

2.2.7 生活支援ロボット

2.2.7.1 コミュニケーションロボット

(1) 研究開発領域の定義

コミュニケーションロボット、あるいはソーシャルロボット、と呼ばれるような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機能を持つロボットは、生活支援・介護や医療などの応用ドメインにて主に利用されている。これらの応用ドメインでは、高齢化、人手不足といった社会問題を背景に、ロボットの潜在的なニーズが高く、様々な応用方法が研究開発において模索されている。

(2) キーワード

コミュニケーションロボット、ソーシャルロボット、社会支援型ロボット(Socially assistive robot)、ヒューマンロボットインタラクション、テレプレゼンス、スマートスピーカー、ロボットセラピー、ヘルスケア、生活支援、学習支援

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

将来の人口減少や社会の高齢化の問題が懸念されるなか、生活支援・介護医療などの課題の解決には、現状の人的資源を対象に専門的なトレーニングを施すだけでは、質が高くコスト面での負担も少ないサービス提供を維持することは不可能であり、ロボットを含めた情報化技術による負担軽減が必要となる。

生活支援・介護や医療などの応用ドメインでコミュニケーションロボットを利用するためには、そのドメインごとに固有の環境・文脈に応じてユーザーとなる人々との関わり合い、すなわちヒューマンロボットインタラクションを適切にデザインし、社会的に受容されるロボットサービスを構築する必要がある。

これらを実現するためには、音声認識、画像処理、アクチュエーション制御といった個々の要素技術の高度化の実現に加え、それらの高度なインテグレーション技術が必要となる。単に必要な機能を結び付けただけではなかなか社会的に受容されるサービスは実現できず、ロボットに違和感を持たれてしまったり、安心感の持てない行動を起こしてしまったり、といった問題が起きる。

このように、高度な技術群、方法論が要求される分野ではあるが、それだけに応用の範囲は広く、大きなニーズがあるため、コミュニケーションロボットの研究開発を進める意義は大きいといえる。

[研究開発の動向]

ロボティクス分野において、人々とコミュニケーションをするロボットの研究開発は比較的新しく2000年頃に始まった^{1), 2)}。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³⁾。たとえば、MITのCynthia Breazealらが開発したロボットKismetは擬人的な外見をもち、周囲の状況に応じて様々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、まるで幼児とその介護者のような情緒的な交流を引き起こした。

生活支援・介護や医療への応用に向けた取り組みも初期から行われた。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しをもたらした。

Kerstin Dautenhahn らが開発した子供サイズの人型ロボット Kasper は、表情を表出したり触れ合ったりすることでユーザーとインタラクションをし、ターンテキングや物まねゲームなどの簡単な社会的インタラクションが可能である。コミュニケーションに困難を抱える自閉症の子供たちのコミュニケーション訓練を手助けするといった目的に Kasper は利用された。自閉症患者のためにロボットを利用する試みは、以後も継続的に行われている。

2006年にACMとIEEEが共催する国際会議 Human-Robot Interaction が始まり、ヒューマンロボットインタラクション (HRI: Human-robot interaction) の研究は世界中で注目されるようになり、工学、心理学、デザインを統合するような融合領域の研究がますます加速していった⁴⁾。特に、従来のコンピューターとは異なる、ロボットの特徴である「存在感」や「擬人性」について基礎的な知見が集まっていった。従来型のロボットと区別するように、人間の日常生活の場で人とのパートナーになるようなコミュニケーション機能を主体としたロボットである「コミュニケーションロボット」⁵⁾、人々との社会的な関わり合いを可能にする「ソーシャルロボット (Social robot)」^{6), 7)}、といった新しい用語が使われるようになった。

ヘルスケアなどでの利用場面において、移動したり行動したりするようなロボットの基本能力だけでなく、ロボットが実体をもつことによる存在感を活かして人々と社会的なインタラクションをすることで、ヘルスケアなどでの利用場面において人々を支援する「社会支援型ロボット (Socially assistive robot)」⁸⁾ が、特に米国やヨーロッパで盛んに研究された。ロボットと高齢者が健康のために一緒に運動する、ダイエットやリハビリをロボットの励ましのもとで行う、薬の飲み忘れをリマインドする、糖尿病の子供が自分で日記をつけることを助ける、などヘルスケアなどでの応用の検討が進んだ⁹⁾。コミュニケーションロボット PaPeRo (NEC) は子供や独居老人の見守りにも用いられた。脳計測技術の進歩により脳科学研究が盛んになり、ロボット分野でも自律ロボットが直接、脳からの信号を入力して行動するようなBMI (Brain machine interface) も一時話題になった。

テレグジステンズやテレプレゼンスの研究開発は従来から行われていたが、ロボットの自律移動能力の向上や携帯通信網の普及・性能向上に伴って、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だ。2010年代半ばごろから、特にリモートワークのニーズが高かった米国を中心に、Beam, Kubi といったテレプレゼンスロボットが販売されるようになった。大阪大学の石黒 浩は、人に酷似した見かけをした遠隔操作型アンドロイドであるジェミノイド、簡略化されたデザインの遠隔操作型アンドロイドであるテレノイドを用いて、ロボットを介して人の存在感を伝達する研究を行った。テレノイドは、認知症患者のケアにも用いられた。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を可能にするといった応用方法も見出されている。

家庭内での生活支援や医療現場での介護等への応用として、たとえば人にものを渡す、食事を食べさせる、など、マニピュレーションを介して人との関わりを持つロボットについて研究が進められ、これまでにPR2やCare-O-botなどが開発されてきたが、いまだ汎用的な場面でのマニピュレーション活用は研究段階にとどまっている。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

深層学習などの機械学習技術により、コミュニケーションロボットの認識能力が大きく向上し、これまでは研究開発段階だった技術が急激に実用段階へと移ってきている。特に、音声認識技術の性能が向上し、ユーザーが許容可能なレベルの認識誤り率に達したと考えられる。家庭内の様々な機器がネットワーク化・スマートハウス化し、複雑な操作が必要になったことも背景として、スマートスピーカーが爆発的に普及している。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、2018年の時点で米国では24%の家庭がスマートスピーカーを所有するようになったとの調査もある。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。

また、コミュニケーションロボットの研究開発に利用できるハードウェアプラットフォームが充実してきている。代表的なものとしては、Nao (Aldebaran : 当時) はすでに研究開発で広く使われており、ここ数年はPepper (Softbank robotics) も研究開発でよく利用されるようになってきた。日本発の擬人的なロボットプラットフォームとしては、Sota (ヴィストン) が挙げられる。かつてのコミュニケーションロボット研究はハードウェア開発と一体行われ、日本、韓国を中心としていたが、最近では、既存のプラットフォームを利用することで欧米でもコミュニケーションロボット研究が盛んになってきている。例えば、ソフトウェアと人間の認知心理の特性を踏まえたデザインを組み合わせ、適切な社会的受容性を得る方法を模索するようなHCI的なアプローチの研究開発が行われている。

コミュニケーションロボット研究として、自律動作するロボットと人々との関係構築を焦点にあてた研究が盛んである。たとえば、「信頼 (trust)」はここ数年、ホットなトピックである。自律行動するロボットは時にその判断を誤ることもあるが、どういった性質のロボットだと人はロボットを信頼するのか分かりつつある。また、場合によっては実際以上に人がロボットを信頼してしまうという過剰信頼 (over-trust) の問題も見出されている。自動運転車の事故を契機に、ロボットにおける道徳的規範のモデル化や学習に関する研究が行われている。また、注視方向、表情、音声イントネーションなどから人間の意図の知覚、痛みや所有権の理解といった研究も進められている。

COVID-19に関連して、各国でロボットの利用が脚光を浴びている。例えば、人同士の接触を減らすために配達ロボット、消毒ロボットを用いるといった試みである。コミュニケーションロボットについても、受付、事前診療、案内・情報提供、モニタリング、見守り、運動支援、などさまざまな利用事例が挙げられる。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

国内では、JSTからの研究費や科学研究費補助金などでの大型のプロジェクトが続いている。例えば、ERATO 石黒共生ヒューマンロボットインタラクションプロジェクトでは、人間と親和的に対話するアンドロイドロボットなどが研究された。新学術領域研究「人間機械共生社会を目指した対話知能システム学 (略称「対話知能学」)」では、意図や欲求を持つようなロボットシステムと人間の共生をテーマに研究開発が進む。トヨタは生活支援ロボットの基本プラットフォームであるHuman Support Robot (HSR) を開発し、最近ではPreferred networks社との共同開発も進めている。

米国では国立科学財団（NSF）、国立衛生研究所（NIH）、航空宇宙局（NASA）、国防高等研究計画局（DARPA）などがコミュニケーションロボット関連の研究を継続的に支援している。特に、2011年から続いている「国家ロボティクス・イニシアティブ（NRI：National Robotics Initiative）」のもとで多くの大型プロジェクトが行われている。たとえば、マサチューセッツ工科大学（MIT）では、幼児教育や語学学習のために個人化した学習を提供するロボットの研究プロジェクトが進められている。ワシントン大学では、ソーシャルロボットが友好的なインタラクションを通じて若者のストレスなどのメンタルヘルスに関する情報を集め、ヘルスケアに役立てるという研究プロジェクトが進められている。

ヨーロッパでは自閉症患者のケアを対象としたコミュニケーションロボット研究が引き続き活発であり、EUからのファンディングでDREAM、QTrobotなどのプロジェクトが実施されている。外国語学習や高齢者の生活支援についても関心が高く、これまでに研究開発プロジェクトが実施されてきた。

国際的に行われているロボットに関する競技会「ロボカップ@ホーム」は日常生活での役立つ機能の開発を題材にしているが、最近はコミュニケーションの機能も重視されるようになってきた。

（5）科学技術的課題

機械学習関連の技術について、引き続き取り組みが必要である。特に、ユーザーの指示を認識し、周囲の人々の意図や態度を理解し、周囲環境の状況を把握するなど、実世界情報の認識・学習能力の向上が必要である。例えば、家庭内で活動するロボットなら、間取りや配置されたオブジェクト、家族構成などが家庭ごとに異なるが、このような異なる環境に迅速に適応し、その場所ごとに必要とされるサービスを提供するためには、適切な学習・適応技術が必要となる。これにより、ロボットは幅広い社会的環境において高度な社会的支援、認知的支援を提供できるようになる。また、各種の技術群が高度化、複雑化していくことに対応し、適切なインテグレーション技術が必要となる。

人共存環境でロボットが活動するためには、人々との「共生」が不可欠である。工学・情報学のみでなく、認知科学や心理学など、人々の理解に関わる学術領域と融合するような研究開発が必要となる。ロボットという新しい自律エージェントが人間社会にどのような形で受容されていくのか、その共生の実現形態を明らかにし、それを可能にするデザイン原理の創出が求められる。

また、柔軟な素材を用いたソフトロボティクス（2.2.1 ソフトロボティクス参照）は、人と接触した場合の安全性の確保や、柔らかな身体によるコミュニケーションの促進といった観点から、コミュニケーションロボットとの親和性が高いと考えられる。

（6）その他の課題

人材育成・分野連携が重要になってきている。この分野の研究開発においても、いわゆる「AI人材」が重要である。特に、ロボットのハードウェアも分かったうえで、実世界型のAI技術を作れる人、使える人が重要となる。日本はまだ機械系、情報系でも専門分化の傾向があり、欧米に一步遅れを取りがちな状況がある。さらに、欧米は工学と心理・デザインの双方に強い、いわゆるHCI（Human-Computer Interaction）人材の育成に強いが、日本でのHCI人材育成は著しく遅れている。日本においても、工学における分野間連携や、工学と他の学術分野との連携による人材育成の取り組みが求められる。

安全規格やELSIについても検討が必要である。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に用いる上では、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。

(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	◎	→	コミュニケーションロボットへの関心はもともと大きく、研究が進んでおり、最近でもJSTや科研費での大型のプロジェクトが進んでいる。
	応用研究・開発	◎	→	トヨタ、ホンダ、パナソニック、日立など何社もの大企業がコミュニケーション機能も持つロボットの研究開発を実施している。Softbank RoboticsからはNaoやPepperが販売され、ヴイストンなどのベンチャー企業もSotaなどのロボットを販売している。
米国	基礎研究	◎	↗	国家ロボティクス・イニシアティブ (NRI) のもとで基礎研究が加速している。学会などでの研究発表も毎年増え続けている。
	応用研究・開発	◎	↗	スマートスピーカーではGoogleとAmazonが大きなシェアを持つ。ソーシャルロボットについてはJiboなどベンチャーがいくつも立ち上がるもののその後の展開にまではまだ結び付かない状況である。
欧州	基礎研究	○	↗	EUのファンディングにより自閉症のケアを目的としたロボットや社会支援型ロボット、学習支援のロボットなどの研究開発プロジェクトが実施されている。学会などでの研究発表はやや増加傾向にある。
	応用研究・開発	△	↗	Furhat Roboticsなど、ベンチャー企業が少し立ち上がりつつある。
中国	基礎研究	△	↗	中国の研究開発はロボティクス分野全般で加速しており、コミュニケーションロボットについても学会などでの研究発表がやや見られるようになってきている。
	応用研究・開発	○	↗	Hanson Robotics (香港) が早くから人型ロボットを開発している。UBTECH Robotics, Elephant Roboticsなど、ベンチャー企業が立ち上がりつつある。
韓国	基礎研究	○	→	Albert HUBO等のヒューマノイドロボットや、外国語学習支援ロボット、サービスロボットの研究開発が早くから行われていた。学会などで継続して研究発表の報告がある。
	応用研究・開発	△	→	Yujin robotics社などが早くからコミュニケーションロボットに取り組んでいた。

(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) T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn, "A survey of socially interactive robots,"

- Robotics and Autonomous Systems, vol. 42, pp. 143–166, 2003.
- 2) M. A. Goodrich and A. C. Schultz, "Human–Robot Interaction : A Survey," Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, vol. 1, pp. 203–275, 2007.
 - 3) Cynthia Breazeal, Kerstin Dautenhahn, Takayuki Kanda, Chapter 72. Social Robots, Handbook of Robotics (2nd edition) , pp. 1935-1971, Springer, 2016. Doi : 10.1007/978-3-319-32552-1
 - 4) Christoph Bartneck, Tony Belpaeme, Friederike Eyszel, Takayuki Kanda, Merel Keijsers and Selma Šabanović, Human-Robot Interaction – An Introduction, Cambridge University Press, 2020. <https://doi.org/10.1017/9781108676649>
 - 5) 石黒浩, 宮下敬宏, 神田崇行, 知の科学 コミュニケーションロボット, オーム社, 2005
 - 6) Breazeal, C. L. (2004) . Designing sociable robots. MIT press.
 - 7) Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Human-Robot Interaction in Social Robotics, CRC Press, 2012. <https://doi.org/10.1201/b13004> (最終アクセス2021)
 - 8) A. Tapus, M. J. Matarić, and B. Scassellati, "Socially Assistive Robotics," IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 14, pp. 35-42, 2007.
 - 9) H. Robinson, B. MacDonald, and E. Broadbent, "The role of healthcare robots for older people at home : A review," International Journal of Social Robotics, vol. 6, pp. 575-591, 2014.

2.2.7.2 生活支援・介護ロボット

(1) 研究開発領域の定義

生活の質（QoL）や利便性、安全性の向上を目指し、人が生活する空間において、介護・福祉を含む生活用途に使用される支援ロボット技術に関する研究開発領域である。食事・排泄・整容・入浴・移動などの日常生活動作（ADL）に加えて調理・掃除などの日常生活での活動を対象とした自立支援、対人コミュニケーションや教育・就労・レクリエーションなどの社会参加支援、さらには支援者（介護者、家族など）の負担軽減や、人材不足が深刻な介護事業者の生産性向上のための技術開発が対象となる。

(2) キーワード

介護ロボット、ロボット介護機器、支援技術、移動支援、リハビリ支援、作業支援、見守り支援、電動義手、ブレイン・マシン・インターフェース（BMI）、サイバロン、リビングラボ

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

生活支援ロボットは必然的に人との協働作業を行うものであり、その実現には人を含んだシステム全体を考慮する必要がある。このため、人の身体的・認知的な状態に関する生体センシング技術、意図推定・行動予測技術、フィードバック技術が不可欠である。この観点から、ヒューマンインターフェース技術や、人の身体的・認知的能力を補完し強化する人間拡張（Human Augmentation）技術との関連性が高い。このように生活支援ロボットは工学のみならず、人に関わる広範な研究領域と結びつくものであり、学際的な研究開発の対象として高い意義がある。

また、将来の人口減少や社会の高齢化の問題が懸念されるなか、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生活支援ロボットの普及が期待される。このように社会課題の解決という観点からも高い意義がある。

[研究開発の動向]

生活支援ロボットは、生活機能が低下した高齢者や障害者の「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はじまった。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、視覚障害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、介護する側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、介護者及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⁾。

2012年、高齢者介護分野での利用を目指した支援ロボットの研究開発および普及を目指して、経済産業省と厚生労働省により、「ロボット技術の介護利用における重点分野」(図1)が公表され、研究開発事業等が始まった。この背景には、少子高齢化にともなう要介護者の増加、介護職員の不足がある。厚生労働省は、2025年には介護職員が37.7万人不足すると予測している⁵⁾。

分野	移乗介助	移動支援	排泄支援	入浴支援	見守り・コミュニケーション	介護業務支援
項目	 移乗介助 (装着型)	 移動支援 (屋外移動)	 排泄支援	 入浴支援	 介護施設見守り	 介護業務支援
	 移乗介助 (非装着型)	 移動支援 (屋内移動)	 排泄支援 (排泄予測)		 在宅介護見守り	
		 移動支援 (装着移動)	 排泄支援 (動作支援)		 コミュニケーション	

図2-2-6 ロボット技術の介護利用における重点分野 (2017年改訂版)

以下では、生活支援ロボットの目的を①移動・移乗支援、②日常動作・作業支援、③見守り支援の3つに大別し、研究開発の動向を述べる。

① 移動・移乗支援

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、様々な場面で利用されるものが研究開発されている。

ベッド-車いす間などの移乗 (transfer) については、介護者の身体的負担の軽減の観点から重要性が高い。被介護者を抱き上げ移動し抱き下ろすという移乗動作は、介護現場において最も身体負荷が高い作業であり、介護職員等の腰痛の原因となっており、支援機器の普及が強く望まれている。かつての取り組みとして介護用リフト (hoist) が挙げられるが、操作に手間がかかるといった問題から国内ではほとんど普及しなかった。また、ロボットが被介護者を抱きかかえて移乗支援をする双腕型ロボットも開発されたが、実用には至らなかった。その後、サイバーダイン (株) のHAL (介護用腰タイプ)、(株) イノフィスのマッスルスーツなどの装着型 (いわゆるパワードスーツ)、およびマッスル (株) のSASUKE、FUJI 社のHUG (株) といった非装着型 (機器による持ち上げ型) の移乗介助ロボット、さらにはベッドの一部が車いすに変形するパナソニック (株) の離床アシストベッド等が開発され、事業化に至っている⁶⁾。

屋外等における、自立支援のための移動支援ロボットとしては、車輪にモーターを組み込んだ電動アシスト付きの歩行車がRT.ワークス (株) や (株) 幸和製作所によって開発・製品化され、2016年からは介護保険での貸与対象になるものが出てきている。また、移動手段としてのパーソナルモビリティ技術に関しても、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⁷⁾、その後全国に展開された。またWHILL (株) は、電動車いすを用いた空港ターミナル内での自動運転サービスを2020年に実用化した。

また、リハビリや自立的な歩行支援を目的とした外骨格型 (装着型) 歩行支援ロボットの研究が世界的に行われている⁸⁾。スイスHocoma社のLocomatやReha Technology社のG-EO System、トヨタ自動

車（株）のウェルウォークは、歩行訓練装置と装着型の外骨格を組み合わせたタイプの歩行リハビリ支援システムである、またサイバーダイン（株）のHAL（医療用下肢タイプ）は装着型の外骨格による歩行リハビリ支援システムであり、医療機器として用いられている。また、イスラエルReWalk Robotics社のReWalk、本田技研（株）の歩行アシスト、アスカ（株）のWPAL、（株）今仙技研のACSIVE、（株）ATOOUNのHIMICO、AssistMotion（株）のcurara、米国ハーバード大のSoft Exosuitなどは、装着型の歩行補助ロボットである。

また、介護分野以外における類似の技術を導入した作業支援ロボットとして、サイバーダイン（株）のHAL（作業支援用）、（株）ATOOUNのパワードウェア、米国バークレー大学のBLEEX等が開発され、物流などの現場において重量物を扱う作業者の負担軽減に活用されている。

② 日常動作・作業支援

上肢障害者向けのマニピュレーターによる汎用的な物体把持・操作の支援システムとして、オランダExactDynamic社のiARM、カナダKinova社のJacoが事業化されている。国内でも多くの大学や研究機関において盛んに研究開発が行われているが、コスト面や機能面での課題が多く、普及には至っていない。一方、複雑な把持が可能な高性能な電動義手や、3Dプリンタを用いた低価格な電動義手の研究開発も進んでいる⁸⁾。

物体把持のうちの食事動作に絞った生活支援ロボットとして、2002年にセコム（株）のマイスプーンが発売され、その後2011年にスウェーデンでBesticが発売された。また、手の震えにより食事が困難な高齢者向けに、機能性スプーンLiftware⁹⁾が2014年にGoogle社より発売された。これは、スプーンのグリップ部に内蔵されたセンサーが手の震えを感知すると、揺れを抑制するスタビライザー機能が働き手元が安定するというものである。

その他の日常生活動作の支援ロボットとしては、排泄動作支援（衣服着脱）ロボットとしてデンマークのMELVIN、整容支援としてパナソニック（株）の洗髪ロボット¹⁰⁾、入浴支援ロボットとして（株）ハイレックスコーポレーションのバスアシスト等が開発されているが、まだ本格的な普及には至っていない。

③ 見守り支援

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。これは前述の「ロボット技術の介護利用における重点分野」の一つでもあり、多くのシステムではカメラ、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った。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

近年、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¹¹⁾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る。

また、人の脳と機械とを直接つなぐシステムの実現を目指すブレイン・マシン・インターフェース（BMI）の研究は、主に米国が主導する形で進められている¹²⁾。例えばリモコンなどの操作が難しい被介護者が、ロボットに意思伝達（命令）したりその応答を受けたりすることが実現されると期待される。日本においては、大阪大学が開発したW-HERBSは、脳の硬膜下に埋め込んだ電極により脳波を検出し、ロボットアームの操作や、伝達装置によるコミュニケーションを実現している。重症ALS患者や頸髄損傷患者などの運動・意思伝達支援技術として実用化が期待される。また、末梢神経系からの信号を利用したサイバニック技術により要介護者の自立支援を目指した研究が内閣府ImPACT「重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム」（2014年～2019年）において実施された。

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人工知能化技術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 Europe¹³⁾の策定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¹⁴⁾。2020年からはじまる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するとしている。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

国内の生活支援ロボットに関する研究開発プロジェクトとして、2013年度から5年間の「AMEDロボット介護機器開発・導入促進事業」、続いて2018年度から3年間の「AMEDロボット介護機器開発・標準化事業」が実施されてきた。この2つの事業では、前述の「ロボット技術の介護利用における重点分野」にて定められたカテゴリーのロボット介護機器が開発の対象とされている。これまでに100社を超える企業が開発補助事業に参画し、20以上の機器が事業化されている。同時に、基準策定や評価に関する事業も実施されており、安全性・効果・性能に関する検証手法の開発、開発ガイドラインの策定、国際標準化なども進められている。また、その導入のために介護保険ほか補助制度が整備されてきており、今後の普及が期待される。

また最先端の義肢などの支援技術を用いて障害者が様々な動作に挑む国際的なスポーツ大会サイバスロン（Cybathlon）¹⁵⁾も注目を集めている。これは、チューリッヒ工科大学のRobert Rienerが発案したもので、障害を持つ選手（パイロット）は、BMIやロボット技術を応用した義手、義足、車椅子などを操作して競技に挑む。競技種目は、脳コンピューターインターフェース（BCI）、機能的電気刺激（FES）自転車、電動義手、電動義足、外骨格型、そして電動車いすの6つである。2016年に第1回国際大会がスイスのチューリッヒで開催され、2019年には世界各地で1種目ずつの大会がリハーサル的に実施された。日本では川崎市を会場に、電動車いすの競技会が行われた。サイバスロンは、障害者と先端技術の開発者が協力して日常生活に必要な動作に挑むユニークな取り組みである。競技会を通じて、支援技術や障害に接点のない人々にも興味を持ってもらい、障害のある人たちにとっての日常生活における平等や、社会参画についての対話を促すことを目指している。

海外の動向として、近年、デンマークをはじめとした北欧諸国を中心に「新技術をどのようにコミュニティー

の日常生活における社会課題解決に活用していくか」を市民参加型デザインの手法で探っていく「リビングラボ」の取り組みが盛んになっている¹⁶⁾。リビングラボは、多様なステークホルダー（関係者）が集う場で、社会課題の解決のために、最先端の技術・ノウハウ・知見をその参加者から導入し、オープンイノベーション、ソーシャルイノベーションを通して、長期的視点で地域経済・社会の活性化を推進していくための仕組みである。サービスや機器のテストベッドとしてITに関わるイノベーションを支援する組織やその施設でのアプローチとして用いられることもあれば、地域の社会課題の解決法として地方自治体やNPOによって実施されるケースもある。介護支援・生活支援ロボットなどの新たな技術についても、リビングラボでの実証評価が行われることが出てきており¹⁷⁾、その評価やその後の導入プロセスについては注目される。

(5) 科学技術的課題

生活支援ロボットにおける大きな技術的なボトルネックの一つは智能化である。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知能ロボットの実現には未だ至っていない。米国及び中国においては、政府のみならずGAFA（Google、Apple、Facebook、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。我が国においても「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生活支援ロボット等に応用するための取り組みが求められる。

また、国内の医療・介護分野におけるデータ基盤として、NDB（National Data Base：特定健診・医療レセプト情報を格納）と介護DB（介護保険総合データベース：要介護認定情報と介護レセプト情報を格納）があり、それらを連結した国のデータベースが2020年から稼働する予定である¹⁹⁾。公的医療保険・介護保険制度が整備されている我が国では、世界に類を見ない医療・介護に関する広範かつ精密なデータが蓄積されており、連結も含めたさらなる利活用が求められる。しかしながら、これらは保険制度を利用した場合のデータに限定されている。今後、生活支援ロボットの構築や活用においては、より広い「生活分野」でのデータ整備が重要となるが、それにはどのようなデータが必要かというところからの議論が必要である。現状では、データ項目、データフォーマットのみならず、その前提となる用語すら統一されていない。生活活動、介護業務、人の身体および認知機能の状態、などについて科学的、定量的なデータ記述方法を整備する必要がある。これにより、介護現場での課題を研究開発現場にフィードバックしたり、複数の生活支援ロボットを組み合わせたシステムをサービスとして利用したりするための枠組みが構築できるようになる。

次に、データ記述方法が確立された上で、どのようにデータを集めるかが重要となる。通信規格5GやLPWA（Low Power Wide Area）通信技術の普及が進んでおり、低消費電力の小型・柔軟なセンサー技術などと組み合わせることで、生活支援ロボットやウェアラブル機器のIoT化がより活発になるであろう²⁰⁾。このような生活支援のためのデータインフラが整備されることで、生活支援ロボットを利用した生活状況の把握や、それによる効果評価、個人や環境に応じた最適化などが可能になると考えられる²¹⁾。

また、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。

生活支援ロボットは、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、我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

生活支援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様々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場合が多く、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²²⁾、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。

日本における生活支援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	◎	↗	移動ロボットやマニピュレーターといったロボットの要素技術、ロボット学会、機械学会、日本生活支援工学会、ライフサポート学会等を中心とした学会活動、基礎研究から社会実装まで段階毎のファンディング（NEDO、JST）など基礎研究を行うためには充実した環境にある。また、対人親和性の向上、新材料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。知能化においては、産総研、理研、NICT等の人工知能研究拠点と生活支援ロボットの連携が期待される。
	応用研究・開発	◎	↗	大企業を中心とした産業構造であり、コミュニケーションロボットの分野はソフトバンク、ソニーといった大手の応用研究・開発が盛んである。近年ロボット関連のベンチャー企業の増加が見られ、今後はその技術や先進性を中心として人工知能技術と連携しての発展が期待される。ロボット介護機器開発に関するAMEDのファンディングも継続しており、開発された機器の導入に関する介護保険制度等でのインセンティブも増えている。
米国	基礎研究	◎	→	NRI (National Robotics Initiative) より現在に渡り、生活支援ロボットは医療・ヘルスケア分野の一つとして位置付けられ推進されている。生活支援ロボットにおいては、HRI 分野においてサービスロボットの研究開発は高いレベルにあり、当該分野を先導している。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、実用的な開発事例は少ない。
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導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、そのプレセンスは極めて高い。また、認知ロボットやソフトロボットの基礎研究が発展しており、世界的に著名な専門ジャーナル等が刊行されるなど、基礎研究のレベルが高い。
	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、小型の人型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。
中国	基礎研究	△	↗	国家中長期科学技術発展規画綱要（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、今後の生活支援ロボットへの応用が期待できる。著名なロボット研究者を世界中から招聘するなど研究コミュニティの拡大と当該分野でのプレセンスが高まっている。
	応用研究・開発	○	↗	ベンチャー企業などを中心に、コミュニケーションロボットの事業化例が多く出てきている。また、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） ²³⁾ に主導される形で様々な家庭用・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。
	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。

(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 DOE Robot-Its basic plan and some experiments with MELDOG

- MARK I,” Mechanisms and Machine Theory, Vol.16, No.1, pp.21-29, 1981.
- 2) 橋野 賢, “介助ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.5, pp.604-606, 1990.
 - 3) 加藤 一郎, “リリースボットー生活支援ロボットーの構想,” 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.5, pp.614-617, 1993.
 - 4) 土肥 健純, “ライフサポートテクノロジーの今後の展望 ー生命から生活へー,” 日本生体医工学会誌, Vol.7, No.4, pp.44-51, 1993.
 - 5) 厚生労働省, “2025年に向けた介護人材にかかる需給推計 (確定値) について”, 2016年6月24日, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000088998.html> (accessed 2020-12-21)
 - 6) 尾崎 文夫, “高齢者生活支援ロボットの現状”, 日本老年医学会雑誌 Vol.57, No.3, pp.224-235, 2020.
 - 7) つくばモビリティロボット実証実験推進協議会, <http://mobility.rt-tsukuba.jp/> (accessed 2020-12-21)
 - 8) 才藤 栄一ほか, “リハビリ・介護とメカトロニクス特集号”, 日本機械学会誌, Vol.119, No.1166, 2016.
 - 9) Liftware website, <https://www.liftware.com/>
 - 10) 廣瀬 俊典, 藤岡 総一郎, 水野 修, 中村 徹, “接触摺動洗浄機能を有する洗髪ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.6, pp.599-604, 2013.
 - 11) 尾形 哲也, “ロボティクスと深層学習”, 人工知能, Vol.31, No.2, pp.210-215, 2016.
 - 12) Christian I. Penalzoa and Shuichi Nishio, “BMI Control of a Third Arm for Multi-Tasking,” Science Robotics, Vo.3, Issue 20, 2018.
 - 13) Science|Business Network, “Research Strategies : Europe 2030 and the next Framework Programme,” Science|Business Network conference, Brussels, Belgium, 12 Oct 2016.
 - 14) D. J. Hicks and R. Simmons, “The National Robotics Initiative : A Five-Year Retrospective,” IEEE Robotics & Automation Magazine, vol.26, no.3, pp.70-77, 2019.
 - 15) Sara Reardon, “Welcome to the Cyborg Olympics”, Nature, Vol. 536, pp. 20-22, 2016.
 - 16) European Networks of Living Labs, <https://enoll.org/> (accessed 2020-12-21)
 - 17) 赤坂文弥, 木村篤信, “リビングラボの方法論的特徴の分析-日本におけるリビングラボ事例の調査を通じて-”, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 2017.
 - 18) 統合イノベーション戦略推進会議, “AI 戦略2019”, 2019年6月11日, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/aisenryaku2019.pdf> (accessed 2020-12-21)
 - 19) 厚生労働省, “医療・介護 データの連結等に関する今後のスケジュールについて”, 2020年9月11日, 第10回要介護認定情報・レセプト等情報の提供に関する有識者会議資料, <https://www.mhlw.go.jp/content/12301000/000670766.pdf> (accessed 2020-12-21)
 - 20) 総務省, LPWAに関する無線システムの動向について, 2018年3月7日, https://www.soumu.go.jp/main_content/000543715.pdf (accessed 2020-12-21)
 - 21) 沼尾 雅之, “見守りシステムの現状と課題ーIoTとしての位置付けー”, オペレーションズ・リサーチ, Vol.64, No.7, pp.385-393, 2019.
 - 22) 貞本敦史, “NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトの概要”, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.9, pp.760-764, 2011.
 - 23) Young-Jo Cho, Sang-Rok Oh, “Fusion of IT and RT : URC (Ubiquitous Robotic Companion) Program”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.5, pp.528-531, 2005.

2.2.7.3 医療ロボット

(1) 研究開発領域の定義

本稿における医療ロボットは、医師や医療スタッフによる疾病の診断や治療、予防行為を支援するためのロボットシステムを指しており、ロボットの導入により医療の質を高めることを目的としている。医療ロボットに関する研究開発要素として、センシングやナビゲーション、多数の医療機器のネットワーク統合などの技術が挙げられるが、これらに加え、高速大容量通信や人工知能といった基盤的な技術の発達によって、医療ロボットにより得られる医療の質がさらに高まることが期待される。本稿においては、医療ロボットの中でも手術支援ロボットおよびリハビリテーションロボットを中心に俯瞰する。

(2) キーワード

画像診断、低侵襲手術、マイクロサージェリー、自律型手術ロボット、リハビリテーションロボティクス、遠隔医療

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

世界的な高齢化、医師を含む医療従事者の不足などから、診断や治療を支援するロボットシステムや介護リハビリを支援する機器の需要は今後益々増加することが予想されている。手術支援ロボットをはじめとする医療機器分野は成長産業であり、手術支援ロボットだけでもその市場が、2014年の4000億円から2021年には2.5兆円に達するとの予想がある¹⁾。また、昨今のCOVID-19の感染の広がりから、感染症対策としての遠隔操作ロボットの利用や、自動PCR検査ロボット等の検査の自動化といったロボットの活用事例が今後増えると考えられる。

[研究開発の動向]

本稿では手術支援ロボットとリハビリテーションロボットを中心に医療ロボットに関する動向について述べる。手術支援ロボットの中でも代表的なものは、内視鏡手術を支援するロボットである。この分野では米国Intuitive Surgical社のda Vinci²⁾が長年にわたって世界の市場を席巻してきた。da Vinciはマスタスレーブ方式の手術ロボット機器であり、コンソールに座った医師が3次元画像を見ながらコントローラで4本のロボットアームを操作する。da Vinciの主要な特許が2019年に満了となることに伴い、新たな内視鏡手術ロボット機器が上市されている。例えばメディカロイド社のhinotoriサージカルロボットシステム³⁾は2020年8月に、国産手術ロボット機器として初めて医療機器としての製造販売承認を得たのに続き、9月には保険適用機器となった。hinotoriは3次元画像を見ながら4本のロボットアームを手足で操作する。各アームの間節数を増やし8軸構成とすることで、アーム同士の干渉や人との干渉を軽減している。また、サイズがコンパクトであるため、既存の手術室に設置可能であり専用手術室を用意する必要が無いこと、様々な操作姿勢に合わせて調整可能なエルゴノミックデザインを採用していることも特徴として挙げられる。

内視鏡手術以外の手術支援ロボットとして、整形外科分野で米国Stryker社のMakoシステム⁴⁾や英国Smith and Nephew社のNavioサージカルシステム⁵⁾を用いた人工関節置換術が挙げられる。これらは術前に関節の3次元モデルを生成して手術の計画を作成し、術中はマーカーを用いたレジストレーション（位置合わせ）で患者の身体とモデルを一致させながら、事前計画に基づいて動作領域を制限することで安全な骨

切削を支援する。さらに、脳神経外科では、米国Zimmer Biomet社のROSA Oneロボットシステム⁶⁾がある。Rosa Oneでは画像から生成されたモデルを用いて術前計画を行い、レーザーを用いたマーカースレスレジストレーションを行って術中ナビゲーションを実現する。

米国Corindus社(ドイツSiemens Healthineers社により買収)が血管内治療支援ロボットCorPathGRX用に設計した動作自動化ソフトウェアに対して、初めてFDAによる販売承認(510(k)承認)がなされた⁷⁾。これは将来の自律型手術ロボットの実現に向けた一歩となる可能性がある。

中国では整形外科ロボットを開発するスタートアップである杭州鍵嘉機器人(Jointech)社が設立され、多額の資金獲得をしている⁸⁾。韓国ではmeere社の手術支援ロボットRevoが既に同国で承認を受けているほか、KAISTが内視鏡手術ロボットK-FLEXの研究開発を進めている⁹⁾。

リハビリテーションロボットとして、サイバーダイン(株)のHAL(医療用下肢タイプ)¹⁰⁾が挙げられる。これは装着型の外骨格による歩行リハビリ支援システムであり、装着者が筋肉を動かそうとした時に発する生体電位信号を読み取り下肢の動作をアシストすることで、緩徐進行性の神経・筋疾患患者の機能改善治療を行う。歩行訓練装置と装着型の外骨格を組み合わせたタイプの歩行リハビリ支援システムとして、スイスHocoma社のLocomatやReha Technology社のG-EO System、トヨタ自動車のウェルウォークWW-1000/WW-2000¹¹⁾が挙げられる。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

新型コロナウイルスの世界的な流行は、医療ロボットの研究開発にも大きな影響を及ぼしている。接触や飛沫による感染を防ぐため、案内や搬送、消毒といった作業のロボット化、さらには検査の自動化や遠隔医療といった分野でロボットのニーズが急激に高まっている。

米国ではボストンダイナミクス社の四脚ロボットSpotが、病院での遠隔トリアージに導入された。さらに遠隔でのバイタル測定を実施できるように開発が進んでいる¹²⁾。

欧州ではデンマークのUVD Robots社が自律走行型紫外線殺菌ロボットの販売を開始した¹³⁾。中国では、SIASUN Robot & Automation社やCandela(Shenzhen) Technology Innovation社などが食事や薬の搬送、バイタルサインのチェック、遠隔問診、リハビリなどに用いるロボットを中国国内の病院に導入している¹⁴⁾。韓国では韓国機械研究院で検体採取用ロボットが開発されている¹⁵⁾。

国内ではメディカロイド社が検体採取、自動PCR検査、バイタル測定、配膳などを行うロボットの開発を進めている¹⁶⁾。またオムロンは紫外線消毒ロボットを開発する世界各国のパートナー企業に自社の移動ロボットを提供している¹⁷⁾。

新型コロナウイルスの影響は長期化すると見込まれ、今後も診療や患者のケアなどの遠隔化へのニーズは高まる一方であろう。これに伴って、遠隔医療に用いられるロボットの研究開発はさらに活発化すると予想される。他方、患者の孤独や医療スタッフの疲弊など、心理的な問題も深刻さを増しており、今後はコミュニケーションロボットによる心理面のケアが進むことも期待される。

[注目すべき国内外の研究プロジェクト]

日本医療研究開発機構(AMED)の医工連携イノベーション推進事業(旧:医工連携事業化推進事業)にて、メディカロイドの胸腔内軟性手術ロボットやA-Tractionの手術支援ロボット、帝人ファーマの手指リハビリロボットの開発などが進められている。

欧州では、EUのHORIZON 2020においてSMARTsurgプロジェクト¹⁸⁾、EDEN2020プロジェクト¹⁹⁾、ARSプロジェクト²⁰⁾、SARASプロジェクト²¹⁾などの手術支援ロボットの研究が進められている。なかでもARSプロジェクトは、手術ロボットによる完全な自律プロセスの実現を目指している。国際的な臨床研究センターから提供された臨床ロボット手術介入に関する大規模なデータセットを用いた学習に基づいた自律手術の実現可能性を検証する。また、研究成果をもとに手術ロボットda Vinciに自律システムを組み込み、デモンストラーションを行うことを予定している。

また同じくHORIZON2020において、RETAINERプロジェクト²²⁾やReHYBプロジェクト²³⁾などのリハビリテーション用ロボット装具に関するプロジェクトが実施されている。

中国では第12次5カ年計画(2011～2016)においてロボットを重点分野と位置付けて以来、ロボットの研究開発が活発に行われている。「ロボット産業発展計画(2016～2020年)において、ブレークスルーを目指す象徴的な十大製品の中に、手術支援ロボットが明記されている²⁴⁾。

(5) 科学技術的課題

手術は、事前に正確なモデル化ができない不確実な環境で実行され、エラーが致命的な結果をもたらす可能性があり、対象である患者の身体は変形可能であり、また突然の状態変化にリアルタイムで対応する必要がある。このように、ロボット技術を手術に適用するためには多くの困難が存在する。前述のARSプロジェクトといった自律型手術ロボットに実現に向けた取り組みが推進されているが、実現に向けて知覚・認識、動作・行動計画、把持・操作、及びこれらの統合化・システム化技術といった要素技術のさらなる進展が求められる。例えば、時々刻々変化する手術野の詳細な深度マップのリアルタイム取得、色情報や触覚情報を統合した患部の状態の認識、患者の状態の急変等に対応してタスクを再構成するリアルタイムアルゴリズム、といった技術的課題が考えられる。

また、遠隔操作による手術ロボットに関しても、術者に触覚・力覚を提示するハプティクス技術の進展に加え、術者の意図・目標の推測に基づき術者の入力から手の震え除去するといった半自律的に行動する共有自律システムに関する研究開発が求められる。

(6) その他の課題

医療ロボットの開発にあたっては、倫理面や社会への影響についても考慮が必要である。例えば、欧州議会の報告書”Ten technologies to fight coronavirus”²⁵⁾では、新型コロナウイルス対策においてロボット工学による多大な貢献が認められる一方で、ロボットを広範囲に導入するためには、その動作が予測可能であるとともに、透明性、説明責任、説明可能性、監査可能性・トレーサビリティ、中立性・公正性といった価値観に適合するためにさらなる取り組みが必要であるとしている。EUではこれまでは医療機器の製造や流通に関して医療機器指令(MDD)という規制の枠組みが用いられてきたが、医療分野の技術発展に対応しきれない点があったことなどにより、MDDは欧州医療機器規則(MDR)に置き換えられ、より厳格な規制がなされようとしている。なお、MDRの適用は当初2020年5月からとされていたが、新型コロナウイルスの世界的流行により、1年延期されている。

日本ではAMED 高度遠隔医療ネットワーク研究開発事業において、遠隔治療のガイドラインの策定が大きな取り組むべき課題として挙げられている。医療ロボットの多くは、医工連携によって得られた成果であり、今後も医工連携の一層の推進が必要である。また、医療機器としては安全性と有効性の確保が必須である。特に医療ロボットは複雑な制御の下、臓器等に力を加えるため、ハードウェア、ソフトウェア双方に高度の安

全性が求められる。ロボット支援手術機器やリハビリテーションロボットの安全に関しては、2019年に国際規格が制定されている^{26), 27)}。加えて、医療機器として上市するためには、医薬品医療機器等法に基づく承認あるいは認証を受ける必要があり、これらが参入への高い障壁となっている。迅速に事業化を進めるためには、国際規格や法令等の知識を有し、これらに準拠した評価計画策定、評価体制の構築、および申請のとりまとめに関する能力を有する人材の育成が必要である。また、医療機器の事業化に向けた助言や支援機関の紹介を行う組織である医療機器開発支援ネットワーク²⁸⁾等の取り組みを活用しつつ、我が国の医療ロボットの研究開発が一段と活性化することが望まれる。

(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	○	→	遠隔操作への期待が高まっており、AMED 高度遠隔医療ネットワーク研究開発事業が開始された。
	応用研究・開発	○	↗	保険収載が実用化の追い風になっている。また新型コロナウイルス対応のニーズが高まっている
米国	基礎研究	◎	→	マイクロ・ナノロボット、ソフトロボットの開発が活発。医療ロボットやAIなども多岐にわたる研究成果がある
	応用研究・開発	◎	→	手術ロボットの自律化を目指した取り組みが始まっている
欧州	基礎研究	◎	↗	HORIZON 2020 でマイクロサージェリーや自律手術ロボットなどを目指した研究が進行中
	応用研究・開発	○	→	リハビリテーションロボット、殺菌消毒用ロボットなどが市場投入されている
中国	基礎研究	○	↗	ロボット産業発展計画における象徴的な十大製品に手術支援ロボットを位置づけ、大学を中心に多数の基礎的研究を実施
	応用研究・開発	○	↗	新型コロナウイルス対応のため、病院等へのロボットの導入が急速に進んだ
韓国	基礎研究	○	→	大学、国立研究機関などで研究を実施
	応用研究・開発	○	→	手術ロボット、新型コロナウイルス用検体採取ロボットなどの開発が進む

(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) Surgical Robots : Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2015-2021, WinterGreen Research Inc., 2015
- 2) Intuitive Surgical 社ホームページ

<https://www.intuitive.com/ja-jp>

- 3) 株式会社メディカロイドホームページ
<http://www.medicaroid.com/>
- 4) Stryker社ホームページ
<https://www.stryker.com/us/en/portfolios/orthopaedics/joint-replacement/mako-robotic-arm-assisted-surgery.html>
- 5) Smith and Nephew社ホームページ
<https://www.smith-nephew.com/professional/microsites/navio/>
- 6) Zimmer Biomet社ホームページ
<https://www.zimmerbiomet.com/medical-professionals/cmfr/rosa-brain.html>
- 7) Corindus社プレスリリース
<https://www.corindus.com/news-events/press-releases/corindus-receives-fda-clearance-for-first-automated-robotic-movement-in-techniq-series-for-corpath-grx-platform>
- 8) 日本経済新聞電子版、2020年10月8日
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO64679610W0A001C2FFE000/>
- 9) Minho Hwang, Dong-Soo Kwon, "K-FLEX : A flexible robotic platform for scar-free endoscopic surgery", International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Vol.16, Issue 2, e2078, 2020.
- 10) サイバーダイネ社 HAL (医療用下肢タイプ)
https://www.cyberdyne.jp/products/LowerLimb_medical.html
- 11) トヨタ自動車株式会社 ウェルウォーク
<http://www.toyota.co.jp/robotics/welwalk/>
- 12) ボストンダイナミクス社ホームページ
<https://www.bostondynamics.com/COVID-19>
- 13) Erico Guizzo and Randi Klett, "How Robots Became Essential Workers in the COVID-19 Response", IEEE Spectrum, October 2020, pp.36-37, 2020.
- 14) China Focus : AI robots tackling COVID-19 pandemic meet global consumers,
http://www.focac.org/eng/zjz_1/jmzx/t1812839.htm
- 15) Mary Meisenzahl, "Doctors in Korea invented a remote-controlled robot that enables contactless collection of COVID-19 test samples — here's how it works",
<https://www.businessinsider.com/robot-collects-covid-19-samples-korea-2020-7>
- 16) 株式会社メディカロイドプレスリリース
http://www.medicaroid.com/release/pdf/20200603_ja.pdf
- 17) オムロン株式会社ニュースリリース
<https://www.omron.co.jp/press/2020/06/c0626.html>
- 18) SMARTsurg プロジェクトホームページ <http://www.smartsurg-project.eu/>
- 19) EDEN2020 プロジェクトホームページ <https://www.eden2020.eu/>
- 20) ARS プロジェクトホームページ <https://www.ars-project.eu/>
- 21) SARAS プロジェクトホームページ <https://saras-project.eu/>

2.2

俯瞰区分と研究開発領域 ロボティクス

- 22) RETAINERプロジェクトホームページ <https://www.ab-acus.eu/retrainer/>
- 23) ReHYBプロジェクトホームページ <https://rehyb.eu/>
- 24) 経済産業省 平成29年度製造基盤技術実態等調査（中国製造業の実態を踏まえた我が国製造業の産業競争力調査） https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000403.pdf
- 25) European Parliament, Ten technologies to fight coronavirus, 2020.
- 26) IEC 80601-2-77 : 2019, Medical electrical equipment — Part 2-77 : Particular requirements for the basic safety and essential performance of robotically assisted surgical equipment
- 27) IEC 80601-2-78 : 2019, Medical electrical equipment — Part 2-78 : Particular requirements for basic safety and essential performance of medical robots for rehabilitation, assessment, compensation or alleviation
- 28) 医療機器開発支援ネットワークポータルサイト <https://www.med-device.jp/>