

Ver.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 —

2023年 5月

一般社団法人日本ロボット工業会

ロボット産業ビジョン2050 報告書 目次

委員名簿	1
はじめに	3
第1章 我が国を取り巻く現状	4
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	4
1.1 我が国を取り巻く内部・外部環境	4
1.2 我が国のロボット産業の動向	12
2. 社会課題に向けた社会・経済的対応	14
2.1 多様な人材を確保し、イノベーションにつなげる	15
2.2 社会を解決し得る先端技術	17
2.3 SDGs に資する取組み	19
第2章 ロボット産業ビジョンの概要	20
1. ロボット産業ビジョン策定委員会について	20
2. ロボット産業ビジョンのイメージ	21
2.1 平時における社会のありたき姿と価値の創出	21
2.2 非常時における社会のありたき姿と価値の創出	23
第3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～	25
1. スマートプロダクション	25
1.1 身体的・精神的ウェルビーイング	25
1.2 社会的ウェルビーイング	26
2. 人と協働する AI ロボットのありたき姿と道筋	27
2.1 安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担	27
2.2 誰もがどこからでも使える AI ロボット	27
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	29
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き姿と道筋	30
3.1 誰でも使えるロボット	31
3.2 誰でもできるシステムインテグレーション	32
3.3 高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション	33
4. 人・AI・ロボット同士の関係性のありたき姿と道筋	34
4.1 ありたき姿	34
4.2 現状	35
4.3 実現するための技術的方策	35
4.4 実現するための社会的方策	35
5. カーボンニュートラル対応のありたき姿と道筋	37
5.1 ありたき姿	37
5.2 現状	37
5.3 実現するための技術的方策	38

5.4 実現するための社会的方策	38
6. 各業種におけるありたき姿	38
6.1 概要	38
6.2 建設業のありたき姿	38
6.3 農林水産業のありたき姿	39
6.4 福祉・介護分野のありたき姿	40
第4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～	42
1. 2050年のスマートコミュニティ(平時)のありたき姿	42
1.1 人の生活を支援するロボティクス技術のありたき姿と道筋	42
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き姿と道筋	48
1.3 人・AI・ロボット同士の関係性のありたき姿と道筋	55
1.4 特殊環境におけるありたき姿と道筋	60
2. 2050年のスマートコミュニティ(非常時)のありたき姿	63
2.1 概要	63
2.2 災害対応におけるありたき姿と道筋	65
2.3 インフラ老朽化対策におけるありたき姿と道筋	69
2.4 パンデミック対応におけるありたき姿と道筋	72
2.5 まとめ	74
第5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～	
1. 人とロボットの共生のために	76
2. インパクト	76
2.1 スマートプロダクション	77
2.1 スマートコミュニティ(平時)	78
2.2 スマートコミュニティ(非常時)	79
3. リスク	79
3.1 人ロボット共生に向けた課題	79
3.2 人ロボット共生に向けた社会的枠組の構築	81
4. ガバナンス	83
4.1 ELSIとRRIの観点	84
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	84
5. センスメイキング	84
5.1 社会受容性とセンスメイキング実例	84
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	85
5.3 ロボットが人間社会と共存する未来のために	85
資料編	88
おわりに	98

ロボット産業ビジョン策定委員会 委員名簿(敬称略)

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)I H I 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 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 工学研究科航空宇宙工学分野 講師
鈴木 智 千葉大学 工学研究院 准教授
委員 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
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 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
小田 琢也 (株)F U J I イノベーション推進部 第1課 技師
山崎 充弘 (株)不二越 ロボット事業部 品質管理部
駒田 香純 (株)スター精機 開発部

<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 田村 優太 三明機工(株) 開発部 主任(2023年4月現在退職)
加納 進也 (株)スター精機 開発部
伊藤 雄矢 (株)ダイヘン F A ロボット事業部 開発部
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
梅本 健斗 (株)バイナス 技術部 設計製造課 係長
酒井 徹 パナソニックコネクタ(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
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

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

<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
	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
	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

はじめに

一般社団法人日本ロボット工業会では、2022年10月に創立50周年を迎えることを契機に、創立50周年事業の一環として「ロボティクスがもたらす持続可能な社会」を念頭に、次の半世紀に向けたビジョン「ロボット産業ビジョン2050」を策定することとなった。

現在、我が国は経済のグローバル化、少子高齢化の加速による労働人口の減少、自然災害の多発や社会インフラの老朽化と言った諸課題に加え、パンデミックやカーボンニュートラル、更には地政学的リスクに伴うエネルギー・食料問題・円安といった新たな経済・社会的課題にも直面している。

このような中、ロボット及びロボット技術の進展は、AI(人工知能)及びIT(情報技術)等と相まってこれまでのものづくり現場のみならず、社会の様々な分野での活躍の場が一層広がることに疑問の余地はないと考えている。そして、当会がこれまでロボット技術を課題解決型技術と位置づける中、2050年に向けてもロボット技術が国内外で直面する経済・社会的課題解決の一翼を担うのみならず、SDGs等への貢献にもつながるものと期待している。

本ビジョンの策定にあたっては、当会会員企業の若手技術者等に加え、学識経験者で構成された「ロボット産業ビジョン策定委員会」の下、2050年における我が国の“ありたき姿”とその実現にあたっての“ロボット産業の目指すべき中長期の姿”を示すこととした。

そこでは、これまでの現状分析や過去のデータから未来を予測し、解決策を探る“フォアキャスト手法”ではなく、まず、2050年での未来社会の“ありたき姿”を描き、次にそのありたき姿を実現する上で、どのようにロボット及びロボット技術が貢献できるかの道筋を未来から逆算してシナリオを作成する“バックキャスト手法”を採用するとともに、各分野の有識者の方々より講義を受けながら、ビジョン策定を行った。

なお、今回策定の本ビジョンは、未だ議論すべき点が多々あることから最終版としてではなく、引き続き委員会体制を残して継続的に議論を続け、アップグレードを図りたい。

本ビジョン策定に携われた委員長はじめ各委員、そして各分野の有識者の方々に深く感謝の意を表するとともに、ロボット産業に係る関係者のみならず、あらゆる産業の方々が、2050年の我が国の“ありたき姿”を考察する上での一助となれば幸甚である。

第1章 我が国を取り巻く現状

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年での“ありたき姿”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如何に貢献できるかの方策を示すもので、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いえる。つまり、政治基盤としては、民主主義がゆるぎなく維持されるとともに、経済基盤では、資源・エネルギー及び食料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、更に、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、2022年末で1,000兆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・食料問題や環境問題等、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 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。図で示す通り、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。

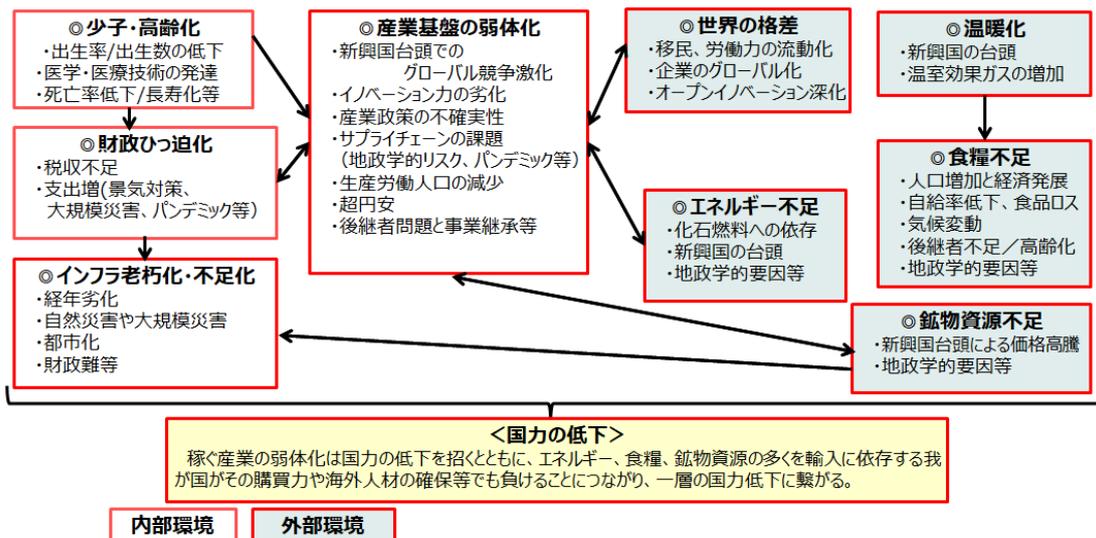


図1-1 我が国を取り巻く社会・経済的環境

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

1.1.1 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)が毎年纏める「世界競争力年鑑」の2022年版では、我が国の総合順位が63か国・地域中34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づけは「企業が持続的な行動を行える環境を、どの程度育てているか」としており、「経済パフォーマンス(20位)」「政府の効率性(39位)」「ビジネスの効率性(51位)」及び「インフラストラクチャー(22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(63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8,808万人と推計している。更に、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。勿論、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他、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、人づく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」的状況として常態化する一方、低賃金(未払いも横行)、長時間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。

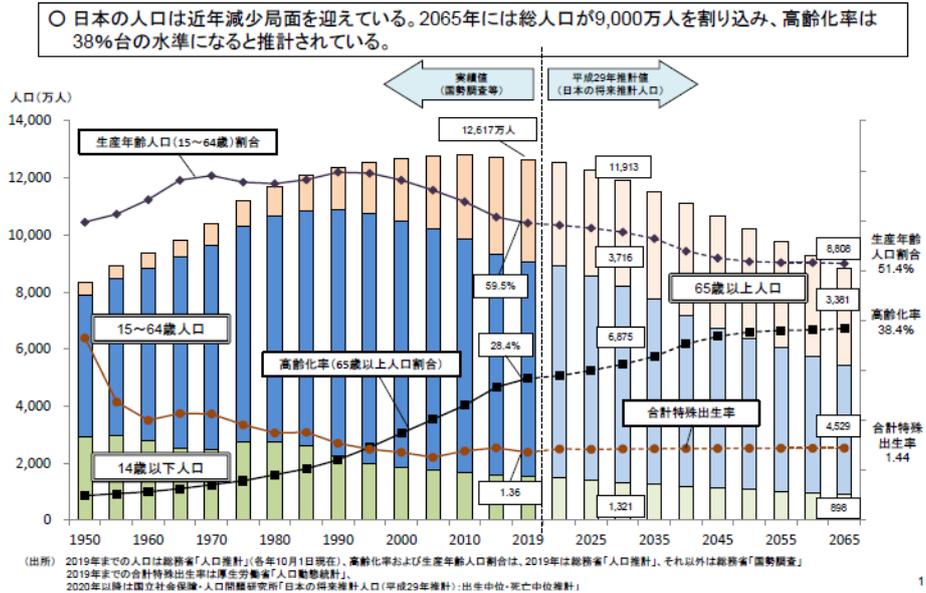


図 1-2 日本の人口の推移

出所：厚生労働省 HP「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これまで整備され、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 HP「社会資本の老朽化の現状と将来」より作成

本来、国民生活における国民の命、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

(1) で取り上げた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 2022 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が高く、高等教育や学習到達度も高い順位を占めるとする。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 位台という低い順位にあり、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いえる。

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。具体的には、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、その成果が結実するにはそれなりの年月を待つ必要がある。

更に、日本では、研究開発力に大きく影響する“研究者の大量雇い止め危機の 2023 年問題”が挙げられている。それは、国立大学や公的研究機関での任期付研究者が、法定雇用期間の上限規定(10 年)である 2023 年 3 月末であり、その対象数は約 3,000 人とも言われている。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い止めを選択することも予想されている。これによって我が国の研究開発力の低下は勿論のこと、優秀な研究者の海外流出も懸念されているが、現時点においても法改正等の改善策の動きは見られない。

1.1.2 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料・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・アフリカ諸国など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との所得格差が、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、それが子供

¹ 酒井博司、(株)三菱総合研究所：IMD「世界競争力年鑑 2022」から見る日本の競争力」(Web)

世代にもつながることで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いえる。

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、国民意識としての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 の発表では、日本は OECD 加盟 30 か国（先進国）中、貧困率がワースト 5 にランクイン（因みに米国は 2 位）し、貧困比率は 15.3% と 10 人に約 2 人が貧困であるという計算となっている。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 の通りで、1990 年より拡大基調（当初所得ジニ係数が 1990 年で 0.4334 から 2017 年で 0.5594）にある。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(当初所得から税額控除や公的現金給付等による再配分)によって、その係数が緩和され、2017 年では 0.5594 から 0.3721 と 33.5% の不平等の改善が一応図られている。

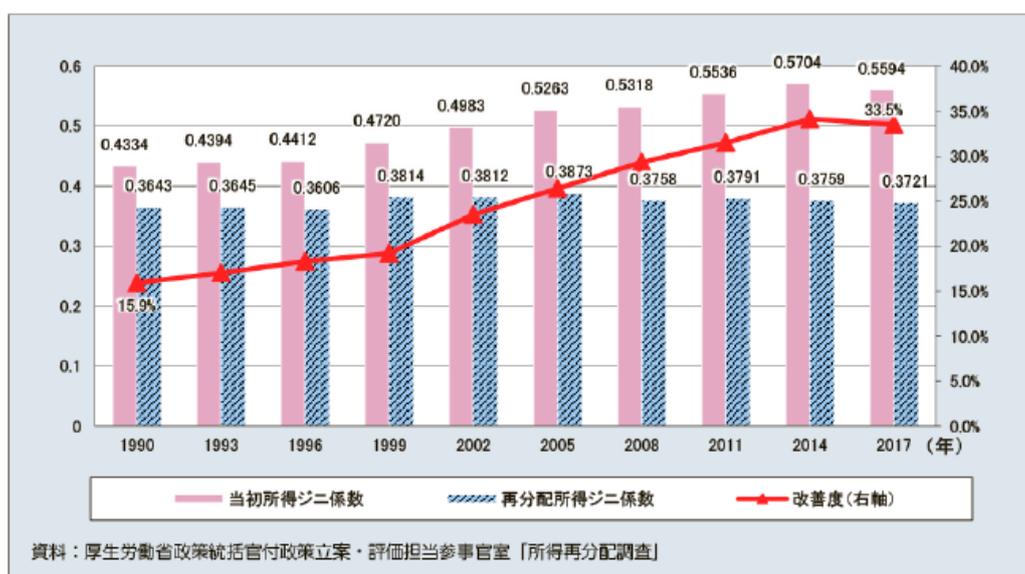


図 1-4 所得再分配によるジニ係数の改善の推移

出所：厚生労働省 HP「令和 2 年度版 厚生労働白書－令和時代の社会保障と働き方を考える－」より

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によって、その格差は更に進んだとも言われている。

なお、格差の問題は経済的格差に起因することで、以下に取り上げる資源・食料問題等をも引き起こしている。

² ジニ係数：社会における所得の不平等さを測る指標。0～1 で表され、各人の所得が均一で格差が全くない状態を 0、たった一人が全ての所得を独占している状態を 1 とする（Wikipedia）。

(2) 資源・食料問題

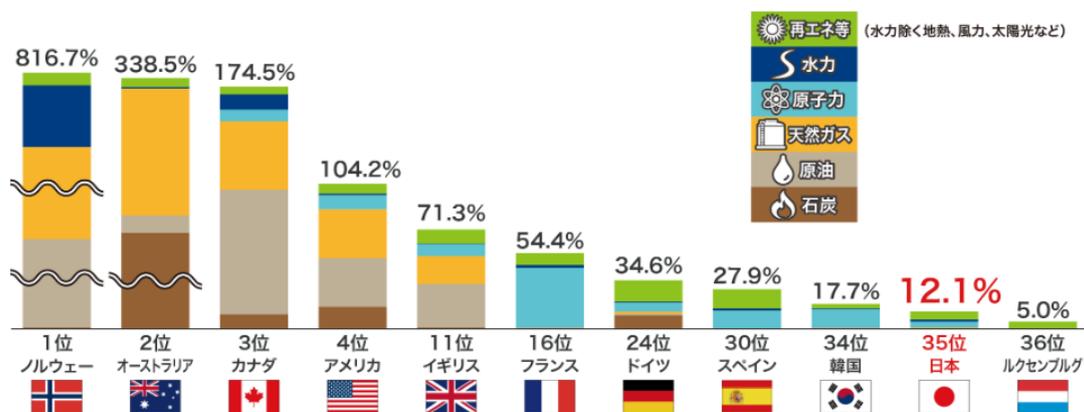
国連の統計によると、世界の人口は、2022年11月15日に80億人に達したとされるが、1987年に50億人に達してからの35年間で30億人が増加するというまさに人口爆発の状態にある。この人口増加に加え、世界経済の発展によって資源・食料問題が益々深刻な課題となっている。

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、エネルギー価格が高騰といった問題が発生し、更には2050年でのカーボンニュートラルの実現と言った観点からのエネルギー転換での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%と先進国中でも極端に低く、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 HP

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）。

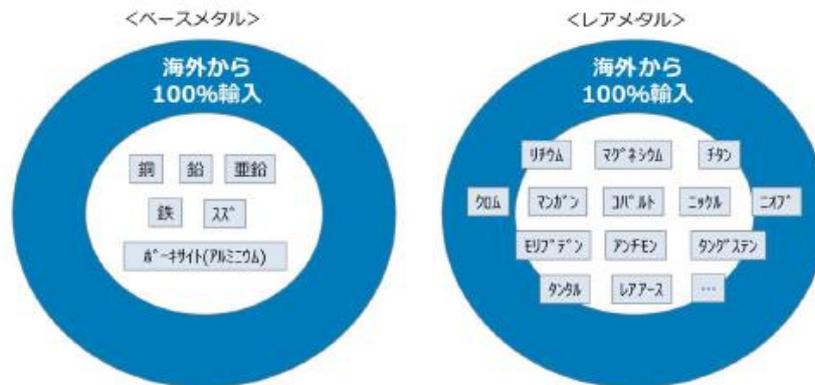


図1-6 輸入に頼る鉱物資源(日本)

出所：経済産業省資源エネルギー庁 HP

「世界の産業を支える鉱物資源について知ろう」より

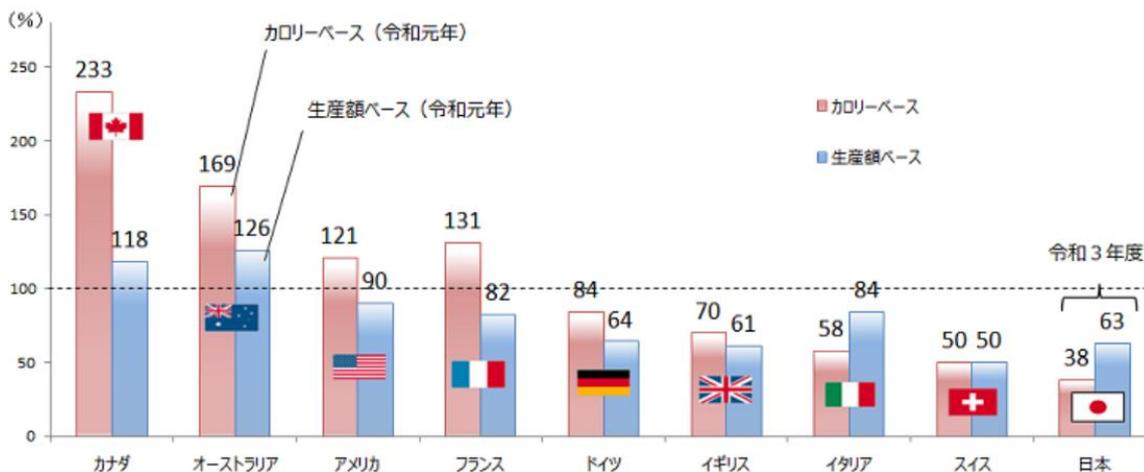
②食料問題

世界の食料事情に関しては、主食である穀物の生産の現状をみると、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・中程度の食料不安に直面する人口も23億人にのぼるとしているが、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料自給率は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)。

食料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できない一方で、我が国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。

³ 農林水産省 HP「令和元年度 食料・農業・農村白書」第1章第3節



資料：農林水産省「食料需給表」、FAO「Food Balance Sheets」等を基に農林水産省で試算。(アルコール類等は含まない)
 注1：数値は暦年(日本のみ年度)。スイス(カロリーベース)及びイギリス(生産額ベース)については、各政府の公表値を掲載。
 注2：畜産物及び加工品については、輸入飼料及び輸入原料を考慮して計算。

図 1-7 我が国と諸外国の食料自給率

出所：農林水産省 HP「知ってる？日本の食料事情」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いわれている。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濃度の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、災害は勿論のこと食料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り組みが始まっている。

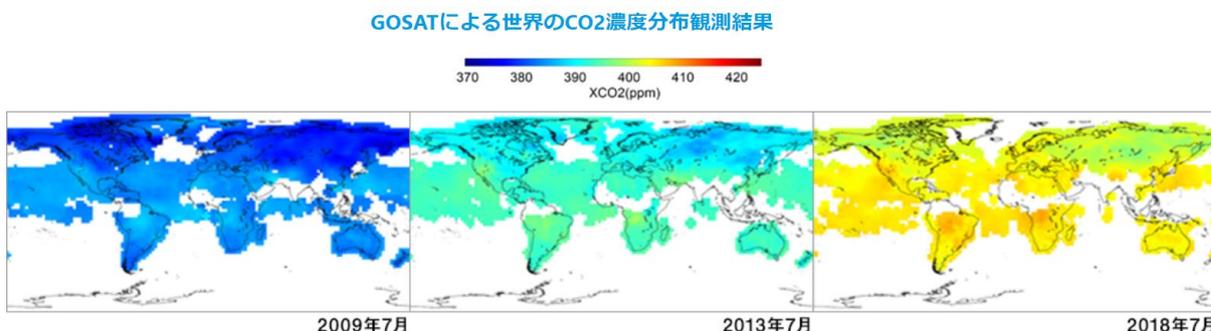


図 1-8 GOSAT による世界の CO₂ 濃度分布観測結果

出所：環境省 HP「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、平和と公正など、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。

既に、1.1節の中で取り上げた課題でもSDGsと重複するものがあるが、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月に出している他、IEEE/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つのトピックスでの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 HP「SDGs グローバル指標 (SDGs Indicators)」より

1.2 我が国のロボット産業の動向

1.2.1 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。

我が国ではこれまで、図にみられ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、米中の貿易摩擦やCOVID-19といった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。

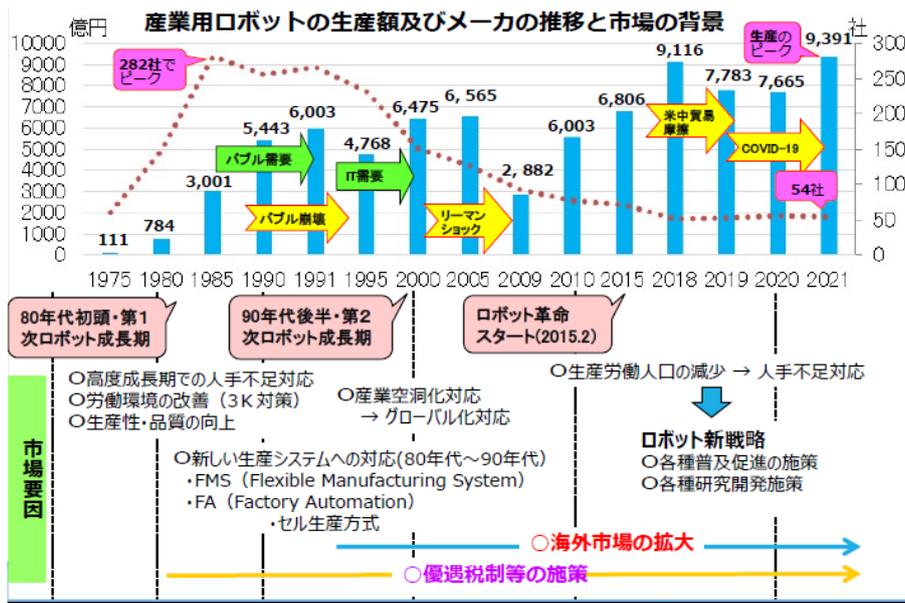


図 1-10 我が国の産業用ロボット市場動向

出所：日本ロボット工業会「ロボット産業受給動向2022」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 年における産業用ロボットの総設置台数を見ると、2012 年の 159,346 台が 2021 年には 517,385 台と、世界市場が約 3.2 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、2021 年の総設置台数 517,385 台のうち、中国が 268,195 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。

1.2.2 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他、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。

図1-1-1は、IFRによる原産地別サービスロボットの2020年と2021年の販売台数を比較したものである。2021年の世界の業務用の販売台数は2020年比で37%増、民生用は2020年比9%増となっており、確実に市場成長が見られる。

単位：台

分野	欧州		アメリカ		アジア		合計	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
民生用ロボット	1,779,804	2,211,403	14,226,873	15,553,034	1,454,764	1,315,719	17,463,059	19,081,962
家事用	1,767,792	2,196,561	14,226,873	15,553,034	851,412	1,127,124	16,846,077	18,876,709
交流、教育	12,012	14,852	0	0	601,583	186,488	613,595	201,340
在宅ケア	*	*	*	*	1,769	2,107	3,387	3,913
業務用ロボット	37,495	46,059	25,740	38,943	44,211	36,009	107,446	121,011
清掃	6,013	8,368	522	660	12,452	3,588	18,987	12,616
輸送と物流	10,220	13,033	12,082	16,942	11,890	19,527	34,192	49,502
医療	5,394	6,107	3,309	4,133	13,307	4,583	22,010	14,823
接客	122	145	9,532	16,830	1,204	3,076	10,858	20,051
その他	15,746	18,406	295	378	5,358	5,235	21,399	24,019

図1-1-1 原産地別でのサービスロボット販売状況

出所：国際ロボット連盟（IFR）「World Robotics 2022」より

1.2.3 近年の新たなロボット

また、近年は、協働ロボットや自律移動ロボット等の新たなロボットが登場している。当会会員企業のロボットにおいても、手術支援ロボットである hinotori™、身体を思うように動かせなくなった方の機能改善治療を行う世界初の装着型サイボーグである HAL®、公道走行が可能な小型低速モビリティである X-Area Robo が登場しており、その用途は限定されておらず幅広い。



hinotori™
川崎重工業(株)/(株)メディカロイド ©手塚プロダクション



HAL®
©CYBERDYNE(株)



X-Area Robo
©パナソニック ホールディングス(株)

2. 社会課題に向けた社会・経済的対応

1節で取り上げた通り、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1-1のような社会・経済的対応が必要であるとともに、その取り組みにあたっては、国は勿論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如何に貢献できるかを本ビジョンで考察することとしたい。

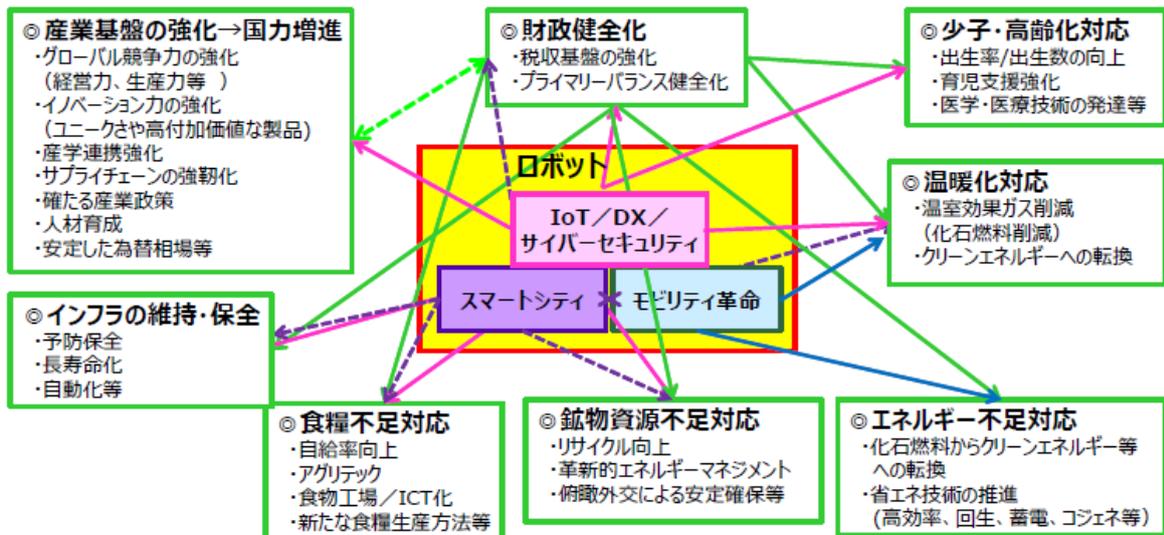


図 1-1 2 各社会課題解決に向けた社会・経済的対応

図 1-1 2 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、モビリティ革命が重要となる。IoT や DX は、産業基盤の強化を通して財政健全化につながり、少子高齢化につながる。それらをサイバーセキュリティで支える。モビリティ革命の一つである電動化や最適化によりエネルギー不足対応や温暖化対応につながる。スマートシティによりインフラの維持・保全につながり、最適化された運用により食糧や鉱物資源の不足の対応につながるといったような対応策となっている。本ビジョンにおいては、そういった対応策とは区分する形で、社会課題解決に向けた方策を次章以降で示したい。

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。結婚・出産を機に離職した女性、定年を迎えたシニア世代や障害者等も含め、彼らが負担なく働くことの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、そういった意味でも事業発展のために、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 ヶ国(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。

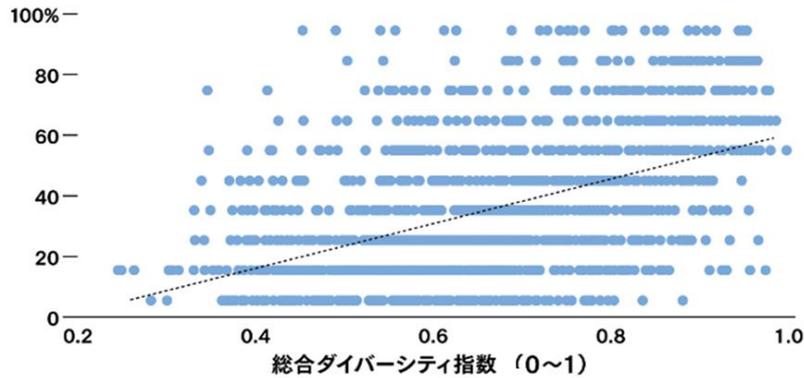


図1-13 ダイバーシティ指数とイノベーションによる収益の割合の分布図

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1-13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。このグラフはその二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1-4)。「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。

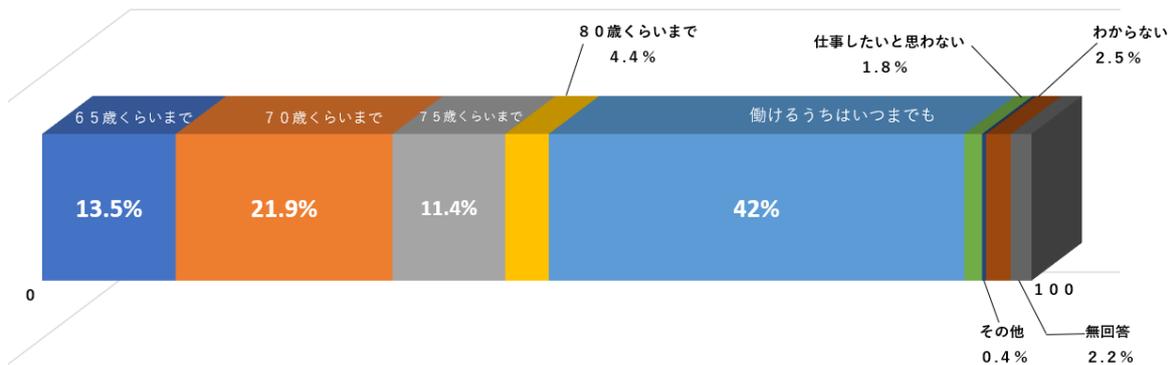


図1-14 高齢期就業意識調査

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、ありたき姿の一つとして捉られる。

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る。先端技術を活用した様々なロボットが登場している。ロボットは、様々な形態で様々な用途に利活用される可能性が期待されている。

- ①AI(人工知能)
- ②IoT(モノのインターネット)
- ③高速移動通信システム
- ④サイバーセキュリティ
- ⑤XR(クロスリアリティ)
- ⑥デジタルツイン
- ⑦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(人工知能)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、その技術の一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一つである。2023年3月に話題となっているChat-GPTは、米Open AIが開発した高精度な言語AI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、文章生成等が可能となっている自然言語処理が可能なプログラムである。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プログラムを中心に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、そこで変わりつつセキュリティの考え方として、ゼロトラストと言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、そういった 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 により分析し、必要に応じて遠隔操作することで、都市のインフラ、施設、運營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。

更に、モビリティ革命については、近年自動車産業は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となる。

XR(クロスリアリティ)は、仮想的に作られたコンテンツと現実世界を視覚的に融合して表示し、これまでにない映像を表現したり、そこにある、またはいるかのように体験させる技術である。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トレイグジスタンス技術によって、遠隔地の物体に対して、オペレータが視覚・触覚等のセンサ情報を感じ、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など、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、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、食料・鉱物資源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みても、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が迫られた。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ことが想像できる。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き姿の一つとしてとらえている。ただし、技術にはデュアル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。また、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。我々は、なん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。

2.3 SDGs に資する取組み

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。詳しくは、資料編を確認いただきたい。

本ビジョンにおいても、ロボットによって、誰でも生きがいと働きがいを実感し、経済成長をもたらし、産業と技術革新の基盤をつくりだすための道筋を描くこととしたい。

第2章 ロボット産業ビジョンの概要

1. ロボット産業ビジョン策定委員会について

○各四つのワーキンググループは社会の非常時、平時、生産に加え、人とロボットの共生をテーマとして議論する

本策定委員会は、「若手技術者による産産学交流サロン」のメンバー及び日本ロボット学会の大学研究者等で組織した。「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、様々な刺激による研鑽を積むことで、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繋げることを念頭に活動している組織である。

ロボティクスを「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生活面のスマートコミュニティと生産面のスマートプロダクションに大別する。更にはスマートコミュニティを、平時と非常時に区分した。別の観点で、スマート化をもたらす技術の健全な発展を考慮に入れるため、安全・倫理・法律的側面でも検討を進めていく。こういった視点から、四つのワーキンググループ(WG)を編成し、検討範囲を取り決めた。



図2-1 ロボット産業ビジョン策定委員会 四つのワーキンググループ

上記のワーキンググループは、本ビジョンにおいて基本的に下記の構成で掲載する。

- ・第3章:スマートプロダクションWG・・・生産の観点
- ・第4章第1節:スマートコミュニティ平時WG・・・日常生活の観点
- ・第4章第2節:スマートコミュニティ非常時WG・・・災害時やパンデミック時等非常時の観点
- ・第5章:人とロボットの共生WG・・・第3章と第4章における安全、法律、倫理等の観点

本ビジョンは、上記の構成で“ありたき姿”と「現状」、「技術的方策」、「社会的方策」の三つに区分された“道筋”を掲載する。なお、他のWGで策定した“ありたき姿”を安全、法律、倫理の観点から補完する、人とロボットの共生WGは、「インパクト」、「ガバナンス」、「リスク」、「センスメイキング (受容性)」に区分して掲載する。

2. ロボット産業ビジョンのイメージ

2.1 平時における社会のありたき姿と価値の創出

2.1.1 平時における社会のありたき姿

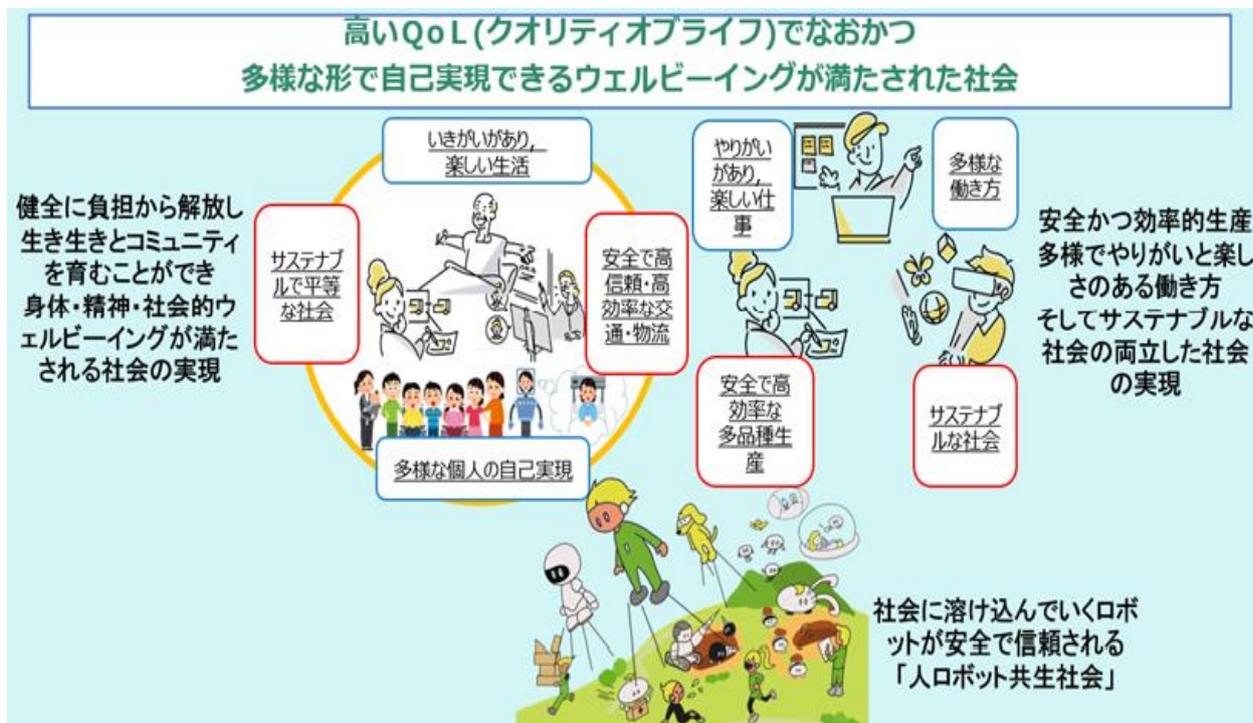


図2-2 平時における社会のありたき姿

平時における社会のありたき姿は、図2-2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。上記のありたき姿のために、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「人ロボット共生社会」が実現されている。



2.1.2 平時におけるありたき姿のための価値の創出

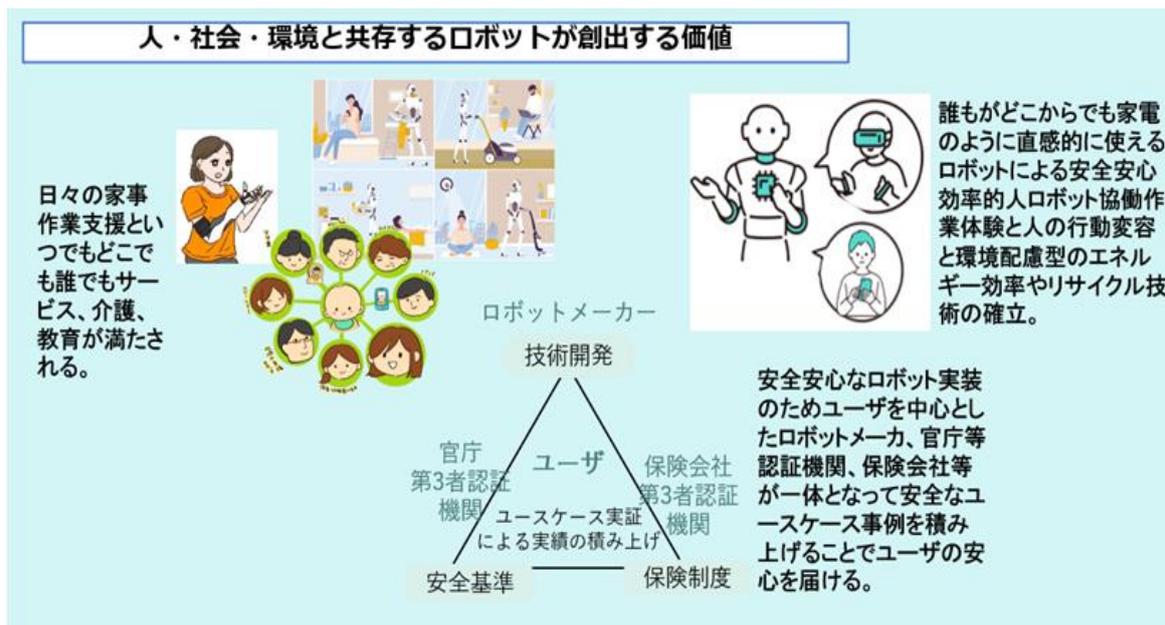


図2-3 平時におけるありたき姿のための価値創出

平時における社会のありたき姿の実現のためには、図2-3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。更に、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求められるが、そのためには、ユーザに向けて、ロボットメーカ、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。

2.2 非常時における社会のありたき姿と価値の創出

2.2.1 非常時における社会のありたき姿



図2-4 非常時における社会のありたき姿

非常時における社会のありたき姿は、図2-4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。



2.2.2 非常時におけるありたき姿のための価値の創出



図2-5 非常時におけるありたき姿のための価値創出

非常時における社会のありたき姿のためには、図2-5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により解析される共通基盤技術が利用できる仕組みが必要である。

第3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～

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年のありたき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き姿としては「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包含さ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年のありたき姿を説明する。

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き姿は、「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、人と協働する人が安全・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。

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求められる。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年のありたき姿を図3-1に示し、これ以降、それぞれについて簡単に説明する。

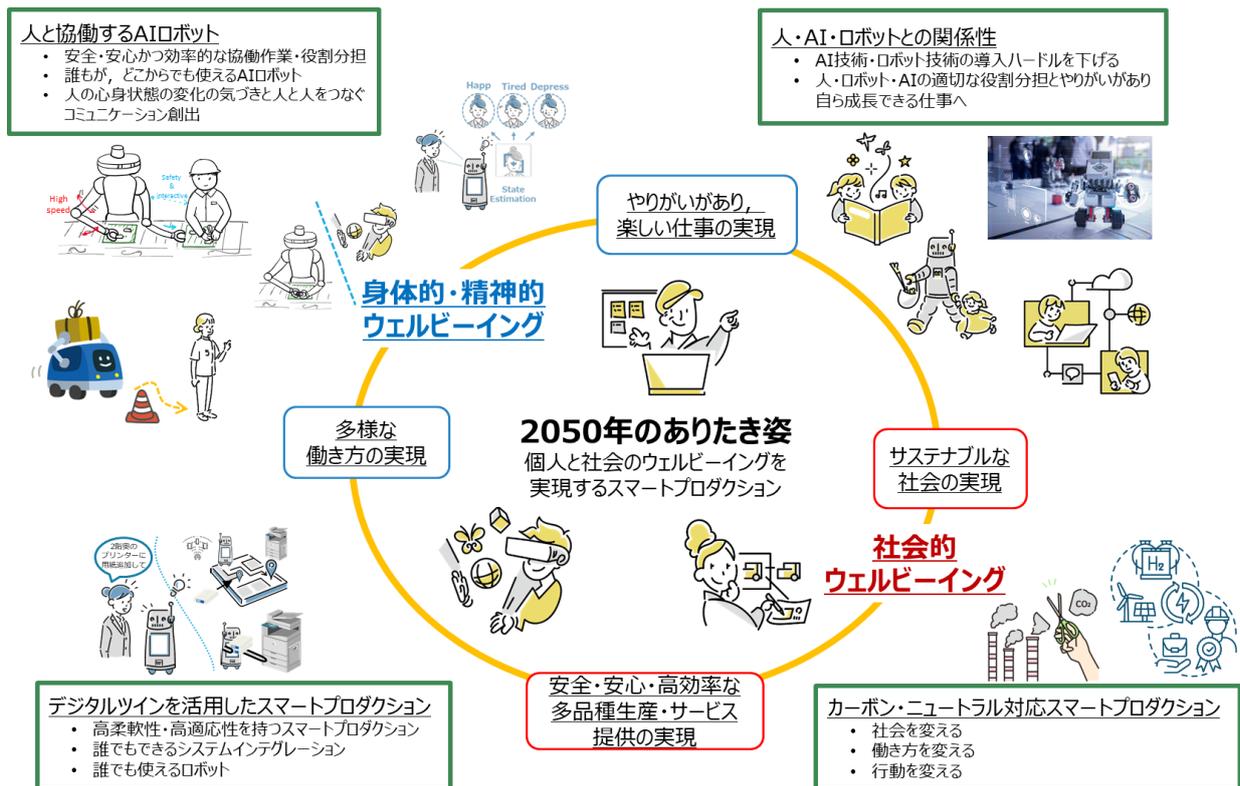


図3-1 スマートプロダクション 2050年のありたき姿

2. 人と協働する AI ロボットのありたき姿と道筋

- 「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」

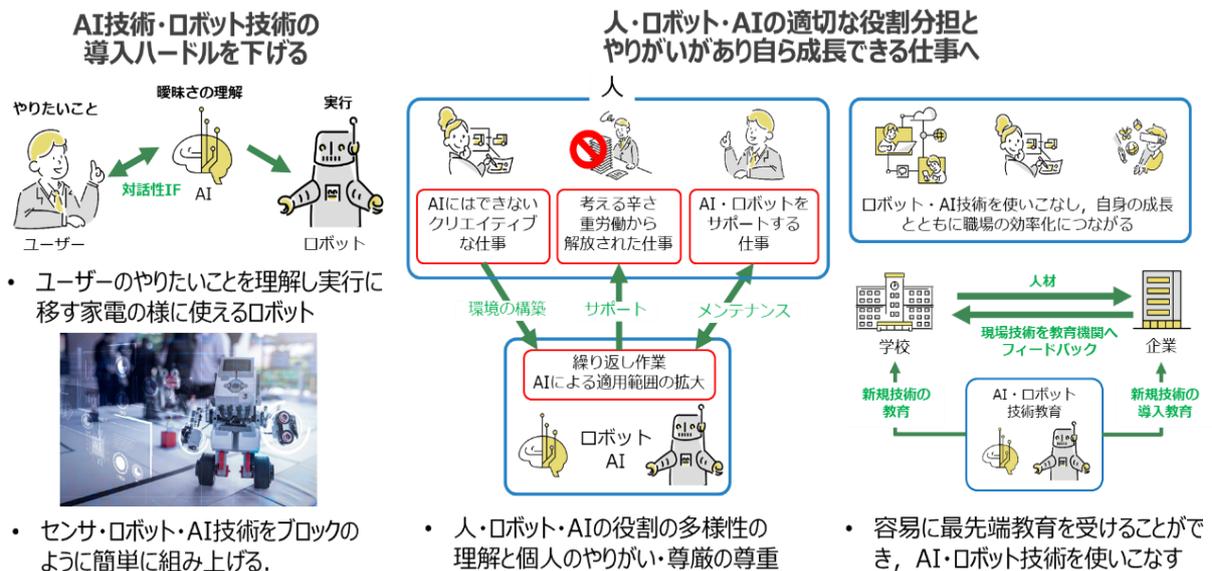


図3-2 人と協働する AI ロボットの 2050 年のありたき姿

2.1 安全・安心かつ効率的な協働作業・役割分担

2.1.1 ありたき姿

人と協働する AI ロボットのありたき姿として、3 点の観点を説明する。1 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おいて、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。

2.1.2 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

設定して安全側に余裕を持って衝突回避を実現している場合が多い。人とロボットが同じ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。

更に、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。

2.1.3 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お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。

2.1.4 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 誰もがどこからでも使える AI ロボット

2.2.1 ありたき姿

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 ロボットのありたき姿を考える。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。

2.2.2 現状

上記のありたき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、強制指示の在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えない。更に、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。

2.2.3 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、その実現に必要な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。

2.2.4 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、作業者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。

2.3 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

2.3.1 ありたき姿

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あ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カタチが提案でき、健康でやりがいのある働き方を実現することができる。

2.3.2 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、そのデータからの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。

2.3.3 実現するための技術的方策

ありたき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。

2.3.4 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を共有すること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。

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き姿と道筋

- 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

<p style="text-align: center;">高柔軟性・高適応性を持つ スマートプロダクション</p>  <ul style="list-style-type: none"> • サプライチェーンプラットフォーム標準化と企業間調達連携 • 貨物車・船舶等の積載率向上・CO2排出量抑制 • 適切なサプライヤーの評価や地球規模でのBCP対応 	<p style="text-align: center;">誰でもできる システムインテグレーション</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 異種類ロボット・センサ・周辺機器の共通管理 • 専門知識を必要としないシステム構築 • 性能予測・寿命診断・モニタリングの高精度化 • ロボット連携データプラットフォーム • 超高速・超低遅延・多数同時接続可能な通信網 	<p style="text-align: center;">誰でも使えるロボット</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 専門知識を必要とせず、誰もがロボットとの協働環境を立ち上げられる <ul style="list-style-type: none"> ✓ 目的作業からロボット動作自動生成 ✓ 自然言語等を用いた簡単な操作インターフェース ✓ 難作業のティーチングの簡易化 • 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
--	--	---

図3-3 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年のありたき姿

3.1 誰でも使えるロボット

3.1.1 ありたき姿

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き姿を三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。

3.1.2 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。更に、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。更に、ティーチングを行う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。

3.1.3 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。

3.1.4 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。

3.2 誰でもできるシステムインテグレーション

3.2.1 ありたき姿

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」の実現がありたき姿となる。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員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。更に、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。更に、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。

3.2.2 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員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。

3.2.3 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。

3.2.4 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、更に、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。

3.3 高柔軟性・高適応性を持つスマートプロダクション

3.3.1 ありたき姿

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。更に、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。

3.3.2 現状

しかしながら、現状は各企業内の仕組み作りに留まっており、企業間の連携が乏しい。同様にサプライチェーンも各企業の個別最適化になっており、企業の垣根を超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、リモートオペレーション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他、現場の機器の誤動作による現場の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当充てる人材・費用・技術が不足している課題もある。

3.3.3 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心・安全の観点でトレーサビリティの確保が求められている。特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られることが期待される。

3.3.4 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。

4. 人・AI・ロボット同士の関係性のありたき姿と道筋

○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

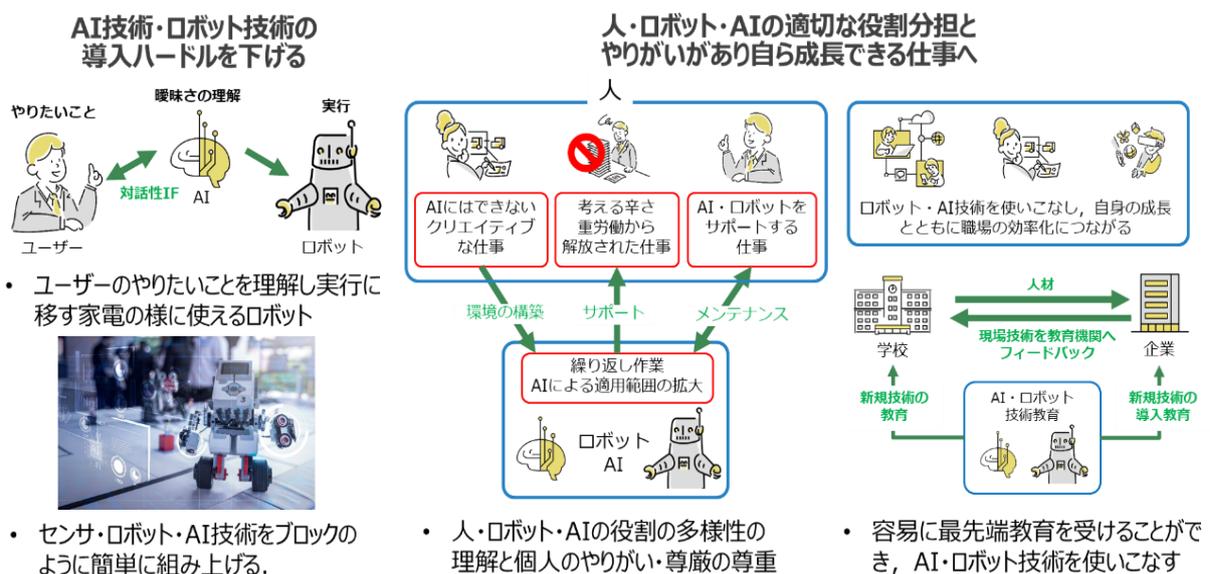


図3-4 人・AI・ロボットとの関係性の 2050 年のありたき姿

4.1 ありたき姿

ここでは、人・AI・ロボット同士の関係性のありたき姿について考える。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

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。更に、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、一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。

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場合に対応できず、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、現状ではそこまで技術が達していない。

4.3 実現するための技術的方策

上記のありたき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。

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、工業に留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だろう。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。その様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。更に、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、要項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側への心的敷居を下げるといった施策が考えられる。

5. カーボンニュートラル対応のありたき姿と道筋

○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はかり、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。

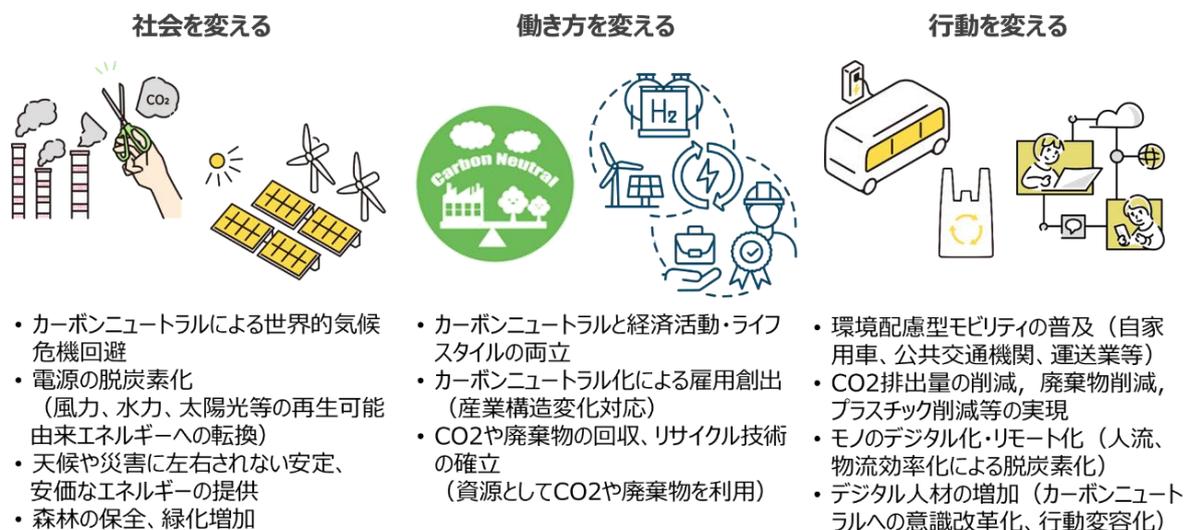


図3-5 カーボンニュートラル対応スマートプロダクションの2050年のありたき姿

5.1 ありたき姿

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き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由来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。

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。更に、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。

5.3 実現するための技術的方策

再生可能由来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。

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。更に、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。

6. 各業種におけるありたき姿

○建設業のありたき姿

○農林水産業のありたき姿

○サービス業のありたき姿

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年のありたき姿を議論してきた。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。そこで本章では、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き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。

6.2 建設業のありたき姿

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無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、企業の枠を超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。更に、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の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。

6.3 農林水産業のありたき姿

次に農林水産業の2050年のありたき姿について考える。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等々がある。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一つは、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。更に、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。更には、遠隔操作ロボットを用いることを前提とすることで、障がいを持った方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。

6.4 福祉・介護分野のありたき姿

最後に、サービス業の一つとして、福祉・介護分野の2050年のありたき姿を考える。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、介護する側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み立て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違い、その程度の違い等、その人が必要とする支援の仕方はそれぞれである。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期待する人もおり、受けたい介護の在り方もそれぞれである。更に、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、介護の在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できた、更には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、人の挑戦を後押しする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する支援が求められる。物理的支援による個性の適応とは、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 of 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4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～

1. 2050年のスマートコミュニティ(平時)のありたき姿

1.1 人の生活を支援するロボティクス技術のありたき姿と道筋

1.1.1 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) ありたき姿

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し続け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二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。その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ロボット導入ビジョンの共有により、便利さに依存せず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) ありたき姿

育児の分野におけるありたき姿は、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良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、安心安全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で、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、一方で育児に正解はなく、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。更に、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、つながり合える社会を実現するための、AI 技術やロボット、ネットワーク等のテクノロジーの実現が必要である。家庭の方針に合わせ、個々を尊重した種々の介入デザインを提供側が用意し、人がやりたいことと技術ですることとのバランスを、ユーザ自身が価値観とその影響（ベネフィットとリスク）の情報提供に基づいて選択でき、遠隔対話ロボットを介した遠隔サポーターによる支援（遠隔保

育、見守り、育児ノウハウの伝承) や、AI ロボットとの作業分担 (見守り、お留守番支援、寝かしつけ支援等) により一人ひとりにかかる育児の負担を軽減する。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、例えば、2 歳児は大人の予測を超える行動を取ることを前提とした子どもに対する安全性を踏まえた設計、ステークホルダー全体を考えた評価手法 (心身負担、発達影響等) が必要である。

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。更に、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。

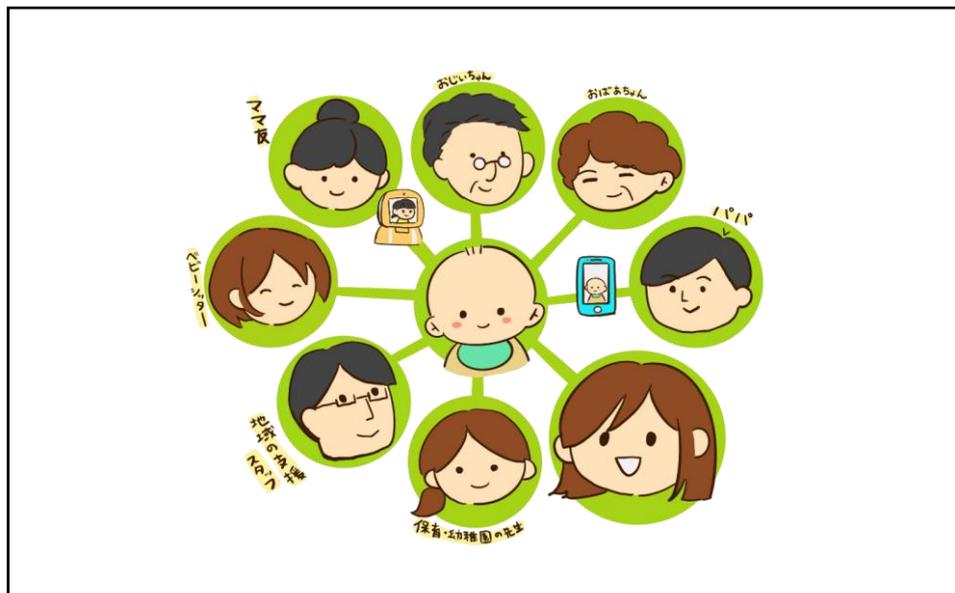


図4-1 技術で家庭をオープンにしたつながりあえる社会で共同子育て

(3) 教育

1) ありたき姿

教育におけるありたき姿は、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する。そして、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。更に、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）。

1.1.2 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) ありたき姿

家庭の家事支援におけるありたき姿は、AI ロボットで効果的、効率的に日々の家事作業を支援し、それを、人しかできないことや、人が本当にやりたいことに取り組みよう活用すると言う、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。更に、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、現状ロボット専用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）。更に、前節の介護・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4-2 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]

1.1.3 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) ありたき姿

誰しもが身体的・時間的制約によって制限をされることなく、活動することを可能にする。アバターロボット等を用いての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したり、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4-3 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。たとえば、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、身体的障碍により、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、十分な時間を確保できないことである。たとえば、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。

昨今では、avatarin 株式会社の newme、株式会社オリィ研究所の OriHime 等のアバターロボット、VR 機器を用いたメタバース等が、登場しているが、空間的、時間的に制約された場面での利用に限られている。

(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。

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き姿と道筋

1.2.1 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) ありたき姿

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

ログを可視化することはできても、そのデータから状態を推定したり、状態を予測したり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。更に、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。

1.2.2 高信頼・高効率なスマート交通・物流システム

(1) 交通

1) ありたき姿

2050年のありたき姿は、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の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。更に、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4-4 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 leenanuruksa / stock.foto

2) 現状

環境に負荷をかけるエネルギー源の使用や、人の流通の増加は課題である。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、多くの方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、余暇を楽しんだり、仕事をしたりと移動時間の有効活用につなげる。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 排気量の少ない、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 制定が必要となる。

(2) 施設内物流

倉庫では豊富な品物から目的の品物を、効率よく、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。

1) 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一ヶ所に送るのではなく、一つ一つの荷物を一人ひとりの顧客に届ける必要がある。

2) 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、ドローンや10フィート輸送の活用による搬送の効率化が考えられる。

・商品のピッキング

倉庫内の運搬を自動化する場合、棚に置いてあるさまざまな商品から、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。

・人工知能(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、車、設備を認識して適切に運転するのは、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。

3) 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) ありたき姿

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、エンドユーザーに届けるラストワンマイルでの配送では、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。エンドユーザーに短時間に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。例としては、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。

高信頼・高効率な スマート交通・物流システム



図4-5 高信頼・高効率なスマート交通・物流システム

1.2.3 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) ありたき姿

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、警察署にコミュ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。また一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かわりに、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。この変化に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んな申請・申告が必要なのか、どん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他に、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は変わりなく、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。

必要書類は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、何をどう調べればよいのか知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、一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脱出を可能にする。そ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繋がる。

4) 実現するための社会的方策

庁舎自動化におけ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、もっと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だろう。

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・支援の対象を制限しないこと、「合理的配慮を人権保護であると認識」、「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4-6 高信頼・公平・公正なスマート公共・行政サービスシステム

1.3 人・AI・ロボット同士の関係性のありたき姿と道筋

1.3.1 AI技術・ロボット技術の導入ハードルを下げる

(1) ありたき姿

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。たとえば、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あわせて柔軟に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が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にしているため、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) 技術的方策

個々人がすで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) 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。更に、地域差、年齢差なく、さまざまな人々がロボットに対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。

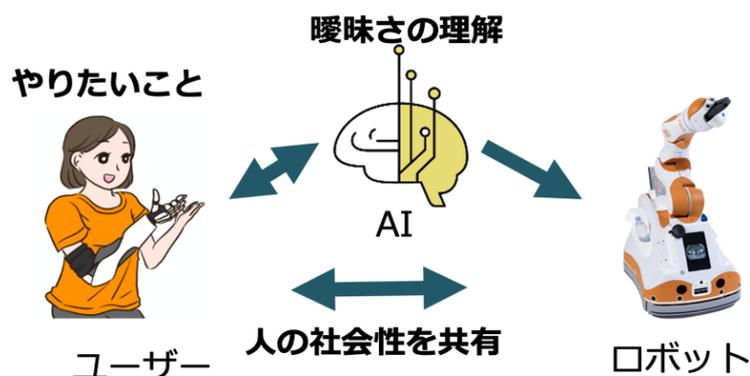


図4-7 AI・ロボットのソーシャルスキルとヒューマンインタフェース

1.3.2 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) ありたき姿

安心安全、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、どんな人も気軽に参加でき、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。

ありたき姿は、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、様々な制約に依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。更に人・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・精神的障害の有無、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いる。地域、言語、文化、年齢、経済、様々な要因で孤立する等、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、家庭や個人の活動へ AI ロボットを導入する際の倫理観の個人と社会との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“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。二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られる。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りあって、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巡り合う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繋がっている。

(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をカスタマイズ、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。

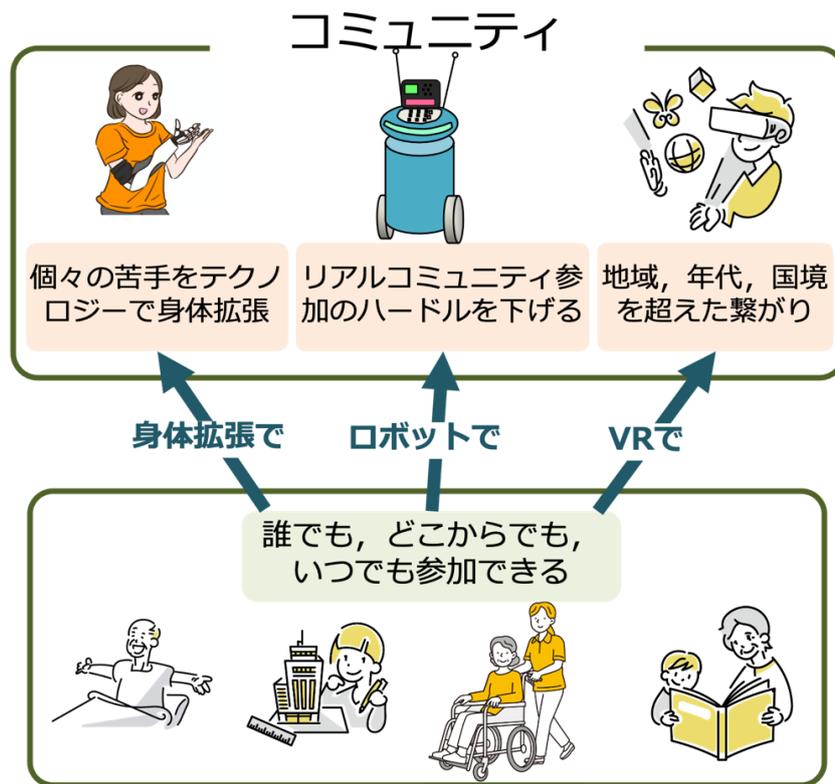


図4-8 人と人、人とコミュニティをつなぐロボット技術

1.3.3 ニーズに応じたロボットサービスの提案と運用

(1) ありたき姿

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。目的、解決したい問題に応じた適切で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ーの観点からは、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。更に、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、ロボットメーカーとユーザの課題・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) 技術的方策

個々人がすで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) 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求められる。

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、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。

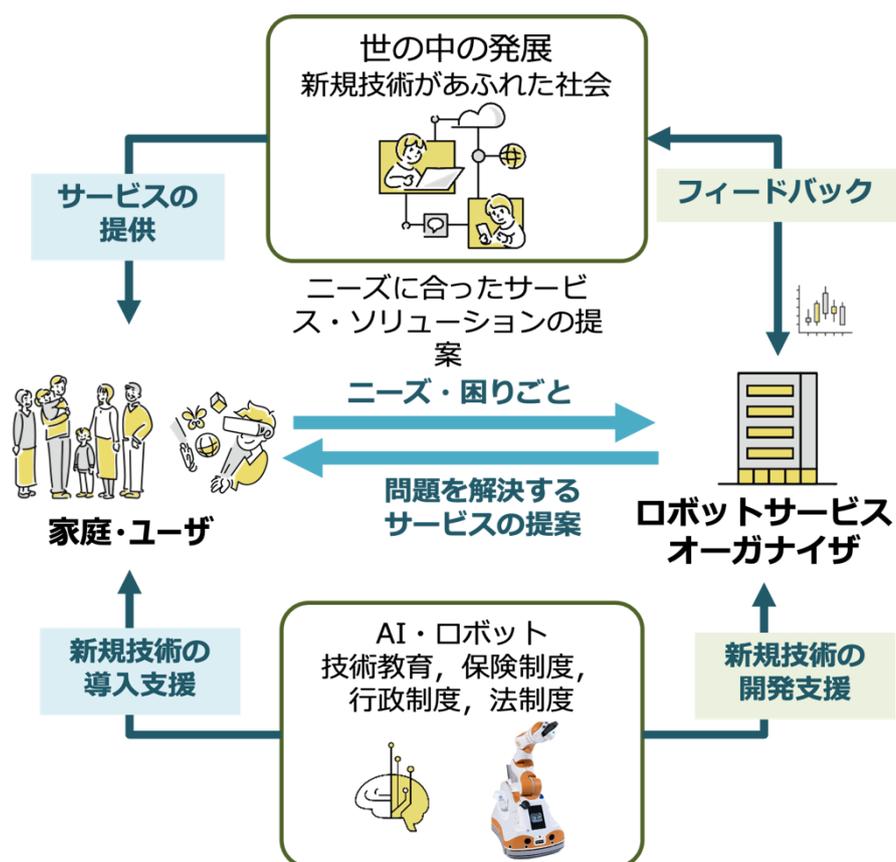


図4-9 AIロボットの利活用をデザインするロボットサービスオーガナイザとプロバイダ

1.4 特殊環境におけるありたき姿と道筋

- 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、海洋、炉、南極大陸等が挙げられる。
- 約1年間の限られた時間の中でその全てを検討することは当委員会ではできていないが、今後、上記の特殊環境において海洋等幅広く検討を重ねていきたい。
- 本項では、特殊環境のうち、宇宙空間を事例としてありたき姿と道筋を検討していきたい。

特殊環境を、ここでは人間単独による作業が不可能な環境と定義する。特殊環境には、宇宙、海中や洋上、炉、極低温や極高温環境等が挙げられる。本ビジョンでは、宇宙環境に焦点を当てる。それ以外の特殊環境については今後の検討とする。

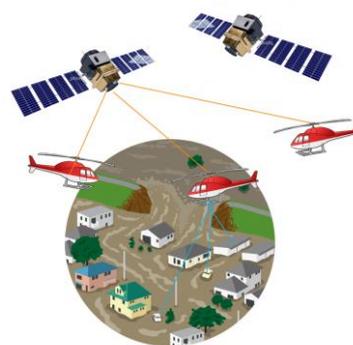


図4-10 衛星からの情報による地上の災害復旧支援のイメージ

1.4.1 宇宙環境におけるロボット技術の活用

(1) ありたき姿

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。

表4-2 [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 (アメリカ)
2018年	月の裏側に探査機着陸	嫦娥4号 (中国)

(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、米国とともに宇宙開発を牽引してきた大国ロシアは、今年、国際宇宙ステーション(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ことも記憶に新しい。

ありたき社会の実現には、現状を適切に把握する手段、平時に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。



図4-11 JAXA 探査イノベーションハブ構想

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した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、ダイナミクスをもち、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、駆動系の三つの要素を有する、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 への物資輸送に留まらず、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・ベズ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を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といえ、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、宇宙用途に必要な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、操作インタフェースの向上が必要な点である。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、ロボットアーム同様、大気がないのでまず放射線である。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の整備、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、米国による「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 付近でスペースシップ 2 は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。

2017 年時点で 3,500 万ドルと言われる市場規模は、今後増加し、2040 年には 1 兆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。

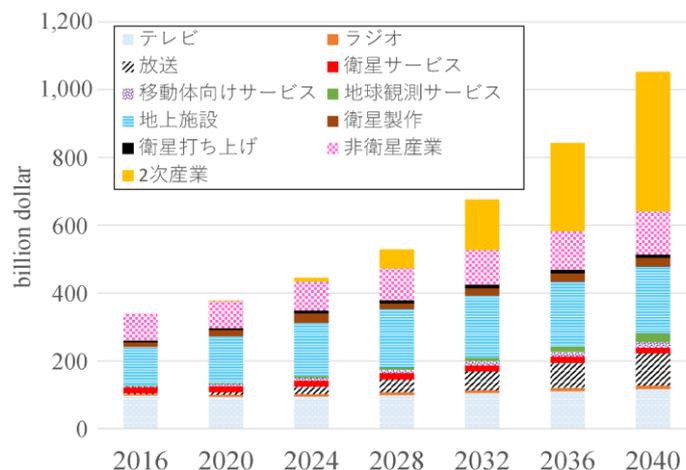


図4-12 Morgan Stanleyによる宇宙産業の経済規模の予想

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

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、実用化への一つの道筋を示した。2022年度中には、日本の「SLIM」が打ち上げられ、月面ピンポイント着陸の実証が期待されている。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。

2. 2050年のスマートコミュニティ（非常時）のありたき姿

2.1 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」と位置づ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る事象が発生すること、ないしは発生したとき、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三つのシーンについて述べる。

はじめに、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4-13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わかる。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。

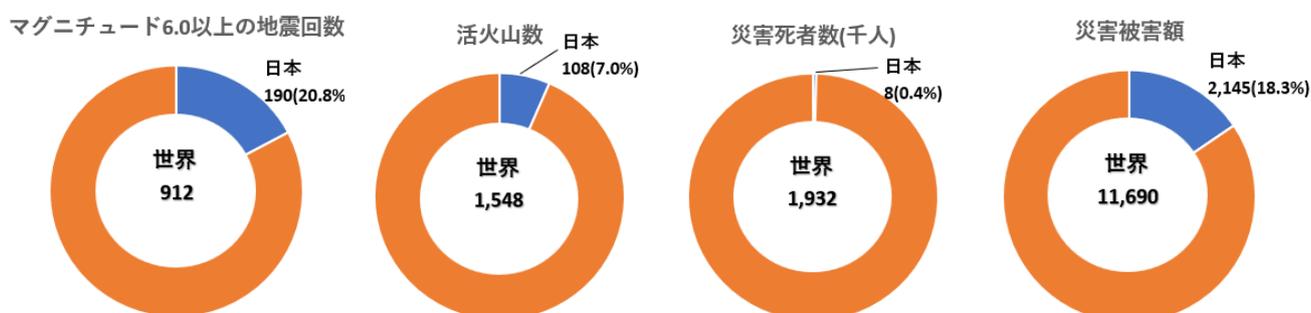


図4-13 世界の災害に比較する日本の災害

出所：内閣府「平成18年版防災白書」より日本ロボット工業会作成

つづいて、我が国が抱える社会問題としてインフラ老朽化がある。我が国では、高度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 4-1 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 4-2 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 30%	約 55%	約 75%
トンネル	約 22%	約 36%	約 53%
河川管理施設	約 10%	約 23%	約 38%
下水道管渠	約 5%	約 16%	約 35%
湾岸岸壁	約 21%	約 43%	約 66%

出所：国土交通省「国土交通白書 2022」より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臨まれる発展形について議論する（図 4-1 4）。それぞれの領域では、異なる社会の「ありたき姿」が臨まれ、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できる。以降では、この様なプロセスにより、2050 年のスマートコミュニティ（非常時）を示す。

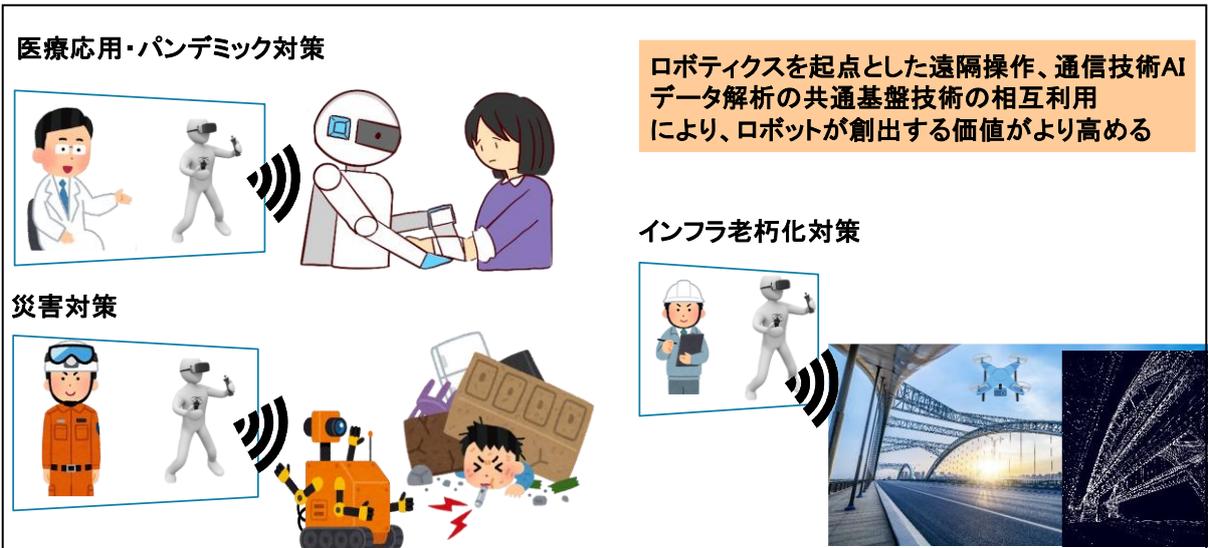


図4-14 2050年の非常時におけるスマートコミュニティ

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」、の三領域に注目し、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。

2.2 災害対応におけるありたき姿と道筋

- ありたき姿：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、インター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

2.2.1 ありたき姿

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4-15 災害時における社会のありたき姿

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4-15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。

2.2.2 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。更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、これら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4-16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、東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題(その1)および(その2)、ロボット学会誌, Vol. 29(7), pp658-659, 2011 および 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・環境づくりが必要である。

3点目は、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、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。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。日頃から必要なオペレータに対して教育を施しておき、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4-16 災害時の状況変化とニーズの例

2.2.3 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、ありたき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が無線等で作業者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、一人の作業者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なう。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。

2.2.4 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り組みとして、産業競争力懇親会（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。

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」災害時におけるドローン活用ガイドライン)もある。更に図4-17に示す通り、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づくりが必要である。

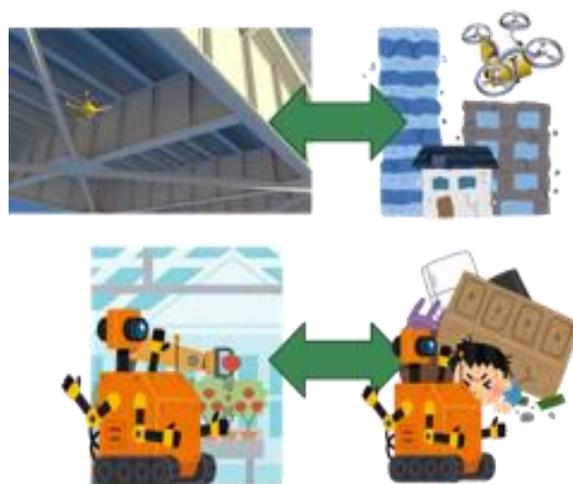


図4-17 共通基盤技術の災害時—平時相互利用

2.2.5 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通り、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、国民一人一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。

2.3 インフラ老朽化対策におけるありたき姿と道筋

○ありたき姿：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

○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

⇒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

⇒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

⇒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

2.3.1 ありたき姿

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、または新設・破壊をすることで、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。

2.3.2 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。そのため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。

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利活用したBIM/CIM（Building/Construction Information Modeling、Management）が用いられ始めている（図4-18）。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る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4-19）。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性があること

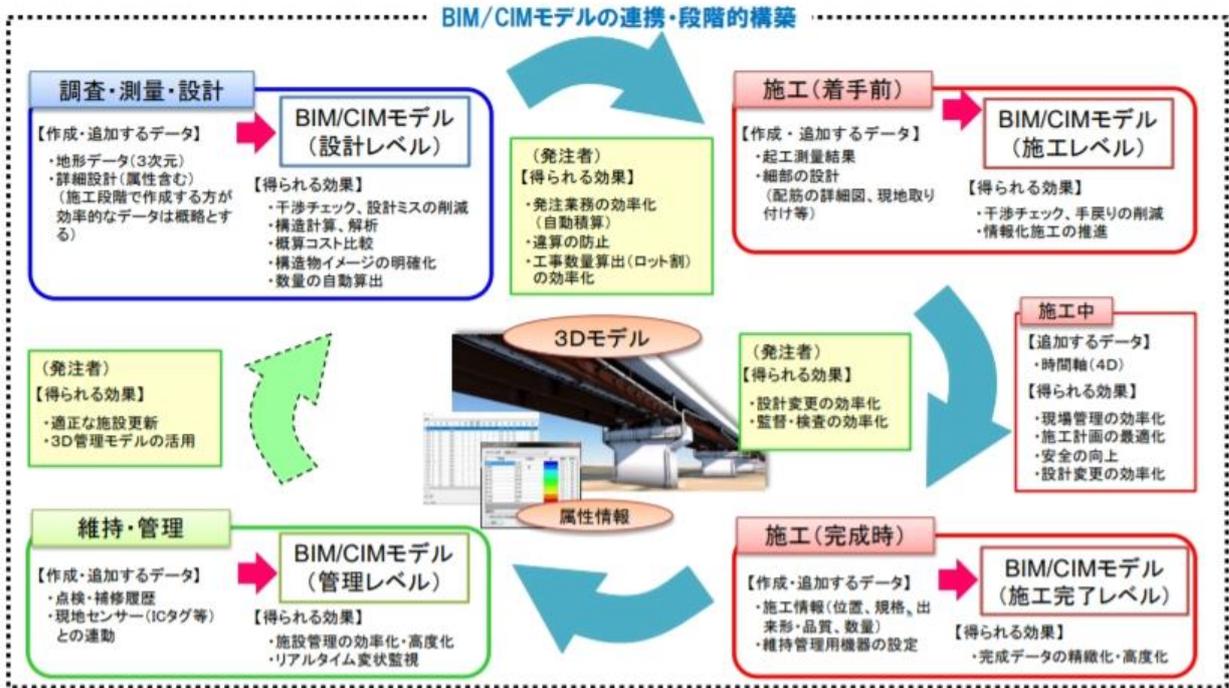


図4-18 三次元での電子データを活用したBIM/CIM の事例

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）」



図4-19 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・遠隔制御技術および自律化技術 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・省人化への取り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いただく必要がある。またロボットユーザとなる建設、点検業者へロボットを当たり前に使っていただく仕組みやインタフェース面でのEASY TO USEの取り組みもより一層必要となる。更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。

2.3.3 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・点検業者への支援に含め、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、インフラ専用機がさらなる発展を遂げることで、災害対策として活躍され、平時活用ロボットとのバイユースが可能となる。

2.3.4 実現するための社会的方策

更には、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4-20の構築が必要である。この様に、ロボット先進的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、産学および国・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。

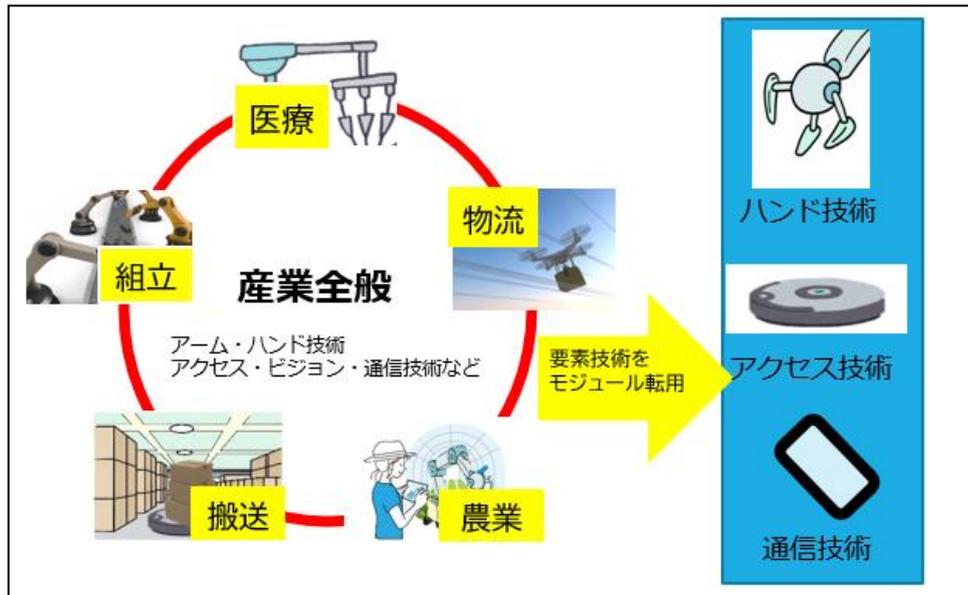


図4-20 ロボットモジュールの利活用

2.3.5 事業性及び継続性

現在は、建造物の老朽化、災害発生頻度の増加、人手不足等、取り巻く環境としても、今後優先的な取り組み事項でもあり事業性、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。

2.4 パンデミック対策におけるありたき姿と道筋

- ありたき姿：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

2.4.1 ありたき姿

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4-2）。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。今後も永続的に発生するであろう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・軽減した安心・安全な空間・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。

表4-2 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)

出所：各種報道より Deloitte 作成

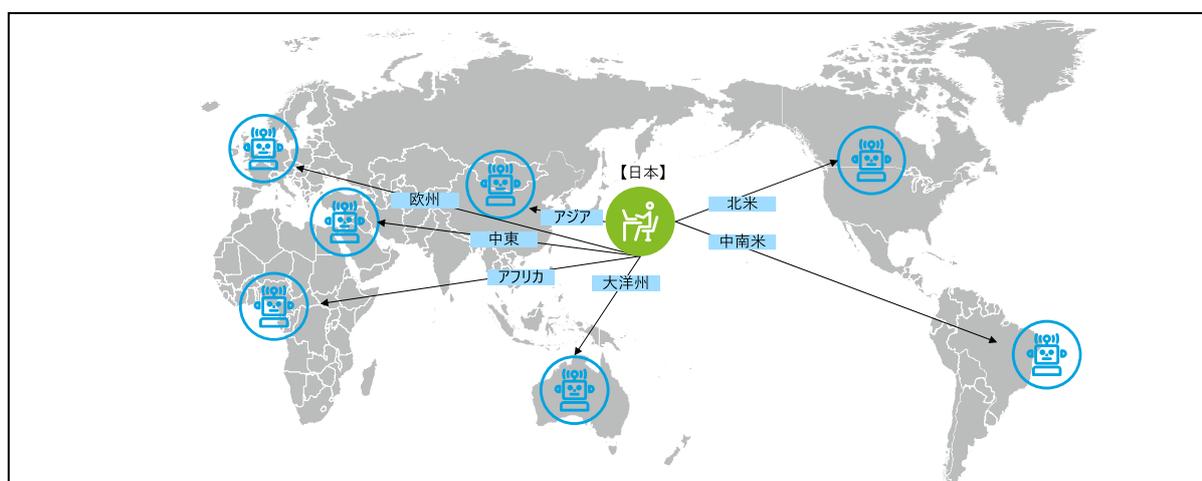


図4-21 遠隔操作ロボットの利活用イメージ、遠隔操作ロボットを通じて、時間・距離の制約を乗り越えることが可能となり、自分自身の存在が拡張される。日本にいながら全世界が活動の対象地域となる

出所：Deloitte 作成

2.4.2 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。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・空間は限定的な点である。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。

2.4.3 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、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り、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。

2.4.4 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」を共創する場合は挙げられる。

2.4.5 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だが、人類が地球上に存在する限り、パンデミックは永久に継続することが見込まれる。

2.5 まとめ

2050年のスマートコミュニティ（非常時）のありたき姿・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」と位置づ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き姿、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。

これら三つのシーンでは、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。更に、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、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デュアルユースを前提とした研究開発および産業促進の政府的な支援充実等が求められる。

第5章 人とロボットの共生

～安全で信頼される人口ロボット共生社会実現のために～



1. 人とロボットの共生のために

ロボットの機能は今後も向上し、人の生活により深く関わるようになることが期待されている。一方で、その存在感や影響の強さが高まるにつれ、人の生活に自然に溶け込んでいくことも同時に要求される。たとえ非常に機能性が高いロボットが提供されたとしても、安全性に対する懸念や信頼性に疑義があるものは、普及が困難である。安全で信頼される「人とロボットが共生する社会」を実現するためには、どのような活動が必要だろうか。本ビジョンでは、これまでにスマートプロダクションとして製造業、建設業、農林水産業において、スマートコミュニティとして家庭、物流、公共空間、極限環境、災害において、それぞれのありたい姿を紹介している。

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だろうか。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だろうか。更に、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だろうか。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だろうか。以下、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（受容性）」を挙げて検討する。

2. インパクト

人々の生活から、新たな産業の隆盛、社会課題の解決等、様々な分野で新たな市場とそこに必要な技術が創造される中、ロボットもその一翼を担う産業である。その中で今後 50

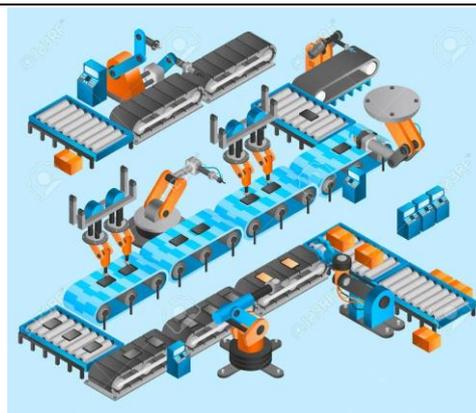
年の飛躍に向け、人々のウェルビーイング向上、経済的な価値創造、持続可能な社会の実現に与えるインパクト（効果）が重要な要素となる。いかに優れた技術であろうと、経済的効果を生み出すことが困難な高価で限定されたものや、将来の世代への負荷となるような環境に影響を与えるもの、地域紛争を生み出すもの、人々の生活に肉体的・精神的負荷を与えるものでは、人々や社会に受け入れてもらうことはできない。広く参画可能な経済循環をもたらし、持続可能な社会や環境を構築し、誰もが多くの選択肢を有し、その中から自らのウェルビーイング向上に資する道筋を発見するための、より良きインパクトをもたらすことが求められる。

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

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や協調安全や 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。

建設業におけるロボットの導入は、建設投資が復調しながらも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、搬送ロボット、溶接ロボット、手作業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。



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ー層のウェルビーイング向上に向けた拡大に期待できる。



2.2 スマートコミュニティ（平時）

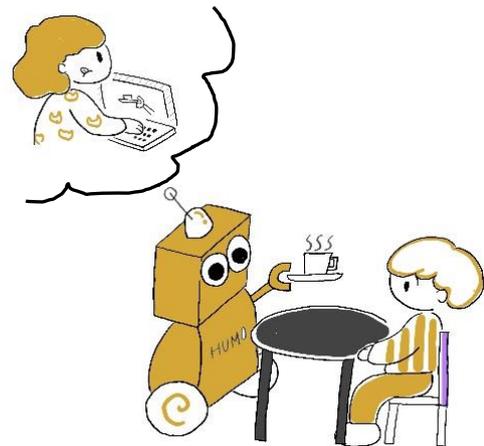
○ウェルビーイングの実現に向けて、コミュニケーション、医療・介護、家事支援におけるロボット活用の拡大が求められている

○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

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。



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

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、災害時の情動的支援、力学的支援、心理学的支援として早急な人命救助や社会復旧において、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 の情報化技術がグローバルで標準化が進められることで、世界に向けた市場拡大が期待できる。

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。



3. リスク

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一つである
- 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、最重要課題の一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。

3.1.1 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、人を中心とした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、往來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、人を中心とした現場では、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・ノウハウが人を中心とした生産現場には不足しており、協働ロボット導入の障壁の一つと言える。

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毎に、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。

3.1.2 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心安全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。

3.1.3 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。

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、ロボットメカ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

3.2.1 概要

上述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、ロボットメカ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、更には、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5-1に示す。

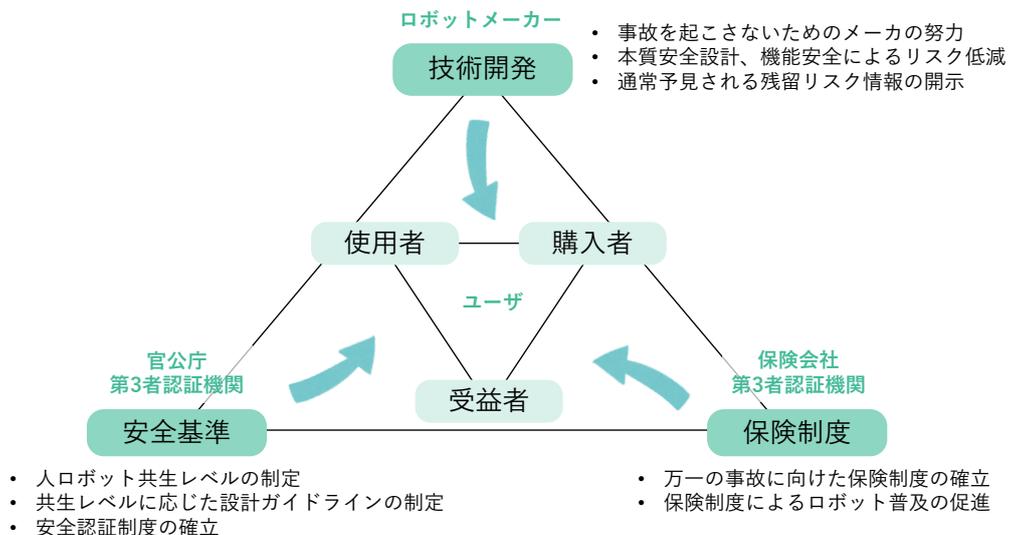


図5-1 人ロボット共生に向けた社会的枠組み

3.2.2 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求められる。

3.2.3 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、官公庁・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、自動車の取り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、官公庁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。更に、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に、官公庁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心安全なロボットを活用することができる。

3.2.4 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、安心安全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心安全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. ガバナンス

- ELSI、RRI の観点からガバナンスの構築をする必要がある
- 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

4.1 ELSI と RRI の観点

前項で述べた、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もあれば、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。

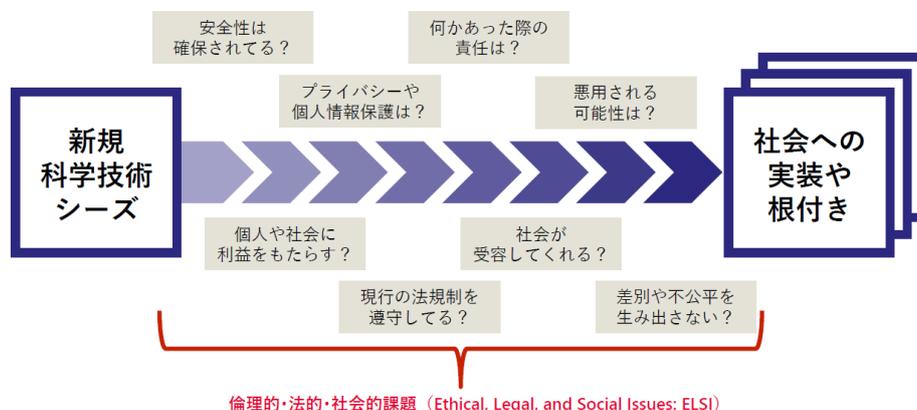


図5-2 新規技術を社会実装のための多くのハードル

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) 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 5-2 に ELSI の概念を示す。

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、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大きくなる。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。ガバナンスの構築のためには、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、ロボット技術だけの視点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。

5. センズメイキング

5.1 社会受容性とセンズメイキング実例

○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・有効性が高い事と、高い利便性が高いことを一般の人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。ここでいう人には、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 (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)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ズメイキングとして実際どのようなことができるだろうか。まず前提条件として、そのロボットおよび技術の利便性・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事により、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。

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

- 国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事がイメージ出来る必要がある。

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、研究開発に国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、こういった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、抽象的な物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だろう。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。

5.3 ロボットが人間社会と共存する未来のために

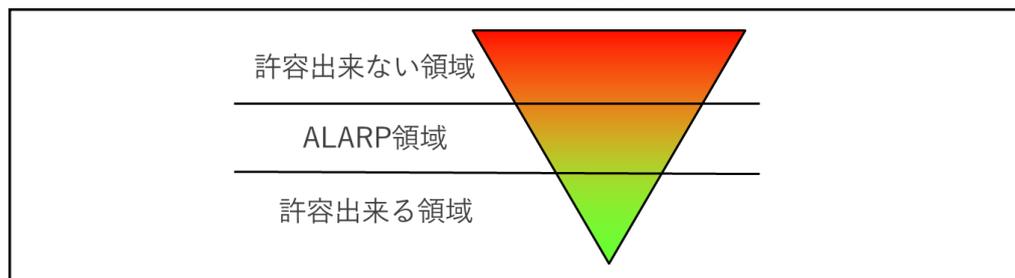
- ALARP(As Low As Reasonably Practicable)＝「合理的に実行可能なリスクの低減」
- ALARP が浸透する為には、開発者の努力だけでなく、業界全体での働きかけが必要である
- 見た目・機能のデザインによりロボットに対する無機質なイメージを変えていく事も重要である
- ロボットという未知の物に対して信頼感を得る為には、リスクという不利な情報を早期提示する事も選択肢のひとつである

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、対して米国では、「United States Courts Table C-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壌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。これは「合理的に実行可能なリスクの低減」という意味だ。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5-3 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事があげられるであろう。人と人との関わりの中では、人は間違いを犯すもの、ぶつかったりするリスクを当たり前前に受容している。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事で、ロボットを使うことに人々が不安を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。例えばパナソニックホールディングス株式会社の**babypapa**はコミュニケーションロボットだが、そのシンプルな見た目により服を着させるといったユーザのオリジナリティが発揮され、それが愛着へと繋がっている。



babypapa

©パナソニックホールディングス(株)

また、Pudu Robotics Japan 株式会社の BellaBot は猫の姿をした配膳ロボットで、BellaBot 同士でぶつかりそうになって動けなくなった時、それぞれが可愛らしい言葉で助けを求めている様子が SNS で話題となり愛らしいと人気になっている。



BellaBot
©Pudu Robotics Japan(株)

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。ロボットへのイメージがまだ付いていない高校・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。

更に、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事も選択肢の一つである。最悪何が起きるかといった事や設計基準、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。更に、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。

資料編

第 1 章 我が国を取り巻く現状

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

1.1.2 内部環境

(1) 競争力

○スイスのビジネススクール・国際経営開発研究所(IMD)が毎年纏めている「世界競争力年鑑」の2022年版では、我が国の総合順位が図1のとおり63か国・地域中34位となった。

順位	国名	21年からの 順位差	順位	国名	21年からの 順位差	順位	国名	21年からの 順位差
1	デンマーク	△ 2	22	エストニア	△ 4	43	カザフスタン	▲ 8
2	スイス	▲ 1	23	英国	▲ 5	44	インドネシア	▲ 7
3	シンガポール	△ 2	24	サウジアラビア	△ 8	45	チリ	▲ 1
4	スウェーデン	▲ 2	25	イスラエル	△ 2	46	クロアチア	△ 13
5	香港	△ 2	26	チェコ	△ 8	47	ギリシャ	▲ 1
6	オランダ	▲ 2	27	韓国	▲ 4	48	フィリピン	△ 4
7	台湾	△ 1	28	フランス	△ 1	49	スロバキア	△ 1
8	フィンランド	△ 3	29	リトアニア	△ 1	50	ポーランド	▲ 3
9	ノルウェー	▲ 3	30	バーレーン	—	51	ルーマニア	▲ 3
10	米国	△ 0	31	ニュージーランド	▲ 11	52	トルコ	▲ 1
11	アイルランド	△ 2	32	マレーシア	▲ 7	53	ブルガリア	△ 0
12	UAE	▲ 3	33	タイ	▲ 5	54	ペルー	△ 4
13	ルクセンブルク	▲ 1	34	日本	▲ 3	55	メキシコ	△ 0
14	カナダ	△ 0	35	ラトビア	△ 3	56	ヨルダン	▲ 7
15	ドイツ	△ 0	36	スペイン	△ 3	57	コロンビア	▲ 1
16	アイスランド	△ 5	37	インド	△ 6	58	ボツワナ	△ 3
17	中国	▲ 1	38	スロベニア	△ 2	59	ブラジル	▲ 2
18	カタール	▲ 1	39	ハンガリー	△ 3	60	南アフリカ	△ 2
19	オーストラリア	△ 3	40	キプロス	▲ 7	61	モンゴル	▲ 1
20	オーストリア	▲ 1	41	イタリア	△ 0	62	アルゼンチン	△ 1
21	ベルギー	△ 3	42	ポルトガル	▲ 6	63	ベネズエラ	△ 1

図 1 IMD「世界競争力年鑑」2022年 総合順位

出所：三菱総合研究所 IMD「世界競争力年鑑2022」から見る日本の競争力(Web)

1.2.1 産業用ロボット

○我が国のロボット産業における2021年では、出荷額の77%を輸出が占めており、輸出地域別では北東アジア地域向けが急拡大、アジア地域向けは68%(図2)を占めている。

○我が国からの2021年輸出額では、「世界の工場」としての中国が急成長することに伴い、輸出先では国別でトップの49%(2021年)、次に米国、韓国と続く。また、アジア地域では、電子部品及び半導体実装、クリーンルーム等の電子・電気産業向けが主流となっている(図3)。

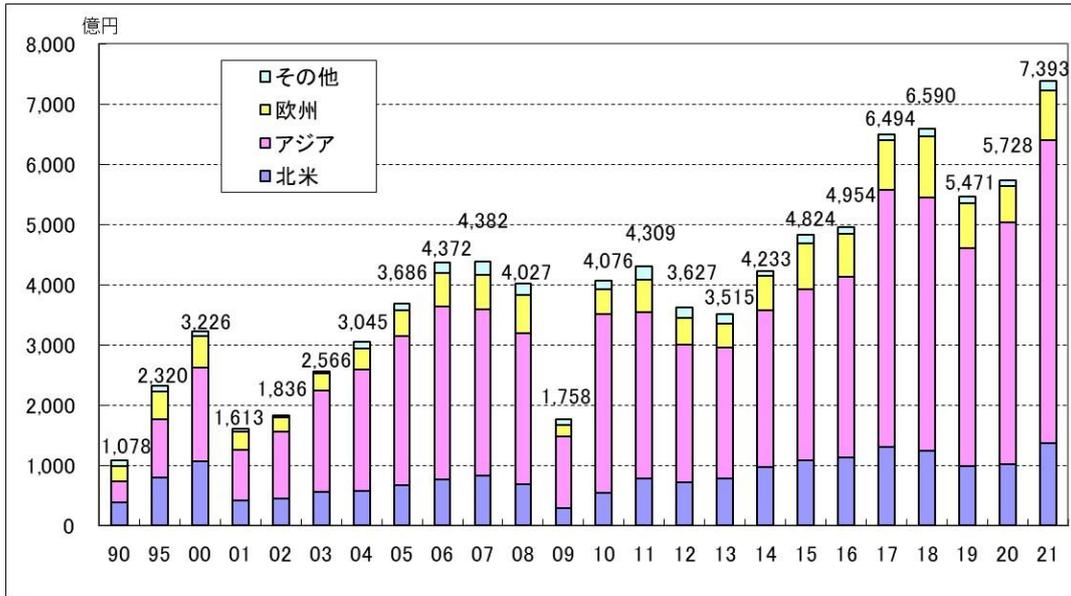


図2 我が国の産業用ロボットの輸出額推移

出所：(一社)日本ロボット工業会「ロボット産業需給動向」より作成

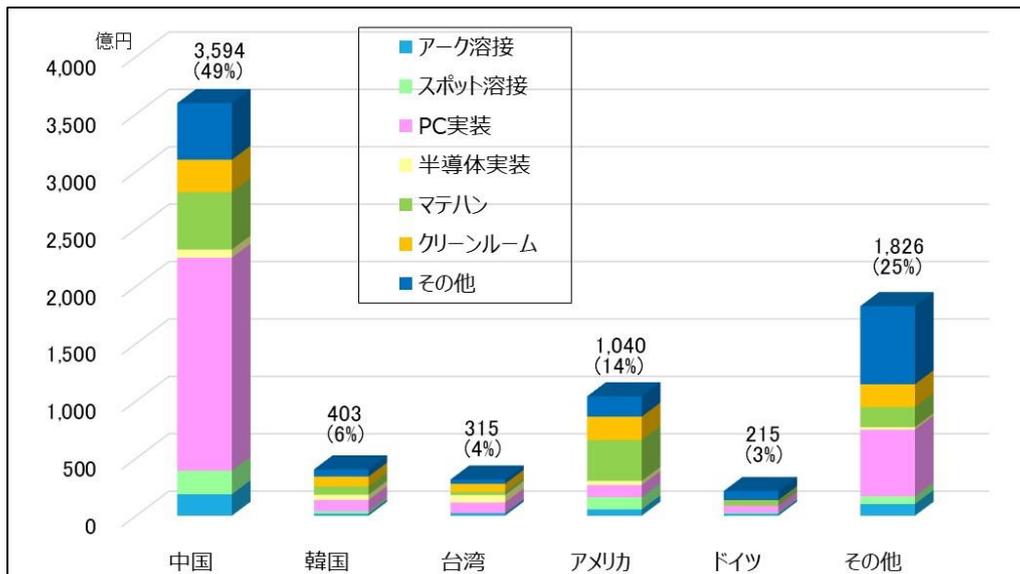


図3 2021年の主要輸出国向け出荷額と用途

出所：(一社)日本ロボット工業会「ロボット産業需給動向」より作成

○IFRによる、主要国・地域における年別ロボット設置台数推移は、図4の通りに国・地域いずれにおいても拡大基調にある。とりわけ、中国のロボット需要は「世界の工場」ともいわれる中で飛躍的な伸びを示しており、2013年に我が国を抜いて世界最大のロボット需要国となっている。

単位:台

地域/国	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2025年予測
米州	30,317	32,616	38,134	41,295	46,188	55,212	46,708	38,740	50,712	64,900
北米 (米、加、メキシコ)	28,668	31,029	36,444	39,671	43,559	49,636	41,460	36,716	44,645	58,900
-アメリカ	(23,679)	(26,202)	(27,504)	(31,404)	(33,146)	(40,373)	(33,378)	(30,787)	(34,987)	(50,000)
-カナダ	(2,250)	(2,333)	(3,474)	(2,334)	(4,057)	(3,582)	(3,603)	(2,566)	(4,257)	(4,400)
-メキシコ	(2,739)	(2,494)	(5,466)	(5,933)	(6,356)	(5,681)	(4,479)	(3,363)	(5,401)	(4,500)
南米	1,649	1,587	1,690	1,601	1,301	2,582	2561	1,734	2,224	6,000
アジア	98,334	134,018	160,048	199,481	279,824	282,459	257,966	276,088	380,078	524,910
中国	36,560	57,098	68,556	96,500	156,176	155,082	147,894	177,635	268,195	370,000
日本	25,110	29,297	35,023	38,586	45,647	55,240	49,908	38,653	47,182	62,000
韓国	21,307	24,721	38,285	41,373	39,777	37,807	32,900	30,506	31,083	37,800
台湾	5,457	6,912	7,200	7,569	10,907	12,145	6,456	7,373	9,644	18,400
タイ	3,221	3,657	2,556	2,646	3,386	3,323	2,833	2,885	3,914	5,000
その他	6,679	12,333	8,428	12,807	23,931	19,912	17,975	19,036	20,060	
オセアニア	473	426	510	561	570	621	555	563	833	21,310
欧州	43,284	45,559	50,073	56,078	66,505	75,560	73,806	67,760	84,302	89,930
フランス	2,161	2,944	3,045	4,232	5,014	5,829	6,711	5,368	5,945	6,700
ドイツ	18,297	20,051	19,945	20,074	21,267	26,723	22,298	22,354	23,777	23,800
イタリア	4,701	6,215	6,657	6,465	7,760	9,847	11,067	8,525	14,083	16,000
スペイン	2,764	2,312	3,766	3,919	4,250	5,266	3,992	3,387	3,423	4,500
イギリス	2,486	2,094	1,645	1,787	2,380	2,415	2,044	2,205	2,054	2,200
中・東欧	5,061	4,643	6,136	7,758	10,538	9,732	9,825	8,283	12,210	14,600
北欧	2,125	2,050	2,570	3,264	2,985	2,618	3,073	2,660	3,472	
その他欧州	5,673	5,250	6,161	8,444	9,263	9,229	14,796	14,978	19,338	22,130
アフリカ	653	358	260	879	451	794	1,252	593	1,055	670
不明	4,991	7,524	4,635	5,553	6,094	7,625	10,229	10,067	405	10,000
総計	178,126	220,571	253,748	303,847	399,640	423,321	390,516	393,811	517,385	690,410

図4 主要国・地域における年別ロボット設置台数の推移と予測

出所：国際ロボット連盟（IFR）「World Robotics」より

○2015年5月に中国政府が「中国製造2025」を発表、今後10年間の製造業発展のロードマップを示し(図5)、産業用ロボットでは「自主ブランドの市場占有率」を2025年に70%以上とすることを目標に、国産ロボットメーカー及び部品メーカー等が確実に育ちつつある。

なお、現在、第14次5か年計画がスタートし新たな発展計画が2021年12月に発表されている。

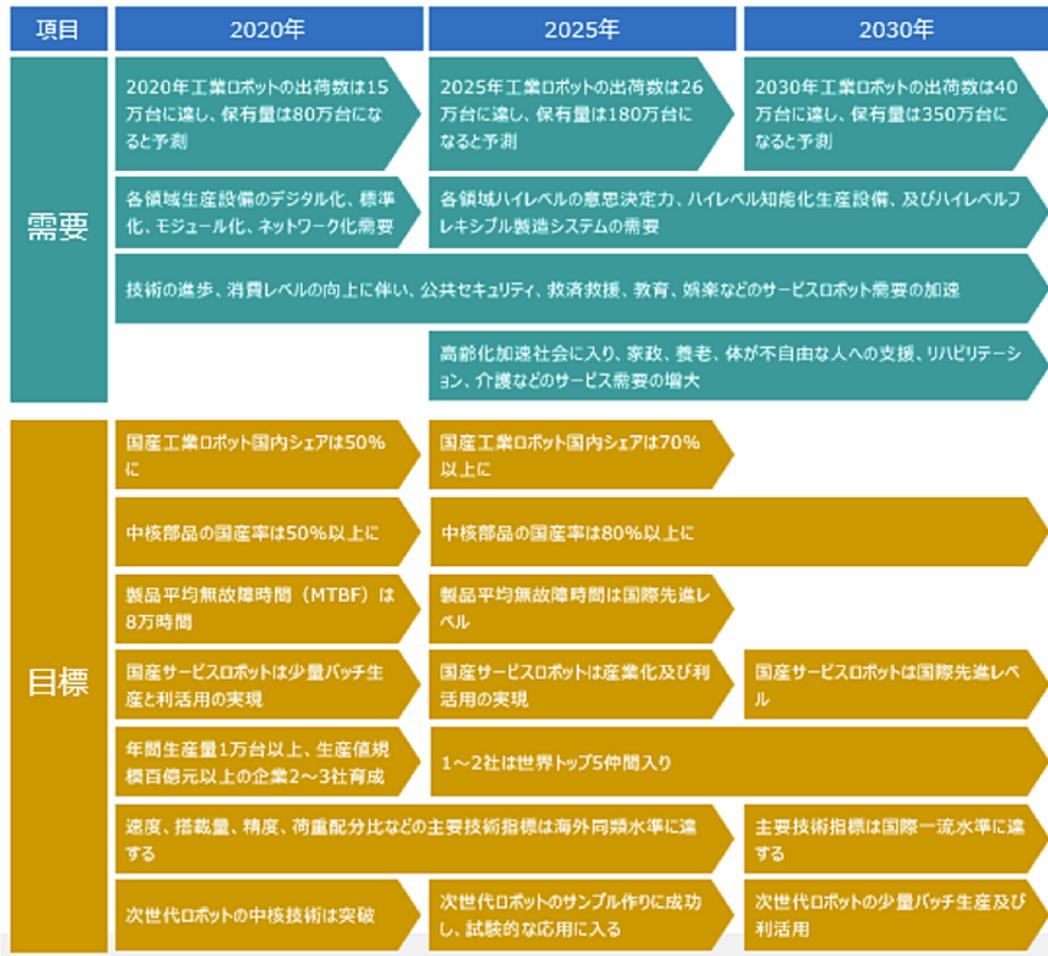


図5 中国製造2025重点領域技術路線図

出所：Web マガジン・ロボスタ「中国ロボット市場最前線 Vol.1」2016.10.13 by Dequan Tang より

○近年、注目の協働ロボットにおいても、デンマーク、台湾、中国、韓国等の海外新興メーカーが日本市場にこぞって参入しつつある(図6)。



図6 海外協働ロボットメーカーによる日本進出例

1.2.2 サービスロボット

○我が国では、これまで国の研究開発プロジェクトをはじめとして、様々な分野においてプロトタイプが開発されてきたが(図7参照)、それらの内、上市にまで長期間要したり、プロトタイプ止まり、更には市場からの撤退等が散見される状況にある。

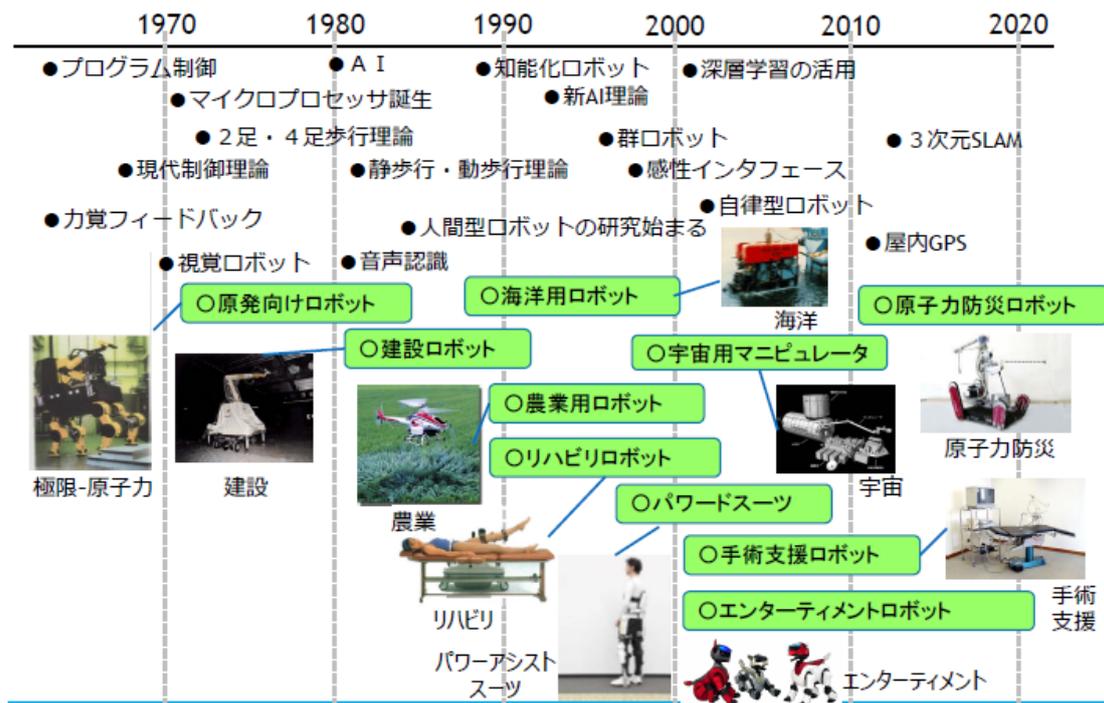


図7 我が国のサービスロボット開発の歴史

○経済産業省では、ロボットを導入しやすくする環境、いわゆる「ロボットフレンドリーな環境（ロボフレ）」の整備を進めるプロジェクトを実施している。ロボット革命・産業IoT協議会(RRI)内に、「ロボット実装モデル構築推進タスクフォース」を立ち上げ、その中の「施設管理テクニカルコミッティ」では、ロボットが人とエレベータに同乗し、ドアとも連携していくための通信仕様等の研究開発を実施し、施設内の配送・清掃業務等を自律的に実施するサービスの実現を目指す。

○サービスロボットの国内市場では、図8にみられる分野においては、海外メーカが日本市場を席巻しつつある。

(家庭用・清掃)	(業務用・物流)	(業務用・配送)	(業務用・医療)
<p>米国・iRobot 中国・ECOVACS :ルンバ :DEEBOT</p> <p>世界シェアではiRobot社、そしてECOVACS社が2強である。iRobot社は日本国内でも6割強と高いシェア。中国、韓国、英国製等も日本市場に参入。</p>	<p>ノルウェー シンガポール・Grey- AutoStore Orange:Butler</p> <p>物流では、上記の2社以外に有力企業で米・Amazon(自社用)、中国のGeek+やQuicktron、カナダのClearpath Roboticsなど多数の企業が代理店等を通じ日本市場に参入。</p>	<p>米国・Saviioke 中国・keenon :Relay robotics:T1</p> <p>ホテル、オフィス、図書館及び飲食店等の商業・公共施設で、上記のような海外各社のロボットが活躍している。また、テレプレゼンスロボットが近年、日本でも注目されつつあるが、当該分野では米国製ロボットがかねてより市場展開。</p>	<p>米国・Intuitive Surgical :da Vinci</p> <p>医療分野では、Intuitive Surgical社が世界市場の7割弱*と圧倒的シェア。続く米国のAccuray社、Striker社の上位3社についても以前より日本市場に参入。</p>

図8 我が国サービスロボット市場での海外メーカの状況

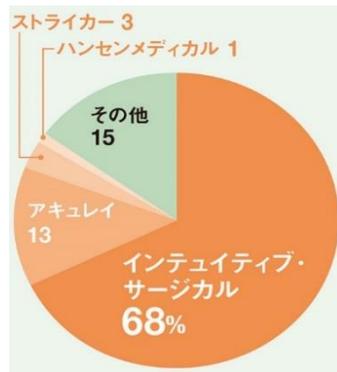


図9 医療ロボットの世界シェア

出所：UBS 証券

5. SDGs

表1 SDGs17の目標

- 目標 1. あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
- 目標 2. 飢餓を終わらせ、食料安全保障および栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
- 目標 3. あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
- 目標 4. すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し生涯学習の機会を促進する
- 目標 5. ジェンダー平等を達成し、すべての女性および女児の能力強化を行う
- 目標 6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
- 目標 7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
- 目標 8. 包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的雇用と働きがいのある人間らしい雇用（ディーセント・ワーク）を促進する
- 目標 9. 強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
- 目標 10. 各国内および各国間の不平等を是正する
- 目標 11. 包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市および人間居住を実現する

目標 12. 持続可能な生産消費形態を確保する

目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる

目標 14. 持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する

目標 15. 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、並びに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する

目標 16. 持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する

目標 17. 持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

6. IFR における SDGs に資する取組み

表2 IFR における SDGs13の目標(目標 1、16、17 は立てておらず)

- ① 目標 2. 飢餓をゼロにするため、下記のように貢献する。
 - ・農業においては、フィールドロボットが雑草を特定し焼却することで有害な除草剤に頼らず雑草を駆除する。
 - ・食料生産と加工の自動化により、精度の高い生産を行うことで食品廃棄物を抑える。
 - ・搾乳ロボットによる頻回搾乳により、搾乳時間の固定性を改善し、搾乳量を増やす。
- ② 目標 3. すべての人に健康と福祉を届けるため、下記のように貢献する。
 - ・製造業では、汚く危険な作業を人に代わって行う。
 - ・医療では、重量物の持ち上げ作業や感染者との接触を避けることにより安全で低負荷な職場づくりを実現する。
 - ・医薬品の開発・試験の自動検査や安全な包装にもつなげる。
- ③ 目標 4. 質の高い教育をみんなに届けるため、下記のように貢献する。
 - ・STEMA 教育やプログラミング等将来の人材育成にもつなげる。
 - ・スキルがない労働者でも技術を要する仕事ができることにつなげる。
- ④ 目標 5. ジェンダー平等を実現するため、下記のように貢献する。
 - ・重量物の運搬等肉体労働の低減により女性が肉体労働をする必要のない仕事に変える。
 - ・あらゆる形状に変えられるため女性が喜ぶデザインにすることができる。
- ⑤ 目標 6. 安全な水とトイレを世界中に届けるため、下記のように貢献する。
 - ・検査・整備ロボットにより、水道パイプの検査・修理、タンクの洗浄、紫外線消毒を行うことで水とトイレの持続可能な管理を実現する。
- ⑥ 目標 7. エネルギーをみんなに、そしてクリーンにするため、下記のように貢献する。
 - ・化石燃料から電気をエネルギーとする。
 - ・将来的に、太陽光発電等再生可能エネルギーに置き換わることを念頭に、今後期待される太陽光発電に必要な集熱器等の自動化により再生可能エネルギーの導入を支援する。
- ⑦ 目標 8. 働きがいと経済成長をもたらすため、下記のように貢献する。
 - ・汚く危険な繰り返し作業をロボットが人の代わりに行う。
 - ・ロボットを使用した製造は資源効率とエネルギー効率が向上し不良品が減少した高品質な製品につながる。
- ⑧ 目標 9. 産業と技術革新の基盤をつくるため、下記のように貢献する。
 - ・ロボットの平均耐用年数が最長 30 年であることを鑑みて、将来の故障のリスクを軽減するためにパーツを少なくする。ロボットメーカーは、ユーザのロボット故障時に、新し

いロボットを出荷するのではなく、スペアパーツを所持し現地で修理やメンテナンスを行うことで資源効率の高い産業となる。

⑨ 目標 11. 住み続けられるまちづくりのため、下記のように貢献する。

- ・ロボット、ビジョンセンサ、AI等の組み合わせにより、ゴミや廃棄物の分別・処理・リサイクル、資源活用の増加やレアメタル等希少資源の償還のためのシステムの効率を向上させる。

⑩ 目標 12. つくる責任とつかう責任のため、下記のように貢献する。

- ・貴重な資源を考えた持続可能な生産のために、ロボットの品質検査により限りなく不良品を減らしていくことや、生産設備の省エネにも貢献する。また、組立だけでなく分解・修理の自動化を可能とすることで資源のリサイクルを行い、廃棄物の削減に貢献する。

⑪ 目標 13. 気候変動に具体的な対策を打ち出すため、下記のように貢献する。

- ・ロボットは、手頃な価格でカーボンニュートラルなモビリティを実現する生産技術として貢献する。既存の風力発電所の保守と効率的な運用を支援する。柔軟な自動化により省スペースにつながることで最終顧客の近くで生産工程を確保できるため、製品の生産・物流にかかるエネルギーを削減する。

⑫ 目標 14. 海の豊かさを守るため、下記のように貢献する。

- ・ロボットは、海洋石油掘削装置のパイプの検査、養殖場の清掃、海洋プラスチックのリサイクル、水中の動植物の監視・保全を行うことで貢献する。

⑬ 目標 15. 陸の豊かさを守るため、下記のように貢献する。

- ・農林業用ロボットは、生態系の保護に貢献できる。また、化学的防除や肥料を使用せずに特定の有害物を焼却させる。
- ・農機と異なり軽量のロボットが無人操作されるようになれば土壌圧縮を軽減する。
- ・ロボットの土地監視により砂漠化および土壌侵食を防止する。

おわりに

当会は 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・発刊した。同ビジョンは三つの柱で構成されており、第一に「市場を捉える」として海外市場と新規市場を確実に獲得するために捉えること、第二に「業界構造を変える」としてシステムインテグレーションを拡充し参画を図ること、最後に「イノベーションを興す」としてプロセスとプロダクトのイノベーションを興すこと、これらを柱として策定してきた。

それにより方策として中国を筆頭に市場を捉え、また FA・ロボットシステムインテグレータ協会を設立した。同協会は、ロボットシステムインテグレータはもとより、保険事業者や部品メーカ、レンタル・リース事業者等 2022 年度時点で約 300 社規模の協会に成長した。上記の柱を通じて製造プロセスや差別化を通じた製品群、ロボット技術を通じた社会的・経済的価値の創成を図ることとなった。ものづくり産業への貢献は勿論のこと、我が国が直面しつつある社会・経済的な様々な課題に対しても、ロボット技術（RT）が課題解決型技術として貢献し、我が国として持続可能な社会を構築するうえでの一翼を担うことを考えるものであった。

本ビジョンは、どういった社会でありたいかと言った目線で考えたところ、「高い QOL かつ多様な形で自己実現できるウェルビーイングな社会であり、宇宙やデジタル技術を活用しつつ人とロボットが協働することで非常時に暮らしを支えていくこと」を考えた。その下で、いつでもどこでも誰でも直観的に使えるロボットがあふれており、遠隔技術や通信技術や AI によるデータ解析などの共通基盤技術が整っており、安全と安心を担保する仕組みを導入することを方策とした。

しかしながら、ロボットの利活用範囲は幅広いため、今後は、海洋分野等の様々な分野を勉強し、議論していく必要があるとともに、策定したありたき姿に向けた産業の姿を議論して参りたい。これまでの本ビジョンの策定にあたっては、13 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、農業、建設業、製造業、自動運転、安全、法律、ELSI と幅広い分野の勉強会を重ねた。本ビジョンの策定に関わっていただいた皆様に感謝の意を表したい。ロボティクスをとおして、どのような社会でありたいか、どのような方策で取り組むべきか。我々は、これからも多くの方々と共に、幅広い観点で考えたいと考える。

本ビジョンが、社会課題の解決のため、先端技術の実装に関するこれからの方針を考える企業、省庁、団体等の方々のご参考となれば幸いである。

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.0)
2023年5月
一般社団法人日本ロボット工業会
<https://www.jara.jp/>