



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

2024年6月

## 人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて —ロボットへの基盤モデル搭載のために—

Vol. 120

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| はじめに .....                    | 2  |
| 1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像 .....   | 4  |
| 1-1 社会課題と将来像の定義 .....         | 4  |
| 1-2 解決・実現のための方法 .....         | 5  |
| 1-3 環境分析とベンチマーキング .....       | 22 |
| 2章 解決・実現手段の候補 .....           | 30 |
| 2-1 解決・実現のための課題 .....         | 31 |
| 2-2 分析から得られた具体的な実現手段の候補 ..... | 32 |
| 2-3 技術開発の方向性 .....            | 33 |
| 3章 おわりに .....                 | 36 |

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター（TSC）

## はじめに

日本の少子高齢化により、生産年齢人口(15~64歳)の減少が社会問題となつて久しい。昨今、労働力不足が表面化し、従業員不足による企業の廃業、様々な企業による採用者確保の困難、タクシーやバスの運転手不足による公共交通手段の不足、物流・運送業の需要に対する人手不足の逼迫等がニュースとなっている。さらに従業員の労働生産性向上や、製造業における多品種少量生産へのニーズの高まりが社会課題として注目されているところである。このような高齢化が進むことによる労働力不足の状況は、日本のみならず世界各国、特に先進国やアジア各国で共通の問題となっており、世界各国でこの問題に対する対策が喫緊の課題となっている。その中でも日本は、他の先進国に先駆けて少子高齢化の進展が速く、労働人口減少という課題に関しては課題先進国と言える。

昨今、不足する労働力を補うために様々な政策・取組が行われている。例えば、医学的方法として医学等の進歩によって生産年齢の延長を助け生産年齢人口を維持することや、社会的方法として異次元の少子化対策等が行われている。このような方法がある中、NEDO では工学的的方法として人工知能(AI)で制御されるロボットの導入が有効であると考え、2018年にTSC Foresight『人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて』を公表した。その後、世界のAI分野の技術は短期間に著しい発展を見せている。特に、2022年11月に米国企業Open AIから一般に公開されたChatGPTは、人からの言語(自然言語)による様々な分野の質問(プロンプト)に対して、自然な回答を生成するAI(生成AI)が登場したということで話題となった。その話題性から、公開からわずか2ヶ月でユーザー数が1億人に達し、世界の注目を集めた。このChatGPTは、自然言語のテキストデータを大量に学習したGPT-3.5やGPT-4(GPT: Generative Pre-trained Transformer)という基盤モデルを用いている。基盤モデルとは、単一のタスクだけではなく、質問応答、情報抽出、文書作成等多様なタスクに対応できる学習済みモデルの呼称である。

この基盤モデルの技術は、ロボット制御の分野にも広がっており、ロボットの制御にも活用できる基盤モデルとして、DeepMind社のGato(公表時期2022/5)、Google社のPaLM-SayCan(2022/8)、RT-1(2022/12、RT: Robot Transformer)、UniPi(2023/4)、RT-2(2023/7)、RT-X(2023/10)等が次々と発表されるなど、世界中で研究が進んでいる。こうした基盤モデルという技術の急速な発展の状況を踏まえて、今回、改めて基盤モデルの搭載によるAI×ロボット技術分野の更なる高度化に関する方向性を検討した。

## 対象とする技術範囲、用語等について

本レポートにおけるロボットは、車道を走る自動車や自動運転車 (autonomous cars) を除く物理的な実態のあるロボットを対象とし、検索ロボット、チャットボット等の実体のないものは対象としない。これは、ロボット産業と自動車産業が別々の産業として存在しており、それぞれ異なるメーカーが製造を担っているためである<sup>1</sup>。

本レポートで用いる人工知能分野の深層学習、基盤モデル、生成 AI 等の用語の包含関係を図 1 に示す。

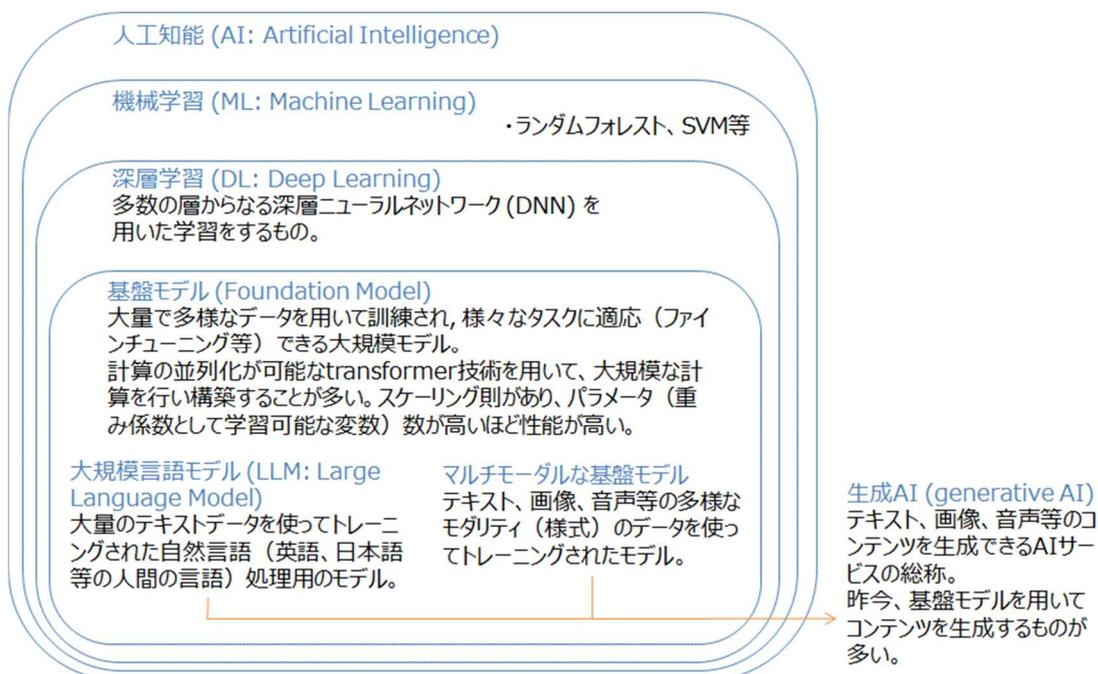


図 1 人工知能分野の用語の包含関係

出典: NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

<sup>1</sup> ISO においても、ロボットの安全規格は、自動車の安全規格とは別に策定されている。また、ロボットメーカーの国際連盟 IFR (International Federation of Robotics) のロボットの定義及び統計レポートには、自動車や自動運転車は含まれていない。

# 1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

## 1-1 社会課題と将来像の定義

世界各国で少子高齢化が問題となっているが、日本の生産年齢人口(15~64 歳)の推移をみると、1995 年の 8,716 万人をピークに減少しており、2022 年現在は 7,421 万人である(図 2)。特に 2022~2025 年の 3 年間で 111 万人減少すると予想されており、1 日に直すと 1,014 人減少することになる。

このため、日本における労働力不足の深刻化という社会問題が大きくなることからその対策が重要な課題となっている。くわえて、日本で実際に働く就業者の労働生産性の向上も、喫緊に必須な重要課題となっている。

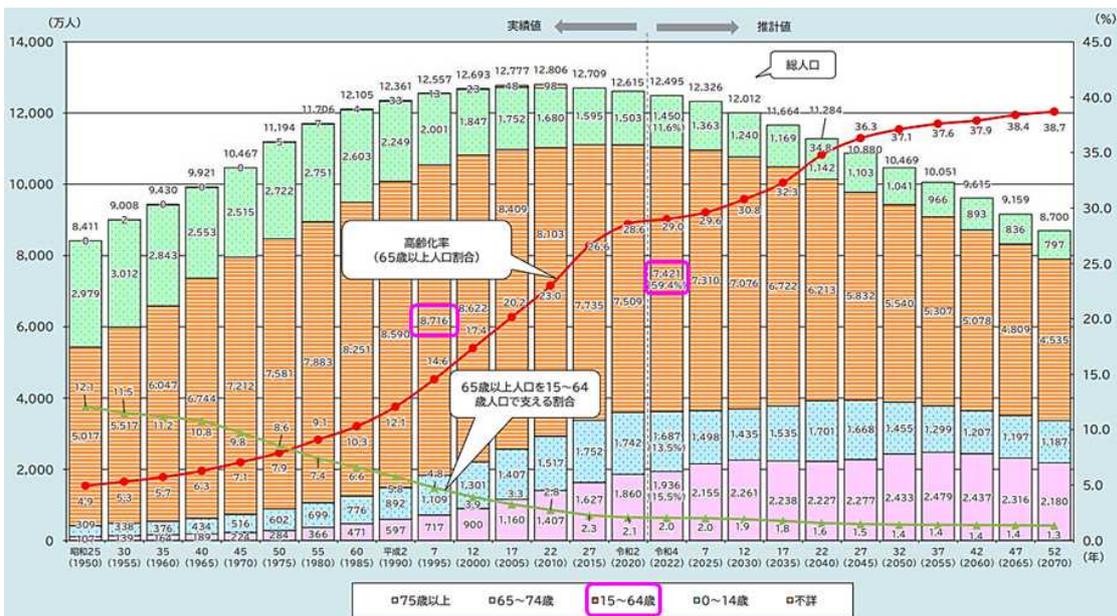


図 2 高齢化の推移と将来推計

出典: 令和 5 年版高齢社会白書(全体版)(内閣府、2023)  
(赤四角は NEDO 技術戦略研究センター加筆)

また、製造業においては、生活者の嗜好の多様化に伴い大量消費の時代が終わりを告げた。製造業では、従来のような大量生産を継続しては余剰在庫が生まれ廃棄物の増加につながるため、これを回避すべく少量多品種生産に移行することが求められるようになり、国連で採択された「持続可能な開発のための 17 の国際目標」(SDGs:Sustainable Development Goals)においては、目標 12「つくる責任つかう責任」として、「持続可能な生産消費形態を確保すること」が掲げられた。ただし、従前

どおりの手法で少量多品種生産に移行することは効率が落ちる懸念もあることから、持続可能な生産に向けては労働生産性の向上が必須となる。

以上のことから、持続可能な社会を実現するための将来像を次のように定義した。

- 各産業分野で労働力が補われ、経済活動が支障なく維持される
- 従業者の労働生産性が向上し、労働時間に余裕が生まれ、WLB(ワークライフバランス)を考慮しながら無理なく働き続けられる
- 廃棄される余剰な物が生産されない

## 1-2 解決・実現のための方法

上述したように、将来の労働力不足への対策、労働生産性の向上という社会課題解決や将来像の実現が求められている。そのための方法の一つとして NEDO では以前『人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて』を公表しており、これは今回の課題解決や将来像実現についても有効と考えられる。しかしながら、最近の人工知能分野における基盤モデルの著しい発展を考慮すると、基盤モデルをロボットに搭載することにより、さらに有効な方法とすることができるものと期待される。そこで本レポートでは、ロボットへの基盤モデルの応用という解決方法に焦点を当て、改めてその開発の方向性を検討することとした。

### (1) 市場予測に基づく人工知能×ロボット技術を応用すべき分野の検討

民間調査会社による人工知能×ロボット分野における日本市場の将来予測を図 3 に、世界市場の将来予測を図 4 にそれぞれ示す。図 3 及び図 4 から、日本市場及び世界市場のどちらにおいても応用分野として「ものづくり(産業用)」、「介護・医療などのヘルスケア」、「倉庫管理・物流」の 2030 年予測市場が大きいことがわかる。上記三つの応用分野は、就業人口も多く、今後大きく市場が成長した時には労働人口減少による労働力不足の影響が大きくなると考えられる。そのため、社会課題解決や将来像の実現のため、まず、これら三つの応用分野について人工知能×ロボット技術の研究開発と実装を検討し、その後、そこで開発した技術を踏まえて他分野への横展開を図っていくことが適切である。

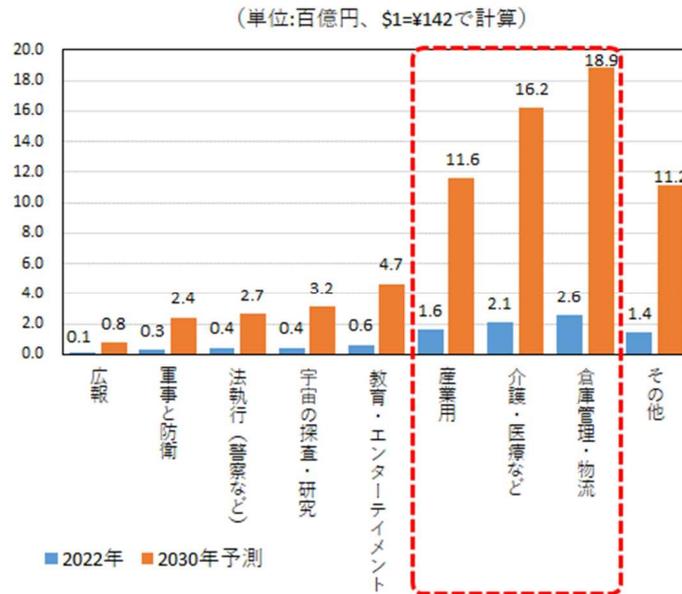


図 3 日本の AI ロボット市場、応用分野別、2022 年・2030 年予測

出典: Global AI Robots Market Research Report (Market Research Future, 2023) を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

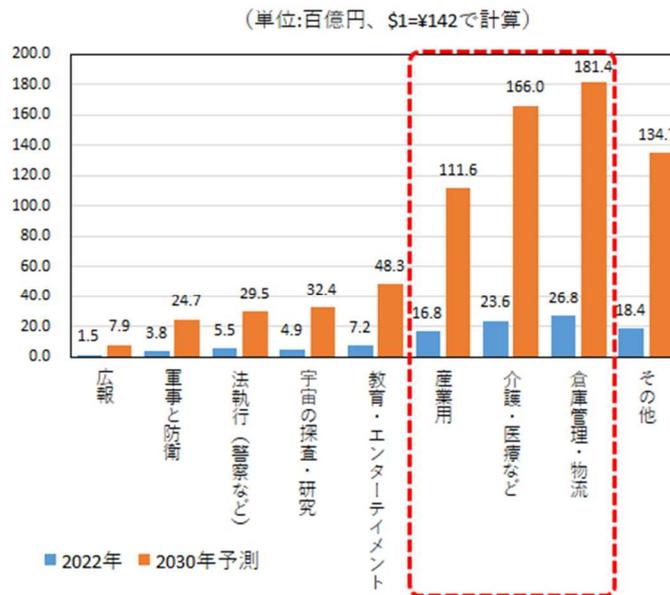


図 4 世界の AI ロボット市場、応用分野別、2022 年・2030 年予測

出典: Global AI Robots Market Research Report (Market Research Future, 2023) を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

## (2) 各応用分野のロボットに係る課題と関係する技術領域の検討

本項では、前述の三つの応用分野について、現状のロボットに係る課題を示す。  
(以下、分野を表す頭文字をそれぞれ、ものづくり M、倉庫管理・物流 L、ヘルスケア Hとする。)

### 【ものづくり M】

ものづくり(産業用)分野について、『ロボット分野における研究開発と社会実装の大局的なアクションプラン(ロボットアクションプラン)』(NEDO、2023)、TSC Foresight『人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて』(NEDO、2018)等を参考に整理した課題を図 5 に示す。ライン生産のベルトコンベア上ではマニピュレーションロボットが動作していることから、ここではそのロボット制御に係る課題を挙げる。

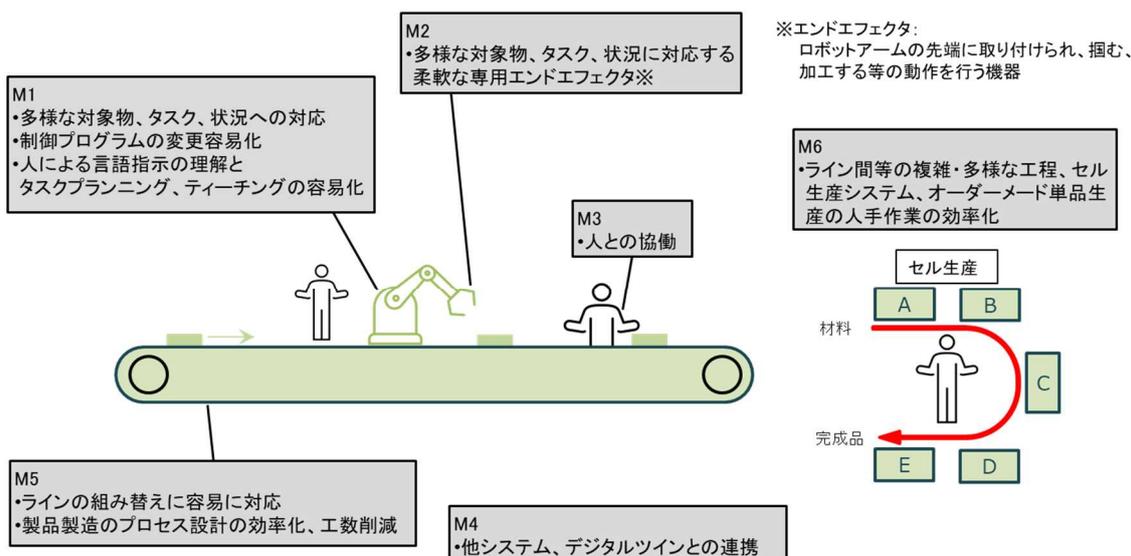


図 5 ものづくり(産業用)分野の課題

出典: NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

### <解決すべき課題>

#### M1

- ・ 多品種少量生産を前提とした、多様な対象物、タスク(作業)、状況(位置ずれ等)に対する柔軟な対応。
- ・ 制御プログラムによる決まった動作しかできず、制御プログラムの変更が必要になった場合に、システムインテグレーター(SIer)等の専門家、技術者に頼らないう変更の実現。

- ・ 人による言語指示の理解とそれに対するタスクプランニング、人の動作指示によるティーチングの容易化。

M2

- ・ 多品種少量生産を前提とした、多様な対象物等に対応する柔軟な専用エンドエフェクタの開発。

M3

- ・ 人がいる空間でのロボット導入を可能とするための安全性と生産性を両立した協働ロボットの開発。

M4

- ・ 他の FA 機器や IT システムとの連携及びデジタルツインやサイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical System) の活用。

M5

- ・ ライン組み替えを含む製造プロセス設計における専門家依存の解消による、時間・費用の低減。

M6

- ・ ライン生産におけるキitting作業、搬送作業の人手依存、多品種少量生産の人作業依存の解消。

## 【倉庫管理・物流 L】

倉庫管理・物流分野について、ものづくり分野と同様の文献を参考に整理した課題を図 6 に示す。倉庫管理・物流分野においては近年、搬送ロボットが商品棚を動かしてピッキング場所まで移動し、人やロボットがピッキング・梱包などを行うシステムが導入されていることから、ここではそのシステムの課題を示す。

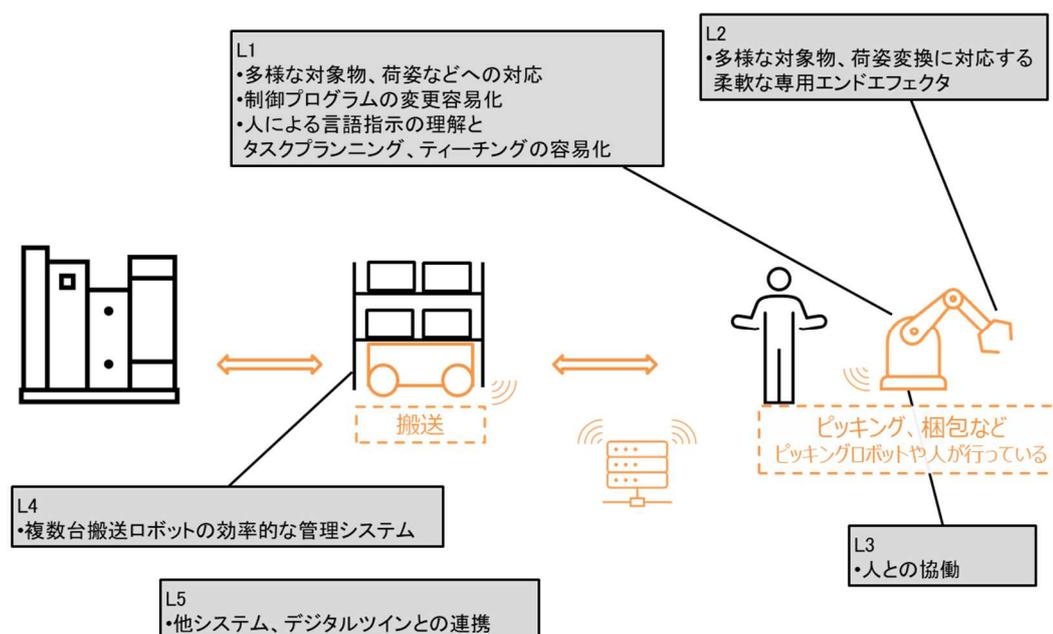


図 6 倉庫管理・物流分野の課題

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2023）

### <解決すべき課題>

#### L1

- 多様な対象物、タスク（作業）、状況（位置ずれ等）に対する柔軟な対応。
- 専門家に頼らないう制御プログラムの変更の実現。
- 人による言語指示の理解とそれに対するタスクプランニング、人の動作指示によるティーチングの容易化。

#### L2

- 荷物の特性に柔軟に対応できる専用エンドエフェクタの開発。

#### L3

- 人がいる空間でのロボット導入を可能とするための安全性と生産性を両立した協働ロボットの開発。

L4

- ・ 経路調停、取扱手順の最適化、スペース利用最適化、複数の搬送ロボットのベンダー横断管理・調停、自己位置ロストの復旧等のイレギュラーのための遠隔操作・制御、クラウドでの制御による搬送ロボット本体の簡素化・コスト削減)など。

L5

- ・ システム間連携、デジタルツインや CPS の構築・活用など。

## 【ヘルスケア H】

介護・医療などのヘルスケア分野について、TSC Foresight『人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて』(NEDO、2018)、『ロボット技術の介護利用における重点分野(概要)』(厚生労働省、2017)等を参考に整理した課題を図 7 に示す。介護・医療などのヘルスケア分野においては、ロボットの活用場面と活用方法が多様であることからロボットの身体も定型ではなく、各場面に応じた身体を持った多様なロボットが必要である。そのため抽象的な課題も含めできる範囲で整理した。

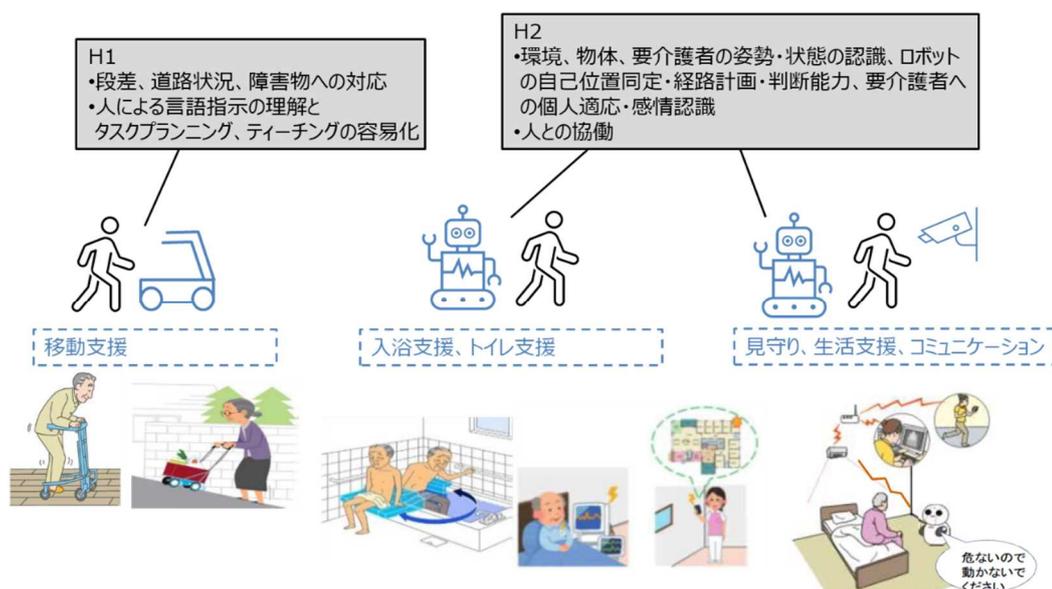


図 7 介護・医療などのヘルスケア分野の課題

出典：ロボット技術の介護利用における重点分野(概要)(厚生労働省、2017)を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

### <解決すべき課題>

#### H1

- 屋内外の段差、屋外の坂道、でこぼこ道、障害物を把握した対応行動の実現。
- 人による言語指示の理解とそれに対するタスクプランニング、人の動作指示によるティーチングが容易に実現。

## H2

- ・ 浴室やトイレを含む施設の環境認識、周囲の物体認識、要介護者の姿勢認識、ロボットの自己位置同定・経路計画・判断能力、要介護者への個人適応・感情認識等の実現。
- ・ 人がいる空間でのロボット導入を可能とするための安全性と生産性を両立した協働ロボットの開発。
- ・ 人による言語指示の理解とそれに対するタスクプランニング、人の動作指示によるティーチングが容易に実現。

ここまで述べてきた課題の解決が期待できるロボットシステムを構成する技術領域を、TSC Foresight『人工知能×ロボット分野の技術戦略策定に向けて』（NEDO、2018）や『ロボット分野における研究開発と社会実装の大局的なアクションプラン（ロボットアクションプラン）』（NEDO、2023）等で、特に「ものづくり」、「物流倉庫」分野を基に5領域を抽出し、課題と各技術領域の相関性を表1に整理した。

表1の整理結果から、各技術領域の中でも、「ロボット制御技術」及び「プロセス設計等の自動化」が多様な課題に対応できることが期待される。これらの技術領域については、最近著しい発展を見せている基盤モデルをロボットに搭載することにより飛躍的に進展する可能性がある。以上のことから、本レポートにおいては、「ロボット制御技術」及び「プロセス設計等の自動化」の技術領域を中心に、基盤モデルのロボットへの搭載に関する研究開発について検討する。

表 1 三つの応用分野の課題とそれらの解決に対応する技術領域

| ロボットシステムを構成する技術領域 |   | ロボット制御技術 | プロセス設計等の自動化 | 専用エンドエフェクタの開発 | 多数台搬送ロボットの制御システム | 連携システム・プロトコルの開発 |
|-------------------|---|----------|-------------|---------------|------------------|-----------------|
| 応用分野の課題           |   |          |             |               |                  |                 |
| 分野共通              | 制御プログラムの変更容易化   | ○        |             |               |                  |                 |
|                   | 人による言語指示の理解とタスクプランニング、ティーチングの容易化                          | ○        |             |               |                  |                 |
|                   | 人との協働   | ○        |             |               |                  |                 |
| ものづくり             | 多様な対象物、タスク、状況への対応   | ○        |             |               |                  |                 |
|                   | 多様な対象物、タスク、状況に対応する専用エンドエフェクタ                              |          |             | ○             |                  |                 |
|                   | ラインの組み替えに容易に対応  | ○        | ○           |               |                  |                 |
|                   | 製品製造のプロセス設計の効率化、工数削減                                      |          | ○           |               |                  |                 |
|                   | 他システム、デジタルツインやCPSとの連携                                     |          |             |               |                  | ○               |
|                   | ライン間等の複雑・多工程、セル生産システム、オーダーメイド単品生産などの人手作業の効率化              | ○        |             |               |                  |                 |
| 倉庫管理・物流           | 多様な対象物、荷姿変換などへの対応   | ○        |             |               |                  |                 |
|                   | 多様な対象物、荷姿変換に対応する柔軟な専用エンドエフェクタ                             |          |             | ○             |                  |                 |
|                   | 多数台搬送ロボットの効率的な管理システム                                      |          |             |               | ○                |                 |
|                   | 他システム、デジタルツインやCPSとの連携                                     |          |             |               |                  | ○               |
| ヘルスケア             | 段差、道路状況、障害物への対応   | ○        |             |               |                  |                 |
|                   | 環境、物体、要介護者の姿勢・状態の認識、ロボットの自己位置同定、経路計画、判断能力、要介護者への個人適応・感情認識 | ○        |             |               |                  |                 |

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2023）

### (3) ロボットに搭載する基盤モデルの研究

ここでは、上記で述べたロボットに搭載する基盤モデルとは具体的にどのようなものかについて説明する。

話題となった ChatGPT の内部で用いられている例えば GPT-3.5 が基盤モデルと呼ばれるものである。この基盤モデルは言語に特化したもので、大量の言語データを学習した大規模な深層ニューラルネットワーク (DNN: Deep Neural Network) のモデルであり、大規模言語モデル (LLM: Large Language Model) とも呼ばれる<sup>2</sup>。

近年、この LLM や、さらに言語データだけでなく画像等のマルチモーダルなデータを学習した基盤モデルをロボットに搭載する研究が米中を中心に世界中で精力的に実施されている。これらの研究が進み、基盤モデルをロボットに搭載することにより、言語指示の抽象さや曖昧さに対する柔軟性やプランニング能力をロボットに実装できる可能性がある。

ここで、現在までに行われた基盤モデルをロボットに搭載した研究例を図 8 及び図 9 に示す。

図 8 は LLM をロボットに搭載してロボット制御を行い話題になった Google の PaLM-SayCan に関する研究におけるロボット全体の概念図である。図の上側が制御部、下側がロボットの視覚センサー (目)、聴覚センサー (耳)、ハンド及び移動手段 (車輪) を表している。ここで採用されているシステムは、LLM である PaLM を上位層に載せて言語によるタスクプランニングを行うものである。タスクプランニングとは、人の指示に対して動作手順を生成し、細かいタスクの系列を出力することである。実際に実世界でロボットが居る所で、様々な細かいタスクが実行できるかどうかは下位層の別の DNN で評価し判断している。

---

<sup>2</sup> この GPT の内部構造は、Transformer というアーキテクチャであるため、Transformer ベースのモデルとも呼ばれる。

## LLM基盤モデルを 搭載したロボット

Google PaLM-SayCan(2022/8)

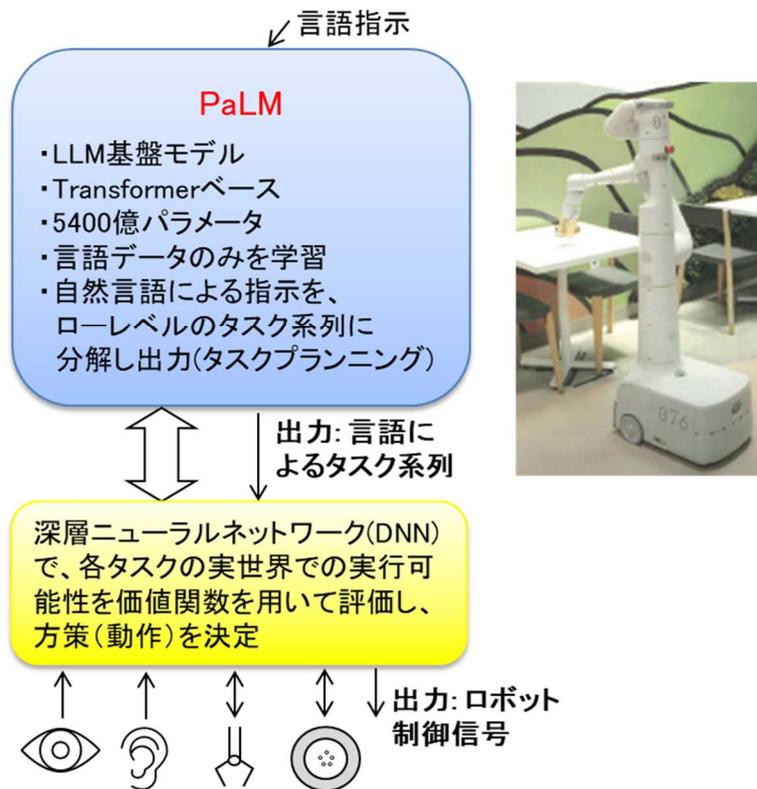


図 8 ロボットの基盤モデルの研究例 (PaLM-SayCan)

出典: 日経 Robotics 2022 年 10 月号 “Sexy Technologies”(日経 BP、2022)を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

### <基盤モデル PaLM の動作説明>

人間が、「オレンジジュースを引き出しにしまって」というテキストによる言語指示をすると、学習済みの LLM によりその言語指示を「引き出しの場所に行く→引き出しを開ける→オレンジジュースを引き出しにしまう→引き出しを閉める→完了」といったローレベルのタスク系列に分解してタスク系列を DNN に出力する。このように基盤モデル PaLM により出力されたタスク系列は、DNN で各タスクの実世界での実行可能性について価値関数を用いて評価され、ロボットの動作を決定してロボットの制御信号を出力する。

LLM は、言語レベルのプランニングに特化しており、LLM が有する抽象的な概念や知識を用いてロジカルな推論を行うことにより、「運動後に合う飲み物と軽食を持ってきて」という抽象的な指示にも対応することが可能となっている。

その後、下位層の DNN で評価し判断していたタスク処理を、言語と画像を融合して学習してマルチモーダル化した基盤モデルによって処理できるようにした Google の RT-1 が発表された。そしてさらに研究が進み、RT-1 では上位層の LLM によるタスクプランニングと下位層の DNN による実際のロボット制御を別の基盤モデルで制御していたものを、図 9 に示すような上位層のタスクプランニングと下位層の実際のロボット制御を一つの基盤モデルで制御する Google の RT-2 が発表された。RT-2 は、画像(例えばロボットの視覚カメラが撮像している画像)、言語及びそのとき出力すべきロボット制御信号をセットにしたマルチモーダルなデータとして学習した基盤モデルであり、この基盤モデル RT-2 をロボットに搭載して制御を行っている。この場合にはロボット動作について膨大な学習データが必要ではあるが、人による言語指示と現時点の視覚(画像)を入力することにより、マルチモーダルな入力データに基づくタスクプランニングからロボットが行うべき動作の制御信号出力までを一気通貫で実施するものである。

また、このマルチモーダル化により、初見タスクの成功率が RT-1 の成功率 32% と比較して 62%に向上したことから、マルチモーダル化によってロボットが学習データにない初見のタスクにも対応できる、いわゆる汎化の能力が期待されている。

# マルチモーダルな基盤モデルを 搭載したロボット

Google RT-2 (2023/7)

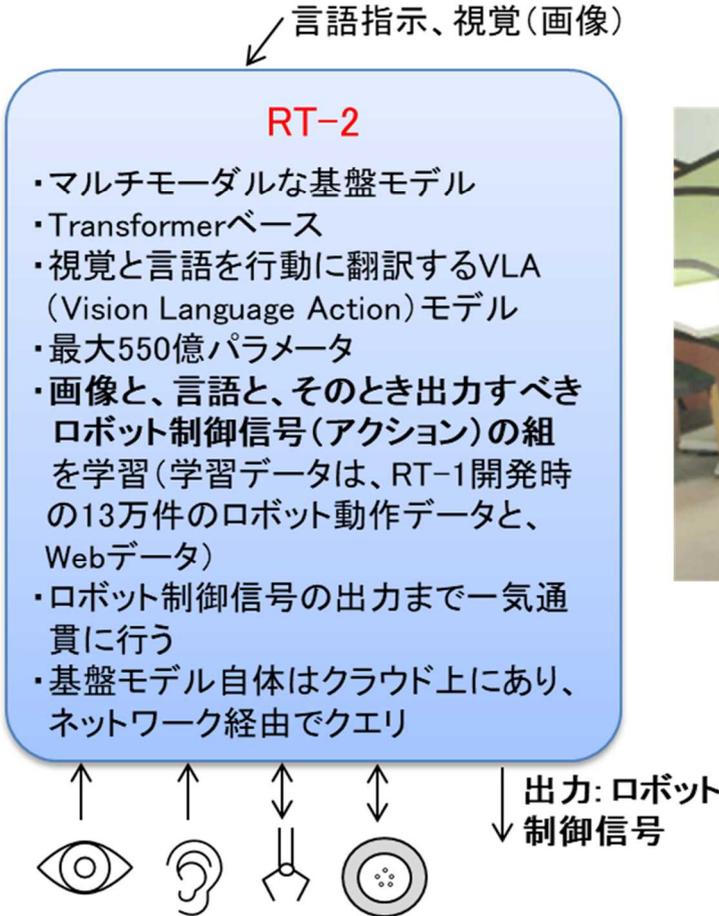


図 9 ロボットの基盤モデルの研究例 (RT-2)

出典: RT-2: New model translates vision and language into action<sup>3</sup>を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

### <基盤モデル RT-2 の動作説明>

人間が、「テーブルから落ちそうな菓子袋を掴んで」というテキストによる言語指示をすると、画像、言語及びそのとき出力すべきロボット制御信号のセットを学習した基盤モデルにより、ロボットの制御信号を出力するまでの一連の処理を一気通貫に実施する。

<sup>3</sup> RT-2: New model translates vision and language into action (Google DeepMind, 2023)  
<https://www.deepmind.com/blog/rt-2-new-model-translates-vision-and-language-into-action/>

上記のような PaLM-SayCan や RT-2 などに用いられている Transformer だけではなく、画像や動画を生成する Diffusion モデルを用いた基盤モデルも登場しており、これをロボットに搭載した研究も行われている。図 10 に示す UniPi は、人による言語指示と現時点の視覚(画像)が入力されたときに、まずその指示に対するゴールの画像を描き、次に現時点の画像からゴールの画像までの動画を Diffusion モデルにより生成し、動画が生成されたら、その動画から逆力学モデルを用いてロボット動作を生成してロボットを動かすものである。

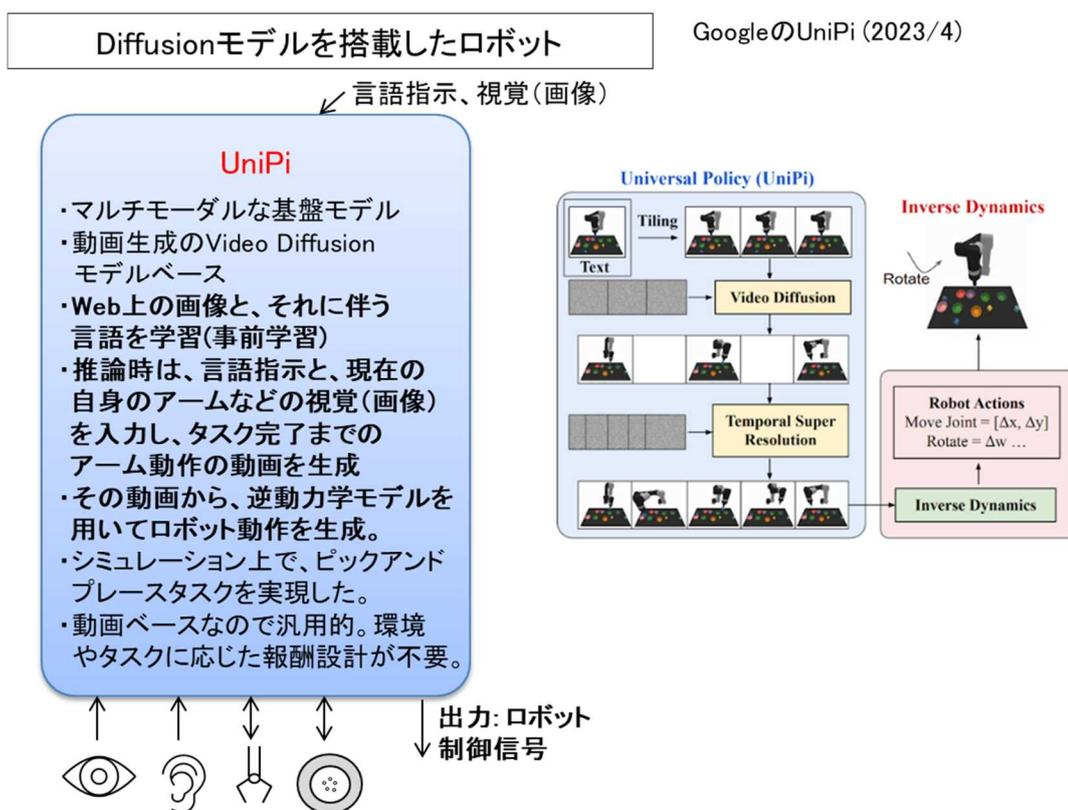


図 10 ロボットの基盤モデルの研究例 (UniPi)

出典: UniPi: Learning universal policies via text-guided video generation<sup>4</sup>を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

### <基盤モデル UniPi の動作説明>

人間が、「赤いブロックを茶色のボックスに移して」というテキストによる言語指示をすると、Web 上の画像とそれに伴う言語を事前学習した基盤モデルにより、

<sup>4</sup> UniPi: Learning universal policies via text-guided video generation (Google, 2023)  
<https://ai.googleblog.com/2023/04/unipi-learning-universal-policies-via.html>

言語指示と、現在の自身のアームなどの画像から指示されたタスク完了までのアーム動作の動画を作成する。具体的には「ゴールの画像を生成する→現時点の画像からゴールの画像までの動画を Diffusion モデルで作成する→作成した動画から逆動力学モデルを用いてロボットの動作を生成する」というタスク系列を処理してロボットの制御信号を出力する。

以上を踏まえ、ロボット制御技術の進展を図 11 に示す。

従来のロボット制御は、技術者によってコーディングされた動作プログラムでローレベルの身体性の制御を行っていた(図 11 の左図)。さらにその制御の上に認識系・識別系のハイレベルな個別処理(個別タスク)を AI によって行えるようにして制御するように進化してきた(図 11 の中央の図)。

これに対して、RT-2 のようなロボットに搭載する基盤モデルは、多様な対象物、タスク、状況のマルチモーダルな学習データを事前学習し、前提知識として獲得することによって、ローレベルからハイレベルまでの制御を一気通貫で行うように進化している。

このように、ロボット制御に用いることで、

- ・人からロボットへの自然言語のコミュニケーション(指示・対話への柔軟な対応)
- ・タスク系列(ロボットの動作系列)のプランニング
- ・動作プログラムの変更の容易化・ノーコード化

が可能になる。

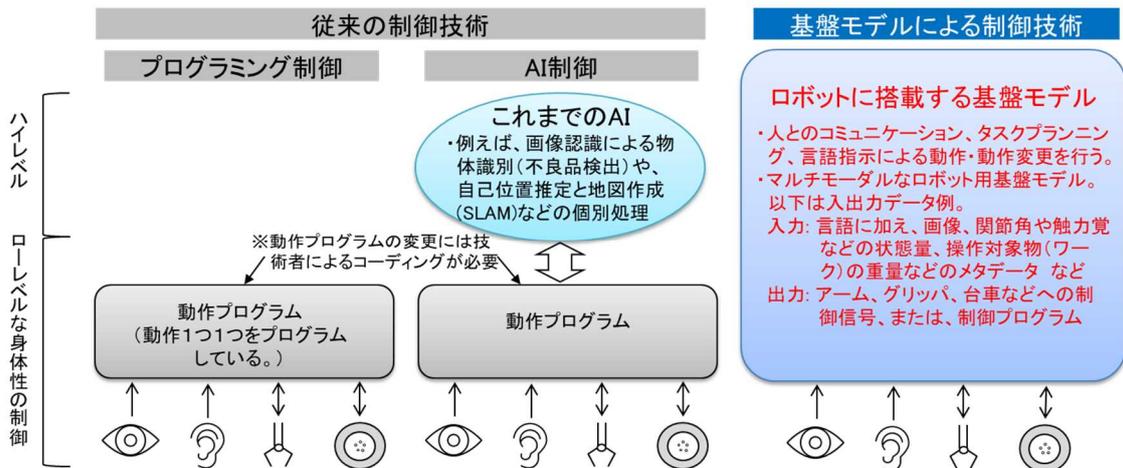


図 11 ロボット制御技術の進展

出典: NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

### 1-3 環境分析とベンチマーキング

1 章で述べたように、日本だけでなく先進国においても高齢化が進んでおり、労働人口減少への対策という社会課題に対してロボットは有効な解決策と考えられる。これまで見てきたように、基盤モデルを搭載したロボットの研究や実用化は、世界中で勢力的に実施されており、今後さらに進展するものと考えられる。そのため、ロボット市場においては、今後、基盤モデルを搭載したロボットの割合が増加することが予想される。

そこで、本節では現状のロボット市場についてベンチマーキング及び関連する技術・政策について分析し、基盤モデルを搭載したロボットが今後のロボット市場においてどのような影響を与えるかを分析し、労働人口減少への対策という社会課題解決に向けた動向を探る。

### (1) ロボット全体の世界市場

図 12 に現状におけるロボット全体の世界市場での売上高の国別シェアを示す。ここでは、ロボットが導入されている市場の全体を俯瞰し、各応用分野の現状を把握するために、ロボット全体の世界市場の調査結果を用いている。なお、ISO のロボットの定義 (ISO-8373) や、ロボット提供側 (ロボットメーカーの国際連盟である IFR) の統計レポートでは、「産業用ロボット」と「サービスロボット」の二つに分けることが多いことから、本レポートにおいても同様の区分に整理したグラフとした。

2021 年現在のロボット全体の世界市場では、日米中が三つ巴で、日本はシェア 24.7% で中国 (27.9%)、米国 (26.5%) に次いで 3 位である。

内訳で見ると、産業用ロボットでは日本はシェア 69.4% で 1 位、サービスロボットでは日本はシェア 11.2% で 4 位である。2021 年現在の産業用ロボット市場の詳細ロボット別内訳 (表 2) を見ると、総じて日本のシェアが高くなっている。

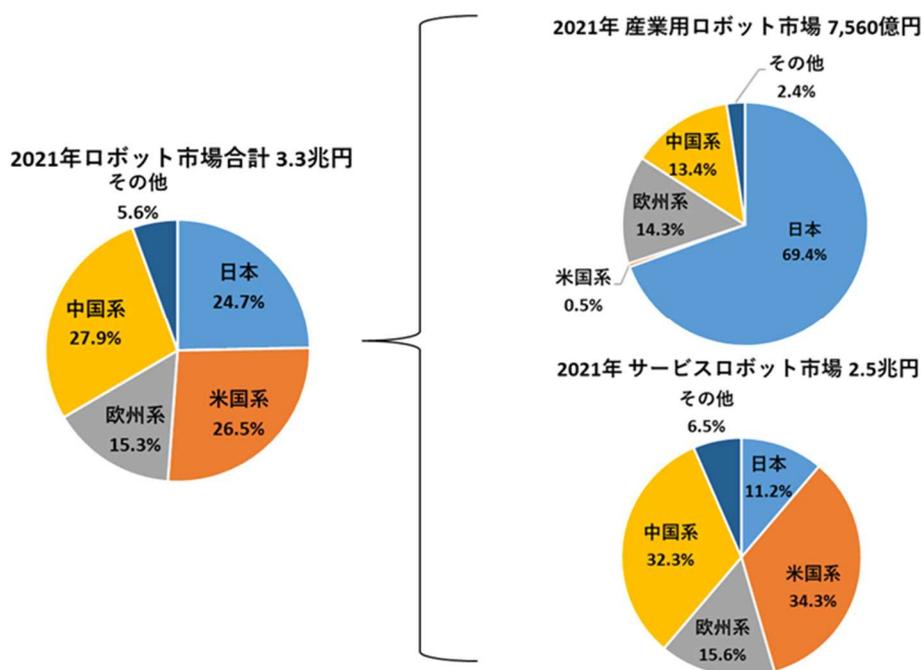


図 12 ロボット全体の世界市場でのシェア (売上高、国別)

出典:「日系企業のモノとITサービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」  
(NEDO、2023)を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2023)

表 2 産業用ロボット市場の詳細ロボット別内訳

| 産業用ロボット<br>(最終製品) | 日系企業<br>(百万円)<br>A | 外資企業<br>合計<br>(百万円)<br>B | 外資企業(百万円) |         |         |        | 世界市場<br>(百万円)<br>A+B | 日系企業<br>シェア(%)<br>A/(A+B) |
|-------------------|--------------------|--------------------------|-----------|---------|---------|--------|----------------------|---------------------------|
|                   |                    |                          | 米国系       | 欧州系     | 中国系     | その他    |                      |                           |
| アーク溶接<br>ロボット     | 105,900            | 32,250                   | -         | 19,900  | 11,400  | 950    | 138,150              | 76.7%                     |
| スポット溶接<br>ロボット    | 99,300             | 78,450                   | -         | 27,300  | 50,700  | 450    | 177,750              | 55.9%                     |
| 塗装ロボット            | 35,450             | 18,550                   | -         | 17,350  | 200     | 1000   | 54,000               | 65.6%                     |
| バリ取りロボット          | 1,850              | 1,080                    | -         | 1,080   | -       | -      | 2,930                | 63.1%                     |
| 研磨仕上げ<br>ロボット     | 760                | 2,100                    | -         | 2,100   | -       | -      | 2,860                | 26.6%                     |
| パレタイジング<br>ロボット   | 25,850             | 15,800                   | -         | 6,100   | 9,300   | 400    | 41,650               | 62.1%                     |
| 取り出しロボット          | 35,400             | 23,820                   | 3,100     | 10,250  | 1,970   | 8500   | 59,220               | 59.8%                     |
| 単軸型ロボット           | 13,360             | 1,590                    | 430       | -       | 490     | 670    | 14,950               | 89.4%                     |
| 直交型ロボット           | 10,590             | 1,800                    | -         | -       | 700     | 1100   | 12,390               | 85.5%                     |
| 卓上型ロボット           | 2,490              | 1,700                    | -         | -       | 730     | 970    | 4,190                | 59.4%                     |
| スカラ型ロボット          | 56,900             | 11,450                   | -         | 5,250   | 3,700   | 2500   | 68,350               | 83.2%                     |
| 小型垂直多関節<br>ロボット   | 96,580             | 32,800                   | △         | 12,500  | 19,600  | 700    | 129,380              | 74.6%                     |
| 双腕ロボット            | 5,100              | 2,200                    | -         | -       | 2,200   | -      | 7,300                | 69.9%                     |
| パラレルリンク<br>ロボット   | 9,750              | 6,900                    | -         | 6,300   | 500     | 100    | 16,650               | 58.6%                     |
| ガラス基板搬送<br>ロボット   | 25,290             | 920                      | -         | -       | △       | 920    | 26,210               | 96.5%                     |
| <b>合計</b>         | 524,570            | 231,410                  | 3,530     | 108,130 | 101,490 | 18,260 | 755,980              | 69.4%                     |

※ △は僅少を示す。

出典:「日系企業のモノとITサービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」  
(NEDO、2023)を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

2021年現在のサービスロボット市場の詳細ロボット別内訳を表3に示す。市場規模が比較的大きいロボットに着目すると、以下の状況を読み取ることができる。

- ・倉庫管理・物流の分野のロボットは日米欧のシェアが高い。
- ・手術用ロボット分野は米国のシェアが高い。
- ・掃除ロボットの分野は米国と中国のシェアが高い。
- ・ドローンの分野は中国のシェアが高い。
- ・農業ロボットの分野は米欧のシェアが高い。

表3 サービスロボット市場の詳細ロボット別内訳

| サービスロボット<br>(最終製品)                   | 応用分野等         | 日系企業<br>(百万円)<br>A | 外資企業<br>合計<br>(百万円)<br>B | 外資企業(百万円) |         |         |         | 日系企業<br>シェア(%)<br>A/(A+B) | 世界市場<br>(百万円)<br>A+B | 合計に対する<br>寄与率(%)<br>(A+B)/合計 |
|--------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
|                                      |               |                    |                          | 米国系       | 欧州系     | 中国系     | その他     |                           |                      |                              |
| 自動倉庫                                 | 倉庫管理<br>・物流   | 145,000            | 371,500                  | 165,000   | 158,000 | 28,000  | 20,500  | 28.1%                     | 516,500              | 20.6%                        |
| 仕分け作業用<br>ロボット                       | 倉庫管理<br>・物流   | 32,000             | 83,800                   | 31,500    | 33,000  | 8,500   | 10,800  | 27.6%                     | 115,800              | 4.6%                         |
| AGV<br>(自動搬送車)                       | 倉庫管理<br>・物流   | 21,420             | 152,080                  | 51,350    | 48,700  | 39,450  | 12,580  | 12.3%                     | 173,500              | 6.9%                         |
| 手術用ロボット                              | 介護・医療         | 600                | 241,400                  | 231,600   | 9,800   | -       | -       | 0.2%                      | 242,000              | 9.7%                         |
| 見守りロボット                              | 介護・医療         | 215                | 105                      | 65        | 40      | △       | △       | 67.2%                     | 320                  | 0.0%                         |
| コミュニケーション<br>ロボット                    | 介護・医療         | 510                | △                        | △         | △       | △       | △       | 100.0%                    | 510                  | 0.0%                         |
| パワーアシスト<br>(入浴支援等<br>の介助者<br>支援ロボット) | 介護・医療         | 4,800              | 1,100                    | 650       | 250     | -       | 200     | 81.4%                     | 5,900                | 0.2%                         |
| 移乗支援<br>ロボット                         | 介護・医療         | 1,320              | -                        | -         | -       | -       | -       | 100.0%                    | 1,320                | 0.1%                         |
| 警備ロボット                               | 屋内サービス        | 450                | 930                      | 930       | -       | △       | -       | 32.6%                     | 1,380                | 0.1%                         |
| 掃除ロボット                               | 屋内サービス        | 18,000             | 356,000                  | 190,500   | 5,500   | 136,000 | 24,000  | 4.8%                      | 374,000              | 14.9%                        |
| 探査ロボット                               | フィールド<br>(屋外) | 230                | 420                      | 310       | 70      | -       | 40      | 35.4%                     | 650                  | 0.0%                         |
| 計測ロボット                               | フィールド<br>(屋外) | 30                 | 90                       | 30        | 60      | -       | -       | 25.0%                     | 120                  | 0.0%                         |
| インフラ点検用<br>ロボット                      | フィールド<br>(屋外) | 660                | 2,490                    | 1,560     | 930     | -       | -       | 21.0%                     | 3,150                | 0.1%                         |
| 鉱山用ロボット                              | フィールド<br>(屋外) | 26,000             | 14,200                   | 14,200    | -       | △       | -       | 64.7%                     | 40,200               | 1.6%                         |
| 無人航空機<br>(産業用<br>ドローン等)              | フィールド<br>(屋外) | 2,800              | 812,000                  | 103,000   | 36,000  | 587,000 | 86,000  | 0.3%                      | 814,800              | 32.5%                        |
| 農業ロボット、他                             | 農業、他          | 26,200             | 187,230                  | 69,250    | 98,750  | 10,500  | 8,730   | 12.3%                     | 213,430              | 8.5%                         |
| <b>合計</b>                            |               | 280,235            | 2,223,345                | 859,945   | 391,100 | 809,450 | 162,850 | 72.1%                     | 2,503,580            | 100%                         |

※ △は僅少を示す。

※ 出典の報告書において、「農業ロボット」は、「自動運転農機」と「農業用ドローン」を合計したものの。

出典:「日系企業のモノとITサービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」  
(NEDO、2023)を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

## (2) 産業用ロボットの世界市場の企業別シェア

産業用ロボットの世界市場における、売上高の企業別シェアを表 4 に示す。日本企業は 10 位中に 6 社が入っている。

表 4 2021 年の産業用ロボットの世界市場でのシェア(売上高、企業別)

| 順位   | 会社名       | 国    | 市場シェア |
|------|-----------|------|-------|
| 1 位  | ABB       | スイス  | 16.0% |
| 2 位  | ファナック     | 日本   | 14.8% |
| 3 位  | 安川電機      | 日本   | 10.0% |
| 4 位  | ストーブリ     | スイス  | 9.1%  |
| 5 位  | コマウ       | イタリア | 8.7%  |
| 6 位  | クーカ(美的集団) | 中国   | 8.0%  |
| 7 位  | 川崎重工業     | 日本   | 5.6%  |
| 8 位  | ヤマハ発動機    | 日本   | 4.9%  |
| 9 位  | Siasun    | 中国   | 2.7%  |
| 10 位 | エプソン      | 日本   | 1.6%  |
| 10 位 | 不二越       | 日本   | 1.6%  |

出典:産業用ロボット業界の世界市場シェアの分析<sup>5</sup>を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

## (3) 基盤モデルを搭載したロボットの技術動向

基盤モデルを搭載するロボットについて、各国の技術開発をまとめたものを表 5 に示す。

基盤モデルを搭載するロボットについては、米国の Google がロボットの基盤モデルの研究開発をリードしており、次いで中国もロボットの基盤モデルの開発を進めようとしている様子が窺える。顕著な動きとして、米中の各社でヒューマノイドの量産の動きがある。今後、ヒューマノイドに基盤モデルが搭載されれば、新たなコンシューマ(家庭用)ロボットが登場し、新規市場となる可能性もある。

日本では、基盤モデルを搭載するロボットそのものではないが、認知発達ロボティクス分野の研究が世界的にも進んでいる分野となっている。例えば、模倣学習や予測学習(予測誤差最小化原理)の研究が進められている。これらの研究をロボットの基盤モデルと組み合わせることにより、人の教示による少量の学習データで学

<sup>5</sup> 産業用ロボット業界の世界市場シェアの分析(deallab、2020) <https://deallab.info/industrial-robot/>

習させることができ、その結果ロボットにリアルタイムでよりスムーズな動作をさせることができる可能性が考えられる。

表 5 基盤モデルを搭載したロボットの技術動向

| 国  | 技術動向  | 事例(企業)  |
|----|---|---|
| 米国 | <ul style="list-style-type: none"> <li>LLM をロボットに搭載し、人の言語による曖昧な指示に対応</li> <li>マルチモーダルな基盤モデルをロボット用に開発し、言語指示からロボット動作制御信号の出力までを一気通貫で実施</li> <li>ロボット用基盤モデル開発のために、世界各国の研究機関からロボットの動作データを収集</li> <li>Diffusion モデルを使い、画像や動画の生成からロボット動作制御信号を出力</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>PaLM-SayCan</li> <li>RT-2</li> <li>RT-X</li> <li>UniPi (Google)</li> </ul>   |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>米国各社が、ヒューマノイドの量産の動きがある</li> <li>基盤モデル搭載によりコンシューマ(家庭用)ロボットが登場し、新規市場となる可能性がある</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimus(テスラ)</li> <li>Digit(Agility Robotics)</li> <li>Figure 01(Figure AI)</li> </ul>   |
| 中国 | <ul style="list-style-type: none"> <li>中国においても米国のようにヒューマノイド量産の動きがある</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>CyberOne(シャオミ)</li> </ul>  |
| 日本 | <ul style="list-style-type: none"> <li>企業・大学で認知発達ロボティクス分野の研究が進んでいる</li> <li>(模倣学習や予測学習等)人の教示による少量データ学習や、ロボットのリアルタイムでスムーズな動作を研究している</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>深層予測学習型ロボットの制御技術研究(日立製作所・早稲田大学)</li> <li>産業用ロボットにおける AI 模倣学習の製品化[液体秤量、粉体秤量、ハーネス組付などの作業を学習](デンソーウェーブ)</li> <li>ムーンショット目標 3 「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」</li> </ul> |

出典: NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

#### (4) ロボット関連分野の政策動向

ロボットに関する、各国の政策を表 6 に示す。各国とも、ロボットの研究開発を進める政策を打ち出している。

表 6 ロボット関連分野の政策動向

| 国                     | 政策名   | 内容   |
|-----------------------|---|--|
| 米<br>国                | A Roadmap: From Internet to Robotics (2020 年)                                 | 人とロボットが共生する世界の到来を前提に、「ロボットとのコミュニケーションに関わる技術の研究開発」や「ロボットとの協働を前提としたワーカーの育成」を提言。  |
| 中<br>国                | 中国製造 2025 (2015 年 5 月)  | 「生産型製造業」から「サービス型製造業」への転換に向け、「専門技術に加え、システム総合や経営ノウハウを持つ人材の養成」及び「外資企業買収の奨励(規制緩和・税制優遇)等イノベーション創出のための制度整備」を提言。  |
|                       | 北京市ロボット産業イノベーション発展行動方策 2023-2025 年 (2023 年 6 月)                               | 2025 年までにロボット中核産業の規模を 300 億元(約 5,980 億円)以上に引き上げ、国内トップクラス、世界でも最先端のロボット産業集積都市となる目標。  |
| 日<br>本                | ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性(2019 年 7 月)   | 経済産業省 ロボットによる社会変革推進会議が策定。我が国において、引き続きロボットの社会実装を推進していくことが最重要とし、Sler も含めたエコシステムの構築を提言。   |
| E<br>U                | Horizon 2020 (2014 年 1 月)<br>Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap (2016 年 12 月) | 金融危機後の EU 経済の土台を築くために、「研究室から産業へ、そして市場へ」を掲げ、産学連携によるイノベーション創出の取組に対し、770 億ユーロを助成。ロボットについては、23 のプロジェクトを実施(年間 2 億ユーロを助成)。   |
| デ<br>ン<br>マ<br>ー<br>ク | Strategy for Denmark's Digital Growth (2018 年)                                | 世界におけるデジタルフロンティアとなることを目指し、「生命科学・環境・ロボティクス等の分野の研究開発への税制優遇等支援」、「初等・中等教育での STEM 人材教育の充実」を推進。<br>また、オーデンセ市では、自治体を挙げて、世界有数の企業とも連携しつつ、ロボティクスに係る技術、経営に関するプロフェッショナル集団による基礎研究から市場参入までの一貫通貫型支援を実施。 |

出典: ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性<sup>6</sup>を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

<sup>6</sup> ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性(経済産業省、2019)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/robot\\_shakaihenkaku/pdf/20190724\\_report\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/robot_shakaihenkaku/pdf/20190724_report_01.pdf)

#### (5)まとめ

ロボットの基盤モデルの研究では、米国が世界をリードしており最も重要な国と言える。次いで、言語の基盤モデルである LLM を有し、ロボットの基盤モデルの開発も進めようとしている中国が重要な国と言える。日本は、これまでロボットで世界を牽引してきており、特に産業用ロボットの市場では高いシェアを維持している。一方、ロボット制御用の基盤モデルの開発は、米国・中国がリードする中で日本は遅れており、このままでは将来の基盤モデルを搭載したロボットの市場で負けてしまう(販売シェアを失う)ことが懸念される。

世界市場で高いシェアを有する日本のロボット企業等には、ロボットの動作データの蓄積が豊富にあり、今後もロボットの動作データを取得できる環境が整っていると見える。これは、ロボット用基盤モデル開発における強みであり、世界で高度な基盤モデルが構築されて様々なロボットに搭載されようとしているタイミングである今、日本の強みを活かして基盤モデル×ロボットの分野で海外に並ぶ研究開発を進めることが重要である。

## 2章 解決・実現手段の候補

本章では、ロボットに搭載する基盤モデルの技術開発について、解決・実現手段の候補を検討する。基盤モデルを搭載したロボットによって、前述の三つの応用分野での課題に対してどのような解決が期待できるかについて以下に示す。

### ■ものづくり(産業用)分野

ライン上のマニピュレーションロボットでのシナリオに加え、ライン前やライン間で行われている人手作業を、基盤モデルを搭載したロボットで補うシナリオが考えられる。また、製品や製造プロセスなどのドキュメント群を学習した基盤モデルを用いてプロセス設計を行う生成 AI を構築し、設計者の労働生産性を向上することが考えられる。

### ■倉庫管理・物流分野

倉庫管理における在庫や払出し等のデータ、物流における運搬物資の状況等に係る精度の良い学習データを大量に基盤モデルで学習することにより、多様な対象物、個体認識、荷姿変換、タスク、環境に柔軟に対応できるようになる可能性がある。

### ■介護・医療などのヘルスケア分野

基盤モデルによって人との言語対話が可能になることにより、対象とする人の個性や感情の変化、人の置かれた環境の多様性にも柔軟に対応できるようになることが期待される。

## 2-1 解決・実現のための課題

ロボットに搭載する基盤モデルの開発について、主たる課題を図 13 に示す。

### ①実世界で動作するロボットに搭載する基盤モデルの国内での設計・構築

現状、言語・画像の基盤モデル、ロボットに搭載する基盤モデルは海外で構築されている。将来、海外企業やその所在国の意向により基盤モデルの提供が滞った場合、国内のロボットへの基盤モデルの搭載に影響を与えることが懸念される。また、海外で構築されたモデルを用いることで、国内の関連する人材育成が進まないということも懸念される。

### ②ロボット用基盤モデル構築のための大量のマルチモーダルな学習データの収集

ロボットに搭載する基盤モデルを設計・構築するためには、搭載するロボットの用途と身体性に応じたロボット動作に関する言語以外の音声や動画などのマルチモーダルな学習データが必要不可欠である。そのため、汎用性のある基盤モデルとするためには、ある程度サイズ・仕様・メーカー間差異などの範囲に対応した大量なマルチモーダルな学習データを収集する必要がある。

### ③基盤モデル構築の演算のための膨大な計算資源の確保

基盤モデルを構築するためには、上述のように大量のマルチモーダルな学習データが必要であり、それらの膨大なデータ量を学習させるための高い計算能力を有する計算資源を確保することが必要である。特に、国内で基盤モデルを構築するためには、それらの計算資源を国内に確保することも重要である。

### ④実世界でロボットがリアルタイム動作するための高速な推論実行

実世界においてロボットのリアルタイムな動作を実現するためには、クラウド環境のデータセンタにデータを転送して処理させるのではデータ転送による処理の遅延が発生するため、ロボット本体内のエッジや近接サーバでの推論などを可能にする実行環境が必要である。

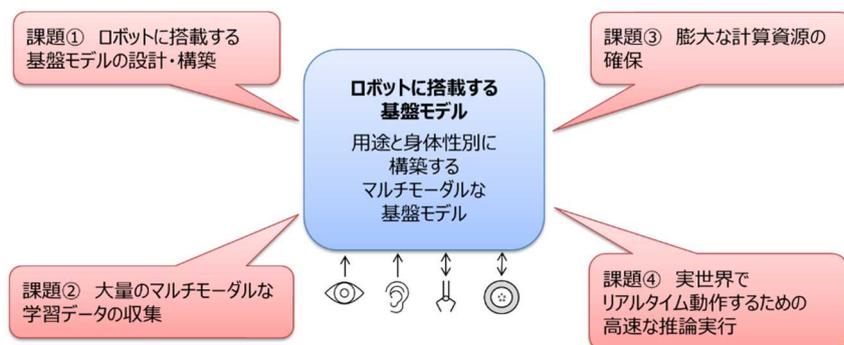


図 13 ロボットに搭載する基盤モデルの開発における主たる課題

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2023）

## 2-2 分析から得られた具体的な実現手段の候補

上述の四つの課題に対して、これらの課題を解決するために検討した具体的な実現手段の候補を表 7 に示す。ここでは、具体的な実現手段の候補とその研究を行っている事例及びその具体的な実現手段の候補のそれぞれについて、どのような期待効果や懸念点があるのかを整理して記載した。

表 7 具体的な実現手段の候補

| 課題  | 具体的な実現手段の候補                          | 事例   | 期待効果や懸念点、注釈  |
|---|--------------------------------------|--|--|
| ①<br>ロボット制御用<br>基盤モデルの<br>設計・構築           | 外国で設計・構築された<br>基盤モデルを導入して<br>適用      | Googleの<br>PaLM-SayCan,<br>RT-2 など                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 短期間で設計・構築できる。</li> <li>• ブラックボックスが多く、日本のユースケースに<br/>適応させる加工が不可能。</li> <li>• 開発時に使用する学習データの漏洩。</li> <li>• 日本の研究開発者が育たない。</li> </ul>    |
|   | 日本で基盤モデルを<br>設計・構築                   | —  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本の研究者が基盤モデルの技術や仕組み<br/>を理解することで育成される。</li> <li>• ロボットメーカーが多い日本では、ロボットの身<br/>体性に考慮した基盤モデルが構築し易い。</li> <li>• 設計・構築に長期間を要する。</li> </ul> |
| ②<br>大量の<br>マルチモーダルな<br>学習データの<br>収集      | 外国で基盤モデル構築の<br>ために蓄積されたデータを利用        | GAFAMが蓄積した<br>データ                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 非公開で提供されない。</li> <li>• 日本の規格・書式に適合せず活用できない。</li> </ul>  |
|   | 日本でロボットを通じて<br>マルチモーダルなデータを<br>収集    | 産総研や日本の<br>ロボットメーカーに<br>蓄積されているデータ                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本のユースケースに適合する基盤モデルに<br/>活用することが容易。</li> <li>• 大量のデータ収集には各組織の協力が必要。</li> </ul>  |
|   | 3Dシミュレーションなどで<br>データを作成              | 九工大のデータセット<br>自動生成研究                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 実世界では得難い学習データを生成し収集<br/>できる。</li> </ul>   |
| ③<br>膨大な<br>計算資源の<br>確保                   | 外国の計算資源を確保                           | 外国企業の<br>クラウドサービス                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• データの漏洩</li> </ul>   |
|   | 日本の計算資源の増強と<br>確保                    | 産総研のABCI、<br>理研の富岳 等                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ハードウェア調達の困難さ</li> <li>• 膨大なエネルギー消費</li> </ul>   |
| ④<br>実世界で<br>リアルタイム動作<br>するための<br>高速な推論実行 | 分散型アーキテクチャによ<br>るロボット近傍マシンでの<br>推論   | —  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• これらは互いに対立するものではなく、用途<br/>に応じて組み合わせて使われる技術である。</li> <li>• 開発には多くの時間と、開発能力を有する<br/>人材が必要である。</li> </ul>                                 |
|   | 基盤モデルでの推論が<br>可能なエッジ<br>コンピューティングの開発 | LeapMind(日本)の<br>FPGA、<br>ルネサスエレクトロニクス<br>のAIアクセラレータ |  |
|   | ニューロモルフィック・<br>コンピューティングの開発          | パナソニックのアナログ<br>抵抗変化素子、<br>デンソーのメモリスタ                 |  |
|   | 学習済みモデルを変換し<br>軽量化                   | 知識蒸留、枝刈り、<br>量子化                                     |  |

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成(2023)

## 2-3 技術開発の方向性

表 7 で示した具体的な実現手段の候補についてそれらの手段を実施するにあたって、特に、課題①ロボットの基盤モデルの設計・構築と、課題②大量のマルチモーダルな学習データの収集については、次のように大きく二つの実現手段が考えられる。

(a) 外国で設計・構築された基盤モデルを導入して適用

(b) 日本で基盤モデルを設計・構築

(a) の実現手段については、期待される効果として短期間でロボットに基盤モデルを導入できる可能性がある。その一方で懸念される点としては、外国政府による安全保障上の政策や外国企業の意向により、基盤モデルが提供されなくなることが挙げられる。また、主に米国で構築されている現在のロボットに搭載される基盤モデルは、研究初期の段階であり、まだ実世界での実用に耐えられるものとはなっていないことから、国内で製造されているロボットに搭載しても十分な性能を発揮できないことが考えられる。さらに、基盤モデルが外国で設計・構築されるため、日本におけるこの分野の研究開発者の育成が進まないという懸念点も考えられる。以上のことから、この場合の手段を候補とする際には、上記のような懸念点を克服するための方策をあわせて検討することが必要である。

(b) の実現手段については、ロボットに搭載する基盤モデルを設計できる人材として AI の研究開発者やロボットの研究開発者の確保が必要である。国内における人材の現状及び人材育成の状況を踏まえるとこれらの人材は現在だけでなく将来にわたって不足すると予想されており<sup>7</sup>、必要な人材の不足が懸念される。一方、ロボット用の基盤モデルは、ロボットの身体性に考慮して構築する必要があり、ロボットメーカーが多く存在する日本には、多様なロボットに合わせた基盤モデルを構築できるポテンシャルがある。さらに、外国で設計・構築された基盤モデルでは、日本語や日本国内の環境に関わる事前学習用データが少ないが、日本で構築する場合はそのようなデータを増やすことが可能であり、日本での運用・動作に、より適応することが期待される(海外に輸出する場合は輸出先に合わせたカスタマイズができることが望ましい)。また、日本での研究開発を進めることにより日本の AI の研究開発者やロボットの研究開発者の育成が進むというメリットが考えられる。

なお、上記(b)を実現手段の候補として実施する場合には、以下の観点から国が積極的に関与する必要がある。

- ロボットの動作データを学習データとして収集する際には、様々な企業(ロボットメーカー、ロボット Sler、ロボットのユーザー企業等)・団体の協力や連携が必

<sup>7</sup> 特に、AI については、2030 年には 79 万人が不足するとの予想がある。AI 人材育成の取組(経済産業省) [https://www.meti.go.jp/shingikai/economy/jinzai\\_ikusei/pdf/001\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/economy/jinzai_ikusei/pdf/001_03_00.pdf)

要である。これらのステークホルダーは個々に企業独自の特許やノウハウに関するデータを有している可能性があるため、政府や国研等のイニシアチブ、働きかけ等の施策が必要になる。

- 膨大な計算資源の確保について、計算資源の増強と確保には莫大な費用が必要であり、個社では難しいかハイリスクであり、国として必要な規模の計算資源を確保していく取組が必要になる。
- 基盤モデルを搭載したロボットの市場投入で、産業用ロボット、サービスロボット、人が居る空間で動作する協働ロボットには、ISO・JIS 安全規格が定められている<sup>8</sup>ことから国と企業の議論や規格対応が必要になる。
- 市場に投入される基盤モデルを搭載したロボットについては、その ELSI<sup>9</sup>や社会受容性を考慮することが必要となる。これらを考慮する際には、様々なステークホルダーとの間で議論や規格の検討が必要になることから、国の関与が必要になる。
- 基盤モデルを搭載したロボットを世界市場に投入する際には、市場となる国や地域毎に搭載した基盤モデルに係る異なった AI の法制度に対応する必要がある。例えば、EU で承認された『AI Act』では、実体のあるロボット用の AI は、高リスク AI として市場投入前後に評価対象となる可能性がある。このような国際間の法律や規制への対応は個社では困難であることから、国の関与が必要になる。

---

<sup>8</sup> 関連する規格例は、産業用ロボット:ISO 10218、サービスロボット:ISO 13482、協働ロボット:ISO/TS 15066 等が挙げられる。

<sup>9</sup> Ethical, Legal, and Social Issues: 倫理・法・社会的課題

## コラム

### ・新たなロボット市場創出

ロボットへの基盤モデルの搭載により、ロボットがタスクプランニングと人との言語対話を行うことが可能になるため、家事などを行う全く新しいコンシューマ(家庭用)ロボットなど、非連続で大きな新規市場が登場する可能性がある。

その例として、企業ヒアリングやニュース発表などで得られた知見であるが、米国や中国では、ロボットのコンシューマ化を見据え、二足歩行ロボットいわゆるヒューマノイド(テスラ社の Optimus、Agility Robotics 社の Digit、Figure AI 社の Figure 01、シヤオミ社の CyberOne など)を開発・量産する動きがある。

### ・ロボットの基盤モデル開発の人工知能研究への波及効果

基盤モデルを搭載したロボットの開発は、言語における概念と実世界の物とが繋がり、相互作用することで、人工知能研究におけるシンボルグラウンディング(注1)や世界モデル(注2)構築への波及効果もあり、これにより今注目されている「汎用人工知能の開発」に大きく貢献できるものと考える。

(注1)シンボルグラウンディングとは、人工知能(AI)の知識表現などの記号システムに対して、そこで使われる記号を、実世界の実体をもつ意味に結び付けること。これまでその結び付けがうまくできないという問題があり、シンボルグラウンディング問題と呼ばれている。

(注2)世界モデルは外界(世界)から得られる観測情報に基づき外界の構造を学習によって獲得するモデル【引用元】東大 松尾・岩澤研究室 Web ページより

<https://weblab.t.u-tokyo.ac.jp/20221130-1/>

### 3章 おわりに

本レポートでは、日本を含めた先進国を中心として、世界が直面する解決すべき社会課題である労働人口減少への対策と、それに伴う労働生産性向上などによって実現したい将来像を示し、日本が世界でのシェアを有している産業用ロボットを含めたロボット市場の将来予測から、社会課題を解決して将来像を実現する方法としてロボットに搭載する基盤モデルの開発を提案した。

基盤モデルに関しては、OpenAI 社の文章生成 AI である ChatGPT の登場以来、言語データによる基盤モデルである GPT が話題となり、またそれを用いた電話対応を代替する Chatbot などのアプリケーションも続々と登場して社会実装されている。その後、基盤モデルを用いた生成 AI の波は GPT-3.5 までの言語データのみによる基盤モデルの構築から、音声、画像、動画といったマルチモーダルなデータによる基盤モデルの構築へと広がり、音楽生成 AI、画像生成 AI、動画生成 AI も登場しており、連日生成 AI のニュースを見ない日はない程、世界中で生成 AI に関する技術の進歩は驚異的な速さで進んでいる。

そしていよいよ、その波はロボットのセンサー情報や制御情報を飲み込み、ロボット制御を行う分野にまで広がってきており、日本が得意としているロボット分野への基盤モデルの搭載も米国や中国を始めとして研究開発競争が激化している。しかしながら、その研究開発は初期段階であり、まだ実世界での実用に耐えられるものはできていない。他方で、日本はこれまで産業用ロボットを中心としたロボット分野において研究開発、社会実装で世界を牽引し、そこで培った経験やノウハウを有しているという強みがある。この強みを活かして日本が基盤モデルによるロボット制御の研究開発に参画し、基盤モデルを搭載したロボットの実用化力を存分に発揮することにより、引き続き世界でのシェアを維持していくことが重要である。そして、将来、産業用ロボット以外の分野も含めたロボットに基盤モデルを搭載することによってロボット分野全体が大きく発展すれば、日本をはじめとする世界の労働人口減少への対策という喫緊の社会課題を解決し、基盤モデルを搭載したロボットとの協働によって一人一人の生産性を向上させて、実現すべき将来像に近づくことができると考える。

そのためにも、基盤モデルを搭載したロボットの開発と導入を日本において推し進めることは、必須であり大きな意義がある。その開発と社会実装に向けて、政府、大学等の研究機関、ロボットメーカー、IT 企業、ロボット Sier、ロボットユーザー(企業・個人)などの多様なステークホルダーが連携し、取り組んでいくことが重要である。

技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight Vol.120

人工知能×ロボット分野の技術の技術戦略策定に向けて  
2024年6月28日発行

TSC Foresight Vol.120 人工知能×ロボット分野作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■センター次長 植木 健司

## ■デジタルイノベーションユニット

- ・ユニット長 伊藤 智
- ・統括研究員 桜井 茂行 (2024年3月まで)
- ・主任研究員 吉野 順也 (2023年9月まで)
- ・研究員 仙洞田 充
- ・フェロー 林 秀樹 国立大学法人横浜国立大学 先端科学高等研究科 客員教授  
高木 宗谷 元 トヨタ自動車株式会社 理事  
山口 佳樹 国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授  
麻生 英樹 国立研究開発法人産業技術総合研究所  
人工知能研究センター 招聘研究員  
尾形 哲也 学校法人早稲田大学 理工学術院 教授

## ■調整課

- ・職員 加藤 浩瑞

●本書に関する問い合わせ先  
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。  
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。  
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。  
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。