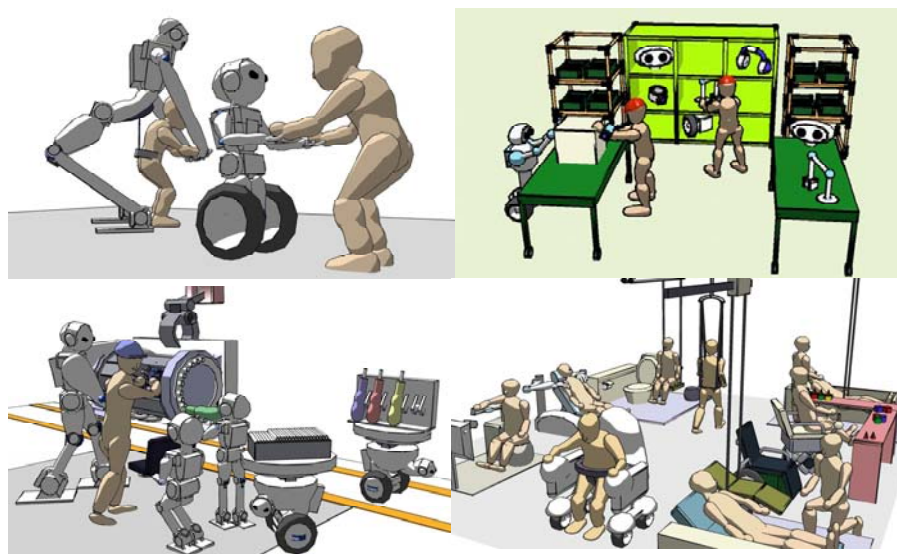

中部産業レポート Vol.6

「次世代ロボット産業」



2009年10月

財団法人 中部産業・地域活性化センター

はじめに

我が国は、近年、出生率の低下により、2005 年からは人口が減少傾向に転じ、このまま進めば 2050 年には 2.5 人に 1 人が高齢者という世界に類を見ない超高齢社会となることが予測されています。

労働力人口の大幅な減少は、産業活動に悪影響を及ぼし、国民の生活水準が低下することも懸念されています。また、増加する高齢者世帯では家事や介護等の担い手不足が一層深刻になると考えられます。

こうした課題を克服するためには、人に代わる労働力として、社会活動の中にロボットを幅広く導入していくことが解決策のひとつになると期待されています。人とロボットが安全に共存し、効率よく労働を分担することができれば、持続可能で豊かな社会生活が実現できることでしょう。

また、これまでは産業用ロボットと人の作業範囲は明確に区分されていましたが、近年、人の作業負荷を軽減させるロボットの活用範囲を広げる試みも始まっています。これからは、家庭や介護・福祉現場等はもちろん、産業部門でも人と共存して活躍するロボットが必要とされ、広く普及していくものと予想されます。

中部地域はこれまで、自動車産業や航空機産業など、モノづくりの中核圏域として我が国経済を牽引してきたことから、自動車産業に続く次のリーディング産業としての次世代ロボット産業が発展していく上で必要な技術蓄積と産業集積が進んでおり、そのポテンシャルは非常に高いものと考えます。

本報告書では、このような次世代ロボット産業に焦点を当て、中部地域のロボット研究者からなる「CIRAC 次世代ロボット研究会」（平成 21 年 4 月～10 月）を設置し、次世代ロボットの分野別動向や将来展望、中部地域企業の取り組み事例、注目技術等を調査し、その全体像をわかりやすく記述するとともに、次世代ロボット産業の振興に向けての課題および提言をとりまとめました。

本報告書が、中部地域の企業や関係機関の皆様方に、少しでもお役に立てれば幸いです。

最後に、本調査研究を進めるに当たって、次世代ロボット研究会の座長をお願いしました名古屋大学大学院の福田敏男先生はじめ、委員の先生方に多大なご尽力を賜りましたことに深く感謝の意を表すると共に、ご多忙にもかかわらず貴重な時間を費やして、快くヒアリングにご協力をいただきました企業や研究所等の皆様方にも、厚くお礼申し上げます。

2009 年 10 月

財団法人 中部産業・地域活性化センター

目 次

結果概要	1
CIRAC 次世代ロボット研究会	3
本編	
第1章 次世代ロボットとは	4
1.1 ロボットをとりまく社会動向	4
1.2 次世代ロボットの役割	6
1.3 政府の取り組み動向	8
1.4 経済産業省のロードマップ	14
1.5 サービスロボットの市場予測	17
1.6 次世代ロボットの安全性	19
第2章 ロボットの分野別動向と将来展望	22
2.1 フィールド応用・支援ロボット	22
2.2 産業応用・支援ロボット	28
2.3 生活応用・支援ロボット	35
2.4 社会応用・支援ロボット	46
2.5 特殊環境応用・支援ロボット	51
2.6 その他	58
第3章 ロボット産業への中部地域企業等の取り組み動向等	61
3.1 インタビューを実施した企業・研究機関	61
3.2 インタビュー結果のまとめ	63
3.3 次世代ロボット分野別の事例	65
第4章 次世代ロボット産業の注目技術	88
4.1 要素技術	88
4.2 適用化技術	102
4.3 応用技術	107
第5章 次世代ロボット産業の振興に向けて	110
5.1 人間とロボットが共生する社会実現のための課題	110
5.2 次世代ロボットによる産業振興のシナリオ	113
5.3 次世代ロボットによる産業振興の提言	115

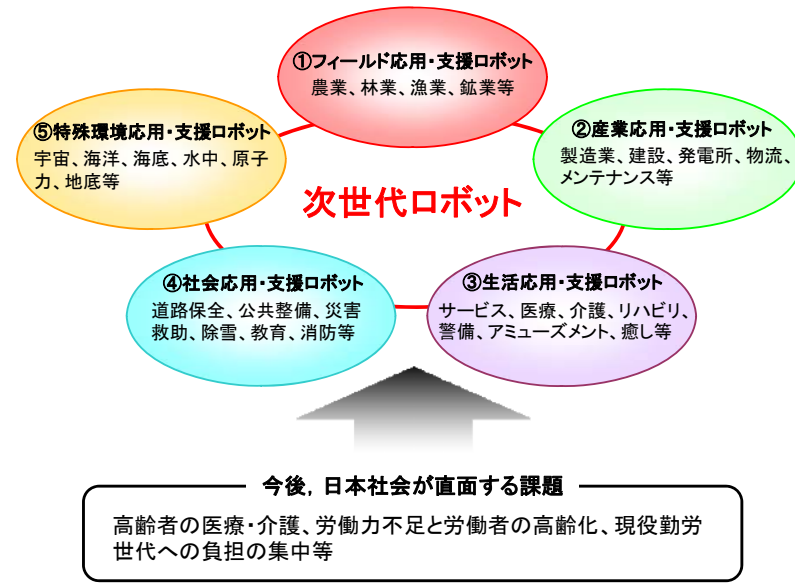
結果概要

第1章 次世代ロボットとは

次世代ロボットは、製造現場で人間から隔離された環境で利用されていた従来型の産業用ロボットとは異なり、人間との共生空間で活躍するロボットである。

現在、我が国は、5人に1人が高齢者という「超高齢化社会」を迎えている。そして、2050年には2.5人に1人が高齢者と世界に例のない超高齢社会となることが予測されている。その中で、活力ある豊かな社会を実現するためにも、高齢者の身体機能の衰えによる日常生活の負担を軽減することや低下した身体機能を回復すること、労働人口の高齢化に対する作業支援など、多様な場面でヒューマンサポートを行う次世代ロボットの活躍が期待されている。

次世代ロボットは、右図に示すような高齢化社会で問題となる日常生活や介護現場でのサポート、極限環境や危険作業での労働、熟練技能の継承など様々な場面で重要な役割を担うことが求められている。



第2章 ロボットの分野別動向と将来展望

分野	研究開発動向と将来展望	
2.1 フィールド応用・支援	農業	搾乳ロボット、接木ロボットの製品化や収穫ロボット、自律移動トラクタなどの研究・開発がされている。さらなる移動ロボット、ビジョン技術の開発が求められる。
	航空	航空ロボットの応用例は少ないが、生物の飛行に着目した羽ばたきロボットや災害調査等で利用できる自律飛行ロボットの研究開発が進められている。
	林業	枝打ちロボットが製品化され、枝打ちロボットの自律化などの研究・開発がされている。枝打ちロボットの昇降機構や枝切断方法、動作計画等の知能化が求められる。
	漁業	鰹釣りロボットやイカ釣りロボットが製品化され、水中自律行動ロボットなどの研究・開発がされている。環境認識や姿勢維持等に独自のアプローチが必要になる。
	鉱業	過酷な作業環境から人手が不足しがちな鉱山では、採掘資源輸送のための無人ダンプ運行システムが実用化されている。主に資源国で利用されている。
2.2 産業応用・支援	産業用	産業用ロボットにおける20年間の年間平均成長率は1.72%であり、拡大傾向にある。今後は、人間と協調して作業を行うセル生産ロボットの開発が期待されている。
	物流	知能型ロジスティクス支援ロボット、自動倉庫が実用化されている。今後はオフィス、病院、駅等で自律走行する物流ロボットの開発が期待されている。
	建設	建設機械を遠隔操作可能にするロボットユニットが実用化されている。また、法面作業用4足歩行ロボットが研究開発されている。
	メンテナンス	ビル清掃ロボットや原子炉メンテナンスロボットが実用化されている。重労働で、人間にとって過酷な環境で利用されるため、さらなる活躍が予想される。
2.3 生活応用・支援	福祉・生活支援	福祉ロボットは2020年には5400億円規模の市場が予想されている。今後は意欲的にリハビリや介護に取り組めるよう支援するロボットの開発が求められる。
	医療・癒し	手術支援ロボット、血管内手術シミュレータが実用化されている。癒しロボットとしては、高齢者を中心にメンタルコミットロボットが開発されている。

2.4 社会応用・支援	災害救助	災害時復旧作業を支援するレスキューロボットや防災監視ロボット、情報収集ロボットが実用化されている。安全性確保が重要である。
	道路保全	作業規制エリア侵入検出ロボット、交通誘導ロボット、コーン自動配置、クラック補修、ゴミ吸引等のロボット技術が実用化されている。
	公共設備	橋梁の塗装ロボット、活線作業ロボットが実用化されている。危険作業を代替するロボットなどの開発が進められている。
	除雪	降雪地帯での研究機構が開発が進められており、小型で自律走行が可能な除雪ロボットなどが実用化されている。耐環境性や操作性が技術課題である。
	消防	無人走行放水車、障害物除去車、救出ロボットが実用化されている。水中テレビロボットの研究開発、および実用化が進められている。安全性確保が重要な課題である。
	教育	2足歩行ロボットの基礎技術習得のための教材開発が進められている。小中学生の理科離れが深刻化しており、先端ロボット技術を含む教材開発が重要である。
2.5 特殊環境応用・支援	原子力	日本では1970年代に発電炉内検査ロボット、80年代では原子炉内検査ロボットや制御棒駆動装置交換ロボット、細管検査・補修ロボットなどが実用化された。
	宇宙	スペースステーションの巨大ロボットアームなどが有名である。今後は、人工衛星のメンテナンスロボットや衛星探査ロボットの開発がますます求められる。
	海洋	カメラ搭載観測用ロボットや海底ケーブル保全ロボットが実用化されている。また、無人潜水艇等の地下資源探査ロボットの研究開発が進められている。
2.6 その他	地雷処理ロボット、社会変革ロボット、環境ロボットの研究開発が進められている。	

第3章 ロボット産業への中部地域企業等の取り組み動向等

分野	動向・課題等
3.1 フィールド応用・支援ロボット	岐阜県情報技術研究所：食の安全や環境に関する意識の高まりの中で、農作物の有機栽培が望まれ、農業従事者の高齢化により、農業ロボットの需要が高まる。
3.2 産業応用・支援ロボット	新東工業：世界同時不況で大きな影響を受けたが、海外市場の早期景気回復に期待している。環境改善、省エネルギーの観点からも普及が期待できる。
3.3 生活応用・支援ロボット	アスカ：脊椎損傷事故は、主に交通事故や高齢化により継続的に発生。患者の体力維持、病气予防、精神面から歩行補助ロボットのニーズは高まる。
3.4 社会応用・支援ロボット	スマッツ：高度な技術を必要とすることから高価となり、費用対効果が悪くても機能重視の分野の産業が成り立つ。多品種少量生産が主流となろう。
3.5 特殊環境応用・支援ロボット	シーテック：ロボットは、人的災害の心配がなく、安全で長時間の調査が可能で、人が立ち入れない場所の作業ができることから、種々の業務に活用できる。
3.6 その他	ダイニチ：ロボットハンドは、宇宙空間や原発等の極限環境での作業において、人間に代わって器用で正確な作業を実現するために必要不可欠なツールになる。

第4章 次世代ロボット産業の注目技術

4.1 要素技術

ロボット要素	低コスト化を目指したプラグインアクチュエータ、柔軟構造材で構成されたロボット軽量化を実現するロボット技術などが開発されている。
触覚センサ	対象物の滑りやすさの推定が可能な触覚センサが開発されている。ロボットハンドのきめ細かいハンドリングが可能となる。
制御	次世代ロボットは、従来の人間と隔離した環境で動作するロボットとは異なり、人間との協調動作が要求される。ロボットの知能化や自律化、安全・信頼性向上が重要である。
マイクロ・ナノ	近年の生物、医療分野では単一細胞操作技術が注目されており、マイクロナノメートルサイズの操作が可能なロボット技術が開発されている。
RT ミドルウェア	ロボットを構成する要素をソフトウェア的にモジュール化し、自由な組み合わせが可能な基盤技術開発が進められている。国際標準化も視野に入れている。

4.2 適用化技術

評価技術	心電図解析や脳血流解析等の生体信号解析の進展により、癒しや快適性評価が可能になってきている。
安全技術	移動マニピュレータ、搭乗型ロボット、身体アシストロボットに分類されるパーソナルケア・ロボットのための安全技術要件が規定されつつある。
テクノロジー・アセスメント	ロボットの導入現場におけるリスク管理を中心として、市民参加型テクノロジーアセスメント手法も駆使した法整備等社会基盤を整える準備が進められている。

4.3 応用技術

産業応用	産業用ロボットと工作機械が協調・融合し、生産効率や安全性を向上させる。近年ではロボットと工作機械のインタフェース融合や制御装置間情報共有技術が開発されている。
環境インフラ（ネットワークロボット）	ロボットとネットワークが融合し、センサ技術により協調・連携してサービスを実現するシステムであり、総務省、NEDO、国土交通省等において研究・開発が行われている。
ブレイン・マシン・インターフェース	人間の動作を補助する形で、人間の脳波や脳血流量解析によりロボットを動かそうとする研究が積極的に行われている。

第5章 次世代ロボット産業の振興に向けて

5.1 人間とロボットが共生する社会実現のための課題

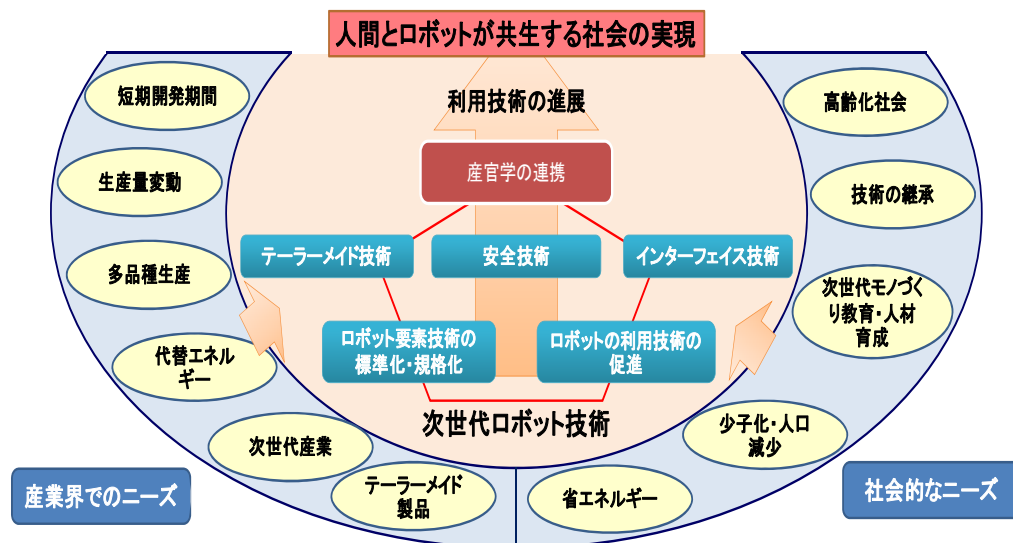
今後、次世代ロボットが広く社会の中で活躍するためには、以下の課題が挙げられる。

- ①ロボット要素技術の小型化・軽量化
- ②ロボット要素技術の標準化・規格化
- ③ロボットの利用技術の促進
- ④人間に対する安全性技術の確立
- ⑤多様な環境下においても環境に適応し、確実に動作するロボット技術の開発
- ⑥MOT導入とMOT教育によるロボット産業促進

5.2 次世代ロボットによる産業振興のシナリオ

産学官のロボット産業振興連携サイクルにより課題を克服し、次世代ロボットが社会で活躍する場を増やすためには、個々の

ロボット要素技術を進展させるとともに、それらの技術を目的に合わせて組み合わせ、システム化することが重要である。その上で、さらに幅広い応用範囲を持つロボットに進展させるには、産学官が連携する仕組みの構築が求められる。



5.3 次世代ロボットによる産業振興の提言

継続的な経済発展のためには、自動車産業に大きく依存した産業構造を見直していく必要がある。次世代ロボットは、これまで培ってきたモノづくり技術を生かし、世界をリードする産業として、自動車産業につづく新たな産業分野となりうる十分なポテンシャルを有している。

ロボット産業の一層の振興を目指すため、以下に挙げる研究開発・産業・教育に関わる7つの事項を提言する。

①産学官の連携を通じた利用技術促進のための次世代ロボット研究開発推進センターの創設

次世代ロボットの実用化の範囲は多岐にわたるため、多種多様な利用技術の進展に対応した有用な実証試験環境が必要である。このため、産学官連携による次世代ロボット研究開発推進センターを創設し、国内外から世界最先端の優秀な人材を集め、ロボット技術の研究開発と人材育成を推進する。

②次世代ロボット研究開発を実証試験するためのロボット研究開発特区の創設

次世代ロボット産業を振興するためには、研究開発された次世代ロボットを実際に人が生活する店舗や工場、病院や養老院などの施設、さらに地下街や繁華街などといった場所で、ロボットが人と直接接した環境での実証試験が必要である。官の力強いサポートにより、ロボット研究開発特区を設定する必要がある。

③労働人口減少問題を解決するための作業補助・作業支援のための次世代ロボットの実用環境の整備

少子高齢化による労働人口の減少に対して、次世代ロボットが人の作業を補助・支援することにより、少ない労働人口でも高い生産規模を維持することができる。ロボットがより人に身近な分野で活躍できる実用環境をつくるための法整備が必要である。

④義務教育機関にロボットを設置し、子供達がロボットに親しみと恩恵を感じられる教育環境づくり

次世代ロボット技術の持続的な発展のためには、若い世代が次世代ロボットに夢を感じ、モノづくりに対して強い意気込みを持てるような環境が必要である。義務教育現場にロボットを配置し、普段からロボットに接する機会を増やすことが重要である。

⑤次世代モノづくりを実現するための実習形式の教育カリキュラムの開発

次世代モノづくりの人材育成を進めるために、これまで以上に工作や実習等といったモノづくりを体験・実感できる教育カリキュラムが必要である。積極的に新しいことにチャレンジし、次世代モノづくりを担う優秀な人材を育成することで、次世代ロボット産業の継続的な振興が実現される。

⑥ハード面とソフト面の統合化・システム化が可能な次世代モノづくりのためのリーダー人材育成

次世代ロボット産業においては、ハード面とソフト面の様々な技術を統合化・システム化し、利用技術を発展させることが重要であり、これを実現する優秀なリーダー人材の育成を推進すべきである。

⑦次世代ロボット産業のための新しいチャレンジを推進する財政支援・研究開発支援・ベンチャー支援

次世代ロボット産業の振興には、実用化および事業化を支援する仕組みの構築が重要である。研究開発・ベンチャー設立に対して、幅広く、多くのチャンスが用意された支援環境の構築が求められる。

CIRAC 次世代ロボット研究会

CIRAC 次世代ロボット研究会

本レポートの作成に当たっては、名古屋大学大学院の福田敏男先生を座長とし、中部地域の大学の先生方からなる「次世代ロボット研究会」（平成21年4月～10月）を設置し、調査研究を進めた。

(敬称略)

担 当	氏 名	所 属
委 員 (座長)	福田 敏男	名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授
委 員	大道 武生	名城大学 理工学部 機械システム工学科 教授
〃	小栗 宏次	愛知県立大学 情報科学部教授 情報科学共同研究所所長
〃	川崎 晴久	岐阜大学 副工学部長 教授
〃	佐野 明人	名古屋工業大学 大学院工学研究科 機能工学専攻 教授
〃	寺嶋 一彦	豊橋技術科学大学 学長補佐・研究戦略室室長 教授
〃	溝口 正信	大同大学 工学部 ロボティクス学科 教授
〃	山田 陽滋	名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 教授
専門委員	池俣 吉人	名古屋工業大学 おもひ領域 特任助教
〃	野田 善之	豊橋技術科学大学 工学部生産システム工学系 助教
〃	中島 正博	名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 助教
オブザーバー	小島 召征	(財) 人工知能研究振興財団 専務理事
事務局	小林 宏之	(財) 中部産業・地域活性化センター 専務理事
〃	坂 雄二郎	(財) 中部産業・地域活性化センター 常務理事
〃	徳田 達彦	(財) 中部産業・地域活性化センター 産業振興部長

本編

第1章 次世代ロボットとは

1.1 ロボットをとりまく社会動向

国立社会保障・人口問題研究所の推計[1]によると、日本の人口は2005年に約1億2,777万人とピークに達し、その後、減少傾向となり、2046年には1億人を割り、2055年には約8,993万人にまで減少する。さらに、2105年には約4,459万人にまで減少してしまうと見込まれている。そのために、欧米も経験しなかったような急速な少子高齢化が問題になっている。1970年に高齢化率7%を越えて「高齢化社会」、1994年には14%を越えて「高齢社会」となり、現在は5人に1人が高齢者と「超高齢化社会」となった。さらに、国立社会保障・人口問題研究所による推計[1]によれば、2015年には国民の4人に1人が高齢者、2050年には2.5人に1人が高齢者となる。この高齢化問題は日本だけの問題ではない。

高齢者の身体機能の衰えの問題が急増することは必至であり、機能低下の防止（緩和）、およびその回復が、日常生活の場でも、社会の活性化のためにも必要不可欠である。その有効な解決策のひとつとしてロボット、ヒューマンサポートロボットの出現が強く期待されている。ヒューマンサポートロボットの実現のため、一刻も早く安心・安全・信頼・快適にヒューマンサポートを行う先端知的ロボット技術を研究開発する必要がある、特にリハビリテーションを効率よくサポートするロボットの重要性が今後ますます高まっていくと考えられる。さらに、被介護者の増加と介護者の減少が問題となっており、被介護者にとって快適な環境を作り、介護者の負担を軽減する介護ロボットの早期導入を図らなければならない。

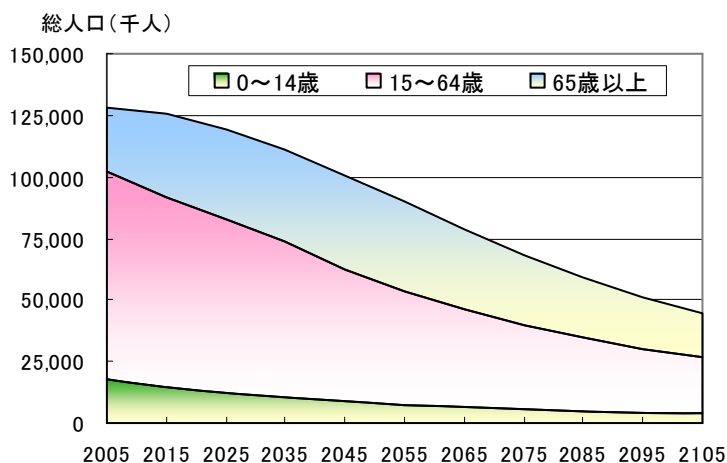


図 1.1 年齢区分将来人口推計[1]

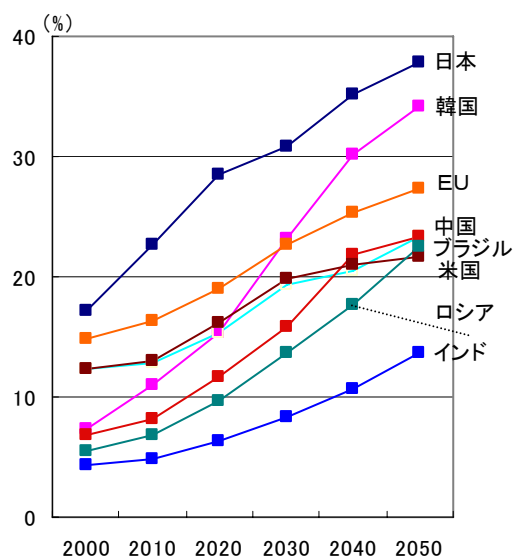


図 1.2 世界の老年人口割合[2]

労働力人口は、2005年に6,772万人でピークを迎え、その後は減少に転じ、総務省[3]ならびに厚生労働省[4]による推計によれば、2025年には6,296万人とピーク時から7%減少する。これと同時に労働力の高齢化も進行する。労働力人口に占める60歳以上の割合は1990年の11.5%から、2005年14.9%を経て、2025年には19.6%となり、労働者の5人に1人が60歳以上となる。労働力不足のみならず、労働者の高齢化による生産性や

品質の低下等も懸念されている。さらに、アジア諸国の台頭を背景とした国際競争の激化に対する不安といった課題も抱えている。我が国の製造業はこの影響を強く受け、国内産業の空洞化が進み、海外生産比率が急上昇している。「モノづくり立国」として製造業を日本に残し、更なる発展を遂げることが将来の日本のあるべき姿である。

労働力人口が減少する中では、高齢者などの労働弱者でも安心して働ける作業環境を整備し、生産性を維持向上させることが必要となる。作業者の高齢化による作業能力の低下を補うためには、ロボットの導入が必要不可欠となる。現在の産業ロボットは、出力が大きく、作業者の安全を確保するために柵などで囲って隔離されているが、次世代の産業用ロボットでは、人と協調して作業することが求められる。なお、経済産業省の関連団体の試算によると、働き手の減少で2025年時点では427万人分の労働力が不足すると予測されているが、ロボットの普及でその8割がカバーされるとされている。

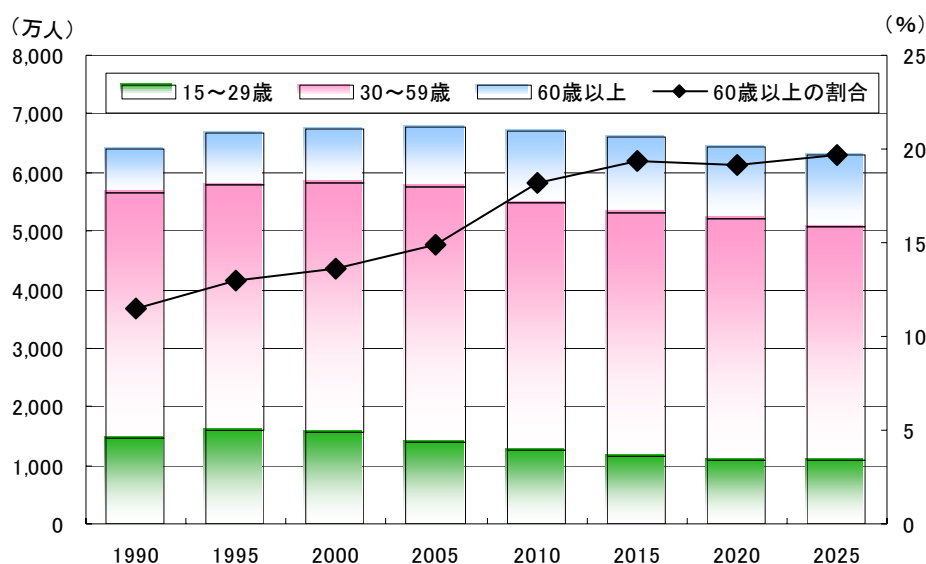


図 1.3 労働力人口の推移[3][4]

以上のように、今後日本が迎える少子高齢社会において、高齢者の医療・介護、労働力不足と労働者の高齢化など様々な課題がある。また、高齢者が社会で積極的な役割を果たし、生きがいを持って生活できるような環境づくりが重要となる。これらの少子高齢社会の課題を解決し、豊かな社会を実現するための一助として、次世代ロボットが期待されている。

参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所：“日本の将来推計人口”，2006.
- [2] United Nations：“The 2008 Revision Population Database”，2008.
- [3] 総務省：“労働力調査”，2005.
- [4] 厚生労働省：“労働市場への参加が進むケース”，2005.

1.2 次世代ロボットの役割

次世代ロボットは、国内におけるロボット産業の主流であった溶接ロボットや塗装ロボット等の、製造現場で人間から隔離された状態で使用されていたロボットとは違い、人間と生活空間を共有し、人間とコミュニケーションを図ったり、人間の作業をサポートしたりするロボットである。次世代ロボットは、今後日本社会が直面する課題である家庭内・介護現場における十分なケアや労働力不足、重労働・危険作業の人手不足などを解決することが期待されている。

次世代ロボットは、人との様々な関わり（「人の代わりに」「人にできない」「人をサポート」「人と共生」など）の中で実用化が進むと予想される。次世代ロボットとその活躍分野は以下ようになる。

①フィールド応用・支援ロボット

農業、林業、漁業、鉱業等

②産業応用・支援ロボット

製造業、建設、発電所、物流、メンテナンス等

③生活応用・支援ロボット

サービス、医療、介護、リハビリ、警備、アミューズメント、癒し等

④社会応用・支援ロボット

道路保全、公共整備、災害救助、除雪、教育、消防等

⑤特殊環境応用・支援ロボット

宇宙、海洋、海底、水中、原子力、地底等

なお、各ロボットの動向および将来展望については第2章、中部地域企業等の取組み事例については第3章で述べる。

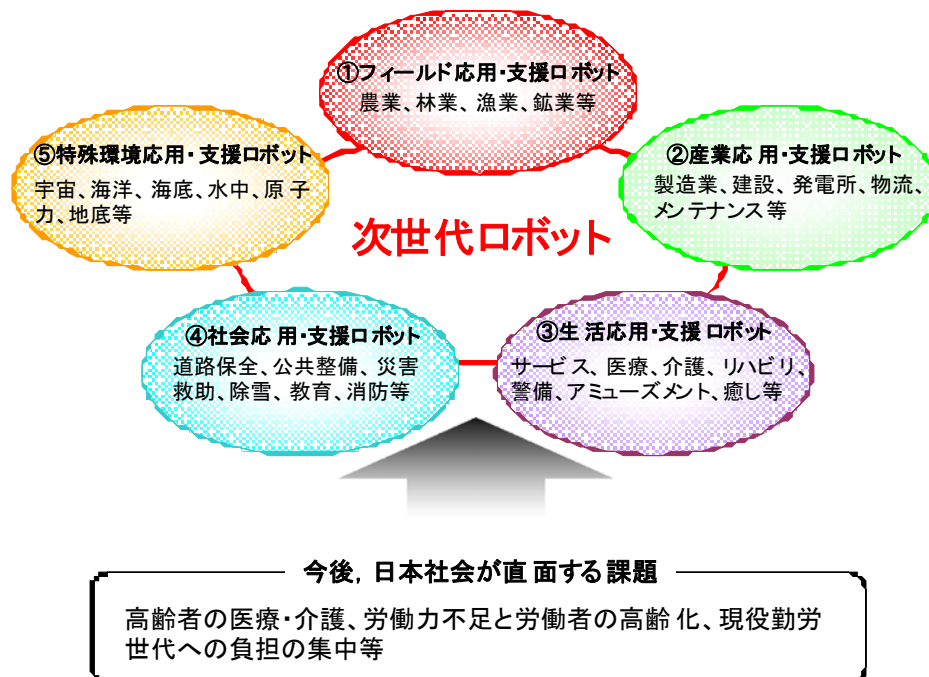


図 1.4 次世代ロボットとその活躍分野

ロボットは、機械技術、エレクトロニクス技術、情報通信技術など、幅広い技術の総合システムである。次世代ロボットを実現するためには、その用途や必要な機能によって様々なモジュール、デバイス、ソフトウェアを組み合わせ、ロボットを開発することとなる。これらの要素技術には、認識技術、アクチュエータ、制御技術、構造技術、エネルギー源、システム化・製品化技術などがある。日本は国際的にもトップクラスのロボット技術を有している。

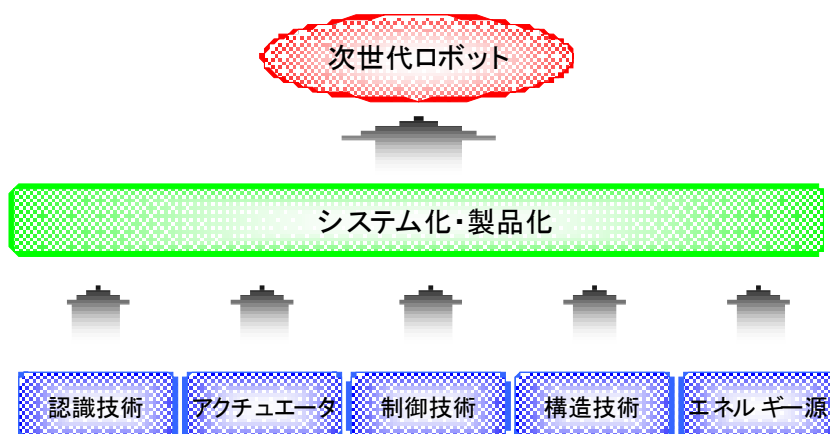


図 1.5 次世代ロボットの構成要素

2005年の愛知万博では、たくさんの次世代ロボットのプロトタイプが紹介され、現在ではその成果が見られるようになった。安全性やコストの問題などがあり、なかなか実用化が進んでいないものもあるが、その研究開発は活発である。自動車メーカーでもカー・ロボティクス、歩行アシスト、パワーアシストなど多方面にわたって研究開発が進んでいる。将来のロボット市場は、これまでの産業用ロボットによる市場と多種多様なロボットによる市場の混在が予想される。

今後は、利用者のニーズ把握とそれを適切に反映した研究開発、実証実験の場の確保、さらには国や自治体の先行的な活用など、安全確保の取り組みも含め、新たな市場創造に向けた産学官の連携による取り組みが必要となる。政府の取り組みについては 1.3 節、経済産業省のロードマップについては 1.4 節、次世代ロボットの市場の詳細については、1.5 節、次世代ロボットの安全性については 1.6 節で述べる。

1.3 政府の取り組み動向

いわゆる官主導の「次世代ロボット」開発に関する取り組みは、共通プラットフォーム技術の確立を目指した総合科学技術会議科学技術連携施策群[1]としての平成 20 年度までの成果が各省庁に波及してきており、本書ではこれを中心として記述する。なお、厚生労働省は、この連携施策群の中に含まれていない。

1.3.1 総務省・消防庁

総務省では、平成 20 年度は、平成 16～19 年度に開発したロボット間通信技術、ロボットプラットフォーム構築技術、行動・状況認識技術、ロボットコミュニケーション技術のネットワークロボットに係る基本技術の確立に加えて、サービスの早期実用化・普及に向けて、実証実験および標準化を目的として研究開発を推進した。図 1.6 は、ネットワークロボットのプラグアンドプレイを実現するために考案されたネットワークロボット・プラットフォームを示している。[2]

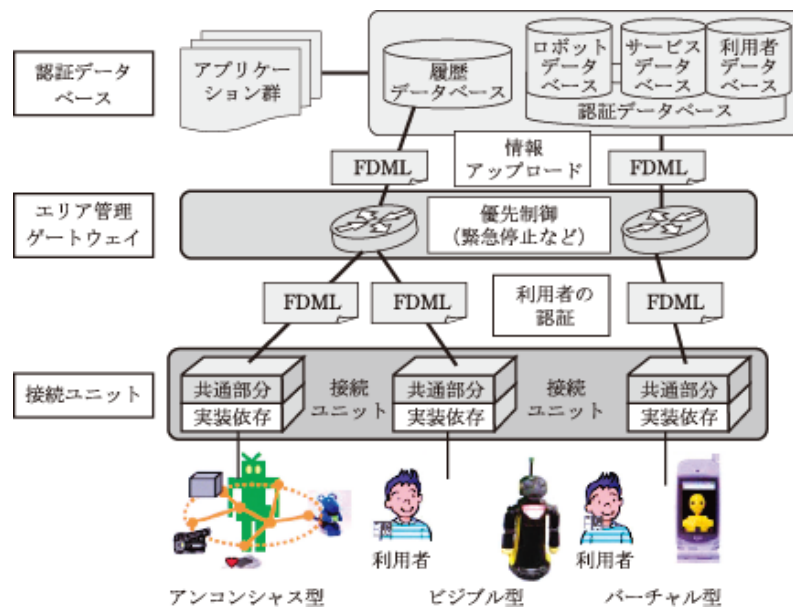


図 1.6 ネットワークロボット・プラットフォーム[2]

実証実験としては、ネットワークロボット技術の研究開発の総合実証実験、委託会社以外のロボット (Robovie-II(ATR)との連携実証、DustBot (聖アンナ大学院大学(伊)) 等の研究機関との連携実証をそれぞれ行った。また、標準化活動としては、ネットワークロボット・プラットフォームの接続に関する仕様の一般公開、OMG のロボット用位置情報標準化活動等の標準化活動を行ってきている。

さらに、消防庁関連の消防・防災ロボットの研究開発については、安全確保、負担軽減のための支援ロボット技術として、複数の小型移動ロボットによる連携協調動作の消防防災活動支援への応用、移動機構等に消防防災ロボット開発に関する基礎的要素技術研究が実施され、まとめとして、実用化量産に向けた改良開発および配備についての検討が行われ、消防防災ロボット技術ネットワークの発足をみた。

1.3.2 文部科学省

文部科学省では、研究開発面、教育面、その両面からロボットに取り組む方針を続けているが、先端的かつ基礎的な研究開発、研究機関におけるインフラ構築、人材育成などの面でロボットに関連する施策を推進する現状にある。近年の研究の中ではとりわけ、バイオミメティック・コントロール研究、大都市大震災軽減化特別プロジェクトが特筆に値するとされる。もちろん、他の競争的資金による研究、拠点形成に関する施策の中でも、ロボット関連の研究対象が見られる。

まず、理化学研究所バイオミメティック・コントロール研究センター（BMC）プロジェクトでは、生物型センシングシステム構築などの研究を実施し、感覚器を有し人間を抱き上げられるロボット「RI-MAN」（P.92,図 4.7 参照）を開発した。その成果は、（独）理化学研究所と東海ゴム工業（株）が平成 19 年 8 月に開設した「理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター」によって受け継がれている。大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは、平成 14～18 年度にわたって、レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発が行われ、インテリジェントヘリコプターや統合ヘビ型ロボットの開発が行われた。

その他、従来からの競争的資金による研究では、平成 15～20 年度にかけて行われた、「ヒューノイドのための実時間分散情報処理」、平成 17～22 年度と現在も継続中の「浅田共創知能システムプロジェクト」がある。さらに、拠点形成に関する施策では、21 世紀 COE プログラムにおける主なロボット関連拠点として、平成 15～19 年度の「先端ロボット開発を核とした創造技術の革新」および、「超高齢社会における人とロボット技術の共生」があったが、これに続き、平成 19 年度から筑波大学に設置された「サイバニクス：人・機械・情報系の融合複合」、平成 20 年度から設置された「グローバルロボットアカデミア」、平成 21 年度から設置された「情報社会を担うマイクロナノメカトロニクス」等が成果をあげつつある。

その他、都市エリア産学官連携促進事業として、びわこ南部エリア（発展型）において、マイクロロボティック技術を活用した医工連携ものづくりクラスターの形成が試みられている。また、知的クラスター創成事業として、「岐阜・大垣地域ロボティック先端医療クラスター」がある。

各研究機関による研究開発では、先述のバイオミメティック・コントロール研究のほか、（独）宇宙航空研究開発機構「宇宙ロボット技術の研究」、（独）海洋研究開発機構「次世代型巡航探査機技術の開発」、「大深度無人探査機技術の開発」が報じられている。

最後に、教育における施策の一環として、（独）科学技術振興機構（JST）による科学技術理解増進事業「スーパーサイエンスハイスクールにおける科学技術・理科学習の推進」、同科学技術理解増進事業「ロボット関連の学習の支援」等がある。

1.3.3 農林水産省

同省でも、わが国農業をとりまく喫緊の課題として、農業就業者の減少、高齢化による労働力不足の顕在化があり、国内農業の体質強化に向け、イノベーションを先導する技術開発の加速化等が必要であるとして、農業ロボットへの期待を高めて、研究開発事業を推進している。成果としては、「施設園芸における労働負担の軽減に向けたイチゴ収穫ロボットの開発」、「ロボット技術を核とした次世代型施設生産システムの構築」、「IT、ロボッ

ト技術を活用した土地利用型農業生産システムの構築」が報告されている。

たとえば、(独) 農業・食品産業技術総合研究機構により実施されたイチゴ収穫ロボットの開発 (図 1.7) においては、収穫適期果実の的確な認識、軟弱な果実のソフトハンドリング等の技術を開発導入することによって、収穫適期果実の自動収穫ができるようになり、収穫時間の 10a あたり 1800 時間程度が代替できるようになると期待されている。



図 1.7 イチゴ収穫ロボット (左) とパック詰めロボット (右) ([3]の図 II-90 を改変)

1.3.4 経済産業省

同省では、「人材が絶対的に不足する時代」に突入すると予想し、モノづくりの現場での人材不足を補完する「次世代産業用ロボット」に加え、日常生活で活躍するサービスロボット、とくに「生活支援ロボット」の開発・導入が必要であると考え、近年の研究開発プロジェクトを推進してきた。

次世代ロボット連携群の枠組みにおけるロボット技術開発プロジェクトとしては、平成 17～19 年度の「人間支援型ロボット実用化プロジェクト」、および「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」、さらに、平成 18～22 年度の「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」がある。これに加え、平成 21～25 年度にかけて、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」が新たに事業化されている。

まず、「人間支援型ロボット実用化プロジェクト」[4]においては、1) リハビリ支援ロボット (人間の状態、動作に基づき多自由度に関節・筋肉のリハビリ動作を支援するロボット) と、2) 自立動作支援ロボット (要介護者の立ち上がりや歩行などの動作を支援)、および 3) 介護動作支援ロボット (排泄の際の介護者の抱き上げ作業等に係る力支援) の 3 つのカテゴリに分けて、事業を実施した。

1) のカテゴリでは、実施者 日立製作所、新産業創造機構、丸富精工らによって、人間装着型の上・下肢リハビリ、さらに手指リハビリを目的としたロボットに加え、高齢者のトレーニングロボットが開発された。2) のカテゴリでは、実施者 筑波大学、アスカ、セコムらによって、やはり人間装着型の上下肢自立動作支援ロボットが開発された。最後に、3) のカテゴリでは、実施者 産総研・TOTO・川田工業によって、排泄介護支援ロボットがそれぞれ開発された。図 1.8 は、上記の成果物を示している。



図 1.8 人間支援型ロボット実用化プロジェクトの成果物（[5]を改変）

つぎに、「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」では、ロボット産業の裾野を広げるため、要素部品とシステムを繋ぐインターフェース共通化のための基盤デバイスを開発する目的で、実施者富士通によって画像認識用デバイスの開発が、また、日本電気によって音声認識用デバイスの開発が、さらに産業技術総合研究所によって運動制御用デバイスの開発が、それぞれ行われた。その成果は、「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」等でも活用されている。

「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」は、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ、必要とされるロボットシステムや要素技術を開発し、活用することで、国として関与すべきミッションを達成し、これらニーズを満たす一助となることを目的として推進された。現在も、中間ステージゲートをクリアしたコンソーシアムが活動中である。これらでは、1) 次世代産業用ロボット分野として、柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム、および人間・ロボット協調型セル生産組立システムが、また、2) サービスロボット分野として、片付け作業用マニピュレーション、高齢者対応コミュニケーション、ロボット搬送システムが、さらに、3) 特殊環境用ロボット分野では、被災建造物内移動 RT システムおよび建設系産業廃棄物処理 RT システムの開発が中間成果としてこれまでにあげられた。図 1.9 は「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」のひとつである、『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』[6]の 1 シーンである。



図 1.9 人間と隣接してセル生産現場で稼動する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

最後に、今年度（21年度）から発足したと先に述べた、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」については、推進の背景として、1) 日常生活支援にあたっては、人との接触度が高くなるため、より一層の安全性の確保が必須だが、対人安全技術が未整備であること、また、2) 対人安全技術が未確立であることも相まって、安全の基準やルールも未整備であり、そのため、民間ではリスクが高く、技術開発も事業化もなかなか進まないのが現状であること、との分析結果が上がっていた。これに基づき、研究開発項目として、1) 生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発、安全技術を導入した 2) 移動作業型（操縦が中心）、3) 移動作業型（自律が中心）、4) 人間装着（密着）型、さらに 5) 搭乗型のそれぞれの生活支援ロボットの開発が事業化されている。

他方、同省では、ロボット産業政策としてビジネス振興も積極的に行っており、「今年のロボット」大賞と称する表彰制度を設けているほか、「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」の策定、「ロボットビジネス推進協議会」の支援も行っている。2008年度の「今年のロボット」大賞には、「Omnibot17μ i-sobot」[7]が選ばれたほか、日本機械工業連合会会長賞として「第10世代液晶ガラス基板搬送ロボット「MOTOMAN-CDL3000D」」が、さらに、審査委員特別賞として、「食の安心・安全に貢献する田植えロボット」が選出されている。

1.3.5 国土交通省

国土交通省におけるロボットに関する取り組み・計画は、平成15～19年度に、重点プロジェクトとして「建設ロボット等による自動化技術の開発」を位置づけ、ロボット技術の開発を促進した経緯があり、その後、現在は、その流れを受け開発促進を狙った計画の継続を行っている。具体的な取り組み内容としては、「ロボット等によるIT施工システムの開発」、および「水中作業の無人化に関する研究」がある。

第一の「ロボット等によるIT施工システムの開発」では、情報通信技術やロボット技術を活用して、土木施工・施工管理における危険箇所・苦渋作業を解消するとともに、一般的な業務の効率化、コスト縮減、品質向上を図ることを目的として、1) 自律施工に必要な3次元情報として周囲環境を認識する技術、2) 操作に必要な3次元情報を表示する技術、3) 施工動作の自動化技術、そして、4) として、1)～3)を統合したプロトタイプの開発がそれぞれ行われている。図1.10は、実績の高いRTを組み込んで、あらかじめ設定された範囲で遠隔操作により溝掘削積込作業を行う油圧ショベルである[8]。



図 1.10 油圧ショベル概観とセンサ取付図（[8]の図5）

また、第二の「水中作業の無人化に関する研究」では、水中での整備や点検・診断、維持・補修の諸作業を安全かつ効率的に行うための技術として、1) 水中ロボットアーム（パ

ワーショベル)による地盤との接触情報を用いた状況把握(触像)、2)水中マニピュレータの開発、3)水中での対象物認識手法の開発、がそれぞれ実施されている。

1.3.6 厚生労働省

厚生労働省は、本節冒頭に示した連携施策群に加わっていないため、他省庁との連携あるいは関連を意識したロボット技術開発事業が行われているわけではないが、例年実施されている同省の科学研究費補助金の中では、「人間・機械・情報系の融合複合新技術サイバニクスを駆使したロボットスーツ HAL の開発」(図 2.22 参照)「ハイリスク胎児の子宮内手術におけるナノインテリジェント技術デバイスの開発研究」などが、近年、ロボット技術に関連し採択された研究開発として注目されている。

また、次世代医療機器評価指標策定事業(厚生労働省)医療機器審査ガイドライン WG のナビゲーション医療(手術ロボット)第二分野(軟組織対象)審査ガイドラインが策定されつつある。

参考文献

- [1] <http://www.renkei.jst.go.jp/platform/robot/index.html>
- [2] 萩田紀博：“ネットワークロボット概論”，電子情報通信学会誌, Vol. 91, No. 5, pp.346-352, 2008.
- [3] http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/bukai/03/pdf/ref_data2-20.pdf
- [4] NEDO 機械システム技術開発部：「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」事業原簿 [公開版]，(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/bunkakai/20h/jigo/5/1/5-1-1.pdf>), 2008.
- [5] NEDO：人間支援型ロボット実用化基盤技術開発成果一覧, 2007.
- [6] <http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100010068.pdf>
- [7] <http://www.isobotrobot.com/jp/index.html>
- [8] <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/seika/program/pdf/ken1-01.pdf>

1.4 経済産業省のロードマップ

技術戦略マップ[1]は、1) 産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、2) 産学官における知の共有と総合力の結集、および3) 国民の理解の増進を目的として、導入シナリオ、技術マップ、技術ロードマップの3部構成で、8領域30分野を対象として策定された。これらの中でロボット分野は、「システム、新製造」領域の中に位置づけられている。技術ロードマップは、2025年までの年表に基づいて策定されている。

また、この活動と連携して、2006～2007年度に、日本ロボット学会、人工知能学会、日本人間工学会の3学会が協力して、長期のロボットに関する学術的な研究領域・方向性を探索することを目的とするアカデミック・ロードマップを策定している。同（アカデミック）ロードマップでは、「ロボットのサービスコンテンツへの指向性」と「ロボットサービスの実現を見据えたプロジェクトの構築」が提言され、今後は、基盤ソフトによる多様なサービスを、ロボットプラットフォームに統合して、体系的なサービスを可能にする方法論に関する研究開発が重要である、としている。アカデミック・ロードマップは、過去から2050年までについて定められた。

1.4.1 導入シナリオ

少子高齢化への対応、労働力人口の減少、安全・安心な社会の実現、便利でゆとりある生活の実現のために、ロボットが生活、公共の場でより身近な存在として役立つことが期待されている。そこで、「わが国製造業を支えてきたロボット技術を基盤とし、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の開発・実用化を促進することが望まれている。」として、ロボットに関連する研究開発の取り組み、関連施策の取り組みを紹介している。

研究開発の取り組みでは、ロボットが使用される状況が変わりやすい環境下においても、自律的に活躍するロボット開発の効率化を向上する再利用可能な知能化モジュール（ソフトウェア）の研究開発（次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト）等を推進することが重要であるとしている。また、関連施策の取り組みでは、これまでの実績として、「今年のロボット」大賞表彰制度の設立、「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」の策定、RTM（RT・ミドルウェア）のOMG採択等が記述された上で、〔起業・事業支援〕〔ガイドライン整備〕〔標準化〕〔広報・啓発〕〔規制・制度改革〕の項目内容が目指されている。

1.4.2 技術マップ

導入シナリオを踏まえ、市場ニーズ、社会ニーズ（それに対応した製品イメージ）を実現する上で必要となる技術課題を抽出・俯瞰した技術マップが作成された。第一に、今後、活躍が期待されるロボットの3カテゴリを「次世代産業用ロボット」、「サービスロボット」、「フィールドロボット」と明記し、その主な用途ごとに細分類がなされた。第二に、分野を超えて共通に求められる機能を7項目（環境構造化・標準化、コミュニケーション、マニピュレーション、移動、エネルギー源・パワーマネジメント、安全技術、運用技術）に整理した。技術の重要性を評価するためのキーワードは、「日本の技術競争力優位」、「共通基盤性」、「安全・安心の確保」、「標準化」など、計7指標である。

1.4.3 技術ロードマップ

技術マップにおいて分類した3つのカテゴリのロボット「次世代産業用ロボット」、「サービスロボット」、「フィールドロボット」について、10年後以降のそれぞれの将来像（ミッション）を想定し、要求される仕様や必要な技術開発等を技術マップに示された重要技術から抽出したものが、時間軸に展開されている。また、3カテゴリのロボットに共通する技術や普及パターン等が、共通コンセプトとしてまとめられた。

共通コンセプトでは、ロボットの普及パターンとして、現状の公共におけるメディアとしてのロボットの位置づけから、やがて一般家庭・オフィス（定型作業支援）へと普及するであろう、と予測している。また、もうひとつは、現状の情報ネットワークにもロボット技術が関連し、センサネットワークやロボットにとっての移動環境の構造化等の諸技術を伴って、ロボットのモビリティが向上し、やがて、一般家庭や屋外ロボットへと普及が進むであろうとしている。

「次世代産業用ロボット」では、生産システムが、無人化ロボットセルと人・ロボット分担セル生産の流れを経て、完全無人化に向けて技術移行していくと予測している。作業者とロボットのワークシェアリングの観点では、現状における安全柵等による完全分離の原則から、混在作業、協働作業を経て、自律で人と同じ作業ができるようになる、と予測している。これらと並行して、ビジョンの高速化、アクチュエータの軽量化、多様なハンドによる不定型（柔軟物）のハンドリング機能向上、あるいは、教示レス化、人の作業学習、さらに自動オフライン教示などの技術が登場すると予想している。

「サービスロボット」では、福祉分野で介護・介助用ロボットとして、例えば装着型の歩行支援ロボットの普及が、また、医療分野では病院用支援ロボットの普及が、それぞれ見込まれている。一方、公共分野では、掃除ロボットのほかに、案内・搬送ロボットの登場が期待されている。他方、生活分野においては、サーバントロボット型としてセキュリティ支援ロボットが登場するほか、インテリジェントホームが進化を遂げ、さらに、セクレタリロボット（情報系ヒューマンインターフェイス・ロボット）の形態では、人間との自然なコミュニケーションを伴ってのライフケア・ロボットとしての進展が見込まれている。これらのロボットのための要素技術、システム技術として、環境構造化によって移動ロボット自体の位置同定が進み、人間との対話や人間行動のモニタリングが可能になる技術の登場を経て、分散RTの社会的な統合や人間の意図理解さらには感性コミュニケーションが可能となる時代へと技術が革新されるとしている。これらのほか、自律動作／作業がより高度に達成されるようになるとも予想している。

最後に、「フィールドロボット」については、その導入分野別に予想が立てられている。農業では、果実収穫支援からやがては無人の田植え機へと発展する。廃棄物処理については、半自律を経て自律的に分別作業ができるロボットが出現する。建設業では、自律的に建設が可能なロボット、土木作業に対しては、掘削作業の自律化、知能化が進むとしている。そのほか、上空情報収集や他の探索ロボットとの連携による被害軽減、自動注水可能な火災消火、プラントメンテナンス、漁業保護・保全ロボットと多岐わたっている。移動技術では、実時間の環境認識による詳細移動面マップの生成が可能となり、エネルギーのパワーマネジメントが向上し、ヒューマンインターフェイスもミッションを指示するだけの操作や遠隔環境の完全把握が可能となると予想している。

参考文献

- [1] http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2009/3_1.pdf

1.5 サービスロボットの市場予測

2001年の時点においては、2000年以降生活分野や医療福祉分野のサービスロボット（以後、非製造業分野ロボット）市場が徐々に拡大され、2010年を境に急速に市場が拡大すると予想された[1]。その後、サービスロボットの国際的な安全規格の第1次策定が2010年頃の予定となったことから、2010年あたりにサービスロボットの市場の成長に変曲点が見られるであろうとの予測は、的を射ていると考えられた時期があった。

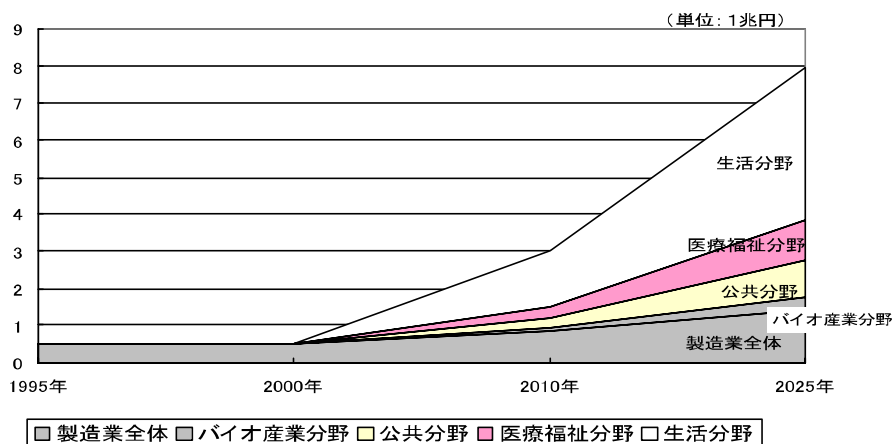


図 1.11 2001年時点のロボット市場予測

しかしながら、後に、「次世代ロボットに関する市場調査・市場予測の分析」[2]で示されるように、上記の予測は、「(人手で行われている作業が) 今後開発されるかもしれないロボットで代替され、現在その労働に支払っているコストがロボットの購入に使われたらどの程度の金額になるか、に基づいて計算された数値であり、労働代替的なロボットの開発可能性や用途等を反映させた予測見込みではない等の問題点があった。

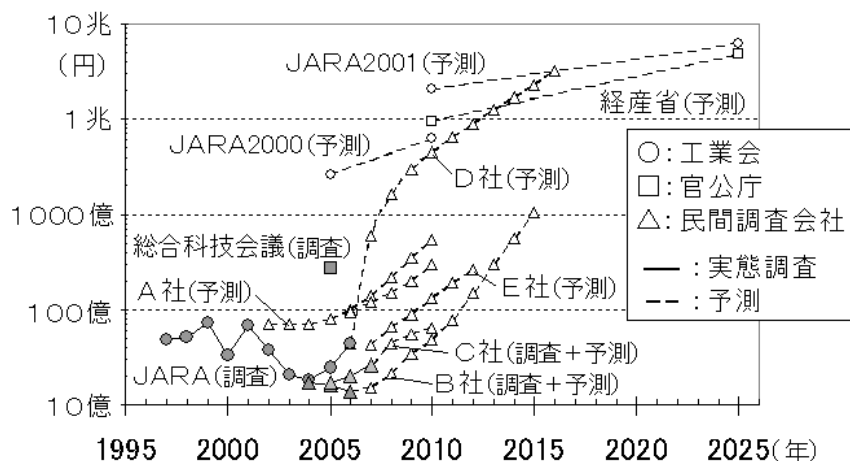


図 1.12 次世代ロボット（非製造業分野）の市場実態調査・市場予測

これを修正すべく、産業技術総合研究所の荒井裕彦氏によって、図 1.12 に示す次世代ロボット（非製造業分野）の市場実態調査・市場予測が示された[2]。これにより同氏は、

「予測の数值はばらつきが非常に大きいものの、民間調査会社の数值はおおむね市場実態と連続した形で予測が行われており、市場の成長率を考慮して算出されていると思われる」としている。平成 20 年度における、いわゆるサービスロボットの市場規模が 100 億円で満たない程度であることを考慮すると、予測幅が数年であることには物足りなさを感じるものの、数値的におよそ妥当なオーダーの予測として成立していることが分かる。

最後に、これも予測幅が小さいが、IFR 統計局による分析結果を参考までに示す[3]。2007 年度までの 5 年間の B to B 仕様のサービスロボットの売り上げ台数成長率は 23.5%、2008 年～2011 年の売上額は全世界でおよそ 9 千億円であろうとしている。他方、B to C 仕様のそれらは、43%、6 千億円近くに達しようと表している。国際的には、軍事目的であってもサービスロボットにカウントされているので、これを除くと、B to B と B to C の売り上げ台数は、オーダー的に類似しているとの予測を立てていることになる。

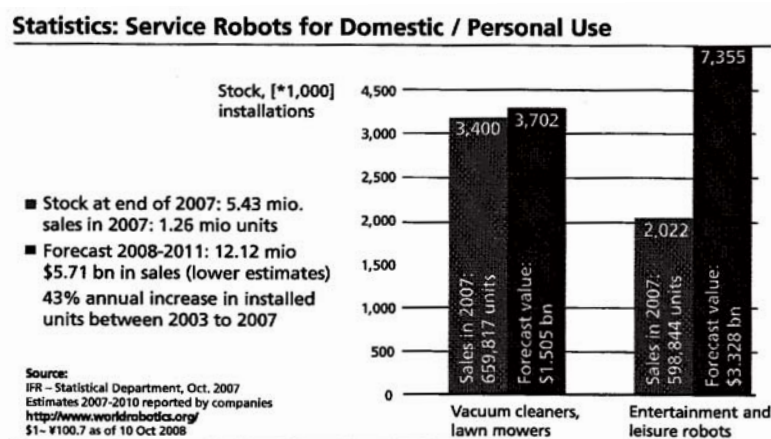
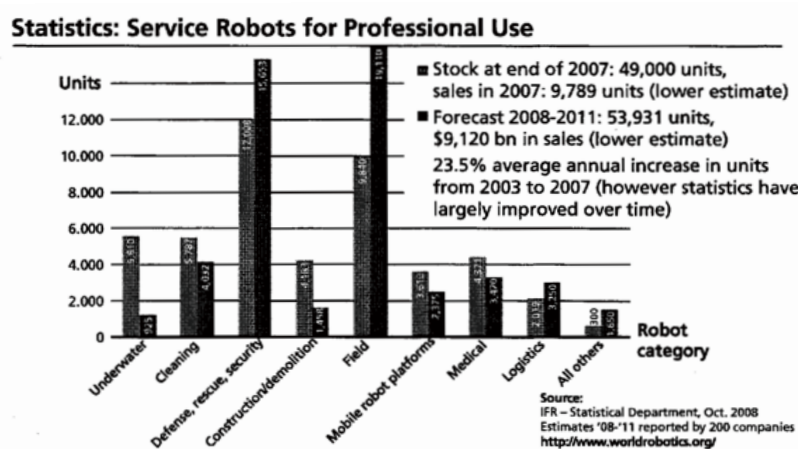


図 1.13 IFR による 2007 年～2011 年の予測（上：B to B、下：B to C）

参考文献

- [1] (社)日本ロボット工業会：21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書、2001。
- [2] <http://staff.aist.go.jp/h.arai/robotics/rsj08.html>
- [3] IFR Stat. Dept., Estimates 2007-2010 reported by companies, 2007.

1.6 次世代ロボットの安全性

1.6.1 安全性重視のサービスロボット技術開発

ロボット技術に関する研究開発でわが国の中核をなす経済産業省製造産業局産業機械課によるロボット産業政策によれば、サービスロボットの市場創出段階はすでに終わり、2015年までのおよそ5年間は普及段階を迎える、とされている。この間の、そしてその後の本格的な普及段階を迎えるにあたり、人間との共存を前提に社会への浸透が期待されるサービスロボットに特徴付けられる技術要件として、第一に挙げられるのが安全性の確保である。同省がこれまでに策定実施したロボットに関わる先行用途開発、ならびに要素技術・基盤技術開発に関する事業でも、ビジネス振興のための事業化支援や制度整備においても、安全性がつねに中心に位置づけられてきている。これは、非製造業分野のロボットが、人間共存型としていくつかの分野で社会への導入が達成された現在、サービスを直接受ける人間、そしてその周囲の人間の安全を確保することが、今後、サービスロボットが社会全体に受容されていく上で、不可欠な条件となるゆえにほかならない。

1.6.2 サービスロボット安全のための一般設計原理

さて、一般の機械設備と同様に、サービスロボットの安全設計はリスクアセスメントから始まる。リスクアセスメントの実施手順は、機械安全の設計原理（ISO-14121[1]）に規定されているとおり、

- a. 使用環境（条件）の整備（合理的に予見可能な誤使用の条件を含む）
- b. ハザード（危険源）の同定
- c. リスクの見積
- d. リスクの評価

に従うものと考えなければならない。そして、d.の評価の結果、許容できないリスクが設計上に残るとなれば、これを低減するための保護方策をとらなければならない。この保護方策は、以下に示す3ステップ法と呼ばれる手順を踏む必要があるとISO-12100-1[2]に規定されている。すなわち、

- a. 本質安全設計
- b. 安全防護策あるいは付加の安全方策
- c. 残留リスク情報の提示

である。

以上の手順は、少なくとも機械安全の枠組みでは、すべて順序まで決まっており、これを図1.14に示す。手順は、入れ替えたり、飛び越したりしてはいけない。たとえば、残留リスクに対処する方策として、第一に本質安全設計に努めるべきであるのに、これを飛ばして、いきなりセンサと制御をロボットに組み込んで安全を確保しようとする安全防護策を講じるようなことがあってはならない。なお、この例によるまでもなく、リスク低減方策の第一ステップである本質安全設計は、サービスロボットの場合とはくに、曝露頻度やコストの低減を考慮すると、とくに重視すべきプロセスであることを断っておく。

リスクアセスメントの中では、同定すべきハザードの網羅性が、以後の危険度のレベル、安全防護手段の選定に影響するため、ハザードの同定は極めて重要な作業であるといえる。リスク分析については、FMEA等様々な手法が使用されているが、基本的には人間が危険

源から被ると予測される危害の大きさ（重篤度）とその発生確率の組み合わせでリスクを表現する。そして、危害の発生確率は、人間が危険源に暴露される頻度（あるいは時間）、危険事象の発生確率、人間が危険事象から回避できる可能性の3つの要素の関数となる。

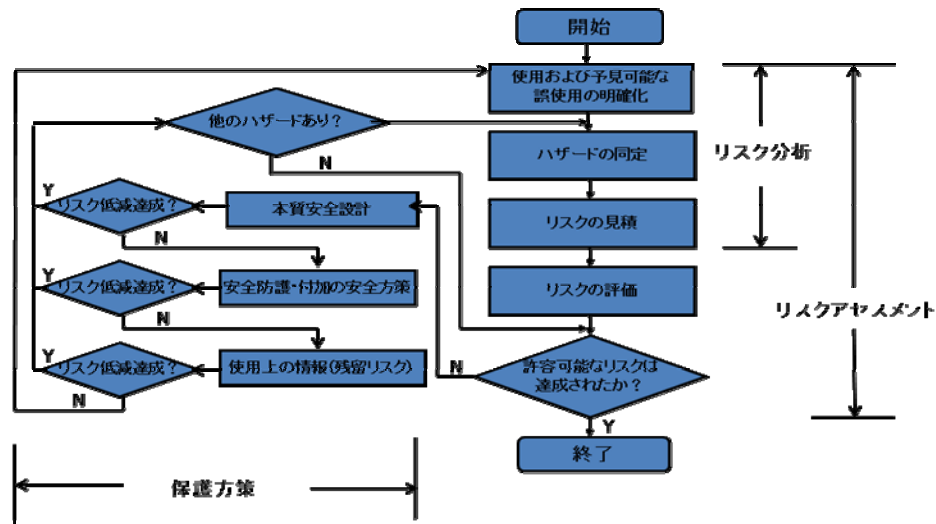


図 1.14 サービスロボットを含む機械安全のための一般設計原理

リスクの要素である重篤度と発生確率の中の曝露頻度と回避可能性を{高、低}によって2段階ずつにわけるだけでも、リスクは8段階に分けられることになる。これにしたがって、レベル付けした上で、許容の可不可、および発生確率に依存したレベルの重み付けを考慮することにより、その後のリスク低減方策として要求される安全技術の水準を決定する指標を定めることができるとされている。これが、昨今しばしば議論される SIL (Safety Integrity Level)や PL(Performance Level)と呼ばれる安全技術の水準指標である。本質安全設計に努めても、残留リスクが許容できない場合には、3ステップ法の第二ステップである安全防護・付加保護方策を講じることになるが、このステップ全体をもカバーしようとする安全技術指針として、「機能安全」[3]と呼ぶ概念が存在する。これは、安全関連系（安全に直接関わる電気電子回路系）における不安全要素の割合を可能な限り低く抑えようとする考えの下に規定されたもので、IEC-61508-1～7(B規格)に表されている。

1.6.3 安全技術に占める社会技術の重要性

いくらレベルの高い安全技術を自前で構築したとしても、これを「安全だ」と自画自賛したところで、社会は容易にこれを信用してくれるわけではない。第三者によって、その安全技術の水準が認証される必要があり、これを客観的に裏付けるためには、定量的な指標や規定化されたプロトコルが必要となる。これは、現在は国際標準の安全規格として任意に定めたものを関連業界が利用する社会システムが国際的に整備されつつあり[4]、ここに社会技術の重要性が認識されることになる。サービスロボット安全に関する製品規格(C規格)は、現在存在しない。この状況を鑑み、わが国では、他国に先駆けて、2007年に「次世代ロボットの安全確保のためのガイドライン」[5]を策定した。このガイドラインは、機

械安全におけるリスクアセスメントおよびリスク低減のプロセスを実施する姿勢に準ずる規定にすぎないといえるが、特筆すべきは、1) 次世代ロボットの関係主体を製造者と使用者に限ることなく、例示として、管理者、販売者から、ロボットの種類に応じて、使用者以外の者として、通行人や医療施設での患者などまでを取り上げ、とくにリスクアセスメントの段階で考慮すべしとしていること。そして、2) それぞれの立場で、リスクアセスメントからリスク管理まで、社会の構成員として次世代ロボットを受容するための取り組み方針を明記した、の2点であり、これによりロボットの社会的受容性の観点で、極めて意義深い内容になったと判断される。

最後に、上述した規格策定も安全なサービスロボットを社会的に受容するための1つの社会技術である。社会構造観点からすれば、製品を生み出し[メーカー]、これを使う[ユーザ]という立場に加え、万一の事故が生じた際に彼らの間に立って補償を行うという[保険]も含めて、第1義的なサービスロボット製品のステークホルダーに加え、規格・認証・規制という、第2義的ながら極めて重要なステークホルダーが存在する。図 1.15 に安全なサービスロボット製品を社会が受容するための社会構造を示すが、彼らの間で健全な責任分担が執り行われて初めて、サービスロボットは持続的で安心な社会に役立つ要素となるのである。現在、わが国が他に先駆けてそのような社会構造を構築すべく、図 1.15 の制度設計の概念に基づいて立てられた基本計画に沿って NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」が稼働している。

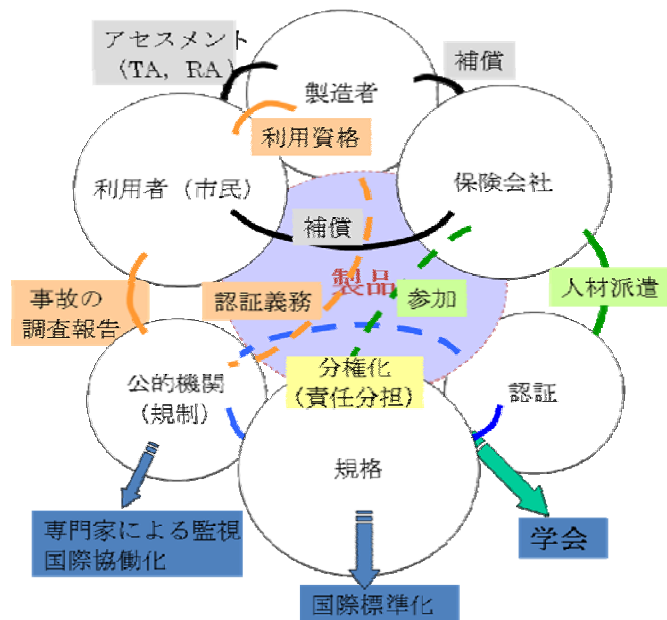


図 1.15 安全なサービスロボットを社会的に創出するための責任分担構造（[6]の図 1）

参考文献

[1] ISO 14121-1:2006(E), Safety of machinery — Risk assessment — Part 1: Principles, 2006.
 [2] ISO 12100:2003, Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design, 2003.
 [3] IEC-61508-1:1998, Functional safety of E/E/PE safety-related systems – Part 1: General requirements.
 [4] 日本ロボット工業会編，サービスロボットの安全等国際標準化に関する調査研究成果報告書，2009.
 [5] http://www.meti.go.jp/press/20070709003/02_guideline.pdf
 [6] 山田:”ロボット安全のための制度設計に関する一提案”，ロボット, No. 168, pp. 53-55, 2006.

第2章 ロボットの分野別動向と将来展望

2.1 フィールド応用・支援ロボット

2.1.1 農業ロボット

(1) 国内市場規模

農業に関する機械全体の出荷額等の実績を図 2.1 に示す。

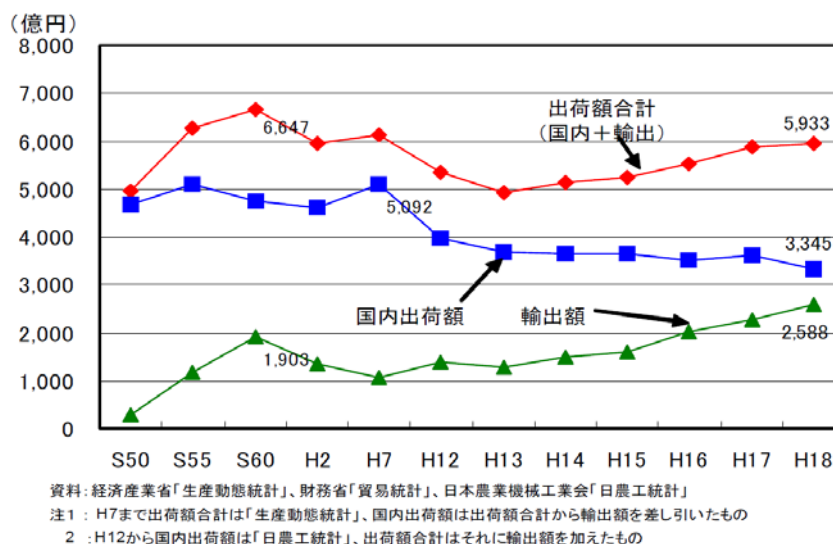


図 2.1 農業機械の出荷額等の実績[1]

(2) 実用化・市販化されているロボット

① 搾乳ロボット「オートマチック・ミルクングパーラー」

[開発] 株式会社エム・エー・ティー[2]（オリオン他による出資会社、出資期間平成4～10年度）

[販売] オリオン機械株式会社
（平成11年度より市販）

[概要] 酪農家の飼養管理作業の中で、約50%を占める搾乳作業を合理化する搾乳ロボット及び省人化した高度な総合的な酪農飼養管理システム。乳牛の動きに追従しながら、乳頭位置検出センサで乳頭位置を高精度でリアルタイムに検出、ミルクングユニットを装着し自動搾乳する。

[その他の情報]

- ・上記の搾乳ロボットに関する特許情報：[4]
- ・搾乳ロボットに関しては、1970年代からヨーロッパを中心に開発が進められており、現在日本国内で数社から市販されている。

② 接木ロボット[5]

[開発] 井関農機株式会社（農業機械化促進法に基づき、農林水産大臣の定める野菜接ぎ木ロボットとして、生研機構（現生研センター）の委託により開発し、新農機（株）の実用化促進事業により商品化された）

[販売] 井関農機株式会社[6]

[概要] 野菜の苗を作るための接ぎ木を自動で行うロボット。2つの苗を鋭利なナイフ

で切り、それらを繋ぎ合せてクリップで止める、という作業(図 2.3 参照)を高速で行う。人手と比較して 8~10 倍の生産能力があり、ウリ科用(キュウリ、スイカ、メロン)とナス科用(トマト、ナス)に対応している機種がある。

[その他の情報]

上記ロボットに対する改良研究[7](苗の自動補給 上記ロボットは手動で苗を補給する必要がある。)

(3) 研究事例

国内における農業ロボットの研究は以下の研究グループなどが行っている。

① 京都大学 近藤直教授ら[8]

トマトやナスなどのハウス園芸作物を対象とした、ハウス内の管理・収穫ロボットおよび自動選果システムの研究。[9]

② 北海道大学 野口伸教授、石井一暢準教授ら

大規模農園内におけるトラクター等農業用移動機械の自律移動に関する研究。[10]

(4) 今後の開発動向[11][12]

日本国内における農業に対する就業人口の減少や、輸入食材による農家経営の圧迫、食料自給率の回復などの解決策として、高度に発達した日本のロボット技術の農業応用が期待されている。応用するロボット技術別の今後の動向として、以下のような開発傾向がみられる。

① 移動ロボティクス

広大な田畑の管理や、耕運、苗植え、収穫などを自動化するため、不整地においても円滑な移動が可能であるロボットが開発されている。車両移動、多脚ロボットによる歩行移動、ハウス内の吊り下げ移動ロボットなどの移動手段のほか、GPSによる田畑のマッピングや複数の移動ロボットの協調動作なども研究されている。

② マニピュレーション・ハンドリング

収穫作業を自動化するためには、作物を丁寧に扱わなければならない。そのための収穫用ハンドロボットが開発されている。多指ハンドのほか、特定の作物を対象とした特殊形状のハンドなどが開発されている。

③ ビジョンロボティクス

田畑管理(除草作業、病虫害検出、作物の成長管理)や収穫、選別といった作業のためのロボットビジョンシステムが開発されている。特に、収穫物を大きさや品質などの等級に自動分類する選別システムにおける実用化が期待されている。

2.1.2 航空ロボット

他のロボット応用分野と比べて、航空ロボットは応用例・開発例が少ない。日本国内における航空産業は主に輸送目的であり、旅客機などの大型飛行機体は大手メーカーなどで



図 2.2 接木ロボット[5]

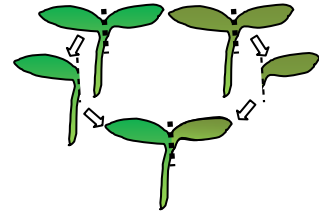


図 2.3 接木作業

しか開発がなされていない。小型の飛行機体は多くの大学の研究室で飛行ロボットとして研究されているが、高度飛行の許可や飛行機体の航行資格など、法的な制限により研究が制限されている。

(1) 実用化・市販化されているロボット

小型ヘリコプターなどは市販されているが、それらはラジコンの延長であるものがほとんどであり、ロボットと称するほどの知能化はなされていない。

(2) 研究事例

国内における航空ロボットの研究は以下の研究グループなどが行っている。

① 電気通信大学 田中一男教授ら[13]

運動性に優れた飛行方式であるパンダグラフ機構を有する飛行ロボットに関する研究。[14]

② 龍谷大学 辻上哲也教授ら

ホバリングによる位置姿勢維持が可能な羽ばたき型飛行ロボットに関する研究。[15]
また、海外では以下の研究グループらが研究を行っている。

③ スイス チューリッヒ工科大学 Siegwart Roland 教授ら

ヘリコプター型の飛行ロボットについて、4枚の回転翼を有する場合の解析などに関する研究。[16]

(3) 今後の開発動向

① 飛行制御

空中は風の影響を受けやすいため、外乱に対して強い制御方法が飛行ロボットには求められる。

② 飛行方式

離陸の際に地形の影響を受けにくいヘリコプターのような飛行形態のほか、昆虫など生物の飛行に着目した羽ばたきロボットの研究・開発が多く行われている。

③ 自律ロボティクス

災害現場や火口付近など、人間が容易に近づけない場所の調査などに小型の飛行ロボットは適している。現在はラジコンのような遠隔操作を行っているが、自律的に飛行できるロボットが研究されている。

2.1.3 林業ロボット

林業に用いられる機械、手持ち用のチェーンソーなど以外では大型の機械が多い。近年では枝打ち作業をロボットに代替させる傾向がある。

(1) 実用化・市販化されているロボット

① 自動枝打ち機「えだうちやまびこ」[17]

【開発・販売】 セイレイ工業株式会社[18] (09.8.20 から生産・販売中止)

【概要】 労力を要する、木の枝打ち作業を行うロボット。木の根元で木に抱き付け、ラジコン操作によりチェーンソーによる枝打ちをしながら螺旋状に木を登っていく。

(2) 研究事例

国内における林業ロボットの研究は、主に枝打ち作業に関して以下の研究グループな

どが行っている。

- ① 岐阜大学 川崎晴久教授ら[19]
自律可動型の枝打ちロボットに関する研究。[20]
- ② 早稲田大学 菅野重樹教授ら[21]
操作型の枝打ちロボットに関する研究。[22]
- (3) 今後の開発動向
節のない材木にするためには枝打ちは必要な作業であるが、
林業従事者の減少や労力等により、ロボットによる自動化が
望まれている。枝打ちロボットの開発は以下のような開発動
向がある。

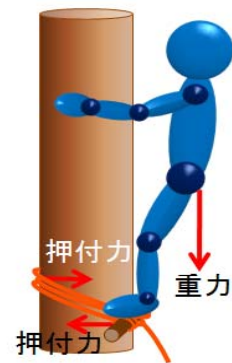


図 2.4 ぶり縄による木登り

- ① 昇降方式
螺旋昇降や直動昇降などの昇降形式のほか、図 2.4 に示すぶ
り縄を利用する木登り方法を応用した木に対するロボット本体の機体維持方法などが
研究[20]されている。
- ② 枝の切断
チェーンソー等道具による切断に関する研究のほか、枝のある場所でのみ切断機構を
動作させるなど省エネルギーな切断方法が研究されている。
- ③ 枝マッピング
効率の良い枝打ちや、ロボットの動作計画のための、ロボットビジョンによる枝のマ
ッピングを行う研究が行われている。

2.1.4 漁業ロボット

- (1) 国内市場規模
2005 年度のかつお釣りロボットおよびイカ釣りロボット販売実績[23]：合計約 11 億
円。
- (2) 実用化・市販化されているロボット
 - ① 「かつお釣りロボット」[24]
【開発・販売】 古野電気株式会社[24]
【概要】 人手不足解消のため、かつお漁船に搭載される
ロボット。誘いをかける、引き寄せて釣り上げる、
魚の重量計測、脱餌動作など一連の動きを行うこ
とができる。



図 2.5
かつお釣りロボット[24]

- (3) 研究事例
水中ロボットに関して、国内では以下の研究グループが研究を行っている。
- ① 九州工業大学 石井和男准教授ら
生体の運動制御機構を模倣した、水中環境に適應可能な水中自律行動ロボットに関す
る研究。[25]
- ② 東京理科大学 稲垣詠一教授ら
水中における速度・旋回性能が優れた、ウナギ型水中ロボットに関する研究。[26]
また、海外では以下の研究グループなどが研究を行っている。

- ③ カナダ マギル大学 Dudek Gregory 教授ら
水中環境に適応可能な水中自律移動ロボットに関する研究。[27]
- (4) 今後の開発動向
漁業のみを目的とせず、海洋調査など広い目的を持つ水中ロボットは多数研究されている。それらのロボットは漁業にも応用が可能である。研究の開発動向を以下に示す。
- ① 水中環境への適応
水中は地上と比べて水圧や対流などにより過酷な環境であるため、それらに適応できるような機体の姿勢維持や推進方法などが研究されている。
- ② 自律ロボティクス
水中ロボットに対しても自律的な行動が要求されるが、透明度が低く、また光も届きにくい水中での視覚など、地上とは異なるアプローチが必要とされている。

2.1.5 鉱業ロボット

過酷な環境のために人手が不足しがちな鉱山では、採掘資源の輸送のために大型ダンプの無人運行システムが導入されている。

- (1) 実用化・市販化されているロボット

① 無人ダンプ運行システム[28]

【開発・販売】 株式会社小松製作所（コマツ） [28]

【概要】 290 トンの積載能力を持つ世界最大級の電気式ダンプトラックを無人で走行させるシステム。チリ、オーストラリアで稼働中。



図 2.6 無人ダンプ運行システム[28]

参考文献

- [1] 農林水産省生産局農産振興課：“農業機械に関する研究開発の展開方向について”，
http://www.maff.go.jp/www/council/council_cont/seisan/kikai/03/data02.pdf
- [2] 株式会社エム・エー・ティー：<http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/shusi/seika/mat.htm>
- [3] オリオン機械株式会社：<http://www.orionkikai.co.jp/>
- [4] J-TOKKYO：“自動搾乳機”，<http://www.j-tokkyo.com/1997/A01J/JP09000100.shtml>
- [5] 井関農機株式会社：“接木ロボット”，
<http://www.iseki.co.jp/products/nougyou/tugiki.html>
- [6] 井関農機株式会社：<http://www.iseki.co.jp/>
- [7] 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構：“野菜接木作業の完全自動化を実現-野菜接木ロボット用自動給苗装置を開発中”，
http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Press/iam_press070703-1.htm
- [8] 京都大学 近藤研究室：<http://www.aptech.kais.kyoto-u.ac.jp/member/staff/st1.html>
- [9] 近藤直他：“トマト管理・収穫用ロボットの研究”，日本機械学会 ROBOMECH2009 予稿集，1A2-B16，2009.
- [10] 野口伸他：“ロボット車両を利用したフィールド空間の情報化に関する研究”，日本機械学会 ROBOMECH2006 予稿集，2A1-B17，2006.

- [11] 農林水産省生産局農産振興課：“農業機械に関する研究開発の展開方向について”，
http://www.maff.go.jp/www/council/council_cont/seisan/kikai/03/data02.pdf
- [12] 新農業機械実用化促進株式会社他：“進展するロボット化技術と農業機械の開発・改良”，
http://www.shinnouki.co.jp/report/doc/h18new_tech_seminar.pdf
- [13] 電気通信大学田中研究室：<http://www.rc.mce.uec.ac.jp/>
- [14] 田中一男他：“翼の変形を抑制するための両持ち構造を有するパンタグラフ式回転翼の開発”，日本機械学会 ROBOMECH2009 予稿集，1A2-E14，2009.
- [15] 辻上哲也他：“羽ばたきロボットの羽根の動きとそのまわりの流れ”，日本機械学会 ROBOMECH2009 予稿集，1A2-E18，2009.
- [16] Siegwart Roland 他：“New Design of the Steering Mechanism for a Mini Coaxial Helicopter”，Proc. of IROS2008，pp. 1236-1247，2008.
- [17] セイレイ工業「自動枝打ち機」：
<http://www.seirei.com/products/fore/ab232r/ab232r.html>
- [18] セイレイ工業株式会社：<http://www.seirei.co.jp/>
- [19] 岐阜大学川崎・毛利研究室：<http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/jp/index.html>
- [20] 川崎晴久他：“Novel Climbing Method of Pruning Robot”，Proc. of SICE Annual Conference 2008，1A07-2，2008.
- [21] WOODY Project Page：http://www.sugano.mech.waseda.ac.jp/woody/top_j.htm
- [22] 菅野重樹他：“街路樹登りロボット WOODY-2 の開発”，日本機械学会 ROBOMECH2009，1A2-D07，2009.
- [23] 総合科学技術会議 科学技術連携施策群 次世代ロボット連携群：“ロボット総合市場調査報告書-2005 年度実績-”，
<http://www.renkei.jst.go.jp/platform/robot/robot.hokoku.pdf>
- [24] 古野電気株式会社：<http://www.furuno.co.jp/index.html>
- [25] 石井和男他：“自律型水中ロボットにおける視覚情報による自己位置の推定”，日本機械学会 ROBOMECH2009，1P1-B07，2009.
- [26] 稲垣詠一他：“ウナギ型水中推進ロボットの狭路推進性能”，日本機械学会 ROBOMECH2008，2A1-A16，2008.
- [27] Dudek Gregory 他：“Enabling Autonomous Capabilities in Underwater Robotics”，Proc. of IROS2008，pp. 3628-3634，2008.
- [28] 株式会社小松製作所：“コマツ，リオ・ティントに無人ダンプ運行システムを導入することで合意”，
<http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/press/2008011815284104050.html>

2.2 産業応用・支援ロボット

2.2.1 産業用ロボット

産業技術総合研究所の荒井裕彦氏が比較分析した産業用ロボット（製造業分野）の市場調査・市場予測によれば[1]、産業用ロボットは景気変動による企業の設備投資意欲の影響を受けやすいので、かなり増減が見られるが（図 2.7 (a)参照）、ここ 20 年間の年間平均成長率は 1.72%であり、全体としては拡大傾向にある。また、図 2.7 (b)は市場予測を加えたものであるが、図からわかるように、市場実態調査と市場予測が無理なく連続しており、また過去の時点で予測された市場の成長が実際にほぼ達成されているとしている。2015 年辺りで 1 兆円を突破すると予想されている。

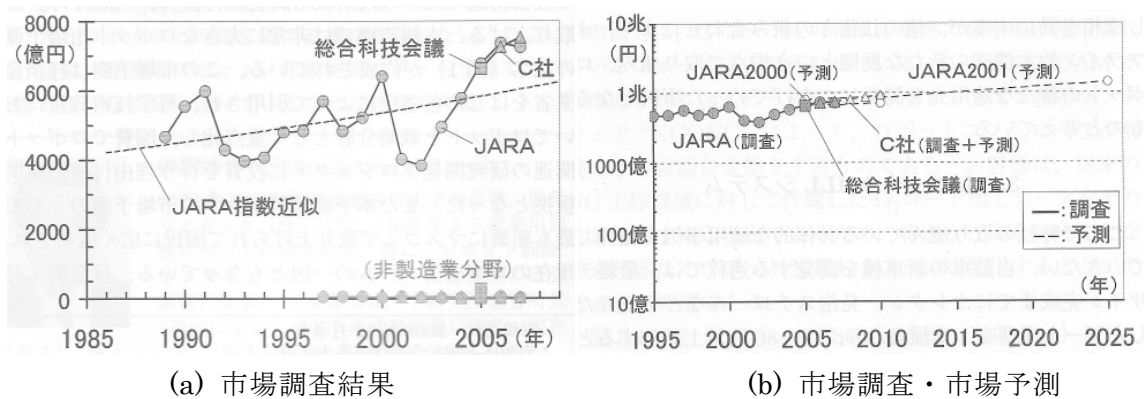


図 2.7 産業用ロボット（製造業分野）

① 双腕ロボット

（株）安川電機は、図 2.8 に示すような人間に近い形や動きをする新世代産業用ロボット「MOTOMAN-SDA10」を開発し、人間と共存しての作業や補助を行うロボットを業界で初めて量産化し市場へ供給している[2]。ロボットへの単純な置き換えが困難であった製造ラインの組立工程、物流プロセスの工程間搬送など、人が行っていた作業をそのままロボットに置き換えられる。すなわち、作業環境の変更を最小限にできる。また、作業時間の短縮やスリムボディ化など、市場からの強い要望に応える形で開発された。

小さな部品の組立現場では、作業者の身近に工具や取り付け部品を配置し、最小限の動作範囲で効率的に作業ができるように工夫されている。その結果、手先の移動距離が短くなり加減速を繰り返すので、モータ出力のアップ、動力伝達ロスの低減、減速比の最適化が図られている。

人間の上半身に近いフォルムへとスリム化し、関節の電動機構の扁平化を行っている。これにより、肩幅が 500mm、肩位置の高さが 1200mm へと上方配置することで、ロボットの動作範囲を作業台上の最適領域に確保している。また、腕自体も断面積のス



図 2.8 双腕ロボット
（安川電機）

リム化で、組立時に発生しやすい腕同士の干渉や組み立て対象との干渉を大幅に低減している。

さらに、7自由度アームであることで、あるハンドの位置・姿勢に対して、自由なアーム姿勢を取ることができる。また、この特性を生かすために、アームの姿勢・経路を算出する新しいティーチング支援ソフトも準備されている。

主な用途は、製造業における組立作業（ボルト締め、部品組付け・挿入作業、部品搬送）、物流プロセスにおける搬送作業（各種部材の工程間・工程内搬送、工程前配膳）となっている。

ヒューマノイドロボットが作業現場で働くのはまだ先であるが、産業用ロボットが進化し、人間のような姿で巧みに作業する日は近いと思われる。

② 知能化ロボット

ファナック（株）は、図 2.9 に示すようなロボットの様々な知能化を図っている[3],[4]。

まず、立体センサを用いて、バラ積みされた部品をハンドリングする機能である。あらかじめ部品をきちっと並べる手間が省けて効率的であり、また専用の部品供給機や整列用パレットが必要なく、低コスト化が図れる。次に、力センサを用いて、部品の精密嵌合作業を行う機能である。部品の単純な挿入だけでなく、回しながら位相を合わせて挿入することもできる。また、ロボットと周辺環境との干渉を瞬時に検知して緊急停止する機能を有する。これにより、ロボットやワークの破損を防ぐことができる。そして、ネットワークで繋がれた複数のロボットを、あたかも1台のロボットのように協調して動作させることができる機能が開発されている。1台のロボットだけでは取り扱い難い大きな対象を、複数のロボットで把持して搬送することができる。

ロボットをどのように知能化するかは、そう簡単な問題ではない。熟練作業者の技能に学ぶことがよくあるが、熟練作業者の何をロボットに組み込むかは難しい問題である。しかし、今後、熟練作業者が減少する中、ロボットの知能化はますます重要となる。

③ 大型ロボット

生産ラインでの液晶ガラス基板は大形・高重量化し、人間による搬送はもはや不可能となっている。(株)安川電機の第10世代液晶ガラス基板搬送ロボット「MOTOMAN-CDL3000D」は、液晶薄型テレビの生産性向上のために大形化が進む液晶ガラス基板を搬送するロボットである(図 2.10 参照)。最新・最大の第10世代液晶ガラス基板(3m×3m)に対応するために、新技術の昇降軸ダブルリンク機構を採用しており、世界最高の高速・高精度・安定搬送を実現している。同



図 2.9 知能化ロボット
(ファナック)



図 2.10 大型ロボット
(安川電機)

ロボットは、「今年のロボット」大賞 2008 日本機械工業連合会会長賞を受賞している [5]。

昇降軸ダブルリンク機構では、リンク機構が相互に支え合う構造によりアームのたわみや歪みを相殺し、軽量アームにもかかわらず高剛性を実現し、高速・高精度で安定した搬送を可能としている。また、各リンクを独立制御することで昇降動作だけでなく左右動作・ひねり動作も可能となっており、微妙な位置ズレの補正ができる。

ロボットを拡販するためには、市場の横展開も必要となる。上記大型ロボットは、太陽電池パネル製造ラインへの適用も期待されている。

④ ムダ取りロボット

(株)デンソーウェーブの組込型ロボット「XR-G シリーズ」は、時間、空間、エネルギーおよびコストのムダを省くロボットである (図 2.11 参照)。直動軸と回転軸を組み合わせ、動作を大幅に高速化するとともに、天吊り構造により対象物の搬送距離を最短にでき、作業の高速化を実現している。また、本構造により、生産設備を小型コンパクト化できる。本ロボットは、「今年のロボット」大賞 2008 優秀賞一産業用ロボット部門を受賞している [5]。

従来は、生産設備の中央にまずロボットを配置した後、ロボットが扱う部品を周りに配置していたが、本ロボットを使うと、最初に部品の移動を最小にする配置を決めることができる。生産システムまで踏み込んで開発されたロボットとして高く評価されている。

今後、生産設備とロボットの両者を考慮した最適化が重要と言える。

⑤ 溶接ロボット

溶接ロボットの主たるユーザーは自動車業界であり、2005 年ごろから生産性や品質の向上が求められてきている。

(株)不二越は、2002 年には、空圧シリンダからサーボモータ駆動の溶接ガンに切り替えた「サーボガン」を搭載した SH シリーズを投入し、2006 年には、図 2.12 に示す溶接ケーブルを内蔵したプレスト ST シリーズを市場に出している [6]。サーボガンにより、空圧制御に比べ、所定の加圧力に安定するまでの整定時間が短くなっている。また、溶接ケーブルをアームに内蔵することで、周辺環境やロボット同士の干渉を最小限に留めている。また、力センサを内蔵してガンの加圧力を直接計測し、フィードバックにより正確な加圧力を実現している。さらに、ガン先端に超小型カメラを埋め込み、教示位置誤差を自動修正する機能を有して



図 2.11 組込型ロボット (デンソーウェーブ)



図 2.12 溶接ロボット (不二越)

いる。

なお、現在の溶接ロボットは、ほとんどティーチングプレイバック方式が採用されているが、ティーチングに多大な時間がかかっているのが現状である。そこで、視覚センサを用いたビジュアルフィードバックによりティーチング自体を不要とすることが究極の目標とされている。

⑥ セル生産ロボット

近年、製造業は消費者ニーズの多様化、個性化、経営スタイルの変化などによって、大量生産方式から多品種少量生産方式へと転換しつつある。モノづくりの現場では、労働者の減少や高齢化という問題に直面することとなり、労働弱者でも生産効率を上げることが求められる。その中で、セル生産方式の工場では、人手不足や高齢化による作業能力の低下を補うために、ロボットの導入が必要不可欠となっている。

I D E C（株）では、ロボットをフルに活用した自動化セル生産システム「ロボット制御セル」を 2004 年 4 月、世界に先駆けて実稼動させ、高性能・高信頼性を有する産業用スイッチや産業用リレーの生産に成功している。ロボットを最大限活用し、前工程および後工程含めて制御し、全体最適制御設計を行っている。ファナックが開発したロボットセルは、知能ロボット技術を駆使して、従来人手に頼っていた作業をロボットに置き換えたシステムである。知能化ロボットには、ビジョンセンサとサーボハンドを採用、多種多様な素材を正確に加工台に装着することを可能にした。素材を自動倉庫に置いておくだけで工作機械にセットされ、加工が完了する。保守・点検要員が一人いるだけで長時間連続運転が可能で、従来システムに比べ大幅なコストダウンを実現した。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、平成 18 年度から平成 22 年度まで、「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」に関する戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクトを実施しており、

- (a) 作業者とロボットとが協働できるための安全管理技術の開発
- (b) 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の開発
- (c) 作業者が習熟しやすい作業情報提示技術の開発

を目指して研究を進めている。NEDO の委託業務により、京都大学が人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発を行っている。

現在工場で実用化されている産業ロボットは出力が大きく、作業者の安全を確保するために柵等で囲って隔離されている。セル生産では作業スペースが狭く、協調作業もあるため、このようなロボットの使用は難しく、今後、図 2.13 に示すような人と一緒に作業することができるコワーカーロボットが必要となる。

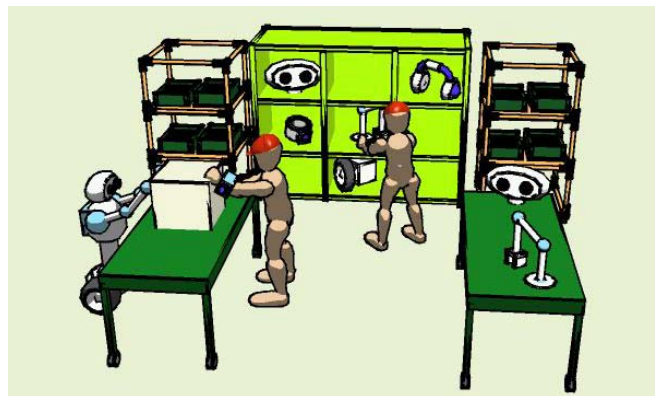


図 2.13 セル生産用コワーカー
ロボット

2.2.2 物流ロボット

(株)明電舎のAGVは、台車形、潜り込み式（手押しカゴ台車の下に潜り込んで牽引搬送）、リフト式（パレットをリフトアップして搬送）など荷姿や用途に応じた搬送方式や、磁気、レーザー誘導式など、使用する環境に応じた最適なシステムが可能となっている。運行制御技術として、無人搬送車の自律運行、無線LAN管制による集中制御や自律交差点制御、自動充電システムなど導入する現場に応じた制御技術を保有している。また、障害物センサ、警報装置、自己診断機能、車輛状態モニタなど安全対策が充実している。



図 2.14 ロジスティクス支援ロボット（日立製作所）

また、(株)日立製作所では、図 2.14 に示すような知能型ロジスティクス支援ロボット「Lapi」を開発している[7]。このロボットが従来のAGV

と大きく異なる点は、搬送経路を誘導するためのガイドラインがいないことである。通常の無人搬送車では、ガイドラインに磁気テープを利用するものが主流だが、レイアウト変更が必要になるとガイドラインも貼り直す必要がある。

しかし、本ロボットでは、レーザー距離センサを用いた高精度な位置検出技術により、ガイドラインなしでの自律走行が可能になっている。これにより、搬送経路やレイアウトの変更にも柔軟に対応でき、荷物や歩行者などの障害物がある場合でも停止することなくスムーズに回避できる。

さらに、複数のロボットが互いに通信し、連携する機能を搭載している。これにより、複数ロボットを1台の機器のように連動させ物品を搬送することができるため、運搬量の変動に柔軟に対応できる。また、搭載した直交ロボットハンドにRFIDリーダーを取り付け、棚にある物品をスキャンしてRFID情報を読み取り、物品を認識して棚卸作業が行なえる。

今後は、物流分野だけでなく、オフィスや病院、駅、空港などでの搬送、人のサポートにも適用できる可能性があり、ますます身近な存在になる。

(株)豊田自動織機では、ユニット式パレット用自動倉庫「ラックソーターP」を開発している。優れた保管効率やスピーディーな入出庫能力などが認められ、製造業、運輸業のほか、幅広い業種に導入されている。近年、自動倉庫に対するニーズは、これまでの「保管効率アップ」「在庫管理レベルの向上」「省人化」に加えて、故障の未然防止や万が一故障した際の早期復旧といった「安定稼働」へとレベルが上がっている。そこで、予防保全による「安定稼働」の確保という観点から、消耗部品交換時期を自動的に知らせる機能を装備し、また、万が一の故障の際にも早期復旧を支援する異常復旧ガイダンス表示機能なども搭載している。

最近、この自動倉庫の技術を応用し、遺骨箱を出し入れする納骨堂建設にも力を入れている。都会では墓地不足が深刻化し、核家族化で個人墓や夫婦墓の需要も見込まれる中で、ハイテク納骨堂の将来性に期待が寄せられている。

2.2.3 建設ロボット

(株)フジタと国土交通省九州技術事務所の共同開発による災害復旧ロボット「ロボQ」がある[8]。図 2.15 に示すロボQは、雲仙普賢岳のプロジェクトで開発された遠隔操縦システムを用いて動かし、一般的な重機に取り付け可能という汎用性を備えている。部品は全てユニット化されており、2～3人が2～3時間程度で重機に取り付けることができる。

今後、建設業界では、施工環境が悪い場所（焼却場などの解体・撤去、廃棄物処分場の整地作業）での作業や、無人で施工せざるを得ない危険な場所などでの工事に、ロボットの遠隔操縦の技術を活かせる。現在、西日本を中心に徐々に現場への普及も始まっている。

また、東京工業大学と大昌建設（株）との共同研究で開発されている法面（のりめん）作業用四足歩行ロボット「TITAN XI」がある。全重量7トンで、アンカーロックボルト工法を実施する。測量技術に応用した自己位置同定や構造物をよける歩容生成がポイントの大型建設ロボットである。

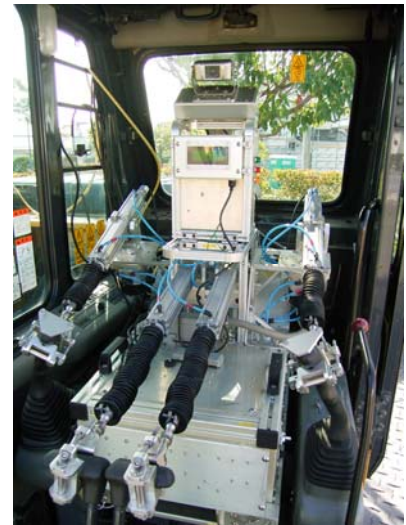


図 2.15 建設ロボット
(フジタ)

2.2.4 メンテナンスロボット

富士重工業（株）は、ビルメンテナンスとして、図 2.16 に示すようなエレベータ連動ビル清掃ロボットシステムを開発している[9]。清掃時間や場所を設定すると無人清掃ロボットが格納場所から自動発進し、自車位置を確認しながら自動で床を清掃、さらにエレベータに設置する光伝送装置と通信、ドアの開閉を指示しながら各階を移動し、清掃を済ませると元の格納場所まで戻るシステムを実現している。

省人化により、従来人手に頼っていた清掃コストの低減が期待できる。さらに、警備機能が付与されており、巡回警備業務コストの削減も図れる。また、高経年化した原子力発電プラントが増加しており、稼働率向上のため、原子炉内の点検や保全作業を短時間で実施することが求められている。(株)東芝は、水中や放射線環境下で使用が可能な汎用多軸アームと、アームが周辺構造物と干渉することなく動作できる経路を自動生成する手法を開発している[10]。これにより、原子炉内作業を従来に比べ短い準備期間と施工時間で行うことが可能となっている。今後、原子力発電所、再処理施設および核融合実験炉などで遠隔作業装置としての適用を目指している。

メンテナンスロボットや建設ロボットは、人間にとって危険な環境での作業を行うことができ、今後ますます活躍する場が増えると予想される。



図 2.16 ビル清掃ロボット
システム（富士重工業）

参考文献

- [1] 荒井裕彦：ロボット産業に関する市場調査・市場予測の比較と分析，日本ロボット学会誌，vol.27, no.3, pp.265-267, 2009.
- [2] 進化した上半身 高い身体能力を持つ労働力へ 安川電機の新世代産業用ロボット MOTOMAN-SDA10, <http://www.yaskawa.co.jp/newsrelease/2007/23.htm>
- [3] 榊原伸介：工場で働くロボットー産業用ロボットの現在と未来ー，日本ロボット学会誌，vol.27, no.3, pp.263-264, 2009.
- [4] FANUC Robot i series 知能化，<http://www.fanuc.co.jp/ja/product/robot/intelligence/intelligence.html>
- [5] 「今年のロボット」大賞 2008, <http://www.robotaward.jp/archive/2008/prize/>
- [6] NACHI-BUSINESS news, vol.10B1, June, 2006.
- [7] (株)日立製作所機械研究所 ラボラトリー・レポート，はいたつく，12, pp.19-20, 2008.
- [8] (株)フジタ 社会に役立つ技術を開発するーフジタの無人化施工技術，
<http://www.fujita.co.jp/zoomup/000390.html>
- [9] 富士重工業（株）エレベータ連動ビル清掃ロボットシステム，http://www.fhi-clean-robot.jp/robot_seisou.htm
- [10] 笠井茂，松崎謙司：汎用多軸アームと動作経路の自動生成手法，東芝レビュー，vol.64, no.1, pp.56-59, 2009.

2.3 生活応用・支援ロボット

2.3.1 福祉・生活支援ロボット（生活支援ロボット、サービスロボット、介護ロボット、リハビリロボット、警備ロボット、救護ロボット、掃除ロボット）

(1) 福祉・生活支援ロボットのニーズと必要な技術開発

ロボットテクノロジーの2015年の市場規模は、2.7兆円、2020年では、4.5兆円といわれている。また、リハビリテーション・介護ロボットなどの介護福祉分野で利用されるロボット技術の市場は、2010年で2,400億円規模、10年後の2020年には、5,400億円と2倍以上の市場となることを見込まれている。また、経済産業省のロボット政策においても2015年からサービスロボットや人間支援型ロボットが本格普及段階に入ることを示している[1]-[4]。経済産業省の人間生活技術戦略において、少子高齢化への対応、および経済活性化の両立させるために、介護予防に対する機器やシステム開発が、今後ますます重要視されている。このように、ロボット関連技術は、ポスト自動車産業を担う次世代産業技術として、重要な成長産業である。

さて、福祉・生活支援ロボットのニーズとしては、

・家事、雑事をサポート ・介護をサポート ・自立をサポート ・機能回復（リハビリ）をサポート ・移動を補助 ・パートナーとしてのコミュニケーション ・安全や安心の確保（戸締り忘れの防止、火気、水まわりの監視、緊急時の連絡、警護、救護）などがあげられる。福祉・生活支援ロボット開発に必要な代表的技術開発としては、ロボットと人間のインタラクション技術、および、個人個人に対応できるテーラーメイド技術である。したがって、福祉・生活支援ロボットの開発には、(A) 環境構造化・標準化：ロボットが自らを理解する。(B) コミュニケーション：人とやり取りする。(C) マニピュレーション：家庭内軽作業を行える。(D) 移動：屋内を移動して家事支援を行う。(E) エネルギー源・パワーマネジメント：いつでも使用できる。(F) 安全技術：人に対して安全である。(G) 運用技術：誰でも使える。などの技術開発が必要である。

現在の福祉・生活支援ロボット開発では、高齢者とロボット、ロボットと実環境という直接的なインタラクションが求められているが、人間が機械システムに自然に接するという基本機能の研究が不十分である。人間とロボットの知的関係の確立のための研究が、今後益々重要である。福祉・生活支援ロボット開発における共通の問題としては、下記のような点があげられる[5]。

- ・必要な性能が明確になっていない。
- ・必要な要素技術、システム化技術が明確になっていない。
- ・実用化は限定的なものにとどまっている。
- ・福祉・生活支援ロボット開発では、単独動作の開発が多く、図 2.17 に示したような生活の流れを考慮したトータルシステム的な観点からの開発が少ないことから、ロ

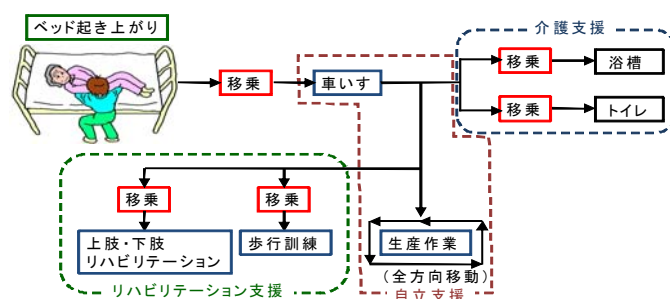


図 2.17 トータルシステムとしての福祉・生活支援ロボットの開発

ボットの活用・利用が少ない。

(2) 福祉・生活支援の分類別のロボット

① リハビリテーション支援ロボット

当該機能の低下が軽度から中程度の場合の身体機能の維持・向上を目指すロボットをいう。ロボットではないが、関節可動域訓練のための CPM が従来からの代表的な機械式リハビリ訓練機である。ロボットとしては、日立の歩行訓練器、安川電機の下肢運動療法装置 TEM LX2 (図 2.18)、上肢リハビリ支援機器 (NEDO 人間支援型ロボット実用化プロジェクト) (図 2.19)、卒中の機能回復訓練ロボット、MIT-Manus、WREX、歩行訓練機 LOKOMAT (図 2.20)、WPAL (図 2.21) が有名である。



図 2.18 安川電機の下肢運動療法装置 TEM LX2



図 2.19 上肢リハビリ支援機器 (NEDO 人間支援型ロボット実用化プロジェクト)



図 2.20 歩行訓練機 LOKOMAT

出典：国立障害者リハビリテーションセンター



図 2.21 WPAL

② 自立動作支援ロボット

当該機能の低下が中程度から重度の場合で、特定の動作を自立で行うのが困難な者の動作の支援を目指すロボットをいう。HAL、MANUS ARMなどのロボットハンド、iBOT、移動支援、食事支援（マイスプーン（セコム））などがある。



" Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc. "



図 2.22 HAL™

図 2.23 iBOT®

図 2.24 マイスプーン

(セコム)

Independence Technology 社

③ 介護動作支援ロボット

当該機能の低下が重度な場合で、自立動作が困難な被介護者を介護する者の動作の支援を目指すロボットをいう。作業支援、重作業補助、移動支援、ベッド移乗支援などの支援に類別できる。

パワーアシスト、施設用サービスロボット、トイレアシストロボット（ポータブルトイレ（アイシン精機））、自動排泄処理機（マインレット、エヌウイック㈱）、入浴アシストロボット、座シャワー（松下電器、テクノエイド）、入浴移乗（アマノ）、運動機能支援（介護ケア、在宅リハビリ）、フィットネス機器（らくらくウオーク（松下電器））、移乗支援昇降椅子、介護支援ロボット（レジーナⅡ、日本ロジックマシン㈱）、移乗用リフト（セコム）、パワーアシストスーツ（HAL）、体位変換介護ベッド、インテリジェントベット（アイシン精機）などの開発製品がある。



図 2.25 移乗用リフト（セコム）



図 2.26 入浴移乗（アマノ）

出典：+DlifeStyle

④ 認知機能支援・癒し系ロボット

認知機能障害者支援や高齢者などの心のケア、癒しを目指すロボットを言う。失読症のための Daisy、高齢者コミュニケーションロボット（ドリームサプライ、パール）などがある。

⑤ パーソナルモビリティロボット

主に未来型搬送用のロボットを言う。MOBIRO、Winglet、i-foot、i-real、i-unit、セグウェイなどがある。



図 2.27 MOBIRO



図 2.28 セグウェイ PT



図 2.29 i-real

⑥ サービスロボット

人のサービスを目指すロボットを言う。愛知万博で、多くのサービスロボットが公開されたので、それを中心に列挙しておく。パーソナルモビリティロボットもこれに含めることができる。



図 2.30 愛知万博でのさまざまなロボットの出展

- ・掃除ロボット：スイッピー（松下電工）；屋外用自立走行型
スバル ロボハイターT1；屋外ごみ搬送
- ・接客ロボット：Wakamaru（三菱重工業）；高度コミュニケーション
アクトロイド（ココロ、アドバンスト・メディア）；人型受付嬢
- ・警備ロボット：ALSOK ガードロボ i（総合警備保障）；屋外対応警備および案内
ムジロー、リグリオ（テムザック）；屋外対応警備・不審物除去及び案内
- ・チャイルドケア：PePeRo（日本電気）；子供とのコミュニケーション
- ・車椅子：TAO Aicle（アイシン精機、富士通）；自律走行機能
- ・モノのとりよせと操作： I-ARM(オランダのアームつき車椅子)



図 2.31 ALSOK
ガードロボ i



図 2.32 TAO Aicle



図 2.33 I-Arm

(3) 国内外における研究・開発の現状と課題

① 国内

安川電機では、図 2.18 に示す下肢リハビリテーションロボットを開発している。このロボットは様々な動作パターンを記憶しており、医療スタッフの動作選択に応じて、動作パターンを再現する。アマノでは、図 2.26 に示す被介護者を入浴させる介護リフトを開発している。モータ駆動により介護者の負担軽減を図っている。また、代表的な福祉機器として、電動車いすがあり、近年、今仙技術研究所による「ロボットアーム搭載型車いす」や、図 2.32 などのアイシン精機による「自律走行や障害物回避可能な車いす」などが開発されている。

研究レベルでのリハビリテーション・介護ロボットとして、トイレが移乗しやすい場所へ自立的に移動する自立移動式トイレ（名古屋大学[13]）や、図 2.34 に示す全方向移動車いす（豊橋技術科学大学[11]）、搬送ビークル（名古屋工業大学[12]）、また、下肢麻痺者のための歩行アシストロボット（名古屋大

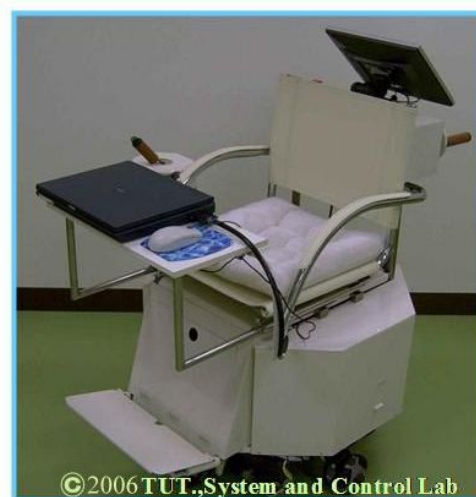


図 2.34 全方向移動車いす

学[9])、上肢訓練用リハビリテーションロボット(名古屋大学[6]、名古屋工業大学[7]、豊橋技術科学大学[8])、パワーアシスト技術を利用した歩行訓練ロボット(豊橋技術科学大学[10])、多指ロボットハンドによるリハビリ(岐阜大学[14])、マッサージ(豊橋技術科学大学[15])などのロボット研究がある。また、上半身が人型ロボットで移乗支援を行う「リーマン」(理研[16])や、図 2.22 のウェアラブルパワーアシストロボット「HAL」(筑波大[17])で移乗支援を行う研究が実施されている。

しかし、いずれのリハビリテーション・介護機器も介護者の付添いを必要としており、また、個人の状態に応じて自動調整する機能がなく、介護者の負担を大幅に軽減するに至っていない。介護者の負担を軽減するためには、人とロボットの「インタラクション技術」を発展させることにより、介護者の意図に基づき、介護ロボットが安心・安全・信頼・快適に動作するとともに、被介護者の健康状態に応じたリハビリテーション動作を自律的に行うことが必要であり、「テーラーメイド技術」を有するリハビリテーション・介護ロボットの開発が必要である。また、リハビリテーション機器では、現在の健康状況や目標状況をモニタリングし、励ましたり、楽しませたりする「アミューズメント性」、「生きがい向上」の仕組みがなく、それらの機能が今後、リハビリテーション機器では必要である。さらに、「最適なリハビリテーション動作の運動デザイン」や、移乗させる前の装具装着などに手間がかからない「ジャスト・イン・タイムで使える介護機器」の開発が望まれている。

② 海外

海外でもロボット技術を援用したリハビリテーションシステムの開発が進められている。スイスでは、免荷式トレッドミル歩行訓練ロボット「L o k o m a t」を開発している。このロボットは、完全麻痺患者の歩行回復に貢献している。しかし、トレッドミルを用いた歩行訓練ロボットであるため、景色が変わらないことや路面が動くことなど実際の歩行に対する臨場感がなく、利用者の改善意欲が湧かない。実際の歩行をスキルアシストし、人の健康状態を把握し、それに基づき最適な歩行リハビリテーションを行う自立的なロボットの開発が必要である。北欧は、福祉機器の先進国だが、ロボットの研究は少ない。米国では、無人航空機、移動ロボット、無人地上車両、防衛システム、人間の身体能力の補助としてロボットの研究が行われている。

③ 今後の課題と期待

いずれのリハビリテーション・介護ロボットも単純動作の代替をさせるのが限度で、人の介助に比べ劣るため、患者は人から介護されたい願望が強い。一方、介助は重労働で、患者は介護者へ頼みづらい場合も多くある。そこで、気を使わず、コミュニケーション、表現、動きで和ませ、介護の苦痛から解放し、意欲や楽しさを増進させ、生きがいを与えてくれるロボットのニーズは高い。しかしながら、このようなロボットは実用化されておらず、今後の発展が期待される。

現在、NEDO プロジェクト「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において、ロボット利用に対する安全性に関するデータの取得、および解析、リスクアセスメント技術、危険予防技術の開発が進められている。これらの取り組みにより、人間機械共生型のロボットの安全基準が策定され、また検証方法が確立されることで、福祉・生活支援ロボットの開発成果が実用化されていくことを期待する。また、これらロボットの安全性検

証とともに、ロボットの利用技術、活用技術を発展させるために、図 2.35 に示すような、ロボットスマートナーシングステーションなどを開発・公開し、福祉・生活支援ロボットのトータルシステムを見える化し、産学官民医が連携して、ロボットと人間、そして環境という生活の場でロボット開発をすることが、実用化に大きくつながるものと思われ、それらの取り組みが、今後期待される。

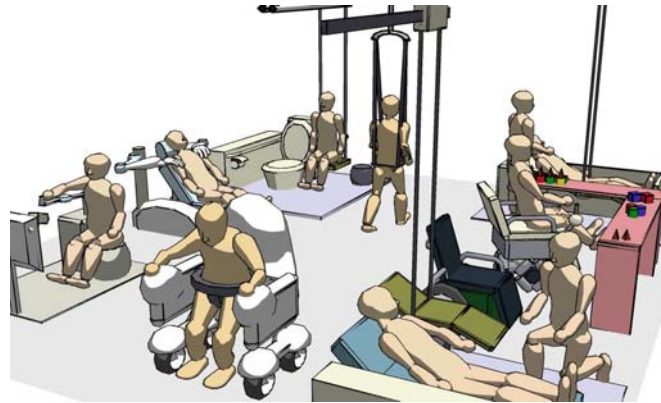


図 2.35 スマートナーシングステーション

参考文献

- [1] ロボット産業政策研究会報告書:経済産業省製造産業局産業機械課, 3月25日 (2009)
- [2] 平成19年度調査企画事業報告書:少子高齢社会における次世代ロボットの導入がもたらす社会機材効果, 財団法人機械産業記念事業財団, 3月 (2008)
- [3] 技術戦略ロードマップ2009:NEDO独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2009)
- [4] 佐藤知正、溝口理一郎、富田豊、内山隆:ロボット分野アカデミック・ロードマップの統括, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.7, pp.722-727 (2008)
- [5] 藤江正克:役に立つ生活支援ロボットをめざして—NEDO人間支援型ロボット実用化基盤技術開発の概要と成果, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.8, pp.870-871 (2008)
- [6] 大西圭一、大日方五郎:等尺性収縮時におけるヒトの力制御能力の解析, 日本機械学会論文集C編 Vol.74, No.742, pp.1531-1538 (2008)
- [7] 打田正樹、宇野峰志、谷奥亮太、広瀬彰紀、森田良文、鵜飼裕之、松井信行:3次元反力提示型ロボットを用いた上肢リハビリテーション訓練支援システムの開発, 高速信号処理応用技術学会誌, Vol.11, No.2, pp.70-76 (2008)
- [8] T. Okada, T. Imamura, T. Miyoshi, K. Terashima, Y. Yasuda, T. Suzuki: Muscle Strength Estimation Using Musculo-Skeletal Model for Upper Limb Rehabilitation, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.20, No.6, pp.863-871 (2008)
- [9] 香川高弘、山科秀貴、宇野洋二:対麻痺者の歩行補助に向けた歩行の重心運動解析, 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.1, pp.51-59 (2009).
- [10] 三好孝典、寺嶋一彦:鋳型合わせ作業に対する三自由度ワイヤ懸架式パワーアシストの開発と制御, 鋳造工学, Vol.80, No.7, pp.403-409 (2008)

- [11] 北川秀夫、大野貴、三好孝典、寺嶋一彦：全方向移動ロボットのための差動駆動操舵機構の開発，日本ロボット学会誌，Vol. 27, No. 3, pp. 85-91 (2009)
- [12] 土谷一樹、内藤正紀、加藤幸雄、佐藤省三、梅崎太造：ドラム缶型福祉ロボットの機能と性能，日本福祉工学会誌，Vol. 4, No. 2, pp. 13-20 (2002)
- [13] 本間敬子、松本治、小野栄一、李秀雄、山田陽滋、堀本幹夫、鈴木貴弘、金平徳之、鈴木利明、塩澤伸一郎：排泄介護総合支援ロボット「トイレアシスト」の研究開発，バイオメカニズム学会誌，Vol.32, No.4, pp.195-201 (2008)
- [14] 川崎晴久、堀匠、毛利哲也：対向型多指ハプティックインターフェイス，日本ロボット学会誌，Vol.23, No.4, pp.67-74 (2005)
- [15] K. Terashima, T. Miyoshi, K. Mouri, H. Kitagawa, P. Minyong: Hybrid Impedance Control of Massage Considering Dynamic Interaction of Human and Robot Collaboration Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.1, pp.146-155 (2009)
- [16] 大西正輝、小田島正、向井利春、羅志偉：触覚情報を用いた全身マニピュレーションの実現，計測自動制御学会論文集，Vol. 44, No. 1, pp. 78-85 (2008).
- [17] 李秀雄、山海嘉之：装着型下肢用パワーアシストシステムによる振り運動での仮想インピーダンス調整に関する研究，日本機械学会論文集 C 編，Vol. 71, No. 705, pp. 1686-1695 (2005)

2.3.2 医療・いやしロボット

医療ロボット開発は 1990 年代初頭からロボットの位置決め精度のよさを利用して、ロボットの適用が研究開発されてきた。特に、Hip Bone の人工関節の取り換え手術、脳外科手術、血管内カテーテル手術等の自動化やセンサ化などの研究・開発が進められてきた。

手術支援ロボットとしては、初期において、人工関節置換手術用医療器具「ROBODOC」が開発された（図 2.36[1]）。現在では、唯一市販されている手術支援用ロボットである da Vinci が有名である（図 2.37[2]）。この da Vinci は現在でも積極的に日本国内において医療応用がなされているが、主に前立腺がんの手術に用いられている。問題点としては、医師が対象とする手術範囲は広範囲に及ぶために、このような固定式の手術支援用ロボットでは、対応が困難な場合が多いことが挙げられる。

また、図 2.38 に示すような槳杖のエンドスコープによる手術支援ロボット技術が実用化されている[3]。主に、口頭・胃・腸などの臓器内部の観察・治療に幅広く用いられている。例えば、臓器内部にできたポリープをカメラにより確認し、小型の把持鉗子を用いて摘出するなど、切開手術をせずに低侵襲な治療が可能である。問題点としては、患者の負担が少なくよりフレンドリーな動作やさらなる小型化・機能化や体内に入りやすい機構・仕組みなどがある。このためには NORIKA System（オリンパス）のように槳杖ではなく、体内に直接導入するようなデバイスが求められる。

このエンドスコープの槳杖の仕組みをより小型化し、血管内に導入するためのシステムとして、カテーテルが実用化されている。このカテーテル手術では、脳血管内の動脈瘤や心臓の血管狭窄部の治療などに利用されている。一方で、造影剤を用いて血管を撮影する必要があるため、医師の X 線による被曝の問題がある。そこで、図 2.39 に示すような医師に代わりカテーテル導入を支援するスレーブデバイスについて研究が行われている。問題点としては、十分な滅菌性・安全性、特にデ



図 2.36 人工関節置換手術用医療機器“ROBODOC”



図 2.37 手術支援用ロボット“da Vinci”

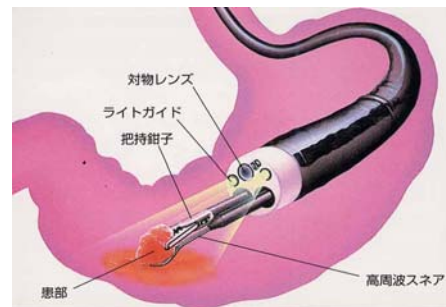


図 2.38 エンドスコープを用いた治療（出典：マイクロマシンセンター）

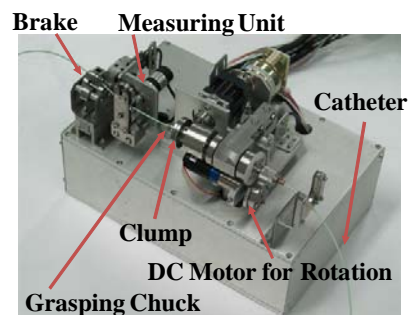


図 2.39 カテーテル治療のためのスレーブデバイス（LSM: Linear Stepping Mechanism メカニズム）

イスポーザブルな機構や、ロボットシステムが暴走の際に電源が切れ、その場で停止するような仕組みが必要である。

このような中、血管内手術シミュレータとして、Endo-Vascular Evaluator: EVE が研究・開発された(図 2.40[4])。これは、カテーテル手術のリハーサルやトレーニング、またカテーテルの性能評価などを目的とした脳血管内手術シミュレータである。すでに 2005 年から名古屋大学発ベンチャー企業であるファイン・バイオメディカル有限会社より販売されている。

癒しロボットでは、人とロボットのコミュニケーションを通じて、高齢者を中心に実用化が進んでいる。図 2.41 のアザラシ型メンタルコミットロボット“パロ”は、世界中の養老院などで日常生活に潤いを与えるものとして、有効性が検証されている[5]。一般的にアニマルセラピーのように動物を持ち込む必要がなく、高い利便性・安全性を確保しつつ、同様の効果を期待することができる。

また、インタラクティブロボットとしては、国内では、よりそい ifbot が販売されている[6]。特に、高齢者をターゲットにした会話やクイズなど、ゲーム感覚でロボットと接触することができることが特徴である。国外ではヒューマンインタラクティブロボット iCat が著名である[7]。これは、このようなエモーショナルなロボットに関しても、海外企業が注目している好例である。人間との十分な相互作用を行うことなど、現在はまだ発展途上といわざるをないが、今後の発展と幅広い実用化が期待される。

以上、医療ロボット全体としては、医療の現場で実際に用いられることが重要であり、特に

- (1) 高い信頼性・安全性を有する機構
- (2) 広範囲な手術に対応した機構。例えば、機能ごとのセルラー構造を利用することで、より広範囲な手術に対応可能な手術支援用ロボットなど。
- (3) 医療器具としての臨床試験・認可制度の簡素化
- (4) 健康保険制度などの支援制度の整備化
- (5) 以上を実現するような利用技術の高度化

についてさらなる進展が求められる。

参考文献

- [1] 医療法人 沖縄徳洲会中部徳洲会病院、



図 2.40 血管手術シミュレータ (Endo-Vascular Evaluator: EVE)



図 2.41 アザラシ型メンタルコミットロボット“パロ”(出典: AIST)



図 2.42 よりそい ifbot(出典: ビジネスデザイン研究所)



図 2.43 ヒューマンインタラクティブロボット iCat(出典: Philips)

- <http://www.cyutoku.or.jp/robodoc/robodoc.html>
- [2] 九州大学大学院 消化器・総合外科、
<http://www.kyudai2geka.com/contents/davinci.html>
- [3] F. Arai, R. Fujimura, T. Fukuda, and M. Negoro, New Catheter Driving Method Using Linear Stepping Mechanism for Intravascular Neurosurgery, Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2002), pp. 2944-2949, 2002
- [4] 池田誠一, 新井史人, 福田敏男, 根来眞, 入江恵子, 高橋郁夫, 脳血管内手術シミュレーションのための個別型脳血管立体モデル(第1報, 脳血管内腔形状の in vitro モデル化と力学特性の再現)、日本機械学会論文集 C 編、Vol. 71, No. 707, 2362-2369, (2005)
- [5] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
http://paro.jp/?page_id=241
- [6] 株式会社 ビジネスデザイン研究所、http://www.business-design.co.jp/product/ifbot/ifbot_yorisoi.html
- [7] Philips, <http://www.hitech-projects.com/icat/>

2.4 社会応用・支援ロボット

本節では社会応用・支援ロボットとして、災害救助、道路保全、公共設備、除雪、消防、教育ロボットを取り上げる。まずそれぞれのロボットの現状を示し、課題および将来展望を述べる。

2.4.1 災害救助ロボット

テムザック社のレスキューロボットである T-52 援竜/T-53 援竜がある。T-52 援竜は全高約 3.5m、総重量 5t の油圧駆動型レスキューロボットであり、遠隔操作によって瓦礫が散乱する災害現場で救急車両のための道を整備したり、人の近づけない場所での救助活動をしたりすることを主な目的とする。T-53 援竜は T-52 援竜をダウンサイジングにより機動性を向上させ、腕部に同期動作制御を導入することでオペレーターの直感的な作業ができるように改良したものである。T-53 援竜の開発はテムザック社を中心に、消防関係（北九州市消防局、独立行政法人消防研究所）、大学関係（京都大学、九州工業大学、福岡工業技医術センター）、地元自治体により行われた。

表 2.1 T-53 援竜の仕様

寸法・重量	全高 2.8m 全幅 1.4m 全長 2.32m 重量 2.95t
動作自由度	18 自由度 ● 腕部 12 (6×2 腕) ● 手部 2 (1×2 腕) ● 胴部 1 ● 排土板部 1 ● 走行部 2
駆動方式	油圧駆動方式
動力源	水冷 3 気筒過流式ディーゼルエンジン
走行機能	クローラ (キャタピラ) 式
撮影機能	カメラ 7 台



図 2.44 T-53 援竜 (柏崎現場)

三菱重工業社では、テロや災害現場に入り込み、リアルタイムで現場の状況を監視・伝達する防災支援監視ロボット MHI MARS-G[1]を開発した。このロボットは全高 400mm、全幅 500mm、全長 1000mm、総重量 55kg と小型・軽量で、4 台の CCD カメラを搭載している。同社では従来原子力防災支援ロボット MHI MARS シリーズを開発してきており、その技術を発展させたものである。

三菱電機特機システム社では、災害現場で無線操縦により走行し、映像やセンサ計測情報をリアルタイムに操縦モニターへ転送できる情報収集ロボットであるクローラロボットを開発した。このロボットは全高 165mm、全幅 350mm、全長 455mm、総重量 15kg であり、前述の MARS-G よりもさらに小型・軽量である。クローラロボットには標準タイプに加え、高段差乗り越え可能な階段昇降タイプ、大型積載物搭載可能なタイプがシリーズ化されている。このロボットは消防大学校が開発した FRIGO をベースに、同大学校と共同で開発された。

東北大学と国際レスキューシステム研究機構が共同で、能動スコープカメラを開発した。これは瓦礫の中など幅 30mm 程度のすきまを 8m まで進入し、内部の映像を取得できる探索ロボットである。ケーブル部の繊維の振動により前進し、手元でねじることにより進行方向を変えられる。2008 年 1 月には米国の倒壊事故の原因調査に試用された。経産省などが主催する「今年のロボット大賞」2008 年度に選ばれた。また、この国際レスキューシステム研究機構では、災害救助ロボットに関し、33 大学との共同研究プロジェクトが行われている。

2.4.2 道路保全ロボット

作業規制エリア侵入検出ロボット仁王がある。仁王はレーダーとカメラによる道路上の作業エリアに侵入する自動車を検出する。時速 100 キロメートルで走行する自動車を 300 メートル手前で認識可能で、価格は約 150 万円である。知能技術社、アスウェイ社など 12 社からなる 3J ロボット開発集団（ディアロボ関西）が共同で開発した。

VR テクノセンターは自律型の交通誘導ロボット（無人交通整理システム）であるガドマ君を開発した。工事などで片側交互交通になっている道路などで上り・下りの交通量をカメラで認識し、青信号／赤信号を適切な間隔で切り替える。

米国でも、カリフォルニア大学デービス校の Advanced Highway Maintenance and Construction Technology Research Center (AHMCT) において、道路保全ロボットに関するさまざまな研究プロジェクトが進んでいる。それらには、Cone Machine（コーン自動配置）、Crack Sealing（クラック補修）、Debris Removal Vehicle（ゴミ吸引車）などがある。これらは、路上で最も危険度が高い作業の自動的を狙ったものである。

2.4.3 公共設備ロボット

本州四国連絡高速道路に導入されている各種メンテナンスロボットがある。1) 箱桁形式の橋梁の塗替塗装を効率的に実施するため、回転ブラシ・塗装ロール・これらを支持する多関節アーム（5 自由度）と台車で構成される塗装ロボット、2) 磁石車輪 Gondola に自動ロール塗装装置を組合せた主塔塗装ロボット。横行用のレール上を塗装ロールや回転ブラシを保持したシャトルが横方向に往復（水平方向）する動作と Gondola の降下（鉛直方向）動作の 2 動作で、壁面全体を自動で塗装する。これらの塗装ロボットは 500 平方メートル／日以上（人間の 10 人分）の塗装作業が可能である。

安川電機社は九州電力と共同で、1990 年に活線作業ロボット PhaseII を開発し、実用化した。これは高所作業車のブームの先端にロボット部を配した特殊車両である。車両上の操作キャビン内で作業者がロボット部に装着されたカメラの映像をモニターテレビで見ながら、ジョイスティックで半自動操作を行い、プログラムに従ってロボットが電柱上の碍子取り替えなどの保守作業を活線状態で行う。

2.4.4 除雪ロボット

新潟工科大学、にいがた産業創造機構、技術開発研究所社、山形大学、新潟県工業技術総合研究所が共同開発した、ゆき太郎がある。このゆき太郎は全高 752mm、全幅 950mm、全長 1583mm、総重量 400kg と小型で、自律走行しながら、かき集めた雪、ロボット内部

のスクリー圧縮装置でブロック形状に圧縮する。

また前述のカリフォルニア大学デービス校の AHMCT においても除雪ロボットの研究がなされている。

2.4.5 消防ロボット

東京消防庁の4種類のロボットがある。1) 無人走行放水車 レインボーファイブは、1986年に消防庁に導入された。遠隔操作により、石油コンビナート、航空機、タンクローリー等の危険物火災、強い放射熱を発生する大規模火災、油脂火災及び爆発危険のある火災等、消防隊員が接近することが困難な現場で使用される。放水量は毎分 5,000ℓで、消防隊員10人分の能力がある。2) 無人走行放水装備デュアルファイターは、上述のレインボーファイブの放水機能と障害物除去機能を分割し、それぞれを小型化し機動性を高めたものである。無人走行放水車はドラゴンと呼ばれ、表 2.2 の仕様を有する。一方障害物除去車はセーバーと呼ばれ、乗員による操縦や無線操縦で交換式アタッチメント（バケット・ブレーカー・グラップル）を使って障害物を除去する。経産省などが主催する「今年のロボット大賞」2007年度に選ばれた。3) 救出ロボットは2式のマニピュレータを有し、要救助者を収容する。前方監視カメラ、濃煙内撮像装置、可燃性ガス測定装置などの各種センサを装備し、操作制御装置からの遠隔操作で動作させる。4) 水中探索装置は水難事故において天候、深度、障害物等のため消防活動な困難な場合に、水上（陸上）からの遠隔操作により水難救助者の水中検索を行うロボットである。水深約 110m まで潜航することができ、マニピュレータによる救助も可能である。

表 2.2 無人走行放水車ドラゴンの仕様

寸法・重量	全高 1.6m 全幅 1.6m 全長 3.0m 重量 2.5t
放水量	毎分 5000ℓ
放泡量	毎分 5000ℓ



図 2.45 無人走行放水車（ドラゴン：右）

東京国際消防展[2]では、三井造船社の水中テレビロボット RTV.N-100EXY、キューアイ社の水中テレビロボット DELTA150、ヨネ社の自動放水銃マルチロボ・モニターなどが展示された。

2.4.6 教育ロボット

各社でロボット教材が開発・製品化されている。ZMP 社のロボット工学実習教材 e-nuvo がある。e-nuvo は BASIC、ARM、WHEEL、WALK の4タイプのロボットを通じて、二足歩行ロボットの基礎技術を習得させる目的の教育ロボットである。e-nuvo は「今年のロボット大賞」2008年度に選定された。さらに ZMP 社などが協賛するロボットビジネス推

進協議会ではメカトロニクス／ロボット検定で普及を図っている。

近藤科学社では、2足歩行型ロボットのKHRシリーズを製品化している。最新型のKHR-3は全高401.05mm、全幅194.4mm、全長129mm、総重量400gの小型2足歩行ロボットで、17自由度のサーボ機構を持ち、遠隔操作で制御可能である。

富士通研究所のヒューマノイドロボットHOAP-3は、2足歩行などの運動制御アルゴリズムの開発、基本シミュレータソフトを併用したロボット作業アルゴリズムの開発、人間とのコミュニケーションの開発などの目的で開発された。全高600mm、総重量8.8kgで、28自由度を有する。

社会応用・支援ロボットの技術課題としては、まず安全性確保が挙げられる。安全性確保はすべてのロボットに共通な技術課題であるが、人命救助を主目的とする災害救助ロボット・消防ロボットにおいては特に重要である。米国MITRE社では、瓦礫の中の生存者の心拍を検出するセンサを開発し、世界貿易センタービル爆破事件の現場で使用した。生体センサの開発事例はAIL社などからも報告されているが、その高性能化が技術課題である。加えて生体センサで生存者を探し出した後、傷つけることなく瓦礫を排除し救出するためのマニピュレーション技術も重要な課題である。

次に、社会応用・支援ロボットは大規模・複雑な事象を扱うため、機能を異にする複数のロボットが協調して動作することが求められる。前述の消防ロボットデュアルファイターは、それまでの消防ロボットレインボーファイブの放水機能と障害物除去機能を分割し、各々を小型化し機動性を高めたものである。また災害救助ロボットについても、探索、救助、搬送の各機能を有するロボットが協調動作を行うことを技術課題としている。[7]

さらに、災害救助ロボット、消防ロボットに加え、道路保全、公共設備、除雪の各ロボットには極限の耐衝撃、耐温度、耐火、耐水、耐放射線などの耐環境性、加えてその中の操作性などの技術課題が指摘されている。[7]

今後の展望であるが、災害救助ロボット、消防ロボットなどは人命救助の観点から、さらには救助を行う側の安全確保の観点からも、導入が望まれる。また、公共設備ロボットに関しては、少子高齢化を迎え若年労働者の労働環境改善、メンテナンスフリー化、リアルタイム・24時間稼働などのさまざまな視点から、導入が望まれている。教育ロボットに関しても、日本がお家芸としてきた機械システムの要素技術をすべて含むロボット教育のために、また生徒の理科系離れをくいとめるためにも必要不可欠であると考えられる。

しかし、今後社会応用・支援ロボットの導入が進むか否かは、コストがキーを握る。災害救助ロボット、公共設備用ロボット、消防ロボットなどは主に地方自治体に導入されるが、一般にこれらの価格は高く、一方で各自治体は財政難である。これらのロボットの必要性には疑問は無いが、使用頻度が低く、場合によっては使用されないまま寿命を迎える可能性のあるロボットへの投資の優先順位は低いであろう。したがって単機能のロボットではなく、通常は他の用途にも使用可能な複合機能ロボットとなり得るかが、地方自治体への導入のカギを握ると考える。

参考文献

- [1] 武石ら：更なる軽量・コンパクト化を実現した防災支援監視ロボットMHI MARS-G, 三菱重工技報, VOL.44, NO.1, pp.41-43, 2007.

- [2] 東京国際消防防災展事務局：東京国際消防防災展 2008 結果報告書，
<http://www.fire-safety-tokyo.org/files/common/finalreport.pdf>, 2008.
- [3] 大谷：原子力設備用ロボット，日本ロボット学会誌，27 卷，3 号，pp.24-25，2009.
- [4] 原子炉容器新型超音波探傷試験装置，三菱重工技報，VOL.32，NO.3，p.224，1995.
- [5] 知能システム部 知能注意制御ラボ，ETL NEWS 2000.8，pp.2-7，2000.
- [6] 内田：大きなロボット，日本機械学会誌，Vol.109，No.1051，pp.44-45，2006.
- [7] 増田：災害救助ロボットシステム，日本機械学会誌，Vol.109，No.1051，pp.34-35，
2006.
- [8] 平成 20 年度石油化学コンビナートのメンテナンス作業への RT 適用に関するニーズ調
査研究報告書，日本機械工業連合会・日本ロボット工業会，2009.

2.5 特殊環境応用・支援ロボット

特殊環境を人が接近できないところ、もしくは、接近し難いところと定義すれば、環境条件からいくつかの適用分野に整理できる。

2.5.1 原子力分野

(1) 適用領域

原子力におけるロボットの最初の導入は燃料加工施設であり、50年以上前である[1]。日本においては、1970年代になって、商業用発電炉が導入され、発電所内機器の検査装置として多くのロボットが導入された。発電炉に多くのロボットが導入されたのは1980年代であり、沸騰水型原子炉における制御棒駆動装置（CRD）自動交換ロボット（図 2.46[2]）や原子炉圧力容器検査ロボット[3]、加圧水型原子炉における蒸気発生器細管検査・補修ロボット、原子炉圧力容器検査装置、また、その周辺装置が開発され、放射線が高くロボットが必須とされる領域の作業はほぼロボット化が図られている[4]。図 2.47[5]は現在も活躍している遊泳型ロボットで、原子炉圧力容器の定期検査に用いられている。このロボットは超音波探触子を持つマニピュレータと遊泳機構を持ち、探傷部まで水中を移動した後、マニピュレータを用いて溶接線部等を走査探傷するもので、きわめてロボットの形態のロボットでもある。商用発電炉以外では、将来炉として開発されている高速増殖炉機器の検査ロボットや、すでに役目を終えた新型転換炉機器の検査ロボット、原子炉の廃炉解体ロボット[6]等、数 100 種類のロボットが開発されてきた。

(2) 特徴

原子力ロボットの特徴は、狭隘部作業であること、また、人の接近性が非常に悪いことから、軽量小型の追求にある。そのために、軽量金属やカーボンファイバー強化プラスチックの導入、小型高出力アクチュエータが他に先駆けて導入され、ロボットの小型軽量化に大きく貢献した。また、使用環境が放射線下であるため、半導体の耐放射線化や適用技術が広く開発され、宇宙ロボットへの応用のさきがけとなった[7]。制御の特徴は、遠隔操作型がそのほとんどを占めることであるが、操作者の負担軽減のための運動制御を中心とする自律制御も開発されてきた。また、操作者が直接運動を教示するマスタースレーブ制御は原子力ロボットから生まれたものであり、汎用的遠隔制御手法の中核となっている[1]。

(3) 将来展望

原子力の要は信頼性である。2000年の東海村での臨海事故を受けて原子力防災ロボットが開発された（図 2.48[2]）。その後、大きな開発事例はないが、これまでの技術資産をより強固にしたロボット活用は継続的に展開されている。少子高齢化は優秀な保守要員の確保を困難にしていくとも考えられ、保全作業品質の維持の観点からのロボット化が見直される時期が近づいているとも思える。また、廃炉や燃料施設の廃止解体の要求も時代の要請であり、地道なロボット開発が進展している（図 2.49[6]）。

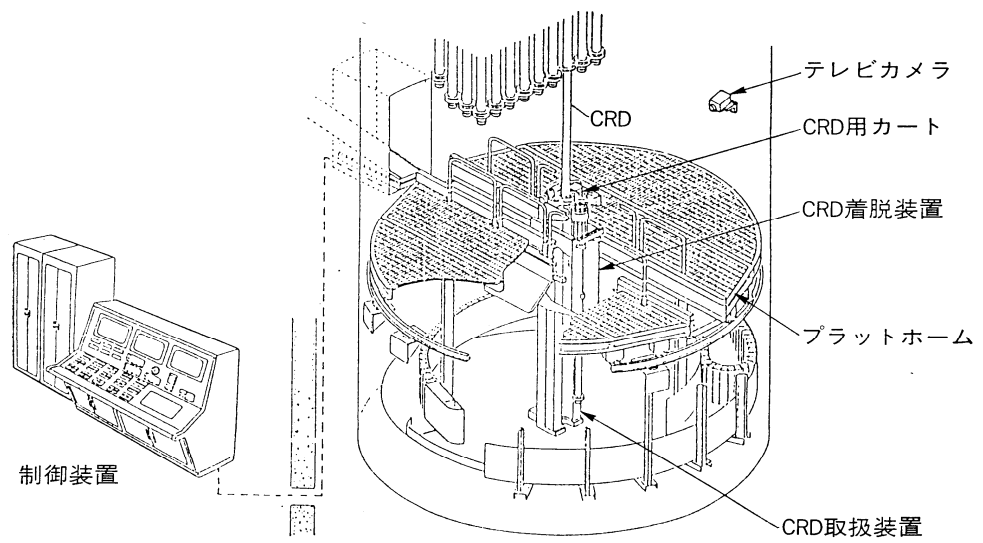


図 2.46 BWR 型原子炉 CRD 自動交換ロボット

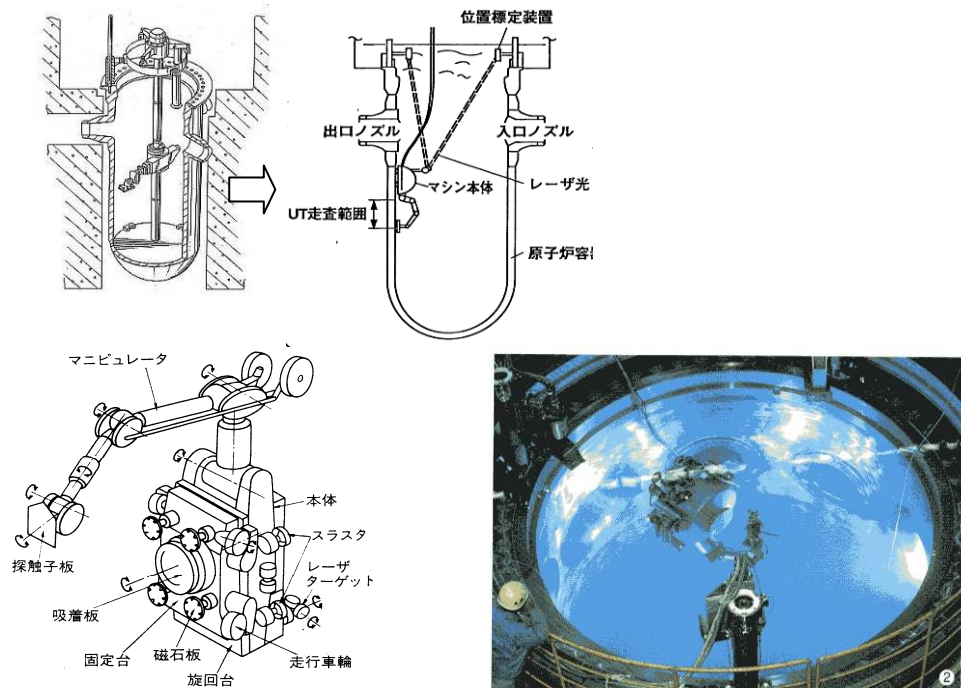


図 2.47 PWR 型原子炉検査ロボット

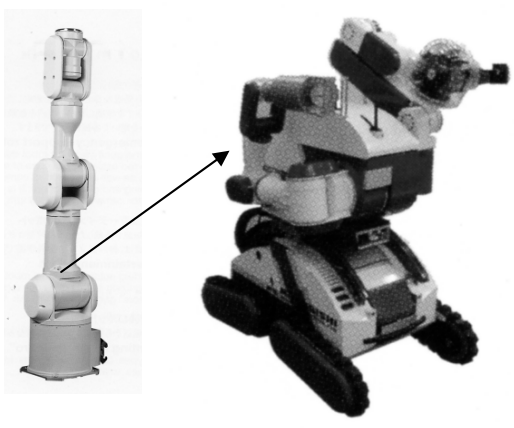


図 2.48 原子力防災ロボット

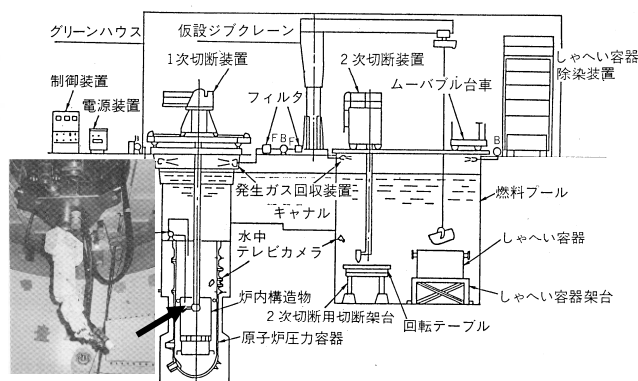


図 2.49 施設解体ロボットイメージ

2.5.2 宇宙分野

(1) 適用領域

宇宙ロボットの歴史は、アメリカ NASA とともに始まったといえる。そして、その後、いくつかのロボットの研究開発事例はあるが、実用されたロボットは、スペースステーションに搭載されている巨大なマニピュレータ（ロボットアーム）と火星を自律移動して探査した Mars Rover 等の火星探査ロボットに代表される。

ロボットアームは 1980 年台に開発された 6 自由度を持つマニピュレータであり、今日でもスペースステーションへの荷物搬送や修理等に活躍し、日本人宇宙飛行士若田さんもその操縦のエキスパートとして操作に参加している(図 2.50[8])。



1Jミッションにて、船内実験室に固定された展開前のロボットアーム(左)/ロボットアームを操作する星出、ナイバーク両宇宙飛行士(右)(提供:NASA)

図 2.50 スペースステーションロボットアーム

Mars Rover は研究開発段階での多くの方式を勝ち抜いた優れた機構を有する。このロボットの特徴はその小ささにあり、宇宙ロケットへの搭載性に優れている。欠点である不正地移動能力を独特の車輪機構で克服し、また、自律走行を中心にした制御によって火星面のサンプル収集と分析を行った(図 2.51[9])。



Mars Rover



Spirit

図 2.51 火星探査ロボット

(2) 特徴

宇宙ロボットの特徴は、宇宙の特殊環境である無重力、真空、放射熱、また、操作上は操作指令の時間遅れに代表される。無重力空間ではロボットへの負荷は慣性力支配となり、ゆっくり動かせば極めて小さなアクチュエータでロボットを動かせることになる。その意味では、宇宙ロボットの設計方法は地上と大きく異なるともいえる。真空空間では、地上では常識的な潤滑油等の摩擦力低減手段が困難であり、また、太陽光を受ける面とそうでない面の温度差は 100℃を超え、あわせて、対流熱伝達は全く期待できない。したがって、放射伝熱を用いた特殊な遮熱や放熱対策が必要となる。

火星等、超長距離空間を航行するロボットは、省エネルギー設計、また、電波すらリアルタイム性を失うため、故障復旧方法や極力少ない指令で高度な動作可能とする自律性が求められる。

(3) 今後の展開

宇宙空間の商業利用は通信衛星や GPS に代表されるように、もはや生活の必須要件となってきた。したがって、この分野では人工衛星のメンテナンス等に更なるロボットの導入が期待される。月や惑星探査においては、アメリカによる火星、土星等の衛星探査が行われているが、日本でも小惑星の探査において先駆的取組みがある(図 2.52[10])。また、やや遠い将来のこととなるが、人に先駆けて 2 足ロボットを月に送りこむ計画が発表されており興味深い。

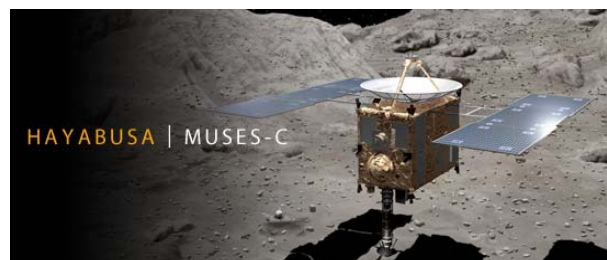
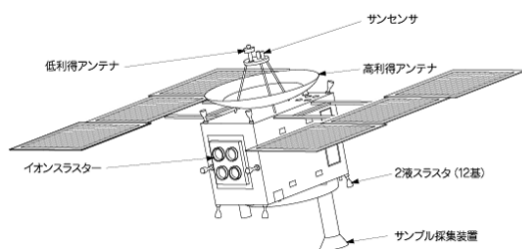


図 2.52 小惑星“イトカワ”の探査衛星 はやぶさ

2.5.3 海洋・海中分野

(1) 適用領域

海洋・海中関連分野で商業的に実用されているロボットは、カメラ搭載の観測用ロボット（ROV）がその代表である。また、ほぼ唯一に近い商用化例として、海底ケーブルの保全ロボットがあり、海底ケーブルの中継器を海上支援船上に引き上げる作業を行った（図 2.53[11]）。

日本における海中ロボットは、（独）海洋研究開発機構や東大が中心となって進めている深海潜水艇に搭載されたマニピュレータ（図 2.54[12]）や無人潜水艇（図 2.55[13][14]）、および、ROV（自動航行装置）に焦点化される。2000m級、6000m級深海潜水艇には、油圧駆動のマニピュレータが取り付けられ、潜水艇からの操作によって貴重な深海底サンプル採取に貢献している。また、ROV は燃料電池を搭載して、北極海氷下を連続航行の実施や深海資源の調査等を目指している（図 2.56[13]）。

(2) 特徴

海中ロボットの最大の特徴は水の存在とその圧力対策である。したがってロボットという前に潜水艇の耐圧設計とシール構造に設計的工夫が必要である。また、マニピュレータにはアクチュエータに油圧が使用されることがある。これは、内外圧をバランスさせ巨大なシール抵抗を緩和するためである。

ROV の特徴的課題は、動力源の供給と通信手段の確保である。電力線と通信線を用いれば問題はなくなるが、ケーブル拘束による機動性の劣化や移動範囲の限定化につながる。一方で、リチウムイオン電池等の高性能バッテリーや燃料電池の搭載によって動力源問題は改善されつつある。また、通信については慣性航法の高度化や海底地形の認識の活用等で自律化が進展し、実用レベルが向上している。

(3) 将来展開

近年の資源高騰や枯渇懸念から海洋資源に対する期待は高まっている。また、養殖漁業等の高度化も重要な視点である。したがって、高機能な ROV、深海探査艇の活躍は発展が必要とされる分野である。同時に、海底資源採集のための作業機械なども必要性が高まってくると予想されており、20 年単位で見れば、ロボットの活躍が期待される有望な分野である。



ROV MARCAS-III
(国際ケーブルシップ(株)提供)

図 2.53 海底ケーブル保全 ROV



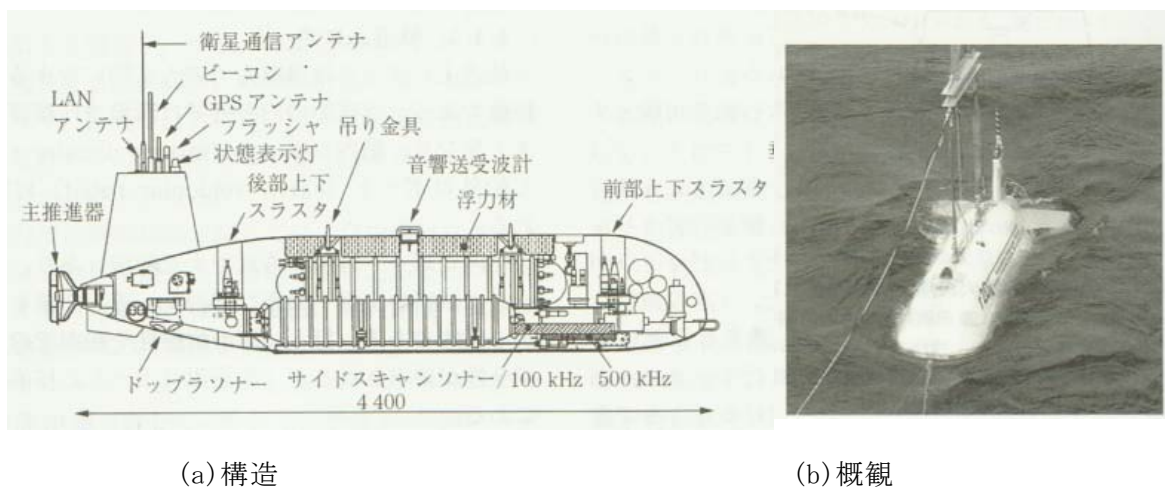
しんかい 6500

図 2.54 海中作業マニピュレータ



かいこう 7000 II (C) JAMSTEC

図 2.55 無人潜水艇（ロボット）の構想



(a) 構造

(b) 概観

図 2.56 長距離航行 ROV

2.5.4 その他

その他の特殊な環境としては、高温環境でのロボットとして製鉄所等の高温物体のハンドリング分野、超狭隘分野や生物体内等を適用先とするマイロ・ナノロボットなども研究中である。また、厳しい自然環境、豪雨、豪雪、砂嵐等にはロボットが必要とされる領域があるが、これらを対象としたロボットの積極的研究は進んでいない。

参考文献

- [1] R. C. Goertz et al. ; The ANL Model 3 Master {Slave manipulator. Its Design and Use in a Gave, " Proc of 9th Conf. On Hot Laboratories and Equipment, pp. 121 {142, 1961.
- [2] 日本機械学会;機会学会便覧 応用システム編 γ 7 メカトロニクス・ロボティクス, 丸善, pp177-pp180, 2008
- [3] 宮沢竜雄, 岡野秀晴, 井本一彦, 島田英夫 ; 原子力におけるロボット開発, 原子力工業, vol34, No4, pp7-33, 1988
- [4] 浅井卓, 浜田彰一, 大道武生 ; 原子力ロボットー現状と最近の動向ー, 原子力工業, Vol38, No8, pp44-52, 1991
- [5] 大道武生他 ; 改良型原子炉容器超音波探傷装置の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 357-358, 1994/04
- [6] 竹越忠昭 他 ; JPDR 解体実地試験の現状 Part1 設備機器の解体撤去, 原子力工業, Vol37, No2, pp-35
- [7] Takeo Oomichi, Yoshifumi Isozaki, Masanari Kojima ; Practical design of robots operating in radiation environments, Advanced Robotics , vol21, N05, pp515-532, May 2007
- [8] 宇宙航空開発研究機構 ; ホームページ <http://kibo.jaxa.jp/about/kibo/rms/>, 2009. 08. 02
- [9] Mars Exploration Rover Mission 速報 : http://home.h03.itscom.net/abe0005/uchuu/uchuu/MarsExplorationRover/mars_ex_rover.htm, 2009. 08. 02
- [10] 宇宙航空開発研究機構 ; ホームページ http://www.jaxa.jp/projects/sat/muses_c/index_j.htm
- [11] 国際ケーブルシップ株式会社 ; ホームページ <http://www.k-kcs.jp/japanese/marcas3.html>, 2009. 08. 02
- [12] ウィキペディア ; <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%97%E3%82%93%E3%81%8B%E3%81%846500>
- [13] 日本ロボット学会 : 新版 ロボット工学ハンドブック, コロナ社, pp1076-pp1080
- [14] (独) 海洋研究開発機構ホームページ <http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/kaiko7000.html>

2.6 その他

その他の分野でものロボットを個々に探せば地雷処理ロボット[1]等、数多くの事例があるが、技術的特徴については上記の分野のロボットでカバーできていると判断されるので、個々のロボットは取り上げない。ここでは、ロボット技術の応用によって、革新的変革が起こるうる領域についてのいくつかの例を紹介する。

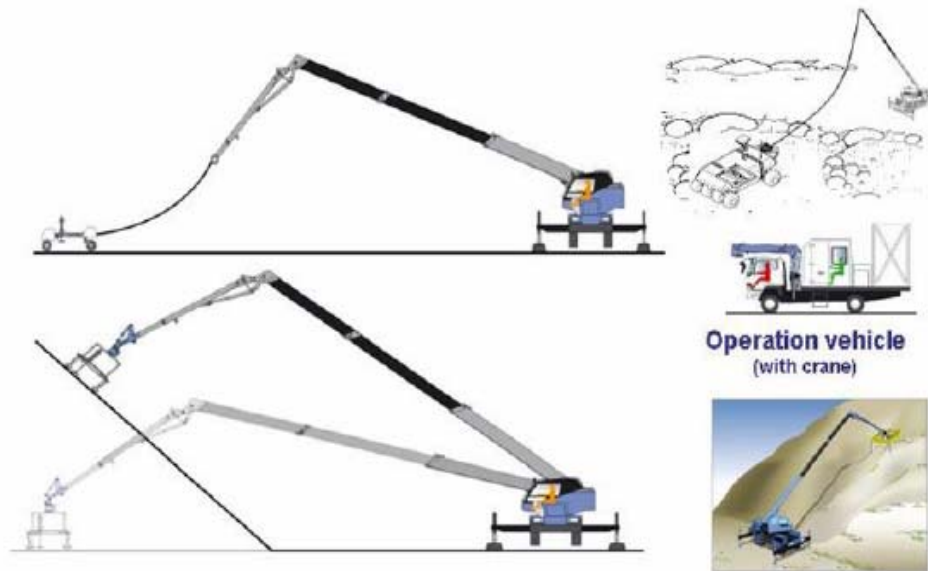


図 2.57 地雷処理ロボットの開発例

2.6.1 機械知能化はロボット化

近年の環境対応の有力手段として機械の電氣化が急速に進展している。特に、近未来における自動車の電氣化は急速に進展している。この機械部品の電氣化は部品・機器の時定数を革新的に短くする（制御が容易になる）。このことによって、自動車は運動安全性や快適性において、情報システムとの統合による付加価値創出が技術開発の主戦場となってくる。このことは、自動車が完全にロボット化することを意味するもので、さまざまなロボット技術を満載した自動車が実現していくと考えられる。同様に従来機械の電氣化もまた、多くのロボット製品市場を生み出していくと考えられる。

2.6.2 社会変革ロボット

急速に進展している少子高齢化はさまざまな課題を提起している。特に、経済発展と労働人口の減少は大きな矛盾を生み出している。ロボットはこの問題に有力な解決策を提供することができる。すなわち、減少した人口の部分をロボットが支えるような産業構造を作り出すロボットとロボットシステムは、日本の将来にとっても産業にとっても非常に有用なものとする。図 2.58 は新工法と人と強調するロボット技術を用いて、ビルリニューアル工事の作業要員を半減したロボットの例であり、全体の市場規模を減らさずに（経済規模を維持して）必要要員を半減できる可能性を示している[2]。

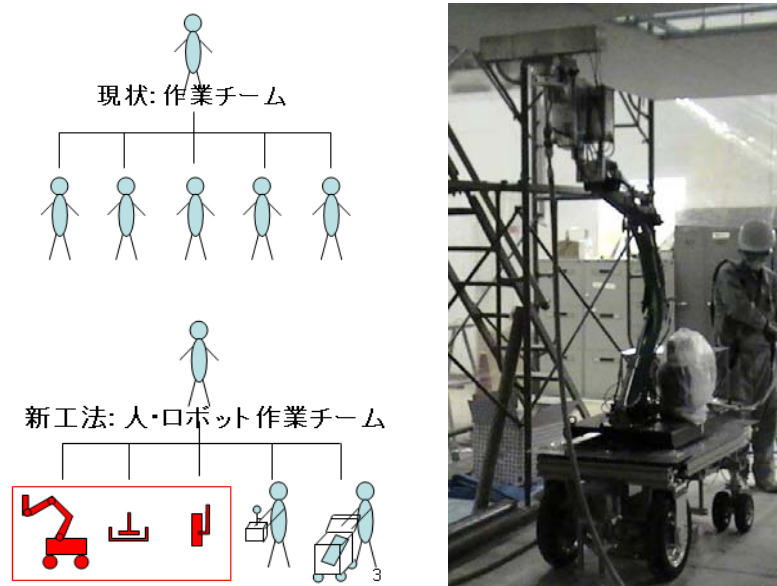


図 2.58 省人化解体ロボット

2.6.3 環境ロボティクス・メカトロニクス

ロボット技術を導入すると革新的に性能がアップすることがある。省エネルギー分野は、極めて有望な分野である。機械効率は速度（回転数）に依存し、回転数が低くなると急速に効率低下をきたす（図 2.59）。したがって、低効率域を使用しないように、すなわち、システム構成機器の制御をリアルタイムに統合して、常に高効率ゾーンで運転できるようにする知的な運転システムを導入すれば、省エネルギー化に大きく貢献できる。この知的運転を可能とするには、適正な機器開発も必要になる。この2つの分野を環境ロボティクス・メカトロニクスと定義する。環境メカトロニクス分野の機器・システムがロボットらしい形態をしているかは異論のあるところであるが、ロボット技術を基盤とするという意味で新しいロボット産業分野として紹介できよう。

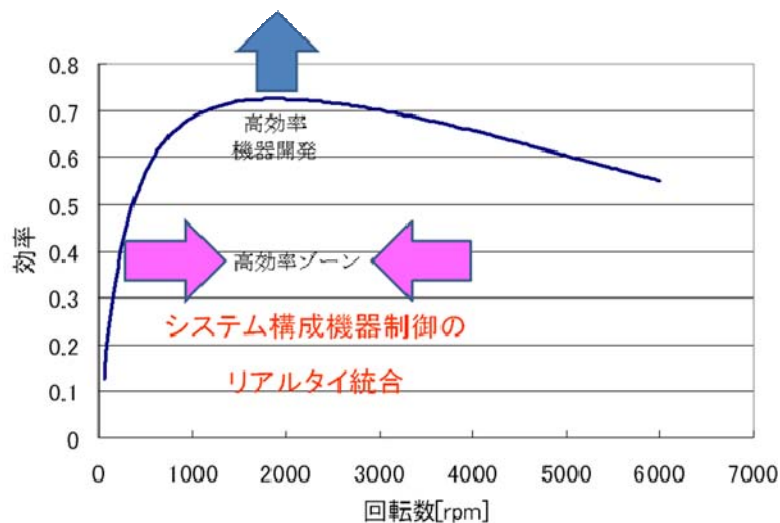


図 2.59 環境ロボティクス・メカトロニクス

参考文献

- [1] 福田 敏男;環境適応型高性能対人地雷探知システムの研究開発、科学技術振興機構 ホームページ 人道的地雷探査・除去技術研究開発推進事業 短期的研究開発課題 大型探知車両の開発 報告書、<http://www.jst.go.jp/kisoken/jirai/ja/kadai.html>、2009
- [2] 芦澤 怜史、脇田 昌明、渡辺 聖也、黒宮 裕介、高柳 一樹、大道 武生;水圧マニピュレータを有する移動作業ロボットの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集、CDROM A2-C12、2009.6.25

第3章 ロボット産業への中部地域企業等の取組み動向等

中部地域で次世代型ロボットの製造・開発に携わっている企業・研究機関に、ロボット関連事業の沿革と概要、技術面・販売面の特徴、事業の動向と課題等について、次世代ロボットの分野別にインタビューを実施した。

3.1 インタビューを実施した企業・研究機関

(分野別に 50 音順)

分野	企業・団体名	所在地、電話番号、URL	
3.4.1 フィールド応用・支援ロボット	①岐阜県情報技術研究所	岐阜県各務原市テクノプラザ1-21 TEL:058-379-3300 http://www.gifu-irtc.go.jp/	
	②ヤンマー(株)中央研究所	滋賀県米原市梅ヶ原1600-4 TEL:0749-52-8400 http://www.yanmar.co.jp/index.htm	
3.4.2 産業応用・支援ロボット	①新東工業(株)豊川製作所	愛知県豊川市穂ノ原3-1 TEL:0533-85-3111 http://www.sinto.co.jp/	
	②(株)デンソーウェーブ阿久比事業所	愛知県知多郡阿久比町大字草木字芳池1 TEL:0569-49-5000 http://www.denso-wave.com/index.html	
	③(株)不二越富山事業所	富山県富山市不二越本町1-1-1 TEL:076-423-5135 http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/index.htm	
	④村田機械(株)犬山事業所	愛知県犬山市橋爪中島2 TEL:0568-65-3101 http://www.muratec.jp/index.html	
3.4.3 生活応用・支援ロボット	(1) 福祉・生活支援ロボット	①アスカ(株)	愛知県刈谷市一里山町東吹戸11番地 TEL:0566-36-7771 http://www.aska.co.jp/index.html
		②(株)今仙技術研究所	愛知県犬山市大字犬山字東古券419番地 TEL:0568-62-8221 http://www.imasengiken.co.jp/index.html
		③トヨタ自動車(株)広瀬工場	愛知県豊田市西広瀬町桐ヶ洞543 TEL:0565-45-5111 http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/robot/index.html
		④(株)松本義肢製作所	愛知県小牧市大字林210番地3 TEL:0568-47-1701 http://www.pongs.co.jp/
	(2) 医療・アミューズメントロボ	①(株)ケーイーアール	愛知県豊川市豊が丘町211番地 TEL:0533-80-2871 http://www.ker-jp.com/
		②(株)知能シス	富山県南砺市城端4316-1

	ット	テム	南砺市起業家支援センターJEC 3階 TEL:0763-62-8686 http://intelligent-system.jp/index.html
		③野村ユニソン(株)	長野県茅野市ちの650番地 TEL:0266-72-6151 http://www.nomura-g.co.jp/index.html
		④(株)ビジネスデザイン研究所	愛知県名古屋市中区栄3-18-1 ナディアパーク デザインセンタービル7F デザインラボ TEL:052-238-6720 http://www.business-design.co.jp/
		⑤ファイン・バイオメディカル(有)	愛知県名古屋市千種区千種2-22-8 医工連携インキュベータ4階404号室 TEL:052-387-6520 http://www.fain-biomedical.com/index.php/home/
3.4.4 社会応用・支援ロボット	①スマッツ(株)	愛知県一宮市末広二丁目9番19号 TEL:0586-82-6200 http://www.smats.ecweb.jp/	
	②トピー工業(株)	愛知県豊橋市明海町1 TEL:0532-25-1111 http://www.topy.co.jp/index.html	
	③(株)丸富精工	岐阜県各務原市那加味神町130-30 TEL:0583-82-1940 http://www.maru-tomi.co.jp/	
3.4.5 特殊環境応用・支援ロボット	①(株)シーテック遠若分室	愛知県名古屋市港区遠若町3-7-1 TEL:052-651-2181 http://www.ctechcorp.co.jp/	
	②(株)スギノマシ 早月事業所	富山県滑川市栗山2880番地 TEL:076-477-2561 http://www.sugino.com/j_index.html	
	③東邦ガス(株)	愛知県名古屋市熱田区桜田町19番18号 TEL:052-872-9288 http://www.tohogas.co.jp/	
3.4.6 その他ロボット	①三友工業(株)	愛知県小牧市大字舟津1360番地 TEL:0568-72-3169 http://sanyu-group.com/industry/index.html	
	②(株)ダイニチ	岐阜県可児市姫ヶ丘1-33(可児テクノヒルズ1-33) TEL:0574-63-4484 http://www.kk-dainichi.co.jp/	

3.2 インタビュー結果のまとめ

次世代ロボット事業の動向および課題についてのご意見を、以下にとりまとめた。

3.2.1 動向

(1) 各分野共通項目

- ・ 少子高齢化が進む中、ロボット技術は持続的な社会を下支えする重要な要素の一つ。家事、介護・医療、移動、製造の各分野で支援ロボットが必要とされる。
- ・ 業界全体で安全対策に取り組み、安全の専門知識が無くても使えるロボット市場の創生に努めている。
- ・ ロボット技術は摺り合わせ技術が主で、これまで中部地域で培われた物づくりが反映できる。

(2) フィールド応用・支援ロボット分野

- ・ 食の安全や環境に関する意識の高まり中で、農作物の有機栽培が望まれ、農業従事者の高齢化と相まって、農業ロボットの需要が高まる。
- ・ 高齢化が進展する中で、非力をアシストし、且つ扱い易い農業機械が必要となり、IT・ロボット技術等先端技術を活用したロボット化のニーズが高まる。

(3) 産業応用・支援ロボット分野

- ・ 世界同時不況で大きな影響を受けたが、海外市場の早期景気回復に期待している。環境改善、省エネルギーの観点からも普及が期待できる。
- ・ 変種変量生産に対応するフレキシブル化、ロボット化が進展していない。組立等、人手作業を代替できるフレキシブル化を進めることにより、ものづくり現場で活躍するロボットの裾野は大きく拡大する。

(4) 生活応用・支援ロボット分野

〈福祉・生活支援ロボット分野〉

- ・ 脊椎損傷事故は、主に交通事故や高齢化により継続的に発生。患者の体力維持、病氣予防、精神面から歩行補助ロボットのニーズは高まる。

(5) 社会応用・支援ロボット分野

- ・ 高度な技術要素を必要とすることから高価となり、費用対効果が悪くても機能重視の分野の産業が成り立つ。多種少量生産が主流となろう。
- ・ 高機能で高価なものより、機能を限定した安価な機種が望まれる傾向にある。
- ・ 官需だけでなく、民間の各種点検業務用途が拡大する。

(6) 特殊環境応用・支援ロボット分野

- ・ ロボットは、人的災害の心配がなく安全で長時間の調査が可能で、人が立ち入れない場所の作業が出来ることから、種々の業務に活用できる。
- ・ 各種設備の検査において、作業の品質・安全性向上および効率化のため、ロボットのニーズは高まる。
- ・ 温室効果ガス排出削減規制強化により、既存のプラントの延命が必至となり、保守・検査を行うメンテナンスロボットの需要は高まる。

(7) その他ロボット分野

- ・ ロボットハンドは、宇宙空間や原発等の極限環境での作業において、人間に代わって器用で正確な作業を実現するために必要不可欠なツールになる。

3.2.2 課題

(1) 各分野共通項目

- ・ 実証試験の積み重ねによる安全性、信頼性、耐久性、諸機能の向上。
- ・ 産学官でロードマップを共有化した効率的で効果的な研究開発体制が必要。
- ・ 産産連携ではビジネスモデルの構築、産官連携では安全規格や規制見直しなど普及への制度作り、産学連携では先端技術研究とロボット製作に関わる人材の育成。
- ・ ロボット事業への開発・普及費用支援制度の充実。
- ・ 一般人にとって、使い易く、分かり易く、安全で安価なロボットの開発・改良。
- ・ 海外市場向けではコピー防止対策が必要。

(2) フィールド応用・支援ロボット分野

- ・ 農作業は季節によって作業内容が変わり、それぞれの作業期間が非常に短いことから機械の利用コストが高い。

(3) 産業応用・支援ロボット分野

- ・ 今後、人間とロボットが共存する為には、安全の確保が重要であり、安全と設備コストとのバランスが課題。
- ・ 自律制御の高度化と高速化の保証(高速で安定的に移動、安全基準等のルール化)。
- ・ トータルコストの観点から、ロボットの教示等を含む生産準備の単純化が必要。
- ・ ユーザー主導のユーザー＋メーカーの合同プロジェクトが事業化には有効。
- ・ 開発効率化のため、得意技術を融合する産産連携が必要。

(4) 生活応用・支援ロボット分野

①福祉・生活支援ロボット分野

- ・ 障害者にとっては福祉関係法規の改正のため、自己負担額が増えている。ユーザーへの公的補助充実が望まれる。
- ・ 使用者が弱者のため、殊に安全性の確保に腐心している。行政には安全基準等の整備と資金援助の協力。

②医療・アミューズメントロボット分野

- ・ 産業化を目指すには、医学・医療系、現場の声を含めた共同研究が必要。
- ・ 医療器具としての効果検証や安全基準が厳しく、認可まで費用と時間を要する。

(5) 社会応用・支援ロボット分野

- ・ 開発初期段階での行政のロボット積極採用による事業化環境の整備。

(6) 特殊環境応用・支援ロボット分野

- ・ 原子炉メーカーと共同した原子力施設の補修および健全性維持技術の開発。
- ・ 効率的で安全・確実、多機能なメンテナンスロボットの開発。

3.4 次世代ロボット分野別の事例

3.4.1 フィールド応用・支援ロボット分野

①ヤンマー（株）中央研究所

ディーゼルエンジン搭載をメインに、人にやさしい新時代の農業機械を開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1912年、山岡発動機工作所として創業。 33年 世界初の小型横型ディーゼルエンジン HB 型を完成。 52年 社名をヤンマーディーゼル(株)に改称。 56年 技術研究所設立。61年 ヤンマー農機(株)設立、農業機械の生産を開始。 02年 社名をヤンマー(株)に改称。 08年 ヤンマー農機販売(株)を設立。09年 ヤンマー農機(株)を合併、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 主にディーゼルエンジン（汎用を含む産業用・農業機械用・小型漁船用等）、農機、建機、小型船舶の製造・販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> GPS とインターネットを利用した知能化トラクター、CO2 の排出量を削減し低燃費のディーゼルエンジンによるエコロジー&エコノミー、簡単・快適な操作性のイージーオペレーション、高精度・高能率な移植技術、高効率化・高精度化を目指した多角的な解析技術等で新時代に向けた技術開発と製品化を進めている。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 農業機械の販売・メンテナンスは、関連農機販売会社 3 社で全国をネットワーク。 農業機械で日本のトップブランド。生産高は現在、日本第 2 位。

・説明図



上：知能化トラクター 右：HMTトラクター



・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 高齢化が進展する中で、非力をアシストし、扱い易い農業機械が必要となり、IT・ロボット技術等先端技術を活用したロボット化のニーズが高まる。 食の安全や CO2 排出削減など環境負荷の低減に向けた対応が必要になる。 稲作が盛んな東南アジア地域への農業機械の輸出が増加する。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 農作業は季節によって作業内容が変わり、それぞれの作業期間が非常に短いことから機械の利用コストが高い。 農業機械のロボット化には、高度な安全技術の開発や安全基準の策定が必要。

②岐阜県情報技術研究所

水稲の有機栽培に水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）を開発中

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1986年に工業技術センター技術振興部で電子・情報関連業務を開始、93年に電子情報技術部が独立。 99年、電子情報技術部を中核に生産情報技術研究所を設立（各務原市テクノプラザ内）、06年岐阜県生産情報研究所に改称、07年岐阜県情報技術研究所に改称。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> ①新産業の創出と新分野進出の支援、②産業の高度化・高付加価値化の支援、③情報・メカトロ技術による地域振興に関する企業や大学と連携した研究開発、受託研究。 研究成果を企業活動に生かす各種研修やセミナーの開催、技術相談、依頼試験等。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> ぎふ科学技術振興プランに基づき、県民生活の向上に貢献する科学技術の振興を目指して、情報・メカトロ技術により産業振興・地域振興を推進している。 アイガモロボットの実用化開発は、経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託（H20,21）を受けて、産・学・官の協力体制下で進めている。 試作機による実験では、雑草が駆逐され、稲の収量が確保できた。現在は一定の条件を設定した水田での自律走行の研究開発を進めている。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 2010年から2年間、農家でのモニターを行い、除草性能、自律走行性能、耐久性を高め、できるだけ早い時期に農協や法人格農家への販売を目指す。 販売とメンテは、共同開発先の農業機械メーカーみのる産業(株)が担当予定。

・説明図


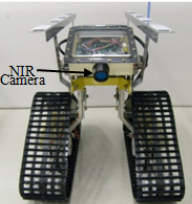

開発中のアイガモロボット

○開発概要
除草効果、走行性能、耐久性の向上
自律走行機能の搭載(近赤外カメラ、各種センサ)

○自律走行機能の開発
農業者の許容可能な圃場条件を検討し、
その条件下で実用的な自律走行機能の実現を目指す。

全長	500mm
全幅	420mm 450mm
高さ	500mm (300mm)
全備重量	8600g
モーター	7.2KgF-cm 18.5W
バッテリー	Ni-MH 24V-4.3Ah
クローラ幅	120mm 150mm

0：地上クリアランス高さ

クローラベルト幅：150mm クローラベルト幅：120mm 自律走行実験の様子(上部に予備カメラ設置)

岐阜県情報技術研究所

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 食の安全や環境に関する意識の高まりの中で、水稲の有機栽培が望まれ、農業従事者の高齢化と相まって、水田用の小型除草ロボットの需要が高まると予想。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 同じ列に並んでいる稲と稲の間（株間）の除草機構と安価で高精度な自律走行機能の開発。 実証試験の積み重ねによる信頼性、耐久性、諸機能の向上。

3.4.2 産業応用・支援ロボット分野

①新東工業(株)

鑄造現場における品質・生産性向上、環境改善などにロボット技術を開発、提供

・事業の沿革と概要

沿革	・ 1934年に鑄造設備メーカー、(株)久保田製作所として創業、60年新東工業(株)に社名変更、79年に静圧造型機を開発し、以後、世界の鑄物づくりの主流となる。
事業概要	・ 世界一の鑄造プラントメーカー。鑄造技術を核に、表面処理/環境/メカトロ/型・成形/セラミックス/粉体処理などの最先端技術を開発し、提供。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 開発のキーワード「シンプル」「コンパクト」「環境」「省エネ」「IT化」に対応した先見的な装置開発を進め、トータルソリューションを拡充。 ・ 溶けた鑄鉄を取鍋から鑄型へ注ぐ過酷な注湯作業を、高度な制御技術でロボット化した自動注湯機を開発、溶湯節減・不良低減でコストダウンに貢献。 ・ 鑄造工場での重筋作業を軽減するために、重量物のハンドリングの動作補助を行い安全で高機能なパワーアシストの研究を進めている。
販売等	・ 国外では、新東工業が技術を提供し、各国のパートナーが経営する会社による直販・メンテナンス体制を、また国内では、新東工業グループの販売会社15社によるお客さまサポートネットワーク拠点を構築している。

・説明図

注湯工程をインテリジェンス化

自動注湯機FVN型



●VN制御 — 既存取鍋を使用し、熟練作業を自動化—
取鍋の傾動・上下・前後の3軸を同時にサーボモーターで駆動し、注湯流線を一定に制御します。



●ウェイングシステム — 高精度な鑄込みを実現—
ロードセルで測定したトリベ内の溶湯重量データを統計処理して分解能を高め、鑄型への鑄込み重量をより高精度なものにします。

・動向と課題等

動向	・ 自動注湯機は、自動車用鑄物部品の製造設備向けが多く、世界同時不況で大きな影響を受けたが、中国市場の早期景気回復に期待している。今後は、環境改善、省エネルギーの観点から中小鑄物メーカーへの普及が期待できる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大きさ・コスト・パワー等、目的に合ったアクチュエータと動力源の開発。 ・ より高速・高精度な動作を可能とする制御アルゴリズムの改良。 ・ 今後、人間の作業と機械が共存する為には、安全の確保の仕方が重要であり、設備コストとのバランスが課題である。

②(株)デンソーウェーブ

小型組立ロボットでは、世界のトップシェアメーカー

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 2001年10月、デンソー(株)からロボット、PLC、バーコードリーダなど産業機器部門が分社化して設立。 80年代の自動車多種多量生産に対応するため、デンソー社内向けに小型組立ロボットを開発・導入、その後、高性能・高機能化を進め、91年から外販を開始。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 自動認識装置、産業用ロボット、プログラマブルコントローラ等の機器やシステムの開発・製造・販売。

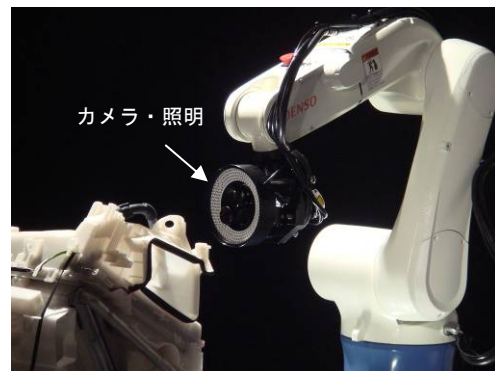
・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> バーコードリーダ、QRコードリーダの開発・販売では圧倒的シェア。 小型組立ロボットでは、世界トップシェア。 06年から3年連続で「今年のロボット大賞」優秀賞を受賞、3年連続受賞はロボットメーカーでは唯一。07年は部品・ソフトウェア部門で“ORiN”が受賞。 06年受賞の視覚外観検査ロボットは人の能力を超えた高速・高信頼性検査（0.3秒/箇所）を実現、08年受賞の省スペース組込型ロボットXRは、設備の小型化・高速化を実現（設備面積40%減）。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 国内販売は工作機械などの販売商社に委託、サービスは自社のメンテ部門が直接担当している。海外ではデンソーの拠点に営業、サービス員を駐在させている。

・説明図



組込型ロボット XR-G シリーズ



視覚外観検査ロボット

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 生産性向上のため速度や精度ばかりでなく、今後はトータルコストの観点から、ロボットを賢く動かす事前学習の単純化が必要。 当面は産業用ロボットに限定して開発を進めるが、将来的には企業活動に必要なロボットはすべて開発範疇にしたい。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 人間と共生するサービスロボットは、本質的に安全かつ周辺環境を認知して自律的に動くことが必要で、色々な点で技術的なハードルが高い。 ユーザーとメーカーの合同プロジェクト創出とユーザー主導のプロジェクトが事業化には有効かも。産産連携も開発効率化には必要。

③ (株) 不二越

「材料から組立までのものづくりのプロセス」を軸に連環型のロボット事業を展開

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1928年、富山市に不二越鋼材工業(株)を創立。 29年 金切鋸刃が優秀国産品として天覧の栄に浴し、NACHI「那智」を商標に。 63年 (株)不二越に社名変更。 69年 油圧式で産業用ロボット分野に進出。国産ロボットメーカーの嚆矢^{こうし}。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 工具、工作機械、ロボット、ベアリング、油圧機械、マテリアル（特殊鋼、コーティング）等の設計・製造・販売、エンジニアリング事業。 ロボット事業では、ハンドリングロボット、溶接ロボットやガラス基板搬送用ロボットに加え、顧客にコンパクト・高効率・フレキシブルなシステムを提案するエンジニアリングに力を入れている。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 油圧から電動へ、平行リンクからリンクレスへ、空圧から電動サーボ溶接ガンへと、新しい技術を国内に先駆けて導入し、展開している。 最近では、7軸腕ロボット Presto MR20 による省スペース設備を提案している。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> トヨタ自動車をはじめ、世界の代表的な自動車メーカーに製品を納入している。 01年から溶接ロボットメーカーのダイヘンと協業し、製品ラインアップを充実。 成長が見込める産機分野向けに、3千社以上の自社流通網に乗せた販売を推進中。

・説明図



7軸構造ハンドリングロボット Presto MR20



フレックスハンド三指仕様



Presto ST166A

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 変種変量生産に対応するフレキシブル化、ロボット化が進展していない。 組立等、人手作業を代替できるフレキシブル化を進めることにより、ものづくり現場で活躍するロボットの裾野は大きく拡大する。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> フレキシブル化の鍵は、目と指の技術と、人との共存を実現する安全の技術。 視覚センサや3本指ハンド、および人との共存のためのソフトウェア安全技術の開発に注力している。

④村田機械(株)

あらゆる分野での自動搬送システムでトップメーカー

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1935年に合名会社西陣ジャガード機製作所を設立。 61年工作機械分野に進出。62年 村田機械株式会社に社名変更、物流機器分野に進出。73年情報機器分野に進出。 86年 クリーンルーム対応天井搬送システムを開発、クリーン搬送分野へ進出。 91年 新しい統一ブランド「ムラテック」を導入、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 繊維機械、物流システム、クリーン搬送システム、工作機械、情報機器の製造販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> ルーツの繊維機械では、マッハスプライサー（空気の力で結び目なしの糸をつなぐ装置）を開発し、自動ワインダーで世界トップシェア。また、東レエンジニアリングと帝人製機と共同出資で TMT マシナリーを設立し、合繊機械事業で世界のトップクラスシェア。 07年「Premex-AGV」グッドデザイン賞。 NEDOが実施する「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」の研究開発パートナーとして、慶応大学、産総研とともに、病院内全方向移動自律搬送ロボット「MKR-003」の研究・開発（2010年実用化目標）に取り組んでいる。 高速で汎用性が高いパラレルメカニズムロボットを開発。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 設計、製造、販売、保守のすべてを自社で実施しており、広く海外にも展開している。特に国内保守では365日24時間体制で対応している。

・説明図



Premex-AGV



全方向移動自律搬送ロボット
「MKR-003」



パラレルメカニズムロボット

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 従来は技術的な特異性や差別化を競ってきたが、今後は業界全体で安全対策に取り組み、安全に対する専門知識が無くても使えるロボット市場を創生する。 流通関係は不況の影響を受けにくく、一般物流システムの投資は続くであろう。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 自律制御の高度化（走行精度向上、設備側に誘導体を設置しない完全自律移動機の開発）と高速化の保証（高速で安定的に移動、安全基準等のルール化）。

3.4.3 生活応用・支援ロボット分野

(1) 福祉・生活支援ロボット

①アスカ(株)

下肢麻痺者用の自立歩行を達成する装着型の歩行補助ロボット「WPAL」を開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1953年にプレス加工業、片山工業(株)を創業、76年産業用ロボットの開発に着手、92年アスカ(株)に社名変更。 2000年に藤田保健衛生大学の才藤教授から歩行補助装具の電動化依頼が持ち込まれたことを契機に、05年に幹事企業として地域の大学等とプロジェクトチームを結成し、下肢麻痺者用の歩行補助ロボット「WPAL」の開発を開始。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 自動車のボディ・シャシー部品、エンジン装備部品などの設計・製造・販売。 分電盤、制御盤などの配電盤の設計・製造・販売。 産業用ロボットや自動化システムなどのロボットシステムの設計・製造・販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 長年の産業用ロボット事業で蓄積した「高い技術力」。 NEDO公募の「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」事業(H17～19年度)の委託先として藤田保健衛生大学、東名ブレース(株)と共同で「WPAL」の開発を実施、現在は藤田保健衛生大学と連携して「WPAL」の実証試験を通して実用化に取り組んでいる。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 2010年4月には病院、施設を対象に、リハビリ設備として販売開始予定。 東名ブレース(株)など義肢装具店のチャンネルを介して販売予定。

・説明図

麻痺者用歩行補助ロボット「WPAL」



実証試験用 WPAL



ウォーカーによる自立歩行



車いすからの立ち上がり

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 脊椎損傷事故は、主に交通事故や高齢化により 5,000 件/年くらい発生。患者の体力維持、病気予防、精神面から歩行補助ロボットのニーズは高まると想定。 高い技術力を要するが、市場が小さく個人ニーズに対応する必要があることから中小企業向けの有望市場。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 一人で装着でき、簡単に使用できる操作系の構築と訓練プログラムの精度向上。 実証試験の積み重ねによる信頼性、耐久性、諸機能の向上。

②(株)今仙技術研究所

高機能電動車いすとパワーアシストロボット等の開発に取り組む国内屈指の福祉機器メーカー

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1971年に(株)今仙電機製作所の医療器部として発足、電動式車いすの生産を開始。 72年に骨格構造型・下腿部義足の製造・販売を開始。 82年に医療機器部門が分離独立し、(株)今仙技術研究所として設立。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 福祉機器（電動車いす・骨格構造型義足・その他）の研究開発、及び製造販売。 電気、機械応用製品の研究開発、及び製造販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 普通型電動車いすでトップシェアを占めるほか、骨格構造型義足分野では、日本式生活様式に適応した LAPOC システム義足で国産トップメーカー。 地域の大学研究室、岐阜県情報技術研究所、義肢メーカー等と共同で、パワーアシストロボットや高機能電動車いすを障害者の立場に立って開発を進めている。 名工大と受動歩行ロボットを共同開発し、08年度グッドデザイン賞を受賞。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 「コンパクトアーム付き電動車いすの製品化研究開発」が、(財)テクノエイド協会の2008年度福祉用具研究開発助成事業に採択、10年度の製品化予定で開発中。 受動歩行ロボットは、第9回 IFAC ロボット制御シンポジウム（09年9月開催）で展示し、反応を見て販売開始時期を見極める。

・説明図



リフト式電動車いす



コンパクトアーム付き電動車いす
(岐阜県情報技術研究所、早稲田大学と共同開発)



下肢機能を支援するパワーアシストロボット
(豊田工業大学と共同開発)

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 高機能な電動車いすは主に輸入品であるが、大きくて高価なため、コンパクトで安価な製品が望まれている。 パワーアシストロボット等の開発については、今後も積極的に参画していく。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 福祉機器の開発には安全性テストを含め多額の資金を要するし、また障害者にとっては福祉関係法規の改正のため、自己負担額が増えている。 使用者が弱者のため、安全性の確保に腐心している。使用者・メーカー、双方が納得できる基準等の整備が急がれる。

③トヨタ自動車(株)

人の役に立つ「トヨタ・パートナーロボット」を開発中

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1933年に(株)豊田自動織機製作所に自動車部を設置。 37年 トヨタ自動車工業(株)設立、50年 トヨタ自動車販売(株)設立。 82年 トヨタ自工(株)とトヨタ自販(株)を合併し、新社名「トヨタ自動車(株)」。 2004年 トヨタ・パートナーロボットを発表。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 自動車の生産・販売および住宅、金融、情報通信、GAZOO、マリン、バイオ緑化事業等。自動車の生産・販売世界首位。国内登録車シェア 45%前後。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> パートナーロボットは“人をサポートし人と共生できる”を基本に、01年から従来の産業用ロボット技術に自動車の新しい制御技術を加えることで開発に着手。 05年の愛・地球博で2足および2輪走行楽器演奏ロボットと搭乗歩行型ロボット「i-foot」を発表、その後もバイオリン演奏ロボット、モビリティロボット、施設案内ロボットを開発・発表している。 製造、介護・医療、パーソナル移動の各分野で、人との協調、移動、全身運動能力、道具を使う能力の要素技術の研究を進め、プロトタイプロボットを開発した。 ロボット事業を将来の中核事業と位置づけ、開発拠点および国内外の研究コラボレーションを強化充実すると共に、08年から実現場を含めた実証実験を実施中。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 2010年代の早い時期の実用化を目指している。

・説明図



楽器演奏ロボット



モビリティロボット



施設案内ロボット

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 少子高齢化が進む中、ロボット技術は持続的な社会を下支えする重要な要素の一つ。家事、介護・医療、移動、製造の各分野で支援ロボットが必要とされる。 ロボットは、中部地域で培われた物づくり（摺り合わせ技術）が反映できる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> ロボットの安全性、信頼性の向上と一般人に手が届くコストの実現。 産業創出には、産学官でロードマップを共有化した連携が不可欠。産産連携ではビジネスモデルの構築、産官連携では安全規格や規制見直しなど普及への制度作り、産学連携では先端技術研究とロボットに関わる人材の育成。 普及段階でのユーザーの立場に立ったサポート。

④(株)松本義肢製作所

1905 年(明治 38 年)創業の日本の義肢装具業界のパイオニアメーカー

・事業の沿革と概要

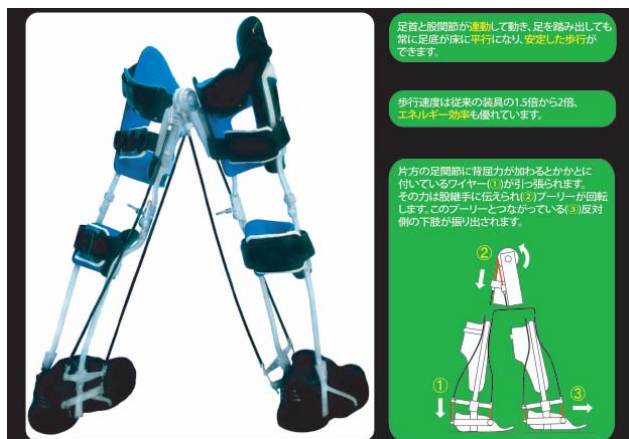
沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1905 年に日本の生活に適した義足を考案して創業。 48 年に労災法の施行に伴い義肢製作を開始、51 年に身体障害者福祉法の施行により地域の自治体と契約し、現在の事業基礎を築く。60 年に株式会社を設立。 05 年度に愛知県から「愛知ブランド企業」に認定。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 義肢装具、健康靴、高級ステッキ、車いす・歩行器、コルセット・サポーター、介護関連用品の製造・卸売・小売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 創業 100 年を超す日本を代表する義肢装具メーカー。 義肢装具士(約 100 名)が病院を巡回して患者から形取り、採寸し、義肢パーツメーカーから取り寄せた部品を患者さんに合わせ組み立てるオーダーメイド。 下肢が完全にマヒした人のための新しい歩行用装具 H.A.L.O を労災リハビリテーション工学センターと共同開発。 自立型歩行訓練支援ロボットや新しい機能を持った膝継手の開発に義肢メーカーとして患者の立場に立ってアドバイスや評価で参加している。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 長年の事業活動や実績をもとに、地域の医療機関・福祉機関との信頼関係とネットワークを活用してコルセットなど一般向け装具の拡販に努めている。また、自社のホームページを PR 媒体とした通販にも着手。

・説明図

Hip & Ankle Linked Orthosis



義肢装具士が病院の患者さんを巡回

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 最近では事故の減少や医学の伸展で外科的切断が減る一方で、糖尿病などの疾病による切断が増える傾向にあり、残存機能を生かすことが出来る電子制御式の継手のニーズが高まっている。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 法律改正により、義肢購入費の本人負担が増えている。また、仮義足の場合などでは、保険でも一旦は患者が費用を建て替える必要があり、高価な義足などの普及の足枷となっている。個人負担が少なくなる公的補助の充実が望まれる。 産官学が連携して、効率的で効果的な研究開発体制が必要。

(2) 医療・アミューズメントロボット

①(株)ケーイーアール

医療機器としたパワーアシスト免荷機構付き自立歩行訓練支援ロボットを開発中

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 2002年に各種装置の制御設計・制御盤製作メーカーとして創業。制御という無形供給だけでなく、形ある物をお客さまに提供したいという思いで、多様なロボット製作にチャレンジしている。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> パソコンを使った上位コンピュータのソフトウェア開発、制御装置の設計、産業用ロボットのプログラム作成及びそれらの販売、保守など。 福祉・医療機器の研究開発・製造・販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> ロボットはハード、ソフトとも自社で製作、制御の精度向上・検証について豊橋技術科学大学と共同研究。 H20年度の(財)科学技術交流財団による共同研究事業に採択された技術開発力。 名古屋大学及び医療関係者の助言を受け開発中のパワーアシスト免荷機構付き自立歩行訓練支援装置には、自走式モデルと左右独立可動トレッドミルモデルの2種類がある。 インテリジェント性を持たせることで、装置からロボットへの転進を目指す。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 歩行訓練支援装置は親和性や安心感を高め、機能面も充実、更にインテリジェント性も付加し、5年先には次世代医療ロボットとして市場投入したい。

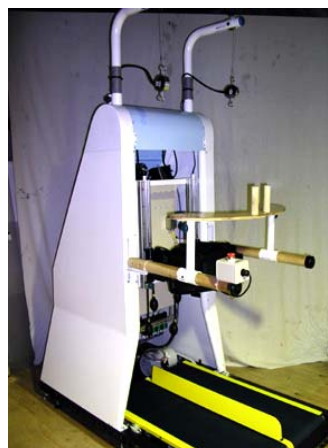
・説明図

パワーアシスト免荷機構を有する自立歩行訓練支援装置（開発中）



自走式モデル

つり下げ免荷を自動で行い上体を保持、歩行動作および体勢に装置が追従します。



左右独立式可動トレッドミルモデル

つり下げ免荷を自動で行い、かつランパーサポートにより腰部の安定を確保します。

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 現状、医療現場に導入されている介助保護機器は非常に少なく、今後インテリジェント性をもった医療介護機器が評価され、市場は拡大すると期待できる。 歩行訓練支援装置の市場は大手企業が参入しにくいニッチ市場。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 医療機器とするためには法的問題をクリアする必要がある。産業化を目指すには理工系ばかりで無く、医学・医療系、現場の声を含めた共同研究が必要。 今後はハード面の高度化と平行して、安全性、親和性の定義・基準化が必要。 次世代産業とするには迅速な制度緩和、費用支援など、行政の協力は不可欠。

②(株) 知能システム

アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」を開発

・ 事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> メンタルコミットロボット「パロ」を開発した(独)産業技術総合研究所が、「パロ」の商品化のため、2004年に富山県南砺市に設立。 富山県は、パロの開発者、産総研の柴田主任研究員の出身地でもあり、豊富な水資源と低廉な電力を活用した産業集積地でロボット産業に必要な要素技術があり、且つ手作りに適した伝統芸術の価値を認める風土から選定された。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> メンタルコミットロボット「パロ」に関する開発・製造・販売、リース、賃貸、メンテナンス、輸出、輸入業務など「パロ」に関わる一切の業務

・ 特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> セラピー効果があるロボットとして欧米でも高く評価されており、02年には最もセラピー効果があるロボットとして、ギネスブックに認定。 開発者の柴田氏が役員を兼ねており、ロボット・セラピーの実験を通して、衛生面、安全性、信頼性、耐久性、メンテナンス性などの観点から改良を重ね、現行の第8世代を完成させた。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 04年に第8世代のパロを実用化第一弾としてリース開始、05年に愛・地球博で話題となり本格販売開始、これまでにテスト市場の国内で約1200体を販売。 今後は、第8世代の改良版で北欧や米国を主市場に展開する予定。

・ 説明図

アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」



・ 動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 高齢化が進む欧米先進国ではパロのセラピー効果が高く評価されており、今後、国が主体となって福祉施設や医療施設への導入が進むであろう。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> ロボット・セラピーとして、認知症・自閉症など、目的や対象に合わせた反応が出来るパロの開発・改良と効果をさらに高める使い方の提案。 本社でのオーダーメイド受注や地域の観光地と合わせた産業観光への貢献。

③野村ユニソン(株)

「人と共生し、人に役立つロボットを」の思いから、ダンスパートナーロボットを開発

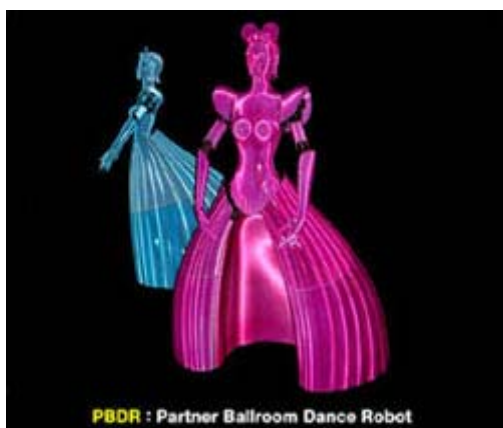
・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1954年、亜鉛、アルミダイカスト、金型製造業の野村ダイカスト工業所創立。66年野村工業に改組、05年エスエヌ精機と合併し、野村ユニソン(株)となる。 05年に人間と協調して動くダンスパートナーロボットを東北大学と共同開発。 07年に6軸ロボットを使用した自動組み立てシステム「NURS」を開発し、自社工場ラインへ導入。現在も産学連携して、種々のロボット開発に取り組んでいる。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 産業用ロボット・生活関連ロボット、バルブ駆動装置製造、液晶・半導体関連装置・医療用機器の設計・製作、各種金型の設計・製作、精密中空鍛造品、各種ダイカスト品、精密加工品の製造、洋酒輸入卸・販売

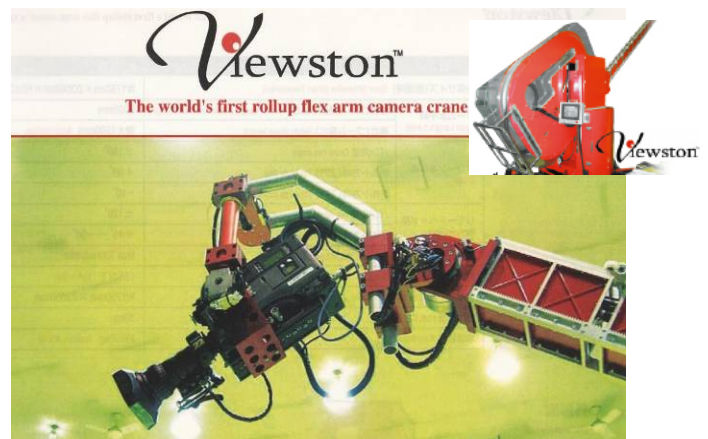
・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 金型、鍛造、ダイカストなどの伝統技術に、液晶、半導体、太陽電池関連装置の先端技術を融合して、人と共生し、人の役に立つロボットの開発に対応。 ダンスパートナーロボットは、愛・地球博(2005年)をはじめ、世界中のフェスタで大人気を博し、07年度にはグッドデザイン賞を受賞。 経済産業省の「平成19年度戦略的基盤技術高度化支援事業」の「川下分野横断枠」(全国で6件)に採択された研究開発力。 08年にはフジテレビと共同でリモコン雲台を装備した世界初の巻き取り式アーム構造のテレビカメラ用クレーン撮影ロボット「ビューストーン」を開発。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> ダンスパートナーロボットは、現在、研究用、展示用各1台保有。ニーズがあれば販売する。 撮影ロボット「ビューストーン」は、09年度から全世界に向けて販売を開始した。

・説明図



ダンスパートナーロボット



フジテレビと共同開発した撮影ロボット「ビューストーン」

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 産業用ロボット市場は成熟しており、今後はダンスロボットの開発で培った要素技術を糧に、医療・介護・福祉などの生活関連分野に注力していく。 ロボット開発につながる新材料、新工法の開発・高度化に取り組んでいる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 中小企業では、人・物・金=経営資源に限界がある。産学が得意分野で連携して効率的な物づくりを進めることが必要。 ロボット事業への開発普及補助金制度の充実と安全基準、関係法規の整備。

④(株) ビジネスデザイン研究所

高齢者、子供向けコミュニケーション・ロボット「ifbot」を開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1990年出版・印刷業として創業、02年に設立された産学官連携のヒューマンロボット・コンソーシアムで感性コミュニケーション・ロボットの共同研究を開始。 02/9に関係者の支援を得て、ビジネスデザイン研究所により「if」の商品化決定。 03/3に「ifbot」試作機を完成、04/4「ifbot」、04/12「よりそい ifbot」販売開始。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 高度なコミュニケーション技術により、人の言葉や気持ちを認識し、表現・動作を交えて楽しくコミュニケーションを図ることができ、あらゆる年代、あらゆる生活場面において存在感を持ったロボットの企画、開発、製造及び販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> グッドデザイン賞を受賞(2003年「ifbot」)。 最先端の音声・画像を含むロボット制御技術とコミュニケーション技術を保有。 独居高齢者向け「よりそい ifbot」の会話コンテンツは、大学教授、福祉関係者の協力により作成、効果として病院・福祉施設等で脳の活性化が実証されている。 名古屋大学、MITメディアラボとの次世代ロボット共同研究やNEDO次世代ロボット共通基盤技術開発プロジェクト採択に裏打ちされる高度な技術力。 ハローキティロボ、PoCoBoT、受付ロボットメガロイドタイプC3を開発。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> パブリシティやイベント・福祉用具プラザでの展示を通じた直販、HPでの通販。 プレオ(PLEO)、ナバズタグ(nabaztag)など、海外ロボットの輸入・販売総代理店。 08/6にロボット開発のベンチャー企業4社で「次世代ロボット市場創造連盟」を設立し、情報交換や販促、宣伝・マーケティングで相互協力している。

・説明図

ロボットラインナップ



・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 高齢化が進み、老人医療費や家族の介護負担が増える中、認知症予防に効果があり、介護支援に役立つロボット市場は有望と考えられる。 ネットワークを活用したコミュニケーション・ロボットの普及。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> より使い易く、分かり易く、安全で安価なロボットの開発・改良。 中小企業に対する実用化・普及段階における費用支援施策の充実。

⑤(有) ファイン・バイオメディカル

血管内手術の技術トレーニングのための超精密人体ロボット「EVE」を開発

・ 事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 2005年5月に名古屋大学大学院福田研究室で血管内手術シミュレーション用超精密人体ロボット「イブ」が誕生。イブを社会に普及するため、当時の開発スタッフである大学院生を社長に名古屋大学発ベンチャー事業として設立。 05年12月に第1号を出荷、06年1月に名古屋医工連携インキュベータに入居。 現在も名古屋大学と連携し、継続的にイブの高度化研究を進めている。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 医療用を中心とする3次元立体モデルの開発・製造・販売。 先端医療及び微細元造形技術に関する研究・開発及び販売。 造形技術・先端医療に関するコンサルティングなど。

・ 特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 2006年、グッドデザイン賞「ユニバーサルデザイン特別賞」及び経済産業省今年のロボット大賞「優秀賞」受賞。 患者のCTやMRIデータから、シリコン樹脂により患者固有の血管形状や柔らかさ・しなやかさを精密忠実に再現し、IVR手技全般のシミュレーションを実現。 手術途中で血管にかかる応力を計測し、術中に医師にフィードバックし、術後には結果を多角的に分析、評価するロボットシステムの商品化を進めている。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 多くは医療機器メーカー向けに、機器の評価シミュレータとして販売。 テーラーメイドロボットについては海外での実績を先行することで、準備中。

・ 説明図



システム全体の構成例

超精密手術シミュレータ「EVE」

EndoVascular Evaluator



・ 動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 医師の技術向上や医療事故の予防に対する意識の高まりから、手術の教育制度や認定医制度が整備され、国内でテーラーメイドのニーズも高まってくる。 世界的なシミュレーションブームで、血管以外の臓器手術シミュレーションロボットも将来、市場として有望。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 臨床用のテーラーメイドロボットは保険対象外のため国内病院で普及が進んでいないが、行政や医療機関の理解と協力を得て、市場拡大に努めたい。 テーラーメイドロボットの販売チャネルの確立と営業要員の確保・育成。 脳血管だけでなく他の部位の血管・臓器にも対応できるよう製品枠を拡大する。

3.4.4 社会応用・支援ロボット分野

①スマッツ(株)

大学、研究所向けの研究・教育用ロボットの設計・製作

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 約 20 年間、ロボットメーカーの草分けとして、農業ロボットや学校・公設試向けロボットの設計・製作をしてきたロボス(株)の流れを引き継ぎ、2006 年末に設立。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 研究・教育用ロボット及びメカトロニクス製品の企画・販売。 研究用ロボットの設計・製作。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 得意技術は、車輪型移動ロボット、関節型ロボットのハードウェア設計・開発。 国際ロボカップサッカー小型ロボットリーグで、自社ロボットが 2,3,4 位を受賞。 ロボットに必要な CPU 基板、センサ類は自社で設計・製作外注。 いま評判のイフボット(ifbot)は、ロボス時代に基板から設計まで開発したもの。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> PLEO (プレオ)、914PC-BOT など、国内外のロボットメーカーの販売代理店。 自社開発品は、大学、研究所等からの委託開発を基本。

・説明図

スマッツ開発品

つくばチャレンジ 2007ロボット

「つくばチャレンジ」は、人々が生活している空間の中で、ロボットが確実に、かつ自律的に動き回って働く為の技術チャレンジ。同様の問題に直面する機会の多いスマッツ(株)ではこの趣旨に賛同して評価用ロボットを製作、一人で持ち運びできる高性能軽量ロボット。



ロボカップ 小型リーグロボット

旧機に比べ車輪の改良、キックの強化、チップショット機構の追加、ソフトの改良がなされて得点能力向上、2009 グラーツ大会で 2 位 (愛知県大)、4 位 (大阪電通大) に輝いた。

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> ロボットには高度な技術要素を使うことから高価となり、費用対効果が悪くても機能重視の分野の産業が成り立つ。多種少量生産が主流となろう。 得意分野の車輪がある移動ロボットの応用技術を生かせる官需と農業ロボットの開発を目指している。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> ロボット開発には莫大な費用をかけ、価格のために生産を海外に移管することは、国内の産業・生産技術の低下を招くので今後の技術政策課題。 当地域にロボット事業を創生するには、産学官が連携して推進する必要がある。

②トピー工業(株)

災害現場などで探査・点検活動を行うクローラ（履帯）ロボットを開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1964年にプレス事業部の前進の車輪工業(株)、スチール事業部の前進の東都製鋼(株)、造機事業部の前進の東都造機(株)、鉄構事業部(現・トピー鉄構(株))の前進の東都鉄構(株)の4社が合併し、トピー工業(株)として発足。 08年 ロボット等の新事業開発の「サイエンス事業部」を創設、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼業をベースに、各種自動車用ホイール、建設機械用足回り部品、橋梁、看板広告、化学製品、ロボット等の製造・販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 素材の生産から加工まで一貫した生産体制をもつ金属加工の総合メーカーで、自動車用ホイールでは国内最大手で世界トップクラスの生産量、建設機械各種足回り部品では国内シェア80%以上、世界シェア50%で世界No.1。 クローラロボットには東工大と03～05年に共同開発したクローラモジュールを採用、大型機は高い機動性を持ち、光ファイバー通信で300mの探査活動が可能。 大型機と同様、階段を乗り越えられるようフリッパーを装備した小型機を開発。 ゴム製のクローラベルトにSUSの薄板を入れて軽量化し、ラグにも形状や特性に工夫を加え、可搬性と機動性を向上させている(特許取得済み)。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 東工大と共同開発したクローラモジュールを、大学発ベンチャーとの産学協同プロジェクト「ハイボット・トピー・プロジェクト」で販売中(05年10月～)。 07年4月からは、消防・警察・自衛隊向けの探査活動用特大型クローラロボットと民間向けの床下等狭小空間点検用の小型クローラロボット2機種を販売開始。

・説明図



小型床下点検ロボットAnie (エニー)



小型クローラロボット「S92」

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 消防は市町村単位での購入のため、予算上、高機能で高価なものより、基本性能は落とさず、機能を限定した安価な機種が望まれる傾向にある。 官需だけでなく、民間の各種点検業務用途が拡大する。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 開発初期段階では行政が積極的に採用し、事業化環境を整備して欲しい。 海外展開のための安全保障技術と保守体制の整備。

③(株)丸富精工

世界初の対向型5指ハプティックインターフェイスロボットを開発

・事業の沿革と概要

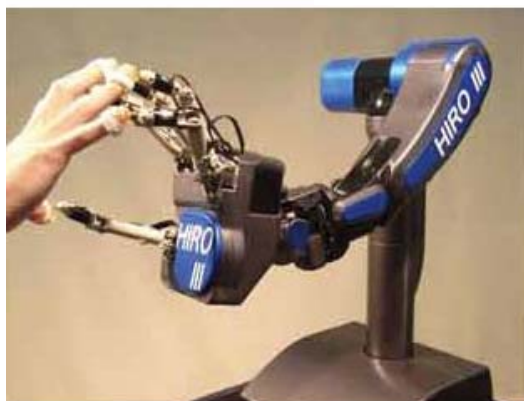
沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1962年野田鉄工所設立。67年(有)丸富鉄工所に法人化、83年(株)丸富精工に改組。 94年に11社で異業種交流研究会「ぎふプラザ94」を発足、その中に96年岐阜大学と共同でロボットハンド研究会に参加。 2001年に触覚インターフェイス用アーム機構を岐阜大学+4社で開発に着手、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 金属加工及び専用機・治具などの設計製作。 産学官、異業種連携による共同開発。 過熱水蒸気発生装置の製造販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 製造3部門(金属加工部門・組立部門・開発設計部門)が連携してお客さまの要望に応じた柔軟な受注形態がとれる。 環境省、総務省、岐阜県、NEDO公募の共同研究事業に採択された技術開発力。 2007年に岐阜大学工学部川崎・毛利研究室と世界初の対向型5指ハプティックインターフェイスロボット(HIRO-III)を共同開発。その後は、手指・上肢リハビリ支援ロボット、林業向け枝打ち支援ロボットを共同開発中。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> HIRO-IIIを08年秋からロボット関連学会の展示でPRし、研究用として直販を開始した。今後は活用が考えられる事例を調査研究し、販売先の間口を拡大する。

・説明図

Haptic Interface Robot



HIRO-III

研究開発したHIRO IIIの特徴

- 1) 人間の5本の指先に3次元の任意の方向に力覚が提示できる世界初の力覚インターフェイスです。
- 2) 卓上操作をほぼカバーする作業領域があり、人間の手と対向して設置し、指ホルダーと永久磁石を介して接続するため圧迫感もなく安全です。
- 3) ユーザインタフェースライブラリーにより、ユーザがHIRO IIIを利用しやすい環境を提供します。
- 4) 手先に立体映像を配置しHIRO IIIで操作することで、臨場感のあるVR環境での物体操作を実現しました。

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> HIRO-IIIは、医療訓練システムや遠隔操作など、汎用的なインターフェイスとして利用範囲が広がるものと期待している。 ロボット用に開発したシステムは高価なので、現実的には開発した技術要素を基板などに分割して販売することも有望。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 応用システムの開発及び販売におけるパートナー、コーディネータ企業の拡大。 中小企業の販売PR、海外展開に対する行政の資金援助・支援制度の充実。 リハビリ支援ロボットの実証試験の積み重ねによる安全性、信頼性、機能向上。

3.4.5 特殊環境応用・支援ロボット分野

①(株)シーテック

水力発電所の水中工作物を点検・計測する水中検査ロボットを開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1962年に中部電力(株)から発電所・変電所の保守業務を分社化し、中電興業工事(株)を発足、63年中電工事(株)に社名変更、99年(株)シーテックに社名変更。 水中検査ロボットは水力発電所で河川の容易に抜水ができない箇所、潜水員が入るには危険な場所を対象に開発し、86年から点検作業に導入。 00年に水圧鉄管内肉厚測定ができる水中検査ロボットを開発。以後、機能を拡充し、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 中部電力グループ。 発電送電施設・設備の保守整備、CATV事業、電気通信設備工事・保守、熱供給事業、風力発電事業など、インフラの総合整備事業。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 水中検査ロボットは、最大調査深度 600m、調査範囲 1500m で地上からのリモコン操作で全方向の姿勢制御、ビデオ撮影、板圧測定、塗膜厚測定（国内唯一）ができる。開発は中部電力、三井造船と共同で実施。 火力発電所の取水槽内堆積物を水中走行しながら回収する「水中排砂ロボット」や水力発電所の水圧鉄管用「小口径鉄管内面塗装ロボット」も開発導入している。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 検査測定業務を一括して受注し、ロボットのみの単独販売はしていない。 中部電力からの受注が主だが、電力以外のダム・湖・海等の水中調査にも対応。 HP上で技術情報を発信・PRし、全国からの受注につなげている。

・説明図



水中検査ロボット



水中排砂ロボット

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 水中検査ロボットは、人的災害の心配がなく安全で長時間の調査が可能で潜水員が行けない場所の点検等作業が出来ることから、種々の水中業務に活用できる。 検査測定だけでなく、塗装補修や溶接補修へのニーズが高まる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> ロボット活用ニーズの発掘による受注工事量の年間平準化と採算性の確保。 水中発錆部の部分塗装機能、溶接補修機能の早期開発・実用化。

②(株)スギノマシン

プラントの健全性を維持するメンテナンスロボットを開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1936年、空気圧、水圧チューブクリーナ専門製作工場として杉野クリーナー製作所創業。56年(株)杉野クリーナー製作所に改組。 70年頃 旧通産省から受託し、日本初のオールエア制御式ロボットを開発。 71年 (株)スギノマシンに社名変更。 70年代中頃から原子力発電所のメンテナンスロボットに参入、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 高圧ジェット洗浄装置、超高压水切断装置、原子力発電所検査保守機器、湿式微粒化装置、ドリリングユニット、タッピングユニット、マシニングセンタ、拡管工具・装置、抜管装置、鏡面仕上工具等の開発・設計、製造・販売

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> コア技術の超高压（最高 1500MPa）ウォータージェット技術で洗浄、バリ取り、剥離・はつり、切断加工などの装置を開発し、これらを多関節ロボットと組み合わせ、CGを用いて遠隔操作する特殊環境作業ロボットを開発している。 プラント施設には、狭隘部配管群などの溶接部を検査する配管渡りロボット、ウォータージェット技術を活用して洗浄するロボット、構造物に欠陥が発生した場合、大きな欠陥にならないうちに補修したり、金属表面の残留応力を割れが発生しにくい状態に変えるなど、プラント施設の健全性を維持するためのロボットを開発、製品化している。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> ロボットは、原子炉メーカーなどを通じて、電力会社、化学プラント等に納入している。ロボットを使用する際には技術者の派遣も行っている。

・説明図



配管渡りロボット（溶接部検査）



7軸同時制御検査ロボット

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 温室効果ガス排出削減規制強化により、既存のプラントの延命が必至となり、保守・検査を行うメンテナンスロボットの需要は高まる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉メーカーと共同した原子力施設の補修および健全性維持技術の開発。 効率的で安全・確実、多機能なメンテナンスロボットの開発。

③東邦ガス(株)

ガス導管の溶接接合部検査に超音波検査ロボットを開発・導入

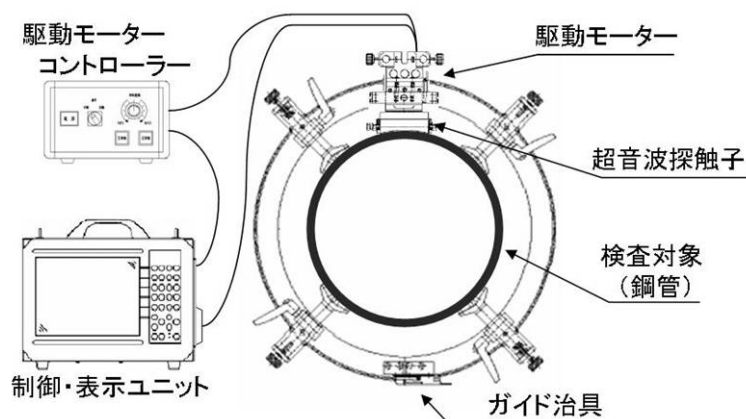
・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1922年に設立。名古屋瓦斯(株)を買収しガス事業開始。 03年 合同瓦斯(株)、岐阜瓦斯(株)、岡崎瓦斯(株)を合併。お客様数 200 万件突破。 08年 桑名市から一般ガス事業を譲り受け、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> ガス事業、熱供給事業、電気供給事業。 液化天然ガス・液化石油ガス等の高圧ガスの製造、輸送および販売。 ガス機器・空調設備機器・厨房設備機器・給排水設備機器等の製作および販売。 土木・建築・電気・管・機械器具設置工事の設計、監理および施工等。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> ガス溶接鋼管の溶接部検査用に超音波検査ロボットを(株)東芝と共同開発し、08年の春に正式採用し、東邦ガスの現場に導入している。 溶接した鋼管にガイド治具(スキャナー)を取り付け、超音波探触子を溶接部に沿って走らせ、溶接部の溶け込み不足を自動検査する。検査結果はPC画面上に分かり易い3D画像で表示され、特別な資格や経験を必要とせず、即時に現場で判定が可能。 適用口径: 200A~300A、適用管種: 直管部、検出対象: 0.5mm以上の溶接欠陥
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 超音波検査ロボットは現在、東邦ガスの現場で3台稼働中、(株)東芝から購入可能。

・説明図



超音波検査ロボット構成と超音波検査風景

・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> ガス導管やガス貯蔵設備を始め、各種ガス設備の検査において、作業の品質・安全性向上および効率化のため、検査ロボットのニーズは高まる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 更なる作業性の向上。 400A以上の大口径への対応のための軽量化を目指した改良。

3.4.6 その他分野

①三友工業(株)

世界最高精度の魚切り身ロボット「スーパーイタサン」を開発

・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1954年に工作機械修理、起重機・エレベータ設計製作の(株)三友工業所創設。 84年、三友工業株式会社に改称。 00年11月、三友スーパーイタサン販売開始。 05年6月スーパーイタサン「若大将」開発販売、現在に至る。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> ゴム射出成形機、省力化・自動化システム装置、各種産業用設備機械、防音・消音装置、鶏卵自動販売機、マイコン式自動切身機、航空宇宙機器、発電機、産業用制御装置、マイコン制御装置等の設計・製造。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> H17年度 愛知ブランド企業認定、ものづくりブランドNAGOYA受賞。 鮭、ブリなどのフィレを、タッチパネルで設定した質量(誤差3~5%以内)、長さ、幅に高速で切断加工する切り身ロボット「スーパーイタサン」を独自開発。 肝となる技術は特許取得済み、この分野で国内シェアトップメーカー。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 海外は量り売り主体のため、市場は国内に限定して直販。 メンテは全国の指定工場に対応。

・説明図



・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> 現在の製品は魚を半解凍(-3℃~-8℃)して切断しているが、品質維持のため冷凍(-20℃)のまま切断できる新製品を開発中で10年度中の発売を目指す。 肉(脂肪分が多く、非均質)の切断要望もあり、実用化に向けて研究中。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 日本向けに人海戦術で大量加工をしている東アジア諸国も市場候補であるが、機械のコピー防止対策が必要。 画像処理と搬送機構の改良による切断精度の向上およびコストダウン。

②(株)ダイニチ

世界初の5本指自在、人間型ロボットハンドを開発

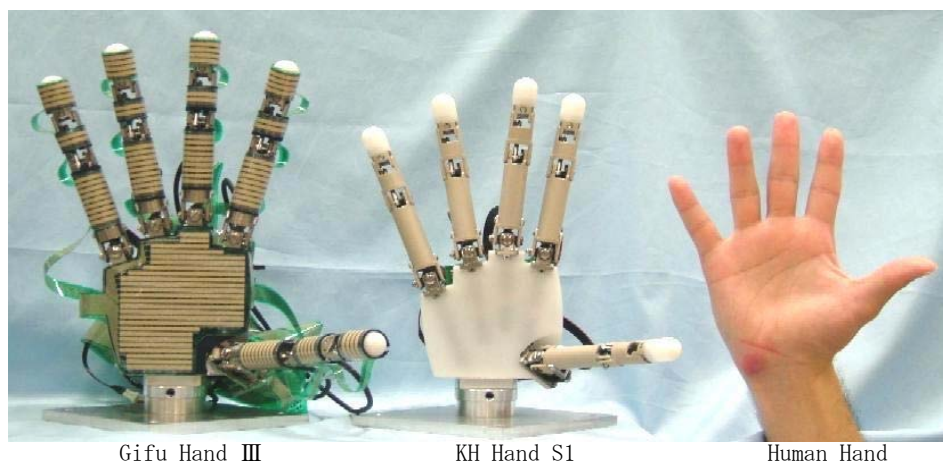
・事業の沿革と概要

沿革	<ul style="list-style-type: none"> 1951年に(株)大日鉄工所設立。90年社名を(株)ダイニチに変更。 96年から異業種交流研究会「プラザ94」に岐阜大学を加えて発足した「ロボットハンド研究会」で岐阜県研究開発財団の助成を受けて研究開発に着手。 99年からは岐阜大学と2者で研究開発を続け、01年暮れに研究用ロボットハンド「Gifu Hand III」を完成・販売を開始、現在も岐阜大学と共同研究を継続中。
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> NC複合加工、小径・深穴加工、ホーニング、超硬ドリルの再研磨。 研究用ロボットハンド「Gifu Hand III、III L」「KH Hand S1」の製作・販売。

・特徴

技術面	<ul style="list-style-type: none"> 5本指で合計20関節16自由度を有し、サーボモーター内蔵により小型・軽量化して人間の手と同様な動作を実現。ヒューマノイドロボットの手に最適。 第21回日本ロボット学会「第8回実用化技術賞」(03年)、平成18年度科学技術分野 文部科学大臣表彰「科学技術賞(技術部門)」(06年)ほか多数の賞を受賞。 明日の日本を支える「元気なモノ作り中小企業300社」に選定(07年) 微細穴加工、超硬ドリル再研磨など、ニッチでハイテクな分野での先進企業。
販売等	<ul style="list-style-type: none"> 学会等の展示PRや口コミを通じて有力大学・研究機関、企業から受注し直販。 年内の海外展開を計画中で、商社による販売ルートや英文HPの整備中。

・説明図



・動向と課題等

動向	<ul style="list-style-type: none"> ロボットハンドは、宇宙空間や原発等の極限環境での作業において、人間に代わって器用で正確な作業を実現するために必要不可欠なツールになる。 医療福祉分野では、手のリハビリや老人、病人介護への応用が期待できる。
課題等	<ul style="list-style-type: none"> 複雑な加工が出来る工作機械の導入とロボット開発に携われる人材の確保。 中小企業にとって資金的に長期に研究開発を継続することは困難なため、大学と連携して行政等の研究開発支援金を獲得すること。 医療器具としての効果検証や安全基準が厳しく、認可まで費用と時間を要する。

第4章 次世代ロボット産業の注目技術

4.1 要素技術

4.1.1 ロボット要素

(1) 生体信号処理を利用したインターフェース

癒し系ロボット、介護ロボットやリハビリロボットなど、人と協調して働く場面でのロボット開発が進んでいる。この場合、利用者である人の意思を反映してロボットを動作させるようなロボットヒューマンインターフェースの開発に関する研究が進んでいる。

(2) 生体電位解析

CYBERDYNE社[1]は筑波大学大学院の山海嘉之教授の研究成果により 2004年6月に設立。

同社によって開発されたHALは、利用者の皮膚表面の生体電位の変化を利用して動作させることで、利用者の意思に反映した動きを実現している。

介護者に装着して、腰の負担を軽減させるロボットや、筋力の落ちた人の歩行支援などへの応用も進められている。



" Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc. "

図 4.1 HAL™

(3) 個人最適化

マッサージチェアの技術開発も注目に値する。2009年パナソニックが開発したマッサージチェアRealProシリーズ[2]では、チェアに装着されたセンサーにより被験者の体型を認識し、体型に合わせた揉み圧に最適化している。



図 4.2 RealPro

(4) ロボット要素

ロボット要素の開発は地道であり、画期的技術は見当たらない。しかし、一方では着実に進められている部分もあるので、断片的ではあるが、そのいくつかを記載する。

a. コスト低減

ロボット実用化の最大障害の一つは価格である。その理由は人が簡単にできることがロボットには非常に困難であることが多く、開発費が高くなる傾向にあるからである。また、家庭内ロボットは家電製品と比較されることもあり、いわゆる“ねごろ感”のある価格対応も必要となる。ここでは、取組中のいくつかの例を紹介する。

① ネットワークプラグインアクチュエータ

ロボット価格を高くする要因のひとつが組み立て費用である。その中でも多数の配線作業の低減は大きな課題である。したがって、省配線化はロボット価格低減の有力な手段となるが、現状のモータ（AC サーボモータ）はモーター本体とモータドライバが分割され、その間を複数の線で接続している。この配線方法はモーターの数が増えるほど深刻になる。この問題を解決するために、モーターとドライバを一体化し、かつ、ネットワークにプラグイン化する技術等が開発されている(図 4.3[3])。省配線化は多くの配線の接続や引き回し調整作業を低減するだけでなく、導通チェック等の調整作業の大幅低減も可能とする。

② インターフェースコネクタ

上記と同じ観点からはセンサーの省配線も同じ課題を有する。しかし、ロボットには多様な種類・形態のセンサーが活用されており、統一的な省配線化を行うことは困難である。その解決策としてセンサーインターフェースのオープン化と通常のコネクタと同じ形状をしたインターフェース変換機器の導入が考えられている。この方法によれば、既存のセンサー情報も容易にネットワークに接続可能となり、ロボット体内配線の飛躍的減少と組み立て工数の低減が可能になると判断できる(図 4.4[4])。

b. 軽量化

ロボットの軽量化は着実に進展している。その要因は、アルミ等の軽量金属やカーボンファイバー強化樹脂等の軽量・高剛性材料の導入、軽量・高剛性減速機の改良とモーターの高出力化の組み合わせによるところが大きい。しかし、セル生産ロボットや生活支援ロボット等ではさらなる軽量化が望まれている。この課題を解決するためには、ロボット機構と運動制御の新しい発想が必要となる。その発想例として、以下を掲げておきたい。

① 柔軟構造材と制御

自己ダンピング特性を有する、しなる構造材で構成されるロボットを超高速ビジュアルフィードバックによって制御する（対象物ベース制御）。このことでロボット構造材は大幅に軽量化が可能となる。

② 瞬発アクチュエータ

ロボットのアクチュエータは、多様な出力条件で活用されるが、連続的に大出力を要求される時間は非常に短い。一方で、現在のアクチュエータは長い時間の出力を保障するように設計されている。この発想をかえ、瞬間パワーに着目したアクチュエータ設計と制御手法の導入がロボット軽量化に有望な技術である。今後、注力されるべ

き技術と思われる。



図 4.3 NPA

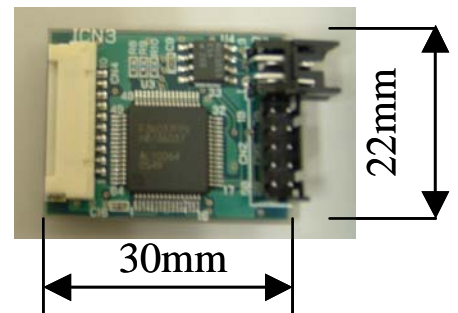


図 4.4 CAN コネクタ

参考文献

- [1] CYBERDYNE 社, <http://cyberdyne.jp>
- [2] マッサージチェア RealPro シリーズ, <http://panasonic.jp>
- [3] Takuya Izuchi, Munetoshi Hotta, Takeo Oomichi, Shigeo Seki, Junji Oyama: Development of Network Plug-in Actuator, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 19, No. 2, pp232-242, Apr. 2007
- [4] 小阪 正朋 (名城大), 福森 聡哲 (名城大), 蓑田 進平 (名城大), 鬼頭 孝嘉 (名城大), 大道 武生 (名城大); CAN コネクタの応用性に関する研究, SI2006 講演予稿集 CDR 3B1-6, 2006. 12.16

4.1.2 触覚センサー

ロボットの要素技術として、触覚センサーが注目されている。力（覚）センサーに比べ、多くが研究段階であるが、ロボットの能力を高めるには不可欠な要素技術となっている[1]、[2]。

名古屋工業大学では、図 4.5 に示すような触覚センサー内蔵ソフトフィンガが開発されている[3]。バイオミメティックな観点から、開発された触覚センサーでは、物体表面との摩擦に依存して表皮の横伸びが生じるため、内蔵したコイルセンサーでせん断ひずみを測定することで、対象物の滑りやすさが推定される。また、摩擦状態に応じて感度よく皮膚が伸縮するように、表皮はディンプル状の蛇腹構造になっている。なお、摩擦係数が小さいほど、より大きなせん断ひずみが生じる。

非均一な皮膚構造（白い表皮の下はゲルが詰まっている）となっていることで、把持力が小さい段階で判別が可能であり、触れた瞬間に滑りやすさがわかる。さらに、せん断ひずみ速度に関する触覚情報からも摩擦状態が推定できる。初期滑りの段階での滑りの予知も可能となっている。

東京大学とパナソニック（株）は、図 4.6 に示す超小型 MEMS 3 軸触覚センサーチップを開発している。2mm×2mm×0.8mm と米粒の半分程度の大きさのチップに、圧力センサーと 2 軸のせん断力センサーが組み込まれている。せん断力センサーは、垂直に立った二つのカンチレバー（片持ち梁）が直交した状態で配置されており、カンチレバーの根元にピエゾ抵抗層が形成されている。ピエゾ抵抗は、金属ひずみゲージよりも、かなり感度がよい。

センサーチップ自体が極小なため、任意の曲面上に任意の密度で実装することが可能である。したがって、シートに複数のセンサーを埋め込んだ場合でも、シートを湾曲させることができる。本センサーは、「今年のロボット」大賞 2008 優秀賞一部品・ソフトウェア部門を受賞している[4]。

近年、多品種少量生産のためのセル生産が注目され、この生産方式に対応したロボットの開発が求められている。たとえば、傾いていたり、逆さになっていたりする多種多様な対象物を確実に把持する場合は、ハンドと対象物との接触位置と姿勢を的確に検出しておくことが重要となる。(株) 東芝では、指先全周囲を被覆することができる触覚センサーを開発している[5]。これを装着することで、ロボットが傾いた皿の上の楊枝をつまんだり、

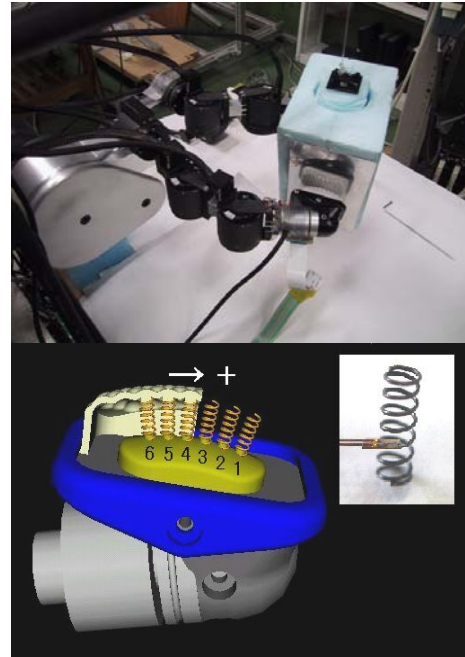


図 4.5 バイオミメティック触覚センサー
(名古屋工業大学)

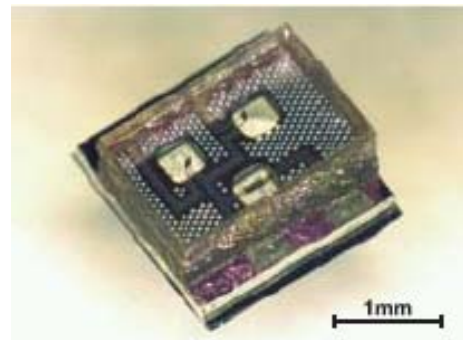


図 4.6 超小型 MEMS 3 軸触覚センサーチップ
(東京大学・パナソニック)

重なった皿の一枚だけを取り上げるなど、非常に器用な作業が行えるようになっている。

開発した触覚センサーは静電容量方式で、エアギャップコンデンサを押したときの静電容量変化を、演算増幅器で電圧に変換して出力する。コンデンサの上下の電極を縦横に並べてマトリクスを形成することで、圧力分布が計測できる。また、シリコン樹脂成型基板と超薄型フレキシブル基板で構成され、市販品に比べて柔軟かつ数倍の高感度になっている。

(独)理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センターでは、触覚を用いて人を抱き上げるロボット「RI-MAN (リー・マン)」を開発している[6]。日常生活環境で、人と触れ合いながら柔軟に力仕事を行うロボットを目指している。RI-MANは、全身が厚さ約5mmの柔軟なシリコン素材で覆われている。さらに、全身5箇所に柔軟な面状触覚センサーを備えている。

RI-MANの最大の特徴は、触覚を利用して人間と同サイズの人形を抱き上げられる点である(図4.7参照)。触覚は、柔軟な面状触覚センサーで piezo 抵抗型の圧力センサーを18mmピッチで8×8並べて実現している(図4.7参照)。また、人間の皮膚構造からヒントを得た硬軟2種類の弾性体を組み合わせた構造により、触覚センサーの感度を上げている。

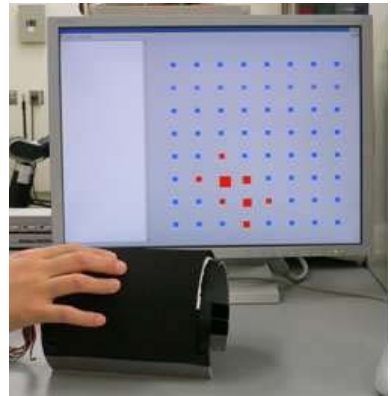


図 4.7 面状触覚センサー
(独)理化学研究所提供

参考文献

- [1] 特集：触覚技術、計測と制御、vol. 47, no. 7, 2008.
- [2] 日本機械学会講習会「触覚技術の基礎と応用」ーヒトの触覚理解からヒューマンマシンインターフェースやロボットへの応用までー教材、no. 09-54, 2009.
- [3] 佐野明人、西恒介、宮西英樹、藤本英雄：触覚情報に基づく遠隔臨場感多指ハンドシステムの構築、計測自動制御学会論文集、vol. 40, no. 2, pp. 164-171, 2004.
- [4] 「今年のロボット」大賞 2008, <http://www.robotaward.jp/archive/2008/prize/>
- [5] 菅原淳：器用な作業を実現するための触覚センサー技術、東芝レビュー、vol. 64, no. 1, pp. 24-27, 2009.
- [6] 理化学研究所プレスリリース 触覚を用いて人を抱き上げるロボット「RI-MAN(リー・マン)」の研究・開発、
<http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/press/2006/060313/Detail.html>

4.1.3 制御

従来のロボットは、ロボットにとって理想的な環境下で、単純な繰り返し動作を行うことに利用されてきた。しかし、次世代ロボットは、一般家庭や病院、人と協調作業する作業現場など時々刻々と環境が変化する中で、複数のタスクを実行することが要求される。このような次世代ロボットの環境下において、ロボットを安定的に、かつ効率的に動作させるためには、ロボットへの制御理論の導入が必要不可欠である。

従来の産業用ロボットに用いられる制御は、センサーフィードバックを用いず、予め計画した動作プログラムを実行するフィードフォワード制御や目標値と出力値との偏差を比例、積分、微分し、加え合わせることで操作入力とするPID制御などの単純な制御方式であった。これらの制御は設定パラメータが少ないため、熟練技能者が環境に応じてパラメータ調整することで所望の動作を実現することができた。しかし、次世代ロボットで求められる時々刻々と変化する環境下で、複数のタスクを効率的に、かつ自律的に実行することをフィードフォワード制御やPID制御だけで行うことは困難となる。そこで、近年では、ロボット技術やシステムインテグレーション技術へ適用可能な制御理論が開発されている。

これらの制御理論の中で代表的なものを以下に紹介する。なお、ロボットの制御理論に関する詳細は、文献[1]を参照されたい。

(1) ロバスト制御

ロバストとは、「頑丈な」、「頑強な」を意味しており、ロバスト制御とは、その名の通り、制御系設計時に用いた制御対象モデルと実際の制御対象の特性が、多少異なる場合においても、安定性を損なわない制御設計法である。代表的なロバスト制御として、 H_∞ 制御[2][3]が提案されている。これは制御系設計に用いるモデルであるノミナルモデルと想定される実際の制御対象の特性とのモデル誤差を見積り、モデル誤差も含めた拡大プラント（一般化プラント）を用いて、閉ループ系伝達関数の H_∞ ノルムが所望の値より小さくなるようにコントローラを設計する手法である。従来の制御理論では、制御系設計に用いるモデルは制御対象の特性を正確に記述することが前提となっていた。しかし、制御モデルが、実現象を正確に表現することは、プラントが複雑になるにつれて困難となる。ロバスト制御は、制御系設計に用いるモデルの不確かさを考慮した制御理論であり、実用的な理論である。

(2) ハイブリッドダイナミカルシステムの制御

ハイブリッドダイナミカルシステム[4]-[6]とは、離散事象と連続時間変数の混在したシステムを示す。速度制約や位置制約などの状態拘束を伴うシステムや装置の故障によりシステム変数の次元が変化するシステムなどが、ハイブリッドダイナミカルシステムと呼ばれる。このハイブリッドダイナミカルシステムに対する制御理論としては、予測制御[7][8]、リファレンスガバナー[9]-[11]、スイッチング制御

[12]、スーパーバイザ制御[13]などが挙げられる。例えば、リファレンスガバナーは、制御システムの状態に応じて目標値（リファレンス）を整形する制御手法であり、モータ制御へ適用した際に、入力値の制約や速度制約がある中で効率的に制御することが可

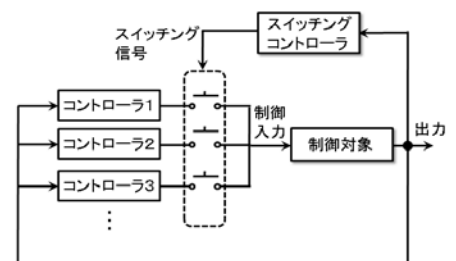


図 4.8 スイッチング制御

能であり、モーターの特性を最大限に引き出すことができる制御手法である。また、図 4.8 に示すスイッチング制御は、複数のコントローラやコントロールパラメータを有しており、制御目的と環境に応じてコントローラを切り替える制御手法である。スーパーバイザ制御は、制御システムを操業中に制御目的を変更できることや、フォルトトレランスといったロボットや制御システムが故障した際にも安定的に動作させるように、コントローラを自律的に切り替えることができる。また、故障診断としても利用することができる。ロボットの複数タスク実行や動作安全性のために役立つ制御手法である。

(3) 学習制御

学習制御とは、動作を繰り返すうちにシステムの追従特性を向上させる制御システムである。環境が変化しない状況下では、フィードフォワード制御のような予め計画した動作パターンを実行することで、目的を達成することができるが、経年劣化などにより、環境が変化する状況下では、制御性能が劣化する。学習制御は、教示信号と制御対象からの出力信号との誤差を抑制するように、操作入力を更新する制御手法である。学習制御には、繰り返し学習制御[14]や反復学習制御[15]、ニューラルネットワークによる学習制御[16]がある。

(4) ロボット用に開発された制御

① インピーダンス制御

インピーダンス制御[17]とは、機械的インピーダンスであるバネ要素、ダンパー要素、マス要素を用いて、位置と力の関係を示す制御手法である。ロボットマニピュレータなどにバネ・マス・ダンパーを取り付ける受動インピーダンス法とモータシステムにフィードバック制御を構築し、仮想的なインピーダンスシステムを構築し、インピーダンスパラメータを変更することで位置・力特性を可変にする能動インピーダンス法がある。力覚フィードバック制御やロボットハンドの安全制御技術などに有用な制御手法である。

② 歩行ロボットの制御

歩行ロボットの多くは、ZMP (Zero Moment Point) に基づいた安定化制御が用いられている[18][19]。ZMP とは足裏の床反力の圧力中心を示し、目標 ZMP とロボットが歩行中の ZMP の誤差をもとに、ロボットの目標軌道を修正する制御手法である。この制御法は、HONDA の ASIMO などにも用いられている。

③ ビジュアルフィードバック制御

ビジュアルフィードバック制御とは、カメラなどのビジョンセンサーを用いて、制御する視覚フィードバック制御である[20][21]。ビジュアルフィードバックでは、カメラ画像による対象の位置や姿勢の認識を行い、画像データから必要な制御変数を取り込み、制御演算を行う。従来のフィードバック制御システムの課題に加えて、カメラパラメータや画像処理に対するロバスト性や制御変数の決定などが新たな課題となる。 H_{∞} フィルタ[22]やモデル予測制御[23]を用いたビジュアルフィードバック制御などが有用である。

④ 移動ロボットによる環境認識と自己位置推定

移動ロボットは、周囲環境を認識し、周囲環境における自己位置を推定することが必要である。GPS (Global Positioning System) などが自己位置推定の一つである。しか

し、GPS を設置するためには、大規模な設備構築が必要である。そこで、現在、ロボット工学において、SLAM(Simultaneously Localization and Mapping) [24]という自己位置推定技術が開発されている。この技術は、移動ロボットに取り付けられているレーザ測域センサーや超音波センサー、全方位カメラなどの各種センサーから、周囲環境の形状を認識し、形状データを基に、自己位置を推定することができる。このように、自己位置推定と地図生成を同時に行うことができる。

⑤ ネットワークロボットの制御

テレオペレーションなどのネットワーク通信を介したロボット制御では、通信遅延により、制御性能が劣化することやシステムが不安定になる恐れがある。特に、次世代ロボット技術である遠隔リハビリテーションシステム [25]などは、ネットワークを介した双方向遠隔操作の実現が期待されている。しかし、通信遅延によるシステムの不安定化が利用者を危険に晒すこととなる。このようなネットワークロボットに関する制御理論として、スキュッタリングマトリクスを用いたバイラテラル遠隔制御 [26] [27]などが提案されている。

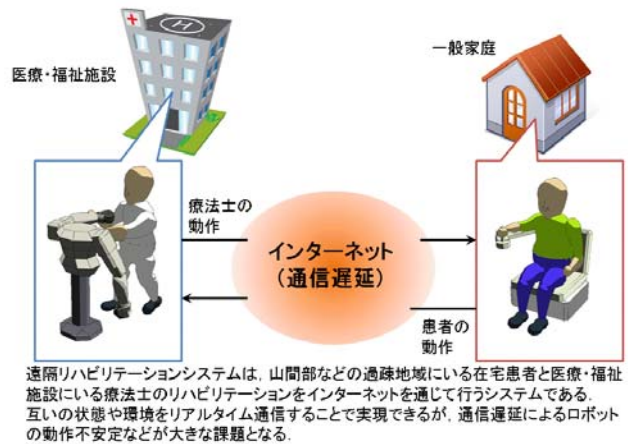


図 4.9 遠隔リハビリテーションシステム

参考文献

- [1] 山北昌毅：“ロボット制御理論概論”，日本ロボット学会誌，vol. 27，no. 4，pp. 370-374，2009.
- [2] 木村英紀：“ H_∞ 制御”，コロナ社，2000.
- [3] 細江繁幸，荒木光彦：“制御系設計”，朝倉書店，2001.
- [4] 潮俊光：“ハイブリッドシステムのモデル”，システム／制御／情報，vol. 41，no. 1，pp. 35-40，1997.
- [5] システム制御情報学会編纂：“ハイブリッドシステムの解析と制御”，ハイブリッドシステム研究交流会シンポジウム講演論文集，2004.
- [6] 潮俊光：“ハイブリッドシステムへの期待”，システム／制御／情報，vol. 46，no. 3，pp. 105-109，2002.
- [7] R. Findeisen, F. Allgower, M. Diehl, L. Magni, Z. Nagy：“Nonlinear Model Predictive Control: Introduction & Current Topics”，Lecture Notes of IFAC Workshop, 16th IFAC World Congress in Prague, 2005.
- [8] 浅野一哉，津田和呂，A. Bemporad, M. Morari：“ハイブリッドシステムの予測制御とそのプロセス制御への適用”，システム／制御／情報，vol. 46，no. 3，pp. 110-119，2002.
- [9] 平田研二：“不変集合を利用した拘束システムの解析と制御系設計への応用”，システム／制御／情報，vol. 47，no. 11，pp. 507-513，2003.

- [10] 杉江俊治：“入力と状態の制約条件を考慮した目標値整形”，vol. 47, no. 11, pp. 520-525, 2003.
- [11] 野田善之，三好孝典，寺嶋一彦：入力・状態制約および周波数変動をともなう振動要素の抑制を考慮した目標値整形，第 33 回制御理論シンポジウム概要集，pp. 35-38, 2004.
- [12] 藤田政之，平田研二：“スイッチング制御”，計測と制御，vol. 38, no. 3, pp. 176-181, 1999.
- [13] J. Cury, B. Krogh：“Synthesizing Supervisory Controllers for Hybrid Systems”，計測と制御，vol. 38, no. 3, pp. 161-168, 1999.
- [14] 中野道雄，井上直，山本裕，原辰次：“繰返し制御”，計測自動制御学会，1989.
- [15] 杉江俊治：“反復学習制御の展開”，システム／制御／情報，vol. 51, no. 1, pp. 32-34, 2007.
- [16] 五味裕章，川人光男：“フィードバック誤差学習による閉ループシステムの学習制御，システム制御情報学会論文誌，vol. 4, no. 1, pp. 37-47, 1991.
- [17] 有本卓：“ロボットの力学と制御”，朝倉書店，2002.
- [18] 李清華，高西淳夫，加藤一郎：“ZMP を安定規範とした 2 足歩行ロボットの上体補償運動の学習制御”，日本ロボット学会論文集，vol. 11, no. 4, pp. 557-563, 1995.
- [19] 梶田秀司：“ヒューマノイドロボット”，オーム社，2005.
- [20] F. Chaumette, S. Hutchinson：“Visual Servo Control Part 1: Basic Approaches”，IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 4, pp. 82-90, 2006.
- [21] F. Chaumette, S. Hutchinson：“Visual Servo Control Part 2: Advanced Approaches”，IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, no. 1, pp. 109-117, 2007.
- [22] 藤田政之，丸山章，川端昭弘，内田健康：“離散時間 H_∞ フィルタのアルゴリズムとそのビジュアルトラッキングへの応用”，計測自動制御学会論文集，vol. 31, no. 8, pp. 1047-1053, 1995.
- [23] 村尾俊幸，河合宏之，藤田政之：“固定カメラシステムに対する安定化予測ビジュアルフィードバック制御”，電気学会論文集 C，vol. 129, no. 4, pp. 630-638, 2009.
- [24] J. Guivant, E. Nebot：“Optimization of the Simultaneous Localization and Map-Building Algorithm for Real-Time Implementation”，IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17, no. 3, pp. 242-257, 2001.
- [25] M. Duong, K. Terashima, T. Miyoshi, T. Imamura：在宅医療支援に向けての電磁ブレーキを用いたハプティックフィードバックとデッドバンド制御による遠隔リハビリロボットシステム，システム制御情報学会論文集，vol. 20, no. 7, pp. 309-320, 2007.
- [26] R. Anderson, M. Spong，“Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay”，IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 34, no. 5, pp. 494-501, 1989.
- [27] T. Miyoshi, K. Terashima, M. Buss，“Teleoperation by Small-Gain Approach for Non-Passive and Time-Varying Delayed System”，Proceedings of IEEE International Conference on Control Applications, pp. 1318-1324, 2006.

4.1.4 マイクロ・ナノ

マイクロ・ナノデバイスは、ロボットのセンサー、アクチュエータなどにおいて重要な要素技術として利用・研究開発が進んでいる。マイクロ・ナノデバイスを用いることにより、低コスト化・省エネルギー化・高機能化・多機能化・高集積化を図ることができる。MEMS/NEMS

表 4.1 MEMS/NEMS のロボット応用の分類

デバイス例	分類(方式)
加速度センサ	ひずみゲージ式, 静電容量式...
圧力センサ	ピエゾ抵抗式, 共振型, 静電容量型, 光ファイバ型...
ジャイロ(角加速度センサ)	片持ち構造, リング型, 回転型...
温度センサ	白金抵抗型, 熱電対型...
赤外線センサ	強誘電体方式, 熱電方式...
アクチュエータ	静電型, 電磁型, 流体圧力型, 圧電型...
化学センサ	電気化学式, 水晶振動子型, 表面弾性波型...
記憶デバイス	磁気ディスク型, 光ディスク型...
触覚センサ	圧電材料式, ピエゾ抵抗式...
近接覚センサ	静電容量型, 磁界検出型, 渦電流型...
ビジョンセンサ	CCD方式, CMOS方式, マイクロレンズアレイ式...

(Micro/Nano- Electro- Mechanical- System) はロボットの様々な用途に対して、表 4.1 に示すように幅広く応用されている[1]。特に、触覚センサー、近接覚センサー、ビジョンセンサーをはじめとして、ロボットには様々な物理・化学量を計測・制御することが必要である。

このような MEMS/NEMS は、リソグラフィ技術の進展に伴って発展してきたが、近年では自己組織的に作製されたマイクロ・ナノ構造物、例えばフラレンやカーボンナノチューブなど、を直接利用した新しいデバイスの研究・開発が進められている。

また、次世代のマイクロ・ナノロボットとしては、主に次に示す2つの分野に関して活発な研究・開発が行われている。

(1) マイクロ・ナノスケールの微小なロボット

マイクロ・ナノスケールの微小なロボットを実現し、図 4.10 に示すように、バイオ・医療分野などへの応用を目指した研究・開発が期待されている。現在では、例えば医療応用に関して、2.3 節でも述べたように、エンドスコープやカテーテルなどの分野において、マ

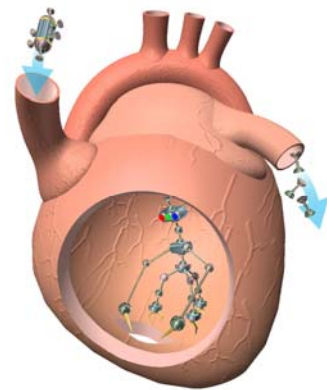


図 4.10 医療応用のためのマイクロ・ナノロボットのイメージ

マイクロ・ナノデバイス技術に基づいた小型化・高機能化・多機能化が進められている。また、人工細胞モデルと呼ばれるように、リポソームと呼ばれる脂質 2 分子膜とタンパク質などから構成される小胞内で、細胞を模した生体反応が観察されており、将来的には細胞と同等の機能を発揮することが期待されており、マイクロ・ナノスケールのロボットとして機能する可能性がある。一方で、細胞やバクテリアな

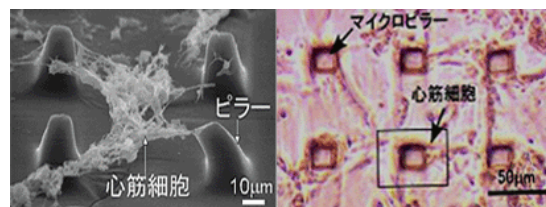


図 4.11 心筋細胞を用いたマイクロピラーのアクチュエーション

などの生物を直接利用することにより、マイクロ・ナノスケールの微小な物体を制御したり、センサーデバイスを作製するなどの新たな展開がされている。例えば、図 4.11 に示すよう

に、心筋細胞を用いてマイクロピラーを駆動するなどの、研究・開発が進められている[2]。生物を直接利用することにより、高エネルギー効率、耐環境性、デバイス全体のコンパクト化など様々な発展が期待されている。

(2) マイクロ・ナノスケールの微小な対象物を扱うためのロボット

近年、顕微観察技術や操作技術の進歩により、核移植やDNA抽出などの操作のためのロボット技術が研究・開発されており、生物学、医学分野を中心に実用化が進んでいる。このような顕微鏡下にマニピュレータを用いて対象物をコントロールする技術は、「顕微操作」と呼ばれている。近年では、バイオ・医療応用のみではなく、マイクロ・ナノデバイスの組立てや評価に関しても研究・開発が進んでいる。

図 4.12 に、操作環境に応じて各種顕微鏡下でのマイクロ・ナノマニピュレーション技術の分類を示す[3]。これまで主に、接触型・非接触型のマイクロ・ナノマニピュレーションの手法が展開されている。接触型マイクロマニピュレータとして、空気圧・水圧・ピエゾ・

超音波リニアモータなどによる多自由度機構が研究・開発されてきた。近年、細胞のナノ操作を実現するために、含水試料及び絶縁性試料に対して直接的に観察することができる特殊な環境制御型電子顕微鏡内ナノマニピュレーションシステム[4]や、カーボンナノチューブへの評価・組立て・デバイス応用などのための透過型電子顕微鏡ナノマニピュレータを走査型電子顕微鏡用ナノマニピュレータに組み込むことを可能としたハイブリッド型ナノマニピュレーションシステムが研究されている(図 4.13) [5]。細胞やDNAなどの壊れやすく微小な対象を操作するには、接触型マイクロマニピュレータでは器用な操作が困難な場合がある。そこで、非接触型マイクロマニピュレーション技術としてレーザートラッピング技術や電場操作などによる操作技術が進展している。

参考文献

- [1] MEMS/NEMS 工学全集, 監修 桑野博喜, テクノシステム出版
- [2] 東京農工大学 工学部機械システム工学科, 森島研究室,
<http://www.tuat.ac.jp/~biomems/>
- [3] T. Fukuda, M. Nakajima, P. Liu, and H. ElShimy, "Nanofabrication, Nanoinstrumentation and Nanoassembly by Nanorobotic Manipulation",
The International Journal of Robotics Research, Vol. 28, No. 4, 537-547, 2009.

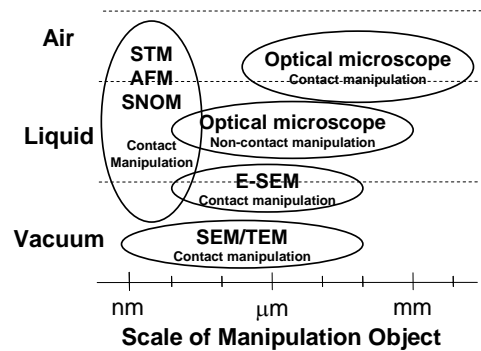


図 4.12 各種顕微鏡下でのマイクロ・ナノマニピュレーションの分類

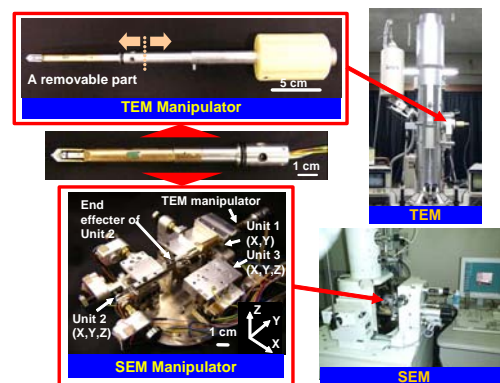


図 4.13 電顕下でのナノロボットマニピュレーションシステム

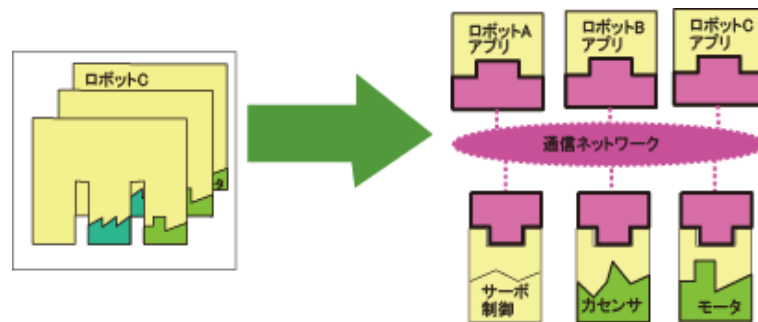
- [4] M. R. Ahmad, M. Nakajima, S. Kojima, M. Homma, T. Fukuda, "The Effects of Cell Sizes, Environmental Conditions and Growth Phases on the Strength of Individual W303 Yeast Cells using ESEM-Nanomanipulator", IEEE Transactions on Nanobioscience, Vol. 7, Issue 3, pp. 185-193, 2008.
- [5] M. Nakajima, F. Arai, T. Fukuda, "In situ Measurement of Young's Modulus of Carbon Nanotube inside TEM through Hybrid Nanorobotic Manipulation System", IEEE Transactions on Nanotechnology, Vol. 5, No. 3, pp. 243-248 2006.

4.1.5 RT ミドルウェア

(1) 概要

RT ミドルウェア[1]は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備」(通称「RT ミドルウェアプロジェクト」、2002年～2005年)において開発されたものである。同プロジェクトの目的は、ロボットシステムを構成する要素をソフトウェア的にモジュール化し、それを部品として自由に組み合わせることにより、新しい機能を持ったロボットシステムを容易に構築できるようにするための基礎技術を確立することにあった。その成果として結実したものが RT ミドルウェアであるが、これは、RT コンポーネントというソフトウェアの単位でロボットの機能要素をモジュール化し、それらを組み合わせることでロボットシステムを構築することを支援するために生まれたロボット用のミドルウェアである。

図 4.14 は、従来のロボット開発の場合と対比させて、RT ミドルウェアを用いたロボットのソフトウェア開発の容易性を概念的な有用性観点で表したものである。すなわち、従来のロボット開発では、各ロボットは必要な要素を全部一体として開発していた。したがって、各ロボットの要素の切れ目が明確でなく、他のロボットには転用ができないという問題があった。そこで当然、1つのロボットを作るのにコストがかかる、あるいは、新しいロボットの開発が難しいという結果になっていた。これに対して、RT ミドルウェアによる支援が可能となると、そのモジュール性から、すでに供給されているモジュールを利用して新しいロボットを簡単に作ることができるという第一義的なメリットがある。また、1つのロボットを作るためのコストが下がり、モジュールのみの供給もできるため、ハードを持たないメーカーもロボット産業に参入できるという効果も生まれる。したがって、新しいロボットを比較的容易に開発できる基盤が生じるということになる。



(a) 従来のロボット (b) RT ミドルウェアを用いたロボット

図 4.14 RT ミドルウェアによるソフトウェア開発概念 ([2]の図 3-1 を改変)

このようにして、新しい機能を持ったロボットシステムを技術者が比較的容易に作れるようになれば、現状、対応しきれていない現場の個別のニーズに応えることができるようになり、これまで主に、製造業分野に限られていたロボット産業が非製造業分野へと拡大して行くことが期待できるようになる。

(2) OpenRTM

OpenRTMは、RT ミドルウェアプロジェクトにおいて(独)産業技術総合研究所が開発し、(社)日本ロボット工業会が普及に努めている RT ミドルウェアである。その構成は、それぞれのロボット技術の中核となるロジックをラッピングしてモジュール化した RT コン

ポーネントとそれを実行し相互に連携させて運用するための環境となる（狭義の）RT ミドルウェアとに大きく分けられる。

RT ミドルウェアは分散オブジェクト技術の上に構築されていて、分散オブジェクトの特徴である、

- ・ 分散オブジェクト層での高い相互運用性をもつ
 - ・ ネットワーク透過性がある
 - ・ 実装プラットフォームを規定しない
 - ・ 既存技術のラッピングが容易である
- などの性質をそのまま引き継いでいる。

さらに RT ミドルウェアでは、ロボットの要素をモジュール化するために特有な機能を整理し、使いやすい形でインターフェースを共通化することにより、ロボットの機能を RT コンポーネント化しやすくするとともに、その相互運用性の向上を図っている。ロボットに特有な機能として考慮したことは、たとえば、

- ・ 各モジュールは分散オブジェクトとして他からの要求に応答するだけでなく、同時にモータ制御やセンサーデータ処理など固有のタスクを実行していること
- ・ 各モジュール間の通信ではコマンド以上にデータが重要であることが多いこと
- ・ またデータの通信においてはコマンド以上にリアルタイム性が要求されることが多い

などである。

RT コンポーネントは、上記のようなロボット要素のモジュール化を可能とするために必要な複数の分散オブジェクトインターフェースを配置した構造になっている。特徴としては、

- ・ コマンドとデータのフローの分離
- ・ Push 型通信、別ネットワークでの通信などデータ通信の効率化を行いやすい
- ・ コンポーネントの型によらずデータ型の一致で接続が出来る
- ・ 基本インターフェースを通してコンポーネントの様々な情報を取れる
- ・ コンポーネントの種別ごとのサービスインターフェースを別途持つことが出来る
- ・ コンフィギュレーションポートを通して種々の設定が出来る
- ・ ロボット要素のコアロジックを実行するアクティビティを持つ

などとなっている。

(3) OpenRTM の国際標準化

RT コンポーネントについては RT ミドルウェアプロジェクト終了前の 2004 年からそのインターフェース仕様の標準化のため、ソフトウェアの国際標準化団体 OMG (Object Management Group) において標準化活動を開始した。2006 年 9 月に RT コンポーネントの標準仕様 Robotic Component Specification が OMG の標準作業部会において採択され、事実上の国際標準となった。その後 1 年間の最終文書化作業を経て 2008 年に OMG から公式仕様としてリリースされるまでに社会的な成熟を遂げてきている。

参考文献

[1] <http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>

[2] 日本規格協会, RT ミドルウェア及び関連アーキテクチャの標準化フェーズビリティ調査報告書, 2009.

4.2 適用化技術

4.2.1 評価技術

癒しロボットなどの効果測定が、被験者の生体信号解析により実施され、その効果が示されるようになってきている。

(1) 心電図解析（自律神経解析）

セガトイズが電気通信大学と共同で開発したペットロボット「夢ふくろう」[1]は、これを用いて遊ぶことで、癒し効果があるという実験結果を報告した。実験では、心電図による自律神経評価を行い、夢ふくろうで遊んだ後に被験者の副交感神経が活性化してリラックス状態になったと報告している。



図 4.15 夢ふくろう

(2) 脳血流量解析

セガトイズが2009年7月に発売したペットロボット「夢ねこヴィーナス」[2]は、ねこアレルギーや住環境問題など、様々な理由でペット（ねこ）を飼えない人向けに開発されたロボット。顔を洗う仕草や、ごろんと寝転がるような動きを再現可能で、額にはフォトセンサー、後頭部、左ほほ、胸、背中にタッチセンサーを内蔵。「生き物に触れている感覚」でさわること、自然な反応を再現することに重点を置いたという。このロボットの評価には、東北大学川島隆太研究室と共同で光トポグラフィーを使った脳の効果測定を実施し、ロボットの利用により被験者の前頭前野の活性化が認められたという。



図 4.16 夢ねこヴィーナス

参考文献

[1] ペットロボット「夢ふくろう」, <http://www.segatoys.co.jp>

[2] ペットロボット「夢ねこヴィーナス」, <http://www.segatoys.co.jp>

4.2.2 安全技術

本報告書の1.6節において、安全技術の手順、すなわち、リスクアセスメントに始まり許容できないリスクが存在した場合に、これに対して要求される水準のリスク低減方策を講じる必要があること、がすでに国際安全規格によって規定されていることを述べた。同節ではまた、規格の策定や認証といった社会技術の重要性についても触れ、わが国には「次世代ロボットの安全確保のためのガイドライン」が存在することも述べた。現在は、ISO/TC184/SC2の下で、WG7作業部会により、「ロボットとロボティクな機器のための安全要求事項－非医療分野のパーソナルケア・ロボット」と称される、移動マニピュレータ、搭乗型ロボット、身体アシストロボットに分類されるパーソナルケア・ロボットののための安全技術要件が規定されつつある。以下に概要と今後の課題について述べる。

(1) 概要

規格の目次構成は、基本的には1.6節に概説した、安全規格の基本骨子であるところの、リスクアセスメントおよびその結果に基づく3-Stepと呼ばれるリスク低減方策である。具体的に、現時点において決定されている目次構成は以下のとおりである。

1. 適用範囲
2. 参照規格
3. 用語と定義
4. ハザードの同定とリスクアセスメント
5. 本質安全設計方策
6. 安全防護および付加保護方策
7. 適合性検証と妥当性確認
8. 使用上の情報

そして、これらの中で技術的な規格の骨子をなすのは、4.以降である。これらについて以下に概説する。

4.のハザードの同定とリスクアセスメントにおいては、「次世代ロボットの安全確保のためのガイドライン」の精神が反映されつつあることは、先に述べたとおりであるが、詳細にはさらに、以下の諸点が、パーソナルケア・ロボットののためのリスクアセスメントに基づく安全技術構築上、重要である。すなわち、

- ・リスクアセスメントの精度を高める目的で、製造者等は、製造等を行うときは、管理者等、販売者、使用者等と連携をとりながら、ロボットの使用されるシナリオに基づいてアセスメントを行うことが望ましい。
- ・ロボットのライフサイクル観点に立って、多重安全の考え方を明示的に記し、リスクアセスメントおよびリスク低減のプロセスを多重に実施するプロセスを講じるべし。
- ・リスクアセスメント、安全方策、安全上の措置の記録を文書化すべし。
- ・管理者、販売者には、事故情報の記録と製造者への報告義務を明記することによって、事故情報の効果的再利用を促す。

である。

つぎに、本質安全設計に関する方策指針は、高い網羅性を伴って、ISO 12100-25)に掲げられている。具体的には、

- ・柔軟な被覆でロボットを覆ったり出力を最小限することによりヒトとの接触時の衝撃

を緩和する、あるいは、回転関節部における指の挟まれによる押しつぶしを回避する等の物理的本質安全化を図る。

- ・機械的な特性の考慮として、ねじ締めや溶接接合部等への応力の制限や回転トルクの過負荷に起因する応力の制限を設けたり、あるいはマニピュレータの回転要素の動的・静的な平衡を保つ。さらに、
- ・移動ロボットの重心を十分低くし、安定性を保つ。

等がパーソナルケア・ロボットに特徴的かつ重要な方策であるといえる。

また、保護方策の中では、力制御、人間検出、障害物回避等がパーソナルケア・ロボットに主に特徴的であると判断される。

- ・人間検出については、移動ロボットの場合も考慮すると、人間とロボットの相対的な位置、速度をもって、安全要求を行う考え方が重要になる。とくに、人間とロボットの間の最大相対速度をリスクアセスメントで決定する必要がある。

また、上記と関連して、

- ・非接触に距離を測るデバイスのほかに、超音波センサー等、ボリウム状の検出領域をもつ非接触センサーの使用も許すものの、その場合には、最小の相対距離が規定できないといけない。
- ・接触により人間を検出する場合には、最大許容接触力をリスクアセスメントによって定義する必要がある。

などが、安全技術上、重要な観点である。

最後に、使用上の情報提供に関する安全技術としては、ロボット技術では情報呈示を、機能安全化を図った機器を使う前提でマルチモーダルにすべきこと、また、実時間性を重んじる必要があること等が重要な要件となり得る。

(2) 今後の課題

まず、ロボットそのものが人間と衝突した場合の耐性基準を求める作業は、ケーススタディとならざるを得ないであろう。各メーカーがロボットの開発過程で定めた基準の妥当性を説明できる人間工学実験をいちいち行わなくてはならなくなる事態に陥りかねないことは容易に想像される。この点に関しては、痛覚規範に基づく人間工学実験の耐性値のほか、近年には、自動車安全分野の脳震盪レベルの衝撃規範としての HIC (Head Injury Criteria) に再び注目して、ロボット安全の分野でもこの指標を利用することが有効であるとする報告がなされた。さらには、4.2.2. (1) 概要で述べた本質安全設計方策にしたがって、仮にマニピュレータを柔軟な被覆で覆ったとしても、ロボットが把持する対象物が鋭利な部分を含む場合には、本質安全設計方策が実効的ではなくなる。この点に関しても、近年、鋭利な刃物による豚の肉に対する切傷耐性を実験により調査する研究が報告されており、期待が寄せられる。

また、ロボットに特有の安全関連の要素技術として、視覚や力覚、さらに通信技術があるが、これらに関する機能安全化技術は、研究開発が着手されて日が浅い状態にあり、高性能化、低コスト化にはまだ時間を要するであろうと予想される。このような現状において、どのように機能安全を取り入れて行くかの具体的なアイデアは見出されていない。

4.2.3 市民参加型テクノロジー・アセスメント

サービスロボットのメーカーやこれを利用する事業者、さらにそのユーザのみならず、ロボットのステークホルダーが広く社会全体に及ぶという観点に立つと、先の小節 4.2.2 安全技術で述べたように、社会技術的な側面の重要性が認識されるようになる。サービスロボットの場合も、他の先端科学技術同様、社会でいかにこれらを受容するかを議論し、ロボットの設計仕様に取り込んだり、利用する場合のルール作りを実施したりして行く必要がある。たとえば、駅の構内を歩き回るロボットのビジョンで捉えられた個人情報保護されているのだろうか、あるいは、このロボットが通行人に当たったら、何をもって訴えたらよいのか。このようなロボット運用時の社会的な問題を解消し、より安心な技術として還元するための手法として、「市民参加型テクノロジー・アセスメント (Participatory Technology Assessment, pTA)」がある。

原子力発電所の建設にはじまり、近年は遺伝子組み換え農作物も一時社会問題になったことは記憶に新しい。これらの典型例に見られるように、先端科学技術が社会に受容されるための導入局面では、その利便性とともリスクに関する理解を深めるための専門家と非専門家の対話が行われる。しかし、このようなリスクコミュニケーションの機会をもつと、専門家が単にリスクに関する情報を非専門家に提供するだけでは不十分で、市民から示された意見や関心により、リスク評価やその管理のあり方を変更し、新しいリスクマネジメントの体系を創出する方向性がより重要であると認識される結果になる[1]。

このような議論を背景に、これまで様々な pTA 手法がデザインされてきた。それらの代表的な形態としては、1) コンセンサス会議、2) シナリオ・ワークショップ、3) ヴォーティング・カンファレンス、4) シチズンズ・ヒヤリング、などが報告されている[2]。いずれも、

1. 問題の明確化・関係付け
2. リスク分析
3. 選択肢の準備と意思決定
4. ハザードの同定とリスクアセスメント
5. 実施（運用）
6. 評価

の全体あるいはその一部を扱う。

例をコンセンサス会議にとると、参加者はランダムにサンプルされた非専門家が、レイパネルと呼ばれるパネラーとして参加する。会議は、2回の準備会合と3日間の本会議で構成されるのが普通で、まず準備会合では、大学講師等により基礎知識の提供がなされ、会合の中でレイパネルが、「キー（ポイント）となる質問」を作成する。その後、数ヶ月を経て専門家パネルが本会議に召還され、その1日目でキー質問に関する質疑を行う。2日目にはその他の質疑を行い、3日目に最終文書の発表が行われる。この文書は、専門家による技術的な訂正が行われ、その後、この文書に基づく聴衆との討議が行われる。最終的に、「～のような使い方をすべきではない」といった法制化、政策反映が行われることもある。

サービスロボットは、社会の関心と期待こそ高いものの、導入現場におけるリスクに対する認知度は一般に低いと考えられるため、ロボットの技術開発の動向を見守るにとどまらず、上記のような pTA 手法も駆使して、端的には「やがて歩道を往行するであろう人搬

送ロボットの制限速度をいくらに定めるか」といった法整備等社会基盤を整えながら迎え入れる準備を積極的に進めたいものである。

参考文献

- [1] 榎日本総合研究所他編：” ロボット分野に関するアカデミック・ロードマップ，
pp. I-94-I-100. 2007.
- [2] 佐藤：” 政策形成における市民参加型テクノロジー・アセスメント手法の評価”，
東京工業大学修士論文，2007.

4.3 応用技術

4.3.1 産業応用

産業用ロボットでは、工作機械との融合が進んでいる。生産現場では産業用ロボット、工作機械など多種の製造設備により生産ラインが構築され、それらの機器は協調して動作する。しかし現在までそれぞれは独立した設備として導入・稼動されてきており、生産効率・安全性などで課題となっていた。産業用ロボットと工作機械の両者を商品化する一部のメーカーでは、これらの融合を推進している。ここでは、FANUC 社と三菱電機社の事例を述べる。

- ・ FANUC 社では同社の産業用ロボット (R-30*i*A/ R-30*i*A Mate) と工作機械 (Series 30*i*/31*i*/32*i*-MODEL A、Series 0*i*-MODEL D) のヒューマンインターフェースを融合した [1]。すなわち、産業用ロボットの操作盤 (ティーチペンダント) で、①工作機械の状態表示 (現在位置、アラーム等)、②工作機械のリモート操作 (安全扉開閉、治具洗浄、エアブロー、クランプ/アンクランプ、原点復帰等)、③工作機械の加工寸法の微調整などが可能である。一方工作機械の操作盤からは、①ロボットの状態表示 (ロボットの状態、アラーム等)、②NC プログラムとそれに対応するロボットプログラムの同時・連動起動、③安全柵外からのロボット操作などが可能である。これらは産業用ロボットの安全対策として有効である。さらに同社では、産業用ロボットのシミュレーションソフト (ROBOGUIDE) と工作機械のシミュレーションソフト (NC ガイド) も融合し、連動したシミュレーション、およびプログラム開発を可能とした。
- ・ 三菱電機社では各種 FA 機器の連携と、システム開発環境の連携により生産設備のトータルコスト削減を実現するコンセプト「FA 統合コンセプト iQ Platform」を構築した。iQ Platform では PLC (MELSEQ-Q シリーズ) を中心に、産業用ロボット (MELFA SQ シリーズ)、数値制御装置 (C70 シリーズ) などを高速通信 (CC-Link) で接続し、データ交換を実現するのみならず、それらの制御装置のソフトウェア間での設計情報の共有、開発段階での設計情報の共有などを実現する。そしてこの中核となるのが、FA 統合ソフトウェア「MELSOFT iQ Works」である。

本来、産業用ロボット、工作機械、その他の FA 機器などの融合は工場内の生産設備の統合制御につながる技術で、あって然るべきものであるがこれまでは存在しなかった。一部メーカーの産業用ロボットと工作機械間の融合にとどまらず、複数メーカー間の標準化・規格化・共通化まで発展することが望まれる。

参考文献

- [1] ファナック新商品発表展示会技術資料ロボット編, ファナック, 2009.

4.3.2 環境インフラ(ネットワークロボット)

ネットワークロボットとはロボットとネットワークが融合し、ロボット単体のみならず、環境下にあるカメラや無線タグ (RFID) リーダ、GPS などが協調・連携してサービスを実現するシステムである。[1] ネットワークロボットは総務省が研究・開発を行っているが、NEDO、国土交通省等においてもネットワーク対応のロボットの研究・開発が行われている。

総務省では、「ネットワークロボットに関する調査研究会 (2002 年度から 2 年間)」、お

よび「ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発（2004年から5年間）」の中でネットワークロボットの研究プロジェクトを実施した。ネットワークロボットをビジブル型、アンコンシャス型、バーチャル型に分類し、それらが協調して人々の誘導や案内・情報提供を実現するために必要な技術として、「ネットワークシステム技術」、「ロボットプラットフォーム構築技術」、「行動・状況認識技術」、「ロボットコミュニケーションに関する技術」の研究開発に取り組んだ。[2] ロボットプラットフォームは異機種のロボット等を広域で接続するために、認証データベース、エリア管理ゲートウェイ、接続ユニットの3階層構造から構成される。[3] この研究プロジェクトの一環として、ネットワークロボットフォーラム (<http://www.scat.or.jp/nrf/>) が設立され、実証実験を実施した。[4]

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）では1999年から3カ年のプロジェクトで、日本ロボット工業会のオープンロボットネットワークインターフェース開発専門委員会が母体となり、ORiN（オンライン：Open Resource interface for the Network / Open Robot interface for the Network）Ver. 1.0を開発した。ORiNとは、工場内の異メーカー・異機種の装置に対する統一的なアクセス手段・データ表現方法を、PCのアプリケーションソフトウェアに提供するオープンな通信インターフェースである。その後ロボット工業会にORiN協議会事務局 (<http://www.orin.jp>) が設置され、2006年にはORiN Ver. 2.0が制定された。ORiNは装置の多様性を吸収するため「アプリケーション向けインターフェース」および「装置向けインターフェース」の2つのインターフェースを持ち、PC～機器間の通信メディアや通信プロトコルなどの各社資産を利用可能なまま、異機種間での通信を可能とする。[5]

参考文献

- [1] 萩田紀博：ネットワークロボット概論、電子情報通信学会誌 Vol. 91, No. 5, pp. 346-352, 2008.
- [2] 総務省：ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発、http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/051020_2_1_1.html.
- [3] 下倉・中村・武藤：ネットワークロボットのプラットフォーム技術、電子情報通信学会誌 Vol. 91, No. 5, pp. 358-365, 2008.
- [4] NTTサイバーソリューション研究所：UCW（ユニバーサル・シティウオーク大阪）実証実験におけるネットワークロボットプラットフォームとロボット間のインターフェース、<http://www.scat.or.jp/nrf/>, 2009.
- [5] ORiN協議会技術委員会：FA用ミドルウェア ORiN（オンライン）の紹介、http://www.orin.jp/download/archives/outline_ORiN2.pdf, 2005.

4.3.3 ブレイン・マシン・インターフェース

人間の脳神経活動により、直接コンピュータを操作しようとする試みは1970年代頃に始まり、90年頃から実際に人体を利用した実験が始まった。21世紀に入り、人間の動作を補助する形で、人の脳波や脳血流量解析によりロボットを動かそうとする研究が積極的に行われるようになってきている。

(1) (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパンと、(株)国際電気通信基礎技術研究所、(株)島津製作所は、脳波計と近赤外光脳計測装置を併用し、脳波及び脳血流量の解析により、ボタンを押すなどの身体を動かす動作が不要な、考えるだけでロボットを制御できるブレイン・マシン・インターフェース技術を開発した。[1]

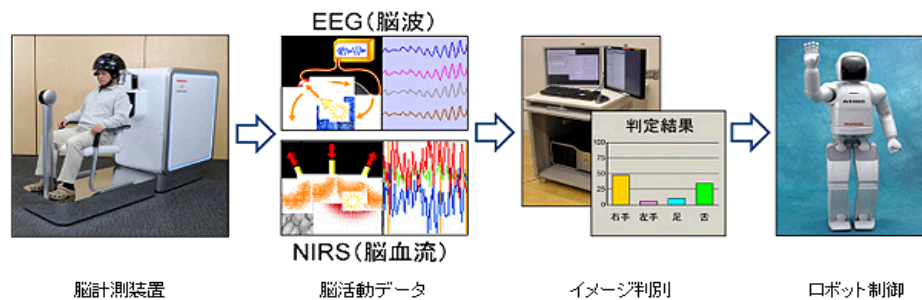


図 4.17 ブレイン・マシン・インターフェース技術

(2) (独)理化学研究所、株式会社トヨタ自動車、株式会社豊田中央研究所、コンポン研究所が設立した「理研BSI-トヨタ連携センター」の非侵襲BMI連携ユニットは、2009年6月、信号処理技術を駆使して、125ミリ秒という短時間に脳波を解析し、電動車いすを前進、右・左の信号を抽出することに成功した。[2]

参考文献

- [1] 考えるだけでロボットを動かすBMI技術,
<http://www.honda.co.jp/news/2009/c090331.html>
 [2] 脳波で車椅子をリアルタイム制御,
<http://www.riken.jp/r-world/info/release/press/2009/090629/index.html>



図 4.18 脳波で車椅子をリアルタイム制御
 理研BSI-トヨタ連携センター提供

第5章 次世代ロボット産業の振興に向けて

5.1 人間とロボットが共生する社会実現のための課題

少子高齢化による老老介護や独居高齢者への対応、医療過疎地域問題、労働力人口の減少、技術・技能継承問題、安全・安心社会の実現など、我が国は多くの社会問題を抱えている。これらの社会問題に対応するために、ロボットが身近な存在となり、人々を手助けすることが期待されている。ロボット技術は1980年代以降、自動車や電機・電子産業、半導体産業などの製造業において、産業用ロボットとして活躍してきた。しかしながら、次世代ロボットは、製造業だけでなく、食事支援やベッドから車いす、車いすからトイレ・入浴への移乗といった移乗支援、歩行支援、リハビリテーション支援などの医療福祉分野、災害救助や農作業支援など野外活動、掃除支援や家事支援、セキュリティ・教育などのサービス分野での活躍が期待されている。これらの背景から、次世代ロボット技術が将来の日本、および世界の一大産業になることが予想される。

基礎研究レベルでは、2足歩行ロボットやロボットマニピュレータ、マイクロロボット、全方向移動機構、触覚センサ、パワーアシスト技術、テレコントロール技術などの多くのロボット要素技術が開発されている。基礎研究で開発されたロボット要素技術を基に、次世代ロボット産業を実現するための課題を以下に示す。

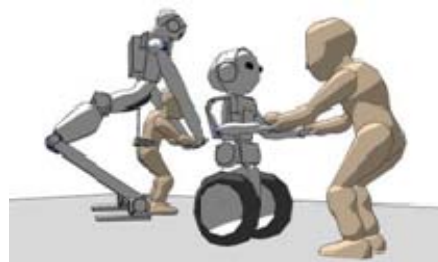


図 5.1 歩行支援ロボット

(1) ロボット要素技術の小型化・軽量化

近年、パワーアシストスーツなどのウェアラブルロボットの開発が進められている。ロボットを人間に装着した際に、ロボットの占有体積が大きいと可動性を低下させることや狭所での作業を困難にさせる。ロボットを装着したことにより動作範囲が制限されてしまったりは、ロボットの価値を低下させることになる。これは、ロボットの商品化の大きな阻害要因になることが予想される。また、重量のあるロボットでは、ロボットが故障した際に、人間の力では動作させることができない。とくに、高齢者や障害者のための移動支援ロボットは、軽量化が重要である。高齢者や障害者が、ロボットが故障した際も自力でロボットを移動できる軽量化ロボットの開発が求められる。また、小型化や軽量化は消費電力を抑えることにつながるため、省エネルギー化にも貢献できる。

(2) ロボット要素技術の標準化・規格化

現在、ロボット技術の活発な開発により、ビジョンセンサや力覚センサ、触覚センサなどのセンサユニット、全方向移動機構や二足歩行機構などのアクチュエータを機能的に統合した移動ユニット、目的や環境に応じて動作計画を行う計画・判断ユニット、各ユニット間の情報通信を行うネットワークユニットなど高機能なロボット要素技術が実現している。次世代ロボットでは、医療福祉や農業、サービス業などの利用目的に応じて、これらのロボット要素技術をシステム統合、およびカスタマイズできることが求められる。これにより、短期間で目的に応じたロボットを提供することが可能となり、ロボットの産業化を促進することとなる。こうしたロボット要素技術を統合する際には、情報のやりとりを

する情報インターフェースの標準化や要素技術組み合わせ環境の標準化、形状の規格化などが必要となる。通信インターフェースの標準化としては、NEDO、産総研およびロボット工業会が NEDO プロジェクト「ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備」を通して、ロボット用ミドルウェアをベースにしたロボット技術の国際標準化活動を推進している。今後はソフトウェアの標準化だけではなく、組み合わせ環境の標準化や形状の規格化を行い、ロボット要素技術を簡便に統合し、利用目的に応じたロボット開発ができるプラットフォーム構築が必要である。また、ロボット要素技術の省エネルギー化や環境負荷低減の観点から、統合システムの分解、およびロボットパーツの再利用が可能なプラットフォーム構築が重要である。



図 5.2 ロボット要素技術統合化の課題

(3) ロボットの利用技術の促進

ロボット要素技術の開発が進む中、ロボット技術をどのように実社会の様々な課題解決に活かすかが肝要であり、現在では産学官連携、医工連携、農工商連携といった異分野交流によるロボット研究開発が進められている。しかし、各分野における社会的背景が異なり、異分野交流がなかなか進まないのが現状である。異分野交流を促進させるためには、プラットフォーム、例えば、高齢者や障害者の日常生活支援を目的としたロボット技術開発のためのロボット生活支援ステーションや、農業分野へのロボット開発のための農業ロボット知能化ステーションなど、それぞれの交流目的に合わせた人間とロボットの共生空間（プラットフォーム）を創出し、異分野交流を促進させることが必要である。ステーション開発の意義は、基礎研究レベルで開発されたロボット技術を実際に利用評価できるため、製品化や利用価値に関して様々な分野の関係者で議論、および意見をフィードバックすることができ、迅速に社会の要求に応えるロボット開発ができることにある。さらに、最新のロボット技術を情報発信する場となり、潜在的な需要や新たな市場の開拓につなげることができる。



図 5.3 スマートロボットナーシングステーション

また、医療福祉用に開発したロボット技術の実用化を進める際には、医療従事者による臨床試験が必要である。しかし、前述のように各分野の社会的背景、および立場から臨床試験への合意をとることが困難である。そこで、異分野技術を繋ぐ情報共有技術として、シミュレーション技術やバーチャルリアリティ技術などのロボットを用いた仮想利用技術の開発を行い、異分野交流を促進させ、臨床試験実現などへの仕掛けをつくることが重要である。

(4) 人間に対する安全性技術

次世代ロボットとして位置付けられるサービスロボットは、人間の作業支援や動作支援を行うため、人間に触れることや人間と協調して作業を行う場面が多くなることが予想される。従来型の産業ロボットは、安全性の観点から人間から隔離された空間で利用されてきた。次世代ロボットの導入と普及を促進するためには、人間とロボットが共生することを念頭に置いた安全指針の策定および安全性技術の導入が必要である。現在、NEDO プロジェクト「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において、ロボット利用に対する安全性に関するデータの取得および解析、リスクアセスメント技術、危険予防技術の開発が進められている。今後は、これらの安全性技術に基づいて、開発された各ロボット技術の実証試験、およびリスクアセスメントの蓄積、解析、提示が必要である。安全性技術は本来保守的な技術であるが、ロボットの実用化に向けて著しく高い技術スペックを求めるだけでなく、他の手段によるリスクヘッジを図るなど総合的に利用者のための安全性が確立されることが望まれる。

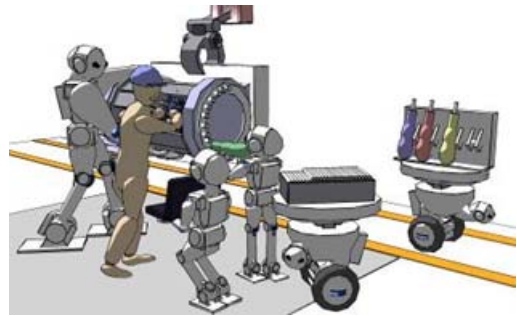


図 5.4 人間と協調して作業を行うコワーカーロボット

(5) 多様な環境下においても環境に適応し、確実に動作するロボット技術

従来の産業用ロボットなどは、ロボットが動作するための理想的な環境下で、ルーチン作業を実施するために用いられてきた。次世代ロボットは、人間の日常生活や災害現場、農作業などの野外活動などに導入されるため、ロボット動作に対して、理想的な環境を用意することが困難である。次世代ロボットには、環境・状況認識能力や環境に応じた自律的判断能力、状況が変化しやすい環境下においてもロボットが確実に活動目的を遂行する能力などの智能化技術が求められる。

(6) MOT 導入と MOT 教育によるロボット産業促進

昨今のロボット技術開発は、著しい進歩を遂げている。しかしながら、開発当初は需要が見込まれたロボット技術が、開発資材を投資し、開発期間を経て、商品化される時には、周辺技術が大きく変化し、開発したロボット技術の需要がなくなるおそれがある。また、技術的に困難な課題を克服した技術と社会の要求が必ずしも一致するとはいえない。これらのことから、これから発展するロボット技術開発において、MOT (Management of Technology : 技術経営) の導入は必須である。とくに、ロボット産業の国際競争は今後ますます激化することが予想される。技術者が、経営的知見から未来の市場を俯瞰し、特許戦略やリスクアセスメント、技術運用を行うことが重要である。また、ロボット技術者の知的財産を保護し、運用するために、ロボット技術者自ら MOT 思想に基づいた技術開発が必要であり、ロボット技術者教育としての MOT 教育がロボット産業の促進のために、今後ますます重要となると思われる。

5.2 次世代ロボットによる産業振興のシナリオ

現在、人と直接触れ合い、人とロボットが協力して作業を行うような人間協調型の次世代ロボット産業は、世界の中で日本が優位性を保っている分野である。しかし、今後も継続的に世界をリードしていくためには、利用技術の一層の推進が求められる。

図 5.5 に、次世代ロボット産業の今後の進展について、判断・環境能力と人間との協調性の観点からの分類を示す。次世代では、これまでロボット技術として実用化されてきた産業応用・支援ロボットから、より判断・環境認識能力と人間協調性に優れたロボット開発が求められる。従来まで盛んに研究開発されてきた産業応用・支援ロボットから、生活応用支援ロボットの研究・開発が進んでいくと考えられる。

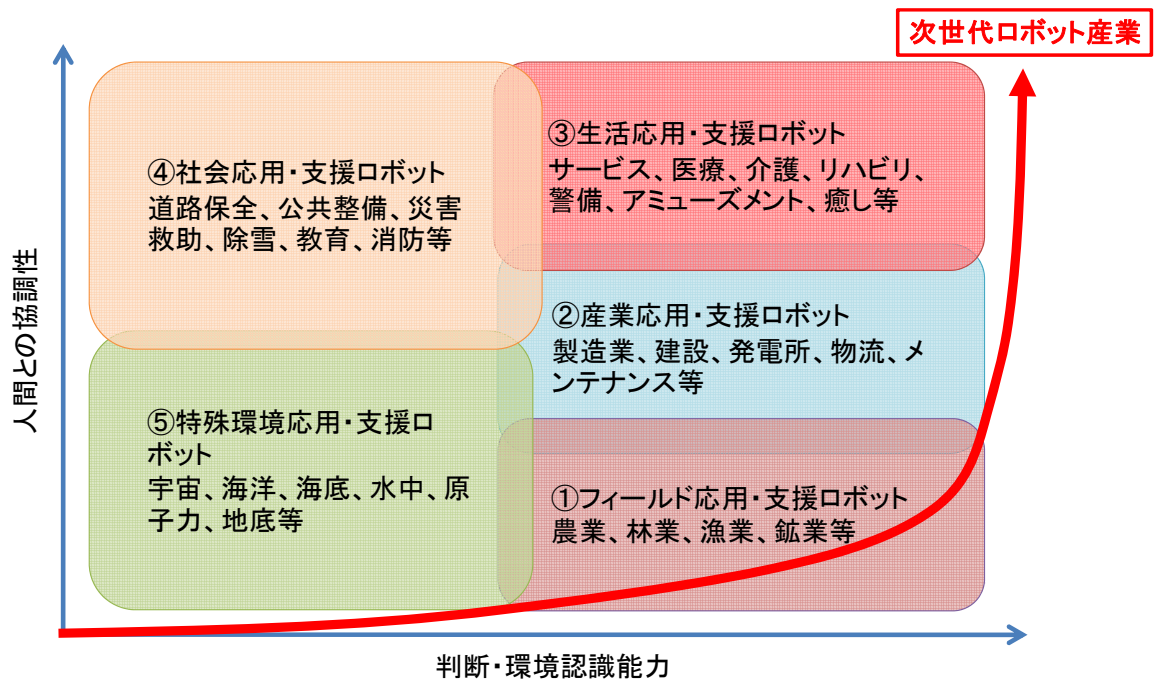


図 5.5 次世代ロボット産業振興の流れ

次世代ロボット産業は人間の生活や活動に直接ロボットが関係していく新しい分野であり、市場規模拡大の観点からは、利用技術の進展が一層重要である。人間との協調性が進展すれば、これまでは考えられなかった場面にもロボットが役目を果たしていくことが期待される。

図 5.6 に示すように、産学官の連携を通じて、次世代ロボット技術の研究開発を進めていくことにより、その成果を地域社会に還元することが求められる。特に、学術機関には、ロボット研究開発者の若者を教育し、次世代のロボット技術革新を担っていくための人材育成が求められる。また、ロボット要素技術の小型化・軽量化また標準化・規格化などの基盤技術の革新が求められる。

また、ロボット技術には、ハード面とソフト面という両面からの技術革新が必要であるが、これら両者を統合するためのトータルシステム化技術が欠かせない。利用技術に応じて、それに必要なハード・ソフト面を統合化し、設計することが求められる。

人材育成を含め、システム化の観点からは、ロボット産業の分野だけでなく、様々な分野における技術革新が世界の産業経済の発展を推し進めていく上でも、極めて大切である。

今後、次世代技術を駆使した知的ロボット産業を振興していくためには個々の技術発展の上に、それらの技術をオーガナイズし、システム化していく取り組みが必要である。

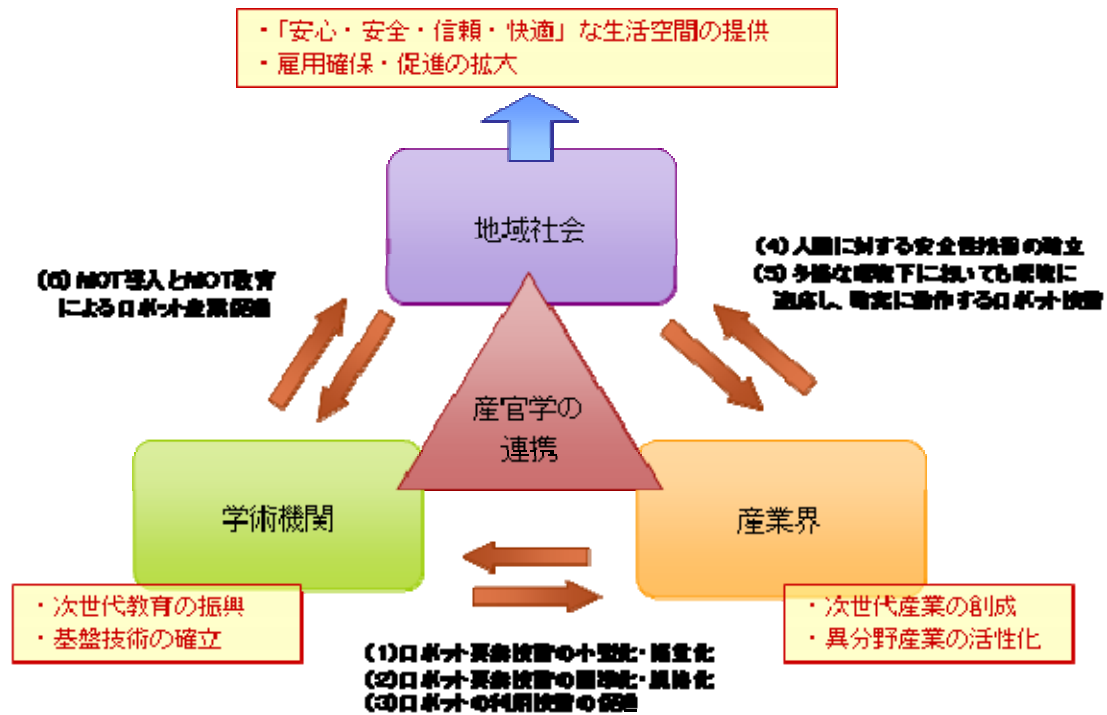


図 5.6 次世代ロボット産業振興の仕組み

産業界にとっては、ロボット分野はその市場拡大に向けた利用技術の進展と商品化が進むことにより、自動車産業に続く次のリーディング産業として成長していくことが見込まれる。このためには、機械・電子部品・デバイス、マイクロ・ナノテクノロジー、バイオテクノロジーなど様々な異分野との交流と融合が求められる。

地域社会にとっては次世代技術である知的ロボット産業の活用は、「安心・安全・信頼・快適」な生活空間を実現し、高齢化や少子化などの問題を解決していく有効な手段となりうる。また、ロボット産業の振興を通じて、雇用の確保が図られ、より豊かな地域社会を築いていくことが期待される。

5.3 次世代ロボットによる産業振興の提言

人間とロボットがより身近な環境でお互いに共生する社会が実現するためには、図 5.7 に示すように、社会における様々なニーズに基づいて、次世代ロボット技術を進展させ、産学官の連携を通じてロボット産業の振興を推進していくことが求められる。

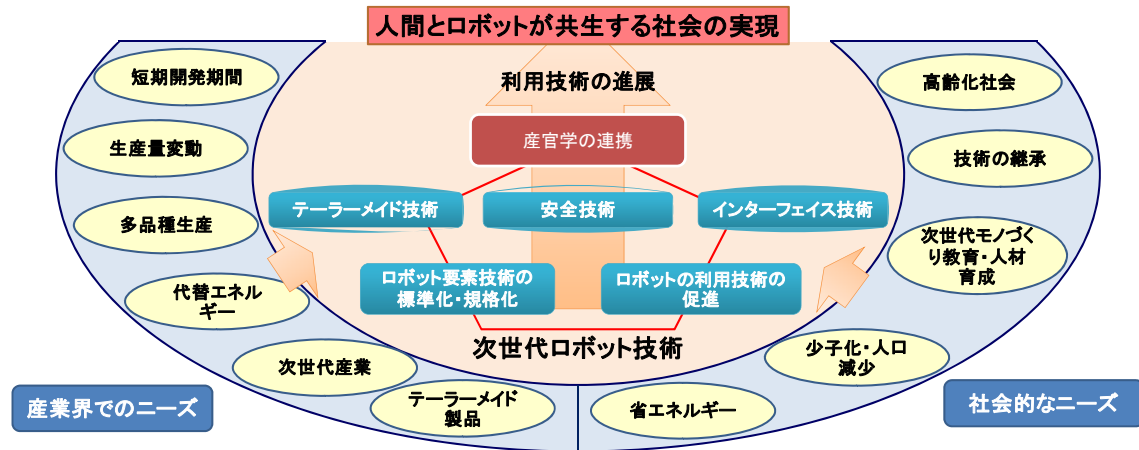


図 5.7 人間とロボットが共生する社会の実現

現在、日本の工業分野で世界をリードしている代表産業は、自動車産業であり、なかでも中部地域は国内で最も自動車産業が集積している地域である。しかし、世界同時不況により、自動車の販売量・生産量の大幅な減少が生じ、自動車関連産業を含め、急激な計画の見直しや在庫量の調整が行なわれてきた。また、これまでのガソリン車、ディーゼル車に代わり、ハイブリッド車や燃料電池車・電気自動車などの次世代自動車技術への技術転換が必要であると同時に、一方では、中国やインドなどでの小型車需要にこたえるための生産・販売体制の整備といったマーケティングの2極化が進んでいる。このような状況の中で、生産量の減少が底を打ったとしても、自動車産業は、これまでのような右肩上がりの成長に復帰し、それが継続するとは考えにくい。持続的な経済成長のためには、従来の自動車産業に大きく依存した産業構造からの変革が求められており、今後新たな産業分野の確立が急務となっている。

次世代ロボット産業は、我々がこれまで培ってきたモノづくり技術を生かし、自動車産業に続く次のリーディング産業となり得る大きな可能性を有している。ロボット技術は、ハード面とソフト面の両立が必要であり、日本、特に中部地区が得意とするハード面のモノづくり技術を生かし、ユニークかつアイデアにあふれ有用な次世代ロボットを研究開発することが期待される。このハードとソフトの連携、つまりシステム化が、現在問題となっている安易なリバース・エンジニアリング（他社の開発した製品やソフトウェアを分解または解析することにより、そのアイデアなどをぬき出して、自社製品に利用する技術）を防止し、さらなる次世代産業振興を推進するためのキーポイントである。

〈提案内容〉

- (1) 産学官の連携を通じた利用技術促進のための次世代ロボット研究開発推進センターの創設
- (2) 次世代ロボット研究開発を実証試験するためのロボット研究開発特区の創設
- (3) 労働人口減少問題を解決するための作業補助・作業支援のための次世代ロボットの活用環境の整備
- (4) 各義務教育機関にロボットを設置し、子供たちがロボットに親しみを覚え、活躍する姿を実感できる教育現場の実現
- (5) 次世代モノづくりを実現するための実習形式の教育カリキュラムの開発
- (6) ハード面とソフト面の統合化・システム化に基づいた次世代モノづくりのためのリーダー人材育成
- (7) 次世代ロボット産業のための新しいチャレンジを推進する財政支援・研究開発支援、ベンチャー支援

(1) 産学官の連携を通じた利用技術促進のための次世代ロボット研究開発推進センターの創設

人とロボットが共生する次世代ロボットは、人間の生活により身近な環境で活躍するロボットである。例えば、日常的な人の作業を補助したり、高齢者の介護補助などの生活支援をするような次世代技術である。このような次世代ロボット産業を振興するためには、次に挙げる項目を実現していく次世代ロボット研究の開発環境が必要である。

- (i) 広い適用範囲を有し、高い利用価値を持った次世代ロボット利用技術の促進
- (ii) 人とロボットが共存した活用環境での有効性を実証する環境の提供
- (iii) 小型、軽量化、テーラーメイド性を向上させるロボット要素技術の確立
- (iv) 次世代ロボットの安全技術と実証・評価の促進
- (v) 多様な環境でも確実に動作するロボット技術の高信頼性の確保
- (vi) システム化に重点を置いた次代を担う人材の確保と育成
- (vii) 次世代ロボット要素技術の標準化・規格化の推進

これらを実現するためには、“産”が有するロボット生産技術・モノづくり技術、“官”が有する財政援助、環境支援、“学”が有する次世代技術・評価技術、といった産学官の連携が必要である。これらの産学官が有する特徴を相互に活用し、スパイラルアップさせ発展させることが重要であり、このような環境の整備が、次世代ロボット産業を振興する上で欠かせないものであるといえる。

そこで、官が先導して次世代ロボット研究開発推進センターを創設し、国内外から世界最先端の優秀な人材を集め、研究開発と人材育成・教育の場とすることが求められる。これにより、世界に先駆けて、次世代ロボット産業を研究開発し、実証試験を行うと共に、優秀な人材を確保・育成・教育することにより、継続的な次世代ロボット産業を確立することが期待される。

次世代ロボットの活用化の範囲は多岐にわたるため、利用技術の進展が欠かせない。例えば、高齢者の介護補助を行うロボット、生産現場において人の作業を支援するロボットなどの活用技術の進展が望まれる。このような次世代モノづくりにおいては、

創ったものの有効性を検証し、実際に実証試験を行うことが重要である。例えば、介護補助を行うロボットでは、実際の高齢者と作業者が共存した環境においてその有効性を検証・実証することが重要である。また、生産現場における人の作業を支援するロボットでは、実際のセル生産などの生産現場において人と一緒に作業を行い、ロボットの有効性を検証・実証することが重要である。このように、産学官の連携を通じて、多方面の利用技術に対応した有用な実証試験環境を提供することが重要である。

(2) 次世代ロボット研究開発を実証試験するためのロボット研究開発特区の創設

次世代ロボット産業を振興するためには、研究開発された次世代ロボットを実際に人が生活する店舗や工場、病院や養老院などの施設、さらに地下街や繁華街などといった場所で、ロボットが人と直接接した環境において実証試験を行う必要がある。このような人間の生活環境における実証試験は、現在でも十分ではなく、将来ロボットと人が共生し、十分な安全性・信頼性を確保することが求められる。これにより、高齢者、女性、障がい者などの社会進出を一層推進する作業支援ロボットの実用化が促進される。

このような取り組みは、福岡市などをはじめとするロボット特区をさらに発展させたものである。このためには、官が有する環境支援といった力強いサポートが必要である。特に、中部地区は、首都圏と比較すると官の各機関との緊密な連携が不足しているといわれているため、このような試みには、より一層具体的かつ緊密な産学との連携が必要である。

(3) 労働人口減少問題を解決するための作業補助・作業支援のための次世代ロボットの实用環境の整備

世界各国、特に日本においては、高齢化と少子化が進み、結果として労働人口減少・労働力不足につながっている。このまま進行すれば、単位人口当たりの生産規模が同じ状態であれば、国内の生産規模が縮小することになる。具体的には、将来、現在の日本国内の人口の約1億人が半減し、5000万人になったとしたら、この減少した5000万人の労働力をどのようにして補えばよいかという問題である。これを全て海外からの労働者で補うといったことは非現実的と言わざるを得ない。

したがって、国内の生産規模を維持し、さらに発展させていくためには、減少した労働力を補う技術が必要になる。このためには、次世代ロボットが人の作業を補助・支援することにより、少ない労働人口でも高い生産規模を維持することができる。現在、主に生産現場では人とロボットは独立して作業をしており、人とロボットには隔たりがあることが一般的である。従来までロボット産業としては、宇宙環境や原子力現場などの特殊作業が次世代ロボット産業として有望視されてきたが、今後は、ロボットはより人に身近な分野で活躍していくと考えられる。従って、これまでの産業ロボットに代わり、次世代ロボットとの共存を可能とする労働安全衛生法制の見直し等の法整備が必要である。また、自動車検査登録制度（車検）のような次世代ロボットの検査・登録制度などについても検討していくべきである。

(4) 各義務教育機関にロボットを設置し、子供たちがロボットに親しみを覚え、活躍する姿を実感できる教育現場の実現

次世代につながる産業・技術を永続的に継続・発展させていくためには、ロボット関連技術を次の世代に継承し、これを基に新しい開拓を行うことができる優秀な人材

を育成する環境が求められる。特に、若い世代が次世代ロボットに夢を感じ、モノづくりに対して強い意気込みを生み出す環境作りが必要である。

そのためには、(i)各義務教育機関にロボットを一台以上整備する、(ii)若い世代がロボットに直接接し、コミュニケーションする場を設ける、(iii)給食の配膳や運搬など身近な環境でロボットが作業する、といった試みが重要である。このような場面を通じて、若い世代が積極的にロボットに興味を持ち、活躍する姿を実感できるようになれば、若い世代の教育として有意義であろう。

(5) 次世代モノづくりを実現するための実習形式の教育カリキュラムの開発

教育現場において、例えば英語を始めとする基礎科目の充実も重要ではあるが、次世代モノづくりを振興するためには、これまで以上に工作や実習などといったモノづくりが体験・実感できる教育カリキュラムの開発が求められる。

大学などの高等教育機関においても、基礎、専門分野の習得だけでなく、他の専門分野やMOT(Management of Technology: 技術経営)を含め、幅広い知識を身につけることが重要である。さらに、マシーニング加工や回路設計などの実験実習を発展させ、モノづくりを実感・体験できるようなカリキュラムを充実させる必要がある。

こうした取り組みにより、チャレンジ精神に満ちた次世代モノづくりを担う優秀な人材の育成が図られる。

(6) ハード面とソフト面の統合化・システム化に基づいた次世代モノづくりのためのリーダー人材育成

ロボット技術は、小型化・軽量化・省エネルギー化などハード面でのさらなる技術革新が望まれる一方、電子・電気化の進行により、ソフト面の役割は重要性を増している。特に、次世代ロボット産業においては、ハード面とソフト面の様々な技術を統合化・システム化することで、利用技術を発展させる点が重要である。このためには、優れた人材がリーダーシップをとって、研究・開発を推進・オーガナイズする体制が必要である。

このためには、産学官で密接な連携を取った人材の育成が重要である。高等教育機関などを通じて、高い専門性と広い視野を備えた次世代人材育成教育プログラムを開催し、積極的に次世代技術の習得と将来性について学ぶ機会を与えることが求められる。受講者に試験を実施して資格を与えるなど、次世代産業のための人材育成を進める仕組み作りも必要である。また、積極的な人材交流を進め、幅広い分野において活躍できる人材を育成することが求められる。

そして、このような人材が、実際に事業を展開するために、様々な財政支援のもと、新しい方向性を切り開くチャンスを与え、競争的な環境で自由な研究開発が進められる実証試験の場が必要である。特に、このようなリーダー的な人材が製品開発を進めるにあたっては、例えば、経験豊富なアドバイザーのもとで製品開発を進め、意見交換や助言を受ける機会を設け、研究開発力だけでなく、経営能力などの優れた社会的なセンスを身につけていくことが求められる。

また、次世代ロボットのような新たな産業をテーマとしたシンポジウムやフォーラムなどを積極的に開催し、次世代技術を振興し、リーダー的な人材が活躍した交流ができる場を設けることが求められる。

システム化技術はロボット産業のみならず他の分野においても今後ますます重要と

なってくることを考えられる。したがって、次世代ロボット産業のみならず、様々な分野における次世代モノづくりのために利用技術を進展させ、次世代モノづくり産業を担う将来の人材が、幅広く活躍することが期待される。

(7) **次世代ロボット産業のための新しいチャレンジを推進する財政支援・研究開発支援、ベンチャー支援**

次世代ロボットは多岐にわたる応用分野があり、これを産業振興につなげるためには、新しい利用技術に基づいた次世代ロボット技術の研究開発を推進し、これを着実に実用化するための手段が求められる。ベンチャー支援は、新たな研究開発結果を実用化する段階で有効な手段であり、このためには特に、

- 研究開発のための財源確保
- 製造・特許取得段階における財源の確保・融資枠の設定
- 開発拠点等事業所の無償・低コストによる提供
- 契約締結や特許申請などにおけるアドバイザー・弁理士・弁護士等の援助体制
- 製品の広告・営業支援の提供

の項目について、産学官の支援が必要である。

ベンチャー支援は、若い世代だけでなく、かなりの実績を有する研究者・経営者らに対しても財政面での支援を行うことにより、新たな次世代ロボット産業進展の糸口を見出すことが必要である。また、企業内での次世代ロボットの研究開発においても、幅広く、チャンスが豊富な開発環境を整備し、社会・地域全体として、競争的環境の中において、自由闊達かつ伸び伸びと次世代ロボットに取り組める社会基盤作りが重要である。

中部地域は、モノづくりが活発な当地域の産業技術をベースに、さらに産学連携を推進することにより、次世代のロボット産業の振興を図ることが非常に重要である。自動車産業に続く次のリーディング産業としての次世代ロボット産業が、次世代モノづくり技術の基盤を確立するだけでなく、科学技術水準の向上に大きな役割を果たし、さらに地域に貢献する優秀な人材を輩出することで持続的な産業の活性化が図られる。

中部地域が先導してこれらの提言を推進し、人の生活環境により身近な存在としての次世代ロボット開発及び産業を確立・発展させ、次世代のモノづくりのための産業展開及び人材育成を行うことを期待したい。

参考資料：次世代ロボット産業振興の提言に関する費用（試算）

1. 産学官の連携を通じた利用技術促進のための次世代ロボット研究開発推進センターの創設

センター建設費用：50 億円、研究開発環境整備：50 億円、研究開発支援：20 億円、人材育成支援：25 億円、合計 145 億円程度。

- センター建設費用：50 億円／センター建屋
- 研究開発環境整備：40 億円（実験装置購入・設置）＋10 億円（クリーンルーム等の実験開発環境整備）
- 研究開発支援：1 億円／課題×20 課題
- 人材育成支援：5 百万円／人×100 人／年間×5 年間

2. 次世代ロボット研究開発を実証試験するためのロボット研究開発特区の創設

研究開発環境整備：0.73 億円程度。

- 研究開発環境整備：10 万円／日×365 日／年間×2 年間

3. 各義務教育機関にロボットを設置し、子供たちがロボットに親しみと恩恵を感じられる教育現場の実現

ロボット整備費用：30 億円、環境整備費用：6 億円程度。

- ロボット整備費用：1 百万円／校（ロボット 1 台）×3000 校
- 環境整備費用：0.2 百万円／校×3000 校

4. 次世代ロボット産業のための新しいチャレンジを推進する財政支援・研究開発支援、ベンチャー支援

研究開発支援：50 億円、財源支援：10 億円、事業所整備：5 億円、アドバイザー・弁理士・弁護士支援：1 億円、合計 66 億円程度。

- 研究開発支援：0.5 億円／企業×100 企業
- 財源支援：0.1 億円／企業×100 企業
- 事業所整備：0.05 億円／企業×100 企業
- アドバイザー・弁理士・弁護士支援：0.1 百万円／件×100 企業×10 件／企業

おわりに

本報告書では、次世代ロボットに焦点を当て、ロボットの分野別動向や将来展望、中部企業の取り組み事例、次世代ロボット産業の注目技術と振興に向けてまとめた。

ロボットをとりまく社会動向や政府の動向を踏まえた上で、次世代ロボットの役割、市場規模・安全性について述べ、ロボットの分野別動向と将来展望として、フィールド応用・支援ロボット、産業応用・支援ロボット、生活応用・支援ロボット、社会応用・支援ロボット、特殊環境応用・支援ロボットと中部地域における企業の事例と動向、次世代ロボット産業で求められる注目技術と次世代ロボット産業の社会実現のための課題、次世代ロボット産業振興のシナリオと提言について述べた。

中部地域は、機械産業、とりわけ自動車をはじめとする輸送用機械産業、物流産業、製造装置産業と航空宇宙産業が盛んなところである。このモノづくりが活発な中部地域の産業技術をベースに、さらに産学連携を推進する中で、次世代の知的ロボット産業は非常に重要である。

自動車産業に続く次のリーディング産業としての次世代ロボット産業が、次世代モノづくり技術の基盤を確立するだけでなく、科学技術水準の向上に大きな役割を果たし、さらに地域に貢献する優秀な人材を輩出することで持続的な産業の活性化が図られることを期待し、本報告書を締め括りたい。

2009年10月

財団法人 中部産業・地域活性化センター

－中部産業レポートシリーズ－

- Vol.1 環境関連産業 2002年3月発行
Vol.2 バイオ関連産業 2003年3月発行
Vol.3 福祉機器関連産業 2004年3月発行
Vol.4 航空機関連産業 2007年3月発行
Vol.5 危機管理産業 2009年3月発行

中部産業レポート Vol.6「次世代ロボット産業」 報告書

2009年10月

制作発行 財団法人 中部産業・地域活性化センター
(担当：産業振興部長 徳田達彦)
〒460-0008 名古屋市中区栄2丁目1番1号 日土地名古屋ビル15階
TEL：(052) 221-6421 FAX：(052) 231-2370
URL：http://www.cirac.jp/

中部産業レポート Vol.6

「次世代ロボット産業」



Chubu Industrial and Regional Advancement Center

財団法人 中部産業・地域活性化センター

〒460-0008

名古屋市中区栄 2-1-1 日土地名古屋ビル 15 階

TEL:052-221-6421 FAX:052-231-2370

URL:<http://www.cirac.jp>