

「DX、デジタル化が進展するなかでの  
ロボット市場形成を考える」

令和6年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

## はじめに

コロナ禍による経済活動の停滞の影響が過去のものになるなか、生成系AI（人工知能）の登場に象徴されるような第4次AIブーム、そしてデジタル革命、DX化の波が急速に押し寄せている。それに伴い、ロボットが置かれる状況も変化している。

依然として、労働生産性が低く人手不足に悩む産業分野における、物理的な作業の自動化としてのロボットの新規開発の必要性・重要性は高く、また、社会・生活のなかで新しいロボット（特にサービスロボット）を開発して自動化を図り、課題を解決していこうという潜在的な需要は大きい。しかし、そうした需要に対して斬新な機能や性能をもつ新たなロボットを開発する勢いは弱まりつつあり、またロボットが新規開発されても多くの分野で事業化の「壁」に突き当たっており、既に事業化に成功したロボットのさらなる普及と市場の成熟化が主に行われているのが現状であるといえる。ロボットへの潜在需要の大きさと現実の開発や普及の低調さの間には、どのような問題があるのか。

機械振興協会経済研究所では、これまでも、令和2年度から4年度にかけて「サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究」プロジェクト（以下「サービスロボット研究会」）を実施し、サービスロボットの利用と市場の拡大を阻む要因を考え、介護・ケア分野、そして「食」をめぐる分野に関する提言をしてきた。そこでは、ロボットの必要性を評価する軸の置き方を議論するとともに、作業や業務の“流れ（あるいはシステム／ネットワーク）のなかでの需要”を考えたロボット導入の考え方の必要性を提示してきた。つまり、ロボット単体の機能を中心として需要を考えるのではなく、AIを活用した包括的サービス向上、あるいはDXやデジタル化あるいはスマート化などによる業務改革や社会課題の解決策の一つの構成要素としてロボットを捉え直し、ロボットの本当の需要があるのかを議論する必要性があると考えられる。

本調査研究事業（以下、「本研究会」）では、令和5年度後半から令和6年度にかけて、上記のような問題設定のもと、新たな時代の状況に合わせたロボットの市場形成に向けた具体的な道筋を提示することを目的として、議論を進める計画である。

本報告書の第1章は、令和5年度の研究会における議論を整理したものである。ロボットの潜在的な需要は大きいですが、そうした需要を満たすようなロボット開発が不十分であるとの基本認識から、ロボット開発の局面を中心とした問題の整理が中心となっている。第2章は研究会で議論のたたき台の一つとして上村沢雄委員に報告いただいた海外事例から見た「未来のロボットビジネス」拡大の「2つの壁」と「7つのハンマー」について「雇用機会」への展望を加えてご執筆いただいたものである。ロボットの普及段階での「壁」を中心に、どのように障害を克服するのかについての提言を中心とした論考となっている。いずれの議論も、研究会の確定的な成果ではなく、中間成果としての提示であることをご理解いただきたい。

\*本報告書はすべてが委員会合意ではなく、経済研究所（PL）にてとりまとめたものであり、文責も当研究所にあります。

令和5年度

「DX融合型ロボット市場」形成の具体的道筋に関する調査研究

調査研究委員会・委員名簿

(敬称省略、肩書はいずれも令和5年度のもの)

【委員長】

川村 貞夫 立命館グローバル・イノベーション研究機構 機構長代理 特別招聘研究  
教授、ロボティクス研究センターセンター長

【委員】 (50音順)

上村 沢雄 デロイトトーマツコンサルティング合同会社 産業機械・製造業セクター  
シニアコンサルタント

高本 陽一 株式会社テムザック 代表取締役議長

結城 崇 株式会社自立支援介護DX 代表取締役CEO

【経済研究所】

森 直子 機械振興協会経済研究所研究副主幹 (PL)

楊 童堯 機械振興協会経済研究所リサーチアシスタント

# 目次

第1章 令和5年度の研究会における議論の整理 .....	1
1. ロボットをスマート化／デジタル化、DX化のなかで捉えなおす議論のための いくつかの考察 .....	1
1-1 DX、デジタル化、スマート化、あるいはAI技術との進展との関係 .....	1
1-2 人々の「ウェルビーイング」を実現、サポートするのに「役に立つ」ロボット .....	2
1-3 「ロボット」の定義 .....	3
1-4 ロボット活用の場の特定に関する議論 .....	3
1-5 ロボットによる人の作業の代替と、人が担う新たな作業・業務 .....	5
2. 研究会で取り扱う時間軸と目指すところ .....	7
3. 研究会で取り扱う業種・分野 .....	7
4. 人材育成への課題への視野 .....	11
4-1 分野横断的“総合プロデューサー的人材”の創出 .....	11
4-2 ハードウェアとしてのロボット工学の専門家の拡充 .....	12
第2章 未来のロボットビジネスと新たな雇用機会 ～「2つの壁」「7つのハンマー」「6つの新職業」～ .....	13
1. ロボットビジネスのブレークスルーを阻む2つの壁 .....	13
(1) はじめに .....	13
(2) 2つの壁 .....	13
2. 2つの壁を打ち壊す7つのハンマー .....	14
(1) ロボット能力(技術開発)の壁を打ち壊すハンマー .....	14
(2) ロボット普及(事業開発)の壁を打ち壊すハンマー .....	15
3. 壁が打ち壊された後のロボットビジネス .....	18
4. 未来のロボットビジネスが創出する「6つの新職業」 .....	18
5. 最後に .....	20

# 第1章 令和5年度の研究会における議論の整理

## 1. ロボットをスマート化／デジタル化、DX化のなかで捉えなおす議論のためのいくつかの考察

本調査研究事業（以下、「本研究会」）では、ロボット（サービスロボットを中心とする）の活用拡大、そして市場形成の具体的な道筋を考えることを目的としており、議論に必要な様々な概念のそれぞれを深掘りし、定義づけることは目指していない。しかし、研究会の議論の方向性を決める上では、いくつかの概念や用語につき、研究会での取り上げ方を整理する必要がある。本研究会で結論が見つかった概念や考察ではないが、暫定的な整理の状況を以下に示した。

### 1-1 DX<sup>1</sup>、デジタル化、スマート化、あるいはAI技術との進展との関係

本研究会の正式な名称は「『DX融合型ロボット』市場形成のための具体的道筋に関する調査研究委員会」である。「DX融合型」という造語を冠しているが、本研究会では、DXとロボットとの2者の関係のみをみてロボット活用拡大や市場形成を議論しないこととする。本研究会では、「人々の役に立つロボット」が活用される場面を、主に人不足が深刻な諸産業分野にも置くが、より人々の生活に近い環境も想定している。また、デジタル技術を駆使した生産性向上を実現するためのビジネスモデルの革新を意味する「DX」では、本研究会が議論したいロボット活用の場面の範囲を必要以上に狭めてしてしまう。

そのため、本研究会では、一般的ではない使い方ではあるが、「DX」という語によって、DX化、スマート化、AI技術活用など、ロボットの周辺にあり、近年世界中で発展が目覚ましい様々なICT関連テクノロジーを活用した自動化、効率化を代表させることとする。さらに、そうした先端のICT関連テクノロジーのみではなく、従来から進められている「デジタル化」との融合も視野にいれて、ロボット活用を議論する。

また、これらのテクノロジーを活用する際に必要な「取得すべきデータ」の定義や種類ひとつとっても、ロボット単体で考えるとき、そして特定の課題に関するデジタル化をする場合、単一の装置のスマート化あるいは大きなシステムのスマート化を考えるとき、それぞれ必要な「データ」の定義や種類は異なってくる。さらにAI技術には急速な技術革新が生じており、「取得すべきデータ」は大きく様変わりしてきている。ひとくちにロボットと周辺のICT関連テクノロジー活用の融合といっても、どのようなデータを使って融合をさせるのか

---

<sup>1</sup> なおここでDX (Digital Transformation) とは「企業が、ビッグデータなどのデータとAIやIoTを始めとするデジタル技術を活用して、業務プロセスを改善してだけでなく、製品やサービス、ビジネスモデルそのものを変革するとともに、組織、企業文化、風土をも改革し、競争上の優位性を確立すること」とする一般的な定義を想定している（野村総合研究所「用語解説」 (<https://www.nri.com/jp/knowledge/glossary/list/alphabet/dx>)）。具体的には、センサなどを通じて、業務の流れ全体、あるいは要所のデジタルデータを取得し、収集したデータを活用して、AI技術などを基盤とするアプリケーションなどを使うことで業務プロセスを改善することを意味している。

の議論は複雑で、簡単に答えの得る問題ではない。本研究会では、その問題は十分意識しながらも、あまり詳細な「取得すべきデータ」の定義や種類の議論には立ち入ることなく、様々な技術的な変革のなかで、ロボットが導入されるべき、ロボットで代替すべき物理的な作業を特定していくにはどうしたらよいか、全体の作業の流れの制御と、ロボットの制御に必要なデータの定義をどのように行ったらよいか、についても議論していこうとしている。

つまり、本研究会の視点からは、DXやスマート化、AI技術活用、デジタル化等を推進して業務プロセスの改善や多様な作業の流れの効率化や改善を図るなかで、物理的な業務・作業についてはロボットやスマート化した機械などを適切に組み込むやり方を同時に考える必要があり、そこにロボット活用拡大の本当の必要性が見いだせるとの指摘をすることが重要だと議論をしていくことにする。

## 1-2 人々の「ウェルビーイング」を実現、サポートするのに「役に立つ」ロボット

本研究会として議論の対象とするロボットは、「人々の役に立つ」ロボットとしている。近年、コミュニケーションロボットの一部で「役に立たない（何か具体的なタスクをこなすわけではない）」ことを表明するロボット（例：GOOVE X社のLOBOT）が登場しているが、研究会としてそのようなロボットを否定するわけではないが、議論の対象とはしない。研究会では、ロボティクスを含めたテクノロジーを、人々の生活の向上、そして経済・社会課題の解決により具体的に結びつけ、よりよい使い方を模索することが、結果的にロボットの活用を促進し、市場も形成することに繋がるとの考え方をとっている。

また、研究会では、ロボットが「人々の役に立つ」ことがより多くの人々の「ウェルビーイング (well-being)」<sup>2</sup>の向上に資することに繋がるような視点を保っていこうと努力をしている。このウェルビーイングは、近年テクノロジーとの関連でよく使われる言葉である。例えば、日本ロボット工業会が2023年5月に発表した『ロボット産業ビジョン 2050』<sup>3</sup>でも「ありたき姿」の説明として、「個人と社会のウェルビーイングを実現する」あるいは「ウェルビーイングが満たされた社会」の実現のような形でキーワードとして取り上げられている。本研究会では「ウェルビーイング」という用語は直接的に使われることは少ない。しかし、ロボット開発の目的を生産性向上にのみ置いたり、ある特定の機能の自動化の達成のみに置いたりすることで、そのようなロボットの導入によって、かえって人々のウェルビーイングが損なわれてしまう危険性もある、という概ねの共通理解がある。本研究会では、ロボットが人々の役に立つから活用する、そして、そうすることで人々のウェルビーイングが満たされることに繋がるよう活用されるべきだ、という議論を中心としていく。重ねて換言すれば、ロボットの活用拡大と市場形成そのものを自己目的化するような議論はしない、ということである。

---

<sup>2</sup> 厚生労働省によれば「ウェルビーイング」とは、個人の権利や自己実現が保障され、身体的、精神的、社会的に良好な状態にあることを意味する概念である。

<sup>3</sup> 日本ロボット工業会 (<https://www.jara.jp/about/50th/vision.html>)

### 1-3 「ロボット」の定義

本研究会では、令和2年度から4年度まで実施された「サービスロボット研究会」同様に、「ロボット」について厳密な概念定義を設定することはせず、以下のような特徴を持つロボットを中心に「ロボット」という語を使っている。

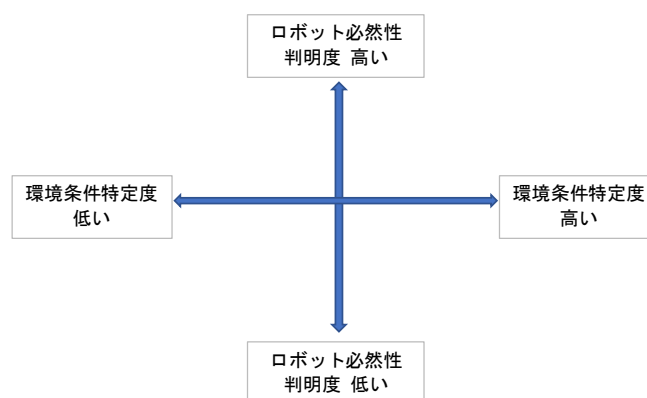
<p>&lt;ロボット&gt;</p> <p>✓ センサ、コンピューター、アクチュエータからなるシステムで、人間の「身体的要素」を代替する、質量・速度を伴う機器・機械</p> <p>&lt;サービスロボット&gt;</p> <p>✓ 非製造業で使われるロボットを対象とし、中心はサービス業（対人）とする</p>
---

また、「機械」「装置」「設備」「システム」など「ロボット」周辺にある自動化機能が部分的に組み込まれたものとの違いを意識しつつ、厳密な線引きをすることは敢えてせず、しかし、あくまでも中心は、人間の身体的要素を代替する、質量・速度を伴う機器としている。質量・速度を伴わず、センサ等によって取得されたデータの分析とそのシステム上のフィードバックを中心とする自動化技術は、デジタル化またはAI技術活用の一部などとして、議論の中心としての「ロボット」には入れないこととする。

### 1-4 ロボット活用場の特定に関する議論

本研究会では、サービスロボット研究会での議論から引き続き、どのような場面でロボットの真のニーズがあるのか、ロボット活用が実現できる場面はどこなのかを考える。サービスロボット研究会では、ロボット単体を中心に議論を進めたため、まず、「環境条件特定度」と「ロボット必然性判明度」の2軸を用意し、ロボットの開発と導入の優先度や重要度を考えた。しかし、これら2つの軸の使い方には工夫が必要であることも分かってきた。

図表1 「サービスロボット研究会」で最初に用意された議論の2軸



この2軸の議論のうち「環境条件特定度」であるが、これは、ロボットが作動可能な環境を整えられる場面を特定し、そこからロボット導入の可能性を見ていくという軸である。様々なロボットが使われる“環境”には、かなりの多様性があるが、ロボットの作動が可能な環境（ロボットフレンドリー環境）を整えられると同定できるのは、限定された環境に留まる。ロボットの導入が想定される現場では、既存の環境がつくられているが、そうした環境がつくられる基準は、人間が活動、作業あるいは労働するために整備された環境であり、そこにロボットが追加されたときに作動可能な環境条件かどうかは、自動的に決定できないことになり、端的な有望なロボット市場の同定を導くことは難しい。

また、本研究会が目指す、様々なICT関連テクノロジーを活用した自動化、効率化の動きとの融合のなかでのロボット活用という議論のなかでは、この「環境条件特定度」をロボット導入の可能性を測る軸として直接的に使うことはできなくなる。「環境条件特定度」は、ロボット導入の必要性があると考えられる場面が特定された後で、ロボット導入の難易度を測る補助軸として使うことは可能と考えられる。

2つ目の軸である「ロボット必然性判明度」については、ロボットのニーズは非常に相対的なものであり、「この動作・作業・場面にはロボットを導入する“必然性”がある」と無条件に断定できることは多くないことが、サービスロボット研究会での議論のなかで判明してきた。例えば、介護・ケア分野でのロボット導入にしても、施設などの規模や状態、労働者の配置状況などによって、ロボット導入の必然性は変化してしまうからである。また、ロボットのニーズが時限的・季節的なもの、長期かつ恒常的なものなど、時間軸を加味すると、さらに“必然性”の内容は複雑になる。

そして本研究会が目指す、様々なICT関連テクノロジーを活用した自動化、効率化の動きとロボット活用の融合を考えるなかでは、ICT関連テクノロジーの活用によって業務や作業のやり方を変更していくと、以前はあったはずの「ロボットを導入する必然性」が大幅に減ずることもある。つまり、現場のニーズの捉え方を個別の場面から包括的に変えた結果、ロボット導入の必然性が非常に限定されるか存在しなくなる可能性もある。また、既に開発され、導入されたロボットの市場価値の“賞味期限”が想定よりも大幅に短くなってしまう事態がでてくる可能性もある。もちろん、他方で、ICT関連テクノロジーがロボットの頭脳部分を補完する場合、「ロボットを導入する必然性」が増えることもあり得る。この「ロボット必然性判明度」という評価軸は、固定的、確定的なものではなく、様々なICT関連テクノロジーを活用した自動化、効率化を進める中で「ロボットでないといけない」作業・業務を同定する補助道具として活用するのが良いと思われる。

本研究会では、ロボットに対する真のニーズを測るための新たな評価軸の議論を続けていくが、

- ・ ロボットが動作を行う対象物の「重量」「体積（大きさ）」
- ・ ロボットが実現できる（移動、動作の）速度



- ・ これらの要素を満たす技術をロボットとして開発するコスト

- 量産化するにあたっての実現可能性

- それらから導き出されるロボットの価格

などは、ロボットの開発・導入が求められる分岐点はどこにあるのか、あるいはロボット開発が開始できるのはどのような状況なのか、という議論のなかで登場したもので、ロボットに対するニーズを測る軸のある種の候補といえよう。いずれも、すでにサービスロボット研究会のなかでも、ロボットの開発や普及促進のために考慮すべき点として挙がっていたものであるが、改めて、「ロボットが必然的に活用される」場面とはどのような場面か、そこに適切なロボット開発がなされているのか、などを評価する軸として成立する項目なのかについて議論をする必要がある。

### 1-5 ロボットによる人の作業の代替と、人が担う新たな作業・業務

本研究会では、基本的に、①少子高齢化と人口減少により人手不足に陥っておりロボット導入が期待される現場、あるいは②社会の変化によって人の代わりに機械が当該作業を担った方が良いとされる場面、③従来は人も機械も担うことができなかったがロボット技術によって当該作業を実行することが可能とされる場面などに、ロボットを活用していくべきだ、との認識をしている。しかし、①および②の場合、ロボットの導入が、人による作業・労働と比較したときの生産性で同等、あるいはそれ以上であることが確かではないと、実現性に乏しくなくことも十分理解している。

一方、ロボット導入（自動化）によって人の作業・労働と同等かそれ以上の生産性が得られ、より経済合理性が高いので、ロボット導入を推進するという議論を単純に取り上げることは、本研究会として極力しないようにしている。MITのAcemoglu教授とPascual教授の著作で示されているように<sup>4</sup>、近年のロボットを含む“自動化”機械は、ロボットに代替された労働に従事していた人から「労働を奪う」のみならず、代替が起こった労働の分野の「賃金を引き下げ」るため、ロボット導入を決定した経営者や自動化機械のメーカーの富は増やすが、非熟練労働者の富を減じ、結果として社会の富の拡大には貢献するものの所得格差を広げる要因となっている可能性は大きい。ロボット活用の拡大、市場形成と拡大のみを論じれば、短期的には経済成長に貢献するかもしれないが、中・長期的にはMITの両教授が指摘するような社会の格差拡大を後押ししてしまうかもしれない。別の見方をすれば、ロボットは消費者とはならないため、単に短期的な経済合理性によってロボットによる労働の自動化を図れば、中・長期的には消費活動の減退を生み出す可能性がある。

本研究会では、上記の①から③のようなロボット需要に対して十分なロボット開発がされていないとの認識を議論のもととしており、そのような需要に応えるロボットは、単に

---

<sup>4</sup> Acemoglu, Daron and Pascual Restrepo (2020) 'Unpacking Skill Bias: Automation and New Tasks.' AEA Papers and Proceedings, 110 : 356-61、およびMIT(Massachusetts Institute of Technology) (2020) *The Work of the Future: Building Better Jobs in an Age of Intelligent Machines*.

「人の労働を奪う」ことにはならないと考えている。

また、本研究会ではロボットが人の労働の代替をする場合に、人は新たな作業・労働に従事することを考えている。ただし、具体的に人がどのような“新たな”作業・労働に従事できるのか、については慎重に議論をしないといけないことも理解している。

よくある議論に、AIやロボットの導入によって単純労働や繰り返した作業から解放された人は、クリエイティブな労働に従事すればよい、という議論があるが、そのような労働移動は現実には容易ではない。クリエイティブな労働に従事するには適切な教育・訓練が必要であるし、クリエイティブな職の数には限りがある。そして、近年の生成AIの急速な発達によって“クリエイティブな”職のいくつかは、将来的にAIに代替されてしまう可能性もでてきている。

他方、新たに開発されたロボット、例えばAmazonなどの大規模物流倉庫で導入されたピッキングロボットなどはエラー発生時の対処、あるいはメンテナンスなどで人による補完的サポートが必要な場合が多く、人の“新たな”作業を生み出しているともいえる。第2章の上村論文で取り上げられているように、Amazonの倉庫で“新たに”発生した人による作業（ロボットが取り落とした商品を集め、再分類するなどの作業）は、以前の長時間のピッキング作業より労働負荷が軽く、従業員の創意工夫もある程度活かしやすいため、よりよい作業が生み出されたことになる。しかし、その新たに生み出された作業が、“ロボットの世話をする”という従属的作業に留まり、なおかつ、労働負荷が以前に従事していた（そしてロボットに代替された）作業・労働と同等かそれ以上の負荷になってしまう場合もあり、この“新たに生み出された”作業・労働が人が従事するのに適切なものなのかは、慎重に議論していく必要がある。

少し異なる論点であるが、「人とロボットの共生」や「人とロボットの協働」のように、あたかも人とロボットが同等で置換可能な存在であるかのような用語の使い方や概念提示も、よく見かける。ロボットが「社会の一員」とみなすかのような「共生」という語の使い方は、奇妙ではないだろうか。また、“協働ロボット”のようによく使われる用語にもなっている、“人とロボットの協働”という語も、人を機械と同等とみなすことを意味しており、奇妙な用語だといえる。本研究会では、人を中心として議論をすることを忘れないようにしていく。さらに、本研究会では、誰もがどこでもロボットを容易に操作することができることが理想とされる「スマートプロダクション」のような生産現場でのロボット活用の議論と、生活の中でロボットやICT機器やAI技術を活用した機器があらゆる場面で登場するとする「スマートコミュニティ」のような議論とを、安易に並置して議論しないように心がける。人がロボットという機械に取り囲まれた環境で社会生活・経済活動を行うことは、本質的に人々のウェルビーイングが満たされるとは思われないからである。

本研究会では、ロボットが「人々の役に立つ」という意味を考えながら、ロボットの活用拡大と市場形成についての議論を進めていくこととする。

## 2. 研究会で取り扱う時間軸と目指すところ

本研究会では、ロボット導入の潜在的に大きな需要に対して、開発済で事業化が目前・あるいは事業化初期段階にあるロボットはまだ足りない、という認識がある。他方、開発に着手されたロボットでも、実証実験にまで至らない、あるいは実証実験を繰り返すものの次の段階に進めずにいる事例も多い。本研究会で、全ての潜在需要と潜在供給を取り上げることは不可能であることから、当面、

- ・ 5年後をめどに事業化できるロボットは何か、それをどう導入、普及するのか

という時間軸の限定をして、議論の対象を絞ることとしている。この「5年後」という時間軸の設定は厳密な基準ではないものの、10年後や15年後に事業化を目指すような開発事業は、不確実性が大きすぎる。ある程度、実現確実となったロボット開発を取り上げ、それらの事業にとって市場形成に障害が生まれている要因はなにかを切り取ることにする。

そして、研究会の目指すところは、

- ・ 5年を目標として、今すぐに何を行動すればよいか？

という、議論にある程度の回答を出すことである。様々な論点、視点がある問題であり、一律に、そして唯一の回答が導出される問題ではないが、本研究会では取り組んでいきたい。

## 3. 研究会で取り扱う業種・分野

本研究会では、令和2年度から4年度に実施したサービスロボット研究会で取り上げた、介護・ケア分野でのロボット活用、「食」をめぐるロボット活用については継続的に扱うこととし、さらに、宿泊業、建設業などにおけるDX化・スマート化・AI技術活用のなかでのロボット活用と市場形成について議論することとする。現状把握として、以下に各分野でのロボット活用についての概況を述べる。

### ●介護・ケア分野

コロナ禍を経て、介護・ケア分野では、介護職員のタブレット活用、音声入力による業務・介護記録とデータ連携・活用が大きく進展している。人手不足はより深刻化しており、業務フローの改善が不可欠になってきている。

また被介護者家族の意識が大きく変化し、以前は被介護者のプライバシー保護の観点から非接触型センサによる個人データの取得に難色を示す事例が多かったが<sup>5</sup>、個々人に合っ

<sup>5</sup> 転倒、離床などを画像や赤外線センサなどで感知するシステムでも、個人が判別できないようデータ精

た「カスタムメイド・ケア」介護を望む声への変化から非接触型センサによる個人データの取得と活用を積極的に行えるようになり、センサ活用の範囲が急速に拡大している。また、世界的なヘルスケア・アプリの普及によって、非接触センサによる血圧や呼吸頻度の測定技術も飛躍的に向上しており、センサ活用による「見守り」の普及が進んでいる。

他方で、安全面の懸念から介護・ケア施設において導入が進まなかった業務用床清掃ロボットは、未だに導入済の施設数はそれほど多くないものの、検討を始める施設が増えていると言われている。病院での業務用床清掃ロボットの導入が進んでおり、点滴をした病人や車いすで移動する患者もいる病院の廊下や病室を、安全に清掃することができる清掃ロボットは、利用者の受け入れ状況にもよるが、介護・ケア施設によっては導入可能なものとなってきている。

また、医療分野でのリハビリロボット（エクソスケルトン型中心）の開発が進む中、介護・ケア施設でも利用者への適応に以前より積極的になっている施設が増加していると言われている。しかし、人手不足が深刻な介護・ケア施設が多い中で、利用者への医療用リハビリロボットの適応が可能な施設は限られている可能性は大きい。

介護・ケア分野では、深刻な人手不足（特に男性職員の不足）に対応するため、間接介護のなかでも職員と管理者双方の大きな負担となっている、記録・報告業務の軽減やシフト組みの自動化と簡易化などの業務改善に焦点があたっている。残念ながら、和3年度のサービスロボット研究会の報告書で提言したような、バックヤードでのロボット活用は、まだ検討段階にも上らないと思われる。しかし、介護を必要とするような人を人の代替として“適切に”直接介護するロボットの開発はまだ時間がかかる現状（人が機械を補助的に使いながら直接介護を実施せざるを得ない）のなかで、間接介護は自動化せざるを得ないと思われ、今後も動きを注視していきたい。

また、本研究会としては、介護・ケア分野で以前から活用されてきたアナログ機器の福祉機器を“データ連携”のなかにどのように組み込めるか、についても注目していきたいと考えている。

## ●飲食業界・食品加工業界

飲食業界では、コロナ禍を経て、自動搬送ロボット（AGV/AMR）、特に配膳・下膳の運搬部分のみのロボットの活用が大きく進んだことが、マスメディアなどでも大きく取り上げられている。配膳・下膳ロボットの普及が世界のなかで最も大規模に、そして急速に進んだ中国では、配膳・下膳ロボットのメーカーも急成長しており、日本でも大手飲食チェーンで導入されている配膳・下膳ロボットの多くは、中国製と言われている。ただし、これらの中国製の配膳・下膳ロボットの自動走行精度や注文データとの連携の水準は、日本企業にとって満足できるものではないことも多いと言われ、価格は高いものの日本製などに代替されていく余地はまだあると言われている。また、POSデータとの連携は今後の焦点となっ

---

度を意図的に落とすなどの工夫がされていた。

ており、日本を含めた多くの企業が参入を試みている。

なお、コロナ禍前の実証実験が盛んにおこなわれていた時期には、自動搬送ロボットにロボットアームを付加した形のロボットの開発が複数試みられていたが、普及が進んでいるのは、自動走行機能にお膳の格納部分を搭載しただけのものである。実際に配膳や下膳をするのは、利用客のセルフサービスとなっており、人間のフロア従業員の役割全部を代替するものではない。フードコートのように、もともとフロア従業員のサービスがほとんど提供されない飲食店では、こうした配膳・下膳ロボットの導入は顧客側にとっても利点は大きい。ファミリーレストランなどでは、配膳・下膳と同時に、利用客に新商品の宣伝などを行うこともあり、店側にとっても利用客にとってもある種の機会損失を招いている可能性はある。いずれにしても、フロア従業員と配膳・下膳ロボットの新しい役割分担を考えることが重要となってきた。

また、業務用床清掃ロボットの導入も大きく進んだ。大型店、特にチェーン展開する飲食店では業務用床清掃ロボットの導入は当たり前となっている。しかし、中小、特に個人営業の飲食店での業務用床清掃ロボットは経済的利点がなく、進んでおらず、これらの店舗では将来的にも、床清掃ロボットの導入は進まないと思われる。

今後は、自動調理ロボットの導入の動向を注視する必要がある。大量調理を効率的におこなうための自動調理器はこれまでも数多く開発され、普及してきたが、近年、開発が盛んになってきたのは“自動調理ロボット”という名を関した、多種少量の調理（加熱調理部分）を行う自動調理機器である。駅ビルなどに入居できるパスタ料理店の厨房に導入できる大きさの自動調理ラインをロボットアームとともに“自動調理ロボット”を組み合わせて設置した事例や、カフェとしてコーヒーや軽食をロボットアームと“自動調理ロボット”などで構成した自動調理ラインを導入した事例などがマスメディアで紹介されているが、当面は、“自動調理ロボット”単体での導入が少しずつ拡大すると思われる。この比較的小型の自動調理ロボットは、日本では当面、飲食店での導入が目論見られているが、欧州や中国では、自分では調理ができないが、調理済みの冷凍食品やレトルト食品を電子レンジで加熱する方式はとりたいたとは思わず、自動調理（自動での食材・調味料の適時・適量投入や適切な加熱、攪拌など）をしたい個人が、小型“自動調理ロボット”を購入する事例も増えているといい、商品化も進み始めている。

中小食品加工分野でのロボット導入は、やはり深刻な人手不足を背景に、徐々に進みつつあり、また、中小食品加工業向けに小型のロボットアームに取り付けるロボットハンドの開発も進みつつある。しかし、コロナ禍前にFOOMAなどでコンセプト機が紹介されていた、「急な従業員の休みにロボットで補完」など人の従業員と随時入れ替え可能な“協業ロボット”は開発の勢いが急激に弱くなっている。これまで人が担当していた作業をロボットに代替させるにあたってラインのレイアウトなどを変更しないでよく導入期の調整が簡易で短時間でできるタイプのロボットの開発は進んでいるが、人と“協業”できるロボットは開発が難しく、コスト的にも見合うものが当面はできないとみられている。

## ●ホテル・宿泊業界

ホテル・宿泊業界では、コロナ禍の非接触推進の時期を経て、チェックイン・チェックアウト時のタブレット入力、自動搬送ロボット（AGV／AMR）の活用が進んだ。自動運搬ロボットの運用にあたっては、宿泊者データとの連携も進み、また移動を円滑におこなうためのエレベータ運用システムとの連携も進んでいる。ホテル・宿泊業界で、運搬の自動化は以前から試みられており、加賀屋が1981年にオープンした12階建ての新館『能登渚亭』で料理の自動搬送システム（大福機工（現ダイフク）開発）を導入するなど、バックヤードでロボット化の事例はいくつかあった。しかし、自動走行ロボットの運用を全く考えずに建設されている既存建物・設備とロボットを後付けで連携させるための技術・工夫が不足していたため、自動運搬ロボットの広い普及は起こらなかった。ただし、現在でも、廊下に段差がない、階段でしか移動できない階がないなど、建物が自動搬送ロボットが動ける構造であることが前提条件／障害となっている。

### ——宿泊客の荷物搬送

- ・ 日本のホテルでは「変なホテル」が先鞭をつけたが、外資系の名古屋マリオットアソシア（運営はジェイアール東海ホテルズ）や品川プリンスホテルなどのホテルチェーンなどにも拡大。
- ・ 宿泊客が自ら客室前でピックアップする形式が多い。
- ・ エレベータ連携型の利用が進む。

### ——リネン類などの搬送

- ・ 高級ホテル「メズム東京、オートグラフ コレクション」でも、リネン類のフロア間搬送で自動運搬ロボットを活用。
- ・ 業務用エレベータ連携型の利用が進む。

この連携技術の発展とロボットの走行制御の改善が進んだことで、コロナ禍を契機に自動搬送ロボットのホテル・宿泊業界での導入が進むことになった。また、同様の自動走行機能が基盤となる、業務用床清掃ロボットの導入も進んでいる。ただ、客室の清掃については、床の清掃だけではなくリネン交換、ベッドメイク、家具の清掃、浴室での浴槽および洗面台とトイレの清掃、コップなど飲食関係の備品のチェック、ゴミ捨てをはじめ、様々な作業があり、ロボット導入は進んでいないが、ベッドメイク関係については、大規模ホテルチェーンが自動ベッドメイク機（ロボット）の導入を開始した。また、ホテルを含む共同利用施設の共用トイレについては自動清掃ロボット開発が進んでいる。

旅館・ホテルの受付については、ロボットの導入よりもタッチパネル式の非接触型チェックイン／チェックアウト方式が、空港近隣ホテルやビジネスホテルを中心に普及してきている。「変なホテル」の恐竜型ロボット等によるチェックイン／チェックアウトはギネスにも記録されたが、直営店のハウステンボスでは2023年10月のリニューアルにより、ロボット接客は終了しており、今後もロボットによるチェックイン／チェックアウト方式の

復活は予定されていない。アメニティ備品も、セルフサービスでピックアップする形式を採用するホテルが複数登場しており、旅館・ホテルの受付が、ホスピタリティ提供の場から変化してきている。

## ●建設業界(工事施工など)

建設業界のなかで、土木工事などで活用される建設機械については、既にコマツなどの重機メーカー各社が、使用状況がクラウドを通じて把握できるデータ連携システムを開発し、また自動運転や遠隔操作により複数重機の連携作動を含むロボット化とスマート化が進んでいる。近年の新しい動きとしては、深刻な人手不足を背景に、これまでロボット技術の応用が進んでいなかった建物の施工現場で、施工支援ロボットの開発が進み、実用化レベルのものが徐々に開発されている。特に、大規模建設現場では大手ゼネコンを中心にDX化による施工工程の効率化も進みつつあり、大手ゼネコンが音頭をとって開発した施工支援ロボットの導入も進みつつある。

しかし、より人手不足が深刻な小規模施工現場で使えるロボット開発が課題だと思われる。こうした小規模の施工現場では、外国人労働者が多く雇用されているものの、言葉があまり通じないためコミュニケーションがおぼつかない、そして技能も不足しているなどの問題が生じ、短期間で離職も多いことから、技能・技術の蓄積も困難となるなどの問題が起きていると言われる。また、近年では急速な円安から外国人労働者にとって日本での就業の魅力が大幅に減じており、外国人労働者での人手不足の補完すら難しくなっている。小規模施工現場で使えるロボットの開発が急務と思われる。

また、住宅建設については“3Dプリンタで作る家”を「ロボットで作る家」として打ち出している企業もある。安価で短期間で建設が可能な工法として注目されているが、このような“ロボット”を本研究会の議論の対象とするかは、今後、検討していきたい。

## 4. 人材育成への課題への視野

### 4-1 分野横断的“総合プロデューサー的人材”の創出

繰り返すが、本研究会では、まだロボット導入への潜在的需要に応えるロボットは十分に開発されていないとの認識に立っている。そうしたなかで、DX化、AI技術の発展、デジタル化の進展などによって、ロボット需要の在り方も変化してしまっている。そこで、様々なICT関連テクノロジーを活用した自動化、効率化を進める中で「ロボットでないといけない」作業・業務を同定し、ソフト面とロボットというハード面の双方の利点に通じた分野横断的“総合プロデューサー的人材”の育成が不可避となってくる。ロボット導入に関しては、ロボットを既存の生産システムのなかに組み入れるための導入提案、設計、組み立てを行うロボットSIer (System Integrator) が既に存在するが、DXやAI技術活用、スマート化などのソフトウェア・システム中心のテクノロジー活用のなかから適切な選択をしつつ、ハードウェアであるロボットの適切な選択と導入することを、請け負うことは難しい。また、これま

でもIE (Industrial Engineering) という製造業の生産現場における改善やシステム設計の専門家が存在し、全体の効率化をソフトウェア、ハードウェアの双方を駆使して設計、実施管理しているが、IE専門家は、製造業の工場の改善の専門家であり、知識や情報、手法などを、他の産業へ適応する、あるいは例えば公道での走行まで広がる自動走行ロボットを含めた広く運送サービスなどへ適応することについては、対応することは難しい。一方、近年、DX関連、あるいはAI関連技術導入のコンサルタントも増えてきているが、そうした人材は、ハードウェアとしてのロボットについての知識・情報については弱い。いずれも分野横断的“総合プロデューサー的人材”として機能するには、知識・情報・技術の偏りが大きすぎる。

ある個人の経験によってはソフトウェア、ハードウェアの双方に通じた人材となり得るが、そうした個人を特定し、分野横断的“総合プロデューサー的人材”を必要としている現場とつなぐことは容易ではない。よりシステムティックな方法で、この“総合プロデューサー的”人材を育成し、さらに必要な現場とつないでいく仕組みが必要である。

なお、技術商社などが、分野横断的かつソフトウェアとハードウェアの双方を効率的に組み合わせたシステムの提供を行う事例が少しずつ増えてきている。残念ながら、各商社の取引関係の範囲によって、組合せ候補となるソフトウェアとハードウェアが決まってしまう、より俯瞰的視点からの最適化をはかる主体となりにくい。

そのため、学会や工業会、諸官庁も含め、複数の主体がコンソーシアムのようなものを組成し、この分野横断的“総合プロデューサー”の役割を果たすことも考えられる。この問題は、今後の研究会での議論で、さらに議論を重ねる必要がある問題である。

#### 4-2 ハードウェアとしてのロボット工学の専門家の拡充

本研究会では、ハードウェアとしてのロボット工学の専門家の不足も指摘されている。第4次AIブームと言われるように、AI技術の発展は目覚ましく、大学など高等教育機関においてAIを学ぶ学生は増加している。それに伴い、AIの専門家も増加している。それに引き換え、ハードウェアとしてのロボット工学を学ぶ学生は減少しているという。AIを活用した制御系技術の発展にともない、ハードウェア関連の技術も発展してもよいのであるが、新たな人材輩出が少なくなれば、技術発展も停滞の方向に向かってしまう。

本研究会で、どこまでこのロボット工学の専門家の拡充を取り上げられるかは分からないが、こうした問題が存在することは意識していく。



## 第2章 未来のロボットビジネスと新たな雇用機会 ～「2つの壁」「7つのハンマー」「6つの新職業」～

上村 沢雄

### 1. ロボットビジネスのブレークスルーを阻む2つの壁

#### (1) はじめに

ロボットビジネス、特にサービスロボットの事業化・市場形成は長年の課題である。2015年の「ロボット新戦略」において、日本政府は「世界一のロボット利活用社会」「ロボットがある日常の実現」を目指し、2020年に目指すべき姿（KPI）として「非製造分野で使用されるロボットの市場規模（日本国内のみ）を20倍に拡大（600億円から1.2兆円）」が掲げられていた<sup>6</sup>。その後、物流・手術支援・清掃を中心に事業化が進展し市場は拡大したものの、2020年実績値（国際ロボット連盟）は全世界で1.2兆円<sup>7</sup>に留まり、予想通りの市場成長には至っていないのが現状である。

本章では、ロボットビジネスが想定通りに成長しないボトルネック（2つの壁）を特定し、当該壁を壊すための方策（7つのハンマー）を示す。その上で、壁が打ち払われた未来のロボットビジネスの姿、未来のロボットビジネスが創出する人間の雇用機会（6つの新職業）を考察したい。

#### (2) 2つの壁

ロボットビジネスのブレークスルーを阻む壁は、①ロボット能力の壁、②ロボット普及の壁、に大別される。①ロボット能力の壁とは、個々のロボットの能力発揮を阻む壁である。ロボットの頭脳部分である人工知能（AI）の技術進展、生成AIによるプログラミング難易度の低下によりロボットの知能化が進んでいる。また、個々のロボットが有する能力を十分に発揮できるためロボットフレンドリーな環境構築も、日本政府の後押しもあり、B2Bの閉鎖空間を中心に進展している。ロボット能力の壁については現在進行形で破壊中である。本稿におけるロボット能力の壁は、技術開発に関する課題であり、技術成熟度レベル（Technology Readiness Level : TRL）を想定したものである<sup>8</sup>。

他方で、②ロボット普及の壁は、様々なロボットがあらゆる場面で協力して活躍することを阻む壁である。ロボット普及のためには、(i)ロボットビジネスのアイデア出し⇒(ii)ロボットの生産⇒(iii)ロボットの導入⇒(iv)ロボットの運用管理、の4つの段階における課題を全て解決する必要がある。ロボットビジネスは、現実の物理空間におけるハードウェアがコアコンポーネントとなるビジネスであり、各段階で1つでも課題がある限り、当該課題がクリティカルパスとなるため、事業化や市場形成が進まないこととなる。なお、ロボッ

<sup>6</sup> 日本経済再生本部（2015）『ロボット新戦略－ビジョン・戦略・アクションプラン』

<sup>7</sup> 国際ロボット連盟（2021）『World Robotics Report 2021』

<sup>8</sup> 欧州委員会（2014）『HORIZON2020 – WORK PROGRAMME2014-2015 General Annexes : Technology Readiness Levels(TRL)』

ト普及の壁は、事業開発に関する課題であり、ビジネス成熟度レベル（Business Readiness Level：BRL）を念頭に置いている<sup>9</sup>。

ここでは簡単にロボット普及の壁について、4点述べたい。

- ① アイデア出し：ロボットメーカーやサービスプロバイダーのみではロボット活用のアイデア創出に限界がある（「BRL1：初期コンセプト」の段階）。ロボットユーザー・サービス受益者（消費者）に対して、無限に広がる活用用途を様々なプレイヤーが協力して推進する体制構築が求められている。
- ② ロボット生産：PoC（Proof of Concept：概念実証。TRL3に該当）には成功したものの、ロボット1体でも数億円となった場合、事業化までには至れない。アイデアは面白く、社会的にも意義がある、しかしながら量産できるほどのボリュームがない市場でも事業が成立するロボット価格を実現するロボット生産体制、ロボット生産方法が求められている。
- ③ ロボット導入：ティーチングの難易度が高く、限られた少数の専門家が長時間かけてでしか導入できない。それぞれのロボットで言語が異なるため、ロボットシステムインテグレーターに専門特化した知識と経験がないとロボット導入ができないのが現実であり、導入の難易度をいかに下げ、導入期間をいかに短期化する方法が求められている。
- ④ 運用管理：ロボットビジネスでは複数のロボットが協調して活躍することが求められている一方、各ロボットの導入・保守は別々のロボットシステムインテグレーターが対応しているのが現状である。また、知能化したロボットは、様々なモノやオペレーションと繋がり合うことで、企業は全体の業務プロセス・ビジネスモデルの中でロボットを位置付けられるようになった<sup>10</sup>。このため、統合的な運用体制の構築（社会的、非経済的要素も含む）が求められている。

## 2. 2つの壁を打ち壊す7つのハンマー

では、これら2つの壁を打破して、ロボットビジネスをブレイクスルーさせるためには如何なる方策が必要であろうか。海外での取組事例をヒントに、壁を壊すために必要な方策を7つのハンマーとして述べたい。まずは、ロボット能力の壁に対する2つのハンマーである。

### (1)ロボット能力(技術開発)の壁を打ち壊すハンマー

ハンマー①「人間の経験も兼ね揃えた高度な知能化ロボット」：ロボットの知能化により、長年の課題であった個別商品のピッキングなど、従来困難であったワークの遂行が可能にな

<sup>9</sup> Richie Ramsden, Mohaimin Chowdhury (2019) 『The Business Readiness Levels : Balance skills, manage risk and demonstrate progress with a simple venture benchmark』

<sup>10</sup> 一般社団法人日本ロボット工業会 (2022) 『機関誌ロボットNo267 (特集：データとロボット)』

っている。機械学習に加えて、人による遠隔操作を組み合わせることによって、デジタル（プログラミング）・アナログ（人間の経験）の双方向から、知能化ロボットの更なる高度化が進行するものと思われる。高度な知能化ロボットは人間に対しても指示やアドバイスをすることができるようになるため、高度な知能化ロボットと人間は最適な業務プロセスをお互いに指示・アドバイスし合うことで人間とロボットは同時により賢くなる。

ロボットの知能化の現状として、ロボットの頭脳部分であるAIや機械学習に関する技術は、大学による基礎研究から企業の商用化へとグローバルで急速なシフトが見られている。スタンフォード大学の調査によると、機械学習システムの開発件数は2014年までは大学が最多であったものの、2015年からは、企業が主導するようになり、2022年では企業による開発件数は32件となっている（同年の大学による開発件数は3件のみ）<sup>11</sup>。

実際の実例として、Amazon.com（米国）は機械学習技術で収納棚から商品を取り出すピッキングロボット「Sparrow」をほぼ実用化している<sup>12</sup>。また、Sanctuary AI（カナダ）は人型ロボットについて遠隔操作による実証実験を行っている<sup>13</sup>。

**ハンマー②「ロボットフレンドリーな環境の構築」**：ロボットの知能化が進行したとしても、ロボットが稼働する周辺環境が整っていなければ、ロボットは能力を発揮出来ない。ロボットが能力を発揮しやすいロボットフレンドリーな環境を構築することで、ロボットが働きやすい空間が広がり、ロボットを活用したビジネス機会も増加する。

シンガポールのチャンギ総合病院では、シンガポール保健省を含むコンソーシアムが実証実験を行っている。ロボットとエレベータ間の通信・データ連携の標準化に注力し、KONE（フィンランドのエレベータ企業）も同標準化文書の策定を支援している<sup>14</sup>。また、同病院では、手術支援・リハビリ・院内搬送・院内案内・毛布配布などの用途で、複数ロボットメーカーから50台を超えるロボットを導入・運用している。メーカーが異なる複数のロボットが、混雑した同一空間でスムーズに移動できなくなる「ロボットの立ち往生現象」の発生防止に努め、ロボット同士の相互運用性の確保にも取り組んでいる<sup>15</sup>。

## (2)ロボット普及(事業開発)の壁を打ち壊すハンマー

**ハンマー③「異業種連携エコシステム構築」**：ロボット普及のためには、多数のロボット関連プレイヤーが参加し、アイデア⇒PoC（概念実証）⇒事業化⇒量産化というビジネスの流れを、迅速に実現できる仕掛け・エコシステムが必要不可欠である。また、新たなロボッ

<sup>11</sup> スタンフォード大学（2023）『Artificial Intelligence Index Report 2023』

<sup>12</sup> Amazon.com公式ブログ（2022）『Amazon introduces Sparrow—a state-of-the-art robot that handles millions of diverse products』

<sup>13</sup> WIRED記事（2023）『ロボットを器用で賢くなるよう“育てる”には、人間が遠隔操作すればいい』

<sup>14</sup> チャンギ総合病院プレスリリース（2022）『Changi General Hospital, CapitaLand Investment and KONE collaborate to advance the integration of robotics in buildings』

<sup>15</sup> WIRED記事（2021）『ロボットが活躍する「密度」が増すにつれ、機械同士のコミュニケーションが重要になる』

ト関連スタートアップ企業が創出されることで、ロボット関連の技術開発・事業開発・雇用創出が期待できる。

デンマークのオーデンセ市（協働ロボットをグローバルに展開するユニバーサルロボット社の本社所在地）では、ロボットの技術・経営の双方を熟知した産学官金のプロフェッショナル集団が、基礎研究（「BRL1：初期コンセプト」段階）から市場参入（「BRL8：スケール」段階）まで一貫通貫で支援するエコシステムを形成している<sup>16</sup>。当該エコシステムは、参加組織間での高い信頼関係をベースとして<sup>17</sup>、ヒト・モノ・カネ・情報をエコシステム内で広く・深く共有することで、ロボット関連のスタートアップ育成、ロボット関連の人材育成に成功している。特に、ロボット関連の人材育成については、**Odense Robotics**（オーデンセ市から発足した地方自治体組織で、活動目的は次世代ロボット産業を担う人材輩出・人材育成）と**Danish Technology Institute**（南デンマーク大学内に拠点を置く、R&Dにフォーカスした非営利組織（NPO））が、中立的な立場から労働者個人に対して教育・研修を行い、エコシステム内での労働力の流動化を狙っているようである。デンマークは人口600万人足らずの国であるため、労働者の人材育成は企業間の競争領域ではなく、協調領域と位置付け、社会全体で労働者の人材育成（例：デジタル領域のリスキリング）に取り組んでいるものと推察される。

ハンマー④「モジュラー型ハードウェアの実現」：ロボットビジネスをスケールアップし、多様な顧客ニーズに対応するためには、従来以上にユーザーが使いやすいユーザーインターフェイスが必要である。また、ロボット生産のQCD（高品質・低価格・短納期）についても刷新が必要である。

ドイツのBeckhoff Automationは、2023年4月のHannover Messeで産業用ロボットの部品をモジュール化し、モジュール化した部品をレゴブロックのように組み合わせて、好みのロボットを作ることができる「ATRO（Automation Technology for Robotics）」を発表。「ATRO」は同年のHannover Messeにおけるトップ3技術賞を受賞している<sup>18</sup>。「ATRO」は、顧客の使いやすさ&顧客ニーズへの柔軟対応&即時対応を三位一体で実現することができる。

ハンマー⑤「ソフトウェアの標準化(統合型プラットフォーム)」：ロボットの生産⇒導入⇒運用管理という流れの中で、各ハードルを下げるため、業務オペレーションに関連したソフトウェアの標準化、統合型プラットフォームが必要である。

シンガポール政府は、ヘルスケア企業における業務オペレーションを統合的に管理する

---

<sup>16</sup> Odense Robotics ウェブサイト

<sup>17</sup> THE ROBOT REPORT記事（2024年2月27日）『How Odense became a leading robotics city』

<sup>18</sup> Beckhoff Automationプレスリリース（2023）『Modular industrial robot system nominated for the 2023 Hermes Award』

「Robotic Middleware for Healthcare (RoMi-H)」の開発に注力している<sup>19</sup>。RoMi-Hはヘルスケア企業における業務オペレーションを統合的に管理するソフトウェアソリューションであるが、他業種でも同様のソリューションが登場してくるであろう。

ハンマー⑥「ロボット関係者の人材育成・リスクリングの促進」：ロボットが既存領域以外で社会実装、事業拡大するためには、ロボットの技術とビジネスを掛け算できる人材育成が肝要である。また、ロボットビジネスを担える人材確保・育成の観点から、ロボット未経験者へのリスクリング促進が必要である。

韓国では、サムスン電子と韓国技術院（KAIST）がロボット特化人材の育成プログラムで提携している。同プログラムは就業型修士課程で、ロボット研究をリードする専門人材の育成を目標としている。2023年度から毎年10人の奨学生を選抜し、奨学生は理論から実務に至るロボットの専門知識を学び（サムスン電子での実習、学会、海外展示会へも参加）、学位取得後はサムスン電子へ入社することができる<sup>20</sup>。

シンガポール政府は、成人向けの再教育・職業訓練の政策「SkillsFuture」を2016年から開始。同政策は、個人向けのリスクリングに注力し、2万以上のプログラムの受講が可能となっている（90%の受講料補助あり）<sup>21</sup>。

ハンマー⑦「統合型O&M機能の確立」：導入するロボットが急増した場合、ロボットのシステムインテグレーション（SI）に加えて、新たな業務も発生するため、O&M（Operation & Management/Maintenance）の体制整備が肝要である。ロボットの知能化により、業務を通じてロボットが自律的に学習&能力向上していくため、O&M領域の強みが競争力の源泉となる。

まず、Operationの観点であるが、Amazon.comは2013年～2023年にかけて、累計75万台の移動式ロボットを製造し、自社の全世界物流センター300拠点以上に導入している。自社の庫内業務のオペレーションエクセレンス向上&自社ロボットの能力向上を同時に実現している<sup>22</sup>。「統合型O&M機能の確立」に当たっては、自社だけでなく関係者と連携することで、サービス提供のオペレーション範囲は拡大していく。もっとも、多様なプレイヤーとの連携が必要になるため、オペレーションを統合的に管理するプレイヤーの存在が必要となってくる。

次に、Managementの観点であるが、米国の配送ロボットスタートアップであるStarship Technologiesは、配送ロボットの機体開発、料理注文のスマホアプリ開発、配送サービスの実施、に三位一体で取り組んでいる。同社は米国（大学キャンパス向け）で1,000台以上、

---

<sup>19</sup> Center for Healthcare Assistive & Robotics Technologyウェブサイト『Robotic Middleware for Healthcare (RoMi-H)』

<sup>20</sup> 韓国科学技術院（KAIST）ウェブサイト『KAIST Robotics Program』

<sup>21</sup> SkillsFuture Singaporeウェブサイト

<sup>22</sup> WIRED記事（2023）『AI技術で進化するアマゾンの産業用ロボットが垣間見せる物流の未来』

英国で500台が稼働中。ロボットによる累計配送回数は500万回を達成している（2023年5月時点）。なお、同社は、大学・小売企業・飲食企業等とパートナー契約を締結することで、自動配送サービスの規模拡大を企図している<sup>23</sup>。

最後に、Maintenanceの観点であるが、ロボットのライフサイクルを長期化し、ロボットが価値を創出し続ける仕掛けも必要である。ロボットが再利用されることで、中古ロボットのディーラーや保険会社など中古市場の形成も期待できる。ABB（スイス）は、2007年に同社初のロボット再生拠点をチェコに創設。その後、米国・中国・ブラジル・メキシコ・ドイツ・ベトナムにも同様の拠点を開設し、これまで12,000台以上のロボットを再利用、毎年250台程度を顧客から買い戻している。買い戻したロボット（60-80%を再利用）は、部品交換や稼働確認を実施した上で、12-24ヶ月の保証を付して再販している。顧客（ユーザー）にとって、メンテナンスコスト削減、生産中止になったロボットの調達が可能となるメリットがある<sup>24</sup>。

### 3. 壁が打ち壊された後のロボットビジネス

壁が破壊された未来では、これまで以上に多種多様なロボットが活躍する他、ロボットは人間の可能性を引き出し、拡張していく。そして、人間とロボットがお互いを高め合い・認め合う人間・ロボットの共生社会が実現される。最後に壁が破壊された未来像・未来のロボットの役割を（1）企業経営、（2）労働、（3）社会の観点から簡単に示したい。

**(1)企業経営の観点：**新規事業の立ち上げ・収益化が迅速になり事業継続確率が高くなる。また、新規事業の他に既存事業の高付加価値化にもロボットが貢献するようになる。ロボットは新規事業の開発・推進、既存事業の高付加価値化・規模拡大のaccelerator/enablerとしての役割を果たす。

**(2)労働の観点：**ロボットの導入・利用により、ユーザー（労働者・消費者）は従来作業から発生する身体的負担・精神的負担を除去・軽減することができる。また、遠隔操作・モビリティロボットで高齢者や身体障害者は健常者と同様の生活も可能となるなど、人間の可能性を最大限に引き出すpartner/supporterとしての役割を果たす。

**(3)社会の観点：**企業による新規事業の開発・推進で新産業が創出されるほか、既存事業の規模拡大・高付加価値化により、社会全体の富（GDP）が拡大する。現実空間や地球に留まらず、仮想空間や宇宙でロボットが活用されることで、社会全体の富も拡大・拡張されるようになる。ロボットは社会全体の富のamplifier/multiplierとしての役割を果たす。

### 4. 未来のロボットビジネスが創出する「6つの新職業」

前章において、未来のロボットビジネスでは、企業経営、労働、社会の観点から更なるロ

---

<sup>23</sup> 日経ロボティクス（2022年11月号）『ようやくスタートラインに立つ日本の配送ロボット23年法改正で大幅な規制緩和、歩道型は飛躍なるか』

<sup>24</sup> ABBウェブサイト『Remanufacturing and Workshop Repair』

ロボットの貢献の方向性を概観した。このうち、労働の未来像（将来の職業）については、①職業自体が消滅：既存業務の全てがロボット・AIに代替されるもの、②業務内容・職業ともに従来通り：既存業務の全てが人間で行われ、ロボット・AI活用も想定されないもの、③業務内容が変化するものの、職業は従来通り：既存業務の一部でロボット・AI活用が進むものの、人間による業務も存在し、職業自体は存続するもの、④業務内容・職業ともに新規：ロボット・AI活用に伴う新業務から職業が発生するもの、の4つに大別される。本章では、「④業務内容・職業ともに新規：ロボット・AI活用に伴う新業務から職業が発生するもの」に、力点を置き、どのような業務・職業が新たに創出され、いかなる価値を提供するのか、7つのハンマーが解決する課題や取組を起点として「6つの新職業」を紹介したい。なお、職務内容・必要能力は、主に独立行政法人情報処理推進機構・経済産業省による『デジタルスキル標準ver.1.1』<sup>25</sup>を参考とした。

#### (1)ロボットクリエイター：ロボットの知能化×モジュラー型ハードウェア

職務内容：生成AIを活用してロボットの頭脳（ソフトウェア）をプログラミングし、モジュラー型ハードウェアを活用してロボットの身体を製作する職業である。機能性（ユーザーの使い安さ）、社会的受容性、美しさなどを意識したロボットのデザインも担う。

必要能力：ソフトウェア開発力、ユーザー・消費者に対する理解力・共感力

提供価値：ユーザー・消費者に対する高い理解力・共感力により、導入場所で受け入れやすく、ユーザーも使いやすい知能化ロボットを迅速に製造・提供することで、導入企業は事業開始・規模拡大を早期に実現することができる。

#### (2)ロボットビジネスプロデューサー：ソフトウェア標準化×統合型O&M機能の確立

職務内容：ロボットを活用したサービスを企画・開発する職業である。ロボットの活用場面（新規事業開発、既存事業の高度化、社内業務の高度化・効率化のいずれか）に応じて、ロボットビジネス関係者を取り纏め、統合されたビジネスモデルを構築する役割を担う

必要能力：広い視野と知識でロボットを活用してビジネスを組成する力<sup>26</sup>、ユーザー・消費者に対する理解力・共感力

提供価値：統合されたビジネスモデル構築に当たり、ロボットメーカー、ロボットサービス開発者、ロボットサービスプロバイダー、サービス受益者などを巻き込み、それぞれのプレイヤーを繋ぎ合わせるなど、多様なプレイヤーを束ねることができる。

#### (3)ロボフレ環境コーディネーター：ロボットフレンドリー環境の構築×ロボット関係者の育成・リスキリング促進

職務内容：作業者とロボットが共に働きやすく、安全性も備えた環境を整備・維持する。また、ロボット導入に伴う作業者の身体的・精神的負荷の双方を軽減するカウンセリングも行う。

必要能力：ロボフレ環境の設計・開発・構築・運用・保守・監視力、ユーザー・消費者に対

<sup>25</sup> 一般社団法人情報処理推進機構・経済産業省（2023年8月）『デジタルスキル標準ver.1.1』

<sup>26</sup> 一般財団法人機械振興協会（2023）『「食」をめぐる産業におけるロボット活用に向けた提言』

する理解力・共感力

提供価値：作業者とロボットの双方が能力を発揮できる環境を構築・維持することで、ロボットが稼働できる空間を確保し、ロボットを活用したビジネス機会を場所の面から創出・拡大することができる。

(4)ロボットオペレーター：ロボットの智能化×ロボット関係者の育成・リスクリング促進

職務内容：ロボットの遠隔操作を通じてサービスを提供する（例：人型（汎用）ロボットを通じて不安定な外部環境下で複雑な業務を行う、複数の特化型ロボットを同時並行で操作し、単純な業務を束ねて処理する）。また、ロボットで対応しきれない作業工程や、ロボット不具合解消を現場で担う。

必要能力：ロボットの操作力、ユーザー・消費者に対する理解力・共感力・反応力

提供価値：ロボット自体による自律的な動きに加えて、作業者による遠隔操作を組み合わせることで、ロボットの更なる活躍機会を増やすことができる。また、作業者は、時間や空間の制約を気にせずに、リモートワークの機会を増やすことができる。

(5)ロボットコミュニケーター：異業種連携エコシステムの構築×統合型O&M機能の確立

職務内容：ロボットビジネスで発生したデータを収集・分析し、ユーザーに対してオペレーションの定着・改善をアドバイスする。また、統合的サービスモデルの実現、ロボットビジネスのオペレーション改善のため、ロボット関係者間のコミュニケーションを継続・促進するカスタマーサクセスを担う。

必要能力：プロジェクトマネジメント力、ロボット・ユーザー・消費者に対する理解力・共感力

提供価値：ロボットによるサービス提供が拡大していくと、開発して欲しいロボット、提供して欲しいロボットサービス、改善して欲しいサービスオペレーションなど様々なプレイヤー間での相談・要望も増加する。ユーザーや消費者を満足させ、ロボットビジネスを事業として継続することができる。

(6)ロボットリバイバー：モジュラー型ハードウェアの実現×統合型O&M機能の確立

職務内容：ユーザーから利用しないロボットを買い取り、部品交換や稼働確認した上で再販する。再販できないロボットは解体・リサイクルし、新しいロボットとして販売する。

必要能力：地球環境改善のための構想力、ロボット・ユーザー・消費者に対する理解力・共感力

提供価値：ロボットの普及に伴いロボット台数は急増することが見込まれる。ロボットの構成部品をリサイクル前提とした設計とすることで、修理・交換が容易になり、ロボットのライフサイクル長期化に繋がり、ロボットのリサイクル市場も創出できる。セカンドハンドロボットの提供で、ユーザーの選択肢も増やすことができる。

## 5. 最後に

ロボットの価値を定義・評価できるのは人間だけである。また、ロボットの購入や、ロボ



ットによるサービスの利用・消費など、ロボット自体・ロボットの行動を経済価値へと変換できるのは人間だけである<sup>27</sup>。結局、ロボットの価値・潜在能力は人間の能力に依存しており、人間の能力がロボットの制約条件となっている。

未来のロボットビジネスは、人間の知恵次第で、脅威ではなく大きな事業機会となる。また、未来のロボットビジネスが創出する新たな雇用機会については、デジタルスキルは必要不可欠であるものの、最重要スキルは人間とロボットとの連携を念頭に置いたヒューマンスキル（人間に対する理解・配慮・共感力）であることは間違いない（ロボットを使うのは人間であり、ロボットからサービスを受けるのも人間である）。本稿が、皆様の未来のロボットビジネスに繋がる行動のヒントとなれば幸いである。

※図表1：技術成熟度レベル（TRL）とビジネス成熟度レベル（BRL）

**ロボットビジネスの2つの壁を壊すためには、技術成熟度レベルとビジネス成熟度レベルの双方を意識し、取組主体の現時点でのレベル・今後目指すレベルを明確にすることが肝要**

#### ロボットビジネスの事業化：TRLとBRL

TRL : Technology Readiness Level(技術成熟度レベル)		BRL : Business Readiness Level(ビジネス成熟度レベル)	
TRL 1	基本原理の観測	BRL 1	初期コンセプト（少人数で提案されたビジネスコンセプトを立案している）
TRL 2	技術コンセプトの策定	BRL 2	課題解決手法（課題と顧客が明確化され、解決策の優位性を代替方法を踏まえて説明できる）
TRL 3	実験による概念実証（PoC）	BRL 3	チーム・計画の形成（コンセプトの実現に向けた必要なスキルとチームが整理されている）
TRL 4	実験室での技術検証	BRL 4	顧客の定義（課題や顧客や解決策が多角的視点から再検討され、実現可能性が見込まれている）
TRL 5	使用環境に応じた条件での技術検証	BRL 5	仮説検証（顧客へのアンケートやインタビュー等のテストから仮説の妥当性が検証されている）
TRL 6	使用環境に応じた条件での技術実証	BRL 6	実用最小限の製品（サービス/製品のプロトタイプを定義・製作・提供し、アーリーアダプターがプロトタイプを購入しようとしている）
TRL 7	運用環境におけるプロトタイプシステム実証	BRL 7	フィードバックループ（サービス/製品改善に向け、定期的な顧客からフィードバックと新機能を定義・設計している）
TRL 8	システム完成・認証	BRL 8	スケール（新機能が定期的の実装・検証され、新規顧客が定期的に獲得でき、新市場にサービス/製品が展開可能である）
TRL 9	運用環境における実システム稼働	BRL 9	市場への浸透（サービス/製品や提供者が良く知られ、売上高が健全に成長している）

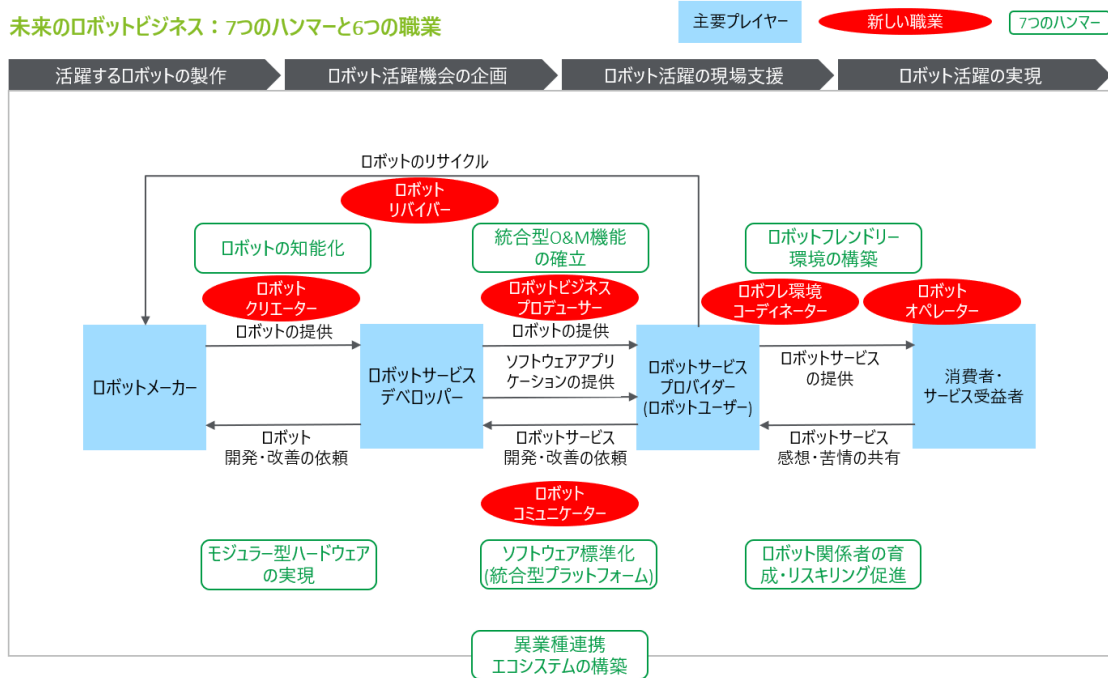
（出典）TRL：欧州委員会『HORIZON2020 WORK PROGRAMME2014-2015 General Annexes』(2014)、BRL：Richie Ramsden, Mo Chowdhury『The Business Readiness Levels』(2019)

<sup>27</sup> MIT(Massachusetts Institute of Technology) (2020) 『The Work of the Future: Building Better Jobs in an Age of Intelligent Machines』

※図表2：未来のロボットビジネス～7つのハンマーと6つの新職業～

従来の肉体的定型業務はロボットにより自動化されるものの、新しいロボット活躍の舞台を実現するため、6つの新しい職業が創出される見通し

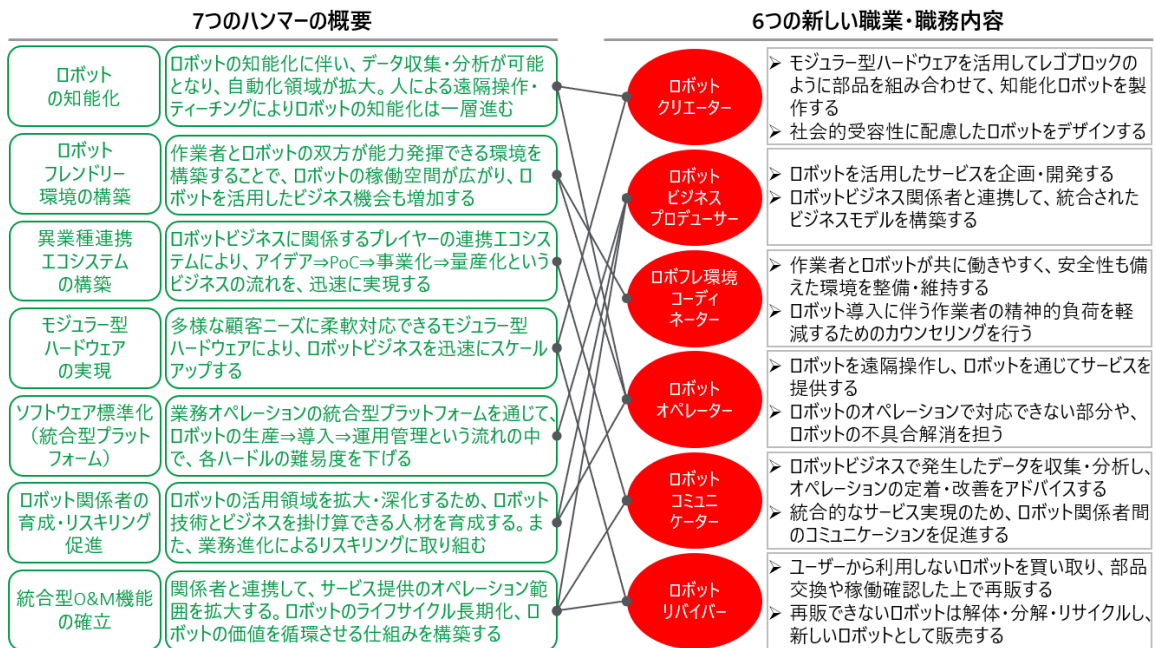
未来のロボットビジネス：7つのハンマーと6つの職業



※図表3：6つの新職業～7つのハンマーとの関係性～

6つの新しい職業は、7つのハンマーが解決する課題や取組を複数組み合わせられており、ロボットビジネスの高度化に伴い、更なる人間の知恵・行動が必要不可欠である

6つの新しい職業：7つのハンマーとの関係性



(禁無断転載)

23-2

**DX、デジタル化が進展するなかでのロボット市場形成を考える**

令和6年3月

**一般財団法人 機械振興協会 経済研究所**

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号

TEL: 03-3434-8251

<http://www.jspmi.or.jp>

© JSPMI-ERI 2024