

# 先端技術をリードするホームロボットの開発動向

Trends in Development of Home Robots Leading Advanced Technologies

松日楽 信人 小川 秀樹

■ MATSUHIRA Nobuto

■ OGAWA Hideki

最近、ロボット技術は従来の特殊環境や工場内環境に加え、より身近な分野へと応用分野を拡大しつつある。ロボットを構築することが容易となり、特に人間の生活空間で活躍するロボットの開発が活発に行われるようになった。家庭向けロボットも既に販売されているものを含めると、様々なロボットが発表されている。これはロボットの新市場創出への期待に加えて、ロボットの要素技術が進み、いわゆる従来のメカトロニクス機器にロボット技術（RT：Robot Technology）を搭載する応用が増えたことによる。

更に、市場を家庭に限らず広く共通基盤を築くために、ロボット技術のオープン化が進みつつある。各社が個別の規格でロボットを作るのではなく、要素技術のモジュール化、インタフェースの共通化、通信プロトコルの共通化を行い、これまでの開発方法に限定されず、より広範囲なビジネスモデルを導入することで、新しいロボット市場の展開が期待される。

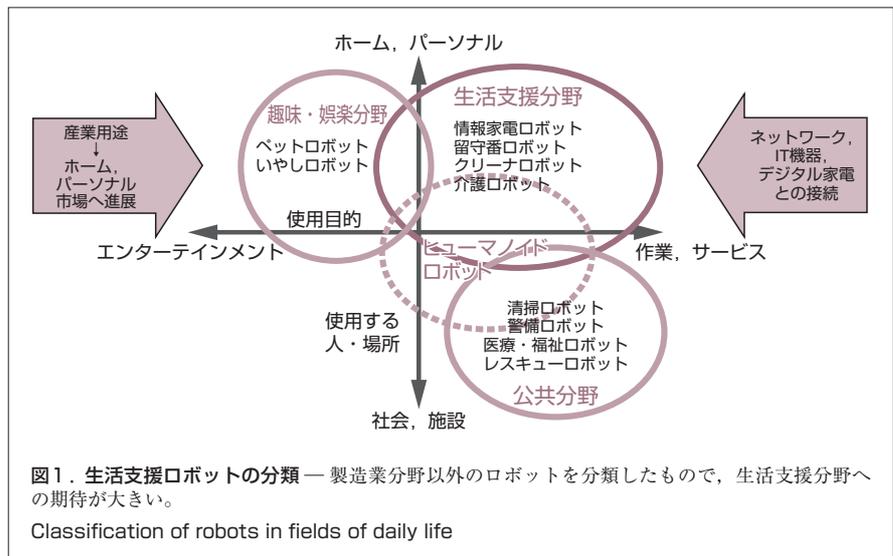
In recent years, research and development of robots for use in people's daily lives has been actively pursued in addition to robots for special and industrial environments. Robots are easily constructed nowadays thanks to the accumulation of basic robot technology (RT). With various mechatronic applications being increasingly incorporated into RT, many personal robots and home robots have been introduced in various fields for roles such as security, nursing care, and housekeeping.

A new market for home robots is expected to appear accompanying the advancement of basic RT. Furthermore, an open strategy for robots is being widely planned so as to create a common infrastructure for robots, not limited to home applications. Rather than the conventional approach of individual companies making robots independently, they will be developed through the modularization of basic RT and the standardization of interface and communication protocols. New robot markets can be expected by applying various business models in an open robot architecture environment.

## ロボット技術の発展

ロボットは、よく知られているように原子力施設の保守や産業用ロボットの開発から立ち上がった。ロボットに期待される役割を挙げると、原子力施設内の保守点検や宇宙空間での船外作業など、“人間にとって好ましくない環境下での作業の代行”や、微細で精密な医療手術を支援するなど“人間の作業能力の拡張”，あるいは産業用ロボットに見られる“生産性の向上”である。これらの実現を目的に今日まで、主に特定の環境の下で“作業”を行うロボットが開発されてきた。

しかしその一方で、最近ではロボットの構築も容易となり<sup>(1)</sup>、これまで培った技術をベースに、より身近な環境、特に人と共存するような分野への応用が進みつつある。いわゆるホームロボット



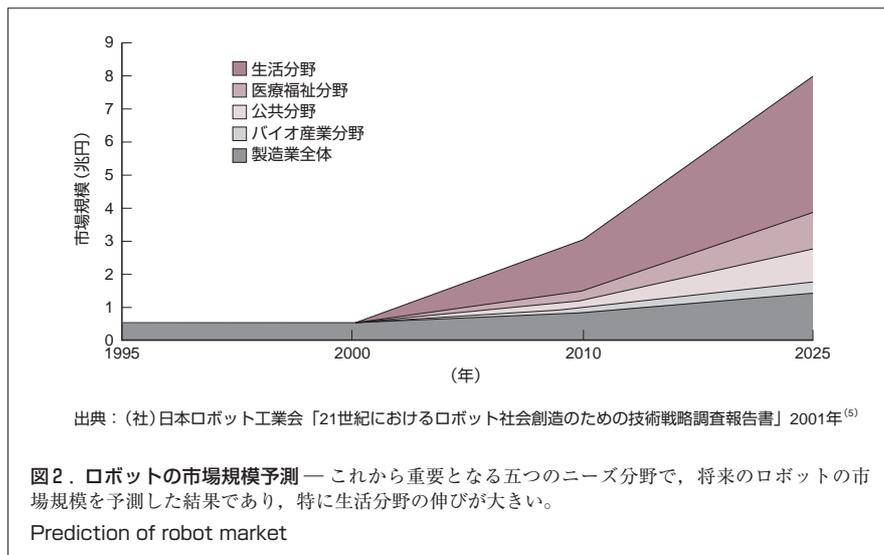
などを含む生活支援分野においては、留守中は自分がその場に行けないので留守番や見守りといった仕事の代行、時間の有効活用という点からの生産性の向上、更には、ユビキタス社会

における“動く端末”としてロボット技術を応用した新しい製品分野の登場が期待されている。特に近年は、少子高齢化、情報ネットワーク化、セキュリティなど社会的不安要素の解消という

観点が強い。また、クリーナロボットなど作業を伴うロボットばかりでなく、IT（情報技術）との融合で知能化や情報を提供するロボットの開発が加速され、エンターテインメントロボット、コミュニケーションロボット、パートナーロボット、留守番ロボットなど多くの開発が行われている<sup>(2)・(3)</sup>。ただし、現在のロボットは限定された環境下で、限定された作業しかできないものであり、家庭への応用も同様である。したがって、市場としてはおおいに魅力的ではあるが、逆に家庭の方が作業環境や作業内容が複雑で、家庭に導入するには機能をより限定する必要がある。図1に、生活支援ロボットとして現在開発されているロボットの分類を示す。

### ホームロボットへの期待

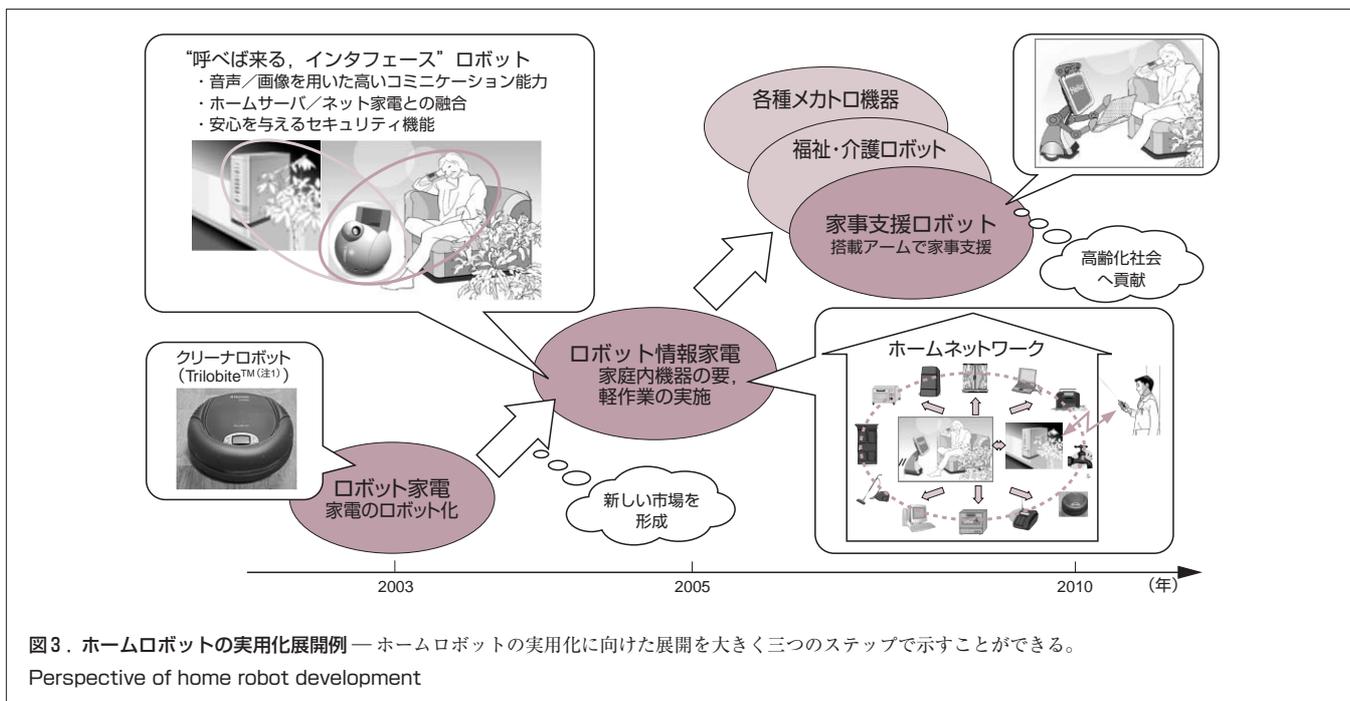
日本経済新聞社のパートナーロボットの用途別希望購入価格調査<sup>(4)</sup>によると、いやし系ロボット10万円未満（回答者の91%，以下同様）、留守番・警備系ロボット20万円未満（86%）、介護系ロボット30万円未満（81%）、家事手伝い



系ロボット30万円未満（87%）という結果がある。これはいわゆるロボットというよりは家電の価格である。すなわち、ユーザーは家電としてロボットをとらえていることがわかる。そして、ロボットに期待する役割として、留守番・警備（66%）、掃除・家事手伝い（63%）、また、機能としては、力仕事（61%）、家電制御（57%）、賢さ（50%）が挙げられている。まだまだ、期待と実現できる機能、及びコストとのギャップは大きい

が、実用的であれば高価格でも購入を検討する消費者の多いことも2004年の同社の調査でわかった。

一方、現在の産業用ロボット市場は多少復調の兆しが見えるものの5,000億円程度にとどまっている。ロボットの要素技術としてみれば、産業用ロボット以外への応用分野は多数あり、新しい市場へ向けた開発が始まっている。将来のロボット市場予測（図2）<sup>(5)</sup>では、2010年に3兆円、2025年には8兆円と予測され



(注1) Trilobiteは、Electrolux社の登録商標。

ている。各分野の中でも特に生活分野の伸びが最大で、2010年に1.5兆円、2025年に4兆円とされている。市場予測に関しては、常に見直しが必要であるものの、ネットワーク関連市場との融合で更に拡大するとの予測結果もある<sup>(6)</sup>。

## ホームロボットの分類と展開

機能的に家庭応用を目指したホームロボットなど生活支援ロボットをロボット技術(RT: Robot Technology)で分類して整理すると次のようになる<sup>(7)</sup>。

高齢者をはじめ家族に対し、物理的に本人自身が移動するのを支援するRT機器1、物理的に対象となる物が移動してくるのを支援するRT機器2、情報として支援するRT機器3、間接的に

支援するRT機器4、インフラとして支援するRT機器5、に分類できる(囲み記事参照)。

これら五つに分類したRT機器に対して、現在の開発状況と合わせて見てみると、RT機器5は本来ロボットとともに開発されるものではあるが、ITホームやバリアフリー住宅では既に一部開発が進んでいる。RT機器1, 2は人と物理的なインタラクションを伴う機器で、作業価値、信頼性、技術的完成度から、すぐには実現が困難である。このため、RT機器3, 4のように人と直接インタラクションを伴わない監視や情報を扱う機器から、家電のロボット化である“ロボット家電”として実際には実用化が進んでいることがよくわかる。すなわち、家のように見えるロボット、

クリーナユニットを搭載し自律的に動き回るロボットなどである。この傾向は、保守ロボットなど他の分野でも同様で、専用機や点検を行う機器から実用化されている<sup>(8)</sup>。言い換えれば、実作業を行うということは、そう簡単なことではない。

図3に示すように、実用化の始まったロボット家電から、更にネットワークを介することで、ロボット単体の機能も拡張が可能となる。すなわち、周囲のネットワーク機器とロボットとがそれぞれ機能を補完し合うことで、よりシステムとしての高機能化、高信頼性化が達成できるようになる。東芝はこれを“ロボット情報家電”と呼び、次の段階の実用化ロボットと位置づけている。

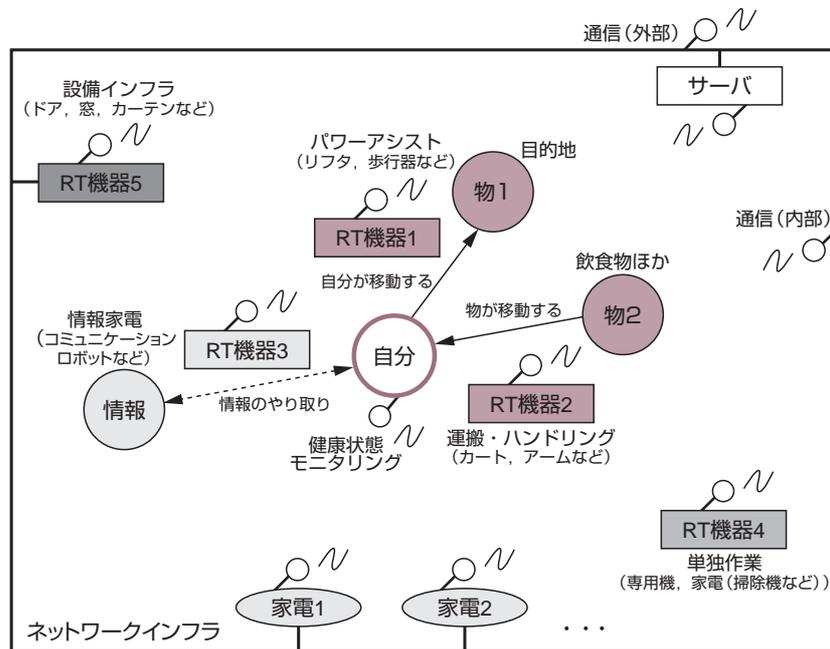
更に進めば、例えば、搭載したロ

## 生活支援ロボットの分類

家庭、オフィス、公共施設などで働く生活支援ロボットを、RTということばを用いてRT機器1からRT機器5まで分類すると、以下ようになる。

- (1) RT機器1 人が移動するために必要な機器。リフタや歩行器が該当する。
- (2) RT機器2 物が移動するために必要な機器。アームやカートがある。
- (3) RT機器3 情報で支援する機器。コミュニケーション機器などであり、必要な情報を提供したり、健康管理などを行う。情報家電的なものである。
- (4) RT機器4 単独作業を行う機器。洗濯機や掃除機など、人と直接かかわらない場所で仕事をしてくれる。クリーナロボットがある。
- (5) RT機器5 上記の機器1~4を支援するインフラ的な機器。ドア、窓、カーテンなどがRT化される。

また、これらのRT機器は、図に示すようにネットワークに接続され、単独で支援するよりも複数の機器が連携・協調することで、より効率的に生活全体を支援することができる。例えば、移動時にはRTドアやRT窓



出典：(社)日本ロボット工業会「ロボットの新規分野開拓のためのオープン化システムに関する調査研究報告書」<sup>(7)</sup> (一部加筆)

生活支援ロボットのRT分類

が人や機器の移動に合わせてドアや窓の開閉を行う。また、これらの機器は家庭や施設内だけでなく、サーバを介して外部とも接続される。更に、前記のRT機器は単独

の機能に明確に分類されるものではなく、移動型のコミュニケーション機器にアームが付けば、RT機器2とRT機器3にまたがる機器の分類となる。

ポットアームをコミュニケーション手段として用いたり、部屋を移動する際にドアを開けるなど移動の支援に用いることで、徐々に行動範囲の拡大や軽作業の実現へと向かい、最終的には家庭内作業の実現へと展開していくものと考えている。以上をまとめると、ロボット家電(単機能)→ロボット情報家電(ネットワーク化)→家事支援ロボット(汎用化)とその展開が描ける。

### ホームロボットを支える要素技術

先に述べたようにホームロボットで期待されている機能には大きく分けて、“コミュニケーション機能”、“情報家電機能”、“セキュリティ機能”がある。すなわち、誰でもが簡単にネットワークにつながった機器を操作できるためのインタフェースとしての役割と、人が留守の間に家のような様子を見たり、介護に必要な高齢者や病人の様子を見守る移動型カメラとしての役割である。このような家庭での機能をイメージして描いたのが図4である。

ただし、これらの機能を実現するには、例えば画像・音声処理といっても、顔検出、顔認証、音源分離、音声認識、音声合成など実に多くの処理が必要となる。また、これらを同時処理できる搭載可能な高性能CPUはまだないが、リソース配分をうまく行うことで、現状のCPUでも少しずつ可能となってきた。ロボットはまさに各種先端要素技術の集合体であり、メカトロニクス分野を網羅している。

一方、ホームロボットの開発では、何をどのくらいの信頼性を持って実施できるかが重要となる。そこで当社は、ロボット情報家電 ApriAlpha™ (Advanced Personal Robotic Interface Type α)<sup>(9)</sup>を開発した(図5)。これはカメラ、マイク、スピーカを搭載した移動ロボットで、人と機械のインタフェースとして働くロボットである。そのシステム構成を図6に示す。このロボットは研究開発のためのプラットフォームとして構築され、様々な機能や要素技術を搭載して検証することを目的としている。以下、このロボットを例に、ホームロボットの要素技術を紹介する。なお、詳細



図5. ロボット情報家電 ApriAlpha™ — ロボット情報家電のコンセプトモデルとして東芝で開発中のホームロボットである(双眼タイプ)。ApriAlpha™ robotic information home appliance

についてはこの特集の各論文にゆずる。

### コミュニケーション機能：画像、音声、運動制御の融合技術

パーソナルユースを目指してロボットが人のそばまで来てくれる、というのがまずは基本動作である。“呼べば来る”動作を実現するためには、まずロボットが呼ばれると、音源推定によりお

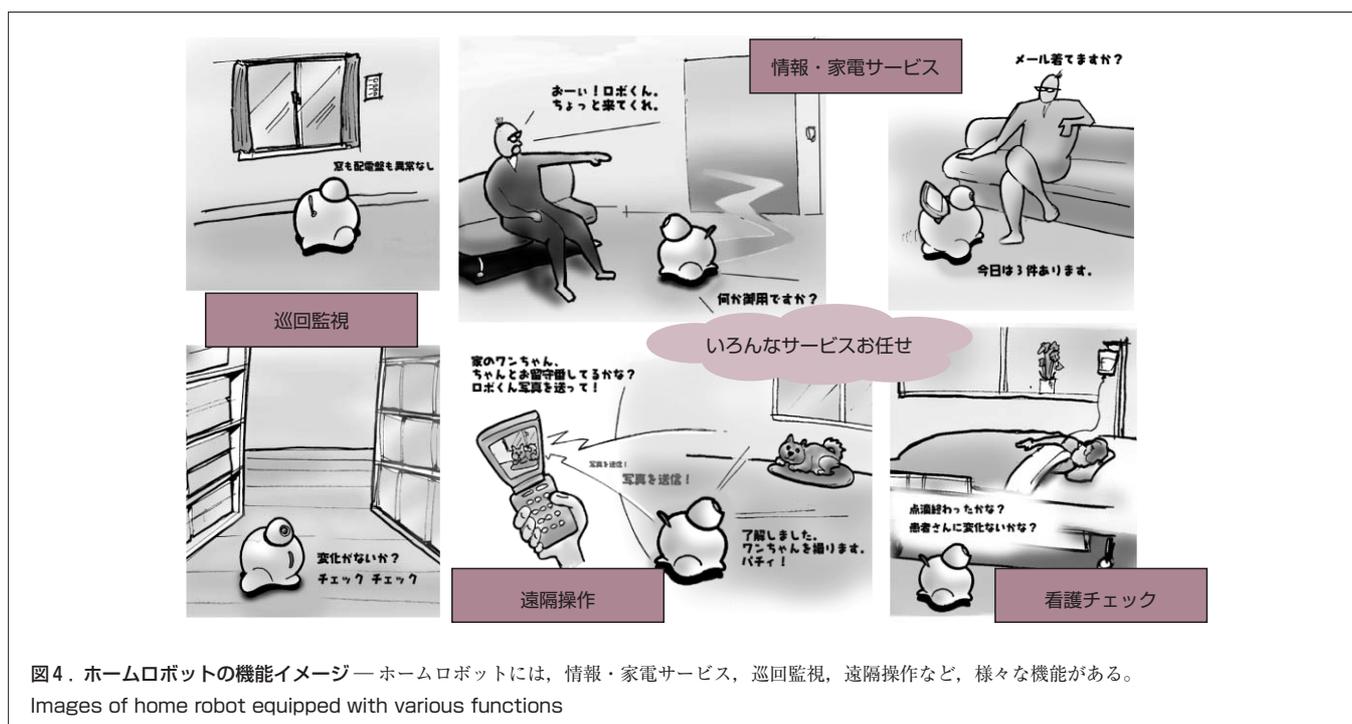
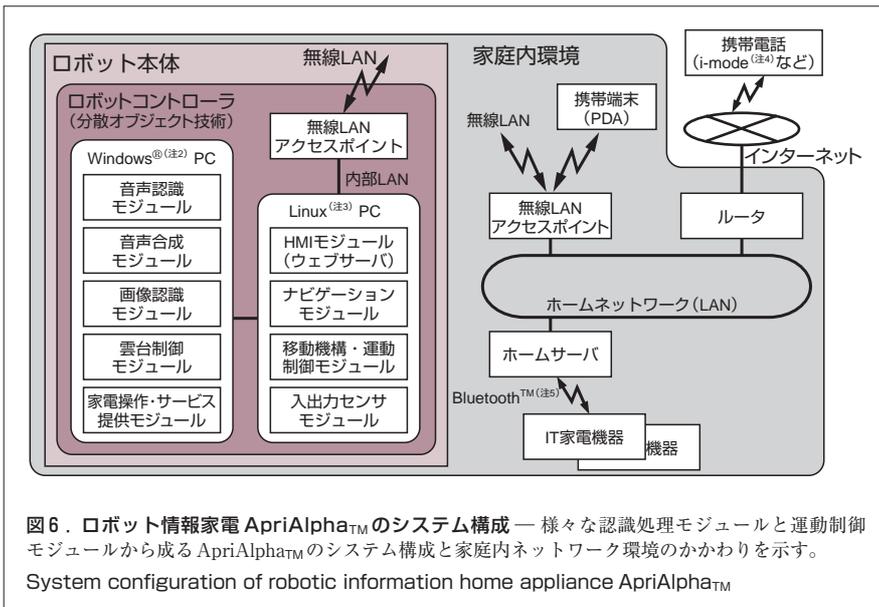


図4. ホームロボットの機能イメージー ホームロボットには、情報・家電サービス、巡回監視、遠隔操作など、様々な機能がある。Images of home robot equipped with various functions



むね音のした方向にカメラを向けて、その画像の中から人の顔を探す。この動作も、周りの雑音が大いどどこに顔があるのか、また顔が複数あった場合はどうなるのかなど、まだまだ課題は多い。次に顔が見つければ、小顔のまま、あるいはカメラをズームして登録された顔の中から顔認証を行い、誰が呼んだのかを特定する。また、検出した顔の方向や大きさ、カメラの画角・向きから、呼んだ人までの距離を推定して、そばまで移動する。ここで初めて、ロボットが呼んだ人にいろいろなサービスを行うことができる。

### ■ 情報家電機能：ネットワーク技術、インタフェース技術

ロボットの操作として音声で指示が与えられれば、ユーザーにとって使い勝手はよい。ApriAlpha™ も、メールの読み上げ、音楽の再生、巡回などを、音声指示で実行させることができる。また、Bluetooth™ 冷蔵庫と通信することで、冷蔵庫のドアの開閉回数や登録

した食材の情報を音声で回答することができる。図6に示したように、冷蔵庫とはホームサーバを介して通信を行う。このほか、レンジ、エアコン、テレビ(TV)などネットワーク環境下にある機器は、UPnP™ (注6) (Universal Plug & Play) などの共通プロトコルを利用して通信変換を行うことで、様々なアクセスが可能となる。また、機器へのアクセス情報から生活のようすが把握できるようになり、ひとり暮らしの高齢者でもプライバシーを保護しながら安心して生活を送ることができる。一方、ネットワーク機能のない家電機器に対しては、赤外線リモコンを搭載することで、従来と同様にTV、ビデオ、照明機器などを、その場所に移動するか、その方向を向くことで各種リモコン操作が可能となる。また、家族の趣向に応じた、より気の利いたコンテンツサービスを提供することも可能となる。基本的にはネットワークとつながることで、パソコン(PC)のようにコンテンツ次第でいくらかでも応用は広がる。

(注2) Windowsは、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標。  
(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標。  
(注4) i-modeは、(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモの商標又は登録商標。  
(注5) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc. の商標。  
(注6) UPnPは、UPnP Implementers Corporation の商標又は証明マーク。

当社は、TEPIA ((財) 機械産業記念事業財団) 第16回展示“ロボットと近未来ホーム”<sup>(10)</sup> (2003/9～2004/7)にて、そのような可能性を具体的に示してきた。エージェント技術を利用して好きなジャンルのニュースを読み上げたり、食材から料理のレシピを探したり、レンジへ調理の設定を送ったり、エアコンの温度コントロールをロボットに話すことで自在に行うことができる。更に移動ロボットであれば、認識しやすい位置へ移動することも可能で、新しい認識技術も必要となる。

### ■ セキュリティ機能：通信・ナビゲーション技術、センシング技術

セキュリティ機能として移動ロボットに求められる機能の一つに、あらかじめ決められた場所を見に行く巡回機能がある。指定された場所へ行って、搭載しているカメラで撮った画像を外出中のユーザーに送る。MPEG-4 (Moving Picture Experts Group-phase 4) など画像圧縮技術を用いれば、動画によるやり取りも可能となるだろう。ApriAlpha™ ではウェブサーバ機能を持たせ、ユーザーがホームネットワークに接続した携帯情報端末 (PDA) やインターネットに接続した携帯電話のウェブブラウザからアクセスすることで、ロボットを遠隔操作したり、搭載カメラの画像を確認することができる。

更に、ドア・窓センサやガラスの割れる音などから異常を検出して、登録された携帯電話への通知なども可能となる。また、携帯電話からも、ズームも含めてカメラアングルの調整やロボットの走行制御が可能である。より安全・安心への信頼性を高めるには、各種ホームセキュリティサービス機能と併用することも考えられる。

また、移動するには家庭内の環境地図も必要となる。指定場所へ移動するときは、あらかじめ入力した部屋の地図を用いてリアルタイムで最短の経路を生成し移動動作を行う。このとき、

地図にない移動中の障害物については超音波センサにより自動的に回避する。なお、地図の自動生成方法は大きな課題であり、計測と地図生成を同時に行うSLAM (Simultaneous Localization And Mapping)<sup>(11)</sup>という手法が世界中で研究されている。

### ロボット技術の普及を目指して

最後に、ロボット技術を広げる仕組みとしてのコントローラのオープン化と、ロボット動作と環境に関する最近の話題について述べる。

### ■ コントローラのオープン化

ロボットはシステムであり、例として挙げた ApriAlpha™ の場合も、先の図6に示すように音声処理技術、画像処理技術、運動制御技術、通信技術などを統合したシステムとして成り立っている。そこで、これら個々の技術をモジュール化し、インタフェースを共通化することで簡単に組み込みが可能となるよう、その枠組みとして当社は、図7に示すオープンロボットコントローラアーキテクチャ(ORCA)を提唱している<sup>(12)</sup>。例えば、ロボット以外の分野で開発されているカーナビゲーションの音声処理技術やセキュリティ管理での顔認証技術などのソフトウェアエンジンをベースに、ロボット用にチューニングして取り込むことが可能となり、開発効率を向上させている。図6に示したように、ハードウェアとソフトウェアで構成された各機能モジュールは、認識・コミュニケーション系がWindows® PC、ナビゲーション・運動制御系がLinux PCと、OS(基本ソフトウェア)が異なる二つのCPU上で動作している。これは、認識・コミュニケーション系が豊富なWindows® PCの資産を有効利用するためであり、ナビゲーション・運動制御系がリアルタイム処理を必要とするためである。ここで、分散オブジェクト技術<sup>(13)</sup>を利用し、各モジュールを統合

することでCPUの違いやネットワークを意識しないプログラミングが可能となっている。ORCAは基本的にはソフトウェアの枠組みだが、これに対応するCPUボードの開発も進めている。最終的には、実装化に向けて小型化、低消費電力化のために、システムLSIの開発まで広がっていく可能性がある。

したがって、ソフトウェアがアップグレードされれば、各種エンジンの性能

向上ばかりでなく、ロボット自身の性能向上が実現される。更には、ビジネス的にも前記のようなロボットコントローラのオープン化が進めば、ソフトウェアのアップグレードサービスや種々のコンテンツサービスをはじめインタフェースが標準化されることで、ベンチャー企業などの新規参入機会も拡大され、いろいろな波及効果が期待できる。ロボット技術のオープン化による新しいロボット産業構造を図8に示す。

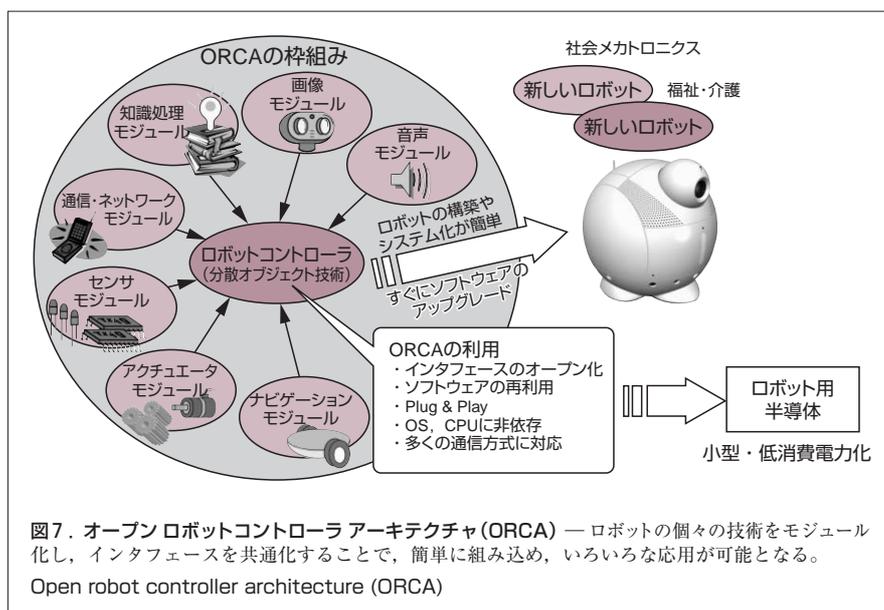


図7. オープンロボットコントローラアーキテクチャ(ORCA) — ロボットの個々の技術をモジュール化し、インタフェースを共通化することで、簡単に組み込み、いろいろな応用が可能となる。  
Open robot controller architecture (ORCA)

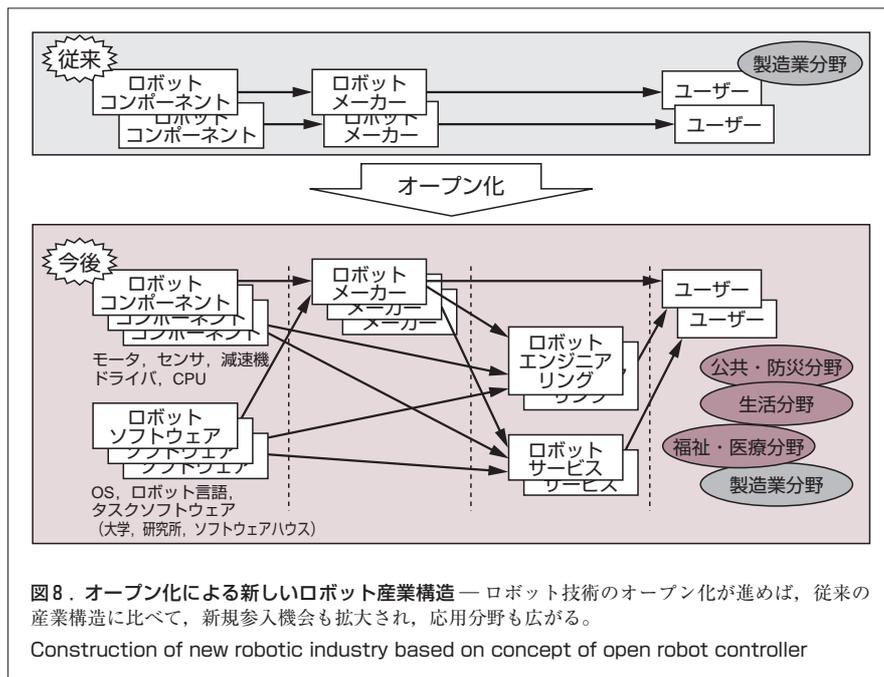


図8. オープン化による新しいロボット産業構造 — ロボット技術のオープン化が進めば、従来の産業構造に比べて、新規参入機会も拡大され、応用分野も広がる。  
Construction of new robotic industry based on concept of open robot controller

なお、オープン化に関しては業界全体として、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)のRTミドルウェアプロジェクト<sup>(14)</sup>や(社)日本ロボット工業会のORiN<sup>(14)</sup>、総務省のネットワークロボット<sup>(6)</sup>などいくつかの具体的な取り組みが始まっている。

## 環境との整合性：ユニバーサルデザインとロボット

ロボットがネットワークとつながることで、ロボットの能力が拡大されることを先に述べたが、これは主に情報による拡張性である。ロボットでは見ることができないところは、そこにあるカメラを使えばよい。ロボットがたくさんセンサを搭載する必要はなく、家の中にあるドア・窓センサや人感センサや火災検知機を使えばよい。これらのセンサはホームセキュリティや災害用のものから普及が進んでいる。しかし、ロボットは実体のある存在であり、段差越え、障害物回避、ドアの開閉、窓の開閉など、物理的に困難な作業も数多くある。確かに公共施設や住宅のバリアフリー化は進んでおり、これらはロボットにとってもありがたい環境で、ロボットの作業性は飛躍的に向上する。

既に、情報的な環境は整いつつあり、ロボットと人間とのインタフェースやインタラクションに関する研究も行われている。今後は、ロボットのデザインばかりではなく、ロボットが動作する物理的な環境も考慮して、ユニバーサルデザインにロボットもユーザーとして含めた住空間をデザインすること(UDR: Universal Design with Robotsと呼ぶことにする)が重要になってくると考えている。

## 今後に向けた期待

ホームロボットの開発には三つの要素が含まれている。一つは、ロボットを通じた要素技術の高度化であり、もう一つは、システム化による小型実装技術の向上、そして最後の一つは、段階的な目標設定によるロボット製品の開発である。また、これらを支えるために、共通基盤としての開発インフラの整備がある。各社が個別に製品化するよりも、共通の枠組みでコンテンツやサービスも含めたビジネスが成立するような仕組みが必要と言える。

2003年に開催されたロボット展示会“ROBODEX”以降、たくさんのロボットが開発され、2004年のROBODEX FORUMでは、共通のプロトコルで複数社のロボットの動作が実現された。2005年の愛知万博では、より多くのロボットが開発されるだろう。役にたつロボットの実現と、ロボット新市場の実現に向けて更に努力していく。

## 文 献

- (1) 辰野恭市,ほか. ロボットの基盤技術整備. 東芝レビュー. 56, 9, 2001, p.2-6.
- (2) 特集:生活支援ロボット. ロボット. 147, 2002. p.2-42.
- (3) 特集:清掃・留守番・セキュリティロボット. ロボット. 152, 2003, p.1-26.
- (4) パートナーロボットの用途別希望購入価格調査. 日経産業新聞. 2003-1-9.
- (5) 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(社)日本ロボット工業会. 2001-3.
- (6) 特集:国及び地方自治体等のロボット産業振興策. ロボット. 159, 2004, p.2-16.
- (7) ロボットの新規分野開拓のためのオープン化システムに関する調査研究報告書. 日本ロボット工業会. 2003-3.
- (8) 山本欣市,ほか. 極限作業ロボット. 工業調査会, 1992.

- (9) 松日楽信人. 生活支援ロボットの設計指針とロボット情報家電の開発. 日本設計工学会誌. 39, 1, 2004, p.13-18.
- (10) T E P I A . ロボットと近未来ホーム. <http://www.tepia.jp/16th/>. (参照, 2004-7-15).
- (11) 例えば, Carnegie Mellon Univ. Hierarchical Simultaneous Localization and Mapping. <http://voronoi.sbp.ri.cmu.edu/projects/prj\_hslam.html>. (参照2004-7-15).
- (12) 尾崎文夫,ほか. 分散オブジェクト技術を用いたオープンロボットコントローラ. 東芝レビュー. 56, 9, 2001, p.12-15.
- (13) 産業技術総合研究所. HORB. <http://www.horb.org/horb-j>. (参照2004-7-15).
- (14) 特集: RTミドルウェアプロジェクトとRTオープン化の開発事例. ロボット. 153, 2003, p.1-28.



松日楽 信人  
MATSUHIRA Nobuto, Ph.D.

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー研究主幹, 工博。遠隔操作ロボットシステムの研究・開発に従事。計測自動制御学会, 日本ロボット学会会員。日本機械学会フェロー。Humancentric Lab.



小川 秀樹  
OGAWA Hideki

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー主任研究員。ロボットシステムの研究・開発に従事。日本機械学会, 日本ロボット学会会員。Humancentric Lab.