2.2.7 産業用ロボット

（1）研究開発領域の定義

産業用ロボットは、自動車産業、電気電子産業、など、主に製造業で自動化を目的として利用されるロボットである。近年は食品産業などの新たな分野や高度な作業、中小企業への導入が求められ、従来のような繰り返し再生による大量生産ではなく状況に応じた柔軟なシステムの開発の重要性が増している。本領域はそのようなトレンドへの対応を目的として、ものづくりのための高度な要素技術開発、システムインテグレーション技術の高度化などの研究開発を実施する領域である。

（2）キーワード

製造業、ロボットアーム、人間協働ロボット、安全、機械学習、センサーベーストマニピュレーション、動作計画、デジタルツイン、システムインテグレーション、エンドエフェクター

（3）研究開発領域の概要

［本領域の意義］

産業用ロボットはこれまで日本が世界をけん引してきた。ロボットの導入をいち早く進め、1980年代から90年代にかけて製造台数、使用台数共に世界の過半数を占めていた。しかし、多くの製造業が工場の海外移転を進めると、わが国のシェアは下がり始めた。さらに近年では諸外国の産業用ロボットメーカーも増え、特に人間協働ロボットについては数多くの外国メーカーが台頭してきている。従来型の大量生産のためには、高速高精度に動く産業用ロボットが有利であり、日本のメーカー各社の培ってきた技術により他の追随を許さない優位性がある。一方で、それほどには高速性、精度を要求しない人間協働ロボットについてはその優位性は発揮されず、日本メーカーの優位性は失われつつある。

また近年は、IT技術の発達に伴い、画像処理技術の発達、ディープラーニングなどの機械学習技術の利用、デジタルツインなどのサイバーフィジカルシステムの導入など、さまざまな新技術が産業用ロボットの領域に組み込まれてきた。このため産業用ロボットシステムは複雑化し、従来の技術だけでは対応しきれない状況が生まれてきている。今後も日本の産業用ロボットの領域が世界をけん引していくためには、これらの技術を組み込んだシステムの研究開発および人材の育成は必須であり、急務である。

複雑化する産業用ロボットシステムを扱うためには、単にシステムの設計・開発を担うシステムインテグレーション人材を増やすだけではなく、効率的に設計・開発が進められるよう、新たな技術の研究開発が重要である。周辺の環境や作業者によって動作を自動的に変更するための動作計画技術、周辺環境を監視するセンサー類や作業を実施するエンドエフェクター類、作業者や周辺の安全を確保する保護装備等の設計を支援する技術、など、この領域に特化したさまざまな技術開発、研究開発が必要である。

今後も産業用ロボットが日本を代表する技術であり続けるためにも、本領域におけるこれらの研究開発、人材育成は重要な意義を持っている。

［研究開発の動向］

産業用ロボットの稼働台数推移[1)]

産業用ロボットは1980年ごろから本格的な普及が始まったとされている。日本ではいち早く工場での生産に取り入れ、日本ロボット工業会の統計によれば、1985年には全世界で14万台弱のロボットが稼働しているうち、その67%ほどが日本国内で稼働していた。バブル経済崩壊後、日本国内の稼働台数は停滞を続けていたが、2000年においても全世界75万台ほどのうち日本国内で39万台ほど、と過半数を占めていた。しかし2000年代から2010年代半ばにかけて停滞が続き、2017年で日本国内の稼働台数は30万台弱となっていた。

この間、世界でのロボット導入は着実に進み、2010年には100万台に達し、2017年には212万台と200万台を超えた。日本も徐々に数を増やし始めており、2020年には37万台強まで回復した。しかし、全世界ではそれ以上のペースで増加しており、2020年には301万台と300万台を超えており、200万台から300万台まではわずか3年で達している。

この間に最もロボットの導入が進んだのは中国である。2000年から初めて統計に930台で登場し、その後はほぼ毎年30%以上の伸びを記録し、2010年には5万2000台、2016年には35万台弱と日本を抜いて世界1位となり、2017年には50万台、2020年には94万台に達している。

産業用ロボットの出荷台数推移[1)]

全世界の出荷台数は1980年代から2000年代まで、途中世界の経済情勢による増減はあるものの、ほぼ1次関数的に順調に伸び、2010年には年間10万台強となった。その後2010年代は中国をはじめとした世界中の需要の伸びに支えられ、指数関数的に増え、2018年には42万台強となった。ただし、その後は新型コロナ感染症の影響で伸び悩み、2020年は38万台強にとどまっている。

日本のロボット出荷台数は、1980年代から90年代にかけては全世界の出荷台数の9割ほどを占めていた。その後シェアは徐々に減り2012年以降は、過半数は維持しているが6割弱で推移している。6割弱のシェアを占めていることもあり、出荷台数は、2010年代後半は順調に伸び、2018年には24万台を出荷している。ただし、そのうち国内向け出荷は3割前後で推移しており、海外への輸出が7割ほどを占めているのが現状である。

人間協働ロボット

一般的な産業用ロボットは、その動作が複雑で予測が困難なことから安全のために柵などで囲い、作業者とは分離した状態で使用することがISOやJISにより求められている。そのために、ロボットを設置する工場では広いスペースが必要となり、また、システムや配置の変更が行いづらいという問題をもたらしていた。そのような中で、2008年ごろにUniversal Robots社のUR5や川田工業のNEXTAGEなどが発売され、2015年ごろにはFANUCのCRシリーズや安川電機のHC–10など、さまざまな人間協働ロボットが発表され、このころからさまざまなユーザー企業で人間協働ロボットが用いられるようになってきた。人間協働ロボットは、センサーを搭載し、人との接触時にも安全を確保する仕組みを有しているため、安全柵などで分離をする必要がなく、人と隣り合って作業をすることが可能という点が大きな特徴となっている。

ただし、安全性を担保するため、最高速度の制限などが課せられており、一般的な産業用ロボットに比してその作業スピードはかなり遅くなる。このため、例えば、製造ラインに並んでいる人1人をそのまま人間協働ロボットに置き換えることができない場合もある。現状では、人と協調して作業を遂行する、という使われ方は多くなく、安全柵が不要なロボットとして利用されているケースが多い。一方で、柵が不要のため再配置がしやすい点から、短いサイクルでの組み換えが起こる製造ラインに使いやすい、というメリットもある。

人間協働ロボットは最高速度や位置決め精度がそれほど求められない場合が多く、従来の産業用ロボットメーカー各社のほかに、中国をはじめとする海外からの多くの新規参入メーカーが出てきている。中国メーカーのJAKA、DOBOT、Elite Robotや、台湾メーカーのTechManなどの製品は、既に日本でも多く扱われている。

アームを搭載した移動ロボット

生産現場において移動ロボットは古くから利用されている。これは主にAGV（Automatic Guided Vehicle）と呼ばれるもので、床に磁気テープを貼り、そのテープに沿って移動ロボットが走行するというものである。 AGVには、製造ライン等の配置を変更するときには磁気テープの貼り直しが必要となり、手間がかかる欠点があった。近年、センサーを搭載し、環境の地図に基づいて自律的に走行するAMR（Autonomus

Mobile Robot）と呼ばれる移動ロボットが登場した。磁気テープなどの設備なしで移動できるため、途中に障害物があっても避けて通ることができ、配置変更にも容易に対応ができるなどさまざまなメリットを有している。周囲の計測と自己位置推定を同時に行うSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術は15年ほど前から国内外で研究が行われてきたが、2018年ごろからは物流や生産現場においても普及が進み、カナダの OTTO Motors、スイスのラピュタロボティクス、デンマークの Mobile Industrial Robots、中国の ForwardX Robotic、ギークプラスなど、さまざまなAMRメーカーが誕生している。

さらに、AMRにマニピュレータアームを搭載し、荷物の搭載、積み下ろしも自律的に可能な移動マニピュレータも提案され、用いられるようになった[11)]。これもAGVへの積載用コンベアーなどの設備が不要となり柔軟な配置変更を容易とする。

AI・機械学習

ディープラーニングをはじめ、機械学習などのAI技術は画像処理との相性が良く、近年、産業用ビジョンシステムに大きな変革をもたらした。ハンドリングや溶接等の対象物（ワーク）の種別認識や位置姿勢計測、ロボットの動作計画、ロボットハンドでの把持可能領域の推定等、さまざまな計測・認識技術に利用されている。ただし、ビジョンでワークを計測し、ハンドでつかむべき位置を学習するときには、実際の環境で行わなければならず、数千回、数万回のデータが必要な機械学習は現実には困難である。そこで、シミュレーション環境で多数回の学習を行い、十分学習が進んだ段階で実機での学習を行うことで高速に高効率に学習を行う手法なども開発されている[10)]。この分野は今後ますます発展し、重要度が増していくものと考えられる。

システムインテグレーション

近年のロボットシステムは高度化が進んでいる。ビジョンセンサーや力センサー、近接センサー、触覚センサーなどさまざまなセンサー類が搭載され、センサー情報に基づいたロボット動作の変更が求められるなど、システムの複雑化、制御プログラムの高度化が進んでいる。高度化するロボットシステムに対し、適切なセンサーや周辺機器の選択、さらにそれらを活用するソフトウェアの設計・開発を行うロボットシステムインテグレーション技術の重要度は日に日に高まっている。以前は特定のメーカーのロボットのみを扱うインテグレーター企業も多く存在していたが、近年では顧客のさまざまな要求に応えられるよう、多くのメーカーの機種を扱うことが増え、ますますシステムインテグレーションの専門家の需要は高まっている。2018年に、それまでは各企業が個別に技術の蓄積、技術者の育成を行っていたものを、共通基盤として能力強化および事業環境向上等を目的として、FA・ロボットシステムインテグレーション協会が設立された。ロボットシステムの設計・開発を行うロボットシステムインテグレーター（ロボットSIer）の需要は今後ますます高まり、システムの安全性の確保や、海外での競争力向上のためにも、その支援は重要なものとなっている。

（4）注目動向

［新展開・技術トピックス］

産業用ロボットとサービスロボットの融合[12)]

先に紹介したように近年の研究開発の動向として、人間協働ロボットの普及、および、AMR等の自律移動ロボットの登場がある。この技術は産業用途としても有効なものだが、それと同時にいわゆるサービスロボットにも共通して必要となる機能である。家庭内で指示されたものを取ってくるロボットと安全柵や磁気テープなどの環境の作りこみを廃した移動機能を兼ね備えた産業用ロボットの間には、機能上の大きな差異はない。これまでは産業用ロボットとサービスロボットは別のものと考えられていたが、今後は境界のあいまいなものとして、さまざまな点で共通に扱う必要が出てくるものと考えられる。例えばドイツのロボットメーカーKUKAでは既に、介護の分野で人間協働ロボットを利用したリハビリテーションロボットの開発を進めている。

ソフトウェア研究の重要性の高まり

近年、ロボット関係の大型プロジェクトとして、IMPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」、ムーンショット「目標3：2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現」などが行われている。前者ではハードウェア機構を重視したシステム開発が進められているがこれは災害対応を対象としたプロジェクトであり、まだまだハードウェア開発が重要な分野である。後者に見られるように、産業用ロボット分野やサービスロボット分野においては、ディープラーニングをはじめとする機械学習や動作計画など、研究の主体がソフトウェアに移行している。これは国内外共通の傾向である。日本ロボット学会学術講演会、IEEE ICRA（Int. Conf. on Robotics and Automation）、IEEE CASE（Int. Conf. on Automation Science and Engineering）などの主要な学術講演会においても同様の傾向が見られる。

共通プログラム環境ROS

これまで、産業用ロボットの動作に必要なプログラム言語は、ロボットメーカー各社が独自に開発・発展してきたため、互換性がなく、ユーザーやSIerは同じメーカーの機械を使い続けるか、複数のメーカーの言語を覚えなければならなかった。共通化の取り組みは古くから行われていたが、今後は、ROS（Robot Operating System）[1]が研究者だけでなく、ロボットメーカー、システムインテグレーター、ロボットユーザーにも使われるようになり、共通化の中心的な役割を果たしていくものと思われる。

さまざまなタイプのロボットハンド

従来は、空気圧もしくは電動による1自由度開閉型のグリッパーやバキュームタイプのハンドがほとんどであった。しかし近年、不定形な食品などのハンドリング用に開発された空気圧で変形する柔軟ハンドや、ベルヌーイ効果を利用した非接触ハンドなど新たな形態のハンドが見られるようになった。また米国Robotics Material社の開発したSmart Handは2指の平行グリッパーにカメラおよびコントローラを内蔵し、ハンド内で画像処理に基づく動作計画を実施し、ロボットアームへ動作指示を送ることができる。

このようにさまざまなタイプのロボットハンドが提供されるようになった反面、ロボットアームおよびコントローラへの接続は複雑になった。特に自由度の高いハンドやセンサーを搭載したハンドについては特殊なインターフェースとなることが多く、今後は機械的・電気的・制御的なハンドの接続の規格化が必要となる。

［注目すべき国内外のプロジェクト］

中国

2015年に発表された「中国製造2025」で中核産業の一つとして高性能NC工作機械とロボットが含められたことに引き続き、2016年には「ロボット産業発展計画（2016–2020）」が発表され、10製品、5基幹部品が指定された。10製品は、溶接ロボット、清掃ロボット、知能化産業用ロボット、人間機械協調ロボット、双腕ロボット、重量物用無人搬送車、消防救助ロボット、手術ロボット、知能公共サービスロボット、知能看護ロボットである。また、5基幹部品は、高精度減速機、ロボット用高性能モーター、高性能コントローラー、センサー、ターミナルアクチュエータである。サービスロボット分野関連も含まれているが、産業用ロボット分野にかなり注力をしていることが見て取れる。さらに、2020年には「2020年知能ロボット重点特別プログラム」が発表されている。

第14次国家経済社会発展5カ年計画（2021–2025）では、戦略目標として、2025年までにロボット分野のイノベーション、ハイエンド製造、集積ソフトウェアの世界的ハブになること、2035年にはロボット分野

1　米Willow Garage社が開発した、オープンソースのロボット制御ソフトウェアで開発環境も含む。現在は、非営利団体Open Source Robotics Foundationが開発管理を行っている。

が経済発展、人々の生活、社会管理の重要な一部分となること、を掲げている。その内容としては、サプライチェーンや重要製品と基幹技術の研究開発など、産業基礎能力の強化、先進的製造クラスターの育成による、集積回路、航空宇宙、船舶海洋工学設備、ロボット工学、先進的輸送設備、電力設備、建設機械、ハイエンドNC工作機械、医療医薬設備などの産業の革新的発展を促進する、としている。

日本

革新的ロボット研究開発基盤構築事業（NEDO）

2020年度から5年間の予定で実施されている産業用ロボットに関するプロジェクトである。ロボット導入があまり進んでいない領域にも対応可能な産業用ロボットの実現に向けた要素技術開発を進めるものである。具体的な対象としては、汎用動作計画、ハンドリング、遠隔制御、ロボット新素材が挙げられている。汎用動作計では、作業対象物や把持動作のデータベースを活用して作業計画の最適化のロジックやアルゴリズムの開発を行う。ハンドリングでは、各種センシング技術を搭載し、データベースとの連携を可能とするエンドエフェクターの開発を行う。遠隔制御では、通信遅延や擾乱がある状況でも安全に制御が行えるような信号伝達規格の開発を行う。ロボット新素材では、樹脂や複合材料のロボットへの適用可能性について評価すると共に、圧力・振動・温度などのセンサー材料の組み込み技術や無線給電等の実現等に向けた技術の開発を行う。

World Robot Summit（経産省・NEDO）

2018年と2021年の2回開催されたWorld Robot Summit（WRS）は、展示会であるWorld Robot Expo（WRE）と競技会であるWorld Robot Challenge（WRC）からなるイベントである。WRCの中では、ものづくりカテゴリー（Industrial Robotics Category）の競技として製品組み立てチャレンジ競技が開催された。ここでは2～3台程度のロボットアームで多種の部品からなる製品を組み立てる技術が競われた。取り扱う部品や組み立て技術の高度さに加え、直前に製品の仕様変更があるなど、対応の柔軟性も求められる。これにより参加チーム（ロボットSIer、一般企業、大学 等）の技術力向上および人材育成が図られている。

韓国

2019年に「第3次知能化ロボット基本計画（2019–2023）」が発表され、2023年までに世界トップ4のロボット産業国に飛躍するというビジョンが掲げられた。主な課題として、2023年までに累計70万台の産業用ロボットを供給すること、食品、飲料、繊維などの作業を対象に標準モデルを開発すること、などを挙げている。また、ロボット産業エコシステムの強化、として、インテリジェントコントローラ、自律移動センサー、スマートグリッパーの次世代3要素、ならびに、ロボットソフトウェアプラットホーム、把持技術ソフトウェア、画像情報処理ソフトウェア、人間・ロボット相互作用の4要素の自律化を支援し、さらに、減速機、モーター、モーションコントローラなどの実証・普及に重点を置いた支援を強化する、としている。

欧州

2014年から2020年まで行われたFP8（第8次フレームワークプログラム.別名Horizon2020）において、研究成果を市場に出すことを目的として、ナビゲーション、人間とロボットの相互作用、認識、認知、ハンドリングなどの自律システム・機能に焦点を当てた後、2018年から2020年にかけては、ロボティクスによる産業のデジタル化、AIと認知、認知メカトロニクス、モデルベースの設計・構成ツールなどのコア技術に関連した取り組みを行った。

2021年から2027年までとして始まった Horizon Europe ではロボット関連は Cluster4: Digital, Industory, and Space に組み込まれている。ここでは、デジタル化、AI、データ共有、先端ロボット、モジュール化などの研究に基づき、製造業などのデジタル化、作業者を支援する自律的ソリューション、認知機

能の強化、人とロボットの協働に重点が置かれている。

米国

2011年に発表された先進製造パートナーシップの施策の一つとしてNational Robotics Initiative（NRI）がスタートし、その後も2016年にNRI–2.0、2021年にNRI–3.0が発表されている。また2017年にはロボティクスとAIを通じて米国の製造業を強化することを目的として、産官学の垣根を越えて活動する組織としてAdvanced Robotics for Manufacturing（ARM）Instituteが、カーネギーメロン大学を中心に立ち上げられた。

NRI–3.0では農業、宇宙、運輸、衛生、労働安全など多岐にわたる分野のプロジェクトが進められているが、その中で人間との密接な協働、さまざまな状況に対応するエンドエフェクターなど、産業用ロボットにも有効な研究開発も行われている。

（5）科学技術的課題

ロボットシステムの汎用化

ロボットアームは6自由度など多自由度の汎用機械である。これらの機械は、工場に導入する際に目的の作業に合わせて周辺装置と組み合わせたロボットシステムに組み込むと、その作業の専用機械システムとなってしまい、その作業が行われなくなると使われなくなり、死蔵となることが多々見受けられる。しかし、近年のセンサー類を備えた動作計画や、AI・機械学習等ソフトウェア技術の発達、システムインテグレーション技術の需要増加という流れによって、今後ロボットシステムの汎用化を進める素地ができ上がりつつある。これにより、そのようなことを可能とするソフトウェア技術、ハンドリングや各種作業のための汎用化が可能なツール群、これらをまとめるシステム設計論の開発が今後の重要な課題となってくる。

エンドエフェクターの規格化

ハンドなどのエンドエフェクターを取り付ける、アーム手首部先端のフランジの機械的な接続に関する規格はISOおよびJISで規定されているが、電気信号、空気配管、制御プロトコルなどについては各メーカー、機械で個別に規定されており、統一されていない。人間協働ロボットアームURシリーズを開発・販売しているデンマークのUniversal Robots社は、ハンドなどのエンドエフェクターの規格をUR+として制定し、UR+にのっとった製品を取り付けると、アーム部と合わせて同様な方法でエンドエフェクターのプログラミングも可能となる。 TechManも同様にTM Plug & Playという機能を提供している。これらが別々に開発されていくと、囲い込みによりアームとハンドの組み合わせの自由度が失われていく危険性がある。このため全体を通した規格化が重要でなる。規格化により各メーカーの製品をそろえる必要がなくなり、コストの低下も可能となる。

安価で性能の良い人間協働ロボットの開発

日本メーカーは、高性能な産業用ロボット提供し続けることでこれまで世界におけるシェアを拡大してきた。しかし近年、人間協働ロボットのように高速で動かすことのない製品の登場や、工場以外の用途としてそれほど精度が必要とならない作業の増加に伴い、新興国から安価なロボットが販売されるようになり、日本メーカーのシェアを減らす一因ともなっている。このことから、今後の目指すべき方向の一つとして、自動車産業における日本メーカーの取り組みと同様に、安価で性能の良いロボットの開発が考えられる。このためには制御技術の向上、モーターや減速機の開発、センサーの搭載およびその利用技術の向上などが重要な課題となってくる。

（6）その他の課題

人材確保・人材育成

これまで示したように、近年は多種のセンサーの利用、AI・機械学習の導入、それらに基づく動作プログラムの複雑化が進んでいる。このためロボットユーザー自身でロボットシステムを構築することは困難となっており、専門のシステムインテグレーター（SIer）の需要が高まっている。しかしロボットシステムインテグレーター企業は規模の小さな会社が多く、またロボットシステムの設計・開発は経験等に依存する点が多く、人材の確保、育成は簡単ではない。 FA・ロボットシステムインテグレーション協会では、高校・高専・大学への紹介講座等の実施や、若手技術者のための講座開設や認定試験の実施など、さまざまな取り組みを行っているが、協会単独の取り組みでは限界がある。 SIerの確保・育成の遅れは、今後のロボットシステム開発の国際競争力の低下に直結する問題であり、速やかに対策をとる必要のある重要な課題である。

産学官連携の枠組みの構築

わが国において一時期、学（研究者）と産（ロボット関連企業）の乖離が懸念されていた時期がある。学会において企業の参加者が少なくなり、研究者も独自に考えた前提条件で研究発表を行っていた。近年、AI・機械学習等ソフトウェア研究が増えてきたことに合わせ、企業からの学会参加者は増えてきてはいるが、課題設定の妥当性などについてはいまだ解消されたとは言い難い。これは学の側だけに問題があるわけではない。例えば、力センサーは30年前には「高価で壊れやすく使えない」として企業からは敬遠されていたが、10年ほど前からは安価で対故障性能の高い製品が出てきたことから今や標準的な産業用ロボットのオプションとなっている。先を見据えた、かつ妥当性のある課題設定を見つけ出すことが重要であり、官による支援のもと、産学が連携して妥当性のある課題を発掘する枠組みが必要と思われる。また、上記と近い問題ではあるが、既存技術の延長ではなく、新たなブレークスルーをもたらす技術開発を、学における基礎的な研究を活用しつつ、そこに残された課題を産により検討し、有望そうなものに対して産学官共同で解決法を探る仕組みが、今後のイノベーションのためにも重要になる。

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↘	研究人口は多く、国内学会等での研究発表は盛んであるが産業用ロボットに関するものは少ない。またICRA、IROSなどの主要な国際会議における発表件数が減っており、プレゼンスの低下傾向が見られる。
	応用研究・開発	◎	→	高いレベルでの一定の水準は維持しているが、新たな研究・開発の面では進度は低い。
米国	基礎研究	○	→	研究人口は多く、ICRA、IROSなどの主要国際会議でも多くの発表がなされている。
	応用研究・開発	◎	→	産業用ロボットを主目的とした政策的な支援は少ない（National Robotics Initiative 3.0の一部等）が、Mantis RoboticsやAgility Robotics等のベンチャーをはじめとする企業の活動は旺盛であり、多くの事業化がなされている。
欧州	基礎研究	◎	↗	Horizon2020に引き続き、Horizon Europeにおいても基礎研究として多くの成果をあげている。
	応用研究・開発	○	→	Horizon2020では現場への実装も含めた成果をあげている。また、Universal RobotsやFranka Emikaなどの新興企業も堅調に成長している。

中国	基礎研究	○	↗	研究人口は年々増加しており、ICRA、IROSなど主要な国際会議における発表件数も増加傾向にある。
	応用研究・開発	◎	↗	新松などの古くからある企業に加え、Dobot、Elite Robots、Standard Robots等、多くのベンチャー企業が立ち上がり、人間協働ロボット、AMRの開発に注力している。
韓国	基礎研究	○	→	研究人口は必ずしも多くないが、ICRA、IROSなどで一定のレベルの成果はあげている。
	応用研究・開発	△	↗	一時期は産業用ロボット関連は下火であったが、導入の増加に合わせて、第３次知能化ロボット基本計画など産業への注力が行われ、成長を見せている。
台湾	基礎研究	△	→	研究人口は多くないが、ICRA、IROSなどで一定のレベルの成果はあげている。
	応用研究・開発	○	→	HIWINやTechManなどのメーカーが堅調に成果をあげており、日本にも多く進出している。

（註1）フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

（註2）現状　※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている　　○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない　　×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註3）トレンド　※ここ１～２年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

参考文献

1）日本ロボット工業会『ロボット産業需給動向2022年版（産業ロボット編）』（東京：日本ロボット工業会，2022）．

2）ロボットによる社会変革推進会議「ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性：ロボットによる社会変革推進計画（2019年7月）」経済産業省，https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/robot_shakaihenkaku/pdf/20190724_report_01.pdf,（2023年3月9日アクセス）．

3）日本工業標準調査会『JIS B 8433–2：2015ロボット及びロボティックデバイス：産業用ロボットのための安全要求事項：第2部：ロボットシステム及びインテグレーション』（日本規格協会，2015）．

4）ISO/TC 299 Robotics, *ISO 10218–2*：*2011: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration*（International Organization for Standardization, 2011）.

5）International Federation of Robotics（IFR）, *Information Paper: World Robotics R&D Programs*（Frankfurt: IFR, 2021）.

6）International Federation of Robotics（IFR）, "Positioning Paper: Robots and the Workplace of the Future (March 2018)," https://ifr.org/papers,（2023年3月9日アクセス）．

7）International Federation of Robotics（IFR）, "Positioning Paper: How Connected Robots are Transforming Manufacturing (October 2020)," https://ifr.org/papers,（2023年3月9日アクセス）．

8）国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「（NEDO北京事務所仮訳）「十四五」計画におけるロボット産業の発展計画の発表に関する通知」https://www.nedo.go.jp/content/100952928.pdf,（2023年3月9日アクセス）．

9）八山幸司「米国におけるロボットに関する取り組みの現状（2015年7月）」独立行政法人日本貿易振興機構（JETRO）, https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/a959c3cf82bb7530/reports_NY201507.pdf,（2023年3月9日アクセス）.
10）Kensuke Harada, et al., "Experiments on learning–based industrial bin–picking with iterative visual recognition," *Industrial Robot* 45, no. 4（2018）: 446–457., https://doi.org/10.1108/IR–01–2018–0013.
11）International Federation of Robotics（IFR）, "Information Paper: A Mobile Revolution: How mobility is reshaping robotics（June 2021）," https://ifr.org/papers,（2023年3月9日アクセス）.
12）International Federation of Robotics（IFR）, "Information Paper: Robots in Daily Life: The Positive Impact of Robots on Wellbeing（October 2021）," https://ifr.org/papers,（2023年3月9日アクセス）.