



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

Vol. **29**

人工知能×ロボット分野の 技術戦略策定に向けて

2018年10月

1 章	人工知能×ロボット分野の概要	2
2 章	人工知能×ロボット分野の置かれた状況	3
2-1	市場規模	3
2-2	特許出願、論文発表の動向	5
2-3	各国の人工知能×ロボット分野関連プロジェクト	8
2-4	主なプレイヤーの取組状況	14
3 章	人工知能×ロボット分野の技術課題	16
3-1	技術体系	16
3-2	技術課題	17
4 章	おわりに	18

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

1章 人工知能×ロボット分野の概要

1956年に、米・ダートマス大のジョン・マッカーシーが主催したダートマス会議で命名された人工知能は、1960年代から研究開発が本格化し、自然言語処理、エキスパートシステムなどが誕生して黄金時代を迎えた（第1次人工知能ブーム）。1980年代になると、高性能コンピュータの登場により人工知能の実用化が広く進められて多くの企業で採用されるようになり、サポートベクターマシン、データマイニングなどの研究が発達した（第2次人工知能ブーム）。2000年代に入ると、2006年にカナダ・トロント大学のジェフリー・ヒントンらにより、従来のニューラルネットワークの認識力を上回るディープニューラルネットワーク（ディープラーニング：Deep Learning）が発表され、2012年には人工知能分野の画像認識に関する国際大会において、ディープラーニングが従来手法と比較して高い認識率を示したことを受けて、一段と高度化した人工知能の活用が改めて注目された。このような流れの中で、現在、第3次人工知能ブームが起こっている。

人工知能は、特定の目的に利用される「特化型人工知能」と、人間のように多様なことができる「汎用人工知能」に大別される。近年、特化型人工知能は人間の知能を上回りつつある。一方、汎用人工知能は、脳科学と人工知能が融合した研究が進み、人間の知能に迫りつつあり、2045年に人工知能が人類の知能を超える転換点を迎えるという「シンギュラリティ（技術的特異点）」が議論されるようになった。

人工知能の応用分野は、自動運転、ロボット、医療、金融、セキュリティ、家庭用電器、一般事務、製造、清掃、警備、情報通信、囲碁・チェスなどのゲーム等、多岐に渡る。自動運転の分野では、2015年、Googleがディープラーニングを活用した自動運転車を発表し、アウディ、BMW、メ

ルセデス・ベンツ、フォード・モーターなども人工知能を搭載した自動運転車の開発を進めている。日本においても日産自動車、トヨタ自動車が、人が運転に関与せずドライバーなしで走行する完全自動運転車の開発を進めている。また、ホンダ自動車は、運転手の感情を理解する自動運転車の開発を進めている。金融分野では、IBM「ワトソン」が銀行のコールセンター業務に対応し、顧客とオペレータの会話を分析して、迅速に回答例を呈示することを実現している。家庭用電器の分野では、iRobotが開発した家庭用掃除機ロボット「Roomba」が普及している。

ゲーム等の分野では、人工知能と人間との対戦がこれまでに3度行われた。1997年にはIBMのチェスプログラム「ディープブルー」、2011年にはIBMの「ワトソン」、2016年にはディープマインドの「アルファ碁」が、いずれも人間に勝利している。

日本での人工知能の応用について状況を見ると、日本が強みを持つロボット分野への適用が盛んに行われている。2014年、ソフトバンクが感情を表現する史上初のコミュニケーションロボット「Pepper」を開発、発表した。産業用ロボットの分野では、2016年、安川電機が人工知能を搭載したロボットコントローラによる、ロボットの溶接の効率化及びロボット本体の高度な故障予測を可能とするシステムを開発している。ファナックは自動車向け溶接産業用ロボットの多関節ロボット、川崎重工業は半導体向けクリーン産業用ロボットを開発している。しかし、産業用を中心として開発が進んだロボットにおいても、人間のように自律的に行動する高度なロボットはいまだ実現されていない。現在の日本は、少子高齢化による介護問題や労働不足、災害対応など様々な社会課題があり、その問題を解決する手段として、複雑な環境の中で適切に処理する高度な知能を持つロボットの出現が求められている。

人工知能×ロボット分野の技術は、自律性、社会性、適応性を備えた高度な知能を持つロボットを実現させる技術である。とりわけ、人工知能とロボットを結びつける技術とし

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

て、ディープラーニングに代表される、実世界情報を直接取り扱える新たな機械学習手法の技術開発が近年大きく進展している。この結果、従来は難しかった人間の技能のような、いわゆる暗黙知の直接学習に可能性が開け、高度な知能を持つロボットの実現と、これらのロボットが様々な問題を解決する新しい社会の実現が期待されている。

2章 人工知能×ロボット分野の置かれた状況

2-1 市場規模

図1に、世界のロボット市場及び人工知能×ロボット分野の市場売上高予測を示す。2016年において、ロボット市場は約2.6兆円、人工知能×ロボット分野の市場は約4,250億円であるところ、2035年には、ロボット市場は約28.4兆円、人工知能×ロボット市場は約14.5兆円になると見込まれる。

なお、ここでのロボットとは、産業用ロボット（ロボテク製品を含む製造業用ロボット）、サービスロボット（個人用及び家庭用ロボット）、フィールドロボット（業務用サービスロボット）を指す。また、人工知能×ロボット市場の値は、ロボット市場の値にNEDO技術戦略研究センターによる推定値^{*1}をかけて算出した。

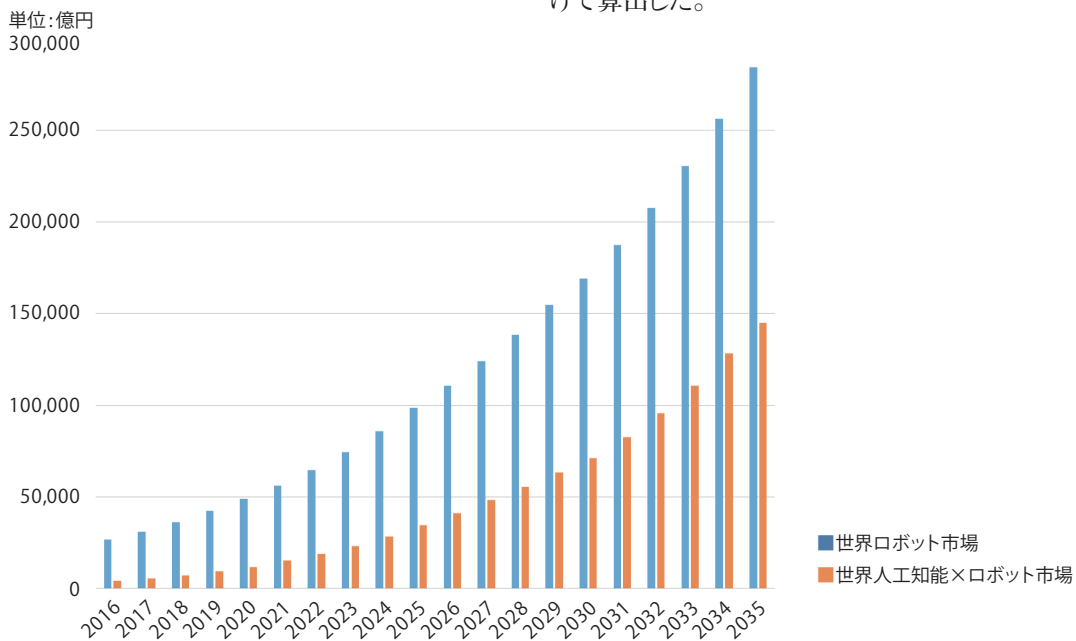


図1 世界ロボット市場及び世界人工知能×ロボット市場の売上高の予測

出所：International Federation of Robotics2016 (IFR,2016) 及び World Robotics 2016 Service Robotsを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

^{*1} ロボット全体の研究開発費用に占めるソフトウェア開発費用中の人工知能技術研究開発費用割合が、ロボット市場の売上高に占める人工知能×ロボット市場の売上高の割合と等しく、かつ、この割合はロボット市場と同様の伸びを示すものとして、2016年16%、2035年51%と推定した。

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

図2に、ロボットの分野別の世界市場予測を示す。2016年において、サービスロボット市場の売上高は約7,000億円でロボット市場全体の約26%、産業用ロボット市場の売上高は約1.4兆円で市場全体の約52%であり、サービスロボット市場は産業用ロボット市場のおよそ半分である。またフィールドロボット市場の売上高は約5,000億円である。

2024年には、サービスロボット市場及び産業用ロボット市

場の売上高は、それぞれ約3.4兆円と同等になり、フィールドロボット市場も約1.8兆円に拡大する。さらに、2035年には、サービスロボット市場の売上高は約16兆円で全体の約55%まで拡大し、産業用ロボット市場の売上高の約8.4兆円を大きく上回る。またフィールドロボット市場も約4兆円まで拡大することが見込まれる。

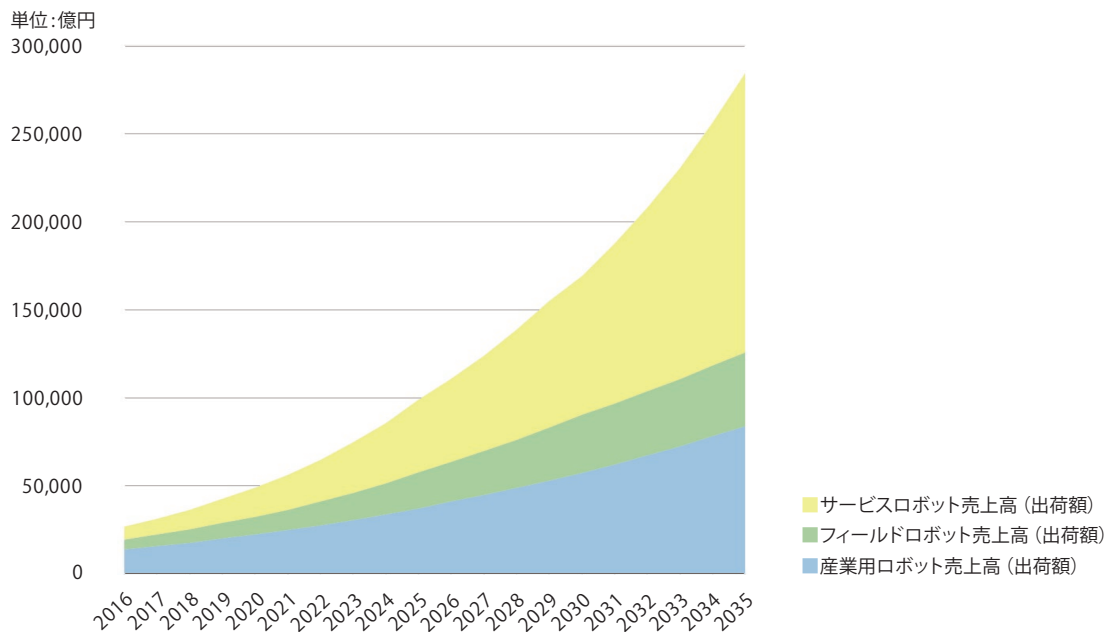


図2 ロボット分野別の世界市場予測

出所：International Federation of Robotics2016 (IFR,2016) 及び World Robotics 2016 Service Robots を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

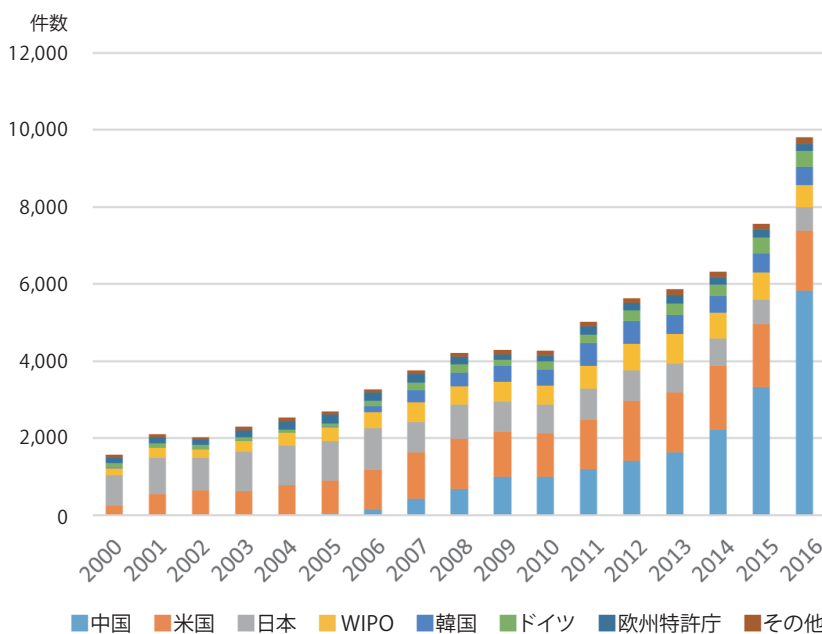
人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

2 -2 特許出願、論文発表の動向

(1) 特許出願動向

図3に、人工知能×ロボット分野の国別特許出願数^{※2}について、出願日が2000年から2016年までの推移と国別件数を示す。

特許出願の総数は、2000年以降増加しており、2006年までは日本が第1位、2007年から2012年までは米国が第1位、2013年以降は中国が第1位となっている。国別に見ると、特許出願の総数は、中国が第1位、米国が第2位、日本は第3位となっている。



順位	国/機関	件数
1	中国	18,956
2	米国	18,721
3	日本	14,255
4	WIPO	8,022
5	韓国	4,775
6	ドイツ	3,398
7	欧州特許庁	3,207

図3 人工知能×ロボット分野の特許出願総数の推移と国別件数 (2000～2016年)

出所：Derwent InnovationTMでの検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2018)

※2 ファミリのベーシックレコードを特許出願としてカウントし、当該レコードの発行国に基づき、国別に分類した。

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

表1、表2に、人工知能×ロボット分野の企業別の特許出願数について、2007年から2016年までの上位10社の総数と順位を示す。出願人別の総数で見ると、10位までのうち7社が日本企業であり、日本が強みを持っていることがわかる。年推移で見ると、サムソン電子、IBM、キヤノンが一貫して高順位を保っているほか、日本企業としては、2000年代後半はトヨタ自動車、2010年代はセイコーエプソン、ファナックが上位を占めている。さらに、近年は中国の大学及び企業が伸長著しい。

日本企業のうち、セイコーエプソンは、製造業向け組立・搬送系ロボットにおいて、小型精密ロボットを展開しており、自律型双腕ロボットの開発を積極的に進めている。安川電機は、世界の産業用ロボット市場をリードしており、溶接ロボット、塗装ロボット、組立てロボットをはじめ、近年では、三品市場（食品、医療品、化粧品）やバイオメディカル市場への取組を強化している。トヨタ自動車は、2005年に開催された「愛・地球博」においてパートナーロボットを開発し

ている。ソニーは、世界に先駆けて人工知能×ロボット分野の技術開発に着手し、1999年に人工知能を搭載した家庭用エンターテインメントロボットを発表した。

表1 人工知能×ロボット分野の企業別の特許出願数（2007～2016年）

順位	企業名（出願人）	順位	件数
1	セイコーエプソン	日本	990
2	サムソン電子	韓国	928
3	IBM	米国	781
4	キヤノン	日本	646
5	ファナック	日本	641
6	安川電機	日本	467
7	マイクロソフト	米国	459
8	トヨタ自動車	日本	426
9	ソニー	日本	378
10	ホンダ自動車	日本	371

出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2018）

表2 人工知能×ロボット分野の企業別の特許出願数順位の推移（2007～2016年）

順位	2007～2010年			2011～2013年			2014～2016年		
	企業名（出願人）	国名	件数	企業名（出願人）	国名	件数	企業名（出願人）	国名	件数
1	サムソン電子	韓国	315	セイコーエプソン	日本	444	セイコーエプソン	日本	369
2	トヨタ自動車	日本	253	サムソン電子	韓国	277	ファナック	日本	355
3	IBM	米国	249	IBM	米国	247	サムソン電子	韓国	336
4	キヤノン	日本	238	キヤノン	日本	202	IBM	米国	285
5	ホンダ自動車	日本	207	安川電機	日本	195	キヤノン	日本	206
6	マイクロソフト	米国	193	マイクロソフト	米国	163	シャープ	日本	151
7	セイコーエプソン	日本	177	ソニー	日本	143	広西大学	中国	148
8	ファナック	日本	171	Google	米国	133	国家電脳	中国	139
9	安川電機	日本	168	パナソニック	日本	120	北京光年无限科技有限公司	中国	136
10	ソニー	日本	137	キャタピラー	米国	120	精華大学	中国	123

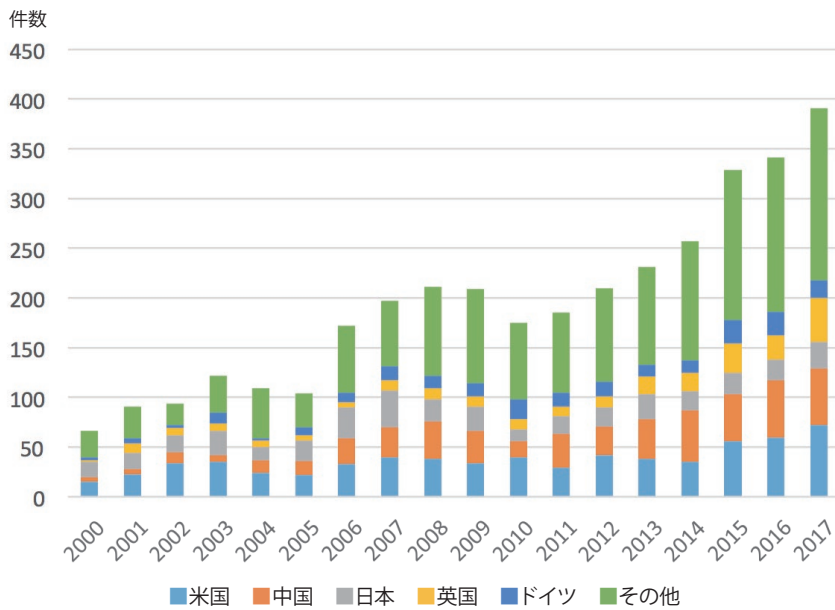
出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2018）

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

(2) 論文発表動向

図4に、人工知能×ロボット分野の論文発表数（2000～2017年）の推移と国別件数を示す。論文発表数は、年推

移で見ると増加傾向にあることがわかる。国別に見ると、米国が第1位、中国が第2位、日本は第3位となっている。



順位	国/機関	件数
1	米国	670
2	中国	513
3	日本	384
4	英国	240
5	ドイツ	221

図4 人工知能×ロボット分野の論文発表数の推移と国別件数（2000～2017年）

出所：Web of Science™での検索結果を基にNEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

2 各国の人工知能×ロボット分野 -3 関連プロジェクト

人工知能×ロボット分野においては、各国で様々な取組が行われている。以下に、代表的な取組事例を取り上げる。

(1) 米国

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency: 米国国防高等研究計画局) は、「DARPA Challenge」と称する競技会方式を採用して、広く大学や民間企業を巻き込んで軍事技術の民間転用を促進している。2013年に、人間が近づけない過酷な災害現場で活動するロボットの開発を促進することを目的とした災害救助用のロボット競技大会「DARPA ロボティクスチャレンジ (DARPA Robotics Challenge)」を開催し、2015年には同大会の本選を実施した。賞金は1位が200万ドル、2位が100万ドル、3位が50万ドルと巨額であった。その後、福島第一原発事故の教訓から着想を得て、高放射能による被爆に対応できるロボットを目指して、車の運転、車から降りること、ドアを開けて通ること、バルブを締めること、壁に穴を開けること、瓦礫を超えていくこと、階段を登ることなど、様々な課題を課した大会が実施されている。

(2) 欧州

2014年1月より、研究・技術開発枠組み計画 (FP) の後継となる Horizon2020が開始された。「卓越した科学」、「産業リーダーシップ」、「社会的課題」の3分野から構成されており、より統一的な戦略の下で、資金配分を行っている。また、研究開発投資から製品・サービスの市場展開までのリンクの強化、高齢化やエネルギー、運輸などの社会的な課題の解決につながるイノベーションの重視、公募プログラムへのアクセスの簡略化なども図られている。2014年から2020年までの7年間の総予算は約780億ユーロとなり、過去最大規模となる。

ロボット関連については、「卓越した科学」分野の「未来と新技術」(予算金額26億9,600万ユーロ、予算割合3.5%)及び「欧州研究基盤」(予算金額24億8,800万ユーロ、予算割合3.2%)の中で強化されており、「産業リーダーシップ」分野においては「ロボット工学」(予算金額7,400万ユーロ/年)が公募プログラムとなっている。

(3) 中国

2015年、「中国製造2025」(中国製造業10か年計画)を発表し、①新世代情報技術(集積回路及び専用設備、情報通信機器、オペレーションシステム及び工業ソフトウェア、スマート製造情報設備)、②NC工作機械・ロボット、③航空・宇宙飛行装備、④海洋エンジニアリング設備・ハイテク船舶、⑤先進の軌道交通整備、⑥省エネ・新エネルギー自動車、⑦電力設備、⑧農業設備、⑨新材料、⑩バイオ医薬・高性能医療機器の10大重点分野を網羅し、さらに23の重点方針を明確化して、方針ごとに重点製品、重点技術とモデルプロジェクトを定義している。これらの分野は市場のホットスポットになり、大量の資本を引きつけると予想し、ロボット分野については、中国製造業にとって力強い発展が必要な重要技術としている。

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

(4) 日本


政府の「ロボット新戦略」(日本経済再生本部決定、2015年2月10日)では、「次世代に向けた技術開発」のアクションプランが示された。これを受けて、NEDO技術戦略研究センターにおいては、人工知能分野及びロボット分野(2.0領域)の技術戦略を策定し、これらの戦略に基づき、2015年度より「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」を開始した。以下に、プロジェクトの一部を紹介する。

①社会的身体性知能の共有・活用のための

クラウドプラットフォーム

クラウド型の仮想現実(VR)環境を用いたロボットオペレーティングシステム(ROS)上の効率的なロボットの知能開発と、仮想現実を介したクラウドソーシングによる人間とロボットの対話データの収集を実現するプラットフォームを構築している。プラットフォーム上で人間とロボットの対話実験を行うことで得られる大量の対話経験データに基づいて、語彙、概念、スキル、対人行動モデル、日常生活モデルを獲得することを目指している(図5)。

< 研究開発の概要 >




**ハードウェアトラブル
被験者収集のコスト大**


**対話経験の共有: 困難
数時間程度の実験が限界**

社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォームの構築


< 想定されるアプリケーション >



ログイン



ログイン



いつでもどこからでもロボットと対話可能なクラウド型VRシステム

委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所

再委託先：大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所

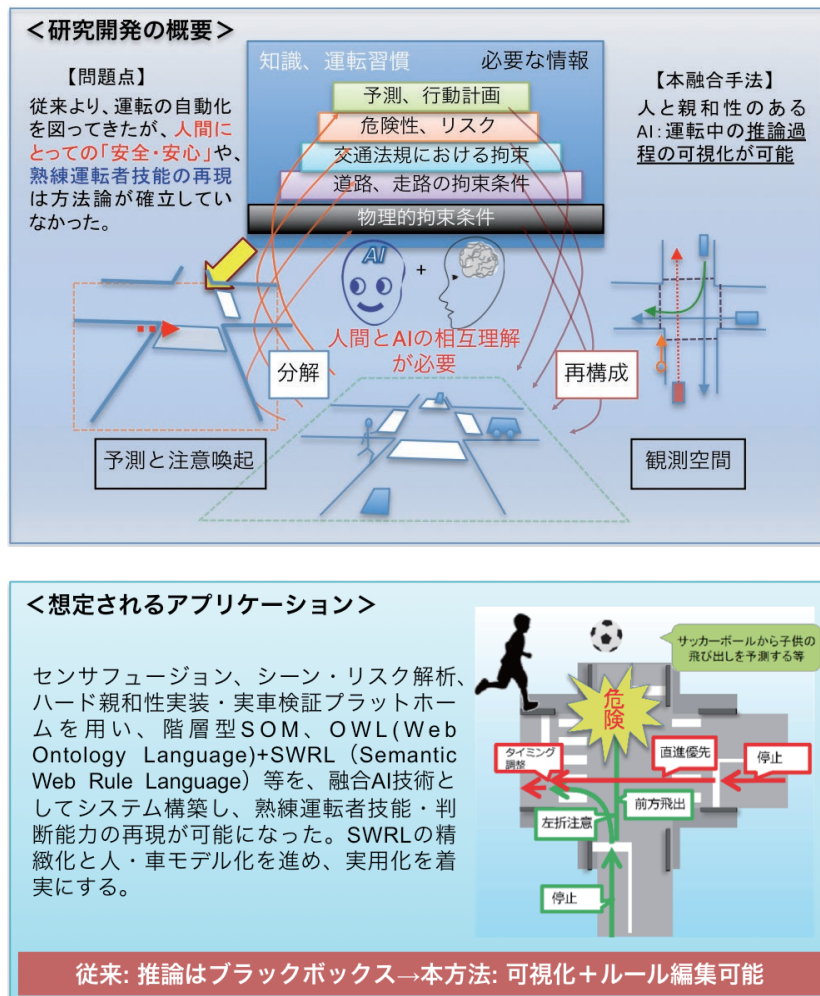
図5 社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム

出所：産業技術総合研究所人工知能研究センター (AIRC) 提供 (2018)

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

②データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究開発
 現在の自動運転技術は、判断に至る推論過程の可視化、ルールの追記、判断の根拠の明確化などが難しいとい

う現状にあるが、データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能を融合した人工知能技術によって、人工知能システムの判断や推論過程を可視化し、人間にとって「安心・安全」な自動運転を実現するための研究を進めている(図6)。



委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所
 再委託先：国立大学法人九州工業大学

図6 データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究開発

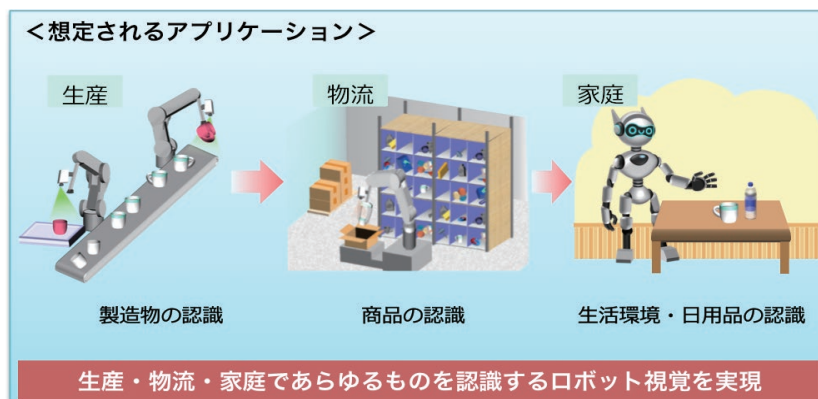
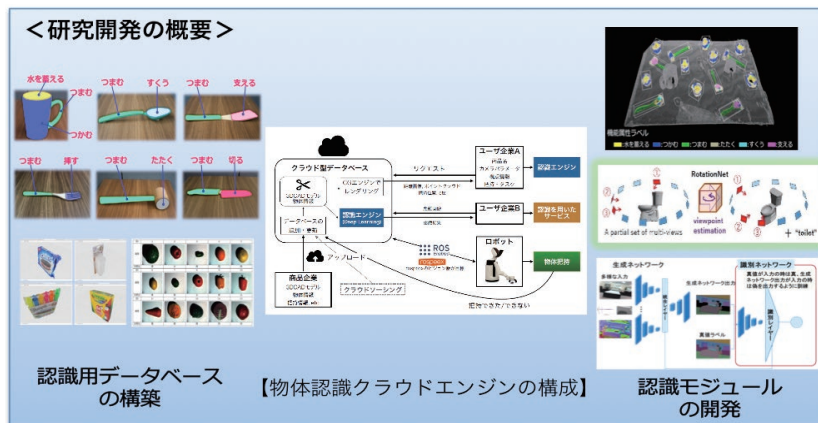
出所：産業技術総合研究所人工知能研究センター（AIRC）提供（2018）

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

③ 認識クラウドエンジンの構築

あらゆる対象物を認識できる視覚認識システムを構築するため、商品や日用品などの物品や、屋内における実世界環境を効率よく認識するためのクラウドエンジンの構

築を行っている。3次元形状に加え、機能属性などの様々なモダリティを持つデータベースの構築と物体の機能属性や物性情報を認識するモジュールの研究開発が進められている(図7)。



委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所
再委託先：学校法人中部大学、学校法人梅村学園中京大学、国立大学法人大阪大学

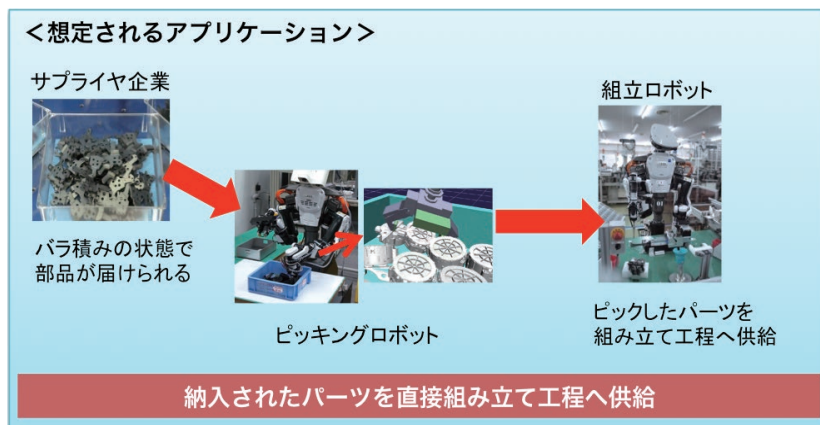
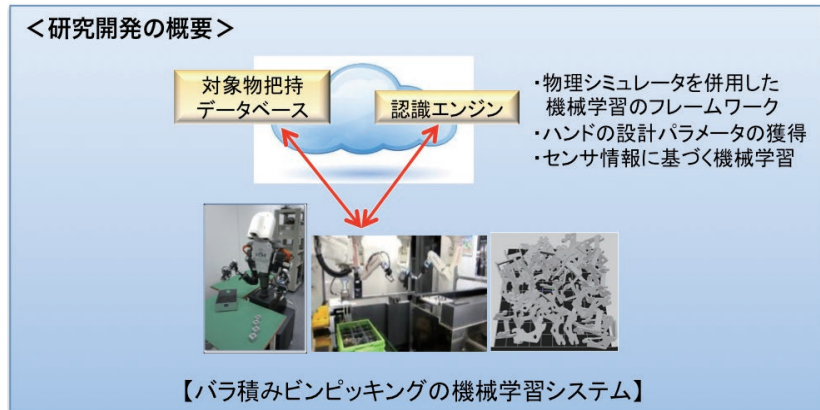
図7 認識クラウドエンジンの構築

出所：産業技術総合研究所人工知能研究センター（AIRC）提供（2018）

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

④人工知能を基盤とする産業用ロボットの研究開発
 個々の消費者の嗜好に細やかに対応できる変種変量生産のロボット化を目指し、その第一歩としてセル生産システム

における部品供給工程の自動化、特に箱の中にバラ積みされた複雑な形状の部品のロボットによるピッキングを機械学習によって可能にするための研究開発を進めている（図8）。



委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所

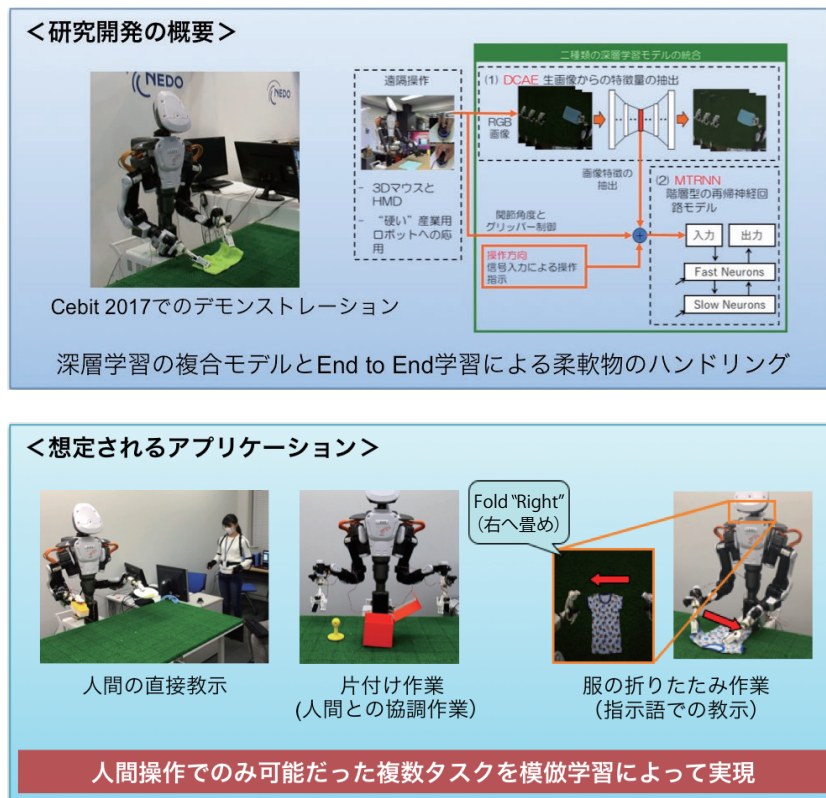
図8 人工知能を基盤とする産業用ロボットの研究開発

出所：産業技術総合研究所人工知能研究センター（AIRC）提供（2018）

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

⑤人工知能を基盤とする日常生活支援ロボットの研究開発
 少ない回数の教示だけから、深層学習の複合モデルを
 End to End 学習させて、環境適応能力の高い動作モデル
 を模倣学習する技術の研究開発を進めている。それによ

り、人間との協調作業による片付け作業、人間からの指示
 による服の折り畳み作業等の日常生活の中の様々なタスク
 にロボットを導入することを目指している(図9)。



委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所
 再委託先：学校法人早稲田大学

図9 人工知能を基盤とする日常生活支援ロボットの研究開発

出所：産業技術総合研究所人工知能研究センター (AIRC) 提供 (2018)

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

2-4 主なプレーヤの取組状況

人工知能×ロボット分野における、世界の主なプレーヤと製品サービスについて、表3に企業を、表4に大学・研究

機関を示す。これらの表によると、日本にも、複数の有力な企業・研究機関があり、産業用ロボット及びサービスロボットにおけるハードウェアが強いことがわかる。

表3 人工知能×ロボット分野の主なプレーヤ(企業)の取組状況

企業名	所在地	研究開発対象例	動向
川崎重工業	日本	産業用ロボット	スポット溶接、アーク溶接、組立、パレタイズ等の幅広い分野の産業用ロボットを展開している。産業用ロボットでは世界シェア第2位(2017年)である。2018年、ABBグループと協業で協働ロボットオペレーティングインターフェースを開発している。
セイコーエプソン	日本	産業用ロボット	小型垂直多関節ロボット、双腕ロボット等を展開し、小型精密ロボット(組立て・搬送ロボットのうちの可搬重量20kg以下の垂直多関節ロボット)の開発を進めている。
ソフトバンク	日本	コミュニケーションロボット	2014年、自らが喜びや悲しみの感情を表現する感情生成機能と、人の感情を認識する感情認識機能を持った人型ロボット「Pepper」を開発した。
ソニー	日本	四足歩行ロボット	1999年、世界初の人工知能を搭載した家庭用エンターテインメントロボットを発表した。2006年、開発を中止したが、2018年、人工知能技術やデザインなどが改良されて再登場した。
トヨタ自動車	日本	自動運転車	高度センシング技術、自動位置推定などの認識技術、人工知能によるドライバーの判断技術等を搭載した先進的な自動運転車の開発を進めている。
ファナック	日本	産業用ロボット	知能化機能を搭載した高性能の産業用ロボットを開発している。多関節ロボットでは群を抜いており、工作機械用CNCにおいては世界首位(世界シェアの約5割)である。産業用ロボットの世界シェア第3位(2017年)である。
ホンダ自動車	日本	二足歩行ロボット	世界初の本格的な二足歩行ロボット「ASIMO」を開発した。予測運動制御によって、自在に歩くことができ、階段の上り下り、ダンスなどができる。2018年、培った技術を活かして介護用などの実用型にシフトすることを発表した。
安川電機	日本	産業用ロボット	日本で初めて全電気式産業用ロボット「モートマン」を発売して以来、アーク溶接、スポット溶接、組立て、塗装用等のロボットを商品化して、世界の産業用ロボットをリードしている。
Amazon	米国	物流ロボット	ロボットが倉庫内を縦横無尽に動き回って商品を運ぶ、ロボット在庫管理システム「Amazon Robotics」を開発して、新しい物流システムを展開している。
Google	米国	自動運転車 人型ロボット	ディープラーニングを利用した、形状認識能力を持つ自律運転車「Google Car」を開発した。また、自動車の乗り降りや運転、ドアの開閉など多様なタスクをこなす人型ロボット「Atlas」を開発した。
IBM*	米国	ロボット全般	人間の言葉を理解し学習し、人間の意思決定を支援するコグニティブ・コンピューティング・システムである「Watson(ワトソン)」を開発した。質問応答システム、医療、顧客サービスなどの幅広い分野に応用されている。
iRobot	米国	家庭用掃除ロボット	自律型家庭用掃除ロボット「Roomba」を開発した。サブサンクション・アーキテクチャに基づいて作られた昆虫型ロボット「ジンギス」の発展型として実用化された。
Rethink Robotics	米国	協働ロボット	多品種少量生産に対応するために、人との協働ロボットを開発した。生産ラインへの部品供給、梱包、ハンドリング等の作業を実現している。
KUKA	ドイツ	産業用ロボット	産業用ロボットでは、世界的なリーディングメーカーの一角を占めている。2016年に中国美的集団(Midea Group)に買収され子会社化した。
ABB	スイス	産業用ロボット	スイスに本拠を置き、産業用ロボットの分野では、溶接系や塗装系に強い。産業用ロボットの世界シェア第1位(2017年)である。
Alibaba(阿里巴巴集団)	中国	物流ロボット	商品の在庫データや出荷データを分析でき、人気商品の棚から出庫位置まで自動で移動する、物流ロボット「Geek+」を開発した。また、ロボットが料理を運ぶハイテクレストランも展開している。
Siasun(瀋陽新松)	中国	ロボット全般	中国科学技術研究院により設立された。スポット溶接、アーク溶接、組立て、加工、知能サービス等の幅広い分野に渡る、中国ロボット産業をリードする存在である。
サムソン電子	韓国	産業用ロボット	ロボット自身が金型を製作するスマート工場を建設した。また、人の介在なしでロボットが製作するスマート工場が家電工場に導入されている。

出所：各種資料よりNEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

* IBMは1980年代にいくつかのロボットを発表しているが、現在は開発していない。ただし「Pepper」に「Watson(ワトソン)」を搭載する等の戦略的提携を行っている。

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

表4 人工知能×ロボット分野の主なプレーヤ（大学・研究機関）の取組状況

大学・研究機関名	所在地	研究開発対象例	動 向
ATR	日本	ブレインマシンインタフェース	脳情報を用いたロボット制御のためのインタフェースの開発を行い、脳科学とロボット工学を融合した最先端の研究を行っている。
大阪大学	日本	認知発達ロボティクス	人間や動物が、環境中で認知機能を自ら学習していくように、認知機能を学習し創発する仕組みをロボットに与える研究を行っている。
産総研	日本	ヒューマノイドロボット	人間型ロボットソフトウェアプラットフォームの開発を行い、ヒューマノイドロボット「HRPシリーズ」の開発を促進している。
東京大学	日本	ヒューマノイドロボット	長年にわたりヒューマノイドロボット開発を行っており、日常生活支援ヒューマノイド、筋骨格腱駆動ヒューマノイド、小型全身運動密着ヒューマノイドなど、世界をリードしている。
早稲田大学	日本	ロボット全般	世界初の人間型二足歩行ロボット「WA B O T」、コミュニケーションロボット、介護ロボット、日常生活支援ロボット、手術支援ロボット等、ロボット研究において世界をリードしている。
CMU	米国	ロボット全般	心臓手術用ヘビ型ロボット、宇宙ロボット等の最先端ロボットを開発している。
MIT	米国	四足型ロボット	時速約22kmで外部動力源もなく自立して走ることができ、高さ約30cm程の障害物も飛び越えられる四足型ロボット「Cheetah」を開発している。
UCバークレー	米国	組立てロボット	人間と同じようにロボットが試行錯誤を繰り返しながら、周辺環境をプログラミングすることなく、任務の最初と最後の状態を与えるだけで、組立て作業等を行うロボットを開発した。
フランフォーファ研究所	ドイツ	サービスロボット	一般家庭、サービス業、医療、製造業等、幅広い用途に適した、言語認識、ジェスチャー認識を備えたヒト型ロボットを開発している。
チューリッヒ連邦工科大学	スイス	四足型ロボット	マルチコプター型ドローンと、地上を走行できる四足型ロボットを組合せたシステムを開発している。
華南理工大学	中国	ロボット全般	DJI が主催するロボットコンテスト「Robomaster 2017」「Robomaster2018」において、2年連続で優勝した。
広西大学	中国	ロボット全般	2017年(上半期)のロボット特許出願は世界第1位である。
精華大学	中国	自律ロボット	シーメンス(独)と共同して、自律ロボットのグローバル拠点を設置した。中国企業「iFlytek(アイフライテック)」と共同開発したAI搭載の人型ロボット「曉医(シャオ・イー)」が、医師国家試験に合格した。
KAIST	韓国	HUBOシリーズ	二足歩行人型ロボットにより、災害救助ロボットコンテスト「DARPAロボティクスチャレンジ(2015)」で優勝した。

出所：各種資料よりNEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

3章 人工知能×ロボット分野の技術課題

前章までに述べた人工知能×ロボット分野における特許論文、国内外の人工知能×ロボット分野関連プロジェクトを含め、当該分野の技術体系・概要及び技術課題を改めて整理した。

3-1 技術体系

図10に人工知能×ロボット分野の技術俯瞰を、表5に技術概要を示す。人工知能×ロボット技術は、ディープラーニング(DL)を中核とした、人工知能技術、ニューラルネット、パターン認識、ロボット技術を融合した技術であり、実世界

の中で人と協調しながら実時間対応できるロボットの技術開発を目指している。

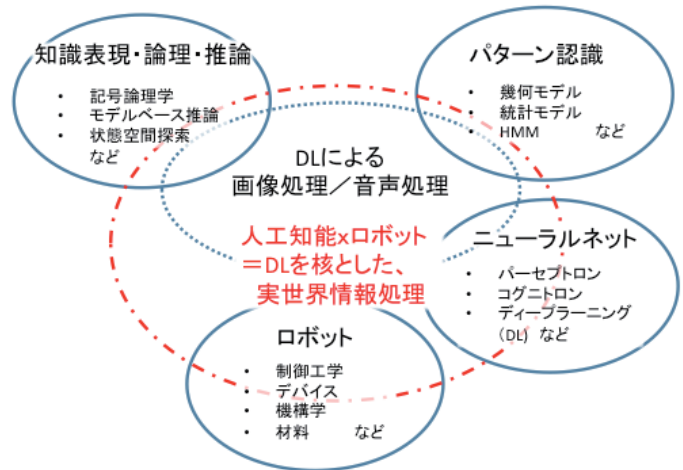


図10 人工知能×ロボット分野の技術俯瞰
出所：NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

表5 人工知能×ロボット分野の技術概要

区分	分野名	概要
人工知能技術	画像処理(画像認識)	ディープラーニング(DL)による画像認識は、入力された画像から望みの出力を得る全過程を、データを用いた学習により決定するものであり、特徴量抽出、機械学習による特徴量の分類を一体で処理する。物体カテゴリ認識、顔認識、文字検出・認識、物体検出等。
	音声処理(音声認識)	ディープラーニングによる音声認識は、HMM/NNハイブリッド方式(ニューラルネットワーク(NN)を隠れマルコフモデル(HNN)に基づく音声認識と統合するための技術)を、事前学習を援用して得られた総数の多いパーセプトロンとともに用いる技術である。
	パターン認識	所与のデータから特定のパターンを発見。データとしては画像や音響などのフィジカルなデータが代表的なものであるが、文字列・記号列のような抽象的なものも対象となる。幾何モデル、統計モデル、隠れマルコフモデル(HNN)等。
	ニューラルネット	多数のニューロンから構成されるネットワークである脳の情報処理原理を基に、知識機械を実現したものである。パーセプトロン、コグニトロン、ディープラーニング等。
	知識表現・論理・推論	柔軟な知的処理機構を推論、その推論の対象に必要なデータ表現を知識表現と呼ぶ。論理における推論をコンピュータ上で実現。
ロボット技術	制御工学	現代制御理論、PID制御、ロボット技能等。
	デバイス	CPU、メモリ、センシング技術、アクチュエーション技術等。
	機構学	シリアル型、並行型、劣駆動等。
	材料	精密板金、板金加工、試作加工、金属加工等。

出所：人工知能学大事典(人工知能学会,2017)及び各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

3 -2 技術課題

現状のロボットの問題点は、自律能力が大きく不足していること、基本的にプログラムされたとおりにしか作業できないこと、さらにプログラム作業自体が多大な人手を要すること

が挙げられる。すなわち、ロボット自身がデータを組み合わせより統合的に深く認識し理解することができず、人間のような真に汎用的な知能にはなっていない。

表6に、これらの問題を解決するための課題と解決手法の例を示す。

表6 人工知能×ロボット分野の課題と解決手法の例

課題名	課題内容	解決手法の例
物体認識	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業環境にどのようなものが存在するのかを認識できず、必要な行動を考えることができない。 ● 幾何モデルを用意してパターンマッチングで物体認識を行うという手法は、汎用性のある実用的な成果が得られていない。 	ディープラーニング等による多様な物体・環境の認識。
作業方法の学習能力	<ul style="list-style-type: none"> ● 目標状況の増加により、ロボットの作業手順や操作方法をプログラム実装する手間が膨大化しつつある。 ● 作業対象が明示的に与えられている問題しか扱えない。 	ディープラーニングと強化学習による熟練動作を組み合わせることにより、一連の作業を計画。
評価知能	<ul style="list-style-type: none"> ● ロボットは、プログラムを実行して行動しているにすぎず、自分の行動を理解して行動していない。例えば、わずかな部品位置のズレでも停止(チョコ停)してしまう。 	ディープラーニングにより、ロボット動作とセンシングデータを統合学習することで、柔軟に作業対象や環境変化に対応。

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

4章 おわりに

我が国にとって重要な産業であるロボット産業の、競争力の維持と強化のためには、現状の少品種大量生産向けのロボットから多品種少量生産に対応できるような汎用性、柔軟性を持ったロボットの開発が重要である。そのためには新しい人工知能、具体的には人工知能×ロボット技術を導入した高機能な知能ロボットを迅速に開発していかなければならない。

また、人工知能×ロボット技術は、限られた資源（データ）と限られた時間においてリアルタイムで動くことができる、身体性を必要とする知能である。そのため計算機上で実装された人工知能とは異なり、実際にロボットを行動動作させることにより課題を抽出することが必要であり、ハードウェアの特徴を活かすロボットインテグレーションを含めた人工知能×ロボット技術の開発が求められる。具体的には、産業分野、健康／医療・介護分野、空間の移動分野の様々な分野

への応用が考えられる。

図11に、本技術の展望を示す。高度な認識能力、熟練作業の理解技術、作業の自動計画技術、熟練動作の再現技術等の導入により、単純な繰り返し作業だけでなく、ロボットの自律能力が高くなり、製造分野からサービス分野まで幅広い分野で変革が起こることが期待できる。

そして、この変革は、様々な応用分野にも広がる。産業分野では、日本の強いものづくり産業の強化に役立ち、農作業分野においても農作業の高効率化の実現や人手不足の解消に貢献する。健康／医療・介護分野では、高齢化社会で必要となる福祉介護分野における入浴支援ロボットや移動支援ロボットの普及が進み、生活分野では家事ロボットや掃除ロボットの開発により生活の質の向上につながる。空間の移動分野では、近年、日本及び世界で頻発している、災害や大規模事故に際して、人による対応や活動が危険かつ困難な状況への対応力強化が期待できる。

このように人工知能×ロボット技術による高機能化は、今後の日本にとって重要であり、研究開発の進展に向けて取り組んでいかなければならない。

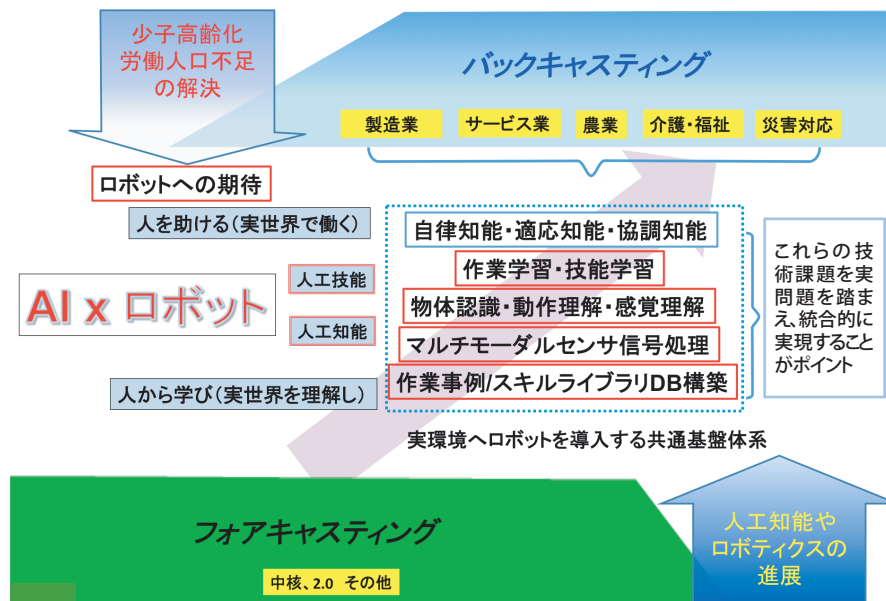


図11 人工知能×ロボット分野の展望
出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.29

人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて

2018年10月31日発行

TSC Foresight Vol.29 人工知能×ロボット分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

■ センター長 川合 知二

■ センター次長 竹上 嗣郎

■ 新領域・融合ユニット

・ユニット長 平井 成興

・統括研究員 殿川 雅也

・研究員 鎌田 久美

山本 知幸

高梨 伸彰

藤井 大地

・フェロー 中島 秀之 公立大学法人 札幌市立大学 理事長・学長
公立大学法人 公立はこだて未来大学 名誉学長

● 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。