



2014

ロボット白書

社会を変えようとするとき、
そこにロボット技術がある！



概要版



独立行政法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

～ロボット白書の編集にあたって～

近年、「ロボット技術」が転機にあるといわれるようになりました。

確かに、マスコミに登場するロボット達は、夢を与え、未来を予感させる主人公として紹介されるのが常です。私たちも、映画のように二足歩行ロボットが平然と私たちの日常生活の場で同居している姿を漠然と思い描いていました。また、素早く正確に黙々ともものづくりをこなす産業用ロボットも、日本の競争力を象徴するかのような頼もしい姿に見えました。

しかし、ロボット研究者の間では、世界中でロボット技術が進歩するにしたがって、ロボットが技術的に達成できそうなこと、達成させなければならないこと、技術的には達成するだろうが社会には容易に受け入れられないであろうことなどが、徐々に認識されるようになりました。

例えば、売上が兆円規模の大企業が、一台何円のロボットを、ターゲットを誰として何台販売し続ければ、その大組織のビジネスを維持することができるのか。そして、そのようなロボットが人間に代わってしてくれることは、機械に代わって欲しいと思うほど価値あることなのか。ロボットが社会に普及する（受け入れられる）ということは、老若男女に使われることになるが、安全性等は大丈夫か等、夢から覚めるような現実的な課題に突き当たるようになりました。

今後、ロボットが社会で真に必要なパートナー的存在として私たちの暮らしを支えつつ、技術立国と言われる日本を代表する産業であり続けることを見据え、既に多くの専門書や雑誌等が世に出されているなかで、私達は、

ロボットを取り巻く様々な課題等を見つめ直し、より現実的な視点から、今後の見通しや目指すべき姿などを整理し、国民の皆様にご理解していただくべく、本書を編集することとしました。

本書は、多く専門書と同様に、ロボットの用途、機構等によって「産業用ロボット、サービスロボット」などの分類と章構成がなされています。しかし、各ロボットに期待される役割や機能、ロボットに課せられた課題や将来の進化の方向等は異なることから、構成や記述のアプローチは章ごとに異なる箇所があり、それぞれに特徴的なメッセージも込められています。

また本書は、ロボット技術者によるロボット技術者のためだけの解説書にならないように詳細は専門書に任せつつ、専門家から一般の社会人や学生までを幅広く対象として、本書を読めばロボット技術全体が見渡せて、また、新たなビジネスを起こしたい人に対する橋渡しとして、その人が抱える課題に対してロボット技術が解決手段になりうることを伝え、最終的にはロボット産業の活性化につなげることを目指しています。

本書には、「社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！」という編集委員からの熱いメッセージが込められていますので、本書を手にした方々がロボット技術を使った新たなビジネスの可能性を発想され、ひいては、日本のロボット産業の発展や競争力の強化に貢献できれば幸甚です。

平成 26 年 3 月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部 機械システムグループ

目次

1. ロボットについて.....	1
2. ロボット利用の意義・必要性・取り巻く環境.....	6
3. 産業用ロボットの現状と課題.....	12
4. 生活とサービス領域のロボット化事業について.....	16
5. フィールドロボットの現状と課題.....	24
6. ロボットを社会実装するために.....	33

2014「ロボット白書」では、“社会を変えようとするとき、そこにロボット技術がある！”と題し、人々の生活や社会に密着した「ロボット技術（RT）」の事例紹介や、産業競争力の担い手として期待が高まっているロボット分野の市場、及び国内外の技術動向について述べた。第1章ではロボットの基本的なことから解説を行う。第2章ではロボット利用の意義、必要性、取り巻く環境について、多方面の視点からまとめる。第3章では、日本の製造業の変化と製造業用ロボットの発展形態をたどりつつ、現在のロボット産業の課題分析と将来への期待について述べる。第4章では生活とサービス領域のロボット化事業を取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を対象として具体例を述べる。第5章では、フィールドロボットについて、経済性向上、危険回避、新しい社会創造に焦点化し、そこからなるべく多くの分野に思考展開できるように配慮しつつ述べる。第6章では、第5章までのように、現在の技術からフォアキャスト型の議論ではなく、将来のあるべき未来像を描いたうえで、それに必要な技術をバックキャスト的に議論する。以降に、2014「ロボット白書」の第1章から第6章の概要を述べる。

なお、各章の詳細については、是非、2014「ロボット白書」（全文）を講読いただきたい。

1. ロボットについて

1.1. 概要

本章ではロボットについて基本的なことから解説している。具体的にはロボット及びロボット技術の定義、ロボットの歴史、ロボットの要素、そしてロボットの代

表的な事例をとりあげている。ここで記載されている内容は、現時点での一般的なものであり、次章以降に将来的な展開が述べられることになる。

まず、ロボット及びロボット技術の定義について、ここでの定義は本白書の趣旨に照らし合わせ、単に学術的・技術的なもの、つまりロボットあるいはロボットのシステムをどうつくるかといったことだけではなく、ロボットやロボット技術がどのようにつかわれるのか、その産業的、社会的な役割、将来的な展開なども視野に入れたものとなるように工夫したものである。

具体的には、「本白書におけるロボット及びロボット技術の定義として、ある対象について、それをロボット政策研究会での定義に矛盾しない程度に『ロボット』あるいは『ロボット技術』を取り入れたシステムとしてのロボットやロボット化された装置と捉えることで、当該ロボットに関心を持つもの同士の情報交換、連携活動が促進され、それにより当該対象がより発展し、その製品化、事業化、サービス産業等への展開、公共部門も含む社会実装等に結びつくことが期待される工学的製作物及び当該物の製作と、製造業分野はもとよりサービス業分野さらにはロボット化することで価値創造が可能となるあらゆる分野での利用に関わる中心技術をロボット及びロボット技術と定義する」というものである。これにより、本白書の狙いであるロボット及びロボット技術の応用的展開が幅広く読めるようになったと考えている。

ロボットの歴史については、本白書の趣旨にそったマイルストーンに注目した。工学的な観点からロボットの起源としてオートマタやからくりとするのが適切で、その後の発展のキートピックとして

- ・ 1778年 蒸気機関の回転数制御（ワット）

- ・ 1948年 N.ウィーナー「サイバネティクス」
- ・ 1954年 J.デボル 「プログラマブル搬送機」
- ・ 1958年 シヤノン&ミンスキー
「マニピュレータ」
- ・ 1961年 エルンスト「マニピュレータ」実用化
- ・ 1962年 産業用ロボット「ユニメート」
及び「バーサトラン」
- ・ 1971年 マイクロコンピュータ
などがあげられる。

ロボット技術の展開はまた、コンピュータと類似点が多いのも特徴的である。すなわち、コンピュータは計算を行う機械から始まり、半導体技術、計算機技術の進展によりコントローラとしての適用範囲が広がり、さらにネットワーク化されて人間の知能・情報処理を代替強化するシステムとして社会に浸透してきた。ロボットも人間の労働の代替に始まるが、ビジョンなどの作業対象の識別技術、これらを統合した人間型ロボットへと発展してきた。さらに人工知能の初期のような積み木の世界から、実世界を対象とする「実世界コンピューティング」と並行するように進展してきた。具体的には人間の身体能力の補完拡張として外観にこだわらない RT 技術という昇華をとげ、現在はとくに超高齢社会における社会のバリアフリー化などへの期待が高まっている。

- ・ IT よりもさらに大きいインパクト
- ・ エンベディド RT
- ・ ユビキタス RT、ネットワークによる分散協調
- ・ オープン化、相互利用性、情報の再利用性
- ・ コンピュータによる脳の外化+ロボットによる身体性の外化

などが主要なポイントである。

ロボットの技術要素の重要なものとして、ここでは RT ミドルウェアを代表とするシステム化技術が最初にあげられていることは注目に値する。すなわちシステムインテグレーション自体がロボティクスにおける基盤技術という位置付けなのである。次にあげられている環境知能化技術も従来のロボット工学にはなかった視点である。すなわち、環境を知能化または構造化することで、環境内にいる人を支援することや、ロボットが活動しやすい場を提供することが試みられている。

センサやアクチュエータももちろんロボットの重要な技術要素であるが、ロボットに限らず工業用製品として多種多様な開発・革新が進んでいる。その中でもコンピュータはロボットの重要な技術要素であるが、それはシステム構築要素としての役割であって、OS やリアルタイム技術、RT ミドルウェア、認識技術といったシステム統合技術として理解されていることが最近の特徴といえよう。

ロボットの代表的な事例としては下記のものが採りあげられているが、ここでは概略のみあげておく。詳細は2014「ロボット白書」(全文)を参照されたい。

- ① ロボットスーツ HAL ; 介護作業支援やリハビリでの利用を目指したパワースーツである。最近 CE マークを取得、ドイツでの労災保険対象となるなど現場活用の見通しが高まっている。
- ② 掃除用ロボット ロボハイター ; オフィスビルの掃除ビジネスで、サービスロボットの商用化・事業モデルを構築、実導入にこぎつけた数少ない事例である。サービスロボットのビジネスモデルの

手本とされている。

- ③ セラピーロボット パロ；セラピー用ロボットのさきがけとして医療介護での実用化を目指している。デンマークや米国で実績をあげつつある。
- ④ 災害対応ロボット Quince；レスキュー向けロボットとして開発され、福島第一原発で大きな成果をあげたことで災害対応ロボット分野のさきがけとなった。
- ⑤ ロボットカー Google Car；Google とスタンフォード大学が共同開発した自律走行可能な自動車である。街中の無人配送を目指している。米国ではこのような自律走行型の自動車の利用が認め始められており、新産業となることが期待されている。
- ⑥ 病院丸ごとロボット化；ロボット単体ではなく、病院内の業務分析やコンサルティング、システムソリューションとして、ロボット及びインフラの統合導入を実現したもので、ロボット事業の新しいビジネスモデルとして注目される。

以上は、いずれも新たなコンセプトで開発されたロボットであり、すでに実用化されていたり、実用化に近づいていたりしており、ロボットの新しい分野を切り開くものとして期待されている。

1.2. 今後の課題と提言

ロボットの定義として、単にロボットをつくる側の視点だけでなく、ロボットを利用する側からの視点にたち、社会の多様性を取り入れたものを提案した。この定義がもたらす効果は現時点では未定であるが、この定義にそって様々なロボット政策、研究開発活動、産業活動等が

体系的に進められることにより効果を発揮できると思う。すなわち、ロボットに関わることで社会を発展させてゆこうという関心・意図をもった人々のコミュニティを育てていくこと、それにより新しいロボット応用を共創してゆくことがこれからの課題であろう。なお、その実践にあたっては、本白書がロボットについての技術的なことから産業活用、社会活用など、導入を考える際のヒントとして役に立つものと考えている。

2. ロボット利用の意義・必要性・取り巻く環境

2.1. 概要

ここではロボット利用の意義、必要性、取り巻く環境について、世界的視野、産業、展示会・イベント、ロボット関連所管、地域、学会・講演会、規格・標準化など多方面の視点からまとめた。ロボットは工場など製造業用を中心に生産性向上、品質の安定化、また、人が容易に近づけない場所での作業を中心に発展してきた。最近ではクリーナーロボットなど民生用にも100億円以上の市場ができ、医療、福祉、農業などにも利用が広がって来ている。特に期待の高い応用先として災害対応と福祉・介護があげられ、ロボット技術の果たす役割は単なる市場創出だけではなく、世界の環境保全への貢献としても大変大きなものである。国や地域で連携したロボットの取り組みも常態化してきた。今後の普及を鑑みて標準化に向けた活動も盛んである。ミドルウェアの仕様はOMGにて国際標準に採用され、生活支援用ロボットもISO認証を取得するに至った。イベントにおいても使うシーンを想定したロボットの展示が増えている。ロボットの応用は広がって来ており、家電、自動車や医療機器

などにもロボット技術を取り入れたものが多くみられるようになり、新しい産業になりそうな勢いである。これらはロボットの開発環境がまさに整いつつあり、新たにロボットに参入しようとする動きを表している。高品質のものづくり、医療、福祉、災害などに向けた新しいサービス用ロボットの市場が作られつつある。また、一方で、産業用ロボットでは、いまだ世界トップであるが、諸外国に追いつかれつつある。実用化に関しては、話題は米国からのものが多い。米国では国家イニシアチブとして、また、欧州では Horizon2020 などしっかりとしたプロジェクトがあり、我が国としても見通しを持った骨太な方針が求められている。

産業用ロボットにおいては、高い技術力や製品信頼性を向上させつつ、教示レス化や新しい分野への応用、ロボットによる新しい生産方式が期待されている。

サービスロボットは人の生活を支援し活力ある社会を築くために、ネットワーク技術とうまく融合したモデルの形成が重要である。たくさんのアプリケーションができ、ユーザのニーズに応じたサービスを早く、安く提供することができるようになれば、その効果は計り知れない。まさにそのようなプラットフォームの完成を急ぐべきである。

また、教育は人材育成の観点から、あらゆる分野において産業や社会を支えるものである。ロボットを題材とした教育、教育体制は、課題解決能力の向上ばかりでなく、異分野交流、ロボット技術の社会への普及、シニア人材による技術伝承も含め、欠かすことのできないものである。

(1) 導入ポテンシャル

2010年に経済産業省と NEDO がロボット産業の成長を可視化するために 2035 年に向けた将来市場

(国内生産量)の推計が行われた。その結果、2015年1.6兆円、2020年2.9兆円、2025年5.3兆円、2035年9.7兆円と予測された。

2013年7月には「ロボット産業市場動向調査」で2010年の市場予測のフォローアップが足元市場規模として実施された。中国市場が急速に拡大し、日本を含めドイツ、韓国が市場獲得に動いている状況である。

(2) 産業用ロボットにおける意義・必要性

我が国で産業用ロボットが普及し始めて30年余りが経過した。この間産業用ロボットは多くの製造現場で利用されるようになってはきた。産業用ロボットは多くの3K作業(危険、汚い、きつい)から作業者を解放し、安定した品質の製品の提供、熟練労働者不足を補うなど世界のものづくりに大いに貢献してきた。また今後は少子高齢化による更なる労働力不足や、熟練工の減少が予測されており、産業用ロボットに対する期待はさらに大きくなっている。

また、新しい分野として、食品・薬品・化粧品の研究・開発・製造分野で産業用ロボットの導入が期待されている。特に、薬品分野での試薬・検体分析前処理ロボットでは、熟練した検査員が行う場合に比べてデータのバラつきが少なく精度の高い実験データを得ることが可能で、病原菌ウイルスを扱うような危険な作業環境から検査員を解放することができる。

一方で、産業用ロボットの課題としては、依然として教示方法があげられる。ティーチングペンダントを用いた教示では、多関節型ロボットを意図するように操作するまでにはある程度の訓練が必要なうえ、関節の多いアームや複数のアームを協調させる最近のロボットシステムの場合は、熟練した教示者でもかなりの時間を要する作業となっている。今後より複雑になっていくことが

予想されるロボットシステムにとって教示作業の簡易化が最も大きな課題である。教示には、動作軌跡教示、エアカット教示、スキル教示、画像処理技術を取り込んだビジョンセンサ教示などがあるが、いずれも専門性が必要とされている。今後は究極の課題として教示レスを実現する必要がある。これにはロボットの智能化が不可欠であり、多くの研究成果の統合や、研究機関の協力が必要である。

(3) 社会におけるロボットの意義・必要性

A) 超高齢社会におけるロボットサービスの必要性

超高齢者社会に突入した我が国では、高齢者・障害者の生活支援・社会参加を実現するために、身体機能の補助や商業施設などにおける案内支援・情報提供、家庭での生活支援、コミュニティ形成支援、介護者の負担軽減のためにロボットやロボットを用いたサービスへの期待が高まっている。高齢者・障害者に、あたかも子供や孫と話をしているような感覚を提供することができる。これらの機能が社会参加の促進に役立つことが実験から明らかになってきており、サービスロボットの開発によって、健康を長く維持して、自立的に暮らす、生きがいをもって働けるうちはいつまでも働き、社会参加する、などが可能になり、その成果が、そのまま超高齢社会に対応した新産業創出とグローバル展開の原動力になることが期待されている。

B) ロボットサービスプラットフォーム

環境（空間）、ロボット、ユーザの違いを把握し、多くのロボットを管理してサービスを提供するためには、ロボットサービスシステム・アーキテクチャが必要である。また、そのサービスが普及するためにはコストパフ

パフォーマンスの問題もある。あるロボットサービスシステムが開発できたとしても、提供されるサービスの価値がコストに見合うほどに高くなければ普及しない。複数のサービスを1つのロボットサービスシステムで提供できるようになれば、新しいサービス提供事業の形態が生まれ、これまで価格が見合わなかった事業もトータルとして見合う事業に変わっていくことが期待できる。そのために、IT 事業に深く関わっている開発者がサービスロボット分野に参入しやすいプラットフォーム作りが課題である。

(4) 教育におけるロボットの意義・必要性

A) ロボット教育の必要性

日本は、現在、少子高齢化が急速に進んでおり、日本の国際競争力を支えてきた高度科学技術人材、ものづくり人材が急速に減少しつつある。また、科学技術白書によれば、日本人の科学技術への関心、理解度が大幅に低くなってきているという現状がある。こういった状況の中で、理科離れ対策、ものづくり人材育成の手段として、ロボット教材の活用やロボット工作教室の開催といったロボット教育が注目を集めてきた。また、国内各地では、ロボットコンテスト活動やロボットホビー専門誌が発行される等、一般社会におけるロボットの人気も高い。

ロボット技術は、コンピュータからモータ制御、センシング技術、機械要素といった横断的、総合的な技術の結晶である。そのため、課題発見能力、自己解決能力を涵養する PBL（問題解決型学習）法等により、複数の要素技術を統合し、統合したシステム全体を最適化する能力を身につけさせる構成論的な教育に適しているといった特長がある。そのため、小中学生を対象とした理科教育から企業の技術者の教育まで、幅広く活用可能な

教育教材、教育手法を実現できる。

B) ロボット教育の課題

ロボット教育の課題として、今後は、次の3つの方向性がロボット教育にとって重要となってくる。1つ目は、異分野のコミュニティを活用することによる人材育成の試みである。例えば、地域コミュニティによる若年層を対象としたロボット教育活動があげられる。地元の企業や放送局等を巻き込み、地域全体の交流活動として位置づけることが効果的である。

2点目は、社会実装という視点のロボット教育への導入である。第4期科学技術基本計画に係わる様々な資料に「技術の社会実装」という視点が指摘されている。最後の3点目は、シニア人材活用である。文部科学省の平成18年度科学技術白書において、将来、日本の少子高齢化が技術者・技能者の人材不足を招くことを既に指摘しており、年齢にかかわらず活用できる人材の確保と働ける環境の整備が求められている。これは、学校教育の現場はもとより、企業における人材育成の現場で非常に深刻な問題である。現状の日本の状況では、この問題に対してはシニア人材活用が有力な解決策である。シニア人材の持つ、人間力、知識、経験を次世代の技術者に伝承していく道筋を確立する必要がある。ロボット教育には、多方面の技術に明るい技術者が適任であることから、多くの経験を持つシニア人材の有効活用が効果的である。

2.2. 今後の課題と提言

本章では、ロボットを取り巻く環境について、多様な視点から概観し、産業用ロボット、社会に貢献するロボット、教育におけるロボットの意義や必要性について

述べた。今後の期待としては、高齢者や若者が安心して暮らせるような医療や福祉の整った社会、災害などの被害を最小限にとどめる社会、宇宙や深海などのフロンティアを追求できる社会を実現するために、ロボット技術はその中核となること。安価で信頼性が高く提供されるロボットと、センサやスマートフォンが連携して、ロボットサービスが普及することがあげられる。

それらの実現に向けて、産業用ロボットにおいては、熟練作業者の技能を伝承できるようなスキルの獲得・教示技術、多種多様な製品を生産できる知的なロボットとともに、人と役割分担して一緒に楽しく作業できるような安全で協調性を備えたロボット技術が必要である。一方、サービスロボットでは社会の中で自然に受け入れられるようなインタフェース技術やロボットサービスプラットフォームを利用し、物流やITとシステム化されたサービス開発を実現する必要がある。

ロボット教育はあらゆる世代に好奇心と創造力を高める特徴がある。そこで、すべての年代層の日常生活・文化・趣味などにおいて、教育・体験・社会参加を促進する直感的なインテグレーション技術が必要である。また、チャレンジングな課題設定に対するブレイクスルーは、新たなサービスを実現するロボット開発・実用化を加速させる。

これらを推進するための施策、体制、制度などを総合的に考えて行くことが重要である。

3. 産業用ロボットの現状と課題

3.1. 概要

産業用ロボットの現状と課題について、高度経済成長期以後の日本の製造業の変化と、ロボット産業の発展経

緯を重ねあわせることからスタートして、日本の製造業、生産財産業、ロボット産業の抱える課題について分析した。

1970年代のオイルショックにより、それまで生産能力拡大により成長してきた日本の製造業は、生産効率を問われるようになったという社会的背景と、おりからのマイクロプロセッサとサーボモータの実用化普及という技術的背景から、プログラマブルな産業用ロボットが登場し初期成長を遂げた。初期の成長は、日本の優秀な生産技術者の進取の気性に支えられて急拡大した。一方で機械としてのロボットは、ACサーボ化、アブソリュートエンコーダ化、コントローラプロセッサの高速化、減速機など構成機器の高信頼化など技術的にも安定した生産財となって日本の製造業に定着した。ロボット産業の初期成長をリードしたのは自動車産業における溶接用途で、以後現在に至るまで最重要用途である。

1990年代初頭のバブル経済崩壊とともに拡大基調であったロボット市場も足踏み状態に入る。製造業の投資対効果の評価の目は厳しくなり、産業用ロボットの市況は厳しいものとなった。しかし、振り返ってみると、ロボット産業が初期成長時期の期待先行傾向型から、利用価値評価型に成熟する、という重要な期間でもあった。この時期に拡大したロボットの有効用途は液晶・半導体などの電子デバイスのクリーン製造プロセスである。

ITバブルに連動して2000年にそのクリーン製造プロセスとその下流である情報機器への集中設備投資が発生し、ロボット産業も需要急増を見たが、単年度で崩壊し2001年の需要激減を迎えた。1990年代初頭のバブル経済崩壊以来、ロボット産業2度目の試練である。しかし、その後のロボット産業は再成長ともいえる状況となり、2005年には日本製の多関節型ロボット

出荷台数は過去最高の 81,000 台に達している。この再成長は、中国を嚆矢として始まった世界の製造拠点のアジア新興工業国へのシフトを背景としている。また一方では日本国内製造業の空洞化への懸念から、同時に国内製造業ではより、フレキシブルな変種変量生産に対応したセル生産へのロボット適用などのチャレンジ気運も立ち上がっている。

このように、産業用ロボットの歴史も 30 年を超えたわけであるが、経済的技術的背景から社会が期待する価値は変化し続けている。1980 年代の初期成長期にはより良いロボットを追求し、1990 年代の用途厳選模索期には価値あるロボット用途を求め、2000 年代の再成長期にはより良きロボットソリューションを目指す、といったように、機械としてのロボットから有効な生産システムを構成する生産財へとの変化である。最近ではこの変化により、ロボット産業においては、最終的に生産システムとしての価値を産みだすシステムインテグレータとしての位置づけがクローズアップされている。より難しい生産アプリケーションを実現することにより実現できる内需再生においても、アプリケーションの未発達な新興工業国で価値の高い生産システムを実現する海外新市場拡大においても、ロボットの良し悪しより、システムインテグレーションの巧拙の方が、市場拡大には大きな影響を及ぼす。

2008 年後半から 2009 年にかけてのリーマンショックはロボット産業にとっても 3 度目で過去最大の試練となったものの、急回復により 2011 年には多関節型ロボット出荷台数は 98,000 台超えの過去最高となった。ただし、これは海外需要の急回復によるもので、ロボット産業はリーマンショック以降極端な海外需要依存型産業となってしまった。これは日本の生産財産業

全体に通じる事情であり、ロボット産業や生産財産業独特の状況というよりは、日本の製造業の試練そのものに繋がっている。

3.2. 今後の課題と提言

産業用ロボットは、2012年の出荷で95,551台3,031億円、うち直接輸出66,871台1,792億円で輸出比率は台数で70%、金額で60%となっている。台数規模としては過去最高レベルにあるのが現在の産業用ロボットの姿である。アジアを中心とした市場の拡大は大いに喜ばしいものの、急激なグローバル化とそれに伴う国際競争の激化のきざしは、これまで需要側でも供給側でもロボット大国であった日本に変化点が訪れていることを示唆している。

自動化機器を代表する産業用ロボットの内需の縮退が示す、日本の製造業そのもの試練に立ち向かうことと、ロボット産業の振興策は同一の目的を持つものである。まずは、国内経済活力・雇用確保の両面で、国内製造業の活性化が望まれる。日本は他の新興工業国でも可能なものづくりのレベルに留まっているようでは勝ち目が無く、世界の最先端のものづくりを追求し続ける必要がある。そのためには、これまで実現できなかった難しい作業のロボット化や、これまで使えなかった製造分野でのロボット適用に果敢に取り組む必要がある。

次に、グローバル市場においてこれまで培ってきた日本のロボット産業の強みを活かすための技術や体制を整備することである。日本のロボット産業は、ロボットメーカーだけでなく、数多くのシステムインテグレータに支えられてきた。市場のグローバル化はロボットメーカーにとっては輸出強化であるが、国内の経験豊かなシステムインテグレータにとってはビジネスモデルそのもの

の再構築になる。これは単にロボット産業の問題としてではなく、日本の生産財産業全体の課題として捉える必要がある。

さらに、日本のロボット産業は、国際技術競争力をどこに求めるか、についての議論も深める必要がある。機械製品である産業用ロボットは、見よう見まねで到達できるレベルもある。しかし、そのレベルの価格競争に巻き込まれることは得策ではない。組み合わせ技術の良し悪しで競争するのではなく、まず、本来の機械技術、材料技術など本質的な要素技術を深めること、次に、生産システムとして優れた付加価値を見出すこと、に注目する必要がある。

最後に、厳しい国際競争に打ち勝つには、各企業間で切磋琢磨する自由競争に任せることが基本であるにせよ、共通的課題や協業的体制により国際競争にあたることも必要で、業界団体、学会、公共機関の横断的活動を活かした、産産連携、産学連携、産学官連携など、課題に応じた取組体制の構築が望まれる。

4. 生活とサービス領域のロボット化事業について

4.1. 概要

産業用ロボットとフィールドロボットが対象としていない領域を、生活とサービス領域と呼び、一般の人たちの普段の生活に密接にかかわる製品やサービスを取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を本章の対象とした。ロボット化は、ロボット技術を目的に応じて必要なだけ対象となるシステムに組み込むことを指すが、これはこの領域における“ロボット事業”を生み出していく

うえで特に重視している視点となる。この視点を重視することは、ロボット産業を、ロボットを作る産業にとどまらず、市場で求められる製品やサービスならびにそれらの事業化のプロセスをロボット化することによって生まれる産業にまで拡張して捉えることを意味している。

ロボット化は、すべての製品やサービス、その事業化プロセスに組み込みうるが、そうすることが事業性を高めることにつながらなければ意味を持たない。そこで本章ではロボット化事業を成功に導く道しるべとなるように、(1) ロボット化によって生み出される事業がこれまでどのようなビジネスモデルや対象領域においてうまくいしつつあるのか、(2) それらを支える研究・技術が現在どのようなレベルにあるのか、また、(3) 新たな産業創出に際して重要となる法制度や規格、国の支援策や(4) 主要国の動向についても取り上げている。

(1) 主な事業分類と事例

ロボット化事業の立ち上げを検討する際に特に重要となる2つの視点から事例を分類している。その2つの視点とは、どのようなビジネスモデルをとるかという視点とターゲットとなる中心的な顧客が誰で、どのようなベネフィットを提供するのかという視点である。前者については以下の4つのタイプで分類した。①既存製品をロボット化した製品の開発・販売事業。自動車、家電、介護・福祉機器などすでに市場を形成している製品にロボット技術が組み込まれることにより、従来にない顧客価値をもつハードウェア製品の開発、製造、販売事業。②サービスプロセスのロボット化によるサービスイノベーション事業。ロボット技術を組み込むことによって、サービスプロセスをリエンジニアリングし、生産効率を劇的に高めたり、新たな顧客価値を提供したりする

サービス事業を創出する事業。顧客に提供されるプロダクトはハードウェアではなくサービスとなる。③ロボット技術を活用したトータルソリューション事業。ロボット技術の活用により、個々の顧客の課題に対する最適なソリューションや顧客価値を最大化するプロダクトの組み合わせを提供する事業で、提供するプロダクトはハードウェア、ソフトウェア、コンテンツ、サービスといったホールプロダクトの形態となる。④サービスロボット開発・販売事業。従来の技術では困難であった機能を持つ既存製品にはないカテゴリーのハードウェア製品の開発、製造、販売事業。

後者の視点での分類は用途分類である。以下の9つの用途あるいはターゲット市場をあげている。①日常生活、②エンターテインメント、③生活福祉、④教育、⑤医療、⑥施設・オフィス（清掃、警備、会議）、⑦ホテル・外食、⑧移動（モビリティ）、⑨都市空間（広告、公共、流通、物流）

以上の2つの各分類を掛け合わせた事業の中からの領域における事業創出に参考になる事例を、その事業の立ち上げや推進に関わってきた人に直接執筆していただいた。①既存製品のロボット化事業の例としては、最近急速に導入が図られるようになっている自動車の危険回避のための機能とその先にある自動運転技術を搭載した自動車、②サービスプロセスのロボット化については、先進的警備サービス事業、学習塾のサービス事業、③ロボット技術を活用したトータルソリューション事業としては病院まるごとロボット化事業、④サービスロボット開発・販売事業の事例として、セラピー用アザラシ型ロボット「パロ」やロボットスーツHAL、などの具体的な事例について最新の状況を紹介する。

(2) 研究・技術の動向

ロボット化産業を支え、またその中でイノベーション創出の鍵を握る研究と技術について基本研究・技術領域と注目研究・技術に分けて重要性の高い以下のテーマについて紹介した。ここでも、取り上げた各テーマについてそのテーマの研究の第一人者の方々に執筆していただいた。

基本研究・技術領域で取り上げたテーマは、ロコモーション、マニピュレーション、コミュニケーション、通信・ネットワークの4テーマである。また、注目研究・技術については、安全工学、空間知能、サービス工学、ヒューマノイド、BMI、認知発達システム、生活デザイン、高齢者クラウドの8テーマである。

ロボット化はさまざまな要素研究・技術のインテグレーションであることから、関係する研究・技術領域は極めて広範にわたるが、紙面の都合からここではかなり絞り込んだテーマのみを取り上げた。本章で一貫して述べてきたように産業化や社会への実装を考えた時にロボットを作ることではなく、ロボット化が重要であるとするならば、これからはロボット化する対象となる空間やサービスや生活や社会をどのようにシステムとしてデザインするかと言うことが非常に重要になってくる。注目研究・技術では、そういった観点からのテーマをいくつか取り上げた。

(3) 産業化推進施策と関連法令

ロボット化は、性能とコスト、パーソナライゼーションとマスプロダクションといったトレードオフの関係をシフトさせ、従来では実現できなかった変革をもたらすアプローチとなりうる。したがって、本章の対象である生活とサービス領域のロボット化は、現在の社会や生活を満たしている旧来からの製品やサービスの間隙製

品としてではなく、全く新たな社会システムや生活スタイルに変革する手段となりうる。例えば、過去に直面したことのない超高齢社会によるさまざまな課題に対しても、新たな解決策を見出すことにつながることを期待できる。しかし、こうしたアプローチを取ろうとすると、既存の社会や生活を規定している法制度やその中で自然と行われてきた慣習、場合によっては考え方まで影響を受けることになる。想定される問題を抽出し、新たな社会や生活の姿を提示し、多くの人たちが参加する形で社会的な実験を試みながら進めていく必要がある。こうした変革のプロセスを念頭に置きながら、これまで多くの、国による推進施策が展開されてきており、特に最近、省庁連携の施策が積極的に推進されている。例えば、その一つである「ロボット介護機器開発・導入促進事業」は、経済産業省と厚生労働省が共同で策定したロボット技術の介護利用における重点分野であるロボット介護機器の支援事業で、要介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減を実現すると同時に、ロボット介護機器の新たな市場創出を目指した事業である。

また、ロボット化の促進に大きな影響をおよぼす主な法令や制度についてもふれている。たとえば、自動車の自動運転や公道走行を想定した新たなモビリティに対する道路交通法や道路運送車両法、無人飛行体に対する航空法のほか、電波法、不正アクセス禁止法や個人情報保護法、製造物責任法、外国為替及び外国貿易法による輸出規制などを取り上げた。これらの法規制は、必要に応じて規制をより厳しくすることで産業化が動き出すものもあれば、規制を緩和して市場が形成されるものもある。後者については特区の仕組みを活用し、社会実証実験を行って、その効果の測定や規制の最適化をはかっていくことが必要である。代表的なロボットに関する特

区として、つくばモビリティロボット実験特区の取り組みを取り上げた。

サービスロボットについては規格化・標準化の取り組みも活発化しており、特に対人安全性に関しては日本が主導して規格を策定していこうとしている。安全性に関する試験方法、安全基準、安全認証等の制度設計に関する研究などと同時にこれらの試験や試験データに基づく基準作成などの中心的役割を果たすべく設立された「生活支援ロボット安全検証センター」についても紹介している。他には標準化という観点から、ロボット機能要素のソフトウェアモジュールを組み合わせてロボットシステムを構築するソフトウェアプラットフォームである RT ミドルウェアやロボット用のオペレーティングシステムとして普及が進む ROS についても紹介している。

(4) 海外の主要国の状況

研究を中心とした取り組みでは日本が長らく優位であったが、産業化や社会への導入では足踏みをしており、いくつかの国々の動きが活発化し、うかうかしてられない状況になっている。高齢者や要介護者への対応に積極的にロボット技術の導入をはかろうとしているのはデンマークなどの欧州の国々やオーストラリアである。また、国策による重点投資により、ロボット分野に対する手厚い産業化支援を行っている韓国や今後、他の産業同様に成長が加速すると考えられる中国についても取り上げている。特に注目すべきは米国である。米国はこれまでも新たな産業創出の起点となってきたが、ロボットにおいても、無人走行自動車開発の DARPA チャレンジやネバダ州における自動走行車の公道走行を認める法律の施行、災害現場対応課題クリアを掲げたヒューマノイドロボティクスチャレンジなどロボット技術に

よるイノベーションを創発するような環境整備が打ち出されており、我が国にとって脅威である。

4.2. 今後の課題と提言

これから先、さらに変化が進む社会の姿は成熟社会と高齢社会である。両者に共通しているのは個人が必要とするものや欲求するものが個人ごとに異なり、その個人の満足を充足するデマンドが高まるという点である。

成熟社会における個人は自らの満足を満たすために選択し、行動する。その満足は自らのあるべき姿を実現することによって満たされるようになってきている。したがって、企業は生き残りをかけて個人の満足を実現するための競争優位な製品、サービスを、個人のこの自己実現欲求を引出し、明確化し、それを各個人と共創しながら実現していくという方向に向かっていくことになるであろう。

加えて、成熟社会ではより人間らしい生活や仕事を求めるようになる。人間がやるべきことや人間がやった方が望ましいことは人間に、そうでないことは人間に代わる機械システムが担う、人間を系の中に含むシステムが求められるようになるであろう。この場合も、個人によってどこまでを機械システムに担わせるのが最適であるかが問題となる。以上のような個人への最適化は、個人の特性や状態を把握し、個人が望んでいることを、対話を通して知り、それに対して適したサービスを提供することによって可能になるが、これらはロボット技術を組み合わせることによって、コストの観点からもアウトプットの観点からも従来の方法では困難な高いレベルで実現可能である。

一方、高齢社会については、高齢化率が世界でもっ

とも高い日本において、高齢化によって生じる課題の解決が喫緊のテーマとなっている。その解決がはかれれば、今後、多くの国々が同様に直面することになるこの課題の解決策を提供することができる。しかし、この課題はさまざまな要因が相互に関係しあって容易に解決できる課題ではない。高齢になるほど、身体機能が否応なく低下していくばかりでなく、社会への参加機会や日常生活における活動の場や機会が減少していくことが多く、これらが相互に悪影響しあって、健康という面からも経済面からも負の循環に陥っていく。しかも、この状況は個人によって千差万別である。個々の高齢者の心身の状態や活動の状況を把握し、対話などを通して興味や目標を引出して、その実現に必要な身体機能を補ったり、活動の場への参加を促したりすることが必要になる。ロボット技術の導入は、必要とされる身体機能のサポートや拡張、状態の検知や予測などを可能とし、従来ではできなかった大量の個人への経済性の高い最適化を実現可能とするであろう。

また、今後は第 1 に個への最適化、個の満足を実現するためのロボット技術の高度化とそれをビジネスとして成立させるビジネスモデルの創出が課題となってくる。特にこれまでロボットの産業化ではビジネスモデルの検討は後回しにされてきた。ロボット産業と言ったときにロボットを作る産業だと思ってしまう視点を、ロボット化産業と読み替えることによって、ロボット技術によって顧客価値を生み出す産業であるという視点に転換することが重要である。ビジネスモデルという観点からは、個々の顧客の満足を充足するためにはトータルソリューションの提供という形になると考えられる。

第 2 に個への最適化と同時に社会全体としての最適化をどうするかという問題を解決しなくてはならない。

個々人間の関係性をコントロールし、従来の方法では実現しえないレベルでコストとベネフィットの観点からコミュニティ全体、社会全体として最適化することが必要となる。どのように統合化するかには、コミュニティデザインや社会システムデザインの方法論が必要となる。すなわち、社会全体として最適化するという問題に應えるために、個々の最適化をマスとしてコントロールするための、環境や社会の状態をセンシングする技術やビッグデータ、移動体の制御などのロボット技術の開発・適用に加え、より重要なのは社会システムデザインの方法論の確立とそこから導き出される仮説を検証する社会実証の方法を確立しなくてはならない。また、こうした方法論を身につけ、社会システムやビジネスシステムを生み出そうとするアーキテクトの養成が不可欠である。

5. フィールドロボットの現状と課題

5.1. 概要

フィールドロボットは、狭義には屋外環境で稼働しているロボット、広義には屋外、もしくは、屋内外で活動する遠隔操作機械として定義される。自動車は、自動車産業としてとり扱われるので、本白書に記載する新視点でのフィールドロボット分野では、フィールドロボットに含められるものである。

フィールドロボットは産業用ロボットに比べても遜色のない長い歴史をもっているが、期待の大きさにも関わらず、本格的な市場投入は、これからという状況にある。フィールドロボットのこれからの市場を考えるときは、ロボット単独での市場を考えるのではなく、ロボットが必要とされる社会の到来、もっといえば、現代が抱えてい

る安心・安全の確保、少子高齢化、環境保全等の様々な課題を解決できる社会づくりに新しい解答を与えるものの一環として、フィールドロボット・ロボットシステムがあるという観点が肝要である。

上記の考え方に立ち、本章では、フィールドロボットについて、経済性向上、危険回避、新しい社会創造に焦点化し、そこからなるべく多くの分野に思考展開できるように配慮して述べる。

(1) 開発現状と市場

A) 建設・土木分野

建設、土木分野に活用されるロボットは、1990年以前の初期開発では、労働環境の改善による作業者の確保が中心であったが、バブル崩壊によって、その目的は経済性追求に変更された。したがって、大学における建設ロボット研究開発プロジェクトや企業において、コンクリート床仕上げロボット等の特定作業用ロボットが数多く開発されたが、これらが人に代わって大幅に導入されることはなかった。また、ビル建設を工場化するような自動建築システムも導入されたが、コスト面での制限もあり、現在ではほとんど使われていない。しかし、近年になって、ビル解体作業に同じような自動化システムが利用されつつある。今後、更なる高齢化の進展に伴って、これまでの知見を活かしたロボットシステムが導入されていくであろう。

B) 社会インフラ保全ロボット

社会インフラ保全ロボットは、主として、橋、トンネル、公共施設等の構造物検査の自動化要求に対して開発されてきた。しかしながら、市場といえるほどの市場が育っているとは言い難い。この主たる原因は、対象構造

がロボット化を全く想定していないこと、検査方法の人的依存度が大きい等、ロボット導入障害が大きい割に効果が薄いことによる。これまでの、インフラの保全は人との共存を図りながら、ロボット化を進めてきたが、国土強靱化構想で計画される社会インフラについては、建設段階からのロボット化を考えた構造がとられていくことによって、ロボット化が大きく進展していくはずである。

C) プラント保全分野

石油プラントに代表される化学プラントは、老朽化が進み、保全はプラント寿命延長に不可欠である。しかし、この分野は社会インフラ保全分野以上のアクセス性の悪さと、検査の困難性から、ロボット化が大きく進んではいない。しかし、ベテラン保全員の減少もあり、経済性、簡便性、高度な検査性を有するロボットの開発と運用手法の双方が高まっていく中で、比較的人との競争力の高い配管やタンクの検査、補修を中心にして、ゆっくりとしたロボット導入が進むであろう。

D) 農業分野

農業従事者の高齢化は深刻な問題である。したがって、農作業の負荷軽減のためのロボットとして、トマトやイチゴの収穫ロボット、土壌消毒ロボットなどの個別ロボットの開発が進んでいる。また、外国の大規模農場では、農業機械の自動化によるロボット化が着実にすすんでいるが、日本では狭い耕地や中山間部の地形の複雑さから、稼働率の低下や高価格化がロボット導入の阻害要因となっている。したがって、現状の阻害要因を如何に解決できるかが、農業ロボット導入の鍵である。一方、高齢化はすでに限界にあり、従来農業機械の高度化による

ロボット化、また、植物工場に見られるような新しい農業システムとの連携によるロボット導入は、避けて通れない状況にある。また、林業を含めた農業分野ロボットを経済性追求からのみとらえるだけでなく、食糧安全保障や国土保全システムの一環としてとらえることで、ロボット導入の意味は大きなものとなるはずである。

E) 災害対応ロボット

東日本大震災以降、災害に対する関心が飛躍的に高まり、災害対応ロボットへの関心も大きなものがある。しかしながら、福島第一原子力発電所対応ロボットにもみられるように、日本では、災害対応ロボットの定常的な市場がなく、軍事用ロボットを水平展開できる欧米諸国とは市場形成力に大きな違いがある。しかしながら、災害で失われる人的、経済的損失は無視できないものである。災害列島であるともいえる日本においては、人命救助とそれに携わる従事者の安全確保の観点から、国や社会維持の観点での政策的市場育成が行われれば、災害ロボットの導入と実用化が進展していくはずである。

F) 原子力分野

原子力分野では、放射性物質を扱ったり、高放射線環境下で行わなければならない作業が存在するために、作業員の被曝を防止・低減させる上で、ロボット技術を適用し、遠隔操作によって作業を行うニーズが多く存在する。そして、原子力プラントや核燃料再処理施設をはじめとする様々な施設において、それぞれのニーズに応じた遠隔操作機器の開発、導入が行われてきた。

2011年3月11日に生じた東日本大震災と津波によって、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故への対応、及び廃炉にむけての中長期措置

において、極めて多様で重要なロボットや遠隔操作機器のニーズが発生した。また、事故発生直後、原子炉建屋の周辺は放出された汚染物質により放射線量が非常に高く、作業員が接近することも非常に困難な状況であり、様々な場面でロボットなど遠隔操作可能な機器の活用が求められた。この多様なニーズに対し、これまでに様々なロボット技術が投入されており、これから廃炉に向けて、さらなるロボット技術の開発・投入が求められている。

G) その他のフィールドロボット

近未来も含め、大市場となることは難しいように思えるが、夢の実現、環境の特殊性、技術的困難性が高いロボット応用の分野として、①宇宙、②海洋、③軍事用などがあげられる。しかしながら、軍事用ロボットは使用目的が特例であり、基本機能において、共通要素はあるにしても、他のフィールドロボットとは、別区分にすべきかもしれない。

(2) 技術

フィールドロボットは、移動と作業の双方を持つものが多く、一般にいうロボットの要素技術のすべてを備える必要がある。また、屋外環境下で活動することから、フィールドロボットに特筆すべき技術として、以下の考慮が必要となる。

- ・自然環境への適合：自然環境は不確定要素、時事刻々の状況変化、また、その環境を人が制御できるものではない。たとえば、昼夜、雨天、風雨、低高温、砂塵等への環境変動対策が代表的なものである。
- ・不整地対応：主として、道路を走行する自動車との大きな違いが、モデル化の難しい不整地適合性である。
- ・支援環境の設置：一方で、ロボットの適応地域にロボ

ット用インフラを用意すれば、その活用が実用化を促進する。その代表がGPSである。

A) 建設・土木分野

従来の有人運転機械を無人化し、フィールドロボット化を促進したのが高精度GPSの活用である。大規模鉱山等では見通しが良く、GPS電波の遮蔽がおこりにくく、また、道路幅確保によるある程度の走行誤差を容認すること、また、鉱山内という管理された環境内で人の安全管理を行うことで、信頼性の高いナビゲーションを可能としている。

無人化施工は日本で実用化された優れた建設ロボットの遠隔操作システムである。このシステムは、雲仙普賢岳爆発に伴う予期せぬ火砕流から施工者を守るために、数km離れた安全な場所から無人建設機械をテレビ画像とGPSを活用した遠隔操作や自動運転を組み合わせ、除石工事等を遂行した。その後、有珠岳噴火対策、豪雨による土石流対策、そして、福島第一原子力発電所事故時の緊急対応やがれき処理等に活躍している。

建設工事は様々な作業環境下での作業を必要とする。したがって、個々の作業のロボットよりも、工事の全体をシステムとして取り扱うことにより、その効果をより大きくできる。そのためのシステム技術として、ICTを活用した情報化施工（国土交通省）が開発されている。

B) 社会インフラ保全ロボット

社会インフラ保全ロボットの特徴として、難所アクセスがある。吸着によるコンクリート壁面移動、磁力を用いた鉄構構造の移動、送電架線の移動、垂直梯子移動、下水管走行等、多くの挑戦的例がある。しかし、アクセス手法が特殊であることが、汎用適用に向かず、発想を

変えたアクセスシステムの開発が必要であろう。また、動力と通信の確保も重要であり、主として有線式の場合、電線処理に多くの提案がなされている。

C) プラント保全分野

プラント保全における特徴的技術の一つは、配管や建屋構造物へのアクセスである。特殊機構の応用、磁力の応用等によって曲がり配管やバルブ通過等、多くの開発例があり、タンク壁面検査装置等、一部の適用例がある。また、走行の妨げになるケーブル処理手法についても、独創的提案が示されてきた。しかし、一長一短もあり、また、ロボット故障時の配管閉鎖に対する一般解がなく、今のところ限られたところの実用にとどまっている。

プラントやインフラ保全の最初の要求は、対象の健全性の検証といえる。したがって、超音波、渦電流、打音、目視検査技術はロボット技術と保全の双璧をなすものであり、検査手法の組み合わせの最適化や信号処理方法の適正化、双方の得意技術を生かしたロボットシステム作りが望まれる。

D) 農業分野

日本における農業のロボット化は、圃場の狭さと土の多様性対策を要する。したがって、これまでの農業機械を参考にした車輪やクローラ走行機構が提案されている。また、高精度 GPS の導入も盛んで、高精度走行による収穫ロボットの開発が行われている。しかし、これらの個別対応ロボットでは、技術の展開性がなく新しい工夫が必要になっている。

E) 災害対応ロボット

災害対応で求められるのは、各種センサを現場に移動

させ、マッピング等それらを判りやすく人に伝える技術である。そして、次に必要なのは、救助や復旧作業能力である。

災害対応ロボットは、予測できない環境の中での作業を要求されることが多く、人の判断力を有効に生かせる仕組みが重要である。また、ロボットの操作とロボット機能を熟知し、現場環境を構築できる操作者の訓練・育成が重要である。

また、不整地踏破技術は災害ロボットにおいて特徴的な技術である。不整地適応性の一般化やヒト型ロボットの災害対応環境への適応性の研究開発が実施されている段階にある。

F) 原子力分野

ホットセル内での放射性物質のハンドリングに関しては、古くからマスター・スレーブ式のマニピュレータが利用されてきた。一方、原子力施設の監視、点検、保守用のロボットの開発に関しての水中点検ロボットなどの専用機については実プラント内で稼動しているものも多い。

福島原発事故の緊急対応、廃炉措置においては、多数のロボットや遠隔操作機器などが開発・活用され、調査、瓦礫除去、除染などに用いられている。いわゆる「ロボット」以外のロボット技術も、廃炉に向けた様々な作業において活用されている。

5.2. 今後の課題と提言

ここでは、新視点も含め、ロボット化というよりロボット化することの意義を含めた提言を3つの観点から、各1件に絞って述べる。

(1) 経済性向上のためのフィールドロボット

経済性向上の評価は市場のみが決定する。コストダウンへの直接的妙案を提示することはできないが、建設機械の高度化の先に建設分野のフィールドロボットがあるとの考えに立つと、高度な建設機械こそ建設ロボットであるとの解が存在する。すなわち、建設機械のデュアルモード化が実現すれば、特別仕様の建設ロボットハードが不要になり、稼働率が高く、また、緊急時には災害対応ロボットとして活用することも可能となる。デュアルモード化にはいくつかの課題もあるが、技術的には解決できないことはない。したがって、建設ロボットが先行して、デュアルモード化技術を開発していくことが、建設ロボット普及の近道といえる。また、このデュアルモード技術は農業機械の高度化の観点にたてば、農業・林業ロボットにも展開可能である。

(2) 危険回避のためのフィールドロボット

危険回避ロボットの代表が災害対応ロボットであるとするれば、その普及には国策としての災害対応組織の存在が重要である。しかし、ロボット技術の未熟性を指摘する向きもあるので、当面は、ロボットの開発を通じた普及策を継続的に進めることにならざるを得ない。このときの開発は長期的観点に立った継続的活用組織実現に向けた活動が肝要である。早急な実用性ばかりを追求しても、事業性がない限り、なにを作っても研究開発で終わってしまう危険性についての学習効果を生かすべきである。

なお、福島第一原子力発電所の廃炉は、廃炉そのものがミッションであるので、危険回避ロボットの範疇ではあっても、特殊用途にならざるを得ない。しかし、長期的観点に立てば、災害対応ロボットとの接点もありうる。ので、連携した技術開発をしていくことが肝要である。

(3) 社会創造のためのフィールドロボット

社会創造といえば大げさであるが、日本の少子高齢化問題はかつてない問題であり、この問題を解くとすれば、新しい社会の仕組みを創造するしかないともいえる。人口、特に、労働人口が激減していく中で、活力ある社会を保つとすれば、何らかの形でロボットが支えるしかないともいえるだろう。

この過程で起こると思われる過疎と集中といった課題に対する解決を支援、特に、過疎社会の課題解決・支援するのがフィールドロボットの大きな役割である。過疎地の代表が限界集落といえる人口の集積していない地域である。村ごとロボット化の発想はこの問題を解く大きなカギであり、その大きな基盤としてフィールドロボットが存在する。これには百家争鳴的議論が有りうるが、村を捨てる以外の解には、無人自動車を含め、フィールドロボットの存在が重要あることはそれほど間違っていない。村を捨てる解にしても、過渡的に限界集落問題は避けて通れないことを考えれば、ますますフィールドロボットは重要となる。具体的例については本文7.2.5のフィールドロボットの新視点で紹介しているので割愛するが、限界集落はいずれ都市部も巻き込んだ問題となっていくのは多くの識者が認めている。例えば、農業システムとしてのフィールドロボット成功は、日本の行く末に大きな可能性を示すものである。

6. ロボットを社会実装するために

6.1. 概要

ここでは、前章までのように、現在の技術からフォアキャスト型の議論ではなく、将来のあるべき未来像を描いたうえで、それに必要な技術をバックキャスト的に描

く議論の手法を取った。これは従来の RT 要素の組み合わせだけでは社会的な課題解決に繋がらないことの反省によるものである。

(1) サービス主導型のロボット設計の重要性

小さな社会的課題は、人へのサービスを考えることであり、まずサービスの形態を考え、そこに必要とされる技術やモノを考えることが、新たなロボット産業化につながるのではないかと考え、サービス主導型ロボット設計が重要であることを取り上げた。

(2) あるべき社会像

世界的に 65 歳以上の人口比率は先進諸国を中心に高まりを見せており、2050 年には全体で 16.2%、特に先進地域では 26.2%にも達すると予想されている。その中でも日本の高齢者化率の伸びは群を脱いでおり、世界に先駆けて、今まで世界が体験したこともないような超高齢社会が目の前に来ていることは避けられないようである。

日本全国各地域でも、高齢社会の波は押し寄せている。特にもともと過疎の地域では、人口統計的に高齢者化率が上がるのに加えて、若手が都会へ大学入学や就職を機に出てしまうと二度と戻ってこないため、就労人口が減るだけではなく、若手の減少による出生率の減少が、高齢者化率上昇に拍車をかけている。人口の変化で、もう一つ注目する点は「都市部への人口集中」である。

高齢社会のあるべき姿として、産総研のプロジェクト内の 1 グループは以下のような仮定を置いた。

「様々な経験を有する異なる年齢、性別の人間が、お互いに持続的に信頼を持って係わり合い（つながり）を構築することで、個としての心理的な安心が得られる社会」

ただし、上記の仮定に基づく理想の生活を送るためには、社会システムとして人のつながりを維持すると同時に、万が一の場合を守ってもらえる社会保障制度などの拡充とともに、可能な限りいざというときに看取れる体制、同居よりは近居を可能とする街づくりが必要とされているのかもしれない。

(3) “あるべき姿”を実現するためのプロセス（制度設計と整備、バックキャスト

前記のあるべき姿の実現を想定し、そのプロセスに言及する。本来は、国や自治体の20-30年先の街づくりのため、高齢社会に対する国や地方自治体による街づくりのグランドデザインであり、そこからのバックキャストによる施策が重要と考える。大きな社会的課題を解決するということは、非常に複合的かつ大きな問題を取り扱うこととなり、従来的一般解を求めることは不可能であると同時に、ある特定地域の拘束条件を当てはめ、特殊解を求めることが望まれているといえる。

(4) プロセスの国際競争力（国際標準化と推進、及び安全技術と認証体制）

社会実装の際に立ちはだかる問題の事例として、ロボットの安全性に関する、法制度、国際標準化、生活支援ロボット実用化プロジェクトと安全検証センターの取り組みなどを取りあげる。

6.2. 今後の課題と提言

従来の積み上げ型のロボット開発手法とは異なり、最終形態に求められる要求事項を先に明らかにし、逆に個々の要素に求められる要求事項を決めていくという、従来のロボット設計・開発手法とは大きく異なる手法を取ることが、ロボットの社会実装の手助けになると信じ述べている。

今までのロボット開発は、「社会実証を目指した、個々の要素の足し合わせ技術」であったフェーズから、「社会実装を目指し、いらぬ要素を取り除く引き算の技術」に転換しないと、本当の意味で社会に役立つものは出来ないのではなかろうか。

特に本章の中で、「街づくり」という、一見、個々の技術とはかけ離れて見える事例を複数あげた。なぜなら、ロボット研究者のように、RT 要素の組み合わせが得意なシステムエンジニアが「街づくり」に関わることで、複雑に入り組んだ問題を整理することができるとともに、社会的な問題解決の歯車としてロボットや RT 要素が入り込むことが、ロボットの新しい社会実装プロセスなのではないかと考えるからだ。

昨今、モノからコトへ、と言われ始めている中で、モノづくり産業からコトづくり産業（サービス産業）へ転換し始めている企業（IBM 等）が多く出始めている。特に、モノづくりの中でも、iPhone や iTunes に見られるように、上流設計としてサービス形態を含めたサービスシステムを構築する部分が多く利益を生み、下流設計は常時、価格破壊にさらされることで、労力の割には利益率が少ないことは言うまでもないことである。

日本がもともと、上流設計やサービス設計がなかったわけではなく、「工芸」として下流設計である“工”と上流設計である“芸”とが融合した文化を持っていた日本が、いつからか“芸”の部分を忘れ去ってきてしまったのかもしれない。

上流設計をしながら、匠の技を利活用できる産業構造が、今後の日本には求められ始めているのかもしれない。

～「ロボット技術が築くスマートな社会」 の構築に向けて～

—今、日本におけるロボット技術の役割を考える—

近年、「失われた20年」の議論とともに、技術立国、ものづくり立国を標榜してきた日本の産業競争力の低下を危惧する声が珍しくなくなりました。技術・人材を資源とする日本が、少子高齢化や製造業の海外移転等が進展する厳しい状況下で、世界の国々と良好なパートナーシップを築きつつ、経済成長を維持するためには、先進国との技術開発競争には常に優位性をもって差別化を図りながら、先進国へのキャッチアップを目指す新興国に対しても、ワンステージ先を行く先端技術（ものづくり）を保ち、さらに、先進国・新興国に対して、付加価値の高いサービス（ことづくり）も提供すること等によって、グローバルビジネス環境下における日本の産業競争力を維持、強化することが不可欠であり、政府の各種の白書や報告書等でも、同様の論調が目立っています。

特に、将来の産業競争力と国富の担い手として期待が高まっている「サービスロボット」の分野では、かつては、来客の対応をしたり、ダンスを踊ったり、楽器を演奏したりするなどの演出によって、技術の進歩を皆が歓迎した時代がありました。そして現在では、「夢を語る演出装置」から、生活や社会に密着した「ロボット技術（RT）」として、障害物等を検知して自律運転を行う移動体とそれを使った総合的な効率的な移動・物流システムや、ビッグデータや各種センサを使って個人に最適な健康管理情報や介護時の見守り機能を提供する情報端

末や家電、警備システム等、また、それらが組み込まれたスマートな住宅や街など、あたかも日常のライフスタイルや社会システムに違和感なく溶け込んだかのように、ロボット技術が私たちの現実の生活シーンに組み込まれつつあります。ロボット技術は、安全・安心、快適・便利で、愉快的な要素も併せ持った、ロボット技術らしい「ソリューションサービス」を提供する基盤的な要素技術として、私たちが意識しないうちに普及が始まっています。

これを私たちは、「サービスロボットのソリューションビジネス産業化」と呼んでおり、日本のサービスロボットは、究極的には、これを目指して、日々、大規模な研究開発の国家プロジェクトなどの様々な施策が取り組まれています。一方、地域・地方が活性化することなく、大都市だけが繁栄するような一極集中型の発展では、日本が「失われた20年」を取り戻すことには限界があるとも考えられています。各地域が、それぞれの特色(人材、地場産業、特産物、観光資源等)とロボット技術(RT)や情報技術(IT)をうまく融合・駆使して、例えば、地域の様々な人材が有する職人的な技能をネットワーク化し、「コンビニ化した便利屋」のように住民の安全・安心、快適・便利で愉快的暮らしのために活用したり、地域医療・介護に役立てたり、他の地域ではマネのできないものづくりやサービス(試作品提供や修理サービス)をインターネットも活用しながら世界を相手にカスタムメイド的にこなし、そのデータを再びものづくりにフィードバックするなど、身の丈にあった地域経済や社会システムを、ロボット技術を基盤に地元で創り育て、定着させる取り組みも始まっています。さらに近年は、一次産業を「六次産業化」する動きとも相俟って、産学

官が連携して異分野の技術を融合させ、人材の交流・育成等も通じて、新しい技術やサービスを創造し、新たな需要を開拓し、地域から特色あるイノベーションと経済発展を沸き起こす取り組みも始まっています。

これまでは、人間の方がより適切にできることにも、無理にロボット技術を当てはめようとした時期があったことも事実ですが(あなたはクラシック音楽を正確な動作のロボットの演奏で聞きたいですか、それとも表現力豊かなプロの演奏で聞きたいですか)、今後は、ロボット技術を身近な生活空間や社会システムに違和感なく適切に組み込むことを目指した、スマートな社会を構築する方向で、ロボット技術の普及を図っていくステージに移行すると思います。

ー日本はロボット技術でもっと強くなれるー

また、「産業用ロボット」の分野は、日本の高度経済成長と高品質なものづくりを支えてきましたが、近年では、新興国において産業用ロボットの開発、利用が積極的に進められています。産業用ロボット業界は、従来は、高品質なものづくりを実現するための「生産機器・システム」を提供することを生業としてきましたが、生産と消費の拠点アジア等の新興国へシフトする動きとも相俟って、今後は、例えば、これまでは扱いにくかった軟体なども扱え、桁の違う稼働率・生産効率を有し、設置場所に柔軟に対応できる可搬型で、変種・変量・変期間生産等にも迅速に対応でき、人と共存して安全に作業をこなすなど、従来の延長線上にない生産システムを構築し、それを、システムエンジニアリングを含めて、よりグローバルで付加価値の高い生産・物流体制として構築し、日本はその拠点となって高品質の「ものづくりサ

ービス」をグローバルに提供する体制へと転換が求められています。

災害発生時等に活躍するロボット(災害対応ロボット、特殊環境用ロボット、フィールドロボット等)の分野でも、先の原子力発電所の事故現場では保守・管理面からの制約等により、真っ先に活躍したとは言えないものの、軍事技術とその利用実績に裏打ちされた欧米製のロボットでも成し得なかった様々なミッションを日本のロボットが見事に完遂し、首都直下型地震、南海トラフ地震、インフラ危機等が叫ばれる今日、産業施設等が太平洋側に密集している現状に鑑みれば、仮に、南海トラフ地震が発生し、有人作業がままならない状況下になったとしたら、ロボット技術を用いた迅速な緊急対応、復旧・復興作業が日本全体で求められることは明らかです。さらに、世界各地で毎年のように発生している大規模な自然災害や、事故・テロ等による CBRNE 災害(化学剤、生物剤、放射性物質、核物質、爆発性物質による災害)に目を転じれば、これらの減災・防災面で経験豊富な日本のロボット技術がグローバルに活躍できる可能性があり、国内外の産業施設等に対しては、ビジネスとしての貢献の可能性も広がります。

ー日本のロボット技術を産業競争力の強化と国富の担い手へつなごうー

携帯型の情報・音楽端末や家庭用ゲーム機等を例とすれば自明ですが、単に機械としての「ハード」だけを開発しても、魅力的なソフトや OS、利用環境やインフラ等が整わなければ(その整備にも戦略性が要りますが)、その普及、定着や産業としての発展は見込めません。また、ロボット研究者が独りよがりて開発した技術シーズ先行型のロボット技術にも限界があり、現場の実情や二

ーズに即した、現場で役に立つユーザ視点のロボット技術を開発しなければ、市場からは受け入れられません。

私たちは、これまでに積み重ねてきたロボット技術に関する様々な研究等の成果、ノウハウ、経験、人的ネットワーク等の貴重な資産を有機的にリンクさせて、その価値に持続性、一貫性を持たせつつ蓄積し、かつ、ロボット技術に馴染みが薄い方々に対しても、ロボットの学者、メーカ、ユーザ、システムエンジニア等が持つ問題意識や将来への想い等をアピールすることにより、国内外でのロボット技術の積極的な活用、普及を図り、もってロボット産業の発展・活性化を目指すべく、ロボット白書の執筆、編集を試みました。

ロボット技術とその産業化を取り巻く環境には様々な課題があり、これまで培ってきた日本の叡知ともいえる優れたロボット技術を、次の世代の産業競争力や国富をもたらす基幹産業へと育てるには、もう一皮むけたイノベーションが必要とされています。本白書を手にした皆様が、日本のロボット産業の必要性、将来性、課題等についてご関心とご理解を示されることで、このロボット白書が、ロボット産業の発展に寄与できれば幸甚に存じます。

最後に、この「ロボット白書」は、ロボット技術分野の第一線で活躍されている著名な専門家の方々のご協力のもとで、執筆、編集がなされました。これらの方々には、ご多用にもかかわらず、快くロボット白書の作製趣旨にご賛同いただき、ロボット白書の基本的な構成と骨格部分となる「骨子」の執筆（24年度）、骨子をベースとした具体的な原稿の執筆、編集（25年度）をし

ていただきました。また、それらの際には、白書の構成全体を俯瞰しつつ、各章を貫く基本的な理念や各章のバランス、読者へのメッセージとして込めるべきロボット技術に関する問題意識や将来性の検討等をロボット白書検討ワーキンググループ（グループ長 佐藤知正 東京大学特任教授）が担い、章ごとに計6つのWGを設置し、問題意識等を述べあい、摺り合わせをしていただきました。本白書は、これらの専門家の方々による御尽力の賜物と言っても過言ではありません。さらに、調査委託先としてデータ収集等を担っていただいたみずほ情報総研株式会社の方々、様々な面からロボット白書の作製に助言、後方支援等を提供していただいた経済産業省産業機械課の方々にも、感謝を申し上げます。

平成 26 年 3 月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部 機械システムグループ