

ロボット産業を取り巻く近況

—サービスロボットを中心に—

Recent Status on Robot Industry in Japan: Focusing on Service Robots

機械振興協会経済研究所 調査研究部 研究副主幹

森直子 (MORI Naoko)

1. はじめに

現在は、「第3次ロボットブーム」にあると言われている。2015年に政府は「ロボット革命」のためのアクションプラン「ロボット新戦略」を発表し、このロボット革命を実現するため、2020年までの5年間に民間投資も含め1000億円規模のロボットプロジェクトの推進を目指すとした政策ビジョンが打ち出した。現在の日本における第3次ロボットブームはこうした政策的な動きに後押しされて生じた部分が多分にある。もちろん、ロボット開発推進のための諸政策だけでブームが起きたわけではなく、世界的に第3次AI(人工知能)ブームが到来したことで、ロボットが急速に自律化、知能化し、またIoTの発達により多様なモノがネットワークで繋がる時代が到来し、各国がこぞってロボット分野への投資を強化するという環境変化も大きく寄与していることは論を待たない。そうしたブームのなかで、2018年くらいから、新しいロボットや、ロボットを使った様々な実証実験が続々と報告されており、日本におけるロボット活用が進んでいることは確かである。しかし他方で、「ロボット新戦略」が謳うような、「ロボット革命」が実現しているとは言い難い。現状として何が起きているのだろうか。本稿では、いくつか代表的な分野を取り上げ、ロボットを取り巻く近況を整理していこう。

2. 本稿で取り上げるロボット: サービスロボット

そもそも「ロボット」全般の確定的な定義は存在しない。一般的にロボットは、大量生産をする大工場で活用される従来の「産業用ロボット」と、それ以外の「サービスロボット」に分類されるが、前者に関しては、「センサ」、「知能・制御系」および「駆動系」の3つの要素技術があるもの(経済産業省ロボット政策研究会、2006)などの定義がある。しかし、後者の、大量生産の製造ラインに使われる以外の生産自動化に利用されるものや生活領域やサービス分野で活用されるものも含めたロボットについては「サービスロボット」として大きく括られるものの、それが何を指すのかについての確定的な定義はない。本稿では、紙面の制約もあることから、敢えて「ロボット」の定義の検討に踏み込むことはしないこととする。また、本稿では、第3次ロボットブームの主役が「サービスロボット」であることから、こちらに分類されるロボットの発展状況について、概況をみていくこととしたい。

サービスロボットは、国際ロボット連盟(IFR)の報告書にあるように、用途別に分類さ

れることが多い（図表1参照）。しかし、介護用の見守りロボットと保安・警備用巡回ロボットのように、ほぼ同じ機能を持ったロボットが用途によって区別されてしまうように、サービスロボットの概況をみていく際には、この分類は使い勝手が良くない。本稿では、非常に大胆な分類であるが、①動力を伝達し実際にモノを動かすマニピュレーション機能（＝手）のロボットアーム系、そして②自律的に外部情報を取得して自己の行動（移動）を決定する（＝足）システムのロボット、の二つを主に取り上げ、状況を整理することとしたい。

図表1 用途別のサービスロボットの分類（IFRによる）

業務用ロボット		個人向け／家庭用ロボット	
屋外用ロボット	農業（大規模耕作、温室、ワイン畑）、搾乳、その他畜産関係、探掘、宇宙など	家庭用ロボット	コンパニオン・アシスタント・ヒューマノイドロボット、掃除機・床清掃ロボット、芝刈りロボット、プール清掃ロボット、窓清掃ロボット、家庭用警備・監視など
業務用清掃ロボット	床清掃、窓・壁面清掃、タンク・パイプ清掃、車体・航空機清掃など	エンターテインメント	おもちゃロボット、マルチメディアロボット、教育用・研究用ロボットなど
検査・メンテナンスロボット	施設・工場用、タンク・パイプ・下水設備用など	高齢者・障害者支援	ロボット車いす、生活補助・支援機器など
建設・解体ロボット	原子力設備解体・廃炉、建築、土木工事など		
物流システム	製造現場でのAGV、非製造現場でのAGV、貨物・屋外物流、個人向けAGVなど		
医療ロボット	診断システム、手術支援ロボット、リハビリシステムなど		
救助・警備ロボット	火災・災害対応ロボット、監視・警備ロボット、無人飛行体、無人地上移動体、無人水中移動体など		
(民生用・個人向け)水中ロボット			
ロボットスーツ			
(一般向け)モビリティプラットフォーム			
広報ロボット、エンターテインメント移動ロボット	ホテル・レストラン用ロボット、移動式ガイド・案内・テレプレゼンスロボット、マーケティングロボット、エンターテインメント移動ロボットなど		

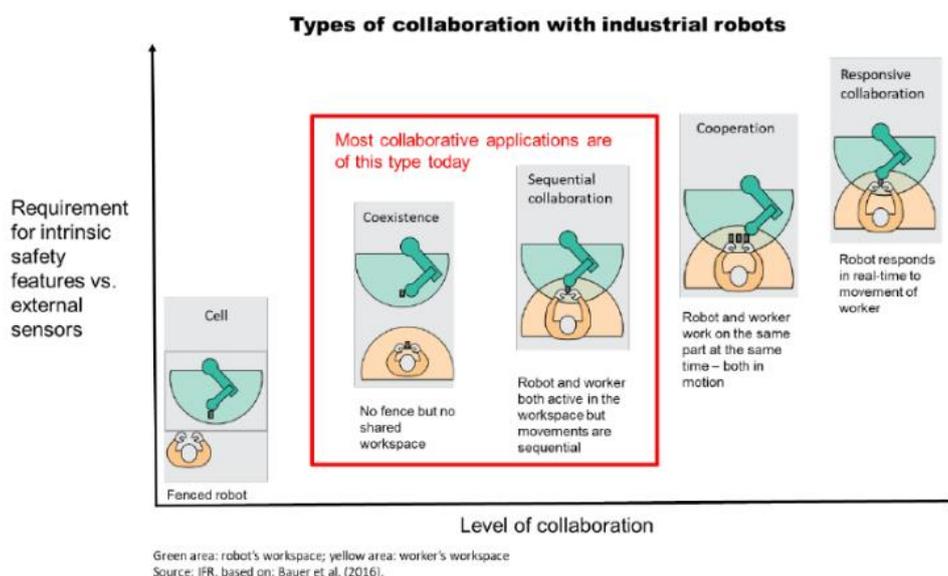
出所) IFR (2019b):“World Robotics Service Robots 2019,”p.19, Table 1.2 より筆者作成。

3. 作業をする「手」の自動化:ロボットアームの進化

(1) 協働ロボット(コボット)

まず、「協働ロボット (コボット)」についてみていきたい。協働ロボットは、防護柵などによるヒトからの隔離安全策を講じることなく利用される、ロボットアームのことである。従来、産業用ロボット（＝ロボットアーム）は、労働者の安全確保のため、定格出力 80W 以上のものはヒトの作業空間から隔離された環境で利用されることが規制で決まっていた。しかし、2010年代に入り、2011年のISOによる産業用ロボット規格によるロボットとヒトとの協働条件の設定、2013年の国内規制の緩和などの法制度面での変化があり、なおかつ、技術革新によりロボットの小型化等が進んだことから、ヒトと同じ空間で動く協働ロボットが次々と誕生することとなった。現在、主流の協働ロボットは、ヒトと同じ空間で作動するが、ロボットとヒトで一つの作業を同時に行うことはなく、順次（シークエンス）作業をそれぞれ担う形式のものとなっている（図表2）。

図表 2 協働ロボットのタイプ



出所) IFR (2018), “Demystifying Collaborative Industrial Robots,” Positioning Paper, December 2018, p.2, Fig 1 を転載。

このように、協働ロボットは、従来の産業用ロボットの流れを汲んだロボットであり、国際ロボット連盟 (IFR) の統計でも、協働ロボットは産業用ロボットとして計上されている。しかし、協働ロボットは、マニピュレーション機能の自動化技術が集約された機械システムそのものであり、またヒトと同じ空間で作業をすることが可能なロボットであることから、多方面にわたるサービスロボットとしても活用されていることを理解する必要がある。例えば、ロボットがソフトクリームやコーヒーを用意して客に手渡すサービスロボット、あるいは農業用の収穫ロボットなどでも、作業をする「手」の部分には協働ロボットが使われている事が多い。

(2) 協働ロボット分野における日本企業の現在のプレゼンス

その協働ロボットで、日本企業はどのようなプレゼンスを発揮しているのでしょうか。

日本は、1980年代に始まる第1次ロボットブームにおいて、製造業工場の生産ラインの自動化に用いられる産業用ロボットの製造、そして積極的な導入により「ロボット大国」の地位を築いた。一時期は世界のロボット関連の特許の大半を日本企業が保有しており、ロボット分野での高いイノベーション力で知られていた。ロボット開発力の高さが産業用ロボットメーカーにとどまらないことを世界に見せつけたのが、2000年前後の第2次ロボットブームで、ソニーの犬型ロボット AIBO、ホンダの二足歩行ヒューマノイドロボット ASIMO などが発表されるなど、ロボット開発の最先端を日本が進み続ける様子が見え始めるものであった。協働ロボットについても、産業用ロボット最大手のファナックが2004年にはリ

スクを低減させたヒトと協働可能な産業用ロボットを発表、三菱電機もヒトーロボット協調システムを公開するなど、第 2 次ロボットブームの時代には将来のロボット活用を見据えた協働ロボット開発が始まっていた。

しかし、現在、協働ロボット分野で日本のロボットメーカーの地位は決して高くない。小型協働ロボットで世界トップと言われるのは、2005 年にデンマークで設立されたユニバーサルロボット社であり、同社は日本でも積極的にビジネスを展開している。実際、ロボット関連の展示会で、協働ロボットとして最も目にするのがユニバーサルロボット製のロボットアームに、日本企業が独自開発したエンドエフェクタと言われる「ハンド」(モノを掴む、回す、切断するなど具体的な作業を行う部分)とセンサ、制御ソフトを組み込んだロボットである。展示会で聞いた話では、ユニバーサルロボット社のロボットは拡張性が高いこと、そして世界中で販売されていることから世界の顧客に対応しやすいという面が評価されているという。こうしたロボット関連の展示会では、日本のロボットメーカーの小型協働ロボットも多数展示されているのだが、それぞれの市場への浸透度が小さいことも見て取れ、日本企業の出遅れ感が否めない。

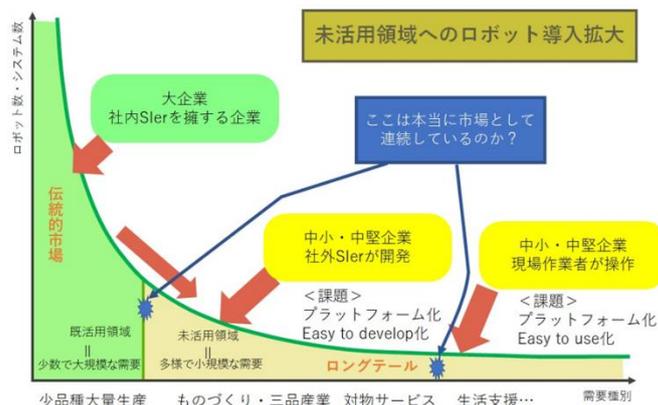
それでは、高性能の協働ロボット分野ではどうであろうか。上記で触れたユニバーサルロボットは、基本的に 6 軸垂直多関節型ロボットで、製造業工場の生産ラインで使われるロボットの主流のタイプである。しかし、ヒトとロボットが協働する現場では、それぞれの作業現場の状況や作業内容に合わせてロボットにより柔軟な動きが求められることもあり、6 軸以上の関節を持つロボットの需要が大きいと言われている。中国の美的集団傘下のドイツの KUKA は、2015 年から非常に柔軟な動きが可能な 7 軸協働ロボットを上市しているが、日本のロボットメーカーでは、安川電機やヤマハ発動機がようやく 7 軸協働ロボットを発表したばかりで、製品投入の動きが遅いことがみてとれる。また、協働ロボットでは、作業対象物の正確な位置認識をロボット側ですることが重要であり、そのため画像認識装置を取り付けることが多い。この画像認識装置に関してはソロモンテクノロジーなど台湾メーカーの評判が高い。さらにオムロンと提携を結んでいる台湾のテックマン・ロボット社は、画像認識装置をアームの先端に内蔵するタイプの協働ロボットを発表しており、日本のロボット商社の評判も良い。高性能機でも日本のメーカーはライバルのなかに埋もれがちである。

(3) 協働ロボット分野の課題と日本企業の展望

こうした、協働ロボット分野での日本企業の出遅れ感の原因は、様々にあるはずだが、その一因に、伝統的な産業用ロボットの開発・製造で蓄積した技術・知見を、中小製造企業でのロボットの活用、さらに生活領域でのロボットの活用ニッチ市場で応用するという考えが足かせとなっている可能性が指摘される。大量生産の製造ラインに使われてきた産業用ロボットは、ヒトとの接触のない、確定環境 (structured environment) で動作することが前提となって発展してきた。しかし、中小・中堅製造企業、サービス業、さらには生活領域へ

のロボット導入は、ヒトとの接触を前提とし、不確定環境（unstructured environment）で動作することを意味している。つまり、同じロボットアームを使っているとしても、従来の産業用ロボットと協働ロボットでは、活用の前提条件が大きく異なる。この前提条件の違いに対して、日本のロボットメーカーも、より積極的に取り組む必要があるのではないだろうか。

図表 3 NEDO プロジェクトにおける「未活用領域へのロボット導入拡大」概念図



出所) NEDO ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト 国際ロボット展開シンポジウム (2019年12月20日) 報告より筆者加筆・修正。

ヒトとの接触を前提として不確定環境で動作するロボットの運動制御理論は、実は未だに発展途上であり、近年、ソフトロボティクスとして IEEE や日本ロボット学会でも盛んに議論されているという。また、ヒトとの接触を前提として不確定環境で動作するロボットをどのように最適な統合システムとしていくかについての理論も未整備という (川村, 2019)。現在マーケットに出ている協働ロボットは、多くが高速・高精度を確保するために開発された剛体ロボットが応用されており、ヒトとの協働環境での安全性を確保するため、ある程度運転速度を抑えることでのリスク低減措置が図られている。そのため、ロボットとしての性能を一定程度殺すことにもなっている。日本のロボットメーカーのみならず、ロボット研究者も含めて、協働ロボットのための理論整備に力を入れるべきだろう。

また、産業用ロボット系統とは別に、ロボットのマニピュレーター機能が発展してきた分野に災害ロボットや建設ロボットの分野がある。これらのロボットは、もともと不確定環境で動作することを前提として開発されており、こうした分野の知見を、サービス産業や生活領域などの協働ロボット開発に応用していく努力も必要であろう。

4. 移動する「足」の自動化:自律的移動ロボット

(1) 自律的移動ロボット

2000 年前後に到来した第 2 次ロボットブームで、主役となったのは自律移動ができるロボットであった。産業用ロボットが、工場内に据え付けられ、ロボット自体は不動であるこ

とを前提としていたことからすると、ロボットのバリエーションが一気に拡大した。そして、第3次ロボットブームで主役となっている「サービスロボット」のなかでも、市場の成長が著しいのが、この自律的な移動機能、自律走行機能を持ったロボットである。自律走行機能は、自動運転車の開発需要の高まりや、それに伴う AI 活用による自動経路検索システム、自動マッピング技術の急速な発展などが後押しとなり、サービスロボットの一大分野となった。特に、この自律走行機能発展の先駆けの一つとなった、物流分野のロボット（無人搬送ロボット）は、IFR の統計によると、出荷台数、売上高ともに業務用サービスロボットのトップとなっている（IFR、2019）。また、自律走行機能は、清掃ロボット、検査・メンテナンスロボット、監視・警備ロボット、介護・見回りロボット、案内ロボットなど、多くの用途のサービスロボットに使われている。

(2) 物流ロボット

物流ロボットは、工場内で使われる「無人搬送車（AGV）」の時代から数えると、1980 年代から使われてきており、産業用ロボットと同じような長い歴史がある。工場の自動化（FA）の重要な一部であったわけだが、当時の AGV は、床面に貼られた磁気テープなど事前に用意されたマーカーで誘導される、決められたルートを単純な経路で動くものでしかなかった。したがって、当時は「ロボット」の扱いを受けていなかった。しかし、その後のセンサ技術の発達、またセンサの取得した情報の解析と走行経路地図自動生成ソフトウェアの発達により、誘導されずに自律して走行する台車となったことで、ロボットの仲間入りをした。

路面が整備された工場内の限定された区画を決められたルートで移動する台車であった時代は、ヒトとは隔離された空間を走行することが想定されていた。その後、本格的に物流分野で無人搬送車が利用されるようになると、屋内であってもヒトも働く空間で自律走行する搬送車が必要となり、ヒトを含めた障害物の衝突回避や衝突回避行動としての走行停止後の走行再開時のルート決めなどの新たな技術が走行経路地図の自動生成ソフトのなかに組み込まれるようになる。

大規模な物流倉庫などで利用される物流ロボットは、荷物のピッキング機能との組み合わせなど物理的な機能を集合させ、そして非常に大量かつ複雑な受注・発注・集荷・在庫管理・発送システムとへの組み込みなど、単に搬送車単体としての開発では終わらない段階にも達し、そのシステム開発競争は世界中で激化している。この業界ではロボットによる省人化による費用対効果が大きく、そのために Amazon など多くの企業が物流ロボット開発に積極的な投資をしている。日本のメーカーも、様々なタイプの物流ロボットを開発しているが、物流全体のシステムのなかでロボットをどのように組み込むかがビジネスの鍵となっており、商社などとの連携が重要となっている。

また、自律走行機能は、屋外での活用へと向かっている。物流分野の最大の弱点が、物流網の末端での効率性の低さである。ラストワンマイルと言われる、最後の物流拠点から配送先までの搬送をどのように自動化技術を使って効率化するのか、そこに世界中で開発投資

を行っている。Amazon は子会社のアマゾンロボティクスで、自社の倉庫内の多種多様な商品を搬送するために開発した無人搬送ロボットを応用し、このラストワンマイルのロボットによる無人配送の実証実験を 2019 年 1 月から行っている。また、日本でも 2019 年 6 月からは自動走行ロボットの社会実装に向けたインフラ整備に関する官民合同協議会を発足させるなど、この分野でのロボット活用に向けた動きが活発化している。しかし、今のところ、どこでも実証実験レベルにとどまっており、本格的な市場形成には至っていない。このラストワンマイルの配送には、安全性確保や交通規制への対応などの制度的課題も大きいのだが、配送先までの経路に存在する大きな段差・階段の克服、配達先での荷物の受け渡しなど配送ロボットとして解決せねばならない課題は多岐にわたる。屋内の搬送システムの一部として急速に発達してきた物流ロボットが、屋外の配送網末端での活用にどれだけ力を発揮できるのか、今後の期待される場所である。

(3) 自律移動可能なロボット「足」の応用、その課題

前述のとおり、物流ロボットの移動に必要な自律走行機能は、清掃ロボット、検査・メンテナンスロボット、監視・警備ロボット、介護・見回りロボット、案内ロボットなど用途別に挙げると、多様なロボットの基本的な性能として活用されている。

多くの警備ロボット、介護・見回りロボットは、自律的に移動する機械システムそのものを、それぞれの用途で活用しているだけ、ともいえる。また、清掃ロボットについては、清掃機能自体の自動化は、非電気式であれば 19 世紀後半に発明され、電気式掃除機であっても 20 世紀初頭には家庭用の機種が商品化されており、その意味では改めて「ロボット」化されたのは、自律走行機能のみである。そして、東京オリンピック・パラリンピックに向けて各地で実証実験や試験的導入がなされている案内ロボットも、人口知能 (AI) を搭載したスマホ・タブレットに自動走行機能を付けたものということもできよう。つまり、それらの「ロボット」のロボット部分は、自律走行機能に集約されている。

しかし、清掃ロボットを別とすると、それぞれの用途本来は、単に必要な空間を自律的に移動・走行し、搭載センサで情報を収集し、必要によって警報システムに繋ぎ、マイクとスピーカーで遠隔会話をしたりする以上のことが要求されるものである。例えば、介護・見回りロボットであれば、緊急事態をセンサによって感知し、現場に自律的に駆けつけ、カメラやセンサを通した情報を送信するだけでなく、物理的な応急処置 (少なくとも応急措置支援) もロボットが担えることが理想的であろう。しかし、現状としては、こうした「処置」

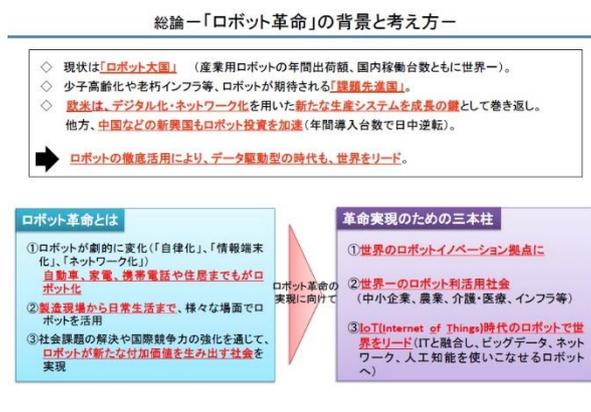
「作業」の多くをロボットが行うまでの機能が開発されていない。介護・見回りロボットに現状で付加されている作業機能は、モノの搬送など自律移動機械であれば可能な機能にはほぼ限られている。ロボットの自律走行のための詳細地図の事前作成を不要にし、走行ルートの自動作成を可能にする段階にまで達した AI 技術だが、それぞれの現場で臨機応変な「措置」「作業」を自律的に判断して実行するまでの汎用性は実現できていない。また、ベッドから被介護者を抱え上げて移動させる、など単機能を実現したロボットはこれまでも開発

されているが、介護現場で生じる様々な緊急事態に適宜対応できるような汎用性をもったロボットはまだ実現されていない。蹴倒されても自分で起き上がる、自分でジャンプして空中1回転をして安定的に着地する、ヒト型ロボットが複雑な振りのダンスを踊る、などの動作についての器用さレベルは急速に上がっており、なおかつ、自動走行経路作成まで可能になっているロボットだが、多くの作業分野ではかなりの「不器用さ」が残されている。

5. サービスロボットの展望

今年、2020年は「ロボット新戦略」の目標年である。第3次ロボットブームのなかで、日本においても、様々なロボットのプロトタイプが発表され、事業化が開始される例が相次いでおり、関連報道を1度も目にしない週はないといえるほどになっている。しかし、本稿冒頭で指摘したように、こうして新登場したロボットは、大きな市場を形成には至らずに、事業自体を数年で終了してしまう事例も多い。市場が拡大しない要因については既に議論もされているが、AI技術が飛躍的に高度化するとともに様々な形でのネットワーク化が進化したことで、ロボットの活用による課題解決に対しての期待が先行し過ぎている部分もあるだろう。特に、日本では、世界でも他に類を見ない速度で進行する少子高齢化にともない、生産年齢人口の減少、人手不足、社会保障の増大といった社会問題が急速に増大しており、そうした課題に対してロボット導入による生産性向上によって解決しようとの期待が非常に大きい(図表4)。しかし、前述のとおり、確定環境で動作することが前提となって発展してきたロボットは、不確定環境での動作についての理論が確定していないなど、まだまだ未発達の分野が多数あり、多様な社会問題の解決策とするには未熟な面もあることを理解しておく必要がある。

図表4 「ロボット革命」の概要



出所) ロボット革命実現会議「ロボット新戦略のポイント Japan's Robot Strategyービジョン・戦略・アクションプランナー」2015年1月を転載。

現時点では、協働ロボットですら、出荷台数ベースで世界の産業用ロボットのわずか

3.24%（2018年実績）（IFR、2019a）を占めるにすぎない。日本のロボットメーカーには、防水・防塵機能がついたロボット用モータなど、協働ロボットに要求されがちでありながら、新興のロボットメーカーが持っていない技術を多数保有している。また、産業ロボットメーカー以外にも、作業するロボットの「手」や「足」の技術を開発している企業は日本に多数ある。本格的に協働ロボット分野で出遅れてしまう前に、そして他のサービスロボット分野でも同様の出遅れが生じないように、様々なプレイヤーがよりオープンに知恵を出し合っ
て、日本の国際競争力を維持、発展させるための方策としての「ロボット創出力の抜本的強化」を実現していかなければならない。

参考文献

- IFR（2018）：“Demystifying Collaborative Industrial Robots,” Positioning Paper, December 2018.
- IFR（2019a）：“World Robotics Industrial Robots 2019,” VDMA Services GmbH.
- IFR（2019b）：“World Robotics Service Robots 2019,” VDMA Services GmbH.
- 川村貞夫（2019）：「ロボット運動のためのシステムインテグレーション」、「2019 国際ロボット展」併催プログラム「見る、聞く、動く—最先端エキスパートに問う」2019年12月21日。
- 経済産業省ロボット政策研究会（2006）：「ロボット政策研究会報告書～RT 革命が日本を飛躍させる～」。<https://www.jara.jp/various/report/img/robot-houkokusho-set.pdf>
- 新保史生（2019）：「AI・IoT とロボットの複合的関係と法」、『ロボット』No.249、2019.7、8-12。
- NEDO ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト（2019）：「国際ロボット展公開シンポジウム（2019年12月20日）報告」。
- ロボット革命実現会議（2015）：「ロボット新戦略のポイント Japan’s Robot Strategy—ビジョン・戦略・アクションプラン—」2015年1月。