

2.2.8 サービスロボット

(1) 研究開発領域の定義

サービスロボットとは、汎用的な産業用ロボット以外のロボット全般を指すことが多く、明確に定義されているものではないが、本稿においては、1) 基本日常生活動作 (ADL: Activities of Daily Living) や調理・掃除などの手段的日常生活動作の質的向上や社会的弱者の自立支援を目的とした、生活支援・介護ロボット、2) 小売業や宿泊、飲食サービス業などで客や従業員と同じ場所で共に働くコワーキングロボット、3) 人々と社会的なインタラクション、会話、触れ合いなどを行うコミュニケーションロボットの3分野について論じる。

人へのサービスを提供するロボット分野であることから、ユーザーとの距離が近いことに起因する「安全性」や、自ら考え、認識、判断する「自律性」などの技術の確立を課題とした研究開発領域である。

(2) キーワード

非構造化環境 (non-structured environment)、介護ロボット、リハビリ支援、ブレイン・マシン・インターフェイス (BMI)、コワーキングロボット、テレプレゼンスロボット、ソフトロボティクス、対人インタラクション、コミュニケーションロボット、スマートスピーカー、ロボットセラピー

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「2035年に向けたロボット産業の将来市場予測」において、2035年におけるロボット産業の市場規模を9.7兆円と予測している。中でもサービス分野の伸びは著しく2020年の1兆円から2035年には5兆円に迫るとしている。サービス分野の伸びが大きいと予測される理由として、少子高齢化による労働人口の減少に伴い、生活支援・介護や医療などにおける人材不足解消や、これらの業務従事者の負担軽減に資するロボットの普及が期待され、社会課題の解決という観点からも高い意義がある。面倒な家事、屋外での危険な作業、コンビニやファミリーレストラン等での深夜業務などを代替するため、コワーキングロボットの導入および、コミュニケーションロボットやスマートスピーカー等の新たな分野への普及が現実味を帯びている。

サービスロボットは家庭や店舗、公共施設などの非構造化環境において、ユーザーと近接して、共同で働くものである。このため、より高度な安全性が要求される。また、定型的なタスクの定義が困難であるため、自ら考え、認識、判断する自律性が強く求められる。これらの課題を解決するためには、機構学や制御工学といった従来の研究分野とともに、ソフトロボティクスや対人インタラクションなどの新しい研究分野との学際的な研究開発が必須となる。以上のように、市場規模が増大すると予想されるサービスロボット分野に対応するおよび、新しい研究分野とのコラボレーションが必須であることが、本領域の研究意義である。

[研究開発の動向]

これまでの研究の経緯

生活支援・介護ロボットは、生活機能が低下した高齢者や障がい者の「活動」や「社会参加」を支援するという目的で、1970年代より研究開発が始まった。例えば、1977年から機械技術研究所 (現：産業技術総合研究所) において、視覚障がい者の移動支援を行う「盲導犬ロボット」¹⁾ の開発が行われた。一方、介護者の負担軽減も重要なテーマであり、1978年頃から同じく機械技術研究所で、双腕マニピュレーターにより人が乗ったベッドごと抱き上げて移乗支援を行う介助移動装置「メルコング」²⁾ の開発が行われた。1990年代前半には、加藤一郎により就労支援も含む自立支援、社会参加支援、介護者支援からなる生活支援ロボットの構想が提案され³⁾、また土肥健純は、広範なライフサポートテクノロジーとして、介護ロボット、コミュニケーション支援と精神的支援も合わせて、介護者および被介護者の両方の立場に立ったロボットを提案して

いる⁴⁾。

サービスロボットは、従来、工場や店舗のバックヤードで作業を行う、人が留守のうちに家庭の掃除をする等、人と直接触れ合うことは少なかったが、近年は飲食店のバックヤードやフロントヤード、ホテルの受付、案内のように、人と共生、協働することが求められ、2010年代後半からベンチャー企業を中心に市場を形成しつつある。本稿ではそれらのロボットを総称してコワーキングロボットと呼んでいる。

コミュニケーションロボットの研究開発は比較的新しく2000年頃に始まった^{5)、6)}。当時、ASIMO (ホンダ) やAIBO (ソニー) など、ヒューマノイドロボットやペットロボットによる人々とのインタラクションに注目が集まった。初期の研究の多くは、ロボットがパフォーマンスを行う等のエンターテインメント目的のものや、ロボットが周囲の人々と比較的シンプルで情緒的な交流を行う方法とその応用に関するものであった⁷⁾。例えば、MITのCynthia Breazealらが開発したロボットKismetは擬人的な外見を持ち、周囲の状況に応じてさまざまな顔表情を表出することで、ロボットとユーザーとの間に、まるで幼児とその保護者の間のような情緒的な交流を引き起こした。産業技術総合研究所が開発したアザラシ型ロボットParoは、触れ合いによりユーザーとの情緒的な交流を可能にした。衛生面の問題から動物を持ち込めない病院等で、アニマルセラピーに代わる、Paroを用いたロボットセラピーが行われ、入院患者や高齢者に癒やしをもたらした。

現在の潮流

移動という基本的な生活機能に対する支援技術には、家庭・病院・介護施設などの屋内環境用から外出用まで、さまざまな場面で利用されるものが研究開発されている。パーソナルモビリティ技術に関して、2011年に始まったつくばモビリティロボット実験特区における社会実験の取り組みが行われ⁸⁾、その後全国に展開された。またWHILL (株) が開発した電動車いすは、近距離移動のプラットフォームとして障がい者だけでなく健常者に対しても家庭、買い物、駅、空港などさまざまな場面で使われている。さらに、2020年には自律移動機能を実装した空港ターミナル内での自動運転サービスを実用化した。

介護現場での高齢者見守りに特化したシステムの実用化事例も増えてきた。カメラ、レーダー、あるいはマット型センサーシート、荷重センサーなどのデバイスを用いて、ベッド上や浴室などでの危険事象(転倒、転落、単独での離床など)を検知し、介護者に知らせる機能を持つ。その際に、コミュニケーションロボットやスマートフォン、時計型デバイスなどと連動し、声かけを行うシステムも開発されている。見守りシステムは介護施設における介護職員の、特に夜間の負担軽減につながる事が分かっており、その利用は2018年の介護保険報酬改定にて加算の対象となり普及が加速した。

2022年時点でのコワーキングロボットの例では、空港で働く自律走行型の警備ロボットやレストランの配膳ロボットが、接客・案内も行うなど、1台のロボットに対しコア機能を中心にさまざまな機能が付加され、サービスロボットが提供する機能の多角化が進んでいる^{9)、10)}。また、従来のコワーキングロボットは、上述のように人と直接触れ合うことは少なかったが、近年はホテルの受付、案内のように、人と同じ労働環境で人と作業を分担するロボットが強く求められている。

コミュニケーションロボットの大きな市場としてAIスピーカーがある。対話型の音声機能は、当初、アシスタントデバイスやスマートフォンに搭載されて普及してきたが、現在では、自動車に標準装備されたり、病院の受付、事前診療、観光案内、情報提供、子供やペットの見守りなどさまざまな応用事例で使われることが増えてきた。また、ロボットの自律移動能力の向上や携帯通信網の普及・性能、に伴って、移動能力を有したテレプレゼンスロボットの実用化が進んでいる。テレプレゼンスロボットは主には遠隔勤務の支援に用いられているが、長期入院中の子供の遠隔登校や物理的に移動することが困難な人の就業を可能にするといった応用も見いだされている。これらも広い意味ではコミュニケーションロボットと言えよう。

諸外国の政策

米国連邦政府がまとめた米国におけるロボット研究開発のロードマップ「A Roadmap for US Robotics : From Internet to Robotics 2020 Edition」(September 9, 2020)によると、工場内だけで作業する従来型の産業用ロボットに加え、人と協働するサービスロボットの活用や工場の外でのロボット利用が、AIの実用化と相まって拡大していくとし、日本と同様に、米国においてもサービスロボット市場の大幅な拡大が予想されている。欧州ではEUの「Horizon 2020」プログラムのもとで「研究室から産業へ、そして市場へ」を旗印に研究開発主導での社会課題の解決を促進している。EUでは120を超える研究プロジェクトがSPARCと呼ばれる官民パートナーシップをベースにして連携しており、2014年から2020年にかけて7億ユーロの資金を欧州委員会から受け、民間主導としては世界最大のロボティクス・イノベーション・プログラムである¹¹⁾、¹²⁾。中国では2049年(中華人民共和国建国100周年)までに世界一の製造大国となるべく「中国製造2025」を掲げている。現在、中国は世界の工場として世界一の製造規模を誇るが、サービスロボット分野では、高齢化の進展に対処するため家事や店舗オペレーション等のロボットによる代替を目標として掲げている¹³⁾。

技術の進展状況

サービスロボットに要求される機能は多種多様であり、必要とされる技術も多岐に亘る。ここでは、「センシング」、「マニピュレーション」、「ヒューマンインターフェース」の3項目について技術の進展状況を述べる。

センシング

安価で手軽に周囲の情報を得る手段として画像や音声の認識性能の向上が求められている。画像認識に関しては、ステレオカメラに始まり、赤外線方式によるリアルタイム3次元距離センサーへと発展した。ゲーム機への実装により距離画像が手軽に利用できるようになったり、安価なトイロボットでの利用も可能になったりした。音声入力についても複数のマイクの入力をリアルタイムに処理するマイクロホンアレイの利用により音源定位や雑音の除去などが容易になった。このようなハードウェアの進歩に加え、深層学習の進展により、事前知識の乏しい状況でも大量のデータからの学習機能により不特定話者との音声対話や一般画像理解などの諸問題に対し、従来の手法を圧倒する高い性能を示している。

マニピュレーション

サービスロボットが人と協働する際の最大の課題である安全性の確保に向け、柔らかい制御と柔らかいマニピュレーターが注目されている。制御においては、マニピュレーターの安全性を担保するために、コンプライアンス制御と呼ばれる、いわゆる柔らかい制御アルゴリズムの研究が進められている。以前からのハイブリッド制御やインピーダンス制御などの制御理論の改良ばかりでなく、深層学習や強化学習などの機械学習手法によりセンサーの生データから直接ロボットを制御するEnd-to-endの方法論を用いた物体操作が実現しつつある。また、柔らかな素材や軽量な材料でマニピュレーターを作る研究開発も重ねられている。ソフトロボティクスと呼ばれる研究分野では人工筋肉や非機械的な動きを実現するソフトアクチュエーターの利用により、これまでにはない動特性を持ったマニピュレーターが開発されている¹⁴⁾。

ヒューマンインターフェース

人と共存するサービスロボットの大きな特徴として、人との対話やコミュニケーション機能が考えられる。人を対象とした、心理学、認知科学、脳科学といった研究分野とのコラボレーションにより、ロボットの感情表現や対話戦略などの分野で成果が出ている¹⁵⁾。アバターやインターフェースロボットと呼ばれる分野では、外出が困難なユーザーに代わって買い物や美術館での鑑賞を体験するロボットの実証実験が進んでいる。CGキャラクターによる擬人化、音声合成アルゴリズム、高速な公衆回線(5G)などの日本が優位な技術とマッ

ちすることもあり諸外国に先駆けて実用化が期待できる分野である。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

深層学習 (Deep Learning) に代表される人工知能技術の発展が世界的な潮流¹⁶⁾ となっており、大学や研究機関のみならず、多くの企業が参入している。これにより、画像識別や音声認識技術が生活支援ロボットやコミュニケーションロボットのインターフェースとして利用可能なレベルまで発展し、これらの技術が安価にかつ手軽に実装できるようになると期待されている。

家庭内のさまざまな機器がネットワーク化・スマート化し、複雑な操作が必要になったことを背景として、スマートスピーカーが爆発的に普及したことがある。2015年にはAmazon Echo、2016年にはGoogle Homeと次々に競合する製品が販売され、総務省の調査では2021年の時点でわが国の普及率は17.6%と年々増加している。さらに、その一歩先を見据えて、身体性を有するロボットを利用したより高度なインタラクションについても研究が進んでいる。近年、コミュニケーションロボットの応用対象として特に盛んに研究されているのが学習支援である。ロボットとインタラクションをしながら外国語を学ぶといった試みは早くから行われていたが、ここ数年、欧米にて研究が進展し、ロボットが直接的にチューター役を担当したり、あるいはコンピューター端末で学習するユーザーを励ましたり、といった新たな利用法が検討されている。

欧州ではFP7 (2007年～2013年)、Horizon 2020 (2014年～2020年) において、継続的にロボットの知能化に関する研究プロジェクトが採択されている。また、Horizon2020の後継としてHorizon Europe¹⁷⁾ が進められているが、ここでも生活支援ロボットは人工知能分野と密接に関連しながら、高齢化という社会的課題に挑戦するために官民パートナーシップの下での進展が期待される。欧州における生活支援ロボットは、人々が自立した生活を行うためのケア・システムとして位置付けられている。これら技術的なソリューションの発展とともに、各国の社会保障制度への導入が重要となる。

米国では、省庁横断型のロボット開発支援プログラム National Robotics Initiative (NRI) が2011年に発表され、国防高等研究計画局 (DARPA)、航空宇宙局 (NASA)、国立衛生研究所 (NIH)、農務省 (USDA) らのパートナーシップの下で、広範にわたるロボティクス分野の支援が行われてきた¹¹⁾。2020年から始まった National Robotics Initiative 2.0: Ubiquitous Collaborative Robots (NRI-2.0) では、生活のあらゆる面で人を支援するための協働ロボット (co-robots) システムの研究開発を促進している。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

コロナ禍が続く中、家庭外で商業的に調理・加工されたものを購入して食べる中食 (なかしょく) の需要が高まっており、その市場規模は年々拡大を続けている (『中食2030 ニューノーマル時代の新たな「食」を目指して』ダイヤモンド社)。これまで中食産業でのロボット利活用は、産業ロボットの一部門として少品種大量生産のコンビニ向けお弁当の製造工場などに導入されてきた。しかしながら、盛り付けなどの産業用ロボットに難しい作業は依然として労働集約型の作業であり、外国人、高齢者が従事していることが多い。

一方で、昨今は新たな中食産業の形態として、外食店が自ら多品種少量生産のお弁当を販売したり、デリバリーの利用者が急増している。外食産業もセントラルキッチンを持ち効率化を進めているところもあるが、そこで求められているのは、人と共存して、万能工として協働するようなサービスロボットである。そのような人と協働するロボットには従来の工場用ロボットとは異なる、高度なAIによる動作計画と柔軟な動きを実現する高度な制御、厳しい安全性と共に食品を扱う厳密な衛生管理が一層求められるようになっている。機構学や制御工学といった従来の研究分野とともに、ソフトロボティクスや対人インタラクション、センサーフュージョンなどの新しい研究分野とのコラボレーションが進んでいる。

株式会社アールティ (以下、RT社) が開発した人型協働ロボット「Foodly (フードリー)」は人の隣に並んで食材の盛り付け作業ができることをコンセプトに中食工場向けに開発された。ディープラーニングを活用

した AI Vision Systemにより、ばら積みされた食材をひとつひとつ認識して高速にピッキングし、弁当箱・トレイへ盛り付けするまでの作業を1台で完結させることが可能である。食品製造工程の中でも特に盛り付け工程は、惣菜の認識、作業の複雑さや作業速度、人が作業するためロボット専用の環境が設けられないことから自動化が非常に難しいと言われている。現状は人手に頼ることが多く、効率化が求められている領域である。しかしながら、労働安全の観点からロボットのスピードが制限されており、実現には技術はもとより法律の壁もある。いずれにしても人と同じベルトコンベヤーラインで隣り合って安全に作業が可能であったり、現状人間が使っている省力化機械を操作したりするようなロボットの導入により、生産性の向上とコスト削減が実現される。これらは、すでに人手による生産に特化された産業を、既存設備を生かしながら、将来的には自動化を行うまでの過渡的な自動化を担うものである。また、新型コロナウイルス感染拡大もあるが、2022年からHACCP¹の施行があるなど、衛生にも要求が高まっている。人手に頼っていた作業をロボットに置き換えることで、人由来の髪の毛やまつ毛などの異物混入や、人を介してのウイルス・微生物の持ち込みを抑え、衛生管理の向上につなげることができる。実現すれば、店頭に食品を置ける時間が延び、フードロスの問題の解決の一助になるとも期待されている。

(5) 科学技術的課題

サービスロボットにおける最大の技術的ボトルネックは智能化である。人の理解に基づくロボットの行動過程の生成は、人工知能分野の長年の課題である。近年盛んに研究されている深層学習等の機械学習技術により、画像認識や音声認識には大きな進歩が見られ、ロボットのインターフェースとしての利便性は高まっている。しかしながら、現状の機械学習は、事象の相関を学習する能力には長けているが、人々が行っている日常動作の背景にある概念や社会知に関する知識が欠如しており、実世界で実用的なレベルで動作する汎用型の知能ロボットの実現にはまだ至っていない。米国および中国においては、政府のみならずビッグテック (Google、Apple、Meta、Amazon)、BATH (Baidu、Alibaba、Tencent、Huawei) をはじめとしたIT関連企業が数兆円規模で人工知能開発に注力し、また、生活分野に関する人の行動履歴、ヘルスケア情報など大量の個人データを収集している。わが国においても「人工知能研究開発ネットワーク」¹⁸⁾ 等において実施されている基礎研究で得た成果をサービスロボット等に応用するための取り組みが求められる。

汎用型サービスロボット実現のためのソフトウェアからのアプローチは、機械学習手法の活用である。事前に想定するタスクをすべて作りこむことは困難であるため、ロボットは、画像認識、音声認識、マニピュレーション、移動計画などの基本的な機能だけを有し、タスクに関する知識や解決手段はユーザーとインタラクションしながら学習する、すなわち使いながら賢くなっていく仕組みが必要とされる。これは、いわゆる汎用人工知能と呼ばれる技術であり、人と同じように、想定外の要求があってもそれまでの経験に基づいて総合的に判断し、問題解決に至る技術の実用化が期待されている。

一方、ハードウェアからのアプローチは、掃除のような特定の機能に特化したロボットではなく、家庭や店舗で汎用的に使える標準的なロボットハードウェア (プラットフォームロボット) を開発し、その上でさまざまなサービスを実装するという手法である。複数の開発機関が共通のプラットフォームロボットを使って異なるソフトウェアを開発することで、開発成果の汎用化により流通が促進され、さらに研究開発が促進されるという相乗効果が期待できる。トヨタ自動車はFetch (モノをつかむ) とCarry (モノを運ぶ) に特化した小型で安全性の高いプラットフォームロボットHSR (Human Support Robot) を開発し、13カ国にわたる50を超える機関に100台以上のロボットを提供している (2022年10月現在)。それぞれの機関はHSR開発コミュ

1 Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)とは、食品等事業者自らが食中毒菌汚染や異物混入等の危害要因 (ハザード) を把握した上で、原材料の入荷から製品の出荷に至る全工程の中で、それらの危害要因を除去又は低減させるために特に重要な工程を管理し、製品の安全性を確保しようとする衛生管理の手法です。[厚生労働省のHPより]

ニティーとして活動し、コミュニティ内では開発成果を共有するなどの横断的な連携を行っている。コワーキングロボットのように人がロボットと物理的な空間を共有するためには、ソフトロボットに代表されるような対人親和性の高いロボットの実現も喫緊の課題である。接触安全性の確保という観点からは、外力に対し敏感に応答するアクチュエーター技術が重要となる。

汎用型サービスロボット実現のためには、ソフトウェアとハードウェアの両面からのオープン化を図るオープンイノベーションの取り組みをさらに進めていく必要がある。サービスロボットは、機械工学、ロボット工学、AI・IoT、ウェアラブル技術、自然言語処理、インタラクション技術など多数の技術が有機的に連携した研究領域である。特に、わが国が強みを持つハードウェアとソフトウェアを融合したメカトロニクス技術に関連するものであり、日本の産業を牽引し、世界的な競争力強化の礎としていくべき分野である。

(6) その他の課題

サービスロボットの開発においては、科学技術的課題に加え、実社会における実証試験、安全性に関する基準策定、医療機器としての許認可、健康保険・介護保険収載まで、社会に実装するまでにさまざまなハードルが存在する。また、国内と海外では医療機器に関する認証制度が大きく異なり、国内では規制を受けていない生活支援ロボットや介護ロボットでも、欧米では医療機器のカテゴリーに該当する 경우가多く、せっかく実用的なロボットを開発しても国内市場から海外市場にシームレスに展開ができないという課題がある。国内でも、生活支援ロボットの国際安全規格、安全性検証手法の確立、ロボットソフトウェアの機能安全等の検証を目指したNEDO生活支援ロボット実用化プロジェクト(2009～2013年度)により¹⁹⁾、サービスロボットの国際安全規格ISO13482の策定が行われたが、この規格とCEマーク、FDAをはじめとした諸外国における医療機器規格との関係性の整理と、相互認証の仕組みの整備などが必要になる。

諸外国に比べ、日本ではPoC(Proof of Concept: 概念実証)で導入が止まってしまうのに対し、諸外国ではどんどんチャレンジが進んでいく。サービスロボットが日本で導入が進まない大きな理由は、ロボットに対する期待度の高さ、コストパフォーマンスに対する過度な要求、チャレンジに対して費用を負担しない社会構造にある。そこにいち早く気づき、経産省では、ロボットフレンドリーなユーザー環境を推進する取り組み²⁰⁾に着手している。

人と共存するロボットに関しては安全規格やELSIについても検討が必要である。人と協働・共生し、自律的に動き、判断し、さらには人に指示をするようなロボットの実現が現実味を帯びてきている。そこで大きな課題となるのは、リスクアセスメントと、倫理的、法的、社会受容性の課題(Ethics, Legal, Social Issues: ELSI)である。装着型、移動作業型、搭乗型といったサービスロボットについては国際安全規格ISO13482が定められているが、コミュニケーションロボット全般についても安全規格を整備する必要がある。

ロボットが認識や学習を行うには、大量の人行動などのデータセット構築が必要になる場合が多い。特に、生活支援・介護や医療ドメインにおいて、プライバシー性の高い情報をロボットが扱う場面も今後予期される。ロボットによるデータの取得、収集についてはELSI面での検討、法制度の整備が必要となる。

日本におけるサービスロボットの開発水準は世界を先導している。府省連携による研究開発支援のみならず、実証評価、機器認証、市場開拓のそれぞれのフェーズを支援する政策的な取り組みが望まれる。

(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 | ◎ | ↗ | 人工知能技術の進展に伴い、画像理解、音声理解、空間認識などの知能化技術がサービスロボットに利用されるようになってきた。それに伴い、モバイルマニピュレーションのような新規研究分野が盛んになっている。対人親和性の向上、新材料（特にソフトロボティクス）を用いたロボット要素技術の開発など、高い研究レベルにある。 |
| | 応用研究・開発 | ◎ | ↗ | トヨタ自動車（HSR）、（株）RT（Foodly）などサービスロボットの標準プラットフォームロボットの開発が盛んになっている。2021年の東京オリンピックを契機にさまざまな地域でサービスロボットの社会実装検証が行われた。今後は、実証から商品化へのフェーズにシフトするものと思われる。 |
| 米国 | 基礎研究 | ◎ | ↗ | 政府機関や軍、大学を中心に巨額な資金に支えられて基礎研究は進められている。加えて、大手IT関連企業の研究部門において画像認識や音声認識に基礎研究が盛んである。軍事産業からのフィードバックも多くみられる。また、教育・療育支援ロボットなどの取り組みに大きな予算が措置されるなど、ハイリスクな研究にも支援が行われる体制がある。 |
| | 応用研究・開発 | ○ | → | 世界的に掃除ロボットを普及させたiRobot社をはじめ、リハビリ等の医療分野でも、大学からのスピンオフなど多くのベンチャー企業を中心に応用研究・開発が盛んである。しかしながら、継続的な開発はそれほど多くはなく、特に高齢者介護向けの生活支援ロボットに関しては、期待された成果は出ていない。 |
| 欧州 | 基礎研究 | ◎ | → | 欧州における生活支援ロボットは、特にイタリア、ドイツ、フランスの研究者が主体的な役割を果たしており、過去10年では当該分野の研究者がIEEEのロボット分野のプレジデントを務めるなど、そのプレゼンスは極めて高い。ヒューマンロボットインタラクションや最適化アルゴリズムなどの基礎研究が中心でありレベルは高い。 |
| | 応用研究・開発 | ◎ | ↗ | 生活支援ロボットに関するHorizon2020での大型プロジェクトなど、世界的にも注目度が高い。コミュニケーションロボット分野では、小型の humanoid ロボットで有名な仏アルデバランロボティクス社をソフトバンク社が2016年に買収した。また、スウェーデンを中心としたロボット・ベンチャー企業による介護支援分野の開発が盛んである。また介護現場での評価・導入に関しては、デンマークが積極的に進めている。一方で、店舗などでのコワーキングロボットの利活用は進んでいない。 |
| 中国 | 基礎研究 | ○ | ↗ | 国家中長期科学技術発展計画綱要（2006年～2020年）において、先端技術8分野の中に知的ロボットをあげている。これは、認知ロボットやソーシャルロボットに関連する広範な分野であり、今後のサービスロボットへの応用が期待できる。主要な国際学会での論文投稿数の伸びは著しい。一方で、応用研究に傾注する傾向があり、オリジナルなアイデアに乏しい。 |
| | 応用研究・開発 | ◎ | ↗ | ベンチャー企業を中心に応用研究と社会実装が進んでいる。深眸科技（Deep Eye Technology）はAI技術の強化によりコスト削減を図り低価格な家庭用サービスロボットを商品化した。サービスロボット市場としては世界一と言える。日本企業により開発された生活支援ロボット、介護支援ロボットの模倣品とみられるものも出てきており、今後、知財戦略について注意が必要である。 |
| 韓国 | 基礎研究 | △ | → | 2000年代のユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト（URC）に主導される形でさまざまな家庭用・公共施設用サービスロボットに関する研究が盛んになり、プラットフォームを含めて多くの成果が出たが、その後継プロジェクトが限定的である。このため、HRIに関する有力な研究者らが減少気味である。韓国科学技術院を中心に基礎研究が若干増えているが、特筆すべき活動・成果が見えていない。 |

| | | | | |
|----|---------|---|---|--|
| | 応用研究・開発 | ○ | → | URC終了後、企業との連携を中心としてその成果の実用化が進められたが、新規市場創出には至らなかった。その後、2013年から10年間のロボット未来戦略を発表し、また産業・商業・医療・公共分野におけるロボット関連の規制緩和を進めるなど、新たなサービスロボットの産業創出を目指している。 小型サーボモーターや教材用の小型ロボット（(株)ロボティズ）が世界市場で大きなシェアを得ているが、サービスロボットの利活用に関しては特筆すべき例は無い。 |
| タイ | 基礎研究 | △ | → | 国際学会等でもタイからの論文投稿は少ない。 |
| | 応用研究・開発 | ◎ | ↗ | コワーキングロボットの事業化例が急増している。病院や公共施設での受付・案内ロボット。ロボットレストラン等での省力化の事例が増加中である。 |

(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) Susumu Tachi, et al., "Guide dog Robot - Its basic plan and some experiments with Meldog Mark I," *Mechanisms and Machine Theory* 16, no. 1 (1981) : 21-29., [https://doi.org/10.1016/0094-114X\(81\)90046-X](https://doi.org/10.1016/0094-114X(81)90046-X).
- 2) 中野栄二, 他「介助ロボット「メルコング」の概要」『バイオメカニズム学術講演会予稿集』2巻(バイオメカニズム学会, 1981), 137-138.
- 3) 加藤一郎「リリスロボット-生活支援ロボット-の構想」『日本ロボット学会誌』11巻5号(1993) : 614-617., <https://doi.org/10.7210/jrsj.11.614>.
- 4) 土肥健純「ライフサポートテクノロジーの今後の展望：生命から生活へ」『BME』7巻4号(1993) : 44-51., https://doi.org/10.11239/jsmbe1987.7.4_44.
- 5) Terrence Fong, Illah Nourbakhsh and Kerstin Dautenhahn, "A survey of socially interactive robots," *Robotics and Autonomous Systems* 42, no. 3-4 (2003) : 143-166., [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00372-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00372-X).
- 6) Michael A. Goodrich and Alan C. Schultz, "Human-Robot Interaction: A Survey," *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction* 1, no. 3 (2008) : 203-275., <https://doi.org/10.1561/11000000005>.
- 7) Cynthia Breazeal, Kerstin Dautenhahn and Takayuki Kanda, "Social Robots," in *Springer Handbook of Robotics*, 2nd ed. eds. Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Springer Cham, 2016) , 1935-1972., https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_72.
- 8) 鶴賀孝廣「モビリティロボットの公道実証実験：特区制度の利用から全国展開へ」『日本ロボット学会誌』33巻8号(2015) : 564-567., <https://doi.org/10.7210/jrsj.33.564>.
- 9) 森直子「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」機械振興協会, http://www.jspmi.or.jp/system/file/6/89/202002essey08_mori.pdf, (2023年2月21日アクセス) .

- 10) 神藤彩乃, 野中朋美, 新村猛「配膳ロボット導入済み店舗と導入検討中店舗の従業員への機械化に対する意識調査とテキストマイニング」『人工知能学会全国大会論文集 第36回 (2022)』(人工知能学会, 2022)., https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2022.0_4J1OS25a01.
- 11) Matthew Spenko, Stephen Buerger and Karl Iagnemma, eds., *The DARPA Robotics Challenge Finals: Humanoid Robots To The Rescue*, Springer Tracts in Advanced Robotics 121 (Springer Cham, 2018) ., <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74666-1>.
- 12) Philippe Moseley, “EU Support for Innovation and Market Uptake in Smart Buildings under the Horizon 2020 Framework Programme,” *Buildings* 7, no. 4 (2017) : 105., <https://doi.org/10.3390/buildings7040105>.
- 13) 頼寧「GLOBAL INNOVATION REPORT 進化し続ける「世界の工場」:「中国製造2025」に見る製造強国戦略」『日立評論』99巻6号(2017):603-609.
- 14) 細田耕「ソフトロボティクスとは何か?」『知能と情報』29巻5号(2017):159., https://doi.org/10.3156/jsoft.29.5_159.
- 15) Sebastian Wrede, et al., “The Cognitive Service Robotics Apartment,” *KI-Künstliche Intelligenz* 31 (2017) : 299-304., <https://doi.org/10.1007/s13218-017-0492-x>.
- 16) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター「CRDS-FY2021-RR-01 人工知能研究の新潮流:日本の勝ち筋」<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2021-RR-01.html>, (2023年2月21日アクセス) .
- 17) Konstantinos Charisi, et al., “ARESIBO HORIZON 2020 EUROPEAN RESEARCH PROJECT - Enriched Situation Awareness For Border Surveillance,” *STRATEGIES XXI - Command and Staff College* 17, no. 1 (2021) : 247-255., <https://doi.org/10.53477/2668-2028-21-31>.
- 18) AI Japan R&D Network (人工知能研究開発ネットワーク) , <https://www.ai-japan.go.jp/>, (2023年2月21日アクセス) .
- 19) 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)「生活支援ロボット実用化プロジェクト」https://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html, (2023年2月21日アクセス) .
- 20) 経済産業省「ロボットフレンドリーな環境が実現する日が近づいています。」<https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210930003/20210930003.html>, (2023年2月21日アクセス) .