

平成 15 年 4 月 14 日

ロボットの課題と方向性（議論の叩き台）

ロボットという言葉は、従来人間が行ってきた単純作業を代行する機械の象徴として作られた。人間の代わりに仕事をする機械としてのロボットが最もその真価を発揮するのは、単調な作業を正確かつ迅速に行う製造業である。実際にロボットは、20世紀後半、工業生産の省力化を目的として、コンピュータなどの情報通信技術や機械工学、制御工学などの技術が融合して開発され、急速に生産現場への導入が進んだ。さらに、ペットロボットやヒューマノイドロボットなどが開発され、公共の場や家庭へのロボットの普及も近いと期待されている。

ロボット技術は、広範な基盤技術を有する我が国の競争優位を発揮でき、将来的にも我が国のイニシアチブが期待される分野のひとつである。

1．ロボット市場の現状

1970～80年代には工場などで使われる産業用ロボットが開発され、急速に普及した。現在のロボットの世界市場は7,000億円程度（注1）といわれているが、その9割以上を産業用ロボットが占めており、わが国は、その分野で約6割のシェアを占めて長らく世界をリードしており（注2）、製造業における強さの源泉の一つともなっている（注3）。

日本では、1980年から自動車産業、電機産業、その他の製造業の発達に伴い（注4）10年間で産業用ロボットの生産額は7倍以上に急増した。1990年代には、単価の急速な低下（注5）や、バブル経済の崩壊に伴う設備投資の後退により、4,000～6,000億円規模で低迷している（注5）。

今後、生産方式が多品種少量生産に移行しつつある中で、これに効率的かつ柔軟に対応できる新しい産業用ロボットの開発が進められている。

日本のロボットメーカーの数は1985年に282社のピークを示した以降は、市場規模の低迷等により年々減少し、2001年時点では148社となっている。

(注1) AGV(無人搬送車:車両型移動機構をベースにする移動ロボットで、製造業内で多数稼働している。)や娯楽用ロボットなど統計に入っていないものが多い。また、カタログ販売のみの数字であり、オーダーメイドを含めると市場規模はもっと大きい。

(注2) わが国におけるロボット出荷金額のうち輸出の割合は、1991年の20%から現在の50%と増大しており、このことから、産業用ロボットにおいて日本の国際競争力が高いことが分かる。

米国では ADEPT 社のみが日本企業と対等に競争している。欧州は全体的に遅れていたが、現在、多関節ロボットでは ABB(スウェーデン)や KUKA(独)が市場シェアで上位を占めており、国際競争が激化している。

(注3) 産業用ロボットがわが国の産業にもたらした付加価値は、2001年で、4.4兆円(自動車1兆3,800億円、電機1兆6,000億円、その他製造業1兆4,600億円)と試算されている(ロボット工業会)。

(注4) 産業用ロボットの応用分野としては、自動車産業、電機産業がその大半を占めているが、その他にも鉄鋼、精密、光学機器、半導体製造など多くの業種にわたっている。工程的には、電子部品実装、溶接、組立、樹脂成型の順に導入台数が多く、これらの総計は全体の70%を越えている。この傾向は1980年以降も変化していない。

(注5) 産業用ロボットの価格は、1970年代の3000万円程度から1980年代に毎年2割程度低下し、20年で一桁以上低下した。

図1 日本のロボット生産額とロボットメーカー数の推移

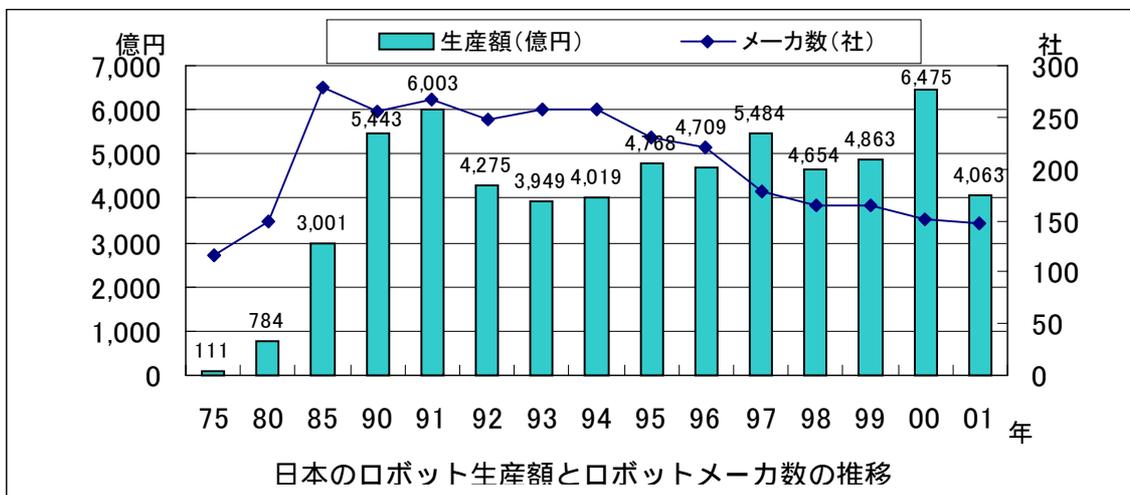
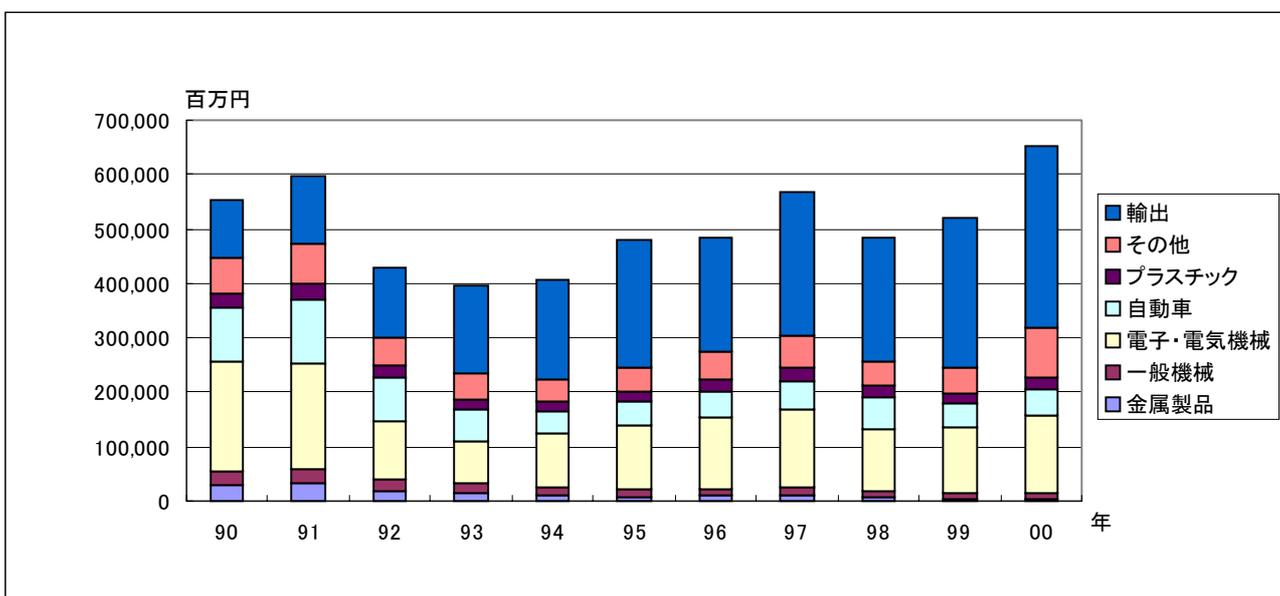


図2 日本のロボット出荷額内訳推移



2. ロボットの応用分野の拡大

工業製品の製造用途向けを中心に普及してきたロボットは、近年、製造業から非製造業、社会参加支援や生活支援へと多様な用途に向けて開発が行なわれ始め、社会及び企業の関心も急速に高まっている。

製造分野以外のロボット応用分野は、大きく以下の4つに分けられる。このように、ロボットは将来、幅広い分野で利用される可能性を秘めており、2010年の市場規模について、生活支援など非産業用ロボットの市場が急速に拡大し、3兆円規模の産業に成長するとの予測もある(図3)。

公共分野

- ・ 極限環境作業(消防・防災、災害救助、原子力・宇宙など)
- ・ 土木・建築、運輸・倉庫、ごみ処理・清掃、サービス用など

医療・福祉分野

- ・ 手術支援
- ・ 介護・自立支援、リハビリ支援、セラピーなど

生活分野

- ・ ペット、エンターテインメント、コミュニケーション
- ・ 家事支援、セキュリティロボットなど

バイオ産業分野(製薬、解析自動化など)

非製造分野においては、1970年代から原子力施設の保守点検、宇宙開発などの極限作業ロボットの開発が始まり、現在は、危険地域の建築・土木作業(注1)、プラントの巡回・保守、果実収穫などの農作業、手術支援(注2)・リハビリ支援や介護などの医療・福祉分野、火災や地震などの際の災害救助、人道的観点からの対人地雷検知・除去、オフィスや家庭のセキュリティ(警備)、清掃・案内など生活支援等のロボットの開発が進められている(注3)。

日本における最近の実用化に向けた取組みの例としては、食事支援、リハビリ支援などの医療・福祉分野、警備や案内、電力線活線作業などの危険作業分野、情報ターミナルやホームセキュリティなどの家庭生活分野などが挙げられる。また、車両型移動機構をベースにする移動ロボット（無人搬送者：AGV）は、図書館、展示場、非製造分野でも利用され初めている。さらに、世界初の2足歩行によるヒューマノイドロボットの実現（注1）、ペットロボットの实用化、長期入院患者、高齢者などの心のケアにも役立つロボットの開発など新しいロボットの開発への意欲は高い。

身の回りの世話をするロボットが最も必要になるのが病人と高齢者である。例えば、世界で最も急速に高齢化が進む我が国において、自立支援、介護支援、リハビリ支援を始めとして高齢者に役立つロボットが実現できれば、大きな市場が期待できるし、世界にも貢献できる。この将来性のある市場の開拓に向けて、わが国が多様なロボット技術の領域で世界をリードすることが期待されている。

（注1）建築・土木分野でコンクリート仕上げ作業に400～500台の導入実績がある。平成15年度から、危険地帯や地下などの建築・土木工事を遠隔操作等で実施するロボット開発プロジェクトを開始する予定。

ヒューマノイドによるバックホーの代行運転、不整地を含む環境における作業は既に実現している。

（注2）小さな切開部から手術できることなどから注目されている。

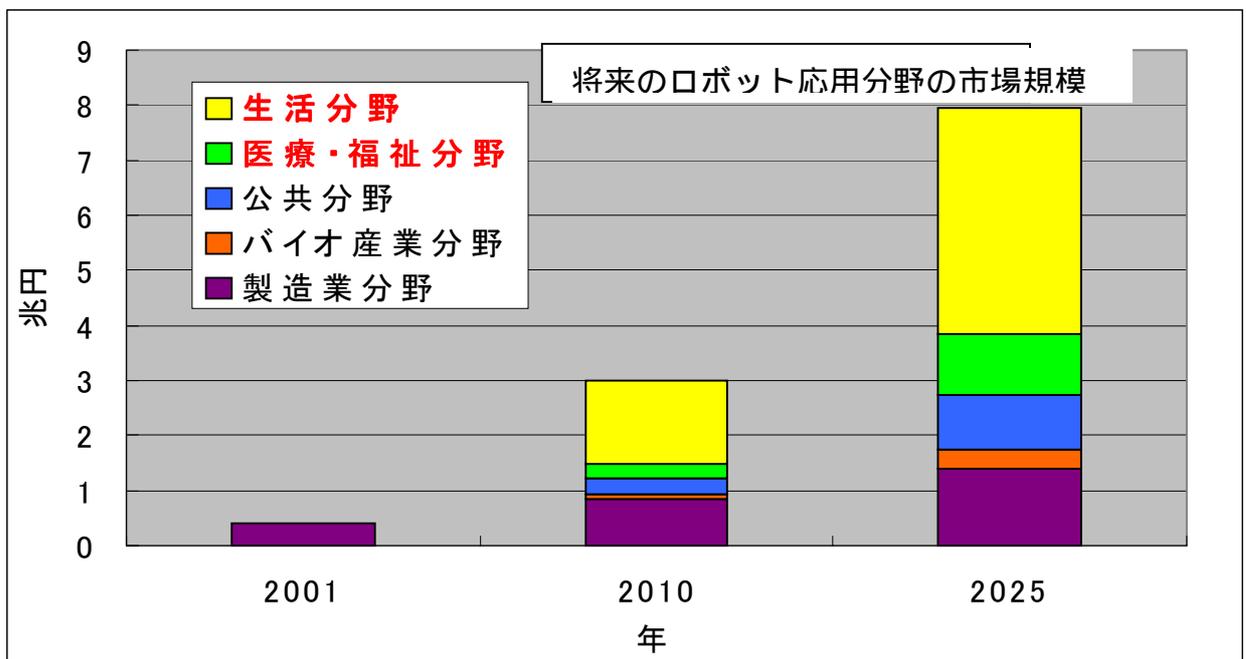
冠状動脈バイパス手術などの心疾患手術でも、肋骨をジャッキで開いて手術する必要がなくなり、小さな切開部分から内視鏡と小型のロボットアームを体内に入れて手術を行えば、患者の肉

体的負担が大幅に軽減され入院期間も短くなると期待される。また、医師の手の動きを数分の1から数十分の1にスケールダウンすることにより、脳などの外科手術を10ミクロンといったレベルで非常に精密かつ容易にできるようになる。また、実際に使用する頻度は少ないと思われるが、感染症の患者に対して離れた場所からの遠隔手術も可能となる。

平成15年度から、一般病院で利用できる低コストで手軽な手術支援ロボットの開発プロジェクトを開始する予定。

(注3) 人道的立場からの対人地雷検知・除去ロボットの開発も進められており、平成15年度予算から、さらに高精度なセンサなどの開発プロジェクトを開始する予定。

図3 将来のロボット市場規模の予測例



(社)日本ロボット工業会「平成12年度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」(平成13年5月)

表1 非製造業分野における実用的ロボットの例

分野	例(企業:国)
極限作業	原子力施設保守管理 マスタスレーブマニピュレータ(アルゴンヌ社:米、サイバネティクス社:仏)
	宇宙開発 シャトルアーム(Spar社:加) 惑星探査 Pathfinder(NASA:米) ETS-ロボットアーム(NASDA:日本)
	災害対策・作業支援 テロ対策ロボット(リモテック社:米) 原子力災害ロボット(サイバネティクス社:仏) 配電設備の保守ロボット(東京電力、中部電力、九州電力:日本) HRP(産総研、川田工業、川崎重工:日本)
医療福祉	手術支援 DaVinci(Intuitive Surgical社:米) ZEUS(Computer Motion社:米) ROBODOC(Integrated Surgical Systems社:米)
	病院の運搬搬送自動化 HOSPI(松下電工:日) Help Mate (HelpMate Robotics Inc.:米)
	義肢 動力義肢(Otto Bock Orthopaedische Industrie社:独)
	自立支援 Handy1(RehabRobotics社:英) マイスプーン(セコム:日本) MANUS(Exact Dynamics社:蘭)
	セラピー パロ(産総研:日本)
生活支援等	サービス ASIMO(本田技研:日本)
	セキュリティ BANRYU(テムザック等:日本) C4(セコム:日本)
	掃除 トリロバイト(Electrolux社:スウェーデン)
	情報家電 MARON-1(PFU:日本) ApriAlpha(東芝:日本) PaPeRo(NEC:日本)
	ペット・エンターテインメント AIBO、SDR(ソニー:日本) Dr.Robot(Dr.Robot Inc.:カナダ)
	コミュニケーション Wakamaru(三菱重工:日本) ifbot(ビジネスデザイン研究所:日本) Robovie(ATR:日本)

3 . 欧米におけるロボット開発と日本との比較

(1) 米国

米国では「ロボット開発」そのものを戦略目標としているわけではないが、NITRD 計画においても、各政府機関の目的を達成するための手段としてロボットを積極的に開発している。NASA は宇宙開発を、また DARPA は軍事を目的として研究開発プロジェクトを推進しており、実用化に直結した研究開発を行っている。特に 2001 年の同時多発テロ後は、救助用ロボットが注目されている（参考 2）。またロボティクスの研究者は多数おり、ベンチャー等が世界ではじめて手術支援ロボットを実用化している。

日米を比較すると、市場規模の大きな自律型の産業用ロボットやエンターテインメントロボットなどでは日本が優位だが、米国では宇宙開発や原子力施設の保守・管理などのための遠隔作業を基本としたロボット研究開発に重点が置かれている。

(2) 欧州

EU にはロボティクス研究開発の担当があり、組織的に目標を明確にしようとしている。企業や大学をまとめるコミュニティ「EURON」を設立し、優れたアイデアに対して EU が補助金を提供している。国別では、ドイツが、ヒューマノイドロボットやサービスロボット実現のために、2001 年に研究開発プロジェクトを立上げ、日本（北九州）にもロボット研究所を設立している。

産業用ロボットにおいても、前述したように多関節ロボットでは市場シェアの上位を欧州企業が占めており、力をつけてきている。

(3) 韓国（韓国パーソナル・ロボット開発プログラム）

パーソナルロボットの基本的な技術を開発し進展させるための2001年から10年計画のプロジェクト。産業界中心の製品指向プロジェクトと、大学や研究機関による技術指向のプロジェクトからなる。

第一段階(2001-2004) : 急速に発展した最新の情報テクノロジーを現在のロボティクス技術に統合。

第二段階(2005-2007) : 家庭サービスロボットや家事ロボットなど特定目的で、ネットワークを基盤としたパーソナルロボットの開発。

第三段階(2008-2010) : 自律的な決定、状況の把握、言語の認識、表情や反応の認識などを行う、知的ロボットの開発

(4) 日本

日本は、自動車や電気・電子製品などの製造用ロボットで培った自動化や自律化の技術に強みを持ち、365日無人で稼働可能な産業用ロボットの開発などでも先行している。

また日本では、文化的な背景から2足歩行の人間型ロボット技術、自動化・自律化したエンターテインメントロボットやペットロボットの市場化、コミュニケーションロボット、癒し型のセラピーロボットの開発などで、世界をリードしている。これらのブームは、人と機械がコミュニケーションできる可能性を示した点で画期的であった。

4 . 分野毎の研究開発の方向性

ロボットについては、共通に利用できる基盤技術も多いが、既に成熟している産業用ロボットから極限作業ロボットやペットロボットまで、適用分野毎に形状、機能、技術なども大きく異なる。このため、まず適用分野毎に、研究開発の方向性を検討する。

ただし、分野の分類を厳密に行なうことは困難であり、ここでの便宜的な分類に過ぎない。今後は、分野間の融合が大きく進展し、多様な形態が生まれる可能性があることに留意する必要がある。

その際、わが国のロボット開発の特徴（前項参照）を十分踏まえる必要がある。また、今後は特に、産業用など人間代替型のロボットよりも、生活支援用など人間支援型のロボット市場が見込まれること、将来的にあらゆる情報通信機器がネットワークに繋がる方向にあることから、人間とロボットのインターフェースを円滑に実現する技術開発、ロボットがネットワークと接続して様々な機能と新しいサービスを実現するための技術開発などの重要性が高まると考えられる。

（１）産業用ロボット

産業における生産方式は、1980年代に進歩した少品種大量生産から多品種少量生産へと変革を迫られており、これに伴い、生産ラインも、従来の流れ作業の製造工程からセル生産方式へと移行しつつある（注1）。

こうした生産方式の進展に伴い、より柔軟で多様な作業ができるロボットの開発が期待されており、これを可能とするための画像センサやモーションセンサ、高度な制御技術、必要な動作のプログラミングを容易にできるための技術、生産システムと連携するための技術などの研究が進められている。

また、作業を一層迅速化するため、高速の画像センサと画像処理技術、腕の高速動作を可能とする制御技術、複数のロボットで作業を分担するた

めにネットワークを介してロボット同士が連携する技術などの開発が重要である。

(注 1) セル生産方式は、一人の作業者が多くの工程をこなす方式で、デッドストックを最小限に出来ること、生産量をセルの数で管理できること、多くの種類の製品を製造できるなどの利点から注目されている。

(2) 極限作業ロボット

原子力施設、消防、災害救助などの極限作業ロボット(注 1)は、大きな市場規模は望めないが、社会的な重要性は極めて高く、用途ごとに開発は進んでいる。

この分野においては、単発的ではなく、継続的に研究・改良を進めること、運用主体が体制を整備し実際に利用しつづけることにより継続的に改良を図ることが重要であり、それに併せて標準などの技術基盤を創り上げる必要がある。現在開発されている極限作業ロボットは、国や公共的な機関が利用者として開発するものが主である(注 2、3)。その開発成果を踏まえ、プラットフォームのオープン化と技術の標準化を図ることによりコストの大幅低減を実現する必要がある(注 4)。

なお、災害救助用としては、米国の同時多発テロでの経験を踏まえ、小型化、丈夫さ、操作性とともに、必要な情報を適切に送るための無線ネットワークなど情報通信技術の重要性が指摘されている(参考 2)。

(注 1) 原子力施設、災害地、宇宙空間などの極限環境での作業は、各々の特殊な環境に応じた作業を行う必要がある。また、廃棄製品の分解回収でも、有害物質の存在、爆発、感電などのおそれがあるため、ロボットの開発が求められている。このような極限環境、危険作業

環境で自律行動するためには、極めて高度な認識・判断能力が必要となるため、現在は遠隔操作が主流となっている。

(注 2) 欧州は、原子力施設の極限作業のための遊泳型ロボットを開発し、検査時間を大幅に短縮できたといわれている。わが国でも JCO 事故の後、遠隔操作ロボットの研究開発が行なわれた。なお原子力に関し、欧州では非常時に対応する国家組織(ドイツ: KHC、仏: グループアントラ等)が組織されている。

(注 3) 大規模地震災害に関しては、2002 年に、防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター(川崎市)と、国際レスキューシステム研究機構神戸ラボラトリー(神戸市)及び川崎ラボラトリー(川崎市)が設立され、災害地を模擬した施設を用いて救助ロボットの共同開発が進められている。

(注 4) いくつかのロボットがプラットフォームとして提供されているが、アーキテクチャの統一や、機能・レイヤー毎の共通モジュール化には至っていない。

(3) 医療・福祉分野

社会の健康志向が強くなる一方で、医療費が増加し、加齢にしたがって障害を持ちながら生活する人が増えてきた。このため、医療・福祉用ロボットに対する期待が増大している。

手術ロボットについては、需要も大きく目標も明確であるため、実用化に向けて産学官が連携して開発する必要がある。一方、介護、福祉ロボットは、高齢化が急速に進展する我が国において、また、世界的にも大きな市場となる可能性があるが、現状ではまだ具体的な目標が明確となっていないため、利用者(介護会社、被介護者等)やメーカーと密接に連携し、技術的課題、コスト低減、利用者への心理的影響などを十分に検討して、ロボットによる支援が可能な領域を明確化しつつ研究開発を進める必要が

ある。

手術支援ロボット

既に米国ベンチャー企業が開発したダビンチやゼウスといった遠隔操作の手術支援ロボットが一部の病院で使われているが（注 1、2）まだ極めて高価であり市場規模も大きくない。今後、手術支援ロボットには、内視鏡などの光学系、画像処理など、日本の強い技術を活用し、一般病院でも使用できるような低コストで手軽なものにする必要がある（注 3）。これにより、患者の早期回復が期待されるとともに、医療費の削減にも繋がると期待される。なお、ロボットのコストを削減するためにも、脳用、心臓用などの専用機器ではなく、可能な限り全身に展開できるものが望まれる。さらに、診断技術の開発との連携も重要である（注 4）。

加えて、フェイルセーフなどの安全確保技術、問題が生じた際には責任の所在が分かるような履歴機能を内蔵することも検討する必要がある。また、高度な機能をもつ手術支援ロボットについては、これらを有効に活用するため、高度先端医療機関、地域中核病院、自宅・地域医療センタの間で情報交換ができるようにネットワーク化し、手術室、患者データも結び付け、ロボットが何時でもすぐに使える環境を整備する必要がある。

（注 1）ダビンチには、ナビゲーションがないため、3次元の位置座標がわかるロボットの開発が望まれている。

（注 2）大学レベルでは、心臓の動きに合わせてメスを自動的に動かして、画面上では心臓とメスが静止しているように表示し、患者への肉体的負担の大きな人工心肺を使わず心臓を動かしたままで手術できるシステムの開発も行われている。

(注 3) 低コストの内視鏡手術支援ロボットは、1000 万円程度で実現されている。

(注 4) 診断と治療を同時に行えば、より効率的になる。核磁気共鳴装置の強力な磁場にも影響を受けないマニピュレータは、米国の総合電機メーカーが開発したが、我が国でも開発が行なわれている。たとえば、再生心筋シートによる心筋の再生補強や、股関節の手術などに利用できる。

福祉型ロボット

この分野のロボットを家庭で使用できるようにするためには、大幅にコンパクトで多機能なものが望まれる(注 1)が、まだ本格的なシステムが開発されていない。その原因のひとつとして、産業用ロボットの技術がベースとなっていること、人体を支えるための丈夫な構造にする必要があること、などのために、大型で高価なものになることが挙げられる。このため、現在のような剛構造ではなく柔構造とし、かつ軽量、強力で柔軟な人工筋肉等のアクチュエータと燃料電池のようなエネルギー源を実現することも必要となろう(参考 4)。また、フェイルセーフ等の安全設計は極めて重要である。

多様な形のコミュニケーションを実現する癒し型のロボットも大きな需要があると思われる。将来的には、感情など人の心を理解する高度な癒しロボットなども期待されるが、そのためには心理学などとの融合的な研究が必要である。

(注 1) ロボットの形状については、例えば、ベッドそのものに介護機能を持たせる方法、介護者が装着してその重労働を軽減するパワーアシスト、部屋に多様な機能を付加する方法など、様々な形態が考えられる。

(注 2) 将来的には、被介護者等の行動情報の長期蓄積を行い、必要な支援を自動的に判断し選択するなど、高度支援技術も期待される。

(4) 生活支援

セキュリティ、ペット、エンターテインメント、コミュニケーションなどのロボットは、我が国が先行している分野である。この領域においては、最近、製品開発を試みる企業の数が増加しているが、国は、このような民間の努力を後押しするとともに、将来のブレークスルーに向けた基盤技術の開発等を実施することが適当と考えられる。

将来、生活の場で用いられるロボットでは、個人の行動情報による差別化が重要となろう。日本はきめ細かさと身近なメカトロ製品や情報家電などのネットワーク機器に強みをもっており、これらの技術や各種センサ技術なども活用しつつ、新しいロボットを実現していくことが必要である。

ヒューマンインターフェース

現在、人と会話のできる知的なロボットの開発が進んでおり、受け付けや案内サービスなどの特定用途では実用的なレベルに達しているが、総合的なコミュニケーション能力は、人間の3～4歳程度といわれている。また、現在のコミュニケーション手段は音声が中心になっているが、高齢者を含む実際の日常生活では、スキンシップ（触覚）や表情、視線など多様なコミュニケーション手段が重要になってくる。

これらを実用的なものとするためには、以下のようなヒューマンインターフェース技術の開発が必要である。

- ・ マルチモーダルな情報、実世界の情報を総合的に取り入れ、インタラクティブで自然な対話を実現する必要。ロボットを用いると、触覚や視線の一致、手の動きなどを用いた多様で分かり易いヒュー

- ーマンインターフェースを実現することが容易となる（注1）。
- ・人間の声・顔の認識、自由な自然言語会話などを実現することが必要（注2、3）。
- ・生活を共にする家庭用ロボットでは、導入当初の新鮮さが薄れた後でも、情報の共有や学習などにより常に人間にとって新鮮な存在として驚きを提供できるような工夫が重要。（注1）

映像上のCGキャラクタ、ロボットなどにより情報通信システムを擬人化することが可能であるが、あまりにも人間を感じさせ、それに相応しい知能を期待されるCGキャラクタよりも、存在感があり、かつ、3～4歳といわれる現在の音声対話の知能レベルに合った違和感の少ないインターフェースとしてロボットが注目されている（注4）。このようなロボットの存在感を生かした上で、外出先など場所と周囲環境に応じてCG合成したロボットの映像を利用することも考えられよう。

（注1）触れる力の強さを認識し、卵を壊さずに握る能力、人の接触によるコミュニケーション（撫でる、叩くなど）の理解、などが実現されている。また、見真似で踊りを覚え、剣玉や棒立て、エアホッケーなどを学習する能力などは実現されている。

（注2）現在、人間の顔を認識・区別する技術については、ドアに設置され照明等の条件が良い場合には数百人程度を、また移動するロボットの場合には百人程度を識別可能である。また、指差した方向や視線の方向を推定して見る能力も実現している。

（注3）従来の自然言語会話における細かい制約を撤廃し、自由な会話を実現するため、短期的な即応応答機能と、会話履歴を記憶し長期的な文脈を把握する機能を組合せ、この両者を感情機能で統合して会話を行う技術が開発されつつある。さらにロボットの目線や顔の表情を変化させることで、一層自然な会話が可能になる。

(注4)CG キャラクタを用いてコンピュータを擬人化することにより、人間との会話を円滑にしようとする試みは、多数行なわれている。ただし、人間に近い精巧なCG キャラクタを用いると、現在の音声対話技術が初歩的なレベルであるため、精巧なCG キャラクタに利用者が期待する会話レベルと実際の技術レベルとのギャップが大きくなり、不自然さが生じる。一方ロボットは、その動作等がまだぎこちなく幼い印象を与えるため、利用者があまり高いレベルを期待しないという効果がある。さらにCGと比較にならないほどの存在感があるため、現在のヒューマンインターフェース技術レベルを補い、利用者への違和感が少ない。

ネットワークのインターフェースとしての能力

ネットワークのインターフェースとして、我が国が優位なモバイル等のネットワーク技術とロボット技術等の融合の進展に伴い、必要な情報をインターネットから集める知的エージェントロボットなどが開発されている(注1)。

また、情報通信ネットワークの利用者に対し、人間同士のコミュニケーションを円滑にする多言語自動翻訳、利用者の業務をエージェントとして支援する電子秘書(注2)などの技術も含め、利用者に対して新しい効用・価値を創造し提供することも、ロボットに期待される側面である。この中には、人間の生活を安心して安全なものにするための、就寝中の健康異常を知らせるセンサーロボット(注3)や携帯電話などで遠隔操作可能な留守番ロボットなども含まれる。さらに今後、人と情報通信システムの関係が変化し、誰でも無意識に情報通信システムを利用する環境が広がっていくと、コンピュータを意識的に使う人だけでなく、意識せずに日常生活の中で情報通信システムに触れる場合にも、ロボットが人とのインターフェースとなり、邪魔にならず安心

して生活できる仕組みを実現することが期待される。

(注1) 例えば、利用者の意図を理解し、インターネットなどから必要な情報を集めて自動的に処理し、利用者の声を聞き分けて各々の利用者に合った答え方で適切に応答するロボットの開発が行われている。

(注2) 電子秘書技術も、現在は電話の取次ぎ程度の機能しかないが、将来的には秘書ロボットが、オフィスで秘書としての役割を果たすとともにネットワーク上のエージェントによる情報収集や交渉・調整作業等の代行（バーチャルワールドでの活動代行）を行なうことも期待されている。また、アノテーションなどにより、相手によってユーザが開示しても良いと考える範囲で個人情報のやり取りを自動化することも可能となろう。

(注3) 家庭内に多数のセンサを配置して、無呼吸症候群などの家族の健康異常を監視するシステム、自動車や車椅子などの周囲状況を監視して危険を知らせるシステムなどとの連携も考えられる。なお、このようなシステムが社会に受け入れられるためには、人間の心理や行動の詳細な分析との連携が不可欠である。

5 . 基盤技術

ロボットは、センサ、人工知能、ヒューマンインターフェース、ネットワーク機能、制御技術、駆動装置（アクチュエータ）、機械構造、システム化、バッテリーや安全設計など、多様な領域（注）の総合技術であり、様々な要素技術でブレークスルーを実現し、トータルな技術力を付けていく必要がある。

日本はマニピュレーション、移動技術など、ハードウェアや下位レベルの制御技術では国際的に高いレベルにあるが、高レベルの人工知能、遠隔

操作技術などでは米国に対し劣勢である。

(注) 基盤技術の例(分類は、議論のための便宜的なもの)

センシング技術：視覚、聴覚、触覚、姿勢、力など

知能化技術とヒューマンインターフェース

・内蔵及び外部のセンサ情報などを用いた環境等の認識・理解
推論・学習、動作・作業知能、知識構造化、情報要約など

・音声による対話、表情、ジェスチャーなどによるコミュニケーション

ネットワーク機能

：遠隔操作、外部ネットワーク接続、ネットワーク経由の機能
拡張、情報交換、情報検索・蓄積など

制御技術(マニピュレーション、移動技術を含む)

駆動装置(アクチュエータ)、機械構造、材料、デバイス

：モータ、油圧、空気圧、人工筋肉など

システム化(アーキテクチャを含む)とコスト低減のための技術

バッテリー技術、安全設計、その他

(1) センシング技術

センシング技術は、ロボットの活用範囲を拡大していく上で極めて重要な要素である。ロボットには、自らの姿勢の制御や外界の状況認識のために様々な種類のセンサなどが利用されるが、一般にこれらセンサは高価でまた機能的にも十分でない場合が多く、低コストで高機能な各種センサの開発が必要である。

視覚センシングは産業用ロボットが最も進んでいる。プリント基板の部品を立体的に把握するもの、デジタル処理回路をセンサと一体化すること

により千分の1秒の超高速で任意の画像を処理するものなどが開発されている。一方、周囲の状況をつかむ必要のある生活用ロボットでは、視覚センサの視野の狭さを克服するため、広角とズームの2種類のセンサを搭載するなど、構造が複雑化する傾向がある。

聴覚については、音の到来方向を認識するため、マイクを3本用いる方式、人間のように2本のマイクを用い、頭を振って方向を最終的に確認する方式などが開発されている。また、雑音の中から目的の音を取り出す技術については、数人の声を聞き分けるなど様々な技術が開発されているが、雑音源が移動する場合の処理など、課題も多い。

触覚については、人間の皮膚のような面的センサの開発が行われているが、この面的センサは、人間と接触する場合、ロボットのどの部分が接触したかを検出し、回避する重要な役割を果たす。しかしながら、その実現のためには、表面に張られるセンサ自体の物理的耐久性や部分的障害に対する抗たん性、大量の配線が必要となること、などが大きな課題となっている。また、臭覚や味覚などのセンサも開発されつつあるが、このためには生物学や化学の知識が不可欠である。

実用化 : 2次元視覚、音声、姿勢(角度)、点的な触覚センサ

研究段階 : 面的な分布触覚センサ、千分の1秒の高速視覚センサ、
広角と高精細を兼ね備えた視覚、雑音中の音声認識、臭覚、味覚等

(注1) ロボットの動きを高速化するためには、まず眼にあたるビデオカメラを高速化する必要がある。一般のビデオカメラは30分の1秒毎に映像をとるが、撮像用のセンサICの中にデジタル信号処理を行う回路も組み込んで、千分の1秒まで高速化する技術が開発されている。

(2) 知能化技術とヒューマンインターフェース

組立ラインのロボットはプログラムされた通りにアームを制御すればよい。しかし、対象製品の多様性や使用条件の違いに対応したシステムには自律的な認識・判断が必要となり、現在の技術では実用的なレベルに達していない。また、将来的に期待されている自律型やネットワーク型の生活支援ロボットについて、コンピュータの知能レベルが人間に遠く及ばないというえ、機能や能力を利用者個人に合わせる必要がある。

画像認識技術については、人間の顔を目の間隔などの特徴抽出により認識する技術は既に実用化されており、百人程度を区別することが可能であるが、下から見上げる、人間が正面を向いていない、などの悪条件でも認識率を高める必要がある。また、エレベータのボタンなど、固定されたものを教示等により認識させることも容易である。しかし、例えば「机」の上の「本」など、場所が変化する3次元の物体を認識し、抽象化された概念として理解することは、ロボットが自律的に判断して行動するために重要な技術であるが、まだ実用的なレベルには至っていない。さらに、繊維製品など形状が大きく変化する物体を認識することは、極めて困難である。「本」とは何かを理解するだけでも、形状のバラツキや特徴などを学習し抽象化概念をマッチングさせるための膨大なデータベースが必要になる。

また、ロボットと人間のより円滑なコミュニケーションを実現するためには、個人の特徴などに適応し性格・嗜好などを学習して音声認識や対話を高度化していく技術(注1~4)などが重要である。さらに自然なコミュニケーションのためには、ロボットが人間の言葉や抑揚、目の視線や顔の表情、指差しやジェスチャーなどの動作や行動とその意図を理解するとともに、自らも同様の表現を行なうことが必要であるが、これについては、

基礎的な研究のレベルにある。(詳細はヒューマンインターフェース会合資料参照)

実用化 : 移動台車の地図参照型移動技術、簡単な画像特徴抽出などによる3次元空間認識と障害物回避技術

研究段階 : 3次元視覚による実環境理解技術(物体の3次元の形状を認識できる目)、高度な障害物回避技術、オフライン作業計画(ロボットアームについて目的の場所まで動作するための経路を自動的に作成する技術)、モデルベースと知能化技術、試行錯誤を行う学習制御

(注1)多様な情報を総合的に認識し利用者の意図を理解することにより、自然な対話型インターフェースが実現可能となる。

- ・発話のトーン等の理解、抑揚も含めて違和感のない自然な音声合成(将来的には、感情表現も実現。)
- ・音声ポータルなどの自然言語による対話型インターフェース
- ・利用者に受け容れられる自然なナビゲーション。

(注2)実世界インターフェース

紙に書いた文字や絵をロボットに直接入力する技術、ICタグを用いた「物」や人の認識技術などが実現されている。また、センサ・ネットワークにより、ロボットが家庭における人間の行動や健康などの情報を取り入れ、実世界を理解することも可能。

(注3)インターネットの膨大な情報から必要なものを検索し提示するため、タグにキーワードなどを記載するアノテーションを活用する必要があるが、アノテーション自動付与技術の精度など課題が多い。

(注4)利用者のいる多種多様な状況や利用者の特性に応じて最適なサービスを最適な形式で提供するため、以下のような技術が必要。

個人適応

- ・人の位置の認識、人物識別、顔の認識、顔の向きの認識
- ・会話理解（音声認識、自然言語処理等の個人適応）類似の対話の履歴の把握。情報検索についても、履歴の蓄積・分析による嗜好や検索意図の推定などが可能。

環境適応

- ・位置や周囲の環境などの情報を取得するためのセンシング技術と、その環境をシステム側が自律的に認識・把握する技術
- ・限定された出力機能でも、分かりやすく情報を提示するため、画像の精細度の変換や文章要約なども含めた技術開発が重要。

（３）ネットワーク機能

ネットワーク機能には、ロボットの遠隔操作技術、ネットワーク経由で必要なソフトウェアなどを適時ダウンロードしロボットの機能を拡張する技術、ロボットがインターネットなどから様々な情報を探したり交渉を行なう技術、ネットワークに接続されたセンサやロボットが連携し協調して作業する技術などがある。

遠隔操作については、欧米が原子力施設の保守管理や惑星探査などの実用化で先行しており、わが国では、配電設備の保守や消防用ロボット、家庭用のセキュリティロボットを携帯電話やインターネット経由で遠隔操作できるものなどが実用化されている。

インターネットなどから情報を探す、あるいは不適切な情報をコントロールするといった技術については、開発・実用化が進んでいるが、まだ質問に適切に回答できるレベルには達していない。ロボットとの対話の中で検索結果から必要な情報に絞り込むヒューマンインターフェース技術と、コンテンツの意味に注釈をつけるアノテーション技術を併用するなど、総合的なシステム設計と、詳細な情報を周囲のディスプレイに適切に表示す

るネットワーク技術などを考慮し、利用者の受容性を十分にフィードバックする開発体制が重要である。

ネットワークに接続されたセンサやロボットが連携し協調して作業するためには、それらがネットワークを介して通信しながら自律的に認識・連携し、各々の機能や情報を補完し合って、必要なサービスを実現していく自律協調技術が重要である。

(4) 制御技術

視覚や姿勢などのセンサ情報を基に、様々な駆動装置を適切に動かすことにより、手や足の機能を実現できる。2 足歩行は実現したが、不整地でも安定に歩行する、あるいは、高速歩行、などの技術にはまだ課題が残されている。手の機能についても、卵など壊れやすいもの柔らかいものを壊さないで掴む、あるいは、コップなどを掴んで滑り落ちないように把持する、などについては、まだ研究段階にある。

実用化 : 遠隔操作で違和感が生じない程度的高速サーボ・高精度位置決めサーボ制御技術、数値データによる教示再生制御技術、力の感覚を含まない一方向の遠隔操作技術

研究段階 : 柔らかなものも適切につかむ力の制御と把持技術、外力に対応して柔軟に動くコンプライアンス制御技術、多指ハンド、様々な床の状況に対応できる脚式歩行技術

(5) 駆動装置 (アクチュエータ) 及び機械構造

駆動装置の開発の停滞が、ロボットの動きを大きく制限している。ロボットの適用範囲を拡大するためには、しなやかで精密なロボットの腕などを実現できる小型で高性能なアクチュエータの開発が不可欠であり、モータの高度化に加えて、より強く柔軟で素早く動くいわゆる人工筋肉などの新しい駆動素子 (注 1) の開発を進めるとともに、基本的な制御方法も再

検討する必要がある。

(注 1) アクチュエータの開発は、電気制御の容易さからモータ駆動が現時点では普及しているものの、出力重量比が小さいこと、ギア等から雑音が発生するために音声認識に支障が生じること等から、新しいアクチュエータの開発が期待されている。例えば、導電性高分子アクチュエータは、把持荷重としては、人間の筋肉の 100 倍程度の力を発生する人工筋肉が実現されている。また伸縮率についても、人間の筋肉の伸縮率 20 - 25% に対して 15% 程度を達成しているが、伸縮に 5 秒程度の時間を要することが大きな課題となっている。
(参考 4)

(6) システム化とコスト低減のための技術

ロボットは、機械的な技術と情報通信技術を結合することによって様々な機能を実現する可能性を秘めたものであるが、その目的によって必要となる要素技術やシステム化技術は大きく異なる。このため、実現すべき目的を最も明確にして研究開発を行なうべき分野である。

一方で、ロボットを実現するためのアーキテクチャを標準化し、ベンチャー企業等が迅速にロボット開発を行なえるような環境を整備することが重要である。

産業用ロボットは、単純作業を極めて効率的に実施でき人件費に比べて大きなメリットを有していたことから、費用対効果が大きく、1980 年代に急速に産業界に浸透していった。人間の出来ない仕事や危険を伴う作業を代替する場合、例えば極限作業ロボットや救助ロボットなどであれば、ロボットの能力に対する要求は高いものの、コストに対する要求は比較的緩

やかであると思われる。

一方、生活支援型ロボットなどでは、高齢者や障害者の介護支援や自立支援を目的とする場合など、介護者等の重労働と被介護者の精神的負い目を軽減できるメリットはあるものの、最終的には一般家庭も対象とするため、コスト低減は最も重要な条件となる。しかしながら、人間が介護等を行なう場合に比べて用途が限定される上に、どのような操作を行なっても安全性を確保する必要があるなどコスト増の要因は大きく、費用対効果を高めることが急務になっている。

このため、多機能 IC による部品、ミドルウェア、複雑な配線を大幅に削減するための単一ワイヤ接続（ロボット内のネットワーク化）などの要素技術を可能な限り共通化・オープン化するとともに、アクチュエータ、センサ、駆動回路などの低価格化のための技術開発を推進することが重要である。

（ 7 ）バッテリー技術、安全設計、その他

バッテリーについては、高エネルギー密度の燃料電池の開発が待たれる
また、生活支援分野などのロボットは直接に人間と接することになるため、故障しても人間を絶対に傷つけないフェイルセーフなどの安全設計を重視するとともに、大型のロボットにはフライトレコーダのような記録装置を装備することにより、万が一の事故原因を切り分けられるシステムについても、検討を行なう必要がある。

6 . 研究開発の推進方策

（ 1 ）目的指向のプロジェクトと体制

我が国のロボット産業が世界をリードしている大きな要因の一つとして、

我が国にユーザとしての製造業が広範に存在しており、それらユーザとの連携の中で産業用ロボットの開発が進められたことが指摘されている。また米国では、宇宙開発用極限作業ロボットなどのように、実利用を目的として基礎研究から実用まで一貫した研究開発が進められている。

ロボットは多様な分野にわたる技術を総合的に組み合わせるものであり、要素技術の開発のみでは実用に結びつくことは難しい。ロボット技術の開発は、半導体技術などとは異なり、ロードマップを明確に書き表せない分野であるが、ロボット産業の将来を見据え、具体的な用途、実現性、市場性や求められるコスト、仕様を明確にした目的指向の研究開発と、そのためのユーザを含む分野融合的な開発体制を構築することが不可欠である。
(参考1)

企業におけるロボット技術の多くの部分は、ロボット単体での市場よりも、生産システム等の実用に供する技術開発として捉えられており、ロボット産業の統計には含まれていない部分に潜在的な研究開発と大きな需要が存在している。

例えば、航空機会社での飛行機機体の清掃ロボット、半導体製造ライン上のロボットなどは、一般的な仕事をこなすための汎用ロボットとは異なり、特殊作業のためだけの特注ロボットである。このような特殊用途ロボットの研究開発は、企業内の各事業所内で研究開発が行われ、その資産の流通は同じ企業の事業者間でも図られていないのが実状である。

企業内のこのような特殊用途ではあるもののアウトソーシング可能な技術開発を、広く多くの企業から委託を受けるソリューションビジネスは、市場規模が大きいと見込まれる。このビジネスを成功させるためには、上記のロボット要素のオープン化を進める必要がある。

また、このような特殊用途ではあるものの出口イメージのはっきりした

ロボット技術の研究開発を集中的に委託研究することにより、ロボット技術の蓄積と、それらロボット技術の他分野への貢献が広く図れるものと思われる。

一方、新しいロボットの市場を開拓していくためには、ロボット単体で動作するものだけでなく、ロボット相互の連携、ネットワーク端末やセンサーネットワークとの融合、実体のあるロボットと携帯端末などにおける画面上のバーチャルなロボットなどとの連携の可能性などを検討していく必要がある。

(2) オープン化、標準化

ロボット関連の企業、特に要素技術などを開発している企業の中には、中小企業も多く存在している。このため多くの場合、一社が新しい要素技術を開発しても、他の企業がその要素技術をロボットに応用しようとする場合、低レベルの入出力によるシステム構成とそのソフトウェア開発を必要とし、中小企業にとって一から開発する必要が生じ、要素技術の浸透を妨げていた。

ロボットシステムやその要素技術のアーキテクチャ及び仕様を誰でも使えるようにオープンとし、シミュレーション技術を確立し、さらにプログラム開発が容易に行なえるようにデバイスドライバなどの共通仕様を定め公開することで、要素技術の流動化が促進される。また、例えば、感覚と運動の統合システム、視覚情報や聴覚情報処理プロセッサなど、幅広い応用が期待される共通基盤的な技術の研究開発を進め、標準化・オープン化を促進することが必要である(注1、2)。

ロボットのネットワーク接続についても、遠隔操作を始めとして通信方式(プロトコル)等の標準化を進め、オープン化を推進する必要がある(注3、4)。

(注1) ヒューマノイドHRPについて、ソフトウェアプラットフォーム OpenHRP (ヒューマノイド制御用プラットフォーム、シミュレータ) が提供されている。コンピュータ連携の国際標準規格の一つである CORBAを用いてソフトウェアが構築されており、その詳細な制御用インターフェースが公開されている。

(注2) パソコン用プロセッサを核に、低コストロボット開発のためのソフトウェアをオープンソースとし、迅速にロボットを開発できるようにするため、オープンソース・ロボティクス プロジェクトを開始 (米インテル社)。

(注3) ORiN (Open Robot Interface for the Network)

ロボットへの統一的なネットワークアクセスのためのオープンインターフェース (分散オブジェクトモデルを用いたデータアクセス、通信プロトコルの違いの吸収、インターネット通信の実現等) を開発中 (日本ロボット工業会、国内主要ロボットメーカー)。これにより、サードパーティによる多様な応用ソフト開発、マルチベンダ体制の構築、生産ライン工程監視システム、遠隔地保守を実現。

(注4) RoboML (Robotic Markup Language Project)

ロボット応用における情報の表記・互換のためのXMLベース言語 RoboMLを通信プロトコルと組み合わせ、インターネット経由でハード、ソフトを含めたロボットと通信・遠隔制御するための共通のインターフェースを開発するプロジェクトが推進中。(ピッツバーグ大、香港市立大学)。

(3) 他分野との融合

ロボットは機械要素とコンピュータなど電氣的な要素との融合 (メカトロ) 技術として誕生したが、生活支援などの用途においては、ネットワー

クに繋がる情報通信端末の入出力手段の一つとしてロボットとヒューマンインターフェースの技術を融合し応用しようとする研究開発、学習機能を持ち音声やジェスチャー等により人間のコミュニケーション能力そのものの研究も行なわれている。さらに最近では、人間の脳の働きを研究して、ロボットの上でそれを実現するといった、これまでにない新しい分野と融合したシステムとしての研究開発も着手されている。

ロボットのヒューマンインターフェースについては、様々な要素が複雑に絡み合うため課題も多分野に渡っており、技術・デザイン・心理といった異分野が協働して問題解決にあたることが重要である。求められるヒューマンインターフェースを実現していくため、想定される技術的課題は、以下のとおり。

人間の機能の解明

ロボットのヒューマンインターフェースにおいても、人間があくまでも中心にあり、これを本質的に解決するためには、人間が外界からの情報を認識する情報処理機構（理解する過程など）を解明する必要がある。すなわち、認知科学的・脳科学的アプローチにより人間を対象として実験を行い、人間の視聴覚機能や運動制御、さらには思考や類推といった高次な処理を行なう脳の機能解明を進める必要がある。

使い易さの解明

上記のような認知科学的アプローチと歩調を合わせ、そもそも人にとっての「使いやすさ」の解明を進めていく必要がある。

この他、バイオ、ナノテク等の異なる分野との融合も図られつつあり、その学際的な研究開発が望まれる。特にナノロボティクスに関しては、米国で、高密度メモリーの可能性としてナノマシンの開発も行なわれている。

7. 環境整備

(1) ロボットの実用化促進

実証実験等

極限作業ロボットは、公共的な特殊用途に用いられる場合が多いため、各々の公共的な機関と共同で開発する必要がある。

生活支援型などのロボットは、機能、デザイン、コストなども含めて「人」に受け容れられるかどうかことが最重要課題である。逆にいえば、生活支援型ロボットにおいては、どのように優れた技術であっても実際に人に受け容れられない限り、意味が無いことになる。

「人」の感性を相手にする以上、開発初期の段階から完全な機能を発揮することは困難であり、類似の機能を実現するためのアプローチも一つとは限らない。

このため、可能な限り迅速にデモンストレーションや実証を行って「人々」の反応をフィードバックし、さらに実用化の見通しを十分に検討し、現実の市場の評価をフィードバックしていくことが重要である。

手術支援ロボットについては、米国では2000年7月、DaVinciが「ロボット手術」として米国FDAに認可されて実用化された。日本においては、新しい医療機器を認可するためには多くの臨床実験を経る必要がある。米国でもこの問題を回避するため、比較的臨床実験基準の緩い欧州でいち早く認可を取り、その後、自国に導入する例もあるといわれている。

また、臨床実験には保険が適用できないため、患者に大きな経済的負担を強いることとなり、認可が遅れる傾向にあるなどの問題がある。

安全基準

現在、産業用ロボットを主な対象として、機械による労働災害を防止するため、労働安全衛生法第3条2項に規定する「機械等の設計者

及び製造者の機械等による労働安全発生防止の包括的責任」を踏まえ、労働安全衛生規則、厚生労働省「機械の包括的な安全基準に関する指針について」で安全基準が設けられている。

将来、ロボットが家庭にも普及し人間と共存していくためには、その安全性を確保するための基準を定めて保証することにより、普及を促進することが重要である。欧米においては、既に人間と近接して動作するロボットを対象とした安全基準について、検討が開始されており、これが将来、海外に輸出する際の基準となる可能性もある。わが国としても現在の優位性を活かすために、早急に基準の検討を行い、国際基準作りに積極的に参画していく必要がある。

(2) 人材育成

1980年代初頭にロボットが学問として認識され始めた頃は、研究者の数はまだ少なかったものの、1985年のつくば科学万博において多くのロボットの展示実演が行われ注目を集め、バブル期には産業界で積極的にロボット研究開発が行われた事により、多くの企業でロボット事業が立ち上がった。その後、バブル崩壊とともに、多くの企業はロボット事業から撤退し、製造ライン開発事業などに吸収されたが、大学などでは学生のロボットに対する熱意はまだ盛んで、学生のロボット関連研究室への志望は多い(注)。

大学におけるロボット教育としては、機械工学を母体とする組織が多く見受けられたが、次第に機械工学科と電気工学科との融合によるメカトロニクスの学科が設置された。最近では、さらに情報系の中でも研究が行なわれており、また、ロボティクス学科も設置されている。大学においては、急激に変化する研究環境を踏まえ、メカトロニクス技術の体系化を始め、情報通信技術や材料技術などを総合した教育体系の需要に柔軟に対応することが重要である。

さらに、大学においても産業界と連携して研究を実用化するための枠組

みを整備し、研究成果が実利用に結びつく環境を整備することが最も重要である。

(注) ロボットへの関心を高める上で大きな効果を上げているものとして、全国で行われているロボットコンテストが上げられる。

(3) その他

産業化を考慮し、ベンチャーへの支援策が必要。

(参考1) ロボット技術の国際競争力比較

1. 競争力 (: 競争力あり、 : 平均レベル、 × : 競争力弱い)

(1) 応用分野

応用分野		日本	米・加	欧州*
産業用(製造業)ロボット				
極限環境	原子力・海洋ロボット			
	災害対応ロボット	×		
	宇宙ロボット			
	探査ロボット	×		
医療福祉	医療用ロボット (注)	×		×
	福祉ロボット			
エンタテインメントロボット				×
ホームロボット		×	×	×
サービスロボット				
建設ロボット			×	×
農業用ロボット				
畜産ロボット				
バイオ産業用ロボット		×		

備考) 国際競争力(応用技術)とは、多国にまねをされるようなオリジナルな製品を開発する力、多国に製品を輸出する力、国内で多国を超える製品市場を持つ力、市場をプロモートする力、などを総合的に評価したもの。

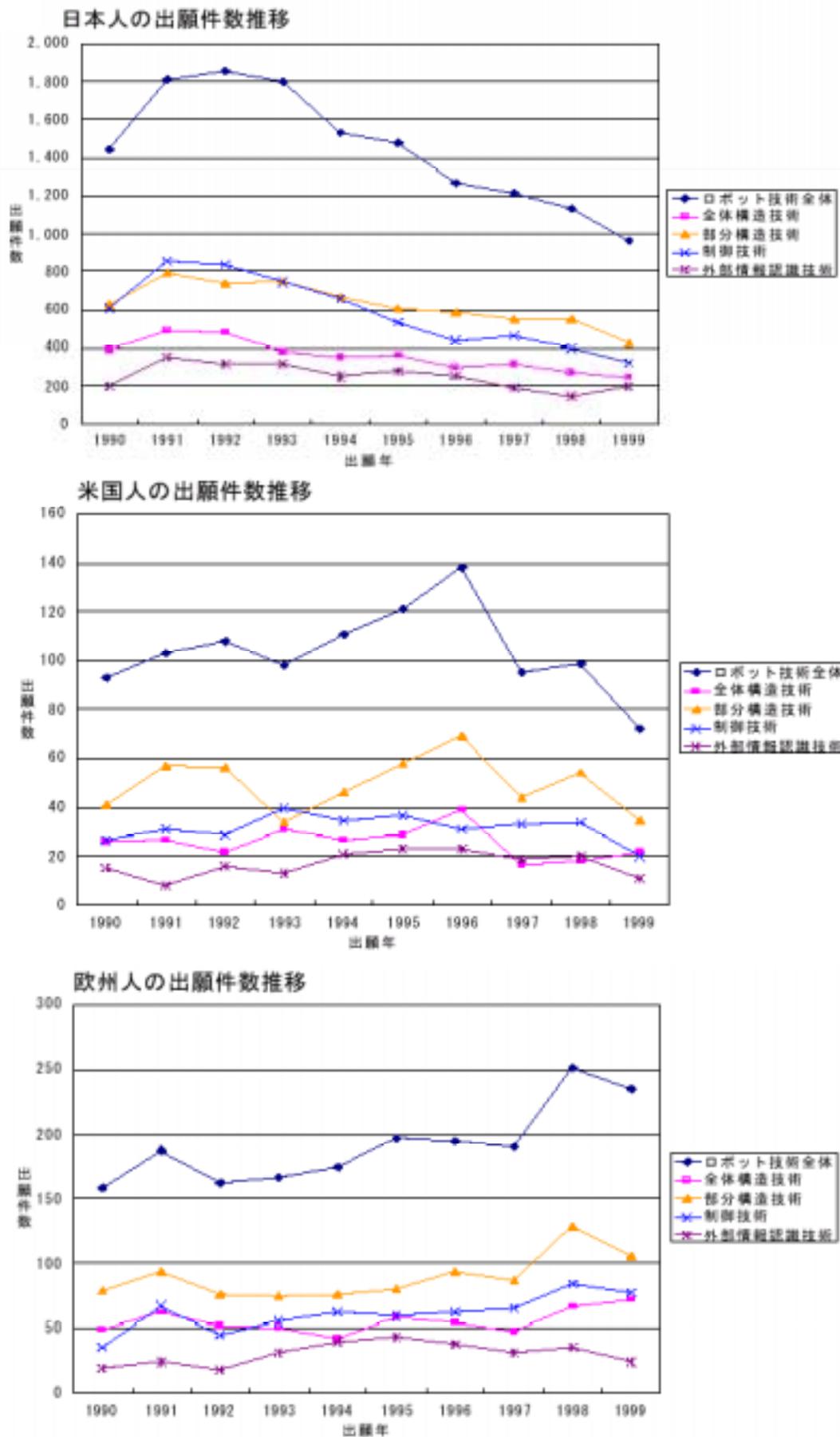
(注) 日本のこの分野は技術的には国際レベルにあるが、それが市場に出るにはいくつかの課題がある。本表の評価は技術開発から商品化までのすべてを対象とした評価である。

(2) 要素技術

要素技術		日本	米・加	欧州*
マニピュレーション				
多指ハンド				
移動技術	脚			
	クローラ			
	車輪			
遠隔操作・制御、シミュレーション				
ヒューマンインターフェース				
知的制御技術				
センサ技術、視覚認識技術				
ネットワーク技術、メディア技術				
ソフトウェア技術				
マイクロ・ナノ				

* 欧州のロボット研究の盛んな国のみを考慮。

2. 特許出願数



(参考2) 米国のロボット開発

1. 災害救助ロボット (NITRD計画 ブルック2003より)

2001年9月11日の同時多発テロの現場で、先端的ロボット技術は連邦政府(注1、2、3)の資金援助を受けたIT R&D(注2)により開発が始められた第1世代のプロトタイプが災害救助に当たった

これらのロボットは靴箱からスーツケース程度の大きさで、人間には小さすぎたり危険すぎる隙間を通り、映像と音声を送り、生命反応を検知する赤外線センサーを搭載するとともに、残骸除去作業者に危険が及ぶ構造的状態を見分けることができた。ただ、密集した瓦礫の中で使用できるほど小さいサイズのロボットは、17台のうち7台のみであった。

(注1) 国防省高等研究計画局(DARPA)、全米科学財団(NSF)、及び海軍研究所(ONR)など。DARPAでは、ロボットシステム専門のプログラム・マネージャの下、戦場で使用するための小型無人ロボットについて、機敏性、移動性、自律性を向上させ研究を行っており、これらの特性は災害時にも必要となる。

(注2) 連邦政府のIT研究は、実験室レベルの研究からプロトタイプデモンストレーションを経て、大規模な実用に至るまでの連続したサイクルを実現している。

(注3) NIST、DARPA、及びロボット研究者は、客観的な性能測定基準を開発するため、2000年に国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology : NIST)が災害環境でのロボット機能評価を目的に作成した試験コース設備を利用している。

9月11日以降、捜索、救助作業、及び危険な環境下でのリモート偵察におけるロボットの価値は、国防総省内や緊急事態対応の関係者の中で一層重要視されるようになったが、一方で、以下のような多くの改善点があるこ

とが明らかとなった。

- ・ 耐久性（全てのロボットが破損）
- ・ スピード、パワー、操縦性（ひっくり返ると自分で復帰できない、立ち往生、障害物を乗り越えることができない、など）
- ・ コンピュータの問題（最も小さいロボットは、コンピュータを搭載できず、遠隔操作のためのケーブルが機動性を制約）
- ・ カメラのオクルージョン（見えない部分）と画質の悪さ
- ・ 感知機能（ロボット自身の状況と物理的な状態だけでなく、地形、物質等の環境に関し、高粒度の三次元情報を中継する必要）
- ・ 重大なソフトウェアの問題（操縦方法が難しく、ソフトウェアをロボット間で相互使用できなかった。）

都市での災害救助においても、危険な環境でリアルタイムの情報の収集・伝送を行ない、救助隊が一刻も早く入手すべき情報を提供するための情報通信技術が最も重要である。

2. その他のプロジェクト例

分散・協調型ロボットプロジェクト(DARPA)

分散型ロボット用ソフトウェア及び情報共有、協調動作のためのネットワーク技術の研究開発

モバイル・ロボットプロジェクト(ジョージア工科大学)

移動型ロボット用リアルタイムネットワークソフト技術、レーザによる周囲の3次元画像取得技術などの研究開発

ロボットの遠隔操作に関する調査(DARPA、NSF等)

宇宙空間におけるロボットの遠隔操作、人間 - ロボット間のアドレスコントロールと調整、ロボットを用いた組立などの技術に関する調査

Mars Roverプロジェクト(スタンフォード大学)

GPS技術を用いた火星探査用ロボット探査車の開発

(参考3) 欧州のロボット開発(第5次フレームワークプログラム(IST))

○自動車両スケジューリングプロジェクト(英国エセックス大学)

自動操縦車が相互にコミュニケーションし、協同して計画や経路を決定するシステムの研究

○MORPHAプロジェクト(ドイツコンソーシアム)

人とのコミュニケーションにより自然な協調を実現するロボットの開発

○ドイツ宇宙科学センター(DLR)ロボティクス・メカトロニクス研究所

移動型ロボットの制御、機動性を高めるための、センサーによるフィードバックに重点をおいた開発

○Aktuelleプロジェクト(ドイツRheinisch Westfaelische Technische Hochschule)

移動型ロボットで、複数のマニピレータを人間のよう機能させる技術の開発

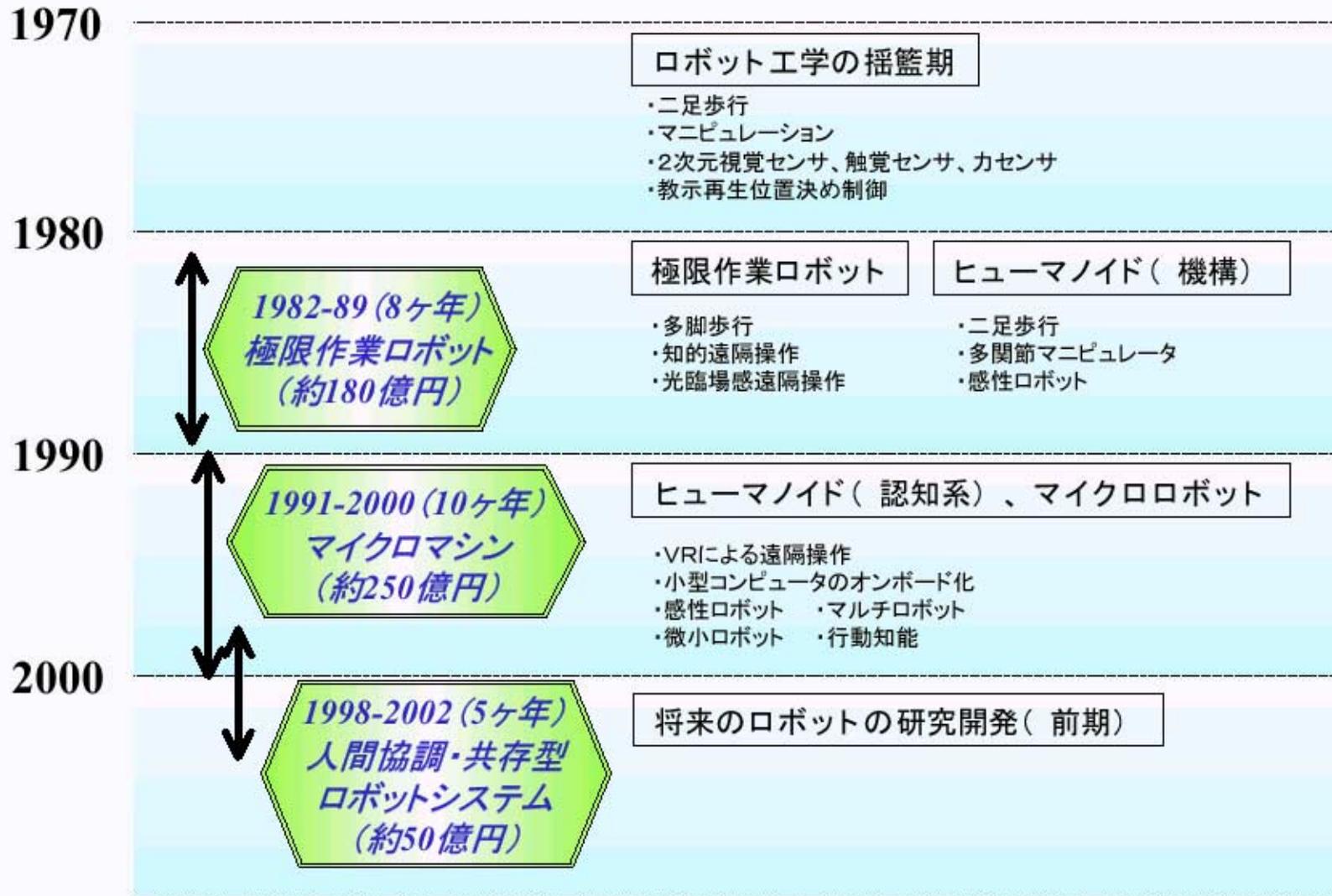
ネットワークロボット関連のプロジェクト

ネットワークロボット関連の主なプロジェクト

IST-No	参加メンバー	プロジェクト概要
IST-2001-34140	スウェーデン(代表)、英国、スペイン、イタリア	ロボットの遠隔操作に資するフレキシブルインテリジェントネットワーク技術の研究開発
IST-1999-10116	ギリシャ(代表)、フランス、ベルギー、英国	高速ネットワークによる遠隔ロボット・モニタリングおよびコントロールを支援する分散型環境の研究開発
IST-1999-11976	英国(代表)、ドイツ、フランス、イタリア	環境情報センサー技術及びロボットと人間との間のインターフェース技術の研究開発
IST-2001-33073	フランス(代表)、イタリア、スペイン、スウェーデン	人間型ロボットのための順応性のある生物に学んだ学習型マルチネットワークアーキテクチャの研究開発
IST-2001-35271	フランス(代表)、スペイン、イタリア	ロボットの協調動作を支援するリアルタイムネットワーク技術の研究開発
IST-2001-34220	ドイツ(代表)、スウェーデン、ドイツ	ロボット操作を行うための認識センサー技術による環境適合型ビジョンシステムの研究開発

ISTプロジェクトホームページ <http://www.cordis.lu/ist/projects/projects.htm>

(参考4) 我が国のロボット開発プロジェクト例



出典: 日本ロボット工業会

(参考5) ロボットに関連する国の主な研究開発の現状

機 関	研究開発施策名等	研究開発概要	予算額(億円)	
			H14	H15
総 務 省	民間基盤技術研究促進制度 超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発(の一部)(ATR) 日常生活型コミュニケーションロボット 関係発達論的ロボティクス研究	多数のセンサ、人間同様の上半身、移動機構を持ち、音声認識や発話、ジェスチャー、触覚センサなどによるコミュニケーションを可能とするロボット「Robovie」シリーズの開発(H14~18) 複数のロボット「ムーソシア」と人間との多人数会話を行なうヒューマンインターフェースの開発(H14~18)	1.5	(未定)
	独立行政法人通信総合研究所 前言語的コミュニケーションの認知科学	視線、指差し、表情など、赤ちゃんが言葉を獲得する以前からもっているコミュニケーション能力をロボットに実装し、そのメカニズムを解明(H13~17)	運営費交付金の内数	運営費交付金の内数
	独立行政法人消防研究所 原子力施設の消防防災技術に関する研究(の一部)	要救助者を被ばくから守る防護壁ロボットに必要な要素技術、および自力避難ができない要救助者を牽引し安全な場所へ移動させる牽引ロボットに必要となる要素技術の開発研究を行う。(H13~15)	0.5の内数	0.4の内数

文 部 科 学 省	科学技術振興事業団 創造科学技術推進事業 北野共生システムプロジェクト	多様な感覚入力と多くの自由度を持ち、2足歩行が可能な「PINO」、関節の可動範囲が広く、丸まった姿勢も可能な小型ヒューマノイドロボット「morph」等の開発（H10～15）	3.2	515 の内数
	科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的表現 心が通う身体的コミュニケーションシステム 人間行動を補助するマッスルスーツの開発 人間・環境適応型知的歩行支援システム 人間とロボットの相互関係形成のための構造化学習	眼の役割をするカメラと手の役割をするロボットハンドを統合して処理するシステムの研究（H11～16） コミュニケーションにおける身体性メディアの基盤技術の確立をめざす（H11～16） 金属を一切用いない、空気圧駆動の軽量なマッスルスーツの開発を行う（H13～16） 高齢者や障害者が自立した生活を送るための総合的な歩行支援システムの研究・開発を行う（H14～17） 人とロボットのコミュニケーションを可能にする相互関係の形成を目指した研究（H14～17）	1.0 0.4 0.2 0.1 0.2	515 の内数
	対人地雷の探知・除去技術に関する研究開発の推進	対人地雷の探知・除去活動をより安全、確実かつ効率的に実施できるよう、対人地雷を100%探知できるセンサ及びアクセス・制御技術を開発（H15～19）	0	515 の内数
	大都市大震災軽減化特別プロジェクト（の一部）	IT、ロボティクス等の先端技術を活用してレスキューロボット等を研究開発（H14～18）	3.2 の内数	3.2 の内数
	厚 労 省	身体機能解析・補助・代替機器開発プロジェクト（の一部）	ナノ・マイクロマシン等の技術や情報技術を応用し、手術ロボットや低浸襲医療機器など今後発展が見込まれる分野における技術開発を推進（H15～19）	0

農 林 水 産 省	生物系特定産業技術研究推進機構 基礎・基盤研究事業 センサ技術の融合による生育環 境・作物情報検出技術の開発 (視覚センサ等による果菜類の作物 情報検出技術の開発)	果実位置を視覚センサで検出し、収穫適期にある果実を自動的 に収穫するロボット等の開発に必要な技術要素を開発(H12~ 16)	2.7 の内数	2.7 の内数
経 済 産 業 省	21世紀ロボットチャレンジプログラ ム ロボットの開発基盤となるソフ トウェア上の基盤整備 次世代ロボット基盤的要素技術 開発(戦略的基盤技術力強化事 業) 人間協調・共存型ロボットプロ ジェクト	中小、ベンチャー、異業種を含む多様な開発主体によるロボ ット開発の活性化を図るため、医療福祉施設、家庭などを対象 とし、ロボットの要素のモジュール化と、モジュールの統合に よるロボット開発を可能とするソフトウェアの基盤を整備(H 14~18) 中小、ベンチャー企業によるロボット開発の活性化を図るた め、病院、福祉施設、家庭等で活用される次世代ロボットに必 要な技術基盤的要素部品(モータ、センサ、画像・音声認識等) を開発(H15~17) プラント保守や建築現場など人間の作業・生活空間で、人間 と協調・共存して複雑な作業を行い、かつ、高い安全性と信頼 性を有するロボットのプラットフォームを開発(H10~14)	1 0 8.3	0.9 32 の内数 0
	N E D O 基盤技術研究促進事業 未来型医療を実現する小型ロボ ティックシステムの研究開発 実環境で働く人間型ロボット基 盤技術の研究開発 ロボットセルを用いた次世代生 産システムの基盤技術研究開発	汎用性の高い小型軽量化した手術用ロボットと、リアルタイ ムに生体情報を取得できる手術場環境システムを開発(H 14~18) 滑りやすい路面の歩行や腕と足を併用した作業など、実際の 労働現場や生活環境等で働ける人間型ロボットの実現に必要 な基盤技術の開発(H14~18) 多品種少量生産に適したフレキシブル性と低価格生産を両 立できる次世代生産システムを実現(H14~16)	1.3 1 1	(未定) (未定) (未定)

独立行政法人産業技術総合研究所	2本足と車輪のハイブリッドロボット、4脚式のロボット、人間の感性に働きかけるアザラシ型ロボット「パロ」、屋外作業やプラント巡回・保守ロボット、全身触覚をもつロボット、人間型ロボット「HRP-2」、モジュール型ロボットなどの開発（H13~16）	運営費交付金の内数	運営費交付金の内数
国土交通省	ロボット等によるIT施工システムの開発	最先端のITやロボット技術を活用し、土木施工における危険・苦渋作業を解消するとともに、一般施工現場への導入により業務の効率化、コスト削減、品質向上を目的として、3次元空間データを用いた施工・処理技術の開発、及び遠隔操作ロボット等によるIT施工システム技術を開発（H15~19）	0 1.6

(参考6)最近の学会におけるニューアクチュエータ関連発表の動向

(産総研 矢野智昭 調べ)

種類	名称	所属	研究者	学会名
筋肉	ポリマ筋肉アクチュエータ	S R I		ICRA1998
	I C P F	神戸大	田所諭	ICRA1998
	イオン導電性高分子	東大	大武美保子	2000 ロボット学会
	流体圧力筋	東大	下山勲	1999 IROS
形状記憶合金	形状記憶合金	トロント大	R.B.Gorbet	ICRA1998
	形状記憶合金	McGill 大	Danny Grant	ICRA2000
E R 流体	E R 流体	名大	新井史人	ICRA1998
	E R アクチュエータ	東工大	横田眞一	1999 IROS
	DD / E R ハイブリッド	阪大	古荘純次	ICRA1999
	電磁 / E R ハイブリッド	阪大	古荘純次	ICRA2000
	E R クラッチ	阪大	古荘純次	ICRA2000
	E R アクチュエータ	阪大	古荘純次	ロボット学会論文
ピエゾ	ピエゾモータ	中央大	いたお	ICMA2000
	マイクロピエゾアクチュエータ	名大	福田敏男	ICRA1998
	ピエゾ多自由度	ミノルタ		ICMA2000
	超音波球面モータ	慶応	前野隆司	ICRA2000
	超音波球面モータ	慶応	前野隆司	ロボット学会論文
G M M	G M M アクチュエータ	東海大	山本	ICRA2000
空気圧	空気圧多様変形体	立命館	川村貞夫	2000 ロボット学会
	空気圧ベーンアクチュエータ	立命館	川村貞夫	ICRA1999
	空気圧拘束付加	立命館	平井慎一	1999 IROS
	ゴム人工筋	立命館	平井慎一	1999 IROS
	ゴム人工筋	立命館	平井慎一	2000 ロボット学会
	バルーンアクチュエータ	立命館	小西聡	1999 IROS
	空気圧管内走行	岡山大	則次俊朗	ロボット学会論文
	ソフトアクチュエータ	岡山大	則次俊朗	ロボット学会論文
	空気圧アコーディオン	近畿大	五百井清	2000 ロボット学会
電磁力	平面リニアモータ	C M U	R.L.Hollis	ICRA1998
	ローレンツアクチュエータ	Cluj-Napoca 工大		ICMA2000
静電力	静電回転モータ	東大	樋口俊朗	ICMA2000
アイデア	表面波アクチュエータ	M I T	浅田	1999 IROS
	アクチュエータコンセント	広島大	金子真	1999 IROS