



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

Vol. **7**

ロボット分野（2.0領域）の 技術戦略策定に向けて

2015年11月

1 章	ロボット技術（2.0領域）の概要	2
2 章	ロボット技術の置かれた状況	3
	2-1 ロボット関連の公的支援プロジェクト	3
	2-2 技術開発動向（国内・海外）	6
	2-3 産業競争力（諸外国との比較）	7
3 章	ロボット分野（2.0領域）の技術課題	13
	3-1 主要技術要素の体系	13
	3-2 各用途の将来ロボット像	14
	3-3 技術課題	15
4 章	おわりに	17

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

1章 ロボット技術(2.0領域)の概要

少子高齢化、生産年齢人口の減少化に伴う製造業の国際競争力の維持・向上や、GDP及び雇用のシェアを7割程度^{※1}占めるサービス産業(第3次産業)の生産性の向上、インフラ老朽化など、課題先進国である日本においてロボットを用いた課題解決の道筋をつくりだし、ロボットの実用性を世界にアピールすることは、我が国の技術的優位性を魅力ある製品・サービスに結びつけることにつながる。また、今後のロボットの活用にあたっては、人間の代替を目的とするアプローチにとどまらず、様々な場面において、単機能ではなく複合機能を発揮するなど、人間の能力を凌駕するロボットの活躍が期待される。

ロボットを用途(ニーズ)で区分すると、「産業用ロボット」「フィールドロボット」「サービスロボット」の三つに大別される。

産業用ロボットでは、比較的簡単な「くり返し作業」がその適用先の中心であったが、ここ10年ほどで「知能化」に対するニーズが急速に高まっており、「より高度な生産の自動化」を目指す取組が望まれるようになってきている。日本企業の競争力が高い分野であるため、この強みを活用した方策の展開が期待される。

フィールドロボットでは、災害現場で十分に活躍できるロボットがないため、一部機能でも使えるロボットをいち早く投入することが期待されている。

サービスロボットは、「2005年日本国際博覧会(愛知万博)」前後に注目を浴びたパフォーマンス中心のヒューマノイドロボットから、サービス現場に投入可能なロボットへというニーズ変化を受けた揺籃期にある。サービス産業の生産性向上、医療介護サービス現場における働き手の確保など、ユーザーニーズを的確に捉えることで爆発的導入が期待されることから、今後の拡大市場として注目される用途である。なお、ヒューマノイドロボットについては日本が技術優位性を保っているため、その技術力を活用した方策の展開が期待される。

ここでは、ロボット関連技術を成熟段階によって三つの領域(①【1.0領域】すでに技術的に確立し社会への普及促進が図られるべき段階、②【1.5領域】技術的におおむね確立し実証実験等によりモデルを提示すべき段階、③【2.0領域】ロボットの利用分野を念頭におきつつ人間の能力を超えることを狙う先端要素技術開発を実

施する段階)に区分する。上記のように、ロボットが人間の能力を凌駕することを狙うためには、単なる現在のロボット関連技術の延長上にとどまらない、未知の領域とも言える2.0領域の検討を進めることが必要である。

また、ロボットの主要技術要素は、従来「センシング」「制御」「駆動」の三つに整理されてきた。この3要素の重要性は2.0領域の検討においても変わるものではないが、今後、ロボットが広範囲に活用されるためには、ロボットの知能に当たる人工知能に関する技術も併せて重要であるため、今後は主要技術要素を、人工知能を加えた四つと考えるべきである。したがって、2.0領域のロボット分野の技術戦略の検討においては、ロボットの各用途における「人間の能力を凌駕する『将来ロボット像』」を明らかにし、そのうえで主要4技術要素(「人工知能」「センシング」「制御」「駆動」)のそれぞれについて、獲得すべき先端技術を明らかにすることが望ましい。

なお、人工知能に関しては、その重要性に鑑み、その概要を「人工知能分野の技術戦略策定に向けて(TSC Foresight Vol.8)」に報告しているので参照されたい。

※1 内閣府「国民経済計算確報(平成26年度)」

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

2章 ロボット技術の置かれた状況

2-1 ロボット関連の公的支援プロジェクト

(1) 日本の動向

経済産業省をはじめとする関係省庁のロボット関連技術開発を含むプロジェクトを図1に示す。

経済産業省のプロジェクトでは、1980年代に、人間の脳を超えて高速処理や大量処理を可能とする人工知能を目指した第5世代コンピュータプロジェクト(1981-1990)が実施され、高度な機械制御が可能となるエキスパートシステムや自然言語処理技術が開発された。1990年代には、実世界の知能技術の研究開発を目指したリアルワールド・コンピューティング・プロジェクトが実施された。その後、2005年に開催された日本国際博覧会(愛知万博)以降、次世代ロボット実用化プロジェクト(2004-2005)、人間支援型ロボ

ット実用化基盤技術開発(2005-2007)、戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト(2006-2010)、生活支援ロボット実用化プロジェクト(2009-2013)など、ロボットの実用化に向けて、様々なロボット分野のプロジェクトが継続的に実施された。また、東日本大震災以降、過酷環境下での災害現場に対応可能な耐久性のあるロボット開発を目指して、災害対応無人化システム研究開発プロジェクト(2011-2012)などが実施された。

内閣府のプロジェクトでは、基礎研究から実用化を見据えた研究開発までを約5年で実施し、世界のトップを目指す最先端研究開発支援プログラム(FIRST)(2009-2013)、また、革新的な科学技術イノベーションの創出を目指し、ハイリスク・ハイインパクトな挑戦的研究開発を推進する革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)(2014-2018)などが実施されている。

文部科学省のプロジェクトでは、国が定めた戦略目標の達成に向けた課題解決型基礎研究を推進する、戦略的創造研究推進事業・総括実施型研究(ERATO)(2002～)、大学発新産業創出拠点プロジェクト(START)(2012～)などが実施されている。

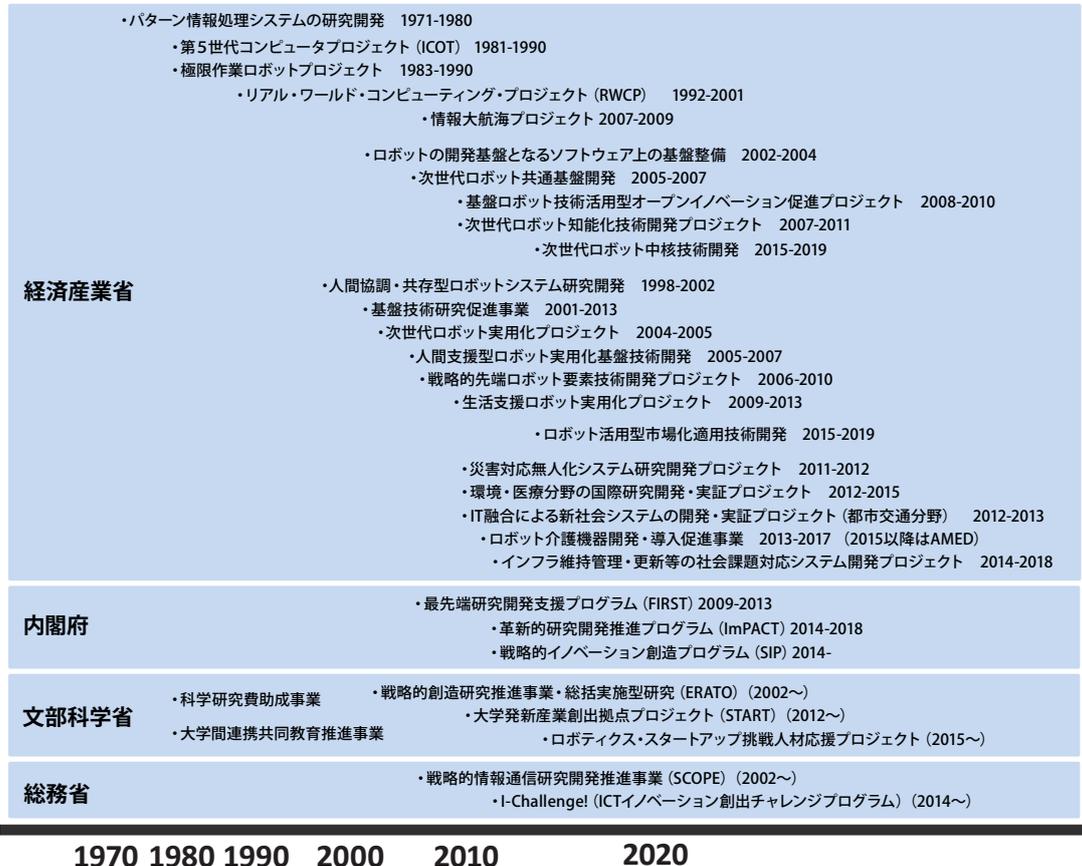


図1 ロボット技術開発関連の国家プロジェクトの経緯
出所:各種公開情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2015)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

図1のうち、NEDOが実施したロボット技術開発プロジェクトを図2に示す。NEDOでは、産業や生活に貢献するロボットの技術開発を実施してきた。人間協調・共存型ロボットシステム研究開発(1998-2002)では、人並みの体格を有し、狭い道での歩行が可能であり、転倒回復動作ができて、人と協調してモノを持ち運ぶことが可能な二腕二足歩行ロボット「HRP-2」を開発した(製造科学技術センター等)。また、基盤技術研究促進事業の中で行われた実環境で働く人間型ロボット基盤技術の研究開発(2002-2006)では、上記の後継機として雨天など実環境での作業に対応した「HRP-3」(川田工業

等)を開発した。その後、産業技術統合研究所において、音声等による人とのインタラクションを高度化した女性型ヒューマノイド「HRP-4C」(2009)が開発されている。

現在、環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクトにおいて、2014年から開始したロボット分野の国際研究開発・実証事業では、乗り物やはしごを用いて移動し、災害時のバルブ締めやポンプ交換などが可能な「HRP-2改」の開発に取り組んでいる(産業技術総合研究所)(図3)。

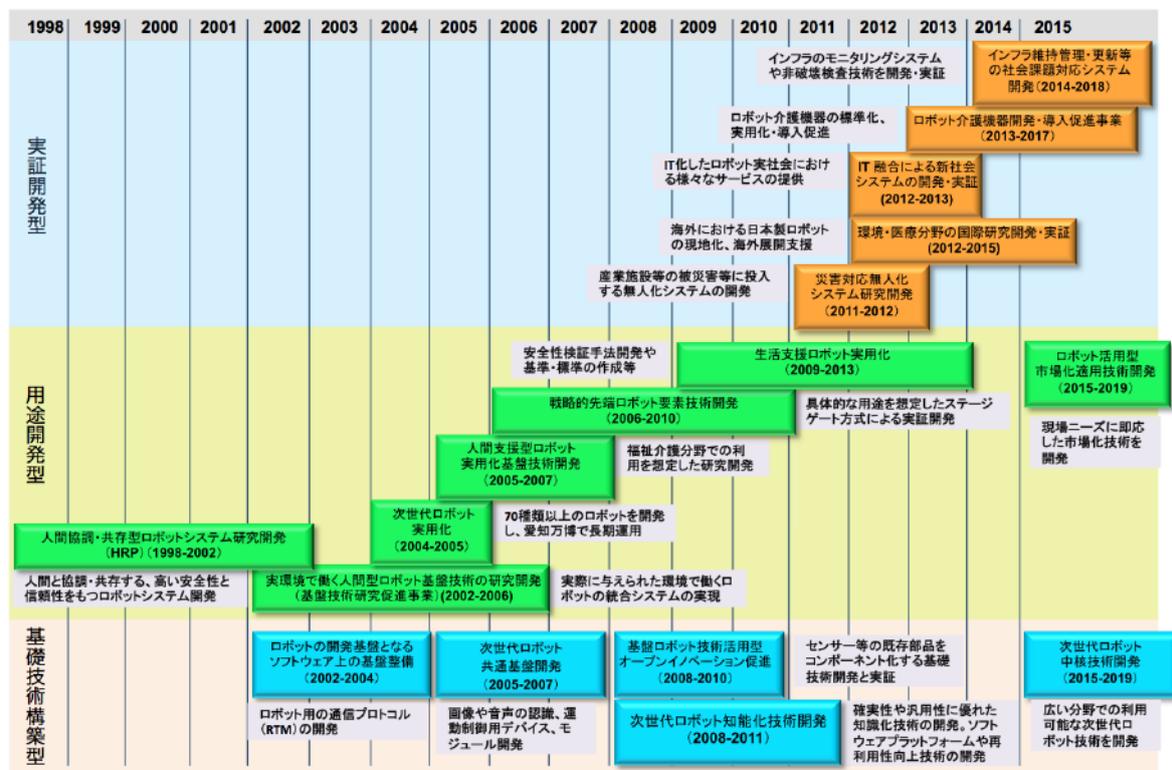


図2 NEDOのロボット技術開発

出所:NEDO作成(2015)



図3 人間型ロボットの開発例

写真提供: 国立研究開発法人産業技術総合研究所(産総研)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト(2006-2010)では、日立建機により双腕仕様機(アスタコNEO、2012年に商品化)が開発された。このアスタコNEOは、13t級油圧ショベルと同等のパワーを持つ主腕とそれを補助する副腕の組み合わせにより、主腕でつかんだ対象物を副腕で切るなど、人の両腕のように複雑な作業に対応することができる。東日本大震災後、宮城県の石巻市と南三陸町に投入され、瓦礫撤去のための解体作業や廃材の分別などの巧みな動きを必要とする作業に威力を発揮した(図4)。

また、次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト(2007-2011)では、ロボットミドルウェアのプラットフォームの普及を目指して、OpenRTM-aistをベースとした多数のRTコンポーネント及び開発ツール群が開発された。例えば、京都大学と国際レスキューシステム研究機構(IRS)がRTミドルウェア(RTM)を活用した災害対応ロボットの実証実験を行うなど、積極的な活動を展開している(産業技術総合研究所等)。

生活支援ロボット実用化プロジェクト(2009-2013)では、世界初となる生活支援ロボットの安全確保のための国際標準化(ISO13482)の提案を行い、プロジェクトで得られたデータ等をISOに提供するなど、規格化に大きく貢献した。更に、「生活支援ロボット安全検証センター」(茨城県つくば市)に同プロジェクトで試験装置を整備するとともに、認証のための安全性試験を実施しており、これが世界初の同規格の2件の認証事例(いずれも同プロジェクト内で開発したロボット)となった。今後は試験依頼を広く受け入れるとともに、他規格の提案



図4 アスタコNEO
出所:NEDO Web サイト(2014)

を展開することを目指す。

(2) 諸外国の動向

米国では、2004年に国防高等研究計画局(DARPA)が始めたロボットカーのGrand Challengeが有名である。2007年には、ロボットカーが標識や対向車を認識して応答することが可能な画像認識機能を搭載し、想定された総延長96kmの市街地コースを自律走行により約4時間で完走している。その後、2012年に災害救助用のロボット競技大会であるDARPA Robotics Challengeが新たに設定された。2013年12月、この大会において、東京大学発ベンチャーであるSCHAFTが予選を1位で通過し技術力の高さを示し、これを受けてGoogle(米国)が同社を買収している。しかし、2015年6月に開催された同2015年大会の決勝戦においては、出場した25チームのうち2チームが棄権、韓国科学技術院チームが優勝し、日本から挑戦した5チームの中では産業技術総合研究所「Team AIST-NEDO」の10位が最高位だった。また、2011年に製造業の復興促進のための国家ロボティクスイニシアチブとして、国立科学財団(NSF)、国立衛生研究所(NIH)、航空宇宙局(NASA)及び農務省(USDA)の4組織が、次世代ロボットの共同提案公募(開発研究費7,000万ドル)を発表した。

一方、欧州では、第6次研究開発枠組計画(FP6)(2002-2006)の中で、ロボットに関わる研究開発機関を連携させた。また、ネットワーク・プロジェクトEURONにて研究ロードマップが作成され、欧州レベルでの研究資源の効率化など戦略的な研究開発を目指した。第7次研究開発枠組計画(FP7)(2007-2013)では、Cognitive Systems and RoboticsをICT分野のチャレンジ領域の1つに選定し、ロボット知能化技術に関する研究プロジェクトに対して毎年約2億ユーロを投資した。現在は「Horizon2020」(2014-2020)において研究が実施されている。

また、韓国ではユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト(URC)(2004-2008)が終了し、その成果の実用化が進められたが、新規市場創出までには至らなかった。その後、知識経済部が中心となり、2013年から10年間の「ロボット未来戦略」を発表した。

中国では、依然、ロボット開発への期待が高く、国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020)の先端技術8分野の中で、知的ロボットの研究開発を推進している。

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

2-2 技術開発動向 (国内・海外)

近年のロボット技術開発及び製品開発例を表1に示す。

表1 近年のロボット技術開発及び製品開発例

名称	概要
<p>自律二足歩行ロボット 「ASIMO」(2000～) 本田技研工業</p> <p>写真提供: 本田技研工業株式会社</p> 	<p>人型での本格的な自律二足歩行を実現したロボット。新型ASIMOは、「人と共存、協調して社会の中で役に立つロボット」の実現を目指したステップとして開発された。</p>
<p>ロボティクスーツ 「HAL」(2004～) サイバーダイン</p> <p>写真提供: サイバーダイン株式会社</p> 	<p>体に装着することで、身体機能を改善・拡張補助することができる世界初のサイボーグ型ロボット。装着者の皮膚表面に貼り付けられたセンサで微弱な生体電位信号を読み取り制御することにより、装着者の筋肉の動きと一体的に関節を動かすことができる。障害者の身体機能改善、自立支援、介護支援、作業支援、レスキュー活動支援などを目指している。</p>
<p>セラピーロボット 「パロ」(2005～) 産業技術総合研究所</p> <p>写真提供: 国立研究開発法人 産業技術総合研究所(産総研)</p> 	<p>「癒しの動物型ロボット」として開発されたセラピーロボット。長さ57cm、重さ約2.7kgで、タテゴトアザラシの仔をモデルにした、ぬいぐるみのような外観をしている。アニマルセラピーと同様の効果が得られるとされ、2002年にギネスブックから世界一の癒しロボットとして認定されている。</p>
<p>チーター型ロボット 「Cheetah」(2009～) マサチューセッツ工科大学</p>	<p>マサチューセッツ工科大学のバイオメトリックロボット研究所によって開発された4本脚チーター型ロボット。独自に開発された高いトルク密度電気モーターと、それを制御するアンプリファイアー、そして、生物的なしくみを模した脚によって、時速約22kmで自立走行し、高さ約30cmの障害物を飛び越えることを実現している。</p>
<p>災害対応ロボット 「Quince」(2009～) 千葉工業大学・東北大学等</p> <p>写真提供: 千葉工業大学</p> 	<p>災害時に消防隊員に代わって現地調査をする災害対応ロボット。被災した有害物質を取り扱う工場の調査、化学プラントの化学物質漏洩、爆発事故調査などを行う。</p>
<p>掃除用ロボット 「ココロボ」(2012) シャープ</p> <p>写真提供: シャープ株式会社</p> 	<p>掃除機能とコミュニケーション機能を搭載した掃除用ロボット。音声認識エンジンを搭載して、自分の状況(充電量、ダストボックスの状態など)や部屋の状況などにより気分が変化し、言葉や光、ダンスを組み合わせたさまざまなリアクションをする。</p>
<p>病院内自律搬送ロボット 「HOSPI」(2013～) パナソニック</p> <p>出所: パナソニックWebサイト</p> 	<p>薬剤や検体の院内搬送が、看護師や検体技師の本来業務の大きな阻害の要因であることに着目し、走行誘導用ラインや軌道を要せずに、病院内の搬送経路を設定できる。エレベータと連動して自動乗降し、他階層への搬送も可能にする。病院内の作業負荷の軽減及び危険作業から開放される。</p>
<p>「Google Car」 (2014～) Google・スタンフォード大学</p>	<p>ルーフに設置された360度の画像やレーザー照射による距離情報から3D解析を行って、自動車の搭乗者が操作することなく目的地まで自動的に運転する。道路事情、車両や人などを認識し、障害物を回避することによって、交通事故を低減させる効果が見込まれる。</p>
<p>人型ロボット 「Pepper」(2015～) ソフトバンク</p>	<p>感情認識機能(音声の高低等により、人の情動を認識する機能)を持った人型ロボット。人工知能を搭載した高さ120cm程度のロボットで、喜びや悲しみの感情を表現することができる。</p>

出所: 各種公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

また、主要4技術要素(「人工知能」「センシング」「制御」「駆動」)に関する技術開発動向は以下のとおりである。

(1) 人工知能

脳型人工知能のディープラーニング(DL)の研究開発が活発化しており、DLによる音声認識や画像認識の認識率が向上している。今後、DLの研究成果が一層期待される。

(2) センシング

人の目を超える高分解能、高感度を実現し、暗闇でも見ることができるイメージセンサの開発が行われている。触覚センサはウェアラブル機器に適したフレキシブルなものが開発されている。

(3) 制御

複数のロボットによる協調動作や、産業用ロボットのティーチングを簡単化するための自動化プログラミングなどの制御方法の開発が行われている。また、モータの駆動系を制御するサーボ方式や、駆動力を制御するトルクサーボなどが開発されており、人に危害を加えにくい制御法も実用化され始めている。今後は、更に開発効率を上げるためのソフトウェア(ミドルウェアやライブラリなど)の技術開発が必要である。

(4) 駆動

現状ではモータ駆動のアクチュエータが主流であるが、より効率的で強力なパワーを発揮できる人工筋肉が注目されている。柔軟性のある人工筋肉は、ウェアラブル機器のアクチュエータに適している。

一方、中国市場は直近5年間で約4倍に拡大し、台数ベースで日本市場に迫る規模に成長している状況にある。世界的な産業用ロボットの市場拡大により、日本からの産業用ロボット輸出額は、直近5年間で約80%増加した。中国市場の台頭により、ドイツ、韓国は中国への輸出額を直近5年間で10倍以上に増やしており、同じく4倍以上に増やした日本を含めて、中国市場での競争激化が見込まれる。

世界中で稼働している産業用ロボットのうち、日本国内で稼働しているものの割合は、直近10年間で約48%から約27%に低下している。台数ベースでも5.4万台(15.0%)の減少となっている。一方、韓国は5.5%(4.1万台)から10.8%(12.4万台)に、中国は0.2%(0.2万台)から6.4%(7.4万台)に、ドイツは13.1%(9.9万台)から13.6%(15.7万台)に増加している。直近9年間の製造業従業員1万人当たりの産業用ロボットの利用台数は、我が国が340台程度で横ばいに留まっているのに対し、韓国は126台から347台に、中国は1台から21台に、ドイツは172台から261台に増加している。

②フィールドロボット及びサービスロボット(サービス分野)

2012年における我が国のロボット産業の市場規模は、製造分野(産業用ロボット)を除くと約2,000億円(ロボット技術利用製品を含む)であり、サービス分野のみで約600億円程度となっている(経済産業省、2013年7月公表)。2020年にはその約20倍に成長することが見込まれる。

世界ロボット連盟(IFR)の「World Robotics 2013 - Service Robots」によると、2012年の世界のサービスロボット販売額は約34億ドル(軍事、農業用を含む)となっている。医療用(手術・治療)が1,495百万ドル(前年比10%増、業務用サービスロボットの4割)を占めており、物流用AGV(Automated Guided Vehicles)の約196百万ドルとともに、今後の市場拡大が有望視されている。

2-3 産業競争力(諸外国との比較)

(1) 市場規模

①産業用ロボット(製造分野)

経済産業省の調査(2013年7月公表)によると、産業用ロボットの世界市場は、金額ベースで直近5年間に約60%成長した。2011年の市場規模は8,497百万ドルであり、うち日本企業のシェアは50.2%である。電子部品実装機を含む広義の世界市場は約13,369百万ドルであり、日本企業のシェアは57.3%になっている。日本市場は直近5年間に台数ベースで約25%縮小したものの、2011年時点では全体として世界最大市場の地位を維持している。今後の施策等により2020年には国内市場が約2倍に成長することが見込まれる。

(2) 主な推進企業・機関等(ロボット用途別)

①産業用ロボット

我が国の主要メーカーには、安川電機、川崎重工業、ファナック、三菱電機などがあり、メーカー同士の競合が激しい。海外ではKUKA(ドイツ)、ABB(スイス)などがある。

②フィールドロボット

我が国では、建設・土木機械メーカーのコマツや東急建設などがあり、大学・研究機関には、東北大学や千葉工業大学、IRSなどがある。海外では軍事用ロボットを転用することが多く、アイロボット(米国)や、イントラ(フランス)、KHG(ドイツ)などがある。

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

③ サービスロボット

国内外ともに、中小・ベンチャー企業(サイバーダイン等)やソフトウェア系企業が中心である。

(3) 主な推進企業・機関等(主要技術要素別)

ロボットの主要4技術要素の技術開発を推進している主な企業・機関等を表2に示す。

(4) 学術水準、論文・特許件数

ロボットの主要技術要素のうち、「センシング」と「制御」における代表的な技術について、論文と特許の発表動向分析を行った結果を示す。

センシング分野における日本の論文数上位機関の数は、視覚センサでは上位16機関中に2機関であるが、触覚センサでは上位14機関中に6機関、加速度センサでは上位10機関中に6機関である。一方、センサ分野における日本の特許数上位機関の数は、視覚センサでは上位10機関中に8機関、触覚センサでは上位15機関中に6機関、加速度センサでは上位15機関中に10機関と、いずれも我が国が先進的な技術力を有していることがわかる。

また、駆動分野の人工筋肉における日本の論文数上位機関の数は上位12機関中に4機関、日本の特許数上位機関の数は10機関中4機関となっており、センシング分野と同様に、我が国が高い技術を有していることがわかる。

表2 主な推進企業・機関等(主要技術要素別)

技術要素	主な推進企業・機関等
人工知能	日本: 京都大学、産業技術総合研究所、ファナック、ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン 海外: カーネギーメロン大学(米)、マサチューセッツ工科大学(米)、マイクロソフト(米)、メトロロジック(ハネウェル)(米)、KUKA(独)
センシング	日本: 東京大学、東京工業大学、産業技術総合研究所、東芝、本田技研工業、パナソニック、オリンパス、日立製作所、日野自動車、ソニー、明電舎 海外: NASA(米)、アメリカ海洋大気庁(米)、ロバート・ボッシュ(独)、スタンタム(仏)、KAIST(韓)、サムスン電子(韓)、LG エレクトロニクス(韓)、湖南大学(中)、中国科学院(中)、香港城市大学(中)
制御	日本: 東京大学、九州工業大学、安川電機、トヨタ自動車、ソニー、ホンダ技研工業、ダイヘン、ファナック 海外: KUKA(独)、ABB(瑞)、清華大学(中)、瀋陽自動化研究所(中)、蔚山大学校(韓)
駆動	日本: 東京大学、九州工業大学、大阪大学、岡山大学、ファナック、トヨタ自動車、安川電機、三菱電機、東芝機械、オムロン、パナソニック、イーメックス、 海外: マサチューセッツ工科大学(米)、テキサス大学(米)、アイロボット(米)、インペリアル・カレッジ・ロンドン(英)、KUKA(独)、ダイムラー(独)、ABB(瑞)、高麗大学校(韓)、上海交通大学(中)

出所: 各種公表資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

①センシング

a) 視覚センサ(三次元距離センサシステム)

三次元距離センサシステムに関する論文の発表数は増加傾向にある(図5)。全1,281件(調査時点)のうち日本からの発表数は106件(8.3%)であり、米国の401件(31.3%)、中国の157件(12.3%)に次いで3位である。国内外ともに特定の機関からの発表が多い傾

向にはなく、中国や韓国、欧米の大学や研究所、日本の大学(東北大学、東京大学)の発表が拮抗している(表3)。

また、2000年～2014年までの米国への関連特許出願数の年推移(上位10機関)をみると、全5,248件(調査時点)のうち、キヤノンが210件、SONYが129件、本田技研工業が85件など、多くの日本企業が上位に含まれる(図6)。

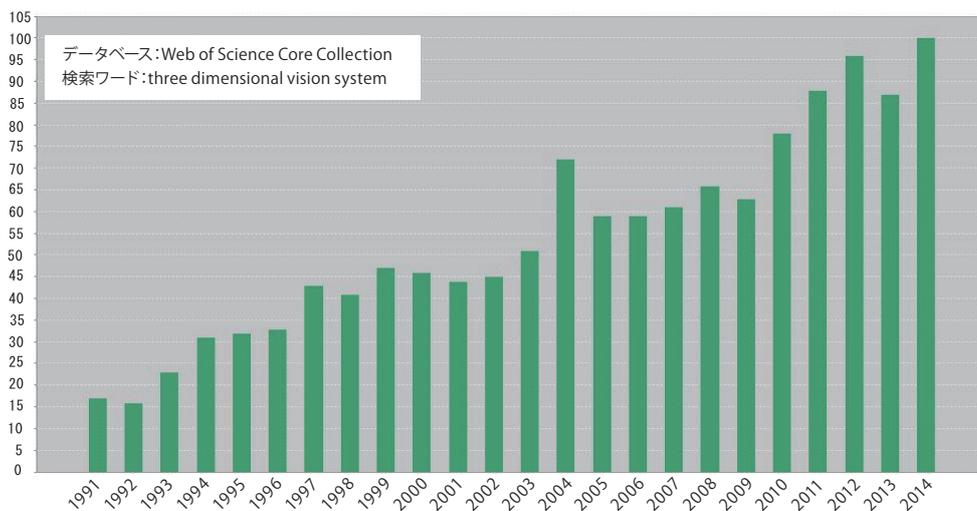


図5 三次元距離センサシステムに関する論文発表数の年推移
出所:NEDO技術戦略研究センター作成(2014)

表3 三次元距離センサシステムに関する機関別の論文発表数ランキング^{※2}

順位	国	著者所属機関	件数
1	CN	CHINESE ACAD SCI	16
2	CN	CITY UNIV HONG KONG	16
3	US	HARVARD UNIV	15
4	KR	KOREA ADV INST SCI TECHNOL	15
5	US	UNIV ILLINOIS	15
6	GB	UNIV OXFORD	14
7	US	UNIV MARYLAND	13
8	US	CALTECH	12
9	US	MIT	12
10	CN	TIANJIN UNIV	12
11	US	UNIV SO CALIF	12
12	JP	TOHOKU UNIV	11
13	US	UNIV S CAROLINA	11
14	JP	UNIV TOKYO	11
15	CA	UNIV TORONTO	11
16	US	UNIV WASHINGTON	11

出所:NEDO技術戦略研究センター作成(2014)

※2 AU:オーストラリア, CA:カナダ, CN:中国, DE:ドイツ, ES:スペイン, GB:英国, IT:イタリア, JP:日本, KR:韓国, NZ:ニュージーランド, SE:スウェーデン, US:アメリカ

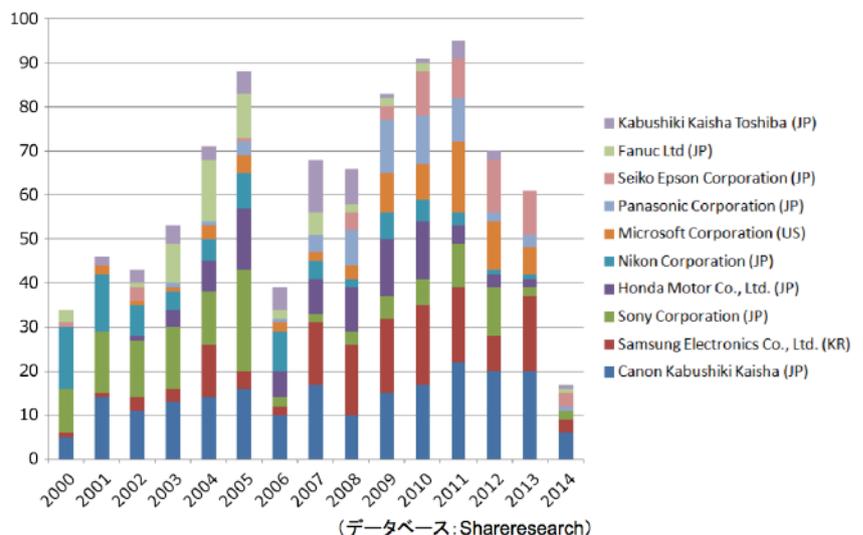


図6 米国特許出願数上位10機関の出願数年推移(三次元距離センサシステム)
出所:ロボット要素技術に関する特許出願動向調査(NEDO, 2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

b) 触覚センサ

触覚センサに関する論文の発表数は、2010年代中頃から増加している(図7)。全検索結果901件(調査時点)の国別発表数は日本が260件で1位、米国が次いで168件となっている。国内では、東京大学、東北大学、名古屋大学等からの発表が多い(表4)。

また、2000年～2014年に世界各国へ出願された関連特許の機関別件数(上位15機関)の年推移をみると、総件数2,758件のうち、京セラ、ソニー、パナソニック、本田技研工業等、多くの日本企業が上位に位置している(図8)。

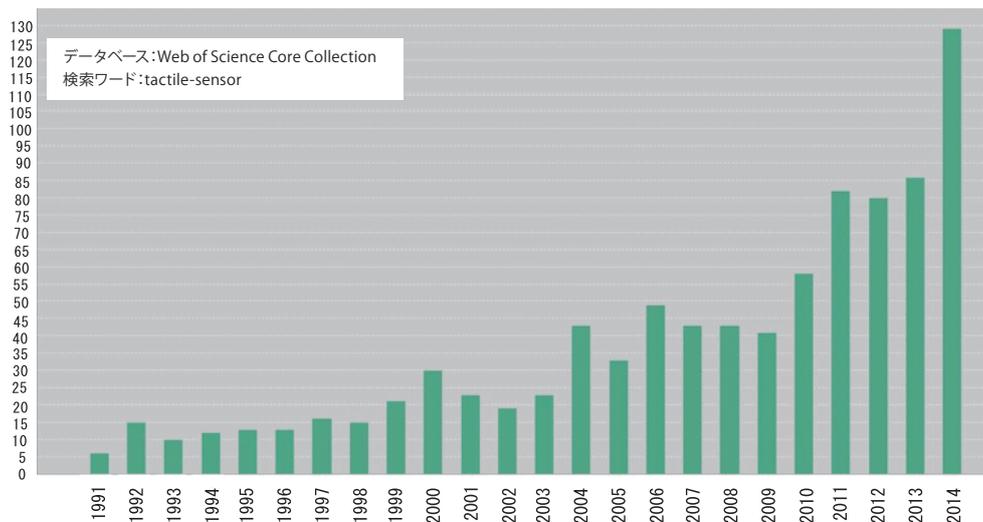


図7 触覚センサに関する論文発表数の年推移
出所:NEDO 技術戦略研究センター作成(2014)

表4 触覚センサに関する機関別の論文発表数ランキング

順位	国	著者所属機関	件数
1	JP	UNIV TOKYO	35
2	CA	CONCORDIA UNIV	30
3	JP	TOHOKU UNIV	30
4	JP	NAGOYA UNIV	27
5	JP	NIHON UNIV	23
6	SE	UMEA UNIV	18
7	JP	SAGA UNIV	15
8	JP	GIFU UNIV	14
9	IT	SCUOLA SUPER SANT ANNA	13
10	IT	UNIV GENOA	12
11	US	STANFORD UNIV	12
12	GB	KINGS COLL LONDON	10
13	US	UNIV ILLIOIS	10
14	US	UNIV MINNESOTA	10

出所:NEDO 技術戦略研究センター作成(2014)

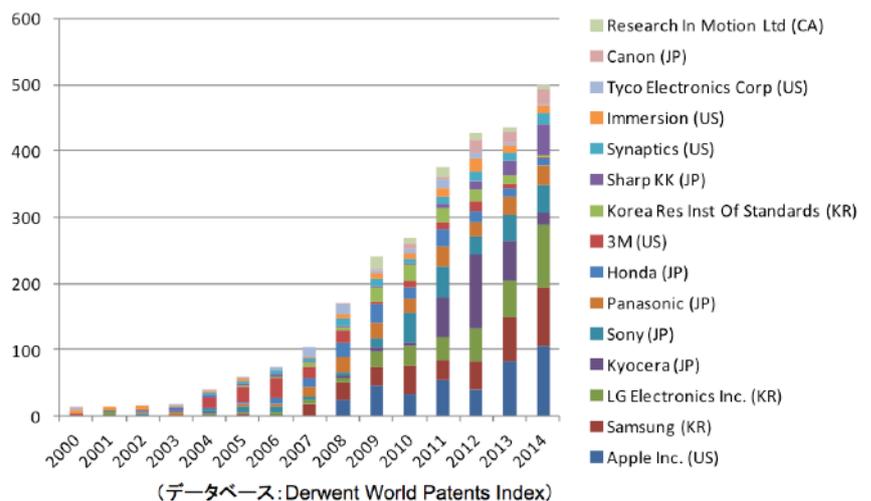


図8 世界特許出願数上位15機関の出願数年推移(触覚センサ)
出所:ロボット要素技術に関する特許出願動向調査(NEDO, 2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

c) 加速度センサ

加速度センサに関する論文数は、2012年頃から増加傾向である(図9)。検索結果471件(調査時点)の国別発表数は日本が111件で1位であり、ドイツ、中国がこれに続く。国内では、石巻専修大学、慶應義塾大学等からの発表が比較的多い(表5)。

また、2000年～2014年に世界各国に出願された加速度センサ関連特許の機関別件数(上位15機関)の年推移をみると、総件数4,623件のうち、パナソニック、日立製作所、ソニー、三菱電機、デンソー等、多くの日本企業が上位を占めており、我が国が世界トップレベルの技術力を有していることがうかがえる(図10)。

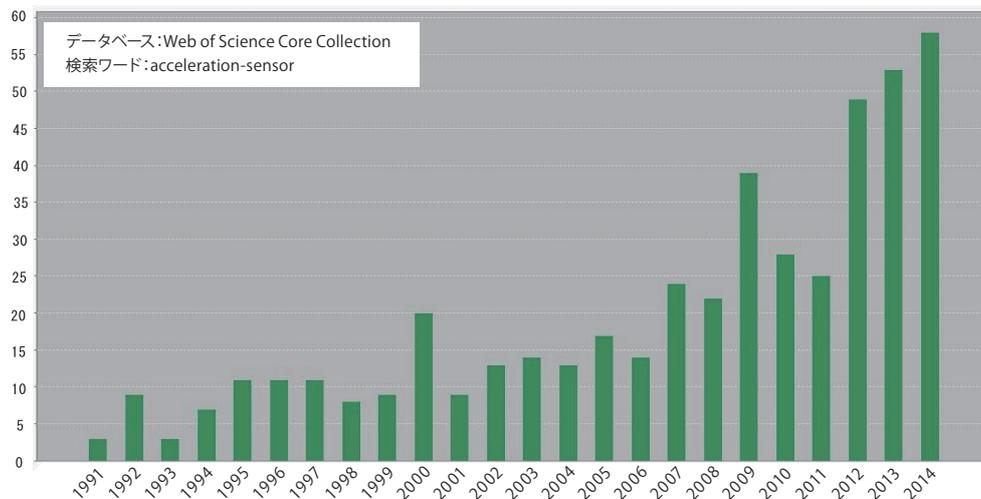


図9 加速度センサに関する論文発表数の年推移
出所:NEDO 技術戦略研究センター作成(2014)

表5 加速度センサに関する機関別の論文発表数ランキング

順位	国	著者所属機関	件数
1	JP	ISHINOMAKI SENSU UNIV	11
2	JP	KEIO UNIV	9
3	CN	CHINESE ACAD SCI	7
4	JP	NAGAOKA UNIV TECHNOL	7
5	JP	NAGOYA UNIV	7
6	US	SOUTHEAST UNIV	7
7	JP	HOKKAIDO UNIV	6
8	DE	TECH UNIV MUNICH	6
9	JP	UNIV ELECTROCOMMUN	6
10	DE	UNIV MUNICH	6

出所:NEDO 技術戦略研究センター作成(2014)

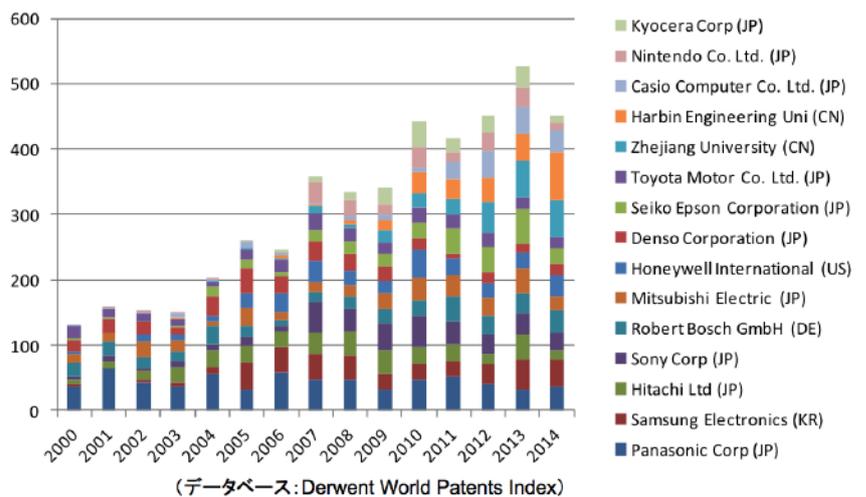


図10 世界特許出願数上位15機関の出願数年推移(加速度センサ)
出所:ロボット要素技術に関する特許出願動向調査(NEDO, 2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

② 駆動

a) 人工筋肉

人工筋肉に関する論文の発表数は2000年代中盤から急増している(図11)。検索件数596件(調査時点)の論文のうち、日本の発表は116件であり、151件の米国に次いで2位である。また、3位は70件の韓国である。国内外ともに、特定の機関からの発表が多い傾向

にはない。日本からは九州工業大学、大阪大学、信州大学、東京工業大学が上位に位置する(表6)。

2000年～2014年の米国における関連特許出願数の年推移(上位10社)をみると、全7,167件のうち、本田技研工業が122件、安川電機が110件、セイコーエプソンが89件など、日本企業が上位に含まれる(図12)。

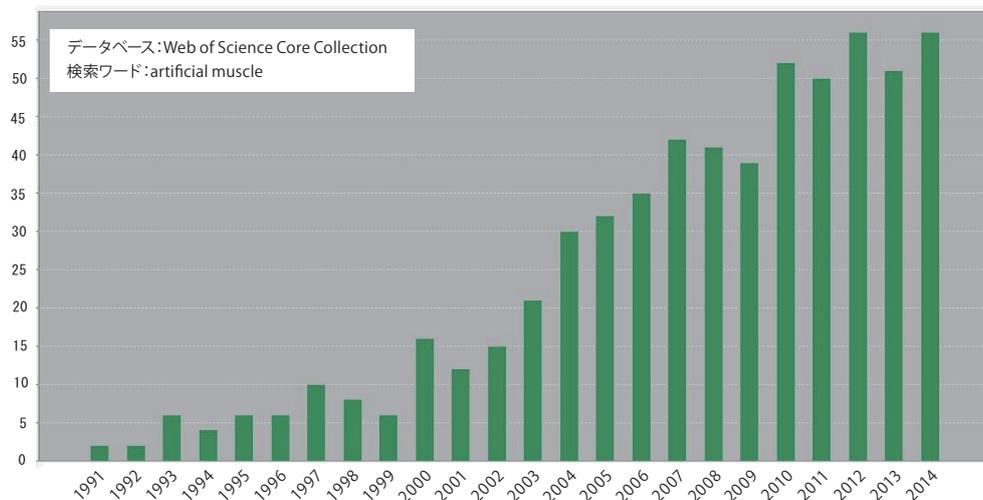


図11 人工筋肉に関する論文発表数の年推移
出所:NEDO技術戦略研究センター作成(2014)

表6 人工筋肉に関する機関別の論文発表数ランキング

順位	国	著者所属機関	件数
1	JP	KYUSHU INST TECHNOL	18
2	KR	UNIV ULSAN	17
3	AU	UNIV WOLLONGONG	15
4	US	MIT	14
5	CA	UNIV BRITISH COLUMBIA	13
6	KR	SUNGKYUNKWAN UNIV	12
7	NZ	UNIV AUCKLAND	12
8	JP	OSAKA UNIV	10
9	JP	SHINSHU UNIV	10
10	JP	TOKYO INST TECHNOL	10
11	US	UNIV NEVADA	10
12	ES	UNIV POLITECH CARTAGENA	10

出所:NEDO技術戦略研究センター作成(2014)

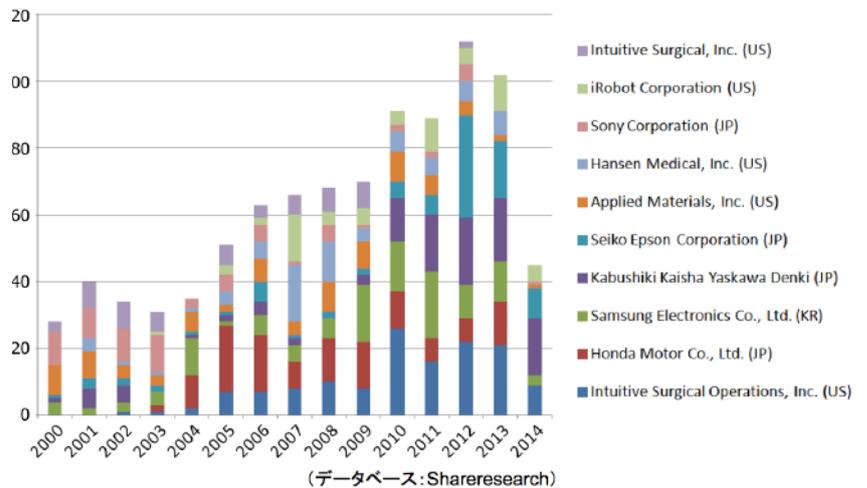


図12 米国特許出願数上位10機関の出願数年推移(人工筋肉)
出所:ロボット要素技術に関する特許出願状況調査(NEDO, 2014)

3章 ロボット分野(2.0領域)の 技術課題

3-1 主要技術要素の体系

前述のとおり、ロボットを「情報を検知することをトリガーとし、必要に応じ外界に物理的な力を及ぼす一連の技術」と捉えると、ロボットの主要技術要素は以下の四つに整理できる。

- (1) 情報を検知する「センシング」
- (2) 検知した情報をもとに高度・有用な情報を出力・生成する「人工知能」
- (3) 処理された情報に基づいた精緻な「制御」
- (4) 外界に力を及ぼす「駆動」

また、(1) センシングは、視覚センサ、聴覚センサ、触覚センサ、温度センサ、嗅覚センサ、化学物質センサ、筋電位センサ、脳信号センサ、ジャイロセンサ等に、(2) 人工知能は、データ・知識型人工知能、脳型人工知能、音声認識・画像認識や自動プログラミングなどの知能化モジュール等に、(3) 制御は、多数ロボットの協調連携制御、柔軟関節制御、ロボット安全制御、ミドルウェア等に、(4) 駆動は、軽量ロボット材料、人工筋肉を含むアクチュエータ、マニピュレータ、柔軟関節ロボット等に細分化される。

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

3-2 各用途の将来ロボット像

産業用ロボット、フィールドロボット、サービスロボットのそれぞれについて、人間の能力を超える2.0領域の将来ロボット像を以下に示す(表7)。

(1) 2.0領域の産業用ロボット

今後、労働力人口の減少が見込まれる中で、人手のかかる単純作業については、その高速化を、また、単純作業にとどまらず職人技ともいえる複雑な作業についても、熟練工の高齢化に伴い彼らの能力を補完するため、ロボットに担わせることが必要となってくると考えられる。そこで、職人の動作をロボットが観察・認識し、動作分析することによって、自ら学習して再現することのできる自律型ロボットの開発が有効である。こうした自律型ロボットは、製造現場に限らず、サービス産業など幅広い用途としての活用が期待される。

(2) 2.0領域のフィールドロボット

噴火、地震などの災害に見舞われることの多い我が国においては、災害時にいち早く生存者の位置を確認し、救出することがより一層重要となる。このため、遠隔操作でロボットを災害現場に派遣し、瓦礫や土砂等に埋もれてしまった見えない場所にある生存者・心肺停止者の早期の発見・確認を可能にするなど、自由に操れる遠隔操作が可能なタイプのロボット開発が必要である。具体的には、生存者・心肺停止を、センシング技術などを活用することにより認識できるロボットの開発が期待される。

(3) 2.0領域のサービスロボット

今後、高齢化率の増加が見込まれる中で、高齢者の介護サービスや高齢者支援は、作業内容が過酷なだけに、ロボットに担わせることが望ましい。介護サービスや高齢者支援ができるロボットでは、人間らしい会話による意味理解ができ、環境状況が理解でき、介護者や高齢者の指示に基づく動作・行動ができ、環境・空間を認識し、理解し、判断しながら行動できると、人が行う介護や支援に近づくことができる。このようなロボットが開発されると、家事ロボットやサービス業での作業なども十分に行うことができることから、大きな産業になり得る。

表7 2.0領域のロボット像と要素技術

分野	産業用ロボット	フィールドロボット	サービスロボット
将来ロボット像	<ul style="list-style-type: none"> 労働力・熟練工の減少による人手・技能不足の解消 単純作業の高速化 人と共存する生産 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>ティーチングレスロボット、人の技能を学ぶ自律型ロボットの実現</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地震、噴火などの災害時における瓦礫や土砂など見えない場所にある生存者・心肺停止者の早期発見と確認 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>高感度なセンサを搭載し、自由に操れる遠隔操作ロボットの実現</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高齢化社会における高齢者の介護サービスや支援 障害者の自律支援 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>生活支援ロボット、人に寄り添うウェアラブルロボットの実現</p>
必要となる要素技術	<ul style="list-style-type: none"> 人工知能 画像／音声認識 力触覚、臭覚センサ ティーチングレスソフトウェア データベースの整備 汎用的なRTM トルク計測可能モータ コンプライアンス制御 	<ul style="list-style-type: none"> 人工知能 画像認識 視覚、電磁波、化学的知覚(臭覚)センサ 直観的・スマート遠隔操作 操作知識蓄積技術 人とロボットのインタフェース コンプライアンス制御 	<ul style="list-style-type: none"> 人工知能 学習機能 音声／画像認識 環境・空間認識 自然言語処理・理解 軽量／柔軟アクチュエータ 人工筋肉・関節 動作、行動、人間関係センシングとデータ蓄積 コンプライアンス制御

出所:NEDO技術戦略研究センター作成(2015)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

3 -3 技術課題

将来ロボット像を実現するための技術課題を図13及び図14に示す。

(1) 人工知能

人とロボットの相互作用を実現するヒューマン・ロボット・インタラクション技術、ロボットが環境や状況に適応することを可能とする環境適応制御、そして、クラウド型知能とローカル型知能が協調することにより、ロボットが自ら行動して学習することを可能とする知能協調システムを実現することが課題である。

(2) センシング

外乱などのノイズを取り除くことができる、屋外で使用可能な電磁波センサの開発が必要である。また、嗅覚センサについては、検知可能な人体(生存者、心肺停止者)から放出される臭気源を特定することや、現状では応答性が遅いため、高速での検出を行えるようにすることが課題である。

加えて、小型光ファイバジャイロと、これらを光ファイバネットワークで結び、各々の光ファイバジャイロから生成するデータを光ファイバによってやりとりする、いわばロボットの神経網に対応するセンシングシステムの開発が課題である。

(3) 制御

人間の腕・手・指・物体を画像認識技術によって判別すること、また、判別した腕・手・指や物体の動きを認識し、作業内容・作業量・作業時間などの物理量を計測することが課題である。

(4) 駆動(アクチュエータ)

人工筋肉は、高分子材料によるものやカーボンナノチューブによるものが開発されているが、現状では高電圧駆動のものが主流である。サービスや労働の生産性向上や、高齢者や要介護者のQOL(Quality of Life)の改善といった大きなニーズに応えるウェアラブルロボットを実現するために、人の装着に適した低電圧、低電力によるものが必要である。また、静電力、電磁力、流体力による高出力軽量のアクチュエータの開発が課題である。

(5) OS・ミドルウェア

OS・ミドルウェアについては、人工知能による認識・推論、行動計画や自律制御などの高次のアプリケーションを開発するための環境・ツール(ロボットの動きなどのシミュレーションソフトウェアなど)を将来のロボットインテグレーション開発に対応させるために、汎用性を高め、継続的に改良することが課題となる。

(6) 安全・安心のための評価・標準化

ロボットの利用が広がると予期せぬ事故のリスクが高まるため、評価や試験によって、潜在的な事故のリスクを最小にするための評価・試験手法の確立が課題となる。また、ロボットが収集すると思われる個人情報の保護も課題である。更に、機能の安全基準を確立し、標準化することによって安全・安心を達成できるようにする課題もある。

OS・ミドルウェアや各機能ブロックの標準化が確立すると、ロボットの開発・商品化が効率的に行うことができ、利用拡大につながるものと思われる。これらの標準化をすることも課題である。



図13 人間の動作を再現する技術

出所:各種公開情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2014)

ロボット分野(2.0領域)の技術戦略策定に向けて

コアテクノロジー	主な課題	最近の研究動向
知能・認識・学習・センシング 周囲の状況に関する情報をロボットに取り込むための技術	視覚 部分的に隠れた状態(オクルージョン)や輪郭が切り出せない形状の物体は判別が困難。 視覚 逆光や暗闇など、特定の環境下では物体を認識できない場合がある。また、狭い場所での自動走行などの際には、従来よりも高速に画像処理することが必要。 聴覚 雑音の中から必要な音を拾い出すことは困難。 聴覚 複数者が同時に話している際に特定の声を聞き分けることは困難。 触覚 柔軟物等の多様な物体を触覚によって認識することは困難。 知能・学習 屋内外問わず、複数の周辺環境データを統合し、状況に応じて周辺環境を柔軟に(地図がなくても)認識することが必要。	○音源定位、音源分離、分離音の音声認識の3つの技術要素があるが、何らかの条件設定が必要となっている。 ○ハードウェアの制約もあり、多様な物体の触覚を実現することは困難な状況にある。 ○ディープラーニング技術により、人や物体などの画像認識の性能、音声認識の性能が向上している。
機構・駆動(アクチュエータ)・制御 ロボットが外部に働きかけを行うための装置に関する技術	精密性 人間と同等のサイズ・重量で、力強さ(出力)と器用さ(動作の精密さ)を両立させることは困難。 応答性 現在の剛性の高い機構は柔軟な動きに不向き。他方、人工筋肉は細かい位置決め作業などに不向き。 柔軟性 複雑形状物や柔軟形状物など、日常的に人間が扱うものを事前に情報を得ること無く適切に扱うことが必要。 モジュール化 マニピュレータやハンド等については、都度専用開発ではなく、できる限りモジュール化することが必要。	○人工筋肉に使用されている圧電素子や高分子材料などは研究段階のものが多く、一般に販売できる製品となっているものは限られている。 ○非線形制御を用いたシステムでは、アーム型ロボットなどの決まった動きに対応できる。
OS・ミドルウェア ロボットを動かすための基盤的なソフトウェア等に関する技術	開発/インテグレーション環境 認識・推論や自律制御などの高次のアプリケーション開発にリソースを集中するための開発/インテグレーション環境・ツール(実際にロボットを製作・使用しなくてもソフトウェアの動きをチェックできるシミュレータ、使い勝手が良く一定程度標準化されたOS・ミドルウェア・プログラミング言語等)を、将来の要素技術の発展に対応させることが必要。 インターフェイス 異なるOSのロボットどうしが対話する場合、あるいはロボットに新たなモジュールを搭載する場合など、ロボット及びモジュールのインターフェイスを標準化することが必要。	○RTミドルウェア、ROS(ロボットを構成する機器の制御)、ORiN(ロボットそのものの制御)、OpenEL(モータ等の共通インターフェイス)等、様々な階層向けのミドルウェアが存在するが、汎用的なものは無い。
安心安全評価・標準 ロボットを安心安全に普及させるための技術・手法等	リスク評価 ロボットの活用場が広がることによって生じる、予期し得ぬ潜在的な事故のリスクを顕在化させ、評価する手法が不十分。 試験法 被験者による安全性等の評価試験にかかる時間を(制度的な対応も含めて)短縮することが必要。 制度 ロボットが収集する個人情報の保護、あるいはロボットによる個人情報収集(撮影等)に関するルールの検討が不十分。	○生活支援ロボットの安全性に関する国際規格ISO13482が発行されている。
その他の技術	エネルギー源 軽量で長持ちするエネルギー源(蓄電池等)が必要。 軽量化・高強度化 重量が重く、動くためにパワーが必要(躯体を軽量化できるとモーター等のアクチュエータを小型化できるため、さらに軽量化が進み好循環)。また、ロボットアームやロボット自体が重いと急停止しにくいいため、衝突時の衝撃が大きく危険。 通信 距離の制約なしに(場所によっては電波が届かない・使えない場合もある)ロボットを遠隔操作したり、複数のロボットを自律的に協調させたりすることが必要。 耐環境性 水中、高温環境、放射線、有毒環境など、極限環境下で作業する際のシールド機構、耐熱材料、耐腐食材料などの他分野からの転用・改善を検討することが必要。	○小型のリチウムイオン電池は長寿命に対応していない。 ○ロボットアームにカーボン素材を使用する場合には、接合技術等の更なる開発が必要。 ○ロボットを介した情報漏えいなどの対応については、本格的な検討がなされていない。 ○群制御により、環境に応じて自己組織化するロボットは研究途上にある。

図14 ロボットの各要素技術の主な課題と研究動向

出所: NEDO 技術戦略研究センター作成(2014)

4章 おわりに

ロボット技術は、今後期待される「超スマート社会」の実現に向けた共通基盤技術である。今後のロボットの活用にあたっては、人間の代替を目的とすることにとどまらず、様々な場面において単機能ではなく複合機能を発揮するなど、人間の能力を凌駕するロボットの活躍が期待される。そのためには、現在のロボット技術の単なる延長にとどまらない『2.0領域』（ロボットの利用分野を念頭におきつつ、人間の能力を超えることを狙う先端要素技術開発を実施する段階）の技術開発を進める必要がある。

用途別の2.0領域のロボット像として、「産業用ロボット」では労働力・熟練工の減少による人手・技能不足の解消などの問題を解決するための自律型ロボットの実現、「フィールドロボット」では地震、噴火などの災害時における瓦礫や土砂などに存在する生存者の早期発見のための高感度センサを搭載した遠隔操作ロボットの実現、「サービスロボット」では高齢化社会における高齢者の介護サービスや障害者の自律を支援するための人に寄り添うウェアラブルロボットの実現などが挙げられる。

これらを実現するために、次世代の脳型人工知能とデータ・知識融合型人工知能の基礎研究とともに、革新的なロボットインテグレーション技術、センサと人工知能技術を連携したスーパーセンシング、新原理による人工筋肉を中心とした軽量でソフトなアクチュエータの技術開発の一層の推進が期待される。