

# サービス工学とサービスロボティクス\*

Service Engineering and Service Robotics

浅間 一\*\*  
Hajime ASAMA

**Key words** service engineering, service robotics, robot technology, service physiology, human modeling

## 1. はじめに

2002年に、「サービスの生産性の向上」と「新たな付加価値の創造」を動機として、東京大学人工物工学研究センターにサービス工学研究部門が設置された。それ以来、「サービス」は、学問の対象とされるようになった。わが国のGDPにおける第三次産業が占める割合が増えていることから、「サービスの生産性の向上」は一つの目指すべき方向である<sup>1)</sup>。その一方で、温暖化や巨大化する事故をはじめとする「現代の邪悪」<sup>2)</sup>を解決し、循環型社会を実現するためには、大量生産大量消費からの脱却、製造業におけるパラダイムシフトが必要で、「製品」から「サービス」へとといった「新たな価値創造」が求められている<sup>3)</sup>。小宮山は、人工物の飽和にともなう、「普及型需要」から「創造型需要」への転換の必要性を指摘しているが、創造型需要を考える上で、サービスは重要な要素だ<sup>4)</sup>。

「サービス」に関する研究は、上記のような「工学」を拡張した学問としての「サービス工学」と、マネジメントやマーケティングなどといったビジネスのための学問としての「サービス科学」とが両輪の牽引車となって、これまで進められてきた。その結果、「サービス」は、研究の対象としての市民権を獲得し、その研究や、それに基づいたビジネスに注目が集まるようになった。

一方で、サービス研究の難しさもある。その一つが文理融合の学際的研究であるがゆえに、研究の価値観が、研究者によって異なるという問題である。横断型学問としてのサービスの研究をスムーズに進めるには、サービスに関わ

る個々の研究者が、多様な価値観を受け入れ、多様性のある研究を容認し、研究の裾野を広げていくことが肝要である。

サービスロボティクスは、ロボティクスの一分野であると同時に、サービス工学の一つの柱でもある。サービスは、人が人に対して行う行為であることが基本であるが、情報技術(IT:Information Technology)やロボット技術(RT:Robot Technology)を活用しサービスシステムを構築することで、サービス提供の支援によるサービスの質の向上や、自動化によるサービス提供の効率化が期待できる。本稿では、サービスロボティクスとは何か、ロボティクスとサービス研究がどのように関係するかについて解説するとともに、そこでの技術的課題や今後の展望について述べる。

## 2. サービスシステム実現のためのロボティクス

「サービスロボット」という言葉は、製造業で主に用いられる「産業用ロボット」との対比で用いられることが多い。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、サービスをはじ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<sup>5)</sup>。サービス分野におけるロボットには、医療(手術、リハビリ、セラピーを含む)、アシスト(介護、福祉を含む)、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に分類できる。ただ、そういった期待に反して、「サービスロボット」は、まだロボット産業の一分野を形成するには至っておらず、その社会実装にあたり、いかなる課題が存在し、それをいかに解決するかといった検討が行われている<sup>6)</sup>。

ただし、ここでいう「サービスロボット」とは、サービスを提供する「ロボット」と称する機械である。一方、ロ



\*原稿受付 平成24年1月4日

\*\*正会員 東京大学大学院工学系研究科(東京都文京区本郷7-3-1)

浅間 一

1984年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986年理化学研究所研究員補、同副主任研究員等を経て、2002年東京大学人工物工学研究センター教授。2009年同大学院工学系研究科教授。サービスロボティクス、移動知等の研究に従事。工学博士。

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。RTは、指定された環境において与えられたミッションを遂行するシステムを、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・制御などのアルゴリズムを設計し、それを具現化するシステム・インテグレーション技術、総合技術である。したがって、ロボティクスは、情報収集や作業などといったニーズに対し、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。

サービスの特徴は、無形性、同時性、異質性、消滅性といわれている。特に、同時性や消滅性は、サービスとは静的なものではなく、サービス提供者とサービス受容者とのインタラクションの中で、その価値が動的に創出されることを意味しており、サービス提供においては、実時間性を考慮する必要があることを示唆している。すなわち、サービス提供者を人工物（システム）によって置き換えたり、サービス提供者を人工物（システム）によって支援しようとする場合、それには実時間で動作することが要求されることになる。そのような実時間性を有する適応的サービスシステムを実現するには、RTを活用することが有効であることは言うまでもない。

ただし、その実現形態は、サービスロボットという機械であるとは限らない。サービス受容者とインタラクションするための、センサやアクチュエーション機能（広く情報収集と情報提示などの働きかけ機能としてもかまわない）を、サービス受容者が存在する空間に埋め込んだ、空間知能化によるサービスシステムという解も存在する<sup>7)</sup>。これまでに、空間知能化によって、サービス受容者の属性、嗜好、意図、価値観などの情報を動的に獲得・推定しながら、実時間で動的にサービスを提供する、サービスメディア<sup>8)</sup>という概念も提案されている。

以上から、サービス工学は、サービスシステムとしての人工物（システム）を「創る」のみならず、それを「使う」プロセスまでも含む新しいサイエンスであることがわかる<sup>9)</sup>。

### 3. 適応的サービスのためのヒトのモデル化とロボティクス

サービスロボティクスにおける最大の技術的課題は、無限定性に対する適応機能の実現である。サービスシステムが稼動する環境（サービスの提供を受ける人も含む）は、工場内での単純作業などと異なり、オープンかつ極めて多様であり、無限定である。サービス提供者のエキスパートは、多様なサービス受容者に対し、それぞれが満足するようなサービスを適応的に提供する能力をもっているが、まさにそのような適応性をいかにサービスシステムで実現するかが課題である。

一方、ヒトはもちろんのこと、一般に生物はこのような

高度な適応性を有している。生物が、適応的な行動や運動を、身体・脳・環境のインタラクションに基づき、どのように生成しているのかを、生物学・医学・ロボティクスなどを駆使し、生工融合による構成論テクニクスで理解することを目的として、「移動知」と呼ばれる研究が行われてきた<sup>10)</sup>。移動知研究の主たる目的は、適応的行動や運動が生成されるメカニズムの解明であるが、それは二つの点でサービスロボティクスにおいて重要な意味をもつ。

一つは、ヒトの理解という点である。産業用ロボットが対象とするのは、部品などの「もの」であるのに対し、サービスロボットは、「ヒト」を対象とする。すなわち、サービスシステムは、ヒトに対してサービスを提供しなければならない。しかし、サービス受容者は多様であるのみならず、その状態などによってもその価値観は動的に変化する。そのような多様性に対応し、実時間で適応的に振る舞えるようなサービスシステムを実現するためには、まずヒトの理解が重要となる。

もう一つは、適応的に振る舞えるような人工システムを設計する新たな方法論を導出するという点である。生物が適応的な機能をいかに生成しているかを理解できれば、それを模倣することによって、生物同様、適応的に動作することが可能なサービスシステムを実現できるかもしれない。

人の理解とは、ヒトのモデル化に他ならない。ヒトのモデル化を行うことができれば、その挙動を予測することが可能となり、予測に基づいてサービスシステムは適応的にサービスを提供することが可能となる。

サービスを適応的に提供するためのヒトのモデルといっても、サービスの内容によって、さまざまなレベル、さまざまな観点のモデルが必要となる。以下にその例を挙げる。

#### (1) 行動モデル

一般的なサービスでは、サービスを求めているヒトがどのように行動するか、あるいはサービスを受けたヒトが、その満足度に応じてどのように行動するかなどを表すモデルが必要となる。

#### (2) 属性的モデル（幾何的、材料的）

ヒトと接触するサービスにおいては、ヒトがどのような形状をしているのか、材料学的特性を有しているかなどを知る必要がある。手術支援などにおいては、臓器や組織のモデルが必要となる。

#### (3) 筋骨格モデル

医療・福祉・介護・リハビリなどにおいては、ヒトの身体の構造を知る必要がある。また、自動車の設計などにおいても、使いやすさを向上させるために、人間工学的な評価を行う必要があり、そのためにも筋骨格を含む身体のモデルが必要となる。

#### (4) 運動学モデル、動力学モデル

そもそもヒトがどのような動きや運動を行うかを知るには、ヒトの身体の運動学モデル、動力学モデルが必要とな

る。リハビリやアシスト、トレーニングなどにおいては重要なモデルである。

(5) 脳神経系モデル

脳の疾患によって、認知症、自閉症、統合失調症、うつなど、さまざまな精神障害が発生する。それは、認知・運動の適応的行動障害を伴う。例えば、要介護者の身体機能の衰えは、単に筋力のみならず、脳神経系の機能の低下も一因となっている。これらの疾患の理解、治療、リハビリにおいて、脳神経系のモデル化も極めて重要である。

(6) 価値感応モデル<sup>11)</sup>

そもそも、ヒトは提供されたサービスなどに対し、脳の中でどのようにその価値を評価しているのかは全く知られていない。サービスの価値を評価する価値感応モデルが構築できれば、高付加価値サービスの設計やサービス提供者の好ましい振る舞い方などを導出する上で有効となる。

上述のようなヒトのモデルを構築するには、さまざまなヒトの属性、行動、状態の計測と、それに基づくモデル化が必要となるが、ロボティクスはその強力な手段となる。

4. サービスの価値の評価のためのロボティクス

価値の評価は難しい。従来の工学製品の価値は、性能で評価されることが多かった。例えば、産業用ロボットであれば、その可搬重量、動作速度、位置決め精度などによってその性能は定量化され、性能が高いものが価値が高いとされた。

しかるに、一般コンシューマ向けの製品の場合、特に普及が進み、性能が上げ止まった製品などに関しては、性能などの機能価値よりも、デザイン性なども含む感性価値が、需要に大きく影響することがある。いずれにせよ、顧客の主観が評価に大きく影響するとすると、「性能」といった客観的な指標だけで製品の価値を評価することは難しい。

では、サービスの価値はどのように考えればよいだろうか。これも、サービスシステムの性能だけで評価することはできない。むしろ、サービス受容者の主観が支配的である。

これまでのサービス研究では、「顧客満足度」を指標にするケースが多い。しかるに、従来の顧客満足度の評価では、アンケート（5段階評価など）に基づく例や、サービス設計者や研究者が評価関数やパラメータをア priori に決めている例が多く、信頼性に疑問が残る。特に、アンケートによる評価は、アンケートの質問の仕方などによって大きくその結果が変わることが知られており、信憑性に欠ける。そこで、「満足」をいかに客観的かつ定量的に評価するかが問題となる。

その一つの方法が、サービス受容者の行動を計測し、それから主観的価値を推定する方法である。サービス受容者が何を感じ、何を考えているかを直接知ることはできないにせよ、その結果としてどのように振る舞ったのかを、センサによって計測することは可能である。実際、購買履歴

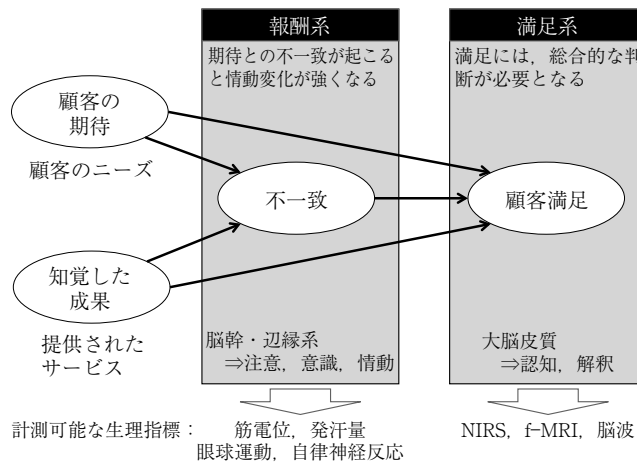


図1 顧客満足モデルとそれに基づく生理指標による評価

などは、通信販売やPOSシステムにおいて記録され、統計処理によって評価し、それがマーケティングに活用されるなどの事例が多くなってきている。さらに、いわゆるロボット（センシング）技術を用いれば、人の行動（動き、動線など）も客観的データとして定量的に計測できる。実際、人の行動をカメラによって取得した映像からその人が案内サービスを望んでいるかを数理統計的手法により推定するシステム<sup>12)</sup>など、ヒトの行動計測に基づく主観的評価手法も開発されている。

もう一つの方法は、サービスを受けたヒトの生理状態を計測する手法である。満足は、脳の活動によって評価される。したがって、もし、サービスを受けた際の脳の活動を直接的あるいは間接的に計測することができれば、満足度（あるいは不満度）を推定できる可能性がある。

Oliver<sup>13)</sup>によれば、「顧客満足」は、図1に示すように、「顧客の期待」と「知覚した成果」によって生成されるが、同時に、「顧客の期待」と「知覚した成果」の「不一致」も影響する。「不一致」に関していえば、不一致が生じると、脳の報酬系が影響を受ける。具体的には、脳の脳幹や辺縁系などが関与するために、その結果、情動的な変化が生じ、筋電位、発汗、眼球運動などの自律神経反応にその影響が現れると推測される<sup>11)</sup>。一方、「顧客満足」は、脳の脳大脳皮質による総合的な判断によって得られると考えられるので、その活動をNIRS、f-MRI、脳波などで計測すれば、「満足」を客観的かつ定量的に計測することができる可能性がある。

これまでに、ストレスやイライラ感などの精神的負担を、上記のような生理指標や、唾液アミラーゼやフリッカー値などを計測することによって、推定する手法が報告されている<sup>14)15)</sup>。また、ヒトが経済的行動を行う際の脳大脳皮質の活動を計測することで、経済活動における意思決定のメカニズムを明らかにしようとする、ニューロエコノミクス（神経経済学）と呼ばれる学問が注目を集めるようになった。これらの研究は、まさにヒトの主観と、脳神経系の活動という客観的な指標をつなげるものであり、満足度を

評価する新たな方法論になり得るものと考えられる。生理指標などによってサービスの価値を評価する方法論に関する学問は、「サービス生理学」と呼ばれている<sup>11)</sup>。

なお、「満足度」によって、サービスの主観的価値を評価するケースが多いが、満足度だけでは、サービスの価値を評価するのに不十分である。東日本大震災や福島第一原子力発電所の事故を経験し、改めて「安心」が、サービスの評価軸として重要であることが再認識されたし、また、高齢化や精神疾患の増加にともない、「健康」も重要な評価軸になりつつある。サービスの価値も多面的に捕らえ、それをいかに評価するか、それをどのような手段で計測・推定するかなども、今後さらに検討を進めていく必要がある。

## 5. サービスと幸福

われわれは、技術によって、便利で快適な人工環境を構築し、それによって、豊かな社会を実現してきた。しかしその反面、「現代の邪悪」と呼ばれる新たな問題と対峙しなければならなくなった。現代において、われわれの生活はすでに深く技術に依存しており、技術なしの生活は考えられない。技術の進歩や社会の発展の歴史は不可逆であり、技術が未熟な昔の社会に戻ることはできない。われわれが技術の恩恵と引き換えに抱え込んでしまった問題を解決するには、新たな技術の開発と導入をもってあたるしかない。

われわれが、技術によって作り出してきたサービスについても、功罪の両面を認識する必要がある。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<sup>16)</sup>。認知症の増加は高齢化によるところが大きいことは想像に難くないが、うつの増加の原因を究明することは容易ではない。インターネット、メール、携帯電話、ゲーム機などが、精神的に悪影響を与えているという指摘もある<sup>17)</sup>。われわれが技術によって構築してきた人工システム、人工環境、サービスの普及が、人に対して何らかのストレスなどをもたらし、それが精神疾患発症の要因となっている可能性もある<sup>18)</sup>、われわれは、その検証を行う必要がある。

サービスは、ヒトを幸せにするものでなければならない。まさに、サービスの正の価値を最大化するのみならず、負の影響を極力低減させるような努力も重要である。

近年、幸福度の評価が注目されている。従来、GDPなどの経済的な豊かさ=幸福という単純な図式で捉えられていた。しかし、日本は、GDPで世界第3位であるものの、一人当たりのGDPに換算すると、順位が急降下する。また、さまざまな幸福度の指標が提案されているが<sup>19)</sup>、いずれの指標においても、日本の幸福度の順位は決して高くない。経済力が下がれば、幸福度も下がるということは当然考えることであるが、それはヒトが幸福になるための十分条件ではない。人を幸せにする人工環境やサービスの設

計論を構築することがこれからの大きな課題である。

## 6. おわりに

本稿では、サービスロボティクスが、どのようにサービス工学に対して貢献するのかについて述べるとともに、サービス研究の今後の課題などについて論じた。

日本は課題先進国といわれている。高度な技術開発とその普及を急ピッチで行い、技術に支えられた豊かで便利な社会を急速に構築してきた。しかし、高齢化に伴う社会保障、技術の空洞化、うつなどの精神疾患の増加など、さまざまな新たな社会的課題にも、世界に先んじて直面することになった。また、東日本大震災や福島第一原子力発電所事故が生じたことで、自然災害や巨大人工システムの安全性の確保や老化への対処という問題も再認識された。

しかし、こういった課題は、日本特有なものではなくなる。事実、高齢化は全世界で急速に進展しているし、災害や事故のリスクはいずこにも存在する。アジアの発展途上国の多くは、日本を手本とし、日本と同様な急速な工業化を進めているが、彼らも、近い将来、現在の日本と同様な課題に直面することになるであろう。

これまでわれわれは、ビジネスとして取り組みやすいサービスばかりに注目して、サービス研究やサービスシステムの開発を行ってきた。しかし、災害対応・原子力発電所事故対応などにおいて、ロボット技術の適用が求められているにもかかわらず、それらは満足に機能しなかった<sup>20)</sup>。介護においても、ロボット技術の社会実装にはさまざまな阻害要因と課題が存在することが明らかになりつつある<sup>21)</sup>。われわれは、それらを重視し、その解決方法を探る必要がある。

さまざまな課題をいかに解決し、人工環境やサービスを生み出す技術とヒトをいかに調和させることができるかを、日本が全世界に対して示すことが求められている。何がヒトや社会にとって幸せなのかと再度考え、われわれはいかなる研究や技術開発を行うべきかを見直す時期にきている。

## 謝 辞

サービスの価値に関する主観的評価を、脳神経生理学の知見に基づき、いかなる生理指標によって評価可能であるかの検討において、旭川医科大学高草木薫教授に多大なご協力をいただいた。ここに心から御礼を申し上げる。

## 参 考 文 献

- 1) サービス産業生産性協議会：<http://www.service-js.jp/cms/index.php>
- 2) 吉川弘之：人工工学の提唱，ILLUME，4,1 (1992) 41-56.
- 3) 富山哲男：サービス工学の展開，第6回人工工学国内シンポジウム論文集，(2002) 45-58.
- 4) 小宮山宏：経済教室「創造型需要」で先行利益を，日本経済新聞 (3月26日朝刊)，2010.
- 5) <http://www.meti.go.jp/press/20100423003/20100423003.html>
- 6) 浅間一：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, JACIC 情報, 104 (2011). (印刷中)
- 7) 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, **23**, 6 (2008) 728-735.
  - 8) 浅間一: サービス工学とシステム・インテグレーション, 計測と制御, **44**, 4 (2005) 278-283.
  - 9) 浅間一: サービス工学, 精密工学会誌, **75**, 1 (2009) 146-147.
  - 10) 浅間一: 生工融合研究としての移動知, 計測と制御, **49**, 12 (2010) 833-836.
  - 11) 科学技術振興機構: 社会技術研究開発事業「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」, 「国別適応型サービス設計のためのサービス価値導出プロセスの観測と同定のための企画調査」終了報告書, (2011).
  - 12) H. Asama, A. Morimoto, K. Kawabata and Y. Hada: A Human Behavior Discrimination Method Based on Motion Trajectory Measurement for Indoor Guiding Services, Proc. 9th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems 9 (IAS-9), Kashiwa, Japan, Mar. (2006) 891-900.
  - 13) R.L. Oliver: Satisfaction; A Behavioral Perspective on the Consumer, McGraw-Hill, (1997).
  - 14) 成アンナ, 田村雄介, 浅間一: 生理指標を用いたサービスに対する不満状態の評価, 第32回バイオメカニズム学術講演解予稿集, (2011) 233-236.
  - 15) 加藤龍, 藤田真理奈, 新井民夫, 足立悟志, 森岡昌宏, 榎原伸介: 精神的負担の少ない人間・ロボット協調型組立作業システムの構築とその評価, 第29回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC1B2-5, (2011).
  - 16) <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001hx9n.html>
  - 17) 佐藤武: 最近の動向とトピック, 精神科, **17**, 4 (2010) 325-329.
  - 18) 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, **18**, 5 (2011) 542-546.
  - 19) <http://www.worldvaluessurvey.org/>
  - 20) 浅間一: 災害・事故対応に求められるロボット技術, まてりあ, **51**, 4 (2011). (印刷中)
  - 21) 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).