

Ver1.0

ロボット産業ビジョン 2050

－ 人・社会・環境と共存するロボット －

2025年 5月

一般社団法人日本ロボット工業会

はじめに

一般社団法人日本ロボット工業会は、2022 年 10 月に創立 50 周年を迎えました。この 50 年間に振り返れば、我が国のロボット産業は、制御技術の飛躍的な進展に加え、多様な機構技術および応用技術の開発を通じて、人との協働技術や画像処理をはじめとする環境認識技術が著しく進歩し、「ものづくり産業」への普及が着実に進展しています。

一方で、社会全体に目を転ずると、我が国は現在、経済のグローバル化、少子高齢化に伴う労働人口の減少、自然災害の多発、社会インフラの老朽化といった構造的な課題に直面しています。さらに、パンデミックやカーボンニュートラルへの対応、地政学的リスクに起因するエネルギー・食糧問題といった新たな経済・社会的課題も顕在化し、状況は一層複雑化しています。

このような状況下において、ロボットおよびロボット技術の進展は、AI（人工知能）や IT（情報技術）との融合により、従来のものづくり現場にとどまらず、社会の多様な分野においても技術革新を飛躍的に加速させ、活躍の場を拡大していくことは疑いの余地がありません。これを受けて当会では、新たにロボット産業ビジョンを策定することとしました。

本ビジョンでは、当会が創立 50 周年を迎えたことを契機として、四半世紀後である 2050 年の社会を展望することを試みました。しかしながら、現在のように多様な課題が錯綜する社会において、技術革新のさらなる加速が見込まれる中、2050 年の社会のありようを正確に予測することは容易ではありません。そこで私たちは、「2050 年のありたい社会の姿」を検討し、それに貢献できるロボット産業を描くこととしました。

当会では、これまでもロボット技術を「課題解決型技術」と位置づけてきましたが、環境問題、持続可能な経済成長などのグローバルな要請や国民のウェルビーイングへの意識が高まる昨今の社会において、ロボット技術がそれらに応える力を持つことを確信するとともに、ロボット産業がその役割を担える存在でありたいと願っています。

これらを念頭に、当会では、我が国のロボット産業が 2050 年に向けて社会に貢献することを目指し、「ロボット産業ビジョン 2050」を策定いたしました。

本ビジョンが描く 2050 年のありたい社会の姿の実現に向けた取組みが、会員各位をはじめ、ロボット産業に関わる全ての皆様に共有され、幾らかでもその活動のお役に立ていただければ幸いです。本ビジョンの策定にあたっては、多大なるご尽力をいただいた学会、会員諸氏および関係各位に心より感謝申し上げます。

一般社団法人日本ロボット工業会 会長
橋本康彦

ロボット産業ビジョン 2050 目次

第1章 我が国を取り巻く現状及び概要	1
1.1 我が国を取り巻く内部・外部環境とロボット産業の動向	1
1.1.1 我が国を取り巻く内部・外部環境	1
1.1.2 我が国のロボット産業の動向	10
1.2 社会課題に向けた社会・経済的対応	12
1.2.1 多様な人材を確保し、イノベーションにつなげる	15
1.2.2 社会を解決し得る先端技術	16
1.2.3 SDGs に資する取組み	17
1.3 ロボット産業ビジョン策定委員会について	17
1.4 ロボット産業ビジョンのイメージ	19
1.4.1 ロボット産業ビジョンが掲げる社会のありたい姿	19
1.4.2 平時における社会のありたい姿と価値の創出	20
1.4.3 非常時における社会のありたい姿と価値の創出	22
第2章 スマートプロダクション～持続可能な社会に資する産業の姿～	23
2.1 スマートプロダクション	23
2.1.1 身体的・精神的ウェルビーイング	23
2.1.2 社会的ウェルビーイング	24
2.2 人と協働するAIロボットのありたい姿と道筋	25
2.2.1 安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担	25
2.2.2 誰もがどこからでも使えるAIロボット	25
2.2.3 人の心身状態の変化の気づきと人と人をつなぐコミュニケーションの創出	27
2.3 デジタルツイン活用スマートプロダクションのありたい姿と道筋	28
2.3.1 誰でも使えるロボット	28
2.3.2 誰でもできるシステムインテグレーション	29
2.3.3 高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション	31
2.4 人・AI・ロボット同士の関係性のありたい姿と道筋	32
2.4.1 ありたい姿	32
2.4.2 現状	33
2.4.3 実現するための技術的方策	33
2.4.4 実現するための社会的方策	33
2.5 カーボンニュートラル対応のありたい姿と道筋	34
2.5.1 ありたい姿	35
2.5.2 現状	35
2.5.3 実現するための技術的方策	35
2.5.4 実現するための社会的方策	35
2.6 各業種におけるありたい姿	36
2.6.1 概要	36

2.6.2 建設業のありたい姿	36
2.6.3 農林水産業のありたい姿	37
2.6.4 サービス業のありたい姿	37
第3章 スマートコミュニティ～持続可能な社会に資するコミュニティ日常の姿～	39
3.1 2050年のスマートコミュニティ（平時）のありたい姿	39
3.1.1 人の生活を支援するロボティクス技術のありたい姿と道筋	45
3.1.2 デジタルツイン活用スマートコミュニティのありたい姿と道筋	48
3.1.3 人・AI・ロボット同士の関係性のありたい姿と道筋	51
3.2 2050年の特殊環境におけるロボット技術の活用のありたい姿	56
3.2.1 宇宙空間におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	56
3.2.2 水中環境におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	59
3.2.3 原子力発電所におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	62
3.3 2050年のスマートコミュニティ（非常時）のありたい姿	64
3.3.1 概要	64
3.3.2 災害対応におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	66
3.3.3 インフラ老朽化対策におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	69
3.3.4 パンデミック対応におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋	72
3.3.5 スマートコミュニティ（非常時）に関するまとめ	75
第4章 人とロボットの共生～安全で信頼される人ロボット共生社会実現のために～	76
4.1 人とロボットの共生のために	76
4.2 インパクト	77
4.2.1 スマートプロダクション	77
4.2.2 スマートコミュニティ（平時）	78
4.2.3 スマートコミュニティ（非常時）	79
4.3 リスク	80
4.3.1 人ロボット共生に向けた課題	80
4.3.2 人ロボット共生に向けた社会的枠組の構築	82
4.4 ガバナンス	84
4.4.1 ELSI と RRI の観点	84
4.4.2 様々なステークホルダーが参画した新たなガバナンス	85
4.5 センスメイキング	85
4.5.1 社会受容性とセンスメイキング事例	85
4.5.2 事業化が難しい領域の社会受容性によるビジネスモデル	86
4.5.3 ロボットが人間社会と共存する未来のために	86

第5章 ロボット技術開発の方向性	89
5.1 ロボット技術開発の方向性	89
5.1.1 はじめに	89
5.1.2 産業ロボットサービス	90
5.1.3 物流ロボットサービス	92
5.1.4 農業ロボットサービス	94
5.1.5 建設ロボットサービス	96
5.1.6 医療ロボットサービス	99
5.1.7 ケアロボットサービス	101
5.1.8 災害ロボットサービス	104
5.1.9 技術開発の方向性に関するまとめ	106
第6章 ロボット産業振興の方向性	108
6.1 ロボット産業振興策	108
6.1.1 はじめに	108
6.1.2 新たなロボットビジネス	108
6.1.3 市場具体例	110
6.1.4 ロボットビジネスに関わる人材	111
6.1.5 市場創成策	117
6.1.6 人材育成策	123
6.1.7 標準化戦略	125
第7章 日本のロボット産業のあるべき姿	128
7.1 はじめに	128
7.2 グローバル要請に対するロボット産業	128
7.2.1 グローバル要請とは	128
7.2.2 グローバル要請に貢献しうるロボット技術	128
7.2.3 グローバル要請への貢献に向けた我が国のロボット産業のあるべき姿	129
7.2.4 まとめ	130
7.3 ウェルビーイングを価値としたロボット産業	130
7.3.1 ウェルビーイング産業への可能性	130
7.3.2 ウェルビーイングに資するロボット	131
7.3.3 ウェルビーイングのための技術	134
7.3.4 ウェルビーイングロボット技術のブランディング	135
7.4 日本のロボット産業の国際競争力	136
7.4.1 国際競争力	136
7.4.2 ロボット産業の国際競争力強化に向けて	138
7.4.3 狙うべき産業分野	140
7.5 まとめ	140
7.5.1 モジュール化の推進とコミュニケーション基盤技術の強化	141

7.5.2 環境負荷低減やトレーサビリティを考慮したロボット技術開発とロボット産業の 持続的な発展のための人材育成の強化	142
7.5.3 今後の検討課題	143
委員名簿	148
参考文献	150
おわりに	154

第1章 我が国を取り巻く現状

1.1 我が国を取り巻く内部・外部環境とロボット産業の動向

本ビジョンは、2050年の“ありたい姿”を示すとともに、その実現に向けてロボット及びロボット技術がいかに貢献できるかという方策を示すもので、それは、政治・経済・社会の基盤が確固たるものであることを前提としてはじめて実現可能と言える。つまり、経済基盤において、資源・エネルギー及び食糧等を海外に大きく依存する我が国にとって、グローバル経済の下、競争力（輸出・輸入力）を有することでそれらが安定的に確保でき、さらに、社会基盤として、社会インフラの整備をはじめ安全・安心な暮らしが約束されていることが前提である。

翻って、経済基盤を例にとるならば、我が国はバブル経済の崩壊を機に1990年代初頭より“失われた30年”と言われるほど、経済成長率は先進国中でも突出して低く、国債累積残高はGDPの2倍を超え、2024年末で1,100兆円を超えるほどの厳しい財政状況にある。また、グローバル視点で見ると、社会格差、資源・食糧問題や環境問題等、多くの課題が存在する。

本ビジョンは、これらの諸課題に対して、ロボット及びロボット技術がどのように課題解決の一端を担えるかを示すものである。本章では、ビジョン策定にあたっての現状認識として、まず、我が国を中心とした内部環境とグローバル視点での外部環境の課題を中心に取り上げる。

1.1.1 我が国を取り巻く内部・外部環境

図1-1は、我が国を取り巻く社会・経済的環境において、課題と思われる要因の相関を示したものである。図で示すとおり、それぞれの課題が他の課題と連鎖することで負のスパイラルを生んでいる。以下に主な内部・外部環境について取り上げる。

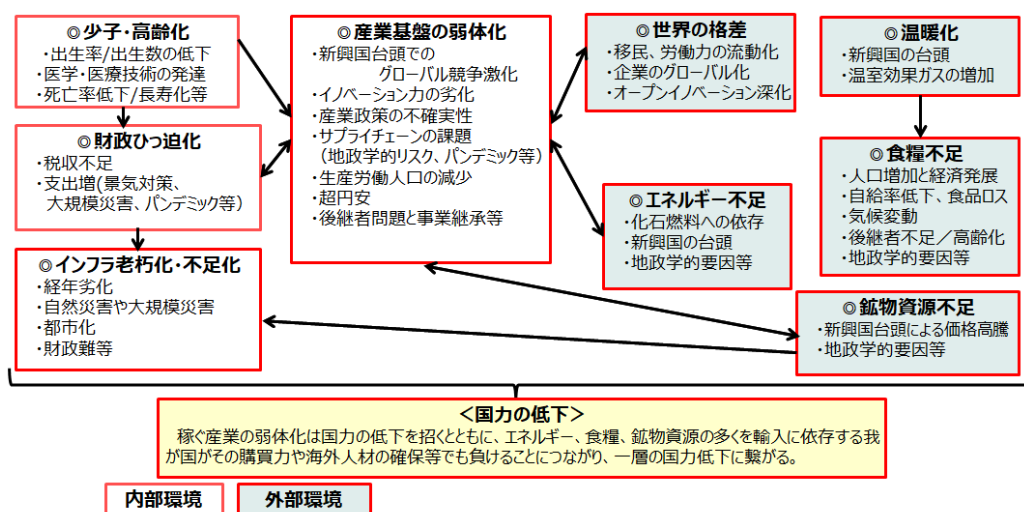


図1-1 我が国を取り巻く社会・経済的環境

出所：住友商事グローバルリサーチ「2050年に向けた産業メガトレンド」及びみずほフィナンシャルグループ「2050年のニッポン」より作成

(1) 内部環境

内部環境としては、競争力、少子高齢化、社会インフラ及び知的資本・生産性について、以下に取り上げる。

1) 競争力

今日、我が国は、グローバル経済の下でこれまでの先進国間のみならず新興国の台頭も含めた競争が一層高まる中、競争力の低下が叫ばれて久しい。その要因としては、イノベーション力の劣化に加え、自前主義や過去の成功体験の呪縛による製品のガラパゴス化やコモディティ化、IT・デジタル化の遅れ等の内部要因が指摘されている。

なお、スイスのビジネススクール・国際経営開発研究所（IMD）が毎年まとめる「世界競争力年鑑」の2024年版では、我が国の総合順位が63か国・地域中38位となっている。同年鑑が公表された1989年から1992年まで我が国が1位であったのを見るにつけ、まさに隔世の感がある。

本ランキングの定義付けは「企業が持続的な行動を行える環境を、どの程度育めているか」としており、「経済パフォーマンス（21位）」「政府の効率性（41位）」「ビジネスの効率性（51位）」及び「インフラストラクチャー（23位）」の四大要素、約300の指標からの順位付けとなっている。特に、ビジネス効率性分野での企業の意思決定の迅速さや機会と脅威への対応力、起業家精神等からなる「経営プラクティス」は最下位（65位）と、競争力低下の最大の要因とも言える。

2) 少子高齢化

我が国の総人口は、2008年をピークに減少に転じ、総務省によると2023年1月1日時点の概算では1億2,477万人、2065年には8,808万人になると推計している。さらに、我が国の生産年齢人口（15歳～65歳）は、1997年を境に減少が続いており、2029年に7,000万人、2040年に6,000万人、2056年には5,000万人を下回る4,529万となると予測する一方で、高齢化率は、2019年で28.4%、2065年には38.4%になると推計されている（図1-2）。このように、出生率の低下による高齢化率の高まりは、年々社会保障費を膨らませることで国家財政に負担を強いることとなり、技術革新の源である文教・科学技術振興費や社会インフラ整備に必要な公共事業費等の拡充にも大きな影響を与えている。

同時に、少子高齢化に伴う生産労働人口減少における労働力不足は、我が国の競争力の低下を助長するのみならず、様々な産業分野で中小零細事業所を中心に年々深刻化しつつある。もちろん、人材のミスマッチ（能力、資格、労働条件等）といった構造的要因による人手不足もあるが、生産労働人口の減少は、人手不足に一層の拍車をかけるほか、後継者不足や技術継承の問題をも招く状況にある。

また、我が国が途上国への技能移転を通じて、人作りに協力するという趣旨の「技能実習制度」は、今日ではその海外実習生が人手不足の「穴埋め」的存在として常態化する一方、低賃金（未払いも横行）、長時間労働かつ粗末な宿舎といった劣悪な環境での労働を強いられるといったニュースが報じられる等、今後の実習生の日本離れが進むことで中小企業や農林水産業等の事業の継続性が懸念される事態にまで及んでいる。

○ 日本の人口は近年減少局面を迎えている。2065年には総人口が9,000万人を割り込み、高齢化率は38%台の水準になると推計されている。

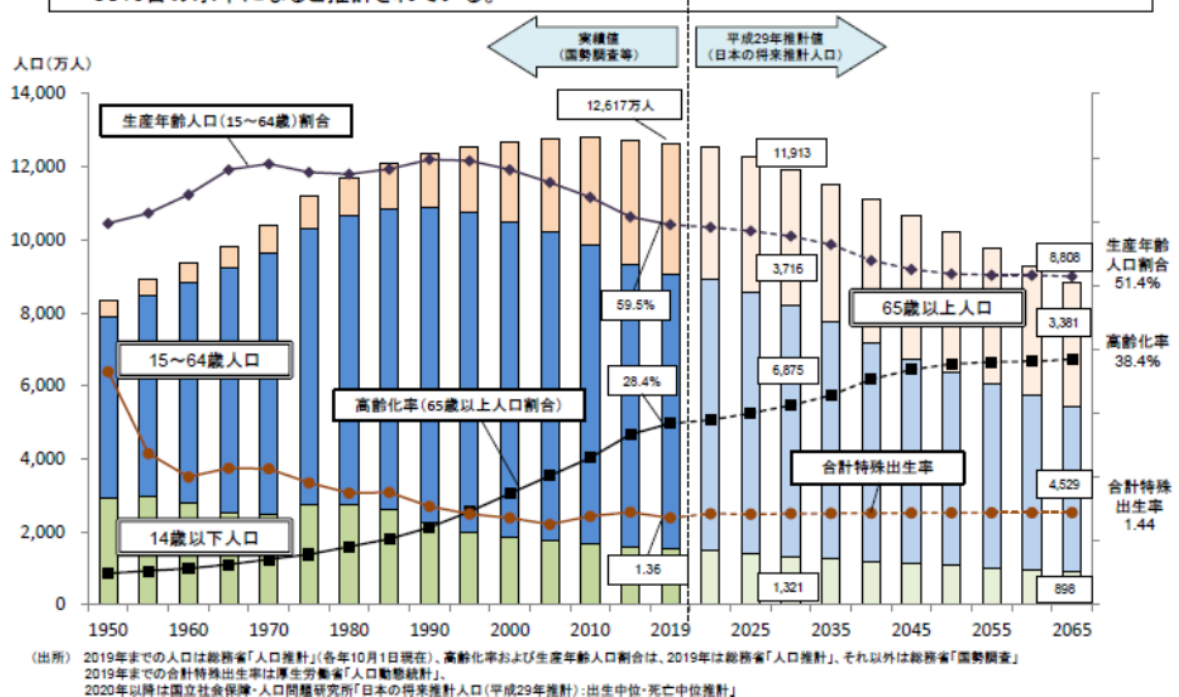


図 1-2 日本の人口の推移

出所：厚生労働省ウェブサイト「我が国の人口について」より

3) 社会インフラ

我が国では、高度経済成長期に道路、橋、トンネル、ダム、港湾、河川管理施設等のインフラが整備され、既に建設から 50 年以上経過する老朽化施設が加速度的に増加するといった状況にあり、その保守・保全が喫緊の課題となっている（図 1-3）。

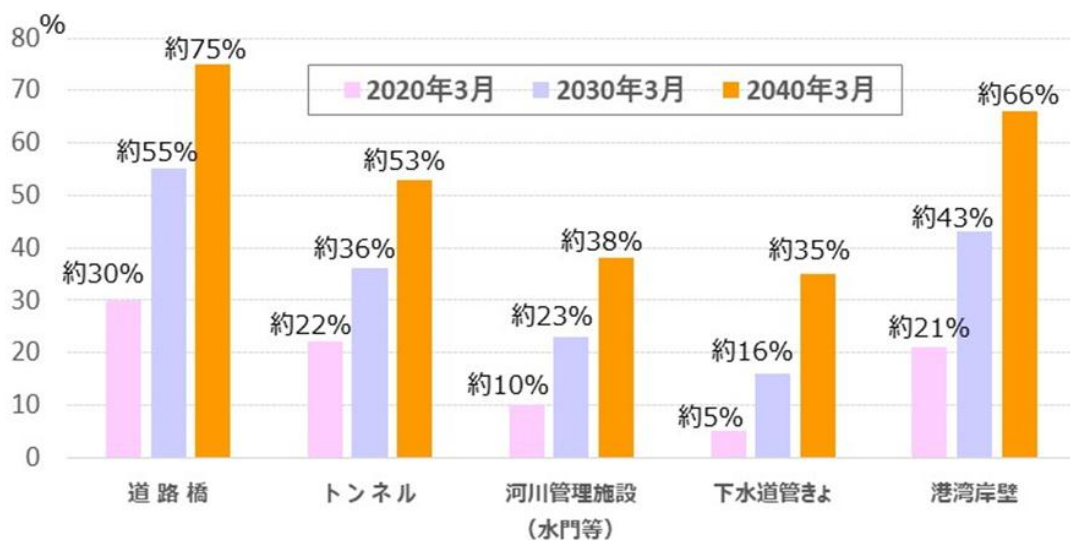


図 1-3 建設後 50 年以上を経過する施設

出所：国土交通省 ウェブサイト「社会資本の老朽化の現状と将来」より作成

本来、国民の命、暮らしを守る上で、社会インフラの基盤が整備され、それらの機能がしっかり維持されることをもって、安全・安心な生活の確保と持続可能な社会生活が維持されることとなる。また、経年での老朽化のみならず、我が国では自然災害（豪雨、地震、火山噴火等）が多発することによるインフラの破損・修復等のリスクもはらんでおり、その対応も課題となっている。

4) 知的資本・生産性

我が国の競争力の低下は、知的資本と生産性の連携に問題があるとされる。先の IMD の 2024 年版「世界競争力年鑑」では、日本は知的資本に関わる研究開発やその結果としての論文、特許等の指標が比較的高く、高等教育や学習到達度も高い順位を占めている。それに反して、知的資本と強い関わりのある生産性関連指標の順位がほぼ 30 位台～40 位台と低く、研究開発力に強みがあるものの生産性につながっていないとの分析¹がある。まさにアカデミア等での研究開発力が、産業界がプロダクト・イノベーションを引き起こすまでに至っていないと言える。

その一方、文部科学省では我が国の研究力の現状について、論文の質・量双方の観点で、国際的な地位の低下、国際共著論文の伸び悩み等、諸外国に比べ研究力が相対的に低下しているとしており、この現状を打破するため 2019 年より現在に至るまで「研究力向上改革」の検討が行われている。この中で、文部科学省は 2025 年度、イノベーションの持続的な創出に向けた研究大学群の形成（国際卓越研究大学制度による世界最高水準の研究大学の実現と地域の中核・特色ある研究大学の機能強化に向けた取組みの加速や施策間の連携促進等）や、投入額当たりのトップ論文数等、論文生産性の向上をはじめとする研究の質を高める仕組みの構築（研究開発マネジメント人材等の活用や大学教員の学務負担の軽減、科研費等の研究資金改革等）、あるいは、博士人材をはじめとする若手研究者の処遇向上・活躍促進につながる人事マネジメントの構築や、産業界等幅広い業種での博士号取得者の雇用促進に向けた仕組みの構築を推進している。

これら研究「人材」、「資金」、「環境」の改革を「大学改革」と一体的に展開しようとするものであるが、それらの成果が結実するにはそれなりの年月を待つ必要があろう。

さらに、日本では、研究開発力に大きく影響する研究者の大量雇止めとして“2023 年問題”がかつて挙げられていた。それは、全国の国公立大学や国立研究開発法人の任期付研究者が、法定雇用期間の上限規定（10 年）である 2023 年 3 月末で雇止めになる可能性があるというものである。2022 年 5 月の参議院内閣委員会において、文部科学省は国立の大学・研究機関の非正規雇用者の研究者のうち、最大約 4,500 人が雇止めの恐れあるとの説明を行っており、文部科学省による 2025 年 1 月発表での、全国の国公立大や国立研究法人等 805 機関を対象にした調査では、対象者 8,230 人中 9 割近い 7,106 人は雇用が維持されたものの、契約終了の研究者は 757 人としており、「雇止め」の可能性もあるとしている。無期雇用への転換も可能なルールではあるものの、経営状況が厳しい大学及び研究機関では雇止めを選択する可能性もあり、これによって我が国の研究

¹ 酒井博司、株式会社三菱総合研究所：IMD「世界競争力年鑑 2024」から見る日本の競争力（Web）

開発力の低下はもとより、優秀な研究者の海外流出も懸念されている。

(2) 外部環境

一方、外部環境としてグローバルな視点で見ると、グローバル競争及び IT・デジタル化の進展に伴う国内外での格差社会の拡大、世界的な人口増加に伴う食糧・資源問題、地球温暖化に伴う気候変動による風水害等に加え、COVID-19 によるパンデミックやロシアのウクライナ侵攻にみられる戦争や紛争といった地政学的リスク等、多くの課題が存在している。

1) 格差社会

国際連合（以下、国連）は、「世界社会情勢報告書 2020（2020 年 1 月発表）」の中で、我が国を含む先進国やアジア・アフリカ諸国等世界の三分の二の国で所得格差が広がり、不平等が進行していると発表し、各国政府に対してデジタル格差の解消や社会保障の普及に取り組むべきとの勧告を行っている。特に、先進国とインド、アフリカ諸国の一部の所得格差が、また、途上国ではデジタル技術が教育や保健サービスの普及を促進した半面、インターネットの普及率が先進国の 87%に対して 19%に過ぎず、デジタル格差が深刻であると分析しており、その後も格差は更に拡大しているものと思われる。加えて、貧困による格差は教育の格差も生むこととなり、それが子ども世代にもつながることによって国の経済成長に影響を与えるといった、負の連鎖ともなっていることから経済的な格差は大きな課題と言える。

一方、我が国では 2000 年あたりまでは一億総中流と言われるほど、国民意識としても中流意識が高かったが、それ以降、貧困率が高まることで格差は拡大の方向にある。OECD の 2021 年時点での発表によると、日本は OECD 加盟 38 か国中、相対的貧困率が米国（15.1%）や韓国（15.3%）をも上回る 15.4%と先進国では不名誉ながら最貧国とされた。また、所得の不平等さを測る我が国のジニ係数²は図 1-4 のとおりで、1990 年より拡大基調（当初所得ジニ係数が 1990 年の 0.4334 から 2017 年の 0.5594）、そして 2021 年では 0.5700 と更に所得の格差が広がっている。ジニ係数の一般的な目安は「0.5」とされ、この数値を超えると所得格差はかなり大きな状態と言われている中で、再分配所得（当初所得から税・社会保険料等を控除した後、公的現金給付等を加えた所得）によってその係数が緩和され、2021 年では 0.5700 から 0.3813 と 33.1%の不平等の改善が一応図られている。

しかしながら、我が国では賃金上昇率の鈍化、非正規雇用者数の拡大（2021 年の比率は 36.7%）、ひとり親世代の増加等に加え、昨今のコロナ禍やインフレの進行、更に高齢化が進み、当初所得が低い人が増えたことによって、所得格差が更に進んだと厚生労働省は発表している。

なお、格差の問題は経済的格差に起因しており、以下に取り上げる資源・食糧問題等をも引き起こしている。

² ジニ係数：格差を測る指標。所得の分布について、完全に平等に分配されている場合と比べて、偏り具合を、0 から 1 までの数値で表したもの。（内閣府『選択する未来－人口推計から見えてくる未来像－「選択する未来」委員会報告』）。

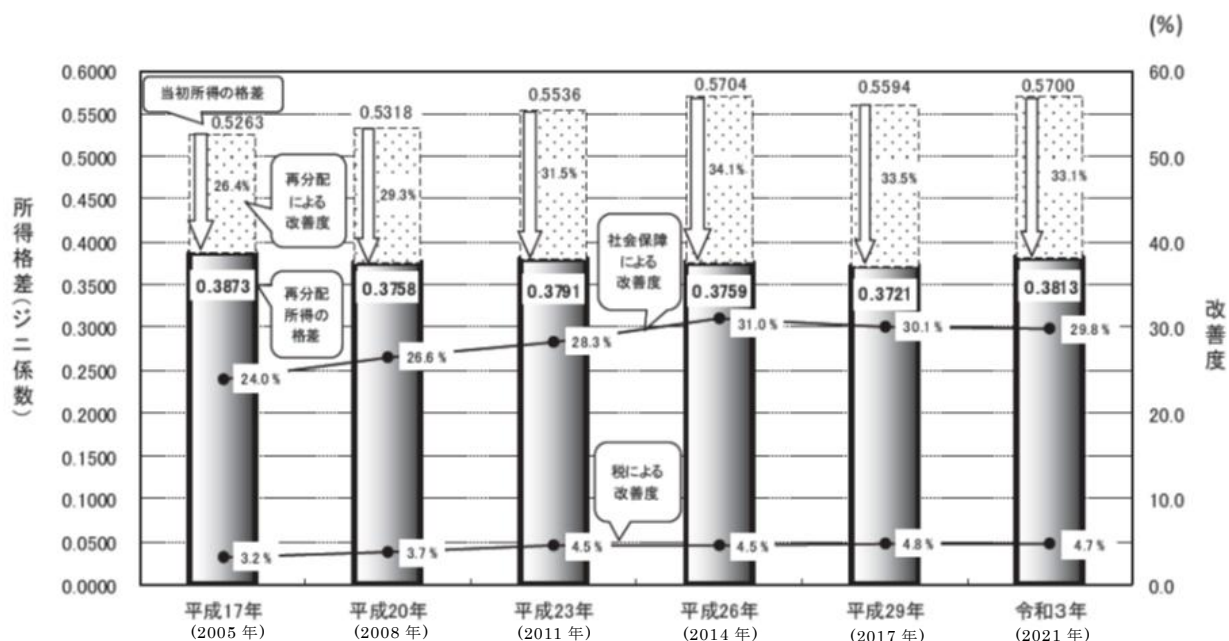


図 1-4 所得再分配によるジニ係数の改善の推移

出所：厚生労働省「令和 3 年 所得再配分調査報告書」より

2) 資源・食糧問題

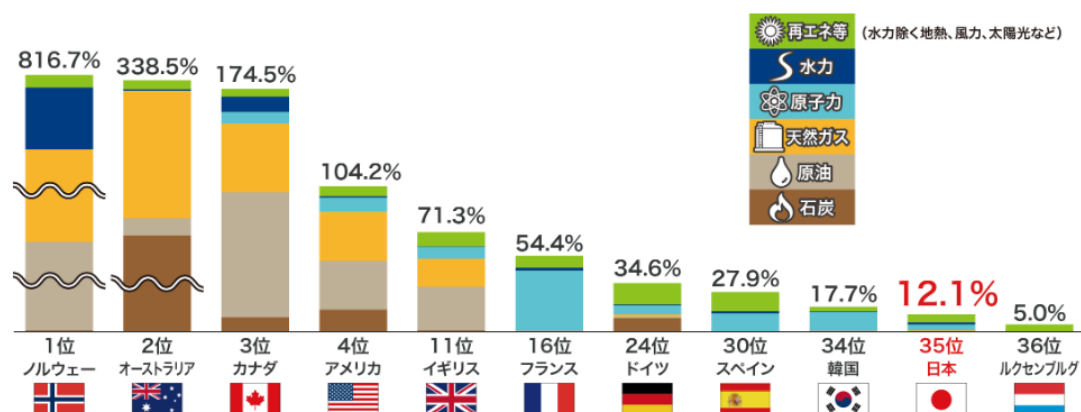
国連の統計によると、世界の人口は、2022 年 11 月 15 日に 80 億人に達したとされるが、1987 年に 50 億人に達してから 35 年間で 30 億人が増加するという、まさに人口爆発のような状態にある。この人口増加に加え、世界経済の発展によって資源・食糧問題がますます深刻な課題となっている。

①資源問題

資源の問題としては、一次エネルギーとしての化石燃料（石油、天然ガス、石炭）、及び鉱物が挙げられ、いずれも人が生活し社会を発展させる上で欠かすことができないものである。

しかしながら、これらの資源は、本来的に有する国と有しない国、更にはこれらの資源を経済力で得ることができる国とそうでない国の偏在といった格差の問題にもつながっている。また、2022 年のロシアによるウクライナ侵攻といった地政学的リスクによって、ロシアからのエネルギー確保が困難となり、エネルギー価格高騰といった問題が発生し、更には 2050 年のカーボンニュートラルの実現といった観点からのエネルギー転換に係る今日的課題も生じている。

世界有数の産業国家としての我が国の場合、エネルギー及び鉱物資源のいずれもが乏しく、その自給率が低いことで海外へ大きく依存する状況にある。特に、一次エネルギーの自給率は、資源エネルギー庁によると 2019 年時点で 12.1%と先進国中에서도極端に低く、35 位となっている（図 1-5）。



出典：IEA「World Energy Balances 2020」の2019年推計値、日本のみ資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2019年度確報値。※表内の順位はOECD36カ国中の順位

図 1-5 主要国の一次エネルギー自給率比較

出所：経済産業省資源エネルギー庁 ウェブサイト

日本のエネルギー 2021 年度版「エネルギーの今を知る 10 の質問」より

一方、資源についても、埋蔵量・産出量が多く精錬が簡単な金属である鉄、銅、亜鉛、アルミニウム、錫等のベースメタル、更には産業界で利用されるものの流通量・使用量が少ない非鉄金属のリチウム、マンガン、チタン、クロム、ニッケル、コバルト等のレアメタル（希少金属）のいずれにおいても、我が国は 100%輸入に依存する状態にあるとされている（図 1-6）。

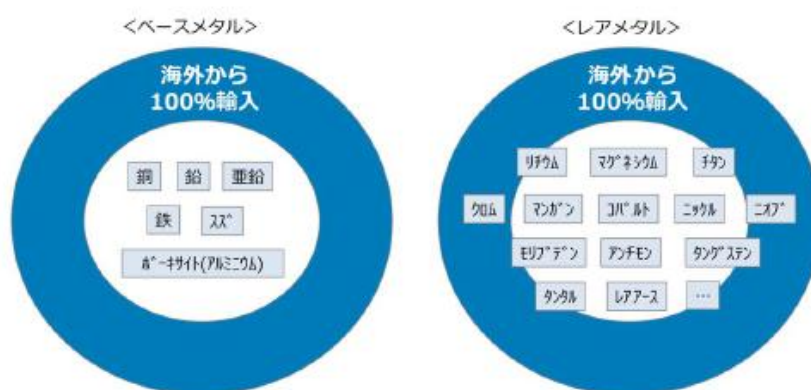


図 1-6 輸入に頼る鉱物資源（日本）

出所：経済産業省資源エネルギー庁 ウェブサイト

「世界の産業を支える鉱物資源について知ろう」より

②食糧問題

世界の食糧事情に関しては、主食である穀物の生産の現状を見ると、世界の生産量が 2019 及び 2020 年度で 26.7 億トン³と、在庫も含めて世界の全人口を賄えるだけの余力があると言われている。しかしながら、国際連合食糧農業機関（FAO）によると、2021 年

³ 農林水産省 ウェブサイト「令和元年度 食料・農業・農村白書」第 1 章 3 節

でアジア・アフリカ諸国を中心に栄養不足人口が 8 億 2,800 万人、蔓延率が 9.8%と、世界人口の 10 人に 1 人が慢性的栄養失調状態に置かれていることが報告されている。この栄養不足人口に加えて、重度・中程度の食糧不安に直面する人口も 23 億人に上っているといるが、この背景には COVID-19 によるパンデミックや、ロシアのウクライナ侵攻に伴う両国産小麦の中東・アフリカ諸国への輸出の停滞も起因しているものと思われる。

一方、我が国では、農林水産省によると穀物、特に米の自給率は高いものの、カロリーベースでの食糧自給率は 38%とされており、6 割以上を輸入に依存する状況にある(図 1-7)。

食糧安全保障の観点からも、日本のこの状況に対しては楽観視すべきではない中で、さらに、日本をはじめとする先進国においては、食品ロスの問題も提起されており、先進国と途上国という格差のみならず、先進国においても富める者と貧しい者との間に格差が生じている。

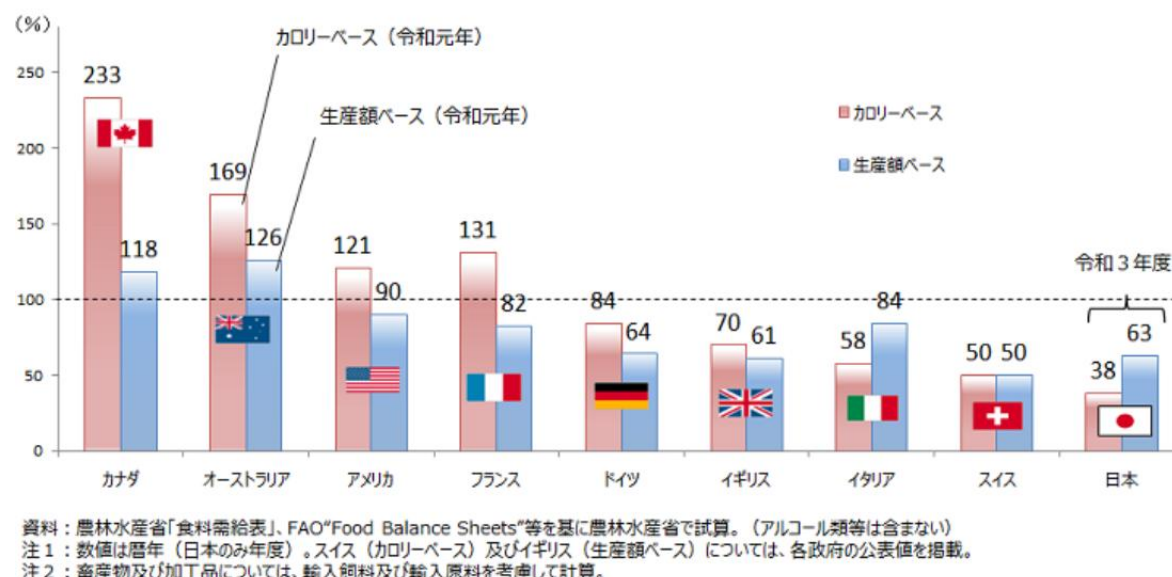


図 1-7 我が国と諸外国の食糧自給率

出所：農林水産省ウェブサイト「知ってる？日本の食糧事情」より

3) 温暖化

今日、グローバルな観点から地球温暖化がクローズアップされている。18 世紀半ばから 19 世紀にかけて起こった一連の石炭利用による産業革命以降、世界規模での工業化や森林破壊等が進んだことで、大気中の CO₂ 濃度が飛躍的に増加したと言われている。我が国の温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT) による、ここ 10 年余の観測結果を示したものが図 1-8 であるが、ここからも、徐々に CO₂ 濃度が上昇している様子が見てとれる。

この温室効果ガスによる地球温暖化の影響は気候変動をもたらし、氷河が溶けて海面水位が上昇し、洪水や干ばつ等が起こることで、災害はもとより食糧生産にも大きく影響することとなる。

これらを踏まえて、先進国を中心に 2050 年までのカーボンニュートラル実現に向けた取組みが始まっている。

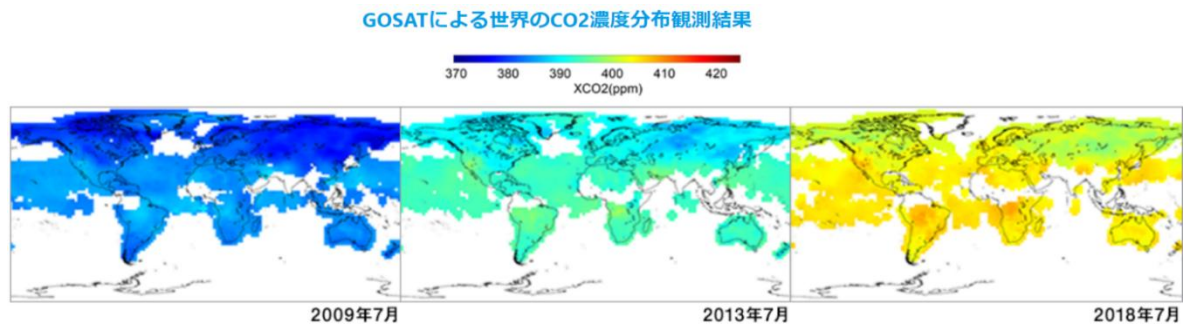


図 1-8 GOSAT による世界の CO₂ 濃度分布観測結果

出所：環境省ウェブサイト「地球温暖化の現状」より

4) SDGs

2015 年 9 月に国連本部で開催された「国際連合持続可能な開発サミット」において、持続可能な開発目標「SDGs」が採択されている。ここでは、「誰一人取り残さないこと」を原則として図 1-9 にある 17 の目標を掲げ、貧困や不平等、気候変動、環境劣化、繁栄、平和と公正等、世界が直面するグローバルな諸課題の解決に向け、2030 年までに各目標・ターゲットを達成することが重要であるとしている。

国際ロボット連盟（IFR）では SDGs の 17 の開発目標のうちの 13 テーマについて、ロボットが貢献できるとのレポートを 2020 年 5 月に出しているほか、IEEE や一般社団法人日本ロボット学会の知能ロボット・システム国際会議（IROS 2021・10 月）におけるワークショップにおいても「社会と経済」、「環境」、「ガバナンス」の 3 つのトピックスで構成されたパネルディスカッションの中で、ロボット工学が SDGs を実現可能とする様々な分野についての考察が行われている。



図 1-9 国連が掲げる 17 の持続的開発目標

出所：外務省ウェブサイト「SDGs グローバル指標（SDGs Indicators）」より

1.1.2 我が国のロボット産業の動向

(1) 産業用ロボットの市場動向

我が国の産業用ロボットは、図 1-10 にもあるように設備財であることで景気変動に左右されながらも、近年はグローバル経済の拡大による海外需要に支えられ、2021年に生産額が9,391億円となり、受注額では1兆786億円と初めて1兆円を突破した。

その後、2022年には生産額でも1兆円超の1兆210億円となったものの、2023年には中国経済の低迷や欧米でのインフレ圧力の高まり、更にはロシア・ウクライナ情勢や中東情勢との諸リスクに伴う投資の先送り等で生産額が8,916億円にまで後退することとなった。

我が国ではこれまで、図にあるような国内市場要因を背景に国内市場は拡大基調で推移してきたが、グローバル経済の下で、景気動向のみならず、地政学的要因やパンデミック等も市場に影響を与える新たな要因となっている。特に、今日、我が国のロボット出荷額の約7割を海外市場向けが占めていることから、それらの影響は大きくなっている。

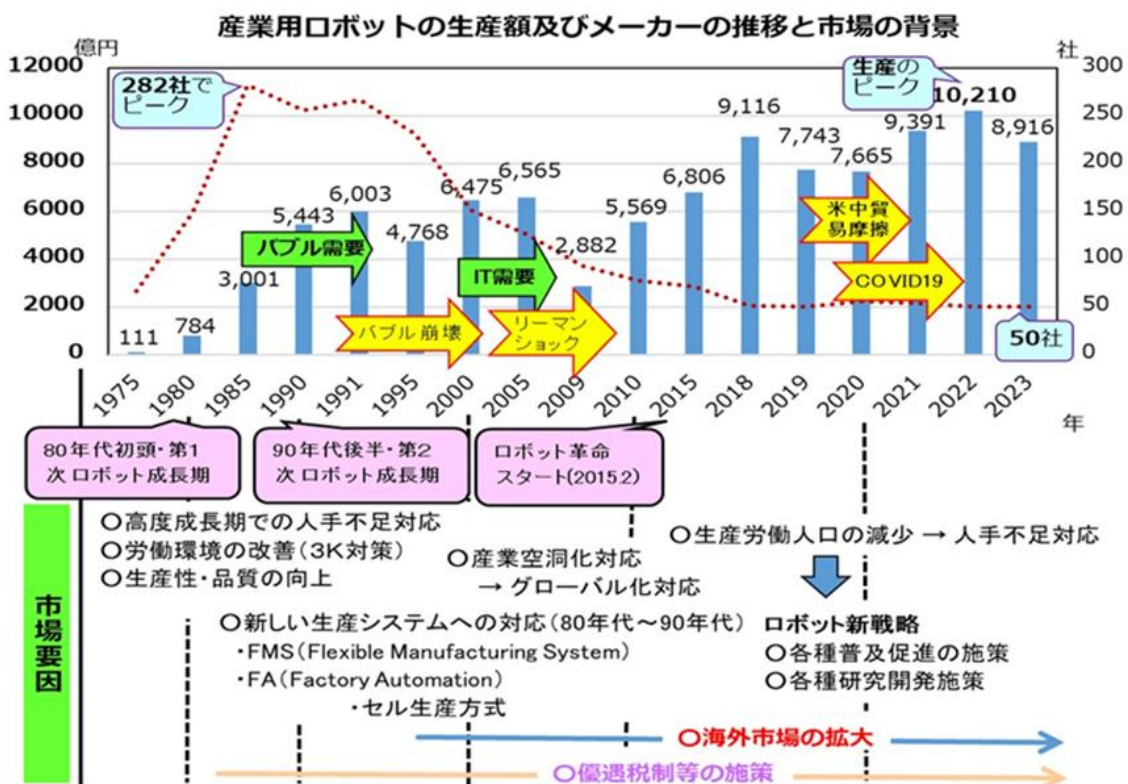


図 1-10 我が国の産業用ロボット市場動向

出所：一般社団法人日本ロボット工業会

「ロボット産業受給動向 2024(産業用ロボット編)」より作成

国際ロボット連盟（International Federation of Robotics：IFR）では、ロボットの国際統計を毎年発表しているが、過去10年間の産業用ロボットの総設置台数を見ると、2013年の178,126台が2023年には541,303台と、世界市場が約3倍に拡大しており、我が国ロボット産業の好調要因となっている。

とりわけ、産業用ロボットの最大の需要先は、「世界の工場」とも言われる中国で、2023年の総設置台数 541,303 台のうち、中国が 276,288 台と過半数を占めるまでの巨大市場となっている。また、同国は「中国製造 2025」の政策の下で内製化率を高めると同時に輸出力も強化していることで、我が国のロボット産業にとっての脅威となりつつある。

表 1-1 各国の産業用ロボット設置台数

単位：台

地域／国	2013年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
米州	30,317	46,188	55,212	46,871	38,740	51,745	56,053	55,389
アメリカ	23,668	33,146	40,373	33,382	30,787	35,980	39,576	37,587
カナダ	2,250	4,057	3,582	3,603	2,566	4,239	3,223	4,311
メキシコ	2,739	6,356	5,681	4,562	3,363	5,319	6,000	5,832
南米	1,649	1,301	2,582	2,612	1,734	2,356	2,280	3,623
不明		1,328	2,994	2,712	290	3,851	4,974	4,036
アジア	98,334	279,832	283,509	254,066	273,115	384,282	403,713	376,253
中国	36,560	156,176	155,082	144,894	175,546	275,303	290,258	276,288
日本	25,110	45,647	55,240	49,908	38,655	46,402	50,413	46,106
韓国	21,307	39,777	37,807	32,900	30,508	31,383	31,716	31,444
台湾	5,457	10,907	12,145	6,456	7,373	9,877	7,756	4,392
シンガポール	-	4,559	4,290	2,287	5,300	3,512	5,892	3,289
タイ	3,221	3,386	3,323	2,883	2,886	4,054	3,313	3,604
インド	-	3,424	4,771	4,299	3,216	5,142	5,353	8,510
その他	6,679	15,956	10,851	10,439	9,631	8,609	9,012	2,620
オセアニア	473	570	621	567	563	861	709	796
欧州	43,284	66,505	75,560	73,806	67,760	84,302	84,266	92,353
フランス	2,161	5,014	5,829	6,711	5,368	6,547	7,380	6,386
ドイツ	18,297	21,267	26,723	22,313	22,354	25,915	25,636	28,355
イタリア	4,701	7,760	9,847	11,089	7,216	10,586	11,475	10,412
スペイン	2,764	4,250	5,266	4,002	3,387	3,422	3,770	5,053
イギリス	2,486	2,380	2,415	2,045	2,205	2,467	2,534	3,830
その他	12,859	25,834	25,480	27,677	25,922	32,802	33,471	38,357
アフリカ	653	451	794	1,289	593	1,057	841	393
不明	4,991	6,094	7,625	10,229	10,062	6,460	7,314	10,857
総計	178,126	399,640	423,321	386,859	389,525	526,144	553,052	541,303

出所：国際ロボット連盟（IFR）「World Robotics 2024」より

(2) サービスロボットの市場動向

我が国のサービスロボットについては、その研究開発の歴史は世界的にも古く、様々な用途のプロトタイプが作られてきた。しかしながら、その上市は、介護、パワーアシスト等の用途を除き海外勢に比して遅れが目立ち、今日では海外製ロボットが日本市場を席捲しつつある状況とも言える。また、当該分野は産業用ロボットに比べて国内への普及は勿論のこと輸出実績もわずかであり、市場競争力という観点から見ても日本は弱い現状にある。

その要因としては、多分にシーズ志向の傾向もあるほか、サービスロボット市場全体では大きく見えても、分野ごとの市場サイズが見えづらく、その市場が顕在化されていない中では、ロボット自体の価格、運用コストも下がらないといった要因もある。更には、ロボットサービスプロバイダの不足といった状況もあるとされる。

また、産業用ロボット分野ではユーザ自身が直接購入するビジネスが圧倒的であるものの、サービスロボット分野ではサードパーティ（レンタル・リース事業者やサービス事業者等）が購入するケースが多いという特徴がある。

表 1-2 は、IFR による原産地別サービスロボットの 2022 年と 2023 年の販売台数を比較したものである。2023 年の世界の業務用の販売台数は 2022 年比 30% 増、民生用は同じく 2022 年比 30% 増となっており、確実に市場成長が見られる。

表 1-2 原産地別のサービスロボット販売台数及び成長率

	2022年	2023年	成長率	RaaS		成長率
				2022年	2023年	
業務用ロボット	158,130	205,129	+30%	6,261	7,775	+30%
欧州	29,227	33,918	+16%	262	550	+110%
米州	3,841	8,927	+131%	2,762	3,839	+39%
アジア・大洋州	126,032	162,264	+30%	3,237	3,386	+5%
民生用ロボット	1,825,495	2,370,888	+30%	-	-	-
欧州	1,061,294	1,395,134	+31%	-	-	-
米州	5,830	11,835	+103%	-	-	-
アジア・大洋州	758,371	963,919	+27%	-	-	-

出所：国際ロボット連盟（IFR）「World Robotics 2024」より

1.2 社会課題に向けた社会・経済的対応

1.1 節で取り上げたとおり、我が国を取り巻く内部・外部環境、及びロボット産業においても課題は山積している。それらの課題解決に向けては図 1-11 のような社会・経済的対応が必要であるとともに、その取組みにあたっては、国はもちろんのこと産業界及び学界等がそれぞれの役割と責務を自覚し、産産学官連携の下での効率的かつスピード感のある対応が求められている。そして、これら諸課題の解決を含め、「2050 年に向けての持続可能な社会の実現」にあたって、ロボティクス技術がいかに貢献できるかを本ビジョンで考察することとしたい。

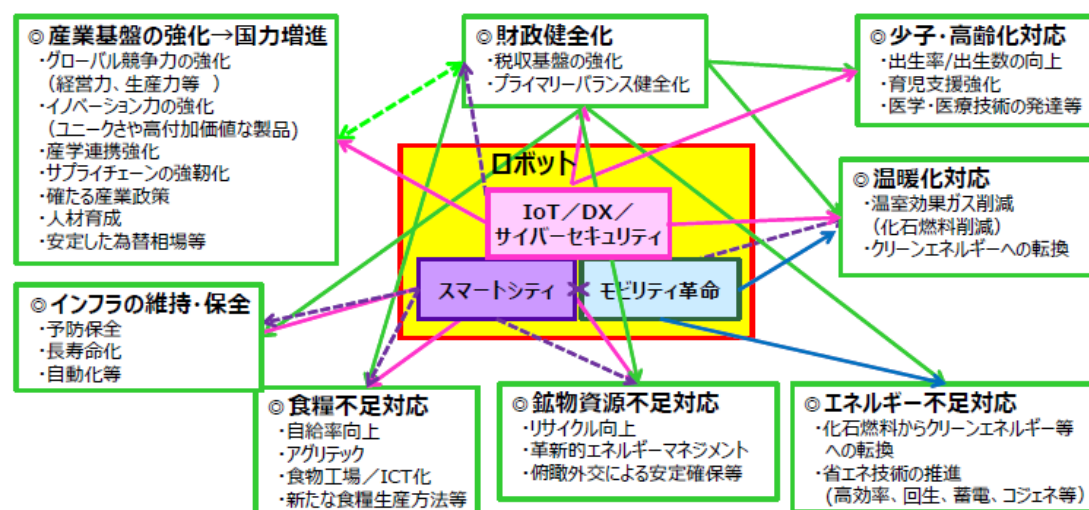


図 1-11 各社会課題解決に向けた社会・経済的対応

図 1-11 は、各社会課題解決に向けた一般的な社会・経済的対応を示しており、緑枠が各社会課題を示す。それらに向けて、ロボットをはじめとした IoT、DX、サイバーセキュリティ、スマートシティ、そしてモビリティ革命が、ここに挙げた様々な社会的課題解決への対応につながることを示している。産業基盤の強化や財政の健全化それ自身が様々な課題解決の糸口となるものの、ロボット及びロボット技術、IoT、DX を広く社会で活用するとともに、スマートシティやモビリティ革命の実現を図ることで、少なからず財政健全化や少子高齢化対応にもつながる。そしてそれらをサイバーセキュリティが支える。もちろん、モビリティ革命の一つである電動化は、エネルギー不足や地球温暖化への対策につながる。さらに、スマートシティの実現によって、インフラの維持や効率的な運用が可能になり、食糧や鉱物資源の不足といった課題への対応にも貢献すると考えられる。

本ビジョンにおいては、これらの中でロボット及びロボット技術に焦点をあて、社会課題解決に向けた方策を示すこととした。

1.2.1 多様な人材を確保し、イノベーションにつなげる

少子高齢化により生産年齢人口が減少している我が国で事業を継続していくためには、多様な人材を受け入れていく必要がある。ライフイベントを機に離職した女性、定年を迎えたシニア世代や障がい者等も含め、多様な人々が能力を発揮できる環境を生み出すことは非常に重要である。また、世界中に様々な物があふれ、先端技術の進歩により安価で高性能な物が手に入る現在、新たな付加価値を提供することも重要であり、事業発展のためにはあらゆる層のニーズを理解し新しい付加価値を創造する必要がある。似通った人材の集団よりも多様な人材の集団の方が、アイデア、発想、スキルが統合されることで、イノベーション力の向上に資することができることを示すデータがある。米ボストンコンサルティンググループがミュンヘン工科大学と共同で8か国（米国、フランス、ドイツ、中国、ブラジル、インド、スイス、オーストリア）1,600社以上のデータを集めた調査によると、人材の多様性とイノベーションの成果に有意な関係があることが判明した。

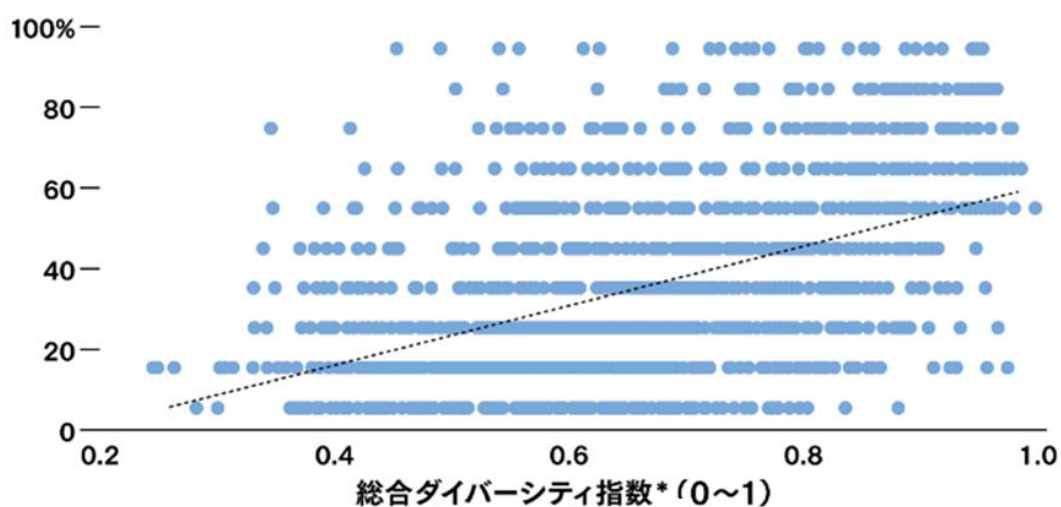


図 1-12 ダイバーシティ指数とイノベーションによる収益の割合の分布図

出所：Harvard Business Review「組織の多様性はどこで、どのように業績を高めるのか」

図 1-12 の横軸は総合ダイバーシティ指数（出身国、他業界経験、キャリアパス、学歴、年齢）であり、縦軸は発売 3 年以内の製品によるイノベーションが収益に占める割合である。このグラフはその 2 つの分布図であるが、これを見ると、両者には正の相関関係が見られる。つまり、総合ダイバーシティ指数が高い企業ほどイノベーションが収益に占める割合が高い。

それでは、多くの人はいつまで働きたいと考えるか。内閣府が平成 26 年に全国の 60 歳以上の男女を対象に実施したアンケートによると、就業者の約 4 割が「働けるうちはいつまでも（働きたい）」と回答している（図 1-13）。「70 歳くらいまで」もしくはそれ以上の年齢までの回答と合計すれば、約 9 割が高齢期の就業に高い意欲を持っている。

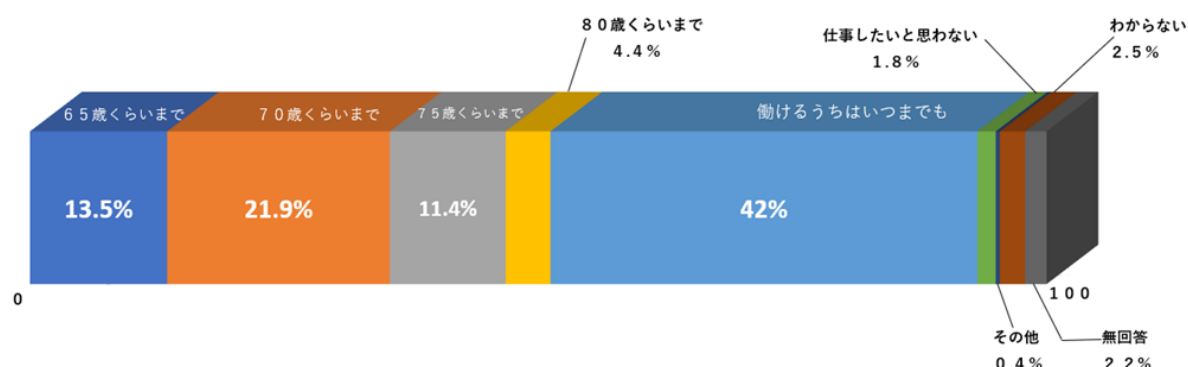


図 1-13 高齢期就業意識調査

出所：内閣府「高齢者の日常生活に関する意識調査（平成 26 年版）」より
一般社団法人日本ロボット工業会作成

また、60 歳以上だけでなく、35 歳以上のミドル世代全体の意識調査結果を見てみると、30 代の中で 60 歳以降も働きたい回答者は 73%であり、40 代の中では 60 歳以降も働きたいとする回答者は 82%であった。さらに、年齢を重ねるほど、60 歳以降も働きたいとする回答者の割合は増加していく。

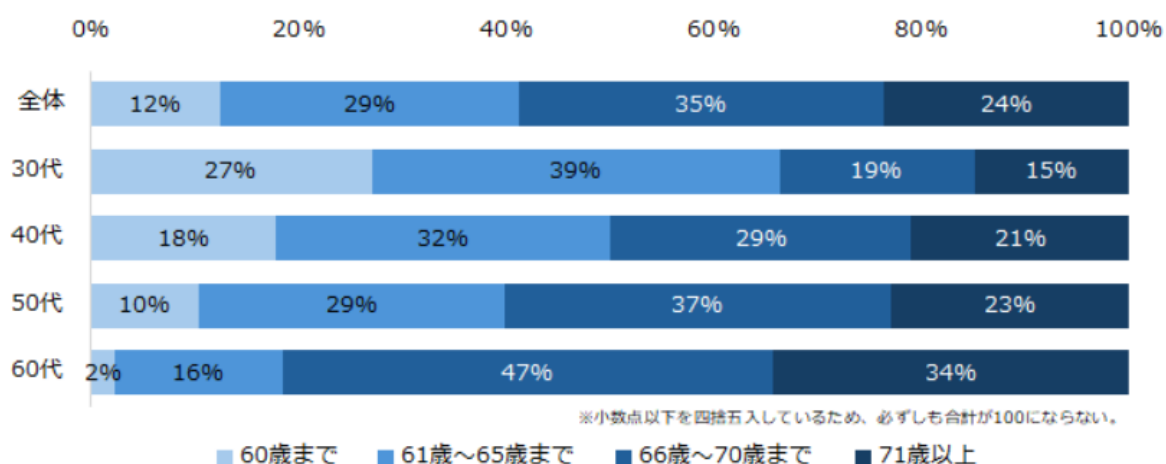


図 1-14 年代別何歳まで働く意欲があるか

出所：エン・ジャパン株式会社「ミドル世代 3,000 人に聞いた「65 歳までの雇用確保の義務化」意識調査 2024 年版」より一般社団法人日本ロボット工業会作成

しかしながら、就業には身体的な負担がかかるため、意欲とは関係なく身体が追い付かない場合もあるであろう。そのために、先端技術を用いて十分に環境を整備する必要がある。人口減少社会の中、経済成長と社会の持続可能性を両立しながら我が国の経済を持続させるためには、負担なく生きがいを持って自己実現の場としても働くことのできる制度と環境があることは、ありがたい姿の 1 つとして捉えることができる。

1.2.2 社会を解決し得る様々な先端技術

近年、様々な先端技術が実用化されつつある中で、働き方や暮らし方の大きな変革が期待され、以下のような先端技術を活用した様々なロボットが登場している。

- ・ AI（人工知能）
- ・ IoT（モノのインターネット）
- ・ 高速移動通信システム
- ・ サイバーセキュリティ
- ・ XR（クロスリアリティ）
- ・ デジタルツイン
- ・ 量子技術

COVID-19 の感染拡大時においては、感染症拡大対策としての行動制限と経済との両立が困難であったが、Web 会議、在宅勤務やクラウドデータの共有等大幅に変革があり、対応せざるを得なくなっはじめて、爆発的な普及が始まるという教訓を得た。およそ 30 年前に遡ると、1996 年には米 Microsoft 社の Windows95 が普及し、今では、インターネットやメール・オフィスソフトによる労働の形、EC (Electronic Commerce) サイト等の電子商取引が消費の形として一般化しており、デジタルでの暮らしと働き方が定着している。時間や空間に制約なくコミュニケーション、仕事、生活ができる範囲が拡大している。

東京大学大学院の松尾豊教授によると、AI は、知的なコンピュータプログラムを作る科学技術であり、その技術の 1 つであるディープラーニング（深層学習）は、人間が自然に行うタスクをコンピュータに学習させる機械学習の手法の 1 つである。2023 年 3 月に話題となった LLM（大規模言語モデル）は生成 AI の一種であり、人間が入力した指示テキスト（プロンプト）を基に、自然な会話、知識補完、文章生成、画像生成、音声生成、点群データ等マルチモーダルな生成が可能な自然言語処理ができるプログラムである。ロボット産業においては、会話を自然に行うことができるソリューションやティーチングレス等の幅広い活用が期待される。

また、総務省の平成 27 年版情報通信白書によると、IoT は、パソコンやスマートフォン等の従来の ICT 端末だけでなく、自動車、家電、ロボット、施設等あらゆるモノがインターネットにつながり情報のやりとりをすることで、モノのデータ化やそれに基づく自動化等が進展し、新たな付加価値を生み出すものと定義されている。一方で、サイバーリスクが潜む部分であるため、一層のサイバーセキュリティが重要となる。近年は、セキュリティインシデントが増加傾向にあり、そこで変わりつつあるセキュリティの考え方として、ゼロトラストという考え方が登場している。これは、従来の社内ネットワークと社外ネッ

トワークの境界線上にのみセキュリティを施す境界型防御の概念を捨て去り、守るべき情報資産にアクセスするものは全て信用せずにその安全性を検証することで情報資産への脅威を防ぐものである。

AI と IoT を組み合わせて、カメラ・センサで認識した物体の画像を読み取り、AI が対象の画像の細かな特徴を認識し、検品作業等を行うこともできる。ロボットの環境認識性や自動化範囲も大幅に広がるため幅広く活用されるインパクトがある。また、スマートシティは、IoT を活用してシティ内の様々な環境データ、設備稼働データ、消費者行動データを収集し、AI により分析、必要に応じて遠隔操作することで、都市のインフラ、施設、運営業務の最適化や利便性・快適性の向上を目指すものである。

さらに、モビリティ革命については、自動車産業が迫られている課題として CASE がある。これは、C（コネクテッド）、A（自動化）、S（シェアリングサービス）、E（電動化）を包括した概念である。IoT や AI の活用、ビジネスモデルの変革やエネルギー変革により、現在新たなモビリティ需要の獲得に向けた動きが展開されている。

高速移動通信システムについても、我が国では、2020 年 3 月に第 5 世代移動通信システム（5G）の商用利用が開始された。その次の世代である第 6 世代移動通信システム（6G）の通信速度は 5G の 10 倍となる 100Gbps であり、通信容量も 100 倍以上、遅延については 1 ミリ秒以下となるが、これは IoT の質に関わってくる。

デジタルツインは、現実空間にある膨大な情報を IoT によって取得することで、その環境を仮想空間（デジタル空間、サイバー空間）上に再現する仕組みである。それによりモニタリングやシミュレーションが可能となる。

XR（クロスリアリティ）とは、仮想的に生成されたコンテンツと現実世界を視覚的に融合させて表示することにより、従来にない映像表現を可能とし、あたかもその場に存在するような体験を提供する技術である。これは現実（VR）・拡張現実（AR）・複合現実（MR）等の総称である。ロボットシステム等の設計イメージの共有や商品説明等に活用される。とりわけロボットについては、XR に内包した技術と言えるテレグジスタンス技術によって、遠隔地の物体に対して、ロボットオペレータが視覚・触覚等のセンサ情報を取得し、あたかもそこに物体があるような臨場感を持ちながら、ロボットを遠隔操作することができる。

量子技術は、量子力学を応用した新たな情報処理技術やセンシング技術の総称である。量子コンピュータは、高速なデータ処理や最適化問題の解決等、従来のコンピュータでは解決困難な課題を解決する可能性があり、高感度な測定やセキュリティ技術の向上に活用される。

上述した AI、IoT、デジタルツイン、XR 等あらゆる先端技術を掛け合わせ、それを社会、行動、働き方の変容につなげることで、産業基盤の強化やパンデミック対策、インフラ老朽化、少子高齢化、温暖化、エネルギー不足、食糧不足や鉱物資源不足に対応していく必要がある。そのため、我が国の社会は自動化・省人化はもとより、IoT と VR を活用した働き方の変容、環境問題対策に資する新たな雇用の創出、新たな経済行動を引き起こすインパクトをもたらす産業の創出等が求められる。徐々に身体的負荷のかかる仕事は自動化されるであろう。イノベーションの面から見ても、多様な働き方で多様な人材を取り入れる

ことは重要である。COVID-19 の感染拡大時の行動制限と経済活動については両立が困難であり、公平かつ中立的に行動制限を要請することで社会経済活動が止まってしまい、社会経済活動を振興することで感染症が拡大することとなってしまった。在宅勤務の必要性が叫ばれていたが、エッセンシャルワーカーと呼ばれる医療従事者、物流に携わるドライバー、製造現場、インフラ整備やゴミ収集員等、現場で作業する必要のある職業については、業態上困難であった。特に、医療従事者は高い感染リスクの中で働くことを迫られた。こういった状況の中でロボットを中心とした先端技術を用いることで、テレワークの限界を超えることが可能であると想像できる。人口減少社会の中、経済成長と社会の持続可能性を両立しながら我が国の経済を持続させるために、負担なく生きがいを持って自己実現の場としても働くことのできる制度と環境があることはありたい姿の1つとして捉えられる。ただし、技術にはマルチユースの問題が付きまとう。ロボットはフィジカルに影響を及ぼすものが多いため、人とロボットの共生にはリスクがはらんでいる。そのリスクがロボティクスの実装の障害になりかねない。あるいは、AI の判断に基づく行動による事故の際の責任の所在や、遠隔操作による悪用も生じる可能性がある。一方で、COVID-19 における感染拡大渦中において、今までサービスとして存在していた Web 会議システムが劇的に普及した。このような、何とかせざるを得ないシチュエーションにおいて、技術の健全な普及のために、ルールメイキングとガバナンスの観点も含めた長期ビジョンを策定することが重要である。

1.2.3 SDGs に資する取組み

SDGs に資する取組み例として、IFR は、「ロボットの利用は、国連が定める持続可能な開発目標の達成において重要な役割を果たす。ロボットがより良い地球を創造する上で貢献することのできる 13 の SDGs を特定する」と表明している。それらの目標に対し、ロボットは人の代わりに負荷の大きな仕事やロボットにしかできないことを担うことで貢献する。

本ビジョンでは、ロボットによって、誰でも生きがいと働きがいを実感し、経済成長をもたらす、産業と技術革新の基盤を作り出すための道筋を示すこととしたい。

1.3 ロボット産業ビジョン策定委員会について

前節までに述べた我が国を取り巻く現状の分析に基づき、産業ロボットビジョン策定委員会を組織し、ロボットが普及した社会のありたい姿、ロボット技術開発の方向性、ロボット産業振興のための方策・施策などについて議論し、ロボット産業ビジョンを策定することとした。

ロボット産業ビジョンの策定にあたっては、「若手技術者による産産学交流サロン」のメンバー及び一般社団法人日本ロボット学会の大学研究者等から構成される、若手中心の策定委員会を組織して検討を行うこととした。「若手技術者による産産学交流サロン」とは、次代を担う若手技術者同士が、大学研究者等との交流を通じて、様々な刺激を受け研鑽を積むことで、モチベーションの向上とともに、自主的に課題を見つけ、それを解決するといった観点での人材育成や人的ネットワークの拡大にもつなげることを趣旨とした事業で

ある。

昨今、紛争を含む各国の政治的・経済的地政学リスクの急増、温暖化やグローバル化による災害やパンデミックの突発的発生・甚大化、AI等の技術の急激な進歩などにより、現状から将来を予測することは極めて困難な状況になっている。

そこで本ビジョンでは、現在の社会的状態や技術動向の延長として 2050 年の社会を予測するのではなく、現在の社会的ニーズ・価値観・ムーブメントなどを踏まえた上で、ロボットが社会に普及した 2050 年の理想的な社会のありたい姿を描き、そこからのバックキャストとして、それを実現するための、ロボット産業の活性化を含む方策・施策を議論することとした。

社会のありたい姿の構築においては、ロボット技術を「課題解決型技術」と捉え、それによりスマート化された社会を、日常生活の場としてのスマートコミュニティと、生産活動などの仕事の場としてのスマートプロダクションに大別し、更にはスマートコミュニティを、平時と非常時に区分して議論することとした。また、それとは別に、スマート化をもたらす技術の安全・倫理・法律的側面などの社会的側面を考慮した、人・ロボットの共生社会の議論を進めることとした。2022 年度は上記の方針に基づき、図 1-15 に示すような 4 つのワーキンググループ (WG) を組織し、2050 年の社会のありたい姿の検討を行った。

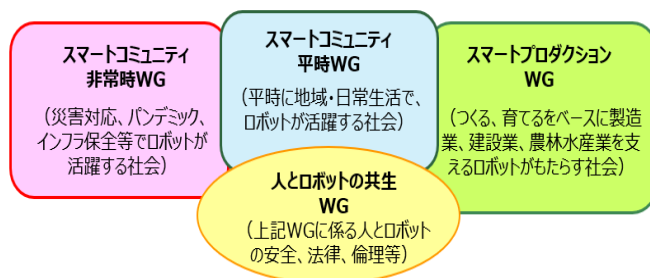


図 1-15 2022 年度ロボット産業ビジョン策定委員会 4 つのワーキンググループ

次に、第 2～4 章で描いた社会のありたい姿からバックキャストし、それを実現するための技術と、さらにはその市場と産業振興の方策・施策の議論を行うこととした。2023 年度と 2024 年度はこの方針に基づき、図 1-16 に示すような 2 つの WG を組織し、検討を行った。

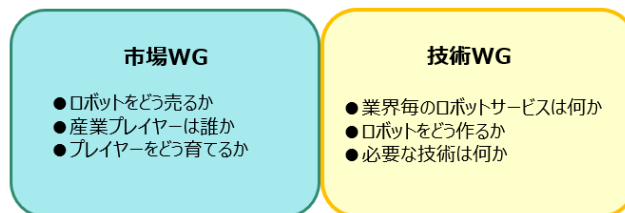


図 1-16 2023・2024 年度ロボット産業ビジョン策定委員会 2 つのワーキンググループ

さらに、ロボットの産業化を推し進める上での勝負所について、策定委員会全体で議論し、ロボットの産業化のポイントとしてまとめることとした。以上述べた、本ロボット産業ビジョンの構成を図 1-17 に示す。

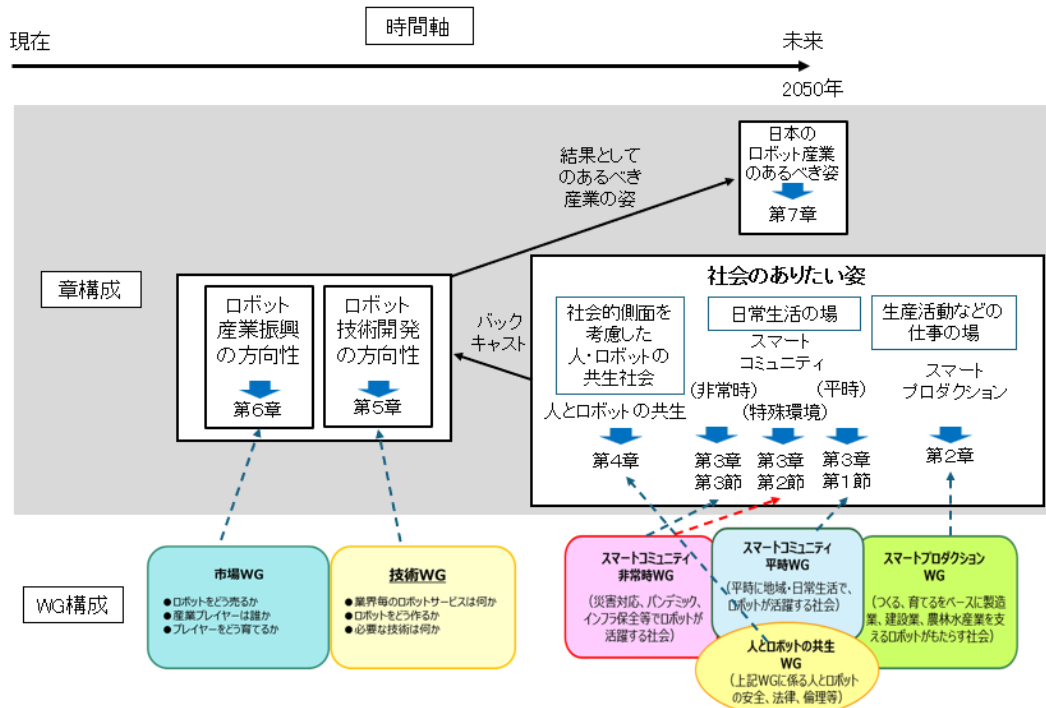


図 1-17 ロボット産業ビジョンの構成

1.4 ロボット産業ビジョンのイメージ

1.4.1 ロボット産業ビジョンが掲げる社会のありたい姿



図 1-18 ロボット産業ビジョンが掲げる社会のありたい姿イメージ

本項では、2050年の未来として、人・社会・環境と共存するロボットが描く社会像を図1-18のとおり示すこととしたい。ロボット産業ビジョンが掲げる社会のありたい姿は「誰もが安心して暮らせる、やりがいと生きがいのあるウェルビーイングが実現されたサステナブル社会」である。その社会では、身体に障がいのある高齢者がジョギング自己実現できる姿、工場でのロボット作業を在宅から遠隔操作して働く姿、ロボットを介した遠隔により乳幼児とコミュニケーションする地域育児の姿、災害時に四脚ロボットを遠隔操作する作業員の姿や宇宙衛星から地球の災害地状況を監視する形で活用している光景を見ることができる。以下では、社会のありたい姿を、平時における社会と非常時における社会に分けて示す。

1.4.2 平時における社会のありたい姿と価値の創出

(1) 平時における社会のありたい姿

平時における社会のありたい姿は、図1-19に示すように、「高いQOLでなおかつ多様な形で自己実現できるウェルビーイングに満たされた社会」である。その社会は、生活面では、生活や仕事の負担から限りなく解放されており、生き生きとコミュニティを育むことができる。すなわち、身体的にも、精神的にも、社会的にも良好な状態であることができる。労働面では、安全かつ効率的で、多様性が認められており、やりがいを持って働くことができる。上記のありたい姿のために、ロボットの安全性が確保され、なおかつ十分に信頼された上で社会に溶け込んで人と共生する「人口ロボット共生社会」が実現されている。

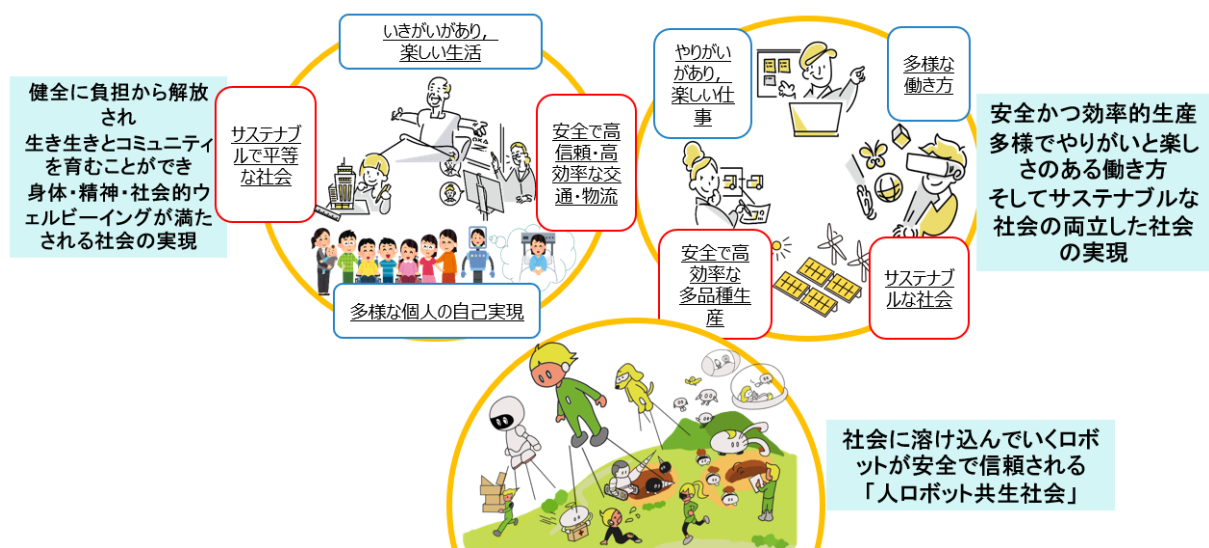


図1-19 平時における社会のありたい姿

(2) 平時におけるありたい姿のための価値の創出

平時における社会のありたい姿の実現のためには、図1-20に示すように、誰もが、いつでも、どこでも、遠隔で直観的な操作によって作業ができるようなロボット技術が実装されている必要があり、それにより、人は、サービス、介護や教育等がいつでもどこでも受けられる。さらに、エネルギー効率の高い製品で満たされており、環境にも十分に配慮されている必要がある。上記のロボット技術の実装には、安全だけでなく安心も担保するこ

とが重要であるが、そのためには、ユーザに向けて、ロボットメーカー、官庁等認証機関や保険会社が一体となって安全なユースケース事例を積み上げることによって、ユーザの信頼度を高め、安心してロボット技術を活用できる仕組みを必要とする。

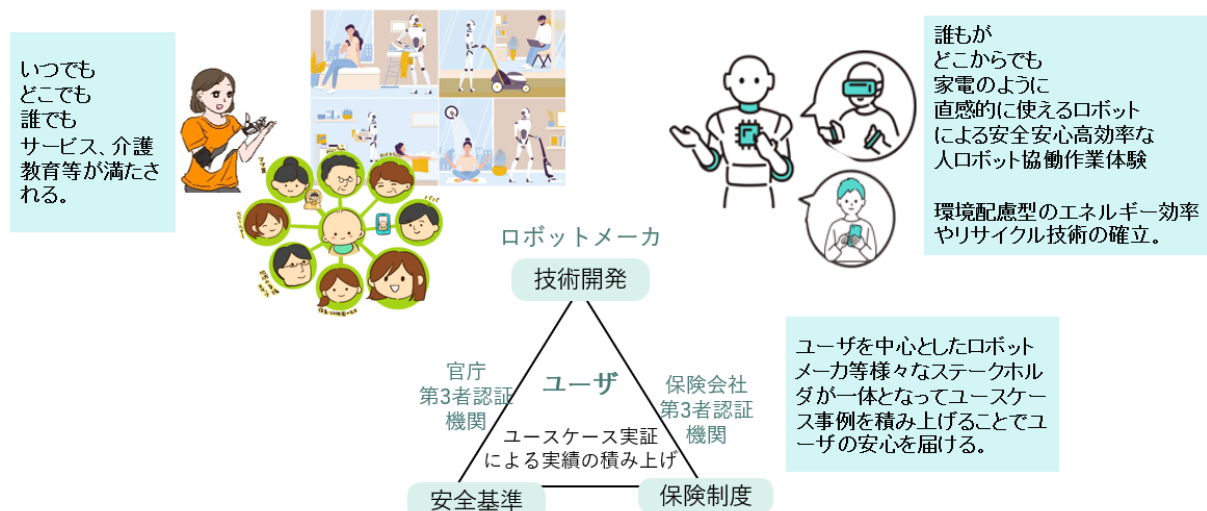


図 1-20 平時におけるありたい姿のための価値創出

1.4.3 非常時における社会のありたい姿と価値の創出

(1) 非常時における社会のありたい姿

非常時における社会のありたい姿は、図 1-21 に示すように、「宇宙フィールドとデジタル技術を活用しつつ、人とロボットが協働して暮らしを支えていく社会」である。災害時には、状況に応じて必要なロボットが切れ目なく投入され、衛星情報を参照しながら人と協働で復興活動を行う。また、自動化された点検作業によりインフラ等がデジタル管理され、軽微な損傷のある状態においても、日々補修作業が自動で行われる。更に、ロボット技術により、あらゆる労働場面においても遠隔作業が可能となり、感染可能性が限りなく低減されている。すなわち、幅広いロボット技術やデジタル技術により、人とロボットの協働によって、非常時でも万全に対応できる仕組みの整った社会である。

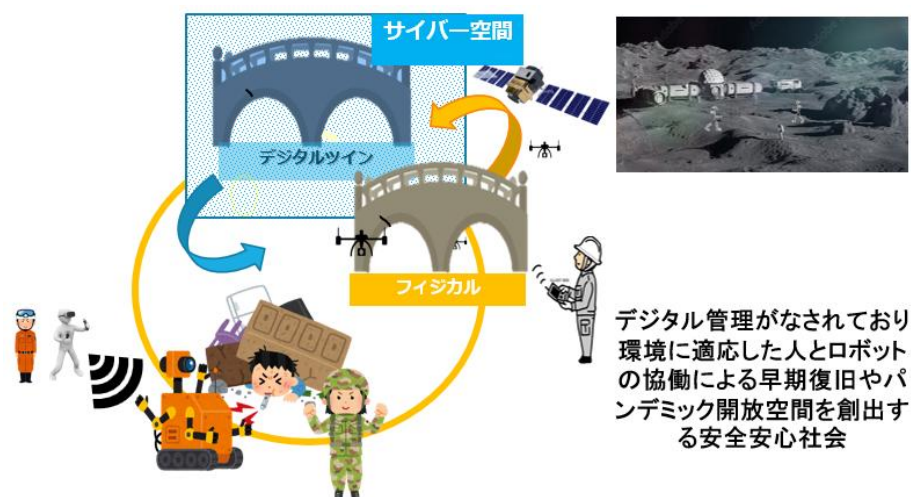


図 1-21 非常時における社会のありたい姿

(2) 非常時におけるありたい姿のための価値の創出

非常時における社会のありたい姿のためには、図 1-22 に示すように、きわめて低遅延の通信技術により、幅広い作業を、どこからでも、遠隔操作によって行うことができるロボット技術が活用され、なおかつ、センサによって収集された膨大なデータを AI により解析する共通基盤技術が利用できる仕組みが必要である。



図 1-22 非常時におけるありたい姿のための価値創出

第 2 章 スマートプロダクション

～持続可能な社会に資する産業の姿～

2.1 スマートプロダクション

スマートプロダクションとは、製造業、建築業、農林水産業、サービス業等の広義での産業分野を対象として、それらの様々な業種における労働環境の 2050 年のありたい姿を議論するための分野である。業種や職種によって働き方は千差万別ではあるが、それらに共通するありたい姿としては「個人と社会のウェルビーイングを実現する」というものである。厚生労働省が実施している雇用政策研究会の報告書では、ウェルビーイングを、「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」と説明されており、就業面からのウェルビーイングの向上が、労働者一人ひとりの能力発揮を通じて企業の生産性向上に寄与し、企業の生産性向上が就業面からのウェルビーイングの向上のための原資をもたらすといったような好循環が生産性向上に重要であることが指摘されている。そこで本章では、スマートプロダクションに含まれる様々な業種において共通する身体的・精神的・社会的ウェルビーイングについて考え、それらウェルビーイングが実現された労働環境の 2050 年のありたい姿を説明する。

2.1.1 身体的・精神的ウェルビーイング

初めに身体的・精神的ウェルビーイングに注目すると、スマートプロダクションにおける労働者のありたい姿は、「多様な働き方の実現」と「やりがいがあり、楽しい仕事の実現」が挙げられる。「多様な働き方の実現」に資するには、人が安全・安心かつ効率的に使うことを前提とし、誰もが、どこからでも使える AI ロボットを構築することが挙げられる。また、仕事場で長時間・長期間にわたって AI ロボットと協働することで労働者個人の心身状態の変化への気づきや、労働者間の円滑なコミュニケーションを促す役割も AI ロボットが担うことができれば、やりがいがあり、楽しい仕事の実現につながると考えられる。

一方で、AI 技術やロボット技術によって労働者から現在の仕事を奪うのではないかと、いわゆるシンギュラリティに対する漠然とした不安の存在が指摘されている。現状では、AI 技術やロボット技術は専門的な知識を持った技術者が利用するものであり、一般的に身近なものではないと認識されている場合が多いと思われるが、AI・ロボットを誰もが利用可能な形にすることができれば、それらの技術を導入するハードルが下がり、労働環境において AI やロボットを使うことが当たり前となる。また、現場において AI やロボットをどのように活用するか、その希望や好みは職種や業務内容のみならず、個人の特性によっても異なるであろう。そこで、人と AI・ロボットの役割分担を明確にし、人の望んだ形での作業内容を個別に生成することができれば、AI・ロボット技術の支援の下で労働者が自分の特性に合わせた作業に従事することになり、これまで以上にやりがいを感じ楽しく仕事を行うことができるようになるであろう。すなわち、今後は人と AI・ロボットの関係性を技術的な観点だけでなく、社会的に議論していくことが必要不可欠となる。

2.1.2 社会的ウェルビーイング

社会的ウェルビーイングを実現するためには、「安全・安心・高効率な多品種生産・サービス提供の実現」や「サステナブルな社会の実現」を目指した取り組みが必要である。そのためにも、近年期待されているデジタルツインを活用したスマートプロダクションの実現が急務であり、サイバー空間での様々なシミュレーションをフィジカル空間にフィードバックし、更にフィジカル空間の結果をサイバー空間にリアルタイムで戻すといった循環を構築することが重要である。このようなシミュレーションを適切に活用してロボットの動作等を仮想環境で検証することができるようにすることで、AI・ロボット技術に関する専門的な知識を持っていなくとも、誰もが直観的にそれらの技術を利用できるようにすることが非常に重要である。そのようなシステムが実現されれば、様々な労働環境に適用するためのロボット・センサ・周辺機器等のインテグレーションも容易となり、ターゲットとなる作業だけではなく、周辺の物流等も含めた高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクションが実現できるであろう。また、カーボンニュートラル対応のスマートプロダクションの構築も社会レベルから個人レベルに至るまで、意識改革も含めた取り組みが必要となる。このような 2050 年のありたい姿を図 2-1 に示し、これ以降、それぞれについて簡単に説明する。

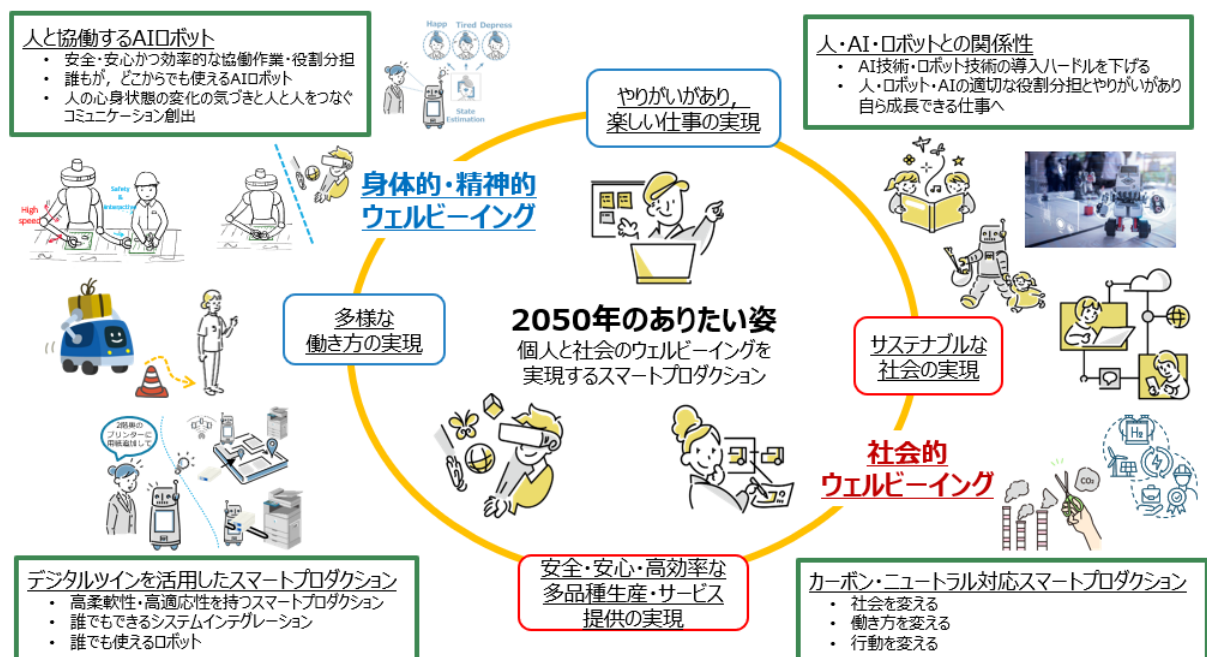
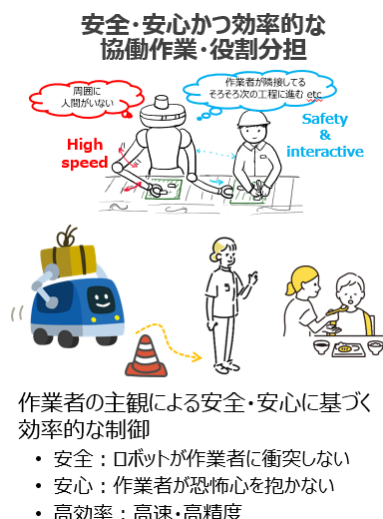


図 2-1 スマートプロダクション 2050 年のありたい姿

2.2 人と協働する AI ロボットのありたい姿と道筋

- 安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担
- 誰もがどこからでも使える AI ロボット
- 人の心身状態の変化の気づきと人と人をつなぐコミュニケーション創出



現状（ありたい姿と今のギャップ）

- ・安全：衝突を回避、もしくは、衝突後の停止
- ・安心：作業者がロボットの動作を予測できない。
- ・高効率：安全のための動作速度が最悪ケースを想定して決定

実現するための技術的・社会的方策

- ・技術的施策
 - ✓ 安全のためには、作業者とロボット間でお互いの状況を把握し、衝突を回避する技術の構築
 - ✓ 安心のためには、作業者のセンシングとロボットの動作を適切に作業者に提示するマルチモーダルコミュニケーション技術の確立
 - ✓ 高効率のためには、状況に応じた最適な動作速度が実現でき、かつ作業者と衝突しないロボットの動作計画が必要
- ・社会的方策
 - ✓ 安全・安心・高効率を前提としたロボット運用方法標準化
 - ✓ リスクアセスメント規格の修正

図 2-2 人と協働する AI ロボットの 2050 年のありたい姿

2.2.1 安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担

(1) ありたい姿

人と協働する AI ロボットのありたい姿として、3つの観点を説明する。一点目は、「安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担」を実現することである。ここで安全とは、ロボットが人の作業者と同一作業空間内で稼働する際に、ロボットが作業者に衝突しないことも含めた、ロボットが人へ危害を加えないこととする。産業用ロボットの安全に関しては従来から数多くの取り組みがなされているが、今後は安全性を踏まえた範囲内において高速で稼働するロボットについて、作業者が恐怖心や脅威を抱かないような動作を生成するという、安心に配慮することも期待される。また、作業者の安全・安心を確保した上で、高速・高精度というロボットの特性を活用して生産性を向上させることが重要であり、更には安全・安心の基準は作業者によって異なるため、作業者に応じた安全制御を適用することも求められる。例えば、作業者の特性（年齢、性別、身長、体重、習熟度等）、作業者の状態（立っている、座っている、転倒している等）、作業者がロボットを認識しているか否か、作業者が保護具を着用しているか否か、作業者が次にどのような動作を取ることが予測されるか等に応じてロボットの動作を適切かつ柔軟に変更することが必要となる。

(2) 現状

現状の安全技術の多くは、人とロボットの衝突可能性範囲を時間的・空間的に広く設定して衝突回避を実現している場合が多い。人とロボットが同一作業空間内で隣接して作業を行う協働ロボットでは、接触を検出して動作を停止する等の方法が採用されている場合もあるが、停止前に衝突が発生するため、作業者が痛みを感じる場合等もある。また、安心という観点からは、従来はロボットがどのような動作を行うのか作業者は予測できず、

隣接して作業を行っている際にロボットの動作が気にかかり、本来の作業に集中することが困難になるといった課題も指摘されている。

さらに、安全を考慮しながら効率性を重視すると、作業者の位置や状態に応じた速度制限をロボットに課することが多いが、協働ロボットは安全のため、かつ衝突等の最悪ケースを想定して大幅に動作速度が制限されていることが一般的である。

(3) 実現するための技術的方策

上記の現状の課題を回避するための技術的方策として、安全のためには、作業者とロボット間で互いの状況を把握し、衝突を回避する技術を構築することが挙げられる。また安心のためには、作業者の特性や状態のセンシングと、ロボットが行う動作を適切に作業者に提示するマルチモーダルコミュニケーション技術の確立が挙げられる。安全性と高効率の両立のためには、状況に応じた最適な動作速度が実現でき、かつ作業者と衝突しないロボットの動作計画が必要となるであろう。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策として、安全・安心と高効率の両立を前提としたロボット運用方法の標準化や、リスクアセスメント規格の修正等が求められる。

2.2.2 誰もがどこからでも使える AI ロボット

(1) ありたい姿

次に「誰もがどこからでも使える AI ロボット」という観点から、人と協働する AI ロボットのありたい姿を考える。今後は遠隔操作型ロボットの拡充により、作業場での実際の手作業はロボットへと置き換わり、作業者は遠隔からロボットへの動作教示や運用を行う可能性がある。また近年の仮想空間の技術的・社会的な目覚ましい発展を鑑みるに、作業者は仮想空間上で作業場へと出勤し、遠隔操作型ロボットを介して作業を行うことも可能になるであろう。その場合、違う作業拠点に移動して作業を行う際も実際の移動時間は実質ゼロとなり、一人の作業者が複数の作業場をまたいだマルチな作業を時間単位で行うことも可能となる。これによって、例えばある特定の作業の熟練作業者が同一企業内での別拠点をまたいで作業を行うマルチファクトリーマニュファクチャリングや、作業に用いるロボットの操作方法や作業内容を把握していれば別産業の違う生産物を対象としても通常と同じ作業が可能になるマルチインダストリータイプワークといった、場所や分野・職種をまたいだ新しい働き方が実現できるであろう。これらが実現することにより、限られた労働力の有効活用と生産性の最大限の向上を目的として、業種を問わず複数企業のグループ化によるスケールアップや、閑散期や繁忙期が異なる複数の作業を全体として分散させる労働力のワークシェアリングが実施しやすい労働環境となるであろう。また、遠隔操作型ロボットによる業務は勤務場所に赴く必要がないため、勤務地を問わず世界中から労働力を募ることが可能となり、更に物理的な距離や育児・介護や疾病といった作業従事に際しての障壁を下げるができるため、潜在的労働力を引き出し活用することが可能となるであろう。

(2) 現状

上記のありたい姿が求められる一方で、現状では、人による遠隔操作を前提としたロボットが実際に現場で用いられていることは少なく、また、人との接触への対策や警告、強制指示のあり方等のロボット遠隔操作に対する安全規格が制定されているとはいいがたい。さらに、ハッキング対策等の遠隔操作に対する安全性の確保が十分ではなく、ロボット遠隔操作の規格も統一されていない。それに加えて、ロボット操作に関する教育が一般化されていない等の課題も指摘されている。

(3) 実現するための技術的方策

このような課題を解決する技術的方策として、遠隔操作ロボットを導入することが当たり前となる社会のコンセンサスと、その実現に必要となる 6G の一般化による高速通信網の整備や、ブロックチェーンのような、より強固なセキュリティ技術の開発といった、安全・安心な遠隔操作に必要な基盤技術の更なる整備が求められる。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策としては、遠隔操作ロボットのための規格制定や、作業員においてロボットの遠隔操作が当たり前となる教育システムの導入、基盤となるロボット・通信・ビッグデータ等への投資や、国際的な連携・協力・教育体制の構築が必要となるであろう。

2.2.3 人の心身状態の変化の気づきと、人と人をつなぐコミュニケーションの創出

(1) ありたい姿

最後に、「人の心身状態の変化の気づきと人と人をつなぐコミュニケーションの創出」について説明する。これは、ロボットを介した新しい人・ロボット及び人・人コミュニケーションの創出が重要であるという指摘である。例えば、ロボットに搭載されたセンサもしくは環境に配置されたセンサ群、個人が所有するウェアラブルセンサを用いて、労働者の表情、心拍数、会話の頻度等を計測し、また業務日誌等から得られる業務量・効率等を結びつけることによって、職場での心身状態の変化に対する気づきと改善への提案がなされることが期待される。また、心身状態の把握やその人のパーソナリティを推定することができれば、ロボットがその人に合わせた行動をとることができるようになり、例えばコミュニケーションが不得手である人同士をうまくロボットが仲介してつなげることや、職場での作業をうまく補完し合える人同士をつなげる等、新しい職場コミュニケーションの形が提案でき、健康でやりがいのある働き方を実現することができる。

(2) 現状

人の心身状態を把握するという意味での現状技術は、個人が所有するセンサ（スマートウォッチ等）によるデータ管理が主流であり、職場に配置されたセンサ等の利用は限定的である。また、取得されたライフログデータの可視化はできるが、そのデータに基づく健康状態に関する改善策の提案等は困難である。また、プライバシー情報の組織的管理・共有に関する規制が十分でなく、更にはロボットを介して人同士をどのようにつなげるかの

方法論も確立されていない。

(3) 実現するための技術的方策

ありたい姿を実現するための技術的方策としては、職場で容易に使用が可能な非接触センサを用いたライフログ技術の構築と、様々な環境で取得されたライフログデータの同期、それらデータ解析に基づく健康状態把握・管理・改善提案手法の構築や、高セキュリティデータ保護・共有技術の構築が挙げられる。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策としては、プライバシー情報を含むライフログデータの取り扱い規定の制定や、プライバシーデータの共有やデータセキュリティといったリスクと、ライフログデータを用いた健康状態の把握と改善点提案や、ロボットを介したコミュニケーションの場の創出というベネフィット、それらを踏まえてどのように導入するかという議論の醸成が必要となる。

2.3 デジタルツインを活用したスマートプロダクションのありたい姿と道筋

- 誰でも使えるロボット
- 誰でもできるシステムインテグレーション
- 高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション



図 2-3 デジタルツインを活用したスマートプロダクションの 2050 年のありたい姿

2.3.1 誰でも使えるロボット

(1) ありたい姿

ここでは、デジタルツインを活用したスマートプロダクションのありたい姿を3つの観点から紹介する。内閣府の Society5.0 によると、「サイバー空間とフィジカル空間を高度

に融合する」ことの重要性が指摘されている。サイバー空間でシミュレーション等が実現でき、それをフィジカル空間にフィードバックすることで、様々なレベルにおけるロボットやシステムの活用が期待できる。基盤レベルとしては、デジタルツインを活用することで「誰でも使えるロボット」の実現が期待される。すなわち、仮想環境においてロボットの動作を確認しながらティーチング等を行うことができ、これにより、高度な専門知識を有せずとも誰もがロボットとの協働環境を立ち上げることができる。また、目的の作業の設定によるロボット動作の自動生成や自然言語等を用いた簡単な操作インタフェース、難作業のティーチングの簡易化や不具合発生時のパラメータ自動更新、複数ロボットの自動協調等が実現できれば、誰もが自在にロボットを用いた作業の効率化を行えるであろう。

(2) 現状

しかしながら現状では、ロボット動作のティーチングには専門知識と熟達が必要であり、その専門性の高さゆえにロボットオペレータ不足が問題となっている。また、外的要因による異常停止が起こるといった、ロボット動作におけるロバスト性の低さも課題である。さらに、開発環境では問題がなくても、実際の工場等に導入する際には開発環境と現地環境の違いによって、ロボットの動作軌道や位置変更等の微調整が必要となり、ティーチング工数が増大するといった課題もある。加えて、ティーチングを行うロボットオペレータの熟練度や経験・スキルの差によってロボット動作に違いが生じ、結果としてロボット運用開始時の完成度にばらつきが生じることもある。これらの問題は、高度な専門性・工数増大によるシステムインテグレーションコストの上昇にもつながる。

(3) 実現するための技術的方策

上記の課題を解決する技術的方策としては、AI 技術を用いたティーチング自動化による簡易ティーチングインタフェースの実現や、異常状態データに基づく学習による全自動復帰とロバスト性向上の実現、人・複数ロボット協調制御シミュレーション技術の確立等が期待される。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策としては、AI 技術のオープンソース化によって誰もが AI 技術をロボットやシステムに実装可能とし、またロボットメーカーごとに違うデータを使用するのではなく規格の統一を図り、ビッグデータの共通化を行うといった取組みが必要となるであろう。

2.3.2 誰でもできるシステムインテグレーション

(1) ありたい姿

ロボットや AI を自由に使いこなせるようになれば、他のセンサや周辺機器等をうまく組み合わせたシステムインテグレーションが容易となる。そこで次のレベルとしては、「誰でもできるシステムインテグレーション」の実現がありたい姿となる。2050 年のスマートプロダクションのシステムインテグレーションでは、異なる種類の複数ロボット・センサ・周辺機器が共通の管理システムで運用可能となり、専門知識を持たない作業者でもロボッ

トを導入した全体システムの構築が容易となる。さらに、AI とドメイン知識を活かしたデジタルツインの整備・活用が進み、物理シミュレーションとデータ分析によりロボットの性能予測・寿命診断・モニタリングが高精度で可能となる。ロボット連携データプラットフォームの標準化と超高速・超低遅延・多数同時接続可能な通信網が整備されたデジタルツイン環境下では、クラウド上の高機能 AI サーバーで多種類の複数センサ情報の処理が可能になるとともに、クラウドを介したロボット制御により未知環境下におけるロボットの運用性が向上する。具体的には、三次元地図情報を共有した複数の移動ロボットが最適経路を選択することで、狭隘空間でのロボット同士のすれ違い動作や動的障害物の回避動作を実現する。また、ロボットハンドが未知物体を把持する場合は、未知物体の認識情報をクラウド上で高速に解析して最適な把持位置を算出し、安定把持を実現する。さらに、狭隘空間で利用される多自由度ロボットアームでは、障害物回避や特異姿勢回避等の複数条件が複雑に絡み合った状況の中から最適解をクラウド上で高速に導き、滑らかな動作を実現する。これらスマートプロダクションの高度化により、ロボット未活用領域でのロボットシステムの普及が拡大するであろう。

(2) 現状

しかしながら現状では、各ロボットメーカーが独自のインタフェースで管理システムを開発・運用しており、異なるメーカーのロボットを新たに導入する場合には、管理システムの再構築が必要となる。そのため、異なる種類のロボット・センサ・周辺機器を共通の管理システムで効率良く運用することは困難である。また、システムを構築するためには高い専門性を持つ作業者の多大な労力が必要となる。これらはロボットシステムを導入する上で大きな阻害要因となっている。

(3) 実現するための技術的方策

上記の課題を解決する技術的方策としては、異なる種類の複数ロボット・センサ・周辺機器が様々な企業の垣根を越えてつながることができるように、デジタル化の推進が重要である。現状の多くの製品システムでは、ハードウェアの中にソフトウェアが一体として組み込まれ提供されている。まずはこのソフトとハードの分離が必要である。これにより様々なアプリが追加可能となり、新サービスの創出を期待できる。その次に、ソフトのレイヤーを標準化することで、様々な企業のハードやアプリと容易につながるプラットフォーム化を進める。データを中心としたサービス展開が、プラットフォーム化していくデジタルトランスフォーメーション（DX）によって可能となる。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策としては、プラットフォーム標準化に向けた法令の整備と利用促進を進めること、さらに、超高速・超低遅延・多数同時接続可能な通信網の整備を進めることが期待される。

2.3.3 高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション

(1) ありたい姿

最後に、最も広いレベルとして「高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション」の実現が期待される。2050年のデジタルツインを活用したスマートプロダクションの最適化の結果、柔軟性と適応性を備えた生産システムが構築され、物流システムではサプライチェーンプラットフォームが標準化される。サプライチェーンプラットフォームを通じた企業間の調達連携が進み、貨物車や船舶等の運搬時の積載率向上やサプライチェーンを横断したCO₂排出量の抑制が図られる。また、保険・金融業や企業調査業等のデータ活用事業者との連携も進み、適切なサプライヤーの評価や地球規模でのBCP対応が可能となる。さらに、デジタルツイン上で物流が可視化され、必要な部材を適切なタイミングで遅延なく供給できるようになる。結果として、在庫の適正化や過剰生産の抑制により、エネルギーや資源の無駄のない生産システムが企業の垣根を越えて構築される。

(2) 現状

しかしながら、現状は各企業内の仕組み作りにとどまっており、企業間の連携に乏しい。同様にサプライチェーンも各企業の個別最適化となっており、企業の垣根を越えた物流システム全体での最適化は図られていない。様々な企業が産業の垣根を越えてつながる状況となっていないため、多様なニーズに合わせた多品種少量生産においては、エネルギーや資源の無駄が発生している。また、遠隔操作される各機器やサプライチェーンがネットワークにつながることに伴い、ネットワークのセキュリティのリスクの課題がある。例えばサプライチェーンでは、そこに関わる企業の中から、セキュリティ対策が不十分な企業を狙う等して仕掛けられる“サプライチェーン攻撃”等の課題が出てきており、デジタル商取引上の問題のほか、現場の機器の誤動作による安全性の問題等につながる懸念がある。特に中小企業では、セキュリティ対策に充てる人材・費用・技術が不足している課題もある。

(3) 実現するための技術的方策

上記の課題を解決する技術的方策としては、複雑に絡み合った中から最適解を見つけ出す量子世界のクアンタムトランスフォーメーション(QX)へ発展させることが求められる。

デジタル化の推進により、資産拡張性の高いビジネスモデルの構築が期待できる。また、現在、通信デジタルツイン及びデジタルツイン間のデータ通信では公開鍵を用いた暗号化通信を主に用いているが、近年の計算速度向上に伴い暗号鍵が解読されるリスクが懸念されており、通常の通信よりも強固な暗号化が求められている。例えば、光の粒である光子に鍵情報を載せ、その量子力学的な性質で鍵を守る量子暗号化通信を開発しており、上記課題を解決する有望な技術であると考えられる。また、製品は長いサプライチェーンを経由して顧客に届けられており、特に食品や医薬品原料は安全・安心の観点でトレーサビリティの確保が求められている。さらに、産業分野等では近年排出CO₂量のトレーサビリティ確保も課題となっている。このような複数企業にまたがるトレーサビリティ確保には、例えば、ブロックチェーンを用いたサプライチェーンの物流等も開始されている。

一方、上記ブロックチェーンに登録する情報自体の信頼性確保には、流通の過程で検品登録や作業が発生するが、現状手作業が多く存在しており、人手不足の課題がある。そのため、今後これら検品登録作業をロボット等で自動化することで、省力化や信頼性向上を図ることが期待される。

(4) 実現するための社会的方策

社会的方策としては、セキュリティ対策導入を促進する政策的支援が必要となる。

2.4 人・AI・ロボット同士の関係性のありたい姿と道筋

○AI・ロボット技術の導入ハードルを下げ、人・ロボット・AI 同士の適切な役割分担とやりがいがあり自ら成長できる仕事へ

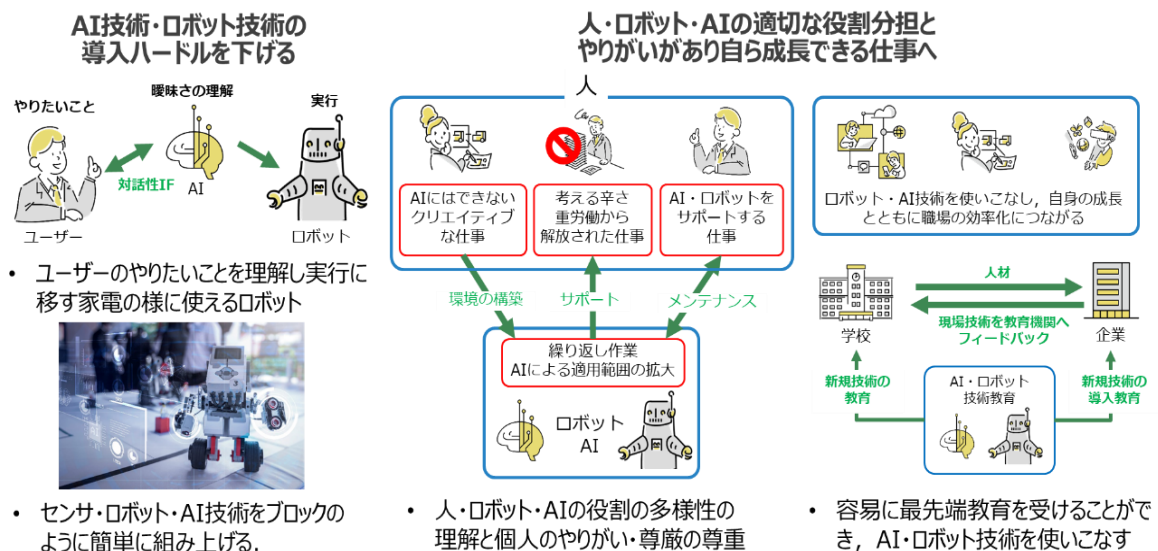


図 2-4 人・AI・ロボットとの関係性の 2050 年のありたい姿

2.4.1 ありたい姿

ここでは、人・AI・ロボット同士の関係性のありたい姿について考える。先に述べたように、AI 技術やロボット技術は今後、熟練者や専門家だけでなく誰でも使えるようになることが期待されるため、ユーザのやりたいことを理解して実行に移す家電のように使えるロボットの実現が期待される。また、ロボット・AI の職場導入が進むと、AI に使われる、仕事を奪われると感じてしまう人が一定数発生すると考えられている。しかしながら、ロボット・AI 単独で全てが行えるわけではなく、環境の構築やメンテナンスを行い維持していく必要がある。さらに、ロボットとともに仕事を行う場合、一見ロボットに使われていると感じるかもしれないが、1 つのツールであると捉えると負荷が高い考える作業や重労働をロボットや AI に任せることができ、あらゆる世代の人が活躍しやすくなる便利な道具と考えられる。すなわち、人・ロボット・AI の適切な役割分担を実現し、やりがいがあり自ら成長できる仕事を生み出すために、人・ロボット・AI の役割の多様性の理解と個人

のやりがい・尊厳の尊重が重要となる。

例えば、AI は情報解析や画像認識が得意であり、ロボットは繰り返し作業を行う能力に優れている。一方で人は創造的な仕事をすべきという考え方があるが、人によっては考える辛さから解放され、AI やロボットから指示された仕事をこなす方が自分に合っているという人もいるであろう。また、AI・ロボットの発展に伴い、それら AI・ロボットのメンテナンスや機能更新といった仕事を行う人は必要不可欠となる。このように、人が望む働き方はそれぞれであり、そのような人の個別性に臨機応変に対応できるような技術・社会を構築すべきである。

2.4.2 現状

現在産業用ロボットを扱うには、専用プログラムの知識やティーチングといった専門的なスキルが必要となっている。生産工程にロボットを導入しても知識を持った人材が不在の場合、不具合や構成変更が発生した際に対応できず、持続的に利用しづらいのが現状である。また、ロボットが作業を実行するためには内容を事細かに正確に設定する必要がある。それを家電のごとく扱えるようにするためには、ユーザが思い描くやりたいことのイメージを正確に理解し、かみ砕いてロボットに伝える橋渡しの役目を担う技術が必要となるが、現状ではそこまで達していない。

2.4.3 実現するための技術的方策

上記のありたい姿を実現する技術的方策としては、直感的な UI (User Interface) や AI アシスタント等の対話性インタフェースの実装が期待され、センサ・ロボット・AI 技術をブロックのように簡単に組み上げられることが求められる。

2.4.4 実現するための社会的方策

技術的対応が成熟するまではメーカーによるサポート体制の構築と強化が必要であり、学校教育等を通じてロボットに対する理解が深い人材を増やし、ロボットを導入した企業が持続的にロボットを利用できる下地を作っていくことが重要であろう。つまり、ロボット及び AI に対する社会全般からの認識や理解度を高め、ロボットは人を隷属させるものではなく、あくまで仕事を楽にするツールであるという社会的認識を拡大していくことが重要となる。ロボットの適用範囲は今後、農林水産業や建設業、物流業、小売店等幅広い展開が見込まれるが、現在ロボット技術に触れる機会は工業が主となっており、工業以外の分野についてはロボットに対する理解が比較的低い状態にある。

具体的な社会的方策としては、工業にとどまらず他の分野においてもロボットに接する機会を増やし、理解を深める必要があるであろう。その一方で、容易に最先端教育を受けることができ、AI・ロボット技術を使いこなす人材育成を促進する取り組みも必要である。昨今、教員数は減少傾向にあり教員不足が社会的課題となっている。そのような中でロボット技術の発展スピードは目まぐるしく、新規に習得する必要がある知識も膨大である。しかしながら、学校教員のスキル・知識向上に関しては勉強会等による自助努力に頼るところが大きいのが実情となっている。そのため、各教育機関に在籍している教師で対応で

きる範囲には限界があると考える。

この問題を解決する社会的方策としては、新規技術の教育に必要な知識を習得する教師を集約し、オンライン授業コンテンツを整備することにより新規技術の教育を県や学校単位にとらわれず行うことや、各学校教員には基礎的な学習に注力してもらうことで負荷低減及び人材の共有を図ることが挙げられるであろう。また、既存の枠組みにとらわれず、民間企業の成熟した生の技術を持った人員に委託し授業を行うことも有効だと考える。さらに、学びの自由度の拡大にも視野を広げる必要がある。学校教育におけるロボット技術の学習については現状、時間数が少なく学べる内容には限りがある。その限られた時間を有効に割り振る必要があり、基礎的な教育は既存の仕組みが望ましいと考えるが、個々人に適した学習を行うために多くの科目を選択制とし、自らの秀でている部分を集中して伸ばすことが可能な仕組みも必要と考える。その際は、大筋を見失わないように想定される職種に対してのロードマップや必要な関連知識の紐づけが把握できる資料も求められる。現状、我が国では学習指導要綱にて学科ごとの教える範囲、単位数等が定められているため、これまで述べてきた自由度の高い多様な最先端のロボット学習を実現するには、要綱の修正が必要になる可能性があり、社会的方策として考える必要があるであろう。また、在職者のスキルアップを行う場として職業能力開発大学校（ポリテクカレッジ）や職業能力開発促進センター（ポリテクセンター）等の職業訓練校がある。既存の技術から新しい技術まで幅広く講座が開講されており、社員のスキルアップを通して新規技術の導入を進めることが可能である。これらの施設は全国各地域に存在しているが、主な訓練対象が求職者のため在職者には知名度があまり高くない。商工会議所等を通して多くの中小企業へ講座紹介を行い、知名度を上げることで在職者に対しても最先端の AI・ロボット技術を浸透させ、ロボットに対する理解が深い人材を増やすと同時に、ロボット導入に際しての作業者側の心的敷居を下げるといった施策が考えられる。

2.5 カーボンニュートラル対応のありたい姿と道筋

○カーボンニュートラル化による経済活動とライフスタイルの両立を図り、環境に配慮した技術を駆使した社会・働き方・行動を変える

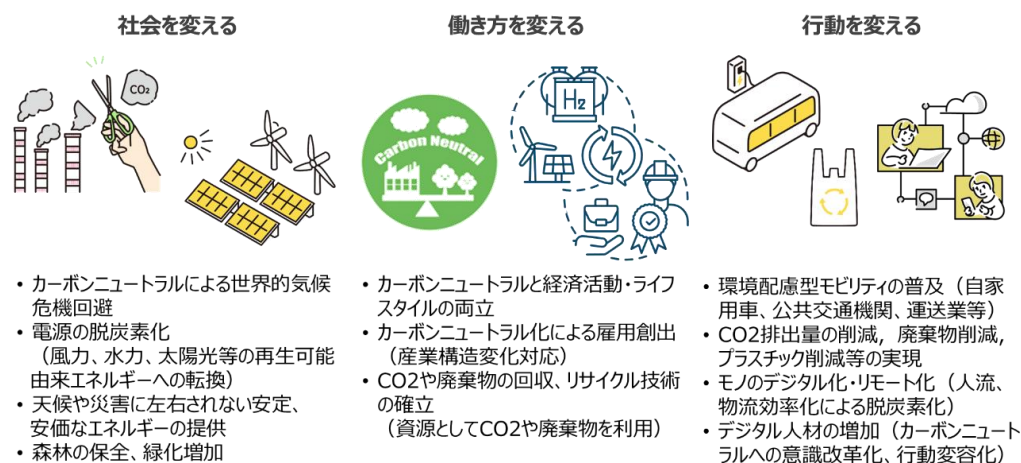


図 2-5 カーボンニュートラル対応スマートプロダクションの 2050 年のありたい姿

2.5.1 ありたい姿

最後に、カーボンニュートラル対応スマートプロダクションのありたい姿と道筋について考える。これには、社会を変える、働き方を変える、行動を変えることが必要である。

社会を変えるとは、カーボンニュートラルによる世界的気候危機の回避のため、風力・水力・太陽光等の再生可能エネルギーへの転換による電源の脱炭素化や、天候や災害に左右されない安定かつ安価なエネルギーの提供、森林の保全・緑化増加等が必要となると考えられる。また、働き方を変えるとは、カーボンニュートラルと経済活動・ライフスタイルの両立を進め、カーボンニュートラル化による雇用創出を促進するとともに、産業構造の変化に対応すること、回収・リサイクル技術の確立により資源としてCO₂や廃棄物を利用すること等が求められる。最後に、行動を変えるとは、自家用車や公共交通機関、運送業等に環境配慮型モビリティを普及させることや、CO₂排出量や廃棄物、プラスチック削減等を進めること、モノのデジタル化・リモート化による人流・物流効率化による脱炭素化を目指すこと、デジタル人材の増加によるカーボンニュートラルへの意識改革化・行動変容化等が期待される。

2.5.2 現状

しかしながら現状では、カーボンニュートラルの実現可否が不透明であり、経済活動との両立や実現へのロードマップが明確化されていないといった課題がある。また、電力需要は今後も増えると予想されるが、電力部門の脱炭素化が進んでおらず、火力発電への高依存が続いている。さらに、カーボンニュートラルに対する国際的なギャップがあり各国の取組みに温度差があることや、各国での経済活動の活性化に伴う廃棄物の増加、森林破壊等も起こっている。カーボンニュートラル化に伴う失業や業務転換という、化石燃料廃止による産業構造の変化に伴う課題も指摘される。

2.5.3 実現するための技術的方策

再生可能エネルギーの安定供給はいまだ発展途上で天候変化への対応が困難であり、蓄電池技術等の更なる発展が待たれるところである。加えて、CO₂回収技術も未確立であるため、これらの技術の発展・成熟が技術的方策として挙げられる。

2.5.4 実現するための社会的方策

社会的方策としては、カーボンニュートラル実現のための法整備や人材育成、投資強化・税制優遇といった経済面での支援、全体としての将来を見据えたロードマップ提示が期待される。さらに、カーボンニュートラル化に伴う雇用の創出促進や、カーボンニュートラル化の重要性を認識するための各種施策の効果の見える化、各国間のギャップを埋めるための国際連携の強化（技術提供、共同技術開発）、森林保全技術、緑化高速化技術の向上等も期待される。

2.6 各業種におけるありたい姿

- 建設業のありたい姿
- 農林水産業のありたい姿
- サービス業のありたい姿

2.6.1 概要

本章では、スマートプロダクションとして製造業、建設業、農林水産業、サービス業等の広義での産業分野を対象として、それらの様々な業種における労働環境の2050年のありたい姿を議論してきた。本章の作成に携わったワーキンググループメンバーの多くは製造業に関わっているが、ここまでの内容は製造業に限定される内容ではなく、建設業、農林水産業、サービス業等の多くに共通する内容となっている。そこで本節では、建設業、農林水産業と、サービス業（福祉・介護分野）に焦点を絞り、その分野に特化した各分野のありたい姿について考えてみるとともに、ここまで述べてきた内容との関連性を示す。

2.6.2 建設業のありたい姿

2050年の建設業では、従来の地上での建設作業に加えて、地下空間や海洋、更に宇宙での建設作業が盛況になると考えられる。建築構造物の設置場所拡大に伴い、ロボット技術が幅広く利用されるようになる。また、デジタルツインの活用が進み、建築構造物の計画・設計、施工、維持・管理、解体撤去に至るまでデータでシームレスに管理され、ライフサイクルコストの最適化が進んでいるであろう。

未来の建築構造物の計画・設計段階では、地域と連携した防災等のリスクマネジメントや各地域に普及している各種ロボットとの連携施策が盛り込まれ、建築構造物そのものが一種のロボットシステムになるように計画される。具体的には、停電等のライフライン遮断時のロボットと連携した供給網確保や、人流データに基づく空間利用の最適化等である。未来の建築構造物の施工段階では、建設機械の遠隔操作や自律動作が主流となる。遠隔操作においては、仮想現実（VR）や力触覚高速転送技術の発展に伴い、建設現場の臨場感を味わいながらロボットオペレータが建設機械を操作する。自律動作においては、日々刻々と変化する建設現場の状況をデジタルツイン上で可視化し分析することで、複数のロボットが停滞なく協調して様々なタスクを実施する。未来の建築構造物の維持・管理段階では、初期点検・日常定期点検・緊急点検において自律ロボットが活用されており、各種のロボット搭載センサで収集した情報はデジタルツイン上の建築構造物の状態に反映される。収集したデータに基づき、構造物の将来の状態が推定され、劣化の顕在化前の事前メンテナンスに加え、補修や補強等の対策が講じられる。建築構造物の状態がデータとして管理されるため、資産価値の維持に大きく貢献する。未来の建築構造物の解体撤去段階では、無人機械で作業を進めることで作業員の健康被害を抑制するとともに、産業廃棄物の流出防止や適切な分別が進められる。また、企業の枠を越えたデータ連携により建築構造物の部材の再利用も進められる。

次に、具体的な建築構造物の例について述べる。大深度地下施設は地球内部シミュレータと連動した無人化機械で掘削と壁面補強が進められる。地下空間はエネルギー生成施設

や産業廃棄物処理施設等として活用され、地下空間の点検作業では自律移動ロボットが活躍し、亀裂の早期発見と適切なリスク分析により、防災・減災対策が講じられるようになる。再生可能エネルギーとして洋上風力発電の設置が進み、風車ブレード点検では気象シミュレータと連動して検査用ドローンが運用されるようになる。検査用ドローンがブレード表面の落雷痕等を早期に発見することで、補修や補強等の対策を迅速に講じることができる。また、遠隔操作ロボットにより洋上風車内部の状態が把握され、ボルトの増し締めや機器入れ替え作業を人間の作業員に代わって実施できるようになる。これらにより、洋上風力発電量が高水準で維持される。さらに、月や火星において長期間滞在可能な施設の建設が進められる。遠隔操作に最適化された建設機械は従来の運転席等とはなくなり、建設用 3D プリンタと連動して、施工状況に応じて必要な部材を自律的に生産するようになる。宇宙空間での建設作業は、惑星シミュレータと連動することで重力や寒暖差等を考慮して進められる。このように、2050 年の建設業では、遠隔操作と自律動作が融合した建設機械がデジタルツイン上の高機能シミュレータと連動して作業を進めるようになっているであろう。また、複数ロボットの連携が進み、デジタルツイン上で他のロボットの経験が共有され、各ロボットのパラメータが適切に調整されることで、ロボットの操作性や自律性の機能向上が図られるようになる。

2.6.3 農林水産業のありたい姿

次に、農林水産業の 2050 年のありたい姿について考える。農林水産業の現場における現状の課題は、国土の問題から農地が一般に狭く、起伏が多いことや、作業時における寒暖や風雨といった天候の問題がある。また、これらの環境の問題も一因として、作業者の確保や継続が難しいといった課題も存在する。

そのような問題の解決策の 1 つは、遠隔操作ロボットの発展である。遠隔操作ロボットを用いて現地に行かなくても作業ができることで、場所を限定しない働き方が実現できるとともに、天候に左右されない室内環境での作業も可能となる。また、農業用ロボットによる効率化が実現し、複数箇所での作業ができるとともに、日本の国土に適した点在型大規模農場が実現できると考える。さらに、農業や林業においては飛び地に存在する環境で効率良く作業ができ、漁業においては複数の船を同時に扱うといったことも実現できるであろう。また、繁忙期と閑散期対策として、アルバイト、パート及び副業としての人員確保につながるマルチワーク化の実現や、ロボット操作の統一化により、繁忙期別での兼務が可能となる。さらには、遠隔操作ロボットを用いることを前提とすることで、障がい者や高齢者の農林水産業への参加も可能となり、多様性のある職場環境の構築が実現できる。

2.6.4 サービス業のありたい姿

最後に、サービス業の 1 つとして、福祉・介護分野の 2050 年のありたい姿を考える。介護ロボットを活用することで、被介護者がこれまで一人でできなかったことができるようになり、また、介護者も直接あるいは間接的にサポートされることで、その負担を軽減することが可能となる。一方で、部品のハンドリングや組立を行う工場内で使われる産業用ロボットとは異なり、介護ロボットがサポートする対象は人である。人は体格の違いや障

がいの有無、その程度により必要とする支援の仕方はそれぞれ異なる。また、できるだけ楽に生活できるようなサポートを期待する人もいれば、自分の残存能力を活かした支援を望む人もおり、受けた介護のあり方もそれぞれである。さらに、適切な介護を受けたことで生活の質が向上し、その人の社会参加のモチベーションが向上することがあるように、介護のあり方によって人の主観も日々変わるものである。このように、人の個別性は多種多様であり、それら全てに適応したサポートを提供することは、熟練の介護士であっても容易なことではない。

そこで、2050年に求められるAIロボットの機能として、主観的支援と物理的支援の観点から人の個別性に適応すること、また複数のAIロボットを運用する観点から人の個別性に適応することが挙げられる。

主観的支援とは、AIロボットがいることで「今までできなかったことができた」、AIロボットがいることで「他人の力を借りずに自分一人ですべてできた」、さらにはAIロボットの見守りにより「安心して挑戦しようと感じた」といったような、挑戦を後押しするAIロボットの実現である。そのためには、人に過大な支援を提供するのではなく、タスクの難易度を適度に調整し、その人が自分でできたと思わせる成功体験を蓄積させる支援が求められる。物理的支援による個別性の適応とは、体格の異なる人を支援するためにロボットのサイズ調整や、障がいの程度に応じて支援力を変化させる制御パラメータ調整等を自動的に行うことが求められ、また、上記の主観的支援によって導かれた難易度となるように適切に支援形態を変化させることも求められる。これはソフト的な変化だけでなくハード的な変化も必要となるため、ソフトロボティクス等に代表される柔らかいロボットでありつつも、人を適切に支援する剛性やしなやかさも有する新しいロボットハードウェアが求められる。最後に、AIロボットの運用の観点から人の個別性に適応するためには、複数台のAIロボットを適切に協調させ、効率的に用いることが必要となる。例えば、介護施設等に設置された多数・多機種のAIロボット群の中から、どのAIロボットが、いつ、どこで、誰の、何を、どのように支援するかを自動決定するシミュレーション技術（デジタルツイン技術）の構築が求められる。そのためには、人が今何を行っていて、どのようなことを期待しているのかといった人の心理や行動を推定するためのセンシング技術と、それを活かしたライフログシステムの構築が期待される。

第3章 スマートコミュニティ

～持続可能な社会に資するコミュニティ日常の姿～

3.1 2050年のスマートコミュニティ（平時）のありたい姿

3.1.1 人の生活を支援するロボティクス技術のありたい姿と道筋

(1) 介護・育児・教育等の専門的なサービスをAIロボットで実現する

1) 介護

①ありたい姿

地域包括ケアシステムの構築により、これまで自立して生活してきた個人が、第三者や機器の助けを借りながら尊厳を失わず住み慣れた地域で生活することが求められる。このような当事者（以下、要介護者）のウェルビーイングに関する視点の一方で、心身の負担や自己実現の機会という観点からの、支え手側（専門職及び家族等。以下、介護者）のウェルビーイングの実現についても配慮が必要である。心身状態の長期的な観測（センシング）による変化への気づきと支援を行うシステム、及び、サービスとして利用しやすい形で選択可能な介護支援ロボットシステムの実現が求められる。

②現状

要介護者のウェルビーイングの実現と、介護者のウェルビーイングの実現という2つの観点が存在する。介護ロボットは単一作業への対応が中心であり、あらゆる作業を1台が行う・柔軟な対応を行うといったことが現状ではできないため、要介護者にとっては支援の幅が広がらない。また、介護行為によって本来人が生活や仕事の場で行うべき・行いたい活動が個人の心身機能（あるいはその状態）及び時間によって制限されるといふ介護者の課題に対して、介護ロボットを導入しようとしても単一作業への対応が中心で、特定環境での利用に限定されるがために、機能を使うための前後の作業は人が行うこととなり、介護者側の負担が増加する上、操作を行うための知識・スキルが必要である。介護者・要介護者のニーズとの間にギャップがある点にも課題がある。

③実現するための技術的方策

場所を選ばず、より生活に密着した支援を行うため、環境や各個人の状態・要求に合わせ、適切な支援を提供する適応自在なAIロボットの実現が望まれる。そのためには、環境・状況認識技術の向上や長期観測とデータの共有による個人最適化、介護ロボット間あるいは介護ロボットと人の協働による多様で動的な環境・作業への対応、要介護者本人が使用できるような使いやすさ（ユーザビリティ・UI・UX）向上が課題となる。

④実現するための社会的方策

ロボットの普及のためには、AIロボット導入のビジョンの共有により、便利さに依存せずにロボットとの関係性を前向きに構築する社会のためのサービス創成及びサービス受容が必要である。導入助成金やインセンティブ等、行政制度の充実を図るとともに、

利用者のニーズに合うロボットを提供するロボットサービスオーガナイザの導入が望まれる。サービスには、ロボットの貸し出し、利用者の管理が含まれ、メーカーや自治体による導入サポート、家財損壊や怪我への補償、ロボット保険の整備等が求められる。また、リスク（プライバシーデータ共有・セキュリティ）とベネフィット（生活に関わる支援・活動範囲の拡大）に関する社会的合意の醸成を図りつつ、過度なリスクに対してはプライバシー情報を含むライフログデータの取り扱い規定の制定が必要である。

2) 育児

①ありたい姿

育児の分野におけるありたい姿は、技術で家庭をオープンにし、つながり合える社会での共同子育てが実現した世界である。ここで重要なのは、人がやりたいことと技術ですることとのバランスを選択でき、それらのバランスが取れていることである。そして自分自身でなくてもよいことは安心して任せられる状態である。その前提が担保された上で、ロボットやAI技術を通じた育児の専門的なサービスの家庭への導入によって、心身の健康維持や、良いワークライフバランスと社会参画、自己効力感の向上、安全・安心な家庭育児環境の実現といった、養育者、子どもや育児支援者の身体・精神・社会的なウェルビーイングがもたらされる。

②現状

核家族や一人親、頼れる人が身近にいないといった、閉鎖的な育児環境にある家庭が存在し、養育者や家庭への育児の負担や責任に偏りがある。少子高齢社会・地域のつながりの希薄化により、育児をするまでの子どもに接する経験や、育児知識の伝承が不足しがちであり、インターネット上には様々な情報が溢れかえり、育児情報迷子に陥りやすい。また、育児の課題や対策が論じられる際に、いずれかのステークホルダー（子、養育者、支援者）単体の視点になりがちで、ステークホルダー全体のウェルビーイングが十分に検討されていない。特に言葉での意見表明が十分でない子ども視点での評価軸や評価技術、設計指針は不足している。さらに、人志向の強い分野であり、育児に限ったことではないが、“～すべき”、“育児とは～である”と言った固定観念が新技術の普及の妨げに比較的強く影響する。一方で、育児には正解がないと言われるように価値観の多様性が尊重されるべきである。

③実現するための技術的方策

家庭をオープンにし、人々がつながり合える社会を実現するためには、AI技術、ロボット、ネットワーク等のテクノロジーの活用が不可欠である。これらの技術は、各家庭の方針に応じた多様な介入デザインが提供され、個々の価値観を尊重しながら支援に活用されることが望まれる。

具体的には、人がやりたいことを補完し、必要に応じて技術で代替することで、ユーザは自身の価値観に基づき、テクノロジーのベネフィット（利益）とリスクを理解しながら選択できるようにする必要がある。提供側は、これらのベネフィットとリスクに関

する情報を分かりやすく提示し、ユーザが適切に判断できるよう支援することが重要である。

例えば、遠隔対話ロボットを介したサポートでは、遠隔サポーターによる見守り、育児ノウハウの提供、遠隔保育などの支援が期待され、AI ロボットとの作業分担では、見守り、お留守番支援、寝かしつけ支援などの家庭内支援により家庭内の負担を軽減する。

これらのサービスには、家庭内でのプライバシー保護とセキュリティ対策が求められる。また、子どもの安全を確保するため、例えば2歳児の予測しにくい行動を考慮した設計も必要となる。さらに、ステークホルダー全体を対象に、心身負担や発達への影響を評価する手法の確立も求められる。

④実現するための社会的方策

実現するための社会的方策は、介護、育児、教育に共通である。まず、ユーザそれぞれが求める最適なロボットサービスをユーザ自身が選ぶことは難しく、ニーズに合うロボットをサービスとして提供するロボットサービスオーガナイザの導入が必要であろう。同時に、ユーザリテラシーの向上、意識改革、AI ロボット導入のビジョンの共有を徐々に図っていくことが重要であり、そのための施策がロボットのメーカ側、サービス提供者側、行政（教育）に求められる。また、新サービスにはベネフィットもあればリスクも必ずあり、リスク（プライバシーデータ共有・セキュリティ）とベネフィット（生活に関わる支援）に関するユーザへの情報提供及び社会的合意形成も不可欠である。さらに、ロボットサービスは比較的初期コストのかかるものであり、普及の初期フェーズでは経済的余裕のあるユーザにターゲットを絞るとして、その後の社会全体への普及を考えれば導入のための助成金やインセンティブ等、行政制度の充実が必須である。

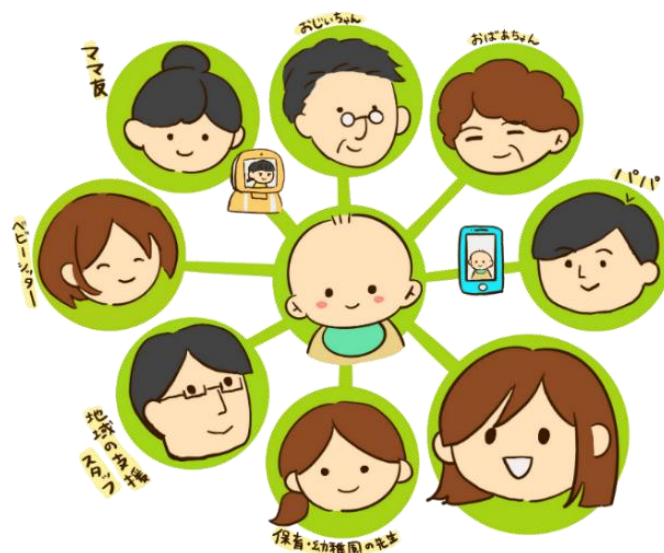


図 3-1 技術で家庭をオープンにしたつながり合える社会で共同子育て

3) 教育

① ありたい姿

教育におけるありたい姿は、学校教育・社会教育においては、AI・ロボット・ネットワーク技術による足場掛けによって、いつでも、誰でも、どこでも、受けたい教育・学習・習い事が受けられる社会である。家庭教育においては、家庭の自主性を尊重しつつ、養育者のみに負担が偏り過ぎず、社会で家庭教育を支える必要がある。教育基本法によれば、「国及び地方公共団体は、家庭教育の自主性を尊重しつつ、保護者に対する学習の機会及び情報の提供その他の家庭教育を支援するために必要な施策を講ずるよう努めなければならない。」とあり、保護者もしくは保護者とその子どももまた、技術による足場掛けによって、ユビキタスに家庭教育や育児に関わる学習の機会を享受する。

② 現状

家庭環境による経験格差があり、それに由来する子どもの関心格差がある。また、経済的な豊かさや、養育者の承認・ITリテラシーの高さが求められる等、特定の子ども、環境での利用に限定されている。

③ 実現するための技術的方策

VRを活用した体験・学習や、遠隔地からアバターロボットを利用した登校や活動への参加、AI技術による個々に適した学習支援を実現し、家庭や個人に合わせたロボットやAI技術による介入デザインを行う。また、家庭内におけるサービスとなるため、プライバシー保護やセキュリティ対策は重要である。加えて、子どもに対する安全性を考慮した設計が求められる。

④ 実現するための社会的方策

実現するための社会的方策は、介護、育児、教育に共通である。まず、ユーザそれぞれが求める最適なロボットサービスをユーザ自身が選ぶことは難しく、ニーズに合うロボットをサービスとして提供するロボットサービスオーガナイザの導入が必要であろう。同時に、ユーザリテラシーの向上、意識改革、AIロボット導入のビジョンの共有を徐々に図っていくことが重要であり、そのための施策がロボットのメーカー側、サービス提供者側、行政（教育）に求められる。また、新サービスにはベネフィットもあればリスクも必ずあり、リスク（プライバシーデータ共有・セキュリティ）とベネフィット（生活に関わる支援）に関するユーザへの情報提供及び社会的合意形成も不可欠である。さらに、ロボットサービスは比較的初期コストのかかるものであり、普及の初期フェーズでは経済的余裕のあるユーザにターゲットを絞るとして、その後の社会全体への普及を考えれば導入のための助成金やインセンティブ等、行政制度の充実が必須である。

また、子どもの意見表明のエンパワーメントも推進されたい（子どもが受ける教育の選定を親だけが決めるのではなく、子どもの意思表示も尊重されるよう、家族支援から子ども主体の子ども支援へ）。

(2) 家事や清掃等の家庭における機能を AI ロボットで代行する

1) ありたい姿

家庭の家事支援におけるありたい姿は、AI ロボットで効果的、効率的に日々の家事作業を支援することにより、人が本当にやりたいことや、人にしかできないことに取り組めるよう活用するという、自己実現のきっかけとしての姿である。そのために、ロボットリテラシーが高くなくとも誰でも使えるユニバーサルデザインが実現されている。また、自分自身でやりたいことと技術ですることとのバランスを個人の要望に合わせて選択できる。そして、個々の利益だけでなく、持続可能性の視点において重要な、地球環境への負荷の軽減と両立した家事が実現されている社会である。

2) 現状

家事や家庭における役割を担う場合、それにかかる拘束時間や身体的・精神的負荷により、自己実現に向けた取組みや、本来人が生活や仕事の場で行うべき・行いたい活動が制限される。また、現存する家事支援のシステムは、単一機能の機器が中心であり、機能を使うための前後の作業は人が行う。さらに、経済的な豊かさ、IT リテラシーの高さが求められる等、特定環境での利用に限定されている。

3) 実現するための技術的方策

環境や個人の状態、要求に合わせ、適切な支援を提供する適応自在な AI ロボットを実現する。具体的な活用場面は、炊事（献立作成、調理の下準備、配膳、後片付け）、掃除、衣類の洗濯、整理、日用品の買い物、全家電を動作させるための庶務等である。住居設備環境のロボット化といった、ロボットと言われなくなるほど身近な、全自動等のロボット技術を確立する。また、環境負荷の軽減と両立した AI ロボットによる家事を実現する。そして、ユーザリテラシーの向上と並行して、使いやすさ（ユーザビリティ・UI・UX）を向上していく。それは、すなわち、高齢者、子ども、障がい者、誰でも使えることであり、人が使いこなせるようになるためのロボットからの情報開示が鍵となる。

4) 実現するための社会的方策

普及に向けた社会的方策としては、ユーザリテラシーの向上、意識改革、AI ロボット導入のビジョンの共有が欠かせない。また、現状ロボット保険が徐々に開発されつつあるが、存在を感じさせないロボット等、多種多様なロボットやサービスの登場に合わせて、引き続きロボット保険の整備が必要である（家財補償、怪我への補償等）。さらに、前述の介護・育児・教育と同様、社会全体への普及に向けては、経済的豊かさが導入の条件にならぬよう、導入のための助成金やインセンティブ等の行政制度の充実が必要である。特に、本サービスが最も必要であろう人（介護や看護に追われていて、情報の入手が困難な人等）にもいかに届けるかを模索し、適した行政支援を確立していくべきである。また、長期的な共存を見据えたとき、便利さに依存しすぎないロボットとの関係性を探っていく必要がある。



図 3-2 家事や清掃等の家庭における機能の AI ロボットによる代行

出所：© Can Stock Photo Inc./[artinspiring]

(3) 身体的・時間的制約を超えた活動を AI ロボットで可能とする

1) ありがたい姿

誰しもが身体的・時間的制約によって制限されることなく活動することを可能にする。アバターロボット等を用いた遠隔地からの活動やサービスの享受、サービスの提供を行う。また、個人の身体能力を超えた体験をロボットが代替して実行することや個人をサポートすることによって実現する。遠隔地での活動を行うことにより、移動時間という時間的制約に縛られることなく、活動を可能とする。



図 3-3 身体的制約を受けずに行う活動

2) 現状

身体的な制限とは、個人の心身機能、あるいはその状態が実施可能な活動の制約となってしまうことである。例えば、サイクリングや登山といったアクティビティを行いたいが、体の節々が痛む。接客業を行いたいが、身体的障がいにより店頭に出ることが難しい等が考えられる。また、危険を伴うアクティビティにチャレンジしにくいことも制限として考えられる。

また、時間的制約とは活動そのものの時間だけでなく、活動をするにあたっての移動時間等、本質でない時間が必要となるために十分な時間を確保できないことである。例えば、旅行に行きたいが、移動時間も含めた数日間を確保できない等が考えられる。

3) 実現するための技術的方策

身体的制約を補うためのサポートロボット（アシストスーツ）の活用や、アバターロボット、身体拡張ロボットをあたかも自分自身の体のように操作でき、五感を通じて体験を可能にする。また、アバターロボットも他人から個人として認知されるように、個性が反映できる。

生活の様々な場面をシームレスに行動できるように仮想現実（VR）空間やアバターロボットをプラットフォーム化する。また、このプラットフォームから行動履歴を蓄積し、仮想現実（VR）空間のアバターや、アバターロボットの個別最適化を行うことで、より一層活動の幅を広げる。

4) 実現するための社会的方策

各社がプラットフォームを利用して、サービス提供を実施するにあたって、行動履歴等、プライバシー情報を含むライフログデータの取扱い規定の制定が必要となる。プライバシーデータ共有、セキュリティといったリスクと、得られるベネフィットに関するサービス提供者と利用者間のコンセンサスの醸成を行う。また、誰しものが利用できるように、ロボットの貸し出し、利用者の管理、導入サポートの充実化をロボットメーカーだけでなく、自治体等とも連携を行う。

3.1.2 デジタルツイン活用スマートコミュニティのありたい姿と道筋

(1) 人と環境の活動状態の長期観測による変化への気づきと支援

1) ありたい姿

人と人を取り巻く環境の長期観測によるデータの蓄積に基づく変化への気づきによる日常生活への AI ロボットの活用が期待される。人の活動は環境との相互作用で創出されるものであることから、人の心身の健康状態を観測、理解し、個人に最適化した適切な働きかけを行うためには人の心身状態の観測のみならず、人が活動する環境の観測を行い、その双方を関連づけてデータを構造化した上で蓄積し、その変化に基づき適切な働きかけを行えることが望まれる。人の活動を人の移動の観点から観測すれば、様々な規模での人流、交通を観測することにつながる。効果的なエネルギー活用の観点からも交通の最適化が期待される。

2) 現状

現在の人の活動観測（ライフログ）への多くのアプローチはスマートウォッチのようなウェアラブルデバイスを用いるものが挙げられる。身に着ける必要があることから測定可能な信号が限定され、環境データを同時に観測することは難しい。獲得されたライフログを可視化することはできたとしても、そのデータから状態を推定ないしは、状態を予測することは困難である。したがって、データに基づいて適切な働きかけを行うことも難しい。人の心身状態の理解のためには人の活動を環境との相互作用として捉える必要があるものの、ライフログと環境データとの紐づけは行われていない。

ライフログの長期観測や、環境データとの紐付け、ログに基づく個別最適化への応用のためにはライフログの集団データの蓄積と活用が期待されるが、現状ではライフログ

データの組織的な管理・共有に関する合意や規制が十分でないため、スマートコミュニティとして横断的に観測データを活用することが困難である。

3) 実現するための技術的方策

人の心身状態を推定できるよう必要な種類の信号を環境と同時に観測できる非接触なセンシング手法の構築が期待される。長期観測を行い、集団データとして活用することを見据えた観測データの記述と同期技術が求められる。観測データに基づく健康状態の推定、予測、改善提案手法の構築が必要である。さらに、観測データの暗号化等、高セキュリティなデータ保護、共有技術の確立が求められる。

4) 実現するための社会的方策

技術的な安全性に基づき、プライバシー情報を含むライフログデータの取扱いの規定を制定し、適切に利用可能とすることが望まれる。このとき、個人情報の共有と活用におけるリスクと、活用の結果として得られるベネフィット（状態の把握、改善案の提案等）を適切に把握した上で、個人情報の活用における合意形成がなされることが期待される。

(2) 高信頼・高効率なスマート交通・物流システム

1) 交通

①ありたい姿

2050年のありたい姿は、交通でのプライベート空間を確保、待ち時間ゼロ、バリアフリーな移動により、移動時間をより効率的に活用できる。また、人流や災害に対して高いロバスト性を持った、人の労力に依存しない信頼における交通網が整備されており、ウェルビーイングを確保できることである。さらに、環境負荷の低いモビリティを生産開発することにより、製品への社会的な信頼性も高まっている。また、これらの交通手段は、デジタルツインを活用させることで、誰でも利用しやすい柔軟性と、効率性とを併せ持つシステムとなっている。



図 3-4 デジタルツインによる高信頼・高効率な交通・物流システム

出所：Smart city conceptual、scene of people in urban area lifestyle
with icon of technology：vasin leenanuruxsa / stock.foto

②現状

地球環境に負荷をかけるエネルギー源の使用や、人の流通の増加が課題である。新幹線や鉄道、バスといった公共交通機関では、プライベート空間の確保が難しく、移動時間の活用方法が限られる。また、時刻表に応じた運行で、人の行動に待ち時間が生じている。

また、国土交通省の「数字で見る自動車 2021、自動車の台数、自動車普及状況」によると、日本において一世帯当たりの自家用乗用車の保有台数は 1.04 台となっており、多くの人が日常的に自動車をプライベートな移動空間として使用している。しかし、プライベート空間として活用している一方で、通勤時間帯や長期連休では渋滞混雑という課題が発生している。

③実現するための技術的方策

VR 機器等により、公共交通機関のようなリアル空間が狭くても、仮想的にくつろげる空間を構成し、余暇を楽しむことや、仕事をする公司等、移動時間の有効活用につなぐことができる。また、自動車での個人移動では自動運転技術の向上に伴う自動運転車共有サービスの社会への定着を図るとともに、サービスにおいても車両の手配と効率的な活用を目指す。これによりロバスト性の高い交通網を実現するとともに、CO₂ 排出量の少ない、環境配慮型モビリティを使用することで、インフラとしても製品としても信頼性を高める。交通の長期観測に基づき各自動車の管理・制御を行い、最適化への応用を行う。

④実現するための社会的方策

社会全体で自動運転車を保有することで、個人で自動車を保有していなくとも、誰もが自動運転技術の恩恵を得ることができる。また、個人で自動運転車を保有している場合も、仕事中等使用していない時間帯にシェアをできるようにすることで、資源を有効活用する。この場合、貸し手の損失が発生しないようなルール of の制定が必要となる。

2) 施設内物流

①ありたい姿

倉庫では豊富な品物から目的の品物を、効率良く、正確に、速く運ぶ必要がある。そのためには人力よりもロボット、AI 等を利用した自動化が望まれている。

②現状

インターネット通信販売の拡大で B to C (Business to Customer ; 企業と一般消費者の取引) 形態の取引が増加し、物流市場の拡大が起きている。B to C の物流では多くの荷物をまとめて 1 か所に送るのではなく、1 つ 1 つの荷物を 1 人 1 人の顧客に届ける必要がある。

③実現するための技術的方策

家庭・仕事単位でのロボットを活用したスマートロジスティクスの導入による効率化を見込む。ロボットを活用した運搬準備、AI による事前予測に基づいた人に依存しないシステムによる搬送準備の効率化、ラストワンマイルの課題に対するドローンの活用等が考えられる。

- ・商品のピッキング

倉庫内の運搬を自動化する場合、棚に置いてある様々な商品から、目的の品物を認識して適切につかむシーンが出てくる。そのためには視覚センサ、触覚センサ等物を認識する技術、狙ったように指を動かす繊細なアクチュエータが必要である。

- ・AI を使った効率化

倉庫が大規模になると商品の置場も効率が求められるが、数万規模の商品置場を人が考えるのは限界がある。そこで AI が自動で商品の大きさ、重さ、出入個の頻度によって、適切な置場を考える技術が求められる。

- ・無人自動運転機能

自動運転は倉庫内から、出荷後の一般道の運送まで用途は広いが、シーンによって求められる技術に差が出てくる。倉庫内であれば直線的なレイアウトで背景パターンも限られてくる。また倉庫内では専用の認識機構を置くこともでき、精度向上が見込める。野外の場合は様々な風景があり、一般の人、自動車、設備を認識して適切に運転するには、より高難度の認識技術が求められる。

- ・ドローンを使った運搬

ドローンを使えば山間部への宅配や、渋滞のないスムーズで迅速な配達が可能になる。三次元空間で自機や目的地を認識する技術、風や雨等の外乱から防御する技術等が求められる。

④実現するための社会的方策

ドローン、自動運転等の新しい技術に対しては法整備が不可欠である。無人運転であれば、機械の安全を保障する認証制度や万が一、人同士が接触した場合の法律、保障制度が考えられる。ドローンの場合は航空機等との共存、私有地への侵入、機械が落下した場合の措置が考えられる。

3) 社会インフラとしての物流

①ありたい姿

小売店に行かなくても、欲しいものはネットショッピング等を活用し配達サービスで入手することは今日でも一般的になってきているが、2050 年には欲しいモノを“欲しい時”に入手できることが当たり前の社会となる。また、物流がマンパワーに依存せず実現している。これは個人に限らず、店頭販売を行う小売店においても同様である。

②現状

配達サービスを利用しても、モノを実際に入手するまでに数日のタイムラグが生じて

いる。また、配送拠点の移動では、昼夜問わず配送トラックによる搬送、エンドユーザに届けるラストワンマイル（最終拠点からエンドユーザへの物流サービス区間）での配送では、受け取り手の不在による再配達問題が発生している。出荷後の物流はマンパワーに依存しており、物量が増加し続けていく物流に対して、労働人口の減少や労働環境が問題となっている。

③実現するための技術的方策

家庭単位・仕事単位のロジスティクスも多くあり、家庭・仕事単位でのロボットを活用したスマートロジスティクスの導入により効率化が見込める。搬送準備においては、デパレタイザーや自動倉庫システム等を用いて、人に依存しないシステムで構成されている。また、デジタルツインを活用し、パーソナライズされた情報からAIにより“欲しい時”の事前予測を行う。これらのシステムによる非稼働時間の活用や予測に基づいた搬送準備を行うことで、リードタイムの短縮を行う。また、拠点間の移動では自動運転車の利用だけでなく、荷役もロボットによって自動化を実現する。エンドユーザに短時間で確実に搬送する方策として、ドローンや自律移動ロボットを活用した自動化されたラストワンマイル搬送を行う。また、3Dプリンタのような付加製造（AM）技術の活用や、地方の中小規模の工場の活用による工業製品の地産地消により、そもそもの物流の距離を縮め、物流の負荷を減らす。

④実現するための社会的方策

車道以外の物流に特化した移動網の確保が必要となる。これは搬送トラックに限らず、ラストワンマイルの自動化を行うための移動体に対する法整備、社会実装が必要となる。例えば、自律移動ロボット等の移動体が車道や歩道を走行するための法整備、社会実装、ドローンの場合は空中飛行に対する制約の撤廃や、地下を活用する場合は、地下網の整備が挙げられる。



図 3-5 高信頼・高効率なスマート交通・物流システム

(3) 高信頼・公平・公正なスマート公共・行政サービスシステム

①ありたい姿

行政サービスには、警察・消防、防衛、義務教育、道路管理、水道・ごみ処理、社会保障制度、事業推進、公共施設運営、選挙管理、納税・相続、免許・資格管理、また、それらにかかる庁舎手続きがある。一般市民の私たちは公共施設や役所、警察署にコミ

ユニティ参加や住民手続き、免許更新等でお世話になることが多々ある。

知識がなくても誰でも公平に簡単に公共・行政サービスを利用できることが期待される。事務作業の自動化、窓口の無人化によるヒューマンファクターによるエラーの除去や、人手不足を補い、サービスの質向上に向けた業務支援が求められる。公務員における窓口・監視業務を削減し、正しく受益される社会でありたいと考える。また1つの窓口で全ての申請を受付できることや、感覚的に申請できるシンプルな利用方法を求めている。

②現状

数十年前と比べて、生活の選択肢が格段に増え、格差が生まれるようになった。現在は生活を自由に決められる代わりに、その責任、費用が負担になっている。こうした格差を埋めるような新たな行政支援も増えてきており、支援条件や内容もめまぐるしく変化している。この変化をどれだけの人が理解し、スムーズに対応しているのだろうか。申請する側はもちろん申請を受ける側も対応しなければならない。そもそも今の自分にどのような申請・申告が必要なのか、どのような申告をしてきたのか等把握していない人も少なくない。各種制度や施設等の利用申請は、ここ数年で、市役所・警察署・公共施設等の庁舎窓口申請のほかに、各種申請サイト、予約サイトの運用が始まり、電子申請も増えつつある。

パソコン・インターネットの活用で電子入力での書類作成、電子申請によって待ち時間等の問題は少しずつ解消されつつあるが、いつでもどこでも申請可能で庁舎まで出向く必要は少なくなったものの、書類の用意が必要なことに変わりはなく、書類不備によるやり直しがあることや、役人による書類精査等も、従来の窓口とあまり大きな変化はない。

必要書類が各自治体によって異なることや、電子サイトが複数あること等、利用者にとっては複雑化しているとも言える。免許更新の講習もオンライン化が進んできているが、警察署等で必要な手続きもあり、受付をするまでも混雑している。利用者数に対して受付対応が間に合っていない状況である。これらはどれも、かなり調べて得た情報であり、何をどう調べれば良いのか分からない人にとっては難しく、うまくやれる人に向けた方法になっていると感じる。また申請を審査するのも人であり、マニュアルがあるとはいえ、ヒューマンファクターによるエラーや、選挙等においても人手不足によるミスが相次いでいる

特に補助金制度は申請に対して給付される仕組みになっており、正しく交付できず、不正受給が横行しているのが現状だ。

また、交通の取り締まりに関しても、うまく逃れている人、届出をしない人、全ての人が公平とは言えない状況である。

③実現するための技術的方策

庁舎では、IT教育を受けていない人に向けて、窓口対応をする汎用的なロボットを一時的に設置し、1つの窓口ですべての申請が行える、どのような書類にも対応できる受

付ロボットを用い、事務作業の無人化を進めることで業務の削減になる。

ロボットの利用に加えて、個人の情報のみに左右された、利用可能なサービスを自動もしくは選択して使用できるようなシステムは申請・審査されなければ利用できない状況からの脱出を可能にする。これには個人のデータに基づく公平な支援基準を策定する必要がある。この個人情報も各機関から自動で登録される行動履歴等をリアルタイムにデジタルツインとして蓄積することで得られるようにする。そのため、より電子情報が重要になり、高精度な個人認証技術や、高セキュリティ技術を必要とする。

自動車は、自動運転に近い技術が搭載され、違反にならないような工夫がされている。その中で取り締まりに人手を割くのは効率的にも良くない。違反を感知して自動で罰金を徴収するシステム、自動で届出されるシステムの搭載も考えられる。警察官の見回り等もロボットに置き換えることで、ヒューマンファクターを取り除き公平な受益につながる。

④実現するための社会的方策

庁舎自動化に係る技術を活用するにあたって、制度や管理体制を見直す必要がある。個人データに基づく支援のしきい値等の策定を新たに考えなければならない。不正受給等の刑罰があることで、それを監視しなければならない状況は変わらず、人手不足・ヒューマンエラー等の解消にはつながらない。税金をたくさん徴収し、全てに一律配布するような、サービス・支援の対象を制限しない、より単純な補助金制度にすることが手間を省くことにつながるであろう。

また、リスク（プライバシーデータ共有・セキュリティ）とベネフィット（公共・行政サービスの公平、公正な利用）に関するコンセンサス醸成が課題であるとともに、サービス・支援の対象を制限せず、「合理的配慮を人権保護であると認識」し、「人々の多様性を認め、個々人の違いを活かし、より良い成果をあげるダイバーシティ&インクルーシブネスが当たり前」である価値観の普及も必須となる。



図 3-6 高信頼・公平・公正なスマート公共・行政サービスシステム

3.1.3 人・AI・ロボット同士の関係性のありたい姿と道筋

(1) AI 技術・ロボット技術の導入ハードルを下げる

1) ありたい姿

AI やロボットに対する知識がなくてもそれらの技術をソリューションとしてユーザが活用できることが望ましい。例えば、スマートフォンのように誰でもすぐに使い始められること、ユーザのやりたいことがロボットに伝わり、ロボットの動作状況がユーザにとって解釈可能であることが必要である。また、個々人のユーザの目的に合わせて柔軟に AI・ロボットシステムを構成できることが AI 技術・ロボット技術の導入ハードルを下げることに繋がると期待される。

2) 現状

ロボットのヒューマンインタフェースは専門家向けである場合が多く、ロボットを利用するためには専門的な知識やスキルが必要である。専門家が使用することを前提としているため、ロボットへの指示（コマンド）が一意に与えられることが前提となっている。そのため、ユーザが適切にコマンドを与えられないとロボットを適切に使用することができない。ロボット、AI を使用する機会が日常生活の中にほとんどないため、ロボットに対する知識が得られないだけでなく心的敷居を下げるのが難しい。

3) 実現するための技術的方策

個々人が既に有している知識をロボットの利用に適用できることが望ましい。物理的、文化的、意味的整合性の高い直感的なユーザインタフェースや、人の社会性を規範にした AI アシスタントを構築し、対話による問題解決を可能とすることが期待される。

4) 実現するための社会的方策

問題が生じた際にいつでも相談できるサポート体制の構築が期待される。さらに、地域差、年齢差なく、様々な人々がロボットに関する知識を経験的に得て、ロボットに対する心的敷居が下がるようなロボットに接する機会を増やすことが考えられる。

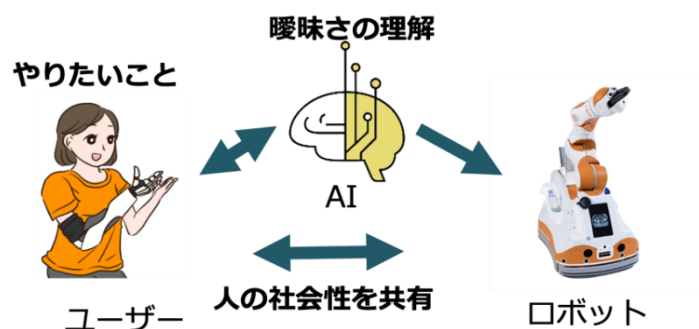


図 3-7 AI・ロボットのソーシャルスキルとヒューマンインタフェース

(2) AI ロボット・VR アバター・人で構成される開かれたコミュニティ

1) ありたい姿

安全・安心、安定安泰な生活を送れる社会でありたいと考える。そのためには、あらゆる人が気軽に参加でき、自分らしさが発揮できる対面でのコミュニティの団結が必要になる。

ありたい姿は、人と人、人とコミュニティをつなぐロボット技術が実現され、誰でも、どこからでも、いつでもコミュニティに参加できる、ダイバーシティ&インクルーシブネスに富んだ社会である。身体拡張で苦手を補うことによる自由なコミュニティ参画、様々な制約によらない同輩との臨場感ある交流、高齢者からの伝承を含んだ世代間交流、国境を越えた異文化交流といった、種々のコミュニケーションが生まれる開かれたコミュニティが実現する。そこでは、AI ロボット・アバター・VR アバターを通じて個人の人格を反映でき、身体拡張や選択の自由が受容され、個人の尊厳が尊重される。さらに、人・ロボット・AI の適切な役割分担がなされた社会である。

2) 現状

地域、年代、職業、身体的・精神的障がいの有無、家庭環境等により、社会との交流や教育の機会、就労等の制限が生じており、地域、言語、文化、年齢、経済等の様々な要因で孤立し、社会との溝ができることにもつながる。また、AI ロボットに役割を奪われる不安感や、家庭や個人の活動に AI ロボットを導入する際の倫理観について個人と社会との間にギャップが存在している。倫理的課題そのものの理解・合意形成に至っていないため、AI ロボットの使用における倫理的判断を困難にしている可能性がある。

現代の“コミュニティ”を大別すると、ここ数年で発展したインターネット上で完結するオンラインゲームやオンラインサロン等趣味嗜好の集まりである“オンラインコミュニティ”と、従来の地域によって構成される生活の質を高めようとする関係“地域コミュニティ”に分類できる。2つのコミュニティの主だった特徴として、SNSを中心としたオンラインコミュニティは「浅く・広く」、地域コミュニティは「狭く、深く」と考えられ、これは、コミュニティの発生背景や直接顔を合わせるか等の交流形態に起因する。現在はそれぞれの特性をうまく利用した、コミュニティ生成の社会が出来上がっている。しかし、インターネットの誕生で気軽に参加できるオンラインコミュニティが盛り上がりを見せる一方、ハードルを感じる地域コミュニティは急速に減少しており、コロナ禍が更にそれを加速させている。この状況は、コミュニティ同士の分断を引き起こし、不安定な社会であると考ええる。個人同士だけでなく、個人や組織を通して集団同士が関わってうまく機能しているにもかかわらず、オンラインを基盤とするコミュニティと、地域を基盤とするコミュニティが交わることが難しいからである。その結果、意見があるにもかかわらず、ルールの改定等が進まないことにもつながっている。

3) 実現するための技術的方策

気軽に地域コミュニティに参加するためのアバターロボットや、仮想と現実の空間や、仮想コミュニティと対面コミュニティをつなぐロボットが必要である。個人の人格を反映したアバターロボットを用いて、あるいはパワーアシストスーツ、言語翻訳、感情翻訳グラス等、適切な技術を活用して、学校、地域活動、国際交流等の社会活動に誰もが参加できる。また反対に、仮想空間特有のファンタジー要素のあるコミュニティはロボットを使用する現実空間のコミュニティへと広げる。ロボットのキャラクターのカスタマイズ、育成等によって、オリジナルなロボットにできることも、自分らしさを発揮す

るポイントとなる。これらのアバターやロボットで誰もがコミュニティ参加するためには、人、アバターロボット、VRアバターがコミュニティを形成できるインタラクティブ性の確立が重要である。また、つなぐことができるだけでなく、いつでも切り離すこともできる仕組みを考えることが必要であり、ロボット・アバターの乗っ取りからユーザを守る信頼できるセキュアなロボット技術も必須となる。

4) 実現するための社会的方策

AI ロボット、アバターロボット、身体拡張技術導入のサポート体制の構築と強化が必要である。また、学校教育を通じてロボットに対する理解が深い人材を増やすことや、ロボットいじめ等の新たな倫理的課題の理解、合意形成、教育も求められる。また大きな課題として、ダイバーシティ&インクルーシブネスな環境の推進やその価値観の普及に関して、日本は世界基準から大きく遅れをとっていることが挙げられる。視力の悪い人が眼鏡をかけるように、個人の苦手特性を支援する身体拡張は当たり前といった合理的配慮に対する価値観や、各子どもの特性に合わせた学習スタイルの選択が当たり前の権利であるという考え、それらが社会全体の利益となる認識、それらダイバーシティ&インクルーシブネスの価値観の普及は、国や行政に求められる重要な社会的方策である。

このアバターロボットはどこが所有するか、個人なのかコミュニティなのか等の取り決めも必要になる。また、「地域」という観点では、働いている世代はなかなか地域の人々との交流が難しい。ロボットの活用と併せて、働く人たちが地域と関わるための日等を制定することも挙げられる。

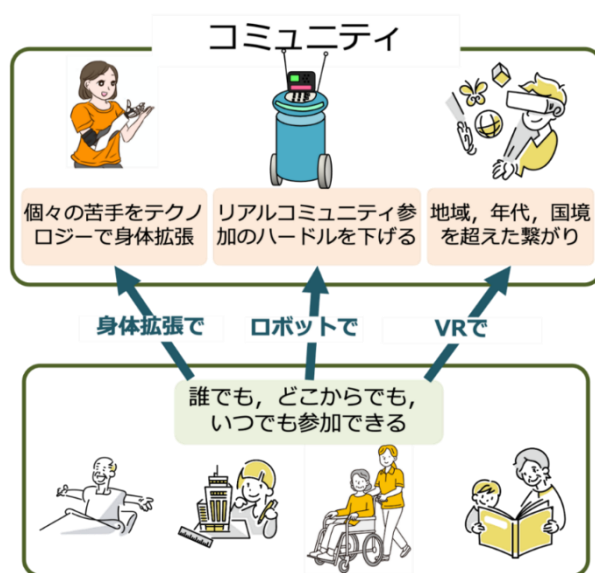


図 3-8 人と人、人とコミュニティをつなぐロボット技術

(3) ニーズに応じたロボットサービスの提案と運用

1) ありたい姿

目的、解決したい問題に応じて適切に利用可能なロボット技術について知識のないユーザでも知ることができ、スムーズに利用可能になることが望ましい。また、必要なメ

メンテナンスや問題発生時のスムーズな解決が可能なロボットの利用体制が整っていることが望ましい。

ロボット技術を提供するメーカの観点からは、実現した技術がユーザの下で十分に活用されることが望ましい。さらに、ユーザのニーズに基づき、効果的に改良や新技術の開発につながることが望まれる。

2) 現状

ロボットを使用するためには専門的知識が必要で、利用可能なロボットをユーザ自身が選ぶことは難しい。ロボットを選択、導入できたとしても不具合が生じてそれを解決できない場合にはロボットの利用を継続できない。また、ロボットメーカとユーザの課題・ニーズにギャップがあると、導入したとしても問題解決につながらずロボットの利用が継続されないこともある。

3) 実現するための技術的方策

個々人が既に有している知識をロボットの利用に適用できることが望ましい。物理的、文化的、意味的整合性の高い直感的なユーザインタフェースや、人の社会性を規範にした AI アシスタントを構築し、対話による問題解決を可能とすることが期待される。

4) 実現するための社会的方策

ユーザのニーズに対応する AI ロボットの利活用をデザインするロボットサービスオーガナイザ及びプロバイダの役割を強化する。問題が生じた際にいつでも相談できるサポート体制の構築が期待される。学校教育を通じてロボットに対する理解が深い人材を増やすこと、豊かなヒューマンインタフェースを有するロボットに接する機会を増やし、経験に基づくユーザのロボットに関するメンタルモデルの構築を促進することが重要である。

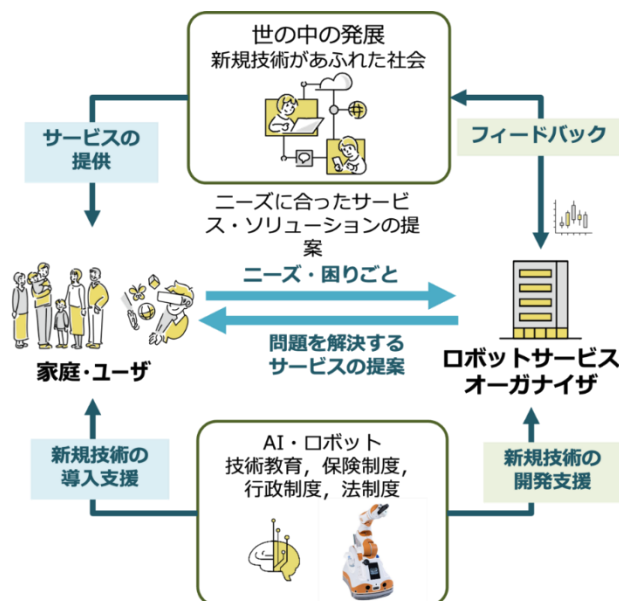


図 3-9 AI ロボットの利活用をデザインする
ロボットサービスオーガナイザとプロバイダ

リスクアセスメントに基づく保険制度を導入し、ロボット導入のリスクを低減する。助成金やロボット導入のインセンティブを設ける等行政制度を整備することや、家庭や子どもへのロボットの介入に関する法制度を整備することも導入のハードルを下げるための方策として期待される。

3.2 2050 年の特殊環境におけるロボット技術の活用のありたい姿

○特殊環境とは、通常人間単独による作業が不可能な環境と定義する。具体的には、宇宙空間、水中環境、原子力発電所及び南極大陸等が挙げられる。

○本節では、特殊環境のうち、宇宙空間、水中環境及び原子力発電所を事例としてありたい姿と道筋を検討していきたい。

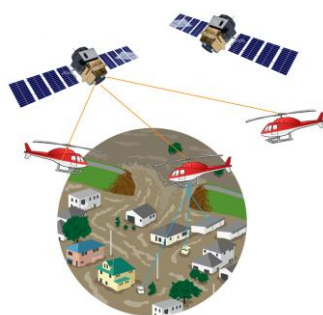


図 3-10 衛星からの情報による地上の災害復旧支援のイメージ

表 3-1 月探査のこれまで

1959 年	宇宙探査機を月表面に衝突	ルナ 2 号 (ソビエト連邦)
1969 年	人類の月面着陸	アポロ 11 号 (米国)
2018 年	月の裏側に探査機着陸	嫦娥 4 号 (中国)

3.2.1 宇宙環境におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋

(1) ありたい姿

非常時・災害時からの迅速な復旧方法が確立しており、復旧にかかる時間やコストが推算できる。また、復旧にはいくつかの段階があり、ニーズが時間とともに変化する。変化するニーズに合わせた切れ目のない十分な支援が提供される。このために、衛星を使った地上と独立した安定な通信網により地上の災害時の迅速な復旧活動や宇宙開発を支えている。また、特殊環境適用技術が生活の質・安全安心の向上、新たな可能性の開拓に貢献している。

(2) 現状

イーロン・マスク氏、ジェフ・ベゾス氏、堀江貴文氏・・・IT 実業家がこぞって月、そして火星を目指す。その背景には、インターネット通信網やビッグデータの収集手段というリソース掌握、スペースシャトル退役、米国のロケット開発の方針転換が挙げられる。米国が主導する「アルテミス計画」では、2024 年に再び人類を月面に送り込むこと、2028 年には月面拠点を建設することが掲げられ、将来的には民間による商業月輸送を実現することも盛り込まれている。2040 年には月面に 1,000 人規模の居住を実現するとの計画もある。一方、米国と共に宇宙開発を牽引してきた大国ロシアは、2022 年、国際宇宙ステーション

ジョン（ISS）から撤退すると宣言、ソユーズによる打ち上げを一方的に中止する等、米国とは異なる路線を進むようだ。その他、中国では月エネルギー資源の採取可能性を探る「嫦娥計画」が打ち出され、2019年には探査機「嫦娥4号」が人類史上初となる月の裏側への着陸に成功した。



図 3-11 JAXA 探査イノベーションハブ構想

ありたい社会の実現には、現状を適切に把握する手段、平時と比べて何が違うのかを定量的に評価できる手段、すなわち、精緻・広範囲・迅速な情報収集手段の構築が必要である。収集した情報を伝達するために、頑強かつ大容量の安定した通信インフラの整備が求められる。地上のどこで災害が起きても、安定した情報収集、通信を実現するには、宇宙空間の利用が期待される。

地球周回軌道に搭載した人工衛星を利用した通信網の構築や小型衛星を多数投入することで、あまねく場所の精緻な情報収集の実現、ISS のような地上と独立した施設を拠点とする非常時にも安定した通信インフラの提供が期待される。そこで課題となるのが、宇宙への輸送コストが莫大であることと、地球外における施設建設方法の確立である。宇宙分野では人工衛星やロケットは、一定のセンサを搭載し、ダイナミクスを持ち、自動制御が必要となることから、地上におけるロボットの概念とは異なる形ではあるが、必要となる技術は地上のロボットと同様であり、特に区別なく、必要となる技術開発について方策を述べる。なお、2005 年経済産業省のロボット政策研究会における定義では、ロボットとは「センサ、知能・制御系、駆動系の 3 つの要素を有する、知能化した機械システム」とされている。

（3）実現するための方策

莫大な宇宙への輸送コストについて、スペース X の貢献は特筆すべきである。スペースシャトルの退役に伴い、米国は国として後継機を開発するのではなく、民間へ委託することを選択した。これまでに、イーロン・マスク氏率いるスペース X は ISS への物資輸送にとどまらず、超大型ロケット「ファルコン 9」によって ISS へ宇宙飛行士を送り込むことに成功した。ジェフ・ベゾス氏率いるブルーオリジンは、三段式ロケットである「ニューグレン」を開発、2021 年に打ち上げと着陸に成功した。日本では、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）と三菱重工業株式会社が中心となって次期大型ロケット「H3」の開発を進め、その大幅なコスト減が期待されている。いずれもロケットの（一部）再使用により、大幅なコスト削減を狙うものである。今までは、打ち上げの成功率が強く評価

されてきたが、これに加えてコストや頻度、アクセスのしやすさといった面も評価され、民間による打ち上げサービスというビジネスが成立、醸成するであろう。地球外における施設建設に関するロボットといえば、現在の ISS のロボットアームが挙げられる。地球から打ち上げた小さなモジュールを ISS へ輸送し、ロボットアームにより自動もしくは宇宙飛行士による操作で取り付け、組立を行う。とりわけロボットアームは地上でも広く使われている技術であり、宇宙用途に必要となる特別な面は、耐放射線対策、振動抑制のための自動制御技術、操作インターフェースの向上である。ロボットアームの規格化・標準化が望まれる。月面での活動に向けて、まず水やエネルギーといった資源を月面で賄う必要がある。資源の発掘、精製、貯蔵、利用の各技術が月面上で利用される目途が立てば、次に拠点建設の計画に進むであろう。月面での施設建設で課題となるのは、「放射線」である。施設全体を殻で覆うか地下に建設するかが考えられる。そこで、日本の「かぐや」が発見した地下空洞（タテ穴）が貢献するであろう。月面環境をうまく利用して建設を簡易化し、その付近に資源インフラを整備し、ロケットの離発着場といった施設から建設することになるであろう。

(4) 事業性及び継続性

ロケットの再使用を実現するには、着陸誘導制御の実装、耐久性・安全性の保証を実現する保守・点検業務の規格化が必要である。現在の航空機運用のように、ロケット運用における管制・運航システム、機体管理・整備、定期検査といったサービスが事業展開されることが期待される。一方、宇宙を目的地とした旅行体験の事業化も予想される。

スペースプレーンは 1959 年、米国の「X-15」による有人の極超音速ロケットプレーンに始まり、現在では、英国のスカイロン、米国のスペースシップ 2 等様々な民間企業による開発が加速している。スペースシップ 2 は母機（ホワイトナイト 2）に吊るされて上空まで運ばれ、高度 15,000m 付近で母機から切り離され、ロケットエンジンを点火、超音速で高度 100km に向けて駆け上がる。近いうちに、無重力体験を提供する事業展開が見込まれる。宇宙ホテルを事業化するというベンチャー企業も現れた。宇宙ホテルへ滞在する宇宙旅行というビジネス展開も考えられる。

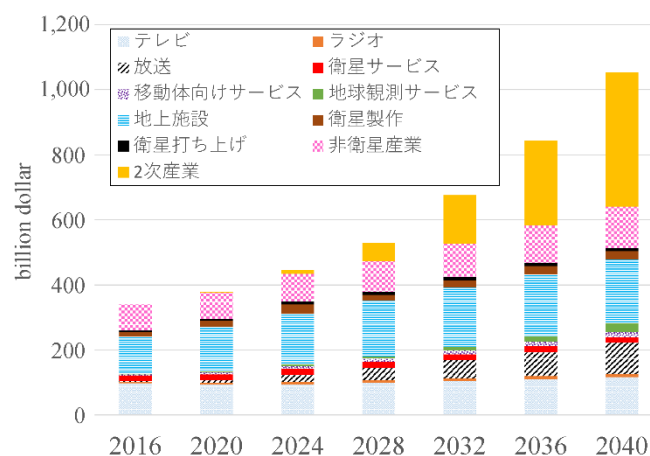


図 3-12 Morgan Stanley による宇宙産業の経済規模の予想

出所：Morgan Stanley

「Space: Investing in the Final Frontier RESEARCH JUL 24, 2020」

2017 年時点で 3,500 万米ドルと言われる市場規模は、今後増加し、2040 年には 1 兆米ドルを超えると見込まれる。特に、衛星によるインターネット通信の提供サービスが今後拡大するであろう。より多くの人々がインターネットにアクセスできるようになることが、データに対する需要を引き上げ、更なるインターネット通信網の拡充を求め、クルマ等移動体の知能化、仮想空間やアバターの普及・発達も同じくインターネット通信網の大容量化、安定化を求めると予想される。

月面に人類が初めて降り立った 1969 年から 50 年あまり、月を舞台とした無人探査機のレース「グーグル・ルナ・X プライズ」が大きく注目された。残念ながら期限とした 2018 年にはどのチームも目標には届かなかったが、月面投入・運用まで含めた無人機開発に競争原理を働かせ、民間企業の技術開発を促進させ、実用化への 1 つの道筋を示した。2022 年度には、日本の「SLIM」が打ち上げられ、月面ピンポイント着陸を達成した。米国・ロシアによる国主導・大型化の一途であった宇宙開発は今、多数の国・民間企業の参入、小型で多数の衛星が運用され、ロケットは打ち上げから輸送・移動という常用手段となる転換期にある。高い技術力と専門性、経験による信頼性が必要となるこの分野では、日本の国主導、大企業による大型・安定生産体制の確立、ベンチャー企業による挑戦的技術開発、これらの開発技術の民生転用とそのシナジー効果が大きいと期待される。

3.2.2 水中環境におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋



図 3-13 水上ドローンにより水中環境を遠隔監視するイメージ

(1) ありたい姿

水中環境におけるロボット技術の未来像は、高精度な位置制御技術を活用し、誰もが安心して水面及び水中を監視し、我が国における食糧調達やエネルギー資源の管理に関与できる社会の実現である。これにより、持続可能な漁業及び海洋資源の利用が促進され、国全体の食糧安全保障とエネルギー自給率向上に貢献することが期待される。

ありたい姿は、様々な技術により誰もが安心して業務に関わることのできる社会である。

(2) 現状

1) 日本における海域管理・利用を巡る状況

日本における海域管理・利用を巡る状況としては、専門人員による業務が中心となっている現状において、沿岸地域の過疎化・高齢化が進展し、海洋利用に関する産業の担い手が減少し不足している。高度経済成長期に整備した港湾インフラ施設の老朽化が進行していることや、海水温の上昇、漁獲量の減少、海洋環境の劣化も課題となっている。さらに、洋上風力等の海域利用の多様化への対応も喫緊の課題である。海域利用に伴う作業の多くは人手を要すること、潜水作業には危険が伴うことも留意せねばならない。社会のあらゆる分野でロボティクス技術等の活用の必要性が高まる中、海の分野でも、ASV（小型無人ボート）やいわゆる海のドローンとして活用が期待される AUV（自律型無人潜水機）、ROV（遠隔操作型無人潜水機）等の「海における次世代モビリティ」の開発が進展しつつあるが、未だにその普及が進んでいる状況とは言えない。

2) 水中ロボット技術が普及しない原因

普及しない原因については、経済圏、社会圏、地球圏の 3 つの観点から分析し以下に示す。

①経済圏課題

- ・ビジネスポテンシャルの不足：
海洋産業における水域市場の創出が進んでいない。
- ・漁獲高の変動：
海水温上昇や海洋酸性化により漁獲高が不安定化しており、経済活動に影響を与えている。
- ・海洋エネルギー産業の成長停滞：
再生可能エネルギーとしての海洋エネルギー利用が十分に展開されていない。

②社会圏課題

- ・既存海洋産業の人材減少：
高齢化や人口減少に伴い、漁業従事者が激減しており、漁村の消滅が進んでいる。
- ・無許可操業問題：
日本の EEZ 内で無許可操業が横行しており、領海や接続水域への不法侵入も増加している。特に、EEZ での中国漁船及び北朝鮮漁船による操業については、違法であるのみならず、我が国漁業者の安全操業の妨げにもなっており、極めて大きな問題である。
- ・施設の老朽化：
高度経済成長期に整備された水産施設や港湾インフラの老朽化が進行し、産業維持が難しくなっている。

③地球圏課題

- ・生物多様性の減少：
海洋酸性化や温暖化が生物多様性に深刻な影響を与えており、その対策が急務である。
- ・海洋環境の悪化：
GHG、窒素、リン、新物質の排出により、海洋環境の劣化が進行している。例えば、リンが海中に流れ込むと、表層にいる植物性プランクトンが活発になることにより、海中の酸素が消費されてしまい、他の生物が生きていけない環境になってしまう。

(3) 実現するための方策

1) 社会的方策

- ・システムデザイン人材の育成：
新しい海洋産業を支えるために、システムデザインや統合技術に精通した人材の育成が必要である。とりわけ、人と AI・ロボットが連携した産業作りが求められる。
- ・新たな海洋産業の創出：
養殖や漁業に依存しない新しいビジネスモデルを開発し、海洋エネルギーや水域観光等の新産業を形成する。
- ・関連産業の働き方改革：
海や河川での働き方改革を進め、労働環境改善や労働者の待遇向上を図るべきである。
- ・要素技術の研究開発：
海洋エネルギーや水力エネルギーの利用を促進するため、技術の研究開発が急務である。
- ・低価格なソリューションの提供：
多様なプラットフォームを用いた低価格ソリューションを市場に提供することで、海洋産業の裾野を広げることができる。

2) 技術的方策

- ・自動航行型 ROV：
自律的に作業を行う遠隔操作型 ROV の開発により、精密作業や長期間の監視が可能となる。
- ・遠隔自律ハイブリッド UUV：
リアルタイムでの監視はできないが、遠隔操作可能な UUV（水中無人機）の導入により、コストを削減しながら効率的な作業が実現できる。
- ・高精度位置計測技術の開発：
慣性航法装置やドプラ速度計、SSBL 等の位置計測技術の精度向上が必要不可欠である。

(4) 事業性及び継続性

水中ロボット技術の事業性成立のためには、技術面だけでなく市場創出と社会的支援が重要である。市場拡大に向けた新たな産業分野の開拓や、ロボット技術を活用した効率的

な資源管理システムの導入が必要である。また、持続可能な海洋産業実現のためには、産官学が連携し、長期的な視野で環境対策や人材育成を進めることが重要である。

3.2.3 原子力発電所におけるロボット技術の活用のありたい姿と道筋

(1) ありたい姿

通常運用の原子炉に対する技術と異常時の処理技術において、自動化技術の活用による効率化と遠隔無人化技術によるメンテナンス技術が確立されている技術レベルに達した状況となっていることが期待される。このような技術により、効率的に原子炉の運用、点検検査、補修が行われるとともに、通常運用で使用年限を過ぎた炉の解体作業も安定して進められ、作業員の安全と作業の効率化が実現

する。

一方、日本特有の課題として、福島第一原子力発電所の解体処理が安定的に遂行できる状況が実現し、解体システムの長期運用でメンテナンス技術の向上も実現している。また、放射性廃棄物のハンドリング、移送技術も確立されて、放射性廃棄物の線量レベルごとの安定的な管理システムが構築され運用されている状況となっていることが期待される。加えて、設備内の除染作業の自動化・無人化も実現され、作業員の被ばく量を抑える技術も確立されている。

(2) 現状

基本的な自動化技術は、フランスや米国が先行しているものが多い中で、日本では運用中のものから様々な技術が発展してきている。福島第一原子力発電所では、かなり初期の原子炉であったことから検査箇所・項目が増え、補修技術も必要となったことから非常に特殊な装置が開発され、技術が発展してきた。特に、現場への持ち込み・設置の容易性（作業員の被ばく最小化に向けての技術へ着目）を考慮した装置開発や、各要素機器の被ばく対応のための交換容易性などを考慮した工夫された装置が多数開発された。日本では、被ばくした装置を管理区域から移動させることができないため、発電所ごとに対応する装置がそれぞれ開発され、事業としても維持されてきた。

放射性廃棄物については、放射線レベルごとに管理が進められており、そのハンドリングは無人化されているとともに、メンテナンスも考慮したシステムが構築されている。基本的な機器は欧米のものも多いが、システム運用などにおいて日本でも技術の蓄積が進んでいる。

寿命を迎える通常原子炉の廃炉については欧米をはじめ多数の例があるが、解体については様々な検討が進められている状況である。一方で、日本においては福島第一原子力発電所の事故後の処理のために、様々な技術を駆使して取り組まれている状況である。現状では、現場の状況が未知なもの（線量・損傷状況・対象物の組成など）が多く、状況把握やサンプリングのための技術に取り組んでいる段階である。これらの技術には、これまでの通常運用で培われた検査・点検・メンテナンスなどの技術も多く応用されている。また、作業環境の確保のための除染技術については、無人化による技術開発が大きく進んだ。

(3) 実現するための方策

高レベルの放射線環境下における自動化・無人化技術については、放射線遮蔽とデバイスの寿命、センサ信号へのノイズの影響など実環境でのデータでないと予測が難しい課題が多い。日本は不幸にも福島第一原子力発電所の事故があり、この廃炉に向けて作業は不可欠な国家課題であるが、一方で技術的な面では非常に有益な経験を積むことができる環境にある。このようなことも考慮して、廃炉に向けては技術蓄積と運用技術構築へ一層の注力が重要と思われる。特に以下の３点についての技術蓄積が重要と思われる。

ア．未知環境状態という極限環境に対応する長期安定システムの開発

解体作業においては長期にわたるシステム運用が必要となる。高レベル放射線環境下においては、各種機器の寿命を考慮する必要があるため、交換可能なシステム化が重要となる。このようなシステム設計と運用から各種ノウハウを蓄積して技術の確立と不確定性への対応技術の獲得を進めることが重要である。また、この究極技術の開発から通常炉の廃炉解体技術へ展開することも考えられる。

イ．放射性廃棄物の搬送技術構築とシステムのトラブル対応のための無人化技術構築

廃炉作業においては、放射性廃棄物の移送も重要となる。高レベル放射線環境で保管容器に格納して移送することになるが、その移送装置は線量の高い環境を往復することになるため、システムのメンテナンス性を考慮する必要がある。このような運用技術の構築と実運用での経験が、システム設計上の重要な技術として確立される。

ウ．耐放射線レベルの各種機器の検証と交換システムの構築

実際の高レベル放射線環境でのシステム運用により、各種機器の耐放射線性についての実績データが蓄積されていくことになる。これらのノウハウは、放射線環境下の装置・システム設計上の重要な基礎データとなる。

(4) 事業性及び継続性

既に 200 基以上の原子炉が閉鎖されており、技術的に確立されれば解体事業が進むものと思われる。日本においては、福島第一原子力発電所の廃炉作業の環境に対応できる要素技術・システム化技術を構築し、運用面でも経験を積んでいくことになる。このような極限環境における技術を通常炉の廃炉へ事業展開することで、効率的なシステム提案ができていくものと思われる。このような技術は、安全保障上も重要となるため、日本として着実に展開することが重要と思われる。厳しい環境を活用して先端技術の確立を目指し、優位性を持った世界展開が重要と思われる。

一方、近年注目されている新しい小型炉などに様々な検査補修を考慮したシステム作りへの取組みに、経験で得られた技術を適用して効率的な運用ができる発電システムを開発することが大きな事業となると考えられる。

3.3 2050 年のスマートコミュニティ（非常時）のありたい姿

3.3.1 概要

2050 年のスマートコミュニティにおける非常時では、ロボット技術の利活用について様々なシーンが考えられる。そこで、社会基盤の安定的な維持・発展に資するロボット技術について検討するにあたり、いわゆる「非常時」と位置付けられるシーンを検討する。ここでの「非常時」は、前節のスマートコミュニティ（平時）で述べられた社会生活基盤ないしは社会インフラに対して深刻な打撃を与えうる事象が発生すること、又は発生したとき、と定義する。継続的な社会基盤の維持のためには、このような事象の発生を事前に予防することに加えて、事象が発生した際の事態の迅速な鎮静化と「平時」への速やかな移行が重要となる。これら予防と鎮静化の観点から、ロボット技術の活用が期待される非常時の代表的な 3 つのシーンについて述べる。

初めに、我が国はその位置、地形、地質的特徴から様々な自然災害が発生しやすくなっている。図 3-14 に内閣府がとりまとめた世界の災害に比較する日本の災害の統計データを示す。災害被害額の観点から日本の災害は世界の災害の 20% 近くを占めていることが分かる。また、自然災害の種類も多様であり、近年だけでも「平成 28 年 4 月熊本地震での土砂災害」、「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」、「令和元年 9 月台風第 15 号」のように様々な種類の災害が発生した。これらの災害 1 つ 1 つが「非常時」のシーンに相当し、災害の種類に応じた多様なロボット技術を投入する必要がある。

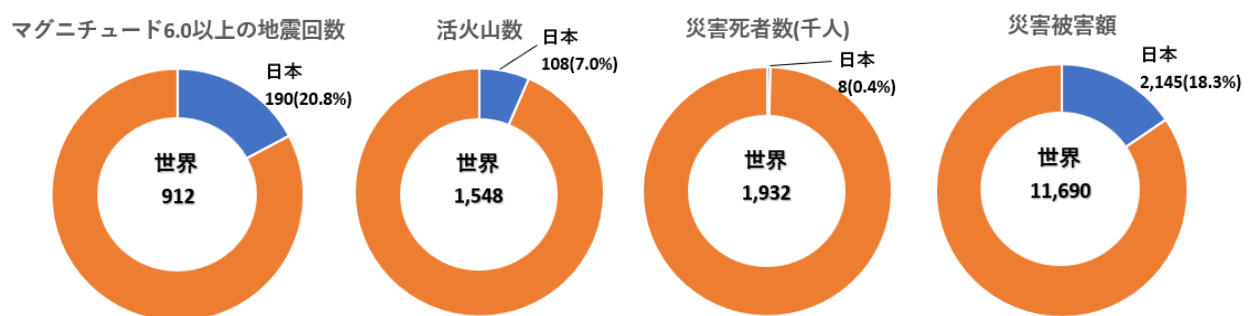


図 3-14 世界の災害に比較する日本の災害

出所：内閣府「平成 18 年版防災白書」より一般社団法人日本ロボット工業会作成

続いて、我が国が抱える社会問題としてインフラの老朽化がある。我が国では、高度経済成長期以降に建設された橋梁、トンネル、河川管理施設、下水道、港湾岸壁といったインフラ設備が急速に老朽化し、今後 20 年間で、建設後 50 年以上経過する設備が加速度的に増加する見込みである。表 3-2 に国土交通省が取りまとめた建設後 50 年を経過するインフラ設備の割合を示す。高度経済成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、下水道、湾岸等について、建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる見込みである。インフラ設備の老朽化は、2012 年 12 月 2 日に発生した中央自動車道笹子トンネルにおける天井板落下事故のように、重大な人的被害をもたらす要因になることに加え、インフラ設備そのものが社会生活基盤を支える役割を担っているため、その老朽化を「非常時」のシーンに分類した。老朽化したインフラ設備は、適切に補修・修繕を行い、継続

的な機能維持を図ることが望ましいが、インフラ設備そのものの数が膨大であるため、ロボット技術を用いた効率化は必須の課題である。

表 3-2 建設後 50 年以上経過する社会資本の割合

	2020 年 3 月	2030 年 3 月	2040 年 3 月
道路橋	約 3 0 %	約 5 5 %	約 7 5 %
トンネル	約 2 2 %	約 3 6 %	約 5 3 %
河川管理施設	約 1 0 %	約 2 3 %	約 3 8 %
下水道管渠	約 5 %	約 1 6 %	約 3 5 %
湾岸岸壁	約 2 1 %	約 4 3 %	約 6 6 %

出所：国土交通省「国土交通白書 2022」より一般社団法人日本ロボット工業会作成

最後に、非常時に該当する代表的なシーンとして「パンデミック」が挙げられる。COVID-19 の流行が示したように、パンデミックは人々の社会生活様式や社会構造を強制的に変革してしまうほどの大きな影響力がある。また、パンデミックは国内だけの問題ではなく、国際社会の中で各国がその拡大を防止する責務を負っている。パンデミックの防止には、ワクチン開発等の医学的、疫学的対策のみならず、感染を予防するために人と人との接触を避けることが可能な社会・生活様式の構築が必要であり、この点でロボット技術が大きく貢献できる。

以上を背景として本節では、「災害対応」、「インフラ老朽化対策」、「パンデミック対策」の三領域について検討し、これらを総合してロボット技術が望まれる発展形について議論する（図 3-15）。それぞれの領域では、異なる社会の「ありたい姿」が望まれ、これらを俯瞰し、現状の産業状況・技術を踏まえ今後取り組むべき課題、発展が望まれる技術領域を示すことができる。以降では、このようなプロセスにより、2050 年のスマートコミュニティ（非常時）を示す。



図 3-15 2050 年の非常時におけるスマートコミュニティ

スマートコミュニティ（非常時）として、「災害対応」、「インフラ老朽化対策」、「パンデミック対策」の 3 領域に注目し、現状の産業状況・技術を踏まえ今後取り組むべき課題、発展が望まれる技術領域を示す。

3.3.2 災害対応におけるありたい姿と道筋

- ありたい姿：状況の変化に応じて必要なロボットが切れ目なく投入され、人とロボットが協働で早期復興を実現
- 技術的方策：災害-平時の相互利用を意識した基盤技術開発、インタフェース仕様の標準化
- 社会的方策：政府・自治体による、人道的観点からの研究・開発への継続的支援

(1) ありたい姿

我が国はプレート境界上に位置しており、火山が多い、降水量が多く年間の気候変化が激しい、急峻な山が多く河川の勾配が大きい等の、様々な立地・気象条件を併せ持つため、世界の中でも特に災害が多く、またその種類も多様である。



図 3-16 災害時における社会のありたい姿

これらの災害に即座に対応し、早期の復興を実現するには、災害の種類や発災からの時間等に応じて異なるニーズに対応した、様々なロボットを即時投入できる状態とすることが望ましい。災害発生時には図 3-16 のように、これらのうち必要なものが代わる代わる切れ目なく投入され、ロボット同士、あるいは人とロボットが協働することで、早期の復興が実現される社会を目指すべきである。

(2) 現状

災害対応や復旧・復興支援にロボットが有効活用されるためには、特に以下 3 点の課題を達成する必要がある。

1 点目は、状況の変化に応じて求められる様々なニーズに適用可能なロボットのラインナップ整備である。我が国で発生する災害は地震、台風、火山の噴火等、様々である。さらに、同じ地震であっても、立地や状況によって発生する二次災害は家屋倒壊、津波、火災等多岐にわたり、それぞれのニーズに対応する必要がある。また災害の種類だけでなく、図 3-17 に示すように発災からの経過時間によってもニーズは異なり、これらが目まぐる

しく変化していく。

2 点目は、プロトタイプ機を実用レベルに引き上げる仕組みの構築である。東日本大震災の際には、国内外の様々なロボットが投入された。これらロボットは、海外製のロボットは企業が開発した製品であったのに対して、国内製のロボットは大学の研究者が開発したロボットであった。そのため、東京大学の浅間一氏（浅間一、東日本大震災及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）及び（その2）、日本ロボット学会誌、Vol.29（7）、pp658-659、2011 及び Vol.29（9）、pp796-798、2011.）によると、現場投入時に両者には完成度、現場での実績に大きな開きがあったことが報告されている。このように、プロトタイプ機を実用レベルに引き上げるためには、実際の災害以外でロボットの動作検証と改善を行える仕組み・環境作りが必要である。

3 点目は、ロボットオペレータ人材の確保・育成である。ロボットの高度化・自律化に伴い、将来的にはロボットオペレータが不要となる可能性もある。しかし、少なくとも 2050 年の段階では、複雑な作業や、人道的・政治的観点を伴う判断等において、ロボットオペレータが必要な作業が一定数残ることが想定される。ロボットオペレータへの教育は災害が発生してから実施するのでは時間が掛かり、要求されるニーズやスピード感に対応できない。日頃からロボットオペレータに対して必要な教育を施しておき、災害発生時にはすぐに使いこなせる状態としておくのが理想的である。

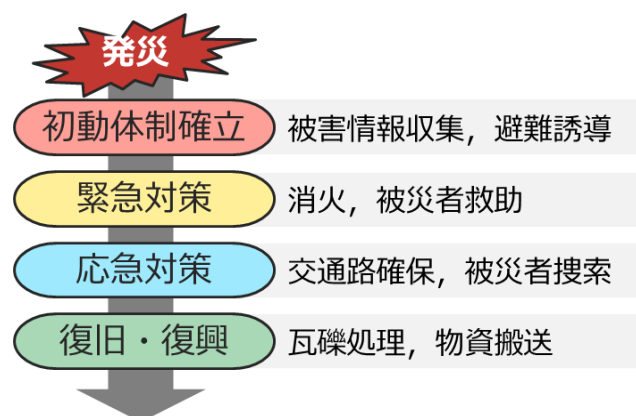


図 3-17 災害時の状況変化とニーズの例

(3) 実現するための技術的方策

実現するための技術的方策として、災害時に想定される様々なニーズを考慮した共通基盤技術の確立が要求される。情報収集、探査・救助、瓦礫処理等、災害の種類や発災後の経過時間によって異なる要求機能それぞれに対し、必要な要素技術開発、ロボット開発を進めていく必要がある。実用レベルに至った技術やロボットは、技術カタログとして整理され、災害発生時に素早く欲しいロボットを検索し、取り寄せ可能となっている状態が理想である。

共通基盤技術の中でも、ありたい姿実現のために今後特に重要と考えられるのが、ロボット同士、あるいは人とロボットの協働に役立つ技術である。例えば、以下のような例が挙げられる。

- ・情報共有：ドローンや人工衛星等で収集した災害現場の状況を無線等で作業員や救助ロボットに即時送信し、スムーズな救助活動に役立てる。
- ・遠隔操作：荒廃した環境下においても、操縦者が運動主体感を持てるインタフェースを提供し、スムーズにロボットを遠隔操作する。また、一人の作業員が複数のロボットを必要に応じて切り替えて（あるいは同時に）操作可能とする。
- ・作業計画：各ロボットの動作状況や作業進捗をリアルタイムで把握し、必要に応じてリソースの再配分を行う。例えば、ある場所で作業を終えたロボットを待機させずに別の場所に向かわせて有効活用すること等が考えられる。
- ・協調動作：複数台のロボットによる連携作業を可能とする。例えば、複数ロボットによる協調搬送や、動けなくなったロボットを別のロボットが救助するといった作業が考えられる。

協働を実現するためには、これらに関わる要素技術開発はもちろんのこと、製造元の異なるロボット間でこれらの技術をスムーズに運用するための、通信インタフェースや共通規格の整備も重要となる。

（４）実現するための社会的方策

一方で、実現のための社会的方策としては、これら共通基盤技術を早期に実用レベルに引き上げるための災害時—平時相互利用の促進が必要である。これまで災害対応ロボットの実用化に向けた取組みとして、一般社団法人産業競争力懇談会（COCN）の提言である第3回福島・国際研究開発都市構想研究会資料『『災害対応ロボットセンター設立構想』プロジェクト—イノベーションコースト構想の実現に向けて—』に基づき、福島ロボットテストフィールド等の現場を模した試験場の整備・活用が進められてきた。今後次のステップとして、試験場だけでは予想・再現できない環境変化への対応ノウハウの蓄積や、ロボット操作に習熟したロボットオペレータの教育機会確保が重要となると考えられる。そのための一方策として、災害対応ロボットやその要素技術を平時にも有効活用することが必要と考えられる。

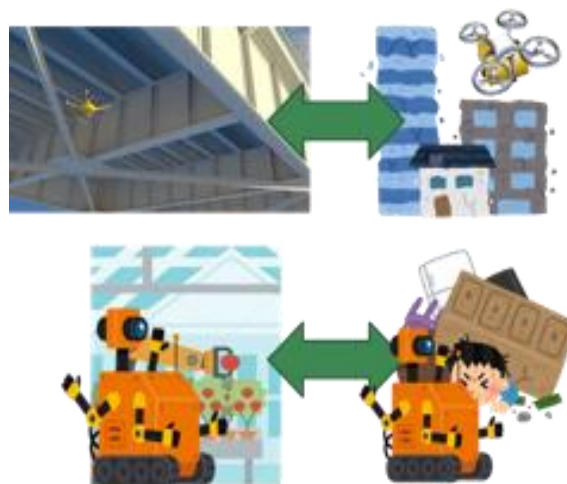


図 3-18 共通基盤技術の災害時—平時相互利用

例えば、一定の実用レベルを有する災害対応ロボットを自衛隊・消防署・海上保安庁といったユーザに一定数配備し、定期的に訓練に活用することで、ロボット実証とロボットオペレータの訓練を同時並行的に進めていくことが有効と考えられる。既にドローンの分野ではユーザ主体の実証試験が進んでいる例として、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」や災害時におけるドローン活用ガイドライン）もある。さらに、図 3-18 に示すとおり、災害時の情報収集ロボットをインフラの保全対応（点検）に活用する、瓦礫処理・救助用のロボット技術を農業（野菜の収穫）に活用する、といった災害とは直接関係しない用途への活用も考えられる。このような平時の活用を促進することで、災害対応ロボットの技術力向上の機会を無理なく大幅に増やすことが可能となる。このような災害時―平常時相互利用の促進のためには、政府や自治体等による、ロボットの試験的導入・活用の奨励や、災害時・平時の双方への適用を見据えた要素技術開発の奨励する仕組み作りが必要である。

（5）事業性及び継続性

災害は、発生場所・内容・時期が予測困難であり、かつロボットのニーズが様々であるため、災害対応のみでは継続的な事業は困難である。このため上記社会的方策でも述べたとおり、技術の平時利用も考慮した上で事業を成立させる必要がある。

また、災害対応そのものに対しては、国民 1 人 1 人の命を分け隔てなく守ること、健康で文化的な生活環境を確保すること等の、日本国憲法で保障されている人道的観点も重視すべきであり、経済性のみを追求すべきではない。このため人道的価値を考慮した、公共機関の資金面での支援（開発費の補助等）は必須であると考えられる。

3.3.3 インフラ老朽化対策におけるありたい姿と道筋

- | |
|--|
| <p>○ありたい姿：建造物の状態をデジタル管理し、インフラ破損被害が起きない社会の実現</p> <p>○方策：ロボットによるインフラ点検の自動化、補修作業の省人化の実現</p> <p>⇒専用機に加えて他用途で確立されたロボット用技術の容易な開発・転用</p> <p>⇒国、地方役人とメーカ、学問分野での人材ローテーション制度</p> <p>⇒インフラ点検、改修における大型予算化、参入者への経済的支援</p> |
|--|

（1）ありたい姿

建造物の状態をデジタルデータで日常的に管理し、フィジカル空間をサイバー空間で再現・シミュレーションを実行することで建造物の最適な補修・改修、又は新設・破壊を実施し、インフラ破損被害が起きない社会を実現する。そのために、ロボットが日常的にデータ収集やインフラ点検・補修活動を行うことが望まれる。

（2）現状

日本の高速道路網をはじめとした生活の利便性や質の向上を目指した社会インフラの多くは、1960年代の高度経済成長を背景に整備されてきた。現在それら建造物の老朽化が

進んでいる。予防保全としての計画点検や補修、改修等が必要となるが、今後数万人規模で人手が必要な上に、経験者の高齢化に伴い、現場作業のノウハウ継承も課題となっている。そのため、インフラ点検の省人化、自動化、効率化は急務であり、そのための技術開発や技術利用環境の整備が必要になる。その中でロボットの役割は大きな割合を占めるであろうと考えられる。

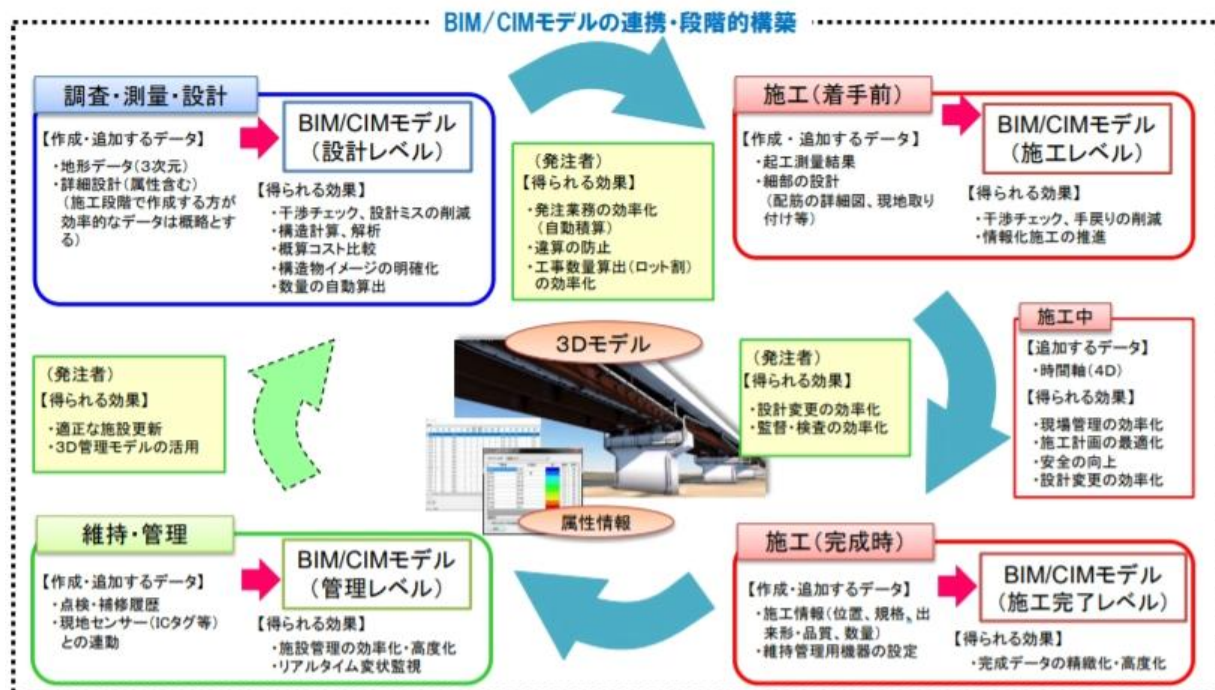


図3-19 三次元での電子データを活用したBIM/CIMの事例

出所：国土交通省「BIM/CIM活用ガイドライン（案）第1編共通編（令和3年3月）」

現在インフラ業界では従来の二次元図面を用いた建設生産・管理プロセスを見直し、三次元での電子データを活用したBIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) が用いられ始めている（図3-19）。建造物の調査・計画・設計段階からBIM/CIMモデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報をアップデートさせながらこれを活用することにより事業全体にわたる品質向上や生産性向上を目的としている。国土交通省の「ドローン活用事例」によると、現在でも、インフラ点検の一部として橋梁やトンネル等ではロボットやドローンを使用した測量・調査等も行われ始めているが、利用箇所は限定的であり、汎用的にシステムには組み込まれていない（図3-20）。その課題としては、以下のような制約が挙げられる。

- ・現状のロボットやドローン活用には専門的な技術が必要であること
- ・技術的にも利用できる箇所や環境を選ぶ必要があること



図3-20 ロボットやドローンを使用した測量・調査の事例

出所：国土交通省「ドローン活用事例」

今後システムとして汎用的にロボットが使用されるためには、正確性、汎用性、簡便性の飛躍的な向上により“誰でも簡単に”ということがキーワードであり、具体的には以下のような項目の技術向上が必須となる。

- ・ 正確な位置認識技術
- ・ 高度な解析技術（AI、エッジコンピューティング）
- ・ 多様な対象物、対象箇所へアクセス可能な移動技術
- ・ 点検や補修アイテムを扱える多彩なアーム・ハンド技術
- ・ 高速・多量・堅牢性の高い通信技術
- ・ 簡単な遠隔操作・遠隔制御技術及び自律化技術 等

また、ロボットを使用していく中での環境整備として、インフラを管理する国土交通省、地方自治体にもデジタル化・省人化の取組みを加速するための制度、法令の見直し、インフラ点検における財源の確保等を検討する必要がある。また、ロボットユーザとなる建設、点検業者がロボットを当たり前前に利活用する仕組みやインタフェース面でのEASY TO USEの取組みもより一層必要となる。さらには、補修や詳細点検箇所等の特殊専門作業は、ロボットの遠隔操作を介して人手作業を行う等、ロボット作業と人手作業の分業化等詳細なシステム設計をしていく必要がある。

(3) 実現するための技術的方策

今後国内でのインフラ点検専用機開発の加速が、これらの実現に重要となる。そのためにも、国・地方自治体にはインフラ点検、改修に関する支援を強化し、建設・点検業者への支援を含め、インフラ点検専用ロボット開発・製造業者への研究資源投入等の支援体制の強化・構築が望まれる。また、インフラ専用機が更なる発展を遂げることで、災害対策として活躍し、平時活用ロボットとのバイユースが可能となる。

(4) 実現するための社会的方策

さらには、産学連携を通じた他用途で確立・構築されたロボット用技術の容易な転用方法等が今後の発展に不可欠となる。例えば、医療用や組立用のハンド技術や搬送における走行・位置認識技術、物流における飛行・遠隔操作技術等を部分的にモジュール利用できる仕組みをロボット業界全体で検討し、技術開発を促進する仕組み（図3-21）の構築が必要である。このように、ロボット先進国である我が国の強みを活かし、技術的な相互・相乗効果を狙える仕組み作りへと発展させることが求められる。このためには、産学及び国・地方自治体等で定期的な人材交流を行う仕組みが望まれる。

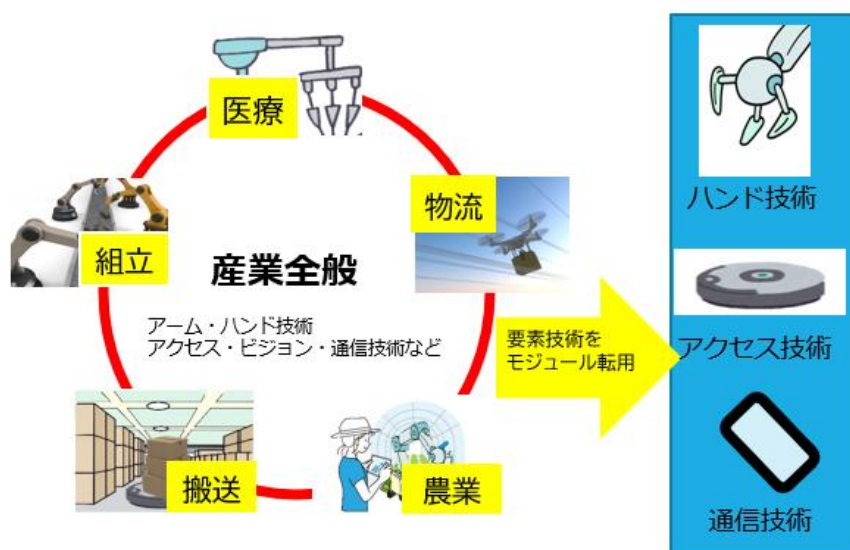


図3-21 ロボットモジュールの利活用

(5) 事業性及び継続性

現状、建造物の老朽化、災害発生頻度の増加、人手不足等の取り巻く環境としても今後優先的に取り組む必要があり、事業性、継続性ともに高い。また、国土交通省の「インフラメンテナンスを取り巻く状況」によると、インフラ点検は国内市場でも5兆円、世界では200兆円とも言われ、市場規模からも期待値は高く、早期の課題解決、事業化により国力の維持・向上にも大きく貢献できる分野となる可能性が高い。その中にロボットを汎用的に組み込めれば、ロボット市場の拡大にも大きくつながると期待できる。

3.3.4 パンデミック対策におけるありたい姿と道筋

- ありたい姿：人とロボットが「パンデミック解放空間」を共創し「パンデミック解放社会」を実現
- 方策：遠隔操作ロボット技術を活用し、感染症の感染可能性を限りなく低減しつつ、利用者は時間・距離を拡張・超越して活動できる「パンデミック解放空間」を創出

(1) ありたい姿

人類は、ペスト、天然痘、結核、エイズ等、COVID-19 禍中に限らずパンデミック（感染

症の世界的大流行)に悩まされてきた(表 3-3)。人類が地球上に存在する限り、パンデミックの発生は不可避である。今後も断続的に発生することが見込まれる。

表 3-3 過去のパンデミック

13世紀	ハンセン病
14世紀	ペスト
15世紀	梅毒
17-18世紀	天然痘
19世紀	結核、コレラ、発疹チフス
20世紀	スペイン風邪、インフルエンザ、エイズ
21世紀	SARS、MERS、COVID-19(コロナ)

パンデミックの悪影響を除去・最小化するため、我々人類は、人とロボットによる協働で「パンデミック解放空間」を創出し、「パンデミック解放社会」を実現する。「パンデミック解放空間・社会」とは、パンデミックが人類にもたらす悪影響や重負担を除去・軽減した安全・安心な空間・社会を意味する。従来のロボットは製造工場における強制労働から作業者を解放し、人間性を回復する存在として発展してきた。パンデミック対策の文脈では、遠隔操作ロボットを通じて人と人がコミュニケーションを行うことで、感染リスクの低減のみならず、時間・距離の障壁をも低減する「パンデミック解放空間・社会」を実現することが可能になる。図 3-22 のとおり、遠隔操作ロボットを通じて、時間・距離の制約を乗り越えることが可能となり、自分自身の存在が拡張される。日本にしながら全世界が活動の対象地域となる。

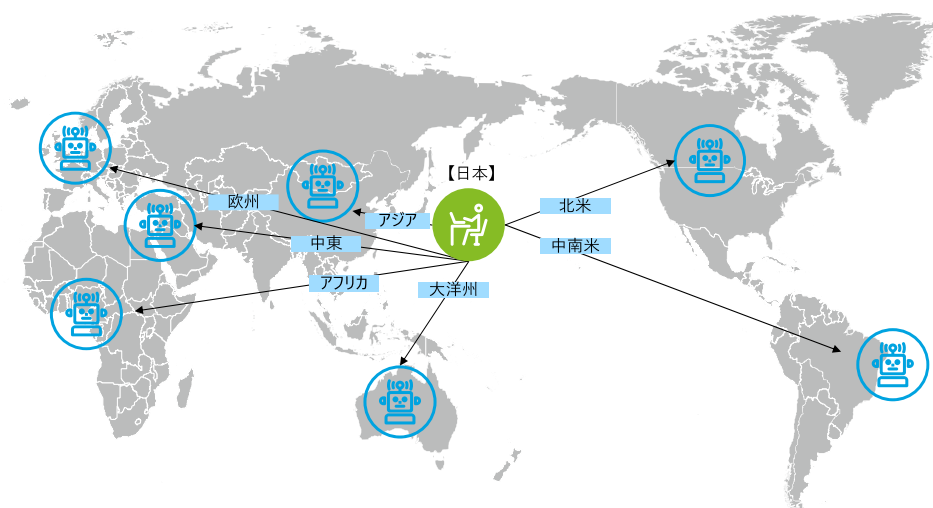


図 3-22 遠隔操作ロボットの利活用イメージ

(2) 現状

COVID-19 の感染リスク軽減を目的としたロボット技術として、IFR の「Case Studies - Robots and COVID-19」によると、PCR 検査ロボット、清掃ロボット、除菌ロボットが存在し、導入が進展している。病院内で医療従事者を対象とした感染リスクの軽減、業務負荷の軽減という点では、少しずつ成果が出ているものと考えられる。他方で、保育所等乳幼児が集まる空間においては、目立ったロボット技術は導入されておらず、乳幼児や保育スタッフは感染リスクにさらされている。一般社団法人日本ロボット工業会の機関誌『ロボット』（特集：ウィズコロナ、アフターコロナ、No. 261、2021 年 7 月）によると、上記の現状認識を踏まえると、人とロボットが協働でパンデミックに対応するためには、以下の 3 点の課題が存在している。

1 点目は、人同士が身体的に接触・対面する際には感染リスクが継続する点である。在宅勤務やオンライン授業が定着したとしても医療現場、職場、学校、自宅等、人と人が身体的・物理的に直接コミュニケーションする場面をゼロにすることは不可能である。

2 点目は、非接触・非対面による領域は限定的で技術的難易度も高いことが挙げられる。現在の在宅勤務はオフィス勤務のホワイトカラーワーカーが中心であり、現場勤務のエッセンシャルワーカーは感染症リスクにさらされている。エッセンシャルワーカーの業務を遠隔操作ロボットで行う場合、リアルタイムでのデータ伝送等技術的な観点でクリアすべき課題は多い。

3 点目は、除菌ロボットや清掃ロボット等が活躍する場所・空間が限定的な点である。ロボットの特性上、ロボットは人との身体的接触機会が多くなると持っている力を発揮できなくなることが多い。また、人との接触機会の多い場所では安全性の観点からロボット導入が進まない。

(3) 実現するための技術的方策

実現するための技術的方策としては、非接触・非対面による領域を拡大するための技術が重要である。その具体例として、6G を活用したリアルタイム遠隔操作ロボットが挙げられる。また、接触・対面時の感染リスクを根絶・低減する技術、例えば、感染症リスクの低い空間を創出する除菌・清掃ロボットも考えられる。

(4) 実現するための社会的方策

実現するための社会的方策については、非接触・非対面による領域を拡大又は新たな機会とするための政策・産業が重要である。国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の『産学官連携ジャーナル』2018 年 12 月号によると、例えば、遠隔操作ロボットを活用した新産業の創出（時空間瞬間移動産業）が挙げられる。また、接触・対面時の感染リスクを根絶・低減する政策・産業も重要である。例えば、あらゆる場所にロボットが存在し、リアルタイムで除菌作業を行い、菌を検知するとアラートを発出する等、人とロボットで感染リスクの低い空間「パンデミック解放空間」を共創する場合が挙げられる。

(5) 事業性及び継続性

パンデミックは突発的に発生するため、パンデミック特化型ロボットの事業性は困難（政策としての対応）である。このため、事業性の観点では、非接触・非対面・遠隔操作ロボット利活用の一用途としてパンデミックを位置付けるべきと考える。

パンデミックは突発的かつ不定期に発生するものであるが、人類が地球上に存在する限り、パンデミックは恒常的なリスクとして残存し続けることが見込まれる。

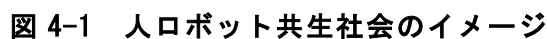
3.3.5 まとめ

2050年のスマートコミュニティ（非常時）のありたい姿のまとめとして、本節では、社会基盤の安定的な維持・発展に資するロボット技術について検討するにあたり、いわゆる「非常時」と位置付けられるシーンとして「災害対応」、「インフラ老朽化対策」、「パンデミック対策」を挙げ、それぞれについて社会のありたい姿、現状、実現するための技術的方策及び社会的方策について述べた。

これら3つのシーンでは、技術的な共通課題として、遠隔操作、自律化、通信技術、情報共有、協調動作等が挙げられた。さらに、社会的な観点から、これらの非日常的なシーンで必要となる新たな技術導入を促進し、かつ技術を日常的に維持し、非日常的な事態発生時の迅速な対応を可能とする環境構築が極めて重要であることが浮き彫りとなった。

例えば、インフラ老朽化対策については今後継続的にその活用が求められており、一定の産業化が予見されるが、このような産業分野を核とした、民間と災害時等の活用に関するマルチユースを前提とした研究開発及び産業促進の政府による支援の一層の充実等が求められる。

～安全で信頼される人口ロボット共生社会実現のために～



これらが実現されることによって、我々の生活や仕事には、どのようなインパクトがあるのでしょうか。また、規制・法整備や標準化はどのように進めていけば良いのでしょうか。さらに、理想とする人とロボットの共生を目指す上で足りていない技術やリスクはどのようなものがあるのでしょうか。人々が、ロボットがいる生活を違和感なく受け入れるための受容性（センスメイキング）の課題にどのように対処すれば良いのでしょうか。本章では、安全で信頼される人口ロボット共生社会を実現するために考慮すべき事項として「インパクト」、「ガバナンス」、「リスク」、「センスメイキング」を挙げて検討する。

4.2 インパクト

近年、新たな産業の勃興や社会課題の解決に向けてさまざまな分野で新たな市場が創出され、それに対応する技術の開発が進められている。ロボットもその一翼を担う重要な産業である。今後 50 年の飛躍を見据えるにあたり、ロボットが人々のウェルビーイングの向上、経済的価値の創出、そして持続可能な社会の実現に与えるインパクトが極めて重要な要素となる。いかに優れた技術であっても、高価で利用が限られるもの、将来世代に負担を残す環境負荷の高いもの、地域の対立や紛争を引き起こす可能性のあるもの、あるいは人々の身体的・精神的負担を増大させるようなものであれば、社会に受け入れられることはない。そこで本節では、広く人々が参画可能な経済循環を創出し、持続可能な社会と環境を構築するとともに、誰もが多様な選択肢の中から自らのウェルビーイングの向上に資する道筋を見出せるような、より良いインパクトをもたらす技術と産業の在り方について、スマートプロダクション、スマートコミュニティ（平時、非常時）の観点で検討する。

4.2.1 スマートプロダクション（製造業、建設業、農林水産業）

- 産業用マニピュレータや協働ロボット等の産業用ロボットや自律移動ロボットに関しては、広く誰もが参画可能な経済循環網が構築されつつある
- 建設業におけるロボットの導入は、人とロボットで作業分担を行うことによる生産性と安全性の向上が期待されている
- 農業分野では、不確実性減少、効率性向上、労働力不足の解消を目的とした、耕運や収穫ロボットの活用が広がりつつある



図 4-2 建設業自動化イメージ

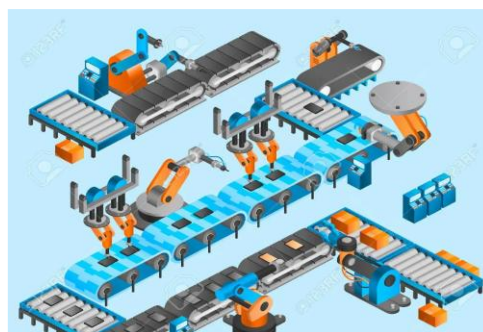


図 4-3 製造業自動化イメージ

産業用マニピュレータや協働ロボット等の産業用ロボットや自律移動ロボットに関しては、人代替用途の拡大が期待されており、人共存・協働のための AI やデジタルツイン等の新技術、協調安全や Safety2.0 等の安全技術が開発され、それらの法規制、国際標準も準備されていることから、広く誰もが参画可能な経済循環網が構築されつつある。これら成熟し更なる技術導入が進められている市場ノウハウは、建築土木や農業、一般社会等に活用することで、新たな経済活動のみならずウェルビーイングへの拡大へとつながることが期待できる。

建設業においては、労働人口変化に伴う省人化と労働環境改善に有効な手段として、建設作業ロボット、搬送ロボット、溶接ロボット等の開発が進められている。これは、力仕

事や過酷な環境へのロボット導入による過酷作業削減やダイバーシティ確保が進められることと併せ、人とロボットで作業分担を行うことによる生産性と安全性の向上が期待されている。製造業に必須となりつつある情報処理技術（BIM/CIM）やデジタルトランスフォーメーション（DX）の活用も、ロボット産業拡大への起爆剤となる。



図 4-4 農業自動化イメージ

農業分野においては、データ活用による不確実性の減少と効率性の向上、労働力不足の解消に向け、大規模少品種大量生産から小規模多品種少量生産まで耕運や収穫ロボットの活用が広がる。目的に特化したロボット及びユニバーサルに活用可能なロボット技術と、農家を代表とする幅広いユーザ層のウェルビーイング向上に向けた拡大に期待できる。

4.2.2 スマートコミュニティ（平時）

- ウェルビーイングの実現に向けて、コミュニケーション、医療・介護、家事支援におけるロボット活用の拡大が求められている
- 中でも配送・移動支援、ビルメンテナンス分野においては、経済活動の維持のみならず更なる向上に向けて、ロボット活用が大きく期待されている



図 4-5 物流ロボットイメージ

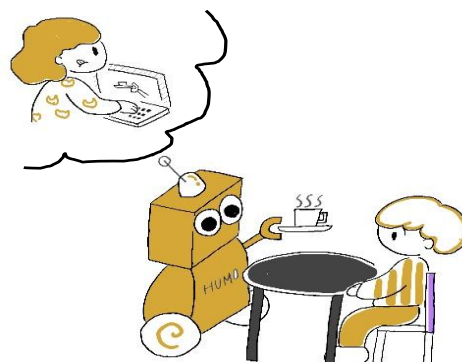


図 4-6 遠隔コミュニケーションイメージ

より身近な様々な人々の生活の中では、経済合理性と QOL の両立によるウェルビーイングの実現に向けて、コミュニケーション、医療・介護、家事支援におけるロボット活用の拡大が求められている。Society5.0 や Industry5.0 でも示される人の能力活用とロボットの情報処理技術により、全ての人々が様々な選択肢を有し、取り残されることのない社会参画とサービスを受けることができなければならない。これら人中心の社会は、広大な新市場を作り出すこととなるが、技術やサービスを提供する側のビジネスエコシステムも重要となる。これからの AI やサイバーセキュリティ技術、産業分野で培われた人共存の安全技術等、提供する側の選択肢の拡大が、人々の生活の選択肢の拡大へとつながる。これは、個人はもとよりコミュニティ、社会レベルでの課題解決へとつながる。中でも配送・移動支援、ビルメンテナンス分野においては、社会構造の変化や、感染症拡大等の予期せぬリスク、労働人口の減少等の影響から、経済活動の維持のみならず更なる向上に向けて、ロボット活用が大きく期待されている。電子商取引の増加に伴う物流から配送までの自動化、過疎化エリアでのバスの自動運転化、ビルや公共エリアでの警備サービス提供等、国内外を含めた様々な地域や環境で、誰もが同じサービスを受け、利益が還元されるビジネスモデルの開発が進められているが、これらの早期実現と拡大が必要である。

4.2.3 スマートコミュニティ（非常時）

- 人が作業できない環境や人との共存・協働環境での活動が可能なロボット活用が必要不可欠である
- 中でも社会インフラの維持管理へのロボット活用は、労働力不足、異常気象の急増、設備の老朽化が進む社会において拡大が期待される
- 宇宙ビジネスに向けたロボット事業は 2050 年に向けた発展が期待できるが、ビジネスモデルの確立が必要である



図 4-7 災害対応ロボットイメージ

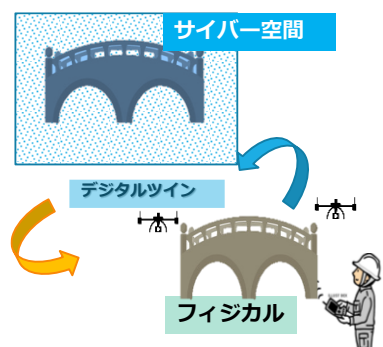


図 4-8 インフラ点検イメージ

自然災害や人的災害、それらの複合等、様々な災害が発生し、その増加が懸念される昨今、災害時の情報的支援、力学的支援、心理学的支援のために、人が作業できない環境や人との共存・協働環境での活動が可能なロボット活用が必要不可欠である。一方で、災害発生現場での運用に耐えうる高信頼性・高耐久性と、そのような環境においても人の安全を確保するための安全技術は必須の要素である。非常時の用途限定ではなく、産業分野や

サービス分野等様々な分野で培われた技術や社会ルールとの共通化による、新たなビジネスモデルの確立が求められる。

中でも人的災害につながりうる社会インフラの維持管理へのロボット活用は、今後の労働力不足、異常気象の急増、設備の老朽化が進む社会において拡大が期待される分野である。インフラロボット市場も 2030 年に 7,000 億円規模と予測されるが、建設分野で言及した BIM や CIM の情報化技術の標準化がグローバルで進められることで、世界に向けた市場拡大が期待できる。



図 4-9 宇宙探索ロボットイメージ

同様に、宇宙情報利活用や新資源の探索・発見、アルテミス計画に代表される宇宙経済圏の確立等、宇宙ビジネスに向けたロボット事業は 2050 年に向けた発展が期待できる。人が生存できない過酷な環境での作業のみならず、時には人との協働を行う必要があることから、災害対応ロボットと同様の、様々な分野との共通したビジネスモデルの確立が必要となる。現時点では研究や調査等限定された用途ではあるが、今後の市場拡大とともに一般市民との接点も増え、社会的ウェルビーイングの向上への大きな要素となることが期待される。

4.3 リスク

4.3.1 人ロボット共生に向けた課題

- 人とロボットの共生の実現に向けて、安全確保が最重要課題の 1 つである
- 製造分野、家庭や介護用等サービス分野でそれぞれ課題がある
- AI 活用時の安全確保は試行錯誤の段階である

人とロボットの共生は、ここまで記載のとおり、製造分野、家庭・介護等のサービス分野や、平時・非常時等、様々なシーンが想定されるが、最重要課題の 1 つとして安全性の確保が挙げられる。特に、製造分野やサービス分野では、ロボットが人と密接に関わり、長時間にわたり両者が共存する運用となるため、リスクアセスメントの観点から、ロボット使用時のリスクレベルによっては、人に重大な危害が加わらないように安全な運用形態が求められる。人ロボット共生に向けた現状の課題を以下に示す。

(1) 製造分野

製造分野では、自動車産業を中心に産業用ロボットが多数導入されているが、製造業全般を見渡すと、組立、機械加工、溶接、食品、物流等様々な生産現場において、人手中心の現場は未だ多数存在する。世界的に少子高齢化に伴う労働力不足は加速しており、これらの生産現場では、人とロボットが共生する生産形態により、少ない労働力でも高い生産性を確保することが期待される。例えば、単純作業はロボットに任せ、人は組立等の複雑作業に専念するといった分業による生産の効率化が想定されるが、このような人とロボットの協働作業には、往来の妨げになる安全柵が不要な協働ロボットが不可欠である。

しかし、人手中心の現場では、ロボットの専門家の確保が難しく、誰でも簡単に使えるロボットが普及の鍵と言える。ロボット取り扱いの専門性には、ロボットの操作方法だけでなく、リスクアセスメント等安全確保の知識も含まれ、安全なロボットシステムを構築するためのルールやノウハウの理解が必要となる。ロボット単体で安全であっても、例えば、ナイフを振り回すロボットは危険であり、ロボットを運用する際のシステムとしてのリスクアセスメントが求められる。現状では、このような安全確保のための知識・ノウハウが人手中心の生産現場には不足しており、協働ロボット導入の障壁の1つと言える。

また、現在の産業用の協働ロボットは、国際安全規格 ISO 10218 に基づいて、ロボット単体やロボットシステムごとに、ロボットメーカーやロボットシステムインテグレータ(SIer)が独自に第三者安全認証機関から安全認証を取得しているが、認証機関によって認証基準が異なる面もあり、統一した認証制度の確立も求められる。

(2) 家庭や介護用等サービス分野

家庭・介護等のサービス分野でも、少子高齢化に伴い、サービスロボットによる様々な支援が不可欠となってくるが、普及に向けた枠組み作りと検証は道半ばである。家庭・介護のサービス分野では、ユーザは、購入者、使用者、受益者等様々で、製造分野と比較して知識や年齢等多岐にわたるため、専門性を要するロボットではユーザが使いこなすことができず、広く普及することは困難である。製造分野と同様に、専門性には、ロボットの操作方法だけでなく、安全に活用する知識も含まれ、スマートフォンや家電のように、特別な知識なく直感的に安全・安心に使えるロボットの実現と、それを支える社会基盤の構築が普及の鍵となる。

(3) AI 活用時の安全確保

周知のとおり、ロボットの適用範囲が広がり、多様な環境に対応するためには、AI の活用は欠かせない。しかし、AI により、ロボットは人が予見しにくい動作を行う頻度が増える可能性があり、その全てを予見してリスクアセスメントを行うには、多くの知識や時間を要す。この観点で、AI 活用時の安全確保は、まだ試行錯誤の段階であると言える。

4.3.2 人ロボット共生に向けた社会的枠組の構築

- 人ロボット共生社会を実現するには、まずはロボット自体の利便性や安全性をより一層向上させるべく、ロボットメーカーによる更なる技術開発が求められる
- 技術開発に加え、安全基準、保険制度が三位一体となった社会的枠組みの構築が不可欠である

(1) 概要

前項の安全に関する課題を解決し、真の人ロボット共生社会を実現するには、まずはロボット自体の利便性や安全性をより一層向上させるべく、ロボットメーカーによる更なる技術開発が求められる。ここで、人ロボット共生を幅広く普及させる上で、費用対効果の議論は避けられず、ロボットの性能アップによる利便性向上が社会要求として想定される。例えば、製造分野では生産性向上のための動作速度や可搬質量の拡大、サービス分野では人を支える等の重筋作業に対応した介護ロボット等がその一端であるが、これら性能向上に伴うトレードオフとして、安全面での残留リスクの増加が懸念される。

そのため、技術開発と並行して、自動車のように、設計や運用における安全基準の更なる明確化・一般通念化が求められ、さらには、利便性とリスクのバランスを鑑みながら、残留リスクに備えた保険制度の確立も必要と見込まれる。人ロボット共生の実現に向けては、技術開発、安全基準、保険制度が三位一体となった社会的枠組みが不可欠であり、それらの関係を図 4-10 に示す。

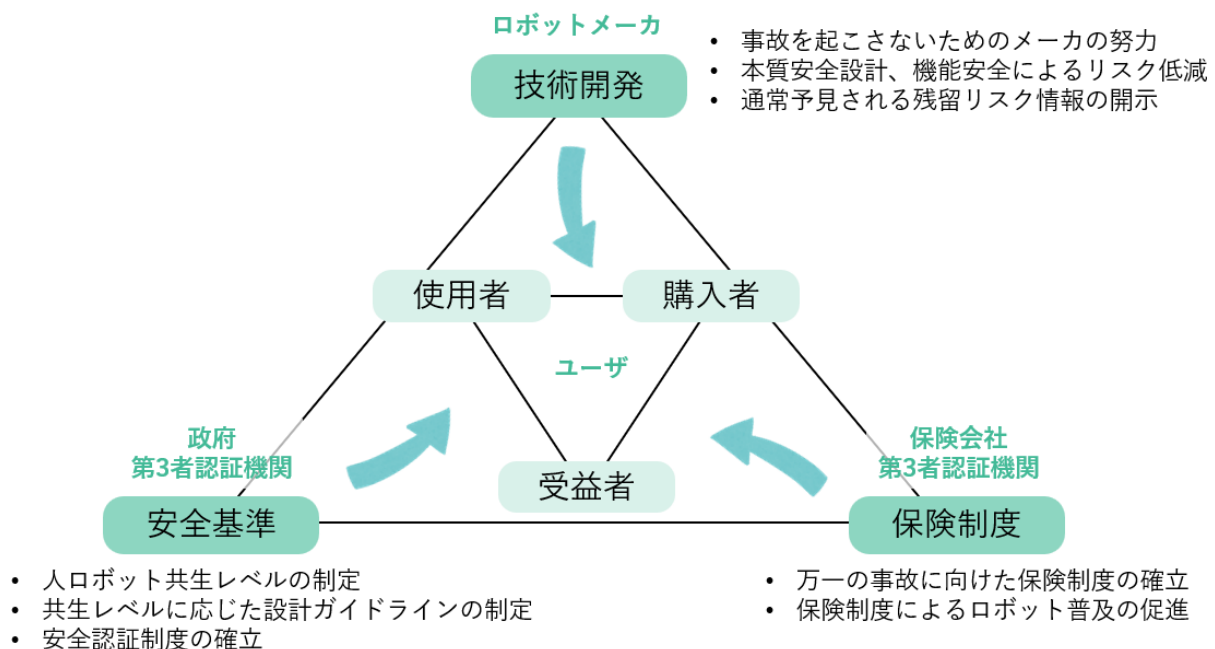


図 4-10 人ロボット共生に向けた社会的枠組み

(2) 技術開発

前述のとおり、まずはロボットメーカーの技術開発による安全性のたゆまぬ向上が求められ、以下が重要となる。

- ・ 事故を起こさないためのメーカーの努力
- ・ 本質安全設計、機能安全によるリスク低減
- ・ 通常予見される残留リスク情報の開示

ロボットの利便性とリスクはトレードオフになる面も多く、リスクアセスメントによって両者のバランスを最適化する。具体的には、ISO 12100、JIS B9700（機械類の安全性-設計のための一般原則-リスクアセスメント及びリスク低減）に則り、「State of the art」の思想の下、常に最先端技術により、決して事故を起こさないためのメーカーのたゆまぬ努力が必要である。リスクアセスメントの基本原則に沿って、使用者や使用条件を定義し、本質安全設計並びに機能安全により可能な限りリスクを低減する。それでも通常の使用範囲において残留リスクが見込まれる場合は、ユーザが許容可能なリスクレベルまで低減した上で、通常予見される残留リスクとして、ユーザに情報を開示することが重要である。

(3) 安全基準

メーカーによるロボット開発段階だけでなく、ロボットユーザによる安全な運用を実現するためには、人ロボット共生の明確なルール作りが必要である。この点は、自動車の自動運転を参考にすることができ、政府・第三者認証機関等の主導による以下の枠組みの構築が期待される。

- ・ 人ロボット共生レベルの制定
- ・ 共生レベルに応じた設計ガイドラインの制定
- ・ 安全認証制度の確立

自動車の自動運転では、米国の自動車技術会（SAE）により、レベル0（自動運転化なし）～レベル5（完全自動運転化）まで6段階のレベルが制定され、国内においては、国土交通省が国内独自の基準として、レベル1（運転支援車）～レベル5（完全自動運転車）の5段階の呼称と定義を策定している。このような基準に則り、国内外の自動車関連メーカーによる自動運転車の開発が進められている。人ロボット共生も、人中心の環境に自動運転のロボットを導入する点で類似性があり、自動車の取組みを参考にすべきである。

自動車の自動運転では、走行時に人の操作が介入する程度や走行環境の制限等によりレベルが定められているが、人ロボット共生においても、人がロボットに教示する情報量や、ロボットが人の動きに合わせてどこまでアクティブに対応し自律運転できるか等の指標に応じたレベル策定が想定される。その共生レベルに応じて、人とロボットがどの程度密接に連携するかが異なり、それぞれに求められる安全対策を定めた設計ガイドラインの制定が必要となる。人ロボット共生レベルと設計ガイドラインの制定は、個別組織による独自の内容とならないよう、政府によるイニシアティブの下、規格化することが重要である。さらに、この規格に沿った安全認証制度の確立が重要であるが、第三者認証機関によって認証審査の基準に差が生じないよう、政府主導による統一した基準での安全認証制度が求められる。これにより、ユーザは、メーカーを問わず安全・安心なロボットを活用すること

ができる。

(4) 保険制度

ロボットメーカーによる技術開発並びに安全基準の確立により、安全・安心な人ロボット共生の実現が期待されるが、前述のとおり、利便性とリスクのバランスから、やむを得ず残留リスクが生じる可能性は否定できない。これは自動車も同じであり、ロボットがますます普及し、人ロボット共生が日常に浸透する社会では、以下のとおり保険制度の確立も重要となる。

- ・ 万一の事故に向けた保険制度の確立
- ・ 保険制度によるロボット普及の促進

保険制度は、ロボットユーザの安全・安心を担保することはもちろんのこと、ロボットメーカーにとっても、ユーザが多岐にわたる様々な分野にロボットを普及させる際のリスク担保として重要である。保険制度の確立は、保険会社と第三者認証機関が中心となるが、技術提供側のロボットメーカーと、ロボットの購入者、使用者、受益者の様々な立場から構成されるユーザも巻き込んで、利便性と残留リスクレベルに応じて、適切な保険料の設定等、実効性のある枠組みの構築が求められる。

4.4 ガバナンス

○ELSI、RRI の観点からガバナンスを構築する必要がある

○人ロボット共生社会では、これまでの産業用ロボットに比べると、ステークホルダーが増えるため、新たなガバナンス構築が必要である

4.4.1 ELSI と RRI の観点

4.3.2 項で述べた、リスク低減（安全確保）に向けた社会的枠組については、技術開発、安全基準、保険制度の三位一体の運用が重要である。しかし、新規技術には、大きなベネフィットがあれば、リスクを含んでいる場合も想定される。ベネフィットの最大化とリスクの最小化を達成するために、適切なガバナンスを構築する必要がある。

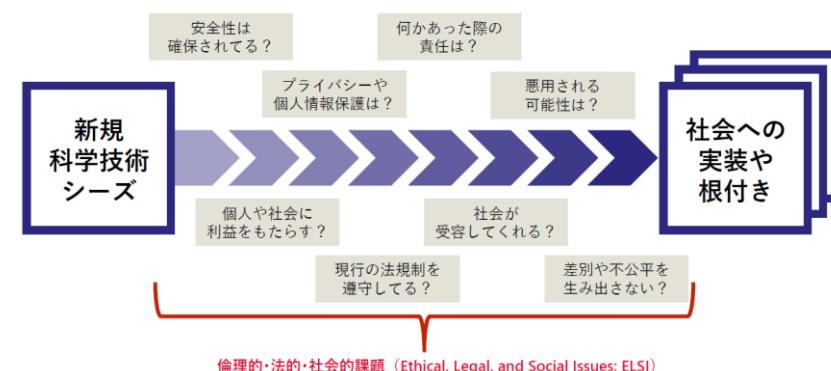


図 4-11 新規技術を社会実装するための多くのハードル

出所：大阪大学 社会技術共創研究センター資料より作成

ガバナンスの構築に際して、ELSI (Ethical, Legal, and Social Issues : 倫理的、法的、社会的課題)、並びに RRI (Responsible Research and Innovation : 責任ある研究とイノベーション) の観点から課題抽出、分析を行い、関連するステークホルダーとの議論を経て、公知化、一般化を進めていく必要がある。図 4-11 に ELSI の概念を示す。

4.4.2 様々なステークホルダーが参画した新たなガバナンス

ロボットと共生する社会では、利用者や受益者に加えて、ロボットを使わない一般市民もロボットと共生することとなるため、これまでの産業用ロボットと比べるとステークホルダーが多くなる。ガバナンス構築のためには、ステークホルダーとの信頼感の醸成も重要となる。これまでは、産業用ロボットの主に安全面に関する法令として、ISO・IEC 等で各種規制が設けられてきたが、協働ロボットや家庭用ロボットにも枠組みが広がってきている。また、人との共生においては、自動運転や AI 等の技術も使用されるため、ロボット技術の視点のみでガバナンスを構築することはできない。ロボットと共生する社会では、新たなガバナンス構築が必要になる分野が多数存在すると考えられるが、その際にいかに適応できるかが大きな課題である。

4.5 センスメイキング

4.5.1 社会受容性とセンスメイキング実例

- 社会受容性とは、社会に受け入れられることであり、人とロボットの共生には社会受容性が不可欠である
- 社会受容性を高めるには、そのロボットの利便性・有効性が高いことと、高い利便性があることを一般の人々に理解してもらう必要がある

受容性（社会的受容性）とは、小学館の『デジタル大辞泉』によると「企業・施設・新技術等が地域社会や国民の理解・賛同を得て受け入れられること」と定義されており、本ビジョンではロボット及びそれを取り巻く技術について考える。

社会に受け入れられた方が良いのは当然と感じると思うが、それ以上に人とロボットの共生を目指す上で社会受容性を考えることは重要である。人とロボットの共生が目指すのは、人が安心して生活できる社会である。ここで言う「人」には、専門的知識を持つロボット操作員だけではなく、一般の人を含む。大阪大学の標葉隆馬氏⁴によると、新しい技術に対して、専門的知識を持つ人はその有効性や妥当性等に興味を持つのにに対し、専門的知識を持たない一般の人はリスクや責任等万が一のことに興味を持つ傾向がある。そのため、一般の人に受け入れられるためには開発者側が想定するよりも高いハードルが存在する。また、メーカーが関与し得ない、社会情勢や報道、規制等が取り巻く環境の変化が社会受容性変化の要因となり得るため、業界としての柔軟かつタイムリーな対応が必要となる。

では、社会受容性を高めるセンスメイキングとして実際どのようなことができるであろう

⁴ Ryuma Shineha et al、A Complorative Analysis of Attitudes on Communication Toward Stem Cell Research and Regenerative Medicine Between the Public and the Scientific Community、Stem Cells Translational Medicine、71.2、251-257、2018

うか。まず前提条件として、そのロボット及び技術の利便性・有効性が高いことは必須である。また、高い利便性があるとして、それを一般の人に分かってもらう必要がある。例えば、2019 年～2020 年に行われた経済産業省の高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業におけるラストワンマイルの自動走行実証試験では、事前に試乗イベント（デモ）や住民説明会等を実施しているが、一般の人に実際に使ってもらうことにより、実証試験自体もセンスメイキング手段となっている。説明会や試乗を通し、導入によるメリットを一般の人にも分かりやすくイメージしてもらうことで、少しずつ社会に溶け込んでいった良い例である。

4.5.2 事業化が難しい領域の社会受容性によるビジネスモデル

- 政府からの投資が必要な分野では社会的要求が重要である
- 国民の期待を得るためには、分かりやすい将来の利益とそれに向かっていることをイメージできることが必要である

現時点での事業化が難しい宇宙ロボットや、有事にしか使わない災害対応ロボット等そもそも事業化が難しい分野では、研究開発に政府として投資を行う必要がある。どれだけ投資するかは高度な政治判断であり、資本主義国家である日本では、社会的要求が高くない事業に多額の投資をすることは難しい。宇宙ロボットの分野では、内閣府の「宇宙開発利用加速化戦略プログラム」によると、将来の社会予想から、日本が宇宙分野においてどのようなビジネスモデルを持つべきなのかを考え、達成するためのロードマップを既に策定している。更なる社会受容性を求めるためには、それを達成した場合に国民にどのような利益があるのかを示す必要がある。その利益を、抽象的ではなく具体的に一般の人にもイメージしやすく示すことが重要である。それとともに、ロードマップとその途中経過を逐一発信することで、2050 年にはその未来が実現するという国民の期待を得ることができるであろう。また、災害対応ロボットについては、現状、人が実施している分野に対してロボットの置き換えということであれば社会受容性は比較的得やすいであろう。しかし、新しい技術分野においては宇宙ロボット同様、その利益を分かりやすく提示することが必要となるであろう。

4.5.3 ロボットが人間社会と共存する未来のために

- ALARP (As Low As Reasonably Practicable) = 「合理的に実行可能なリスクの低減
- ALARP が浸透するためには、開発者の努力だけでなく、業界全体での働きかけが必要である
- 見た目・機能のデザインによりロボットに対する無機質なイメージを変えていくことも重要である
- ロボットという未知の物に対して信頼感を得るためには、リスクという不利な情報を早期提示することも選択肢の 1 つである

日本では安全に対する要求が高く、開発者がリスクを重視し過ぎて利便性を十分に得ら

れておらず、イノベーションが起こりにくい。なぜそこまで安全に対する要求が高いのか。訴訟されるリスクが高いのかと言うとそうでもない。日本における PL 法に関する訴訟は、消費者庁の「製造物責任（PL）法に基づく訴訟情報の収集」によると、施行依頼累計で 472 件（2022 年 5 月時点）、対して米国では、「United States Courts TableC-11 U.S. District Courts--Product Liability Cases Commenced, by Nature of Suit, During the 12-Month Periods Ending September 30, 2019 and 2020」によると、2019 年の 1 年で 57,632 件と桁違いの件数が発生しているが、米国でイノベーションが起きていない訳ではない。日本でイノベーションが起こりにくいことには社会的責任が関係していると思われる。SNS 等での批判に対し、開発者に責任を負わせる土壤ができてしまっている。

ALARP (As Low As Reasonably Practicable) という考え方がある（図 4-12）。これは「合理的に実行可能なリスクの低減」という意味である。ALARP 領域とは⁵、リスク評価の概念であり、縦軸として、上に行くほどリスクの高い領域を示す。まず、最も上位にある「許容できない領域」は誰もがそのリスクを許容できずに拒否する領域であり、労働安全衛生法の最低基準を満たしていない領域である。次いで、「許容できる領域」は、条件付きで納得できれば許容できる領域であり、許容できるかどうかのレベルは国、地域、社会の要請に応じて変化する。その下の「考慮する必要のない領域」は誰もが安心して許容できる領域である。近年、製造等の現場ではリスクアセスメントが普及してきたが、一般にはまだ ALARP 領域や許容できる領域というのは浸透していない。

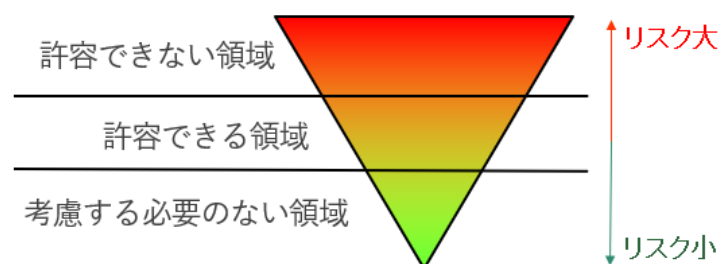


図 4-12 ALARP 領域

その原因として、無機物（ロボット）に対しては完璧を求めてしまうことが挙げられるであろう。人と人との関わりの中では、人が間違いを犯したり、ぶつかったりするリスクを当たり前を受容している。しかし対ロボットとなると、ロボットは勝手に避けるべき等理想を求めてしまう。ロボットの社会受容性を高めるためには、ロボットに対するイメージを人対人と同じようにシフトしていけるかが鍵となる。そのために、開発者はやはり重大リスクを低減する努力が必須となる。何よりも死亡事故を防ぐことを目指すべきで、人とぶつからない、柔らかくする、エネルギーを小さくする等、可能な対応はすべきである。

また、見た目・機能のデザインによりロボットに対する無機質なイメージを変えていくことも重要だ。人による可制御性を確保することで、ロボットを使うことに人々が不安を

⁵ 平成 29 年 2 月 中央労働災害防止協会『機能安全活用テキスト』
<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyou/0000151401.pdf>

持たないようにすることや、隣人のように愛着を持って貰う工夫が必要となる。

また、ロボットに親しみを持って貰うための教育を、老若男女問わずに積極的に実施していく必要があるであろう。ロボットの利便性の高さを認めてもらい、ロボットに対するイメージを継続的にアップデートしていく必要がある。普段の生活にロボットを活用したり、地域社会で人とロボットが共生したりするイメージを持っていない高校・大学等の教育現場で優先的に実施することも有効であろう。

さらに、ロボットという未知の物に対して信頼感を持つためには、リスクという不利な情報を早期提示することも選択肢の1つである。最悪何が起こるかといったことや設計基準、ルールを明確にして情報公開する必要がある。また、事故が発生した際のイメージ悪化の防止のためには、事故情報の公開や事故調査機関の設置等をタイムリーに行っていく必要がある。さらに、技術の進歩とともに規制改正への働きかけも必要となる。これらは開発者単体ではなく、ロボット業界としての実施が望ましいであろう。

第5章 ロボット技術開発の方向性

5.1 ロボット技術開発の方向性

5.1.1 はじめに

今後、我が国が新領域でのロボット産業を構築するためには、提供するサービスの将来像からバックキャストして今後成長が必要となる技術要素を見出し、明確な指針の下に技術育成に取り組むことが望ましい。そのため、本章では以下の過程により今後注力すべき技術領域を浮き彫りにし、将来の指針を示す。

- ア．今後求められるロボットサービス領域を抽出し、
- イ．これらの実現のために必要な技術要素について検討する。

まず、今後求められるロボットサービス領域として、本ビジョンにおけるこれまでの議論を踏まえ、ロボット技術の利活用として社会課題の解決や市場拡大が期待される以下の領域に関して検討する。

- ・産業ロボットサービス (5.1.2)
- ・物流ロボットサービス (5.1.3)
- ・農業ロボットサービス (5.1.4)
- ・建設ロボットサービス (5.1.5)
- ・医療ロボットサービス (5.1.6)
- ・ケアロボットサービス (5.1.7)
- ・災害ロボットサービス (5.1.8)

次に、これらのサービス領域それぞれについて 2050 年の将来像及びその実現に必要な技術要素と現時点における開発動向を示す。技術要素については、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が提供する研究開発の俯瞰報告書（システム・情報科学技術分野）のうち、特にロボティクス分野における俯瞰図⁶を参考とし、記載した。各サービス領域では、今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群を表（5-1～7）として示した。これらの表では、各要素技術に関する成熟度として、(A) を当該応用に際して現段階で成熟している技術、(B) を今後より成熟が望まれる技術、(C) を今後の研究開発を要すると評価した。なお、これらサービス領域はあくまで代表的なものであり、個別的にはそれぞれの専門領域において検討する必要がある。本節ではあくまで上記領域に絞り検討を進めることとする。

⁶ ロボティクス分野における俯瞰図、<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2024-FR-03.html>

5.1.2 産業ロボットサービス

(1) 産業ロボットサービスの将来像（2050 年）

世界における産業用ロボットの新規導入台数は、2025 年以降年 4%程の増加が見込まれており、今後も市場の堅調な拡大が期待される。適用先の中心は、依然として自動車産業や電機電子産業となっている。量産工程における搬送・溶接等の繰り返し単純作業であるものの、近年では協働ロボットの普及に伴い、多品種少量生産工程や、より複雑な作業に対するロボット適用事例も増加している。

世界的な人手不足や労働生産性向上への要求等から、この傾向は今後も継続すると考えられ、2050 年には産業ロボットサービスがより幅広い業界における、複雑かつ多様な作業工程に浸透すると期待される。このような背景の下、ロボット適用の範囲がより複雑・多様な作業へと拡大するとともに、教示作業省力化へのニーズが高まると予想される。これに対処するため、高度な専門知識がなくても直感的に教示可能なインタフェースや、ロボット自身が環境を認識し、動作軌道・作業計画を自動生成する（すなわち、教示の一部又は全部を不要とする）仕組みの高度化・広範な普及が期待される。一方、2050 年においても完全自動化が困難、又は費用対効果に見合わない作業は残存すると考えられ、人とロボットの協働を前提としたロボットサービスも併せて広く普及していると考えられる。ロボットの遠隔操作は広く実用化され、熟練作業者が複数拠点の作業を掛け持ちする用途（マルチファクトリーマニュファクチャリング）等への活用が一般的となるであろう。また、協働ロボットの活用範囲も広がりを見せ、ロボット自身が協働作業者の行動や意図を認識し息を合わせて作業する、といったアプリケーションも実現されている可能性がある。

(2) 将来の産業ロボットサービスを支える技術

上記の産業ロボットサービスを実現・発展させるために必要となる代表的な技術領域と関連する要素技術及び今後の技術進展について表 5-1 に示す。

必要となるおおよその技術について、まんべんなく技術開発が進展しており、一部の単純かつ汎用的なアプリケーションでは、ロボットによる完全自動化システム、又は人とロボットの協働作業システムへの実用例が見られる。2050 年に向けて更に複雑かつ多様な作業工程へ対応するためには、これら全ての技術の底上げが欠かせない。その中でも、特に機械学習・AI 関連技術は、周辺環境の認識、人間作業者の行動や意図の理解、ロボットの動作計画等、ロボットシステム構築の幅広い分野に対して影響を及ぼすため特に重要である。これに加えて、完全自動化が困難な作業に対しては、遠隔操作のための VR・AR 技術の高度化や、協働ロボットシステムの安全性検証技術に関しても必要性がますます高まるものと思われる。

表 5-1 将来の産業ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
制御	制御理論	(A) 物理特性が複雑・未知な物体との接触を伴う動作の制御等、追加開発の余地がある。
	データ駆動制御	(B) 学習コストがかかる（多量のデータが必要）、動作信頼性が保証できない等、実用面での課題が残る。
	機械学習	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
知覚・認識	行動・感情認識 状況文脈認識	(C) センサデータから行動・感情を分類することは可能であるが、人の動作に合わせてロボットを遅滞なく緊密に協働動作させるには、人の行動の意図や人がその感情を持つに至った理由、それらを踏まえて次に人がどのような行動を起こすか等、状況文脈を含めた詳細な認識技術が必要である。
動作・行動計画	教示技術	(B) より簡便な教示技術が期待される。
ソフトロボティクス	柔軟センサ、柔軟アクチュエータ	(B) 食品業界を中心に適用実績が増加。多様な作業へ適用するには設計手法・指針の一般化が必要である。
	モデリングと制御	(C) より複雑な制御を実現する必要あり。
センシング	視覚・触覚・力覚センサ	(B) 小型・軽量化等更なる発展が期待され、安全用途への使用時には信頼性向上も課題である。
通信・情報処理	無線通信	(A) 5G によるロボット遠隔操作実証実験が進展中。
AI	深層学習 深層強化学習	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
統合化技術	シミュレーション	(B) 環境の構築・カスタマイズ作業の煩雑さが課題である。
	安全性検証	(B) 人とロボットが近接した環境下でも安全性と作業効率の両立が必要、作業への安心感の与え方も課題である。
マニピュレーション	データドリブンロボット学習	(B) 汎用タスクでは基盤モデルの活用が進むが、業界・工程特有の特殊作業への適用が今後の課題である。
	視触覚、近接覚	(A) 透明・光沢物体への対応、接触時の質感の理解等が課題である。
	ソフトロボット	(B) 食品業界を中心に実績増加。適用拡大には設計手法・指針の一般化や制御手法の高度化が必要である。
	生成モデル	(B) より複雑・多様な作業への適用拡大が期待される。
ヒューマンロボットインタラクション	人間拡張 VR・AR 触覚	(B) 視覚については遠隔操作者側のデバイス（VRゴーグル等）のVR酔い対策や装着感改善に課題あり。触覚の伝達はより実用化に向けた技術開発が必要である。
	デジタルツイン	(B) 対象物の物理特性の考慮、シミュレーションモデル作成の手間削減等が課題である。

(3) 産業ロボットサービスのまとめ

産業ロボットサービスにおいては、適用範囲をより複雑かつ多様な作業に拡大するため、特に機械学習・AI 関連技術が幅広い要素に対して重要であることが確認された。これらの技術開発は全世界で競争が激化しており、我が国でも遅れを取らぬよう、今後も継続して産官学が一体となった技術開発が必要である。また、システムを広く実用化するためには、機械学習・AI 等の高度なソフトウェア技術を組み合わせたロボットシステムの提案・構築や、メンテナンスを行えるシステムインテグレータやサービス事業者の育成も不可欠であり、

開発した技術をこれらの事業者スムーズに橋渡しし、実用化につなげられるよう、教育体制や経済的支援の強化等、その道筋の明確化にも取り組む必要がある。

5.1.3 物流ロボットサービス

(1) 物流ロボットサービスの将来像（2050年）

物流とは、生産者から消費者に商品が届けられるまでの一連の流れを意味し、具体的には配送・輸送、保管、荷役、梱包等の工程が含まれる。物流分野では、「労働者の高齢化と若年層の不足」、「労働環境の厳しさ」、「EC市場の拡大に伴う宅配便の増加」等を背景として人手不足が大きな問題となっており、ロボット活用による省人化、効率化が期待されている。

例えば、倉庫及び物流センターでは、自律搬送ロボット（AGV、AMR）による商品の搬送や入出庫作業、ピッキングロボットによる商品の棚補充や注文に応じた出庫作業、自動倉庫等のコンテナの入出庫システム、商品の仕分けにおけるソーティングシステム等が挙げられ、これらの技術による大幅な効率化が期待されている。また、ラストワンマイル配送の段階では、配送ロボットやドローンの活用が期待されており、都市部の短距離配送の迅速化や、交通渋滞を避けた効率的な配送が期待されている。

現状では、大型の物流倉庫を中心にロボットの導入が進んでいるが、物流サービスの自動化にとどまらず、高い知能を有したロボットと人の協働作業による効率的なサービスの提供という観点でも大きな期待があり注目を集めている。また、ラストワンマイル配送に関しては、2023年の道路交通法の改正や、一般社団法人ロボットデリバリー協会による安全基準やガイドラインの策定により、配送ロボットサービスの発展が推進されており、既に地域を限定した配送ロボットの導入も始まっている。

(2) 将来の物流ロボットサービスを支える技術

将来の物流ロボットサービスを支える技術領域や要素技術を表5-2に示す。現在のように限定された環境で活用が進んでいるロボットを更に普及させるには、ロボットの適用範囲の拡大が重要になる。適用範囲の拡大には、未知の物体のピッキング、未知の路面の走行等が重要であり、その実現に重要な技術としては、センサ技術、AI技術、適応制御技術が挙げられ、これらの技術によるロボットの自律性の向上が不可欠である。さらに、複雑な判断を要する環境や安全面への対応として、遠隔制御技術も重要になると考えられる。

表 5-2 将来の物流ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
制御	制御理論	(A) 様々な外乱に対して柔軟な制御が必要である。協働ロボットの普及に伴い、一定の成果が得られている。
	自律判断	(B) 環境の変化に対応する自律性が必要である。
	機械学習	(B) 未知の物体のピッキングや未知の路面の走行にはラーニング技術が必須であり、更なる発展が求められる。
	遠隔制御	(B) 省人化と安全性の両立が必要であり、遠隔からの制御もしくは監視が必要である。
知覚・認識	行動・感情認識 状況文脈認識	(B) ロボットが人と共存するために、人の行動や状況を正しく認識する必要がある。
動作・行動計画	教示技術	(B) 自然言語処理の導入等が期待される。
ソフト ロボティクス	柔軟アクチュエータ	(B) 様々な形状の荷物を把持できるグリップが求められる。
	モデリングと制御	(C) 柔軟な物体の高精度な制御が必要である。
動力	エネルギー管理	(A) 効率的な運用にはエネルギー効率が重要になる。
センシング	視覚・触覚・力覚 センサ	(A) 更なる高精度化や、耐環境性等が求められる。また、複数のセンシング技術の組み合わせが重要になる。
通信・情報処理	無線通信	(A) 配送ロボットや自律走行ロボットは無線通信が必要である。
AI	深層学習 深層強化学習	(B) 未知の物体のピッキングや未知の路面の走行にはラーニング技術が必須であり、更なる発展が求められる。
マニピュレーション	データドリブン、 ロボット学習	(B) 未知の物体のピッキングにはラーニング技術が必須であり、更なる発展が求められる。
	クロスモーダル視触覚、 近接覚	(B) 器用なマニピュレーションにおいて重要である。
	生成モデル	(B) 人との協働作業においてはテキストデータや音声データからロボットの動作を生成する技術等が求められる。
移動	車輪	(A) 整備された環境では活用されている。
	二脚、多脚	(B) 災害対応ロボット等では活用が進んでいるが、物流ロボットとしての活用も期待される。
	ドローン	(A) 離島への医薬品や食材の配送で活用されている。
ヒューマンロボット インタラクション	テレプレゼンス	(B) 円滑な遠隔操作には重要である。

(3) 物流ロボットサービスのまとめ

物流ロボットサービスは、ロボットの自律性の向上に伴う適用範囲の拡大により、更に普及が進むと考えられる。ただし、自律性の向上にはこれまでに述べた技術を組み合わせ、それぞれの技術が互いに補完し合うことが重要である。そのため、複数の企業や研究機関が共同で開発を進めることが重要である。また、ラストワンマイル配送におけるロボットの活用では、ロボットの開発に加えて、インフラ整備（通信インフラや道路・歩道環境）、法規制への対応、そして社会受容性の向上も重要である。したがって、物流ロボットの社会実装に向けて、産官学が一体となって取り組む必要がある。

5.1.4 農業ロボットサービス

(1) 農業ロボットサービスの将来像（2050 年）

農業ロボットの現状について、先進国では労働力不足や生産性向上のニーズから導入が拡大しつつあるが、新興国ではコストやインフラ整備が課題となり普及が進んでいない。2050 年における農業ロボットの将来像は、社会的ニーズの変化やテクノロジーの進化により大きく加速・発展していると予想される。特に、ロボットの多機能化や AI の進化により完全自動化農場等のスマート農業が普及拡大し、食糧不足や労働力不足、重労働の解消、地域や国を超えた農業最適化が進むことが期待される。また、環境への配慮を目的としたロボット活用による持続可能な農業や、気候変動の影響を受けない全天候型生産におけるロボット活用も普及発展することが予想され、農業のデジタル化・効率化がエコシステムを構築する重要な要素となる。

サービスとしての農業ロボット普及を考えた場合、導入費用や技術的なハードル、地域性・多様な作物への対応から、マルチに活躍できる農業ロボットのシェアリングサービス・サブスクリプションサービスが 1 つの有効な手法と考える。また、直感的に使用できる容易なインタフェース、メンテナンス性や耐久性、再利活用性を考慮した農業ロボットの普及が重要である。

(2) 将来の農業ロボットサービスを支える技術

今後発展が期待される農業ロボットに必要となる技術領域と関連する要素技術を表 5-3 に示す。

農業においては多種多様な作業が要求され、必要な技術也多岐にわたる。現状、農薬散布ドローンや収穫支援ロボット、除草ロボットの活用により一定の効果が確認されている技術もあるが、全体的には不十分な技術が多い。特に作物によって作業環境が異なることからロボット自体が専用システムになりやすいが、コスト面や二次利用の面からも汎用性が求められる。また、作物の形状に合わせてハンドリングするための画像認識やマニピレータ、スマート農業を遂行するための自律制御も重要な要素技術である。

表 5-3 将来の農業ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
制御	自律判断	(A) 農地内の正確な走行・作業、障害物検知と回避が可能である。
	画像認識	(A) 作物のサイズ、色、形状の分析に一定の成果がある。
	姿勢制御	(A) ドローン活用による一定の成果がある。
	AI	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
機構・材料	ロボット機構	(C) 多機能、軽量対応等更なる発展が期待される。
	モデリングと制御	(C) 農作業に合わせた独自の発展が期待される。
	機能材料	(B) 耐環境性を考慮したロボット技術の発展が期待される。
移動	三次元空間マッピング	(A) 宇宙衛星による畑の育成状況監視技術応用が期待される。
	ドローン	(A) 垂直農業等植物工場の発展が期待される。
センシング	視覚・触覚・力覚センサ	(B) スマート農業に特化した発展を要する。
通信	通信品質	(B) 複数ロボット統合運用技術の発展が期待される。
	耐環境性	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
マニピュレーション	データドリブン、ロボット学習	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
ヒューマン ロボット インタラクション	協働作業	(A) 協働ロボット技術による一定の成果がある。
	自律作業	(A) 収穫支援ロボット、除草ロボットによる一定の成果がある。
	AI アシスタント	(B) データ収集による最適化提案の発展が期待される。
動作・行動計画	教示技術	(B) 自動栽培、自動収穫技術の発展が期待される。
動力	エネルギー管理	(A) 太陽光発電、蓄電システムに一定の成果がある。
ソフトロボティクス	柔軟材料、柔軟アクチュエータ	(B) 作物収穫に特化した発展を要する。

(3) 農業ロボットサービスのまとめ

農業ロボットサービスは、食糧生産の安定、環境負荷の軽減、人手不足の解消、農業技術の継承と普及等様々な社会課題を解決できると予想される。産業用ロボットの技術を流用応用しつつ農業ロボットとしての独自の技術を発展させることで、誰もが使いやすく、かつモノや場所を選ばない農業を発展させることが可能である。

我が国においても、食料自給率の低下、農業従事者の高齢化や後継者不足、耕作放棄地の増加、農業所得の低下等の問題を抱えており、これらの問題を解決する 1 つの手段として農業ロボットサービスの活用が求められる。農業ロボットを普及させるには基礎研究から導入までを我が国全体でサポートする環境整備が必要であるが、現段階では一部地域や大規模農家の特定分野のみの導入にとどまり普及途上であると言える。しかし将来、農業がより魅力的で現代的な産業となり、農業ロボットサービスやそれらに付随する技術が普及することで、我が国にとっての新たなビジネスチャンスの創出となり、我が国の国際競争力向上につながる可能性を持っている。

5.1.5 建設ロボットサービス

(1) 建設ロボットサービスの将来像（2050 年）

現在の建設業界に目を向けてみると大きな懸念が見えてくる。1 つ目の課題である需要に対する懸念として、1960 年代、1970 年代の高度経済成長期、1980 年代のバブル期に日本各地で数多くのインフラが建設されたが、それから 50 年以上が経ち、これらの施設の老朽化が急速に進んでいる。また、上記期間には多くのビルや商業施設、住居も建設されており、建て替えられることもなく、老朽化しているものが多く存在する。さらに、国内の人口減少、少子高齢化に伴う過疎化等により、一部地域で集中的に廃墟化が進み、このような地域では再開発が進まない状況が生まれており、多くの資産が埋没している（一般社団法人日本ロボット工業会調べ）。しかし、これらは日本の建設業界に多くの需要が眠っていることを示しており、更にこれらは定期的なメンテナンス、再建を必要とするため、継続的な需要も見込まれる。

次に、建設業に限らず、人口減少、少子高齢化に伴う人手不足が供給課題として存在する。特に建設業界では高齢化が進んでおり、専門的な知識や技術を受け継ぐ若手の育成が求められている。国土交通省の発表によると、建設業者数は 1999 年度末をピークに 2021 年度末には 21% 減、建設業就業者数は 1997 年末をピークに 2022 年度末には 30% 減となっている。また、建設業界では長時間労働が常態化しており、このような課題に昨今、業界の労働環境改善の取組みが進められており、時間外労働の是正や、全週休 2 日工事を目指して改善に向かっている中、2024 年には時間外労働規制が適用され、供給不足が今後も加速すると考えられる。

このように、建設業では需要と供給の適正なバランスの維持に大きな課題が存在しており、この課題を解決する手段としてロボット技術に期待が集まっている。建設業界のロボット開発は古く 1980 年代にさかのぼり、2000 年代までに 160 種以上のロボットが開発されたが、いずれも本格的に普及するものがなかったと言われている（一般社団法人日本ロボット工業会調べ）。主な要因として、以下が挙げられる。

- ア．大型で重く、搬送や設定に手間取ったこと
- イ．時間稼働にあたっての電源供給や制御が現場では煩雑過ぎたこと
- ウ．専任のロボットオペレータが必要であったこと
- エ．一品生産であり、製造及び運用の費用が高額であったこと
- オ．複雑な作業や動作が求められたこと

このような中で、2021 年 9 月には建設業界全体を視野に入れた「建設 RX（ロボティクストランスフォーメーション）コンソーシアム」が設立され、建設業界全体での共同研究開発等が始まっている。また、これら過去の課題に対して、急激な技術革新により（ア）、（イ）（ウ）、（オ）についてソリューションが見えてきており、2050 年の建設ロボットサービスは大きく拡大すると考えられる。また、（ウ）、（エ）の課題解決に対しては、建設業用ロボット開発の業種専任化、リースサービス業種の誕生等、新たなビジネスが生まれることが考えられる。これらについては、インフラという政府が関わる事業とも関連するため、政府による社会保障の観点からも、官民協力による新ビジネス創出も考えられる。

(2) 将来の建設ロボットサービスを支える技術

前述した技術革新において、まず、ロボット要素部品であるモータやセンサが産業用ロボットの発展とともに小型化したことが挙げられる（ア）。また、多くの電子機器のモバイル化や自動車に使用されることが増えたバッテリーの開発が進むことで、よりエネルギー密度の高い長時間の電源供給が達成できている（イ）。これらの開発は昨今大きく進歩したが、現状ではモータに使用されるマグネットにレアアースが用いられており、さらに、自動車等におけるモータ使用が増加し、バッテリーに関しても全世界で大きく需要が伸びることにより、レアアースの需要が大きく伸びている。これらの課題を解決するためにも、レアアースの使用量を下げる技術、また、レアアースを使用しないマグネット、バッテリー技術が必要になると考えられる。また、バッテリーに関しては、更なる高エネルギー密度化、充電時間の短縮のため、全固体電池に代表されるバッテリー技術の更なる進歩が求められる。また、（ウ）の専任ロボットオペレータの必要性に関しても、産業用ロボットに新たに登場した協働ロボットに代表されるように、オペレーティングの簡素化、一般化が進んでおり、これらは建設業界のロボットサービスにも良い影響を与えると考えられるが、前述のとおり、建設業界の就業者数が減少している中、労働人口が減少している我が国において、建設業界の企業が各個にオペレーティング専従者を雇用することはリスクになるため、ロボットオペレーティング専業企業化も考えられる。また、建設現場は多くの場合離れていることが考えられるため、専業化においてはロボットオペレーションの遠隔操作技術が求められる。さらに、遠隔操作技術に伴い、データ通信技術である 5G や 6G、更にその先の通信技術の開発も必要となる。さらに、（オ）においては、複雑な作業や動作ができるロボット技術も生まれてはいるが、現状では未だ市場が確立している状況ではないため、更なる技術革新が求められる。しかし、必要に応じた遠隔操作技術による人の介入、センシング技術の発展によっても解決できると考えられる。

表 5-4 に今後必要となる技術領域と関連する要素技術を示す。

前述の建設業界用ロボット開発の業種専任化と併せて、AI 技術の発展によりロボット開発スピードが上がることで専用ロボット開発のコスト削減が期待される。

表 5-4 将来の建設ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
制御	遠隔制御	(B) 省人化と人員確保に期待。通信速度は実用レベルにあるが、安全性とプラットフォームの整備が必要である。
	AI	(B) 業界によっては進んでおり、実用レベルにあるものもある。画像認識や制御フィードバック、ロボットの移動解析が期待される。
	GPS 自律走行制御	(B) 敷地内の正確な走行・作業、障害物検知と回避に期待。安全保障の観点から国産 GPS の開発が期待される。
	画像認識	(A) 産業用ロボットでは実用レベルにある。建設業界向けの広い視野と状態の診断には更なる改善が必要である。
	姿勢制御	(A) 産業用ロボットやドローン活用による一定の成果がある。
機構・ソフトウェア・ロボティクス・材料	ロボット機構	(A) 建設業界に特化した機構やハンド、搬入搬出に適した小型化、軽量化が必要である。
	モデリング	(C) 3D CAD から直接部品製作をすることで図面を使わずスピーディーな開発が期待される。
	材料	(B) レアアースレス材料、自己修復材料が期待される。
センシング	視覚・触覚・力覚センサ	(B) 遠隔操作時に人へのフィードバックを行えるようにする必要がある。
	障害物や異常状況の検出	(B) 進展しているが、人の意図しない動きや複雑な環境での高精度化には課題が残っている。
通信	通信品質	(A) 5G での一定の成果がある。
	通信セキュリティ	(B) 安全面と企業の重要情報流出を防ぐためにハッキング対策の更なる向上が必要である。
ヒューマンロボットインタラクション	テレプレゼンス	(B) 円滑な遠隔作業のためには、よりリッチな通信環境が期待される。
	協働作業	(B) 産業用ロボット業界では、協働ロボット技術の初期段階にある。より高荷重への対応の必要性がある。
	人間拡張	(B) パワーアシストスーツのような実用例が見られるがコストが課題である。 (B) より高負荷への対応や安全性の更なる改善が期待される。 (B) 作業補助、労働環境改善が期待される。
	触覚	(B) 遠隔作業等未だ適用が進んでおらず、コストに課題。
	リアルタイム制御	(C) 協業作業、遠隔操作に必要であるが、未だ限られた条件の下での運用となる。
	VR/AR	(B) 建設現場の再現と共有に期待。実用段階ではあるが、未だ導入には至っていない。
統合化技術	ロボット OS、ハードウェアプラットフォーム	(B) 遠隔操作やプログラム、複数の現場をつなげるプラットフォームが求められる。
	シミュレーション	(B) 大規模シミュレーション及び作業効率化が期待できる。
	安全性検証	(B) 人とロボットが近接した環境下でも安全性と作業効率の両立が必要であり、作業者が安心感を持てる工夫も課題である。

(3) 建設ロボットサービスのまとめ

建設ロボットサービスにおいては、産業用ロボットの基盤技術であるモータ、バッテリー、また、今後の遠隔操作技術、情報通信技術の発展が必要であり、さらに、官民による協力と新規ビジネスの創出が大きな鍵となると考えられる。本領域は、日本を取り巻く環境を踏まえると、安定して大きな需要が見込まれ、供給不足からくる必要性から大きな成長ポテンシャルがあると考えられる。建設業界における人員不足、国内の労働供給不足の中、建設業界でロボットオペレータ人員まで確保することは難しいと考えられ、また、少量生産となる専用ロボットの運用コストは財務効率的な視点からも前述のロボットオペレータと共に新たな業界誕生も求められると考えられる。このような環境の中、建設ロボットの更なる適用拡大が必要とされる。今後の展開には単純な人材育成だけでなく、新規ビジネスの創出を促す今までとは異なる角度からの協力体制や、協業を主導するリーダーの存在と産官学の協力体制が必要とされる。

5.1.6 医療ロボットサービス

(1) 医療ロボットサービスの将来像（2050年）

現在、医療ロボット市場は急成長しており、2030年には11.5兆円の規模に成長し、2050年には更に拡大していると予想される。特に規模が大きいのは外科手術ロボットであり、巧緻な手術操作を狭小な手術空間で可能とすることから、広く普及しつつある。また、リハビリテーションの分野では、これまで検知できなかった生体信号を検知し、運動を処方するロボットに注目が集まっている。

今後は、これら2つのセグメントを中心に様々な分野に細分化した発展が起これと考えられ、より広範なロボット技術が求められると予測される。更に注目されるのは、遠隔医療（診断・治療）に関して高まる要求である。COVID-19による世界的なパンデミックは、遠隔に診断又は治療を行うことの重要性を共通認識として社会にもたらした。国内でもオンライン診療が導入され広がりを見せており、今後の広範な活用の兆しがある。これを素地として、オンライン診療から更に進んだ遠隔治療の要求が高まることが予測され、ロボット技術への期待は極めて高いと考えられる。本項では、外科手術ロボット、リハビリテーションロボット、遠隔医療ロボットについて将来像を検討する。

サービスとして、これらのロボット普及を考えたとき、既存の規制、医療経済では、装置の購入は医療機関が行い、患者へ医療サービスを提供しており、今後も維持されることが考えられる。しかしその購入形態は、リース、又は包括的な保守を含むサブスクリプション形式等、サービス内容の高度化に伴い変化していくと予想される。特に遠隔医療は、ロボット単体ではなく通信回線、映像提示、簡便な触診等を行う医療ロボット、あるいは特定の検査や治療までを実施する高度な医療ロボットとの連携等、より複合的なシステムへの発展が期待される。

(2) 将来の医療ロボットサービスを支える技術

ここでは、検討の対象を外科手術ロボット、リハビリテーションロボット、遠隔医療ロボットとして、これらの実現、あるいは更なる発展に向けて必要となる技術領域と関連する要素技術を表5-5に示す。

表 5-5 のとおり、多くの項目が、人を対象とするからこそ要請の高まる、安全・堅牢性、医療ロボット機構、個体差や疾患別の対応技術、遠隔操作技術等に関わると考えられる。これらの要素技術については、一部が現状の技術水準でも導入可能であることが示されたが、一方では、自律化については医療応用という特性上、大きな技術発展を要すると考えられる。これらのことから、産業用ロボット等を素地とする、安全・堅牢性、医療ロボット機構に関する技術を高めながら、個体差や疾患別の対応技術、遠隔操作技術のような、より高度かつ複合化した技術開発が医療ロボットの将来にとって重要である。

表 5-5 将来の医療ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
制御	制御理論	(A) 人体を対象とするロボット制御は追加開発の余地あり。
	データ駆動制御	(C) 個体差を考慮した疾患ベースの制御は効果が期待される。
	自律診断	(C) 医師の手を超える動作・治療への発展が期待される。
	機械学習 (AI)	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
機構・ソフトロボティクス・材料	ロボット機構	(B) 小型、軽量、滅菌消毒対応等更なる発展が期待される。
	モデリングと制御	(B) 生体を対象とする独自の発展が期待される。
	材料	(B) 新たな医療材料と融合したロボット技術の発展が期待される。
センシング	視覚・触覚・力覚センサ	(B) 遠隔や生体を扱うタスクに特化した発展を要する。
通信	通信品質	(A) 5G での遠隔手術実証も行われ、既に一定の成果あり。
マニピュレーション	データドリブン、ロボット学習	(B) 更なる発展、適応拡大が期待される。
ヒューマンロボットインタラクション	テレプレゼンス	(B) 円滑な遠隔医療には、よりリッチな通信環境が期待される。
	アバター	(A) アバターによるコミュニケーションは一定の成果あり。
	人間拡張	(A) 手術、リハビリでは概念として既に実施されていると捉えられるが、更なる発展が期待される。
	触覚	(B) 手術ロボット、遠隔診断等の広範な活用にはメンテナンス性、コストの問題等があり不十分。
	VR/AR	(A) 基盤技術としては既に活用可能なレベルにあり、今後の導入が期待される。
	BMI/BCI	(B) リハビリで実用化される等活用の広がりがある。今後のより広範な活用が期待される。

(3) 医療ロボットサービスのまとめ

このように、医療ロボットサービス（外科手術ロボット、リハビリテーションロボット、遠隔医療ロボット）においては、産業用ロボットの基盤技術である安全・堅牢性を維持しながら医療ロボット独自の動作を可能とする医療ロボット機構を開発し、その際にはより複合的に生体を考慮しながら制御技術、遠隔操作技術を高める必要がある。

医療ロボットは極めて社会的要請が高く、2050 年には世界の人口動態も高齢化に大きくシフトすることから、日本が大きな成長ポテンシャルを有している産業であると考えられ

る。しかし、現状の医療機器産業としては、内視鏡等一部に高い技術を有している分野が存在するものの、多くの分野では海外企業が強いプレゼンスを示し、市場シェアを保有している。

医療ロボットは今後適用が更に拡大することが予想され、高度なロボット技術を有する我が国にとっては大きなビジネスチャンスが広がっていると考えられる。今後の展開に重要な項目として、ここでは人材育成と規制対応について述べる。人材は、医学と工学の両方に見識を有し、適切な研究開発の道筋を作ることができるリーダーである。医療機関においてもこのような高度医療機器を扱える人材確保が今後強く求められていくと予測される。また、新たな医療機器開発の大きな障壁の1つは、規制である。安全性をしっかりと担保しながら、高い医療効果をもたらす新医療機器開発の道筋を産官学が一体的に創出する必要がある。

5.1.7 ケアロボットサービス

(1) ケアロボットサービスの将来像（2050年）

本項の「ケアロボット」とは、高齢者や乳幼児、その介護者・養育者を支援するロボットを指す。これらは身体的・精神的支援や作業の効率化を通じ、ケアを受ける側と支援する側（専門職や家族）のウェルビーイング向上に寄与する。

現在、介護ロボットの需要は高齢化に伴い増加しており、育児ロボットも、現在の市場規模はまだ小さいが、共働き家庭の増加や教育投資意識の高まりから、将来的な成長が期待される。両分野とも普及の鍵は、コスト、文化的・心理的抵抗、技術的課題の克服にある。

2050年には、生産年齢人口が総人口の半数まで減少し、65歳以上が約4割に達すると予想される（1.1.1項参照）。働き手と要支援者の人口バランスは大きく変化し、介護・育児サービスの供給不足が懸念される。こうした中で、ロボットサービスは心身の負担軽減や、ウェルビーイングの維持・向上において重要な役割を果たす。介護ロボットは家庭、施設で標準的ケアの一部として定着し、AI技術の進化により個別ケアの高度化と人手不足の解消が進むと予想される。育児ロボットも、少子化によって家庭での需要が拡大し、ロボットを目にする機会が増える中で文化的抵抗の緩和も進むことで、親の負担軽減や学習・教育支援の分野で一般家庭に浸透するであろう。

ケアロボットは、身体的支援（介護分野での移動支援、見守り、介助や排泄・入浴、育児分野での寝かしつけ支援）、心理的支援、教育支援など多様な用途を持つ。これらの様々な用途を、施設や家庭という多様な環境で実現するためには、ロボット間の知識共有や人間との協働が不可欠であり、これを支える技術的要素が今後の課題となる。本項では、家庭や施設内でロボットと人間が協働して介護支援を担うサービスモデルを想定し、その実現に必要な技術について述べる。

(2) 将来のケアロボットサービスを支える技術

家庭や施設内でロボットと人間が協働して介護支援を担うケアロボットの普及には、以下の技術的課題の克服が重要である（2.6.4項、3.1.1項参照）。

- ア．安全性（危険予知・検知、情報セキュリティ）
- イ．信頼性・耐久性（壊れにくさ、ロバスト性）
- ウ．多様なニーズへの対応（個別最適化、協調制御）
- エ．感情認識・共感生成（心理推定、共感重視設計）
- オ．ユーザビリティ（操作性、遠隔支援の容易さ）、
- カ．コスト削減（効率的設計）。

これらを解決することで、より多くの人々がケアロボットの恩恵を受けられる未来が期待される。

これらの実現に必要な技術を表 5-6 にまとめる。(ア) の安全性確保のための統合化技術や、(エ) 感情認識・共感生成の AI 技術が重要である。表 5-6 で行動・感情認識の現状を (B) としたのは、赤ちゃんの泣き声の認識などの限定された一部の状況にて実現されているためではあるが、動的環境への適応、リアルタイム応答、高精度な認識能力の向上によって、様々な実環境での実用性と信頼性を高めることが課題である。さらに、(ウ) の多様な環境下での適切な支援を判断できる必要があり、複数ロボットがシミュレーションや実環境データで得た知識を共有し、協調運用する仕組みが必要である。また、ロボットと、家族・専門家との協働が主流になると想定されるため、(オ) ユーザビリティの向上や、被支援者の変化を長期観測データから分析し、支援者の負担を抑えながら有効活用する技術が求められる。また、高性能化と (カ) 低コスト化の両立も技術革新の焦点となる。これらを達成することで、ケアロボットの普及が大きく進むであろう。

表 5-6 将来のケアロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

技術	要素技術	内容
統合化技術	安全性検証	(A) シミュレーションや、ISO などの規格に基づく検証項目は進展しているが、複雑な状況への対応は不十分である。
	シミュレーション、知識 DB	(A) 進展しており、個別最適化の実現を後押しできるが、大規模なデータ収集と更新に限界がある。
	ロボット OS、ハードウェアプラットフォーム	(B) 汎用化されたプラットフォームの普及が進んできているが、ハードウェア及びソフトウェアの多様なカスタマイズ性を実現し、更なる低価格化が必要である。
ヒューマンロボットインタラクション	ロボットの表現	(B) ユマニチュード ⁷ の概念を適用した、人間らしさや共感を重視したアプローチ（例：適切なタイミングで優しく触れるタッチや、状況に応じたジェスチャなど）の研究が進むが、実用化には感情認識技術などの技術革新が必要である。
知覚・認識	行動・感情認識	(B) 認識技術は一部実用化も進むが、文化・個人差・環境・状況・文脈などに応じた多様性や精度、感情の深い理解に課題がある。
	障害物や異常状況の検出	(B) 進展しているが、人間の意図しない動きや複雑な環境での高精度化が課題である。
動作・行動計画	リアルタイム制御	(C) 動作の個別最適化には、動的環境での適応力やリアルタイム制御の向上が必要で、現状は限られた状況でのみ有効である。
機構・ソフトロボティクス・材料	ロボット機構	(A) メカニズム設計は可能だが、コスト効率の良い実装や長期間の安定稼働を保证する技術が課題である。
	材料	(B) 高強度・軽量材料は存在するが、コストが高く、長期使用での劣化耐性に課題。自己修復材料の実用化も期待される。
動力	小型高出力動力源	(B) 小型高効率な動力源は開発されつつあるが、普及価格帯への技術革新が必要。不安にさせないよう駆動音の配慮も必要である。
	エネルギー管理	(B) AI 技術利用の増加とともに、長時間稼働が求められるケアロボットにおいては、省エネルギー型のプロセッサ（CPU）設計や、エネルギー消費を最適化する技術が必要である。
センシング	五感センサ	(A) 複雑な状況で十分な精度や柔軟性を持つ技術が必要である。
通信・情報処理	通信品質	(A) ネットワークの安定性や低遅延性の更なる強化が必要である。
	セキュリティ・プライバシー保護	(B) 更なる発展、適応拡大に期待。広範な普及には、一般の人が漏洩の有無を簡単に認識できる明確な表現も必要である。
AI	深層学習	(B) 「被支援者の変化」などに支援者が気づけるよう、長期観測で得たデータを分析して解釈可能にした上で予測することが重要である。

⁷ ユマニチュード：フランス発の優しさを伝えるケア技法。言語・非言語メッセージを双方向に交わし合うコミュニケーションによって、ケアをする人とケアを受ける人とが良い関係を築くことをケアの目的とし、ケアを受けている人に対して「あなたは私にとって大切な存在です」と伝えるための技術。[一般社団法人日本ユマニチュード学会サイトより]

(3) ケアロボットサービスのまとめ

技術革新により、ケアロボットの多機能化・低価格化が進むと期待される。AI の進化や通信品質の向上により、ロボットの能力が飛躍的に向上し、ケアロボットは多くの人々にとって身近な存在になる可能性がある。普及には心理的要因も重要で、ケアロボットが「人間の代替」ではなく、専門家や家族と協働する「補完的サポーター」として認識されることが重要である。そのために啓蒙活動やブランディングを通じて協働感覚を醸成することが求められる。ケアに対する人間志向の強い日本の文化的抵抗は普及の妨げになるが、日本独自の思いやりやロボット親和文化はウェルビーイングの観点で強みを発揮し、我が国のロボット産業の競争力を高める可能性がある（7.2 節参照）。これらの要素を統合的に発展させることで、ケアロボットは 2050 年の社会における不可欠な存在となり得る。

5.1.8 災害ロボットサービス

(1) 災害ロボットサービスの将来像（2050 年）

地震、津波、台風、豪雨、火山噴火等非常に多様な広域災害が発生し得る我が国において、発災時に人命を守り、災害からの早期復興を実現するためにはロボット技術の活用が必須である。既に「災害対応におけるありたい姿」で述べられたように、2050 年における災害用ロボットサービスでは、災害の種類と発災からの経過時間に応じた多様なニーズに対応した適切なロボットが大量投入され、かつ救助活動の主体となる人との協働が可能な体制が整備されていると予想される。また、これらに加えて、災害現場で想定される過酷環境に耐えうる高信頼のハードウェア及びソフトウェア技術が各ロボットに実装されていることも必要である。以上のように多様なロボットが非常に高いレベルで配備される必要のある災害用ロボットサービスの実現には、災害対応に特化したロボットサービス構築のみではなく、建設ロボットサービス、産業ロボットサービス、農業ロボットサービス等の他のロボットサービスにおけるロボット技術開発が密接に絡み合い、統合されることが求められる。

(2) 災害ロボットサービスの基盤構築につながる技術領域

ここでは、災害用ロボットサービスの基盤構築につながるロボット技術要素を対象となるロボット技術ごとに整理し、それらのロボット技術が寄与する災害対応の具体的シナリオ、現状技術とのギャップについても言及する。災害ロボットサービスを実現・発展させるために必要となる代表的な技術領域と関連する技術、及び今後の技術進展について表 5-7 に示す。ここでは特に、「移動ロボット技術」、「遠隔操作技術」、「ヒューマンロボットインタラクション」、「自律分散システム」の 4 つの統合技術に焦点をあてた。

表 5-7 災害ロボットサービスのため今後更なる発展が望まれる技術・要素技術群

統合技術	運用シーン	基盤技術	内容
制御技術	発災最初期の対応計画策定のための情報収集や要救助者探索に用いるドローンやUGV（無人地上車両）へ適用することが想定される。	機構	(B) 種々の環境条件に適合する移動機構の更なる開発が求められる。
		制御	(A) 過酷条件に適応したロボスト制御技術はある程度成熟した技術となっている。
		センシング	(C) 要救助者探索に有用な新たなセンシング技術の進展が望まれる。
		AI	(B) 移動ロボットの自律性能を向上させる AI 技術の発展が必要。
		動力	(B) 長時間の連続運用に耐えうるエネルギー源の確保が重要な課題である。
		通信・情報処理	(B) LTE や 5G 等の通信インフラがダウンした場合でも広域に高速通信が可能な通信技術が必要となる。
遠隔操作技術	初動時の高温、高放射能エリア等の極限環境へのアクセスだけでなく、救助活動や復興作業へ適用することが期待される。	テレプレゼンス	(B) テレプレゼンス技術により円滑な遠隔操作が可能となることが期待される。
		人間拡張	(A) 概念としては既に実施されていると捉えられるが、更なる発展が期待される。
		触覚	(B) 操作性の向上や要救助者探索において効果を発揮する。
		VR・AR	(A) 基盤技術としては既に活用可能なレベルにあり、今後の導入が期待される。
		通信・情報処理	(B) LTE や 5G 等の通信インフラがダウンした場合でも安定した通信が可能な通信技術が必要となる。
ヒューマンロボットインタラクション	救助・捜索活動の主体となるレスキュー隊員や自衛隊員と連携して、作業の補助をすることが期待される。	危険回避技術	(A) 衝突回避技術だけでなく、衝突が発生した際のハードウェア的な安全機構も含まれる。
		動作・行動計画	(C) 人と協調を行う場合の行動計画や軌道計画技術が大幅に進展する必要がある。
		AI・LLM 技術	(C) 複雑なシーンや人間の行動理解を含んだ AI 技術が大幅に進展する必要がある。 (B) 人からの指示に従うための自然言語理解に対して LLM 技術の活用が期待される。
		機構	(C) 不整地環境を人と同レベルで踏破可能な優れた移動機構を開発する必要がある。
自律分散システム	広域の捜索活動や物資輸送における協調搬送等単体のロボットでは難しいタスクへの適用を可能とする。	群知能	(C) 複数のロボットが自律分散的に行動するための群制御アルゴリズムの実現が必要である。
		AI・LLM 技術	(B) 自律性能を向上させる AI 技術の発展が必要である。 (B) 状況分析や行動の意味理解に対する活用が期待される。
		移動知	(B) 複数のロボットが互いの衝突を回避するための移動知技術が必要となる。
		通信・情報処理	(C) エージェント間の安定したメッシュネットワーク形成のための通信技術が必要となる。

(3) 災害ロボットサービスのまとめ

災害ロボットサービスにおいては、産業用ロボットの個々の基盤技術が成熟するだけでなく、それらの統合技術が災害時の各運用シーンに合わせて高いレベルで整備される必要がある。このような高レベルの統合技術を創出するためには、産業分野を横断した技術統合が求められ、ロボット OS、シミュレーション環境の共通化、共通ハードウェアプラットフォーム等の統合化技術にも着目する必要がある。

災害先進国である我が国にとって災害用ロボットサービスの整備は急務の課題であるとともに、整備に向けた技術統合化はロボットのマルチユースを促進し、大きなビジネスチャンスにつながると予想される。ロボット技術全体を俯瞰した技術統合は、一産業分野だけでは困難であり、官が主導しつつ産学が連携して、例えば、要素部品の共通化、ロボットのモジュール化、インタフェースの標準化等を推し進める必要があると考えられる。

5.1.9 技術開発の方向性に関するまとめ

本章では、「今後求められるロボットサービス領域」として、産業、物流、農業、建設、医療、介護・育児、災害の領域についてそれぞれ技術動向を述べた。ここではまとめとして、本章で挙げた技術を軸に、これら 7 領域を俯瞰した際の、それぞれの技術成熟度について検討する。

各領域で議論された技術について、横断的に俯瞰すると、技術動向が (A) の各応用に際して成熟しているものとして、制御技術の中でも先行して研究開発が進展している画像認識、姿勢制御、自律診断、移動等がある。また、通信・情報処理技術の中でも通信品質については多くの領域で既に成熟段階にあることが分かった。加えて、基礎的なセンシング、マニピュレーション、VR や AR 等についても各領域において積極的な利活用段階に入っていることが分かる。

次に、技術動向 (B) のより発展が望まれる技術として、ヒューマンロボットインタラクションの各要素技術（遠隔操作、テレプレゼンス、移動等）、ソフトロボティクス、マニピュレーション等の技術については、各領域における応用発展が望まれていることが分かる。これらは既に (A) の付された基礎技術の発展として応用的研究開発の段階にあることが読み取れ、近い将来の本格的導入が期待される。加えて注目されるのは、AI、機械学習等の技術領域について、その多くがより発展する領域に位置付けられていることである。昨今は、「フィジカル AI」として、ロボット技術と AI・機械学習技術の融合が強く求められており、この点についても本格的利活用に向けた前段階が進行していることを示している。

技術動向 (C) の特に今後の研究開発を要する技術として、センサ情報等のデータの文脈を読み取り、認識する要素技術が多いことが分かった。具体的には、ロボットと人間との共同作業、より自律性の高いシステム、より高く知能化された遠隔操作等が挙げられる。この結果が示すのは、ロボットシステムの AI・機械学習への高度な融合による文脈理解と、その結果に基づく状況への介入が極めて高い精度で行われることの期待であると考えられる。

本章では、代表的な 7 領域におけるロボット利活用について技術障壁を明らかにし、これらを俯瞰することで将来取り組むべき課題を示すことを目的に検討を行った。その結果、現在はマニピュレーションやセンシング等基礎的技術は成熟段階にあり、更なる利活用に

向けた研究開発が進捗している。一方で、これらを高度なコンテキストの下で統合し、運用するための技術開発が求められることが浮き彫りになった。また、本章では一般的な領域に関して検討を行ったが、より特化した領域に関しては、個別的技術に関するさらなる検討が必要である。

第 6 章 ロボット産業振興の方向性

6.1 ロボット産業振興策

6.1.1 はじめに

これまでの章において、我が国が直面する社会課題や環境変化、そしてそれに対応するロボット技術の可能性について述べてきた。スマートプロダクションやスマートコミュニティの実現、人とロボットの共生といったビジョンは、2050 年に向けた持続可能な社会の構築において不可欠である。2050 年の社会像の一例として、一般社団法人日本機械学会（JSME）が提案する技術ロードマップ⁸には、以下の 3 つの柱が掲げられている。

ア．持続可能な共存社会：

都市と地方、個人とコミュニティが調和しながら共存する社会を目指す。このためには、エネルギー効率の向上、環境負荷の低減、スマートシティ技術の活用が重要視されている。

イ．包摂性を重視した次世代コミュニティ：

多様性と包摂性を尊重した地域社会の構築が目標である。高度情報化社会の中で、人とロボットが協働する仕組みや、新たな医療・創造技術が支える社会像が想定されている。

ウ．個人価値を尊重する持続可能な社会：

人々の精神的・肉体的なウェルビーイングを実現するため、デジタル技術の革新とリアルとバーチャルの調和を推進する。

JSME が描くこれらの社会像は、ウェルビーイングや持続可能性を核に、ロボット技術が社会全体に恩恵をもたらす未来を示唆している。こうした未来像を現実のものとするには、既存産業の延長ではなく、新たな価値を創出する「新しいロボット産業」の創成が求められる。これは、ロボットが単なる労働の代替手段ではなく、社会課題を解決する主体として位置付けられる産業構造への転換である。その実現には、柔軟で多様なビジネスモデル、人材育成、標準化と政策支援が不可欠であり、社会全体の構造的変革を視野に入れる必要がある。本章ではこのような背景を踏まえ、新しいロボット産業のあり方を提示し、ビジネスモデルや市場、人材のあり方、更には技術開発の方向性について論じる。

6.1.2 新たなロボットビジネス

2050 年に向けたロボットビジネスの進化には、新しい商流と持続可能なモデルが必要である。本項では、ロボットビジネスの新しい流れを構築するための具体的な要素と、それを支える多様な連携のあり方を探る。

⁸ 『日本機械学会誌 2024/1 Vol.127』 JSME 技術ロードマップ持続可能で多様かつ包摂的、テクノロジーと自然が調和する 2050 年の社会

(1) ニーズの可視化と分析

ロボット技術を活用した新たなビジネスモデルの鍵は、消費者や事業者のニーズを正確に把握することである。ロボフレ環境コーディネータやロボットコミュニケーターが地域や個別のニーズを収集し、具体的な製品仕様を明らかにする役割を果たす。特に、地域ごとに異なる生活課題に応じたソリューションが求められる。

- ・消費者との関わり

消費者が実際にロボットを利用する際には、ロボットが提供する利便性や信頼性が重要である。例えば、家庭内の介護支援や清掃ロボットでは、操作が簡単で安全性が高い製品が必要である。消費者のフィードバックを反映させることで、製品設計を継続的に改善する仕組みを整備できる。

- ・事業者（製造・販売業者）との連携

製造業者や販売業者との連携を強化することで、ニーズに即した製品を迅速に市場投入する体制を構築する。ロボットビジネスプロデューサーやロボットクリエイターが中心となり、ウェルビーイングを重視した製品を設計し、多様な市場に対応可能な形で投入する。

(2) 利用者体験のフィードバック

利用者体験から得られるデータを製品改善に活かすことが、競争力を維持する上で不可欠である。ロボットオペレータが現場からのフィードバックを収集し、使用データや利用者体験を製品設計に反映させる。この仕組みにより、現場ニーズに基づく効率的な改善サイクルが実現される。

- ・サブスクリプションモデル

初期費用を抑え、月額料金でロボットを利用できるサブスクリプションモデルは、家庭用から業務用まで幅広い層に普及が期待される。このモデルは特に中小企業や個人消費者にとって、導入のハードルを下げる効果がある。

- ・成果報酬型モデル

農業や製造業等、明確な成果が測定可能な分野では、成果に基づいて料金を設定するモデルが効果的である。例えば、農業用ロボットが収穫量を増やした場合、その成果に応じて報酬を支払う仕組みとなる。

(3) サーキュラーエコノミーの実現

2050年の持続可能な社会を支えるには、リサイクルや再利用を中心としたサーキュラーエコノミーの実現が不可欠である。ロボット再生エンジニア（後述）が製品の再生やリサイクルを担い、環境負荷の低減と経済価値向上の両立を図る。

- ・政府や自治体との協働

政府や自治体は、規制の策定や補助金制度の提供を通じてロボット市場の拡大を支援している。具体的には、使用済みロボットのリサイクルを促進する法律や補助金プログラムが挙げられる。

- ・教育機関との連携

次世代の人材育成には、教育機関との連携が重要である。例えば、スマート介護士資

格のような職業教育を拡大し、現場に即した知識を持つ人材を商流に組み込むことが必要である。また、ロボット技術に特化した大学や専門学校の設立も求められる。

(4) 技術とビジネスの融合

新しいロボットビジネスの成功には、技術革新と社会課題解決を統合する包括的なアプローチが必要である。例えば、デジタルツイン技術を活用した製品設計や、スマートコミュニティを支えるロボットサービスが挙げられる。これにより、2050年の社会像にふさわしいビジネス環境が構築される。このような商流は、2050年におけるロボット市場の多様化と持続可能な成長を支える重要な役割を果たす。それぞれのモデルの連携が進むことで、消費者・事業者・政府が一体となったロボット社会の実現が期待できる。

6.1.3 市場具体例

第2章、第3章で述べた新たなロボットビジネスの構築には、実際の市場でどのように活用されるかを具体的に考えることが重要である。2050年の社会像に向けて、それぞれの市場がロボット技術をどのように活用し、どのように成長を遂げるのかを理解することで、新しいビジネスモデルや産業構造のヒントが得られる。本項では、家庭関連市場、小売・物流関連市場、農業・食関連市場、施設・建設関連市場、製造関連市場、更にその他の市場として特別な用途での活用例について具体的に説明する。

(1) 家庭関連市場

家庭関連市場は、主に住居内での個人消費者用ロボットを中心とする分野である。掃除ロボット市場は既に確立されており、掃除機市場の一部を占める。今後は、掃除以外の家事支援ロボット、介護ロボット、コミュニケーションロボット、アシストロボットが家庭内での活動を更に多様化させると期待されている。また、スマートホーム技術との連携により、利用者の利便性を向上させる製品設計が求められる。

(2) 小売・物流関連市場

小売・物流関連市場は、物流と小売業におけるロボットの活用を指す。配送ロボットや在庫管理ロボットの導入が進んでおり、物流プロセスの効率化が進展している。さらに、料理注文アプリと配送サービスの統合により、エンドツーエンドの自動化が実現しつつある。今後は、倉庫内の荷積みや荷卸しの自動化等、より高度なロボット化が期待される。

(3) 農業・食関連市場

農業分野は、国土の特徴から日本では大規模化が難しいため、現状では自給率が低く、海外輸入に依存しており、この解決にはロボットが有効に働くと考えられる。農業用ドローンや自律走行型トラクター、収穫ロボット等により、種まき、育成、収穫をはじめとする生産工程の自動化が進んでいるほか、フードバリューチェーン全体（生産、加工、物流、販売、消費）にわたるロボット技術の活用も注目されている。しかし、小規模農業では、ロボット導入の設備投資が大きく、投資回収が難しい点が課題となる。農業分野では、成果報酬型ビジネスモデルが効果的であり、生産者の負担を軽減しつつ効率性を高める仕組

みが求められる。

(4) 施設・建設関連市場

施設・建設関連市場は、オフィス、病院、倉庫、公共施設、商業施設や建設現場でのロボット利用を含む分野である。警備、清掃、案内ロボットが既に導入されている。特に、ロボットフレンドリーな環境の構築や、複数のロボットが相互運用可能なシステムの実現が重要である。建設業界では、BIM/CIM 等のデジタルデータの活用、墨出しや鉄筋結束等の建設ロボットや検査ロボットの利用が進み、安全性の向上と作業効率の最適化が図られている。

(5) 製造関連市場

製造関連市場は、製造現場での自動化とデジタルデータの活用が中心である。協働ロボットや自律移動型ロボットは、生産ラインの柔軟性を高める役割を果たしている。また、製造工程におけるサーキュラーエコノミーの実現も注目されており、持続可能な生産体制が整備されている。

(6) その他の市場

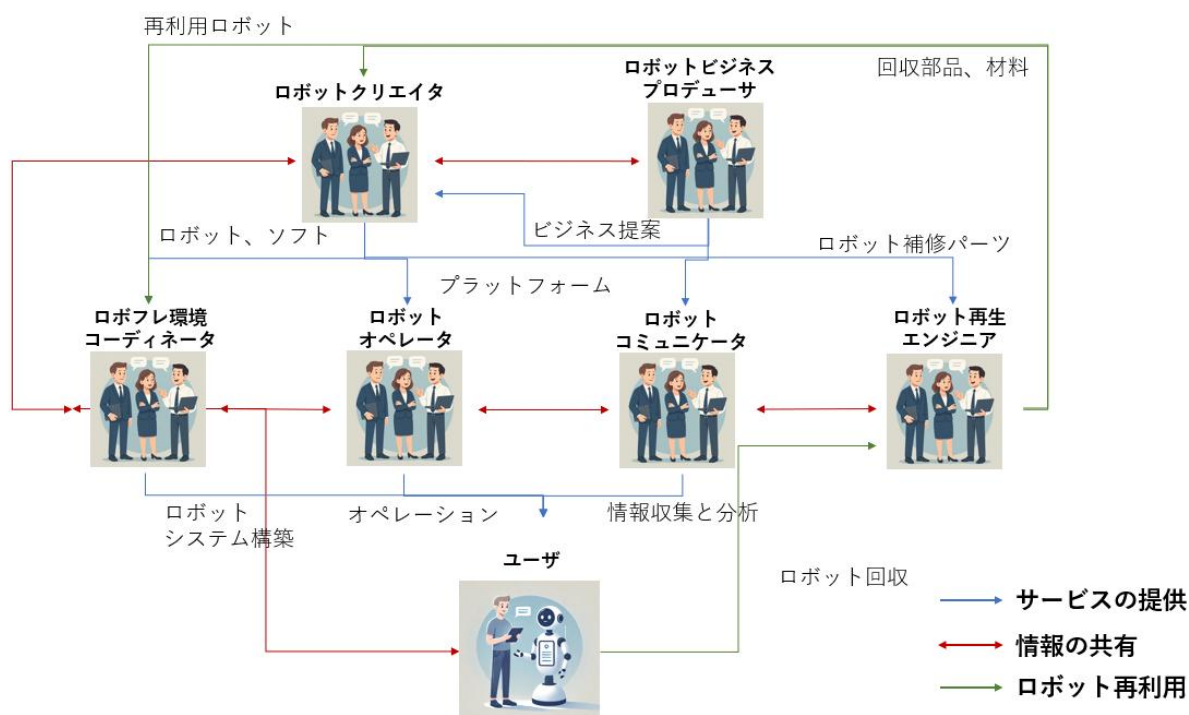
その他の市場として、非常時（災害時、パンデミック等）や宇宙産業でのロボット活用が挙げられる。災害対応ロボットは、救助活動やインフラの早期復旧に貢献する。一方で、宇宙探査や建設に特化したロボットは、未来の宇宙開発を支える重要な役割を担っている。

6.1.4 ロボットビジネスに関わる人材

ロボット市場が拡大する中で、これらの市場の潜在能力を最大限に引き出し、新しいビジネスモデルを実現するためには、専門的な知識とスキルを持つ多様な人材が必要である。市場における課題を解決し、ロボット技術を効果的に活用するには、それぞれの分野における専門職が重要な役割を果たす。例えば、ロボットが社会や産業に溶け込むには、適切な環境を整える専門家が不可欠である。また、新たなロボットを設計・開発するためには、創造的な視点を持つ技術者が必要である。そして、これらのロボットを効率的に運用し、保守を担うロボットオペレータや、社会課題に基づいて新しいビジネスを形にするロボットビジネスプロデューサが求められる。さらに、ユーザとの間に立ち、適切なコミュニケーションを図る役割や、使用済みロボットの循環型利用を推進する専門家も必要である。以下に示す6種類の専門人材は、ロボット市場の発展において欠かせない存在である。

- ア．ロボフレ環境コーディネータ：ユーザとロボットが共存しやすい環境を設計し、安全かつ効率的にロボットが運用できるよう整備する
- イ．ロボットクリエイタ：社会課題を解決し、新たな価値を生み出すロボットを開発する
- ウ．ロボットオペレータ：ロボットの運用と保守を担当し、トラブルシューティングを含めた安定した運用を実現する
- エ．ロボットビジネスプロデューサ：ロボットビジネスを企画・推進し、社会課題の解

- オ. ロボットコミュニケーター：総合的なロボットサービス実現のため、ロボット関係者間のコミュニケーションを促進する
- カ. ロボット再生エンジニア：使用済みロボットを回収し、その価値を回復・向上させる。



(1) ロボフレ環境コーディネータ

ロボフレ環境コーディネータの主な業務は、ユーザとロボットが共存しやすい環境を設計し、安全かつ効率的にロボットを運用できるよう整備することである。具体的には、家庭や工場、オフィスといった使用場所で、ロボットがスムーズに動作するための物理的・デジタル環境を整える役割を担う。ロボット導入時の環境構築や既存設備の最適化、新規建設時の設計段階からの関与等、幅広い対応が求められる。

ロボフレ環境コーディネータは、ロボットが本来の能力を発揮できる環境を整えることで、ユーザの利便性を向上させ、ロボット導入の障壁を低減する。特に、初心者ユーザにとっては、環境の整備と適切なサポートが安心感を生み、ロボット技術の普及を促進する。また、スタートアップ企業にとっては、限られたリソースでより多くの顧客に製品を届けるためのパートナーとしても価値を発揮する。

- 112 -

- ・ユーザのニーズを正確に理解し、具体的な環境設計に反映するスキル
- ・ロボット特性や操作方法を踏まえた、安全リスクの予見能力
- ・環境構築に関する規格や基準への深い知識
- ・観察力と柔軟な対応力を持ち、ユーザの身体的・心理的負担を軽減する能力

3) 他職種との関わり方

ロボフレ環境コーディネータは、ユーザとロボットメーカーをつなぐ架け橋として機能する。ロボットビジネスプロデューサ、ロボットクリエイタ、ロボットコミュニケーター、ロボットオペレータと密接に連携し、それぞれの専門分野から得られる情報を統合して最適な環境を構築する。また、設計段階から建設業界やエネルギー関連事業者とも連携することで、ロボットフレンドリーな空間を実現する。このような多業種連携により、新たなビジネスチャンスの創出とロボット技術の普及が期待される。

(2) ロボットクリエイタ

1) 業務内容

ロボットクリエイタの主な業務は、社会課題を解決し、新たな価値を生み出すロボットを開発することである。具体的には、ターゲット市場を明確化し、必要なニーズを分析した上で、新しいロボットのアイデアを形にするプロセスを担当する。この過程では、技術的な設計だけでなく、ユーザの使いやすさや安全性を考慮したデザインにも注力する。ロボットクリエイタはまた、プロトタイプの開発、実証実験、フィードバックの収集を行い、製品の改善と市場投入を実現する。

2) 提供価値・必要な能力

ロボットクリエイタは、新しいロボットを通じて人々の生活を豊かにし、社会の課題を解決する価値を提供する。例えば、介護ロボットや農業用ロボットは、高齢化や労働力不足といった社会的課題に対処する一助となる。また、教育やエンターテインメント分野におけるロボットは、新しい体験を創出し、人々の創造性を刺激する。さらに、ロボットクリエイタは、製品の開発プロセスにおいて多様な視点を取り入れることで、倫理的配慮や持続可能性を重視した製品設計を実現する。これにより、環境負荷を抑えつつ、多文化や多様性に対応したロボット技術の普及を促進する。

必要な能力は以下のとおりである。

- ・幅広い技術知識と創造力を兼ね備えた設計能力
- ・市場ニーズを的確に捉え、課題を解決するための発想力
- ・技術とデザインを統合するスキル
- ・倫理的配慮や持続可能性を考慮した製品設計能力
- ・他分野の専門家やユーザと連携するためのコミュニケーション能力

3) 他職種との関わり方

ロボットクリエイタは、ロボットビジネスプロデューサ、ロボフレ環境コーディネー

タ、ロボットオペレータ等、他の専門職との連携が不可欠である。例えば、ロボットビジネスプロデューサが市場データや顧客ニーズを提供することで、ロボットクリエイタはより具体的で実現可能な製品設計を行うことができる。また、ロボットオペレータからのフィードバックを基に、製品の性能や使いやすさを向上させるサイクルを構築できる。さらに、建設業界やエネルギー分野、教育機関とも連携し、ロボットが活躍するための社会基盤を整える取組みにも貢献する。このような多職種連携を通じて、ロボットクリエイタは新たな市場やビジネスモデルの創出に寄与する。

(3) ロボットオペレータ

1) 業務内容

ロボットオペレータの主な業務は、ロボットの運用と保守を担当し、トラブルシューティングを含めた安定した運用を実現することである。具体的には、現場でのロボット操作、システム障害時の対応、保守作業、更には運用データの収集と分析を通じた運用効率の向上を目指す。介護や災害支援等、環境が不定でロボットの自律運用が困難な場面では、ロボットオペレータの判断や操作が重要となる。

2) 提供価値・必要な能力

ロボットオペレータの存在は、ロボットビジネスの円滑な運用と持続可能な運用体制の構築に貢献する。例えば、ロボットがトラブルを起こした際に迅速な対応が可能となることで、サービスの中断や大規模な故障を防ぐ。また、遠隔支援技術を活用した運用支援により、現場に行かずとも効率的に問題解決が可能となる。さらに、ロボットオペレータが提供するリアルタイムのフィードバックは、ロボットの性能向上や新しい製品開発に貢献する。

必要な能力は以下のとおりである。

- ・ロボット操作や保守作業に関する高度な専門知識
- ・トラブルシューティングに必要な分析力と対応力
- ・不定な環境での迅速な判断と適応能力
- ・他の専門家やユーザと連携して運用課題を解決する力
- ・ロボット技術や支援技術の最新動向を学び続ける姿勢

3) 他職種との関わり方

ロボットオペレータは、ロボットクリエイタ、ロボットビジネスプロデューサ、ロボフレ環境コーディネータ等の他職種と密接に連携する。例えば、ロボットクリエイタから提供される製品設計情報を基に最適な運用方法を提案し、ロボットビジネスプロデューサやロボフレ環境コーディネータと協力して運用環境を改善する。また、建設業界や通信業界とも連携し、遠隔支援技術や通信インフラを整備することで、運用効率を向上させる。さらに、生成 AI やサイバー空間技術を活用し、トラブルシューティングや運用支援を効率化する仕組みの導入を進める役割も担う。このような多職種連携を通じて、ロボットオペレータはロボットビジネスの安定と成長に不可欠な存在となる。

(4) ロボットビジネスプロデューサ

1) 業務内容

ロボットビジネスプロデューサは、ロボットビジネスを企画・推進し、社会課題の解決に向けた新しい市場を創出する役割を担う。具体的には、社会課題を見極め、それに対応するロボットビジネスの可能性を分析する。その後、ロボットクリエイタやロボフレ環境コーディネータと連携し、実現可能なビジネスモデルを設計する。ロボットビジネスプロデューサは、ユーザが直面する課題を解決する製品やサービスを構築するために、複数のステークホルダーを調整する責任も負う。また、法規制やガバナンス面の課題に対処するため、ロボットビジネスを取り巻く環境を整備し、持続可能な成長を支える体制を構築する。

2) 提供価値・必要な能力

ロボットビジネスプロデューサの価値は、社会課題を解決するロボットビジネスを通じて、生活の質や産業効率を向上させることにある。特に、少子高齢化や労働力不足といった課題を解決するために、ロボットを活用した新しいサービスを提供することが可能である。さらに、ロボットビジネスプロデューサは、既存の技術やプレイヤーだけでは解決が難しい課題にも対応するため、新たな企業やパートナーを巻き込みながらイノベーションを促進する。サブスクリプションモデルや成果報酬型モデルの導入によって、顧客の負担を軽減し、長期的な利益を生み出す仕組みを提案することも役割の一部である。

必要な能力は以下のとおりである。

- ・社会課題を正確に把握し、それをビジネスチャンスに変える能力
- ・多数のステークホルダーを統合し、プロジェクトを推進する力
- ・持続可能で収益性の高いビジネスモデルを構築する能力
- ・ロボットビジネスを取り巻く法的要件や規制に対応する知識
- ・社内外のパートナーとの協力関係を築き、効果的に調整を行うスキル

4) 他職種との関わり方

ロボットビジネスプロデューサは、ロボットクリエイタ、ロボフレ環境コーディネータ、ロボットオペレータと密接に協力しながら、各分野の知見を統合して新しいロボットビジネスを構築する。また、法規制を整備するために政府機関と連携し、業界全体の持続可能性を高めるためのガイドライン作成にも貢献する。さらに、スタートアップ企業や異業種からの新規参入者と協力することで、業界に新しい風を吹き込み、イノベーションを促進する。このような連携を通じて、社会にとって意義のあるロボットビジネスを創造し、経済的・社会的な価値を提供する重要な役割を果たす。

(5) ロボットコミュニケーター

1) 業務内容

ロボットコミュニケーターは、総合的なロボットサービス実現のため、ロボット関係者間のコミュニケーションを促進する役割を担う。ロボットビジネスは、多くの関係者が

関与する複雑なプロジェクトであり、開発者、エンジニア、メンテナンススタッフ、営業担当者、顧客等、様々な立場の人々が協力し合う必要がある。ロボットコミュニケーターは、これらの関係者間のコミュニケーションを円滑にし、プロジェクトの進捗状況や課題を共有し、各関係者が必要な情報をタイムリーに得られるように調整する。また、異なる専門分野の間での情報伝達をスムーズに行うための橋渡し役としても機能し、誤解や情報の行き違いを防ぎ、プロジェクトの成功率を高める。

2) 提供価値・必要な能力

ロボットコミュニケーターは、関係者間の信頼関係を築くためのコミュニケーション戦略を立案し、実行する。これにより、チーム全体の協力体制が強化され、総合的なロボットサービスの実現が可能となる。さらに、組織の垣根を越えたコミュニケーションも重要であり、異業種連携や異文化理解を促進することで、より広範な視点から問題解決に取り組むことができるという価値を提供する。

必要な能力は以下のとおりである。

- ・異なる専門分野や立場の関係者間で円滑なコミュニケーションを図り、プロジェクトの進行をスムーズにするための調整能力
- ・技術的な専門知識を持たない関係者にも分かりやすく情報を伝え、誤解や情報の行き違いを防ぐ能力
- ・様々な業界や企業文化、専門分野に対する理解を深め、相手の視点を尊重しながら協力関係を築く能力
- ・長期的なプロジェクトの成功に向けて、関係者との信頼を築き、チームワークを強化する能力

3) 他職種との関わり方

ロボットコミュニケーターは、ユーザ並びに他業種（ロボットクリエイター、ロボットビジネスプロデューサー、ロボフレ環境コーディネーター、ロボットオペレーター、ロボット再生エンジニア）の間の橋渡しを担う。ユーザのニーズやフィードバックを収集し、ロボットクリエイターには開発の方向性を、ロボットビジネスプロデューサーには市場戦略のための情報を提供する。ロボフレ環境コーディネーターとはシステム構築の調整を行い、ロボットオペレーターには運用改善の情報を伝える。ロボット再生エンジニアには修理・回収の必要性を共有し、全体の最適化を支援する。こうした情報の循環により、各役割が円滑に機能し、より良いサービスやシステムの提供が可能となる。

(6) ロボット再生エンジニア

1) 業務内容

ロボット再生エンジニアは、使用済みロボットを回収し、その価値を回復・向上させる業務を担う。これには、部品レベルでの分解やリサイクル、稼働データを基にした予防保全、更にはソフトウェアやハードウェアのアップデートを含む。これにより、ロボットを新しいユーザに再提供し、循環型ビジネスモデルを構築する。また、品質保証を

徹底することで、高品質な製品を次の利用者に届ける仕組みを実現する。

2) 提供価値・必要な能力

ロボット再生エンジニアは、部品のリサイクルや再利用を通じて、資源の無駄遣いを防ぎ、環境負荷を軽減する。また、ロボットの残存価値を最大化することで、企業にコスト削減と新たな収益機会を提供し、ロボットライフサイクルの延長と循環型経済の実現を通じて、新たな市場を開拓する。品質保証を徹底して顧客に対する信頼を獲得するとともに、廃棄物削減と再資源化を通じて、持続可能な社会の実現に寄与する。

必要な能力は下記のとおりである。

- ・メカニカルエンジニアリングや電子工学、ソフトウェア開発に関する知識と経験
- ・稼働データを基に部品の故障予測やメンテナンス計画を立てるスキル
- ・ロボットの故障原因を特定し、迅速かつ効率的に対応する能力
- ・コスト効果や市場動向を理解し、ビジネス価値を最大化する視点
- ・サーキュラーエコノミーの概念を深く理解し、それを実践する能力

3) 他職種との関わり方

ロボット再生エンジニアの活動を通じて、ロボットビジネスは環境への負荷を低減しつつ、経済的な競争力を強化する新たなステージへと進化する。

(7) まとめ

ロボット市場が拡大する中で、これらの市場の潜在能力を最大限に引き出し、新しいビジネスモデルを実現するためには、専門的な知識とスキルを持つ多様な人材が必要である。市場における課題を解決し、ロボット技術を効果的に活用するには、それぞれの分野における専門職が重要な役割を果たす。例えば、ロボットが社会や産業に溶け込むには、適切な環境を整える専門家が不可欠である。また、新たなロボットを設計・開発するためには、創造的な視点を持つ技術者が必要である。そして、これらのロボットを効率的に運用し、保守を担うロボットオペレータや、社会課題に基づいて新しいビジネスを形にするロボットビジネスプロデューサが求められる。

6.1.5 市場創成策

(1) ロボット市場創成で求められるパラダイムシフト

本ビジョンでは、2050 年に向けたロボット産業のありたい姿を多様な観点から示すことに力点を置いている。本項では、2050 年に向けたありたい姿を実現するため、ロボット市場創成にフォーカスして、どのような施策が必要か考えていきたい。

1) ロボット市場の現状

2015 年に策定された「ロボット新戦略」で、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」を目指し、2020 年に目指すべき姿として、「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)」を掲げている。グローバル市場に関するレポートでは、産業用ロボットで 483 億米ドル（2025 年推定値）、サービスロボットで 263 億米ドル（2025 年推定値）の市場が存在するとの報告もある。

2) ありたい姿の実現のために必要なパラダイムシフト

ありたい姿を実現するためには、ロボット市場の成長が足踏みしている現状を打破する必要がある、以下のロボットビジネスを巡るパラダイムシフトが特に必要である。

①ロボット：「人間の代替」から「システム／組織の成長促進」へ

2050 年に向けて、生成 AI をはじめとしたデジタル関連テクノロジーは更なる進展・拡大が見込まれる。ロボットの役割・提供価値は、（ア）個々のロボットが個人の身体能力を代替・強化⇒（イ）個々のロボットが個人の認知・思考能力を代替・強化（ロボットの知能化）⇒（ウ）知能化したロボットが様々なものとなつたり、システム／組織全体の実行力を強化し、成長を後押しするものとなる。

②ロボット産業：「ロボットを実装」から「ロボットと共に価値創出」へ

現在のロボット産業は、ロボットの製造・導入がメインであり、ユーザの本質的課題の解決・価値創出は二義的である。今後、ロボットの提供価値は、人間の代替にとどまらなくなるため、ロボット産業もユーザ起点の業務プロセス再定義やビジネスモデル検討を行い、統合されたロボットオペレーティングシステム、ロボットビジネスシステムの構想・構築に力点がシフトする。ユーザ起点のシステム全体の価値最大化の中にロボットを位置付けることで、ロボットの活躍範囲／方法が更に拡大・拡張する。

③ロボットビジネス：「AI・デジタル中心」から「人間中心」へ

現在のロボットビジネスは、AI・デジタルを活用していかに顧客ニーズに沿った知能化ロボットを開発・製造・展開できるかに主眼がある。このため、研究・開発においても、短期的に見返りの可能性が高く取り組みやすい同領域にリソースを集中させ、差別化が難しくなっている。今後、AI・デジタル実装が成熟してくると、差別化要素はユーザの満足度や人間－ロボットのインタフェースへシフトする。ロボットビジネスの需要者は人間のみであり、AI・デジタルはツールに過ぎない。AI・デジタルと人間中心のロボットシステムの融合に挑戦するプレイヤー（特に新規事業開発部門／スタートアップ）へ支援が必要である。

3) ロボット市場創成策の対象範囲・力点

ロボット市場は、産業用ロボット、業務用サービスロボット、個人・家庭（消費者）用サービスロボットの 3 つに分類するのが通例である。しかしながら、新たなロボット市場の創成という観点を明確にするため、ここでは、次のとおり（ア）競争領域、（イ）協調領域に大別した上で（イ）協調領域を対象とする。

ア．競争領域（レッドオーシャン）

定義：ビジネスモデルが確立しており、市場も成熟しているロボットビジネス
 主な用途・業界：組立・溶接・塗装・搬送【自動車】、搬送【エレクトロニクス】、
 ピッキング【物流】、手術支援【医療】、清掃【施設管理】

イ．協調領域（ブルーオーシャン）

定義：ビジネスモデルが多様で、市場も未成熟なロボットビジネス
 主な用途・業界：組立・溶接・塗装・搬送【自動車（EV・水素燃料電池車）】、溶
 接・塗装【造船（アンモニア・水素燃料船）】、建物建設【発電（洋上風力発電）】、
 除草【農業】、介助支援【介護】、コミュニケーション【宇宙】

市場創成の定義は多様であるが、ここでは技術成熟度レベル（Technology Readiness Level：TRL）を用いて、TRL9「使用環境での展開成功」＝事業化を市場創成のゴールとし、TRL9に至るまでの各種支援策を市場創成策とする（用途や業界により異なるものの、産業用ロボットはTRL9中心、業務用サービスロボットはTRL6～8中心、個人・家庭用ロボットはTRL3～5中心をイメージしている）。

表 6-1 ロボット市場創成策（協調領域・TRL 別）

出所：カナダ政府、欧州委員会、Odense Robotics 等の資料を編集・加工

フェーズ	ボトルネック	ありたい姿	主な市場創成策
フェーズ1：基礎研究 (TRL1基本原理の観測・報告／TRL2技術・応用コンセプトの策定)	- 技術シーズと潜在ニーズを繋ぐアイデア創出ができない - 大学発の技術シーズが中心で、出口が不明	- 多様で自由な発想のアイデアを多く創出 - 需給の連携で、技術シーズとニーズが結び付けられている - 需給双方でキャッチボールしながら、アイデアを創出	✓ 供給側（技術リード開発者）と需要側とのコラボレーション ✓ 産業界ニーズを踏まえた基礎研究支援・出口設計
フェーズ2：研究開発 (TRL3実験的概念実証／TRL4実験室環境での技術実証／TRL5シミュレーション環境での技術検証)	- 基礎研究結果×産業界ニーズを合わせた技術開発の受け皿が無い - スタートアップ支援が少ない（人材・資金・ノウハウ） - 想定顧客やマネタイズモデルを意識した技術開発が行われていない	- 需給双方のコラボレーションが積極的に行われている - 実現のハードル（特に社会受容性）が特定されており、当該ハードル対応の必要性が関係者と共有され、ハードルを下げる取組が具体的に進んでいる	✓ 共同実証実験施設の創設（遠隔操作・デジタル空間を活用含む） ✓ 研究開発促進のための標準化プラットフォーム（シミュレーター）
魔の川			
フェーズ3：製品開発・実証 (TRL6シミュレーション環境でのプロトタイプ実証／TRL7使用環境でのプロトタイプ実証／TRL8実技術の完成・認証)	- 製品開発で多大なコストがかかり、投資回収の見通しがつかない - 事業化に向けた開発製品のアピールまで手が回らない。アピールしても認知されない - 統合的ビジネスモデルの設計、運用体制の構築が検討されていない	- 需給双方のコラボレーションが積極的に行われている - 現実の物理空間で、実機の利用が出来るなど、社会受容性に関する論点整理や懸念点払拭が出来ている	✓ 共同開発施設の創設 ✓ 投資対効果算出モデル・シミュレーターの共同開発
死の谷			
フェーズ4：事業化 (TRL9使用環境での展開成功)	量産化・規模拡大のための人材・資金・ノウハウ・時間が不足	- これまでのコラボレーションで需要側での導入・認知が進んでいる - 参加者全てが受益するエコシステムとなっているなど、自然にエコシステムが拡大しつつある	✓ 共同営業・販売施設（ロボットショールーム）の創設・運営 ✓ 共同での販路・アフターサービス体制構築
ダーウィンの海			

事業化から産業化へ。協調領域から競争領域へ

そして、多様なビジネスモデルや未成熟市場というブルーオーシャン市場にフォーカスする点を踏まえ、市場創成策の内容は、既存事業において個社が競争優位性を確保する観点ではなく、ロボット関連の新規事業開発・スタートアップ育成を中心に、「魔の川（研究開発フェーズから製品開発・実証フェーズへ移行する壁）」及び「死の谷（製品開発・実証フェーズから事業化フェーズへ移行する壁）」をロボット産業が越えるための取組み、ロボットのエコシステム／産業クラスターレベルの協調領域に力点を置く。

なお、「ダーウィンの海（事業化フェーズから産業化（事業拡大・量産化）へ移行する

壁)」はここでは対象外とする。加えて、ロボット産業全体のプレイヤーを、(ア) 需要側（ロボットのユーザ／ロボットが創出するサービスの消費者）、(イ) 供給側（ロボットメーカー／システムインテグレータ／ロボットサービスプロバイダ）、(ウ) 支援側（(ア)、(イ)を支援する行政／教育／金融）に大別し、(ウ) 支援側の取組みにフォーカスする。

(2) 求められる市場創成策

1) TRL 別のボトルネック・市場創成策

ロボットビジネスの段階を基礎研究（TRL1/2）⇒研究開発（TRL3/4/5）⇒製品開発・実証（TRL6/7/8）⇒事業化（TRL9）の4フェーズとし、ボトルネックやありたい姿を踏まえた上で求められる市場創成策は次のとおりである。

①フェーズ1：基礎研究（TRL1 基本原理の観測・報告／TRL2 技術／応用コンセプトの策定）のボトルネック

基礎研究のフェーズでは、大学・研究機関が主なプレイヤーであり、ロボットに関連した技術シーズの発見に力点がある。このため、最終的な出口や出口戦略（出口に至るまでの開発設計）は二義的となる。また、人材・資金は不足傾向にあるため、基礎研究で時間を要し、次フェーズの研究開発に移行できない。限られた人材で研究を行っているため、技術シーズが持つ多様な潜在ニーズの特定、技術シーズと潜在ニーズをつなぎ合わせるアイデア創出にまで手が回らないことも多い。

ア．フェーズ1のありたい姿：

多様で自由な発想のアイデアをできる限り多く生み出す供給側と需要側のコラボレーションにより、技術シーズとニーズが結び付けられている。供給側のみならず需要側のプレイヤーからもアイデアを出し、需給双方でキャッチボールをしながら、アイデアを増加及び成長させている。実機のほか、デジタル環境でのシミュレーションも行われている。

イ．フェーズ1における市場創成策：

- ・ 共同基礎研究施設施設の創設
- ・ 産業界ニーズを踏まえた基礎研究支援・出口設計
- ・ 産学官金パートナーマッチング
- ・ 技術シードを意識した資金供給（クラウドファンディング含む）
- ・ 技術シードと需要側（例：消費者）のニーズマッチング
- ・ 供給側（技術シード開発者）と需要側とのコラボレーション

②フェーズ2：研究開発（TRL3 実験的概念実証／TRL4 実験室環境での技術実証／TRL5 シミュレーション環境での技術検証）のボトルネック

研究開発のフェーズでは、大学・研究機関に加えて、企業（スタートアップ含む）の研究開発部門も主なプレイヤーとなり、具体的なロボット開発を見据えた技術開発に力点がある。基礎研究結果と産業界ニーズを合わせた技術開発の受け皿がない場合、基礎研究でロボット開発は終了してしまう。また、製品開発へのつながりが希薄な技術開発

にもなりやすい。加えて、本フェーズにおけるスタートアップに対する支援（人材・資金・ノウハウの提供）は不十分であり、市場創生のメインプレイヤーであるスタートアップの創出・増加につなげていない。

ア．フェーズ2のありたい姿：

研究開発段階でも需給双方のコラボレーションが積極的に行われている。研究開発テーマ（アイデア）実現のハードル（特に社会受容性に関する ELSI 領域）が特定されており、当該ハードル対応の必要性が関係者と共有され、ハードルを下げる取組みが具体的に進んでいる等、研究開発をスムーズに行う環境が整備されている。実機の利用は最小限で済むように、デジタル環境でのシミュレーションも進展している。

イ．フェーズ2における市場創成策：

研究開発（フェーズ2）から製品開発・実証（フェーズ3）への移行にあたっては、「魔の川」があり、いかに「魔の川」を越えることができるかがポイントである。上記ボトルネックへの対応と併せて、以下の方策が考えられる。

- ・共同研究開発（実証実験）施設の創設
- ・遠隔操作・デジタル空間を活用した研究開発
- ・研究開発促進のための標準化プラットフォーム（シミュレータ）
- ・技術と事業開発の両輪でノウハウ提供（ロボット・AI 技術専門家及びビジネスメンター）
- ・スタートアップファンド
- ・研究開発推進人材の育成

③フェーズ3：製品開発・実証（TRL6 シミュレーション環境でのプロトタイプ実証／TRL7 使用環境でのプロトタイプ実証／TRL8 実技術の完成・認証）のボトルネック

製品開発・実証のフェーズでは、企業（スタートアップ含む）の研究開発と事業開発部門が主なプレイヤーとなり、実際に使用されるロボットの開発、想定顧客やビジネスモデルの検討に力点がある。ロボット1体で数億円等、製品開発で多大なコストがかかる場合、投資回収の見通しがつかず、事業化に至らないケースが多い。また、ロボット開発に手一杯で、統合的なビジネスモデルの設計・運用体制の構築の検討ができていない。スタートアップの場合は、事業化に向けたロボット／ロボットサービスのアピールまで手が回らず、アピールしても認知されないことも多い。

ア．フェーズ3のありたい姿：

製品開発・実証段階でも、需給双方のコラボレーションが積極的に行われている。事業化・事業拡大に向けたハードルが特定されており、当該ハードル対応の必要性が関係者と共有され、ハードルを下げる取組みが具体的に進んでいる。現実の物理空間で実機の利用ができる等、ELSI に関する論点整理や懸念点が払拭されている。

イ．フェーズ3における市場創成策：

製品開発・実証（フェーズ3）から事業化（フェーズ4）への移行にあたっては、「死の谷」があり、いかに「死の谷」を越えることができるかがポイントである。上記ボトルネックへの対応と併せて、以下の方策が考えられる。

- ・共同開発施設の創設
- ・投資対効果算出モデル・シミュレータの共同開発
- ・仕様・業務の標準化、製品モジュール化（モジュールロボット）
- ・共同マーケティング
- ・専門人材の共同利用（例：経営／DX コンサル）
- ・事業化に向けたパートナーマッチング
- ・製品開発推進人材の育成

④フェーズ4：事業化（TRL9 使用環境での展開成功）のボトルネック

事業化のフェーズでは、企業（スタートアップ含む）の事業部が主なプレイヤーとなり、ロボットの生産、ロボットサービスの展開、アフターサービス体制の構築、営業活動等、開発したロボット/ロボットサービスをいかに顧客に受け入れてもらい、市場に浸透させていくかに力点がある。量産化・規模拡大のために、人材・資金・ノウハウ・時間等リソース不足が主なボトルネックとなる。

ア．フェーズ4のありたい姿

事業化段階では、これまでの需給双方のコラボレーションにより、需要側での導入・認知が進んでおり、事業化・事業拡大のためのエコシステムが形成されている。参加者全てが受益するエコシステムとなっている等、自然にエコシステムが拡大しつつある。

イ．フェーズ4における市場創成策：

事業化（フェーズ4）から産業化（フェーズ5）への移行にあたっては、「ダーウィンの海」という大きなハードルがある。上記ボトルネックへの対応と併せて、「ダーウィンの海」を越えるためには、以下の方策が考えられる。

- ・共同営業・販売施設（ロボットショールーム百貨店）の創設・運営
- ・共同での販路・アフターサービス体制構築（レンタル活用含む）
- ・事業拡大に向けたパートナーマッチング
- ・ロボットシステムの高付加価値化（業務改革＋ロボット＋DX 実装）
- ・ロボット導入の簡易化や期間短縮（ティーチングレス等）
- ・ロボットの中古・リサイクリング市場形成

2) TRL を跨いだ統合的な市場創成アプローチ

上記では TRL 別に市場創成策の方向性を述べたが、市場創成は個別に施策を実施するのではなく、他施策との相乗効果、次フェーズも見据えた施策実施等全体最適を実現するために統合的な観点で取り組む必要がある。ロボット関連スタートアップ／新規事業

の育成・拡大に向けた統合的な取り組みアプローチとして次の5点を挙げたい。

- ア．ロボットビジネスのTRL／バリューチェーン／ライフサイクル、需要（ユーザ）・供給（メーカ、サービスプロバイダー）・支援（金融、教育、規制）を網羅する、多種多様なプレイヤーが参加するエコシステム／クラスターの形成（業種別/技術別/地域別）
- イ．ロボット関連スタートアップ／新規事業（供給側）の育成と拡大を一気通貫で支援する産学官金連携組織の創設（上記エコシステム／クラスターのハブ組織として機能）
- ウ．ロボットを使うユーザ／サービス提供を受ける消費者（需要側）の成長や満足度向上の把握につながる人的ネットワークとインサイト共有
- エ．基礎研究～事業化で供給側・需給側・支援側がシームレスにコラボレーション可能となるための、データ標準化・業務共通化
- オ．ロボットビジネスの需要・供給・支援プレイヤーと連携した新しいロボット関連職業の創出、スキルマップ・キャリアアップルートの具体化によるロボットビジネスへの人材流入促進

（3）市場創成が実現されたロボット市場の姿

ロボット市場創成で求められるパラダイムシフトに伴い、支援側プレイヤーの役割・取り組みも変化する。ロボットがより社会で必要とされるために、現在の支援策も、「人間の代替として、AI・デジタルを活用した知能化ロボットの実装支援」から、「システム／組織の成長促進のため、ロボットと共に人間中心の価値創出支援」へと進化が求められる。上記の進化した支援策が市場創成策として実行され、ブルーオーシャン市場が創出された新しいロボット市場は、一体どのような姿になるのであろうか。ロボットの価値を定義・評価でき、ロボットビジネスサービスの需要者・消費者となることができるのは、最終的には人間となるであろう。このような前提を踏まえると、市場創成が実現されたロボット市場においては、システムや組織の成長により人間の活躍可能性が高まり、活躍の幅が拡大していることが予想される。今後は、ロボットに関わる新しい職業の創出、ロボット人材の育成、啓発活動等が最重要となってくることは間違いない。

6.1.6 人材育成策

ロボット技術の進化と普及には、これを支える専門的な人材の育成が不可欠である。同時に、ロボットを利用する消費者やサービス提供者に対する教育も重要な要素となる。本項では、ロボット技術に関する専門教育の強化、既存の専門家へのリカレント教育、消費者のリテラシー養成に焦点を当て、効率的かつ持続可能な教育体制の整備について提起する。

（1）ロボット技術に関する専門教育の充実

ロボット技術の発展には、機械工学、電気電子工学、情報工学等多岐にわたる知識が求められる。また、異分野融合が進む中で、医療、農業、教育、福祉といった応用分野の知識も不可欠である。さらに、倫理や社会的課題への配慮も求められるため、これらを体系

的に学ぶ教育プログラムの整備が必要である。

1) 教育体制の整備

- ・基礎教育の充実：ロボット開発に関わる技術を網羅したカリキュラムの整備
- ・異分野知識の導入：解剖学や心理学等、人間理解に関する基礎教育の導入
- ・実践的スキルの育成：フィールドワークや調査手法に関する教育の導入
- ・倫理教育の拡充：ダイバーシティやインクルージョンの視点を取り入れた教育体制

2) ウェルビーイング認証資格

ロボット技術の付加価値を高めるため、「ウェルビーイング認証資格」の整備が有効である。この資格は、倫理的配慮や福祉制度の理解を含む教育を基盤とし、製品やサービスの品質を向上させることで、経済的価値を創出する。その設計については、例えば倫理的配慮や福祉制度の理解を含む講習を受け、試験により認定された人材へ与える人材ベースの資格制度と、製品やサービスの品質向上にむけた取り組み過程や、ワークライフバランスやダイバーシティインクルージョンへの配慮など、ウェルビーイングを向上させる就労環境整備の取り組みを行う企業の申請に基づいた審査によって企業や製品製造過程に対して与える、製品価値向上や企業への奨励を目的とした資格が考えられる。

(2) リカレント教育の必要性

1) 他分野の専門家への対応

ロボット技術の応用が広がる中、他分野の専門家がロボットを効果的に活用するための教育が重要である。具体的には以下の施策が考えられる。

- ・専門教育の再構築：社会人経験者が学べる短期・長期プログラムの提供
- ・実務研修の整備：スマート介護士資格のような応用現場に特化した教育プログラム

2) リカレント教育の具体例

- ・生涯教育プログラム：リスキリングを促進するため、大学や専門学校での短期プログラムの整備
- ・実務研修制度：特定の現場に特化した研修を通じた技術の現場応用能力の養成

(3) 消費者のリテラシー涵養

1) 初等中等教育での基盤作り

- ・ICT教育の活用：タブレットやプログラミング教育を通じたロボット技術への親和性の向上
- ・ロボット教室の普及：ロボット制作キットや競技会を通じた教育環境の整備

2) 成人教育の必要性

- ・プライバシー教育：ロボットが収集するデータやその処理方法についての理解促進
- ・操作訓練：実際の製品に触れる体験型プログラムの提供

- ・心理的障壁の軽減：ロボット技術の利便性を実感できるイベントやワークショップの実施

3) 持続可能な教育体制の構築

ロボット市場の成長には、技術革新と並行して、人材育成策の整備が不可欠である。教育体制の整備を通じて、ロボット技術の普及と社会受容性の向上を図り、持続可能なロボット社会の実現に寄与することを目指す。

- ・エコシステムの構築：教育機関、企業、政府が連携する体制の整備
- ・職業教育の標準化：職業資格やキャリアパスの明確化
- ・評価制度の導入：教育プログラムの効果を測定する仕組みの構築

6.1.7 標準化戦略

標準化戦略は、ロボットの人・社会・環境との共存を実現し、新たな市場を創出する上で欠かせない取組みである。ロボット産業においても、産業用ロボットやサービスロボットの安全な運用に関する国際標準が策定され、広く世界中で活用されている。本項では、標準化の基本的な概念や目的、具体的な活用事例、そして産官学連携を基盤とした標準化推進の新たな方策について述べる。

(1) 標準化の目的と役割

標準化とは、人や物、情報やサービスをつなぐ取り決めを作成し、それを普及させる活動である。社会全体で、新たな技術やその品質、更には安全性を共有する仕組みを構築する際に、標準というグローバルプラットフォームを活用することで、以下の目的をより広い範囲で達成することができる。

- ・社会受容性の拡大：ステークホルダー間で正しい知識や情報を共有することで、ロボット技術の社会的受容性を向上させる。
- ・新市場の創成：オープン戦略で市場を広げ、クローズ戦略で知財を活用して利益を獲得する。
- ・持続可能な社会の実現：環境への負荷を軽減し、ウェルビーイングを実現するための共通基盤を提供する。

(2) 社会受容性の拡大

1) 情報の標準化

情報技術や安全基準の共有を通じて、ステークホルダー間で新たな技術や仕組みの共通理解を深める。例えば、日本が提唱する「Society 5.0」では、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムが推進されている。このような取組みは、新たな技術の導入に対する正確な知識の普及と倫理的ガバナンスの確立を目指している。

2) 教育の役割

情報の正しい習得を促進するため、初等中等教育や成人教育を通じた啓発活動が重要である。これにより、技術利用者のリテラシーが向上し、標準化された技術やサービス

がより受け入れられやすくなる。

(3) 新市場の創成

1) オープン戦略とクローズ戦略

標準化は市場拡大の強力なツールである。例えば、ISO（国際標準化機構）や IEC（国際電気標準会議）の国際標準は、世界中で必須とされる技術要件を提供している。この国際標準を活用して技術や仕組みを共通化するオープン戦略により世界中に新たな市場を創成する一方で、技術ノウハウの蓄積と知財戦略を用いたクローズ戦略から利益を得ることができる。

2) ロボット市場の具体例

ロボット産業の標準化による市場拡大を実現した事例と、今後標準化が期待される事例を以下に示す。

- ・協働ロボット：安全基準の標準化により、多様な産業での利用が進展
- ・無人搬送ロボット：産業分野における無人搬送車の安全基準策定により用途が拡大
- ・サービスロボット：一般の人々とサービスロボットの共存・協働を安全に行うための標準化
- ・サービスロボットの安全運用：サービスロボットを安全に運用するための手引きの作成
- ・配送ロボット：ラストワンマイルにおける多様な環境での自律運用を可能にする基準の策定
- ・災害対応ロボット：緊急時における安全性と効果性を確保するための規格の整備
- ・AI や協調安全等の新技術：様々な人々とロボットが共に生活や生産活動をする上で必須となる AI や安全技術の標準化

(4) 持続可能な社会の実現

標準化には、エネルギー管理へのアクセスや労働環境における安全衛生の確保等、誰もが取り残されることのない環境を構築し、社会全体のウェルビーイング向上を実現するための役割がある。

(5) 標準化の未来

このように標準化戦略は、ロボット産業の市場を創成し、社会的受容性を向上させ、人々のウェルビーイングを実現させる鍵である。2050 年に向け、新たな技術やサービスの開発と普及を加速させ、人々の生活や産業全体に持続可能な変革をもたらすためには、標準化プロセスそのものを進化させ、より包括的で柔軟な仕組み作りが求められる。

1) 産官学連携の重要性

市場成長のリアルタイム性を向上させ、新たな技術やサービスの導入を加速させるためには、産業界、政府、学术界の緊密な連携が必要である。例えば、EU の「Horizon Europe」

は、研究から市場導入までを一貫して支援するプラットフォームを提供している。我が国でも産業競争力強化法において「特定新需要開拓事業活動計画認定制度」⁹が導入され、オープン＆クローズ戦略を推進する枠組みが整備されつつある。

2) 柔軟な標準化プロセス

AI や ICT 等、技術進歩が急速な分野では、標準化プロセスも柔軟性が求められる。常に成長する技術や即座にカイゼンされるサービスを検証し、周知し、導入を加速させるための包括的な情報共有とその評価プロセスが今後の標準化には求められる。このような、新しい技術やサービスに迅速に対応できる新たな仕組みを構築するためには、ロボットを作る側と使う側が互いの知識と経験を持ち寄り、標準化を含めた新たな社会ルール構築を自らの手で進めていく必要がある。

⁹ https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojunkijun/katsuyo/ocean_project/index.html

第7章 日本のロボット産業のあるべき姿

7.1 はじめに

近年、日本を取り巻く環境はグローバル化の進展とともに、地球規模の課題が一層顕在化している。その中で、持続的な経済成長を実現しながら、社会課題を同時に解決することで、真に豊かな国を目指すことが求められている。また、単なる経済的発展だけでなく、「どうすれば人は幸せになれるのか」という視点が、政策や産業戦略においても重要なテーマとなっている。このような環境の中、ロボット産業は持続可能な社会の実現に向けて極めて重要な役割を果たすことが期待されている。本章では、これまでに論じてきた社会の「ありたい姿」を実現するために、ロボット産業のあるべき姿とその実現のための方策を描く。

まず、地球規模の課題に応えるロボット技術の役割を「グローバル要請」の観点から考察する。次に、「どうすれば人は幸せになれるのか」という視点において、人々の幸福や社会的包摂を実現する「ウェルビーイング」に基づいた産業の方向性を探る。さらに、グローバル化の中において、国際競争力を強化するための具体的な戦略を論じ、最後に、これらの要素を統合した上で、我が国が果たすべき「勝負所」を示し、今後検討すべき課題について論じていく。

7.2 グローバル要請に対するロボット産業

7.2.1 グローバル要請¹⁰とは

グローバル要請とは、世界中の人々が共有する懸念事項に関する問題や現象、広範な社会問題、経済問題、環境問題等が含まれ、国際的な連携により問題の解決が望まれている。表 7-1（左側 2 欄）に一般に議論されるグローバル要請を示す。

ロボット技術の活用によって、これらグローバル要請の解決あるいは緩和が期待されていると考えられる。そのためには、国家、公的研究機関のみの取組みにとどまらず、長期的な展望の下、民間企業等が研究開発に参加することが望まれる。このような企業の社会課題解決への参画は、昨今見直されている企業に対する CSR（Corporate Social Responsibility、企業の社会的責任）のあり方や、「売り手」、「買い手」、「世間（社会）」の三方がよくあることを目指す近江商人の考え方に沿うものである。このような背景の下、本節では、これまでに述べた 2050 年のロボット産業ビジョンを見据えた、グローバル要請への具体的アプローチについて述べる。

7.2.2 グローバル要請に貢献しうるロボット技術

8 つのグローバル要請とそれらの具体例を示し、貢献しうるロボット実装例を表 7-1 の右欄に示す。これらはあくまで限られた例であり、適用はこの限りではないが、ロボット技術が大きくこれらグローバル要請に貢献しうることを示している。

¹⁰ Global issues、<https://www.un.org/en/global-issues>

表 7-1 グローバル要請とその具体例、貢献可能なロボット技術

グローバル要請	分野例（下線はロボットが貢献可能と考えられる分野）	貢献可能なロボット技術
ア. 環境問題	<u>気候変動</u> 、 <u>生物多様性の喪失</u> 、 <u>資源の枯渇</u> 、 <u>海洋汚染</u> 、 <u>グリーンエネルギーへの移行</u> 、 <u>サーキュラーエコノミー</u> 等	資源探索ロボット、環境負荷の少ないロボット、モジュール化・トレーサビリティ、解体・分別ロボット
イ. 貧困と不平等	経済格差、 <u>教育格差</u> 、 <u>ジェンダー不平等</u> 、 <u>飢餓</u> 等	コミュニケーション（アバター）ロボット、農業ロボット
ウ. 公衆衛生	<u>パンデミック</u> 、 <u>医療資源の不足</u> 、 <u>栄養不足と飢餓</u> 等	コミュニケーション（アバター）ロボット、医療ロボット、農業ロボット
エ. 平和と安全保障	紛争と戦争、核兵器拡散、テロリズム、 <u>防衛・安全</u> 、 <u>災害対応</u> 等	コミュニケーション（アバター）ロボット、ドローン
オ. 移民と難民問題	紛争、貧困等による強制移住、 <u>難民受け入れ国の負担軽減と人権保護</u> 等	コミュニケーション（アバター）ロボット（マルチ言語）
カ. テクノロジーとデジタル化の課題	<u>デジタルデバイド</u> 、AI と自動化、サイバーセキュリティ等	コミュニケーション（アバター）ロボット
キ. 持続可能な経済成長	少子化・労働人口減少、グリーンエネルギーへの移行、 <u>持続可能な消費と生産</u> 、貿易の不均衡等	運動・機能支援ロボット、インフラ（点検・メンテナンス）ロボット、スマートコンストラクションロボット
ク. 人権の尊重	<u>少数派や弱者の保護（宗教、性別、民族、病気、加齢等）</u> 、 <u>児童労働や人身売買</u> 等	コミュニケーション（アバター）ロボット、運動・機能支援ロボット

7.2.3 グローバル要請への貢献に向けた我が国のロボット産業のあるべき姿

前項で述べたとおり、ロボット技術はグローバル要請へ応えうる大きな幅広い可能性を有している。現在の国内ロボット産業の状況を踏まえ、将来にわたりどのような基盤技術へ注力することがグローバル要請への貢献可能性を拡張しうるかを検討することが、中長期的な研究開発戦略立案には重要である。

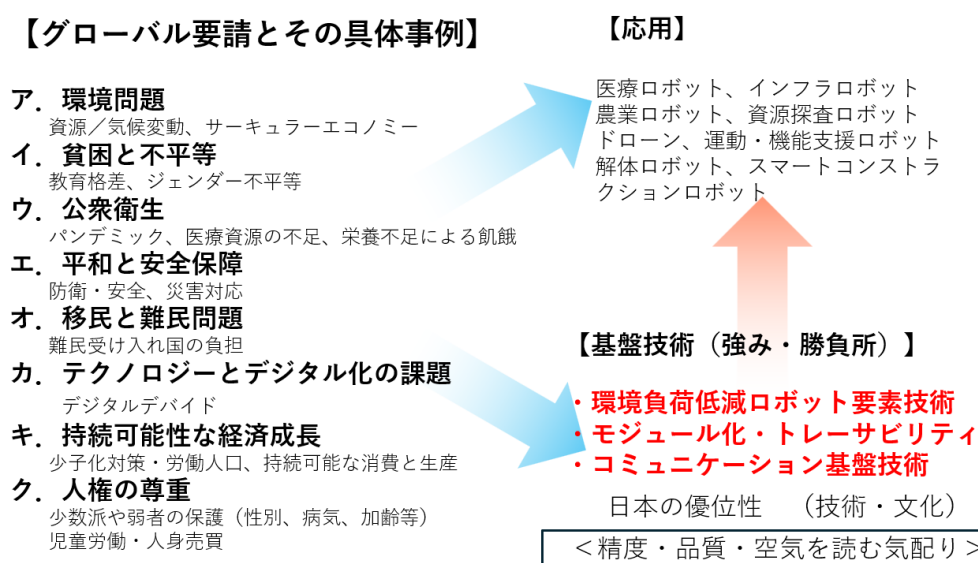


図 7-1 特定基盤技術の発展によるグローバル要請への貢献

そこで、表 7-1 右欄の貢献可能なロボット技術から、グローバル要請へ応えうる重点要素技術としての基盤技術を「環境負荷低減ロボット要素技術」、「モジュール化・トレーサビリティ」、「コミュニケーション基盤技術」と定義する（図 7-1）。

これら 3 つの基盤技術は、グローバル要請へ応えるために極めて重要であり、研究機関、民間企業等の中長期研究開発のロードマップに加えることが推奨される。これら基盤技術について、具体的に現在の技術水準の延長にある要素技術について以下に示す。

ア．環境負荷低減ロボット要素技術

低 CO₂ 排出量ロボット技術、省エネロボット技術、軽量化、回生技術
消費電力基準（ベンチマーキング）、部品点数減・リサイクル

イ．モジュール化／トレーサビリティ

分解リサイクル可能技術、再利用可能部品

ウ．コミュニケーション基盤技術

気配り、個人対応、多言語対応、感性、見守り、身障者用インタフェース
癒し、カスタマイズ、人への適応性

（ア）環境負荷低減ロボット要素技術、（イ）モジュール化／トレーサビリティについては、家電、自動車産業等で活発な技術開発が起こっており、境界を越えた技術導入によって更なる発展が起こる可能性がある。一方で、（ウ）コミュニケーション基盤技術については、単にロボットが動作をすれば目的が達成されるものではない。コミュニケーションは、双方の意思疎通が成立してこそ達成されるため、人間の感情性質を系に含めた技術開発を要する。人間の感情性質は文化、言語等によって大きく異なるため、ロボット分野にとどまらない、より基礎的かつ広範な研究開発を要すると考えられる。

7.2.4 まとめ

グローバル要請は、単一の機関、国家による解決は困難であり、国際的な連携に基づくアプローチを要する。前項に挙げた基盤技術は、一朝一夕に獲得できるものではなく、継続的な取組みが重要である。ここまでで述べたとおり、ロボット技術はこれらの課題の解決あるいは緩和への重要な足がかりとなる可能性を有している。ロボット技術に関する研究開発機関、民間企業等にとっては、技術的な側面からこれらグローバル課題を見据え、中長期的な目標として基盤技術開発を具体的に位置付け、日夜研究開発に取り組むことが強く推奨される。また、そのような取組みを通じて、企業間、国家間のつながりを深め、グローバルな連携の下で、これら課題解決を目指すことが期待される。

7.3 ウェルビーイングを価値としたロボット産業

7.3.1 ウェルビーイング産業への可能性

ウェルビーイングは、現代社会において経済的価値と社会的価値の双方を向上させる重要な概念である。このウェルビーイングを価値として捉えることで、ロボット産業は単に技術を提供するという存在から、人間の幸福を中心に据えた持続可能な社会を実現する経

経済的役割と社会的役割を担う基幹産業へと進化する可能性を秘めている。この方向性は、経済的価値と社会的価値を両立させ、日本国内外での競争力を高める鍵となる。本節では、ウェルビーイングをロボット産業のコアバリューとし、それを基盤に産業を発展させる方向性について考察する。

ロボット産業が、ウェルビーイング産業へと進化する可能性は、第2章、第3章での人や社会のありたい姿とそのための技術的方策を見ても考察できる。ロボットが単に人の置き換えではなく、補完・支援する存在として社会的な価値を創造することが示されている。すなわち、第2章、第3章で述べた技術革新の目的は、従来の「効率」や「生産性」だけでなく、「幸福感の向上」や「社会的包摂」にも拡大されている。高齢化社会や労働力不足、心理的ケアの必要性といった多様な社会課題に対処することを通じて、ロボット活用の新たなチャンスを創出し、ウェルビーイングに関連する市場を拡大することが強く期待される。

言い換えれば、国際的な競争力やニーズの変化を背景として、既存の製造業やロボット産業の市場が縮小するリスクが避けられないとした場合、ウェルビーイング市場への参入が我が国のロボット産業全体の持続可能性を高めることにつながると期待できるという主張である。

日本は感情認識技術やインタラクション設計に優位性があり、日本の「おもてなし文化」とこれらの技術が融合する日本のロボット技術は、ウェルビーイングとの親和性が高く、ウェルビーイング市場に適応しやすいと考えられる。また、介護・福祉ロボットの技術は、日本国内だけでなく、急速に高齢化が進む国々（中国・EU）にも展開可能であり、これまで日本の超高齢社会で培われた技術の国際展開が期待される。さらに、日本のロボットは安全性・信頼性の面で強みがあり、「高品質な製造技術」を活かした安全・安心な製品開発はウェルビーイング市場での大きな武器になる。すなわち、この市場は日本企業にとって有利であり、参入する価値があると考えている。

したがって、国内外の市場特性に合わせた柔軟な戦略を展開し、社会制度や価値観が更新されるとともに、ロボット産業を軸に新市場開拓を進め、新しい経済モデルを構築することが期待される。例えば、ロボットを生み出すロボット産業が率先してロボットを活用することにより、ワークライフインテグレーションを推進し、多様な働き方を実現するインクルーシブな職場環境「ロボットとの協働によるモザイク型就労」を促進し、雇用創出と市場拡大を図ることが期待される。

7.3.2 ウェルビーイングに資するロボット

ウェルビーイングに資するロボット技術は、身体的、心理的、社会的な幸福を実現するために設計され、個人、組織、社会の各レベルでその価値を発揮する。本項では、前章までに紹介された支援技術の具体例を再整理し、ウェルビーイング向上に寄与するロボットの役割とその可能性を考察する。

(1) 個人レベルでのウェルビーイング

個人の日常生活において、ウェルビーイングロボットが支援を提供する場面や支援例を以下に示す。

1) 生活

ア. パワーアシストロボット:

- ・作業中の動作を支援する着用型のロボット

イ. パーソナルケアロボット

- ・高齢者や障がい者の身体動作を支援するロボット（例：着替え、食事、移動の補助）健康状態をモニタリングし、異常があれば通知するウェアラブルセンサ

ウ. メンタルヘルスサポートロボット

- ・心理的ストレスを軽減する会話型ロボット（例：感情認識を活用したカウンセリング）
- ・孤独感を軽減するためのペット型ロボット（例：愛着形成を促進するデザイン）

エ. 学習支援ロボット

- ・自宅で学習を補助する AI ロボット（例：プログラミング教育や語学学習のサポート）

2) 仕事

ア. 遠隔操作ロボット

- ・ロボットを介してどこからでも仕事ができる。

イ. 協働ロボット

- ・ロボットとの協働でやりがいがあり自ら成長できる仕事ができる。

(2) 組織レベルでのウェルビーイング

職場や家庭、地域コミュニティにおいて、ロボットは以下のような形で活躍する。

1) 生活

ア. 家庭用支援ロボット

- ・コミュニティ単位で共有できるロボットで、調理、洗濯、掃除等の家事を代替し、生活にかかる日々の負担を軽減する。
- ・育児支援ロボットによる社会とつながる子育てを通して不安と負担を軽減する。
- ・ロボットとの共生により家族間のコミュニケーションが促進され、心理的距離が縮まる。

イ. 健康管理ロボット

- ・職場や学校での健康状態を可視化するデバイス（例：集団での感染症モニタリング）

2) 仕事

ア. 協働ロボット

- ・ロボットとの安全・安心な協働作業により、労働現場での作業負担を軽減し、生産性を向上させる。

イ. 職場内での健康管理やストレス緩和を支援するロボット

ウ. 物流や倉庫作業を効率化する自律移動ロボット（例：ピッキング作業支援）

エ. チームコミュニケーション支援ロボット

- ・オフィス内での会議やタスク進行をサポートする。
- ・リモートワークチーム間の非言語的コミュニケーションを促進する。

(3) 社会レベルでのウェルビーイング

ロボットは社会全体のウェルビーイング向上にも寄与する。

1) 生活

ア. スマート交通システム

- ・安全・安心かつ効率的で環境負荷の低い地域内移動支援（例：自動運転シャトルバス）

イ. 公共サービスの自動化

- ・誰もが公平に公共サービスを受けられる。
- ・高齢者や障がい者が使いやすい公共施設案内ロボット

ウ. 災害支援ロボット

- ・自然災害時の救助活動を支援するロボット（例：瓦礫除去や被災者の探索）
- ・災害避難所でのケアロボット（例：心理的ケアや物資分配）

エ. スマートシティとの統合

- ・デジタルツイン技術を活用して地域全体の生活効率を最適化するロボット
- ・環境負荷を低減するリサイクルロボットやエネルギー効率を高める家庭用ロボット
- ・家庭や職場の既存システムとの統合を図り、ユーザのロボット活用体験をシームレスに向上する。

2) 仕事

ア. 社会インフラの維持管理ロボット

- ・老朽化した橋梁や道路の点検を行う自律ロボット
- ・高層ビルや発電施設のメンテナンスを行うロボット

イ. 農業・漁業支援ロボット

- ・精密農業を実現するデータ収集型ロボット（例：ドローンによる作物モニタリング）
- ・水産資源の持続可能な利用を支援する漁業ロボット

以上のように、ウェルビーイングに資するロボットは、人々の身体的健康をサポートし、心理的な安心感を提供し、社会的孤立を解消するだけでなく、組織や社会全体の効率性と持続可能性を高める役割を果たす。これらのロボットは、個々のニーズに応じた個人に適合したサービスを提供し、多様な環境で適応的に機能することで、人間社会と深く共生していくことが期待される。

7.3.3 ウェルビーイングのための技術

2050 年を見据えたロボット産業において、ウェルビーイングの実現に向けた技術開発は、個別最適化と産業全体のエコシステム形成が鍵となると考えられる。本項では、サービスや支援を個別性に応じて適応させるための技術的課題とその解決策、そして持続可能な発展を支えるエコシステムの重要性について述べる。

ウェルビーイングロボットは、人々の多様なニーズに応じて、柔軟かつ個別的にサービスを提供する必要がある。例えば、障害には身体的・知覚的制約が直接的な行動の障害となる一次的障害と、現状の何らかの理由で行動に制約が生じる二次的障害がある。ウェルビーイングに資するロボットは多様な一次的障害（身体的・知覚的制約）に対応するための技術だけでなく、誰にでも生じる二次的障害（行動や社会的行動の制約）を克服するための技術やインタラクション設計が求められる。利用可能なサービスや支援を個性に合わせて組み合わせ、調整できる仕組みが産業化の鍵となると考えられる。

個別最適化を進めるために、以下の先端技術の発展と活用が重要となると考える。1 つ目は目的に応じた長期センシング技術である。ユーザの行動や健康状態を長期間にわたってモニタリングし、変化を検出、評価して、適切なタイミングで適応的な支援を提供する技術の確立が期待される。生活リズムや環境の変化に対応する予測アルゴリズムとの統合も期待される。

ロボットシステムと人とのインタラクションには、人の文化的背景や文脈を踏まえたコミュニケーションを実現するため、ロボットが社会的スキルを有することが不可欠であろう。大規模言語モデル（LLM）は、単に自然言語処理技術にとどまらず、ユーザの言語や行動から意図を理解し、適切な応答や支援を行うための知識モデルとしての活用が期待される。さらに、マルチモーダルデータ（音声、画像、動作）を統合し、包括的なインタラクションを実現するための技術基盤として活用するための技術的な発展が求められる。日本のおもてなし文化に象徴されるように日本のロボットのインタラクション技術は日本の強みにもなりうる。ロボットと人の自然なコミュニケーションを可能にするインタフェース設計、感情認識や非言語的サインを活用した対話のデザインは、日本から発信するウェルビーイングに資するロボット技術として強みとなると期待される。

ロボットによる身体動作支援にはロボットとの物理的な身体的インタラクションも不可欠である。ロボットの素材や介入の仕方によって、ユーザへの効果が異なることが知られている。したがって、ユーザが安心して自然に受け入れられるような身体的インタラクションを実現する、人に優しい素材で柔軟な動作を可能にするソフトロボット技術の発展が期待される。

人と社会のウェルビーイングの目標そのものが多様である。その多様なニーズに対応するための個別最適化を実現するためには、様々なロボット要素、ロボットシステム、更にはサービスを相互運用するための共通基盤の構築が重要となると予想される。そのため、ユーザインタフェース、データ形式、通信プロトコル等の標準化を促進することがウェルビーイングのためのロボット技術の発展の鍵になると考えられる。

同時に、ウェルビーイングロボット産業の持続的な発展には、産業全体を支えるエコシステムの構築が必要である。例えば、ユーザの多様なニーズを可視化し、ユーザ、開発者、

運用者が協働するユーザ中心のエコシステムの構築が挙げられる。さらに、ユーザのプライバシーを保護しながら、ロボットの性能向上に活用可能なデータを収集・管理する共通基盤の構築も重要な課題である。

7.3.4 ウェルビーイングロボット技術のブランディング

ロボットが生活や労働環境に与えるポジティブな影響を最大限にアピールすることで、社会的認知度を高め、産業全体の価値を向上させ、ウェルビーイングロボット技術をブランド化することが、競争力のあるロボット産業のありたい姿の実現につながるものと期待する。本項では、ウェルビーイングロボット技術を効果的にブランド化するための具体的な戦略を示す。

1 つ目の戦略はウェルビーイングへの寄与の可視化である。ロボットが導入された環境で、ウェルビーイングにどれだけ寄与したかを定量的・定性的に測定する。ユーザの満足度、健康状態の改善、生産性向上等の具体的指標を設定し、生活や労働環境への影響を測定する。個人、組織、社会レベルでのウェルビーイング効果を評価する仕組みを導入し、評価結果を公開することにより、ロボット活用の価値を広く訴求する。

2 つ目の戦略は認証制度の確立と導入である。ロボットがウェルビーイング基準を満たしているかを検証し、認証を与える「ウェルビーイングロボット技術認証制度」を設立する。認証基準には、安全性、効果性、持続可能性、ユーザの心理的負担軽減等を含む。さらに、ライセンス制度を導入し、認証を受けた技術を基に、ウェルビーイングロボットを設計・製造できるライセンスを発行し、高品質な製品の普及を促進する。

3 つ目の戦略は人材育成である。ウェルビーイング効果の評価に加え、ウェルビーイングロボットの設計、製造、運用に関する専門知識を持つ人材の育成が不可欠である。個別ニーズへの対応のためにはユーザごとのニーズや環境に合わせたロボットの設計やコーディネートを推進でき、ユーザの声をインタラクションデザインへ反映できることが求められる。そのため従来のエンジニアリングの専門家だけでなく、福祉や心理、倫理等の他分野の専門家をウェルビーイングロボットの専門家として育成することが重要となる。

ウェルビーイングロボット技術のブランディングは、技術の価値を広く社会に伝えるだけでなく、信頼性と市場価値を高めるための重要なプロセスである。生活・労働環境への具体的な寄与の可視化、認証制度の確立、人材育成、そしてユーザ中心の設計を通じて、ウェルビーイングロボットが社会全体で受け入れられて、支持されるブランドとして確立し、日本のロボット産業が日本の社会全体のウェルビーイングを牽引することを期待する。

以上で述べたウェルビーイングロボット技術のブランディングに向けた具体的な戦略を実施していくために、現状の課題を今一度振り返りたい。

ウェルビーイングへ貢献するロボット技術の発展には、現状、ロボットメーカ側の課題もあると考えられる。すなわち、現在のロボットメーカは、効率性や技術革新を主軸とした製品開発を行っており、「ウェルビーイング」という概念を製品企画やサービス展開にどのように取り入れ、それをどのように価値として売り出せば良いか明確に把握していない可能性がある。そのため、ウェルビーイングを軸としたロボットの価値を適切に市場に訴求できるかどうか不透明であり、結果として具体的な戦略の実施に踏み出せない可能性

が考えられる。

一方、人や社会のウェルビーイングを推進すべきという価値観は、従来ウェルビーイングに高い関心を持つ福祉、医療、教育分野の人々だけでなく、幅広い分野で広く認知されつつある。しかし、ウェルビーイング推進派の多くはロボット技術への理解が不十分なため、ロボットがどのように「価値」を生み出すかという技術的視点が欠けており、実用化に向けた議論がかみ合わないのが現状である。

つまり、ウェルビーイングを価値として捉えて、ロボット産業を発展させるという目標を達成するためには、両者をつなぐ橋渡し役が必要ということになる。ロボットメーカーとウェルビーイング推進派の間には視点の違いがあり、このギャップを埋める存在が必要で、ウェルビーイング視点を持ちつつ、ロボット技術を理解し、具体的な市場価値を作り出せる橋渡し役が不可欠であると考えられる。

この橋渡しを実現するためには、次のような取組みが考えられる。1 つは、ロボットメーカー、ウェルビーイング専門家、政策立案者が共に議論できる場を設けること、例えば、「ウェルビーイング×ロボティクスフォーラム」のような形で定期的に意見交換を実施するような、ウェルビーイングロボット技術に特化した「学際的なプラットフォーム」を構築することが挙げられる。

次に、橋渡し役を育成するための教育プログラムを設けることが挙げられる。すなわち、ウェルビーイングとロボット技術を両方学べる専門コースを設置（大学・企業研修等）すること、マーケティングや経営学の文脈でウェルビーイングロボット市場をテーマとしたプログラムを導入すること、更には産業界・福祉・心理学・エンジニアリングの横断的な研修プログラムを企業や自治体と連携して開発することが考えられる。

官民学の連携だけでなく、分野横断的な取組みが、ロボット技術のウェルビーイングへの貢献とその社会実装を後押しすると期待される。

7.4 日本のロボット産業の国際競争力

7.4.1 国際競争力

(1) 国際競争力に関する現状認識

日本における産業の国際競争力の停滞が様々なレポートで取りざたされている。企業の全体的傾向として、変化への対応力の弱さや人材不足・流動性の欠如、起業・新陳代謝が進まない等が挙げられている。産業用ロボットを除くロボット分野に関しては、新しいビジネス領域であり、この課題が直接的に影響を受けていると考えられる。

(2) これまでの日本における競争力の源泉

高度経済成長期からバブル期までの日本の製造業の競争力の源泉を改めて振り返ると、均質で勤勉な労働力を基に現場での改善を中心とした大量生産の高効率化が進行し成功を収めたものと考えられる。技術者についても現場に近い高度な生産技術者が改善を図ることにより、生産性向上によるコストダウンを図り、低コスト高品質な製品を供給することで競争力を確保していたとも言える。また、基本的なコンセプトを国内に導入し、様々な用途へのインテグレーションにより改善・改良を加えることで技術力を高めてきた。

産業用ロボットについては、自動車や半導体製造等の生産ラインで大量に使用するためのロボットメーカへの厳しい要求（ニーズ）があり、仕様と品質が明確になったことから、高精度で比較的低価格の産業用ロボットが量産されるようになり一大産業として成長してきた。

国内に大きな市場があったことと生産人口比率が高かったことから、良質な現場作業員、現場技術者が生産ラインの改善を図ってきた。日本の企業はある程度決まった範囲内での改善、競争を得意としたため、高度経済成長期には、細かな点まで改良改善を図る高品質な製品が開発されてきた。ロボットの現場適用においても、生産技術者やシステムインテグレータが習熟することで特定分野での技術が向上した。日本においては、長期雇用を原則とすることから、時間をかけて現場力の向上が図られてきた。

生産設備に係る産業用ロボットが量産されてきたことと、その活用で改善される作業がロボットシステムインテグレータによって工夫されてきたことにより、ロボットはこの数十年間で普及してきた。産業用ロボットでは、精度を確保するために基本的にティーチングプレイバックによる位置決めを基本としていることから、周辺機器やエンドエフェクタの工夫が必要であり、システムインテグレーションに係る費用を含めて経済性に優れた分野に限られて適用されてきた。

特殊な作業用の装置としてのロボットとしては、原子力プラントの点検作業等の作業環境が厳しい現場での作業効率化を目指したものが個別開発されてきた。少量で高価格かつ特殊なものが開発されてきたが、量的に多くないこともあり技術者が限られる職人的なものである。このように蓄積してきた現場力、職人的な技術を源泉として生産財を中心とするロボット技術が向上し、競争力を確保してきたと言える。このような技術蓄積は多くの場合、暗黙知として形成されていることが多く、その伝承にはかなりの時間が必要となっている。このような暗黙知として現場に蓄積された技術・技能が、日本の優位性の源泉となってきた。

日本の大企業では、長期雇用を前提として社内での競争が激しかったことから、ベンチャー的なチャレンジが社内で様々な形で取り組まれ、大企業の資源（資金・技術・人材等）を活用した新規事業として育成されてきた。加えて、雇用が保証されていることから、挑戦による失敗の経験を積み、その中から得られる技術を習得することが容認され、次の挑戦に活かされてきた。しかしながら、経営のグローバル化の下で効率的で確実な研究開発投資が求められるようになり、近年は挑戦的な開発への取組みが難しくなってきた。

これが新しい分野のロボット開発には足かせとなっている。新しいことに対するコンセプト構築力や判断力が高くなく、現状での競争を基本とした判断に終始しがちな点が競争力の課題となってきた。新しい分野ではゲームチェンジが起こることになるが、そのような概念の変化に対応できる力が不足しているのではないと思われる。

近年の海外の競争力が高いとされる国々では、現場力というよりも理論的に合理性のある方法でコンセプトを構築しているため、ゲームチェンジが図られている。ロボットシステムでは、物理的な動作があることから単純な理論・理屈では簡単に実現しない。しかしながら、各種センサ、コンピュータ等の低価格化により、様々なシステムの構築が容易となり、これらの技術革新に伴って理論的な合理性の成立も可能となってきた。優位性の基

となっている暗黙知についても、データ計測等の技術の進歩により形式知化されて徐々に解明されつつある。この結果、これまでの常識では考えられない大幅な価格低下が実現してきている。

7.4.2 ロボット産業の国際競争力強化に向けて

(1) 強化項目

ロボットは、人が担っている様々な物理的作業を代替するソリューションのシステムであることを意識することが重要である。初期のロボット化（自動化）とは、従来の作業の機械化・自動化であったが、このような方法での改善はロボット産業ができて 50 年近くの間にはほぼ実現されてきた。残された作業は人が得意とするものばかりで、ロボット化のコストがかかり効率の悪いものがほとんどである。個別の作業を改善するのではなく、一段上の視点から全体のプロセスを改善するような発想の下でのロボット化が必要である。事務作業のデジタルトランスフォーメーション（DX）のように、物理的な作業もロボット化を前提としたプロセス改善によるトランスフォーメーション、RX（ロボティクストランスフォーメーション）につながる開発が必要となると思われる。そのためには、以下のような強化項目が挙げられる。

1) イノベーションの促進

イノベーションを起こすためには、基本的な技術力が重要である。構造素材やセンサ、AI 技術等の基礎技術への支援は不可欠である。これまでも多くの開発が進められてきたが、今後は画期的な技術開発への投資も重要と思われる。イノベーションにつながるシステム開発については、既存の企業の様々なインフラ（メンテナンス体制等）をスタートアップが効果的に活用できるような制度の下で PoC（Proof of Concept）に取り組めることも重要と思われる。

2) デジタル化とソフトウェアの強化

ロボットを装置として捉えるのではなく、AI・IoT との融合による CPS (Cyber Physical System) の構築を目指す開発が重要となる。ロボットを活用したプロセス改善（RX）の実現が重要である。

これまでの暗黙知による様々な技能の形式知化による自動化の促進、非定型作業に対する作業者の介入のオンライン化等、新しい形態の雇用も考えていく必要がある。通信回線を介したオンラインでの介入により非定型作業への対応を実現する等、新しい概念も重要となる。

3) 国際市場を見据えたシステム開発

従来は、日本が 1 つの大きな市場であったことから、国内市場での競争で製品の質的向上とコスト低減が図れたが、少子高齢化と人口減少により国際市場を意識した製品開発が必要となっているため、国際規格を含め世界市場への展開を開発当初より考慮する必要がある。

海外の優秀な人材を呼び込むことで、国内市場だけでなく国際的に通用する新しいシステム構築を促進する必要がある。感性の違いの相互理解により、新しいシステム構築が促進されるものと思われる。

一方で、これまで優位性を保つ要素であった現場力の源泉の暗黙知をシステムに組み込み、多くのノウハウを形式知化するとともにインタフェースの容易さを実現することで、国際的に普及させていくことを見据えることは重要である。

4) 人材育成

技術的な素養を持つ人材の育成は必須であるが、プロセス改善を意識したトータルシステムを考えられるようなシステム思考の人材育成が必須となる。技術的な素養を備えた高度な研究人材（博士の活用）は非常に重要である。加えて、技術的に高度な人材の実践の学びの場を提供する環境整備により、知識と実践の経験値を高める仕組み作りも必要となる。ただし、このような高度人材の雇用の安定性の確保が重要である。また、現場でのオペレーションを担う人材の育成も不可欠である。暗黙知が形式知化された新しいロボットシステムに対して、現場での設定やオペレーション、メンテナンス等を担う人材をリスクリングも含めて育成することも重要となる。新しい雇用形態としてのオンラインによる遠隔オペレーション等、これまでにない新しい技能者の育成も重要となる。

5) 社会制度の整備

ロボットの使用を前提としたシステム開発を許容できるような社会的な意識改革や規制の柔軟化が必要となる。例えば、過度な安全志向にとらわれず、保険制度を含めた制度全体の見直しと整備が求められる。併せて、柔軟な安全基準の導入や、安全に対する新たな考え方の醸成、社会全体での受容性の向上が重要である。さらには、国内で PoC が実施できる環境作りが重要である。長期雇用を前提とした労働力を基本としながらも、短期雇用あるいはギグワーカー（単発で仕事を請け負う労働者）といった多様な働き方に対応可能な、オンラインの活用等を前提としたシステム構築も重要となる。

①各種産業のプロセス改善

少子高齢化に対応できる各種産業におけるプロセス改善を検討することで社会課題の解決を図る。このモデルを世界に展開することが今後重要となってくる。

②日本の特徴を活かしたシステム開発

日本の従来の雇用形態の特徴による現場力や、職人的な技能を活用する高度な製品技術等、強みとなっている点を活用してシステム開発や実装に取り組んでいく。現場に直結する課題をシステムとして解決し、世界への展開を考慮するような発想の下、高品質で高い付加価値を生み出すシステム開発を目指し、高いブランド力を形成することが重要である。一方で、暗黙知を形式知化してシステムを再構築し、ロボット化に合わせた新しいプロセスによる RX と直感的に分かりやすいインタフェースにより、使いやすい生産システムの構築を目指すべきである。

また、平等主義からの決別が必要であると考え。皆が一緒にかせげるのではなく、各個人に差がつくような個人間競争が進む経済システムにシフトしなければならない。そのためには、海外の優秀な人材を呼び込む必要もある。人材の流動化は既に起きているため、将来はそれに対応した産業化を進める必要がある。

7.4.3 狙うべき産業分野

先述の強化項目はこれまでも取り上げられてきたが、なかなか実現できていない。日本における課題を意識して、日本の特性に合うような産業分野から取り組むことが重要と思われる。米国のような、個々の人材の力によるスタートアップの成長に基づく発展は、これまでの日本の雇用形態等に即座に対応できるものではない。グローバルスタンダードの名の下に、スタートアップによる起業からの新陳代謝を目指しても、社会環境が整っておらず、人材の流動性もすぐには高まらない。成熟した企業の様々な資源（人材やメンテナンステ体制等）をスタートアップがうまく活用しながらイノベーションにつなげる必要がある。また、スタートアップやベンチャー企業等の人材に対しては、従来は大企業が担っていたセーフティネット等、チャレンジできる環境整備が重要となる。

社会環境としては、少子高齢化の先進国であることから発生する社会課題の解決を目指すべきである。農業の大規模化、物流の根本的な解決、高齢者等の労働市場での活躍のための製造プロセス改善等は、PoC 環境として日本が適していると思われる。「農業分野における加工・流通までを考慮した第6次産業化」、「サービス業分野の改善」や「福祉介護業分野の現場改善」等に対して、ロボットを前提としたトータルのプロセス改善を目指すシステム開発に現場力を活かして取り組むべきである。産業構造の改革にもなることから、政策的な支援、法的な改革、規制の見直し等も重要となってくる。このような大きな変化を先導することなしにはロボット化を前提とするプロセス改善 RX は難しい。

国内における協調と競争の枠組みを見直し、かなりの部分を協業するために、国内の様々な現場力を含めた技術の交流を図る仕組み作りが重要となる。特に同業者間の協調の促進が国内においては大きな課題であり、少なくとも新しい分野では現状より踏み込んだ協業を進めて、開発スピードの向上を図ることが重要となる。こうした取り組みにより、人材の流動性の促進も図られると思われる。

これに加えて、技術者のみならず、改善を設計するロボフレ環境コーディネータ等が必要となってくる。このような人材のアカデミックでの育成と人材流動を促進して、協業の橋渡しをすることが重要と思われる。

7.5 まとめ

近年、ロボット産業は国際的な競争力を持つ分野として成長し続けているが、日本においては特に、グローバル要請、地政学的リスク（政治的・軍事的リスク、災害・パンデミック等）への対応、少子高齢化に伴う働き方改革、ウェルビーイングの観点からのロボット活用が期待される。これらの社会環境の変化に対応するには、日本独自のロボット技術を開発・活用し、適応力のある（レジリエントな）産業として発展させることが鍵となる。

本章では、日本のロボット産業の発展に関して「グローバル要請」、「ウェルビーイング」、「国際競争力」という観点からその勝負所を説明してきた。本節では、これら3つの観点到に共通する重要な要素を整理し、ロボット産業が進化する過程で我が国が目指すべき技術開発の方向性をまとめるとともに、それら技術を活かし、柔軟で持続可能かつレジリエントな産業構築を目指すための戦略を示す。

7.5.1 モジュール化の推進とコミュニケーション基盤技術の強化

7.2 節で挙げた基盤技術に、モジュール化／トレーサビリティがある。特にモジュール化は、異業種間の連携を促進し、技術の相互運用性を高める重要な手段である。欧州ではロボット技術のモジュール化が進んでおり、産業間の垣根を越えた標準化が実施されている。一方、日本は独自の技術開発に注力する傾向が強く、「ガラパゴス化」に陥りやすい。しかし、日本がこの分野で競争力を持つためには、モジュール化を推進しつつ、国際規格の策定に積極的に関与し、人間中心設計を取り入れた標準化を進めることが重要である。7.4 節の「国際競争力」で述べたとおり、日本の強みは「現場力」である。現場力を最大限に活かすためには、ロボット、センサ、インタフェースの連携を容易にするための標準化されたインタフェースを開発し、誰もが容易にシステムインテグレーションが行えることが必要である。これにより、現場での迅速なフィードバックを活かした製品の改善・改良が可能となり、また、労働環境の改善にもつながる。加えて、ロボット技術の柔軟な適用と現場ごとのニーズに応じたカスタマイズが可能になれば、ロボットの適用範囲が広がり、各業界のイノベーションを促進する。標準化されたモジュールを活用することで、新規参入企業は低コストかつ迅速に市場投入を実現し、グローバル市場での競争力を高めることができる。特にスタートアップや中小企業の参入を促進する役割を果たし、革新的なビジネスモデルの創出が期待できる。加えて、モジュール化されたシステムは各国の規制や市場ニーズに柔軟に対応できるため、国際展開の障壁を低減し、より多くの地域での普及が見込まれる。モジュール化の利点は、工場等の産業分野にとどまらず、医療、福祉、教育、公共サービスといった多様な領域にも広がることである。個人の生活環境では、利用者の身体的・心理的特性に応じた支援が可能となり、特定のニーズに対応したロボット技術の提供が促進される。また、職場や都市環境においても、個々人の働きやすさや生活の質を向上させる柔軟なシステムの構築が可能となり、職場特化型や地域特化型のロボット産業の創出が期待される。すなわち、人間中心設計を考慮したモジュール化が進むことで、7.3 節で示したような個人や社会全体のウェルビーイングが向上し、ロボット技術が日常生活に密接に結びつく未来が拓ける。また、ウェルビーイングの観点では、7.2 節で示したコミュニケーション基盤技術が人間中心設計を強化する上で重要となる。ロボットが社会に受け入れられるためには、AI やセンシング技術を活用し、人間の感情や意図を理解して、適切に反応できる能力が必要である。また、文化的背景や個々の特性に応じたヒューマンロボットインタラクションの設計が求められる。7.3 節で述べたように、日本は「おもてなし文化」と融合したこれら技術に優位性を持っており、また、各国に先駆けて超高齢社会となっていることから、ロボット技術を用いたサービスを国際展開していくことが今後の国際競争力となる。さらに、心理的負担を軽減し、社会的包摂を進めるロボット技術の

導入は、職場や家庭での作業負担の軽減、パーソナルアシスタントとしての役割強化、高齢者支援の拡充等、多様な形態で多くの人々がロボットと共に生活できる環境を作り出す。

7.5.2 環境負荷低減やトレーサビリティを考慮したロボット技術開発とロボット産業の持続的な発展のための人材育成の強化

次に、上記の技術をどのように社会に実装していくかという観点からまとめる。持続可能な社会を実現するためには、ELSI（倫理的・法的・社会的課題）と「六方よし」の視点を産業戦略に統合することが重要であると考えられる。7.2 節で示したように、日本は従来、「売り手」、「買い手」、「世間（社会）」の三者が互いに良い結果を生む「三方よし」の理念を重視してきた。しかし今後は、「作り手」、「地球」、「未来」の視点も加えた「六方よし」の考え方を産業戦略に組み入れることが求められる。具体的には、環境負荷の低減、社会的インパクトの評価、持続可能な経済成長の実現等、各方面の調和を図りながらロボット技術の開発と産業化を進める必要がある。環境負荷低減の観点では、エネルギー効率の高いロボットやリサイクル可能な材料の活用が求められており、サプライチェーン全体での環境負荷削減に向けた取組みが不可欠である。これは7.2 節で述べた環境負荷低減ロボット要素技術やトレーサビリティの技術の強化に対応する。また、我が国のロボット産業の発展には、技術開発のみならず、経営者、政策立案者、学術機関、産業界の連携が必要不可欠である。特に、制度設計、標準化、ビジネスモデルの構築、規制の適切な導入を通じて、ロボット技術が実際に産業化され、社会に受け入れられる仕組みを整えることが求められる。

また、農業や建設業では人材不足が深刻化しており、ロボット技術の導入が産業の存続に不可欠である。介護分野でも同様に人手不足が進行し、このままでは十分なケアを提供できなくなる可能性が高い。こうした社会的課題を解決するためには大規模な投資が必要であるが、企業単独での推進は困難である。そのため、国や自治体が支援し、例えばロボットのリース制度の導入、ロボット操作技術者の育成・派遣、新規事業創出の支援等の施策を講じることが重要となる。

加えて、ロボット産業の持続的な発展には、次世代の高度な専門技術を持つ人材の育成が不可欠である。例えば、AI やロボティクスの最前線の知識を習得することに加えて、異分野の専門家との協力によってシステム全体を俯瞰し、ロボットの活用を前提として物理的な作業を実現する最適ソリューション（RX）を生み出すことができる人材である。技術革新のスピードが増す現代において、日本は従来の強みである「現場力」を活かしながら、システム思考を備えた人材の育成、国際規格を見据えた開発戦略の策定、社会的受容性を高めるための規制緩和や支援策の導入等、より広範な視点で産業の発展を考えなければならない。また、人間中心設計という観点では、ニーズ・シーズが連携し、多様な分野・人材による共創環境を構築することも重要となる。これにより、人間とロボットの関係を深く理解し、社会的なニーズに応じたサービスを提供できる柔軟性を備えることがウェルビーイング向上につながる。

これらの人材を育成するためには、教育機関と企業の連携を強化し、実践的なトレーニングや国際的な交流を推進することが不可欠である。特に、国による支援が果たす役割は

大きく、産学官が一体となった長期的な育成プログラムの整備が求められる。例えば、AI・ロボティクス分野に特化した高度教育カリキュラムの開発、企業と連携したインターンシップやリスキリング支援の拡充、海外の先進機関との共同研究を促進するための助成制度等が挙げられる。また、ロボット産業の競争力を高めるためには、研究開発はもちろんのこと、技術の社会実装を支援する規制緩和や資金援助も重要となる。国がリーダーシップを発揮し、これらの環境を整えることで、次世代の技術者が活躍できる土壌が築かれ、我が国のロボット産業の持続的な発展が期待できる。

7.5.3 今後の検討課題

ロボット産業はこれまで、技術革新や研究開発を中心に発展してきたが、今後は「人・社会・環境と共存するロボット」というコンセプトのもと、より広範な社会実装と価値創出が求められている。その実現に向けては、政府、教育、金融、研究開発、民間企業等多様なプレイヤーが主体的に役割を担い、連携しながらエコシステムを構築していく必要がある。本節では、そうしたロボット産業の発展を起点として、今後は社会全体の多様なプレイヤーが主体となって価値創出と雇用（職業）創出を担っていくという視点から、今後の方向性と各プレイヤーの役割、そしてあるべき産業の姿について整理する。このような観点を踏まえ、以下では未来のロボット産業エコシステムイメージとその実現に向けたロードマップを示す。

(1) 未来のロボット産業のエコシステム

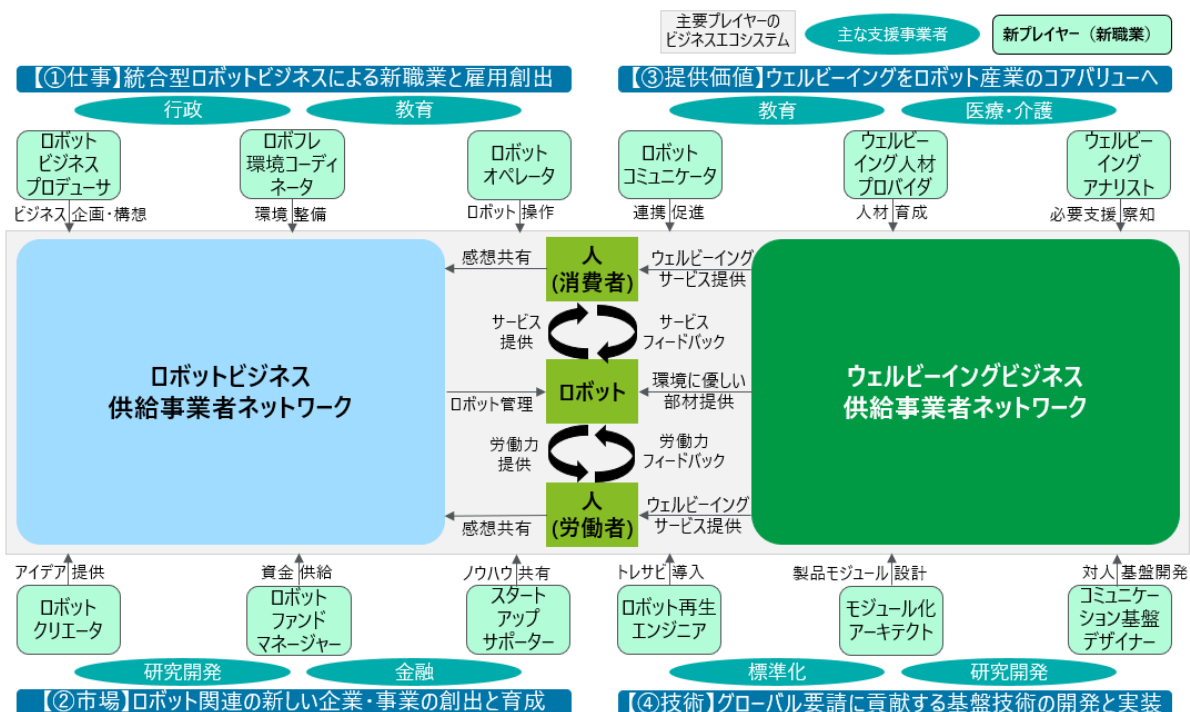


図 7-2 未来のロボット産業のエコシステム全体像

図 7-2 においては、第 7 章の各項目を踏まえ、未来のロボット産業エコシステムを整理した。未来のロボット産業エコシステムは、ロボットビジネスとウェルビーイングビジネスが融合して生み出されるロボットが、人（消費者＋労働者）に対してよりきめ細やかなサービスや労働力を提供する。参加者の観点からは、ロボット関連の主な供給事業者、新たなプレイヤー（新職業）、支援事業者が三位一体となって未来のロボット産業エコシステムを形成する。未来のエコシステムを、①仕事、②市場、③提供価値、④技術の 4 つの象限で分類すると、説明は以下のとおりである。なお、①仕事と②市場はロボットビジネス供給事業者ネットワーク、③提供価値と④技術はウェルビーイングビジネス供給事業者ネットワークとの関係性が強くなる。

①仕事については、国際競争力や産業化の観点を踏まえ、統合型ロボットビジネスによる新たな職業の創出と雇用の拡大をどのように実現するかを示している。これは主に行政による支援を前提とする。

②市場については、国際競争力を意識しつつ、ロボット関連の新企業や事業の創出・育成をどのように進めるかを描いている。主に金融機関等による資金支援を想定している。

③提供価値については、ウェルビーイングの観点から、関連人材の育成・供給をいかに進めるかを示している。主に教育機関や支援団体がその担い手となる。

④技術については、グローバルな要請に応える基盤技術の開発・実装をどのように行うかを示している。特に研究開発機関が中心となり、コミュニケーション基盤、モジュール化・トレーサビリティ、環境負荷低減ロボット要素技術等を重点的に進める。

これら 4 つの観点から、主要プレイヤーが連携し、人（消費者＋労働者）とロボットが共に高め合う形で新しい価値と雇用（職業）を創出するエコシステム構築を目指す。雇用（職業）創出については、4 つの観点から次の新プレイヤーが考えられる（一部詳細は 6.1.4 項を参照）。

①仕事（統合型ロボットビジネスによる新職業と雇用創出）

- ・ロボットビジネスプロデューサ：ロボットビジネスを企画・推進し、社会課題の解決に向けた新しい市場を創出する
- ・ロボフレ環境コーディネータ：ユーザとロボットが共存しやすい環境を設計し、安全かつ効率的にロボットが運用できるよう整備する
- ・ロボットオペレータ：ロボットの運用と保守を担当し、トラブルシューティングを含めた安定した運用を実現する

②市場（ロボット関連の新しい企業・事業の創出と育成）

- ・ロボットクリエイタ：社会課題を解決し、新たな価値を生み出すロボットを開発する
- ・ロボットファンドマネージャー：ロボット関連のスタートアップ企業に対して、資金を供給する
- ・スタートアップサポーター：ロボット関連のスタートアップ企業に対して、事業運営のノウハウを提供する

③提供価値（ウェルビーイングをロボット産業のコアバリューへ）

- ・ロボットコミュニケーター：総合的なロボットサービス実現のため、ロボット関係

- ・ ウェルビーイング人材プロバイダ：ウェルビーイングを実現する知見を持ち、当該知見を活用して人材を育成・派遣・支援する
- ・ ウェルビーイングアナリスト：環境負荷低減、人の幸福・健康等ウェルビーイングに関するデータを収集・分析し、必要な支援を察知する

- ・ロボット再生エンジニア：使用済みロボットを回収し、その価値を回復・向上させる
- ・モジュール化アーキテクト：分解リサイクル可能技術や再利用可能部品等、様々な機能単位に分割する等モジュール化の姿を様々なプレイヤーを巻き込んで明確にする
- ・コミュニケーション基盤デザイナー：人の感情を認識する技術や非言語サイン活用等人とロボット間のインタラクション設計を実現するための対人基盤を開発する

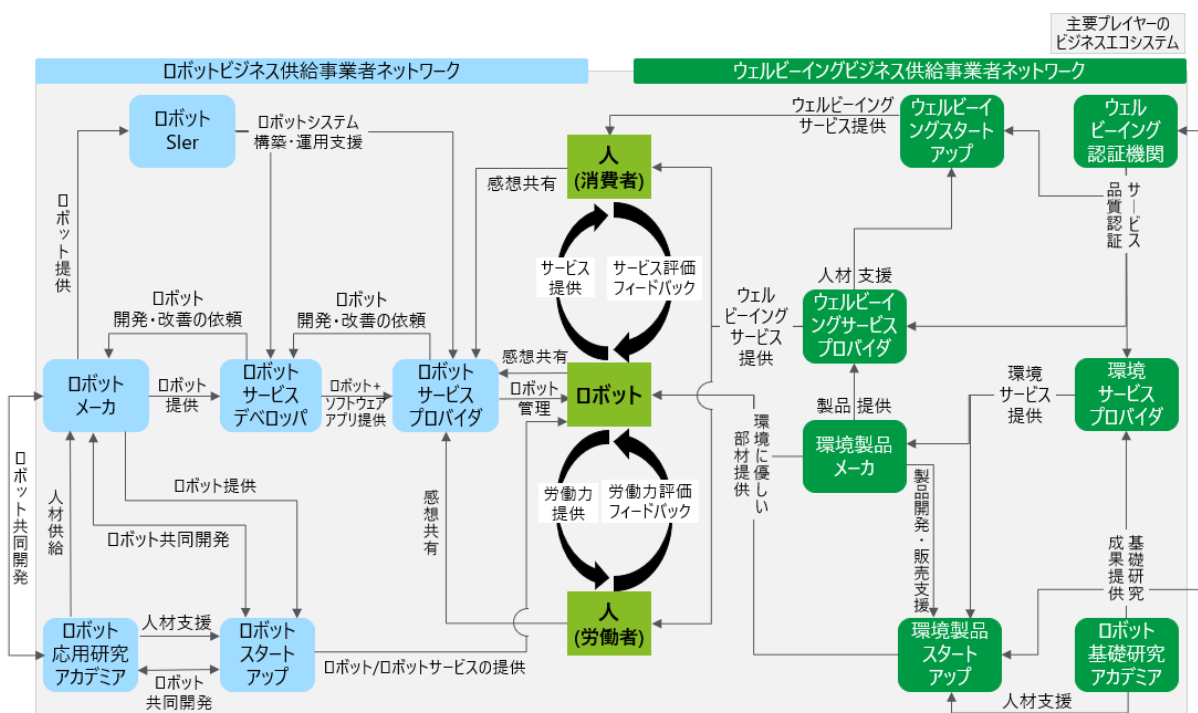


図 7-3 未来のロボット産業の主要プレイヤーのエコシステム

図 7-3 においては、図 7-2 のうち、主要プレイヤーのビジネスエコシステムにフォーカスして各プレイヤーの役割を描いている。基本的に供給側の事業者を想定して示している。当然、事業者によっては、図に記載のプレイヤー機能を複数持つ場合もある。

また、ロボットが提供する価値によっては、関係プレイヤーが限定される場合や、自らシステム構築や運用を行う等、供給事業者側の機能を持つロボットユーザ（例：自動車メーカーではロボット SI を自社生産技術部門、ロボット利活用は自社製品製造部門で役割分担）が存在する場合も想定される。なお、ロボットのインテグレーション（オペレーショ

ンの観点からのロボット実装)方法は、業種やロボットビジネスの内容により多様化が見込まれる(インテグレーションを費用と考える方向性と価値と考える方向性が両極として併存)。

図 7-3 におけるプレイヤーの役割イメージを以下に示す。

1) 主な供給事業者(左側)

- ・ロボット応用研究アカデミア：ロボットサービスの具体的な応用や実用化を目指して研究する
- ・ロボットメーカー：ロボット筐体自体や関連モジュールを開発する
- ・ロボット SIer：エンドユーザの要望に適したロボットシステムを構築・運用支援する
- ・ロボットスタートアップ：革新的なロボットあるいはロボットサービスを開発・提供する
- ・ロボットサービスデベロッパ：ロボットサービスに適したソフトウェアアプリケーションを提供する
- ・ロボットサービスプロバイダ：ロボットシステムを利活用したサービスを運用・管理することで自社あるいは顧客のために利便性向上・業務効率化・社会課題の解決を実現する

2) 主な供給事業者(右側)

- ・ウェルビーイングサービスプロバイダ：環境負荷低減、人の幸福や健康に資するサービスを提供する
- ・環境製品メーカー：低 CO₂ 排出、省エネ、軽量化、回生技術等の環境負荷低減を目的とした部材や製品を開発・提供する
- ・ウェルビーイングスタートアップ：多言語対応、感性、身障者用インタフェース等の人の幸福や健康を軸とした革新的なサービスやプロダクトを開発する
- ・環境スタートアップ：環境負荷低減を軸とした革新的なサービスやプロダクトを開発する
- ・ウェルビーイング認証機関：環境負荷低減、人の幸福や健康等ウェルディングに関する財・サービスの品質を認証する
- ・環境サービスプロバイダ：サーキュラーエコノミーや脱炭素等、環境負荷低減に資するサービスを提供する

(2) 未来のロボット産業のエコシステム実現に向けたロードマップ

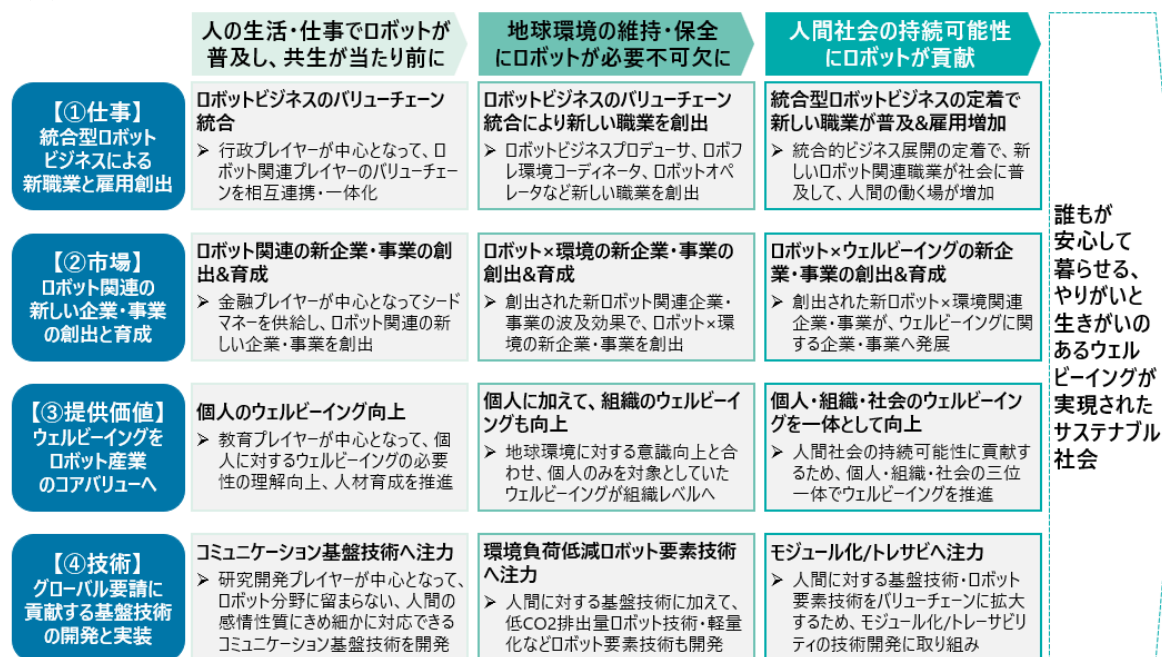


図 7-4 未来のロボット産業のエコシステム実現に向けたロードマップ

図 7-4 においては、本ビジョンのコンセプトである「人・社会・環境と共存するロボット」に基づき、①仕事、②市場、③提供価値、④技術の 4 象限において、①人との共生⇒②地球環境の維持⇒③人・社会・環境の持続可能性への貢献という 3 つのステップで推進していく。

まず、①仕事においては、ロボットビジネスのバリューチェーンを統合し、新たな職業創出の起点を形成する。次に、統合されたバリューチェーンにより具体的な職業の創出を促進する。最終的には、ロボットビジネスが社会に定着し、新たな職業が広く普及して雇用が拡大することを目指す。

②市場においては、まず金融機関等のプレイヤーがシードマネーを供給することで、ロボット関連の新企業・新事業が創出・育成される。次に、これらの派生的な効果として、ロボットと環境に関連する新たな企業・事業が生まれる。最終的には、それらがウェルビーイングに関する企業・事業へと発展する。

③提供価値においては、まず教育機関を通じて、個人がウェルビーイングに関する理解を深める。次に、地球環境への意識向上と併せて、組織としてのウェルビーイングも高まる。最終的には、個人・組織・社会が一体となってウェルビーイングを向上させる。

④技術においては、研究開発プレイヤーが中心となり、まず人の感情や性質にきめ細かく対応可能なコミュニケーション基盤技術を開発する。次に、低 CO₂ 排出や軽量化を実現する環境負荷低減ロボット要素技術を開発する。最終的には、モジュール化やトレサビリティに関する技術開発を推進する。

このようなロードマップを通じて、究極的には、誰もが安心して暮らせる、やりがいと生きがいのあるウェルビーイングが実現されたサステナブル社会の実現を目指していきたい。

ロボット産業ビジョン策定委員会 委員名簿（敬称略） ver.0 作成時点

委員長	浅間 一	東京大学	大学院工学系研究科精密工学専攻 教授
副委員長	村上 弘記	(株)IHI	技術開発本部 技監
<スマートコミュニティ非常時WG>			
主 査	荒田 純平	九州大学	大学院工学研究院機械工学部門 教授
副主査	金田 さやか	大阪公立大学	大学院工学研究科航空宇宙工学分野 講師
	鈴木 智	千葉大学	大学院工学研究院 准教授
委 員	砂川 拓哉	(株)IHI	技術開発本部 技術基盤センター
			システムエンジニアリンググループ
	上村 沢雄	デロイトトーマツ コンサルティング (合同)	産業機械・製造業セクター シニアコンサルタント
	稲垣 史紀	(株)安川電機	ロボット事業部 ロボット技術部 接合技術開発課
<スマートコミュニティ平時WG>			
主 査	新妻 実保子	中央大学	理工学部精密機械工学科 教授
副主査	内山 瑛美子	東京大学	大学院工学系研究科 助教
	阿部 香澄	電気通信大学	人工知能研究センター 特任助教
委 員	小田 琢也	(株)FUJI	イノベーション推進部 第1課 技師
	駒田 香純	(株)スター精機	開発部
	手島 亮太	平田機工(株)	事業本部 第四ビジネスユニット
			デバイスセンターロボット部
	山崎 充弘	(株)不二越	ロボット事業部 品質管理部
<スマートプロダクションWG>			
主 査	平田 泰久	東北大学	大学院工学研究科ロボティクス専攻 教授
委 員	伊藤 雄矢	(株)ダイヘン	FAロボット事業部 開発部
	梅本 健斗	(株)バイナス	技術部 設計製造課 係長
	加納 進也	(株)スター精機	開発部
	黒田 泰平	ヤマハ発動機(株)	ロボティクス事業部 技術統括部
			FA商品開発部 メカトロニクス開発グループ
	酒井 徹	パナソニックコネ クト(株)	プロセスオートメーション事業部 熱加工シ ステム事業担当 熱加工システムPM課
	田中 淳也	(株)東芝	研究開発センター 知能化システム研究所
			機械・システムラボラトリー
	田村 優太	三明機工(株)	開発部 主任
	橋爪 滋郎	(株)日立製作所	研究開発グループ 制御・ロボティクスイノ ベーションセンタ ロボティクス研究部
<人とロボットの共生～法と倫理～WG>			
主 査	栗田 雄一	広島大学	大学院先進理工系 教授
副主査	清水 隆義	I D E C(株)	国際標準化・協調安全4次元推進部
			国際標準化・協調安全4次元推進グループ
委 員	神崎 潤	川崎重工業(株)	精密機械・ロボットカンパニー ロボットデ ィビジョン 技術総括部 技術管理部
	藤田 由加	(株)安川電機	ロボット事業部 ロボット技術部 エンジニアリング技術課

ロボット産業ビジョン策定委員会 委員名簿（敬称略） ver. 1.0 作成時点

委員長	浅間 一	東京大学	国際高等研究所 東京カレッジ 特任教授
副委員長	村上 弘記	(株) I H I	技術開発本部 技監
<市場WG>			
主 査	栗田 雄一	広島大学	大学院先進理工系 教授
副主査	内山 瑛美子	東京大学	大学院工学系研究科 助教
	上村 沢雄	デロイトトーマツ コンサルティング (合同)	産業機械・製造業セクター シニアコンサルタント
委 員	新妻 実保子	中央大学	理工学部精密機械工学科 教授
	小田 琢也	(株) F U J I	イノベーション推進部 第1課 技師
	神崎 潤	川崎重工業(株)	精密機械・ロボットカンパニー ロボットディビジョン 技術総括部 技術管理部
	駒田 香純	(株) スター精機	開発部
	澤田 有希子	(株) 安川電機	ロボット事業部 ロボット技術部 自律技術 開発課
	清水 隆義	I D E C (株)	国際標準化・協調安全4次元推進部 国際標準化・協調安全4次元推進グループ
	白木 翔平	(株) F U J I	イノベーション推進部 第1課
	田中 淳也	(株) 東芝	研究開発センター 知能化システム研究所機 械・システムラボラトリー
	田中 友樹	(株) 安川電機	ロボット事業部 ロボット技術部自律技術開 発課
	森岡 昌宏	ファナック(株)	ロボット事業本部 ロボット機構研究開発本 部 技師長
<技術WG>			
主 査	荒田 純平	九州大学	大学院工学研究院機械工学部門 教授
副主査	阿部 香澄	明治学院大学	情報数理学部 准教授
	黒田 泰平	ヤマハ発動機(株)	ロボティクス事業部 技術統括部 F A 商品開発部 メカトロニクス開発グルー プ
委 員	金田 さやか	大阪公立大学	大学院工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 准教 授
	鈴木 智	千葉大学	大学院工学研究院 准教授
	平田 泰久	東北大学	大学院工学研究科ロボティクス専攻 教授
	梅本 健斗	(株) バイナス	技術部 設計製造課 係長
	加納 進也	(株) スター精機	開発部
	神崎 潤	川崎重工業(株)	精密機械・ロボットカンパニー ロボットデ ィビジョン 技術総括部 技術管理部
	酒井 徹	パナソニックコネ クト(株)	プロセスオートメーション事業部 熱加工シ ステム事業担当 熱加工システム PM 課
	砂川 拓哉	(株) I H I	技術開発本部 技術基盤センター システムエンジニアリンググループ

参考文献

第 1 章

- 1) 住友商事グローバルリサーチ株式会社ウェブサイト：「2050 年に向けた産業メガトレンド」(<https://www.scgr.co.jp/wp-content/uploads/2017/08/e6511c14c0f603621a03eb98da647a43.pdf>)
- 2) みずほフィナンシャルグループウェブサイト：「2050 年のニッポン」(https://www.mizuho-fg.co.jp/company/activity/onethinktank/forum/pdf/20171214_02.pdf)
- 3) 厚生労働省ウェブサイト：我が国の人口について(https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_21481.html)
- 4) 国土交通省ウェブサイト：社会資本の老朽化の現状と将来(https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)
- 5) 酒井博司、株式会社三菱総合研究所ウェブサイト：IMD「世界競争力年鑑 2024」から見る日本の競争力」(<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/20241211.html>)
- 6) 総務省ウェブサイト：令和 2 年版高齢社会白書（全体版）(https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1_1_1.html)
- 7) 国際連合ウェブサイト：世界社会情勢報告書 2020（2020 年 1 月発表）(<https://www.un.org/en/desa/world-social-report-2020>)
- 8) 国際連合広報センターウェブサイト：世界人口は 2022 年 11 月 15 日に 80 億人に達する見込み（2022 年 7 月 11 日付 国連経済社会局プレスリリース・日本語訳）(https://www.unic.or.jp/news_press/info/44737/)
- 9) OECD ウェブサイト：Poverty rate(<https://www.oecd.org/en/data/indicators/poverty-rate.html>)
- 10) 厚生労働省ウェブサイト：令和 3 年 所得再配分調査報告書(<https://www.mhlw.go.jp/content/12605000/R03hou.pdf>)
- 11) 経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト：日本のエネルギー 2021 年度版「エネルギーの今を知る 10 の質問」(https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2021.pdf)
- 12) 経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト：世界の産業を支える鉱物資源について知ろう(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/anzenhosho/koubutsusigen.html>)
- 13) 国際連合食糧農業機関（FAO）他 4：2022 年版世界の食料安全保障と栄養の現状（原題：The State of Food Security and Nutrition in the World）(<https://data.unicef.org/resources/sofi-2022/>)
- 14) 農林水産省ウェブサイト：令和元年度 食料・農業・農村白書(https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r1/index.html)

- 15) 農林水産省ウェブサイト：知ってる？日本の食糧事情
(<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/index.html>)
- 16) 環境省ウェブサイト：地球温暖化の現状
(<https://ondankataisaku.env.go.jp/decokatsu/ondanka/>)
- 17) 外務省ウェブサイト：SDGs グローバル指標 (SDGs Indicators)
(<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/index.html>)
- 18) 一般社団法人日本ロボット工業会：ロボット産業受給動向 2024(産業用ロボット編)
- 19) 国際ロボット連盟 (IFR)：World Robotics 2024
- 20) Harvard Business Review ウェブサイト「組織の多様性はどこで、どのように業績を高めるのか」(<https://dhbr.diamond.jp/articles/-/5274>)
- 21) 内閣府ウェブサイト：平成 26 年度高齢者の日常生活に関する意識調査
(<https://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/h26/sougou/zentai/index.html>)
- 22) エン・ジャパン株式会社ウェブサイト：ミドル世代 3,000 人に聞いた「65 歳までの雇用確保の義務化」意識調査 2024 年版 (<https://corp.en-japan.com/newsrelease/2024/38103.html>)
- 23) 総務省ウェブサイト：平成 27 年版情報通信白書
(<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/index.html>)

第 2 章

- 24) 内閣府ウェブサイト：Society 5.0 (https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)

第 3 章

- 25) 国土交通省ウェブサイト：数字で見る自動車 2021、自動車の台数、自動車普及状況
(https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_frl_000069.html)
- 26) 経済産業省ロボット政策研究会：ロボット政策研究会 報告書 ～RT 革命が日本を飛躍させる～ (<https://www.jara.jp/various/report/img/robot-houkokusho-set.pdf>)
- 27) Morgan stanley：Space: Investing in the Final Frontier RESEARCH JUL 24, 2020
- 28) 内閣府ウェブサイト：平成 18 年版防災白書
(<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h18/index.htm>)
- 29) 国土交通省：令和 4 年度版国土交通白書
(<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/data/datindex.html>)
- 30) 浅間一、東日本大震災及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）及び（その 2）、日本ロボット学会誌、 Vol.29 (7)、pp658-659、2011 及び Vol.29 (9)、pp796-798、2011.
- 31) 一般社団法人産業競争力懇談会 (COCN) の提言である第 3 回福島・国際研究開発都市構想研究会資料『「災害対応ロボットセンター設立構想」プロジェクトーイノベーションコースト構想の実現に向けてー』
(https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20140307_01.html)
- 32) 国土交通省：BIM/CIM 活用ガイドライン（案）第 1 編共通編（令和 3 年 3 月）

- (<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001472848.pdf>)
- 33) 国土交通省：「ドローン活用事例」
(<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/gijyutu/content/001510876.pdf>)
- 34) 国土交通省：インフラメンテナンスを取り巻く状況
(<https://www.mlit.go.jp/common/001124697.pdf>)
- 35) IFR ウェブサイト：Case Studies - Robots and COVID-19
(<https://ifr.org/case-studies/case-studies-robots-supporting-us-in-corona-pandemic>)
- 36) 一般社団法人日本ロボット工業会：機関誌『ロボット』（特集：ウィズコロナ、アフターコロナ、No.261、2021年7月）
- 37) 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）：『産学官連携ジャーナル』（2018年12月号）
- 38) 石塚博昭、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：インフラ点検や災害対応に活用する「ロボット性能評価手順書」を公表―実現場における各用途のロボット活用加速に貢献―
(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100962.html)

第4章

- 39) 標葉隆馬大阪大学社会技術共創研究センター・准教授、大阪大学：オープンアクセス時代の責任ある研究・イノベーションと研究者の実像
(https://www.ruconsortium.jp/asset/gakujiyutsuseminar7_20241213_.pdf)
- 40) Ryuma Shineha et al、A Comparative Analysis of Attitudes on Communication Toward Stem Cell Research and Regenerative Medicine Between the Public and the Scientific Community、Stem Cells Translational Medicine、71.2、251-257、2018
- 38) United States Courts：TableC-11 U.S. District Courts--Product Liability Cases Commenced、by Nature of Suit、During the 12-Month Periods Ending September 30、2019 and 2020
(https://www.uscourts.gov/sites/default/files/data_tables/jb_c11_0930.2019.pdf)
- 41) 中央労働災害防止協会：機能安全活用テキスト（平成29年2月）
(<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyoku/0000151401.pdf>)
- 42) 消費者庁ウェブサイト：製造物責任(PL)法に基づく訴訟情報の収集
(https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/other/product_liability_act/)
- 43) 内閣府ウェブサイト：宇宙開発利用加速化戦略プログラム 戦略プロジェクト概要
(<https://www8.cao.go.jp/space/committee/02-jissyou/jissyou-dai28/sankosiryoul.pdf>)
- 44) 小学館：デジタル大辞泉

第 5 章

45) 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）：研究開発の俯瞰報告書 システム・情報科学技術分野（2024 年）ロボティクス分野

(<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2024-FR-03.html>)

46) 国土交通省：建設業を巡る現状と課題

(<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001610913.pdf>)

47) 一般社団法人日本ユマニチュード学会ウェブサイト：ユマニチュードとは

(<https://jhuma.org/humanitude/>)

第 6 章

48) 経済産業省：ロボット新戦略

(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/003_s01_03.pdf)

49) 経済産業省ウェブサイト：特定新需要開拓事業活動計画認定制度

(https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/katsuyo/ocean_project/index.html)

第 7 章

50) 国際連合ウェブサイト：Global Issues (<https://www.un.org/en/global-issues>)

おわりに

2012 年 10 月に「ロボット産業ビジョン～次の 10 年に向けて～」を策定・発刊して以来既に 10 年以上が経過した。ロボット技術、社会状況、いずれも大きく変化しており、日本のロボット産業競争力も、少子高齢化などに伴い低下することが懸念される。このような状況のなか、日本ロボット工業会が創立 50 周年を迎えたこの機会に、さらに先の 2050 年の社会を見据え、新たな技術開発の方向性も加味しながら、ロボット産業ビジョン 2050 としてまとめた、2023 年 5 月に、「ロボット産業ビジョン 2050～人・社会・環境と共存するロボット～」を初期バージョンとして発刊したが、その後も、特に産業化をいかに推進するかについての議論を重ね、ここに新たに最終バージョンとしてまとめ直した。

現在の社会状況についての分析に基づき、ロボット産業ビジョン策定委員会を組織し、ロボットが社会に普及した社会のありたい姿、ロボット技術開発の方向性、ロボット産業振興のための方策・施策などについて議論した。ロボットが社会に普及した社会のありたい姿については、生産活動などの仕事でのロボット活用のありたい姿、平時のみならず非常時も考慮した日常生活でのロボット活用のありたい姿、社会的側面を考慮した人・ロボットの共生社会のありたい姿を「インパクト」、「ガバナンス」、「リスク」、「センズメイキング」等の関連から描いた。

また、ロボットが社会に普及した 2050 年の理想的な社会のありたい姿からのバックキャストとして、それを実現するロボット技術の技術開発の動向と方向性について分析、予測するとともに、ロボット産業の活性化を含め、そのありたい姿を実現する方策・施策をまとめた。結論として、ロボット産業ビジョン 2050 における産業化のポイントは、「グローバル要請」「ウェルビーイング」「国際競争力」が勝負所になると考えられる。

ただし、前述のように、現代社会は将来を予測することが極めて困難な状況であり、様々な不確定要因により、2050 年の社会のありたい姿やそれに向けてのシナリオが歪められ、本ビジョンとは異なったシナリオに発展する可能性も十分あることを、ここに書き添えておく。

これまでの本ビジョンの策定にあたっては、17 名の有識者を招いて、災害対応、インフラ点検、パンデミック、家庭、物流、宇宙、水中・海洋、農業、建設業、製造業、国際ビジネス、自動運転、安全、法律、ELSI と幅広い分野で議論を重ねるとともに、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と共同でロボット技術の俯瞰ワークショップを行い、その内容を本稿にまとめた。本ビジョンの策定にご協力いただいた、策定委員会、ワーキンググループの皆様は、ここに心より御礼を申し上げる。

本ビジョンが、今後のロボット産業の振興に向け、企業、省庁、団体等の方々のご参考となれば幸いである。

最後に、本ロボット産業ビジョン 2050 が今後のロボット産業の振興と同時に、様々な社会課題の解決、新たな価値の創出、そして平和で格差のない、豊かな持続的社会的実現に資することを心より願う次第である。

ロボット産業ビジョン策定委員会 委員長
浅間 一

ロボット産業ビジョン 2050
—人・社会・環境と共存するロボット—
(Ver. 1.0)
2025 年 5 月
一般社団法人日本ロボット工業会
<https://www.jara.jp/>