

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」
中間評価報告書

平成21年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成21年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 村田 成二 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32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	1-19
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	1-44
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

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」の中間評価報告書であり、第18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」(中間評価)研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第23回研究評価委員会(平成21年10月29日)に諮り、確定されたものである。

平成21年10月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」

中間評価分科会委員名簿

(平成21年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	よしかわ つねお 吉川 恒夫	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	きざき けんたろう 木崎 健太郎	日経BP社 日経ものづくり編集 編集委員
	こばやし ひろし 小林 宏	東京理科大学 工学部 機械工学科 教授
	たかぎ そうや 高木 宗谷	トヨタ自動車株式会社 パートナーロボット部 理事
	たかはた いたる 高畑 達	富士電機システムズ株式会社 西日本支社 担当課長
	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

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：九州大学大学院システム情報科学研究所）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

審議経過

● 第1回 分科会（平成21年7月10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. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

● 第23回研究評価委員会（平成21年10月29日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

産業用ロボット以外のロボットの実用化が期待されいながら民間企業による実現が困難な現状を考えると、各種分野における実用化・事業化を目的とする本プロジェクトは NEDO の事業として妥当である。ステージゲート方式、プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダーの密接な指導、さらにユーザーを巻き込んだ開発体制により、事業化指向が明確になり、開発の完成度が高くなっている。

3年間で18種類のプロトタイプシステムを開発し、実証実験まで実施できたグループもあり、中間目標をほぼ達成し、最終目標も技術的には達成可能であると判断される。また、多くの個別テーマで実用化可能性がかなり明確に示されている。

しかし、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。

高齢者対応 RT システム分野については、再公募で選定されたグループが最終目標を今後の2年間のみで達成できるように、目標達成に向けて最大限の検討を行うべきである。

2) 今後に対する提言

本PJの成果は、自社内での実用化が可能な企業については、まずは自社内の複数の実用化実現を期待したい。

また、基盤要素技術活用の明確化や、他プロジェクトの成果利用、本プロジェクトで開発した要素技術の他プロジェクトへの展開など、使える技術を相互に利用評価できる環境の整備を行うことで、投じた予算をロボットシステム実用化に向けてより有効に使うことが出来ると考える。

ステージゲート方式は、事業化、実用化を強く意識したプロジェクトを実施する場合には効果があると認められるので、今後も改良しながら積極的に適用するのが良い。しかし、NEDOの今後の研究開発支援の在り方に大きく影響するため、ステージゲート方式を実施して本当に良かったのかどうか、従来方式の方が良いのかの総括が必要である。

また、ロボット開発→実用化のステップを加速して行くには、今までNEDOのプロジェクトで開発された要素技術がどこまで完成され、また、今後どの点を強化すべきかのまとめと、ロードマップの見直しが必要である。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

産業用ロボット以外のロボットの実用化が期待されいながら、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、ロボット・新機械イノベーションプログラム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。産業用ロボット以外にロボットの市場が創出できれば、ロボットメーカーだけでなく部品メーカーにも大きな波及効果が見込まれ、日本のロボット技術の向上に大きく貢献すると予想する。

一方、本事業における新技術の研究開発と事業化の位置付けを明示するとともに、企業内の技術開発では達成し得ない、種々の実用化分野での基盤となる高度な要素技術開発への取り組みを期待する。

また、RT技術については2004年前後から5つ以上のプロジェクトが組み込まれてきたが、その中でどの様な課題が見えて来たかをまとめ、今後どの様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して行く等の運営が必要と考えられる。

2) 研究開発マネジメントについて

次世代産業用ロボット、サービスロボット、および特殊環境用ロボットの3分野における7つの研究開発テーマは、ロボットの実用化の目的によく整合する適切な研究開発目標である。実施体制にユーザーを取り込み、現場に近い環境で現地調査し、実社会で使えるRTシステムを目指していることは評価できる。プロジェクトリーダー等の選定も適切である。また、ステージゲート方式、プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダーの密接な指導、さらにユーザーを巻き込んだ開発体制により、事業化指向が明確になっている。

一方、各々の研究テーマの難易度、取り巻く環境、背景はそれぞれ異なるので、目標にした技術の完成度、商品のレベルなど、国内外のレベルでのベンチマークなどを踏まえ、それぞれの特徴とそれに見合った成果や最終目標を明確にすべきである。

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一つであると高く評価できる。

しかし、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年間のみで零から実用化・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ったが、リスクの大きなものであり、今後の進展に課題を残す。

3) 研究開発成果について

3年間で18種類のプロトタイプシステムを開発し、利用分野での実証実験まで実施できたグループもあり、内容的にも高い評価が出来る。特に、ステージアット評価で選定された6グループは、中間目標をほぼ達成しており、成果の水準も高い。最終目標も技術的には達成可能であると判断される。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、優れた成果があった。

技術的な新規性が少ないとしても、実用化・事業化を目指すというプロジェクトの性格に照らして、成果の意味を損なうことにはならないが、今後ブレークスルーとなる革新的な要素技術へのより一層の取り組みを期待する。

特許は、国内出願は多数あるが外国出願の報告がない。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。

高齢者対応RTシステム分野の3グループについては、中間目標を達成していないと判断される。再公募で選定されたグループが最終目標を今後の2年間のみで達成できるかどうかは不明であるが、目標達成への方針について、最大限の検討を行うべきである。

4) 実用化、事業化の見通しについて

多くの個別テーマで実用化可能性がかなり明確に示されている。ほとんどのテーマが現地実証実験を実施しており、実用化に向けた課題もほぼ明らかにされている。また事業化年度を明示するなど事業化までのシナリオを具体的に示している点は評価できる。

ユーザーを巻き込んだ開発体制は、事業化に向け説得力がある。実際の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。

一方、さまざまなテーマについて、実用化事業化までの課題が定性的には示されているが、コスト削減や作業時間の短縮などの度合いの定量的な説明があまり具体的ではない。一部の個別テーマでは、要素技術の段階を超えたばかりで実用化の見通しがまだ得られていないものもある。事業化とそれに伴う経済効果等の見通しについて、より明確にすることを期待する。

普及型での実用化にはユーザーに合わせた機能の絞込や標準化を含め何段階かの課題克服が必要であろう。

研究評価委員会におけるコメント

第23回研究評価委員会（平成21年10月29日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会から以下のコメントが出された。

- 日本のロボット開発全体において、つくろうとしているロボット開発の目標が高過ぎるのではないか。目標は高い方が技術開発がより進む場合もあるが、もっと汎用的で使えるものを出して、市場で試す必要があることについても考えていただきたい。
- ロボットがもたらす知能化の中で、特に危険性の問題は早めに議論しておいたほうが良い。戦争のようなものに活用されていく可能性というのが未来社会の中で大きな危険要因であり、ネガティブな部分に対してどう抑えていくかといった内容についても議論が必要である。

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	オリンパス株式会社 新規中核事業企画本部 ヘルスケア事業開発部 企画グループ コーディネーター
	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	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 取締役社長
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	国立大学法人東北大学大学院 工学研究科 バイオロボティクス専攻 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 精密機械工学専攻 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
	富田 房男	放送大学 北海道学習センター 所長
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学機械学科 教授・総合技術研究所所長
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

産業用ロボット以外のロボットの実用化が期待されいながら民間企業による実現が困難な現状を考えると、各種分野における実用化・事業化を目的とする本プロジェクトは NEDO の事業として妥当である。ステージゲート方式、プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダーの密接な指導、さらにユーザーを巻き込んだ開発体制により、事業化指向が明確になり、開発の完成度が高くなっている。

3年間で18種類のプロトタイプシステムを開発し、実証実験まで実施できたグループもあり、中間目標をほぼ達成し、最終目標も技術的には達成可能であると判断される。また、多くの個別テーマで実用化可能性がかなり明確に示されている。

しかし、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。

ステージゲート方式の導入は、目的をより良く達成するための積極的な取り組みの一つであると評価できるが、通過グループのなかった場合の取り扱いについては、プロジェクト終了後再度検討する必要がある。

高齢者対応 RT システム分野については、再公募で選定されたグループが最終目標を今後の2年間のみで達成できるように、目標達成に向けて最大限の検討を行うべきである。

〈肯定的意見〉

- 期待されながらなかなか実現しないロボットの各種分野における実用化・事業化を目的とする本プロジェクトは NEDO の事業として妥当である。
- 設定された3分野のほとんどの研究開発テーマにおいて良好な成果を挙げており、中間目標はほぼ達成されている。
- 多くのテーマにおいて実現場に近い環境での実験も行われている。
- ステージゲート方式の採用も積極的な取り組みの一つであると評価できる。
- 最終目標（ミッション）が明確であり、その達成するための技術開発を行うようにしたことは、実際の応用に向けて必要とする技術が明らかとなり、事業への可能性を高めることが期待できる。
- ロボットの実用化事業化を強く意識するだけでなく、ユーザー企業の関与

を必須とし、ステージゲート方式で絞り込み、詳細な事業計画書を実施者に求めるなど、実際に実用化事業化を目指すための仕掛けを設けたうえで、成果を出していると考えられる。

- ステージゲートを通過しただけあって、概ね、順調に予定通りの成果が出ていると認められる。
- 具体的実用化を目指すために、現地実証を行うことを達成要件に取り入れられた点は、開発時点で実用化時の課題を明確に捉えることが出来、的確な対策を取ることができる仕組みになっている。現地実証をステップに加えたことにより開発の完成度が高くなっている事は評価できる。
- ロボットシステムの実用化に向けて、様々な分野における実現場への導入「役に立つロボット開発」を目標とした取り組みは、ロボットシステムの具体的適応例の発掘と新規ロボットシステム実用化のために有意義な設定であり評価できる。
- H20年のステージゲートですでに7テーマに絞られており、各テーマは、すでに完成度は高い。予定された成果はほぼ達成できると判断される。
- ステージゲート制は各プロジェクトの遂行に緊張感を与え、また進捗を加速させる意味で有益だと思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 少数のテーマにおいて、いくつかの研究課題が今後に残されており、これらについての研究を進め実証実験にまで到達する必要がある。
- 高齢者対応 RT システムの最終目標が、多岐にわたっており漠然としている。もう少し絞り込み、定量化することが望ましい。
- ステージゲート評価に基づく再公募で新グループが選定され今後2年間のみで最終目標実現を目指すことになったが、これを成功させるためには、PL、SPL、グループのメンバーらの協力と努力が必要であろう。
- 開発した成果を実際の応用に結びつけるにはコストが課題であるとする、この問題を当初から想定した取り組みとするか、ミッションが事業化でなく実用化と位置づけることがより適切と考える。
- ステージゲート方式の運用について、通過グループがなかった場合の取り扱い（再公募）については、プロジェクト終了後再度検討する必要があると考える。
- それぞれ形にはなっているが、今後ロボット産業を牽引していくブレークスルーとなるようなものは見当たらない。
- 事業化、実用化を意識するあまり、達成目標がロボットシステムの本来の嬉しさを最大限もとめるのではなく、目標が実用化できる見込みの範囲に

留められたのではないかと思われるテーマも散見された。

- ロボット分野の基本戦略マップに示される、基盤技術 (RT ミドルウェア) や他プロジェクトとの関係について不明瞭に見え、技術面、利用分野を含め本プロジェクトと他プロジェクトの位置づけや要素技術の利用について関連性や連携が明確に表現されていないと感じる。一連の NEDO のロボット事業の中での意味合いと、効果も判断できるようにして頂きたい。
- ステージゲート通過後は主に実用化のための事業ということだが、緊張感が薄れることが予想されるので、何らかの対策が必要では。

〈その他の意見〉

- ・ ステージゲート評価に基づく再公募で新グループが選定された今回の結果は、本プロジェクトのみならず今後ステージゲート評価を行う他のプロジェクトのマネジメントにも検討すべき課題を残すであろう。
- ・ 設定した3分野には、福祉・リハビリ支援ロボット分野がなかった。他の NEDO プロジェクトにはあるのかもしれないが、NEDO で開発支援するプロジェクトの連携が必要である。
- ・ 今回、高齢者対応コミュニケーションシステムでステージゲートを通するグループがないとき、人間支援型ロボットプロジェクトの中から、ミッションの実現性の高いものを選ぶこともできたのではなかろうか。
- ・ 「要素技術開発プロジェクト」という名称であるが、実用化、事業化を強く指向したもの、またシステム全体を作っているのに、名称との不一致感を覚えた。
- ・ “事業化” の定義の明確化が必要。“事業化” の定義があまり明確でないので、プロジェクト毎の達成目標レベルに大きなバラツキが見られる。
- ・ ステージゲートのあとで新規で追加のプロジェクトが採択されている。このプロジェクトの位置づけがあいまいであり、2年間で本当に結果が出せるのか心配される。

2) 今後に対する提言

本PJの成果は、自社内での実用化が可能な企業については、まずは自社内での複数の実用化実現を期待したい。

また、基盤要素技術活用の明確化や、他プロジェクトの成果利用、本プロジェクトで開発した要素技術の他プロジェクトへの展開など、使える技術を相互に利用評価できる環境の整備を行うことで、投じた予算をロボットシステム実用化に向けてより有効に使うことが出来ると考える。

ステージゲート方式は、事業化、実用化を強く意識したプロジェクトを実施する場合には効果があると認められるので、今後も改良しながら積極的に適用するのが良い。しかし、NEDOの今後の研究開発支援の在り方に大きく影響するため、ステージゲート方式を実施して本当に良かったのかどうか、従来方式の方が良いのかの総括が必要である。

また、ロボット開発→実用化のステップを加速して行くには、今までNEDOのプロジェクトで開発された要素技術がどこまで完成され、また、今後どの点を強化すべきかのまとめと、ロードマップの見直しが必要である。

〈今後に対する提言〉

- ・ 自社内での実用化が可能な企業については、まずは自社内での複数の実用化実現を期待したい。
- ・ NEDOの今後の研究開発支援の在り方に大きく影響するため、ステージゲート方式を実施して本当に良かったのかどうか、従来方式の方が良いのかを総括が必要と考える。
- ・ ステージゲート方式は、事業化、実用化を強く意識したプロジェクトを実施する場合には効果があると認められるので、今後も機会があれば積極的に適用するのが良いのではないかと。ただし、競争原理が有効かどうかはプロジェクトによって大きく変わると思うので、そこは慎重に見極める必要があると考える。
- ・ 出口のレベル（実用化・事業化レベル）が様々なので、それぞれの位置づけを明確にした方が良くと思う。
- ・ 実用化を見据えた実証実験を行うフェーズを設けたのは良く、今後も取り入れて行くべきと考えられる。
- ・ 国内外の技術動向をベンチマークし、立てた目標の位置づけ、達成された成果のレベルがどのレベルにあるのかが、見える様に出来ればより良い。
- ・ 基盤要素技術活用の明確化や、他プロジェクトの成果利用、本プロジェクトで開発した要素技術の他プロジェクトへの展開など、使える技術を相互に、利用評価できる環境の整備を行うことで、投じた予算をロボットシ

テム実用化に向けてより有効に使うことが出来ると考える。

- ・ ステージゲート制は有用と考えられるので、改良しながら継続されることをすすめる。

〈その他の意見〉

- ・ 新しく選定されたグループの研究テーマとその内容、これまでの研究成果、選定理由、などが中間評価分科会で報告されなかったことは、中間評価を少し難しくした。
- ・ **NEDO** の事業として選ぶテーマは、民間だけでは発展が望めないテーマである一方、できる限り実現可能性の高いものでなければならないという、二律背反の中に常にあるのだと思う。その中でもやや実用化事業化に近いところをもっぱら狙いに行っている一方で、民間だけでは難しいテーマを設定した本プロジェクトのコンセプトと進め方（ステージゲート方式を含む）は、他のプロジェクトと一線を画すものと言えるのではないか。
- ・ 時代が進むにつれ、ミッションの円グラフも変わってきていると思います。作成し直すと共に、困難さや実現年をもう一軸加えられると良いと思う。
- ・ 今後、ロボット開発→実用化のステップを加速して行くには、今まで **NEDO** のプロジェクトで開発された要素技術がどこまで完成され、また、今後どの点を強化すべきかのまとめと、ロードマップの見直しが必要と考える。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

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、ロボット・新機械イノベーションプログラム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。産業用ロボット以外にロボットの市場が創出できれば、ロボットメーカーだけでなく部品メーカーにも大きな波及効果が見込まれ、日本のロボット技術の向上に大きく貢献すると予想する。

一方、本事業における新技術の研究開発と事業化の位置付けを明示するとともに、企業内の技術開発では達成し得ない、種々の実用化分野での基盤となる高度な要素技術開発への取り組みを期待する。

また、RT技術については2004年前後から5つ以上のプロジェクトが取り組まれてきたが、その中でどの様な課題が見えて来たかをまとめ、今後どの様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して行く等の運営が必要と考えられる。

〈肯定的意見〉

- 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、ロボット・新機械イノベーションプログラム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。
- 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクトで設定したミッションは、市場原理による産業化は難しい課題が多い。
- 設定したミッションの実現に向けた研究開発は、日本のロボット技術の向上に大きく貢献すると予想する。
- ロボット技術の普及が社会的に停滞しているのは事実であり、それを動かすためにNEDOが関与することには必然性がある。
- また、産業用ロボット以外にロボットの市場が創出できれば、ロボットメーカーだけでなく部品メーカーにも大きな波及効果が見込まれるから、目的は妥当。
- 産業ロボット以外の分野へのロボット適用範囲拡大に向けて果敢に取り組んでいるように見受けられる。
- サービスロボットは今後の日本の一つの大きなキー技術の一つであり、積極的かつ長期継続的にNEDOによる研究開発サポート投資が必要と考え

られる。

- 市場ニーズの実現による、ロボットシステムの新規市場創出に貢献できるプロジェクトであり NEDO 事業として妥当であり、かつ事業化を視野に入れた新たな取り組みも評価でき、事業目的も妥当と考える。
- このプロジェクトは実用化を重視しているとのこと、確かに、実用化できそうな事業は多くみられた。

〈問題点・改善すべき点〉

- 新技術の研究開発と事業化は少し方向が異なるが、本事業におけるそれらの整合性をどのように考えるかを明示することが望ましい。
- 3分野に限定したミッションを設定しているが、例えば「次世代産業用ロボット分野」では重量物のハンドリング支援が現場では大きなニーズと考えるが、そうした課題が採択されていない。
- 市場ニーズを重視するなら、ニーズ調査結果も報告し、その上で採択課題の適切さの説明が必要と考える。
- 次世代産業用ロボット、特殊環境用ロボットは、従来技術、もしくはこれまでも支援してきた技術の延長であり、ミッション型とはいえ、「戦略的先端ロボット」として、民間活動のみではできないことなのか疑問が残る。
- また、本来力を入れたいサービスロボットであるが、ステージゲートを通過しないテーマもあるなど、技術戦略マップとの齟齬が気になる。特に今後、家庭、医療・福祉でのロボット適用に大きな期待が持たれているので、標準化や安全も良いが、ブレークスルーとなる技術を発掘し、推進する必要性を痛感する。
- RT 技術については 04 年前後から 5 つ以上のプロジェクトが取り組まれてきた。しかしその結果、どの様な課題が見えて来たかをまとめ、今後どの様なキー技術に対してブレークスルーが必要か等はあまり議論されていない。
- 各プロジェクトを俯瞰的に見て横串、横断的プロジェクトの評価と次のプロジェクトへの方向性を提言して行く等の運営が必要と考えられる。例えば今回のプロジェクトに於いても画像認識技術はそれぞれのテーマで同じ様に取り組まれているが、色々な実用化分野での公約数的キー要素技術である認識技術や、自律移動、自律作業技術などブレークスルー技術は統合して大きなリソースを掛けて推進する事が望まれる。
- このプロジェクトは実用化を重視しているとのことではあるが、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は意味

がないと思われ、新たなロボットビジネスにつながると期待できるか、もしくは、その産業への波及効果が期待できるかが重要である。その意味では、結果的にかもしれないが、企業内での通常の技術開発と思われる案件もあった。

〈その他の意見〉

- ・ 実用化を目標とする以上、実用化・事業化計画を詳しく検討するのは妥当なことではあろうが、それが今後のプロジェクト参加企業の活動を多少とも縛ることになるかもしれない。この点をどう考えるかに注意する必要があるだろう。
- ・ 国際的競争力の優位性の確保の観点から、採択課題の重要性、優位性の根拠等の説明が必要と考える。
- ・ 産業用ロボットについては、「特定技術分野における切実な課題を解決する共通基盤的な技術開発」であることから NEDO の関与に意味があるとのことで了解したいが、素人目には民間企業に任せられないものかどうか少し分かりにくいと感じた。
- ・ 2009 年に警備や送迎、接客などの業務用ロボットの商用化、2020 年頃までにロボット産業を自動車なみの基盤産業とすると、経産省は 2001 年に「21 世紀ロボットチャレンジ計画」をまとめている。
- ・ 本事業は 2006 年の技術戦略マップによるものではあるが、チャレンジ計画との関係もふくめ、本事業の成果やこれまでの他の事業の成果から、ミッションやスケジュールの調整をした方がよいのではないかと考える。
- ・ NEDO での各 RT プロジェクトを推進した結果、出てきた課題を要素技術だけでなく、制度上の課題や、ユーザーニーズとのマッチング不整合などの課題解決に向け PDS のサイクルを回し継続的に検討を続けて行く取り組みが必要。
- ・ 設定された 3 分野 7 つのテーマについては、基本戦略マップの他プロジェクトとの関係も含め最終評価にて選定の妥当性判断をして、今後のプロジェクトに活かして頂くことを希望する。

2) 研究開発マネジメントについて

次世代産業用ロボット、サービスロボット、および特殊環境用ロボットの3分野における7つの研究開発テーマは、ロボットの実用化の目的によく整合する適切な研究開発目標である。実施体制にユーザーを取り込み、現場に近い環境で現地調査し、実社会で使えるRTシステムを目指していることは評価できる。プロジェクトリーダー等の選定も適切である。また、ステージゲート方式、プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダーの密接な指導、さらにユーザーを巻き込んだ開発体制により、事業化指向が明確になっている。

一方、各々の研究テーマの難易度、取り巻く環境、背景はそれぞれ異なるので、目標にした技術の完成度、商品のレベルなど、国内外のレベルでのベンチマークなどを踏まえ、それぞれの特徴とそれに見合った成果や最終目標を明確にすべきである。

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一つであると高く評価できる。

しかし、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年間のみで零から実用化・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ったが、リスクの大きなものであり、今後の進展に課題を残す。

〈肯定的意見〉

- 次世代産業用ロボット、サービスロボット、および特殊環境用ロボットの3分野における7つの研究開発テーマは、ロボットの実用化の目的によく整合する適切な研究開発目標である。
- ステージゲート方式の採用もこの目的をより良く達成するための積極的な取り組みの一つであると高く評価できる。
- プロジェクトリーダー等の選定も適切である。
- 実施体制にユーザーを取り込み、現場に近い環境で現地調査し、実社会で使えるRTシステムを目指していることは評価できる。
- ユーザーの視点を重視した事業体制としている点は、実用化事業化を目指したプロジェクトとして非常に良いのではないか。テーマ設定は、新技術開発と実用化の間を狙ったものになっており、概ね成功と考える。
- ステージゲート方式、およびSPLの密接な指導、さらにユーザーを巻き込んだ開発体制により、事業化指向が明確になっている。
- 今回のプロジェクトの様に“事業化”が一つの目標になっているテーマは適確なユーザーとのジョイントが必要であるが、どのテーマもユーザーとの議論は十分に行われている様に思われる。

- ミッションテーマの選定による、実用化シナリオに基づき、産学の活用・実用化に向けた事業体制を整えたことは評価できる。
- すべてのテーマで実際のユーザーを取り入れた形での研究開発体制が組み込まれている点は実用化推進する点で重要。

〈問題点・改善すべき点〉

- 高齢者対応 RT システムの研究項目および最終目標が、多岐にわたっておりかつ漠然としている。もう少し絞り込み、定量化することが望ましい。
- ステージゲート評価で3グループ全てが後半2年に進まず、再公募で新しいグループが後半2年間のみで零から実用化・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ったと思われるが、リスクの大きなものであり、今後の進展に課題を残す。
- ステージゲート結果による再公募で新グループが選ばれているが、この時点ではその課題の計画中止か、NEDO の他のプロジェクトの中から継続発展の期待度の高いグループを選ぶべきと考える。
- 新規グループが、後2年で技術レベルや事業化の期待度が高いと期待できるとすると、はじめの3年はもともと不要な期間にならないだろうか。
- 実用化事業化を強く意識したテーマ設定は、ユーザーニーズに対する理解をさらに深めることにもつながることから大変有効と考えるが、片面テーマ設定が欲張りすぎている場合には、その後の研究開発の目的が絞れないことにもつながることが、ステージゲート時の検証によって分かったのだと思う。
- テーマ設定時にもユーザーへのヒアリングを行っているとのことでもあり、しかるべき努力はされていると思うが、ユーザーニーズの把握、あるいは普及までのシナリオ作成については、さらに工夫の余地がないかどうか検討していただければと考える。
- プロジェクトの大局的な目的が、分科会で説明があったように「既存の産業用ロボット分野以外にロボットの実用化例を早く作りたい」ことなのであるとすれば、例えば「高齢者対応コミュニケーション RT システム」を中断する代わりに「片付け作業用マニピュレーション RT システム」の2テーマを継続する方が、目的に沿った判断だと思える。
- ステージゲート方式の運用、特に実施者絞り込みの際の判断について、大局的な目的よりも手続き面での整合性を重視した側面があったのだとすれば、それは改善する方がよいと考える。
- それぞれの技術の難易度が異なるので一概には言えないが、高齢者対応コミュニケーション RT システムがステージゲート通過できなかったのは、

そもそもの計画に問題があったのではないかと思われ、残念である。この観点から、良かれと思われた計画がうまくいかないことは多々あることが予想され、より密接な開発内容のマネジメントが必要ではないか。

- ステージゲートの時点でチーム構成が大きく変更になっているテーマがあるが、新規に組まれたチームの妥当性などが不明確。
- マネジメント上、目標の設定がおおまかであり（特に中間目標）、もっと具体的な基準項目や数値・達成度の標準指標が示されないと、成果についての正しい評価が出来ないと考える。
- また、ステージゲート結果により全てのグループが選択されなかった「高齢者対応コミュニケーションRTシステム」については、再公募した理由、選定されなかった3グループの要素技術（音声コミュニケーションなど）の活用と公募内容との関係を明確にすべきであると考え。また技術内容も、一般的に既に実用化されているバイタルデータセンシング技術との先進性での違いなども回答だけでは判断できず、他のグループと同じレベルの成果が得られるか不明に感じられる。今回初めてのステージゲート取り組みにて発生した再公募であるが、このグループだけ中間評価を受けないことになり、マネジメント上での今後の再考と理由付けのある制度化（公募時に設定）が必要であると思う。
- テーマによっては大学で参画している推進者の、プロジェクト内での位置づけが必ずしも明確でなく、実用化等の出口にどの部分でどの程度貢献しているのか不明なこともあった。

〈その他の意見〉

- ・ ステージゲート評価において、事業化計画について厳正な評価が実施されたことが、結果的に本プロジェクトの重点が「要素技術開発」から「実用システム開発」にシフトすることを促したのではないかと思われる。その結果がどのような最終成果につながるかを見守りたい。
- ・ プロジェクト開始時点でグループを精査することで、ステージゲートは必要でないという意見もありうる。
- ・ ステージゲートを通過しなかったグループに対する、費用対効果の説明が必要と考える。
- ・ ステージゲート方式による競争原理の導入は、概ね有効だったと思われる。日本では企業と大学の結びつきが弱いと従来から言われているが、競争相手がいることによってチーム内の企業と大学のつながりが深まるという点でも、意味があったのではないか。
- ・ 厳しくマネジメントをすることは必要であると思うが、一方で、新規市場

や新産業の創出にはチャレンジも必要であり、自由な挑戦と管理のバランスをうまく見極めて頂ければと思う。

- 3分野に設定したミッション7つのテーマは、ほぼ必要な所は押さえているが、将来予測される高齢化社会での課題はコミュニケーションだけでなく介護、医療の分野でのサポートの必要性も示されており、ミッションに加えておくべきと考える。

3) 研究開発成果について

3年間で18種類のプロトタイプシステムを開発し、利用分野での実証実験まで実施できたグループもあり、内容的にも高い評価が出来る。特に、ステージゲート評価で選定された6グループは、中間目標をほぼ達成しており、成果の水準も高い。最終目標も技術的には達成可能であると判断される。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、優れた成果があった。

技術的な新規性が少ないとしても、実用化・事業化を目指すというプロジェクトの性格に照らして、成果の意味を損なうことにはならないが、今後ブレークスルーとなる革新的な要素技術へのより一層の取り組みを期待する。

特許は、国内出願は多数あるが外国出願の報告がない。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。

高齢者対応RTシステム分野の3グループについては、中間目標を達成していないと判断される。再公募で選定されたグループが最終目標を今後の2年間のみで達成できるかどうかは不明であるが、目標達成への方針について、最大限の検討を行うべきである。

〈肯定的意見〉

- ステージゲート評価で選定された6グループについて詳しい説明を受けたが、これらのグループにおいては、中間目標をほぼ達成しており、成果の水準も高く、汎用性もある。
- 最終目標も技術的には達成可能であると判断される。
- 概ね成果の中間目標の達成度は目標に到達している。
- センサー、通信技術などの個別の要素技術の事業化が期待できる。
- 多くのテーマで中間目標を達成しており、すなわち実用化事業化に近づいていると思われる点では、成果があったと考えられる。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、優れた成果があったと思う。
- 技術的な新規性が少ないとしても、実用化事業家を目指すというプロジェクトの性格に照らして、成果の意味を損なうことにはならないと考える。
- ステージゲートを通過しただけあって、概ね計画通りに進んでいると思われる。
- 全体としてどのテーマも中間目標を達成しており、知財権の取得、論文発表による普及にも取り組んでおり、概ね成果は達成されていると思われる。
- 3年間で18種類のプロトタイプシステムを開発し、利用分野での実証実験まで実施できたグループもあり、内容的にも高い評価が出来る。

- 全体的には初期の目標は達成できる（残り2年あるため）と判断される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 高齢者対応 RT システム分野の3グループについては、中間目標を達成していないと判断される。
- 再公募で選定されたグループが最終目標を今後の2年間のみで達成できるかどうかは不明であるが、目標達成への方針について、最大限の検討を行うべきである。
- 特許は国内出願では多数あるが、外国出願の報告がない。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。
- 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では中間目標が未達だったため再度公募した内容が在宅健康管理システムとのことなので、課題解決の方針が明確になっていると思うが、プロジェクト本来の位置付けからみて小さな目標になっていないかどうか、よく分からなかった。
- また、中間目標をよく達成していると思われる「片付け作業用マニピュレーション RT システム」と比較して、スタートが遅い分だけ事業化までの道のりは長くなるのではないかと考えるのが自然だと思うが、実用化事業化の見通しについて両者同じように「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」とされている。期間が「3年」と同じなのは、やや無理があるのではないか。
- 新たな技術領域には違いないが、システムインテグレーションであり、ブレークスルーとなる革新的な部分が少ないように感じたので、今後に期待したい。
- 目標にした技術の完成度、商品のうれしさがどのレベルにあるか、国内外のレベルのベンチマーク結果が示されていないテーマが多く、テーマの開発目標設定の妥当性が判りにくい。
- 目標設定、成果評価時ベンチマーク結果の記述が必要と考える。
- いくつかのテーマにおいて、企業内通常開発案件程度の内容の場合があり、その場合は成果が市場を創造するところまでは到達困難と考えられる。

〈その他の意見〉

- ・ 一部の課題において、ミッションの実現が優先され、注目に値する新技術が見られないものがある。
- ・ ミッションの実現と同時にブレークスルーとなる技術の開発を求めたい。
- ・ 難易度、取り巻く環境、背景はそれぞれ異なるので、それぞれの特徴とそれに見合った成果や最終目標を明確にしたら良いと思う。

- 参加した各プロジェクトのメンバーの役割と、成果に対する貢献がどの様に行われたのかが、あまり明確に記述されていないが、示すべきと考える。
- 知的財産権等の取得については、新規市場、新産業の創出も踏まえ戦略的に国外特許を含めた取得促進へのより一層の働きかけが必要と考える。
- 事業化を強く意識したプロジェクトであったせいか、新たな技術領域の開拓など目新しい要素技術開発の部分で少し物足りなさを感じる。NEDOプロジェクトの意義として、今後更なる新規分野・技術領域の汎用性のある要素技術開発に期待する。
- 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が乏しかった。

4) 実用化、事業化の見通しについて

多くの個別テーマで実用化可能性がかなり明確に示されている。ほとんどのテーマが現地実証実験を実施しており、実用化に向けた課題もほぼ明らかにされている。また事業化年度を明示するなど事業化までのシナリオを具体的に示している点は評価できる。

ユーザーを巻き込んだ開発体制は、事業化に向け説得力がある。実際の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。

一方、さまざまなテーマについて、実用化事業化までの課題が定性的には示されているが、コスト削減や作業時間の短縮などの度合いの定量的な説明があまり具体的ではない。一部の個別テーマでは、要素技術の段階を超えたばかりで実用化の見通しがまだ得られていないものもある。事業化とそれに伴う経済効果等の見通しについて、より明確にすることを期待する。

普及型での実用化にはユーザーに合わせた機能の絞込や標準化を含め何段階かの課題克服が必要であろう。

〈肯定的意見〉

- 多くの個別テーマで実用化可能性がかなり明確に示されている。実用化に向けた課題もほぼ明らかにされている。
- 事業化年度を明示するなど事業化までのシナリオを具体的に示している点は評価できる。
- 波及効果も期待できる。
- 殆どのプロジェクトはプロジェクト終了後2年～3年を目途にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行うとしているところは評価できる。
- プロジェクトの性格上当然とも言えるが、実際の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。
- 課題は明確になっている。
- ユーザーを巻き込んだ開発体制は、事業化に向け説得力がある。
- ほとんどのテーマが現地実証実験を実施しており、実用化時想定される課題を洗い出し、対策案を検討・実施している点は実用化の可能性を高めている。
- また、幾つかのテーマは経済効果の見通しについても、考察しており実効性が感じられる。

- 各テーマ、実証実験などを実施、評価を終えることで、実用化への目処がたったことは高く評価できる。
- ユーザーを取りこみ、具体的な事業に結びつく提案がなされているため、その意味では実用化の可能性が各テーマとも高い。

〈問題点・改善すべき点〉

- 一部の個別テーマでは、要素技術の段階を超えたばかりで実用化の見通しはまだ得られていないものがある。
- コストダウン、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは、明確でなく改善を要する。
- 今後は、開発段階において目途をつける必要があると考える。目途を付けられる段階でないとすると、事業化の見通しをつけることを目的とすることに無理があると思われる。
- さまざまなテーマについて、実用化事業化までの課題が定性的には示されているが、コスト削減や作業時間の短縮などの度合いは、いずれ定量的に把握しなければ事業化はできないはずだから、その点での説明がもっと具体的でもよかったのではないか。
- 事業化シナリオ・見通し、波及効果については、正直、判断しかねる。
- ステージゲートを設け、その評価指標に“事業化の可能性”が入るのであれば、評価指標項目の規定と、目標値に対する達成度の目安が必要と考えられるが、この点が明確でないテーマが見られる。評価指標項目としては、ユーザーニーズ×機能（うれしさ）×コスト×安全性などのファクターを考慮したら如何か。
- 事業としての成否を考えるならばコスト（費用対効果）の視点が重要であるが、必ずしも十分な資料が示されているとは言えない。

〈その他の意見〉

- ・ 再公募で選考されたグループについても、事業化のシナリオを描くことが望ましい。
- ・ 「プロジェクト終了後3年を目途にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う」としている。そのチェック機能が必要であろう。
- ・ また、事業化がないときは、研究資金の一部返還も必要と考える。
- ・ 非製造業でのロボット産業創出がこの事業により加速されるのか、判断しかねる。
- ・ 事業化の可能性についての判断を行う為には、中間段階で達成された各システムのうれしさと現在のコストのバランスについての評価が必要であ

る。つまり、ユーザーの意見を十分吸い上げ、ユーザーが妥当と考えるコストとの乖離が無いかの評価が行われていることが必要である。

- 事業化に関しては、技術面だけではない、耐久性やコストの問題が大きく、利用シーンや機能レベル、各テーマの進捗状況により見通しが異なっているのが現状だと考える。普及型での実用化にはユーザーに合わせた機能の絞込や標準化含め何段階かの課題克服が必要であり、製品として仕上げるレベルを目標にする理解とする。
- ステージゲートの取り組みについては初めての試みであり、その評価結果の分析から当初の選定基準を含めプロジェクト実施中にも、事前の事業化に対する目標の意識付けや、サポート体制の整備を行うことで、より良い制度にして頂きたい。

2. 個別テーマに関する評価

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

二つのテーマともに、産業用ロボットの市場を広げると同時に、国内製造業の生産技術の向上を図る上で、きわめて妥当なテーマ設定であり、ほぼ中間目標を達成している。

一方、海外での事業展開を考えると外国特許出願が必要と考える。

「柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム」は、実際の工場に近い条件下でのケーブル付きコネクタの自動組み付け実験に成功しており、最終目標達成の目処を立てている。柔軟物を対象とした一連のサーボアンプ組み立ての実現の目途がついたことで、今後さまざまな組み立て作業に展開が期待できる。一方、自動復旧時の成功率、確実性がライン適用時の成否のポイントとなると考えられ、今後その点の十分な検討が期待される。

「人間・ロボット協調型セル生産組み立てロボットシステム」は、ロボットによる安全な作業支援と作業台下面モニターからの高度な作業情報提示によって、作業初心者でも高い生産性を確保できることを確認しており、最終目標の達成可能性が高い。しかし、実証システムにおいては、組立所要時間の短縮だけでは有効性が明確には示されず、作業支援と作業情報提示の効果を分離するなど総合的に効果を示す必要がある。

〈肯定的意見〉

- 柔軟物の組み付けについては、実際の工場に近い条件下でのワイヤハーネスの自動組み付け実験に成功しており、最終目標達成の目処を立てている。
- また人間・ロボット協調セル生産についても、ロボットによる安全な作業支援と作業台下面モニターからの高度な作業情報提示によって、作業初心者でも高い生産性を確保できることを確認しており、最終目標の達成可能性が高い。
- 柔軟物も扱える生産用ロボットシステム：挿入作業の異常状態からの自動復旧率が98%以上の成功率であることは、高く評価できる。
また、柔軟物を対象とした一連のサーボアンプ組み立ての実現の目途がついたことで、今後さまざまな組み立て作業に展開が期待できる。
- 人間・ロボット協調型セル生産組立システム：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。
- 「柔軟物も取り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み立てロボットシステム」とともに、産業用ロボットの市場を広

げると同時に、国内製造業の生産技術の向上を図る上で、きわめて妥当なテーマ設定であると考える。

- 実施者が指摘していたように、ロボットによる自動化でこれまで取り残されていた部分が解消され、さらに無人化によるコスト削減につながる可能性がある。
- 中間目標の達成度は、当初の最終目標から見ても、順当なものと考える。
- 産業ロボットの延長であるため、目標や課題が明確であり、わかりやすい。
- 二つのテーマとも従来の産業用ロボットでは取り組んでいなかった柔軟物の取り扱い、組み付け、人とロボットの協調作業などチャレンジングなテーマに対し取り組み、ほぼ目標の成果に達し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システムの開発については、成果の意義も大きく、ロボット適応分野の拡大について期待が持てる。
- 指定された成果の目標値は達成見込みであると判断できる。また、実用性も高いと判断する。

〈問題点・改善すべき点〉

- 人間・ロボット協調セル生産の組立所要時間による有効性評価実験で、作業支援と作業情報提示の効果を分離して評価することが望まれる。
- 「頭を下げない」という安全作業のコツは、作業許容空間の指定方法に大きく依存し、必ずしも一般性を持つものではないと考える。
- 柔軟物も扱える生産用ロボットシステム：柔軟物の組み立ての対象は多様である。対象による組み立ての難易度を規定し、現在の技術がどの難易度の作業を実現しているのかを明確にされたい。
海外の事業展開を考えると外国特許出願が必要と考える。海外での事業戦略が求められる。
- 人間・ロボット協調型セル生産組立システム：ロボットに作業負担の期待の大きい課題は、重量物のハンドリングである。こうした課題を、開発に含めることを期待したい。
海外の事業展開を考えると外国特許出願が必要と考える。海外での事業戦略が求められる。
- テーマ設定は極めて適切だが、逆に言えばかねて懸案であったところともいうことができ、しかも実現した場合には生産現場の自動化に大きく貢献することが見込める（コスト面で大きな効果が期待できる）ことから、民間だけでは取り組めなかったテーマなのかどうか、若干疑問が残る。
- 特定の作業に特化しているため、汎用性の判断ができかねる。
- また、特にブレークスルーとなるような技術は見受けられず、従来技術の

延長に過ぎないという感は否めない。

- この事業のやり方でしかできない作業ではないと思われる。
- 人・ロボット協調システムでは、従来の協調を考えないシステム・工程でやり切れるものに対して、どれだけ明確なメリットが出るのか、十分なベンチマークの上に立った目標設定になっているか、不明確な点がある。
- 人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発については、実証システムにおいては、組立所要時間の短縮効果についてあまり効果が得られるようには感じられなく、総合的に効果が示せる形での実証システム検証と時間的目標設定、評価の表現が必要だと思われる。
- 全体的に企業内で通常行っている生産技術開発と同様であるとの印象を受ける。
- 生産技術に関して細かな改善，技術向上は重要であり，ワイヤハーネス等の柔軟物ハンドリング技術の重要性も理解できる．しかし，NEDO プロジェクトとしての重要性は低いのでは．特に成果の技術水準が本当に高いレベルなのか不明。

〈その他の意見〉

- ・ 安価な多軸力覚センサーはロボットの力制御技術普及のために必要不可欠であるので、ぜひ実用化されたい。
- ・ 大学と企業との役割分担がいずれのテーマもあまり明確でない。報告書の書式に工夫がいると考える。
- ・ ロボットの安全性は、人間と協調作業する場合に重要な課題であり、おおくの大学では、人間を対象とする研究は倫理委員会の審査が求められる。
- ・ 若干のリスクアセスメントの報告があるが、こうしたプロセスを経ているのかどうかを明確にすることが望ましい。
- ・ どの程度汎用性があるのか、複数の作業を対象にした評価が必要であろう。
- ・ 柔軟物組み付けシステムに於いて、組み付け時発生するエラーの自動復旧システムは生産ラインでのロバスト性確保に対し良い配慮がされた開発がされていると思う。ただし、自動復旧時の成功率、確実性がライン適用時の成否ポイントとなると思われ、今後その点の十分な検討が期待される。
- ・ 海外への展開を含めた戦略的な国外特許取得の必要性を感じる。
- ・ 適用範囲の拡大と実証実験による精度向上、標準化によるコストダウンの実現による早期実用化に期待する。
- ・ 当該分野で重要な技術は何かを明示し、それを解決する技術開発要素は何か明示して欲しかった。

2) 実用化・事業化の見通しについて

対象としている作業、及び類似作業については、実用化の可能性は高いと考えられる。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、実用化、事業化に向けての見通しが立っていると考えられる。しかし、今後の技術開発成果の広範な波及には、種々の作業に対応するための追加的な開発も必要である。

「柔軟物も扱える生産用ロボットシステム」は、ロボット、センサー、プログラミングシステムを個々に事業化製品として計画している点は、実際的な計画と考える。生産ロボットシステムが実際に人間と置き換わっていくためには、価格の見通しを示すとともに、価格が高いときはさらに生産性を高める必要がある。

「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」は、中量・少量生産での組立工程への適用、セル生産の自動化という面で、適用可能性は明確である。事業化に向けての課題を整理するとともに、まずは自社内での複数の実用化実現を期待したい。

〈肯定的意見〉

- 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、また実用化、事業化に向けての見通しが立っていると考えられる。波及効果も期待できる。
- 柔軟物も扱える生産用ロボットシステム：ロボット、センサー、プログラミングシステムを個々に事業化製品として計画している点は、実際的な計画と考える。
組立作業では、柔軟物のハンドリングの自動化が課題である。
電子・電気部品の組立の自動化は、自動車、電機電子装置等への波及効果が見込まれる。
- 人間・ロボット協調型セル生産組立システム：モジュール化した販売単位として計画している点と、自社での生産システムへの導入を経て一般販売を予定しているのは、実際的な計画と考える。
ランニングコストにおいて人間作業との比較でロボットシステムの効率と価格を示すことで、導入がプラスになることを明らかにしている。
- 中量・少量生産での組立工程への適用、セル生産の自動化という面で、適用可能性は明確である。
- 生産性（スピードとコスト）を今後向上させる道筋は必ずしも明らかではないが、ロボット以外にテーマを実現できる方法は考えられず、ノウハウを積み上げていくことを期待したい。

- 対象としている作業，及び類似作業については，実用化の可能性は高いと考えられる。
- 両テーマとも実証システムにて多くのトライと、課題の洗い出し、対策が実施されており、実用化までの完成度の高さが感じられる。
- 今までの生産ロボットシステムでは置き換えられなかった分野への取り組みであり、適応範囲の拡大を目指し実証実験の範囲を広げて行くことで、効率化に大きく貢献が出来る分野や各要素技術の標準化などにより実用化に近い分野であり、期待が持てる。
- 企業内での生産技術として活用される予定なので，その意味では実用化可能性は高い。これを外販して新たなビジネスとするなら事業化という意味はある。

〈問題点・改善すべき点〉

- 人間・ロボット協調セル生産システムの事業化に向けての課題が、多岐にわたっておりかつ一般的表現で記述されているため、明快とは言いがたい。
- 柔軟物も扱える生産用ロボットシステム：生産ロボットシステムの価格の見通しが示されていないので，実際に人間と置き換わっていくのかは明確でない。
価格が高いときは，さらに生産性を高める必要がる。この点での見通しが必要と考える。
- 人間・ロボット協調型セル生産組立システム：ランニングコストでは，人間作業と比較し効率的で低価格を示しているが，導入時の経費が含まれていない。この点を含めて，比較評価が必要と考える。
- 概念としての波及効果は期待できるが，様々な作業に対応するためには，そのための開発が不可欠と思われ，波及効果は限定的ではないだろうか。
- 柔軟物組付けシステムの成否は作業時間短縮と認識処理の信頼性向上と思われる。
- 人・ロボット協調システムは、多品種少量のラインに於いては従来工程に対し生産性の優位性は感じられるが、広く多くのラインに波及するかは、疑問が残る。
- 開発技術の波及を考えると，できるだけ技術内容をオープンとすることが望ましいが，事業を中心に考えるならそれは難しいかもしれない。波及効果が本当にどれくらいあるのか疑問。

〈その他の意見〉

- ・ まずは自社内での複数の実用化実現を期待したい。

- すでに、中量生産でフレキシブルなラインを構成する場合の選択肢の第一がロボットとされる時代であり、本テーマはロボット技術をもつてもつぱら進展させるべきものであり、それ以外の技術を用いることはかえって考えられない。
- 事業の方針としては正しいと思うが、本当にどこまで効果的なのか、判断できかねる。
- 人・ロボット協調システムのうれしさを引き出すには、現工程の移動配膳のところのロボット化だけでなく、ゾーンのレイアウト等を含めた工程改善による生産性向上が必要と考えられる。
- 何が重要技術なのか見えにくい。

3) 今後に対する提言

複数の作業を想定し、各要素技術、コスト、開発時間などを具体的に示すことにより、汎用性や新規技術を明確にすべきであろう。

「柔軟物も扱える生産用ロボットシステム」において、種々の対象物のハンドリングが可能となるように高度化されることを期待する。

「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」において、人間・ロボット協調セル生産と全自動化組み立てシステムとの関係（住み分け、移行など）の今後の展望を示すことが望まれる。また人間にとって作業では負担の大きい作業を更に代替するセル生産組立システムへの高度化を期待する。

〈今後に対する提言〉

- ・ 人間・ロボット協調セル生産と全自動化組み立てシステムとの関係（住み分け、移行など）の今後の展望を示すことが望まれる。
- ・ 柔軟物も扱える生産用ロボットシステム：ケーブル等の柔軟物は、その長さによりハンドリングの難しさが増大する。自動車のワイヤハーネスでは分岐、ねじれ、引っかかり、重なり等に対応できることが求められる。こうした対象物のハンドリングが可能となるように高度化されることを期待する。
- ・ 人間・ロボット協調型セル生産組立システム：人間とロボットとの協調では、重量物の協調ハンドリングなど、人間作業では負担の大きい作業を代替することが重要と考える。こうした観点での人間にやさしいセル生産組立システムへ高度化されることを期待する。
- ・ 各テーマでのロボットの実用化事業化に一刻も早く近づくことが根本的な目標であるとするならば、産業用ロボットに関しては力のあるメーカーが多数あることから、必ずしもステージゲート通過者だけに頼るのではなく、中間目標に対する成果は世の中で広く共有するのがよいと考える。
- ・ 複数の作業を想定し、各要素技術、コスト、開発時間などを具体的に示すことにより、汎用性や新規技術を明確にすべきであろう。
- ・ 柔軟物組付けシステムに於いては、本システムが多くの分野に応用可能となる為には、物体認識センサーシステムが他の適用分野での異なる環境状態でも信頼性高く動作できる技術開発が必要。
- ・ 事業化に向けて、技術要素の標準化と普及モデル市場の絞込み、実証実験の繰り返しによる製品化に期待する。
- ・ 開発の生産技術に関して、より汎用化した技術として体系化をおこない、これを様々な製造業に波及するように公開することが望ましい。

〈その他の意見〉

- 柔軟物の組み付けについては、ケーブルの長さおよび柔軟さの程度をより明確に意識した技術の検討が必要となるのではないかと思われる。
- 現状では、あるタスクを行うために、必要な（特に目新しさのない）機能を追加・開発し、統合したというに過ぎないように感じるので、そうではないということを明確にして頂きたい。
- 人・ロボット協調システムに於いては、従来のセル生産に対し、生産性の高さのみを追求するだけでなく、セル生産での、もう一つの面での良さである、人の技能の向上、ライン改善意欲等も醸成できる様な協調システムになるとより良い。

2. 2 サービスロボット分野

1) 研究開発成果について

それぞれのテーマの技術レベルや背景は全く異なるものの、ニーズにマッチした開発を行い、着実に成果を出している。

「片付け作業用マニピュレーション RT システム」では、適用する工程をしっかり分析し、実効性の高いシステムが組み上げられている。ターゲットユーザーを明確にした取り組みであり実証実験の繰り返しによる事業化の方向性が見えており、有効な成果が得られた。今後は、コスト、構造・機能の最適性の十分な考察と、リネンサプライ業務以外への汎用性に関する議論が必要である。

「ロボット搬送システム」では、実際の病院内での実験により人のいる環境でのワゴン牽引搬送が可能であることを確認し、最終目標の達成が期待できる。一方、純粹に技術的な課題もさることながら、受け入れられやすさや安全性などの要素が極めて重要になると考えられ、その問題点、課題点の抽出と対応が必要であろう。

「高齢者対応コミュニケーション RT システム」では、3 グループがいずれもステージゲート評価を通過しなかったが、そのことをもってステージゲートまでに得られた知見の価値が低いということは出来ない。実用化を狙う本プロジェクトでは、テーマ設定時に対象者・対象施設を明確にするなど、より市場ニーズに合った開発目標を設定すべきであった。

〈肯定的意見〉

- 洗濯物ハンドリングでは、布の分離取り出し、コーナー近辺把持、一辺把持を順次達成するユニークな技術を確立している。
- 食器ハンドリングでは、10 種類の食器を認識・操作するハンド・アームシステムの開発に成功している。
- ロボット搬送では、実際の病院内での実験により人のいる環境でのワゴン牽引搬送が可能であることを確認している。
- これらの成果により最終目標の達成が期待できる。
- 片付け作業用マニピュレーション RT システム：洗濯物の山から、1 枚の布を認識しコーナーを把持する作業を成功率 78% で実現したことは評価できる。
- ロボット搬送システム：自動環境地図生成技術により誤差 3 cm 以内で自己位置同定が実現されたことは、オープンな環境での有効な移動技術として評価できる。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」「搬送ロボット」とともに、利用場面を特定して、ユーザーからのヒアリングを通して方針と課題

を明確にしていっている点で、実用化事業化に着実に近づいており、中間目標を達成していると考ええる。

- それぞれのテーマの技術レベルや背景は全く異なる物の、ニーズにマッチした開発を行い、着実に成果を出している。
- マニピュレーション RT システムは適用する工程をしっかり分析し、大変、実効性の高いシステムが組み上げられていると感じる。また、布のハンドリングについても、良く布の特性、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すばらしい。
- 片付け作業マニピュレーション RT システムの開発とロボット搬送システムの開発については、ターゲットユーザーを明確にした取り組みであり実証実験の繰り返しによる事業化の方向性が見えており、有効な成果が得られたと考える。
- サービスロボット関係は適用性の高いアプリケーションを見つけることができれば、それが特定（限定）分野ではあるかもしれないが、実用性の高いロボットアプリケーションが可能だと思われる。この点でリネンハンドリングのロボットは良いアプリケーションであると考えられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 高齢者対応では、3 グループの成果がいずれもステージゲート評価を通過せず、再公募で新たなグループが選定された。このステージゲート評価結果自体は妥当と判断されるが、なぜこのような結果にならざるを得なかったかを十分に検討すべきである。
- 洗濯物ハンドリングに関しては、これまでの発表が多くないが今後増えるものと期待したい。
- 院内ロボット搬送では、エレベータ乗降の課題が残されている。
- 片付け作業用マニピュレーション RT システム：ピン付き平行リンクグリッパーは、ピンが布に穴を開ける等の問題が生じる可能性があり、これについての実験的評価が必要と考える。
海外の事業展開を考えると外国特許出願が必要と考える。海外での事業計画もあるが、これに向けた知財戦略が求められる。
- ロボット搬送システム：段差 1cm の障害を乗り越える目標はあるが、傾斜に対する障害について目標が示されていない。病院によっては、傾斜のある廊下もあるため、システムの適用範囲を広げるために傾斜目標が必要ではなかろうか。
また、搬送ロボットは 80kg と重量物であるため、地震等による転倒時に危険である。その対策と軽量化が求められる。

特許出願が国内に限られており、海外の事業展開を考えた知財戦略が求められる。

- 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」については、やや残念な結果だったが、ステージゲートでの結果から、もともと実用化事業化を強く狙う本プロジェクトには若干合っていないテーマであることが分かった、とはいえないだろうか。
- 洗濯物ハンドリングは、リネンサプライ業務のうちのそれ以外の部分の機械化がほぼできていることから、産業ロボットの一種とも考えられ、導入までの道筋、技術課題が極めてクリアであるが、コスト、構造・機能の最適性の十分な考察と、リネンサプライ業務以外への汎用性に関する議論が必要であろう。
- 搬送ロボットは、純粹に技術的な課題もさることながら、受け入れられやすさや安全性などの要素が極めて重要になると考えられ、その問題点、課題点の抽出と対応が必要であろう。
- コミュニケーション RT システムに於いては、言語認識技術そのものが高齢者対応時だけでなくハードルが高い技術である。コンテンツマッチングが不十分であったり、言語認識要素技術がまだ不足していたりするのが現状と考えられる。その様な現状に対し、基本的要素技術のレベルアップを目指した開発をまず目指すべきと考える。
- 高齢者対応コミュニケーション RT システムについては、対象者、対象施設の位置づけがもう少し具体的であれば、事業化へのシナリオも明確になったと思われる。センサー技術、ネットワーク技術との連動による施設内システムや広域システムも視野に置いた、より市場ニーズに合った開発の必要性を感じる。当初設定テーマ設定時の方向性確認の必要性含めて、今後のプロジェクトでの対応を期待する。
- 病院内搬送（一般にビル内搬送）ロボットは他にも研究開発がなされており、それとの比較がなされていなかった。また、たとえばエレベータ利用は様々な技術課題があると思われるが、このテーマでの重要開発技術が何なのか明瞭でなかった。この分野での世界的技術レベルも不明であった。

〈その他の意見〉

- ・ 新たに選定されたグループが今後 2 年程度で所期の成果を挙げられるように、関係者間で研究開発計画を慎重に検討することが望ましい。
- ・ 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」については、ステージゲート通過者がなかったという結果だったが、そのことをもってステージゲートまでに得られた知見の価値が低いということとはできないので、今後の

利用を期待したい。

- 前者 (洗濯物ハンドリング) は機能特化した産業ロボットの開発, 後者 (搬送ロボット) は多様な機能の開発・検討が必要と思われ, サービスロボットの困難さ・課題が明確になるのではないか。
- ロボット搬送システムは技術完成度が高く、院内での運用が期待される。
- また、将来はスタッフ専用エリア内だけでなく、院内オープンエリア内での対人安全性を確保しながらの運用に期待する。

2) 実用化・事業化の見通しについて

事業化に向けては、両テーマともは作業者や院内従事者との干渉など、人との接触リスクに対してどの様に対応していくのか、リスクアセスメントがどのレベルまで実施されているのかを明確にして行く必要がある。

「片付け作業用マニピュレーション RT システム」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ながら改良を加え製品化するプロセスは、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する。「定形物ライン」は今後の課題も明確であり、事業化の見通しも納得できるが、「混流ライン」はかなり高度な技術を必要とすると考えられ、目標達成には今後の大きな努力が必要である。一方、食器ハンドリングに関しても、事業化に向けての技術的課題がたくさん残され、今後さらなる実証実験が必要である。

「ロボット搬送システム」については、反射板等のガイドなしで自律移動できる搬送システムは、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が期待できる。出来るところから導入を少しずつ進めていく必要があり、事業化に向けた、技術以外の戦略と戦術を詰める必要がある。事業の拡大には当初から海外展開の計画が必要ではなかろうか。

〈肯定的意見〉

- 洗濯物ハンドリングの「定形物ライン」は今後の課題も明確であり、事業化の見通しも納得できるものである。
- 食器ハンドリングに関しては、食器把持に適した構造のハンドや高出力・軽量のマニピュレータなど、個々の基礎技術について良好な成果を得ている。
- 片付け作業用マニピュレーション RT システム：リネンサプライ企業での実証試験を踏まえながら改良を加え製品化するプロセスは、現場で役立つロボットを造ることに大きく貢献すると考える。
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の印象を受ける。
- ロボット搬送システム：反射板等のガイドなしで自律移動できる搬送システムは、既存の病院に導入しやすいロボットシステムである。
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が期待できる。
- 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」は洗濯工場への適用イメージがほぼ固まっているようなので、引き続き実用化事業化を目指せる

ものと思われる。

- 洗濯物や食器のハンドリング技術の進歩は、産業ロボット分野への波及効果も少なからずあると考えられる。
- 「ロボット搬送システム」は病院での走行実験で、よりニーズと課題が明確になっているように思えるので、引き続き実験を継続することで実用化事業化を目指せるものと思われる。
- 洗濯物ハンドリングは産業ロボットの的であり、受け入れられやすく事業化も道が見えている。搬送ロボットは院内実験を繰り返し、実用化に向けて着実に前進している。
- マニピュレーション RT システムは現状工程の人の作業分析などに基づき、ロボットの作業動作を大変実効性のある物に仕上げしており、事業化しても十分成立する可能性を感じられるものになっている。
- 利用分野を特定して、実証実験を実施したことで、実用化に向けての課題が明確であり、実用化、事業化への目処がついたと思われる。
- リネンロボットは、課題が明確で実際に実現が望まれ、かつ技術的に実現可能性が高いため、良いアプリケーションと考える。山積みされた布を1枚ずつ取り出す作業はリネン以外に応用があると思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 洗濯物ハンドリングの「混流ライン」は、「定形物ライン」よりもかなり高度な技術を必要とすると考えられ、その要素技術「布の表裏・種別の判定」の開発も今後に残されている。
- 目標達成には今後の大きな努力が必要と思われる。
- 食器ハンドリングに関しては、事業化に向けての技術的課題がたくさん残されており、今後さらなる実証実験が必要と思われる。
- 片付け作業用マニピュレーション RT システム：人手作業と比較しての本システムの効率と価格優位性についての評価が必要と考える。
- ロボット搬送システム：海外展開の計画が示されていない。事業の拡大には当初から計画が必要ではなかろうか。
- ほかの欄でも申し上げたが、「高齢者対応コミュニケーション RT システム」をプロジェクト終了後に事業化するまでの期間が「片付け作業用マニピュレーション RT システム」と同じ3年間であるのは、かなりハードルが高いと考えられ、今後の進展には特に注意すべきものとする。
- 前者（洗濯物ハンドリング）はタスクが明確である反面、波及効果は限定的である。後者（搬送ロボット）は、できるところから導入を少しずつ進めていく必要があり、事業化に向けた、技術以外の戦略と戦術を詰める必

要がある。

- 両テーマとも事業化して行く為には作業員や院内従事者との干渉など、人との接触リスクに対してどの様に対応していくのか、リスクアセスメントがどのレベルまで実施されているのかを明確にして行く必要がある。
- 病院内搬送（一般にビル内搬送）ロボットは実用化、事業化のための問題点が必ずしも明確でなかった。

〈その他の意見〉

- ・ 「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」で開発する移動ロボットと共通部分があり、ロボット搬送システムとして重複している課題とも受け取れる。
- ・ 技術レベル・課題，事業化に向けたレベル・課題，社会的な背景など全く異なるもので，それを十分に考慮した評価，判断が不可欠であろう。
- ・ ロボット搬送システムは不特定多数の患者との接触や、院内環境変化を考え、運用はスタッフ専用エリアで実施とあるが、特定環境エリアでの運行が成立するのであれば、決まった軌道上での走行運用も可能となる。その場合はコストの高い自律移動機能は必ずしも必要とならない。自律機能のうれしさが発揮できる運用上の工夫も必要ではないか。
- ・ 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」については評価対象外とします。
- ・ リネンロボットは，コスト低減のために，汎用ロボットでなく最適設計したうえで，できるだけ単純な機構を採用すれば，より良いシステムができるかもしれない。

3) 今後に対する提言

サービスロボットの实用化、事業化において、安全は重要なファクターであり、評価基準の中に人との接触など安全に関する評価項目が重点明記される事が望まれる。また、サービスロボット分野はロボットシステムとして最も利用拡大が期待される分野であり、他のプロジェクトとの関係の明確化（役割の明確化）と相互の要素技術利用や情報交流など広い視野での普及に向けた取り組みに期待する。

「洗濯物ハンドリングで」は、多種多様な対象物も扱えるように高度な機能が必要とされるとともに、如何にシンプルにしていくかが今後のポイントであると考えられる。

「ロボット搬送システム」は、如何にすれば導入・採用してもらえるかが今後のポイントであり、实用化・商品化のための達成目標を明確にし、事業化に向けた戦略と戦術の十分な検討が必要である。

「高齢者対応コミュニケーション RT システム」は、再公募で新たに選定されたグループが今後 2 年程度で所期の成果を挙げられるように、関係者間で研開発計画を慎重に検討することが望ましい。

〈今後に対する提言〉

- ・ 洗濯物ハンドリングの「定形物ライン」の实用化と「混流ライン」の技術開発・实用化の両者を同時に実現するためには、グループ内での明確な作業・役割分担が必要であろう。
- ・ 片付け作業用マニピュレーション RT システム:洗濯物のハンドリングは、病院やホテルで扱うものはシーツやタオルが主たる対象物であるが、クリーニング業界でみるとカッターシャツ、ズボン等と多種多様である。将来的には、こうした対象物も扱えるように機能拡張を実現されることを期待したい。
- ・ ロボット搬送システム:ロボットの消費電力が明記されていないが、充電時間の短縮と作業時間の長時間化、及びバッテリーの小型化には低消費電力化が重要である。この課題に向けた研究開発が必要であろう。また、ロボットのデザインは、人間と共生する環境ではとても重要な要素である。より親しみのもてるデザインが必要と思われる。
- ・ 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」は、製造業での生産設備への応用も視野に入れるなどして、事業化を目指していただきたい。
- ・ 洗濯物ハンドリングは、如何にシンプルにしていくか、搬送ロボットは如何に導入・採用してもらおうかが、今後のポイントであると考えられる。
- ・ サービスロボットは实用化、事業化する場合、安全は重要なファクターに

なる。評価基準の中に、人との接触など安全に関する評価項目が重点明記される事が望まれる。

- ・ サービスロボット分野はロボットシステムとして最も利用拡大が期待される分野であり、他のプロジェクトとの関係との明確化（役割の明確化）と相互の要素技術利用や情報交流など広い視野での普及に向けた取り組みに期待する。
- ・ 病院内搬送ロボットでは実用化（商品化）して意味ある達成目標を明確にすべきである。資料で示されている目標が達成されても実用的な意味があるかどうか不明。

〈その他の意見〉

- ・ 食器ハンドリングに関しては、開発面においてもホシザキ電機を追加した効果が顕著に見られるようになってもらいたい。
- ・ リネンサプライのマニピュレーション技術は、特殊性がある。
- ・ NEDO には、より一般的な柔軟物操作の技術開発を目標にする課題選定が求められる。
- ・ 「搬送ロボットシステム」について今後の課題として示されているもののうち、エレベータによる階層間移動は、人との同乗が難しいという点以外に技術的な困難はそれほど大きいとは思えないから、得られる効果とコストとの関係を事業化できるレベルにどう持っていくかが特に重要であると考える。
- ・ また、ここで指摘するまでもないかもしれないが、エレベータの乗降などを含めて、すでに実用化されているビル用清掃ロボットと共通の要素が多いと思われるので、清掃ロボットメーカーとの交流で何がしか得られるものがあるような気がする。
- ・ 後者（搬送ロボット）は、新しいロボットによるサービス分野の一つとして、事業化に向けた戦略と戦術を十分に検討して頂きたい。
- ・ 片付けロボットで良い技術が見られたのに、あえて再公募して、他のテーマでしかも2年間で実用化を目指すというのは少し疑問に感じられた。

2. 3 特殊環境用ロボット分野

1) 研究開発成果について

特殊環境用ロボット分野の成果は、他の技術と比較して優位性が認められ、また様々な応用や適用が期待できる点で評価できる。一方、ヒアリングなどにより客観的に仕様を決めていることは理解できるが、実際に出来た場合にそれらの機能がすべて必要不可欠なのかを再度検討する必要がある。

「被災建造物内移動 RT システム」では、高速不整地走破用の Kenaf 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。一方、ドア開けなどの重量作業用ロボットと瓦礫環境で走行する移動ロボットとは利用する環境が大きく異なる。後者に重点化した開発のみではよいのではないだろうか。また、探査群ロボットシステムは災害現場での熱負荷や水などに対しどの程度の耐久性を持ちえているかの評価も必要と考える。更に、閉鎖空間探査ロボットでは、特許化が望ましいか否かの判断をなるべく早くすることが望まれる。

「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開発において成果を挙げている点が評価される。一方、要素技術の開発は進んでいるが、それらを統合したシステムについての検討が遅れている。廃棄物材質の判別精度結果として 65% 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目標値に達しているのかが不明確である。

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ろう。

〈肯定的意見〉

- 閉空間探査ロボットでは、高速不整地走破用の Kenaf とドア開け用アームを備えた UMRS を開発し、多数回の実証実験およびデモを通じて実用化を目指した研究を行ってきた点が評価される。
- 建物解体 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開発において成果を挙げている点が評価される。
- 事業化年度を明示するなど事業化までのシナリオを具体的に示している点は評価できる。
- 閉鎖空間内高速走行探査軍ロボット：Robocup2007 の運動性能部門で優勝、高い走破性と 1 時間以上のバッテリー走行の実現は大いに評価できる。
- 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：解体工事

用の双腕マニピュレータを試作し、廃棄物を5種類に判別するシステムを計画にそって開発したことは評価できる。

- 「被災建造物内移動 RT システム」は、現場での場数を踏んでおり、実用化事業化にかなり近づいているように見受けられる。
- レスキューロボットの可能性は以前から指摘されており、多くのロボットが試作されている中で実用レベルに達したものは極めて少ないが、この状況を変えるものと期待できる。短期間に実用化が期待できる点で、中間目標は高いレベルで達成していると考ええる。
- また、テーマ設定から「レスキュー」の文字を外して、情報収集に目的を絞っている点は、実用化事業化を目指す上で一つの見識と言える。
- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」は、現場でのニーズを明確にとらえている点がすぐれているといえる。マニピュレータを実際に試作・検証している点で、中間目標は達成していると考ええる。
- 他の技術と比較して、優位性が認められる。また、様々な応用や適用が期待できる。
- 探査群ロボットシステムは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と感じる。
- 建設系 RT システムはビル解体時の廃棄物の分離、解体作業の環境改善にチャレンジしており、ロボット化の意義の高いテーマと感じられる。
- 戦略マップ上でも継続的に適応に向けた取り組み分野と理解していて、一定以上の成果を挙げていると考ええる。
- 被災建造物内移動 RT システムにおいては、開発ロボットの各要素部分において高い技術が見られる。建設廃材分離・選別は社会的要請や必要性は理解できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 閉空間探査ロボットでは、特許化が望ましいか否かの判断をなるべく早くすることが望まれる。
- 建物解体 RT システムでは、要素技術の開発は進んでいるが、それらを統合したシステムについての検討が遅れている。
- 閉鎖空間内高速走行探査軍ロボット：ドア開けなどの重量作業用ロボットと瓦礫環境で走行する移動ロボットとは、利用する環境が大きく異なる。後者に重点化した開発のみでよいのではないだろうか。
- 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：5品目での判別から分別したときの、分別度合い目標を段階的に設定し、その評価

を明確にして研究開発することが望まれる。

また、国内特許はあるものの外国特許がない。国際的事業化の観点から知財戦略が必要であろう。

- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」で、マニピュレータの開発にロボット技術が深く関係すると思うが、廃棄物の選別は別システムとして開発することでもあり、一つのテーマに両者を含める必然性が分かりにくいと考える。
- 様々な機能を用意、追加、開発しているが、実用的な側面から、プライオリティーやミニマムリクエストを検討する必要があるのではないか。
- ヒアリングをしたりできるだけ客観的に仕様を決めていることは理解できるが、実際に出来た場合にそれが必要不可欠なのか、再度、検討する必要があると考える。被災構造物内システムでは機能の多様さが、建設系システムでは自由度やインターフェースが、上記の理由 (実用的な側面から、プライオリティーやミニマムリクエストを検討する必要がある) で要検討事項ではないか。
- 建設系 RT システムに於いて、大きな達成目標の一つである、3種類のセンサーを用いた廃棄物材質の判別精度結果として 65%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目標値に達しているのか、いないのかが不明確である。
- 被災建造物内移動 RT システムにおいてはドア部自律開閉・通過に関しては見通しが明確でなかった。建設廃材分離・選別ロボットは、双腕アーム型のもので本当に効率良いのか、他のもっと良い方法はないのか、多少疑問に感じられた。材質判定装置とのシステムとしての連続性が見られなかった。

〈その他の意見〉

- ・ 被災構造物内システムは、かなり長い間、出口を見つけるために開発を続けている感があるので、着地点を早く見つけられることを期待する。建設系システムは、アーム、ブームの自由度の多さ (必然性)、及び廃棄物判別装置の実現が気にかかる。
- ・ 探査群ロボットシステムは災害現場での熱負荷や水などに対しどの程度の耐久性を持ちえているかの評価も必要と考える。

2) 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」では、ユーザーが消防関係のニーズに基づいて開発を進め、またプロジェクト終了 1 年で事業化する見通しであるなど、実用化に向けての道筋は明確であるといえる。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、閉鎖空間探査ロボット技術の波及効果は大きい。

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。

「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、事業展開の広がりを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。

〈肯定的意見〉

- 閉空間探査ロボットでは、実証実験を通じてその実用化可能性の高いことが明確に示されている。
- 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。
- 建物解体 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。
- 閉鎖空間内高速走行探査軍ロボット：実証試験を積み重ねて事業化を目指していることは大いに評価できる。
- 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：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、事業展開の広がりを推進するものとして評価できる。
- 「被災建造物内移動 RT システム」では、ユーザーが消防関係と特殊なこともあるが、そこでのニーズに基づいて開発を進めており、またプロジェクト終了 1 年で事業化する見通しであるなど、実用化に向けての道筋は明確であるといえる。
- 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」も、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。
- ユーザーに使ってもらい、現場での検証を推進している。

- 探査群ロボットは機能的完成度が高く、実災害現場での活躍が期待できる。
- 建設系 RT システムはビル解体時の廃棄物の分離、解体作業の環境改善貢献ができるポテンシャルを持っていると思われる。
- 耐久性、信頼性、機能の絞り込みによる実現場への導入とより一層の利用技術の向上を期待する。
- 被災建造物内移動 RT システムは、さまざまな技術開発を伴っているため、波及効果（例えば屋外での通信技術）は大きいと思う。

〈問題点・改善すべき点〉

- 建物解体 RT システムでは、システムへの総合化の段階にあり、実用化の目処をこれからつける必要がある。
- 閉鎖空間内高速走行探査軍ロボット：災害対策用として政策的に配備する方策を NEDO とともに計画する必要があると考える。
- 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：廃棄物材質判定精度向上を第 2 フェーズ平成 32 年頃と 10 年以上後に計画している。第 1 フェーズにおいても、廃棄物材質判定精度の向上が必要ではなかろうか。
- 被災建造物内システムは、研究開発とデモの域を出ていないように感じる。例えば、各市町村に 1 台入れるなどの具体的な事業の方針を打ち出すなど、普及のために、事業ベースの視点で戦略を立てる必要があるのではないだろうか。
- 建設系システムは、従来法から脱却するために、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。
- 探査群ロボットは色々な災害現場に到達できる走破能力と、環境情報収集能力が優れている点は理解できる。しかし、本ロボットの最終目的が人命救出の為の人体探査である事を考えると、人体探査にどれだけ有効か、例えば探査成功率なども評価することが必要と考える。
- 被災建造物内移動 RT システムは実用化という点では、他の一般産業用機械装置の開発とは分けて考えるべきなのかもしれない。このとき、何をどこまでしたら、実用化できたと言えるのか、もう少し明確であることが望ましい。

〈その他の意見〉

- ・ 閉空間探査ロボットの実用化・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することが望ましい。
- ・ 「被災建造物内移動 RT システム」では、ステージゲート不通過のグルー

プも含めて、通信技術の重要性が明らかになり、発展が見られたことも有意義と考える。

- 被災構造物内システムは、利用機会は限定的だが不可欠な物なので、如何に自治体や政府に採用してもらうかを検討すべきではないか。
- 建設系システムは、如何に効率的、効果的かを示すことが出来るか、さらに如何に作業員に受け入れられるかが鍵となるのではないか。
- また、双腕型のユンボが広まらない背景などを分析し、事業として成り立たせるための戦略が必要ではないか。
- 探査群ロボットが実用としての実効性を発揮するには機能が優れていることは第一であるが、その他に訓練されたオペレータの養成、災害と同時に迅速に出動できる体制を持った機関でのメンテナンス、装備、これらの点も広く波及するポイントになると思われ、これらの点の検討も必要と考えられる。
- レスキューへの活用、解体現場での実運用を含めた現場サイドとの連携による、問題点解決と実フィールドでの利用、採用事例の増加による認知度向上に期待する。また、設備点検を含めたメンテナンス分野での活用、技術提供なども含めた応用分野の拡大に期待する。

3) 今後に対する提言

「被災建造物内移動 RT システム」は、これまでの開発の経緯を踏まえ、ターゲットを絞ったビジネスモデルを策定した実用化に向けての取り組みが必要である。画像などによる状況把握機能とともに、さまざまな環境の中での人の存在検出・探査能力の開発を更に強化することが期待される。

「建設系産業廃棄物処理 RT システム」は、新しい工法なので、少しずつ試しながら進めるべきである。建設系システムは、それぞれが大がかりなので、全て出来てからではなく、少しずつでも成果物を実際に導入し、効果を検証し、それに基づいて常に方向性を検証してゆく必要がある。実用化に向けては、業界標準となる安全性と操作性を兼ね備えた操作性の高い双腕マニピレータの操作システムを開発し、普及させることを期待する。

〈今後に対する提言〉

- ・ 建物解体 RT システムについては、本格的実証実験を早急に行って、具体的課題とその解決方針をより明確にすることが望まれる。
- ・ 閉鎖空間内高速走行探査軍ロボット：災害時には、閉鎖空間の3D地図構築以外にも、閉鎖空間大気測定、人間探索などの情報を送信できる機能が求められる。このため各種のセンサーが必要であり、システムとしての機能の整理とその実現に向けた計画が必要であろう。
- ・ 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：双腕マニピレータの操作は、片腕マニピレータと比較し、格段に難しくなると予想する。現場では解体マニピレータの操作が企業製品ごとに異なる状況は好ましくなく、業界標準となる安全性と操作性を兼ね備えた操作システムを確立し、普及させることを期待する。
- ・ 被災建造物内システムは、ターゲットを絞ってビジネスモデルを策定し、それを元に開発を進めないと、機能は向上し、コンテストで優秀であったとしても、事業には結びつかないのではないかと懸念する。
- ・ 建設系システムは、それぞれが大がかりなので、全て出来てからではなく、少しずつでも成果物を実際に導入し、効果を検証し、それに基づいて常に方向性を検証してゆく必要があると思う。
- ・ 探査群ロボットシステムについては今回のプロジェクトは災害現場状況の把握が第一目的であり、画像などによる状況把握機能の目標達成は良く理解できた。しかし、最終的には人の救出であり、現場の様々な環境の中で人の存在検出・探査能力も開発の評価指標に入れて行くべきと考える。
- ・ 利用促進と実フィールドでの採用に向けた課題（品質保証体制の整備を含めた）の克服に期待します。

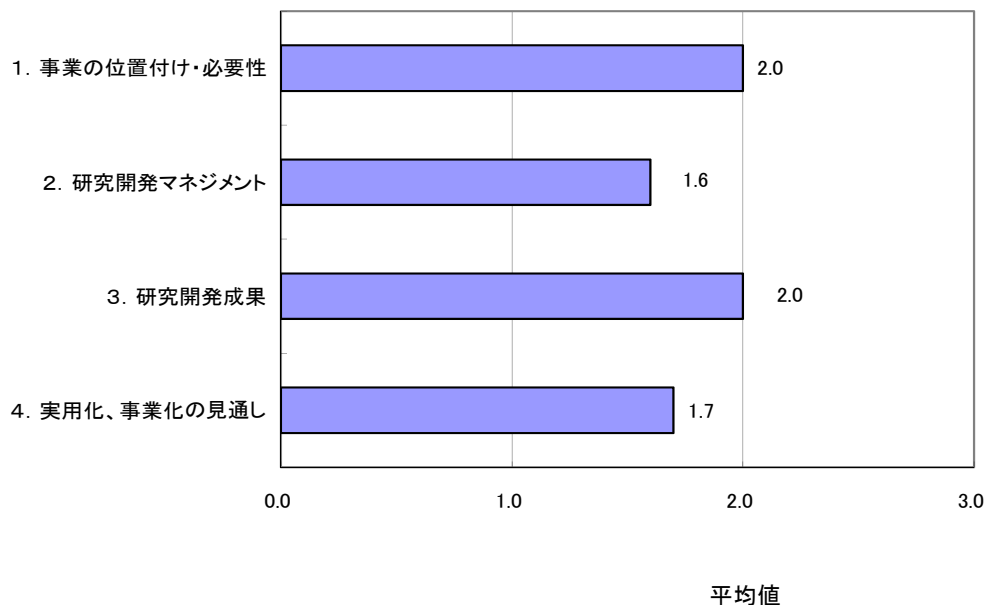
- ・ 建設分野のロボット化は安全性と効率性の観点から、ロボットのアプリケーションとして今後とも重要と考えられるので積極的な支援が望ましい。

〈その他の意見〉

- ・ 前者（被災構造物内システム）は開発の歴史が長く、事業化により注力すべきだと思う。後者（建設系システム）は新しい工法なので、少しずつ試行しながら進めるべきだと思う。

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	B	B	B	C	B	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.0	A	B	B	B	C	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	1.6	B	B	B	C	B	C	C	
3. 研究開発成果について	2.0	B	A	B	B	B	C	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	C	B	C	

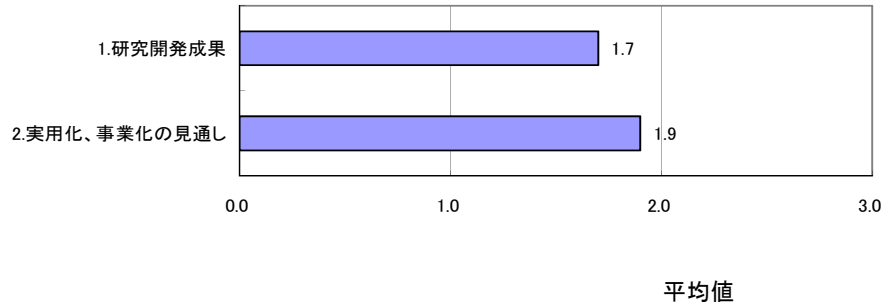
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

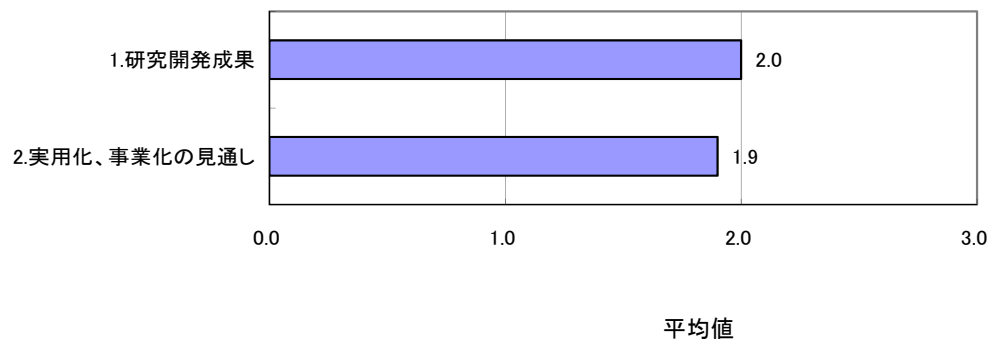
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

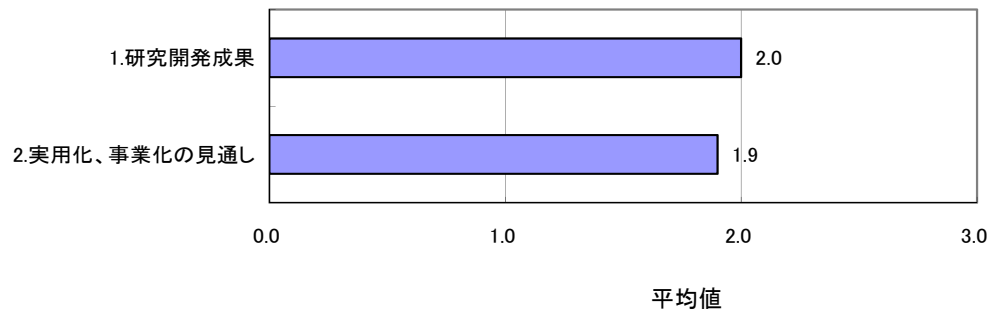
3. 2. 1 次世代産業用ロボット分野



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	1.7	A	B	C	C	C	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	A	B	B	C	B	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	2.0	B	B	B	B	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	C	B	B	B	B	B	
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	2.0	B	B	A	B	C	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	A	B	B	C	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 機械システム技術開発部
-----	----------------------------------

— 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 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. 評価に関する事項	69
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	70
2. 各テーマの成果まとめ	83
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
添付資料 2（ステージゲート評価成果報告書書式、評価要領等）	B-1

1 概 要

		作成日	平成 21 年 6 月 3 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	機械システム技術開発部 若林潔、九津見啓之						
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	(718)	(4,172)
	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	(718)	(4,172)

開発体制	経産省担当原課	製造産業局産業機械課
	プロジェクトリーダー	千葉工業大学 平井成興
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	東北大学、株式会社安川電機、筑波大学、三菱電機株式会社、ファナック株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所、川田工業株式会社、THK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、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、積水ハウス株式会社、株式会社ニルバーナテクノロジー(平成20年7月まで)、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、村田機械株式会社、慶應義塾大学、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、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構、バンドー化学株式会社、株式会社シンクチュープ、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、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。

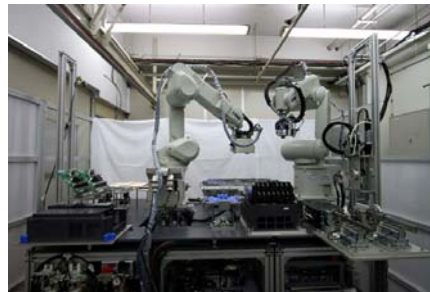
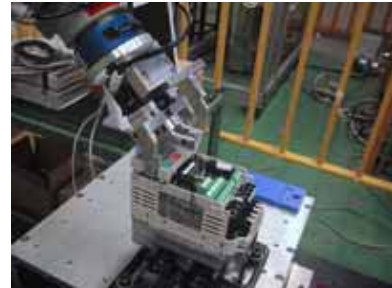
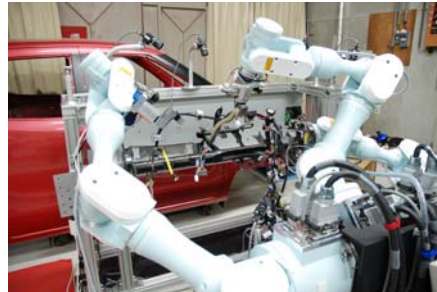


図1 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステム

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でき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

食器や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。

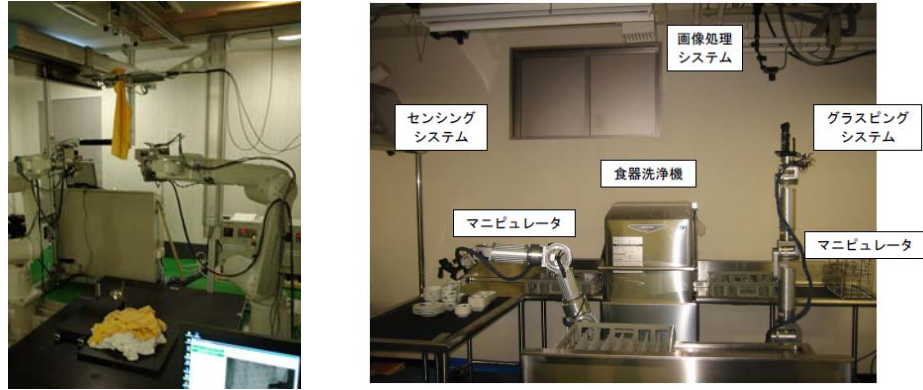


図3 片付け作業用マニピュレーションRTシステム

2. 2 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

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や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、室内における人、物等の関係性を知識化する空間構造化技術、指示に基づいて簡単な作業を自律的に実行する技術等を開発した。

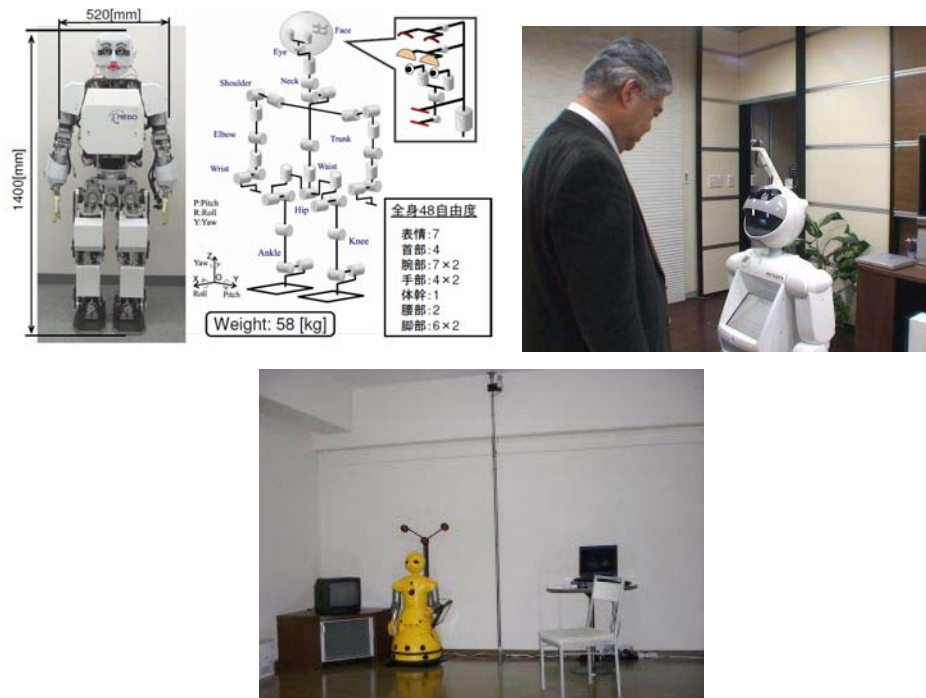


図4 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

2. サービスロボット分野

2.3 ロボット搬送システム

大規模商業施設等において、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R T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R Tシステム

3. 2 建設系産業廃棄物処理R T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R T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
	国内	海外		
件数	33	159	99	77
<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 中間評価実施予定 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		

(21世紀ロボットチャレンジプログラム) 平成18～20年度
「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

機械システム技術開発部

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

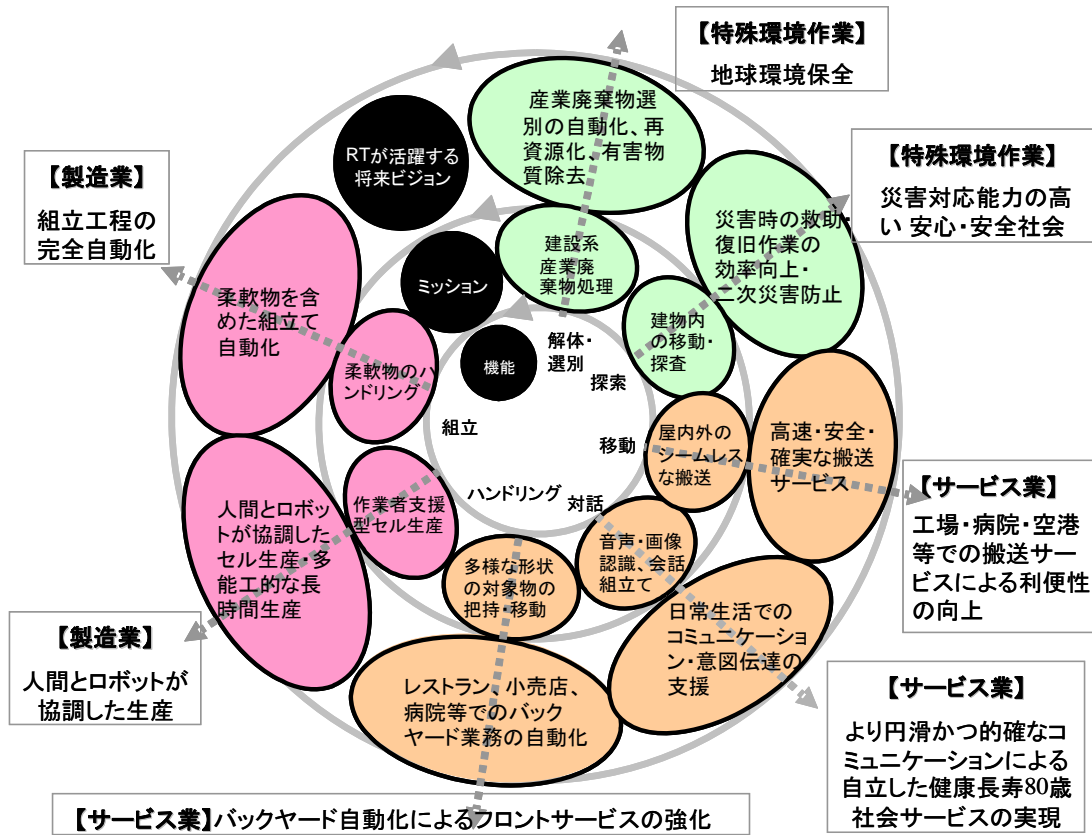
本プロジェクトの直接的な目標(アウトプット)は、「将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成すること」である。

「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。

(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（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解体现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) 平成 21 年度
「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 (案)

機械システム技術開発部

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

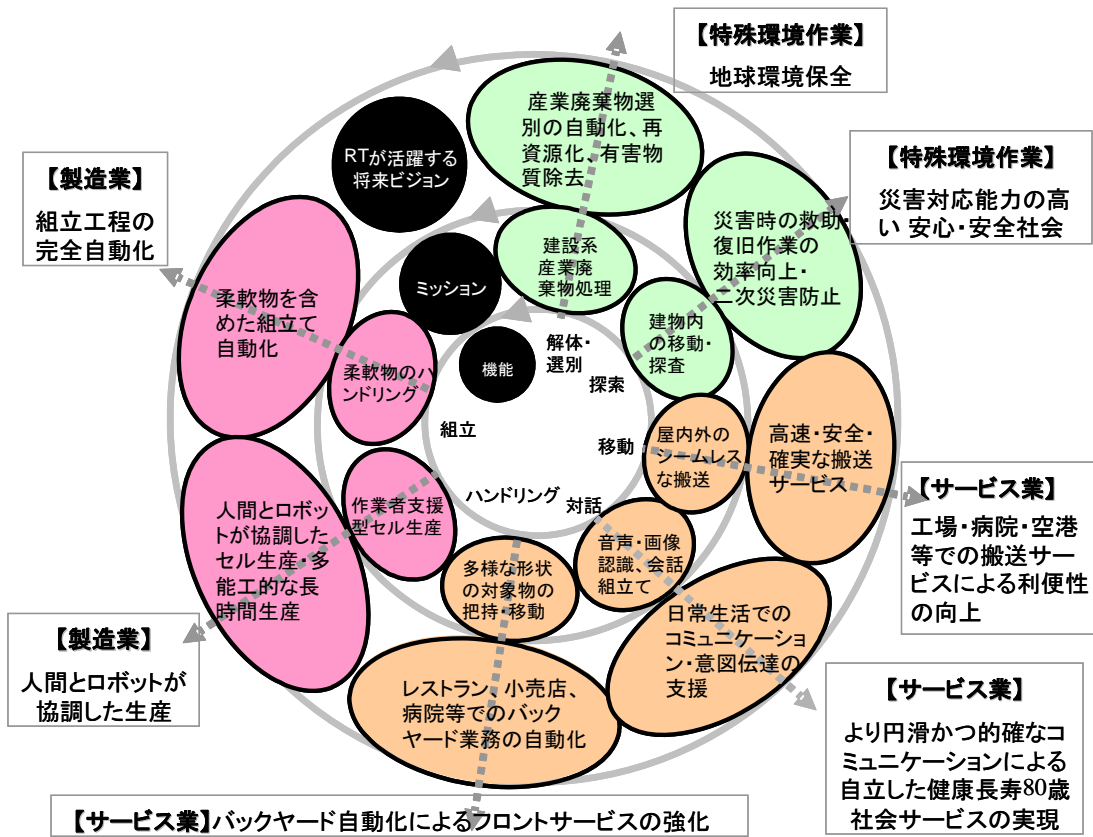
本プロジェクトの直接的な目標(アウトプット)は、「将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれる「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することにより、達成すること」である。

「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、適宜見直しものとする。

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砕機により解体、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に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。

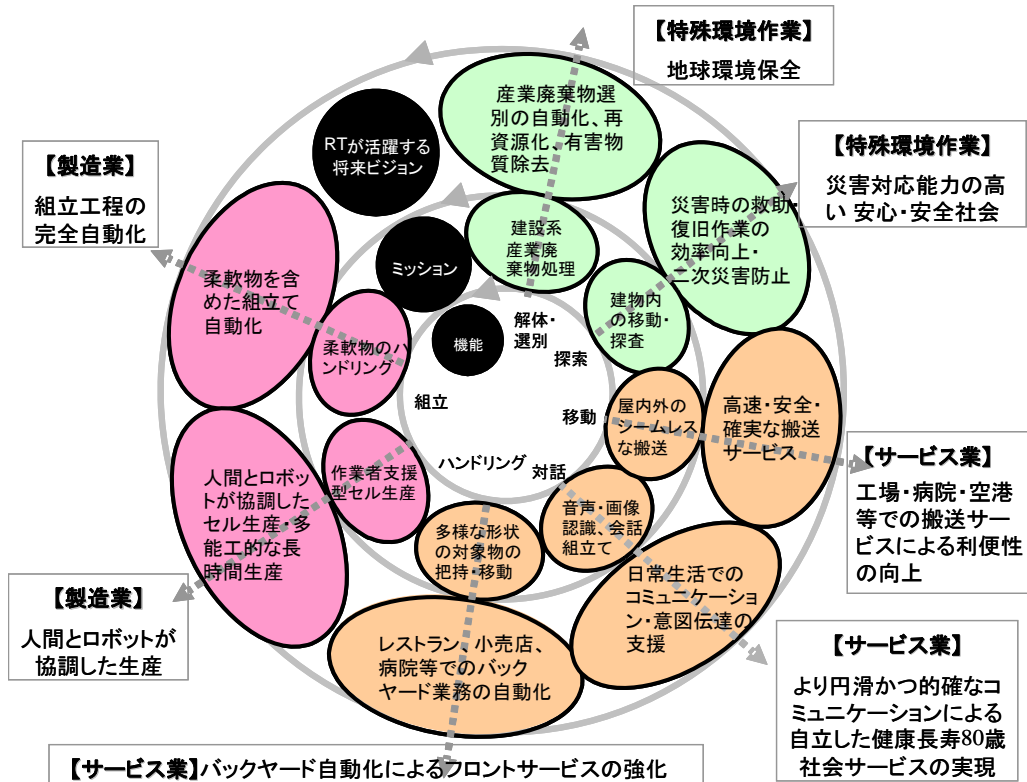


図 I.2.1 設定された7つのミッション

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。

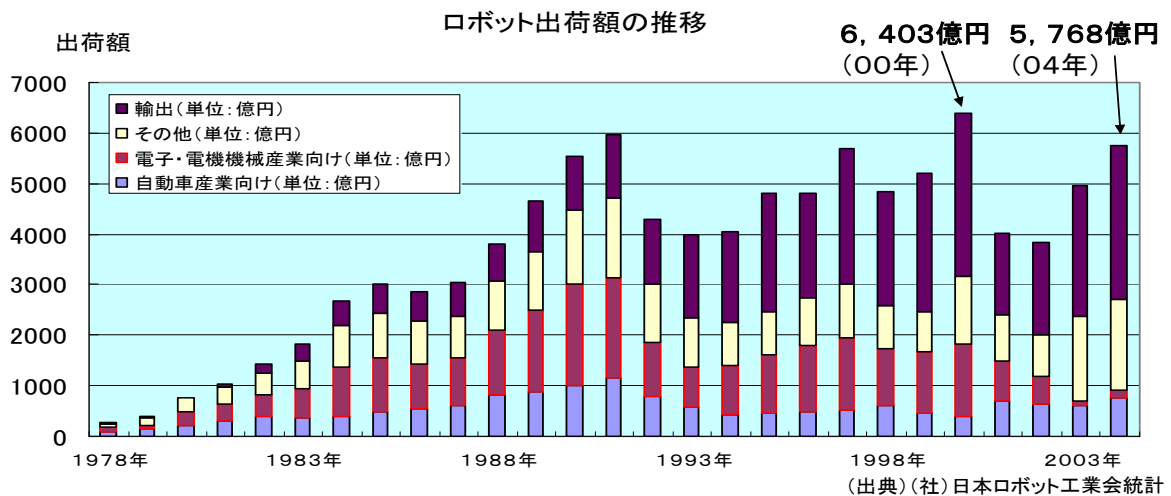


図 I.2.2 ロボット出荷額の推移

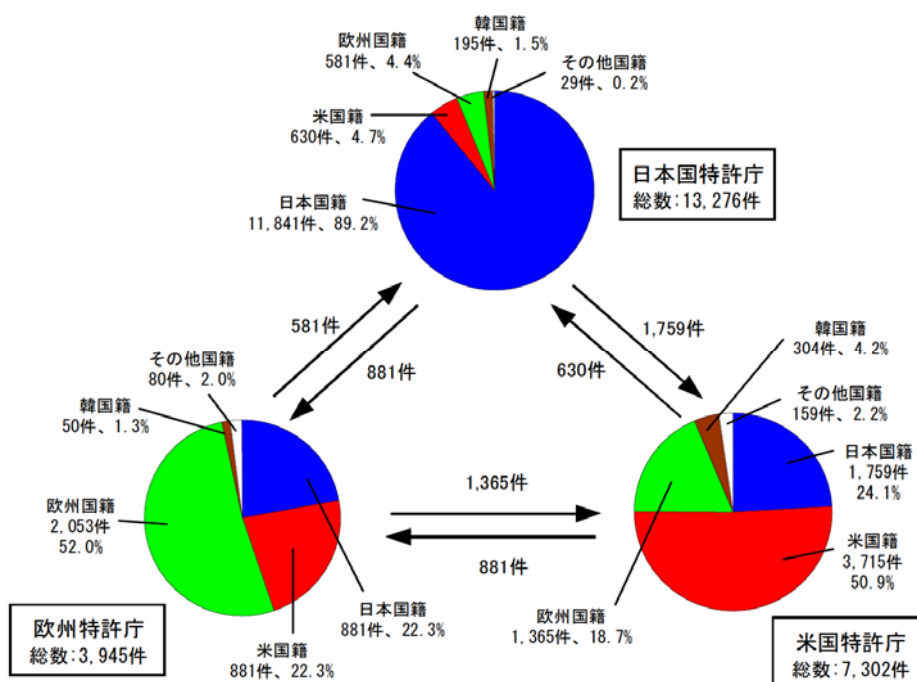


図 I .2.3 ロボット分野の出願先国別— 出願人国籍別出願件数

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。

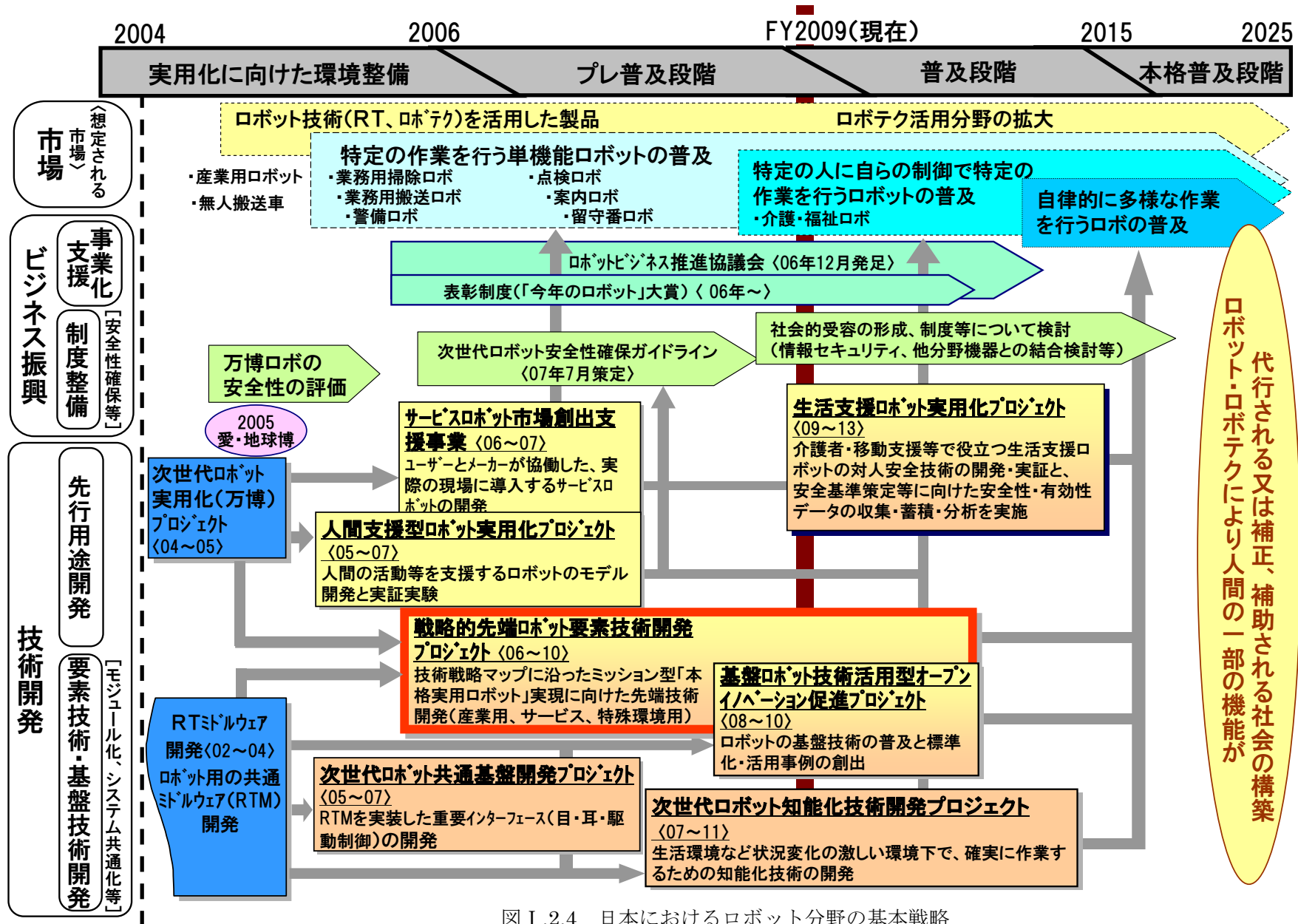


図 I.2.4 日本におけるロボット分野の基本戦略

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。

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。

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R T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

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)	一般会計	1,042	941	752	718	(718)	(4,171)
	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	0	0	0			0
	総予算額	1,042	941	752	718	(718)	(4,171)

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)

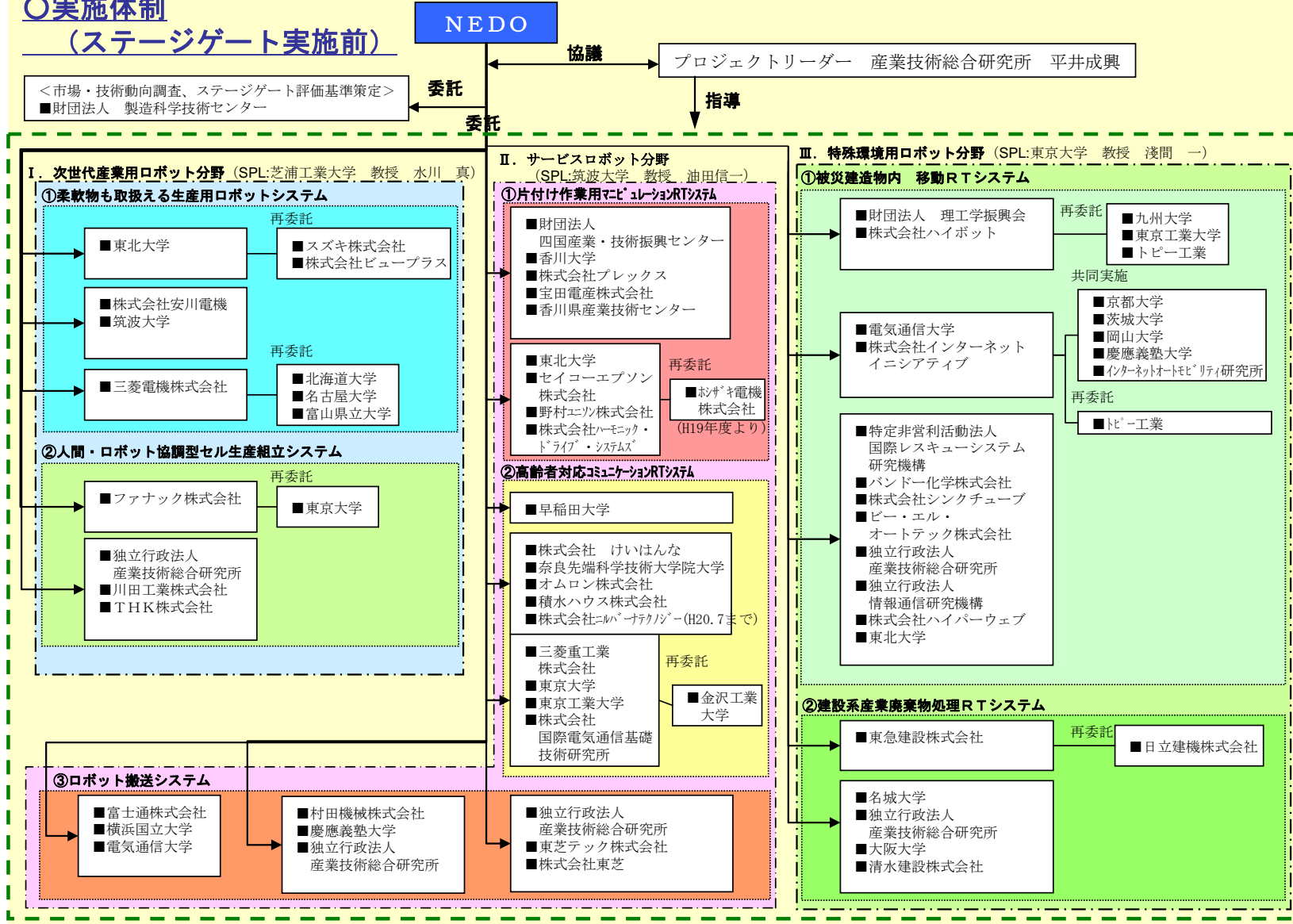
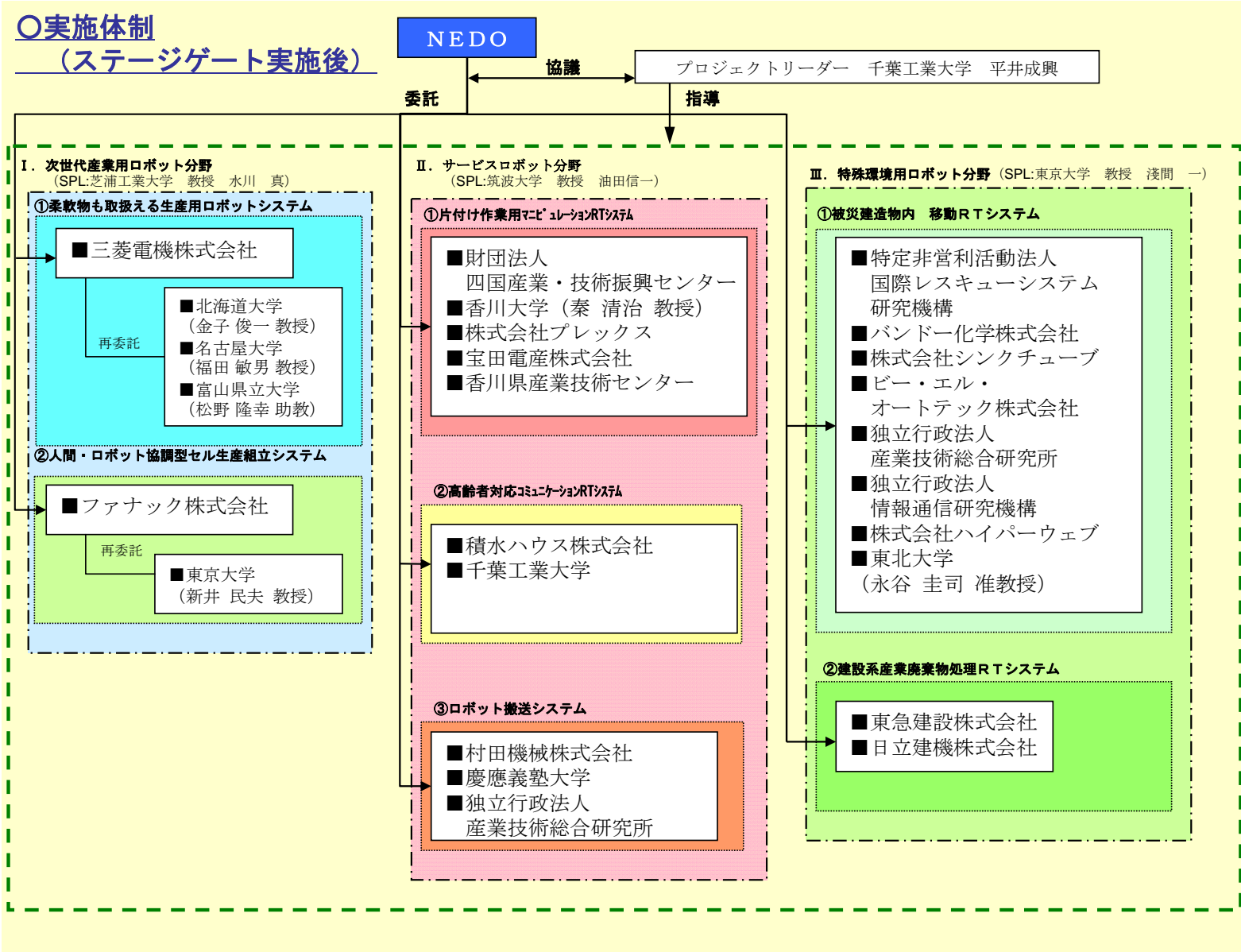


図 II.2.1 実施体制 (ステージゲート実施前)

○実施体制

(ステージゲート実施後)



64

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。

「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。3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	計
推進委員会	5	4	0	9
技術委員会	18(※)	24(※)	12(※)	54
評価委員会	1	2	22(※)	25
計	24	30	34	88

※ 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 誠(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)

(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。

ステージゲート成果報告書の書式および評価基準は添付資料2の通り。

表Ⅱ.2.6 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ー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. 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。

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

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。各テーマ、概ね目標を満足することが出来たが、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）においては、基本計画に対応した要素技術開発で優れた成果を出しているものもあったが、全体的に達成度が低く、高齢者対応のアプリケーションとしての事業化期待度も低いプロトタイプロボットシステムであったため、ステージゲート通過グループを該当無しとした。

高齢者対応コミュニケーションRTシステムについては政策的意義も大きいことから、基本計画の見直しを行うとともに再公募を実施した。

各テーマにおける主な成果は以下の表の通り。

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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
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	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	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	・プロトタイプシステムにおいて、異常検出、異常判別、自動復旧技術を組み合わせて、基板コネクタとIGBTコネクタの挿入作業において異常状態からの自動復旧をそれぞれ成功率99%と98%で実現した。	○
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			・投光部・カメラ一体型の小型3次元センサヘッドユニットを開発した。	○
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。			・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1/3の時間でプログラムが作成できることを確認した。	○

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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
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	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	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。	・ロボットと作業者の動作エリアを安全柵や光カーテンなどの安全センサにて分離する多重系安全対策によるシステムを構築した。	○
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			・移動配膳協調ロボットにより、安定した走行性能、部品配膳・作業支援機能を実証した。	○
③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術			・直感的に理解しやすいマルチメディアを用いた支援情報の設計と作業視野内に情報を提示する水平LCDディスプレイ作業台を開発。	○

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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
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	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	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。	・視覚とロボットを組み合わせた布1枚を把持し、布のコーナーを把持し、辺を抽出する布ハンドリング技術を開発した。 ・10種類以上の食器や食器洗浄用ラックをハンドリングするマニピュレーションスキルを開発した。	○
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			・パターン光プロジェクト付加3次元視覚センサを開発。 ・10種類以上の食器を識別し、0.5秒以内に認識する技術を開発。	○
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			・布端から布の一边を把持する簡易版たぐり機能ハンドを開発した ・ロバスト把持を実現するハンドを開発した ・高出力・軽量7自由度マニピュレータを開発した。	○

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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
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	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	①バーバル（会話）やノンバーバル（ジェスチャー、指示具）コミュニケーションによる指示により、情報提供のみならず、RTならではの物理空間作業を行う。 ②複数の年齢層に対し、適切なコミュニケーションを実現する。また、人とのやりとりを重ねながら、適切なコミュニケーションモデルの選択、履歴の活用などが可能なものとする。	・年齢対応音韻モデルによる音声認識性能の向上とロバストなハンズフリー音声対話システムを構築した。	○
②物理空間行動を伴うヒューマンロボットインタラクション技術			・全身のジェスチャ認識手法と行動情報の遠隔転送手法の確立した。	△
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			・室内の対象物の3次元座標を取得できる「指示デバイス」、人物行動を認識するシステムとの連携インタフェースを開発した。プロトタイプ機においては、人物の入室を検知し、自発的にサービスを開始するシステムを開発した。	○
④指示に基づいて、簡単な作業を自律的に実行する技術			・指示語（あれ、これ等）、色（「赤い」本等）、指差しを組み合わせた行動会話によって、空間内の対象物を特定する技術を開発した。	△

△：目標概ね達成。一部未達成。

各要素技術の開発では、基本計画の目標を達成しているものもあったが、技術レベルおよび事業化の期待度等からステージゲート評価ではステージゲート通過候補該当無しとして、最終目標の見直しを行うとともに再公募を実施した。

表Ⅲ.1.5 サービスロボット分野：ロボット搬送システム

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
①人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術	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)	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)	・人並みの1/2の走行速度(0.7m/sec)で移動しながら、同速度で対向移動する障害物を安全に回避するアルゴリズムを開発した。	○
②人とロボットが共存する環境下での安全（事故防止）技術			・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を検証した。 ・ロボットの最外円周部から接触時における力を検出する機構と力覚センサをロボットに搭載し、人との接触があった場合に停止、あるいは接触方向を避けるなどの処置を行うアルゴリズムを開発した。	○

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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
<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>	<p>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。</p>	<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（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>	<ul style="list-style-type: none"> 高速不整地走破機構をもつ「Kenaf」を開発した。特に、不整地において高い走破性を実現し、RoboCup 2007 Atlanta 大会運動性能部門優勝、Disaster City の瓦礫の走破、などの実績を挙げた。 	<p>○</p>
<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>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<ul style="list-style-type: none"> RoboCup や Disaster City、地下街等で実証試験を行い、開発した遠隔操作技術の有効性を実証した。 	<p>○</p>
<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>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地下街の実証試験において、距離683mを遅れが小さく、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実証した。 マルチホップ無線ネットワークに特有な遅延およびパケット消失に対応した、ロバストなロボット制御プロトコルおよびロバストな動画像伝送機構を開発した。 	<p>○</p>
<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>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<p>（この欄は上記と同様）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 仙台市地下鉄やDisaster Cityにてオフラインで3次元地図を構築できることを示した。 	<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

開発技術	中間目標	最終目標	成果	達成度
①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法	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 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	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	近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光 X 線分析計と判定要素を統合したベイズ推定法を応用した廃棄物材質の判定手法を開発した。	○
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			<ul style="list-style-type: none"> ・3次元形状を認識する対象物センサシステムを開発した。 ・廃棄物の種類性状の範囲を基に、把持力、分離方法、旋回速度等を明確にし、ハンドリング計画機能の最適性を検証した。 	○
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			<ul style="list-style-type: none"> ・細かな把持や切断が可能な多機能ハンドと多腕マニピュレータを開発した。 ・市販ミニショベルをベースマシンとした水圧マニピュレータを開発した。 	○
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）			<ul style="list-style-type: none"> ・操作レバーとソフト開発を行い 2 本のレバーで多自由度多腕マニピュレータを一般の油圧ショベルオペレータが、同時に簡便に動かせるシステムを開発した。 ・多腕マニピュレータの干渉防止システムを開発した。 	○

(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、89件であり、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

	論文等誌上发表（査読有り） （論文誌、学会誌、国際会議）		特許出願	報道 （新聞、雑誌等）
	国外	海外		
件数	33	159	99	77

(4) 論文発表・成果の普及

論文発表（査読有り）は、国内33件、海外159件、計192件、新聞雑誌等による報道は77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)で8件、I IROS(IEEE Intelligent Robots and Systems)で13件、それぞれ発表している。

本プロジェクトの成果については、日本ロボット学会誌において特集号として掲載予定である。（平成21年12月発行予定）

また、ステージゲートの結果について、平成21年2月13日にNEDO日比谷オフィスにて記者発表会を実施した。30名のプレス関係者が参加し、一般紙を中心に写真入りで取り上げられた。

さらに、平成21年度以降の計画では、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ることとし、成果の一部を2009国際ロボット展（東京ビッグサイト）にて公開予定である。



図Ⅲ.1.1 記者発表会(平成21年2月13日)の様子



図Ⅲ.1.2 特殊環境分野：被災建造物内移動 RT システム
(国際レスキューシステム研究機構グループ) の公開デモの様子

(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うこととし、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、研究開発を推進する。また、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>【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。</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>【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。</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：

今後の課題としては作業時間の短縮と動作安定性の向上および多種製品に対応するための技術の汎用化が挙げられる。課題解決に向けてリカバリー対応エラーの拡充、様々なコネクタケーブル取り扱いに対応できる形への開発技術の拡張に取り組む。

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>【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。</p>	<p>【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。</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：

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>【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。</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>【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。</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"> ・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。 ・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>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>

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>【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。</p>	<p>【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。</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>【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。」</p> <p>－参考－ 【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。</p>	<p>【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。」</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>

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

2.1.1.1 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

【実施者：国立大学法人東北大学】

研究項目 (基本計画内容)	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レーション技術の開発	ワイヤーハーネスのような柔軟物を確実に把持できる技術を開発する	ワイヤーハーネスを把持できる方法を開発し、それをプロトタイプシステム導入することで有効性を証明する	1) クランプカバーを用いたワイヤーハーネスの把持方法を開発した。 2) 作業の遂行を補助するための柔軟物把持及び変形状態制御技術を開発した。	1)、2)の成果とも実際のプロトタイプロボットシステムに導入された。そして、実際の実配線実験によって、提案した方法の有効性が証明された。
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	ワイヤーハーネスを把持の目的に、ワイヤーハーネスの状態を計測するためのセンサ利用技術を開発する	ワイヤーハーネスの組み付けに必要なワイヤーハーネス計測技術を開発し、それをプロトタイプシステム導入することで有効性を証明する	1) グラフ構造を持つハーネス認識用データベースの構築及びそれに基づいた画像検索手法を開発した。 2) 5眼カメラユニットを開発した。 3) H型溝を持つ高指向性力センサを開発した。 4) 固定カメラ、手先カメラ、レーザ変位センサを併用した分散協調センサシステムに基づいたワイヤーハーネス計測システムを開発した。	1)、4)の技術はプロトタイプロボットシステムに導入され、実際の実配線実験によって、有効性が証明された。 2)、3)の成果はまだワイヤーハーネスの組み付け実験に応用されていないため、今後プロトタイプシステムに導入し、実験による検証を行う必要がある。

<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>ワイヤーハーネスの組み付け作業のための教示方法を開発する</p>	<p>教示用ソフトを開発し、プロトタイプロボットシステムによる実験に応用すること有効性を証明する</p>	<p>1) 3次元コンピュータグラフィックスベースロボット作業教示システムを開発した。</p> <p>2) 作業におけるワイヤーハーネスの振る舞いを考慮する機能を教示ソフトに導入した。</p>	<p>1) の成果は既に実配線実験に応用されたので。その有効性が証明された。</p> <p>2) の成果はまだ実配線の動作計画に使用されていないため、今後、実験システムとの整合性の研究をする必要がある。</p>
<p>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</p>	<p>開発した技術の有効性を確かめる</p>	<p>以上各項目で開発した技術を組み込んで、ワイヤーハーネスの自動組み付け実験を成功させる</p>	<p>実際の工場に近い条件下でのワイヤーハーネスの自動組み付け実験が成功した。</p>	<p>目標とおり、実配線実験を成功したが速度、信頼性のさらなる改善が必要である。</p>

2.1.1.2 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

【実施者:(株)安川電機、筑波大学】

研究項目(基本計画内容)	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	接触作業スキルの開発 (複腕協調作業技術)	キット配膳で定位置に部品を供給し、自動でインバータの組立を実行(作業成功率90%以上)	力センサを利用した嵌合作業スキルと2Dレーザセンサを利用したワーク位置姿勢計測により、キット配膳と個別部品供給で定位置に部品を供給し、作業成功率95.7%で小型インバータの配線及び基板の自動組み付けを実現した。	目標達成
	作業パラメータの取得 (高度配線作業技術)	グリッパに人が手を添えて、コネクタの把持姿勢、把持力等のスキルパラメータを教示、再生するシステムの構築。教示時間50%短縮を目指す。	グリッパに手を添えたスキル教示手法の開発を行い、小型マニピュレータでも大型による作業の教示が行えること、初めての教示者でも直感的に利用できること、多人数でもほぼ同様のスキルパラメータが教示できることを確認した。	教示時間の短縮度は未確認だがほぼ目標達成。
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	作業状態認識 (環境認識技術)	キット配膳された部品の把持認識、部品の能動センシング後の把持認識、部品組付け認識を確率95%以上。タッチングキャリブレーション(筑波大アルゴリズム)によるワーク位置姿勢計測でオフライン教示の動作プログラミングの活用。	電動ハンドの把持力とモータエンコーダ情報による部品の把持認識と、力センサとロボットエンコーダ情報を利用した部品組付け認識を確率99.3%で実現した。タッチングキャリブレーションによるワーク位置姿勢計測で、事前検証したオフライン教示の動作プログラミングを実機の動作プログラムとして活用した。	目標達成
	ケーブルトレースによるコネクタ認識 (作業遂行認識技術)	おおよその向きしかわからないケーブルに対し、トレースにより先端コネクタの位置・姿勢、ケーブル把持位置の計測を行う。90%以上の成功確率を目指す。	ケーブルを追従するアルゴリズムを開発し、100mm程度のケーブルを1秒程度で追跡することにはほぼ100%成功している。ただし、高速化に伴い計測時間遅れの影響から振動的となり、長い距離の追従には改良が必要となっている。	目標達成
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	作業教示の簡易化 (簡易教示技術)	作業教示(センサ動作教示、嵌合作業スキル教示、パラメータの自動調整を含む)の簡易化とプレイバックによる作業遂行(作業成功率90%以上)を実現。保守担当のロボットエンジニアリング関係者が教示可能なシステムを実現。	従来通りの操作ペンダントで接触作業させながら嵌合作業スキルに必要なパラメータの自動教示と、2Dレーザセンサのスキャン及び把持動作の簡易教示ができるシステムを実現した。また、作業成功率95.7%でプレイバックによる作業を遂行できた。	目標達成

	キャリブレーションの簡易化 (多自由度系教示技術)	人手で行っていたロボット設置時のキャリブレーションに対し、タッチングプローブとパレット表面の点-面接触を利用して半自動化した手法を開発する。作業時間の50%短縮を目指す。	点-面タッチングによるキャリブレーションアルゴリズムは完成し、±100mm、±20°程度の据付誤差に対しても、5回繰り返した際のばらつきが従来手法の半分の0.1[mm]、0.05[deg]以下でキャリブレーションが行える。	作業時間は従来の手動3点教示する場合と比較して優位性はなかったが、自動化可能な手法として将来性がある。
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	作業実証試験 (実証ロボットシステム)	インバータ製造サブラインでの試験稼働を実現。小型インバータ組立サブラインへの周辺機器も含めたシステムとしてロボットを導入し、小型インバータ組立作業の作業成功率90%以上。	インバータ製造サブラインでの試験稼働を実現し、キット配膳コンベアや部品供給装置を含めたロボット生産システムを導入し、小型インバータ組立作業の作業成功率は95.7%である。	目標達成
	技術検証試験 (検証ロボットシステム)	ロボット用ミドルウェアを用い、様々なスキルに対応可能な複数台マニピュレータからなる検証システムを構築する。	マニピュレータ、2Dレーザセンサ、力センサ、力制御系をロボット用ミドルウェアであるRTミドルウェアにより実装し、ネットワーク上で多数台のロボットが稼働するシステムを構築した。	目標達成

2.1.1.3 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) コネクタ組み付け作業における作業エラーからの自動復旧率 80%の実現 (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) 異常検出、異常判別、自動復旧技術を組み合わせ、基板コネクタと IGBT コネクタの挿入作業において異常状態からの自動復旧をそれぞれ成功率 99%と 98%で実現。	(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) 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	(1) 3次元センサユニットサイズ: 350cc 以下、カメラダイナミックレンジ:従来比400%向上, Ethernet 伝送機能実装 コネクタ位置誤差: ±1mm, 計測時間:2 秒以下 (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)	(1) 3 次元センサヘッドユニットを設計、試作 332cc を実現。Ethernet による画像伝送実現、通常の 4 倍のダイナミックレンジを実現。コネクタの位置認識誤差 ±0.9mm、処理時間 1.5 秒以下を実現	(1) 目標達成
	(2) 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) 計算処理時間: 2 秒以下、ワイヤハーネス計測精度: ±3mm (計測時間 :2 秒/視点以下、ワイヤハーネス計測精度: ±2mm)	(2) 計測安定性、検出性能向上、形状推定、計測回数の低減・高速化により、処理時間 1.7 秒、位置精度 ±3mm を実現	(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 3 倍以内 (コネクタ挿入作業時間: 人作業の 1 倍以内)	(3) コネクタ挿入作業単体を 0.7 秒（人とほぼ同等）で実現できることを確認。	(3) 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) 柔軟物組み付け作業において、コネクタ把持、挿入など典型的な作業動作のロボットプログラム生成機能を開発する。 (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。 (同上)</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1/3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>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</p>	<p>開発した技術の有効性を確かめる</p>	<p>分岐ケーブルの組み付け作業などFA機器組立において主要な作業を検証可能な実証システムを製作</p>	<p>各工程を実証システムに実装し、FA機器に代表される電機電子製品の一連の組立作業が実現可能であることを確認。</p>	<p>目標達成</p>

※「本開発の目標」はステージゲート時の目標。()内は最終目標を示す。

2.1.2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

2.1.2.1 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】

開発技術について

研究項目 (基本計画内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
<p>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。</p>	<p>(1)ロボット移動時安全対策の確立 (2)作業者協調時安全対策の確立 (3)安全管理技術統合化手法の確立</p>	<p>(1)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。 (2)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。 (3)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。</p>	<p>(1)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柵や光カーテンなどの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。 (2)光カーテンによる領域分離、ロボットアーム部動作制限、作業者監視システムによる安全確保の基礎技術を実証。 (3)168 項目の危険源を同定し、リスク低減策を検討。</p>	<p>(1)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確認し、所期の目標を達成した。 (2)各技術の基本性能に問題ないことを確認した。今後、更なる信頼性の強化を進める。 (3)必要となる全てのリスク低減策を検討した。未実装項目や信頼性の強化が必要な項目については今後対応を進める。</p>
<p>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>	<p>(1)移動配膳協調ロボットの開発 (2)部品ピッキングハンドとビジョンシステムの開発 (3)知能化部品トレイの開発</p>	<p>(1)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。 (2)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。 (3)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</p>	<p>(1)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。 (2)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複数部品のピッキングを実証。 (3)ロボット搭載ビジョンにて部品キット内の部品過不足を検査する機能を実証。</p>	<p>(1)走行・部品配膳・作業支援機能に問題なく、所期の目標を達成した。今後、信頼性強化を図る。 (2)所期の目標はほぼ達成した。今後、更に多様な部品荷姿に対応するためユーザビリティの強化を図る。 (3)部品キット内の部品過不足検査機</p>

		であること。		能の実現により所期目標の概ね 1/2 は達成した。今後、RFID でのトレイ内部品の表現機能開発に注力する。
作業者が習熟しやすい作業情報提示技術	<p>(1)作業者位置姿勢測定システムの開発</p> <p>(2)バイタルサインモニタの開発</p> <p>(3)作業教示支援システムの開発</p> <p>(4)作業情報支援システムの開発</p>	<p>(1)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。</p> <p>(2)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。</p> <p>(3)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。</p> <p>(4)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初心者に分かりやすい情報支援を実現すること。</p>	<p>(1)作業者の頭・肩部の3次元座標を取得し、作業者の姿勢の推定を実用レベルでの位置精度・検出速度で実現する技術を取得。</p> <p>(2)多種の生理指標の中から、心的負担に関連の強い4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。</p> <p>(3)作業のコツとなる熟練者の作業姿勢を特徴的動作パラメータとして抽出し、3D仮想空間上での作業初心者モデルにて作業教示する技術を取得。</p> <p>(4)直感的に理解しやすいマルチメディアを用いた支援情報の設計と作業視野内に情報を提示する水平LCDディスプレイ作業台を開発。</p>	<p>(1)オクルージョンの問題は残されているが、実用レベル(精度30mm、速度0.6s)で検出が可能なることを確認した。</p> <p>(2)個人差への対応や測定の簡便化など課題は残るが、従来の主観評価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。</p> <p>(3)所期の目標を達成した。</p> <p>(4)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できた。</p>

統合システムについて

基本計画における 最終目標	基本計画における 中間目標	達成状況
<p>開発したシステムで作業者が組立を行い、</p> <p>(a)作業手順の改善 (b)機種切り替え (c)生産量の変動 に対する対応能力を示す。</p>	<p>下記に対する対応能力を有する実証システムを構築する。</p>	
	<p>(a)作業手順の改善</p>	<p>作業工程毎のロボットプログラム・提示作業情報はモジュール化されており、容易に順序変更</p>
	<p>(b)機種切り替え</p>	<p>機種切り替え指令に伴い、ロボットプログラム・提示作業情報を自動的に切り替え</p>
<p>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>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>人間・ロボット協調型セル生産組立実証システムにて、簡易的なケーブルハーネスの単品種生産を行い、人間を中心とした従来方式セルからの組立所要時間短縮（＝(A)生産性の向上）を達成する。</p>	<p>(A)生産性</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 作業初心者・中級者共に生産立上げ当初から高い生産性を確保可能 （立上げ時にて、従来方式セルの最大約2倍） ● 作業初心者でも中級者と同等の生産性を確保
	<p>(B)機種切り替え時間の定量的評価は、ステージゲート以降にて構築する多品種混流生産システムにて検証予定。</p>	<p>(B)機種切り替え時間</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 治具の変更 ロボットが治具を兼務するため、自動対応 ● 作業内容の変更 供給部品変更は、ロボットにて自動対応 作業内容変更は、作業情報提示の自動変更により容易に理解可能

2.1.2.2 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

【実施者:(独)産業技術総合研究所、川田工業(株)、THK(株)】

研究項目（基本計画内容）	目的	本開発の目標	成果	達成度
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	(1)小型上体ヒューマノイドの開発 (2)出力制限装置の開発 (3)高機能カバーの開発 (4)安全空間管理システムの開発 (5)シミュレータベースのリスク管理システムの開発	(1)最適なシステムを開発し実証現場で確認する (2)当装置の開発と試験検証 (3)当該カバーの開発と評価 (4)作動空間制限機能の実装 (5)当システムの開発と実機実装	(1)小出力で低コスト、小型のシステムを開発 (2)回路設計が完了した (3)開発し、防塵性能を確認した (4)ハードウェアの開発を完了 (5)開発し性能を確認した	(1)基本性能を確認し、中間目標まで達成した (2)中間目標まで達成した (3)中間目標まで達成した (4)中間目標まで達成した (5)中間目標まで達成した
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	(1)簡易交換コンパクトハンドリングシステム	(1)当システムの開発と評価	(1)3種のシステムを開発し、性能を確認した	(1)中間目標まで達成した
③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術	(1)安全な直接教示システム	(1)当システムの開発と評価	(1)安全で直感的なシステムを開発し、評価した	(1)中間目標まで達成した

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

2.2.1.1 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

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
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	<p>[定型洗濯物ライン投入システムの開発]</p> <p>(1)ハンドリング手順の確立と、要素技術の抽出</p> <p>(2)上記を組み合わせた布ハンドリング、投入システムの開発</p>	<p>(1)洗濯物の山から1枚の布を取り出す技術開発</p> <p>(2)吊り下げ布のコーナを把持する技術開発</p> <p>(3)コーナ把持した布の辺を把持する技術開発</p> <p>(4)以上を纏めてライン投入するシステム開発</p>	<p>(0)布ハンドリング作業の分析と自由度制御体系化</p> <p>(1)視覚とロボットを組み合わせ布1枚を把持する技術開発</p> <p>(2)布のコーナを把持する技術</p> <p>(3)辺を通出する技術</p> <p>(4)投入システム開発、確認</p>	<p>(0)当初予定に加えて開発</p> <p>(1)(2)(3)開発し、定型ライン投入システム(ステージゲートシステム)に組み込み終了。予定通り。</p> <p>(4)予定通り、投入システム完成、総合成功率80%タクト10秒を実現、実用機の可能性を検証した。</p>
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	<p>[視覚センサーおよび視覚認識アルゴリズムの開発]</p> <p>(1)積層された布形状の抽出</p> <p>(2)布端部の検出と把持位置の決定</p> <p>(3)絡まっている布の絡み部の検出と把持位置の決定</p>	<p>(1)視覚センサーの開発</p> <p>(2)全体視覚認識アルゴリズムの開発</p> <p>(3)手先視覚認識アルゴリズムの開発</p> <p>(4)絡み布形状抽出アルゴリズムの開発</p>	<p>(1)パターン光プロジェクト付加3次元視覚センサー</p> <p>(2)積層された洗濯物の全体形状抽出アルゴリズム</p> <p>(3)吊下げ洗濯物の部分形状からの把持位置姿勢決定アルゴリズム</p> <p>(4)視覚と力センサを組み合わせた布の絡み位置形状検出機能</p>	<p>(1)(2)(3)開発し、ステージゲートシステムで動作。実用機への展開可能性を確認した。</p> <p>(4)基本アルゴリズムを開発した。21年度以降の開発システムで使用予定</p>
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	<p>[洗濯物用ハンド及びハンドリング制御方法の開発]</p> <p>(1)布の柔軟性・不定形性に対応する第7軸を付加したハンド</p> <p>(2)冗長な7ハンドの姿勢変換機能</p> <p>(3)双腕ハンドでのたぐり伸展機能</p>	<p>(1)エンドエフェクタ側における先端位置一定での姿勢変換動作機能</p> <p>(2)布端、布片形状から接近位置、接近姿勢を認識するアルゴリズムと動作方法</p> <p>(3)簡易版たぐり機能ハンド</p>	<p>(1)姿勢制御範囲拡大のための第7軸付加ハンドとその制御</p> <p>(2)検出された布端点の位置方向に沿った把持方法</p> <p>(3)布端から布の一辺を把持するための簡易版たぐり機能ハンド</p>	<p>(1)予定を達成</p> <p>(2)開発を終了、視覚との組合せ方法の検討要</p> <p>(3)開発し、ステージゲートシステムで動作確認。実用プロトタイプ機展開のための基礎技術を構築。</p>

2.2.1.2 食器洗浄・収納パートナロボットの研究開発

【東北大学、セイコーエプソン(株)、野村ユニゾン(株)、(株)ハーモニック・ドライブ・システムズ】

研究項目(基本計画内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
多様な形状を有する対象物のマニピュレーション技術の開発	(1) システム統合コントローラの開発	(1) 統合ソフトウェアの開発 (2) マニピュレーションスキルの解析ならびにスキルデータベースの構築 (3) 物体ハンドリング技術の開発	(1) 統合運動制御システムによるロボットの運動制御の実現 (2) 10種類以上の食器マニピュレーションスキル構築 (3) 10種類以上の食器ハンドリング可能	当初の目的を達成し、かつ、食器だけでなく食器洗浄用ラックなどのハンドリングも実現した。
対象物の位置姿勢の認識技術の開発	(1) 統合センシングネットワークの開発	(1) 対象物認識技術の開発 (2) 対象物の位置・姿勢同定技術の開発 (3) 作業・収納環境構造化技術の開発	(1) 10種類以上の食器を認識 (2) 0.5sec以内の認識速度を実現 (3) 食器の位置・高さ情報の取得 (4) 設置環境に依存するセンサのキャリブレーション手法の構築	当初の目的を達成した。
器用なハンドおよび軽量高剛性マニピュレータの開発	(1) 高出力・軽量マニピュレータシステムの開発 (2) グラスピングシステムの開発	(1) 高出力・軽量アクチュエータユニットの開発 (2) 高出力・軽量マニピュレータ機構の開発 (3) 多指ハンド用アクチュエータユニットの開発 (4) ロボットハンドシステムの開発	(1) 高出力・軽量アクチュエータの実現 (2) 高出力・軽量7自由度マニピュレータの実現 (3) 高出力・小型アクチュエータの実現 (4) 軽量ロボットハンドの実現 (5) ロバスト把持を実現するハンドの実現	当初の目的を達成した。
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	開発した技術の有効性を確かめる	上記のシステムを用いて食器洗浄・収納に関する一連の動作を連続して行う実証システムを構築	積み重ねられた食器をハンドリングし、洗浄ラックに投入するマニピュレータおよびセンサシステムと、	当初の目的を達成した。

			洗浄後のラックから食器を取り出し、食器カゴに挿入するマニピュレータおよびセンサシステムの2セットを用いた実証システムを構築し、一連の動作を連続して行うことを実現	
--	--	--	--	--

2.2.2 高齢者対応コミュニケーションRTシステム

2.2.2.1 快適生活支援 RT システムの開発 【実施者:早稲田大学】

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
(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) ハンズフリー対話を実現するために、音源分離および雑音除去手法の確立 (3) 発話者の年齢、障害、心的状況などの対話系の開発	(1) 小型マイクロホンによる音響フォーカスの実現 (2) 断片的な発話の理解の実現 (3) 会話におけるパラ言語理解の実現 (4) 会話相手に応じた内容による会話進行の実現 (5) 会話状況に応じた視線制御の実現 (6) 会話データの蓄積と次回の会話時での利用技術の開発	(4) 1.5m 離れたハンズフリー条件で2万単語連続音声認識で単語認識精度80%、タスク達成率81%を実現 (5) 断片的な発話文を受理することが始めて可能になった (6) 否定/肯定89%、相槌/聞き返し88%、笑顔/平常顔85%の識別率を達成 (7) 性別識別率97%、男性年齢推定70%、女性年齢推定59%を達成し、対話の制御を実現。 (8) 顔位置認識に基づく会話相手との視線一致とジェスチャによる注意喚起を実現 (9) 対話相手の顔および音声データの蓄積・更新による認識精度を向上させる枠組みを製作	(1) 100% (2) 100%：定量的な結果はないが、初めての試み。 (3) 100% (4) 100% (5) 100%：定量的ではないが自然な会話が実現。 (6) 90%：実証実験が不足
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	(2) 基本6表情を実空間で表現し、物理的なインタラクションが可能なロボットの開発	(4) 2足歩行型情動表出口ロボットによる物理的なインタラクションの実現 (5) 顔表情と身体ジェスチャの組み合わせによる表情認知の比較実験による効果の確認	(5) 表情表出7、首部7、腕部7x2、主部4x2、体幹1、腰部2、脚部6x2、の自由度を持つ2足歩行ロボットと車輪移動型の人間型ロボットを製作 (6) 基本7表情について、平均75%の認知度を実現。身体ジェスチャ付加による認知度向上33%を確認	(1) 100% (2) 100%：人間比較も行った

<p>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</p>	<p>(1) 行動記録アーカイブのためのサーバシステムの構築し、シーン解析とデータ蓄積方法の確立 (2) 室内GPS(スードライト)とRFIDタグによる環境情報の構造化の実現</p>	<p>(1) 全方位からの人物認証方式の確立 (2) 複数カメラによる人とロボットの行動記録の実現 (3) ロボット搭載用の室内GPSのハード、ソフトの開発 (4) RFIDタグによるロボットの自律移動の実現</p>	<p>(1) 後頭部のみによる40人の個人識別率80%を達成 (2) 4台のカメラによる3次元実時間行動記録の実現、空間分解能5cm、処理速度250m秒以下 (3) 小型GPS受信システムを完成し、屋内測位誤差数cmを達成。 (4) RFIDタグのみによる自律移動を実現、自己位置推定誤差はタグ間隔(30cm)の1/2以下</p>	<p>(1)100% (2)90%データ蓄積による実証不足 (3)100% (4)100%</p>
<p>④指示に基づいて、簡単な作業を自律的に実行する技術</p>	<p>(1) ロボット体内ネットワークアーキテクチャおよび共通プロトコルの開発</p>	<p>(1) ロボット作業のインテグレーションのためのミドルウェアの製作と複数OS上での動作確認</p>	<p>XMLファイルで通信を定義するミドルウェアMONEAを開発、WindowsおよびリアルタイムOSであるQNX Neutrino6.3上で動作を確認</p>	<p>(1)100%</p>
<p>(2) 実証ロボット(プロトタイプRTシステム)の開発および実証実験</p>	<p>上記開発技術を組み込んだプロトタイプシステムの製作と開発技術の有効性の実証実験</p>	<p>(1) 複数の具体的なシナリオに基づくロボット行動のシステムへの実装 (2) 高齢者介護施設等における実証実験による成果の確認</p>	<p>(1) 挨拶と健康関連の対話を行うロボットROBISUKE、難読ゲームロボットHABIAN、体操教示ロボットKOBIANを製作し、目的の動作を確認 (2) 高齢者介護施設「ケアタウン小平」などでの実証実験で高齢者を活性化する効果を確認</p>	<p>(1)100% (2)100%:定量評価は今後の課題であるが、実現場でこれだけの実験を行ったのは初めてである</p>

2.2.2.2 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)】

研究項目 (基本計画 内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
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	(1)顔情報計測の 開発 (2)音声認識モジ ュールの開発 (3)顔センシング 技術の開発 (4)自然言語検索 モジュールの開 発	(1)顔情報計測機能 と音声認識機能を融 合した対話システ ムの開発 (2)年齢に対応する とともに雑音にロバ ストな音声認識技術の 開発 (3)顔センシングに よる性別年代推定、 状態推定機能 (4)文脈関連情報の 計測による知的な会 話のための基本機能	(1)リアルタイム顔情報計測 法とマルチモーダル対話シ ステムの構築 (2)年齢対応音韻モデルによ る音声認識性能の向上とロ バストなハンズフリー音声 対話システムの構築 (3)高齢者認識に対応した性 別年代推定技術の精度向上 と高齢者の特定表情推定機 能のプロトタイプの実現 (4)評判情報の要約、相づち 機能、ニュース情報の集約を 実現する自然言語検索モジ ュール	(1)目標の マルチモ ーダル対 話システ ムを構築 (2)目標以 上の性能 達成 (3)目標通 りの認識 性能を達 成 (4)3つの 目標につ いてほぼ 実現
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	(1)システム統合 化技術の開発 (2)遠隔コミュニ ケーション要素 技術の開発	(1)室内の自律移動 機能の実現 (2)ジェスチャ認識 機能と行動情報転送 機能	(1)天井画像に基づく移動機 能の実現 (2)全身のジェスチャ認識手 法と行動情報の遠隔転送手 法の確立	(1)目標の 移動機能 を達成 (2)当初目 標を達成
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	(1)拡張記憶機 構の開発	(1)行動情報入力方 式と行動履歴の蓄積 方式の開発	(1)基本4動作を認識する プロトタイプシステムと行 動履歴の検索・描画エンジ ンの開発	(1)目標 認識率を クリア

指示に基づいて、簡単な作業を自律的に実行する技術	(1) システム統合化技術の開発	(1) 室内での自律移動機能と対話機能の統合	(1) 天井画像に基づく自律移動機能を統合し、音声指示に従って行動するデモの実現	自律機能と対話機能の融合目標をクリア
--------------------------	------------------	------------------------	--	--------------------

2.2.2.3 行動会話統合コミュニケーションの実現

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

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度
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	(1)高齢者を含む様々な年齢層に適応できる発話と作業実行と表現のための身振りのタイミング制御の手法を確立	(1)発話と身振りのタイミング制御モデルを精密化(双方向のモデル化) (2)年齢層など、ユーザの多様性に対応するためのタイミング制御機構を明らかにする。	(1)発話と身振りのタイミング制御モデルを構築、プロトタイプシステムに実装した。 (2)「行動会話統合タイミング制御技術」がロボットの親和性に影響を与えることを示した。	(1)達成 (2)達成
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	下記を可能とするフレームワークを確立する。 (1)高齢者に馴染みやすいコミュニケーション (2)状況に応じて作業実行が可能なロボット	(1)状況依存モジュールの前提条件部で、空間情報を利用できるようにする。 (2)空間情報構造化データベースを用いた、一台のロボットと人を対象にした実験で、やり取りが円滑に行えることを検証する。	(1)人・モノの位置、利用者別会話履歴(コト)の状況に応じて、サービスの流れを制御する「行動会話統合状況依存モジュール技術」を開発した。 (2)プロトタイプ機へ適用し、人・モノの位置、利用者別会話履歴(コト)のバリエーションに対応できることを実験で確認した。	(1)達成 (2)達成
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	(1)指示語、形容詞、指差しを組み合わせた行動会話によって、空間内の対象物を特定する技術を開発	(1)センサのためのミドルウェアを利用しながら、知識ベース、プリミティブ層、センサ層・セグメント統合層におけるソフトウェアを構築する (2)ロボットを含め、外部にもセンサがある環境下において、フレームワークの稼動について実証実験で確かめる。	(1)指示語(あれ、これ等)、色(「赤い」本等)、指差しを組み合わせた行動会話によって、空間内の対象物を特定する技術を開発した。 (2)プロトタイプ機において、人物の入室を検知し、自発的にサービスを開始するシステムを実現した。	(1)達成 (2)達成

<p>④指示に基づいて、簡単な作業を自律的に実行する技術</p>	<p>(1)再現性, 安全性を検証 (2)機能的優位性・新規性, 有用性を検証</p>	<p>(1)コア技術を統合し, サービス実現に必要な全体機能を備えたプロトタイプシステムを開発する。 (2)物品搬送などの具体的なタスクについて, 本Pjで開発したシステムの優位性・有用性を実証する</p>	<p>(1)プロトタイプシステムを開発し, 一定の実証運用期間中の安定動作を確認 (2)2種類の具体的なタスクについて, 高齢者を含む被験者により優位性・有用性を検証</p>	<p>(1)達成 (2)達成</p>
----------------------------------	---	---	---	------------------------

2.2.3 ロボット搬送システム

2.2.3.1 環境情報の構造化を利用した搬送ロボットシステムの開発

【実施者:富士通(株)、横浜国立大学、電気通信大学】

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) 環境情報構造化技術を活用し、実環境で移動ロボットのナビゲーションを実現する。	(1) ロボットに搭載、および環境に設置する小型 UWB 無線端末を開発する。無線周波数 3.4~4.8GHz、送信パワーは -41.3dBm/MHz 以下を目標とする。 (2) UWB 測位システムにおいて、TOA(Time of Arrival)を用いた三角測量により、ロボットの測位精度 30cm を達成する。 (3) UWB 測位システムにおいて、非見通し下のマルチパスの影響がある環境下で測位精度を改善するアルゴリズムを開発する。 (4) RFID タグの位置推定方式を開発する。	(1) 大きさが 10cm×10cm、重さ 300g の UWB 無線端末を開発した。また、無線周波数 3.4~4.8GHz、送信パワーは -41.3dBm/MHz 以下を達成した。 (2) UWB 無線端末をロボットに搭載し、実オフィス環境において位置誤差 15.7cm(RMS)での測位を達成した。 (3) マルチパスの影響のあるオフィス環境で、ノード選択法を用いたアルゴリズムを開発した。マルチパス環境において、通常的方式では 68cm の測位誤差(RMS)であったものが、16cm となり、大幅な改善を達成した。 (4) ベイズ理論を用いたパッシブ型 RFID タグの位置推定方法を開発した。位置誤差 30cm の推定精度を達成した。	(1) 目標を 100%達成した。 (2) 目標の 2 倍近い測位精度を実現した。 (3) 目標を 100%達成した。 (4) 目標を 100%達成した。
人とロボットが共存する環境下での	(1) オフィスでの搬送業務に適した、安全な走行機構を開発する。	(1) オフィス環境で走行可能な走行機構を開発する。	(1) リスクアセスメントを繰り返して安全設計を行い、2cm の段差を踏破し、最大速度	(1) 目標を 100%達成した。

<p>安全（事故防止）技術</p>		<p>(2) オフィスで違和感の無いデザインを有する搬送ロボットを開発する。</p> <p>(3) オフィス環境において安全な自律走行を実現する。</p>	<p>1.2m/s で走行可能、可搬重量 20kg の移動機構を開発した。</p> <p>(2) オフィスで違和感の無いデザインを有するオフィスロボットを開発した。</p> <p>(3) ステレオビジョン、レーザレンジファインダ、超音波センサを用いて環境計測を行い、人が往来する実オフィス環境で、衝突の無い安全な自律走行を実現した。</p>	<p>(2) 目標を 100%達成した。</p> <p>(3) 目標を 100%達成した。</p>
-------------------	--	---	--	---

2.2.3.2 全方向移動自律搬送ロボット開発

【実施者:村田機械(株)、慶應義塾大学、(独)産業技術総合研究所】

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	<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>①全方向へ移動可能とする機構技術の開発</p> <p>②エレベータへの乗り降り可能機構技術の開発</p> <p>③搬送物を安全に搬送する技術の開発</p>	<p>(1)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・段差 1cm 対応 ・人並みの 1/2 の走行速度 (0.7m/sec) ・製品プロトタイプ台車製作・実証実験実施 <p>(1)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボットが昇降装置に乗降する際の問題点検証実施 <p>(1)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・着脱可能なワゴン牽引システムの製作・実証実験実施 ・同一フロア内におけるワゴン牽引搬送実現 	<p>(1)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(1)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・昇降装置乗降に必要な情報を取得した。 <p>(1)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・着脱可能なワゴン牽引システムを開発した。 	<p>(1)-①：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・段差 1cm 対応 ・最高速度 0.7m/sec ・製品プロトタイプ台車製作し、京都第二赤十字病院にて実証実験実施。 <p>(1)-②：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今期は、1フロアでの移動技術に開発を集中した。 <p>(1)-③：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・着脱可能なワゴン牽引システムを製作し、同一フロア内におけるワゴン牽引搬送のデモを実施した。
	<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自動環境</p>	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次元地図自動生成システム構築 ・誤差±3cm 以内 <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自己位置同定アルゴリズム構築 ・誤差±3cm 以内 	<p>(2)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(2)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 	<p>(2)-①：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・誤差±3cm 以内 <p>(2)-②：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・誤差±3cm 以内。 ・充電ステーション近傍では誤差±3mm 以内、±0.5deg 以

<p>地図生成技術の開発</p> <p>②自己位置同定技術の開発</p> <p>③障害物回避技術の開発</p>	<p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人並みの 1/2 の走行速度 (0.7m/sec) で移動しながら、同速度で対向移動する障害物を安全に回避 	<p>構築した。</p> <p>(2)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・障害物回避技術を取得した。 ・周囲環境に応じた障害物回避モードの切替の重要性を確認した。 	<p>内。</p> <p>(2)-③：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人並みの 1/2 の走行速度 (0.7m/sec) で移動しながら、同速度で対向移動する障害物を安全に回避するアルゴリズム開発 ・ロボットの走行速度の 7 割の速度で対向移動する障害物の回避を実機で検証。
<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"> ・位置計測技術の精度向上 ・誤差 2-3cm ・加速度センサ内蔵型超音波タグシステムの開発 (低消費電力機能実現) <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 	<p>(3)-①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・超音波タグを用いた位置計測技術の高度化を実現した。 <p>(3)-②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大規模センサ・ネットワークを開発した。 <p>(3)-③</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>(3)-①：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・位置計測技術の精度向上 ・誤差 2-3cm ・加速度センサ内蔵型超音波タグシステムの開発 (低消費電力機能実現) <p>(3)-②：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>(3)-③：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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

<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"> 各機能モジュール・分散制御基板の設計・実装 <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> 瞬間最大加速度 0.5G の衝撃にも転倒しない転倒防止技術の開発 人並みの 1/2 の走行速度 (0.7m/sec) での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現 <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 反作用力推定アルゴリズムの構築 100msec での衝突検出 環境・人との衝突の識別アルゴリズム構築 制御精度±10N 以内の作用力検出 <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 非ホロノミック拘束の影響度に基づいた電動車椅子の誘導制御アルゴリズムの確立 車椅子型移動ロボットの試作 制御精度±10cm 以内の支援軌道追従確認 障害物検出情報と移動ロボットの受動性に基づく、軌道再計画アルゴリズムの検証 シミュレーションによるアルゴリズムの検証 	<p>(2)- ④</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 <p>(2)-⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> 急発進、急停止に転倒しない搬送ロボットを開発した。 <p>(2)-⑥-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 反作用力推定アルゴリズムの構築を完了した。 <p>(2)-⑥-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 非ホロノミック拘束を考慮したアルゴリズムの構築を完了した。 軌道追従制御アルゴリズムを構築し、シミュレーションによる検証を完了した。 障害物検出は考慮せず、ロボットに作用する推定反力に基づいた軌道再計画アルゴリズムを構築完了 	<p>(2)-④：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 超音波センサ統合基板製作。 4ch、測距時間 42msec 16ch、測距時間 100msec <p>(2)-⑤：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 機構的転倒対策を実施し、ロボット本体を 10 度傾けた状態でも転倒しないことを確認した。 人並みの 1/2 の走行速度 (0.7m/sec) での急発進、急停止する場合の転倒防止の実現 <p>(2)-⑥-1：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 推定速度 100msec 以内を達成。 人との衝突検出に関しては検証が不十分。 精度±10N 以内の力検出を達成。 <p>(2)-⑥-2：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 既存システムを改良し、車椅子型移動ロボットを試作。 制御精度±10cm 以内の支援軌道追従確認 障害物検出情報と移動ロボットの受動性に基づく、軌道再計画アルゴリズムの検証 シミュレーションによるアルゴリズムの検証
-----------------------------------	--	--	---	---

		<p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボットの指先に装着可能な弾性触覚センサの設計 ・接触検出確認 (指先で 10g 程度) ・ロボットへの実装検討 <p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平常時に人間の活動を妨げない 7 段階の情報提示で、7 割の人がタスクを遂行しながらロボットからの情報を取得できることを達成する ・人間へのアクティブな情報提示についてシステムの周囲 3m 四方の環境情報を、環境情報の評価結果で絞り込む機構を実現し、情報提示を選択する際の環境情報の参照を無くす ・人とロボットの位置関係に依存して、提示ジェスチャを変更する手法を開発する ・人の位置関係を考慮したジェスチャ生成を用いて、ロボットの移動意図が有意に伝わることを達成する <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータの暴走の検知を行うと共に、それぞれのセンサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐシステムの開発 ・コンピュータ、センサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐ基本システムの開発 ・人並みの半分の程度の移動速度領域におけるコンピュータ、センサおよびアクチュエータの異常による暴走および誤動作を防ぐ基本システムの実現 	<p>(2)-⑥-3</p> <ul style="list-style-type: none"> ・指先に装着可能な弾性触覚センサ技術を取得した。 <p>(2)-⑥-4</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人を避ける際の発話・ジェスチャ生成を可能にするために認識機構を構築した。 ・画像データより選択的に人の顔画像領域を発見する手法を開発した。 ・ロボットの通過する意図を伝えるモジュールを開発した。 ・人に道を空けてもらうことを頼む発話および、ロボットが避ける方向を示すジェスチャを生成する機構を構築した。 <p>(2)-④</p> <ul style="list-style-type: none"> ・腕にかかる過負荷に対する安全制御を確認した。 	<p>(2)-⑥-3：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(2)-⑥-4：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロボットの避けてほしいという意図が伝わること ($p < 0.05$)、およびジェスチャがある場合、ロボットが左右のどちらへ避けようとしているか伝わりやすいこと ($p < 0.1$) を確認。 <p>(2)-④：目標達成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・腕に過負荷が生じた際、脱力する安全制御を確認。
--	--	---	---	---

2.2.3.3 店舗応用を目指したロボット搬送システムの研究開発

【実施者：独)産業技術総合研究所、東芝テック(株)、(株)東芝】

研究項目	目的	本開発の目標	成果	達成度	注
①人や物、環境の状況を把握し、自律移動する技術	移動プラットフォームの開発	最高速度 0.6m/s, 走行段差 1cm	最高速度 0.6m/s, 走行段差 1cm を達成	達成	
	搬送カートの開発	走行速度 0.6m/s, 搬送重量 5kg, 段差乗り越え 1cm	走行速度 1.2m/s, 搬送重量 10kg, 段差乗り越え 2cm を達成	達成	数値的には大幅に目標をクリアした.
		店舗を想定した環境での障害物センシングの最適化	超音波センサのチューニングと搬送カートへの配置の最適化 汎用超音波センサをシリアル接続し、サブシステム化した.	達成	機能的には OK だが CAN 化の課題がある.
		センシングデータを利用した障害物回避アルゴリズムの実装	幅に比べて前後長のある車両に対して駆動輪配置を決定、センサ配置と合わせて障害物を回避するアルゴリズムを完成した.	達成	
	移動環境データベース	店舗を想定した環境の 2 次元幾何情報, ロボット, 人位置情報等をデータベース化し, またその利用技術を開発する	地図情報, 人やロボット情報を取り扱うデータベースをロボットサーバー上に構築した. ロボット, 環境カメラとの RTC による通信, および GUI を開発した.	ほぼ達成	環境データの更新をデータベースに取り込めるが, その自動化, および GUI への表示は未達
移動制御・静止障害物回避技術	複数の人(動的障害物)が存在する環境での認識	複数の人が存在する模擬店舗環境において, 複数種類のセンサを用いて, 複数の材質の人や物体を同時に検知できることを確認した.	達成		

		複数の人(動的障害物)や物体が存在する環境での衝突回避	複数の人が存在する模擬店舗環境において、制御による停止または回避を実現した.	達成	
	店舗環境対応技術の開発	実店舗に近い条件で実験可能な模擬店舗環境の提供	実験室に構築商品棚やレジなどを配置し、環境カメラ、ロボットサーバー等を設置して模擬店舗環境を構築した.	達成	
		買い物のサポート動作の実現	各ソフトウェアをコンポーネント化し、システム間で情報共有することで模擬店舗内での買い物シーンによる動作モードの変更を行えるようにした.	達成	安定性, 信頼性の向上の課題はある
		ロボットが複数になってもセンサが誤動作しない	超音波センサのタイムシェアシステムで混信が回避できることを確認した.	達成	3台以上の場合については未確認
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	安全ボディ	人と接触した際に停止, または押された方へ避けるアルゴリズム実装	接触を検知して停止または、接触力の少ない方向への移動制御を達成した.	達成	
		接触しても安全な構造の検討	高さの異なる部位に全方向的に多数のセンサを搭載し、接触や様々な姿勢の人からの停止要望の受理と停止制御を達成した.	達成	
	搬送カートの開発	軽量・低重心化	アルミ合金を使用した軽量フレームを使用し、重量を45kgに抑えた、電池などの重量部品を最下層に設	達成	目標数値は設定せず

		置した.		
	急減速時の停止距離短縮	駆動輪を支持するサスペンションと連動して高荷重急停止時に重心位置を後方に下げる機構を備えることで停止距離を 10%短縮した.	ほぼ達成	動作は確認, バネの強さなど最適化が課題
人検出・予測技術	環境カメラによって人やロボットの移動を計測する 人密度 5-6 人/φ5m (0.064-0.076 人/m ²)での識別	複数の環境カメラで、人とロボットの位置を画像処理から検出し、カメラ視野間に渡って追跡するシステムを構築した。人が分散した状況で達成。ロボット搭載のセンサによって周囲の人の移動を移動しながら計測するシステムを開発した。	達成	人が分散した状況では対応、ただし人が集中した際の検出は課題
	人については移動の予測を行うシステムの構築	ロボット搭載の LRF による人の移動軌跡からシンプルな線形予測を実施した。	未達成	ミッション達成のための時間配分の考慮から一部の行動予測(買物行動)が未達成
	人間共存環境行動計画・動的障害物対応技術	ロボット搭載センサで検知出来ない障害物も考慮した動的障害物回避軌道の生成	逐次更新される環境設置カメラ情報からの動的障害物情報や地図情報を利用した、指定位置への障害物回避軌道の生成と修正を実現した。	達成

		1レベルの割り込み(割り込みが2重に起こらない)に対応した移動制御	移動中に予定経路上に障害物が発見された際の移動の中断と経路の修正を達成した.	達成	
		人密度 5-6 人/φ5m (0.064-0.076 人/m ²)環境における移動とサービス提供の実現	模擬店舗環境内(約 72 m ²)に6人以上 (0.083 人/m ²)における買い物補助サービスと案内サービスを達成	達成	
		両側 20cm のクリアランスの静止障害物間を通過	両側 10cm のクリアランスの静止障害物を通過	達成	
	店舗環境対応技術の開発	店舗環境での安全な走行	ショッピングカートなど凹凸のある表面積の少ない障害物の検知と回避を実現した.	ほぼ達成	検知が難しい什器もあり, 達成度 80%

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

2.3.1.1 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】

研究項目(基本 計画内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
移動技術の開発	複数のロボットが地下鉄、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間において、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を目的とする。	(1) 1.5m/sの平地走行速度および段差20cm程度の階段踏破性能を有するクローラユニットの開発 (2) 5kg程度の重量物が持ち上げられるマニピュレータの開発	(1) クローラ車両5台を開発し、にて、1.5m/s以上の走行性能と、20cm以上の階段踏破が可能であることを確認した。 (2) アーム付き車両2台を開発し、5kg超の重量物の持ち上げが可能であることを確認した。	(1) 目標を達成した。 (2) 目標を達成した。
ヒューマンインタフェース技術の開発	1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を目的とする。	(1) 3台までのロボット同時遠隔操作が可能な操縦装置の開発 (2) 連続2時間の操作が可能な電源装置の開発	(1) 複数台のロボットから送られている映像が表示可能であることを確認した。 (2) 2時間以上の動作が可能であることを確認した。	(1) 目標を達成した。 (2) 目標を達成した。
通信技術の開発	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、通信技術の開発を目的とする。	(1) 有線・無線を組み合わせた700m超の通信機能の実現	(1) 出力10mW/MHzの装置を対にした通信実験にて700m超の通信が可能であることを確認した。 IEEE802.11g/nのルータを用いて7ホップでの通信が可能であることを確認した。	(1) 目標を達成した。
測位技術とGIS技術の開発。	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技術の開発を目的とする。	(1) 複数探索ロボットの位置同定動作と探索動作の効率的な運用手法の開発 (2) 2次元レーザレンジファインダとデジタルカメラを組み合わせた3次元レーザレンジファインダの開発	(1) 操縦インターフェースと計測システムを統合し、走行中のロボットを追跡し作成した地図上に表示するGISマッピングシステムを開発した (2) 3次元の位置計測が可能な、3次元環境計測装置を開発した。	(1) 目標を達成した。

2.3.1.2 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

【実施者：電気通信大学、(株)インターネット・イニシアティブ】

研究項目(基本計画内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
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	軽量で半自律走行が可能な移動プラットフォームの開発	(1) 被災建造物内で歩いている人の回避および自動、または、押せば開くドアの開閉・障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除 (2) 迅速に人が歩く速度と同程度の速度で複数台の半自律走行 (3) 重量は1台50Kg程度でバッテリーにて1時間連続稼働	(1) 開発した兄弟型ロボットプラットフォームは自律移動アルゴリズムによる障害物の回避機能、ドアなどの障害物を押し退ける機動性を備え、階段の昇降も可能である。 (2) の最高速度は1.0[m/s]であり、複数の自律移動アルゴリズムにより、複数台の同時制御が可能である。 (3) 大型の兄ロボットの重量は重量54.5[kg]、兄弟ロボットともバッテリーによる1時間以上の連続稼働が可能である。	(1) 十分な機能を備えている。 (2) 十分な機能を備えている。 (3) 仕様を十分に満たしている。
1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ーフェイスで、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、ヒューマンインターフェイス技術の開発	複数台ロボットの同時遠隔制御を可能とするインターフェイスの開発	(1) 1台の机に15分以内に設置可能な軽量簡易型インターフェイス (2) オペレータが複数ロボットの周辺環境を認識可能 (3) 複数ロボットの同時遠隔制御	(1) 2分程度の準備時間でロボットの遠隔操作を可能とする軽量簡易型インターフェイス(約10kg)を製作した。 (2) 各ロボットの姿勢や、周辺情報、通信状態などを同時に把握可能なインターフェイスを開発した。 (3) 自律移動アルゴリズムによって複数台のロボットを同時に操作可能である。	(1) 仕様を十分に満たしている。 (2) 十分な機能を備えている。 (3) 十分な機能を備えている。

<p>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</p>	<p>ロバストなマルチホップ無線ネットワーク技術の開発</p>	<p>(1) ロボットが設置した 10 台程度のプロトタイプ中継基地局を用いた、情報インフラストラクチャの構築 (2) 構成したインフラストラクチャを利用してロボットの遠隔操作を実現</p>	<p>(1) 環境に配置することで拡張可能なマルチホップ無線ネットワークを構築可能なネットワーク構成ノードを開発した。 (2) 複数台のロボットを制御可能な情報インフラストラクチャを実現した。</p>	<p>(1) 十分な機能を備えている。 (2) 十分な機能を備えている。</p>
<p>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>	<p>情報の管理と利活用を柔軟に行える GIS の開発</p>	<p>(1) 複数ロボットの走行経路をモニタリング (2) センシング情報をマッピングできる測位技術と GIS (Geographical Information System) 技術 (3) 無線ノード配置計画アプリケーション</p>	<p>(1) ロボットから送られてくるオドメトリ情報により複数台のロボットの軌跡を表示可能である。 (2) ロボットの測域センサによる地形情報の記録や SLAM による地図作成、カメラ映像の GIS 上へのマッピングや、発見物の情報をアイコンとして登録する機能を実現した。 (3) 事前の無線ノード配置計画を、美術館問題として定式化することで、必要とされる無線ノードの数と配置位置を計算できる機能を実装した。</p>	<p>(1) 十分な機能を備えている。 (2) 十分な機能を備えている。</p>

2.3.1.3 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
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，RoboCup 2007 Atlanta 大会運動性能部門優勝，Disaster City の瓦礫の走破，などの実績を挙げた。	目標を120%，非常に高いレベルで達成した。	◎
	ドア開け用台車 UMRS，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。	○
② 遠隔操作技術	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。	◎
	ポインティングデバイスによる遠隔操作	人間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製を確保する。	長距離を人間の介在を少なくし，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。	目標をほぼ達成した。	○

	半自律不 整地踏破	階段や不整地の 半自律踏破	緩やかな階段や不整 地を半自律送稿する	ある程度の階段やあ る程度の不整地を走 破できる。	目標を 達成し た	◎
	3次元操 縦インタ フェース	狭隘箇所 ¹ の遠隔 操作	狭隘箇所 ¹ の形状を操 縦者が十分に認識で きる。	Disaster City ² で操縦 における有効性を実 証した。	十分に 目標を 達成し た	◎
	人避け	歩いてくる人を 自動的に避ける	ゆっくりと歩く人を 避けられる	方向の予測が容易な 人の動きに対して、避 けることができる。	ほぼ目 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 ダーの訓練を仮 想的に行う	シミュレータを開発 し、計算機内で Kenaf ³ 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。	◎
	マップナ ビゲーシ ョンシス テム	マップに基づく ナビゲーション	マップを表示し、そ れに従って遠隔操縦 ができる。	ステージゲートデモ で、地下街における有 効性を示した。	ほぼ目 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。	ステージゲートデモ で、距離 683 m を遅 れが小さく、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 可能であることを示 した。	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～ 100 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。	ほぼ目 標を達 成した。	○
	閉鎖空間 内での電 波伝搬シ ミュレー	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	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。	ほぼ目 標を達 成した	○

	ション	ットワークの配置計画を行う.				
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.	ほぼ目標を達成した.	○
	曖昧さ・複数座標計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	座標計の修正が可能な位置表現を開発する	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.	ほぼ目標を達成した.	○
	3次元オドメトリー	GISおよび半自律機能に十分なオドメトリーを実現	クローラ機構のオドメトリーの精度を向上させる	スリップ推定による平地でのオドメトリーの精度向上. 階段等でのジャイロオドメトリーの実現	目標を達成した.	◎
	3次元地図の構築	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	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、オフラインで3次元地図を構築できることを示した.	目標を達成した	◎
	自己位置推定	ロボットの自己位置の推定	閉鎖空間内で、ファーストレスポンスの判断に十分な精度の自己位置推定	フィールドテストで自己位置推定が可能であることを示した.	ほぼ目標を達成した	○

2.3.2 建設系産業廃棄物処理RTシステム

2.3.2.1 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)】

研究項目 (基本計画 内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法	(1) 選別作業効率の向上	廃棄物解体、選別に関する実態調査、および廃棄物材質の判定手法・の研究開発を実施する。	(1) 調査の結果対象とする廃棄物を発生量からコンクリート、鉄、アルミ、木、プラスチックの5品目とした。 (2) 近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光X線分析計と判定要素を統合したベイズ推定法を応用した廃棄物材質の判定手法を開発した。 (3) 画像による色差及び明暗の差で廃棄物材質を判定する手法を（一部）開発した。 (4) 開発した廃棄物材質判定手法を使用し、室内で異なる5種類以上の生材および廃棄物の材質判別実験を行い、さらに屋外において実際の廃棄物判別実験を実施した。	「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」を達成した。
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	(1) 解体中の作業員の安全性確保 (2) 周辺住民の安全性確保	実証ロボットの仕様策定、ハンドリングのための作業対象の状態センシング、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、および安心安全の技	(1) 3次元形状を認識する対象物センサシステムを試作し、各処理を手動操作で対象物の3次元形状取得結果の評価を実施した。 (2) 廃棄物の種類性状の範囲を基に、把持力、分離方法、回転速度等を明確にし、ハンドリング計画機能の最適性を検証した。 (3) 環境計測システムを開発	「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」を達成した。

		術に関し研究開発を実施する。	し、現場適用結果データを収集、環境計測システムの評価を行った。 (4) リスクアセスメントに基づく保護方策の有効性の見極め（製造者、販売者、使用者、管理者）を実施した。	
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	(1) 解体作業効率向上 (2) 解体中の作業員の安全性確保	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、多機能ハンドの開発、耐環境性能の検証を実施する。	(1) 機械周囲の作業員を識別し認識するシステムを試作し、マニピュレータに搭載し評価実験を行った。 (2) 細かな把持や切断が可能な多機能ハンドと多腕マニピュレータを開発。廃棄物分離実験を行った (3) 把持対象物質量測定機能を実装し機能及び精度を検証した。 (4) 使用機器の耐環境性検証を実施し基準を満足していることを確認した。	「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」を達成した。
現場作業員でも使用可能なヒューマンインターフェースの開発	(1) 解体作業効率向上	複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系の研究開発を実施する。	(1) 操作レバーとソフト開発を行い2本のレバーで多自由度多腕マニピュレータを一般の油圧ショベルオペレータが、同時に簡単に動かせることを確認した。 (2) 干渉防止システムを開発し機能を検証した。	「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」を達成した。

2.3.2.2 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

【実施者：名城大学、(独)産業技術総合研究所、大阪大学、清水建設(株)】

研究項目 (基本計画 内容)	目的	本開発の目標	成果	達成度
①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法	(1)建設廃材の分別	(1)5種類の廃材の分別	(1)人・ロボット協調方式の仕組みの中で人が判別し、IDタグに入力	(1)目標達成
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	(1)解体廃材のリサイクルの促進	(1)廃材のリアルタイム分別を可能とする。 (2)5種類以上の廃材の分別	(1)IDタグを用いて解体廃材のリアルタイム分別を可能とする手法を開発 (2)ガラス、鉄板、アルミ、石膏、鉄屑の5種類を分別	(1)目標達成 (2)目標達成
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	(1)汎用性、頑強性、機動性、省エネルギー性を併せ持つマニピュレータの実現 (2)人と協調可能な安全な作業環境の実現 (3)天井解体作業を可能とする。 (4)省エネルギー作業システムの実現	(1)建設機械相当の耐環境性 (2)人の作業時の本質安全を可能とする。 (3)自律遠隔融合対応と高精度位置決め (4)液圧省エネルギーマニピュレータ	(1)市販ミニショベルをベースマシンとした水圧マニピュレータを実現 (2)人作業時の停止ロックを実現。本質安全の実現 (3)自律制御、遠隔制御の基本操作方式を実現。 (4)低漏洩水圧マニピュレータの実現。油圧並みの制御性と内部漏洩を実現	(1)目標達成 世界初 (2)目標達成 (3)目標達成 (4)目標達成 世界初
④現場作業員でも使用可能なヒュー	(1)人とロボットの共存作業システムの実現	(1)人・ロボットの安全な協調システム	(1)ロボット作業を重量物保持に特化し、人が簡単にロボットを捜査する制御システムを実現。	(1)目標達成 世界初

<p>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)</p>	<p>(2) 非熟練工のロボット捜査を可能とする。 (3) 安全性確保</p>	<p>(2) 操作性の良い操作器の実現 (3) 安全コンセプト立案</p>	<p>(2) エンコーダジョイスティックと自律制御の併用によって、容易な操作方式を実現 (3) 階層的安全の実現</p>	<p>(2) 目標達成 (3) 目標達成</p>
<p>⑤ その他の技術</p>	<p>(1) 時代の要請の基づく事業の創出 (2) 波及性の高い技術の創出 (3) 作業効率性の向上 (4) 設計効率化 (5) 付帯システム機器の実現性</p>	<p>(1) 少子高齢化対応事業 (1) 現状をしのぐ作業工法開発 ・ L G S 検出センサー (3) 高速ネジ除去 (4) 設計コストの低減。多様ロボットの統一設計法 (5) 自在搬送キャリアの実現</p>	<p>(1) 作業人員を半減する人・ロボット協調解体システムの実証システムを開発 (2) 超高圧ウォータージェット導入し、作業時間、速度を現状より短縮。水圧源のコストダウン検証を残す。 ・ 磁石式センサーを開発 (3) 摩擦式ネジ取り手法の開発。安定性検証を残す。 (4) R T ミドルウェア、N P A, I C N の導入によって短期間設計を実現 (5) アクティブキャスター搭載 キャリアの実現</p>	<p>(1) キーコンセプトを提言 (2) 新工法を提言 世界初 ・ 簡易で安定 (3) 画期的高速化 (4) 多様ロボットの統一設計が可能なることを検証 (5) 自在性を検証</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

3.1.1.1 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

【実施者:国立大学法人東北大学】

1) 研究概要

日本の主力産業である自動車には、ワイヤーハーネスがいたるところに張り巡らされている。そこで、自動車組み立て工程において、ワイヤーハーネスあるいはワイヤーハーネス用シール・チューブ・シートなどの柔軟物の組みつけの一部を自動化することを、本研究開発の目標とした。

柔軟物を取り扱うことができるロボットシステムを開発しても、実際の生産現場に応用できなければ意味が無い。そこで、本研究開発では、自動車メーカーであるスズキ（株）と共同し、実際の自動車組立工程において、柔軟物取り付けのどの部分が自動化できるのか、どの部分を自動化すれば最も生産効率を上げることができるのか、を綿密に調査し、実際の組立工程に応用可能な、柔軟物取り扱い生産用ロボットシステムを開発することとした。

ロボットによる柔軟物のハンドリングには、視覚情報が欠かせない。ところが、実際の生産工程では照明条件が次々刻々と変化するため、大学などで研究開発された成果を生産工程にそのまま応用するのは困難であった。そこで、本研究開発では、スズキ（株）の自動車組み立てラインを対象として、照明条件変化、ノイズ、障害物による対象物遮蔽問題などの悪条件に対応した高速・高信頼の視覚センサシステムの開発を、これまで数々の優れた視覚システムを開発してきた（株）ビュープラスに再委託した。

このような柔軟物の取り扱いができるロボットシステムの実現のためには、以下の基礎技術が必要であった。

- A) 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
- B) 柔軟物を知的にハンドリングするための分散協調センサ利用技術（能動分散ビジョンシステム、力制御、力センサ）
- C) 短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能

それぞれの基礎技術を、東北大学大学院工学研究科、東北大学大学院情報科学研究科、（株）ビュープラスが分担して開発した。また、実証ロボットシステムの開発および実証実験を、東北大学大学院工学研究科とスズキ（株）が共同で担当した。

2) 成果詳細

(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

- ① インパネハーネスの取り付けのための、ハーネスクランプの把持、挿入手法の開発
自動車生産ラインにおけるインパネハーネスの取り付けは、ハーネスに付けられたクラ

ンプを、インパネメンバー上にある複数個の固定用穴に挿入することで行われる。そこで、ロボットハンドによるハーネスクランプの把持、固定用穴への挿入を安定して行う手法を開発した。

ロボットハンドでインパネハーネスを安定して把持するために、図 1 に示すようにハーネスクランプにクランプカバーを取り付けた。クランプカバーの所定箇所を把持することで、ワイヤーハーネスのロボットハンドに対する相対位置と姿勢が一意に決定される（図 2）。また、クランプカバーの各面（5 面）には画像認識用のマーカが貼ってあり、そのうち 1 面でもカメラの視界に入れば、カメラからクランプカバーまでの 3 次元位置と姿勢が推定できる。

ワイヤーハーネスのクランプに把持・認識用のカバーを付加することは、ワイヤーハーネスの製作という点ではコストの増大になるが、結果としてワイヤーハーネス取り付けラインの作業員 1 名をロボットシステムで置き換えることが出来るならば、トータルコストの削減になる。このトータルコスト削減効果を検証するために、ワイヤーハーネスメーカー、自動車メーカーと共同で研究会を複数回にわたって開催した。この研究会における調査結果によると、クランプカバーをある程度単純化ができれば、ハーネスメーカー側による製作、ハーネスへの取り付けが、コストを大幅に増大させることなく可能であることがわかった。

② 作業の遂行を補助するための柔軟物把持及び変形状態制御技術

ワイヤーハーネスに把持用クランプカバーを付加する方法を採用しても、作業の遂行に伴い、ワイヤーハーネス自身の変形が作業の支障となることがある。例えば、ワイヤー同士が絡まり合い、作業の支障となるケースが実験中に観察された。このような問題を解決するには、柔軟物の変形状態を直接的に制御することが必要であると考え、これをワイヤーハーネス取り付け作業における補助動作と位置付けて開発を行った。

補助動作の一例として、図 3 に示すワイヤーのねじれ修正制御が挙げられる。実際の組み付けにおいて、クランプの向きが必ずしも把持に適切な向きになっているとは限らない。クランプの向きに対応した把持姿勢がロボットの動作可能範囲外にあることで、把持が失



図 1. クランプカバー

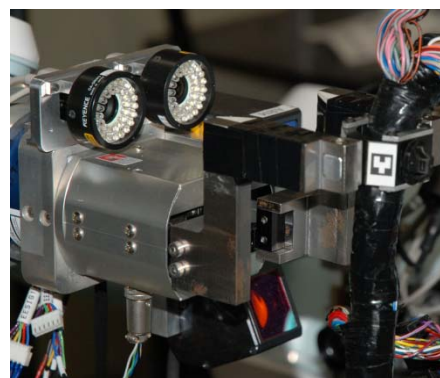


図 2. クランプカバーの把持



図 3. ワイヤーのねじれ状態を制御

敗することは十分考えられる。このような状況への対応策として、ワイヤーのねじれ修正動作を補助動作として取り入れた。図3に示すように、右ハンドでワイヤーをねじること



図4. 熟練作業者の技能計測

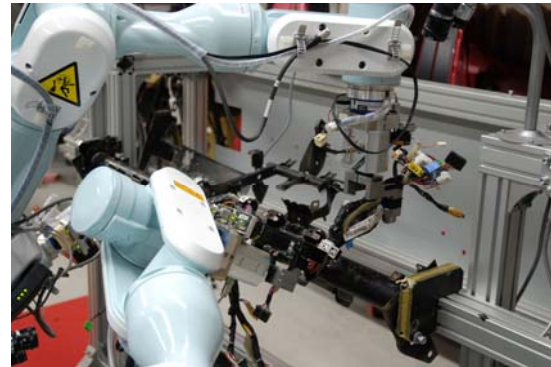


図5. 片手でワイヤーを整形しながら、他の手で取る付けを行う

によって、同じワイヤーに付けられたクランプの姿勢を、把持可能な姿勢まで調整する。なお、姿勢変化などの変形状態は固定カメラおよび手先カメラ等で監視を行っている。

③ ワイヤーハーネス取り付けにおける人間作業者スキルの、ロボット動作への応用

人間が柔軟物を操るスキルは、単に作業効率を向上させるだけではなく、一部の作業に対しては作業の成否に関わる。柔軟物を扱う作業においては、人間のもつ作業特性の活用が必須となる場面が多々ある。そこで、ワイヤーハーネス取り付けにおける熟練作業者のスキルの解析を行い（図4）、その結果を作業計画に反映した。図5に、人間作業者が一方の手で、他方の手にとって最適な作業姿勢になるようワイヤーを整形し、他方の手でクランプを取り付けるという動作を、ロボットの作業動作に応用した様子を示す。

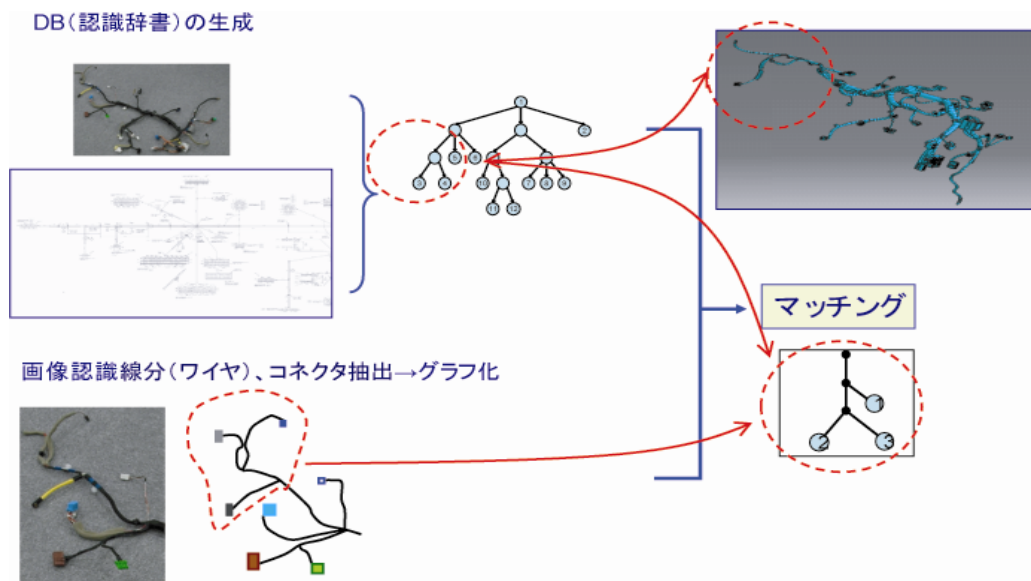


図6. グラフ構造を活かしたハーネスの認識

(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

① グラフ構造を持つハーネス認識用データベースの構築及びそれに基づいた画像検索手法

画像情報に基づいたワイヤーハーネスの高速認識法の開発を目的として、グラフ構造モデルを用いたワイヤーハーネスの認識手法を提案した。

提案手法の概略を図6に示す。まず、ハーネスの設計図からグラフ構造モデルを応用した、ハーネス構造を表現するデータベースを作成する。そのうえで、実画像中からハーネスの特徴点をグラフ化し、データベースとのマッチングを行い、コネクタやハーネスの分岐の特定および推定を行う。この手法では、グラフ構造情報を用いることによって、カメラに映されたワイヤーハーネスの部分画像から、その部分のハーネス全体における位置を高速に特定できる。そのため、複数のカメラもしくは能動カメラを配置することで、それぞれのカメラから得られたハーネスの局所情報を用いてハーネスの全体を認識することができる。また、作業中にハーネスの一部分が画面中から外れたとしても、他の部分からの情報を辿ることで位置予測が可能である。図7にこの方法による認識の一例を示している。この例においては、ワイヤーハーネスの画像（図7 認識前）から、画像中にあるコネクタの特定ができています。

② 5眼カメラユニットの開発

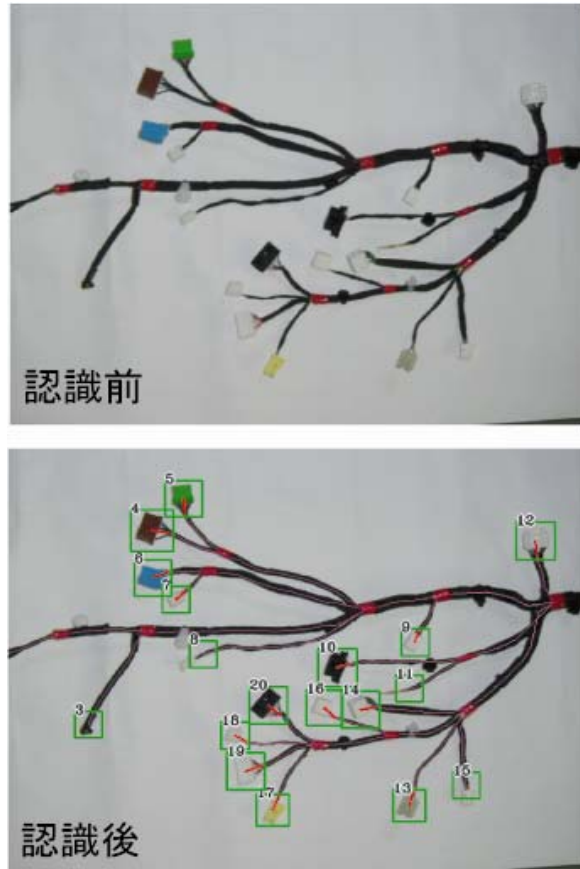


図7. コネクタの認識



図8. 5眼カメラを載せたロボット

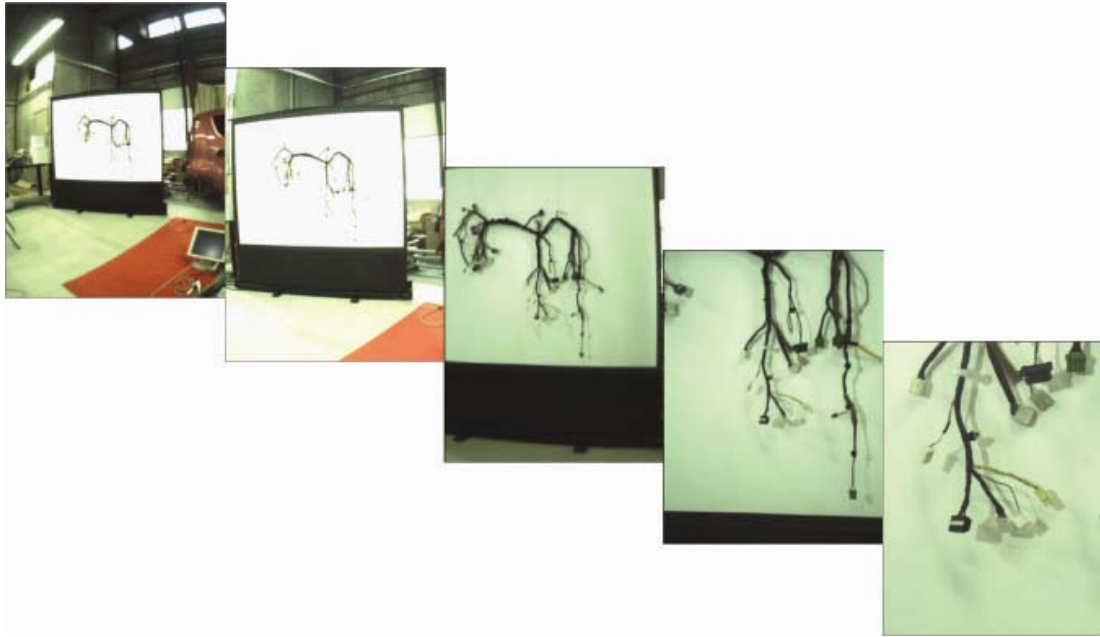


図 9. 5 眼カメラで撮られたワイヤーハーネス

5 眼カメラユニットを図 8 に示す。このユニットには焦点距離の違う 5 個のカメラが搭載されている。それぞれのカメラは可動部のない光学系であるが、ソフトウェアによるズーミングと注視を実現している。この特性により、広い範囲での環境把握と、狭い範囲の高画質映像の獲得が同時に可能であり、作業過程で予想される狭い空間での小回りのきく撮影が可能となっている。図 9 に示すのはこのカメラがワイヤーハーネスを観察する時に、各カメラでとらえた写真である。焦点距離が異なるレンズを同じカメラユニットに揃えることで、一つの撮影場所で対象物の全体像、部分像を取得できるという利点がある。このことから、作業全体の把握、具体的な把持箇所認識が同時にできる。

現在、この 5 眼カメラユニットを能動視覚用ロボット（ファナック 200i）の手先に搭載し、作業確認のための分散協調視覚システムの一部とする研究を進めている（図 8）。

③ H 型溝を持つ高指向性力センサ

H 型溝力センサとは、力センサの起歪体に H 型溝付きはりを使用する力センサである。図 10 に示すように、H 型溝付きはりを用いて、力に関する感度を従来の単板はりや並行平板はりと同一になるように設計すると、従来の構造に比べ剛性が高く変形量が少なくなるという利点がある。また、変形を引き起こす力方向に対してのみ感度が

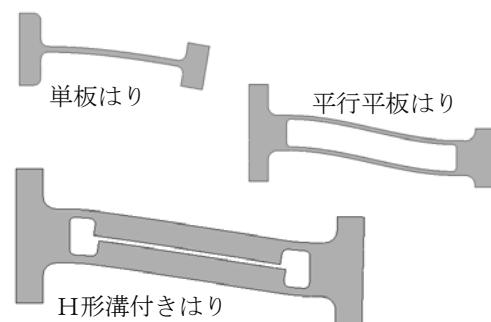


図 10. H 型溝付きはりを用いた力検出

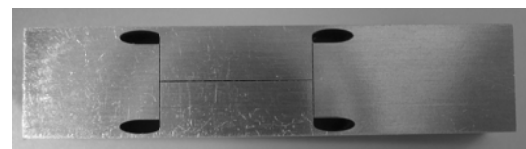


図 11. 開発した高感度 1 軸力センサ

高く、他の軸方向の力およびモーメントに対しては著しく感度が低いという、感度の指向性が得られる。この特性を活かして、柔軟物取り付けのための力センサの研究開発を行った。図 11 に開発した高感度力センサを示す。このようなセンサをハンドの把持部先端に組み込むことで、ワイヤー把持作業におけるねじりモーメントの計測が予定されている。

④ 固定カメラ、手先カメラ、レーザ変位センサを併用した分散協調センサシステムに基づいたワイヤーハーネス計測システム

このシステムは、固定カメラ、手先カメラ、手先レーザ変位センサから構成されている。固定カメラは、作業台の周りに合計 10 台が配置され、組み付け作業中における各クランプの大きな位置計測を行う。また、手先カメラは、固定カメラからの情報を基にロボット手先がクランプに接近した後に、クランプの把持に必要な高精度な位置姿勢情報の獲得に使用される。また、一連の作業中にはワイヤーの把持があるが、この作業においては固定カメラから得られたクランプの位置情報を利用することで、ワイヤーの大きな位置が推定される。実際に図 12 に示すように、ワイヤーハーネスの設計図から、各クランプもしくは各コネクタがどのように繋がっているかを知ることができる。このことで、隣接するクランプもしくはコネクタの位置姿勢が獲得できれば、その間を補間することで、大まかなワイヤーの位置推定が可能となる。得られた概算把持位置をレーザで走査することで、ワイヤー把持点が決定できる。図 13 にワイヤー把持作業時の、レーザセンサによる計測の様子を示す。

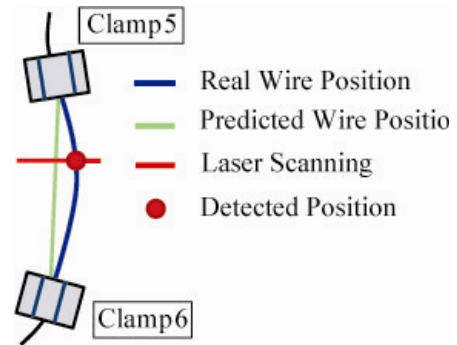


図 12. ワイヤー位置の計測



図 13. カメラ及びレーザによるワイヤー計測

(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

① 3次元コンピュータグラフィックススペースとロボット作業教示システム

ロボットによって柔軟な作業動作を実現するためにはロボットに適した動作指令を生成

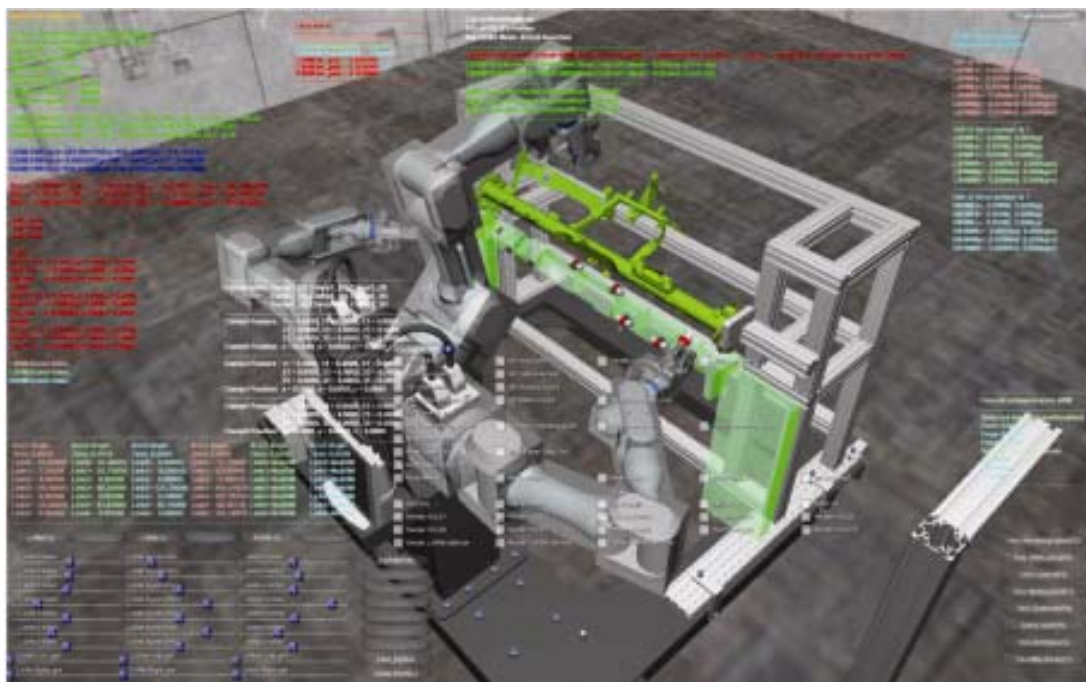


図 14. 作業シミュレータ

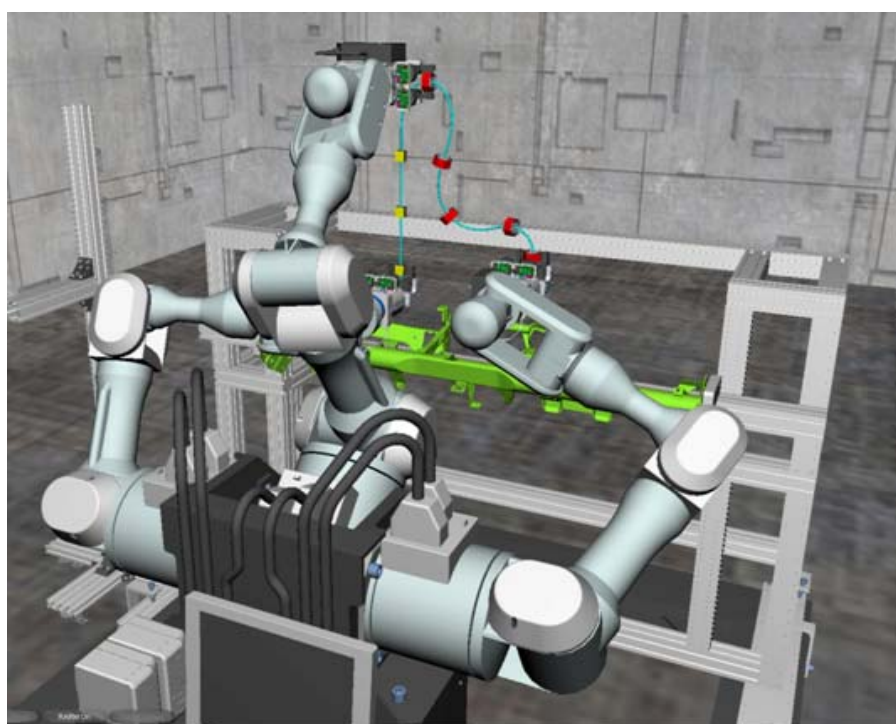


図 15. 柔軟物の振る舞いを考慮する作業計画

する機能が重要である。特に本プロジェクトでは、密接する複数のロボットが狭い空間において、迅速に動作することが必要とされている。そのため、教示システムには他に類がない直感性、便利さが求められている。そこで我々は、3次元コンピュータグラフィクス

を用いたロボット教示システムを開発した（図 14）。この教示システムでは、操作者は 3 次元仮想環境内で、簡便にかつ直感的にロボットの運動軌道の教示、動作確認ができる。また、教示作業中におけるマニピュレータ間の衝突、マニピュレータと作業環境との衝突などを教示システム上にグラフィクスで表示し、作業者の動作設計ミスを未然に防ぐこと

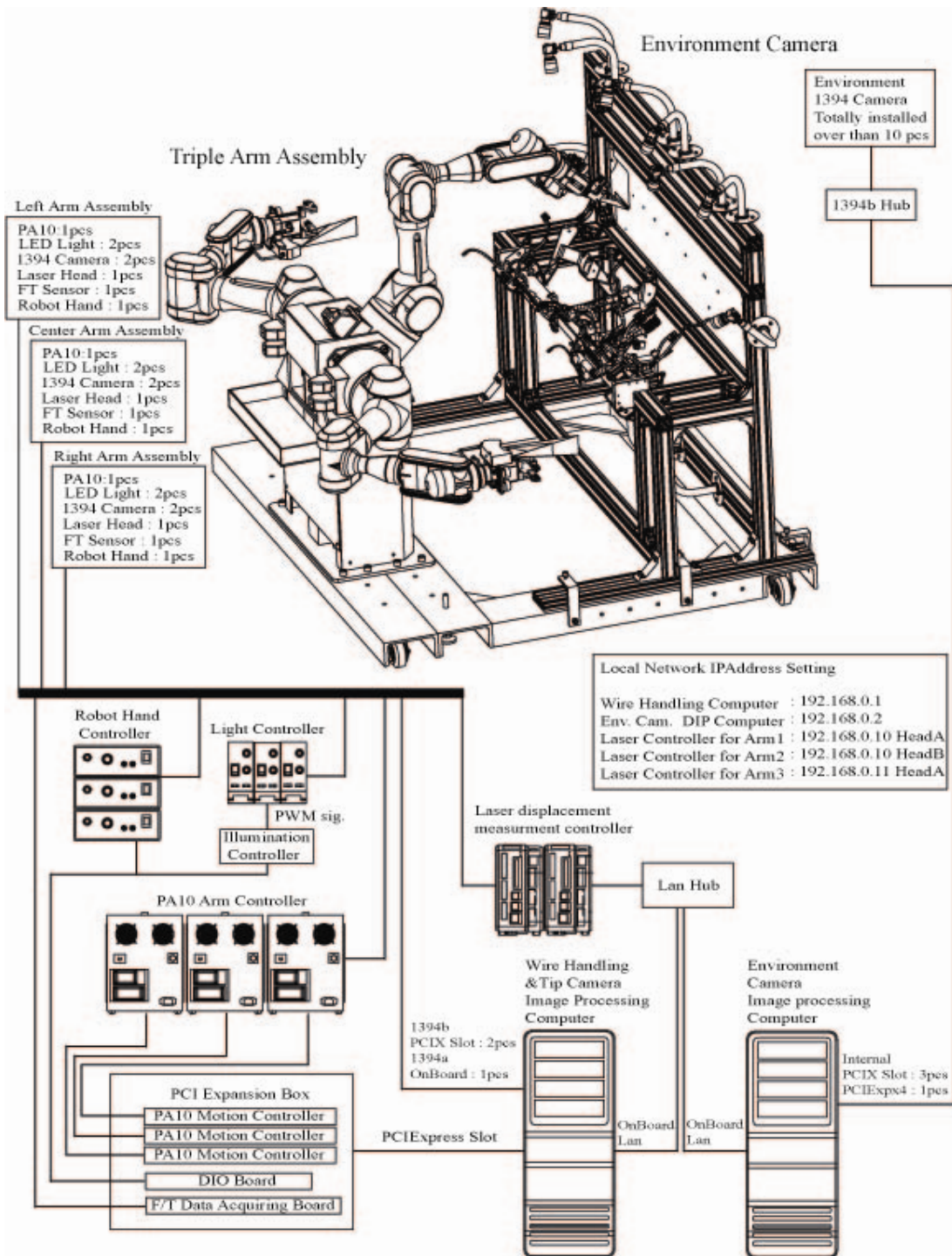


図 16. インパネハーネス組み付け用プロトタイプシステム

ができる。

② 作業におけるワイヤーハーネスの振る舞いを考慮する作業計画

ワイヤーハーネスを扱う作業では、作業対象物の変形が、剛体対象物には無い複雑さをもたらす。例えば、作業の途中ワイヤーハーネスの一部が環境に引っ掛かる、ワイヤー間での絡まりが生じ作業が不可能となる等のケースが考えられる。このような複雑な作業を考えた場合、教示システムにはワイヤーハーネスの挙動のシミュレーションや、ハーネスの動きを考慮する作業計画機能が求められる。

そこで、ワイヤーの曲げ変形、ねじり変形を表現可能な線状柔軟物のシミュレーション機能を取り入れた教示システムを開発した。この機能を使用することで、作業計画する際、作業過程でのワイヤーハーネスの変形挙動を確認、利用することが可能となる。例えば、マニピュレータの動作シーケンスを設計する際、ワイヤーのねじれを評価指標として、ねじれ変形が最小となるような作業シーケンスの作成が考えられる。

これまでに開発したワイヤーハーネスのモデルでは、実物の動きとの間に大きな誤差が

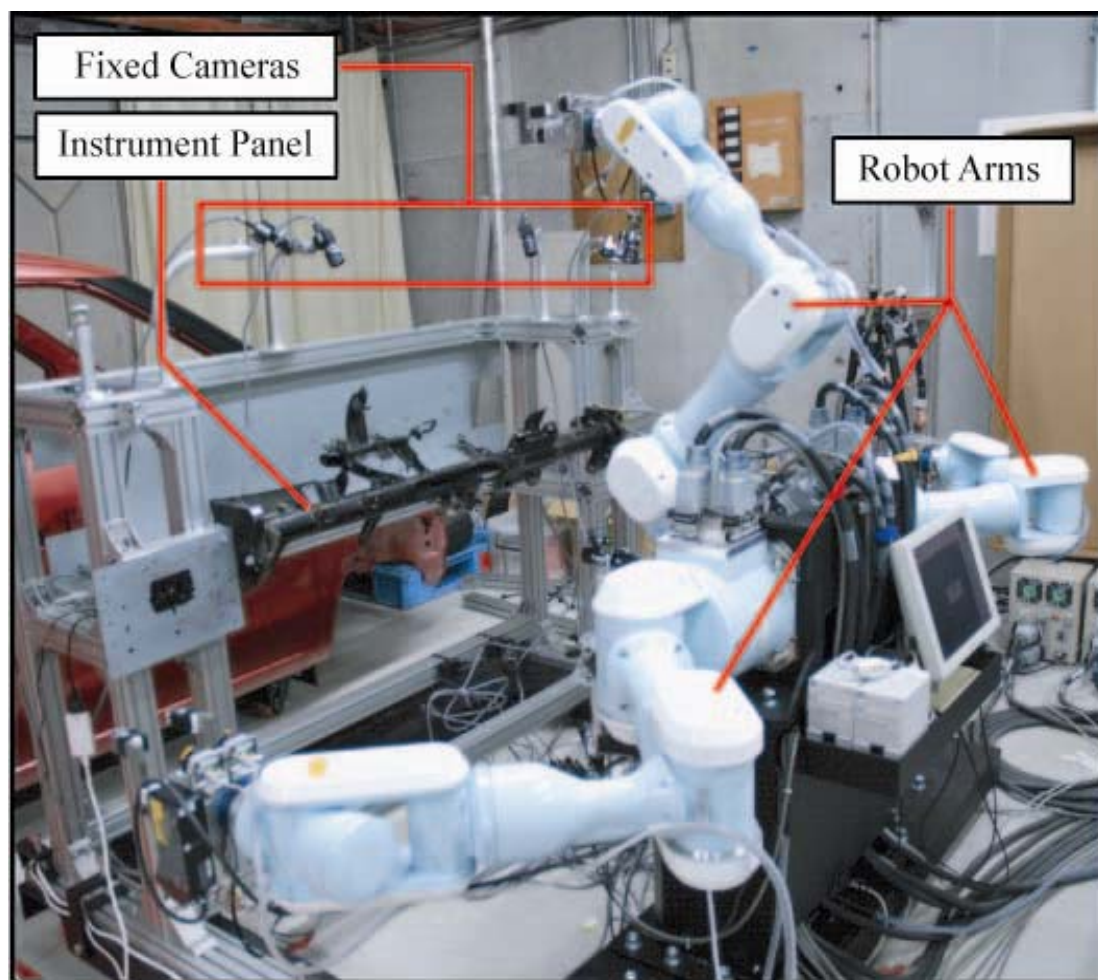


図 17. プロトタイプロボットシステムの外観

生じている。今後、ワイヤーの塑性などをモデルに組み込み、モデルと実物の整合性について研究を進める予定である。

(4) 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

① プロトタイプロボットのシステム構成

プロトタイプロボットシステムはインパネハーネスの取り付けを目的として設計された。システムの構成を図 16 に、実際に構築されたシステムの外観を図 17 に示す。システムを中心となるのは、共通の架台に設置された 3 台のロボットアームである。各アーム先端部には図 18 に示すように、1 自由度のグリッパと多数のセンサからなるエンドエフェクタが取り付けられている。またインパネメンバーが取り付けられたフレームとロボットアーム架台には、多数の固定カメラが設置されている。システムの具体的構成は以下の通りである。

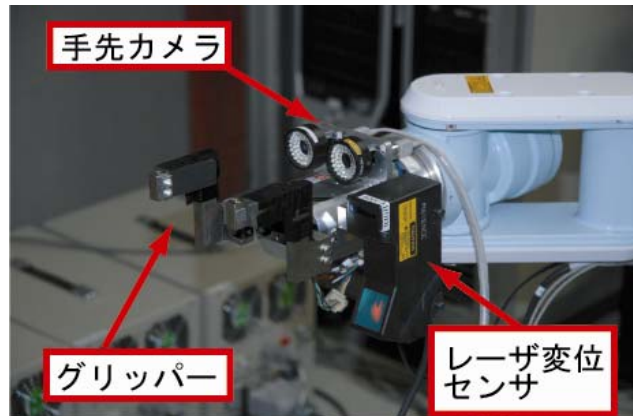


図 18. 手先の詳細

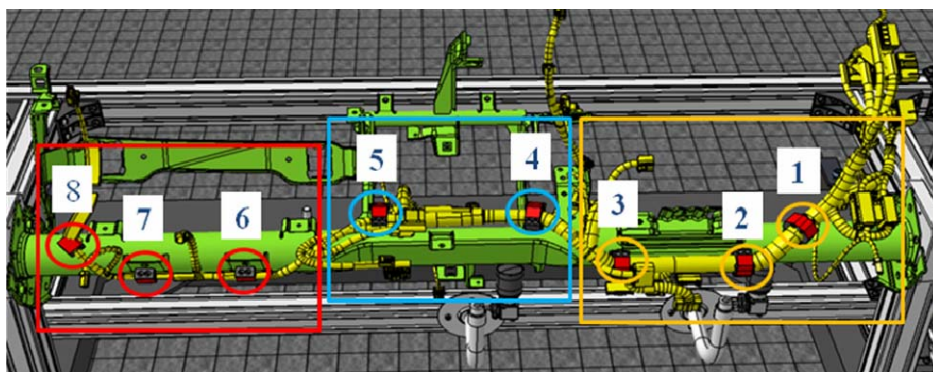
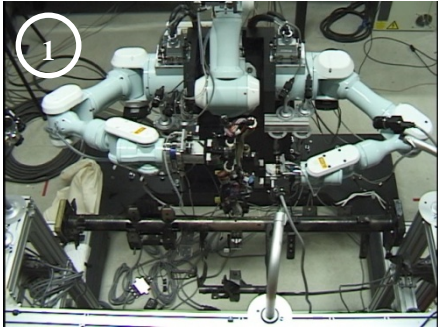
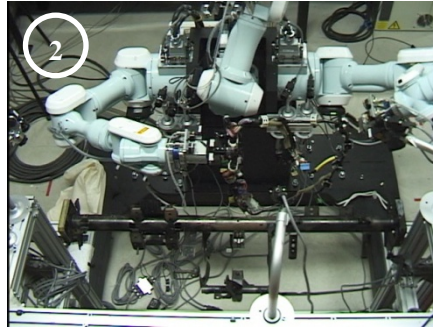


図 19. 組み付け指示図

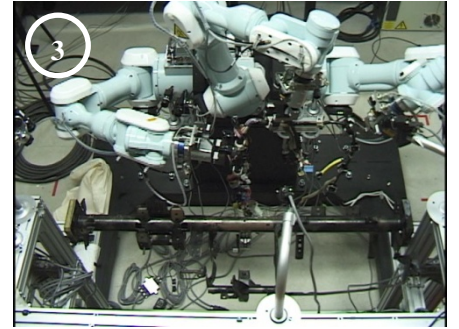
- A) ワイヤハーネス取り付け用ロボット 3 台（三菱重工 PA-10）、ハーネス把持用ハンド 3 台。
- B) 能動視覚用ロボット 2 台（ファナック 200i、手先に開発された 5 眼カメラユニットを設置）
- C) ワイヤハーネス認識用の、環境に固定されたカメラ 10 台
- D) インパネハーネスの取り付け作業台



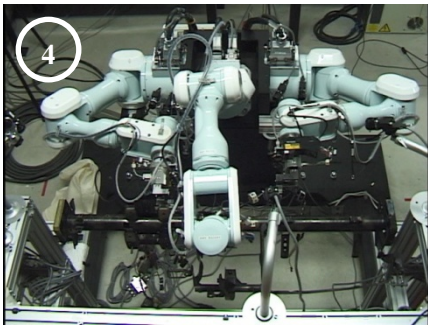
① プロトタイプロボットの右マニピュレータ（画面中の左側にあるロボットアーム、以下右アームと略す）が、ハーネス置き台からインパネハーネスを掴み上げ、フレーム中央に運搬。



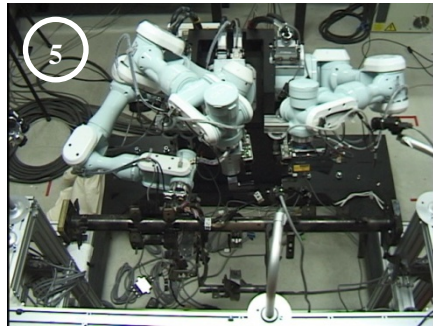
② 左アーム（画面では右）が、インパネハーネスのワイヤー部分を把持し、中央アームに受け渡し可能な位置まで持ち上げる。



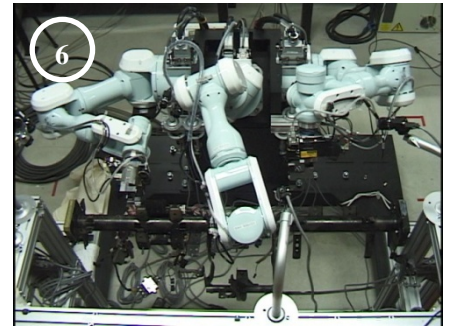
③ 中央アーム、右アームが、それぞれ把持しているインパネハーネスの 5 番クランプ、2 番クランプを、インパネメンバーに挿入する。



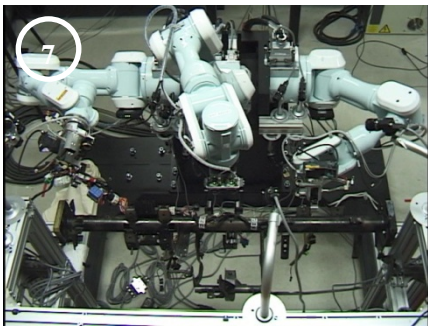
④ 中央アーム、右アームが、それぞれ把持しているインパネハーネスの 4 番クランプ、3 番クランプを、インパネメンバーに挿入する。



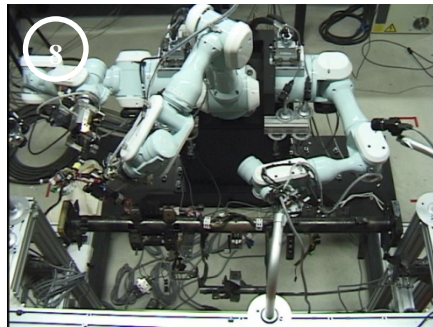
⑤ 中央アームが 5 番クランプを把持できるよう、左アームがワイヤーをねじる。その後、中央アームが 5 番クランプを把持し、右アームが 2 番クランプを把持する。



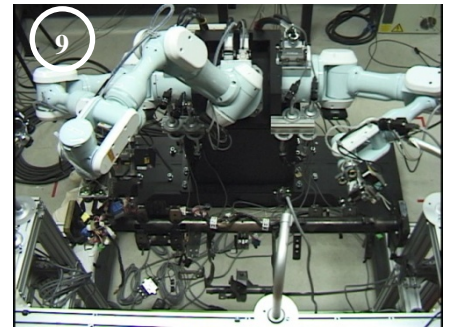
⑥ 中央アーム、右アームが、それぞれ把持しているインパネハーネスの 5 番クランプ、2 番クランプを、インパネメンバーに挿入する。



⑦ 左アームが 6 番クランプを把持しインパネメンバーに挿入。右アームはワイヤーを把持し、中央アームに受け渡す位置に移動。



⑧ 左アームが 7 番クランプを把持しインパネメンバーに挿入。中央アームは右アームからインパネハーネスを受け取る。



⑨ 最後に、左アーム、右アームがそれぞれ 8 番クランプ、1 番クランプを把持し、インパネメンバーに挿入して終了。

図 20. 作業シーケンス

このプロトタイプロボットにおいて、開発した技術を統合し、インパネハーネスの実配線実験を行った。この実験では、実生産ラインにおけるインパネハーネスの組付指示図を参考に、取り付けを行う箇所（13 か所）の中から 8 か所を選択し（図 19）、ロボットによる実配線の作業目標とした。この実配線実験の様子を図 20 ①～⑨に示す。

実験の評価によって、各開発した技術をうまく活かしたことで、インパネハーネスの自動組み付けの可能性を示したが、一方、多くの課題も残された。

【信頼性の問題】

現在、実配線実験の成功率は約 50%である。このことは、実験が失敗する理由には画像処理結果の不安定による把持の失敗、クランプ姿勢の不適による把持不能などが原因とされている。その中の、画像処理結果の不安定については、画像処理手法の改善で解決可能と考える。クランプ姿勢の不適切はワイヤーハーネスの特徴に関係する。作業中にワイヤーがねじれる方向に発生した変形の予測が困難であるため、作業を行うとともに、いずれの箇所でもワイヤーの変形がロボットの把持できる範囲を超えてしまう。

【速度上の問題】

現在の実験における作業速度は、スズキ（株）において同作業に定められたタクトタイムを大幅に超えている。今後、速度の改善が必要である。そこで、現在採用されている作業シーケンスに対して、把持速度（手先カメラでクランプを見ながら、クランプに近付く）、把持後の移動速度を上げるといった対策を取ることで全工程に要する時間を縮めることが可能と考える。加えて、速度向上に伴うワイヤーハーネスの動的な特性による影響、ロボット間、ロボット・環境間での衝突回避等を考慮する必要があることから、更なる研究開発が要求されている。

これらの問題に対する改善策の一つとして、取り付け用ハンドの再設計を考えている。これまでの実験から、ワイヤーのねじれ状態の制御が作業の成否に大きな影響を与えることが分かった。しかし、現在のシステムでは、ワイヤーのねじりを制御するために、ハンドでワイヤーを把持した後、ハンドがワイヤーを中心に大きく回転する必要がある。このようなハンドの回転動作は、狭い作業区間においては非常に危険である。また、ねじれを維持するためにはワイヤーを把持し続ける必要があり、ねじれ修正用ハンドとクランプ把持用ハンドが必要となるため、2本のアームが拘束されることとなり作業が非効率的となる。この問題を解決するためには、ハンドにワイヤーをねじるための自由度を付加することが有効である。このような自由度を付加することで、ワイヤー操作時のハンドのワイヤー周りの回転が不要となり、操作時間の削減につながる。これで、作業のシーケンスの単純化を図る。

また、ワイヤーの柔軟性、動特性によるワイヤー形状の変化は、作業軌道の計画に大きな不定性を与える。ワイヤーの単純な向きの変化、柔軟性のばらつきによっても、生成される作業軌道は大きく変わってしまう（この不定性はワイヤーハーネスの自動取り付け速度向上に対する最大の課題）。そこで、前述のねじり自由度に加え、ハンドにワイヤーを整理、ガイドする自由度の増設についても検討している。これによって、ワイヤーの動特性を押える一方、取り付け位置や取り付け条件の均一化を狙う。このようにワイヤーの不定性を減らすことで、柔軟物体についても剛体部品の組み付け作業のような高速性が期待できる。

3) 成果の意義

(1) 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか

本プロジェクトの研究目的は自動車生産における現実問題を解決しようとするもので、目標とする研究目的が達成できれば、新たな産業を創出することになると考えられる。また、本プロジェクトによって開発された技術は汎用性があるため、自動車産業だけではなく、柔軟物を扱う全ての作業に適用できると考えられ、他の産業における新たな事業にも十分に応用できる。

(2) 成果は、世界初或いは世界最高水準か

ワイヤーハーネスの自動組み付けは従来から困難だと考えられている。今まで成功した例はまだない。本プロジェクトにおいて、困難とされるこの組立を実際の工場に近い条件下で実現できた。作業の速度、信頼性などの点については、まだ改善すべき点は残されているが、作業自体が自動で完成されたことについては、前例がない。

グラフモデルを用いたワイヤーハーネスの認識手法では、ワイヤーハーネスの特徴である分岐情報に注目し、それをグラフ理論で処理する方法を提案した。これも本プロジェクトから生まれた独創的な成果である。

これまでの柔軟物の把持に関する研究は、主に材質が均一な紐状のものを対象としていた。そして、それらの柔軟物を認識するにあたっては、2次元での画像認識を用いた研究が数多く報告されている。これらの研究は、紐の交差状態、また紐と環境との接触状態の計測を、把持成功の条件として重要視しているものの、紐のねじれが把持に与える影響については、ほとんど考慮していない。本研究では、把持対象とするワイヤーハーネスにクランプやコネクタが付いており、それらの正確な挿入を最終の目標としている。よって、ワイヤーハーネスを3次元の柔軟物として扱う必要があり、ハーネスの形の変動のみならず、ねじりも把持への影響要素の一つとして考慮する必要がある。そのために開発したねじり制御技術は独創性がある。

(3) 得られた成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか

柔軟物のねじり状態を制御する技術、グラフ構造を持つハーネスの認識法は新たな技術領域を開拓することに十分期待できる。

(4) 得られた成果は汎用性があるか

本プロジェクトによって開発した技術は自動車生産に関わらず、柔軟物を扱う他の作業の自動化についても十分に適用できると考えられる。

(5) 投入された予算に見合った成果が得られているか

投入された予算により、実際のワイヤーハーネス組み付け工程を模擬するプロトタイプロボットシステムの開発ができた。このことによって、実配線が成功したことから、投入された予算に見合った成果が得られたと考えられる。

4) 特許等の取得

現在、本プロジェクトにおいて開発した技術を整理しているため、特許の出願はまだ行っていない。整理できた次第、出願する予定である。

5) 成果の普及

本プロジェクトでは、ステージゲート制が導入された。ステージゲートにおける評価の結果によって、後半の契約を獲得できるかどうかが決まる。また、本プロジェクトの開発において、共同研究相手であるスズキ（株）における企業秘密に関わる数多くの生産工程のデータが使用されていた。そこで、成果公開による競争不利や共同研究相手の企業秘密厳守を考慮し、成果の普及を抑えた。

本プロジェクトは既に終了したので、今後、公開できる成果について、自動車メーカーを初めとする産業界、ならびに学术界の場で発表することで、プロジェクトによる成果の普及に力を入れる予定である。

6) 実用化、事業化の見通しについて

① 成果の実用化の可能性

実用化の可能性は十分あるといえる。現在、実際の工場に近い条件下でのインパネハーネスの自動組み付けが既に成功している。今後、速度、信頼性などの点についてさらに改善することによって、実際の工場の導入では技術上、十分可能である。また、自動車生産ラインにおける柔軟物の組み付けは生産コスト削減の難関であり、自動化へのニーズは常にある。新設備導入と人件費との整合性を取れば、実導入が十分考えられる。

② 事業化までのシナリオ

【ワイヤーハーネス取り付けロボットシステム】

想定された利用形態：

各自動車メーカーの生産ラインにおける作業員によるワイヤーハーネスの組み付け工程を開発した取り付けロボットシステムに置き換える。

市場規模と根拠：

国内のロボット出荷台数（2007年度 44,205台）の1/30に、開発するビジョンシステムが搭載されると仮定すると、年間 1473台となる。ビジョンシステム一式の価格を 50万円とすると、年 736,500千円の市場規模と算出できる。

製品・サービスの提供体制：

研究開発：

東北大学は要素技術の開発を担当するとともに、製品の製造、販売を行う株式会社ビュープラスに技術的なコンサルティングを行う。

製品製造、メンテナンス、サポート：

株式会社ビュープラスは複眼視覚システムの製造、メンテナンス、サポートを担当する。

【複眼視覚システム】

想定された利用形態：

ロボットシステムの組み込み業者、大学、研究機関がユーザとして想定される。想定された利用形態はロボットの手先に乗せ、能動視覚センサとして利用する方法とマルチカメラの特徴を活かした監視カメラシステムでの利用である。

市場規模と根拠:

年間 30 万台の乗用車を生産するラインに必要なワイヤーハーネス取り付け人件費を年間 50,000 千円 (スズキ (株) 湖西工場) と見積もると、国内総生産台数 10,058,307 (2007 年度、トラックを除く) に対する取り付けコストを 1,676,384 千円、全世界 (2007 年度 73,072,000 台) に対しては 12,178,666 千円と試算できる。これらの作業をロボットで置き換えると考えれば、試算した人件費がワイヤーハーネス取り付け作業自動化システムの市場規模となる。つまり、ワイヤーハーネスの取り付け自動化は国内において約 16 億円、全世界において約 121 億円の市場を見込める。

製品・サービスの提供体制:

研究開発:

東北大学は要素技術の開発を担当するとともに、製品の製造、販売を行う選定されたロボットメーカーに技術的なコンサルティングを行う。スズキ株式会社、協力するハーネスメーカーはワイヤーハーネス取り付けロボットシステムの実証システムの開発に参加する。また、協力するハーネスメーカー、東北大学はハーネス製造領域における技術の転用を目指し、研究開発を行う。

製品製造:

サービスプロバイダとして選定されたロボットメーカーはワイヤーハーネス取り付けロボットシステムの製造を担当する。

③ 波及効果

本プロジェクトは、実際の自動車生産ラインにおける現実問題を解決しようとするものなのである。プロトタイプロボットシステムを用いて、実際の生産ラインに近い条件下でのワイヤーハーネス自動組み付けが成功したことで、ロボットによるワイヤーハーネス自動組み付けの可能性を示した。自動車業界への波及効果が十分あったものとする。また、本プロジェクトにより開発した技術は汎用性があり、他の柔軟物を扱い作業への応用する可能性があるため、他の領域への波及効果も考えられる。

④ 産業技術としての見極め

プロトタイプロボットシステムによる実配線実験が成功したことが、実工場でのハーネス自動組み付けの実現の可能性を示した。将来、工場での導入の観点から、現在のシステムにおける改善すべき点は主に速度、信頼性の低下の二点である。この二点については、技術上解決する見通しが十分ある。

3.1.1.2 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

【実施者:(株)安川電機、筑波大学】

1) 研究概要

変形しない部品の組み立て作業における自動化はかなりの部分で進んでいるが、ワイヤハーネス等の柔軟物のハンドリング、組み付け作業は、その扱いの難しさから今でも自動化が困難で人手に頼っている。また、同時に実行されるコネクタの接続は多様な形状があり、つかみ方、組み立て方が多様なため、教示が煩雑となり、これも自動化が困難な例が多い。本研究開発はワイヤハーネス等の柔軟物を対象とする組み付け作業を、簡易な教示手法と作業モデル、計測モデルの構築により自動化するロボットシステムを提供するものである。本技術開発により、組み立て作業一般の課題解決に応用展開可能な技術開発を実施する。

開発目標を明確にし確実に具現化するために、開発においては具体的ニーズ（安川電機のインバータ製作工程）に適用できる技術開発を目標とした。また、配線作業に関わらずロボットシステム構成上の課題として、通常ロボットに部品を供給する周辺装置やロボットに装備する専用設計のジグが必要であり、システム全体のコストを押し上げると同時にロボットの汎用的な利用を阻害している。今回の開発では実際の需要があり、その中でも難作業の一つである配線作業の自動化を実現する。本技術課題を解決するロボットの開発により、同技術を他分野へ応用展開することが可能となり、その波及効果として組み立て作業の多くの課題解決に繋がる。その結果、周辺装置等も含めたシステム全体のトータルコストを下げた自動化の推進が可能になり、我が国の国際競争力増大の一助となる。

具体的な進め方として、2008年度（ステージゲート評価時点）までは、柔軟物としては比較的柔軟性の小さいケーブルで、ルーティングの必要がないもので構成される小型インバータの組み立てを対象とする。このとき、コネクタ位置姿勢のばらつきを2Dレーザセンサとアーム動作による計測で対応し、コネクタを確実に把持して接続する機能を実現することとした。2010年度（プロジェクト終了時点）には、柔軟性が大きく、ルーティング作業（ケーブルを盤内の所定の経路に固定する作業）が必要な中大型インバータへの展開を想定した。

最終目標（ミッション）を達成するため、下記技術開発を行うこととした。

- (A) 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
(複腕協調作業技術、高度配線作業技術)

柔軟物を扱う場合、その把持・操り方法の他、他の柔軟物を回避する経路を事前に教示しておくことは困難である。そこで、ハーネス両端のコネクタを複腕で把持・操りを行う手法や、(C)の教示技術を利用した把持・操り手法、(B)のセンサ利用技術と組み合わせたコネクタ接続・ルーティング・穴通し等の作業スキルを構築する。

- (B) 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
(環境認識技術、作業遂行認識技術)

変形しない物体と異なり柔軟物は、マニピュレータにより把持・操りを行っても、その位置・姿勢は一

意には定まらない。このため、センサ情報を利用することにより、高精度・高信頼度で対象物の認識や状況の認識を行う手法を構築する。

(C) 短時間で簡便に作業を提示できる次世代教示機能

(教示技術、多自由度系教示技術)

柔軟物が複雑に入り組んだ箇所での多種のコネクタ毎の把持・挿入手順やルーティング作業の教示は、非常に煩雑であり、また動作失敗のリスクも高い。このため、(A)の操り技術と組み合わせた把持・挿入手順の教示手法、(B)の対象物の認識技術による経路生成、力制御やスキルを自動的に組合せ、簡易な教示により複雑な作業を達成する手法を構築する。最終的にはワークの情報や作業条件入力などにより教示プログラムを自動生成することを目標とする。

これらの技術を統合することで、現場で簡単にロボットプログラムを生成でき、さまざまな作業に対応可能な生産用ロボットシステムを構築することを目標とした。また、実際のニーズに対応した機能実現により実用化を目指すものである。

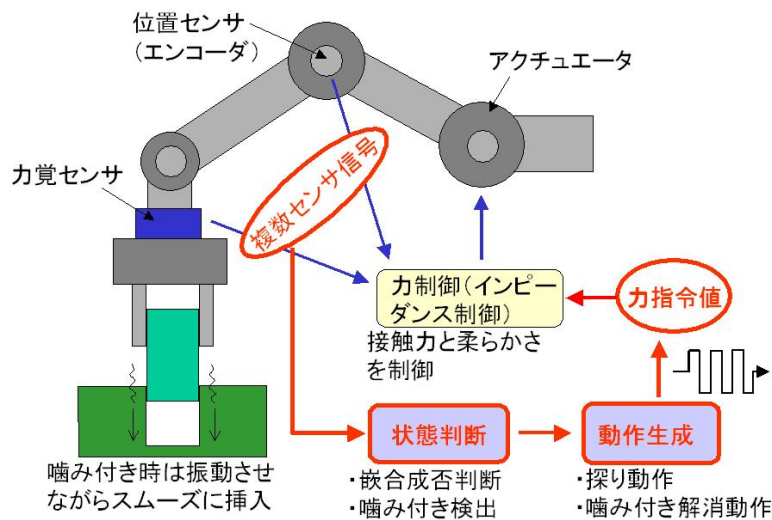
2) 成果詳細

①接触作業スキルの開発 (安川電機)

・接触作業スキルの概要

接触作業スキルは、部品と部品の接触を伴う意味のある作業（嵌合・挿入、ネジ締め、ギヤ組み等）を、センサフィードバック情報を活用してロバストに（様々な誤差を許容して）遂行する機能であり、以下の特徴を有する。接触作業スキルの概念図（ブロック図）を図①-1 に示す。

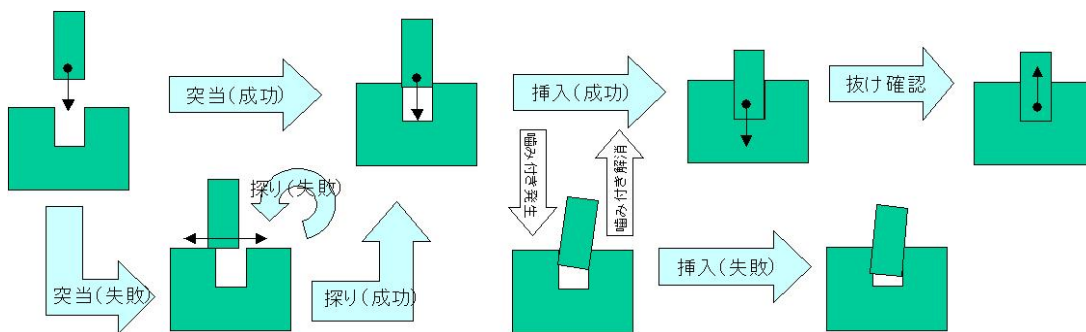
- ・ 力センサフィードバックによる力制御をベースにしている。
- ・ 接触状態を遷移させるプリミティブな動作（プリミティブスキル）に分解される。
- ・ 各プリミティブスキルは、力と位置センサ情報をもとに状態判断する機能と、判断結果をもとに力制御系への動作（力指令値）を生成する機能を備えている。



図①-1 接触作業スキルの概念図

・嵌合作業に対応したプリミティブスキル

嵌合作業の接触状態遷移に基づいて、必要なプリミティブスキルを設計した。図①-2 は嵌合作業における接触状態遷移とプリミティブスキルの対応を示す。図中の矢印がプリミティブスキルで、成功する場合と失敗する場合で処理が分かれる。プリミティブスキルの概要を表①-1 に示す。



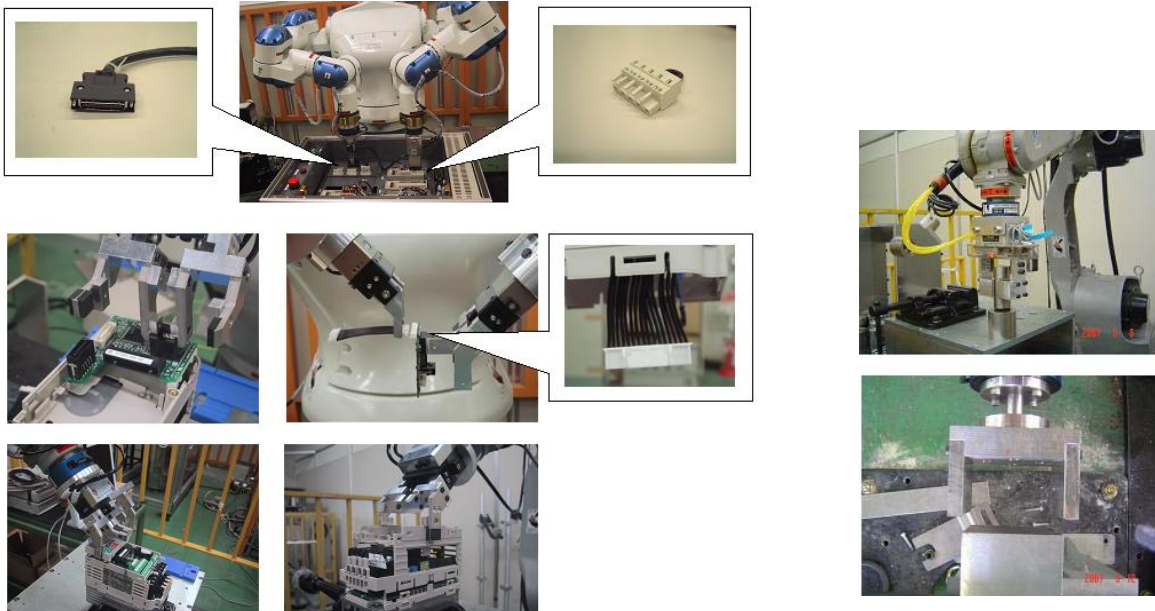
図①-2 嵌合作業の状態遷移とプリミティブスキル

表①-1 プリミティブスキルの概要

スキルコマンド	概要
突当	非接触状態からワークを接触させ、穴に嵌ったかどうかを判断する
探り	ワークを接触させた状態で穴位置を探り、穴に嵌ったかどうかを判断する
挿入	穴に嵌った状態でワークを押し込み、挿入量が十分か判断する ※途中で「噛み付き」が発生した場合は振動を印加して「噛み付き解消」する
抜け確認	挿入が完了した状態で引っ張ってみて(逆向きに力を加えて)、抜けないか判断する(コネクタなど) ※ラッチ検出できない場合に使用する

・**嵌合スキルの汎用性確認**

設計した同一スキルコマンドのパラメータ調整のみで、図①-3 に示す数種類の嵌合作業（円柱・角柱の精密嵌合、コネクタ・基板・パネル・ケース等の嵌合）への対応を実機で確認済みである。



コネクタ、基板、パネル、ケース等の嵌合例

精密嵌合(ギャップ 10 μm)

図①-3 嵌合スキルの効果を確認した作業対象

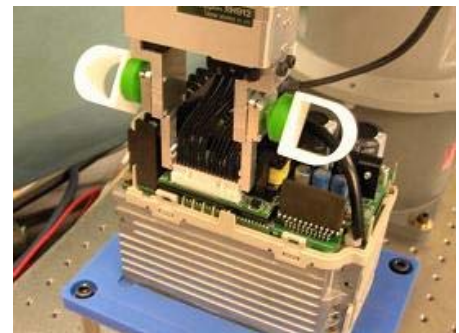
②作業パラメータの取得 (筑波大学)

②-1 グリッパ装着型ダイレクト教示システム

・**ダイレクト教示によるスキルパラメータ教示**

作業スキルをロボットに教示する手法として、人間が手を取って教えるスタイルを導入する。直感的に把持力、嵌合時の挿入力を教示できるため、教示に慣れていない初心者でも簡単に高機能マニピュレーション作業の教示が可能となる。

具体的なシステムを図②-1 に示す。グリッパの外側に人の指

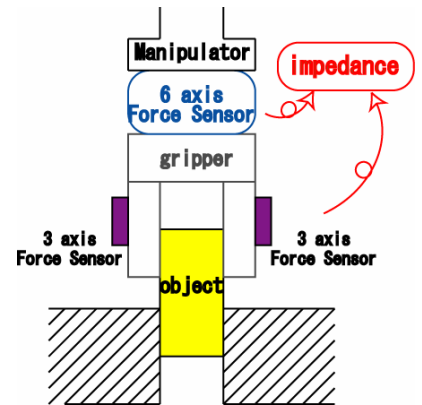


図②-1 指サック付グリッパ

が入る指サックを取り付け、図②-2 に示す力センサ配置により、環境と対象物との間の作用力も計測可能となる。

・ **教示／再生手順**

先ず、小型(80W 以下)アームを用い、インピーダンス制御系により、実機と同じ特性を持たせる。教示者は指サック及びワイヤヒューズを装着し、実際の作業対象物を把持、嵌合作業を実施する。力センサの取得データから環境と対象物間の作用力を求め、位置軌道、力のグラフを作成し(図②-3)、グラフより各位置、力のパラメータ(図の①～④)を抽出する。抽出結果に基づき、小型アームで作業スキルを再生し、作業を確認する。その後は実機のある現場で調整する。

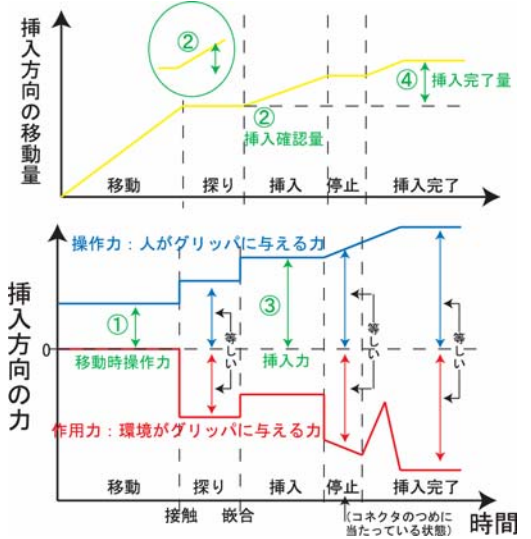


図②-2 カセンサ配置

・ **実験結果**

図②-1 の小型インバータのコネクタを対象とし、実験を行った結果、開発項目⑤の操作ペンダントによる教示とほぼ同じスキルパラメータを得られた。これにより小型アームでもインピーダンス特性を合わせることで、中型／大型アームに対して正確な教示が可能なが示された。また、この教示作業が初めての4名でも、やはりほぼ同じスキルパラメータが得られたことから、本手法が経験の少ない初心者にとっても感覚的に分かり易い教示手法であることが示された。

本教示手法においては、教示者は指サックに手を入れて作業を遂行してみせるだけなので、一通り(もしくは今後の抽出の自動化の手法によっては数回)の作業の実行で教示が完了する。このため教示に要する時間は格段に短縮できる。具体的な計測・評価は今後行う予定である。



図②-3 嵌合スキルパラメータ抽出

②-2 拘束型データグローブによる多指ハンドの動作教示技術

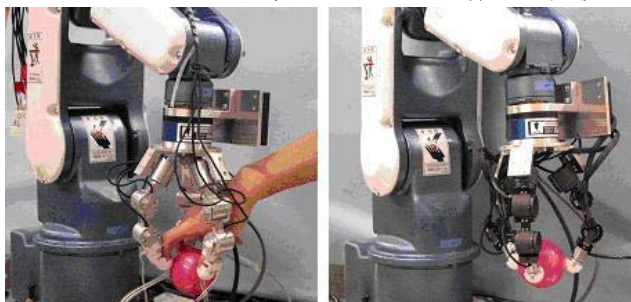
・ **多指ハンドの動作教示技術**

多種多様なハーネス(ケーブル、コネクタ)を数多く扱う高機能システムの構築には、アーム部のみならずグリッパに関しても多様な対象物を扱える多自由度化が必要である。そこで、最も多自由度なグリッパとして多指ハンドに対する動作教示技術の開発を行う。多指ハンドはその自由度の多さから、解析的な最適把持位置姿勢の計算は困難であり、かつ様々な複雑形状の対象物に対する最適把持位置姿勢を求めることは不可能である。そこで、②-1と同様に人間がグリッパ(ハンド)の手を取り、動作を教示する手法を構築する。

・ **拘束型データグローブ**

3 関節 3 本指ハンドシステム及び、拘束型データグローブを図②-4 に示す。この手法は、人間は動

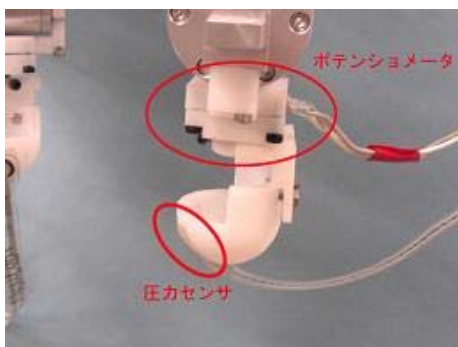
きが拘束されても感覚的にどうすれば作業を遂行できるか判断可能、という性質を利用する。データグローブで得た人間の動きをロボットの動きへ射影することは、モデルが立たず大変困難であるが、始めからロボットと同構造のグローブであれば、ロボットの動作は無変換でそのまま実行可能となる。



図②-4 拘束型データグローブと多指ハンドシステム

• コンプライアンス制御／インピーダンス制御による把持力再生

このような教示再生型のシステムでは、教示時と全く同じ関節角に位置制御で動作しても、教示時と再生時で対象物の配置位置が僅かでもずれていると、正しく物体を把持できるとは限らない。そこで、図②-5 のように指先に圧力センサと方向を見るためのポテンショメータを取り付け、教示時に指先力を測る。再生時には教示指先力を目標として、コンプライアンス制御又はインピーダンス制御を行い、僅かな位置ずれがある場合にも適切な把持力を再生し、正しく物体を把持できる。



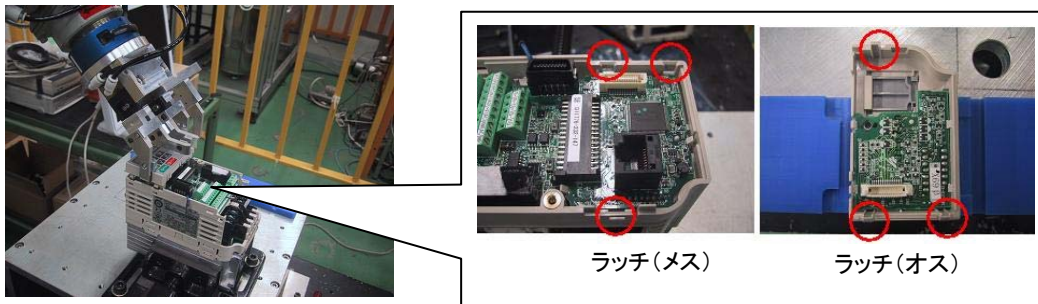
図②-5 指先力センサ

③ 作業状態認識（安川電機）

③-1 嵌合状態認識

・嵌合状態認識のアルゴリズム

組立作業の自動化では、ロボット自身が嵌合作業時の作業状態（成功か失敗か）を逐次判断して作業工程を進める必要がある。今回の作業対象である小型インバータの組立では、基板やコネクタの嵌合部分にラッチ（爪）があり、このラッチに基板やコネクタが嵌ったかどうかを力センサ情報の変化量とロボットの位置フィードバック情報から検出する方法を取っている。ラッチが無いものや力センサの変化量で検出し難いものについては、嵌合後に一定の力で引抜きチェックを行う。



図③-1 表示パネルのラッチ

・嵌合状態認識の評価結果

各作業工程での評価数 50 個での作業状態認識率を表③-1 と表③-2 に示す。

表③-1 前工程の各作業の作業状態認識率

作業内容	各作業の認識成功率 [%]	失敗原因
WCN嵌合	98.0	爪ゴムの柔軟性で力が上手く伝わらない
1 PCB基板嵌合	96.0	ラッチ部分が力作用点から遠い
表示パネル嵌合	100.0	—
認識成功率の平均	98.0	—

表③-2 後工程の各作業の作業状態認識率

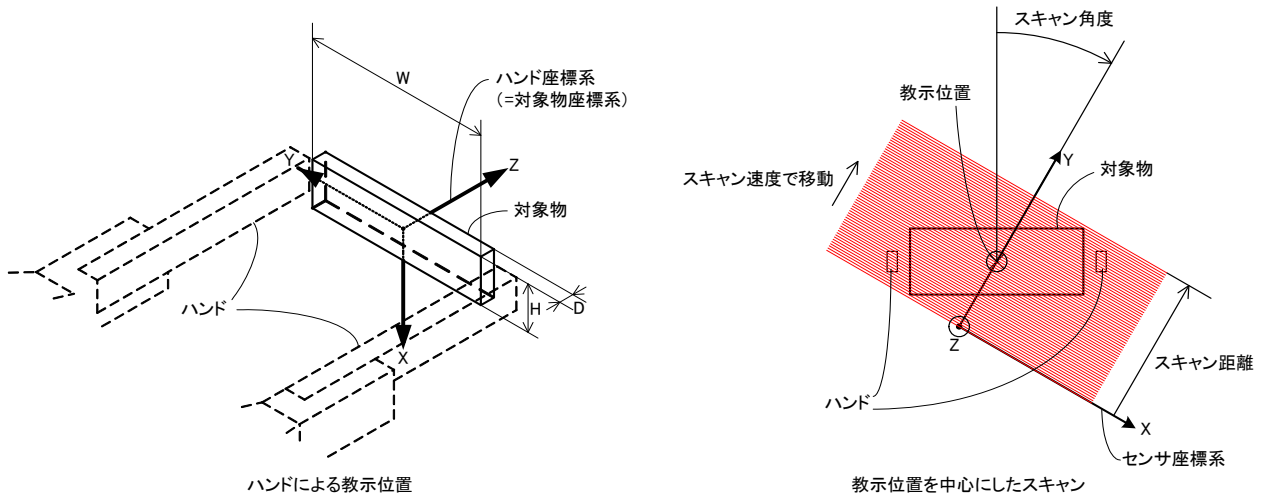
作業内容	各作業の認識成功率 [%]	失敗原因
WCN嵌合	100.0	—
ケース嵌合	97.6	ケース内でのケーブル噛み込み
認識成功率の平均	98.8	—

これらの失敗原因に対してさらに改良を加えることで最終的に99.3%の認識成功率となった。詳細は⑦の作業評価試験結果を参照。

③-2 2Dレーザセンサによる能動センシング

・能動センシングのアルゴリズム

図③-2のように、ハンドにより指示された位置を中心に、ロボットアームに取り付けた2Dレーザセンサによるスキャン動作を自動生成して、対象物の3次元データを得る。次に、取得した3次元データから、直方体部分を抽出し、対象物の位置姿勢を認識する。最後に、対象物の位置にハンドを移動して把持する。



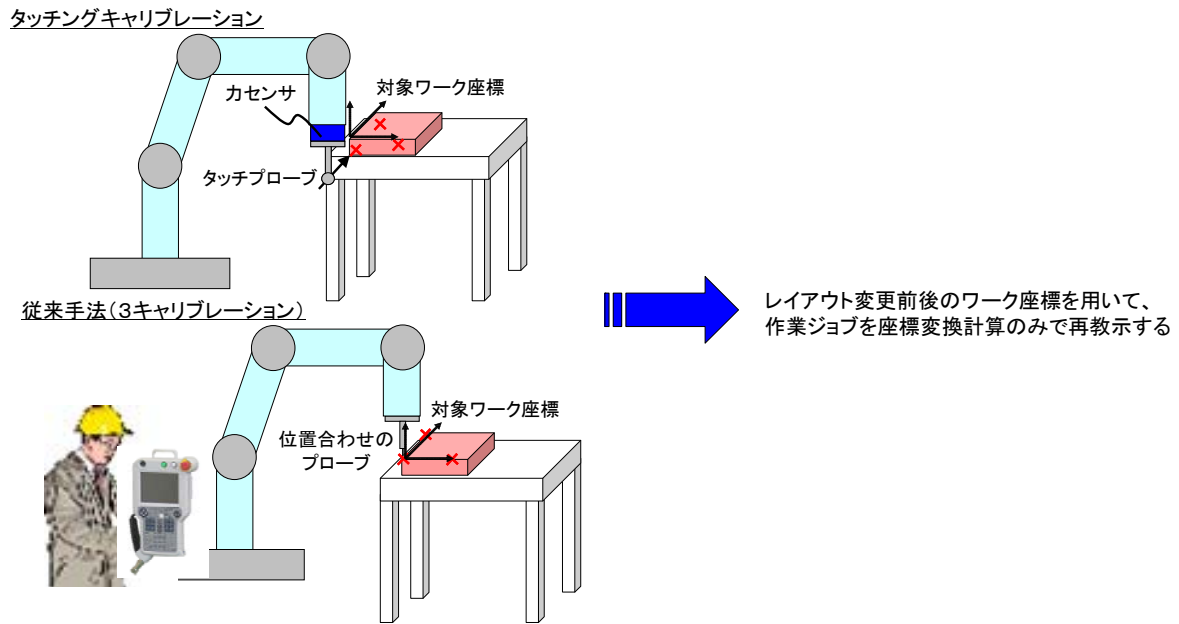
図③-2 2次元レーザセンサによるスキャン

・能動センシングの評価結果

対象物の指示位置からのずれ 位置 $\pm 10\text{mm}$ 、姿勢 $\pm 10\text{deg}$ を許容。前後工程の各50回の組立作業において、接続ケーブル端コネクタ、アース線の上端及び下端、挿入タブの認識成功率88%を達成している。

③-3 タッチングキャリブレーションの評価

作業対象の追加等で組立ラインの変更等がある場合、事前検討されたオフラインシミュレーションの結果（作業プログラム）を実機環境で使用するために、実機環境の対象ワークに関する座標原点のキャリブレーションが必要となる。その方法は、図③-3に示すように、従来の製品機能である目視でプローブ先端をワーク上の3点に誘導し原点位置を登録する3点キャリブレーションと、開発項目⑥の筑波大が開発した力センサを利用してプローブとワークを複数回接触させてワーク原点を求めるタッチングキャリブレーションがある。この2種類の方法を実機システムで評価した。



図③-3 3点キャリブレーションとタッチングキャリブレーション

・ タッチングキャリブレーションの評価結果

2種類のキャリブレーション方法の実機評価結果を表③-3に示す。タッチングキャリブレーションは従来手法と精度的には同等で、所要時間の優位性はなかった。しかし、目視の位置合わせが不要で簡便であり、作業者の熟練度に依存しない手法であることが確認できた。今後は、CADデータを活用したノミナル（理想）位置座標の登録と接触検出の自動化により、所要時間の短縮を進める。

表③-3 評価結果

評価項目	タッチングキャリブレーション	3点キャリブレーション
所要時間	△（約5min）	○（約2min）
位置あわせの簡便さ	○（力制御で半自動化が可能）	×（目視）
結果の精度	○（0.1-0.2mm）※1	○（0.1-0.2mm）
検出位置の制約	○（無し）	×（有り）※2
ノミナル位置座標	△（必要だがCADデータが活用可能）	○（不要）

※ 1 ノミナルと実際の座標系のズレが10mm程度の場合に限る（それ以上は精度悪化）

※ 2 制約：ワークの縁に正確にあわせる

④ ケーブルトレースによるコネクタ認識（筑波大学）

・ 2Dレーザセンサによるケーブルトレース

2Dレーザセンサは、スリット光の照射により、二次元ではあるが断面形状が直接計測できることから、濃淡画像よりも信頼度の高い情報が得られる。特に複雑な細かい作業を行う場合には計測環境を整えられない場合が多く、濃淡画像では背景の処理が問題となり、信頼度は更に低くなる。そこで本研究ではケーブルという不定形物の形状を計測するために、2Dレーザセンサを動かして三次元形状データを得ることを目指す。

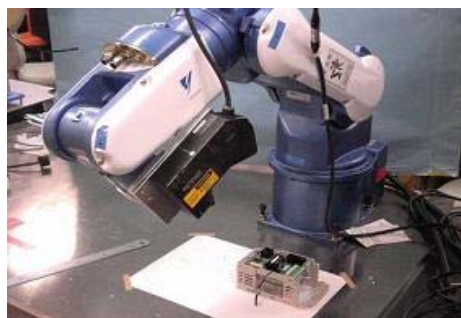
三次元形状データを得るには2Dレーザセンサを一定速度で動かしてスキャンデータを得る手法があるが、スキャン範囲に計測対象物が必ず入る必要があり、ケーブルが長く配置が不確かな場合に利用できない。そこで、計測した形状に応じ2Dレーザセンサの動作方向を調整し、対象物が計測範囲から外れないように追従（トレース）させる。

・追従アルゴリズム

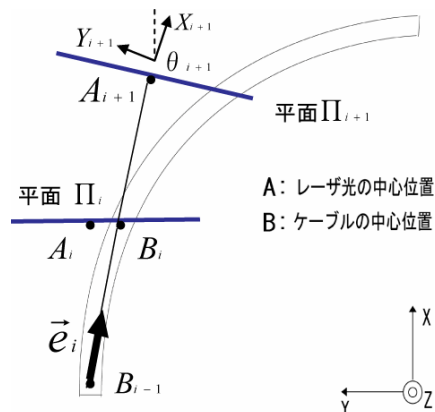
本研究のシステムでは、双腕（検証システムにおいては2台）アームのうち1台の手首部に2Dレーザセンサを取り付け、レーザスリット光を常にケーブルに垂直かつ中心がケーブル上に来るように、アーム（センサ）を動かす。図④-2のように、現在及び過去に計測されたケーブル位置から次のケーブル位置を予測し、その地点に次のレーザ光中心が来るように移動させる。2点のデータを用いれば直線でケーブル形状を推定し、3点を用いれば極率を含めた形状推定が可能となる。ただし点数を多くすると形状の変化へ柔軟に対応することが困難となる。

・追従実験

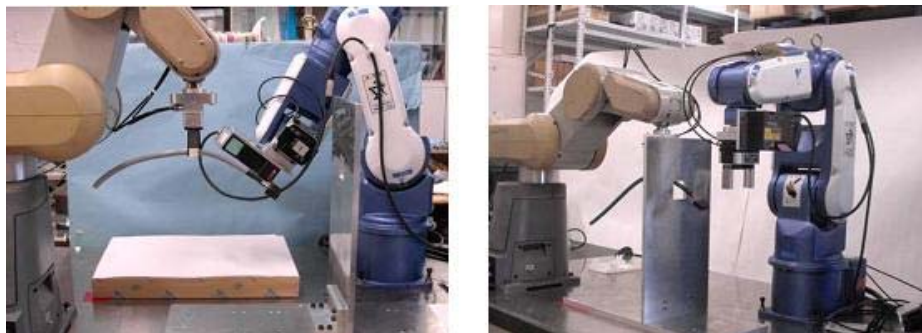
図④-3のように、長いケーブルに対し、トレースによる形状計測を行い、先端コネクタを穴へ通して受け渡し実験を行った。追従は低速で行い、まだ高速化には課題が残っているが、良好な結果を得た。高速トレースについては100mm程度のケーブルを目標とする1秒でトレースすることはほぼ100%（様々な初期姿勢に対し）可能であるが、より長い距離の追従を行う際には動作が振動的になることがあり、計測の遅延を考慮するなどの、課題が残っている。



図④-1 2Dレーザセンサ付アーム



図④-2 トレースアルゴリズム



図④-3 ケーブルトレース実験

⑤作業教示の簡易化（安川電機）

・目標

力制御が必要な組立作業では、位置と力の2種類の物理量を教示する必要があり、柔軟物を原因とした位置ずれが存在しても確実に作業成功に導く方策が要求される。本開発では、嵌合スキル制御や能動センシングを用いることで、必要な機能が共通部品化され、複雑な組立作業のプログラム作成が容易になるが、センサを利用するロボットの動きは教示が難しく、下記の課題がある。

- (1) パラメータ調整が困難であり、使えるユーザは少ない。

(2) 既存スキルで対応できない場合は作業実行不可能（開発に時間がかかる）

そこで、以下の方策を実施していく。中間時点は①の対応とする。今後は②スキル生成の対応として、スキルそのものを実機誘導の中から抽出し、複雑な組立対象でも成功する確率が高い技術を開発する。難易度の高いスキルに関してはメーカーで対応（サンプルテスト）も想定する。

(1) パラメータ調整の簡易化

パラメータの直接入力を不要とし、直感的な操作手段で、人の試行錯誤を自動化する。

(2) スキルの生成

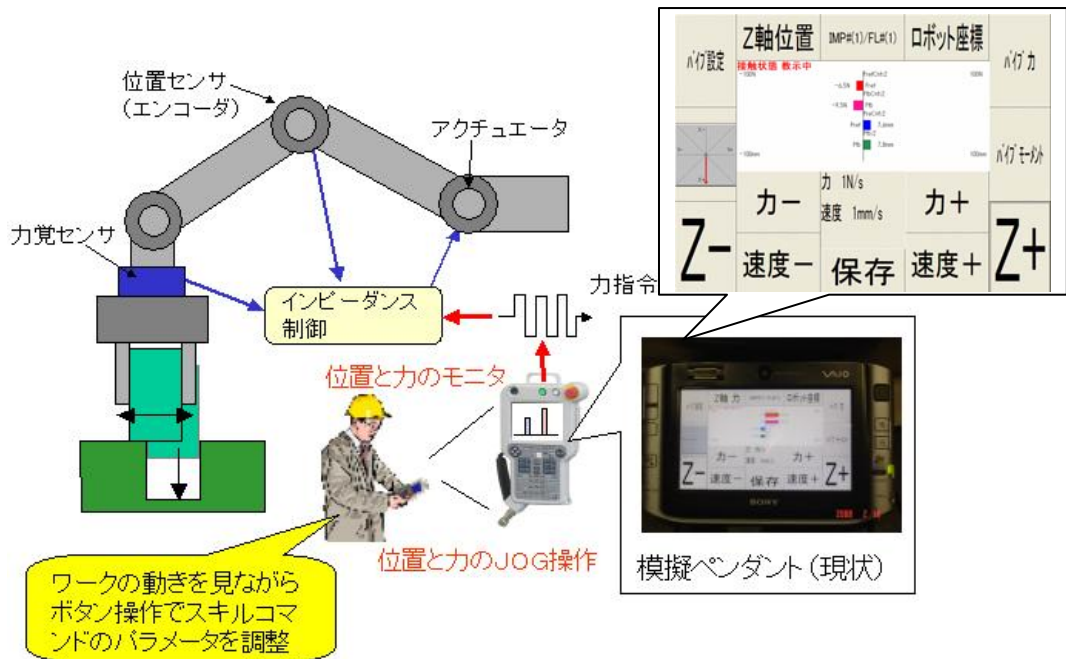
1回の成功作業動作によってスキルを抽出。ズレの吸収や判断処理の抽出、パラメータ最適値探索を行う。

⑤-1 嵌合スキルの教示

・教示の仕組み

嵌合作業の教示に関する技術は確立されておらず、現状ではその教示に多くの試行錯誤を必要とするため、操作ペンダントによる嵌合作業の実用的な（産業用ロボットに適用可能な）教示方法を開発した。

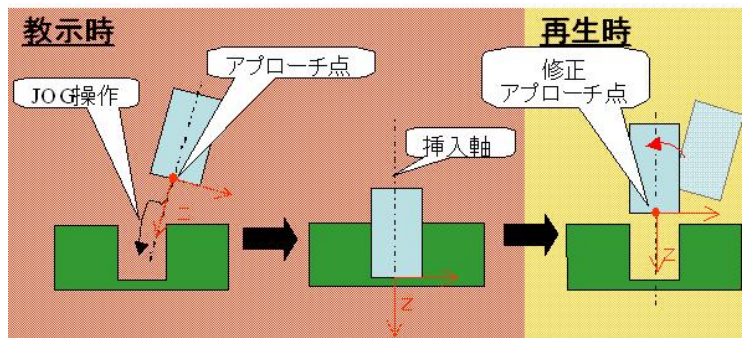
具体的な教示方法は、図⑤-1 に示すように力制御状態で作業者が操作ペンダントの JOG 操作で把持ワークを挿入完了状態まで導きながら、3つの状態（接触状態、嵌合状態、挿入完了状態）の位置と力のデータを保存し、プレイバック時の動作コマンド（スキル制御に必要なパラメータを含む）を自動生成する。ステージゲート時点では、携帯型PCをベースにした模擬ペンダントを用いて教示作業を行っているが、最終目標時点では製品の操作ペンダントで実現する予定である。



図⑤-1 嵌合スキルの教示イメージ

特に、以下の3点が特徴である。

- ①「探り」や「噛付き解消」の機能を操作ペンダントからJOG操作でき、嵌合・挿入が容易に行える。
- ②挿入完了状態で計算した挿入軸を用いることで、アプローチ位置自動修正でき、アプローチ点を厳密に教示する必要がない (図⑤-2)。
- ③教示者自らが作業状態を判断しスキルに反映することで、パラメータが自動で抽出できる。



図⑤-2 嵌合スキル教示の流れ

・評価結果

評価手順は、円柱ワーク (ギャップ $10\mu\text{m}$) を題材にした実機検証とし、力制御やスキルの知識のない第三者の被験者に、教示作業のデモンストレーションを行った後、被験者が教示・再生し、教示時間と作業成否を判定した (マニュアル閲覧を許可)。評価結果を表⑤-1 に示す。

本開発技術により直感的で簡単な操作 (3分程度) で嵌合作業が教示できる (3回程度の試行で操作に慣れ、失敗は無くなった)。本教示手順を使用しない場合、1時間程度を要する。

表⑤-1 嵌合スキル教示の評価結果

試行回数	被験者A		被験者B	
	教示時間	再生結果	教示時間	再生結果
1	8分49秒	成功	6分1秒	失敗
2	3分50秒	成功	3分28秒	成功
3	4分10秒	失敗	2分1秒	成功
4	3分13秒	成功	1分59秒	成功
5	3分3秒	成功	1分52秒	成功

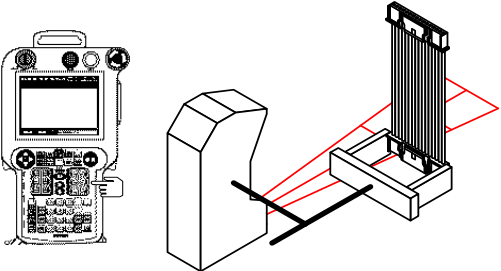
⑤-2 能動センシングの教示

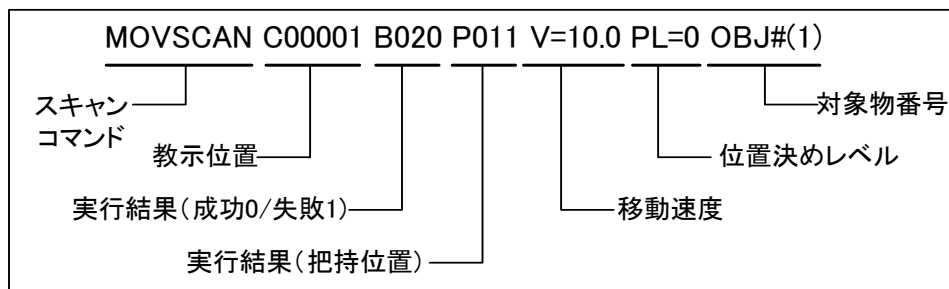
・教示の仕組み

対象物をスキャンする動作の教示は、表⑤-2 の手順で行う。表中 No. 2 のスキャンコマンドは、図⑤-3 の引数を伴う。

ロボットコントローラでジョブをプレイバックすると、教示位置を中心に2Dレーザセンサでセンシング動作が自動生成され、対象物の3次元データから位置姿勢が求められる。

表⑤-2 2Dレーザセンサによるセンシング教示

No.	作業内容																								
1		<p>プログラミングペンダントのジョグ操作で、手を把持位置へ移動（実際に把持させる等の詳細な位置決めは不要）</p>																							
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> MOVSCAN C00001 B020 P011 V=10.0 PL=0 OBJ#(1) </div>	<p>スキャンコマンドを登録</p>																							
3	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">寸法</th> <th colspan="3">把持位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H</td> <td><input type="text" value="8"/> mm</td> <td>X</td> <td><input type="text" value="-5"/> mm</td> <td>Rx</td> <td><input type="text" value="0.5"/> deg</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td><input type="text" value="32"/> mm</td> <td>Y</td> <td><input type="text" value="-1.2"/> mm</td> <td>Ry</td> <td><input type="text" value="0"/> deg</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td><input type="text" value="5"/> mm</td> <td>Z</td> <td><input type="text" value="2.5"/> mm</td> <td>Rz</td> <td><input type="text" value="0"/> deg</td> </tr> </tbody> </table>	寸法		把持位置			H	<input type="text" value="8"/> mm	X	<input type="text" value="-5"/> mm	Rx	<input type="text" value="0.5"/> deg	W	<input type="text" value="32"/> mm	Y	<input type="text" value="-1.2"/> mm	Ry	<input type="text" value="0"/> deg	D	<input type="text" value="5"/> mm	Z	<input type="text" value="2.5"/> mm	Rz	<input type="text" value="0"/> deg	<p>対象物寸法と把持位置を入力</p>
寸法		把持位置																							
H	<input type="text" value="8"/> mm	X	<input type="text" value="-5"/> mm	Rx	<input type="text" value="0.5"/> deg																				
W	<input type="text" value="32"/> mm	Y	<input type="text" value="-1.2"/> mm	Ry	<input type="text" value="0"/> deg																				
D	<input type="text" value="5"/> mm	Z	<input type="text" value="2.5"/> mm	Rz	<input type="text" value="0"/> deg																				
4	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">スキャン条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スキャン角度</td> <td><input type="text" value="20"/> deg スキャン距離 <input type="text" value="30"/> mm</td> </tr> <tr> <td>スキャン速度</td> <td><input type="text" value="10"/> mm/s</td> </tr> </tbody> </table>	スキャン条件		スキャン角度	<input type="text" value="20"/> deg スキャン距離 <input type="text" value="30"/> mm	スキャン速度	<input type="text" value="10"/> mm/s	<p>スキャン条件を入力 (デフォルト値でも可)</p>																	
スキャン条件																									
スキャン角度	<input type="text" value="20"/> deg スキャン距離 <input type="text" value="30"/> mm																								
スキャン速度	<input type="text" value="10"/> mm/s																								



図⑤-3 スキャンコマンド仕様

上記の教示を行うと、対象物をスキャンして把持する動作に必要なデータとして、次の4種類のデータが記録される。

(a) ハンドの制御点位置

ロボットコントローラの動作プログラム(ジョブ)へのスキャンコマンドの登録により記録される。

2Dレーザセンサのセンサ座標系は目に見えないため、ハンドを使い対象物の位置を教示する。

(b) 対象物の寸法(直方体の高さ、幅、奥行き)

対象物の情報としてロボットコントローラに数値入力する。

(c) 対象物上の把持位置

対象物中心から見た把持位置をロボットコントローラに数値入力する。対象物中心ではない位置をハンドで把持したい場合に指定する。

(d) スキャン条件(スキャン角度、スキャン距離、スキャン速度)

基本的にデフォルト値を使い変更しない条件だが、スキャン範囲を変更したい場合等に指定する。

・**評価結果**

教示操作は、ハンドによる位置の教示を1点行うのみなので、センサデータを見ながら調整する必要がなく簡単で、教示操作をしてプレイバックによる把持の確認まで約2分で完了する。更に、把持位置を数値で調整しても、最初の教示操作から5分以内には全てを完了することができた。これにより、対象物の位置の変更に伴う教示の修正作業も簡単に行えた。また、ロボットの動作プログラムにおけるスキャン動作の表現がシンプルなので理解しやすい。本教示手順を使用しない場合、レーザ光の照射している場所を探しながら試行錯誤の教示となり、30分程度を要する。

⑥ キャリブレーションの簡易化(筑波大学)

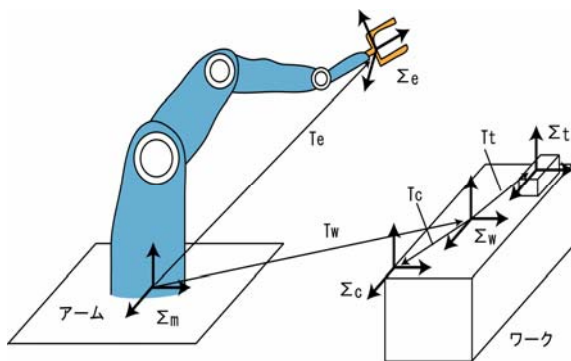
・**点-面タッチングによるアームとワークの相対位置キャリブレーション**

ロボットの作業プログラムは、古くはロボット、ワークスペースを設置した後に現場で一から教示、プログラム作成を行っており、新規製造ラインの立ち上げ時間を長くする要因となっていた。近年は3Dモデルを利用したシミュレータにより、設置前にオフラインでおおよその移動経路・干渉チェックが可能となった。これにより現場では設置後に現物に合わせたプログラムの修正を行えばよく、立ち上げ時間の短縮が図られてきた。ただし、挿入など、複雑な作業は現場での教示に依存している。

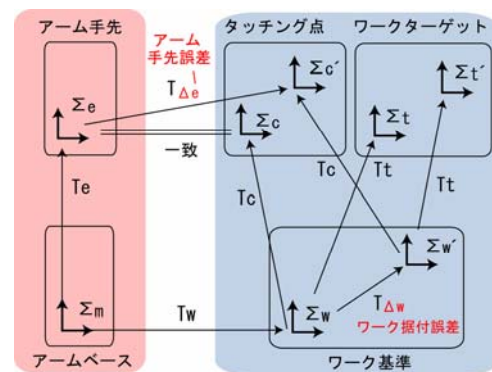
このような中、本研究においては、高度作業のために力センサなどの利用が前提となっており、これを用いることで、より容易なプログラム修正や複雑な作業の教示が行えるようになる。特にアームとワークスペースの相対位置のキャリブレーションが容易に行えるようになれば、動作プログラムの修正はかなり少なくでき、教示時間、立ち上げ時間の短縮に大きく貢献できる。

・キャリブレーションモデル設定

キャリブレーションを行うモデルを図⑥-1 に示す。アームから見たワークの基準座標系への変換を T_w とする。この T_w を正確に求めることがキャリブレーションの第一の目的であるが、実は、この T_w が求まってもアームは正しく作業を行うことができない。これはアーム手先位置に絶対位置誤差が存在するためである。このため正確な T_w ではなく、絶対位置誤差を含めたアームの手先位置（座標系） Σ_e への変換 T_e が正しくワーク上の望みの点へ一致するようにキャリブレーションを行う。



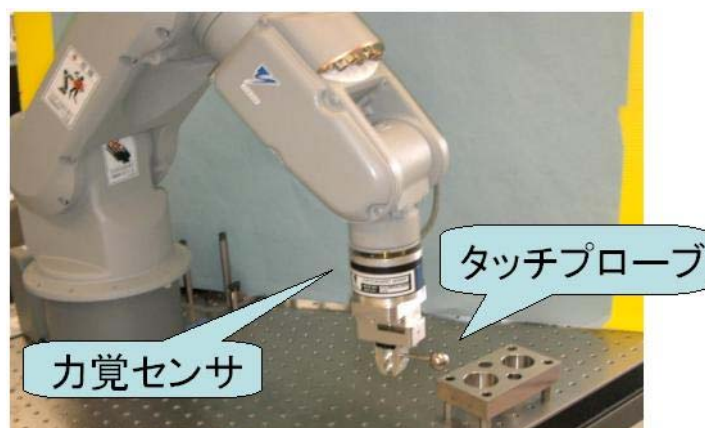
図⑥-1 キャリブレーションモデル



図⑥-2 キャリブレーション座標系

このためには、アーム手先位置でキャリブレーションを行えばよい。これにより絶対位置が含まれた手先位置がワーク座標系に合わせられる。図⑥-2 に示すように、理想的にはアーム手先位置とワークタッチング点は一致させることができるが、実際にはワーク据付誤差 Δw およびアーム手先誤差 Δe が存在するために、これらは一致しない。そこで、アーム手先の一点をワークスペース内の既知の面に接触させることで、相対位置関係を取得し、その情報から Δw および Δe を同定していく。

図⑥-3 に示すように、マニピュレータ先端のグリッパに、先端が球状になっているプローブを取り付け、このプローブにより、ワークスペース内の平面に接触させる。すると、モデル上の接触点の位置と実際にタッチした位置の誤差が手先繰り返し精度の範囲で求めることができる。ただしこれは面法線方向のみ 1 次元の拘束条件である。これを、少なくとも未知パラメータの数だけ繰り返すことにより、実際のワークスペースの存在範囲を特定することができる。



図⑥-3 タッチングプローブ

この問題を解くために、理想の位置と現実の位置の誤差は小さいものとして線形近似を行い、線形核問題として定式化した。これにより、接触位置データから自動的にキャリブレーション計算を行うことができる。また、キャリブレーションのための計測も点を面に接触させるものなので、半自動的に行うことが可能である。

・キャリブレーション実験結果

この手法を用い、筑波の検証システムを用いてキャリブレーションを行った実験結果を表⑥-1 に示す。今回の実験では、半自動的に手法による精度評価を目的とし、キャリブレーションを 5 回繰り返した際の結果のばらつきを評価した。作業時間や絶対位置精度については、安川システムにより、開発項目③にて検証を行った。

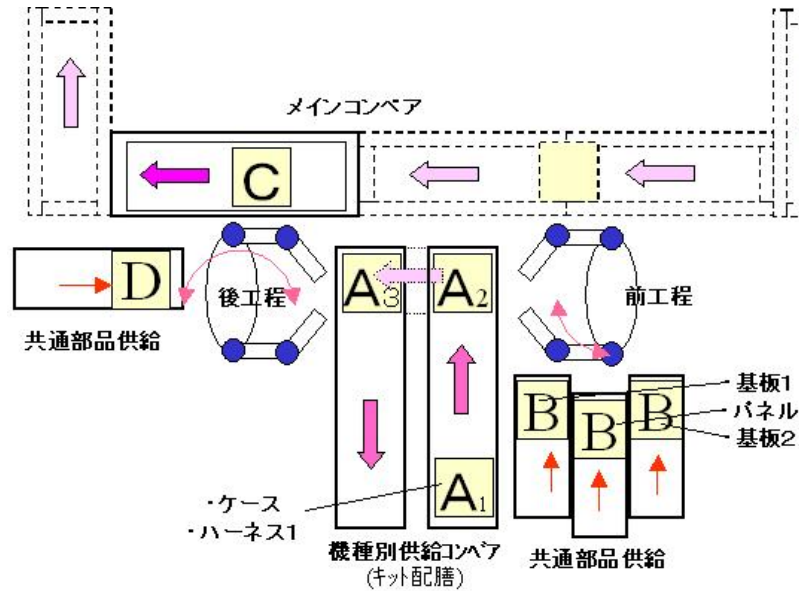
この結果は表のように、理想値に対しキャリブレーション結果は数 mm 程度ずれている。これは実際の位置ずれ及びアームの絶対位置誤差を含んでいるものと思われる。これに対し、5 回繰り返した際のばらつきは、0.1[mm]以下、0.05[deg]以下という結果が得られた。この結果（理想値より数 mm ずれているにも関わらずそのばらつきは非常に小さいこと）より、このキャリブレーションアルゴリズムが正しく機能していること、並びに、従来手法によるばらつき 0.2 [mm]、0.1[deg]という結果に比べ、かなりの向上が達成されていることが確認された。

表⑥-1 タッチングキャリブレーション実験結果

	X[deg]	Y[deg]	Z[deg]	Roll[deg]	Pitch[deg]	Yaw[deg]
理想値	390.00	160.00	50.00	0.00	0.00	0.00
校正結果	391.5713	165.2369	51.1209	0.0054	-0.2017	0.0136
	391.4743	165.1765	50.9708	0.0093	-0.3132	0.0446
	391.5441	165.2541	51.1521	0.0325	-0.2669	0.0135
	391.5238	165.3216	51.1752	-0.0703	-0.2664	-0.0104
	391.5031	165.2482	51.0213	-0.0013	-0.3055	0.0314
平均値	391.5233	165.2475	51.0881	-0.0049	-0.2707	0.0185
標準偏差	0.0372	0.0517	0.0880	0.0387	0.0442	0.0208

⑦ 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

安川電機製小型インバータ V1000 の配線及び基板組付けをターゲットとし、組立工程（現状は2人手作業）を双腕ロボットの2台の工程に分けて実現し、インバータ工場で試験ラインを稼動した。図⑦-1に試験ラインの構成を示す。



図⑦-1 試験ラインの構成

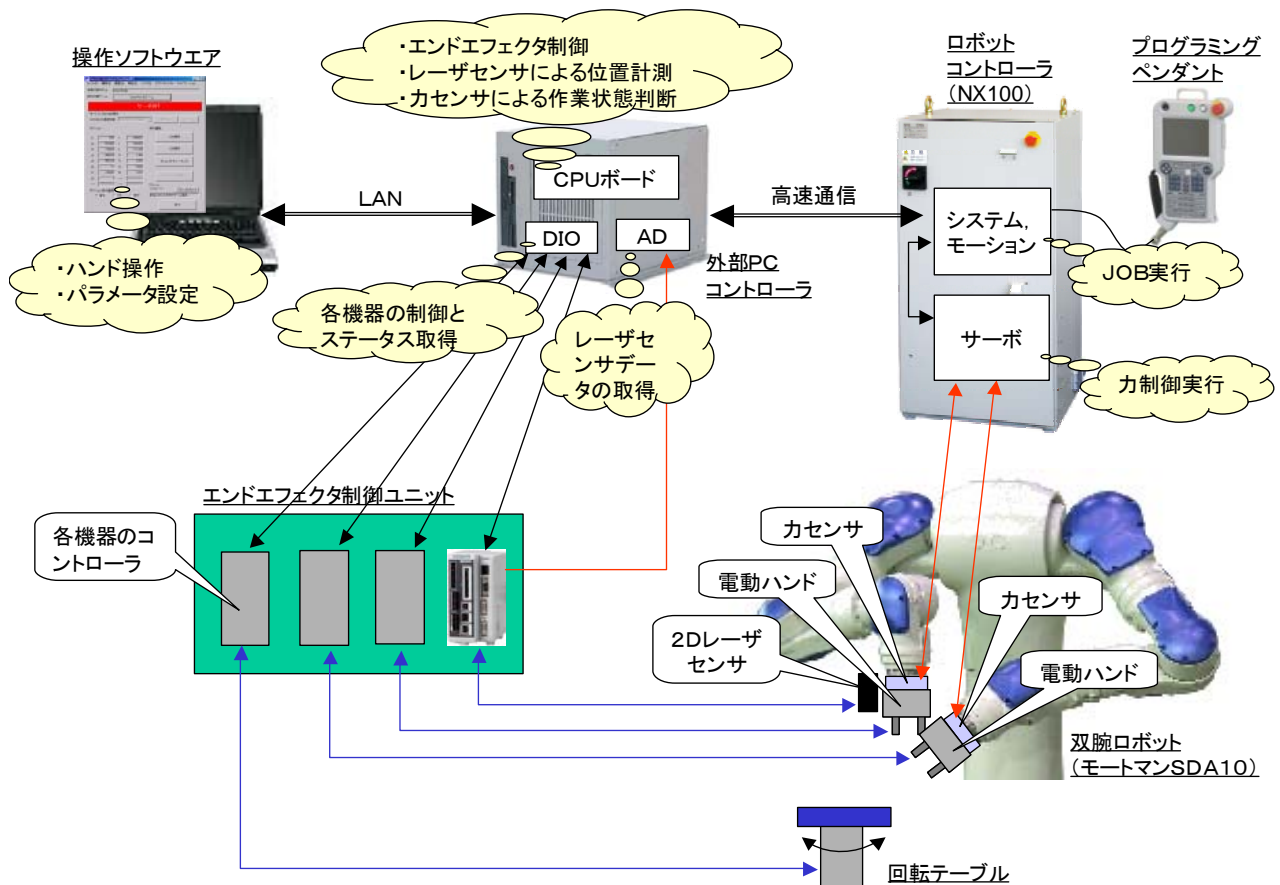
実証ロボットの試験ラインの具体的な仕様は下記の通りである。

- ▶ 枠番に依存しない部品は共通の供給装置で供給し、枠番に依存する部品はキット配膳によるコンベアで供給した。キット配膳部分は最終目標までにロボット化する。
- ▶ 対象とするインバータは1機種のみ。
- ▶ 最終目標時の作業タクトタイムは前後工程それぞれ40秒とする。

・実証システムの構成

システム構成としては、図⑦-2に示すように、安川電機製双腕ロボットSDA10とロボットコントローラNX100と外部PCとモニタ用PCとエンドエフェクタ制御ユニットで構成され、前工程用と後工程用で計2セット使用する。各機器間の接続形態は、ロボットコントローラNX100のシステムモーション部と外部PCは高速通信で接続されており、定周期での情報のやり取り（コマンドや位置修正量等）が可能である。モニタ用PCは外部PCとLAN接続されて、外部PC内のパラメータ設定を主に行う。エンドエフェクタ制御ユニットは外部PCとIO接続されて、電動ハンドの開閉や2Dレーザセンサの制御を行う。

外部PC内では2Dレーザセンサからセンサ情報とロボットの位置フィードバック情報を元に、ケーブル端のコネクタ位置の補正情報を算出し、ロボットコントローラへ送っている。また、嵌合スキルの状態遷移の判断も外部PC内の作業プログラムで行う。

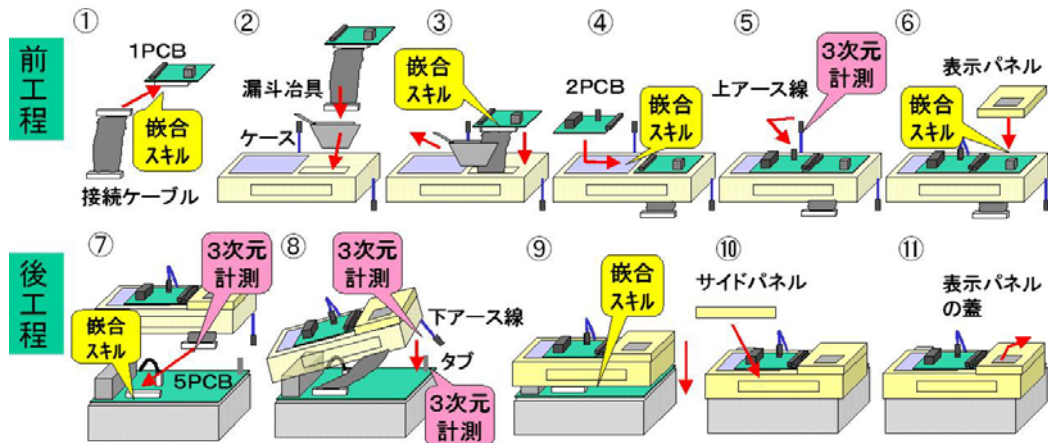


図⑦-2 システム構成 (1台分)

上記試作システムで対象工程をロボット化し、人手80秒(40秒×2)の作業を双腕ロボット2台により100秒強で実現できる見込みが得られた。今後は2Dレーザセンサのスキャン高速化、作業工程の見直し、作業スピードの向上を図ることで、人手と同等の作業時間まで短縮する予定である。

・作業成功率の評価方法と結果

図⑦-3 に示されている前工程・後工程作業の自動組立作業試験を実施し、作業成功率を計測した。未使用の新品50サンプルを使って連続評価試験を行った。その結果、表⑦-3 のような作業成功率となり、本年度の目標を達成できた。ただし、現場サイドからはさらなる作業成功率の向上が求められている。今後、技術を確実なものにブラシアップすることで実用化が可能である。



図⑦-3 小型インバータ V1000 の組立作業手順

表⑦-3 作業成功率と作業状態認識率の評価試験結果

	前工程	後工程	全体
作業成功率[%]	100	91.3	95.7
作業状態認識率[%]	100	98.6	99.3

評価試験での作業や状態認識の主な失敗原因として、スキルパラメータの設定が最適値になっていないことによりたまに失敗するケースがあると考えられる。⑤で説明したスキル嵌合教示機能で抽出したパラメータをさらに最適化するような機能が必要であると考えており、実用化フェーズにおける今後の課題として取り組む予定である。

表Aに研究開発項目毎の目標と達成度のまとめを示す。

表A 「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」 目標と達成度のまとめ

研究項目(基本計画内容)	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	接触作業スキルの開発 (複腕協調作業技術)	キット配膳で定位置に部品を供給し、自動でインバータの組立を実行(作業成功率90%以上)	力センサを利用した嵌合作業スキルと2Dレーザセンサを利用したワーク位置姿勢計測により、キット配膳と個別部品供給で定位置に部品を供給し、作業成功率95.7%で小型インバータの配線及び基板の自動組み付けを実現した。	目標達成
	作業パラメータの取得 (高度配線作業技術)	グリッパに人が手を添えて、コネクタの把持姿勢、把持力等のスキルパラメータを教示、再生するシステムの構築。教示時間50%短縮を目指す。	グリッパに手を添えたスキル教示手法の開発を行い、小型マニピュレータでも大型による作業の教示が行えること、初めての教示者でも直感的に利用できること、多人数でもほぼ同様のスキルパラメータが教示できることを確認した。	教示時間の短縮度は未確認だがほぼ目標達成。
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	作業状態認識 (環境認識技術)	キット配膳された部品の把持認識、部品の能動センシング後の把持認識、部品組付け認識を確率95%以上。タッチングキャリブレーション(筑波大アルゴリズム)によるワーク位置姿勢計測でオフライン教示の動作プログラミングの活用。	電動ハンドの把持力とモータエンコーダ情報による部品の把持認識と、力センサとロボットエンコーダ情報を利用した部品組付け認識を確率99.3%で実現した。タッチングキャリブレーションによるワーク位置姿勢計測で、事前検証したオフライン教示の動作プログラミングを実機の動作プログラムとして活用した。	目標達成
	ケーブルトレースによるコネクタ認識 (作業遂行認識技術)	おおよその向きしかわからないケーブルに対し、トレースにより先端コネクタの位置・姿勢、ケーブル把持位置の計測を行う。90%以上の成功確率を目指す。	ケーブルを追従するアルゴリズムを開発し、100mm程度のケーブルを1秒程度で追跡することにはほぼ100%成功している。ただし、高速化に伴い計測時間遅れの影響から振動的となり、長い距離の追従には改良が必要となっている。	目標達成
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	作業教示の簡易化 (簡易教示技術)	作業教示(センサ動作教示、嵌合作業スキル教示、パラメータの自動調整を含む)の簡易化とプレイバックによる作業遂行(作業成功率90%以上)を実現。保守担当のロボットエンジニアリング関係者が教示可能なシステムを実現。	従来通りの操作ペンダントで接触作業させながら嵌合作業スキルに必要なパラメータの自動教示と、2Dレーザセンサのスキャン及び把持動作の簡易教示ができるシステムを実現した。また、作業成功率95.7%でプレイバックによる作業を遂行できた。	目標達成

	キャリブレーションの簡易化 (多自由度系教示技術)	人手で行っていたロボット設置時のキャリブレーションに対し、タッチングプローブとパレット表面の点-面接触を利用して半自動化した手法を開発する。作業時間の50%短縮を目指す。	点-面タッチングによるキャリブレーションアルゴリズムは完成し、±100mm、±20°程度の据付誤差に対しても、5回繰り返した際のばらつきが従来手法の半分の0.1[mm]、0.05[deg]以下でキャリブレーションが行える。	作業時間は従来の手動3点教示する場合と比較して優位性はなかったが、自動化可能な手法として将来性がある。
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	作業実証試験 (実証ロボットシステム)	インバータ製造サブラインでの試験稼働を実現。小型インバータ組立サブラインへの周辺機器も含めたシステムとしてロボットを導入し、小型インバータ組立作業の作業成功率90%以上。	インバータ製造サブラインでの試験稼働を実現し、キット配膳コンベアや部品供給装置を含めたロボット生産システムを導入し、小型インバータ組立作業の作業成功率は95.7%である。	目標達成
	技術検証試験 (検証ロボットシステム)	ロボット用ミドルウェアを用い、様々なスキルに対応可能な複数台マニピュレータからなる検証システムを構築する。	マニピュレータ、2Dレーザセンサ、力センサ、力制御系をロボット用ミドルウェアであるRTミドルウェアにより実装し、ネットワーク上で多数台のロボットが稼働するシステムを構築した。	目標達成

3) 成果の意義

製造分野での組立工程は非常に多いが、単純なものを除いてロボット化率は高くない。一方製品の多くが一部柔軟物を含みロボット作業工程の完結上ネックとなっていた。今回の技術開発でネックを解決する可能性が見え、世界的な需要に応える準備ができた。

組立て作業は機種や工程の変化対応力が求められる。そのためロボットの教示スピードが重要で位置決めと同時に微妙な力加減を簡単に教示できる技術が必要とされる。今回の開発でその解決手段を提供することができ、その効果を製品製造工程で実証した。センシングを含めたロボットの簡易な教示技術の重要性と開発事例を示すことができた。

開発した技術は従来型ロボットシステムとの整合性を重視し、現実の製品への移植性を考慮した汎用的なモジュールで構成しており、移植性、汎用性に優れている。これにより、投入コストと実用化の可能性の面で効率的開発を実施することができた。

4)特許の取得状況

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	2007年9月6日	特願2007-231944	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2007-216036	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2008-009838	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2008-224990	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2008-313198	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2008-313199	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2008-323456	ロボットシステム	安川電機

5) 成果の普及

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 Automation Technology	Realization of Press-fitting Operation by Impact Manipulation with a Under-actuated Manipulator	Shinichiro Shindo, Shingo Tomita and Yasumichi Aiyama (Tsukuba 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 拘束型テータク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）

6) 実用化・事業化の見通し

[波及効果]

本開発では中でも自動車（パーツの組立など自動化が残された部分）、家電の配線作業を特に有望な市場としている。ここでは人との単純置き換えでの作業をターゲットとしており、技術的対応の広がりによって可能な作業の種類が増えるほど、市場での受け入れ可能性が広がる。

3.1.1.3 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)】

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ている。開発中の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ている。

・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. 剛体物の3次元センシング技術

b. 柔軟物の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

・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大容量サーボアンプを対象として、組立試験装置を開発している。

⑤FA機器組立実証システム

次に、各開発技術のステージゲート時点での目標と成果を下記に示す。

① 作業エラーからの自動復旧技術

目標：コネクタの組み付け作業において、挿入不可能状態を認識し自動復旧を実現する。挿入不可能状態からの自動復旧率は両コネクタにおいて80%を目標とする。

成果：基板コネクタと IGBT コネクタの 2 種類のコネクタの組み付け作業の挿入不可能状態から、スパイラルサーチ手法と接触探索手法を用いて、自動復旧を実現した。エラー認識後の自動復旧の成功率は基板コネクタで99%, IGBT コネクタで98%であり、目標を達成した。

② 3次元センシングシステム

目標：小型パターン投光部、及び広ダイナミックレンジカメラ一体型の 3 次元センサユニットを試作し、距離測定機能が正常に動作することを確認する。センサヘッドサイズは350cc 以下、通常カメラの 4 倍以上のダイナミックレンジ、Ethernet による画像伝送機能の実現を目標とする。また、自由姿勢状態の位置姿勢を認識するアルゴリズムを開発し、位置誤差±1mm、処理時間 2 秒以内の実現を目標とする。さらに、柔軟物 3 次元センシング技術として、ケーブルの 3 次元形状推定アルゴリズムを開発し、ロボット動作と組合せたモーションステレオ計測手法において、柔軟物ケーブルの計測位置精度±3mm、計算処理時間 2 秒以内を実現する。

成果：3 次元センサユニットの設計・試作を行い、センサヘッドサイズ 332cc の実現および Ethernet による画像伝送を実現した。また、通常カメラの 4 倍以上の広ダイナミックレンジ機能を実現し、対象物反射特性の影響を抑制した距離測定の実現を確認した。また、コネクタ認識方式については高精度距離計測値を用いた認識処理により、フリーの状態のコネクタ位置姿勢を誤差±0.9mm、処理時間 1.3 秒以内で計測・認識可能であることを確認した。柔軟物 3 次元センシング技術に関しては、離散特徴点の運動ステレオ計測で、ロボット運動ベースの追跡安定指標の導入により精度±3mm、計測性能向上アルゴリズムの改良による利用画像枚数の削減により処理時間 1.7 秒以下を実現した。

③ 組み付け制御技術

目標：開発した力制御系を実証システムに統合して実際に発生する問題点に対して改良開発を行い、コネクタ挿入作業を人の作業時間の 3 倍以内で実現する。

成果：対象物の特性を挿入作業中にリアルタイムで同定する機能を開発し、挿入作業中に同定できることを実機で確認した。また力制御のパラメータをリアルタイムで変更することにより、人とほぼ同等の速度（0.7 秒）でコネクタ挿入作業を可能とするとともに、位置ずれ時に早期に停止することによりワーク及びロボットを保護できることを確認した。

④ 柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術

目標：作業レベルプログラム生成システムにおいて、電機電子製品組立において典型的な作業を行うロボットプログラム生成機能を開発する。また、ロボット手先の回転を伴う動作においてケーブルの振動を抑制する軌道と加速度を生成する動作最適化技術を開発する。

成果：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り、従来のロボットプログラミング言語を用いた場合に対し 1/3 の時間で作成できることを確認した。また、ケーブルの重心移動を抑制した軌道を自動生成しステージゲートの検証システムにおいて、ケーブル先端の振幅を約 50%減少させることができた。

⑤ FA 機器組立実証システム

目標：分岐ケーブルの組み付け作業など FA 機器組立において主要な作業を検証可能な実証システムを製作する。

成果：大容量アンプを対象に非整列供給されたケーブル取り出し及びキッティング治具へのセット、ケーブル組み付け、基板組み付け、カバー組み付けの各工程を実証システムに実装し、開発した 3 次元センシング、組み付け制御、動作最適化、自動復旧技術を用いて、柔軟物（ケーブル）組み付け作業、非整列部品のキッティング作業を含む FA 機器に代表される電機電子製品の一連の組立作業が実現可能であることを確認した。

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

柔軟物組み付け作業における代表的な作業であるコネクタ挿入作業を対象に、エラー状態を認識し、エラー状態から自動復旧して作業を継続できる自動復旧方式を開発した。FA 機器を代表するコネクタに関して実機検証した結果、目標である自動復旧率 80%を上回る 98%を達成した。以下詳細を述べる。

- ・ 基板コネクタと IGBT コネクタの組付け作業における挿入不可能になったエラー状態から、自動復旧を実現するアルゴリズムを開発した。
- ・ 基板コネクタはヘッダー側にカバーがついており、様々なエラー状態が起こりにくくなっており、全て挿入不可能状態と認識されるようなコネクタ形状であった。その基板コネクタに対しては異常検出後、スパイラルサーチ(図 1)によって挿入位置を探索し組み付け作業の自動復旧を実現した。
- ・ IGBT コネクタはヘッダーのピンが曲がりやすい性質があり、スパイラルサーチが使えない状態である。そこで、コネクタを探針として接触探索アルゴリズムを開発し、3 回の接触動作によりピンヘッダーの位置を計算することを提案した。このアルゴリズムにより IGBT コネクタの挿入不可能状態からの自動復旧を実現した。
- ・ 作業成功時と作業失敗時の挿入量と挿入反力の関係を、ファジィ関数を用いて学習し、オンラインで得られたデータと比較し挿入作業の異常状態を検出した。異常検出の応答性を向上する目的で、挿入反力または挿入量が閾値に達した場合にも、作業を停止し異常判別をおこなった。

- ・ 実証システムにおける自動復旧動作の成功率は、基板コネクタの場合は 100 回試行して 99 回成功したため成功率 99%であり、IGBT コネクタの場合は 50 回試行して 49 回成功したため成功率 98%であった。目標成功率 80%を達成できた。

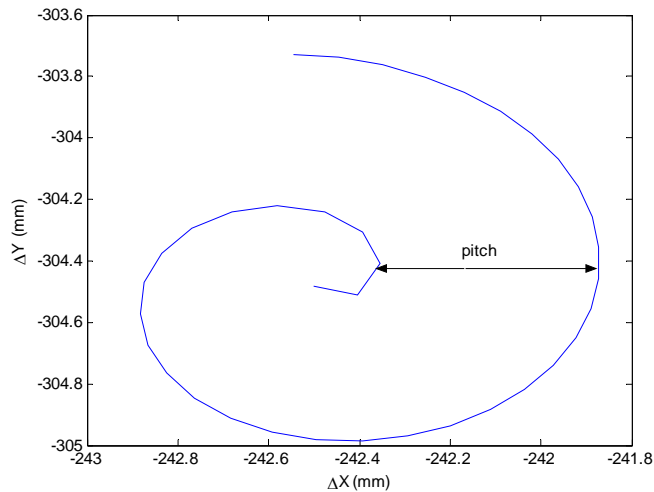


図 1 基板コネクタのスパイラルサーチでの探索軌道

基板コネクタ挿入のエラーリカバリアルゴリズム

1. コンプライアンス制御でコネクタの挿入作業を試行する。
2. 挿入作業はロボット手首のカセンサで計測される挿入反力か、挿入量が限界値に達した場合に作業終了となる。
3. 階層化ファジィパターンマッチング判別器を用いて異常検出をおこなう。
4. もし“挿入不可能状態”が検出された場合は次の作業を実行する。
5. タイムアウトになった場合は作業終了する。
6. スパイラルサーチを実行して挿入開始位置を補正する。
7. 補正された挿入開始位置で挿入作業準備状態に移行する。
8. ステップ1に戻る。
9. 挿入不可能状態の場合の作業は以上

② 3次元センシングシステムの開発

柔軟物を知的にハンドリングするための3次元センシングシステムとして、下記項目の

開発を行った。

- a. 剛体物の 3 次元センシング技術
- b. 柔軟物の 3 次元センシング技術

前者では、柔軟物の先端に位置するコネクタを 3 次元計測するための小型 3 次元センサハードウェアと現場調整の容易な 3 次元計測手法を開発するとともに、コネクタ部の 3 次元認識手法を開発した。また、後者では柔軟物であるケーブル部の 3 次元計測手法を開発した。実証システムでは、狭視野範囲を高精度に計測する前者の 3 次元センシング技術と、広視野をカバーする後者の 3 次元センシング技術を組み合わせることにより、柔軟物であるコネクタ付ケーブルの 3 次元センシングシステムを実現している。図 2 に実証システムにおける作業例を示す。この作業により、キッティング治具にセットされたコネクタ付ケーブルは後半工程において、組み付け作業が行われる。

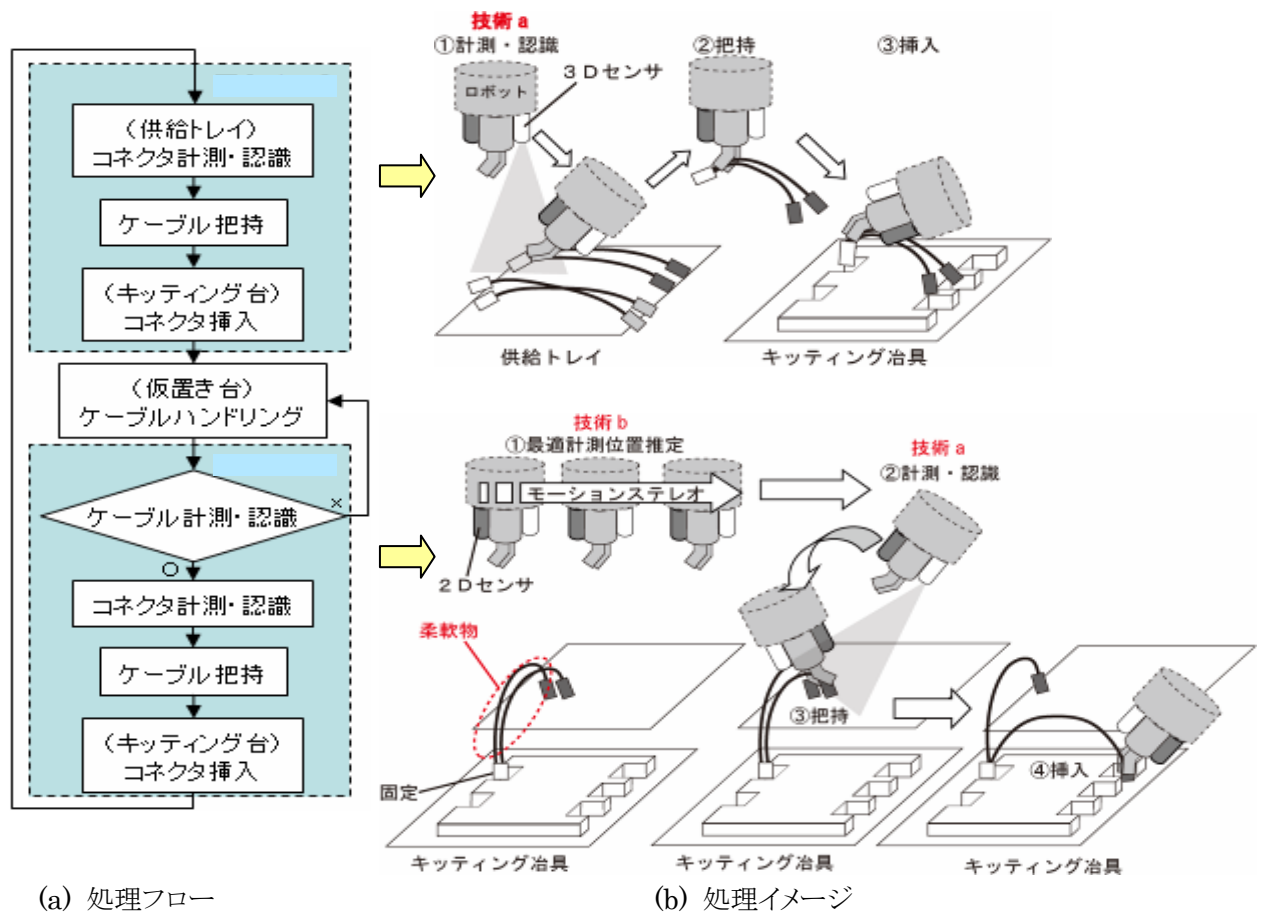


図 2 3 次元センシングシステムにおける作業例

a. 剛体物の 3 次元センシング技術の開発

コネクタ付ケーブルをキッティング治具にセッティングすることを目標とし、コネクタ(剛体物)に対する 3 次元センシング技術として以下の技術開発を行い、次のような結果を得た。これにより、

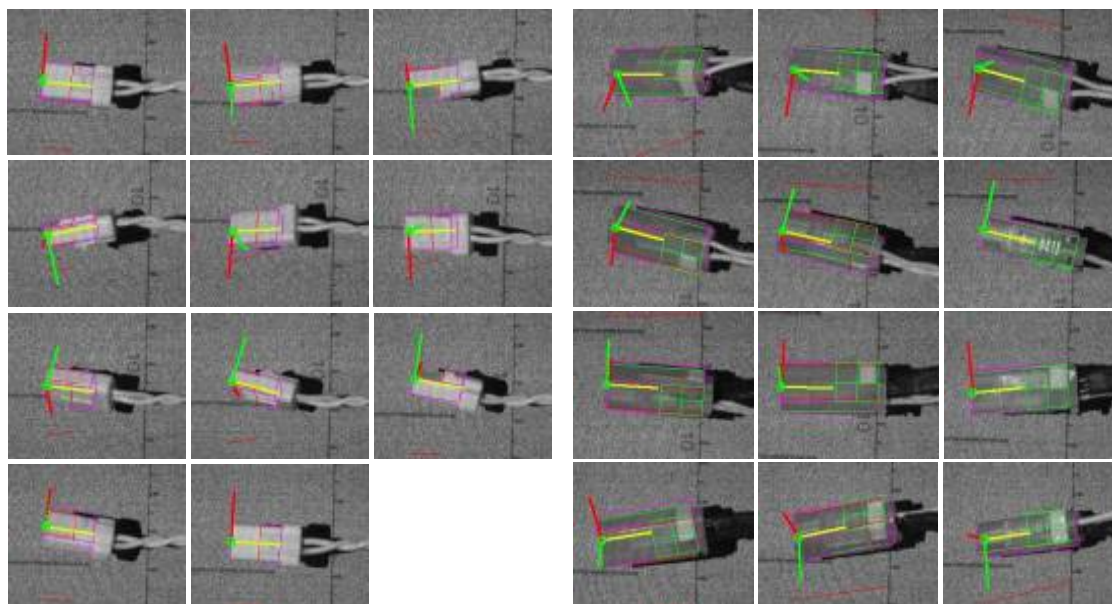
いずれも中間目標値を達成している。

(1) 小型3次元センサ

- ・パターン投光部・カメラ一体型の3次元センサヘッドユニットの設計、試作を行い、中間目標である容積350cc以下となる332ccを実現した。
- ・パターン投光部ではLDを光源とする小型光学系と小型スキャニングミラーを用いて、50度の振れ角度で投射した計測パターンがカメラで正常に同期撮像されることを確認した。
- ・高輝度画像と低輝度画像をFPGA内でフレームメモリを用いずにリアルタイム加算し、中間目標値である通常カメラの4倍のワイドダイナミックレンジ化(WDR化)を実現した。
- ・耐ノイズ性、長距離伝送を実現するため、中間目標であるEthernetによる信号(画像、制御信号等)伝送を実装した。
- ・視野変更、計測距離設定が容易に変更可能な3次元距離復元アルゴリズムを開発し、使用現場での調整が容易に実現可能であることを確認した。

(2) コネクタ位置姿勢認識アルゴリズム

- ・2次元濃淡画像及び3次元距離情報を用いた計算処理により、コネクタの3次元位置姿勢認識アルゴリズムを開発した。複数種類のコネクタに共通して対応可能な位置姿勢認識手法となっており、コネクタ部の位置誤差 $\pm 0.9\text{mm}$ (中間目標値 $\pm 1\text{mm}$)、処理時間1.26秒(中間目標値 2秒以内)を実現していることを確認した(図3)。



(a) 白コネクタ認識結果

(b) 赤コネクタ認識結果

図3 コネクタの認識結果例

b. 柔軟物の3次元センシング技術の開発

整列台（キッティング台）へのケーブル整列作業に必要となるケーブル部分の3次元センシング技術の開発については以下の技術開発を行い、次のような結果を得た（図4、5）。これにより、いずれも中間目標値を達成している。

(1) モーションステレオ手法の開発

- ・ロボットに取付けた単眼カメラをロボット動作により動かすことで仮想的なステレオを実現するモーションステレオ手法において、レーザースリット光照射による人工的特徴点(人工マーカー)付加機能と追跡安定性指標の開発により、ケーブル上の特徴点に対する高精度な計測処理を実現した。
- ・ $\pm 3\text{mm}$ 以内に約98%の計測点を含んでおり、この結果より推定されたケーブル中心位置は平均誤差0.8mm以下となっており、中間目標である $\pm 3\text{mm}$ を実現した。

(2) ケーブルの状態判定

- ・ケーブル上の特徴点のクラスタリング処理による複数本ケーブルの識別技術を開発。
- ・ケーブル計測データからのコネクタ位置・法線方向の推定処理を開発。
- ・以上の開発により、エラーリカバリのためのケーブルハンドリング処理とコネクタ計測のための計測視点決定処理を実現した。

上記(1)、(2)の処理がロボット動作を含めて約1.7秒となっており、中間目標値である2秒以内で行なわれ、実用的な性能が実現されていることを確認した。

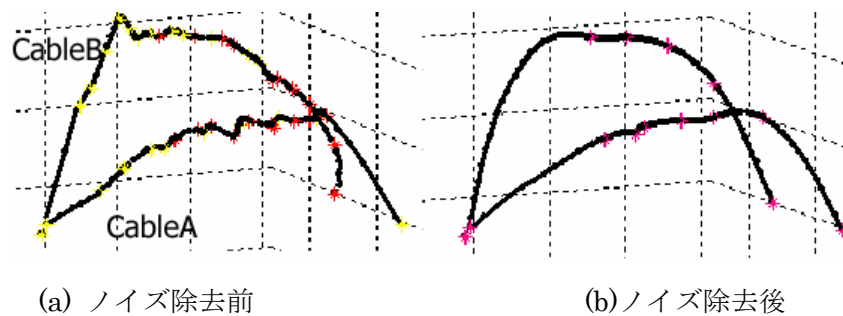


図4. 追跡安定指標に基づくノイズ除去例

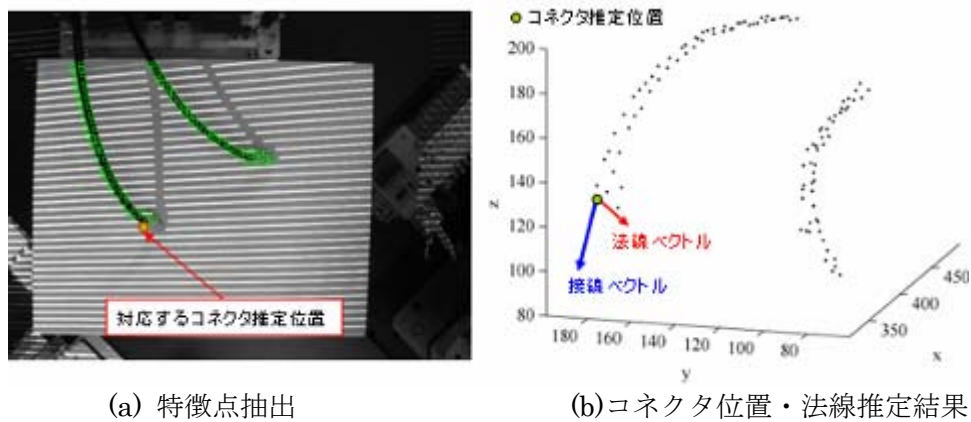


図5. コネクタ位置・法線推定例

③ 組み付け制御技術の開発

a. 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、目標の人の3倍を大きく上回る、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。
- ・ 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。

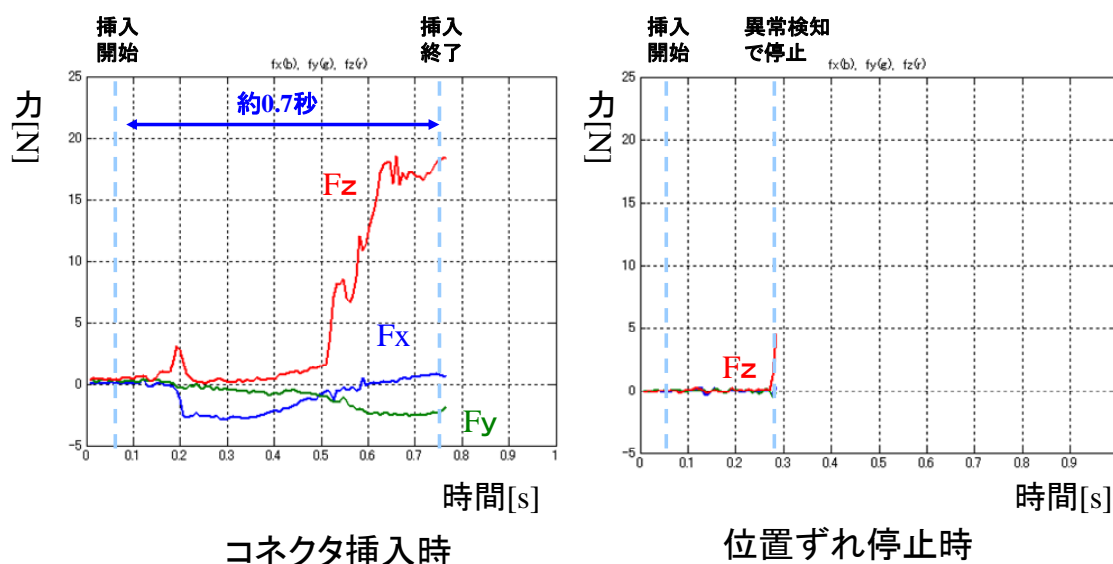


図6 コネクタ挿入実験時の力覚センサーデータ（成功時、位置ずれ停止時）

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

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

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は作業が複雑な場合やロボットが複数のシステム場合、教示位置の数が膨大となり、また、ビジョンセンサを利用する場合は計測する位置も教示しなければならない、大変な労力と時間を要する。2台のロボットで1つのワークの搬送や作業をするシステムでは、ワークの大きさなどの制約条件を考慮して、ロボットの動作の同期をとるなど複雑なプログラムを作成しなければならない。また、それぞれのロボットについて周辺環

境やロボット同士の干渉に注意する必要がある。

本研究開発では、短時間で容易に2台のロボットによる組立システムの構築が可能となる作業レベルプログラム生成システムを開発した。図7に概念図を示す。

作業レベルプログラム生成システムは、従来のロボットプログラムのようにロボット言語によりロボットの動作を記述するのではなく、ユーザがGUI(Graphical User Interface)を用いてロボットに行わせたい作業を直接指示することによってプログラムを生成する。

システムは組み付けるワーク、筐体など組み立て対象の3次元データ、属性から構成される部品データベース、それらを組み付ける作業動作のプログラムが蓄積された作業記述データベース、ユーザがシステムの作業の記述、プログラム生成、シミュレーションによる動作確認を行うプログラミングGUIから構成される。

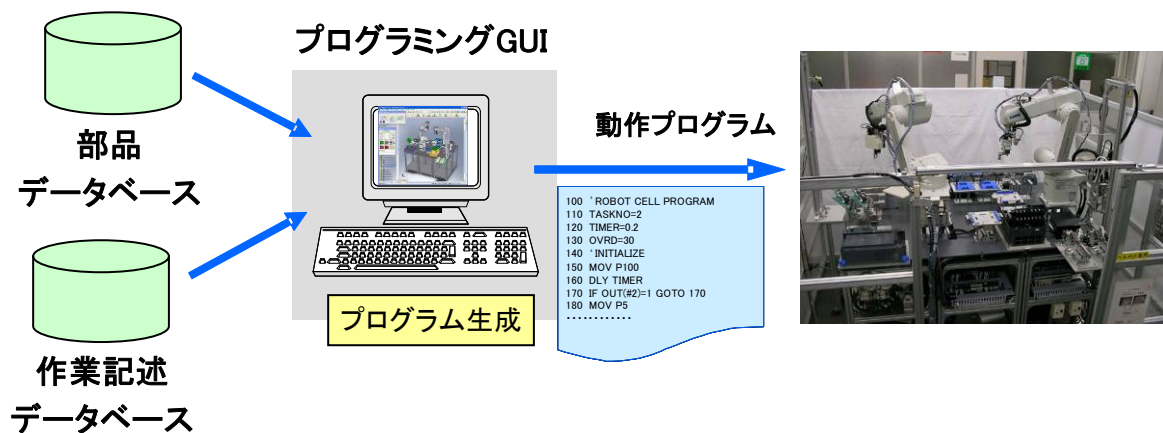


図7 作業レベルプログラム生成システム概要

部品データベースはコネクタ、ケーブルなど組立部品の3次元形状データと属性データから構成される。部品の3次元形状データは、本システムの3次元CAD機能を使用して作成するか、市販の3次元CADで作成したデータを読み込むことが可能である。3次元形状データには、ロボットの把持位置、挿入方向などのデータが付加され、作業の教示時に利用される。

属性データは、部品のサイズ、3次元形状データファイル名、把持位置データ名、嵌め合い対象コネクタ名などのデータがXMLで記述される。XMLで記述することにより、検索などの高機能化、データの再利用が容易となる。

システムのロボットプログラムの作成は、コネクタ把持や挿入など、作業単位のブロックをフローチャートの様に並べることによって行う。図8にプログラム作成及び位置教示を行う作業レベルプログラミング画面を示す。

プログラム作成時には、まず、システムのロボットの台数を選択する。最大2台のロボットのシステムに対応可能である。次に作業ブロック一覧から、ハンド装着、コネクタ挿入などの作業ブロックを選択し、作業フロー画面にドラッグ&ドロップすることにより、作業を並べる。作業フロー画面に並んだ作業ブロックを作業の順番に接続し、作業順序を決

定する。

作業ブロック一覧に新しい作業ブロックを追加するには、作業のロボットプログラムをテンプレートとして登録し、教示すべき位置、変数を設定してやるだけでよい。このとき、教示位置は自動で抽出されたため、短時間で登録することが可能である。

位置を教示したい作業ブロックをクリックすると、ブロックの色が黄色に変化し、作業レベルプログラミング画面の左側にプロパティが表示される。プロパティには教示または入力すべき変数の一覧が表示されるので、教示する位置データを選択し、システムの 3 次元データ上で教示する。各部品の 3 次元データに把持位置などの教示位置が設定されているので、教示時にはその教示位置を 3 次元データ上で選択するだけでよい。教示位置を選択すると、そのラベル名がプロパティに設定され、教示位置は、座標ではなく、ラベル名で管理されるため、対象部品の配置を変更した場合でも、画面上で教示し直す必要がない。

プロパティには作業ブロックのソースコードも表示されるため、システムに応じたカスタマイズが容易に可能である。

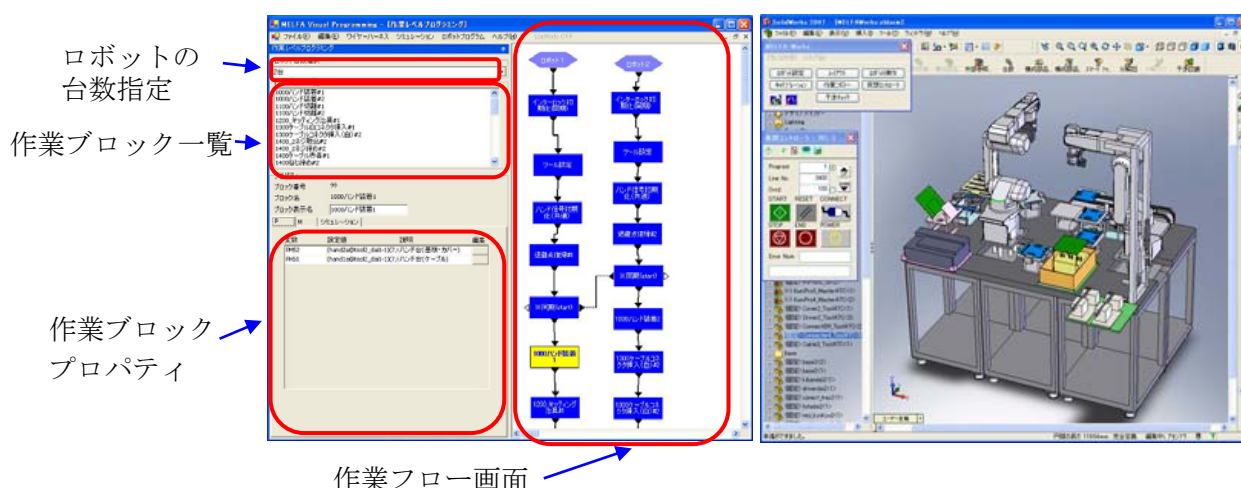


図 8 作業レベルプログラミング画面

作業ブロックを並べて作成した作業フローは、本システム上でシミュレーションすることが可能であり、PC 上でシステムの動作が確認できる。この機能により実機上での調整時間を大幅に短縮可能である。

シミュレーション実行には、ブロックごとの実行、ロボット毎のフロー全体の実行、2 台のフローの連続実行の 3 種類のモードがあり、ロボットプログラムのデバッグが容易にできる。フローの実行中には、実行されているブロックの色が変化し、システムの 3 次元表示画面上で、システムの動作が確認できる(図 9)。シミュレーションは、実機のロボットコントローラと同じソフトウェアによって行われているため、高精度なシミュレーションが可能である。

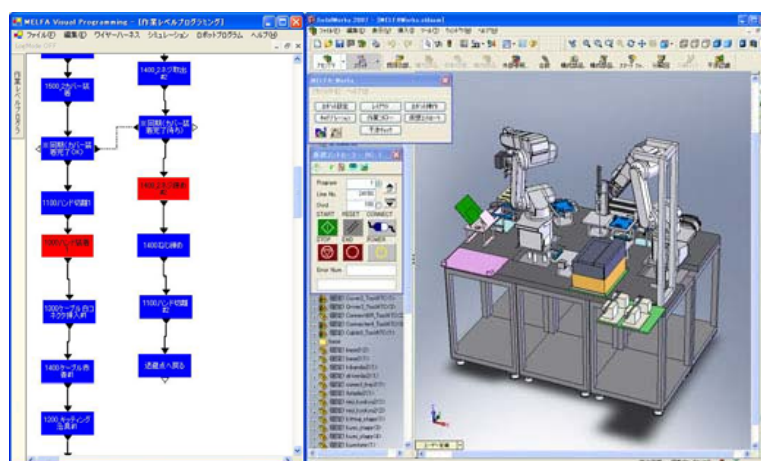


図 9 シミュレーション画面

本システムを用いて、実証システムの一部工程のプログラムを作成し、プログラムの作成時間を評価した。ロボット 1 は、ケーブル供給トレイからのケーブルの取り出し、キティング治具への挿入、サーボアンプのカバー搬送、組み付け等 13 の工程、ロボット 2 は、コネクタ挿入、ねじ締めなど 14 の工程のプログラムを作成した。

本システムを用いてプログラムを生成した結果を表 1 に示す。本システムを用いて生成したプログラムは、ロボット 1 が 1260 行、ロボット 2 が 1696 行であり、1 日でプログラムを作成、シミュレーションで動作確認できた。一方、本システムを使わずに基本検討、設計、プログラム作成した場合、約 3 日を要した。以上より、本システムを用いることにプログラム作成時間を約 1/3 に短縮できることを確認した。

表 1 プログラム生成結果

	ロボット 1	ロボット 2
プログラム行数	1260 行	1696 行
本システムによる作成時間	1 日	
従来手法による作成時間	3 日	

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

柔軟物であるケーブルを高速で搬送しようとする、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。その結果 FA 機器用ケーブルで実際に 50%振動を低減できることが確認できた。

- ・ 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軸の経路点を操作量とし、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。

- ・ 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、ユーザーが経路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。

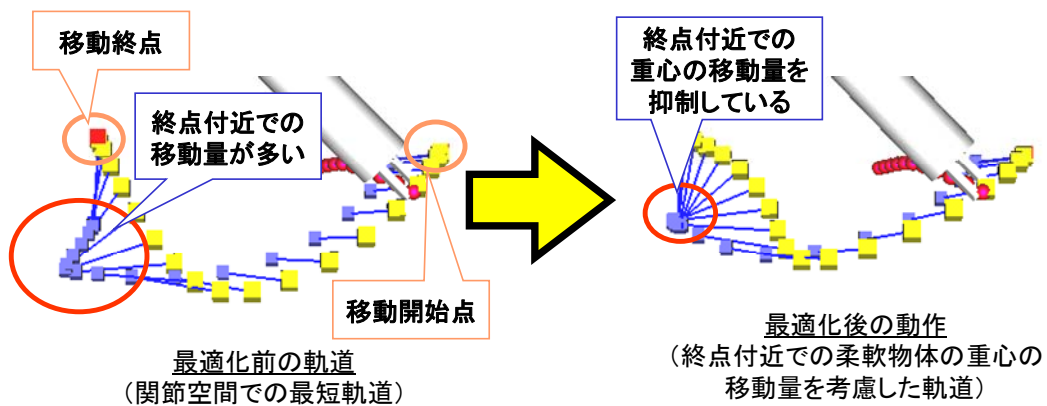
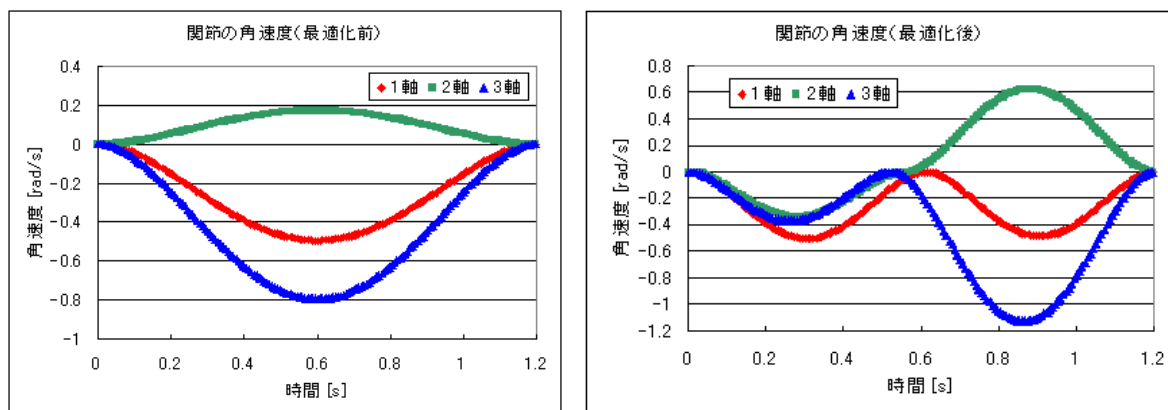


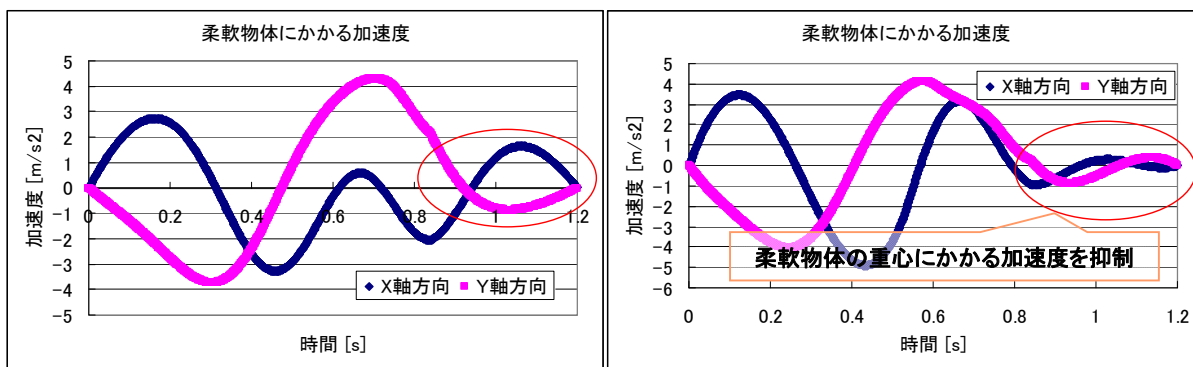
図 10 ケーブル重心の変化を抑制する軌道生成方法



(a)最適化前

(b)最適化後

図 11 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 12 ケーブル重心にかかる加速度

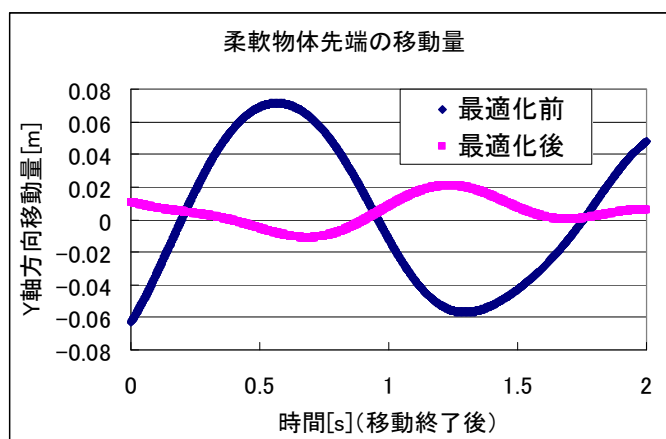


図 13 ケーブル先端の移動量

⑤ FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作

柔軟物を含むFA機器を実際に組み立てられることを示す実証システムの設計試作を行った。実証システムでは、作業エラーからの自動復旧技術、3次元センシングシステム、組み付け技術などを取り込むことにより、柔軟物の組付けを実現した。さらに、基板、カバーの組み付けも同じシステムで実証することにより、実際の製造ラインに将来適用することが可能であることを示した。以下で詳細を述べる。

- ・ 2台の垂直6軸ロボットを用いて大容量サーボアンプを組立対象とした実証システムを開発した。
- ・ 組立対象の部品と仕様は次の通りである。
 - ケーブル：両端に多ピンのコネクタが装着されている。分岐なしケーブルと2分岐ケーブルを対象とする。供給トレイで非整列供給される。

- 筐体：下部に電子部品が取り付けられており、ケーブル端の一方を挿入する。
- 基板：筐体にねじ留めする。筐体に接続されたケーブルの他端を挿入、接続する。
- カバー：ねじ留めする。
- 実証システムに実装、検証した作業工程は以下の通りである。
 - 1) 非整列供給されたコネクタ付ケーブルの取り出し・キッティング治具へのセット
 - 2) キッティング治具上の下部組付用コネクタを筐体下部電子部品に組み付け
 - 3) 基板組み付け、ねじ締め
 - 4) キッティング治具上の上部組付用コネクタを基板に組み付け
 - 5) カバー組み付け、ねじ締め
- 開発技術を実装、検証した工程は下記の通りである。
 - 3次元センシング技術(剛体物)：供給トレイ上のケーブル先端のコネクタ部分を認識し、取り出し動作に用いる。また、必要に応じてキッティング治具へのコネクタ挿入作業直前にも位置補正用のコネクタ認識を行う。
 - 3次元センシング技術(柔軟物)：キッティング治具に一端のコネクタが固定された後に、ケーブル部分を認識し、先端部のコネクタの概略位置から詳細計測のための視点決定を行なう。
 - 動作最適化技術：供給トレイからキッティング治具上へケーブルを搬送するとき高速かつ振動の少ない動作を生成する。
 - 高速組み付け制御技術：コネクタの組み付け時にリアルタイムに対象物の特性を同定、力制御パラメータをリアルタイムで変更することにより高速に組み付ける。
 - 自動復旧技術：コネクタ組み付け時に力覚データを用いて作業状態を監視し、組み付けに失敗した場合には自動復旧動作を行う。

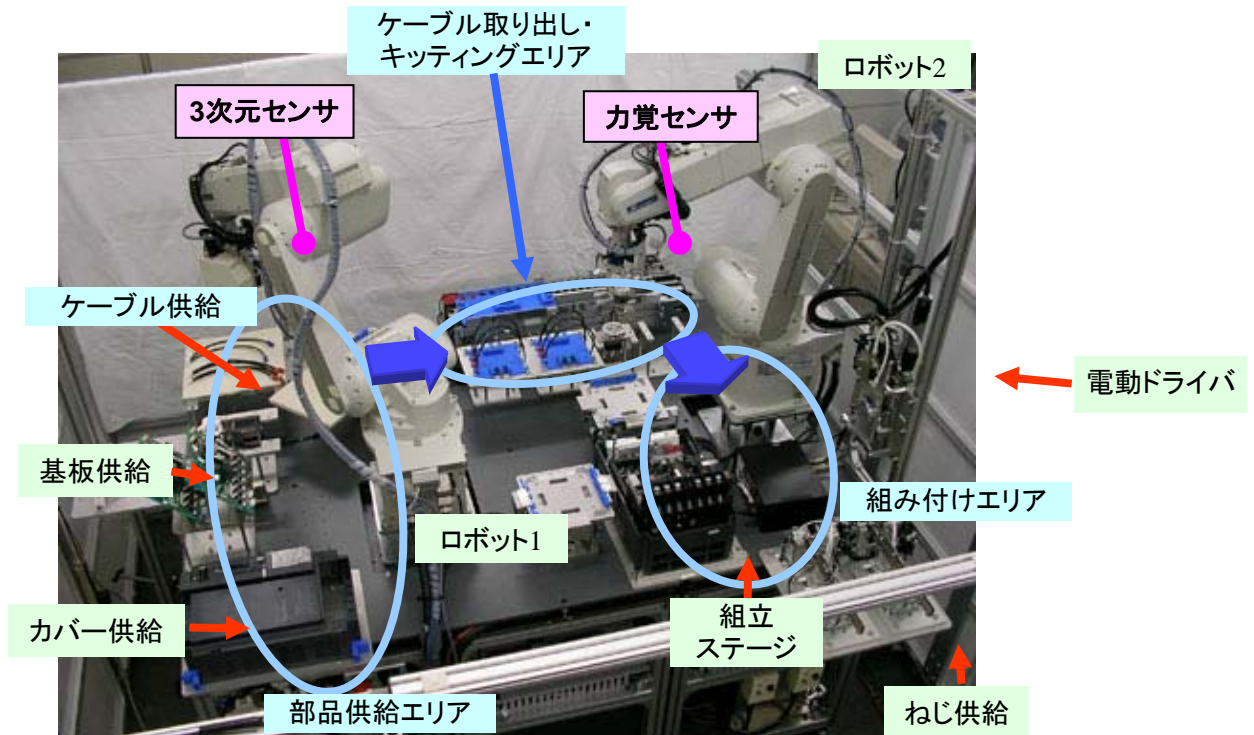


図 14 実証システム外観

(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. 短時間で簡単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

基板コネクタと IGBT コネクタの組み付け作業時のエラー状態から、自動復旧を実現するアルゴリズムを開発した。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てしまうため、人による復旧作業が必要となるが、今回開発したようなエラーリカバリ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。このため連続可動や省力化など、ロボットの稼働率や生産性の向上、低コスト化に大きく貢献することが可能である。

②. 3次元センシングシステム

小型光スキャナである MEMS ミラーの制御技術と光学系配置の最適化設計により小型センサヘッドを実現し、ロボットへの適用性を高めるとともに、Ethernet 伝送機能の開発により、耐ノイズ性、

長距離伝送性能を向上させた。また、通常カメラの4倍のダイナミックレンジ実現により、対象物の反射特性変化に対する許容度を高めるとともに、センサキャリブレーションが容易な3次元計測手法の開発により、従来極めて困難であった適用現場における視野変更、計測距離設定変更を実現した。さらに、コネクタに対する高速、高精度な位置姿勢認識手法も開発した。これらの成果により、ロボット手先に容易に取り付け可能であり、広い適用範囲を持ちつつ、高速、高精度な3次元センシングシステムを実現した。また、柔軟ケーブルの様に形状が定まりにくく、表面模様が少なく従来はステレオ計測手法の適用が困難とされた対象物に対して、人工的特徴点付加機能と追跡安定性指標を用いたモーショーステレオ計測手法を開発し、約1.7秒と短時間で高精度な計測処理を安定に行なえるようになった。開発した3次元センシングシステムは適用対象が広いとため、各種組立作業や検査等の自動化などの作業に対して大きな貢献が期待される。

③.組み付け制御技術

開発した組み付け制御方式に対して評価を実施し、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ことにより、コネクタ挿入作業を人とほぼ同等の速度で実現できることを確認した。現在組立作業において人間が行っているような、嵌め合いや挿入などの高度な作業を、ロボットによって自動化する際には力制御機能は必須のものである。本開発成果は、ロボットの作業高度化を広く展開していく上で、多くの貢献を期待することができる。

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

大容量サーボアンプを対象として、非整列供給された2分岐及び分岐なしケーブルの取り出し、キッティング治具への整列、コネクタ挿入、基板組み付け、カバー組み付けを実現する実証システムの製作を行い、実証実験によって、コネクタ、ケーブルの3次元認識方式、高速組み付け制御方式、動作最適化方式、自動復旧方式を用いて対象製品を組み立てられることを確認した。これにより、柔軟物の組立工程を含む製品に対しても、要素技術の開発成果を用いて自動組立が可能であること確認できた。これらの成果を用いることで、今後ロボットによる自動生産を適用可能な分野が拡大されていき、生産性の向上に貢献す

る事が可能となる。

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	高い確率でコネクタ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。従来エラー発生によって停止し、人力による復旧が必須であったシステムが、エラー発生しても作業継続可能となり動作継続時間が増加する為、システムの生産性向上に貢献可能。
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。広範囲の対象に対して高精度、短処理時間での認識を行うことの出来る3次元センシングシステムを提供することが可能になり、組立や検査などのビジョンセンシングシステムを用いた自動生産ラインの適用範囲拡大と生産性向上に貢献可能。</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可能。人間が行っている嵌め合いや挿入などの高度な作業をロボットが行うことを可能にし、ロボットによる自動組立可能な対象の拡大に貢献可能。</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	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。

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6件の特許出願を行った。

今後も事業及び知財関連戦略の一環として、特許の取得に力を注いでいく予定である。

表 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	通常の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。

5) 成果の普及

下記の表に示す件数の学会発表を行い、成果の普及に努めた。今後、これまで得られた成果についての普及活動を一層促進していく予定である。

また、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。

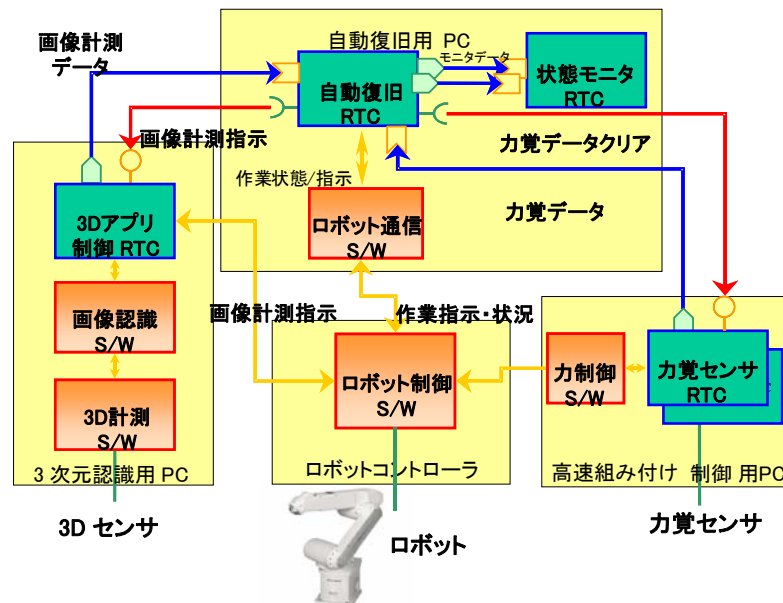


図 15 RT コンポーネント構成

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 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 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	
0	1	11	9	6	0	0

6) 実用化、事業化の見通しについて

(1) 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

a. 作業エラーからの自動復旧方式の開発

基板コネクタと IGBT コネクタの組み付け作業における挿入不可能になったエラー状態から、自動復旧を実現するアルゴリズムを開発した。

コネクタ挿入作業の異常状態を判別する為、作業成功時と作業失敗時の挿入量と挿入反力の関係を、ファジィ関数を用いて学習し、オンラインで得られたデータと比較する事で、挿入作業の異常状態検出機能を実装した。判別した異常状態から復旧する為の方法として、基板コネクタの組み付け作業に対するエラーリカバリであるスパイラルサーチアルゴリズムと、IGBT コネクタの組み付け作業に対するエラーリカバリである接触探索アルゴリズムを開発した。

これらの手法の検証を行った結果、基板コネクタに対するエラーリカバリ率は 99%、IGBT コネクタに対するエラーリカバリ率は 98%であり、非常に信頼性の高いエラーリカバリ手法を開発することが出来た。

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エラーリカバリ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為、ロボット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、非常に有用である。

今回開発を行ったのは、組立作業におけるコネクタ挿入についてであるが、組立作業においては他にも様々なエラー状態が想定される為、今後はコネクタ挿入以外の想定されるエラー状態からのエラーリカバリ手法についても開発を行う。また、組み立てられる製品によって使用されているコネクタは様々であるため、今回開発した異常状態検出機能、アルゴリズムを多種多様なコネクタに対して容易に適用できるようにする為の、汎用性のある調整方法も開発していく。

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.剛体物の3次元センシング技術の開発

小型 MEMS ミラーと光学系配置の最適化により、小型センサヘッドを実現し、耐ノイズ性、長距離伝送を実現するため、Ethernet による信号(画像、制御信号等)伝送を実装した。また、高輝度画像と低輝度画像をFPGA内でフレームメモリを用いずにリアルタイム加算することによって通常カメラの4倍のダイナミックレンジ拡大を実現した。更に、視野変更、計測距離設定が容易に変更可能な3次元計測手法を開発し、その有効性を確認した。これらの開発によって、ケーブル末端のコネクタ部の3次元位置姿勢認識を位置誤差±1mm、処理時間2秒以内で実現した。

これらの成果によって、ロボット手先に装着して組立作業を行う中で、実際の製品に使用されているコネクタを十分な精度と短い処理時間で認識することが可能であった。このように、これまでの開発の中で本センサは機能的に十分な実用性を備えたものとなっている。今後、本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。

b.柔軟物の3次元センシング技術の開発

本開発では、人工的特徴点付加機能と追跡安定性指標を用いて、高精度な計測処理を実現しており、空間における柔軟なケーブルの様な、形状が定まらない物体の位置を計測することが可能となった。また、ロボット動作を含めて約1.7秒と短時間で認識が可能であった。認識の精度も3mm以内の範囲に収まっており、ケーブルを認識しロボットハンドで把持を行うのには十分な精度である。実証システムにおける作業では、実際の製品に使用されているケーブルを認識し、把持する事を達成しており、本開発成果は実際の組立システムに用いる上で十分な性能を有していると判断できる。

今後は、認識可能なケーブルの種類や状態の拡大について研究開発を進め、本成果の適用範囲の拡大を進めていくことが重要である。また、単一カメラで実現できるため、当社既存の2次元ビジョンセンサー及び前項の3次元ビジョンセンサーの拡張機能として製品化検討を実施する予定である。

c.高速組み付け制御技術の開発

開発した組み付け制御方式を実証システムに統合して評価を実施し、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ことにより、コネクタ挿入作業単体を人とほぼ同等の0.7秒で実現できることを確認した。これにより、コネクタ位置ずれなどによるコネクタの挿入不良や衝突などの問題が生じた際に、コネクタや基板、もしくはロボットハンドなどの破損が生じることを回避しつつ、コネクタの組み付け作業を高速に実現することが可能になった。人間のように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、高機能化の為のコンポーネントとしてロボットに搭載、販売していく予定である。

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

本開発成果により、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。従来は、ロボット動作をロボット言語で記述した上で、作業位置を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でロボットの立ち上げが行われる。しかし、複雑な作業や複数のロボットを用いるシステムでは教示位置が膨大となり、また、周囲やロボット同士の干渉を避けたり、同期を取るなど非常に労力が大きい。しかしながら、本開発においては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 1/3 の時間でプログラムが作成できており、大きな省力、時間化を達成出来ることを確認している。特に、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では、今後必須のものとなっていくことが予想され、多くの需要があると考えている。今後はオフラインでのガイダンス機能の充実や対応可能な作業を拡充に取り組んでいく。

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

本開発成果により、柔軟物であるケーブルをロボットハンドで搬送する際に、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の約 50%の振幅減少を達成することができた。また、自動生成の際にパラメータの重み付けを設定することにより、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。柔軟物を取り扱う際は、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る。本開発成果を用いれば、このような影響をシステム設計時に予め評価、抑制する事が可能となる為、振動抑制効果による動作時間の短縮のみならず、システム立ち上げ時間の短縮に対しても貢献することが出来る。今後は、柔軟物組み付け作業オフラインプログラミング技術と共に、組立作業用オフラインプログラミングシステムとして製品化を進めていく。

④ FA 機器組立実証システムの仕様検討・設計・試作

大容量サーボアンプを対象として、非整列供給された 2 分岐及び分岐なしケーブルの取り出し、キッティング治具への整列、コネクタ挿入、基板組み付け、カバー組み付けを実現する実証システムの製作を行い、実証実験によって、コネクタ、ケーブルの 3 次元認識方式、高速組み付け制御方式、動作最適化方式、自動復旧方式を用いて対象製品を組み立てられることを確認した。本システムは要素技術開発成果を実際の製品組立を対象として検証することを主眼としており、また、三菱電機(株)は、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という事業形態を取ることを考えている為、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。しかしながら、従来自動化が困難であったケーブルの組み付け作業を可能にしており、本システムにおいて確認することが出来た技術や成果は、他の組立システムを構築する上で非常に有用かつ実用性の高いものとなっている。

(2) 事業化までのシナリオ

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ーに販売、メンテナンスも実施。

更に、三菱電機(株)はエンドユーザーからユーザーニーズを入手し、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。

(3) 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こまれる為、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。

3.1.2 人間・ロボット協調型セル生産組立システム

3.1.2.1 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】

1) 研究概要

本プロジェクトでは、下記①～③の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、人間を中心とした従来方式セルと比較し、その生産性の評価実験を実施した。

- 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」

図1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。図2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・知能化部品トレイの「作業支援技術」により構成され、ロボットは部品棚から必要部品をピッキングしてキット化し、作業者が組立作業を実施する作業台まで走行して部品キットを配膳する。一方、組立ステーションは、作業者位置姿勢測定システム、バイタルサインモニタ、作業教示支援システム、作業情報支援システムの「作業情報提示技術」により構成され、ロボットによる部品供給などの作業誘導および作業情報提示を受けながら作業者が組立作業を行う。知能化部品トレイは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し、作業者に対して物理的・情動的バッファの役割を担う。本システムではロボットと作業者が協調作業を行うため、十分なリスクアセスメントに基づき、ロボット移動時安全対策・ロボットアーム部動作制限と作業者監視システムから成る作業者協調時安全対策・安全管理技術統合化の「安全管理技術」により両者の安全な連携を保障する。

構築した人間・ロボット協調型セル生産組立実証システムにおいて、セル生産組立のモデルケースとして位置付けた図3のようなケーブルハーネス製造の単品種生産を実施し、人間のみで構成される従来方式のセル生産組立システムとの生産性比較を行った。実験の結果を図4に示す。図4の実線は(A)人間のみで構成される従来方式セル生産組立システム、破線は(B)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初心者と中級者の組立所要時間を示しており、横軸は組立作業の実施回数を表している。実証システムでは、生産立上げ当初にて、従来方式セルと比較して1品種当たりの組立所要時間が最大約1/2にまで短縮されており、更に作業初心者でも中級者と同等の生産性が確保可能なことが示された。この結果から、構築した人間ロボット協調型セル生産組立システムが従来方式セルよりも高い生産性を確保可能であることが実証された。



作業者



移動配膳協調ロボット

図1 統合システム外観

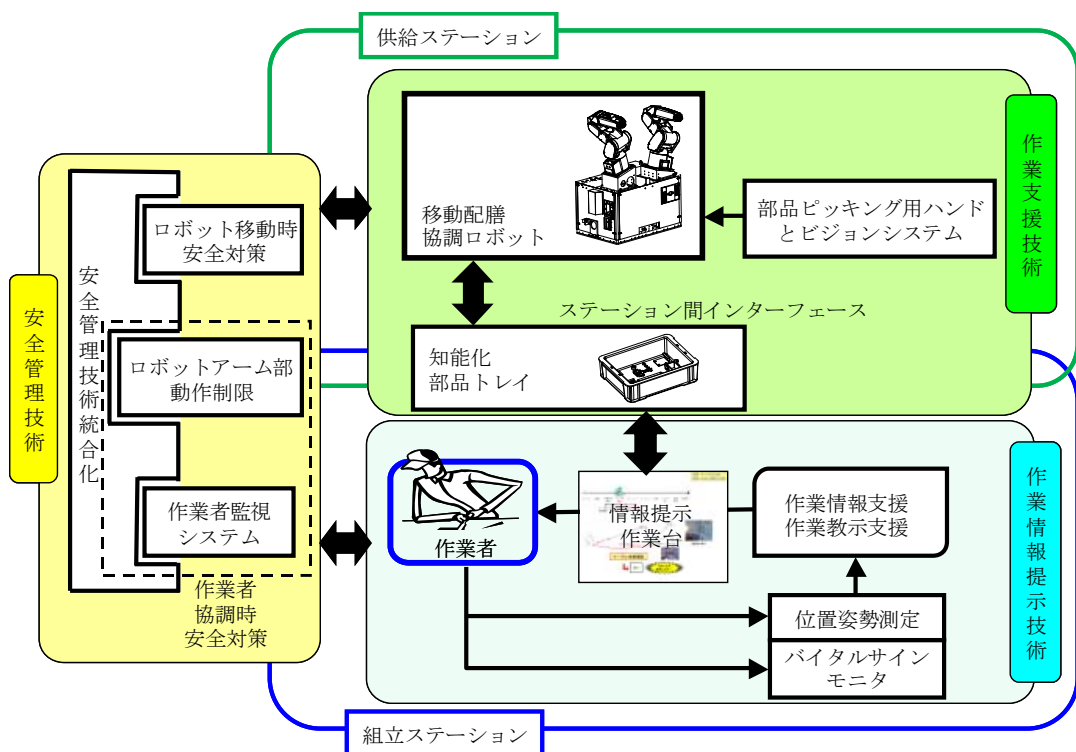


図2 統合システム概要

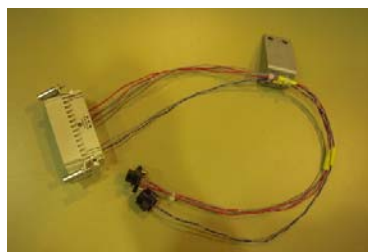


図3 ケーブルハーネス

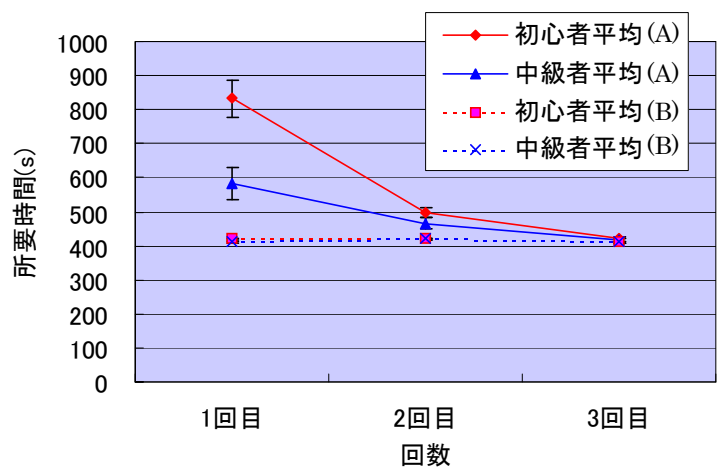


図4 単品種生産における組立所要時間

2) 成果詳細

下記に各開発技術の成果詳細を示す。

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。

リスクアセスメントに基づき、全ての危険源に対する安全対策としてロボット走行時安全対策および作業者協調時安全対策を検討し、その両者を安全管理技術として統合の上、実証システムに実装した。

①-1 ロボット移動時安全対策

①-3「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た。

(a) 低重心本質安全設計による移動時転倒防止

図5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6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7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・無効状態を切替えられるようにした。

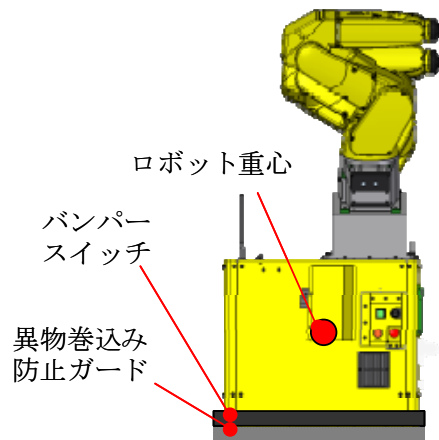


図5 移動配膳協調ロボットの安全対策

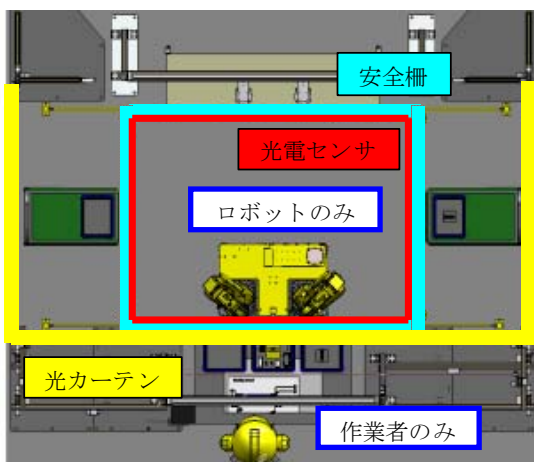


図6 移動配膳協調ロボットの移動時安全対策(平面図)

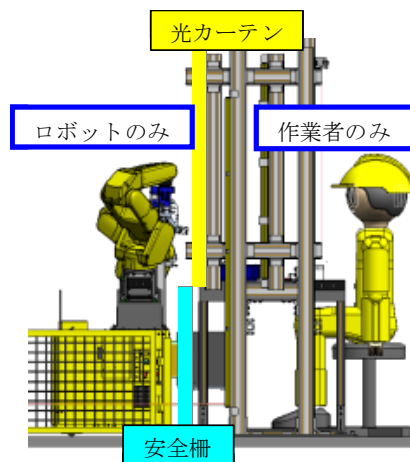


図7 移動配膳協調ロボットの移動時安全対策(側面図)

(c) 安全機器での安全多重化

リスクアセスメントにより、移動配膳協調ロボット走行時安全対策として下記を実装した。

- 接触検知バンパースイッチ(図 5)
- 路面異物巻き込み防止ガード(図 5)
- 光電センサによる安全多重化(図 6)

①-2 作業者協調時安全対策

(a) 作業者とロボットの作業領域の切り替え

本システムでは、作業者とロボットの位置関係により、安全対策を切り替える。詳細を表 1、図 8 に示す。ロボットの部品ピッキング時やロボットの部品キット配膳・作業者への部品差し出し供給準備においては、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、光カーテンにより両者の領域を分離する。図 8 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が変更となるため、2つの光カーテンにより領域境界をシフトする。一方、ロボットが作業者へ部品差し出し供給を行う協調作業時には、2つの光カーテンを無効化し、後述のロボットアーム部動作制限および作業者監視システムにて作業者の安全を確保する。作業工程毎に必要な安全対策をシステムが自動的に切り替える制御を行うため、作業者は意識することなく常に安全に作業を行うことが可能である。

以上の光カーテンによる領域分離、ロボットアーム部動作制限、作業者監視システムを組合せた手法は、人間・ロボット協調時安全対策として新規提案の技術である。

表 1 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	ロボットアーム部動作制限 作業者監視システム

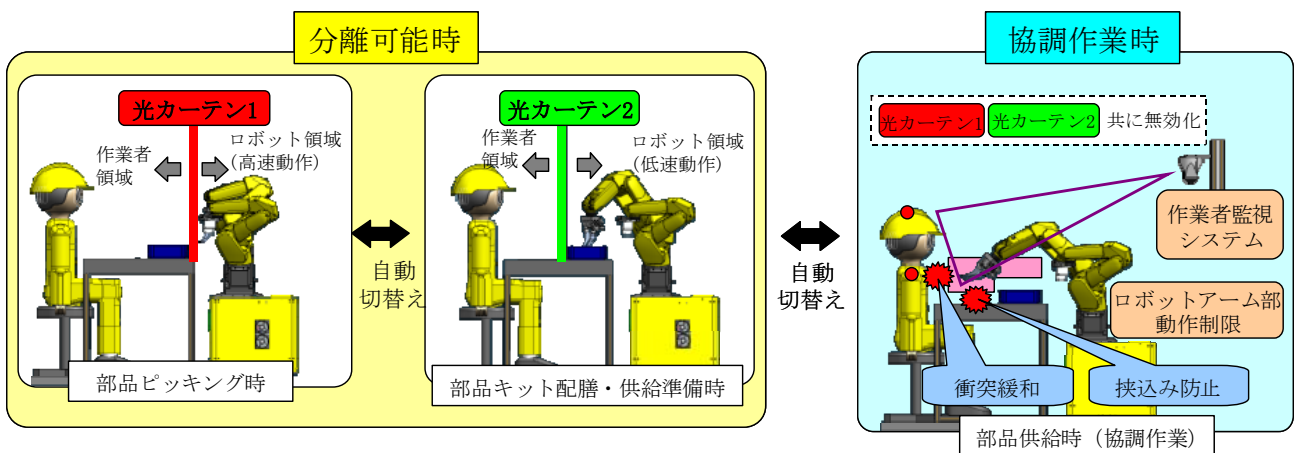


図 8 安全対策切り替え

(b) 本プロジェクトでの人間協調型ロボットの安全に関する考え方

人間協調型ロボットの安全については、現状、労働安全衛生規則(国内法規制)による「ロボット各軸モータ出力が 80W 以下」や ISO10218-1(国際安全規格)による「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」といった規定が定められているものの、人間協調型ロボットに特化した安全規格が存在しないため、現在詳細規格の策定が進められている。

本システムでは、移動配膳協調ロボットにて高速動作での部品ピッキングと低速動作での作業員協調動作を両立することで、ロボットの稼働率を向上させ、設備コスト・ランニングコストの低減を図る。そのため、徹底したリスクアセスメントを行うことで、出力が本質的に大きいロボットにおいても作業員の安全が確保可能となる安全対策を確立することを目標とした。

本方針に基づき、信頼性の高い人間協調型ロボットの安全対策を確立し、今後の人間協調型産業用ロボットの安全管理技術のモデルケースとして提案を進める。

(c) 作業員協調時の安全対策

ISO141214-1、ISO13849-1 に基づいたリスクアセスメントにより、ロボットメカニカルインターフェース又は TCP における本質的的最大静的力が 150N 以上のロボットによる作業員安全対策を検討し、ロボットへの実装を行った。

本質的に最大静的力が 150N 以上のロボットとの協調作業における主な危険源は、手・頭・目に対する「ロボットと作業台の間の挟み込み」と「ロボットから受ける衝撃」である。各危険源のリスクを見積り、リスク低減のために下記安全対策を検討した。

□ ロボットアーム部動作制限

CPU 二重監視の制御装置およびソフトウェアにて設定する動作速度制限および動作領域制限を移動配膳協調ロボットのロボットアーム部に実装した。図 9 に示す通り、動作速度制限によりロボットからの手に対する衝撃を緩和し、動作領域制限にてロボットと作業台の間の手の挟み込みを防止した。

なお、現時点では信頼性指標である PL(パフォーマンスレベル)が不足しており、今後必要レベルまで信頼性を強化する。

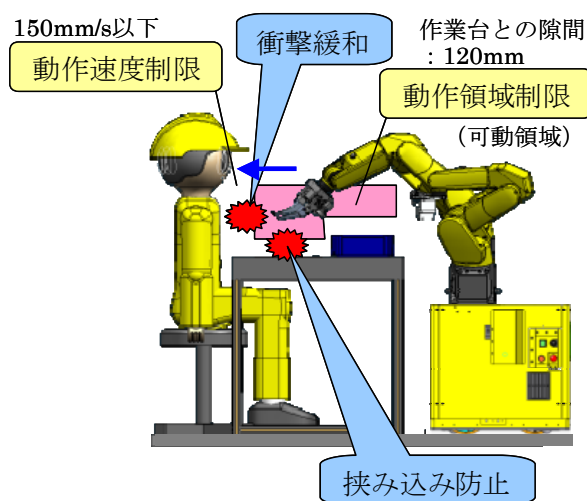


図 9 ロボットアーム部動作制限による安全対策

□ 作業員監視システム

作業員位置姿勢測定システムによる作業員監視システムを開発し、安全対策として統合シ

システムに実装した。図 10 に示す通り、作業者が居眠りなどにより作業台へうつ伏せ状態となった場合、作業者監視システム(IP カメラ)にて検出し、ロボットを非常停止する(作業者監視システムの詳細については「③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術」にて後述)。

作業者の作業台へのうつ伏せ状態を作業者監視システムにて検出することでロボットを非常停止とし、目や頭のロボットからの衝撃、ロボットと作業台への挟み込みを防止する。なお、現時点では信頼性指標 PL(パフォーマンスレベル)が不足しており、今後必要レベルまで信頼性を強化する。

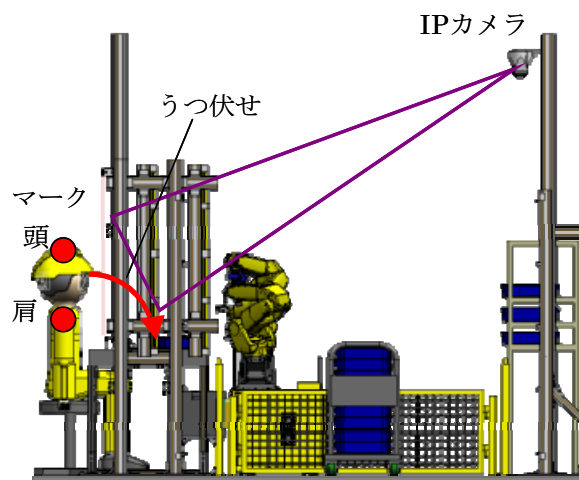


図 10 作業者監視システムによる安全対策

①-3 安全管理技術統合化

①-2 で記した安全対策を含め、今回開発した人間・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して、ISO14121-1 に基づいた手順にてリスクアセスメントを実施し、その結果を文章化した。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、組立・据付・立上げ及び設定、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、168 項目の危険源を抽出した。その一例を表 2 に示す。

同定した 168 項目の危険源全てに対してリスク見積りを行い、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実施した。その結果、検討した安全対策にて全ての危険源について許容可能なリスクレベルまでリスクが低減されることを確認した。

但し、現時点では、全 168 項目の危険源の中に、まだ安全対策として実証システムに未実装の項目、あるいは信頼性指標 PL(パフォーマンスレベル)が不足する項目が残存しているため、今後これら未達成の安全対策の実装および評価を推進する。

表 2 危険源の同定の一例

システム		人間・ロボット協調型セル生産組立システム	分析者	ファナック(株)					
資料		仕様書、基本設計	現行版	01					
範囲 (ライフサイクル)		輸送	日付	2008年9月					
方法		チェックリスト: ISO14121-1:2007, 附属書A	ページ	1					
参照 番号	ライフ サイクル	タスク	危険区域	事故シナリオ		参照 番号			
				危険源	危険状態		危険事象		
1	輸送	移動配膳協調 ロボットの輸送	-	落下による足の押しつぶし	荷上げ時にロボット下面に接近	輸送部材の強度不足に起因するロボットの落下 (設計不具合)	1		
2				鋭利部による切断	運搬中にロボットハンドに接近	ロボットの不安定な重心に起因する輸送中の揺れによる鋭利部との接触 (設計不具合)	2		
3				充電部による感電	運搬中にロボットドッキング面に接近	バッテリーが放電状態のまま輸送したことに起因する高電圧印加状態となったドッキング面との接触	3		
4					運搬中に剥き出しの制御部に接近	バッテリーが放電状態のまま輸送し、制御部筐体カバー未装着のまま輸送したことに起因する高電圧系統との接触	4		
5				ロボット 走行区域	-	転倒による足の押しつぶし	荷下ろし時にロボットに接近	ロボット接地時に重心が不安定となり転倒 (設計不具合)	5
6						転倒時の鋭利部による切断	荷下ろし時にロボットハンドに接近	ロボット接地時に重心が不安定となり、転倒したロボットのハンド鋭利部と接触 (設計不具合)	6
7						走行状態となったロボット(可動部)による押しつぶし	荷下ろし時にロボットに接近	輸送中にバッテリー放電およびロボット自動運転スイッチがONとなったことによる予想外の始動	7
8				作業台モニタの輸送	-	可動したロボットアーム部による衝撃	輸送中全ての状態でロボットアーム部に接近	輸送中にバッテリー放電およびロボット自動運転スイッチがONとなったことによる予想外の始動	8
9						落下したモニタによる足の押しつぶし	運搬時に作業台モニタに接近	モニタが作業台から抜け落ちたことに起因するモニタの落下(設計不具合)	9

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」

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ビジョンシステム・知能化部品トレイを開発した。

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機構から構成される移動配膳協調ロボット実機を開発した。図 11 に外観を示す。構成の概略は下記の通りである。

- 自走機構
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・操舵輪を独立制御可能。
- 双腕ロボットアーム
6 軸垂直多関節型ロボットを双腕に配置。

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

図 12 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

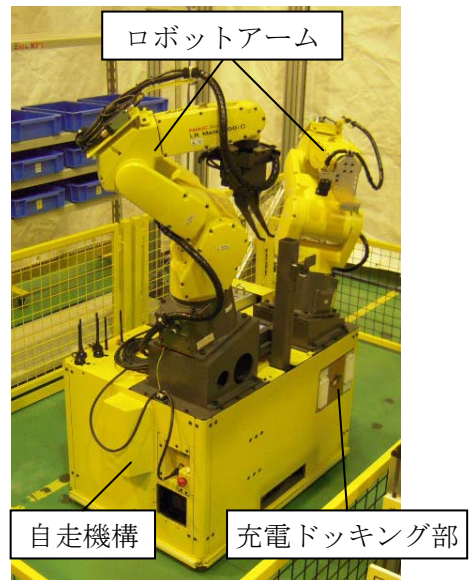


図 11 移動配膳協調ロボット外観

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極めて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

ロボット搭載のビジョンにて自走機構の位置・姿勢を補正する手法をロボットに実装し、その有効性を確認した。

□ 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 13 の通り、ロボットアーム部が部品キット配膳などにて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 14 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。

部品コンテナ
部品ピッキング
引き出し

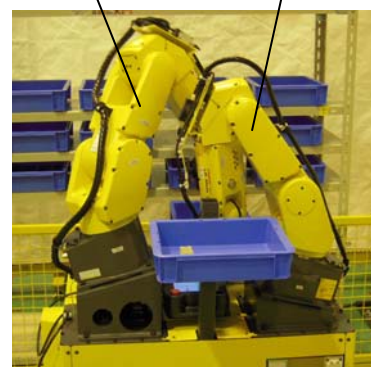


図 12 双腕ロボットアームによる
部品ピッキング



図 13 バッテリ充電ドッキング



図 14 無線通信機器

□ ロボットによる作業誘導

移動配膳協調ロボットは前述の作業者協調時安全対策により、安全に作業者と協調作業可能である。ロボットによる作業者への部品差し出し支援において、周辺機器として

設置したレーザポインタと協働し、ロボットが差し出した部品に対して作業者が組立作業を行う場所を明示する「作業誘導」を行った。その様子を図 15 に示す。作業誘導により作業者の部品組付け間違いなどを大幅に低減することが可能である。

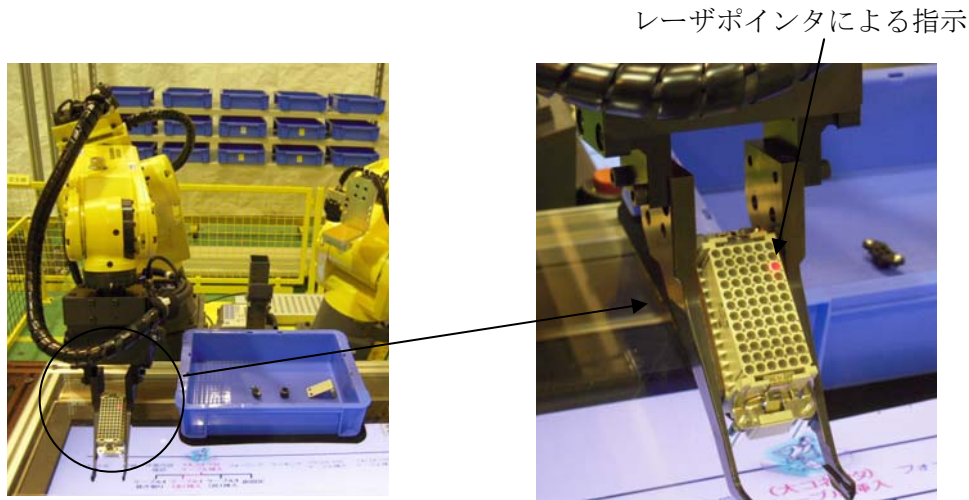


図 15 ロボットとレーザポインタの協働による作業誘導

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部品棚の各段に部品コンテナをラフに配置し、部品コンテナに収納されたバラ積み部品を移動配膳協調ロボットに搭載したビジョンにて検出して部品ピッキングおよび部品キット化を行う手法を開発した。更に、図 16 の通り、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込んだ。

図 17 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。

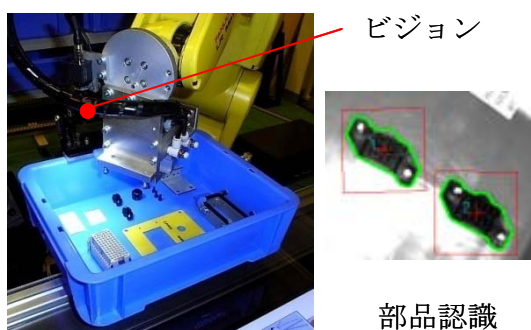


図 16 ビジョンによる部品キット検査

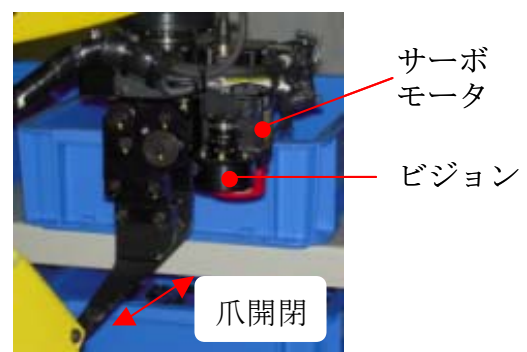


図 17 サーボモータ駆動ハンド

②-3 知能化部品トレイ

図 16 で示す通り、ロボットアームのハンド搭載ビジョンによりキット内部品の過不足検査を行う機能により、配膳する部品キットの部品間違いが完全に排除され、作業者を物理的に支援する作業信頼

性の高い部品キット化・配膳が可能となった。また、部品トレイとして汎用的市販トレイを用いることが可能であり、低コストでのシステム構築が可能である。

③ 作業者が習熟しやすい「作業情報提示技術」

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。その外観を図 18 に示す。

本システムは、作業熟練者から**作業者位置姿勢測定システム**と**バイタルサインモニタ**により作業者の状態計測(姿勢・位置や生体反応)を行い、そこで得られたデータから作業動作を解析し、作業のやり方を抽出する**作業教示支援 MASTER** (Multi-modal Assembly Skill TransFER)、取得した解析データから作業分析・作業情報データベースに格納し、マルチモーダル情報として分かりやすい形で作業者へ提示する**作業情報支援 MAISER**(Multi-modal Assembly Information SupportER)で構成される。これにより、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へ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、LCD 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**作業支援空間構築 MA-FOSTER**(Multi-modal Assembly FOSTER)と呼称した。

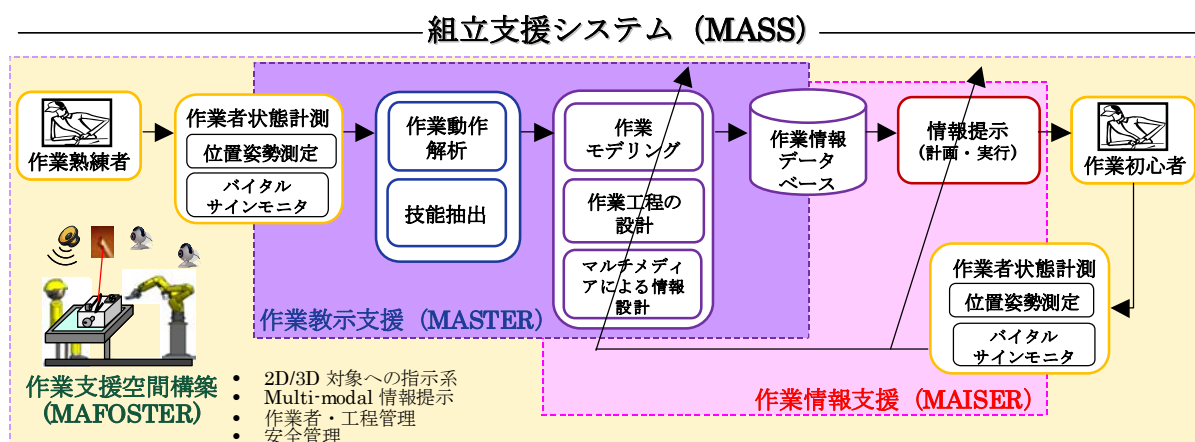


図 18 組立支援システム MASS の概要

③-2 作業者位置姿勢測定システム (MAFOSTER、MASTER、MAISER)

作業者の位置・姿勢を計測し、作業熟練者が行う作業に関するコツやカンといった作業のやり方の伝達の支援に利用可能なデータや作業者の安全管理データを収集する測定システムを開発した。システム構成を図 19(a)に示す。

作業者は頭と肩 2 か所にカラーマークを装着し、汎用 IP カメラ 2 台を作業者の前上方に配置して作業者を解像度 320×240 で測定し、測定データは三次元位置情報に変換される。その結果、位置精度 30[mm]、検出速度 0.6[s]を実現し、実システムに使用可能な十分な性能であることを示した。さらに、

計測されたデータは、3次元CGライブラリOpenGLで作成された動作シミュレーションソフトウェアに入力され、作業管理者への情報フィードバックや作業のやり方の抽出のための特徴動作パラメータの同定などに利用することが可能である。また、作業者の位置・姿勢は、前述の作業者監視システムのデータとしても利用される。作業者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。その様子を図19(b)に示す。

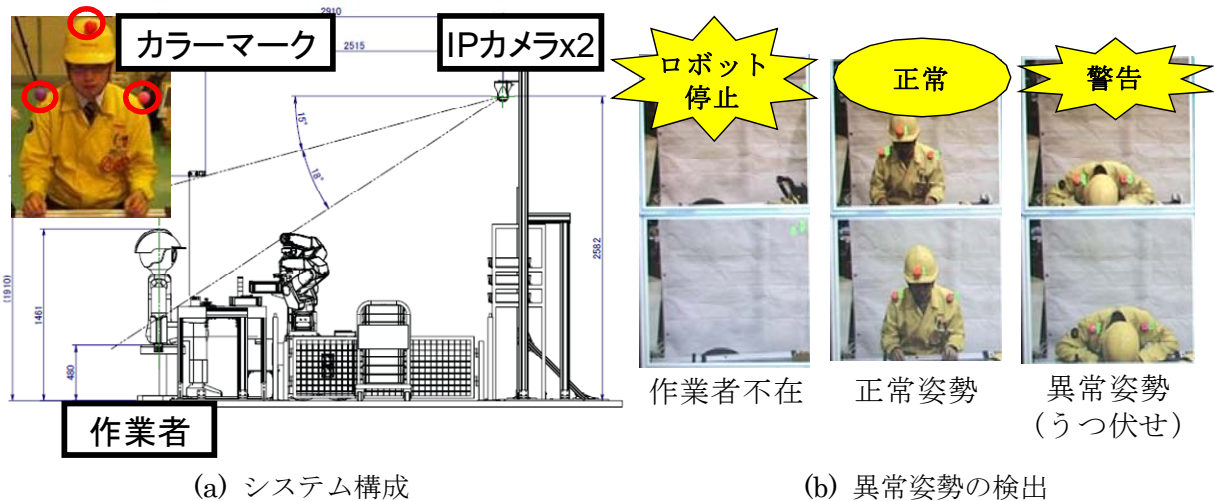


図19 作業者位置姿勢測定システム

③-3 バイタルサインモニタ (MAFOSTER、MAISER、MASTER)

組立作業や情報支援、ロボットから被る作業者の心的負荷を複数の生体反応から測定するバイタルサインモニタを開発した。生理指標の信頼性・測定 of 簡便性の観点から、本バイタルサインモニタは、心的負荷による自律神経系の変化を捉える生理指標の皮膚電位反射 SPR、心電情報(呼吸性洞性不整脈 RSA)、中枢神経系(知覚や認知)の変化を捉える生理指標のフリッカー値測定、また内分泌系の変化を捉える唾液中の α -アミラーゼ濃度計測の4測定法で構成される。それら計測の様子を図20に示す。計測されたデータは高性能PCに取り込まれ、作業者の安静時に計測したデータを統計的に比較し、心的負荷量を推定する。また、作業者がシステムから被る心的負荷を、情報支援を受けることによる負荷とロボットと協調作業を行うことによる負荷に分類し、作業者の快適性・安全性が向上する支援基準、安全基準の策定のための実験的検証を実施し、下記の3点を明らかにした。

- 紙マニュアルや音声ガイドに比べ、映像による作業指示が直観的な理解を促進し、心的負荷が小さいことを実証。
- 一度に提示する情報量には、作業効率と心的負担の評価から最適な提示量が存在することを実証。
- 作業者から1.5m離れた位置にあるロボットアームの動作最高速度は500[mm/s]以上では心的負荷が大きくなること、また、1.5[m]以上離れていれば高速に動作するロボットアームに対して心的負担が小さくなることを明らかにし、本システムの安全基準は妥当であることを実証。



図 20 バイタルサインモニタ(多種の生理指標計測)

③-4 作業教示支援システム (MASTER)

作業中の作業熟練者の姿勢・位置データから作業動作を解析し、特徴的な動作パラメータを作業のやり方として抽出、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。人間が行う組立作業においては、身体の筋骨格構造から受ける運動制約(関節角度の可動域や筋の協働関係)などにより、作業初心者に比べ、作業熟練者の身体の物理的な運動パラメータはその制約条件下で最適値をとると考えられる。そこで、本システムでは、作業者の状態を作業位置姿勢測定システムで計測し、そのデータから熟練者特有の特徴的動作パラメータを同定する。現段階では、下記の 2 種類の作業について特徴動作パラメータの同定を行った。

□ ハンマーによるペグ打ち作業

作業初心者に比べ、作業熟練者は打点近くでは、肩と肘の関節の動きが同期した。このことから、肩の屈曲角、外転角、肘の屈曲角を特徴的動作パラメータとして抽出し、ハンマーによるペグ打ち作業は、「肩と肘の関節の動きが同期させる」ことがコツ(作業のやり方)であることを作業初心者へ伝達した場合、作業効率率が向上することを確認した(図 21)。

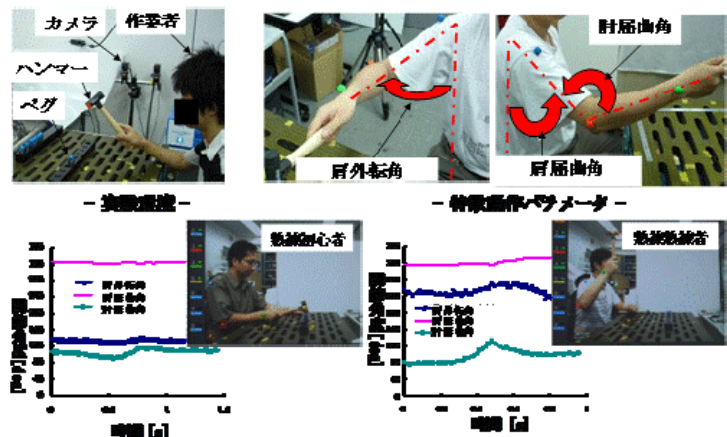


図 21 MASTER で抽出された熟練作業者の作業のやり方

□ 作業者の作業姿勢

前述した作業者監視システムにおける作業者の頭・肩位置も特徴動作パラメータの一つである。図 19(b)で示

すように、作業者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は、異常姿勢として判断される。安全に作業するコツは、「ロボットとの協調作業時に頭を下げない」ということであることを確認した。

また、組立支援システム MASS では、作業者に分かりやすい情報支援を目的とし、組立作業データ

解析・表現には、人間工学的視点に基づく作業分割手法である階層的タスク分析 HTA (Hierarchical Task Analysis) を導入する。詳細は次節の作業情報支援システム MAISER で記すが、先ほど抽出した技能は、情報支援層(Information Support Task)として表現され、テキストや静止画、アニメーション、動画といったマルチメディアを用いて作業初心者に分かりやすい形で教示される。MASTER では、仮想空間上に構成された作業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かつ汎用性・再現性高く教示できるのが特徴である。

③-5 作業情報支援システム (MAISER)

組立作業情報及び作業熟練者から取得した作業解析データ(技能データ)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、かつマルチモーダル情報として分かりやすい形で作業員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 18)。

- 作業のモデリング：階層的タスク分析法 (HTA: Hierarchical Task Analysis)

本システムでは、人間工学分野で標準化されつつある階層的作業分析 HTA(Hierarchical Task Analysis)を用いて作業分割基準を定める。HTA とは、トップレベルのタスクの目標から、その目標を満足するタスク、そしてタスクが影響を受ける個々の物理的なアクション(オペレーション)で、タスクをトップダウンに記述するタスク表現の技法である。この技法はタスクを論理的に曖昧さのない方法により表現することが可能である。

そこで、HTA の表現形式に準じて、組立作業の目標・タスク・サブタスク・オペレーションを Assembly Task(目標 (組立セルでの全作業) とそれを分解した SubAssy 群を表現) と Control Task(タスク達成のための部品及び工具・作業エージェント等のリソースのオペレーションを表現)の二階層で表現する。さらに、本システムではこれら 2 種の階層に加えて、これら組立作業の支援情報(マルチモーダル情報など)を表現する Information Task を提案する。これら、HTA モデルを図 22 左部に示す。

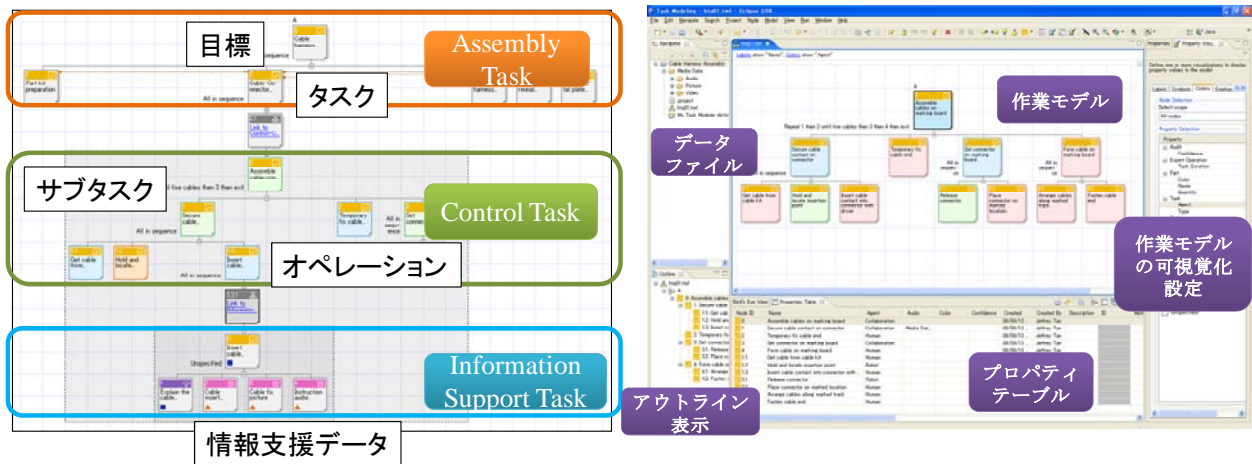


図 22 作業情報支援システム MAISER (左：作業モデル、右：ソフトウェアキャプチャ画面)

このような支援情報を含む組立作業のモデル化により、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(図 22 右)。さらに、作業者の情報切り替えにかかる作業負担の軽減のため、IP カメラの撮像エリア内に設置したマーカを検出し、背景差分などの画像処理によりマーカを手で蔽い隠すことでスイッチ On となるよう設計した情報提示の切り替え入力デバイス(ビジョンスイッチ)を開発した。

□ 情報提示： 心理学的人間工学的手法を用いた作業者の理解を容易にする情報提示の実現

本システムでは、従来の作業マニュアルのような作業情報をテキスト、静止画のみで表現するのではなく、マルチメディア(動画、音声など)を用いることで、情報の多様な表現が可能にした。また、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、支援情報が生成されるため、作業者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 23 下部)。さらに、作業者は指示された作業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。

また、透明作業台の下面に水平 LCD ディスプレイを配置したディスプレイ作業台を開発した(図 23 上部)。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、水平ディスプレイ作業台、縦置きディスプレイ、作業マニュ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。

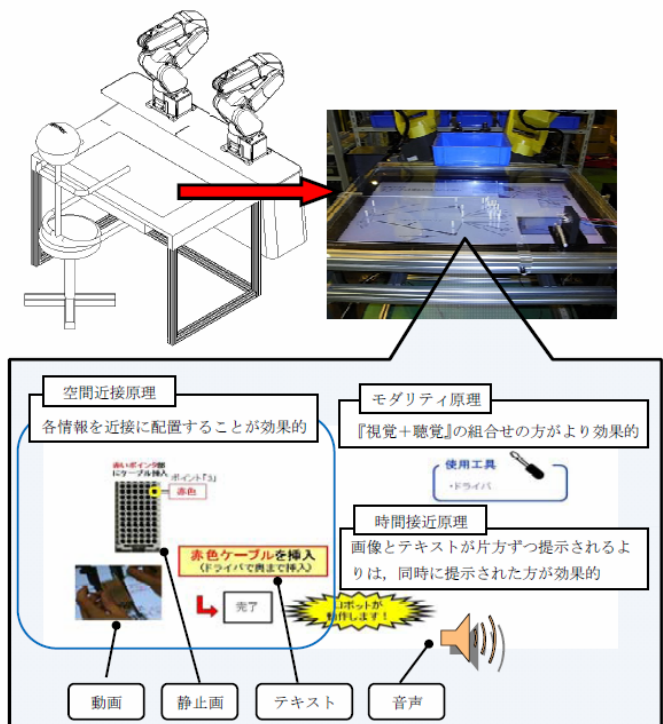


図 23 水平 LCD ディスプレイ作業台とマルチメディアによる情報提示

3) 成果の意義

表3 各研究項目と成果の意義

研究項目	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	高出力ロボットでも安全な人間協調ロボットを実現するための二重監視制御装置・ソフトウェアによるロボット動作制限は新規性の高い手法であり、安全性の高い人間ロボット協調作業を可能とする点で様々な市場への広がりが期待できる。今後、安全認証の取得を経て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確立することで、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、ビジョン検出にて走行時の位置・姿勢補正を行う産業用移動ロボットは業界初の新規技術である。主な特徴は下記の通りである。 <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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 ・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 また、人間との協調作業における作業誘導により、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。
部品ピッキングハンドとビジョンシステム	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。
知能化部品トレイ	部品キット内の部品過不足をビジョンにて検査するため、人間により

	も正確で信頼性の高い部品キット化・配膳が可能である。ビジョン検査機能は部品配膳だけではなく、部品形状検査などその他用途への転用も可能であり、高い品質管理が求められる生産現場全般への導入が可能な点で成果意義は大きい。
作業位置姿勢測定システム	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。
バイタルサインモニタ	組立作業や情報支援、ロボットから被る作業者の心的負荷を評価可能にし、この負荷量を実時間・非侵襲・低負荷で測定可能にした点が従来の既存技術では見られず新規性に富む。構築した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。
作業教示支援システム	人間工学的視点に基づく作業分割手法 HTA (Hierarchical Task Analysis) を導入し、作業表現が人間の理解しやすい形でありかつ現場での作業手順と同様の構造をもつため、作業マニュアルの半自動生成を支援可能である。今後開発を予定している作業訓練システムのベースとなる技術であり、成果意義は大きい。
作業情報支援システム	水平作業台に組込んだ廉価な市販 LCD 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。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。

4) 特許等の取得

本プロジェクトにおいて新たに発生した発明に関しては、表 4 の「特許取得状況」または「添付資料 1」にあるように出願を行った。人間とロボットの協調作業での作業分担、自走ロボットの制御など権利化を進める予定である。

表 4 特許取得状況

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 2009-014672)	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。

5) 成果の普及

表5の通り、プロジェクト成果について積極的に学会・論文発表を行っている。

表5 学会・論文発表状況

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008/8/1	International Journal of Automation Technology (IJAT)	Multi-modal Assembly-Support System for Cell Production	東京大学 段峰
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
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 Jeffrey Too Chuan Tan
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
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
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
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
2009/2/21	the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)	Using Motion Capture Data to Regenerate Operator's Motions in a Simulator at Real Time	東京大学 段峰
2009/2/21	the IEEE Intl. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009)	Extending Task Analysis in HTA to Model Man-Machine Collaboration in Cell Production	東京大学 Jeffrey Too Chuan Tan
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
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 Jeffrey Too Chuan Tan
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
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
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 Jeffrey Too Chuan Tan
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
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
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
2008/9/1	the IEEE Intl. Conf. on Automation and Logistics (ICAL2008)	Construct State-Action Map through Human Control Trajectories and Computation	東京大学 段峰
2008/9/1	the IEEE Intl. Conf. on Automation and Logistics (ICAL2008)	Task Decomposition of Cell Production Assembly Operation for Man-Machine Collaboration by HTA	東京大学 Jeffrey Too Chuan Tan
2008/8/1	the IEEE Intl. Conf. on Automation Science and Engineering (CASE2008)	Analyzing Human Skill through Control Trajectories and Motion Capture Data	東京大学 段峰
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
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 Jeffrey Too Chuan Tan
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

3.1.2.2 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

【実施者：(独)産業技術総合研究所、川田工業(株)、THK(株)】

1) 研究概要

本事業では川田工業(株)、THK(株)、(独)産業技術総合研究所の3主要研究開発機関が共同して、目的とした3要素技術「(T1)作業者とロボットが協働できるための安全管理技術」と「(T2)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」、さらに「(T3)作業者が習熟しやすい作業情報提示技術」を分担開発しつつ、「安全な小型上体ヒューマノイド(ロボット)」を中心とする組立作業支援システムの研究開発を総合的に共同推進する。それぞれの機関における開発内容を以下に述べるが、このほか外部からの協力者としてSONYイーエムシーエス幸田TEC(ソニー)と株式会社ベルデックスが加わり、それぞれセル生産現場での実証に関わる協力および普及のためのマーケティングに関わる協力を行う。

まず、川田工業(株)では、隣接作業する人間が安全に小型情報家電製品の組立てを実施できるように、本質安全に則って、可能な限り低出力のロボットの開発を行う。これは、言うまでもなく、高生産性を追及して高剛性低振動の制御性能を指向した従来の”硬い”産業用ロボットを導入することが危険なためである。しかし、低剛性がもたらす振動等による生産性の低下を回避するために低質量とし、さらに双腕形態をとることによって、作業に要求される剛性を適応的に確保できるようにする。加えて、現行の安全衛生規則や安全規格にほぼ遵守する方針でリスクアセスメントを行い、その結果から策定された安全方策としてデザインされた形状および運動機構をもったロボットとして開発する。すなわちまず、あらたに絶対位置検出器を加えた作業空間制限機構によって人間と動的に作業空間が隔てられる機能をロボットに与える。つぎに、その速度制限や出力制限、さらに当然であるが緊急停止については「機能安全化」すなわち制御系を構成する要素部品の単一故障が検出され、システムとしての安全機能を損なうことがないような機構の構築を図る。さらに、頻繁の人間・ロボット間の接触を想定して、本質安全を指向した機械設計によって、コンパクトな小型上体ヒューマノイドや高機能カバーの開発に取り組む。

つぎに、THK(株)では、小型軽量で汎用性の高いチャックハンドベースモジュール、ツメ先を簡便に交換できるツメ先アタッチメント機構、チャックハンド自体を迅速に交換するチャックハンド交換モジュール、協働する作業者の安全に配慮された安全機構の要素技術開発を行う。これらは、生産性向上を目指して、機種切り替えを早期に達成できるようにワークに応じて簡易に交換が可能なハンドリングシステムとして統合し、川田工業(株)の小型上体ヒューマノイドに組み込まれるが、リスクアセスメントにつづく3ステップ法によって可能な限り作業者の安全に配慮した形状と機構をもって作り上げられるようにする。

最後に(独)産業技術総合研究所では、まず、ロボットと作業者の侵入を確実に検知するための侵入検知センサシステムならびにこれらの侵入検知システムを複数組み合わせ、動的に共存空間の共有が設計できるシステムの開発を行う。加えて、全体の空間内において、ロボットの自動回避や緊急停止の制御、さらに、ロボットが作業不良の際に、作業者による直接再教示が安全に達成できるような自然なヒューマンインターフェース、およびこれを達成するための力制御に関する安全関連系構築技術を開発する。つぎに、上記の小型上体ヒューマノイドが隣接する人間の組立作業を支援することができるように、安

全な工程計画を可能とする3Dシミュレータ付きのリスクアセスメントシステムを開発する。リスクアセスメントには、小型上体ヒューマノイドの設計段階における3ステップ法、すなわち本質安全設計から安全方策の策定、さらにユーザーへの残留リスクの開示が含まれており、このプロセスをもって、川田工業㈱における小型上体ヒューマノイドと統合システムの構築が支援されることになる。

統合システムについては、初年度に実験機を構築して第1次前期実証試験を行い、セル生産現場導入による作業ニーズとの整合性確認を含めた有効性、および実用機のリスクアセスメントに資する安全性の知見を得る。これを元に実用機のプロトタイプとなる原型機を再構築し、次年度に第1次後期実証試験を行って残された技術的課題を整理する。

3年目に予定される実用機による第2次の実証試験では、作業対象をセル生産の基本的な組立作業フェーズのひとつである部品の受け渡し作業とし、実際に、ロボットを停止することなく作業空間を隔てながら、部品の検査受け渡しが可能となることを検証する。この時点で開発した要素技術の評価を行う。

2) 成果詳細

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

①-1 小型上体ヒューマノイドの開発

<概要>

本質安全を指向したコンパクトな双腕ロボットにおいて、モータ出力 80W 以下、基本姿勢時の手先静止力 150N 以下、A4 平均周回速度 700mm/s 以上を達成し、実証現場において必要とされたタクトタイムを実現した。現場での信頼性も高く好評を得ている。ステージゲート審査時点では、人と隣り合う組立作業に導入するための技術調整を始めていた。

<目的と目標>

組立工程における省人化を図るべく、作業者が組立工程で肩を並べる作業者の一部をそっくり双腕ロボットで置き換えるために、小型家電製品セル生産に最適化した出力を持ち、本質安全が取り入れられた、安価でコンパクトな上体ヒューマノイドの基本システムを開発し、実証現場において生産性と安全性を支える要素機器の信頼性が向上したことを確認する。

<成果>

小型上体ヒューマノイドの外観を図1に、仕様を表1に示す。人と隣接した状態でも安全に作業継続できるようにするために、低出力(80W以下)で、かつ脇を絞って肩幅から肘が飛び出さない肩幅空間制限リンク図2を持つことを特長としたコンパクトな上体ヒューマノイドを開発した。

表 1 小型上部ヒューマノイド仕様

寸法 (mm)	身長	578
	肩幅	480
	胸板	166
本体質量(kg)		15
軸仕様		合計 15 軸
腰		1 軸
腕		双腕×6 軸
首		2 軸
片腕可搬質量(kg)		1
繰返し位置決め精度(mm)		0.05
駆動方式	アクチュエータ	ブラシレスモータ ハーモニック減速機
	ドライバ	デジタルサーボドライバ

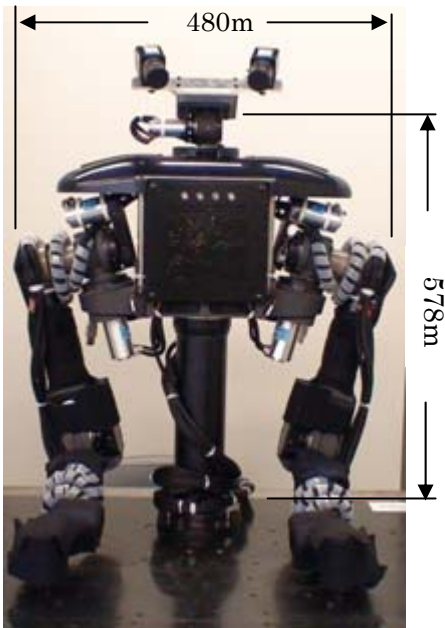


図 1 小型上部ヒューマノイドの外観

肩ロール軸を有する従来型の双腕ロボット図 3 では、手先の姿勢角によっては肘が作業側側に飛び出す。この状態を回避するため、肩ロール軸を配することを止め、脇が開いて腕が人に接触することを回避し、ロボットの両側に作業者がいる状況においても、脇を絞って肩幅から肘が飛び出さない肩幅空間制限リンクを考案した。軸構成においては腰にヨー軸を配し、腕には肩にヨー軸、ピッチ軸を、肘にピッチ軸、手首にヨー軸、ピッチ軸、ロール軸を配し、視覚装置用に首にヨー軸とピッチ軸を配した。この軸構成

によって人の動きに近い動作を行うことができる。また、セル生産現場で使用されることを前提として安全性を重視し、設計段階での十分なリスクアセスメントを行い、挟み込みが予測される個所には適切な隙間を設け、角部は全て丸くして危険個所の低減を行い、本質安全を指向した。

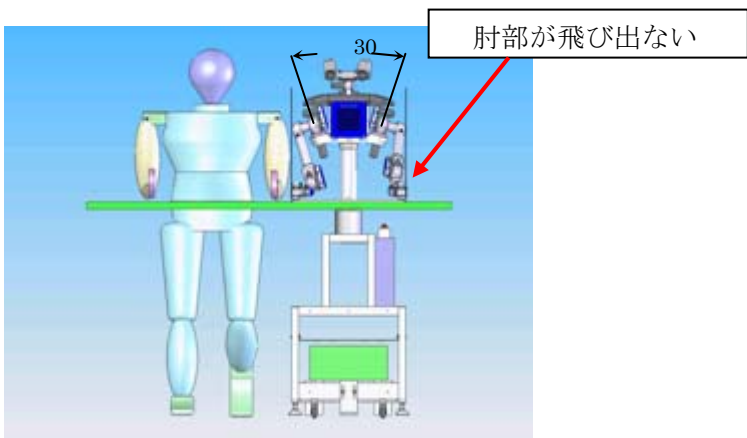


図 2 肩幅空間制限リンク



図 3 従来型の双腕ロボット

上記の本質安全を指向した小型上体ヒューマノイドを評価するために、モータの出力を腰・肩・肘に 44W、手首・首は 24W を使用しロボットの総出力を限界まで小さくしたもの（実証 1）と、腰・肩・肘モータを 71W まで出力を増やしたもの（実証 2）の 2 種類に対して安全性と生産性について評価した。実証 1、2 の検証結果を表 2 に示す。

表 2 実証1と実証2の比較

モータ出力(W)	実証 1	実証 2
腰, 肩, 肘	44	71
手首, 首	24	24
A4 平均周回速度 (mm/s)	450	700
基本姿勢時の手先静止力 (N)	120	150

動作速度については、実証 1 では手先最高速度 450mm/s 以上および実証 2 では 700mm/s 以上を達成させ、基本姿勢時の手先静止力については実証 1 では 120N 以下、実証 2 では 150N 以下とすることができた。80W 以下の低出力なロボットでも十分な生産性と安全性を有することを実証した。

安価なロボットを実現するため、ロボット関節に使用する部品を共通化し、製造原価を削減した。上体ヒューマノイドに使用した共通部品の使用状況を表 3 に示す。

表 3 ヒューマノイドに使用した部品の使用状況

構成部品の種類	部品種類	全部品数	部品 1 個当たりの共通使用数
要素部品(モータ・ギア・ベアリング)	6	45	7.5
加工部品(鋳物・切削部品)	60	163	2.7
小部品 (ボルト他)	54	745	13.8

<目標の達成度>

関節部の要素部品は大凡 2 種類に共通化し、小型・軽量とすると共にコストの低減を図っている。この結果、腕の質量は 2kg 程度となり安全性の向上に寄与している。

生産現場で要求される生産性即ち稼働率と製品信頼性であるが、設計段階で機能と信頼性を十分に検討した結果、11 月現在、当社実証機では、4000 時間の耐久動作、ソニーイーエムシーエス幸田テックの実証現場で 2000 時間（稼働率 99%）、THK 三重工場にて 100 時間の運転を達成している。上体ヒューマノイドは現場の信頼性も高く好評を得ている。ステージゲート審査時点で人と隣り合う組立作業に導入するための技術調整を行っており、計画では第 2 ステージで完成する予定であったため、達成には至らなかった。

①-2 出力制限装置の開発

<概要>

大きな最大出力電流を仕様として達成しながら、必要とされる安全性の度合いに応じて出力可能な電流を調整することで、ロボットの安全性と生産性を両立させることのできるロボット用電力供給システムを開発した。ステージゲート審査以降は上体ヒューマノイドのシステムに統合し、模擬現場での試験を行っていく予定であった。

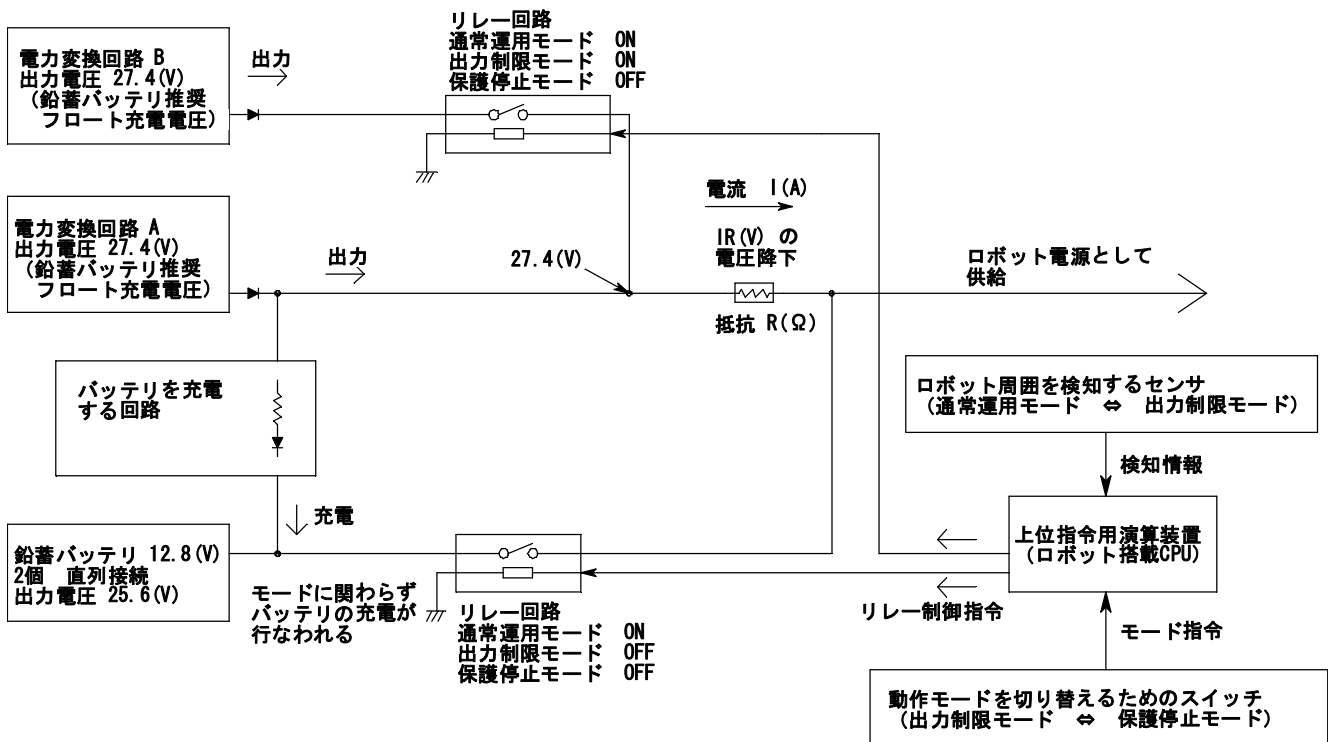
<目的と目標>

本開発では、必要とする安全性の度合いにより、出力可能な電力を調整し、ロボットの安全性と生産性を損なうことなく両立させ、安全性を必要とする人間と共存可能なロボットの電源として利用することを目的としている。このようなシステムを試作して実用性を検証する。

<成果>

回路を図1に示す。本装置は、ロボットのモータ駆動に必要な電力を商用交流電源から直流電源へと変換する2台の電力変換回路A、Bとモータ駆動時のピーク電力を補助的に供給するバッテリー、電源出力経路を切り替えるリレー回路から構成されている。

ロボットは人間が近くにいる状況下で高速の作業を行うモード（通常モード）、人間が近くにいる作業を行っているときのモード（出力制限モード）、ワークの交換などで停止しているモード（一旦停止モード）を運用モードとして有している。これらロボットの動作モードに応じて、電力変換回路A、Bおよびバッテリーから得られる直流電源出力を、上位指令用演算装置による指令でリレー回路を切り替えることで出力可能な電流を制限している。



<目標の達成度>

ステージゲート審査の時点では、回路設計が完了した。審査以降は上体ヒューマノイドのシステムに統合し、模擬現場での試験を行っていく予定であったが、達成には至らなかった。

①-3 高機能カバーの開発

<概要>

従来の産業用ロボットとは異なる視点から、現場に適応した環境機能と対人保護機能さらに親和性を有したデザインを持つ高機能カバーを開発し、実証現場向けに各社の作業着に類似したカラーの組立作業現場用のスーツ、対人保護機能は、直接ロボットに装着する保護パッドを装着して、運用および耐久性

について評価する。

<目的と目標>

従来の産業用ロボットとは異なる視点から、現場に適応した環境機能と対人保護機能さらに親和性を有したデザインを持つ高機能カバーを開発し、実証現場においてそれらの機能を評価する。

<成果>

開発した高機能カバーを装着したロボットの外観写真を図1に示す。高機能カバー実証現場として、クリーンルーム用と一般の組立作業現場用の2種類の作業現場に上体ヒューマノイドを導入することを想定し、クリーンルームではJIS B 9920クラス6（米国規格FED-STD-209Dクラス1000相当）を満足するために、ロボットから塵を排出しない機能と、一般作業現場では、その逆にロボットに環境の塵やオイルミストが悪影響を与えないようなフィルタ機能のをそれぞれ装備した。図1 クリーンスーツにクリーンルーム用カバー、図1 一般スーツ（実証1、実証2）に一般の組立作業現場用カバーの外観写真をそれぞれ示す。また、対人保護機能として緩衝材をスーツに縫込む方法とロボット関節毎に個別に装着する保護パッドによる方法の2形態を試験した。図1 緩衝材有にロボット関節毎に個別に装着された保護パッドの様子を示す。



カバー無

緩衝材有

クリーンスーツ

一般スーツ(実証1)

一般スーツ(実証2)

図1 高機能カバー外観

高機能カバーの評価について、クリーンルーム用としては、クリーンスーツによりロボットからの発塵を押さえること、一般の組立作業現場用ではロボット内部に塵やオイルミストが付着しないことをそれぞれ実証した。図2、図3はクリーンスーツの有無による発塵抑制の効果例を示しており、クリーンスーツを着用していない状態で発生していた各粒径の塵が、クリーンスーツを着用することにより減少していることが分かる。

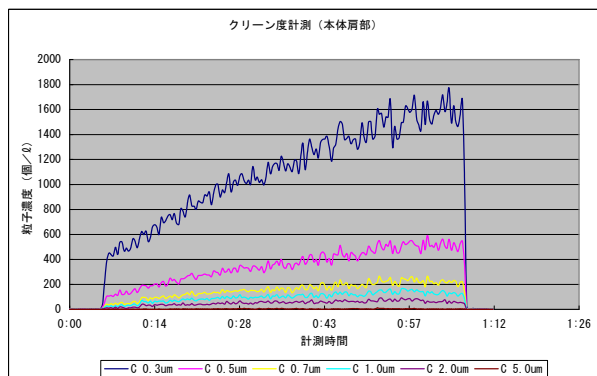


図2 クリーンスーツ無での発塵状況

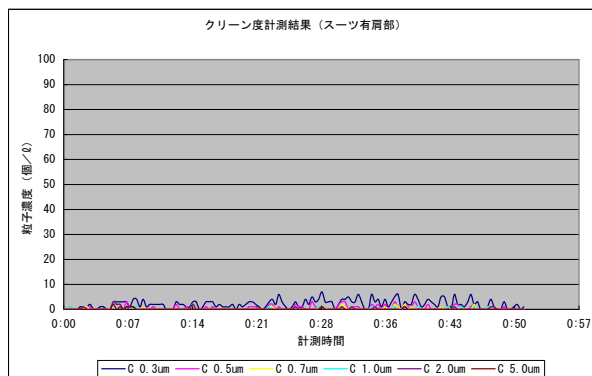


図3 クリーンスーツ有での発塵状況

<目標の達成度>

ステージゲート審査の時点では、実証現場向けに各社の作業着に類似したカラーの組立作業現場用のスーツ、対人保護機能は、直接ロボットに装着する保護パッドを装着して、運用および耐久性について評価した。ステージゲート審査以降に実証現場においてそれらの機能を評価する予定であったが、達成には至らなかった。

①-4 安全空間管理システムの開発

<概要>

本質安全化できないロボットのリスクについて、追加保護方策として、機能安全に基づく安全関連システムとなる安全空間管理システムを開発し、実証試験現場にて評価を行った。

<目的と目標>

安全の3ステップ法から、本質安全化できないリスクに対しては追加の保護方策が必要となる。本システムでは、この追加保護方策としてロボットの作業空間を制限し、同時に作業員の作業空間への侵入を検知してリスクを回避するための安全空間管理システムを開発することを目的とする。具体的には3次元ビジョンによる人検出アルゴリズムと安全モジュールを統合して動的なロボットの作動空間制限機能を実装することを目標とする。

<成果>

開発したセル生産システムでは、ロボットの本質安全は十分達成されたものの、リスクアセスメントの結果、ロボットハンドの爪先が人の眼などに刺さるリスクだけが本質安全化できないリスクとわかった。そのため、安全の3ステップ法に基づき、追加保護方策が必要となった。



図 1 実証試験現場における侵入検知

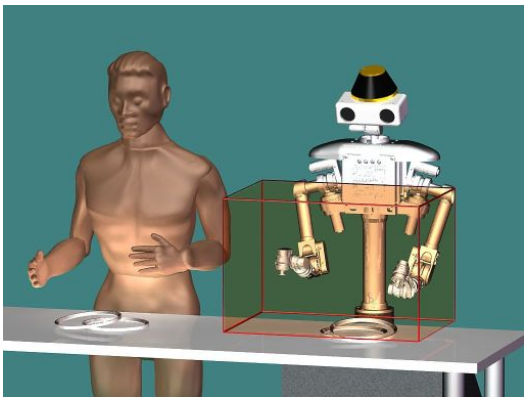


図 2 ロボットの動作制限エリア

図 1 に見える 4 本のライトカーテンで囲まれたエリアが、クロスローラーの受け渡しを行う共存作業エリアである。ロボットと作業員が同時にここに侵入した場合には、ロボットは一旦停止する。あるいは、例えばロボットの不具合を直そうとするなど、作業員がこのエリアを乗り越えてロボット作業エリアに侵入した場合にも、ロボットは一旦停止する。以上の機能によりロボットの隣に立つ作業員の安全が確保される。一方、作業員以外の周囲にいる人への危害を防ぐには、ロボットの手先の動作範囲が、作業機にごく近い、限られたエリアに制限されれば良い。このようなロボットの動作制限範囲として図 2 に示すようなエリアを設定し、ロボットがここから出ないよう監視を行う。



図 3 外付けの安全モジュール

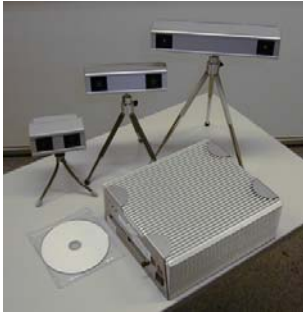


図 4 評価した 3 次元ビジョン

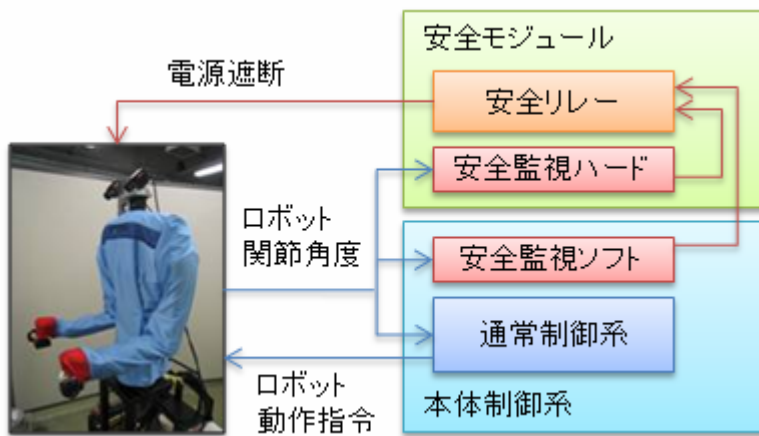


図 5 安全空間管理システムのブロック図

以上の機能について、図 3 に示す外付けのハードウェアモジュールにより、監視を行っている。本体制御系のソフトウェアのバグや暴走などにより、上記の安全機能が働かなくなった場合には、本モジュールが安全リレーにより電源の遮断を行う。

最後に、実施計画で将来技術に位置づけた 3 次元ビジョンシステムを図 4 に示す。これは産総研で開発済みのユビキタスステレオビジョンである。本開発では、図 1 のライトカーテンに代わるシステムとしてこの 3 次元ビジョンを候補とし、評価を行った。

評価結果について、安全機能の監視を行う安全モジュールは、図 5 に示すように 2 重系にて設計を行い、ISO13849:1999 のカテゴリ 3 に相当する構成を実現した。また電源遮断を行う安全リレー系についても、同カテゴリ 4 相当の回路を実現した。THK 三重工場における実証試験において安全リレー系と侵入検知系の動作試験を行い、安全装置として正常に機能することを確認した。

将来開発項目となる 3 次元ビジョンシステムについては、図 6-7 に示すように、実証試験を行った工場現場において人の動作を十分に検知する能力を有することを確認した。今後、ロボットへの搭載方法を確定し、それに合わせた人検知アルゴリズムの開発が必要である。



図 6 人が侵入した場合(左:原画像、右:3次元画像)



図 7 人が侵入しない場合(左:原画像、右:3次元画像)

<目標の達成度>

ステージゲート時の目標とした、安全空間管理システムの設計、ハードウェアの試作、評価について、全て完了した。さらに開発した安全モジュールの安全監視機能を高度化し、動作空間制限監視の2重化について、ステージゲート以降に開発と評価を行う予定であったが、達成には至らなかった。

また侵入検知センサについては、ライトカーテンによる共存空間監視を3次元ビジョンによる監視に置き換えるための初期評価を計画通りに完了し、ステージゲート審査以降の開発項目を明らかにしたが、それらの達成には至らなかった。

①-5 シミュレータベースのリスク管理システムの開発

<概要>

産業用ロボットシミュレータにリスク管理システムを実装し、実証システムのリスクアセスメントの工数、約10人・時間を節約できることを示した。

<目的と目標>

人間・ロボット協調環境はFA技術の発達に伴い発生しつつある新しい状況である。このような未知環境に存在する危険を探索して対応するためには安全に関する最先端技術を統合して適用しなくてはならない。そこで本研究では先端的なリスク管理手法を人間・ロボット協調環境のために調整した新しいリスク管理システムを開発することを目的とする。具体的には、シミュレータベースのリスク管理システムを実機の安全空間管理システムと統合し、人間共存型ロボットの対人安全機能を完成することを目標とする。

<成果>

新しいリスク管理システムは「空間ハザードトライアングル」という新しいモデルで危険をモデル化して可視化する。可視化には工業用のロボットシミュレータ「DELMIA ENVISION」を使用する。「ハザード」とは、「事故が起きる潜在的な可能性」とであると定義され、「空間ハザードトライアングル」では、「以下の3つの要素が同じ空間領域で重なること」がハザードであると考えられる。

(1) ロボットのハザード源：ロボットの危険がある部位。ロボットのリスクアセスメントによって設計時に明らかになる。これらは傷害特性の側面から「鈍的傷害」特性、「鋭的傷害」特性、「人体を押し潰す傷害」特性、などで分類することができる。

(2) 身体部位の存在空間：人間の身体部位が傷つきやすい条件で存在する空間。身体部位は、眼球、頭部、胴体、手足など、傷害特性に対する感受性の違いから区別することができる。

(3) 傷害メカニズム：「(1) ハザード源」が「(2) 身体部位」に作用するメカニズム。ハザードを回避するためには、この2者に対して「傷害メカニズム」が発現しないような「安全制御機能」をロボットに準備しておいて、「空間ハザードトライアングル」が完成することがないように制御すればよい。

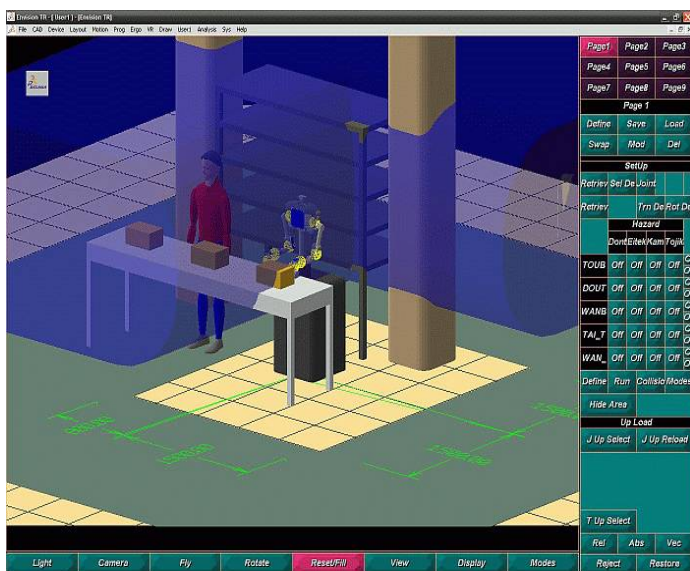


図1 DELMIA ENVISION でのハザードの可視化

シミュレータ DELMIA ENVISION によって空間ハザードトライアングルを可視化したものが図1である。ここでは「(1) ロボットのハザード源」と「(2) 身体部位の存在空間」の干渉が表示され、「(3) 傷害メカニズム」の発現が抑制されているかどうかを検査することができる。図1画面中の青色で表示されているのが作業者の腕部の可達域であり、シミュレータはこのような領域にロボットのハザード源が干渉するタイミングを検出する。人体の部位の種類、ロボットのハザード源の種類の組み合わせは画面右パネルの配列式ボタンで任意に選択できる。これにより、障害メカニズム別にハザードが抑制できているかを把握できる。

評価について、開発したリスク管理システムに実証システムの環境とロボット動作プログラムをロードしてハザードを検証した結果、表1に示すように、衝突、突き刺し、挟み込みのハザ

ード源が作業者の腕部に作用するのは距離が 1450mm 以内、頭部および胴体に作用するのは 690mm 以内であることが分かった。

表 1 ハザードが発生する距離

	衝突のハザード源	突刺しのハザード源	噛込みのハザード源
人体頭部及び胴体	690 mm	690 mm	690 mm
人体腕部	1450 mm	1450 mm	1450 mm

既存技術である英 PROCTER 社製のリスク管理ソフトウェア「Risk Assessment Calculator 4」を使用すると、実証システムについて 280 のハザードが同定された。このうち、リスク管理システムによって 11%にあたる 31 ハザードを提示できることが確認できた。従ってリスク管理システムによる支援を行うことによって全工数 90 人・時間の中の約 10 人・時間を節約することができる。

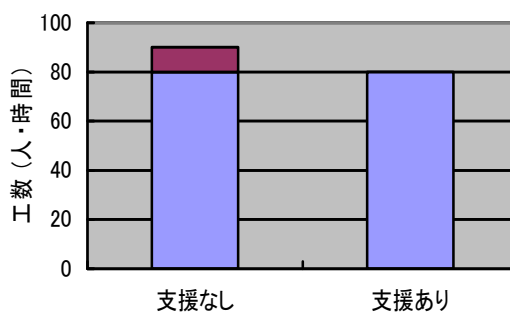


図 2 リスクアセスメント工数の削減

<目標の達成度>

ステージゲート時点でリスク管理システムの基本コンセプトの確立、特許申請、システムの実装を完成した。ステージゲート審査以降に 3 次元ビジョンによる人検出アルゴリズムと安全モジュールを統合して商用パッケージ化する予定であったが、達成には至らなかった。

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

②-1 簡易交換コンパクトハンドリングシステム

<概要>

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として簡易交換コンパクトハンドリングシステムを開発し、実証システムに搭載して本技術の有用性を確認した。

簡易交換コンパクトハンドリングシステムは、本体質量 120 g 以下の小型・軽量化を達成し、2 爪タイプ、3 爪タイプ、回転軸のベースモジュールをラインアップしてモジュール化することで、組み合わせによってさまざまな形状のワーク把持に対応可能とした。また、ベースモジュールはそれぞれ超小型ドラ

イバコントローラを内蔵しているため、上位からのコマンドによる簡単な指令で動作可能とし、また、シリアル通信によりハンドを多軸に組み合わせても、ロボットとの配線数は 4 本と省配線化を達成している。さらにこの省配線化と簡易交換ユニットにより、片腕のハンド交換時間が 10 秒以下と機種切り替えに対して高い対応能力を示すことができた。

簡易交換コンパクトハンドリングシステムは、リスクアセスメントおよびその結果に対する 3 ステップに基づいた安全方策を施し、最終的にロボットの動作空間制限機能と合わせてリスクを許容できるレベルまで低減した。

<目的と目標>

人間・ロボット協調型安全な上体ヒューマノイドセル生産システムの機能に即した小型・軽量で、さまざまなワークを把持することで汎用性が高く、生産性向上を目指した迅速な機種切り替え可能な簡易交換コンパクトハンドリングシステムを開発し、実証システムにおいて本機能の有用性を実証することを目標とする。

<成果>

構成概要を図 1 に示す。簡易交換コンパクトハンドリングシステムは、ハンドに内蔵可能な超小型ドライバコントローラと、超小型ドライバコントローラで動作可能なモータ・センサで構成された 2 爪タイプ、3 爪タイプ、旋回軸のベースモジュールと、ロボットへの脱着が簡単に行える簡易交換ユニットで構成される。ベースモジュールを組み合わせることでさまざまなワーク把持に対応する。

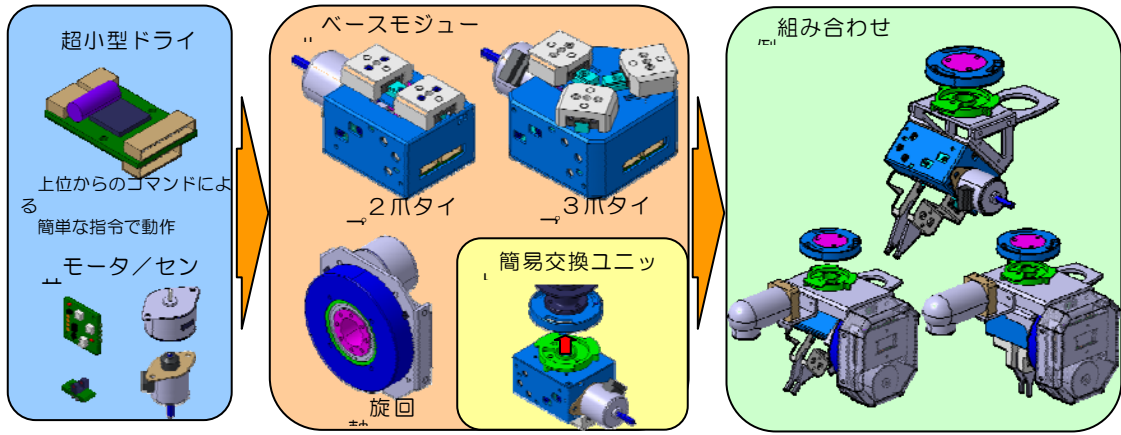


図 1 構成概要

ベースモジュールおよび超小型ドライバコントローラの仕様を表 1 表 2 に示す。

ベースモジュールは通常把持に適した 2 爪タイプ、円筒内側把持に適した 3 爪タイプ、ロボットに無理な姿勢をさせずにハンドだけで適切な把持姿勢が可能な旋回軸を用意しており、3 種類とも 120g 以下で小型・軽量化を達成している。

超小型ドライバコントローラは、ベースモジュールに内蔵可能なほど小型で、コントローラ機能を搭載しているため上位からのコマンドによる簡単な指令で動作可能である。また、シリアル通信によりハン

ドを多軸に組み合わせてもロボットとの配線数は4本と省配線化を達成している。

さらにこの省配線化と簡易交換ユニットにより、簡単にハンドの着脱が可能である。

簡易交換コンパクトハンドリングシステムは、リスクアセスメントおよびその結果に対する3ステップ法に基づいた安全方策を施した安全な設計となっている。

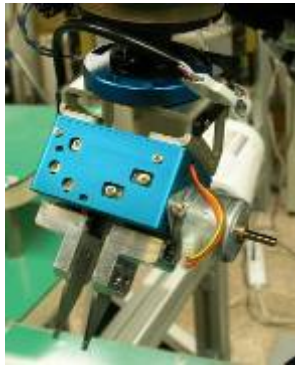
評価について、簡易交換コンパクトハンドリングシステムのベースモジュールは、120g以下を達成しており、可搬重量の小さな人間・ロボット協調型セル生産システムの安全な上体ヒューマノイドのハンドに適している。

表1 ベースモジュールの仕様

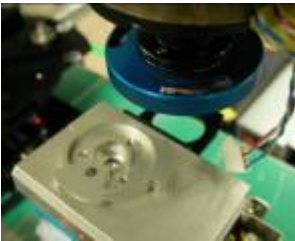
項目	2爪	3爪	旋回軸
把持力	0~5N	0~5N	—
トルク(400pps時)	—	—	47.2mN・m
最大ストローク	10mm	10mm	—
可動範囲	—	—	±120°
最大速度	10mm/s	10mm/s	60rpm
質量	90g	120g	90g
最小分解能	0.025mm	0.025mm	0.94°
リミットセンサ	2個	2個	3個
把持力調整	ひずみゲージ, ひずみアンプ搭載	ひずみゲージ, ひずみアンプ搭載	—

表2 超小型ドライバコントローラの仕様

項目	
サイズ	23mm×36mm
駆動方式	バイポーラ駆動
電源	DC24V
最大電流	1.4A
通信	CAN/RS232C
A/D	4ch
DIO	4ch
付加機能	コントローラ機能搭載



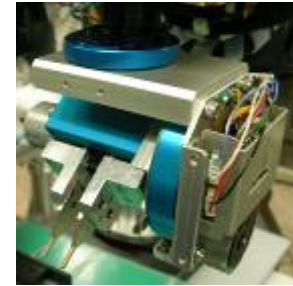
右手ハンド 45° 固定



簡易交換ユニット



ロボット搭載写真



左手ハンド 45° 旋回

図 2 実証システムへの搭載写真

また、2爪タイプのベースモジュールでは、今回の実証システムでのワークであるφ6mmの金属ローラーや□5mm樹脂部品のような小物部品以外にも、厚さ0.5mmで□20mmの基板部品のような薄型部品、50mm×70mmの板金部品のような大物部品も爪形状を変更するだけで把持してハンドリングすることが確認できており、円筒内側把持に適した3爪タイプと合わせて多種多様な形状のワークを把持可能である。

また、機種切り替え時にワーク形状が変更になるためハンドを交換する場合でも、省配線化と簡易交換ユニットにより、10秒以下でのハンド交換が可能であることが確認できた。

<目標の達成度>

以上より、小型・軽量で、省配線化、モジュール化され汎用性が高く、迅速な機種切り替えを達成した簡易交換コンパクトハンドリングシステムの有用性を確認できた。また、現在まで3万回の把持耐久試験を行い、正常動作していることが確認できている。

ステージゲート審査以降は更なる進化を目指し、簡易部品供給システムと、小型で安価な画像処理システムのハンドアイでの物体認識により、二次元平面に整列されずに置かれた部品のピックアップを可能にすることで、パーツフィーダが不要なシステムを目指素予定であったが、達成には至らなかった。

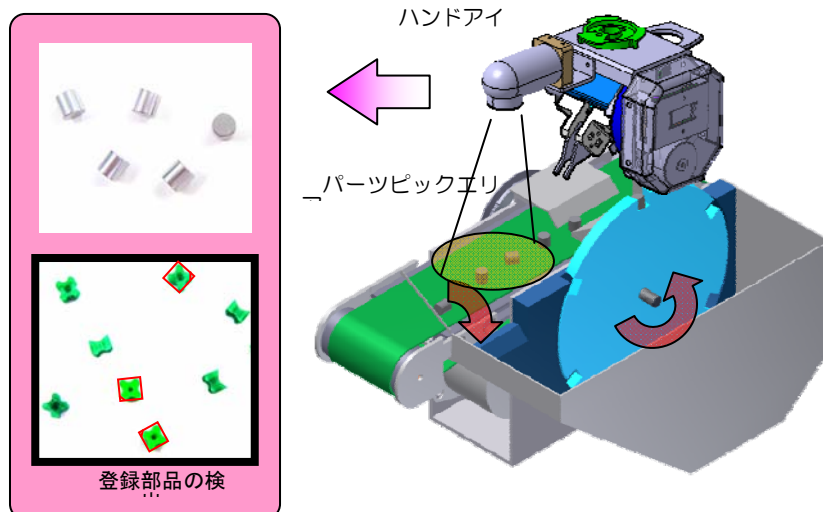


図3 今後のシステム

③作業者が習熟しやすい作業情報提示技術

③-1 安全な直接教示システム

<概要>

作業者が習熟しやすい作業情報提示技術を提供するために、全方向から無理なくアクセスして教示力が確実に発生できる直接教示ハンドル、ロボットハンドの複雑な動作を作業者の意図通りに直感的に教示できる力制御に基づいた直接教示制御技術、国際安全規格 13849-1 のカテゴリ 3 に相当する機能安全化されたインターフェースを含む安全な直接教示システムをそれぞれ開発した。実証システムを用いて本開発システムの操作性及び習熟度評価を実施した結果、従来の画面操作又はペンダント操作による教示方法に比べ、教示作業所要時間がそれぞれ 1/10、1/4 に短縮でき、本技術の有効性を確認した。

<目的と目標>

作業情報提示及び不具合修正のための教示作業において、作業者が習熟しやすく、安全かつ自然に教示作業が遂行できる教示システムを提供するために、人間工学的視点から設計された教示ハンドル、直感的な教示操作が可能な教示制御技術及び、機能安全化されたインターフェースを含む直接教示システムを開発し、実証システムにおける教示操作性及び習熟度を評価し、開発技術の有効性を実証することを目標とする。

<成果>

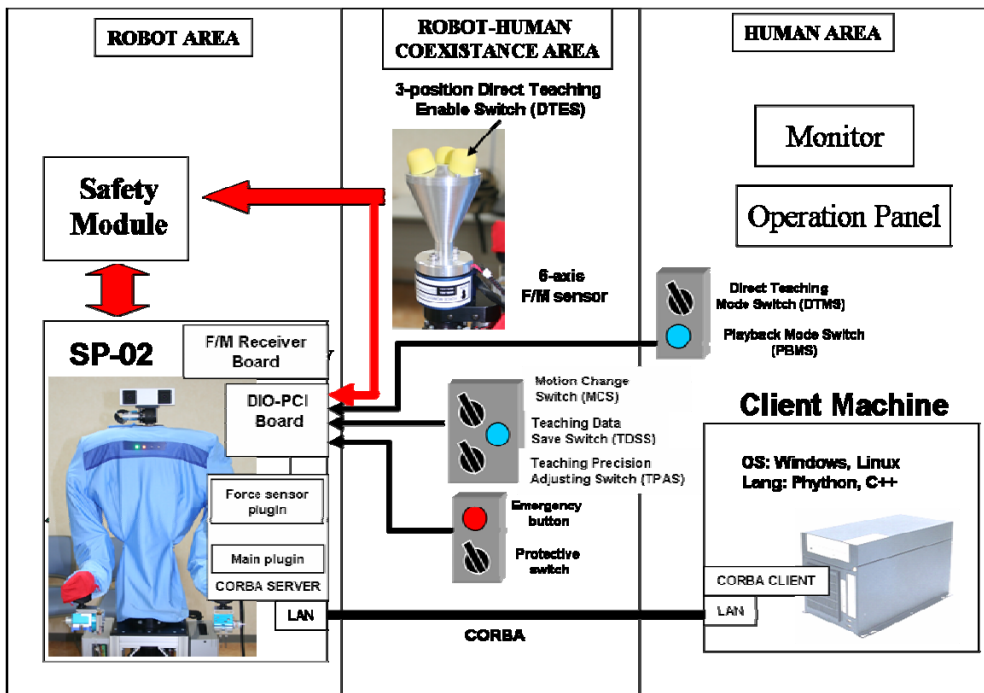


図 1 開発した安全な直接教示システムの構成図

開発した直接教示システムの構成図を図 1 に示す。同システムは、3 ポジションイネーブルスイッチを装着した教示ハンドル及び 6 軸力センサを含む直接教示装置、教示許可信号を監視する安全モジュール、位置・姿勢教示モード及び教示精度モード切り替えスイッチ等により構成される。作業者は、人間工学的に設計された教示ハンドルを握って教示力を発生させることにより、ロボットハンドを直感的かつ自由に教示することができる。作業遂行中、3 ポジションイネーブルスイッチによる教示作業許可信号は、安全モジュールとクライアントマシンにより 2 重に監視され、教示許可信号処理部に何らかの故障が検出された場合に、アクチュエータへの出力は制限される。以下、各開発要素技術について詳細を述べる。

(1) 人間工学的直接教示装置

ハンドの大きな姿勢変化を伴う多自由度ロボットアームの教示作業において、作業者が違和感なく教示ハンドルへアクセスでき、長時間の教示作業時においても過度な疲労感を感じることなく教示作業を継続的に遂行できる人間工学的視点から設計した図 2 の直接教示装置を開発した。開発した直接教示装置は、作業者が掌で握り締めるハンドルの上部に直接教示許可用のイネーブルボタンが 3 個配置されており、ハンドルの下部は 6 軸力覚センサと結合されている。ハンドルの把持部は、握りやすい形状で全方向からアクセスが可能であり、握り締めタイプなので教示力が確実に発生できる。また、ハンドル上部にイネーブルボタンを 120 度間隔で 3 個配置することによって、作業者はアクセスしたい方向からハンドルを握り、手首や親指に負担のかからない自然な姿勢でイネーブルスイッチの操作ができる。同教示装置を実証システムに装着し、評価した結果、様々なハンド姿勢に対して作業者が容易に教示ハンドル

を操作できることを確認した。

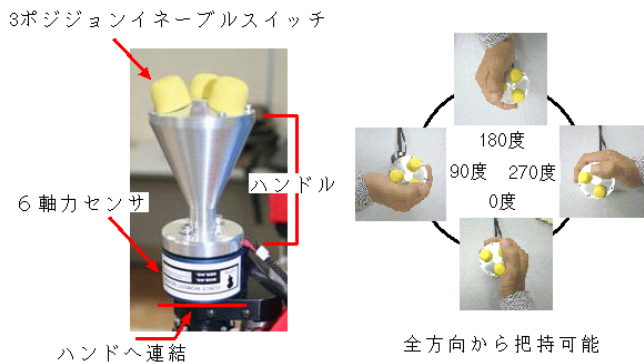


図 2 直接教示装置

(2) 教示インタフェースの機能安全化

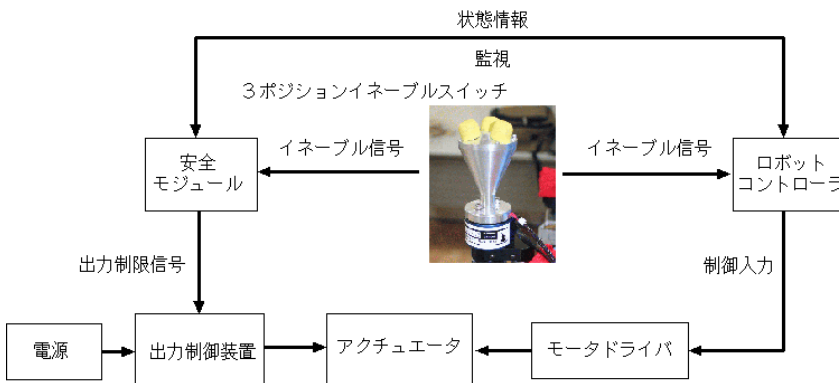


図 3 直接教示システムの安全関連部の構成

産業用ロボットの国際安全規格 ISO 10218-1 及び、ISO 13489-1:1999 に基づき、図 3 に示す直接教示システムの安全関連部を開発し、直接教示インタフェースの機能安全化を図った。同図において、3 ポジションイネーブルスイッチによる直接教示許可信号は、ロボットコントローラと安全モジュールにより 2 重監視され、両方においてイネーブル信号が確認されない限、アクチュエータへの出力は制限される。また、教示許可信号はロボットのサイクルタイム中で常に監視され、イネーブル装置の故障はサイクルタイム中に検出できる。安全機能を検証するために、実証システムにおいて、安全モジュールへのイネーブル信号を故意に遮断した結果、作業による教示力の発生状況下で、ロボットへの出力が制限されることを確認した。

(3) 直感的教示制御

作業者の直感的ロボット操作を可能にし、かつ、習熟しやすい教示方法を提供すべく、力制御に基づく直接制御及び、各種教示操作支援モードを含む直接教示制御手法を開発した。具体的に、6 軸力センサを搭載した直接教示装置をロボットハンドに装着し、作業者の操作力をハンドの目標速度指令値として

変換する際、操作ハンドルの座標系とハンド座標系を一致させ、作業者が直感的にハンドを意図する方向へ動かすことを可能にした。さらに、位置教示制御モード、姿勢教示制御モード、位置・姿勢教示制御モードを切り替え可能にし、作業者の意図がより充実に反映できる。また、教示精度を「高、中、低」3レベルに変更できる教示精度切り替え機能を付加し、長距離移動や精密作業において教示精度を選別でき、作業性能の向上を図ることができる。実証システムにおいて、開発した制御手法を検証した結果、作業者が直感的にロボットハンドを操作し、意図した教示作業を実行できることを確認した。

直接教示システムの操作性及び習熟度評価について、開発した直接教示システムの操作性及び習熟しやすさを評価するために、従来の教示方法との比較実験を行った。従来教示方法としては、GUIによる画面操作と、直接教示装置をハンドから分離したペンダント操作を用いた。評価方法は、各教示方法の使用法を被験者に説明した後、ロボットハンドを初期姿勢からターゲットとなる目標位置・姿勢になるよう教示装置を操作するようにした。教示操作を5回実行し、各所要時間を記録した評価結果を図4に示す。評価結果から明白に分かるように、開発した直接教示方法は、画面操作方法より1/10、ペンダント操作方法より1/4程度教示所要時間が短縮できた。さらに、従来教示方法では、実験回数が増えるにつれ教示作業所要時間が短縮される反面、開発した直接教示方法は所要時間差が見受けられないことから、従来方法より習熟しやすいことを確認した。

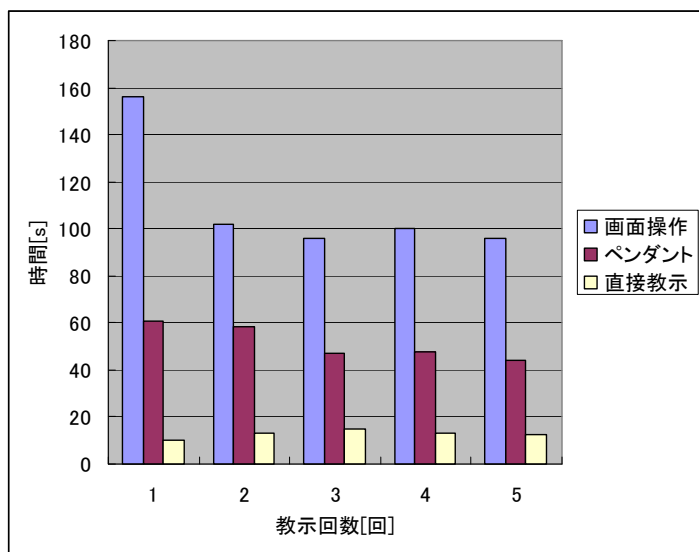


図4 操作性評価結果

<目標の達成度>

「自然」かつ「安全」なロボット教示作業を支援するための直接教示要素技術、つまり、人間工学的教示インターフェース、カテゴリ3レベルの安全関連部、好操作性及び習熟しやすい直接教示制御法を開発し、実証システムでの操作性評価を実施、その有効性を確認し、ステージゲード時の目標を達成した。ステージゲード審査以降は、開発した直接教示システムの実用化に向け、簡便着脱式教示装置、安全関連システム要素全体での機能安全化、インピーダンス制御等を適用した操作性の向上など、既開発要素技術の信頼性及び機能の向上に取り組む予定であったが、達成には至らなかった。

3) 成果の意義

成果は、新たなロボット商品の実用化に向けたものであり、市場の創造につながることを期待できる。

4) 特許等の取得

別添資料の通り、7件の特許が適切に出願された。

国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平 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

5) 成果の普及

今後プレスリリースを行うとともに事業化する予定であり、成果が普及することが見込まれる。

(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

6) 実用化、事業化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

「人と協業するロボット」に対する市場ニーズは期待が大きいものの現段階では萌芽段階であり、その要求仕様は定量化し難い。想定する製造現場や利用方法、その時の生産効率についても技術的仕様に置き換えるには相当の実証データが必要である。さらに、人間の活動している生産現場で安全を確保するための技術とその保証を商売の上でどのように成立させるかが課題となる。

上記の課題に対しては、顧客と密着しその要求仕様に対応する技術探索と提案が事業の継続に不可欠であると考え、「顧客ニーズに対応する活動」を事業面での特徴と位置付け、その要員（フィールドエンジニア）を教育し、配備することにより、川田工業主導の姿勢をアピールし事業の優位性を確立する。一方安全性の確保に対しては、現在の安全衛生規則で規定されている範囲内でロボットの仕様をまとめ上げ、人とロボットの共存を実現し、そのときの実証データを基に安全仕様を開発し、人と協業するロボットを実現する。

これらの対応により、高い実用化の可能性が見込まれる。

(2) 事業化までのシナリオ

セル生産システムを導入している家電メーカーは、期間労働者の増減対策および彼らの品質変動の低減を目的として更なる生産革新を期待し、人間と共存・協業可能な次世代型生産システムの導入を強く求めている。加えて、加速する少子高齢化社会を起因とした今後の労働力減少を鑑み、①従来の産業用ロボットにない卓越した安全性と親和性を有し、②生産現場の環境を変更せずに、労働者と簡便に置き換えが可能なことを特徴とする「上体ヒューマノイド」を開発し商品化する。

事業化シナリオについて、まず、スケジュールを、STEP-A、Bに分け、STEP-Aでは特定の家電メーカー（ソニーイームシーエス株式会社）の製造現場を実証現場とし、必要な仕様と機能の洗い出しを行うとともに、ロボット専門商社やエンジニアリングメーカーとともにプロトタイプ機を利用したマーケティング調査（試験販売を含む）を実施する。つぎに、前述の経験を活かし、家電メーカー一般の市場を想定した仕様に基づいて商品化を行う。そして、つづくSTEP-Bを、戦略的な拡販段階と位置づけ、販売先家電メーカーにおける類似製品の水平展開、および類似の仕様で導入が図れそうな市場（まず、流通物流

市場を想定)への展開をそれぞれ図る。とくに、顧客へのヒアリング結果から、ひとつの家電メーカーだけでも、類似のピックアンドプレース作業現場が100のオーダで存在すると考えられている。したがって、同一メーカー内でも、類似技術の水平展開を行う戦略によって販売を促進することが十分な現実性を見込める状況にある。このような類似技術の展開を重視して、拡販推進チームが戦略的に、想定商品群(詳細検討中、サービスを含む)によって販売ルートを変更する。

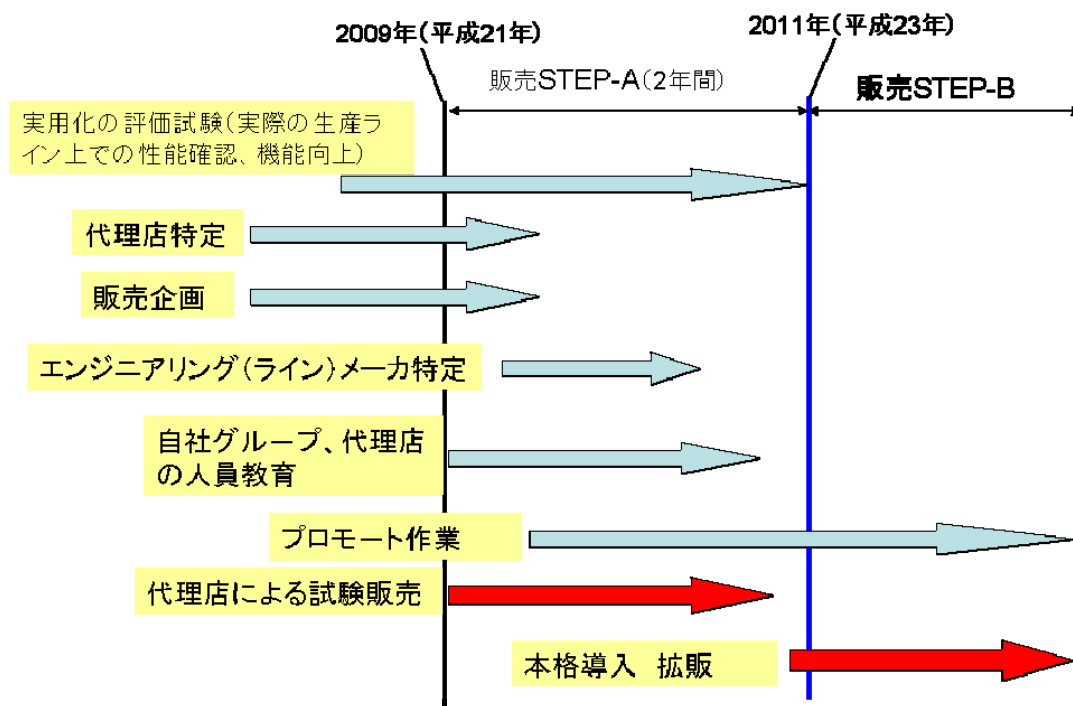
事業化体制については、川田工業が商品開発と販売促進(総販売元)に特化した活動になるように想定しており、事業化に必要な要素は他社とアライアンスを締結してこれを実施する。例えば、部品製造とサブ組立てについては、THKグループに委託することを想定しており、市場での営業、販売、および保守サービスについては、機械商社やエンジニアリングメーカーと業務配分を決定した後に、業務提携を締結する予定である。

「人と協業するロボット」に対する市場ニーズは期待が大きいものの現段階では萌芽段階であり、その要求仕様は定量化し難い。想定する製造現場や利用方法、その時の生産効率についても技術的仕様に置き換えるには相当の実証データが必要である。さらに、人間の活動している生産現場で安全を確保するための技術とその保証を商売の上でどのように成立させるかが課題となる。

上記の課題に対しては、顧客と密着しその要求仕様に対応する技術探索と提案が事業の継続に不可欠であると考え、「顧客ニーズに対応する活動」を事業面での特徴と位置付け、その要員(フィールドエンジニア)を教育し、配備することにより、川田工業主導の姿勢をアピールし事業の優位性を確立する。

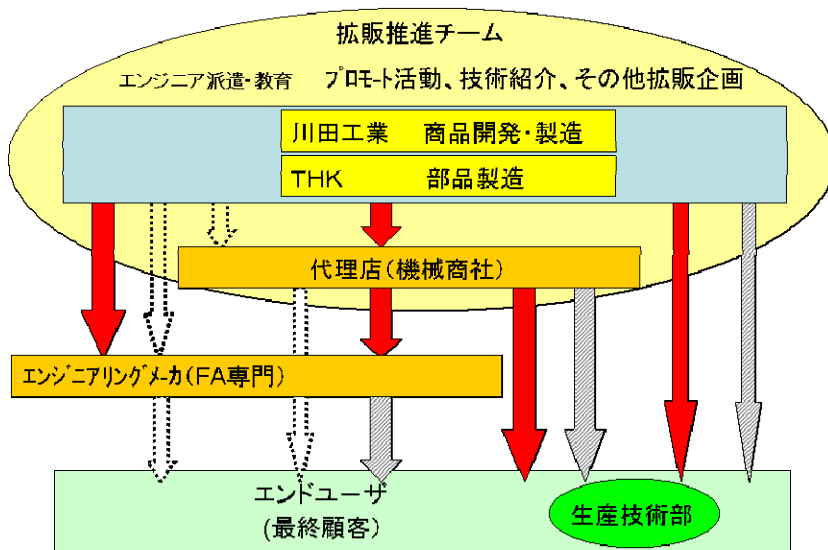
一方安全性の確保に対しては、現在の安全衛生規則で規定されている範囲内でロボットの仕様をまとめ上げ、人とロボットの共存を実現し、そのときの実証データを基に安全仕様を開発し、人と協業するロボットを実現する。

事業化のスケジュールについて、以下に具体的に示す。STEP-A(2009年~2010年)では、代理店やエンジニアリングメーカーの特定等事業体制の構築、人員の教育、マーケティングと試験販売、をそれぞれ目標とし、STEP-B(2011年~)で家電メーカーに対する本格拡販を開始する。プロモート作業は、STEP-A、Bを通して行っていく。



現時点で想定している製造体制および販売体制は、以下の図のとおりである。すなわち、川田工業は総販売元と製造元となり事業化を推進する。ただし、川田工業の事業化体制における重要な機能は、商品開発と市場ニーズを汲み上げるための販売促進に特化する。したがって、販売（含むアフターサービス）については、アライアンスを締結した上で代理店となる機械商社やエンジニアリングメカに委託する予定である。製造については、部品製造も含めて THK グループに委託する予定である。

なお、商品群と商品構成については未だ詳細を検討中であり、販売とアフターメンテナンスについても締結先との分業体制や契約内容を検討中である。以下に現在想定している事業化体制を図示する。ここで、図中の矢印は、図下部に記述しているように現在想定している商品群（（詳細検討は中、サービスを含む））によって販売ルートを変更している。



(3) 波及効果

成果はセル生産の形態を著しく進歩させ得る新しい生産パラダイムの提案を具現化するものであり、我が国で80年代以降急速に進んだ産業のオートメーション化とそれが立ち遅れた製造分野の溝を埋めるものなので、経済的・社会的に大きな波及効果を期待できる。

オートメーション化が立ち遅れた製造分野は人間のスキルや柔軟性が要求される部分であったが、本研究の目標は、設置に関して高い柔軟性を持つロボットの実現と、人のスキルを利用したままオートメーション化を進めるために必要な人間共存の能力を持つロボットの実現であった。成果はこれらの目標の達成に着実に接近するものであり、従ってこの成果には経済的・社会的に大きな波及効果が期待できると言える。