

ロボット産業エコシステムの現状と考察

—日本のロボット採用状況の分析—

林 隆 一

神戸学院経済学論集

第54巻 第1・2号 抜刷

令和4年7月発行

ロボット産業エコシステムの現状と考察⁽¹⁾

—日本のロボット採用状況の分析—

林 隆 一

キーワード：エコシステム、モジュール、ロボット、システムインテグレータ
Keyword: Ecosystem, Module, Robot, Sler (System Integrator)

1. はじめに

工作機械産業ではモジュール化の進展で、日本の中堅企業のグローバル展開が可能となり、製造業の多様性が維持されている。一方、ロボット産業では日本のシステムインテグレータ（以下、Sler⁽²⁾）の知識が囲い込まれる傾向があるが、中国では多様な用途向けの採用が広がりつつある。これらのロボット採用の多様性の遅れが、日本の製造業自体の競争力の低下につながる可能性がある。

日本の工作機械企業は、世界トップの競争力を維持している。機械振興協会経済研究所では、世界の機械産業主要12業種（自動車、自動車部品、情報・通信機器、半導体・同製造装置、コンピューター・事務機、重電・産業機械、家電・映像機器、航空・宇宙機器、建設・農業・鉱山機械、医療機器、造船・海洋設備、工作機械）について、日本、北米、欧州、アジアの4地域に本社を置く企業の競争力分析を行っている。これら4地域企業のうち、売上高トップ5社の財務諸表をもとに分析しているが、2020年度で日本が売上高シェアで1位

(1) 本論文はJSPS 科研費 22K01646（基盤研究（C））の助成を受けたものである。

(2) ロボットのシステムインテグレータ（System Integrator）は、Slerと呼ばれ、生産ラインの詳細な設計、ロボットの設置、ソフトウェア設計、制御ソフト組込み等を行う。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

となったのは工作機械産業（日本のシェア44%）のみであった。⁽³⁾

工作機械では、ファナックがモジュール化した主要部品（NCモジュール）⁽⁴⁾を工作機械企業に提供することで、日本の工作機械は全産業の技術的知識の運搬態として、世界中の金属加工の多様性が維持されている。ビジネス・エコシステムにおける製品供給の「標準化」（モジュール）と需要の「多様性」（インテグラル・すりあわせ）を両立させる仕組みが機能していると考えられる。一方で産業用ロボット産業に同じ構図を当てはめると、各国のSIerが技術的知識の運搬態としての役割を担っていると考えられるが、各国のロボット導入の現状は必ずしも明らかになっておらず、SIerの機能も十分には解明されていない。産業用ロボットエコシステムにおいても、工作機械との産業比較を通して、ライン・ビルダーとしてのSIer企業の機能を分析していく必要がある。

しかし、そもそも消費財と異なり、資本財の場合は企業秘密の関係で取引ネットワークのデータにアクセスすることが困難な場合が多い。本論文では、日本経済再生本部の「ロボット新戦略」に基づく「ロボット導入実証事業」（経済産業省）からデータベースを作成し、まず日本のロボット産業のエコシステムの現状を把握し、採用状況を分析する。本論文が対象とした2017年「ロボット導入実証事業」では123件の補助金対象（総事業規模は約55億円）に関して、採用企業とSIer企業の社名、企業規模、業種、採用ロボット（企業名・機種詳細）、導入目的に加え、投資額、実現された省人化人数・労働時間・生産量等の詳細内容が公開されており、取引ネットワークの一部に公開データからアクセスが可能である。

本論文の構成としては、第2章で関連する先行研究を概観した上で、データベースの分析の前提として、第3章で世界のロボット産業構造を主要5ヶ国中

(3) 山本（2022）による。なお、企業上位5社合計で日本が4地域中2位だったのは、自動車、自動車部品、家電・映像機器、建設・農業・鉱山機械の4業種だった。

(4) Numerical Controllerの略。数値による信号指令を用いるプログラムで工作物に対する工具の位置や送り速度などを制御する工作機械等の中核部品。

心に分析し、第4章で分析対象としたロボット企業6社の事業展開・戦略をまとめる。それを踏まえ、第5章で、既集計の国際ロボット展データと比較しながら「ロボット導入実証事業」の集計データを考察する。第6章で、ロボットを工作機械と産業比較し、SIer企業の機能を分析し、第7章で結論と今後の課題をまとめる。

2. 先行研究

モジュール研究の嚆矢である Baldwin & Clark (2000) が、モジュールの供給者（設計者）は、モジュール相互間の動作を確保する「デザイン・ルール」さえ遵守すれば自由に試行錯誤できるようになり、この自由度により新しいイノベーションの創出が可能になると主張した。これに続く研究成果を踏まえ、Iansiti & Levien (2004) は、ウォルマートやマイクロソフト、TSMC 等の研究を通して、「産業」と「市場」に対して「ビジネス・エコシステム」というフレームワークを示し、エコシステムの動向を左右する「キーストーン種（企業）」の重要性を指摘した。Gawer & Cusumano (2002) は、インテルなどのIT企業の研究を通して、広範な産業レベルにおける特別な基盤技術の周辺で、補完的なイノベーションを起こすように他企業を動かす能力を「プラットフォーム・リーダーシップ」と定義した。さらに、プラットフォーム・リーダーシップの獲得を目指すために、触媒となる技術を梃に、産業内で補完製品のイノベーションを誘発するように仕向けていると考えた。

プラットフォーム・リーダーシップ戦略に関して、ITや小売、医薬品企業等の事例研究が数多くなされてきた。しかし、立本（2017）によると、プラットフォーム戦略の先行研究では欧米国内の展開を念頭にしており『プラットフォーム企業の成功が地域経済の産業成長にどのような影響を与えるかという問いについて既存研究は十分に答えてない』ため、『新興国市場への展開とプラットフォーム戦略がどのような相互作用をもたらしているのかについて、いまだよくわかっていない』状況にある。要因として『取引ネットワークのデー

ロボット産業エコシステムの現状と考察

タにアクセスすることが、通常は非常に難しい』ため、この種の既存研究はほとんど存在しないためとしている。また『日本企業でオープン標準を活用した戦略は非常にまれ』であり、製造業での研究事例は比較的少ない。一方で、半導体産業などを研究対象とした立本（2017）は、オープン標準の戦略的活用とエコシステムの分析を通して、プラットフォーム企業が国際的に成功すると「新興国企業に成長機会・キャッチアップ機会をもたらす」との仮説を提示している。

林（2021）は、生産財におけるプラットフォーム・リーダーシップ戦略の事例として、ファナックの事業展開を対象に分析を行っている。ファナックは、工作機械のNCと産業用ロボットの両方で世界トップ企業としてプラットフォーム戦略を展開している。工作機械向けでは、ファナックのNCモジュールが中小・新興企業に供給されることで、加工法の多様性が維持され、新しい最終製品を生み出してきた。つまり、中小企業が新しいイノベーションを生み出し、大手企業の機械がその加工範囲を順次取り込み、アジアに広がる業界全体のエコシステムが維持されてきたと解釈した。しかし、生産財の場合、世界中に納入され稼働している製造業の現場を調査することは困難で、個別の企業秘密も多く、外部からは把握しづらい。そのため、2019年の世界の工作機械産業では中独日米台韓の6ヵ国で生産の72%、消費の62%を占めていることを踏まえ、工作機械の世界四大見本市（2018～19年）に出展された3,181台のNC工作機械を目視で調査し詳細データベースを作成した。これらの分析により、ファナックは全ての地域で工作機械の下位企業シェアが上位企業シェアよりも高いことなどを明らかにしている。

産業用ロボット産業・企業を対象とした先行研究はそれほど多くないが、渋谷・恩蔵（2011）が、ファナックの標準化戦略と対比し、安川電機のロボット事業について技術力をベースとした顧客適応戦略として分析している。また久木田（2018）が、2大産業用ロボット企業として、安川電機とファナックの財務分析を中心に分析を行っている。大木・池尻（2020）では、島津製作所の事

例研究からロボット導入におけるローコスト・ロボットが「破壊的イノベーション」になりうることを指摘している。ただし産業用ロボットの場合、半導体やHDDのように、性能を一義的な数値などでは把握しづらく、単純に「コスト」で比較しにくい。一方で、製造業全体を対象に榎本（2018）は、製造業のライン・ビルダーの類型を整理し、ソリューションビジネスによる能力獲得（統合的な知識の蓄積）に注目している。

Hayashi（2017）ではロボット産業のビジネス・エコシステムを、ファナックのプラットフォーム・リーダーシップ戦略の視点で分析を行った。林（2018）でロボット企業等のIR/財務分析を行ない、産業の業績の全体像を把握している。「ロボット・マテハン上場企業」12社を集計すると、2018年度の関連売上高だけの合計で約1.1兆円、推定される同営業利益は約1,300億円（利益率12%）となっていることを明らかにしている。林（2021）では、2018～19年の日欧中の見本市で工作機械企業が機械と組み合わせで展示された産業用ロボット595台の目視調査を行った。さらに、2019国際ロボット展で展示された172社806台のロボットのうち、Sier企業の展示ロボット30社93台の集計も行い、用途別にロボット採用を使い分ける主要Sierの特性の一部分を明らかにしている。

3. ロボット産業エコシステムの現状

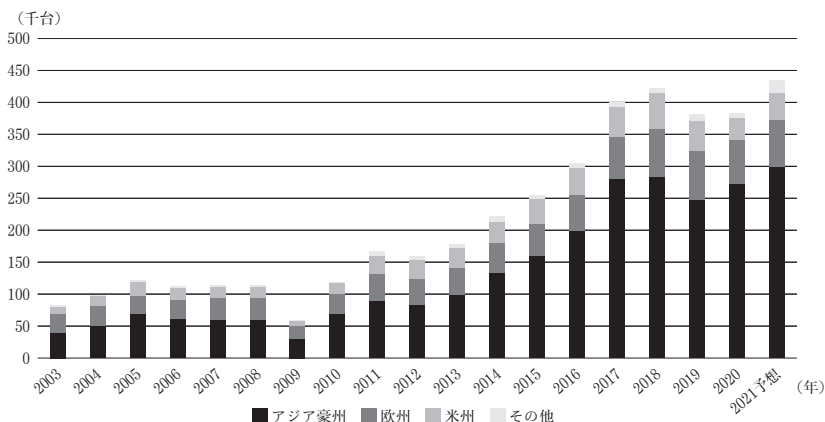
⁽⁵⁾
IFR（2021）によると、2020年時点の世界の産業用ロボットの累積稼働台数は301万台（前年比10%増）である。内訳は、中国が約94万台（前年比21%増、構成比31%）、日本が約37万台（同5%増、同12%）、韓国が約34万台（同6%増、同11%）、米国が約31万台（同5%増、同10%）、ドイツが約23万台（同3%増、同8%）であり、この上位5ヵ国で全世界の約73%を占める。第6位のイタリアが約7.8万台（同5%増、同2.6%）、第7位の台湾が約7.6万台（同6%増、同2.5%）と上位5か国とは大きな格差がある。世界の1年間の導入台

(5) International Federation of Robotics（国際ロボット連盟）。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

数は2020年で約38.4万台（前年比1%増）となっているが、2021年は過去最高の約43.5万台が見込まれている（図表1）。

（図表1）世界の産業用ロボット市場動向

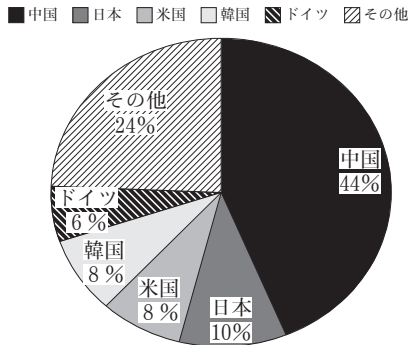


（出所）IFR（2021）より作成

国別の産業用ロボット需要を見ると、2020年の台数38.4万台の内訳は、中国が約16.8万台（構成比44%）、日本が約3.9万台（同10%）、米国が約3.1万台（同8%）、韓国が約3.1万台（同8%）、ドイツが約2.2万台（同6%）である（図表2）。この上位5カ国で全世界構成は約76%と、同累積シェアの約73%を上回っており、短期的にも中国を中心にさらなる集中傾向が見られる。

中国政府は、2015年5月発表の「中国製造2025（メイド・イン・チャイナ2025）」を踏まえ、2016年4月発表の「ロボット産業発展計画（2016-2020年）」で、2020年の目標として、自主開発の年間生産量10万台、6軸以上の産業ロボット年間生産台数5万台以上（国内ブランド50%）、国際競争力を持つリーディングカンパニー3社以上、従業員1万人当たり150台などを掲げた。さらに、2021年には「第14次五ヵ年計画及び2035年ビジョン目標要綱（2021～2035年）」で、製造業の競争力強化に向け、ロボットを含めた8大重点産業分野の集中的な育成を掲げ、中国企業のロボット普及を支援している。これらの追い

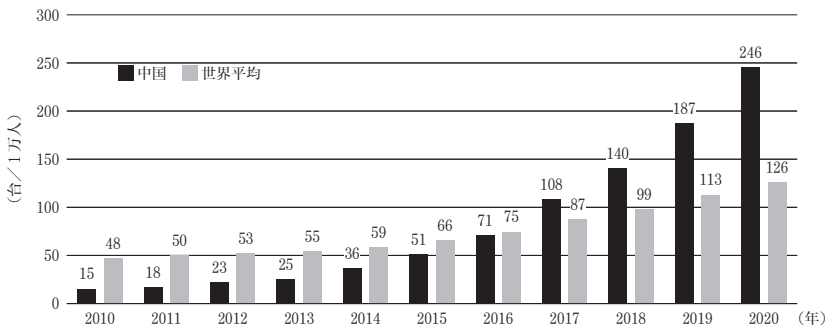
（図表2）ロボット市場の国別台数内訳（2020年）



（出所）IFR（2021）より作成

風もあり，中国の製造業の従業員1万人当たりのロボット導入台数は，2017年に世界平均値を超え，2020年には246台で高まっている（図表3）。

（図表3）従業員1万人当たりロボット導入台数（中国と世界平均）



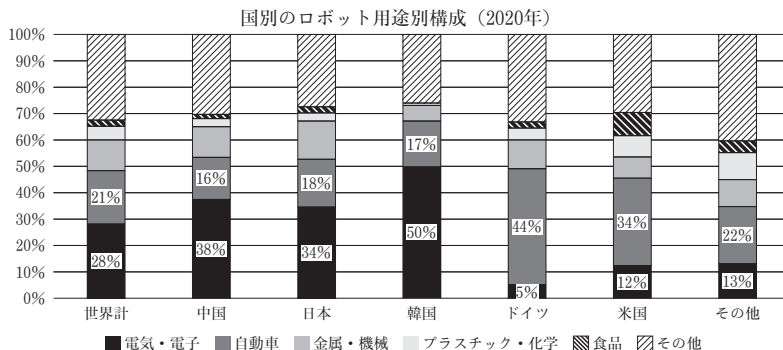
（出所）IFR（2021）等より作成

世界市場の約38.4万台の用途別構成は，電気・電子が約28%（約10.9万台），自動車が約21%（約8.0万台），金属・機械が約11%（約4.1万台），プラスチック・化学が約5%（約1.9万台）となっている（図表4）。2018年の自動車の約30%（約12.6万台）から台数ベースで約4.6万台減少し，構成比が9%ポイント減少している。逆に，電気・電子向けは，2018年の構成比は約25%（約10.5万

ロボット産業エコシステムの現状と考察

台)、2019年の構成比は約23% (約8.9万台) から急拡大し、用途構成で最大となっている。

(図表 4) 産業用ロボットの用途別構成



(出所) IFR (2021) より作成

中国市場の約16.8万台の用途別構成も、電気・電子が約38% (約6.3万台)、自動車が約16% (約2.7万台)、金属・機械が約11% (約1.9万台) となっている。2018年の自動車が約25% (約3.9万台) から2年で台数が1.2万台減少し、構成比が9%ポイント減少している。逆に、電気・電子向けは、2018年と2019年ともに構成比は約30%だったが、2020年に急拡大している (図表5)。逆に過去3年間の他の国の電気・電子向けは、日本や韓国は高水準で、米国やドイツは低水準での横ばい圏で安定している。

(図表 5) 産業用ロボットの電気・電子向け構成比 (2018~2020年)

		世界計	中国	日本	韓国	米国	ドイツ	その他
電気・電子	2020	28%	38%	34%	50%	12%	5%	13%
	2019	23%	30%	31%	54%	10%	6%	8%
	2018	25%	30%	33%	53%	13%	5%	13%

(出所) IFR (2021) より作成

中国は全用途で高いシェアを持つが、特に電気・電子向けの構成比が高い (図表6)。他の国の電気・電子向けは、日本・韓国の構成比が相対的に高く、

米国・ドイツは極端に低く、二極化している。一方で、米国・ドイツは自動車向けの構成比が高く、自動車向け全体のシェアでも、日本の水準を上回っている。また、日本では金属・機械向け、米国ではプラスチック・化学や食品向けの構成が高いなどの特徴がみられる。欧州は、ロボット活用の歴史が長い一方で、2014年にEUで「ロボティクス規制に関するガイドライン」が公表されるなど、国民の雇用問題との関連に関心が高いことが背景にあると考えられる。

(図表6) 産業用ロボットの用途別の国別シェア

(2020年)	中国	日本	韓国	米国	ドイツ	その他	合計
電気・電子	58%	12%	14%	3%	1%	11%	100%
自動車	34%	9%	7%	13%	12%	25%	100%
金属・機械	46%	14%	5%	6%	6%	23%	100%
プラスチック・化学	26%	5%	1%	14%	5%	48%	100%
食品	25%	8%	0%	23%	4%	41%	100%
その他	41%	9%	6%	7%	6%	30%	100%
合計	44%	10%	8%	8%	6%	24%	100%

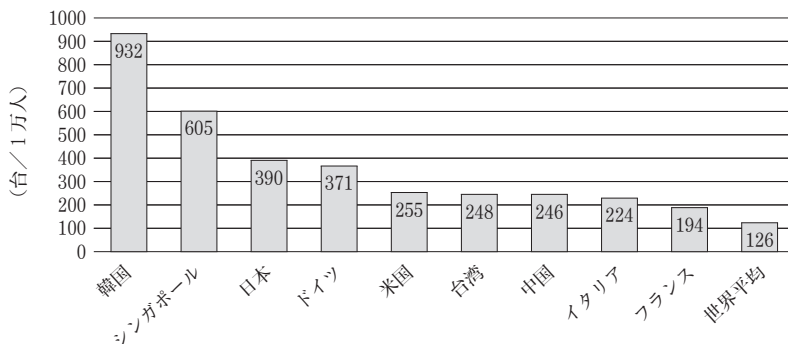
(出所) IFR (2021) より作成

電気・電子向けが相対的にも高い韓国では、製造業の従業員1万人当たりのロボット導入台数(2020年)が932台で突出して高く、他の主要国と比較してロボット密度が2倍以上となっている(図表7)。この背景として、韓国のロボット事業者は2,000社強の約97%が中小企業であり、特に過半を占める小企業が多様なロボット開発を支えていると考えられる。2021年に韓国政府が発表した「知能型ロボット実行計画」では、2023年までの累積70万台を目標に、①韓国における3大製造業であるブリ産業(鋳造、金型、焼成加工、溶接、表面処理、熱処理などの業界)、繊維産業、食・飲料産業を中心に産業用ロボット導入を拡大、②介護ロボット、ウェアラブルロボット、医療ロボット、物流ロボットの4大サービスロボット分野の集中的育成、③ロボット産業のエコシステム強化などを主要課題として掲げている。

世界最大市場の中国をロボット供給側の視点で見ると、現時点では依然として産業用ロボットメーカー外資4社(ファナック、安川電機、⁽⁶⁾ABB、⁽⁷⁾KUKA)

ロボット産業エコシステムの現状と考察

(図表 7) 従業員 1 万人当たりロボット導入台数 (2020年)



(出所) IFR (2021) より作成

で 4 割強のシェアを維持している。ただし、中国企業のロボットはハード的には日欧企業と比較して耐久性などで劣るものの、販売価格の安さに加え、現地の個別顧客に対する細かいニーズ対応が優れており、中国の用途拡大の背景にあると考えられる。

NEDO (2020) によると、中国ローカル企業シェアも 2018 年で 27% (4.5 万台) まで高まっている。ロボット種別 (台数ベース) で見ると、多関節ロボット 19%、スカラロボット 18%、直交座標ロボット 83%、平行リンクロボット 61% と国産比率にも偏りが見られる。逆に、中国ブランドの構成比を見ると、多関節ロボット 43%、直交座標ロボット 33%、スカラロボット 14% 等となっている。

中国ローカル企業が中国国内で高いシェアを得ているのが平行リンクロ

-
- (6) 2020年のロボット&個別オートメーション事業売上29億ドル、営業利益▲1.6億ドル。協働ロボット YuMi は、ビジョンシステム、グリッパ、タッチ反応技術などを搭載し柔軟で繊細な作業に強みを持つ。
 - (7) 2020年のロボット事業売上 9 億ユーロ、EBIT▲ 4 百万ユーロ。2016年に中国・美的集団 (ミデアグループ) が買収し 38.6% の筆頭株主となっている。協働ロボット LBR iiwa は 7 軸の自由度で腕全体をねじる動きや狭いところに潜り込むような作業に強みを持つ。

ボットである。ABBが保有していたパラレルリンク（Parallel Link）⁽⁸⁾式の特許が1997年に切れ、ファナックは2年の開発期間を経て、小型パラレルリンクロボット（ゲンコツロボットシリーズ）を発売している。その後、パナソニック、オムロン、川崎重工など多くの企業がパラレルリンクロボットに参入し、軽加重の食品・電子部品などの用途開拓を進めている。

また、用途構成の多様化が進む中で、直近で注目を集めているのが協働ロボットである。協働ロボットとは、組立作業や搬送などが作業しているスペースへの置き換えを目的に、人に近い動作、作業内容、作業環境での利用を想定して、「規定された協働作業空間で、人間と直接的な相互作用をするように設計されたロボット」である。2020年の協働ロボット台数は世界全体の構成6%弱（2.2万台）まで拡大し、ロボット各社の参入が続いている。中国企業も約30社が参入し、6軸の自由度を持つ垂直多関節型の協働ロボット「AUBOシリーズ」を開発したAUBO⁽⁹⁾（遨博智能科技）が中国内シェアトップの35%、台数ベースで世界シェア2位となっている。なお日本では、2013年12月の労働安全規制や2015年3月の日本工業規格（JIS）の改正まで、安全確保を条件に高出力のロボットを安全柵なしで稼働できる基準が明確でなかったこともあり、日本企業での採用は遅れていた。直近の人手不足に対応し、人とロボットが共存する柔軟な製造ラインを組むため、日本のロボットメーカーなども協働ロボットの開発・販売に注力している。

4. 主要ロボット企業概要

日本ロボット工業会（2021）によると、2020年の日本国内生産金額は7,813億⁽¹⁰⁾円、生産台数19.7万台、単純平均単価397万円となっており、生産金額の約73%、および生産台数の約79%が輸出されている。日本企業のロボット世界シェ

(8) ABBは食品向けに特化しており累積販売台数は1,000台程度にとどまっていた。

(9) 2015年に社名変更し、米国テネシーから中国・北京に移転（生産拠点は常州市）。

(10) 電子部品実装含む。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

アは47%で世界一の供給大国となっている。ただし、自動車向けが中心だった1990年代の9割前後のシェアから長期低下傾向が見られる。1995年には日本のロボット企業数は250社を超えていたが、2018年では55社まで減少し、1社当たり生産額は約8倍に集約が進んでいる。

本論文の分析対象の「ロボット導入実証事業（2017年）」で採用（公開）されているロボット122台のうち81台（構成比66%）が上位6社のロボットによって占められている。これらの分析の前提として、以下に同6社の企業の動向をまとめる。各社の起源やバックグラウンドは異なるが、事業戦略面では多くの企業が直近で協働ロボットへの注力を発表し、中国などでの生産能力増強を進めている点で共通点が見られる。各社はロボット専業ではないため、明確な事業収益や事業戦略詳細は開示されていない場合が多いが、公表されている範囲をまとめた。

【安川電機：「ロボット導入実証事業」でのシェア21%（26台）】

安川電機は、1977年に日本初の全電気式産業用ロボット「モートマンL10」を発売し、2021年2月に産業用ロボットの累積出荷台数50万台を突破している。ロボットは青色がコーポレートカラーである。2021年度のロボット売上高1,787億円、営業利益172億円（利益率9.7%）である。ロボット売上高の地域別内構成比は、国内23%、米州14%、欧州21%、中国30%、その他アジア12%他であり、受注台数の用途別構成は自動車向け40%弱、3C（コンピューター、家電、通信）向けが15%弱となっている。

もともと自動化をキーワードとしたサーボモーターなどの電機品が主力製品であり、そこからロボットを開発してきたため、電機品を内製し、各種業界のニーズに対応することで多様なロボットに展開してきた。現在は、自動車向けのアーク溶接・スポット溶接だけでなく、液晶・半導体ウエハー搬送や一般産業向けハンドリングや組み立てなど最も幅広いラインナップを持つ企業となっている。

ファナックが電機部品をセットでモジュール販売を行うのと対照的に、「安川インサイド」戦略で、中国のロボット企業にもサーボモーターとコントローラーを供給し、部品売上高の拡大戦略をとっている。様々な用途に広がるロボット市場は小回りのきく中国企業の方が細かく開発が出来るため、キーパーツを販売することで市場の成長をつかむ方針で、中核部品の世界シェアを現在の10%から30%に拡大することを目標としている。また中国において、2017年に中国 EMS「深圳市長盈精密技術股份」（チャイン）と、スマートフォン製造用ロボット事業を展開する合弁会社を設立している。直近では、チャイン系列の SIer とも提携し、ソリューション提案を行っている。なお、ロボットの実体験のできるロボットセンターを、愛知、中国、韓国など世界で35カ所開設し、SIer の教育の場としても活用している。

生産は日本（北九州）、中国、スロベキアで行っており、2022年度4.8万台⁽¹¹⁾体制の能力構築が見込まれている。2017年から協働ロボット「MOTOMAN-HC 10」を販売しているが、2022年4月には本社工場で新たに「協働ロボット」を導入し、従来100人前後の工程を半分以下として、生産性を従来の2倍超に高めた新ラインを構築している。最新のセンサーやソフトウェアを組み込み、安全柵なしで人と協同して作業できるため、設備の自由度が向上し、今まで困難だった工程への導入が可能になる。約3年前に協働ロボットを初導入した際にはネジ締めなどの作業が中心だったが、今回はクレーンが持ち上げた重量物を人が作業しやすい位置に固定させるなどの重作業を担っている。将来的には、AGV（無人搬送車）などの移動体も組み合わせた「ロボット×モビリティ」の方向性を模索している。

【ファナック：「ロボット導入実証事業」でのシェア18%（22台）】

ファナックは1977年にロボットを開発して以来、2021年6月に産業用ロボッ

(11) 夜間に稼働しない場合、国内のロボット生産能力は月産2,700台としている。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

トの累積出荷台数76万台（前年比6万台増）を突破し、産業用ロボットの世界トップ企業となっている。2021年度売上高7,330億円のうち、ロボット事業は、ロボット売上高2,685億円（構成比36.6%）と全部門のサービス売上高937億円（同12.8%）の一部が該当する。ファナックのNC装置ユニットはコントローラーとサーボモーターをセットでモジュールとして顧客に供給しているが、ロボットもコントローラーとサーボモーターなどが組み込まれたユニットであり、NCとの類似点が多いと考えられる。

直近の2022年1～3月のロボット売上高の地域別構成比率では、日本国内は7%に留まり、米州40%、欧州21%、中国27%、それ以外のアジア5%他となっている。全社の地域別売上高構成と大きく異なり、米州向け売上高が大きく、自動車向けのシェアが高い。1982年に米ゼネラルモーターズ（GM）との共同出資で「GMファナックロボティクス社」を立ち上げ、自動車製造現場を中心に、米国でのロボット導入実績を先導してきた。1992年に完全子会社化（社名変更）しているものの、現在も米国での高いシェアを維持していることが、米州売上高の拡大に繋がっている。一方で、日本企業は、ロボットの取り扱いに慣れており、カスタム仕様を好む傾向があり、特に大企業は自らロボットの仕様を決め、ロボット企業に製造させることが多いこともあり、相対的にシェアが低い。

機種構成では、アーク溶接やスポット溶接、パレタイジングに用いられる垂直多関節ロボットに強く、小型パラレルリンクロボット（ゲンコツロボットシリーズ）や大型も揃えていることが特徴である。2015年から協働ロボットを発売し、CRシリーズでは可搬重量4kgから35kgまでのラインナップを揃え、ロボットが初めてでも簡単に使える協働ロボットCRXでは可搬重量5kgから25kgまで5機種に拡大している。ファナックのロボットの多くは、コーポレートカラーである黄色に塗装されているが、協働ロボットは見た目ですぐ安全だと分かるように、緑色に塗装されているのが特徴である。

ロボットの生産能力は、本社工場（月産5,100台）に加え、2018年に新工場

を建設した筑波工場（月産4,300台）で月産9,400台の体制を構築し、新工場がフル稼働すれば全社で最大1万1千台まで拡張可能とされている。ファナックは1974年に開発したロボットを自社2工場に導入し、1977年から量産を開始し、現在では本社工場に3,600台以上のロボットを導入している。ロボットを多数用いた自動組立システムでは、ロボットがロボットを組み立てており、組み立てられたロボットは検査と自動試験を行い、連続運転を行ってから出荷されている。またファナックのロボットは標準化されているため、ロボットの組立工程の約9割まで自動化されている。標準化することで製品の故障率は低く、その製品は変動価格も低く抑えられていると考えられる。⁽¹²⁾

【三菱電機：「ロボット導入実証事業」でのシェア10%（12台）】

三菱電機はNCなども手掛ける総合FA企業である。2021年度の産業メカトロニクス部門売上高1兆4,603億円（うちFAシステム事業7,559億円）で、営業利益率6.6%（うち同事業17.0%）である。産業用ロボットは、社内のエレクトロニクス製品の組み立てに使用するロボットから、1980年代初期に外販を開始し、現在では自動車関連にも展開している。中小型ロボットを使った組み立て作業等で、人間の作業を自動化し、ロボットシステムを組み込んだ一連の自動生産ラインを構築することに優位性を持つ。同社が保有する豊富なFA関連機器の商品群を活用することで、ロボット以外にも顧客に最適な自動化・合理化のソリューションを提供できる。シーケンサーはロボットのCPUを組み込むことができ、1台のシーケンサーで最大4台まで協調制御が実現できる。ハード・ソフト・サポートツールなどをパッケージ化することで顧客・SIerの設計やプログラミングに対する負担軽減を謳っている。直近では、独自のAI技術「Maisart（マイサート）」を産業用ロボットに応用し、力覚制御を高速化できる。2019年には、米リアルタイム・ロボテックス（モーションプランニン

(12) ファナックのビジネスモデルなど詳細は林（2021）参照。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

グ技術)、米アイコニックス(監視制御用ソフト)やシンガポール・アクリビス・システムズ(リニアステージ)などの買収・出資を発表し、周辺技術の取り込みを進めている。

2020年5月に協働ロボット「MELFA ASSISTA(メルファ・アシスタ)」(5kg可搬, 6軸)を発売している。自動車・電気・電子部品・食品・医薬品・衛生用品等の業界向けに、衝突検知などの安全機能を備えた人と共に作業ができるロボットであり、導入・立ち上げを容易にするプログラム作成ツール「RT VisualBox」も開発・販売している。さらに2021年には、病院や商業施設など向けに多用途搬送サービスロボット, 着脱型カート方式の自律走行ロボットの開発を発表している。

生産は名古屋製作所に加え、2018年より中国・常熟の第2工場内で生産を開始し、全社の約2割の生産能力を保有している模様である。中国における最終顧客へのスペックイン活動の強化やSierパートナー網の拡充などにより受注の拡大を図っている。

【川崎重工業:「ロボット導入実証事業」でのシェア8%(10台)】

川崎重工業は、1969年に国産初の産業用ロボットを生産し、多くの種類の産業ロボットをラインナップしてきた。特に半導体ウエハー搬送用では数量ベースで世界シェア50%超を持ち、スポット溶接でも高いシェアを持つ。2021年度の精密機械・ロボットカンパニー売上高2,526億円(うちロボット事業895億円)、営業利益率6.5%である。社内売上を含むロボット事業1,011億円の分野別売上内訳は、自動車関連が前年比3%減の357億円、半導体関連が同53%増の363億円、一般産業他が同37%増の290億円となっている。

2015年に双腕スカラロボット「duAro(デュアロ)」を、2018年には「duAro2(デュアロ・ツー)」を発売した。デュアロは人間の手や腕の独立した動きを再現できる双腕構成のロボットで、安全柵なく作業員1人分のスペースにそのまま収まることが特徴であり、電機・電子関連向けの採用が増加している。デュ

アロ2では可搬重量を片腕2kgから3kgに上げ、箱詰め作業や工程間移動などに用途が広がっている。2016年に派遣（レンタル）事業の開始し、2017年よりABBと双腕協働ロボットでソフトウェアの共有化などの協業もしている。2021年からは産業用及び協働ロボットと周辺機器を円滑に接続するためのプラットフォーム「K-Add On」の運用を開始している。さらにオープンイノベーションの推進を目的に、自律走行型双腕ロボット「Nyokkey」を、サービス業界向けのプラットフォームとして開発し、「Future Lab HANEDA」内にある実証実験の場「レストラン AI_SCAPE」で配膳をしている。

精密ロボットの強みを活かし、医療関連用途にも注力している。2020年に手術支援ロボットとして国産初の「hinotori（ヒノトリ）」の製造販売承認を取得した。また2020年には、自動PCR検査コンテナシステムを用いた検査サービスも開始している。40フィートコンテナの中に、汎用ロボットを複数搭載しており、遠心分離、分注・不活性、核酸抽出、容器供給、試薬調整、PCRセットアップといったPCR検査工程を無人化・自動化し、80分以内で完了できる。空港における国際線入出国者向けのPCR検査サービス事業として、2022年度目標は約160万（2021年度40万）の検体数を目指している。

ロボット生産は、明石工場（年産2万台）の主力拠点に加え、西神戸工場にも生産ラインを整備し、クリーンロボットの生産能力は1,300台に拡大している。海外では中国・蘇州で汎用ロボットやアーク溶接ロボット、小型・中型汎用ロボット「Rシリーズ」などを年産7,000台、重慶で年産1,000台の能力を構築している。蘇州拠点での生産品はロボット生産に適應するように設計を見直し、ロボット生産ならではの高精度品として、「made by Robot」を謳っている。2017年にはシンガポールにSIer育成拠点も開設している。

【不二越：「ロボット導入実証事業」でのシェア6%（7台）】

不二越は、1928年に富山で創業した総合機械企業で、1969年に油圧式の産業ロボット市場に参入し、1979年に世界初の電動型の多関節溶接ロボットを開発

ロボット産業エコシステムの現状と考察

した企業でもある。もともと自動車向けが主要な取引先だったが、2013年に小型垂直多関節ロボット「MZ」シリーズを開発し、EMSや一般産業機械への展開を図り、2018年に協働ロボット「CZ」を発売している。2016年に新たな経営方針として「ロボットを核にした総合機械メーカー」のコンセプトを打ち出し、2017年にロボット開発人材の取り込みのため、本店登記を富山から東京に変更している。

2021年11月期売上高2,291億円のうちロボット売上高を含む機械工具セグメント売上高714億円（うちロボット売上高282億円）で、営業利益率6.4%である。生産能力は富山事業所で月産1,500台から2,500台に増強中である。「ロボがロボをつくる工場」として、ロボットのアーム（腕）の組み立てを、作業員からロボットに切り替え、工程に従事する従業員を約5分の1としている。2020年にはロボット第3工場で無人化ラインが完工している。中国・張家港市では現状の月産500台から1,500台への能力拡大を視野に入れ土地を取得している。また、2010年には上海にロボットセンターを設置し、50人体制でSIerとの連携強化を進め、2016年にはテクニカルセンターも開設している。

【ユニバーサルロボット（Universal Robot, 以下UR）：「ロボット導入実証事業」でのシェア3%（4台）】

ユニバーサルロボット（UR）は、2005年に大学生3人がデンマークで設立し、2009年から販売開始した企業である。2015年にテラダイン（Teradyne）が約2.85億ドルで買収しており、2020年12月期売上高は前年比12%減の約2.2億ドル（出荷8,367台）で、国別内訳が欧州等44%、米州29%、アジア27%と見られる。自動車、電機だけでなく、機械、プラスチック・ゴム、医療、消費財、薬品、食品、航空など幅広い用途に使用されていることが特徴である。同社調査で協働型ロボットの世界金額シェア58%と圧倒的地位を築いており、2020年12月には累積5万台の出荷を達成している。特許65件を保有し、世界23カ所拠点の従業員740名に加え、50カ国以上に販売パートナーが300社以上いる。2016

年に日本支店を設立し、テクニカルサポートなどの活動を開始し、2019年に事業拡大に合せ、アプリケーションルームを備える新オフィスに移転している。

2018年に協働ロボットの既存モデル「CBシリーズ」を改良した「eシリーズ」を投入し、2021年5月には「UR10e」の内部部品を見直した可搬重量12.5kgの改良品を発売している。従来の自動車、食品、医薬品分野に加え、PCR検査用や風力発電機用、送電線補修用などの新領域での導入が進んでいる。プログラムがモジュール化されており、選択していくことで動作が設定可能な簡単設定が行えることが強みである。さらにオープンプラットフォームの取り組みとして、2016年からユニバーサルロボットプラスとして、開発者への無料プログラムキットの提供や開発者同士の情報交換フォーラムのサポートを行っている。

生産と研究開発は全てデンマーク本社で行われ、生産は月産1,500～2,000台の体制を構築している。2000年にデンマーク・オーデンセ市内に新たな本拠地となる施設を、同じテラダイン傘下のモバイル・インダストリアルロボット（MiR）と協働で、3,600万ドルを投資し整備することを発表している。

5. 「ロボット導入実証事業」の集計と考察

本章では、日本経済再生本部の「ロボット新戦略」に基づく「ロボット導入実証事業」（経済産業省）から作成したデータベースを分析する。「ロボット新戦略」は、「ロボット革命」の実現に向けて、我が国として世界一のロボット利活用社会を目指すことを2015年2月に決定したものである。これに基づき、「ロボット導入実証事業」は、幅広い分野でロボットが活用される社会の実現に向けて、ものづくり・サービスの分野のうち、これまでロボットが活用されてこなかった領域におけるロボット導入の実証や検証（FS）を進めていくための事業である。

2017年「ロボット導入実証事業」では、実証事業ごとに、採用企業とSIer企業の社名、事業規模、業種、採用ロボット（企業名・機種詳細）、導入目的

ロボット産業エコシステムの現状と考察

に加え、投資額、実現された省人化人数・労働時間・生産量の詳細内容が公開されている。⁽¹³⁾補助上限5,000万円の「ロボット導入実証事業」と同500万円の「ロボット導入FS事業」⁽¹⁴⁾の2つに分類され、補助率はいずれも大企業が1/2、中小企業が2/3となっている。実際の補助金対象123件（総事業規模は約55億円）のうち、「ロボット導入実証事業」が87件（同52億円）、「ロボット導入FS事業」36件（同2億円）となっている。

定量結果が明示されているロボット採用企業119社の内訳は、大企業が40件（構成比34%）、中小企業が79件（同66%）となっている（図表8）。また、類型の大分類としてA～Hの8種類に分類されており、そのうちA～Dの4種類で94件（構成比77%）を占めており、製造業向けが約92%となっている。A～Dの内訳は、「A. 労働生産性の向上」（24件、構成比20%）、「B. 過酷作業、熟練技能の代替・支援」（28件、同24%）、「C. 複雑・困難な作業のロボット化」（23件、同19%）、「D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用」（16件、同13%）となっている。

（図表8）「ロボット導入実証事業」の類型別の業種・企業規模内訳

分類	件数	構成比	製造業	サービス業	その他	大企業	中小企業
A. 労働生産性の向上	24	20%	22	1	1	9	15
B. 過酷作業、熟練技能の代替・支援	28	24%	26	2	0	3	25
C. 複雑・困難な作業のロボット化	23	19%	23	0	0	4	19
D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用	16	13%	11	4	1	7	9
E. サービスのバックヤード等におけるロボット活用	9	8%	1	7	1	8	1
F. 日常空間におけるロボット活用	9	8%	1	8	0	7	2
G. ロボットによる新たなサービスの実現	2	2%	0	1	1	0	2
H. システムインテグレータの機能強化	8	7%	6	2	0	2	6
合計	119	100%	90	25	4	40	79

（注）単位は（件）。全123件中、詳細データが公表されていない事例のD、E、F、Hの各1件を除く集計。

（出所）「ロボット導入実証事業」（経済産業省）データより作成

A～Dの4種類を平均事業規模で比較すると、最大規模の分類は「B. 過酷

(13) 122事業のうち119事業で実現された定量効果が公開されている。

(14) Feasibility Study（実現可能性調査）。

作業，熟練技能の代替・支援」で83百万円/件であり，最小規模の分類は「C. 複雑・困難な作業のロボット化」で29百万円/件となっている（図表9）。「B. 過酷作業，熟練技能の代替・支援」の生産性向上の内訳を見ると，省人化効果が大きく，労働時間短縮や生産量拡大の効果は限定的であり，人間の作業をロボットに移管していることが分かる。「B. 過酷作業，熟練技能の代替・支援」は，中小企業の構成が89%と高いが，投資規模が大きくても，労働者不足が影響していると考えられる。「B. 過酷作業，熟練技能の代替・支援」の個別業種では，「非鉄・金属」や「機械」が多く，用途では「塗装」が多く見られた。

（図表9）「ロボット導入実証事業」の類型別の生産生上昇結果と事業規模

分類	件数	構成比	生産性	省人化	労働時間	生産量	事業規模
A. 労働生産性の向上	24	20%	8.1	-53%	-59%	24%	41.3
B. 過酷作業，熟練技能の代替・支援	28	24%	9.7	-44%	-8%	-3%	83.2
C. 複雑・困難な作業のロボット化	23	19%	7.8	-50%	-14%	25%	29.4
D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用	16	13%	5.2	-33%	-13%	16%	46.6
E. サービスのバックヤード等におけるロボット活用	9	8%	2.5	-37%	-15%	2%	42.0
F. 日常空間におけるロボット活用	9	8%	3.8	-18%	-11%	170%	22.0
G. ロボットによる新たなサービスの実現	2	2%	2.2	-15%	0%	101%	82.1
H. システムインテグレータの機能強化	8	7%	4.0	-49%	-60%	127%	39.6
合計	119	100%	6.9	-41%	-38%	21%	44.5

（注）全123件中，詳細データが公表されていない事例のD，E，F，Hの各1件を除く集計。

生産生は事業の前後の倍率，事業規模の単位は百万円。

（出所）「ロボット導入実証事業」（経済産業省）データより作成

一方で，最も事業規模が小さい「C. 複雑・困難な作業のロボット化」も中小企業の構成が83%と高いが，生産量が25%拡大しており，個別業種でも「自動車」や「電機」も多く見られた。また，「A. 労働生産性の向上」では，生産量も24%拡大と増産対応のための投資となっている。「A. 労働生産性の向上」は中小企業の構成が63%と相対的に低く，事業規模は41百万円/件と全体の平均値と近い水準にあり，用途では「ハンドリング」や「検査」が多く見られる。

「ロボット導入実証事業」の採用ロボット企業に関しては，過去の展示会でのロボット集計シェアを集計している。林（2021）では，2018～19年における

ロボット産業エコシステムの現状と考察

世界の工作機械展示会、JIMTOF（日本）・EMO（ドイツ）・CIMT（中国）に加え、2019年の国際ロボット展（日本）⁽¹⁵⁾で、ロボット企業のシェア調査を行っており、これらのシェアと比較する（図表10）。

（図表10）工作機械展示会と国際ロボット展の概要

略称	工作機械展示会			国際ロボット展
	EMO	JIMTOF	CIMT	iREX2019
場所	ドイツ・ハノーバー	日本・東京	中国・北京	日本・東京
開催年	2019	2018	2019	2019
開催月日	9/16～21	11/1～6	4/15～20	12/18～21
展示場面積（m ² ）	521,285	98,540	142,000	72,520
展示面積（m ² ）	181,768	49,716	上の約半分	-
出展社（社）	2,211	1,085	1,712	637
来場者数（人）	117,000	153,103	319,371	141,133

（注）JIMTOF、EMO：純来場者数、CIMT：延べ人数、iREX2019：来場者数（出所）林（2021）

工作機械展示会では、自社の工作機械に外部の産業用ロボットを組み合わせたケースが大半であり、1社当たりのロボット平均展示台数は1～2台に留まる。一方で、国際ロボット展では、ロボットの展示がメインであり、自社のロボットを大規模に展示している場合も多く、1社当たりのロボット平均展示台数は4.7台となっている。これらの展示会におけるロボット企業のシェア比較表を作成した（図表11）。国際ロボット展は、日本開催で日本企業がロボット企業・顧客企業ともに中心であり、展示されるロボットはサービスロボットも含めて多種多様であり、「ロボット導入実証事業」と類似点が多い。

国際ロボット展の全806台におけるロボットシェアは、ファナック124台（シェア15%）、安川電機87台（同11%）、不二越71台（同9%）、UR67台（同8%）、三菱電機64台（同8%）、川崎重工28台（同3%）他となっている（図表11）。主要企業の特徴として、ファナック124台のうち協働ロボットは45台で構成比は36%まで高まっていることが観測された。また、双腕ロボットに注力

(15) iREX2019（INTERNATIONAL ROBOT EXHIBITION 2019）。

(図表11) 実証事業/ロボット展示会別の企業シェア

企業名	国名	導入実証事業 (2017・日本)	単純合計シェア (4展示会計)		EMO2019	CIMT2019	JIMTOF2018	iREX2019
			(4展示会計)	ドイツ	中国	日本	日本	
安川電機	日本	21%	8%	4%	4%	7%	11%	
ファナック	日本	18%	27%	43%	26%	71%	15%	
三菱電機	日本	10%	6%	2%	1%	2%	9%	
川崎重工	日本	8%	2%	1%	1%	2%	3%	
不二越	日本	6%	6%	2%	8%	5%	8%	
UR	デンマーク	3%	7%	10%	3%	1%	8%	
KUKA	ドイツ・中国	2%	5%	11%	9%	2%	2%	
ABB	スイス	1%	2%	1%	6%	-	1%	
その他	-	34%	37%	26%	42%	10%	43%	
展示台数	(台)	122	1,401	306	190	99	806	

(出所) 林 (2021), 「ロボット導入実証事業」(経済産業省) データより作成

している川崎重工やABBは展示全体の半分程度が双腕ロボットとなっており、1台として集計しているため、実態は少なめに集計されていることになっている。

一方で、2017年「ロボット導入実証事業」の122台におけるロボットシェアは、安川電機26台(シェア21%)、ファナック22台(同18%)、三菱電機12台(同10%)、川崎重工10台(同8%)、不二越7台(同6%)、UR4台(同3%)他となっている。国際ロボット展のシェアと比較して、用途展開を積極的に進める安川電機と川崎重工のシェアが高くなっているものの、概ね主要企業が採用されていると言える。

大分類毎A~Dの4種類でのシェアで見ると、「A. 労働生産性の向上」は、安川電機(シェア25%)と三菱電機(同17%)が、それぞれ同社の中でもっとシェアが高い分類となっている(図表12)。同様に、「B. 過酷作業、熟練技能の代替・支援」では川崎重工業(同14%)が、「C. 複雑・困難な作業のロボット化」ではファナック(同33%)と不二越(同17%)、が、同社の中で最もシェアが高くなっている。「D. 三品産業(食品・化粧品・医薬品産業)におけるロボット活用」では該当企業がなかったが、安川電機(同24%)がほぼ最大シェアに近い水準であった。

ロボットの機種別で見ると、垂直多関節ロボットが全体の58%を占めており、

ロボット産業エコシステムの現状と考察

(図表12) 「ロボット導入実証事業」A～Hの8種類別のロボット企業シェア

分類	構成比	安川電機	ファナック	三菱電機	川崎重工	不二越	UR	その他
A. 労働生産性の向上	20%	25%	21%	17%	8%	4%	0%	25%
B. 過酷作業、熟練技能の代替・支援	24%	24%	24%	10%	14%	7%	0%	21%
C. 複雑・困難な作業のロボット化	20%	17%	33%	8%	8%	17%	8%	8%
D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用	14%	24%	0%	6%	6%	0%	6%	59%
E. サービスのバックヤード等におけるロボット活用	7%	33%	0%	11%	0%	0%	0%	56%
F. 日常空間におけるロボット活用	7%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	89%
G. ロボットによる新たなサービスの実現	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
H. システムインテグレータの機能強化	7%	13%	25%	13%	13%	0%	13%	25%
合計	100%	21%	18%	10%	8%	6%	3%	34%

(注) 全123件中、詳細データが公表されていない事例のD、E、F、Hの各1件を除く集計。

(注) 1つのプロジェクトで複数のロボットを導入する場合があります、ロボット機種・企業の合計は件数を超えている。

(出所) 「ロボット導入実証事業」(経済産業省) データより作成

(図表13) 「ロボット導入実証事業」A～Hの8種類別のロボット種類シェア

分類	件数	垂直多関節	双腕	パラレルリンク	人協働	その他
A. 労働生産性の向上	24	71%	0%	4%	8%	17%
B. 過酷作業、熟練技能の代替・支援	28	82%	0%	0%	4%	14%
C. 複雑・困難な作業のロボット化	23	74%	4%	4%	13%	4%
D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用	16	31%	0%	25%	25%	19%
E. サービスのバックヤード等におけるロボット活用	9	33%	11%	11%	11%	44%
F. 日常空間におけるロボット活用	9	0%	0%	0%	0%	100%
G. ロボットによる新たなサービスの実現	2	0%	0%	0%	0%	100%
H. システムインテグレータの機能強化	8	50%	0%	0%	38%	13%
合計	119	58%	2%	6%	12%	24%

(注) 全123件中、詳細データが公表されていない事例のD、E、F、Hの各1件を除く集計。

(注) 1つのプロジェクトで複数のロボットを導入する場合があります、ロボット機種・企業の合計は件数を超えている。

(出所) 「ロボット導入実証事業」(経済産業省) データより作成

A～Dの全てでトップシェアとなっている(図表13)。特にAが71%、Bが82%、Cが74%と高水準となっているが、「D. 三品産業（食品・化粧品・医薬品産業）におけるロボット活用」では31%に留まっており、パラレルリンクロボットと協働ロボットが25%ずつを占めている。全体のシェアは、パラレルリンクロボットが6%、協働ロボットが12%となっている。一方でサービス業の

構成が大きいE～Hでは、その他（カスタム仕様など）の構成比が大きくなっており、垂直多関節、パラレルリンク、協働ロボットともに採用が少なかった。協働ロボットは、大手企業よりも中小・中堅企業などの繰り返し作業や品質の安定化を要する工程などに導入され、人の作業負担を軽減する目的が大きい。そのため、ロボット導入企業にとってロボットの事業規模の小さいCやAでの採用が大きくなっていると考えられる。

6. ロボット産業エコシステムにおけるシステムインテグレータ（SIer）の役割

本章では、需要の「多様性」を確保するSIerの技術的知識の運搬態としての役割に注目する。なお、SIerは生産ラインの詳細な設計、ロボットの設置、ソフトウェア設計、制御ソフト組込み等を行う業者である。

まず、SIerに関する集計データを確認する。2019年の国際ロボット展でも「ロボットSIerゾーン」が置かれ、実際の現場を想定し、システムを提供するロボットシステムインテグレータ（SIer）の展示も行われている。林（2021）では、自社のロボット等のみを展示する「ロボット企業」の展示数上位15社とSIerゾーンで展示する30社、それ以外の127社を分けて集計した（図表14）。その結果、SIer 30社93台の展示におけるシェアは、ファナック21台（シェア23%）、安川電機21台（同23%）、UR 10台（同11%）、三菱電機9台（同10%）、不二越3台（同3%）他となった。SIerと残りのシェア構成で比較的大きな乖離が見られるのは安川電機と三菱電機の2社が挙げられる。国内SIerは、ファナックとともに国内シェアの高い2社を並列的に展示することで、典型的な各社のロボットが混在する国内工場での対応力をアピールしていると考えられる。

2017年「ロボット導入実証事業」の122台⁽¹⁶⁾においては、幅広いSIerの分布と

(16) 最終ユーザー自身がSIerを自ら担った場合が11件（構成比9%）あった。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

(図表14) 企業属性別のロボットシェア調査 (2019国際ロボット展)

国際ロボット展集計 (2019)

(単位:台)

ロボット企業名 (国名)		ファナック	安川電機	不二越	三菱電機	ABB	KUKA	UR	その他
		日本	日本	日本	日本	スイス	ドイツ	デンマーク	
合計172社	806	124	87	71	64	17	12	67	364
シェア	100%	15%	11%	9%	8%	2%	1%	8%	45%
ロボット企業15社合計	352	35	32	60	35	10	6	13	161
企業シェア	100%	10%	9%	17%	10%	3%	2%	4%	46%
Sier 30社計	93	21	21	3	9	1	2	10	26
企業シェア	100%	23%	23%	3%	10%	1%	2%	11%	28%
残り (127社)	361	68	34	8	20	6	4	44	177
企業シェア	100%	19%	9%	2%	6%	2%	1%	12%	49%

(出所) 林 (2021)

なっており、企業別で見ても偏りは見られなかった。例えば、安川電機ロボットを採用する26台で2台(件)を担当したSierは1社のみ、それ以外は1台ずつであった。また、ファナックロボットを採用する22台は全て異なるSierとなっている。一方で、Sierで最大シェア5台の高丸工業(兵庫)は、不二越3台、川崎重工1台、ダイヘン1台となっている。ただし、サンプル数自体が少ないため、個別Sierの分析は十分にできなかった。今後は、「ロボット新戦略」に基づく「ロボット導入促進のためのシステムインテグレータ育成事業」も含めて、さらなるデータ集計と分析が必要と考えられる。

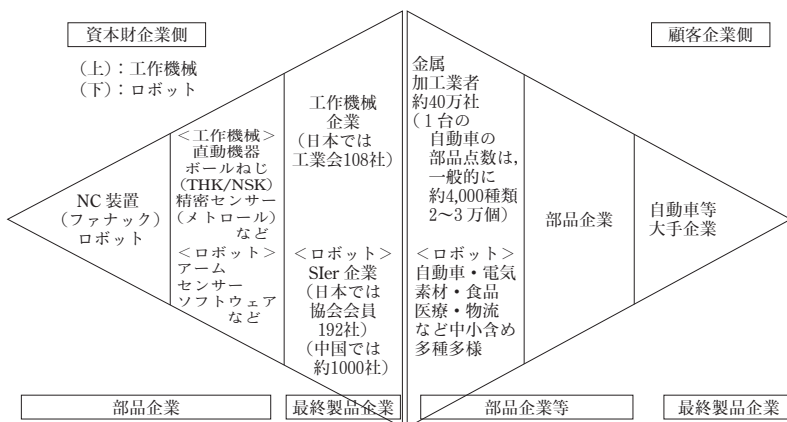
なお、産業用ロボットの導入コストはロボット単体の3~6倍となるのが一般的であり、投資面からロボット本体を部品(モジュール)と見ることができる。ロボット投資の内訳のイメージとしては、経済産業省「ロボット活用の基礎知識2017」による2つの事例が参考となる。想定例①「部品の工作機械への着脱工程」では、垂直多関節ロボット本体(300万円)、関連装置(70万円)、周辺設備(90万円)の合計のハード費用460万円に対して、システムエンジニア費用が520万円と想定されている。システムエンジニア費用の内訳は、構想設計100万円、機械・電機等の詳細設計200万円、製造組立120万円、運搬設置等80万円、安全講習20万円である。つまり、ロボット本体300万円に対して、トータルコストは約3.3倍の980万円となる。また、想定例②「製造の箱詰め工

程」では、パラレルリンクロボット2台本体（800万円）、カメラ含む関連装置（400万円）、コンベアや製函機など設備（2,500万円）の合計のハード費用3,700万円に対して、システムエンジニア費用が1,350万円と想定されている。システムエンジニア費用の内訳は、構想設計200万円、機械・電機等の詳細設計600万円、製造組立300万円、運搬設置等200万円、安全講習50万円である。ロボット本体800万円に対して、トータルコストは約6.3倍の5,050万円となる。

ロボット産業を工作機械の産業構造に当てはめると、ロボット単体はNCに相当し、工作機械企業の役割をSIerが担い、ソフトウェアからハードウェアまでのトータルソリューションを行っていると考えられる（図表15）。林（2021）によると、工作機械の場合は、モジュール化の進展で、NCなどの主要部品を購入し組み合わせれば一定レベルの機械ができるため、工作機械企業は多種多様な金属加工の先端ニーズ対応に専念している。日本の中堅企業の多くはNCを外部調達し、自らは厳しい国内顧客の要求に応じ独自に磨いたニッチ加工技術で差別化し、グローバル展開で生き残っている。その結果、NCではファナックが日米中欧の全ての地域でトップシェアとなっている。一方で、日米中の大手工作機械企業は、差別化のために、NCを独自仕様で切り替えて、差別化した機械を生産する戦略をとるケースが多い。具体的には、日本のトップ3社のDMG森精機、ヤマザキマザック、オークマと米国最大手のHAASがNC内製化を進め、差別化を図っている。ただし、中国のトップ2グループ⁽¹⁷⁾の瀋陽机床集団と大連机床集団は約10年前からNC内製化を積極的に進めてきたが、国内依存の両社ともに2019年に実質経営破綻している。一方で、中小企業が新しいイノベーションを生み出し、日米の大手企業の機械がその加工範囲を順次取り込み、競争の中で世界の工作機械のエコシステムの多様性が維持されている。工作機械は、製造業全般の技術的知識の運搬態として、産業全体へ

(17) ファナックのNCなどの外部調達が中心だった時点では世界トップシェアであった。

(図表15) 工作機械／産業用ロボットと顧客産業の産業構造イメージ



(出所) 林 (2021)

の波及効果も大きく、モノづくり産業の基盤を広範囲に支えてきた。

ファナックはプラットフォーム・リーダーシップ戦略に即して、工作機械を中心とするエコシステムの構造安定性・堅牢性の維持とニッチの創出を行ってきたが、産業用ロボット事業の展開も、最終的顧客に対する多様性を維持するためのモジュール供給と解釈できる。ロボット産業を工作機械の産業構造に当てはめると、工作機械企業の役割をSIerが担い、顧客ユーズと「すりあわせ」で生産ラインを設計・構築してきたといえる。特に自社に専門家がない中小企業などは、独自で生産ラインに適合するロボットシステムを構築する事が難しい。SIerがロボットハンドやソフトウェアなどの周辺機器・機械等を選び、「生産ライン」を設計・構築(供給)する必要がある。

一方で、日本の大手自動車企業の多くは、自社でロボットの仕様を決定し、ロボット企業に発注する傾向がある。日本企業の手ロボットユーザーは、ロボットの取り扱いに慣れていることもあり、カスタム仕様を好む傾向がある。特にトヨタのような大企業は自らロボットの仕様を決め、ロボット企業に製造させる傾向がある。NEDO (2014)によると、今までの日本のSIerは、顧客

企業の自前主義に対応し、受託開発（すりあわせ）が中心になり、構築されたロボットシステムが外販されることは少なかった。また知的財産権がユーザー企業に帰属する契約の場合が多く、顧客が固定しやすく、SIer間の交流も閉鎖的であった。これが日本では自動車やエレクトロニクス業界の大手企業以外での幅広い業種へのロボット普及が遅れる要因の一つとなっている。

それに対して、2017年6月に経済産業省によりロボットシステムの構築プロセスを最適化する工程管理手法の「ロボットシステムインテグレーション導入プロセス標準⁽¹⁸⁾」が発表されている。さらに2018年には「ロボットに命を吹き込む仕事」と称して、FA・ロボットシステムインテグレータ協会⁽¹⁹⁾が設立されている。会員159社と協力会員47社で組織されており、2020年からは検定試験も行われている。市場の注目に応じて、大手企業によるSIer参入も増加している。例えば、日立製作所も2019年に日米ロボット企業を買収してSIerに参入している。日立製作所を持つIoT基盤「Lumada」と組み合わせて将来的にはデータビジネスを展開する考えと見られる。NECも2019年に「ロボット導入トータルサポートパッケージ」を開始し、2021年度までの累計売上高150億円、顧客100社を目標としている。

今まで見たようにロボット導入状況は、SIerの多様性に大きく影響を受けていると考えられる。用途拡大が進む中国でもSIerの育成を進めている。例えば、2015年8月にハルビン工業大学ロボット集団が子会社「EDUBOT」を設立し、ロボット教育設備製作販売と教育体系構築に特化して注力している。国家工業情報部認定の「産業用ロボット応用エンジニア」の認定教育機関であり、試験も実施し、「産業用ロボットメンテナンスエンジニア」や「産業用ロボットオペレータ」資格も発行している。2018年に、江西漢辰信息技術、黄淮学院、合肥通用職業技術学院などの専門学校とも提携し、2万人以上を教育している。

(18) RIPS (Robot system Integration Process Standard)。

(19) Japan Factory Automation & Robot System Integrator Association。

ロボット産業エコシステムの現状と考察

NEDO（2020）によると、中国のSIer市場は、2018年は前年比13%増の607億元（約9,700億円）で、中国だけでも独立したSIerが約1,000社あると言われている。SIer企業構成は、92%が中国国内企業で、欧米系企業が2.9%、日系企業が1.8%他の構成となっている。SIer市場の内訳は、溶接ロボットが約40%（うち自動車向け41%）、運搬パレタイジングロボットが約28%（うち金属製品向け24%、3C電子向け17%）、塗装ロボットが約11%（うち自動車向け41%）、組立ロボットが約7%（うち3C電子向け56%）等となっている。このように中国のSIerは多様に広がっているが、中国国内企業で6億元（100億円弱）を超える企業は15社前後、6億元未満で3億元（50億円弱）を超える企業は20社前後と主力企業の台頭の兆しも見えつつある。主要企業の1つであるBOZHON（博众精工科技股份）は2006年に蘇州市で設立し、幅広い分野での自動化設備を手掛け、エンジニア1,000人強を抱え、売上高は約38億元（約720億円）まで成長している。ホームページでは、売上の約12%の開発投資を行ない、1,100超の特許を取得し、約3万の単独機器および200超の自動化生産ラインを製造していると謳っている。

7. 結論と今後の課題

本論文では、世界のロボット産業のエコシステムを、各国の市場と主要ロボット企業の事業展開・戦略からまとめた上で、「ロボット導入実証事業」（経済産業省）のデータベースを作成し、日本のロボット採用の実態を分析した。ロボットの用途拡大のためのSIerの重要性を考察したが、現状では工作機械産業ほど十分な分業体制が確立していないと考えられる。

今までの日本のSIerは、顧客企業の自前主義に対応した受託開発中心で、顧客が固定的で、SIer間の交流も閉鎖的であった。これが大手企業以外での一般業種へのロボット普及が遅れる要因の一つである。今まで、一般的に工場の組立工程でロボットが使用できるのは約3割で、残り7割はロボットだけでは製造できないと言われてきた。しかし、「協働ロボット」の普及などにより、

ロボットが「モジュール化」された作業を行ない、人間が作業全体を統括することが可能になりつつある。ロボット技術の進歩により、工作機械以外でもロボット活用余地が生まれ、世界各地の異なったニーズに基づき、ロボット産業が立ち上がりつつある。標準化されたロボットだけではカバーしきれないため、SIerが各国や用途別に適応したロボットシステム導入を進める必要性が高まっていると考えられる。ただし、本論文ではサンプル数自体が少ないこともあり、個別SIerの分析は十分にできなかった。

今後の課題として、別年度の「ロボット導入実証事業」等の集計を進めると共に、「ロボット導入促進のためのシステムインテグレート育成事業」のデータの集計を行ない、SIerの視点でデータマッチングを行っていく必要がある。日本でのSIerの技術的知識の囲い込み度合いを、SIerとロボット企業の属性の組み合わせを確認しつつ、個別ケースのヒアリングなどの定性分析も並行する必要がある。

さらに、主要5ヵ国のロボット産業を中心とするビジネス・エコシステムの用途や競合関係をさらに分析する必要がある。主要ロボット企業はグローバル展開しているため、同一ロボットで比較すれば地域毎の相違点を明確化できると考えられる。その際、欧州や中国ではSIerが業種（役割）毎に対応し、どのように顧客ニーズがフィードバックされることで新しい現地ロボット企業が台頭しているかも分析する必要がある。各国のSIerの機能に注目し、ロボットエコシステムの事例を通して、新興国市場とプラットフォーム戦略がどのような相互作用をもたらしているのかを明らかにすることが、最終的な課題として残されている。

参 考 文 献

- Baldwin, C.Y. & Clark, K.B. (2000) Design Rules: The Power of Modularity, Vol. 1, Cambridge, MA, MIT Press. (安藤晴彦訳「デザイン・ルール — モジュール化パワー」、東洋経済新報社、2004年)
- Gawer, A. & Cusumano, M.A. (2002) Platform leadership: how Intel, Microsoft, and

ロボット産業エコシステムの現状と考察

- Cisco drive industry innovation, Boston : Harvard Business School Press. (小林敏男監訳「プラットフォームリーダーシップ：イノベーションを導く新しい経営戦略」, 有斐閣, 2005年)
- Hayashi, R. (2017) “The Significance of After-Market Strategy in FANUC – Case Study of Platform Leadership Strategy –” Kobogakuin-keizaigakuronosyu, No. 48-4.
- Iansiti, M. & Levien, R. (2004) The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability, Harvard Business School Press (杉本幸太郎訳「キーストーン戦略 イノベーションを持続させるビジネス・エコシステム」, 翔泳社, 2007年)
- IFR (2021) “Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots, The International Federation of Robotics” IFR
- NEDO (2014) 「NEDO ロボット白書2014」, 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- NEDO (2020) 「中国のロボット産業の動向」, 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 榎本俊一 (2018) 「生産システム・インテグレーションとライン・ビルダー」中央大学商学論纂 60巻1, 2号
- 大木清弘・池尻正尚 (2020) 「ものづくり現場におけるロボットの導入をどう推進するか? ローコスト・ロボット導入の含意」東京大学ものづくり経営研究センター 2020-MMRC-535
- 久木田要 (2018) 「経営分析からみた2大産業用ロボットメーカーの企業特性: 安川電機とファナックにおける経営戦略の比較」福岡大学商学論叢62(4), P 457-483,
- 経済産業省 (2017) 「ロボット活用の基礎知識2017」経済産業省
- 経済産業省 (2017) 「ロボット導入実証事業 事例紹介ハンドブック2017」経済産業省
- 産業タイムズ社 (2021) 『ロボット産業 最前線2021-2022』産業タイムズ社
- 渋谷義行・恩蔵直人 (2011) 「顧客適応のマーケティング戦略」産研ワーキングペーパー
- 重化学工業通信社 (2021) 『産業機械工業年鑑』重化学工業通信社
- 立本博文 (2017) 『プラットフォーム企業のグローバル戦略』有斐閣
- 日本ロボット工業会 (2021) 「ロボット産業需給動向 2021年版 (産業ロボット編)」
- 林隆一 (2018) 「生産財産業の利益分布推計-「ものづくり」基盤のエコシステムの付加価値分析-」, 神戸学院経済学論集50巻1・2号 P 73-112
- 林隆一 (2020) 「日本のロボット産業エコシステム- 2019国際ロボット展シェア調査より -」, 神戸学院経済学論集51巻4号 P 177-206
- 林隆一 (2021) 『工作機械・ロボット産業のエコシステム』, 晃洋書房
- 富士経済 (2022) 『2022年版 ワールドワイドロボット関連市場の現状と将来展望 No. 1 FA ロボット』富士経済
- 矢野経済研究所 (2022) 『2022年版 協働ロボット市場の現状と将来展望』矢野経済研

究所

山本哲三（2022）「世界の機械産業の現状と日本企業の国際競争力（2021年版）」，機
械振興協会経済研究所小論文 No. 27（2022年3月）