

ロボティクス4.0革命とは あらゆる産業・都市へのロボット拡大と ロボットエコシステムを通じた水平分業・民主化



小宮昌人



岩崎はるな

CONTENTS

- I ロボットの進化とロボティクス4.0
 - II 【ロボティクス1.0～2.0】ロボットの導入期から産業ロボット普及・ロボットエコシステムの普及
 - III 【ロボティクス3.0】人と協調するロボット・移動ロボットの進展を通じた活用領域の拡大
 - IV 【ロボティクス4.0】ロボットプラットフォームによる「ロボットの民主化」とロボットエコシステム
- 終わりに

要 約

- 1 コロナ禍で非接触でのオペレーション・サービスが求められる中で、あらゆる産業や都市領域にまでロボット革命「ロボティクス4.0」が進んできている。
- 2 人との協調機能や、障害物や人との衝突を回避できる移動機能、シミュレーション・デジタルツイン技術の進展などがこれらを支えている。
- 3 加えて、ロボットのオペレーションシステム（OS）技術を提供するプラットフォーム企業をはじめ、ロボットエコシステムも整備されている。ロボット展開企業はこれらの企業と連携し、高度なロボットエコシステムを活用することで新規参入が容易となる。
- 4 今までのロボット専門メーカーによる展開から、誰もがロボット企業となれるロボットの民主化・水平分業が進んできている。これらロボティクス4.0のインパクトと構造変化を踏まえた戦略の検討が重要となる。

I ロボットの進化と ロボティクス4.0

1 ロボティクス4.0とは

コロナ禍でロボットの活用が急速に広がってきている。今までは製造業の生産ラインにおける産業用ロボットの導入が中心であった。しかし、安全を担保した協働機能や、障害物や人との衝突を回避できる移動機能、デジタルツインをはじめとしたシミュレーション技術などの技術革新や、コロナ禍で非接触でのオペレーション・サービスが求められる中で、ロボットの適用領域があらゆる産業や都市・生活領域へと大幅に拡大してきている。表1は主なロボット領域の拡大を表しているが、作業ロボットとしては各産業の特性に基づき領域ごとに進展する一方で、移動・搬送ロボットとしては領域共通機能として拡大が進んでいる。

このように急速な広がりを見せるロボットであるが、その発展過程にはいくつかの段階が存在する。①ロボットの黎明期から、②標準化、③協調機能・移動機能を通じた領域の広がり、④ロボットの水平分業・民主化、の四段階であり、それぞれロボティクス1.0～4.0と定義したい。ロボティクス4.0への進化、発展段階は次のとおりである（図1）。

【ロボティクス1.0】人の単純作業・重労働の機械化

ロボティクス1.0は産業用ロボットの黎明期を表す。人の手で行っていた3K・高負荷業務をロボットが置き換え「始めた」段階であった。この段階ではロボットは先端技術であり、かなり高額であった。そのため自動車など一部のアーリーアダプター業界・企業に導入が限られるという状況であった。

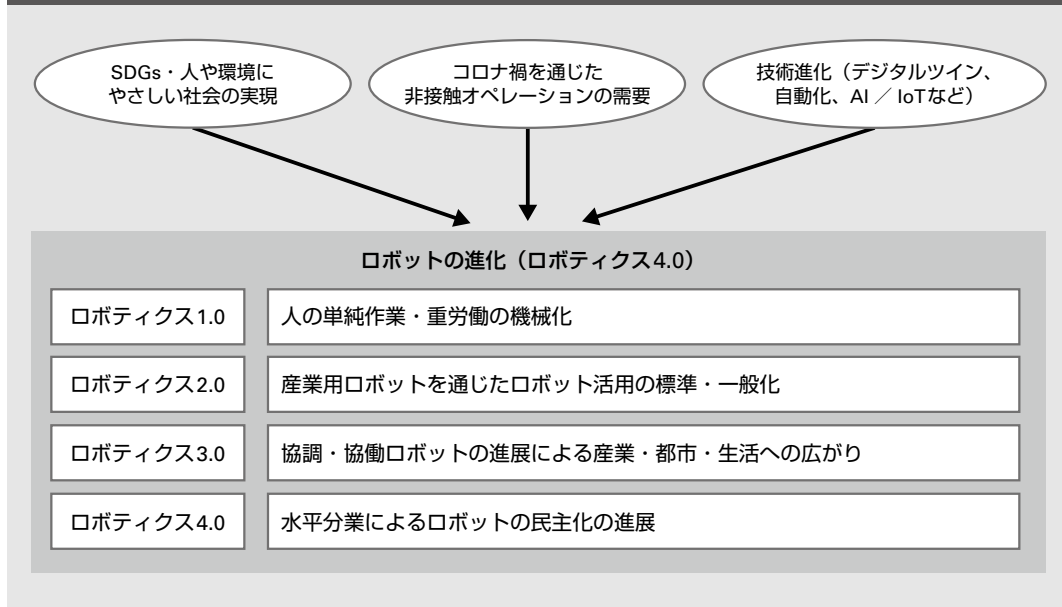
表1 ロボットの適用領域の広がり

領域		作業ロボット	移動／搬送ロボット
ビジネス用途	製造業	加工・組立・溶接・塗装等ロボット、協働ロボット	搬送ロボット（AGV／AMR）
	建設業		建設搬送ロボット
	物流倉庫	アームピッキングロボット	棚搬送ロボット（GTP）、搬送ロボット（AGV／AMR）、ピッキング支援自律ロボット、仕分ロボット
	物流配送	—	ラストワンマイル配送ロボット
	医療	手術ロボット	病院内搬送ロボットなど
	サービス業	陳列ロボット	サービス・搬送ロボット
	飲食店	調理ロボット	配膳・案内ロボット
	ビル・都市	インフラメンテナンスロボット	警備・清掃・配送・案内ロボット
生活用途		家事ロボット（片づけ）など	パーソナルモビリティロボット、掃除ロボット、コミュニケーションロボット（移動しないものも含む）

領域ごとの特性に応じたロボットを展開
＋協調型ロボットが登場

共通領域として各領域に
急速に広がり

図1 ロボット化が進む背景とロボティクス4.0への進化



【ロボティクス2.0】産業用ロボットを通じたロボット活用の標準・一般化

ロボティクス2.0は産業用ロボットが標準化した段階である。大手ロボットメーカーが各社参入し、価格の低下やラインアップ・選択肢の拡大とともに、顧客への販売を商社、あるいはエンジニアリング・据付までを支援するロボットシステムインテグレーター（ロボットSIer）といった代理店網が整備されることにより、製造業を中心に一気にロボット活用が標準化した。加えてIoTプラットフォームなどのロボット運用を支援するツールがそろった段階であった。

【ロボティクス3.0】協調・協働ロボットの進展による産業・都市・生活への広がり

現段階のロボティクス3.0は、今まで安全柵があり、人と隔離された状態で稼働していた「産業ロボット」に加えて、人との協働ができる「協働ロボット」が導入され、対象工

程が広がっている。また、障害物や人との衝突を回避し移動できる機能と掛け合わさることで、製造・建設・物流・医療・サービス業などの産業に加えて、ビルや都市領域にまで拡大してきている。

【ロボティクス4.0】水平分業によるロボットの民主化の進展

さらに、従来のロボット専門メーカーが展開する構造そのものが変化するのがロボティクス4.0である。ロボットのOS技術を提供するプラットフォーム企業をはじめ、ロボットエコシステムが整備され、誰もがロボット企業となれる民主化・水平分業が進んできている。それらにより、ロボットの付加価値がハードウェアとしての技術から、「実現したい社会やオペレーション・ビジネス目的でのロボットの活用」などに変化している。

2 デジタルと物理世界の接点としてのロボットの役割の拡大

第四次産業革命やSociety5.0といった、デジタルと物理世界が密接に連携し、シミュレーションベースで検討される構造が産業横断で広がっているが、その中でロボットの役割・重要性が増している。デジタル領域での

シミュレーション結果を実機のロボットにフィードバックすることにより、現実世界へのフィードバックを行う接点となっているのである。ロボットの広がりには、シミュレーションを行うことでロボット制御を最適化するデジタルツイン技術が重要な役割を果たしている（図2）。

図2 ロボット領域におけるデジタルツインの役割

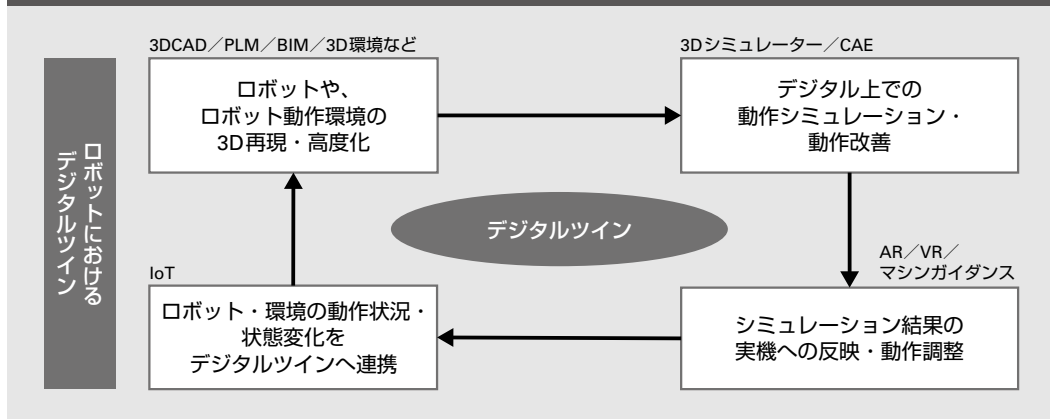
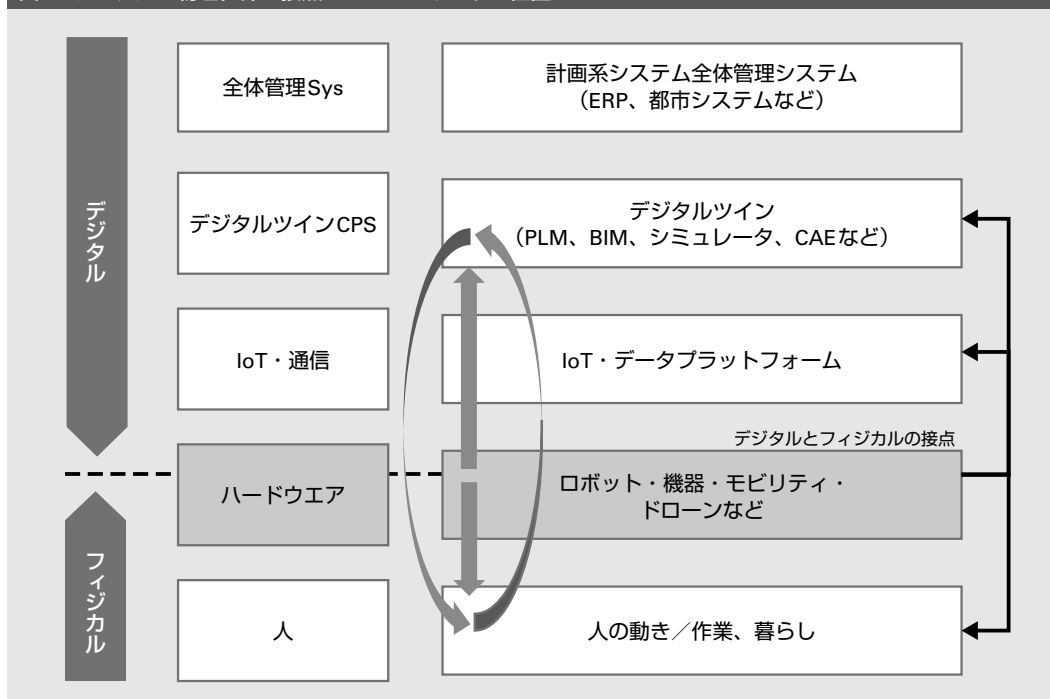


図3 デジタルと物理世界の接点としてのロボットの位置づけ



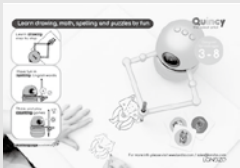
前述のとおり、ロボットがデジタル空間と物理空間の接点となっているが、そのインプットとしては、デジタルツインやメタバースの存在が大きくなっている。インダストリー4.0をはじめ、あらゆる産業においてデジタルツインによるシミュレーションプロセスが広がってきているとともに、そのシミュレーション結果をロボット制御にフィードバックさせる技術が急速に進んできているのである。CES2022においても、ソフトバンクからボストンダイナミクスを買収するなどロボットの強化を図っている現代自動車による「メタバースをロボット動作のインフラにする」というプレゼンテーションがあった。現代自動車のCEOは「人間の移動をロボティクスとメタバースプラットフォームを使い、リアルワールドとつなげながら無限に広げていく」と表明している。

日本のスタートアップにも、メタバースとロボットの融合を図る企業が多数出てきている。たとえば、農業ロボットのスタートアップであるAGRIST（アグリスト）は、メタバース空間上で収穫ロボットを遠隔シミュレーションし、それが実際の農地におけるロボット制御と連動する形での遠隔農業を検討している。このような流れは、過疎化が進む農業地帯における課題解決の一手となるポテンシャルを有している（図3）。

3 活況を見せる ロボットスタートアップ

CES2022においては、日本のスタートアップであるPiezo Sonic（ピエゾ ソニック）が展開している搬送用自律移動ロボットの「Mighty-D3」がイノベーションアワードを受賞している。傾向としては、ロボットその

図4 CES2022に見るハードウェアからシステム全体へシフトするロボットの価値

搬送用自律移動ロボット Mighty-D3 (Piezo Sonic / 日本) 	移動ロボット開発モジュール The Essentials (Avular 社 / オランダ) 	洗浄・消毒用移動ロボット Whiz Gambit (Avalon SteriTech 社 / 香港) 	ネコ型コミュニケーションロボット Macroact (Maicat 社 / 韓国) 
後づけセンサーモジュール Leica BLK ARC (Leica Geosystems 社 / スイス) 	センシングプラットフォーム Lumotive Meta-Lidar Platform (Lumotive 社 / 米国) 	農業用除草ロボット Ted (Naïo Technologies 社 / フランス) 	ネコ型コミュニケーションロボット Leica BLK ARC (Leica Geosystems 社 / スイス) 

ものよりも、より広い範囲への提供価値としてのサービスや、ロボットを活用したオペレーションが評価されており、ロボットの価値

がハードウェアからシステム全体へとシフトしてきていることを表している。
ロボットの社会実装に向けた技術開発とし

表2 CES2022のInnovation Awardを受賞したロボット関連スタートアップ

カテゴリ	企業	本拠地	製品・サービス名	概要
センシング技術	Leica Geosystems社 (Hexagonグループ)	スイス	Leica BLK ARC	ロボットキャリアに取りつけ可能な、ロボットアプリケーションのための自律型レーザースキャンングモジュール
	Lumotive社	米国	Lumotive Meta-Lidar™ Platform	Lumotive社の小型ライダーセンサー、リアルタイム制御ソフトウェア、リファレンスシステムデザインからなるモビリティ業界最小かつ最もコスト効率の高い3Dセンシングソリューション
	CYGBOT CO., LTD.	韓国	CygLiDAR_H2 (2D / 3D Dual Solid State LiDAR)	2Dと3Dを同時に測定するSolid State LiDAR
ロボット開発モジュール	Avular社	オランダ	The Essentials; The Ultimate Building Blocks for Mobile Robots	モジュール式のハードウェアとソフトウェアで構成される、世界初のモバイルロボットのためのEnd to Endソリューション
協働ロボット	Industrial Technology Research Institute社	台湾	RGB-D AI Robot	3DカメラとMEMSレーザースキャンプロジェクターの統合、およびオートトラッキング技術による高精度な物体認識を実現するスマート3Dビジョンを世界で初めて標準搭載した協働ロボット。小型化によりロボットアームへの搭載も容易
搬送用自律移動ロボット	Piezo Sonic Corporation	日本	Mighty-D3	搬送用自律移動ロボットであり、搭載カメラおよびセンサー技術により目的地まで自動走行が可能。ラストワンマイル向けに、市街地や病院、高層マンションでの非接触・非対面物流・案内を実現
農業用ロボット	John Deere社	米国	See & Spray	コンピュータビジョンと機械学習を活用して植物と雑草の違いを検知し、雑草にのみ除草剤を的確に散布する、先進技術搭載の農業用除草ロボット
	Monarch Tractor社	米国	Monarch Tractor, MK-5	世界初の完全電動・ドライバーオプションのスマートトラクター
	Naïo Technologies社	フランス	Ted	ロボット工学とAIを組み合わせた、ブドウ畑専用のスマートワイン醸造ソリューション。土壌を保護し、労働条件を改善
消毒／清掃用自律移動ロボット	UBTECH Robotics社	中国	ADIBOT-A	自律型の紫外線消毒ロボットソリューション。複数のフロアプランを独立してナビゲートし、ウイルスなどに対して消毒プログラムおよびマッピングが可能
	Hills Engineering co.,ltd. / 韓瑞大学校	韓国	Hey-Bot (AI-based, Smart Disinfection&Guide Robot)	AIによる自動運転消毒・案内ロボット。コンベンションセンター、病院、陰圧病棟などでの応用が期待される
	Avalon SteriTech 社	香港	Whiz Gambit – 2-in-1 AI-powered cleaning & disinfection solution	Avalon SteriTech社とソフトバンクロボティクスグループが共同開発したAI搭載の洗浄・消毒用2in1ロボットソリューション。世界中のホスピタリティグループ、ショッピングモール、学校、オフィスなどで信頼できるパートナーとして活躍中
家庭用掃除ロボット	BONA Robot社	中国	BONA BV351AA Robot Vacuum Cleaner	大型家屋向けに特別に設計されたレーザナビゲーションロボット掃除機。AI視覚認識とTOF技術のサポートで、レーザヘッドの画期的な自動昇降設計により、複雑で多様な地上環境で操作する際に人間のような反応が可能。さらに、紫外線による殺菌技術も搭載
	ECOVACS社	中国	DEEBOT X1 OMNI	自動掃除・自動排出のためのステーションを持つ家庭用掃除ロボット。高度な掃除機能、モップ機能、地図作成機能、ナビゲーション機能が搭載され、ハンズフリーの掃除を実現
家庭用ペット型コミュニケーションロボット	Macroact社	韓国	Maicat	AI・ロボティクス技術によるユーザーの共感とパーソナライズされた体験を創出するネコ型のソーシャルロボット。受動・能動センサー技術によって、家庭内でのナビゲーションや操作を行い、またサードパーティアプリケーションを介してほかのスマートホームテクノロジーとの統合も可能
家庭用教育型コミュニケーションロボット	Landzo Technology社	中国	Quincy Drawing Robot	教育玩具に注力するLandzo Technology社が提供する子ども向け家庭教師ロボット。対象年齢は3～8歳であり、絵の描き方や英単語のスプリング、簡単な算数などを教えてくれる家庭教師のようなアプリケーション。英語、ロシア語、フランス語、スペイン語、ウクライナ語、ハンガリー語などに対応

て、標準モジュール開発が多く評価されている。たとえば、図4に示すように、スイスLeica Geosystems社によるロボットの筐体に後づけ可能な自律型レーザースキャニングモジュール「Leica BLK ARC」や、オランダAvular社による移動ロボットのためのハードウェアとソフトウェアモジュールで構成されるEnd to Endソリューション「The Essentials」、米国Lumotive社によるLiDARを用いた三次元センシングソリューション「Lumotive Meta-Lidar Platform」などもイノベーションアワードを受賞している。これらの標準モジュールの開発は、ロボット開発者が基礎部分の設計開発から解放され、よりユーザーを意識したサービス開発へ集中することに貢献している。

ある領域に特化したロボットオペレーションとしては、フランスNaïo Technologies社がブドウ畑専用の除草を行うファームロボット「Ted」で受賞している。また、消毒・清掃用の自律移動ロボットとして、中国UBTECH Robotics社の「ADIBOT-A」や香港Avalon SteriTech社と日本のソフトバンクロボティクスが共同開発したAI搭載の洗浄・消毒用2in1ロボットソリューション「Whiz Gambit, 2-in-1 AI-powered cleaning & disinfection solution」などが受賞している。

またCES2021に続き、CES2022でも多く受賞しているのが家庭用ロボットである。韓国Macroact社によるネコ型のコミュニケーションロボット「Maicat」や、中国Landzo Technology社が子供向け家庭教師ロボット「Quincy Drawing Robot」で受賞している。Quincy Drawing Robotは、絵の描き方や英単語のスペリング、簡単な算数などを教えてくれ

る家庭教師のようなアプリケーションであり、ロボットとAI技術の融合ソリューションが人々の暮らしに浸透し始めたことがうかがえる（表2）。

II 【ロボティクス1.0～2.0】 ロボットの導入期から 産業ロボット普及・ロボット エコシステムの普及

ロボティクス4.0のインパクトを見ていく上で、まずはその歴史を振り返ってみたい。ロボットの黎明期から産業ロボットの普及期であるロボティクス1.0～2.0について簡単に触れる。

1 ロボティクス1.0：産業ロボットの 誕生・黎明期（米ユニメーション による世界初の産業ロボットの 展開と、川崎航空機による国産化）

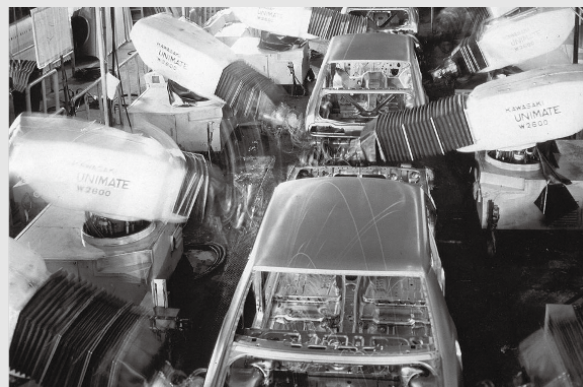
産業用ロボットのアイデアは、1954年に米国人エンジニアのジョージ・チャールズ・デボル・ジュニア氏が提起した。その後、実業家であり「ロボットの父」と呼ばれるジョセフ・フレデリック・エンゲルバーガー氏がデボル氏と出会い、産業用ロボットの開発を専門とするベンチャー企業、ユニメーションを61年に設立する。そのユニメーションが翌62年に世界初の産業用ロボット「ユニメート」の試作を完成させたのが実用機の起源である。自動化を進める米国ゼネラルモーターズのダイキャスト工場に導入したことがきっかけで実用化された。これがロボティクス1.0の始まりである。

わが国では、日本への展開を図るユニメー

図5 国産初の産業ロボット「川崎ユニメート2000型」(左)と自動車工場での稼働(右)



出所) 川崎重工業Webサイトより作成
https://robotics.kawasaki.com/ja1/anniversary/history/history_02.html



ションが、川崎重工業の前身である川崎航空機工業と提携、国産化したことで産業ロボットの歴史の幕が開いた。69年に投入された「川崎ユニメート2000型」が国産初号機である(図5)。高度経済成長期でモータリゼーションが本格化する中、3K労働とされる自動車工場の溶接工程でロボットの導入が進んだ注。

2 ロボティクス2.0： 産業用ロボットの標準化

その後、1979年のオイルショックによる景気低迷の中で合理化・省人化が進み、80年は産業ロボット普及元年とされる。その前段階には、次のような各種産業用ロボット企業大手がロボットへの参入・投入を行っている。

- 1973年：クーカ（独）が世界初の電機式6軸駆動ロボットを開発
- 1974年：富士通から独立したファナックがロボットを自社導入
- 1977年：安川電機が国内初の全電気式産業用ロボットを投入

表3 産業用ロボットにおける主な用途

産業用ロボットにおける主な用途			
溶接	組立	検査	樹脂成型
FPD／半導体	機械加工	入出荷	塗装
マテリアルハンドリング	ピッキング	梱包	搬送

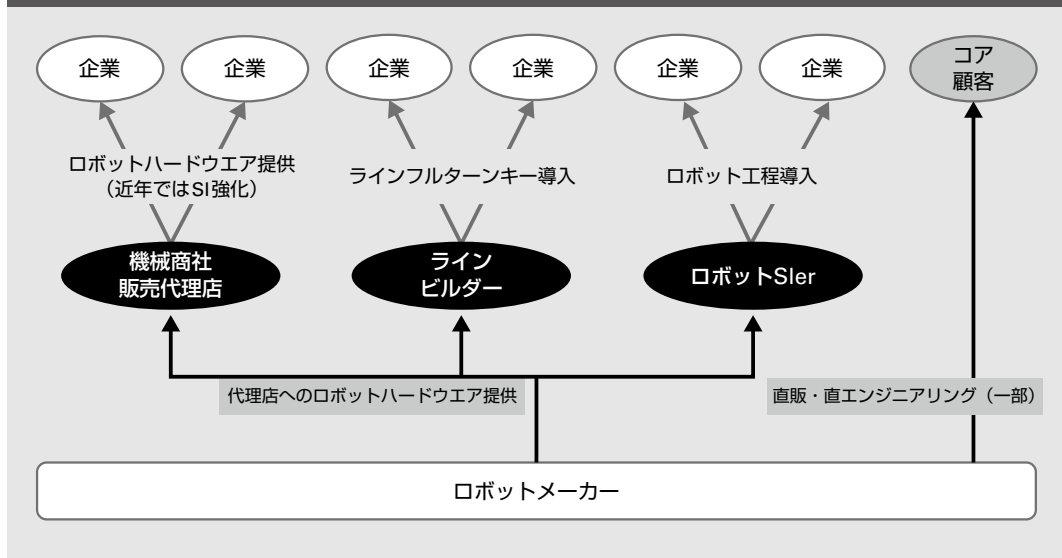
- 1978年：ABB社（スイス）の前身のASEA社が産業用ロボットを投入

製造業を中心に自動化が進展するとともに、多くの産業用ロボットメーカーの参入により、製造現場でのロボット活用は一般化した。現在では表3をはじめとした多くの工程で産業用ロボットが活用されている。

3 ロボットSier・ 代理店ネットワークの拡大

ロボティクス2.0の産業ロボットの一般化・普及に欠かせない要素だったのが、ロボットSierをはじめとする代理店ネットワークの存在である。ロボットメーカーとして顧客に直

図6 ロボットメーカーの商流と代理店ネットワーク



販するケースもあるが、多くは顧客基盤を有する代理店を通じて導入された。製造ラインをはじめとしたロボットの活用としては、ハードとしてのロボットだけでなく、周辺機器やソフトウェアなどを、顧客の求めるオペレーションに基づき調整・インテグレートを行う必要があるためである。

ロボット企業の代理店としては、顧客のニーズに応じて据付までを担うロボットSIerと、ハードウェア提供のみを担う商社・販売代理店とに大別される。しかし、ロボット活用工程の複雑化や提案ニーズの高まりから、商社・販売代理店機能のみの企業もSIerの能力をつけることが増えてきている。広い顧客接点や提案力を持つロボットSIerをエコシステムとしていかに組み込めるかが重要となるため、ロボットメーカーは、ロボットSIerなどの代理店に各種教育を提供し、自社のロボットを使いこなした顧客提案を実施するための支援を行っている（図6）。

そのロボットシステムSIerの中でも、顧客

のラインを一括で担うラインビルダーと呼ばれるプレイヤーも生まれている。ラインビルダーは製造ラインの構想設計・詳細設計から、機器・ソフト調達、据付・試運転までをフルターンキーで行う。欧米や新興国では多くの製造業がラインビルダーへライン導入を依頼する構造となっており、独デュルや、伊コマウ、仏フィプ、日立製作所が買収した米JRオートメーション、カナダのATSオートメーションといった大手ラインビルダーが生まれている。

一方、日本においては、製造業の内部生産技術部門がラインの設計を行った上で、個別に切り出されたタスクをロボットSIerに依頼するという構図である。そのため、平田機工や三洋機工といった一部大手ラインビルダーを除き、中小ロボットSIerが多い。日本のロボットSIerとしては、2018年に設立されたFA・ロボットSIer協会には206社所属しているが、実際は1000社以上存在するといわれている。

製造業におけるラインビルダーと同様に、各領域でロボットを含むトータルエンジニアリング企業が生まれた。物流倉庫ではダイフク、村田機械、豊田自動織機といった自動倉庫やコンベアなどのマテリアルハンドリング機器の企業が、倉庫の機器をトータルでエンジニアリングするという構造が生まれ、食品製造では味の素やキリンといった大手企業のエンジニアリング外販部門による食品エンジニアリング企業、プラント領域では日揮・東洋エンジニアリング・千代田加工といったプラントエンジニアリング企業がそれにあたる。

ロボットのハードウェア技術自体はコモディティ化が徐々に進む中で、こうした導入企業のあるべき経営やオペレーションに基づいた機器活用を統合的に提案できるプレイヤーの重要性が増している。

Ⅲ 【ロボティクス3.0】 人と協調するロボット・ 移動ロボットの進展を通じた 活用領域の拡大

ロボティクス3.0として製造業を中心に立ち上がったロボット導入は、ビジネス用途として建設業や物流業などに広がるとともに、人との協働が可能となる中で、サービスロボットや移動ロボットとして多くの領域に広がっている。ビジネス用途から生活用途、都市における生活用にまで広がってきているロボティクス3.0におけるロボットの進展について、大きく二つのトレンドについて触れたい。

トレンド1 協調・協働ロボット・ サービスロボットの進展

これまで産業におけるロボットは、工場内の自動化用途で安全柵に囲われ、作業員から隔離された状態で使われる「産業ロボット」が主流であった。しかし近年では、安全柵を必要とせず、人と同じエリアで動作する「協働ロボット」が活用され始めている。活用先としては、産業ロボットと同様に自動車業界、エレキ、金属・機械加工などの製造業が過半数を占めているが、今後はロボット活用が進んでこなかった三品産業（食品・化粧品・医薬品）や、サービス業への活用拡大も期待されている。

主なプレイヤーとしては、デンマークの技術クラスターであるオーデンセロボティクスから輩出されたUniversal Robots社（UR社）が出荷台数ベースで約3割のシェアを有しているが、中国ロボット企業のAUBO社、TM社、スイスロボット企業のABB社、独クーカ、日本メーカーの川崎重工業といった協働ロボット専門メーカーによる参入や、産業用ロボットメーカーによる協働ロボットの展開がなされている。

協働ロボットの最大の特徴としては、人と共存できるという点であり、人手を要する作業の代替または人との協働のために活用される。UR社は比較的低価格かつ簡素なインテグレーション・運用により、それらを解決しようとしている。たとえばUIの簡易化や、独自トレーニングプログラムであるURアカデミーを提供することでユーザー自身が組付・据付を行える仕組みを提供したり、アクセサリと呼ばれるアプリケーションを展開したりすることで、ユーザーが購入後すぐに

使える状態（プラグ・アンド・プレイ）を実現している。

これらのアクセサリは、ロボットの活用用途が広がる中、自社での展開には限界があるため、UR社は「餅は餅屋」の考えで自社はアーム部分に特化し、アクセサリは他社連携（UR社＋プログラム）によって拡充しており、現在100社以上のエコシステムによって成り立っている。

トレンド2 移動型ロボットを通じたあらゆる産業・都市・生活への拡大

前述のように、協働ロボットの誕生により、これまで自動化・省人化がされてこなかった人との協調領域でのロボットの導入が可能となり始めている。さらに、障害物や人との衝突を回避できる移動機能との融合により、その活用フィールドは、従来の工場や建設現場から、物流倉庫、商業施設、都市へ

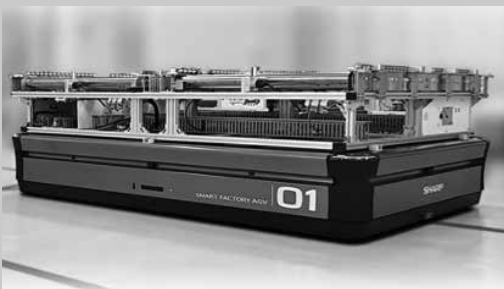
と、生活により近づいたフィールドで広がりとつある。

(1) 移動ロボットの分類（AGV／AMR）

ここではまず、移動ロボットの分類を振り返る。

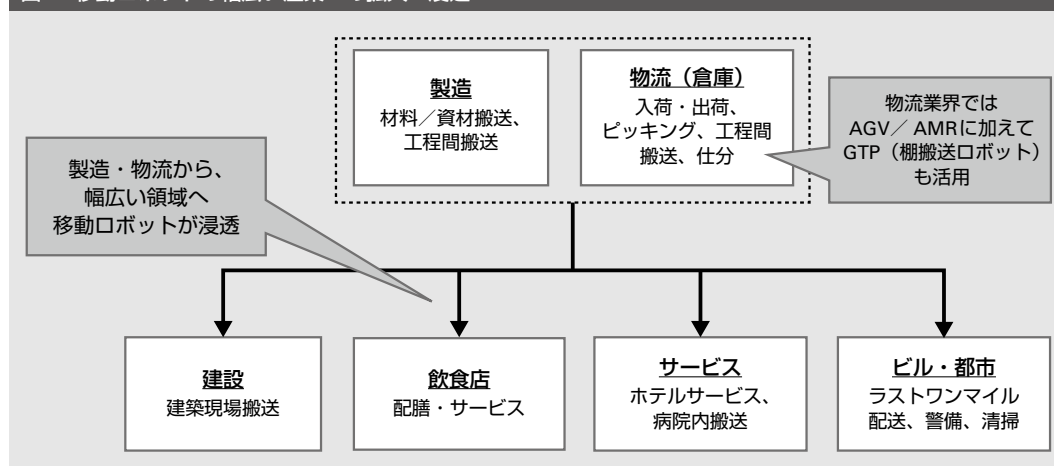
近年、幅広い業界に急速に広がりロボット革命を起こしている移動ロボットは、①磁気テープやガイドに沿って固定ルート走行を行うAGV（Automated Guided Vehicle）と、②自律移動を行うAMR（Autonomous Mobile Robot）の二つに大きく分かれる。AMRはカメラやLiDARなどによるセンシング情報を基に自己位置推定と環境地図生成を同時に行うSLAM技術を活用し、人や障害物を回避し自動でルート生成を行い移動する。固定的な磁気テープのルートなどに制約を受けることなく、あらゆる場所で人と協働した移動ロボット活用が可能となる（表4）。

表4 AGVとAMR

	AGV (Automatic Guided Vehicle)	AMR (Autonomous Mobile Robot)
位置・ルートの 認識方法	・床に貼りつけられた磁気テープや特定のガイドに従って動く（固定ルート）	・カメラやLiDARなどのSLAMにより工場・倉庫・店舗などの走行するエリア内の環境地図生成と自己位置推定を行い、自動でルートを算出して動く（自律ルート）
障害物対応	・障害物を検知はできるが回避はできない ※人や障害物を検知すると停止、など	・人をはじめとした障害物を察知して回避可能で、人との協働が可能
イメージ	 シャープ 有軌道型AGV	 ラピュタロボティクスAMR

出所) シャープ、ラピュタロボティクス

図7 移動ロボットの幅広い産業への拡大・浸透



(2) 各領域に広がる移動ロボット

コロナ禍で非接触でのオペレーションが求められる中で、以前から移動ロボットが活用されていた製造や物流に限らず、幅広い業界へ導入が広がり「移動ロボット革命」が進んでいる。自律移動のAMRが生まれたことで、固定ルート移動のAGVと比較してフレキシブルな対応が可能になったほか、屋外での活用が可能となっている。その結果として、工場・倉庫といった施設内から、建築現場、飲食店やホテルなどのサービス、都市にまでロボットが広がってきているのである。

またロボットが広がっていく上では初期投資のハードルが障壁となっていたが、月額課金制や利用型でロボットを提供するRobotics as a Service（RaaS）と呼ばれる企業の存在により、導入ハードルが低下し、浸透が加速している。移動ロボットは自動化のボトルネックであった変化に対応できる柔軟なオペレーションを実現する鍵となるとともに、重量物搬送や歩行負担などの人間の負荷を下げ、持続可能なオペレーションを支える各産業におけるビジネスモデルやオペレーションの変

革となり得る（図7）。

①各産業に広がる移動ロボット：製造業

製造業は他業界に比べると自動化が進んでいたものの、資材の搬送や、工程と工程をつなぐ工程間搬送においてトヨタ生産方式では「みずすまし」とも呼ばれる搬送作業者が人手で担うケースが多かった。しかし、消費者ニーズが多様化し、今までの大量生産から、多品種少量生産やマスカスタマイゼーションなど、モノづくりのあり方がフレキシブルな生産へ変化する中で、従来から普及が進むAGVに加えてAMRの導入が進んできている。搬送だけでなく移動ロボットの上部にアームロボットを取りつけ、動きながら作業するロボットも提案されている（図8）。

②各産業に広がる移動ロボット：物流（倉庫）

物流業界はロボット導入が比較的進んでいない業界であったが、EC需要の高まりをはじめとしたプロセスの複雑化に伴い、フレキシブルなオペレーションが求められるとともに

図8 製造業におけるフレキシブルなモノづくりを支える移動ロボット



出所) クーカ、ボッシュ

図9 物流業界における移動ロボット



出所) 左: Geek+の棚搬送GTP 右: GROUNDのピッキングAMR

に、深刻な人手不足の中で急速に自動化が進んでいる。人手が掛かっているピッキング工程をいかに自動化・負荷低減するかといった観点や、一度敷設してしまうと固定ルートでの搬送に限定されてしまうコンベヤに代わるフレキシブルな搬送手段という観点から、移動ロボットへの注目が高まっているのだ。

物流ではAGV、AMRに加えてGTP（Good to Person）と呼ばれる棚搬送移動ロボット

も活用されている。QRコードなどのセンシングを基に物流センターの床面を移動して可搬式の棚の下に潜り込み、倉庫作業員の付近まで棚ごと商品を搬送するロボットで、ピッキング工程を効率化する。Amazonが買収し、自社物流倉庫で大規模導入されている「Kivaシステム」がよく知られているが、ほかにもアリババの出資先でもあり自社倉庫で大規模導入しているGeek+や、日立製作所

図10 サービス業における移動ロボット



出所) 左: ソフトバンクロボティクス「Servi」 右: パナソニック「Hospi」

の「Racrew」など複数の企業が展開している(図9)。

③各産業に広がる移動ロボット：サービス業

サービス業では、飲食店における配膳ロボットやホテルのサービス提供ロボット、病院における搬送ロボットなどが検討されている。店舗数が多く、自社でロボット導入の投資をすることが難しいケースや、導入のノウハウを有していないところが多いため、月額などの変動費型で導入を提案するとともに、オペレーションに即した購入コンサルティングを行うことが重要となる。ソフトバンクなどは月額で飲食店にレンタルする形で導入ハードルを下げる展開を行っている(図10)。

④各産業に広がる移動ロボット：建設業

建設業では、建築現場の資材搬送などでAMRの導入が検討されている。既に完成している場所ではなく日々進捗に伴い変化する現場で搬送を行うには、固定ルートではなくAMRで都度ルートを生成し、自律移動を行う必要がある。図面と実際の建築現場にズレ

図11 建設業における移動ロボット



出所) 清水建設

が存在していること、走行ルートに段差があること、外の環境に対応する必要があることなど、業界特有の課題に即したロボットの開発が必要となる。

また、建設業界は、予算を持つ主体であるゼネコンと実際にロボットを活用する施工会社(下請会社)が異なるという構造のため、前述のRaaSのようにいかに導入しやすいスキームで提供するかについても論点となる

(図11)。

⑤各産業に広がる移動ロボット：都市・ビル
都市における移動ロボットとしては次のようなものが検討されている。

まずは、警備・清掃・館内配送ロボットである。ビル内はデベロッパーらの私有地であり限られた空間であることから、公道と比較してロボットを導入しやすいため、警備・清

掃・館内配送ロボットなどが既に大手デベロッパー保有ビルを中心に導入されている。ビル内は、オフィスと入館セキュリティとの連携やエレベーターとの連携をいかに行うかが論点となる（図12）。

次に、ラストワンマイル搬送ロボットである。ラストワンマイル配送とは、出荷後のモノが顧客に到達する最後の接点までの配送を指す。目的地やルートが多様で標準化が難し

図12 警備・清掃・館内配送ロボット例



図13 ラストワンマイル配送ロボット



いことや、一件の配送にかけられる単価が限定的であることから、自動化が倉庫業務などと比較すると進んでこなかった領域であった。しかし近年、EC需要の増加による配送負荷の増大や配送人員不足、過疎地域対応といった観点から、ドローン配送とともに搬送ロボットによるラストワンマイル配送の取り組みが進みつつある。公道を走るため、規制緩和の対応や歩行者や車などとの間での損害におけるロボット保険の整備などが求められる（図13）。

Ⅳ 【ロボティクス4.0】 ロボットプラットフォームによる 「ロボットの民主化」と ロボットエコシステム

ロボティクス3.0によってロボットの適用領域が大幅に広がり、一般化が進んだが、ロボティクス4.0ではロボット産業が水平分業化し、専門のロボットメーカーでなくても誰もがロボット企業になれる「ロボットの民主化」が進んでいる。エレクトロニクスをはじめ

めとした製造業においては、モノづくりを自社で行う構図から、フォックスコンなどのEMS（製造受託企業）や、ライン導入を行うラインビルダーなど各種アウトソーサーが生まれ、水平分業が進んだ。ロボットも同様に水平分業が進んできており、専門企業でなくともデジタル技術やアウトソーサーを活用することで、新規参入が可能となっている。表5がロボティクス1.0～4.0における変化のドライバーと、それぞれにおける競争要因である。

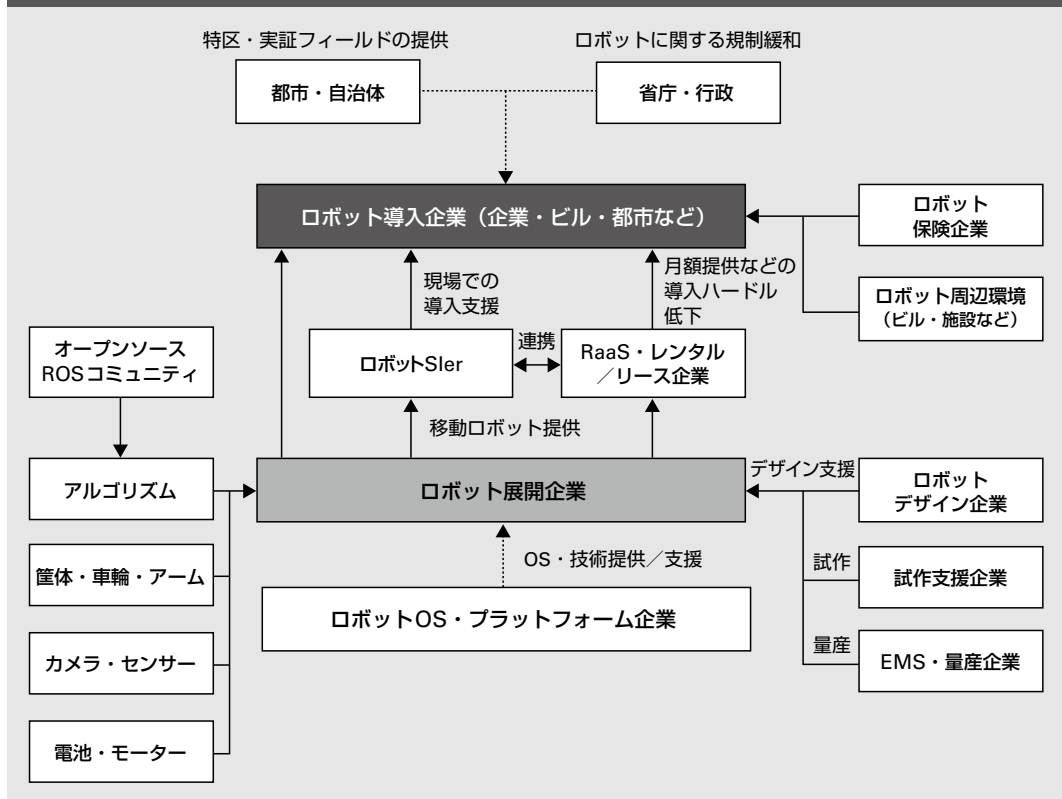
1 ロボットのエコシステム構造

こうした水平分業化するロボットのエコシステム構造を示しているのが図14である。ロボットメーカーと、導入企業やロボティクス2.0の構図で触れた代理店・SIer網とともに、ロボットプラットフォーム（OSや動作機能を提供）やアルゴリズム企業・ROSコミュニティ、ロボット周辺機器・コンポーネント、ロボット普及を支える外部環境・インフラといったエコシステムが重要となっている。

表5 ロボティクス1.0～4.0における変化ドライバーと競争要因

	概要	変化ドライバー	競争要因
ロボティクス1.0	人の単純作業・重労働の機械化	ロボットハードウェア開発、コスト削減など	ロボットのハードウェア技術、重労働の代替・用途拡大
ロボティクス2.0	産業用ロボットにおけるロボット活用の標準・一般化	モジュール・インターフェースの標準・共通化、用途別ソリューション開発など	インテグレータらの代理店ネットワーク形成、IoTなどのサービス提供
ロボティクス3.0	協調・協働ロボットの進展による産業・都市・生活への広がり	協働・協調機能、自律移動機能など	業界特性に応じた導入検討・パートナーリング
ロボティクス4.0	水平分業によるロボットの民主化の進展	ロボットOSなど	ロボットを活用した課題解決・ビジネス／オペレーション変化

図14 ロボットに関するエコシステム



2 ロボットの民主化を支える 「ロボットプラットフォーム」 の登場

ロボットの技術を支えるOSのプラットフォームを提供するプレイヤーも生まれてきている。これらを活用することにより、新規参入企業であっても高度なロボットオペレーションを実現できる。

たとえば、自律走行ロボットであるAMRを展開する上では、自己位置推定・地図／ルート生成や人物・物体認識、障害物回避など、高度な技術が必要となるが、それらの土台となるOS・機能を提供し、ロボットを展開したい企業を支えるプラットフォームも生まれつつある。たとえばソニーグループは、これまでの製品開発で培ったロボット技術

や、世界シェアトップのセンシング技術などを活かし、AMRの土台となる「認識・状況理解・行動制御・行動計画」の機能を支えるロボティクスプラットフォームの開発を進めている（図15）。

AMRにとって厳しい環境である製造拠点などでの搬送用途や、ライブやアーティストの撮影などエンターテインメント用途へのロボット応用を検討しており、蓄積したノウハウを活かして物流や製造業などを含むさまざまな分野への展開を目指している。AMRは、レイアウトや使用環境が頻繁に変化する中で、設定に時間を要することが課題であったが、ロボットのノウハウがない現場社員やスタッフであっても簡単に設定・変更ができるUIも特徴となっている。

図15 移動ロボットで生まれるロボットプラットフォーム



環境に合わせて速度変更・危険回避を行うガイドロボット
出所) ソニーグループ



アーティストの動きに合わせて自律移動しながら撮影できる
移動カメラロボット

その他、移動ロボットを支えるプラットフォームとしては、AGVを中心とした米国Kollmorgen社や、フィンランドのNavitec社などがある。ロボット企業や新規参入・スタートアップ、物流・製造業などのユーザー企業は、これらのプラットフォームを活用することでAGVやAMRの展開・導入検討が容易となる。他領域同様に、移動ロボットにおいても水平分業化が進み、自社にすべてのノウハウがなくても誰もがロボット展開企業となるロボットの民主化が進みつつあることを示している。

3 アルゴリズム企業、 ROSコミュニティ

ロボットの動作が複雑となり技術革新が進む中で、アルゴリズム・アプリケーション企業の重要性が増している。ロボット企業や導入を行うインテグレーション企業としては、これらのアルゴリズム企業の技術を活用することで、動作・アプリケーションを高度化することができる。たとえば物流領域のピッキングロボットにおいてはMUJINや、Osaloといったコントローラー企業を活用することで、複雑なピッキングを実現できる。ロボッ

ト動作のアプリケーションとしては、オープンソースとしてのROS（Robot Operation System）の存在感が増しており、ROSのコミュニティで開発されるアプリケーションのビジネス導入も進んできている。

4 ロボット周辺機器・ コンポーネント

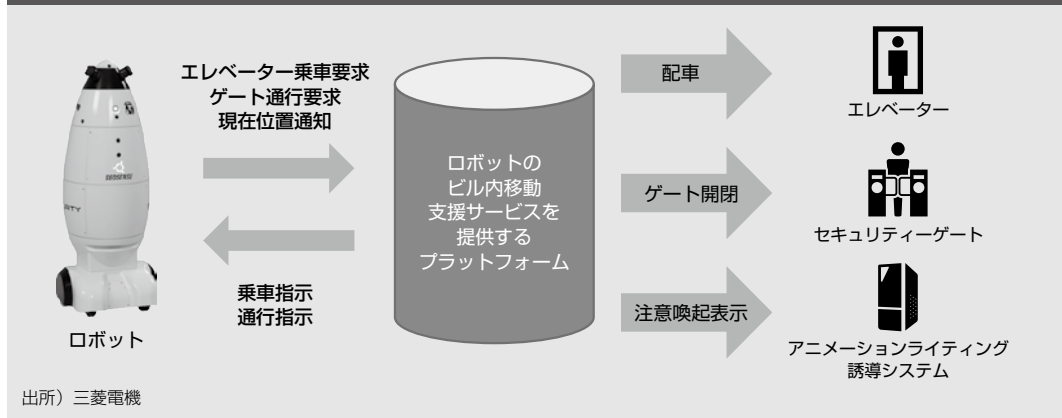
ロボットの周辺機器として、カメラ・センサーや、電池・モーターなどのキーコンポーネントを提供するプレイヤーが生まれてきており、新規参入企業としてはより展開がしやすくなっている。たとえば、日本電産や安川電機は、自社ロボットで蓄積したモーターをロボットメーカーなどに提供している。また、カメラ領域では、マイクロソフトがXbox向けに開発した3Dセンサーの「Kinect」を提供しており、標準的な3Dセンシングや開発キットを安価に提供している。

5 ロボット普及を支える 外部環境・インフラ

(1) ロボット周辺環境(エレベーター・ビル)

前述のとおり、ビルや都市領域のロボット導入においては、ロボットによるエレベータ

図16 三菱電機が展開するビル内ロボット移動支援プラットフォーム



ーや入館プロセスとの連携が求められる。警備ロボットやビル内配送ロボットは、ビルやエレベーターのシステムとのインテグレーションコストがハードルとなっていた。三菱電機はこれらのビルシステムとロボットのスムーズな連携が行えるプラットフォームである「Ville-feuille（ヴィルフィーユ）」を展開している（図16）。

さらに、経済産業省は2021年6月にロボットとエレベーターがベンダーフリーで連携するための規格「ロボット・エレベーター連携インタフェース定義」を策定した。策定メンバーとしては東芝エレベータ、日立ビルシステム、日本オーチス・エレベータ、三菱電機といったエレベーター企業、三菱地所・森トラストといったデベロッパー、清水建設・大成建設といった建設会社が参画している。

22年1月には、三菱地所と経済産業省による設備エレベーターとロボットがメーカーを問わずに連携する実証実験を実施している。実証実験では施設内のエレベーター・ドアなどと、NECネットエスアイの屋内搬送ロボット、パナソニックの屋外搬送ロボット・清掃ロボットなど複数ロボットとの連携を行っ

ている。今後、エレベーター・ビル施設とロボットの連携がさらに進むことが期待される。

（2）ロボットに関する規制緩和

新たな技術導入については、ビジネスとしての検討とともに行政の規制緩和の検討も並行する必要がある。特にラストワンマイル配送など屋外でのロボット導入は、現行の規制・法律の改正が求められる。たとえば自動搬送ロボットは、現行の道路交通法や道路運送車両法では扱いが定義されておらず、公道走行が認められていなかった。そこで警察庁・国土交通省は2021年6月に、遠隔・多数台で低速・小型の自動配送ロボットを用いた実証実験の審査手続きを簡素化し、実証実験が実施しやすいよう緩和している。加えて、22年2月にはロボットによる自動配送サービス関連八社による一般社団法人ロボットデリバリー協会が発足し、安全基準の策定や認証の仕組みづくりに取り組むことが発表された。今後も政府・省庁との連携を通じて、ラストワンマイル配送をはじめとしたロボットの社会実装が進むことが期待される。

(3) ロボット保険

新たな技術を導入する際にはリスクがつきものであり、導入ハードルを下げる観点から保険サービスの存在は重要となる。たとえば損保ジャパンは「自動走行型ロボット専用保険プラン」を提供している。これは自動運転専用保険を提供し、実証実験を支援してきた経験を活かしたものだ。自動走行ロボットを用いた自動配送・消毒・警備などのサービス提供については、自律走行や遠隔監視操作による「運行リスク」や、配送貨物が破損した際の「補償」、警備作業中に犯罪者と誤認することによる人格権侵害といった「業務リスク」など、幅広いリスクへの対応が必要となる。ロボットの社会実装に向けては、これら保険の仕組みが重要となる。

終わりに

ここまでロボティクス4.0の構造と変化について触れてきた。ロボティクス4.0環境下においては、個別の企業のための戦略ではロボットの社会実装やロボット事業の展開にはつながらない。エコシステムの活用とともに、産学官での綿密な連携が必要となる。その観

点から、続く第二論考「学官におけるロボティクスのグローバルトレンド」では、グローバルでの学官の取り組みと日本の状況を、第三論考「日本におけるロボティクス4.0戦略の方向性」ではこれらを踏まえたロボティクス4.0の構造変化と、産学官で求められる日本の戦略について触れていきたい。

注

川崎重工業Webサイトより

著者

小宮昌人（こみやまさひと）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント

専門はプラットフォーム戦略などのビジネスモデル変革、デジタルツイン・産業メタバース活用、FA・インダストリー4.0対応、ロボティクスなど。近著に『製造業プラットフォーム戦略』（日経BP）、『日本型プラットフォームビジネス』（日本経済新聞出版社）

岩崎はるな（いわさきはるな）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部コンサルタント

専門は製造業におけるDX戦略、新規事業開発の検討支援、スタートアップ連携支援、特に、インダストリー4.0対応、ロボティクスやオートメーション、Additive Manufacturingなど