内搬送ロボットはぜひとも使い続けてみて、何が問題なのかより明確にさせていただきたいと思う。運用技術も重要だと思う。
- 搬送ロボットは、いきなり不特定多数の移動する空間に適用するので無く、まずスタッフが移動する空間で使い、実績を積んでいくという方式は妥当である。
- ガイドなしで自律移動できる病院内の「ロボット搬送システム」は、既存の病院に導入しやすいロボットシステムで、複数の病院での実証試験を経て、製品販売を計画しており、自律移動ロボットの新市場の開拓を期待したい。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 事業化に向けた道筋に関しては各グループ毎にそれぞれ、コスト、ビジネスモデル、技術の差別化、の点を中心に課題が残されていると考えられ、これらの克服が望まれる。
- コミュニケーションのような、消費者の嗜好性や大衆マーケティングのウェイトが高い事業は、公的な支援の効果が薄いと思われる（事業自体を否定するものではなく、あくまで民間の自己 R&D と企画・マーケティングに委ねた方が良い）。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」での洗濯物ハンドリングはタスクが明確であるが、波及効果は限定的であろう。また、会社の方針として外国特許出願をしないとのことであるが、ロボット技術を基礎とした新産業創出の視点から、欧米等の海外での事業化を検討することが望まれる。
- 片付け作業用マニピュレーションでは、担当企業の経営規模などから、国外への装置の販売はあまり考えられていないようだが、国内で実績を上げたらぜひとも海外展開をしてほしい。
- ステージゲートで全チームがリタイアしたミッションは、ミッションそのものを見直すべき。
- 高齢者対応コミュニケーションロボットは、類似のシステムがすでに開発されたが、実用化に至っていない。その教訓を生かして、特色のあるシステムとすべきであった。

- 高齢者対応コミュニケーションは、これまでも、また他にもさまざまな類似のシステムがあり、当グループの特徴や優位点が明確にできなかった。在宅モニタ試験およびアンケート調査の数もまだ少ない。さまざまな医療従事者に意見を求め、試用を繰り返しながら、実用化・事業化を図ってほしい。
- センサー付いすによる在宅健康管理システムと病院内搬送ロボットについては、これまで、類似のものとして実用化を目指した研究開発がなされてきており、事業化に関する問題点もある程度わかっていたと思われる。しかし、本当に使ってもらえるのかということを含め、このテーマにおいても事業化の道筋が必ずしも明確になっていないと感じた。
- 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では、説得力ある提案とするために、システムの構成、計測項目、対象者、保険適用の有無、システムの利用者等を再度検討し、事業化を展開することが望まれる。
- 「高齢者対応コミュニケーション R T システム」のモニタリングシステムはロボットである必要はあまりなく、保健医療システムの現状を考慮しても事業化のめどは全く立たないものとなっている。
- 搬送ロボットは、使用頻度とロボット使用のコストの関係を分析し、ほんとうに実用化や事業化が可能かを検討すべきである。
- 「ロボット搬送システム」はより信頼性、安全性を高め、低コスト化を図り、保守・サービス体制を構築して、病院で事業化テストを早期に実施することが望まれる。
- ロボット搬送システムには、これまでも多数の類似システムがあり、また人間共存型移動ロボットに広げればさらに多数の研究開発がある。そこで本システムの特徴を明確にして他のシステムのとの差別化を図る必要があるとともに、実績、コストパフォーマンス比、などが今後の課題がある。
- 搬送は、特定の病院での実証から、多くの病院で使えるような汎用化に向けて改良を重ねる必要がある。
- 病院搬送ロボットは 24 億円の市場規模が想定されるものの、エレベーターの人との混在等の規制やシステム上の問題をクリアする必要がある。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 3つのプロジェクトのばらつきが非常に大きく、加重平均しての総合評価という方法に向かない。(四段階評価では、最も評価の高い片づけプロジェクトを重視してウェイト付けした)



- 実用性、事業性とも、片づけ作業が最も有望で評点が高い（個別では、次世代産業用の 2 事業と片づけが最高点）。搬送はマーケティングにまだ多くの積み重ねが必要。高齢者対応は厳しいが、事業化を考えるなら、RT にこだわらず（ただし今回の技術やコンセプトの流用はありうる）、広い視野から再度、顧客の問題解決方法を点検し直すことも有益と思われる。
- 全ての事業が成功すべきという考え方は、現実的ではない。問題点はあったが、成功したミッションが含まれるという意味で、プロジェクト全体としては評価したい。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」や「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では、海外特許がなく海外での事業化に向けた視点が乏しい。日本国内の固有の問題解決のための技術開発を除き、原則的には海外での事業展開を見通した事業化の検討が望まれる。
- 洗濯物ハンドリングシステムは、現在は世界で競争者はいないが、今後世界展開のための準備を進めることが望まれる。

## 2. 3 特殊環境用ロボット分野技術開発

### 1) 成果に関する評価

両グループともに、最終目標を十分達成しており、その成果は高く評価出来る。

「被災建造物内移動 RT システム」では、地下街、倒壊建物内で実証試験を行って有効性を確かめ、ドア開け、自律走行、不整地走行、階段昇降を満足し、目標を達成した。特に、当初対象としていた内容とは異なり、福島第一原子力発電所への導入などにおいて米国製ロボットとの比較でも、走行能力を含めて独自技術を打ち出し、実用性を証明したことは、極めて大きな成果であると考ええる。一方、問題点は外部との通信である。建物内は必ずしも合法的な無線は使えず、有線だと階段を上がって障害物の多い領域を長距離移動するとケーブルがひっかかったり、損傷したりするので、その対策が必要である。

「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、廃棄物解体のための引き剥がし作業に有効な双腕マニピュレータを開発するとともに、ある程度小さくなった廃棄物を素材ごとに選別する技術を開発し、目標を達成した。また、マニピュレータと選別機の組合せというシステム全体で問題解決にあたっており、現実的なソリューションを志向している点も評価できる。但し、マニピュレータの実用レベルの向上、選別機の処理能力の向上など、まだ技術的課題が残っている。

#### 〈肯定的意見〉

- 両グループともに、最終目標を十分達成しており、その成果は高く評価出来る。
- 仕様面に関しては、一定の目標を達成したと見られる。
- 被災建造物内移動システムは、必要とされる機会が少ないほど良いのだが、いったん災害が起これば備えておいて良かったと思われるため、俯瞰的な視座からの研究開発支援が不可欠だと考えられる。
- 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット開発においては、性質上、その目標が実用化であり、事業化としていなかったにも関わらず、汎用的で重要な技術開発がなされ、これらは他の分野への波及という意味で事業化にも結びつき得るものとしてきわめて高く評価できる。今後、開発技術の発展と成果の普及を期待する。
- 被災建造物内移動ロボットは、ドア開け、自律走行、不整地走行、階段昇降を満足し、目標を達成した。地下街、倒壊建物内で実証試験を行って有効性を確かめた。通信を確保するため、アドホックネットワークを構成するなどの対策も講じている。

- 福島原発事故に対応し、他のロボットではできない建屋の2階や3階への移動を行い、事故の状況を調べることに貢献した。
- ロボカップレスキュー世界大会の運動性能部門で2回優勝した。以上は世界でも高水準であることを示している。また、国内国外の学会やレスキュー大会などでデモを行うとともに、論文も多数発表している。
- 被災対応は、当初開発計画では想定されていなかったにもかかわらず、福島原発で実際に使用されたことは成果と言って良い。米国製ロボットとの比較でも、走行能力を含めて独自技術を打ち出すことができたと評価される。
- 「被災建造物内移動 RT システム」では、高速不整地走破用の **Quince** とドア開け用アームを備えた **UMRS** を開発するなど、操作性の高いインターフェース、オペレータの負担を軽減する半自律制御など実用性の高いシステムが開発されている。また、本プロジェクトの直接的な目的ではないが、福島原発現場で、階段昇降し映像伝送等のタスクを実現できたことは、高く評価できる。
- 閉鎖空間における移動技術については、かなりの開発成果を達成している。
- 特に、被災建造物内移動 RT システムについては、当初対象としていた内容とは異なり、かつ本プロジェクト期間終了後の活動が主であるとは言え、福島第一原子力発電所への導入などにおいて実用性を証明したことは、極めて大きな成果であると考えられる。また、建設系産業廃棄物処理 RT システムについても、新たなシステムコンセプトの提案と実現などの点で評価に値すると考える。
- 建設系産業廃棄物処理システムは、限られた資源をできるだけ有効に活用することとともに、廃棄物の減量化のために役立つものだと考えられ、ここで課題とする価値がある。
- 建設系産業廃棄物処理 RT システムは、廃棄物解体のための引き剥がし作業に有効な双腕マニピュレータを開発するとともに、ある程度小さくなった廃棄物を素材ごとに選別する技術を開発し、目標を達成した。双腕マニピュレータは、従来の作業機2台分の働きがあり、ビルの上での作業には場所をとらず、有効である。実証試験を繰り返し、作業員からヒアリングをしていることも評価できる。
- 廃棄物処理は、マニピュレータと選別機の組合せというシステム全体で問題解決にあたっており、現実的なソリューションを志向している点が評価できる。コンクリートと他の素材の分離に関しては、一定の実証レベルをクリアしている。

- 廃棄物選別は、ステレオカメラによる形状や色に基づく識別方法を開発し、高速で安価な識別システムとしている。
- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、複合廃棄物分離作業用の双腕マニピュレータと廃棄物の選別を行う判定移送装置の実証試験を実施し、平成 24 年度から事業化を計画し、平成 26 年度に工法協会設立としていることは評価できる。
- 廃棄物の選別、移送については、当初の開発効果を達成している。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 原発のような極限状況における有線と無線の取扱いなど、新たな技術課題が浮上しており、改善や工夫が望まれる。
- 被災建造物内移動ロボットの問題点は外部との通信である。建物内は必ずしも合法的な無線は使えない。また、有線だと、階段を上がって障害物の多い領域を長距離移動するとケーブルがひっかかったり、損傷したりするので、その対策が必要である。ドア開けは、吸盤を使っているが、吸盤の適用範囲は限定されるので、マニピュレータだけで開けられるように改良することが望ましい。
- 「被災建造物内移動 RT システム」では、福島原発現場で、ケーブル切断により現場内に停止したとしている。様々な災害現場で利用することを前提に、より頑健で使いやすいロボットシステムに改良を図っていくことが望まれる。ただし、こうしたロボットが各自治体に必要か疑問で、国の消防本部等で一括して管理・運用するのが望ましいと考える。
- 被災建造物内動システムは、防爆性、自律化・知能化、運動能力などでまだまだ改善の余地があり、何らかの国家的機関による継続的な支援が望まれる（他に画期的なシステムの提案があるまではこのグループだけに支援を特化しても良いとも考える）。
- 建設系産業廃棄物処理システムでは、5 品目（コンクリート、鉄、アルミ、木材、プラスチック）の材料を 60%以上の精度で選別という目標を達成しているが、逆に 3 割は手作業になっても十分に改善されているという現状に驚く。
- 廃棄物処理システムは今後極めて重要な技術となることが予想され、関連するテーマとして重要と考える。しかしロボット関連技術という点では、このプロジェクトのテーマとして適切であったかどうか疑問が残る。
- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、廃棄物材質の判別精度結果として 60%以上の結果を得たとしているが、この精度でこのシステムのメリットが生み出せるのかどうか不明確である。また、国内特許出願は

あるものの外国特許出願がない。国際的事業化の観点から知財戦略が必要である。

- 廃棄物処理は、選別機の処理能力の向上、マニピュレータの実用レベルの向上など、まだ技術的課題が残っている。
- 建設系産業廃棄物処理 RT システムの双腕マニピュレータは、自由度が多いため操作が難しくなる。したがって、ヒューマンインターフェイスに何らかの工夫が必要であろう。廃棄物選別システムは、装置が大掛かりになり、場所をとるので、小型化が望まれる。また、あらかじめ対象物を小さくしておくことが必要であるので、そのための作業が簡単に行えるかも問題である。

〈その他の意見〉

- ・ 被災構造物内システムは、被災者や作業者の人命救助の観点から、事業性が十分でなくても推進すべき課題である。NEDO としてこうした分野について計画をたてて今後の支援することを期待したい。
- ・ 緊急事態には強力な無線を使えるように規制を緩和すべきである。

## 2) 実用化、事業化の見通しに関する評価及び今後に対する提言

両グループとも、実用化に向けた課題とその解決方針は明確化されている。

「被災建造物内移動 RT システム」では、多くの実証実験をこなすことで、次の課題と解決方法を明確にしながら進めており、技術的にはほぼ完成している。今後、国内で防衛関係、施設検査関係、消防関係などが積極的に活用することで、維持・発展させ続ける必要がある。

「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、多自由度・多腕マニピュレータ・ハンドの開発において、試作機に対する作業員の意見に基づく改良設計・製作を繰り返しており、建設会社と建機メーカーとの連携をベースに工法協会の設立などを視野に入れた事業化シナリオが計画されていることは評価出来る。今後、開発技術が業界全体に波及するような仕組みが必要と考える。

### 〈肯定的意見〉

- 今後、実用化・事業化に向けての課題およびその解決方針をより明確に整理し、災害対策用として政策的に配備する方策を NEDO とともに計画するなど、事業ベースの視点で戦略を立てる必要がある。
- 両グループとも、実用化に向けた課題とその解決方針は明確化されている、と判断される。建設系産業廃棄物処理 RT システムについては、建設会社と建機メーカーとの連携をベースに工法協会の設立などを視野に入れた事業化シナリオが計画されていることは評価出来る。
- 神戸市、千葉市等に試験配備がなされており、実用化に向けた取り組みが確実になされている。
- 防災は、福島の場合で、一定の実用性を実証することに成功した。
- 被災建造物内動システムは、米国 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 隊員の訓練施設 Disaster City での試験、東日本大震災後の東北大学内全壊被災建物、千葉市消防局と神戸市消防局への試験配備と訓練試用、仙台市地下鉄と神戸市地下街における遠隔操縦など、多くの実証実験をこなすことで、次の課題と解決方法を明確にしながら進めていることが、非常に有効であった。
- 被災建造物内移動ロボットは、技術的にはほぼ完成している。したがって、地方自治体などで採用するようにするため、国に財政的な援助をするように働きかけることが必要であろう。
- 「被災建造物内移動 RT システム」では、消防関係のニーズに基づき開発を進め、また消防局に試験配備するなど事業化に向けて、着実に取り組んでいる。災害救援は社会的に大きな関心が持たれているテーマであり、閉空間探査ロボット技術の波及効果は大きい。

- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、実用化に向けた基礎技術についての着実な成果が得られている。解体工事事業者として事業化し、工法協会を設立してその普及を図る計画は、事業展開の広がり推進するものとして評価出来る。実際にマニピュレータを完成させており、今後解決すべき問題は少なくないと見られるものの、実現場などでの検証を効率的に積み重ねていけると期待する。従来法から脱却するためには、装置の開発と同時に、オペレータや運用の整理・整備が不可欠であろう。
- 解体と素材選別について 1,000 億円以上の市場に対して、事業化に向けた取り組みが認められる。
- ロボット技術の適用による建設機械の高度化は実用性、市場性も高いと思われる。これを機会に建設機械のロボット技術開発を促進し、実用化を推進していただきたいと思う。
- 廃棄物処理は、実証レベルでの課題はクリアした。
- 建設系産業廃棄物処理システムでは、多自由度・多腕マニピュレータ・ハンドの開発において、技術的には目新しい点は少ないが、試作機に対する作業員の意見に基づく改良設計・製作を繰り返している点が評価でき、次第に使ってもらえそうなものになってゆくのが分かる点が良い。3年後には工法協会を設立して普及に努めるとのことなので、今後の展開に期待している。
- 建設系産業廃棄物処理 RT システムの双腕マニピュレータは、実証試験を繰り返し、このまま実用できるか、より使いやすいように改良すべきかを判断し、実用化を進めることができるであろう。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 災害への活用は、実用化までは証明できても、事業化の段階に移行する際のハードルが高い。平時のメンテナンスコストや採算の確保方法など、ビジネスモデル自体が確立していない。軍需に頼れない我が国では、民需への応用を探る努力が引き続き必要。
- 被災構造物内動システムは、国家的な見地から輸出が難しいため、国内で防衛関係、施設検査関係、消防関係などが積極的に活用することで、維持・発展させ続ける必要がある。研究開発だけでなく、継続的な活動支援ができる仕組み・体制を NEDO には検討していただきたい。廃棄物処理も、1台だけの実証機に留まっており、まだデータ収集の段階。サイズ、操作性、性能、コストなど、量産機の開発にはまだ課題が多く残っており、事業化との間にはまだ距離がある。

- 建設系産業廃棄物処理システムは、事業化準備として試験施工を繰り返し、施工マニュアルを整備しているところだというのが、工期短縮、コスト削減、安全性向上、環境負荷低減などの結果の数値は、机上計算ではなく実測値で提示してほしい。
- 建設機械のロボット技術開発に関しては、開発技術が業界全体に波及するような仕組みが必要だと思われる。
- 建設系産業廃棄物処理 RT システムの廃棄物分別システムはシステム全体のコストは高く、サイズが大きいので、建設現場で使うより、廃棄物処理センターのような場所で集中的に使用したほうが現実的である。
- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」では、事業の国際展開を検討することが望まれる。

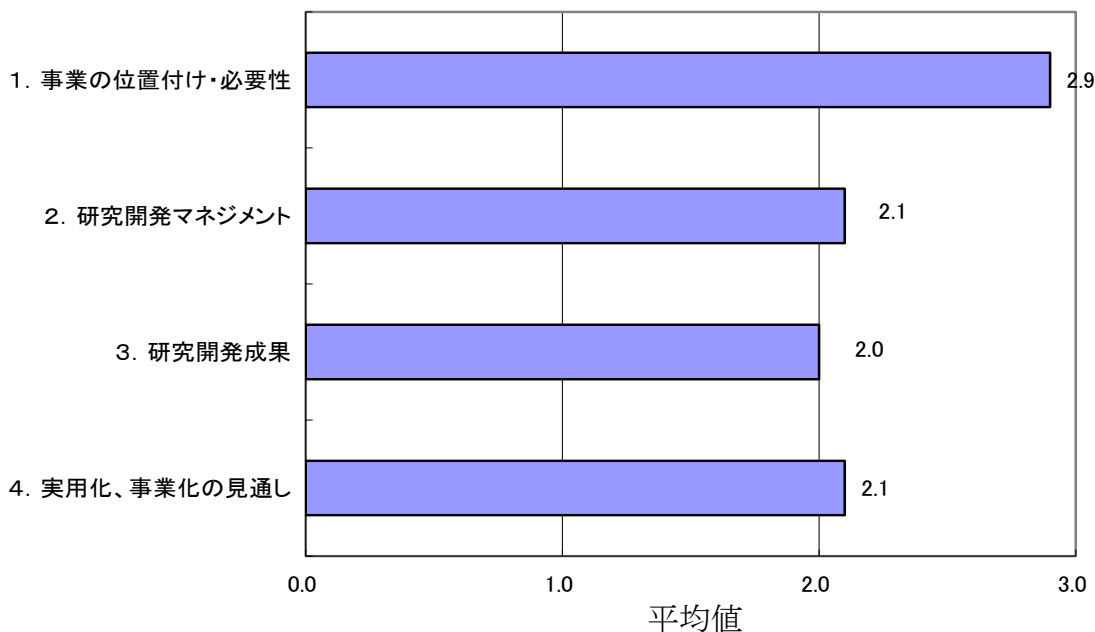
#### 〈その他の意見〉

- ・ 特殊環境用途は、実証という点での評価は高いが、ミッションの特性上、事業化まで距離があるのはやむを得ない。公共性に貢献するかどうかの視点を加味した。
- ・ 被災建造物内移動 RT システムの事業化については評価対象外であるが、行政や自治体などにおける配備計画の具体化が望まれるところである。
- ・ 被災建造物内移動ロボットは、これまでの実証試験や原発事故対応の実績を広く発信し、ユーザを開拓すべきである。また、開発したロボットは原発事故は対象としていなかったが、今回急遽対応し、その問題点も明らかになったので、NEDO などの助成プロジェクトなどに応募して原発対応ロボットとして完成させることが望まれる。
- ・ 双腕マニピュレータは、しかるべきところに設置し、気軽に試すことができるようにできれば、普及が進むであろう。



### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	B	A	A	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	B	A	A	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	A	B	B	A	B	B	C	
3. 研究開発成果について	2.0	B	B	A	B	B	B	C	
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	A	B	B	B	B	C	

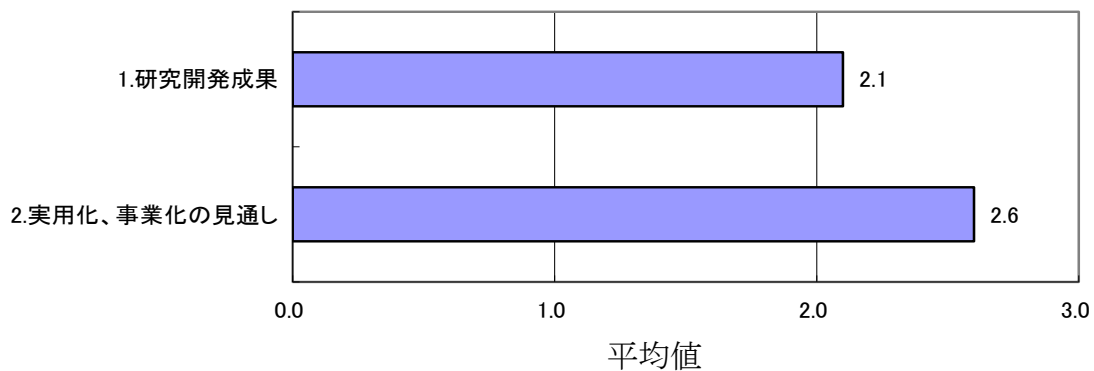
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

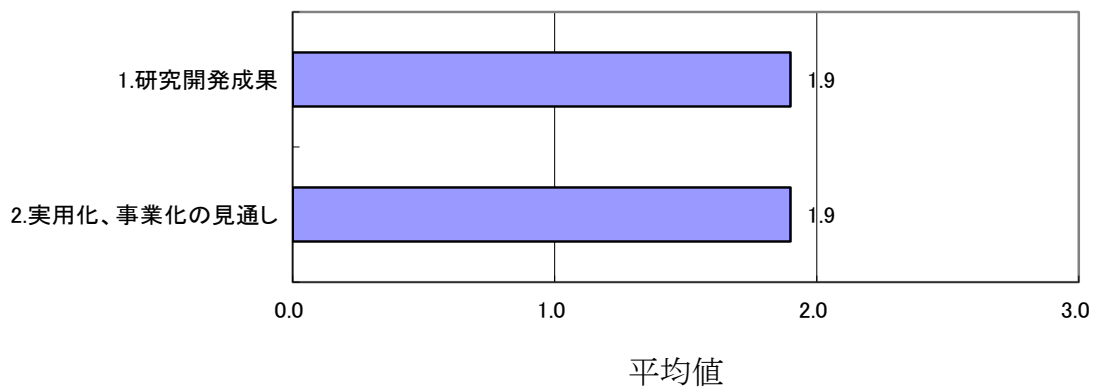
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

### 3. 2 個別テーマ

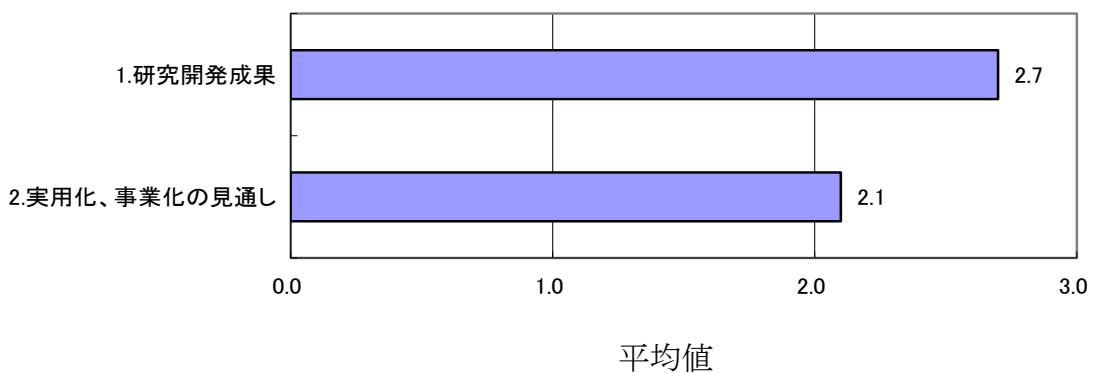
#### 3. 2. 1 次世代産業用ロボット分野



#### 3. 2. 2 サービスロボット分野



#### 3. 2. 3 特殊環境用ロボット分野



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
3. 2. 1 次世代産業用ロボット分野									
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	A	A	A	C	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.6	A	A	A	B	A	A	C	
3. 2. 2 サービスロボット分野									
1. 研究開発成果について	1.9	B	B	B	B	B	B	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	A	C	B	B	B	B	C	
3. 2. 3 特殊環境用ロボット分野									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	A	A	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	B	B	B	A	B	C	

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

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化、事業化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明

## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」

## 事業原簿

**公開版**

作成者	新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術開発推進部
-----	------------------------------

## — 目 次 —

概要	1
戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 基本計画（平成 18～20 年度）	8
戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 基本計画（平成 21～22 年度）	26
ロボット・新機械イノベーションプログラム	44
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	50
1.1 NEDOが関与することの意義	50
1.2 実施の効果（費用対効果）	50
2. 事業の背景・目的・位置づけ	
2.1 事業の位置付け・必要性	51
2.2 国のプログラムとの関連性	53
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	55
2. 事業の計画内容	55
2.1 研究開発の内容	55
2.2 研究開発の実施体制	62
2.3 研究開発の運営管理	65
3. 情勢変化への対応	69
4. 中間評価結果への対応	70
5. 評価に関する事項	70
III. 研究開発成果および実用化、事業化の見通しについて	
1. 事業全体の成果	71
2. 各テーマの成果まとめ	87
3. 各テーマの成果詳細	
3.1 次世代産業用ロボット分野	
3.1.1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム	i-1-1-1
3.1.2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム	i-2-1-1
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	ii-1-1-1
3.2.2 高齢者対応コミュニケーション RT システム	ii-2-1-1
3.2.3 ロボット搬送システム	ii-3-1-1
3.3 特殊環境用ロボット分野	
3.1.1 被災建造物内移動 RT システム	iii-1-1-1
3.1.2 建設系産業廃棄物処理 RT システム	iii-2-1-1
添付資料 1（出願特許、学会発表、論文、展示会、プレス発表等）	A-1

1 概 要

		作成日	平成 23 年 10 月 28 日				
制度・施策（プログラム）名	ロボット・新機械イノベーションプログラム						
事業（プロジェクト）名	戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト	プロジェクト番号	P 0 6 0 2 3				
担当推進部/担当者	技術開発推進部 有木 孝夫						
0. 事業の概要	<p>我が国は、少子高齢化・労働力の減少、アジア諸国の台頭を背景とした国際競争の激化、地震など大規模災害に対する不安といった社会的課題を抱えている。このような中、製造現場を含めた様々な分野における諸課題を、ロボット技術を活用することにより解決することが期待されている。</p> <p>本事業では、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ、「市場の失敗」に対応すべく国として関与すべき「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することで達成し（＝アウトプット）、もって当該ニーズを満たす一助となること（＝アウトカム）」を目的とする。</p> <p>また、我が国経済の成長の源泉であるイノベーションの推進を通じて、先端的なロボットシステム及び要素技術を開発することにより、我が国ロボット産業の国際競争力を強化・維持するとともに、当該技術群が、ロボット以外の製品分野（自動車・情報家電等）にも広く波及することが期待される。</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボットの適応分野を、技術開発や制度整備等を通じて、生活、福祉介護や災害救助などの様々な分野に拡大することで、ロボット産業を我が国における基幹産業の1つに成長させることを目的として、本事業を実施する。						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	本事業では、「将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成すること」を目標とする。「ミッション」を設定する分野は、「ロボット技術戦略マップ」を踏まえ、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズが高いと考えられる「製造分野」、「サービス分野」及び「特殊環境下での作業分野」の3分野とする。「ミッション」とは、上記3分野において、本プロジェクト終了時点（平成22年度末）に達成されるべき作業内容をいう。したがって、「ロボットシステム又は要素技術の開発」自体が本プロジェクトの目標ではなく、これらのシステム又は技術を用いて、あらかじめ設定された作業内容を実行すること、すなわち「ミッション」を達成することが、本プロジェクトの目標となる。						
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
	柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム	←					→
	人間・ロボット協調型セル生産組立システム	←					→
	片付け作業用マニピュレーションRTシステム	←					→
	高齢者対応コミュニケーションRTシステム	←					→
	ロボット搬送システム	←					→
	被災建造物内移動RTシステム	←					→
	建設系産業廃棄物処理RTシステム	←					→
開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載） （単位：百万円）	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	一般会計	1,042	940	754	718	468	3,922
	特別会計 （電多・高度化・石油の別）	0	0	0			0
	総予算額	1,042	940	754	718	468	3,922



	経産省担当原課	製造産業局産業機械課
	プロジェクトリーダー	千葉工業大学 平井成興
開発体制	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	三菱電機株式会社、ファナック株式会社、財団法人四国産業・技術振興センター、香川大学、株式会社プレックス、宝田電産株式会社、香川県産業技術センター、積水ハウス株式会社、千葉工業大学、村田機械株式会社、慶應義塾大学、独立行政法人産業技術総合研究所、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構、パンドー化学株式会社、株式会社シンクチューブ、ビー・エル・オートテック株式会社、独立行政法人情報通信研究機構、株式会社ハイパーウェブ、東急建設株式会社、株式会社日立建機（平成20年7月まで）株式会社ニルバーナテクノロジー（平成21年3月まで）東北大学、株式会社安川電機、筑波大学、川田工業株式会社、THK株式会社、セイコーエプソン株式会社、野村ユニソン株式会社、株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ、早稲田大学、株式会社けいはんな、奈良先端科学技術大学院大学、オムロン株式会社、三菱重工業株式会社、東京大学、東京工業大学、株式会社国際電気通信基礎技術研究所、富士通株式会社、横浜国立大学、電気通信大学、東芝テック株式会社、株式会社東芝、財団法人理工学振興会、株式会社ハイボット、株式会社インターネットイニシアティブ、名城大学、大阪大学、清水建設株式会社
情勢変化への対応	<p>(1) 柔軟な実施体制の変更 ユーザーニーズに基づいたRTシステムの開発を行うため、実際のユーザー企業が不明確なグループには再委託先としてユーザー企業を参画させた。 また、業績不振によりプロジェクトから抜けた実施者がグループでは外部協力者としてグループの</p> <p>(2) ステージゲート評価結果を受けての再公募の実施 ステージゲートにおいて基準を満たさなかったテーマについては、全てのグループの委託を打ち切り、再公募を実施した。</p> <p>(3) 最終目標の見直し ステージゲートを通過したグループについては、最終目標を見直し、数値目標を含め具体的な目標を再設定した。</p>	

Ⅲ. 研究開発  
成果および  
実用化、事業  
化の見通し  
について

1. 次世代産業用ロボット分野

1. 1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

ワイヤーハーネスのような柔軟物を迅速活高精度・高信頼度にハンドリングできるマニピュレーション技術や知的にハンドリングするためのセンサ利用技術、短時間で還元作業を提示できる次世代教示機能等を開発し、人では組立困難であった電機電子製品の自動組立を実現した。



図1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

1. 2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

作業者とロボットとが協働するための安全管理技術や必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術、作業者が習熟しやすい作業情報提示技術等を開発した。



図2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

## 2. サービスロボット分野

### 2. 1 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

洗濯物等の多様な形状を有する対象物を迅速・確実にハンドリングできるマニピュレーション技術や対象物の位置姿勢を識別し収納するための空間構造化技術、これらを実行するためのマニピュレータ等を開発した。

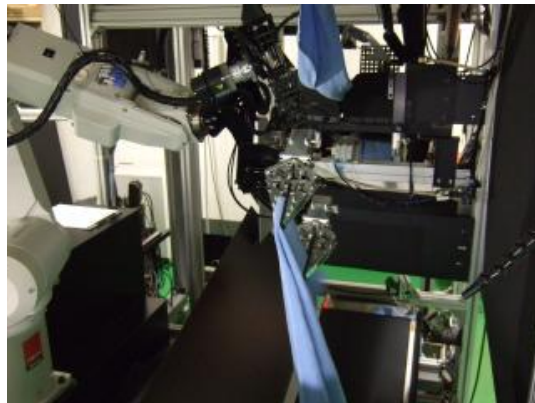


図3 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

### 2. 2 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

音声を主体とするコミュニケーションRT(Robot Technology)により、毎日のバイタル(血圧・脈拍・体温・体重)を測定・蓄積・解析し、それに基づく自動問診を行うことで、遠隔での医師や家族による見守りを実現し、高齢者の安心安全な自宅生活をサポートするシステムを開発した。



図4 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

## 2. サービスロボット分野

### 2. 3 ロボット搬送システム

大規模病院等において、人や物、環境の状況を把握して自律移動する技術や人とロボットが共存する環境下での安全(事故防止)技術等を開発した。



図5 ロボット搬送システム

### 3 特殊環境用ロボット分野

#### 3.1 被災建造物内移動RTシステム

複数のロボットが地下街、高層ビル等の閉鎖空間階段、ドアを含む)において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら半自律走行できる迅速な移動技術や、軽量簡易型のインタフェースで複数ロボットの同時遠隔操作(移動行動司令)ができるヒューマンインタフェース技術、複数の遠隔操作映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる通信技術、複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS(Geographic Information System)上にマッピングできる測位技術とGIS技術等を開発した。



図6 被災建造物内移動RTシステム

#### 3.2 建設系産業廃棄物処理RTシステム

建物の解体時に発生する廃棄物材質の判定手法や解体・選別作業を効率よく安全に、かつ高信頼度で行う技術解体現場で使用可能で建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータ、現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェース等を開発した



図7 建設系産業廃棄物処理RTシステム

【成果発表数】				
分類	学会発表 (内 論文数)		特許等	報道等
件数	国内	海外	2 2 4 (内国際特許 31 件)	1 6 6
	2 5 4	3 4 6		
<p>本プロジェクトの中間目標では、プロトタイプロボットシステムにより最終目標として掲げた目標に到達できるような見込みを示すことを求めている。ステージゲート評価では3分野7テーマについての18グループ全てがプロトタイプロボットシステムによるデモンストレーションを行った。</p> <p>ステージゲート評価では「ステージゲート時点における達成状況」「技術的評価」「事業的（実用化）評価」「その他の評価」の4項目について評価を行い、それらを考慮した「総合評価」により、ステージゲート通過グループを選定した。ステージゲートを通過した6グループおよびステージⅡで再公募した1グループについては、事業化シナリオが明確であり、技術的評価も優れており、プロジェクト終了後に成果の実用化、事業化が期待できるものとなっている。</p>				
IV. 評価に関する事項	事前評価	なし		
	評価予定	平成 20 年度 ステージゲート評価を実施 平成 21 年度 中間評価実施 平成 23 年度 事後評価実施予定		
V. 基本計画に関する事項	策定期期	平成 18 年 3 月 策定		
	改訂履歴	平成 20 年 3 月 中間評価実施時期の変更により、改訂 平成 21 年 3 月 最終目標の具体化及びそれに伴う中間目標の見直しにより、改訂		

## 1. 研究開発の目的、目標及び内容

### (1) 研究開発の目的

我が国では、自動車や電機・電子産業を中心とする各産業分野の成長、人手不足等を背景に、特に1980年代以降、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有し、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働しているなど、我が国は自他ともに認める「ロボット大国」といえる。加えて、2005年の愛知万博等を契機とするロボットブームによりロボットに対する関心が高まっているとともに、ビジョンセンサーや力センサー等の認識技術やバッテリーの性能向上といった要素技術が著しく発展しつつある。

他方、我が国は、少子高齢化・労働力の減少、アジア諸国の台頭を背景とした国際競争の激化、地震など大規模災害に対する不安といった社会的課題を抱えている。このような中、製造現場を含めた様々な分野における諸課題を、ロボット技術を活用することにより解決することが期待されている。

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」(以下「本プロジェクト」という。)は、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ、「市場の失敗」に対応すべく国として関与すべき「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することで達成し(=アウトプット)、もって当該ニーズを満たす一助となること(=アウトカム)を目的とする。

また、我が国経済の成長の源泉であるイノベーションの推進を通じて、先端的なロボットシステム及び要素技術を開発することにより、我が国ロボット産業の国際競争力を強化・維持するとともに、当該技術群が、ロボット以外の製品分野(自動車・情報家電等)にも広く波及することが期待される。

なお、ミッションは、「技術戦略マップ」を踏まえて設定するものとする。具体的なミッションの内容は、別紙の研究開発計画に規定する。

本プロジェクトは、「我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させること」を目的とする「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一環として実施する。

### (2) 研究開発の目標

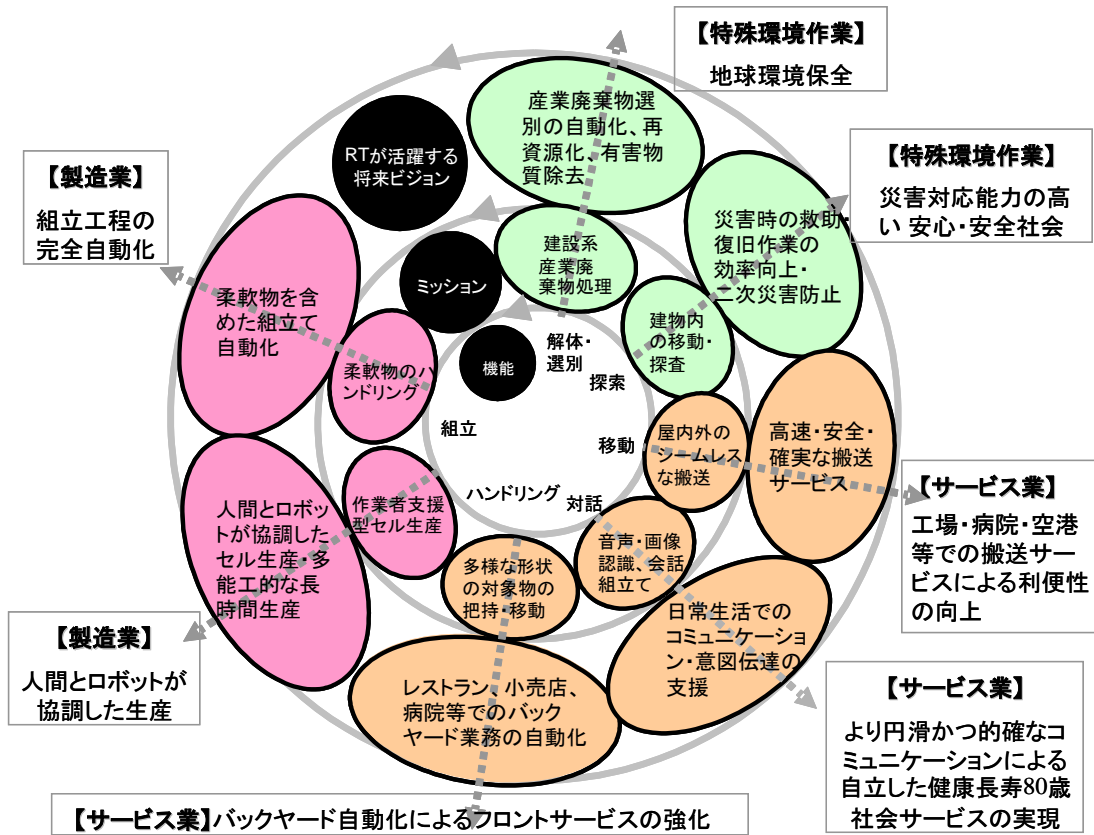
本プロジェクトの直接的な目標(アウトプット)は、「将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成すること」である。

「ミッション」を設定する分野は、「ロボット技術戦略マップ」を踏まえ、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズが高いと考えられる「製造分野」、「サービス分野」及び「特殊環境下での作業分野」の3分野とする。国として取り組むべきミッションの具体的な体系図(案)は、下図のとおり。

「ミッション」とは、上記3分野において、本プロジェクト終了時点(平成22年度末)に達成されるべき作業内容をいう。したがって、「ロボットシステム又は要素技術の開発」自体が本プロジェクトの目標ではなく、これらのシステム又は技術を用いて、あらかじめ設定された作業内容を実行すること、すなわち「ミッション」を達成することが、本プロジェクトの目標となる。

ただし、当然ながら、「ミッションの達成」自体はアウトプットに過ぎず、開発されたロボットシステム又は要素技術が発展することで、将来的に、市場ニーズ又は社会的ニ

ズが満たされることが、本プロジェクトを実施する真の意義・期待される効果（アウトカム）となる。したがって、研究開発主体は、開発されたロボットシステム又は要素技術が、プロジェクト終了後に各分野の実現場でどのように導入されるのか（＝導入のシナリオ）を明確に意識することが求められる。





### (3) 研究開発の内容

本プロジェクトは、上記目標を達成するために、別紙の「研究開発計画」に基づき提案公募方式にて研究開発を実施する。

なお、本プロジェクトでは、「ステージゲート制度」を導入し、実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、NEDO技術開発機構が、企業、大学・研究機関等によって構成される研究開発グループ（研究共同体であって法人格である必要はない。企業、大学・研究機関等の単独での構成も可とする）を公募によって、原則として各ミッション毎に複数選定の上、委託して実施する。

本プロジェクトは、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下にミッションの設定分野毎に責任者（サブプロジェクトリーダー）を置き、それぞれのミッション達成目標を実現すべく研究開発グループ（提案者）毎に研究開発を実施する方式を採用する。

### (2) 研究開発の運営管理

プロジェクト全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

具体的には、

①必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

②プロジェクトリーダー等は、当該報告等を踏まえ、研究開発グループに対し、適宜指導・助言を行う。

③研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入する。

具体的には、プロジェクト実施期間を前半3年間の「ステージⅠ」（平成18～20年度）と後半2年間の「ステージⅡ」（平成21～22年度）に分け、「ステージⅠ」の最終段階（平成20年度）に、絞り込み評価を実施する。絞り込み評価では、研究開発目標に対する「達成度」、「再現性・安定性」、「ミッション達成の所要時間」等を踏まえて、定性的・定量的に評価する。絞り込み評価を踏まえ、「ステージⅡ」（平成21年度以降）では、絞り込み評価で高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して重点的に行う。絞り込みに当たっては、原則、ミッション毎に、1グループに絞ることとする。なお、研究開発主体の絞り込みについては、複数のミッション間で相対的に評価を行うことは困難であるため、原則ミッション毎に行う。

また、ステージⅡに移行するに当たり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、ミッション及び実施体制を見直すこととする。また、本プロジェクト終了後に、事後評価を実施し、最終的なミッションの達成度を定性的・定量的に評価する。

## 3. 研究開発の実施期間

本プロジェクトの実施期間は、平成18年度から平成22年度までの5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、事業全体について技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、制度の運営管理、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクトの中間評価を平成21年度に、事後評価を平成23年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、上記中間評価とは別に、「ステージⅠ」の最終段階（平成20年度）に、絞り込み評価を実施し、「ステージⅡ」（平成21年度以降）で継続して重点的に行う研究開発テーマの絞り込みを行う。

## 5. その他の重要項目

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた研究成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも、我が国産業等に対し普及に努めることとする。

#### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第26条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

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

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成18年3月に制定する。

(2) 平成20年3月、中間評価実施時期の変更により、改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### I. 次世代産業用ロボット分野

#### 研究開発項目①「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

自動車や家電等の組立工程において、変形しない部品の自動化はすでに実現しているが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）のハンドリング、組み付け作業は今でも自動化が困難で人手に頼っている。また、同時に実行されることの多いコネクタの接続は多様な形状であり、掴み方、組み立て方が多様のため、これも自動化が困難な例が多い。本研究開発はワイヤーハーネス等の柔軟物を対象とする組み付け作業をほぼ全自動で実現するロボットシステムを開発する。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発
- ②柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術（ビジョンシステム、力制御、力センサ）の開発
- ③短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発

###### (2) 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

- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

##### 3. 達成目標

###### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

ロボットシステムが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、現場で容易にプログラムを組み替え可能なこと。

例えば、ワイヤーハーネスは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、パネルで作られた箱の内側にコネクタ 2 つがついている。

- ①供給箱からワイヤーハーネスを取り出し、
- ②ワイヤーハーネス両端末のコネクタをパネル側のコネクタに挿入し、
- ③ワイヤーハーネスの途中に装着されている固定ピンをパネルに挿入して、ワイヤーハーネスを壁面に固定する。

以上の動作を実現する。

###### (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。

###### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

- ①次世代ロボットの開発
  - ・ 多腕あるいは多指などで生産性と汎用性を高めたロボット
  - ・ 多腕協調や知的把持などによる高度なハンドリング
  - ・ 狭い空間でも作業可能なスリムな形状
- ②柔軟物をうまく取り扱うマニピュレーション技術の開発
  - ・ 変形するひも状物体のハンドリング
  - ・ 柔軟物の特性の指定方法
- ③柔軟物の動きを認識するセンサ技術の開発
  - ・ 腕に搭載可能な3次元ビジョンや力センサなどのセンサ
  - ・ キャリブレーション容易なシステム
  - ・ 簡易センサプログラミング機能
- ④次世代ハンド（エンドエフェクタ）の開発
  - ・ 柔軟物やひも状物のハンドリングに適したハンドの開発
  - ・ コネクタやクランプの結合確認方法の開発
- ⑤次世代教示機能の開発
  - ・ 柔軟物を表現可能なCADデータ等を利用したオフライン教示
  - ・ センサ利用の教示位置・姿勢の自動補正
  - ・ 作業レベルで指示可能な記述言語
  - ・ 3次元コンピュータグラフィックスとセンサモデルを利用したシミュレーションによる動作の確認
  - ・ CADデータから作業異常を推定して検出する方法の組込
- ⑥次世代データベースの開発
  - ・ 単位作業用データベース
  - ・ コネクタ、柔軟物などの部品データベース
  - ・ 把持対象と把持機構のデータベース

## I. 次世代産業用ロボット分野

### 研究開発項目②「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」

#### 1. 研究開発の必要性

近年の製造業には多品種少量生産が求められており、従来のライン型組立システムに代わってセル型の組立システムが普及してきた。ライン生産では自動機械が組立作業を行い、人間作業者が各種段取り作業を行っていたのに対し、セル生産では機械は極力用いず、組立および各種段取り作業を人間作業者が行う。人間を多用することで初期コストが低く済むが、一方で熟練作業者を育成するのに時間がかかり、品質管理が難しいといった欠点も持つ。本ミッションでは、セル生産で作業者とロボットとの協働を目標として、現状より高生産性で使いやすいセル生産システムを確立する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

作業者とロボットが協働するセル生産システムの構築を目標として、組立作業者をロボット技術が物理的・情動的に支援することで、高生産性で多品種少量生産に適するシステムを確立する。セル生産システムの特徴である機種切り替えへの迅速な対応は現有システム並みの能力を持ち、同時に十分な高生産性を達成する。

例えば、組立は人間作業者が行い、配膳作業（必要部品を部品箱から取り出し、位置姿勢を整えて、作業順に配膳する）や部品搬送といった段取り作業をロボットが担当することで、セル生産の問題点の解消を目指す。

##### (1) 開発技術

- ①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術(注)
- ②必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる。

##### (2) 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

- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して性能を定量的に明らかにすること。

##### (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。

##### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

- ①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術(注)

- ・ 作業者とロボットとの作業領域の分離技術
- ・ 人の接近距離に応じた速度低減など危険回避技術
- ・ 突起部・挟まれ危険部のゼロ化と柔らかい外装を持つ構造
- ・ 簡易で短時間で、かつ安全に行える次世代教示機能
- ②必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
  - ・ 多様な部品の分離・整列・供給技術
  - ・ 必要な部品を適切な姿勢・適切なタイミングで供給する技術
  - ・ 自走式部品箱など自律性の高い部品供給システム
- ③作業者が利用しやすい作業情報提示技術
  - ・ 作業者の疲れを招かず、品質安定・生産性向上に役立つ作業指示技術
  - ・ AR (Augmented Reality) 技術等を用いた直感性に優れた作業情報提示
  - ・ 作業者が容易にプログラムできる作業教示と作業指示
- ④多品種中小量生産へ適応する迅速な対応技術
  - ・ 治工具・把持具の迅速な準備・段取り換えシステム
  - ・ 段取り換え時間の高速化
- ⑤人間と協働のためのセンサ利用技術
  - ・ 作業者の意図推量システム
  - ・ 作業者を見守る多数のセンサ統合技術
  - ・ 作業進行の確認技術
  - ・ 作業者の生理的状态や行動を非侵襲かつ低心理負荷で測定するセンサ群

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる。

## Ⅱ. サービスロボット分野

### 研究開発項目①「片付け作業用マニピュレーションR Tシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

高齢化社会、労働力不足に対応するため、社会の効率化と、人間の創造力を発揮することを支援するR T環境を提供することが求められている。

日常作業において、バックヤードにおける収納作業に着目し、これまでは人手により対応している「整理整頓」を実現するR Tシステムを開発する。

具体的には、レストランの食器片付け、家庭の食事後の片付け、洗濯物の折りたたみ・収納、オフィスの書類・事務用品整理など、乱雑におかれたものを整理整頓・収納するという単純労働を、ロボット技術（R T）で代替する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①多様な形状を有する対象物を、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
- ②対象物の位置姿勢を識別し、収納するための空間構造化技術
- ③上記を実行するための、器用なハンドおよび軽量高剛性マニピュレータの開発

##### (2) 実証ロボット（プロトタイプR Tシステム）の開発および実証試験

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

多様な形状を有する対象物（20種類以上）を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に収納する作業を実現する。なお、作業環境条件は実作業を考慮すること。

このような技術の具体的な実現例としては、

レストラン、家庭などの状況を想定し、乱雑に置かれた食器（陶器）、食事道具（ナイフ、フォーク：金属）、箸（木製）などを識別し、隣接した食器戸棚、ストレージ、食洗器に収納するトータルシステムをバックヤードなどにおいて実現する。

##### (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。

##### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

###### ①マニピュレーション技術

- ・ 多様な形状を有する対象物を、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
- ・ 人間のマニピュレーションスキル収集解析技術
- ・ 対象に応じた、マニピュレーションスキルデータベース

###### ②対象物識別技術

- ・ 多種多様な対象物を識別するための、センサ（ビジョン、タグ）と運用システム
- ③位置姿勢同定技術
  - ・ ビン状態の対象物から、対象物を切り出し、位置姿勢を同定する認識技術
- ④空間構造化技術
  - ・ 対象物の属性情報をもとに、作業及び収納空間構造化技術
- ⑤R Tインテグレーション技術
  - ・ 個々のR T要素を統合し、サービスを設計、実現、運用する技術
- ⑥高剛性軽量マニピュレータ
  - ・ 狭所など姿勢に制約を受ける環境下で、上記作業を実行する、姿勢に自由度が高く、動作空間の広い高剛性軽量マニピュレータ
- ⑦巧緻性を有するハンド
  - ・ 対象物の属性に応じて、把持、ハンドリング戦略を実行できる巧緻性を有する器用なハンド
  - ・ ハンドリングスキルデータベース
- ⑧R T運用技術
  - ・ 要求条件、環境変化に対応した、システム改修、アップデート技術



## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目②「高齢者対応コミュニケーションRTシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

「日本21世紀ビジョン」において謳われているように、「健康長寿80歳」を実現し、主体的に生きるための自立環境を構築することが求められている。

単身もしくは夫婦で自立した生活を送っている高齢者は、掃除・洗濯・料理などの家事程度はこなすことができたとしても、日常生活において些細なことに苦勞する場合がある。例えば、ゴミや新聞紙などを外に出す、電気器具の使い方が分からない・故障に対処できない、などである。かつての大家族の時代であれば、子や孫に頼めば簡単に片付いたような作業であっても、高齢者には対処が困難なことがある。このような、わざわざ人を呼び出すほどではないが、何らかの困難の伴う作業を支援するサービスロボットがあれば、高齢者の自立的な生活を支援することができる。

これらを実現するため、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、すなわち、日常生活における、人に頼むには気が引ける「ちょっとした作業代行」をRTで代行可能とするRTサービスフレームワーク、特にヒューマンロボットインタラクション技術と、エージェント（代行）技術を開発する必要がある。

さらに、「時持ち」に対する、スキル教授支援などにも適用でき、ひいては、家庭、社会におけるRTによる支援空間サービスとして多くのRTビジネスが期待できる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- 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

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (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。

##### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要

条件とするものではない。

- ①コミュニケーション技術
  - ・ 日常会話、ジェスチャー認識、タイミング生成等
- ②ヒューマンロボットインタラクション技術
  - ・ 会話のみならず、表情、ジェスチャー、行動による違和感のない応答生成技術
- ③ロバスト画像処理技術
  - ・ 照明条件依存性の少ない、画像処理
- ④ロバスト音声処理技術
  - ・ 日常雑音下の、音、音声信号処理技術
- ⑤行動観察・理解技術
  - ・ 人の位置追跡技術
  - ・ 行動切り出し、認識技術
  - ・ 行動履歴データベース
  - ・ 行動データマイニング技術
- ⑥人物認証技術
  - ・ 特定人物認証
- ⑦空間構造化技術
  - ・ 空間条件（物体配置、存在追加・消滅）などへの対応技術
  - ・ 対象物の属性情報をもととした、位置とサービス情報構造化技術
  - ・ 人と空間における物との関係性を規定するコトの表現技術
  - ・ マニピュレータでの細かい操作には限界があるため、ユニバーサルデザインの機器群の開発
- ⑧サービスインテグレーション技術
  - ・ 個々のRT要素を統合し、サービスを設計、実現、運用する技術
  - ・ 個人対応サービス構成技術
  - ・ コンテンツ供給技術
- ⑨RT運用技術
  - ・ 要求条件、環境変化に対応した、システム改修、アップデート技術
- ⑩マニピュレーション技術
  - ・ ユーザの操作指示により物を把持、下ろすなどを器用に行える

## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目③「ロボット搬送システム」

#### 1. 研究開発の必要性（位置づけ、意義、必要性）

オフィスや施設等の人との共存環境下において、ロボットが自己位置を認識し、人や障害物を回避しながら自律的に、かつ、安全に移動できることは、サービスロボットにとって非常に重要で、誘導や搬送作業等の多くのサービスで必要とされる要素機能である。

搬送作業として例えば、ゴミ箱運搬作業、病院での検体・薬品等の搬送、空港でのポーター、工場内での危険物搬送等は多大な労力を要するため、今後ロボット化が期待されている。

#### 2. 具体的研究内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術
- 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

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

人間や障害物が多く存在する可変環境において、屋内外をシームレスに移動でき、指定場所に設置された搬送物を、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。

（凹凸・段差2cm、エレベータや扉・ドアを含む屋内及び屋外（事業所・施設等の敷地内における屋外空間）環境下を人の歩行速度程度で搬送）

##### (2) 【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）

##### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

##### ①移動技術

- ・ 自律移動技術
- ・ 凹凸、段差、斜面等に適応して移動する技術開発

##### ②センシング・認識技術

- ・ 自己位置認識技術
- ・ 人や障害物までの距離測定技術
- ・ 人と障害物の判別技術

##### ③安全（事故防止）技術

- ・ 不測の障害物回避技術

- ・ 急制動停止技術
- ・ 転倒防止技術
- ④経路計画技術
  - ・ ロバスト画像処理技術
  - ・ 自然照明下，照明条件依存性の少ない，画像処理
- ⑤空間構造化技術
  - ・ サービス空間センシングネットワーク技術
  - ・ 空間条件（物体配置，存在追加・消滅）などへの対応技術

### Ⅲ. 特殊環境用ロボット分野

#### 研究開発項目①「被災建造物内移動RTシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

近年の大規模災害の発生頻度には目を見張るものがある。1990年代の自然災害による死者59万人のうち41万人(70%)はアジアに集中しており、アジアのリーダーでありRT大国を目指す日本としては、技術面からの人道的貢献が求められている。この分野で国際的なリーダーシップを取ることは、他の手段では得難い大きな国益を我が国にもたらすと考えられる。

自然災害や人為災害における人命救助は中でも最も重要である。被災した建物内(地下鉄、地下街、高層ビルなど)はきわめて危険性が高く、人命救助等におけるRTのニーズが最も高い空間である。初動時における迅速な情報収集は、救助や緊急医療と並んで最も重要なプロセスであり、高速かつ分散的な情報収集による高効率化と高精度化がその後の被害軽減活動全体の成否を左右する。危険空間で人間が情報収集を行うことは二次災害が発生する確率を増大させるため、RTによる支援が望まれる。複数ロボットが建物内を高速に走破できる機能は、そのために必要不可欠である。

複数ロボットの高速走破の実現のために必要な技術は、高速移動メカニズムの開発のみならず、移動体の半自律性、オペレータの遠隔操作のための環境認知と移動行動司令、建物内での通信と位置計測、GIS (Geographic Information System) への情報マッピング、一時的な環境構造化、分散協調など、多岐にわたっている。これらは、特殊環境ロボット(災害対応ロボット、建設ロボット、プラント保全ロボット、セキュリティロボット、農林業ロボット、屋外自律走行車両など)のみならず、ありとあらゆるRTシステムのために重要な基盤技術であり、その波及効果はきわめて大きい。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標(ミッション)を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①複数のロボットが地下鉄(含改札)、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間(階段、ドアを含む)において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、迅速な移動技術の開発。ただし、ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。
- ②1台の会議机に15分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作(移動行動司令)ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。
- ③建物内のロボット群から700m以上離れたオペレータステーションに、複数の遠隔操作用映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる、通信技術の開発。
- ④複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS上にマッピングできる測位技術とGIS技術の開発。

###### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、地下鉄駅等にて高速移動をメインとする課題を実行する実証試験を行うことにより開発技術の有効性を実証する。実証試験は研究期間中(2年度目後半～5年度目)数回にわたって開催し、難易度を変えた課題が設定される。

##### 3. 達成目標

(1) 【最終目標】(最終実証試験)

複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル(オフィス、大規模店舗、劇場)で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状態で、ドア(絞り込み評価終了後に仕様を与える)を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。

(2) 【中間目標】

ドアは自動、または、押せば開く方式であり、照明が正常であるケースを想定し、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、研究期間中数回にわたって開催される実証試験にて示すことが求められる。

(3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標(ミッション)及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

①移動ロボットの開発

- ・ 階段を含む建物内環境で、迅速に歩く人と同程度の平均速度で移動が可能なロボット
- ・ 生活環境で散在する障害物を回避、乗り越え、あるいは排除する機能
- ・ 混雑していない平常時の地下商店街のような状況で、歩行者をよける機能
- ・ ドアノブのついたドアを通り抜ける機能
- ・ 遠隔操作を支援する半自律性

②軽量簡易型遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発

- ・ オペレータへの周囲環境のリアルな提示技術
- ・ 複数ロボットの同時操作
- ・ コンパクト・軽量で機動的なヒューマンインタフェース

③センシング技術の開発

- ・ 階段・ドア・通路等の環境及び歩行している人間等の認識
- ・ 3次元形状計測

④測位技術の開発

- ・ 屋内GPS
- ・ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

⑤通信技術の開発

- ・ アドホックネットワーク技術
- ・ 建物内に通信インフラを一時的に設置する技術

⑥GIS技術の開発

- ・ 屋内GISマップ
- ・ GISへのマッピング機能

⑦一時的環境構造化、複数エージェント協調技術の開発

- ・ ミッション遂行を補助する環境を一時的に構築する技術
- ・ 複数台のロボットと人間が役割分担して協調的にタスクを遂行する技術

### Ⅲ. 特殊環境ロボット分野

#### 研究開発項目②「建設系産業廃棄物処理RTシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

建設廃棄物を解体・処理する際は、材質（素材）別に資源として再利用可能な物と、焼却可能な物、最終処分場へ埋める物に分類する作業を伴う。建設現場において現在この分類作業は、油圧ショベルを主とした破碎機により解体、人力による建設現場内での粗選別を経て、中間処理施設等で精選別を行うのが一般的である。建設現場内および中間処理施設で選別する際の問題点として、様々な気象条件（夏期の高温多湿、冬期の低温下、降雨、降雪など）や粉塵が伴う劣悪な環境化で作業を行っていることが挙げられる。また、近年建物の解体時において、建材中に石綿が混入することによる作業員の健康に対する影響や外部への飛散が問題視されている。つまり、現在人間が「手選別」で実施している作業において、作業環境と安全性に問題のある工程の自動化が望まれている。

一方、既に最終処分場に搬入されている廃棄物についても、廃棄物最終処分場の残余量は減少の一途をたどっていることから、再資源化可能な物を完全に選別して処分場へ持ち込まないことが求められている。

建設現場から排出される廃棄物を0とすることを目指して、本ミッションでは、①建物解体現場、②中間処理場、③最終処分場での適用のうち、①建物解体現場に焦点を当て、ロボット技術による解体・選別作業効率、建物解体中におけるオペレータ、作業員の安全性確保、周辺の住民の安全性などの向上を実現する。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法
- ②解体・選別作業を効率よく、安全に、かつ高信頼度で行う技術
- ③解体現場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータの開発
- ④現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェースの開発（複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等）

###### (2) 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

上記の開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

##### 3. 達成目標

###### (1) 【最終目標】

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータを開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」

###### (2) 【中間目標】

- ①「建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。」  
解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質（コンクリート塊、廃プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等）を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。
- ②「建物解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できること」  
建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に

関する要素技術を開発する。

(3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

①廃棄物材質の判定手法の開発

- ・ 最低 5 種類の廃棄物の判別技術（95%の選別が目標）
- ・ 廃棄物発生場所での対策としての廃棄対象へのマーク付け技術

②解体・選別技術

- ・ 作業対象の状態センシング（位置、姿勢、形状、材質の違いを特定できる項目（固さ、重さ、剛性、色等））
- ・ 廃棄物の解体・分解

③解体現場で使用可能な次世代マニピュレータ開発

- ・ 施工現場の環境認識（機械周囲、機械本体）
- ・ 多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンド
- ・ 施工に必要な作業分析を基にし、作業状況との関係で柔軟な作戦を策定できる知能化
- ・ 複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系
- ・ 対象物の把持、ハンドリングを容易する操作感覚の付加

④安全技術

- ・ 使用される機器類は一般建設機械で用いられる電子機器の使用環境（温度、振動、湿度、塵埃）に耐えられること
- ・ 周辺住民が安心できる技術（例えば、振動、騒音、粉塵、飛散防止対策 等）



## 1. 研究開発の目的、目標及び内容

### (1) 研究開発の目的

我が国では、自動車や電機・電子産業を中心とする各産業分野の成長、人手不足等を背景に、特に1980年代以降、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有し、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働しているなど、我が国は自他ともに認める「ロボット大国」といえる。加えて、2005年の愛知万博等を契機とするロボットブームによりロボットに対する関心が高まっているとともに、ビジョンセンサーや力センサー等の認識技術やバッテリーの性能向上といった要素技術が著しく発展しつつある。

他方、我が国は、少子高齢化・労働力の減少、アジア諸国の台頭を背景とした国際競争の激化、地震など大規模災害に対する不安といった社会的課題を抱えている。このような中、製造現場を含めた様々な分野における諸課題を、ロボット技術を活用することにより解決することが期待されている。

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」(以下「本プロジェクト」という。)は、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ、「市場の失敗」に対応すべく国として関与すべき「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することで達成し(=アウトプット)、もって当該ニーズを満たす一助となること(=アウトカム)を目的とする。

また、我が国経済の成長の源泉であるイノベーションの推進を通じて、先端的なロボットシステム及び要素技術を開発することにより、我が国ロボット産業の国際競争力を強化・維持するとともに、当該技術群が、ロボット以外の製品分野(自動車・情報家電等)にも広く波及することが期待される。

なお、ミッションは、「技術戦略マップ」を踏まえて設定するものとする。具体的なミッションの内容は、別紙の研究開発計画に規定する。

本プロジェクトは、「我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させること」を目的とする「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の一環として実施する。

### (2) 研究開発の目標

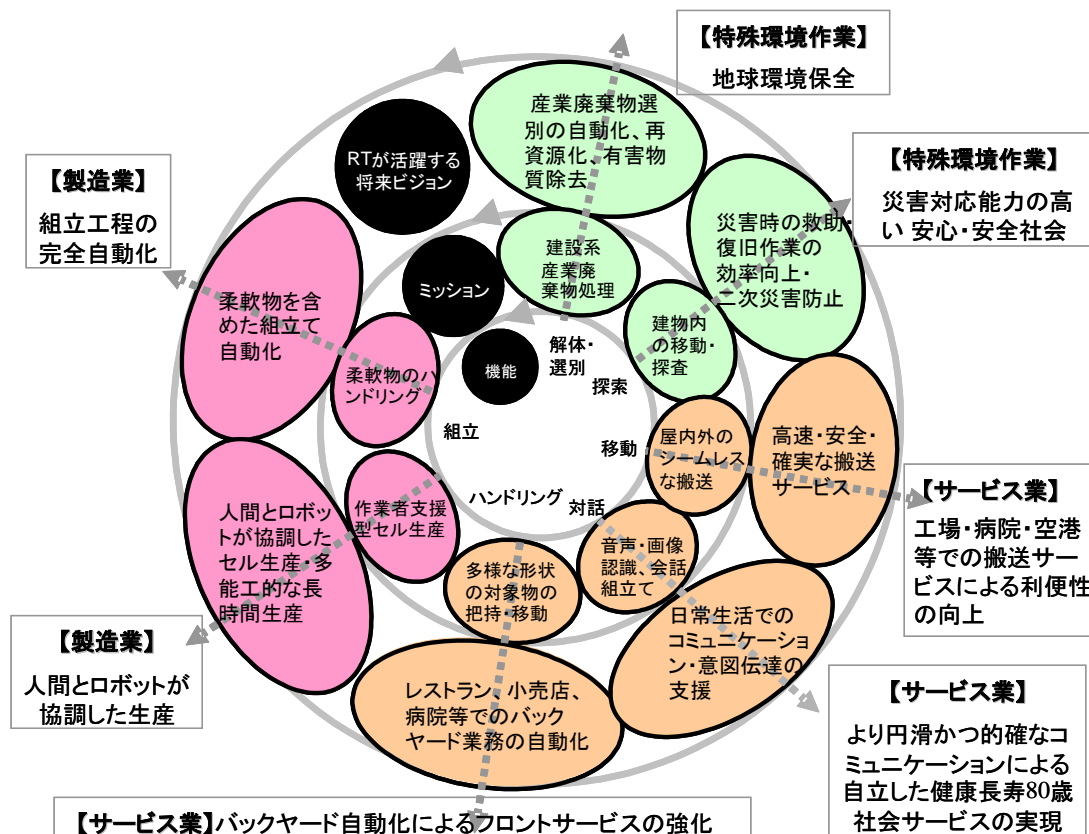
本プロジェクトの直接的な目標(アウトプット)は、「将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成すること」である。

「ミッション」を設定する分野は、「ロボット技術戦略マップ」を踏まえ、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズが高いと考えられる「製造分野」、「サービス分野」及び「特殊環境下での作業分野」の3分野とする。国として取り組むべきミッションの具体的な体系図(案)は、下図のとおり。

「ミッション」とは、上記3分野において、本プロジェクト終了時点(平成22年度末)に達成されるべき作業内容をいう。したがって、「ロボットシステム又は要素技術の開発」自体が本プロジェクトの目標ではなく、これらのシステム又は技術を用いて、あらかじめ設定された作業内容を実行すること、すなわち「ミッション」を達成することが、本プロジェクトの目標となる。

ただし、当然ながら、「ミッションの達成」自体はアウトプットに過ぎず、開発されたロボットシステム又は要素技術が発展することで、将来的に、市場ニーズ又は社会的ニーズが満たされることが、本プロジェクトを実施する真の意義・期待される効果(アウトカ

ム)となる。したがって、研究開発主体は、開発されたロボットシステム又は要素技術が、プロジェクト終了後に各分野の実現場でどのように導入されるのか(=導入のシナリオ)を明確に意識することが求められる。



### (3) 研究開発の内容

本プロジェクトは、上記目標を達成するために、別紙の「研究開発計画」に基づき提案公募方式にて研究開発を実施する。

なお、本プロジェクトでは、「ステージゲート制度」を導入し、実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO 技術開発機構という。）が、企業、大学・研究機関等によって構成される研究開発グループ（研究共同体であって法人格である必要はない。企業、大学・研究機関等の単独での構成も可とする）を公募によって、原則として各ミッション毎に複数選定の上、委託して実施する。

本プロジェクトは、NEDO 技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）学校法人千葉工業大学未来ロボット技術センター 副所長 平井成興氏の下にミッションの設定分野毎に責任者（サブプロジェクトリーダー）を置き、それぞれのミッション達成目標を実現すべく研究開発グループ（提案者）毎に研究開発を実施する方式を採用する。

### (2) 研究開発の運営管理

プロジェクト全体の管理・執行に責任を有するNEDO 技術開発機構は、経済産業省及

び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

具体的には、

- ①必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。
- ②プロジェクトリーダー等は、当該報告等を踏まえ、研究開発グループに対し、適宜指導・助言を行う。
- ③研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入する。

具体的には、プロジェクト実施期間を前半3年間の「ステージⅠ」（平成18～20年度）と後半2年間の「ステージⅡ」（平成21～22年度）に分け、「ステージⅠ」の最終段階（平成20年度）に、絞り込み評価を実施する。絞り込み評価では、研究開発目標に対する「達成度」、「再現性・安定性」、「ミッション達成の所要時間」等を踏まえて、定性的・定量的に評価する。絞り込み評価を踏まえ、「ステージⅡ」（平成21年度以降）では、絞り込み評価で高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して重点的に行う。絞り込みに当たっては、原則、ミッション毎に、1グループに絞ることとする。なお、研究開発主体の絞り込みについては、複数のミッション間で相対的に評価を行うことは困難であるため、原則ミッション毎に行う。

また、ステージⅡに移行するに当たり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、ミッション及び実施体制を見直すこととする。また、本プロジェクト終了後に、事後評価を実施し、最終的なミッションの達成度を定性的・定量的に評価する。

### 3. 研究開発の実施期間

本プロジェクトの実施期間は、平成18年度から平成22年度までの5年間とする。

### 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、事業全体について技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、制度の運営管理、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクトの中間評価を平成21年度に、事後評価を平成23年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、上記中間評価とは別に、「ステージⅠ」の最終段階（平成20年度）に、絞り込み評価を実施し、「ステージⅡ」（平成21年度以降）では事業化を強く意識した目標を設定し、継続して重点的に行う研究開発テーマの絞り込みを行う。

### 5. その他の重要項目

#### (1) 研究開発成果の取扱い

##### ①成果の普及

得られた研究成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも、我が国産業等に対し普及に努めることとする。

##### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準案の提案等を積極的に行う。

##### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

## (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

## (3) 根拠法

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

## 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成18年3月に制定する。
- (2) 平成20年3月、中間評価実施時期の変更により、改訂。
- (3) 平成21年3月、最終目標の具体化及びそれに伴う中間目標の見直しにより、改訂。
- (4) 平成21年4月、PLの所属変更により、改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### I. 次世代産業用ロボット分野

#### 研究開発項目①「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

自動車や家電等の組立工程において、変形しない部品の自動化はすでに実現しているが、柔軟物（コネクタ付ケーブル等）のハンドリング、組み付け作業は今でも自動化が困難で人手に頼っている。また、同時に実行されることの多いコネクタの接続は多様な形状であり、掴み方、組み立て方が多様のため、これも自動化が困難な例が多い。本研究開発はコネクタ付ケーブル等の柔軟物を対象とする組み付け作業をほぼ全自動で実現するロボットシステムを開発する。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発
- ②柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術（ビジョンシステム、力制御、力センサ）の開発
- ③短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発

###### (2) 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

- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

##### 3. 達成目標

###### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

ロボットシステムが、柔軟物（コネクタ付ケーブル等）を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、代表的な部品や設計情報などが登録されているデータベースなどを活用して、立ち上げ、調整時間が従来の 1/3 以下で品種追加、動作可能なこと。

具体的には、コネクタ付ケーブルは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、箱の内側の電気部品や基板にコネクタが2つ以上ついている。

- ①供給部からコネクタ付ケーブルを取り出し、
  - ②コネクタ付ケーブル両端末のコネクタを電気部品や基板側のコネクタに挿入し、
  - ③代表的な作業エラーが発生した場合には、自動的に復旧し、作業を継続する。
- 以上の動作を人と同等以上の生産量で実現する。

最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。

###### (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。

###### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、必要条件とす

るものではない。

- ①次世代ロボットの開発
  - ・ 多腕あるいは多指などで生産性と汎用性を高めたロボット
  - ・ 多腕協調や知的把持などによる高度なハンドリング
  - ・ 狭い空間でも作業可能なスリムな形状
- ②柔軟物をうまく取り扱うマニピュレーション技術の開発
  - ・ 変形するひも状物体のハンドリング
  - ・ 柔軟物の特性の指定方法
- ③柔軟物の動きを認識するセンサ技術の開発
  - ・ 腕に搭載可能な3次元ビジョンや力センサなどのセンサ
  - ・ キャリブレーション容易なシステム
  - ・ 簡易センサプログラミング機能
- ④次世代ハンド（エンドエフェクタ）の開発
  - ・ 柔軟物やひも状物のハンドリングに適したハンドの開発
  - ・ コネクタやクランプの結合確認方法の開発
- ⑤次世代教示機能の開発
  - ・ 柔軟物を表現可能なCADデータ等を利用したオフライン教示
  - ・ センサ利用の教示位置・姿勢の自動補正
  - ・ 作業レベルで指示可能な記述言語
  - ・ 3次元コンピュータグラフィックスとセンサモデルを利用したシミュレーションによる動作の確認
  - ・ CADデータから作業異常を推定して検出する方法の組込
- ⑥次世代データベースの開発
  - ・ 単位作業用データベース
  - ・ コネクタ、柔軟物などの部品データベース
  - ・ 把持対象と把持機構のデータベース
- ⑦作業エラーからの自動復旧技術の開発
  - ・ センサを用いた作業エラー検出方式
  - ・ 作業エラーに応じた自動復旧方式

## I. 次世代産業用ロボット分野

### 研究開発項目②「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」

#### 1. 研究開発の必要性

近年の製造業には多品種少量生産が求められており、従来のライン型組立システムに代わってセル型の組立システムが普及してきた。ライン生産では自動機械が組立作業を行い、人間作業者が各種段取り作業を行っていたのに対し、セル生産では機械は極力用いず、組立および各種段取り作業を人間作業者が行う。人間を多用することで初期コストが低く済むが、一方で熟練作業者を育成するのに時間がかかり、品質管理が難しいといった欠点も持つ。本ミッションでは、セル生産で作業者とロボットとの協働を目標として、現状より高生産性で使いやすいセル生産システムを確立する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

作業者とロボットが協働するセル生産システムの構築を目標として、組立作業者をロボット技術が物理的・情動的に支援することで、高生産性で多品種少量生産に適するシステムを確立する。セル生産システムの特徴である機種切り替えへの迅速な対応は現有システム並みの能力を持ち、同時に十分な高生産性を達成する。

例えば、組立は人間作業者が行い、配膳作業（必要部品を部品箱から取り出し、位置姿勢を整えて、作業順に配膳する）や部品搬送といった段取り作業をロボットが担当することで、セル生産の問題点の解消を目指す。

##### (1) 開発技術

- ①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術(注)
- ②必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる。

##### (2) 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

- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。

生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした生産性において既存セル（人間中心セル）から2割向上。

機種切り替え時間：既存セル生産システムの1/2。

最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。

##### (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。

##### (3) 上記実証に必要なと想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、必要条件とするものではない。

①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術(注)

- ・ 作業者とロボットとの作業領域の分離技術
- ・ 人の接近距離に応じた速度低減など危険回避技術
- ・ 突起部・挟まれ危険部のゼロ化と柔らかい外装を持つ構造
- ・ 簡易で短時間で、かつ安全に行える次世代教示機能

②必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術

- ・ 多様な部品の分離・整列・供給技術
- ・ 必要な部品を適切な姿勢・適切なタイミングで供給する技術
- ・ 自走式部品箱など自律性の高い部品供給システム

③作業者が利用しやすい作業情報提示技術

- ・ 作業者の疲れを招かず、品質安定・生産性向上に役立つ作業指示技術
- ・ AR (Augmented Reality) 技術等を用いた直感性に優れた作業情報提示
- ・ 作業者が容易にプログラムできる作業教示と作業指示

④多品種中小量生産へ適応する迅速な対応技術

- ・ 治工具・把持具の迅速な準備・段取り換えシステム
- ・ 段取り換え時間の高速化

⑤人間と協働のためのセンサ利用技術

- ・ 作業者の意図推量システム
- ・ 作業者を見守る多数のセンサ統合技術
- ・ 作業進行の確認技術
- ・ 作業者の生理的状态や行動を非侵襲かつ低心理負荷で測定するセンサ群

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる。



## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目①「片付け作業用マニピュレーションRTシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

高齢化社会、労働力不足に対応するため、社会の効率化と、人間の創造力を発揮することを支援するRT環境を提供することが求められている。

日常作業において、バックヤードにおける収納作業に着目し、これまでは人手により対応している「整理整頓・分類整列」を実現するRTシステムを開発する。

具体的には、洗濯物の取り出し、分類、洗濯機への投入、乾燥した洗濯物の折りたたみ・梱包・収納など、乱雑におかれた不定形のを整理整頓・収納するという単純労働を、ロボット技術（RT）で代替する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①多様な形状を有する柔軟な対象物を、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
- ②対象物の位置姿勢を識別し、分類・設定するための空間構造化技術
- ③上記を実行するための、器用なハンドおよび形状制御技術の開発

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

多様な形状を有する対象物を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に分類・格納する作業を実現する。

具体的には、業務用洗濯ラインにおいて、乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入するトータルシステムを実現する。

実際のビジネスで取り扱うアイテムとそれを扱う人手作業の速さから、分類数や格納サイズ、処理速度についての目標値は以下の通りとする。

- ・ベッドアイテム洗濯前・分類投入実証機：

ベッドアイテム（シーツ、枕カバー、浴衣）の洗濯前・分類投入作業場の自動化を想定し、洗濯物の形状、重量、色等の違いから2千枚/h以上の速さで4種類以上に分類する。

- ・バスルームアイテム仕上げ前・分類投入実証機：

バスルームアイテム（バス、フェースタオル、バスマット）の仕上げ前の投入作業場の自動化を想定し、一枚ごとに展開し、種別判定して、折り畳み仕上げ機に投入する。

実証試験では10種類以上のアイテムをサイズや色・模様を設定・識別して仕上げ機から排出する際に、自動選別・スタックする。折り畳み仕上げ機と組み合わせて8百枚/h以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を行う。

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。

(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。

(3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、必要条件とするものではない。

① マニピュレーション技術

- ・ 多様な形状を有する柔軟な対象物を、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
- ・ 人間のマニピュレーションスキル収集解析技術
- ・ 対象に応じた、マニピュレーションスキルデータベース

② 対象物識別技術

- ・ 多種多様な対象物を識別するための、センサ（ビジョン、力センサー、タグ）と運用システム

③ 位置姿勢同定技術

- ・ 乱雑に積み上げられた対象物から、一つ一つの対象物を切り出し、位置姿勢を同定する認識技術

④ 空間構造化技術

- ・ 対象物の属性情報をもとに、作業及び収納空間構造化技術

⑤ RTインテグレーション技術

- ・ 個々のRT要素を統合し、サービスを設計、実現、運用する技術

⑥ 柔軟物伸展マニピュレータ

- ・ 狭所など姿勢に制約を受ける環境下で、上記作業を実行する、姿勢に自由度が高く、動作空間の広い柔軟物伸展マニピュレータ

⑦ 巧緻性を有するハンド

- ・ 柔軟物を伸展する器用なハンドおよび形状制御技術の開発
- ・ 対象物の属性に応じて、把持、ハンドリング戦略を実行できる巧緻性を有する器用なハンド
- ・ ハンドリングスキルデータベース

⑧ RT運用技術

- ・ 要求条件、環境変化に対応した、システム改修、アップデート技術

## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目②「高齢者対応コミュニケーションRTシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

「日本21世紀ビジョン」において謳われているように、「健康長寿80歳」を実現し、主体的に生きるための自立環境を構築することが求められている。

単身もしくは夫婦で自立した生活を送っている高齢者は、掃除・洗濯・料理などの家事程度はこなすことができたとしても、インターネット等の手の込んだ情報収集をすることが困難であったり、あるいは遠く離れた家族が高齢者の生活状況等を把握する必要がある場合がある。このため、RTシステムを活用したコミュニケーションツールにより、日常的な会話を提供しながら、高齢者の自立的な生活を支援する。

これらを実現するため、人と機器の間をとりなすインタフェースとして機能するRTシステムとして、コミュニケーション技術およびヒューマンロボットインタラクション技術を開発する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- 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高齢者も対応できるヒューマンロボットインタラクション技術

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### 【最終目標】実証ロボットでの実証

RTシステムを用いて高齢者の声を認識し、コミュニケーションをとりながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握など的高齢者向けのサービスを提供する。

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。

## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目③「ロボット搬送システム」

#### 1. 研究開発の必要性（位置づけ、意義、必要性）

オフィスや施設等の人との共存環境下において、ロボットが自己位置を認識し、人や障害物を回避しながら自律的に、かつ、安全に移動できることは、サービスロボットにとって非常に重要で、誘導や搬送作業等の多くのサービスで必要とされる要素機能である。

搬送作業として例えば、ゴミ箱運搬作業、病院での検体・薬品等の搬送、空港でのポーター、工場内での危険物搬送等は多大な労力を要するため、今後ロボット化が期待されている。

#### 2. 具体的研究内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術
- 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

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

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ースを備え、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。

##### (2) 【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）

##### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

##### ①移動技術

- ・ 自律移動技術
- ・ 凹凸、段差、斜面等に適応して移動する技術開発

##### ②センシング・認識技術

- ・ 自己位置認識技術
- ・ 人や障害物までの距離測定技術

- ・ 人と障害物の判別技術
- ③安全（事故防止）技術
  - ・ 不測の障害物回避技術
  - ・ 急制動停止技術
  - ・ 転倒防止技術
- ④経路計画技術
  - ・ ロバスト画像処理技術
  - ・ 自然照明下，照明条件依存性の少ない，画像処理
- ⑤空間構造化技術
  - ・ サービス空間センシングネットワーク技術
  - ・ 空間条件（物体配置，存在追加・消滅）などへの対応技術

### Ⅲ. 特殊環境用ロボット分野

#### 研究開発項目①「被災建造物内移動RTシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

近年の大規模災害の発生頻度には目を見張るものがある。1990年代の自然災害による死者59万人のうち41万人(70%)はアジアに集中しており、アジアのリーダーでありRT大国を目指す日本としては、技術面からの人道的貢献が求められている。この分野で国際的なリーダーシップを取ることは、他の手段では得難い大きな国益を我が国にもたらすと考えられる。

自然災害や人為災害における人命救助は中でも最も重要である。被災した建物内(地下鉄、地下街、高層ビルなど)はきわめて危険性が高く、人命救助等におけるRTのニーズが最も高い空間である。初動時における迅速な情報収集は、救助や緊急医療と並んで最も重要なプロセスであり、高速かつ分散的な情報収集による高効率化と高精度化がその後の被害軽減活動全体の成否を左右する。危険空間で人間が情報収集を行うことは二次災害が発生する確率を増大させるため、RTによる支援が望まれる。複数ロボットが建物内を高速に走破できる機能は、そのために必要不可欠である。

複数ロボットの高速走破の実現のために必要な技術は、高速移動メカニズムの開発のみならず、移動体の半自律性、オペレータの遠隔操作のための環境認知と移動行動司令、建物内での通信と位置計測、GIS (Geographic Information System) への情報マッピング、一時的な環境構造化、分散協調など、多岐にわたっている。これらは、特殊環境ロボット(災害対応ロボット、建設ロボット、プラント保全ロボット、セキュリティロボット、農林業ロボット、屋外自律走行車両など)のみならず、ありとあらゆるRTシステムのために重要な基盤技術であり、その波及効果はきわめて大きい。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標(ミッション)を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①複数のロボットが地下鉄(含改札)、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間(階段、ドアを含む)において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、迅速な移動技術の開発。ただし、ロボットの重量は人間が一人で運搬可能(移動台車本体重量:32kg以下)であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。
- ②1台の会議机に15分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作(移動行動司令)ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。
- ③建物内のロボット群から700m以上離れたオペレータステーションに、複数の遠隔操作用映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる、通信技術の開発。
- ④複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS上にマッピングできる測位技術とGIS技術の開発。

###### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、地下鉄駅等にて高速移動をメインとする課題を実行する実証試験を行うことにより開発技術の有効性を実証する。実証試験は研究期間中(2年度目後半~5年度目)数回にわたって開催し、難易度を変えた課題が設定される。

### 3. 達成目標

#### (1) 【最終目標】（最終実証試験）

複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（施錠していない丸型またはレバー型ノブ付きドア）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。

また、訓練所・地下街・建物内などで3回以上の実証試験を行い、最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制を構築する。

#### (2) 【中間目標】

ドアは自動、または、押せば開く方式であり、照明が正常であるケースを想定し、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、研究期間中数回にわたって開催される実証試験にて示すことが求められる。

#### (3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標（ミッション）及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

##### ①移動ロボットの開発

- ・ 階段を含む建物内環境で、迅速に歩く人と同程度の平均速度で移動が可能なロボット
- ・ 生活環境で散在する障害物を回避、乗り越え、あるいは排除する機能
- ・ 混雑していない平常時の地下商店街のような状況で、歩行者をよける機能
- ・ ドアノブのついたドアを通り抜ける機能
- ・ 遠隔操作を支援する半自律性

##### ②軽量簡易型遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発

- ・ オペレータへの周囲環境のリアルな提示技術
- ・ 複数ロボットの同時操作
- ・ コンパクト・軽量で機動的なヒューマンインタフェース

##### ③センシング技術の開発

- ・ 階段・ドア・通路等の環境及び歩行している人間等の認識
- ・ 3次元形状計測

##### ④測位技術の開発

- ・ 屋内GPS
- ・ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

##### ⑤通信技術の開発

- ・ アドホックネットワーク技術
- ・ 建物内に通信インフラを一時的に設置する技術

##### ⑥GIS技術の開発

- ・ 屋内GISマップ
- ・ GISへのマッピング機能

##### ⑦一時的環境構造化、複数エージェント協調技術の開発

- ミッション遂行を補助する環境を一時的に構築する技術
- 複数台のロボットと人間が役割分担して協調的にタスクを遂行する技術



### Ⅲ. 特殊環境ロボット分野

#### 研究開発項目②「建設系産業廃棄物処理RTシステム」

##### 1. 研究開発の必要性

建設廃棄物を解体・処理する際は、材質（素材）別に資源として再利用可能な物と、焼却可能な物、最終処分場へ埋める物に分類する作業を伴う。建設現場において現在この分類作業は、油圧ショベルを主とした破碎機により解体、人力による建設現場内での粗選別を経て、中間処理施設等で精選別を行うのが一般的である。建設現場内および中間処理施設で選別する際の問題点として、様々な気象条件（夏期の高温多湿、冬期の低温下、降雨、降雪など）や粉塵が伴う劣悪な環境化で作業を行っていることが挙げられる。また、近年建物の解体時において、建材中に石綿が混入することによる作業員の健康に対する影響や外部への飛散が問題視されている。つまり、現在人間が「手選別」で実施している作業において、作業環境と安全性に問題のある工程の自動化が望まれている。

一方、既に最終処分場に搬入されている廃棄物についても、廃棄物最終処分場の残余量は減少の一途をたどっていることから、再資源化可能な物を完全に選別して処分場へ持ち込まないことが求められている。

建設現場から排出される廃棄物を0とすることを目指して、本ミッションでは、①建物解体現場、②中間処理場、③最終処分場での適用のうち、①建物解体現場に焦点を当て、ロボット技術による解体・選別作業効率、建物解体中におけるオペレータ、作業員の安全性確保、周辺の住民の安全性などの向上を実現する。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法
- ②解体・選別作業を効率よく、安全に、かつ高信頼度で行う技術
- ③解体現場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータの開発
- ④現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェースの開発（複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等）

###### (2) 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

上記の開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

##### 3. 達成目標

###### (1) 【最終目標】

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」

具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。

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。

###### (2) 【中間目標】

- ①「建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。」

解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質（コンクリート塊、廃

プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等)を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。

②「建物解体時に発生する廃棄物を素材料毎に分離できること」

建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に関する要素技術を開発する。

(3) 上記実証に必要と想定される要素技術

上記の最終目標(ミッション)及び中間目標を実現するには、開発目標に示した技術を中心に、次に掲げる技術要素のいくつかは必要であろうと想定しているが、それを必要条件とするものではない。

①廃棄物材質の判定手法の開発

- ・ 最低5種類の廃棄物の判別技術
- ・ 廃棄物発生場所での対策としての廃棄対象へのマーク付け技術

②解体・選別技術

- ・ 作業対象の状態センシング(位置、姿勢、形状、材質の違いを特定できる項目(固さ、重さ、剛性、色等))
- ・ 廃棄物の解体・分解

③解体現場で使用可能な次世代マニピュレータ開発

- ・ 施工現場の環境認識(機械周囲、機械本体)
- ・ 多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンド
- ・ 施工に必要な作業分析を基にし、作業状況との関係で柔軟な作戦を策定できる知能化
- ・ 複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系
- ・ 対象物の把持、ハンドリングを容易する操作感覚の付加

④安全技術

- ・ 使用される機器類は一般建設機械で用いられる電子機器の使用環境(温度、振動、湿度、塵埃)に耐えられること
- ・ 周辺住民が安心できる技術(例えば、振動、騒音、粉塵、飛散防止対策等)

## ロボット・新機械イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

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

### 2. 政策的位置付け

○科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

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

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

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

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

○「新産業創造戦略」（2005年6月経済産業省取りまとめ）

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

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

○「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

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

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

○「ロボット政策研究会」（２００６年５月経済産業省取りまとめ）

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

### 3. 達成目標

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

### 4. 研究開発内容

#### [プロジェクト]

#### I. ロボット技術開発

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

##### ①概要

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

##### ②技術目標及び達成時期

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

##### ③研究開発期間

２００８年度～２０１０年度

- (2) 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト（運営費交付金）

#### ①概要

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

#### ②技術目標及び達成時期

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

#### ③研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト（運営費交付金）

#### ①概要

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

#### ②技術目標及び達成時期

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

#### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

## II. MEMSの技術開発・新機械産業の領域開拓

### (1) 高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクト（運営費交付金）

#### ①概要

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

#### ②技術目標及び達成時期

2008年度までに、以下の開発を行う。

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

#### ③研究開発期間

2006年度～2008年度

## (2) 異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト

### ①概要

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

### ②技術目標及び達成時期

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

### ③研究開発期間

2008年度～2012年度

## Ⅲ. 分析機器産業の技術開発支援

### (1) 高度分析機器開発実用化プロジェクト

#### ①概要

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

#### ②技術目標及び達成時期

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

#### ③研究開発期間

2006年度～2008年度

## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 〔実用化・導入普及促進〕

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

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

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

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

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

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

#### 〔標準化〕

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

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

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

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

#### 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

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

#### 7. 改訂履歴

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

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



## I. 事業の位置づけ・必要性について

### 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDO が関与することの意義

我が国では、自動車や電子電機産業を中心とする産業分野の成長や、高度経済成長期における労働力不足、労働環境の改善要望等を背景に、1970年代後半以降、製造業における生産性を高める手段の一つとして、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有している。

また、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本国内で稼働しており、我が国はいわば「ロボット大国」又は「RT（ロボット・テクノロジー）大国」であるといえる。また、近年は、ビジョンセンサーや力センサー等のセンシング技術や駆動部分の制御技術等の向上、教示作業を補助するソフトウェアといった要素技術が著しく発展しつつある。このような技術の発展の結果、産業用ロボットの活動領域も、従来の搬送・溶接・塗装・電子部品実装から、組立て・セル生産等、より高度かつ複雑な作業領域に広がりつつある。

他方、我が国は、少子高齢化による熟練作業員数の減少、中国等アジア地域のコスト競争力に基づく台頭等を背景とした国際競争の激化、地震・雪害・水害といった災害への対応など、喫緊に取り組むべき社会的課題に直面している。例えば、労働力減少については、数年以内に予想される団塊世代の労働市場からの一斉退出により、製造業においては、労働力不足のみならず、技能の断絶による生産性や製品品質の低下が懸念されている。

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

しかし、現在まで産業用ロボット以外の市場が形成されていない中、新たな分野へ次世代ロボットを実用化するためには、ニーズに対応したシステム化技術開発や長期間の技術実証が必要となる。そして現状としては、必要となる明確なニーズが見えず、先行指標がないため、民間企業における経営判断は相当な困難が伴い、市場原理に任せていたのでは次世代ロボットの実用化・産業化は望めない。そのため、NEDO技術開発機構が研究開発の対象となる分野及び仕様を設定し、次世代ロボットの研究開発を効率的に推進する必要がある。

また、次世代ロボットの産業化を実現するためには、技術開発だけでなく、事業性も含めたビジネスモデルとして、多種多様なアプローチの中から戦略的に絞り込みを行う必要がある。しかしながら、この要求を満たすためには長期間に亘りチャレンジングなロボット要素技術等の研究開発と過度な資金リスクを恐れない開発環境の提供が必要である。そのため、NEDO技術開発機構が国家プロジェクトとして、リスクの高い研究開発に取り組める環境を提供する必要がある。

#### 1.2 実施の効果(費用対効果)

本プロジェクトは、研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入している。具体的には、プロジェクト実施期間を前半3年間の「ステージⅠ」（平成18～20年度）と後半2年間の「ステージⅡ」（平成21～22年度）に分け、「ステージⅠ」の最終段階（平成20年度）に、絞り込み評価を実施する。絞り込み評価では、研究開発目標に対する「達成度」、「再現性・安定性」、「ミッション達成の所要時間」等を踏まえて、定性的・定量的に評価する。絞り込み評価を踏まえ、「ステージⅡ」（平成21年度以降）では、絞り込み評価で高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して重点的に行う。絞り込みに当たっては、原則、ミッション毎に、1グループに絞ることとする。なお、研究開発主体の絞り込みについては、複数のミッション間で相対的に評価を行うことは困難であるため、原則ミッション毎に行

う。

また、ステージⅡに移行するに当たり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、ミッション及び実施体制を見直すこととする。また、本プロジェクト終了後に、事後評価を実施し、最終的なミッションの達成度を定性的・定量的に評価する。

ステージⅠでは、18グループがロボットシステムの開発を行い、18種類のRTシステムのプロトタイプを製作した。ステージⅠのわずか3年間における研究開発費は約27.4億円であり、1システム当たり換算すると約1.5億円となる。この金額で、事業化を見据えた各種RTシステムのプロトタイプ・システムの開発・製造、複数回の実証試験を実施し、それぞれのRTシステム開発における要素技術及びシステム統合技術の向上、そして技術実証の際に得られた知見や技術データ、さらにユーザーニーズに係るヒアリング情報などの多岐に亘る情報収集を行えていることなど、競争的環境における効果的・効率的なロボット開発が推進されたことを意味しており、本プロジェクトが実現した効果は大きい。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

### 2.1 事業の背景・目的

我が国では、自動車や電機・電子産業を中心とする各産業分野の成長、人手不足等を背景に、特に1980年代以降、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有し、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働しているなど、我が国は自他ともに認める「ロボット大国」といえる。加えて、2005年の愛知万博等を契機とするロボットブームによりロボットに対する関心が高まっているとともに、ビジョンセンサーや力センサー等の認識技術やバッテリーの性能向上といった要素技術が著しく発展しつつある。

他方、我が国は、少子高齢化・労働力の減少、アジア諸国の台頭を背景とした国際競争の激化、地震など大規模災害に対する不安といった社会的課題を抱えている。このような中、製造現場を含めた様々な分野における諸課題を、ロボット技術を活用することにより解決することが期待されている。

本プロジェクトは、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ、「市場の失敗」に対応すべく国として関与すべき「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することで達成し（＝アウトプット）、もって当該ニーズを満たす一助となること（＝アウトカム）」を目的とする。

ここでいう「ミッション」は、ロボット政策研究会（2006年5月経済産業省取りまとめ）及びロボット技術戦略マップ2006（平成18年）にて、広くユーザアンケートを行った結果を有識者による検討により、以下の7つを設定している。

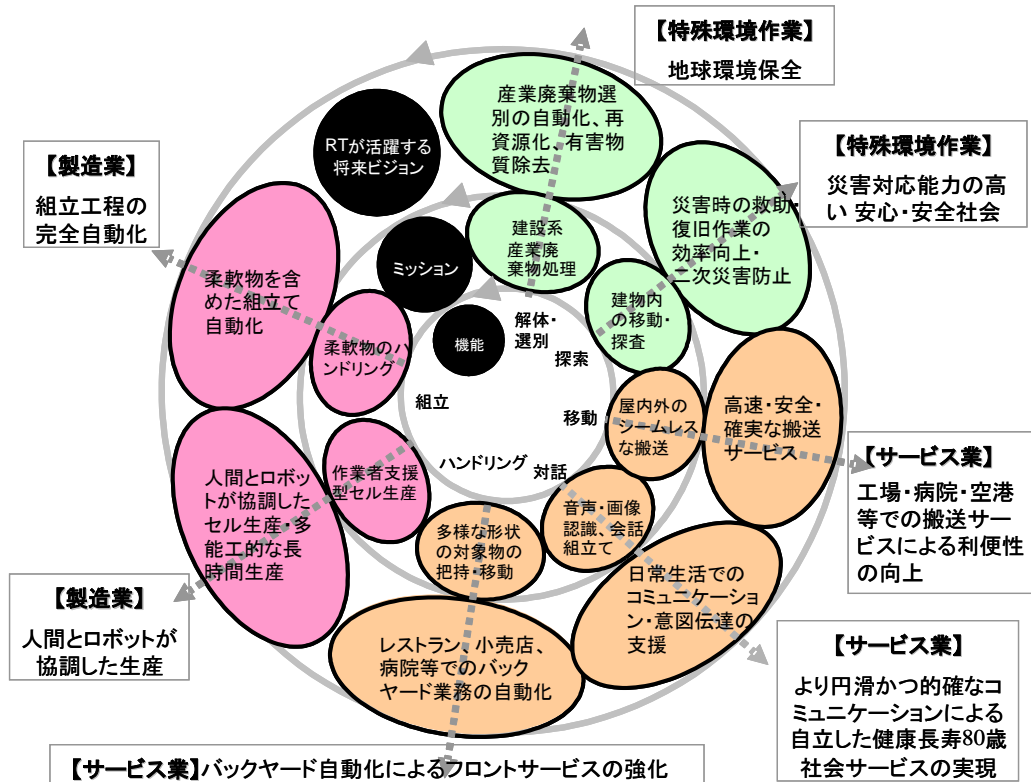


図 I .2.1 設定された7つのミッション

また、我が国経済の成長の源泉であるイノベーションの推進を通じて、先端的なロボットシステム及び要素技術を開発することにより、我が国ロボット産業の国際競争力を強化・維持するとともに、当該技術群が、ロボット以外の製品分野（自動車・情報家電等）にも広く波及することが期待される。

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

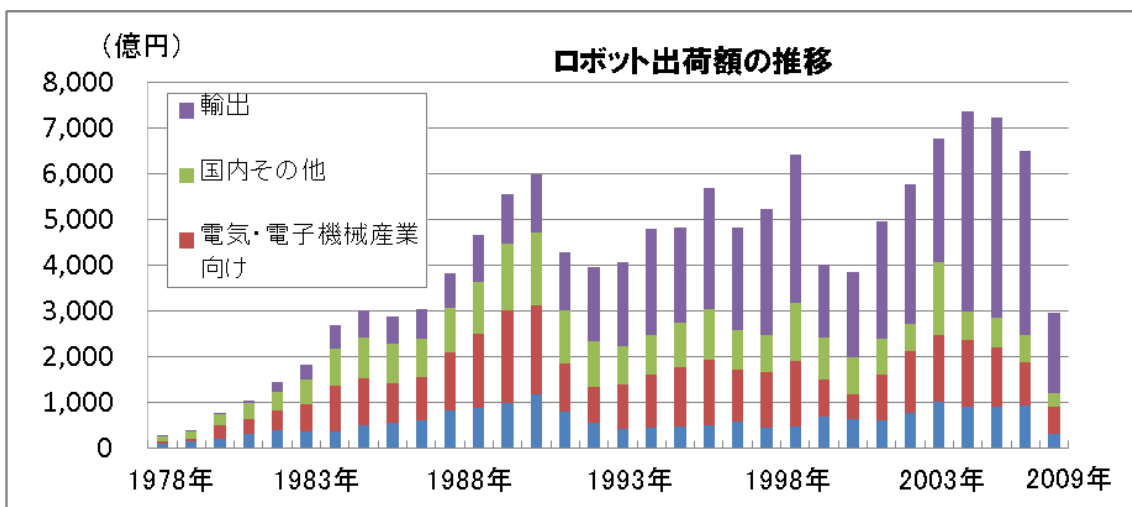


図 I .2.2 ロボット出荷額の推移

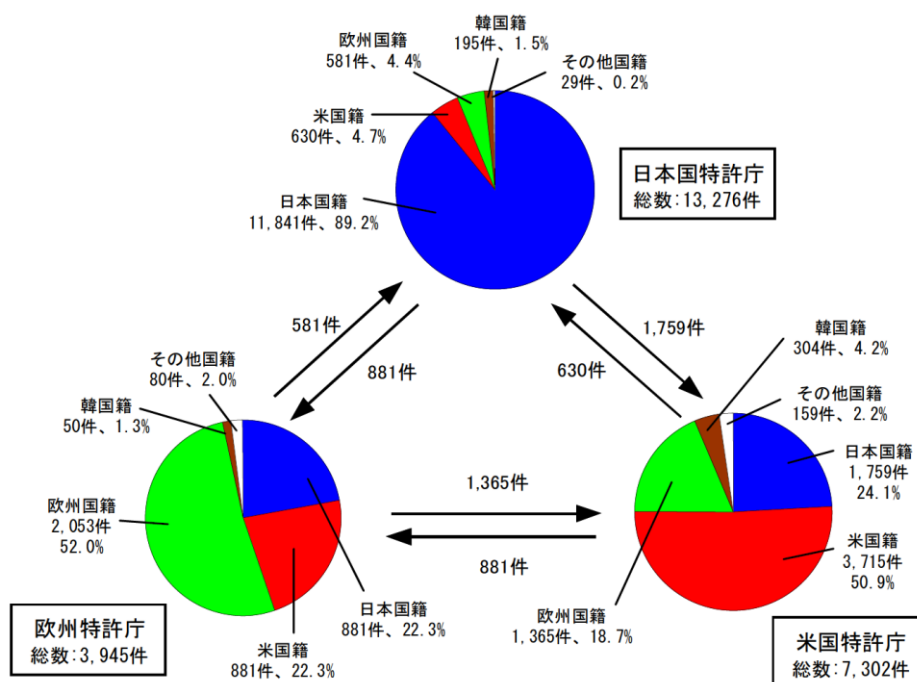


図 I.2.3 ロボット分野の出願先国別— 出願人国籍別出願件数

## 2.2 国のプログラムとの関連性

「平成16年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針」（平成15年度6月総合科学技術会議）では、ロボット技術は重点4分野の情報通信の中で人間と共存するロボットとして強化すべき研究開発課題として位置付けられており、また、「新産業創造戦略」（平成16年5月 経済産業省）の中で、ロボットが目指すべき7つの産業分野の1つとして位置付けられている。

図 I.2.4に日本におけるロボット分野の基本戦略を示す。

「ロボット・新機械イノベーションプログラム」では、家庭・医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指している。これを受けて、NEDOでは、「RTミドルウェア」の開発をはじめとしたロボットの基盤技術開発並びに「次世代ロボット実用化プロジェクト」「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」等のロボットの先行用途開発を実施してきた。これらに加えて、我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、ロボット適応分野を家庭・医療・福祉、災害対応など幅広い分野に拡大し、我が国の抱える諸問題を解決すると共に、産業競争力を強化することを目的に、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」を実施する。

このロボット・新機械イノベーションプログラムの中で、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」は、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を設定し、これらを達成するためのロボットシステム及び要素技術を開発し、実用化を推進する。これにより、新たな分野へのロボットの参入障壁を取り除き、次世代ロボットの産業競争力強化・市場拡大に貢献できる。これはロボットの活躍の場を家庭・医療・福祉や災害救助といった分野に拡大するというロボット・新機械イノベーションプログラムの目的に合致している。

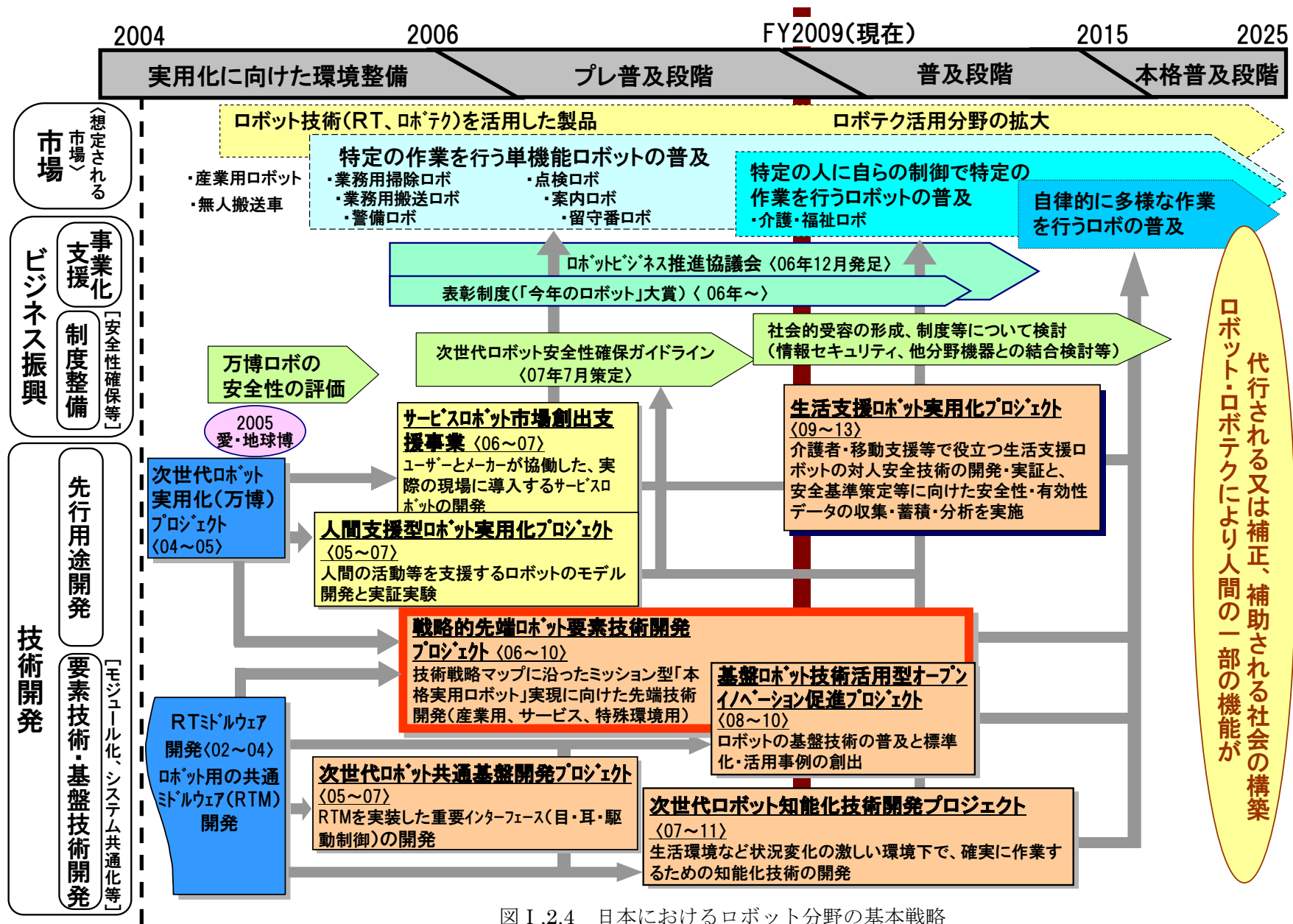


図 I.2.4 日本におけるロボット分野の基本戦略

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

ロボット・新機械イノベーションプログラムの要件に照らし、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成することを目標とする。

「ミッション」を設定する分野は、「ロボット技術戦略マップ」を踏まえ、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズが高いと考えられる「製造分野」、「サービス分野」及び「特殊環境下での作業分野」とする。

「ミッション」とは、上記3分野において、本プロジェクト終了時点（平成22年度末）に達成されるべき作業内容をいう。したがって、「ロボットシステム又は要素技術の開発」自体が本プロジェクトの目標ではなく、これらのシステム又は技術を用いて、あらかじめ設定された作業内容を実行すること、すなわち「ミッション」を達成することが、本事業の目標となる。

ただし、当然ながら、「ミッションの達成」自体はアウトプットに過ぎず、開発されたロボットシステム又は要素技術が発展することで、将来的に、市場ニーズ又は社会的ニーズが満たされることが、本プロジェクトを実施する真の意義・期待される効果（アウトカム）となる。したがって、研究開発主体は、開発されたロボットシステム又は要素技術が、プロジェクト終了後に各分野の実現場でどのように導入されるのか（＝導入のシナリオ）を明確に意識することが求められる。

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の項目について技術開発を行う。

なお、本事業では「ステージゲート制度」を導入し、実施する。「ステージゲート制度」については2.3「研究開発の運営管理」にて説明する。

#### I. 次世代産業用ロボット分野

研究開発項目①柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム

##### 1. 研究開発の必要性

自動車や家電等の組立工程において、変形しない部品の自動化はすで実現しているが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）のハンドリング、組み付け作業は今でも自動化が困難で人手に頼っている。また、同時に実行されることの多いコネクタの接続は多様な形状であり、掴み方、組み立て方が多様のため、これも自動化が困難な例が多い。本研究開発はワイヤーハーネス等の柔軟物を対象とする組み付け作業をほぼ全自動で実現するロボットシステムを開発する。

##### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

###### (1) 開発技術

- ①柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発
- ②柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術（ビジョンシステム、力制御、力センサ）の開発
- ③短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発

###### (2) 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

- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証す

る。

### 3. 達成目標

#### (1) 【最終目標】 実証ロボットでの実証

ロボットシステムが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、現場で容易にプログラムを組み替え可能なこと。

例えば、ワイヤーハーネスは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、パネルで作られた箱の内側にコネクタ 2 つがついている。

- ①供給箱からワイヤーハーネスを取り出し、
- ②ワイヤーハーネス両端末のコネクタをパネル側のコネクタに挿入し、
- ③ワイヤーハーネスの途中に装着されている固定ピンをパネルに挿入して、ワイヤーハーネスを壁面に固定する。

以上の動作を実現する。

#### (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。

## 研究開発項目②「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」

### 1. 研究開発の必要性

近年の製造業には多品種少量生産が求められており、従来のライン型組立システムに代わってセル型の組立システムが普及してきた。ライン生産では自動機械が組立作業を行い、人間作業者が各種段取り作業を行っていたのに対し、セル生産では機械は極力用いず、組立および各種段取り作業を人間作業者が行う。人間を多用することで初期コストが低く済むが、一方で熟練作業者を育成するのに時間がかかり、品質管理が難しいといった欠点も持つ。本ミッションでは、セル生産で作業者とロボットとの協働を目標として、現状より高生産性で使いやすいセル生産システムを確立する。

### 2. 研究開発の具体的内容

作業者とロボットが協働するセル生産システムの構築を目標として、組立作業者をロボット技術が物理的・情動的に支援することで、高生産性で多品種少量生産に適するシステムを確立する。セル生産システムの特徴である機種切り替えへの迅速な対応は現有システム並みの能力を持ち、同時に十分な高生産性を達成する。

例えば、組立は人間作業者が行き、配膳作業（必要部品を部品箱から取り出し、位置姿勢を整えて、作業順に配膳する）や部品搬送といった段取り作業をロボットが担当することで、セル生産の問題点の解消を目指す。

#### (1) 開発技術

- ①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術(注)
- ②必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる。

- (2) 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
- ・上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

### 3. 達成目標

#### (1) 【最終目標】 実証ロボットでの実証

開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して性能を定量的に明らかにすること。

#### (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。

## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目①「片付け作業用マニピュレーションRTシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

高齢化社会、労働力不足に対応するため、社会の効率化と、人間の創造力を発揮することを支援するRT環境を提供することが求められている。

日常作業において、バックヤードにおける収納作業に着目し、これまでは人手により対応している「整理整頓」を実現するRTシステムを開発する。

具体的には、レストランの食器片付け、家庭の食事後の片付け、洗濯物の折りたたみ・収納、オフィスの書類・事務用品整理など、乱雑におかれたものを整理整頓・収納するという単純労働を、ロボット技術（RT）で代替する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①多様な形状を有する対象物を、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
- ②対象物の位置姿勢を識別し、収納するための空間構造化技術
- ③上記を実行するための、器用なハンドおよび軽量高剛性マニピュレータの開発

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

### 3. 達成目標

#### (1) 【最終目標】 実証ロボットでの実証

多様な形状を有する対象物（20種類以上）を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に収納する作業を実現する。なお、作業環境条件は実作業を考慮すること。

このような技術の具体的な実現例としては、

レストラン、家庭などの状況を想定し、乱雑に置かれた食器（陶器）、食事道具（ナイフ、フォーク：金属）、箸（木製）などを識別し、隣接した食器戸棚、ストレージ、



食洗器に収納するトータルシステムをバックヤードなどにおいて実現する。

## (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。

## 研究開発項目②「高齢者対応コミュニケーションRTシステム」

### 1. 研究開発の必要性

「日本21世紀ビジョン」において謳われているように、「健康長寿80歳」を実現し、主体的に生きるための自立環境を構築することが求められている。

単身もしくは夫婦で自立した生活を送っている高齢者は、掃除・洗濯・料理などの家事程度はこなすことができたとしても、日常生活において些細なことに苦勞する場合がある。例えば、ゴミや新聞紙などを外に出す、電気器具の使い方が分からない・故障に対処できない、などである。かつての大家族の時代であれば、子や孫に頼めば簡単に片付いたような作業であっても、高齢者には対処が困難なことがある。このような、わざわざ人を呼び出すほどではないが、何らかの困難の伴う作業を支援するサービスロボットがあれば、高齢者の自立的な生活を支援することができる。

これらを実現するため、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、すなわち、日常生活における、人に頼むには気が引ける「ちょっとした作業代行」をRTで代行可能とするRTサービスフレームワーク、特にヒューマンロボットインタラクション技術と、エージェント（代行）技術を開発する必要がある。

さらに、「時持ち」に対する、スキル教授支援などにも適用でき、ひいては、家庭、社会におけるRTによる支援空間サービスとして多くのRTビジネスが期待できる。

### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

#### (1) 開発技術

- 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

#### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

### 3. 達成目標

#### (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。

### 研究開発項目③「ロボット搬送システム」

#### 1. 研究開発の必要性（位置づけ、意義、必要性）

オフィスや施設等の人との共存環境下において、ロボットが自己位置を認識し、人や障害物を回避しながら自律的に、かつ、安全に移動できることは、サービスロボットにとって非常に重要で、誘導や搬送作業等の多くのサービスで必要とされる要素機能である。

搬送作業として例えば、ゴミ箱運搬作業、病院での検体・薬品等の搬送、空港でのポーター、工場内での危険物搬送等は多大な労力を要するため、今後ロボット化が期待されている。

#### 2. 具体的研究内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

##### (1) 開発技術

- ①人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術
- 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

##### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 【最終目標】実証ロボットでの実証

人間や障害物が多く存在する可変環境において、屋内外をシームレスに移動でき、指定場所に設置された搬送物を、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。

（凹凸・段差2cm、エレベータや扉・ドアを含む屋内及び屋外（事業所・施設等の敷地内における屋外空間）環境下を人の歩行速度程度で搬送）

##### (2) 【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）

### Ⅲ. 特殊環境用ロボット分野

#### 研究開発項目①「被災建造物内移動RTシステム」

#### 1. 研究開発の必要性

近年の大規模災害の発生頻度には目を見張るものがある。1990年代の自然災害による死者59万人のうち41万人(70%)はアジアに集中しており、アジアのリーダーでありRT大国を目指す日本としては、技術面からの人道的貢献が求められている。この分野で国際的なリーダーシップを取ることは、他の手段では得難い大きな国益を我が国にもたらすと考えられる。

自然災害や人為災害における人命救助は中でも最も重要である。被災した建物内（地下鉄、地下街、高層ビルなど）はきわめて危険性が高く、人命救助等におけるRTのニーズが最も高い空間である。初動時における迅速な情報収集は、救助や緊急医療と並んで最も重要なプロセスであり、高速かつ分散的な情報収集による高効率化と高精度化がその後の被害軽減活動全体の成否を左右する。危険空間で人間が情報収集を行うことは二次災害が発生する確率を増大させるため、RTによる支援が望まれる。複数ロボットが建物内を高速に走破できる機能は、そのために必要不可欠である。

複数ロボットの高速走破の実現のために必要な技術は、高速移動メカニズムの開発のみならず、移動体の半自律性、オペレータの遠隔操作のための環境認知と移動行動司令、建物内での通信と位置計測、GIS (Geographic Information System) への情報マッピング、一時的な環境構造化、分散協調など、多岐にわたっている。これらは、特殊環境ロボット（災害対応ロボット、建設ロボット、プラント保全ロボット、セキュリティロボット、農林業ロボット、屋外自律走行車両など）のみならず、ありとあらゆるRTシステムのために重要な基盤技術であり、その波及効果はきわめて大きい。

## 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

### (1) 開発技術

- ①複数のロボットが地下鉄（含改札）、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間（階段、ドアを含む）において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、迅速な移動技術の開発。ただし、ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。
- ②1台の会議机に15分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作（移動行動司令）ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。
- ③建物内のロボット群から700m以上離れたオペレータステーションに、複数の遠隔操作映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる、通信技術の開発。
- ④複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS上にマッピングできる測位技術とGIS技術の開発。

### (2) 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

上記開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、地下鉄駅等にて高速移動をメインとする課題を実行する実証試験を行うことにより開発技術の有効性を実証する。実証試験は研究期間中（2年度目後半～5年度目）数回にわたって開催し、難易度を変えた課題が設定される。

## 3. 達成目標

### (1) 【最終目標】（最終実証試験）

複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（絞り込み評価終了後に仕様を与える）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。

## (2) 【中間目標】

ドアは自動、または、押せば開く方式であり、照明が正常であるケースを想定し、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、研究期間中数回にわたって開催される実証試験にて示すことが求められる。

## 研究開発項目②「建設系産業廃棄物処理RTシステム」

### 1. 研究開発の必要性

建設廃棄物を解体・処理する際は、材質（素材）別に資源として再利用可能な物と、焼却可能な物、最終処分場へ埋める物に分類する作業を伴う。建設現場において現在この分類作業は、油圧ショベルを主とした破碎機により解体、人力による建設現場内での粗選別を経て、中間処理施設等で精選別を行うのが一般的である。建設現場内および中間処理施設で選別する際の問題点として、様々な気象条件（夏期の高温多湿、冬期の低温下、降雨、降雪など）や粉塵が伴う劣悪な環境化で作業を行っていることが挙げられる。また、近年建物の解体時において、建材中に石綿が混入することによる作業員の健康に対する影響や外部への飛散が問題視されている。つまり、現在人間が「手選別」で実施している作業において、作業環境と安全性に問題のある工程の自動化が望まれている。

一方、既に最終処分場に搬入されている廃棄物についても、廃棄物最終処分場の残余量は減少の一途をたどっていることから、再資源化可能な物を完全に選別して処分場へ持ち込まないことが求められている。

建設現場から排出される廃棄物を0とすることを目指して、本ミッションでは、①建物解体現場、②中間処理場、③最終処分場での適用のうち、①建物解体現場に焦点を当て、ロボット技術による解体・選別作業効率、建物解体中におけるオペレータ、作業員の安全性確保、周辺の住民の安全性などの向上を実現する。

### 2. 研究開発の具体的内容

後述の最終目標（ミッション）を達成するために、下記技術開発を行う。

#### (1) 開発技術

- ①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法
- ②解体・選別作業を効率よく、安全に、かつ高信頼度で行う技術
- ③解体現場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータの開発
- ④現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェースの開発（複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等）

#### (2) 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

上記の開発技術を組み込んだプロトタイプ機を製作し、開発技術の有効性を実証する。

### 3. 達成目標

#### (1) 【最終目標】

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータを開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」

(2) 【中間目標】

①「建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。」

解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質（コンクリート塊、廃プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等）を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。

②「建物解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できること」

建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に関する要素技術を開発する。

これらの開発スケジュールと開発予算の推移を下表に示す。

表Ⅱ.2.1 研究開発スケジュールと開発予算

	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
事業の計画内容	柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム					→	
	人間・ロボット協調型セル生産組立システム					→	
	片付け作業用マニピュレーションRTシステム					→	
	高齢者対応コミュニケーションRTシステム					→	
	ロボット搬送システム					→	
	被災建造物内移動RTシステム					→	
	建設系産業廃棄物処理RTシステム					→	
	開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	一般会計	1,045	950	760	718	468
	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	0	0	0	0	0	0
	総予算額	1,045	950	760	718	468	3,922

## 2.2 研究開発の実施体制

本事業は、NEDO技術開発機構が、企業、大学・研究機関等によって構成される研究開発グループ（研究共同体であって法人格である必要はない。企業、大学・研究機関等の単独での構成も可とする）を公募によって、原則として各ミッション毎に複数選定の上、実施した。

また、市場調査事業およびステージゲート評価基準策定を行う機関を公募により選定した。

本事業は、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下にミッションの設定分野毎に責任者（サブプロジェクトリーダー）を置き、それぞれのミッション達成目標を実現すべく研究開発グループ（提案者）毎に研究開発を実施する方式を採用した。

プロジェクトリーダーについては公立大学法人首都大学東京 谷江和雄 教授の下、研究開発を開始したが、平成19年6月に逝去されたため、プロジェクトリーダーを独立行政法人産業技術総合研究所 平井成興部門長（現所属：千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター）の下、研究開発を実施している。

# ○実施体制

## (ステージゲート実施前)

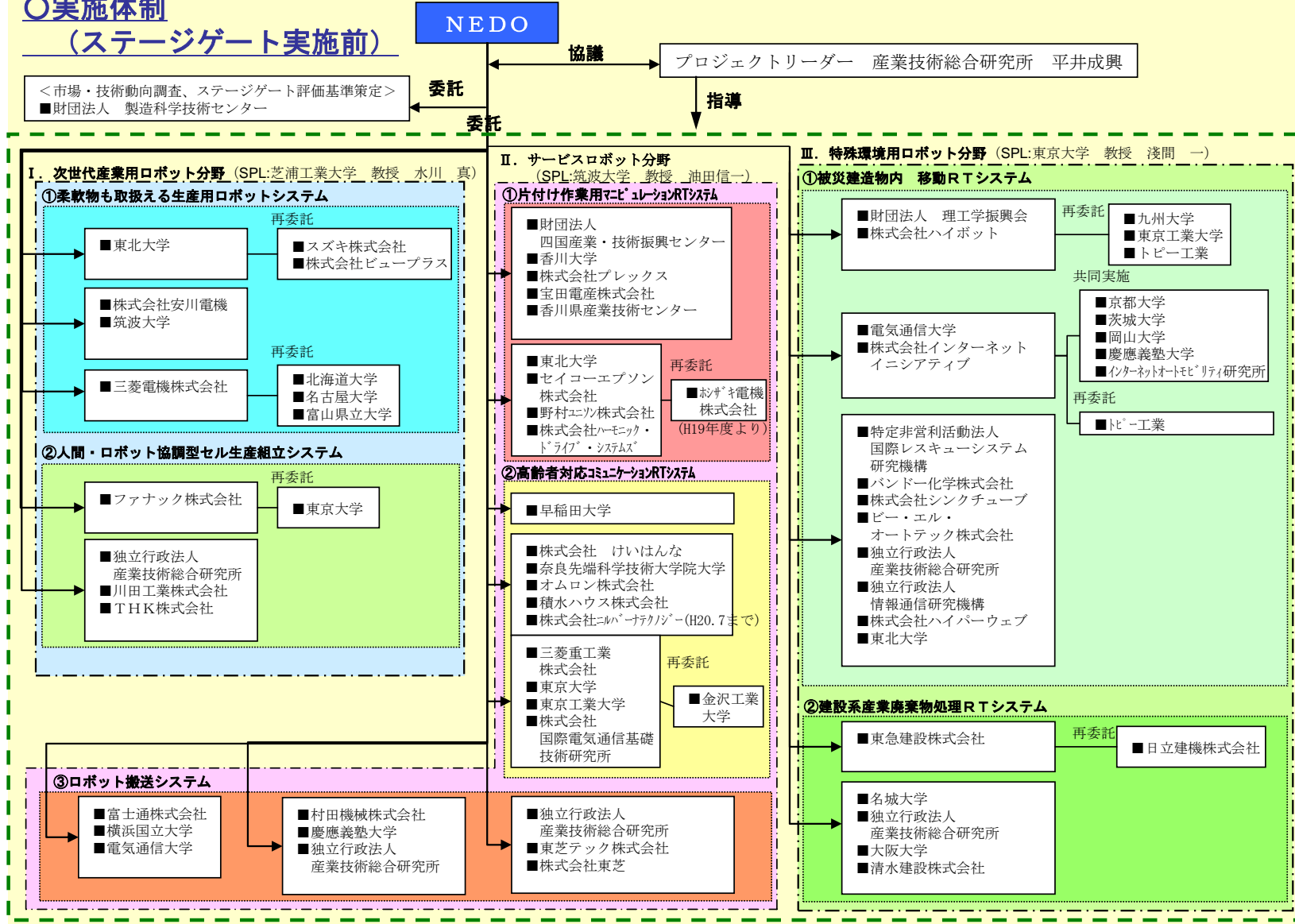


図 II.2.1 実施体制 (ステージゲート実施前)

# ○実施体制

(ステージゲート実施後)

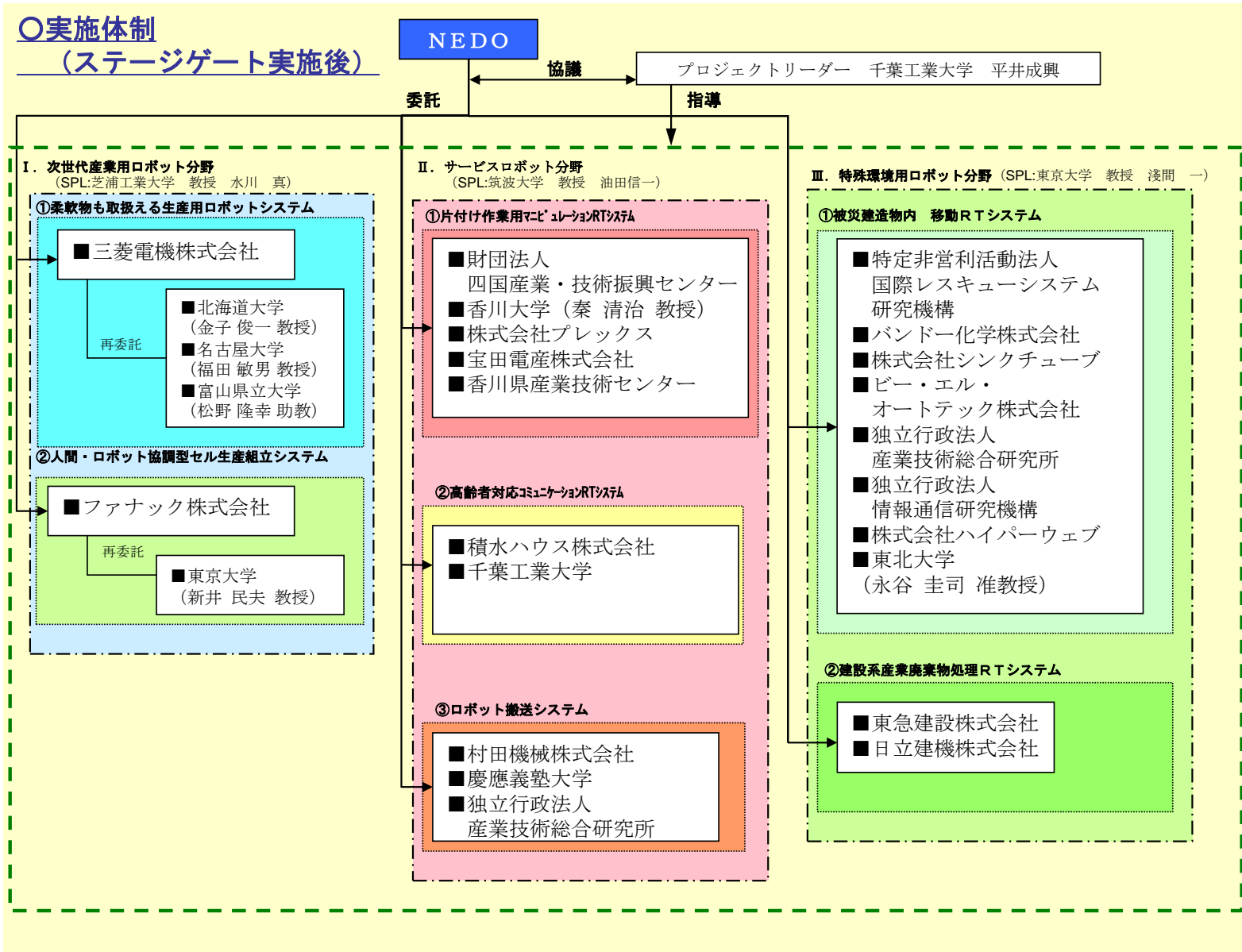


図 II.2.2 実施体制 (ステージゲート実施後)

## 2.3 研究開発の運営管理

プロジェクト全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本プロジェクトの目的及び目標に照らした運営管理として以下について実施した。

- ①必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。
- ②プロジェクトリーダー等は、当該報告等を踏まえ、研究開発グループに対し、適宜指導・助言を行う。
- ③研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、「ステージゲート制度」を導入した。

本プロジェクトではロボット政策研究会の提言を踏まえ、「ステージゲート方式」を導入した。米国 DARPA(国防総省高等研究計画局)方式のミッション設定競争的プロジェクトを例としたもので、競争原理を導入したミッション指向型のプロジェクトとなっている。

これは従来の「要素技術開発の後にシステム統合してロボット開発」というプロセスではなく、「課題解決の為のミッションを設定し、競争的にロボット開発」というもので、技術開発に競争原理を取り入れることにより、イノベーションが加速することを目的としている。また、製品として世に出すことを強くイメージした、事業性、現場に導入されるための工夫なども重要な開発項目であり、「個別の技術の新規性を目指した研究」よりも、「既存の技術でも実用性、現場への適合性のために行われた技術開発」が重要となる。

「ステージゲート制度」では、プロジェクト実施期間を前半3年間の「ステージⅠ」(平成18～20年度)と後半2年間の「ステージⅡ」(平成21～22年度)に分け、「ステージⅠ」の最終段階(平成20年度)に、絞り込み評価を実施した。絞り込み評価では、研究開発目標に対する「達成度」、「再現性・安定性」、「ミッション達成の所要時間」等を踏まえて、定性的・定量的に評価した。絞り込み評価を踏まえ、「ステージⅡ」(平成21年度以降)では、絞り込み評価で高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して重点的に行うこととした。絞り込みに当たっては、原則、ミッション毎に、1グループに絞ることとした。なお、研究開発主体の絞り込みについては、複数のミッション間で相対的に評価を行うことは困難であるため、原則ミッション毎に実施した。

また、ステージⅡに移行するにあたり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、ミッション及び実施体制を見直すとともに、基本計画の最終目標の具体化し、事業化年度についても最終目標として設定した。

本プロジェクトの目的・目標達成に向け、「ステージⅠ」では、ステージゲート評価における評価基準等の策定、事業化に向けたの調査検討等を目的とした事業を公募により、財団法人製造科学技術センターに委託した。

財団法人製造科学技術センターでは「推進委員会」「技術委員会」「評価委員会」を組織し、プロジェクトの運営を行った。

「ステージⅡ」においては、進捗状況および実用化(事業化)に向けた本気度を確認する目的で現地指導および現地実査を実施するために、「推進委員会」を再編し、プロジェクト運営を行った。

5年間にわたる委員会の開催実績は以下のとおりである。

### (1) 各種委員会の開催

表Ⅱ.2.2 各委員会開催回数 (単位：回)

	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	計
推進委員会	5	4	0	14(※)	14(※)	37
技術委員会	18(※)	24(※)	12(※)			54
評価委員会	1	2	22(※)			25
計	24	30	34	14	14	116

※ 実施者の研究実施場所における現地指導および現地実査を含む。



## (2) 各種委員会体制

表Ⅱ.2.3 推進委員会委員構成(H18～20年度)

氏名	職位	所属
H19.6より 平井 成興(PL)	委員長	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門長
水川 真(SPL)	委員	学校法人芝浦工業大学 教授
油田 信一(SPL)	委員	国立大学法人筑波大学 教授
浅間 一(SPL)	委員	国立大学法人東京大学 教授
金子 誠	委員	国立大学法人大阪大学 教授
横井 一仁	委員	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門
H20.7まで 和田 充雄	委員	国立大学法人北海道大学 教授
H19.6まで 谷江 和雄(PL)	委員長	公立大学法人首都大学東京 教授
H19.6まで 比留川博久(PL代行)	委員	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 副研究部門長

(順不同、敬称略)

表Ⅱ.2.4 技術委員会委員構成(H18～20年度)

氏名	職位	所属
次世代産業用ロボット分野WG		
水川 真(SPL)	委員	学校法人芝浦工業大学 教授
金子 真	委員	国立大学法人大阪大学 教授
古田 貴之	委員	学校法人千葉工業大学 所長
大築 康生	委員	財団法人新産業創造研究機構
中井 潤	委員	三井リース事業株式会社
サービスロボット分野WG		
油田 信一(SPL)	委員	筑波大学 教授
中内 靖	委員	筑波大学 准教授
石黒 周	委員	株式会社MOTソリューション
小柳 樹弘	委員	株式会社損害保険ジャパン
H20.7まで 和田 充雄	委員	国立大学法人北海道大学 教授
特殊環境用ロボット分野WG		
浅間 一(SPL)	委員	国立大学法人東京大学 教授
大隅 久	委員	学校法人中央大学 教授
横井 一仁	委員	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門
三好 和人	委員	東京消防庁
H20.4～ 土井 裕幹	委員	福岡市経済振興局
H19.4～H20.3まで 安部 寿	委員	福岡市経済振興局
H19.3まで 北島 昭三	委員	福岡市経済振興局

(順不同、敬称略)

表Ⅱ.2.5 評価委員会委員構成 (H20年度)

氏名	職位	所属
牟田 博光	委員長	学校法人東京工業大学
木嶋 豊	副委員長	株式会社テクノロジー・アライアンス・インベストメント
大築 康生	委員	財団法人新産業創造研究機構
中内 靖	委員	筑波大学 准教授
大隅 久	委員	学校法人中央大学 教授
石黒 周	委員	株式会社MOTソリューション
池田 博康	委員	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
中井 潤	委員	三井リース事業株式会社
土井 裕幹	委員	福岡市経済振興局

(順不同、敬称略)

表Ⅱ.2.6 推進委員会委員構成 (H21～22年度)

氏名	職位	所属
平井 成興(PL)	委員長	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門長
石黒 周	副委員長	株式会社MOTソリューション
水川 真(SPL)	委員	学校法人芝浦工業大学 教授
油田 信一(SPL)	委員	国立大学法人筑波大学 教授
浅間 一(SPL)	委員	国立大学法人東京大学 教授
徳納 孝昭	委員	株式会社損害保険ジャパン
池田 博康	委員	独立行政法人労働安全衛生総合研究所

(順不同、敬称略)

## (3) ステージゲート評価について

プロジェクト外の有識者により組織した評価委員会において、平成18～19年度にかけて、ステージゲートにおける評価基準の策定を実施した。評価委員にはロボット研究者だけではなく、事業面、安全面、ユーザー等の様々な立場の有識者を選定し、評価手法の専門家を委員長としてステージゲート評価を実施した。

ステージゲート評価では

- ①ステージゲート成果報告書
- ②実証システムによるデモンストレーション (現地実査)
- ③プレゼンテーション

を総合して評価を実施することとした。

ステージゲート成果報告書では、成果報告書では技術的な報告書の他、事業計画書の作成を義務づけ、想定顧客や事業化体制、想定する売上げ、コスト試算等を記載することにより、事業化を強く意識した評価を行った。事業計画書の作成においては、グループの研究責任者ではなく事業化責任者が記載することとし、企業としての具体的な事業展開の説明を求めた。

また、開発したプロトタイプロボットシステムによるデモンストレーションでは、システムの完成度とともに、チャンピオンデータや実験室レベルでの少ない動作でなく、再現性、ロバスト性に優れ、想定する実用先への適用可能性についても評価を行った。そのため、より実環境に近いところでのデモンストレーションが求められ、被災建造物内移動RTシステムのテーマにおいては、渋谷駅(東京)や三宮地下街(神戸)といった場所で一般利用者がいなくなった深夜にデモンストレーションが行われた。

表Ⅱ.2.7 ステージゲート現地実査について

実施期間	H20/10/22 ~ 12/3 (延べ14日間)
実施場所	18箇所 (18グループ)
参加者	PL, SPL, 評価委員等 (延べ約280人)

### 3. 情勢変化への対応

#### (1) 柔軟な体制変更

平成18年度の技術委員会および年度末成果報告会にて、「サービスロボット分野：片付け作業用マニピュレーションRTシステム」の東北大学グループは個々の技術レベルが高いものの全体システムおよび事業化にむけたシナリオが不明確であったため、ユーザー企業をメンバーに取り組みべき、と指導を行い、平成19年度より厨房メーカのホシザキ電機株式会社がグループメンバー（再委託）として参加した。この実施体制の変更により、全体システム像、事業化への道筋が具体化され、質の高い研究開発を行うことが出来た。

また、平成20年度に、「サービスロボット分野：高齢者対応コミュニケーションRTシステム」のけいはんなグループでは事業化を担当していた株式会社ニルバーナテクノロジーが経営不振によりプロジェクト継続を断念（その後倒産）したため、グループにおける実施体制の見直しを実施した。その結果、事業化体制強化のため協力を要請していた株式会社ビジネスデザイン研究所が外部協力者としてプロジェクトに参加することにより、プロジェクトを継続することとした。

#### (2) ステージゲート評価結果を受けての再公募の実施

平成20年度に実施したステージゲート評価では、サービスロボット分野：高齢者対応コミュニケーションRTシステムについては、参加していた3グループ全て設定した基準を満たさなかったため、3グループの委託を打ち切り、基本計画の見直しとともに再公募を実施した。

#### (3) 最終目標の見直し

ステージゲートを通過したグループについては、最終目標を見直し、数値目標を含め具体的な目標を再設定した。特に事業化を意識した研究開発を行うため、最終目標に研究開発項目毎に事業化する年度についても明記した。

#### 4. 中間評価への対応

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

表Ⅱ.4.1 中間評価での指摘事項及びその対応内容

指摘事項		対応内容
1	実用化・事業化を強調するために、達成目標が実用化できる範囲に設定されたテーマも散見され、今後ブレークスルーとなる革新的な技術への取り組みを更に強化することを期待する	実用化を意識した指導を実施し、その中で世界最高水準の革新的な技術も多数開発している。これまで人でしか出来なかった作業の自動化技術や、瓦礫環境での走破性の高いロボットの開発等について、実証実験を実施しながら実用化を意識するような指導・助言を実施した。
2	今後どのようなキー技術に対してブレークスルーが必要かの議論を行い、次のプロジェクトへの方向性を提言する等の運営が必要である。	ロボット技術戦略マップの改訂に着手し、マップに沿った新たな方向性について、ロボット関連プロジェクト全体における課題を整理して、次のプロジェクトへの方向性を提言した。
3	ステージゲート方式による競争原理の導入は、目的をより良く達成するための積極的な取り組みの1つであり、高く評価できる。高齢者対応RTシステム分野では、全ての研究グループがステージゲートを不通過となり、再公募で新しいグループが後半2年間で実用化・事業化を目指すことになった。これは大きな決断を要するマネジメントのステップであり、目標達成に向けて最大限の検討を行う必要がある。	高齢者対応RTシステム分野では実用化の最終目標を達成するために適切なマネジメントを実施したものの、技術レベルおよび事業化の期待度等から、全ての研究グループをステージゲート不通過とした。ステージゲート後に基本計画の変更を行い、事業化の可能性を踏まえて、開発技術項目を「音声認識を用いたコミュニケーション技術」に絞った上、最終目標を達成できる提案を、外部有識者による採択委員会にて新たに採択した。2年間の開発期間の中で、最終目標までの道程を明確にするための的確な指導・助言を行った。さらにPL、SPLを含めた推進委員会で指導を行った。

#### 5. 評価に関する事項

NEDOは平成20年度にステージゲートによる絞込評価を実施し、平成21年度に外部有識者による技術開発の中間評価を実施した。さらに、技術的及び政策的観点から見た技術開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等の観点から、外部有識者による技術開発の事後評価を平成23年度に実施する。

### Ⅲ. 研究開発成果および実用化、事業化の見通しについて

#### 1. 事業全体の成果

##### (1) 目標の達成度

プロジェクトの中間目標では、プロトタイプロボットシステムにより最終目標として掲げた目標に到達できるような見込みを示すことを求め、ステージゲート評価により3分野7テーマについての18グループ全てがプロトタイプロボットシステムによるデモンストレーションを行い、1テーマ1グループ、計7グループの体制に絞り込みを行った。

ステージゲート評価後の最終目標では、事業化または実用化の目標を追加し、中間目標で開発したプロトタイプロボットシステムを用いて各グループが真のユーザーを想定（一部は実際の現場に持ち込み）し、実証試験を実施することとした。さらに、試験時にユーザーから得られた要望や試験結果を基に、実用化に向けた改良を実施し実用化に向けた改良を実施し、全てのグループで目標を達成した。

各テーマにおける主な成果は以下の表の通り。

（達成度に関しては、◎：目標以上の成果、○：目標達成、△：目標概ね達成とする。）

表Ⅲ. 1. 1 次世代産業用ロボット分野：柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>ロボットシステムが、柔軟物（コネクタ付ケーブル等）を筐体内に取り付け一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、代表的な部品や設計情報などが登録されているデータベースなどを活用して、立ち上げ、調整時間が従来の 1/3 以下で品種追加、動作可能なこと。</p> <p>具体的には、コネクタ付ケーブルは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、箱の内側の電気部品や基板にコネクタが 2 つ以上ついている。</p> <p>①供給部からコネクタ付ケーブルを取り出し、 ②コネクタ付ケーブル両端末のコネクタを電気部品や基板側のコネクタに挿入し、 ③代表的な作業エラーが発生した場合には、自動的に復旧し、作業を継続する。</p> <p>以上の動作を人と同等以上の生産量で実現する。</p> <p>最終的にはプロジェクト終了後 2 年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。</p>	<p>①3次元センシング技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サイズ約 300cc、通常カメラの 4 倍のダイナミックレンジを実現するカメラ投光部一体型の小型三次元センサヘッドユニットの開発</li> <li>・コネクタエッジの位置誤差±1mm、認識処理時間 1.5 秒以内のコネクタ位置姿勢認識アルゴリズムの開発</li> <li>・位置精度±2mm、処理時間 2 秒/視点以下のモーションステレオ計測による 3 次元位置計測手法の実現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヘッドサイズ 300cc（ヘッド分離型）およびダイナミックレンジ従来比 400% 向上の実現</li> <li>・計測時間 1 秒以下、距離比分解能 0.1%以下、コネクタ位置誤差±1mm、認識時間 1.5 秒達成</li> <li>・計測時間 2 秒/視点以下、ワイヤハーネス計測精度±2mm 達成</li> </ul>	○
	<p>②組み付け制御技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コネクタ挿入作業を人の 1 倍以内の時間で実現する力制御方式の開発</li> <li>・分解能 0.2%直線性 1%以下、コスト従来の 1/3 以下の力覚センサの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人の 1 倍の時間で挿入作業を実現</li> <li>・分解能 0.2%、直線性 1.1%、コスト 従来の 1/3 以下を達成</li> </ul>	○
	<p>③柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・典型的な作業動作のロボットプログラム生成機能と頻度の高い作業に対するオフラインガイダンス機能を有するプログラム生成システムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プログラミング、調整工数の従来比 1/5を達成</li> </ul>	○
	<p>④作業エラーからの自動復旧技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ミッション実行時に想定される作業エラーからの自動復旧率 80%の自動復旧方式の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多品種コネクタで 80%以上の自動復旧率を確認</li> <li>・ねじ締めエラー状態認識成功率 95%を達成</li> </ul>	○
	<p>⑤FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発技術を統合し、ケーブル取り出し、コネクタ組み付け、基板、カバー組み付け作業を実現する実証システム開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要素技術を統合し人の作業時間と同等の作業時間、安定した自動復旧を確認した</li> </ul>	○

表Ⅲ.1.2 次世代産業用ロボット分野：人間・ロボット協調型セル生産組立システム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。</p> <p>生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした生産性において既存セル（人間中心セル）から2割向上。</p> <p>機種切り替え時間：既存セル生産システムの1/2。</p> <p>最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。</p>	<p>①作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術</p>	低重心本質安全設計・安全センサでのロボット移動時の安全確保	◎
		多重系機能安全による作業 者協調時の安全対策の確立	
		リスクアセスメント(171項目の危険源の同定・リスク低減)	
	<p>②必要な時に必要な量の部品を整理して供給する作業支援技術</p>	移動配膳協調ロボットの開発、 部品配膳・作業支援機能の実証	◎
		9種バラ積み部品のピンピッキングの実証	
		知能化部品トレイによる品種・熟練度に応じた作業支援の切替え	
	<p>③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術</p>	作業者位置姿勢測定システムの開発、作業者の身体8部位の位置情報の取得、実用レベルでの位置精度・検出速度の実現	◎
		心的負担測定系の開発、情報支援・ロボットとの協調作業時の心的負担の評価、設計基準・安全基準の導出	
		作業教示支援システムの開発、作業初心者に伝達すべき作業注目点を作業成績との相関から抽出する方法論を確立	
		作業情報支援システム(ソフトウェア・ハードウェア)の開発、作業モデル編集ソフトウェアによる作業手順変更の容易化	



表Ⅲ.1.3 サービスロボット分野：片付け作業用マニピュレーションRTシステム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>多様な形状を有する対象物を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に分類・格納する作業を実現する。</p> <p>具体的には、業務用洗濯ラインにおいて、乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入するトータルシステムを実現する。</p> <p>実際のビジネスで取り扱うアイテムとそれを扱う人手作業の速さから、分類数や格納サイズ、処理速度についての目標値は以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ベッドアイテム洗濯前・分類投入実証機：</li> </ul> <p>ベッドアイテム（シーツ、枕カバー、浴衣）の洗濯前・分類投入作業場の自動化を想定し、洗濯物の形状、重量、色等の違いから2000枚/h以上の速さで4種類以上に分類する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バスルームアイテム仕上げ前・分類投入実証機：</li> </ul> <p>バスルームアイテム（バス、フェスタオル、バスマット）の仕上げ前の投入作業場の自動化を想定し、一枚ごとに展開し、種別判定して、折り畳み仕上げ機に投入する。</p> <p>実証試験では10種類以上のアイテムをサイズや色・模様を設定・識別して仕上げ機から排出する際に、自動選別・スタックする。折り畳み仕上げ機と組み合わせて800枚/h以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を行う。</p> <p>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。</p>	①柔軟な布形状の計測と端点検出可能な視覚技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物の位置姿勢を識別するための3次元視覚センサを開発した。ハンドタオル、フェスタオルの種類及び表裏判別を成功率97.96%で実現した。</li> </ul>	◎
	②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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第7軸斜めハンドや辺把持用ロングストロークたぐりハンドを実現した。</li> </ul>	○
	③洗濯物の把持、整形を行うための補助システムの整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・力センサと視覚センサの総合種別判別による混流柔軟物分類システムを開発した。</li> </ul>	○
	④実用化に必要な性能（1時間当たり800枚）の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1時間当たり400枚を実現した。</li> <li>※高速化、効率化により1時間当たり800枚を実現できる見込みを得た。</li> </ul>	△

表Ⅲ.1.4 サービスロボット分野：高齢者対応コミュニケーションRTシステム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>RTシステムを用いて高齢者の声を認識し、コミュニケーションをとりながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握などの高齢者向けのサービスを提供する。</p> <p>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。</p>	<p>①会話主体のコミュニケーション技術の確立</p>	<p>・『音声コミュニケーション』『自動問診アプリケーション』を開発し、実証試験を実施した。</p>	<p>○</p>
	<p>②高齢者も対応できるヒューマンロボットインタラクションの開発</p>	<p>・『RTマスコット』『タッチパネル』『バイタルセンシングチェア』による在宅健康管理・支援システムにより、高齢者が1ヶ月間使い続けられる』プロトタイプシステムを開発した。</p>	<p>○</p>

表Ⅲ.1.5 サービスロボット分野：ロボット搬送システム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>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フェースを備え、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。</p> <p>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。</p> <p>(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)</p> <p>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。</p>	<p>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</p>	<p>全方向へ移動可能とする機構技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>凹凸・段差1cm、隙間3cmに対応した</li> </ul>	◎
		<ul style="list-style-type: none"> <li>エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発した。</li> </ul>	◎
		<ul style="list-style-type: none"> <li>搬送物を安全に搬送する技術の開発</li> </ul>	◎
	<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RT分散処理技術の研究開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>自動環境地図生成技術の開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>自己位置同定技術の開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>障害物回避技術の開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>転倒防止技術の開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>安全・異常検知技術の開発</li> </ul>	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>安全性・耐故障性技術の開発</li> </ul>	○

表Ⅲ.1.6 特殊環境用ロボット分野：被災建造物内移動RTシステム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（施錠していない丸型またはレバー型ノブ付きドア）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。</p> <p>また、訓練所・地下街・建物内などで3回以上の実証試験を行い、最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制を構築する。</p>	<p>①複数のロボットが地下鉄（含改札）、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間（階段、ドアを含む）において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、迅速な移動技術の開発。ただし、ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速移動が可能で、瓦礫環境での走破性が高く、階段途中での旋回すら可能な、重量30kg以下の小型軽量ロボット：Quince（クインス）、Kenaf（ケナフ）</li> <li>・ドア開けが可能で、階段等がある屋内環境で探索可能な、重量30kg以下の小型軽量作業用ロボット：UMRS（ユーエムアールエス）</li> <li>・知能やヒューマンインタフェースの共同開発を行いやすいアーキテクチャ</li> <li>・耐衝撃性・高効率の伝動変速機構：平ベルトアクチュエータ</li> <li>・机上訓練のためのダイナミクスシミュレータ</li> </ul>	◎
	<p>②1台の会議机に15分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作（移動行動司令）ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・瓦礫を注意深く迅速に移動するに適したマニュアル遠隔操縦インタフェース</li> <li>・オペレータの操縦を楽にするための不整地半自律走破技術を開発した</li> <li>・複雑な場所の状況確認のための、3D環境計測・地図構築を実現した。</li> <li>・半自律行動を実現するための、高精度3Dオドメトリの開発</li> <li>・Disaster City, 兵庫県広域防災センター, E-defense 木造倒壊建物, 神戸市地下街さんちか, 仙台市地下鉄, RoboCupRescue 他で有効性を検証した</li> <li>・ロボカップ世界大会 2007 Atlanta, 2009 Graz 運動性能部門で世界優勝</li> </ul>	◎
	<p>③建物内のロボット群から700m以上離れたオペレータステーションに、複数の遠隔操作用映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる、通信技術の開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下街実証試験、消防訓練塔実験、等により、683mを、ほとんど遅れなしにカバーできることを実証した。</li> </ul>	○

	<p>④複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS上にマッピングできる測位技術とGIS技術の開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報のマッピングができることを実証した。</li> <li>・データベース上の3次元データに対してSLAMを行い、データの位置情報を修正し、3次元地図を構築し、登録できることを実証した。</li> </ul>	<p>◎</p>
--	---	--	----------

表Ⅲ.1.7 特殊環境用ロボット分野：建設系産業廃棄物処理RTシステム

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」</p>	<p>① 建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。</p>	<p>・建物解体時に発生する実際の廃棄物5品目（コンクリート塊、鉄くず、アルミくず、木材、廃プラスチック）を画像処理により廃棄物の材質判定が可能なシステムを搭載した廃棄物選別システムを開発した。選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上を達成。また、画像処理による廃棄物材質判定システムは、次世代マニピュレータにもアルゴリズムを搭載した。</p>	<p>○</p>
<p>具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。 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。</p>	<p>② 建物解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できること</p>	<p>・試作機を解体現場へ試験導入(実証実験)し、その結果を受け細かな、把持分離作業及び切断作業が可能な、多機能ハンドの改良設計製作。多自由度、多腕マニピュレータ本体の改良設計製作を実施。マニピュレータによる廃棄物の分離実験を実施し、目標機能を確認した。</p>	<p>○</p>

## (2) 成果の意義

本プロジェクトで対象としている分野は、将来の市場ニーズおよび社会的ニーズから導かれた分野であり、設定したミッションは実用化・事業化が期待されているものとなっている。本プロジェクトの開発成果は、ユーザーを組み込んだ実施体制により、単なる技術開発にとどまらず、現場で求められている有用な技術開発を進めることができた。

また、センサ、通信技術、マニピュレータといった個別の要素技術の中でも、事業展開が見込める成果が挙げられている。

実用化・事業化を強く意識したプロジェクトの実施方針により、本プロジェクトは製造分野以外のロボット市場の創出に向けての足がかりになると考えられる。

## (3) 特許の取得状況

本プロジェクト全体の特許の出願状況は、224 件であり、海外出願も含めて戦略的に出願している。

表Ⅲ.1.8 論文件数および特許出願状況

	研究発表 (論文誌、学会誌、口頭発表)		特許出願	報道 (新聞、雑誌等)
	国外	海外		
件数	254	346	224	166

## (4) 論文発表・成果の普及

研究発表(論文誌、学会誌、口頭発表)は、国内 254 件、海外 346 件、計 600 件、新聞雑誌等による報道は 166 件を数えた。

海外論文発表のうち、ロボット分野で主要な国際会議 ICRA(IEEE International Conference on Robotics and Automation)や IROS(IEEE Intelligent Robots and Systems) IECON (IEEE Industrial Electronics Society )などでそれぞれ発表されている。

本プロジェクトの成果については、中間評価時に日本ロボット学会誌において特集号として掲載され(平成 21 年 12 月発行)、最終成果をロボメカ欧文誌 JRM にて特集号として掲載予定である(平成 23 年 12 月発行予定)

さらに、公開デモンストレーションやユーザーサイドの現場での実証試験を積極的に実施すし、成果の一部を 2009 国際ロボット展(東京ビッグサイト)にて公開した。

## (5) 実用化、事業化への見通し

### (ア) 成果の実用化の可能性、事業化までのシナリオについて

ステージゲート評価では「ステージゲート時点における達成状況」「技術的評価」「事業的(実用化)評価」「その他の評価」の 4 項目について評価を行い、それらを考慮した「総合評価」により、ステージゲート通過グループを選定した。

中でも、事業化(実用化)評価においては、事業化計画書の作成を義務づけ、想定顧客や製品、サービス提供などの事業化体制、想定する売上げ、コスト試算等を記載するととし、各グループ内にユーザー企業、サービスを提供する企業等を組み込み、具体的な事業化シナリオを策定した。

ステージゲートを通過した 6 グループは、事業化シナリオが明確であり、技術的評価も優れており、最終目標の達成およびプロジェクト終了後に成果の事業化が期待できるものとなっている。

平成 21 年度以降は、事業化、実用化に向けた開発を行い基本計画の最終目標に本事業終

了後の事業化、実用化時期を明記した、再公募を実施した高齢者対応コミュニケーションRTシステムにおいても同様に、事業化時期を基本計画に明記した上で、公募を実施した。変更した基本計画における最終目標は以下の通り。

I. 次世代産業用ロボット分野

研究開発項目①「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」

変更前	変更後
<p><b>【最終目標】 実証ロボットでの実証</b>            ロボットシステムが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、現場で容易にプログラムを組み替え可能なこと。</p> <p>例えば、ワイヤーハーネスは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、パネルで作られた箱の内側にコネクタ2つがついている。</p> <p>①供給箱からワイヤーハーネスを取り出し、            ②ワイヤーハーネス両端末のコネクタをパネル側のコネクタに挿入し、            ③ワイヤーハーネスの途中に装着されている固定ピンをパネルに挿入して、ワイヤーハーネスを壁面に固定する。</p> <p>以上の動作を実現する。</p>	<p><b>【最終目標】 実証ロボットでの実証</b>            ロボットシステムが、柔軟物（コネクタ付ケーブル等）を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、代表的な部品や設計情報などが登録されているデータベースなどを活用して、立ち上げ、調整時間が従来の1/3以下で品種追加、動作可能なこと。</p> <p>具体的には、コネクタ付ケーブルは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、箱の内側の電気部品や基板にコネクタが2つ以上ついている。</p> <p>①供給部からコネクタ付ケーブルを取り出し、            ②コネクタ付ケーブル両端末のコネクタを電気部品や基板側のコネクタに挿入し、            ③代表的な作業エラーが発生した場合には、自動的に復旧し、作業を継続する。</p> <p>以上の動作を人と同等以上の生産量で実現する。</p> <p>最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。</p>

今後の課題とアプローチについて：

研究開発項目②「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」

変更前	変更後
<p><b>【最終目標】 実証ロボットでの実証</b>            開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して性能を定量的に明らかにすること。</p>	<p><b>【最終目標】 実証ロボットでの実証</b>            開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。</p> <p>生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした生産性において既存セル（人間中心セル）から2割向上。</p>



	<p>機種切り替え時間：既存セル生産システムの1/2。</p> <p>最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。</p>
--	--

今後の課題とアプローチについて：

今後の課題としては、部品ピッキングの性能強化や、ユーザビリティ強化が挙げられる。課題解決に向けて、ビジョンソフトウェア・ハンド改良による多品種対応能力強化や GUI・編集機能の強化、作業員への指示方法の洗練等を実施する。

## II. サービスロボット分野

### 研究開発項目①「片付け作業用マニピュレーションRTシステム」

変更前	変更後
<p><b>【最終目標】実証ロボットでの実証</b>            多様な形状を有する対象物（20種類以上）を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に収納する作業を実現する。なお、作業環境条件は実作業を考慮すること。</p> <p>このような技術の具体的な実現例としては、レストラン、家庭などの状況を想定し、乱雑に置かれた食器（陶器）、食事道具（ナイフ、フォーク：金属）、箸（木製）などを識別し、隣接した食器戸棚、ストレージ、食洗器に収納するトータルシステムをバックヤードなどにおいて実現する。</p>	<p><b>【最終目標】実証ロボットでの実証</b>            多様な形状を有する対象物を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に分類・格納する作業を実現する。</p> <p>具体的には、業務用洗濯ラインにおいて、乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入するトータルシステムを実現する。</p> <p>実際のビジネスで取り扱うアイテムとそれを扱う人手作業の速さから、分類数や格納サイズ、処理速度についての目標値は以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ベッドアイテム洗濯前・分類投入実証機：              ベッドアイテム（シーツ、枕カバー、浴衣）の洗濯前・分類投入作業場の自動化を想定し、洗濯物の形状、重量、色等の違いから2000枚/h以上の速さで4種類以上に分類する。</li> <li>・バスルームアイテム仕上げ前・分類投入実証機：              バスルームアイテム（バス、フェースタオル、バスマット）の仕上げ前の投入作業場の自動化を想定し、一枚ごとに展開し、種別判定して、折り畳み仕上げ機に投入する。</li> </ul> <p>実証試験では10種類以上のアイテムをサイズや色・模様を設定・識別して仕上げ機から排</p>

	<p>出す際に、自動選別・スタックする。折り畳み仕上げ機と組み合わせて 800 枚/h 以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を行う。</p> <p>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。</p>
--	--

今後の課題とアプローチ：

今後の課題としてはステージゲートで開発したタオル仕上げ投入システムの製品プロトタイプ機の開発に向け、小型化、低価格化、タクトタイムの短縮、投入成功率の向上などが挙げられる。課題解決に向けて、コンパクト設計、最適なロボット選択およびシステム構成、視覚センサーの投影パターンの検討等を実施する。

研究開発項目②「高齢者対応コミュニケーションRTシステム」

変更前	変更後
<p>【最終目標】実証ロボットでの実証</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>【最終目標】実証ロボットでの実証</p> <p>RTシステムを用いて高齢者の声を認識し、コミュニケーションをとりながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握などの高齢者向けのサービスを提供する。</p> <p>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。</p>

研究開発項目③「ロボット搬送システム」

変更前	変更後
<p>【最終目標】実証ロボットでの実証</p> <p>人間や障害物が多く存在する可変環境において、屋内外をシームレスに移動でき、指定場所に設置された搬送物を、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。</p> <p>（凹凸・段差2cm、エレベータや扉・ドアを含む屋内及び屋外（事業所・施設等の敷地内における屋外空間）環境下を人の歩行速度程度で搬送）</p>	<p>【最終目標】実証ロボットでの実証</p> <p>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フェースを備え、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。</p> <p>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。</p> <p>（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）</p> <p>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。</p>

今後の課題とアプローチ：

今後の課題はエレベータとの連携による階層間移動やサービス運用形態の検討が挙げられる。課題解決の為にエレベータを利用した実証試験や複数病院での実証試験およびヒアリングを実施する。

### Ⅲ. 特殊環境用ロボット分野

#### 研究開発項目①「被災建造物内移動RTシステム」

変更前	変更後
<p><b>【最終目標】（最終実証試験）</b>            複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（絞り込み評価終了後に仕様を与える）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。</p>	<p><b>【最終目標】（最終実証試験）</b>            複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（施錠していない丸型またはレバー型ノブ付きドア）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。            また、訓練所・地下街・建物内などで3回以上の実証試験を行い、最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制を構築する。</p>

研究開発項目：被災建造物内移動RTシステムについては、基本計画の開発技術の項目にて、具体的な数値目標を設定している。

#### －参考－

##### （1）開発技術

- ①複数のロボットが地下鉄（含改札）、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間（階段、ドアを含む）において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、迅速な移動技術の開発。ただし、ロボットの重量は人間が一人で運搬可能（移動台車本体重量：32kg以下）であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。
- ②1台の会議机に15分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作（移動行動司令）ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。
- ③建物内のロボット群から700m以上離れたオペレーターステーションに、複数の遠隔操作映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる、通信技術の開発。
- ④複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報をGIS上にマッピングできる測位技術とGIS技術の開発。

今後の課題とアプローチ：

耐環境性能とUMRSの軽量化が今後の課題。また、有用性は確認できたが、実用化は消防等の強力が必要となる。課題解決に向けて、実用化に向けたスペックの洗い出しと実証試験による検証を行い、消防等とも合同実証試験を行うなどして連携を深めていく。

研究開発項目②「建設系産業廃棄物処理RTシステム」

変更前	変更後
<p><b>【最終目標】</b> 「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータを開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」</p> <p>－参考－</p> <p><b>【中間目標】</b></p> <p>①「建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。」 解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質（コンクリート塊、廃プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等）を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。</p> <p>②「建物解体時に発生する廃棄物を素材料毎に分離できること」 建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に関する要素技術を開発する。</p>	<p><b>【最終目標】</b> 「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」</p> <p>具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。</p> <p>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。</p>

今後の課題とアプローチ：

今後の課題としては、廃棄物判定移送装置の速度および精度の向上や、次世代マニピュレータのヒューマンインタフェースの実用化が挙げられる。課題解決に向け、画像による材質判定の強化、選別機構の考案等を行い、実現場でユーザ操作性、作業性評価の実施と実用化に向けた改良を実施する。

(イ) 波及効果について

本プロジェクトで取り組んだ3分野7テーマの研究開発項目は、これまでのロボット市場の中心であった産業用ロボット以外の分野への事業化推進により市場拡大の足がかりとなると考えられる。また、センサ、ハンドツール、マニピュレータ、アクチュエータ等、要素技術単体の製品化(事業化)が見込めるものも、波及効果は高いと考える。

## 2. 各テーマの成果まとめ

### 2. 1次世代産業用ロボット分野

#### 2. 1. 1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

FA 機器組立ロボットシステムの研究開発」

【実施者：三菱電機(株)】

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発	(1) 自動復旧技術の開発により、作業エラーによる停止から自動的に再開し、作業を継続する。	(1) ミッション実行時に想定される作業エラーからの自動復旧率 80%の実現	(1) 多品種コネクタで 80%以上の自動復旧率を確認 ・ねじ締めエラー状態認識成功率 95%	(1) 目標達成
柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術(ビジョンシステム、力制御、力センサ)の開発	(1) モーションステレオ計測と 3次元ケーブル形状認識技術を開発しケーブルのような柔軟物を認識する  (2) 小型アクティブ 3次元センサユニット、2次元・3次元情報統合認識技術を開発し、ケーブル先端のコネクタのような位置姿勢の自由度の高い剛体物を高速、確実に認識する  (3) 高速組み付け制御技術を開発し高速にコネクタの挿入作業を実現する  (4) 低コスト力覚センサの開発により力覚制御機能の導入コストの削減	(1) 計測時間 :2秒/視点以下、ワイヤハーネス計測精度:±2mm  (2) サイズ:300cc以下、ダイナミックレンジ:従来比 400%向上、コネクタ位置誤差:±1mm,計測時間:2秒以下  (3) コネクタ挿入作業時間:人作業の1倍以内  (4) コスト:従来の 1/3以下、分解能 0.2%、直線性 1%	(1) 計測時間 2秒/視点以下、ワイヤハーネス計測精度±2mm  (2) ヘッドサイズ 300cc (ヘッド分離型)ダイナミックレンジ 従来比 400%向上 計測時間 1秒以下、距離比分解能 0.1%以下、コネクタ位置誤差±1mm、認識時間 1.5秒  (3) コネクタ挿入作業を人の 1 倍の時間(0.7s)で実現  (4) 分解能 0.2%、直線性 1.1%、コスト 従来の 1/3 以下	(1) 目標達成  (2) 目標達成  (3) 目標達成  (4) ほぼ目標達成

<p>短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発</p>	<p>(1) 作業レベルプログラム生成システムの開発により、短時間でシステム立ち上げと品種追加を可能とする</p> <p>(2) 動作最適化技術の開発により、作業を高速化し、生産性を向上する</p>	<p>(1) 頻度の高い作業に対するオフライン教示ガイダンス機能を開発、作業レベルプログラム生成システムの機能追加</p> <p>(2) 組み立て部品のワイヤーの障害物の回避と動作の最適化を同時に実現するようなマニピュレータ手先の軌道および加速度パターンを生成。</p>	<p>(1) 実証システムの作業工程を対象にプログラム作成、シミュレータによる動作確認時間を評価し、従来の 1/5 の時間でプログラムが作成できることを確認。</p> <p>(2) ケーブル重心移動抑制軌道を自動生成し、従来の軌道より約 50% の振幅減少を確認。作業床面にケーブルが接触することを回避する手先軌道を獲得。</p>	<p>(1) 目標達成</p> <p>(2) 目標達成</p>
<p>FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作</p>	<p>開発技術の有効性と、柔軟物組み付けの実証</p>	<p>・開発技術を統合し、ケーブル取り出し、コネクタ組み付け、基板、カバー組み付け作業を実現する実証システム開発</p>	<p>要素技術を統合し人の作業時間と同等の作業時間で柔軟物組み付けを実現。安定した自動復旧確認</p>	<p>目標達成</p>

## 2. 1. 2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

### 先進工業国対応型セル生産組立システムの開発 【実施者：ファナック株式会社】

安全管理技術の開発目標に対する成果と達成度

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) ロボット移動時 安全対策の確立	ロボットの工場環境移動時において作業者の安全を確保すること。	ロボット転倒防止のための低重心本質安全設計、ロボットと作業者の動作エリアを安全センサにて分離する多重系安全対策を構築し、作業者の安全確保を実証した。	移動時の転倒なきこと、作業者がロボット移動エリア侵入した際の確実なロボット停止を実証し、目標を達成した。
(2) 作業者協調時 安全対策の確立	ロボットと作業者の協調作業時において作業者の安全を確保すること。	位置監視、速度監視、力監視を組み合わせた機能安全により、本質的に高速・高出力なロボットに触りながらの安全な協調作業を実現した。	各技術の性能を実証し、目標をほぼ達成した。事業化では、2つの力センサによる二重監視のPL(パフォーマンスレベル)の認証取得を推進する。
(3) 安全管理技術 統合化手法の確立	リスクアセスメントを実施し、合理的に予見可能な誤使用においても作業者の安全を確保すること。	171項目の危険源を同定し、リスク低減の安全対策を開発・実装した。	力センサのPL取得を除き、全ての安全対策を実装・検証し、目標をほぼ達成した。

作業支援技術の開発目標に対する成果と達成度

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) 移動配膳協調 ロボットの開発	工場路面を走行して作業者に部品を配膳し、かつ部品供給などの作業支援が可能なこと。	開発した移動配膳協調ロボットでの安定した走行性能、部品配膳、作業支援機能を実証した。	双腕移動ロボットによる部品キット化・配膳の自動化システムを世界で初めて実現し、目標を達成した。
(2) 部品ピッキング ハンドとビジョン システムの開発	多品種部品に対応可能な汎用性の高いハンドにて高速部品ピンピッキングを実現すること。	設計したハンドにて部品棚に収納されたバラ積み状態の9種類の部品ピッキングを実証した。	ロボットの24時間連続稼働により従来の人間作業の約1.7倍の生産性を実現し、目標を達成した。



(3) 知能化部品トレイ の開発	RFID にてトレイ内部 品を表現し、かつ画像 認識にてトレイ内部品 が認識可能であるこ と。	ビジョン検査により部品 間違いのない高信頼性の 部品キット配膳を実現し た。製品 RFID、作業 者管理 RFID を導入し、頻 繁な機種切り替え、作 業者の熟練度に応じた作 業支援を実証した。	RFID の導入により、頻 繁な機種切り替えへの即 時対応、異なる熟練度の 作業員への的確な作業支 援を実現し、目標を達成 した。
------------------------	---	--	--

作業情報提示技術の開発目標に対する成果と達成度

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) 作業員位置姿勢測 定システムの開発	安価なカメラシステム を用いて、作業員の位 置姿勢を検知し、作業 者安全の確保と熟練者 の作業のやり方の抽出 が可能であること。	作業員の身体 8 部位の 3 次元座標を取得し、人体 モデルとパーティクルフ ィルタを用いた作業員の 姿勢の推定を実用レベ ルでの位置精度・検出速 度で実現した。	開発したシステムは測定 周期 10Hz、測定標準偏 差 69.0mm を実現した。
(2) 心的負担測定系の 開発	作業員の心的負担を定 量的な評価を可能にし る生理指標の決定とシ ステムの改善基準の導 出を可能にすること。	多種の生理指標の中か ら、心的負担に関連の強 い 3 種の生理指標を採 用し、情報支援及びロボ ットによる協調作業時の 心的負担の評価から設計 基準・安全基準を導出し た。	ロボットの協調作業時に 作業員が被る精神的な影 響の包括的な測定が可 能となり、従来の主観評 価のみに比べて安全と情 報設計に関する客観的な データの取得を確認した。
(3) 作業指示支援 システムの開発	熟練作業員の作業のや り方を記録し、それを 作業初心者へ伝達する ことで作業効率を向上 させるシステムを構築 すること。	熟練者が重要視し、初心 者が軽視する作業初心 者に伝達すべき作業注 目点を作業成績との相 関から抽出する方法論 を確立した。	提示用情報の絞り込み と作業間違い原因の推 定に効果を確認した。
(4) 作業情報支援 システムの開発	機種切り替え対応、作 業員の作業負担が小さ くかつ作業効率を向上 させるような作業員に 分かりやすい情報支援 を実現すること。	組立作業に必要な情報 を的確に作業員に支援 するソフトウェア・ハー ドウェアの開発を行い、 実験的にその有効性を 検証した。機種切り替 え時の情	機種切り替えと作業員 熟練度に対応のケーブル ハーネスの組立作業に、 本システムを適用した 結果、作業初心者にお いて生産立ち上げ時か ら作業

		報提示を即座に変更可能となる。また、これら作業モデル編集環境や情報提示ソフトウェアを開発し、作業手順変更を容易化した。開発したシステムはロボット動作と作業手順指示との連動を管理し、作業熟練度に応じた支援情報を提示する。	中級者と同程度の作業効率での作業が実現した。
--	--	---	------------------------

統合システムの開発目標に対する達成度

基本計画における最終目標	達成度
<p>[1]</p> <p>開発したシステムで作業者が組立を行い、            (a)作業手順の改善            (b)機種切り替え            (c)生産量の変動            に対しての対応能力を示す。</p>	<p>部品キット化・配膳について</p> <p>(a) 作業手順の改善や(b) 機種切り替えでは立上げ時のロボット教示の時間ロスが、(c) 生産量の変動では増設ロボットのエネルギーロスが生じるものの、生産時の信頼性が向上することから、各指標に対して対応能力を有すと言える。</p>
	<p>組立作業について</p> <p>上記と同様に、立上げ時のロボット教示・提示情報変更などの時間ロスや増設ロボットのエネルギーロスが生じるものの、生産時の信頼性が向上することから、各指標に対して対応能力を有すと言える。</p>
<p>[2]</p> <p>組立作業をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。</p>	<p>171 項目の危険事象のリスクアセスメントを実施し、リスク低減を図った。</p> <p>特に、協調作業におけるロボットアームと腕・手の過度な接触、ロボットアームと周辺機器との間の挟み込みについて、位置監視、速度監視、力監視の組合せによる多重系の機能安全により、十分安全なレベルまでリスクが低減され、作業者の安全が確保された。</p>
<p>[3]</p> <p>特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。</p>	<p>(A)生産性</p> <p>部品キット化で従来の 1.7 倍、組立作業で従来の最大 2 倍の生産性を実現し、共に目標の 2 割向上を超える生産性向上を達成した。</p>

<p>(A)生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした労働生産性において既存セル（人間中心セル）から2割向上。</p>	<p>(B)機種切り替え時間 部品キット化では、従来の人間のみの作業と同等で即時の機種切り替えが可能である。組立作業では目標の1/2を下回る機種切り替え時間の短縮を達成した。</p>
<p>(B)機種切り替え時間：既存セル生産システムの1/2。</p>	<p>作業間違い率（追加評価） 組立作業にて、従来1/10以下の低減を実現した。</p>

## 2. 2. サービスロボット分野

### 2. 2. 1 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

#### 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

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>多様な形状を有する対象物を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に分類・格納する作業を実現する。</p> <p>具体的には、業務用洗濯ラインにおいて、乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入するトータルシステムを実現する。</p> <p>実際のビジネスで取り扱うアイテムとそれを扱う人手作業の速さから、分類数や格納サイズ、処理速度についての目標値は以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ベッドアイテム洗濯前・分類投入実証機： ベッドアイテム（シーツ、枕カバー、浴衣）の洗濯前・分類投入作業場の自動化を想定し、洗濯物の形状、重量、色等の違いから2000枚/h以上の速さで4種類以上に分類する。</li> <li>・バスルームアイテム仕上げ前・分類投入実証機： バスルームアイテム（バス、フェスタオル、バスマット）の仕上げ前の投入作業場の自動化を想定し、一枚ごとに展開し、種別判定して、折り畳み仕上げ機に投入する。</li> </ul> <p>実証試験では10種類以上のアイテムをサイズや色・模様を設定・識別して仕上げ機から排出する際に、自動選別・スタックする。</p> <p>折り畳み仕上げ機と組み合わせて800枚/h以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を行う。</p> <p>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。</p>	①柔軟な布形状の計測と端点検出可能な視覚技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物の位置姿勢を識別するための3次元視覚センサを開発した。ハンドタオル、フェスタオルの種類及び表裏判別を成功率97.96%で実現した。</li> </ul>	◎
	②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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第7軸斜めハンドや辺把持用ロングストロークたぐりハンドを実現した。</li> </ul>	○
	③洗濯物の把持、整形を行うための補助システムの整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・力センサと視覚センサの総合種別判別による混流柔軟物分類システムを開発した。</li> </ul>	○
	④実用化に必要な性能（1時間当たり800枚）の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1時間当たり400枚を実現した。</li> <li>※高速化、効率化により1時間当たり800枚を実現できる見込みを得た。</li> </ul>	△

## 2.2.2 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

コミュニケーションRTによる高齢者の在宅健康管理・支援システムの開発と実用化

【実施者：積水ハウス株式会社、千葉工業大学】

目 標	研究開発成果	達成度
<p><b>プロジェクト全体の目標(基本計画 p.11)</b>            RT システムを用いて高齢者の声を認識しコミュニケーションを取りながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握などの高齢者向けのサービスを提供する。最終的にはプロジェクト終了後 3 年をめぐりにプロジェクトの成果を活用し事業化を行う。</p>	<p>高齢者対応コミュニケーション RT システムとして「在宅健康管理・支援システム」を構築</p>	
<p>(1) コミュニケーションRT基礎技術開発  <b>【音声認識インターフェース】</b>            ・認識性能の安定と選択肢拡張(5 択)            ・誤認識時のフェイルセーフ機能の実装            ・パラ言語情報からのバイタル情報抽出  <b>【RTマスコット駆動制御】</b>            ・駆動制御アルゴリズムの構築とユーザ評価</p>	<p>(1) コミュニケーションRT基礎技術開発            ・2~5 択の選択肢を実装(認識率 99%超)            ・フェイルセーフ機能としてタッチパネルを導入            ・バイタル情報とパラ言語情報の相関            ・シナリオに対応した RT マスコットの駆動制御            ・アンケートによる RT マスコットの評価</p>	(1) 達成
<p>(2) センシングRT基礎技術開発  <b>【バイタルデータセンシング機器の開発】</b>            ・実証試験用機器の開発と改良</p>	<p>(2) センシングRT基礎技術開発            ・バイタル測定機器の無線化            ・体重計/血圧計のコンティニュー対応</p>	(2) 達成
<p>(3) 健康状態推定/アドバイスシステム            ・問診エキスパートシステム(5)として統合</p>	<p>(3) 健康状態推定/アドバイスシステム            ・カットオフ値/問診内容設定ソフトウェア</p>	(3) 達成
<p>(4) 健康情報履歴蓄積要約技術  <b>【バイタルデータ解析システム】</b>            ・健康異常検出、情報要約技術の開発  <b>【医療診断支援システム】</b>            ・解析結果提示/患者情報管理システムの構築</p>	<p>(4) 健康情報履歴蓄積要約技術            ・カットオフ値に基づく健康状態判定アルゴリズム            ・DB サーバ構築            ・医師用 WebUI/管理者用 WebUI の構築            ・健康情報解析・要約ソフト</p>	(4) 達成
<p>(5) 高齢者健康状態問診システム            ・問診シナリオの実装            ・問診エキスパートシステムの構築</p>	<p>(5) 高齢者健康状態問診システム            ・問診シナリオプロトタイプの実装            ・問診エキスパートシステムプロトタイプの実装</p>	(5) 達成
<p>(6) 一般高齢者を対象としたモニタ試験システム            ・モニタ試験用システムの開発(1次/2次)</p>	<p>(6) 一般高齢者を対象としたモニタ試験システム            ・1次モニタ試験用システム/在宅モニタ試験実施            ・2次モニタ試験用システム/在宅モニタ試験実施</p>	(6) 達成
<p>(7) 高齢者対応UI開発            ・事業化プロトタイプによるユーザビリティ評価</p>	<p>(7) 高齢者対応UI開発            ・事業化プロトタイプシステム            ・事業化へ向けた課題の抽出</p>	(7) 達成
<p>(8) 医療ネットワーク構築と事業化検討            ・オーナー向け web サイトのコンテンツ構築            ・実証用サービス体制の構築</p>	<p>(8) 医療ネットワーク構築と事業化検討            ・サンプル Web コンテンツ/実証用システム構築</p>	(8) 達成

## 2.2.3 ロボット搬送システム

### 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】

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)-① <ul style="list-style-type: none"> <li>・段差 1cm、隙間 3cm 対応</li> <li>・人並みの走行速度 (1.1m/sec)</li> <li>・製品プロトタイプ台車製作・実証実験実施</li> </ul>	(1)-① <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	(1)-① 目標達成 <ul style="list-style-type: none"> <li>・段差 1cm、隙間 3cm 対応</li> <li>・最高速度 1.1m/sec</li> <li>・製品プロトタイプ台車製作し、京都第二赤十字病院、大阪大学歯学部附属病院にて実証実験を実施した。</li> </ul>
	①全方向へ移動可能とする機構技術の開発	(1)-② <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットがエレベータに乗降可能なシステムの構築</li> </ul>	(1)-② <ul style="list-style-type: none"> <li>・村田機械株式会社 R&amp;D センター及び京都第二赤十字病院エレベータに通信装置を設置し、ロボットが乗降可能なシステムを構築した。</li> </ul>	(1)-② 目標達成 <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数フロアをエレベータを用いて移動可能な搬送システムを構築した。</li> </ul>
	②エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発	(1)-③ <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要とされるセキュリティレベルを備えた搬送形態の具現化</li> <li>・ロボットの現在走行位置の確認システム構築</li> <li>・到着通知機能等、実運用可能なシステム構築</li> </ul>	(1)-③ <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要とされるセキュリティレベルを備えた搬送スペースを持つ搬送ロボットを開発した。</li> <li>・現在位置表示及び到着通知可能なシステムを構築した。</li> <li>・院内物品管理データと連携する搬送管理システムを構築した。</li> </ul>	(1)-③ 目標達成 <ul style="list-style-type: none"> <li>・搬送物スペースを持つ搬送ロボット及び運行管理システム、搬送管理システム等、ロボット搬送システムとして実運用可能なシステムを開発した。</li> </ul>
③搬送物を安全に搬送する技術の開発				

<p>人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術</p>	<p>(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</p> <p>①RT分散処理技術の研究開発</p> <p>②自動環境地図生成技術の開発</p> <p>③自己位置同定技術の開発</p> <p>④障害物回避技術の開発</p>	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モータドライバ及びモーションコントローラの内製化</li> <li>・内製モータドライバによる人並みの走行速度の実現</li> </ul> <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2次元地図自動生成システム構築</li> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・複数センサを用いた自動環境地図生成アルゴリズムの開発</li> </ul> <p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自己位置同定アルゴリズム構築</li> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・複数センサを用いた自動環境地図生成アルゴリズムの開発</li> </ul> <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人並みの走行速度(1.1m/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</li> </ul>	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・要求仕様に応じたモータドライバ及びモーションコントローラを製作した。</li> <li>・人並みの走行歩行速度(1.1m/s)を実現した。</li> </ul> <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・ランドマーク自動抽出アルゴリズムを開発した。</li> </ul> <p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・画像センサによるモーションステレオ測距システムを実装した。</li> </ul> <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害物回避技術を取得した。</li> <li>・周囲環境に応じた障害物回避モードの切替アルゴリズムを開発した。</li> </ul>	<p>(2)-① 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内製モータドライバ及びモーションコントローラをロボットに搭載し、人並みの走行速度(1.1m/s)を実現した。</li> </ul> <p>(2)-② 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・ナビゲーションに利用可能なランドマーク抽出アルゴリズムを検証。</li> </ul> <p>(2)-③ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・誤差±3cm以内。</li> <li>・充電ステーション近傍では誤差±3mm以内、±0.5deg以内。</li> <li>・モーションステレオ測距システムを実機で検証。</li> </ul> <p>(2)-④ 目標一部未達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人並みの走行速度(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</li> <li>・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</li> </ul>
-------------------------------	---	---	---	--

<p>人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術</p>	<p>(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</p> <p>①超音波タグを用いた位置計測技術の高度化</p> <p>②大規模センサ・ネットワークの開発</p> <p>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の開発</p>	<p>(3)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・位置計測技術の精度向上</li> <li>・誤差 2-3cm</li> <li>・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）</li> </ul> <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul> <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>	<p>(3)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・GPGPU を用いて、パーティクルフィルタを利用した位置推定アルゴリズムを実装した。</li> <li>・加速度センサを内蔵した低消費電力型超音波タグを開発した。</li> <li>・無指向性超音波タグを開発した。</li> </ul> <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波受信器 270 個超の大規模センサ・ネットワークを開発した。</li> </ul> <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上記大規模センサ・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。</li> </ul>	<p>(3)-① 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・位置計測技術の精度向上</li> <li>・誤差 2-3cm / 演算時間 2ms</li> <li>・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）</li> <li>・無指向性超音波タグの開発（受信器の設置位置の自由度向上）</li> </ul> <p>(3)-② 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波受信機 270 個超の規模を持つ複数の大規模センサ・ネットワークの構築</li> </ul> <p>(3)-③ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>
-------------------------------	--	--	---	---



<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術</p>	<p>(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</p> <p>④RT分散処理技術の研究開発</p> <p>⑤転倒防止技術の開発</p> <p>⑥安全・異常検知技術の開発</p> <p>1.カセンサレス衝突検出</p> <p>2.車椅子等搬送のための移動支援技術</p> <p>3.接触に関連した安全技術の開発</p> <p>4.情報表現とアクティブセーフティ技術</p> <p>⑦安全性・耐故障性技術の開発</p>	<p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各機能モジュール・分散制御基板の設計・実装</li> </ul> <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>人並みの走行速度 (1.1m/sec)での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現</li> </ul> <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>反作用力推定アルゴリズムの構築</li> <li>100msecでの衝突検出</li> <li>環境・人との衝突の識別アルゴリズム構築</li> <li>制御精度±10N以内の作用力検出</li> </ul> <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>車椅子型移動ロボットの試作</li> <li>制御精度±10cm以内の支援軌道追従確認</li> <li>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</li> <li>シミュレーションによるアルゴリズムの検証</li> </ul> <p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサの設計</li> <li>接触検出確認 (指先で 10g 程度)</li> <li>ロボットへの実装検討</li> </ul>	<p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>急発進、急停止に転倒しない搬送ロボットを開発した。</li> </ul> <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>反作用力推定アルゴリズムの構築を完了した。</li> </ul> <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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</li> </ul> <p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>指先に装着可能な弾性触覚センサ技術を取得</li> </ul>	<p>(2)-④ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>超音波センサ統合基板製作</li> <li>4ch、測距時間 42msec</li> <li>16ch、測距時間 100msec</li> </ul> <p>(2)-⑤ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>人並みの走行速度 (1.1m/sec)での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現</li> </ul> <p>(2)-⑥-1 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>推定速度 100msec 以内を達成。</li> <li>人との衝突検出に関しては検証が不十分。</li> <li>精度±10N 以内の力検出を達成。</li> </ul> <p>(2)-⑥-2 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存システムを改良し、車椅子型移動ロボットを試作。</li> <li>制御精度±10cm 以内の支援軌道追従確認</li> <li>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</li> <li>シミュレーションによるアルゴリズムの検証</li> </ul> <p>(2)-⑥-3 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
---	--	--	---	--

<p>人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術</p>		<p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul> <p>(2)-⑦</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul>	<p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <p>(2)-⑦</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・腕にかかる過負荷に対する安全制御を確認した。</li> </ul>	<p>(2)-⑥-4 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットの避けてほしいという意図が伝わること (<math>p&lt;0.05</math>)、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 (<math>p&lt;0.1</math>)を確認。</li> </ul> <p>(2)-⑦ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・腕に過負荷が生じた際、脱力する安全制御を確認。</li> </ul>

<p>実証ロボットの開発及び実証試験</p>	<p>(4)実証実験の実施</p> <p>①搬送デモンストレーションを一定期間実施</p> <p>②2箇所以上の実証試験場所の確保</p> <p>③院内搬送デモンストレーション用ロボット製作</p> <p>④国内外マーケティングの実施</p>	<p>(4)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・搬送デモンストレーションを実施し、その有効性を確認する。</li> </ul> <p>(4)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数個所で実証実験を実施し、汎用性の高いシステムを構築する。</li> </ul> <p>(4)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・院内搬送デモンストレーション実施の円滑化</li> </ul> <p>(4)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本システム実用化に向け、ニーズを探索する。</li> </ul>	<p>(4)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一定期間実施し、本システムの有効性を確認した。</li> </ul> <p>(4)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・京都第二席十字病院及び大阪大学歯学部付属病院で定期的な実証試験を実施した。</li> </ul> <p>(4)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットを追加1台製作した。</li> </ul> <p>(4)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・潜在ニーズの掘り起こしを行うことができた。</li> </ul>	<p>(4)-① 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一定期間デモンストレーションを実施し、運用上での課題を抽出できた。</li> </ul> <p>(4)-② 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各病院個別課題と共通課題の抽出ができた。</li> </ul> <p>(4)-③ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェアの開発効率の向上が図られた。</li> </ul> <p>(4)-④ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ライトハウスカスタマーの獲得に寄与した。</li> </ul>
------------------------	---	--	--	--

## 2.3 特殊環境ロボット分野

### 2.3.1 被災建造物内移動RTシステム

#### 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット

【実施者：国際レスキューシステム研究機構，東北大学，(独)産業技術総合研究所，(独)情報通信研究機構，バンドー化学(株)，(株)シンクチューブ，ビー・エル・オートテック(株)，(株)ハイパーウェブ】

課題	研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価
移動技術の開発	高速不整地走破機構 Kenaf の開発	障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら，高速走行できる，移動技術の開発。	移動速度は迅速に歩く人間と同程度．ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし，実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする．	左記の目標をすべて実現した．特に，不整地において高い走破性を実現し，RoboCup 2007 Atlanta 大会，2009年 Graz 大会運動性能部門優勝，Disaster City のコンクリート瓦礫の走破，などの実績を上げた．	目標を高いレベルで達成した．	◎
	ドア開け用台車 UMRS (UMRS-2007)，および，マニピュレータの開発	地下街・ビルなどのドア開けが可能なシステムの開発	押し開きが可能な軽量ドアを開け，他のロボットを閉鎖空間の内部に安全に導き入れることができる．	ステージゲートデモで設けられたドアなどを押し開けることができた．	目標をほぼ達成した．	○
	耐衝撃平ベルトアクチュエータの開発	外部からの衝撃に対してロバストな2段変速伝達機構の開発	台上試験により，実用上十分な耐衝撃性を実証する．	実験により耐衝撃性を実証するとともに，高い伝達効率を実現した．	目標をほぼ達成した．	○
	実用化高速不整地走破ロボット Quince の開発	ミッションに応じたモジュール交換，走破性・防塵防水・耐久性などの高い実用性を持った高速不整地走破ロボットの開発	実証試験を繰り返し行い，消防等への試験配備により実用性を高める．	Disaster City の木材瓦礫の走破などの実績を上げ，千葉市消防局に半年間試験配備を行い，実用化を達成した．なお，本プロジェクト終了後に福島第一原発の	目標を高いレベルで達成した．	◎

				原子炉建屋内調査に使用され、実用性が現場実証された。		
	実用化ドア開けロボット UMRS-2009の開発	軽量化して機動性を高め、防塵防水・耐久性などの高い実用性を持ったドア開けロボットの開発	実証試験を繰り返し行い、消防等への試験配備により実用性を高める。	消防訓練施設の防火扉を開けられることを実証し、Disaster CityにおけるNIST/ASTM評価試験で高い性能を示し、神戸市消防局に試験配備を行い、実用化を達成した。	目標を達成した。	◎
	UMRS-2009用耐衝撃プラットフォーム	小型軽量の耐衝撃性の高い伝達機構の開発	減速比固定化により小型軽量化を図り、ロボット搭載を容易にする。	台上試験およびロボット搭載による実機評価で適合性および耐久性を確認	目標を達成した	◎
②	Kenafのジョイスティックによる遠隔操作	瓦礫上や狭い場所でスムーズに遠隔操縦を行う	操縦が困難な場所でも、機構の性能を十分に活かした走行を可能にする。	RoboCup 2007 Atlanta大会, 2009 Graz大会運動性能部門優勝, Disaster Cityの瓦礫走破などの実績を挙げた。	目標を達成した。	◎
技術	通過ポイント方式によるKenafの遠隔操作	オペレータの介在を最小限に抑え、複数のロボットの操縦を可能にし、通信遅れに対するロバスト性を確保する。	オペレータの介在を少なくし、長距離の遠隔操縦ができるようにする。	ステージゲートデモで地下街を走行し、その有効性を示した。その後、精度の向上、携帯型操縦端末への適用を行った。	目標をほぼ達成した。	○
	UMRS-2009のポータブル遠隔操縦卓	携帯可能で操作性が高い、実用型遠隔操作卓の開発	電源・耐衝撃性・防塵防水性能などの向上。操作性の高いヒューマンインタフェース、マップナビゲーションの実現。	様々な実証試験にて、その使いやすさと実用性を示した。	目標を達成した	◎
	3次元操縦イ	狭隘箇所にお	狭隘箇所の形状と	Disaster Cityで操	十分に	◎

	インタフェース	る遠隔操作を容易にする	その中のロボットの位置形状を操縦者が十分に認識できるようにする	縦における有効性を実証した。本プロジェクト終了後に、東北大学の被災建物の調査で有効性を示した。	目標を達成した	
	半自律不整地踏破	階段や不整地における遠隔操作の支援	階段や不整地において、操縦者の詳細な運動指令なしで、走破することを可能にする。	オプション搭載なしの <b>Quince</b> で 30deg 程度の階段を半自律走破でき、オプション測域センサ搭載でコンクリート不整地を半自律走破できることを、 <b>Disaster City</b> 等で示した。	目標を達成した	◎
	ロボットシミュレータの開発	(半) 自律機能の開発、及び、ファーストレスポンスの訓練を仮想的に行う	シミュレータを開発し、計算機内で <b>Kenaf</b> が不整地走行できる環境を整える。	ステージゲートデモで、計算機内で実機とほぼ同じように仮想的な遠隔操縦ができることを示した。	目標を達成した。	◎
③ 通信技術	有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク	地下街やビル内にインフラを使わないでネットワークによる遠隔操作を可能にする。	距離 700 m, 面的な広がり、遠隔操作に支障を来さないレイテンシー、複数台のロボットからの映像情報。	複数台のロボットからの映像や3次元計測データを収集し、遠隔操縦が可能であることを距離 683m の地下街で検証。10階建てビルの階段を1階から10階まで同様に走行検証をおこなった。ローミング時の遅延短縮も実現し遠隔操縦に障害を生じない通信性能を実現。	ほぼ目標を達成した	○
	ケーブル敷設ロボット	有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークのためのケー	距離 700 m, 50 m 毎にアクセスポイントを設置できることを示す。	神戸市地下街での実験で、敷設が技術的に可能であることを確認した。ケーブル	ほぼ目標を達成した。	○

		ブルおよびおアクセスポイントを敷設する		敷設ロボットを開発し動作検証を行った。簡易ケーブル敷設サブシステムを開発し、2台体制での遠隔通信システムを実現した。		
	閉鎖空間内の電波伝搬シミュレーション	シミュレーションにより、有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークの配置計画を行う。	地下街における複数台のロボットからの電波伝搬状況の推定を行う。	シミュレーションにより伝搬状況の推定が可能であることを確認した。これを元に指向性可変アンテナを試作し有効性を検証した。	ほぼ目標を達成した	○
GIS技術	④ DaRuMa と MISP の改良	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	複数座標系を許容するためにプロトコルの拡張を行う	ステージゲートデモで、情報の統合が可能であることを示した。	目標を達成した。	◎
	曖昧さ・複数座標系を許容する位置表現	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	座標系の修正が可能なシステムを開発する	ステージゲートデモで、統合データによるマップ生成と、座標系の修正が可能であることを示した。	目標を達成した。	◎
	高精度2次元・3次元オドメトリ	GISおよび半自律機能に十分なオドメトリ精度を実現	スリップ推定によるクローラ機構のオドメトリの精度の工場	瓦礫地図作成、消防訓練棟での3次元地図構築などにより、その精度を示した。	目標を達成した。	◎
	3次元地図の構築と自己位置推定	ファーストレスポンスの判断に資するための3次元地図の構築とロボットの自己位置の推定	3次元情報の計測、ICPアルゴリズムによる地図構築、複数の計測地図の半自動マッチング	仙台市地下鉄や Disaster City で、3次元地図を構築できることを示した。プロジェクト終了後、東北大学の全壊建物内の3次元地図を作成し、有効性を示した。	目標を達成した。	◎
⑤ 実用	Quince の耐久性・防塵・防水	現場実用性のための耐久性・防塵防水性能の実	2m 落下可能、IP66.	試験の結果、性能を確認した。	ほぼ目標を達成した。	○

性能・試験配備		現				
	Quince の試験配備	実用化のためのユーザへの試験配備	千葉県消防局への半年間の試験配備	訓練評価に基づき、改良を繰り返し、実用性を高めた。プロジェクト終了後、福島第一原発内での使用によって成果が実証された。	高いレベルで目標を達成した。	◎
	UMRS-2009 の耐久性・防塵・防水	現場実用性のための耐久性・防塵防水性能の実現	1m 落下可能, IP64.	試験の結果, 性能を確認した。	ほぼ目標を達成した。	○
	UMRS-2009 の試験配備	実用化のためのユーザへの試験配備	神戸市消防局への試験配備と訓練使用	評価に基づき改良を行い, 実用性を高めた。	目標を達成した。	◎
その他特筆すべき項目	プロジェクト終了後, 福島第一原子力発電所原子炉建屋内の調査および軽作業に使用。	5回にわたり (6/24, 7/8, 7/26, 9/22, 9/24), 原子炉建屋内の調査, 軽作業のために投入された。	線量率測定, ダストサンプリング, 配管工事用映像データの収集他の実績を上げた。	本研究成果の有効性を高いレベルで示した。	◎	



### 2.3.2 建設系産業廃棄物処理RTシステム

#### 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発

【実施者：東急建設(株)、日立建機(株)】

最終目標	達成目標	成果	達成度
<p>「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」</p>	<p>①建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物解体時に発生する実際の廃棄物5品目（コンクリート塊、鉄くず、アルミくず、木材、廃プラスチック）を画像処理により廃棄物の材質判定が可能なシステムを搭載した廃棄物選別システムを開発した。選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上を達成。また、画像処理による廃棄物材質判定システムは、次世代マニピュレータにもアルゴリズムを搭載した。</li> </ul>	<p>○</p>
<p>具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。</p> <p>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。</p>	<p>②建物解体時に発生する廃棄物を素材料毎に分離できること</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作機を解体現場へ試験導入(実証実験)し、その結果を受け細かな、把持分離作業及び切断作業が可能な、多機能ハンドの改良設計製作。多自由度、多腕マニピュレータ本体の改良設計製作を実施。マニピュレータによる廃棄物の分離実験を実施し、目標機能を確認した。</li> </ul>	<p>○</p>

### 3. 各テーマの成果詳細

#### 3. 1次世代産業用ロボット分野

##### 3. 1. 1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

開発項目「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト、柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム(次世代産業用ロボット分野)、FA 機器組立ロボットシステムの研究開発」

## Ⅲ. 研究開発成果について

公開版

### 2. 研究開発項目毎の成果

#### (1) 研究概要

本研究開発は、従来困難であったロボットによる柔軟物の高速かつ確実な組み付けを実現し、また、低コストで簡単、迅速に立ち上げ可能なロボットシステムを開発し、電機電子製造業に提供することを目的とした。開発したロボットシステムは、柔軟物であるケーブルを部品とするFA機器を組立対象としている。FA機器は、ケーブルの他、基板、ねじ、カバーなど、他の多くの電機電子製品に用いられる部品から構成されており、開発した技術及びロボットシステムは広く活用が可能である。

本研究開発では、上記目標を達成するにあたって開発が必要と考えられる技術を次の三つに大別し、それぞれに関して開発内容と目標を設定して研究開発を進めた。

- 柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発
  - ① 作業エラーからの自動復旧技術
- 柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術(ビジョンシステム、力制御、力センサ)の開発
  - ② 3次元センシングシステム
    - a. 柔軟物の3次元センシング技術
    - b. 剛体物の3次元センシング技術
  - ③ 組み付け制御技術
    - a. 高速組み付け制御技術
    - b. 低コスト力覚センサの設計試作
- 短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発
  - ④ 柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術
    - a. 柔軟物組み付け作業レベルプログラム生成システムの開発
    - b. 柔軟物体操作におけるマニピュレータ作業動作の最適化

また、これらの技術を統合し、実際の FA 製品の組立において技術検証を行う為、柔軟物を含む製品である FA 制御機器を対象として、組立試験装置を開発した。

### ⑤FA 機器組立実証システム

次に、各開発技術について詳細を説明する。

## (2) 成果詳細

### ① 作業エラーからの自動復旧方式の開発

#### ①-1 コネクタ挿入における自動復旧技術 (名古屋大学)

本研究では、コネクタ挿入時のエラーリカバリについて研究をおこなってきた。ここで取り上げるのはサーボアンプ上部における基板コネクタの挿入作業である。エラーリカバリは、エラーの検出、エラーの分類、対応するリカバリ手法の選定の 3 段階から構成されている。我々は、それらに対する様々な解決アルゴリズムを提案した。

##### ①-1.1 エラーリカバリシステム

本研究で用いているシステムは、ロボットマニピュレータ、コントローラ、6 軸力センサ、カメラセンサ、コンピュータで構成されている(図 1)。本システムにおいて発生すると予想できるエラーは、コネクタ側の位置がずれるエラーとしてマニピュレータによるコネクタ把持エラー、ソケット側の位置がずれるエラーとしてソケットとベース位置エラーの 2 つを考えることができる。これらのエラーはコネクタマッチングにおける接近ステージにおいて、通常通りのマッチングが出来なかった場合について力センサで検出する。具体的なエラー検出とエラー分類に関しては、組付け作業成功時と組付け作業が“挿入不可能状態”になった場合の両方の状態を区分化された線形モデル(PWA: static piecewise affine force model)を用いて表現する。

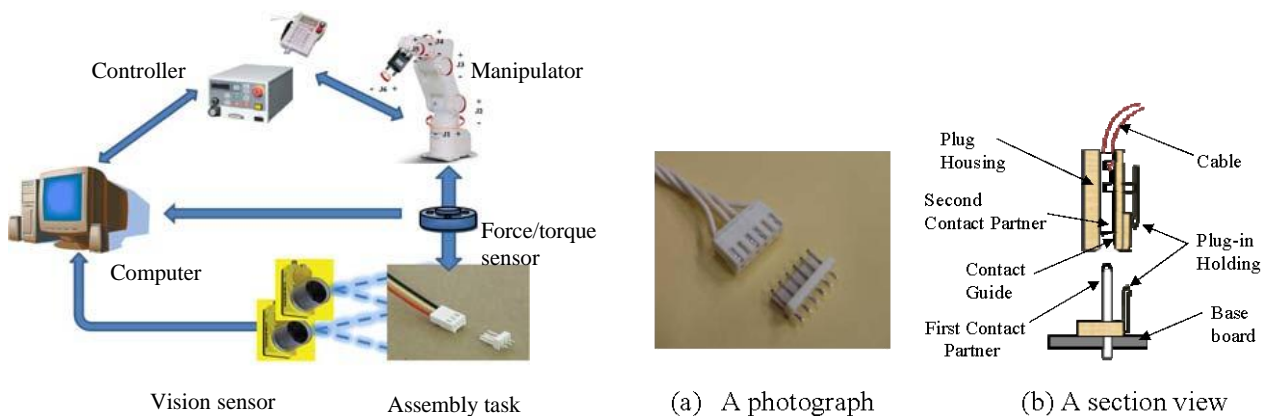


図 1 (左) エラーリカバリシステムの構成

図 2 (右) 対象としたピンコネクタの構成

本研究ではエラーリカバリ手法として、カメラセンサを用いた手法と力センサを用いた手法を用いており、システムのロバスト性を高めている。

### ①-1.2 カセンサを用いたエラーリカバリ

本研究では、様々なコネクタでの挿入エラーに対応するため、カセンサからの情報を用いたエラーリカバリアルゴリズムとして、以下の 4 種の方法を開発した。それぞれのアルゴリズムの探索について図 3～図 6に示す。

- スパイラルサーチ：手先座標系の Z 軸周りに微小な回転動作を付加する。ピッチパラメータと軌道の関係を図 3 に示す。
- プロービングサーチ：IGBT コネクタの様にピンヘッダーがハウジングで固定されておらず、曲げ変形が起りやすいコネクタに対して、マニピュレータが把持しているコネクタをプローブとして、ピンヘッダーの正しい位置を同定する、接触探索(probing algorithm)である。
- バイナリサーチ I：特にソケットピンがソケット壁よりも高い場合を対象とするリカバリアルゴリズムであり、コネクタを斜めに傾けてソケットピンと接触させることで、接触高さから正しいコネクタ位置への方向を計算する手法。
- バイナリサーチ II：特にソケットピンがソケット壁よりも低い場合を対象とするリカバリアルゴリズムであり、コネクタを斜めに傾けてソケットピンと接触させ、接触を保ったまま一定方向へ滑らせて、z 方向の力の抜けから修正位置を計算する手法。

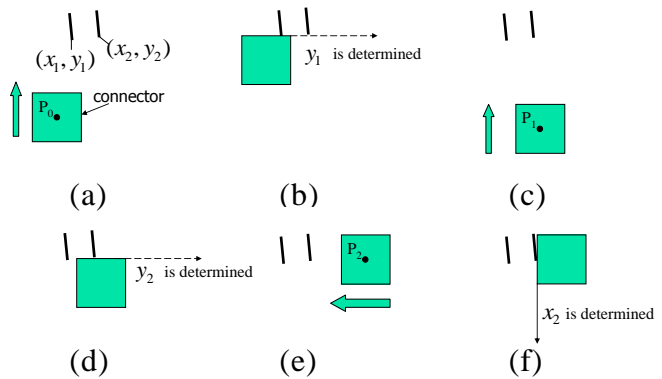
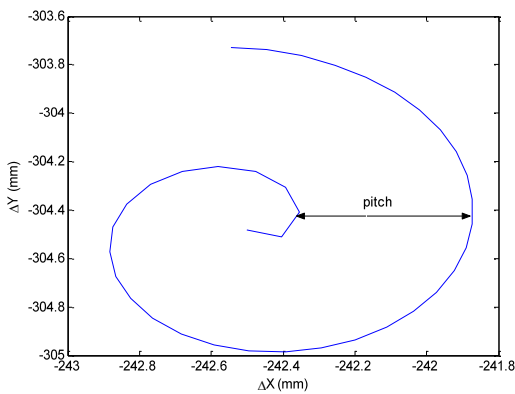


図 3 (左) スパイラルサーチでの探索軌道

図 4 (右) プロービングサーチでの探索

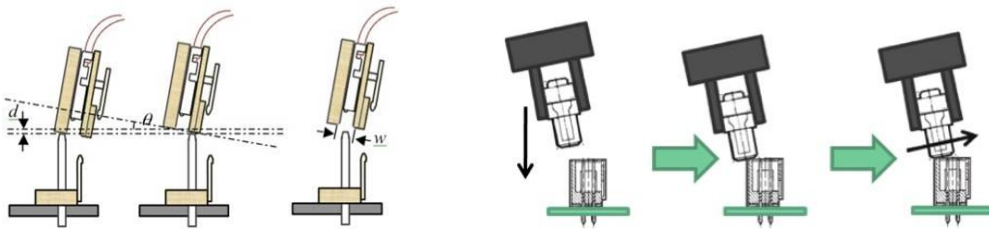


図 5 (左) バイナリサーチ I での探索

図 6 (右) バイナリサーチ II での探索

これらのアルゴリズムの有効性を検証するために、基板上のコネクタに対してランダムに位置ずれを発生させた状態でエラーリカバリ実験をおこなう試験を実施した。この結果、目標 80%を超える 98%以上確率でエラーリカバリが実施できることを確認した。

### ①-1.3 カメラを用いたリカバリ手法

本研究では受け入れ側エラーのリカバリとしてハンドカメラを、挿入側エラーのリカバリとして環境固定カメラを利用した、テンプレートマッチングで行っている。本手法の特徴としては、光学条件が固定されればほぼ 100%の確率でほとんど全てのコネクタに発生するエラーをリカバリする事が可能である。

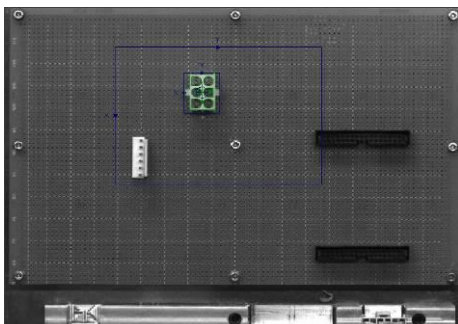



図 7 PCB 基板上的ソケット位置修正

環境固定カメラを用いてコネクタ把持エラーのリカバリを行う場合、コネクタは 3次元のエラーを含む可能性があるため、把持したコネクタの底面、側面、正面からそれぞれ位置修正を行っている。カメラを用いたエラーリカバリの有用性を検証するために、エラーリカバリ実験を行ったが、ほぼ 100%の確率で位置修正をする事ができた。

### ①-1.4 様々なコネクタに対するエラーリカバリ

以上のリカバリ手法を用い、挿入時のエラー修正についての評価を行った。実際に用いられるコネクタとしては様々な種類があり、それら全てに対応可能なアルゴリズムは存在しない。そこでコネクタやソケットの特徴に合わせてリカバリ手法を選択する必要がある。実験により、この 5 分類されたコネクタに関してそれぞれのアルゴリズムを用いてリカバリを行い、全てのコネクタのエラーをリカバリできる事を確認した。この分類によって、80%以上のコネクタをカバーできている。5 分類に関しては力覚センサだけでも対応可能なことが分かったため、カメラセンサを組み合わせることにより、現存するほとんど全てのコネクタに対応出来ると考える。

表 1 コネクタの分類と対応するリカバリアルゴリズム

	Probin g I	Probin g II	Spiral search	Binary search I	Binary search II	Hand- eye ca mera	Base- ground camera
 爪無段無 単列底平	○	○	△ Based on shap e of hol ding	△ Based on shap e of hol ding	×	△ Based on shap e of hol ding	○



 爪有段有 単列底平	△ Based on shap e of wall	△ Based on shap e of wall	○	○	×	○	○
 爪無段無 複列底平	△ Based on shap e of wall	○	○	×	○	○	○
 爪有段有複列底平	△ Based on shap e of wall	△ Based on shap e of wall	○	×	×	○	○
 爪無段無単列底段	△ Based on shap e of wall	○	×	×	×	○	○

表 1 はコネクタの種類を 5 つに分類し、それぞれのアルゴリズムが有用であるかを○△×で表した表である。ここで Probing II は、ソケットが壁で囲まれている物に対するアルゴリズムで、Probing I の接触回数を 2 回に省略したアルゴリズムである。ここで、爪とはコネクタとソケットを固定するロック、段とはコネクタ周りの突起、底段とは底面にオフセットのあるコネクタを意味している。

様々なコネクタの挿入作業におけるエラーリカバリ手法として、4 種類の接触探索アルゴリズムと 2 種類のカメラを用いたリカバリ手法を提案した。これらの手法を組み合わせることにより、ほとんど全てのコネクタに発生するエラーをカバーする事ができた。さらに提案したアルゴリズムは実証システムに実装され、エラーリカバリを行う事に成功した

### ①-2 ネジ締め作業における自動復旧技術の開発 (富山県立大学)

ネジ締め作業における自動復旧技術の開発では、自動ネジ締め作業において、異常状態の判別に機械学習を用いる。判別の方法を提案し有効性を検証した。対象とする作業状態を図 8 に示す。図 8 の左から(a)正常完了状態 (b) ネジ喪失(empty)：ネジの獲得の失敗や、ネジの獲得後に目標のネジ穴に移動する際にネジが落下し、ロボットがネジの無い状態でネジ締め動作を行う。(c) 穴の不一致(failed)：ネジ締めの目標位置とネジ穴がずれていることによりネジが全く挿入されない状態。(d) ネジつまり(jammed)：ネジ穴に埃が詰まるなどネジ先の異物が原因で、ネジが完全に挿入されず、浮いた状態となる。

異常検出、異常診断、自動復旧の方法を図に示す。まず、ネジ締め作業終了後、ロボットの手先

軌道と手首に取り付けられた力センサのデータから特徴量を抽出する。次に、それらを特徴量空間にプロットし、事前の教師データから作成した線形サポートベクターマシン(線形判別機)により2組状態判別を行なう。2組の線形判別を繰り返して全て正常と認識された場合は正常完了状態と認識し、それ以外の場合はエラー状態同士の状態判別を実行し、エラー状態を特定する。

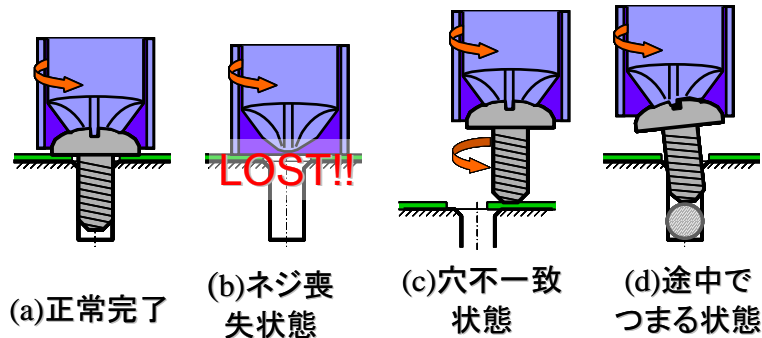


図 8 ネジの状態

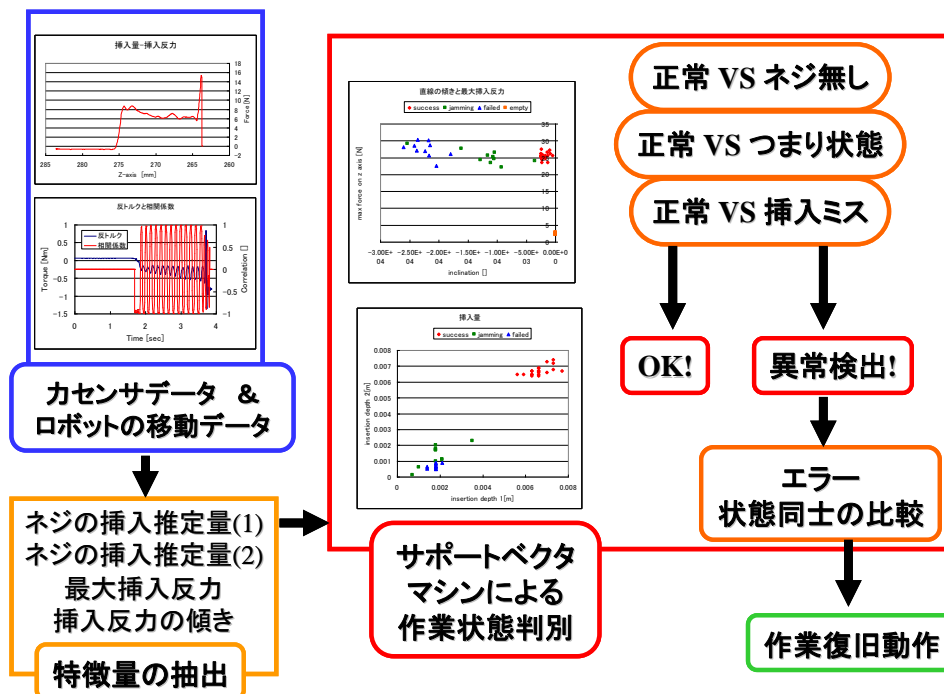


図 9 異常検出, 異常診断, 自動復旧の手順

力センサを介してロボット手先に取り付けられているネジ締め機を用いて検証を行った。ロボットはコンプライアンス制御を実行しながら、ネジ締めドライバの回転速度に追いつく速度で鉛直下方向に移動する。動作終了条件は反力が 50[N]以上になった場合か、設定した終了位置に到達した場合である。実験では各状態を故意に作り、それぞれ 40 回データを取得しそのうち無作為に選んだ 20 組のデータからサポートベクターを作成し、残りの 20 組のデータを用いて認識結果を評価した。認識においては 80 個のデータの内、76 個のデータを正常に認識できたため認識率は 95% となった。

以上の結果を以下にまとめる。ネジ締め作業における、異常検出, 異常診断, 自動復旧技術の構築および評価を行い、目標である .90% を超えることができた。認識技術においてはロボットによるネジ締め動作時のネジの挙動に注目し、振動から挿入量を推定する技術を構築した。また、サポートベクターマシンによる作業状態判別の技術を構築した。

## ② 3次元センシングシステムの開発

### ②-1 概要

ターゲットとするコネクタ付きケーブル組立作業自動化には、1) 柔軟物(ケーブル)の姿勢不定性を解消し、そのうえで2) 剛体物(コネクタ)の高精度な操作をおこなうという方法が、タクトタイムを考慮すると現実的である。実現には次の課題があり、ターゲットとする電気・電子部品組立を基準に目標を設定した。

#### 1) 柔軟物の姿勢不定性の解消

- a) 大きな姿勢不定性をカバーできる広い視野を持つセンシング

目標：位置精度 $\pm 2\text{mm}$ ，処理時間 2 秒/視点

- b) 多品種ケーブルの形状・状態の理解

目標：実証システムにおけるバラ積みケーブル取出し，エラーリカバリ作業の実現

#### 2) 剛体物の高精度な操作

- c) 小型・汎用・高精度なセンシング

目標：サイズ約 300cc，通常カメラの 4 倍のダイナミックレンジ機能

- d) 多品種コネクタの形状の理解

目標：位置精度 $\pm 1\text{mm}$ ，処理時間 1.5 秒以内

課題に対し次の技術を開発し，目標を達成した。

#### 1) 柔軟物の 3次元センシング技術

- a) 単眼で広い視野を実現するモーションステレオ方式

位置精度： $\pm 1.5\text{mm}$  以内，処理時間 2 秒/視点以下(目標達成)

- b) バラ積み状態のケーブル把持優先候補付け，ケーブル姿勢認識アルゴリズム

実証システム上でバラ積み取出し，落下したケーブル復旧動作を実現(目標達成)

#### 2) 剛体物の 3次元センシング技術

- c) ワイドダイナミックレンジ機能を持つ小型 3次元センサヘッドユニット

サイズ：300cc 以下，WDR 性能：4 倍以上(目標達成)

- d) 立方体モデルの組合せによるコネクタモデルマッチングアルゴリズム

位置精度： $\pm 0.9\text{mm}$  以内，処理時間 1.3 秒以下(目標達成)

### ②-2 柔軟物の 3次元センシング技術 (北海道大学)

#### ①-1.5 単眼で広い視野を実現するモーションステレオ方式の開発

カメラ 1 台をロボットの手先に搭載し，ロボットを移動させ視点を変えながら撮影をおこなうモーションステレオ方式と，ロボットの運動モデルに基づくノイズ除去方式により広い視野でノイズの少ないセンシングを実現した。図 10 左は一般的なステレオ方式，右が開発方式での円筒面の計測結果であり，高い計測性能が確認できる。評価試験では，単眼カメラ(VGA, 15fps,  $f=6\text{mm}$ , レンズ歪み補正済み), モーションステレオ(W.D. 70mm $\sim$ 330mm, 基線長 47mm $\sim$ 72mm)で, S/N が-2.11dB から 12.02dB に大幅改善した。また，ケーブル形状認識試験では，100 回の計測で誤差 $\pm 1.5\text{mm}$  以内に 97.64%の計測データが存在することを確認し，処理時間はロボット動作を含めて 1.673 秒であった。目標値である精度 $\pm 2\text{mm}$  以内，処理時間 2 秒以内を達成した。



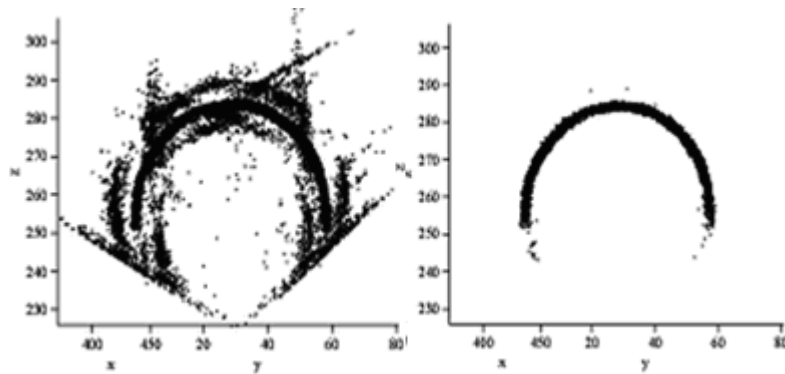


図 10 一般的手法(左)と提案手法(右)による円筒面の計測結果

①-1.6 バラ積み状態のケーブル把持優先候補付け, ケーブル姿勢認識アルゴリズムの開発

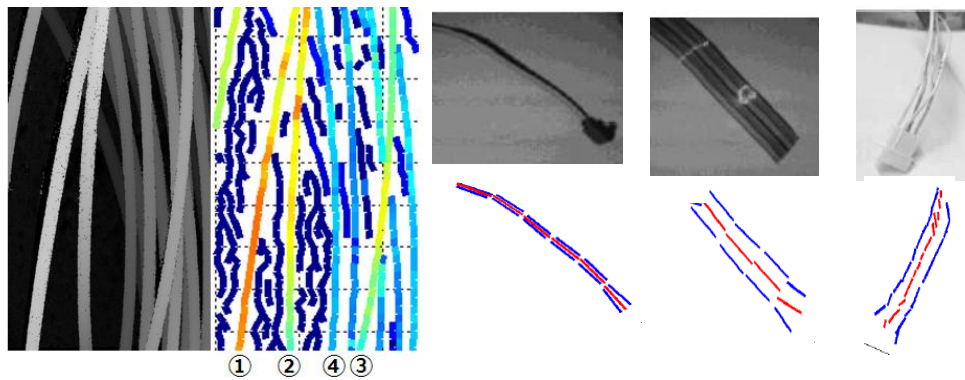


図 11 把持優先候補付け結果(左)と多品種のケーブル姿勢認識結果(右)

バラ積みされたケーブルを高い成功率で取り出すために、バラ積みされたケーブルの掴みやすい位置姿勢を優先付けするアルゴリズム(図 11 左)を開発した。手法はバラ積みの上の方に存在し、ロボットが進出しやすく、周辺に干渉するものがないケーブルほどスコアが高くなる。また、作業中に落下したケーブルを把持し、次の適切な作業を選択するための、多品種のケーブル姿勢認識アルゴリズム(図 11 右)を開発した。手法は計測した 3 次元データから、ケーブルの主方向を推定し、主方向ごとに断面分割化をおこない、各断面にケーブル中心のベクトルと、ケーブルの両縁部分からベクトルを示す。この集合でケーブルをモデル化する。ベクトルの流れが不均一であったり、途切れたりする場合、ねじれや重なりが発生していると判断し適切な作業方法に変更できる。

性能評価として、バラ積みケーブルの取出し作業(VGA, 30fps, f=12mm, レンズ歪み補正済み, W.D. 270mm, 基線長 120mm, 試行回数 100 回)を実施した。結果、開発手法によるバラ積み取出し成功率が 86%, 比較として最も高い位置のケーブル位置を認識して取り出す方式で 49%となり、大幅に性能が向上した。成功時の平均作業時間は 2sec であった。次に落下したケーブルの姿勢認識方法の性能評価として、組み付けジグ上でケーブルを落下させ、それを姿勢認識してコネクタ挿入作業に移行する作業をおこなった。結果、無造作に落下したケーブルでも 91%の状態で作業復帰できた。処理時間は 2.24sec, 最大把持位置誤差は 1.145mm であった。目標であるバラ積みケーブル取出し, エラーリカバリ作業を実した。

## ②-3 剛体物の 3次元センシング技術 (三菱電機株式会社)

### ①-1.7 ワイドダイナミックレンジ機能を持つ小型 3次元センサヘッドユニットの開発

開発した小型 3次元センサはヘッドユニット部とヘッドユニット制御部から構成されている。ヘッドユニット部は、図 12 に示すように主に、半導体レーザー(LD: Laser Diode)と MEMS ミラー(MEMS: Micro Electro Mechanical System)のスキヤニングシステムによって対象物に対して格子パターンを投光するパターン投光部と、ゲインの異なる二種類の画像を同一フレーム内に重ね合わせることで通常のカメラよりも広いダイナミックレンジ(WDR: Wide Dynamic Range)を実現するカメラヘッド部によって構成されている。また、ミラー振れ角の両端に二分割フォトダイオード(PD: Photo Diode)を配置することにより、二点の通過時間を測定することでミラーの振幅速度を測定し、その振幅速度を元に MEMS ミラーのフィードバック制御することで、振幅速度のジッター抑制を実現している。ヘッドユニット制御部では、PC からの信号によってカメラを制御するためのカメラ制御部と、PC からの投光パターン指令によってパターン投光部の制御を行う投光部制御部によって構成されており、投光部制御部では、カメラ制御部からのタイミング信号を元に、測定平面上に縦縞スリットパターン光の投影を行う。尚、ヘッドユニット部の容積は、光学系及び回路基板配置の最適化によって 300cc となっており、目標の 300cc 以下を実現している。

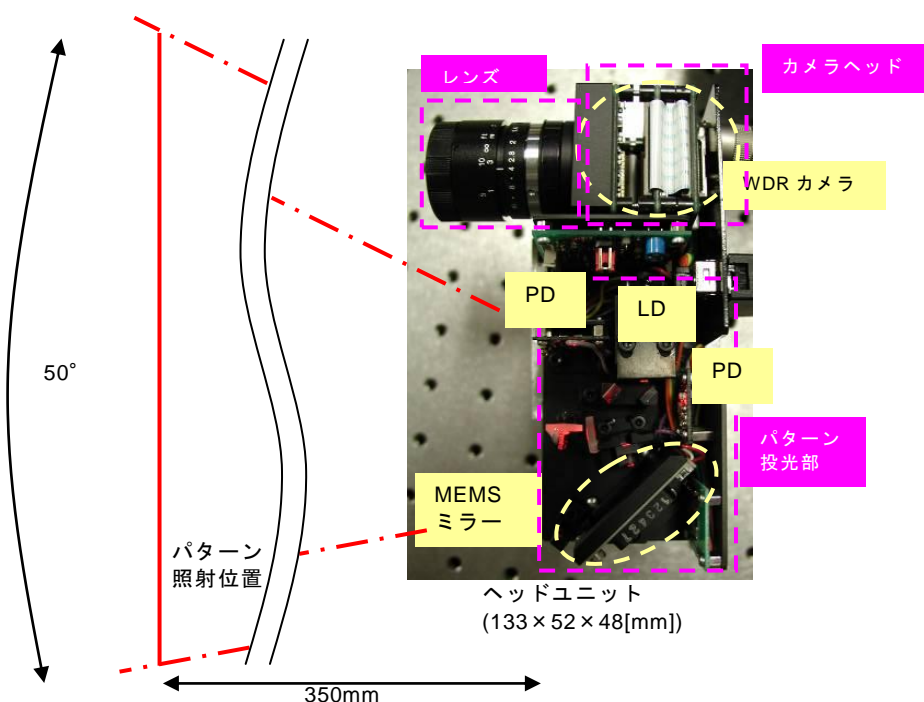


図 12 3次元センサシステムにおけるヘッドユニット

図 13 はダイナミックレンジ補正原理を示す概要図である。横軸がセンサ入射光量、縦軸が A/D のデジタル出力である。図 13(a) は AFE-TG(Analog-Front-End-Timing Generator)を 1 個用いた従来の特性図であり、10bit データの場合、高輝度部を撮像して、出力信号レベルが 1023 に達すると輝度が飽和(白飛び)する。図 13(b) は本方式の特長である、AFE-TG を 2 個用いた場合の特性であり、センサから出力された映像信号は、分岐後 AFE-TG1, AFE-TG2 に同時に入力される。このとき、AFE-TG1 と AFE-TG2 では異なるアナログゲイン値を適用することにより、明画像と暗画像が得られ、最終的にこれらの画像を FPGA 内でリアルタイム加算することによってパターン照射時におけるダイナミックレンジ拡大を実現している。この場合、明画像とは図 13 (b)

の「AFE-TG1」出力画像を指しており、高輝度部は白飛びしているが、低輝度部の階調が保持された画像を意味する。暗画像とは図 13(b) の「AFE-TG2」出力画像を指しており、低輝度部は黒潰れしているが、高輝度部は階調が保持された画像のことを意味する。また、これらの画像は同時に露光開始されているため、本方式のように時間的に変化して走査されるパターン照射方式であっても問題なく露光が行われるという利点がある。

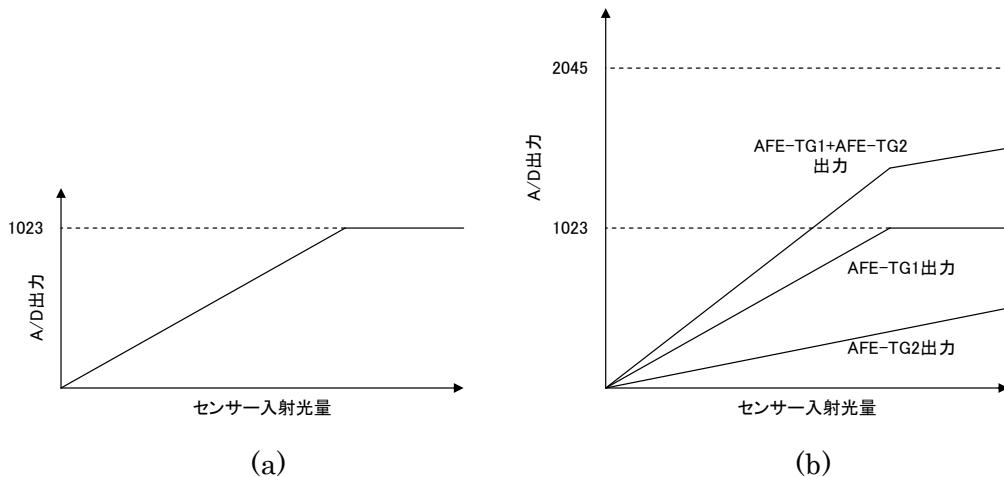


図 13 WDR 補正原理図 ((a) : 通常, (b) : WDR 補正処理)

開発した小型 3 次元センサにて従来距離計測が困難な黒ケーブルを対象物とした場合の評価を実施した。図 14 はダイナミックレンジ拡大+階調補正効果について検証した画像を示しており、階調補正効果が確認できる部分を橙色で囲んでいる。図 14(b)「WDR 補正あり」では、黒ケーブルの階調が再現されていることを確認した。

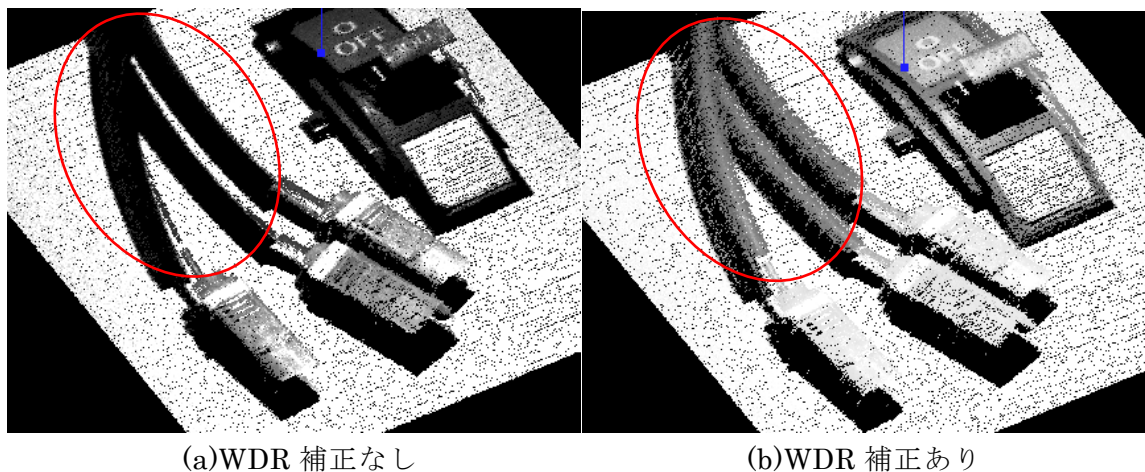


図 14 ダイナミックレンジ+階調補正効果比較

### ①-1.8 立方体モデルの組合せによるコネクタモデルマッチングアルゴリズムの開発

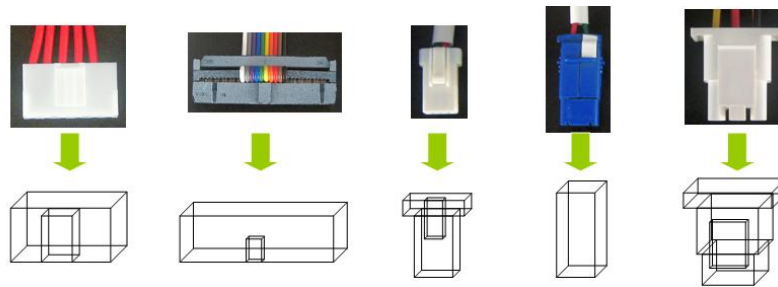


図 15 コネクタの立方体モデル化

コネクタの姿勢認識は図 15 に示すように、作業者がコネクタの実寸法をもとに立方体を組合せたモデルを定義し、このモデルと 3 次元データとのマッチング処理(図 16, ただしわかりやすいように 2 次元画像上にモデルの射影を表示している)により位置姿勢を計算する。

コネクタの姿勢を変えた場合の認識結果を示すことでコネクタ部認識処理が有効に機能していることを示す。図 16 に白コネクタ及び赤コネクタの認識結果例を示す。いずれもコネクタの回転に合わせて正しく位置姿勢が認識されていることが確認できる。この際の認識精度は $\pm 0.9\text{mm}$  (目標 $\pm 1\text{mm}$ )であり、処理時間は 1.3 秒以内(目標 2 秒以内)であることを確認している。

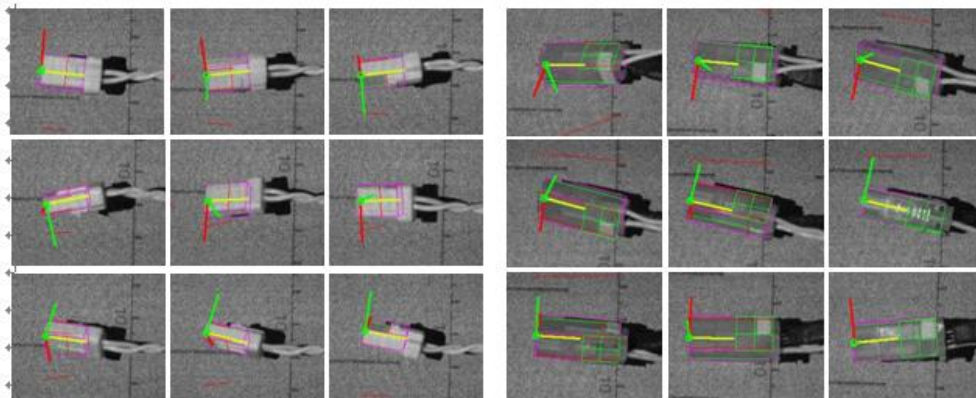


図 16 コネクタ姿勢認識評価の様子

### ③ 組み付け制御技術の開発

#### ③-1 高速組み付け制御技術の開発

力制御を用いる場合の動作の高速化と、位置ずれにより過大な力が作用したことを検知して停止することにより、人とほぼ同等の作業時間で FA 機器に用いられているコネクタの挿入作業を実現した。

- 力制御系と接触中の対象物の動特性をリアルタイムで同定する手法を組み合わせた適応力制御方式を検討し、シミュレーションを実施し効果を確認した。
- コネクタ挿入作業に適用する実験を実施した。
- 規定以上の力が作用する場合に、力制御を中断し状態変数を書き換えることにより、接触検知・リトライを可能とする方式の検討、実機評価を実施した(図 17)。
- 力制御パラメータのリアルタイム変更により、位置ずれ時の安全な停止と高速な挿入作業(挿入時間は約 0.7 秒で人とほぼ同等)の両立を実際の FA 機器コネクタの挿入実験で実証した。

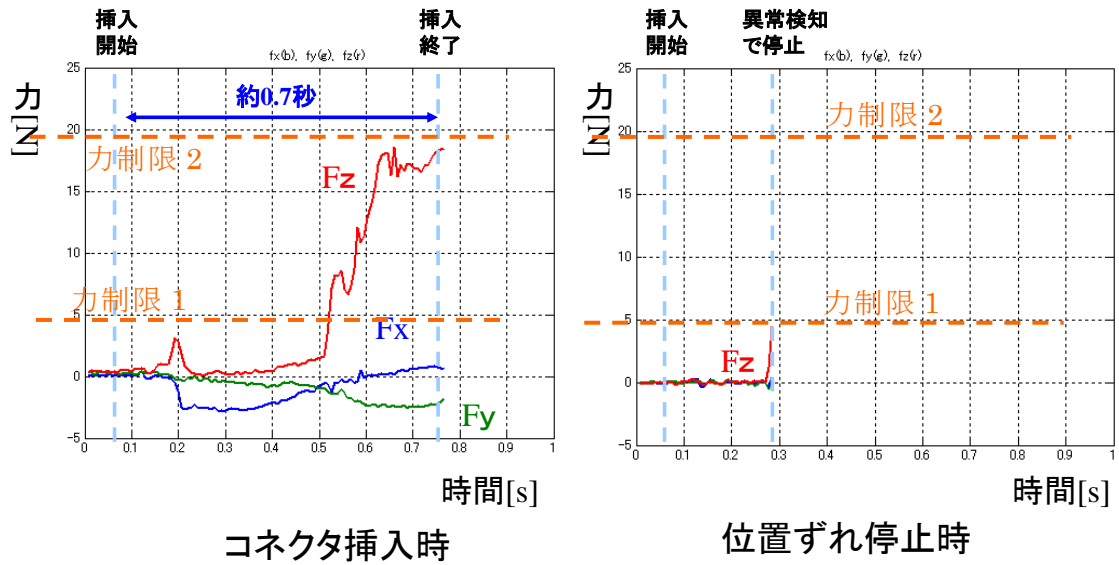


図 17 コネクタ挿入実験時の力覚センサーデータ(成功時, 位置ずれ停止時)

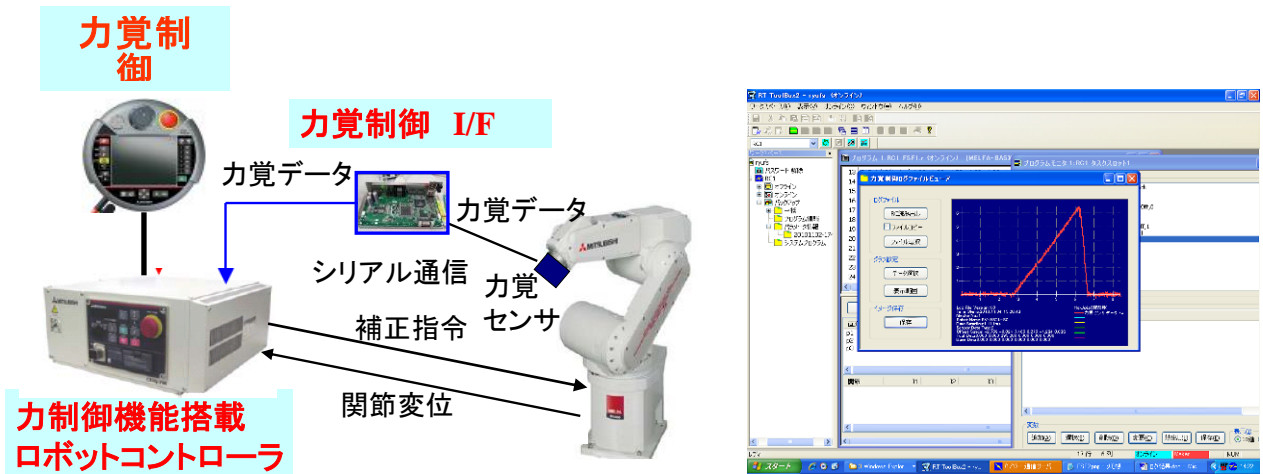


図 18 制御機能のロボットコントローラ搭載と力情報の確認機能

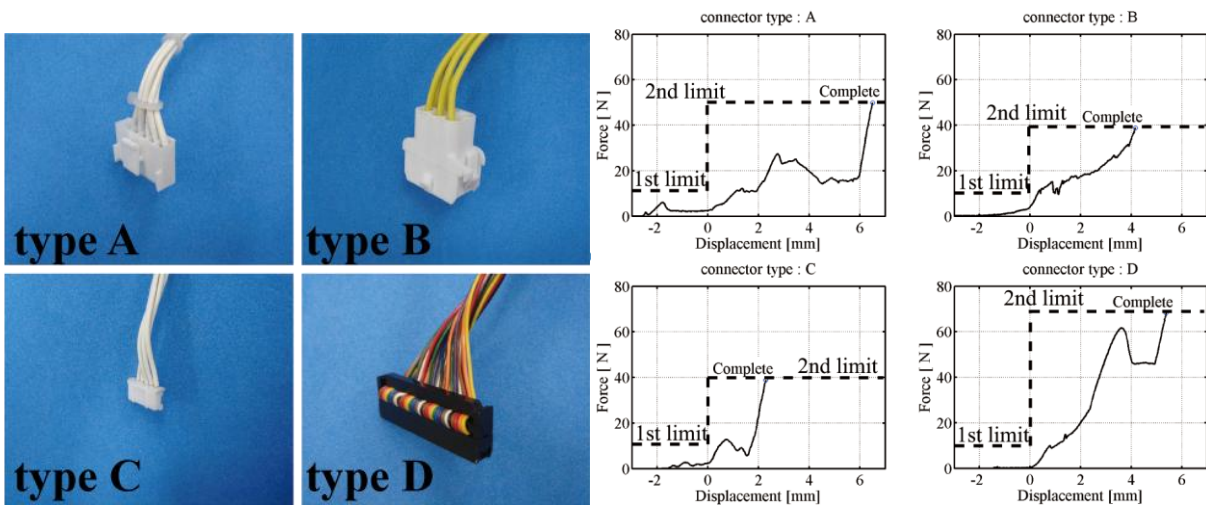


図 19 多品種コネクタでの検証

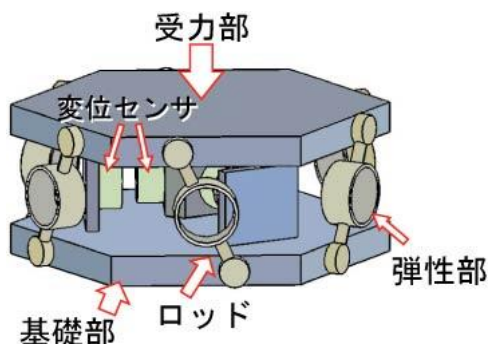
さらに、開発した力制御機能をロボットコントローラへ実装することで、通信による動作遅延の排除や操作者手元での力情報の確認機能を実現し、使い勝手を向上させた(図 18)。

また、開発した制御機能の汎用性を確認するため、様々なコネクタの中から典型的な形状をもつものを数種類選定し、これらについて挿入試験を実施した。それぞれのコネクタに対する挿入反力を図に示す。Limit で示してる力覚制御パラメータを切り替えることにより、いずれのコネクタに対しても挿入作業と衝突時の安全性の確保を両立することができた(図 19)。

### ③-2 低コスト力覚センサの設計試作

コネクタ挿入・作業確認を低コストで実施するために低コスト力覚センサの設計、試作を行った。本研究開発では、構造体として上下 2 枚の板状部材間を 6 本のロッドで結合したスチュアータプラットフォームを模した構造を用いることで、力の干渉によって生じる非線形的な変形を低減し、また、変形を測定するセンサとして 2 次元変位を測定可能な光センサを用いることで組立易さを向上させている。

図 20 (a) に開発した力覚センサの基本的な構成を示す。本センサは、センサの受力部と基礎部となる 2 枚のプレートと、それらをつなぐ 6 本のロッド、そして受力部と基礎部との間の相対変位を測定するための 3 組の光学式変位センサから構成されている。ロッド部は中間に弾性部を持ち、所定の剛性を持つよう設計されている。変位センサはスポット光源となる LED と 4 分割 PhotoDiode (PD) とで構成されており、それぞれが受力部と基礎部に向かい合って固定されている。4 分割 PD 上でのスポット光の 2 次元変位を知ることができる。3 組の変位センサから得られた変位  $D \in R^6$  と、既知の受力部への力  $F$  との関係性を予め調べておくことにより、未知の力を検知することが可能になる。



(a) 力覚センサ構成



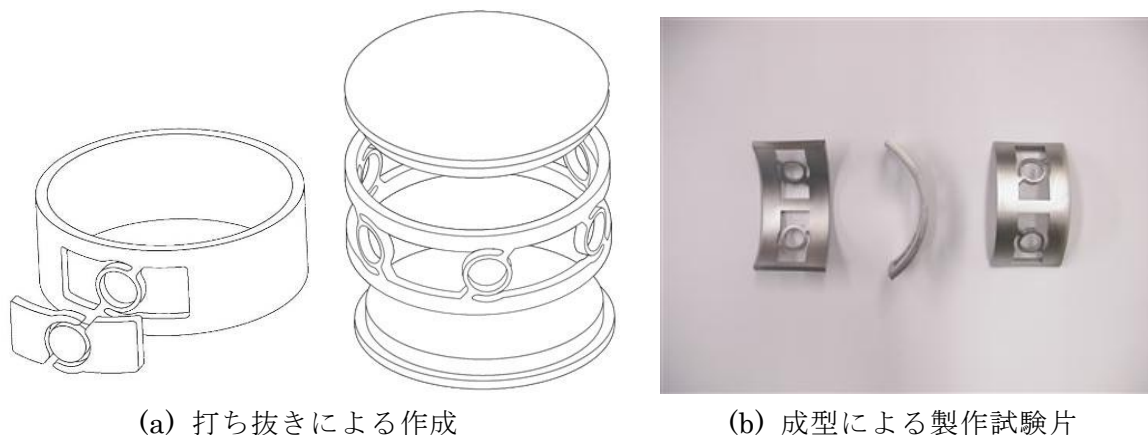
(b) 試作力覚センサ構造体

図 20 開発力覚センサ構成概要

試作した力覚センサの外観と、内部の構造体を図 9 (b) に示す。試作した力覚センサの定格は  $F_x, F_y = 60 \text{ N}$ ,  $F_z = 120 \text{ N}$ ,  $M_x, M_y, M_z = 5 \text{ Nm}$  に設定した。外形  $\phi 73\text{mm}$ , 高さ  $29\text{mm}$  である。また、ロボットなどへの取り付けの際に、取り付け方によっては出力にオフセットが生じる場合があったため、構造に修正おこないオフセットが出にくくしたものは、高さが  $39\text{mm}$  となった。力覚センサ内部には変位演算基板が搭載されており、PC 等へ RS485 を利用したシリアル通信で、サンプリング  $1\text{ks/s}$  でデータを送信する事が可能である。

製作コストについては、一般的な市販力覚センサ価格約の半分を従来品製作コストとして仮定してこれを  $1/3$  にすることを目標に低コスト化の開発を行った、開発した力覚センサはひずみ検知方式ではなく変位検知方式であるため図 21 に示す様な打ち抜きや成形といった制作方法でも出力に影響を受けにくいという特徴をもつ。このことから構造体の制作方法としてこれらの

量産性に優れた加工方法や、光学変位センサによる組立性向上の効果を、量産時の製作価格推定に反映させることで目標を達成できるという結論を得た。



(a) 打ち抜きによる作成

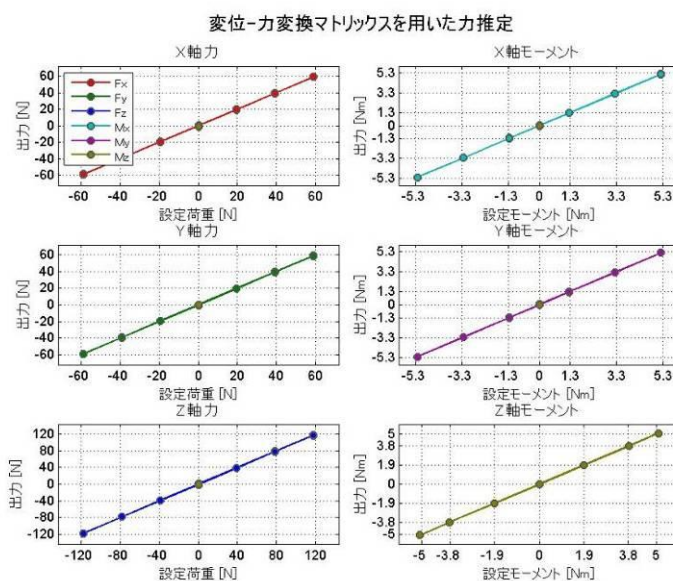
(b) 成型による製作試験片

図 21 量産対応加工の検討

試作した力覚センサの性能を検証するため、図 22(a)に示す。測定治具を用い計測実験を行った。計測実験によって得られた負荷とセンサ出力の関係から力変換行列を導き、この力変換行列を用いてセンサに加えられた力を推定した結果を図 22(b) に示す。各軸に対して定格荷重を3回繰り返して与えた際の結果であるが、加えられた荷重に対して線形的な出力を得られていることが分かる。



(a) 検証試験装置



(b) 力出力

図 22 力覚センサ精度測定

また、得られた結果について非線形性と分解能を評価したところ、非線形性については、単に受変力部変位に対して剛性行列を作用させた場合では、最大 5% となった。これに補正を実施した場合、非線形性は 1.1% 程度となった。分解能については内蔵回路の最適化と取得データのフィルタ処理を用いることで、0.2% 以下という結果を得られた。

さらに、試作した力覚センサをロボットへ装着し、組み付け制御を行いながらコネクタ挿入試験を実施した。実験の結果、コネクタ挿入時の力制御を問題なく実施できたことから、開発した力覚センサは実用上問題ないという結論を得た。

#### ④ 柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術の開発

##### ④-1 柔軟物組み付け作業レベルプログラム生成システムの開発

ロボットに組立作業を行わせる場合、ロボットの動作はロボット言語で記述し、作業位置は実際にその位置にロボットを移動させ、記憶させるオンライン教示方式が一般的である。オンライン教示方式において作業が複雑である場合、ロボットを動作させるロボットプログラムが複雑かつ大きくなり、教示位置の数も膨大となるため、プログラムの作成と教示に大変な労力と時間を要する。また、ロボットと周辺環境の干渉に注意する必要もある。そこで、本開発では、短時間で容易にロボットによる組立システムの構築が可能となるオフライン作業レベルプログラム生成システムの実現を進めた。

まず、組立対象製品である FA 機器の組立作業の分析を実施し、柔軟物組み付け作業レベルプログラム生成システムに必要な機能の抽出など構想設計した。その後、柔軟物組み付け作業レベルプログラム生成システムの設計製作を実施した。その結果、本システムは、組立て対象となる部品を登録するためのデータベース機能、データベースに登録された部品エントリーに対し、把持や組み付けの座標値をオフライン設定するオフライン教示ガイダンス機能(図 23(a))、登録された情報を援用する作業レベルプログラミング機能(図 23(b))、ロボットプログラム生成機能、シミュレーション機能(図 24)、から構成することにした。

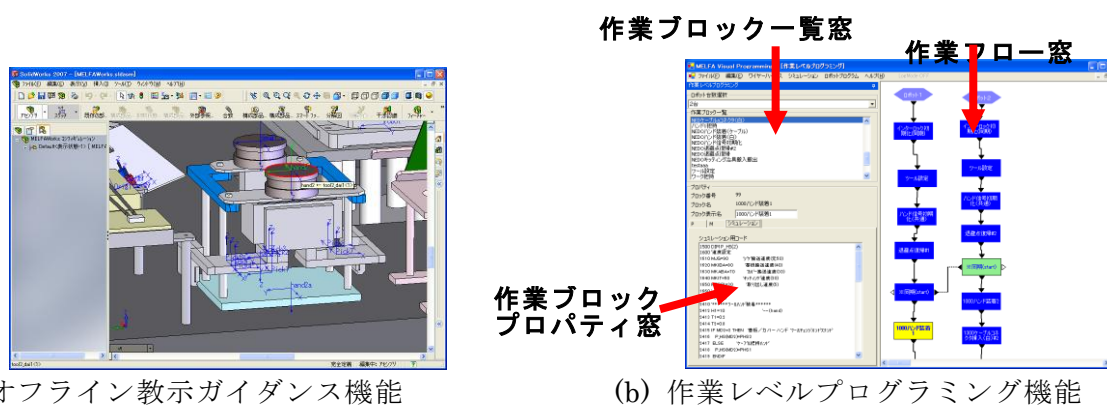


図 23 開発機能



図 24 シミュレーション機能



図 23(b) において、特徴的な機能を説明する。まず、ある程度のロボット動作の塊を作業ブロックとして登録出来る。作業ブロックのプロパティ(中身)には、ロボット言語を書き込む。作業ブロックはコピー&ペーストで使い回せるので、過去の例を連符レートにして、プログラミング時間を短縮しうる。登録された作業ブロックを一覧から選んで作業フロー窓内に羅列することで一連のロボット作業シーケンスを記述できるので、直感的な操作を繰り返すことで、プログラミング時間の短縮が期待できる。さらに、作業ブロックはマウス操作で順序を入れ替えられる。すなわち、例えばロボット手待ち時間を減らすような調整作業の試行時間が短縮される効果が期待される。

以上のように、本システムを用いて、作業単位のブロックを並べるだけで容易にプログラム作成、シミュレーションによる動作確認が可能となったので、今回の検証システムを例題にして、コネクタ把持、挿入作業など実証システムの一部の作業工程を対象にプログラム作成を行い、その効果を評価した。

従来方式では、ロボット言語プログラムは、オペレータが記述して 820 行程度の規模であり、初期の開発に 3 日間程度、その後の調整には 4 日間程度の、合計 1 週間程度が必要であった。これに対し、本システムでは、初期開発 1 日間、調整に半日で合計 1 日半程度と見積もれる。結局、プログラミング・調整時間の比は、1/5 である。

#### ④-2 柔軟物体操作におけるマニピュレータ作業動作の最適化

柔軟物であるケーブルを高速で搬送しようとする時、ケーブルが振動し、経路途中の周辺物に接触したり、停止時の振動が収まる待つために作業時間が長くなるなどの問題がある。そこで、ケーブルの特性を考慮して振動抑制を行う軌道生成方式を開発した。

実証システムと同様の環境下において、ケーブルの搬送時に回転を伴う動作に対して、ケーブルの振動を抑制する軌道を生成するアルゴリズムを提案した。振動抑制アルゴリズムにおいては、移動終点付近で滑らかで、ケーブルの重心の移動量を抑制するような軌道を生成することを目的とした。関節空間におけるマニピュレータの 1,2,3 軸の経由点を操作量とし、降下法を用いて最適なマニピュレータの軌道を生成した。また、柔軟物体の挙動を再現するシミュレーションプログラムを作成し、生成された軌道の効果を確認でき、ユーザーが経由点を指定した場合の挙動も再現できる GUI を開発した。

最適化前と最適化後のケーブル先端の振動を比較すると、シミュレーションにおいて 70% の減少効果があり、検証システムにおける実機実験において 50% の減少効果があることが確認できた。

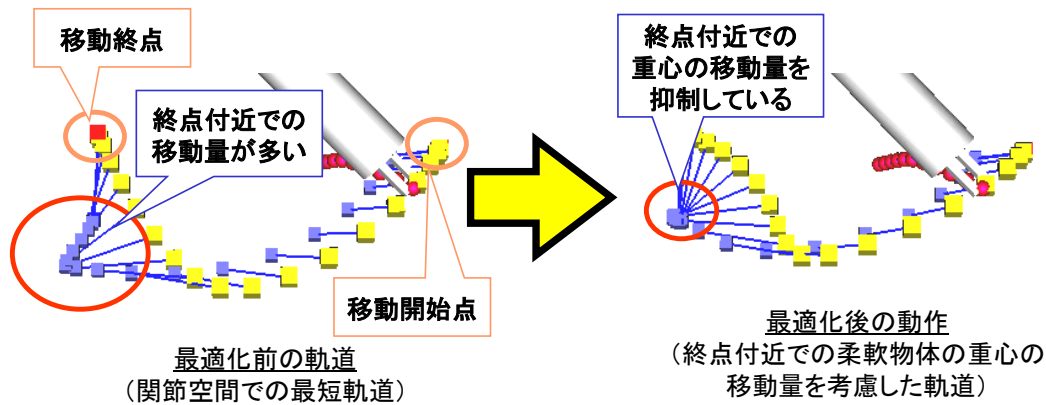
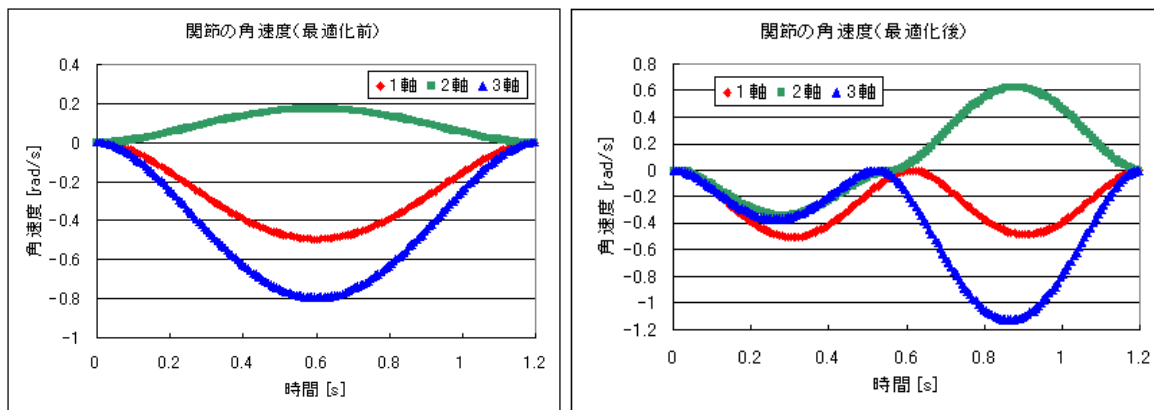


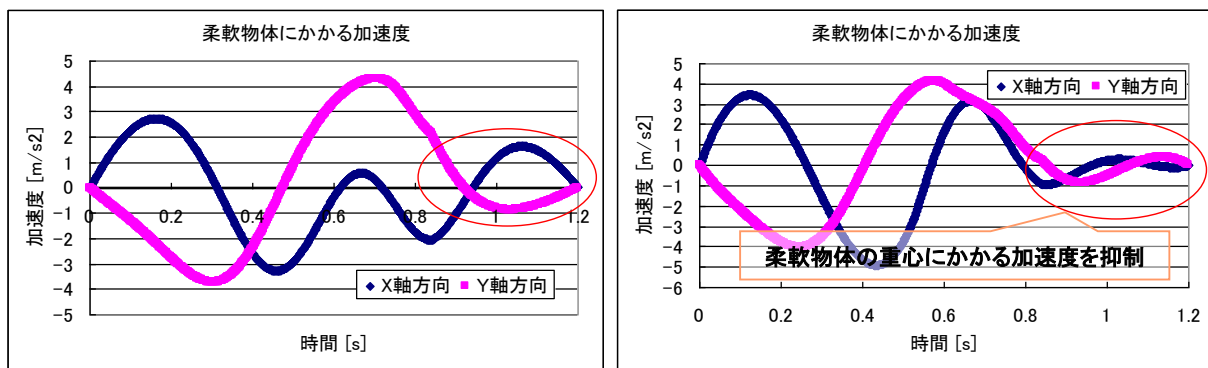
図 25 ケーブル重心の変化を抑制する軌道生成方法



(a) 最適化前

(b) 最適化後

図 26 生成された 1,2,3 軸の関節軌道



(a)最適化前

(b)最適化後

図 27 ケーブル重心にかかる加速度

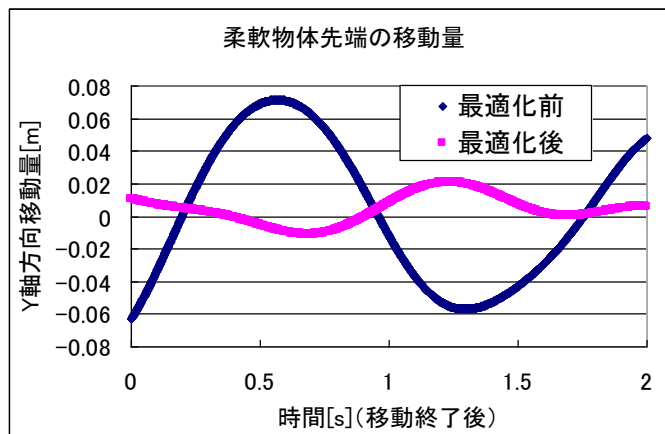


図 28 ケーブル先端の移動量

### ⑤ FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作

開発した要素技術の有効性を確認し、柔軟物を含む FA 機器を実際に組み立てられることを確認するために実証システムを構築し、評価を実施した。実証システムの目的は次の通りである。

- 開発した要素技術を生産システムに適用し、技術の安定性や汎用性を評価する
- 開発した要素技術を適用した生産システムの生産性を人間と比較して評価する

#### ⑤-1 組立作業

評価対象となる FA 機器の構成はベース部分、カバー部分、基板、ケーブル付きコネクタ、ネジによって構成されている。作業としては一般的な組み付け作業として、ネジ締め作業による基板取り付けカバー取り付けを含み、さらに柔軟物としてコネクタ付きケーブルを含む構成となっている。コネクタ付きケーブルは、ケーブルの両端にタイプの違うコネクタが取り付けられており、二股に分かれたタイプと分かれていないタイプから構成されている。

表 2 組み立て対象 FA 機器の組立工程

工程	組み立て工程内容
1.	コネクタ付きケーブルの色つきコネクタ(極性あり)をベース部に 6 個挿入する
2.	基板をベース部の位置決め部材のある位置に組みつけ、3 点ネジ止めする。
3.	白色コネクタ(ヘッダ側にハウジングあり)を 4 個挿入する。
4.	カバーを設置し、4 点ネジ止めを実施する。

上記 5 つの部品を組み付け実施を、人間の組み付けと同等の生産性で組み立てが可能なシステムを構築することを目標とした。表 2 に組み立て工程を次に示す。組立作業での人間の各要素作業を実際の工場作業者の作業映像から抽出し、積算した値を組み立て時間として算出した結果、確認作業を含めおよそ 5 分という結果になった。

#### ⑤-2 システム概要

この FA 機器組立作業をロボットシステムを用いて実現するために、実証システムを構築した。

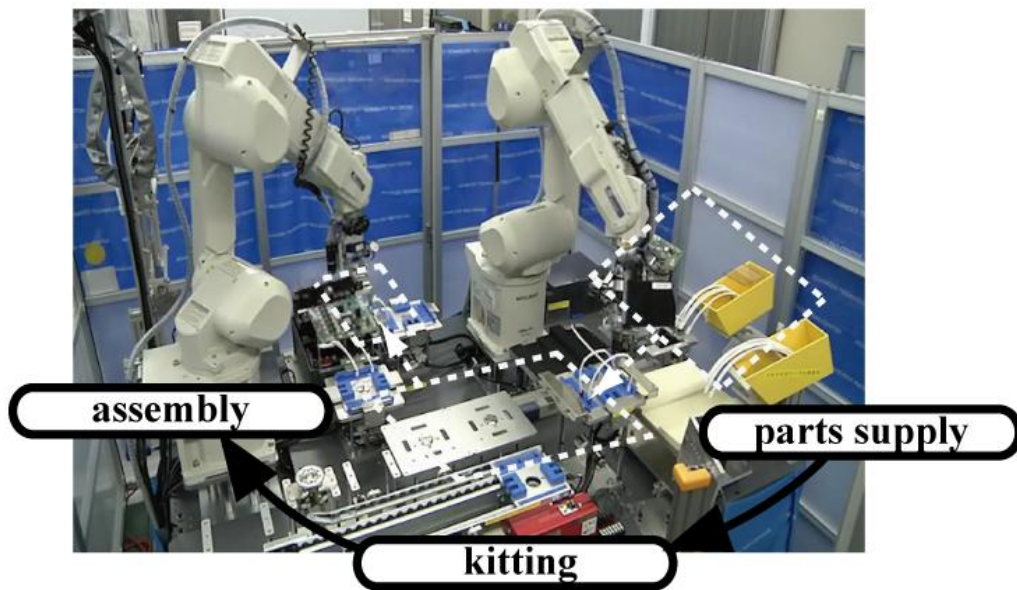


図 29 実証システム概観

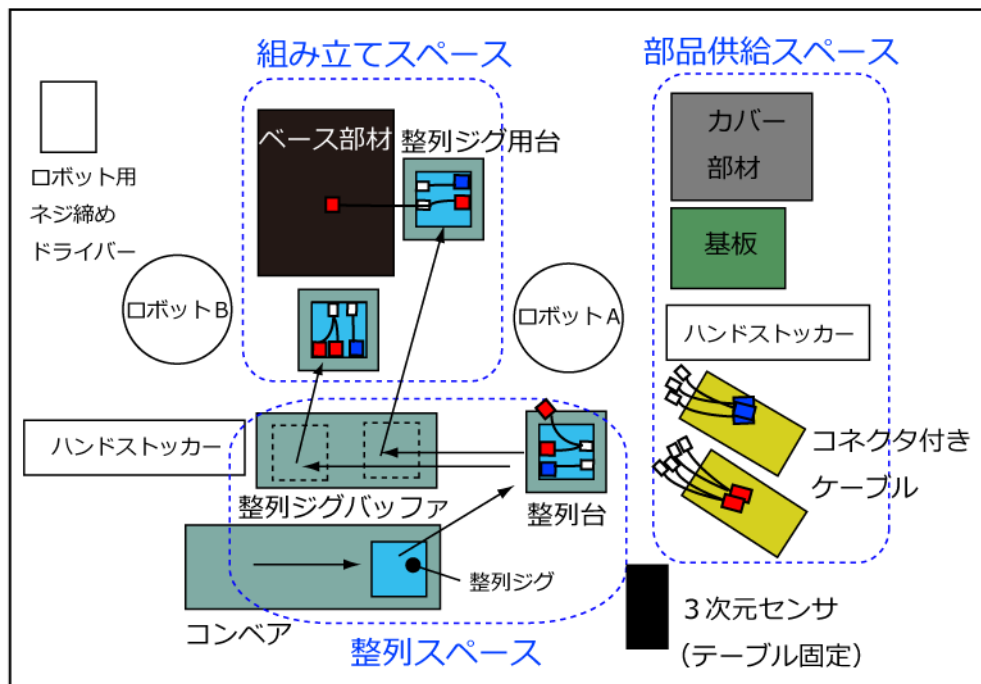


図 30 実証システムの各作業スペースの説明

図 29 に実証システム外観を，全体のレイアウト詳細を 図 30 に示す．実証システムでは，まずロボット作業要素を「部品供給工程(parts supply)」「整列工程(kitting)」「組み立て工程(assembly)」の 3 つで構成した．各技術の要素検証時には，バラ積み状態から直接コネクタを把持して挿入することも検討したが，後述するように生産システムの稼働率を上げエラーを低減し安定化させる目的で整列工程を設けた．また，2 台のロボットが出来るだけ待ち時間を少なく作業を継続できるようにタスクを割り当てた設計となっている．作業の流れを図 31 に示す．ロボッ

トAは、部品搬送と整列作業を主に担当し、部品供給スペースから必要な部品を組み立てスペースに搬送しロボットBと協働しながら組み付けを実施する。ロボットBは、組み立て作業を担当し、ロボットAが整列したコネクタ付きケーブルを使った組み立て作業とネジ締め作業を担当した。なお、ロボットAはビジョンセンサ、ロボットBは力センサを備えておりそれぞれ組み付けに利用した。

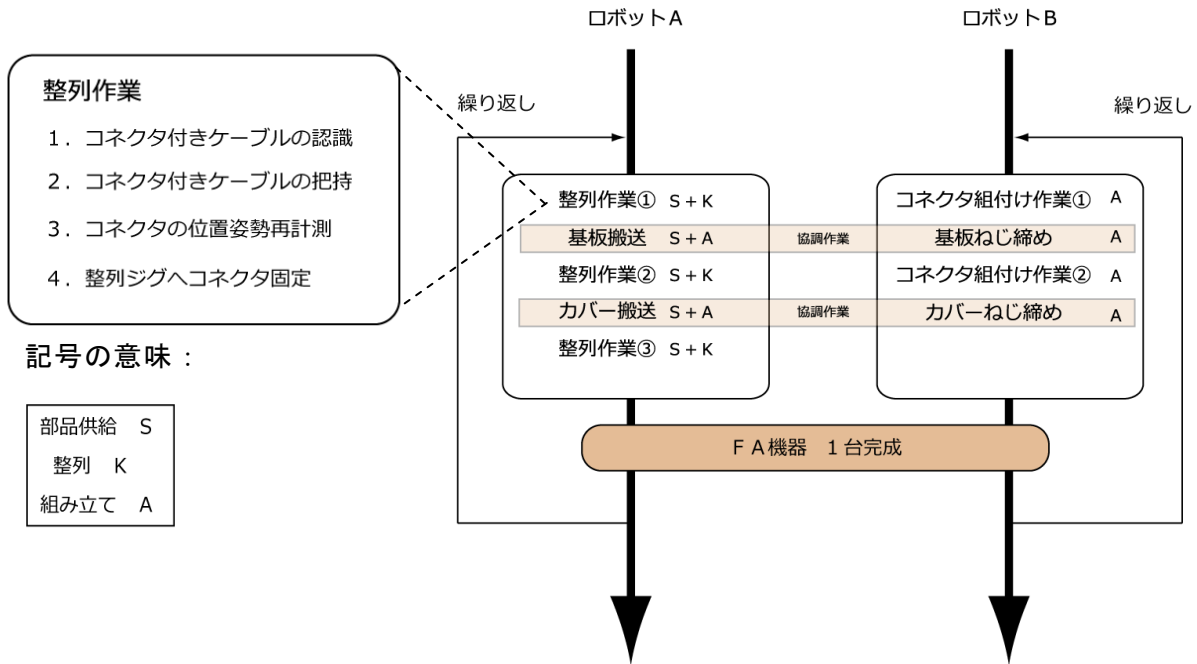


図 31 ロボット 2 台の組み立て作業フロー

### ⑤-3 整列工程の導入

実証システムでは単純に人間の作業を置き換えただけではなくロボット作業特有の仕組みとして整列(キッティング)の工程を設けている。整列工程無しで直接作業する方式であると、1本のケーブルにつき2個のコネクタが付いている場合に、ロボットAが次の組み付けまで待ち続けることになり非効率である。一方で、ロボットBがベース部材にワークを挿入した後に再びコネクタ端部を認識してつかみ出すことが困難であるという結果になった。

これに対し、解決策として我々は「整列作業」を追加することで解決を図った。整列作業とはコネクタを整列ジグに整列する作業である。ロボットを使った生産システムにおいて、作業工程にワーク整列工程を追加することによる効果は表3 ワーク整列工程の効果 に示す3つである。

表 3 ワーク整列工程の効果

ワーク整列工程の効果	
1.	コネクタ両端の位置決めを待ち時間無く効率的に行える
2.	ビジョンセンサの認識限界精度を組み付け時の要求精度のミスマッチを防止する
3.	各作業で作業遅れが発生しても全体タクトの遅れを最小限にする

特に、本システムでは3次元認識技術と自動復旧技術という作業時間が不定である要素を含むため、タクトタイムが不定であり、2台とも同じワークへ組み立て作業を実施すると、待ち時間が発生する危険性がある。「組み立て工程」と「整列工程」は時間的にも空間的にも完全に分離されており「整列スペース」で整列された位置決め精度が後工程の「組み立てスペース」でも保持されるようにジグで位置決めすることで、ロボットの待ち状態を解消しつつ必要な精度を保持することが出来た。

#### ⑤-4 システムの中の要素技術適用とロボット作業分担

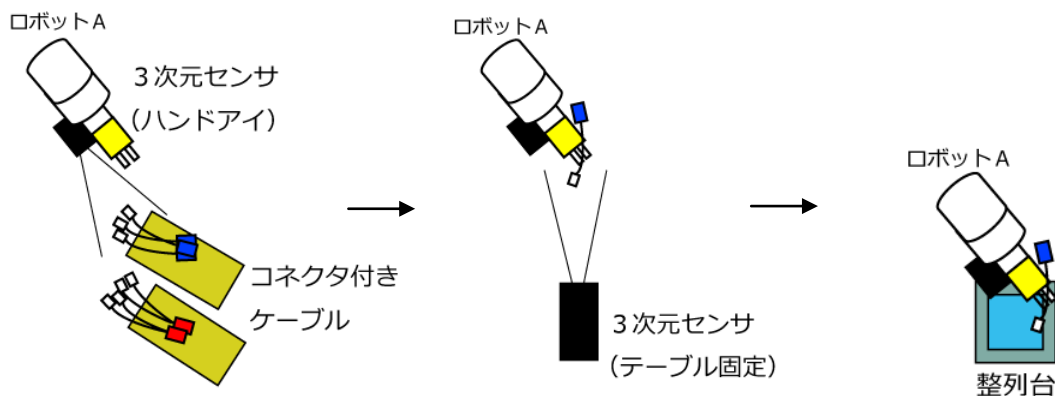
実証システムを立ち上げる中で、オフラインプログラミング技術、3次元ビジョンセンサ/3次元認識技術、力センサ/力制御技術および自動復旧技術について適用して評価を行っている。適用内容については、次に説明するとおりである。

##### ①-1.9 オフラインプログラミング

本システムのように自由度が高く、最適なシーケンスを検討するために工程の入れ替えを頻繁に行うシステムでは、作業単位のプログラム入れ替えを簡易に実施できることが望まれる。このニーズに対して、オフラインプログラミングを適用し作業入れ替えを実施した。

##### ①-1.10 3次元ビジョンセンシング技術

ロボットAの作業で、柔軟物がバラ積み供給された状態から整列されるまでの工程の中でコネクタおよびケーブルの認識を実施している。最終的にコネクタ先端が整列ジグに挿入できるように、ロボットAが柔軟物を把持した後のコネクタ先端の位置姿勢を開発したセンサを用いて計測し、開発したアルゴリズムを用いて3次元認識した。



- 1.コネクタ付きケーブル掴み出し
- 2.コネクタ位置姿勢確認
- 3.コネクタ付きケーブル整列

図 32 3次元認識と整列作業フロー

##### ①-1.11 組み付け制御技術

ロボットBの作業で、コネクタを挿入する場合に高速で挿入するために早急にエラーを検出するために開発した力センサによるロボットの先端にかかる力の計測、開発アルゴリズムによる早期異常状態検出を実施した。ここで、異常状態とは部品の微小な位置ずれによる引っかかりや異物混入により過大な負荷がかかっている状態であるが、早期に異常状態検出が可能であるため、惰走による過大な負荷を回避できるため挿入速度を上げることができ、高速化が可能となった。

### ①-1.12 自動復旧技術

作業エラーの検出について、開発技術を「コネクタ組み付け時の挿入」と「ネジ締め工程」に適用した。コネクタ挿入については、要素技術で説明した挿入時の4つの状態を定義するためのパラメータを数回の学習によって獲得し挿入後のエラー検出を実施した。また、ネジ締めについては、要素技術で説明した通りに、「正常組み付け」、「ネジ詰り」、「ネジ挿入ミス」、「ネジ空打ち」の4つのモードを分類して状態空間を分離するためのパラメータをそれぞれ数回ずつ学習データを与えて獲得しネジ締めエラー検出を実施した。また、自動復旧技術については、コネクタ組み付け挿入およびコネクタ付きケーブル整列動作について自動復旧動作を適用し、前記エラー検出で異常であると検出された場合に自動復旧動作を実行させる。コネクタ挿入時には、白色の基板に組み付けるコネクタについてはスパイラルサーチアルゴリズム、色付きコネクタについてはプロービングサーチアルゴリズムを適用した。適用した自動復旧技術の選定は、図 33 に示す様に自動復旧に利用可能な周囲領域とコネクタ形状から選定した。選定方法詳細は自動復旧技術の部分で説明した通りである。

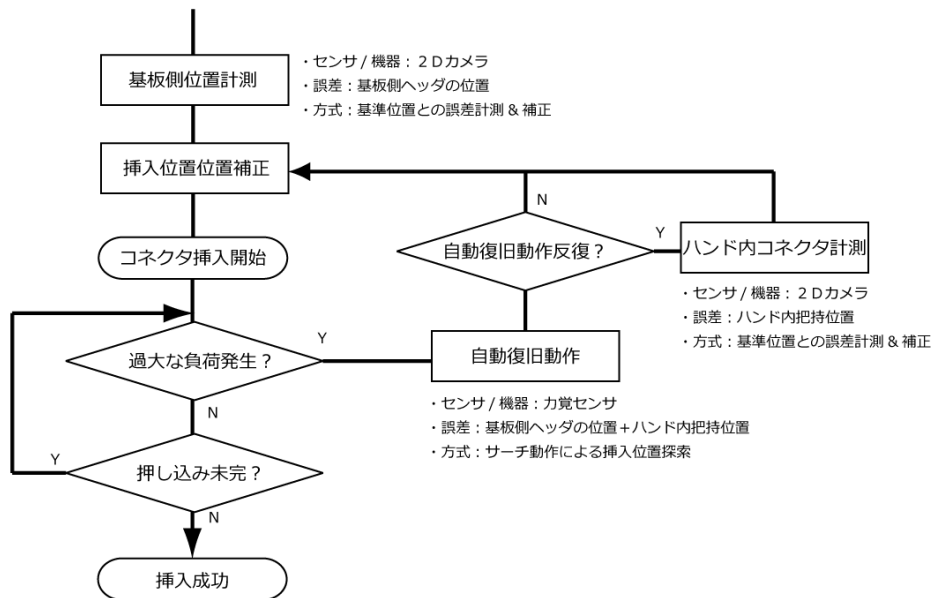


図 33 コネクタ挿入時の自動復旧アルゴリズム

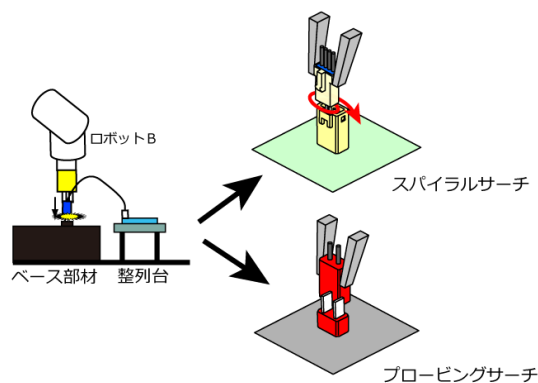


図 34 コネクタ挿入時の自動復旧動作

コネクタ付きケーブル整列動作に関する自動復旧動作については、3次元ビジョンセンサ利用の認識処理を行った際、誤認識や計測結果から動作範囲の観点で作業困難な場合が発生した場合について停止や危険動作をすることなく動作をする枠組みを構築した。把持状態や計測データのばらつき具合によってコネクタとして認識しない場合には、複数視点で確認動作を行い、コネクタとして認識が出来なければ把持エラーとしてワークを除去する。また、コネクタを挿入した後でコネクタが整列ジグから外れるような場合、状態を認識して、作業フローを必要なシーケンスから繰り返すような作業フローを構築した。なお、今回は状態の認識としては整列状態を光電センサ(光遮蔽のON/OFF)で管理した。また、作業途中で両方のコネクタ端が抜けたり、コネクタ付きケーブルを2本からまりあったまま搬送した場合などは、落ちているワークを認識し、除去する枠組みも追加した。これにより、システム内は常に正しいシーケンスを遂行し続けようとしつつも、不要なワークは除去していく安定稼動が可能なシステムとなった。

### ⑤-5 評価方法と評価結果

実証システムの評価方法としては、生産効率と安定性の評価を行った。生産性については人間の組み立て時間を基準にして1機組み立てる時間の比較を行った。結果として、プロジェクトの3年目から評価を開始して、3年目で人間の1.5倍を達成し、最終年度では人間の1倍を達成した。また、コネクタ付きケーブルについてコネクタケーブルの向きや配置について平面に整列した供給方式では、さらに1台あたり20%ほど高速に作業が可能であった。供給方法については、各生産システムの制約(システム設置面積、タクトタイム、コスト)に応じて設計されるべきであるが、おおむね人間と同等の生産性が発揮できることを確認した。

安定性については、実証システムによるFA機器の組み立てを繰り返し試行してその成功率で評価した。一度も人間が介入すること無く自動的に組み立てが完了する場合を成功として評価を行った。これについては現状では1割強の失敗が発生する結果となった。これは各要素技術については成功率が9割以上であったとしても、それぞれの成功率の積が全体の成功率となるためである。また、今回導入した自動復旧動作で対象としている箇所以外にもエラーが発生する可能性があることも影響している。今後成功率を高めて行くには、要素技術の信頼性を高める事と平行して、発生頻度が低いエラーに対してもリカバリー動作を準備することが必要となる。この事から、今後の生産システムとしての実用性を高めていくためには次のような対応が必要であると考えられる。

表 4 今後の課題

1	各要素技術の精度向上とアルゴリズムのブラッシュアップ
2	「誤判定」はあるものとして、後工程でそれを検出する技術
3	想定外の「異常状態」の排除

表4の1つ目の項目はさらにエラーを低減させるために継続的に続けていく各要素技術の目標である。2つ目の項目は各要素技術の限界を容認し、自動復旧をシステムの枠組みの中で完全なものにしていく設計論が必要であるということである。本開発においても自動復旧の枠組みとして特に3次元センシング後の自動復旧フローはこの設計論を適用している。3つ目の項目としては、2つ目の項目で掲げた設計論をより完成されたものに仕上げていく上で、正常状態をより正確に規定する必要性を示している。人間が見れば「正常状態とは違っている。これが原因で後工程が



うまくいかない」という状態でもロボットは指定されていないエラー状況以外は全て正常とみなしてしまう。これらの課題を解決するためにハンドアイや固定センサを利用して組み立て状態をより詳細に評価し、力制御技術を利用して組み立て完了を確認する工程を追加していくアプローチが次のステップとして必要である。

#### ⑤-6 まとめ

開発した要素技術を統合し、その有効性を検証すると共に、柔軟物を含む FA 製品の組立作業をロボットで実現するために実証システムを製作し、検証を行った。検証の結果、これまではロボットで扱うことが出来なかったコネクタ付ケーブルを含む製品の組立を、人とほぼ同等の速度で組み立てられることを確認した。

### (3) 成果の意義

本研究開発では三つの技術開発項目 – 1.柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発, 2.柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術の開発, 3.短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発, に対応する複数の開発課題を設定して開発に取り組んできた. 具体的には, 1 に対しては①作業エラーからの自動復旧技術, 2 に対しては②3次元センシングシステム, ③組み付け制御技術, 3 に対しては④柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術の各開発項目を設定している. さらに各開発技術の実用性を検証する為の⑤FA 機器組立実証システムを加えた開発にも取り組んできた. 以下にそれぞれの成果の意義について述べる.

#### ①作業エラーからの自動復旧方式

様々な形状のコネクタに対し高い確率で挿入エラー状態を検知することができ, 自動的に作業を復旧させることが可能なエラーリカバリアルゴリズムを開発した. ねじ締めエラーに対してもエラー検知機能を開発した. これらの開発によって, ロボットが作業成否の判断や修正の手段を備えたことにより検査・保守要員の削減が可能になり, 省力化だけでなく, 夜間連続運転などの生産性の向上に寄与する. また, 作業の成否状況を監視して問題点の改善に反映させることで品質向上にも貢献することができる.

#### ②. 3次元センシングシステム

小型, 広ダイナミックレンジ, 高精度, 短処理時間の3次元センシングシステムと, 柔軟性を有するために形状の定まらないケーブルの認識を高精度, 短処理時間で行うことの出来るセンシング技術を開発した. センサの小型化と認識可能対象の拡大は, ロボットや検査システムが取り扱う事のできる部品を大幅に増加させ, 適用可能分野を拡大することに貢献する. また, 処理時間短縮によるタクトタイム削減は, 組立や検査作業に対するコストパフォーマンスを増加させ, 導入の容易化や, ロボットの知能化推進に貢献することができる.

#### ③.組み付け制御技術

制御のパラメータを挿入動作中にリアルタイムで変更する組み付け制御方式により, コネクタ挿入作業が人とほぼ同等の速度で実現した. また, 高価格が導入時の障壁であった力覚センサのコストを大幅に低減させた. 人間が行うしかなかった嵌め合いなどの高度な作業をロボットで行うことを可能にし, 生産システムの省力化や品質の安定に貢献できる. また, 力センサの低コスト化により力制御機能のコストパフォーマンスを大きく向上させることにつながるため, 力制御機能の導入が拡大し, 高機能なロボットを一般化させ, 高度な生産システムの導入拡大に貢献できる,

#### ④短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発

コネクタの把持, 挿入作業など実証システムの一部の作業工程対象に, 作業単位のブロックを並べるだけで容易にプログラム作成, シミュレーションによる動作確認が可能となった. また, ケーブルの重心移動を抑制した軌道を自動生成することで, 移動終了点においてケーブル振れを抑制することが可能な技術を開発した. さらに, 作業床面にケーブルが接触することを回避する手先軌道を生成することも可能となった. これらの成果により, 複雑なシステムにおいて従来の教

示方法を用いた場合の立ち上げの際の膨大な労力を大幅に軽減することが可能になる。また、迅速なシステム立ち上げが可能になる為、多品種少量生産や機種切替の早いシステムに対して自動生産システムの導入が促進され、さまざまな産業における生産性の向上に貢献することができる。

⑤ FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作

これまでロボットでは行えなかった柔軟部品を含む製品の組立を実現させたことで、開発技術の有効性を実証することができた。ほとんどの製品中にケーブル配線が含まれる電機電子分野では、これまで製品組立作業は人の手で行うしかなかった。本開発でのロボットによる組立作業の実現は、戦記電子分野における生産力向上、品質安定に向けた一つの解になりうる。また、本システムで組み立てた製品はほんの 1 例でしかないが、開発内容を知ったユーザに自らが抱えている課題について自動化の可能性を認識させ、ロボット適用に対する検討を始める契機となったのではないかと思われる。

表 5 成果の意義

研究項目	成果の意義
柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発	様々なコネクタに対し高い確率で挿入エラー状態を検知し、復旧可能なエラーリカバリアルゴリズムを開発。ねじ締めエラーに対してもエラー検知機能を開発。ロボットが作業成否の判断や修正の手段を備えたことにより、検査・保守要員の削減が可能になり、省力化だけでなく、夜間連続運転などの生産性の向上に寄与。また、品質向上にも貢献。
柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術(ビジョンシステム、力制御、力センサ)の開発	<p>・小型、広ダイナミックレンジ、高精度、短処理時間の 3 次元センシングシステムと、柔軟性を有するために形状の定まらないケーブルの認識を高精度、短処理時間で行うことの出来るセンシング技術を開発。小型化と認識対象の拡大は、ロボットや検査システムが取り扱う事のできる部品を大幅に増加させ、ロボット適用可能分野を拡大することに貢献。処理時間短縮によるタクトタイム削減は、組立や検査作業に対するコストパフォーマンスを増加させ、導入容易化に貢献。</p> <p>・力制御のパラメータを挿入動作中にリアルタイムで変更する組み付け制御方式により、コネクタ挿入作業が人とほぼ同等の速度で実現。高価格が導入時の障壁であった力覚センサのコストを大幅に低減。人間が行うしかなかった嵌め合いなどの高度な作業をロボットで行うことを可能にし、生産システムの省力化や品質の安定に貢献。</p> <p>また、力センサ低コスト化により力制御機能のコストパフォーマンスを大きく向上させることで、高機能なロボットを一般化し、高度な生産システムの導入拡大に貢献。</p>
短時間で簡便に作業を提示	コネクタの把持、挿入作業など実証システムの一部の作業工程が

できる次世代教示機能の開発	作業単位のブロックを並べるだけで容易にプログラム作成，シミュレーションによる動作確認可能になることを実現．ケーブルの重心移動を抑制した軌道を自動生成することで，移動終了点におけるケーブル振れの抑制と，作業床面にケーブルが接触することを回避する手先軌道を生成する事が可能．システム立ち上げに要する多くの労力，時間を大幅に削減する事が可能になり，生産性の向上，立ち上げコストの低減，少量多品種生産や機種切替の多いシステムの自動化などに貢献可能．
FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作	これまでロボットでは行えなかった柔軟部品を含む製品の組立を実現させたことで，開発技術の有効性を実証．本システムで組み立てた製品はほんの 1 例でしかないが，開発内容を知ったユーザに自らが抱えている課題について自動化の可能性を認識させ，ロボット適用に対する検討を始めさせる契機となった．

#### (4) 特許の取得

開発した技術に対して事業を確保する為に，国内 13 件の特許出願を行った．

なお，海外への特許出願については，今後の事業における展開に応じて出願していく予定である．

表 6 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
3次元形状計測装置のキャリブレーション方法および3次元形状計測方法	通常計測動作を用いた簡易なキャリブレーション手段を提供することにより，計測対象に合わせた精度のよい計測を簡易に実施できる．
3次元形状検出装置	パターン投影による人工的な特徴点付加，追跡安定度評価，信頼性評価手段を含むことにより，対象物体の形状計測を安定して行なえる．
形状計測装置	可動ミラーからの走査ビームの一部を受光素子に導き，その信号タイミングに基づき走査時間を制御することで，安定したスリットパターンを得ることができる．
形状計測装置	上記特許に関連して，走査ビームが1往復する間に1つの受光素子から得られる2つの信号タイミングの平均をとることで，さらに安定したスリットパターンを得ることができる．
多軸力覚センサおよびその製造方法	力覚センサの低コスト化が可能な構造および製作方法について，通常力覚センサには適用されない製作方法を採用した．
三次元形状計測装置及び計測方法	パターン投影による人工的な特徴点付加，追跡安定度評価，信頼性評価手段を含むことにより，対象物体の形状計測を安定して行なえる．
プログラム作成教示装置及び方法	ロボットプログラムから教示点を自動抽出し，組み立て手順に従って効率良く教示できるようにする．

力制御装置	ロボット言語コマンドでパラメータを切替えることで、位置ずれ時の作用力を低減しながら高速な組み付け動作を実現する。
作業動作最適化装置及び方法	エラー頻度とタクトタイムを同時に最小化するよう、修正すべき作業工程を自動選択することで、大規模な教示・修正作業を必要とする工程修正の手間を減らす。
力制御装置	速度上限値を自動設定する速度最適化手段を備え、エラー時の作用力を抑えながら動作時間を短縮できる。
形状計測装置	測定平面上の位置固有のパターンを照射するための投光装置と、撮像装置からの画像によって測定平面上の撮像装置視野内の範囲を設定するための手段を設けることで、照射範囲を自動で設定することができる。
ロボットのねじ締め作業異常検知方法	ロボット手首に取り付けた力覚センサの情報に基づいてねじ締め作業の異常の判別を行い、判別した異常の種類に応じた復旧動作を選択する。
ロボットプログラミング装置および方法	エラー復帰処理、立ち上げ時の動作確認などで、ロボットに特定の工程動作のみ行わせる際に、各工程の実行条件から前処理と後処理を判断して自動的に実行する。

## (5) 成果の普及

表 7 プレス向け発表後のメディア掲載一覧

メディア		番組 見出し タイトル	放映・掲載日/号
TV	NHK 大阪	おはよう日本	2011/03/07
新聞	日本経済新聞	三菱電機 ケーブル配線できるロボ	2011/03/04 朝刊
新聞	読売新聞	三菱電機 セル生産対応ロボ 1 体で あれこれ作業	2011/03/04 朝刊
新聞	朝日新聞	三菱電機 次世代ロボ やわらかくても つかみは OK	2011/03/04 朝刊
新聞	神戸新聞	三菱電機 世界初の技術 曲がったケーブル 取り付け OK 手作業並み 新型ロボ 電子製品生産 応用に期待	2011/03/04 朝刊
新聞	毎日新聞	世界初・三菱電機が開発 軟らかいものもつかむロボット	2011/03/04 朝刊
新聞	産経新聞	三菱電機、新型産業ロボ ケーブルも優しくつかむ	2011/03/04 朝刊
新聞	日刊工業新聞	三菱電機がロボ公開 柔らかケーブル上手に組み付け	2011/03/04 朝刊
新聞	フジサンケイ ビジネスアイ	三菱電機、柔軟物OKの新ロボット	2011/03/04 朝刊
新聞	電波新聞	三菱電機が研究成果を発表 柔軟物が扱える生産用ロボット	2011/03/04 朝刊
新聞	化学工業日報	三菱電機 次世代ロボ生産システムを開発	2011/03/04 朝刊

新聞	中部経済新聞	三菱電 電線取り付け可能 新型ロボット開発	2011/03/04 朝刊
新聞	中日新聞	三菱電, 名大など ケーブルも対応 産業機械を開発	2011/03/04 朝刊
新聞	北日本新聞	三菱電・県立大など ケーブル取り付け OK 産業ロボット開発	2011/03/04 朝刊
新聞	宮崎日日新聞	菱電機, 大学と開発 “柔もの” 取り付けも自動化 「世界初」産業用ロボ	2011/03/04 朝刊
新聞	日経産業新聞	三菱電機 ケーブル配線ロボ アームに3次元センサー	2011/03/07 朝刊
新聞	中国新聞	ケーブル取り付け可能 三菱電などロボット開発	2011/03/15 夕刊
新聞	機械新聞	三菱電機 ケーブル配線も OK 「人セル」を「ロボセル」で FA 機器組立ロボット	2011/03/17
WEB	日経 Tech On!	三菱電機など, ケーブルのような柔軟物を組み立てられるロボットでセル生産	2011/03/03
WEB	robonable	三菱電機, 柔軟なケーブルも扱えるロボットセル公開, 要素技術から実用化	2011/03/03
WEB	asahicom	ぐにゃぐにゃ配線もOK 次世代家電組み立てロボ	2011/03/03
WEB	神戸新聞	軟らかいケーブルを自在に 三菱電機が新ロボット	2011/03/04
WEB	産経新聞	柔らかケーブルつかめるロボ 三菱電機	2011/03/04
WEB	JST Science News	柔軟物も扱える生産用ロボットシステム	2011/03/28
雑誌	日経ものづくり	三菱電機, ロボットの組立能力を拡大 クネクネと曲がるケーブルも扱える	2011年4月号
雑誌	ロボコンマガジン	未定	2011年5月号(予定)

2009年11月に開催された2009国際ロボット展において、開発成果の一部である組み付け制御の紹介を実施した。また、2011年03月には、プレス向け公開を実施し、多くのメディアに対して開発成果の紹介を行い、表7に示す様に多くの反響を頂いた。公開時の様子を図35に示す。また、表8 論文発表・成果の普及表8に示す件数の学会発表を行い、成果の普及に努めた。

さらに、開発成果を実システムに搭載する際の立ち上げ時間を短縮することや、既存の機器との統合の際の柔軟性を高めることで、開発成果の広く一般的な普及を促すため、RobotTechnology技術の共通プラットフォームとして提唱されているRT-Middlewareを利用して、センサや自動復旧アルゴリズムの搭載といったソフトウェア開発を行った。



図 35 プレス向け公開での様子

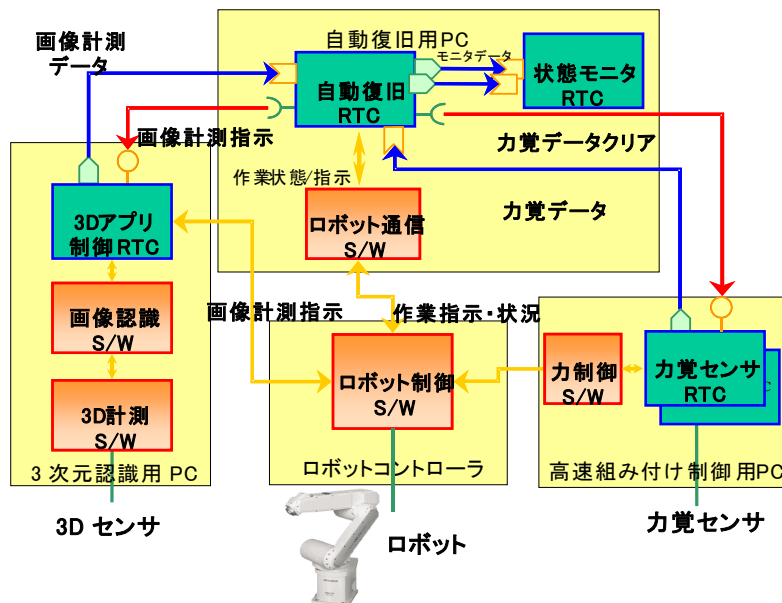


図 36 RT コンポーネント構成

開発した各 RT コンポーネントの構成は次のようなものである。

- ・ 3次元センサ RTC：3次元センサ RTC は、画像認識 S/W と通信をおこない、画像計測結果を取得し、その結果をロボットコントローラのロボット制御 S/W や自動復旧 RTC 送信する RT コンポーネントである。また、3次元センサ RTC は、3D アプリ作業指示サービスを提供するサービスポートを有しており、画像計測の開始や終了、画像の表示などの作業指示を受け付けることが可能となっている。
- ・ 力覚センサ RTC：力覚センサ RTC は、力制御 S/W から力覚センサのロボット計測データを取得し、出力ポートを通じてそのロボット計測データを、自動復旧 RTC に送信する。また、力覚センサを制御するためのサービスポートを有しており、力覚センサのオフセットをリセットすることが可能となっている。
- ・ 自動復旧 RTC：自動復旧 RTC は、3次元センサ RTC、力覚センサ RTC の出力データを収集し、状態モニタ RTC にデータを送信するコンポーネントである。また、収集したデータをもとに、ロボットの状態を監視し、異常を検知した場合は、ロボットの停止、復旧処理をおこない、状態モニタ

タ RTC に異常を通知する.

・ 状態モニタ RTC：状態モニタ RTC は、自動復旧 RTC からモニタリングデータを受信し、ユーザがシステムの状態を監視するために、画面上にモニタリングデータの描画をおこなう RT コンポーネントである.

上記のように各センサや復旧機能などを RTC 化したことで、センサの接続、立ち上げが容易になると共に、これまで他で開発された RTC を用いたソフトウェアと共に用いることも容易であるため、成果の普及に対して効果的であると考えられる.

表 8 論文発表・成果の普及

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	2	16	14	13	0	26

表 目標と達成度のまとめ 「I. 次世代産業用ロボット分野

①柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発	(1) 自動復旧技術の開発により、作業エラーによる停止から自動的に再開し、作業を継続する.	(1) ミッション実行時に想定される作業エラーからの自動復旧率 80% の実現	(1) 多品種コネクタで 80% 以上の自動復旧率を確認 ・ねじ締めエラー状態認識成功率 95%	(1) 目標達成



柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術(ビジョンシステム, 力制御, 力センサ)の開発	(1) モーションステレオ計測と3次元ケーブル形状認識技術を開発しケーブルのような柔軟物を認識する	(1) 計測時間 :2 秒/視点以下, ワイヤハーネス計測精度:±2mm	(1) 計測時間 2 秒/視点以下, ワイヤハーネス計測精度±2mm	(1) 目標達成
	(2) 小型アクティブ3次元センサユニット, 2次元・3次元情報統合認識技術を開発し, ケーブル先端のコネクタのような位置姿勢の自由度の高い剛体物を高速, 確実に認識する	(2) サイズ:300cc 以下, ダイナミックレンジ:従来比 400%向上, コネクタ位置誤差: ±1mm, 計測時間:2秒以下	(2) ヘッドサイズ 300cc (ヘッド分離型)ダイナミックレンジ従来比 400%向上 計測時間 1 秒以下, 距離比分解能 0.1%以下, コネクタ位置誤差±1mm, 認識時間 1.5 秒	(2) 目標達成
	(3) 高速組み付け制御技術を開発し高速にコネクタの挿入作業を実現する	(3) コネクタ挿入作業時間: 人作業の 1 倍以内	(3) コネクタ挿入作業を人の 1 倍の時間(0.7s)で実現	(3) 目標達成
	(4) 低コスト力覚センサの開発により力覚制御機能の導入コストの削減	(4) コスト:従来 of 1/3 以下, 分解能 0.2%, 直線性 1%	(4) 分解能 0.2%, 直線性 1.1%, コスト 従来 of 1/3 以下	(4) ほぼ目標達成

<p>短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発</p>	<p>(1) 作業レベルプログラム生成システムの開発により、短時間でシステム立ち上げと品種追加を可能とする</p> <p>(2) 動作最適化技術の開発により、作業を高速化し、生産性を向上する</p>	<p>(1) 頻度の高い作業に対するオフライン教示ガイダンス機能を開発、作業レベルプログラム生成システムの機能追加</p> <p>(2) 組み立て部品のワイヤーの障害物の回避と動作の最適化を同時に実現するようなマニピュレータ手先の軌道および加速度パターンを生成.</p>	<p>(1) 実証システムの作業工程を対象にプログラム作成、シミュレータによる動作確認時間を評価し、従来の 1/5 の時間でプログラムが作成できることを確認.</p> <p>(2) ケーブル重心移動抑制軌道を自動生成し、従来の軌道より約 50% の振幅減少を確認. 作業床面にケーブルが接触することを回避する手先軌道を獲得.</p>	<p>(1) 目標達成</p> <p>(2) 目標達成</p>
<p>FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作</p>	<p>開発技術の有効性と、柔軟物組み付けの実証</p>	<p>・開発技術を統合し、ケーブル取り出し、コネクタ組み付け、基板、カバー組み付け作業を実現する実証システム開発</p>	<p>要素技術を統合し人の作業時間と同等の作業時間で柔軟物組み付けを実現. 安定した自動復旧確認</p>	<p>目標達成</p>

## IV. 実用化, 事業化の見通しについて

### 成果の実用化可能性

①柔軟物を迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできるマニピュレーション技術の開発  
作業エラーからの自動復旧方式の開発

本開発では、無数のコネクタの中から抽出した代表的形状のコネクタについて、挿入時のエラー検知手法とエラーからの自動復旧技術を開発した。また、ねじ締め時のつまり、空うちなどのエラーを検知する技術を開発した。

通常、ロボットにおける生産システムでは、一旦エラーが発生するとシステム全体が停止し、人による復旧作業が必要となるが、今回開発したような自動復旧手法を備えることで、異常状態

からロボットが自動的に復旧し、作業を継続することが可能となる。このため生産システムの稼働率や生産性の向上に大きく寄与することが出来き、期待も非常に大きい。ねじ締めについてはエラーの検知のみであるが、その場で復旧が出来なくとも、エラー発生を記録することで後工程での不具合品の排除や、エラー発生状況の分析による改善への貢献など、これについても大きなニーズがある。

これらの機能は、ロボットに搭載するオプション機能としての製品化を検討している。これらの機能をロボットと共に提供することで、ユーザはロボットを用いた生産システムの信頼性を高めることが可能になる。実用化、事業化に向けた課題としては、今回の開発で多種のコネクタ挿入に対応できる大枠の確認は出来たものの、実際にユーザが使用するコネクタにおける作業をどうやって保証するのかというものがある。この課題を解決するには、確実に対応できる種類について確認を行うと共に、ユーザが簡単に調整を行える調整方法、インターフェースなどを整備する必要がある。また、自動復旧できるエラーの種類のリインナップも拡充していくことが求められると考えている。

## ②柔軟物を知的にハンドリングするためのセンサ利用技術の開発

### a.柔軟物の 3次元センシング技術の開発

### b.剛体物の 3次元センシング技術の開発

今回の開発成果により、実際の製品に使用されているコネクタやケーブルを十分な精度と短い処理時間で認識することが可能な、小型 3次元ビジョンセンサと、その認識アルゴリズムを実現することが出来た。開発を通し、本開発成果は機能的に十分な実用性を備えていることが確認できた。また、ビジョンセンサで認識することの出来る対象範囲を拡大することが出来た。本開発成果をロボットと共に用いることでロボットの機能を大きく拡張できることはもちろんのこと、それ単体でも検査用途などに活用することが期待できる。このため、本開発成果については、まず単体での展開を前提に、センサに対して更に対応範囲、耐環境性、信頼性などの検証や調整用 I/F の改良を進めた上で、製品として販売していくことを考えている。

### c.高速組み付け制御技術の開発

### d.低コスト力覚センサの設計試作

開発成果により、寸法誤差が大きかったり公差がきつい様な部品を取り扱ったとしても、衝突などの問題から部品やロボットを破損から防ぎつつ、人間の様に柔軟な作業をロボットで行うことが可能になった。デリケートな作業が要求される分野に対してロボットを適用していくには、本開発成果のような力制御システムが必須のものであり、ロボットの高機能化の為のコンポーネントとしてロボットに搭載していく予定である。また、これまでは上記のような機能を必要としても力覚センサの高価格故に導入を見送る事例が多々あったと思われ、今回の力覚センサ低コスト化の成果はそのようなユーザに広く受け入れられると思われる。このことから、力覚センサについても制御技術とともにロボットの高機能化の為のコンポーネントとして事業化をおこなっていく予定である。

### ③短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能の開発

#### a.柔軟物組み付け作業レベルプログラム生成システムの開発

#### b.柔軟物体操作におけるマニピュレータ作業動作の最適化

少量多品種生産などシステムの立ち上げや切替を迅速に行う必要のあるシステム、複数のロボットが協調したり様々なセンサを用いて構成される複雑なシステムに対しては、従来のテキストベースのプログラミングとティーチングプレイバックのみによるロボットシステム立ち上げは限界があると考えられるため、今回開発した簡易なプログラミング機能、オフラインでのガイダンス機能やシミュレーション機能は今後必須の開発環境になっていく。また、柔軟物を取り扱う際には、剛体物と異なりその姿勢、形状が定まらない為、実際のシステムを稼働させたり、ロボット動作を変化させたりした際に思わぬ影響を及ぼす可能性があが、動作最適化の様な、実際にやってみなければ分からなかった様な影響を予め評価し、抑制する技術もまた、今後必須のものとなっていくことが予想される。これらの機能についてロボットシステムを支えるための重要な開発環境として開発を続け、製品化を行っていく予定である。

### ④ FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作

広報活動などから得た、ロボットでは行えなかった柔軟部品を含む製品の組立を実現させたことに対する反響から、柔軟物取り扱いなどの高度な生産システムに対するニーズは大きいと推測される。しかし、ユーザが抱えている生産システムへの自動化要求は千差万別であることと、三菱電機(株)で検討している事業形態が、コンポーネントをシステムインテグレータに提供し、システムインテグレータがシステム構築を行う形態であることから、本システムそのものが即製品化、実製品ラインへ導入されるものではない。今後は、上記の個々の要素技術の事業化を進めつつ、ユーザの要求に応じた要素技術の組合せによって、様々な高度生産システムが構築されていくものと思われる。

### 事業化までのシナリオ

開発を行った成果を搭載した製品について、以下の計画に則り事業化を進めている。

#### 事業化製品

- ・ 開発機能搭載ロボット(高速組み付け制御技術、自動復旧技術)
- ・ 3次元センシングシステム(3次元センシング技術)
- ・ 力覚センサ(低コスト力覚センサ)
- ・ 組立作業用オフラインプログラミングシステム(柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術、動作最適化技術)

※()は搭載技術

高速組み付け制御技術や自動復旧技術は、ロボットコントローラのライブラリとして搭載し、この開発機能搭載ロボットのオプションとして、3次元センシングシステム、力覚センサ、組立作業用オフラインプログラミングシステムを販売していく。これらのオプションは開発機能搭載ロボットの購入者にロボット購入時にセットで、もしくは購入後に追加オプションとして販売する。

今後は、これまで開発してきた技術について、継続した研究開発による高機能化を行いつつ、耐久性や信頼性の向上やユーザの使い勝手面での改良による実用化開発を進め製品化を目指す。本開発成果に対する事業体制は次の様になる。

- 三菱電機(株)： ロボット、センサなどのコンポーネント製造し、ロボットシステムインテグレータ(ロボット Sier)に販売
- ロボットシステムインテグレータ(ロボット Sier)： システム構築しエンドユーザに販売，メンテナンスも実施。

更に、三菱電機(株)はエンドユーザからユーザニーズを入手し、これを製品開発にフィードバックすることで新たな製品開発へとつなげるサイクルを構築する。

### **波及効果**

本開発成果はロボット産業における市場拡大，新市場の開拓につながるだけでなく，ロボット以外の幅広い分野に対しても様々な形での活用が見込まれる為，我が国の産業の発展に対して多大な寄与をすることが可能である。

添付資料 1

国内出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007/03/12	特願 2007-061844	3次元形状計測装置のキャリブレーション方法および3次元形状計測方法	三菱電機株式会社
2	2007/09/10	特願 2007-234115	3次元形状検出装置	三菱電機株式会社 北海道大学
3	2008/03/19	特願 2008-071830	形状計測装置	三菱電機株式会社
4	2009/03/11	特願 2009 - 057799	形状計測装置	三菱電機株式会社
5	2009/03/12	特願 2009-059221	多軸力覚センサおよびその製造方法	三菱電機株式会社
6	2009/04/28	特願 2009-109119	三次元形状計測装置及び計測方法	三菱電機株式会社 北海道大学
7	2009/09/07	特願 2009-206277	プログラム作成教示装置及び方法	三菱電機株式会社
8	2009/11/19	特願 2009-263975	力制御装置	三菱電機株式会社
9	2010/4/23	特願 2010-099435	作業動作最適化装置及び方法	三菱電機株式会社
10	2010/5/13	特願 2010-110917	力制御装置	三菱電機株式会社
11	2010/5/18	特願 2010-113924	形状計測装置	三菱電機株式会社
12	2011/2/33	特願 2011-03752	ロボットのねじ締め作業異常検知方法	三菱電機株式会社 富山県立大学
13	2011/3/22	特願 2011-062702	ロボットプログラミング装置および方法	三菱電機株式会社

国外出願

該当無し

添付資料 2

学会発表

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2006/12/7	精密工学会 ビジョン技術の実利用ワークショップ(VIEW2006)	画像特徴トラッキングのためのひも状柔軟物の特徴抽出	堂前幸康,金子俊一,田中孝之,奥田晴久,橋本学
2	2006/12/15	第7回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会(SI2006)	ひも状柔軟物の構造復元	堂前幸康,金子俊一,田中孝之,奥田晴久,橋本学
3	2007/09/18	SICE Annual Conference 2007(SICE2007)	3D Measurement of Flexible Objects by Robust Motion Stereo	Y.Domae,H.Takauji,S.Kaneko,T.Tanaka, H.Okuda and M.Hashimoto
4	2007/10/10	International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT) 2007	3-Dimensional Measurement of Cable Configuration being based on Feature Tracking Motion Stereo	Y.Domae, H.Takauji,S.Kaneko, T.Tanaka and H.Okuda
5	2007/11	The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)	Modeling process of electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
6	2007/11	The International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science	Model-based robust online fault detection for mating process of electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
7	2007/11/27	Image Electronics and Visual Computing Workshop(IEVC) 2007	3D Cable Shape Sensing using Robust Motion Stereo	Y.Domae, H.Okuda, H.Takauji, S.Kaneko and T.Tanaka
8	2007/06/07	画像センシングシンポジウム(SSII2007)	方向符号テクスチャ解析を利用したひも状柔軟物の特徴追跡と構造復元	堂前幸康,奥田晴久,橋本学,高氏秀則,金子俊一,田中孝之

9	2007/07/30	画像認識・理解シンポジウム(MIRU2007)	直方体ブロックを用いたレンジファインダのワンショットキャリブレーション	川戸慎二郎, 奥田晴久, 北明靖雄
10	2007/09	第26回 日本ロボット学会 学術講演会	Piecewise linear model of mating electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
11	2007/12/07	ViEW2007 ビジョン技術の実利用ワークショップ	細線形状を持つケーブルに対するロバストモーシヨンステレオ	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 木村雄太, 金子俊一, 田中孝之
12	2008/01	The 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing	Fault-tolerant Mating Process of Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
13	2008/07/11	17th IFAC World Congress	3D Cable Shape Sensing Using Robust Motion Stereo	Y.Domae, H.Okuda, H.Takauji, Y.Kimura, S.Kaneko and T.Tanaka
14	2008/7/26	the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation	Fault-tolerant Mating Process of Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
15	2008/08/08	2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	Dynamic Modeling and Simulation of Manipulating Deformable Linear Objects	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
16	2008/09/06	2008 年度精密工学会北海道支部学術講演会	ファジークラスタリングを用いたケーブルの3次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 金子俊一
17	2008/09/08	第13回 知能メカトロニクスワークショップ	クラスタリングを用いた柔軟物の3次元形状復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一
18	2008/12/04	ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2008)	クラスタリングによる柔軟物の3次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一



19	2008/11/29	電気学会一般産業研究会	単眼 Eye-in-Hand システムにおける連続画像ステレオのためのノイズ除去法	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 金子俊一, 鷺見和彦
20	2009/03/15	日本ロボット学会 北海道ロボット技術専門委員会 (RSJ-HRT) 学術講演会	クラスタリングによる線状柔軟物の 3 次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一
21	2009/11/8	MHS2009	Hybrid Vision-Force Guided Fault Tolerant Robotic Assembly for Electric Connectors	Pei Di, Jian Huang, Fei Chen, Hironobu Sasaki, Toshio Fukuda
22	2009/11/23	ARSO 2009 - 2009 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts	Development of Production Robot System that can Handle Flexible Goods ” Project for Strategic Development of Advanced Robot Element Technologies / Robot Assembly System for FA Equipment ”	Kazuhiko Sumi
23	2010/02/05	Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision(FCV2010)	Industrial Robot System utilizing 3-D Vision Sensing for Flexible Cable Handling	Haruhisa Okuda, Yukiyasu Domae, Yasuo Kitaaki, Kazuhiko Sumi, Yuta Kimura, Hidenori Takauji and Shun'ichi Kaneko

24	2010/06/11	第15回 画像センシングシンポジウム(SSII2009)	産業用ロボットによる柔軟物ハンドリングのための3次元センシングシステム	奥田 晴久, 堂前 幸康, 北明 靖雄, 木村 優太, 高氏 秀則, 鷺見 和彦, 金子 俊一
25	2010/6/13	ROBOMECH2010	Robotic Assembly System for Electric Connectors Mating Basing on Vision and Force/Torque Sensors	孫, 邱, 黄, 陳, 佐々木, 福田
26	2010/09/22	ARSU2010(アジアロボット学会連合 国際シンポジウム「日本の生産分野でのロボット技術の最先端」)	Flexible Cable Handling Robot utilizing 3-D Vision Sensing	Haruhisa OKUDA, Yukiyasu DOMAE, Yasuo KITAAKI, Kazuhiko SUMI, Yuta KIMURA, Hidenori TAKAUJI and Shun'ichi KANEKO
27	2010/11/7	MHS2010	Robotic Fault-tolerant Assembly system for Electric Connectors Mating Basing on Vision and Force/Torque Sensors	Baiqing Sun, Pei Di, Fei Chen, Jian Huang, Hironobu Sasaki, Toshio Fukuda
28	2010/12/23	第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2919	バラ積みされたコネクタ付ケーブルのビンピッキング	北明 靖雄, 奥田 晴久, 堂前 幸康, 鹿毛 裕史, 鷺見 和彦
29	2010/12/23	第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2919	柔軟物も取扱える生産用ロボットシステムの開発	原口 林太郎, 金子 俊一, 福田 敏男, 松野 隆幸
30	2010/12/23	第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演 SI2010	視覚と力覚センサーを用いた電子コネクタ組み立てシステムのエラーリカバリ	佐々木, 孫, 黄, 松野, 福田

## 論文

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2008/02	IEEE Trans on Mechatronics, vol. 13, no. 1	Model-based Intelligent Fault Detection and Diagnosis for Mating Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
2	2009/12	日本ロボット学会誌 Vol.27 No.10 pp.1082-1085	柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムの開発	鷺見 和彦
3	2010/01	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol 22, No. 1, pp.100-111	3-D Sensing for Flexible Linear Object Alignment in Robot Cell Production System	Yukiyasu Domae, Haruhisa Okuda, Yasuo Kitaaki, Yuta Kimura, Hidenori Takauji, Kazuhiko Sumi and Shun'ichi Kaneko
4	2011/01	精密工学会誌, Vol.77, No.1, pp.90-96	カメラ撮影とロボットの位置取得の同期がとれた2視点間を運動中の非同期連続画像における追跡安定度を考慮した単眼モーションステレオ	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 金子俊一, 鷺見和彦

## プレス発表等

番号	発表日	発表先	発表代表者
1	2009/11/25～ 2009/11/28	2009 国際ロボット展	三菱電機
2	2011/03/03	三菱電機(株) 先端技術総合研究所	三菱電機

事業原簿（公開版）

戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト

人間・ロボット協調型セル生産組立システム

（次世代産業用ロボット分野）

（先進工業国対応型セル生産組立システムの開発）

平成 23 年 3 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

（委託先）ファナック株式会社

（再委託先） 東京大学



### 3. 1. 2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

## はじめに

本成果報告書は、平成18年度から平成22年度の5か年に渡り、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より委託された「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト、人間・ロボット協調型セル生産組立システム（次世代産業用ロボット分野）、（先進工業国対応型セル生産組立システムの開発）」の開発成果を記すものである。

本プロジェクトでは、日本のように、高賃金、人口減少による熟練作業者の減少などの課題に直面する国においても製造業の高い国際競争力を維持できるよう、ロボットおよび作業情報提示技術による作業支援により、作業初心者でも高効率、高信頼性の生産が可能な人間・ロボット協調型セル生産組立システムを実現した。以下に開発成果を示す。

#### (1) 作業支援技術

人腕大の双腕ロボットアームと全方向移動型の自走台車から構成される移動配膳協調ロボットを開発した。ロボットにより部品棚に並んだ多数の部品箱から必要部品をピンピッキングしてキット化し、作業者の組立作業台まで部品キットを配膳する自動化システムを世界で初めて実現した。RFIDを組み込んだ知能化部品トレイにより、多品種混流生産での頻繁な機種切り替えにも即時対応可能である。また、組立作業では、ロボットが作業者と協調しながら、作業者に対して物理的、情動的支援を行うことで、従来の人間のみのセル生産組立方式よりも高効率、高信頼性の組立作業を実現した。

#### (2) 安全管理技術

作業者が本質的に高速、高出力なロボットに触りながら協調作業を実施可能とするため、位置監視、速度監視、力監視を組み合わせた多重系の機能安全を開発した。リスクアセスメントにより171項目の危険源に対する作業者のリスク低減を図り、開発した機能安全により作業者の安全が確保されることを実証した。

#### (3) 作業情報提示技術

作業者位置姿勢測定、心的負荷測定、作業教示支援、作業情報支援からなる組立支援システムを開発した。作業熟練者から抽出した作業技能をデータベース化し、組立支援情報としてマルチメディアにより作業初心者にも理解しやすい形で提示するソフトウェアシステムを開発し、作業順序の入替えなど作業方法の変更にも短時間で対応可能とした。液晶TV組込の作業台を開発し、作業者にとって作業しやすい環境を実現した。また、作業者位置姿勢測定や心的負担測定により、作業者の作業状態を把握し、適切な作業進行を支援する。この組立支援システムにより作業初心者でも高効率、高信頼性の生産が可能となった。

#### (4) 性能評価

移動配膳協調ロボットによる部品キット化の自動化、ロボットと作業情報提示での作業支援による組立作業について、人間のみの従来方法と性能比較を行った。部品キット化では、ロボットの24時間連続稼働により、人手作業の1.7倍の生産性を実現した。一方、組立作業では、ケーブルハーネスの組立作業にて、従来の最大2倍の生産性、1/10以下の作業間違い率を実現した。以上の通り、開発した人間・ロボット協調型セル生産組立システムにより、高効率、高信頼性の組立作業が可能であることが実証された。

# 目次

<b>1 研究概要</b> .....	5
<b>1.1 開発の背景</b> .....	5
<b>1.2 開発の目的・目標</b> .....	6
1.2.1 開発の目的 .....	6
1.2.2 開発の目標 .....	7
<b>1.3 開発システムの概要</b> .....	7
<b>1.4 性能評価</b> .....	10
1.4.1 移動配膳協調ロボットによる部品キット化.....	10
1.4.2 ロボットと人間の協調による組立作業.....	11
<b>1.5 開発目標に対する達成度</b> .....	13
<b>2 成果詳細</b> .....	15
<b>2.1 作業者とロボットとが協働できるための「安全管理技術」</b> .....	15
2.1.1 ロボット移動時安全対策 .....	15
2.1.2 作業者協調時安全対策 .....	16
2.1.3 安全管理技術統合化 .....	22
<b>2.2 必要な時に必要な量の部品を整列して供給する「作業支援技術」</b> .....	25
2.2.1 移動配膳協調ロボット .....	25
2.2.2 部品ピッキングハンドとビジョンシステム.....	28
2.2.3 知能化部品トレイ .....	28
<b>2.3 作業者が習熟しやすい「作業情報提示技術」</b> .....	30
2.3.1 組立支援システム概要 .....	30
2.3.2 作業者位置姿勢測定系 .....	31
2.3.3 心的負担測定系 .....	32
2.3.4 作業教示支援システム (MASTER) .....	34
2.3.5 作業情報支援システム (MAISER) .....	37
2.3.6 作業手順管理システム (MASHOR) .....	42
<b>2.4 「統合化技術」</b> .....	44
2.4.1 システム統合とモジュール化.....	44
2.4.2 システム性能評価 .....	47
<b>3 開発達成度と成果の意義</b> .....	52
<b>3.1 開発達成度</b> .....	52
3.1.1 要素技術について .....	52
3.1.2 統合システムについて .....	56
<b>3.2 開発成果の意義</b> .....	57
<b>4 総括および結論</b> .....	59



おわりに .....	60
添付資料 .....	61
研究発表・講演 .....	61
特許 .....	64
参考文献リスト .....	65

# 1 研究概要

## 1.1 開発の背景

組立システムは生産システムの中で最終工程であるため、社会の変化に大きく影響を受け、時代変化が大きい。開発背景を理解するために、図1に示す通り、組立システムの変遷から論ずる。

1920年代以降の「少品種多量生産」時代では、少ない品種を効率よく多量に生産するため、複数の作業者が分業して一つの商品を製造する「流れ作業方式」が広く採用された。その後、1965年頃から、品質向上、生産コスト削減のため、品種に応じた専用機械による「組立自動化」が進み、より安い商品の提供が可能となった。しかし、1980年代に入り、時代の流れと共に世の中のニーズが多様化すると、様々な使い方に応じた商品を提供する「多品種中小量生産」の時代となり、品種毎に専用機械を必要とする従来の自動化のままではシステムが複雑化する問題に直面した。更に、1995年頃からは、ニーズの多様化が加速し、生産量や品種数が短期間でダイナミックに変動する「変種変量生産」の時代となり、品種変更への組立システムの即時対応が大きな課題となった。

この頃より、視覚や触覚機能を持ち、人間に近い柔軟な対応力を有す産業用知能ロボットの技術革新が本格化し、「知能ロボット化」による変種変量に強い自動組立システムが登場した。今日に至るまで産業用ロボットの知能化技術は日々発展の途を辿っているが、しかしながら、形状が不安定な部品の取扱いなど、現在の産業用知能ロボットでも完全自動化が困難な組立作業では、人間の柔軟な高い

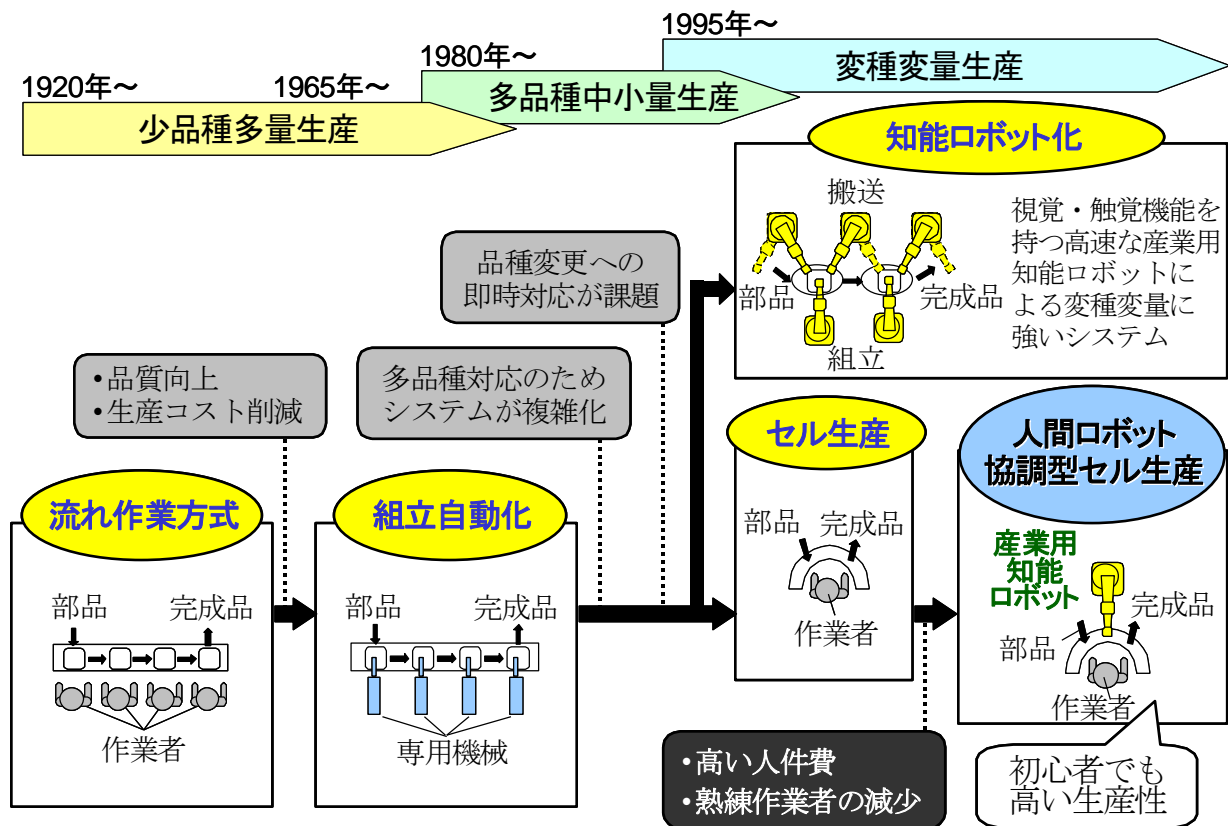


図1 組立システムの変遷

対応力が必要とされている。

そのため、変種変量の組立現場では、人間の高い対応力を生かした「セル生産」方式が広く採用されている[1]。セル生産方式では、一人ないしは数名の作業者が製造工程の最初から最後までを担当することで、変種変量に即座に対応可能な柔軟な組立システムが構築されている。しかし、セル生産では、作業者が複数の作業工程を担当する必要があるため、多能工化が求められる。そのため、作業熟練に多くの時間を要することが課題となっている。特に、日本のような先進工業国では、作業者の高賃金化と少子高齢化による熟練作業者の減少により、労働力が確保しにくくなっており、十分な国際競争力を維持するための新たな組立システムの確立が求められている。

## 1.2 開発の目的・目標

### 1.2.1 開発の目的

前述の課題に対し、本研究開発では、人間と産業用知能ロボットが協調して組立作業を実施する「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」を提案する。システムのイメージを図2に示す。

我が国のような先進工業国においては人件費が相対的に高いため、人間は人間でなければできない高付加価値作業に専念し、それ以外の付帯的な作業はロボットなどにより自動化することが望ましい。現状のセル生産方式をみると、自動化できる作業を人間が行っている例は非常に多い。セル生産方式においては、一般に、作業者が組み立てるために必要な部品一式を部品キットとして部品トレイに事前に準備し、作業者は部品トレイ上の部品を取り出しながら組立作業を行うのが効率的である。組立作業そのものは、自動化が難しく人間でなければできない作業であっても、その作業に必要な部品をあらかじめ部品トレイ上に並べて準備する作業も、特殊な例を除いては自動化されていないケースがほとんどであった。本提案により、部品トレイに事前に部品を準備するという付帯的な作業(部品キット化)が自動化され、人間は人間でなければできない付加価値の高い組立作業に専念することが可能と

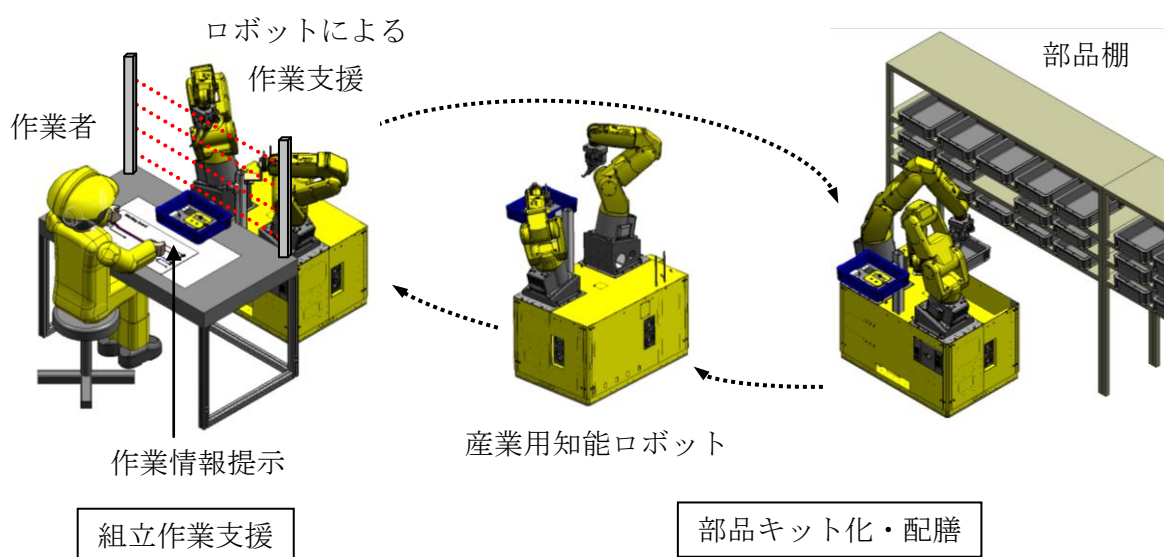


図2 人間・ロボット協調型セル生産組立システムのイメージ

なる。さらに、部品キット化により部品の組み付け忘れのような品質劣化要因が排除され、製品の品質向上が期待できる。

また、変種変量の組立作業では、頻繁に作業内容の変更が生じるが、我が国のような少子高齢化社会においては、熟練作業員数の増加は期待できず、作業初心者でも頻繁に変更される作業内容に短時間で習熟でき、信頼性の高い作業を行うことができる作業支援技術の確立が望まれる。作業支援では、作業工程に応じて、ロボットが物理的・情動的に人間を支援すると共に、人間に対して作業手順などの作業情報を理解しやすい形で提示することで、作業初心者でも熟練作業員並みの高効率、高信頼性の生産を可能とする。

本システムでは、部品キットの組立作業場への配膳や組立作業において、必然的に人間とロボットが共通の作業領域で作業をするケースが発生する。従来は、このような場合の安全管理技術が確立されていないため、実用化が難しかった。本研究開発により、人間とロボットが協働作業を行う場合の安全管理技術を確立し、ロボットの適用範囲の大幅な拡大を目指す。

以上を踏まえ、本研究開発では、以下の 3 つの要素技術を開発し、作業初心者でも高効率・高信頼性の生産が可能な新たな組立システムの確立を目標とした。

- ① 作業員とロボットとが協働できるための安全管理技術
- ② 必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③ 作業員が習熟しやすい作業情報提示技術

### 1.2.2 開発の目標

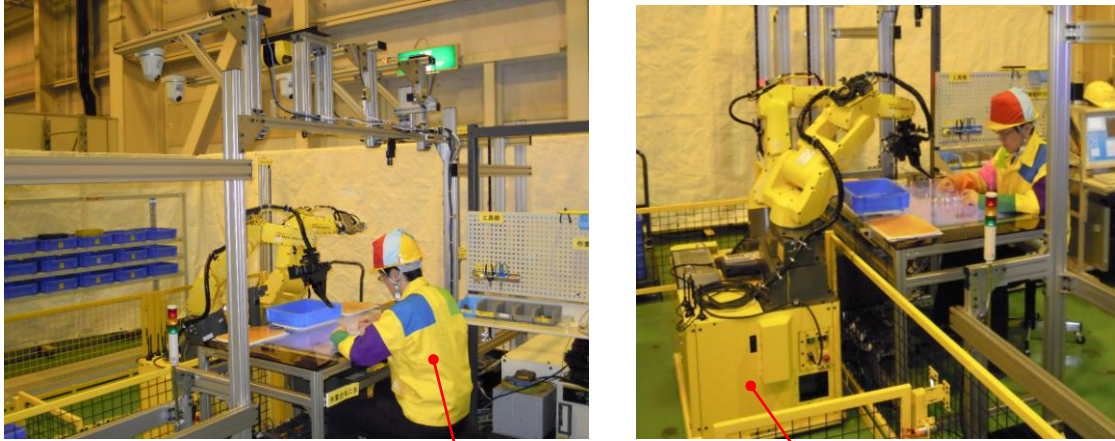
本プロジェクトの基本計画に基づき、以下を開発の達成目標とした。

- [1] 開発したシステムで作業員が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対するの対応能力を示す。
- [2] 組立作業員をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証する。
- [3] 特に、(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。
  - (A) 生産性：作業員とロボットを合わせた時間単価をベースとした労働生産性において既存セル（人間中心セル）から 2 割向上。
  - (B) 機種切り替え時間：既存セル生産システムの 1/2。
  - (C) 機種切り替え時間：既存セル生産システムの 1/2。

## 1.3 開発システムの概要

図 3 で示す通り、①～③の各技術を組込んだ人間・ロボット協調型セル生産組立実証システムを構築した。

- ① 作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術
- ② 必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③ 作業者が習熟しやすい作業情報提示技術



作業者

移動配膳協調ロボット

図3 統合システム外観

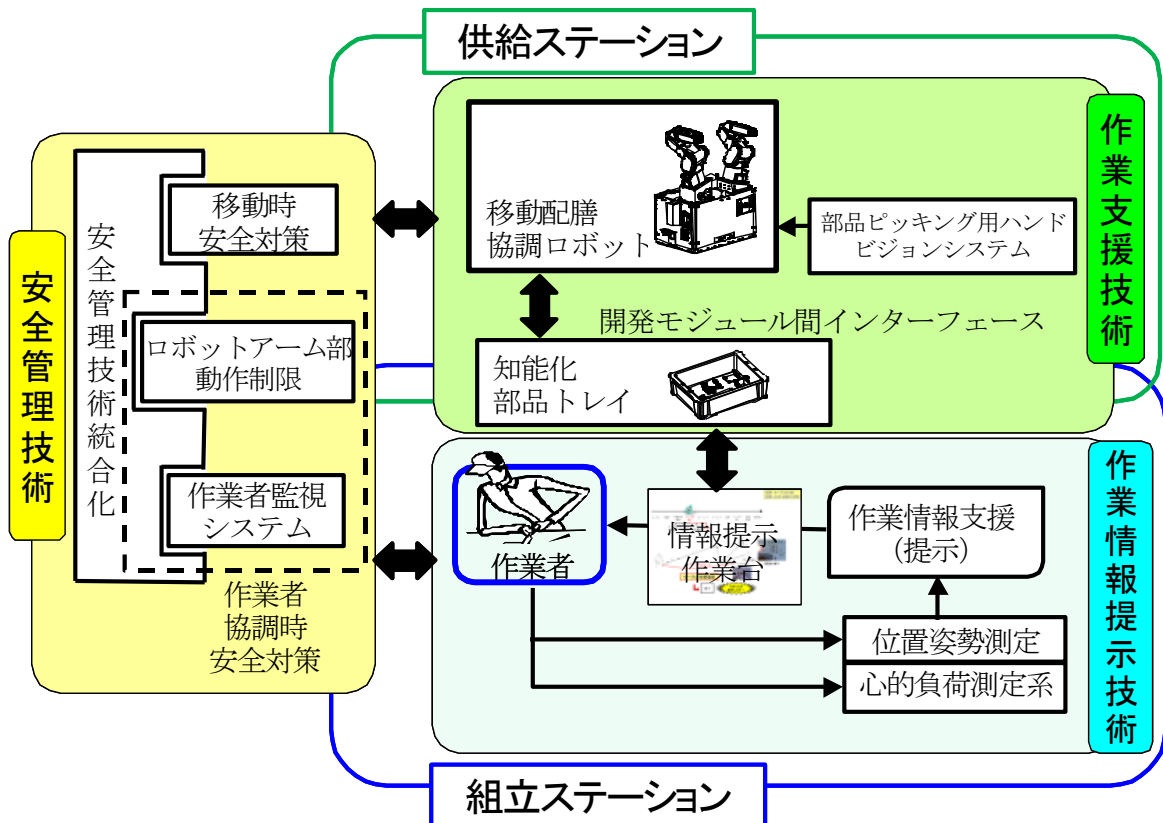


図4 統合システム概要

図 4 にて統合システム概要を示す。システムはハード構成上、供給ステーションと組立ステーションから構成される。

#### 供給ステーション

移動配膳協調ロボット、部品ピッキングハンドとビジョンシステム、ならびに智能化部品トレイからなり、必要な時に必要な量の部品を整列して供給する「作業支援技術」により構成される。

新規に開発した移動配膳協調ロボットには、部品ピッキングハンドとビジョンシステムが搭載されており、ロボットが組立に必要な部品一式を高速ビンピッキングし、部品キットとして智能化部品トレイに必要な部品を準備する。更に、組立作業場である組立ステーションに部品キットを配膳する。

智能化部品トレイは、供給と組立の両ステーションを接続するインターフェースとして機能するものであり、キット化部品を配膳するコンテナと RFID からなり、作業員に対する物理的・情報的バッファの役割を担う。作業員への部品キット供給だけでなく、部品箱に添付された RFID（無線 ID : Radio Frequency Identification）により製品仕様を獲得し、多品種混流生産での機種切り替えに対する即時対応を行う。また、作業員が提示する RFID により、作業熟練度に応じた最適な作業支援を可能とする。これらを統合して、高効率、高信頼性の組立作業を実現する。

移動配膳協調ロボットにより、部品棚から部品コンテナを引き出し、ビジョンシステムで部品を識別して高速ビンピッキングし、必要部品をキット化し、作業員の組立作業台まで部品キットを配膳するシステムは、世界初の部品キット配膳の完全自動化システムである。

#### 組立ステーション

液晶 TV を透明な板の下に組み込んだ作業テーブル、レーザポインタ、IP カメラなどからなり、作業員位置姿勢測定、心的負荷測定、作業教示支援、作業情報支援からなる「作業情報提示技術」を中心に構成される。

作業員は移動配膳協調ロボットにより配膳された部品一式を使用して組立作業を行う。この際、作業情報支援により、作業工程に応じた適切な作業情報が作業員に提示され、作業初心者でも効率よく間違いのない組立作業が可能である。同時に、移動配膳協調ロボットによる物理的、情報的な作業支援も実施され、部品の使用間違いや組付け間違いが排除される。また、作業員位置姿勢測定や心的負荷測定により、作業員の誤作業や作業進行に伴う疲労度や精神的負担など、組立作業における作業員状態を把握することが可能である。特に、ロボットと協調作業する際、作業員が受ける心的負荷を世界で初めて測定し、基準制定の基礎を作った。

これらの作業情報提示およびロボットによる作業支援により、作業初心者でも高効率、高信頼性の組立作業を実現した。

#### 安全管理技術

本システムでは、ロボットと作業員が協調作業を行うため、「安全管理技術」が重要である。

ロボットの設備費を短期間で償却するためには、ロボットの稼働率の向上が重要であることを鑑み、本システムの移動配膳協調ロボットは、供給ステーションでの高速な部品キット化・配膳だけ

でなく、組立ステーションでの作業者との協調による作業支援も実施可能とした。よって、移動配膳協調ロボットは本質的に高速・高出力なロボットであり、作業者との協調作業では様々なリスクが想定されるため、本システムには十分な安全対策が組み込まれている。

リスクアセスメントに基づき、ロボット移動時安全対策と作業者協調時の安全対策（ロボットアーム部動作制限と作業者監視システム）を開発した。これにより、作業者に作用するリスクが安全レベルまで低減される。特に、作業者協調時の安全対策では、位置監視、速度監視、力監視の組合せによる多重系の機能安全により、本質的に高速・高出力なロボットに人間が触りながらの安全な協調作業を実現した。

## 1.4 性能評価

構築した人間・ロボット協調型セル生産組立の実証システムの有効性を示すため、移動配膳協調ロボットによる部品キット化、ロボットと人間の協調による組立作業の性能評価を実施した。詳細については、2.4.2 項のシステム性能評価に示す。

部品キット化、組立作業共に、人間のみによる従来方式よりも高い生産性を実現した。また、組立作業においては、従来方式よりも作業間違い率が大幅に低減され、高信頼性の組立作業を実現した。

### 1.4.1 移動配膳協調ロボットによる部品キット化

コネクタなど小物部品のキット化を対象とし、図 5 に示す移動配膳協調ロボットによる自動化と、人間によるデジタルピッキング(点灯ランプによるピッキング部品指示)の生産性(部品集約能力)の比較を行った。ロボットを 24 時間稼働とすることにより、以下の通り、人間作業よりも大幅に生産性を向上可能であることを実証した。

生産性 \_\_\_\_\_ : 1.7 倍



図 5 移動配膳協調ロボットによる部品キット化・配膳

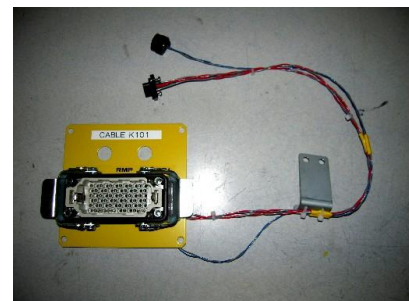


図6 簡易ケーブルハーネス

## 1.4.2 ロボットと人間の協調による組立作業

セル生産組立のモデルケースとして位置付けたケーブルハーネス製造を対象とし、2つの性能評価実験を行った。紙媒体の作業指示書による人間のみのセル生産組立システム（「人間セル」と呼ぶ）と構築した人間・ロボット協調型セル生産組立の実証システム（「協調セル」と呼ぶ）の比較検証を行った。

### 実験 1（簡易ケーブルハーネスの 5 品種混流生産）

図 6 で示す簡易ケーブルハーネスの 5 品種混流生産を実施し、人間セルと協調セルとの比較検証を行った。以下の通り、多品種混流生産での高生産性・高信頼性の組立作業を実現した。

生産性 : 9%向上  
作業間違い率 : 約 1/5 に削減

### 実験 2（ケーブル多点挿入）

実験 1 よりも複雑な組立作業の一例として、図 7 で示すケーブルの多点挿入作業(指定した 64 箇所 の穴に銅線各 1 本を挿入する作業)を実施し、従来の人間のみの組立作業と性能比較を行った。

図 8 は、人間セルの作業所要時間の最小値を 100%とし、人間セルと協調セルでの作業所要時間について、作業 4 名の平均値をグラフ化したものである。図 8 に示す通り、人間セルと比較し、構築した協調セルでは作業所要時間が約 50%に短縮された。つまり、約 2 倍の生産性を実現しており、実験 1 と比較して、より複雑な組立作業にて高い導入効果が得られることを実証した。また、作業回数の増加時に作業所要時間の短縮率が約 50%で収束していることから、作業熟練者でも従来の約 2 倍の高い生産性を確保可能であることが実証された。

生産性 : 最大約 2 倍に向上



図7 ケーブル多点挿入

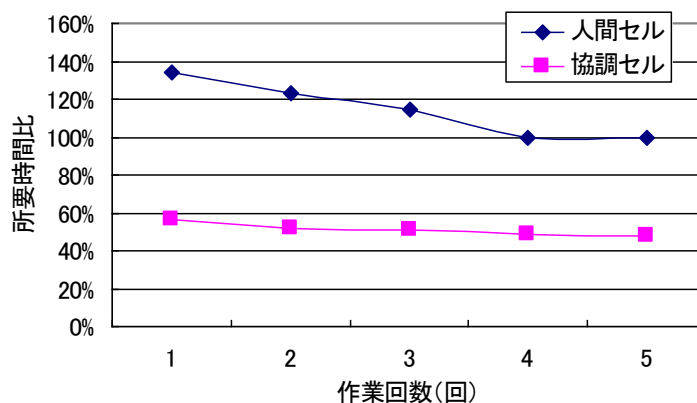


図8 ケーブル多点挿入作業の所要時間比



ロボットに装着したレーザポインタにてケーブル挿入場所を順次指示する情報の支援により、作業間違い率が人間セルの 1/10 以下に低減された。実験 1 と比較して、実験 2 のように、より複雑な組立作業にて高い導入効果が得られることを実証した。

作業間違い率 : 1/10 以下に削減

実験 2 のケーブル多点挿入は、ケーブルの挿入場所の記憶が困難なことから、換言すれば、製造機種が頻繁に切り替わることに相当する。このことから、実験 2 では、作業中の手順理解に要する時間を機種切り替え時間として取り扱うことができ、人間セルと協調セルそれぞれの実験からこの時間を抽出した。その結果、複雑作業の多品種混流生産においては、協調セルでは人間セルの 1/3 以下の時間での機種切り替えが可能であることが示された。

機種切り替え時間 : 1/3 以下に短縮

## 1.5 開発目標に対する達成度

1.2.2 項にて設定した開発目標に対する達成度は以下の通りである。各項目共にほぼ開発目標を達成し、従来方式よりも高効率、高信頼性の生産が可能な人間・ロボット協調型セル生産組立システムを実現した。

- [1] 開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対するの対応能力を示す。

- ・ 部品キット化・配膳、組立作業における(a)～(c)に対する対応力を表1に示す。
  - 部品キット化・配膳では、従来の人間によるデジタルピッキングと同様に、部品の使用間違いなど、生産時の作業間違いが排除される。(a) 作業手順の改善や(b) 機種切り替えの対応能力については、ロボットの教示時間が作業者の習熟より時間がかかることが短所となる。(c) 生産量の変動に対しては、設備増設が段階的なため、ロボットのエネルギー増加が生じる。
  - 組立作業では、作業間違いが無くなり、生産時の信頼性が大幅に向上した。(a) 作業手順の改善や(b) 機種切り替えについては、作業者に対する指示情報が支援ソフトウェアにより容易に修正が出来るため、対応力が高まった。しかし、部品キット化と同様に、立上げ時のロボット教示、提示情報変更などのソフトウェア組み直しのための時間増加や、増設ロボットのエネルギー増加が生じる。

表1 部品キット化、組立作業における各種対応能力

	(a) 作業手順の改善	(b) 機種切り替え	(c) 生産量の変動
部品キット化	○生産時の作業間違い排除 ×ロボットの教示時間増加	○生産時の作業間違い排除 ×ロボットの教示時間増加	○稼働率の調整で 生産量の変動に対応 ×増設ロボットの エネルギー増加
組立作業	○生産時の作業間違い低減 ×ロボット教示・作業情報 提示追加の時間増加	○生産時の作業間違い低減 ×ロボット教示・作業情報 提示追加の時間増加	※シミュレーションに よる最適化で低減

- [2] 組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。

- ・ 171 項目の危険事象について、ISO のリスクアセスメントを実施し、本質的に高速・高出力なロボットと人間が触りながらの安全な協調作業を実現した。
- ・ 特に、協調作業におけるロボットアームと腕・手の過度な接触、ロボットアームと周辺機器との間の挟み込みについて、リスク指数を4から1に低減し、安全を確保できた。これによって、安全な人間・ロボット協調システムを実現した。

[3] 特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。

(A) 生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした労働生産性において  
既存セル（人間中心セル）から2割向上。

(B) 機種切り替え時間：既存セル生産システムの1/2。

- ・ 部品キット化、組立作業における(A)、(B)について、人間セルに対する協調セルの性能比較を表2に示す。また、合わせて、作業間違い率についても、追加の評価項目として記載する。
  - (A)生産性について、部品キット化、組立作業共に目標の2割向上を超える生産性向上を達成した。
  - (B)機種切り替え時間について、部品キット化では、従来の人間のみの作業と同等で即時の機種切り替えが可能である。一方、組立作業では目標の1/2を下回る機種切り替え時間の短縮を達成した。
  - 追加評価である作業間違い率について、組立作業にて、従来の1/10以下への低減を実現した。

表2 人間セルに対する協調セルの性能比較

	(A) 生産性 目標：1.2倍	(B) 機種切り替え時間 目標：1/2	作業間違い率 (追加項目)
部品キット化	1.7倍	同等	同等
組立作業	最大2倍	1/3以下	1/10以下

## 2 成果詳細

以下に開発した各要素技術の詳細を示す。

### 2.1 作業者とロボットとが協働できるための「安全管理技術」

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる（基本計画より）。

全ての危険源を考慮した安全対策として、ロボット走行時安全対策、作業者協調時安全対策を開発し、性能評価実験やリスクアセスメントによってその有効性を検証した。その結果、本質的に高速・高出力なロボットに人間が触りながら実施する協調作業が可能となった。これにより、人間とロボットとが共存する生産システムの安全管理システムの構築方法を明らかにした。

#### 2.1.1 ロボット移動時安全対策

2.1.3 項の安全管理技術統合化で述べるリスクアセスメントに基づき、ロボット移動時の安全対策として下記項目を実装し、ロボット移動時の安全を確保した。

##### (a) 低重心本質安全設計による移動時転倒防止

図 9 に示す通り、移動配膳協調ロボットの移動走行時の転倒を防止するために、ロボット重心位置を可能な限り低くする本質安全設計を行った。

##### (b) 安全柵・光カーテンによるロボット走行エリアと作業者エリア分離

図 10 に示す通り、本システムでは、走行する移動配膳協調ロボットと作業者の衝突を避けるため、ロボット走行エリアと作業者エリアを分離した。図 11 の通り、自走機構部については安全柵にて作業者エリアと分離し、ロボットアーム部については作業者との協調作業を考慮し光カーテンによる分離とし、光カーテンの有効・無効状態を切り替えられるようにした。

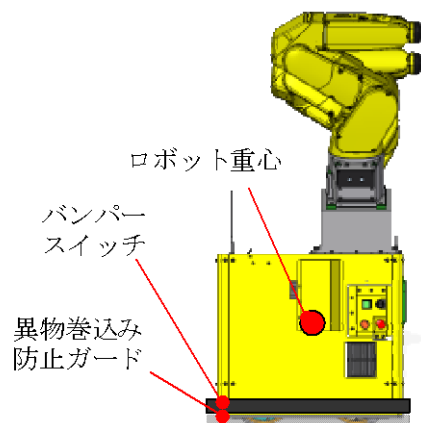


図9 移動配膳協調ロボットの安全対策

### (c) 安全機器での安全多重化

リスクアセスメントに基づき、移動配膳協調ロボットに下記を実装し、走行時の安全対策を多重化した。

- 接触検知バンパースイッチ(図 9)
- 路面異物巻込み防止ガード(図 9)
- 光電センサによる安全多重化(図 10)

## 2.1.2 作業者協調時安全対策

### (a) 本プロジェクトで対象とする協調作業

2.2 節の作業支援技術にて述べる通り、作業初心者でも迷うことなく組立作業が可能な高効率・高信頼性の生産システムを構築するためには、作業内容に応じてロボットが自動運転にて作業支援を行い、人間が自動運転ロボットに触りながら協調作業を行うことが効果的である。また、ロボットのより効率的な活用を考慮すると、部品キット化・配膳などのロボットのみによる高速作業と組立作業での人間に対する作業支援を同一ロボットにて切り替えて運用とすることで、生産量の変動など生産状況に応じてロボットの運用方法を適宜変更でき、ロボットの稼働率を向上することができる。

以上を踏まえ、本プロジェクトでは、高効率・高信頼性の生産システムを構築するために下記の協調形態の実現を目標とした。

- 本質的に高速・高出力ロボットによる人間との協調
- 人間が自動運転ロボットに触りながら実施する協調

### (b) 作業者とロボットの作業領域の切り替え

本プロジェクトで開発した移動配膳協調ロボットは、本質的に高速・高出力なロボットであ

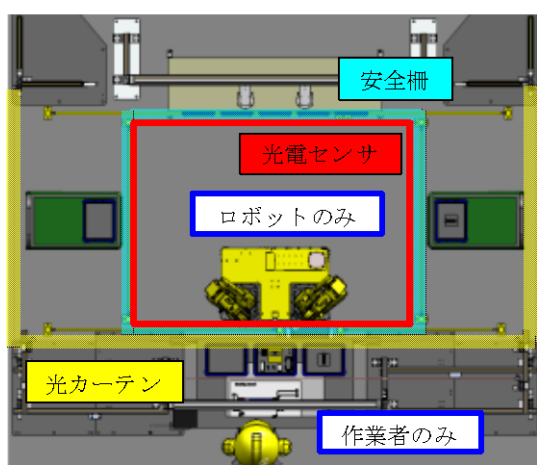


図 10 移動配膳協調ロボットの移動時安全対策(平面図)

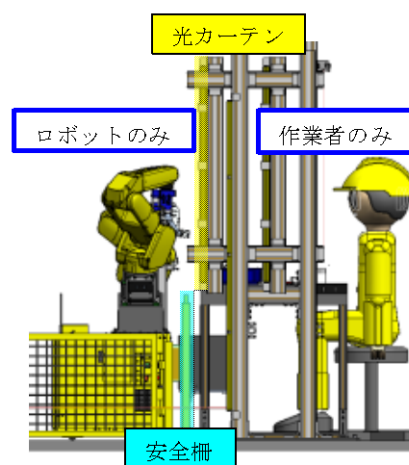


図 11 移動配膳協調ロボットの移動時安全対策(側面図)

り、部品キット化・配膳などのロボットのみによる高速作業と組立作業での人間に対する作業支援を切り替えて運用する。よって、作業者の安全を確保するために、作業毎に、ロボットと作業者の作業領域・位置関係に応じて、適切な安全対策へ切り替える安全システムを開発した。詳細を表3、図12に示す。

作業者が作業台上で小物部品の組立作業を行う生産システムでは、ロボットが作業者に対して部品を供給する、ロボットが治具となり、ロボットが把持した部品に対して人間が組立作業を行うなどの作業支援が効果的である。従って、本プロジェクトでは、図3に示すように、作業台を挟んで作業者とロボットが向き合う配置とし、ロボットは、作業台を挟んで作業者と反対側の領域ではロボットのみ的高速動作を実施し、作業台上では人間と接触して協調作業を実施するシステム構成とした。本構成とすることで、ロボットは人間作業に必要な部品準備など段取り作業を高速に実施すると共に、作業台上の協調領域ではロボットが部品を把持して人間に差し出すなどの作業支援が可能である。

まず、ロボットによる高速な部品キット化、作業者への部品キットの配膳、作業者への部品の供給準備など、ロボットのみが動作する局面においては、作業者とロボットが別々の作業領域にて作業を行うため、確実に安全を確保できるよう光カーテンにより両者の領域を分離する。図12左側の「分離可能時」に示すように、作業者とロボットの作業内容によりそれぞれの作業領域を変更する場合は、2つの光カーテンにより領域境界を移動することが可能である。

表3 作業者とロボットの作業領域による安全対策

作業者とロボットの作業領域	適用する安全対策
分離可能時	2つの光カーテンによる作業者・ロボットの作業領域分離
協調作業時	位置監視
	速度監視
	力監視

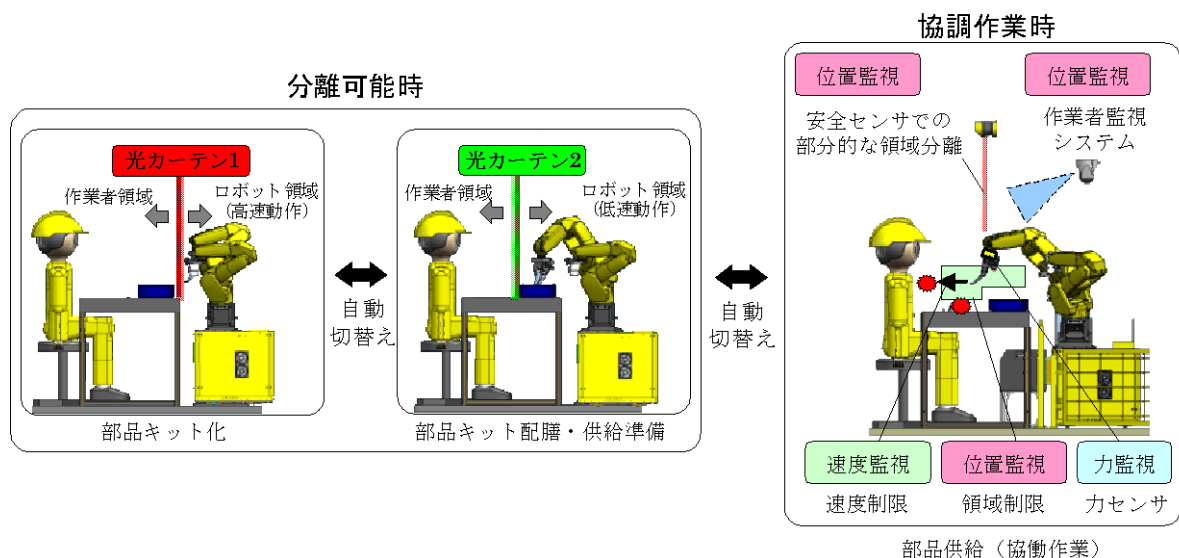


図12 安全対策の切り替え

すなわち、光カーテン1を光カーテン2へ移動することで、ロボットは部品配膳・供給の領域まで入ることができる。作業者が部品を取り出す場合には、光カーテン1を使用し、部品配膳・供給の領域まで手を伸ばすことができる。これらの動作は常に光カーテンでロボットと作業者を分離する方法である。

一方、ロボットが作業者に部品を差し出し、作業者がロボットと協調して組立作業を実施するなど、作業領域を同時に共有する局面では、作業者が本質的に高速・高出力なロボットに触りながら協調作業を実施する。本質的に高速・高出力なロボットとの協調作業では、ロボットとの接触により作業者が損傷する危険性が高いが、多くの協調作業では、作業者はロボットが手首先端ツールで把持した部品に対して作業を進めるため、作業者は手首先端ツールのみに触ることができれば良い。手首先端ツールよりも根元側のロボット本体については、協調作業を行う上で作業者が触る必要性は少なく、予め作業者とロボット本体との不要な接触を回避可能なシステム構成としても実用上問題はないと考えられる。

そのため、本プロジェクトでは、位置監視により作業者がロボット本体とは接触できないように制限を設けた上で、作業者が手首先端ツールに触りながら安全に協調作業できるよう、位置監視、速度監視、力監視の組合せにて作業者の安全を確保する多重系の機能安全を開発した。

#### (c) 人間協調ロボットの安全対策の開発方針について

産業用ロボットにおいて、人間がロボットに触りながら協調作業を実施する際の安全については、下記の規定が定められている。

- 労働安全衛生規則（国内法規制）：ロボット各軸モータ出力が 80W 以下
- ISO10218-1（国際安全規格）[2]：ロボットメカニカルインターフェース又は TCP において最大動力 80W 以下、又は最大静的力 150N 以下

今後、人間協調ロボットの市場規模を拡大するためには、国内だけではなく、欧米・アジアなど海外市場への展開も重要である。よって、本開発では、国際基準の ISO10218-1 への準拠を考慮した安全対策を開発することとした。

ただし、ISO10218-1 は 2010 年現在改訂作業中であり、最終的な改訂内容は流動的な状況である。そのため、現行の ISO10218-1 に加え、物理的接触に対する人間耐性から人間協調ロボットに要求される動作性能を規定した「BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive」[3]を参照し、ロボットとの物理的接触においては、ロボットの発生力と発生圧力を一定の基準値以内に制限することで人間の安全を確保する方針とした。

この方針のもと、ISO/TR14121-2 [4]、ISO13849-1[5]に規定されたリスクアセスメント手法に基づき、全ての危険事象のリスク指数 RI（1～6）を見積もり、その安全対策に要求される信頼性指標パフォーマンスレベル PLr（a～e）を同定した。その上で、許容可能なリスク指数を超える危険事象について、必要な安全対策を開発・検証し、最終的なリスク低減を確認した。

#### (d) 作業員協調時の安全対策

作業員がロボットに触りながら協調作業を行う場合の主な危険源は、ロボットとの過度な接触による衝撃、押し込み、挟み込みであり、作業台を挟んで人間とロボットが向き合う本システム

構成においては、これら危険源に曝される身体部位は上半身に限定される。

ここで、後述のリスクアセスメントに基づき、頭と顔については、保護ヘルメットと保護めがねを装着することで危険を回避し、胴体については、作業台によりロボットと一定の距離が保たれることから想定される危険が小さいと判断した。よって、保護対象の中心となる身体部位は腕と手となる。

図 13 に開発した機能安全の監視要素を示す。前述の通り、協調作業上、接触が不要なロボット本体からの衝撃と押し込みを回避するため、安全センサでの位置監視により手首先端ツール以外のロボット本体と作業者の動作領域を分離し、作業者が触れることが出来るロボット部位を手首先端ツールに限定する。協調作業中、作業者は頻繁に手首先端ツールに触りながら作業を行うが、ロボットから過度な衝撃と押し込みを受けないよう、ソフトウェア制限でのロボットの速度監視と力センサでの手首先端ツールの力監視により、衝撃力と押し込み力を腕・手に対する許容値以下に制限する。一方、ロボットと作業台などの周辺機器との間に腕・手が挟まれる危険については、ロボットの発生力を小さく制限しても、周辺機器の形状によっては作業者に作用する力や圧力が増幅され、許容値を超える挟み込み力が発生する可能性がある。よって、ソフトウェア制限でのロボットの位置監視により、常にロボットと周辺機器の間に所定の隙間が保たれるようにし、腕・手の挟み込みを完全に回避する。

また、作業者が常に正常な状態で作業を実施し続ける保証はなく、居眠りなどにより作業台に伏せてしまうなどの異常状態も想定される。そのため、付加的な位置監視として、IP カメラによる作業監視システムにより作業者の状態を常時モニタリングする。

これら位置監視、速度監視、力監視を組み合わせた機能安全により、腕・手への衝撃、押し込み、挟み込みが許容可能なリスクまで低減した。リスクアセスメントにより、安全対策導入前の想定されるリスクは、腕・手への衝撃、押し込み、挟み込みはいずれもリスク指数  $RI=4$  と見積もられ、安全対策によるリスク低減が必要であった。また、要求される信頼性指標パフォーマンスレベルは  $PLr=d$  であり、高信頼性の安全対策が要求された。以下に、安全対策を詳述する。

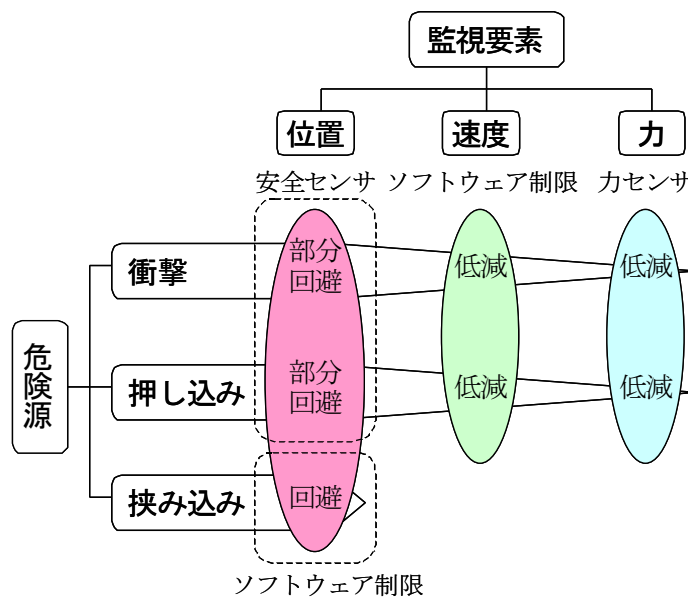


図13 機能安全での監視要素



## ① 位置監視

### □ 安全センサでの部分的な領域分離

図 14 に示すように、進入検出を部分的に無効とする設定が可能な安全センサ（レーザスキャナセンサ）により、組立作業上、接触不要なロボット本体と作業者の接触が回避される。本センサはレーザ光を走査して設定領域への物体の進入を検出するものであり、図 14 の左図の通り、部分的に検出無効領域を設定することが可能である。よって、作業者とロボットの手首先端ツールとの接触は検出無効領域を介してのみ許容され、高出力なロボット本体と人間の不要な接触を回避することができる。本センサは、検出無効領域を複数設定することができるため、協調作業の内容に応じて、作業者がロボットと協調作業を実施する場所を自在に変更可能である。本センサは、要求パフォーマンスレベル  $PLr=d$  を満たす安全機器であり、高信頼性の位置監視が可能である。

### □ ソフトウェアでのロボット動作領域制限

図 15 に示す通り、CPU 二重監視の制御装置およびソフトウェアによる高信頼性のロボットの動作領域制限により、ロボットと作業台の最小隙間を 120mm (ISO13854[6]準拠) に設定した。この結果、ロボットと作業台の間の腕・手の挟み込みが完全に排除される。このロボット動作領域制限は、要求パフォーマンスレベル  $PLr=d$  を満たしており、高信頼性の位置監視が可能である。

### □ 作業者監視システム

図 16 に示す通り、3 台の IP カメラによる作業者監視システムを開発し、安全対策として実証システムに実装した。居眠りによる作業台上でのうつ伏せ状態など作業者の異常状

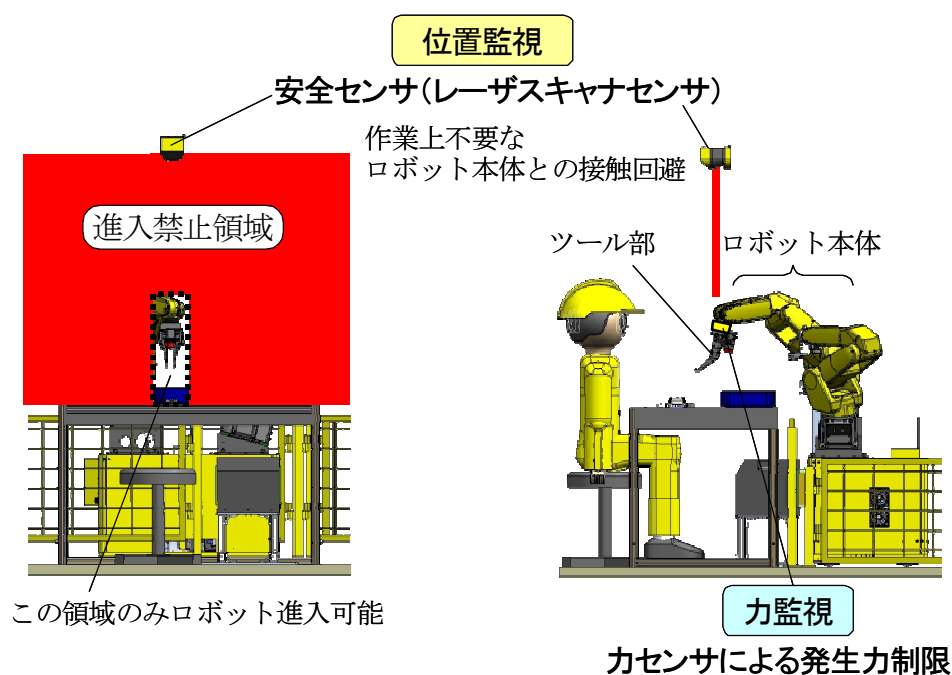


図14 位置監視と力監視の組合せ

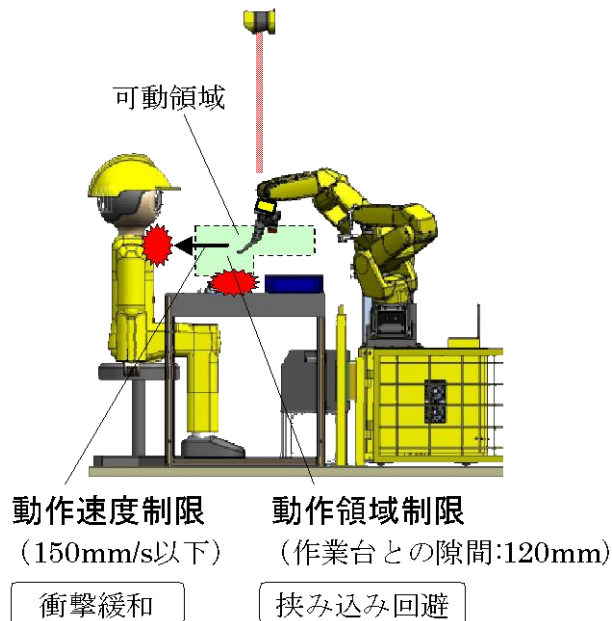


図15 ロボット動作速度・領域制限

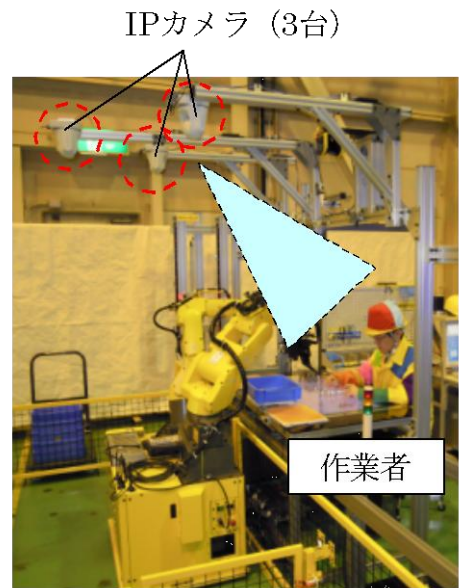


図16 作業者監視システム

態を作業者監視システムにて検出し、ロボットを非常停止とする。ロボットからの頭・目に対する過度な衝撃、ロボットと作業台の間での頭の過度な挟み込みなどの危険状態を回避するための付加的な安全対策として有用である。

作業者監視システムの検出性能などの詳細は 2.3 節の作業情報提示技術にて後述する。

## ② 速度監視

### □ ソフトウェアでのロボット動作速度制限

ISO10218-1 では、減速制御下の運転にてロボットの TCP (ツールセンタポイント) の速度を 250mm/s 以下とする義務規定が定められているが、人間が組立作業に集中している場合は更に減速することが望ましい。本プロジェクトでは、作業者の退避動作の容易さとロボットとの協調作業による心的負担を考慮し、ロボット動作速度制限を 150mm/s 以下とした。

位置監視と同様に、CPU 二重監視の制御装置およびソフトウェアによる高信頼性のロボット動作速度制限によりロボットの動作速度を制限した。後述の力センサでの発生力制限との組合せにより、ロボットとの接触による過大な衝撃と押し込みが低減される。このロボット動作領域制限は、要求パフォーマンスレベル PLr=d を満たしており、高信頼性の速度監視が可能である。

## ③ 力監視

### □ 力センサによる発生力制限

図 17 に示す通り、ロボット本体とツール部の間に力センサを設置し、組立作業上、人間が触る必要があるロボット手首先端ツール部との過度な接触による発生力を制限した。こ

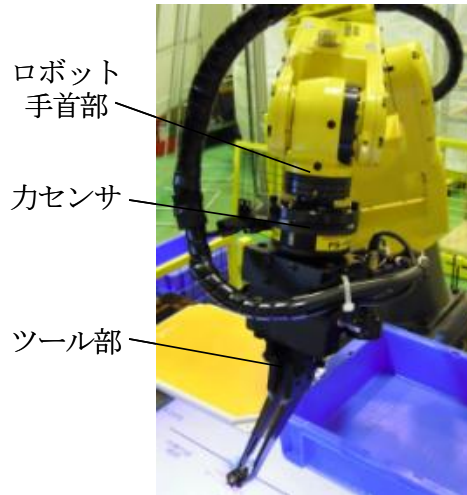


図17 ロボットへの力センサの実装

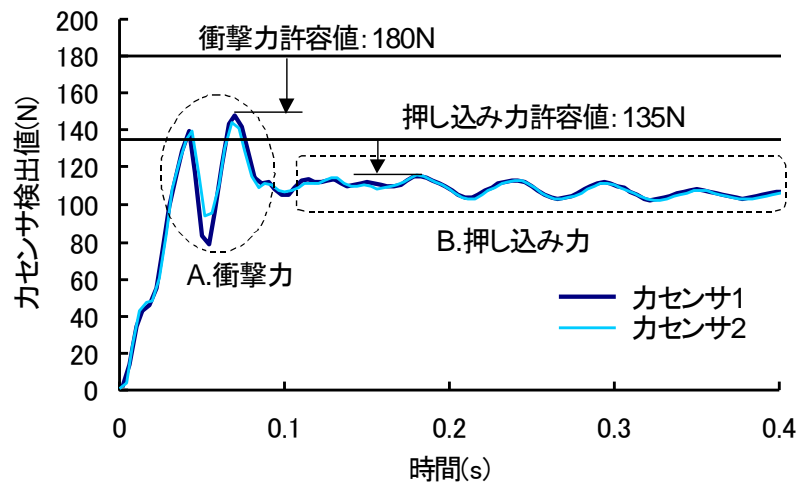


図18 衝突時の力センサ検出値の時間推移

の力センサによる力監視と前述のロボット動作速度制限の組合せにより、「BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive」[3]で定められた腕・手に対する発生力・圧力の許容値（衝撃力：180N、押し込み力：135N、圧力：50N/cm<sup>2</sup>）以下に発生力が制限されることを実験にて実証した。衝突実験での力センサ検出値の時間推移の一例を図18に示す。A部の衝撃力、B部の押し込み力共に、許容値以下に制限されており、作業者の安全が確保されることが示された。また、2つの力センサを組み込むことで、検出系の二重化による高信頼性が可能なことも実証した。

### 2.1.3 安全管理技術統合化

前述の安全対策を含め、開発した人間・ロボット協調型セル生産組立システムの全ての危険源に対する安全対策について、ISO14121-1[4]に基づいたリスクアセスメントにて、その有効性を検証した。

合理的に予見可能な誤使用も考慮し、システムの全ライフサイクル(輸送、立上げ・設定、運転、清

掃・保守、故障発見・トラブルシューティング)に対して危険源の同定を行い、171 項目の危険源を抽出した。その一例として、前述の(c)作業者協調での主な危険源を表 4 に示す。

表 5 に示す通り、抽出した 171 項目の危険源全てに対してリスク見積りを実施した結果、リスク低減が必要なリスク指数「3」以上の危険事象が 110 項目同定された。これらに対して、本質安全対策・安全防護および付加保護・使用上の情報提供の「3 ステップメソッド」によるリスク低減を検討し、前述の安全対策を含み、必要となる安全対策を開発・実装した。

検討した安全対策によって、全ての危険源について許容可能なリスクレベル「2」以下にリスクが低減されることを確認した。一例として、表 4 で示した危険源に対するリスク低減効果を表 6 に示す。参照番号 1・2 については、前述の位置監視、速度監視、力監視を組み合わせた機能安全にて、参照番号 3 については、安全ヘルメットと保護メガネの装着により、それぞれ安全なリスク指数「2」以下までリスクレベルが低減されている。

また、安全対策のパフォーマンスレベルについて、前述の安全対策の性能を表 7 に示す。力監視以外の安全対策については、いずれも要求パフォーマンスレベル PLr=d を満たしている。力監視については、前述の通り、2 つの力センサでの二重監視により PLr=d に準拠する性能を有することは実証済みである。今後の事業化において、第 3 者認証機関による PLr=d の取得を目指す。なお、作業者監視システムは付加的な安全対策であるため、パフォーマンスレベルを定義していない。

表4 危険源の同定の一例

参照番号	事故シナリオ		
	危険源	危険状態	危険事象
1	可動部による腕・手への衝撃・押し込み	組立ステーションでの作業 (ロボットと協調して組立)	部品差出し中のロボットアーム進行方向に腕・手を伸ばしたことによる接触
2	可動部の固定部への接近による腕・手の挟み込み		部品差出し中のロボットアームと部品トレイや作業台など周辺機器との間に腕・手を伸ばしたことによる挟み込み
3	可動部による頭・目への衝撃		居眠りなどで作用台上に頭を伏せ、部品差出し中のロボットアーム進行方向に頭・目を向けたことによる接触

表5 リスク見積もり

ライフサイクル	リスク指数(RI)の分布						合計
	1	2	3	4	5	6	
輸送	2	6	1	0	0	0	9
立上げ・設定	4	9	7	0	0	0	20
運転	13	22	21	45	2	7	110
清掃・保守	2	0	22	0	0	0	24
故障発見・ トラブルシューティング	0	3	4	1	0	0	8
合計	21	40	55	46	2	7	171

リスク低減が必要な危険事象：110項目

表6 リスク低減効果

参照 番号	リスク見積り (初期リスク)						判定
	S	F	O	A	RI	PLr	
1	2	2	2	1	4	d	→ ○
2	2	2	2	1	4	d	→ ○
3	2	1	2	2	3	d	→ ○

S 損傷の酷さ 1: 軽度、2: 重度  
 F 暴露頻度 1: まれ、2: 頻繁  
 O 危険事象の発生確率 1: 非常に低い、2: 可能、3: 高い  
 A 回避の可能性 1: 可能、2: 不可能  
 RI リスク指数 1: 低い~6: 高い  
 PLr 要求パフォーマンスレベル a: 低信頼性~e: 高信頼性

表7 パフォーマンスレベルの達成度

		パフォーマンスレベル		
		要求 PLr	性能 PL	判定
領域分離	光カーテン	d	e	○
位置監視	安全センサでの 部分的な領域分離		d	○
	ソフトウェアでの ロボット動作領域制限		d	○
速度監視	ソフトウェアでの ロボット動作速度制限		d	○
力監視	力センサによる発生力制限		d準拠	△

## 2.2 必要な時に必要な量の部品を整列して供給する 「作業支援技術」

作業支援技術として、移動配膳協調ロボット、部品ピッキングハンドと部品認識ビジョンシステム、知能化部品トレイを開発した。その結果、ロボットにより部品棚から必要部品をキット化し、作業者の組立作業台まで部品キットを配膳する自動化システムを世界で初めて実現した。また、多品種混流生産での頻繁な機種切り替えにも即時対応可能な組立支援が可能となり、高効率・高信頼性の組立生産を実現した。

### 2.2.1 移動配膳協調ロボット

人腕大の双腕ロボットアームと全方向移動型自走台車から構成される移動配膳協調ロボットを開発した。図 19 に外観を、表 8 に主な仕様を示す。構成の概略は下記の通りである。

- 自走台車  
駆動 2 輪・従動 2 輪を配置した 4 輪構成。駆動 2 輪はそれぞれ操舵軸も有し、駆動輪・操舵輪の独立制御により、全方向移動・スピントーンが可能。
- ロボットアーム  
本質的に高速・高出力な 6 軸垂直多関節型ロボットを双腕に配置。



図 19 移動配膳協調ロボット外観

本ロボットの特徴を以下に示す。

- 人腕大の双腕ロボットアーム搭載による高い作業対応力

表 8 移動配膳協調ロボットの主な仕様

ロボットアーム	可搬質量	5 (kg)
	リーチ	704 (mm)
	台数	2 (台)
自走台車	外形	600×900×550 (mm)
	最高走行速度	1.1 (m/s)
	最大路面傾斜	2/100
	最大路面段差	5 (mm)

図 20 に示すように、部品コンテナ引き出し動作と部品ピッキング動作を双腕ロボットアームそれぞれに分担させることで、単腕式よりもタクト短縮が可能である。部品コンテナのスライド機構などが不要であり、人間によるデジタルピッキング(点灯ランプによるピッキング部品指示)と比較しても、部品棚への細工が不要で簡素な周辺機器とすることが可能である。

- ビジョン検出による高精度な位置・姿勢補正

ビジョンにて自走機構の位置・姿勢を補正する手法を開発し、その有効性を実証した。

- 路面うねりへの柔軟な対応力

サスペンション機構搭載により、うねりのある路面でもロボットが滑らない構造とした。

- バッテリによる駆動、充電ステーションドッキングによるバッテリー充電

新規に駆動用バッテリーを開発し、図 21 の通り、ロボットアーム部が部品キット配膳など



図 20 双腕ロボットアームによる部品ピッキング

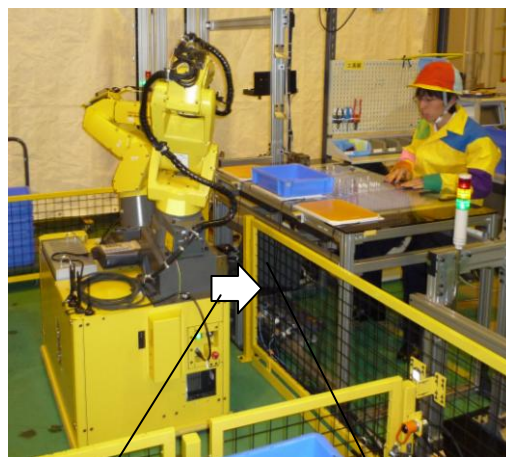


図 21 バッテリ充電ドッキング

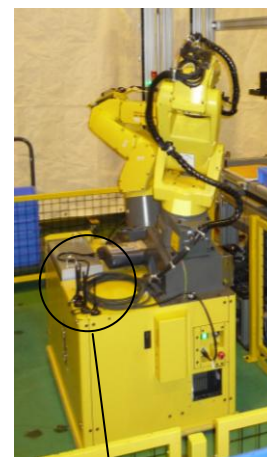


図 22 無線通信機器

のために自走機構が停止している間に充電ステーションにドッキングし、バッテリーを短時間で充電する方式とした。小刻みなバッテリー充電を可能とすることで、容量を抑えた小型軽量バッテリーとなり、移動配膳協調ロボットの小型軽量化を実現した。

- 無線通信により周辺機器との連動が容易

図 22 に示す通り、周辺機器との通信手段として、無線デジタル I/O 通信ならびに無線 LAN 通信機器を搭載し、容易に周辺機器と連動可能なインターフェースを設けた。

- ロボットによる組立作業の物理的支援・情動的支援

前述の作業者協調時の安全対策により、作業者はロボットに触りながら安全に協調作業を実施することが可能である。組立作業において、ロボットが効率的に物理的・情動的な作業支援を実施することが可能となり、高生産性、高信頼性の組立作業を実現した。

#### ー 物理的支援

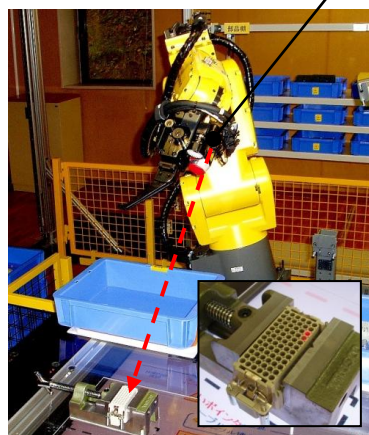
図 23 に示す通り、組立工程に沿って、ロボットが作業者に必要部品を差し出し、組立作業中も部品を把持することで、部品の使用間違いや治具への部品固定など作業者の段取り作業を排除することが可能となった。

#### 使用部品

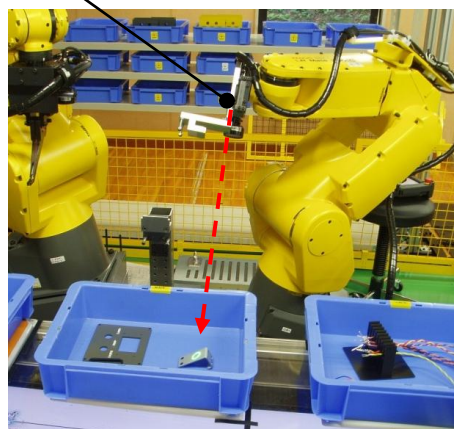


図23 ロボットによる物理的支援

#### レーザポインタ



レーザポインタによる  
組付場所の指示



レーザポインタによる  
使用部品の指示

図 24 レーザポインタによる情動的支援



- 情動的支援

ロボットに装着されたレーザポインタによる部品の組付場所や必要部品の明示（図 24）や、ロボットが差し出した部品を移動させながら周辺に設置したレーザポインタと協働して作業箇所を指示することで、部品の組付場所の間違いが排除されると共に、作業者は迅速に次の作業に移行することが可能となった。

### 2.2.2 部品ピッキングハンドとビジョンシステム

複数段から構成される簡易的な部品棚の各段に部品コンテナ(一般的に使われる部品通い箱)を適当に配置し、移動配膳協調ロボットが部品コンテナに収納されたバラ積み部品をビジョン検出にて認識してピッキングし、部品をキット化する自動化システムを実現した。実証システムでは、異なる 9 種類の部品ピッキング、5 種類の部品キット化を実施すると共に、部品キット化後にロボット搭載ビジョンにて部品キットに過不足がないことを検査する機能も組み込み（図 25）、高信頼性の部品キット化を実現した。

図 26 に示す通り、部品ピッキング用ハンドは 2 指ハンドとし、小型サーボモータにて 2 指を駆動する構造とした。サーボモータ駆動のハンドとすることで、ハンドの把持力を自在に制御することが可能のため、様々な形状・硬さの部品を把持することが可能である。

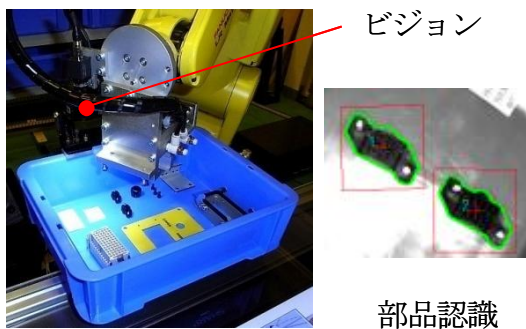


図25 ビジョンによる部品キット検査

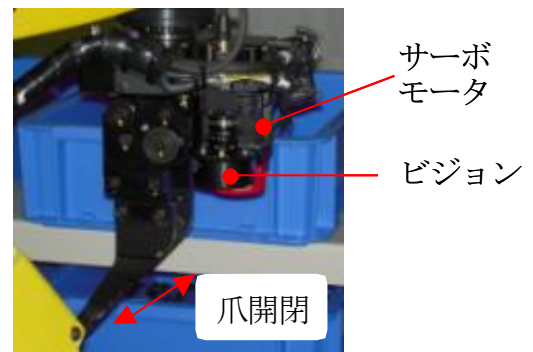


図26 サーボモータ駆動ハンド

### 2.2.3 知能化部品トレイ

ロボットによる部品キット配膳を実施する供給ステーションと作業者を中心として組立作業を実施する組立ステーションの間は、物理的な部品キットの受け渡しだけではなく、組立機種の変更や作業履歴など情動的にも連携する必要がある。換言すれば、ロボットが中心的に働く供給ステーションと作業者中心の組立ステーションとを別々に運転する、あるいはそれぞれを開発強化するためには 2 つのステーション間のインターフェース部分を明確に設計する必要がある。そのため、情動的・情動的バッファの役割として知能化部品トレイを開発し、頻繁な機種切り替えに対しても即座に対応可能な対応力の高い生産システムを実現した。図 27 に知能化部品トレイの概要を示す。

□ 物理的バッファ

移動配膳協調ロボットにより、供給ステーションから部品キットが知能化部品トレイを介して組立ステーションの作業者に配膳される。部品キットは、ロボット搭載のビジョンシステムにて部品有無が検査されており、高信頼性の部品キット配膳が可能である。また、組立ステーションにて組立完成品が知能化部品トレイに収納され、ロボットにより搬出される。

□ 情報のバッファ

知能化部品トレイには製品情報管理用の「製品 RFID」が組み込まれている。

次の機種の製造開始時、製品 RFID に製品仕様が書き込まれ、ロボットは製品 RFID の情報をもとに必要部品のキット化を実施し、組立ステーションに配膳する。その後、組立ステーションでは、作業者を中心に組み立てられた組立完成品が知能化部品トレイに収納され、組立履歴、作業履歴、また、組立完成品の製品性能などが製品 RFID に書き込まれる。ロボットは、組立完成品と共に製品情報を知能化部品トレイとして搬出する。

また、本システムでは、作業者の作業熟練度に応じた作業支援を実施することを目的とし、作業者情報管理用の「作業者管理 RFID」を導入した。作業者個々に作業者管理 RFID が与えられ、システムは組立作業開始時にこの RFID により作業者の熟練度を認識する。組立ステーションでは、作業台モニタから作業者に対して個々の熟練度に応じた作業支援が実施され、作業初心者から熟練者に至るまで幅広く最適な作業支援を受けることが可能である（2.3 節「作業情報提示技術」にて詳述）。また、組立機種毎の作業熟練度が作業者管理 RFID に更新されるため、作業者は、熟練度の向上に応じて常に最適な作業支援を受けることができる。

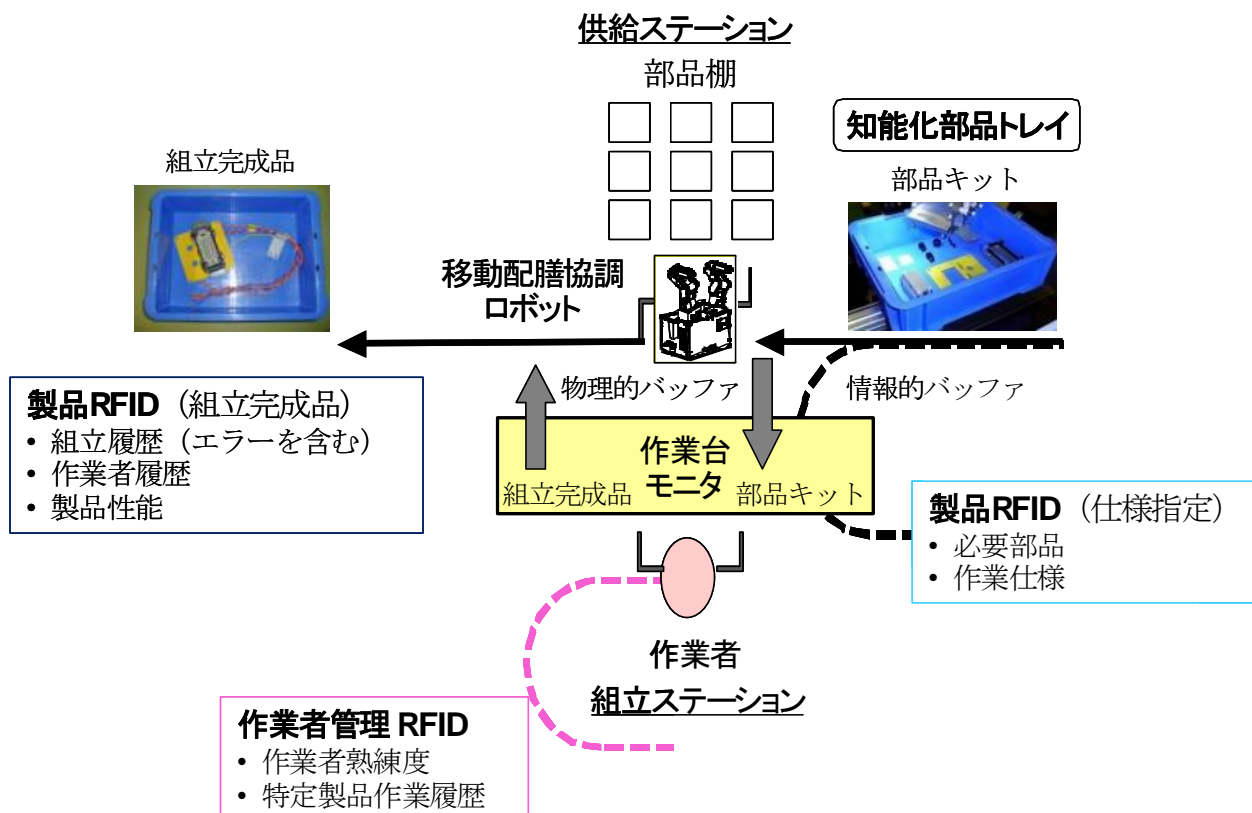


図27 知能化部品トレイによる物理的・情報の連携

## 2.3 作業者が習熟しやすい「作業情報提示技術」

### 2.3.1 組立支援システム概要

作業者の組立作業に対して情報支援を行う全体システムを組立支援システム MASS (Multi-modal Assembly Support System) と呼称し、その開発の中心をソフトウェア開発とした。その全体構成を図 28 に示す。

本システムは、次の 4 つのサブシステムから構成される。

(1) 作業教示支援 MASTER (Multi-modal Assembly Skill TransFER) : 作業熟練者から作業者位置姿勢測定系と心的負担測定系により作業者の状態計測(姿勢・位置や生体反応)を行い、測定データに基づいて熟練者の作業のやり方を抽出する教示データを生成する。

(2) 作業情報支援 MAISER(Multi-modal Assembly Information SupportER) : 組立作業をモデル化し、人間とロボットとの協調作業を円滑な遂行を実現するための作業情報の設計とマルチメディアを用いてより分かりやすい形で作業情報を作業者へ提示する。

(3) 作業手順管理 MASHOR (Multi-purpose Assembly Sequence editor with Human operatOR) : 機種切り替え時の作業手順の変更を容易に実現する。

以上により、組立作業に必要な情報に加え、熟練者の組立作業におけるカンやコツなどを作業初心者にも容易に継承することが可能となり、間違いの少ない、機種変更に強いセル生産システムの構築が可能となる。さらに、液晶ディスプレイ作業台や作業者監視用 IP カメラなどのインターフェース群からなる組立作業支援空間を、作業支援する「里親」を意味して、

(4) 作業支援空間構築 MAFOSTER(Multi-modal Assembly FOSTER) と呼称する。作業者とロボットとの協調には、作業者側の行動計測が必須となる。そのためにこのような空間の概念を提案している。

以下、新たに開発した要素を説明する。

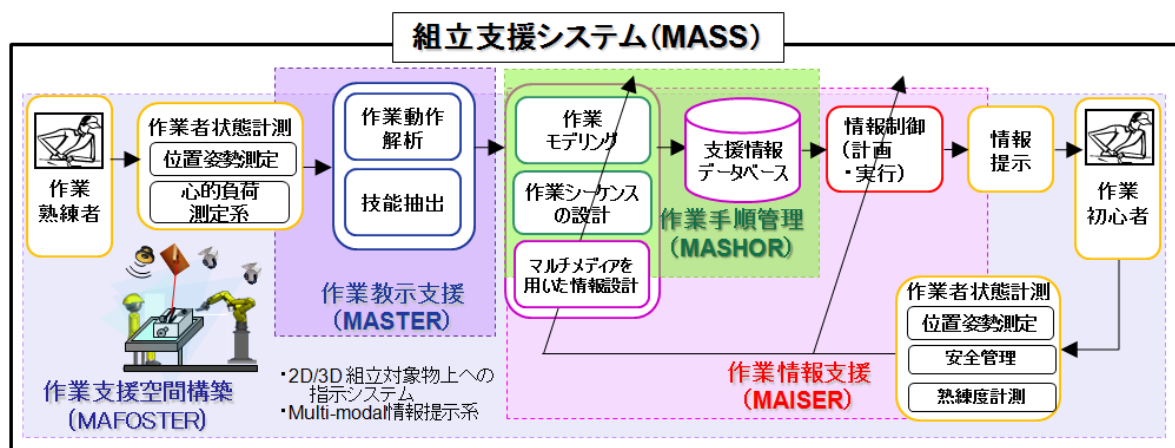


図 28 組立支援システム MASS の概要

### 2.3.2 作業員位置姿勢測定系

作業員位置姿勢測定系は、MAFOSTER の一要素として機能し、その出力情報は MASTER で使用される。

作業員の位置・姿勢を測定し、作業熟練者の作業のやり方の抽出や作業員の危険状態をモニタリングするための作業員位置姿勢測定系を開発した。システム構成を図 29(a)に示す。組立作業では、左右腕が交差する、部品や製品で身体部位が隠れる、ロボットが画像中を動くなどから、作業員状態を監視するにはオクルージョンが大きな問題となる。

本システムは、作業員の身体 8 か所(頭前 1、頭後 1、肩 2、肘 2、手首 2) に色マーカーを配置した作業服・ヘルメットを着用し、作業員の前上方に設置された 3 台の汎用 IP カメラにより解像度 320×240 で撮影する。撮影された 3 枚の画像データに対して、それぞれパーティクルフィルタを用いて色マーカーの位置座標を同定し、3 枚中 2 枚の画像上の 8 種のマーカー位置座標からステレオ視により 8 種の身体部位の 3 次元位置情報に変換し、その画像 3 枚分の組み合わせ 3 通り取得する。すなわち、3 方向からのステレオビジョンシステムである。

最終的に、この 3 通りの身体部位座標から、人体モデルで表現される身体拘束条件に基づく色マーカーの順序制約とパーティクルの尤度などを考慮し、1 つの身体部位座標に決定し、作業員の位置・姿勢を得る。

このパーティクルフィルタ利用と人体モデルを考慮した 3 方向ステレオ視により、一般的な 2 台システムと比較してオクルージョンに対するロバスト性が向上し、確実な測定を可能にした。また、測定周期 10Hz、測定標準偏差 69.0mm を実現し、組立作業の実システムとして十分使用可能な性能であることを示した。

この測定された作業員の位置・姿勢は、後述の作業教示支援 MASTER へ利用や、また、作業員の正常姿勢であると判断される作業許容空間を設定し、計測データが空間外となった場合、それを異常姿勢として判断する前述の作業員監視システムのデータとしても利用され工場内での実用性に配慮した低コスト作業員監視システムの実現を可能にした。その様子を図 29(b)に示す。



図29 作業員位置姿勢測定システム

### 2.3.3 心的負担測定系

心的負担測定系は MAFOSTER に一要素として機能するが、本システムでは MASTER に接続して実時間での使用を意図せず、システム利用の準備段階でロボット協調作業によって生じる心的負担測定系を確立することを行った。この出力は、将来、MASTER に接続されることを想定しており、作業状態の監視に用いられる。

作業者が被る心的負担が少ない人間・ロボット協調型作業システムの設計基準を策定するための、心的負担測定に基づく作業システムの評価手法を構築した。一般的に、作業者が被る精神的影響とそれを引き起こす外的要因について、ISO で以下の用語が定義されている。これら 3 つの関係性を図 30 に示す。

- 精神的負荷：外部から人間に対して及ぼし、かつ精神的に効果を与える評価可能な影響の全体
- 精神的負担：精神的負荷によって個人の内部に直ちに起こる影響であって、各人の対処様式を含み、個人の習慣及びそのときの条件に依存するもの
- 減退的效果：精神的負担により引き起こされる作業者が被る悪い影響

人間・ロボット協調型組立作業システムに内在する精神的負荷・精神的負担・減退的效果については、先行研究の知見を踏まえ、並べあげと構造化を行った。構造化された関係性を踏まえ、提案手法では、人間・ロボット協調型組立作業システムに内在する各精神的負荷がそれぞれの減退的效果に与える影響の度合い(精神的負荷の評価値)を算出する。評価値算出の方法を図 31 に示す。

まず、実際に作業を行い、作業中の作業者の生体反応、各精神的負担をどの程度感じたかの主観的なアンケートを測定する。測定する生体反応としては、生理指標の信頼性・測定の簡便性の観点から、自律神経系(情動)の変化を捉える唾液アミラーゼ濃度、皮膚電位反射 SPR、中枢神経系(脳の認知機能)の変化を捉えるフリッカー値を採用し(図 32 にそれぞれの測定イメージを示す)、それぞれの生理指標により各減退的效果の程度を[弱]0-3[強]の 4 段階で推定する。

次に、減退的效果の推定値から、各減退的效果を生じさせる精神的負担の程度の推定値を算出する。この時、ある減退的效果は、複数の精神的負担の影響により生じるため、その減退的效果に各精神的負担がどの程度寄与しているか(寄与率： $\alpha$ )を踏まえる必要があるが、これを主観的アンケート結果から算出する。

最後に、各精神的負荷の評価値を、その負荷が影響する精神的負担の推定値の和として算出する。ある精神的負荷での評価値が高いということは、その負荷により作業者が被る心的負担が強いことを意味する。そのため、この評価値は、各精神的負荷となりうるシステム挙動の設計基準として用いることができ、これにより作業者が被る心的負担が少ない人間・ロボット協調型作業システムの構築が可能となる。

本研究では、実際のロボット協調型組立作業システムで作業を行った際の精神的負荷を提案手法に基づき測定した。ロボットの協調作業時に作業車が被る精神的な影響の包括的な測定は、先行研究が見当たらず、極めて新規性の高い成果といえる。また、その結果に基づき、以下の設計指針を得た。

- 作業者に恐怖や驚きといった精神性の動揺の低減のための設計指針

- ロボットアームの動作軌道は、作業者に向かって直線的に接近する軌道は避ける。円弧軌道の場合も視覚的にわかりやすく設計し、作業者に接近を知覚し易くすべき。
- ロボットアームの接近動作の速度は、500mm/s 以下が望ましい。
- 作業者の精神的な疲労感の低減のための設計指針
  - ロボットの作業ペースに関し、人間の作業ペースより速いペースを避けることで、焦ることによる精神的な疲労感が抑制される。
  - 作業者が理解しやすいような情動的支援の設計が必要であり、負担は少なく生産性を高く保つためには、ディスプレイ上に一度に提示する作業工程の数は、3 個以下が望ましい。

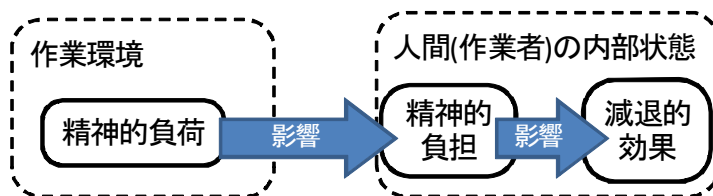


図30 精神的負荷・精神的負担・減退的効果の関係(ISOの定義に準拠)

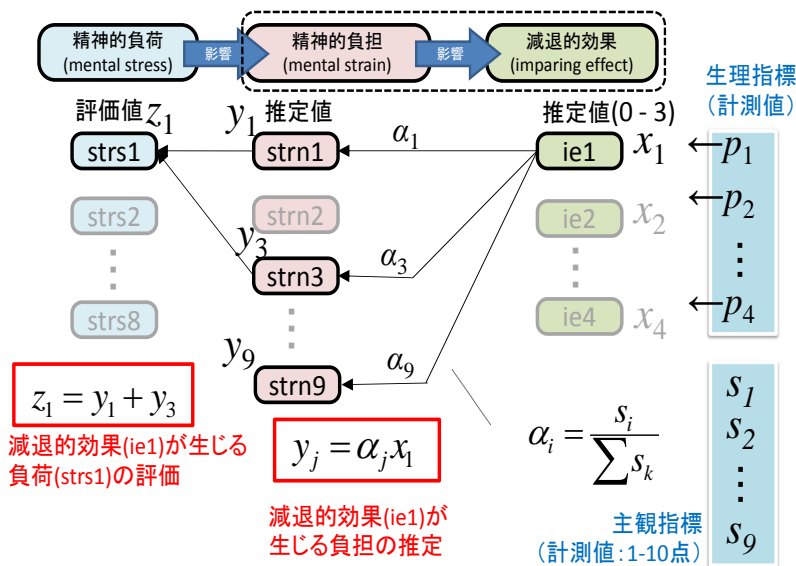


図 31 精神的負荷の評価値の算出方法



図32 多種の生理指標計測

### 2.3.4 作業教示支援システム (MASTER)

作業熟練者が作業を遂行する際の認知行為（作業のやり方）を解析し、作業効率の向上につながる認知行為を抽出、初心者へ分かりやすい形で教示を行う作業教示支援システム MASTER を開発した。

実世界で実行される作業は、図 33 に示すように、作業対象を観測し、状態を認識し、その状態に従って取るべき行動を判断し、実世界に対して実際に働きかけを行う手順から構成されていると仮定する。この行動決定モデルはロボット学の分野で広く受け入れられている。しかし、セル生産組立では、ある組立状況において作業者が取るべき行動は、組立プロセスとして設計者によって丁寧に定められており、作業者が自身で取るべき行動を判断する必要はほとんどないと考えられる。すなわち、図 33 の行動決定モデルで、「判断」に関する技能をあまり必要としない。それゆえ、新米の作業者が投入されても、指先の細かな動作といった行動生成の技能があるなら、全体として滞りなく作業できるように作業の分解、あるいは部品設計が準備されていると理解することが出来る。組立作業は、長年の経験の蓄積が設計に反映されており、長時間の鍛錬が必要な難しい作業を排除し、短時間に習熟可能な動作が大多数を占めるように設計されてきている。

そのため、組立プロセスによって定められた作業（行動決定モデルにおける認知から運動生成迄の全体）を早く正確に遂行するためには、「作業中に注目すべき対象とそれに対して行う認知行為」が重要となる。これは多くの場合、作業注目点として理解される。すなわち、作業効率を向上させる作業注目点を初心者に伝達すれば、初心者でも高い作業効率で組立作業が可能であるといえる。

そこで MASTER では、このような作業注目点を体系的に抽出する方法論を採用した。初心者に伝達すべき作業注目点とは、「作業成績の高い熟練作業者は重要視しているが、作業成績が低い作業初心者は重要視していない作業注目点」と仮定した。表 9 にその関係を示す。

初心者に伝達すべき作業注目点の抽出方法を以下に示す。

1. 熟練者に作業中の注目点を聞き、適切な動詞を用いて対象とする作業における作業注目点を列挙する（ただし、自然言語で記述可能技能に限定）。
2. 初心者・熟練者の双方の作業成績及び、各作業注目点に対する主観的な重要度を測定する。
3. 各作業注目点について、作業成績(作業にかかる時間・ミス回数)と重要度(重要なほど高得点)との相関をとり、相関係数が負で絶対値が大きい作業注目点を伝達すべき作業注目点として抽出する。

この方法は自然言語で記述可能な技能の抽出に限定している。技能の典型であるシナジー（複数の筋肉を同時に調和的に動かすことで、筋肉単体の和以上の能力を示すこと。相乗効果）は扱わない。ここで、3 に関し、作業成績と主観的な重要度との相関が負に高いということは、作業成績の高い熟練作業者は重要視しているが、作業成績が低い作業初心者は重要視していないということを意味する。

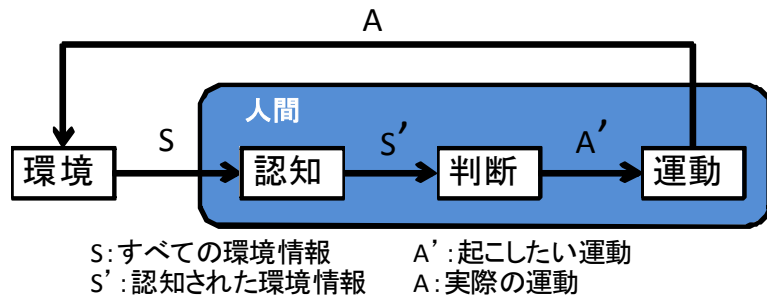


図33 ある組立環境下での行動決定モデル

表9 初心者に伝達すべき作業注目点

		熟練者 (作業時間が短く、ミス回数が少ない)	
		重要視	軽視
初心者 (作業時間が長く、 ミス回数が多い)	重要視	伝達不要の作業注目点 (相関係数≒0)	使用を禁止すべき技能 (相関係数が正で かつ1に近い)
	軽視	伝達すべき作業注目点 (相関係数が負で かつ-1に近い)	伝達不要の作業注目点 (相関係数≒0)

表10 ケーブルハーネス作業の作業注目点伝達ありとなしとでのミス回数の比較

間違い箇所	初心者の合計ミス回数	
	伝達なし	伝達あり
ケーブルの結束並び	1	0
クランプ板金の向き	1	0
クランプ板金の結束位置	3	1
板金の表裏	4	0

また、本提案手法の有効性を検証するために、特に認知行為が必要とされるようなネジ締め作業に対し提案手法を適用し、抽出した作業注目点を作業初心者に伝達した場合と伝達しなかった場合での初心者の作業時間を比較した。その結果、作業注目点を伝達した場合に作業時間が短いことが示された。これにより、提案手法の有用性が確認された。

さらに、実際の組立作業の例としてケーブルハーネスの組立作業に対し、提案手法を適用し、初心者のミス回数を減少させるような作業注目点の抽出ができたことを確認した(表 10)。すなわち、提案



手法が実組立作業で、作業成績を向上させるために初心者に教示すべき内容を抽出可能な手法である。

また、MASTER では、仮想空間上に構成された作業者モデルに熟練者の技能となる部分の運動を再現し、初心者に提示を行う。さらに、情報ディスプレイ上にコツになる部分をテキスト・静止画・動画等で提示する手法も可能であり、直感的に理解しやすくかつ汎用性・再現性高く教示できるのが特徴である。

### 2.3.5 作業情報支援システム (MAISER)

組立作業の作業情報と作業熟練者から取得した作業解析データ(作業のやり方)を人間の分かりやすい形で作業分析・表現を行い、作業情報データベースに格納し、かつマルチメディアを用いてその作業情報を分かりやすい形で作業者へ提示する作業情報支援システム MAISER(Multi-modal Assembly Information SupportER)を開発した。MAISER の機能要素は、「作業のモデリング」と「情報提示」に大別される(図 34)。

#### □ 作業のモデリング

組立図は製品を構成する部品間の構造として定義されているが、最終組立状態である部品間の関係を作り上げる作業者の行動に変換することが求められる。本研究では、階層的タスク分析法 (Hierarchical Task Analysis, HTA) を導入して、組立のタスク分析を行うことで、人間が実施する作業から作業情報を抽出する方法を提案する。提案手法では、全ての組立工程をより単純なサブタスクに分割し、更に、それらのタスク間の関係をゴールとサブゴールがからなる階層構造で記述する。この展開によって、組立作業全体は容易なタスク単位であるオペレーションに分解される。即ち簡単な人間あるいはロボットが出来る作業 (オペレーション) の並びにとして定義される。それぞれのオペレーションは、操作、部品、組立場所などからなる情報とタスク構造 (タスク間の関係、オペレーション間の関係) 等の先行関係に関する情報から成立つ。図 34 はタスク分解の構造を示しており、最上位の組立レベルにおける組立タスクは、製品と部品 (あるいは、サブアセンブリ) の関係を示している。中位にあるオペレーションレベルでは、タスクを行う人間操作を表現している。作業者の動きに連動するロボットの動きは、最下位に置かれたロボット動作レ

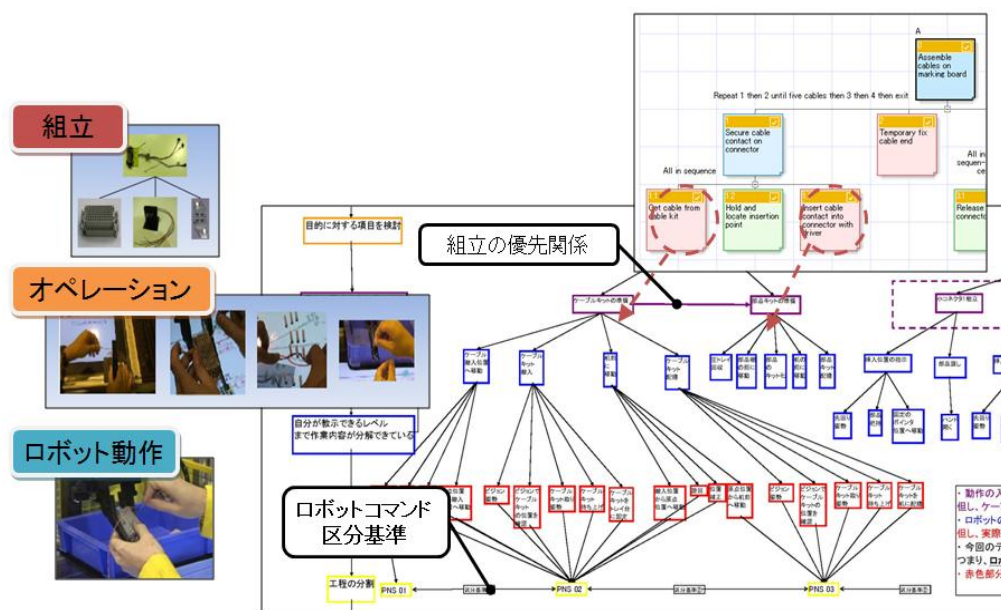


図34 タスクレベルからロボット協調動作レベルへの分解法の確立

ベルにおけるロボットタスクとして、表現される。ここでは、人間作業に対応する協調関係を決めている。

このグラフは組立タスクレベルからトップダウンに描かれていく。製品はそれを構成する部品、またはサブアセンブリに分解されることができる。サブアセンブリは、更にそれぞれのパーツまたサブアセンブリに分解するという形で再帰的に分解することが出来る。そのような分解プロセスは 2 個の最も単純な部品による組立作業にまで続く。以上で、部品展開が終わると、次に、作業によるオペレーションの分解を始め、動作の基本単位にまで分解する。以上がタスク解析である。

タスク解析と共に、協調作業解析を進める。開発した組立システムでは、人間—ロボットが協調して組立動作を実現しなければならない。そこで、作業者の動作を補完する形で、ロボット動作を記述し、ロボット動作と作業者動作との関係を定めることで、協調を定義する。製品を分解し、作業者動作、ロボット動作に分解したのち、再度、作業者とロボットシステムが持つ機能に基づいて、動作を適切なエージェント（作業者あるいはロボット、あるいは固定的な自動機器）に再び割り当てる。この際、情報支援技術適用に必要な人間・ロボット協調作業時の安全管理のために、リスク評価を行う。作業パフォーマンス、安全対策などの情報は、拡張情報（組立に直接は関係しない情報）として、作業効率や信頼性を向上させるために利用し、かつ、情報支援の内容として使うこともできる。

MAISER は様々なメディアにおける表現形態である情報を作業情報にリンクさせ、作業支援情報として表示するためのソフトウェアシステムとして開発した。作業情報は、タスクならびにサブタスクであるオペレーションという単位に分割され、それぞれの属性として、静止画像、動画、文字情報、音声情報等マルチモーダル情報が結び付けられる。システムは JAVA で記述され、それぞれのタスクノードに情報属性を付けることで組立作業の内容、並びにそのメディア上での表現を関係づけている。

MAISER のソフトウェアシステムは、図 35 に示すように、ファイル管理システム、エディタ、属性管理システムなどのサブシステムで構成される。MAISER は、上述のように、タスクモデリングのための統合開発システムでもある。タスク分析によって、人間ロボット協調作業に必要な支援情報が抽出可能となっている。作業時間の測定、間違い例の測定がされることで、継続的な改善のためのフィードバックが容易になっている。このシステムにより、後述する水平作業台に組み込んだ液晶画面に提示する作業指示情報を編集できるようになった。

なお、MAISER で使用したタスク表現は、前述の MASTER あるいは後述する MASHOR などタスクの手順管理においても使用される。

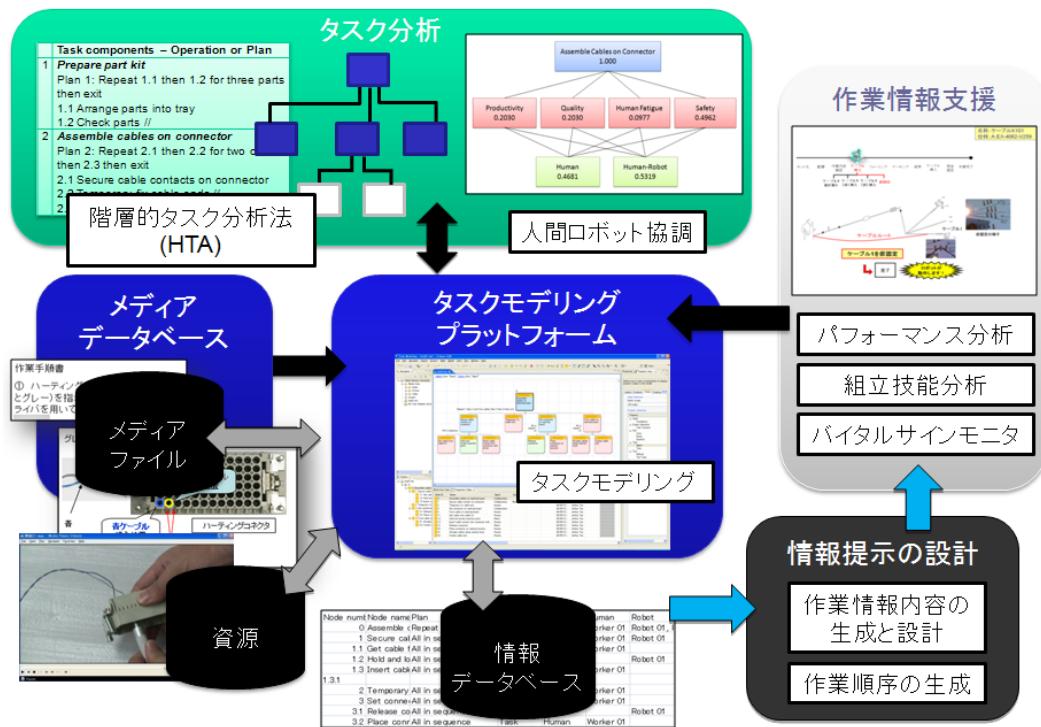


図35 作業情報データベースと提示システムの統合

□ 情報提示

従来の作業マニュアルでは、テキスト情報に静止画が添付される形で表現されていたため、熟練者には十分でも、初心者には組立動作まで理解するには困難を伴った。本システムでは、テキスト情報、静止画に加えて、動画、音声などのマルチモーダルな情報を用いることで、情報の多様な表現を可能にした。かつ、それらマルチモーダルな情報を、心理学研究から導出された設計原理(Mayerのマルチメディア原理など)に基づき、支援情報を生成する基準を準備した。これによって、提示された情報は作業者にも直感的に理解しやすく、作業効率の向上が期待される。図 36 上右部に見られる液晶パネルに表示される指示情報は、図 36 下部に示すような画面構成になり、動画、画像、テキスト等からなっている。さらに、音声、レーザポインタなどが画面以外からの情報提示に使われる。作業者は指示された内容に基づいて作業を行うことで、効果的に作業を習熟することが可能である。

マルチモーダルな情報を作業者に提示するために、本システムでは、作業台組込液晶パネル、スピーカ、レーザポインタ等を組み合わせて使用する。

- 液晶パネル組込水平作業台：水平に設置された透明の板の下に、大型液晶ディスプレイを組み込んだディスプレイ付き作業台を開発した(図 36 上右部)。情報提示モニタを作業台と一体化することで、プロジェクタなど外部からの作業情報提示方法よりも省スペース化が実現できる。また、作業者は作業から目を離すことなく作業情報を取得可能であるため、組み付け間違いの発生率の低下、作業のポカ防止への効果が得られる。

上記の効果を検証するために、作業台ディスプレイ、縦置きディスプレイ、作業マニユ

アルという異なる作業提示方法による作業効率への影響を実験的に検証した。その結果、作業情報を作業者の作業エリアに提示することで、提示視線移動回数及び主観的な心的負担が統計的に有意に減少し、作業効率が向上することを実証した。

- マトリックス・レーザ・ポインタ：作業注視点の提示、あるいは多数の類似作業対象の中から指定対象の選択には、実物に対してレーザポインタで輝点を照射することが分かりやすい。本システムでは、固定したレーザポインタに対して、部品をロボットが動かす方式、レーザポインタを 2 軸回転雲台で振る方式を実験して有効性を検証した。また、作業台ディスプレイのみでは指示できない空間的な情報支援を実現するため、可動型 5×5 点のマトリックス・レーザ・ポインタを開発した(図 37)。これにより、作業者への使用部品、工具および組付箇所を指示が可能となり、より間違いの少ない確実な組立作業が可能となった。

コンピュータ支援による作業指示システムはすでいくつかの研究例があり、また、商用システムも販売されているが、統一的な方法でタスク分解しているシステムは少ない。また、マルチモーダルな情報を後述するような情報提示設計基準をもとに構成しているシステムもほとんど無い。MAISER は人間の作業表現、ロボットとの協調表現まで考慮して、タスク記述ができ、よって、人間とロボットとの協調作業を表現できるシステムとして、世界で初めて開発された。

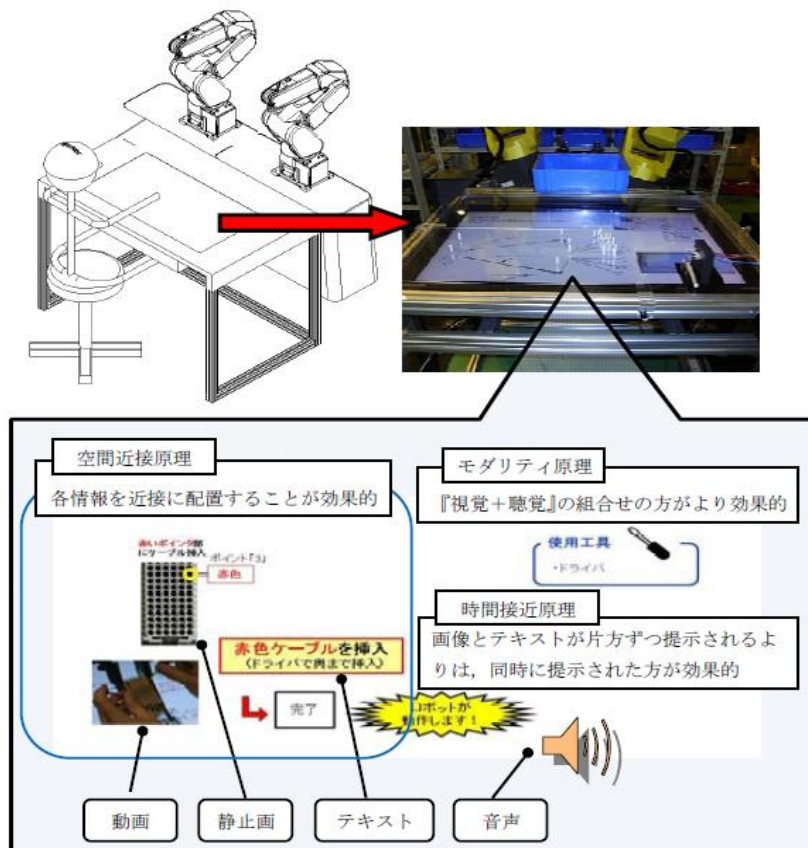


図 36 水平 LCD ディスプレイ作業台とマルチメディアによる情報提示

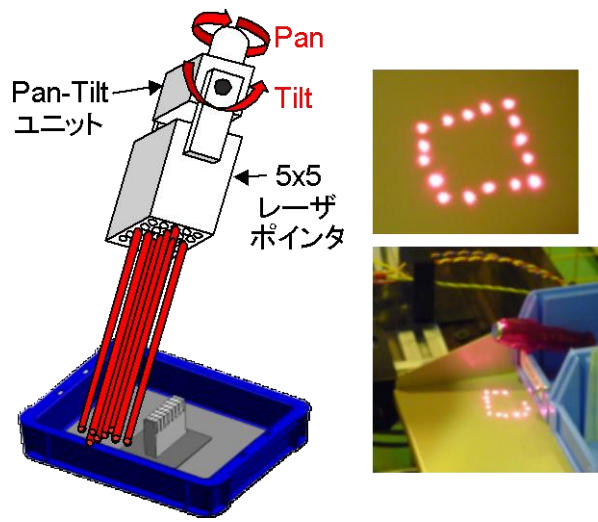


図37 可動型5x5点光ポインタ

### 2.3.6 作業手順管理システム (MASHOR)

機種切り替え時の作業手順の変更に伴う支援情報の容易な変更と管理を実現する作業手順管理システム MASHOR (Multi-purpose Assembly Sequence editor with Human operatOR) を MASS のサブシステムとして開発した。

MASHOR は、MAISER で用いた作業支援情報のための提示情報編集機能と連動した作業手順編集システム、並びにその手順変更を外部へ指示する機能から構成される(図 38)。組立作業を作業員動作とロボット動作とに MAISER 内で分解することで、タスクはグラフ表現される。これが図 38 のタスクモデリングからの出力である。この手順のどれかを変更する要求が出た場合、あるいは、作業方法や協調方法を変更する要求が出た場合には、その変更が、元々の先行関係の条件を壊すことがないか、あるいは、安全管理が抜け落ちることが無いかを調べる。そして、新たに定義されたタスク構造を作成し、そこに含まれる支援情報に紐付けて、情報データベースを構築する(図 38 「2.情報データベースの生成」参照)。組立順序の先行関係を調整し、ロボットの動作、作業指示、安全管理条件を調整する。それぞれの動作指示を行う支援情報の生成プロセスでは、組立指示情報を人間に理解し易い構造に再配置し、それを対応するマルチメディア情報(画像、ビデオ及び音声)に編集する。最終的に提示スライドになる。設計者は情報指示のガイドラインに基づいて基本的な支援情報を更にわかりやすくなるよう調整する。

改善(KAISEN)を継続的に進めていくことは生産性の向上のためにも、作業員のレベルアップのためにも極めて重要であることは良く知られている。しかし、自動組立システムは、一度、完成してしまうとたとえ改善すべき事柄が明らかになっても、コストがかかることから手をつけにくい。それに対して、セル生産方式では、「午前中に指摘された改善提案を昼休みに対応する」と言われるくらい即応性を実現できるシステムと言われる。これは作業台などの作業環境が廉価で単純である、機械設計に依存する部分が少ないなどのセル生産システムの特長による。本システムではこのセル生産システムの特長を生かすために、工程入れ替えが容易にできるように MASHOR を準備した。MASHOR のグラフィカルユーザインタフェース上では、図 39 に示すように作業の順序が表示される。作業順序を入れ替えると、MASHOR は工程入れ替え基準(組立の先行関係、ロボットコマンドの区分基準、安全制限、生産性など)に基づいて、工程入れ替えの調整を行う(図 39(a))。これらにより機種切り替え時の情報提示を即座に変更可能にした。

また、作業員の技能レベルが異なる場合の提示情報の詳細度合いの調整も MASHOR が行う。この場合、階層的タスク構造の特性であるタスク分解のレベルごとに詳細化度合いが異なることを用いて、作業初心者には詳細に分解した支援情報を、熟練作業員には分解前の支援情報を提供することができる(図 39(b))。

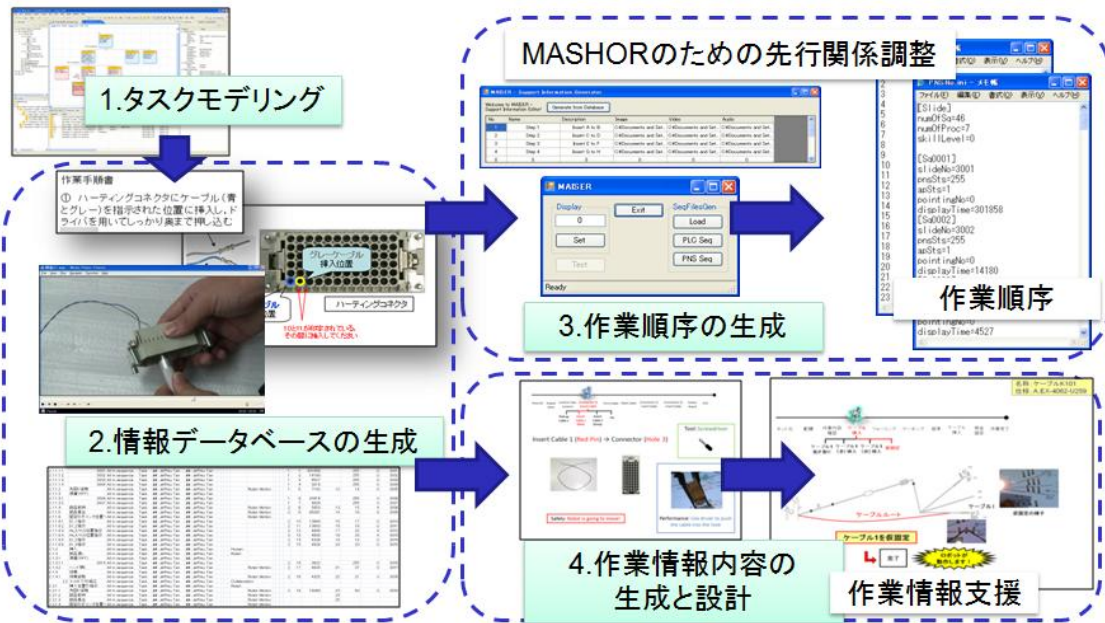


図 38 提示情報編集システムと作業順序編集システム

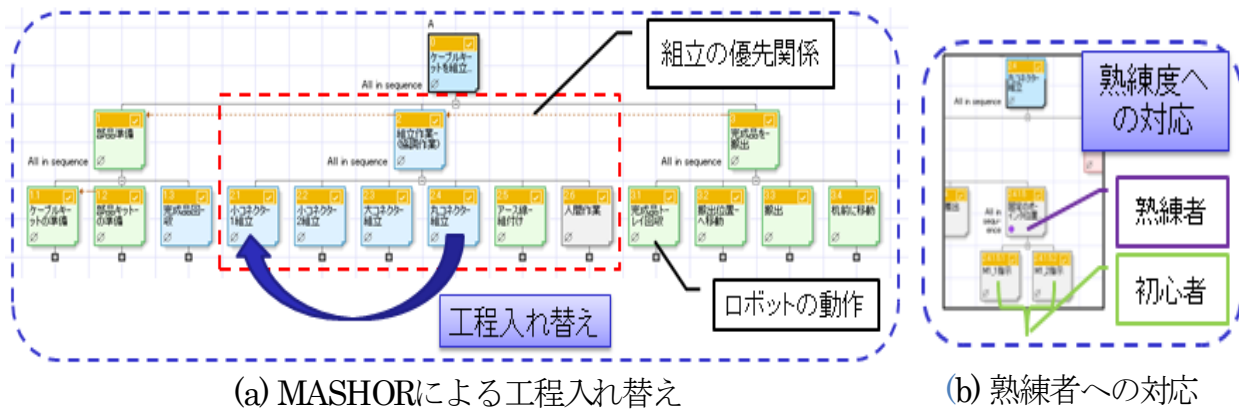


図39 作業手順の管理



## 2.4 「統合化技術」

各要素技術を組み込んだ統合システムを構築し、部品キット化、組立作業について性能評価を実施した。その結果、人間のみで実施する従来方式と比較し、高効率・高信頼性の生産が可能であることが示された。

### 2.4.1 システム統合とモジュール化

本開発対象となる組立工程は生産システムの最終工程として、商品販売動向の直接の影響を受ける。この開発目標の一つは機種変更への迅速な対応であり、組立システム自体の組み直し、あるいは部分的な強化が可能となる分離性の良いシステム構成が求められる。加えて、システムの事業化の場合には、システムの部分的導入ができることが強く求められる。これらの点を考慮して、本システムは、供給ステーションと組立ステーション、並びにそれらを接続する知能化部品トレイからハードウェアを構成し、それぞれ独立に更新できるようにしてある。一方、安全管理統合システムはロボットが作業者と接近あるいは接触する場合に必要とされ、供給ステーションと組立ステーションとが結合された場合を想定して開発されている。

これらのハードウェアシステムを動かすソフトウェアシステムも部分的なシステム導入の際でも利用できるように構成を取っており、既に述べたように、安全管理技術、作業支援技術、作業情報提示技術として開発し、それらをモジュール化したソフトウェアとして開発した。

統合システムフロー図を図 40 に示す。製品の製造指令が外部から知能化部品トレイに組み込まれた製品 RFID として与えられる。これがトリガーとなり、移動配膳協調ロボットおよび組立支援システム(MASS)に、作業工程の実行を指令する。その際、実行する作業工程の順序は、作業手順管理(MASHOR)により構築された作業手順により決定される。

実行指令により、安全対策システムが、実行する作業工程に適した状態へと光カーテン等の安全管理機器を切り替える。その後、移動配膳協調ロボットは、供給ステーションから必要部品をピックアップし、作業者を中心とした組立ステーションに部品キットを配膳すると共に、作業工程に応じて、作業者に対して適切な物理的支援および情動的支援を行う。

一方、組立支援システム(MASS)は、実行指令を受け、MASHOR により構築された作業手順により、作業者に対して作業情報提示など作業支援を行う。その際、MASS は作業者管理 RFID にて作業者の作業熟練度を認識し、作業者の熟練度に応じた作業支援を行う。

組立ステーションの作業者は、上述の通り、ロボットおよび MASS から作業工程毎に適切な作業支援を受けながら組立作業を実施する。完成した製品は、作業者により知能化部品トレイに収納され、ロボットが搬出を行う。

統合システムでは、各要素技術が連動したシーケンス制御を可能とするため、統合システム制御機器として PLC(プログラマブルロジックコントローラ)を使用した。必ずしも各開発技術を PLC にて統合・制御する必要はなく、MASS 用の制御用 PC、あるいはロボットのシーケンス機能を活用することも可能である。また、図 41 に示す通り、ハードウェア的に分離しての設置可能なように、ソフトウ

エアもまた、開発した要素技術毎に独立したモジュールとしての活用が可能であり、次に述べるような単位で使用できる。

- 作業支援技術
  - 移動配膳協調ロボット (ロボット単体設置可能)
  - ロボットハンド (ロボットに直接組込)
  - 知能化部品トレイ (システム単体で設置可能)
- 作業情報提示技術
  - 作業情報支援+情報提示作業台 (システム単体で設置可能)
- 安全管理技術
  - 協調系構築に必須の安全対策 (ロボットに直接接続・組込可能)
  - 作業監視システム (システム単体で設置可能)

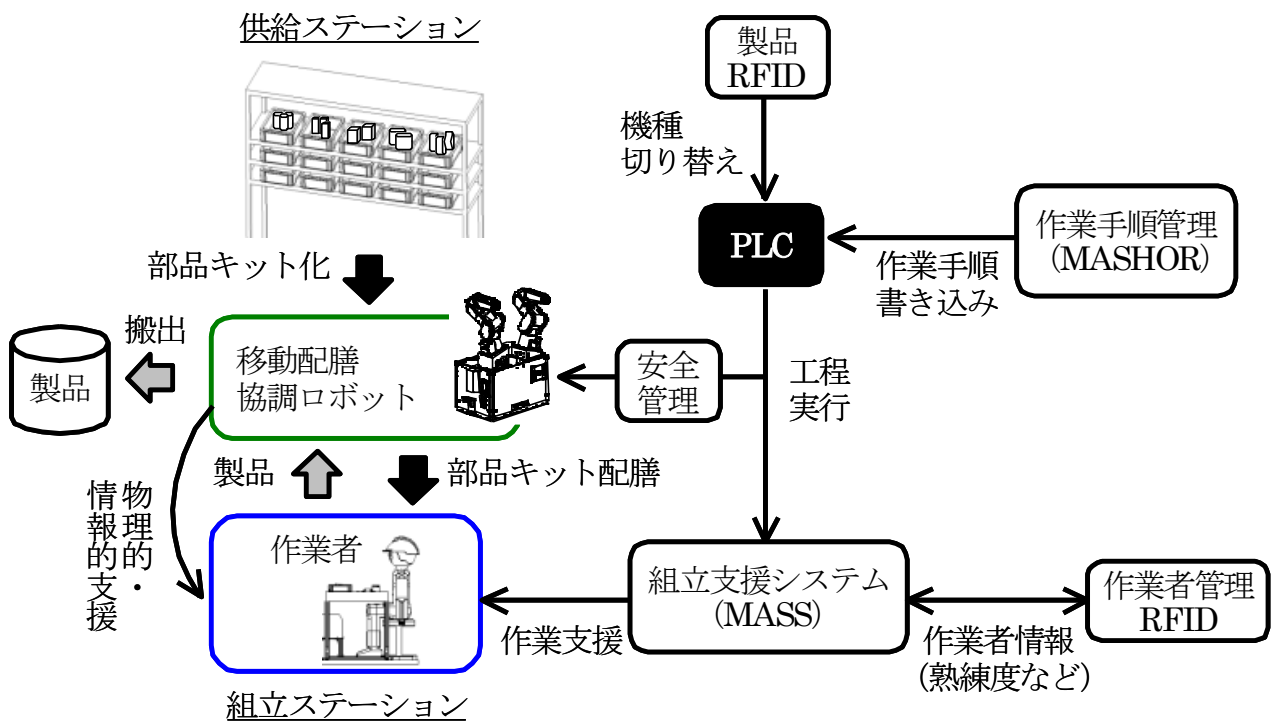


図40 統合システムフロー図

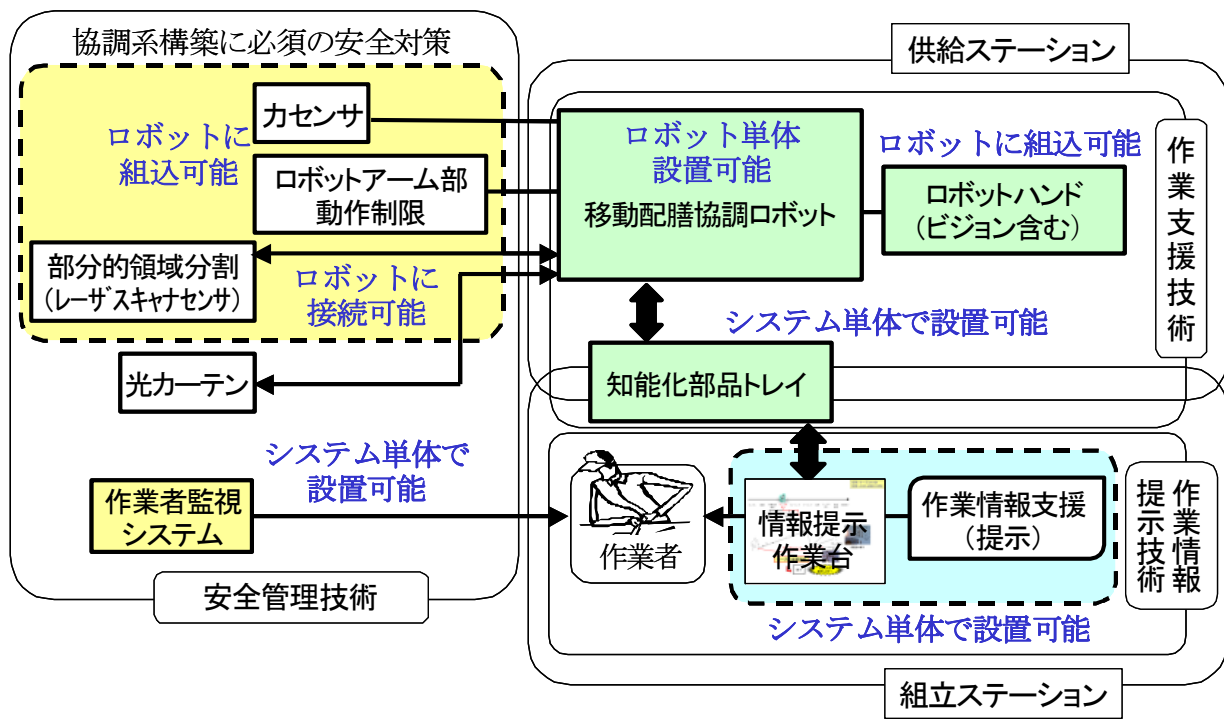


図41 要素技術のモジュール化

## 2.4.2 システム性能評価

構築した統合システムにて、移動配膳協調ロボットによる部品キット化、ロボットと人間の協調による組立作業の性能評価を実施し、人間・ロボット協調型セル生産組立システムの有効性を実証した。

### (a) 移動配膳協調ロボットによる部品キット化の性能評価

コネクタなど小物部品のキット化を対象に、移動配膳協調ロボットによる部品キット化と人間によるデジタルピッキング(点灯ランプによるピッキング部品明示、表 11 中の図参照)の性能比較を行った。表 11 に結果を示す。

移動配膳協調ロボットの部品キット化では、9種類の小物部品のピッキングを実施し、平均で約 17.5 秒/部品のピッキング所要時間であった。この実測値から、床面に平積みされた部品群からのピッキングでは、部品コンテナの引き出し動作の削除により、所要時間を約 10.5 秒/部品まで短縮可能である。従って、ロボットを 24 時間連続稼働させることで、従来の人間によるデジタルピッキングの約 1.7 倍の生産性を実現可能である。

一方、機種切り替え時間については、人間によるデジタルピッキングと同等であり、即時の切り替えが可能である。

表11 部品キット化の性能比較



ランプで必要な部品と数量を明示

	移動配膳協調ロボットによる 部品キット化	人間による デジタルピッキング
所要時間	約17.5秒/部品 (実測値) → 約10.5秒/部品 (見込み) <sup>1)</sup>	約6秒/部品 (導入事例の実測値)
生産性	1.72 <sup>2)</sup>	1
機種切替え時間	1	1

1) 部品コンテナ引き出し動作の削除にて時間短縮

2) 稼働時間を人間8時間/日・ロボット24時間/日とし、一日当たりの生産量で比較

(b) ロボットと人間の協調による組立作業の性能評価

人間・ロボット協調型セル生産組立のモデルケースとして、本プロジェクトでは、図 42 に示すようなケーブルハーネス組立を対象とした。本対象の組立作業について、従来方式の人間のみのセル生産方式(以下、「人間セル」と表記)と生産性、機種切り替え時間、作業間違い率を比較することで開発システム(以下、「協調セル」)の有効性を実証した。比較対象の人間セルとしては、紙媒体の作業指示書を確認しながら実施するセル生産システムを構築した。

多品種混流生産および作業難易度の高い複雑なケーブルハーネスの組立作業における性能評価を実施するため、以下の 2 つの評価実験を実施した。

□ 実験 1 (簡易ケーブルハーネスの 5 品種混流生産)

人間セル、協調セルの各セルにて、図 43 に示す 5 品種の類似する簡易ケーブルハーネスの混流生産を実施し、以下の実験条件にて性能評価を行った。表 12 に実験より得られた性能比較を示す。

- 実験条件

- ・ 被験者 6 名 (初心者 3 名、熟練者 3 名)
- ・ 実験回数 各セルにつき、作業員 1 名あたり 15 製品 (毎回品種切り替え)

- 実験結果

表 12 に示す通り、被験者 6 名の作業所要時間の平均から算出した生産性は、従来の人間セルから 9% 向上し、作業間違い率が約 1/5 に低減された。構築した協調セルでは、人間セルよりも生産性が向上し、かつ、信頼性を大幅に向上可能なことが実証された。

機種切り替え時間については、組立対象の簡易ケーブルハーネスでは、機種切り替え時の段取り替え作業が少なく、人間セルとほぼ同等の機種切り替え時間となった。



図42 簡易ケーブルハーネス



ケーブル1

ケーブル2

ケーブル3

ケーブル4

ケーブル5

図43 5品種の簡易ケーブルハーネス

表12 簡易ケーブルハーネスの5品種混流生産での性能比較

	協調セル	人間セル
生産性	1.09	1
機種切替え時間	1	1
作業間違い率	約1/5	1

□ 実験2（ケーブル多点挿入）

実験1での簡易ケーブルハーネスよりも難易度の高い作業での導入効果を実証するため、図44に示すような2パターンのケーブルの多点挿入作業を対象に、以下の実験条件にて性能評価を行った。図45に作業所要時間の推移の比較を、表13に実験より得られた性能比較を示す。

－ 実験条件

- ・ 被験者 4名
- ・ 実験作業 パターンA（規則的なケーブル配列）のケーブル挿入（64箇所）  
パターンB（ランダムなケーブル配列）のケーブル挿入（64箇所）
- ・ 実験回数 各セル、各パターンにつき、作業員1名あたり5回（連続作業）

－ 実験結果

パターンAの規則的なケーブル配列では、繰り返し作業を実施することにより、ある程度のケーブル配列の記憶が可能であったことから、比較的習熟しやすい作業と言える。一方、パターンBのランダムなケーブル配列では、繰り返し作業を実施してもケーブル配列を記憶するには至らなかったことから、習熟しにくい高難易度の組立作業と言える。

以下に、生産性、作業間違い率、機種切り替え時間の性能比較を記す。いずれも人間セルと比較して向上しており、本システムの有効性が実証された。

・ 生産性：最大約2倍に向上

表13は、それぞれのパターン毎に、人間セルの作業所要時間の最小値を100%とし、人間セルと協調セルでの作業所要時間の推移を作業員4名の平均値にてグラフ化したものである。5回目の作業での作業所要時間について、パターンAで



パターンA  
(規則的なケーブル配列)



パターンB  
(ランダムなケーブル配列)

図44 作業対象のケーブル多点挿入

は、協調セルの方が人間セルよりも約 20%短縮され、パターン B では約 50%短縮された。よって、表 13 に示す通り、パターン B のような高難易度作業では、最大約 2 倍の生産性を実現可能である。

また、実験 1 の生産性向上率(約 9%)やパターン A での生産性向上率(約 25%)と比較し、パターン B の方が生産性の向上率が高いことから、より複雑な組立作業にて高い導入効果が得られることが実証された。

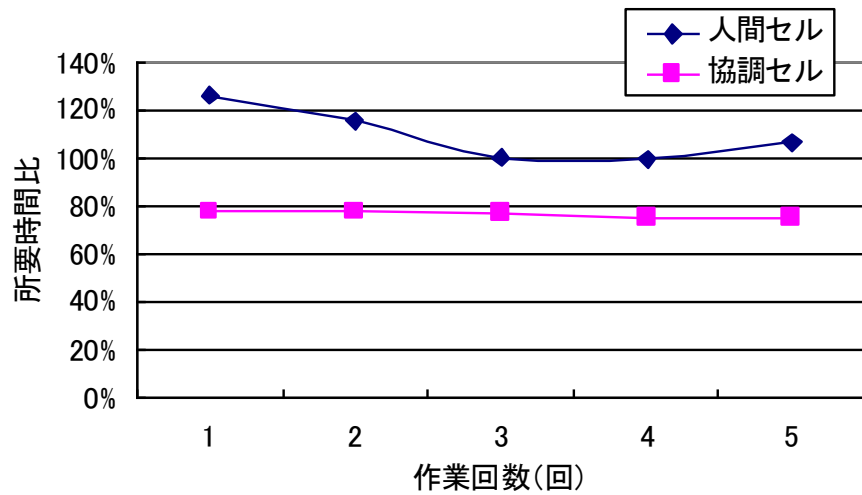
また、パターン A、B 共に、作業回数の増加時に作業所要時間の短縮率が収束していることから、本システムは作業熟練者でも継続的に生産性を向上することが可能であることが示された。

- 作業間違い率：1/10 以下に低減

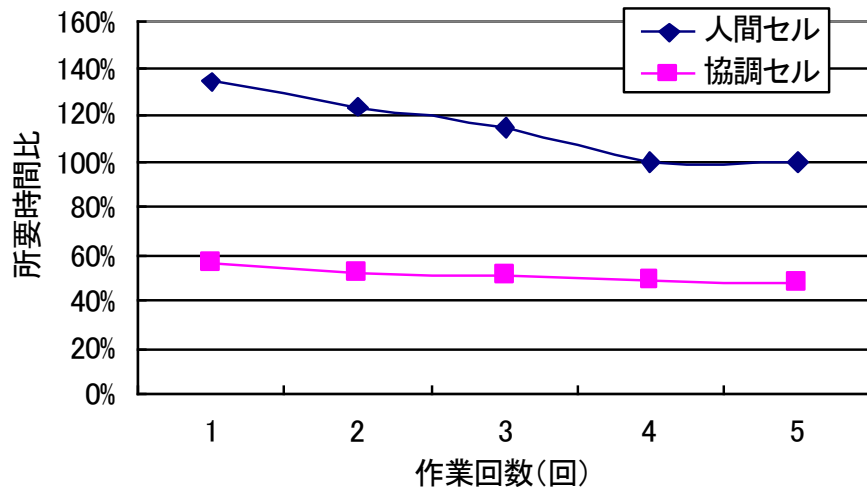
ロボットのレーザポインタにてケーブル挿入場所を順次指示する情報的支援により、パターン B にて作業間違い率が人間セルの 1/10 以下に低減された。実験 1 と比較し、より複雑な組立作業にて高い導入効果が得られることが実証された。

- 機種切り替え時間：1/3 以下に短縮

ケーブル多点挿入作業は、特に、パターン B のようなランダムなケーブル配列において、ケーブルの挿入場所の記憶が困難なことから、換言すれば、製造機種が頻繁に切り替わることに相当する。このことから、実験 2 では、作業中の手順理解に要する時間を機種切り替え時間として取り扱うことができ、人間セルと協調セルそれぞれの実験からこの時間を抽出した。その結果、複雑作業の多品種混流生産においては、協調セルでは人間セルの 1/3 以下の時間での機種切り替えが可能であることが示された。



パターンA (規則的なケーブル配列)



パターンB (ランダムなケーブル配列)

図45 ケーブル多点挿入作業の所要時間の比較

表13 ケーブル多点挿入作業での性能比較

	協調セル	人間セル
生産性	2.04	1
機種切替え時間	1/3以下	1
作業間違い率	1/10以下	1



### 3 開発達成度と成果の意義

#### 3.1 開発達成度

開発した要素技術毎および統合システムについて、開発目標に対する成果と達成度をまとめる。

##### 3.1.1 要素技術について

開発した要素技術毎の開発目標に対する成果と達成度を表 14～表 16 に示す。いずれの項目も開発目標をほぼ達成した。

##### ① 作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術

(注) 既存の産業用ロボットの安全規格が改定されないことを考慮し、現行規格をほぼ遵守する形で達成することが求められる（基本計画より）。

表 14 安全管理技術の開発目標に対する成果と達成度

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) ロボット移動時 安全対策の確立	ロボットの工場環境移動時において作業者の安全を確保すること。	ロボット転倒防止のための低重心本質安全設計、ロボットと作業者の動作エリアを安全センサにて分離する多重系安全対策を構築し、作業者の安全確保を実証した。	移動時の転倒なきこと、作業者がロボット移動エリア侵入した際の確実なロボット停止を実証し、目標を達成した。
(2) 作業者協調時 安全対策の確立	ロボットと作業者の協調作業時において作業者の安全を確保すること。	位置監視、速度監視、力監視を組み合わせた機能安全により、本質的に高速・高出力なロボットに触りながらの安全な協調作業を実現した。	各技術の性能を実証し、目標をほぼ達成した。事業化では、2つの力センサによる二重監視のPL(パフォーマンスレベル)の認証取得を推進する。
(3) 安全管理技術 統合化手法の確立	リスクアセスメントを実施し、合理的に予見可能な誤使用においても作業者の安全を確保すること。	171項目の危険源を同定し、リスク低減の安全対策を開発・実装した。	力センサのPL取得を除き、全ての安全対策を実装・検証し、目標をほぼ達成した。

これにより、本質的に高速・高出力であるロボットを用いて、高生産性を確保しながら、作業者と協調して組立作業を実現する方法論を実現した。このように実用的なシステムの構築は世界で初めてと言える。

② 必要な時に必要な量の部品を整理して供給する作業支援技術

表 15 作業支援技術の開発目標に対する成果と達成度

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) 移動配膳協調 ロボットの開発	工場路面を走行して作業者に部品を配膳し、かつ部品供給などの作業支援が可能なこと。	開発した移動配膳協調ロボットでの安定した走行性能、部品配膳、作業支援機能を実証した。	双腕移動ロボットによる部品キット化・配膳の自動化システムを世界で初めて実現し、目標を達成した。
(2) 部品ピッキング ハンドとビジョン システムの開発	多品種部品に対応可能な汎用性の高いハンドにて高速部品ピンピッキングを実現すること。	設計したハンドにて部品棚に収納されたバラ積み状態の9種類の部品ピッキングを実証した。	ロボットの24時間連続稼働により従来の人間作業の約1.7倍の生産性を実現し、目標を達成した。
(3) 知能化部品トレイ の開発	RFIDにてトレイ内部品を表現し、かつ画像認識にてトレイ内部品が認識可能であること。	ビジョン検査により部品間違いのない高信頼性の部品キット配膳を実現した。製品RFID、作業管理RFIDを導入し、頻繁な機種切り替え、作業者の熟練度に応じた作業支援を実証した。	RFIDの導入により、頻繁な機種切り替えへの即時対応、異なる熟練度の作業員への的確な作業支援を実現し、目標を達成した。

これにより、双腕移動ロボットと画像処理によるピンピッキングシステムの組合せによる高効率部品キット化技術を世界で初めて開発した。

③ 作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

表 16 作業情報提示技術の開発目標に対する成果と達成度 (1/2)

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(1) 作業位置姿勢測定システムの開発	安価なカメラシステムを用いて、作業者の位置姿勢を検知し、作業安全の確保と熟練者の作業のやり方の抽出が可能であること。	作業者の身体 8 部位の 3 次元座標を取得し、人体モデルとパーティクルフィルタを用いた作業者の姿勢の推定を実用レベルでの位置精度・検出速度で実現した。	開発したシステムは測定周期 10Hz、測定標準偏差 69.0mm を実現した。
(2) 心的負担測定系の開発	作業者の心的負担を定量的な評価を可能にする生理指標の決定とシステムの改善基準の導出を可能にすること。	多種の生理指標の中から、心的負担に関連の強い 3 種の生理指標を採用し、情報支援及びロボットによる協調作業時の心的負担の評価から設計基準・安全基準を導出した。	ロボットの協調作業時に作業者が被る精神的な影響の包括的な測定が可能となり、従来の主観評価のみに比べて安全と情報設計に関する客観的なデータの取得を確認した。
(3) 作業教示支援システムの開発	熟練作業者の作業のやり方を記録し、それを作業初心者へ伝達することで作業効率を向上させるシステムを構築すること。	熟練者が重要視し、初心者が軽視する作業初心者に伝達すべき作業注目点を作業成績との相関から抽出する方法論を確立した。	提示用情報の絞り込みと作業間違い原因の推定に効果を確認した。

表 16 作業情報提示技術の開発目標に対する成果と達成度 (2/2)

目的	本開発の目標 (実施計画書より)	成果	達成度
(4) 作業情報支援 システムの開発	機種切り替え対応、作業者の作業負担が小さくかつ作業効率を向上させるような作業者に分かりやすい情報支援を実現すること。	組立作業に必要な情報を的確に作業者に支援するソフトウェア・ハードウェアの開発を行い、実験的にその有効性を検証した。機種切り替え時の情報提示を即座に変更可能となる。また、これら作業モデル編集環境や情報提示ソフトウェアを開発し、作業手順変更を容易化した。開発したシステムはロボット動作と作業者手順指示との連動を管理し、作業者熟練度に応じた支援情報を提示する。	機種切り替えと作業者熟練度に対応のケーブルハーネスの組立作業に、本システムを適用した結果、作業初心者において生産立ち上げ時から作業中級者と同程度の作業効率での作業が実現した。

これにより、作業者の技能レベルに合わせた作業支援による高効率・高信頼性の組立作業を実現した。また、ロボットの協調作業時に作業者が被る精神的な影響の包括的な測定法、ならびに設計基準の構築は世界的にも新規性に富む研究成果と言える。

### 3.1.2 統合システムについて

開発した要素技術毎を組み込んだ統合システムについて、開発目標に対する達成度を表 17 に示す。いずれの項目も開発目標をほぼ達成した。

表 17 統合システムの開発目標に対する達成度

基本計画における 最終目標	達成度
<p>[1] 開発したシステムで作業者が組立を行い、 (a)作業手順の改善 (b)機種切り替え (c)生産量の変動 に対しての対応能力を示す。</p>	<p>部品キット化・配膳について (a) 作業手順の改善や(b) 機種切り替えでは立上げ時のロボット教示の時間ロスが、(c) 生産量の変動では増設ロボットのエネルギーロスが生じるものの、生産時の信頼性が向上することから、各指標に対して対応能力を有すと言える。</p> <p>組立作業について 上記と同様に、立上げ時のロボット教示・提示情報変更などの時間ロスや増設ロボットのエネルギーロスが生じるものの、生産時の信頼性が向上することから、各指標に対して対応能力を有すと言える。</p>
<p>[2] 組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。</p>	<p>171 項目の危険事象のリスクアセスメントを実施し、リスク低減を図った。 特に、協調作業におけるロボットアームと腕・手の過度な接触、ロボットアームと周辺機器との間の挟み込みについて、位置監視、速度監視、力監視の組合せによる多重系の機能安全により、十分安全なレベルまでリスクが低減され、作業者の安全が確保された。</p>
<p>[3] 特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。 (A)生産性：作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした労働生産性において既存セル（人間中心セル）から 2 割向上。 (B)機種切り替え時間：既存セル生産システムの 1/2。</p>	<p>(A)生産性 部品キット化で従来の 1.7 倍、組立作業で従来の最大 2 倍の生産性を実現し、共に目標の 2 割向上を超える生産性向上を達成した。</p> <p>(B)機種切り替え時間 部品キット化では、従来の人間のみの作業と同等で即時の機種切り替えが可能である。組立作業では目標の 1/2 を下回る機種切り替え時間の短縮を達成した。</p> <p>作業間違い率（追加評価） 組立作業にて、従来の 1/10 以下の低減を実現した。</p>

### 3.2 開発成果の意義

各要素技術の開発成果の意義を表 18 に示す。いずれも、従来よりも高効率、高信頼性の生産システムの構築に寄与する技術であり、市場への大きな波及効果が期待される。

表 18 各要素技術の開発成果の意義 (1/2)

要素技術	開発成果の意義
ロボット移動時安全対策	作業者とロボットの作業エリアを分離し、両者の衝突回避のための多重化安全対策を施したことで、高生産性・高信頼性・低コストの自走ロボットによる高速部品キット化・配膳を実現した。安全性の高いロボットを容易に生産現場へ導入可能な点で、組立・加工・物流など様々な市場での部品搬送・供給用途への広がりが期待でき、成果意義は大きい。
作業者協調時安全対策	人間が高出力ロボットに触りながら安全な協調作業を実施するための、位置監視、速度監視、力監視の組合せによる多重系機能安全は新規性の高い手法であり、様々な市場への広がりが期待できる。事業化に向け、人間ロボット協調型生産システムのモデルケースとして、第三者認証機関による安全認証の取得を推進することで、組立・加工・物流市場への広がりが期待でき、成果意義は大きい。
安全管理技術統合化	本プロジェクトで実施した合理的に予見可能な誤使用も含めたリスクアセスメントにより極めて信頼性・安全性の高い人間ロボット協調型生産システムの構築が可能となる。本リスクアセスメント手法をユーザに提供することで人間ロボット協調型生産システム導入への不安・懸念を払拭でき、市場拡大が期待できる点で成果意義は大きい。
移動配膳協調ロボット	自走機構に双腕ロボットアームを搭載したロボットにより、部品棚から必要部品をキット化し、作業者の組立作業台まで部品キットを配膳する自動化システムを世界で初めて実現した。以下の特徴により、各分野への導入、従来方式の置き換え需要が期待される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・人間による部品配膳よりも高い作業信頼性・生産コスト低減</li> <li>・従来のレール式走行軸ロボットよりもレイアウト自由度向上</li> <li>・無人搬送車には出来ない部品のロード・アンロードも兼務可能</li> </ul> また、ロボットによる物理的・情動的支援により、従来の人間のみでの生産作業よりも作業間違いを大幅に削減でき、作業品質が向上する。本ロボットは、組立・加工・物流・検査など様々な市場への導入が可能であり、市場への波及効果は極めて高く、成果意義は大きい。

表 18 各要素技術の開発成果の意義 (2/2)

要素技術	開発成果の意義
部品ピッキングハンドとビジョンシステム	<p>双腕ロボットアームとビジョンによるバラ積み取り出し機能により、高い動作自由度を実現し、部品棚などの周辺機器を極めて汎用的な設備とすることができる。人間によるデジタルピッキングで必要となる部品棚への点灯ランプ設置などが不要で、取扱部品品種の追加時の設備改修が不要である。これらの点で成果意義は大きい。</p>
知能化部品トレイ	<p>製品 RFID および作業管理 RFID の導入により、頻繁な機種切り替えの対応力に優れ、作業者の作業熟練度に応じた作業支援による高生産性、高信頼性の生産システムの構築が可能となった。作業初心者から熟練者まで幅広く活用可能な生産システムは、日本の製造業が抱える高賃金、熟練作業者の減少などの課題を解決する手法として期待され、成果意義は大きい。</p>
作業位置姿勢測定系	<p>汎用的な IP カメラによる作業者の作業間違い検出や居眠りなどの検出による安全管理が可能であり、高品質・高信頼性・低コストの生産システムの構築が可能となる。また、画像処理系をモジュール化した構成で再利用性に富む。これらの点で成果意義は大きい。</p>
心的負担測定系	<p>ロボットの協調作業時に作業者が被る精神的な影響の包括的な測定法、ならびに設計基準の構築は世界的にも新規性に富む研究成果と評価されている。</p> <p>今後、普及が見込まれるロボット・作業共存システムにおいて、ロボット利用の指針を示す研究成果であり、基準制定の基礎を作った。これは生産システムの妥当性を評価する上で有用な技術であり、成果意義は大きい。</p>
作業教示支援システム	<p>作業熟練者の十人十色の作業のやり方の中から、熟練者が重要視しかつ初心者が軽視する作業注目点のみを統計的な裏付けの下に抽出可能であり、かつ初心者への伝達に際し自然言語の形で作業工程毎に作業情報データベース上に表現できるため、人間の理解しやすい作業マニュアルの半自動生成を支援することが可能となった点で、その成果意義は大きい。</p>
作業情報支援システム	<p>水平作業台に組込んだ廉価な市販液晶パネルによりマルチモーダル（動画・静止画・音声・テキスト）データでの作業指示を行い、作業をしながら視線を大きく動かさずに理解可能とした作業情報提示手法は新規性が高い。</p> <p>作業者の技能レベルに合わせた情報提示により、作業間違いの発生率低下・製品の組立品質の改善が見込まれ、組立に限定することなくあらゆる用途への転用が可能である点で、成果意義は大きい。</p>

## 4 総括および結論

本プロジェクトでは、作業初心者でも高効率・高信頼性の生産が可能な新たな組立システムの確立を目標とし、人間と産業用知能ロボットが協調して組立作業を実施する「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」を提案し、以下の要素技術の開発および統合システムでの性能評価を実施した。

- ① 作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術
- ② 必要な時に必要な量の部品を整列して供給する作業支援技術
- ③ 作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

①の安全管理技術では、ロボット走行時安全対策、作業者協調時安全対策を開発し、性能評価実験や171項目の危険源に対するリスクアセスメントによって、その有効性を検証した。作業者協調時安全対策では、位置監視、速度監視、力監視の組合せによる多重系の機能安全により、人間が本質的に高速・高出力なロボットに触りながら実施する協調作業を実現した。

②の作業支援技術では、移動配膳協調ロボット、部品ピッキングハンドとビジョンシステム、知能化部品トレイを開発した。移動配膳協調ロボットにより、部品棚から必要部品をキット化し、作業者の組立作業台まで部品キットを配膳するシステムは、世界初の部品キット配膳の完全自動化システムである。組立作業では、ロボットが作業者と協調しながら、作業者に対して物理的、情動的支援を行うことで、従来の人間のみのセル生産組立方式よりも高効率、高信頼性の組立作業が可能となった。これらの作業支援では、RFIDを組み込んだ知能化部品トレイの導入により、多品種混流生産での頻繁な機種切り替えにも即時対応が可能である。

③の作業情報提示技術では、作業者位置姿勢測定、心的負荷測定、作業教示支援、作業情報支援を開発した。組立作業において、作業工程に応じた適切な作業情報が作業者に提示され、作業初心者でも効率よく間違いのない組立作業が可能となった。また、作業者位置姿勢測定や心的負荷測定により、作業者の誤作業や作業進行に伴う疲労度や精神的負担など、組立作業における作業状態を把握することができる。

上記要素技術を組み込んだ統合システムでの性能評価では、人間のみで実施する従来方式の生産システムと比較し、部品キット化・配膳にて1.7倍の生産性、組立作業にて最大2倍の生産性、1/3以下の機種切り替え時間、1/10以下の作業間違い率を実現し、開発目標を達成した。

以上の通り、本プロジェクトでは、作業初心者でも高効率・高信頼性の生産が可能な人間・ロボット協調型セル生産組立システムを実現した。

我が国の製造業では、作業者の高賃金化と少子高齢化による熟練作業者の減少により、今後より一層深刻な労働力不足が懸念される。製造業の十分な国際競争力の維持に貢献するため、今後は、本プロジェクトの開発成果を早期に市場へ浸透させるべく、開発成果の事業化を推進する。



# おわりに

冒頭に記した通り、本プロジェクトは、平成 18 年度から平成 22 年度の 5 カ年に渡り、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) より委託された「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト、人間・ロボット協調型セル生産組立システム (次世代産業用ロボット分野)、(先進工業国対応型セル生産組立システムの開発)」として実施されたものである。

実施にあたり、厚く支援頂いた新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、ならびにプロジェクトリーダー 平井成興 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター副所長、サブプロジェクトリーダー 水川真 芝浦工業大学教授をはじめとする推進委員に深く感謝する。

## 添付資料

### 研究発表・講演

プロジェクト開発成果について、表 19 に示す通り、学術誌、国内外の学会での論文発表など 58 件の外部発表を行い、積極的に開発成果の普及に努めている。

表 19 研究発表・講演状況(1/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2007/9/13	第25回 日本ロボット学会 学術講演会	Analysis of Skills in Assembly using a Motion Simulator	東京大学 段峰
2	2007/12/15	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2007)	Analyze Assembly Skills using a Motion Simulator	東京大学 段峰
3	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Assembly Information System for Operational Support in Cell Production	東京大学 タジエフリートウチュアン
4	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Multimedia based Assembly Supporting System for Cell Production	東京大学 段峰
5	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	A Study of Design Factors for Information Supporting System in Cell Production	東京大学 張治
6	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Evaluating Assembly Instruction Methods in Cell Production System by Physiological Parameters and Subjective Indices	東京大学 N. Pongthanya
7	2008/7/17	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Multi-modal Assembly-Support System for Cell Production	東京大学 段峰
8	2008/8/1	The IEEE Int. Conf. on Automation Science and Engineering (CASE 2008)	Analyzing Human Skill through Control Trajectories and Motion Capture Data	東京大学 段峰
9	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Task Decomposition of Cell Production Assembly Operation for Man-Machine Collaboration by HTA	東京大学 タジエフリートウチュアン
10	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Construct State-Action Map through Human Control Trajectories and Computation	東京大学 段峰
11	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Safety Strategy Design in Operation Control System for Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 タジエフリートウチュアン
12	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Image-based Operator Monitoring System	東京大学 段峰
13	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産における作業情報提示方法の検討	東京大学 張治
14	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける作業者の精神的負荷評価	東京大学 渡邊圭
15	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産システムにおける作業情報提示による精神的負荷の評価	東京大学 藤田真理奈
16	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Application of Task Analysis Strategy for Man-Machine Collaboration Modeling in Cell Production	東京大学 タジエフリートウチュアン
17	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Predict Worker's Intention through Template-based Gesture Recognition Method	東京大学 段峰
18	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける精神的負荷の生理的指標による評価	東京大学 渡邊圭

表 19 研究発表・講演状況(2/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
19	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Extending Task Analysis in HTA to Model Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリートリチュアン
20	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Using Motion Capture Data to Regenerate Operator's Motions in a Simulator at Real Time	東京大学 段峰
21	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Assembly information development in task modeling to support man-machine collaboration in cellproduction	東京大学 カンジェリートリチュアン
22	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発	東京大学 加藤龍
23	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Analisis of operator's skill level based on assembly task in cell production	東京大学 高洋
24	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおけるマルチメディア情報を用いた作業情報支援	東京大学 張冶
25	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける協調作業を行うロボットによる精神的負荷の評価	東京大学 渡邊圭
26	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおける作業情報の提示量が精神的負荷に及ぼす影響	東京大学 藤田真理奈
27	2009/4/7	東京大学 工学部 精密工学科 「精密の日」 学科紹介 講演会	協調ロボットと情報支援を用いた高効率セル生産組立システム	東京大学 新井民夫
28	2009/5/14	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2009)	Task Modeling Approach to Enhance Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリートリチュアン
29	2009/8/25	The IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2009)	Safety Design and Development of Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 カンジェリートリチュアン
30	2009/8/27	STC-Assembly, Life-cycle (59th CIRP General Assembly)	A cell assembly system using a two-arm mobile robot - introduction of robot projects in Japan	東京大学 新井民夫
31	2009/8/28	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Man-Machine Interface for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリートリチュアン
32	2009/9/1	Advanced Robotics	Operator Monitoring System for Cell Production	東京大学 段峰
33	2009/9/5	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Assessment of Mental Stress on Human Operators Induced by the Assembly Support in a Robot-Assisted "Cellular Manufacturing" Assembly System	東京大学 加藤龍
34	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	ロボット支援型セル生産組立システムでの作業支援から被る作業者の精神的負荷の評価	東京大学 加藤龍
35	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	組立作業者の認知戦略が情報支援の効果に与える影響	東京大学 藤田真理奈
36	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	セル生産システムにおける熟練技能の抽出方法の検討	東京大学 森亮介
37	2009/9/15	日本ロボット学会学術講演会	ロボット支援を伴うセル生産組立での作業支援が作業者に与える精神的負荷の生理評価	東京大学 加藤龍
38	2009/9/25	福祉工学シンポジウム	組立作業の情報支援が作業者の精神的負担に与える影響	東京大学 藤田真理奈
39	2009/9/29	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)	Human Factors Studies in Information Support Development for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリートリチュアン
40	2009/10/12	The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)	Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing: Design and Development	東京大学 カンジェリートリチュアン

表 19 研究発表・講演状況(3/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
41	2009/11/11	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	Evaluation of Mental Stress Induced by Human-Robot Collaboration in a Cell Production System	電気通信大学 加藤龍
42	2009/11/12	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	The effective information density of information support in cell production	東京大学 藤田真理奈
43	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	A New Cell Production Assembly System with Twin Manipulators on Mobile Base	東京大学 新井民夫
44	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	Operators' mental strain induced by information support for cell production	東京大学 藤田真理奈
45	2009/12/15	日本ロボット学会誌解説記事	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 森岡昌宏
46	2010/3/16	精密工学会第17回 学生会員卒業研究発表講演会	セル生産における熟練者の作業注目点を考慮した技能抽出手法の検討	東京大学 森亮介
47	2010/4/1	Advanced Robotics	Safety Strategy for Human-Robot Collaboration: Design and Development in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジェフリートウチュアン
48	2010/4	Advances in Robot Manipulators, InTech	Collaboration Planning by Task Analysis in Human-Robot Collaborative Manufacturing System	東京大学 タンジェフリートウチュアン
49	2010/6/13	ロボメック 2010	NEDOプロジェクト ポスター展示	ファナック(株)
50	2010/7/7	The IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2010)	Analytic Evaluation of Human-Robot System for Collaboration in Cellular Manufacturing System	東京大学 タンジェフリートウチュアン
51	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly	東京大学 新井民夫
52	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 榎原伸介
53	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Development of Advanced Cellular Manufacturing System with Human-Robot Collaboration - Assessment of Mental Strain on Human Operators Induced by the Assembly Support	電気通信大学 加藤龍
54	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Assessment of Operators' Mental Strain Induced by Hand-Over Motion of Industrial Robot Manipulator	東京大学 藤田真理奈
55	2010/9/15	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Information Support Development with Human-Centered Approach for Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジェフリートウチュアン
56	2010/9/27	精密工学会秋季学術講演会	Triple Stereo Vision System for Safety Monitoring in Human-Robot Collaboration	東京大学 タンジェフリートウチュアン
57	2010/9/28	精密工学会秋季学術講演会	人間・ロボット協調作業時に被るストレス計測—ロボット動作が作業者に与える精神的影響—	東京大学 藤田真理奈
58	2011	Operations Management Research and Cellular Manufacturing: Innovative Methods and Approaches	Multi-Modal Assembly-Support System for Cellular Manufacturing	東京大学 段峰

## 特許

本プロジェクトにおいて新たに発生した発明について、表 20 の特許出願状況に示すように、10 件(国内 8 件、外国 2 件)の特許出願を行い、権利化を推進している。

表 20 特許出願状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
作業分担機能を備えた生産システム (特願 2008-020425)	実作業を行う作業者と作業者の実作業の準備又は段取りを行うロボットが混在して配置された生産システム。
自走ロボット制御システム (特願 2008-187627)	自走ロボットと人間の位置関係によりロボット停止命令のための有線接続の切り替えを行うシステム。
自走式ロボットの位置および姿勢の補正方法(特願2009-005893)	自走ロボットの走行部とロボットアーム部の動作誤差を所定場所で補正する方法。
給電調整装置を備えたロボットシステム (特願 2009-011293)	自走ロボットと人間の位置関係により、ロボット制御装置の動作モードの切り替えを行うロボットシステム。
人間とロボットとの協調動作領域を有する生産システム(特願 2010-012494) (優先権：特願 2009-014672) (米国出願)12/694201 (ドイツ出願) 10 2010 005 708.8	人間とロボットが協調動作領域を有する際、ロボットに動作制限を設けることで安全を確保する生産システム。
部品キットを用いた生産システム (特願 2009-034142)	ロボット搭載の撮像手段を用いて部品キットの内容物を検査する生産システム。
シミュレーション方法 (特願 2009-059678)	人間とロボットの協調作業を最適化するシミュレーション方法。
人間協調ロボットシステム (特願 2010-182314)	部分的領域分割と力センサでの発生力制限により安全を確保する人間協調ロボット。

## 参考文献リスト

- [1] S. Seki: “One by One Production in the ‘Digital Yatai’ —Practical Use of 3D-CAD Data in the Fabrication”, J. Japan Soc. Mechanical Engineering, vol.106, no.1013, pp. 32-36, 2003.
- [2] ISO10218-1: 2006, “Robots for industrial environments –Safety requirements- Part 1:Robot”
- [3] BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive - Design of workplaces with collaborative robots. U 001/2009e October 2009 edition
- [4] ISO/TR14121-2: 2007, “Safety of machinery –Risk assessment- Part 2: Practical guidance and examples of methods”
- [5] ISO13849-1: 2006, “Safety of machinery –Safety-related parts of control systems- Part 1: General principles for design”
- [6] ISO13854: 1996, “Safety of machinery –Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body”

戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト  
 人間・ロボット協調型セル生産組立システム（次世代産業用ロボット分野）  
 （先進工業国対応型セル生産組立システムの開発） 【ファナック株式会社】

添付資料 1 (出願特許)

表 1 特許出願状況

項目	出願日	出願番号	出願に係る特許等の表題	出願人
1	2008/1/31	特願2008-20425	作業分担機能を備えた生産システム	ファナック(株)
2	2008/7/18	特願2008-187627	自走ロボット制御システム	ファナック(株)
3	2009/1/14	特願2009-005893	自走式ロボットの位置および姿勢の補正方法	ファナック(株)
4	2009/1/21	特願2009-011293	給電調整装置を備えたロボットシステム	ファナック(株)
5	2010/1/22	特願2010-012494 (優先権:特願2009-014672)	人間とロボットとの協調動作領域を有する 生産システム	ファナック(株)
6	2010/1/26	12/694201 (米)	Production system having cooperating process area between human and robot	ファナック(株)
7	2010/1/26	10 2010 005 708.8 (独)		
8	2009/2/7	特願2009-034142	部品キットを用いた生産システム	ファナック(株)
9	2009/3/12	特願2009-059678	シミュレーション方法	ファナック(株)
10	2010/8/17	特願2010-0182314	人間協調ロボットシステム	ファナック(株)

戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト  
 人間・ロボット協調型セル生産組立システム（次世代産業用ロボット分野）  
 （先進工業国対応型セル生産組立システムの開発） 【ファナック株式会社】

添付資料 2 (学会発表、論文、展示会、プレス発表等)

表 2 研究発表・講演状況(1/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2007/9/13	第25回 日本ロボット学会 学術講演会	Analysis of Skills in Assembly using a Motion Simulator	東京大学 段峰
2	2007/12/15	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2007)	Analyze Assembly Skills using a Motion Simulator	東京大学 段峰
3	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Assembly Information System for Operational Support in Cell Production	東京大学 タンジェフリートウチュアン
4	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Multimedia based Assembly Supporting System for Cell Production	東京大学 段峰
5	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	A Study of Design Factors for Information Supporting System in Cell Production	東京大学 張治
6	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Evaluating Assembly Instruction Methods in Cell Production System by Physiological Parameters and Subjective Indices	東京大学 N. Pongthanya
7	2008/7/17	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Multi-modal Assembly-Support System for Cell Production	東京大学 段峰
8	2008/8/1	The IEEE Int. Conf. on Automation Science and Engineering (CASE 2008)	Analyzing Human Skill through Control Trajectories and Motion Capture Data	東京大学 段峰
9	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Task Decomposition of Cell Production Assembly Operation for Man-Machine Collaboration by HTA	東京大学 タンジェフリートウチュアン
10	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Construct State-Action Map through Human Control Trajectories and Computation	東京大学 段峰
11	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Safety Strategy Design in Operation Control System for Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 タンジェフリートウチュアン
12	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Image-based Operator Monitoring System	東京大学 段峰
13	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産における作業情報提示方法の検討	東京大学 張治
14	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける作業者の精神的負荷評価	東京大学 渡邊圭
15	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産システムにおける作業情報提示による精神的負荷の評価	東京大学 藤田真理奈
16	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Application of Task Analysis Strategy for Man-Machine Collaboration Modeling in Cell Production	東京大学 タンジェフリートウチュアン
17	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Predict Worker's Intention through Template-based Gesture Recognition Method	東京大学 段峰
18	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける精神的負荷の生理的指標による評価	東京大学 渡邊圭



表 2 研究発表・講演状況(2/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
19	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Extending Task Analysis in HTA to Model Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリートリチュアン
20	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Using Motion Capture Data to Regenerate Operator's Motions in a Simulator at Real Time	東京大学 段峰
21	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Assembly information development in task modeling to support man-machine collaboration in cellproduction	東京大学 カンジェリートリチュアン
22	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発	東京大学 加藤龍
23	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Analisis of operator's skill level based on assembly task in cell production	東京大学 高洋
24	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおけるマルチメディア情報を用いた作業情報支援	東京大学 張治
25	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける協調作業を行うロボットによる精神的負荷の評価	東京大学 渡邊圭
26	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおける作業情報の提示量が精神的負荷に及ぼす影響	東京大学 藤田真理奈
27	2009/4/7	東京大学 工学部 精密工学科 「精密の日」学科紹介 講演会	協調ロボットと情報支援を用いた高効率セル生産組立システム	東京大学 新井民夫
28	2009/5/14	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2009)	Task Modeling Approach to Enhance Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリートリチュアン
29	2009/8/25	The IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2009)	Safety Design and Development of Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 カンジェリートリチュアン
30	2009/8/27	STC-Assembly, Life-cycle (59th CIRP General Assembly)	A cell assembly system using a two-arm mobile robot - introduction of robot projects in Japan	東京大学 新井民夫
31	2009/8/28	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Man-Machine Interface for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリートリチュアン
32	2009/9/1	Advanced Robotics	Operator Monitoring System for Cell Production	東京大学 段峰
33	2009/9/5	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Assessment of Mental Stress on Human Operators Induced by the Assembly Support in a Robot-Assisted "Cellular Manufacturing" Assembly System	東京大学 加藤龍
34	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	ロボット支援型セル生産組立システムでの作業支援から被る作業者の精神的負荷の評価	東京大学 加藤龍
35	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	組立作業者の認知戦略が情報支援の効果に与える影響	東京大学 藤田真理奈
36	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	セル生産システムにおける熟練技能の抽出方法の検討	東京大学 森亮介
37	2009/9/15	日本ロボット学会学術講演会	ロボット支援を伴うセル生産組立での作業支援が作業者に与える精神的負荷の生理評価	東京大学 加藤龍
38	2009/9/25	福祉工学シンポジウム	組立作業の情報支援が作業者の精神的負担に与える影響	東京大学 藤田真理奈
39	2009/9/29	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)	Human Factors Studies in Information Support Development for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリートリチュアン
40	2009/10/12	The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)	Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing: Design and Development	東京大学 カンジェリートリチュアン

表 2 研究発表・講演状況(3/3)

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
41	2009/11/11	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	Evaluation of Mental Stress Induced by Human-Robot Collaboration in a Cell Production System	電気通信大学 加藤龍
42	2009/11/12	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	The effective information density of information support in cell production	東京大学 藤田真理奈
43	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	A New Cell Production Assembly System with Twin Manipulators on Mobile Base	東京大学 新井氏夫
44	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	Operators' mental strain induced by information support for cell production	東京大学 藤田真理奈
45	2009/12/15	日本ロボット学会誌解説記事	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 森岡昌宏
46	2010/3/16	精密工学会第17回 学生会員卒業研究発表講演会	セル生産における熟練者の作業注目点を考慮した技能抽出手法の検討	東京大学 森亮介
47	2010/4/1	Advanced Robotics	Safety Strategy for Human-Robot Collaboration: Design and Development in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジェフリートウチュアン
48	2010/4	Advances in Robot Manipulators, InTech	Collaboration Planning by Task Analysis in Human-Robot Collaborative Manufacturing System	東京大学 タンジェフリートウチュアン
49	2010/6/13	ロボメック 2010	NEDOプロジェクト ポスター展示	ファナック(株)
50	2010/7/7	The IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2010)	Analytic Evaluation of Human-Robot System for Collaboration in Cellular Manufacturing System	東京大学 タンジェフリートウチュアン
51	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly	東京大学 新井氏夫
52	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 榊原伸介
53	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Development of Advanced Cellular Manufacturing System with Human-Robot Collaboration - Assessment of Mental Strain on Human Operators Induced by the Assembly Support	電気通信大学 加藤龍
54	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Assessment of Operators' Mental Strain Induced by Hand-Over Motion of Industrial Robot Manipulator	東京大学 藤田真理奈
55	2010/9/15	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Information Support Development with Human-Centered Approach for Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジェフリートウチュアン
56	2010/9/27	精密工学会秋季学術講演会	Triple Stereo Vision System for Safety Monitoring in Human-Robot Collaboration	東京大学 タンジェフリートウチュアン
57	2010/9/28	精密工学会秋季学術講演会	人間・ロボット協調作業時に被るストレス計測—ロボット動作が作業者に与える精神的影響—	東京大学 藤田真理奈
58	2011	Operations Management Research and Cellular Manufacturing: Innovative Methods and Approaches	Multi-Modal Assembly-Support System for Cellular Manufacturing	東京大学 段峰

## 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・技術振興センター、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。

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

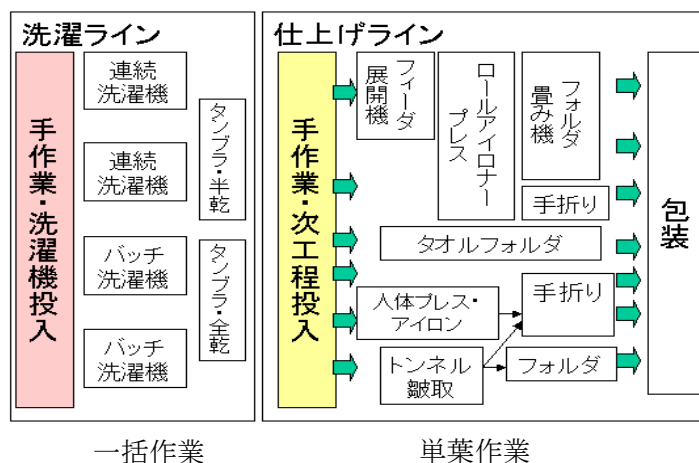


図 2.1-1 業務用洗濯ライン



図 2.1-2 仕上げラインへの洗濯物投入

## 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、第1フェーズ（平成18-20年度）の定型ライン投入システムと、第2フェーズ（平成21-22年度）の定型ライン投入システムのプロトタイプ機および混流洗濯物分類システムである。

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ための基本技術を開発、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。

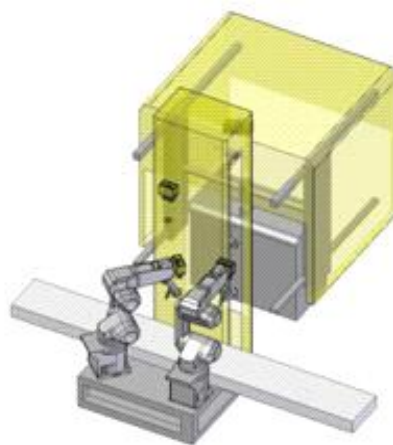


図 2.1-3 定型ライン投入システム

## 1)-3 開発成果の概要

第1フェーズ（平成18-20年度）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（全体）

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（香川大学、香川県産業技術センター）

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（プレックス、宝田電産）

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（全体）

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。（全体）

また、第2フェーズ（平成21-22年度）の定型ライン投入システムのプロトタイプ機

および混流洗濯物分類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5] 視覚センサおよび洗濯物分類アルゴリズムの開発（香川大学、プレックス、香川県産業技術センター）

実用化の為に視覚センサの高輝度化、洗濯物のマーク認識技術、力センサを組み合わせた洗濯物分類技術を開発した。

[項目6] 整形把持ハンド及びハンドリング操作方法開発（プレックス、宝田電産）

第1フェーズでのハンドで開発した柔軟物の辺把持ハンドをベースに、(a)2つのコーナを把持して姿勢を整えるたぐり機構、およびその操作アルゴリズムを開発した。

そして、第1フェーズの開発成果に、さらに項目5、項目6で開発するセンサやハンドを組み込んで、定型物分類投入システムプロトタイプ機と、洗濯前投入分類システムを開発し、性能確認を行った。最終的に定型物分類投入システムプロトタイプ機においては、目標値である投入速度800枚/時間、分類成功率97%に対し、速度400枚/時間、分類成功率98%を実現した。また、洗濯前投入分類システムでは、目標値である分類速度2000枚、目標分類成功率80%に対し、速度800枚/時間、分類成功率90%を実現した。（全体）

以下、開発内容を説明する。

## 2) 成果詳細

[第1フェーズ(平成18-20年度)における成果]

### 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、布ハンドリングの要点は、(c)のように布の1辺の両方のコーナを把持し、広げて持つことで、こうすれば布の位置制御が可能になること、このためには、作業工程が(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1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

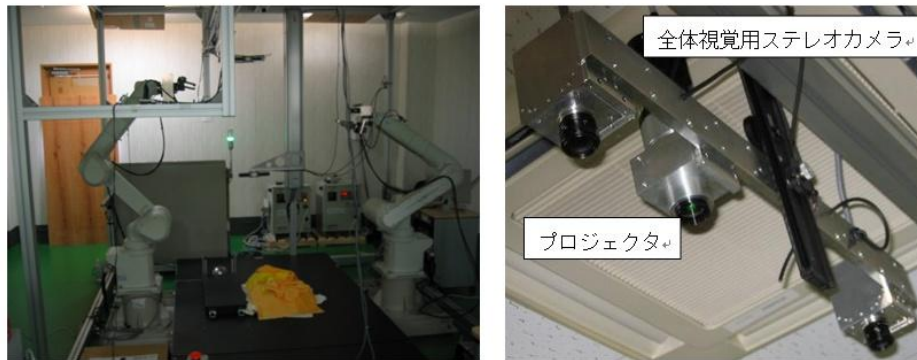


図 2.1-5 全体視覚センサとロボットが協調した最上位布取り出し

(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)布の一边を認識し、辺として把持すること、が分かった。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。

ここでは、布のマニピュレーション技術として、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)布の一边把持について、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、専用の・高コストになる。

自由端把持	姿勢補正 自由コーナ把持(1)	姿勢補正 自由コーナ把持(2)	強制コーナ把持

図 2.1-6 第1コーナ把持

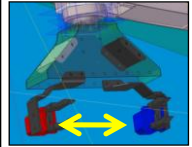
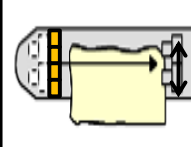
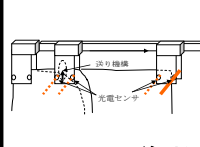
たぐり	補正たぐり	強制たぐり
		
(指先形状)	(センサ+補正)	(センサ+送り)

図 2.1-7 布の一边

## ② 布一边の把持

布のコーナの確実な把持後、平行度を確保しながら、一边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行って、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。

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)-2 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)-3 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。

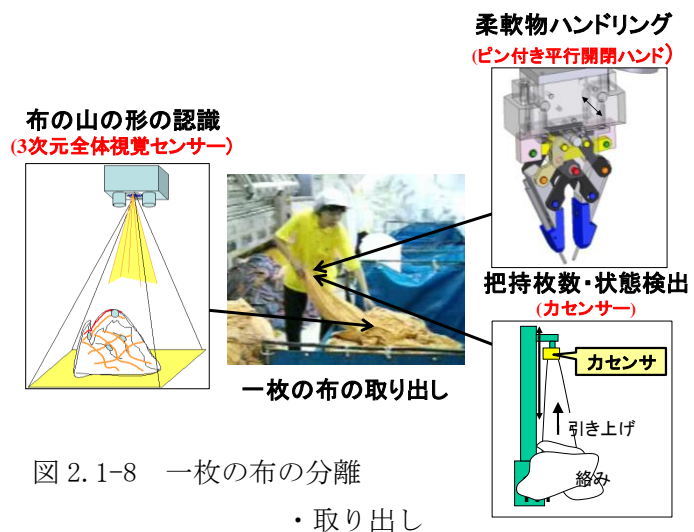


図 2.1-8 一枚の布の分離

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)-4 に述べる。

### (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。

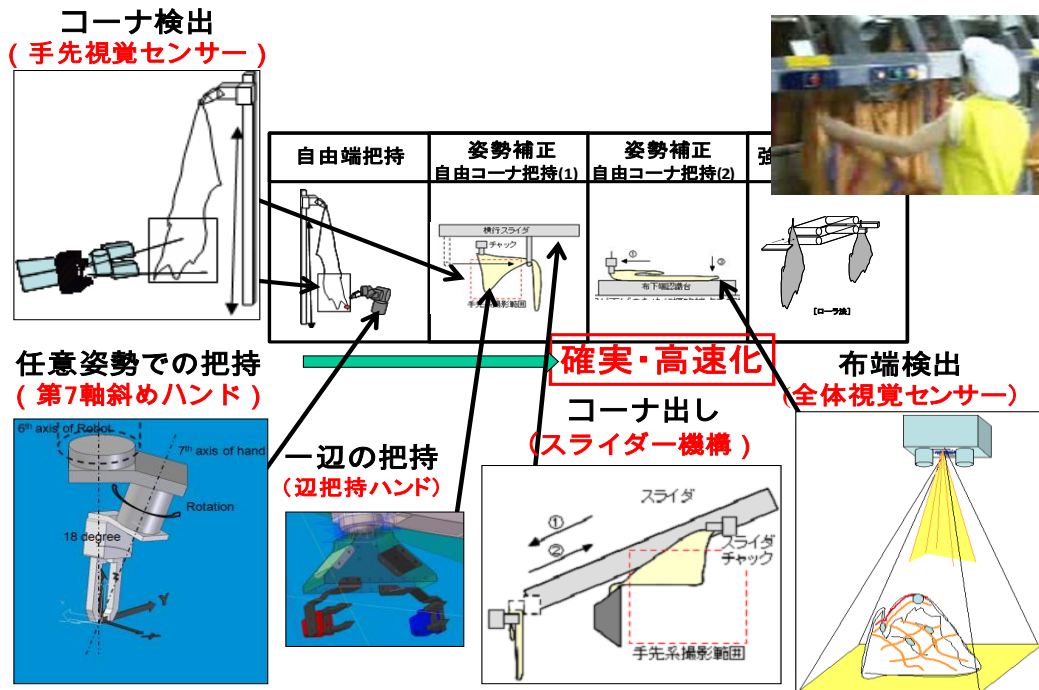


図 2.1-9 第 1 コーナの把持

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)-3 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、第 1 フェーズでは、部分的たぐりを行う 2 フィンガーのハンドを開発した。そして、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、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、図 2.1-10 で分類された強制たぐり方式についても第 2 フェーズでより詳しく検討を加えていく事とした。



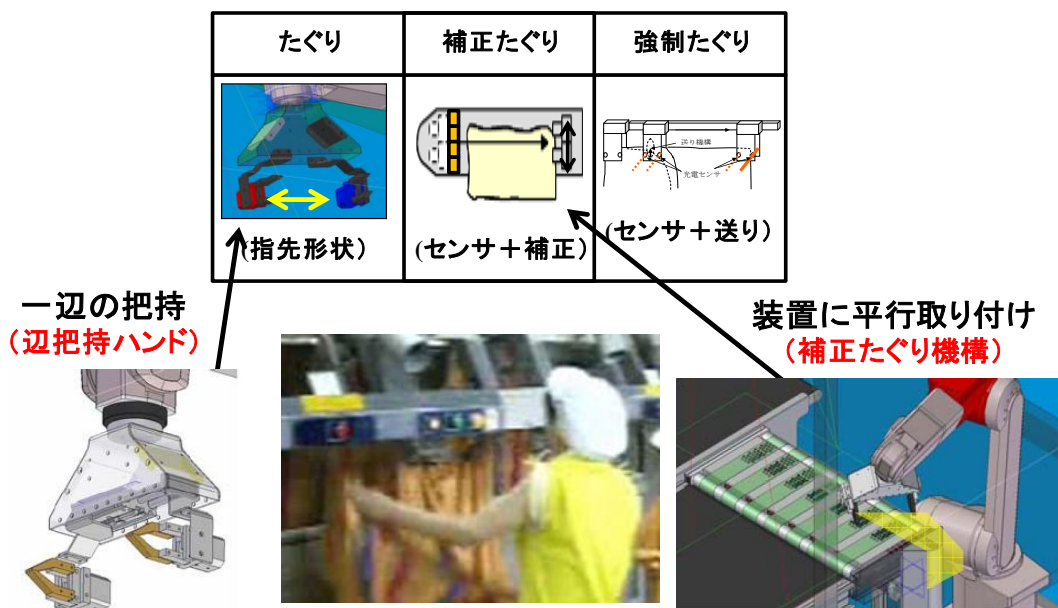


図 2.1-10 一辺の把持

## 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。

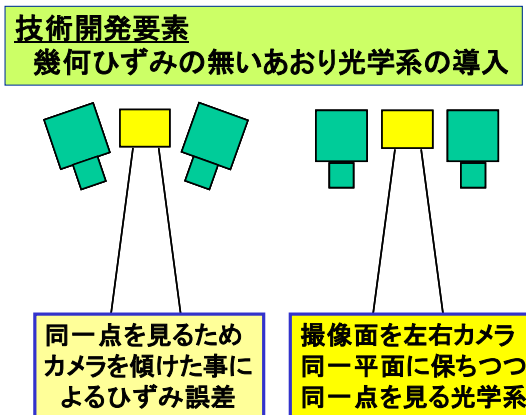


図 2.1-11 あおり光学系

また、ステレオ対応を取るための投影パターンとしては、図 2.1.12 の調密な格子パターン

ンに、素位置決め用のドットを配置した。投影パターンの光源には図 2.1-13 に示す高輝度 LED を採用、作業者が普通に作業できる照明環境下での、安定な投影パターン検出を可能にしている。簡便に使用できるように、LED の点灯回路も一体化し、パソコンなどに接続するのみで簡単に使用できるセンサとして纏めた。

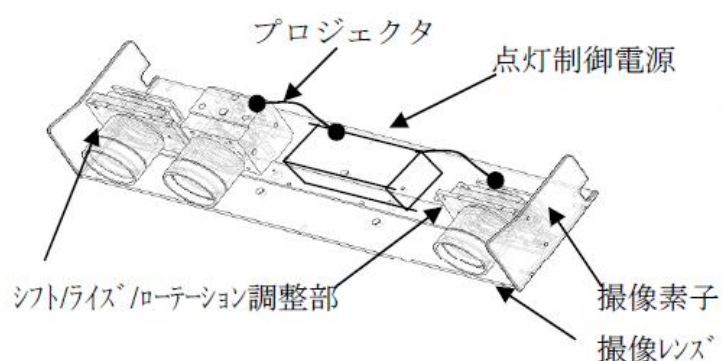


図 2.1-13 高輝度 LED によるパターン投影

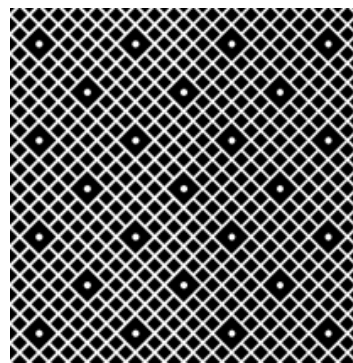


図 2.1-12 投影パターン



## (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。図 2.1-14 にパターン光を当てて撮像した画像を示す。この画像から図 2.1-15 に示すように、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。

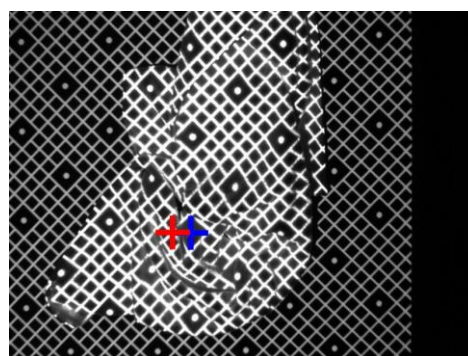


図 2.1-14 全体視覚の画像

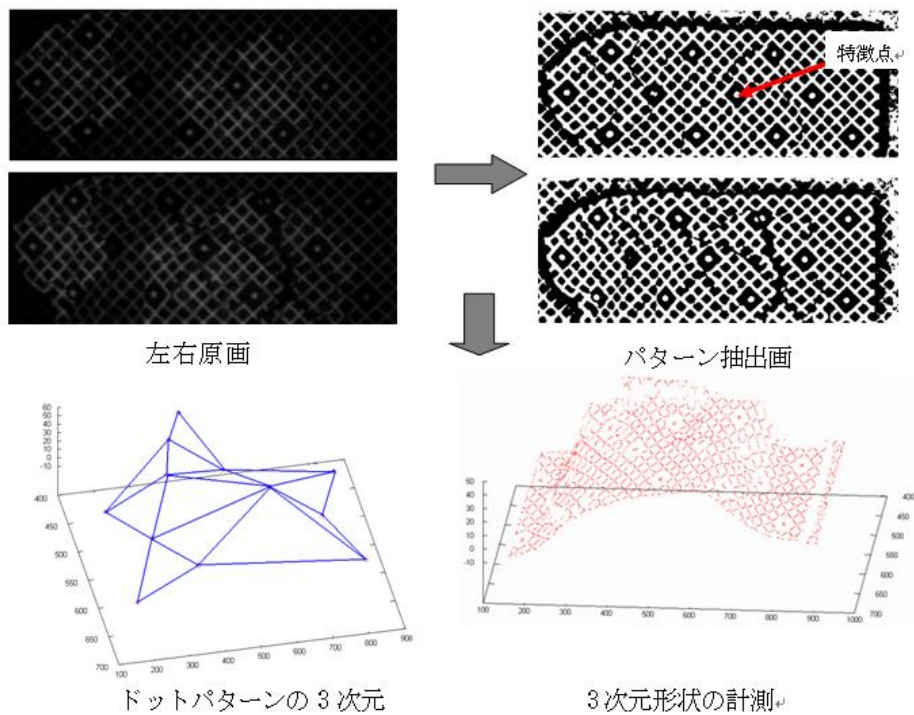


図 2.1-15 全体視覚アルゴリズム

[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、図 2.1-16 のように、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、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。

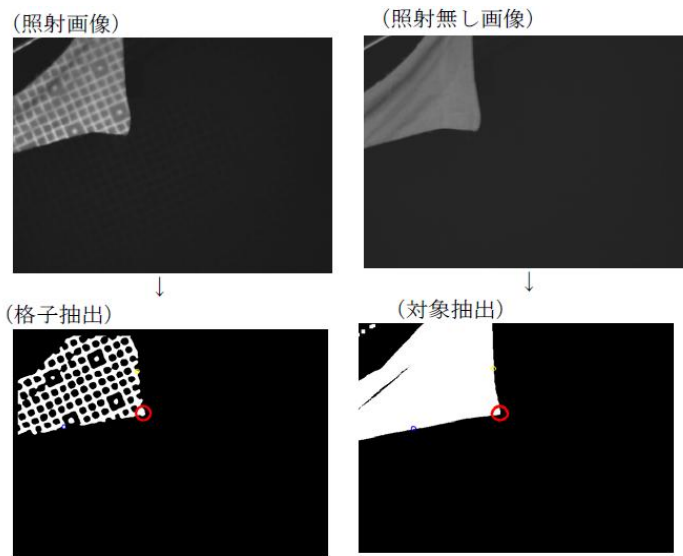


図 2.1-16 手先視覚アルゴリズム

### 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。

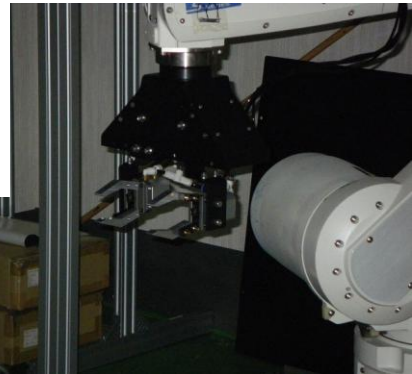
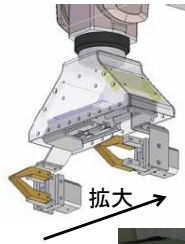
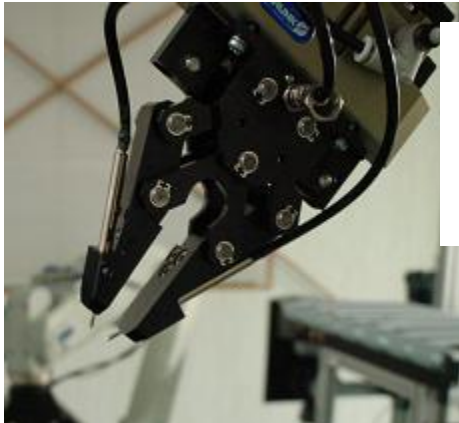


図 2.1-17 ピン付きフィンガーハンド

図 2.1-18 たぐり機能付加辺保持ハンド

#### (1) ピン付き平行リンクフィンガーハンド

布の把持ミスをなくすため、図 2.1-17 のように、フィンガー先端にピンの伸縮機構を付加、つまみ操作による確実な布把持を可能にした。本方式では、ピンを出して布を寄せてつまみ、そのあとピンを格納することで、布の離れを良くする。平行リンクフィンガー機構の採用は、布との干渉領域の少ない動作を可能にした。

#### (2) たぐり機能付加辺把持ハンド

布ハンドリングのためには、コーナ、辺の確実な把持と、状態の保持が必要である。たぐりによる辺の抽出と、状態保持を行う平行グリップを持つ辺把持ハンドを開発した。動作原理と外観を、図 2.1-18 に示す。ここでは、2本の指の一方で布のコーナを把持し、もう一方を、布の辺の折り目に合わせて、機械的に滑らせていくことで、たぐり動作を実現している。

### 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。第2フェーズで開発する、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、第1フェーズの期間中に先行開発した、ハンドの力制御技術、布の表裏や種別判定技術について、以下に開発成果を述べる。

#### (1) 布ハンドリングのための力センサ技術

図 2.1-19 に示す実験装置のように、ハンドに力センサを付加、上昇中に布の把持枚数の判定や絡みなどによる異常引き上げ力検出する基礎的確認を行った。この装置では、布を昇降するためのモータの制御を行っているコントローラが、力センサの計測も行っており、モータの加速、減速などのモードも把握した判断が行える。



図 2.1-19 力センサ実験

力計測の結果は図 2.1-20 の通りである。黒線は引き上げ高さを表す。最初の山状の力センサ出力は加速期間中、谷状の区間は定速運転中である。この結果から、あらかじめ布の重さが分かっていたら、枚数確認は十分可能であることが分かった。また、布を破ってしまうような重大な絡みの検出も可能であることが分かった。引き上げ途中に布が絡まって、2枚引き上げた場合の絡み次期も、検出が可能である。

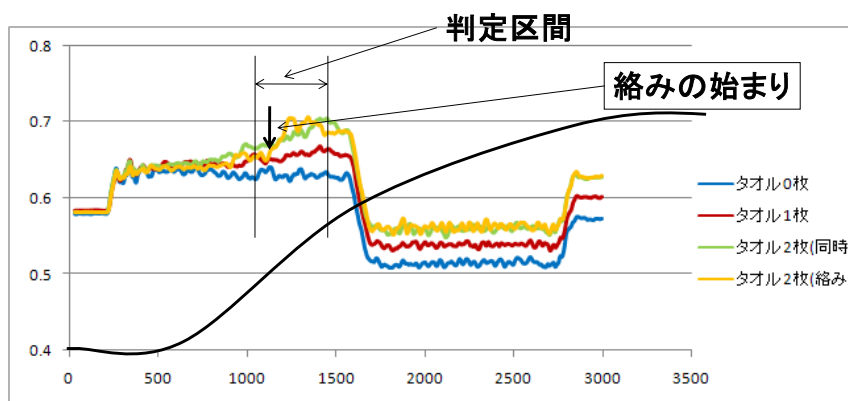


図 2.1-20 カセンサによる把持枚数と絡みの検出

## (2) 布の種別・表裏判定技術の開発

バスタオルでは、ユーザーがホテル名やマークを、布に凹凸を織り込んで付加していることが多い。この場合、仕上げ時のタオルを折りたたむときに、タオル表面のマークが上に来るようにしなければならない。このため、第 1 フェーズでは、タオル

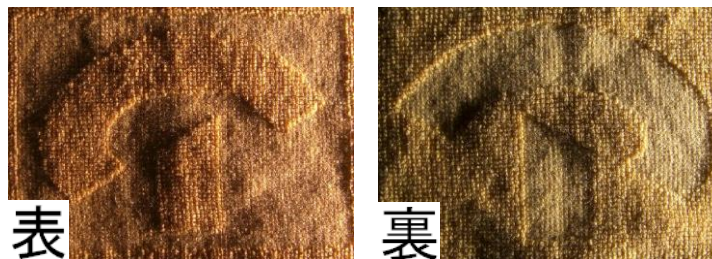


図 2.1-21 影付けによりマークを浮き上がらせた例

に付けられたホテル名やマークを、タオルの凹凸による影付けで浮きだたせる方法を開発した。斜方から照明を照射、陰のある像を得て、マークを明確に撮像する。図 2.1-21 のように、表裏で陰の付き方が全く異なる像が得られている。

マークの表裏・種別の判定には、テンプレート画像で規定範囲内を走査、正規化相関値が最大となる点での相関値により判定する方法を検討した。しかし、相関値そのものでは十分な分離度が得られていない。これは、図 2.1-21 に見られる、布特有の画面全体に現れる布の折り目によるテクスチャのためである。このため、マーク認識方法については、第 2 フェーズでの主要の開発課題となった。

## 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、第1フェーズでの総合性かとして、図 2.1-22 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 2.1-23 に示す。また、このラインの運転方法として、図 2.1-24 の6ステップからなる動作を実現した

構成図、および運転ステップで、(工程1)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、(工程2-1) 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、(工程2-2) 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。(工程3)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。(工程4) 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、(工程5) 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。

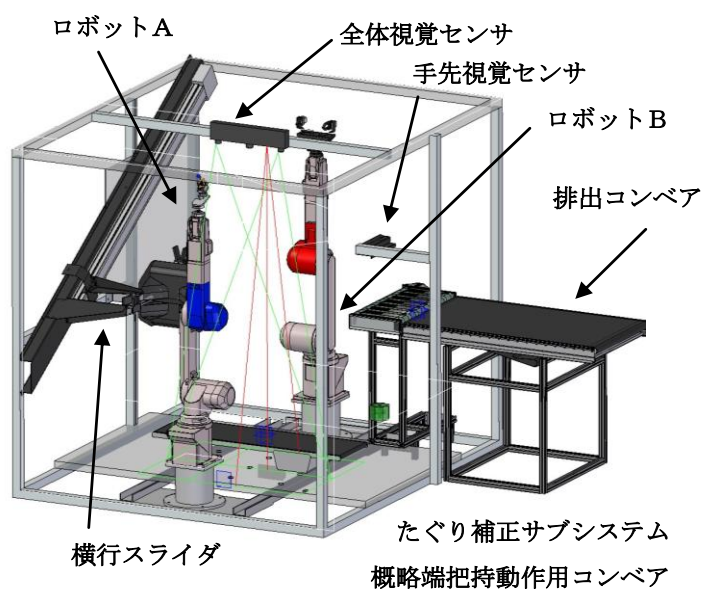


図 2.1-22 定型ライン投入システムの構成



図 2.1-23 定型ライン投入システムの外観

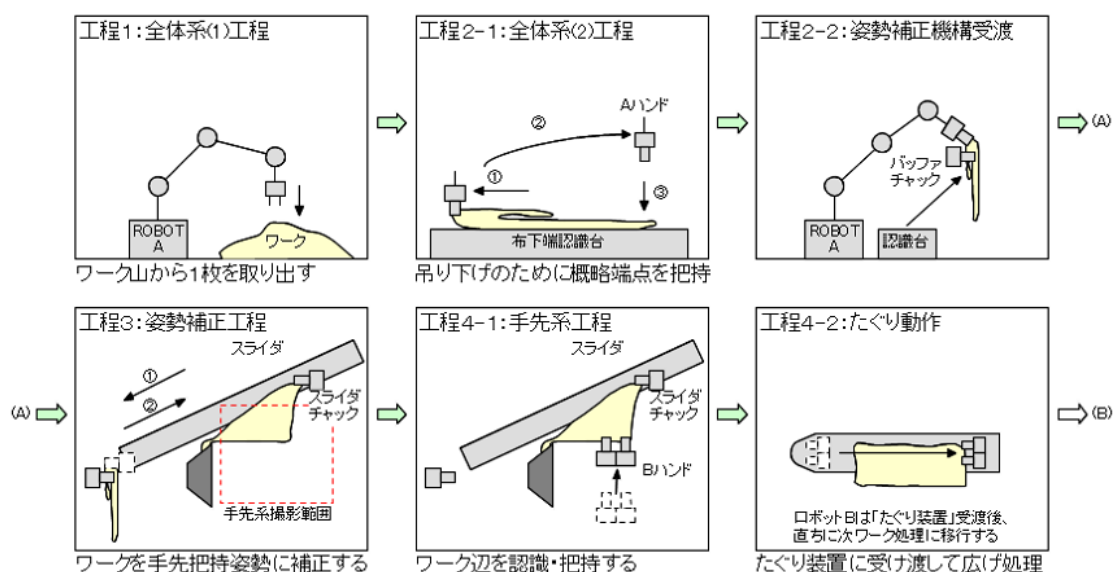


図 2.1-24 定型ライン投入システムの運転方法

## (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 3 月末時点で総合投入成功率 75% (千枚あたり) を得、第 2 フェーズで目標成功率 90%以上を得られる見通しを得た。なお、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)の工程 1 での 1 枚の布の取り出し、(b)の工程 2-1 の概略端点取りだし、(c-1)の工程 3 のコーナ提示、および(c-2)工程 4-1 でのコーナ把持、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%

第 1 フェーズでのピックアップから排出までの各工程のタクトは最速時で 10 秒であるが、タクトを規定しているロボット B 側の後半工程では、調整により 8 秒/枚を実現できる見通しを得ている。以上を総合し、前半部のタクトを含めて改良することで、目標の実用化可能な成功率 90%、タクトタイム 8 秒をトータルで実現する見込みを得た。

## [第2フェーズ(平成21-22年度)における成果]

第 1 フェーズ開発に続いて平成 21 年度から実施した第 2 フェーズの開発では、第 1 フェーズの成果をベースに、定型ライン投入システムのプロトタイプ機の開発と、混流洗濯物分類システムの開発を行った。大きく下記の 3 項目からなる。

- ・ 視覚センサおよび洗濯物分類アルゴリズムの開発
- ・ 整形把持ハンド及びハンドリング操作方法の開発
- ・ 投入ロボットシステムの開発

## 2)-6 視覚センサおよび洗濯物分類アルゴリズムの開発

第1フェーズのセンサ開発では、詳細視覚センサ、全体視覚センサ、およびその画像処理アルゴリズムを開発し、定型物分類投入システムへ応用した。また、力センサ技術の基礎開発を行った。

第2フェーズの開発では、実用化の為の視覚センサの高輝度化、洗濯物のマーク認識技術、力センサを組み合わせた洗濯物分類技術を開発、定型ライン投入システムに組み込んだ。以下、開発の内容を示す。

### (1) 視覚センサの高輝度化

第1フェーズでパターンプロジェクタを装着、遠近収差を解消するあおり光学系を用いた相対ステレオ視覚センサを開発した。第2フェーズでは、さらに高輝度化を進め、視覚センサを室内照明下で使用出来るようにする事を目標として、新たに図 2.1-25 の高輝度 LED を採用、効率的な配置を行う事で、工場での室内照明としては明るい、300 ルックスで使用可能な視覚センサを開発した。

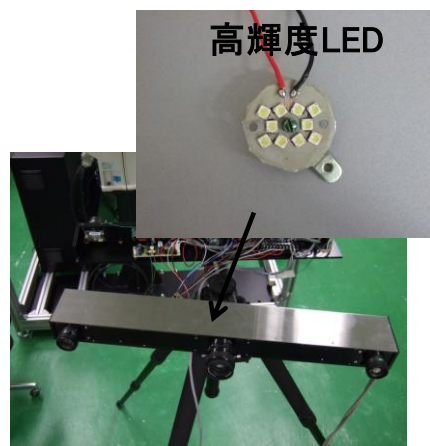


図 2.1-25 高輝度視覚センサ

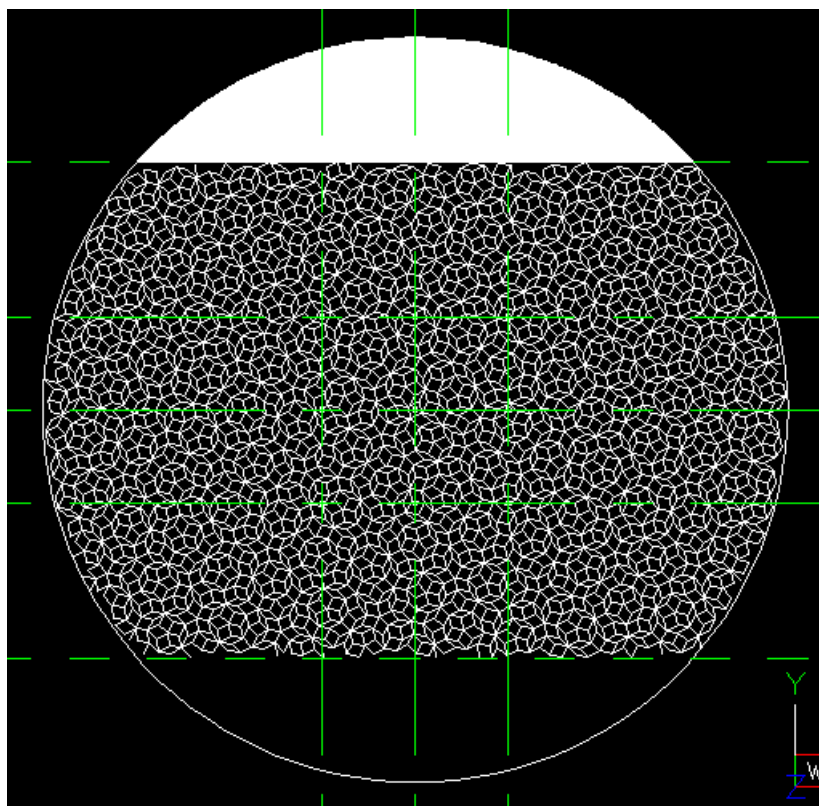


図 2.1-25a 非周期性をもつペンローズタイルング投影用パターン



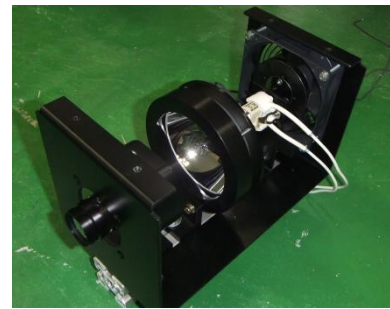
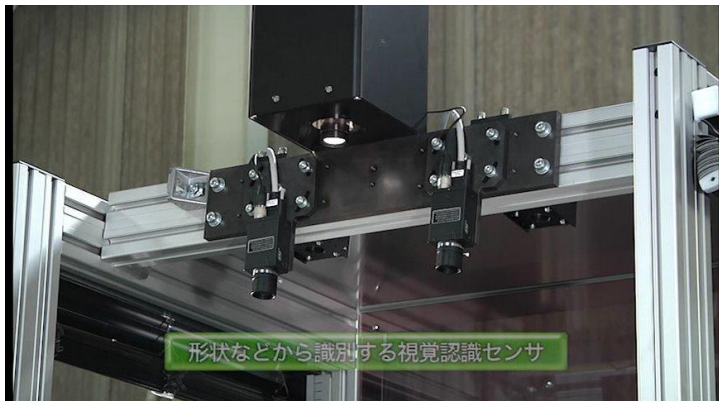


図 2.1-25b パターン投影装置

さらに分類投入システムで高速移動する洗濯物の形状をステレオ計測するための新しい投光装置を開発した。ここでは、洗濯物の長さや体積を計測して総合判定するとき、新しく微細非周期パターン（図 2.1-25a）を対象物に投光する装置を試作し（例：図 2.1-25b）パターン投影装置、高速にステレオ撮像し解析した。このパターンを投影することで通常環境のなかで、表面が滑らかな形状であっても、ワークの表面にユニークさがある程度保証されたパターンを投影してステレオ計測する。パターンマスクは微細レベルを換えて最適な緻密さの選定可能にした。さらに光源として多様な光源をテストして、要素技術として多様な設置環境や撮影速度などの要求に応じられるようになった。

計測したいポイントの基準画像周辺の領域を切り出してテンプレート化して参照画像との視差を計測し高さを測る。実際の計測では一定の条件下で高速計測における有効性が確認された。

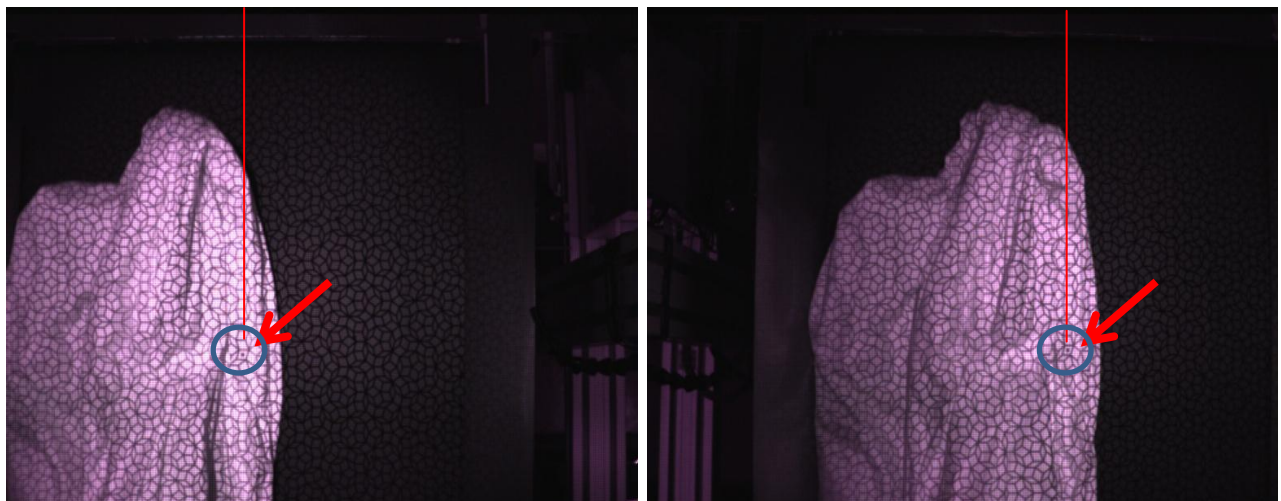


図 2.1-25c サンプル画像

高速移動 CV 上でもステレオ計測可能にすべく滑らかな表面にユニークな特徴付けができています。

(2) 洗濯物のマーク認識技術

第1フェーズでは、布に織り込まれたマークを斜方照明により浮き上がらせ（図 2.1-21）、相関マッチングにより表裏・種別認識するシステムを開発したが、細かい凹凸のテクスチャが画像全体に分布するため、認識アルゴリズムの検討が課題であった。

第2フェーズでは、ロバストでテクスチャ雑音に強い認識アルゴリズムの開発に向けて開発を行った。定型物分類投入システムプロトタイプ機のカテゴリ対象は、図 2.1-26 に示す様なバスタオル、フェースタオルである。



図 2.1-26 定型洗濯物

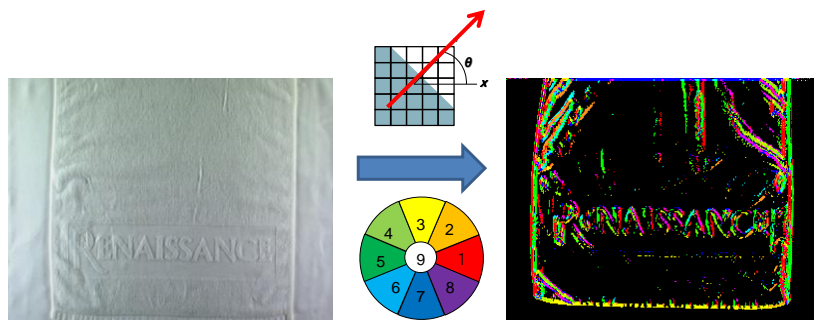


図 2.1-27 5x5 画素ウィンドウの明るさ方向のコード化

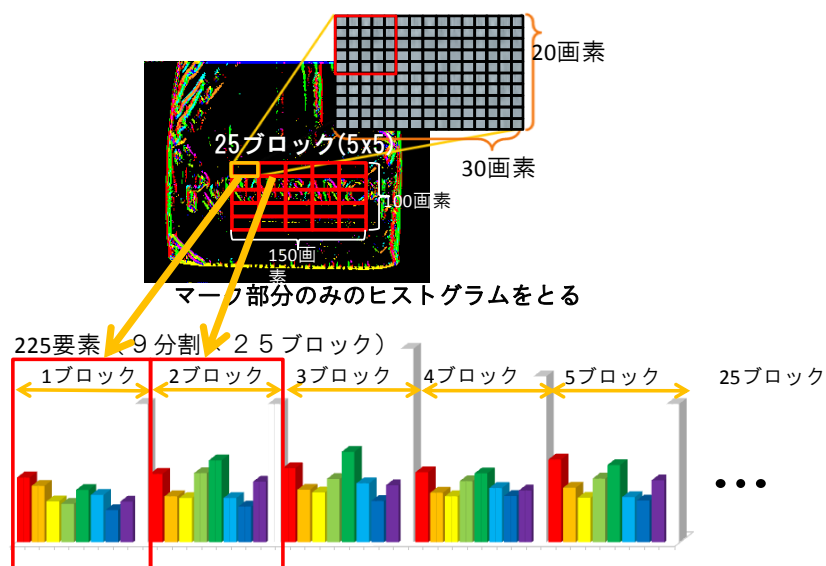


図 2.1-28 HOG 特徴

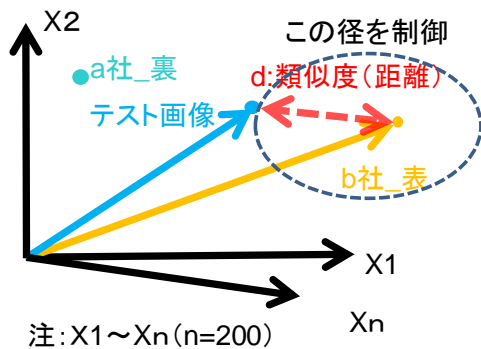


図 2.1-29 ベクトル空間距離による認識

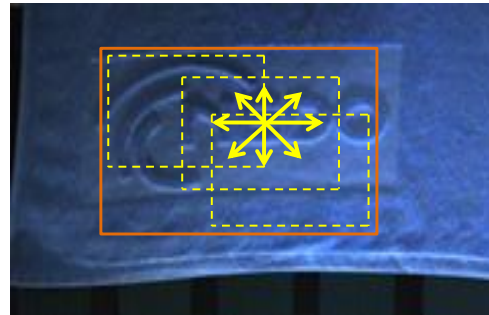


図 2.1-30 認識ウィンドウの摂動

ロバストでテクスチャ雑音に強い特徴パラメタとして、明るさ変化方向を用いることにした。まずタオル画像の各画素を  $2 \times 2$  のウィンドウで平均化して微小テクスチャを軽減、 $1/2$  画像に圧縮した。マーク部に  $150 \times 100$  画素のマーク検出ウィンドウをおき、その中の各画素について、図 2.1-27 のように  $5 \times 5$  画素の方向コード検出フィルタを走査、1-8 の明るさ方向コードを割り振った。このとき、規定の明るさ変化が無い場合には、コード 9 とした。図に示すようにマークの輪郭部に方向コードが付いた。

次に、図 2.1-28 の様に、マーク検出ウィンドウの中を  $5 \times 5$  のブロックに分け、各ブロックで、1-9 の方向コード別にそのコード値を持つ画素数の出現数をヒストグラム化した。これを 25 ブロック分並べて、特徴ベクトルとした。この特徴ベクトルを、HOG(Histogram of Gradient)特徴ベクトルとよぶ。

マークの認識には、図 2.1-29 のように HOG 特徴ベクトル空間でのベクトル間距離を用いた。あらかじめ 5-6 枚の同一マークの画像を撮って、HOG 特徴ベクトルを計算、その値を平均化して、マーク毎の標準 HOG 特徴ベクトルを作成しておく。読み取り画像が入力されたとき、その HOG 特徴ベクトルを求め、標準 HOG 特徴ベクトルとの特徴空間での距離を計算、規定の範囲内にあるかどうかでマーク認識した。

なお、マーク検出ウィンドウの画面内での位置は、まず画像内にあるタオルコーナ部を検出、そこからの相対位置で設定したが、多少のマーク位置のばらつきがあった。そこで、図 2.1-30 に示す様に、やや大きめの枠を取り、その中でマーク検出ウィンドウを前後左右に摂動させてベクトル間距離を計算、その最小値が規定値より小さいかどうかでマーク認識した。

10 種の教示パターンに対し、50 枚の画像について、実験室環境下で 100%のマーク・表裏認識を実現した。これをベースに実機用のマーク認識システムを開発、搭載した。

### (3) 洗濯物分類アルゴリズム

混流洗濯物分類システムでは、図 2.1-31 に示す病院標準アイテムについて、洗濯ラインに投入するための荒仕分けを行う分類システムを開発する。

ここでは、色物は取り除き、シーツ、布団カバー（包布）、枕カバー（ピロー）に分類、

それぞれの洗濯ラインに送る。

色物の検出には、視覚認識によって行うが、3種の白物の分類は、装置のタクトなどを考えると、布をきちんと広げて視覚機能で認識することは難しいため、布の引き上げ動作時にカセンサにより分類した。



図 2.1-31 病院標準アイテム

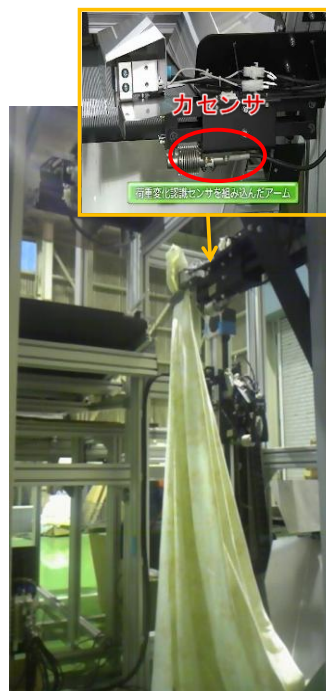


図 2.1-32 カセンサ装着(引上部)

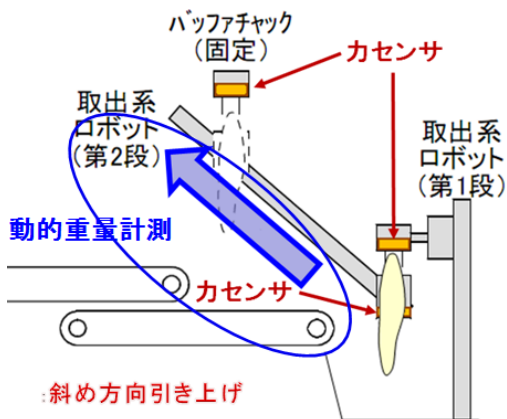


図 2.1-33 引き上げ力計測

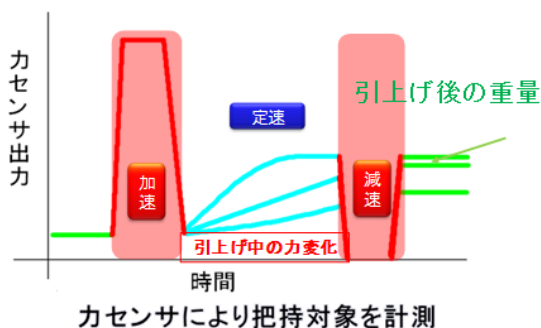


図 2.1-34 計測タイミング

### ①カセンサによる分類

混流洗濯物分類システムでは、最初にロボットが布を把持、斜め方向に引き上げる。この引き上げ動作中の把持力の計測を行い、力の変化パターンを解析して、シーツ、布団カバー、枕カバーの種別を判別するアルゴリズムを開発する。

図 2.1-32 に、布の引き上げ状況と、チャックへのカセンサの装着状況を示す。また、図 2.1-33 に、垂直に引き上げる 1 段目と、斜め方向に引き上げる 2 段目のロボットの構成を示す。今回、1 段目の引き上げ距離が短かったため、2 段目引き上げ時の力変化により、種類の分類を行う事にした。

2 段目引き上げ時のカセンサ出力の模式図を示す。引き上げは高速に行われ、台形速度制御による 1 軸のみの動作なので、加速、定速、減速モードがある。この加速、減速モード

では、加減速のための力が加わるので、力センサの出力が不安定となり、引き上げによる布引き上げ力変化を捉えることは出来ない。このため、定速モード時のみを分類に用いることにした。

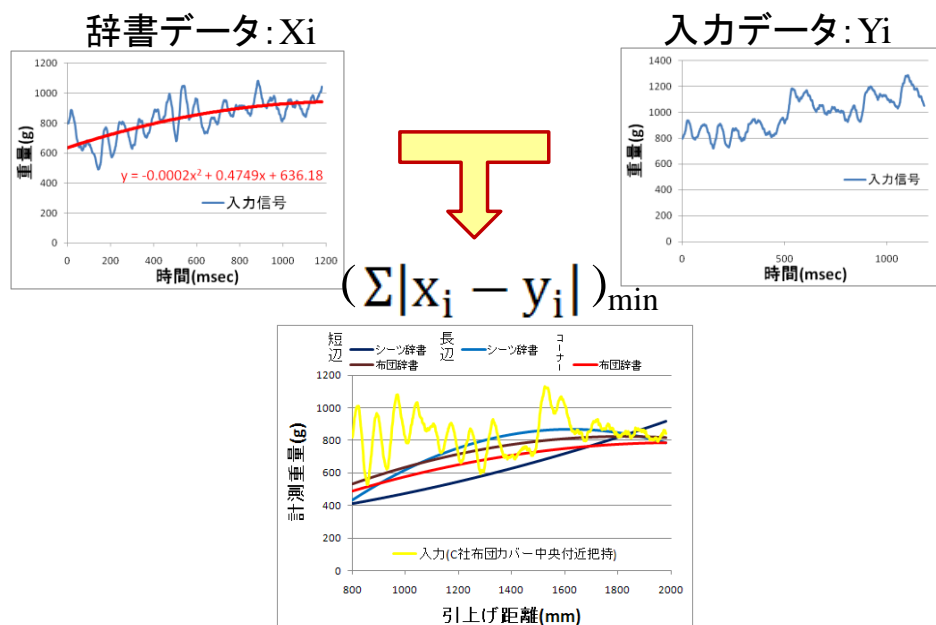


図 2.1-35 引き上げ中の力変化による分類

分類アルゴリズムを図 2.1-35 に示す。色物については、引き上げ動作後の画像処理で見つかるので、力変化解析では、シーツ、包布（布団カバー）、枕カバーの分類を行う事にした。あらかじめ辞書データとして、洗濯物が運び込まれる病院のシーツ、包布（布団カバー）、枕カバーのセットでそれぞれを引き上げた場合の力変化をシステムに教示する。この場合、布の把持位置でも力の変化の仕方が変わるため、布の短辺側把持、コーナ把持、長辺側把持の 3 パターンについて、辞書データを準備する。したがって、1つの病院辺り、3種×3パターン、計 9 パターンを記憶する。

辞書データは、図 2.1-35 の様に、引き上げ時の定速モード時の力変化を検出、その変化を 2 次式に最小自乗近似し、曲線として覚える。これは、比較時の振動などによるノイズの影響を低減するためである。評価時は、入力データと 2 次曲線の各値の差の絶対値をとり、その差が最小となるパターンを選択、分類する。

本システムの分類性能を、実機により検証した。制御部に認識アルゴリズムを搭載、目標 80% に対し、3 つの病院の洗濯物セットで検証した結果、平均で 89% 以上の分類性能を得た。

#### ② 視覚センサの画像特徴抽出による分類

図 2.1-36 のように、引き上げ後、コンベア上におかれた洗濯物を、3 次元視覚センサで、布の色、面積や幅・長さ、体積計測を行う特徴抽出システムを開発した。力センサの結果と組み合わせる総合判定を行うシステムである。ここでは、特に色



図 2.1-36 視覚センサ

物抽出を重点的に行う事とした。実験の結果、全ての色つきの洗濯物を判定出来た。

## 2)-7 整形把持ハンド及びハンドリング操作方法の開発

第1フェーズでのハンドで開発した定型ライン投入システムのハンドリングアルゴリズム、および柔軟物の辺把持ハンドをベースに、(a)2つのコーナを把持して姿勢を整えるたぐり機構、およびその操作アルゴリズムの開発、(b)力センサや視覚センサなどを組み合わせた分類機構の開発を行った。以下、詳細を示す。

### (1) 辺把持たぐり機構、および操作アルゴリズムの開発

第1フェーズで開発した、タオルの縁に沿った伸展動作を行うたぐり機能付き辺保持ハンドから、第2フェーズでは補助装置なく展開するようにロボットハンドとグリッパーを新規開発して大小様々の洗濯物のコーナを把持して一边をたぐり両端を把持する、700mmロングストロークたぐり展開ロボットハンドを搭載し、その操作アルゴリズムを開発、フェイスタオル、バスタオルの両方を混在させてのハンドリング機能を実現した。

ポースリエの直線運動機構と平行四節リンク機構を組み合わせた閉構造のリンク機構にて、ロボットアーム端から把持制御点までの距離を短く(205mm)して、ロボットハンド制御点の高い可操作度と700mmの全域たぐりストロークを持たせた。(図2.1-37a, 2.1-38b) 新開発リンク機構はストローク350mmの直線運動リンク機構をロボットアーム端面からの距離を短く(150mm, 奥行200mm)し、直線運動する。(図2.1-38a)

直動することを利用しつつバスタオル一辺の展開ストロークに対応するためこれを対向配置してコンパクト化しサーボ駆動とオーバーラップ領域を持たせ

ることで制御点や把持時のグリッパー間隔を自由に選択可能にした。(図2.1-38a)

把持時はタオル辺の端部周辺を短い間隔で把持する。ロングストロークながら把持するときはコンパクトに変形させる。(図2.1-38c 左図) 直線移動ではリンク機構の逆運動学の計算アルゴリズムを組み込み駆動部の回転角を制御した。さらに吊り下げた布が揺れても把持するようフィンガー間隔を広げるように新しいグリッパーを開発した。(図2.1-38d) 布用としてフィンガー先端は滑らないような形状と滑らせながら把持する形状にして、作業者が両手で行うようにたぐり方向軸線軸線を下に傾け、(図2.1-38c 右図) コーナを固定保持するグリッパーと辺を滑らせて保持するグリッパーの間隔を広げ1秒以下で展開した。コーナ把持からたぐり展開しコンベアに排出するまで4秒であった。

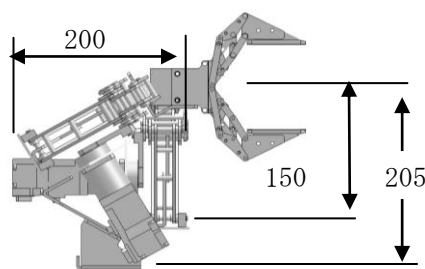


図 2.1-37a ハンド側面図

傾斜対向配置でオーバーラップ 100mm 確保

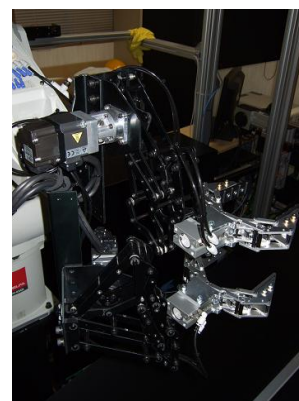


図 2.1-37b 辺把持たぐりハンド

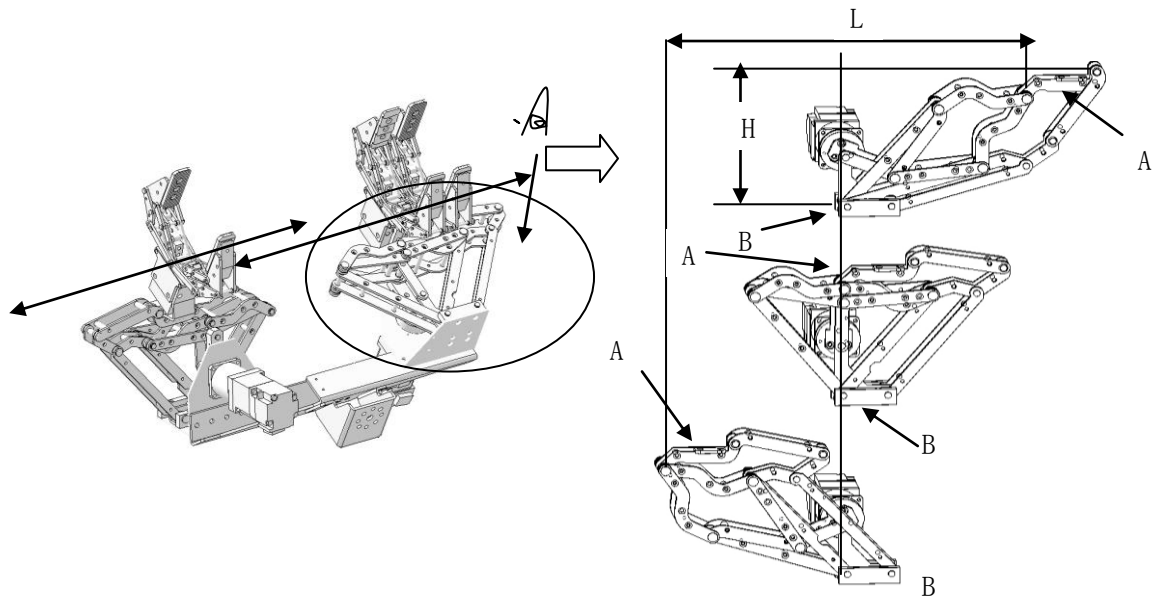


図 2.1-38a ポースリニア直線リンク機構外観および動作図

グリッパ 取付面 A はアクチュエータの回転運動を厳正な直線運動に変換する。ベース B からの高さ H は不変である。  
 $L:H \doteq 3:1$  であり  $L=350$ 、 $H=120$ 、質量 3.8kg (サーボモータ、グリッパ - 2 個含む)

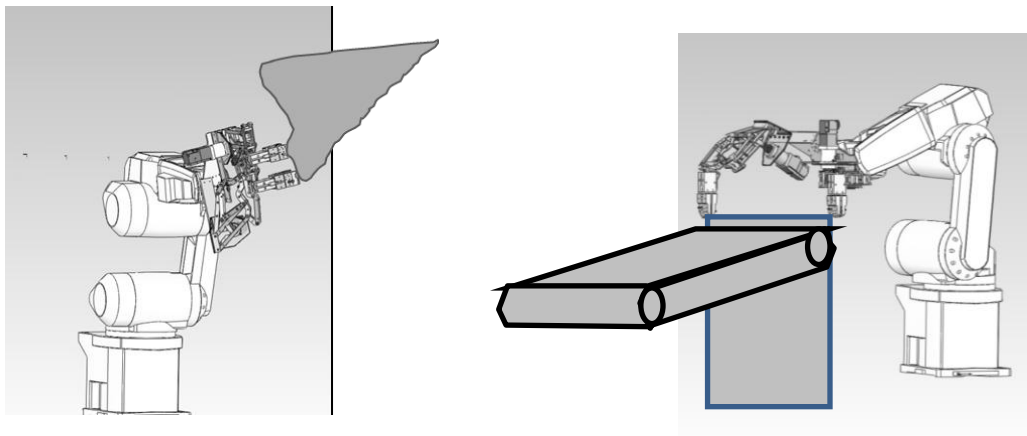


図 2.1-38b たぐり展開動作図

把持はハンドをコンパクトに変形しグリッパ間隔を小さくすることでコーナー近くの辺部を把持する。たぐり動作は干渉しないロボットベースで広げる。

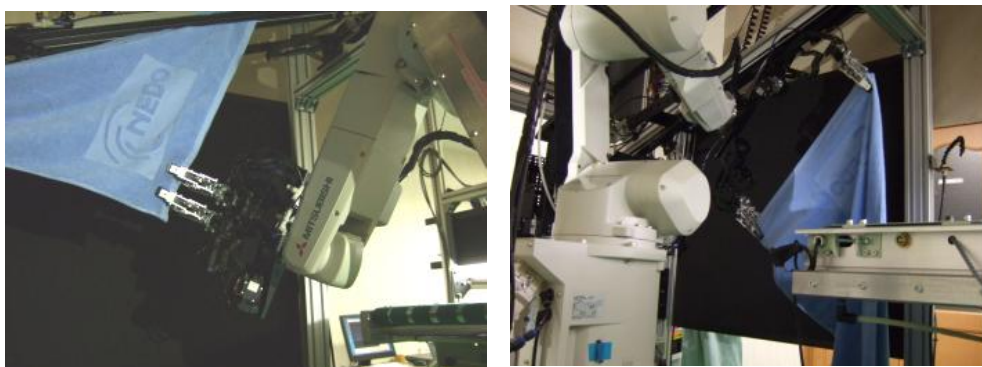


図 2.1-38c 辺把持たぐりハンドの実動作

リンク機構であるためスライド部材は不要。把持(左図)時の間隔縮小時にハンドがコンパクトになるため成功率が増す。たぐり展開時には十分なストロークを持つためバスタルの展開できた。

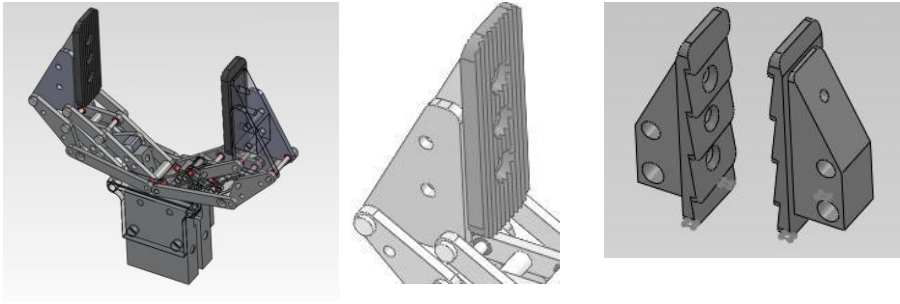


図 2.1-38d 布たぐり展開に適合設計した平行リンク式グリッパー

フィンガーの解放幅を 100mm、並進移動させることで把持成功率を向上した。先端の布接触部の形状を工夫し固定機能や滑り保持機能を持たせた

上記のたぐり展開作業では双腕型ロボットでも行えるが、本技術は費用対効果と動作の高速性の点で優位である。2つのエンドエフェクタの間隔を制御しつつアームロボットひとつで操作することで得られる技術応用範囲は布のたぐりのみに応用するのではなく、双腕ロボット作業の一部に適用できる可能性がある。

## (2) カセンサや視覚センサなどと組み合わせる分類機構の開発

### ① 定型ライン投入システムプロトタイプ機のための分類機構

定型ライン投入システムでは、2)-6(2)の HOG 特徴を用いたマーク認識技術を用いて、バスタオルやフェ

ースタオルの種類や表裏を判定する。そして、その結果に基づき、もしタオル類が指定タオルでなければ、ラインから排除する。また、裏向きに送られてくれば、コンベアを組み合わせ、表裏を反転させ、表側を上にして、仕上げ工程に投入する。

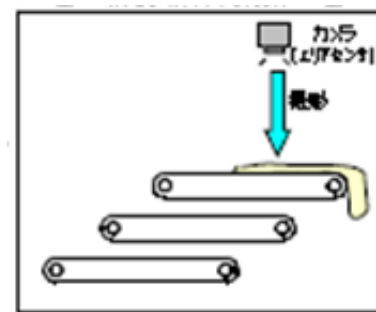


図 2.1-39 3段コンベアによる表裏反転・排除

この表裏反転・排除部の外観、およびその 3 段コンベアの構成を図 2.1-39 に示す。検出されたタオルが正しく表を向いていれば、中段と下段のコンベアを送り出し方向に対し反転し前端を吊り下げた後に、方向転換して投入する。また、裏向きなら、下段のコンベアを正転させてタオルの表裏を反転させて次ラインに投入する。種類が異なっていた場合、中段コンベアを反転させて、そのまま投入側と反対側に落とす。



## ②混流洗濯物分類システムのための分類機構

混流洗濯物分類システムでは、図 2.1-31 の力センサや視覚認識機能を組み合わせ、洗濯物の種類を認識した後、メカニカルな機構により分類を行う。病院からの洗濯物の構成を調査、適用対象を選定し、分類する洗濯物の組み合わせを図 2.1-31 の様に決定した。そして、それに基づいて、図 2.1-35 の力センシングによる総合判定アルゴリズムを開発、種類を判定した。その結果に基づいて、図 2.1-40 の様にコンベアを組み合わせ、分類動作を行う。

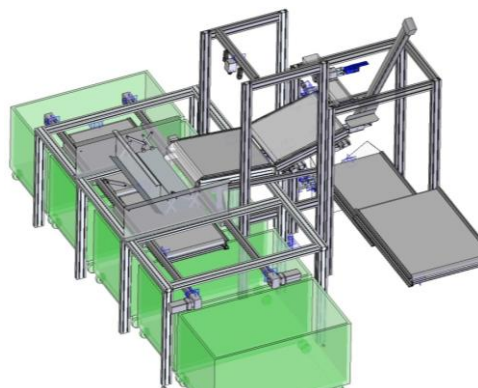


図 2.1-40 混流洗濯物分類機構

開発システムでは、分類された洗濯物を、図 2.1-40 の中に書かれた緑の数個の分類かごに投入する。そのため、視覚認識後、1台の送りコンベア、2段の移動コンベアによって、分類かごに落とし込む。2段の移動コンベアを直列にならべて右、又は左に回転させると、両脇のかごに洗濯物を投入できる。また、1段のみ使用と、1つ内側のかごに投入できる。2段コンベアを左右に開けると、真ん中のかごに投入される。これにより、洗濯物が種類別にかごに分けられる。

## 2)-8 投入ロボットシステムの開発

第1フェーズの開発成果を展開し、さらに2)-6,7で開発するセンサやハンド、分類を組み込んで、定型物分類投入システムプロトタイプ機と、洗濯投入分類システムを開発、その性能を確認した。

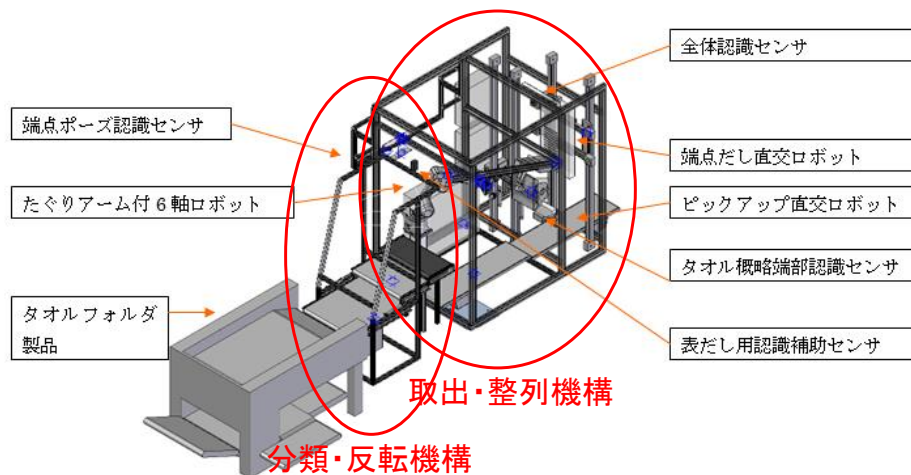


図 2.1-41 定型物分類投入システムプロトタイプ機

### (1) 定型物分類投入システムプロトタイプ機の開発

第1フェーズの開発で、布のハンドリング手順を確立、視覚センサや柔軟物ハンドを開発して、図 2.1-22 の定型ライン投入システムを構築、実用化の可能性を示した。これに基づき、高速動作実証機を開発するのが、本課題である。現場で使用可能な装置とするため、現場に置ける装置サイズ、ラインのスピードに合わせたタクトタイム、他社品の混入や表裏

を見分けられるマーク認識技術の組み込み、製品としてのコストの実現が必要である。

図 2.1-41 に開発装置の構成をしめす。装置の小型化、実用コストの実現のために、第 1 フェーズでは 2 台使用した 6 自由度ロボットの 1 台を直交ロボットにした。また、図 2.1-24 工程 2 で行っていたベルトコンベア上での端点検出を、図 2.1-42 のように縦型にし、布を垂れ下げて検出する、などの機構の改良により、実際の工場のタオル投入場所のサイズで実現した。積層タオルの取出・整列機構部と、タオルの分類・表裏反転機構と組み合わせた定型ライン投入システムプロトタイプの外観を図 2.1-43 に示す。

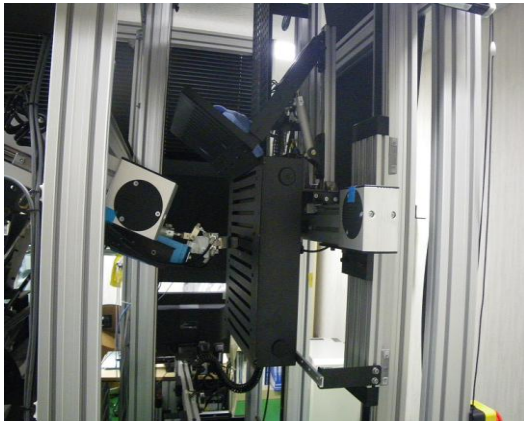


図 2.1-42 概略端点把持



図 2.1-43 定型ライン投入システムプロトタイプ

総合性能としては、成功処理排出枚数で目標数 800 枚に対して 400 枚/時間、分類ミス 2%以下を実現した。

今後、製品化開発へ移行するためにはこの目標達成の見通しが前提である。

特に、未達原因としては設計上のシステム動作速度でのマシンタクトにすると布の変形が想定外になり把持するコーナーが出現せず失敗率が上がり、取り出し枚数が上がらない点がある。作業者は早期の段階で例外处理的な動きを入れて対応しているが、この点の打破が製品化への条件の一つであるため各研究機関で協力して今後に繋げる。

## (2) 混流洗濯物投入分類システムの開発

混流洗濯物投入分類システムの構成図を図 2.1-44 に示す。客先から、混合されて搬入されたシーツ、浴衣、枕カバーを、図 2.1-35 で開発する洗濯物分類アルゴリズムと、図 2.1-40 で開発する分類機構を応用、周辺システム

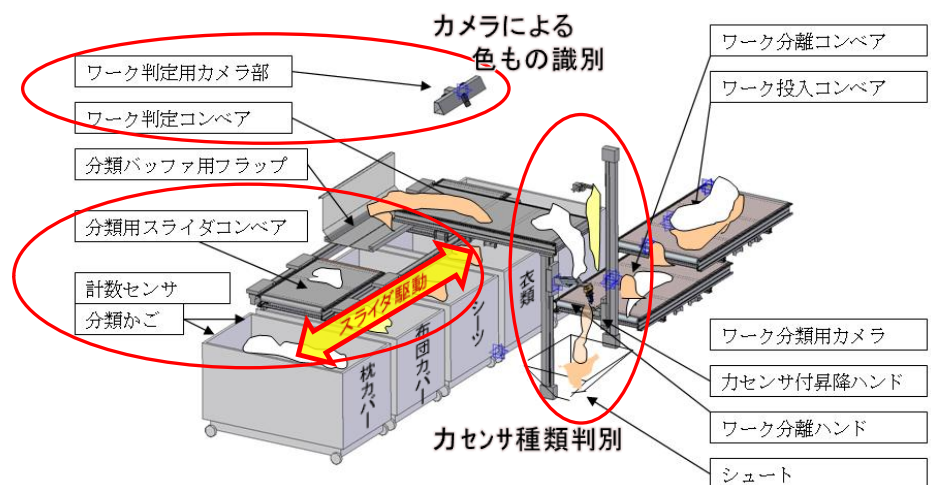


図 2.1-44 混流洗濯物投入分類システム構成図

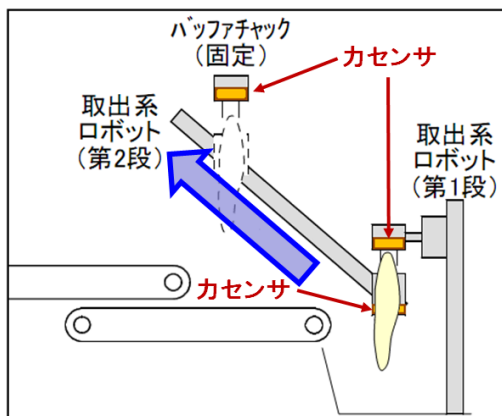


図 2.1-45 布引き上げ機構部



図 2.1-46 混流洗濯物投入分類システム

を開発して組み合わせた、搬入洗濯物の種類や色による分類システムを開発した。システム構成を図 2.1-44 に示す。実験により、顧客から搬入された混合洗濯物の分類の自動化が可能であることを示した。

図 2.1-45 に示すように、コンベアで送られ、シュートに落ちてきた布をカセンサ付きハンドで 2 段階で引き上げる。カセンサ出力の変化と、視覚センサ認識と組み合わせて、洗濯物をシーツ、浴衣、枕カバーと色物に分類、コンベアの組み合わせにより分類かごに落とす。

システムの外観を、図 2.1-46 に示す。実験の結果、成功処理枚数で目標値 2000 枚に対して速度 800 枚/時間、分類成功率 90% (目標 80%) を実現した。

今後、製品化開発へ移行するための課題については、処理タクトタイムの短縮、特に大きな布を引き出し分離させることの高速確実動作である。また変形するワークであるため視覚 (体積) 等での分類には限界があり、例えばワークのイナーシャ変化パターンでの識別のみで分類するなどの必要技術の整理と、搬送過程でワークのひっかかりがない安定したシステムにすることが重要である。

### 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

第 1 フェーズの平成 18-20 年度においては、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、定型ライン投入システムを構成することができた。

第 2 フェーズの 21-22 年度においても、視覚センサのプロジェクタ部の高輝度化により、3次元形状計測を室内環境レベルで実行可能にした。また、HOG 特徴を利用したテキスチャノイズがあるなかでのタオル折り込みマークの認識技術や、引き上げ動作中のカセンサの力変化パターンを用いた洗濯物分類技術を開発した。メカニズム的にも、小型のフェースタオルにも、大型のバスタオルにも適用可能なロングストロークたぐり機構による辺の両端コーナ把持機能や、タオルの表裏反転、分類機構などを開発した。

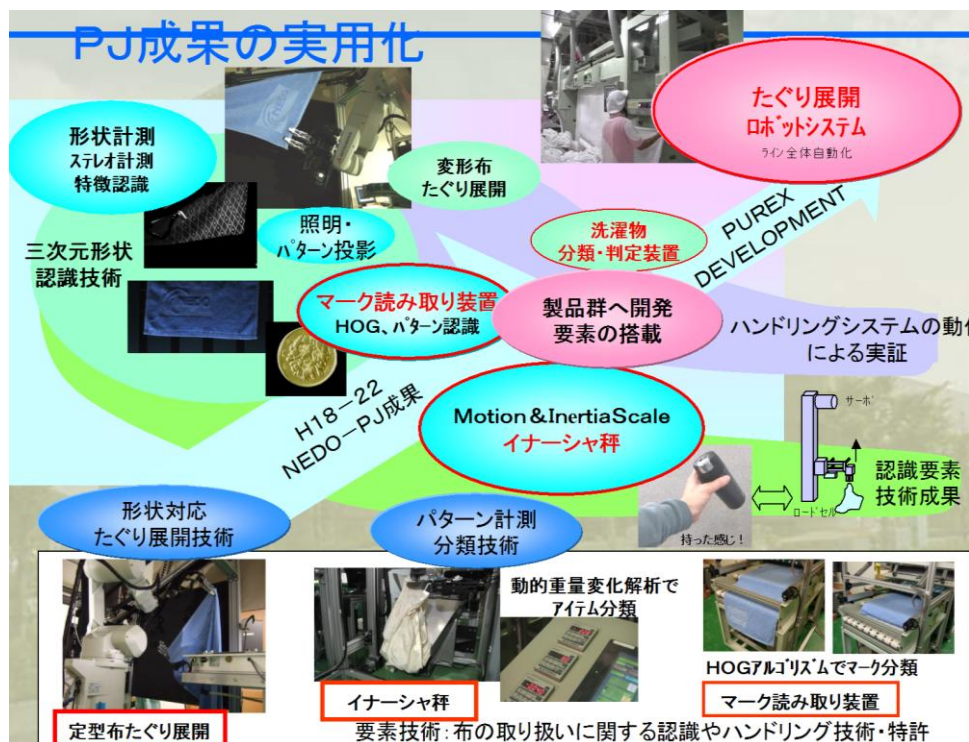
そして、それらの要素技術を組み込んで、定型物仕上げ投入システムプロトタイプ機と、定型洗濯物投入分類システムを開発し、これらの試作機が目指した要求作業自動化を概ね実現し、実用化に開発移行するための課題を明確化した。

#### 4) 成果の意義

リネンサプライ工場のような産業サービス工場ともいえる分野で、生産ラインでの評価ではないものの、実験室での性能は、目標とした表裏判定と表だしも含まれるタオル仕上げ機への作業にと洗濯前の分類作業を自動化できた。残念ながら生産性においては作業者の能力の半分であったが、開発した要素技術群の中には今後の実用化に期待がもてるものがあり、これらを継続して開発しブラッシュアップすることで、既存製品への搭載や新製品としていく。なおこの技術は展示会出展、プレス公開や論文発表、特許出願された。

開発目標の達成については、このPJのような産業サービスの代換えロボットではシステムと比較よりも、人の作業を如何に置き換えられるかにかかっている。現在、最高水準の能力を発揮しているのは作業者だからである。リネンサプライ業界のなかで本開発に類似した製品開発については、国内メーカーでの動きは見られない。海外の業界展示会では、既存自動機をベースにしたバスタオル専用の自動投入機の提案が見られ、投入サイクルタイムは短い投入成功率が不十分であると投入前に分類作業が必要である点で作業者に追いついていない。

本開発ではセンサ応用、ロボット応用の点で世界初で計画投入成功率、投入タクト、バスターフェース両対応や表だしを実現したが処理能力としては作業者の半分であった。



新たな技術領域の開拓への期待については高度作業を低価格で行うサービス業に入るとは、これまでロボットが入っていた溶接や塗装、組立等の既存ロボット応用分野以外への開拓につながる。ロボット業界以外の企業で行ったことで、開発された技術は現在のロボット技術がなぜサービス産業に導入されないのかという問いに対して、リネンサプライ

サービス業界からの問題解決方法の一つを示した。

また新しい要素技術（高速三次元計測や直線リンク機構、たぐり展開ロボットハンド、凹凸表面形状のHOG特徴識別による分類認識、あるいはイナーシャ計測による分類等）は、作業者の知覚を自動化するセンサ技術と、これをベースに取り出しや展開、分類を行うマニピュレーション技術であり、新しい技術領域を開拓するものである。今後これら技術のうち、とくにたぐり展開ハンドリングやHOGを利用したマーク読み取りなどの要素技術は、長期間のP Jを実施して獲得することができたものであり、新製品への搭載が期待できるため時間がかかってもブラッシュアップしていく所存である。

このような有望な要素技術が荒削りながらも動作したことは今後に期待ができる。

成果の汎用性については、図のように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。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）等に発表した。これらの発表は、学会で評価され、2010年8月にはIEEE ICMA2010国際会議でBest Paper Award, 2010年9月には、精密工学会技術賞、同月、精密工学会知能メカトロニクスワークショップで優秀発表賞を受賞した。そして2011年6月には技術賞についての技術紹介として、精密工学会誌に論文を掲載、広く関連研究者、技術者に成果を報告した。

投入予算と成果の整合性については、以下の点で妥当と考える。

- ・ 企業単独では行えなかったこと
- ・ 社会インフラ的なリネンサプライサービス事業を継続するのに必要な、人手不足に対応するための開発であること
- ・ 上記新製品の事業化したときの継続需要市場規模予測との比較から。
- ・ 成果公開が適切になされ、広い方面での技術応用の基礎に成り得ること

具体的には、これらの開発はリスクの高い物であり企業単独では行っていなかったこと、リネンサプライサービスは病院やホテルでのサービスを担う物であり事業継続が使命とされ、社会インフラ的な産業での課題解決の為の開発であるため妥当性がある。

製品化へのつながりで考えると、ステージゲート以降の21, 22年度の開発で、生産性、サイズ等について性能をアップした。現在、製品開発につなげられるか評価検討中である。また、混流洗濯物についても、視覚センサ、力センサなどの要素開発を進め洗濯ライン投入システムの試作システムを開発した。製品開発は元来、企業でおこなうため、そこに、移行するためのブラッシュアップの基になる要素技術や製品搭載への評価検討できる動作検証ができたことは、研究開発事業としては妥当な成果と考える。

また上記のように主要な開発技術については学会発表や特許出願、プレス発表や国際ロボット展等へのデモ出展等による成果公開が十分にされており、注目を集めた。

## 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種パター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。特異点对応、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部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。
マーク読み取り装置、および方法 1件	HOG特徴の計測、照明のあてかたによりタオル表面の凹凸形状のマーク分類を行う。同色のものであっても分類が可能。
微細非周期パターン投影装置及び方法とそれを用いた三次元計測装置 1件	ペンローズタイルと呼ばれる2種の基本セルの組合せで生成した微細非周期パターン光を計測対象物に投影する手段とステレオカメラを用いて所望の点の高さ計測を高速高密度に行う。
直線運動リンク機構とこれを用いた布物のたぐり展開装置 1件	ポースリエ機構と平行リンク機構を組合せて厳正直線運動を行う。コンパクトになるリンク長さの選定。およびこれを組み合わせた布辺を把持したぐりだし辺を把持する。

## 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	
3	16	7	16*	6	0	0

\*) 国際会議論文は、口頭発表も実施。

以上

### 3. 2. 2 高齢者対応コミュニケーション RT システム

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト、高齢者対応コミュニケーション RT システム（サービスロボット分野）、コミュニケーション RT による高齢者の在宅健康管理・支援システムの開発と実用化」

【積水ハウス株式会社、千葉工業大学】

## プロジェクト用語集

#### ① RT マスコット

在宅健康管理・支援システムにおいて対話のインターフェースとなるコミュニケーションロボット。システムと連動してジェスチャーをすることによりシステムに対する抵抗感を和らげる。

#### ② 問診エキスパートシステム

あらかじめ用意された「問い（問診シナリオ）」への回答の選択肢を連鎖的にたどることで、疾患名や病的状態、もしくはそれに対するアドバイスなどの結論に到達するシステム。基本バイタルデータとなる収縮期血圧、脈拍、体温、体重を、医学的根拠に基づき 9 段階に分類し、それぞれに対応する問診シナリオを用意することで、測定値に応じた問診を実施する。

#### ③ カットオフ値

問診エキスパートシステムでバイタルデータを 9 段階に分類する際に用いる閾値

#### ④ 音声バイタル

音声の意味上ではなく、韻律情報から健康状態を推定する新技術。1 ヶ月間分のバイタルデータに紐づけられた音声データを解析することにより、一定の相関が認められた。

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

介護者不足問題が深刻化する中、従来は医療施設における介護や看護の対象であった高齢者が自宅での療養を余儀なくされている。本事業では、高齢者対応コミュニケーション RT の実現形として「在宅健康管理・支援システム」の開発を行う。構築するシステムは、音声コミュニケーションによって在宅高齢者のバイタルデータ（生体情報）、および問診結果を取得し、これらのデータを自動で解析することで、健康維持のためのアドバイスを提供する。特に高齢者にとって緊急性の高い高血圧症や糖尿病による重篤な合併症を予知し、それらを未然に防止するための警告を提示、担当医などへその危険を適切に通知し、高齢者の安心な自宅生活をサポートする。さらにバイタルデータの個人履歴を記録し、各人特有の変動値を含めた対象者固有の標準値を設定することで、担当医への診断支援を行う。

すなわち、本事業では RT を用いた高齢者と担当医師とのコミュニケーション支援システムを構築する。

効果的な在宅健康管理を行うためにはシステムの日々の利用が不可欠となる。これまでも様々な在宅健康管理システムが提案されてきたが、高齢者にとって操作が難しく「使えない」あるいは操作が面倒で「使い続けられない」ということが大きな障壁となっており、これを解決する必要がある。サービスの事業化へ向けにはコミュニケーション RT を活用して健康管理に意識の高い想定ユーザが毎日使い続けられるシステムを開発することが理想である。そこで、本事業で開発するプロトタイプシステムにおいては想定ユーザが 1 ヶ月間継続して朝昼晩の利用ができることを達成目標として設定する。1 ヶ月間継続可能なシステムを構築することにより、システム利用の習慣化が期待できる。

また、1 ヶ月間の継続利用が可能なシステムによりプロジェクト終了後も実現場となる一般在宅において想定ユーザによる長期在宅実証実験を継続的に実施することが可能となり、3 年後の事業化を目標としてユーザからのフィードバックを取り込みながらシステムを改善していく事が可能となる。

システムの開発にあたり、以下の中間目標を設定する。(計画変更後の最終版)

- ・原理試作システムの開発 (2009 年 12 月)
  - システムを構成する要素技術の基盤構築、仕様洗い出し
  - 医師による実証実験・医師向けの情報解析・提示手法の構築
- ・1 次モニタ試験用システムの開発 (2010 年 3 月)
  - 原理試作システムを改良し、一般住宅に設置可能な 1 次モニタ試験機の構築
  - 一般高齢者を対象とした 1 次モニタ試験によるシステム検証および課題の抽出
- ・2 次モニタ試験用システムの開発 (2010 年 9 月)
  - 1 次モニタ試験用システムの課題への対応、UI 改良、システム運用基板の構築
  - 想定ユーザを対象とした 2 次モニタ試験の実施、課題の抽出
- ・事業化プロトタイプの開発 (2010 年 12 月)
  - 統合インフィル空間としてのセンシングチェア構築
  - 想定ユーザを対象とした UI アンケートの実施、課題の抽出

上記のように、システム開発にあたり初年度に音声コミュニケーション、バイタル測定、医療現場にて診察に必要な情報の解析・提示手法をはじめとする要素技術の課題を検証するための「原理試作システム」を構築する。またこのシステムを利用して医師による実証試験を行う。続いて、原理試作システムをベースとし、一般高齢者による在宅モニタ試験を実施するために改良を加えた「1 次モニタ試験用システム」を開発する。このシステムを用いて 1 次モニタ試験を実施し、得られる基本機能評価と課題の抽出を行う。「2 次モニタ



試験用システム」では1次モニタ試験の結果をフィードバックするとともにシステム運用基盤の開発を行う。このシステムにより、想定ユーザを対象とした2次モニタ試験を実施し、運用体制を含めた検証を行う。並行して住宅内のインフィル空間と統合した「事業化プロトタイプ」を開発し、同じく想定ユーザを対象にユーザビリティに関するアンケート調査を行う。

以上の中間目標を経て、最終的に想定ユーザが1ヶ月間使い続けられるシステムを構築し、プロジェクト終了後に事業化へ向けた改良・評価を行っていくための基盤システムとする。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

本事業では、図1に示すように音声認識インターフェースを中心に、問診エキスパートシステム（推論エンジン）、対話のフロントエンドとなるRTマスコットおよびタッチパネルディスプレイ上のGUIからなるコミュニケーションRTと各種バイタルセンシング機器をインテグレーションすることにより、音声コミュニケーションRTの応用システムとして在宅健康管理システムを開発する。

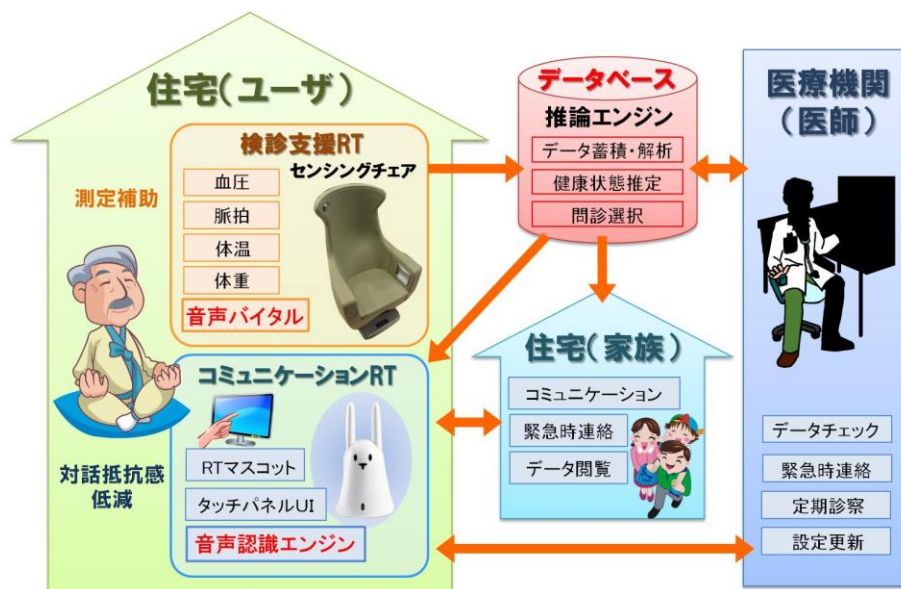


図1：コミュニケーションRTによる在宅健康管理・支援システム

#### 【実現するサービス： 高齢者の健康管理・維持、医師の検診支援】

在宅健康管理RTシステムでは、積水ハウスのオーナーズWebサイトおよび健康管理医師ネットワークと連携することで、下記のサービスの実用化を目指し、必要な技術の開発

および事業化検討を行う。

コミュニケーション RT を用いて必要なバイタルデータの取得を行い、そのデータを自動解析し医師が利用しやすい情報へと変換する。そのデータを利用した担当医の検診支援、高齢者をはじめとする住まい手の健康管理支援を行うシステムとサービスの実現・事業化を行う。

以上のようなシステムとサービスを連携させることで、医療現場からの強い要望であり社会問題にもなっている『介護者不足問題』を緩和させまた高齢者の在宅での健康管理（時には高血圧症等による死亡事故等の防止）を可能とする。このようなシステムの実現には次のような技術の開発が必要となる。

#### ① 在宅健康管理 RT システムの要素技術開発および統合システム開発

##### 1) コミュニケーション RT 基礎技術開発

- a) 音声認識インターフェースおよび音声からのバイタル情報抽出技術
- b) RT マスコット駆動制御

##### 2) センシング RT 基礎技術開発

- a) バイタルデータセンシング機器の開発

##### 3) 健康バイタルデータ解析に基づく健康状態推定、アドバイスプログラム

- a) 健康状態推定／アドバイスプログラム

##### 4) 健康情報履歴蓄積要約技術

- a) バイタルデータ解析システム
- b) 医療診断支援システム

(医師へのバイタルデータ解析結果提示・および患者健康情報・管理システム)

##### 5) 高齢者健康状態問診システム

- a) 問診エキスパートシステム

#### ② 在宅健康管理・支援システムの実装・評価

##### 6) 高齢者対応 UI 開発（センシングチェアを含む UI の使い勝手改良等）

##### 7) 医療ネットワークとの連携システム・サービス、ネットワークコンテンツ事業化検討

本事業では以下に述べる実施計画に基づき、これらの要素技術の開発、および開発された要素のインテグレーションを行い、高齢者支援コミュニケーション RT としての在宅健康管理システムを構築し、実用化する。

#### 【平成 21 年度の研究開発内容】

本事業では医師からの実際の要望に基づく、コミュニケーション RT の実用的なアプリケーションの実現とその事業化が第一の目標である。特に初年度は住空間に埋め込むべき

RT の基幹システムの開発に注力する。具体的には、在宅健康管理・支援システムのうち、特に医師らが現場で使用する機能である健康情報履歴蓄積要約技術の開発に注力し、その完成と早期の1次実証・検証試験を目指す。

即ち下記の4項目を重点開発する。

- 1) 医師が「使える」問診／センサ情報解析・結果提示システムの要素技術の基礎開発  
(センシング機器、問診シナリオ、健康情報履歴蓄積要約技術、医療診断支援)
- 2) 音声認識インターフェースおよび音声からのバイタル情報抽出技術
- 3) 原理試作システムの開発、医師を中心とした1次検証試験
- 4) 1次モニタ試験用システム(クライアントーサーバ)の開発

なお、研究開発を進めるにあたっては、一般高齢者を対象とした在宅実証実験期間を延長するため、加速予算を投入して22年度を計画していた、上記4)1次モニタシステム(3セット)の開発を前倒しするとともに、2次モニタ試験を含む開発スケジュールの組み直しを行った。

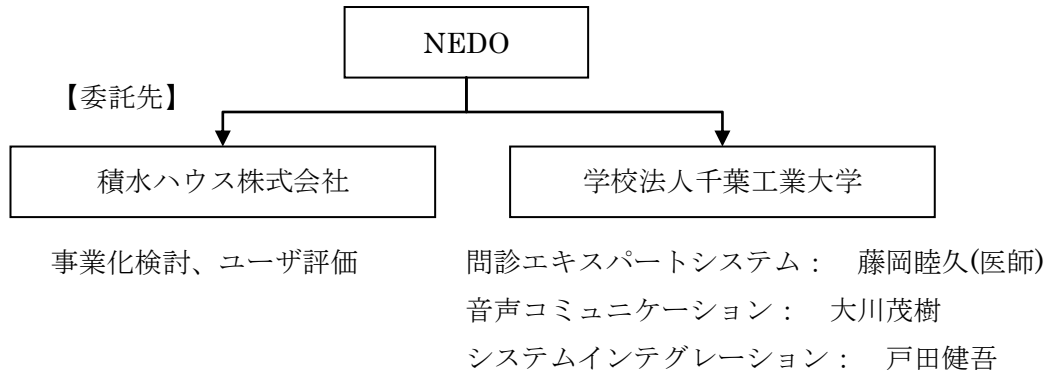
#### 【平成22年度の研究開発内容】

各要素技術および1次試作システムの改良と、その統合による在宅健康管理・支援システムの基幹技術の開発を完了させる。さらに、一般高齢者を対象とした長期在宅検証試験を2回にわたって実施してシステム評価と改良を繰り返し、システムの完成度を高める。

- 1) 1次モニタ試験の実施(医師夫妻および一般高齢者夫妻2組、計6名、1ヶ月間)
- 2) 1次モニタ試験後のアンケート調査結果に基づくユーザビリティの改良
- 3) コンティニュー対応血圧計・体重計の導入
- 4) 2次モニタ試験用システムの開発(GUI刷新、応答性と音声認識率の向上)
- 5) 2次モニタ試験の実施(医師夫妻および一般高齢者夫妻2組、計6名、1ヶ月間)
- 6) 事業化プロトタイプの開発および想定ユーザによるユーザビリティ評価試験の実施

なお、1次・2次モニタ試験では加速予算を投入して、被験者を増やすとともに実施期間の延長を行った。(上記は延長後の期間)

## 2.2 研究開発の実施体制



## 2.3 研究開発の運営管理

開発メンバーに医師（藤岡睦久：獨協医科大学名誉教授）を加え、遠隔医療学会にて積極的な活動を行うとともに、現場の協力医師らによる協議内容や参考意見を集約してシステムに取り込みながらシステム開発を行う。

積水ハウスの顧客を対象に既存のオーナーズサイト等を活用して市場調査、ユーザーアンケート調査を随時実施しながら、ユーザビリティ評価や事業化検討を進める。

## 2.4 研究開発成果の実用化、事業化(※)に向けたマネジメントの妥当性

本システムのコア技術となる問診エキスパートシステムについては、問診システム（整理番号 C0091021）として、発明者を医師の藤岡睦久を加えたメンバー、出願者を千葉工業大学として特許申請中。

ここで、問診エキスパートシステムとは、あらかじめ用意された「問い（問診シナリオ）」への回答の選択肢を連鎖的たどることで、疾患名や病的状態、もしくはそれに対するアドバイスなどの結論に到達するシステムのことである。

今回開発する問診エキスパートシステムの特徴は、基本バイタルデータとなる収縮期血圧、脈拍、体温、体重を、医学的根拠に基づき「要緊急連絡高」「要受診高」「要警戒」「心配なし高」「正常」「心配なし低」「要警戒低」「要受診低」「要緊急連絡低」の9段階に分類し、それぞれに対応する問診シナリオを用意することで、測定値に応じた問診を実施することにある。また、各測定値を分類する際に用いる閾値と問診内容を個々人の健康状況に応じてカスタマイズすることにより、医療側の要求に十分応えうる問診エキスパートシステムの構築が可能となる。

実用化に向けた課題と検証方針として以下の通り進める。

### ①ユーザーニーズの検証

本提案のユーザーは、医師と一般の高齢者である。医師のニーズに関しては、医師たち

の協力のもとで診察に必要なバイタル情報の解析&提示手法の開発、および健康情報履歴蓄積データベース基本構造の構築を行っている。

一般高齢者のニーズに関しては 21 年度に

- ・健康不安の実態調査とターゲット仮説の検証、ボリューム推定
- ・グループインタビューによる健康コンテンツの親しみやすさ評価

などを実施して検証を行う。22 年度は、実環境に健康支援高齢者コミュニケーション RT システムの技術（バイタルセンシング、音声認識、問診システム等）を実装して高齢者による検証評価を実施し、システムの有効性ならびに高齢者ユーザーのニーズを検証する。

#### ②医療機関とのネットワークとビジネスモデルの構築

本システムは、医師と繋がる安心感がポイントであり、実用化にあたっては医師のネットワークをいかに構築してそこに繋げるかが課題となる。医師法、薬事法など関連する法律や運用制度との整合性(各種許認可の取得、制度の適合性、安全性の確認、等)の問題をクリアすることが必要となる。研究メンバーである医師らとこれらの問題について検討し、ビジネスモデルの構築を目指す。

### 3. 情勢変化への対応

2009 年以降、コンティニュー設計ガイドラインに対応した健康関連機器が数多く発表されたのをうけ、2010 年の 2 次モニタ試験システムの開発に合わせて血圧計、体重計をコンティニュー対応の機器へと切り替えるとともに、ソフトウェア側もこれに対応した。これにより、コンティニュー対応の機器であれば他社製の測定器であっても本システムで利用可能となった。

1 次モニタ試験システム以降、システムをクラウド化し、問診エキスパートシステムのコア部分をサーバ上に移した。メンテナンス性が大幅に向上し、実証試験の効率的な運用が可能となった。同時に、事業化時に近い形での実証実験を行う事が可能となったため、事業化時の運用体制等に関しても、現場でのシステム設置条件や設置に要する時間、システムトラブル時の対応方法などの知見の収集を行うとともに、課題の洗い出しを行った。

### 4. 中間評価結果への対応

### 5. 評価に関する事項

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

表1 目標と研究開発成果及び達成度

目 標	研究開発成果	達成度
<p><b>プロジェクト全体の目標(基本計画 p.11)</b> RT システムを用いて高齢者の声を認識しコミュニケーションを取りながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握など的高齢者向けのサービスを提供する。最終的にはプロジェクト終了後 3 年をめぐりにプロジェクトの成果を活用し事業化を行う。</p>	<p>高齢者対応コミュニケーション RT システムとして「在宅健康管理・支援システム」を構築</p>	
<p>(1) コミュニケーションRT基礎技術開発 【音声認識インタフェース】 ・認識性能の安定と選択肢拡張(5 択) ・誤認識時のフェイルセーフ機能の実装 ・パラ言語情報からのバイタル情報抽出 【RTマスコット駆動制御】 ・駆動制御アルゴリズムの構築とユーザ評価</p>	<p>(1) コミュニケーションRT基礎技術開発 ・2~5 択の選択肢を実装(認識率 99%超) ・フェイルセーフ機能としてタッチパネルを導入 ・バイタル情報とパラ言語情報の相関 ・シナリオに対応した RT マスコットの駆動制御 ・アンケートによる RT マスコットの評価</p>	(1) 達成
<p>(2) センシングRT基礎技術開発 【バイタルデータセンシング機器の開発】 ・実証試験用機器の開発と改良</p>	<p>(2) センシングRT基礎技術開発 ・バイタル測定機器の無線化 ・体重計/血圧計のコンティニュー対応</p>	(2) 達成
<p>(3) 健康状態推定/アドバイスシステム ・問診エキスパートシステム(5)として統合</p>	<p>(3) 健康状態推定/アドバイスシステム ・カットオフ値/問診内容設定ソフトウェア</p>	(3) 達成
<p>(4) 健康情報履歴蓄積要約技術 【バイタルデータ解析システム】 ・健康異常検出、情報要約技術の開発 【医療診断支援システム】 ・解析結果提示/患者情報管理システムの構築</p>	<p>(4) 健康情報履歴蓄積要約技術 ・カットオフ値に基づく健康状態判定アルゴリズム ・DB サーバ構築 ・医師用 WebUI/管理者用 WebUI の構築 ・健康情報解析・要約ソフト</p>	(4) 達成
<p>(5) 高齢者健康状態問診システム ・問診シナリオの実装 ・問診エキスパートシステムの構築</p>	<p>(5) 高齢者健康状態問診システム ・問診シナリオプロトタイプの実装 ・問診エキスパートシステムプロトタイプの実装</p>	(5) 達成
<p>(6) 一般高齢者を対象としたモニタ試験システム ・モニタ試験用システムの開発(1次/2次)</p>	<p>(6) 一般高齢者を対象としたモニタ試験システム ・1次モニタ試験用システム/在宅モニタ試験実施 ・2次モニタ試験用システム/在宅モニタ試験実施</p>	(6) 達成
<p>(7) 高齢者対応UI開発 ・事業化プロトタイプによるユーザビリティ評価</p>	<p>(7) 高齢者対応UI開発 ・事業化プロトタイプシステム ・事業化へ向けた課題の抽出</p>	(7) 達成
<p>(8) 医療ネットワーク構築と事業化検討 ・オーナー向け web サイトのコンテンツ構築 ・実証用サービス体制の構築</p>	<p>(8) 医療ネットワーク構築と事業化検討 ・サンプル Web コンテンツ/実証用システム構築</p>	(8) 達成

上記の通り、プロジェクト開始当初の目標値をクリアするとともに、一部については目標を上回る成果が得られた。開発した「在宅健康管理・支援システム」の外観を図2に示す。



図2 在宅健康管理・支援システム（左：モニタ試験用／右：事業化プロトタイプ）

開発した「在宅健康管理・支援システム」を高齢者の住む一般住宅内に設置し、2度にわたる長期在宅モニタ実験を実施した。それぞれのモニタ試験の目的は以下のとおりである。

- 【1次モニタ試験】 基本機能評価と各種データ収集、および改善課題の洗い出し
- 【2次モニタ試験】 システムを高齢者が継続して利用することが出来るかの検証と事業化へ向けた課題の洗い出し

1ヶ月間にわたるモニタ試験期間中は、原則として1日3回、朝昼晩の測定を推奨するかたちでシステムを利用してもらった。ただし、外出等をする事が多い日中の測定は、自宅にいるときのみ利用してもらった。モニタ試験期間と被験者は表2の通りである。

表2 1次・2次モニタ試験の実施期間および被験者一覧

1次モニタ試験（6月28日～7月28日）	2次モニタ試験（10月22日～12月10日）
被験者1： 69歳男性（医師） PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無	被験者1： 69歳男性（医師） PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無
被験者2： 62歳女性 PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無	被験者2： 62歳女性（1週間実施） PC利用：無／携帯利用：有／測定習慣：無
被験者3： 61歳男性 PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無	被験者3： 61歳男性（1週間実施） PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無
被験者4： 58歳女性 PC利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無	被験者4： 58歳女性 PC利用：無／携帯利用：有／測定習慣：無
被験者5： 72歳男性	被験者7： 62歳男性

P C利用：有／携帯利用：有／測定習慣：有	P C利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無
被験者 6： 6 2 歳女性 P C利用：無／携帯利用：有／測定習慣：無	被験者 8： 6 2 歳女性 P C利用：無／携帯利用：有／測定習慣：無
	被験者 9： 7 6 歳男性 P C利用：有／携帯利用：有／測定習慣：無
	被験者 1 0： 7 2 歳女性 P C利用：無／携帯利用：無／測定習慣：無

上記の通り、IT リテラシーや測定習慣や年齢等、被験者のユーザ特性にばらつきがあったが、結果的に 1 次モニタ試験の被験者は自身の健康に関して意識の高い人が多く、2 次モニタ試験では、測定習慣がない、自宅に血圧計を持たないなど、健康意識の希薄な被験者が多かった。

表 3、表 4 に 1 次モニタ試験、2 次モニタ試験におけるシステム利用率を示す。

**表 3 1 次モニタ試験のシステム利用率（健康意識の高いユーザ主体）**

	朝	昼	夜	Total (昼を除く)
被験者 1	72% (23/32)	0% (0/32)	88% (28/32)	53% (80%)
被験者 2	6% (2/32)	16% (5/32)	56% (18/32)	26% (31%)
被験者 3	100% (32/32)	97% (31/32)	100% (32/32)	99% (100%)
被験者 4	100% (32/32)	72% (23/32)	97% (31/32)	90% (98%)
被験者 5	94% (30/32)	84% (27/32)	94% (30/32)	91% (94%)
被験者 6	94% (30/32)	78% (25/32)	94% (30/32)	89% (94%)

**表 4 2 次モニタ試験でのシステム利用率（健康意識の希薄なユーザ主体）**

	朝	昼	夜	Total (昼を除く)
被験者 1	68% (21/31)	6% (2/31)	87% (27/31)	54% (77%)
被験者 2	42% (13/31)	23% (23/31)	61% (19/31)	42% (52%)
被験者 3	100% (6/6)	100% (7/7)	100% (6/6)	100% (100%)
被験者 4	100% (6/6)	86% (6/7)	100% (7/7)	95% (100%)
被験者 7	58% (18/31)	48% (31/32)	68% (32/32)	58% (63%)
被験者 8	48% (15/31)	32% (23/32)	42% (31/32)	41% (45%)
被験者 9	77% (24/31)	80% (24/30)	97% (29/30)	85% (87%)
被験者 1 0	74% (20/27)	81% (22/27)	81% (21/26)	79% (77%)



被験者 1～4 は 1 次、2 次ともにモニタ試験に参加したユーザであるが、1 次モニタ試験での利用率よりも、2 次モニタ試験での利用率が向上した。一方、全体では 2 次モニタ試験の利用率が低くなる結果となった。これは、利用者の「健康に対する意識」がシステムの利用率に大きく影響しているためと考えられる。以下に健康意識の高いユーザと健康意識の希薄なユーザについての継続利用に関する結論を示す。

**【健康意識の高いユーザ】**

本システムにより、少なくとも 1 ヶ月間、健康状態の推定に十分な利用率を達成可能。

**【健康意識の希薄なユーザ】**

健康状態の推定を行うにあたり必ずしも十分な利用率は得られない。

ただし、本システムによるバイタル測定の継続促進効果が見受けられる。

以上のとおり、初期ターゲットユーザ層である健康意識の高いユーザは、システムを 1 ヶ月間以上継続可能であるとの結果が示された。モニタ試験後のアンケート調査においても改善課題はあるものの、総じて継続した利用が可能であるとの結果が得られた。これにより、事業化へ向け、プロジェクト終了後も一般高齢者を対象としたモニタ試験／開発サイクルを実施可能なプロトタイプシステムが完成したといえる。

**【事業化へ向けた技術課題】**

構築したシステムがコミュニケーション RT システムとしての当初の目標達成に至った結果、事業化へ向けた次のステップとして想定ユーザによる実証実験を繰り返しながら圧倒的に不足する実データを蓄積し、システムへと反映させる必要がある。問診エキスパートシステムを成熟させるためには、今後もデータ収集とシステム改善が必須となるため、医師団を結成してシステム改良を進め、3 年後の事業化を目指す。

一方ハードウェア面では、薬事法への抵触を避けるために測定機器の改造を行わなかった結果、体重測定時に、立ち座りが必要となるなど、既成の測定機器をそのまま組み込んだことに依存する扱いにくさが発生し、これを問題視する意見が多く見られた。またチェアが大きく、設置場所が限られるとの意見も多かった。事業化へ向けては、医療機器メーカーと連携し、薬事法をクリアできるシステムハードウェアの開発などすすめるとともに、より安価かつコンパクトで扱いやすい UI へと改良を行う必要がある。

## **2. 研究開発項目毎の成果**

### **① 在宅健康管理 RT システムの要素技術開発および統合システム開発**

#### **1) コミュニケーション RT 基礎技術開発**

##### **a) 音声認識インターフェースおよび音声からのバイタル情報抽出技術**

IT リテラシに乏しい高齢者であっても音声による直感的な操作を実現する音声認識インターフェースを実現する。

健康管理というアプリケーションでは、医療としての実用に耐える高い音声認識率が前提となる一方、一般住宅での音響環境や、口とマイクの位置関係、声の大きさ、発話タイミングなどには制約条件を与えられず、また高齢者には“ろれつ”の回らない利用者も想定される。これらの不確定要素を前提としてもなお、高い認識率を達成するために、本システムの音声認識インターフェースでは、以下のような実装を行った。

- ① 問診アプリケーションがシステム主導でシナリオをコントロールできることを利用して誤認識が起こりにくい認識単語セットを用意する
- ② この単語セットに合わせて認識候補の辞書を設問毎に動的に切り替える

以上により、一般家庭を想定した音響環境下にて問診中の単語認識率 99%以上を達成する音声認識インターフェースを実現した。さらに、フェイルセーフ機能として、音声インターフェースと併用可能なタッチパネル入力にも対応し、万が一誤認識が発生してしまった場合にも対応可能とした。

以上の音声認識技術をモニタ試験システムに実装して行ったアンケート調査において、音声認識の利用に支障はなく、日常的に利用可能な完成度に到達しているとの結果が得られた。

一方、音声のパラ言語情報（声色）から健康状態を推定するために、バイタルデータと同時に解析用の音声データを収集し、その相関を調べた。音声データには定型文 3 種と自由形式の音声日記を利用し、音声の長時間特徴変化 ( $\Delta$ -ケプストラム特徴量) を利用して、音声の明瞭度、速度の安定性、滑舌の良さの指標をスコア化した。

モニタ試験で得られたバイタル測定値と音声特徴量の相関関係を調べた解析結果を図 3 に示す。なお実験用データには 1 次モニタ試験においてバイタル測定直後に被験者が発話した「あらゆる現実をすべて自分の方へねじ曲げたのだ」という音声 (16kHz、16bit、無圧縮 PCM、モノラル) を使用している。被験者は 1 次モニタ試験被験者夫婦 3 組、計測と録音は 1 日 3 回、朝昼晩行い、これを 1 ヶ月間継続した。

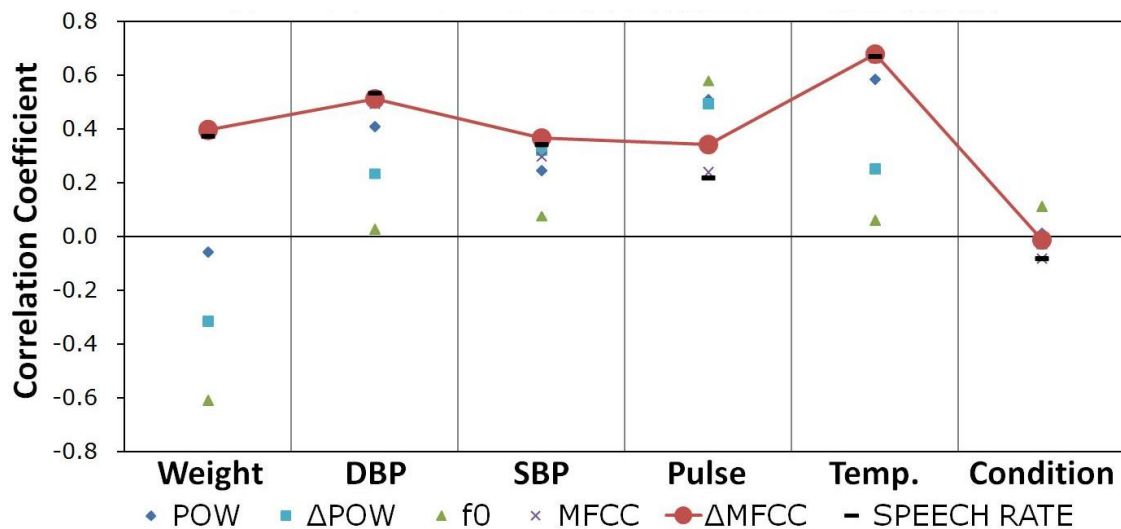


図3. バイタルデータと音声特徴量の相関係数

Weight: 体重, DBP: 拡張期血圧, SBP: 収縮期血圧, Pulse: 脈拍, Temp.: 体温, Condition: 体調, POW: パワー, ΔPOW: Δパワー, f0: 基本周波数, MFCC: メルケプストラム, ΔMFCC: Δメルケプストラム, SPEECH RATE: 発話速度

図3の結果の通り、ΔMFCCと各バイタル測定値に正の相関があり、特に体温について相関係数が大きい結果となった。この結果より音声データから健康状態を推定できる可能性が示唆された。実用化にあたっては、より多くのデータを収集し音声解析エンジンを改良する必要があるが、音声を利用することにより非接触・非拘束で健康状態を推定できる可能性を示す、新学術領域を開拓したといえる。また、1ヶ月間にわたる健康状態と紐づいた音声データは世界的にも極めて貴重であり、医療分野を含む他分野の研究開発への展開も考えられる。

#### b) RT マスコット駆動制御

RT マスコットの意義は、IT リテラシに乏しい高齢者がシステムを利用する際の障壁となる「難しそう」「面倒そう」という印象を和らげる事である。在宅健康管理・支援システムは継続利用してはじめて本来の効果やメリットが得られるものであり、抵抗感なく利用を始めてもらい、なおかつ日々継続して利用してもらうことが極めて重要なテーマとなる。対話のインターフェースとなる RT マスコットには、利用者に興味を持ってもらい、「使ってみよう」という“自発的な測定”を誘発させる役割がある。また、システムの実用化にあたっては通信プロトコルを公開し、オープンアーキテクチャの形式をとることで、コミュニケーションロボット分野市場の開拓を見込んでいる。なお、本システムで構築した在宅健康管理・支援システムの RT マスコットには、サンプルロボットとして violet 社製の nabaztag を改造したものを採用し、下記の機能を実装した。

- ① システム音声、GUI と同期したアクション

- ② LEDによるシステム状態の表現
- ③ バイタル測定結果に応じた仕草
- ④ 測定忘れを防止するための「呼びかけ」機能

モニタ試験におけるアンケート調査の結果、特に利用開始当初に RT マスコットに興味を持つ傾向があり、“自発的測定の誘発”に一定の効果が見られた。また、RT マスコットに対しては男性よりも女性が興味を持つ傾向が強かった。システムの利用に慣れてくると RT マスコットへの興味が薄らぐ傾向がみられ、モニタ試験後のアンケートでは RT マスコットの必要性に関しては意見が分かれた。一方、RT マスコットに望む機能として「マスコットに表情が欲しい」「動きの意味を知りたい」「種類があれば選択したい」などの意見が得られ、事業化へ向けてオープンアーキテクチャを活かして、様々なコミュニケーションロボットを巻き込んでいくことが求められる。

## 2) センシング RT 基礎技術開発

### a) バイタルデータセンシング機器の開発

図2に示すバイタルセンシングチェアを開発した。専用のチェアを用意することにより、毎回同じ姿勢かつリラックスした状態での測定が可能となり、測定条件を制御しにくい一般住宅内における測定精度を向上させる効果がある。

バイタルセンシングチェアにはいづれも A&D 社製の血圧計 (UA772PBT-C)、体温計 (TM2564GP、TM2560G-10、TM-2560-11)、体重計 (UC321PBT-C) と Audio-Technica 社製のマイク (AT9904) を使用し、測定機器をワイヤレス化することにより、使い勝手を向上させた。2次モニタ試験用システムには、国際的な標準規格であるコンティニュー設計ガイドラインに準拠した血圧計と体重計を採用しているため、コンティニュー対応の他社製の測定機器を利用することも可能となっている。

## 3) 健康バイタルデータ解析に基づく健康状態推定、アドバイsprogram

問診エキスパートシステム (5) として統合。

## 4) 健康情報履歴蓄積要約技術

### a) バイタルデータ解析システム および b) 医療診断支援システム (医師へのデータ解析結果提示/健康情報管理システム)

測定されたデータは各家庭に設置する在宅健康管理・支援システムからネットワーク上のデータベースサーバにアップロードされ蓄積される。データベース内に蓄積されたデータは健康情報解析要約ソフトによって医師が診断やカットオフ値の設定に利用できる形に要約される。リレーショナルデータベースソフト Filemaker Pro 10 Advanced を使用して構築した健康情報解析要約ソフトのスクリーンショットを図4に示す。

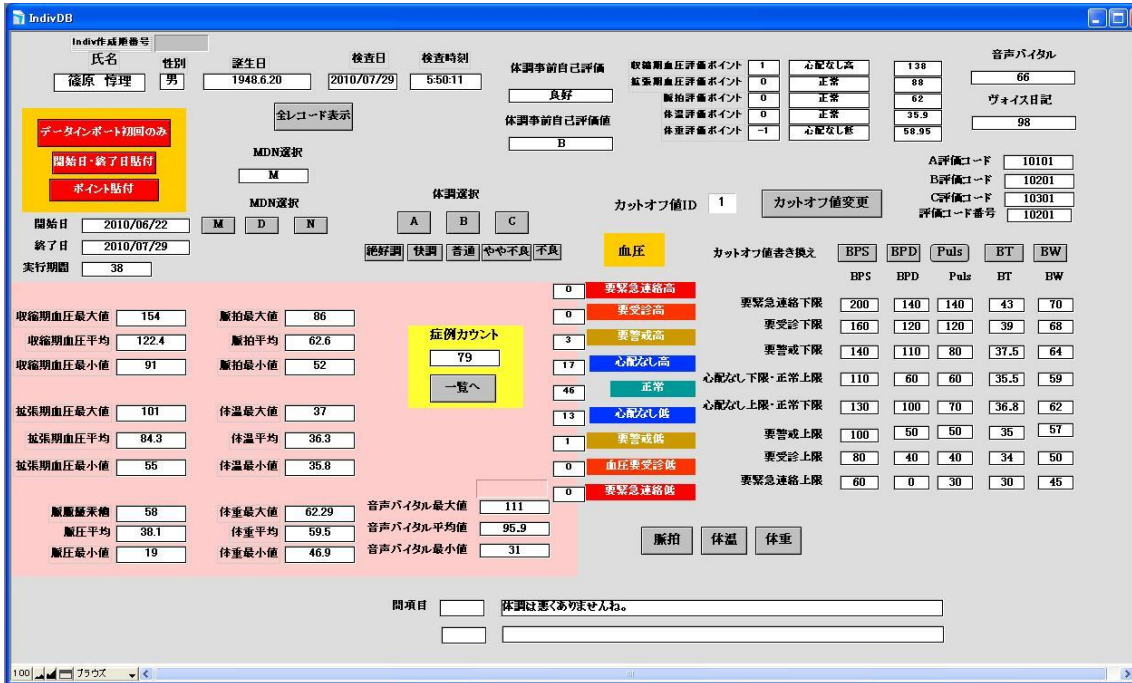


図4 健康状態解析要約ソフトのスクリーンショット

#### 5) 高齢者健康状態問診システム (問診エキスパートシステム)

音声コミュニケーションとタッチパネルディスプレイを利用した高齢者向け GUI により問診形式で進むシステムシナリオチャートを構築した。シナリオは問診とバイタル測定ガイダンスを経て、測定・診断結果を提示するとともに、必要に応じて健康アドバイスや指示、医師へのEメール送信を行う機能を持つ。

問診内容やカットオフ値は別途構築した医師用 WebUI・管理用 WebUI (図5) よりオンラインで変更可能な仕組みとなっており、医師は図4に示した健康状態解析要約ソフトを使いながら、いつでも問診内容とカットオフ値を更新可能である。これにより利用者が使えば使うほどシステムと医師が健康状態を理解していく運用体制をとることができる。



図5 医師用・管理用 WebUI (カットオフ値と問診内容の個人カスタマイズが可能)

次に、高齢者向け GUI のコンセプトは以下のとおりである。

#### 【GUI 設計コンセプト】

- ・ 初心者も熟練者も自分のテンポで利用できる “次へ” ボタンの導入
- ・ 音声アイコン表現による認識可能単語の提示
- ・ 機能を絞りシナリオをステップ化することで扱いやすさを向上
- ・ 文字サイズを大きく、コントラストを強く、フラットでシンプルな構成
- ・ タッチパネルの“押せる”ボタンに立体感を持たせる
- ・ アニメーション表現によるユーザビリティの向上 (過剰なアニメーションは行わない)

上記のコンセプトに基づいて Adobe Flash ベースで構築した GUI のスクリーンショットを図6、図7に示す。Flash は移植性が高くブラウザ上でも動作するため、事業化に向けて様々なプラットフォームに対応する必要が出た際にも移植のオーバーヘッドを削減できる。



図6 血圧測定ガイダンス画面



図7 高齢者健康状態問診システム GUI スクリーンショット

なお、シナリオには音声からのバイタル情報抽出のために定型文の読み上げと自由形式の音声日記機能が含まれており、これがシステムを利用する楽しみの一つとしても機能することがアンケート調査により示された。音声からのバイタル情報抽出技術の精度を向上させていくためには、今後も実証試験を通じて無理なくバイタル情報と結びついた音声データを蓄積していけることが重要であるため、音声データの収集に対して肯定的な意見が得られたことの意義は大きい。

## ② 在宅健康管理・支援システムの実装・評価

### 6) 高齢者対応 UI 開発

事業化プロトタイプハードウェアとして住宅のインフィル空間と図8に示すバイタルセンシングチェアを構築した。図2に示したモニタ試験用のチェアではテーブル上に置いていた血圧計と体温計をチェアに内蔵し、チェアに各測定機器の測定開始/終了ボタンを配置した。

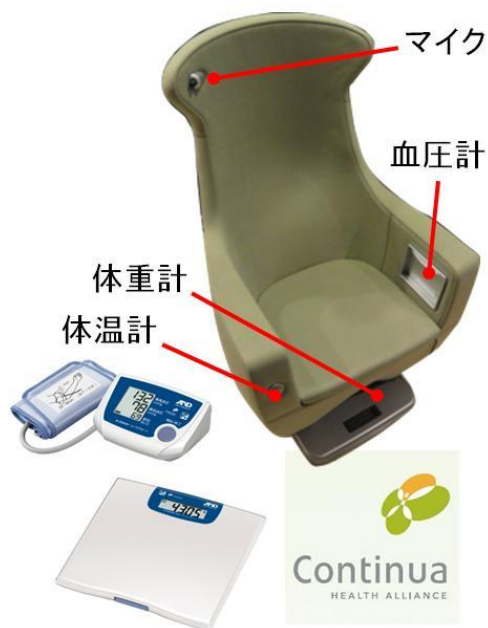


図8 バイタルセンシングチェア (事業化プロトタイプ)

上記の事業化プロトタイプを実験住宅に設置して、高齢被験者 50 名(男 38 名、女 12 名、65 才～81 才(平均 69 才))による評価実験を実施した。「健康管理システムの空間イメージ」、「音声や画面での動作説明や表示デザイン」、「計測チェアの色、大きさ、形状などのデザイン」、「マスコットロボット」に親しみを感じ、会話しやすいなどの評価を得た。一方、「計測の所要時間」、「体重計のボタン押し液晶を見る動作」、「体温計測時のスイッチやランプの点滅」、「体重計測時の立ち座り、ステップへの足をのせる動作」については評価が低く、事業化にあたって改善を要するポイントを把握することができた。

### 7) 医療ネットワークとの連携システム・サービス、ネットワークコンテンツ事業化検討

医療ネットワークと連携する家族向けサービスとして、システムの利用者と離れて暮らす家族が積水ハウスのオーナーズサイトを通じてバイタル測定値の確認や音声日記の確認が行えるサービスサイトを構築した。構築した Web サービスのスクリーンショットを図9に示す。





図9 贅沢健康管理・支援システム 家族向け Web サイト

高齢被験者50名に対して、生活ストーリーを活用した対面式アンケート調査を実施したところ、全体の9割以上が「認識度」・「利便性」・「魅力度」のそれぞれにおいて肯定的な評価を示し、高年齢者層に高いニーズが潜在することが確認できた。

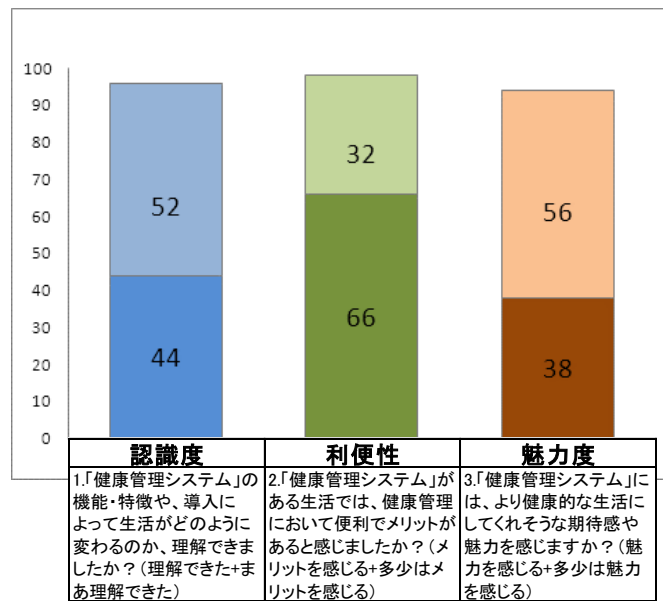


図10 事業化に向けた市場性検証

## 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

21年度はプロジェクトの立ち上げに伴い積水ハウス社よりプレスリリースを行ったのち、要素技術の開発に注力した。22年度は、システムのコア技術となる問診エキスパートシステムについての特許出願を行うとともに、開発した技術の学会発表を積極的に行った。論文に関してはロボット分野に限らず、音響学会や遠隔医療学会への発表を行い情報発信するとともに、音声解析と医療分野、ロボット技術と遠隔医療など、新領域を開拓した。

### 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H22FY	1件	0件	0件	0件	4件	1件

## IV. 実用化、事業化の見通しについて

### 1. 実用化、事業化の見通し

本システムが想定するメインユーザーである高齢者層に潜在する2方向のニーズに応えるかたちで商品&サービスを開発し、事業化を展開していく。ニーズの一つは、「平常時から、継続して健康状態のチェックや管理をおこないたい。」というものであり、これに対しては、本システムを組み込んだ空間インフィル（住宅・建築の室内空間を構成するパッケージシステム）の販売として対応していく。住宅・建築事業における分譲事業やリフォーム事業、新築戸建事業へと発展・拡大させていく（図11）。

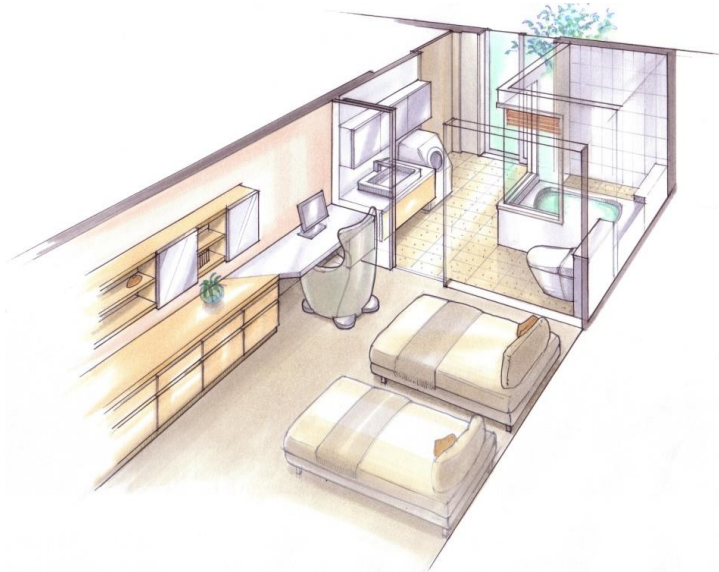


図11 空間インフィルのイメージ

もう一つのニーズは「病院にいかななくて自宅で医師による見守りサービスが欲しい」というものであり、これに対しては、医師の見守りネットワークを核とした健康見守りサービスの提供により応える。本PJに参加した医師を核とする医療ネットワークによる遠隔健康支援サービスを展開していく。

これら2つのニーズへの対応を、積水ハウスネットオーナーズクラブを基盤とした健康コンシェルジュサービス体制の構築により実現を図る。

課題としては、システムのコストが市場性を満たすものとなるか、という問題はもちろんだが、本システムによる健康見守りサービスが、医療行為（遠隔医療）にあたるのかかといった医師法の問題、本システムは医療機器にあたるのかといった薬事法の問題、さらに、見守り医とかかりつけ医となる開業医や地域病院とのスムーズな連携体制を築くための普及策など、ビジネスモデル上の課題が大きい。これらに対しては正攻法で一つ一つクリアしていく方法をとる一方で、自治体などの協力を仰いで上記法規制が緩和される特区など

において実現の可能性を検討するなどの方策を講じることとする。

今回開発する健康支援高齢者コミュニケーション RT システムは、もともと関連産業が多岐にわたり波及効果の大きい住宅産業と、医療・健康産業とを結びつけるインターフェースであると言え、サービスロボットとしては非常に大きな波及効果が期待される。

本システムの事業化を通して、コミュニケーション RT によって、高齢者に対する健康維持という付加価値を提供する新たな住宅が生まれることになる。この高付加価値住宅が他住宅メーカーからも提供されるようになることで、従来なかった新たな製品カテゴリーに成長していくことが考えられる。住宅産業にとっては、RT という新たな技術手段と高齢者の健康維持・管理という RT のアプリケーションを組み込んだ新たな製品による売上げと利益が上乗せされることになる。加えて、本提案の事業化により、住宅メーカーが居住者に対して、健康管理・診断という新たな生活支援サービスの提供も行うことになる。これは、従来、住宅というハードウェアの販売を行ってきた住宅産業にとって、サービスという全く異なる製品を販売することになり、住宅産業の事業構造の変革にもつながることになると考えられる。

また本システムにおいては、コミュニケーション RT としての RT マスコットを組み込むことによって、ロボットを販売する新たなチャネルならびに対象市場として、住宅市場が加わることになる。住宅ならびに住宅関連機器は、販売価格が一般ユーザ向けの製品の中では極めて高価であるため、それに組み込まれるロボットも、ロボットが単体で販売される場合に比べ、価格設定の自由度が高くなり、利益を確保しやすくなり、RT 市場の拡大に大きく寄与するものと期待される。

実用化・事業化までのシナリオとして以下のとおり想定している。

①積水ハウス「ネットオーナーズクラブ」などでの健康コンテンツ展開（2011年）

日常的なバイタルチェックによる健康管理の重要性など健康に関連するコンテンツを積水ハウス顧客のネットサービス「ネットオーナーズクラブ」などで展開し、健康支援高齢者コミュニケーション RT システムへのニーズの確認、RT への期待感の醸成などを図る。同時に、健康支援高齢者コミュニケーション RT システムの量産化を進める。また医師とのネットワーク構築をすすめる。

②健康支援高齢者コミュニケーション RT システム導入インフィルの商品化(2013年)

健康支援高齢者コミュニケーション RT システムによる健康管理データ蓄積、健康維持アドバイス機能をもつ空間インフィルを商品化し販売する。新築住宅だけでなく、既存住宅のリフォームでも使えるようなハンドリングの良い商品とすることを目指す。

## 特許

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	学校法人 千葉工業大学	特願 2010-113458	国内	2010/5/17	出願	問診システム	藤岡睦久 他
2							

## 論文一覧

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーションRTによる高齢者の在宅健康管理・支援システム—システム概要とプロトタイプの開発	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 予稿集, (CDROM) 1P1-D08	無	2010
2	藤岡睦久	千葉工大	コミュニケーション RT(ロボット技術)を用いた高齢者在宅遠隔健康管理・支援システムの開発 (第一報)—遠隔健康管理ネットワークによる地域医療支援の提案—	日本遠隔医療学会雑誌 Vol. 6(2), pp. 199-202	有	2010
3	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーションRTによる高齢者の在宅健康管理支援システム—試作システムの改良と評価—	第 11 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (CDROM) 3D3-4	無	2010
4	藤井敦啓	千葉工大	在宅健康管理 RT システムにおける 高齢者音声からの健康状態の推定	日本音響学会 2011 年春季研究発表会, 2-P-9(a)	無	2011
5	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーション RT による高齢者の在宅健康管理・支援システム—2次試作システムの開発および高齢者を対象とした在宅実証実験—	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 予稿集, (CDROM)	無	2011

### 3. 2. 3 ロボット搬送システム

#### 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

少子高齢化を迎え、「安心・安全」「便利・ゆとり」の確保といったことが重要なテーマとなるわが国において、家庭や事業所、公共の場で普及が進むと予測される次世代ロボットの市場規模は2035年時点で約5兆円と試算されている。(NEDO、経済産業省によるロボット産業の将来市場推計／H22.4発表分より)

ロボットの新しいマーケットは、生産プロセスにおける産業用ロボットから人が併存するオープンな環境における様々な移動作業ロボットへと広がるものと考えられる。なかでも、搬送ロボットは社会的なニーズも多くあり、実用性の高い技術であれば、ロボットの実用化に大きなブレークスルーとなる可能性を有している。

本事業では、病院内でのロボット搬送システムをターゲットとして、人が併存する環境下で円滑に移動可能な自律移動ロボットを開発し、今後様々な公共空間でも運用可能なロボットの基盤となる移動技術を構築し、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ものである。

本事業では、病院施設で医療資材や薬剤等を確実にかつ安全に搬送するロボットの要素技術開発ならびにその実用化を目指し開発を行ってきた。本目的達成に向け、全方向移動機構を有した実証機を製作し、京都第二赤十字病院、大阪大学歯学部附属病院、京都大学医学部附属病院にて実証実験を実施した。(図 1)また、医療現場における搬送業務の調査分析を行い、搬送ニーズの具現化及び運用上の課題抽出を行った。

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ーフティなど、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の開発にある。



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】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。

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、隙間 3cm 対応 ・人並みの走行速度 (1.1m/sec) ・製品プロトタイプ台車製作・実証実験実施 (1)-② ・ロボットがエレベータに乗降可能なシステムの構築 ・実際の病院にて連続稼働可能なシステム構築 (1)-③ ・必要とされるセキュリティレベルを備えた搬送形態の具現化 ・ロボットの現在走行位置の確認システム構築 ・到着通知機能等、実運用可能なシステム構築	(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 ・村田機械株式会社 R&D センター及び京都第二赤十字病院エレベータに通信装置を設置し、ロボットが乗降可能なシステムを構築した。 (1)-③ ・必要とされるセキュリティレベルを備えた搬送スペースを持つ搬送ロボットを開発した。 ・現在位置表示及び到着通知可能なシステムを構築した。 ・院内物品管理データと連携する搬送管理システムを構築した。	(1)-① 目標達成 ・段差 1cm、隙間 3cm 対応 ・最高速度 1.1m/sec ・製品プロトタイプ台車製作し、京都第二赤十字病院、大阪大学歯学部附属病院にて実証実験を実施した。 (1)-② 目標達成 ・複数フロアをエレベータを用いて移動可能な搬送システムを構築した。 (1)-③ 目標達成 ・搬送物スペースを持つ搬送ロボット及び運行管理システム、搬送管理システム等、ロボット搬送システムとして実運用可能なシステムを開発した。

<p>人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術</p>	<p>(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</p> <p>① RT 分散処理技術の研究開発</p> <p>② 自動環境地図生成技術の開発</p> <p>③ 自己位置同定技術の開発</p> <p>④ 障害物回避技術の開発</p>	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モータドライバ及びモーションコントローラの内製化</li> <li>・内製モータドライバによる人並みの走行速度の実現</li> </ul> <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2次元地図自動生成システム構築</li> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・複数センサを用いた自動環境地図生成アルゴリズムの開発</li> </ul> <p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自己位置同定アルゴリズム構築</li> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・複数センサを用いた自動環境地図生成アルゴリズムの開発</li> </ul> <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人並みの走行速度(1.1m/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</li> </ul>	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・要求仕様に応じたモータドライバ及びモーションコントローラを製作した。</li> <li>・人並みの走行歩行速度(1.1m/s)を実現した。</li> </ul> <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・ランドマーク自動抽出アルゴリズムを開発した。</li> </ul> <p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・画像センサによるモーションステレオ測距システムを実装した。</li> </ul> <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害物回避技術を取得した。</li> <li>・周囲環境に応じた障害物回避モードの切替アルゴリズムを開発した。</li> </ul>	<p>(2)-① 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内製モータドライバ及びモーションコントローラをロボットに搭載し、人並みの走行速度(1.1m/s)を実現した。</li> </ul> <p>(2)-② 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・誤差±3cm以内</li> <li>・ナビゲーションに利用可能なランドマーク抽出アルゴリズムを検証。</li> </ul> <p>(2)-③ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・誤差±3cm以内。</li> <li>・充電ステーション近傍では誤差±3mm以内、±0.5deg以内。</li> <li>・モーションステレオ測距システムを実機で検証。</li> </ul> <p>(2)-④ 目標一部未達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人並みの走行速度(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</li> <li>・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</li> </ul>
-------------------------------	---	---	---	--



<p>人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術</p>	<p>(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</p> <p>①超音波タグを用いた位置計測技術の高度化</p> <p>②大規模センサ・ネットワークの開発</p> <p>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</p>	<p>(3)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>位置計測技術の精度向上</li> <li>誤差 2-3cm</li> <li>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）</li> </ul> <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul> <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<p>(3)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GPGPU を用いて、パーティクルフィルタを利用した位置推定アルゴリズムを実装した。</li> <li>加速度センサを内蔵した低消費電力型超音波タグを開発した。</li> <li>無指向性超音波タグを開発した。</li> </ul> <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>超音波受信器 270 個超の大規模センサ・ネットワークを開発した。</li> </ul> <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記大規模センサ・ネットワークにおけるタグ追跡のハンドオーバ技術を確立した。</li> </ul>	<p>(3)-① 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>位置計測技術の精度向上</li> <li>誤差 2-3cm / 演算時間 2ms</li> <li>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）</li> <li>無指向性超音波タグの開発（受信器の設置位置の自由度向上）</li> </ul> <p>(3)-② 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>超音波受信機 270 個超の規模を持つ複数の大規模センサ・ネットワークの構築</li> </ul> <p>(3)-③ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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・アルゴリズムの開発検証実施</li> </ul>
-------------------------------	---	---	---	--

<p>人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術</p>	<p>(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</p> <p>④RT分散処理技術の研究開発</p> <p>⑤転倒防止技術の開発</p> <p>⑥安全・異常検知技術の開発</p> <p>1.力センサレス衝突検出</p> <p>2.車椅子等搬送のための移動支援技術</p> <p>3.接触に関連した安全技術の開発</p> <p>4.情報表現とアクティブセイフティ技術</p> <p>⑦安全性・耐故障性技術の開発</p>	<p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各機能モジュール・分散制御基板の設計・実装</li> </ul> <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>人並みの走行速度(1.1m/sec)での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現</li> </ul> <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>反作用力推定アルゴリズムの構築</li> <li>100msecでの衝突検出</li> <li>環境・人との衝突の識別アルゴリズム構築</li> <li>制御精度±10N以内の作用力検出</li> </ul> <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>非ホロ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</li> <li>車椅子型移動ロボットの試作</li> <li>制御精度±10cm以内の支援軌道追従確認</li> <li>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</li> <li>シミュレーションによるアルゴリズムの検証</li> </ul> <p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサの設計</li> <li>接触検出確認(指先で10g程度)</li> <li>ロボットへの実装検討</li> </ul>	<p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>急発進、急停止に転倒しない搬送ロボットを開発した。</li> </ul> <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>反作用力推定アルゴリズムの構築を完了した。</li> </ul> <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>非ホロミック拘束を考慮したアルゴリズムの構築を完了した。</li> <li>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。</li> <li>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</li> </ul> <p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>指先に装着可能な弾性触覚センサ技術を取得</li> </ul>	<p>(2)-④ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>超音波センサ統合基板製作</li> <li>4ch、測距時間42msec</li> <li>16ch、測距時間100msec</li> </ul> <p>(2)-⑤ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>人並みの走行速度(1.1m/sec)での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現</li> </ul> <p>(2)-⑥-1 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>推定速度100msec以内を達成。</li> <li>人との衝突検出に関しては検証が不十分。</li> <li>精度±10N以内の力検出を達成。</li> </ul> <p>(2)-⑥-2 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存システムを改良し、車椅子型移動ロボットを試作。</li> <li>制御精度±10cm以内の支援軌道追従確認</li> <li>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</li> <li>シミュレーションによるアルゴリズムの検証</li> </ul> <p>(2)-⑥-3 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>
-----------------------------------	---	---	---	---

<p>人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術</p>		<p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> </ul> <p>(2)-⑦</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> </ul>	<p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p>(2)-⑦</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 腕にかかる過負荷に対する安全制御を確認した。</li> </ul>	<p>(2)-⑥-4 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロボットの避けてほしいという意図が伝わること (<math>p &lt; 0.05</math>)、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 (<math>p &lt; 0.1</math>)を確認。</li> </ul> <p>(2)-⑦ 目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 腕に過負荷が生じた際、脱力する安全制御を確認。</li> </ul>
-----------------------------------	--	--	--	--

<p>実証ロボットの開発及び実証試験</p>	<p>(4)実証実験の実施          ①搬送デモンストレーションを一定期間実施          ②2箇所以上の実証試験場所の確保          ③院内搬送デモンストレーション用ロボット製作          ④国内外マーケティングの実施</p>	<p>(4)-①          ・搬送デモンストレーションを実施し、その有効性を確認する。          (4)-②          ・複数個所で実証実験を実施し、汎用性の高いシステムを構築する。          (4)-③          ・院内搬送デモンストレーション実施の円滑化          (4)-④          ・本システム実用化に向け、ニーズを探索する。</p>	<p>(4)-①          ・一定期間実施し、本システムの有効性を確認した。          (4)-②          ・京都第二席十字病院及び大阪大学歯学部付属病院で定期的な実証試験を実施した。          (4)-③          ・ロボットを追加1台製作した。          (4)-④          ・潜在ニーズの掘り起こしを行うことができた。</p>	<p>(4)-① 目標達成          ・一定期間デモンストレーションを実施し、運用上での課題を抽出できた。          (4)-② 目標達成          ・各病院個別課題と共通課題の抽出ができた。          (4)-③ 目標達成          ・ソフトウェアの開発効率の向上が図られた。          (4)-④ 目標達成          ・ライトハウスカスタマーの獲得に寄与した。</p>
------------------------	---	--	--	--

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

全方向移動を可能とする機構として、段差 1 cm、隙間 3cm まで対応可能なオムニホイール機構を開発し、プロトタイプロボットを用いた実験によりその効果を確認した。

具体的には独立懸架サスペンション機構を設けたオムニホイールを図 2 のように配置することにより、段差乗り越え時の車輪の浮き上がりを抑制する一方、車輪前後にホイールカバーを装着することにより、側面方向からの段差乗り越えにも対応可能な構造とした。

(図 3)

また、製品プロトタイプロボットを用いて、最終目標である走行速度 1.17m/sec で全方向に移動可能であることを確認した。

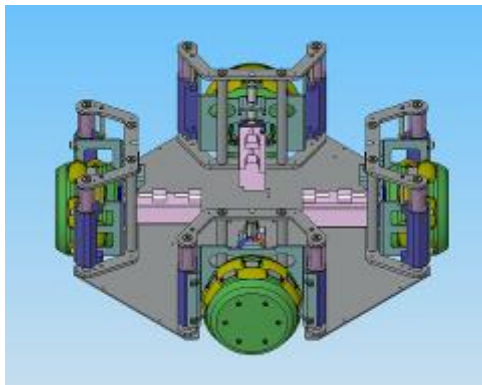


図 2 車輪配置



図 3 段差乗り越えの様子

走行経路の周囲環境によっては、ロボットの走行音を極力小さくすることも求められる。本プロジェクトでは、自社開発した段差対応オムニホイールに対してフリーローラ支持部の構造を改良し、車輪単体評価実験において、約 5dB の騒音レベル低減を実現した。(図 4、図 4)



図 4 車輪単体評価装置

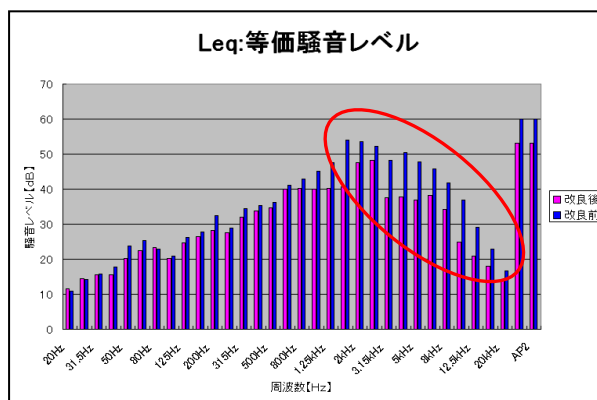


図 5 騒音レベル測定値

## (1) - ② エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発

エレベータを利用することで複数フロア間の移動を可能とするシステムを構築した。本システムでは、「エレベータかごには、サービスロボットと一般利用者は同乗させない」運用を前提とし、一般利用者とロボットを排他的に扱うシステムとしている。ロボットーエレベータ間の通信には院内インフラに影響を与えないよう PHS 回線を採用した。

なお、使用する PHS 回線はロボットの現在位置に応じて外線（公衆回線）と内線（1対1通信）を使い分けている。エレベータのかごの外では外線を利用するが、かご内では公衆回線網の電波が弱く、外線での通信が確立できないことから、かご内では内線を利用している。

ロボットーエレベータ間の情報の流れは以下のとおりである。

1. ロボットから発せられたエレベータ制御情報は、PHS 網経由でシリアル通信によりロボット用中継制御盤へと送られる。
2. ロボット用中継制御盤はエレベータ制御情報を受信すると、それをパラレル I/O の情報へと変換し、エレベータ側機器（EV 制御盤）へと送信する。
3. エレベータ側機器は制御情報に基づいてエレベータを動作させ、現在のエレベータの状態をパラレル I/O の情報として出力する。
4. 現在のエレベータの状態を表す情報は 1～3 とは逆の経路をとおしてロボットへと返信される。

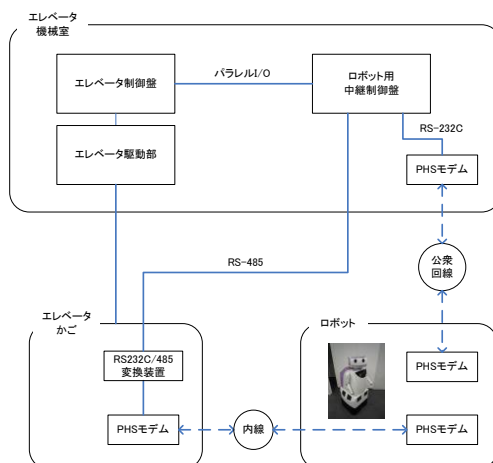


図 6 エレベータ乗降システム構成図

なお、ロボットーエレベータ間の通信では、各階へのかごの呼寄せや乗車後の各階への移動等、人間がボタンを押してエレベータを操作する場合と同等の情報を与える形式をとっている。こうして、人間が操作する場合と同等の安全性を確保しながら、ロボットがエレベータを制御することを可能にした。

また、一般利用者の同乗を防ぐために、ロボット乗降中はかご内部の照明を消灯する機能を搭載した。ただし、かご内の照明が消灯している時であっても、かごの中では「開」ボタンは点灯し、ボタンが有効となるように設定されている。こうすることによって、万が一、一般利用者がかごの中に閉じ込められた場合であっても、エレベータがいずれかの階に停止した時に「開」ボタンを押して扉を開け、脱出することができる。

実際に村田機械本社 R&D センター及び京都第二赤十字病院様内エレベータに通信装置を設置し、ロボットがエレベータを利用して、複数フロア間を移動可能であることを実験により確認した。

また、複数フロア間の移動を実現するにあたり、まず、2 点間移動が同一フロア内での移動かフロア間を跨ぐ移動かを判断する必要がある。本ロボットは環境地図を分割管理する方式を採用しており異なるフロアでは環境地図も異なるため、出発地と目的地が異なるフロアにある場合に経路を生成すると、フロア間の境界ではサブゴールが属する環境地図のマップ ID が変化する。そのため、生成した経路情報を検索して、マップ ID の変化点を発見した場合には、その点がエレベータ室内のポイントであることを確認した上で、エレベータ呼寄せ時の停止位置（EV 手前）等の中継点を経路情報に付加する機能を追加した。（図 7）

加えて、同一フロア内での移動の代わりに以下のような 2 つの機能を実現することによって、エレベータを利用した複数フロア間の移動経路にも対応した行動制御アルゴリズムを構築した。

1. フロア間移動判断機能

経路計画アルゴリズムに対して経路計画の実行を指示し、生成された経路情報を解析して、フロア間移動かそうでないかを判断する機能を付加した。（図 7）

2. フロア間移動に対応した行動生成機能

移動経路がフロア間移動を含む場合、同一フロア内における 2 点間移動動作の代わりに以下の 5 つの動作を生成し、実行する機能を追加した。（図 7）

移動①：出発地から EV 手前まで移動し、PHS 通信（外線）を介してエレベータをロボットがいるフロアへ呼び寄せる

移動②：エレベータが到着したら、EV 室内へと移動する

移動③：PHS 通信（内線）を介してエレベータを目的地のフロアへと移動させる

移動④：エレベータが目的地のフロアへと到着したら、EV 手前へと移動し、PHS 通信（外線）を介してエレベータに対して連携運転終了を通知する

移動⑤：目的地へと移動する

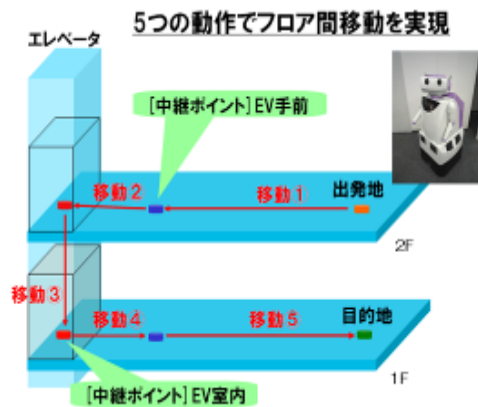


図 7 複数フロア移動時の動作

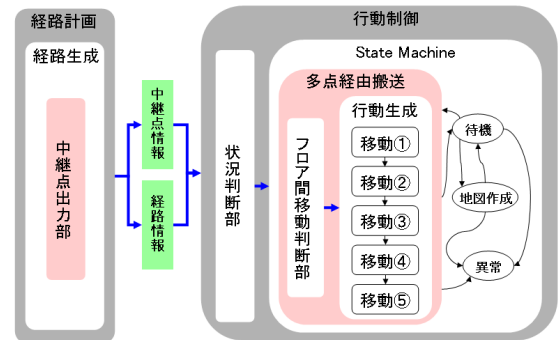


図 8 複数フロアに対応した行動制御  
および経路計画アルゴリズム

以上のアルゴリズムを実機に搭載し、動作の確認を行った。

(1) - ③ 搬送物を安全に搬送する技術の開発

搬送物のセキュリティを考慮し、腹部に搬送物を搭載可能な筐体格納方式を採用した。荷物スペースの仕様を以下に示す。

荷室寸法：W320 ×L420 ×H250 (mm)

可搬重量：15kg 以下



図 9 荷物スペース

また、搬送ロボットの運行スケジュールの設定及びロボットの現在位置をモニタリング可能な運行管理システムを構築した。本システムは、ロボット本体及び院内に設置した複数 PC (ターミナル PC 及びクライアント PC) とそれらを結ぶ院内 LAN または PHS 等ネットワーク網から構成されるものである。本プロジェクトでは、PHS テレメタリングサービスを採用することで、既設の病院にも容易に導入可能なシステム構成とした。また、運行管理情報として、巡回搬送スケジュール、ロボット現在位置、到着予想時刻及びロボットの異常状態を表示させる運用とした。

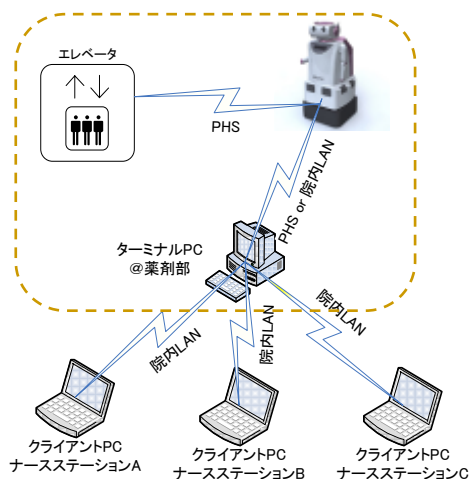


図 10 院内ネットワーク



図 11 運行管理表示画面



搬送物の受け取り、受け渡しを記録するとともに、既存の院内物流システムデータベースと連携可能なシステムを構築した。

本システムでは各搬送過程において、担当者情報及び搬送物情報を、通信機能を持つバーコードリーダーで読み取り、院内 Web サーバ上の搬送情報管理データベースを更新することにより、物品の搬送履歴を記録するとともに、物品の搬送状況を院内の端末上でモニタリングすることが可能となる。

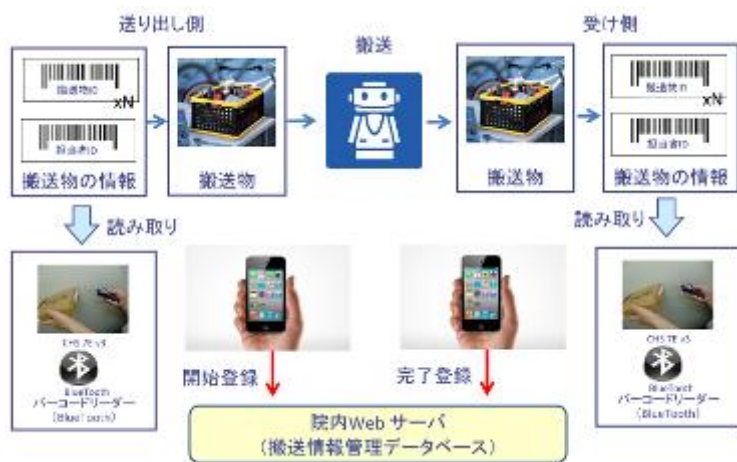


図 12 搬送情報システムフロー図

(2) - ① 分散化リアルタイム処理システムの開発

RT分散型処理システムにおいて、要求機能、仕様を満たすハードウェア構成部分について、最適化を行った。内製化した各ボードは以下である。

○ モータドライバボード



図 13 モータドライバボード

表 2 モータドライバボード仕様

対象モータ	永久磁石同期モータ
最大モータ容量[W]	100
主電源[V]	DC24~30
Ethernet コントローラ	1ch (100/10 BASE-T)
外形寸法	95mmX85mm

○ 入出力拡張ボード



図 14 入出力拡張ボード

表 3 入出力拡張ボード仕様

CPU バスインターフェース	16bit
絶縁型入出力ポート	入力:24ch 出力:24ch
シリアルインターフェース	4ch (RS-232C 対応)
Ethernet コントローラ	1ch (100/10 BASE-T)
外形寸法	178mmX127mm

○ A/D インターフェースボード



図 15 A/D インターフェースボード

表 4 A/D インターフェースボード仕様

SPI インターフェース	2ch
A/D コンバータ	8ch×2 (12bit)
電源出力	3ch (+12V/max.3.1A)
外形寸法	140mmX100mm

○DC/DC コンバータボード



図 16 DC/DC コンバータ

表 5 DC/DC コンバータボード仕様

出力容量	200W (24V 8.4A)
入力電圧	DC18~36V
バッテリー制御	1 回路
外形寸法	100mmX97mm

○充電制御ボード



図 17 充電制御ボード

表 6 充電制御ボード仕様

充電電流制御	1 回路
出力電圧制御	1 回路
外形寸法	110mmX102.5mm

(2) - ② 自動環境地図生成技術の開発

環状経路の地図を作成することは、SLAM 技術を用いて地図を作成する場合の大きな課題の一つである。本課題に対して、『分割地図方式』という独自の方式を提案し、環状経路に対応可能な自動環境地図生成、走行経路計画及び自己位置同定アルゴリズムを開発した。分割地図における走行経路計画フローを図 19に示す。

本アルゴリズムの有効性を検証するため村田機械 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、自律移動中にその環境地図をもとにした自己位置推定ができていることを確認した。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、自律移動中にその環境地図をもとにした自己位置推定ができていることを確認した。

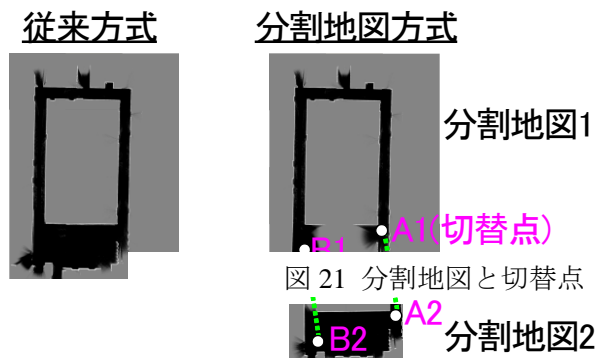


図 18 分割地図方式

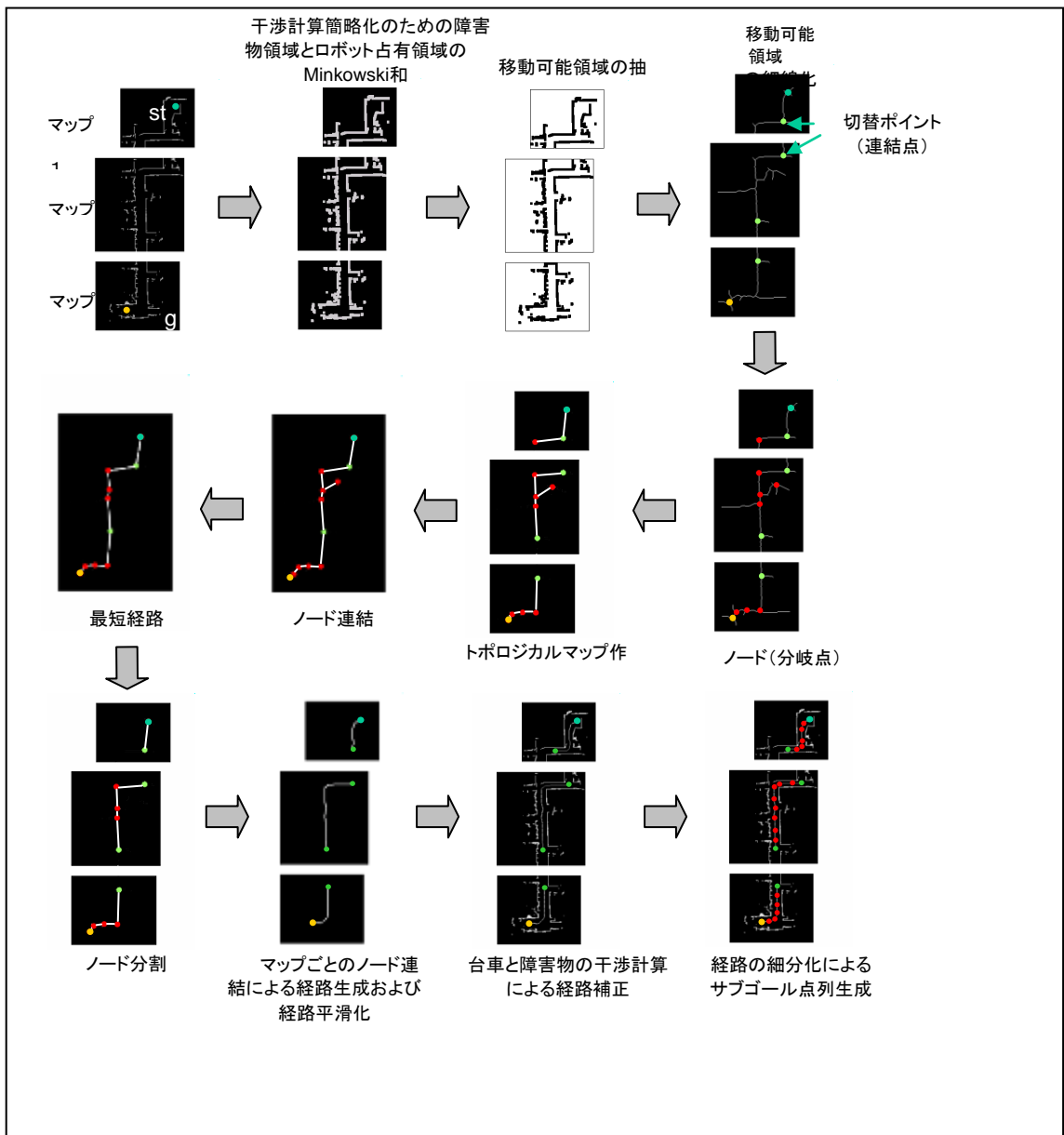


図 19 分割地図における走行経路計画フロー

実運用に向けて、平成 20 年度までに開発した自動環境地図生成・自己位置同定技術（SLAM）により作成した環境地図に属性を付加する機能を開発した。具体的には、

- ・ エレベータ（EV）乗降可能の判断（図 20）
- ・ 進入禁止領域の設定

を可能とする機能の開発を行った。

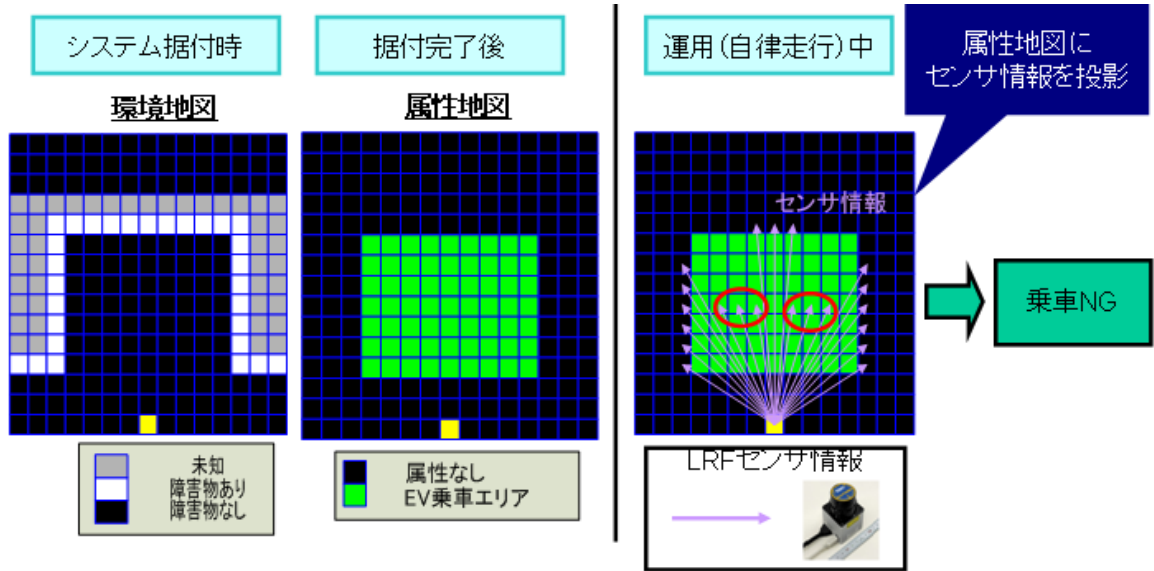


図 20 エレベータ乗降可能判断のフロー

本機能により、進入禁止領域属性を属性地図上に埋め込むことで、属性地図からロボットの現在位置周辺にある進入禁止領域の相対位置情報を割り出し、進入禁止領域を加味したロボットの回避行動が実現できることを実験により確認した。

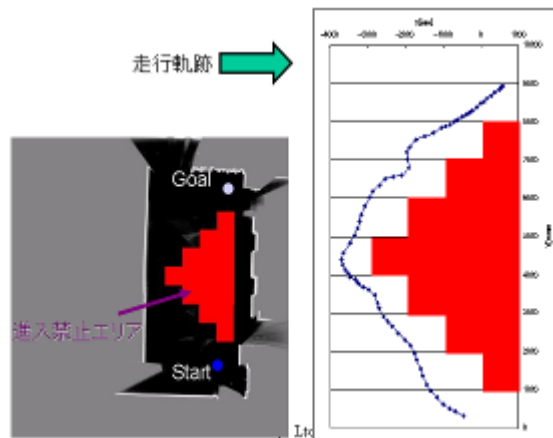


図 21 進入禁止領域(左)と領域設置時のロボットの走行軌跡(右)

### (2) - ③ 自己位置同定技術の開発

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) - ④ 障害物回避技術の開発

本研究課題で想定している病院などの施設内では、狭小な通路が存在し、さらに、給仕搬送台車や車椅子、歩行者など様々な障害物が存在する。ロボットはこのような環境において、より安全かつ効率的な移動を実現する必要がある、動的環境を考慮した回避方向の迅速な判断が求められる。一般的に、狭小な通路において障害物を回避する行動制御手法を開発する場合、安全性と効率性を考慮した回避距離を保つように設計する。しかし、同じような方法で人間に対して回避を行った場合、人間との急接近が生じることや、人間の進行を妨げるような問題が生じる可能性がある。また狭小な通路では、対向者と対峙するような状況が生じやすい。特に病院内では、患者や高齢者など、歩行速度が遅く進行先の障害物に対して機敏に反応できない人が多く存在する。このような状況では、自律移動ロボットは、他の障害物に対する行動よりも早い段階から行動を開始し、人間が避け始める前に自らの回避方向を行動によって示す必要がある。このような行動は、ロボットの人間に対する安全な移動にもつながり、また、結果として人間の歩行を阻害しないことが期待される。

歩行者や動的環境を考慮したものとして従来の回避手法では、歩行者の相対速度を考慮した予測型の障害物回避や、予測型強化学習を用いた障害物回避が提案されている。しかし、対向者と正面で対面する状況における際の回避方向を考慮した障害物回避手法は提案されていない。

本研究課題では、狭小な通路における効率性、特に人間に対する安全性を向上させる回避手法の提案を行う。提案手法では、ステレオカメラを用いた上半身検出により人物認識を行い、レーザレンジファインダ(LRF)より得られる環境、人間の回避方向の歩行特性から判断した右回り、もしくは左回りを助長する回転力を状況に応じて発動させる。状況に応じた回転力の発動により、回避対象と環境を考慮した回避行動が実現される。提案手法を全方位移動機構を有するロボット MKR-003 に適用し、実機実験によりその有効性を検証した。

#### 【提案手法】

対向者と対峙する場合における、対向者とロボットとの位置関係の対称性に注目した行動制御手法の提案を行う。提案手法は、ロボットに搭載されているステレオカメラ、レーザレンジファインダ(LRF)から得られる環境情報、人間の回避方向の歩行特性から回避方向を判断し、右回り、もしくは左回りを助長する回転力を新たに付加する。提案手法により、従来の障害物回避手法の安全性の向上が期待できる。提案手法のアーキテクチャを図 1 に示す。本手法は大きく、人物認識、環境認識、障害物回避の 3 つに分かれる。

人物認識では、ステレオカメラを用いて環境から人間とその他の障害物とを分類する。人間と認識された場合に、環境認識で、その人間がロボットの進行方向に対して正面にいるか否かを判断した後、LRF 情報を用いてロボット周辺の領域を測定し回避方向の決定を行う。障害物回避で

は、従来の仮想ポテンシャル法に前過程にて決定した回避方向を助長する回転力を付加する。

#### 【人物認識】

人物認識では、Viola と Jones によるカスケード型分類器をベースとした、ステレオカメラを用いた人間の上半身検出による人物認識アルゴリズムを用いて人物認識を行う。上半身検出を行うことで顔検出では認識できない後ろ向きや横向きの人物を認識することが可能となる。

本手法ではロボットから 1.0 m ごとに区域を設定し、距離に応じた検出窓サイズの変化に着目する。それぞれの区域に検出窓の最大・最小サイズを定め、検出された人物認識の評価を行う。区域内の検出窓が予め定めた最小サイズより小さい、または最大サイズより大きい場合に除外することで、誤認識を減少させ人物認識の精度を高める目的がある。

#### 【環境認識】

環境認識では、対向者の位置がロボットの正面にいるか否かを判断し、LRF 情報を用いて、ロボットの左右の領域を考慮した回避方向を判断する。図 22 に各領域の概略図を示す。

ロボットの正面に設計パラメータである角度  $\theta$  の Front Area を設け、ステレオカメラを用いて Front Area 内に人物が認識された場合、対向者と対峙状況であると見なし回転力を付加する。遠方に対して広がりを持たせることで、遠方の人間に対する回転力が発生しやすくなり、ロボットは早い段階から回避方向を示すことが可能となる。さらにロボットの正面に対して Left Area と Right Area に分け、両領域の面積  $S_{left}$ 、 $S_{right}$  を LRF 情報より算出する。

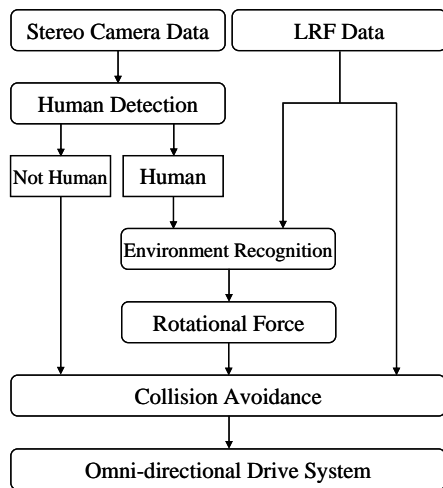


図 22 処理フロー

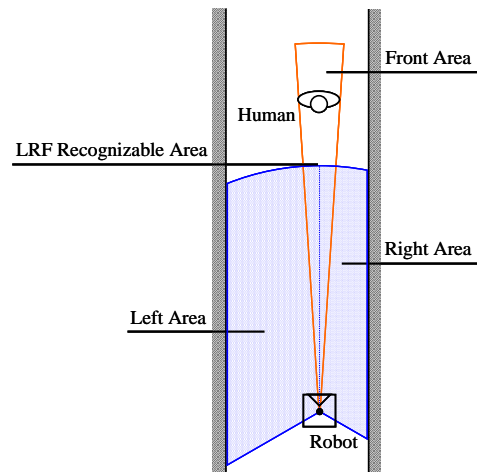


図 23 各領域の概略図



## 【障害物回避】

障害物回避では、仮想ポテンシャル法から求まる目的地までの引力 $\mathbf{F}_{x_g}$ 、障害物からの斥力 $\mathbf{F}_o$ に新たに左右に回避する回転力 $\mathbf{F}_r$ を付加する。これらの合力 $\mathbf{F}$ から速度指令を決定する。

$$\mathbf{F} = \begin{cases} \mathbf{F}_{x_g} + \mathbf{F}_o + \mathbf{F}_r \\ \mathbf{F}_{x_g} + \mathbf{F}_o \end{cases} \quad (1)$$

$$\mathbf{F}_{x_g} = -k_a (\mathbf{x} - \mathbf{x}_g) \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_o = \begin{cases} \eta \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} \nabla \rho, & \rho \leq \rho_0 \\ 0, & \rho > \rho_0 \end{cases} \quad (3)$$

ここで $k_a$ 、 $\eta$ は定数、 $\mathbf{x}$ はロボットの位置ベクトル、 $\mathbf{x}_g$ は目標位置ベクトル、 $\rho$ は障害物までの再接近距離、 $\rho_0$ は斥力の影響を受ける最大距離を表す。

環境認識において算出した $S_{left}$ 、 $S_{right}$ を用いて回転力 $\mathbf{F}_r$ を以下の式(4)より与える。

$$\mathbf{F}_r = \begin{cases} \mathbf{F}_o \times \mathbf{n} & \text{if } \frac{S_{left}}{S_{right}} \geq \alpha \\ -\mathbf{F}_o \times \mathbf{n} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ここで $\mathbf{n}$ は鉛直上向きの単位ベクトル、 $\alpha$ は1以上の定数を表す。

式(4)では、右の領域に対する左の領域の面積比を求め、左右の移動可能範囲の評価を行い、移動可能範囲の大きい方へ移動するような回転力の付加を行う。設計パラメータである $\alpha$ 以上の場合には左側に、それ以外の場合は右側に回避するような回転力を、障害物からの斥力と鉛直上向きの単位ベクトルの外積をとることで求める。右の領域に対する左の領域の面積比が $\alpha$ 未満の場合、または左右の領域の大きさがほぼ等しい場合などに右回りの回転力を付加するのは、人間の歩行特性を考慮したからである。人間の対向者とのすれ違い時の回避方向は、進行方向と対向者の位置関係から自然の流れにより決定しているが、進行方向と対向者が対峙した場合には、右側に避ける傾向が左側に避ける傾向の約2倍であると報告している。これにより、左右の領域がほぼ等しい場合には右側の回避を優先している。

【実験環境・条件】

提案手法の有効性を実機実験を行い検証する。従来手法として、Khatib の仮想ポテンシャル法を用いる。実験環境は図 25、図 26に示すように、両側の壁幅が 2.3 m の廊下において、目標地点を 5.0 m 前方として最大速度 0.5 m/s で自律移動させる。Situation 1 では廊下の中央をロボットが、中央から 0.5 m 右側を人間が移動する。Situation 2 では中央をロボットと人間が移動する。Situation 3 では中央から 0.3 m 右側をロボットと人間が移動する。Situation 4 では、(0 m、3.0 m) の位置に直径 0.2 m、高さ 0.9 m の障害物を配置し、中央をロボットと人間が移動する。

Front Area 角  $\theta$  は 4.0 m 先でロボット幅と等しい約 0.55 m になり、LRF の測域範囲の 2 倍の 8 m 先で約 1 m となる 8 deg とした。  $\alpha$  は 1.2 とし、これは本実験環境において、中央から約 0.15 m 以上右側にロボットが存在する場合に左側に回避する回転力が付加される値である。

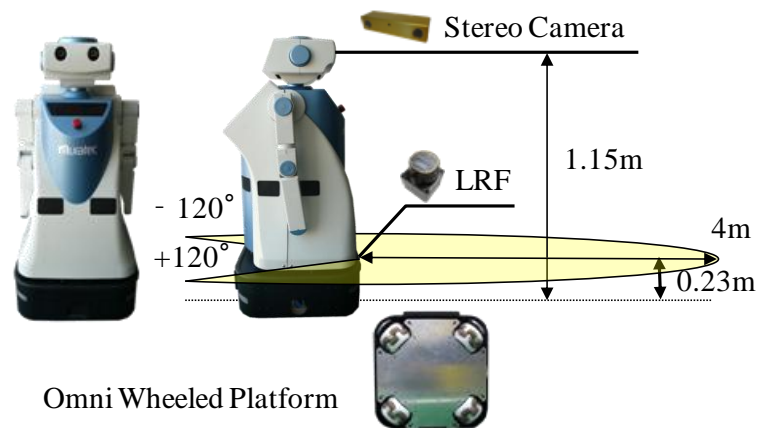


図 24 ロボットの外観(MKR-003)

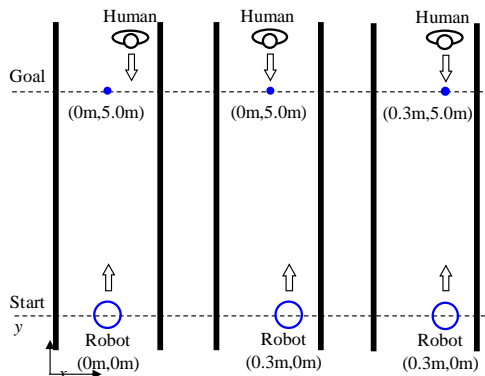


図 25 実験条件  
(Situation 1、 Situation 2 and Situation 3)

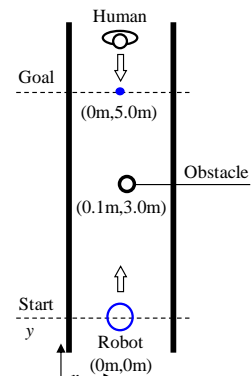
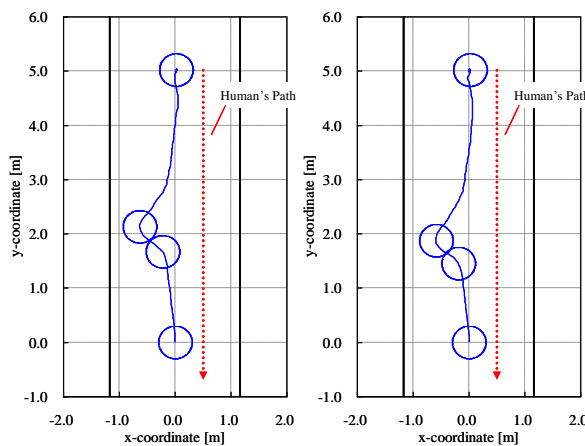


図 26 実験条件 (Situation 4)

【実験結果・考察】

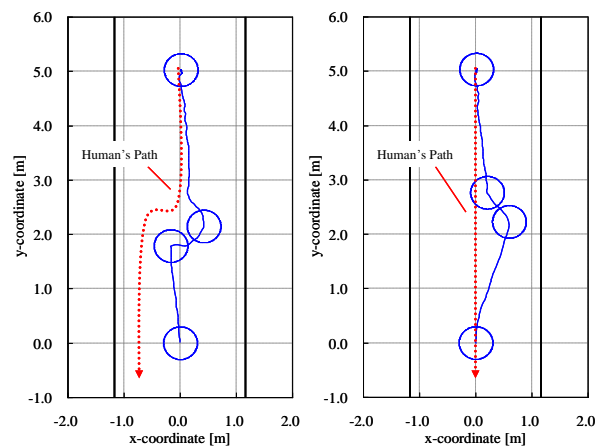
図 27から図 30に自律移動ロボットの回避行動の軌跡を示す。また、人間の移動軌跡の様子を重ねて示す。図 27では、人間が **Front Area** で検出されないため、(b)の提案手法では回転力は生成されず、(a)の従来手法と同様な経路を移動している。両手法において衝突のない回避が実現されていることが確認できる。図 28(a)、図 29(a)に示すように従来手法では、対峙する人間に対して左右に回避するような斥力が生成されず、人間が経路を変更する結果となり、人間の歩行を阻害した移動となっている。一方、提案手法では、人間を認識し、図 28(b)では左右の移動可能範囲が等しくなる場所にロボットが位置するため右回りに、図 29(b)では左側の方が移動可能範囲が大きいと左回りに回転力が生成され、人間が経路を変更することなく円滑な移動が実現されている。

通路に障害物が存在する図 30は、**LRF** のみでは障害物に遮られた人間の情報は取得できない状況である。(a)の従来手法では、人間を認識せず障害物との位置関係により左側に進む。その結果、進行してきた人間と急接近し、人間の進行により一度後退りし、目的地方向に移動している。(b)の提案手法では、ステレオカメラにより遠方の人間を認識し、図 28 (b)と同様に右回りの回転力が発生し、人間に接近することなく、従来手法よりも移動経路が短い効率的な安全な回避が実現されている。以上より、従来の障害物回避手法に人物を認識し、状況に応じた回転力を付加することで、従来手法と比較しより安全で効率的な回避が実現されたことが確認できる。回避方向を考慮した行動の有効性が示された。



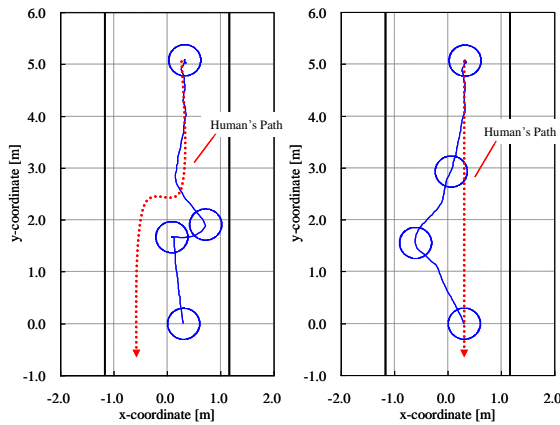
(a) Khatib's method (b) Proposed method

図 27 実験結果(Situation 1)



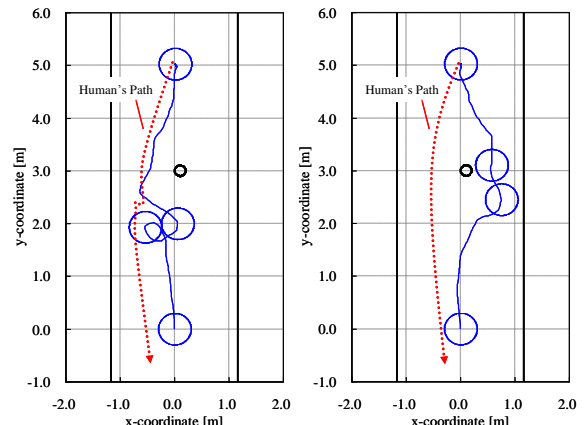
(a) Khatib's method (b) Proposed method

図 28 実験結果(Situation 2)



(a) Khatib's method (b) Proposed method

図 29 実験結果(Situation 3)



(a) Khatib's method (b) Proposed method

図 30 実験結果(Situation 4)

### 【障害物回避モード選択アルゴリズムの開発】

公共空間で移動型サービスロボットを運用するにあたり、障害物に対峙した際、周囲環境に応じて臨機応変に対応することが求められる。具体的には、障害物に対する回避行動もしくは一旦停止等、周囲環境に応じて行動を選択することにより、効率だけでなく安全面への配慮も考慮することが求められる。本プロジェクトでは、周囲環境に応じた障害物回避モード選択アルゴリズムを提案し、回避モードが適切に選択できていることをシミュレーションにより確認した。(図 31及び図 31)

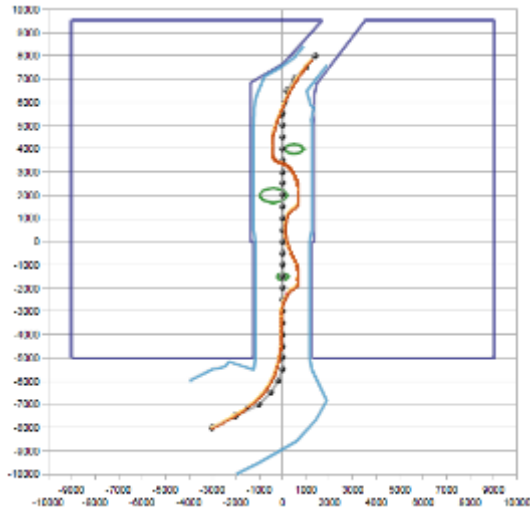


図 31 回避モード

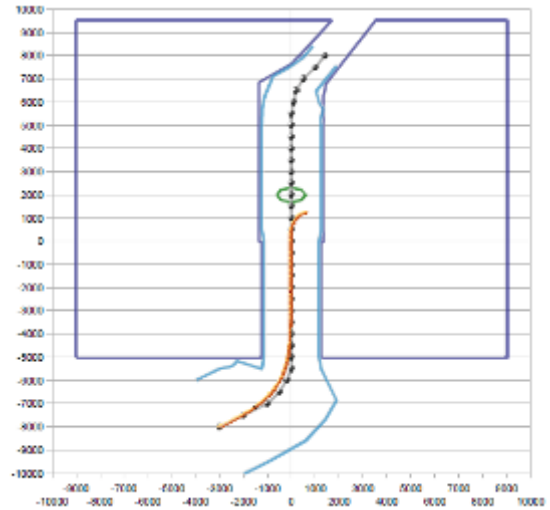


図 32 一旦停止モード

### (3) - ① 超音波タグを用いた位置計測技術の高度化

#### ・超音波受信器の設置間隔に関する検討

本研究で利用する超音波タグシステムでは、環境側(天井)に設置したすべての超音波受信器の位置は既知であるという前提の下、理論的には直線上に無い3個の受信器でタグと発信器との間の距離を計測できれば三角測量の原理でタグの三次元位置を求めることができる。さらに4個以上の受信器で距離が計測できればその冗長性を利用して誤差を低減できる。

一般に、超音波発信器・受信器はともに指向性を持っている。そのため、発信器が十分な強度の超音波を放射する方向および受信器が十分な強度の超音波を受信する空間は図 33に示す円錐形の内側領域となり、この円錐内に3個以上の受信器が存在していなければならない。ここで図 33に示すように発信器と天井(受信器が存在する平面)との距離を  $d$ 、発信器および受信器の半減全角(超音波の強度が正対する方向の強度から半減する角度)を  $2\theta$  とすると、超音波が十分な強度で受信されるためには半径  $r=d \times \tan \theta$  の円内に3個以上の受信器が存在する必要がある。さらに、受信器が格子状に設置されている場合、半径  $r$  の円内に3点以上の受信器(格子点)が存在するための格子間隔  $D$  の必要十分条件は、簡単な幾何学により  $D \leq (2/\sqrt{5})r$  である。

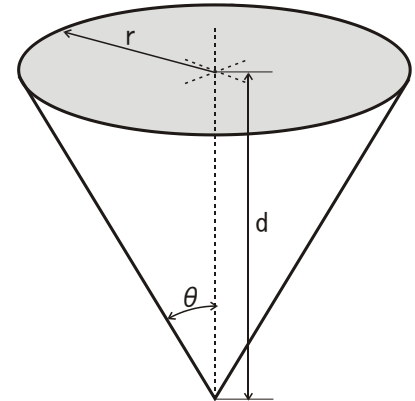


図 33 超音波発/受信器の指向性

例として具体的な数値を用いて  $D$  を求めてみる。現在使用している超音波発信器と受信器は予備実験の結果  $2\theta \approx 100$ (度)である。一方、実際にシステムを設置する環境とロボットの寸法は未知のため、ここでは仮に天井の高さを 2.5m、ロボットの高さを 1.2m として、ロボットの最高部に鉛直上向きで発信器を設置するとすれば  $d=1.3$ m となる。このとき  $r=1.3 \times \tan 50^\circ (\approx 1.55$ m)と求まり、したがってこのときの最大格子間隔  $D$  は  $D \approx 1.38$ (m)となる。

ただし、これはあくまでも理論的な最大値であり、実際の設置にあたっては壁面付近での反射や計測誤差の影響、要求される計測精度、設置する環境の問題などを考慮して間隔を決定する必要がある。

#### ・位置推定アルゴリズムの検討・検証

超音波タグの位置推定は、既知の位置に設置された大量の超音波受信器と超音波発振器との間の距離を計測し、三角測量の原理で発振器の三次元位置を推定する問題である。ただし、計測した距離データは様々な要因による誤差を必ず含むため、実際の演算では誤差の影響を考慮して位置を「推定」することになる。一方、この推定はリアルタイム性が求められるため、誤差を完全に除去できるとしても長時間の演算が必要となる方法は採用できない。つまり、たとえば移動するロボットの現在位置を 20 ミリ秒ごとに知りたい時、10 秒かけて誤差を完全に除去できる推定方法を採用して 10 秒前の正確な位置を知っても意味がなく、誤差を含んでいたとしても 20 ミリ秒以内に確実に演算結果を返す方法を採用する必要がある。

このような要求に対応できる推定手法としては

- ・最小二乗推定(LMS)
- ・M 推定

- ・最小メジアン法(LMedS)
- ・ランダムサンプル法(RANSAC)

などが広く用いられている。これらを計測データの外れ値に対する頑健性と計算速度の点で比較すると、以下のようになる。

手法	LMS	M 推定	LMedS	RANSAC
頑健性	××	×	◎	◎
計算速度	◎	◎	×	○

なお、RANSAC の計算速度はサンプリング回数に比例し、演算結果が含む推定誤差はサンプリング回数に反比例する。そのため、RANSAC は頑健性と計算速度とのバランスに優れており、超音波タグの位置推定を数値解析的な問題として捉えると RANSAC が有効である。

実際にシステムに RANSAC を実装して動作確認したところ、産総研内に設置した実験環境では、演算時間 17 ミリ秒で平均誤差 50mm の位置推定精度が得られた。

一方、近年、移動ロボットの自己位置推定などでは、従来のように推定位置が真値を中心とした正規分布するのではなく、複数の推定位置の候補で構成される複数の正規分布モデルを加算した多峰性の確率分布で表現されるモデルが用いられるようになってきた。そして、このようなモデルを表現する仕組みとしてパーティクルフィルタが広く用いられている。

一般にパーティクルフィルタは個々に尤度を持つ多数の粒子(パーティクル)を探索空間にランダムに散布し、個々のパーティクルの保持する状態とセンサから得られた情報との整合性によってそのパーティクルの尤度を再計算する。そして、パーティクル集合の中から尤度の高いパーティクルを選択的に抽出して新しいパーティクル集合を構成することで、探索空間内の真値にパーティクル集合が収斂する性質を利用する。

そこで、超音波タグの位置推定について、パーティクルフィルタの有効性を確認するため、MATLAB を用いたシミュレーションを行なった。

#### 0) 前提条件

シミュレーションを実施する上で、以下の前提条件を仮定した。

**仮想環境(探索空間)：**縦 3000mm×横 4000mm×高さ 3000mm の仮想環境とする

**超音波受信器の配置：**上記の環境の天井面に、300mm 間隔および 600mm 間隔で超音波受信器を配置する

**有効な受信器：**超音波発信器には指向性があるため、すべての受信器で超音波を検出できるわけではない。そこで、発信器は鉛直上方を向いて設置され、発信器を頂点として頂角 60 度(鉛

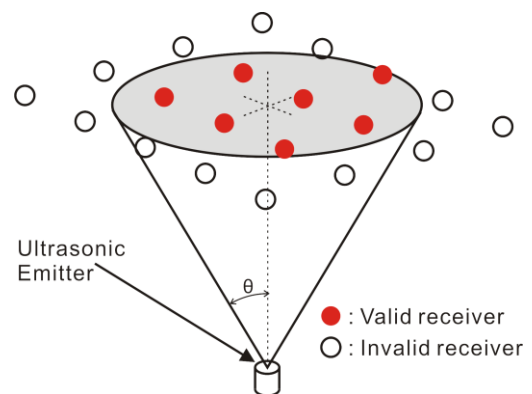


図 34 有効/無効な受信器

直軸±30 度)の円錐内に存在する受信器のみに超音波が到達するものとする(図 34参照)。なお、前述の通り、実際に使用している発振器は頂角が約 100 度であることがわかっており、今回のシミュレーションは実際より厳しい条件を設定していることに注意が必要である。

**計測誤差**：超音波受信器で計測する発信器—受信器間の距離には、平均 0, 標準偏差 5mm の正規分布に従う計測誤差が含まれるものとする

**繰り返し計算の回数**：パーティクル集合を真値に収斂させるため、一度の位置計測あたり 10 回の繰り返し計算を実施する

**尤度の決定**：パーティクルから上に示した個々の「有効な受信器」 $i$  までの距離  $d_{p,i}$  と、その受信器の出力値  $d_i$  (発信器までの距離で計測誤差を含む値)との差の二乗和  $\sum(d_i - d_{p,i})^2$  を求め、その逆数を疑似的尤度  $P_p$  とする。ただし、 $\sum(d_i - d_{p,i})^2 \leq 1$  の場合には  $P_p$  が過大な値となるため、上限を 1.0 としている。すべてのパーティクルで疑似的尤度  $P_p$  を求めた後、 $\sum P_p = 1.0$  となるように正規化する

**推定位置の決定**：繰り返し計算の結果得られたパーティクル集合のすべてのパーティクルを用いて、パーティクルの位置  $v$  の尤度による重み付け平均  $\sum P_p v$  を推定位置  $V$  とする

### 1) 誤差評価実験

パーティクルフィルタの位置推定誤差を評価するため、仮想環境内にランダムに配置した発信器の位置を 100, 200, 300, 400, 500 個のパーティクル集合で推定するシミュレーションを行なった。推定する発信器の位置は 100 通り用意し、パーティクルの初期位置もパーティクル数(100~500 個)毎にランダムに 100 通りずつ生成した。すなわち、パーティクル集合の各パーティクル数に対して 10000 回の位置推定シミュレーションを実施し、真の位置と推定位置とのユークリッド距離を誤差とした。

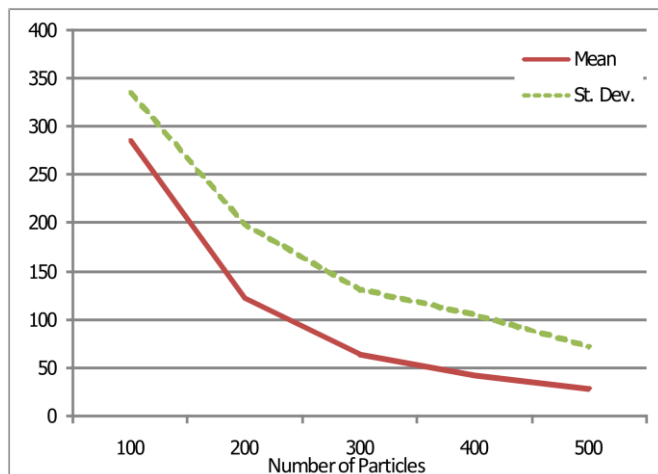
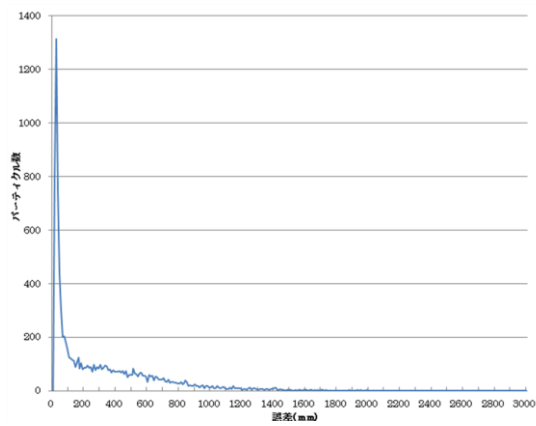


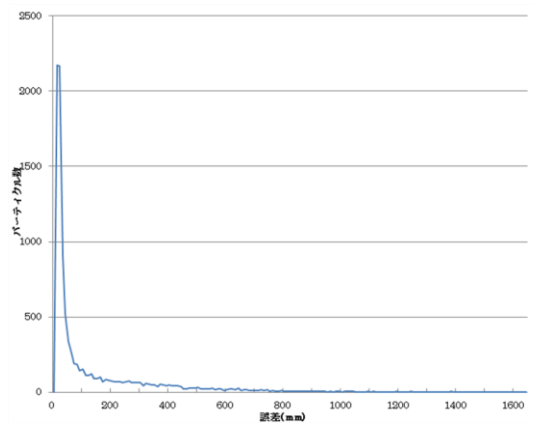
図 35 パーティクル数と位置推定誤差の平均値および標準偏差との関係

図 35にパーティクル数ごとの誤差の平均値と標準偏差を示す。この図から、誤差の平均値はパーティクル数が 400 個と 500 個の場合に RANSAC の平均誤差 50mm よりも良い結果となっていることがわかる。

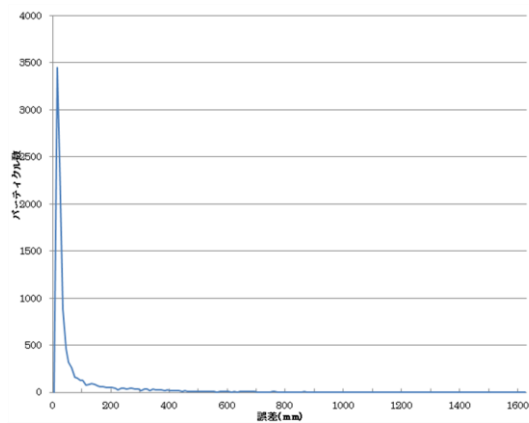
次に、横軸に誤差を、縦軸にパーティクル数を取ったヒストグラムを図 36に示す。使用したパーティクルの個数によらず、使用したパーティクルの多くは非常に小さな誤差で真値を推定できていることがわかる。また、図 36より、すべてのパーティクルを用いず尤度の高いパーティクルの情報のみを用いれば、図 35に示したより誤差が低減する可能性が非常に高いことも明らかであるが、今回そのような選択操作は行なわず、すべてのパーティクルの情報を使用している。



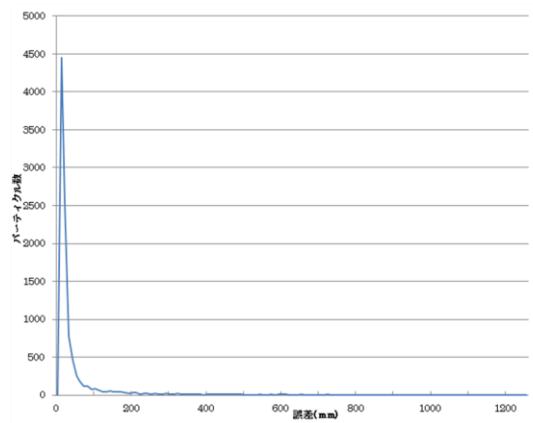
(a) パーティクル数 100 個の場合



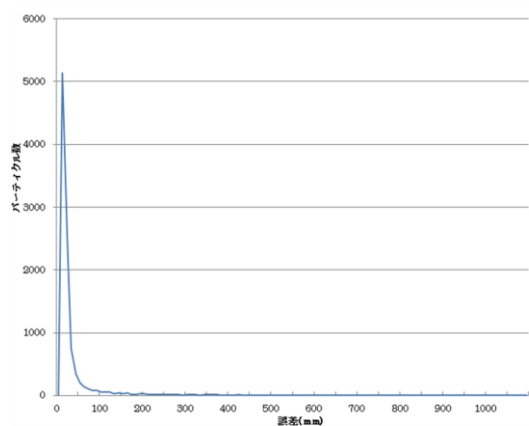
(b) パーティクル数 200 個の場合



(c) パーティクル数 300 個の場合



(d) パーティクル数 400 個の場合



(e) パーティクル数 500 個の場合

図 36 誤差とパーティクル数との関係

## 2) 移動目標の追跡実験

仮想環境内で超音波発信器をランダムに移動させ、その位置をパーティクルフィルタで追跡するシミュレーションを実施した。パーティクル数を 500 個としたところ、上記誤差評価実験と同様に、全行程に渡って誤差 50mm 以下、およそ 20~30mm 程度で発信器の位置を追跡可能であることが確認できた。

上記のシミュレーション結果より、パーティクルフィルタの有効性および RANSAC に対する優位性が確認できたため、実際のタグシステムに対して同アルゴリズムの実装を開始した。



### ・GPGPUによるパーティクルフィルタの実装

前述の通りパーティクルフィルタによる位置推定は RANSAC による位置推定より精度が向上できる可能性を示したが、これを RANSAC と同じ計算機上で実装すると演算時間が 25 ミリ秒程度かかることがわかった(なお演算時間は処理するデータ数および使用するパーティクルの個数等に依存する。上記はパーティクルを 500 個使用した場合である)。RANSAC の演算時間は約 17 ミリ秒であったから、およそ 1.5 倍となっている。

一方、GPU(Graphics Processing Unit)を用いた GPGPU(General Purpose computing on GPU; GPU を用いた汎目的計算)が最近様々な分野で使われるようになってきた。GPU は内部に大量の演算器を有しており、複雑な条件分岐等がない単純な数値演算であれば CPU よりも高速に並列実行できる。また、ミニ ITX 規格等の小型計算機でも GPU を搭載した製品が市販されているため、GPGPU が活用できれば位置推定用の計算機を非常に小型かつ安価に実現できる可能性がある。

本研究で実装するパーティクルフィルタでは、各パーティクルについて、図 37に示すように、①個々の超音波受信器との距離計算、②各受信器で計測された距離データとの比較(ベクトルの差分計算)、③差分結果に基づく尤度計算をリアルタイムに実行するが、いずれの処理でも条件分岐は発生しないため GPGPU に適しているものと考えられる。

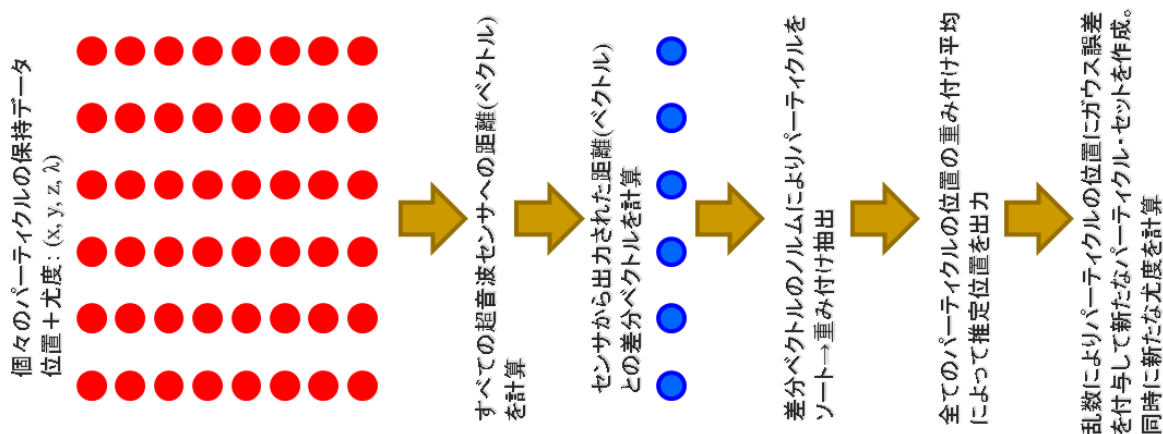


図 37 GPGPUによるパーティクルフィルタ・アルゴリズムの実装

そこで、平成 21 年度に FS を行なって GPGPU の適用可能性を検討した後、平成 22 年度に実装を行なった。具体的には Nvidia 社製の GPU を搭載した計算機で同社製 GPU 用の GPGPU プログラミング環境 CUDA を利用し、個々のパーティクルにおける距離計算・尤度計算および差分ベクトル計算等を GPGPU 上のスレッドに割りつけて並列演算として実装した。その結果、パーティクル個数を 512 個とした場合での演算時間は約 2 ミリ秒と 10 倍以上の高速化が実現できた。平均誤差は 20mm 程度であり、CPU 上で演算した場合と変化はなかった。

### ・省電力型超音波タグの開発

共同研究先である慶應義塾大学からの依頼により、省電力型の超音波タグを開発した。従来型の超音波タグは、たとえ自己位置が変化していない場合でも外部から指示を受ける度に超音波を発射する仕様となっている。この場合、前回超音波を発射した時点から自己位置が変化しなくても超音波発信器を駆動することになり、このような挙動は電源容量に制約がある移動ロボッ

トではあまり望ましくない。

そこで、従来の超音波タグに3軸の加速度センサを新たに内蔵し、加速度の変化が検出されない場合には自己位置が変化していないものとして、省電力モードに移行する仕組みの導入を検討した。省電力モードにある超音波タグは外部からの指示があっても超音波を発射しないようにすることで、内蔵電池の寿命を延ばせる可能性がある。この仕組みを導入した超音波タグを試作した。これにより、タグが動いていない状態の場合、内蔵電池の消耗を約70%程度削減することが可能となり、電池交換間隔を飛躍的に延ばす効果(約3倍)が期待できる。

図38に開発した省電力型超音波タグを示す。



図38 省電力型加速度センサ内蔵超音波タグ

#### ・無指向性超音波タグの開発

市販の超音波発振器を利用した従来の超音波タグの欠点は、発振器が一般に図39に示すような指向性を持つために発信した超音波の到達可能な範囲が制限されることにある。例えば、図39に示す発振器では、正面から60°をなす方向の信号強度は-20dBとなるため、この方向に設置された超音波受信器では信号を検出できない可能性が高い。この結果、環境内の受信器の設置場所はタグ(発振器)の設置方向に大きく影響を受けることとなり、仮にタグを鉛直上向きに設置するとすれば、受信器の設置箇所は自ずと天井に制限されることになる。

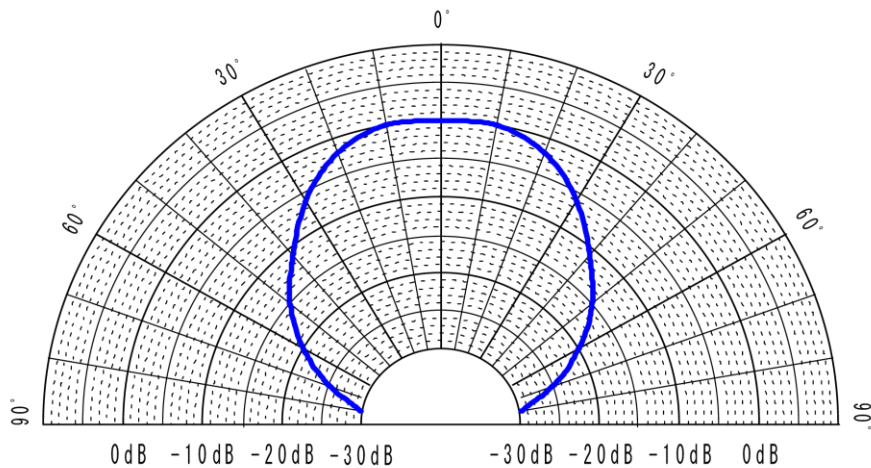


図39 市販の超音波発振器(日本セラミック社製 T4016A2)の指向性

逆に、あらゆる方向に十分な強度で超音波を届けられる、すなわち指向性の影響が非常に低い超音波タグが実現できれば、受信器の設置箇所は非常に高い自由度が得られ、本プロジェクトで想定しているような病院でも、壁面等空いているスペースに受信器を容易に設置可能となる。ここではこのような超音波タグを無指向性超音波タグと呼ぶことにする。

一般に、単一周波数の波に対してその進路に穴の開いた壁（障害物）を置くと壁の背後に波が回り込む現象（回折）が生じる。この時、回折による広がり角  $\theta$ [rad]と、波長  $\lambda$ 、穴の口径  $D$  との間には以下の近似が成り立つ：

$$\theta \cong 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

現在使用している超音波発振器の周波数は 40[kHz]なので、仮に空気中の音速を 340[m/s]とすると波長  $\lambda$  は 8.5[mm]である。上式より  $\lambda$  が一定の時、口径  $D$  と広がり角  $\theta$  とは反比例することがわかるが、一方で、口径を絞りすぎると壁面での反射により壁の背後に発射される超音波の総エネルギーが低減する可能性があることに注意が必要である。

上記の検討により試作した無指向性超音波タグの外観を図 40に示す。

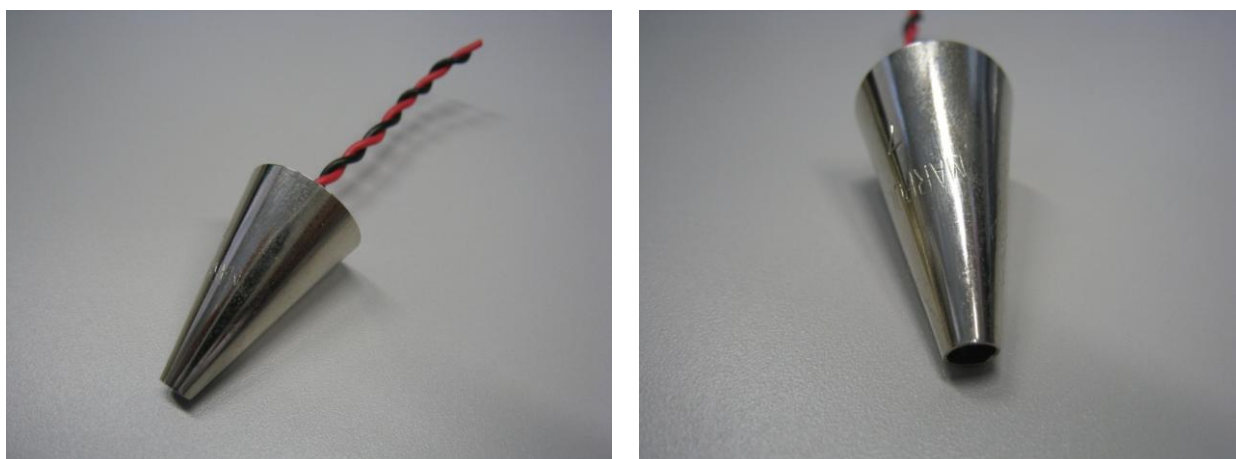


図 40 無指向性超音波タグ

開口部の口径  $D=4$ [mm]であり、前ページの式を用いると回折による広がり角  $\theta$ の理論値は  $\theta \cong 2.59$ [rad]  $\cong 149^\circ$ すなわち、およそ  $150^\circ$ となり、市販の発信器と比較しても広範囲に超音波を放射できることがわかる。

指向性（正面からの角度に対する信号強度）について、旧型のタグと今回試作したタグとを比較した結果を図 41に示す。

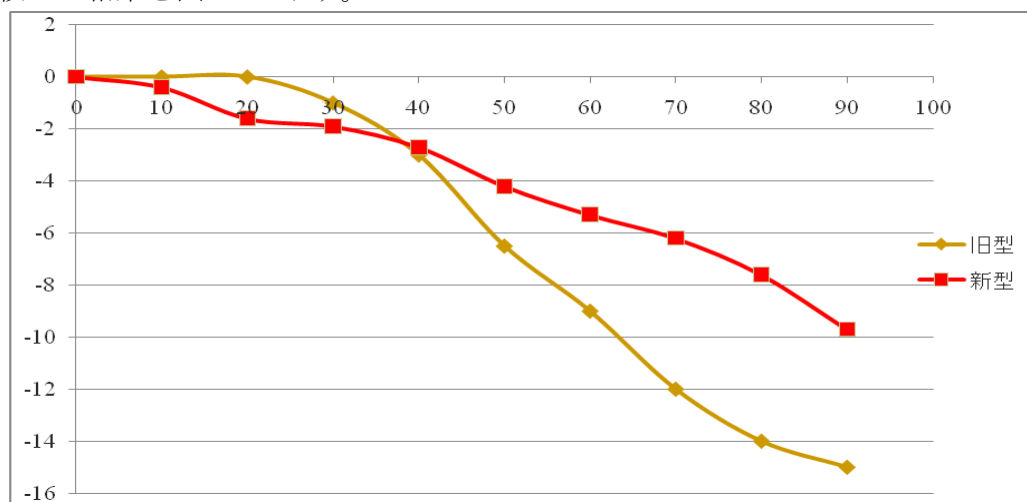


図 41 新旧タグの指向性

試作した無指向性超音波タグでは発振器より発射される超音波の全エネルギーが空間的に広範囲に放射されるため、前述のように正面に近い方向における信号強度は市販の発振器を使用した旧型タグより低い、市販の発振器の指向性限界に近い40°近辺でグラフが逆転し、およそ正面から60°の方向では5dB程度利得の向上が得られている。

以上、試作した無指向性超音波タグの利用により、超音波タグシステムの受信器の設置箇所の自由度を増せる可能性を示せた。

### (3) - ② 大規模センサ・ネットワークの開発

#### ・ 計算機環境の整備

産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターに設けられたセンサ化環境は、リビングルーム、子供部屋、寝室およびそれらを結ぶ廊下で構成されており、これらの構成要素ごとに超音波タグシステムが設置されている。そこで個々のシステムに対応する形で制御用 PC を一台ずつ配置し、さらに制御用 PC からの情報を中継する中継サーバを一台、収集した位置データを蓄積するデータベースサーバを一台、それぞれ設置した。

使用するデータベースのサーバ・ソフトウェアには、幾何学データ型(点・線分・経路等)を直接扱うことのできる PostgreSQL を利用することとした。

#### ・ ソフトウェア開発・整備

これまでの超音波タグシステム用制御プログラムは Microsoft Windows 上で GUI を利用するアプリケーションとして開発されてきた。一方、本研究のように病院等の建物内にシステムを埋め込む場合、複数のタグシステムを統合する形で全体のシステムを構成する必要がある、個々のタグシステムに GUI を設けて個別に管理する方法は適切ではない。また、Windows を利用する場合、遠隔地からの動作チェックが困難であるという問題がある。そのため、前述の制御用 PC や中継サーバは OS として Linux を採用した。さらに、従来 Windows 上で開発されてきたプログラムの Linux への移植を行なった。

#### ・ 省電力型超音波タグ用コントローラの開発・交換

産総研で構築した既存の大規模センサ・ネットワーク(センサ受信器 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、開発した省電力型超音波タグ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、省電力型超音波タグが動作するコントローラを開発した。これを従来の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ー技術の開発

大規模センサ・ネットワークの場合、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ー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、タグハンドオーバー機能を実現した。前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。

開発した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の様子を図 42に示す。

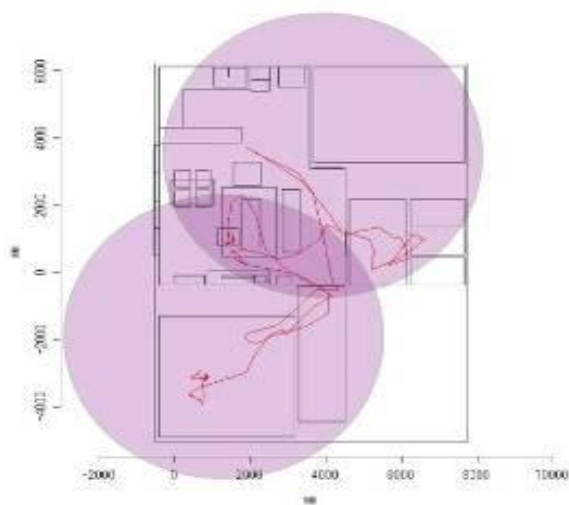


図 42 大規模センサネットワーク構築可能なタグコントローラとハンドオーバ機能を利用した広範囲タグ追跡

<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) - 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検討し、ロボット本体の低重心化を図ると共に、駆動車輪を支持するサスペンションにバネ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. カセンサレス衝突検出

本研究課題では、車椅子の安全な搬送を実現するにあたり双腕型移動ロボット(案内ロボット)を利用したカセンサレスの押し動作を実現する。提案アルゴリズムでは、案内ロボットの腕に取り付けられたアクチュエータの電流指令及び加速度応答からロボットが搬送物体より受ける反力を推定している。アルゴリズムの検証を行うためエラー! 参照元が見つかりません。に示すロボットを用いた実験を行った。図 44にその実験結果を示す。図 44において、青線はカセンサによる力検出結果、赤線は推定アルゴリズムによる推定反力結果を示している。この結果より、誤差 10N 以内での反力推定が行えていることがわかる。



図 43 実験用ロボット

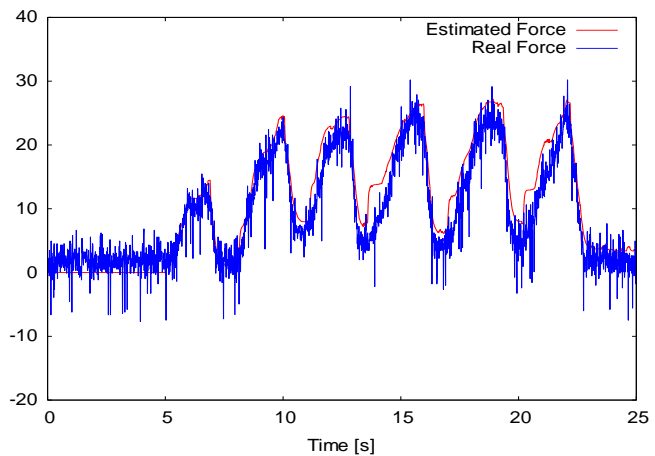


図 44 反力推定結果

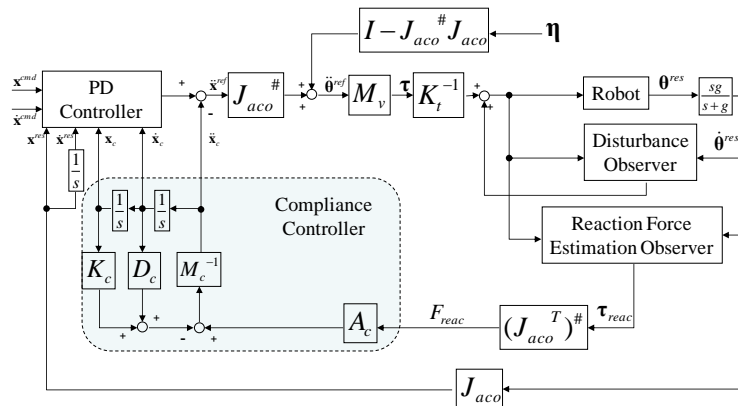


図 45 コンプライアンス制御器を含む反力推定に基づいた制振制御系

提案アルゴリズムでは、図 44に示す推定反力をコンプライアンス制御器(図 45の水色部分)を通してフィードバックすることで搬送物体から受ける振動の抑制を実現している。ここで、コンプライアンス制御器における仮想パラメータ(仮想質量: $M_c$ 、仮想ダンピング係数: $D_c$ 、仮想ばね係数: $K_c$ )を適切に設定することで、車椅子の振動を効果的に抑える制振制御が実現できる。図 45に示す制御系の有用性を検証するため、車椅子の押し動作を図 46に示す姿勢で行った。その際得られた車椅子の加速度応答を図 47に示す。実験では、車椅子の座面に設置された加速度センサにより車椅子に発生する加速度を測定している。ここで、赤色が反力フィードバックを行わなかった場合、青色が反力フィードバックを行った場合の応答を示している。これらの結果より、提案する反力推定に基づいたコンプライアンス制御により加速度の振動ピークが抑えられていることがわかる。

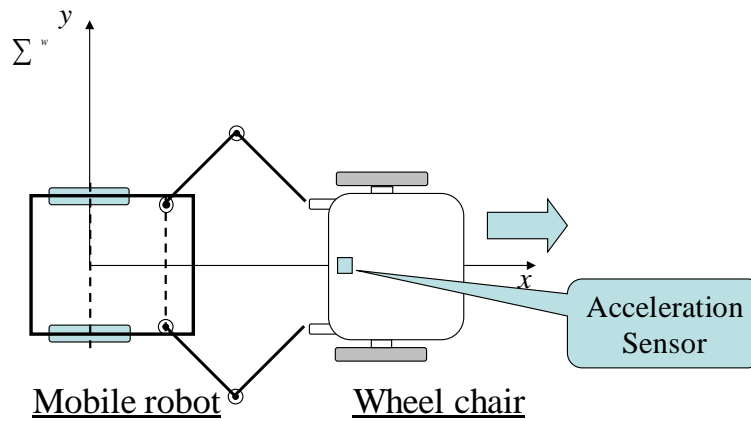


図 46 案内ロボットによる車椅子の押し動作

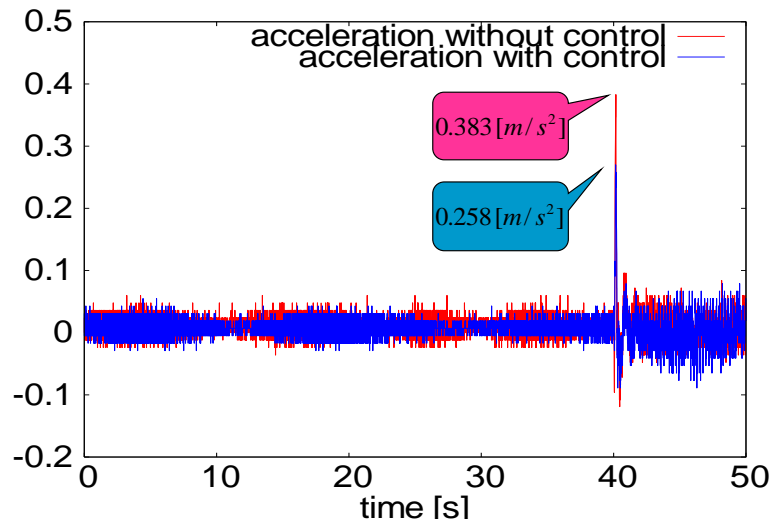


図 47 押し動作における車椅子の加速度応答

(2) - ⑥ - 2. 車椅子等搬送のための移動支援技術

図 47の実験検証では、直線軌道における安定性（振動抑制性能）について検証を行ったが、任意の軌道での安定性向上は必ずしも保証されない。そこで、安定性を保証した軌道追従制御を実現するため、エネルギー関数（リアプノフ関数）を用いた軌道追従制御法を実現している。さらに、車椅子搭乗者の乗り心地を加味した軌跡追従制御を実現するにあたって、搬送ロボットに作用する反作用力を用いた振動抑制アルゴリズムを確立した。提案手法の有効性を検証するため、従来から多くの研究で用いられているコンプライアンス制御との比較も行った。比較検証では図 48に示すような車椅子押し動作を想定し、車椅子搭乗者の動作応答をばね、マス、ダンパモデルで近似している（図 49）。したがって、搭乗者モデルの振動が最小に抑えられた際に搭乗者の乗り心地が改善されているとして検証を行った。図 50に提案手法全体のブロック線図を示している。詳細な説明は略すが、提案手法では反力推定オブザーバ(RTOB)により推定された搬送ロボットへの反力情報（反作用力もしくは反作用力の時間微分値）を用いて、軌道追従制御器に設定されている許容誤差を修正し、振動が発生した際には軌道追従制御よりも振動抑制制御を優先する制御器構成としている。まず、図 51に提案手法とコンプライアンス制御のシミュレーション結果（直線軌道）を示す。図 51 (a)より、追従特性の向上のみに着目したリアプノフ関数に基づいた軌跡追従制御と比較すると、両手法とも同等の振動抑制効果があることが分かる。しかしながら、図 51(b)に示すようにコンプライアンス制御では位置応答に定常偏差が生じており、位置偏差の生じていない提案手法の方がより高性能であると言える。

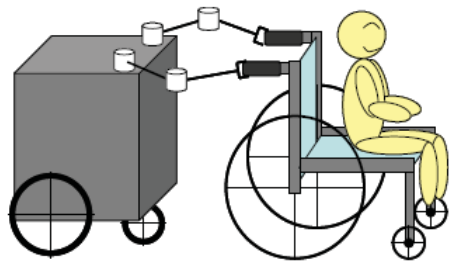


図 48 搬送ロボットによる車椅子の押し動作

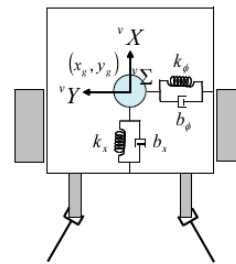


図 49 車椅子搭乗者のモデル

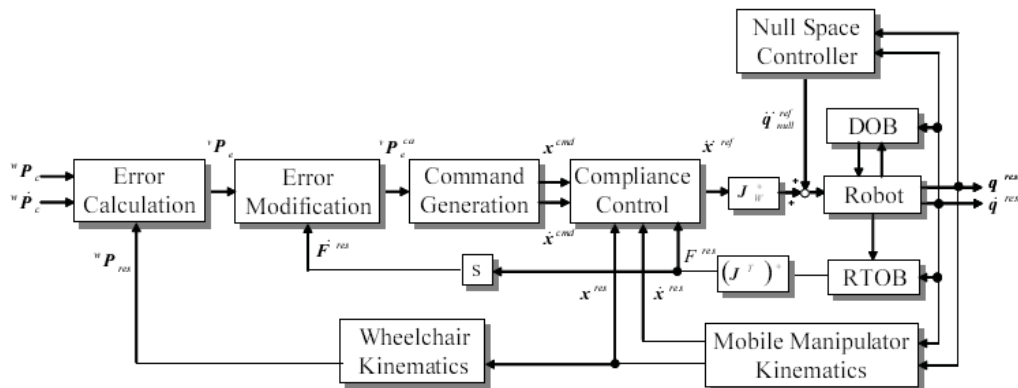


図 50 制御系全体のブロック線図



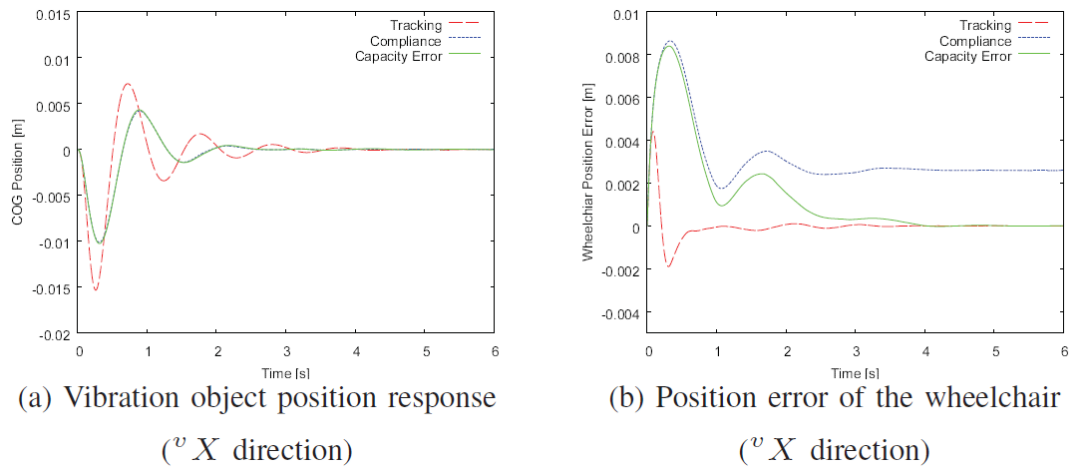


図 51 提案手法とコンプライアンス制御の比較

図 52では次に示す各手法による応答の比較を示している。図より、手法 4 が最も安定でかつ軌跡追従特性が良いことがわかる。

手法1:リアプノフ関数に基づいた軌跡追従制御(Tracking)

手法2:リアプノフ関数に基づいた軌跡追従制御+コンプライアンス制御  
(許容誤差無し:No Capacity Error)

手法3:リアプノフ関数に基づいた軌跡追従制御+コンプライアンス制御  
(許容誤差を反作用力に基づいて生成:Capacity Error(F))

手法4:リアプノフ関数に基づいた軌跡追従制御+コンプライアンス制御  
(許容誤差を反作用力の時間微分値に基づいて生成:Capacity Error(dF))

図 53に他の位置指令(曲線軌道)を仮定した場合のシミュレーション結果を示している。図より、曲線軌道においても提案手法の有効性が確認できる。

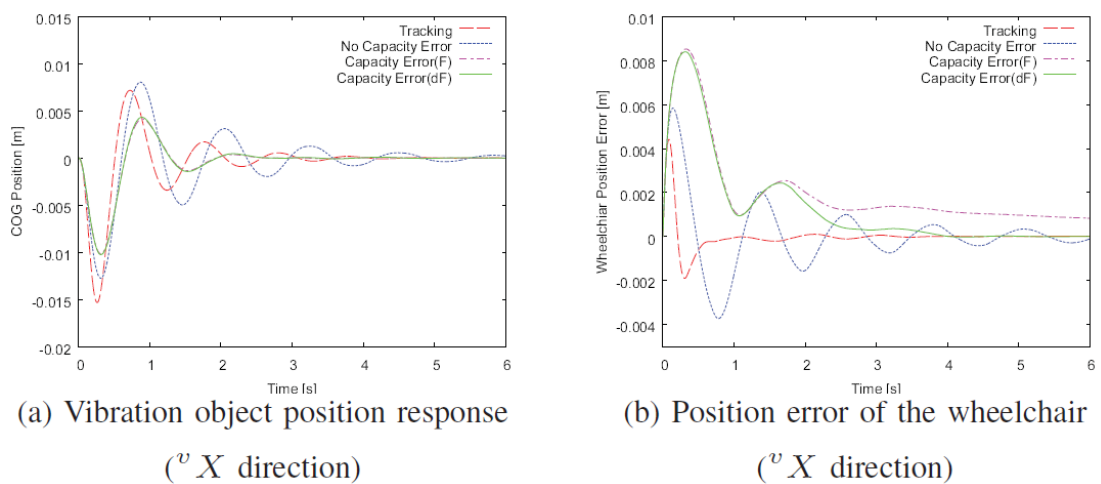
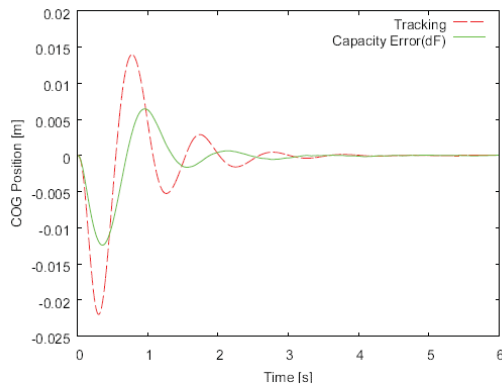
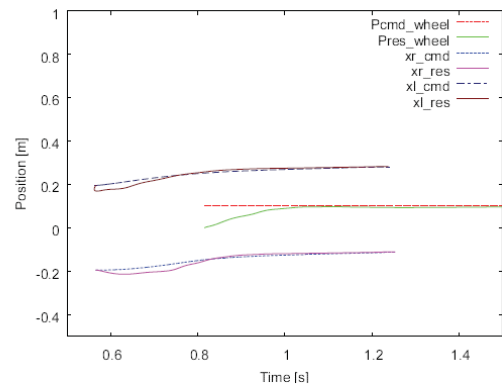


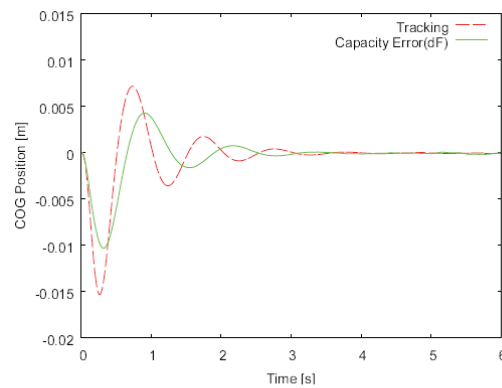
図 52 各手法の応答比較(直線軌道)



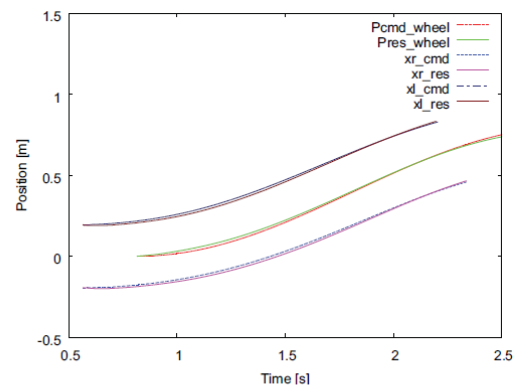
(a) Vibration object position response  
( $v X$  direction)



(b) Position response



(c) Vibration object position response  
( $v X$  direction)



(d) Position response

図 53 各手法の応答比較(曲線軌道)

次に、実験結果を示す。実験では、水の入ったポリタンクが乗せてある車椅子を双腕型移動ロボット(案内ロボット)が押し動作を行っている(図 54)。実験結果を図 55に示す。図 55より提案手法では、軌道の追従特性を損なうことなく車椅子上の振動物体の振動抑制が達成できており、安定した押し動作が実現できていることがわかる。

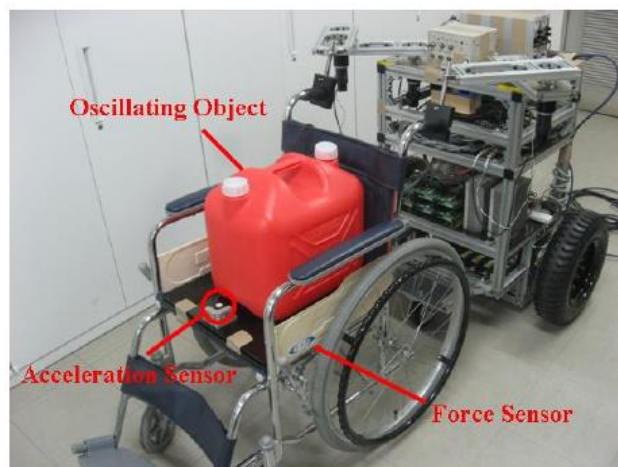
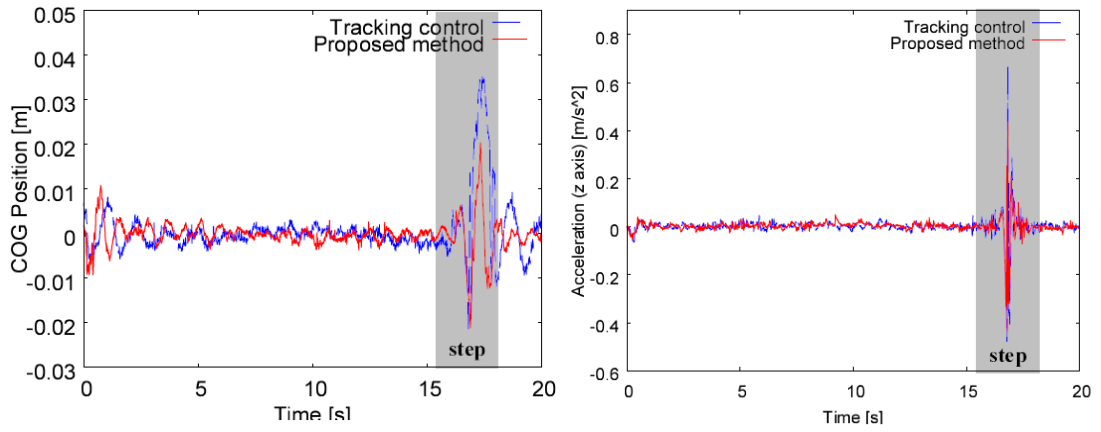
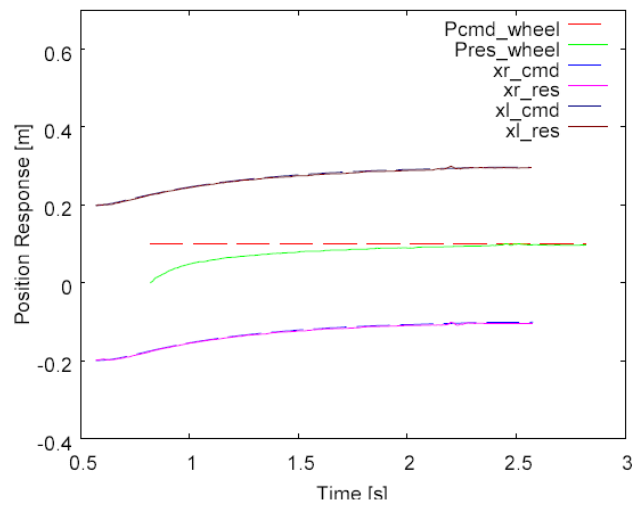


図 54 実験システム条件



(a) COG response

(b) Acceleration response



(c) Trajectory response

図 55 車椅子上の重心位置変動、加速度応答、軌道応答

本研究課題では、任意の軌道での押し作業の実現に加えて、押し作業時の段差乗り越えアルゴリズムも構築している。そこで、提案アルゴリズムにおける対象物段差乗り越えのフェイズを定義する。段差乗り越えの各フェイズを図 56に示す。ここでは、段差乗り越えにあたって 5 つのフェイズが定義されている。最初の 3 フェイズが対象物前輪の段差乗り越えを、最後の 2 フェイズが対象物後輪の段差乗り越えを表している。以下、各フェイズについて詳しく説明していく。まず第 1 フェイズは、通常の押し作業を行っている状態であり、この段階で段差を認識し、段差乗り越えのための準備を行う。ここで、通常の押し作業とは既に前述した提案手法による押し作業のことである。このフェイズで、段差の位置や高さから、後述する方法によって段差を乗り越えるための位置指令値を算出する。第 2 フェイズでは、対象物の前輪を上げることで、段差を乗り越える。前輪が段差を乗り越える時、当然のことながら段差より高く対象物の前輪を上げなければならない。そして第 3 フェイズにおいて、対象物の前輪を地面に着地させる。この時、段差を乗り越えた地点へ正確に前輪を着地させなければならない。

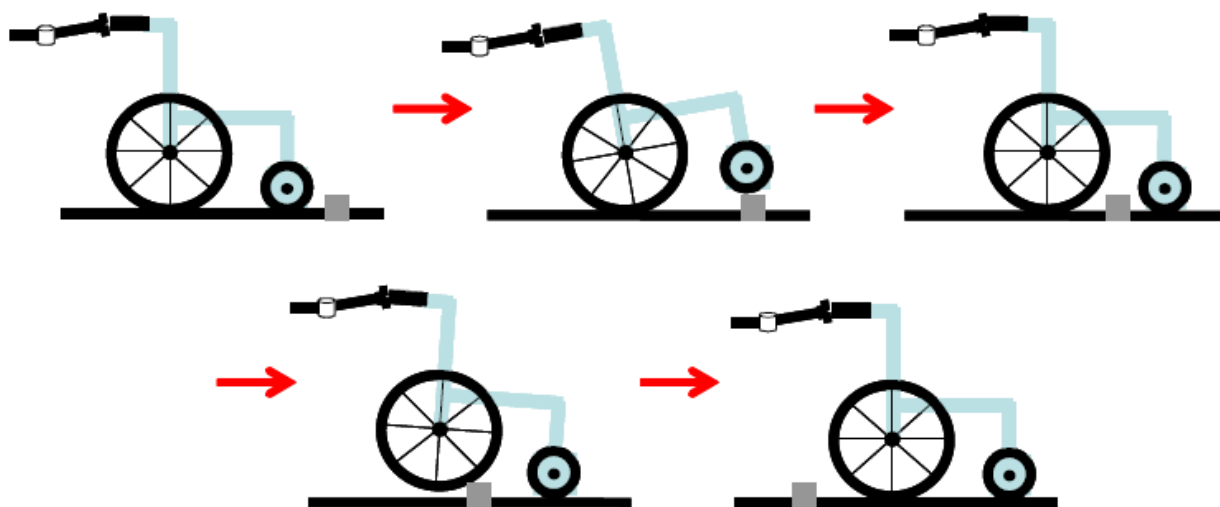


図 56 段差乗り越えアルゴリズムにおける 5 つのフェイズ

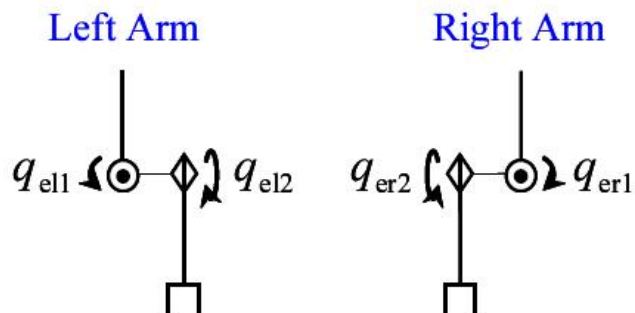
次に、対象物後輪の段差乗り越えについて説明する。第 4 フェイズでは、対象物の後輪が段差に衝突する。段差との衝突に合わせて対象物を押すことで、後輪の乗り越えを達成する。最後の第 5 フェイズは、後輪の段差乗り越えが完了し、通常の押し作業に戻った状態である。この後、通常の押し作業を行って、目的地を目指して対象物を押していく。本提案手法では、以上説明したような段差乗り越えの 5 つのフェイズの実現を行っている。これによって、搬送の妨げとなる段差を乗り越えて、対象物を目的地まで到達させる。

図 56の5つのフェイズによる段差乗り越えを達成するため、本研究課題で新たに導入した段差乗り越えのための双腕型移動ロボット(案内ロボット)の新しい手先機構について述べる。本研究における段差乗り越え制御では、車椅子をピッチ方向へ操作しなければならない。これを実現するためには、移動マニピュレータの手先位置と手先姿勢を制御する必要がある。しかしながら、車椅子の厳密な幾何学モデルを得ることができなければ、位置と姿勢を同時に制御することはできない。車椅子の機構的な拘束のため、手先の鉛直位置が決まると、とるべき手先姿勢が一意に決まってしまうためである。つまり、手先鉛直位置と姿勢の関係を車椅子のモデルから正確に求めなければ、手先位置と姿勢の制御目標値を正確に決めることができない。そこで、本研究では図 57の新しい機構を用いることで、上記問題を解決する。図 57の機構は、双腕型移動ロボット(案内ロボット)における各腕の第三リンクの先に取り付ける。図 57に示

すように、三次元動作型双腕移動マニピュレータは各々の腕に二つの受動関節とシリンダを有する。各シリンダには、二つのネジ穴を開け、シリンダを取手に通してネジによって移動マニピュレータと車椅子を固定する。この機構を用いることで、移動マニピュレータの手先姿勢が柔軟に動作を行うことができる。したがって、移動マニピュレータの手先が車椅子の姿勢変動に応じて柔軟に動くため、手先位置制御のみで車椅子をピッチ方向に操作することが可能となる。また、本研究では簡単化のためにシリンダを用いたが、実際には人間の手のような把持機構をシリンダの代わりに用いることが望ましい。



(a) 手先機構



(b) 手先モデル

図 57 双腕型移動ロボット(案内ロボット)の手先機構

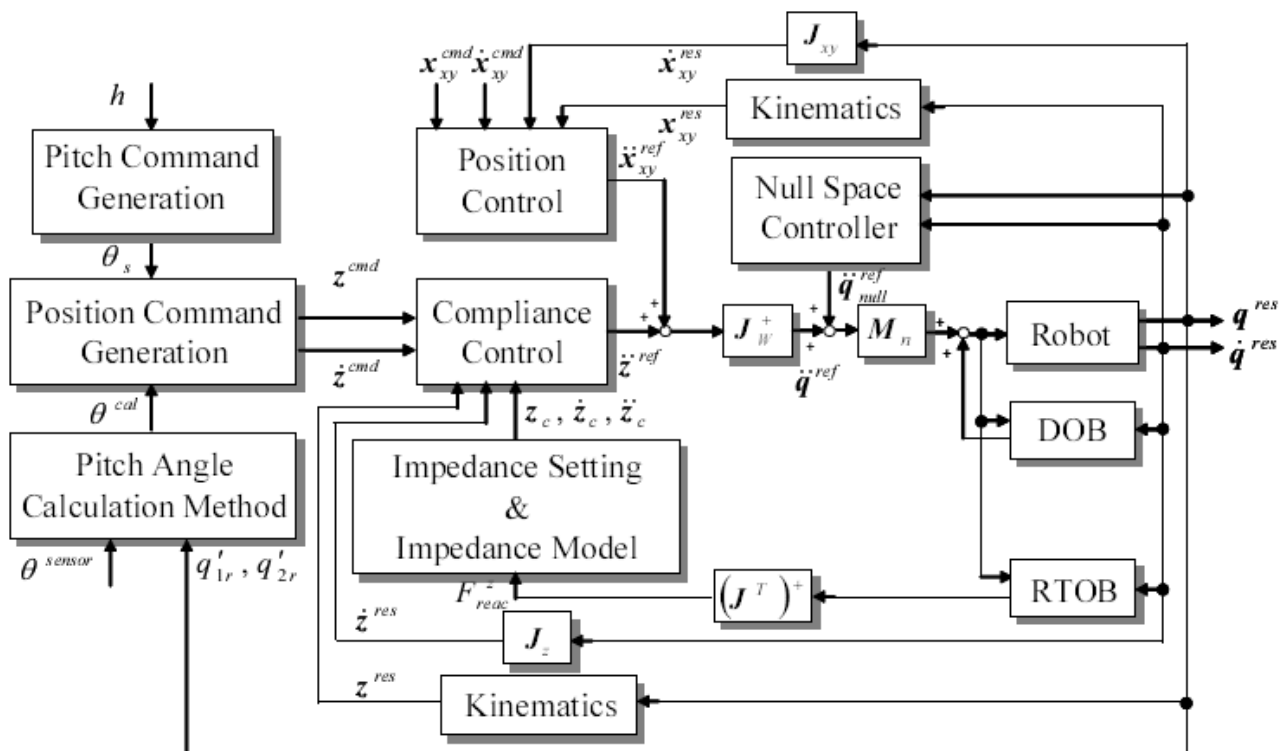


図 58 全体の制御系ブロック線図

図 58に段差乗り越えアルゴリズムを含めた制御系全体のブロック線図を示す。提案アルゴリズムでは、段差の高さ $h$ は既知としている。手先位置の角度情報から段差乗り越えのための手先位置指令が生成され段差乗り越えを達成する流れとなっている。提案アルゴリズムによって得られた実験の様子を 図 59 にまとめる。

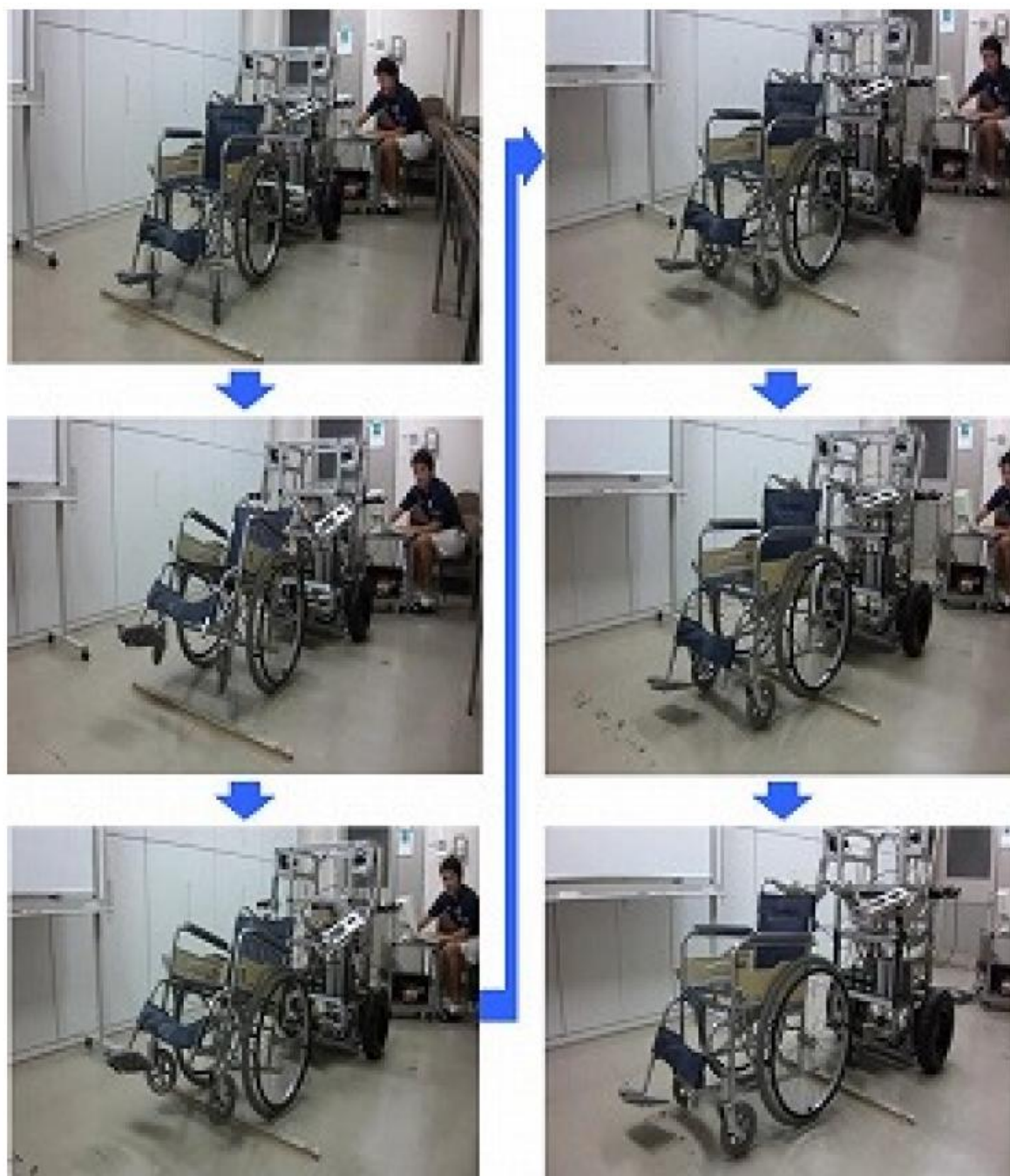
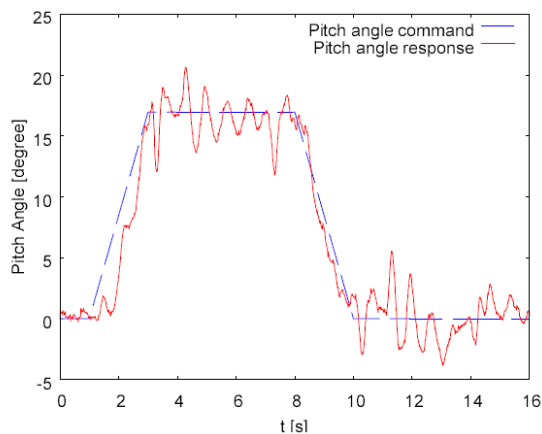


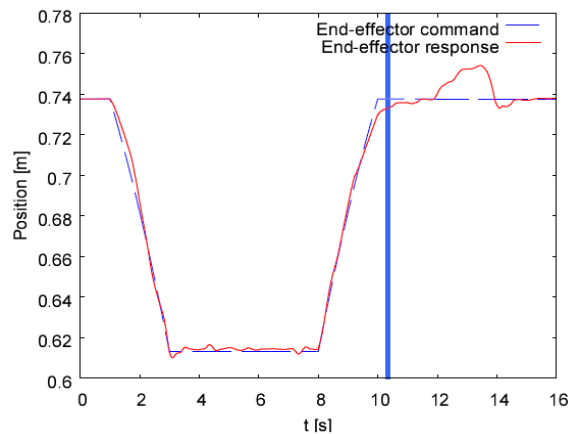
図 59 段差乗り越え実験の様子

図 59より、提案アルゴリズムによって段差乗り越え動作が滑らかに実現できていることがわかる。このときのピッチ角度応答、手先位置応答、手先値力応答を図 60に示す。図 60(a)のピッチ角応答を見ると、青い線は必要ピッチ角  $\theta_s$  を、赤い線は傾斜センサによって測定したピッチ角応答値を、緑の線はピッチ角計算値  $\theta_{est}$  を表している。まず、ピッチ角応答値が必要ピッチ角に達していることから、車椅子ピッチ

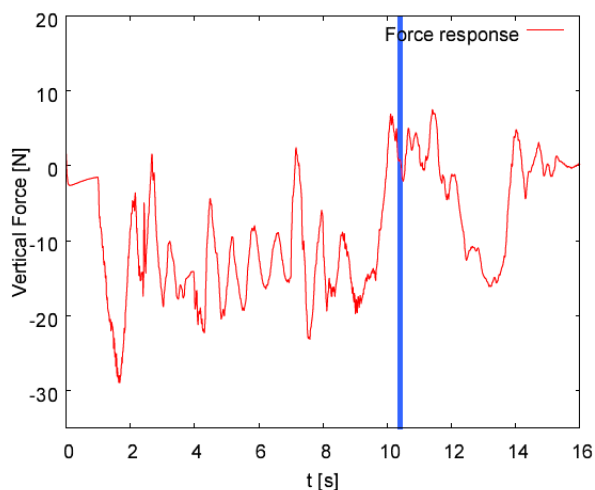
角が所望の値に正確に制御されていると言える。また、ピッチ角応答値とピッチ角計算値を比較することで、ピッチ角が正確に計算されていることがわかる。ピッチ角が正確に計算されているため、ピッチ角応答値が必要ピッチ角となっているのである。ピッチ角計算値が必要ピッチ角に達すると、移動マニピュレータ手先が静止し、ピッチ角が所望の値に制御されている。この結果、図 60(b)において、車椅子前輪高さが段差より高くなり、段差に衝突せずに正確に段差を乗り越えることができている。



(a) 車椅子ピッチ角応答



(b) 鉛直方向における手先位置応答



(c) 鉛直方向の力応答

図 60 段差乗り越え動作の実験応答結果

(2) - ⑥ - 3. 接触に関連した安全技術の開発

全方向移動台車では、接触及び衝突の検知を全周にわたって行う必要がある。市販のテープスイッチ（帯状のもの）をバンパースイッチとする場合、テープスイッチ部以外の部位への接触を感知することができない。そこで、より広範囲に接触を検知することを目的として、フロート式バンパーを採用した。フロート式バンパーでは、バンパー外装をコイルバネまたはインシュレータによってフロートさせることにより、バンパーのどの部分に接触してもバンパー全体が動き、その変位量に応じて接触力を検出することが可能となる。その際、異なる変位量を計測するようにセンサを複数設置することにより、接触力を多段階に検出することを可能とした。本プロジェクトでは、バンパーへの接触力を2段階に検出し、その大きさに応じて、「非常停止」もしくは「走行停止」を行う構成とした。



図 61 ロボット外観

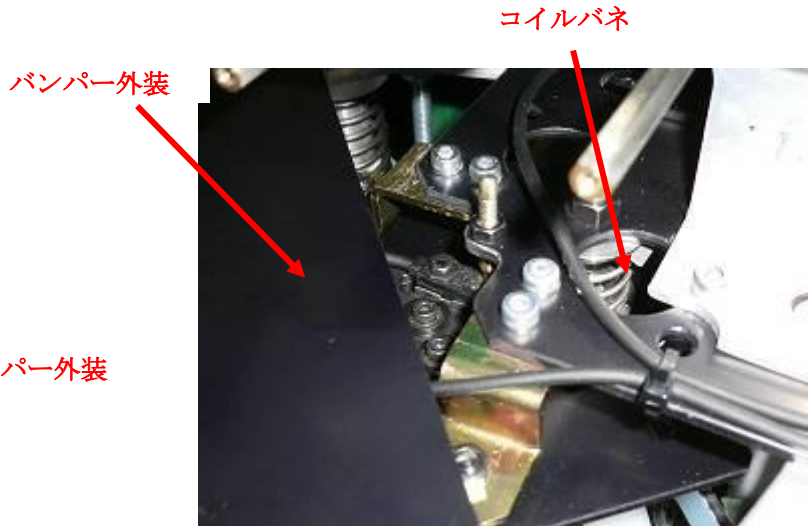


図 62 コイルバネによるフロート機構

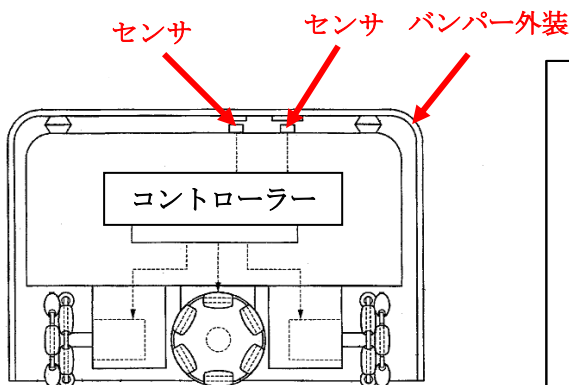


図 63 多段スイッチの構成図

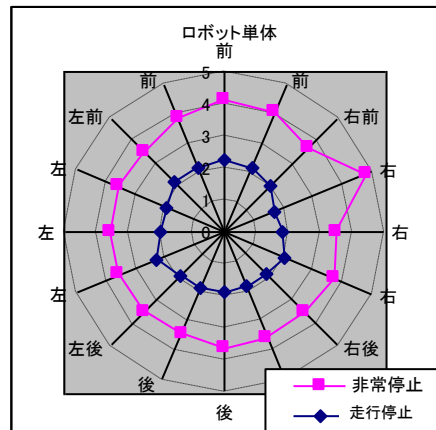


図 64. バンパーの感度特性



## (2) - ⑥ - 4. 情報表現とアクティブセーフティ技術

人のいる環境で搬送用ロボットが安全に搬送タスクを遂行するためには、搬送ロボットが通路で人とすれ違う際のロボットの走行動作について検討し、走行動作におけるアクティブセーフティ技術を確立する必要がある。ロボットの移動に関しては、障害物回避アルゴリズムの研究は多いものの、ヒューマンロボットインタラクション (HRI) の観点から安全性を論じた研究はまだ少ない。実際にロボットが人間社会で移動する場合、人間との共生という点で全てを障害物回避アルゴリズムだけで処理することは不可能である。人間に経路を塞がれて回避スペースがなく立往生したり、ロボットのジグザグの動きで人間に不安や恐怖をあたえるといった問題に対処するには、ロボットの移動走行に対してもやはり HRI を考慮する必要がある。

アクティブセーフティ技術の研究では、ロボットが移動時、人間に自らの進行方向を知らせ、人に動きを予測させることで人間と安全にすれ違えることを目指す。ロボットの動きを人間に予測させるため、ジェスチャと発話を使ったロボットの走行に関する情報提示(意図表示) と、人間が予測しやすい走行軌跡を設計する。本研究では、人間の主観的評価により発話とジェスチャを使ったロボットからの意図表示が人間とのすれ違いに有効であることを確かめる。予測しやすい軌跡に関しては、人間とすれ違うときにロボットがそのまま回避する場合と人間が通り過ぎるまで停止している場合の2つの軌跡を実験での主観的評価により比較した。

実験の結果、すれ違い時に発話とジェスチャを用いてロボットが自分の走行に関しての意図表示を行うことで、人間はロボットの走行軌跡を予測しやすくなり、主観的評価も高くなることが示された。意図表示のタイミングが遅すぎる(人間との距離が3m以内) と、意図表示の効果は薄れる。また、ロボットは人間とすれ違うときには一方に寄って停止する軌跡の方が人間に好印象を与える。よって、ロボットが人間とすれ違うときには一方に寄って停止し、3m 以上開けて意図表示で“通ってもよい”ということ伝えればよいということが分かった。

### 【すれ違い実験 実験環境および条件】

実験は図 65の慶應義塾大学理工学部14 棟6 階廊下で行った。実験環境の略図を図 65の左に示す。ロボットはMKR003 を用いた。MKR003の走行速度は最高時速0.7m/sec である。

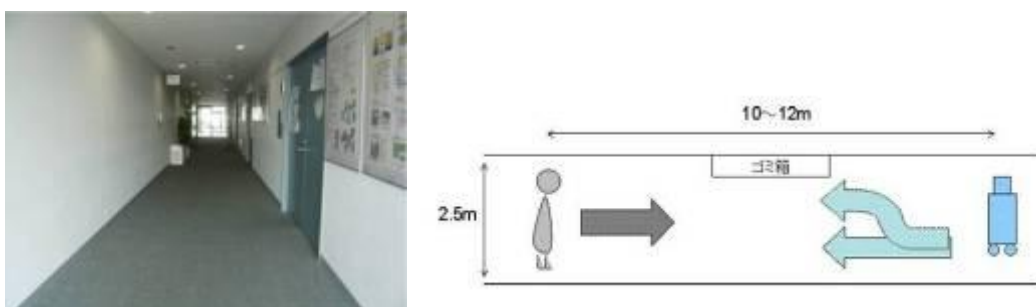


図 65 実験環境

実験参加者は20 代の学生と一般人13 人で男性が7 人、女性が6 人である。参加者にはロボットとすれ違う時の人間の振る舞いを見る実験であると事前に説明しておいた。

この環境で以下の実験条件にしたがって MKR003 は行動する。

条件1 MKR003 は意図表示を行い、障害物回避によりすれ違う

条件2 MKR003 は意図表示をせず、障害物回避によりすれ違う

条件3 MKR003 は意図表示を行い、すれ違い時に停止する

条件4 MKR003 は意図表示をせず、すれ違い時に停止する



図 66 人とロボットのすれ違いシーン

実験条件に置ける意図表示は、図 66の右写真の通り、ロボットが進行方向に腕を差し出す形で行う。また、すれ違いの際にロボットの頭は、人の方向へ向けジェスチャが移動の意図を表している事を明示的に伝える。

また、すれ違い実験終了後にロボットの印象をアンケートによって調査した。

#### 【すれ違い実験 実験結果】

意図表示ありの条件で有意差のある評価項目が確認されたことから、すれ違い時の意図表示が有効であると言える。また意図表示がある場合に、有意差は見られなかったものの驚きの評価項目の平均値が他の項目より高く、意図表示により人間を驚かせてしまうことがあることがわかった。驚き以外の項目では“意図表示なし・回避”条件の次に評価が悪いのは“意図表示なし・停止”条件であったのが、驚きの項目では“意図表示あり・停止”であったことから意図表示が人間を驚かせることがあるといえ、我々には想定外の結果であった。ただ、驚きの平均値が高くても他の危険や不安といった項目の平均値が低いことから、驚いてもロボットに対する悪い印象には繋がらないといえる。

すれ違い時に停止する条件において不快さ・怖さ・不安の評価項目で有意差が確認されたことから、ロボットはすれ違い時には停止する方が人間は安心することがわかった。

4条件の中で最も評価が悪い条件は意図表示なし・回避の条件であった。回避条件の評価が悪かったことについては、ロボットのセンサーの反応が悪く回避がギリギリになってしまったり他の障害物に反応して逆に人間に近づくような動作になってしまったことが影響していると考えられる。

また、意図表示ありと意図表示なしの平均値の差が停止条件よりも回避条件の方が高かった、つまり人間にとってより危険・不安な走行軌跡の方が意図表示による評価の改善幅が大きかったことから、人間にとって不安や危険の大きい動きでも意図表示があればかなり改善されるものと言える。このことから意図表示の効果の大きさがわかる。

### 【アクティブセーフティ技術のまとめ】

本研究では、ロボットの安全システムデザインの一環として、人とロボットのすれ違いにおけるアクティブセーフティについて検討を行い、以下のロボットの情報表現の重要性が明らかになった。

I. 発話とジェスチャーによる意図表示で、人間はロボットとすれ違いやすくなる

- ロボットに対する主観的評価が高くなる
- ロボットの経路が予測しやすくなる
- 意図表示のタイミングは人間との距離が3m 以上がよい

II. 人間とすれ違うときには、ロボットは通路の一方に寄って停止する軌跡がよい

以上のロボットの身体による情報表現は、搬送用ロボットが人と共存する環境で作業を行うさいに重要な機能である。今回の研究では、人とロボットのすれ違いにおけるアクティブセーフティを検討したが、他の状況においても情報表現によって達成されるアクティブセーフティ技術があると考えられ、今後取り組むべき重要な課題だと思われる。

### (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。

<実証ロボットの開発及び実証試験>

(4) 実証実験の実施

(4) - ① 搬送デモンストレーションを一定期間実施

2008年4月より、京都第二赤十字病院様（京都市上京区）にて毎月1回、定期的に院内走行実験を実施し、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てきた。

【2008年度実証試験内容】

- 院内特有の障害物に対するセンサ類の検知性能の検証
- 安全な障害物回避のための実証試験



図 67 院内走行実験の様子（京都第二赤十字病院様）

【2009年度実証試験内容】

- エレベータを利用した複数フロア間の上下移動の確認
- 研究員による薬剤搬送デモ及びロボットによる代替搬送に対する利便性向上についてのアンケートの実施



図 68 エレベータ乗降実験の様子（京都第二赤十字病院様）

(4) - ② 2箇所以上の実証試験場所の確保

2010年度からは京都第二赤十字病院様以外にも複数病院（大阪大学歯学部附属病院様、京都大学医学部附属病院様他）でも実証実験を実施した。

【2010年度実証試験内容】

- ロボットによる薬剤搬送（夜間）
- 複数病院での院内走行実験及び運用方法検討



図 69 薬剤搬送実験  
（京都第二赤十字病院様）



図 70 院内走行実験  
（大阪大学歯学部附属病院様）



図 71 院内走行実験  
（京都大学医学部附属病院様）

#### (4) - ③ 院内搬送デモンストレーション用ロボット製作

院内搬送デモンストレーションを実施するため、腹部に搬送物を搭載可能な筐体格納方式搬送ロボットを開発した。



(a) 正面



(b) 側面



(c) 背面

図 72 ロボット外観



図 73 荷物スペース

#### 主な仕様

ロボット形状	550mm×550mm×1200mm、重量 約 85Kg
走行速度	最高速度 1.1m/s、運用時 0.5m/sec 以下
荷室寸法	320 mm×420mm×250mm
可搬重量	15kg 以下
走行車輪	独立懸架サスペンション付オムニホイールによる 4 輪駆動方式 (段差対応 1cm 以下、隙間対応 3cm 以下)
腕自由度	各腕 3 自由度、頭部 2 自由度 (パン・チルト)
連続稼働時間	2 時間 (充電時間 2 時間)

自律搬送デモシステムのシステム構成図およびソフトウェア構成図を図 74、図 75に示す。

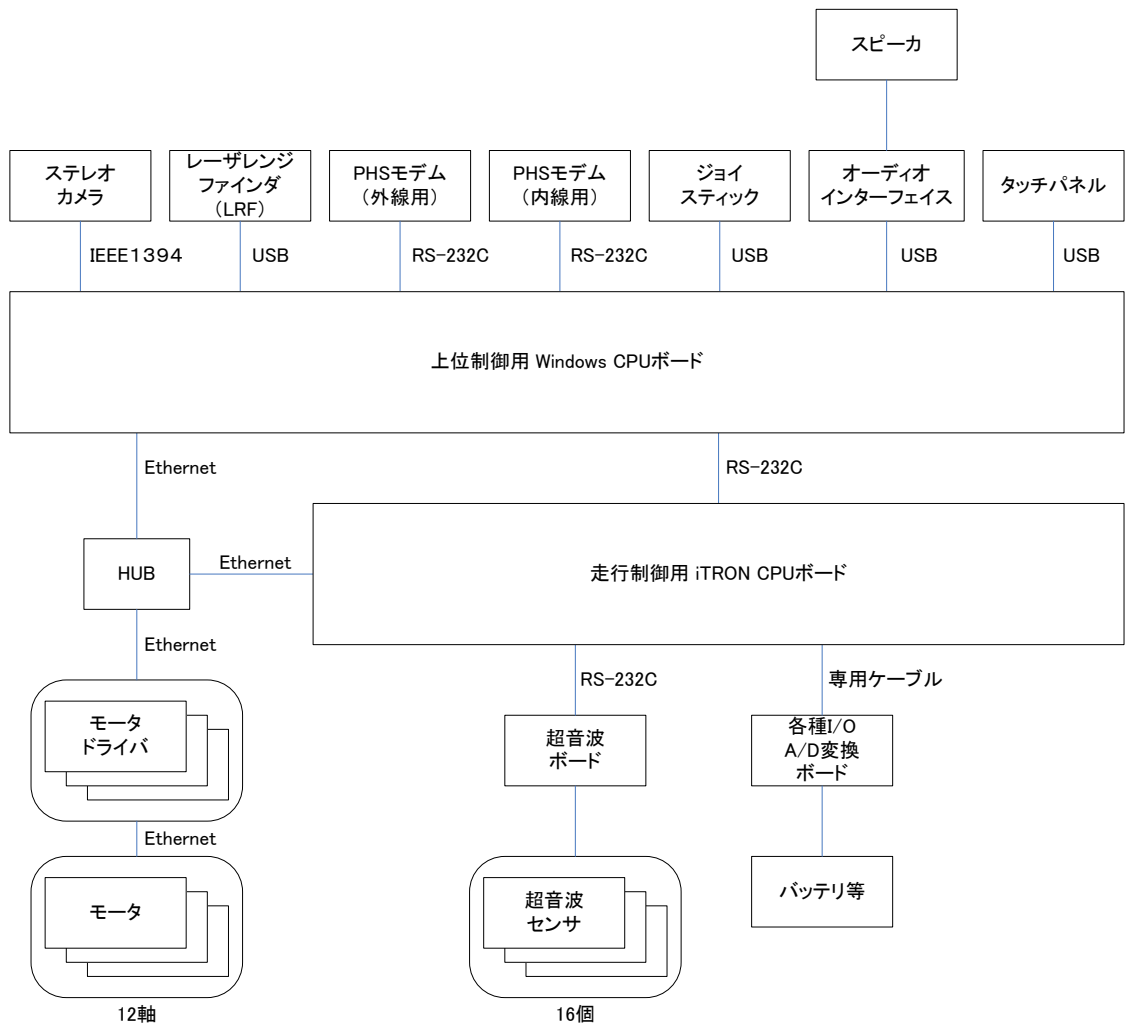


図 74 自律搬送デモシステム システム構成図

モータ等のハードウェア制御（走行制御等）に関連するソフトウェアは、リアルタイム性が要求されるため、リアルタイム OS である iTRON を搭載した CPU ボード上において実装する一方、その他のソフトウェアは、デバイスドライバや GUI 用ライブラリ等のソフトウェアコンポーネントが充実している Windows 搭載 CPU ボード上で実装する構成とした。

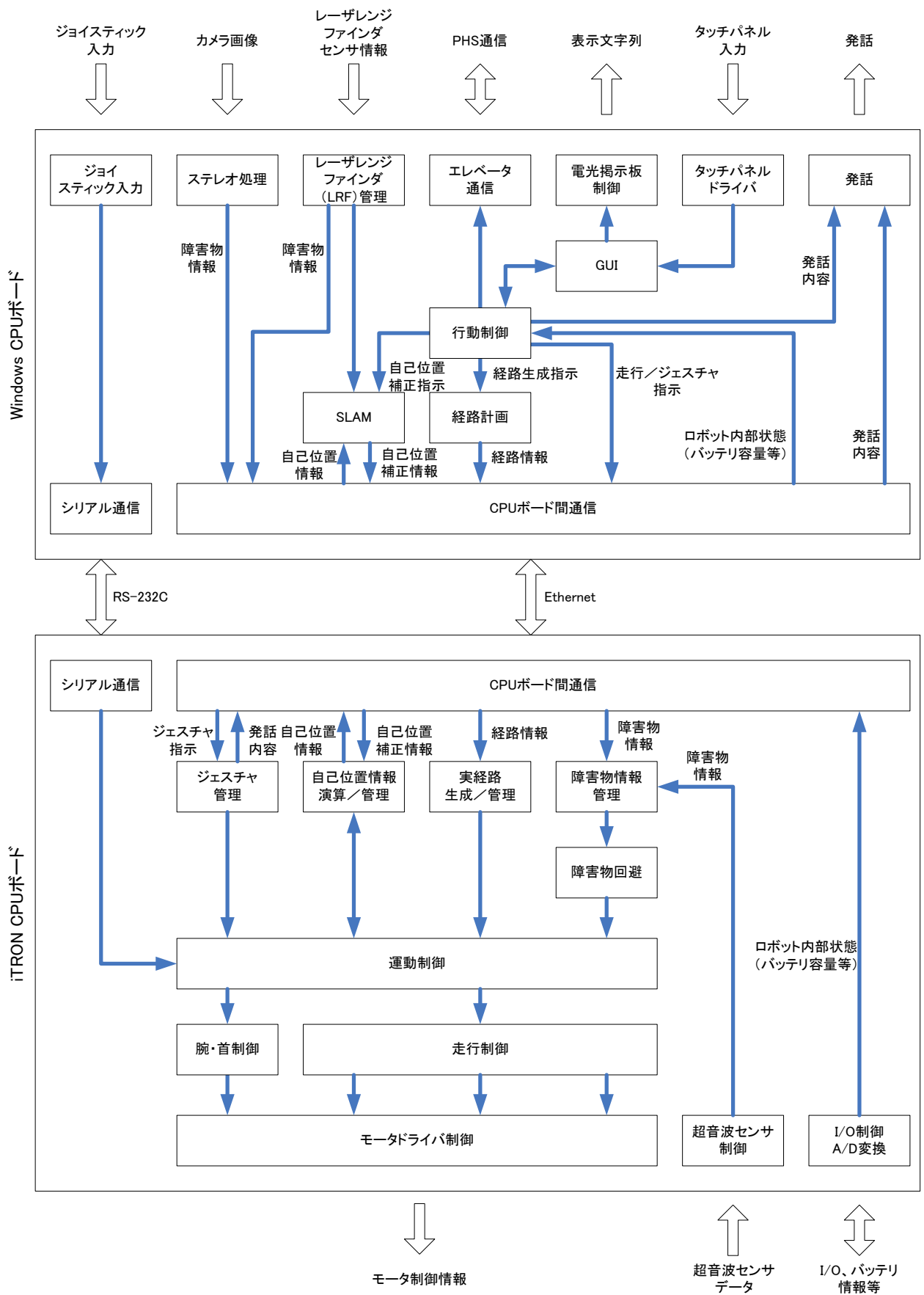


図 75 自律搬送デモシステム ソフトウェア構成



(4) - ④国内外マーケティングの実施

国内外マーケティングを実施し、実用化及び事業化に向けた検討を実施した。

表 7 特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

年度	特許出願			論文		その他外部 発表 (プレス 発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読付	その他	
H18FY	3	1	0	0	3	0
H19FY	1	0	0	0	6	0
H20FY	13	9	0	3	2	3
H21FY	4	9	4	5	5	1
H22FY	4	0	4	5	5	4

### 3) 成果の意義

本プロジェクトにより開発した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た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) 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。

## 5) 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、職場の雰囲気づ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、本システムの稼働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働実績を元に、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。

【研究発表・講演】

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年12月14日	第7回計測自動制御学会 システムインテグレーション 部門講演会講演論文集	Development of Elastic Tactile Sensor for Underlying Hard Tissue Detection	Zhang、Yuhua、 Maeno、Takashi
2007年 1月 11-13日	10th International Workshop on Innovative Architecture for Future Generation High- Performance Processors and Systems (IWIA'07)	Responsive Link for Distributed Real-Time Processing	N.Yamasaki
2007年 3月6日	情報処理学会第69回全国大会 CD-ROM(2R-2)	映像を投影可能な案内ロボット	長谷川高輔、 石井健太郎、今井倫 太
2007年 9月13日	第25回日本ロボット学会 学術講演会	行動の時間スケールを考慮した 自律移動ロボットの階層型行動制 御手法	高橋正樹、 多田欣雅、吉田和 夫
2008年 3月11日	電気学会 産業計測制御研究会	冗長移動マニピュレータを用い た車椅子押し作業のための制御法	渡辺勇人、村上俊 之
2008年 3月15日	情報処理学会第70回全国大会 CD-ROM	スムーズに人間と擦れ違うため のロボットインタラクション	鮫島萌、石井健太郎、 今井倫太
2008年 3月27日	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	高精度なロボット制御のための 時間管理機構の設計と実装	上山真生、水頭一壽、 山崎信行
2008年 3月27日	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	チップマルチプロセッサ用の優 先度付きNon-Uniformキャッシュア ーキテクチャ	坂本伸昭、山崎信行
2008年 3月27日	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	RTミドルウェア用の優先度によ るオブジェクト管理機構	千代浩之、武田瑛、 上山真生、加藤真平 、山崎信行
2008年 4月21日	第21回 回路とシステム軽井沢 ワークショップ	分散リアルタイム制御用 SoC: Responsive Multithreaded Processor	山崎信行 (招待講演 )
2008年 8月3日	Proceedings of the IEEE Intern ational Symposium on RO-MAN 2008	Improvement of Position Estim ation of the Ultrasonic 3D Tag S ystem	Toshio Hori and Yoshifumi Nishida
2008年10月	Proceedings of ISR 2008 (the 39th International Symposium on Robotics)	K-TAVO: A Robot Behaviour Management Module to Urge a Human to avoid	Moe Sameshima、 Kentaro Ishii、 Ren Ohmura、 Michita Imai
2008年11月	日本機械学会論文集C編、 074巻747号	自律全方位移動ロボットのマル チ時間スケール型行動制御手法	高橋正樹、多田欣雅、 鈴木崇文、吉田和夫

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年 9月13日	第26回日本ロボット学会 学術講演会	自律全方位移動ロボットのマルチ時間スケール型行動制御手法の実験的検証	鈴木崇文、 高橋正樹、吉田和夫
2009年 7月2-5日	6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2009)	Multi Scale Moving Control Method for Autonomous Omnidirectional Mobile Robot	Masaki Takahashi and Takafumi Suzuki
2009年 8月 24-26日	In Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications	Periodic and Aperiodic Communication Techniques for Responsive Link	Shinpei Kato、 Yuji Fujita、 Nobuyuki Yamasaki
2009年10月	日本ロボット学会誌 Vol27、 No.8	自律全方位牽引式 搬送ロボットの開発	鈴木崇文、 高橋正樹、吉田和夫
2009年11月	日本ロボット学会誌 Vol28、 No.10	病院内ロボット搬送システムの開発	今井倫太、高橋正樹 森口智規、岡田卓也 湊雄一朗、中野剛、 田中昌司、下本英生 堀俊夫
2009年11月 21-22日	第52回自動制御連合講演会	自律全方位移動ロボットの並進と回転の同時制御によるロボットサイズを考慮した障害物回避	鈴木崇文、高橋正樹
2009年12月 18-22日	IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio2009)	A Mobile Robot for Transport Applications in Hospital Domain with Safe Human Detection Algorithm	Masaki Takahashi、 Takafumi Suzuki、 Francesco Cinquegrani Rosario Sorbello and Enrico Pagello
2009年12月26日	第10回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会SI2009	案内ロボットにおける自己位置を用いた発話コンテンツに関する研究	門田 圭至郎、 鮫島 萌、今井 倫太
2010年 3月8日	電気学会産業計測制御研究会	高追従性と安定性を考慮した移動マニピュレータによる押し作業のための一制御法	藤本祐介、村上俊之
2010年 3月11日	情報処理学会創立50周年記念 (第72回) 全国大会	文脈を考慮したロボットとの対話に関する研究	松元 崇裕、大村廉 今井 倫太
2010年 3月24日	IEEE 11 <sup>th</sup> International Workshop on Advanced Motion Control	A Realization of Wheelchair Pushing Operation Considering High Tracking Performance and Ride Quality Improvement by Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and Toshiyuki Murakami

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	機能別モジュールロボットの重心位置制御のための腰モジュールの設計と実装	井上貴公、新原諒子、 今村元、小島佑太、  山崎信行
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	レーザレンジファインダと超音波センサを用いたFastSLAM	今村元、小島佑太、  山崎信行
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	移動障害物を回避するための軌道生成アルゴリズム	新原諒子、井上貴公、 今村元、小島佑太、  山崎信行
2010年 7月	Journal of Robotics and Autonomous Systems Vol.58、 Issue 7	Developing a mobile robot for transport applications in the hospital domain	Masaki Takahashi、 Takafumi Suzuki、 Toshiki Moriguchi、 Hideo Shitamoto and Kazuo Yoshida
2010年 9月 22-24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会	自律全方位移動ロボットの回避方向を考慮した行動制御手法の実験的検証	松村哲哉、鈴木崇文、 高橋正樹
2010年 9月 22-24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会	自律全方位移動ロボットの並進と回転の同時制御によるロボットサイズを考慮した障害物回避の実験的検証	鈴木崇文、高橋正樹
2010年11月	The 36th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON2010)	An Improvement Method of Compliance Control in Pushing Operation by Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and Toshiyuki Murakami
2010年11月	The 8th edition of France-Japan Congress on Mechatronics (Mecatronics2010-Yokohama)	Step Climbing Control in Pushing Operation by Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and Toshiyuki Murakami
2010年12月	日本機械学会論文集C編 Vol. 76、 No. 772	自律全方位移動ロボットの並進と回転の同時制御によるロボットサイズを考慮した障害物回避	鈴木崇文、高橋正樹

【特許】

○国内出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年 9月26日	2007-249523	指示区画検知装置	学校法人 慶應義塾
2008年 5月28日	2008-139234	自律移動体及びその移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2008年 4月23日	2008-139236	自律移動体及びその移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2008年 8月22日	2008-214636	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年 8月28日	2008-220489	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年 9月 4日	2008-227008	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年 9月 3日	2008-225881	経路計画方法、経路計画装置、及び自律移動装置	村田機械株式会社
2008年 9月 9日	2008-231519	経路計画装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
2008年 9月16日	2008-237196	環境地区修正装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
2008年10月 1日	2008-256663	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年10月 6日	2008-259402	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年10月 8日	2008-261821	自律移動体及び自律移動体の移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2008年11月18日	2008-294895	自律移動装置	村田機械株式会社
2008年11月19日	2008-296131	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年11月20日	2009-264574	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年11月20日	2009-264575	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年12月 2日	2009-274519	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年12月17日	2009-286846	自律移動装置	村田機械株式会社
2010年 7月 9日	2010-157231	自律走行移動システム	村田機械株式会社
2010年 7月 9日	2010-157232	自律走行移動システム	村田機械株式会社
2010年 7月13日	2010-159100	自律移動体	村田機械株式会社
2010年 7月13日	2010-159103	自律移動体	村田機械株式会社

○韓国出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月18日	2008-7022761	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年12月 3日	2008-7029595	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年12月 4日	2008-7029710	ロボット	村田機械株式会社
2009年 1月30日	2009-7417	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 2月 4日	2009-9032	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 5月28日	2009-45153	自律移動体及びその制御方法	村田機械株式会社



○米国出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月29日	12/295、088	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年11月 7日	12/299、916	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年11月14日	12/300、954	ロボット	村田機械株式会社
2009年 5月26日	12/471、689	AUTONOMOUS MOVING BODY AND METHOD FOR CONTROLLING MOVEMENT THEREOF	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年 5月29日	12/474、362	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社
2009年 7月21日	12/506、366	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社

○欧州出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月10日	07737500.4	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年11月13日	07706896.3	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年11月25日	07713623.2	ロボット	村田機械株式会社
2009年 5月27日	09161194.7	AUTONOMOUS MOVING BODY AND METHOD FOR CONTROLLING MOVEMENT THEREOF	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年 6月12日	09007790.0	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社
2009年 6月19日	09008090.4	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社

○PCT 出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2009年 8月19日	PCT/JP2009/003957	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 8月24日	PCT/JP2009/004052	経路計画方法、経路計画装置、及び自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 8月25日	PCT/JP2009/004084	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 8月25日	PCT/JP2009/004079	環境地図修正装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
2010年10月22日	PCT/JP2010/006259	自律移動装置	村田機械株式会社
2010年10月22日	PCT/JP2010/006265	自律移動装置	村田機械株式会社
2010年11月10日	PCT/JP2010/002374	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2010年11月10日	PCT/JP2010/002375	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾

○台湾出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年 2月12日	TW/96105098	自走機器の走行装置	村田機械株式会社

【外部発表等】

見本市名	場所	出展期間
ROBOJAPAN	パシフィコ横浜	2008年10月11日～13日
国際次世代ロボットフェア	インテックス大阪	2008年11月26日～28日
国際ロボット展	東京ビックサイト	2009年11月25日～28日
ヨコハマ・ヒューマン&テクノランド2010	パシフィコ横浜	2010年 7月30日～31日
国際物流総合展	東京ビックサイト	2010年 9月14日～17日



図 76 ROBOJAPAN



図 77 国際次世代ロボットフェア



図 24 国際ロボット展 NEDO ブース



図 25 ヨコハマ・ヒューマン&テクノランド 2010



図 26 国際物流総合展

	メディア名	掲載及び放送日
新聞掲載	京都新聞夕刊	2008年 9月2日付
	日経新聞夕刊	2008年10月13日付
	共同通信社	2008年11月20日配信
	朝日新聞（大阪）、読売新聞（大阪）、京都新聞	2008年12月20日付
	産経新聞、読売新聞、フジサンケイビジネスアイ	2009年 2月14日付
	日刊工業新聞、北海道新聞	2009年 2月16日付
	化学工業日報	2009年 2月24日付
	産経新聞	2009年 8月6日付
	京都新聞、中日新聞、東京新聞、毎日新聞(京都版) 朝日新聞(京都版)	2009年12月19日付
	共同通信社（全国22紙掲載）	2010年 1月1日配信
	京都新聞	2010年12月18日付
	日本経済新聞、京都新聞	2011年 3月11日付
	日刊工業新聞	2011年 3月15日付
	雑誌・ フリーペー パー	メトロガイド11月号（東京メトロ）
日本工作機械工業会『工作機械』No.186（3月号）		2010年 3月発行
京都商工会議所『京Business Review』3・4月号		2010年 3月発行
テレビ	KATケーブルテレビ	2008年10月6日 『KANSAIニュース』放送
	フジテレビ	2008年11月25日 『FNNスピークニュース』放送
	読売テレビ	2009年 1月11日 『大阪ほんわかテレビ』放送
	九州朝日放送	2009年 2月14日『ロボロボ王国 日本 夢のロボット大集合』放送
	KBS京都	2009年12月19日『京biz』放送
	NHK京都	2011年 2月18日『ニュース610 京いちにち』放送
WEB	Yahoo！ニュース	2008年 9月 1日掲載
	Tech!On	2009年 2月13日掲載
	Robonable(ロボナブル)、Robot Watch	2009年 2月16日掲載
	Robonable(ロボナブル)	2009年 4月23日掲載
	@niftyニュース、Yahoo！ニュース	2009年12月18日掲載
	Robonable(ロボナブル)	2010年 9月18日掲載
	Robonable(ロボナブル)	2010年12月16日掲載
	Yahoo！ニュース他	2010年12月20日掲載

### 3.3.1 被災建造物内移動 RT システム

#### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 2. 研究開発項目毎の成果

#### 2.3 被災建造物内移動 RT システム（特殊環境用ロボット分野）

2.3.1 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット【特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構, 国立大学法人東北大学, 独立行政法人産業技術総合研究所, 独立行政法人情報通信研究機構, バンドー化学株式会社, 株式会社シンクチューブ, ビー・エル・オートテック株式会社, 株式会社ハイパーウェブ】

#### (1) 研究の概要

##### (最終目標)

複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル（オフィス、大規模店舗、劇場）で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア（施錠していない丸型またはレバー型ノブ付きドア）を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。また、訓練所・地下街・建物内などで3回以上の実証試験を行い、最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制を構築する。

##### (成果)

上記目標は100%達成された。

閉鎖災害空間における移動技術の開発、に関しては、下記の成果を上げた。

- ・高速移動が可能で、瓦礫環境での走破性が高く、階段途中での旋回すら可能な、重量 30kg 以下の小型軽量ロボット：Quince（クインス）、Kenaf（ケナフ）
- ・ドア開けが可能で、階段等がある屋内環境で探索可能な、重量 30kg 以下の小型軽量作業用ロボット：UMRS（ユーエムアールエス）
- ・知能やヒューマンインタフェースの共同開発を行いやすいアーキテクチャ
- ・耐衝撃性・高効率の伝動変速機構：平ベルトアクチュエータ
- ・机上訓練のためのダイナミクスシミュレータ

遠隔操作のための知能とヒューマンインタフェース、に関しては、下記の成果を上げた。

- ・瓦礫を注意深く迅速に移動するに適したマニュアル遠隔操縦インタフェース
- ・オペレータの操縦を楽にするための不整地半自律走破技術を開発した
- ・複雑な場所の状況確認のための、3D環境計測・地図構築を実現した。
- ・半自律行動を実現するための、高精度3Dオドメトリの開発
- ・Disaster City, 兵庫県広域防災センター, E-defense 木造倒壊建物, 神戸市地下街さんちか, 仙台市地下鉄, RoboCupRescue 他で有効性を検証した

- ・ロボカップ世界大会 2007 Atlanta, 2009 Graz 運動性能部門で世界優勝

遠隔操作複数映像の地下街等における 700m 通信技術, に関しては, 下記の成果を上げた.

- ・地下街実証試験, 消防訓練塔実験, 等により, 683mを, ほとんど遅れなしにカバーできることを実証した。

地下街等の測位と GIS マッピング, に関しては, 下記の成果を上げた.

- ・情報のマッピングができることを実証した。
- ・データベース上の 3次元データに対して SLAM を行い, データの位置情報を修正し, 3次元地図を構築し, 登録できることを実証した。

実用化については, 次の成果を上げた.

- ・数多くの実証試験, 消防への試験配備により, 実用化を図った。
- ・プロジェクト終了後に, 福島第一原子力発電所での調査・軽作業に使用され, 実績を上げるにより, その実用性と, 受注生産可能であることが実証された。

以上により, 目標は達成された. 図 1 に, 本プロジェクトの成果イメージを示す.



図 1 閉鎖空間内高速移動探査群ロボットの成果イメージ

(2) 成果の詳細

表 1 に基本計画に挙げられた研究開発項目毎の, 研究項目, 目的, 目標, 成果, 達成度, および, 自己評価を示す.

表 1 研究開発項目毎の達成度

課題	研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価

① 移動技術の開発	高速不整地走破機構 Kenaf の開発	障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、高速走行できる、移動技術の開発.	移動速度は迅速に歩く人間と同程度. ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする.	左記の目標をすべて実現した. 特に、不整地において高い走破性を実現し、 <b>RoboCup 2007 Atlanta</b> 大会、 <b>2009年 Graz</b> 大会運動性能部門優勝、 <b>Disaster City</b> のコンクリート瓦礫の走破、などの実績を上げた.	目標を高いレベルで達成した.	◎
	ドア開け用台車 UMRS (UMRS-2007), および、マニピュレータの開発	地下街・ビルなどのドア開けが可能なシステムの開発	押し開きが可能な軽量ドアを開け、他のロボットを閉鎖空間の内部に安全に導き入れることができる.	ステージゲートデモで設けられたドアなどを押し開けることができた.	目標をほぼ達成した.	○
	耐衝撃平ベルトアクチュエータの開発	外部からの衝撃に対してロバストな2段変速伝達機構の開発	台上試験により、実用上十分な耐衝撃性を実証する.	実験により耐衝撃性を実証するとともに、高い伝達効率を実現した.	目標をほぼ達成した.	○
	実用化高速不整地走破ロボット Quince の開発	ミッションに応じたモジュール交換、走破性・防塵防水・耐久性などの高い実用性を持った高速不整地走破ロボットの開発	実証試験を繰り返し行い、消防等への試験配備により実用性を高める.	<b>Disaster City</b> の木材瓦礫の走破などの実績を上げ、千葉市消防局に半年間試験配備を行い、実用化を達成した. なお、本プロジェクト終了後に福島第一原発の原子炉建屋内調査に使用され、実用性が現場実証された.	目標を高いレベルで達成した.	◎
	実用化ドア開けロボット UMRS-2009 の開発	軽量化して機動性を高め、防塵防水・耐久性などの高い実用性を持ったドア開	実証試験を繰り返し行い、消防等への試験配備により実用性を高める.	消防訓練施設の防火扉を開けられることを実証し、 <b>Disaster City</b> における <b>NIST/ASTM</b> 評価試験で高	目標を達成した.	◎

		けロボットの開発		い性能を示し、神戸市消防局に試験配備を行い、実用化を達成した。		
	UMRS-2009用耐衝撃平ベルトアクチュエータ	小型軽量の耐衝撃性の高い伝達機構の開発	減速比固定化により小型軽量化を図り、ロボット搭載を容易にする。	台上試験およびロボット搭載による実機評価で適合性および耐久性を確認	目標を達成した	◎
② 遠隔操作技術	Kenafのジョイスティックによる遠隔操作	瓦礫上や狭い場所でスムーズに遠隔操作を行う	操縦が困難な場所でも、機構の性能を十分に活かした走行を可能にする。	RoboCup 2007 Atlanta 大会, 2009 Graz 大会運動性能部門優勝, Disaster City の瓦礫走破などの実績を挙げた。	目標を達成した。	◎
	通過ポイント方式によるKenafの遠隔操作	オペレータの介在を最小限に抑え、複数のロボットの操縦を可能にし、通信遅れに対するロバスト性を確保する。	オペレータの介在を少なくし、長距離の遠隔操縦ができるようにする。	ステージゲートデモで地下街を走行し、その有効性を示した。その後、精度の向上、携帯型操縦端末への適用を行った。	目標をほぼ達成した。	○
	UMRS-2009のポータブル遠隔操縦卓	携帯可能で操作性が高い、実用型遠隔操作卓の開発	電源・耐衝撃性・防塵防水性能などの向上。操作性の高いヒューマンインタフェース、マップナビゲーションの実現。	様々な実証試験にて、その使いやすさと実用性を示した。	目標を達成した	◎
	3次元操縦インタフェース	狭隘箇所における遠隔操作を容易にする	狭隘箇所の形状とその中のロボットの位置形状を操縦者が十分に認識できるようにする	Disaster City で操縦における有効性を実証した。本プロジェクト終了後に、東北大学の被災建物の調査で有効性を示した。	十分に目標を達成した	◎
	半自律不整地踏破	階段や不整地における遠隔操作	階段や不整地において、操縦者の詳	オプション搭載なしの Quince で 30deg	目標を達成し	◎

		の支援	細な運動指令なしで、走破することを可能にする。	程度の階段を半自律走破でき、オプション測域センサ搭載でコンクリート不整地を半自律走破できることを、Disaster City 等で示した。	た	
	ロボットシミュレータの開発	(半)自律機能の開発、及び、ファーストレスポンスの訓練を仮想的に行う	シミュレータを開発し、計算機内でKenafが不整地走行できる環境を整える。	ステージゲートデモで、計算機内で実機とほぼ同じように仮想的な遠隔操縦ができることを示した。	目標を達成した。	◎
③ 通信技術	有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク	地下街やビル内にインフラを使わないでネットワークによる遠隔操作を可能にする。	距離 700 m、面的な広がり、遠隔操作に支障を来さないレイテンシー、複数台のロボットからの映像情報。	複数台のロボットからの映像や3次元計測データを収集し、遠隔操縦が可能であることを距離 683m の地下街で検証。10階建てビルの階段を1階から10階まで同様に走行検証をおこなった。ローミング時の遅延短縮も実現し遠隔操縦に障害を生じない通信性能を実現。	ほぼ目標を達成した	○
	ケーブル敷設ロボット	有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークのためのケーブルおよびアクセスポイントを敷設する	距離 700 m、50 m 毎にアクセスポイントを設置できることを示す。	神戸市地下街での実験で、敷設が技術的に可能であることを確認した。ケーブル敷設ロボットを開発し動作検証を行った。簡易ケーブル敷設サブシステムを開発し、2台体制での遠隔通信システムを実現した。	ほぼ目標を達成した。	○
	閉鎖空間内で	シミュレーション	地下街における複	シミュレーションに	ほぼ目	○



	の電波伝搬シミュレーション	ンにより，有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークの配置計画を行う．	数台のロボットからの電波伝搬状況の推定を行う．	より伝搬状況の推定が可能であることを確認した．これを元に指向性可変アンテナを試作し有効性を検証した。	標を達成した	
④ GIS 技術	DaRuMa と MISP の改良	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	複数座標系を許容するためにプロトコルの拡張を行う	ステージゲートデモで，情報の統合が可能であることを示した．	目標を達成した．	◎
	曖昧さ・複数座標系を許容する位置表現	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	座標系の修正が可能なシステムを開発する	ステージゲートデモで，統合データによるマップ生成と，座標系の修正が可能であることを示した．	目標を達成した．	◎
	高精度2次元・3次元オドメトリ	GISおよび半自律機能に十分なオドメトリ精度を実現	スリップ推定によるクローラ機構のオドメトリの精度の工場	瓦礫地図作成，消防訓練棟での3次元地図構築などにより，その精度を示した．	目標を達成した．	◎
	3次元地図の構築と自己位置推定	ファーストレスポンスの判断に資するための3次元地図の構築とロボットの自己位置の推定	3次元情報の計測，ICPアルゴリズムによる地図構築，複数の計測地図の半自動マッチング	仙台市地下鉄や Disaster City で，3次元地図を構築できることを示した．プロジェクト終了後，東北大学の全壊建物内の3次元地図を作成し，有効性を示した．	目標を達成した．	◎
⑤ 実用性 能・試験 配備	Quince の耐久性・防塵・防水	現場実用性のための耐久性・防塵防水性能の実現	2m 落下可能，IP66.	試験の結果，性能を確認した．	ほぼ目標を達成した．	○
	Quince の試験配備	実用化のためのユーザへの試験配備	千葉県消防局への半年間の試験配備	訓練評価に基づき，改良を繰り返し，実用性を高めた．プロジェクト終了後，福島第一原発内での使用によって成果が実証された．	高いレベルで目標を達成した．	◎

UMRS-2009の 耐久性・防塵・ 防水	現場実用性のた めの耐久性・防 塵防水性能の実 現	1m 落下可能, IP64.	試験の結果, 性能を 確認した.	ほぼ目 標を達 成した.	○
UMRS-2009の 試験配備	実用化のための ユーザへの試験 配備	神戸市消防局への 試験配備と訓練使 用	評価に基づき改良を 行い, 実用性を高め た.	目標を 達成し た.	◎
その他特筆す べき項目	プロジェクト終 了後, 福島第一 原子力発電所原 子炉建屋内の調 査および軽作業 に使用.	5回にわたり (6/24, 7/8, 7/26, 9/22, 9/24), 原子 炉建屋内の調査, 軽作業のために投 入された.	線量率測定, ダスト サンプリング, 配管 工事用映像データの 収集他の実績を上げ た.	本研究 成果の 有効性 を高い レベル で示し た.	◎

#### ①移動技術の開発

本研究では, プラント事故, NBCテロ, ガス漏れ等の災害現場において, 迅速な情報収集を可能とする複数移動体RTシステム(レスキューロボット)のプロトタイプ機の新規開発を行った。災害現場における情報収集を行う際, ロボットには, 高速に移動する機能, 不整地を踏破する機能, 被災状況の地図を構築する機能, マニピュレータによりドアノブを操作する機能など, 複数の異なる機能を搭載する必要がある。ロボットの重量と各機能との間には, トレードオフが存在する。そこで, 本研究では, 高速走行が可能な小型の「Kenaf」とマニピュレータを搭載可能な大型の「UMRS」, そしてそれらの実用版である「Quince」と「UMRS-2009」という4種類のプロトタイプ機を新規開発した。

(顕著な成果)

##### 1) 高速不整地走破機構 Kenaf の開発

- Kenaf は FEMA 訓練所 Disaster City のコンクリート・木材瓦礫を踏破し(それまで踏破できた地上移動ロボットは世界中で皆無), 階段途中で方向転換が可能であるなど(様々なミッション遂行には必須), 災害現場で必要な高い運動性能・操縦性能・耐障害物能力を実現した(図2)。
- Kenaf は 6 km/h 以上で走行でき, 重量は約 20 kg, バッテリーは通常使用状態で約 2 時間もつ。最大 20 kg 程度の牽引が可能で, 押しにより軽量物排除が可能。半自律機能として, 移動障害物回避(歩く人間など), 静止障害物回避, 瓦礫・階段乗り越え機能を実現(詳細は②で説明)。
- Kenaf の外観上の特徴は, ボディ全体を覆うように装備されているメインローラと先端部の直径が大きい2対のサブローラである。Kenaf は, 走行中でもサブローラの位置制御が可能であり, 狭隘環境から平坦地, 階段, 瓦礫上, 急傾斜地までも高速で移動することができる(図3)。

- Kenaf の構造はラダー型フレームである。密度の高いモータ、バッテリーは低い位置に配置し、バンク角 80[deg]以上を実現している。モータはブラシレス DC タイプであり、Kenaf のために小型大電流制御のものを開発した。一方で、本研究目的に適合するための高速移動、低速移動それぞれに求められる特性と、ロボットに求められる機能を丁寧に解析。その結果、ロボット自身がとにかく高速で走行するタイプ、サブクローラのクローラ部分のみ高速駆動するタイプ、サブクローラの先端部分のみ高速回転するタイプをそれぞれ開発した。これは、一般の自動車雪道ではスタッドレスタイヤに交換するのと同じように、走行環境に応じサブクローラアームを交換することにより対地適応能力を改善している。
- Kenaf のハードウェアアーキテクチャを図4に示す。標準的なインタフェースを採用することにより、統合容易性、拡張性を確保している。



(a) 鉄筋コンクリート瓦礫 1      (b) 鉄筋コンクリート瓦礫 2      (c) 木造瓦礫 (10mのみ)



(d) 鉄筋コンクリート瓦礫 1      (e) 鉄筋コンクリート瓦礫 1      (f) 木造瓦礫 (10mのみ)

図2 Kenaf が踏破した瓦礫



(a) 高速走行の姿勢      (b) 瓦礫上走行の姿勢      (c) 階段途上での信地旋回

図3 Kenaf の構成

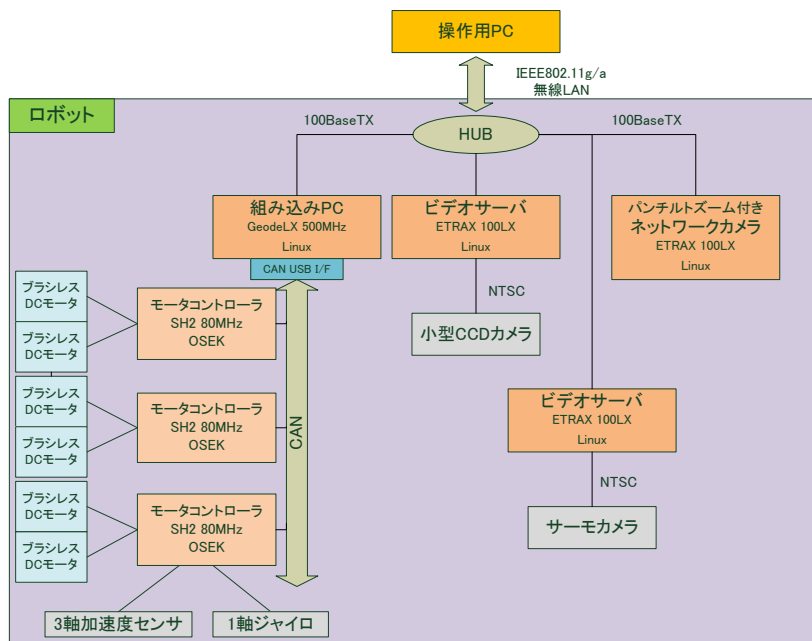


図4 Kenaf のハードウェアアーキテクチャ

- Kenaf のソフトウェアアーキテクチャを図5に示す. 統合制御は Gentoo Linux を採用し, 各研究メンバーが分散で開発することを念頭に置いたワークフローを構築した. モータコントロールは専用 CPU で行い, 統合制御 CPU との間を CAN バスで結合する構成とした. 複数プログラムでのセンサ利用のため, センサ情報管理ソフトウェア Sensor Sharing Manager (SSM) を開発し, 各種機能の統合と分散開発を容易にした.

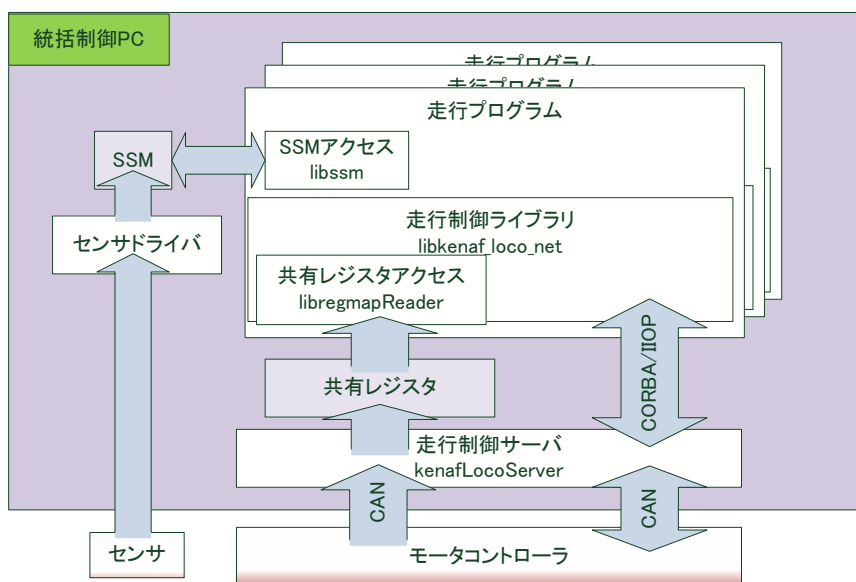


図5 Kenaf のソフトウェアアーキテクチャ

## 2) ドア開けロボット UMRS (UMRS-2007)

- UMRS 台車は, サブクローラ付のクローラ型ロボットであり, 押し動作による軽量物排除が可能. 低速ギアで 3 km/h, 高速ギアでは 5 km/h で走行でき, 重量は約 51kg, バッテリーは 1

時間以上もつ。

- ・ドアノブ開放のためのマニピュレータは、カメラ内蔵型軽量ハンドにより遠隔操作による調芯機能をもたせ、ノブの取り付け位置のばらつきに対応できる軸構成、台車への収納性を高めた3段収納式アームの構成とした。
- ・UMRSは、ステージゲートデモにおいて、丸型のノブを回し、軽量ドアを押し開けすることが可能であることを示した(図6)。
- ・UMRS台車を活用して、要救助者の位置と状態を示す発光式のトリアージタグを投下できるロボットを開発した(図7)。

### 3) 耐衝撃平ベルトアクチュエータ

- ・ロボットの落下・衝突等による外部衝撃負荷時の駆動系の破損を防止し、走行機能は自動復帰で維持が可能となる平ベルトアクチュエータの開発を行った(図8)。
- ・急発進・急停止にはスリップせずに起動伝動を行なう。モータ定格出力以上の過剰負荷の場合にはslipすることにより回避。回避後、動力伝達は自動復帰する。

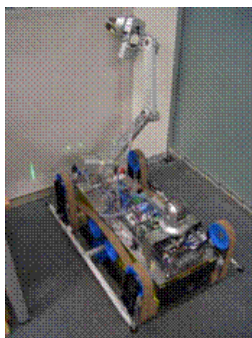


図6 UMRSによるドア開け

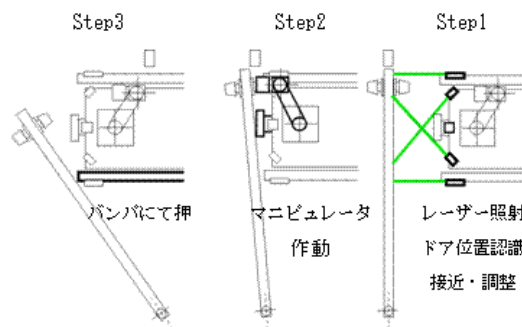


図7 UMRS-Triage



(a) 内部構造



(b) 繰り返し衝撃負荷によるロバスト性評価試験

図8 平ベルトアクチュエータ

### 4) 実用化高速不整地走破ロボット Quince の開発

Kenafで培った運動性能や機能を継承すること、実証実験で見受けられた諸問題点を解決するためQuinceを開発した。消防隊員からKenafに対する要望の中に「頼りなさの解消」という抽象的な表現がある。これは、本体上部の透明なコントロールボックスがあり、中身が見えすぎることから不安である。このため、Quinceでは、ハードウェアの全てを筐体内部へと隠蔽する構

造とした。図9に Kenaf と Quince の外観上の違いを示す。

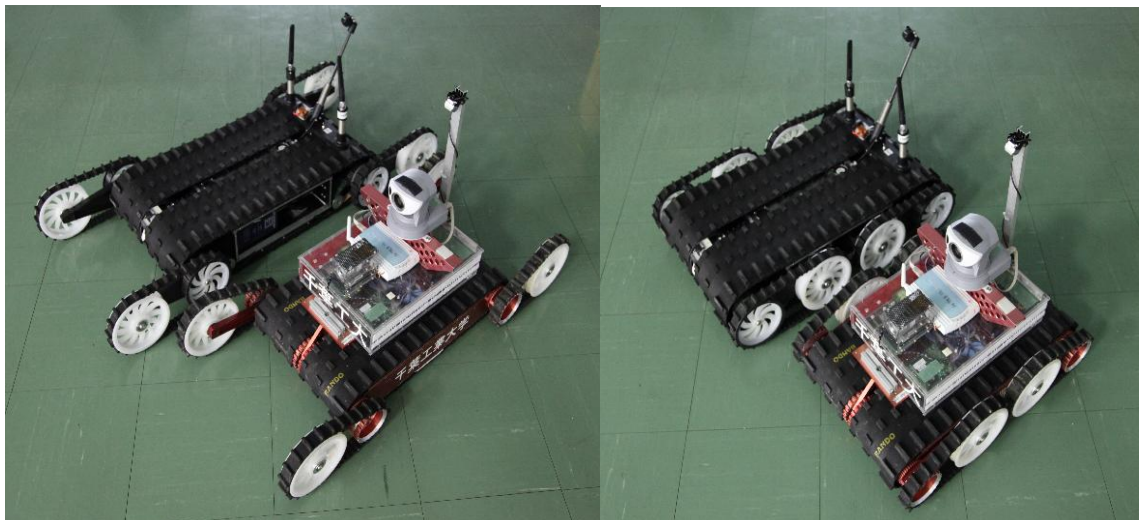


図9 Quince(黒)と Kenaf (赤) の違い

Quince では、実用化のための案件として、下記の研究開発を行った。

- ・ IP66 相当の防水・防塵機能の実装する。

ハードウェアを筐体内部に実装すると、コントローラの CPU，通信ユニットのデバイス，電源の DC/DC コンバータ，モータドライバ，モータなど多くのパーツからの発熱が問題となる。一般に，CPU の放熱には冷却ファン，冷却フィン，ヒートパイプによる冷却がある。移動ロボットで，防水/防塵となると，冷却ファンは実装不可，ヒートパイプは冷媒漏洩の恐れ，このため，筐体全体に冷却フィン加工を施した。この方式では，ロボットが走行することにより，クローラが発生する空気の流れを利用している。図10に筐体全体に施工された冷却フィンを示す。



図10 冷却フィン加工が施された筐体表面部品

一方，発熱量の大きいモータは，ホイールインタイプに変更して実装した。これにより，筐体内の発熱源の除去とハードウェア実装容積を確保した。図11にホイールインモータの構造を示す。

非公開

図 1 1 ホールインモータの構成と断面図

- ・高さ 2 m からの滑落，落下に対応可能な耐衝撃機能

Kenaf で実証されたラダーフレームを継承し，さらに数百回に及ぶ転落実験を繰り返した．この結果，サブクローラアーム部分にダンパーを装備すれば，大きな衝撃吸収作用が得られることが判明した．この結果を基に，サブクローラ駆動モータ出力プーリ内に角形ダンパーを開発し実装した．また，メインクローラの材質をクロロプレンゴムに，形状リング状に変更した．この結果，走行中に正面衝突するような衝撃力を緩衝できる構造とした．図 1 2 に落下実験のようすを，図 1 3 にプーリ内衝撃緩衝ダンパーを，図 1 4 に衝撃吸収機能を持つゴム製メインプーリの構造を示す．



図 1 2 Quince の落下試験

非公開

図 1 3 プーリ内角形ダンパーの構造

- ・走行軸保護ダンパー

走行用モータは 200W の出力があり，出力軸には大きなトルクが発生する．また，ロボットが階段などで滑落すると，その反力によりモータの出力軸には多くの衝撃力が発生する．これらが頻繁に発生するとギアヘッドの金属疲労を招き，寿命を一日しく低下させる．走行軸保護ダンパーは，プーリ軸用角形ダンパーと同様の原理で動作する．図 1 5 に走行軸保護ダンパーの形状を示す．

非公開

図 1 4 ゴム製メインプーリの構造と配置

図 1 5 走行軸保護角形ダンパーの構造

- ・サブクローラ咬み込み防止

瓦礫上や砂利，砂地を走行すると，サブクローラやメインクローラに異物が咬み込む．異物の混入を防ぐためカバーリングすると，クローラとの間で不要な摩擦が発生する．また侵入した異物の排出が困難になる．Quince では，駆動側のプーリをスポークタイプに，従動側の先端プーリには排出溝を設け，異物の咬み込み除去と排出機能を両立している．また，リング形状のゴム製メインプーリにも同様の加工が施され，瓦礫上や砂地などで旋回しても問題はない．図 1 6 にサブクローラの構造と蛇行防止ガイドを示す．

- ・サブクローラ蛇行防止ガイド

瓦礫上を走行中，大きく方向転換するとサブクローラには捻れる方向に応力が作用し，ゴム製のサブクローラが蛇行しさらに脱落することがある．これを防止するため，蛇行防止ガイドを開発した

非公開

図 1 6 先端プーリ，駆動プーリ，蛇行防止ガイドの構成

- ・底板ローラ



Kenaf では、メインローラは底板に常に触れ大きな摩擦損失が発生していた。このため、高速走行には不適であった。Kenaf も Quince もローラは、H 型タイミングベルトを特別に幅広く厚みを 12mm として製作し、それに必要なパターン研削している。この形状に対し、Quince では本来の「歯」の部分も平面に研削しその部分に小径ローラを当てている。この結果、摩擦の低減と蛇行防止機能、さらに小径ローラを台形に配置することにより、ロボットの旋回特性を著しく向上させている。図 1 7 に底板ローラと平面研削加工したメインローラを示す。



図 1 7 底板ローラの構造と平面加工したメインローラの関係

・メンテナンスフリーの実現

ロボットが不整地を走行すると筐体には大きな変形を受ける。これを防ぐため、メインフレームをはじめに、構造材の接合部分は組継ぎや印籠継ぎにより固定されている。また、緩みやすいボルト/ナットの組み合わせは一切用いず、立込によるねじ締結を行っている。また、段差踏破や階段走行で受ける衝撃は全てダンパーで受けることにより、コントローラや配線資材、センサなど総合的に保護する構造としている。これらの対策により、バッテリー交換以外のメンテナンスを極力少なくしている。図 1 8 にメンテナンスフリーのためのダンパー組み込み状態を示す。



図 1 8 メインローラ用ダンパーとサブローラ用ダンパーの配置

## 5) 実用化ドア開けロボット UMRS-2009 の開発

探索用のみならずドア開けやトリアージタグ投下等多くの作業も可能となるように開発されたロボットの共通車体が UMRS（以下では、混乱を避けるために UMRS-2007 と呼ぶ）であり、ステージゲート等の実証実験にて、これらの作業が行えることを示したが、より実用性を高めるためには、ドア開け等の作業性も向上させるとともに、車体の軽量化をはかり機動性を高めたロボット車体の製作が必要不可欠となった。そこで UMRS-2007 で培った技術や知見をベースとして、UMRS-2009 を開発した。基本方針として動力性能等は維持または向上させつつ車体重量を半分以下にすること、ドア開け用マニピュレータの軽量化開発をすること、超ロバスト耐衝撃平ベルトアクチュエータの機構改善と軽量化をすること、これらにより高い運動性能も併せ持つドア開けロボットの開発を目指した。UMRS-2007 と比較も含めてその特徴を示すと次のとおりである。

### （車体）

- ・緒元： 全幅：495mm，全高：250mm，全長：590mm（アーム収納時），950mm（アーム進展時）重量：206N(21kgf)にて UMRS-2007 と比較して、全幅で 55 mm，全高で 50mm，全長で 230 mm小さくなるとともに、重量比で 45%と大幅にスリム化した。

- ・走行用アクチュエータユニット：本質的に安全な平ベルトアクチュエータ駆動（①-8「UMRS に搭載する平ベルトアクチュエータの開発」を参照）機構をもち、車体の軽量化により広いトルク - 速度レンジをカバーすることができる変速機構のない改良型高機能アクチュエータを搭載した。これにより次の（4）項に示すようにスタックしやすい路面でも駆動伝達系が壊れる等の走行不能に陥らず、高いロバスト性を保つことができる。

- ・電装系システム構成： 図 1 9 にロボットの基本システム構成を示す。機械的機構と同様に UMRS2007 に比し軽量小型化をはかった。まず走行系モータは 150W×2 個とフリッパ系モータとして 90W を前後各 1 個，合計 4 個の DC モータを搭載することとした。さらに車体前後に取り付けた合計 4 個の高輝度 LED 照明制御，ロボットの姿勢や環境検知の各種センサデータの取り込みや 3 台のカメラ画像の処理という制御用として TPiP2 ボードを用いて集約・高密度化をはかった。また DC モータドライバも高出力（24V にて連続 25A，瞬時 50A 通電可能）・小型化をはかるとともに、エネルギー源である車載バッテリーも、Li-ion バッテリーからエネルギー密度的には少し劣るが、より安全性が高い Li-Fe バッテリー（公称 23.1V，容量 9.2Ah）を搭載するシステムとし、ロボットが安定して 1 時間以上の連続探索活動が可能となるようにした。

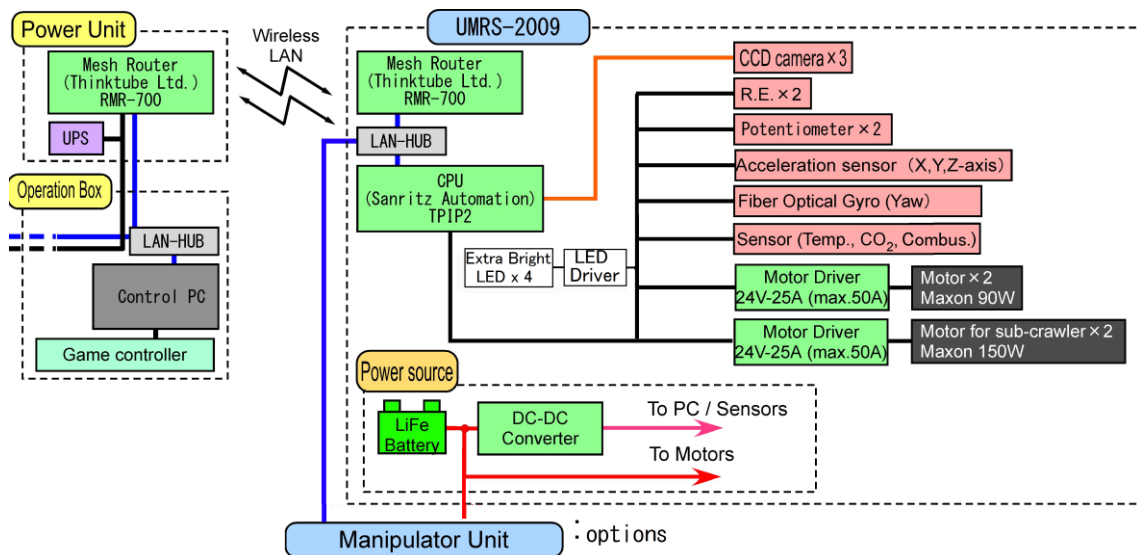


図 1 9 UMRS2009 の通信制御電装系の基本構成



(a) 背負って搬送



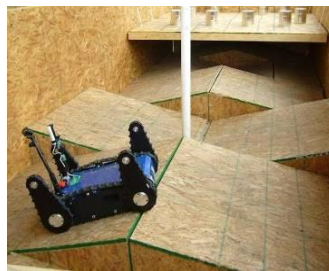
(b) 45度階段昇降



(c) 暗闇迷路走行



(d) 傾斜面走行



(e) 組合せ斜面走行



(f) ランダムステップ走行



(g) ガレキ&草むら走行



(h) 鉄道レール周辺走行



(i) 砂&ジャリ路面旋回走行

図 2 0 UMRS2009 の機動性と走行走破性

・機動性と車体走行性能： UMRS2007 に比し、高い動力性能を保ちつつ車体重量を 23kgf と軽量化をはかったことで、機動性と走行走破性が増した。図 20 にこれらの状況を示す。(a)；必要時には救助隊員が背負って運ぶことも可能。(b)；最大斜度 45[deg.]の急階段まで登攀可能。(c)；定格 3.6W 超高輝度 LED パックを車体前後に各 2 セットヘッドランプとして装着することにより、探索域が暗闇でも活動可能。(d)～(f)；2010 年 3 月にアメリカ、テキサス州ディザスターシティで行われた National Institute of Standards and Technology (NIST)による評価会において各種規定障害を走破、高性能を示した。(g)～(i)；特にスプロケットホイールに草や石、砂が絡まっても排出されやすい機構を採用するとともに、(2)項で示した本質的に安全なアクチュエータを採用することにより、従来では走行が困難となりやすい路面での走行でもロボット台車にとって負荷のかからない、高機動の移動性能を示すことができた。

(ドア開け機構)

・エンドレス回転式電動ハンド

遠隔操作により、丸型、レバー型のドアノブをハンド中心部に取付けられたカメラ(照明付き)で位置を確認～把持し、どの角度からでも自由にノブを回転させてドアのラッチを解除をする事が出来る。他の用途として、床面に置かれた危険物等を把持する事も可能。

【特長】

- －小型軽量、重量800 g，大人の手首並みのコンパクトサイズ
- －把持と回転の2軸の過負荷保護機能を有した駆動機構
- －把持駆動部のケーブルがねじれる心配が無いエンドレス回転仕様
- －ハンド中心部に CCD カメラと LED 照明を内蔵し、対象物の把持操作が容易
- －ドアノブ把持とドア開放時の芯ズレを吸収する調芯機能

【主な仕様】 電動ハンド

外形寸法	φ86 x L176 mm
質量	0.8 kg
軸数	2軸(把持、旋回) 過負荷保護機能付
把持力	40N
把持速度	最大7mm/s
把持ストローク	最大60mm
回転力	1.3Nm
回転数	最大12rpm
回転角度	エンドレス
対象ドアノブ	丸型、レバー型
付帯機器	CCDカメラ、LED照明 (ハンド中心に取付)
電源	DC24V



図 21 電動ハンドの構成



●丸ノブ対応時

●レバー型ノブ対応時

図 2 2 電動ハンドの各種ノブへの対応

・マニピュレータ

引きドア機能を付加し（別ユニットの吸着機構併用），関節軸にシンクロベルトを用いた新駆動機構により，スリムな構造で剛性向上と動作エリアの拡大を可能とした。

【特長】

- 押し引きドア対応，スリムでコンパクト（持ち運び可能）な構造
- シンクロベルトを出力軸側に用い，直線運動を回転運動に変換した新駆動機構
- 駆動部 2 軸分を 1 つのアームフレーム内に収めた出張りの少ないアーム構造
- 広い可動範囲を有しつつも，アーム折りたたみ時に収納性に優れた構造

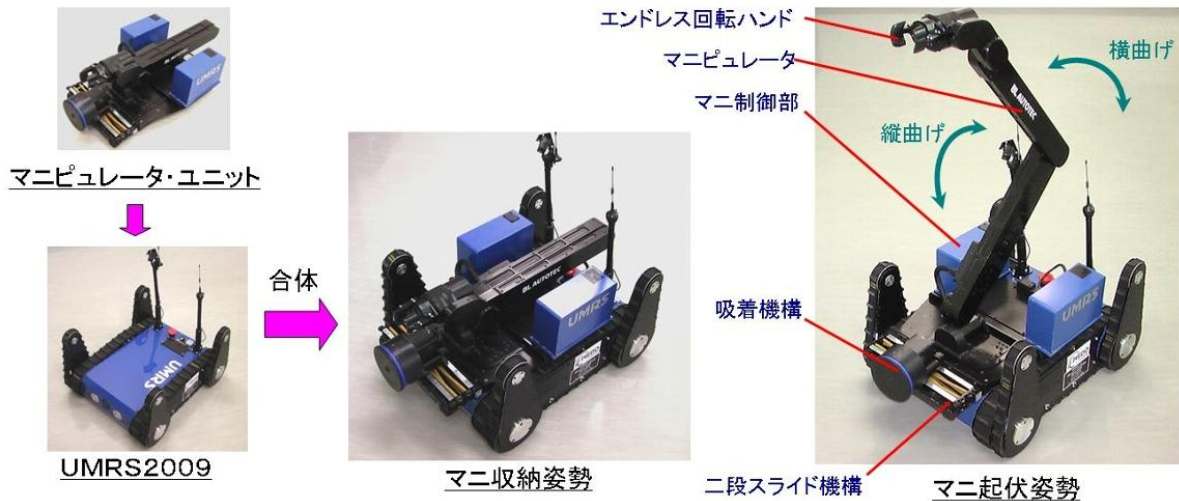


図 2 3 UMRS-2009本体へのマニピュレータ搭載

【主な仕様】 マニピュレータ

外形寸法	W120×L605×H170 mm (起伏時最大：H1000mm)
質量	7 kg (制御部含まず)
軸数	4軸
可搬質量	1.3 kg (ハンド質量含まず)
先端速度	最大100mm/s
操作方法	マニュアル式
外部通信 インターフェイス	LANポート×1
電源	DC24V

※吸着機構については別項参照

【オプション】 危険物取扱い仕様モデル

ドア開放用標準仕様モデルでも、図 2 4 の様に、台車動作を利用して危険物を把持する事は可能であるが、本モデルは、UMRS2009の機能向上の為に、1 軸部に専用ユニットを取付けるだけで旋回動作が可能となり、救助活動時の操作性を向上させた。



図 2 4 台車動作による危険物把持

・吸着機構とドア開け操作

【吸着機構】

図 2 5 に示すようにUMRS2009のボデー前先端部にドアを吸着するための吸着パッドと、ドア引き動作時、ドアとロボットの相対位置や引っ張る方向が変わってくるのを吸収するためのコンプライアンスをもった吸着機構を開発した。電動式吸着パッドはこの円形パッドをドアにぴったり押し付けた後、円形パッドの中心部をモータにて引く込むことによりパッドとドア表面の間に真空層ができようとする力で吸引力を発生させる。またこの吸着パッドを水平面にて左右に回転させる首振り機構と、力がかかればガイドケース内でパッド首振り機構自体がスライドして水平に動くとともに、そのガイドケースも車体に対して全体が水平に平行に移動する二段式伸縮ガイドにてコンプライアンスをもたせてある。

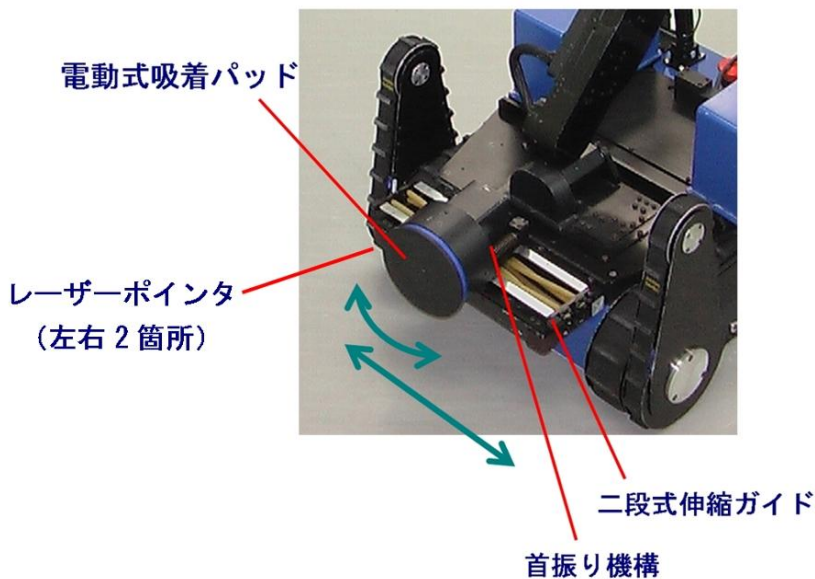


図 2 5 UMRS-2009 のドア吸着機構

・ドア開け操作

ロボット車体の軽量コンパクト化のために UMRS-2007 にて取り付けていたドアとクローラ駆動部との直接接触を防ぐバンパを取り去るとともに、ドア押し開きだけでなく、ドア引き開きにも対応するためにドア吸着機構を取り付けた。基本のドア開放の手法はすでに UMRS2007 にて示した。すなわち、ドアノブのラッチ開錠用マニピュレータはドアノブを回してラッチを外し、ドアマニピュレータのコンプライアンスを生かしてわずかにロボット車体を動かしてラッチが再びかからない位置まで移動、ドアマニピュレータを畳む。その後ドアを押すまたは引く作業はロボット車体本体の動きを用いて行う、という手順と役割分担は **UMRS2009** にも同じである。そのドアラッチ解錠後のドアとロボットの相対運動関係を図 2 6 に、またその実際の作業をしている写真を図 2 7 に示す。

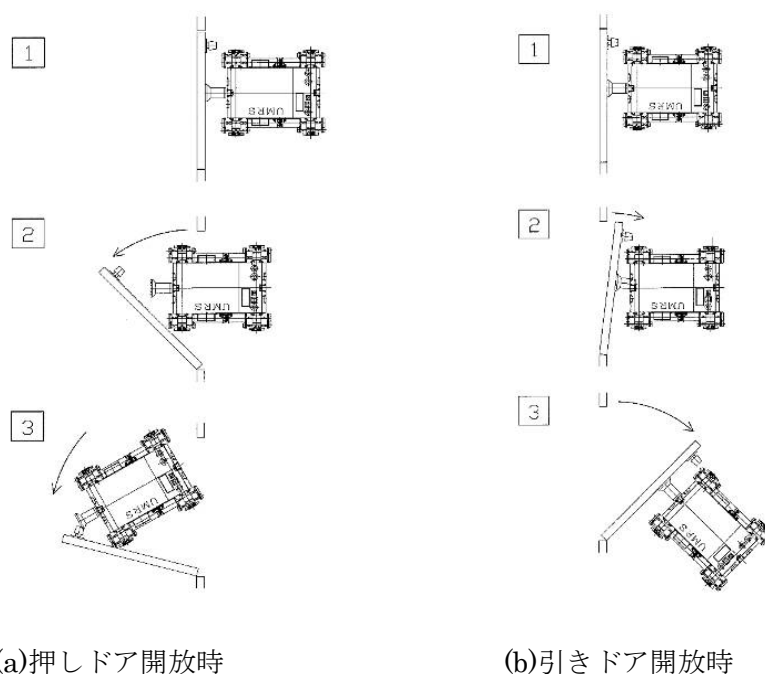


図 2 6 UMRS-2009 のドアラッチ解錠後のドアとロボットの相対運動関係



図 2 7 UMRS-2009 によるドア開放動作

吸着機構の動きがよくわかるように、ドアノブ開錠用のマニピュレータを取り払った UMRS-2009 によるドア引き時の手順を追った動きを図 28 に示す。Step1 にてドア吸着機構をドアに押し当てドアをロボット車体本体に固定する。そのうえでマニピュレータを操作しドアノブのラッチを開錠する。Step2 にてロボット本体を使ってアラッチが再施錠しない位置まで、マニピュレータのコンプライアンスを用いてドアをわずかに引き動かし、マニピュレータを収納する。Step3～Step8 に示すように車体の旋回と後退を交互に行い、吸着機構のコンプライアンスを使いながらドアを開放する。



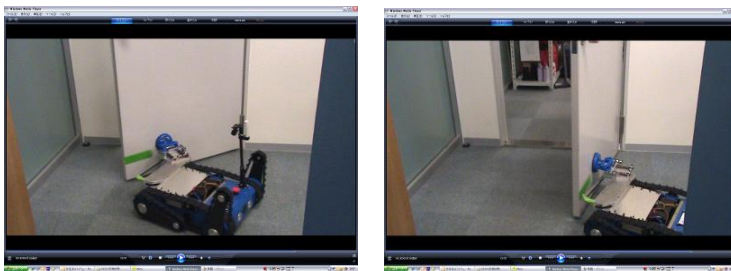
<Step1>吸着&マニでドアラッチ解除 < Step 2>後進-1, マニ収納 < Step 3>台車旋回-1



< Step 4>後進-2

< Step 5>台車旋回-2

< Step 6>後進-3



< Step 7>台車旋回-3

< Step 8>後進-4, ドア開放完了

図 28 UMRS-2009 によるドア引き時の手順を追った吸着機構とロボットの動き

#### 6) UMRS-2009 用耐衝撃平ベルトアクチュエータ

開発当初はアクチュエータの機能として速度の変速機構を取り入れたものとし、磁性体ベルトを使用した 2 段変速が可能な平ベルトアクチュエータを開発し、一定の目標を達成し目標に対する完成度は十分満足するものとなったが、2008 年度終盤より実用化想定ロボット (UMRS



2009)の要求仕様にマッチさせるべき改良設計を進め、

・「1速(速比固定)」にし「小型・軽量化」を行った。実用化想定ロボット(UMRS2009)要求仕様から、アクチュエータは1次試作品に対し半分以下(750g)の「小型・軽量化」が目標となり、「UMRS2009:総重量30kg以下」をベースに牽引力を計算した結果、UMRS2007で要求された1速(パワーモード)を持たなくても目標牽引力を確保できるとの結論を得た。

◆改良設計方針 → 速比固定・軽量化・カバーレス

・2次試作品(速比固定)はUMRS2009同等条件における台上評価及び、ロボット搭載による実機評価によって適合性及び耐久性を確認したので、その結果を次に示す。



図29 1次試作品(2006年) 図30 2次試作品(2009年)

表3 1次試作品と2次試作品の比較

	1次試作品(2段変速)		2次試作品 (速比固定)
	1速	2速	
入力軸: 駆動プーリピッチ径 mm	φ5.7	φ9.5	φ6.4
出力軸: 従動プーリピッチ径 mm	φ50.1	φ50.1	φ51.2
速比	8.8	5.3	8.0
回転方向	正転・逆転		正転・逆転
概略寸法 mm	縦73×横234×奥行100		縦65×横100×奥行42
重量 g	約1500(モータ含まず)		約350(モータ含まず)
その他オプション	変速機構(サーボモータ付き)		無し



図31

図32

繰り返しロバスト台上試験結果(出力軸)

ロボット搭載ロバスト試験結果(入力軸)

表4 機能性能評価結果

評価内容		結果概要	備考
台上評価	伝達力	設計伝達力OK	定常 0.29N・m 最大 0.43N・m
	ロバスト性	駆動伝達トルク約 1 N・m で全 Slip	モータ許容瞬間最大トルクの半分になった時に全 Slip が発生
ロボット走行評価		台上評価との整合性確認OK	—
		約 3 0 0 hrs 走行OK	目標耐久性OK

【現状での完成度】

コンパクト・軽量化を実施した2次試作品において、台上及びロボット搭載試験の結果は、搭載するロボットに必要な伝動能力・ロバスト性については満足のいく結果が得られた。ロボットによる走行実績として現時点において十分な耐久性が得られており、当初目標としたアクチュエータの機能としては十分なものであると考える。

現時点において本ロボット適用化としては、品質的に目処がついたものと考えている。

②遠隔操作技術

消防隊員が目視できない閉鎖空間内における情報収集を効率よく行うためには、ヒューマンインタフェースが重要である。その実現のためには、環境情報や運動情報の計測・測位、隊員が周囲環境を認知しやすい情報提示、隊員にとって楽な操縦操作が重要である。また、これを実際に近い使用環境で繰り返し実証試験や訓練を行って改良すること、隊員が容易に訓練を行える環境を整えることが必要である。

(顕著な成果)

1) Kenaf のジョイスティックによる遠隔操作

- ・瓦礫上や狭い場所の操縦に適した、ジョイスティックによる遠隔操作機能を実現した。
- ・ロボカップ 2007 アトランタ大会で運動性能部門世界優勝を果たし (図 3 3), Disaster City の瓦礫を踏破するなど (ただし, Disaster City ではロボットを直視しながらの操縦), 操縦しやすさを実証した。



(a) スタート



(b) スロープ



(c) 遠隔操縦の様子



(d) 不整地突入



(e) 斜め段差      (f) 平行段差      (g) 崩れる不整地      (h) 高速走行  
 (i) 斜め段差旋回      (j) 摩擦がない転がり段差      (k) 階段      (l) 操縦ミスで時間ロス

図 3.3 RoboCup 2007 Atlanta における Kenaf の走破の様子

## 2) 通過ポイント指定方式による操縦機能

### (1) 通過ポイント指定方式によるロボットの遠隔操作

操縦方式: ロボット視点と鳥瞰視点で地面位置をポインティングし、移動目標位置を送ることで、従来のジョイスティックやゲームパッドと比較し、操作者の負担が少なく、時間遅れに頑強な遠隔操縦方式を実現した。

画面デザイン: 三次元CG内の遠方に仮想スクリーンを2枚設置して3眼カメラ台の左右2枚のカメラ画像を投影し、測域センサによる距離情報と合成することで、視野が広く、かつ、障害物との距離も確認しやすいロボット視点画像を生成することに成功した。

走行方式: 指示された目標位置に従って経路走行するモードと自律的に人避けを行うモードを切り替えることによる半自律走行を実現した。

### (2) 不整地環境におけるポインティング操縦の目標到達精度の向上

ロボット視点画像をポインティングする操縦方式を、凹凸のある路面でも適用可能とするように改良を行った。画像上では奥行き情報が欠落しているため、画像をポインティングしただけでは、到達目標が一意に決定されない問題がある。そこで、目標をベクトルで表現し、到達判定を面で行う方法を提案した。さらに、天井計測とオドメトリ情報を融合することで、目標位置への到達精度を改善した。

### (3) タッチ操作で操縦可能な携帯型遠隔操縦インターフェース

机上設置式の大型の操縦装置の場合、その場を移動することができないため、ロボットとの通信環境を遠距離に渡って確保する必要が生じる。一方、携帯が可能な操縦端末であれば、安全が確認された場所までは近づけるため、長距離の通信環境の確保が難しい場合に有利である。そこで、提案している通過ポイント指定方式によるロボットの遠隔操作手法を携帯可能な操縦端末に実装した。開発した操縦端末は、タッチ操作のみで操縦可能になっており、厚手のグローブを着用時に有用であると考えられる。

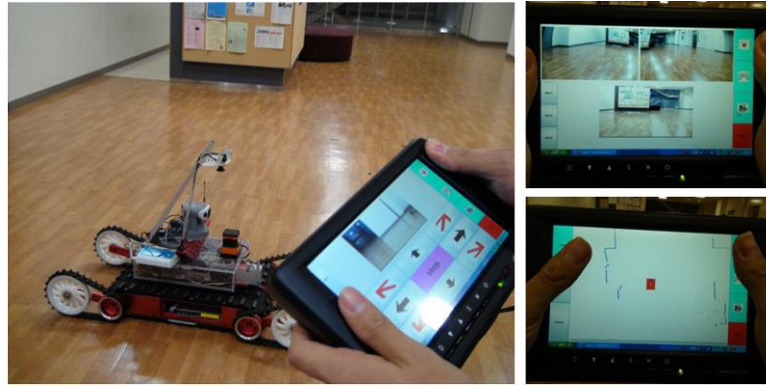


図 3 4 操縦対象の移動ロボットと携帯端末（左図）と操縦画面の例（右図）

### 3) ポータブル遠隔操縦卓

図 3 5 に UMRS-2009 の操縦卓のイメージを示す。



図 3 5 ポータブル遠隔操縦卓の概要図

（仕様）

- ・災害現場に運搬し、10 分以内にロボットを操縦できること。

電源投入のみで、ロボットの操縦プログラムや周辺機器が立ち上がるように内部構成を考えると対応する。

- ・消防隊員一人で運搬できるように重量は 20kg 以内とする。

操縦卓に納める機能を必要最低限にとどめた。

操縦卓に納める機能は、LAN ハブ、USB ハブ、ダウンスキャンコンバータとした。

- ・使用する際の災害現場を考慮し、防滴・防塵構造とする。

操作部を除いて電気回路周辺は、すべてケース内に収め、防滴・防塵機能を持たせた。

電源部および LAN 周辺のコネクタには、防水・防塵コネクタを採用した。

少々の振動や、衝撃にも耐えうるような構造にする。

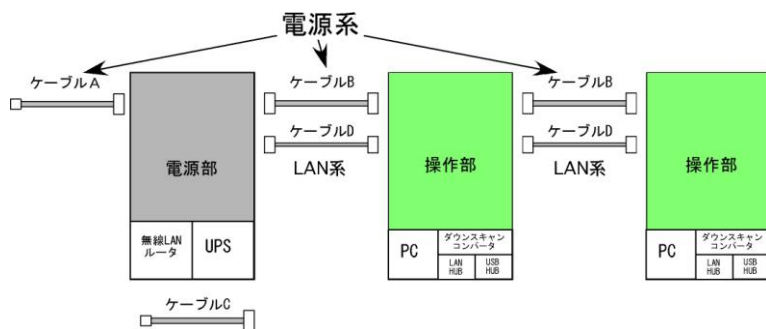


図 3 6 ポータブル遠隔操作卓の使用時のイメージ

各機器は、周囲をウレタン樹脂で多い、少々振動や衝撃にも耐えるように設計を行った。

- ・瞬間停電などにも耐えうようにする。

使用する環境においては、安定した電源が確保できるとは限らない。そのため、無停電電源装置(UPS)を操縦卓に組み込むことを検討した。しかし、操縦卓の重量が 20kg を超えてしまうため、操縦卓を電源部と操縦部と 2 つの機能を持った構成とした。図 3 6 に操縦卓の使用時のイメージ図を示す。操縦卓で使用する PC には、内部バッテリーで 2 時間程度稼働が可能である。電源部は内蔵の UPS を用いて、操縦部の無線 LAN の機能と USB ハブの機能をバックアップさせる。

(操縦プログラム)

#### 【UMRS-2007 版】

操作卓に内蔵されている操縦プログラムは、現在以下の機能を有している。

- ・カメラ画像表示・・・前・後カメラおよび指揮官カメラの映像をブラウザ内に表示することが可能である。
- ・距離表示機能・・・カメラ画像内に距離情報の目安となる“メジャー”を表示することが可能である。
- ・カメラ画像切り替え・・・ロボットが前進しているときは、前カメラのみの映像が表示され、後進するときは後カメラのみの映像が表示される。これにより、ネットワークに掛かる負荷を軽減することができる。ただし、指揮官カメラは画像切り替えの対象とはしていない。
- ・指揮官カメラのパン・チルト動作・・・より広い範囲を探索するために指揮官カメラは独立して操作が可能である。そのため、カメラの向いている方向を表すためにブラウザ内にパン角・チルト角を表示することとした。



図 3 7 操縦卓の表示例 (ドア開放時)

- ・ロボットの操縦・センサーデータ取得・・・ロボットに搭載している加速度センサ、光ファイバジャイロ、内界センサ（ロータリエンコーダ、ポテンショメータ）のデータを取得することが可能である。
- ・マップ上でのロボットの位置表示機能・・・ロボットから送られてくるオドメトリの情報およびロボットの姿勢センサからのデータを用いて、災害現場のマップ上でロボットの位置を表示することができる。

【UMRS-2009 版】

図 3 8 に開発を行った操縦インターフェースの写真を示す。まず、同図(a)に示したロボットベースコントロールモードの機能について紹介する。画面に表示されているスイッチ類のアイコンは、画面がタッチパネルを兼ねており画面上を触れることによってもスイッチ機能を果たすように設定されている。

・ **Mode select switch** 左から順番にベースロボットコントロールモード、マニピュレータユニット制御モード、センサーデータ取得モード、センサのオフセット値調整モードへの切替を行う。後述するマニピュレータコントロールモードへもこのスイッチを押すことによって切替が可能である。

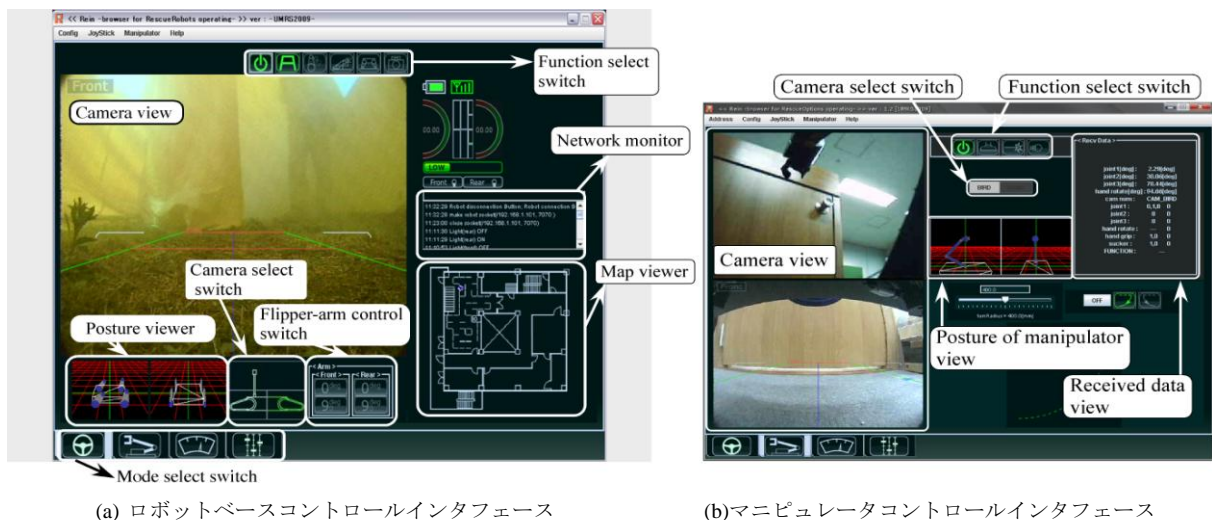


図 3.8 UMRS-2009 のインタフェース

- ・ **Posture viewer** ロボットの姿勢および、フリッパーアームの位置を3D表示する。
- ・ **Camera select switch** 前/後カメラおよび鳥瞰カメラの切替を行う。
- ・ **Flipper-arm control switch** フリッパーアームの角度を水平位置(0[deg.])、もしくは上方位置(90[deg.])に切り替える際に使用する。
- ・ **Map viewer** 予め建築図面などから地図情報を読み込み、その地図上へヘッドレコニングによってロボットの現在を示すことが可能である。また、被災者の位置をアイコン化して地図上に設置することも可能である。
- ・ **Network monitor** 現在のネットワークの遅延状況、リンク先、送信/受信データなどをモニタする画面である。これにより、現在のネットワークの状況等を把握することが可能である。
- ・ **Function select switch** 左から順に操縦プログラムのON/OFF機能、メジャーライン（画面上の緑・赤のライン）の表示/非表示機能、フリッパーアームの位置制御ON/OFF機能、半自律階段・ステップ昇降モードON/OFF機能、タカアシガニモード（フリッパーアームの先だけで接地し走行するモード）ON/OFF機能、スナップショット機能の各種切替を行う。
- ・ **Camera view** 「Camera select switch」で選んだカメラからの映像が表示される。カメラの映像が表示されるのは、通信容量を確保するため、常時1台のカメラのみとしている。また、どのカメラ画像を見ているかすぐに判断できるように画面左上にカメラのIDを表示している。現在の画面上では、「前方」カメラの映像をビューワに映している。

次に、図 3.8 (b) を元に、マニピュレータユニット制御モードの機能について紹介する。

- ・ **Camera view** ロボットベースコントロールモードとは、異なり常時2台のカメラからの映像を表示することが可能である。画面下部のエリアには、ロボットベースの前方カメラからの映像を表示する。また、画面の上部エリアはマニピュレータとドアノブとの相対位置を確認するための鳥瞰カメラおよびドアノブを把持する際に使用するハンド内カメラからの映像を切り替えて表示することが可能である。なお、ロボットベースカメラの映像は常時表示し、鳥瞰カメラとハンド内カメラの切替を「Camera select switch」により行う。

- ・ **Posture of manipulator view** マニピュレータ内のエンコーダ/ポテンシオメータの値からマニピュレータの姿勢を表示することが可能である。
- ・ **Received data view** マニピュレータから送信されるすべての情報を画面に表示する。
- ・ **Camera select switch** マニピュレータの姿勢を確認するためのカメラおよびハンド内カメラとの切替を行う。
- ・ **Function select switch** 左から順に、操縦プログラムのON/OFF、ドア吸着用の吸盤ON/OFF 機能、位置決め用レーザーポインタON/OFF 機能、ハンド内照明のON/OFF機能が並んでいる。

これらの操縦インタフェースは、すべてJAVA でプログラミングを行い、100ms 程度のサンプリングタイムでロボットの制御を行っている。UMRS-2009 の操縦インタフェースの開発には、神戸市消防局の協力を得て、ともに開発を行った経緯がある。ここで紹介したいいくつかの機能については、消防隊員からの依頼があり、実装したものがある。

平成22年9月～平成23年2月までUMRS-2009を神戸市消防隊に貸与し、その間、約30回の訓練に使用していただいた。その使用した感想を調査し、さらに使いやすいインタフェースの改良・開発を行っていく予定である。

#### (現状での完成度)

ステージゲートまでは、音声通信の実装への不満や、階段昇降を行う半自律のプログラムが未実装であるといった課題が残っており、完成度は 85%であった。

ステージゲート後は、消防隊員の意見を集約し、機能の簡素化、排除を行い、UMRS-2009 版の Rein の開発を行った。主に、TCP/IP から UDP 通信へのプロトコルの変更、通信容量を圧迫しないインタフェースの開発および半自律階段・段差昇降機能を実装した。UMRS-2009 版のインタフェースの完成度は、90%である。

平成 22 年 9 月～平成 23 年 2 月まで UMRS-2009 を神戸市消防隊に貸与し、訓練に使用した隊員の感想や要望として、音声通信を望む声が大きかった。この機能の実装を行うことで、より実用化に近づけるものと思われる。

#### 4) 3次元環境計測表示による遠隔操縦

ステージゲート前には次の実績を上げた。

- ・ 3次元環境計測表示と高精度の三次元オドメトリ、カメラ映像、センサデータとの併用により、複雑に障害物が存在する災害現場での遠隔操作を可能にした。
- ・ 2次元測域センサとパンチルト台によって、小型の3次元スキャナ (TKScanner) を開発した。
- ・ 計測した3次元地形の中に、ロボットの位置姿勢とサブクローラ角に同期してロボットの3次元モデルを描画することで、環境とロボットの位置関係を把握しやすいインタフェースを構築した。



- ・ 図 3 9 に段差 (左), 廊下 (中央), 米国の NIST が提案する迷路の中を, 3 次元操縦インタフェースを用いて操縦している操縦画面のスナップショットを示す. 映像では周辺環境を把握出来ない場合でも, 遠隔地からロボットを安全に操縦出来ることを確認した.
- ・ Disaster City 操作体験会で, 狭い暗闇でも周囲の状況がよくわかり, 操縦がしやすいと, 多くの FEMA 隊員から高い評価を得た (図 4 0).

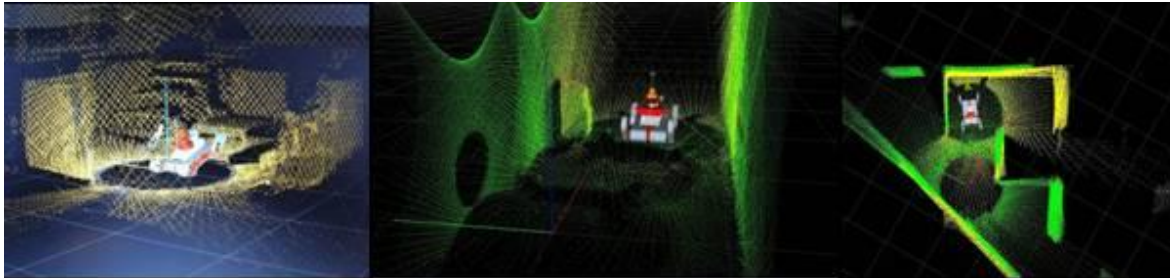


図 3 9 俯瞰視点の 3 次元スキャン図を用いた, 狭い場所における遠隔操縦



(a) 列車入口



(b) 列車内を操縦する FEMA 隊員



(c) 列車の三次元地図



(d) 倒壊建物



(e) 倒壊建物内の Kenaf



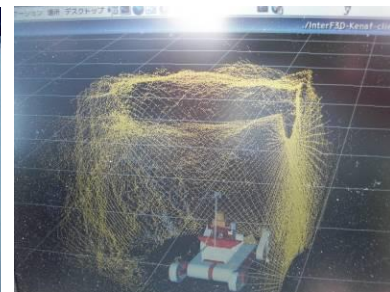
(f) 遠隔操縦を見守る FEMA 隊員



(g) 倒壊建物内の 3 次元地図



(h) 遠隔操縦中のカメラ映像



(i) 煙充滿環境での地図計測

(g) 倒壊建物内の 3 次元地図 (h) 遠隔操縦中のカメラ映像 (i) 煙充滿環境での地図計測

図 4 0 3 次元データを用いた倒壊建物内, 衝突電車内の探索

ステージゲート後には次の実績を上げた.

- ・ 密な三次元環境計測と高精度の三次元オドメトリを用いて Quince を俯瞰視点で操縦する 3 次

元操縦インタフェースを開発した。照明で周囲を照らしてロボット搭載カメラで撮影した映像と三次元操縦インタフェースを併用することで、複雑に障害物が存在する災害現場や、狭い場所での遠隔操作を可能にした。

- 2次元測域センサとパンチルト台を組み合わせて防塵・防滴の小型3次元スキャナ(HDScanner)を開発した。Quinceに搭載し、米国のDisaster Cityや東日本大震災で倒壊した東北大学青葉山キャンパス内の全壊被災建物で3次元計測と3次元操縦インタフェースの実証試験を行った。
- 計測した3次元地形の中に、ロボットの位置姿勢とサブクローラ角に同期してロボットの3次元モデルを描画することで、環境とロボットの位置関係を把握しやすい俯瞰視点を合成した。また、俯瞰視点をロボットの動きに合わせて自動的に追尾する機能を開発し、ロボットを操縦しながら俯瞰視点を利用することが出来ることを確認した。
- 図4-2に米国のFEMA隊員の訓練施設Disaster Cityで3次元操縦インタフェースを用いて操縦している操縦画面のスナップショットを示す。カメラ映像に加えて、3次元地図と3次元操縦インタフェースを用いることで周辺環境を把握しつつ、遠隔地からロボットを安全に操縦出来ることを確認した。
- 本プロジェクト期間終了後の成果であるが、参考データとして、図4-3に東日本大震災で被災した東北大学青葉山キャンパスの建物を探査した様子を示す。被災して物体が散乱した空間をカメラと3次元操縦インタフェースを併用して探査することで、狭い場所を通り抜けるたり、探査していない空間を確認しながら探査が可能なることを確認した。

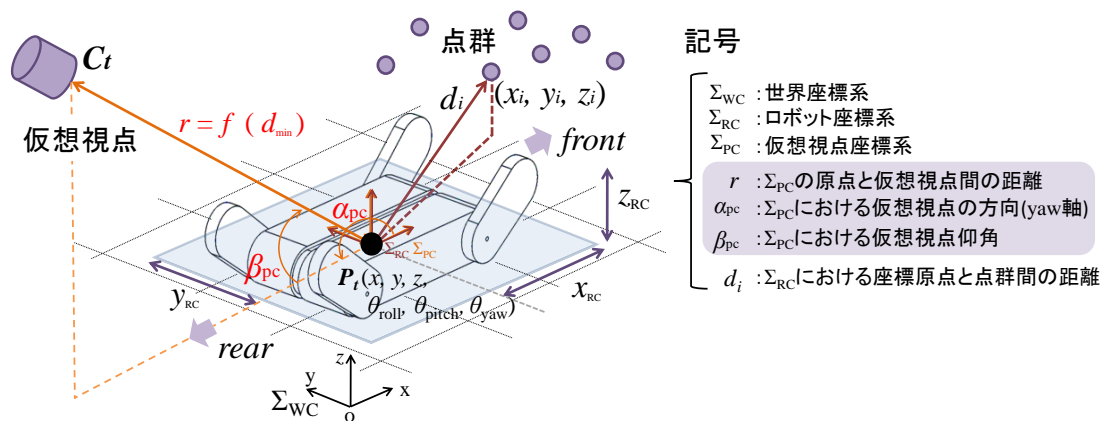
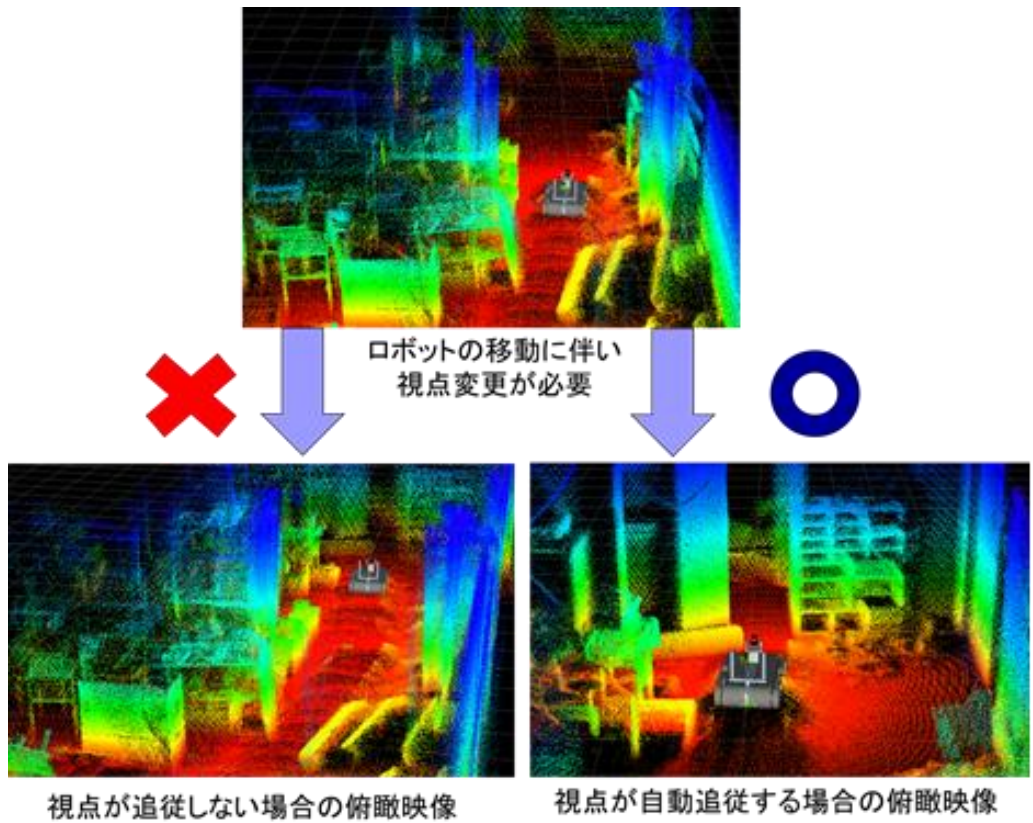


図4-1 俯瞰視点映像を合成するためのモデル



(a) 建物の外観 (b) カメラ映像 (c) 俯瞰視点映像

図4-2 Disaster City の倒壊建物内の狭い場所をカメラと俯瞰視点の映像を用いて探査



視点が追従しない場合の俯瞰映像

視点が自動追従する場合の俯瞰映像

図4-3 3次元操縦インターフェースを用いた東日本大震災で被災した東北大学の建物内の探査：ロボットの動きに合わせて俯瞰視点を自動的に変更する機能の有効性を検証

5) 半自律不整地踏破機能

ステージゲート前の成果として、

- ・不慣れなオペレータでも遠隔操作による不整地走行を可能とするため、半自律不整地踏破機能を構築した。
- ・PSD センサによる前後6点の距離計測と、サブクローラの段差との衝突判定に基づき、自動的にサブクローラの上下動作を行い、不整地を踏破できる機能を実現した。Disaster City の倒壊建物内では、15cm 程度の凹凸を隊員が気遣うことなく遠隔操縦できることを実証した (図4 4)。
- ・2台の測域センサにより、サブクローラを含むクローラ面の前方形状を計測し、それに基づいて自動的にサブクローラ角を制御する機能を実現した (図4 5)。



図4 4 衝突判定に基づく半自律での階段、ランダムステップ踏破

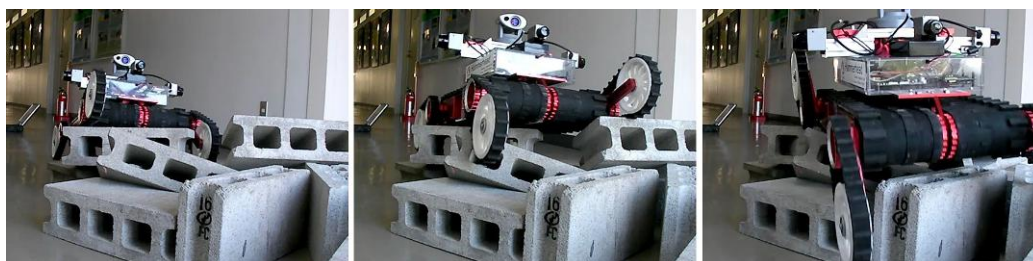
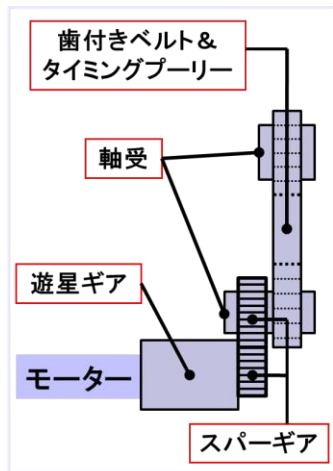


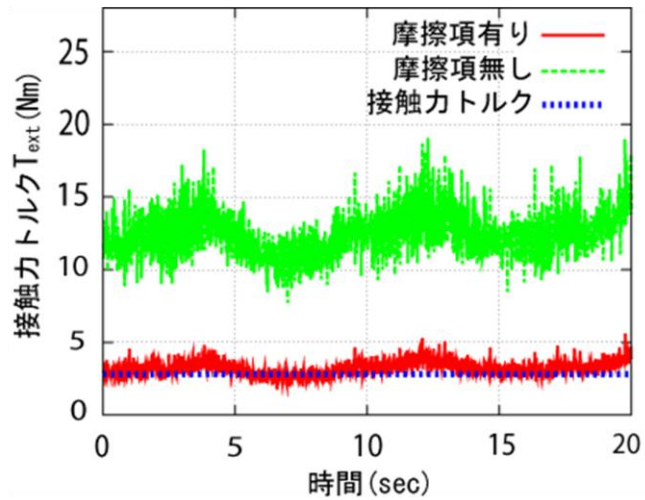
図4 5 測域センサに基づく半自律での不整地踏破

ステージゲート後の成果として、

- ・遠隔操縦で Quince が不整地を楽に踏破するための、半自律不整地踏破機能を構築した。
- ・サブクローラに加わる弱い外力をトルクとして計測する方法を開発。ギアの摩擦、慣性、サブクローラの重量を考慮して、数 Nm の誤差で接触力を検出できるようになった (図4 6)。
- ・PSD センサによる前後2点の地面との距離計測と、サブクローラの段差との衝突判定に基づき、自動的にサブクローラの上下動作を行い、不整地を踏破できる機能を Quince に搭載した。Disaster City の倒壊建物が木材瓦礫を進行方向を指示するだけで踏破できることを実証した (図4 7)。



動力伝達系の模式図



(b) 接触判定の結果

(a) サブクローラのギアの模式図

図 4 6 ギアの摩擦、慣性、サブクローラの重さを考慮した外力判定



(a) 倒壊建物の屋根を半自律操縦支援システムを用いて踏破



(b) 木材瓦礫を半自律操縦支援システムを用いて踏破

図 4 7 地面との接触判定に基づく半自律での倒壊建物瓦礫や木材瓦礫の踏破 (米国 DisasterCity)

- ロボットの左右に設置した 2 台の測域センサにより、サブクローラを含むクローラ面の前方形状ならびに真下の路面の凹凸を計測し、それに基づいて自動的にサブクローラ角を制御する機能を実現した。この機能は、ステージゲート後に Quince に搭載され、階段走行ならびに、図 4 8 に示す非常に困難な不整地における半自律走行を実現した。



図 4 8 Quince の半自律走行（兵庫県三木市消防学校における不整地走行）

- ・上記の半自律走行機能は、消防隊員による機能検証が行われた。図 4 9 中の消防隊員は、それまで一度もロボットを触ったことがなかったのだが、この機能を搭載したロボットを用いて、図中の不整地を走破することができた。この例からも、本機能の有用性が見て取れる。



図 4 9 消防隊員による Quince の不整地走行試験

- ・上記の半自律走行機能は、サブローラを折り畳んだコンフィギュレーションに対しても、実装が行われた。これにより、図 5 0 に示す通り、凹凸が存在する環境における旋回動作も可能となった。



図 5 0 サブローラを折り畳んだ場合の半自律走行（ステップフィールドでの旋回動作）

## 6) 災害環境 Kenaf シミュレータ

- ・USARSim を用いて、ロボットなしに隊員が操縦の訓練をできるための、ゲームエンジンによる災害環境 Kenaf シミュレータを開発した（図 5 1）。
- ・実機とシミュレータの制御ライブラリ規格を共通化することによって、シミュレータを実機の代わりにプラグインすることが可能になり、実機の制御アルゴリズムの検証をシミュレーション場で行うことを可能にした（図 5 2）。



図 5.1 シミュレータによる操作（実機との動作比較）

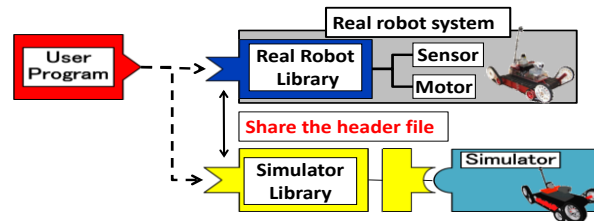


図 5.2 実機とシミュレーションとのプラグイン

### ③通信技術

本課題では、建物内のロボット群から 700 m 以上離れたオペレータステーション（操作卓）に、複数の遠隔操作映像を含むセンシング情報をリアルタイムに安定して伝送できる通信技術の開発を行った。有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク（図 5.3）技術などを用いることでローミング時に発生する遅延の軽減を実現し、この課題を解決した。

#### （顕著な実績）

##### 1) 有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク

- ・既存の無線アドホック通信には次のような問題点があった。

多数の映像伝送における無線帯域の不足（スケーラビリティの不足）、  
遠隔操縦を困難にするレイテンシー（通信遅延）の増加、  
移動によるハンドオーバー（通信局の切替え）時の通信の切断、

- ・有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークは、次の方法によりこれらの問題を解決した。

ロボットが敷設する有線ネットワークによって基幹の帯域を確保  
基幹有線網から離れた場所では無線アドホック通信機能を用いて探索範囲を拡大  
2.4GHz に加えて 5GHz 無線を同時に使用可能な多重無線機能により伝送容量を増加  
常時複数の経路を確保することによって経路切替え時の通信切断時間短縮を実現  
有線と無線との並行リンクを活用することで有線切断時には無線リンクが自動的にバックアップ機能を果たす

電波伝搬が不安定となり無線通信では対応が困難な領域（狭い階段など）に対しては、有線網敷設によって安定通信を実現

- ・平成 20 年度までに仙台市地下鉄，神戸市地下街さんちか等において実証実験を行い，約 683m の長距離遠隔操縦を実現した（図 5.4）。平成 21 年度には兵庫県立広域防災センターにおいては

10階建てビルの10階までのロボット登攀走行を当通信技術を用いて繰り返し検証をおこなった。

・平成 22 年度には上記検証試験に加えて東京消防庁立川訓練所で、ローミング性能に関わる比較検証を実施した。(図 5 5) ローミング時における通信切断は、ロボット操縦者にとっては深刻な問題であり操縦不能となることもある。有線・無線ハイブリッド・メッシュネットワーク・システムでは当結果が示すようにローミング(経路変更を含む)時の遅延抑制を実現できていることを確認した。

・加えて平成 22 年度には、諸外国、特に米国におけるレスキューロボットが使用している無線システムに関する調査を行い、災害救助ロボットシステムにおける無線電波利用に関する課題を総務省へ報告し日本国内では使用が認められていない米国 FCC 認可無線 LAN カード(高出力 600mW) 実験試験局申請を行い、比較検証を実施した。概算レベルでは米国 FCC 認可無線 LAN カードは日本国内で使用可能な無線 LAN カードに比べて通信可能距離で約 2 倍になると考える。(図 5 6)

・このハイブリッドネットワークを経由して音声通話システム(VoIP)を利用可能とし、市販の VoIP 端末、及びカメラ・谷沢製作所製 U メット(音声通話機能搭載ヘルメット)を利用可能とした。これによりロボットのみならず、連携する消防隊員も音声通話、映像転送、安全確認等が可能となった。(図 5 7)

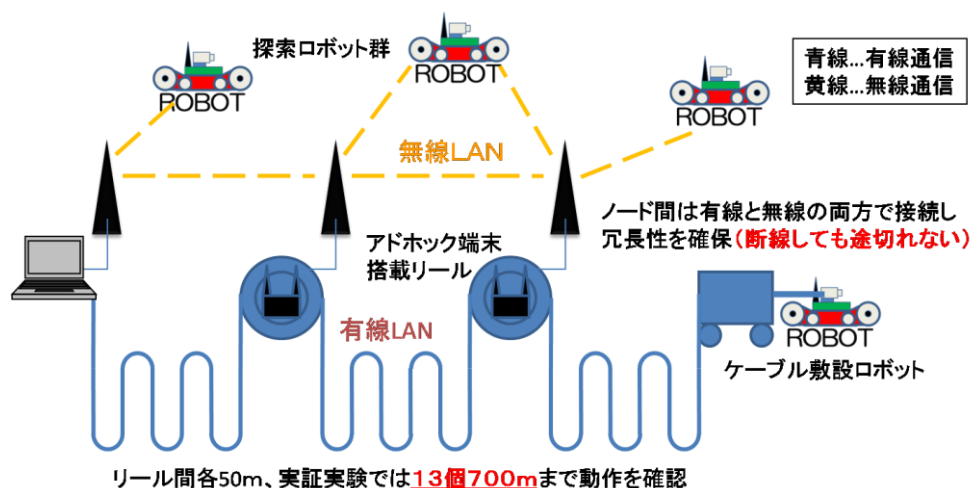


図 5 3 有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク



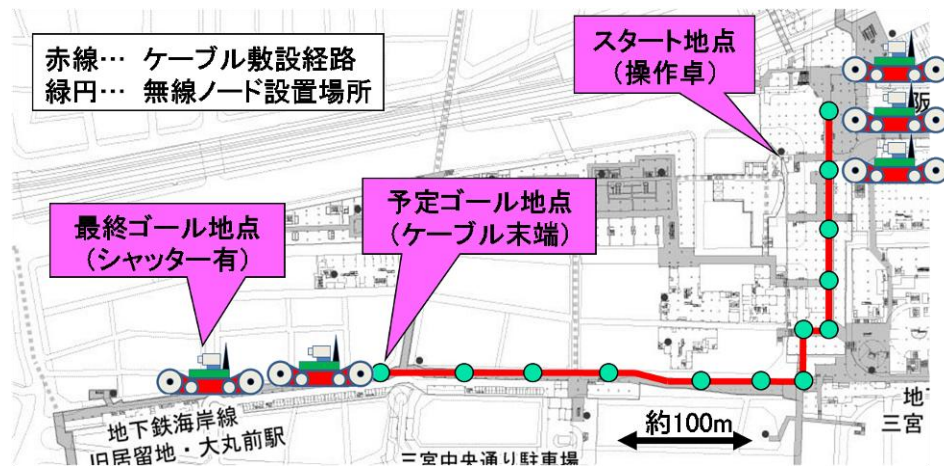


図 5 4 神戸三宮地下街での 683 m 遠隔操縦

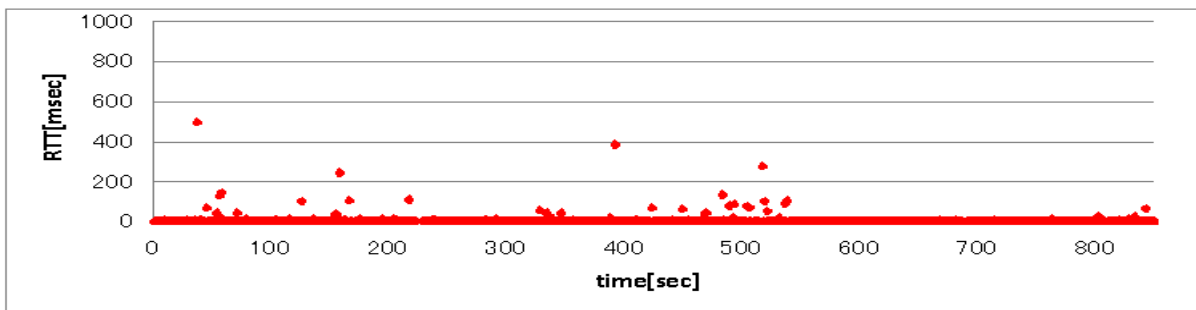


図 5 5 遠隔ロボットによるローミング時の伝送遅延測定結果

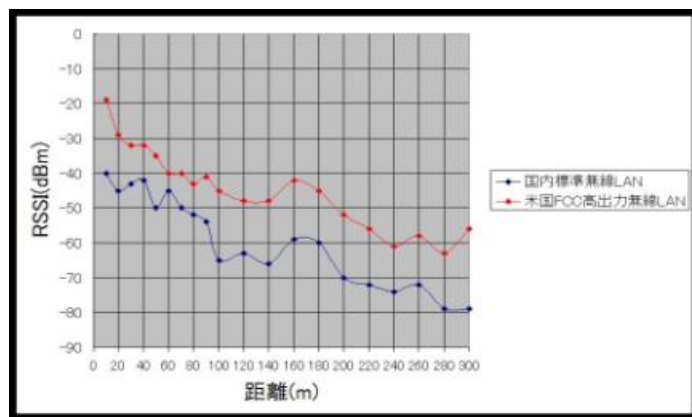


図 5 6 国内無線 LAN カードと米国 FCC 高出力無線 LAN カードの比較 (距離と電波強度)

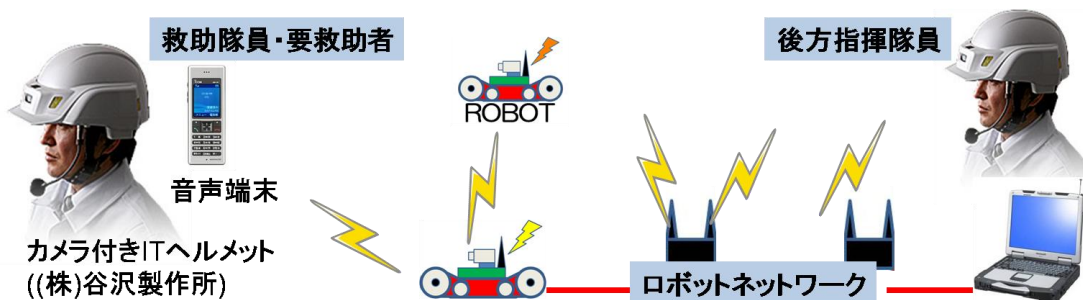


図 5 7 ロボットネットワークと連携する救助隊員用の通信資機材

## 2) ケーブル敷設ハードウェア

- ・ケーブル敷設が可能なロボットのハードウェアを試作し、仙台市地下街、神戸市さんちかにおいて実証試験を行い、階段等の踏破能力の改良を行った。(図58) ケーブルは50mのリール及びアドホック通信端末からなり、ケーブル敷設ロボットはこれを16台搭載し敷設することにより最大800mの無線通信可能エリアを提供することが可能である。(図59, 60)
- ・消防隊員との実用検討を行い、より簡易な構成の有線・無線統合通信サブシステムを開発した。(図61) このシステムは1台のQuinceに光ファイバリールと無線アクセスポイント機能を持つ有線Quinceと、その有線Quinceに無線接続することで遠隔操縦される無線Quinceで構成される。簡易システムは元システムと比較して通信可能範囲は狭いがより軽量で、複数台ロボットを密集させて遠隔操縦させる場合は十分な性能を持つ。(図62)

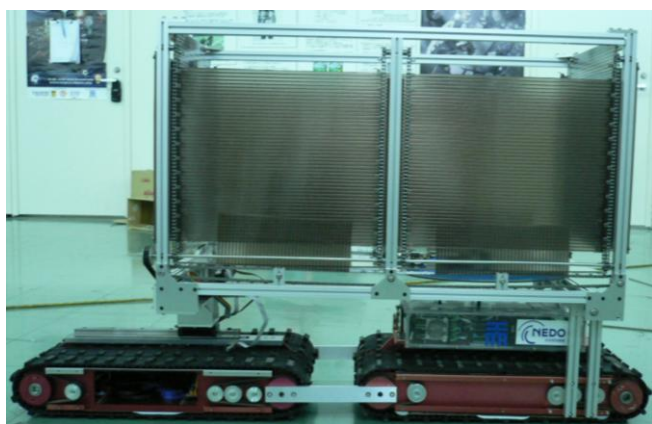


図58 登坂能力を改良したケーブル敷設ロボット

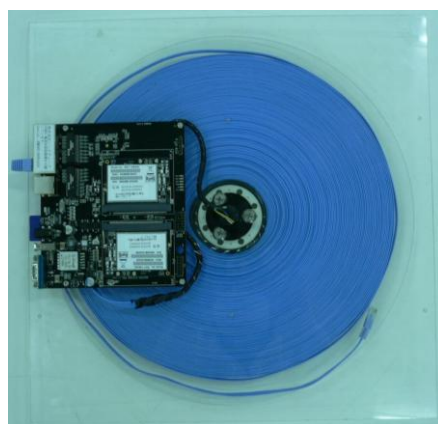


図59 ケーブルリール



図60 無線基地局敷設のシーケンス

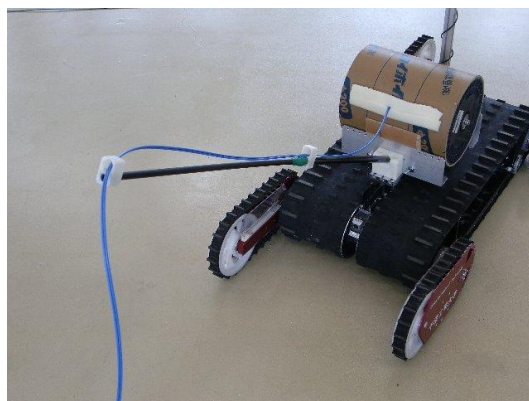


図61 光ファイバを用いた簡易システム

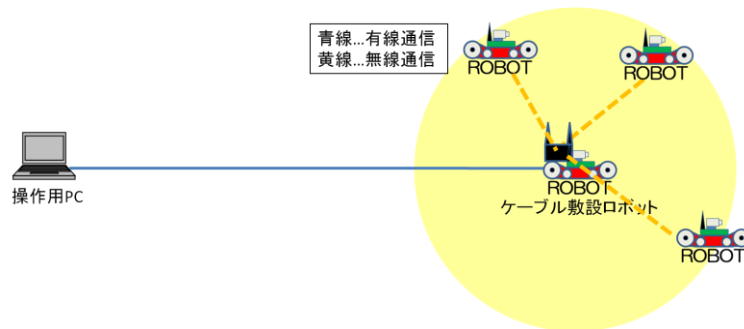


図 6 2 簡易システムを用いた無線通信の範囲

### 3) 閉鎖空間内での電波伝搬シミュレーション

- ・シミュレーションにより閉鎖空間の伝搬特性に関する確認を行った (図 6 3)。
- ・Kenaf 搭載アンテナの電波シミュレーションによりアンテナ種類、高さ等の妥当性検証を行い、必要に応じてアンテナ高を調整可能なアンテナ台を開発した。
- ・階段や不整地環境等の傾斜面における電波受信状況を改善するため、指向性可変アンテナを開発し、シミュレーションと実機開発によりその有効性を検証した。(図 6 4, 6 5)

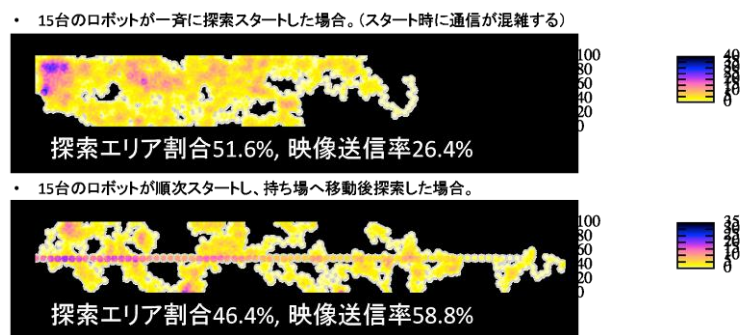


図 6 3 複数ロボットの電波伝搬シミュレーション

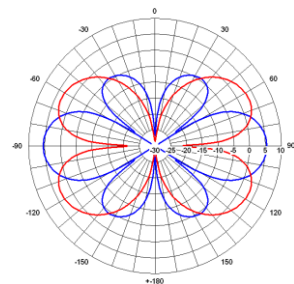


図 6 4 指向性可変アンテナの電波特性シミュレーション 図 6 5 開発したアンテナの外観

### ④GIS技術

ロボットの移動の迅速性を保ったまま、複数台のロボットにより収集されたカメラ画像・レーザスキャンなどのセンシングデータを既存の地図情報に統合することをめざし、ロボットの測位で用いる複数の座標系の不確定性や取得データの位置情報の誤差を許容しつつ、事後にその不確定性や誤差を解消できる機能を GIS に組み込み、実証実験によりその機能・性能を確認した。ま

た、GISの開発と並行して、そこで採用した通信プロトコルや概念設計を、ロボットによる位置情報サービスの国際標準策定に反映した。

#### (顕著な実績)

##### 1) 複数座標系を許容するためのプロトコル拡張

開発を進めてきた位置情報サービスプロトコル MISP とデータベースシステム DaRuMa を拡張し、複数の座標系による位置情報を扱いつつ、同時に座標系の関係を事後に修正できる機能を追加した。ロボットでは位置情報のもととなる座標系が流動的で曖昧さを含まざるを得ないため、通常の GIS で用いられる統一された座標系による位置表現では情報を表現しきれない。これを解消するため、座標系を任意に定義でき、その原点情報を事後に変更してもデータの整合性をとれる枠組みを設計し、MISP および DaRuMa に実装した。

##### 2) 座標系の修正可能な統合地図生成システム

本プロジェクトの最終目標は、複数台のロボットによる 3 次元スキャンデータおよび画像データを統合したマップを提供することである。このために、多数の 3 次元スキャンデータの位置合わせを手動あるいは自動で行いつつ、修正されたロボットの位置から、画像データなどの情報を求め、地図上にマップするシステムを構築した。実装した機能及びツール群は以下のとおりである。

- (1) 複数の座標系変換情報を動的に更新する機能
- (2) ロボットごとのローカル座標系、統合座標系の双方に対応したデータ表示システム
- (3) 位置合わせソフトウェアと連動するための通信プロトコルと通信ライブラリ
- (4) 3 次元形状データを効率的に扱うためのデータ設計とデータ表示システム

作成した統合地図生成システムの概要を図 6 6 に、また、得られた統合地図を図 6 7, 6 8 に示す。

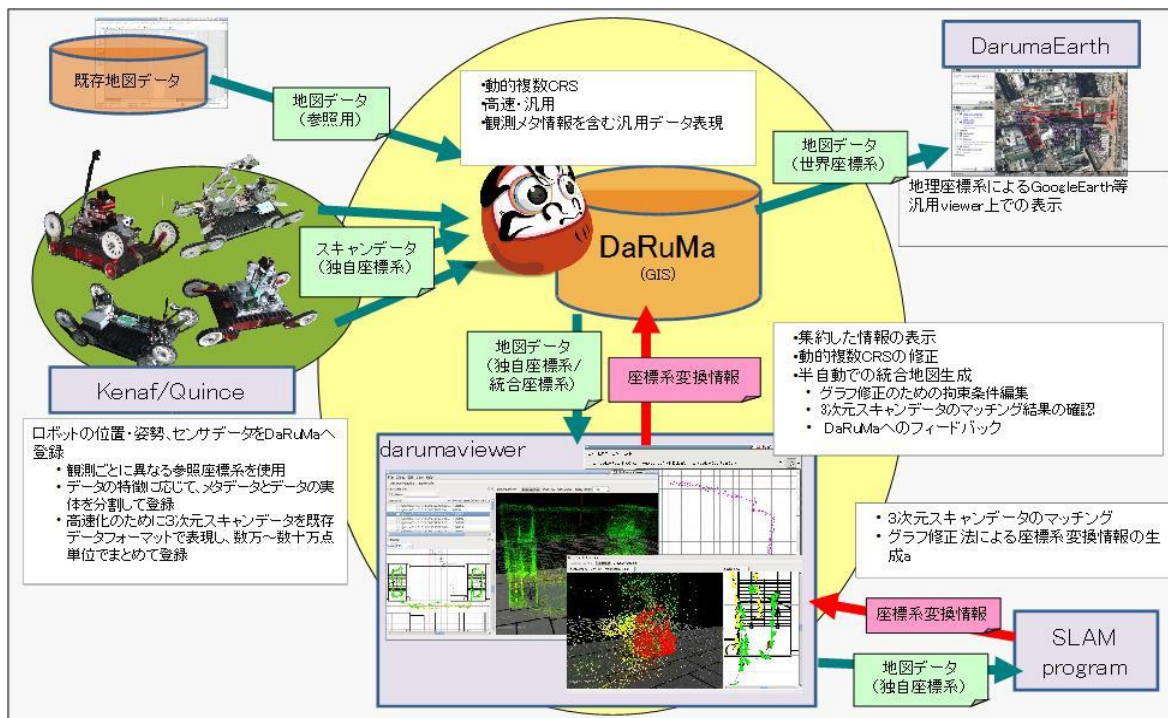


図 6 6 減災情報共有データベース DaRuMa を中核としたセンシング情報集約システム

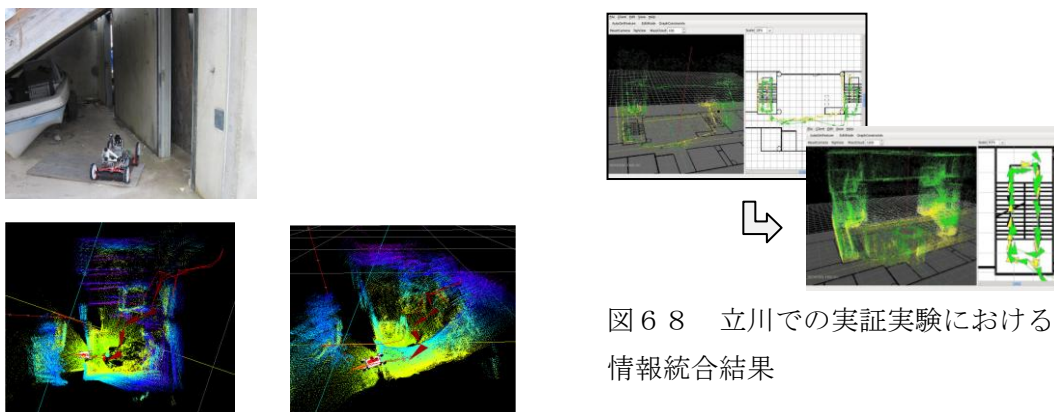


図 6 8 立川での実証実験におけるセンサー情報統合結果

図 6 7 Disaster City における 3 次元地図生成

### 3) 高精度 2 次元・3 次元オドメトリ

- ・ジャイロスコープの情報を用いたスリップ推定により、クローラ型ロボットの高精度 2 次元オドメトリによる位置推定を可能とした (図 6 9)。これにより、特に、スリップが大きく発生するクローラロボットの旋回時におけるオドメトリに生ずる誤差を、大きく低減することができた。
- ・3 軸ジャイロスコープにより姿勢を推定することによって、スリップ推定による 2 次元オドメトリを、3 次元オドメトリに拡張した。これにより、階段移動を含む 3 次元的なロボットの移動に対する位置推定が可能となった。図 7 0 は、兵庫県三木市の消防学校にある消防訓練棟をロボットが移動探査した際、三次元オドメトリをベースとして三次元地図情報を獲得した例で

あるが、ロボットの、長距離上下方向の移動を、精度良く推定できていることが見て取れる。

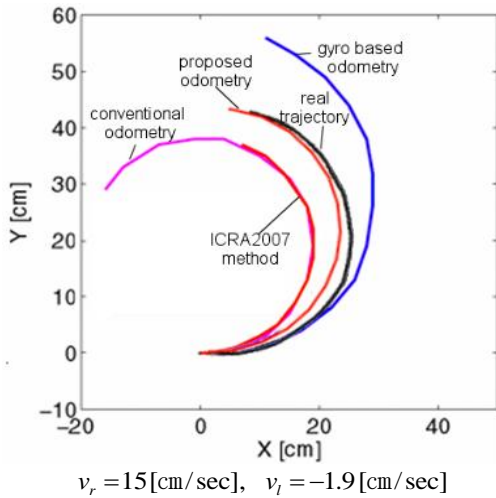


図 69 2次元オドメトリ



図 70 3次元オドメトリによる地図構築

#### 4) 3次元環境地図の構築

- ・ロボットに搭載した三次元環境情報取得センサを利用し、ロボットの移動と共に、三次元オドメトリを利用し、三次元環境を逐次構築する手法を実装した。これにより、ロボットは、停止することなく、三次元環境情報を逐次取得することが可能となった。図 7 1 は、ロボットが不整地（ブロック）上を走行中に、三次元距離センサより獲得した距離情報から、環境情報を取得した例である。右図を見ると分かる通り、ロボット左前方に位置する四角いボードが正しく認識できていることが見て取れる。

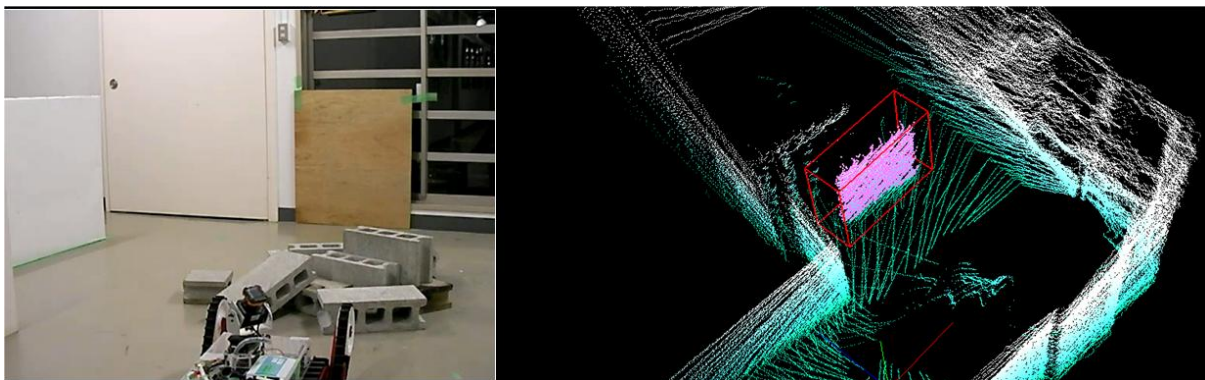


図 7 1 ロボットが不整地上を走行中(左), センサを利用して逐次三次元情報を取得した結果(右)

- ・上記の手法で獲得した三次元環境情報に ICP アルゴリズムを適用することで、オドメトリに生じた誤差を低減することができ、さらに高精度な地図を構築することが可能となった。図 7 2 は、2009 年ロボカップレスキュー世界大会（Graz）で獲得した、模擬被災地の地図情報であるが、三次元オドメトリに生じた誤差を含む地図（左）に対し、誤差を修正して、正しく環境情報を獲得できていることが見て取れる。

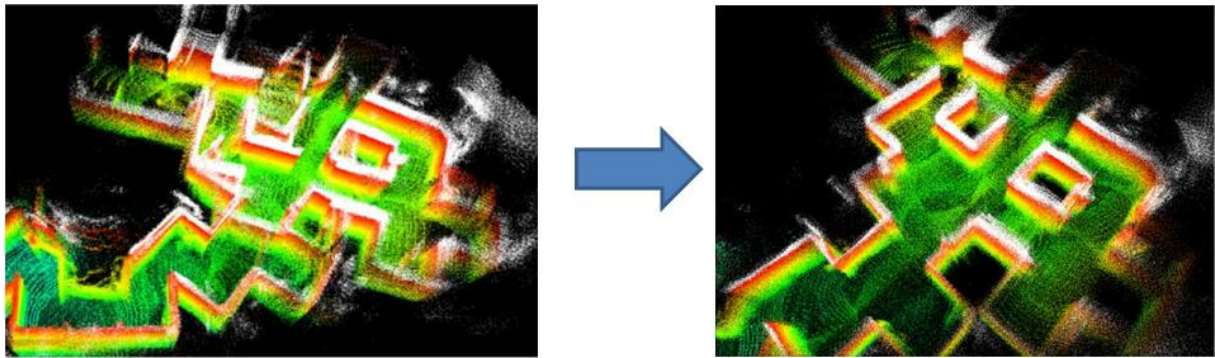


図 7 2 ICP アルゴリズムによる高精度三次元環境情報の獲得

- ・上記の手法（三次元逐次環境取得手法と ICP アルゴリズムによる位置修正手法）を利用し，2009 年ロボカップレスキュー世界大会（Graz）の模擬被災地を取得した例を図 7 3 に示す．この図より，広域の模擬被災環境において，非常に高い精度で環境情報を獲得できていることが分かる．

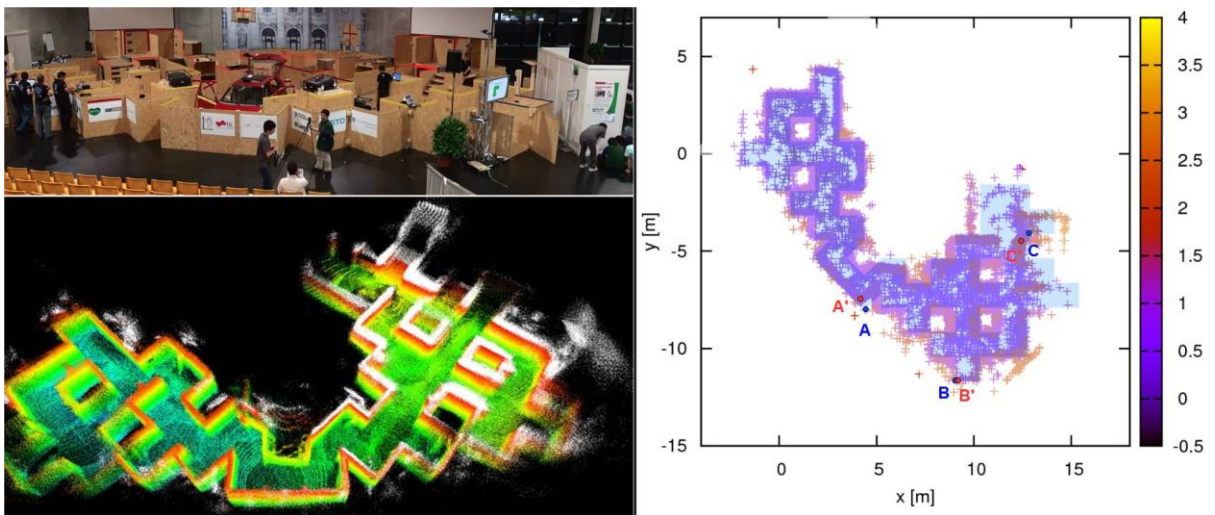
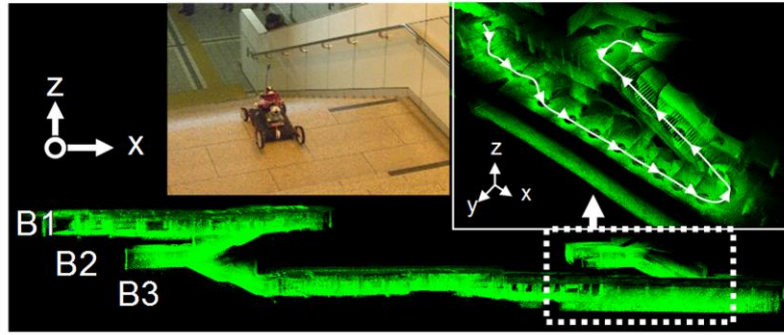
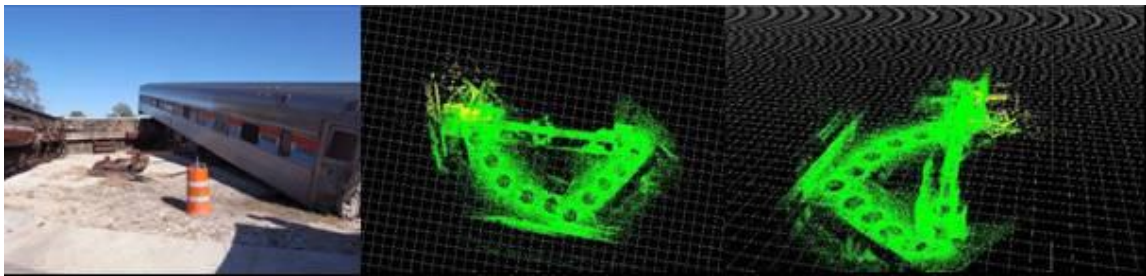


図 7 3 ロボカップレスキュー2009 年世界大会（Graz）の模擬被災地環境（左上）と取得した大域三次元環境地図（左下）ならびに，大域に次元環境地図（右）．右図中の A 点，B 点，C 点の誤差は，ICP アルゴリズムにより，それぞれ，2.72m→0.60m，5.20m→0.14m，2.76m→0.57m となり，誤差が大きく低減されたことが分かる．

- ・実証試験において 3 次元地図を構築できることを示した．（図 7 4）．



(a) 仙台市地下街



(b) 列車事故の模擬現場

図 7.4 構築した三次元地図

- リアルタイムに 3 次元形状を計測するため、Kenaf に測域センサを上向きに固定し、オドメトリとの併用により 3 次元環境情報を取得する方法を開発した (図 7.5)。

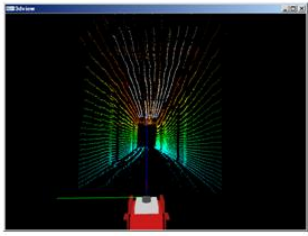
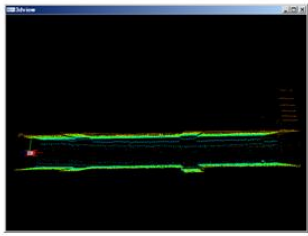

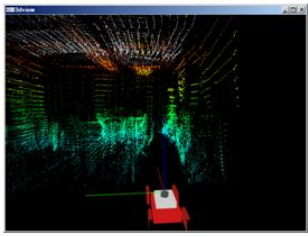
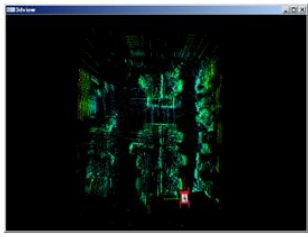

	ロボット視点	上空の視点	対象環境
廊下環境			
乱雑な環境			

図 7.5 上向き測域センサによる 3 次元環境情報取得結果

- 広範囲の密な 3 次元形状が計測可能なレーザスキャナー (HDScanner) を開発. Quince に搭載して移動しながら密な 3 次元の地図を構築することが可能になった。
- 本プロジェクト終了後の実験成果であるが、参考のために、図 7.6 に、東日本大震災で被災し



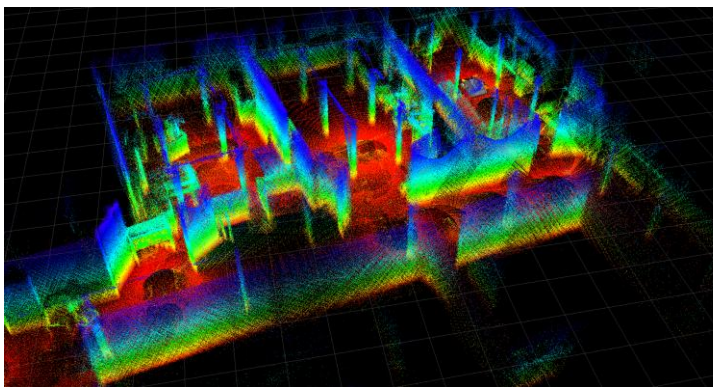
た東北大学の建物内部の3次元地図を示す。被災した建物内を遠隔操作の Quince で探査し、3次元地図を構築可能なことを実証した。3次元地図を上から見ることで部屋の中にある小部屋や、隣の部屋に通じる扉など探査していない空間を発見することができる。



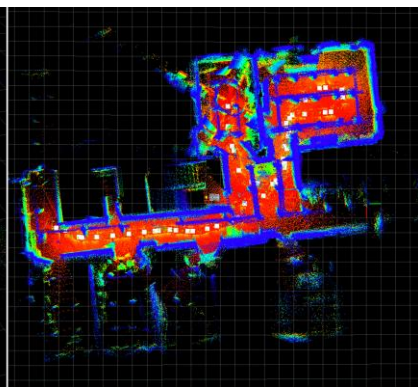
(a)被災した建物内部



(b)建物内を探索する Quince



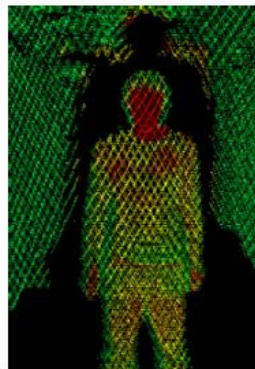
(c)リアルタイムに構築した3次元地図



(d)上から見下ろした3次元地図

図76 被災した東北大学の建物内の3次元地図

- ・三次元環境情報に付加価値を持たせるため、測域センサにより取得した三次元距離情報と赤外線カメラから得た温度情報を組み合わせることで、三次元温度分布マップを構築する手法を提案した。図77は、この手法の適用例である。(a)は三次元距離取得センサから得た三次元情報、(b)は赤外線カメラから得た温度情報、(c)はこれらを融合したもので、三次元距離情報に、温度情報が付加されていること（赤色が温度が高い）が見て取れる。



(a)Range data (b)Temperature image (c)Integration data

図77 三次元温度分布マッピングシステムによる三次元温度分布の提示例

## ⑤実用性能・試験配備

### 1) Quince の耐久性・防塵・防水

・Quince の耐久性については長期的な運用に対する耐久性と、過酷な環境下における短時間の耐久性について検討した。長期的な運用では、いわゆるメンテナンスフリーを実現した。これらは、不整地を走行するときの筐体のひずみ防ぎ、メインフレームをはじめに、構造材の接合部分は組継ぎや印籠継ぎにより固定した。緩みやすいボルト/ナットの組み合わせは一切用いず、立込によるねじ締結を行っている。また過酷環境下として、高熱源下での対応はできないが、火山灰、雪上、軟弱地盤では問題なく走行できる。また、段差踏破や階段走行で受ける衝撃は全てダンパーで受けることにより、2m からの転落後の走行も可能とした。このように、コントローラや配線資材、センサなど総合的に保護する構造としている。

Quince では IP66 相当の防水・防塵機能の実装した。コントローラなど、ハードウェアを筐体内部に実装すると、発熱が問題となる。このため、筐体全てに冷却フィン加工を施した。この方式では、ロボットが走行することにより、クローラが発生する空気の流れを利用している。

### 2) Quince の試験配備

Quince は 2010 年 8 月末より 3 月末までのおよそ 6 ヶ月、千葉市消防局の協力を得て「消防資機材」として登録後、ハイパーレスキュー部隊を持つ、4 つの消防署において試験的に配備された。なおこの試験配備により、およそ 40 名ほどの隊員が Quince の操作・運用を担当した。以下は、終了後の反省会でも出されたレスキュー部隊員の意見である。

#### レスキューロボットを取り扱っての試験

- 1 どのような取扱い訓練を行ったか。(訓練時間等)
  - ・基本操作習熟訓練
  - ・煙道 (暗所及び狭隘空間)、材木等を活用した障害物走破訓練
  - ・九都県市合同防災訓練での展示
  - ・危険区域を想定した負傷者の確認
  - ・サブクローラによる負傷者の意識確認
  - ・カメラによる危険区域の状況確認
  - ・目視不可位置での走行
  - ・想定訓練 (災害現場を想定しての訓練)
- 2 実災害の使用は。
  - ・災害使用 0 件
- 3 操作性について。
  - ・市販のゲーム機器のコントローラを使用しているため、比較的容易に操作出来る。
  - ・サブクローラの操作は、カメラで視認できないため困難。
  - ・無線通信が不能になった場合の復旧が困難

- ・前後左右のサブローラーを別々に動かす時に戸惑いがあった。
- 4 機能性について。
- ・階段、角材等の障害物の走破について、障害物に対して直角又は斜めに入ることが想定されることから、転倒した場合の対応も必要と思われる。
  - ・現在のタイプは、耐衝撃性、防水性、防塵性があるものの、夏場において作動しなかったことがあることから、熱対策も必要と考えます。
  - ・平坦地での走行性は良いと思う。
  - ・遠隔及び遮蔽されている空間での操作には限界があった。
  - ・モニターのみを見て操作をした時に、ロボット自体の進む方向が分かれれば操作しやすいが、ロボットが反転した時など操作に戸惑いが生じた。(災害現場においては、モニターでの操作となる。)
- 5 改良点について。
- ・煙道内等の暗所では照明（ライト）がなければ操作が難しい。
  - ・ロボット本体が熱に弱く外気温の高い場所で動かなくなってしまう。
  - ・操作距離が遠くなるとカメラ映像に時間差（遅れ）が生じ操作しづらい。
  - ・左右のサブローラーのキャタピラがはずれやすく、修正が困難。
- 6 実用化を目指すには（課題等）
- ・電波（無線）の弱点（操作可能距離、階層が違う場合届きづらい）
  - ・熱対策が必要
  - ・カメラのみでは難しい
  - ・照明、音声通信、温度測定等の機能が必要
  - ・負傷者のバイタル測定（脈拍・体温・呼吸・血圧）ができるとうい。
  - ・現場ではドア等が閉鎖されていることが想定されることから、ドアの開閉ができればと思います。(押し戸、引き戸、横開き等)
  - ・モニターのみを見ての操作時、ロボット自体がどのような方向になっても操作しやすい機能が必要
- 7 その他意見
- ・測定器具を積載し、検知活動等ができれば、その検証も必要だと思う。
  - ・測定結果を音、映像で確認することが可能か。
  - ・マニピュレーター取り付け時の強度。
  - ・マニピュレーター取り付け時、他の測定器をどの程度装備できるか。
  - ・電源を入れる順番によっては、起動までに時間差がある。

図 7 8 に九都県市合同防災訓練のようすを示す。



図 7 8 九都県市合同防災訓練の様子

### 3) UMRS-2009 の耐久性・防塵・防水

#### ・落下試験評価

ロボットは場合によっては不整地路面を走行し、またある程度の落下や衝突も想定される。

UMRS2009 は、ゴムベルトに覆われ耐衝撃性を考慮したサブローラアームが本体フレームを保護する様に 4 隅に取付けられ、落下や衝突時の衝撃を第一番目に吸収する構造としている。実際、走行評価実験中に高さ 1.5m 程度の階段から転落したが、その後も問題なく走行可能であることを確認した。もっと高い場所からの転落時のロボットの挙動を確認する為、図 7 9 に示す様な、2m 高さからの落下試験（床面にクッション材付設）を行った。試験結果として、車体正面方向（条件：0 度、45 度）へ転落した場合、落下中に前方方向に回転、壁にも接触し、本体が反転した状態で着地した。どの落下条件でも着地時、サブローラアームが第一番目に床面と接触しており、上述の衝突時の衝撃を和らげる構造であることを確認した。



〈1〉スタンバイ

〈2〉落下開始

〈3〉反転

〈4〉着地

図79 ロボット落下試験

・ 防塵・防水性

これについては、詳細な実験等は実施していないため客観的なデータはないが、設計段階から車体についての防塵・防水のためのパッキン・ガスケット等の対策を施しているため少なくとも見積もって、IP64以上と推定できる。

4) UMRS-2009 の試験配備

・ 神戸市消防局への貸与とこうべスーパーイーグルによる実践に向けての活動

2010.9.1～2 011.2.末日 UMRS2009 一式を「こうべスーパーイーグル」に貸与し、試験配備がなされ、種々の試行訓練に供与された。

図80は、「こうべスーパーイーグル」から寄せられた結果の評価である。

**ア 操作卓**

ノートパソコンで本体動作を設定し、ゲーム機等に使用されているものと同様のコントローラにより、ロボット本体を操作するのだが、実戦配備を想定するならば、もう少しコンパクトな操作機が望まれる。たとえば携帯用ゲーム機やタブレット型コンピュータ、またスマートフォンに近い形状ならば携帯性・収納性も良く、より実戦向きである。



操作卓ディスプレイ

また本体に設置されている、可燃性ガス・CO2・温度センサーの測定数値をパソコンのディスプレイを介して確認できるが、一定の数値に達したときに警報音で知らせる機能があればさらに良い。

図80 神戸スーパーイーグルからの意見（1 / 3）

## イ 操作性

ロボット本体を視認できる有視界状態では、初めて操作する者でも数時間の訓練でロボットを操れるようになるが、ロボット本体に装着されている、カメラの映像のみを頼りに操作できるようになるまでには、かなりの習熟が求められる。

ロボット本体が視認できない無視界状態では、ディスプレイに表示されるグリッドラインを確認することで、要救助者に近づいても衝突を回避することができるが（このグリッドラインは本体からの距離で色分けされている。）現在研究が進められているヒューマンインターフェースによる人避け動作、ハザードを判別して避ける機能がさらに充実し、半自立走行が可能となれば、より安全に操作することができる。

## ウ カメラ

本体に前後、及び鳥瞰カメラが装着されており、コントローラボタンの操作で切り替えて、操作卓のディスプレイに映像を映し出す。前後、鳥瞰同時に映像を映し出すことができれば、進入空間内部の状況が瞬時に確認できるので、改善の余地があると思われる。また、現在救助隊の装備である、熱画像直視装置のような機能があれば、遮蔽物の裏側に居る要救助者の捜索や、熱源の特定など、さらに活動の幅が広がる。

## エ 通信

本体の遠隔操作は無線通信であるが、送信出力が不足しており、本体と操作卓が離れ過ぎた場合や（20m～30m）、遮蔽物等の障害物があると、通信が途絶して操作不能となってしまう。有線LAN敷設ロボットや、無線中継器などを活用すれば解消できるが、実戦配備するためには、できる限りシンプルな通信システムにより、活動までのレスポンスを向上させるべきであるので、無線通信にかかる法令上の規制緩和を国等に求め、無線通信出力を上げることが是非とも望まれる。



階段を走行する UMRS2009

## オ 機能

本体に設置される前後、鳥瞰の3基のカメラにより、閉鎖空間や建物内部を映像として

図80 神戸スーパーイーグルからの意見（2/3）

確認でき、ハザードや要救助者の状態を知ることができる。しかしさらに高い機能を求めるのであれば、ロボットが走行した空間の三次元地図化である。この地図を元に、空間へ進入する救助隊員が、より具体的な活動のプランニングをすることが可能となる。また本体には可燃性ガス・CO2・温度センサーが装備されているが、NBCR 災害において使用する各種の測定機材をマウントし、汚染物質をサンプリングすることが可能となれば、より安全な活動を実施することができる。

#### カ 本体の走行性

瓦礫上や砂利上の走行では若干の不安を感じたが、平坦なアスファルト、コンクリート上では特に問題はなく、本機に搭載された階段等の段差を踏破する為の半自律昇降機能については、かなり有効であった。不整地の凹凸を走行する場合には、自己判断し、踏破する半自律操縦支援システム（フリッパーの接触判定・レーザー距離計による地形計測）が確立できれば操縦者の負担が軽減され、よりスムーズなアプローチが可能となる。さらに、閉鎖空間の走行を想定するならば、鳥瞰カメラを格納できるように改善するなど、本体そのものの小型化が望まれる。



閉鎖空間を走行する UMRS2009

図 8 0 神戸スーパーイーグルからの意見 (3 / 3)

#### 5) その他特筆すべき項目

本プロジェクトで開発した **Quince** は、プロジェクト終了後に福島第一原子力発電所事故の対応のために改造され、原子炉建屋内の調査と軽作業のために使用された。2011年6月24日に始まり、7月8日、7月26日、9月22日、9月24日と、第2号炉、第3号炉に投入され、線量率の計測、ダストサンプリング、配管の状態検査などに、東京電力関係者によって使用された。7月26日のミッションの成果を図81に示す。6月24日には水位計設置、汚染水サンプリングも試行されたが、建屋図面と現場とのサイズの相違、現場での水位計ケーブルの交換による不具合により、ミッションは失敗に終わった。以上のように、失敗の原因は **Quince** の問題ではない。また、一部メディアで作業員が動かないロボットを救出したように書かれていたそうであるが、これは全くの事実誤認である。

東京電力ウェブページ参照のこと

図 8 1 福島原発における 2011 年 7 月 26 日の Quince の成果 (東京電力ウェブページより)

### (3) 成果の意義

実証試験やデモンストレーションを精力的に行った結果、消防・警察・自治体・FEMA 等のユーザの中に、ロボットの活用に関する認知が高まり、理解が深まり、ロボットの活用法を積極的に考えていこうという気運が高まってきたことは、非常に重要なことである。特に、自治省令第 22 号、消防庁告示第 3 号の改正が行われ、高度救助用器具の一つとして、検知型遠隔探査装置を、地域の実情に応じて備えるものとする、との項目追加が行われたことは、本研究開発と呼応した変更として特筆すべきことである。

自然災害や人為災害において、人間にとって危険な作業をロボットで代行することの必要性は論を待たない。特に、このようなロボットの必要性は東日本大震災、特に福島第一原子力発電所の事故によって深く認識されることとなった。諸外国ではこの種のロボットの配備が進みつつあり、我が国は立ち後れている。本プロジェクトは、日本においてこの種のロボットの研究開発を進めている数少ない事例であり、技術成果として世界的に高いレベルにあることから、その成果は貴重であると考えている。

本プロジェクトで開発した技術および研究に関連して、下記の賞を受賞した。

- ・ 2008 年 9 月 24 日、黒瀬, IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award, 「Designing of online simulation environment for the development support of



control algorithms on rough terrains vehicles," Kensuke Kurose, Satoshi Saga, Shogo Okamoto, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Proc. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 2091-2096, 2008 に対して」

- 2008年1月15日, 大野, 競基弘賞 学術業績賞, 受賞タイトル「レスキューロボットの遠隔操縦および地図構築の技術開発」
- 2009年1月1日, 田所, IEEE Fellow, 受賞タイトル「for leadership in the development and deployment of rescue robotics」
- 2010年12月, 宮原, SI2010 優秀講演賞, 「動力伝達系の摩擦モデルに基づくサブクローラ機構への接触力の推定」宮原 直紀, 大野和則, 竹内 栄二郎, 田所論 SI2010. に対して.
- RoboCupRescue Robot League Mobility Challenge 世界優勝 (2007.7)
- RoboCup Rescue Robot League 総合世界2位 (2009.7)
- RoboCup Rescue Robot League Mobility Challenge 世界優勝 (2009.7)
- RoboCup Rescue Robot League Manipulation Challenge 世界優勝 (2009.7)
- RoboCup Rescue Robot League Autonomous Challenge 世界2位 (2009.7)

また, 下記論文4題が, ベストペーパー賞のファイナリスト(最終候補者)に選ばれた.

- Daisuke Inoue, Kazunori Ohno, Shinsuke Nakamura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi, Whole-Body Touch Sensors for Tracked Mobile Robots Using Force-sensitive Chain Guides, Proc. 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, (SSRR2008), pp. 71-76, 2008.
- Keiji Nagatani, Naoki Tokunaga, Yoshito Okada, Kazuya Yoshida, Continuous Acquisition of Three-Dimensional Environment Information for Tracked Vehicles on Uneven Terrain, Proc. of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Robots and Systems, 2009.
- Kazunori OHNO, Valerie CHUN, Tomotake YUZAWA, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Tomoaki YOSHIDA, Eiji KOYANAGI, "Rollover Avoidance Using a Stability Margin for a Tracked Vehicle with Sub-tracks," Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics, 2009.
- Ken SAKURADA, Shihoko SUZUKI, Kazunori OHNO, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Akihiko HATA, Naoki MIYAHARA, Kazuyuki HIGASHI, "Real-Time Prediction of Fall and Collision of Tracked Vehicle for Remote-Control Support," Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A2-2, 2010.

#### (4) 特許の出願・公開・取得

下記の特許を出願した.

特願 2011 - 106909 無人走行用移動体

特開 2011 - 105137 クローラ型走行装置

## (5) 成果の普及

表5に示すような論文発表（査読あり）を行うことにより，成果の技術的学術的な普及を行った．また，表6に示すように，展示・デモ，一般講演会，メディア等での発表を精力的に行い，本研究成果が，技術者・研究者だけでなく，国内外のユーザや一般市民にも広く知られるようになった．

表5 発表論文（査読あり）

年月日	発表誌	タイトル	発表者
2007.4.11	Proc. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2752-2757	Improvement of the Odometry Accuracy of a Crawler Vehicle with Consideration of Slippage	Keiji Nagatani, Daisuke Endo, Kazuya Yoshida
2007.7.9	RoboCup International Symposium 2007	Multi-Agent Positioning Mechanism in the Dynamic Environment	Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda
2007.9.20	SICE Annual Conference 2007	Performance Analysis of the Network Model and Scenarios for the Search Robot Rescue System	Gyoda, Hada, Takizawa
2007.9.29	IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2007)	Performance Analysis of the Network Models for the Search Robot Rescue System in the Closed Spaces	Gyoda, Hada, Takizawa
2007.11.1	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Semi-autonomous Control System of Rescue Crawler Robot Having Flippers for Getting Over Unknown-Steps	Kazunori Ohno, Shouich Morimura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2007.11.1	Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2559-2560	Semi-autonomous Control of 6-DOF Crawler Robot Having Flippers for Getting Over Unknown-Steps (Video)	Kazunori Ohno, Shouich Morimura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2007.11.1	Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2871-2876	Path Following Control for Tracked Vehicles Based on Slip-Compensating Odometry	Daisuke Endo, Yoshito Okada, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida
2008	Workshop in National Chung Hsing University	Rescue Robotics, Invited Speech,	Satoshi Tadokoro
2008	Special RT Symposium	Rescue Robotics, Invited Speech,	Satoshi Tadokoro
2008	Workshop with FBI	Rescue Robotics in Japan, Invited Speech,	Satoshi Tadokoro
2008	Annual DHS University Network Summit	Rescue Robotics in Japan, Invited Speech,	Satoshi Tadokoro
2008	Workshop in Texas A&M University	Rescue Robotics in Japan, Invited Speech,	Satoshi Tadokoro
2008.2.1	日本機械学会論文集(C編)74巻738号, pp.353-358	レーザー光の軌跡を用いた移動ロボットのナビゲーション	原圭吾, 前山祥一, 田中豊
2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 3C2	二次元測域センサを用いた動的環境下における静止物体の密な三次元計測	河原豊和, 大野和則, 田所諭

2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 5A1	実時間3次元地形計測に基づくフリックの引っかけ回避を含むクローラロボットのための半自律3次元未知不整地踏破	湯沢友豪, 大野和則, 田所諭, 小柳栄次, 吉田智章
2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム予稿集	不整地走行機構を有する移動ロボットの自律走行の実現	山崎 文仁, 永谷 圭司, 吉田 和哉
2008.3.15	第13回ロボティクスシンポジウム予稿集, 4A1	クローラロボットの履板の傾斜を利用した段差接触位置の検出	井上大輔, 大野和則, 昆陽雅司, 田所諭
2008.4.1	人工知能学会論文誌 vol23, no.4	エージェント配置問題における三角形分割を利用した近似モデル	秋山英久, 野田五十樹
2008.7.1	人工知能学会誌, Vol. 23, No. 4. pp. 480-485, 2008	災害時の情報収集に資するユビキタスネットワーク技術の研究	羽田靖史, 滝澤修, 行田弘一, 柴山明寛, 鈴木剛, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一
2008.7.2	Proc. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2008), WA-3	Contact points detection for tracked mobile robots using inclination of track chain	Daisuke Inoue, Masashi Konyo, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.07	ADVANCES IN SERVICE ROBOTICS, Ho Seok Ahn (Ed.), pp.315-328, ISBN 978-953-7619-02-2	Deployment of Wireless Sensor Network using Mobile Robots to Construct an Intelligent Environment in a Multi-Robot Sensor Network,	Tsuyoshi Suzuki, Kuniaki Kawabata, Yasushi Hada, Yoshito Tobe
2008.8.20	SICE Annual Conference 2008	Flexible Framework to Maintain Multiple and Floating Coordinate Systems	Itsuki Noda, Hiroki Shimora, Hidehisa Akiyama
2008.8.21	Proceedings of The Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference, pp.2062-2065, 2008	Development of a Door Opening System on Rescue Robot for Search UMRS-2007	S. Kobayashi, Y. Kobayashi, Y. Yamamoto, T. Watasue, Y. Ohtsubo, T. Inoue, M. Yasuda, and T. Takamori
2008.8.30	Third Asia International Symposium on Mechatronics (AISM2008), Plenary Lecture	Challenge of Rescue Robotics	Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 2097-2102, 2008.	Development of On-line Simulation System for Multi Camera based Wide Field of View Display	Naoki Midorikawa, Kazunori Ohno, Satoshi Saga, Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 2091-2096, 2008	Designing of online simulation environment for the development support of control algorithms on rough terrains vehicles	Kensuke Kurose, Satoshi Saga, Shogo Okamoto, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2667-2672	Semi-Autonomous Traversal on Uneven Terrain for a Tracked Vehicle Using Autonomous Control of Active Flippers	Keiji Nagatani, Ayato Yamasaki, Kazuya Yoshida, Tomoaki Yoshida,
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2717-2718	Improvement of the Operability of a Tracked Vehicle on Uneven Terrain Using Autonomous Control of Active Flippers	Keiji Nagatani, Ayato Yamasaki, Kazuya Yoshida, Tomoaki Yoshida
2008.10.21	Proceedings of the 2008 IEEE International Workshop on Safety,	Continuous Acquisition of Three-Dimensional Environment Information	Keiji Nagatani, Naoki Tokunaga, Yoshito Okada, Kazuya Yoshida

2008.10.22	Proc. 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2008), pp.71-76	Whole-Body Touch Sensors for Tracked Mobile Robots Using Force-sensitive Chain Guides	Daisuke Inoue, Kazunori Ohno, Shinsuke Nakamura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2008.10.22	Proc. 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2008), pp. 77-82, 2008.	Validation of Simulated Robots with Realistically Modeled Dimensions and Mass in USARSim	Shogo Okamoto, Kensuke Kurose, Satoshi Saga, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.11.6	Prpc.of SIMPAR 2008, pp. 328—339, Springer	Conceptual Framework to Maintain Multiple and Floating Relationship among Coordinate Reference Systems for Robotics	Itsuki Noda, Hiroki Shimora, Hidehisa Akiyama
2008.12.25	Proc. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2008	Development of 3D laser scanner for measuring uniform and dense 3D shapes of static objects in dynamic environment	Kazunori Ohno, Toyokazu Kawahara, Satoshi Tadokoro
2009	神戸市立工業高等専門学校研究紀要, 第 47, pp.43-48	レスキューロボット用ドア開放システムについての研究	井上卓菜, 小林滋, 小林泰弘, 山本祥弘, 大坪義一, 高森年
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	Rollover Avoidance Using a Stability Margin for a Tracked Vehicle with Sub-tracks	Kazunori OHNO, Valerie CHUN, Tomotake YUZAWA, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Tomoaki YOSHIDA, Eiji KOYANAGI,
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	3-D Mapping of an Underground Mall Using a Tracked Vehicle with Four Sub-tracks	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	Multi-Robot Exploration for Search and Rescue Missions. -A Report of Map Building in RoboCupRescue 2009-	Keiji Nagatani, Yoshito Okada, Naoki Tokunaga, Kazuya Yoshida, Seiga Kiribayashi, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	Proc. of The 7th International Conf. on Field and Service Robotics	Field Experiment on Multiple Mobile Robots conducted in an Underground Mall	Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Yasushi Hada, Kazunori Ohno, Shoichi Maeyama, Hidehisa Akiyama, and Satoshi Tadokoro
2009	Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2161-2167	Development of 3D Laser Scanner for Measuring Uniform and Dense 3D Shapes of Static Objects in Dynamic Environment	Kazunori Ohno, Toyokazu Kawahara, Satoshi Tadokoro
2009	第 14 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 540-546	フリッパーを有するクローラロボットのロール方向の転倒回避動作を含む不整地踏破手法の開発	湯沢友豪, 大野和則, 竹内栄二郎, 小柳栄次, 吉田智章, 田所諭
2009	Proc. the 7th International Conference on Field and Service	Field Experiment on Multiple Mobile Robots conducted in an	Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Shoichi

	Robots (FSR2009)	Underground Mall	Maeyama, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi, Yasushi Hada, Hidehisa Akiyama
2009	Proc. 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	Multi-Robot Exploration for Search and Rescue Missions - A Report of Map Building in RoboCupRescue 2009 -	Keiji Nagatani, Yoshito Okada, Naoki Tokunaga, Kazuya Yoshida, Seiga Kiribayashi, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	Proc. 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	Rollover Avoidance Using a Stability Margin for a Tracked Vehicle with Sub-Tracks	Kazunori Ohno, Valerie Chun, Tomotake Yuzawa, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	3-D Mapping of an Underground Mall Using a Tracked Vehicle with Four Sub-tracks	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Tomoaki Yoshida
2009	Fourth International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster (SRMED 2009), 2009 (invited speech)	Active Scope Camera and a High Mobility UGV, Kenaf	Satoshi Tadokoro
2009	ICCAS-SICE 2009 Introductory Lecture, 2009 (invited speech)	Rescue Robotics and Its Application	Satoshi Tadokoro
2009	Cerebrating 50 Years of Robotics, 2009 (invited speech)	Rescue Robotics Challenge	Satoshi Tadokoro
2009	2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), Workshop on Robotics for Disaster Response	High-mobility Rescue Robot: Kenaf	Eiji Koyanagi, Satoshi Tadokoro
2009.3	計測自動制御学会論文集 Vol.45 No.3	画像ポインティングによる不整地移動ロボットの遠隔操縦における目標ベクトルを用いた経路誘導と到達判定法の提案	田村 祥, 前山 祥一
2009.3.17	第 14 回ロボティクスシンポジウム, 5C3, Mar.16-17, 2009	アドホックメッシュネットワークを用いた移動ロボット群の長距離遠隔操縦	羽田靖史, 海藻敬之, 松山健太郎, 行田弘一, 滝澤修
2009.5	Proc. Of ICRA2009 Workshop on Robotics for Disaster Response,	An Implemenation of GIS for Dynamic Coordinate Reference Systems,	Hidehisa Akiyama, Hiroki Shimora, Itsuki Noda
2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A2-2	Real-Time Prediction of Fall and Collision of Tracked Vehicle for Remote-Control Support	Ken SAKURADA, Shihoko SUZUKI, Kazunori OHNO, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Akihiko HATA, Naoki MIYAHARA, Kazuyuki HIGASHI
2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, D3-1	Development of a Laser Scan Method to Decrease Hidden Areas Caused by Objects Like Pole at Whole 3-D Shape Measurement	Akihiko HATA, Kazunori OHNO, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Ken SAKURADA,

			Naoki MIYAHARA, Kazuyuki HIGASHI
2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A3-4	Integration of a Sub-Crawlers' Autonomous Control in Quince Highly Mobile Rescue Robot	Eric Rohmer, Kazunori Ohno, Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Konayagi, Satoshi Tadokoro
2010	Proc. of IEEE/RSJ Inc. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.370-376	Development of Motion Model and Position Correction Method using Terrain Information for Tracked Vehicles with Sub-Tracks	Ken Sakurada, Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno and Satoshi Tadokoro
2010	Proc. of International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 225-230	Quince: A Collaborative Mobile Robotic Platform for Rescue Robots Research and Development	Eric Rohmer, Tomoaki Yoshida, Kazunori Ohno, Keiji Nagatani, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2010	Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2864-2870	Trials of 3-D Map Construction Using the Tele-operated Tracked Vehicle Kenaf at Disaster City	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Tomoaki Yoshida
2010	第 15 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 264-269	ブクローラを有するクローラロボットのモーションモデルと地形情報を利用した位置修正	櫻田健, 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭
2010	Jornal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 3, pp. 293-300	Tracked-Vehicle Clutching Position Detectability of Bumps by Distributed Inclination Sensors	Daisuke Inoue, Kazunori Ohno, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro
2010	The 5th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2010)	Quince: A collaborative mobile robotic platform for rescue robotw reseaqrch and development	Eric Rohmer, Tomoaki Yoshida, Kazunori Ohno, Keiji Nagatani, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2010	Proc. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 370-376	Development of motion model and position correction method using terrain information for tracked vehicles with sub-tracks	Ken Sakurada, Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2010	Proc. 2010 IEEE international Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2010)	Robust localization method based on free-space observation model using 3D-map	Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A2-2	Real-time prediction of fall and collision of tracked vehicle for remote-control support	Ken Sakurada, Shihoko Suzuki, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Akihiko Hata, Naoki Miyahara, Kazuyuki Higashi
2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), D3-1	Development of a laser scan method to decrease hidden areas caused by objects like pole at whole 3-D shape measurement	Akihiko Hata, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Ken Sakurada, Naoki Miyahara, Kazuyuki Higashi

2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A3-4	Integration of a sub-crawlers' autonomous control in Quince highly mobile rescue robot	Eric Rohmer, Kazunori Ohno, Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Satoshi Tadokoro
2010	第15回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 257-263	3次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロボастな自己位置推定	竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭
2010	Proc. 2010 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO2010), 2010 (invited speech)	Rescue Robotics Challenge	Satoshi Tadokoro
2010	The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2010), 2010 (plenary speech)	Rescue Robotics and Its Applications	Satoshi Tadokoro
2010	TSWG Meeting	Rescue Robotics in Japan	Satoshi Tadokoro
2010	Texas A&M University Seminar	Robotics Challenge to Heterogeneous Problem of Search and Rescue	Satoshi Tadokoro
2010	Italy-Japan Business Group Meeting	Italy-Japan Cooperation in Disaster Response Robotics	Daniele Nardi, Satoshi Tadokoro
2010	Sapienza Rome University Seminar	Robotic Systems for Urban Search and Rescue	Satoshi Tadokoro
2010.04	情報処理学会論文誌, Vol.51, No.4, pp.1204-1214	災害対応探索ロボット群の長距離遠隔操縦のための有線・無線統合型アドホックネットワーク	羽田靖史, 海藻敬之, 松山健太郎, 行田弘一, 滝澤修
2010.04	情報処理学会論文誌, Vol.51, No.4, pp.1163-1174	移動ロボットによる無線センサネットワークの構築と管理および環境情報の収集	鈴木剛, 杉崎隆二, 川端邦明, 羽田靖史, 戸辺義人,
2010.01	日本設計工学会, 45-1, pp.13-19	投射配置による落下衝撃を考慮した無線センサ端末の耐衝撃機構の開発	澤井圭, 河野仁, 鈴木剛, 羽田靖史, 川端邦明
2010.08	13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR2010), pp. 1113-1120,	Arrival accuracy improvement for teleoperated mobile robots on uneven ground by image pointing,	Shoichi Maeyama, Sho Tamura, Keigo Watanabe, Yoshito Okada, Keiji Nagatani, and Tomoaki Yoshida
2010.10	Proc. of ROSIN-2010,	Integrated Map Generation using Multi-robot Sensory Data in RoboCup Rescue,	Hidehisa Akiyama, Hiroki Shimora, Eijiro Takeuchi, ItsukiNoda
2010.11	Proc. of Int. Workshop on Standards and Common Platform for Robotics 2010,	Mathematical Framework for Localization Information Coordinate Reference System for Robotics	Itsuki Noda, Shuichi Nishio, Takashi Tsubouchi, Takeshi Sakamoto, Satoshi Tadokoro

2010.11	地域安全学会論文集, No. 13, pp. 265-274	US&R 訓練施設の整備と運用に関する研究－テキサス Disaster City(R)の調査を通じて－	吉村明子, 清水秀丸, 佐藤史明, 加古嘉信, 田所諭
2011	Journal of FIELD ROBOTICS, Vol. 28, Issue 2, pp. 373-387	Multirobot Exploration for Search and Rescue Missions: A Report on Map Building in RoboCupRescue 2009	K. Nagatani, Y. Okada, N. Tokunaga, S. Kiribayashi, K. Yoshida, K. Ohno et al.

表6 成果の発表（展示・デモ，一般講演会，メディア記事）

	展示・デモ	一般講演会	メディア記事
平成18年度	0	2	0
平成19年度	8	3	6
平成20年度	20	17	26
平成21年度	14	32	52
平成22年度	11	45	64

（参考：平成21年度と22年度のメディア掲載）

平成21年度メディア掲載情報（52件）

2009/5SCOPE NET VOL.51 2009 SPRING この人の仕事場 Vol.9：認識の溝を埋め、救助を考える

2009/5FOCUS NEDO No.32 2009 特集－NEDO プロジェクトから生まれた人に役立つロボットたち

2009/5/11MSN 産経ニュース 次世代レスキューマシン初披露 兵庫

2009/5/12 日刊工業新聞 災害現場で情報収集：国際レスキューシステム研究機構 遠隔操縦ロボを実験

2009/5/12 神戸新聞 がれき走行 世界最高水準 探査ロボ

2009/5/12 日本経済新聞 救命ロボ 2年後現場に：神戸企業やNPO 公開で性能実験

2009/5/12 産経新聞 チャイム（レスキューロボット公開）

2009/5/12 神戸新聞 NEWS がれき走行、世界最高水準 探査ロボット公開

2009/5/12 日刊工業新聞 Business Line 国際レスキューシステム研究機構、遠隔操作ロボの実証実験を公開

2009/5/12 毎日 jp レスキューロボット：高い技術と性能 NPO、三木で実証実験／兵庫

2009/5/14YOMIURI ON LINE 災害現場で威力 探査ロボ

2009/7/15 毎日新聞（夕刊）階段上り被災者探索：レスキューロボ公開実験

2009/7/15 毎日 jp レスキューロボット：新型の公開実験 神戸で実施

2009/7/15 朝日新聞（夕刊）救助ロボ進化中：神戸で実験

2009/7/15asahi.com 救助ロボ、実用へ小型化 神戸市で公開実証実験

2009/7/15NHK ニュース「レスキューロボットの性能試験」

2009/7/15 毎日放送 ニュース「レスキューロボット公開」

2009/7/15 サンテレビ ニュース「最新型レスキューロボット公開実験」

2009/7/16 神戸新聞 災害救助で活躍期待：ロボット、実証実験公開



2009/7/16 読売新聞 最新救助ロボ高性能を披露：北区で公開実験  
2009/7/16 YOMIURI ON LINE 地域兵庫：最新救助ロボ高性能を披露 北区で公開実験  
2009/7/16 日刊工業新聞 35度の階段を高速走行：国際レスキューシステム研 無線救助ロボ実証  
2009/7/16 バンドー化学 ニュースリリース 「平ベルト駆動型超ロボ高速走行アクチュエータ」の開発  
2009/7/16 ビー・エル・オートテック ニュースリリース 小型・軽量化を実現した「最新型レスキューロボット：UMRS2009」の実証実験モデルを完成  
2009/7/22 日本経済新聞 軽く小さい救助ロボ：NPOとビー・エル・オートテック 背負って運べる21キロ  
2009/8/2 毎日新聞 防災 明日に備える：ロボット実働の日間近  
2009/8/9 TBS 「夢の扉」 災害現場で活躍する夢のレスキューロボットを開発したい  
2009/9/4 読売新聞 最新技術 241 団体が紹介：中央区で産業見本市 ヘビ型救助ロボなど  
2009/10/1 東北大学工学部だより あおば萌ゆ Vol.11 2009 Autumn" Campus Now: レスキューロボット「ケナフ」、国際舞台へ出動。  
2009/11/23 日刊工業新聞 引き式ドアに対応：救助支援ロボットに新機能  
2009/12/2 神戸新聞 災害救助ロボ機能アップ：軽量化、遠隔操作でドアも開放  
2009/12/12 技術総合誌 OHM 実用化研究進む「レスキューロボット」の世界：第1回レスキューロボットとは何か  
2009/12/14 週刊ゴム報知新聞 国際ロボット展開催：レスキューロボ用「マニピュレータ」披露  
2010/1/1 日工フォーラム vol.31No.1 ドアノブ開放用マニピュレーター  
2010/1/1 新製品情報 ドアノブ開放用マニピュレーター  
2010/2/12 技術総合誌 OHM 実用化研究進む「レスキューロボット」の世界：第3回クローラ型レスキューロボット「Kenaf」  
2010/3/4 日本経済新聞 災害用電動ハンド：バンドー化学子会社 現場でドアノブ回転  
2010/3/4 日経産業新聞 電動ハンドドアノブ、器用に回す：ビー・エル・オートテック ロボと合体、災害現場へ  
2010/3/4 化学工業日報 レスキューロボ搭載用のマニピュレータと電動ハンド：ビー・エル・オートテックが開発  
2010/3/5 日刊工業新聞 エンドレスに回転：レスキューロボ向け電動ハンド  
平成 22 年度メディア掲載情報 (64 件)  
2010/4/6 Response 先端技術館@TEPIA、新規展示を開始 パーソナルモビリティも  
2010/4/6 ロボコンマガジン 先端技術館@TEPIA リニューアルオープン  
2010/4/7 PCWatch 森山和道の「ヒトと機械の境界面」：先端技術館 TEPIA、展示をリニューアルオープン  
2010/4/28 毎日 jp レスキューロボット：化学テロ対策ロボット「Quince」を公開  
2010/4/29 朝日新聞 タフな救助ロボ登場：千葉工大など開発  
2010/4/29 日本経済新聞 千葉工大など、災害救助ロボの年度内実用化目指す

2010/4/29KOL NET 河北新報 階段スイスイ レスキューロボ進化 東北大など開発  
2010/4/29asahi.com 悪路へつちやら、声かけ救出 新型レスキューロボ公開  
2010/4/29aspara (apital blog) レスキューロボに花の名を  
2010/6/4北海道新聞 旭川最新ロボ大集合：13日に市科学館操作体験も  
2010/6/5教育家庭新聞 世界のロボット事情：IEEEセミナー  
2010/6/8東京 IT 新聞 ロボット開発で生かされる日本の高い技術力：世界の老人介護や災害の現場でも活躍  
2010/6/11河北新聞 災害救助ロボット 実用化向け着々  
2010/6/12技術総合誌 OHM 災害対応支援ロボット「Quince」を公開： IRS、千葉工大、東北大が共同開発  
2010/7/1ロボコンマガジン IRS、千葉工大、東北大、新型災害対応支援ロボット「Quince」を開発  
2010/7/1ロボコンマガジン 東京消防庁以外での消防ロボットの配備状況は？  
2010/7/1ロボコンマガジン あのロボットを作った人に会いたい！：第12回災害対応支援ロボット Quince の開発秘話  
2010/7/2日刊工業新聞 安全を築く：救助活動、二次災害リスク低減  
2010/7/8日経産業新聞 2010年度技術トレンド調査（第2回）  
2010/7/10Ohm Bulltein 災害対応支援ロボット「Quince（クインス）」  
2010/8/1マナビゲート 2010 研究がすすむ災害救助ロボット  
2010/8/29中日新聞 わくわく探検：災害救助に活躍期待 レスキューロボット  
2010/9/1神戸新聞(夕刊) 多くの命守りたい 救助支援ロボ 神戸市消防局に貸与  
2010/9/1サンテレビ ニュースシグナル  
2010/9/1読売テレビ NNNストレイトニュース「ロボット救助活動」  
2010/9/2読売新聞 救助ロボ無償貸与 神戸市消防局に来年2月まで  
2010/9/2朝日新聞 探査ロボもっと電波を NPO 開発、実用化に思わぬ壁  
2010/9/2日刊工業新聞 レスキューロボを神戸消防局に貸与 国際レスキューシステム研究機構  
2010/9/5毎日新聞 レスキューロボット「UMRS2009」 隊員、市民に安全を 神戸市消防局が検証訓練  
2011/1/6ロボナブル IRS、第6回競基弘賞に中西氏ら決定、14日に授賞式  
2011/1/11朝日新聞 中西弘明氏ら競基弘賞受賞  
2011/1/15apital 無人ヘリと鉄人28号：震災の遺志を受け継ぐ賞（1）  
2011/1/15神戸新聞 防災技術開発3氏表彰：震災死神大院生遺志継ぐ  
2011/1/17ロボナブル IRS、レスキューロボの標準評価試験法を公開、将来的には調達基準に  
2011/1/17ロボナブル 方位角制御に着目した独自性を評価、京大・中西氏の自律ヘリ研究、競基弘賞  
2011/1/17ロボナブル 残席わずか！IRSなど、28日よりサービスロボ安全技術者認定講座を開催  
2011/2/8関西ウォーカー 23年2/22号 22524 - 2/22 使える！無料&格安スポット！お得なパスや見学無料のロボット工房まで、どれに行く？

2011/2/28 テレビ東京 ワールドビジネスサテライト NEDO 戦略報告会

2011/3/4 ロボナブル 【加筆】神戸市、レスキューロボットを実配備、産業振興局が購入

2011/3/4 ロボナブル IRS など、閉鎖空間で活動できるレスキューロボ公開、複数ロボが連携作業

2011/3/4 サンテレビ ニュースシグナル

2011/3/5 神戸新聞 救助ロボット実用化目指し導入へ 神戸市

2011/3/9 The Eagle Robotic Rescuers

2011/3/10 神戸新聞 ロボット技術、福祉への活用模索 神戸でセミナー

2011/3/10 日刊工業新聞 ロボットテクノロジーセミナー/ロボット研究会 第5回地域討論会 in 神戸

2011/3/13 IEEE Spectrum Japan Earthquake: Robots Help Search For Survivors

2011/3/14 ロボナブル 被災された方々へのお見舞い、ならびに情報提供のお願い

2011/3/14 ロボナブル サービスロボ安全技術講座更新、安全性確保のためのメカトロ技術を解説

2011/3/15 cnet Jaoan 被災地入りの準備を進める救助ロボットの数々.

2011/3/18 産経ニュース 【放射能漏れ】最先端のレスキューロボ、活躍できずにいまだ待機・・・受け入れ態勢整わず

2011/3/18 IEEE Spectrum Japan Earthquake: More Robots to the Rescue

2011/3/19 ロボナブル 京大の松野教授、八戸工大でレスキューロボによる調査活動へ

2011/3/21 日刊工業新聞 レスキューロボ 東日本大震災 フル稼働に課題 人材育成や訓練必要 導入コストの問題も

2011/3/22 IEEE Spectrum Can Japan Send In Robots To Fix Troubled Nuclear Reactors?

2011/3/24 ロボナブル 神戸市産業振興財団、産ロボを応用展開できる人材育成に着手

2011/3/25 IEEE Spectrum Japanese Robot Surveys Damaged Gymnasium Too Dangerous for Rescue Workers

2011/3/27 ロボナブル 長岡技科大の木村准教授、レスキューロボで貴重品を探索するボランティア開始

2011/3/27 ロボナブル レスキューロボの操作系の標準化に向け提案、長岡技科大の木村准教授

2011/3/28 ロボナブル 復旧に向け探索ロボのニーズがある、松野京大教授、東北での調査を振り返る

2011/3/28 ロボナブル 第24回 災害時におけるロボットの実用化に向けた課題

2011/3/29 神戸新聞 レスキューロボ出動 「阪神・淡路」機に開発 被災現場で初出動 京大工学部松野教授

2011/3/29 日刊工業新聞 福島原発に監視ロボ 空中・不整地 放射線測定で投入 無線や電源課題解決へ 東日本大震災

2011/3/29 ロボナブル 放射性物質のモニタリングに探索ロボを活用へ、検討が具体化

2011/3/30 ロボナブル 【第2報】原発の調査・放射能の計測に探索ロボ活用へ、近く試験を実施

#### IV. 実用化，事業化の見通しについて

##### 2. 研究開発項目毎の見通し

##### 2.3 被災建造物内移動RTシステム（特殊環境用ロボット分野）

2.3.1 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット【特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構，国立大学法人東北大学，独立行政法人産業技術総合研究所，独立行政法人情報通信研究機構，バンドー化学株式会社，株式会社シンクチューブ，ビー・エル・オートテック株式会社，株式会社ハイパーウェブ】

###### (1) 実用化の見通しの概要

本研究では、「実証試験を繰り返して行わなければ，問題点が明らかにならず，研究成果が実用に至ることはあり得ない．極端ないい方をすれば，実証試験を経ない研究は，研究を開始したとすら言えない」という基本的考え方に基づき，積極的に実証試験を繰り返し，実用化を目指した研究を推進してきた．ステージゲートまでに開発した **Kenaf** および **UMRS** は，それぞれプロトタイプ機そのものであり，これらに必要なセンサや機能を搭載して開発してきた．当グループでは，実験室環境でどんなに機能が発揮できても，想定環境である地下街あるいは地下鉄駅において発揮できなくては意味がないことを前提に，できるだけ想定環境そのもので実証実験を行い，想定環境においてロボットの動作が実現できるように実証実験を行ってきた．また，開発したロボットは可搬性があることが第一であり，また運搬に対して堅牢でなくてはならない．他機関との共同により国内外で実証実験を積極的に行い，可搬性や運搬による堅牢性も実証しながら，開発したロボットの外部評価も積極的に得るように努力してきた．さらに，展示会などにも出展し，開発してきたロボットに関する情報公開も行ってきた．その結果，国内外の研究期間やユーザに広く研究成果が知られることとなった．**Kenaf** については，国内外のいくつかの機関から購入希望が寄せられた．品質保証やメンテナンス等の体制に関する検討を行った結果，広く販売することは時期尚早と判断し，東京電機大学に1台のみを販売することとした．

ステージゲート後においては，改良実用機である **Quince** と **UMRS-2009** を開発した．上記と同様に国内外における実証試験を繰り返し，成果を上げてきた．それに加えて，千葉市消防局，および，神戸市消防局に対する試験配備を行い，隊員による訓練使用によって実用性を高めてきた．その結果，両者とも研究機材のレベルを脱し，試験配備に耐えうるレベルの実用性を確保することができた．

プロジェクト終了後に，**Quince** が福島第一原子力発電所の原子炉建屋内での作業に実際に適用され，実績を上げていることによって，その実用性と，受注が可能なレベルに至る，という点については実証されたと考えている．

安全性はロボットの適用において重要な問題であるが，生活支援ロボットと災害対応ロボットでは使用者や使用環境が全く異なるため，別途検討が必要である．本研究では研究成果の実用化を図るために，災害対応ロボットの安全性に関する検討を行った．

本研究においては，事業化の成否はユーザである消防や自衛隊等の導入計画に依存するため，プロジェクトの目的とはされていない．現状における事業化の検討を行ったところ，ユーザサイドの受け入れが整った場合には事業化が可能であるが，現状では導入計画が不明であり，もう少し時間がかかると考えられる．

## (2) 実証試験

本プロジェクトでは、下記に示すように、頻繁に実証試験を行った。なお、ここには要素技術個別に行った試験や、展示会でのデモなどは含んでおらず、研究グループが共同で行った比較的大きな試験のみをリストアップしてある。

(ステージゲート前の主な実証試験)

2007年6月30日～7月10日 於、RoboCupRescue 2007 Atlanta

2007年9月22日～27日 於、イタリア高等消防大学校

2007年10月7日 於、電気通信大学

2008年2月26日 於、神奈川県産業会館

2008年5月27日 於、神戸市中央区港島南町ムービングウォーク内

2008年6月17日深夜～18日未明 於、三宮地下街さんちか

2008年7月1日～8日 於、RoboCupRescue 2008 蘇州

2008年8月29日深夜～30日未明 於、三宮地下街さんちか

2008年9月13日深夜～14日未明 於、三宮地下街さんちか

2008年11月5日深夜～6日未明 於、三宮地下街さんちか (ステージゲートデモ)

(ステージゲート後の主な実証試験)

2008年11月17日～21日 於、Disaster City

Kenaf の性能試験を行った。

2009年5月10日～11日 於、兵庫県消防学校

Kenaf および UMRS の瓦礫環境及び訓練塔環境における試験を行った。

2009年6月29日～7月5日 於、RoboCupRescue 2009 Graz

Kenaf の試験を行い、運動性能競技他で世界優勝した。

2009年9月1日 於、東扇島東公園

Kenaf および UMRS の消防訓練を行った。

2009年10月27日～28日 於、E-defense 大規模振動台

木造家屋を倒壊させ、そこで Kenaf および UMRS による探索試験を行った。

2009年12月5日～7日、 於、兵庫県消防学校

Kenaf および UMRS の瓦礫環境及び訓練塔環境における試験を行った。

2010年2月19日～20日、 於、蔵王

雪上環境における走行試験を行った。

2010年3月8日～12日、 於、Disaster City

Quince および UMRS-2009 の性能試験を行った。

2010年5月1日～6日、 於、大阪工業大学

Quince および Kenaf の試験を行った。

2010年6月19日～25日、 於、シンガポール

Quince および Kenaf の試験を行った。

2010年9月10日～12日， 於，東京消防庁立川訓練所

Quince および UMRS-2009 の性能試験を行った。

2010年11月19日～21日， 於，神戸人材支援センター

NIST/ASTM 評価フィールドで Quince および UMRS-2009 の性能試験を行った。

2010年1月13日～16日， 於，神戸人材支援センター

NIST/ASTM 評価フィールドで Quince および UMRS-2009 の性能試験を行った。

2010年3月8日～10日， 於， Disaster City

Quince の走行， 3次元地図作成の試験を行った。

### (3) 試験配備

Ⅲで述べたように， 実用ロボットを消防への試験配備を行った。

Quince について， 2010年8月末より3月末までのおよそ6ヶ月， 千葉市消防局の協力を得て「消防資機材」として登録後， ハイパーレスキュー部隊を持つ， 4つの消防署において試験的に配備された。 なおこの試験配備により， およそ40名の隊員が Quince の操作・運用を担当した。 詳細はⅢを参照のこと。

UMRS2009 について， 2010年9月末より， 神戸市消防局へ貸与され， こうべスーパーイーグルによる実践に向けての活動が行われた。

(活動実績) 2010.9～

9/1 UMRS2009 一式 貸与

<救助ロボット取扱訓練>

9/27 神戸市水上消防署

10/14 神戸市民総合防災センター

10/16 同上

10/29 神戸市水上消防署

<救助ロボットによる啓発啓蒙>

10/9 神戸市民夏季防災大学

11/6 神戸市須磨区デパート

12/11 神戸市北区



図 8 2 神戸市消防局への説明



図 8 3 神戸市消防局の訓練使用

#### (4) 安全性に関する検討

これまでに、下記のような検討を行った。

##### 1) レスキューロボットの安全性に関する基本原則と安全化のプロセス

###### (安全性の基本原則)

レスキューロボットは消防・警察・自衛隊の特殊装備品であるため、その安全性については、ISO MIL-STD-882D（システム安全の定義）の基本原則「システム（レスキューロボット）の性能を著しく損ねる安全技術は意味がない」を適用することが適切である。すなわち、一定のリスクのあるレスキューロボットをいかに社会問題を引き起こさずに実用化していくかが重要なポイントであり、技術+マネジメントのシステム安全の考え方を適用することが必要である。

また、安全のための技術だけを追求することによりこの問題を解決しようとするのは片手落ちであり、JIS-T-14971の付属書Eに説明のあるALARP原則「合理的に達成可能なできるだけ低い(As Least As Reasonably Practicable)」領域までリスクを下げる。合理的に達成可能かどうかは、技術的な実現可能性と経済的な実現可能性を考慮して判断する。」に従うことが必要である。

###### (安全化のプロセス)

安全化のプロセスは、一般に次の手順を踏む。

リスクアセスメント ⇒ リスク防護 ⇒ 残留リスクと安全運用管理

このプロセス自身は、「次世代ロボット安全性確保ガイドライン（案）」（経産省 2007.4）などに準拠するものであるが、レスキューロボットに対してこのプロセスを進める場合、上記の安全性の基本原則に基づき、

- ・レスキューロボットの性能を著しく損ねないこと
- ・レスキュー隊員によって管理可能な残留リスクの範囲
- ・特殊環境下での使用を前提としたリスクアセスメントとリスク防護

などについて十分配慮した安全化を確立しなくてはならない。

##### 2) リスクアセスメント

###### (Kenafのリスクアセスメント)

リスクアセスメントを実施した。その要点は次の通り。

・ISO14121（リスクアセスメント）とISO12100（機械類の安全性—設計のための基本用語，方法論）に従って一般の機械と同等のリスクアセスメントを実施し設計段階でのリスクの除去または低減を可能な限り実施する。

・災害現場という特殊な環境下で使用されるが故に除去し得ないリスクに関してはシステムの運用方法の確立とインターロック，フェールセーフを的確に組み込む事で最小限に抑える。

・更にオペレータの訓練プログラムを確立し訓練を含むシステム全体の安全性を確立する。Kenafは完全自律のロボットではなく、現場の状況を的確にオペレータに伝えオペレータが正しい判断で正確な操作を行う事が出来るインタフェースの開発に重点を置き、あくまでも常にオペレータの支配下に置かれていることを前提とする。

・今後は上記リスクアセスメントと訓練プログラムの確立を並行して実施するため、より実際の災害現場に近い環境下での消防・レスキュー隊員による実証実験を重ねる。

・Kenafは階段を上り下りできる能力を持つが、操作ミスや油，埃などの外的要因による落下（階

段を転げ落ち下の人間に衝突)するリスクの低減策に対しての具体的方策は見いだせていない、リスクアセスメントの実施、訓練の積み重ねでも転げ落ちる危険性は許容以下にはならない。今後の実証実験にて階段落下に対する具体的方策を検討する。

(UMRS のリスクアセスメント)

リスクアセスメントを実施した。その要点は次の通り。

- ・ ISO MIL-STD-882D (システム安全の定義) の基本原則に基づき、ALARP 原則に従うこととする。すなわち、次の3点に配慮するものとする。1) 性能を著しく損ねないこと、2) 隊員によって管理可能な残留リスクの範囲、3) 特殊環境下での使用を前提としたリスクアセスメントとリスク防護。

- ・ 電気安全上、機能安全上、機械安全上の危険源を検討した結果、挟み込みと衝突に関する危険源を特定した。

- ・ 残留リスクを管理可能なレベルまで低下させる方策として、マニュアル緊急停止ボタン、独立無線系による緊急停止システムを検討し、これまでの研究開発で実装および検証を行った。

- ・ そのほかの危険源、および、追加の防護方策に関しては、ステージゲート後の課題である。

### 3) リスク防護

(基本的考え方)

レスキューロボットが対応し得るリスク防護については、次のように考えている。

- 1) 電気安全 (感電対策等。IEC 60204, JIS-B-9960), EMC 対策, 耐環境基準 (IP 保護等級)  
これら現行規格は技術的にほぼ踏襲できるものと判断している。これらについてはステージゲート後に対応する計画である。

- 2) 機能安全 (コンピュータ安全)

現状では技術的に無理であり、長期的課題と見なし、本研究開発で対応する計画はない。

- 3) 機械安全

衝突防止、挟み込み、落下などに対するリスク防護が対象となるが、能力への影響が大きく技術的対応は難しい点については、MIL-STD-882D の基本原則にしたがって、運用でカバーされる残留リスクに含められる対象である。

(Kenaf のリスク防護)

本質安全：

- ・ 軽量化 (20kg)、即時急停止性能の向上により、衝突時の安全性を高めた。
- ・ サブローラアーム駆動モータの電流変化により、前後進時の衝突検出を行う技術を開発した。

衝突防止：

- ・ 自律人よけ (移動障害物回避)、静止障害物回避 (別紙②参照)

衝突の可能性を低下させた。

- ・ 三次元環境形状計測結果のオペレータへの提示 (別紙②参照)

隊員が狭い場所を操縦する際のリスク回避を可能にした。

- ・ 遅延の最小化による、障害物等のリアルタイム提示 (別紙③参照)

レイテンシーを最小化することによって、操縦時の遅延による危険性を低減した。



- ・通信途絶時に安全に停止する機能（別紙①参照）

通信途絶により制御不能になった際、自動的に停止する機能を実現し、運動エネルギーを小さくすることにより危険性を低下させることとした。

（UMRS のリスク防護）

衝突防止：

- ・マニュアル緊急停止ボタン

ロボットがまだ人の手の届く範囲にて動作時の緊急停止用として、ロボット上部の最も見やすくまたロボットが動いている場合でも手が届きやすい前後 2 箇所に、大型の赤色緊急停止ボタンを配置、このボタンを押すとロボットの動力系、制御系とも全システムを停止させることができる。

- ・独立無線系による緊急停止システム

ロボットが遠隔操作中のときの停止用として、通常のロボットの制御用に用いている無線 LAN システムとはまったく独立したアナログモデムを用い、緊急停止システムを開発している。ただし、現在のところその使用可能範囲は条件の良いところで 20 m 程度であり、制御可能範囲を延ばす必要がある。

#### 4) 残留リスクとレスキュー隊員による安全運用管理

（ロボットの共存の原則に基づく残留リスクの管理）

残留リスクを現場指揮官が正しく理解し、コントロールできる（と現場指揮官が判断できる）レスキューロボットのみを実用化することを前提とする。このような判定基準に基づいて実用化するためには、レスキューロボットに対する合理的予見可能な誤使用、合理的予見可能な非想定環境のデータ収集と解析が重要である。このデータ収集と解析については、ステージゲート後の研究開発の中心課題の一つであり、実用化試作ロボットの各製作フェーズごとにデータ収集を行い、真に役立つリスクアセスメントをそのつど実施して改善していくことが必要である。

（具体的対応）

本研究開発では以下のような具体的対応を行った。ステージゲート後に充実を図る計画である。

- ・ロボットの操作法、表示の標準化による管理機能の向上  
ポータブル遠隔操縦卓
- ・遠隔操縦訓練シミュレータによる残留リスク推定および安全運用管理の訓練  
Kenaf シミュレータの開発

#### 5) レスキューロボットの認証・検定について

レスキューロボットの認証、検定をどうするかについては、調べた範囲内では、現在のところ我が国では検討されていない。ロボットの検定には従来の高度資機材とは異なる観点と高い技術が必要であり、これを実施できる団体の育成が重要である。

たとえば、消防の装備品に関しては、下記のような既存検定団体が存在し、安全基準の策定や検定等を行っている。調達配備のためには、これらの団体との協力を今後進めていくことが必要である。

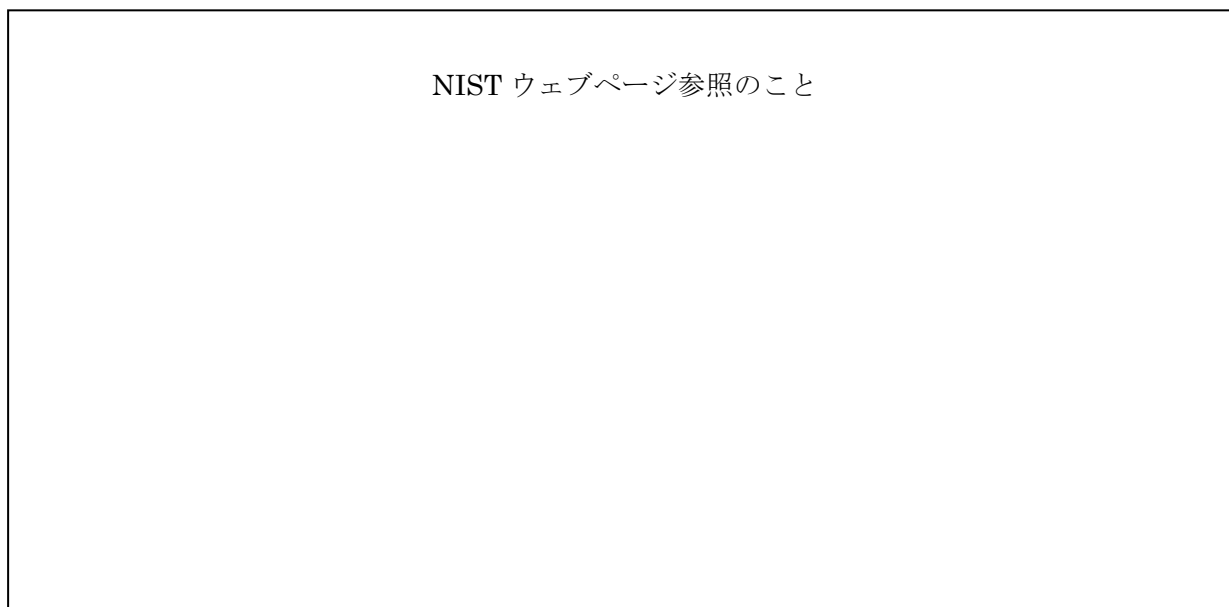
日本消防検定協会（消防ホース等の検定、安全基準の策定など）

日本消防設備安全センター（PL法への対応など）

米国では、商務省の標準技術研究所 (NIST) がホームランドセキュリティ省からの委託により、災害対応ロボットの調達基準の策定を進めている。これは、ASTM International の国際標準として評価方法を定めることによって行われており、2010 年より標準が実際に認められ、最終的に 20 程度の項目からなる標準として標準化される予定である。その目的は調達基準の策定だけでなく、隊員のロボット使用に関する訓練効果の評価、ロボット開発の指針を与えること、にもある。そのプロセスは下記の通りである。

- 1) レスポンダー (FEMA Technical Search, etc.) からの要求事項 (13 カテゴリ, 100 項目以上) の整理
- 2) くり返して試験が可能で、再現が可能な「標準試験方法」の開発
- 3) レスポンダーによる訓練施設を活用した試験法の検証と、ロボットの評価
- 4) 国際競技会 (RoboCup) を活用した評価法の改良
- 5) ASTM での国際標準化

その評価対象は主として地上走行ロボットであり、図 8 4 のようなものが含まれている。



NIST ウェブページ参照のこと

図 8 4 NIST/ASTM 評価標準化の対象ロボット (UGV)

評価項目は、個別要素試験と実地試験からなり、個別要素項目の結果によってロボットの特徴を明らかにすることができる。具体的な項目は下記の通りであり、米国でのニーズが大きい爆発物処理に重点を置いた内容となっている。

- 0) オントロロジー
  - 1) セットアップ, 重量, サイズ (ASTM E2592-07 として既に成立)
  - 2) エネルギー源, 持続時間
  - 3) 運動性能
    - ・平坦舗装面
    - ・ピッチロール連続傾斜面

- ・ピッチロール斜面横断
  - ・対称段差フィールド
  - ・傾斜面，ギャップ
  - ・滑りやすい段差
  - ・階段と踊り場
  - ・牽引
- 4) 無線通信
- ・見通し環境，見通せない環境
- 5) 物体操作
- ・棚中の物体認識
  - ・棚中の器用な物体操作
  - ・棚中の重量物操作
  - ・ドア開け，進入
- 6) 操縦しやすさ
- ・複雑路面でのランダム迷路操縦
  - ・複雑路面でのランダム迷路探査
  - ・車両ボディ下での探査
- 7) センシング
- ・映像の視力，視野(ASTM E2566-08)
  - ・詳細探査
  - ・音声聞き取り
- 8) 除染

Response Robot Exercise においては，図 8 5 のような評価法説明書による説明が行われ，試験結果を各評価シートに記入することによって評価がなされている。

NIST ウェブページ参照のこと

(a) 評価法説明書

NIST ウェブページ参照のこと

(b) 評価シート

図 8 5 NIST/ASTM による災害対応ロボットの評価標準化

本プロジェクトでは、この標準に対して日本からの意見を反映するため、委員としての参加を続けてきている。標準化委員会に参加するほか、このための意見聴取の場である **Response Robot Exercise** に毎年参加し、本プロジェクトで開発したロボットなどを評価方法の試験の場に提供してきた。その結果、標準として提案されようとしている内容は、日本のロボットにとって決して不利な内容ではなく、フェアな性能評価がなされる内容となっていると考えている。

以下、事業計画は非公開

### 3.3.2 建設系産業廃棄物処理RTシステム

#### 3.3.2.1 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発

【実施者:東急建設(株)、日立建機(株)】

##### 1) 研究概要

本研究開発は、廃棄物材質の判定手法、解体・選別作業の効率化・安全・高信頼性技術、機械本体および施工現場の環境認識技術、多自由度・多腕マニピュレータおよび多機能ハンド、複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系の研究、およびオペレータ操作支援に最適な情報提示技術等の研究開発を実施した。

##### ・ 研究開発目標

###### (1) 【最終目標】

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として中間目標で対象とした材質）を選別判定し、廃棄物を移送できること。」

具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。

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。

###### (2) 【中間目標】

①「建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。」

解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質（コンクリート塊、廃プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等）を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。

②「建物解体時に発生する廃棄物を素材料毎に分離できること」

建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に関する要素技術を開発する。

##### 2) 成果詳細

###### ① 建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法

###### 【目標値の達成状況】

実際の解体現場における作業を分析した結果、非木造建物の躯体解体時における小割り、選別作業のRT化が最も効果が高いことが判明。発生する廃棄物を調査し、選別対象とする5品目を、コンクリート塊、鉄くず、アルミくず、木材、廃プラスチックと設定した。また、実際の解体現場における廃棄物の大きさや個数の関係を再調査した。設定した5品目の材質を判定するため、近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光X線分析計、画像処理等を候補とし、評価実験を重ね、最終的には画像処理により判定する手法を採用した。統合化システム（廃棄物選別システム）により5品目全て（解体現場から取得した実際の廃棄物サンプル）を判定、選別可能なシステムを構築。ミッションである、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上を達成した。

### ①-1 「廃棄物解体、選別に関する実態調査」

選別システム開発にあたり、選別方法や能力を検討するため、実際の解体現場から廃棄物のサンプルを収集し、建設廃棄物の大きさや個数の関係を調べた。その結果、粒径が小さいほど個数が多いこと、外径 40mm 以上の粒径が全体の 70%以上と大きな比率を占めていることがわかり、質量比では顕著な特徴がないことがわかった。また、廃棄物のうちコンクリートが 90%以上を占めており、次に鉄が多いことを再確認した。

### ①-2 「廃棄物材質の判定手法の研究開発」

画像による 5 品目の建設系産業廃棄物の材質判定を画像処理およびベイズ理論に基づく推論によって行うため、廃棄物の色、形状、表面質感の 3 つのパラメータを使用した材質判定手法を確立した (図 1)。また、画像による材質判定に適した撮影装置を検討し、廃棄物選別システムに導入する材質判定システムの製作を行った (図 2)。製作した材質判定システムを使用して解体現場から採取した 5 種類の建設系産業廃棄物を判定し、廃棄物選別システムの粗選別、精選別の両選別システムにおいて材質判定手法と材質判定システムの有効性を検証した (図 3)。

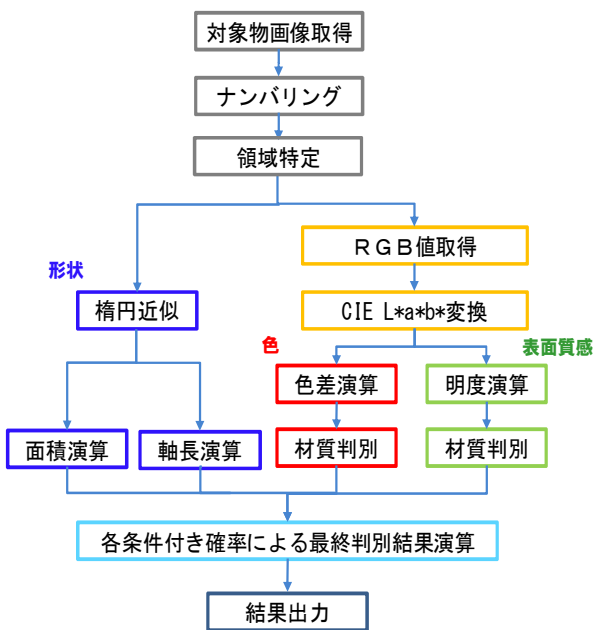


図 1 材質判定フロー図



図 2 材質判定システム

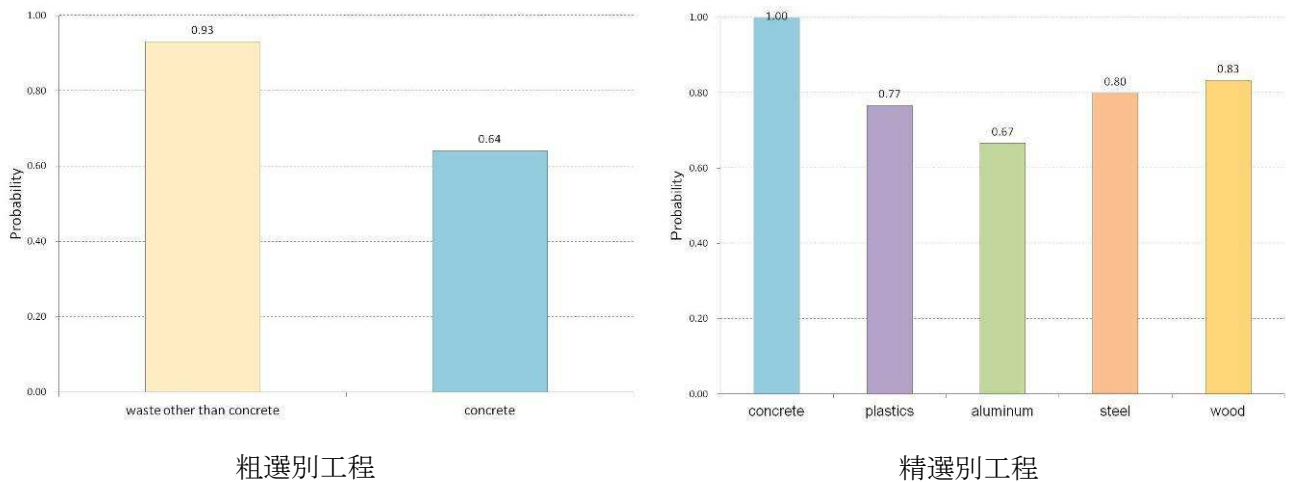


図3 材質判定精度

### ①-3 「廃棄物選別機の開発」

プロジェクトのミッション、解体現場の廃棄物性状と排出量、再生工場の受入条件等を考慮して、廃棄物選別機の仕様概要を以下のように設定した。

- 1) 選別する5種類以上の材質（ミッション）は、①コンクリート、②鉄、③プラスチック、④アルミニウム、⑤木、⑥その他とする
- 2) 選別する廃棄物の大きさは40mm以上300mm以下とする
- 3) 処理能力（速度）は8m<sup>3</sup>/hを目指す（プロジェクト終了後実用化時の最終目標）
- 4) 解体現場に仮設できる構造とする
- 5) 小雨、粉塵に耐える構造とする

また、廃棄物のうち大半をしめるコンクリートのみ早期に取り出した方が処理速度を速くできること、現場要求に応じてコンクリートのみ取り出す機能のみを導入できるように、廃棄物選別機を粗選別部と精選別部に分離できるように設計した。処理フローを以下に示す。

#### 【粗選別部】

- 1) バックホウによるホッパへの廃棄物投入
- 2) 振動フィーダにより廃棄物を山崩ししながら搬送
- 3) 吊下式磁力選別機による鉄類の除去
- 4) 振動ふるいによる40mm以下の小径廃棄物の除去
- 5) 特殊トラフをもつ振動フィーダ（整列フィーダ）による整列
- 6) ベルトコンベアによる廃棄物搬送（磁気プーリで小鉄片、針金等を除去）
- 7) 撮影画像に基づく材質判定装置による廃棄物の材質判定
- 8) コンクリート以外の材質の掻き出しとコンクリートの排出



【精選別部】

- 9) 中継分散コンベアによる主にコンクリート以外の廃棄物の搬送・分散
- 10) ベルトコンベアによる廃棄物搬送
- 11) 撮影画像に基づく材質判定装置による廃棄物の材質判定
- 12) 鉄、木、アルミ、プラスチック、その他の廃棄物の掻き出しと排出
- 13) コンクリートの排出

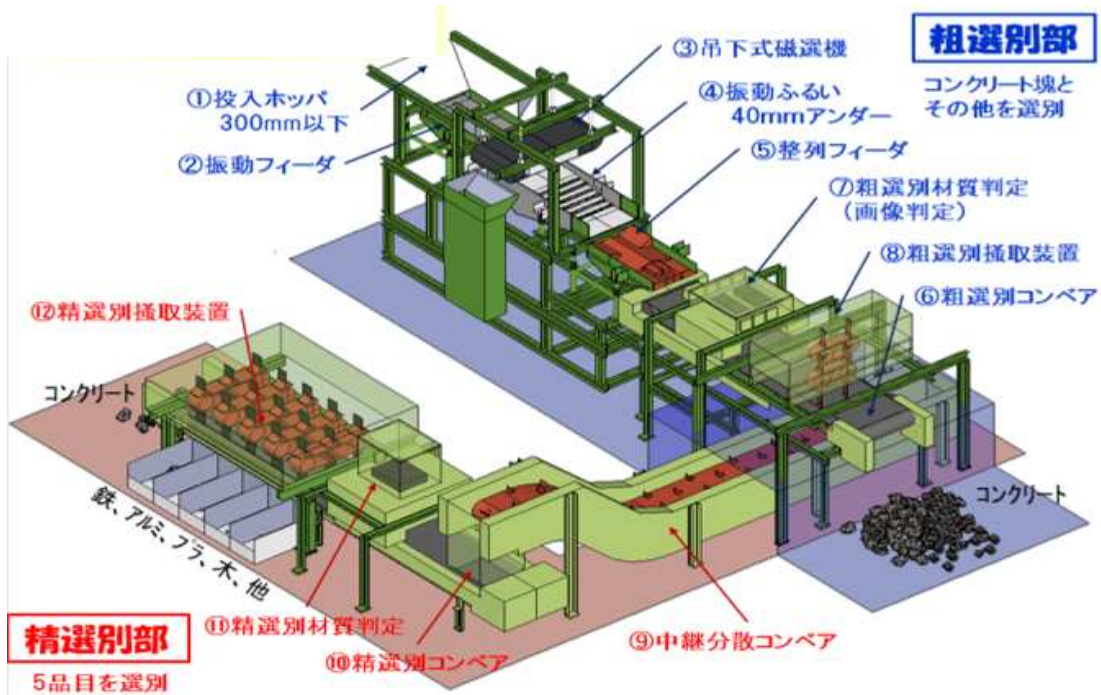


図4 廃棄物選別機プロトタイプ全体構成

主要構成要素の予備実験を行い、結果を踏まえてプロトタイプを製作した（図4、5）。

製作した廃棄物選別機プロトタイプを用いて5種類の実際の廃棄物による選別精度実証実験を実施した。使用した廃棄物は、木材30個、プラスチック30個、鉄30個、アルミニウム30個（合計約0.05m<sup>3</sup>）コンクリート約0.25m<sup>3</sup>である。7回実験を行い、最も精度の高い回と低い回を除いて5回の結果の平均を求めた。図6に結果を示す。各材質とも抽出率60%以上を達成した。



図5 プロトタイプ設置状況

表1 廃棄物選別機プロトタイプ仕様

項目	仕様	備考
廃棄物寸法 (mm)	40~300	RC造躯体解体廃棄物を基本とする
投入量 (m <sup>3</sup> /回)	0.25	バックホウ等による
選別材質	コンクリート、鉄、木、アルミニウム、プラスチック、その他	「その他」材質は未設定
精選別抽出率 (%)	60	材質毎に取出す個数率 (目標)
選別能力 (m <sup>3</sup> /h)	8	投入量、最終目標値
寸法 (m)	L10×D7×H4	粗選別+精選別
質量 (kg)	約 30,000	粗選別+精選別
電源	3相 200V 30kWh	粗選別+精選別
制御	シーケンス制御	手動運転可能

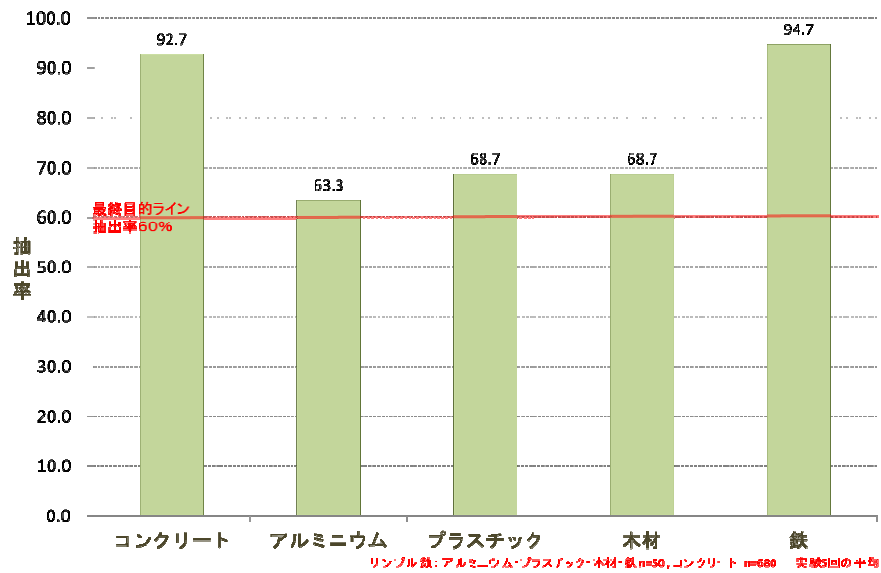


図6 各材質抽出率 (%)

## ②解体・選別作業を効率よく、安全に、かつ高信頼度で行う技術

### 【目標値の達成状況】

次世代マニピュレータは、試作機による実証試験を行い実証ロボットの仕様を策定し、廃棄物選別システムは、解体現場で人の手で行われている廃棄物の処理を、ロボット化し安全に効率よく行うための処理フローのイメージを策定した。また、ハンドリングのための作業対象状態センシングを可能とするセンサシステムとしてステレオビジョン方式を採用。また、カメラ映像に直接距離情報を埋込む新たなインターフェース技術、および対象物裏面のデータを推論する手法を考案し、試作。併せて、対象物の材質を判定し、把持力設定値を出力するシステムを開発した。さらに遠隔操作室からも動作を可能とした新たなコントロールシステムを開発し、本体に搭載。顧客ヒアリング、ユーザヒアリングを基に解体現場に求められる環境計測システムの開発および解体現場適用によるデータ収集を実施した。

また、次世代マニピュレータ、廃棄物選別機のリスクアセスメントを実施した。

### ②-1「実証ロボットの仕様策定」

#### 【次世代マニピュレータ】

プロトタイプ機の仕様策定の為、試作機（図7）による実現場での実証試験を行った（図8）、また実証試験終了後、操作者に対するヒアリングを実施し（表2）、ユーザー視点で求められる改善点を抽出した。結果、主腕に関しては作業領域の拡大、及び、小割機等の市販アタッチメント装着時に適切なフロント姿勢で作業が行えること、また、副腕に関しては作業領域拡大に併せ、全体的な構造物強化、及び、作業力の向上を求められる結果となった。尚、作業現場投入時の輸送業者からの要求として、輸送時には走行体幅以内に収まるような姿勢となることが挙げられた。これらの改善要求と、同クラスの階上解体機との仕様比較により、プロトタイプ機の目標仕様を決定した。



図7 試作機



図8 実証試験の様子

表2 ヒアリング結果

区分	評価内容	コメント
主腕	作業領域	作業半径が短く、引き寄せ・移送作業で不便
		作業領域が低く壁倒し作業は出来ない
		手元の作業領域が狭く、小割作業時に最適な姿勢をとりづらい
作業力	アタッチメント破砕力、開閉速度は全く問題ない	
副腕	作業領域	作業半径が短く、分離した対象の移送作業などで効率悪い
	作業力	全体的に華奢で作業力不足を感じる
	その他	分離選別の為であれば、今回のような作業ではあまり必要性を感じない
		対象物を押さえると本体旋回が出来なくなり、意味がなくなる 本体旋回時にアタッチメントが周囲と干渉する
本体	昇降性	運転席床部が高く、ステップも不十分で乗り降りし難い
	その他	現場は狭隘で、後方小旋回機を希望

【廃棄物選別システム】

廃棄物選別機の処理フローイメージの策定

解体現場で人の手で行われている廃棄物の処理を、ロボット化し安全に効率よく行うため、廃棄物選別機の処理フローのイメージを以下のように策定した（図9参照）。

- ①双腕機で小割りされた廃棄物の投入
  - ・バックホウを使用して投入を行う
  - ・画像による材質判定のため、必要以上に細かく破砕しない（例 破砕機など）
- ②投入された廃棄物の選別対象外（長さ、大きさ）を除外
  - ・除外された廃棄物に関しては処理を行わない
- ③材質判定の判定精度を高める前処理
- ④画像処理による材質判定を行い廃棄物を判定
  - ・ベルトコンベア上での廃棄物の個別化、列の形成
- ⑤材質判定の結果を受け、廃棄物を材質毎に取出す
  - ・質量が大きいコンクリート塊は取出さずに末端に排出

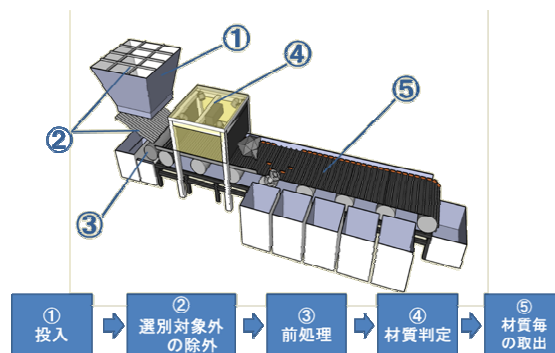


図9 選別機処理フローのイメージ

②-2 「ハンドリングのための作業対象の状態センシング」

将来的な遠隔操作、又は準自律運転下によるオペレータの情報支援として、「材質判定機能との統合」と「ハンドリング制御手法の検討」を前提に、ステレオカメラを再選定し、対象物センシングシステムの改良版を作成した（図 10 参照）。改良版は対象物情報の出力機能を持ち、①対象物重心位置の建機座標系における座標値、②材質判定結果に応じた把持力指令値、の2種の情報をCANインターフェースにより建機コントローラへ出力することが可能である。

対象物センシングシステムは、ステレオカメラの仕様変更に伴い、より簡易な操作を実現しかつ性能の向上を見込んで、対象物領域の特定手法の見直し（図 11 参照）、および形状推定的手法（図 12 参照）を新たに追加した。また取得情報のうち、対象物重心位置（建機座標系）についてはCANインターフェースにより外部（建機側コントローラ）へ出力可能とし、ハンドリング計画の相対距離表示機能に用いることとした（図 13 参照）。

材質判定機能は、廃棄物の判定と同様のアルゴリズムにより、色、質感、形状の情報を基に、領域特定した対象物の材質を判定し、材質に応じた把持力指令値を出力できるものとした。また材質に応じた把持力指令値をCANインターフェースにより外部（建機側コントローラ）へ出力可能とし、ハンドリング計画の把持力調整機能に用いることとした（図 14 参照）。

また新しい対象物センシングシステムを遠隔操作型双腕マニピュレータに実装した（図 15 参照）。

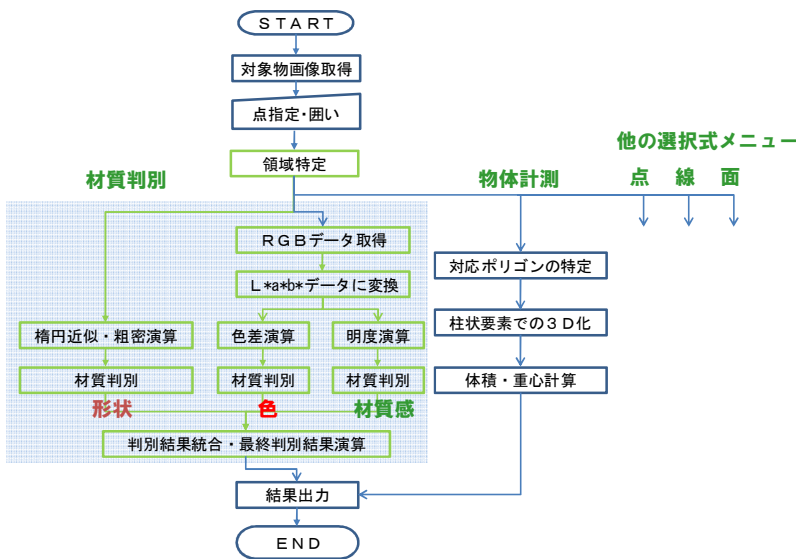


図 10 材質判定機能と統合した対象物センシングシステムの情報フロー



図 11 対象物センシング領域指定の操作手順  
(③～⑤は自動)

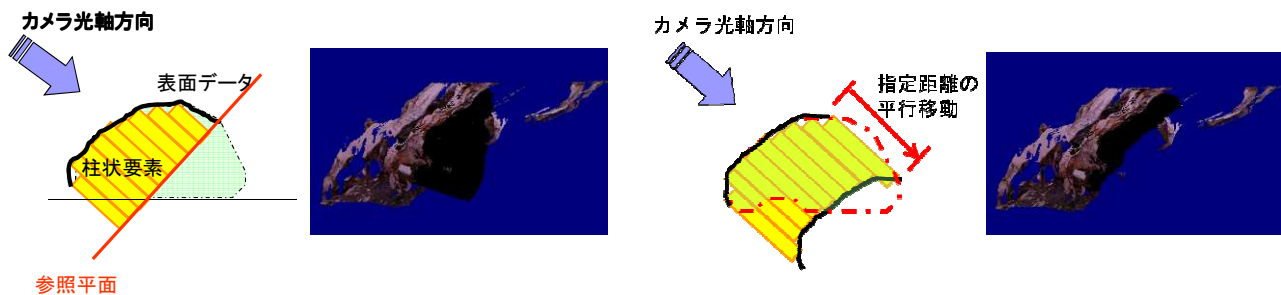


図 12 追加した形状推定の手法（左：手法 3、右：手法 4）

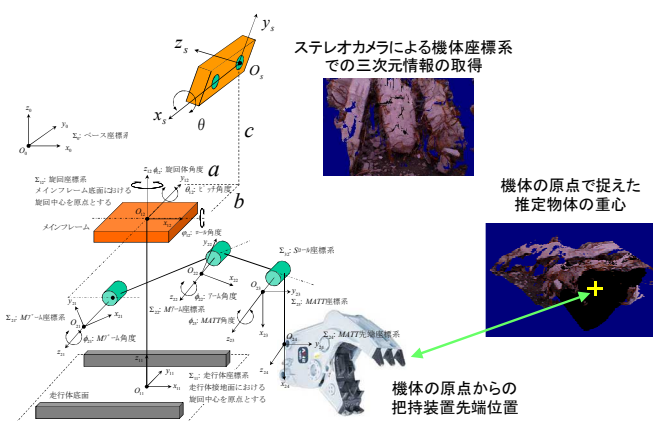


図 13 重心位置と把持装置先端との相対距離表示の概念図

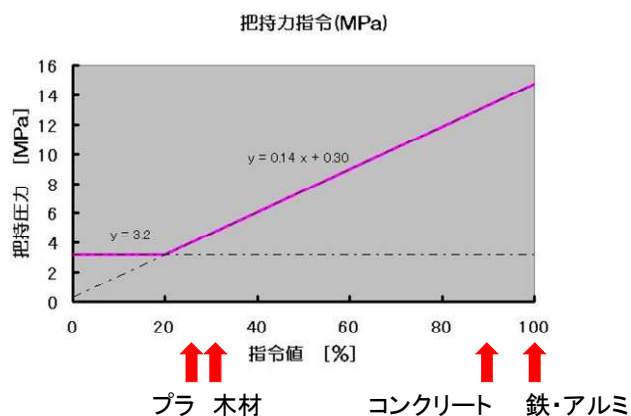


図 14 材質判定に応じた把持力指令値による圧力コントロールとの相関図



図 15 遠隔操作室内の機器レイアウト

②-3「施工に必要な作業分析結果を基にし、作業対象の状態との関係で最適なハンドリング計画の策定」

プロトタイプ機に実装する遠隔操作システム概要を図16に、遠隔操作及びカメラシステムの構成を図17に示す。使用条件を鑑み、プロトタイプ機と遠隔操作室間の距離は100[m]程度を想定した。本システムでは、操作信号用に1.2[GHz]特定小電力無線機を、映像信号用に2.4[GHz]特定小電力映像無線機を、車体情報送信用に2.4[GHz]無線LANを夫々適用した(図18)。

遠隔操作室(図19)では、操作者正面に3Dモニタが設置されており、フロント手先付近の3D画像を表示する。WEBカメラによるフロント広角画像は、3Dモニタ右下のモニタに表示される。現場全体の俯瞰画像は、右側2つのモニタに表示する構成とした。また、情報表示モニタは右上方に搭載している。また、遠隔操作室の操作系は車体側と同等としている。

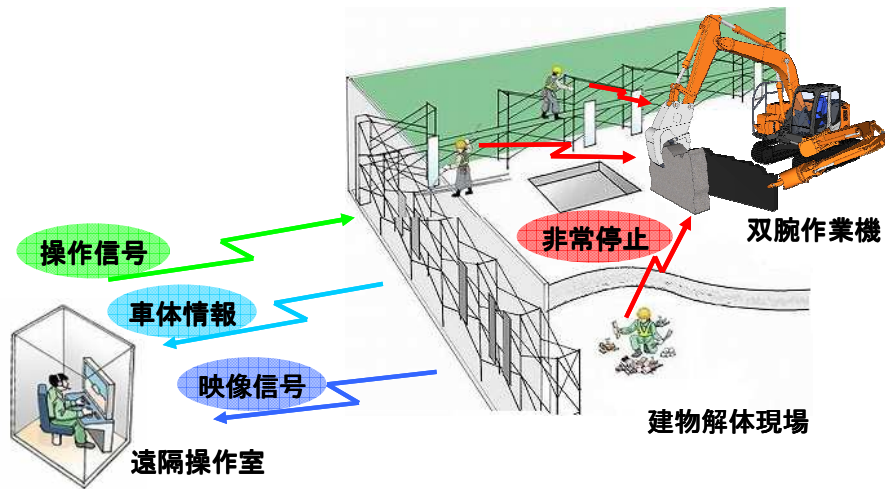


図16 遠隔操作による作業形態

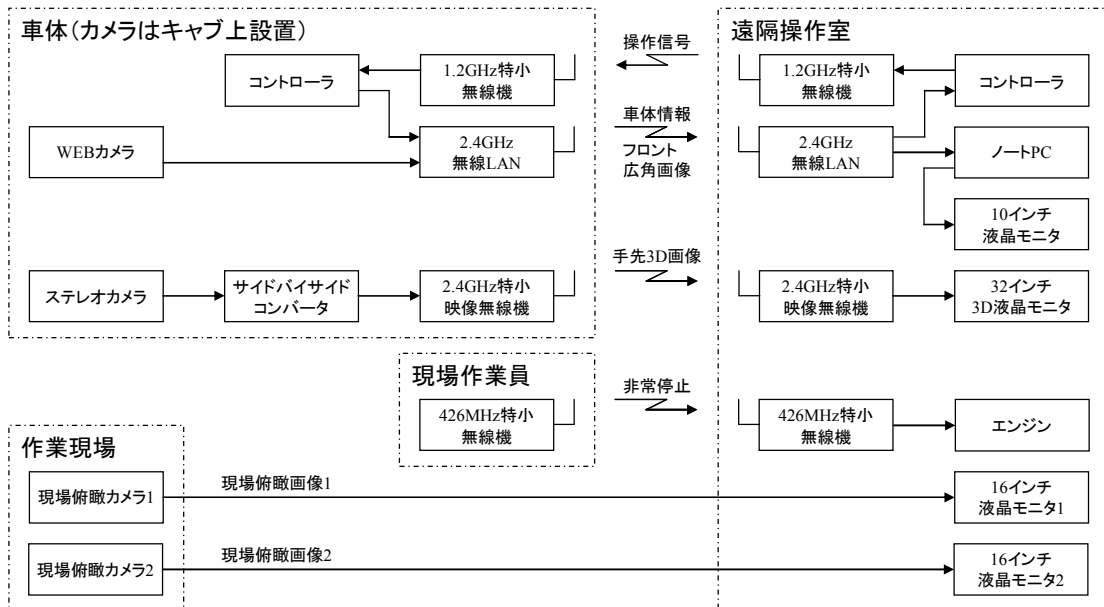


図17 無線及びカメラシステムの構成

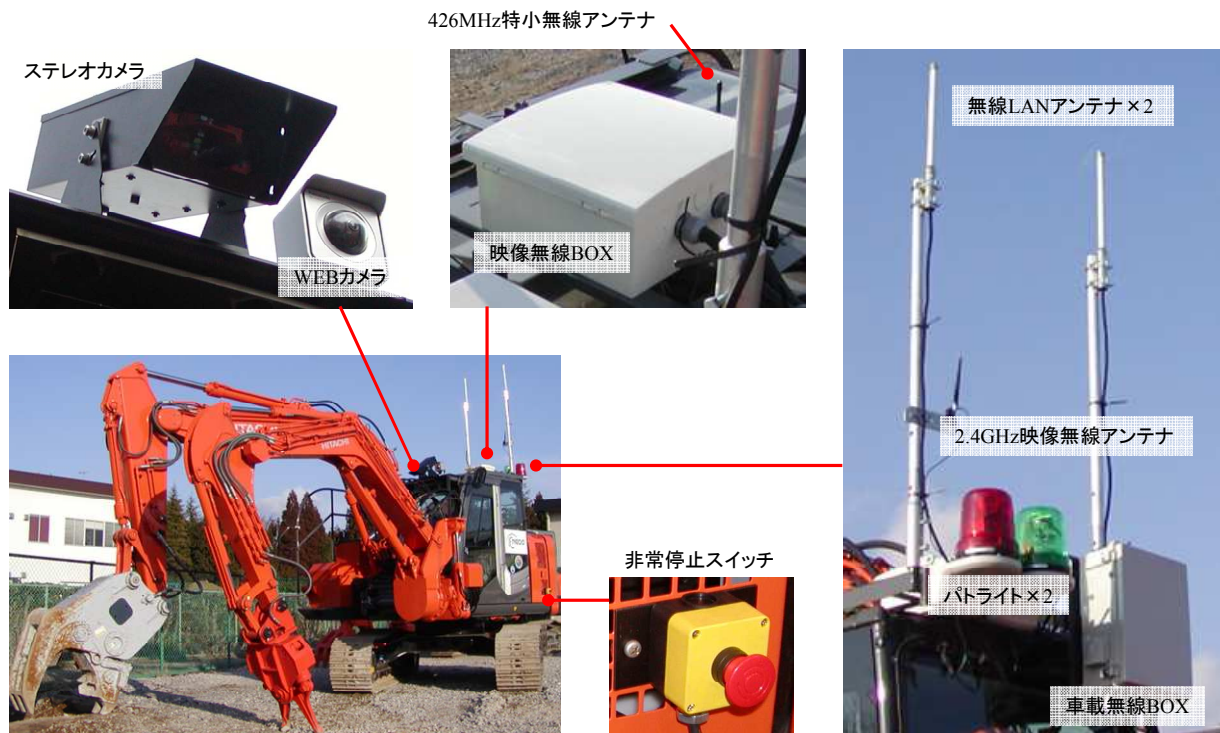


図 18 プロトタイプ機遠隔操作機器



図 19 遠隔操作室



## ②-4 「安心安全の技術」

計測データの蓄積方法および処理フローを明確にし(図 13、ネットワーク機器を利用した環境計測システムを設計・製作。現在(平成 23 年 3 月 31 日現在) 12 現場で 18 台が稼働中(図 20)(22 現場の実績)。

製造者、販売者及び、使用者、監理者の観点から開発品のリスクアセスメントを実施。



図 20 現場適用状況

## ③解体現場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータの開発

### 【目標値の達成状況】

機械周囲の環境認識技術により作業員を識別するシステムを試作、評価を実施した。掴み、切断等が可能な多機能ハンドを試作した。また、三カ年度までに双腕マニピュレータ本体を試作、5カ年度までにミッションに規定された建物解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できるプロトタイプ機を完成させた。対象物ごとの把持力調整機能、廃棄物質量測定装置の実装、建設機械相当の耐環境性の検証(通常の油圧ショベルの検査レベル)を実施した。

### ③-1 「施工現場の環境認識(機械周囲、機械本体)」

レーザポジショナを利用した、機械周囲の作業員識別と、機械との位置関係を把握し接近時警告するシステムの試作、および試作機に実装(図 21)、機能確認を実施。

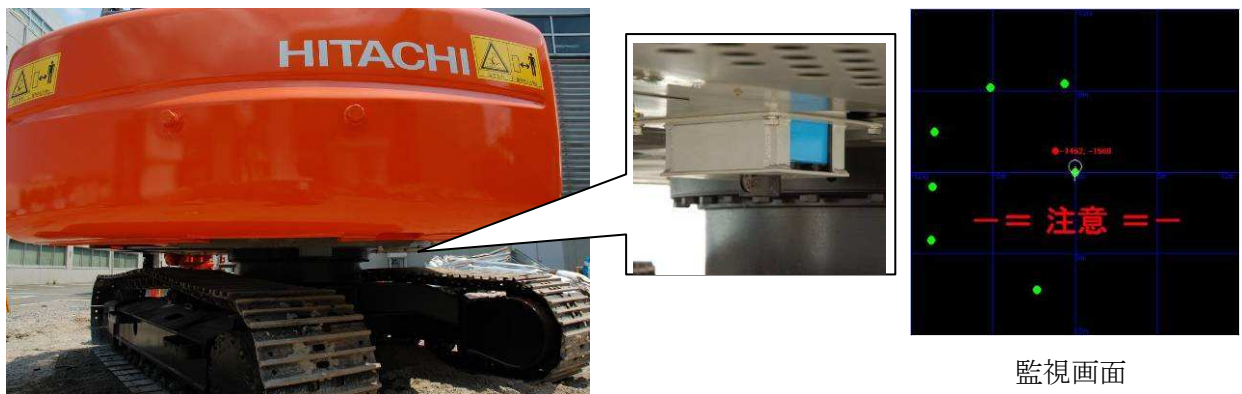


図 21 レーザポジショナの実装状況

### ③-2 「多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンドの開発」

開発したプロトタイプ機を図 22 に示す。試作機と比較して主腕・副腕とも作業領域を大幅に拡大し、且つ、狭隘な作業現場での使い勝手を考慮して後端半径を縮減した車体としている。尚、車体安定性を保つ為、「主腕作業領域制限システム」を新たに採用している。プロトタイプ機では「サブフレーム」構成を採用し、輸送時に車幅内に副腕を格納可能とする構成とし、また、油圧機器は車体右前に集中して配置する事でメンテナンス性を向上させている。把持力制御システムの基本部は試作機に同等であるが、プロトタイプ機では対象物認識システムと連携により、与えられた指令値に従い、把持力を制御出来る構成としている（図 23）。「質量計測システム」の基本システムも試作機と同等であるが、試作機で質量計測の都度、必要とされた「圧抜き操作」を自動化することで、機能改善を図っている。

プロトタイプ機用多機能ハンドは試作機の実証試験で得られた評価に基づき、主に切断力の向上を目標に開発した。内部構成は試作機のを踏襲したが、使い勝手の向上を目指して、左右稼動刃の同調リンク機構、及び、動作速度向上の為の回生バルブを新たに採用している（図 24）。

プロトタイプ機の運転室内に搭載した操作レバー類、及び、各制御コントローラを図 25 に示す。

ビル建築物の外壁に使用される PC 板の解体作業、鉄筋、窓枠等の分離作業によりプロトタイプ機の機能試験を行った（図 26～図 29）。主腕による小割作業、副腕で PC 板を支える等の補助作業及び細かい対象物の分離・除去作業等、双腕ならではの作業が行えることを確認した。



図 22 プロトタイプ機

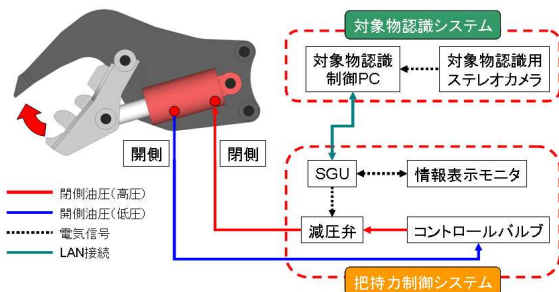


図 23 把持力制御システム概要

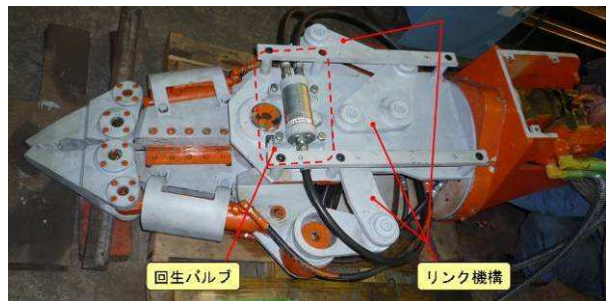


図 24 多機能ハンド



図 25 運転室内搭載機器



図 26 副腕支持での小割作業



図 27 副腕での鉄筋切断



図 28 パイプ断熱材除 (拡大)



図 29 ゴム部材の引き剥がし

### ③-3 「耐環境性能の検証」

プロトタイプ機に搭載した油圧機器、電子機器には試作機と同等以上の耐環境性を有しているものを採用している為、耐環境性に問題は無いと考える。プロトタイプ機において遠隔操縦可能とする為に新たに採用した無線機器（426MHz、1.2GHz 特定小電力無線機、及び 2.4GHz 無線 LAN）については防水ボックス内に設置することで耐環境性に配慮した。機能検証期間中、風雨に晒される環境でプロトタイプ機を駐機し、搭乗及び遠隔での実証試験を行ったが、各機器の動作に異常は認められなかった（図 30）。また、図 31 に示すような降雪条件化での動作においても各機器の動作に問題は無かった。



図 30 機能検証の様子



図 31 降雪状況下での動作

④現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェースの開発（複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等）

【目標値の達成状況】

複数腕、複数軸の同時 8 自由度操作を容易にする操作系を試作。具体的には、主腕、副腕、走行、旋回等の同時動作が可能。また、複数腕の干渉防止システムを試作した。

試作機を実際の解体現場に導入する実証試験を実施し、プロトタイプ機開発に向けた操作系の改良点を抽出した。計測結果から副腕第 2 関節を廃止し、また、副腕旋回角度を最大で 60[deg]にした。操作軸の割り当てとして、シフトスイッチを廃し、ペダル操作を併用した。機能検証後のヒアリング結果より、操作性が向上したことが確認した。また、マニピュレータの実用化を鑑み、試作機に比べ操作レバーの強度向上を図った。

遠隔操作時に不足する情報を補うため、操作に必要な情報をオペレータに分かりやすく提示するインタフェースの試作と検証を行い、双腕を用いた複合廃棄物の分離作業を遠隔操作で行えることを確認した。

④-1「複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系」

試作機を実際の解体現場に導入する実証試験を実施し、操作系に関するヒアリング結果（表 3）及び、ユーザテスト期間中の操作情報やマニピュレータの姿勢情報、作業負荷情報などの計測結果に基づき、プロトタイプ機開発に向けた操作系の改良点を抽出した。計測結果から使用頻度の低かった副腕第 2 関節を廃止し、また、副腕旋回角度に関しては 40[deg]以下での使用が全体の 90%以上であることが確認された為、プロトタイプ機では副腕線下記角度を最大で 60[deg]にした。プロトタイプ機の操作系はアタッチメントの開閉動作を疲労の少ないペダル操作とし、本体旋回及び副腕旋回動作のシフトスイッチを廃したものとした（図 32）。プロトタイプ機の機能検証後のヒアリング結果（表 3）より、操作性が向上したことが確認された。また、マニピュレータの実用化を鑑み、脆弱部を 2 点支持に変更することで、操作レバーの大幅な強度向上を図っている（図 33、図 34）。

干渉防止システムには試作機と同等のシステムであるが、副腕の自由度低減、及び、各構造物の強化に伴う精度向上が確認され、主副腕共に全域に渡って±5[cm]の誤差で干渉判定機能に使用するに十分な性能である事を検証した（図 35、図 36）。

表 3 操作系に対するヒアリング結果

	コメント
主腕	慣れれば標準機と同等の作業効率が得られる (基本となるブーム・アーム・バケット操作は容易)
	アタッチメント開閉は親指操作では疲労感大 (ペダル式操作を希望)
副腕	慣れれば主腕と同様に操作可能 (基本 3 軸は主腕と同じ操作)
	主腕との同時操作は片方で支持、片方で作業であれば可能

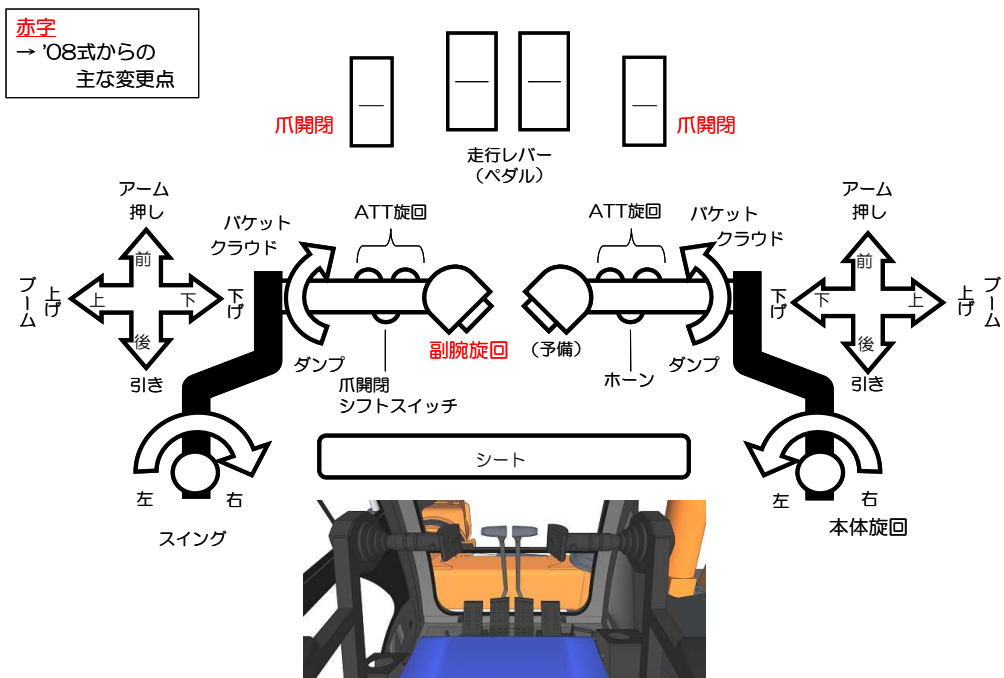


図 32 プロトタイプ機の操作軸割り当て



脆弱部

図 33 試作機のレバーブラケット



図 34 プロトタイプ機操作系

表4 オペレータヒアリング結果（プロトタイプ機操作システム）

全体	全体的に、試作機よりも操作し易くなった
習熟し易さについて	2日目までに概ね習熟したと感じた（長くとも3、4日あれば十分）
	双腕の同時操作は、操作方向が同一の場合ならば十分可能
疲労について	疲労は特に問題ないが、あえて言えばバケット操作（レバー捻り）が、若干疲れる
	試作機より特に良くなったのは、アタッチメント開閉が足ペダルになったこと （親指操作は疲れるため）
作業効率について	本体旋回操作時のシフトスイッチがなくなったことで操作し易くなった
	操作量と動作速度の関係は良好



図35 位置計測実験の状況

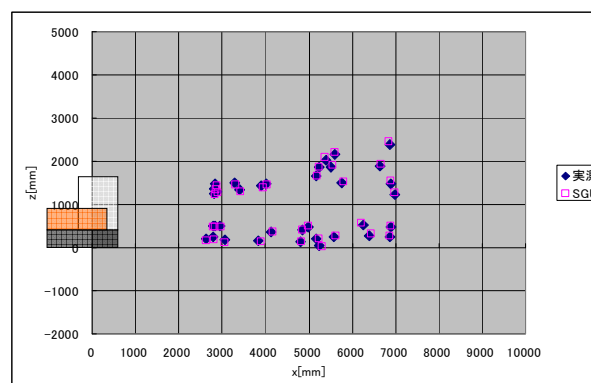


図36 副腕先端位置の計測結果（x11-z11平面）

#### ④-2 「オペレータの操作支援に最適な情報提示技術の開発」

双腕機の操作支援を行うため、操作に必要な情報をオペレータに分かりやすく提示するインターフェースの試作と検証を行った。実環境での遠隔解体作業を想定し、可搬型の遠隔操作システムを図37、38のように試作した。アナログ出力の3Dカメラおよび非圧縮映像無線装置を用いることで、時間遅れを0.1秒以下に抑えた3D遠隔操作システムを構築した。このシステムの評価を行った結果、1) 実用的な通信距離は見通し50m以上であること、2) 見通し25m以内の距離であれば作業対象物の材質と重心位置を30秒以内に判定できること（図39）、3) 3D映像によって10cm単位で奥行きを把握できること、4) 劣悪な電波環境でも3D映像が途切れないこと（図40）実用に耐えうる防塵性および耐候性を有すること（図41）、双腕を用いた複合廃棄物の分離作業を遠隔操作で行えること（図42）を確認した。

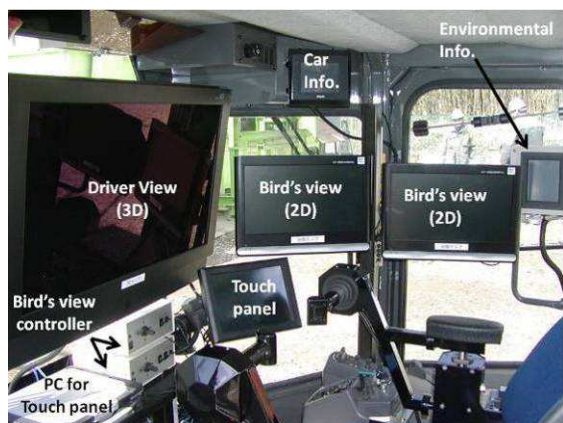


図 37 試作した可搬型遠隔操作室のレイアウト



図 38 4種類のカメラの配置

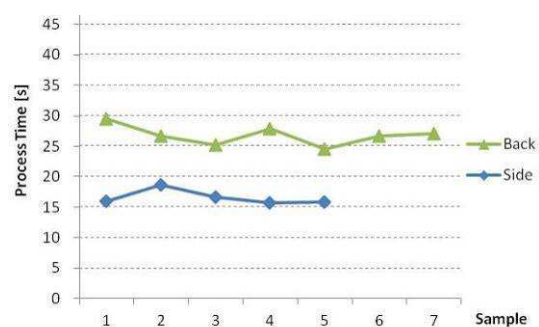


図 39 対象物認識の所要時間 (QVGA、5 GHz 無線)



図 40 劣悪な電波環境における3D映像の例



図 41 遠隔操作室の耐候性評価状況



図 42 双臂作業の遠隔操作性評価状況



## ⑤実証ロボット（プロトタイプロボット）の開発および実証実験

開発課題①については、各センサシステムを統合化し、廃棄物5品目を判定可能なシステムを構築、選別機に実装した。②～④の要素技術は、全て双腕マニピュレータ（プロトタイプ機）に実装し、機能確認後、最終実証実験を実施。さらに、遠隔操作室からの遠隔運転が可能であることを確認した。また、実現場相当の屋外実証実験、解体現場での試験導入などにより、課題の抽出も行った。

### 1. 中間評価実験（ステージゲート評価）

日付：2008年11月25日、場所：東急建設(株)技術研究所

出席者：平井 PL、浅間 SPL、牟田委員、中内委員、池田委員、中井委員、土井委員、オブザーバ 10名



図 43 会場全景



図 44 評価実験説明状況



図 45 双腕機説明



図 46 廃棄物材質判定説明

### 2. 技術委員会

日付：2010年7月29、30日、場所：東急建設(株)技術研究所、日立建機(株)草加工場

出席者：平井 PL、浅間 SPL、油田 SPL、石黒副委員長、徳納委員、池田委員、オブザーバ 2名



図 47 選別機説明



図 48 双腕機説明

### 3. 成果報告会

日 付：2010年12月17日、場 所：東急建設(株)技術研究所

出席者：平井 PL、浅間 SPL、油田 SPL、石黒副委員長、徳納委員、池田委員、オブザーバ2名



図 49 会場全景



図 50 双腕作業状況



図 51 双腕機説明



図 52 遠隔操作説明



図 53 選別システム選別状況



図 54 選別精度確認状況

### 3) 成果の意義

本研究開発の成果は、廃棄物の分離を行う次世代マニピュレータと、廃棄物選別システムからなる RT 技術を駆使した新たな建物解体工法であり、現場への普及を図ることにより資源循環型社会を形成及び地球環境保全に貢献する。

次世代マニピュレータは、従来の建設機械を多自由度、多腕化し、RT 技術を活用することでこれまでにない細やかな分離選別作業が可能となる。廃棄物選別システムは、不純物混じりで排出していたリサイクル材料を高精度で選別し、廃棄物の純度向上、再資源化の促進を図る。

本成果は、建物解体現場だけでなく産業廃棄物中間処理場や最終処分場などの廃棄物処理関連作業はもとより、激甚災害時の救助や復興などへの波及効果も期待できる。

### 4) 知的財産権等(特許、著作権等)の取得状況

知的財産権等の名称	特徴・強み・新規性
双腕マニピュレータ 9 件	従来の油圧ショベルと同等の力を持つ主腕と根本部分で旋回、スイング動作を可能とする副腕を協調作業させることで、作業対象に対して任意の位置から作業を行うことが出来る。また、対象物の荷重計測結果を反映した移送速度や材質に合わせた把持力制御が可能である。副腕の先端には、鉄筋などの切断と細かいものを掴む二つの作業を可能とするアタッチメントを取り付けている。実用化踏まえ、安全の為の作業領域制限や、輸送時の全幅を狭める事が出来る。双腕機については、意匠登録済み。
廃棄物材質判定装置 1 件	画像による色差および明暗の差とエッジ抽出による形状の情報から、対象とする廃棄物の材質を判定する。非接触で可能であり、連続高速処理を可能性とする。
廃棄物選別システム 2 件	これまでの選別機では不可能であった、不定形、多品種で質量の異なる解体時に発生する建設系産業廃棄物を画像処理を利用して選別することが出来る。
環境計測システム 1 件	建設解体作業時に発生する騒音や振動など値を発生源である建設機械へリアルタイムで通知し設定値超過時には出力を行い、騒音、振動等を抑制することが出来る。建設現場内をネットワーク化し、現場事務所と現場、近隣住民間の情報伝達を円滑に行うことが出来る。
空間情報表示装置及び支援装置 1 件	遠隔操作時に不足する対象物の情報を、ステレオカメラで取得した映像から体積を推定し、重心等を表示する。空間情報に関連付けられた画像情報を操作する方式でロボット又はオペレータの支援を行うことが出来る。

添付資料用 国内出願・国外出願

	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2008年3月31日	特願 2008-092957	環境情報の監視・管理システム	東急建設(株)
2	2008年6月2日	意願 2008-13877	自走式双腕機	東急建設(株) 日立建機(株)
3	2008年6月3日	特願 2008-146230	解体作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
4	2008年6月4日	特願 2008-146192	把持装置及び作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
5	2008年8月4日	特願 2008-200896	作業機械	東急建設(株) 日立建機(株)
6	2008年8月4日	特願 2008-200890	廃棄物の材質判定方法および材質判別装置	東急建設(株)
7	2008年9月2日	特願 2008-224340	空間情報表示装置及び支援装置	東急建設(株)
8	2010年7月9日	特願 2010-156589	整列フィーダ	東急建設(株)
9	2009年11月20日	特願 2009-264711	双腕作業機のスイング機構	日立建機(株)
10	2010年3月23日	特願 2010-066422	双腕作業機	日立建機(株)
11	2010年6月16日	特願 2010-137251	双腕式作業機のスイング制御	日立建機(株)
12	2010年7月9日	特願 2010-152180	双腕作業機の作業範囲制限制御	日立建機(株)
13	2010年7月2日	意願 2010-018187	自走式双腕機	日立建機(株)
14	2010年11月29日	特願 2010-265158	廃棄物選別システム	東急建設(株)

5) 成果の普及

学会発表

	タイトル	発表者	発表媒体	年月
1	次世代型建設作業用マニピュレータによる建設系産業廃棄物処理RTシステムの開発	柳原好孝, 後久卓哉 他6名	日本ロボット学会 誌 Vol. 27No. 8	2009

2	次世代マニピュレータによる 廃棄物分離と選別システムの 開発—中間報告—	後久卓哉, 中村聡他7 名	日本機械学会ロボ ティクス・メカトロ ニクス講演会	2009. 5
3	次世代マニピュレータによる 廃棄物分離選別システムの開 発	柳原好孝, 後久卓哉 他2名	日本ロボット学会誌 Vol. 27No. 10	2009
4	無線技術を用いた騒音・振動・ 粉塵のモニタリングシステム	加藤晃敏, 羽染武則 他2名	日本建築学会大会	2009. 8
5	建物解体工事の現状と環境負 荷低減につながるRT施工技 術の提案	柳原好孝	建設ロボットフォ ーラム2009	2009. 9
6	解体・スクラップ処理に適した 双腕型作業機械の開発(その2 ) - 現場試験導入 -	後久卓哉, 柳原好孝 他4名	日本ロボット学会 学術講演会	2009. 9
7	次世代マニピュレータによる 廃棄物分離・選別システム(そ の2)中間成果報告	後久卓哉, 遠藤健他4 名	東急建設環境発表 会	2009. 11
8	Development of the Construction Waste Management System with the use of Next-Generation Manipulator	Takao Ueno, Yoshit aka Yanagihara, et al.	ARS02009	2009. 11
9	現場作業環境計測システムの 開発	後久卓哉, 加藤晃敏 他1名	建築の自動化技術 シンポジウム	2010. 2
10	建設系産業廃棄物選別の要素 技術研究(その3) —デジタル 画像による廃棄物材質判定—	中村聡, 後久卓哉	東急建設株式会社 技術研究所報 No. 35	2010. 3
11	ステレオカメラによる対象物 の情報構築の一考察—建設系 産業廃棄物を対象とした形状 推定による物体情報の認識—	遠藤健, 後久卓哉	東急建設株式会社 技術研究所報 No. 35	2010. 3
12	作業分析に基づく双腕作業機 の改良点抽出	富田邦嗣, 石橋英人 他3名	日本機械学会ロボ ティクス・メカトロ ニクス講演会ロボ メック2010	2010. 6

13	建設系産業廃棄物処理システム（建物解体作業のRT化を目指して）	後久卓哉, 柳原好孝	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会ロボメック 2010（市民参加企画）	2010.6
14	建設副産物処理RTシステムの開発	後久卓哉, 遠藤健他6名	第12回建設ロボットシンポジウム	2010.9
15	解体スクラップ処理に適した双腕型作業機械の開発	小俣貴之, 石橋英人他4名	第12回建設ロボットシンポジウム	2010.9
16	建設系産業廃棄物処理システムの開発 - 建物解現場でRT（ロボット技術）により廃棄物を自動選別 -	上野隆雄, 中村聡他3名	東急建設環境発表会	2010.12
17	画像処理による建設系産業廃棄物選別システム	中村聡, 上野隆雄他1名	計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2010.12
18	ステレオ瓦礫画像のお手軽立体セグメンテーション	井上大輔, 遠藤健他1名	計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2010.12
19	建設環境のビジュアルモニタリング	後久卓哉	第29回環境振動シンポジウム（日本建築学会）	2011.1
20	遠隔操作型ハンドリング建設ロボットの対象物認識技術	遠藤健	第7回「建築生産の自動化における可視化技術の応用」（日本建築学会）	2010.2
21	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究（その4）－画像処理による建設系産業廃棄物選別システム－	中村聡, 後久卓哉	東急建設株式会社技術研究所報 No. 36	2011.3
22	建設系産業廃棄物選別システムの開発－解体廃棄物を自動選別し分別率を向上－	上野隆雄, 中村聡他2名	東急建設株式会社技術研究所報 No. 36	2011.3

(プレス発表)

	タイトル	掲載物	発表日
1	無線通信による建設環境モニタリングシステム「環境ビジュアルライザ」を開発	日経産業新聞、建設通信新聞、建設工業新聞他	2008. 05. 22
2	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムを開発	建設通信新聞, 建設工業新聞, 建設産業新聞, 日刊工業新聞, 産業機械新報, 建設技術新聞, 日経産業新聞, 建築技術(雑誌) 2009年1月号 P56, 積算資料(雑誌) 2009年2月号前文 P20, ロボット Watch (Web サイト), ロボナブル (Web サイト)	2008. 11. 18
3	双腕型解体機を開発	日刊工業新聞	2009. 4. 14
4	次世代マニピュレータを使った廃棄物分離システム	メトロガイド	2009. 11
5	双腕マニピュレータを開発	橋梁新聞	2010. 02. 11
6	建設環境モニタリングシステム「環境ビジュアルライザ」の定常的運用体制を確立しました—騒音・振動等の抑制と管理の効率化を推進—	建設産業新聞, 建設通信新聞, 建設工業新聞	2010. 7. 29
7	建物解体現場から発生する廃棄物の分別排出率向上を実現する「廃棄物選別システム」を開発しました	建設産業新聞, 建設通信新聞, 建設工業新聞, 北海道建設新聞	2010. 12. 9
8	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム最終成果	建設通信新聞, 建設工業新聞, 建設産業新聞, ロボナブル (Web サイト) 他 WEB サイト	2011. 3. 7

## 6) 実用化・事業化の見通し

### 1. 事業化シナリオ

昨今、ビル等の建築物は、耐用年数に達しているものや、耐震構造問題等により、その解体需要は年々増加してきている。現在は地上部からのロングブーム仕様の解体機による解体が一般的であるが、今後はより高層化すること、また、地上の敷地スペースが少ないことから、階上に機械を載せ順次上層階から解体を行う階上解体工法の比率が高くなっていく。解体工事は低コスト、短工期化に加え、安全性に優れ、周辺環境に配慮した新工法が求められている。当事業は、新たに開発した双腕マニピュレータと、廃棄物材質判定移送装置等を用いた新階上解体工法にて解体工事を実施するものである。事業は、要素技術毎の開発進捗に合わせて3つのフェーズに分けて行なう予定である。

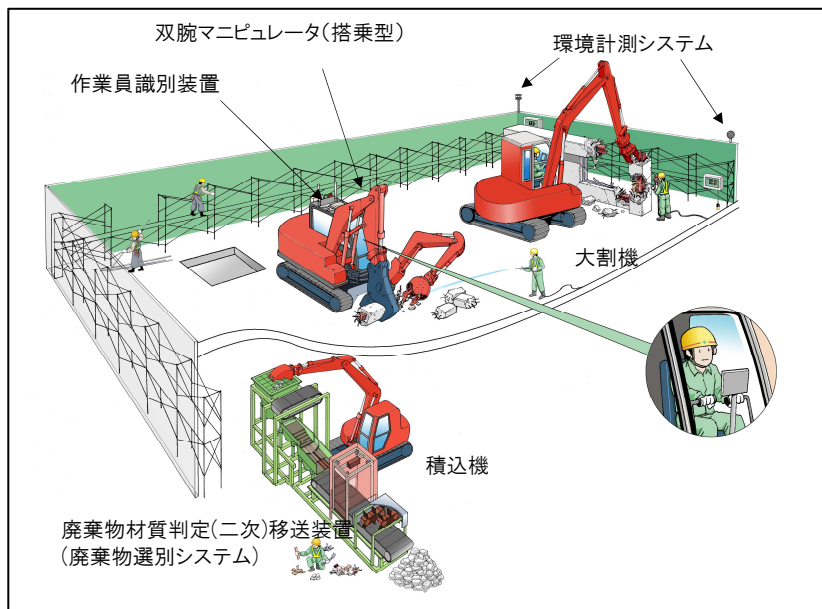
#### 事業化商品 = 新階上解体工法を用いた解体工事

##### <第1フェーズ>

まず最初に、当該プロジェクト終了後の平成24年より、

- ・双腕マニピュレータ（搭乗型）
- ・廃棄物材質判定（二次）移送装置
- ・環境計測システム
- ・作業員識別装置

の4つの要素技術を統合システム化し、次世代の階上解体工法として東急建設が事業者（元請）となり解体工事を受注していく計画である。



第1フェーズ解体イメージ図

当工法は、今までの階上解体工事（在来工法）と比較し、工期短縮、コスト削減が可能であり、安価で安全、環境に配慮した施工を顧客（解体主）に対し提供することができる。顧客は工期の短縮とコストダウンが図れ、施工者は利益額の向上と安全が確保できる工法である。



また、平成 26 年には、建設業者、解体業者を中心とした工法協会を発足させ、実施料を支払うことで当工法が誰でも使用できる仕組みとし、解体業全体に広く展開させる方針である。

(第 1 フェーズ最終年度の平成 31 年には、市場の約 15%のシェアを想定する)

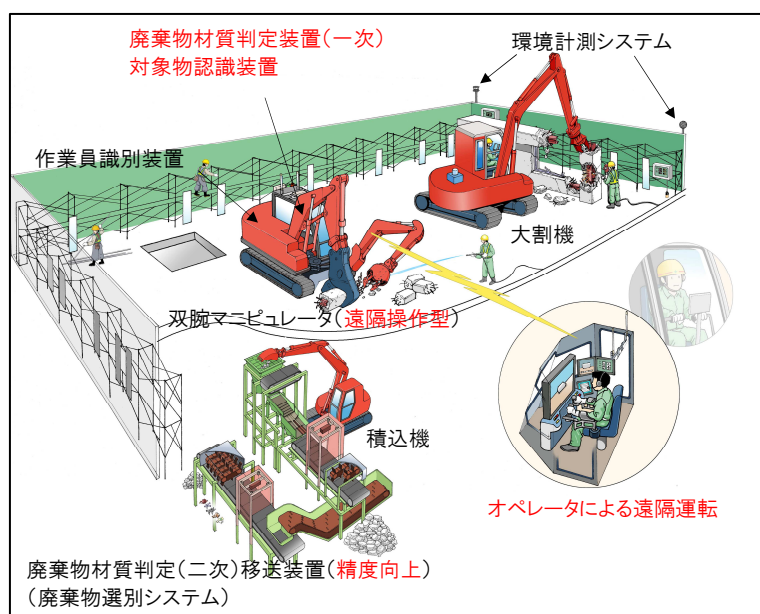
#### <第 2 フェーズ>

平成 32 年頃には、第 1 フェーズで適用した要素技術に加え、

- ・ 廃棄物材質判定装置 (一次)
- ・ 対象物認識装置

等の要素技術を準じ開発し、オペレータによる遠隔運転が可能な解体工法とする予定である。また、廃棄物材質判定の精度も向上させ、作業員の削減を図る。

第 1 フェーズと比較し安全性、環境面がさらに向上し、工事受注金額の増加が期待できる。市場の 20%～30%のシェアを想定する。

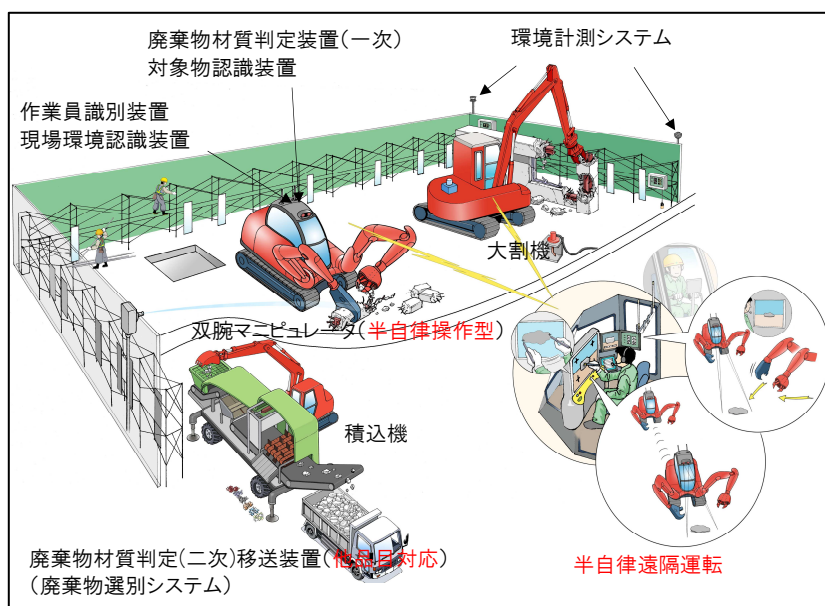


第2フェーズ解体イメージ図

### <第3フェーズ>

平成37年を目安に準自律遠隔運転により、オペレータ1人で複数台の機械を遠隔操作できる解体工法を実現させる。さらなるコストダウンと安全性を向上させ、市場の30%以上のシェア獲得を目指す。

当事業のターゲットは、統合システムとしては階上解体工事をメインとするが、技術の開発に合わせ、要素技術毎に中間処理施設、災害復旧現場、再資源化プラント等へ機器を導入していくことも視野に入れていく。



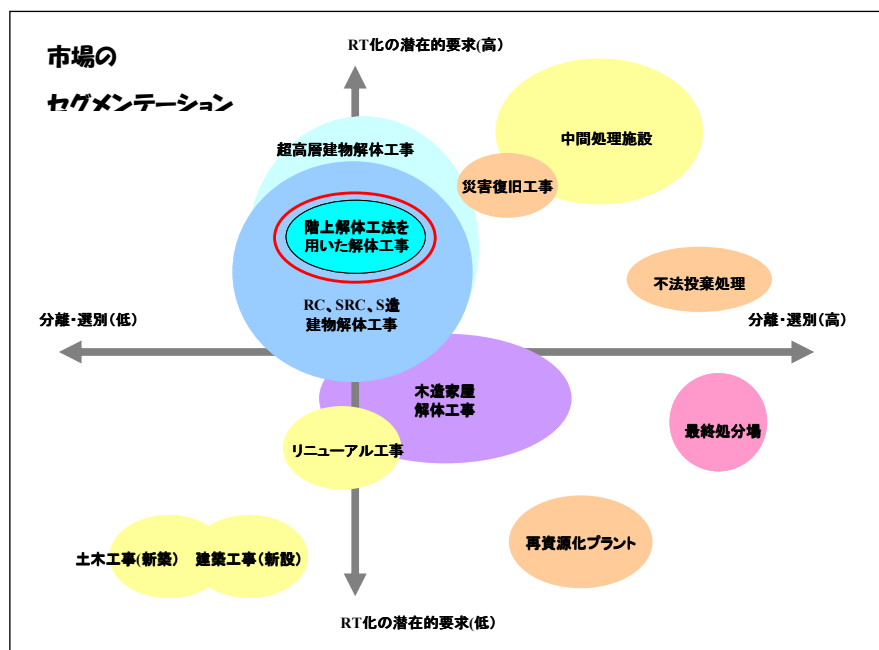
第3フェーズ解体イメージ図

## 2. 想定顧客・市場

### (1) 想定顧客のセグメンテーション

#### ■市場：階上解体工法を用いる建築物解体市場

システム全体としての市場は、建築建物の解体工事が想定され、その中でも階上解体工法を用いた解体工事が中心となる。しかし、双腕マニピュレータや廃棄物材質判定移送装置等個々の要素技術は、建物解体工事以外の中間処理施設、災害復旧工事、再資源化プラント等への導入も可能であり、市場の拡大は十分期待できるものである。



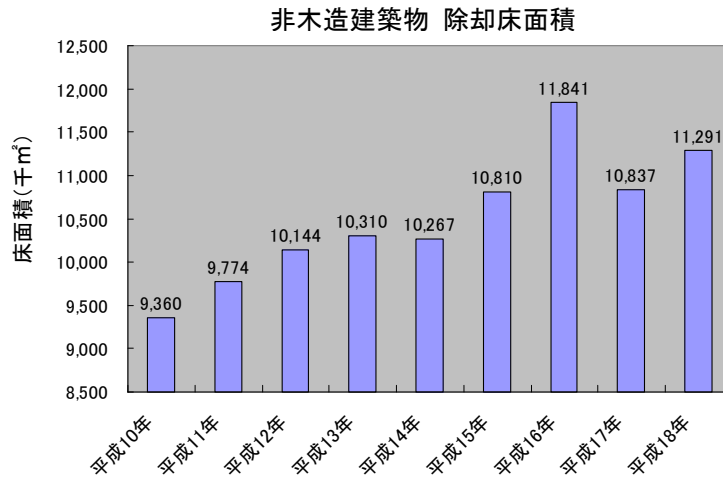
#### ■潜在的ニーズおよびウォンツ

- ・ 工期の短縮
- ・ 工事費のコストダウン
- ・ 環境負荷の低減（騒音、振動、粉塵）
- ・ 安全性の向上
- ・ 機械の能力UPと軽量化
- ・ 多機能機械の開発
- ・ 廃棄物の選別が重要

## (2) 市場規模と根拠

### 非木造建築物の解体市場の推測

非木造建築物の解体市場は年々増加傾向にあり、平成18年には、11,291千㎡の除却床面積になっている。



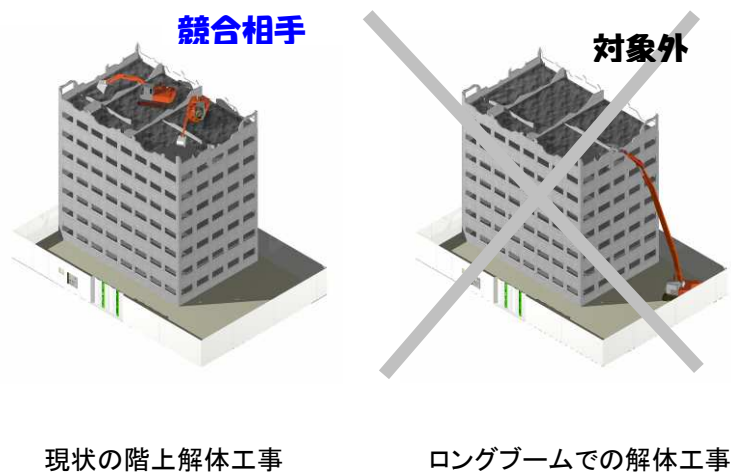
出典：「建設統計要覧」国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課監修

平成10年から平成18年までの平均増加率は約2.5%であり、事業化開始予定の平成24年の除却床面積は、同率で増加すると約13,000千㎡に達しているものと想定される。

## (3) 競合状況

### ■競合相手：現状の階上解体工事（在来工法）

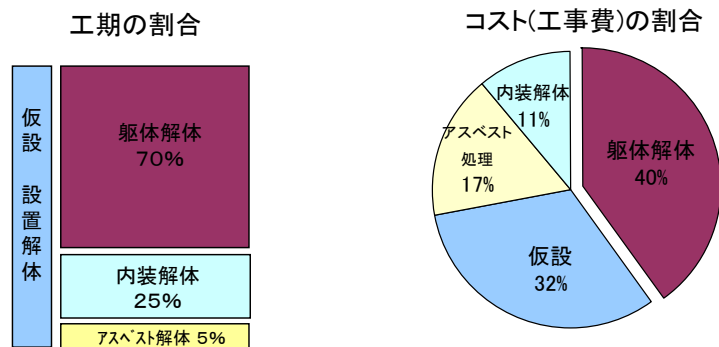
当事業（新工法を用いた解体工事）は、階上解体市場をターゲットとするため、ロングブーム仕様の解体機を用いての解体工事や大型機械を導入しての土間解体工事等は直接的な競合相手とはならない。



## ■競合技術の分析

### <作業分析>

解体作業における一般的な工種は、仮設工、アスベスト除去工、内装解体工、躯体解体工（階上解体＋地下解体）等である。その工期およびコストの割合は下図のとおりであり、工期、コスト共に**躯体解体作業の比率が大きく、作業の効率化が望まれる。**



- ・仮設の設置解体は、他工種と平行作業で行われることが多く、割合からは除いている
- ・工期、コスト共に東急建設の解体工事 4現場の平均値にて算出

躯体解体における現状の階上解体工法の技術は、汎用機械である油圧ショベル（バックホウ）に油圧ブレーカや油圧破碎機等のアタッチメントを付け替えながら実施する。

作業は一般的には、大割作業、小割作業、選別作業に大きく区分でき、大割機、小割機、選別機、積込機の4台の重機および5名の作業員にて実施される。（オペレータ4名を加えると作業員数は9名）

### 3. 波及効果

#### ①次世代マニピュレータ

- ・自動化、ロボット化が進まない建設業での RT 浸透の起爆剤として期待。労働生産性向上を目指す。
- ・地震、津波時の災害復旧作業や、このとき発生する大量の廃棄物処理への適用による、危機管理、環境、衛生面での社会貢献

#### ②判定システム

細かな材質判定の実現により、ゴミ拾いロボット等サービスロボットへの技術供与。

## 添付資料1

### 1.1.1 自動車生産ラインにおける柔軟物取り付け作業の自動化 【東北大学】

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
学会発表				
1	Oct. 9-15,2006	Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2006), 2006	The Importance of Gaze Control Mechanism on Vision-Based Motion Control of a Biped Robot	S. Ushida, K. Yoshimi, T. Okatani, K. Deguchi,
2	Nov. 16-18, 2006	Symposium on Mathematics 21, Mathematical Aspects of Image Processing and Computer Vision 2006 "MCAS symposium", Sapporo	Time Delay and Fluctuation on Biomimetic Visual Servoing	S. Ushida
3	2006年9月12日.	応用数理サマーセミナー2006「確率微分方程式」、ポスターセッション、札幌	確率微分方程式で記述された制御対象を含むフィードバック制御系の性能解析	牛田俊
4	Oct. 18-21,2006	Proceedings of the 5th SICE Annual Conference, Busan	Just-In-Time Control of Image-Based Inverted Pendulum System with a Time Delay	K. Fukuda S. Ushida K. Deguchi
5	2007年3月16日	第12回ロボティクスシンポジウム、長岡	捕球タスクに対するカメラキャリブレーションを必要としない視覚サーボ系の構築	櫻井裕音、 牛田俊、 出口光一郎
6	2007年5月10-12日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、秋田	視覚-ロボットアームからなるJust-In-Time制御系の振舞いの統計解析	福田憲一郎、 牛田俊、 出口光一郎、
7	2007年5月10-12日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、秋田	視覚をもつ人型ロボットに対する身体動作模倣システムの構築	牛田俊、 西川弘貴、 川村崇、 出口光一郎
8	2007年5月10-12日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '07講演論文集	力検出用はりにおける過負荷防止機構	阿部幸勇、 内山勝
9	2007年5月15日	情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 研究会	アクティブライティングによる画像からの対象物の抽出	岡崎智也、 岡谷貴之、 出口光一郎
10	2007年7月31日	画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2007)	被写界深度ボケを伴う画像一枚からのシーンのスケールの推定：ミニチュアシーンの錯覚に関する一考察	岡谷貴之、 出口光一郎

11	Aug. 7, 2007	Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2007), Harbin, China	Overload Protection Mechanisms for Force Detecting Beam in a Force Sensor	Koyu Abe, Masaru Uchiyama
12	2007年10月26日	第24回計測自動制御学会センシングフォーラム	柔軟物ハンドリングのための視覚計測システムの構成	佐藤大雅、 牛田俊、 岡谷貴之、 出口光一郎
13	2007年11月26日	日本光学会年次学術講演会OPJ2007	マルチプロジェクトのキャリブレーション技術	岡谷貴之
14	2007年12月1日	精密工学会東北支部学術講演会講演会	過負荷防止機構を有する力センサ用溝付きはりの最適溝形状	阿部幸勇、 内山勝
15	Jul. 2-5, 2008	Proceedings. of 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Xi'an, China	Development of a Robot Car Wiring System	K. Koo, X.~Jiang, K.~Kikuchi, A.~Konno, M.~Uchiyama
16	Sep. 22-26, 2008	Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	Vibration Suppression Control of a Flexible Arm Using Image Features of Unknown Objects	Xin Jiang Yosuke Yabe Atsushi Konno Masaru Uchiyama
論文				
1	2007年	システム制御／情報学会論文集、Vol. 20, No. 4	人の視覚運動制御系の振舞いに基づく倒立振り子のむだ時間補償制御	牛田俊、 福田憲一郎、 李眞娥、 出口光一郎
2	2007年	システム制御／情報学会論文集、Vol. 20, No. 4	人の視覚運動制御系を模擬したカメラ情報に基づく倒立振り子むだ時間系のJust-In-Time制御	福田憲一郎、 牛田俊、 出口光一郎、
3	Jan, 2008	SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 1, No. 1	An Information Theoretic Approach for Active and Effective Object Recognition	Koichiro Deguchi
4	Apr., 2008	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 20, No. 2	Overload Protection Mechanisms for a Force Detection Beam in a Force Sensor	Koyu Abe, Masaru Uchiyama

### 1.1.2 簡易な教示が可能な高機能マニピュレーション技術の開発

【(株)安川電機、筑波大学】

#### 特許出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007年9月6日	特願200 7-231944	組み立て作業ロボットの制御方法および制御装置	安川電機
2	2007年8月22日	特願200 7-216036	ロボットの制御装置および制御方法	安川電機
3	2008年1月18日	特願200 8-009838	ロボットの制御装置および制御方法	安川電機
4	2008年9月2日	特願200 8-224990	ロボットの教示再生装置および教示再生方法	安川電機
5	2008年12月9日	特願200 8-313198	複腕ロボットの作業プログラム作成方法	安川電機
6	2008年12月9日	特願200 8-313199	組み立て作業ロボットの制御方法	安川電機
7	2008年12月9日	特願200 8-323456	ロボットシステム	安川電機



学会発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成19年3月16日	日本機械学会 関東支部大会	劣駆動マニピュレータを用いたインパクト・マニピュレーションによる圧入作業	進藤晋一郎・富田信悟・相山康道（筑波大学）
平成19年5月11日	日本機械学会 ロボメカ講演会	「劣駆動マニピュレータを用いたインパクト・マニピュレーションによる圧入作業の実現」	進藤晋一郎・富田信悟・相山康道（筑波大学）
平成19年8月23日	Int. Conf. Advanced Robotics	“Dynamic Manipulation with Impact Force”	Shingo Tomita and Yasumichi Aiyama
平成20年3月15日	日本機械学会 関東支部大会	「マニピュレータが協調作業を行うためのRTミドルウェアによるシステムの構成論」「マニピュレータによるワイヤハーネスの操り」	佐藤和輝・相山康道（筑波大学） 橋本敦至・相山康道（筑波大学）
平成20年4月	Int. J. of Autom ation Technology	Realization of Press-fitting Operation by Impact Manipulation with a Under-actuated Manipulator	Shinichiro Shindo, Shingo Tomita and Yasumichi Aiyama (T sukuba Univ.)
平成20年6月6日	日本機械学会 ロボメカ講演会	マニピュレータが協調作業を行うためのRTミドルウェアによるシステムの構成論 拘束型データグローブを用いた多指ハンドによる物体操作	佐藤和輝・相山康道（筑波大学） 進藤晋一郎・相山康道（筑波大学）
平成20年9月9日	日本ロボット 学会講演会	「ティーチペンダントによる嵌合作業の教示」	神谷陽介・安藤慎悟・井上康之（安川電機）
平成21年3月17日	ロボティク ス・シンポジア	点-面タッチングによるアームとワークの相対取り付け位置キャリブレーション	久保田徹・相山康道（筑波大学）
平成21年5月25日 （予定）	日本機械学会 ロボメカ講演会	RTミドルウェアを用いた汎用的なマニピュレータシステムの構成の検討 点-面タッチングを用いた複数アームによる協調組み付け作業	渡部努・相山康道（筑波大学） 久保田徹・相山康道（筑波大学）

### 1.1.3 FA機器組立ロボットシステムの研究開発【三菱電機(株)】

国内出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007/03/12	特願 2007-061844	3次元形状計測装置のキャリブレーション方法および3次元形状計測方法	三菱電機株式会社
2	2007/09/10	特願 2007-234115	3次元形状検出装置	三菱電機株式会社 北海道大学
3	2008/03/19	特願 2008-071830	形状計測装置	三菱電機株式会社
4	2009/03/11	特願 2009 - 057799	形状計測装置	三菱電機株式会社
5	2009/03/12	特願 2009-059221	多軸力覚センサおよびその製造方法	三菱電機株式会社
6	2009/04/28	特願 2009-109119	三次元形状計測装置及び計測方法	三菱電機株式会社 北海道大学
7	2009/09/07	特願 2009-206277	プログラム作成教示装置及び方法	三菱電機株式会社
8	2009/11/19	特願 2009-263975	力制御装置	三菱電機株式会社
9	2010/4/23	特願 2010-099435	作業動作最適化装置及び方法	三菱電機株式会社
10	2010/5/13	特願 2010-110917	力制御装置	三菱電機株式会社
11	2010/5/18	特願 2010-113924	形状計測装置	三菱電機株式会社
12	2011/2/33	特願 2011-03752	ロボットのねじ締め作業異常検知方法	三菱電機株式会社 富山県立大学
13	2011/3/22	特願 2011-062702	ロボットプログラミング装置および方法	三菱電機株式会社

国外出願

該当無し

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1				

学会発表

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2006/12/7	精密工学会 ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2006)	画像特徴トラッキングのためのひも状柔軟物の特徴抽出	堂前幸康,金子俊一,田中孝之,奥田晴久,橋本学
2	2006/12/15	第7回 計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会(SI2006)	ひも状柔軟物の構造復元	堂前幸康,金子俊一,田中孝之,奥田晴久,橋本学
3	2007/09/18	SICE Annual Conference 2007(SICE2007)	3D Measurement of Flexible Objects by Robust Motion Stereo	Y.Domae,H.Takauji, S.Kaneko,T.Tanaka, H.Okuda and M.Hashimoto
4	2007/10/10	International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT) 2007	3-Dimensional Measurement of Cable Configuration being based on Feature Tracking Motion Stereo	Y.Domae, H.Takauji,S.Kaneko, T.Tanaka and H.Okuda
5	2007/11	The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)	Modeling for mating process of electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno

6	2007/11	The International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science	Model-based robust online fault detection for mating process of electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
7	2007/11/27	Image Electronics and Visual Computing Workshop(IEVC) 2007	3D Cable Shape Sensing using Robust Motion Stereo	Y.Domae, H.Okuda, H.Takauji, S.Kaneko and T.Tanaka
8	2007/06/07	画像センシングシンポジウム(SSII2007)	方向符号テクスチャ解析を利用したひも状柔軟物の特徴追跡と構造復元	堂前幸康, 奥田晴久, 橋本 学, 高氏秀則, 金子俊一, 田中孝之
9	2007/07/30	画像認識・理解シンポジウム(MIRU2007)	直方体ブロックを用いたレンジファインダのワンショットキャリブレーション	川戸慎二郎, 奥田晴久, 北明靖雄
10	2007/09	第 26 回 日本ロボット学会 学術講演会	Piecewise linear model of mating electric connectors in robotic wiring harness assembly systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
11	2007/12/07	VIEW2007 ビジョン技術の実利用ワークショップ	細線形状を持つケーブルに対するロバストモーシヨンステレオ	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 木村雄太, 金子俊一, 田中孝之
12	2008/01	The 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing	Fault-tolerant Mating Process of Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
13	2008/07/11	17th IFAC World Congress	3D Cable Shape Sensing Using Robust Motion Stereo	Y.Domae, H.Okuda, H.Takauji, Y.Kimura, S.Kaneko and T.Tanaka

14	2008/7/26	the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation	Fault-tolerant Mating Process of Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
15	2008/08/08	2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	Dynamic Modeling and Simulation of Manipulating Deformable Linear Objects	Jian Huang, Pei Di, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno
16	2008/09/06	2008 年度精密工学会北海道支部学術講演会	ファジークラスタリングを用いたケーブルの3次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 金子俊一
17	2008/09/08	第13回知能メカトロニクスワークショップ	クラスタリングを用いた柔軟物の3次元形状復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一
18	2008/12/04	ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2008)	クラスタリングによる柔軟物の3次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一
19	2008/11/29	電気学会一般産業研究会	単眼 Eye-in-Hand システムにおける連続画像ステレオのためのノイズ除去法	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 金子俊一, 鷺見和彦
20	2009/03/15	日本ロボット学会北海道ロボット技術専門委員会 (RSJ-HRT) 学術講演会	クラスタリングによる線状柔軟物の3次元構造復元	木村優太, 高氏秀則, 奥田晴久, 堂前幸康, 金子俊一
21	2009/11/8	MHS2009	Hybrid Vision-Force Guided Fault Tolerant Robotic Assembly for Electric Connectors	Pei Di, Jian Huang, Fei Chen, Hironobu Sasaki, Toshio Fukuda

22	2009/11/23	ARSO 2009 - 2009 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts	Development of Production Robot System that can Handle Flexible Goods ” Project for Strategic Development of Advanced Robot Element Technologies / Robot Assembly System for FA Equipment ”	Kazuhiko Sumi
23	2010/02/05	Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision(FCV2010)	Industrial Robot System utilizing 3-D Vision Sensing for Flexible Cable Handling	Haruhisa Okuda, Yukiyasu Domae, Yasuo Kitaaki, Kazuhiko Sumi, Yuta Kimura, Hidenori Takauji and Shun'ichi Kaneko
24	2010/06/11	第 15 回 画像センシングシンポジウム( SSIH2009)	産業用ロボットによる柔軟物ハンドリングのための 3 次元センシングシステム	奥田 晴久, 堂前 幸康, 北明 靖雄, 木村 優太, 高氏 秀則, 鷺見 和彦, 金子 俊一
25	2010/6/13	ROBOMECH2010	Robotic Assembly System for Electric Connectors Mating Basing on Vision and Force/Torque Sensors	孫, 邸, 黄, 陳, 佐々木, 福田

26	2010/09/22	ARSU2010(アジアロボット学会連合国際シンポジウム「日本の生産分野でのロボット技術の最先端」)	Flexible Cable Handling Robot utilizing 3-D Vision Sensing	Haruhisa OKUDA, Yukiyasu DOMAE, Yasuo KITAAKI, Kazuhiko SUMI, Yuta KIMURA, Hidenori TAKAUJI and Shun'ichi KANEKO
27	2010/11/7	MHS2010	Robotic Fault-tolerant Assembly system for Electric Connectors Mating Basing on Vision and Force/Torque Sensors	Baiqing Sun, Pei Di, Fei Chen, Jian Huang, Hironobu Sasaki, Toshio Fukuda
28	2010/12/23	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2919	バラ積みされたコネクタ付ケーブルのビンピッキング	北明 靖雄, 奥田 晴久, 堂前 幸康, 鹿毛 裕史, 鷲見 和彦
29	2010/12/23	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2919	柔軟物も取扱える生産用ロボットシステムの開発	原口 林太郎, 金子 俊一, 福田 敏男, 松野 隆幸
30	2010/12/23	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演 SI2010	視覚と力覚センサーを用いた電子コネクタ組み立てシステムのエラーリカバリ	佐々木, 孫, 黄, 松野, 福田

論文

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2008/02	IEEE Trans on Mechatronics, vol. 13, no. 1	Model-based Intelligent Fault Detection and Diagnosis for Mating Electric Connectors in Robotic Wiring Harness Assembly Systems	Jian Huang, Toshio Fukuda and Takayuki Matsuno

2	2009/12	日本ロボット学会誌 Vol.27 No.10 pp.1082-1085	柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムの開発	鷺見 和彦
3	2010/01	Journal of Robotics and Mechatronics, Vol 22, No. 1, pp.100-111	3-D Sensing for Flexible Linear Object Alignment in Robot Cell Production System	Yukiyasu Domae, Haruhisa Okuda, Yasuo kitaaki, Yuta Kimura, Hidenori Takauji, Kazuhiko Sumi and Shun'ichi Kaneko
4	2011/01	精密工学会誌, Vol.77, No.1, pp.90-96	カメラ撮影とロボットの位置取得の同期がとれた2視点間を運動中の非同期連続画像における追跡安定度を考慮した単眼モーションステレオ	堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 金子俊一, 鷺見和彦

プレス発表等

番号	発表日	発表先	発表代表者
1	2009/11/25～ 2009/11/28	2009 国際ロボット展	三菱電機
2	2011/03/03	三菱電機(株) 先端技術総合研究所	三菱電機



## 1.2.1 先進工業国対応型セル生産組立システムの開発 【ファナック株式会社】

### 特許出願

項目	出願日	出願番号	出願に係る特許等の表題	出願人
1	2008/1/31	特願2008-20425	作業分担機能を備えた生産システム	ファナック(株)
2	2008/7/18	特願2008-187627	自走ロボット制御システム	ファナック(株)
3	2009/1/14	特願2009-005893	自走式ロボットの位置および姿勢の補正方法	ファナック(株)
4	2009/1/21	特願2009-011293	給電調整装置を備えたロボットシステム	ファナック(株)
5	2010/1/22	特願2010-012494 (優先権:特願2009-014672)	人間とロボットとの協調動作領域を有する生産システム	ファナック(株)
6	2010/1/26	12/694201 (米)	Production system having cooperating process area between human and robot	ファナック(株)
7	2010/1/26	10 2010 005 708.8 (独)		
8	2009/2/7	特願2009-034142	部品キットを用いた生産システム	ファナック(株)
9	2009/3/12	特願2009-059678	シミュレーション方法	ファナック(株)
10	2010/8/17	特願2010-0182314	人間協調ロボットシステム	ファナック(株)

### 学会発表、論文、展示会、プレス発表等

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2007/9/13	第25回 日本ロボット学会 学術講演会	Analysis of Skills in Assembly using a Motion Simulator	東京大学 段峰
2	2007/12/15	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2007)	Analyze Assembly Skills using a Motion Simulator	東京大学 段峰
3	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Assembly Information System for Operational Support in Cell Production	東京大学 タジエリートリチュアン
4	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Multimedia based Assembly Supporting System for Cell Production	東京大学 段峰
5	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	A Study of Design Factors for Information Supporting System in Cell Production	東京大学 張治
6	2008/5/26	The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP MS)	Evaluating Assembly Instruction Methods in Cell Production System by Physiological Parameters and Subjective Indices	東京大学 N. Pongthanya
7	2008/7/17	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Multi-modal Assembly-Support System for Cell Production	東京大学 段峰
8	2008/8/1	The IEEE Int. Conf. on Automation Science and Engineering (CASE 2008)	Analyzing Human Skill through Control Trajectories and Motion Capture Data	東京大学 段峰
9	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Task Decomposition of Cell Production Assembly Operation for Man-Machine Collaboration by HTA	東京大学 タジエリートリチュアン
10	2008/9/1	The IEEE Int. Conf. on Automation and Logistics (ICAL 2008)	Construct State-Action Map through Human Control Trajectories and Computation	東京大学 段峰
11	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Safety Strategy Design in Operation Control System for Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 タジエリートリチュアン
12	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	Image-based Operator Monitoring System	東京大学 段峰
13	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産における作業情報提示方法の検討	東京大学 張治
14	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける作業者の精神的負荷評価	東京大学 渡邊圭
15	2008/9/9	2008年日本ロボット学会学術講演会	セル生産システムにおける作業情報提示による精神的負荷の評価	東京大学 藤田真理奈
16	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Application of Task Analysis Strategy for Man-Machine Collaboration Modeling in Cell Production	東京大学 タジエリートリチュアン
17	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	Predict Worker's Intention through Template-based Gesture Recognition Method	東京大学 段峰
18	2008/9/17	2008年度精密工学会秋季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける精神的負荷の生理的指標による評価	東京大学 渡邊圭

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
19	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Extending Task Analysis in HTA to Model Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
20	2009/2/21	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008)	Using Motion Capture Data to Regenerate Operator's Motions in a Simulator at Real Time	東京大学 段峰
21	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Assembly information development in task modeling to support man-machine collaboration in cellproduction	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
22	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発	東京大学 加藤龍
23	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	Analisis of operator's skill level based on assembly task in cell production	東京大学 高洋
24	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおけるマルチメディア情報を用いた作業情報支援	東京大学 張治
25	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	人間・ロボット協調型セル生産組立システムにおける協調作業を行うロボットによる精神的負荷の評価	東京大学 渡邊圭
26	2009/3/13	2009年度精密工学会春季大会	セル生産システムにおける作業情報の提示量が精神的負荷に及ぼす影響	東京大学 藤田真理奈
27	2009/4/7	東京大学 工学部 精密工学科 「精密の日」 学科紹介 講演会	協調ロボットと情報支援を用いた高効率セル生産組立システム	東京大学 新井民夫
28	2009/5/14	The IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2009)	Task Modeling Approach to Enhance Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
29	2009/8/25	The IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2009)	Safety Design and Development of Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
30	2009/8/27	STC-Assembly, Life-cycle (59th CIRP General Assembly)	A cell assembly system using a two-arm mobile robot - introduction of robot projects in Japan	東京大学 新井民夫
31	2009/8/28	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Man-Machine Interface for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
32	2009/9/1	Advanced Robotics	Operator Monitoring System for Cell Production	東京大学 段峰
33	2009/9/5	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Assessment of Mental Stress on Human Operators Induced by the Assembly Support in a Robot-Assisted "Cellular Manufacturing" Assembly System	東京大学 加藤龍
34	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	ロボット支援型セル生産組立システムでの作業支援から被る作業者の精神的負荷の評価	東京大学 加藤龍
35	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	組立作業者の認知戦略が情報支援の効果に与える影響	東京大学 藤田真理奈
36	2009/9/10	精密工学会秋季学術講演会	セル生産システムにおける熟練技能の抽出方法の検討	東京大学 森亮介
37	2009/9/15	日本ロボット学会学術講演会	ロボット支援を伴うセル生産組立での作業支援が作業者に与える精神的負荷の生理評価	東京大学 加藤龍
38	2009/9/25	福祉工学シンポジウム	組立作業の情報支援が作業者の精神的負担に与える影響	東京大学 藤田真理奈
39	2009/9/29	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)	Human Factors Studies in Information Support Development for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System	東京大学 カンジェリー トウ チュアン
40	2009/10/12	The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)	Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing: Design and Development	東京大学 カンジェリー トウ チュアン

項目	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
41	2009/11/11	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	Evaluation of Mental Stress Induced by Human-Robot Collaboration in a Cell Production System	電気通信大学 加藤龍
42	2009/11/12	The Int. Conf. of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2009)	The effective information density of information support in cell production	東京大学 藤田真理奈
43	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	A New Cell Production Assembly System with Twin Manipulators on Mobile Base	東京大学 新井民夫
44	2009/11/17	The IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM 2009)	Operators' mental strain induced by information support for cell production	東京大学 藤田真理奈
45	2009/12/15	日本ロボット学会誌解説記事	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 森岡昌宏
46	2010/3/16	精密工学会第17回 学生会員卒業研究発表講演会	セル生産における熟練者の作業注目を考慮した技能抽出手法の検討	東京大学 森亮介
47	2010/4/1	Advanced Robotics	Safety Strategy for Human-Robot Collaboration: Design and Development in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジエリートウチュアン
48	2010/4	Advances in Robot Manipulators, InTech	Collaboration Planning by Task Analysis in Human-Robot Collaborative Manufacturing System	東京大学 タンジエリートウチュアン
49	2010/6/13	ロボメック 2010	NEDOプロジェクト ポスター展示	ファナック(株)
50	2010/7/7	The IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2010)	Analytic Evaluation of Human-Robot System for Collaboration in Cellular Manufacturing System	東京大学 タンジエリートウチュアン
51	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly	東京大学 新井民夫
52	2010/8/23	CIRP Annals - Manufacturing Technology	A new cell production assembly system with human-robot cooperation	ファナック(株) 榊原伸介
53	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Development of Advanced Cellular Manufacturing System with Human-Robot Collaboration - Assessment of Mental Strain on Human Operators Induced by the Assembly Support	電気通信大学 加藤龍
54	2010/9/14	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Assessment of Operators' Mental Strain Induced by Hand-Over Motion of Industrial Robot Manipulator	東京大学 藤田真理奈
55	2010/9/15	The IEEE Int. Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)	Information Support Development with Human-Centered Approach for Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing	東京大学 タンジエリートウチュアン
56	2010/9/27	精密工学会秋季学術講演会	Triple Stereo Vision System for Safety Monitoring in Human-Robot Collaboration	東京大学 タンジエリートウチュアン
57	2010/9/28	精密工学会秋季学術講演会	人間・ロボット協調作業時に被るストレス計測—ロボット動作が作業者に与える精神的影響—	東京大学 藤田真理奈
58	2011	Operations Management Research and Cellular Manufacturing: Innovative Methods and Approaches	Multi-Modal Assembly-Support System for Cellular Manufacturing	東京大学 段峰

## 1.2.2 コンパクトハンドリングシステムを備えた安全な上体ヒューマノイド

【(独)産業技術総合研究所、川田工業(株)、THK(株)】

表 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
(該当なし)	(該当なし)

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
1	平 19. 10. 05	特願 2007-262196	ロボット, ロボット制御装置, ロボット制御プログラム, ロボット制御プログラムを作成するためのシミュレータ	独立行政法人産業技術総合研究所
2	平 19. 02. 02	特願 2007-024455	双腕ロボットの肩幅空間制限及びその装置を具えた双腕ロボット	川田工業株式会社
3	平 19. 04. 17	特願 2007-108327	ロボット出力の測定方法および制限装置	川田工業株式会社
4	平 20. 05. 19	特願 2008-131159	ロボット用位置同定方法および装置	川田工業株式会社
5	平 20. 09. 11	特願 2008-233533	ロボットの作業位置修正システムおよびそのシステムを備えた簡易設置型ロボット	川田工業株式会社
6	平 20. 10. 28	特願 2008-276799	簡易設置型ロボット用出力制限機能付電力供給システムおよびそのシステムを具えた簡易設置型ロボット	川田工業株式会社
7	平 20. 11. 26	特願 2008-301513	ロボット用のプロテクトサポータおよびカバー	川田工業株式会社

(学会発表、論文、展示会、プレス発表等)

番号	発表日	発表形態	タイトル	発表者
1	2009.9 (印刷中)	国際論文誌「Industrial Robot -An International Journal」 35 巻 5 号	Hazard Analysis of an Industrial Upper-Body Humanoid	Takuya Ogure, Yoshihiro Nakabo, Seong Hee Jeong, Yoji Yamada

## 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】

### ○特許の取得状況

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種パター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。特異点对応、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部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。
マーク読み取り装置、および方法 1件	HOG特徴の計測、照明のあてかたによりタオル表面の凹凸形状のマーク分類を行う。同色のものであっても分類が可能。
微細非周期パターン投影装置及び方法とそれを用いた三次元計測装置 1件	ペンローズタイルと呼ばれる2種の基本セルの組合せで生成した微細非周期パターン光を計測対象物に投影する手段とステレオカメラを用いて所望の点の高さ計測を高速高密度に行う。
直線運動リンク機構とこれを用いた布物のたぐり展開装置 1件	ポースリエ機構と平行リンク機構を組合せて厳正直線運動を行う。コンパクトになるリンク長さの選定。およびこれを組み合わせた布辺を把持したぐりだし一辺を把持する。

### ※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) (株)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	(株)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	(株)プレックス (北條博崇、戸田晃明)
国内 4	2010.07.14	特願 2010-159827	マーク読み取り装置、および方法	香川大学 (秦 清治) (株)プレックス (北條博崇)
国内 5	2011.02.27	特願 2011-58512	微細非周期パターン投影装置及び方法とそれを用いた三次元計測装置	(株)プレックス (北條博崇)

国内 6	2011.02.27	特願 2011-58513	直線運動リンク機構とこれを用いた布物のたぐり展開装置	(株)プレックス (北條博崇、戸田晃明)
---------	------------	------------------	----------------------------	-------------------------

○論文発表・成果の普及

論文等紙上发表(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	
3	16	7	16*	6	0	0

\*) 国際会議論文は、口頭発表も実施。

## 2.1.2 食器洗淨・収納パートナロボットの研究開発

【東北大学、セイコーエプソン(株)、野村ユニゾン(株)、(株)ハーモニック・ドライブ・システムズ】

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。

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

表2 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。



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), 282-28 8
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3 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.

## 2.2.1 快適生活支援RTシステムの開発

【早稲田大学】

2006 年度

特許：0 件

査読付論文：0 件

学会講演：2 件

2007 年度

特許：0 件

査読付論文：7 件

学会講演：7 件

2008 年度

特許：2 件

査読付論文：26 件

学会講演：19 件

特許（国内出願）

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	顔表情表出口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

特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
顔表情表出口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。

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 $\epsilon$ -filter and time-frequency $\epsilon$ -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 $\epsilon$ -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	山島利彦, 藤江真也, 小林哲則	視線運動の離散性を用いた視線認識	電子情報通信学会技術研究報告, パターン認識・メデ	vol. 107, no. 206, pp.	2007 年 9 月	なし

			イア理解研究会	77-82		
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	時間一周波数 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, Kenjiro 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 Emotional 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 Suwanratchatamee, 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 $\epsilon$ -filter	Proc. of International conference on signal processing and multimedia applications (SIGMAP2008)	CD-Proc., pp.105-112	July, 2008	あり
25	Kitti Suwanratchatamee, 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	Proc. 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 Suwanratchatamee, 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, Yoshihiro Sakamoto, Takuji Ebinuma, and Shigeki Sugano	Indoor GPS Receiver for Mobile Robot	Proc. of International Symposium on GPS/GNSS 2008(GNSS 2008)	C14a/7-54 2-a.	Nov. 2008	あり
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. of 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, 金森道, 菅野重樹	スードライトを用いたDGPSによる屋内測位システムー屋内と屋外のシームレス測位実現に向けてー	ロボティクス・メカトロニクス講演会	CD-ROM	2008年 6月	なし
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ー情動表出が可能な頭部の評価ー	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(SI2008)	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	ー	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	ー	2009年 3月	なし
54	藤江 真也, 渡辺 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 $\epsilon$ -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従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



## 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) 特許等

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

### (2) 論文

#### 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	22nd International 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	22nd International 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	Fast convergence blind source separation based on frequency	Keiichi Osako, Yoshimitsu Mori, Yu Takahashi,

		Acoustics	subband interpolation by null beamforming	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	2008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	インタラクシオン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 Measurement	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 Real-Time DSP Module	Yoshimitsu Mori, et al.
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	Izumi Shindo, et al.

	月		speech of Japanese preschool children	
28	2006年11月	ASA/ASJ Joint Meeting	Database construction and analysis of user speech with real environment spoken guidance systems	Hikomichi 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,” <i>Computer Vision</i> , 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トティング	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ー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ー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トラクションアレイ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イ	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イ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, ツインツァレクトピアス, 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

(3) 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
---	-----------------------	-----------------------------------

(4) 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

## 2.2.3 行動会話統合コミュニケーションの実現

### 【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】

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

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・物品の統一的な位置情報取得ソフトウェア	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



## 2.2.4 高齢者対応コミュニケーション RT システム

【積水ハウス(株)、千葉工業大学】

特許

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	学校法人 千葉工業大学	特願 2010-113458	国内	2010/5/17	出願	問診シス テム	藤岡睦久 他

論文一覧

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーションRTによる高齢者の在宅健康管理・支援システム—システム概要とプロトタイプの開発	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 予稿集, (CDROM) 1P1-D08	無	2010
2	藤岡睦久	千葉工大	コミュニケーションRT(ロボット技術)を用いた高齢者在宅遠隔健康管理・支援システムの開発(第一報)—遠隔健康管理ネットワークによる地域医療支援の提案—	日本遠隔医療学会雑誌 Vol. 6(2), pp. 199-202	有	2010
3	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーションRTによる高齢者の在宅健康管理支援システム—試作システムの改良と評価—	第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (CDROM) 3D3-4	無	2010
4	藤井敦啓	千葉工大	在宅健康管理 RT システムにおける 高齢者音声からの健康状態の推定	日本音響学会 2011 年春季研究発表会, 2-P-9(a)	無	2011
5	戸田健吾	千葉工大	コミュニケーション RT による高齢者の在宅健康管理・支援システム—2次試作システムの開発および高齢者を対象とした在宅実証実験—	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 予稿集, (CDROM)	無	2011

特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H21FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件
H22FY	1 件	0 件	0 件	0 件	4 件	1 件

## 2.3 ロボット搬送システム

### 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

【富士通(株)、横浜国立大学、電気通信大学】

添付資料1. 出願特許

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
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。

添付資料2. 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、 浅間一、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年12月	Proc. of 2007 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Biomimetics	Human recognition using 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
------	---	--	--

## 2.3.2 全方向移動自律搬送ロボット開発

### 【村田機械(株)、慶應義塾大学、(独)産業技術総合研究所】

特許の取得状況

国内出願

	出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
1	2007年 9月26日	2007-249523	指示区画検知装置	学校法人 慶應義塾
2	2008年 5月28日	2008-139234	自律移動体及びその移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
3	2008年 4月23日	2008-139236	自律移動体及びその移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
4	2008年 8月22日	2008-214636	自律移動装置	村田機械株式会社
5	2008年 8月28日	2008-220489	自律移動装置	村田機械株式会社
6	2008年 9月 4日	2008-227008	自律移動装置	村田機械株式会社
7	2008年 9月 3日	2008-225881	経路計画方法、経路計画装置、及び自律移動装置	村田機械株式会社
8	2008年 9月 9日	2008-231519	経路計画装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
9	2008年 9月16日	2008-237196	環境地図修正装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
10	2008年10月 1日	2008-256663	自律移動装置	村田機械株式会社
11	2008年10月 6日	2008-259402	自律移動装置	村田機械株式会社
12	2008年10月 8日	2008-261821	自律移動体及び自律移動体の移動制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
13	2008年11月18日	2008-294895	自律移動装置	村田機械株式会社
14	2008年11月19日	2008-296131	自律移動装置	村田機械株式会社
15	2009年11月20日	2009-264574	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
16	2009年11月20日	2009-264575	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
17	2009年12月 2日	2009-274519	自律移動装置	村田機械株式会社
18	2009年12月17日	2009-286846	自律移動装置	村田機械株式会社
19	2010年 7月 9日	2010-157231	自律走行移動システム	村田機械株式会社
20	2010年 7月 9日	2010-157232	自律走行移動システム	村田機械株式会社
21	2010年 7月13日	2010-159100	自律移動体	村田機械株式会社
22	2010年 7月13日	2010-159103	自律移動体	村田機械株式会社

○韓国出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月18日	2008-7022761	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年12月 3日	2008-7029595	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年12月 4日	2008-7029710	ロボット	村田機械株式会社
2009年 1月30日	2009-7417	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 2月 4日	2009-9032	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 5月28日	2009-45153	自律移動体及びその制御方法	村田機械株式会社

○米国出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月29日	12/295、088	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年11月 7日	12/299、916	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年11月14日	12/300、954	ロボット	村田機械株式会社
2009年 5月26日	12/471、689	AUTONOMOUS MOVING BODY AND METHOD FOR CONTROLLING MOVEMENT THEREOF	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年 5月29日	12/474、362	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社
2009年 7月21日	12/506、366	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社

○欧州出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年 9月10日	07737500.4	移動体位置の推定装置と推定方法及び推定プログラム	村田機械株式会社
2008年11月13日	07706896.3	自走機器の走行装置	村田機械株式会社
2008年11月25日	07713623.2	ロボット	村田機械株式会社
2009年 5月27日	09161194.7	AUTONOMOUS MOVING BODY AND METHOD FOR CONTROLLING MOVEMENT THEREOF	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2009年 6月12日	09007790.0	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社
2009年 6月19日	09008090.4	AUTONOMOUS MOVING APPARATUS	村田機械株式会社

○PCT出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2009年 8月19日	PCT/JP2009/003957	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 8月24日	PCT/JP2009/004052	経路計画方法、経路計画装置、及び自律移動装置	村田機械株式会社

2009年 8月25日	PCT/JP2009/004084	自律移動装置	村田機械株式会社
2009年 8月25日	PCT/JP2009/004079	環境地図修正装置及び自律移動装置	村田機械株式会社
2010年10月22日	PCT/JP2010/006259	自律移動装置	村田機械株式会社
2010年10月22日	PCT/JP2010/006265	自律移動装置	村田機械株式会社
2010年11月10日	PCT/JP2010/002374	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾
2010年11月10日	PCT/JP2010/002375	自律移動体とその制御方法	村田機械株式会社 学校法人 慶應義塾

○台湾出願

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年 2月12日	TW/96105098	自走機器の走行装置	村田機械株式会社

学会発表・論文（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年12月14日	第7回計測自動制御学会 システムインテグレーション 部門講演会講演論文集	Development of Elastic Tactile Sensor for Underlying Hard Tissue Detection	Zhang、Yuhua、 Maeno、Takashi
2007年 1月 11-13日	10th International Workshop on Innovative Architecture for Future Generation High- Performance Processors and Systems (IWIA'07)	Responsive Link for Distributed Real-Time Processing	N.Yamasaki
2007年 3月6日	情報処理学会第69回全国大会CD-ROM(2R-2)	映像を投影可能な案内ロボット	長谷川高輔、石井健太郎、今井倫太
2007年 9月13日	第25回日本ロボット学会学術講演会	行動の時間スケールを考慮した自律移動ロボットの階層型行動制御手法	高橋正樹、多田欣雅、吉田和夫
2008年 3月11日	電気学会 産業計測制御研究会	冗長移動マニピュレータを用いた車椅子押し作業のための制御法	渡辺勇人、村上俊之
2008年 3月15日	情報処理学会第70回全国大会CD-ROM	スムーズに人間と擦れ違うためのロボットインタラクション	鮫島萌、石井健太郎、今井倫太
2008年 3月27日	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	高精度なロボット制御のための時間管理機構の設計と実装	上山真生、水頭一壽、山崎信行
2008年 3月27日	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	チップマルチプロセッサ用の優先度付きNon-Uniformキャッシュアーキテクチャ	坂本伸昭、山崎信行
2008年 3月27日	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	RTミドルウェア用の優先度によるオブジェクト管理機構	千代浩之、武田瑛、上山真生、加藤真平、山崎信行
2008年 4月21日	第21回 回路とシステム軽井沢ワークショップ	分散リアルタイム制御用 SoC: Responsive Multithreaded Processor	山崎信行（招待講演）
2008年 8月3日	Proceedings of the IEEE International Symposium on RO-MAN 2008	Improvement of Position Estimation of the Ultrasonic 3D Tag System	Toshio Hori and Yoshifumi Nishida
2008年10月	Proceedings of ISR 2008 (the 39th International Symposium on Robotics)	K-TAVO: A Robot Behaviour Management Module to Urge a Human to avoid	Moe Sameshima、Kentaro Ishii、Ren Ohmura、Michita Imai
2008年11月	日本機械学会論文集C編、074巻747号	自律全方位移動ロボットのマルチ時間スケール型行動制御手法	高橋正樹、多田欣雅、鈴木崇文、吉田和夫



発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年 9月13日	第26回日本ロボット学会学術講演会	自律全方位移動ロボットのマルチ時間スケール型行動制御手法の実験的検証	鈴木崇文、高橋正樹、吉田和夫
2009年 7月2-5日	6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2009)	Multi Scale Moving Control Method for Autonomous Omnidirectional Mobile Robot	Masaki Takahashi And Takafumi Suzuki
2009年 8月 24-26日	In Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications	Periodic and Aperiodic Communication Techniques for Responsive Link	Shinpei Kato、Yuji Fujita、Nobuyuki Yamasaki
2009年10月	日本ロボット学会誌 Vol27、 No.8	自律全方位牽引式搬送ロボットの開発	鈴木崇文、高橋正樹、吉田和夫
2009年11月	日本ロボット学会誌 Vol28、 No.10	病院内ロボット搬送システムの開発	今井倫太、高橋正樹 森口智規、岡田卓也 湊雄一朗、中野剛、 田中昌司、下本英生 堀俊夫
2009年11月 21-22日	第52回自動制御連合講演会	自律全方位移動ロボットの並進と回転の同時制御によるロボットサイズを考慮した障害物回避	鈴木崇文、高橋正樹
2009年12月 18-22日	IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio2009)	A Mobile Robot for Transport Applications in Hospital Domain with Safe Human Detection Algorithm	Masaki Takahashi, Takafumi Suzuki, Francesco Cinquegrani, Rosario Sorbello and Enrico Pagello
2009年12月26日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2009	案内ロボットにおける自己位置を用いた発話コンテンツに関する研究	門田 圭至郎、鮫島 萌、今井 倫太
2010年 3月8日	電気学会産業計測制御研究会	高追従性と安定性を考慮した移動マニピュレータによる押し作業のための一制御法	藤本祐介、村上俊之
2010年 3月11日	情報処理学会創立50周年記念(第72回) 全国大会	文脈を考慮したロボットとの対話に関する研究	松元 崇裕、大村廉、今井 倫太
2010年 3月24日	IEEE 11th International Workshop on Advanced Motion Control	A Realization of Wheelchair Pushing Operation Considering High Tracking Performance and Ride Quality Improvement by Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and Toshiyuki Murakami

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	機能別モジュールロボットの重心 位置制御のための腰モジュールの 設計と実装	井上貴公、 新原諒子、  今村元、 小島佑太、 山崎信行
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	レーザレンジファインダと超音波 センサを用いたFastSLAM	今村元、 小島佑太、 山崎信行
2010年 6月 13-16日	ロボティクス・メカトロニクス 講演会2010	移動障害物を回避するための軌道 生成アルゴリズム	新原諒子、 井上貴公、 今村元、 小島佑太、 山崎信行
2010年 7月	Journal of Robotics and Autonomo us Systems Vol.58、 Issue 7	Developing a mobile robot for trans port applications in the hospital dom ain	Masaki Takahashi、 Taka fumi Suzuki、 Toshiki M origuchi、 Hideo Shitamo to and Kazuo Yoshida
2010年 9月 22-24日	第28回日本ロボット学会学術講演 会	自律全方位移動ロボットの回避方 向を考慮した行動制御手法の実験 的検証	松村哲哉、鈴木崇文、 高橋正樹
2010年 9月 22-24日	第28回日本ロボット学会 学術講演会	自律全方位移動ロボットの並進と 回転の同時制御によるロボットサ イズを考慮した障害物回避の実験 的検証	鈴木崇文、高橋正樹
2010年11月	The 36th Annual Conference of IE EE Industrial Electronics Society ( I ECON2010)	An Improvement Method of Compli ance Control in Pushing Operation b y Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and T oshiyuki Murakami
2010年11月	The 8th edition of France-Japan C ongress on Mechatronics (Mecatron ics2010-Yokohama)	Step Climbing Control in PushingOp eration by Mobile Manipulator	Yusuke Fujimoto and T oshiyuki Murakami
2010年12月	日本機械学会論文集C編Vol. 76、 No. 772	自律全方位移動ロボットの並進と 回転の同時制御によるロボットサ イズを考慮した障害物回避	鈴木崇文、高橋正樹

### 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

【独】産業技術総合研究所、東芝テック(株)、(株)東芝】

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。

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
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

(1) 研究発表・講演

添付資料用 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	十倉 征司 園浦 隆史	ロボティクス・メカトロニクス	2009

	経路生成—	田崎 豪 大明 準治 松日楽 信人	講演会	
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

### 3.1.1 マニピュレータを有する高機能クローラユニットの研究開発

【実施者:(財)理工学振興会、(株)ハイボット】

添付資料 1 (出願特許)

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年3月 7日	特願2008- 58607	移動車両補助アーム	東京工業大学(再委託先)
2009年3月 6日	出願番号PCT/JP2009/05 4287	移動補助アーム及び移動 装置	東京工業大学(再委託先)

添付資料 2 (学会発表、論文、展示会、プレス発表等)

### 研究発表・講演、文献、特許等の状況 (共同研究、再委託研究も含む。)

#### 研究発表・講演

- Michele Guarnieri, Inoh Takao, Paulo Debenest, Kensuke Takita, Edwardo Fukushima and Shigeo Hirose, “HELIOS IX Tracked Vehicle for Urban Search and Rescue Operations: Mechanical Design and First Tests”, IROS2008.
- 倉爪 亮, 移動ロボット群の協調動作による環境構造の高精度計測, オーガナイズドセッション「実世界共生ロボットのための環境センシング」, 第14回画像センシングシンポジウム(SSII), 2008.6
- 倉爪 亮, 戸畑 享大, 村上 剛司, 長谷川 勉, CPS-SLAMの研究-大規模建造物の高精度3次元幾何形状レーザ計測システム-, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.8, pp.1234-1242, (2007.11)
- Ryo Kurazume, Yukihiro Tobata, Yumi Iwashita, Tsutomu Hasegawa, 3D laser measurement system for large scale architectures using multiple mobile robots, The 6th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM2007), August 2007.
- Yukihiro Tobata, Ryo Kurazume, and Tsutomu Hasegawa, Study on CPS SLAM, Proc. The Third Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, CD-ROM, (2007.11).
- 倉爪 亮, 戸畑 享大, 岩下 友美, 村上 剛司, 長谷川 勉, 群移動ロボットによる広域3次元レーザ計測システムの開発, 三次元映像のフォーラム, (2008.3)
- 戸畑 享大, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉, 群ロボットによる3次元環境計測と地図生成, 第13回ロボティクスシンポジウム講演会予稿集, pp.159-165, (2008.3).
- 倉爪 亮, 戸畑 享大, 村上 剛司, 長谷川 勉, 群ロボットによるCPS-SLAMと大規模建造物の幾何モデリング, 社)精密工学会画像応用技術専門委員会講演予稿集, (2008.1)
- 戸畑 享大, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉, 群ロボットを用いた大規模3次元環境

計測システム, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, (2007. 9)

- 戸畑 享大, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉, 移動ロボット群による大規模建造物の 3 次元レーザ計測システムの開発, 画像の認識理解シンポジウム (MIRU2007), OS-A9-01, (2007. 7)
- 戸畑 享大, 倉爪 亮, 山田 弘幸, 村上 剛司, 長谷川 勉, CPS SLAM の研究 第 2 報 CPS とレーザ計測による屋内 3 次元地図の自動構築実験, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P1-G04, (2007. 5)

#### 文献

なし

その他の公表(プレス発表等)

なし



### 3.1.2 半自律高機能移動ロボット群による被災建造物内の 情報インフラ構築と情報収集システムの開発

【電気通信大学、(株)インターネット・イニシアティブ】

表 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
特願 2007-251989 「クラッチ装置」	トルク伝達効率が高く、耐久性があり、しかも小径にすることができる逆入力遮断クラッチ装置を提供する。
特願 2008-036859 「運搬用遠隔制御ロボット」	複数の荷物を複数の目的地まで運搬して降ろすのに適した運搬用遠隔制御ロボットにおいて、荷降ろし機構の構成を簡略化できるようにした。

国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平成 19 年 9 月 27 日	P2007-251989	クラッチ装置	非公開
2	平成 20 年 2 月 19 日	P2008-036859	運搬用遠隔制御ロボット	非公開

学会発表（国際会議論文も含む）

番号	著者	タイトル	学会名	年月
1	Hiroaki Fukushima, Ryosuke Saito, Fumitoshi Matsuno, Yasushi Hada, Kuniaki Kawabata, and Hajime Asama	“Model Predictive Control of an Autonomous Blimp with Input and Output Constraints”	Proc. of IEEE International Conference on Control Applications	2006 年
2	Ryo Miyauchi, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno	“Development of Image Stabilization System using Camera Posture Information”	Proc. of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics	2006 年 8 月

			(SSRR2006)	
3	Naoji Shiroma, Yusuke Fujino and Fumitoshi Matsuno	“Automatic Step Climbing by Wheeled Robot HANZO with Variable Structure Functionality using 3D Range Sensor”	Proc. of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2006)	2006年8 月
4	Amitava Chatterjee and Fumitoshi Matsuno	“Improving EKF-based solutions for SLAM problems in Mobile Robots employing”	Proc. of 3rd IEEE International Conference on Intelligent Systems	2006年9 月
5	Amitava Chatterjee and Fumitoshi Matsuno	“Bacterial foraging techniques for solving EKF-based slam problems”	Proc. of ICC2006 (International Conference Control 2006)	2006年9 月
6	Motoyasu Tanaka, Fumitoshi Matsuno	“Cooperative Control of Two Snake Robots”	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation	2006年
7	Motoyasu Tanaka, Fumitoshi Matsuno	“Cooperative Control of Three Snake Robots”	Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	2006年
8	Naoji Shiroma, Yu-huan Chiu, Zi Min, Ichiro Kawabuchi and Fumitoshi Matsuno	“Development and Control of a High Maneuverability Wheeled Robot with Variable-Structure Functionality”	Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS200 6)	2006年
9	Hiroaki Fukushima, Kazuyuki Kon, Fumitoshi	“Constrained Model Predictive Control: Applications to Multi-Vehicle Formation	Proc. of SICE-ICCAS International Joint	2006年

	Matsuno, Yasushi Hada, Kuniaki Kawabata, and Hajime Asama	and an Autonomous Blimp”	Conference	
10	Fumitoshi Matsuno, Shigeo Hirose, Iwaki Akiyama, Takao Inoh, Michele Guarnieri, Naoji Shiroma, Tetsushi Kamegawa, Kazunori Ohno, Noritaka Sato	“Introduction of Mission Unit on Information Collection by On-Rubble Mobile Platforms of Development of Rescue Robot Systems (DDT) Project in Japan”	Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006	2006年
11	Yasuyoshi Yokokohji, Takashi Tubouchi, Akichika Tanaka, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi, Fumitoshi Matsuno, Shigeo Hirose, Hiroyuki Kuwahara, Fumiaki Takemura, Takao Ino, Kensuke Takita, Naoji Shiroma,	“Guidelines for Human Interface Design of Rescue Robots”	Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006	2006年

	Tetsushi Kamegawa, Yasuhi Hada, Koichi Osuka, Taro Watasue, Tetsuya Kimura, Hiroaki Nakanishi, Yukio Horiguchi, Satoshi Tadokoro, and Kazunori Ohno			
12	城間直司, 根和幸, 松野文俊	”環境地図構築とその遠隔操 作利用”	第16回インテリ ジェント・システ ム・シンポジウム	2006年
13	Naoji Shiroma, Kazuyuki Kon and Fumitoshi Matsuno	”Environment Data Collection and Its Use for Robot Teleoperation”	Proc. of the 3rd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2006)	2006年10月
14	Keiichi Shima and Yojiro Uo	”Requirements for Quick Network Construction Mechanisms for the On-Site Rescue Activity”	Proc. of Internet Conference 2006 (IC2006)	2006年10 月
15	Kazuyuki Kon, Yuki Urano, Naoji Shiroma, Noritaka Sato, Yusuke Fujino, Hiroaki Fukushima and Fumitoshi	”Development of Robot Teleoperation System in Bad Viewing Condition”	Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2006)	2006年12月

	Matsuno			
16	Motoyasu Tanaka and Fumitoshi Matsuno	“Experimental study of Redundant Snake Robot Based on Kinematic Model”	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA’ 07)	2007 年 4 月
17	Hitoshi Miyanaka, Norihiko Wada, Tetsushi Kamegawa, Noritaka Sato, Tsukui, Shingo, Hiroki Igarashi, and Fumitoshi Matsuno	“Development of an Unit Type Robot “KOHGA2” with Stuck Avoidance Ability”	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA’ 07)	2007 年 4 月
18	Masaya Hara, Shogo Satomura, Hiroaki Fukushima, Tetsushi Kamegawa, Hiroki Igarashi, and Fumitoshi Matsuno	“Control of a Snake-Like Robot Using the Screw Drive Mechanism”	Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA’ 07)	2007 年 4 月
19	Noritaka Sato, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno	”FUMA : Platform Development and System Integration for Rescue Missions”	Proc. of IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2007)	2007 年 9 月
20	Hiroaki Fukushima,	” State-Predictive Control of an Autonomous Blimp in	Proc. of IEEE Int. Conf. on Control	2007 年 10 月

	Kazuyuki Kon, Yasushi Hada, Fumitoshi Matsuno, Kuniaki Kawabata, Hajime Asama	the Presence of Time Delay and Disturbance”	Applications	
21	Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima, Fumitoshi Matsuno	“Multi-vehicle formation control based on branch-and-bound method compatible with collision avoidance problem”	Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	2007年
22	Shinsuke Oh-hara, Yuki Urano and Fumitoshi Matsuno	” The Control of Constrained System with Time-delay and Its Experimental Evaluations Using RC Model Helicopter “	Proc. of International Conference on Control, Automation and Systems 2007	2007年10 月
23	Ryo Miyauchi, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno	Development of Omni-directional Image Stabilization System using Camera Posture Information”	Proc of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	2007年12 月
24	亀川哲志, 西改健 太, 鈴木慎二郎, 大村誠司, 堀切 剛, 佐藤徳孝, 真野隼人, 水本 尚志, 松野文俊	” 被災建物内探索用兄弟型レ スキューロボットの開発”	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 演会予稿集	2007年12 月
25	畑山満則, 松野文 俊	” 被災建造物内の情報収集シ ステムの基盤となる地理情 報システムに関する考察”	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 演会予稿集	2007年12 月
27	佐藤徳孝, 水本尚 志, 城間直司,	” 移動ロボットのナビゲーシ ョンのためのタッチペン入	第8回(社)計測自 動制御学会シス	2007年12 月

	稲見昌彦, 松野文俊	力地図インターフェイス”	テムインテグレーション部門講演会予稿集	
28	宮澤克規, 宇夫陽次朗, 藤田充典, 松野文俊	” 移動ロボットによる WLAN チャンネルの可用性評価システム”	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予稿集	2007年12月
29	宮澤克規, 根和幸, 佐藤徳孝, 伊藤誠崇, 水本尚志, 真野隼人, 大原伸介, 藤田充典, 松野文俊	” 屋外環境における複合センサ群を用いた自律移動ロボットの開発 - RWRC (Real World Robot Challenge) に向けて- “	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予稿集	2007年12月
30	Naoji Shiroma, Ryo Miyauchi and Fumitoshi Matsuno	”Mobile Robot Teleoperation through Virtual Robot”	Proc. of 17th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2008)	2008年8月
31	Noritaka Sato, Hisashi Mizumoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno	” Touch-pen interface with local environment map for mobile robot navigation”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
32	Shinsuke Oh-hara and Fumitoshi Matsuno	” Formation Control of Multiple Rescue Robots with Collision Avoidance”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
33	Tetsushi Kamegawa, Kenta Saikai, Shinjiro Suzuki, Akio Gofuku, Seiji	”Development of grouped rescue robot platforms for information collection in damaged buildings”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月

	Oomura, Tsuyoshi Horikiri and Fumitoshi Matsuno			
34	Keiichi Shima, Yojiro Uo and Sho Fujita	” Auto configuration and management mechanism for the robotics self extensible WiFi network”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
35	Michinori Hatayama and Fumitoshi Matsuno	“Temporal GIS for Information Collection System using Robot Tech. in a Damaged Building”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
36	Mitsunori Fujita and Fumitoshi Matsuno	”A Research of Reusable Components for Rescue Robots”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
37	Masataka Ito, Noritaka Sato, Maki Sugimoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno	”A Teleoperation Interface using Past Images for Outdoor Environment”	Proc. of SICE Annual Conference 2008	2008年8月
38	亀川哲志, 佐藤徳孝, 松野文俊, 藤田祥, 島慶一, 宇夫陽次朗	” 被災建物内探索用兄弟型レスキューロボットの開発ーアドホックネットワーク環境下における複数台遠隔操縦のためのソフトウェアデザインー”	中国四国支部・九州支部合同企画岡山講演会 講演予稿集	2008年
39	吉田幸平, 亀川哲志, 五福明夫	” 動的環境下における LRF を用いた移動ロボットの SLAM に関する研究”	SICE 関西支部 若手研究発表会 2008 予稿集	2008年
40	Noritaka Sato, Kazuyuki Kon, Hiroaki Fukushima, Fumitoshi	“Map-based Navigation Interface for Multiple Rescue Robots”	Proc. of IEEE International Workshop on Safety, Security, and	2008年10月



	Matsuno		Rescue Robotics (SSRR2008)	
41	佐藤徳孝, 水本尚志, 西橋哲郎, 松下史弥, 城間直司, 亀川哲志, 松野文俊	” 通信負荷と操作負荷を考慮した複数台レスキューロボットの操作インターフェイス”	第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008年
42	水本尚志, 佐藤徳孝, 畑山満則, 松野文俊	” GIS システムのための地形情報修正ソフトウェアの開発”	第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008年
43	水本尚志, 佐藤徳孝, 根和幸, 真野隼人, Ranajit Chatterjee, 松野文俊	” 複数台操作に対応したレスキューロボット操作システムの開発”	第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008年
44	真野隼人, 宮澤克規, 松野文俊	” レスキューロボット群による行動履歴地図の自動生成システム”	第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008年
45	真野隼人, 根和幸, 佐藤徳孝, 伊藤誠崇, 水本尚志, 後藤清宏, 松野文俊	” 屋内環境におけるレスキューロボットの遠隔・自律切り替えシステム”	第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008年
46	Naoji Shiroma Jun'ichi Kobayashi and Eiei Oyama	”Compact Image Stabilization System for Small-sized Humanoid”	Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)	2009年2月
47	Mano, Kazuyuki Kon, Noritaka,	”Tread Control System for Rescue Robots in Indoor	Proc. of IEEE International	2009年2月

	Sato, Masataka Ito, Hisashi Mizumoto, Kiyohiro Goto, Ranajit Chatterjee and Fumitoshi Matsuno	Environment”	Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)	
48	Hisashi Mizumoto, Noritaka Sato, Kazuyuki Kon, Hayato Mano, Hayato Shin, Ranajit Chatterjee and Fumitoshi Matsuno	“Flexible Interface for Multiple Autonomous and Teleoperated Rescue Robots”	Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)	2009年2 月
49	西橋哲郎, 松下史 弥, 村上典彦, 亀川哲志, 五福 明夫, 佐藤徳孝, 大村誠司, 宇夫 陽次朗, 松野文 俊	”複数台のレスキューロボット を遠隔操縦するためのGU Iと被災地用マルチホップ 無線ネットワーク機器を自 動配置するシステムの評価”	ロボティクスメカ トロニクス講演 会2009	2009年 (発表 予定)

論文

番号	著者	タイトル	論文誌名	掲載年月
1	田中基康, 吉川雅 人, 松野文俊	2台のヘビ型ロボットの協調制 御	日本ロボット 学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 400-407	2006年
2	佐藤博毅, 田中基 康, 松野文俊	動力学モデルに基づく蛇型ロボ ットの軌道追従制御	計測自動制御 学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp.	2006年

			651-658	
3	根和幸, 福島宏明, 松野文俊	衝突回避を考慮した複数移動体のモデル予測編隊制御	計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 8, pp. 877-883	2006年
4	里村章悟, 原正哉, 福島宏明, 亀川哲志, 五十嵐広希, 松野文俊	ねじ推進ヘビ型ロボットのモデリングと制御	日本ロボット学会誌 Vol. 25 No. 5, pp. 779-784	2007年
5	亀川哲志, 松野文俊	遠隔操作性を考慮した双頭ヘビ型レスキューロボット KOHGAの開発	日本ロボット学会誌 Vol. 25 No. 7, pp. 1074-1081	2007年
6	Amitava Chatterjee and Fumitoshi Matsuno	A Neuro-Fuzzy assisted Extended Kalman Filter based approach for Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Problems	IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 15, No. 5, pp. 984-997	2007年
7	根和幸, 福島宏明, 松野文俊	”衝突回避問題に適合した分枝限定法に基づく複数移動体の編隊制御”	計測自動制御学会誌, Vol. 44, No. 1, pp. 36-43	2008年
8	Ryo Miyauchi, Naoji Shiroma and Fumitoshi Matsuno	”Compact Image Stabilization System Using Camera Posture Information”	Journal of Field Robotics, Vol. 25, No. 4, pp. 268-283	2008年
9	田中基康, 松野文俊	平面を移動する3次元ヘビ型ロボットの協調制御	日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 6, pp. 493-501	2008年

10	Noritaka Sato, Fumitoshi Matsuno and Naoji Shiroma	"Development of a high mobility wheeled rescue robot with a 1-DOF arm"	International Journal Advanced Mechatronic Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 10-23	2008年
----	---	--	--	-------

招待講演

番号	発表者	タイトル	イベント	年月
1	松野文俊	レスキュー工学の構築	研究技術計画学会第 98 回 技術経営分科会	2006年5月
2	Fumitoshi Matsuno	Rescue Robots and Systems in Japan	The 3rd Conf. on Artificial Muscles	2006年5月
3	松野文俊	IT と RT による国際救助隊サ ンダーボードの実現に向 けて	日本建築学会, 建築・都市 に防災・減災を支える情 報システム技術	2006年9月
4	Fumitoshi Matsuno	Introduction of Robots in Japan -From Biomimetic Robots to Rescue Robots-	SICE Week in Korea	2006年10 月
5	Fumitoshi Matsuno	Development of Rescue Robot Systems: From Snake-like and Wheel Type Robots To Teleoperation Interface	Rescue Robotics Camp	2006年11 月
6	松野文俊	「 IT と RT(Robot Technology)を基盤とした 国際救助隊サンダーボ ードの実現を目指して」	日本機械学会関東支部第 17回神奈川県産官学 交流会	2006年11 月
7	松野文俊	レスキューロボットシステ ムを基盤とした国際救助 隊の構築を目指して	かわさきサイエンス&テ クノロジーフォーラム 2006	2006年11 月
8	松野文俊	「IRSの融合で築く安全安心 社会 (IRS:インターネッ	サイバーアシストコンソ ーシアムシンポジウ	2006年11 月

		ト・ロボット・シミュレーション)」	ム：「IT 社会応用～災害時の安心・安全～」	
9	松野文俊	「移動ロボットの運動制御」	計測自動制御学会 ロボットセミナー	2007年1月
10	松野文俊	「レスキューロボット・システム開発の最前線」	東海情報通信講演会「ICT時代における災害救助ロボット」	2007年2月
11	松野文俊	「ロボット研究開発最前線ーヘビ型ロボットから鉄棒ロボットまでー」	三鷹ネットワーク大学企画講座 最先端ロボット技術講座～ロボット技術が創り出す世界と可能性～	2007年3月
12	松野文俊	「ロボット研究開発最前線ーレスキューロボットを基盤とした国際救助隊の構築を目指して」	三鷹ネットワーク大学企画講座 最先端ロボット技術講座～ロボット技術が創り出す世界と可能性～	2007年3月
13	松野文俊	「ITとRTの融合による国際救助隊の構築を目指して」	「非常時のメカトロニクス」日本機械学会 IIP 部門（情報・知能・精密機器部門）人間情報知能メカトロニクス分科会	2007年5月
14	Fumitoshi Matsuno	Development of Rescue Robot Systems -- From Snake-like and Wheel type Robots To Teleoperation Interface --	Korea-China-Japan Smart Home Industry and Technical Trend, Smart Home Network Show	2007年5月
15	松野文俊	「レスキューロボット最前線」	第 59 回全国消防長総会 2007 なごやの消防・防災展	2007年6月
16	Fumitoshi Matsuno	Development of Rescue Robot Systems -- From Snake-like and Wheel type Robots To Teleoperation Interface --	2 <sup>nd</sup> Int. Symposium on Mobiligence	2007年7月

17	松野文俊	レスキューロボットの研究 開発最前線とビジネス展 開	ロボットビジネスシンポ ジウム, 次世代ロボット ビジネスの新展開	2007年7月
18	松野文俊	最先端の防災技術とレスキ ュー学		2007年8月
19	Fumitoshi Matsuno	"Rescue Robot Systems - From Snake-like Robots to Human Interface -"	SICE Annual Conference 2008	2008年8月
20	畑山満則	防災・減災における災害情報 伝達	防災情報通信講演会	2008年10 月
21	松野文俊	生物規範ロボットからレス キューロボットまで - 究 極のヒューマンサポート システムを目指して -	計測自動制御学会 インテ リジェント・システム研 究会	2008年12 月
22	松野文俊	"レスキューロボット研究 開発の現状"	第9回(社)計測自動制御 学会システムインテグ レーション部門講演会	2008年12 月
23	松野文俊	レスキューロボットシステ ム研究開発最前線	情報処理学会全国大会特 別セッション「最先端IT 技術による防災・減災の 現在と未来」	2009年3月

解説記事

番 号	タイトル	媒体	年月
1	松野文俊, 佐藤徳孝	レスキューロボットシステムの開発最前線, 映像 情報インダストリアル, Vol. 38, No. 1, pp. 53-58	2006年
2	城間直司, 稲見昌 彦, 松野文俊	シーン画像を用いた移動体の遠隔操作 -俯瞰視 点画像提示による遠隔操作性向上-, 画像ラボ, Vol. 17, No. 2, pp. 62-66	2006年
3	宮内竜, 城間直司, 松野文俊	画像の揺れを安定化 -移動体の遠隔操作性を高 める-, 画像ラボ, Vol. 17, No. 12, pp. 1-6	2006年
4	松野文俊, 田所諭	レスキューロボットシステム開発最前線とレスキ ュー隊員による想定訓練, 特集1 震災・防災 対策の最前線は今, 東京消防 2007. 1, 919号, pp. 40-45	2007年

5	松野文俊, 田所諭	レスキューロボットシステム開発最前線とレスキュー隊員による想定訓練, 特集 レスキュー用ロボットの現状と将来展望, 金属, Vol. 77, No. 5, pp. 3-8	2007年
6	松野文俊, 五十嵐広希	レスキューロボットシステム, 建築と社会, No. 11, pp. 28-29	2008年
7	伊藤誠崇, 松野文俊, 城間直司	“屋外環境におけるシーン複合画像を用いた移動体の遠隔操作 -俯瞰視点画像提示による遠隔操作性向上-”, 画像ラボ, pp. 6-10	2009年1月
8	松野文俊, 宇夫陽次朗	レスキューロボットシステムの研究開発の現状, 電気学会誌, Vol. 129, No. 4, pp. 232-236	2009年4月

プレス発表等

番号	媒体	年月
1	日本経済新聞 サイエンス欄 合体・変形ロボ登場へ	2006年4月
2	日経産業新聞 ”ロボットの撮影画像ぶれ抑制”	2006年4月
3	日経産業新聞 ”電通大へビ型ロボ ネジの様に回転 狭い配管も自在に動く” 電気通信大学 松野文俊教授ら開発	2006年5月
4	ロボコンマガジン No. 47 ”レスキューロボット開発の現在”, ロボカップ2006世界大会(ブレイメン)	2006年5月
5	日刊工業新聞 ”救助ロボ, テロ想定し訓練”	2006年6月
6	毎日新聞 朝刊 ”実現するか 日本版サンダーバード”	2006年7月
7	ロボットデモ RREE(Response Robot Evaluation Exercise) 2006 Montgomery County Fire Rescue Training Academy (FEMA Task Force 1)	2006年8月
8	ロボットデモ IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics 2006	2006年8月
9	Graph TEPCO 9月号 no.633 “防災システム最前線”	2006年9月
10	完全版 サンダーバード 全記録集 第4巻 ”日々進化する救助メカの現状に迫った! 現代に息づく救助の魂”, 集英社	2006年9月
11	日中部日本放送(CBC)イッポウ ”レスキューロボット最前線”	2006年10月
	JR 川崎駅地下街アゼリアでの総合訓練(川崎市消防局川崎消防署,	2006年11月

1 2	IRS-U との合同総合訓練)	月
1 3	61ch Cool Japan The Japan Journal: Rescue Robots(日本政府インターネットTV)	2006年12月
1 4	朝日新聞 夕刊 ”ニッポン人脈記 震度7からの伝言(2) 23歳の死 救助ロボ生む 教え子の思い 恩師が継ぐ”	2007年1月
1 5	日経産業新聞 ”未来プロジェクト動く 救助ロボット(上)”	2007年1月
1 6	朝日新聞 災害救助用のロボット続々	2007年1月
1 7	NHK 首都圏ネットワーク ”シリーズ防災「災害ロボット最前線」”	2007年1月
1 8	NHK 静岡放送局 ”たっぷり静岡”	2007年2月
1 9	テレビ静岡 スーパーニュース レスキューロボット研究現場:松野研究室	2007年2月
2 0	朝日新聞 第8回ロボカップジャパンオープン 迫力 難路をいとわず人命救助	2007年4月
2 1	NHK もっともっと関西 ロボカップジャパンオープン2007	2007年5月
2 2	NHK 神戸 ニュース神戸発「震災メッセージ」	2007年5月
2 3	第59回全国消防長会総会 (IRS-U との合同訓練)	2007年6月
2	中日新聞 高校生に夢託す 「救助ロボ開発 目指して」英語の教科書に	2007年8月



4		
2 5	ロボットデモ 全国消防救助技術大会 (IRS-U との合同訓練および展示)	2007年8月
2 6	ロボットデモ 三鷹市防災訓練(東京消防庁, 三鷹市消防との合同訓練)	2007年9月
2 7	NBC 災害で活躍するレスキューロボットたち～救助支援活動のデモも (Robot Watch)	2007年10月
2 8	日刊工業新聞 ロボット百景	2007年10月
2 9	ロボットデモ 全国消防救助救急研究会 (IRS-U と東京消防庁第3消防方面本部ハイパーレスキューとの合同訓練)	2007年10月
3 0	ロボットデモ 国際ロボット展 (IRS-U との合同訓練および展示)	2007年11月
3 1	国際ロボット展, 過去最大規模で28日開幕 (日経ブロードバンドニュース)	2007年11月
3 2	2007 国際ロボット展 記者発表会レポート～テーマは『RT が未来を拓く』～ものづくりからパーソナルまで～ (Robot Watch)	2007年11月
3 3	産経新聞 教え子の遺志 夢の救助ロボ	2007年12月
3 4	読売新聞 救助ロボの夢 教科書に	2008年1月
3 5	R25 No. 173 ランキンレビュー “災害に役立つレスキューロボットはどこまで開発されているのか?”	2008年1月
3 6	職業安定広報 Vol. 59, NO. 1, しごとインタビュー	2008年1月

3 7	ニッポン放送 「小倉淳の早起き Good Day!」 レスキューロボットの紹介	2008年1月
3 8	テレビ朝日 いいはなシーサー	2008年1月
3 9	GIS NEXT 第23号 2008.4 “災害の現場で情報収集し、情報インフラを組み立てる - 進化するレスキューロボットとGIS”	2008年4月
4 0	NHK 岡山放送局 ニュースコア6 「日本一の桃太郎」 --研究進むレスキューロボット	2008年6月
4 1	NHK おはよう日本--レスキューロボット	2008年6月
4 2	ロボットデモ SICE2008 オーガナイズドセッション(インタラクティブセッション)	2008年8月
4 3	ロボットデモ SICE Annual Conference 2008 Special Event (IRS-Uとの合同訓練)	2008年8月
4 4	日本経済新聞, ロボット連携 被災者搜索	2008年11月

### 3.1.3 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット

【国際レスキューシステム研究機構, 東北大学, (独)産業技術総合研究所,  
(独)情報通信研究機構, バンドー化学(株), (株)シンクチューブ,  
ビー・エル・オートテック(株), (株)ハイパーウェブ】

発表論文 (査読あり)

年月日	発表誌	タイトル	発表者
2007.4.11	Proc. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2752-2757	Improvement of the Odometry Accuracy of a Crawler Vehicle with Consideration of Slippage	Keiji Nagatani, Daisuke Endo, Kazuya Yoshida
2007.7.9	RoboCup International Symposium 2007	Multi-Agent Positioning Mechanism in the Dynamic Environment	Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda
2007.9.20	SICE Annual Conference 2007	Performance Analysis of the Network Model and Scenarios for the Search Robot Rescue System	Gyoda, Hada, Takizawa
2007.9.29	IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2007)	Performance Analysis of the Network Models for the Search Robot Rescue System in the Closed Spaces	Gyoda, Hada, Takizawa
2007.11.1	Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Semi-autonomous Control System of Rescue Crawler Robot Having Flippers for Getting Over Unknown-Steps	Kazunori Ohno, Shouich Morimura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2007.11.1	Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2559-2560	Semi-autonomous Control of 6-DOF Crawler Robot Having Flippers for Getting Over Unknown-Steps (Video)	Kazunori Ohno, Shouich Morimura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2007.11.1	Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2871-2876	Path Following Control for Tracked Vehicles Based on Slip-Compensating Odometry	Daisuke Endo, Yoshito Okada, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida
2008.2.1	日本機械学会論文誌(C編)74巻738号, pp.353-358	レーザー光の軌跡を用いた移動ロボットのナビゲーション	原圭吾, 前山祥一, 田中豊
2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム	二次元測域センサを用いた動的環境下における静止物体の密な三次元計測	河原豊和, 大野和則, 田所諭
2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム	実時間3次元地形計測に基づくフリッパーの引っかかり回避を含むクローラロボットのための半自律3次元未知不整地踏破	湯沢友豪, 大野和則, 田所諭, 小柳栄次, 吉田智章
2008.3.15	第13 回ロボティクスシンポジウム	不整地走行機構を有する移動ロボットの自律走行の実現	山崎 文仁, 永谷 圭司, 吉田 和哉
2008.4.1	人工知能学会論文誌 vol23, no.4	エージェント配置問題における三角形分割を利用した近似モデル	秋山英久, 野田五十樹
2008.7.1	人工知能学会誌, Vol. 23, No. 4, pp. 480-485, 2008	災害時の情報収集に資するユビキタスネットワーク技術の研究	羽田靖史, 滝澤修, 行田弘一, 柴山明寛, 鈴木剛, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一

2008.7.2	Proc. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2008), WA-3	Contact points detection for tracked mobile robots using inclination of track chain	Daisuke Inoue, Masashi Konyo, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.8.20	SICE Annual Conference 2008	Flexible Framework to Maintain Multiple and Floating Coordinate Systems	Itsuki Noda, Hiroki Shimora, Hidehisa Akiyama
2008.8.21	Proceedings of The Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference, pp.2062-2065, 2008	Development of a Door Opening System on Rescue Robot for Search UMRS-2007	S. Kobayashi, Y. Kobayashi, Y. Yamamoto, T. Watasue, Y. Ohtsubo, T. Inoue, M. Yasuda, and T. Takamori
2008.8.30	Third Asia International Symposium on Mechatronics (AISM2008), Plenary Lecture	Challenge of Rescue Robotics	Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 2097-2102, 2008.	Development of On-line Simulation System for Multi Camera based Wide Field of View Display	Naoki Midorikawa, Kazunori Ohno, Satoshi Saga, Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 2091-2096, 2008	Designing of online simulation environment for the development support of control algorithms on rough terrains vehicles	Kensuke Kurose, Satoshi Saga, Shogo Okamoto, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2667-2672	Semi-Autonomous Traversal on Uneven Terrain for a Tracked Vehicle Using Autonomous Control of Active Flippers	Keiji Nagatani, Ayato Yamasaki, Kazuya Yoshida, Tomoaki Yoshida,
2008.9.24	Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2717-2718	Improvement of the Operability of a Tracked Vehicle on Uneven Terrain Using Autonomous Control of Active Flippers	Keiji Nagatani, Ayato Yamasaki, Kazuya Yoshida, Tomoaki Yoshida
2008.10.21	Proceedings of the 2008 IEEE International Workshop on Safety,	Continuous Acquisition of Three-Dimensional Environment Information	Keiji Nagatani, Naoki Tokunaga, Yoshito Okada, Kazuya Yoshida
2008.10.22	Proc. 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2008)	Whole-Body Touch Sensors for Tracked Mobile Robots Using Force-sensitive Chain Guides	Daisuke Inoue, Kazunori Ohno, Shinsuke Nakamura, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2008.10.22	Proc. 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2008), pp. 77-82, 2008.	Validation of Simulated Robots with Realistically Modeled Dimensions and Mass in USARSim	Shogo Okamoto, Kensuke Kurose, Satoshi Saga, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2008.11.6	SIMPAR 2008	Conceptual Framework to Maintain Multiple and Floating Relationship among Coordinate Reference Systems for Robotics	Itsuki Noda, Hiroki Shimora, Hidehisa Akiyama

2008.12.25	Proc. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2008	Development of 3D laser scanner for measuring uniform and dense 3D shapes of static objects in dynamic environment	Kazunori Ohno, Toyokazu Kawahara, Satoshi Tadokoro
2009	神戸市立工業高等専門学校研究紀要, 第 47, pp.43-48	レスキューロボット用ドア開放システムについての研究	井上卓菜, 小林滋, 小林泰弘, 山本祥弘, 大坪義一, 高森年
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	Rollover Avoidance Using a Stability Margin for a Tracked Vehicle with Sub-tracks	Kazunori OHNO, Valerie CHUN, Tomotake YUZAWA, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Tomoaki YOSHIDA, Eiji KOYANAGI,
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	3-D Mapping of an Underground Mall Using a Tracked Vehicle with Four Sub-tracks	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi and Tomoaki Yoshida
2009	Proc. of 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics	Multi-Robot Exploration for Search and Rescue Missions. -A Report of Map Building in RoboCupRescue 2009-	Keiji Nagatani, Yoshito Okada, Naoki Tokunaga, Kazuya Yoshida, Seiga Kiribayashi, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	Proc. of The 7th International Conf. on Field and Service Robotics	Field Experiment on Multiple Mobile Robots conducted in an Underground Mall	Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Yasushi Hada, Kazunori Ohno, Shoichi Maeyama, Hidehisa Akiyama, and Satoshi Tadokoro
2009	Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2161-2167	Development of 3D Laser Scanner for Measuring Uniform and Dense 3D Shapes of Static Objects in Dynamic Environment	Kazunori Ohno, Toyokazu Kawahara, Satoshi Tadokoro
2009	第 14 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 540-546	フリックを有するクローラロボットのロール方向の転倒回避動作を含む不整地踏破手法の開発	湯沢友豪, 大野和則, 竹内栄二郎, 小柳栄次, 吉田智章, 田所諭
2009	Proc. the 7th International Conference on Field and Service Robots (FSR2009)	Field Experiment on Multiple Mobile Robots conducted in an Underground Mall	Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Shoichi Maeyama, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi, Yasushi Hada, Hidehisa Akiyama

2009	Proc. 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	Multi-Robot Exploration for Search and Rescue Missions - A Report of Map Building in RoboCupRescue 2009 -	Keiji Nagatani, Yoshito Okada, Naoki Tokunaga, Kazuya Yoshida, Seiga Kiribayashi, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Hidehisa Akiyama, Itsuki Noda, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	Proc. 2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	Rollover Avoidance Using a Stability Margin for a Tracked Vehicle with Sub-Tracks	Kazunori Ohno, Valerie Chun, Tomotake Yuzawa, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi
2009	2009 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2009)	3-D Mapping of an Underground Mall Using a Tracked Vehicle with Four Sub-tracks	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Tomoaki Yoshida
2009	Fourth International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster (SRMED 2009), 2009 (invited speech)	Active Scope Camera and a High Mobility UGV, Kenaf	Satoshi Tadokoro
2009	ICCAS-SICE 2009 Introductory Lecture, 2009 (invited speech)	Rescue Robotics and Its Application	Satoshi Tadokoro
2009	Cerebrating 50 Years of Robotics, 2009 (invited speech)	Rescue Robotics Challenge	Satoshi Tadokoro
2009	2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), Workshop on Robotics for Disaster Response	High-mobility Rescue Robot: Kenaf	Eiji Koyanagi, Satoshi Tadokoro
2009.3	計測自動制御学会論文集 Vol.45 No.3	画像ポインティングによる不整地移動ロボットの遠隔操縦における目標ベクトルを用いた経路誘導と到達判定法の提案	田村 祥, 前山 祥一
2009.3.17	第 14 回ロボティクスシンポジウム, 5C3, Mar.16-17, 2009	アドホックメッシュネットワークを用いた移動ロボット群の長距離遠隔操縦	羽田靖史, 海藻敬之, 松山健太郎, 行田弘一, 滝澤修
2009.5	Proc. Of ICRA2009 Workshop on Robotics for Disaster Response,	An Implemenation of GIS for Dynamic Coordinate Reference Systems,	Hidehisa Akiyama, Hiroki Shimora, Itsuki Noda

2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A2-2	Real-Time Prediction of Fall and Collision of Tracked Vehicle for Remote-Control Support	Ken SAKURADA, Shihoko SUZUKI, Kazunori OHNO, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Akihiko HATA, Naoki MIYAHARA, Kazuyuki HIGASHI
2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, D3-1	Development of a Laser Scan Method to Decrease Hidden Areas Caused by Objects Like Pole at Whole 3-D Shape Measurement	Akihiko HATA, Kazunori OHNO, Eijiro TAKEUCHI, Satoshi TADOKORO, Ken SAKURADA, Naoki MIYAHARA, Kazuyuki HIGASHI
2010	Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A3-4	Integration of a Sub-Crawlers' Autonomous Control in Quince Highly Mobile Rescue Robot	Eric Rohmer, Kazunori Ohno, Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Konayagi, Satoshi Tadokoro
2010	Proc. of IEEE/RSJ Inc. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.370-376	Development of Motion Model and Position Correction Method using Terrain Information for Tracked Vehicles with Sub-Tracks	Ken Sakurada, Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno and Satoshi Tadokoro
2010	Proc. of International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 225-230	Quince: A Collaborative Mobile Robotic Platform for Rescue Robots Research and Development	Eric Rohmer, Tomoaki Yoshida, Kazunori Ohno, Keiji Nagatani, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2010	Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2864-2870	Trials of 3-D Map Construction Using the Tele-operated Tracked Vehicle Kenaf at Disaster City	Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Tomoaki Yoshida
2010	第 15 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 264-269	ブクローラを有するクローラロボットのモーションモデルと地形情報を利用した位置修正	櫻田健, 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭
2010	Jornal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 3, pp. 293-300	Tracked-Vehicle Clutching Position Detectability of Bumps by Distributed Inclination Sensors	Daisuke Inoue, Kazunori Ohno, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro
2010	The 5th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2010)	Quince: A collaborative mobile robotic platform for rescue robotw researqch and development	Eric Rohmer, Tomoaki Yoshida, Kazunori Ohno, Keiji Nagatani, Satoshi Tadokoro, Eiji Koyanagi
2010	Proc. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 370-376	Development of motion model and position correction method using terrain information for tracked vehicles with sub-tracks	Ken Sakurada, Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro

2010	Proc. 2010 IEEE international Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2010)	Robust localization method based on free-space observation model using 3D-map	Eijiro Takeuchi, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A2-2	Real-time prediction of fall and collision of tracked vehicle for remote-control support	Ken Sakurada, Shihoko Suzuki, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Akihiko Hata, Naoki Miyahara, Kazuyuki Higashi
2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), D3-1	Development of a laser scan method to decrease hidden areas caused by objects like pole at whole 3-D shape measurement	Akihiko Hata, Kazunori Ohno, Eijiro Takeuchi, Satoshi Tadokoro, Ken Sakurada, Naoki Miyahara, Kazuyuki Higashi
2010	Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A3-4	Integration of a sub-crawlers' autonomous control in Quince highly mobile rescue robot	Eric Rohmer, Kazunori Ohno, Tomoaki Yoshida, Keiji Nagatani, Eiji Koyanagi, Satoshi Tadokoro
2010	第15回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 257-263	3次元環境地図を用いた自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定	竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭
2010	Proc. 2010 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO2010), 2010 (invited speech)	Rescue Robotics Challenge	Satoshi Tadokoro
2010	The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2010), 2010 (plenary speech)	Rescue Robotics and Its Applications	Satoshi Tadokoro
2010	TSWG Meeting	Rescue Robotics in Japan	Satoshi Tadokoro
2010	Texas A&M University Seminar	Robotics Challenge to Heterogeneous Problem of Search and Rescue	Satoshi Tadokoro
2010	Italy-Japan Business Group Meeting	Italy-Japan Cooperation in Disaster Response Robotics	Daniele Nardi, Satoshi Tadokoro
2010	Sapienza Rome University Seminar	Robotic Systems for Urban Search and Rescue	Satoshi Tadokoro



2010.04	情報処理学会論文誌, Vol.51, No.4, pp.1204-1214	災害対応探索ロボット群の長距離遠隔操縦のための有線・無線統合型アドホックネットワーク	羽田靖史, 海藻敬之, 松山健太郎, 行田弘一, 滝澤修
2010.04	情報処理学会論文誌, Vol.51, No.4, pp.1163-1174	移動ロボットによる無線センサネットワークの構築と管理および環境情報の収集	鈴木剛, 杉崎隆二, 川端邦明, 羽田靖史, 戸辺義人,
2010.01	日本設計工学会, 45-1, pp.13-19	投射配置による落下衝撃を考慮した無線センサ端末の耐衝撃機構の開発	澤井圭, 河野仁, 鈴木剛, 羽田靖史, 川端邦明
2010.08	13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR2010), pp.1113-1120,	Arrival accuracy improvement for teleoperated mobile robots on uneven ground by image pointing,	Shoichi Maeyama, Sho Tamura, Keigo Watanabe, Yoshito Okada, Keiji Nagatani, and Tomoaki Yoshida
2010.10	Proc. of ROSIN-2010,	Integrated Map Generation using Multi-robot Sensory Data in RoboCup Rescue,	Hidehisa Akiyama, Hiroki Shimora, Eijiro Takeuchi, ItsukiNoda
2010.11	Proc. of Int. Workshop on Standards and Common Platform for Robotics 2010,	Mathematical Framework for Localization Information Coordinate Reference System for Robotics	Itsuki Noda, Shuichi Nishio, Takashi Tsubouchi, Takeshi Sakamoto, Satoshi Tadokoro
2010.11	地域安全学会論文集, No. 13, pp. 265-274	US&R 訓練施設の整備と運用に関する研究—テキサス Disaster City(R)の調査を通じて—	吉村明子, 清水秀丸, 佐藤史明, 加古嘉信, 田所諭
2011	Journal of FIELD ROBOTICS, Vol. 28, Issue 2, pp. 373-387	Multirobot Exploration for Search and Rescue Missions: A Report on Map Building in RoboCupRescue 2009	K. Nagatani, Y. Okada, N. Tokunaga, S. Kiribayashi, K. Yoshida, K. Ohno et al.

成果の発表（展示・デモ，一般講演会，メディア記事）

	展示・デモ	一般講演会	メディア記事
平成18年度	0	2	0
平成19年度	8	3	6
平成20年度	20	17	26
平成21年度	14	32	52
平成22年度	11	45	64

### 3.2.1 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発

【実施者：東急建設(株)、日立建機(株)】

特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
双腕マニピュレータ 9件	従来の油圧ショベルと同等の力を持つ主腕と根本部分で旋回、スイング動作を可能とする副腕を協調作業させることで、作業対象に対して任意の位置から作業を行うことが出来る。また、対象物の荷重計測結果を反映した移送速度や材質に合わせた把持力制御が可能である。副腕の先端には、鉄筋などの切断と細かいものを掴む二つの作業を可能とするアタッチメントを取り付けている。また、装置については、意匠登録済み。
廃棄物材質判定装置 1件	画像による色差および明暗の差とエッジ抽出による形状の情報から、対象とする廃棄物の材質を判定する。非接触で可能であり、連続高速処理を可能性とする。
廃棄物選別システム 2件	これまでの選別機では不可能であった、不定形、多品種で質量の異なる解体時に発生する建設系産業廃棄物を画像処理を利用して選別することが出来る。
環境計測システム 1件	建設解体作業時に発生する騒音や振動など値を発生源である建設機械へリアルタイムで通知し設定値超過時には出力を行い、騒音、振動等を抑制することが出来る。建設現場内をネットワーク化し、現場事務所と現場、近隣住民間の情報伝達を円滑に行うことが出来る
空間情報表示装置及び支援装置 1件	遠隔操作時に不足する対象物の情報を、ステレオカメラで取得した映像から体積を推定し、重心等を表示する。空間情報に関連付けられた画像情報を操作する方式でロボット又はオペレータの支援を行うことが出来る。

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
1	2008年3月31日	特願 2008-092957	環境情報監視管理システム	東急建設(株)
2	2008年6月2日	意願 2008-13877	自走式双腕機	東急建設(株) 日立建機(株)

3	2008年6月3日	特願2008-146230	解体作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
4	2008年6月4日	特願2008-146192	把持装置及び作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
5	2008年8月4日	特願2008-200896	作業機械	東急建設(株) 日立建機(株)
6	2008年8月4日	特願2008-200890	廃棄物の材質判別方法および材質判別装置	東急建設(株)
7	2008年9月2日	特願2008-224340	空間情報表示装置及び支援装置	東急建設(株)
8	2010年7月9日	特願2010-156589	整列フィーダ	東急建設(株)
9	2009年11月20日	特願2009-264711	双腕作業のスイング機構	日立建機(株)
10	2010年3月23日	特願2010-066422	双腕作業機	日立建機(株)
11	2010年6月16日	特願2010-132751	双腕作業のスイング制御	日立建機(株)
12	2010年7月9日	特願2010-152180	双腕作業機の作業範囲制限制御	日立建機(株)
13	2010年7月2日	意願2010-018187	自走式双腕機	日立建機(株)
14	2010年11月29日	特願2010-265158	廃棄物選別システム	東急建設(株)

学会発表

番号	発表者	タイトル	発表媒体	発表年月
1	次世代マニピュレータによる廃棄物分離 ・選別システムの開発—その1 開発の計画、目標—	後久卓哉、他5名	東急建設株式会社技術研究所報No. 32	2007. 2
2	次世代マニピュレータによる廃棄物分離 ・選別システムの開発	後久卓哉、他9名	ロボット学会学術講演会	2007. 9
3	次世代マニピュレータによる廃棄物分離 ・選別システム—開発	後久卓哉、他3名	東急建設株式会社環境発表会	2007. 11

	の計画と目標一			
4	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発ーその2 建築物躯体解体における作業分析	後久卓哉、他1名	東急建設株式会社技術研究所報No. 33	2008. 2
5	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究(その1)ー近赤外線分光法による廃棄物材質判定ー	中村 聡、他1名	東急建設株式会社技術研究所報No. 33	2008. 2
6	解体現場における廃棄物分離・選別システムの開発	柳原好孝、他9名	建築施工ロボットシンポジウム	2008. 3
7	建設現場における作業環境計測IRTシステムの開発	後久卓哉、他5名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	2008. 6
8	解体・スクラップ処理に適した双腕型作業機械の提案	石橋英人、他3名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	2008. 6
9	建物解体現場における廃棄物選別システムの開発	中村 聡、他4名	日本ロボット学会学術講演会	2008. 9
10	建設現場における作業環境認識技術の開発	上野隆雄、他4名	日本ロボット学会学術講演会	2008. 9
11	建物解体現場における作業対象物情報取得技術の開発	遠藤 健、他4名	日本ロボット学会学術講演会	2008. 9
12	解体・スクラップ処理に適した双腕型作業機械の開発	後久卓哉、他5名	日本ロボット学会学術講演会	2008. 9
13	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発 第2報 統合化シス	柳原好孝、他8名	日本ロボット学会学術講演会	2008. 9

	テム構成要素技術の 確立			
14	無線による建設環境 モニタリングシステ ム	加藤晃敏、他4名	東急建設(株)第9回 環境発表会	2008.11
15	次世代マニピュレー タによる廃棄物分離 ・選別システムの開発	後久卓哉、他8名	計測自動制御学会 システムインテグ レーション部門講 演会	2008.12
16	建設系産業廃棄物選 別の要素技術研究(そ の2) -L*a*b*表色 系を使用した廃棄物 材質判定-	中村 聡、他1名	東急建設株式会社技 術研究所報 No. 34	2009.3
17	次世代マニピュレータ による廃棄物分離・選別 システムの開発-その 3 中間成果概要-	後久卓哉、他4名	東急建設株式会社技 術研究所報 No. 34	2009.3
18	次世代型建設作業用マ ニピュレータによる建 設系産業廃棄物処理RT システムの開発	柳原好孝、後久卓哉 他6名	日本ロボット学会誌 Vol. 27 No. 8	2009
19	次世代マニピュレータ による廃棄物分離と選 別システムの開発-中 間報告-	後久卓哉,中村聡他7名	日本機械学会ロボテ ィクス・メカトロニ クス講演会	2009.5
20	次世代マニピュレータ による廃棄物分離選別 システムの開発	柳原好孝、後久卓哉 他2名	日本ロボット学会誌 Vol. 27 No. 10	2009
21	無線技術を用いた騒音 ・振動・粉塵のモニタリ ングシステム	加藤晃敏,羽染武則他2 名	日本建築学会大会	2009.8
22	建物解体工事の現状と 環境負荷低減につな がるRT施工技術の提案	柳原好孝	建設ロボットフォー ラム2009	2009.9

23	解体・スクラップ処理に適した双腕型作業機械の開発(その2) - 現場試験導入 -	後久卓哉,柳原好孝他4名	日本ロボット学会学術講演会	2009. 9
24	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム(その2)中間成果報告	後久卓哉,遠藤健他4名	東急建設環境発表会	2009. 11
25	Development of the Construction Waste Management System with the use of Next-Generation Manipulator	Takao Ueno, Yoshitaka Yanagihara, et al.	ARSO2009	2009. 11
26	現場作業環境計測システムの開発	後久卓哉, 加藤晃敏他1名	建築の自動化技術シンポジウム	2010. 2
27	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究(その3) - デジタル画像による廃棄物材質判定 -	中村聡, 後久卓哉	東急建設株式会社技術研究所報No.35	2010. 3
28	ステレオカメラによる対象物の情報構築の一考察 - 建設産業廃棄物を対象とした形状推定による物体情報の認識 -	遠藤健, 後久卓哉	東急建設株式会社技術研究所報No.35	2010. 3
29	作業分析に基づく双腕作業機の改良点抽出	富田邦嗣,石橋英人他3名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会ロボメック2010	2010. 6
30	建設系産業廃棄物処理システム(建物解体作業のRT化を目指して)	後久卓哉, 柳原好孝	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会ロボメック2010(市民参加企画)	2010. 6
31	建設副産物処理RTシステムの開発	後久卓哉,遠藤健他6名	第12回建設ロボットシンポジウム	2010. 9

32	解体スクラップ処理に適した双腕型作業機械の開発	小俣貴之,石橋英人他 4名	第12回建設ロボット シンポジウム	2010. 9
33	建設系産業廃棄物処理システムの開発 - 建物解体現場でRT (ロボット技術)により廃棄物を自動選別 -	上野隆雄,中村聡他 3 名	東急建設環境発表会	2010. 12
34	画像処理による建設系産業廃棄物選別システム	中村聡,上野隆雄他 1 名	計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2010. 12
35	ステレオ瓦礫画像のお手軽立体セグメンテーション	井上大輔,遠藤健他 1 名	計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2010. 12
36	建設環境のビジュアルモニタリング	後久卓哉	第29 回環境振動シンポジウム (日本建築学会)	2011. 1
37	遠隔操作型ハンドリング建設ロボットの対象物認識技術	遠藤健	第7 回「建築生産の自動化における可視化技術の応用」(日本建築学会)	2011. 2
38	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究(その4) -画像処理による建設系産業廃棄物選別システム-	中村聡, 後久卓哉	東急建設株式会社技術研究所報No.36	2011. 3
39	建設系産業廃棄物選別システムの開発-解体廃棄物を自動選別し分別率を向上-	上野 隆雄,中村聡他 2 名	東急建設株式会社技術研究所報No.36	2011. 3

プレス発表

番号	タイトル	掲載紙	発表年月
1	無線通信による建設環境モニタリングシステム「環境ビジュアライザ」を開発	日経産業新聞、建設通信新聞、建設工業新聞他	2008. 05. 22

2	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムを開発	建設通信新聞, 建設工業新聞, 建設産業新聞, 日刊工業新聞, 産業機械新報, 建設技術新聞, 日経産業新聞, 建築技術 (雑誌) 2009年1月号 P56, 積算資料 (雑誌) 2009年2月号前文 P20 ロボット Watch (Web サイト) ロボナブル (Web サイト)	2008. 11. 18
3	双腕型解体機を開発	日刊工業新聞	2009. 4. 14
4	次世代マニピュレータを使った廃棄物分離システム	メトロガイド	2009. 11
5	双腕マニピュレータを開発	橋梁新聞	2010. 2. 11
6	建設環境モニタリングシステム「環境ビジュアライザ」の定常的運用体制を確立しました—騒音・振動等の抑制と管理の効率化を推進—	建設産業新聞, 建設通信新聞, 建設工業新聞	2010. 7. 29
7	建物解現場から発生する廃棄物の分別排出率向上を実現する「廃棄物選別システム」を開発しました	建設産業新聞, 建設通信新聞, 建設工業新聞, 北海道建設新聞	2010. 12. 9
8	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム最終成果	建設通信新聞, 建設工業新聞, 建設産業新聞, ロボナブル (Web サイト) 他 WEB サイト	2011. 3. 7



### 3.2.2 廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発

【名城大学、(独)産業技術総合研究所、大阪大学、清水建設(株)】

#### 添付資料 1 (出願特許)

表 1 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
ねじ取り工具 1件	高速除去、自動検出倣い
天井解体工法 1件	高速、ウォータージェットの活用、埋設物センサーとロボット走査方式との組み合わせ。
下地センサおよび下地検出機構ならびに内装工事用ロボット 1件	長距離非接触・高速検出。高速習い、頑強性の確保。簡便機構で安価。

#### 添付資料 2 国内出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平成 20 年 12 月 3 日	特願 2008-308664	「ねじ取り工具」	神徳 徹雄 (前田 純一郎)
2	平成 21 年 2 月 27 日	特願 2009-046548	「天井解体工法」	大道 武生 新井 健生、 前 泰志 神徳 徹雄 谷川 民生 前田 純一郎
3	平成 21 年 2 月 27 日	特願 2009-046551	「下地センサおよび下地検出機構ならびに内装工事用ロボット」	大道 武生 新井 健生 前 泰志 神徳 徹雄 谷川 民生 前田 純一郎

添付資料3 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006.12	計測自動制御学会部門講演会 SI2007	空間機能化のための分散型アクチュエーションモジュール	友國 伸保 谷川 民生（産総研） 金 奉根 大場 光太郎 平井 成興
2006.12	SICE / RSJ / JSME 合同ミニシンポジウム	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発	大道 武生（名城大） 新井 健生（大阪大） 神徳 徹雄（産総研） 前田 純一郎（清水建設）
2007.04	日本機械学会	Development of Network Plug-in Actuator	井土 卓也（名城大） 堀田 宗利（名城大） 大道 武生（名城大） 関 重夫（多摩川精機） 小山 順二（ハーモニック・ドライブ・システムズ）
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発	大道 武生（名城大） 新井 健生（大阪大） 井上 健司（山形大） 神徳 徹雄（産総研） 谷川 民生（産総研） 前田 純一郎（清水建設）
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	ICN を用いた水圧システムの機能評価	福森 聡哲（名城大） 小阪 正朋（名城大） 鬼頭 順也（名城大） 大道 武生（名城大）
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	液圧システムの効率評価	鬼頭 順也（名城大） 小阪 正朋（名城大） 福森 聡哲（名城大） 大道 武生（名城大）

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	人・ロボット協調解 体システム (第1報 基本構想)	新井健生 (大阪大) Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 井上健司 (山形大)
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	Dismantling System by Human Robot Collaboration - 2nd Report Preliminary Experiment	Rolando CRUZ(大阪大) 新井健生 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 井上健司 (大阪大) 石塚裕介 (大阪大)
2007.8	計測自動制御学 会論文集	モジュール型高信 頼性移動ロボットの システムアーキテク チャ開発と応用	大道 武生 (名城大) 永井 建 (名城大) 森 和弘 (名城大) 足立 佳儀 (名城大) 手嶋 高梓 (名城大)
2007.09	第25回日本ロボ ット学会学術講演 会	Dismantling System by Human Robot Collaboration -3rd Report Ceiling Lamp Frame Disassembling Task-	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 新井健生 (大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大)
2007.09	第25回日本ロボ ット学会学術講演 会	遠隔教示用入力デ バイスのユーザビリ ティ評価	石塚裕介 (大阪大) Rolando CRUZ(大阪大) 新井健生 (大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大)

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.12	計測自動制御学会部門講演会 SI2007	資材情報化による 建築内装材の解体シ ステム（ニーズの整理 とシステム構想の提 案）	前田純一郎（清水建設）
2007.12	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	Dismantling System by Human Robot Collaboration Pose Measurement of Light Gauge Steel	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介（大阪大） 前泰志（大阪大） 田窪朋仁（大阪大） 新井健生（大阪大）
2007.12	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	IDタグを活用した 解体作業支援	神徳徹雄（産総研） 谷川民生（産総研） 金奉根（産総研） 大場光太郎（産総研）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	4軸水圧アームの 設計	坂井 裕（名城大学） 田部井 聡（名城大学） 鈴木 浩章（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	水圧ロボットのサ ーボ系設	小阪 正朋（名城大学） 坂井 裕（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	水圧システムの効 率評価	鬼頭 順也（名城大学） 稲山 智一（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	空間機能化のため の二車輪型のアクテ ィブ・キャストの運動 モデル	李 在勲 金 奉根 谷川 民生 大場 光太郎
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	分散アクチュエー タの運用環境とアク ティブ・キャストの実 装	富沢 哲雄 高木和貴（芝浦工業大学） 谷川 民生 大場 光太郎 水川 眞

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.03	第17回建設施工ロボットシンポジウム	廃材分別を考慮した環境保全型解体作業ロボットの研究開発	大道武生 (名城大学) 新井健生 (大阪大学) 神徳徹雄 (産総研) 谷川民生 (産総研) 前田純一郎 (清水建設)
2008.05	2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation	Dismantling Interior Facilities in Buildings by Human Robot Collaboration	Rolando CRUZ(大阪大) 前泰志 (大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.6	日本機械学会 ROBOMECH 2008	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発 (その2)	前田 純一郎 大道 武生 新井 健生 神徳 徹雄 (産総研) 谷川 民生
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	直動型サーボ弁の開発	稲山 智一 (名城大) 秋田 知英 (名城大) 小阪 正朋 (名城大) 鬼頭 順也 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	水圧マニピュレータの制御手法の研究	鈴木 浩章 (名城大) 田部井 聡 (名城大) 坂井 裕 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	ウォータージェットによる天井ボード高速解体手法の開発	脇田 昌明 (名城大) 名和 徹夫 (名城大) 浅田 輝彦 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	Detection of Screws on Metal Ceiling Structures for Dismantling Interior of Building	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	ID-tag based information system for a building demolition robot	Biggs Mark Geoffrey 谷川 民生 神徳 徹雄
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	空間分散アクチュ エーションモジュー ルの開発	高木和貴 (芝浦工大) 富沢哲雄 谷川民生 大場光太郎 水川真 (芝浦工大) 安藤吉伸 (芝浦工大)
2008.06	25 <sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction	Detection of Screws on Metal Ceiling Structures for Dismantling Systems	Rolando CRUZ(大阪大) 前泰志 (大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.09	2008 International Symposium on Flexible Automation	Usability of Interface Devices for Human Robot Collaboration	石塚裕介 (大阪大) Rolando CRUZ(大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.09	第26回日本ロボ ット学会学術講演 会	Changing Illuminant Pose for Model-based Object Recognition in Interior Dismantling Tasks	S. Rolando Cruz-Ramirez Yasushi Mae Tatsuo Arai Tomohito Takubo Kenichi Ohara
2008.09	第26回日本ロボ ット学会学術講演 会	動的物体地図の容 易な生成法	石塚 裕介 前 泰志 大原 賢一 田窪 朋仁 新井 健生

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.09	The 2008 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems	Detection of Screws on Metal-Ceiling Structures for Dismantling Tasks in Buildings	S. Rolando Cruz-Ramirez Yasushi Mae Tomohito Takubo Tatsuo Arai
2008.12	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	Human-Robot Collaboration for Removing Interior Appliances in Office Renewal	CRUZ-RAMIREZ S. Rolando MAE Yasushi ARAI Tatsuo TAKUBO Tomohito OHARA Kenichi
2008.12	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後援会 (SI2008)	環境情報化によるリニューアル天井解体作業システムの開発	前田 純一郎 (清水建設) 大道 武生 (名城大学) 新井 健生 (大阪大学) 神徳 徹雄 (産総研) 谷川 民生 (産総研)
2008.12	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後援会 (SI2008)	ウォータージェットによる天井ボード高速解体手法の開発その2	脇田 昌明 (名城大学) 名和 徹夫 (名城大学) 芦澤 怜史 (名城大学) 稲葉 一哉 (名城大学) 黒宮 裕介 (名城大学) 渡辺 聖也 (名城大学) 大道 武生 (名城大学)
2008.12	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後援会 (SI2008)	直動型水圧サーボ弁の開発その2	稲山 智一 (名城大学) 渡辺 聖也 (名城大学) 黒宮 裕介 (名城大学) 大道 武生 (名城大学) 脇田 昌明 (名城大学)
2008.12	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後援会 (SI2008)	環境情報化によるリニューアル天井解体作業システムの開発	前田純一郎 (清水建設) 大道武生 (名城大学) 新井健生 (大阪大学) 神徳 徹雄 谷川 民生

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008. 12	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後援会 (SI2008)	IDタグを用いた解体作業支援システム,	神徳 徹雄 谷川 民生 Biggs Mark Geoffrey 金 奉根 大場 光太郎
2008. 12	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後援会 (SI2008)	動的物体地図を用いた教提示インタフェース	石塚裕介 前泰志 大原賢一 田窪朋仁 新井健生
2009. 02	The 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	Simple Method for Generating Dynamic Object Map	Yuusuke Ishizuka Yasushi Mae Kenichi Ohara Tomohito Takubo Tatsuo Arai
2009/05/25 (発表予定)	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	Ceiling beam screw removal using a robotic manipulator	Geoffrey Biggs Tamio Tanikawa Tetsuo Kotoku



## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

## ロボット・新機械イノベーションプログラム

「戦略的先端ロボット  
要素技術開発プロジェクト」  
事後評価分科会資料

## ープロジェクト概要説明ー

平成23年10月28日

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術開発推進部

## 目次

I. 事業の位置付け・必要性について	}	NEDO
II. 研究開発マネジメントについて		
III. 研究開発成果および 実用化事業化について（全体）	}	PL
研究開発成果および 実用化事業化について（個別成果）		
	}	実施者

# I. 事業の位置付け ・ 必要性について

3/71

I. 事業の位置付け・必要性について (1) NEDOの事業としての妥当性

公開

## ○背景と目的

### 背景

高齢化、女性の社会進出、労働力不足等、大きな社会情勢変化の中、ロボットへの期待、利用ニーズが高まってきている。

### 市場ニーズ：

団塊の世代が一斉退出する製造業、サービス業、建設業等における労働力や家事労働をロボットに代替

上記の市場ニーズを実現するために

- ・ センシング技術や高速駆動技術等の更なる高度な技術開発
- ・ 次世代ロボットに必要かつ共通的な機能を実現するための要素技術開発

## ○背景と目的

目的 将来の市場ニーズ、社会ニーズから導かれる「**ミッション**」をロボットシステム及び要素技術で達成し、ニーズを満たす。



ミッションとは…

**達成すべき作業内容。テーマごとに設定。**

ミッション達成が目的だが、プロジェクトが目指す「真の意義・期待される効果」は開発されたロボットシステムで**市場ニーズ、社会ニーズを満たす**こと。



**様々な分野における実現場への導入**

## ○背景と目的

設定したミッションは

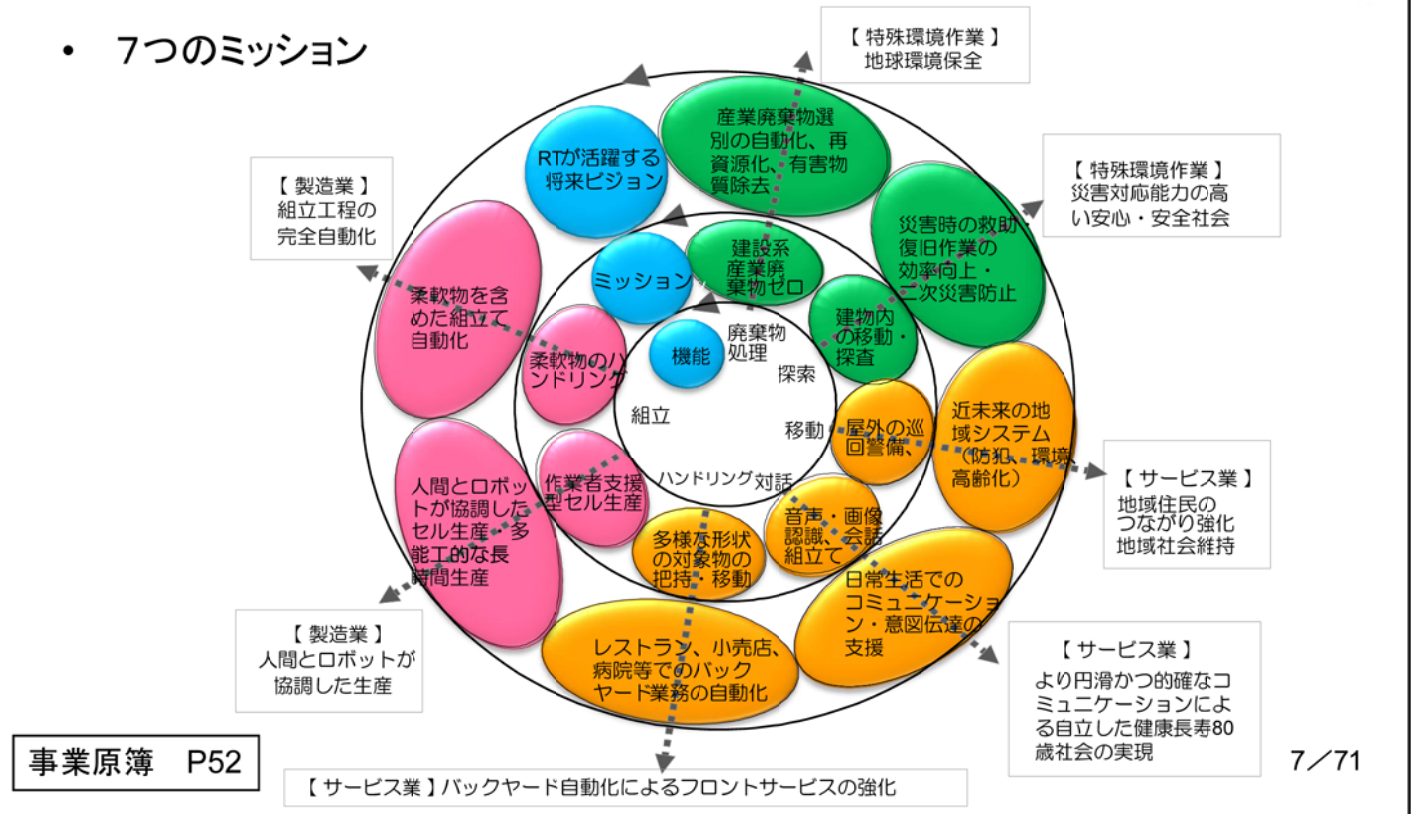
**ロボット政策研究会（2006年経済産業省）  
ロボット技術戦略マップ**

にて幅広いユーザーアンケート及び有識者による検討から設定。

## ○背景と目的

- 2015年頃に想定される市場ニーズ及び社会ニーズから導かれる7つのミッションを達成するために必要なロボットシステム及び要素技術を開発

- 7つのミッション



## ○背景と目的

## 3分野に設定したミッション7つのテーマ

## I. 次世代産業用ロボット分野

- ①柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム
- ②人間・ロボット協調型セル生産組立システム

## II. サービスロボット分野

- ①片付け作業用マニピュレーションRTシステム
- ②高齢者対応コミュニケーションRTシステム
- ③ロボット搬送システム

## III. 特殊環境用ロボット分野

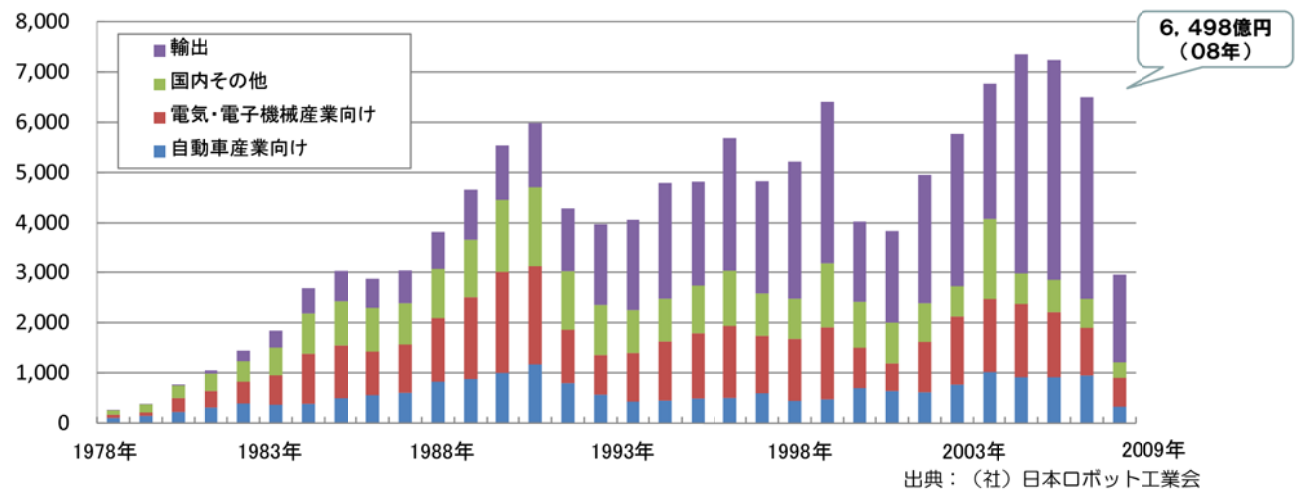
- ①被災建造物内移動RTシステム
- ②建設系産業廃棄物処理RTシステム

## 〇ロボット産業の現状

- ・ 全世界における稼働台数は年々増加
- ・ 日本の2008年のロボット出荷額は約6,498億円
- ・ そのほとんどが産業用ロボット(塗装・溶接・電子部品実装等)
- ・ 国内の産業用ロボットの稼働台数は全世界の34%に相当(2008年)

出荷額(億円)

ロボット出荷額の推移



## 〇ロボット産業の現状

### 産業ロボット以外の市場が未形成

先行指標が存在しないため、民間企業の経営判断が困難

⇒市場原理による実用化・産業化の発展は期待薄



NEDOが研究開発対象分野を設定することにより  
効率的な研究開発を推進

## ○ロボット市場の拡大

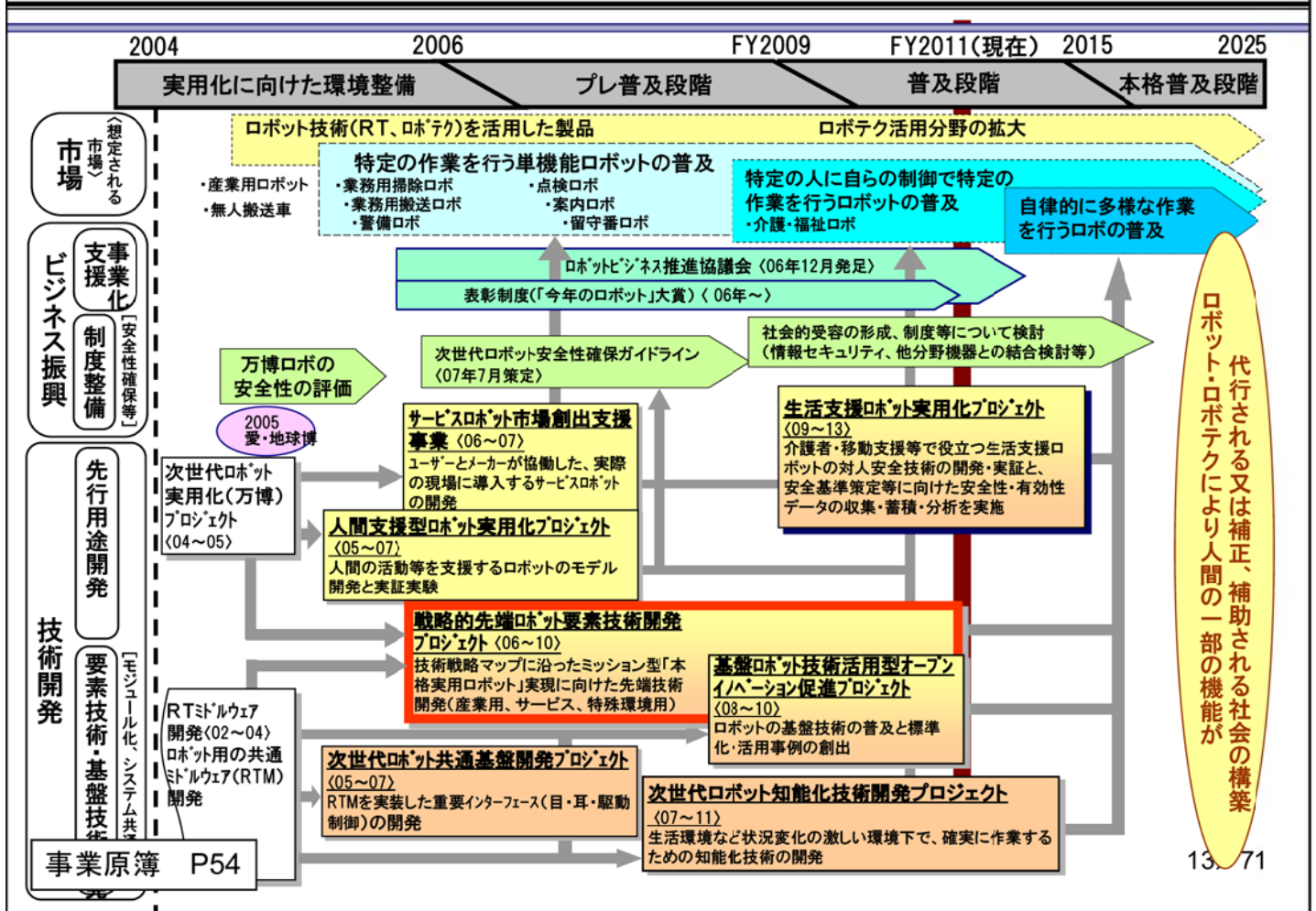
対象分野 次世代産業用ロボット分野  
サービスロボット分野  
特殊環境用ロボット分野



ロボットの適用範囲の拡大により  
新規市場、新産業の創出

## ○国のプログラム、施策との関係

- 「平成16年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針」(平成15年度6月総合科学技術会議)において、ロボット技術は、重点4分野の情報通信の中で人間と共存するロボットとして**強化すべき研究開発課題**として位置付けられた。
- 「新産業創造戦略」(平成16年5月、経済産業省)の中で、ロボットが**目指すべき7つの産業分野の1つ**として位置付けられている。
- 「21世紀ロボットチャレンジプログラム(平成20年4月からは「ロボット・新機械イノベーションプログラム」として継続)」では、**家庭、医療・福祉**や災害救助などの分野にロボットの適用範囲を広げ、新規市場・新産業創出とともに、**2015年頃に自律的に多様な作業を行うロボットの実用化**を目指している。



○費用対効果

H18～22年度における事業費用：**39.5億円**

H18年度7テーマ（3分野）で18グループが参加  
中間評価時までには18のプロトタイプシステムを開発

- ・ステージゲートにより後半2年は7グループへ絞り込み、選択と集中を実施。
- ・基本計画の最終目標の中で**プロジェクト終了後の事業化年度を明記。**

**製品として世に出すことを強くイメージ**



## ○費用対効果

## ステージゲート通過者の事業費用(テーマ別)

分野	テーマ	予算
次世代産業用ロボット	柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム	約2.6億
	人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステム	約2.5億
サービスロボット	片付け作業用マニピュレーションRTシステム	約2.1億
	高齢者対応コミュニケーションRTシステム	約1.3億
	搬送ロボットシステム	約2.5億
特殊環境用ロボット	被災建造物内移動RTシステム	約5.5億
	建設系産業廃棄物処理RTシステム	約3.3億

## II. 研究開発 マネジメントについて

## ○研究開発の内容

3分野に設定したミッション7つのテーマ  
＝研究開発項目

### I. 次世代産業用ロボット分野

- ①柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム
- ②人間・ロボット協調型セル生産組立システム

### II. サービスロボット分野

- ①片付け作業用マニピュレーションRTシステム
- ②高齢者対応コミュニケーションRTシステム
- ③ロボット搬送システム

### III. 特殊環境用ロボット分野

- ①被災建造物内移動RTシステム
- ②建設系産業廃棄物処理RTシステム

## ○背景と目的

### ミッション指向型プロジェクトについて

製品として世に出すことを強くイメージしたPJのため

事業性、現場に導入されるための工夫なども  
重要な開発項目となる



「個別の技術の新規性を目指した研究」よりも、「既存の技術でも実用性、現場への適合性のために行われた技術開発」が重要

## ○プロジェクト予算とスケジュール

### 事業費と研究開発期間

研究開発期間：5年間（平成18年度～平成22年度）

予算実績：平成18年度 10.5億円、平成19年度 9.4億円、平成20年度 7.6億円

平成21年度予算：7.2億円、平成22年度予算：4.7億円

FY2006	FY2007	FY2008	FY2009	FY2010
ステージⅠ（要素技術開発）			ステージⅡ（実用化開発）	
3分野7テーマ：18グループ			3分野7テーマ：7グループ (1テーマ/1グループ)	

ステージゲート評価

### ■ ステージゲート評価の採用

- ・研究開発に競争原理を取り入れることにより開発を促進。
- ・予算等資源の「選択と集中」により成果最大化を目指す。

### ■ ステージゲート評価基準

- ・3年度目（平成20年度）の第3四半期に実施し、技術成果、実証（デモ）、事業化シナリオなどの評価軸により決定
- ・優れたテーマはさらに2年間開発を継続

事業原簿 P62,65

19/71

## ○ステージゲートについて

「プロトタイプロボット開発」ではなく「役に立つロボット開発」を目指し、ミッション指向の研究開発を実施。

ロボット政策研究会（H16FY 経済産業省設置）の提言を踏まえ米国DARPA（国防総省高等研究計画局）方式のミッション設定競争的プロジェクト（※）を提案。

（※）従来の「要素技術開発の後にシステム統合してロボット開発」ではなく、「課題解決のためのミッションを設定し競争的にロボット開発」とするもの。

### 米国におけるミッション設定競争的プロジェクト例

- ✓アメリカ航空宇宙局NASA、国防総省高等研究計画局DARPA
- ✓研究開発において実ミッションの遂行に繋がる具体的かつ野心的な開発スペックを明示し、複数の開発者により競争的に開発を実施
- ✓当該プロジェクトが参考としたのは “DARPA Grand Challenge Program”

事業原簿 P65

20/71

## ○ステージゲートについて

事務局（(財)製造科学技術センター）が組織する外部有識者による評価委員会  
⇒ 技術・安全・事業の有識者およびユーザを評価委員として選定

### ステージゲート評価における3つの柱

#### ①成果報告書（事業化計画含む）

⇒3年間の成果まとめと事業化計画についての報告書。

#### ②現地実査

⇒開発したプロトタイプロボットシステムのデモンストレーション。

#### ③プレゼンテーション

⇒最終説明。これまでのまとめ。

## ○ステージゲートについて

### ○ステージゲート成果報告書

<評価項目>

- ・ステージゲート時点における達成状況  
基本計画との整合性、計画の進捗状況、実証システムの完成度
- ・技術的評価  
統合システムの機能や要素技術の優位性、新規性  
安全性、有用性、汎用性、再現性、ロバスト性 など

### ○事業計画書

<評価項目>

- ・事業的（実用化）評価について  
顧客の想定、事業化（実用化）計画の妥当性  
事業化体制の構築  
競争優位性  
市場の拡大、創出 など

# 〇ステージゲートについて

事業計画書（書式一部抜粋）

収支計画策定に関する根拠	
① 想定顧客・市場	・介護市場やホームユースなどという一般的表現ではなく、きちんとセグメンテーションすること。
② 潜在的なニーズ	・具体的な「真のユーザ（投資決定権を持つ人）」を想定し、かつヒアリングして記入すること。または、実証実験などを通じて得られた潜在ニーズやウオントを記載すること。 ・顧客サイドのベネフィットを定量的に記入する。（想定する顧客の現在の作業タスクやビジネスプロセスに対し、どの程度コストダウン効果や利益の拡大効果があるか、などを生産性の向上やビジネス形態そのものを変えてしまうなど、定量比較することにより根拠を示す）
③ 市場規模と根拠	・上記①、②をもとにターゲットとする想定市場（潜在市場）とその根拠を記載する。 ・RTシステムを投入する既存市場の規模、動向（傾向）とRTシステムを投入することによる市場規模の拡大などの対比を定量的に記入する。
④ 競争状況	・想定する顧客や市場における競争相手、競争技術の分析（ロボットシステムだけではなく、人手によるサービスや他の手段も含める。また、サプライヤーや顧客に対する交渉力も含む）
⑤ 製品・サービスの提供体制	・製品やサービスの提供を行うとして、研究開発から製造、サービス提供者および運用・保守（メンテナンス、サポート等）などその全体の体制とビジネス主体、チャネルの関係を記載する。
⑥ 価格、コスト	・提供される製品／サービスに顧客が支払う価格（レンタルやリースの場合も含め）とその妥当性、それに対応する製品／サービスのコストを記載する。 ・コストに関しては、イニシャルコストだけではなく、設備工事や保守費用なども含めたランニングコストについても記載する。
⑦ コスト構造分析、損益分岐分析	・上記⑥に関連し、コスト構造を分析し、売り上げに対する損益分岐分析を記載する。
⑧ 売上、利益計画	・上記⑥、⑦をベースに売上計画と利益計画を立て収益計画を記入するので、その年度ごとの大まかな根拠を記載する。
⑨ 想定リスク	・事業を行うにあたって、想定されるリスクを記載する。

# 〇ステージゲート現地実査について

実施期間：H20 10/22～12/3（延べ14日間）

実施場所：18箇所（18グループ）

参加者：PL, SPL, 評価委員等（延べ約280人）

3分野7テーマ：7グループ  
（1テーマ/1グループ）  
に絞り込み



理工振Gr、国際イシューGr(特殊環境分野)に於いては、夜間の渋谷駅、三宮駅地下街といった公共空間で実証フィールドワークを実施

## ○ステージゲート現地実査について

プロトタイプシステムは実験室の一角ではなく  
**可能な限り実環境に近い**ところでデモを実施。

被災建造物内移動RTシステムでは

**渋谷駅(東京)、三宮地下街(神戸)**等にて実証デモ  
を深夜に実施。

単なる技術開発ではなく、  
**実社会で「使えるRTシステム」**を目指す

## ○実施体制

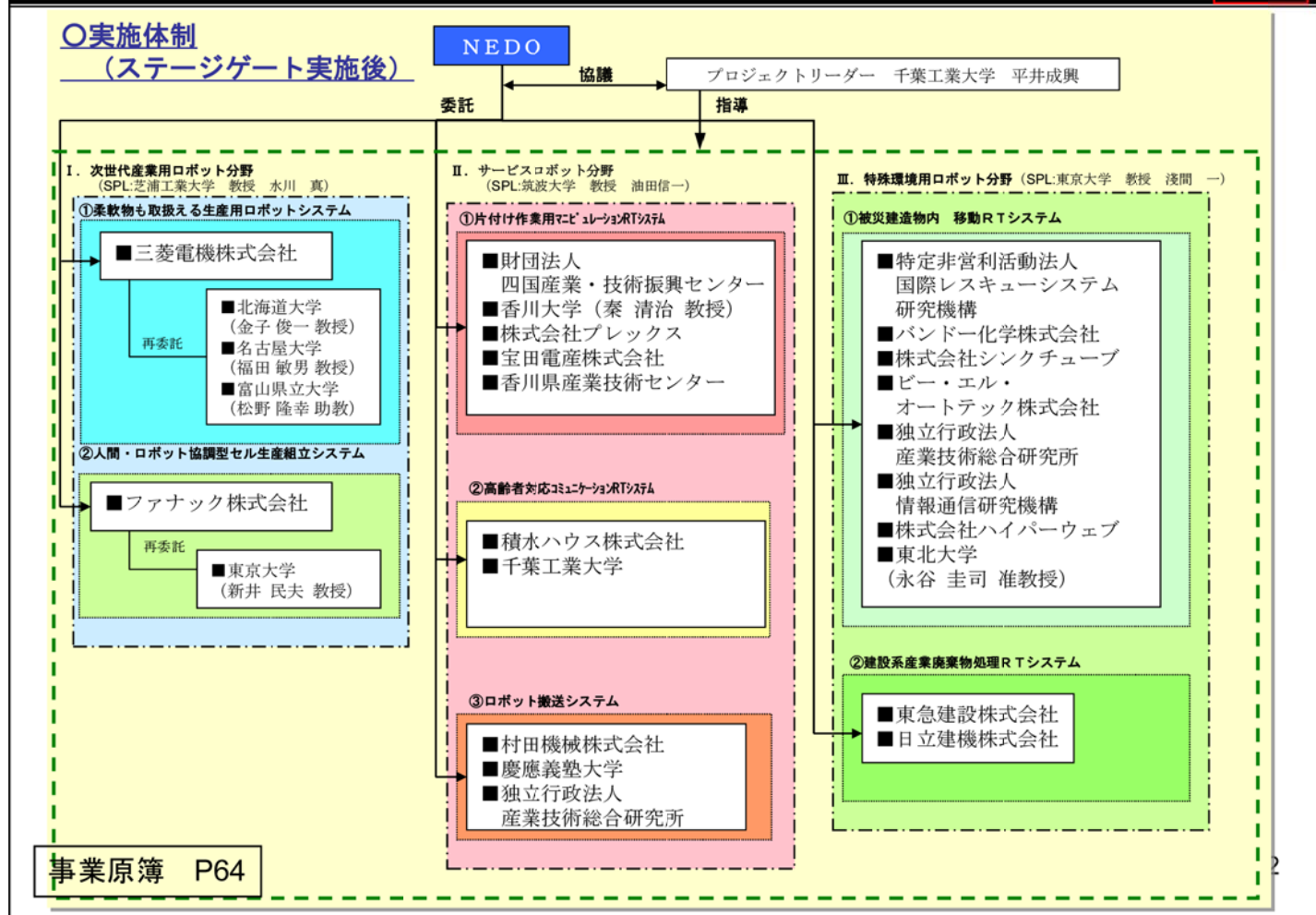
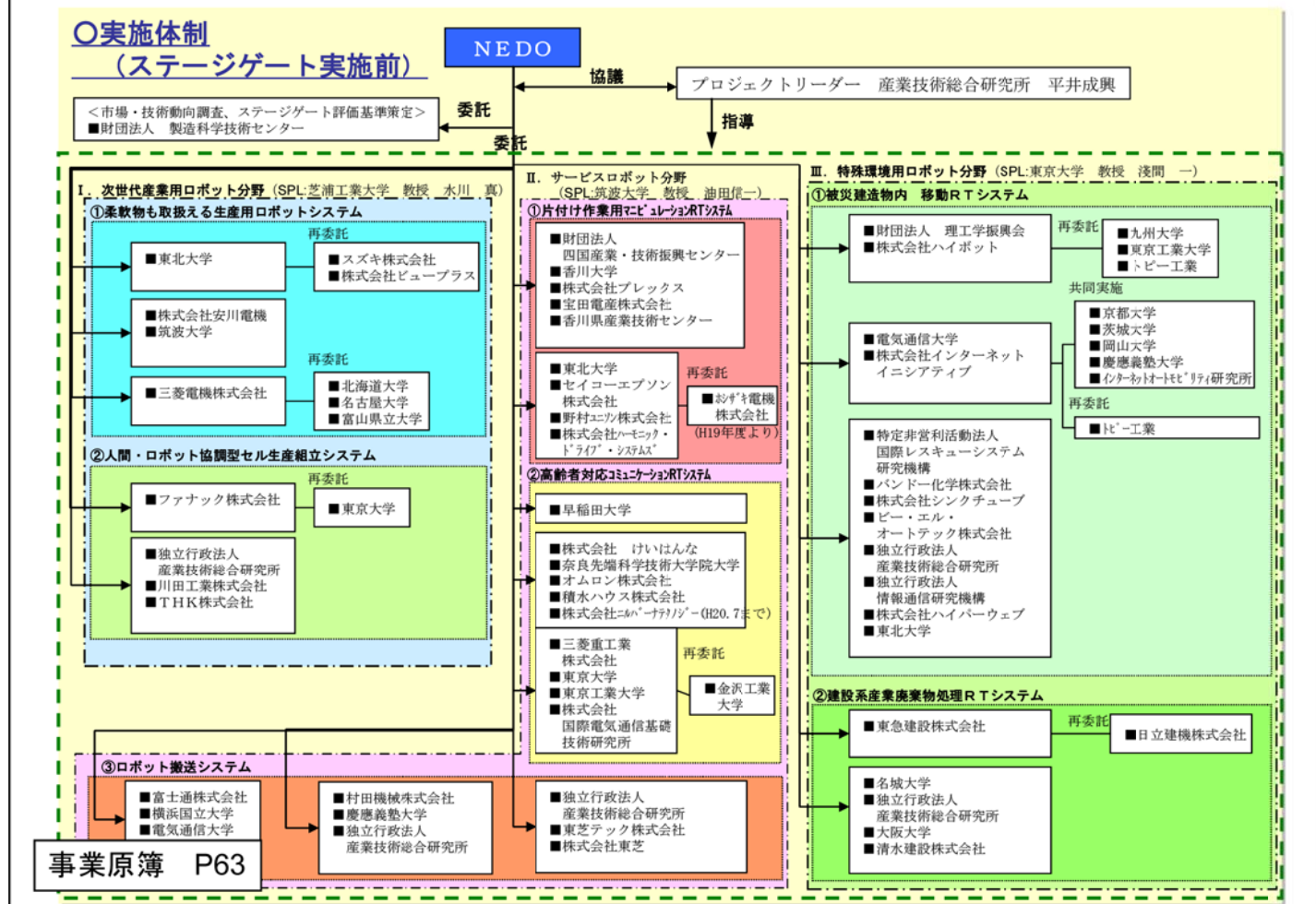
**プロジェクトリーダー(PL)を中心に各分野にサブプロジェクト  
リーダー(SPL)を配置し、各実施者に密接な指導を実施。  
⇒ 競争と同時に実施者を育てる**

プロジェクトリーダー  
千葉工業大学 平井 成興 副所長

次世代産業用ロボット分野SPL  
芝浦工業大学 水川 真 教授

サービスロボット分野SPL  
筑波大学 油田 信一 教授

特殊環境用ロボット分野SPL  
東京大学 浅間 一 教授



○実施体制

**真のユーザーを取り組んだ開発体制**

開発体制には開発メンバーだけでなく、**実際に使用する、またはお金を出して購入する「真のユーザー」**を巻き込んだ研究開発体制づくりを指導。

<実施例>

- ①村田機械グループ(病院内搬送システム:サービスロボット分野)  
⇒京都第2赤十字病院で実証試験実施
- ②東急建設グループ(:特殊環境用ロボット分野)  
⇒実際の解体工事現場で実証試験実施
- ③IRSグループ(被災建造物内移動RTシステム:特殊環境用ロボット分野)  
⇒現場で働くレスキュー隊員(IRS-U)を外部協力者として参画

中間評価結果への対応

「概ね現行通り実施して良い。」との評価。  
下記は、主な指摘事項に対する対応。

	指摘	対応
1	実用化・事業化を強調するために、達成目標が実用化できる範囲に設定されたテーマも散見され、今後ブレークスルーとなる革新的な技術への取り組みを更に強化することを期待する	実用化を意識した指導を実施し、その中で世界最高水準の革新的な技術も多数開発している。これまで人でしか出来なかった作業の自動化技術や、瓦礫環境での走破性の高いロボットの開発等について、 <b>実証実験を実施しながら実用化を意識するような指導・助言</b> を実施した。
2	今後どのようなキー技術に対してブレークスルーが必要かの議論を行い、次のプロジェクトへの方向性を提言する等の運営が必要である。	ロボット技術戦略マップの改訂に着手し、マップに沿った新たな方向性について、ロボット関連プロジェクト全体における課題を整理して、次のプロジェクトへの方向性を提言した。
3	ステージゲート方式による競争原理の導入は、目的をより良く達成するための積極的な取り組みの1つであり、高く評価できる。高齢者対応RTシステム分野では、全ての研究グループがステージゲートを不通過となり、再公募で新しいグループが後半2年間で実用化・事業化を目指すことになった。これは大きな決断を要するマネジメントのステップであり、目標達成に向けて最大限の検討を行う必要がある。	高齢者対応RTシステム分野では実用化の最終目標を達成するために適切なマネジメントを実施したものの、技術レベルおよび事業化の期待度等から、全ての研究グループをステージゲート不通過とした。ステージゲート後に基本計画の変更を行い、事業化の可能性を踏まえて、開発技術項目を「音声認識を用いたコミュニケーション技術」に絞った上、最終目標を達成できる提案を、外部有識者による採択委員会にて新たに採択した。2年間の開発期間の中で、最終目標までの道程を明確にするための的確な指導・助言を行った。さらにPL、SPLを含めた推進委員会で指導を行った。



## ○推進委員会について

## ・現地実査の実施

- 進捗状況の確認および助言の実施(年2回実施)
- 開発担当者他に、販売推進担当者を同席させ、**実用化計画**の確認を実施

## ・実用化計画

- 導入先ユーザ(ターゲット)を見据えているか。
- 計画が具体的なものかを確認



実用化(事業化)に向けた**本気度を確認**する

進捗度に応じて、PJ留保分を利用して増額を行った

## 推進委員会委員構成(H21~22年度)

氏名	職位	所属
平井 成興	委員長	千葉工業大学 (本プロジェクトPL)
石黒 周	副委員長	株式会社MOTソリューション
水川 真	委員	芝浦工業大学 教授 (次世代産業用ロボット分野SPL)
油田 信一	委員	筑波大学 教授 (サービスロボット分野SPL)
浅間 一	委員	学校法人東京大学 教授 (特殊環境用ロボット分野SPL)
徳納 孝昭	委員	株式会社損害保険ジャパン
池田 博康	委員	独立行政法人労働安全衛生総合研究所

## Ⅲ. 研究開発成果および 実用化、事業化の見通しについて

プロジェクトリーダー  
千葉工業大学 平井 成興

### Ⅲ. 研究開発成果について (1) 目標の達成度

#### ○研究開発項目の目標と達成状況

##### 全体総括

プロトタイプシステムを用いて各グループが真のユーザを想定(一部は実際の現場に持ち込み)し、実証試験を実施した。

##### I. 次世代産業用ロボット分野

- ①柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム
- ②人間・ロボット協調型セル生産組立システム

##### II. サービスロボット分野

- ①片付け作業用マニピュレーションRTシステム
- ②高齢者対応コミュニケーションRTシステム
- ③ロボット搬送システム

##### III. 特殊環境用ロボット分野

- ①被災建造物内移動RTシステム
- ②建設系産業廃棄物処理RTシステム

**実証試験の結果を基に、実用化に向けた改良を実施**

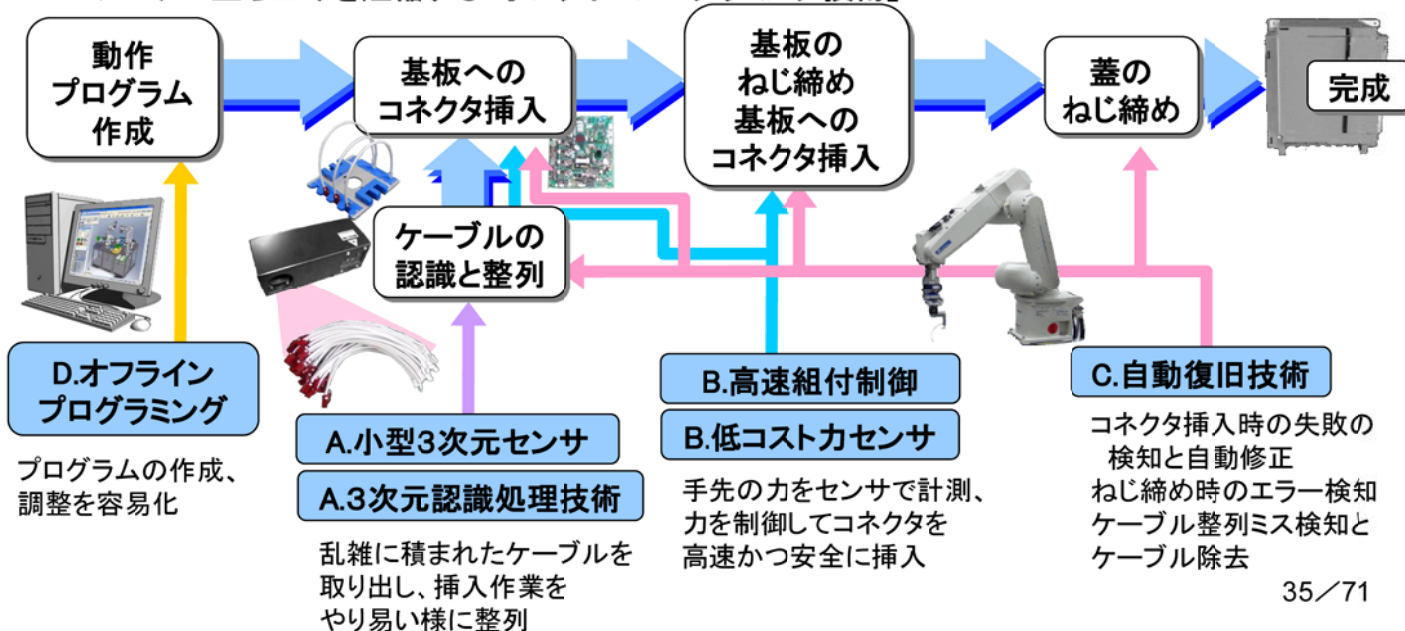
##### 達成度

全てのテーマで目標を達成した

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野： 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

- A. ロボットの目となる「3次元センシング技術」
- B. ロボットの手先の感覚となる「組立制御技術」
- C. 組立時の失敗を自動的に修正する「自動復旧技術」
- D. システム立ち上げを短縮する「オフラインプログラミング技術」



## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野： 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

最終目標	達成度
<p>ロボットシステムが、柔軟物(コネクタ付ケーブル等)を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。柔軟物の種類が変更された場合には、代表的な部品や設計情報などが登録されているデータベースなどを活用して、立ち上げ、調整時間が従来の1/3以下で品種追加、動作可能なこと。</p> <p>具体的には、コネクタ付ケーブルは柔らかく曲がる長いひも状のもので、両端に多ピンのコネクタが着いている。組み付け対象は、箱の内側の電気部品や基板にコネクタが2つ以上ついている。</p> <p>①供給部からコネクタ付ケーブルを取り出し、                  ②コネクタ付ケーブル両端末のコネクタを電気部品や基板側のコネクタに挿入し、                  ③代表的な作業エラーが発生した場合には、自動的に復旧し、作業を継続する。                  以上の動作を人と同等以上の生産量で実現する。</p>	◎

◎：目標以上の成果  
 ○：目標達成  
 △：目標概ね達成。

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野： 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

達成目標	成果	達成度
<b>3次元センシング技術</b> ・サイズ約300cc、通常カメラの4倍のダイナミックレンジを実現するカメラ投光部一体型の小型三次元センサヘッドユニットの開発 ・コネクタエッジの位置誤差±1mm、認識処理時間1.5秒以内のコネクタ位置姿勢認識アルゴリズムの開発 ・位置精度±2mm、処理時間2秒／視点以下のモーションステレオ計測による3次元位置計測手法の実現	・ヘッドサイズ300cc (ヘッド分離型)およびダイナミックレンジ従来比400%向上の実現 ・計測時間1秒以下、距離比分解能 0.1%以下、コネクタ位置誤差±1mm、認識時間 1.5秒達成 ・計測時間2秒／視点以下、ワイヤハーネス計測精度±2mm達成	○
<b>組み付け制御技術</b> ・コネクタ挿入作業を人の1倍以内の時間で実現する力制御方式の開発 ・分解能0.2%直線性1%以下、コスト従来の1/3以下の力覚センサの開発	・人の1倍の時間で挿入作業を実現 ・分解能 0.2%、直線性1.1%、コスト 従来の1/3以下を達成	○
<b>柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術</b> ・典型的な作業動作のロボットプログラム生成機能と頻度の高い作業に対するオフラインガイダンス機能を有するプログラム生成システムの開発	・プログラミング、調整工数の従来比 1／5を達成	○

◎：目標以上の成果  
 ○：目標達成  
 △：目標概ね達成。

事業原簿 P72

37/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野： 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

達成目標	成果	達成度
<b>作業エラーからの自動復旧技術</b> ・ミッション実行時に想定される作業エラーからの自動復旧率80%の自動復旧方式の開発	・多品種コネクタで80%以上の自動復旧率を確認 ・ねじ締めエラー状態認識成功率95%を達成	○
<b>FA機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作</b> ・開発技術を統合し、ケーブル取り出し、コネクタ組み付け、基板、カバー組み付け作業を実現する実証システム開発	・要素技術を統合し人の作業時間と同等の作業時間、安定した自動復旧を確認した	○

◎：目標以上の成果  
 ○：目標達成  
 △：目標概ね達成。

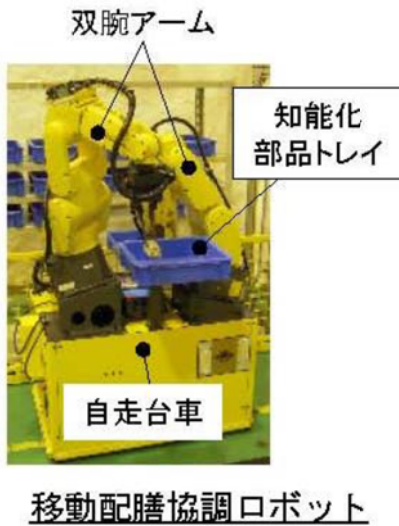
事業原簿 P72

38/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野: 人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステム

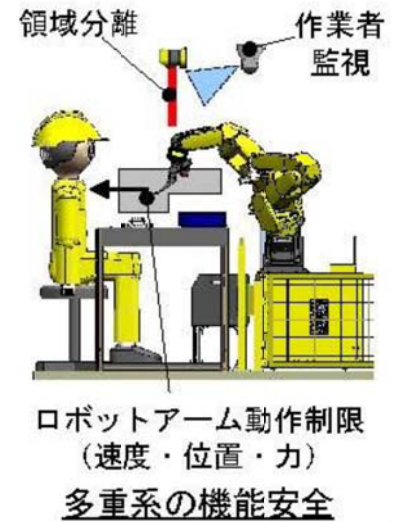
### 1. 作業支援技術



### 2. 作業情報提示技術



### 3. 安全管理技術



39/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野  
人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステム

最終目標	達成度
<p>開発したシステムで作業者が組立を行い、(a)作業手順の改善、(b)機種切り替え、(c)生産量の変動、に対しての対応能力を示す。組立作業者をロボット技術が安全を確保しつつ、物理的・情動的に支援する有効性を実証すること。特に(A)生産性、(B)機種切り替え時間については、既存セル生産システムに比較して以下の性能を実現する。</p> <p>生産性: 作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした生産性において既存セル(人間中心セル)から2割向上。</p> <p>機種切り替え時間: 既存セル生産システムの1/2。</p> <p>最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。</p>	◎

◎: 目標以上の成果  
○: 目標達成  
△: 目標概ね達成。

## ○研究開発項目の目標と達成状況

次世代産業用ロボット分野： 人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステム

達成目標	成果	達成度
① 安全管理技術 作業者とロボットの安全な協働	低重心本質安全設計・安全センサでのロボット移動時の安全確保	◎
	多重系機能安全による作業者協調時の安全対策の確立	
	リスクアセスメント(171項目の危険源の同定・リスク低減)	
② 作業支援技術 必要な時に必要な量の部品を整理して供給	移動配膳協調ロボットの開発、部品配膳・作業支援機能の実証	◎
	9種バラ積み部品のピンピッキングの実証	
	知能化部品トレイによる品種・熟練度に応じた作業支援の切替え	
③ 作業情報提示技術 作業者が習熟しやすい作業情報の提示	作業者位置姿勢測定システムの開発、作業者の身体8部位の位置情報の取得、実用レベルでの位置精度・検出速度の実現	◎
	心的負担測定系の開発、情報支援・ロボットとの協調作業時の心的負担の評価、設計基準・安全基準の導出	
	作業教示支援システムの開発、作業初心者に伝達すべき作業注目を作業成績との相関から抽出する方法論を確立	
	作業情報支援システム(ソフトウェア・ハードウェア)の開発、作業モデル編集ソフトウェアによる作業手順変更の容易化	

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P73

41/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

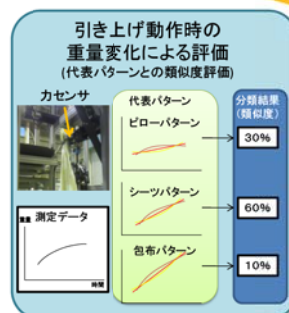
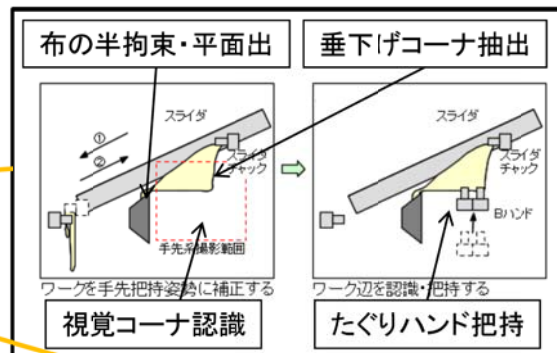
サービスロボット分野： 片付け作業用マニピュレーションRTシステム



定型洗濯物投入ロボットシステム



洗濯前分類システム



たぐりハンド

42/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野  
片付け作業用マニピュレーションRTシステム

最終目標	達成度
<p>多様な形状を有する対象物を識別し、人と同等程度の速度で確実に把持し、周囲環境を認識し、所定の位置に分類・格納する作業を実現する。</p> <p>具体的には、業務用洗濯ラインにおいて、乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入するトータルシステムを実現する。</p> <p>実際のビジネスで取り扱うアイテムとそれを扱う人手作業の速さから、分類数や格納サイズ、処理速度についての目標値は以下の通りとする。</p> <p>・ベッドアイテム洗濯前・分類投入実証機： ベッドアイテム(シーツ、枕カバー、浴衣)の洗濯前・分類投入作業場の自動化を想定し、洗濯物の形状、重量、色等の違いから2千枚/h以上の速さで4種類以上に分類する。</p> <p>・バスルームアイテム仕上げ前・分類投入実証機： バスルームアイテム(バス、フェースタオル、バスマット)の仕上げ前の投入作業場の自動化を想定し、一枚ごとに展開し、種別判定して、折り畳み仕上げ機に投入する。</p> <p>実証試験では10種類以上のアイテムをサイズや色・模様を設定・識別して仕上げ機から排出する際に、自動選別・スタックする。折り畳み仕上げ機と組み合わせて8百枚/h以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を行う。</p> <p>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。</p>	○

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P74

43/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野： 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

達成目標	成果	達成度
柔軟な布形状の計測と端点検出可能な視覚技術	対象物の位置姿勢を識別するための3次元視覚センサを開発した。ハンドタオル、フェイスタオルの種類及び表裏判別を成功率97.96%で実現した。	◎
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	第7軸斜めハンドや辺把持用ロングストロークたぐりハンドを実現した。	○
洗濯物の把持、整形を行うための補助システムの整備	力センサと視覚センサの総合種別判別による混流柔軟物分類システムを開発した。	○
実用化に必要な性能(1時間当たり800枚)の実現	1時間当たり400枚を実現した。 ※高速化、効率化により1時間当たり800枚を実現できる見込みを得た。	△

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P74

44/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野： 高齢者対応コミュニケーションRTシステム



45/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野  
 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

最終目標	達成度
RTシステムを用いて高齢者の声を認識し、コミュニケーションをとりながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握などの高齢者向けのサービスを提供する。 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。	◎

◎：目標以上の成果  
 ○：目標達成  
 △：目標概ね達成。



## ○研究開発項目の目標と達成状況

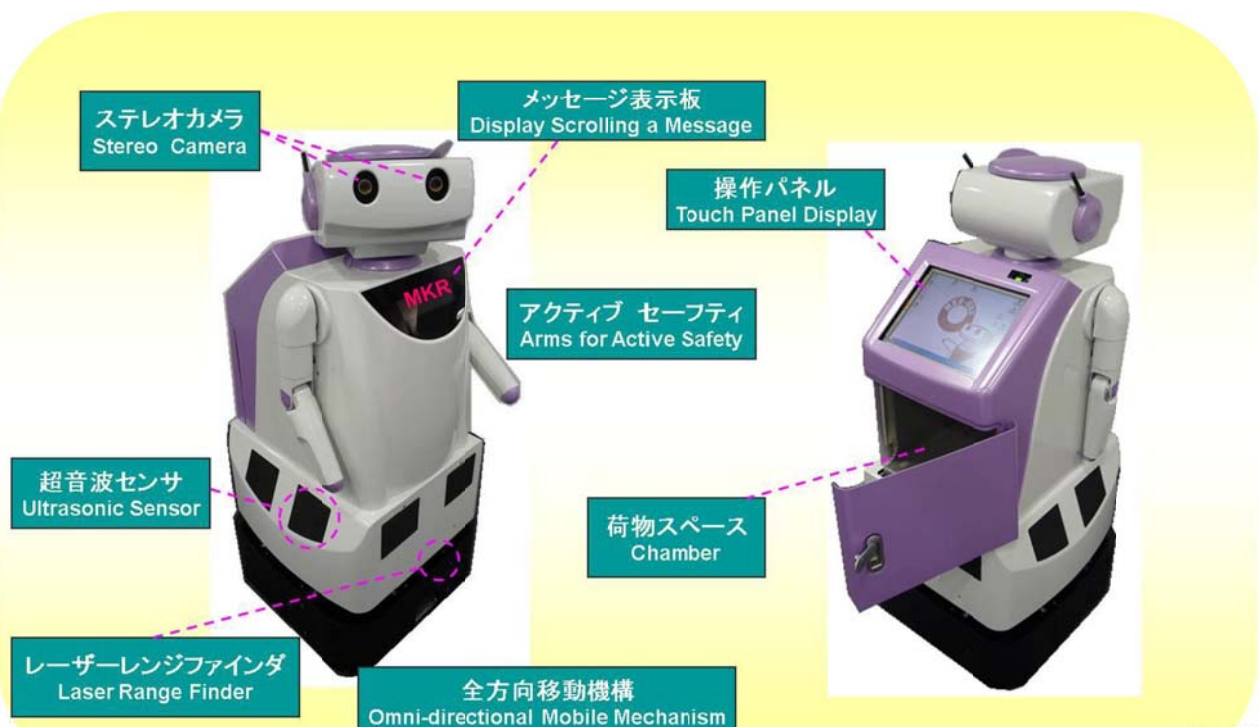
サービスロボット分野： 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

達成目標	成果	達成度
会話主体のコミュニケーション技術の確立	『音声コミュニケーション』『自動問診アプリケーション』を開発し、実証試験を実施した。	○
高齢者も対応できるヒューマンロボットインタラクションの開発	『RTマスコット』『タッチパネル』『バイタルセンシングウェア』による在宅健康管理・支援システムにより、高齢者が1ヶ月間使い続けられる『プロトタイプシステム』を開発した。	○

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

## ○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野： 搬送ロボットシステム



○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野 搬送ロボットシステム

最終目標	達成度
<p>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ースを備え、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。</p> <p>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)</p> <p>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。</p>	◎

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P76

49/71

○研究開発項目の目標と達成状況

サービスロボット分野： 搬送ロボットシステム

達成目標	成果	達成度
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	全方向へ移動可能とする機構技術の開発 ・凹凸・段差1cm、隙間3cmに対応	◎
	エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発	◎
	搬送物を安全に搬送する技術の開発	◎

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P76

50/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

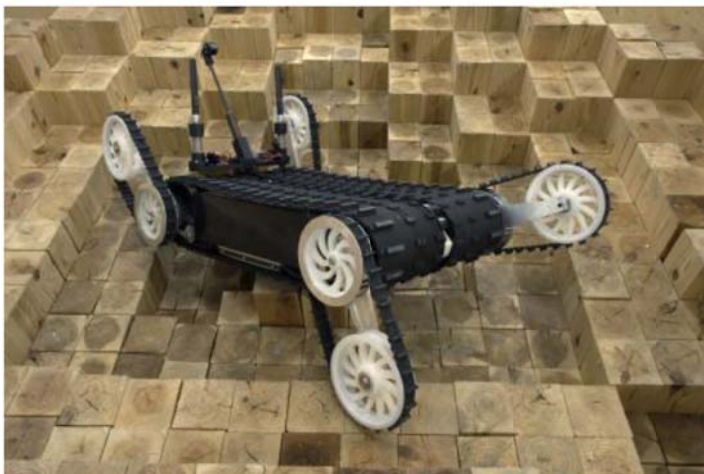
サービスロボット分野： 搬送ロボットシステム

達成目標	成果	達成度
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	RT分散処理技術の研究開発	○
	自動環境地図生成技術の開発	○
	自己位置同定技術の開発	○
	障害物回避技術の開発	○
	転倒防止技術の開発	○
	安全・異常検知技術の開発	○
	安全性・耐故障性技術の開発	○

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

## ○研究開発項目の目標と達成状況

特殊環境用ロボット分野： 被災建造物内移動RTシステム



## ○研究開発項目の目標と達成状況

### 特殊環境用ロボット分野 被災建造物内移動RTシステム

最終目標	達成度
<p>複数の遠隔操縦型ロボットが、階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。場面としては、地下鉄駅、地下街、空港、高層ビル(オフィス、大規模店舗、劇場)で、非常に混雑しておらず、通常の営業時間としては比較的散らかった程度に障害物が散在し、人間が歩行している状況で、ドア(施錠していない丸型またはレバー型ノブ付きドア)を通り抜け、照明条件がミッション遂行まで不明であるケースを想定する。既存インフラの使用を前提とせず、必要な環境は自分で構築する。建物のGISマップをもとにして、決められた地点とそこに至るまでの映像情報等を迅速に取得できることを実証する。</p> <p>また、訓練所・地下街・建物内などで3回以上の実証試験を行い、最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制を構築する。</p>	◎

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P77

53/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

### 特殊環境用ロボット分野：被災建造物内移動RTシステム

達成目標	成果	達成度
閉鎖災害空間における移動技術の開発	<p>下記の開発を行った</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速移動が可能で、瓦礫環境での走破性が高く、階段途中での旋回すら可能な、重量30kg以下の小型軽量ロボット: Quince(クインス), Kenaf(ケナフ)</li> <li>・ドア開けが可能で、階段等がある屋内環境で探索可能な、重量30kg以下の小型軽量作業用ロボット: UMRS(ユーエムアルエス)</li> <li>・知能やヒューマンインタフェースの共同開発を行いやすいアーキテクチャ</li> <li>・耐衝撃性・高効率の伝動変速機構: 平ベルトアクチュエータ</li> <li>・机上訓練のためのダイナミクスシミュレータ</li> </ul>	◎
遠隔操作のための知能とヒューマンインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・瓦礫を注意深く迅速に移動するに適したマニュアル遠隔操縦インタフェース</li> <li>・オペレータの操縦を楽にするための不整地半自律走破技術を開発した</li> <li>・複雑な場所の状況確認のための、3D環境計測・地図構築を実現した。</li> <li>・半自律行動を実現するための、高精度3Dオドメトリの開発</li> <li>・Disaster City, 兵庫県広域防災センター, E-defense木造倒壊建物, 神戸市地下街さんちか, 仙台市地下鉄, RoboCupRescue他で有効性を検証した</li> <li>・ロボカップ世界大会2007 Atlanta, 2009 Graz運動性能部門で世界優勝</li> </ul>	◎

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P77

54/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

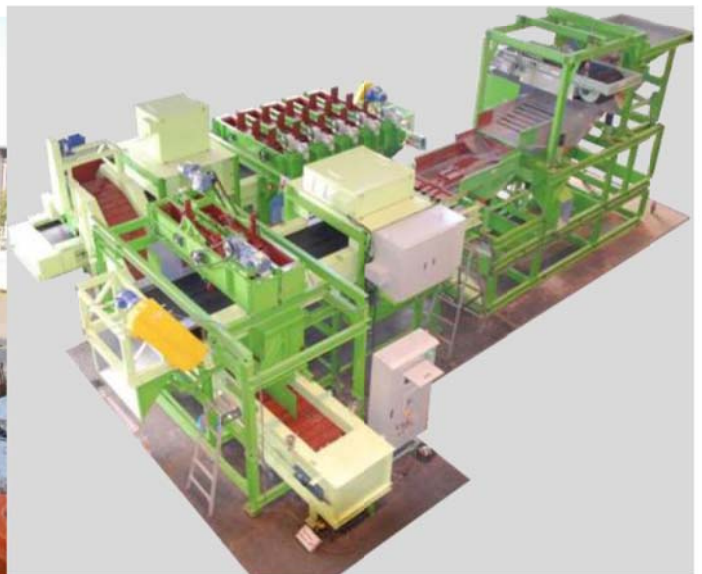
特殊環境用ロボット分野： 被災建造物内移動RTシステム

達成目標	成果	達成度
遠隔操作複数映像の地下街等における700m通信技術	地下街実証試験, 消防訓練塔実験, 等により, 683mを, ほとんど遅れなしにカバーできることを実証した。	○
地下街等での測位とGISマッピング	・情報のマッピングができることを実証した。 ・データベース上の3次元データに対してSLAMを行い, データの位置情報を修正し, 3次元地図を構築し, 登録できることを実証した。	◎

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

## ○研究開発項目の目標と達成状況

特殊環境用ロボット分野： 建設系産業廃棄物処理RTシステム



## ○研究開発項目の目標と達成状況

特殊環境用ロボット分野 建設系産業廃棄物処理RTシステム

最終目標	達成度
<p>「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物(主として中間目標で対象とした材質)を選別判定し、廃棄物を移送できること。」</p> <p>具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度(素材ごとの抽出率)は60%以上とする。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。</p> <p>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。</p>	◎

事業原簿 P79

57/71

## ○研究開発項目の目標と達成状況

特殊環境用ロボット分野: 建設系産業廃棄物処理RTシステム

達成目標	成果	達成度
建物解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること。	建物解体時に発生する実際の廃棄物5品目(コンクリート塊、鉄くず、アルミくず、木材、廃プラスチック)を画像処理により廃棄物の材質判定が可能なシステムを搭載した廃棄物選別システムを開発した。選別の精度(素材ごとの抽出率)は60%以上を達成。また、画像処理による廃棄物材質判定システムは、次世代マニピュレータにもアルゴリズムを搭載した。	○
建物解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できること	試作機を解体現場へ試験導入(実証実験)し、その結果を受け細かな、把持分離作業及び切断作業が可能な、多機能ハンドの改良設計製作。多自由度、多腕マニピュレータ本体の改良設計製作を実施。マニピュレータによる廃棄物の分離実験を実施し、目標機能を確認した。	○

◎：目標以上の成果  
○：目標達成  
△：目標概ね達成。

事業原簿 P79

58/71

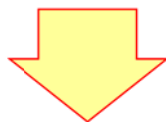
○成果の意義（一部抜粋）

柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム	ほとんどの製品中にケーブル配線が含まれる電機電子分野では、これまで製品組立作業は人の手で行うしかなかった。本開発でのロボットによる組立作業の実現は、 <b>戦記電子分野における生産力向上、品質安定に向けた一つの解</b> になる。
人間・ロボット協調型セル生産組立ロボットシステム	<b>従来よりも高効率、高信頼性の生産システムの構築に寄与する技術</b> であり、市場への大きな波及効果が期待される。
片付け作業用マニピュレーションRTシステム	高度作業を低価格で行うサービス業に入ることは、これまでロボットが入っていた溶接や塗装、組立等の <b>既存ロボット応用分野以外への開拓</b> につながる。
高齢者対応コミュニケーションRTシステム	健康支援高齢者コミュニケーションRTシステムは、もともと関連産業が多岐に <b>わたり波及効果の大きい住宅産業と、医療・健康産業とを結びつけるインターフェース</b> であると言え、サービスロボットとしては非常に大きな波及効果が期待される。
搬送ロボットシステム	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、 <b>様々な場所へのサービスロボット導入が期待される。</b>
被災建造物内移動RTシステム	証試験やデモンストレーションを精力的に行った結果、消防・警察・自治体・FEMA等のユーザの中に、ロボットの活用に関する認知が高まり、理解が深まり、 <b>ロボットの活用法を積極的に考えていこうという気運が高まってきた</b>
建設系産業廃棄物処理RTシステム	建物解体現場だけでなく産業廃棄物中間処理場や最終処分場等などの <b>廃棄物処理関連作業はもとより、激甚災害時の救助や復興などへの波及効果も期待できる。</b>

事業原簿 i-1-1-26,i-2-1-57（公開版）、  
ii-1-1-26,ii-2-1-21,ii-3-1-53,  
iii-1-1-54,ii-2-1-22

○成果の意義

開発対象は製造業のみならず、非製造業まで範囲を広げた3分野(7テーマ)



- ・ 市場の拡大
  - ・ 新たな技術領域の開拓
- } に貢献

**センサ、通信技術、マニピュレータなど  
個別の要素技術の事業化も期待**

○論文発表・特許取得・成果普及について

	研究発表 (論文誌、学会誌、口頭発表)		特許 出願	報道 (新聞、雑誌等)
	国内	海外		
件数	254	346	224	166

○主要な国際会議での発表

ICRA (IEEE International Conference on Robotics and Automation)

IROS (IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems)

IECON (IEEE Industrial Electronics Society )

○成果普及について

**国際ロボット展にて  
デモンストレーションを実施**

日時：平成21年11月25～28日  
場所：東京ビッグサイト

**ブース来場者：10,000名以上**

■新聞掲載記事

- ・読売新聞
- ・産経新聞
- ・朝日新聞
- ・日本経済新聞
- ・フジサンケイビジネスアイ
- ・日刊工業新聞
- ・日経産業新聞
- ・化学工業日報

ほか

■Web掲載記事

- ・YOMIURI ONLINE
- ・Fuji Sankei Business i
- ・産経ニュース
- ・Tech-On!
- ・CNET Japan

ほか



## ○成果普及について

JRM誌にて特集号を発行予定  
(平成23年12月発行予定)

⇒7テーマ全てについて紹介予定

展示会への出展

⇒国際ロボット展2009に出展

## ○成果普及について

平成21～22年度の成果普及について

実証試験の実施

公開デモンストレーションやユーザーの現場での  
実証試験を積極的に実施

⇒基本計画で目標とする実施回数を設定

(ロボット搬送システム、被災建造物内移動RTシステム、建設系産業廃棄物処理RTシステム)



例：平成21年5月に被災建造物内移動RTシステムの公開デモを実施  
(国際レスキューシステム研究機構グループ)

## 基本計画における最終目標

## I. 次世代産業用ロボット分野

## ① 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

- ・柔軟物(コネクタ付ケーブル等)を筐体内に取り付ける一連の作業を実現する。
- ・代表的な部品や設計情報などが登録されているデータベースなどを活用して、立ち上げ、調整時間が従来の1/3以下で品種追加、動作可能。

最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。

- ・目標達成
- ・事業化の道筋は明確

## 最終目標の達成可能性

カセンサを利用した組立制御技術による挿入作業

3次元ビジョンセンサによるケーブルの認識と整列

挿入位置ずれエラーの自動修正とねじ締めエラーの検知

FA制御機器の組立による技術検証

## 基本計画における最終目標

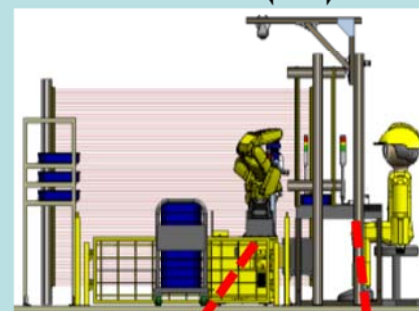
## I. 次世代産業用ロボット分野

## ② 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

- ・生産性: 作業者とロボットを合わせた時間単価をベースとした生産性において既存セル(人間中心セル)から2割向上
  - ・機種切り替え時間: 既存セル生産システムの1/2
- 最終的にはプロジェクト終了後2年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。

- ・目標達成
- ・事業化の道筋は明確

移動配膳協調ロボット ← 協調 → 作業者



基本計画における最終目標

II. サービスロボット分野

① 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

- ・乱雑に置かれた洗濯物を識別し、分類して洗濯ラインに投入したり、乾燥が終わった洗濯物を仕上げラインに投入する。
- ・ベッドアイテムを2000枚/hで4種類以上に分類
- ・折り畳み仕上げ機と組み合わせて800枚/h以上の速さでピックアップからスタッキングまでの処理を実施。

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。



定型洗濯物投入ロボットシステム



洗濯前分類システム

- ・目標達成の目処を付けた
- ・事業化機関の製品開発の中で成果活用



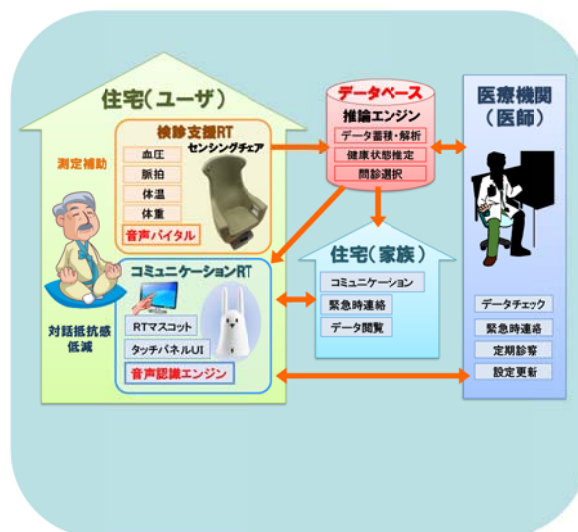
基本計画における最終目標

II. サービスロボット分野

② 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

- ・RTシステムを用いて高齢者の声を認識し、コミュニケーションをとりながら、情報提供、情報伝達、体調確認、行動把握などの高齢者向けのサービスを提供

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。



- ・目標達成
- ・事業化の道筋は明確



## 基本計画における最終目標

## II. サービスロボット分野

## ③ 搬送ロボットシステム

- ・周囲環境に応じた速度で移動
- ・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。



▲京都第二赤十字病院



▲大阪大学歯学部附属病院

- ・目標達成
- ・事業化の道筋は明確



## 基本計画における最終目標

## III. 特殊環境用ロボット分野

## ① 被災建造物内移動RTシステム

- ・複数の遠隔操縦ロボットが階段やドアのある建物内でオリエンテーリングを行い、決められたエリアを人間よりも速く、迅速に移動する。
- ・訓練所、地下街等で3回以上の実証試験の実施。

最終的にはプロジェクト終了後1年以内に受注生産が可能な体制の構築を行う。



- ・目標達成
- ・実用化の達成



基本計画における最終目標

Ⅲ. 特殊環境用ロボット分野

② 建設系産業廃棄物処理RTシステム

- ・マニピュレータにより 複合廃棄物の分離作業を実施
- ・5種類以上の材質を選別し、選別の精度(素材ごとの抽出率)は60%以上。
- ・実際の現場において実証実験を2回以上実施する。  
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。



最終目標の達成可能性



次世代マニピュレータ



廃棄物選別システム



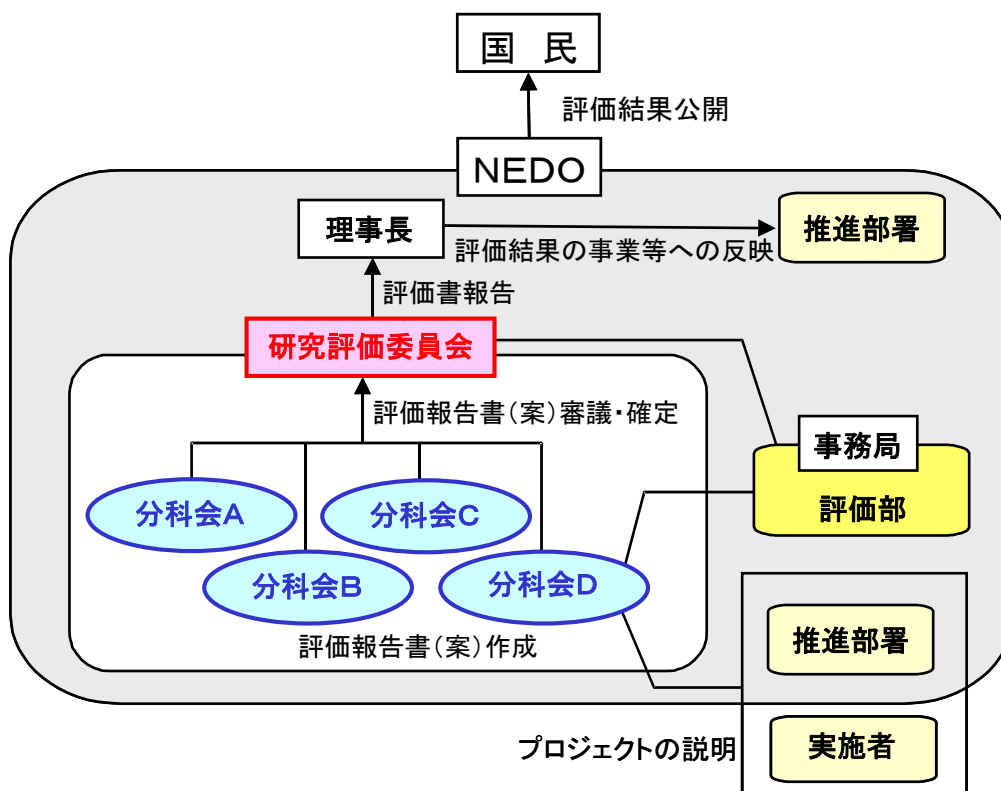
- ・目標達成
- ・事業化の道筋は明確

## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成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」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ



プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「ロボット・新機械イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環

境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に

沿って国内外に適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### 4. 実用化、事業化の見通しについて

\* 「被災建造物内移動RTシステム」は、実用化の見通しについての評価として、(1)と(3)の評価項目・評価基準を適用する。

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

##### (2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

##### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

・ 標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法を介する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）

（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

### (2)事業化までのシナリオ

- ・ N E D O 後継プロジェクト、N E D O 実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。



※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

##### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

##### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

るか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 梶田 保之

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162