

■サービスロボット総論

サービス分野におけるロボット技術の 社会実装の問題と展望

東京大学大学院工学系研究科 教授 浅間 一
ASAMA Hajime

1 はじめに

経済産業省と独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が行ったロボットの将来市場予測によると、ロボット産業は、現在市場が形成されている製造業などの分野での成長に加え、サービスを初めとする新たな分野でのロボットの普及により、2035年には9.7兆円まで成長すると予想されている¹⁾。サービス分野におけるロボットには、医療（含手術、リハビリ、セラピー）、アシスト（含介護、福祉）、警備、掃除、案内、教育、アミューズメント、娯楽、などに代表されるパーソナルサービスのためのロボットと、災害対応、建設・土木、農業・林業、メンテナンス、地雷探査・除去、などに代表されるパブリックサービスのためのロボットなどが含まれる。

しかし、これらのデータはあくまでアンケートなどに基づく予測でしかない。現状のままで放っておいても、それが達成できるとは到底考えにくい。サービス分野でロボットをビジネスとして展開するには、安全性、標準化、規制上の問題、コストなど、まだ多くの阻害要因が存在しており、それをいかに解決するかが重要である。ロボットビジネス推進協議会²⁾では、それらの議論が進められているが、産学の努力だけではなかなか解決できない問題も多い。本稿では、東日本大震災やそれに伴って発生した福島原子力発電所事故への対応に対して、ロボット技術の適用に関する問題に触れるとともに、介護ロボットをはじめとする、サー

ビスロボット技術開発とその事業化において共通に存在する問題と、それを推進するための方策について述べる。さらに、サービスという観点から、日本のロボット技術の将来について展望する。

2 ロボティクスとロボット技術

「ロボット」は、現実としての技術より、常にイメージが先行する。そのために、専門家でない人に必ずしも正しい理解が得られず、様々な誤解、過度な不信感、過度な期待などが持たれることも多い。それは、ときに社会実装、事業化などにおいて様々な弊害を引き起こす。ロボットに関する楽観的な報道で、あたかもロボットで何でもできるかのような誤解を世間に与えた可能性がある一方、ロボットでは大したことはできないといった先入観も持つ人も少なくない。それは、研究者が正しく技術を説明していないという点で、研究者にも責任がある。これまで、ロボットの期待に対し、果たせたことが非常に限られていたことも事実である。今回の福島原子力発電所の事故が発生した当初も、なぜ日本のロボットが投入されないのか、といった批判的な論調の記事も多く出されたし、実際多くの人がそう思ったに違いない。その原因は科学者にあるという論評もあった。たしかに、災害や事故といったものは画一的ではないので、そこで求められる対応技術も多様で複雑である。そのあらゆる事態に対応できるロボットを開発することは、技術的に難しい。しかし、後述するように、その原因は、ロボット科学者の研究開発における

怠慢というような問題ではなく、むしろロボットの社会実装の問題と考えるのが妥当であり、それをより正確に把握、分析し、その解決方法を考える必要がある。

そもそも、「ロボット」は無定義語である。「ロボット」というと、ある人はヒューノイドロボットを、ある人は産業用ロボットを、またある人はロボコンなどの競技会のロボットをイメージする。経済産業省が主催している日本ロボット大賞では、「ロボット」は、「センサー、知能・制御系、駆動系の3つの技術要素を有する、知能化した機械システム」と定義されている³⁾が、一般的には、多自由度の駆動機構とセンサ情報に基づいた制御機構がある機械システムと言えよう。ただ、ロボットとは何かを議論することにはあまり意味がない。むしろ、ロボティクスとロボット技術という考え方が重要である。

ロボティクスとは、知的に動作・行動する生物の仕組みを理解し、そのような知的機能を人工的に実現する方法論を構築するための学問である。一方、ロボット技術 (RT: Robot Technology) という言葉は、情報技術 (IT: Information Technology) との対比で用いられる。RTとは、指定された環境において、要求されたミッションを遂行するという要求に対し、センサやアクチュエータなどの要素を組み合わせ、メカ、制御システム、認識・計画・制御アルゴリズムなどを設計し、それを実際に動作させることで、要求される機能を実現する、システムインテグレーション技術、総合技術である。換言すれば、ミッションとして与えられた課題に対し、機械工学、電気工学、制御工学、情報処理などの知識と技術を導入することによってソリューションを導出する、問題解決技術と言える。そのように考えると、ロボティクスは、情報収集や作業のニーズに対し、RTによってソリューションを導出する、メカトロニクス・システムのシンセシスの学問と言い換えることもできる。

以上の考え方に基づくならば、今回の原発事故のような状況が発生し、何らかの機械を用いて作業を行うことが求められる際に、どのようにそれを設計・構築し、対応するか、を導き出すことこそ、RTそのものであり、それを構成するためのバックグラウ

ンドに存在する学問をロボティクスと捕らえるべきである。

ちなみに、日本ロボット工業会によれば、日本のロボット産業は、約5,000～7,000億円程度の小さな産業である⁴⁾。しかし、ここには、産業用ロボットなどのごく一部の機械しか含まれていない。内閣府経済社会総合研究所のGDP統計では、日本の産業は、政府サービス、農林水産業、鉱業、製造業、建設業、廃棄物処理、電気ガス水道業、卸売・小売業、金融業、不動産業、運輸・通信業、サービス業、医療福祉、教育、研究開発などに分類されており⁵⁾、ロボット産業は、製造業の一部としてのみしか計上されていない。しかし、上記のような考え方に立てば、RTは、自動車、ゲーム機をはじめとして、現在我々の身の回りにある、極めて多くの人工物の中に組み込まれており、まさにITをしのぐ技術インフラとなっている。それを考慮すれば、RTは、上記の中で、金融業と不動産業を除く、すべての産業で用いられており、その産業貢献は莫大である。もし、日本のRTが衰退するようなことがあれば、その影響は極めて大きい。現在、欧米、中国、韓国がいずれもRTの強化を国策として行っているが、それ以上のことを考えれば当然のことであり、日本もその流れに遅れてはならない。

3 東日本大震災対応で活用されたロボット技術

東日本大震災において、どのようなRTが活用されたのか。まず、福島原子力発電所の事故以外の適用事例について述べる。東日本大震災が発生した直後から、NPO国際レスキューシステム研究機構 (IRS: International Rescue System Institute) に所属するレスキューロボットの研究者などが、被災地の現地にそれぞれ開発してきたロボットシステムなどを、自主的に、あるいは要請に基づき持ち込み、災害対応に貢献した。ロボット導入のニーズは、被災者探索・レスキュー、倒壊建造物内調査、プラント・設備 (コンビナートなど) の調査・診断・修復、水中探査、復旧作業、被災地のマッピング、重作業のパワーアシスト、被災者のメンタルケアなど、多岐に渡った。これに対し、能動スコープカメラ (東北

大田所諭教授)、Quince (千葉工大小柳栄次副所長、東北大田所諭教授、新エネルギー・産業技術総合開発機構、IRS)、KOHGA3 (京大松野文俊教授)、Anchor Diver III (東工大広瀬茂男教授)、遠隔操縦機ROV (東大浦環教授)、双腕式油圧シヨベル型ロボット (日立建機)、被災地計測・モデル化・マッピング計測車・全方位カメラ (東大池内克史教授、東北大出口光一郎教授)、Paro (産総研柴田崇徳主任研究員)、スマートスーツ・ライト (北大田中孝之准教授) などのRTが投入され、災害対応における貢献を果たした。また、海外からも、米国Texas A&M大学Robin R. Murphy 教授が率いるCRASAR (Center for Robot-Assisted Search and Rescue) が、実際に日本の災害現場にロボットを持ち込み、空中からの原子力発電所の建屋調査や水中調査に多大な協力を行った。ロボット技術開発に携わる大学、研究所、企業の研究者や技術者は、災害対応に貢献を果たすべく積極的な活動を行ったが、実際のニーズに対する効果という点では、十分にその期待に応えられるものではなかったことは否めない。

災害や事故は多様であるために、RTに求められる機能もその都度異なってくる。たとえば、被災者の探索に関しても、阪神淡路大震災では、建物の崩壊による圧死が主な死因であったのに対し、東日本大震災では、津波による溺死で多くの方が亡くなった。前者では瓦礫内の探索が必要となるが、後者では水中探索のニーズが高かった。このように、災害の状況によって、求められる技術は異なるので、様々な状況やニーズに対応した備えが重要となる。

4 原子力発電所の事故対応で活用されたロボット技術

次に、福島原子力発電所の事故への適用事例について述べる。原子力発電所の事故対応では、放射線レベルが高く、作業員の立ち入りが極めて困難な状況で、ロボットや無人化施工などの遠隔操作技術が数多く投入され、継続的に用いられている。緊急的なミッションは、事故現場の情報収集・調査、冷却系の安定化、汚染物質の封じ込めなどであった。

福島原子力発電所事故で、これまでに遠隔操作機

器が導入された例としては、コンクリートポンプ車による注水 (冷却系の安定化)、無人化施工機械による瓦礫撤去、小型無人ヘリ (T-Hawk) による爆発を生じた原子炉建屋の空撮調査、Packbot、Quinceなどの移動ロボットによる建屋内調査 (映像、放射線量、温度、湿度、酸素濃度など)、 γ カメラを搭載した移動ロボットによる汚染調査、吸引装置を搭載したWarrior (移動ロボット) による除染、TalonやBrokkなどの移動ロボットによる原子炉建屋内の瓦礫の除去などである。

今後は、燃料の取り出し、解体などの、さらに困難なミッションが待ち受けている。RTに求められている具体的な作業としては、瓦礫除去、サーベイマップの自動作成 (放射線測定と地図生成)、原子炉建屋やタービン建屋内の調査 (画像、放射線量、温度、湿度、酸素濃度など)、計測機器などの設置、サンプル採取、遮蔽、除染 (はつりなどを含む)、機材の運搬、配管・機器の切断・解体・設置などである。前述のQuinceは走破性が極めて高いことから、瓦礫や階段が存在する建屋内の調査にも使用されている。ただし、建屋内の状況についても、まだ十分調査が行えているわけではない。格納容器内や圧力容器内の調査をはじめ、調査が必要な場所はまだまだ多く存在し、いずれの調査も高放射線環境下での調査であり、容易ではない。水中環境も含む高放射線環境下での、圧力容器、格納容器、圧力抑制室などの漏えい箇所の同定、止水は、かつて誰も行ったことがない、極めて困難なミッションであり、そのためのロボット技術開発もまさにグランドチャレンジである。

今後も、燃料の取出しなどの中長期措置には30年以上要するとも言われており⁶⁾、これからも長期にわたって、必要なロボット技術開発を行うことが求められている。これは、避けられない現実であり、我々は、まさにこのような困難な状況を打開し、社会的な問題を解決するために、必要な技術開発をやり遂げ、社会に対して技術的に貢献を果たさなければならぬ。

5 災害対応および原発事故対応におけるロボット技術導入の問題点

以上述べたように、東日本大震災および福島第一発電所の事故への対応において、様々なロボット技術が適用されたが、必ずしもスムーズに導入が行えたわけではない。

ロボットの研究開発に携わる専門家などは、3月31日に対災害ロボティクス・タスクフォース (ROBOTAD: Robotics Taskforce for Anti-Disaster)⁷⁾を設立するとともに、4月4日に関連学会と連携して声明を発表し、活動を開始した。それまで個人で災害対応や原発事故へのロボット導入の活動を行っていたが、それを組織的に検討しながら、動作環境やミッションに応じた最適なロボット技術・ソリューションの提供、現場での補強、改造も含めた導入・運用における実働支援、そのための技術情報の発信などの活動を行った。特に、ロボット技術導入のための具体的な技術的検討(耐放射線機能、走破性、通信など)、HPによる技術的情報や導入実績などの発信、福島原発対応のために政府と東京電力が設置したリモートコントロール化プロジェクトチームへの協力など、初動の活動において大きく貢献した。

なぜこのような組織を立ち上げ、活動を行う必要があったのか。様々な企業や大学が、ロボット技術開発を行っているが、福島原発事故のように特殊な事故が生じ、緊急の対応が求められるときに、現場の作業状況で、ニーズに合うようなロボットは存在するのか、存在しないとしても、その近似解としてどのような機能を有しているロボットが存在するのか、それを改造・強化するなどして現場に投入することが可能か、それを誰が操作するのか、どのように運用すればよいかなどを、政府や東京電力に対してアドバイスすることが求められた。しかし、ロボット技術の適用全般に関して、適切な情報提供、助言、技術導入支援を、統括的に行うような組織が存在しなかった。ROBOTADはまさにそのような役割を果たしたのである。

原子力関連分野のロボット研究開発は、これまでに様々なロボット開発プロジェクトが行われてきた

が、今回の事故に対して適用できるものはほとんど存在しなかった^{8,9)}。また、災害対応ロボット研究開発などに関しても、Quinceなど、これまでのプロジェクトにおいて実用化指向で開発されたシステムがあったために、投入を行えたものの、それはあくまで大学の研究者が開発したプロトタイプ・システムであり、実用機としての完成度には至っていなかった。

これに対して、米国から提供されたロボットや、ヨーロッパから申し出のあったロボットは、政府の主導により開発・調達が続行的に行われたロボットであり、企業が開発に携わった製品である。そのため、実績もあり、完成度は高く、早い時期に活用することができた。

6 ロボット技術の社会実装

サービス分野においてロボット産業をどのように育成することができるのか。

そもそも、東日本大震災および福島第一発電所事故において、日本に投入できる製品としてのロボットが存在しなかったのは、ロボットの需要が存在しなかったからである。安定した需要があれば、企業も技術開発を行い、その技術を維持することが可能である。しかし、国のプロジェクトによって、研究開発に投資が行われても、需要が小さかったり、単発であれば、企業は十分な投資を行うことができない。特に、災害や事故対応のロボットの場、これらの特殊なロボットの需要は、ユーザである国、自治体、電力事業者などに限定されているために、それらが必要性を認めず、調達を行わない限り、実用化・製品化・事業化のプロセスはおろか、技術を持続し続けることすらできなくなる。

一方、このような問題は、災害対応ロボットに限った問題ではない。サービスロボット分野においては、日本がロボット技術開発で先行し、優れた技術開発を行っていたにもかかわらず、事業化で海外に先を越され、マーケットを取られた例は、掃除ロボット、手術ロボットなど、枚挙に暇がない。研究開発において負けていなくても、事業化で負けるのである。日本には、制度的な問題をはじめとして、ロボット

技術の社会実装を困難にしている様々な要因がある。

しかし何よりも、ロボットユーザが、開発導入に消極的であることが極めて大きな問題である。ユーザ側が、機械を導入するより人が頑張るればよい、その方が効率、コスト面で得策である、というような論理で行動する限り、作業する人の負担やリスクを低減することは永遠に不可能であるのみならず、それは、技術開発やその社会実装を遅らせ、産業競争力を低下させることになる。

介護ロボットに関して、その社会実装を加速するための政策提言が行われている¹⁰⁾。ここでは、グランドデザインに関する提言として、社会システムデザインからのアプローチ、介護ロボットを利用する環境の整備、介護者への知識普及と訓練、被介護者への知識普及と訓練、人材育成（アーキテクト、プロデューサ、コーディネータ）などが挙げられている。また、制度に関する提言として、規制緩和（法的規制、特区の活用）、規制強化、安全性の確保と開発者・生産者のリスクへの対応などが挙げられている。さらに、研究開発戦略に関する提言として、研究開発戦略の明確化、研究開発方式の転換、政府による戦略的な研究開発の推進、海外との連携、経済的効用の定量的評価・シミュレーションなどが挙げられている。ただし、ここでの提言は、介護ロボットに限ったことではなく、サービス分野のロボット技術すべての社会実装において合致する。

最近では、ロボットの研究開発に対しても、欧米のみならず中国や韓国が、国を挙げて巨額な投資を行っており、研究開発における日本の優位性も脅かされている。欧米や中韓に対する国際競争力を失わぬようにするには、早急にこれらの提言を吟味し、国を挙げて対策を講じる必要がある。

7 おわりに

我々が生活する環境は、まさに人工環境であり、我々の生活は多くの技術に依存している。それは逆に、現代に生きる我々は、人工システム無しでは生きることさえ困難な状況になることを意味する。災害や事故が生じると、入手できることが当

たり前であるはずのものが得られない事態が発生し、混乱が生じ、多くの問題が発生する。そういった問題の解決にこそ、RTを役立てる必要がある。

サービス工学では、サービスの価値創造や生産性の向上を目指し、サービスやそれを設計するプロセスのモデル化、サービスの開発・評価の方法論の構築などが議論されている¹¹⁾。サービスは、製品と異なり、ユーザに対して動的に適応する機能が重要であると考え、ロボット技術を適用した、サービスメディアという概念も提案されている¹²⁾。サービスの価値は、顧客満足度で評価されることが多いが、今回の震災や事故を経験し、安心や健康といった評価軸も重要であることに気づく。

我々は、技術という後ろ盾の元、様々な人工物、人工システムを含む人工環境を構築し、豊かで快適な生活を送れるようになってきた。しかし、その一方で、近年うつなどの精神疾患患者数が急激に増加していることが問題となりつつある。厚生労働省は、がん、脳卒中、心筋梗塞、糖尿病の「4大疾病」に、認知症やうつなどの精神疾患を加え、「5大疾病」とする方針を決めた¹³⁾。精神疾患が急激に増加した原因の解明は容易ではないであろう。しかし、我々が技術によって構築してきた人工システムや人工環境が、人に何らかのストレスを与え、それが精神疾患発症の要因となっている可能性も考えられる¹⁴⁾。すなわち、技術が人と人工物の不整合を生じさせたという可能性である。

今日の日本は、GDPが世界で3位である。しかし、それにもかかわらず、様々な幸福度の調査があるが¹⁵⁾、いずれの指標においても、日本人の幸福度は必ずしも高くない。先端技術が社会に浸透する中、人工物と人の調和についても深く考えながら、次々に生じる様々な社会的問題解決に対してRT適切に適用し、その解決を図るとともに、人々の幸福度の向上に貢献できるような研究開発、社会実装を推進する必要がある。

参考文献

- 1) <http://www.meti.go.jp/press/20100423003/20100423003.html>
- 2) <http://www.roboness.jp/>
- 3) <http://www.robotaward.jp/award/4th-robotaward.pdf>
- 4) マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書、日本ロボット工業会、(2011)。
- 5) <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>
- 6) <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sochi/pdf/20111213.pdf>
- 7) <http://roboticstaskforce.wordpress.com/>
- 8) 浅間 一：東日本震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題（その1）、日本ロボット学会誌、vol. 29, no. 7, pp. 658-659 (2011)。
- 9) 浅間 一：東日本震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題（その2）、日本ロボット学会誌、vol. 29, no. 9, pp. 796-798 (2011)。
- 10) 福川委員会報告書「ロボット技術 (RT) が拓く豊かな日本～介護サービスへの産業的挑戦～」：日本経済調査協議会、(2011)。
- 11) 浅間 一：サービス工学、精密工学会誌、Vol. 75, No. 1, pp. 146-147 (2009)。
- 12) 上田完次、浅間 一、竹中 毅：人工物の価値とサービス研究、人工知能学会誌、Vol. 23, No. 6, pp. 728-735 (2008)。
- 13) <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001hx9n.html>
- 14) 浅間 一：移動知における社会適応メカニズムの解明と人工環境設計論への展望、精神科、Vol. 18, No. 5, pp. 542-546 (2011)。
- 15) <http://www.worldvaluessurvey.org/>