

目 次

ロボット産業の現状と展望

要旨	2
はじめに	5
第1章 わが国ロボット産業の発展	
第1節 ロボット誕生と実用化への道	6
第2節 ロボットの普及過程に見るわが国の特徴	8
第3節 ロボット産業の特性	10
第4節 ロボット産業を取り巻く環境と特徴	14
第2章 パーソナルロボット実用化への道程	
第1節 パーソナルロボットの産業特性・製品特性	21
第2節 製品の分類と主なプレイヤー	23
第3節 市場規模予測	29
第4節 アトム時代は来るか？～普及へのハードル～	32
第3章 ロボット産業の課題と求められる戦略	
第1節 ロボット需要の海外シフトへの対応	36
第2節 構造変化する国内需要への対応	37
第3節 ユーザーとの関係変化への対応	40
第4節 中堅・中小メーカーの事業基盤弱体化とその対応	41
第5節 製造業のファクトリーオートメーション(FA)の進化がもたらすもの	43
第4章 「真のロボット先進国・日本」に向けて	
第1節 産業用ロボット分野の更なる発展に向けて	50
第2節 パーソナルロボット産業確立への道	51
第3節 ロボットを通じた日本製造業活性化の可能性	53
おわりに	54
用語集	55
主要参考文献	57

ロボット産業の現状と展望

< 要旨 >

1. わが国ロボット産業の発展

「人間に似せて作られ、生命あるもののように動き回る物体」というロボットの概念は古くから各地の神話や伝説の中に登場するが、実用化は1960年代、米国で産業用の生産財としてであった。定位置での反復作業、精密な位置決めなどロボットの作業特性が製造業の流れ作業・大量生産方式に適合していたことから、その後も産業用途、特に製造業向けに特化する形で発展することとなった。

1968年に国産化を果たしたわが国ロボット産業は高度成長期の人手不足を背景に急速な普及を見せ、1980年代には国内の産業用ロボット稼働台数が世界全体の7割近くを占める世界のロボット大国に成長した。国内のロボット産業と自動車・電機産業の間には長期安定的な取引関係が成立し、『ロボット技術革新～最新ロボットの生産現場投入～生産性向上～再投資』というわが国独特の共存共栄関係が形成されるに至った。

但し、ロボット用途の固定化、国内製造業の設備投資抑制によって1990年代以降のロボット需要は停滞傾向が強まり、ユーザーの値下げ要請による単価下落、取引シェアの流動化を受けて市場から撤退する企業が増加するなど、かつてのような共存共栄関係は失われつつある。

2. パーソナルロボット実用化への道程

上述したような産業分野のロボットに対し、人間の生活空間内における労働の補佐・代替を目指す非産業分野のロボットはパーソナルロボットと呼ばれ、わが国は特に人間型ロボット(ヒューマノイド)開発で世界先端水準の技術力を有している。この分野では近年、一部製品が市販化されるなど、本格的な普及に向けて注目が集まっている。

個々の要素技術では産業用ロボットとの共通性が多いが、産業・製品としての特性では、各種機能部品の組み合わせで様々な性能特性を実現する「すり合わせ」的な製品特性、シーズと消費者ニーズを適合させるマーケティングの必要性、幅広い製品用途など、寧ろ家電・自動車などの耐久消費財製造業に近い。

各社から発表されているパーソナルロボット製品は、会話・パフォーマンスなどのアミューズメント系から、力仕事などの実作業系まで大きく四種類に分かれると考えられ、現在発表されている中では技術上の制約から比較的製品化の容易なアミューズメント系が多い。市場構造面では大学などの研究機関系ベンチャー企業から製造業、サービス業まで多くの業種が自社が強みを持つ工程に特化して参入、多様な業種間アライアンスを形成しており、中でも技術系ベンチャー、産業用ロボット、総合電機、サービス業といった業種がそれぞれの強みを活かして今後の市場でプレゼンスを確立していくと考えられる。

パーソナルロボットの将来の普及は技術革新の進展スピードによって大きく変化すると考えられ、正確な市場規模予測は難しい。但し、現在までに発表されている各種製品の特性上、共通点が多いと思われるパーソナルコンピュータの事例から、アミューズメント系を中心に小規模の需要が続く第一ステージ、アミューズメント系、情報操作端末系、巡回・見張り系の複合化と価格低下が進む一方で、掃除・介護補助など単機能に特化した実作業系専用ロボットがひとつの市場を形成する第二ステージ、自律的・汎用的ヒューマノイドと各種アプリケーションの組み合わせで各用途の作業が可能になり、低価格専用ロボットとの棲み分けが進む第三ステージ、という普及パターンを辿ると予測する。

将来に向けた普及へのハードルとしては、安全性の確保、制御・人工知能など技術的障壁のブレークスルー、製造コスト引き下げといった開発現場レベルの様々な課題のほか、日本の研究開発体制全般の問題点として、長期的な開発目標であるヒューマノイドに重きを置く余り、中短期の市場を睨んだ実用性の高い製品開発で欧米に劣後するのではないかという懸念も否定できない。現在の国際競争力を長期的に維持していくためには、国レベルでの対策が不可欠である。

3. ロボット産業の課題と求められる戦略

パーソナルロボット産業の本格的な発展にはかなりの時間を要するとの認識から、大手を中心としたロボットメーカー各社は産業用分野での生き残り対策に動き始めている。

国内製造業の設備投資抑制長期化、製造拠点の海外移転によりロボット需要の輸出シフトが進み、将来的な全需の減少も懸念されるなど、需要環境は厳しさを増している。ロボットメーカー各社は海外拠点における販売・サービス機能を強化するほか、ロボット導入ノウハウの蓄積を活かしたソリューション機能の強化、キャッシュフロー拡大による財務体力の増強などにより国内の事業基盤を維持していくことが重要である。

生産ライン構築の外注化に伴う受注範囲の拡大、設備調達コスト低減を目的とした取引の多様化などユーザーとの関係変化が進んでいることに対しては、事業買収・提携を通じて元請けメーカーとして求められる製品ラインナップを確保するなど、商品力・サービス力を強化すると共に、財務体力の強化を図って事業リスクの増大に備えることが求められる。

また、企業数で大部分を占め、ロボット産業全体の競争力を維持する上で非常に重要な役割を担う中堅・中小メーカーでは、事業環境変化への抵抗力が弱いにも関わらず対応の動きが遅れている。経営資源が限られていることを考慮し、主力製品の技術開発力を集中的に強化する「スーパーTier1」戦略や、提携を通じた製品分野の相互補完による受注機会拡大と重複コスト圧縮といった対策が必要であろう。

一方、製造業の生産設備全般を巡る動きとして、生産性向上を目的としたFA(ファクトリーオートメーション)の進化が続いている。特に個々の設備を繋ぐFAネットワークの領域拡大とオープン化の動きは、ロボットメーカーにとって事業領域を拡大する好機であると同時に、従来の付加価値の大半を奪われ、単なるハード納入業者に転落する危険性も併せ持つ両刃の剣であると考えられる。

FA設備の一部としてロボットの用途を拡大していくためには、情報管理を行う「脳神経」的な上部ネットワーク階層で積極的にオープン化対応を進めてロボット対応アプリケーションの普及を促すことが必要であるが、その存在意義を高めるために、個々のモータの動きを分散制御する「末梢運動神経」的な下部ネットワーク階層における個別製造ライン単位の動作制御ノウハウと設備構築ノウハウというコア・コンピタンスを維持向上していくという両面の戦略が必要となる。

4. 「真のロボット先進国・日本」に向けて

産業用・パーソナルを合わせた広義のロボット産業が発展していくために、中長期的見地からはどのような対策が必要だろうか。

産業用ロボット側では、パーソナル分野で実用化される要素技術やキーコンポーネントの転用によってロボット用途を拡大していくことが最も重要になるだろう。同時に、パーソナル分野におけるコプレイヤーとしても、動作制御、ネットワーク規格統一などの面で主導的役割が求められ、産業用・パーソナル両分野の間で技術的な融合と用途の接近を進めることが期待される。

パーソナルロボット側の施策では、均衡の取れた産業育成を目指すためのビジョン策定という国の役割が最も重要である。そのビジョンの下で、技術開発の牽引役としての「学」、消費者ニーズと技術をマッチングし、

パーソナルロボットという製品と市場をわが国に定着させる『産』がそれぞれの役割を果たすことが求められる。

将来的には、産業用・パーソナルの技術が融合し、ロボットの用途が大幅に広がることで、各製造業の生産設備のフレキシブル化と低コスト化が実現、製造拠点の海外移転を防ぐと共に、『ものづくり』の熟練技能伝承を可能にするなど、ロボット産業と国内製造業の共存共栄関係が再構築されることが期待される。

更に、将来のわが国社会全体を考えた場合、少子高齢化の進行によって介護負担が増大、労働人口が減少する中、生活分野の各場面にロボットを導入した『ロボット先進国』という日本ならではの未来社会像を創造することも期待されよう。

はじめに

2003年4月7日の『鉄腕アトム』の誕生日を機に、社会の中で我々と一緒に生活するいわゆるパーソナルロボットへの関心は非常に高まっている。ソニーの『AIBO』や本田技研工業の『ASIMO』など各種のロボットが発表され、新聞・雑誌では最新のロボット技術や製品についての特集が連日のように組まれるなど、現実にも『アトム』のような高性能のロボット誕生が近いとの期待が社会に広まりつつある。

しかし、本当にそうなのだろうか。日本のヒューマノイド(人間型ロボット)研究開発水準は世界最先端にあると言われるが、それでも実用レベルへの技術的ハードルは非常に高い。安全基準、法制面の整備も白紙に近く、様々な用事をこなせるロボットが実際に我々の生活に登場する時期は目処さえ立っていないのが現状である。

寧ろ、中長期的な目標であるヒューマノイドの将来を考えると、ややもすると消費者ニーズを捉え切れずに技術先行型で研究開発を進めがちなのが国のあり方には、中期的なパーソナルロボット市場育成の上で危惧が残る。現段階で改めて開発ビジョンを定め、将来への道筋をしっかりと描かなければ、優れたシーズを持ちながら、製品化の段階で欧米勢の後塵を拝するといった可能性もないとは言いきれないだろう。

一方、自動車産業用の溶接ロボットに代表される「もうひとつのロボット」、産業用ロボットの分野でも日本は長年世界一の座にあるものの、近年は需要分野の固定化による受注額の頭打ち傾向が鮮明である。優秀なメカトロニクス技術の集積を持ちながら、日本の産業用ロボット産業は競争力を失ってしまったのであろうか。

従来、同じ「ロボット」でありながら両者の関係について深く言及した資料は少なく、全く別の産業として扱うか、「パーソナルロボットは産業用ロボットの需要停滞に悩む日本にとって救世主になり得る」といった表面的な議論に終始するかのいずれかであった。本レポートでは、1960年代に国産化された産業用ロボットがわが国製造業を最大の顧客とし、互いに共存関係を保ちながら発展してきた歴史を概観すると共に、現状において求められる戦略について検討を加える。

また、パーソナルロボットについても、多様な参入形態を見せる事業者と、様々なアプローチを辿って実用性向上を目指す製品の現状を整理・分類し、将来の普及パターンに関する仮説の構築を試みる。将来的に産業用ロボット、パーソナルロボット間で技術のクロスオーバーが進むとの予測に基づき、両者を合わせた「広義のロボット産業」という視点からも考察を加えたい。

『フランケンシュタイン』に代表されるように、欧米のキリスト教的価値観ではロボットは潜在的に人間に敵対する存在である。これに対し、『鉄腕アトム』によって形作られたわが国のロボット観は世界でも例外的なほど良好と言われる。製造業の存在感低下が語られる中、高度な技術力の象徴として、また、将来的に少子高齢化と労働人口の減少が進む社会を補助するために、ロボットがわが国において果たす役割は非常に大きい。日本が将来の「ロボット大国」を目指すことの意味は、機械産業、製造業だけに留まらず、より広く論じられるべきであろう。

第1章 わが国ロボット産業の発展

わが国機械産業を代表する存在に成長したロボット産業

1960年代に国産化されたロボットが産業用途で急速に普及、わが国機械産業を代表する存在になるまでを概観する。この過程で形成されたロボット産業と日本製造業の長期的共存共栄関係は、現在に至るまでロボット産業の産業特性、製品特性を決定づけ、国際競争力の源泉となっている。近年、わが国の産業用ロボット生産額は頭打ち傾向を強めているが、その背景にある両者の共存関係はどのような変化を見せているかを考察する。

第1節 ロボット誕生と実用化への道

(1) 黎明期

神話、文学作品の中のロボット

ロボットという概念の起源は遠く神話の時代にまで遡る。ギリシア神話、ユダヤ教の伝説などには人間に似せて作られ、あたかも生命あるもののように動き回る人造の物体が登場する。

また、特に近代以降、ロボットを扱った文学作品も多く発表されている。中でも、神ならぬ人間が自らに似た存在を創り出すことの道義性を描いたメアリー・シェリーの怪奇小説『フランケンシュタイン』(1818年)や、「ロボットは人間に危害を加えてはならない」などの「ロボット三原則」を定めたアイザック・アシモフのSF短編集『われはロボット』(1950年)は特に有名である。これらの作品からは人々がロボットに対して抱いていた夢の大きさが窺われると同時に、現在にも通じるロボット開発上の問題点が遥か以前から指摘されていたことに驚かされる。

人造人間を意味する「ロボット」という呼称は、チェコのカレル・チャペックが戯曲『R・U・R(ロッサム万能ロボット製造会社)』(1920年)で用いたのが始まりとされる。チェコ語で「労働」、「苦役」を意味する「robota」が語源ということからも、「人間に代わって働く」ことがロボットの役割の原点であることが分かる。

1962年に米で実用化、わずか6年後には国産化を果たす

その後、電気・機械技術の急激な進歩を経て、現実の「ロボット」は20世紀半ばにアメリカで誕生した。1962年、記憶させたプログラムを繰り返し実行する産業用途のロボット実用機をユニメーション社、AMF社がそれぞれ発表した。これは現在のプレイバック式産業用ロボット(第3節参照)に相当するものであった。

一方、日本では1968年に川崎航空機工業(現在の川崎重工業)が米社との技術提携により産業用ロボットの国産化を果たした。このロボットは自動車メーカーのボディ用スポット溶接ラインに導入され、本格普及の契機となった。

なお、JIS(日本工業規格)では、産業用ロボットを「自動制御によるマニピュレーション機能又は移動機能を持ち、各種の作業をプログラムによって実行でき、産業に使用できる機械」と定義している。ロボットと他の産業用機械との相違点については、後ほど第3節で改めて考察することとしたい。

(2) 実用化期

自動車メーカーを主要顧客に急速な普及

1970年代の日本では製造業の各用途でロボットの実用化が進み、生産台数が増加した。アーク溶接ロボット、塗装ロボット、電子部品実装機^{*1}などの製品化で用途が大幅に拡大し、ファナック、安川電機製作所(現在の安川電機)など現在の大手産業用ロボットメーカーが参入したのもこの時期である。最大の需要牽引役である自動車メーカーは自動車生産台数の増加に対応すべく、1970年代前半に相次いでスポット溶接ロボットの導入を進めた。

1973年、1979年に発生した二度の石油ショックを機に物価や賃金が高騰すると、製造業各社は生産コストの削減を迫られ、ロボットは生産性向上の手段としても注目を集めた。

技術面では、1977年に電動サーボ制御ロボットが発売され、従来の油圧式からのシフトが進むこととなった。二次元視覚センサ、触覚センサ、力センサなどの認識技術、水平関節型ロボット*2の開発など新技術の研究も進展し、1980年代の新製品増加とロボット普及拡大に大きく貢献した【図表1-1】。

この時期に開発されたロボットは、従来のような記憶装置による一定動作の繰り返しのみに留まらず、状況に応じて作業内容を変化させる知覚判断ロボットであった。

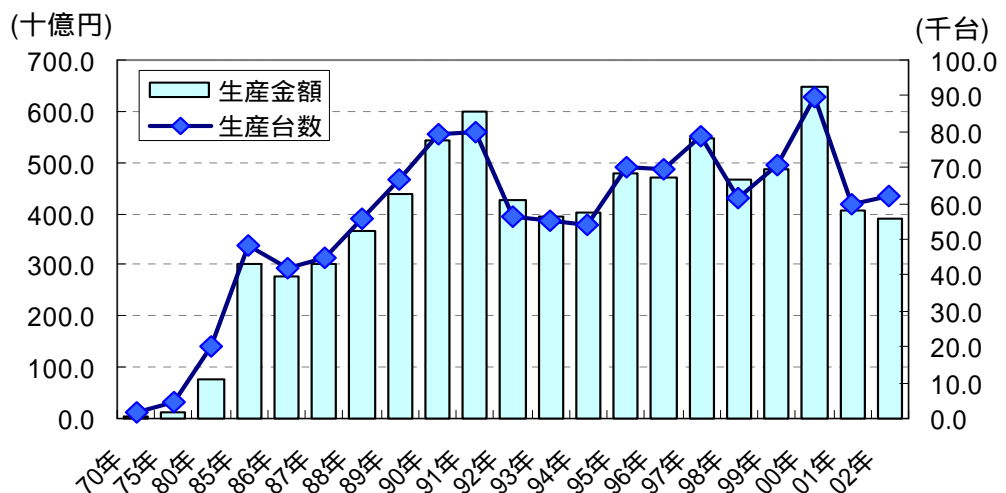
1970年に年間1,700台だった日本のロボット、マニピュレータ*3生産台数は1980年に19,900台と10倍以上に増加した。ただし、内訳ではマニピュレータ及び周辺機器がまだ8割近くを占め、多関節などの高機能ロボットが本格的に普及するのは1980年代に入ってからのこととなる【図表1-2】。

【図表1-1】産業用ロボットにおける主な技術開発の歴史

年	商品化	主な研究成果
1960年代	1968 樹脂成型ロボット	油圧サーボ制御ロボットの国産化
1970年代	1970 スポット溶接ロボット	電動サーボ制御ロボット
	1972 アーク溶接ロボット	スカラ型組立ロボット
	1975 電子部品実装機	
1980年代	1981 スカラ型組立ロボット	視覚認識ロボット
	1986 クリーンルームロボット	力制御組立ロボット

(出所) (社)日本ロボット工業会(JARA)資料よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

【図表1-2】マニピュレータ、ロボット生産の長期推移



(出所) JARA「マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) 普及期

技術革新により市場が急成長した1980年代

1980～90年までの10年間で、日本のロボット生産台数は4.0倍の79,000台、生産金額は6.9倍の5,443億円といずれも急速に増加した。1980年が「産業用ロボットの普及元年」と呼ばれるのに対し、日本国内の産業用ロボット稼働台数が93,000台と世界全体の7割弱を占めるに至った1985年は「飛躍元年」と呼ばれる。日本製ロボットが米国ゼネラルモーターズ社(GM)に採用され米国に逆上陸するなど、日本ロボット産業が名実共に世界一になるのもこの時期である。

需要の拡大によってロボット製造企業数も急増、1980年の約150社から1985年には282社とピークを迎えた。自動車、総合重機などの機械関連メーカーが事業多角化の一環として参入したほか、中小の企業が樹脂成型ロボットなどのニッチ分野を手がける例も多かった。

ロボットの導入目的も、多品種少量生産への対応、微細加工、精密機械・食品の工場クリーン化、3K作業軽減による労働環境の改善など多様化が進んだ。

このようなロボット急増の要因としては、1970年代にメーカー各社や研究機関が行った基礎研究の成果が製品化され、ロボット用途が拡大したことが大きい。従来手作業に頼っていた民生用電子機器の組立作業を飛躍的に自動化したスカラ型組立ロボットはその代表例であり、学習能力を備えた知能ロボットと並んで1980年代を代表するロボットとなっている。他にも、CPU(中央演算装置)の発達による従来の5軸から6軸制御への高度化、モータの性能向上による直流から交流方式への代替、ボールねじを介さない直動式ロボット機構など、今日の主要なロボット技術の多くはこの時期に実現した。

第2節 ロボットの普及過程に見るわが国の特徴

(1) 普及を後押しした製造業

ロボットの作業特性が製造業の大量生産方式に適合

ロボットは古来より人間の生活空間における「召使い」的存在として想像されてきた訳であるが、実際には産業用途において発展を遂げた。これは、ロボットの作業特性が製造業の大量生産方式(流れ作業)と適合したためと考えられる。比較的単純な同一作業の繰り返し、固定された生産設備の間のコンベアによる半製品の移動、専門知識を持った技術者の常駐、人間とロボットの作業領域が完全区分され安全が確保された作業環境といった特性が、他の用途(生活分野、非製造業分野)と大きく異なり、ロボットに求められる機能を単純化して開発を容易にしたのである。

特に日本では、ロボットの導入時期が高度成長期の深刻な人手不足と重なったという時代背景があり、米国を凌ぐ急速な普及を見せた。日本における対ロボット感情が欧米に比べ良好であることも一因とされる。

この様に日本では、大企業を中心とする国内製造業とロボット産業の間に独自の緊密な関係を形成しながら、独特の普及パターンを経て世界最大のロボット大国となったのである。

(2) 機械産業との共存共栄

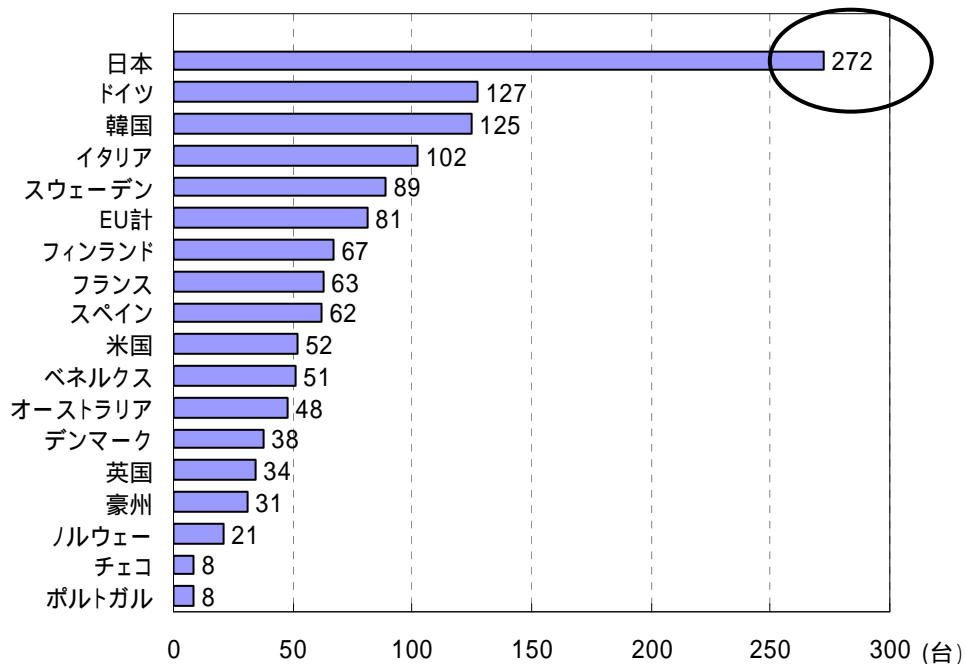
ロボット導入により高い生産性向上効果を楽しんだ製造業各社

日本独自の緊密な関係とは、まさに、製造業とロボット産業の共存共栄関係であった。

機械産業側からこの関係を見ると、わが国製造業就業者 1 万人当たりの産業用ロボット数は 272 台と、EU の 3 倍強、米国の 5 倍強で世界最高であり[図表 1-3]、需要分野も電子・電気機械、自動車及び部品、一般機械などの各業種、用途別でも組立、溶接、搬送など広範囲に及んでおり、ロボット産業は日本製工業製品の最大の特徴である高品質と小型高性能化に大きく貢献し、高い労働生産性を支える上で重要な役割を果たしてきたのである。

この欧米各国との生産性格差を大きく上回るロボット密度の背景には、先述の人手不足、良好な対ロボット感情に加え、ロボットの主要需要産業である自動車関連産業において、欧米ではそもそもロボットの範疇に入らない専用機械の導入率が高いこと、日本では三次部品メーカー以下にまでロボットが浸透しているという裾野の広さがあると考えられている。

【図表 1-3】各国のロボット密度(2001 年)



(出所)電波新聞(2002年10月9日付)

(注)ロボット密度…製造業就業者1万人当たりの産業用ロボット台数

わが国においてロボット普及が円滑に進み、ユーザー企業がロボット導入のメリットを引き出した背景には、ロボットメーカーが国内に近接し、ユーザーと一体になってロボット化を進めてきたことが大きい。ロボットメーカー各社はユーザーのニーズに沿った製品を開発し、納入、設置と同時に従業員への操作方法の指導講習を行い、稼働後のトラブルやメンテナンスに対処するサポート体制を構築した。この結果、1970～80年代を通して、『ロボット技術革新～最新ロボットの生産現場導入～生産性向上～再投資』というメーカー・ユーザー相俟った好循環が形成されていったのである。

大口ユーザーと周辺産業の存在がロボットの高性能・低価格化を後押し

一方、ロボット産業側から見た場合にはどうであろうか。

自動車、電機を初めとする国内製造業各社が積極的にロボット導入を拡大したことで、わが国ロボット産業は自国内に世界最大の需要家を得ることとなった。1960～70年代には欧米製ロボットの機能が日本製を上回っていたが、円建て価格が高価であったことに加え、上述のような販売・サービス体制、言語の問題などの非価格競争力で日本製品が優位であったことが日本製ロボットのシェア上昇につながった。また、内製していたユーザー企業がロボットの外部販売に進むケースも増加し、ロボット市場の活性化に寄与した。

ロボットメーカーは国内の機械産業向け製品を大量生産することで、各国向け輸出において効果的にコストダウン効果を得ることができた。また、世界一品質要求が厳しい日本ユーザーとの取引を重ね、時にはユーザー側の熟練技能工や技術者と共同で新たなロボットを開発することで、性能と使い勝手を大幅に改善させた。こうして製造業側からメリットを受け向上した製品競争力は、海外市場でも日本製ロボットのシェアを上昇させた。1980～90年代にかけて自動車などのユーザー企業が海外生産を拡大したことも、各地にロボット輸出を拡大するための下地となった。

ユーザーという視点のみでなく、モータ、油圧・空圧機器、センサ、コントローラ機器など高性能なロボティクス部品産業が国内に幅広く集積していたこともロボット産業にとって有利に働いた。これらの企業はロボットメーカーの要求に応える形で部品の高性能化を進め、CNC(Computerized Numerical Control)装置、サーボモータ、減速機のように世界シェアでも上位を占め、ロボット自体の性能を左右する企業も現れたのである。

第3節 ロボット産業の特性

本節ではまず、現在産業用として発展したロボット製造業をその特性に着目し、いくつかの角度から基本的な特徴を指摘したい。

(1) 産業特性

技術力とアプリケーションノウハウをベースにロボットメーカーの事業範囲は拡大

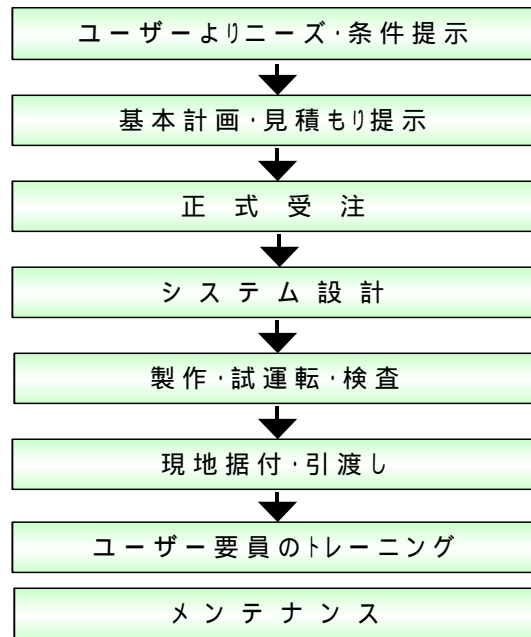
まず、技術面に着目すると、幅広く高度な技術が必要とされる『ハイテク産業』の特徴を有している。ロボットの精密で高速な動作は、高速で位置計算を行うコンピュータ、瞬時に誤差のない動作に変換する機構部分のどちらが欠けても実現できず、両者を高次元で融合させることが必要となる。更に、生産ラインの作業スペース効率向上のための省スペース性、高温・粉塵など過酷な環境下でも安定稼動する信頼性の高さも要求される。

一方、『エンジニアリング産業』の性格も強く、大手メーカーでは調査、設計、製造、据え付け、試運転までのターンキー受注が多い[図表 1-4]。本体・周辺機器・制御プログラムなどの組み合わせで多様な顧客ニーズに対応するオーダーメイド的側面も強いが、機能、構造の単純なロボットでは汎用品的性格が強い。対象工場の業種、作業種類、面積に合わせて予想される問題点を即座に把握し、必要なロボットの性能やレイアウトを決定するアプリケーションノウハウが各メーカーに蓄積されており、長年の経験で培われた暗黙知的、無形の資産として競争力を左右する重要な要素になっている。

ハードウェア製造・納入から生産ラインの一括構築へ

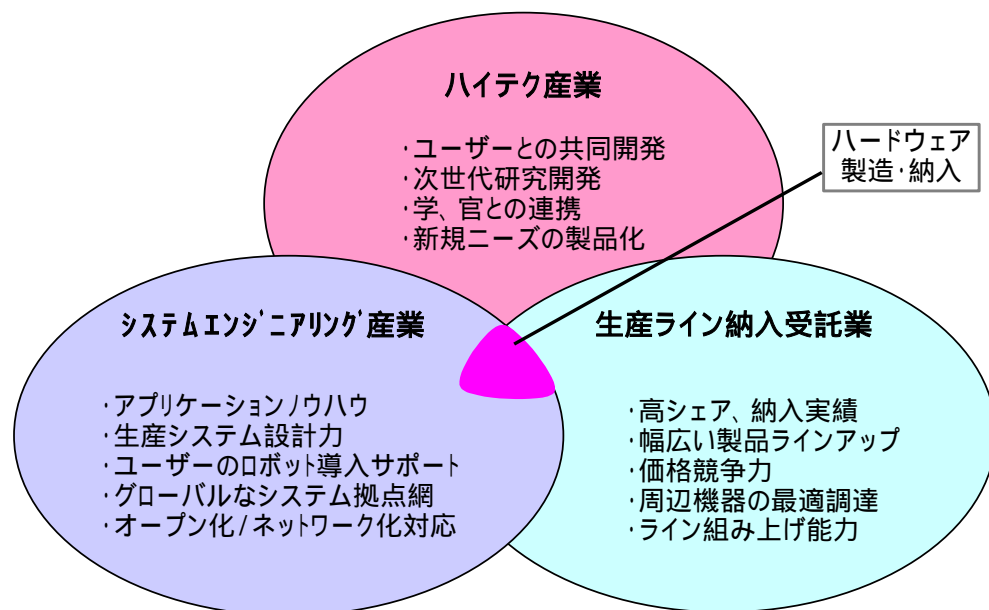
特に最近では、生産工程の大規模化が進む中、ユーザーが発注先メーカーにライン構築を一括発注する傾向が強まっている。受注したメーカーは自ら元請けとなり、自社が扱っていない機種や周辺機器を他メーカーから購入の上、システムの形で一括納入する。単なる機器製造・納入に留まらず、ロボットメーカーの事業内容は拡大しつつある[図表 1-5]。

【図表 1-4】産業用ロボット導入の流れ



(出所) 各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

【図表 1-5】産業用ロボットメーカーの事業内容の広がり



(出所) JARA「ロボット・ハンドブック」を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(2) 事業特性

細分化された市場と高い上位寡占度

主な事業者は、工作機械、総合電機、総合重機などとの兼業メーカーが多い。部品組立が中心で大規模な設備を必要としない事業特性に加え、前節で見たように隣接業界やユーザー企業の参入が多かったことが背景にある。

自動車・電機が二大需要家

全体で年間 4,000～6,000 億円規模の市場が製品ごとに細分化され、個々の市場を少数のメーカーが寡占する構造が定着している。産業別では自動車(部品含む)製造業、電子・電気機械製造業が合わせて3～4割を占める大口需要先で、これらの分野では大手メーカーが複数の製品市場でシェア上位に名を連ねる[図表 1-6]。一方で樹脂成型品取出しロボットなどの汎用品的な市場では、専門的な中堅・中小メーカーが主体となっている。

定期的な代替需要による安定した市場シェア

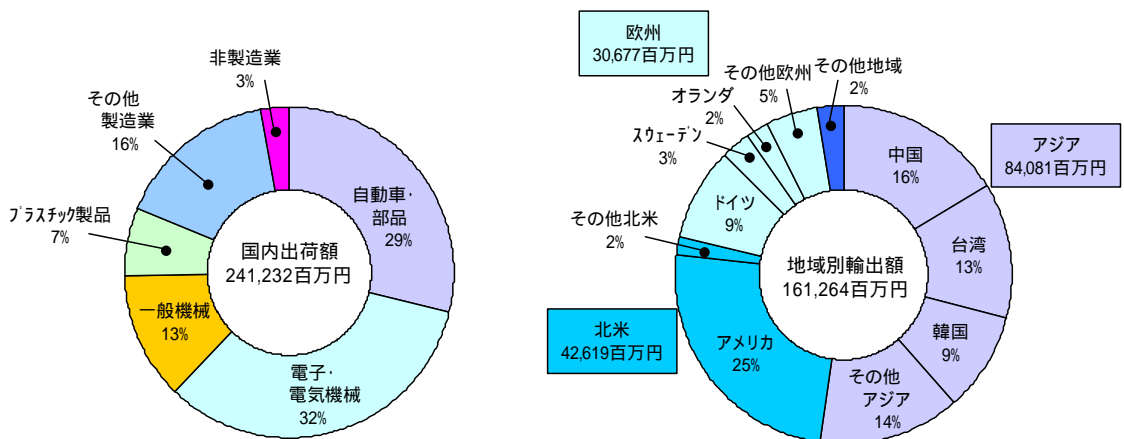
製造現場の過酷な環境下で使用されるロボットは消耗品であり、定期的に代替需要が発生する。ユーザー企業は生産ライン停止による損失を最も恐れることから、設置以降の稼働実績、従業員の操作習熟度を重視して同一メーカー製品を選択することが多く、このような代替需要がロボットメーカー各社の業績と市場シェアの安定に寄与してきた。中には例外的に、最近急成長している液晶ガラス搬送ロボットのように、製品ラインの世代交代が急速に進行、従来のロボット設備が陳腐化して数年おきに更新と言うよりは新規に近い需要が発生する例もあり、シェア変動につながる動きもある。

高い輸出比率と低い海外生産比率

輸出比率は 4～5 割と高いが、製品はほぼ全量が国内で生産される。これはモータ、減速機その他の主要コンポーネンツが国内でしか調達できないことが最大の理由である。但し、営業・アフターサービス部門については、近年の輸出の増加に伴い、大手メーカー各社が欧州やアジアなどで拠点を増加させている。

輸出額の地域別内訳は、アジアが 5 割、北米が 3 割、欧州が 2 割という構造になっている[図表 1-6]。アジアは電子部品実装機中心、北米は自動車向け溶接ロボット中心、欧州は実装機、溶接、マテリアル・ハンドリング*4 と各産業にバランスの取れた構成となるなど、地域によって需要先産業や機種は大きく異なる。反面、海外からわが国への輸入実績はほとんどなく、原子力、宇宙など特殊用途に限られる。

【図表 1-6】産業用ロボットの業種別国内出荷額・地域別輸出額(2001 年)



(出所) JARA「マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書」より
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) 製品特性

ロボットと他の自動機械の違いは何か

続いて、産業用ロボットという製品自体の特性について概観する。

産業用ロボットの作業範囲は切削に留まらず、加工全般、組立、運搬など非常に多彩である。また、対象物の変化(モデルチェンジ、設計変更など)に対して改造することなく対応でき、中品種中量、多品種少量にも適していることが、産業用ロボットと大量生産用手段たる他の専用自動機の相違点である。

産業用ロボットは、ロボット機構本体、教示(ティーチング)装置、制御装置、センシングシステム、動力源などの各部分から構成される。機構本体は人間の腕に相当する搬送部(アーム)と、手に相当するエンドエフェクタ(ハンド)から成り、要素別では関節機構を駆動するアクチュエータ、それを制御装置からの指令に従って正確に動かすための制御機構に分かれる。

教示装置はロボットに動作を記憶させるためのもので、操縦桿、教示ペンダント、キーボードなどの種類がある。

制御装置は教示装置の指令をアクチュエータに送る一方、機構本体の内界・外界計測センサからフィードバックを受けてロボットの動作制御も行う中枢部分である。

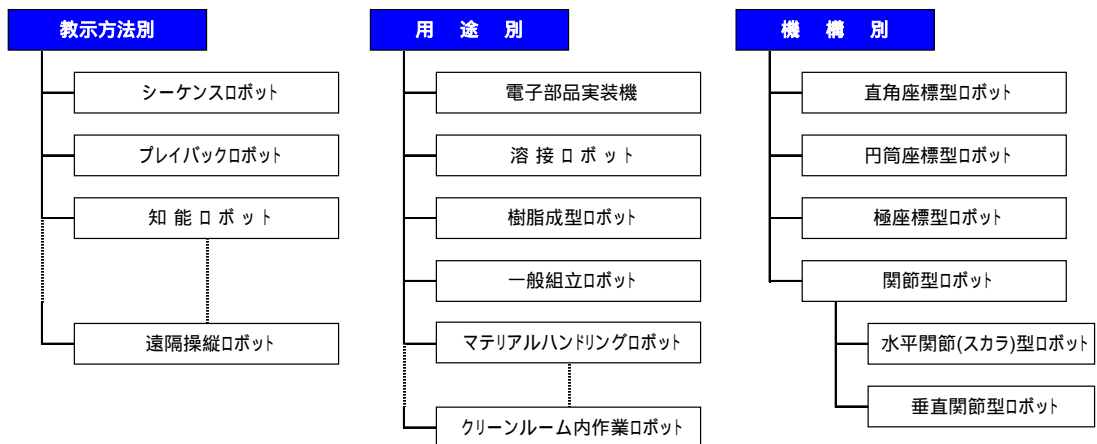
これら以外に、ロボットから被作業物(ワーク)の提供を受ける工作機械など、協調稼動する付帯装置が存在する場合がある。

技術面ではプレイバック教示方式、多関節ロボットが主流として定着

産業用ロボットには様々な分類方法が存在する【図表 1-7】。JIS が発表している教示方法別分類は最も代表的なもので、プログラムされた一連のタスクを繰り返し実行できるプレイバックロボット、人工知能によって行動を決定することができる知能ロボットなどがある。

ロボットが行う作業種類に着目した用途別分類も多く用いられる。マウンティング(2001 年ロボット出荷額占率 29%)、溶接(同 18%)のほか、樹脂成型、一般組立、塗装、機械加工、マテリアル・ハンドリング、クリーンルーム内作業などがある【図表 1-8】。

【図表 1-7】産業用ロボットの各種分類方法

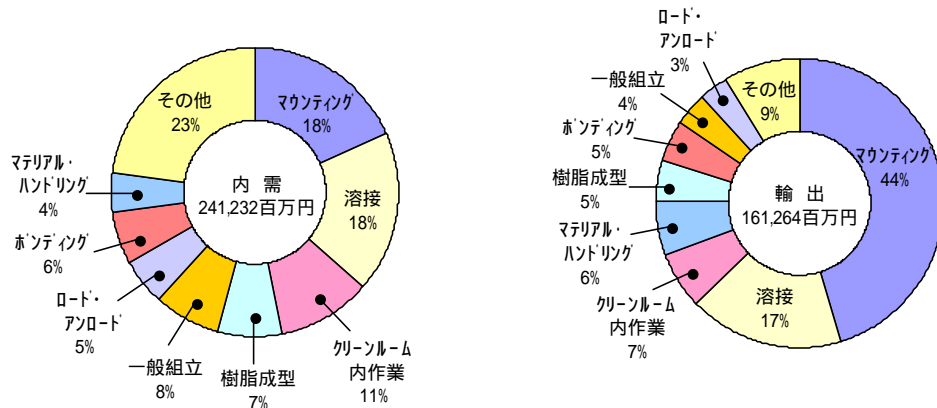


(出所) 各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

この他、直角座標型*⁵、関節型*⁶などはアーム機構の関節配列に着目した分類である。

通常、溶接ロボットは教示方法ではプレイバックロボット、関節配列では垂直多関節ロボットに該当し、自動車関連産業で多く用いられる。組立ロボットは構造形式ではスカラ型が多く、主に電子機械産業で使用される。多様な組立作業を行う機種では、自律的な判断を行う知能ロボットも発表されている。

【図表 1-8】産業用ロボット用途別出荷額(内需・輸出)



(出所) JARA「マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書」より
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

第4節 ロボット産業を取り巻く環境と特徴

(1) 世界的な需給環境とわが国企業

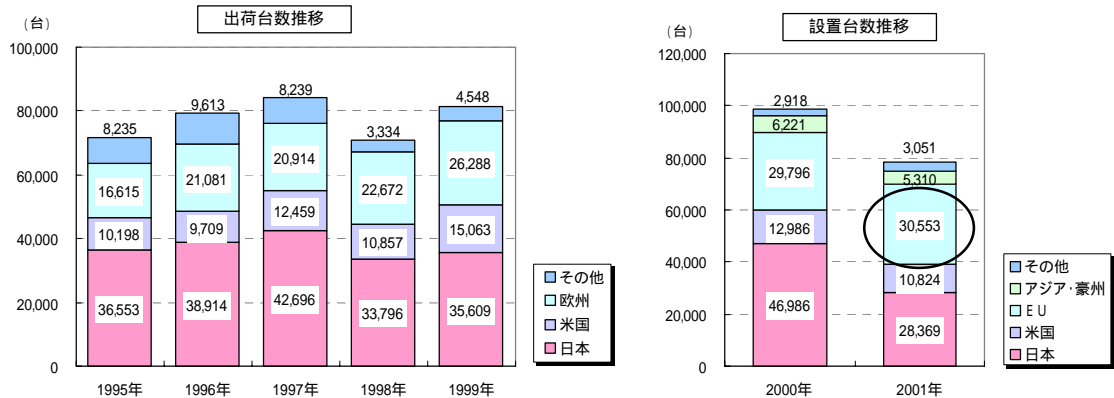
世界稼働台数の半数を占める日本だが、EUとの差は縮小

世界の産業用ロボット年間生産台数は 1999 年実績で約 82,000 台、国別内訳は日本が約 36,000 台と最も多く、欧州約 26,000 台、米国約 15,000 台、その他が約 5,000 台となっている。

一方、需要面を見ると 2001 年地域別設置台数は日本の約 28,000 台に対し、EU 約 30,000 台、米国約 11,000 台、アジア・豪州約 5,000 台となり、EU が初めて日本を上回った【図表 1-9】。

累積稼働台数では、2001 年末世界計 76 万台のうち、日本が 36 万台と依然約半数を占めるものの、EU22 万台、米国 10 万台、アジア・豪州 6 万台と、新規需要主体に急成長する EU が、代替需要中心で微減傾向の日本に接近している【図表 1-10】。欧州の需要増の要因としては、1990 年代の好景気を背景にした現地企業のロボット投資促進や日系企業の現地生産増加が影響したと考えられる。近年までロボット需要が極めて少なかったアジアでも、半導体・電機向けクリーンルーム内作業ロボットを中心に需要が急増している。

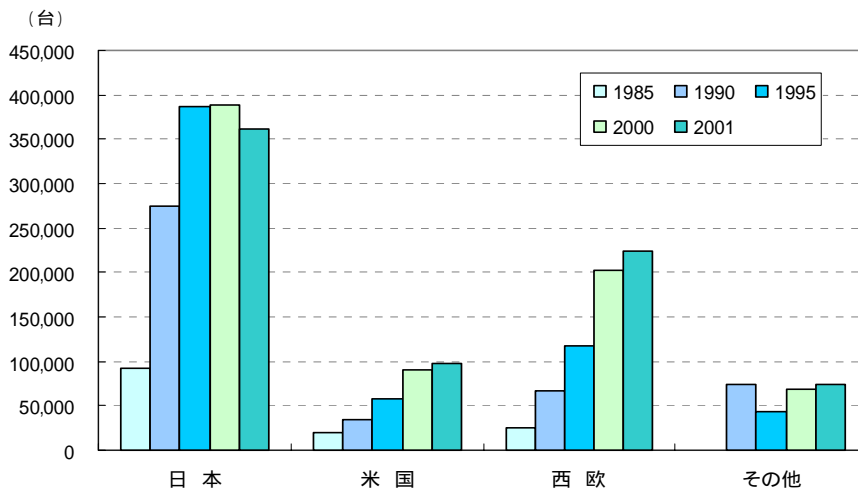
【図表 1-9】世界の産業用ロボット出荷台数・設置台数推移



(出所) 特許庁ホームページ(<http://www.jpo.go.jp/indexj.htm>)
2003年3月27日

(出所) 電波新聞(2002年10月9日付)

【図表 1-10】世界の産業用ロボット稼働台数推移



(出所) JARA ホームページ (<http://www.jara.jp>) 2003年3月19日

世界 5 大ロボットメーカーのうち3社は日本企業

世界の産業用ロボットメーカーを出荷額ベースで見ると、日本企業が上位5社中3社を占めている【図表 1-11】。日本以外の主要なメーカーとしては、電力、オートメーション系で垂直多関節ロボットに強いスウェーデンの ABB 社、欧州内で自動車向け溶接ロボットに強いドイツの KUKA 社、高精度組立用ロボットが主力の米アデプトテクノロジー社などが挙げられる。また、出荷台数ベースでは、ABB、ファナック、安川電機が3強を形成していると推測される。

日本のメーカー各社は高性能のロボットを、用途、搬送重量、アーム長別に広範囲に揃え、多様な製品ラインナップを形成している。更に、長年の納入実績による豊富なロボット化ノウハウ、世界各地のサービス網により、顧客のロボット導入効果を最大化することができる。また、1970年代以降の長年に渡り世界中に広まった日本製ロボットのユーザーも、将来の潜在買い替え需要として重要な財産である。

この結果、わが国の近年のロボット出荷額は約 4,000～6,000 億円で推移し、世界首位の座を確実なものにしている。これは上記のような日本ロボット産業の総合力が評価されているためと考えられる。

【図表 1-11】産業用ロボット関連事業規模上位企業

(単位 百万円)

世界市場				日本市場		
順位	国籍	企業名	ロボット関連事業 出荷額(推定)	順位	企業名	ロボット関連事業 国内出荷額(推定)
1	スウェーデン	ABB	63,150	1	松下電器産業	71,761
2	日本	ファナック	56,771	2	富士機械製造	49,435
3	日本	安川電機	29,342	3	ファナック	30,937
4	ドイツ	Kuka	25,834	4	安川電機	20,093
5	日本	不二越	14,990	5	川崎重工業	10,206

(出所) 特許庁ホームページ(<http://www.jpo.go.jp/indexj.htm>) 2003年6月19日

(注) 松下電器産業、富士機械製造が世界上位に入っていないのは、両社の主力製品である電子部品実装機が世界市場データ統計には含まれないため

(2) 日本ロボット産業を支えるキーコンポーネンツ

有力キーコンポーネンツメーカーは欧米にはない日本の強み

更に、ロボットの性能を左右する重要部品、いわゆるキーコンポーネンツで世界的な技術力と市場シェアを有するメーカーが多いことも欧米との相違点であり、わが国ロボット産業の総合力の一端を形成している。主要なキーコンポーネンツとしては以下が挙げられる。

アクチュエータ

ロボットの関節機構に用いられる駆動装置の総称。アームの位置、方位、姿勢を正確に決定するための高い制御性に加え、軽量コンパクト、高出力、高い応答性、高信頼性とメンテナンスの容易さなど相反する要素が必要とされる。ロボットの実用化以降、電気、油圧、空圧の三方式が主に採用されてきたが、現在ではモータの性能向上に伴い、低価格かつ制御性に優れる電気式が主流となっている。特に制御信号に対して忠実に追従するサーボモータ(制御モータ)が多く用いられるほか、マウンター^{*7}などの電子部品実装機にはより低価格で位置決め機能を持つステッピングモータが用いられることが多い。

制御装置

第3節で見たように、ロボットの動作を制御する心臓部分。ロボットが行うべき多様な動作を電気信号に変換し、複数のアクチュエータの動きをロボット全体として協調・最適化するマクロ的な機能と、個々のアクチュエータの回転を制御してアームやエンドエフェクタの微妙な位置・動作を決定するというミクロ的な機能の両方が必要とされる。一般の産業機械では後者の機能を重視した汎用的なモーションコントローラや PLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ)が使われることが多いが、ロボットやマシニングセンタなどの高機能工作機械ではミクロ・マクロの双方に高い性能を有する CNC 装置が用いられる。

センサ

ロボット自身の状態と作業環境を把握する目的で多種類のセンサが用いられる。前者は内界計測センサ、後者は外界計測センサと呼ばれ、目的別に区別される¹。前者は位置、角度、加速度などを、後者は触覚、視覚、圧覚、力覚などを計測する。このため、センサの機能別では力センサ、光センサ、温度センサ、速度センサなどが多く使われる。今後ロボットの作業用途拡大、自律的判断範囲の拡大、動作の複雑化が進むにつれ、搭載されるセンサの量と種類は更に増加すると考えられる【図表 1-12】。

【図表 1-12】ロボットに搭載されるセンサ(ソニーの人型ロボット「SDR-4X」の例)

CCDカラーカメラ	2個(顔部)
マイクロホン	7個(頭部)
角度センサ	1個(胴部)
加速度センサ	3個(胴・足部)
力センサ	8個(足部)
赤外距離センサ	3個(頭・腕部)
スピーカー	1個(顔部)
熱センサ	6個
タッチセンサ	6個(頭・手・肩部)

(出所) 日刊工業新聞(2003年2月12日付)

減速機

アクチュエータとして使用されるサーボモータは毎分 2,000～4,000 回で回転している。減速機は各アクチュエータに付属し、回転数を 1/40～1/200 に減速、トルクを増幅してロボットの関節やハンド部の駆動という目的に適合させる²。ハーモニックドライブ、サイクロ減速機などいくつかの方式があり、ロボットの大きさ、使用部位によって使い分けられている。現在、標準的な産業用ロボットの自重と可搬重量の比はおよそ 10 対 1 と人間に大きく劣り、このことがロボット用途拡大の障害のひとつとなっている。特に多関節ロボットの性能を大きく左右することから、一層の小型軽量化が要請されている。

ロボット開発の短期化、将来の発展が見込まれる非産業分野など、キーコンポーネントの重要性は更に拡大へ

これらの中で、サーボモータの安川電機、三菱電機、ファナック、CNC 装置のファナック、三菱電機、減速機の帝人製機、ハーモニックドライブシステムズ、住友重機械工業などの各企業は、世界的にも幅広い顧客基盤と高いシェアを有する。これらの多くはロボット完成品メーカーでもあり、部品事業とロボット事業の間の量産シナジー効果を楽しんでいるほか、自社製品の付加価値を増大させるビジネスモデルを構築している例も見られる。欧米の有力ロボットメーカーの事業内容は日本と比較すると組立・機能統合のウエイトが大きく、キーコンポーネントを日本企業からの調達に大きく依存している例も多い。動作の精度・スピード向上、より複雑・広範囲な作業の制御など、ロボット性能の向上には部品の最適設計、機能向上、コスト削減とそれらを統合した完成品としての技術革新が共に進むことが不可欠であり、言わば統合度の高い、日本が得意とする製品分野なのである。最近ではユーザーからのロボット仕様要求に対する開発と納入の短期化が求められる傾向にあり、自社内、あるいは自国内に有

¹ (出所) JARA「ロボット・ハンドブック」² (出所) 同上

力部品メーカーを有することの強みは更に拡大していくと考えられる。第2章で見えていくが、非産業分野のいわゆるパーソナルロボット市場の将来的な発展可能性も、これらキーコンポーネンツの重要性を増加させる要因となるであろう。

(3) 変化を見せる近年の市場動向

1990年代以降、ロボット出荷額は成長から停滞へ

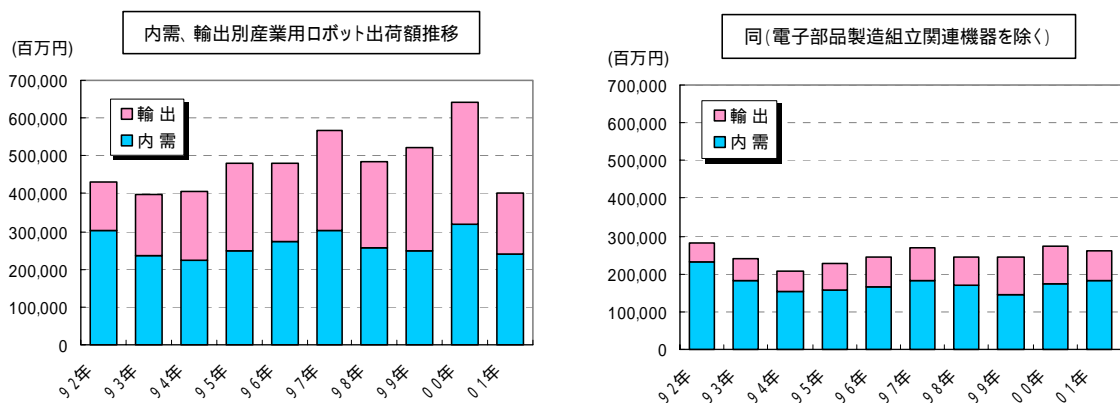
日本のロボット産業は以上のような数々の強みに支えられ世界一を維持しているが、1970～80年代の右肩上がりの成長と比較すると、近年では伸び悩みの傾向も強まってきている。

わが国ロボット出荷額は1991年に5,979億円とピークを記録した後、ほぼ4,000～6,000億円の推移が続いている。2000年には6,475億円と9年振りに過去最高を更新したものの、2001年は37%の4,025億円と再び大きく減少した。2000年の好調もIT関連の好況によるところが大きく、電子部品製造組立関連機器を除いた言わば狭義のロボットでは停滞傾向が更に鮮明になっている【図表1-13】。

1990年代を通じ、輸出比率は約2割から5割に大きく上昇した。自動車産業を初めとする国内需要先の国内生産能力は過剰傾向が続く、輸出の増加がロボット産業を支える構図が鮮明になっている。

企業数の減少は更に顕著である。日本ロボット工業会加盟の会員企業数は前述のように1980年代中盤以降一貫して減少し、2001年には148社とピークからほぼ半減した。

【図表1-13】 内需、輸出別産業用ロボット出荷額推移



(出所) JARA「マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(4) ロボット産業を支えた共存共栄関係の崩壊

企業設備投資抑制、単価下落、新製品の不在が出荷額停滞の主な原因

前項で指摘したわが国ロボット産業の変化には、様々な要因が複雑に関与している。

出荷額停滞の直接の原因としては、製品価格の下落とユーザーのロボット購入意欲の低下、大型新製品の不在が考えられる。

最近10年間で、スポット溶接ロボット、マテリアルハンドリングロボット、マウンターの販売単価はそれぞれ49%、55%、24%低下した【図表1-14】。出荷台数はいずれも増加基調

にあり、製品価格の引き下げが新規需要拡大に寄与している面はあるものの、トータルの出荷額としては減少が続いている。新たな付加価値を生み出さない限り、単価下落とコストダウンの繰り返しという縮小均衡から脱することができない状況と言える。また、自動車産業向け溶接ロボットの更新期間が従来の8年程度から12～13年前後になるなど、ユーザーの代替需要発生が従来よりも遅れている。

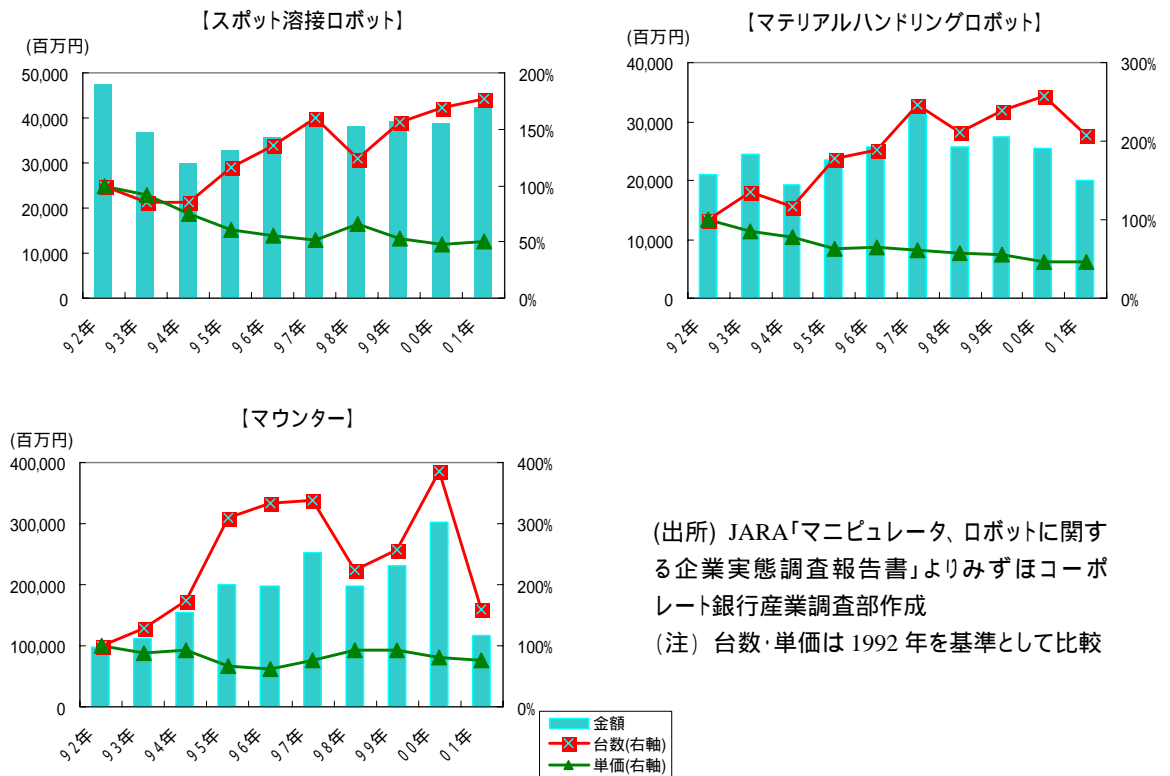
ユーザーの周辺業務外注化、調達コスト圧縮により共存共栄関係は崩壊

これらの状況を更に掘り下げると、外的な要因とロボット産業の内部要因に分けられる。

外的要因としては、景気低迷の長期化に伴い、製造業各社が設備投資を抑制する傾向にあること、製造拠点を中国など海外に移転させていることが大きい。

内部要因では、1980年代後半以降、画期的な新製品がなく、その結果需要先分野が固定化していることが指摘できる。第1節で見た通り、現在使用されている主要なロボットは1980年代中盤までに実用化されたものであるが、以降は大きな変化がなく、既存機種改良が続いて現在に至っている。

【図表 1-14】出荷台数と単価の推移



更に、より大きな内部要因として、ロボットメーカーとユーザー企業の変化していることが挙げられる。熟練技術者・技能工のリストラや定年退職により、製造業各社から生産ライン構築ノウハウが失われつつあるほか、本業に経営資源を集中する傾向から、ユーザー各社はロボット開発に留まらず生産ライン全体の構築を外注化し、大手ロボットメーカーなどに一括発注するケースが多い。開発期間や納期の要求も短期化しているほか、従来の取引関係にこだわらない世界最適調達や複数社との競合取引が生産設備にも波及している。ロボットメーカーに自社製品の最終品質までの保証を求める動きも広まるなど、取引シェアの流動化、

特定用途、ユーザーへの依存というデメリットが顕在化

ロボットメーカーの選別傾向が強まると同時に、ロボットメーカーの事業上のリスクが増大しているのである。

この様に、以前より日本のロボット産業を特徴付けていた、国内製造業との長期安定取引を通じた共存共栄関係が失われつつある中、安定的とされた特定用途、大企業に偏った事業基盤がデメリットとして逆に顕在化しているために、ロボット産業が長期的な停滞に直面しているとの見方も出来よう。

従来型のロボット産業で停滞とも見られる状況が続く中、第2章ではロボット分野におけるもうひとつの産業として有望視されているパーソナルロボットについて論じると共に、将来の産業としての可能性について検討してみたい。

第2章 パーソナルロボット実用化への道程

近年注目を集める「もうひとつのロボット」

本章では、最近注目を集めている「もうひとつのロボット」、いわゆるパーソナルロボット分野の現状を概観し、将来性を展望する。最初に産業用ロボットと比較しながら産業特性と製品特性を整理し、多様な参入業種と参入パターンを類型化してみたい。その上で多岐に渡る製品をいくつかの視点から分類した後、現在のメーカーの開発姿勢、製品の特徴、過去の他製品の普及パターンから将来のパーソナルロボット普及の進み方を予測し、最後にヒューマノイド(人間型ロボット)が中心のわが国パーソナルロボット開発体制が内包する問題点を指摘した上で、日本が将来に渡ってパーソナルロボット先進国であり続けるために政府、研究機関、民間企業のそれぞれに求められるビジョンと育成策について考察したい。

第1節 パーソナルロボットの産業特性・製品特性

(1) パーソナルロボットの定義と生い立ち

生活空間内における労働の補佐・代替が目的

パーソナルロボットとは、産業用以外に使用されるロボットの総称で、一般家庭など生活空間内で人間の日常的な労働を補佐・代替するものを指している。構造として、作業用のアーム・マニピュレータのほか、脚・車輪などの移動機構を持つことが多く、人間を模した形態のものを特に『ヒューマノイド』と呼ぶ場合もある。後述するように、本稿では災害対策など社会公共用途のロボットもパーソナルに含めて扱うこととしたい。

わが国におけるパーソナルロボットの研究開発は、産業用とは別の流れとして1960年代に始まった。機械工学からのアプローチのほか、人間の精神・身体のみカニズムを解明する目的でロボット作りに参入する研究機関も多かった。この点については第2節で詳しく見ることとする。

本格的なパーソナルロボット時代の到来を認識させた「AIBO」と「ASIMO」

研究成果は長年、万博への出展など展示物レベルに留まっていたが、1990年代以降のロボティクス技術の発展を背景に、徐々に実用化レベルに近付きつつある。特に1999年のソニーのイヌ型ロボット『AIBO』発売、2000年の本田技研工業のヒューマノイド『ASIMO』発表などは、一般消費者の間に本格的なパーソナルロボット時代の到来を認識させることとなった【図表2-1】。

【図表2-1】主なパーソナルロボット研究開発の歴史

年	研究開発機関	内 容
1969	早稲田大学	圧力センサを備えたコンピュータ制御電動マニピュレータ「WAM-2」発表
1972	東京工業大学	匍匐前進する蛇型ロボット発表
1973	早稲田大学	二足歩行を行う人間型ロボット「WABOT-1」発表
1979	東京工業大学	センサにより四足歩行で階段昇降するクモ型ロボット「PV-」発表
1985	総合警備保障	自動消火機能を備えた警備ロボット「ガードロボA型」発表
1996	本田技研工業	動歩行を行う人間型ロボット「P2」発表
1999	早稲田大学	自己保存情緒機能を持つ情緒交流ロボット「WAMOEBA-2R」発表
1999	本田技研工業	四足歩行の犬型エンターテインメントロボット「AIBO」を発売
1999	テムザック	遠隔操作可能な人間型ロボット「TMSUK04」を発表、研究開発用に大学等に販売
2000	千葉大学	六足歩行の地雷探査ロボット「COMET-1」発表
2000	ソニー	二足歩行、起き上がり動作が可能なエンターテインメント人間型ロボット「SDR-3X」発表
2000	本田技研工業	運動性能を高め、小型化した二足歩行人間型ロボット「ASIMO」発表
2002	テムザック	ホームセキュリティ用四足歩行ロボット「番電」の予約販売を開始
2003	産業技術総合研究所、川田工業など	人間との共同作業が可能な二足歩行人間型ロボット「HRP-2」を発表

(出所)各社・団体ホームページ、新聞記事等よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

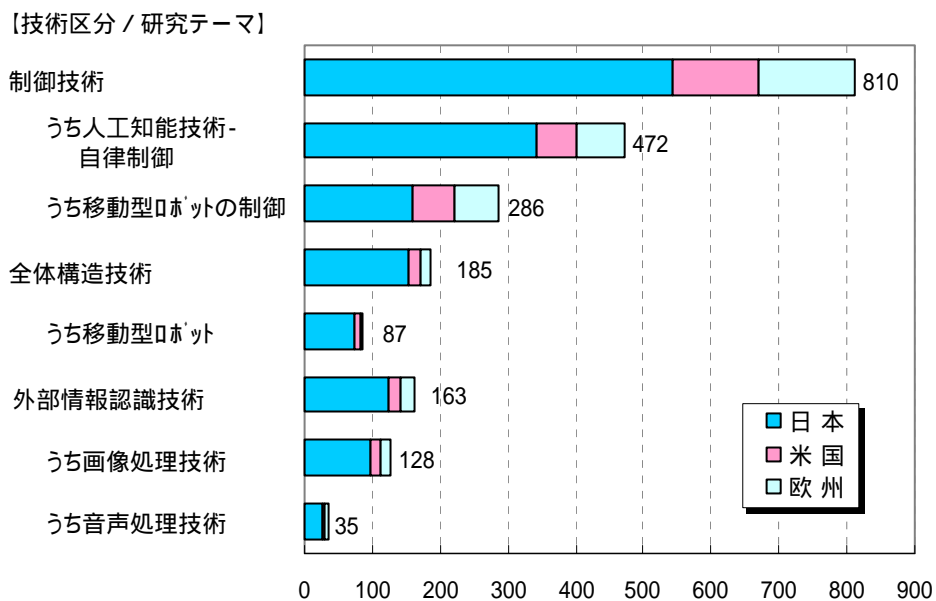
みずほ産業調査「ロボット産業の現状と展望」

日本のパーソナルロボット技術は一貫して先端水準を維持

日本のパーソナルロボットの研究水準は黎明期より一貫して世界的に優位にあり、特にヒューマノイドの分野では他国の追随を許していない【図表 2-2】。

日本以外では欧米で研究が進められているが、軍需産業としての側面もあって実務的な用途を志向した研究が多いことが特徴である。欧州は医療福祉・深海作業用ロボットなどの実用化で先行し、米国は人工知能、画像認識技術などの分野で世界的にも高い水準にある。

【図表 2-2】ロボティクス技術に関する国・地域別発表論文数の例



(出所) 特許庁「ロボットに関する特許出願技術動向調査」(平成 14 年 5 月 24 日)より
みずほコーポレート銀行産業調査部作成
(注)2000 年に発表された論文を対象とする

(2) 産業としての特性

技術力に加え、企画・マーケティング力、販売チャネルも重要

パーソナルロボット産業は、産業用ロボットと同様に多額の研究開発投資を必要とする『ハイテク産業』である。特に、多くの要素技術を限られたサイズの中に盛り込み、相反する様々な性能特性を実現させるという「すり合わせ」的な技術力は産業用よりも更に強く求められる。

産業用ロボットでは技術力が最も重視されるが、パーソナルではそれに加え、幅広いシーズの一部を過不足なく切り抜き、市場ニーズに合わせて迅速に製品化するという企画・マーケティング能力も劣らず重要になる。また、一般個人消費者が対象顧客であることから、小売店・系列販売店など多数の販売チャネルも必要とされよう。

産業用ロボットが生産財であるのに対し、パーソナルロボットは耐久消費財の一種と考えられ、産業特性でも家電・自動車製造業などとの共通性が強いと考えられる。

(3) 製品としての特性

使用目的の違いを反映し、産業用ロボットとの共通性は少ない

同じロボットという名称でも、産業用とパーソナルで求められる機能や特性に共通性は少なく、大きく異なる部分も多い。

産業用ロボットの用途は工業製品の加工・組立など一定であり、形状も垂直多関節型など似通ったものが多い。他方、実用からアミューズメントまで使用目的が多様なパーソナルでは、求められる機能や形態もそれだけ多種多様となっている。

パソコンや専用コントローラなどの教示装置を備える産業用ロボットに対し、ロボット知識を持たない一般消費者が使うパーソナルロボットは、音声やジェスチャーで簡単に指示できることが必要となる。また、一定の動作を精密に反復する産業用と異なり、事前に想定しない多様な作業と無数のバリエーションに対応することが必要である。このため、制御コンピュータとソフトにも高度な性能が要求される。

使用環境も産業用と大きく異なる点である。産業用ロボットが工場内に据え付けられるのに対し、パーソナルロボットは家庭内・市街地など段差や障害物の多い生活空間内を自由に移動できなければならない。高い移動性能を有する移動機構のほか、大きさ、自重、可搬重量にも厳しい制約が課せられる。

工業製品である産業用ロボットと異なり、形状や色彩などのデザインも重要である。パーソナルロボットではデザインが消費者の購買意欲に大きく影響すると考えられるほか、会話性能を備えるロボットの場合、ヒューマノイド形状の方が人間とのコミュニケーションがスムーズになる傾向があることが分かっている。

加えて、安全性への配慮がより重要な課題として考えられよう。人と身近に接することが役目のパーソナルロボットには、人との隔離が前提の産業用ロボットとは全く異なる新しい安全性の考え方が求められるのである。この点については第4節で詳しく取り上げる。

第2節 製品の分類と主なプレイヤー

(1) 公共分野 / 民間(家庭)分野での分類

パーソナルロボットとは産業向け以外の多種多様なロボット製品の総称であり、はっきりした分類基準は確立されていない。

一つの方法として、社会公共サービス用と家庭用という分類が考えられる。

公共分野ではコスト負担者の特定も必要に

前者は特定の個人用ではなく社会全体のインフラ整備などを目的とするもので、宇宙開発、深海作業、原発点検その他で従来から少数ながら実用化されている。

災害対策や地雷除去など明確かつ具体的なニーズが存在し、家庭用に比べると既存の産業用ロボットの技術転用が比較的容易と考えられる。しかし、現在の環境問題に見られるように、技術的な問題が解決されてもコストの負担者がいなければ普及は難しいと予想され、政府の助成措置などを活用したスキーム作りが必要と考えられる。また、公共セクターによるコスト負担というある種の甘えからコスト低減インセンティブが働きにくい分野であり、普及に向けての牽引にはなりにくいという点には留意が必要であろう。

近年、経済産業省主導のプロジェクトで開発が進められているマイクロマシン^{*8}も社会公共サービス用の一分野と言える。小型化、超精密化という日本製造業の強みが活かせる上、プラント点検、医療ほか広範囲に応用が見込まれることから、各方面の注目を集めている。

(2) 用途別での分類

現状はアミューズメント寄りの製品化が多い

現在、各社から多くのパーソナルロボット製品が発表されているが、ロボットが提供する役割に着目すると、実作業寄りから会話などのアミューズメント寄りまで四つに分類することが可能と考えられる。

更に、人間の介入なしに多様な作業を行えるという「自律性」に着目し、高度に自律的な機種から単能の自動機械的機種までの四区分に分類、二つの評価軸で代表的な各社製品をマトリックス表示すると図のようになる【図表 2-3】。

将来的には各製品の自律性向上と多機能化でこのマトリックスは消滅に向かうものと見られるが、そこに至るまで当面は製品化アプローチの違いが存在することになるだろう【図表 2-4】。

【図表 2-3】を見ると、現在のロボティクス技術水準でも比較的製品化が容易なアミューズメント寄りの分野での製品化が増えていることが読み取れる。

【図表 2-3】パーソナルロボットの用途別分類

		用途				特徴
		実作業系	巡回・見張り系	情報操作端末系	会話、アミューズメント系	
自律性	多工程・全自動	HRP-2(産総研)	WAKAMARU (三菱重工)、 ロボビ- (ATR知能ロボティクス研究所)、 ApriAlpha(東芝)	WAKAMARU (三菱重工)、 ApriAlpha(東芝)	WAKAMARU (三菱重工)、 ASIMO(ホンダ)、 SDR 4X (ソニー)、 AIBO(ソニー)	事前プログラム不要、その場で指示(音声、ジェスチャーなど)、複数工程に連続的に対応
	複数工程・全自動	リハビリ(東芝)	カドロボ C4型 (総合警備保障)			事前にモード設定必要、一定範囲内の複数作業を自動的に実行
	複数工程・一部自動	COMET-3 (千葉大学)	番電(テムザック)、 MARON-1(富士通)、 MARS (三菱重工)	MARON-1(富士通)	HOAP 2(富士通)、 PINO(ZMP)	遠隔操作又は事前プログラム。複数工程への自動対応は不可。細かな状況変化には対応(動歩行など)
	単工程・全自動	マイクソン(セコム)、 リハビリロボットTEM LX2(安川電機)				1種類・1工程の作業を自動的に実行。前後工程は人の関与。自動機械よりも細かな制御が可能
特徴		資材運搬、掃除、 リハビリ訓練、 食事介助など	巡回警備、プラント 内点検、住人異常 通報、受付、道案内 など	家電操作、インター ネットからの情報取 得、メール受信など	会話、歌、踊り、 感情表現など	

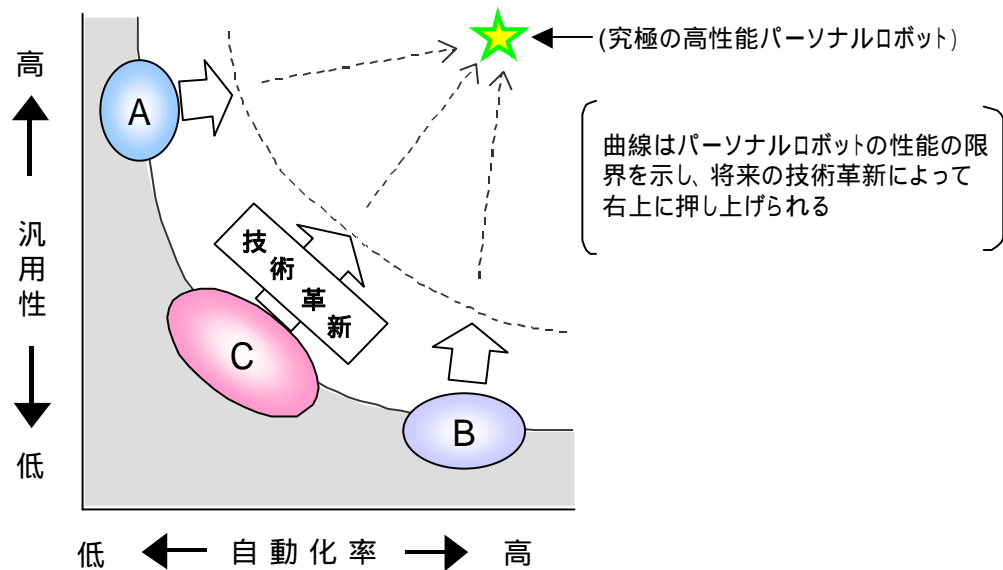
(出所)各社資料、新聞記事等を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

実作業系ロボットの自律性向上における困難性

一方の実作業系には製品が少なく、自律性の向上が難しいことが窺える。人間との物理的な接触が多い実作業系では特に安全面の配慮が必要となり、敢えて自律性を下げることで工程ごとに人間が関与する余地を残しているものと考えられる。

マトリックス表の中で、東芝の自走式クリーナー『トリロバイト』などは家電がロボット化したものと言える。家電業界がワイヤレス通信機能を備えた「ロボット家電」の開発を進めるなど、今後もパーソナルロボットと隣接分野のクロスオーバーの動きは続くと思われる。

【図表 2-4】パーソナルロボット性能の「フロンティア曲線」



- A: 多様な作業を行わせるために、あえて人間の操作余地を残す
(例: 協調作業用ヒューマノイド)
- B: 汎用性よりも自動化を優先
(例: 食事介助装置)
- C: 機能の多様さと自動化率をバランス
「自律性の高い」ロボット
(例: アミューズメント系ヒューマノイド、家庭用見張りロボット)

(出所)みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) 研究開発目的から見た分類

パーソナルロボットの研究開発目的に着目した分類も可能である。数多い団体の研究開発目的やアプローチ方法はそれぞれ異なり、三つに大別することが可能である【図表 2-5】。

人間の脳・神経メカニズムを解明する手段としてのヒューマノイド作り

第一は人間の脳と神経の構造や身体との関連の研究に主眼を置き、その解明・実証の手段として高性能ロボットを作成するグループである。このグループは限りなく人間に近い高度なロボティクス技術を志向し、基礎研究的な多様なテーマを扱った長期の研究に特徴がある。ロボットの種類としては人間に最も近いヒューマノイドを選択することが多い。

1960年代から現在まで世界のヒューマノイド研究開発の最先端にある早稲田大学ヒューマノイド研究所、共生系というコンセプトに基づきシステムとしての生命現象を研究する科学技術振興事業団の北野共生システムプロジェクトなどがこのグループの代表例と言える。

「高度に実用的なロボット」を直接の目的とするアプローチ

第二に、実際に我々の生活の中で様々な作業を行うような、高度に実用的なロボットの開発を直接の目的にするグループがある。このグループでもヒューマノイドの開発事例が多いが、これは生活空間で使われるロボットには人間と同じ形状が適しているという実用性重視の考え方の結果である。研究開発プロジェクトにおいても、ある一定内容の作業の実現という具体的な目標を設定し、3～5年程度を研究開発期間の単位とするケースが多い。

【図表 2-5】研究開発方法別 3 グループの比較

	理論実証型 アプローチ	機能優先型 アプローチ	既存技術製品化型 アプローチ
研究開発の 主な目的	人間の精神・身体制御 メカニズム解明	人間の生活空間内で役立つ ロボット作り	パーソナルロボット事業の 早期収益源化
研究開発の スパン	長期(5年以上)	中期(3～5年程度)	短期(1～3年程度)
主な団体・企業	早稲田大学 科学技術振興事業団(北野共 生システムプロジェクト) ATR知能ロボティクス研究所	産業技術総合研究所・川田工 業など(経済産業省「HRPプロ ジェクト」) 本田技研工業 三菱重工業 神戸大学 千葉大学	ソニー 三洋電機 富士通 東芝 三菱重工業 安川電機
ロボットの特徴	ヒューマノイド中心 認知・制御モデル、コミュニ ケーションモデルなどを備え、 高い自律性や運動能力	ヒューマノイド/目的別最適形 態 力仕事・危険作業などの実作 業系用途が多い	ヒューマノイド～ペット型など多 様な形態 アミューズメント系、巡回・見張 り系、情報操作端末系が多い
製品化の スタンス	試作モデル中心 製品化の事例は少ない	量産化前提だが台数は限定的 製品化の実績・予定多数 1台数千円程度	当初から製品として大量生産・ 販売 消費者の反応を探る役割も 1台数十万～数百万円程度
対象顧客	博物館・研究機関など ごく少数	研究機関・企業・自治体など 特定少数	一般消費者 不特定多数

(出所)各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

経済産業省の委託により産業技術総合研究所などが推進していた『人間協調・共存型ロボットシステム(HRP プロジェクト)』がこのグループの代表例であり、遠隔操作による産業車両の運転、屋外での人間との共同作業などを実現した【図表 2-6】。1980年代から二足動歩行^{*9}ヒューマノイドの研究を行っている本田技研工業も高い技術力を有する。

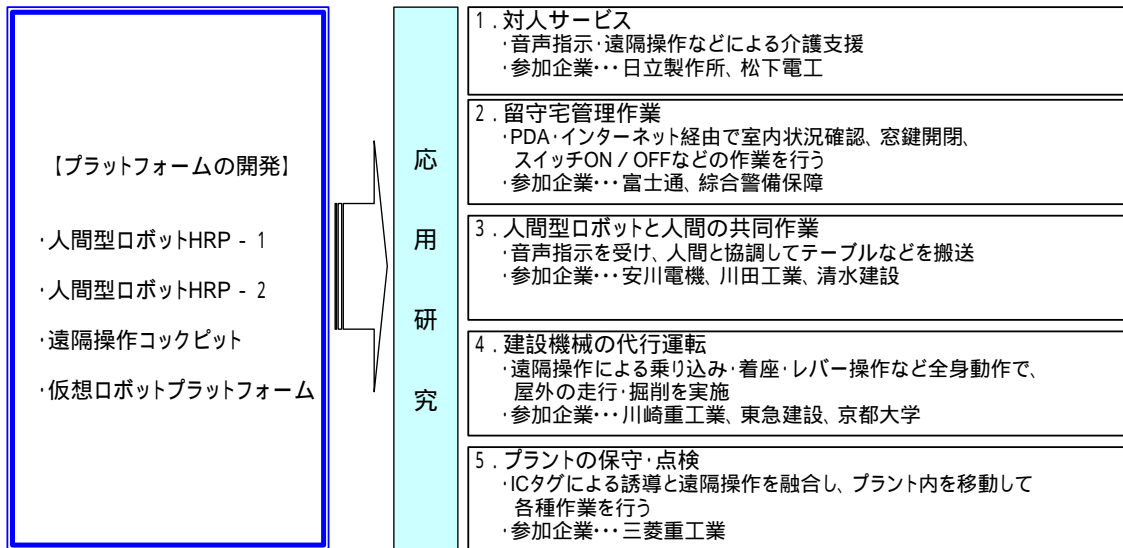
災害救助ロボット研究を行うNPO(特定非営利活動法人)の国際レスキューシステム研究機構^{*10}、地雷探知ロボット開発の千葉大学工学部もこのグループに位置しているが、この両者は非ヒューマノイド形態を採用している。

早期の事業化を目指す
ロボット開発が急増

第三のグループは、既に実用化された技術、近い将来に実現可能な技術を組み合わせてパーソナルロボットの製品化と事業化を目指すもので、製品企画から発売まで1～3年程度など短期の開発サイクルで活動するケースが多い。自社保有技術を利用して新規事業の立ち上げを目指す民間企業が多いほか、公的機関による研究成果を事業化するベンチャー企業なども見受けられる。

『AIBO』、『SDR-4X』などのアミューズメント系ロボットを手掛けるソニー、巡回・見張り系や情報操作端末系の製品を相次ぎ発表している富士通、東芝、三洋電機などの総合電機各社、科学技術振興事業団で開発されたヒューマノイド『PINO』を市販するベンチャー企業のZMPなど、近年の団体数増加が著しい。

【図表 2-6】経済産業省「人間協調・共存型ロボットシステム(HRP プロジェクト)」の概要



(出所)産業技術総合研究所ホームページ(<http://www.aist.go.jp/>) 2003年6月9日

(4) 主な参入業種と参入のパターン

多様な業種、限定的な参入スタンス

現在の主な参入企業を業種別に概観すると、総合電機(東芝など)、総合重機(三菱重工業など)、ロボティクス技術系ベンチャー(ZMP など)、自動車(ホンダなど)、精密部品(オムロンなど)、産業用ロボット(安川電機など)、電気機械(ローランド・ディー・ジーなど)、玩具(バンダイなど)、各種サービス業(セコムなど)の9種類に分類できる。産業用の場合と同様、パーソナルロボット製造業は大規模な設備負担を要しない組立型産業である。更に、耐久消費財としての類似性(家電、自動車)、消費者ニーズの把握(玩具、各種サービス業)といった事業内容の共通性も参入増加の一因と考えられる。

各参入業者は多くの場合、フルラインではなく自らが強みを有する工程を中心に限定的な参入方針を採っている。各グループの参入状況と強みの所在は以下のように考えられる【図表 2-7、2-8】。

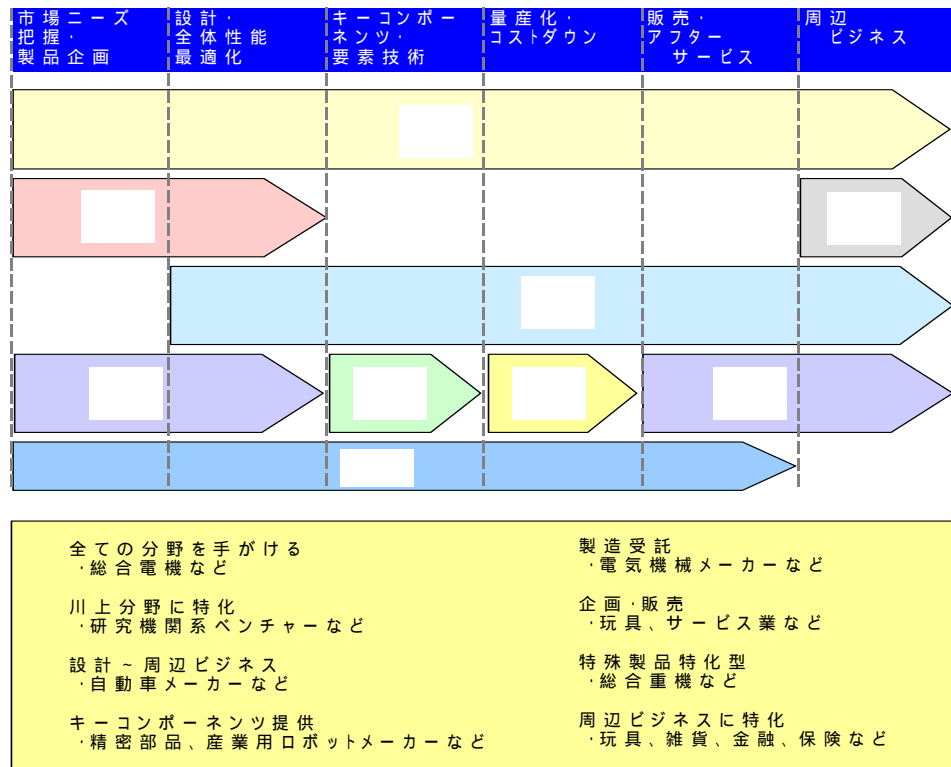
【図表 2-7】参入業種別に見た強み・弱み

	市場ニーズ把握・製品企画	設計・全体性能最適化	キーコンポーネツ・要素技術	量産化・コストダウン	販売・アフターサービス	周辺ビジネス
総合電機						
総合重機						
ロボティクス技術系ベンチャー						
玩具						
サービス業						
自動車						
電気機械						
精密部品						
産業用ロボット						

(出所)各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

この中では、先端の開発結果としてのロボット製品を持つ技術系ベンチャー、ロボット作り
に不可欠なキーコンポーネッツを独占供給する産業用ロボット、総合力に優れる総合電機、
消費者ニーズを的確に捉え、販売力も持つサービス業などの事業者が今後の市場でプレゼ
ンスを確立していくと思われる。

【図表 2-8】パーソナルロボット産業で予想される主な参入形態



(出所)各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(5) 業種間アライアンスの動向

前述のような参入状況の結果、業種間で分業的なアライアンスが締結される例が増えてい
業種間のアライアンスはる【図表 2-9】。多様な要素技術と事業ノウハウが必要とされる上、当面は生産ロットが小さく、
今後も増加か 将来性が不透明で事業リスクが相対的に大きいことから、当面は他社との協業による限定的
な参入が多くなるものと考えられる。

【図表 2-9】パーソナルロボット事業における企業間アライアンスの例

企業名(業種)	用途・製品名	発売時期	事業分担
ZMP(ロボティクス技術ベンチャー) ローランド・ディー・ジー(電子・電気機器製造) パルボックス(玩具)	研究用ヒューマノイド 「PINO」	2002年	ZMP…販売、部品開発 ローランド・ディー・ジー…製造 パルボックス…キャラクター玩具の企画・製造・販売
テムザック(ロボティクス技術ベンチャー) 三洋電機(総合電機)	ホームセキュリティ用 恐竜型ロボット「番竜」	2003年4月	テムザック…設計、開発 三洋電機…一部パーツ設計、外装デザイン、 量産設計、生産
バンダイ(玩具) Evolution Robotics Inc. (米国、ソフトウェア開発)	教育・エンタテインメント用 ロボット	2005年 (予定)	バンダイ…設計・製造・販売 Evolution Robotics Inc. …ソフトウェアプラットフォーム提供

(出所)各社プレスリリース、新聞記事等よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

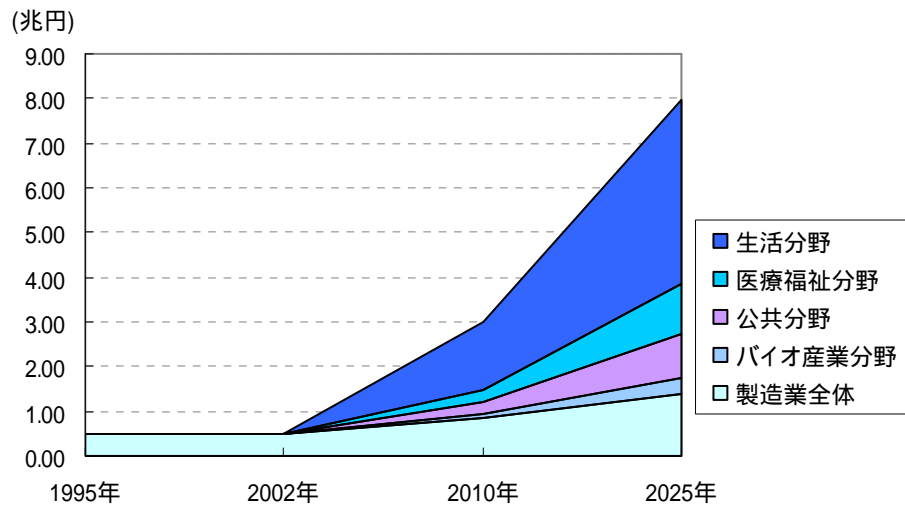
(注)(株)パルボックスは2003年3月、(株)ツクダオリジナルより社名変更

第3節 市場規模予測

(1) 他製品の例に見る普及の条件

日本ロボット工業会が2001年に発表した将来予測では、産業用・パーソナルを合わせた2010年のロボット市場規模を29,900億円、同じく2025年で79,500億円と想定している。このうちパーソナルロボットは2010年21,400億円、2025年65,500億円と、それぞれ7割強、8割強を占めると予測している【図表2-10】。

【図表2-10】日本ロボット工業会による将来のロボット市場規模予測



(出所) JARA「平成12年度 21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書(要約版)」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

市場がこの予測通りに拡大するかは不透明ながら、少子高齢化の進展による労働人口減少と介護負担の増大、家電の多機能化とインテリジェント化に伴う操作が容易なインターフェースの必要性、公共サービスの充実化要請など、近年の社会的な変化によりパーソナルロボットの潜在的な需要は増大していると考えられる。

消費者はロボットに「高い実用性」を求めている

なお、消費者アンケート³の結果では、ロボットに期待する『役割』として「留守番・警備」、「掃除など家事手伝い」が、期待する『機能』では「力仕事を手伝う」、「遠隔操作による屋内の家電制御」がそれぞれ上位に登場している。これを第2節で示した用途別分類に当てはめると、毎日の生活に役立ち、かつ効用の分かり易い「実作業系」、「巡回・見張り系」に対する消費者の関心の高さが窺える。

また、「ロボットと暮らしたい」というように、具体的な効用ではなくロボットを所有すること自体を希望する消費者層もある程度存在すると推測される。

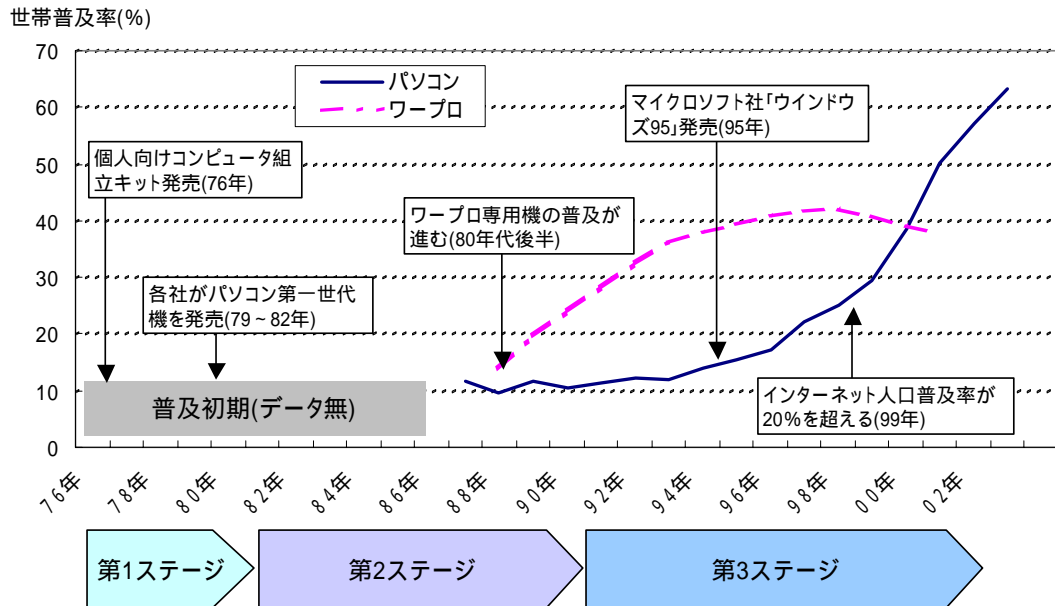
過去の事例としてのパソコンの普及

全く新しい耐久消費財であるパーソナルロボットの将来普及予測を、過去の他製品との比較で行うことは難しいが、比較的近いものとしてパーソナルコンピュータを取り上げてみたい。パソコンの普及過程は下図のように大きく三つのステージに分かれると考えられ、産業用から家庭用への転用、精密電子製品という共通性のほか、当初はシーズ先行の製品化で具体的

³ (出所) 「日経産業新聞」(2003年1月9日朝刊)

用途が不明確であったこと、自作キットの半製品が主流の時期からユーザーフレンドリーな完成品への移行が進んだことなどを考えると、パーソナルロボットとの類似性を強く感じさせるからである【図表 2-11】。

【図表 2-11】パーソナルコンピュータの普及過程



- | | | |
|--------|--------|--------|
| 第1ステージ | 第2ステージ | 第3ステージ |
|--------|--------|--------|
- 第1ステージ**

 - ・1970年代
 - ・個人向け自作キット発売
 - ・ユーザーがプログラムを入力、簡単なゲームなど
 - ・専門知識を持つ一部のユーザーが対象

第2ステージ

 - ・1980年代
 - ・パソコンという製品コンセプトが定着、参入企業が増加
 - ・汎用的な可能性を持ちながら、ソフトウェア、周辺機器などアプリケーション開発が追いつかず
 - ・住所録作成、ゲーム、パソコン通信など限定的な用途
 - ・日本語処理、文書作成機能に特化したワープロ専用機が先行して普及

第3ステージ

 - ・1990年代～
 - ・マイクロソフト社「ウィンドウズ」などの基本ソフトによるオープン化
 - ・ソフト(表計算、ワープロなど)、ハード(プリンター、デジタルカメラなど)の多彩なアプリケーション開発
 - ・インターネット、電子メールという全く新しい用途による急激な普及と低価格化

(出所)内閣府「消費動向調査」等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成
(注)普及率は各年3月末時点。ワープロは2002年以降データなし。

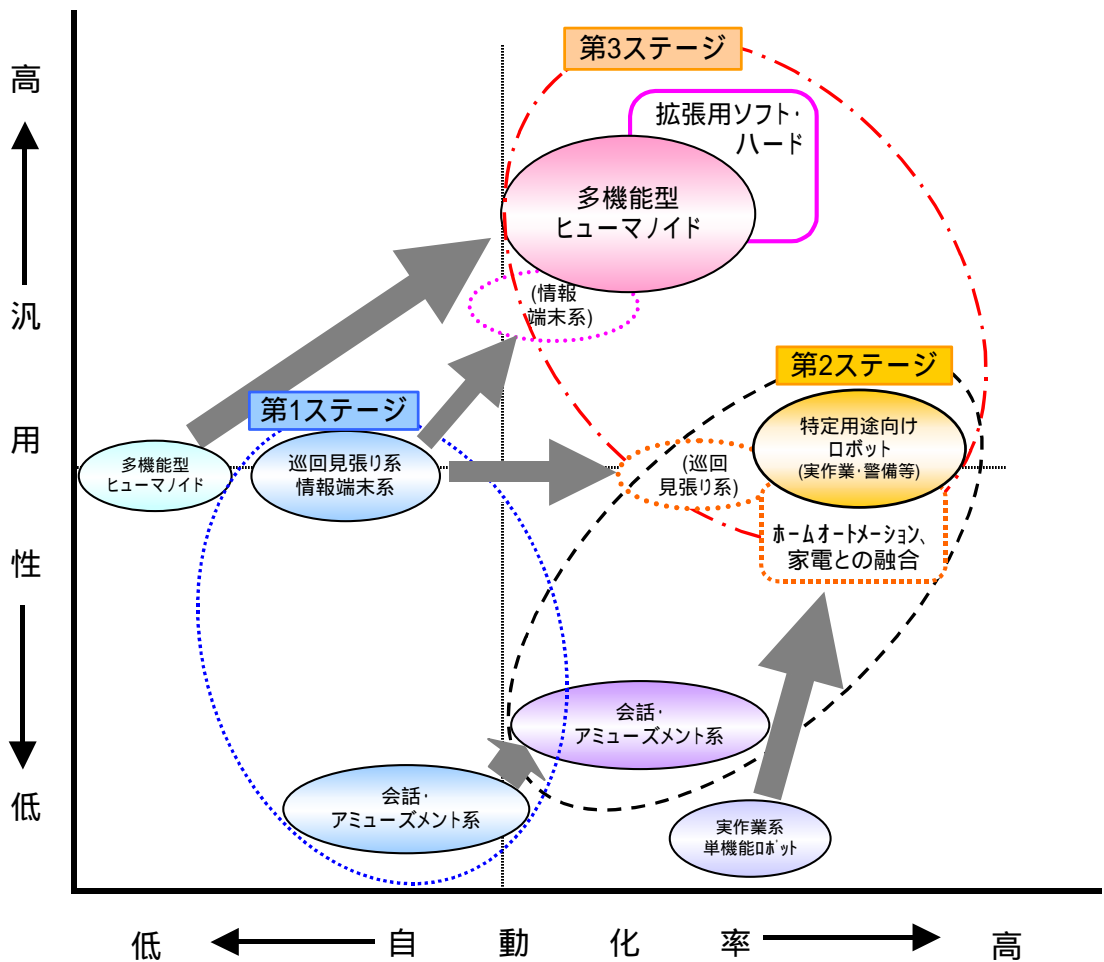
(2)メーカー別・製品タイプ別普及パターン予測

パソコン普及時のインプリケーションを参考に仮説を構築

前節で見たパーソナルロボット製品マトリックス表【図表 2-3】に、【図表 2-11】のパソコン普及事例に見るインプリケーションを当てはめることにより、将来普及パターンの定性的な仮説構築を試みた【図表 2-12】。

第一ステージは多数のメーカーから様々なパーソナルロボットが製品として発売され、市場が立ち上がる時期である。現在はこのステージに該当し、今後5年間程度は継続するものと考えられる。各メーカーの開発体制・技術水準はほぼ現在の方向性を維持し、用途としては会話・アミューズメント系が牽引役となるだろう。

【図表 2-12】パーソナルロボットの普及パターン予測



(出所)各種資料よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

研究開発・教育用題材としてのヒューマノイドや、実作業系に該当する社会公共サービス用ロボットも数機種発売されるが、いずれも数百～数千万円程度と高価な上、台数も限定的で市場へのインパクトは小さいと考えられる。

この時期のパーソナルロボット製品は実用性から見た費用対効果の面ではまだ割高であるが、話題性、目新しさを主な購入動機として小規模の需要が続こう。本格的なロボットを所有できるなら高価でも構わないというロボットに高い関心を持つ層や、高齢の家族を抱え巡回・見張り系ロボットへのニーズが強い中高年層などが主な購買層と推定される。

中期的にはアミューズメント系と単能的実作業機が市場の中心か

第二ステージでも引き続き会話・アミューズメント系が中心ながら、徐々に性能向上と価格低下が進み、情報操作端末系、巡回・見張り系との複合機、ヒューマノイド型が増加するであろう。

並行して、掃除・介護補助など単機能に特化した実作業系ロボットの普及が進み、ひとつの市場を形成することが予想される。また、パーソナルロボットの隣接分野として、ネット家電、各種センサ、ホームエレベーター、移動用リフトなどロボティクス要素技術を応用したホームオートメーションの実用化と普及が始まり、介護をはじめとする各種の家事作業が自動化されるなど、パーソナルロボットとの間で補完・競合関係が形成されると考えられる。

パーソナルコンピュータ普及過程の第二ステージでは、高い汎用性を持ちながら実用性が向上しないパソコンを抑えて、ゲーム専用機、ワープロ専用機などの単機能機が急増した。自律的・多機能的ロボットをパソコンに例えるならば、単機能系実作業ロボット、ホームオートメーションなどは各種の専用機に相当すると思われる。

このステージの期間は5～10年間程度になると予測する。

汎用的ヒューマノイドと各種アプリケーションの登場時期が普及に大きく影響

第三ステージに入ると、高級乗用車程度にまで価格の下がった自律的・汎用的ヒューマノイドを軸に本格的な普及が始まると予想される。汎用ヒューマノイドをプラットフォームに、各種アプリケーションソフト・ハード機器の開発が進み、実作業～アミューズメントまでの各用途で普及が進むと考えられる。その一方で、用途は限られるが、安価で使い勝手に優れる各種専用ロボットの需要も一定割合で残るだろう。

また、ロボティクス技術の社会的なオープン開発、共有化が進み、消費者及びより消費者に近い側から全く新しいロボット用途、コンテンツが生まれ需要拡大につながることも考えられる。

早ければ現在から10年後、遅くとも20年後にはこのステージに入ることが、パーソナルロボット開発の将来像を考える上でのひとつの目標と言えるのではないだろうか。但し、ソフトウェアを中心とする技術革新の速度がロボット全体の性能向上スピードを大きく左右し、各ステージの到来する時期も大幅に変動し得るものと考えられる。

第4節 アトム時代は来るか？～普及へのハードル～

(1) 開発現場から見た課題

技術面・社会制度面～安全性の検討は白紙に近い

パーソナルロボットの性能は最近数年間で大きく向上しているが、社会に広く普及するための課題は各方面で山積している。

「役に立つロボット」＝「危険なロボット」というジレンマ

最大の課題は『安全性の確保』である。第1節でも述べたように、自律性が高く様々な作業に役立つほど、そのロボットは危険な存在となる。現在の技術の延長では、ロボットが遭遇し得る全ての条件について禁止動作を事前プログラミングすることも、ロボット自身に危険を判断する能力を持たせることも不可能と言われており、根本的なブレークスルーが必要である。

欧米におけるロボット産業は現在でも軍需産業の色合いが強いが、軍事目的のロボット利用をいかに防ぐかも重要になる。従来からロボット研究者の間に根強い「ロボットにどこまで知能を持たせるのが適切か」という議論も含めて検討される必要がある。

安全対策にはロボット技術だけではなく、社会法制面の整備も含まれる。例えば、道路交通法や自動車保険はロボットが公道を通行することを想定していないため、事故が発生した場合の規定は白紙となっている。

ロボティクス技術～進むべき方向性の模索と山積する課題

次に、ロボティクス技術面で乗り越えるべき課題も多い。パーソナルロボットに必要な技術の多くはハードとソフトが高度に融合しており、その開発にはコンピュータソフト開発とは違った困難が伴う。例えばロボットの行動制御は人工知能開発というソフトウェアの問題であると同時に、人間の脳、視覚、身体がどう関連しているかを解明する試みでもある。人間の脳の働きは身体との存在と密接に関連していることが分かっているが、その機能の大部分は未解明であり、人間並みの人工知能を実現することは永久に不可能とする専門家も多い。

二足歩行は日本が世界に先駆けて実現した要素技術であるが、その原理には未解明の部分も多い。不整地、傾斜地への対応、段差乗り越えなど実社会に対応させるための課題は多く、ブレークスルー時期の目処は立っていない。

技術革新と関連し、将来的な製造コスト引き下げも普及に大きく影響する課題である。現在、ホンダ『ASIMO』の標準的なレンタル料金は年間 2,000 万円、産業技術総合研究所・川田工業などが開発した『HRP 2』ハードウェアのレンタル料金は 5 年間で 3,800 万円と言われており、本格的なヒューマノイドの製造コストは非常に高いものとなっている⁴。一方で富士通の家庭内異常通報ロボット、セコムの食事介助装置のように、機能を限定して(それをロボットと言うかどうかは別にして)低価格化し、広い普及を目指す製品も現れている。

技術革新と量産効果により、十分な実用性を備えた本格的パーソナルロボットの目安とされる『乗用車 1 台分』の価格をいつまでに実現できるかがひとつの焦点になるであろう。

(2) 日本の特異性～ヒューマノイド偏重主義に潜む落とし穴

ニーズに基づいた製品開発が不足、欧米のキャッチアップを許す懸念も

日本は「パーソナルロボット先進国」と言われる。確かに特許数で欧米に大差をつけるなど技術力は高いものの、ややもすると技術志向が強く、普及を睨んだ実用性の追及という点では物足りなさを感じざるを得ない。言い換えれば、長期的な開発目標である高性能ヒューマノイドに重きを置く反面で、中短期的市場を睨んだ製品開発が不足しているとも言えよう。

加えて、日本が実用化を目指す高性能ヒューマノイドは、前項で述べたような開発上の各種ハードルが最も高い分野である。日本が多くの課題のブレークスルーに長期間を費やす間に、欧米がよりニーズに着目した製品化で先行するのみならず、専用機などの技術力でも日本に追いつくという事態に陥ることはないであろうか。

「ロボットブーム」が去った後、現実のロボット市場は一般消費者の眼にどう映るのか？

一方、わが国では消費者のパーソナルロボットへの関心も高い。特に最近では、相次ぐ新製品の発表、『鉄腕アトム』の作品上の誕生日(2003年4月7日)の到来などによりロボットブームの様相さえ呈している。

⁴ 各種新聞・雑誌、本田技研工業、産業技術総合研究所ホームページよりみずほコーポレート銀行産業調査部調べ。

しかし、「日本のロボット技術力は世界最高水準にあり、『アトム』のような高性能ロボットが実現する日も近い」といったマスコミの論調も手伝って、一般の消費者は現在のロボット性能と今後の技術革新に過剰な期待を抱いてはいないだろうか。より実用性を高めたパーソナルロボットを市場に送り出せないならば、足許で市販化されたロボットの機能が限定的であることが消費者の失望を招き、市場がなかなか拡大しない中、見切りをつけたメーカーの撤退が更なる市場の停滞につながるという悪循環を招くという事態もあながち杞憂とは言えないのではなかろうか。

研究者、消費者の双方が、真に求められるロボット像を考え直すべき時期に

この様に、『鉄腕アトム』が形作ってきた研究者・消費者双方のヒューマノイドへの夢が、皮肉にも日本のパーソナルロボット産業の将来にマイナスに働きかねない危惧がある。ロボット研究者の間では、「人間型ロボットの欠点は3秒で指摘できるが、利点の説明には3分かかると」という言葉がある⁵。作り手、使い手の双方が、ロボットに何をさせるべきかを改めて考え直し、『アトム』のようなロボットが本当に全てにおいて理想なのかを見直す時期にあると言えよう。

⁵ (出所) 「日本経済新聞」(2002年5月24日夕刊)

第3章 ロボット産業の課題と求められる戦略

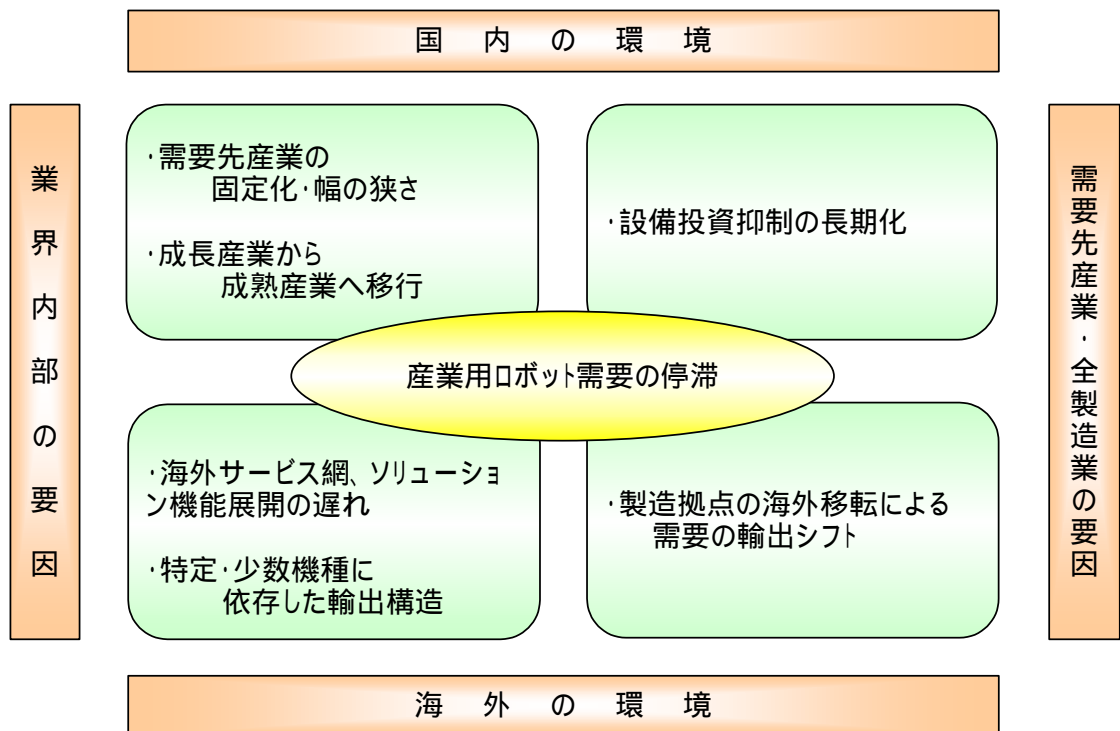
パーソナルロボット産業の将来性には期待できるが、当面は産業用ロボット分野の維持・強化が課題

第1章では、わが国ロボット産業の直面する様々な問題点について概観し、第2章では新たな産業として期待されるパーソナルロボット産業について述べると共に、まだ産業として期待し得るには時期尚早であるとの見方を提示した。このような現状への認識から、大手メーカーを中心とした各社は、まずは短期的な視点から、厳しさを増す事業環境下で生き残りを図り、収益拡大に転じるための様々な対策を打ち出し始めている。一方で、企業数で大部分を占める中堅・中小メーカーは更に厳しい環境にさらされ、経営資源上の制約も大手より多い。このため、現在の事業基盤を維持し、更に差別化を図ることが課題となっている。

また、ロボットの顧客である製造業各社は、中国との水平分業を図り、空洞化を避けるための生き残り策として、FA(ファクトリーオートメーション)を更に進化させつつある。今後のロボットメーカーの役割、ロボットに求められる機能を考える上では、このようなFA化の影響を考慮することが非常に重要になる。

本節では、第1章で概観したロボット産業が抱える問題点をより詳細に整理・分類し、解決すべき課題を提示すると共に、大手メーカー、中堅・中小メーカーそれぞれに求められる戦略についても考察したい。

【図表 3-1】ロボット産業の抱える課題



(出所) 各種資料よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

第1節 ロボット需要の海外シフトへの対応

(1) 海外シフトの進行と海外におけるロボット使用状況

1990年代後半、国内製造業各社は中国を中心とした海外への進出により海外生産の増加を急激に進めた。その結果、わが国のアジア向けロボット輸出は1992年からの10年間で1.9倍、うち中国は21倍と大幅に増加することとなった。

海外シフトはロボット全需の減少と機種への偏りを招くことに

一般に海外でのロボット需要は、日本国内に比べ、求められる代替機能が限定的であることが多く、用途、機種などの偏りが強い。このため、国内製造業の生産拠点海外移転は、単にロボット出荷の一部が内需から輸出に振り替わるのみに留まらず、ロボット需要の減少を意味することが多い。

近年、「世界の工場」として急成長を遂げている中国を例に採れば、そこでのロボット利用は電子部品実装機、自動車用アーク溶接のような精密作業、高速作業に限られ、低コストで豊富な労働力が存在するためにマテリアル・ハンドリングのような単純作業のロボット化ニーズはほとんど存在せず、その分需要が減るということである。

実際に中国への輸出額の8割近くはマウンターで占められ、電機産業の中では更に基盤製造用途に集中している。また、一般に日本国内の自動車工場では車体スポット溶接、足回りのアーク溶接、ガラスやバッテリー搭載などに通常2~300台のロボットが使用されるのに対し、中国では1/10程度の台数になることが多いと言われている。

将来的にも、ロボット用途の拡大には相当な時間を要し、社会主義体制の下、ロボット導入に対して労働者の反発も予想され、ロボット普及率は日本や欧米よりも低い水準に留まることが予想される。

ロボットメーカーの現地進出は進まず、欧州勢の先行を許すケースも

この様にロボット需要の本格的な拡大時期が見えないことから、ユーザーである電機・自動車関連メーカーとは対照的に、日本の各ロボットメーカーの現地進出はなかなか進まなかった。その結果、自動車向けロボット市場のように、ABB、KUKAなどの欧州メーカーが市場開拓で先行するケースも出てきていることには留意すべきであろう。

(2) 求められる対応とわが国メーカーの動向

攻め(海外市場対応)と守り(国内での収益確保)の両面対応が必要

国内製造業の海外生産シフトが続く中、わが国ロボット産業としてはそれ程の需要の伸びが当面見込めない状況にある。そのような状況下では、国内に比べ多額の投資が必要といった辛さはあるものの、海外に徐々に移転してゆくロボットニーズの取り込みも、今後の市場変化を押さえる意味から好むと好まざるとに関わらず対応せざるを得ない状況にある。

短期的には、自社ユーザーを囲い込むために、海外における販売・サービス体制の強化が最重要になる。ロボットは導入前のサービスと導入後のメンテナンスが重要な製品のため、単なる販売サービス拠点ではなく、ソリューション提案機能及び顧客に応じたシステム構築機能を持った拠点とすることが求められる。

また、機能を絞り込み、教示方法を簡便にするなど、各地域のニーズに応じた製品を開発することも重要となるが、技術集積の面から国内で集中的に進めるべきと考える。

中期的には、内需・輸出合わせたロボット総出荷額が一時的に減少することが想定される。このため、海外市場への対応を行いつつ、既存の国内事業基盤を強化する両面の戦略が必要となる。

メーカー各社の具体的な動きの中では、中国自動車産業向け市場でのシェア拡大を目指し、上海の現地合弁企業経由でテクニカルセンターを設立、顧客生産ラインに合わせたシステム化納入を開始したファナックの例は海外体制強化の典型と言える。また、川崎重工業も二輪車など汎用機事業の世界拠点網を活用して、マーケティング、営業、物流、教育、保守、サービスまで一貫した営業活動の展開を始めるなど、ここへ来て大手各社は本格的な海外拠点の設立に力を入れ始めている。

第2節 構造変化する国内需要への対応

(1) 製造業設備投資抑制の長期化

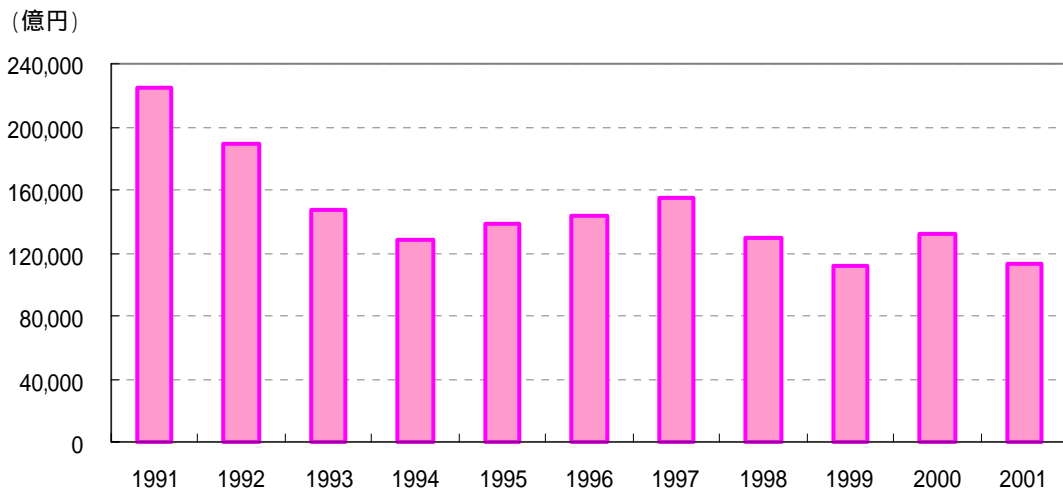
製造業設備投資抑制下のロボット需要停滞をどのように考えるか

わが国製造業の設備投資行動は 1990 年代を通じ停滞が続き、特に 1998 年以降は、2001 年までの 4 年間で全製造業設備投資平均額が 1991 年対比で 5 割強となるなど、落ち込みが更に鮮明になっている【図表 3-2】。

製造業各社は消費動向の先行き不透明、デフレによるストック調整圧力という環境下で借入金返済と過剰生産能力の適正化を優先的に進め、新規設備投資に踏み切りづらい状況にある。この流れの中で、本来は省力化・コスト削減・生産性向上ツールであるはずのロボットへの投資も停滞している。代表的機種である自動車用溶接ロボットについても更新期間が大幅に長期化し、その他の多くの機種で大幅な価格低下が続いている現状については第 1 章で見た通りである。

このような国内の需要構造変化への対策を考えるに際しては、変化の原因を更に掘り下げて考えることが必要となる。

【図表 3-2】製造業設備投資額の推移



(出所)財務省「法人企業統計調査」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注)設備投資額はソフトウェアを除く

(2) 需要先産業・用途の固定化とロボット産業の成熟化

まず考えなければならないことは、繰り返し述べているロボット需要の特定産業・用途への依存である。

1970年代以降現在まで、自動車及び電機産業が国内出荷額の大部分を占める構造が続く、鉄鋼・化学・紙製品などの素材系製造業、電力・ガス・建設などの非製造業へのロボット普及が進んでいない。同様にロボット用途の面でも、溶接、電子部品実装、マテリアル・ハンドリングなどの特定作業に集中し、他の用途の実用化が進まない状況にある。

需要の偏りは、わが国
ロボット産業の構造上
の問題とも言える

第1章でも指摘したように、繰り返しが少なく、不規則・多様なパターン、ロボット自ら移動することの必要性、狭い場所で重量物を搬送するなど、需要分野・用途によっては作業特性の面からロボット化に一定の制約があることは確かである。

しかし、欧米のロボット産業は、宇宙開発、深海作業、医療などの分野に強みを持ち、市場規模は小さいながらも用途の拡大を進めている。1970年代に盛んであった大学など研究機関との関係が希薄化している日本に比べ、欧米では先端技術を事業化するベンチャービジネスがロボット用途の拡大に寄与している。これらの違いに見られるように、日本におけるロボット需要分野・用途の偏りは、特定産業の安定取引先が早くから存在したためにそれ以外の分野・用途への拡大が進まなかったという日本独自の要因も大きく影響していると考えられるのである。

ロボット産業は成熟化し
つつあり、需要の停滞
は避けられない流れ

もうひとつの視点として、わが国ロボット産業を時系列的に見た場合、1970～80年代の発展期を経て、1990年代前半頃から徐々に成熟期に移行しつつあるとの見方も可能であろう。工作機械を初め、ものづくりに用いられる各種の一般機械は、急激な技術革新を伴う右肩上がりの成長時期を経て、その後は民間設備投資動向に連動して周期的に大きく変動する需要構造に移行するのが一般的である。ロボット産業をこのパターンに当てはめると、同じ過程を辿り、成熟化の段階に差しかかっていることが読み取れる。需要構造を一時的な問題ではなく、所与の経営環境として捉え直すことが必要となろう。

(3) 求められる市場変化への対応

新規ユーザーを狙った
ソリューション機能の強
化

需要先産業・用途の拡大のために有効と考えられる方策は、ロボットメーカー各社が蓄積している各種生産設備へのロボット導入ノウハウを活用し、ソリューション的機能を一層高度化することであろう。また、汎用性の高い多機能ロボットをベースに、特定用途機種の開発と提案型セールスを狙いを定めて連動させていくという手法も重要となってくる。

その際には、自動車産業などとは異なりロボット使用に不慣れなユーザーや専門技術者の少ない中小企業へのユーザー層の広がりも想定し、導入後のサポート、メンテナンス体制を強化することも必要になると考えられよう。

需要減に対応した財務
体力の確保

一方、需要環境変化への対応力強化という観点からは、企業のバランスシートの改善など財務政策面も重要となる。仕掛在庫の削減など資産効率の改善によりキャッシュフローを拡大し、内部留保の蓄積を進めることで、需要停滞期を耐え抜く財務体力を確保することが重要である。

特にロボット産業は少量多品種・オーダーメイドの受注産業という特性から製品種類が膨らみ、大量の部品・仕掛品を抱え易い。大手ロボットメーカー各社の棚卸資産回転日数を見ると、上場機械製造業平均の79.9日に対し安川電機89.1日、ダイヘン89.7日など、資産回

転期間が長期化しやすい事業構造が窺える⁶。製品ラインナップの戦略的な見直し、部品の共通化、製品の多機能化による汎用機化などを絶えず行う必要がある。

収益力を強化するために、生産設備の集約と生産体制の再構築、各種コスト削減、設備投資や研究開発投資の選択と集中も必要である。この様な取り組みを進める中で、市場規模に比べて企業数が過大な場合、またメーカーがユーザーに対して適正な価格と必要な利潤を確保できていない場合には、大手企業による事業買収・提携、中下位企業の撤退などの形で産業規模の適正化が進むことも考えられる。

用途拡大に関して言うならば、個々の企業の極限を越えた行政レベルの取り組みとして、ロボット用途拡大を目的とした産学共同研究の推進、TLO(技術移転機関)利用の活性化などの中長期的施策も必要となる。

(4) 市場変化を睨んだ各社の動向

ロボットメーカー各社は既に、この様な市場の変化を見越した上で具体的な取り組みを進めている。

安川電機は従来各拠点に点在していたコンサルティングサービス、コールセンター、自社海外拠点への技術支援などの機能を集約し、2001年にソリューションセンターを設立した。顧客向けサービスの向上と同時に、照会事例のデータベース化、自社グループ内での情報共有化機能も持たせ、フィードバック効果で更なるユーザーサポート機能の充実を目指している。

不二越はエンジニアリング会社と提携し、ロボット事業の収益安定化に向けて、従来ロボット導入率が低かった印刷・建築材料・機械加工などの中堅・中小企業向け潜在市場の開拓に着手することを発表している。

また、川崎重工ではロボット本体、コンベアなど搬送装置その他を組み合わせた「パッケージセル」開発を強化、自動製袋、水産物カッティングなどの具体的用途に展開する方針を定めるなど、標準機の設定による新規用途開拓の取り組みも目立ってきている。

一方、中期経営計画などで、財務基盤の強化やコスト削減を重要課題として推進する企業も多い。

溶接用ロボット大手のダイヘンは、2000～2005年までの『GAIN-21』で、有利子負債2割削減、国内生産拠点の人員適正化、購買コストの2割削減などの諸施策により、連結ROE(株主資本利益率)10%の実現を目指している。

また、安川電機が2003～2005年の3年間で実行中の『Win21プラス』では、棚卸資産削減、その他の資産効率化などにより、デットエクイティレシオを1.0倍以下にする目標を打ち出した。業務機能・拠点の集約による重複コスト削減などにより、3年間で300億円の持続的なコストダウンも掲げている。

各社の様々な戦略的行動を反映する形で、市場シェアの変動も大きくなってきている。従来、自動車用アーク溶接ロボットを主力としていた安川電機は1997年、溶接ガンのサーボ化など使い勝手を向上させた新製品でスポット溶接ロボット市場に参入した。同社製品はそれ

⁶ 日本経済新聞社「全国上場企業版 日経経営指標 2002」による2001年度平均と安川電機・ダイヘン2002年3月期、不二越2002年11月期を比較。

まで不二越、ファナックなどが寡占していた市場において急速にシェアを拡大しており、新機能によって成熟市場の潜在需要を掘り起こすことに成功している。

溶接用ロボット分野ではこの他にも、不二越、ダイヘンの大手二社が包括的に提携、シナジー効果を活かしシェア拡大を目指すなど激戦区となっている。

増加する撤退企業が再編の軸となるケースも多い。1999年から2000年にかけて、自動車用塗装ロボットの大手であるトキコ、神戸製鋼所の二社が相次いで市場から撤退、それぞれ事業を買収した安川電機、川崎重工は、自動車向けロボットの幅広い製品ラインナップを掲げて営業を強化している。

撤退企業を軸にした業界再編は今後も継続か

トキコ、神戸製鋼所の例は、シェア上位を維持している企業においても、本業への経営資源集中、事業ドメインの明確化、大きな成長が見込みづらいニッチ機種、といった条件が重なればロボット事業からの撤退という経営判断があり得ることを示している。事業の選択と集中傾向が強まる中、同様のケースで上位企業への集中傾向が更に強まる可能性が強いと言えるであろう。

第3節 ユーザーとの関係変化への対応

(1) 受注範囲の拡大・一括受注化の流れ

「元請け」、「下請け」という各社の二分化が進行か

第1章でも触れたとおり、ユーザーである製造業のロボット調達的手法は、かつてのような「特定メーカーとの共同開発」から、「ロボットを中心とした生産ラインの一括構築外注」へと変化している。

ロボットメーカー側としては、取り扱い分野が広がり収益機会の拡大につながる可能性が強まると同時に、求められるエンジニアリング能力の高度化と共に、所定の仕様・価格・納期を守れない場合のリスクも増大することになる。

液晶ガラス基板などクリーン搬送ロボットの分野で、ロボット本体、ハンド装置、ロボット移動用のスライダなどを含め、ロボットメーカーがカセットステーション^{*1}単位で生産システムを構築し、直接電機メーカーに納入するケースの増加などはその典型的な例と言える。

従来、メーカー間の事業規模が異なっても取引形態に大きな違いはなかったが、今後はコアとなる機種を自社で生産、周辺機器を外部調達して組み上げる「元請け」的メーカーと、単機能・周辺機器・パーツの機種を大手メーカーに納入する「下請け」的メーカーの差別化・機能分化が進行していくと予想される。

このうち、後者に相当することの多い中堅・中小メーカーの状況については、第4節で別途取り上げることとしたい。

(2) 流動化する取引関係

従来の取引関係を続ける必然性が希薄化

近年のロボット市場で進んでいる取引関係の流動化は、「取引のグローバル化」、「調達先の複数化」という二つの観点から説明することができる。

前者については、各国ロボットメーカーの国外営業サービス拠点が充実してきたこと、ロボティクス技術が成熟化して各メーカー間で形状・性能などの差異が縮小したことによって、特定メーカー製品の絶対的な優位性が薄れたことが影響している。

後者はユーザー企業の購買政策の一環で、価格の引き下げを狙い、従来1社独占だった機種種の取引に他メーカーを参入させるという動きを指す。調達コスト削減を推し進める自動車メーカーなどの政策が、資材・部品から生産設備にも波及してきたものと考えられる。

(3) 変わる取引関係への対応

アプリケーションノウハウを強化し、生産ライン全体の機能を最適化

先に述べた一括受注の広がり、従来からロボットメーカーのコア・コンピタンスであったアプリケーションノウハウの重要性を更に高め、各社の受注量に及ぼす影響度を増大させる方向に作用するであろう。自社が扱うロボット部分だけではなく、ひとつの工程の生産ライン全体で機能を最適化し、生産性の向上という形でユーザーにとってのメリットを創出することが強く求められるようになるのである。

最適ライン構築を容易にし、顧客の要望に応えるには、事業買収、資本参加、提携などによって関連ロボット機種メーカー、周辺機器メーカーとの関係を強化し、品揃えを強化することが不可欠であり、加えて、事業規模の拡大と受注から引渡しまでの資金負担増大に備え、第2節でも指摘したような財務基盤の強化とキャッシュフロー創出力の強化も必要となる。

後者の取引のグローバル化、調達先複数化に対しては特別な対応策はなく、上段で指摘してきたような商品力の向上、製品ラインナップの拡大、海外営業サービス機能の充実などを着実に進めることが重要と思われる。

(4) 関係変化を捉えた各社の動向

ファナックでは視覚センサを利用した知能ロボットに強みを有しているが、1980年代から自社ロボットにマシニングセンタ、無人搬送車、自動倉庫などを組み合わせることで機械加工工場を無人化する取り組みを進めてきた。現在の設備内容は第3世代に相当するもので、加工素材への治具^{*12}脱着、バリ取り、洗浄などの自動化を実現している。『ロボットセル』と名づけられたこの生産システムでは連続一週間の無人連続稼働が可能になっており、同社の自社工場内で実際に用いられ一括受注力を実践して見せると共に、自社の生産コスト削減にも貢献している。

品揃えの拡大という例では、米国アシスト社と半導体・液晶ガラス基板搬送システムで合弁会社を設立し、製品補完効果と販売・サービス拠点のシナジー効果実現を目指す神鋼電機の例が挙げられよう。

第4節 中堅・中小メーカーの事業基盤弱体化とその対応

(1) 中堅・中小メーカーの弱体化への懸念

不安定な事業内容、大手各社による市場侵食

前節で見たように、ロボット産業の内部では近年の厳しい事業環境に対する危機感が高まり、各社が様々な対策に取り組み始めている。しかし、それらの多くは大手の総合ロボットメーカーによるもので、他業種との兼業企業や専門的な中堅・中小企業など、企業数で多数を占める中下位メーカーの動きは窺いづらい。

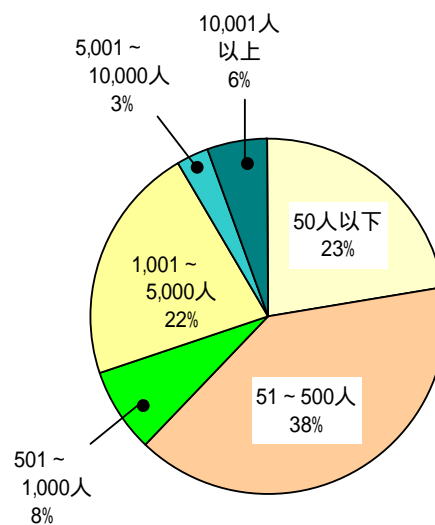
更に、これら中堅・中小メーカーは、製品分野・機種数が少なく取引先も限られることから、需要トレンドの変化や個別の案件失注の経営に与えるリスクが相対的に大きく、事業基盤が不安定にならざるを得ず、上位企業にない固有の問題点を抱えている。事業が小規模で生産ロットが小さいため、部品・材料の購買力も弱く、製造コスト削減効果も上げづらい中で、

マテリアル・ハンドリングやパレタイジング*¹³ など、直角座標型など従来方式の専用ロボットが支配的であった市場に、大手メーカーが汎用的・多目的な垂直多関節機によって侵食を始めており、将来的に事業基盤が弱まる懸念がある。

中堅・中小メーカーの競争力維持はロボット産業全体の課題

経営的に苦境に立たされつつある中堅・中小メーカーであるが、前述のように企業数で大部分を占めるほか【図表 3-3】、その製品は多機能ロボットや工作機械を中心とした生産ライン設備のコンポーネツ、周辺機器を構成する機会が多く、主な取引先である中小製造業ユーザーの生産設備を支える上でも大きな役割を担っているのである。その競争力を維持し、ロボット産業を構成する技術の裾野を支えていくことは単に個別企業の問題に留まらず、わが国ロボット産業全体の重要な課題であることも認識しなければならない。

【図表 3-3】ロボットメーカーの従業員別構成



(出所) JARA「マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査」より
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(2) 中堅・中小メーカーに求められる対応

主力製品・開発機能の強化で「スーパーTier1」を目指す

経営資源に限りのある中堅・中小メーカーにとって、全ての製品、市場、取引先に対して拡大戦略を掲げることは現実的な対策とは言えない。

第一に、主力製品に集中し、自社事業の強みを更に強化することが求められる。大手メーカーが取り扱い製品範囲を拡大し、生産ライン構築機能といったシステムソリューションを強化する中で、コア・コンポーネツ以外についてはアウトソースすることも考えられ、個々のロボットや周辺機器の開発・設計・製作における中堅・中小メーカーの役割が寧ろ大きくなる可能性もある。自社取り扱い機種につき、あらゆる用途で組み合わせられる他アプリケーションとの連携ノウハウを設計段階から蓄積し、多様なバリエーションをラインナップすることで、取引形態上は大手メーカーへの下請け納入でも、バリューチェーン上の自社地位を確立・維持することは十分に可能と考えられる。

自動車産業では、コスト削減を目的に、複数の部品を組み上げた状態で完成車メーカーに納入するモジュール化の動きが一部で進んでいる。これに伴い、完成車メーカーが有して

いた各部品の設計開発機能を一次部品メーカー(Tier1)が肩代わりする傾向が一部で見られる。ロボット産業でも元請けの大手メーカーの取り扱い製品範囲と投資負担が拡大するのに伴い、中堅・中小メーカーとの間に同様の関係が成立する可能性がある。特定メーカーの下請けに留まることなく、自社の強みを活かして取引関係を拡大する「スーパーTier1」が目指すべき企業像となる。

相互補完的な提携関係
によるコア領域の強化と
重複コストの圧縮

第二に、限られた経営資源を活かしながら取り扱い製品範囲を拡大するために、中堅・中小メーカー同士の提携が考えられる。相互補完的な製品分野を持つ企業が部品購買・製品相互供給・営業サービス網共有化などで包括的に提携し、各社は主力製品以外の開発・生産体制を縮小する。自社の得意機種に集中することで、量産効果による製造コスト引き下げと高水準の研究開発投資が可能になる。この結果、需要変動リスクを軽減できる上、営業・サービス面でも海外拠点など重複する投資負担の削減効果が見込まれる。

同様に自社製品分野の強みを活かす方策として、システムエンジニアリング企業と提携し、特定分野に特化したソリューションを提供することが考えられる。また、隣接業界に当たる各種産業機械メーカーとの連携で、ユーザー企業のオートメーション化ニーズに対応していく戦略も考えられる。自社ロボット機種に応じ、物流機器、食品加工機械、プラスチック加工機械、包装機械などとの連携が有望と考えられる。

(3) 中堅・中小企業の具体的な動向

上記の第一の例に関連し、自社の強みを活かした商品展開を行っている例と言えるのが三協精機製作所である。従来、同社はモータ制御技術を活かして精密搬送ロボットシステムなどを扱っていたが、2003年に半導体ウェハ搬送用真空ロボット市場に参入する計画を公表した。半導体製造工程の広い範囲で搬送システムを構築し、同一コントローラによる一貫した制御を強みに、ユーザーの合理化効果を最大化することを目指している。

提携を通じた事業強化としてはヤマハファインテックの例がある。ヤマハのFA事業部を前身に持つ同社は、2002年にロボット事業でファナックと提携した。全世界で高いシェアを占めるファナックの多関節・視覚センサ付き知能ロボットをベースに、同社は豊富な金属研磨ノウハウの蓄積を活かしてシステムの構築と販売に注力するとしている。このケースは、ニッチ機種を扱う企業でも独自のノウハウを活かすことで、大手メーカーと対等な立場で事業提携できることの例と言える。

第5節 製造業のファクトリーオートメーション(FA)の進化がもたらすもの

(1) FA とロボットの関係

ロボットはFAの一部であり、不可欠な生産設備

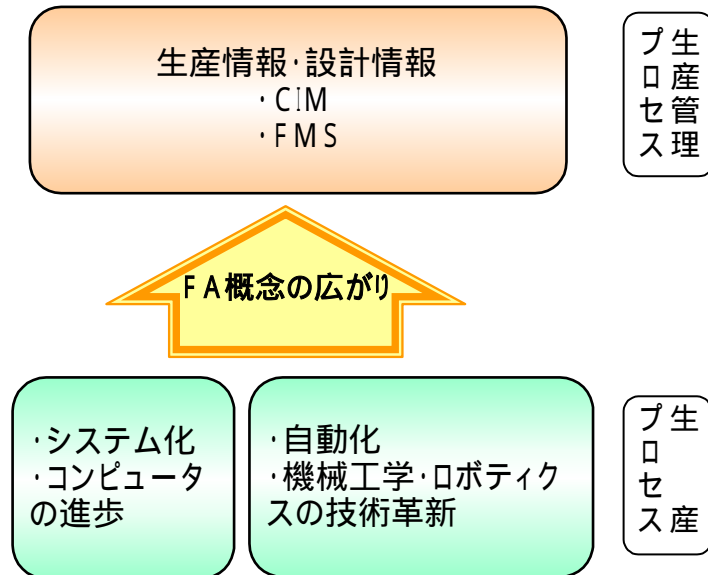
ファクトリーオートメーション(FA)は自動化を進めることで「ものづくり」の生産性を向上させる試みであり、そのためのアプローチ方法は、コンピュータの利用により入力系(Input)・変換系(Transformation)・出力系(Output)、制御系(Control)という生産技術の四要素⁷の連携を強めてシステム化すること、各工程の作業を機械化することの二つがある【図表 3-4】。

20世紀初め、米フォード社が自動車組立工場において流れ作業を導入したことが、近代工場生産におけるオートメーション概念の端緒となり、その後、人海戦術に頼っていた各工程が機械設備の技術革新によって自動化・省力化され、更にコンピュータ技術の進歩で省人

⁷ (出所) 日本機械学会編「ファクトリーオートメーション - 組立システムの構築と運用 - 」

化と大量生産への対応が行われた。最近では FMS*¹⁴、CIM*¹⁵などの概念も提唱されるなど、FA の目的と範囲は拡大を続けている【図表 3-5】。

【図表 3-4】生産システム FA 化の 3 つの意味



(出所)「ファクトリオートメーション - 組立システムの構築と運用 - 」(日本機械学会編)を参考に
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

他方、ロボットはそれまで人手に頼っていた工程を自動化し、人件費削減、品質安定化など生産性向上を実現するための手段である。産業全般における FA 化の広範な流れは、FA の一部であるロボットの普及と技術革新そのものであるとの見方もできる。

例えば組立工程では、生産プロセスの中で最も労働集約的であり、取り扱い品種が多様な上に物流量も多く、前工程の技術的・管理的矛盾が集中するなど、自動化には数々の困難が伴うとされている⁸。単なる自動機械と異なり、プログラミングによる多段階・多工程作業やアーム機構による複雑な作業が可能なロボット、特にこれらの性能を強化した知能ロボットは、FA を推進する上でなくてはならない生産設備となっている。

⁸ (出所) 日本機械学会編「ファクトリオートメーション - 組立システムの構築と運用 - 」

【図表 3-5】生産プロセスのシステム化・自動化過程(家電製品の例)

時 期	戦前～60年代前半	60年代後半～80年代	90年代～現在		
目 標	FA創生期	自動化率の向上	FMS, CIM		
生産規模	小 $\xrightarrow{\hspace{10em}}$ 大				
入力系、変換系、出力系、制御系の相互関係	線 (単純)	面	立 体 (複雑)		
生産システムの捉え方	家内工業的 「作る」 making	近代工場生産制 「製 造」 manufacturing	ファクトリオートメーション F A Factory Automation		
自動化・機械化の対象	工程間運搬	個別工程	ライン全体・複数ライン (検査・調整工程・ 物流管理含む)		
人間の関与	人海戦術	人/機械の領域最適分担 (マン・マシンシステム)	無人化へ		
生産量・品種	少品種 中量	少品種 大量	多品種 少量		
柔 軟 性	高	低	中～高		
主な自動機械	加工工程	工作機械 (専用機)	NC工作機械 (汎用機)	CNC工作機械	
	組立工程	供 給	(手作業)	パーツフィーダ オートローダ	ロード・アンロードロボット マテハンロボット
		組 付	(手作業)	スカラ型組立ロボット 電子部品実装機 溶接ロボット	視覚センサ付垂直 多関節組立ロボット
		移 送	コンベア (手動含む)	自動コンベア	無人搬送車

(出所)「ファクトリオートメーション - 組立システムの構築と運用 -」(日本機械学会編)を参考に
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(2)FA の進化を支えるネットワーク化の進展

ネットワークの高度化が
FA 進化の鍵に

FA は、人間の神経に相当する各種のネットワーク網が個々のセンサ、計測機器、アクチュエータ、設備機器などをつなぐことによって成り立っている。一般に企業の生産設備のネットワークは、【図表 3-6】のように大きく四段階に分けることができる。

上部階層のネットワークは各プラント・部署間で生産計画、受注数量、設備稼働状況など情報系のデータを「管理」するもので、いわば「脳神経」的な役割を担う。

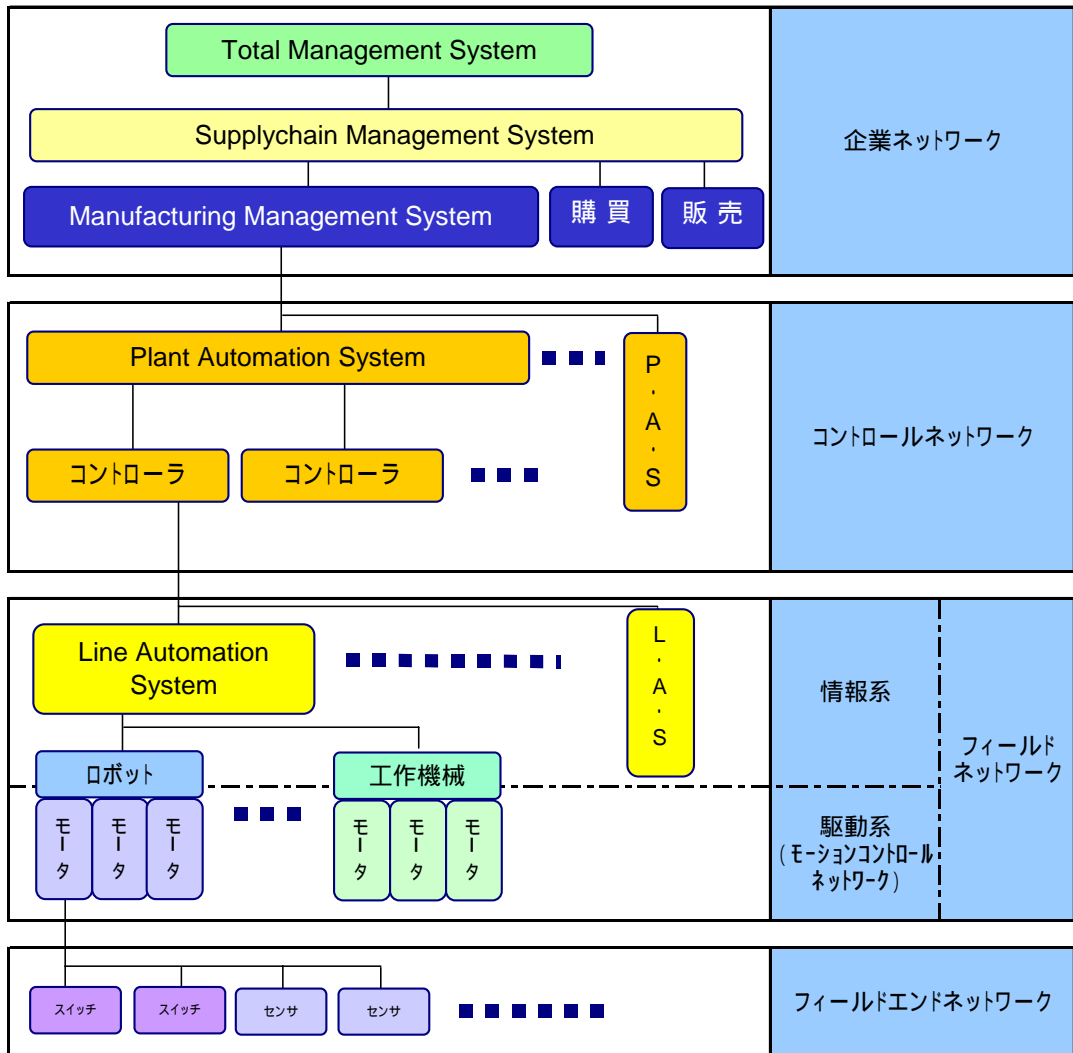
これに対し、下部階層である生産現場に近づくほど、機械単位、製造ライン単位でモータ回転のスピード、リアルタイム性を「制御」する「末梢運動神経」的な機能が中心となる。

1980年代以降の通信技術とコンピュータ技術の発展を背景にしたこの様なFA ネットワークの進展は、将来的な目標である「FA の究極形」を志向している。情報系では営業、流通、経理などの情報端末や各プラント内の製造ライン、個別機器に至るシステムが接続され、各部門間の情報共有化や全社単位の稼働率や在庫量の最適化、プラントの遠隔監視などが可能になると考えられる。制御系では、複数ロボットの協調作業、ひとつのライン全体での統合

制御が可能になり、自動化率とコスト削減効果の大幅な上昇につながるものと考えられている。

熟練技術者の減少、強い生産コスト削減圧力、海外への製造拠点分散、製品ライフサイクルの短期化など多くの問題に直面する製造業各社にとって、このようなネットワーク進展から受ける恩恵は非常に大きいものと期待されている。

【図表 3-6】FAネットワークの階層



(出所) 各種資料よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) ネットワークのオープン化がロボット産業にもたらすもの

FA 普及を狙い、ネットワーク規格の世界標準化が進展

各種 FA 機器を接続するネットワークは、階層によって要求される機能の違いなどから、各階層で異なる接続規格が普及し、更に個々の階層内でも各メーカーの推進する複数の規格が並立する状態が続いてきた。

しかし、FA の一層の普及と高度化を進めるには、ネットワーク接続規格の統一によって、多くの業者が制御アプリケーションソフトやネットワーク対応機器の開発に参入し易い環境を作

り出すが必要になる。このため、最近の動向として、各階層の有力メーカーが自社規格の内容をオープン化し、周辺機器メーカーを巻き込んで世界標準化を目指すという動きが加速しつつある【図表 3-7】。

このような階層内のオープン化の動きと同時に、上部階層の情報系ネットワーク規格が下層方向にも浸透し、下部階層のFA事業者が有する付加価値と顧客基盤を侵食する動きも強まると見られている。1990年代以降に進展したコンピュータのダウンサイジングの中で上部ネットワーク制御のパソコン化が進み、ウインドウズ環境などに対応した有力な制御・通信規格が広く普及したことが、この流れの背景となっている。

ロボット産業が有する駆
動制御ノウハウの優位
性は今後も継続か

ロボット産業はFAネットワーク階層の下部にあたるフィールドネットワーク段階を事業領域とし、ハードウェアの製造と共に高度な動作制御ノウハウを確立している。上述のネットワーク垂直統合がこの領域にまで及ぶ場合、FA事業のバリューチェーン体系が大きく転換し、従来の付加価値の大半を奪われたロボット事業者が単なるハード納入業者の地位に転落することを懸念する向きもある。

しかし、FAの本質は分散制御型であり、上部の情報管理型ネットワークによって個々の製造機器ラインまでを制御することは将来的にも難しいという見方が一般的である。即ち、「ものづくり」のシステムであるFAの原点は個々の製造機械にあり、それらの『物理的』な動き・作業を同調させ制御させていくことが最も重要かつ難しい点となっている。このようなモータ単位の動作制御は、まさにロボットメーカー各社、駆動系コンポーネンツ各社が長年培ってきたライン構築ノウハウの核を成すものである。「フィールドネットワーク」段階の駆動系制御(モーションネットワークとも呼ばれる)が伴わず、情報系ネットワークだけが広く普及しても十分なFA効果を実現することは難しいと言わざるを得ない。

ネットワーク全体の構造についても、各階層でネットワークに求められる機能が異なること、階層・機能に応じて「餅は餅屋」的な最適分業が既に完成していることから、オープン化の進展は各階層内の水平方向が優先し、上下方向の統合は限定的なものとなる可能性が大きいと考えられる。

【図表 3-7】主要なFAネットワーク規格

階層	名称	主導的な企業	オープン化状況	備考	
企業ネットワーク	イーサネット			世界標準	
コントロールネットワーク	FLネット	製造科学技術センター(日)		オープン化ニーズは小さい。 日本ロボット工業会がオープンネットワークイ ンターフェース「ORIN」を提唱	
	コントローラーリンク	オムロン(日)			
	MELSECネット	三菱電機(日)			
	コントロールネット	ロックウェルオートメーション(米)			
	プロフィネット	シーメンス(独)			
フィールドネットワーク	FAリンク	横河電機(日)			
	情報系	デバイスネット	ロックウェルオートメーション(米)		米、日で高シェア、自動車関連に強み
		CC-Link	三菱電機(日)		日、アジアで高シェア、半導体関連に強み
	駆動系	プロフィバスDP	シーメンス(独)		欧州で高シェア
		メカトロリンク	安川電機(日)		
サーコス		ボッシュレックスロス			
フィールドエンドネットワー	SSC	三菱電機(日)			
	スイッチネット	和泉電機(日)、シーメンス(独)、AMI セミコンダクター他全6社			
	CC-Link / LT	三菱電機(日)			
	コンポバスS	オムロン(日)			

(出所) 日刊工業新聞(2003年4月15日付)などを参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(4) 進みゆくネットワーク化への対応

制御ノウハウの維持、ロボット用途の拡大という両面の戦略が望まれる

以上に述べたように、ネットワークの垂直統合が急速に進展し、ロボットメーカー各社の利益率が大幅に低下するといった事態は現状では想像しづらい。しかし、ロボット産業がFAの進展の中で現在以上に存在感を発揮していくには、従来からの強みである分散制御ノウハウを更に強化することで、上位ネットワーク階層との役割分担を明確にすることが求められる。

大手メーカーを中心にロボット産業内でフィールドネットワーク段階の制御系・情報系ネットワークの規格標準化を進めること、その他のメーカーが標準規格に準拠したモータ、コントローラなどの製品展開を早期に進めることも重要であるが、同時に各社が持つ特定産業に対応した独自の製造システムに関するノウハウと構築能力を維持向上していくことも不可欠である。

一方、上部ネットワーク階層については、従来、PLC、工作機械などで遠隔監視、設備診断などの情報系データ管理システムが普及しているにも関わらず、産業用ロボットについてはインターフェースが異なるメーカーのハードウェアが併用されることが多く、ネットワーク化の進展が限られていた。

日本ロボット工業会が2002年、産業用ロボットに関するコントロールネットワーク段階の管理用データインターフェースである『ORiN(Open Robot interface for Network)』を制定したことは、このような状況を解消し、FA化のメリットをロボット使用環境に積極的に取り込むための対応と言える。

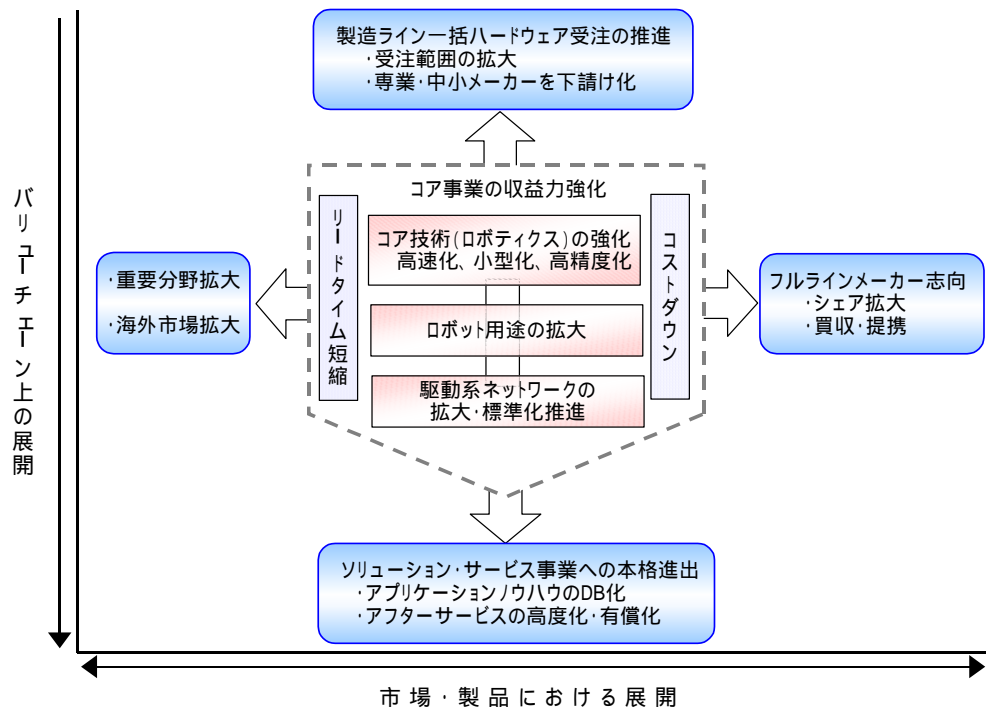
コントローラ内データへのアクセス規格を統一かつオープン化することでソフトウェアの開発が容易になり、サードパーティによるロボット対応FAアプリケーション増加が期待される。上部ネットワーク段階ではFA化進展の恩恵を享受する一方、下部階層ではロボット産業独自の強みを保持することがロボット産業にとって望ましい戦略である。

(5) 総合的な戦略

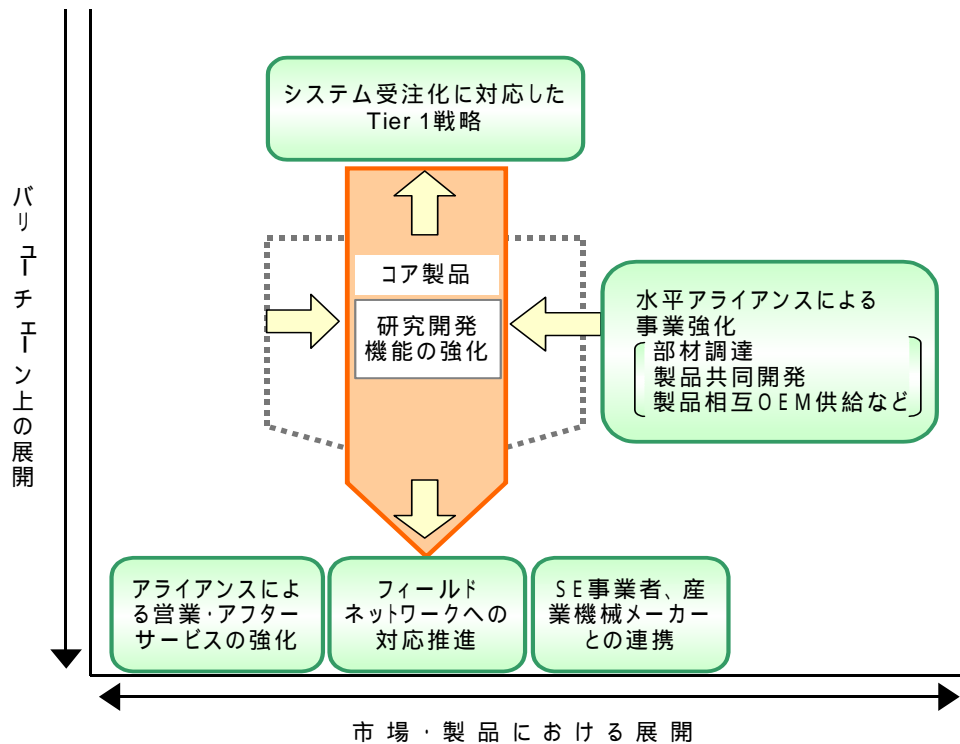
各要素を統合し、一貫した独自の戦略を構築することが必要

以上に述べてきたようなロボットメーカーに求められる対応を、大手メーカー、中堅・中小メーカーそれぞれに分けて図示すると【図表 3-8、3-9】のようになる。大手メーカー数社とそれ以外の企業で採るべき戦略が大きく異なっていくほか、同じ規模のメーカーでも、得意とする製品、その市場特性などにより、ビジネスモデルの多様化が進むと考えられる。

【図表 3-8】大手メーカーに求められる事業戦略



【図表 3-9】中堅・中小メーカーに求められる事業戦略



(出所)【図表 3-8、3-9】共に各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

第4章 「真のロボット先進国・日本」に向けて

広義のロボット産業に求められる将来的な方策は何か

本章では、第3章で述べたロボット産業の現在直面している課題に向けての方策に留まらず、長期的に産業用・パーソナルを合わせた広い意味でのロボット産業を日本の独自の産業として発展させるために何が必要かを考えてみたい。

第1節 産業用ロボット分野の更なる発展に向けて

(1) パーソナルロボット技術との共生

用途拡大のためには、パーソナル要素技術の取り込みが必要

第3章で指摘したように、現状では産業用とパーソナルの製品特性は大きく異なっている。しかし、産業用ロボットが将来的に用途を拡大するためにはパーソナルで実用化された要素技術を取り入れていくことが不可欠であり、両者の技術特性は近づいていくと考えられる。

パーソナルからの転用が求められる技術は、要素技術とキーコンポーネントの二種類に分けられる。

前者の代表的なものとしては、人工知能、高度画像処理、視覚認識、音声認識などが挙げられる。例えば現在、導入したロボットに作業をさせるためには、専門技術者による動作の教示(入力)作業が不可欠で、メーカー、機種、ロボット言語、作業内容によって異なる煩雑な作業は、中小企業がロボット導入を進める上で大きな制約になっている。モデルとなる組立作業や製品組立図をロボットに見せることによる教示や、音声によるリアルタイム作業指示が可能になれば、ロボット用途の大幅な拡大が見込まれよう。

また、ロボットの移動技術向上は、レイアウト自由度の高い工場、自ら移動し複数工程(組立・検査・パレタイジングなど)を順次行う多能工ロボットの実現につながる。

後者の例としては、軽量化された減速機とアクチュエータによる自重/可搬重量比の改善などが考えられる。同じ作業性能を持ちながら従来よりも躯体が小さく、多様なアーム様式を持ったロボットの設計が可能になるため、車種変化に柔軟に対応し、従来よりも全長の短い自動車生産ラインの構築や、設置場所に制約の多い建設業向けロボットなどの実現が期待できる。CNC装置やセンサの性能向上は、ロボット単体の自律性を向上させるのみならず、FA全般の制御高度化にも貢献すると考えられる。

(2) 長期的研究開発テーマの策定

産業用の側からのブレークスルーが必要な技術課題も

パーソナル分野からの技術転用が大いに期待されるとは言え、産業用ロボット独自の視点に基づく技術開発も引き続き重要と言える。官学との連携、複数企業による共同開発などを通じ、複数ロボット協調作業に代表されるライン規模の高度な動作制御の実現、教示負荷を大幅に低減させる汎用性の高いロボットプログラミング言語の開発など、技術的ブレークスルーを目指した継続的な研究開発が必要である。

また、従来製品の製品技術転用が見込めるものとして、第3章で触れた社会公共サービス用ロボットなどがあるが、実用化・商品化実現に向けて、ユーザーニーズの的確な把握に努め、ニッチ市場を着実に開拓していくことも重要となる。

(3) パーソナルロボット分野のコアプレイヤーとしての役割発揮

第3章で見てきた通り、産業用ロボットメーカーはパーソナル分野において、キーコンポーネントの唯一の提供者として既に重要な地位を占めている。この重要性は今後更に拡大することが見込まれ、周辺領域に強みを拡大することも期待できる。

産業用で培ったノウハウがパーソナル分野でも重要に

産業用ロボットメーカーの主導的な役割発揮が見込まれる分野の一例として、動作制御ノウハウが挙げられる。パーソナルロボットの高性能化、実作業系機種が増加が進むにつれ、現在では産業用程には重要視されていない、多数のモータの回転を高度に制御するニーズが高まることが予想される。各社が培ってきた高速回転・多軸・精密制御のモーションコントロール・ノウハウが非常に重要になると言えよう。

また、家電、産業機械、重電など各業種が参入しているパーソナル分野では、製品の増加に伴って各種ネットワーク規格(及びインターフェース)が乱立することも懸念される。駆動系制御に関連するモーションコントロール・ネットワークについては、産業用ロボット業界が主導して統一を図ることが最も有効と言えよう。産業用各社(特に中小)にとっては、パーソナル技術の自社製品との相互転用が容易になるというメリットも期待できる。

(4) 更なるグローバル化への対応

長期的には現地生産化への対応が必要

第2章で見たような産業用ロボット各社の海外における販売・サービス・システム構築などの動きは、長期的には現地生産化へと緩やかに進展すると予想される。既存機種の多くでは技術開発により新たな付加価値を追加する余地が乏しく、価格低下傾向の継続は避け難い。特に、各国で広く利用され、単能機能的な性格の強いパレタイジング、マテリアル・ハンドリング、マウンターなどの機種では、現地組立化を経て、最終的には調達を含めた現地生産拠点化という流れを変えることは難しいだろう。

現在、現地生産化を進める上で最大のネックとなっているパーツ現地調達率の低さも、現地合弁企業の設定などを通じて徐々に改善していくことが必要であり、いずれは現地部品メーカーの育成も進むものと考えられる。

わが国工業製品の多くに見られるように、自前での展開と現地企業へのライセンス供与の使い分けも戦略として重要である。欧州・韓国・台湾メーカーなどとのキャッチアップ度合いに応じ、長期的視野に立った判断を下す必要がある。

第2節 パーソナルロボット産業確立への道

(1) 必要な総合ビジョンと公的支援

第3章では将来のパーソナルロボット普及を考える上での参考として、パソコンの事例を参考にしたひとつのパターンを提示した。

しかし実際には、公的研究機関の独立採算性導入に伴う基礎研究テーマの削減、民間企業の市場撤退による製品化の停滞など、各プレイヤー任せではスムーズな普及が進まないというケースも十分考えられる。

パーソナルロボットを将来の日本を代表する産業に育成するためには、改めて国全体として現状の強みと弱みを認識し、ステージごとにバランスの取れた普及発展を促すべく総合的なビジョンを定めることが必要と考えられる。

国レベルの総合的なビジョンにより、ステージ別、用途別にバランスの取れた発展を目指す

具体的には、いくつかの分野を特定し、一定期間後に到達すべき技術・製品レベルを設定する形が有効であろう。長期テーマとしての高性能汎用ヒューマノイド、中期テーマとして災害対策、介護などコマースベースの事業化が難しいニーズに対応する特定用途向けロボット、ロボットとホームオートメーション・各種インフラの最適分担化などが考えられる。

設定した目標水準に向け、官民の研究開発、事業化、製品化を推進する政策を定め、遂行することも国の役割と言える。省庁主導の産学官連携プロジェクト立ち上げ、TLO(技術移転機関)の活用、生活空間内のロボット使用に対応した法制面の整備や規制緩和などが具体例となるだろう。

(2) 産業連携に向けた『学』への期待

技術開発の牽引役として、広く国内外に実力を示す役割を担う

大学、独立行政法人などの各種ロボティクス研究機関は、わが国の技術力優位性を維持・強化すると同時に、将来の本格的パーソナルロボット製品化に備え、各種の要素技術を大幅にレベルアップさせるという重要な役割を担う。

第3章第2節で述べた研究開発目的別分類のうち、第一の理論実証型アプローチに属する研究機関には、日本が有する最先端のロボティクス技術水準を世界に示すと共に、国内のパーソナルロボット開発民間企業に対し技術水準の向上を促す役割が求められる。

第二の機能優先型アプローチ系の機関には、日本のものづくりの象徴としてのロボット像をより具体的な形で国内外に広めることに加え、ソフトウェアの規格公開や一般企業へのハードウェア提供によるわが国全体の研究開発水準のボトムアップなど、研究開発成果を広く社会に還元しロボットメーカーの裾野を広げることが望まれる。

両者の実現に向け、民間企業との提携やベンチャー企業の設立によって技術移転を進め、研究成果の積極的な事業化を進めることが必要となる。

(3) 企業に求められる役割

早期の市場拡大が最大の課題

パーソナルロボット市場に参入している各企業には、市場の早期立ち上げに資するような、ペット型に続く有望な製品分野を開拓することが求められる。消費者ニーズを的確に把握した製品で、『量産化～コストダウン～価格低下～市場拡大』というサイクルを早期に確立することが望まれる。

従来に例のない全く新しい製品であるため、消費者にロボットの多様な用途、言い換えれば『ロボットとの生活スタイル』を提案すると共に、販売後のアフターサービス、関連製品、買い替え、リースといったビジネスモデルを確立する役割も求められる。

第2章で見たように、パーソナルロボット産業ではベンチャーや中小規模の企業が活躍する余地が大きい。特定分野に強みを持つ中小企業間のアライアンスと、フルラインで独自開発路線を採る大手企業との間で競争が進み、製品の多様化と市場の拡大が実現することが望ましい姿と言えよう。

第3節 ロボットを通じた日本製造業活性化の可能性

「ものづくり力」の維持と
ロボット化

昨今いろいろな場所で取り上げられるように、日本の製造業が直面する最大の問題は、国内における深刻な需給ギャップの存在と、国内生産拠点の海外移転による空洞化懸念と言える。

ロボットを多用したFAの推進は、国内生産拠点の競争力を維持するために有効な対策の一つである。人件費削減、リードタイム短縮、棚卸資産の圧縮、受注変動への対応、受注機会の最大化などの効果が期待され、高い組立加工精度、短い納期という日本メーカーの長所を強化し、高い価格という欠点を補うものと言える。

国際競争力強化で国内に生産拠点が残る一方で、省人化により製造部門の必要人員が減るといった短期的な副作用はあるものの、そのマンパワーを近年製造現場で大きな問題となっている熟練技能の伝承に配分することも可能となるのである。ロボット化により製造現場の暗黙知を含めた全ての作業を代替するのではなく、言うまでもなく「匠の技」を全てロボットに代替すること自体不可能であるが、自動化する作業と熟練技能を残す部分を明確に区分することが「ものづくり」の力を維持することにつながるのではなかろうか。

工作機械、産業用ロボットその他の生産設備全般に渡って高い技術と多様な製品を有し、生産ライン構築ノウハウを蓄積している日本はFA化を推進し易い環境にある。更に、上述のように画像認識、視覚認識技術、人工知能その他のパーソナルロボット技術を応用することで、従来自動化の難しかった組立工程、工程間作業などの生産性の大幅な向上が見込まれる。

ビジネスチャンスとしての
パーソナルロボット

また、パーソナルロボットは第3章で見たように産業としての裾野が広く、需給ギャップと余剰生産設備に悩む多くの製造業に新しいビジネスチャンスを提供する。パーソナルロボット産業では、部品、製造、販売など自社の強みを活かした参入形態が可能なほか、個人が主な需要者であるため、民間設備投資動向に左右される本業を補う形で企業の業績を安定させる効果も見込まれよう。

おわりに

ここまで見てきたように、今後のロボット開発は、産業用・パーソナル両分野の技術的な融合を背景に、潜在ニーズの大きい生活分野においてロボット活用の途を探る方向に進むと考えられる。その際には、ロボットを供給する側に加え、実際にロボットと生活する消費者がどのような意識を抱くかという問題が重要になる。

第1章でも簡単に触れたように、日本人が一般にロボットに対して親しみを感じるのに対し、欧米、特に欧州⁹ではロボットは潜在的に人間に敵対する存在として扱われている。

このような違いは、日本古来の価値観とキリスト教的価値観の差によるものと言われている。即ち、日本では「八百万の神」という言葉に表されるように、樹木、岩石などの自然、道具などあらゆるものに神が宿るとする神道的価値観が今も根付いている。これに対し、キリスト教では生命の創造は唯一絶対の神にのみ許されるもので、人間がロボット(人工生命)を造ることは神への反逆を意味する¹⁰。欧米におけるパーソナルロボット開発でヒューマノイドが少なく、寧ろ敢えて人間の形状に似せない配慮が見られるのはこのためである。欧州と日本でロボットを扱った代表的な文芸作品が『鉄腕アトム』と『フランケンシュタイン¹¹』であることも、両地域のロボット観の違いを顕著に示している。「小型のエンターテインメント系ロボットならばともかく、大型マニピュレータや等身大のヒューマノイドが日常的に自分の世話をするような生活は想像しづらい」というのが欧米における一般的な消費者感情と思われる。

一方、日本の消費者にとって、「一緒に生活し、様々な手伝いをしてくれるロボット」の出現は、言うなれば本来のロボット像としての『アトム』の誕生に他ならない。このため、比較的スムーズに社会に受け入れられるのではないだろうか。

世界に例を見ない急速な少子高齢化が進行するわが国では、介護、医療などで新たなサービス提供が必要とされている。この一方で労働人口は減少に向いつつあり、不均衡を補う労働力としてロボットの潜在的な役割は非常に大きい。ロボットと共存する生活への心理的抵抗が少ない日本社会は、欧米諸国では想定し難い未来社会像と様々なビジネスモデルを世界に先駆けて創出できる可能性を有している。

かつて日本の電機製品、自動車、産業用ロボットは、各種の新技术要素のすり合わせによる製品機能の最適化、大量生産化による先行者メリットの最大化などのイノベーションを武器に世界の座を獲得した。社会全般を支えるインフラとしてのパーソナルロボットは、電機製品、自動車、産業用ロボットの系譜を受け継いで、新たな日本製造業の強さの象徴になり得るのではないだろうか。真のアトム復活の日はそう遠くない。

(産業調査部 組立加工チーム 佐藤 直輝)

⁹ 実用主義的な傾向の強い米国に比べ、西欧社会ではローマカトリック教会の影響力が強いことなどが要因と考えられている。

¹⁰ 欧州など海外で多くの自動車を販売するホンダは、二足歩行ヒューマノイドの発表に先立ち、ローマカトリック教会の意向を確認したと言われる(出所:田近伸和著「未来のアトム」アスキー)。

¹¹ 今日でも、「造られた存在であるロボットが人間に反逆し、危害を加える」という懸念を意味するものとして「フランケンシュタイン・コンプレックス」という表現が用いられる。

用語集

第 1 章	P6	*1	電子部品実装機	視覚センサを備え、OA 機器、家電製品などのプリント基板に LSI(高密度集積回路)、コンデンサ、抵抗器などの電子部品を装着する装置。多種類の部品を高速装着するマウンター、異形部品にも対応可能なインサーターなどの種類がある。
	P7	*2	水平関節型ロボット	搬送部(アーム)が地面に対して水平に回転するような関節構造を持ち、スカラ型ロボットとも呼ばれる。モータ、減速機が上部から関節に接続する構造のため、他の関節部の重量負荷にならない利点がある(JARA「ロボット・ハンドブック 1997」より)。水平方向の動作の自由度が大きいという特性から、電子機械の組立作業などに多く用いられる。
		*3	マニピュレータ	互いに連結された分節で構成し、対象物(部品・工具など)を掴む、又は動かすことを目的とした機械(JIS 規格より)。多くの機種で人間の操作により制御されるほか、機構が単純で作業内容が限定的であることがロボットとの相違点。
	P12	*4	マテリアル・ハンドリング	工場内で部品・製品の搬送、整列、コンベア～パレット間の移載などに用いられるロボットの総称。
	P14	*5	直角座標型	基部に近い 3 関節に直動関節を用いる形式。作業範囲の割に設置面積が大きくなるのが欠点。基部を天井などに固定し、アームが吊り下がる形式を特にガントリー型と呼ぶ(JARA「ロボット・ハンドブック 1997」より)。
		*6	関節型	全ての関節を回転型と旋回型で構成した形式。水平関節型の他にアームが 3 次元的に動作する垂直関節型があり、後者は人の上肢に近い構造を持つ(JARA「ロボット・ハンドブック 1997」より)。通常、関節数が 3 以上のものを特に多関節型と呼ぶ。
	P16	*7	マウンター	*1 「電子部品実装機」参照
第 2 章	P23	*8	マイクロマシン	一般に 10mm 立方以下の大きさの超小型機械。超小型モータなどを搭載し、プラントや人体などの内部で微細・複雑な作業を行う。
	P26	*9	動歩行	身体の重心が常に足裏の範囲に入る「静歩行」に対し、身体の勢いを使って自らバランスを崩しながら滑らかに移動する歩行方法。人間の実際の歩き方に倣ったもので、高速で安定した移動が可能。
		*10	国際レスキューシステム研究機構	文部科学省が進める「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の一部として産学官が連携して 2002 年に設立されたロボット研究開発機関。

第3章	P40	*11	カセットステーション	液晶基板製造工程において、ガラス基板を多層構造で格納する装置。基板搬送工程の単位となる。
	P41	*12	治具	機械工作時に保持・位置決めなどのために用いられる補助工具。切削、溶接などの工程で個々のワークごとに製作・脱着する必要があることから、コストや労力が増加する要因となる。
	P42	*13	パレタイジング	入出荷における荷役作業(JARA「ロボット・ハンドブック 1997」より)。
	P44	*14	FMS	Flexible Manufacturing System。従来のオートメーション生産方式が生産品目や生産量の変化に対して硬直的だったことへの反省から、柔軟性・汎用性を重視し、多品種少量生産への対応を進めたシステム。
		*15	CIM	Computer Integrated Manufacturing。情報通信網とデータベースを駆使して、企画・設計から製造、流通までの全工程を総合的に管理する生産システム。

【主要参考文献】

< 政府統計 >

- ・ 経済産業省経済産業政策局調査統計部編 『機械統計年報』 各年版

< 公表資料 >

- ・ 日本機械工業連合会、日本ロボット工業会編
『平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書(要約版)』
- ・ 日本ロボット工業会編 『ロボット・ハンドブック 1997』
- ・ 日本ロボット工業会編 『マニピュレータ、ロボットに関する企業実態調査報告書』
- ・ 富士経済編 『2001 年版 FA 関連機器市場実態総調査』
- ・ 日本経済新聞社編 『全国上場会社版 日経経営指標 2002』

< 書籍 >

- ・ 田近伸和著 『未来のアトム』(2001 年) アスキー
- ・ チャベック著 『ロボット(R.U.R.)』(1989 年) 岩波書店
- ・ 小林英夫著 『産業空洞化の克服 - 産業転換期の日本とアジア』(2003 年) 中央公論新社
- ・ 日本機械学会編 『ファクトリオートメーション - 組立システムの構築と運用 - 』(1987 年) コロナ社
- ・ 後藤晃著 『イノベーションと日本経済』(2000 年) 岩波書店

< 雑誌 >

- ・ 日経 BP 社 『日経メカニカル』

< ホームページ >

(官公庁、各種団体)

- ・ 特許庁 (<http://www.jpo.go.jp/indexj.htm>)
- ・ 総務省 (<http://www.soumu.go.jp/>)
- ・ 内閣府経済社会総合研究所 (<http://www.esri.cao.go.jp/>)
- ・ 財務省 (<http://www.mof.go.jp/index.htm>)
- ・ 日本ロボット工業会 (<http://www.jara.jp/>)
- ・ 産業技術総合研究所 (<http://www.aist.go.jp/>)
- ・ マイクロマシンセンター (<http://www.mmc.or.jp/>)
- ・ 国際電気通信基礎技術研究所 (http://www.atr.co.jp/index_j.html)
- ・ 科学技術振興事業団 北野共生システムプロジェクト(http://www.jst.go.jp/erato/project/kks2_P/kks2_P-j.html)
- ・ 早稲田大学ヒューマノイド研究所 (<http://www.humanoid.waseda.ac.jp/index-j.html>)
- ・ 東京工業大学極限ロボット工学講座 広瀬・米田研究室 (http://mozu.mes.titech.ac.jp/frame_j.html)

(一般企業)

- | | |
|--|--|
| ・ 川崎重工業 (http://www.khi.co.jp/) | 三協精機製作所 (http://www.sankyoseiki.co.jp/) |
| ・ 神鋼電機 (http://www.shinko-elec.co.jp/) | ダイヘン (http://www.daihen.co.jp/) |
| ・ ファナック (http://www.fanuc.co.jp/) | 安川電機 (http://www.yaskawa.co.jp/index_nof.htm) |
| ・ ヤマハファインテック (http://www.yamaha.co.jp/finetech/) | セコム (http://www.secom.co.jp/) |
| ・ 総合警備保障 (http://www.sok.co.jp/) | ソニー (http://www.sony.co.jp/) |
| ・ テムザック (http://www.tmsuk.co.jp/) | 富士通研究所 (http://www.labs.fujitsu.com/) |
| ・ 本田技研工業 (http://www.honda.co.jp/) | 三菱重工業 (http://www.mhi.co.jp/) |
| ・ Evolution Robotics, Inc. (http://www.evolution.com/jp/) | ZMP (http://www.zmp.co.jp/) |