

[特別寄稿]

ロボット市場を立ち上げるために

Toward Expansion of Robot Industry Market and Creation of New Robot Business

谷江 和雄

■ TANIE Kazuo

産業競争力強化と高齢化社会対策の面から、製造業中心の現状のロボット産業を生活支援ロボットなどの非産業分野へと拡大する技術開発努力や産業政策が展開されている。産業用ロボットと異なる生活支援ロボットの特質は、そのユーザーニーズが極めて多様なことであり、その新市場創成には、市場主導の技術開発努力と、ユーザー要求にきめ細かく対応できる製品提供の仕組みが求められる。こうしたロボット分野における産業を創成する一方策として、オープン構造のロボット要素やロボットを市場に提供するメーカーと、ユーザーの求めに応じてロボットを設計し提供するインテグレーターとの分業から成る、新しいロボット産業構造を構築していく必要がある。

To enhance industrial competitiveness and solve various issues in the future elderly-dominated society, a number of efforts have been made to develop daily life service robots to support elderly people and to expand the robot business from manufacturing applications to nonmanufacturing applications. Users' requirements for daily life service robots will be much more complex than those for robots used in manufacturing applications. It will therefore be especially important to implement market-driven R&D, and to create a new industrial structure in which the appropriate product can be provided to each customer according to that customer's specifications.

With this in mind, a new industrial structure based on custom-made robot business supported by open modularized robot component technology was proposed as a suitable future structure for the robot industry.

1 まえがき

2000年の世界ロボット連盟(IFR)の統計によれば、世界で現在78万台の産業用ロボットが稼働している。そして、そのうちの約45%は日本である。また、世界の日本製産業用ロボットの比率は60%を超える。

産業用ロボットの応用分野は現在、90%が自動車、家電、半導体など製造業といわれる。日本の産業競争力強化のために、強い日本の産業用ロボットの技術力を製造業中心から日常生活支援や危険作業代替などへと展開し、ロボット産業を更に拡大したいとの期待がある。この動きは、起源をたどれば1980年代の初めにさかのぼる。

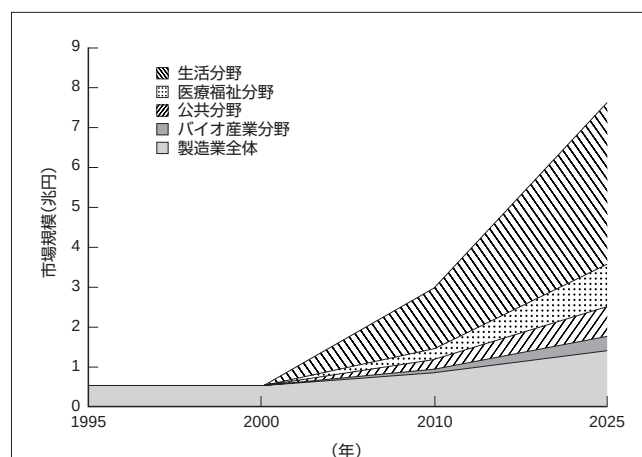
一方、20世紀の終盤の1990年ころから、人口の高齢化に伴う高齢者支援問題が指摘され、この点からのロボット技術への期待も高まり、介護・介助ロボット、生活支援ロボットの開発が目されるようになった。

将来の産業戦略や社会構造の変化を背景に、ロボット技術はこれまでに、産官で市場を拡大する努力が行われているが、この努力を実りあるものにするには、ロボット技術固有の問題に留意しつつ、技術や普及の戦略を考えていく必要がある。

ここでは、ロボット市場を非製造業の多様な分野に展開していくための課題について、日ごろ筆者が考えていることを述べたい。

2 ロボット技術における未来市場予測の特異性

図1は、(社)日本ロボット工業会(JARA)がまとめた2025年のロボット市場規模予測である⁽¹⁾。生活・医療福祉・公共(災害・治安など)・バイオ産業・製造業分野において



出典：(社)日本ロボット工業会「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」2001年

図1. 2025年のロボット市場予測 — 2025年のロボット市場の規模は、生活・医療福祉・公共(災害・治安など)・バイオ産業・製造業分野において約8兆円と予測されている。

Prediction of robot market in 2025

約8兆円と予測されている。

この予測は、最近、様々なところで引用され、一部に楽観的な未来論を生み出しているが、例えば半導体や自動車などの市場予測とは異なる取り扱いを要することに注意する必要がある。

半導体や自動車では、今ある市場製品を前提に予測がなされる。すなわち、今後、技術革新によって現製品の性能、価格が変化したときにそれが市場をどのように拡大していくかを論じている。しかし、前述のロボット市場の予測では、応用分野は示しているが、具体的な製品が想定されているわけではない。現在は人手で行われている作業の労働力が、将来の人口高齢化によって労働時間に換算してどの程度不足するか、そして、もしそれが今後開発されるかもしれないロボットで代替され、現在その労働に支払っているコストがロボットの購入に使われたらどの程度の金額になるか、に基づいてそれは計算された数値である。

8兆円ロボット市場が形成されるとすれば、とにかく、不足する労働を代替できるユーザーが購入したがるロボットが存在しなければならない。予測の実現性は、ユーザーが好むロボットが開発されるか否かに依存する。前記の数値は市場の受け入れ容量の最大値の予測であって、売れるロボットが開発されなければ市場規模“0”になることに注意する必要がある。

したがって、8兆円の市場ニーズを支えるロボットが開発しうるかを語らずに、前記の予測の数値のみでロボット産業の未来を論じることは意味がない。こうした市場に展開するロボットを開発するには、どのようなロボットを作れば売れるか、また、どのような仕組みが技術開発や産業構造に求められるかを真剣に議論することが不可欠になるわけである。

3 ロボット市場の現状と課題

市場に出た最初のロボットは、1940年代に開発された放射性物質ハンドリング用の遠隔操作マニピュレータと思われる。以来約60年間、工場の自動化、危険作業代行、医療福祉、エンターテインメントなどに使われるロボットが次々に開発されてきた。特に、1960年代初めに製品化された教示再生型産業用ロボットは、1980年ころから製造業の単純繰返し作業の自動化に多数導入され、日本では5,000億～7,000億円規模の産業に成長した。

1980年以降には複雑な環境下での非繰返し作業に使われる遠隔操作型知能ロボット、1990年代には人の生活空間で人と共存し人にサービスを提供する人間共存型ロボットが注目され、前者ではプラント保守などの極限作業ロボット、惑星探査に使われる宇宙ロボット、後者では手術支援ロボット、ペットロボットなどが実用化され、小規模だが一定市場を

形成している。また、1990年代には人型ロボットの技術にも画期的な進展が見られ、その応用も注目されるようになり、エンターテインメントやイベント支援に一部レンタルビジネス市場を形成している。

これらを好意的に見れば、ロボット技術は着実に進歩し、応用分野を産業用から屋外・宇宙の危険作業、医療・福祉、日常生活支援などの非産業用へと徐々に市場を拡大してきたといえる。しかし、一方で、研究投資に見合う実用的成果が少ない点を指摘する声もある。

世界ロボット連盟(IFR)がまとめた各種ロボットの市場規模データによれば、産業用ロボット以外で、一定の市場規模を持つロボットはエンターテインメントや手術用ロボットで、次に掃除ロボットが続く。ここで、産業用ロボットとそれ以外のロボットとの市場規模格差は大きい。非産業用ロボットの未来市場で今後何が主力となるかも不透明である。医師に受け入れられて使用実績を伸ばしつつある手術用ロボットが、唯一、期待できそうだが、一時期ブームを作り、将来の有望ロボット商品とされたエンターテインメント用ロボットも、現時点での販売実績を見る限り、ブームは一過性でかつての産業用ロボットのような市場展開を見せる気配は感じられない。また、家庭用ロボット掃除機も、米国で安価な商品が開発されて人気を呼び、欧米では3,000台程度購入されたとの統計があるが、日本では、ビル清掃ロボットが数百台販売されているものの家庭用には普及していない。留守番ロボットや人に様々な情報サービスをするコミュニケーションロボットなども複数企業が開発しているが、大衆製品に成長する傾向は現時点では見られない。

1980年以降、日本では応用分野拡大を目指して、国は複数の国家プロジェクトを推進し、また、産業界も研究開発に投資し様々なロボットのプロトタイプを開発してきた。それらの成果には、技術的に完成の域に達しているものも少なくない。しかし、ほとんどが試作品レベルにとどまり、一定の市場製品に展開する兆しが見えない。ロボット市場の主力は、依然として1960年代に商品化された産業用ロボットにとどまっているという現実がある。様々なロボットが開発され話題となるが、それが消費者に満足して購入される製品に成長しない、すなわち“技術はあるが売れる製品がない”という現実がある。

4 ロボットの商品化の難しさ

“技術はあるが新製品が出現しない”という状況の背景には、ロボット技術には固有の実用・商品化が困難な状況があるからと筆者は考えている。それは、自動車や半導体、携帯電話などの商品と比較すると理解しやすい。

例えば、自動車産業には自動車という“技術で構築された

人工物”商品があり、それを受け入れる市場が存在する。自動車産業での技術開発は、既に市場を持つ“技術で構築された人工物”の性能を改善することである。いわば“今の技術”をそれを超える“新技術”で置き換えてユーザーに商品を買換えさせるか新規ユーザーを開拓するかして、市場を拡大することである。そこには、現在の製品コンセプトの枠組みの中で現製品を超える仕様を満たす製品を技術開発で実現すれば買われる仕組み、すなわち、技術主導の取り組みで市場を持つ製品が生み出せる仕組みがある。半導体や携帯電話、デジタル家電にも同様の世界がある。

一方、ロボットの世界では産業用ロボットを除き、自動車のような先行商品がない。例えば、介護ロボットや高齢者生活支援ロボットが必要との意見はよく聞かれるが、現在のこうした分野のビジネスは人すなわちヘルパーが行っていて、“技術で構築された人工物”が使われているわけではない。ヘルパーと同等、同コストのロボットが開発できれば、むしろロボットがヘルパーに置き換わり、ロボットが現状のヘルパーと同等あるいはそれ以上の市場を持つと想定される。そこで“鉄腕アトム願望”が生まれるわけだが、それは技術で構築された人工物ではない“人”という科学的に未知な対象を技術で置き換えることを意味し、前述の技術から技術への置き換えに比べて格段に困難な課題解決が求められる。人と同等のロボットの開発は技術的に困難とすれば、①ヘルパーに頼っていることの何を技術で置き換えられるか、を検討しなければならないが、市場を開拓するにはそれに加えて、②ユーザーが真に購入したがる“技術で置き換えるヘルパーの機能は何か”が検討されなければならない。①は技術主導の問題だが、②は市場に受け入れられるこれまでにない新製品を発掘する問題である。

技術で解決できそうな課題のみに注目して、またそれがあたたかも市場を持つかのごとく錯覚して①の問題のみを扱う傾向が、過去のロボット開発にはあったと筆者は考えている。それでは、ロボットの世界では、ユーザーに好まれる製品は開発できない。ユーザーニーズを積極的に意識した、いわばマーケット主導の製品開発努力が他の分野にも増してロボット技術の産業化には求められている。

5 オープン化戦略

— ロボット商品を開発しやすいインフラの構築

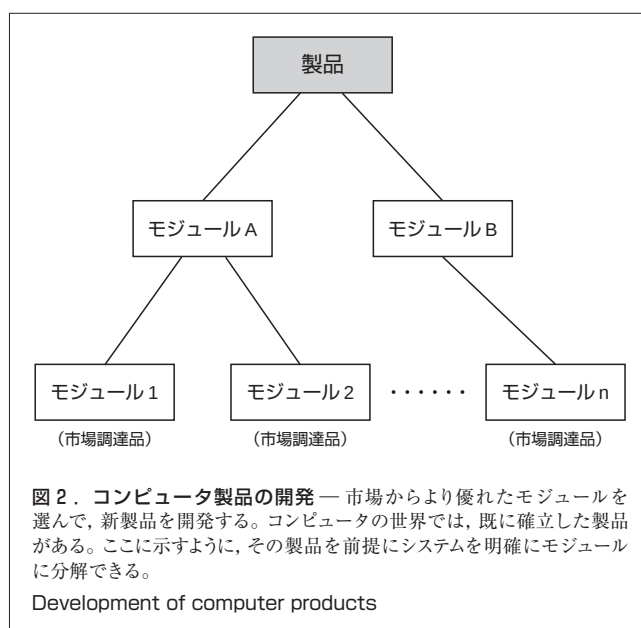
“技術はあるが製品が育たない”状況をいかに打開するかが、今後のロボット技術とその産業を有意義に展開・育成するうえで考慮されなければならない重要課題である。この課題解決のためにとるべき道は、ユーザーの要求に応じて製品を作るか、新規製品に様々チャレンジし、それをユーザーに示して気に入られるものを見つけていくかのどちらかである。

ある。そこで必要なのは、新しいロボットを迅速に開発することを可能にする仕組みである。

ロボットの構造は、細かく見ればアクチュエータ、センサなど、また、マクロに見ればマニピュレータ(腕)、移動装置(脚)、ヒューマンインタフェースなど、更には基本動作ソフトウェア、アプリケーションソフトウェアというような、複数のハードウェア及びソフトウェアの要素から構成されている。新しいロボットを開発するということは、ニーズに応じて、ハードウェアとソフトウェアの要素をユニークに組み合わせ、ユーザーが求める機能を実現する努力と見なせる。そこで、もしこれら要素が、新しいロボットを開発する人たちが活用できるオープンなモジュールとして市場に提供されていれば、市場で調達できるものは調達し、手に入らない要素や機能だけを自己開発することで新ロボットを構成することができ、ニーズに応じた製品開発が迅速化される可能性がある。こうしたロボットやロボットシステムの要素をオープンモジュールとして市場に提供する技術が検討されている。

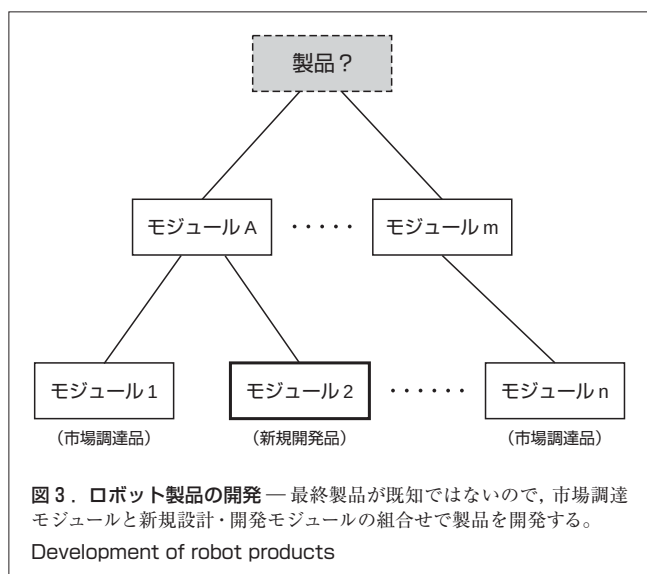
最近のコンピュータは独立なモジュールで構成されており、より高性能なモジュールを開発し市場に提供するモジュールサプライヤと、モジュールを組み合わせてエンドユーザーにコンピュータを供給するアーキテクトとでビジネスが展開しており、経営学の分野では、こうした産業構造の経済的効用なども議論されている⁽²⁾。

コンピュータの世界では、既に確立した製品があるゆえに、図2に示すように、その製品を前提にシステムを明確にモジュールに分解できる。しかし、ロボット開発では、製品そのものを見いだすことが目標となるから、必要なモジュールをすべて特定できない。役立ちそうなモジュールをあらかじめ用意しておき、ニーズに応じて使えるものは使い、不足部



分やすり合せを要する部分は新規モジュールやアプリケーションソフトウェアの設計・開発で対処しつつ、図3に示すようにボトムアップでシステムを構築していくことが必要になる。そのために、市場で調達される要素がこうした新規設計の部分と結合して使えるように、そのインタフェース構造が公開されている必要がある。

近年のプロセッサの小型化の進展で、ロボットの制御構造も集中型から分散型に変わりつつある。すなわち、要素にそれぞれプロセッサが組み込まれ、それらを体内LANなどのネットワークで接続してシステムが構築される。こうした

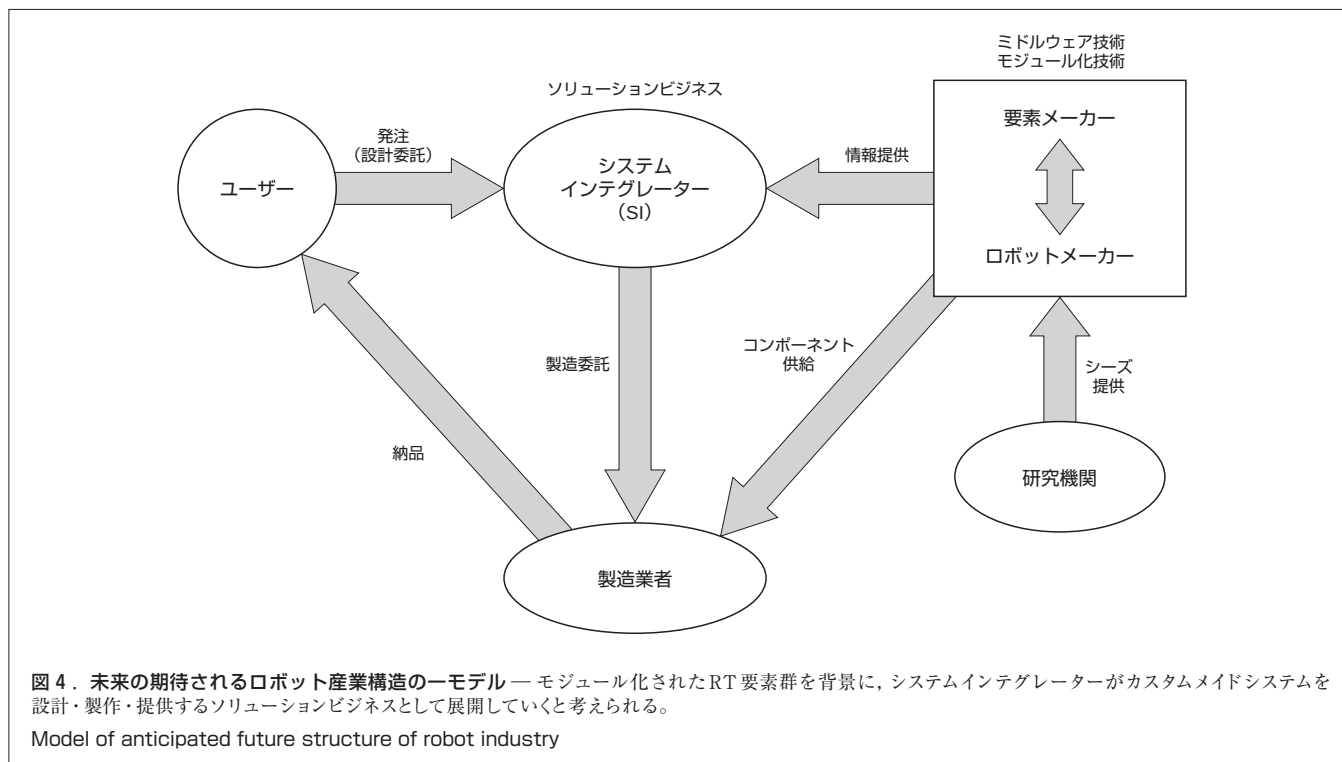


システムでは、要素の機構的な接続というよりも、プロセッサに内蔵されたソフトウェアの接続性が問題になる。市場で調達される要素に内蔵されているソフトウェアと、ロボット開発者自身が開発設計する要素のソフトウェアがスムーズに結合できる仕組みが必要になる。

この仕組みを構築するための一つの方法として、要素を分散オブジェクトとして扱えるようにするためのミドルウェアの開発が進められている。ソフトウェアの世界では、CORBA (Common Object Request Broker Architecture), HORB など分散オブジェクトを管理するミドルウェアが存在するが、ロボット開発用には実時間性などロボットに適した仕様を持つものが必要である。最近、こうしたミドルウェアをRT (Robot Technology) ミドルウェア、RTミドルウェアで管理される要素をRT要素(コンポーネント)と呼んでいる。一部の企業では既に生活支援ロボットの開発に、製品開発の迅速化と資源の再利用を目的に、独自のミドルウェアを採用している例もある。今後は、企業間で共用できるRT要素を市場に提供するために、RTミドルウェアの標準化を推進することも重要である。RTミドルウェアの国際標準を作成する活動が、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)やJARAの支援の下で、OMG(Object Management Group)において日本主導で進められている。

6 未来のロボット産業構造

大市場に展開するロボット製品には、それを求める同質の



多数のユーザーが存在することが不可欠になる。1970年代の製造業分野では、溶接、塗装、部品搬送などの作業に関し、多数の企業に同質のニーズが存在したがゆえに、産業用ロボットの一定規模市場が開けた。

生活支援ロボット産業などにもこの状況が成立するかを考えると、ユーザーの多様性から、筆者は否定的にならざるをえない。例えば、介護・介助ロボットとひと言で言うが、そこに求められる作業内容は極めて多様で、切実な場合ほど個別的である。こうしたユーザーを対象に、“白物家電”的に大規模市場に展開するロボットが、近未来の技術進展の枠内で開発可能とは思えない。われわれの生活への展開を目指すロボット産業には、多様なニーズにきめ細かく応える仕組みが必要であろう。

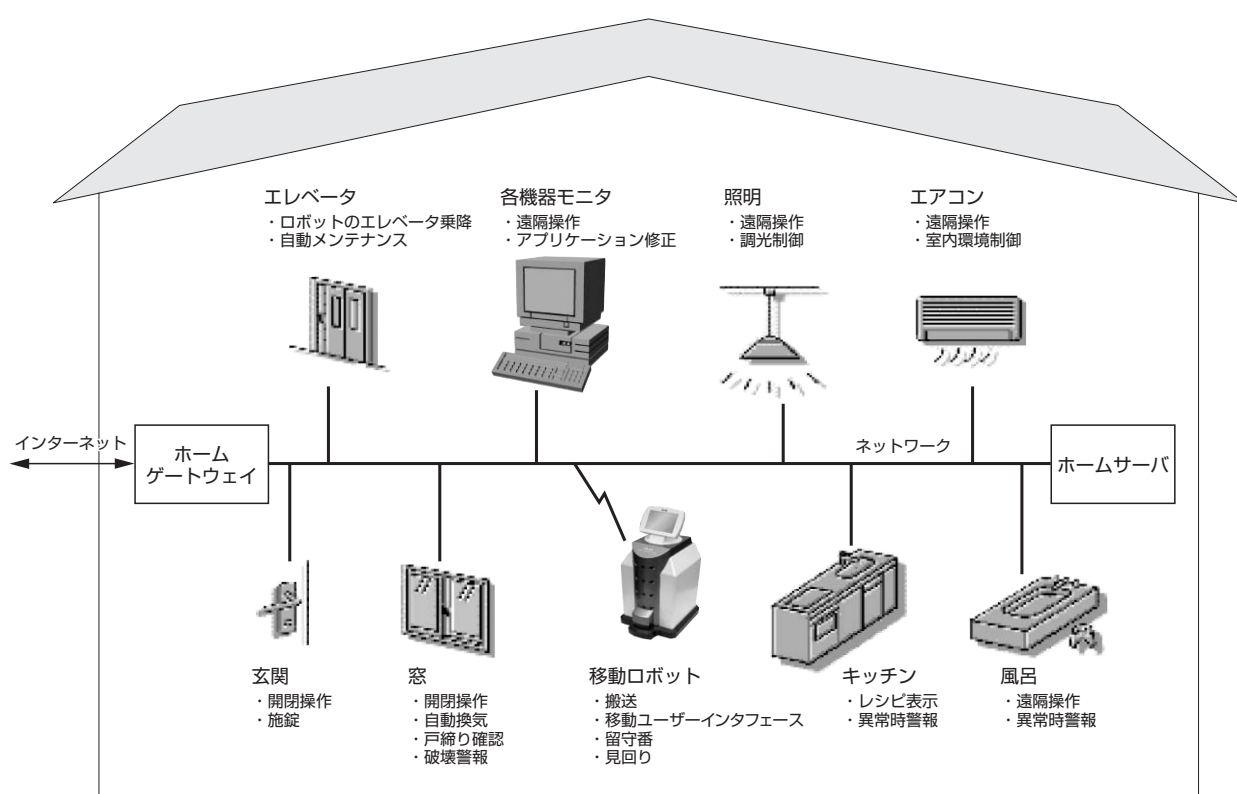
エンターテインメントロボットやロボット掃除機のように白物家電的に販売されるロボットは出現するとしても、個別化が進むニーズに対応するために、多くのロボットビジネスは今後図4に示すように、前章で述べた市場に提供されるモジュール化されたRT要素群を背景に、それをユーザーの注文に応じて、システムインテグレーターが組み合わせ、またそれに独自のハードウェアやソフトウェアを組み込んでカスタムメイドシ

ステムを設計し、それを施工（製造）業者が製作して提供するソリューションビジネスとして展開していくと考えられる。

そこでは、ロボット技術や製品は人型ロボットといえども単体で使われるのではなく、例えば、人の生活空間で使われる場合には、環境内に設置される種々のセンサや、情報家電製品などと組み合わせられてサービスを提供すると考えられる。図5はNEDOプロジェクトで現在開発中のこうしたシステムのイメージである。

まず、市場には異なるメーカーが提供するRT要素としての移動ロボット、電動ドア、照明、テレビ、冷蔵庫、ヒューマンインタフェースなどが存在すると想定する。家庭内にはホームLANが構築され、それに家庭内機器を管理するサーバが接続されている。ユーザーが求める仕様に応じて、システムインテグレーターはどのようなRT要素を市場から導入するかを決定し、また、サーバに組み込むアプリケーションソフトウェアを設計する。そこでは、各ロボットはRT要素化され単体で使われるのではなく、環境内に設置された種々のやはりRT要素化されたセンサや情報家電製品などと組み合わせられてサービスを提供している。

このようなカスタムメイド製品の提供形態は、住宅産業の



出典：NEDO RT ミドルウェアプロジェクト

図5. RT要素の統合により設計されるカスタムメイドホームサービスロボットシステムの一例 — ロボットは、家庭内の種々のRT要素化されたセンサや情報家電製品などと組み合わせられてサービスを提供している。

Example of custom-made home service robot system using robot technology components

注文建築や服飾産業の注文服ビジネスに見られるが、実は現在のロボット産業においてもよく見られる製品開発形態である。しかし、現状のカスタムメイドロボットはコストが高くなる。

コスト的に比較的低価格でカスタムメイドビジネスが成立している住宅や服飾産業の世界では、素材、要素、設計、施工（製造）といったレベルでビジネスとしては分業が成立し、エンドユーザー製品レベルでは、超多品種少量生産品でも、それを構成する素材、部品レベルでは資源が共有され、大量生産を通してそれが低価格で提供される仕組みがある。また、これら素材、部品もデザイナー（システムインテグレーター）がユーザーの要求を実現する際に活用しやすい形で市場に提供されている。したがって、比較的小規模な企業体が多様なビジネスを営める環境がある。

将来のロボット産業で、多様なユーザーニーズに応えるカスタムメイドビジネスを可能にするには、低価格なRT要素の市場への提供と、ロボットのハードウェアを提供する業種とユーザーの要求を満たすコンテンツを設計する業種との適切な分業が可能な体制を構築することが必要となろう。

低価格でRT要素を市場に提供するうえでは、RT要素に不可欠な安価な組込みコンピュータや、RT要素の仕様に見合う組込みOS（基本ソフトウェア）などを開発することが重要である。

一方、分業体制は、前章で述べたモジュール化技術を背景として、ロボットメーカーを対象にロボットの開発に使われる部品としてのRT要素を市場に提供するRT要素製造メーカー、こうしたRT要素を活用しつつシステムインテグレーターを対象に、ある種のまとまった機能を持ち、かつロボットシステムの設計に使いやすいRT要素としてのロボットを市場に提供するロボットメーカー、市場に提供されるこれらRT要素としてのロボットや周辺機器を組み合わせるユーザーの要求に合ったシステムをデザインし提供するインテグレーターの3業種で運営されることになろう。

前述のRTミドルウェアやRT要素機器群を背景にこうした産業構造が形成されるときに、初めに述べた図1の8兆円の予測も現実になると考えられる。

7 あとがき

最近、日本の経済産業省や韓国の情報通信省（MIC）が新産業創造戦略を発表し、それぞれ重点7分野、9エンジンの一つに、デジタルコンテンツなどとともにロボットを挙げている。ロボット技術は先行商品による市場がないだけに、未来が不透明である。しかし、反面、成功すれば真の産業創造が可能な分野だけに期待も大きい。

ロボットの語源はSF（Science Fiction）や文学にあるゆえに、ロボット研究は一般に“夢”に動機づけられて始まり、“どこまで技術が完成すれば何に役だつか”を明確にせず研究開発が行われることが多い。それは、実ニーズに対しそれを満たす目標仕様を明確にしたうえで行われる一般の技術開発とは異なる、ロボット技術固有の性格でもある。こうした性格を持つロボット研究を通して、新産業の核になる製品を開発するためには、研究から生まれた技術シーズをユーザーニーズに結びつけることにいっそうの注意を払うことが不可欠である。この努力が実を結ぶときに、ロボット技術は新しい産業を切り開く力になると考える。

文 献

- (1) 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研究報告書。（社）日本ロボット工業会、2001.
- (2) C.Y. Baldwin, K.B. Clark. モジュール化時代の経営、モジュール化（青木昌彦、ほか編著）。東京、東洋経済新報社、2002、p.35.



谷江 和雄 TANIE Kazuo, D.Eng.

独立行政法人 産業技術総合研究所 評価部首席評価役、工博。筑波大学大学院 システム情報工学研究科 知能機能システム専攻教授（連携大学院）、早稲田大学ヒューマノイド研究所 客員教授（非常勤）。IEEE Robotics and Automation Society, President (2004-)。日本機械学会、日本ロボット学会、IEEE フェロー。ロボット工学、人間共存型ロボット技術（パワーアシスト、情緒ロボット）、ヒューマノイド、ネットワーク介在型遠隔操作技術、ロボット産業論などの研究に従事。National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)