解説

環境知能化とロボット技術

Intelligent Environment and Robot Technology

橋本周司* 早稲田大学

Shuji Hashimoto* Waseda University

1. はじめに

早稲田大学理工学部では、故加藤一郎教授を中心に1970年ごろから産業用とは異なるタイプの人間型ロボットの研究が行われてきた。この研究グループは2000年に早稲田大学ヒューマノイド研究所（所長：橋本周司）という組織になった[1]。また、2001年には岐阜県の全面的な援助により、各務原市のロボットプラザ内にWABOT-HOUSE研究所（所長：菅野重樹）を開設し、建築および情報通信の研究者とロボット研究者によってロボット産業創出のための実用化研究を行っている[2]。

早稲田大学ばかりでなく国内外におけるロボットの技術開発を振り返ると、メカトロ技術と計算機の発達により、機械系、制御系、認識系ともに飛躍的な進歩を遂げたことは言うまでもない。しかしながら、日常生活で実用的に使えるロボットの実現には至っていないのが現実である。一つ大きな理由は、第2次産業の中心となる工場とは異なって、これからのロボットの活用が期待される第3次産業あるいは第1次産業の現場は、構造化が不十分で現在の認識技術をもってしても十分ではないということである。

このようななかで最近、高度情報化の進展に伴い、環境知能化あるいは環境の情報構造化という概念が盛んに議論されている。元来は、人間の行動に合わせた情報環境の構築が発想の元であり、センサネットワークやGPS、RFIDを日常空間の環境インフラとして整備することにより、人間の日常生活の利便性向上が目的であった。ロボットから見れば、同じインフラを用いてロボットの認識系の未熟さをカバーできる可能性があるので、歓迎すべき話である。また逆に、ロボット技術を導入すればさらに興味深い環境知能化が図れるのではないかと思われる。

ここでは、これまでの早稲田大学でのロボット研究を通して考えた環境知能化とロボット技術について述べる。

2. ロボットの用途

従来のロボットは、作業機械として人間の労働を代行するものであった。次世代ロボットの目的である人間との共同作業はこの延長上にあるが、工場での作業ロボットに比べて、人間との相互作用がはるかに密に行われる。定型的なコマンドに従って作業するのではなく、相手の人間に応じた柔軟な行動の変更が必要なのである。また、生活空間は構造化の度合いが少ないので、より高度な認識能力が必要とされる。したがって環境知能化はこのようなロボットにとっても大いに有効に働くはずである。

次世代ロボットの第2の用途として、情報端末としてのロボットの利用が考えられる。現在のコンピュータ端末は、グラフィックスとポインティングデバイスによるGUIが主流となっているが、ネットワークにロボットを接続して、画像、音声、表情、身振り、触覚など人間のあらゆる知覚チャンネルを使って、情報の入出力を行うのである。ユビキタスネットワークと環境知能化はサイバースペースと人間をより柔軟に接続することになるが、これらの情報インフラとのインタフェースにロボットを使えば、人間と対話する能力さえあれば誰でもネットワーク資源が利用できることになる。

次に、センサとアクチュエータの集合体として、ロボットの第3の用途が考えられる。ロボットは多くのセンサを装備した動く情報収集システムであるから、人間型でなくとも環境を自律的に動き回ることにより情報収集を能動的に行うことができる。災害時や深海、原子力施設など極限環境下でのロボットの利用は大いに期待されており、色々な試みがある。ここで、少し見方を変えてロボットを環境の一部として見れば、環境知能化の重要な要素としてロボットを考えることができると思われる。

さらに、新しいメディアとしてロボットを考えることができる。オーディオ・ビジュアルのマルチメディアでは伝え切れない情報のやり取りが、物理的な身体を持つロボットには可能である。「癒しロボット」も新しいメディアといえることができる。

原稿受付 2007年3月19日

キーワード: Intelligent Environment, Smart House, Robotic House, Structured Environment, Robot Technology

*〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1

*Shinjyuku-ku, Tokyo

3. ロボットの形態

3.1 操縦型ロボット

現在、話題になるロボットの多くは操縦型か自律型である。特に、実用化されている、あるいは実用化に近いロボットのほとんどが遠隔操作あるいは操縦型のロボットである。災害時のレスキューや原子炉の中などでの極限作業では確実に仕事を遂行することが要求されるので、人間が操縦することになる。操縦型の要点は最終的な判断が人間によって行われるということである。誰でも操縦操作ができるようにするというインタフェースの問題を除けば、基本的には自動車の操縦と同じであるから、最も実用化しやすいものである。最近の医療用ロボットの多くはこのタイプであり、手の微細な震えを抑制し正確な執刀軌道をガイドするなど、生身の人間では不可能な作業を実行にする道具となっている。操縦型は、万が一の事故の際にも責任の所在がはっきりしており法律的な問題も少ない。しかしながら、生産性を考えると操縦型ロボットの課題は、1人の人間が1台のロボットを操縦するという限界をどう乗り越えるか、という点にある。そのために、飛行場の管制官のように複数のロボットを制御する方法が検討されている。

また、1台の操作でも作業域の情報のフィードバックが不可欠であるが、視覚、触覚などすべての情報を正確に伝えることは困難であるので、作業環境の知能化が実現すれば、より高度な利用も期待できる。

3.2 自律型ロボット

操縦型に比べると自律型ロボットの実用化にははるかに高いハードルがある。夢はやはり鉄腕アトムであろうが、人間あるいは気の利いたペット並の知能と行動制御が可能になるにはしばらく時間が必要であると思われる。また、事故責任、安全基準などの法的問題を超越して社会倫理的な議論も必要となる。そういう意味では、故障などがあっても大きな事故につながらない小型のペットロボットが自律型として出てきているのは、もっともなことである。しかしながら、適切な環境整備が期待できる産業応用、特に生産現場への適用に限定すれば、自律型ロボットの実現は比較的早いことも想定できる。従来の産業用ロボットはプログラムされた通りに働くものであるが、これにある程度の適応力が備われば、自律型に近づいてくる。訓練を受けた知識のある作業員が適切な利用を行う場合、ロボットの自律性の程度はかなり低くても使い物になるからである。これに対して、一般家庭では、ロボットを使うために家族全員が免許を取得しなければならないような事態は想定できない。したがって、生活環境での実用化の目標は人間と対話する能力のある人ならば誰でも特別な知識なしに付き合える知的なロボットということになる。

最近のIT環境は環境知能化の一部として、自律型ロボットの方式設計にも大きな影響を与えている。GPSは車ばかりでなくロボットにとっても自己位置を知る有効な手段

図1 遠隔データベース参照型自律ロボット。遠隔データベースの情報を参照して自律的に行動するロボットである。触覚と視覚により環境認識を行いデータベースからの知識を用いて環境中の物体を探す

であるが、最近のRFIDの実用化によって、環境の知能化に新しい方向も生まれた。街路にある道路標識、室内のドア、家具、食器などあらゆるものにICタグを付けて、画像処理などを行わずに、環境にある物を認識できるようになる。前述のように、この概念は情報系からユビキタス情報環境の構想として出たものであるが、ロボットは人間よりもネットワークとの相性は良いから極めて有用である。タグと結びついたデータベースにより対象物の属性を知ることができ、自己位置認識、物体認識ばかりでなく物体の使用方法、把持位置などの知識も獲得できるからである。一般に、自律型ロボットにはあらかじめ多くのデータを埋め込む必要があるが、インターネットアクセスを有効に利用すれば、状況に応じて必要なデータをロボットが取得することができる(図1)。また逆に、ウェブカメラなどよりはるかに上質な画像やセンサデータをロボットがネットワークに提供することも可能であり、さらにロボットの能力に応じた認識結果を付加して、環境の知能化に貢献することも可能であることはもう少し注目してよいと思われる。

3.3 環境型ロボット

姿の見えるロボットばかりでなく、情報技術と結びついたロボット技術のユビキタス化という方向の実現性も高い。環境のロボット化である。つまり、センサやアクチュエータが装備された空間、ロボットの体内で生活や生産作業を行うのである。このような空間の設計整備は建築家の仕事であるが、人間共存ロボットあるいは自動車のITSなどと共通する技術的基盤にたつところも多い。コストの問題はあるが、工場や住宅の場合はシステムが占めるスペースや重量に余裕がありエネルギー源についても柔軟性があるので、自律型ロボットや自律走行の未来自動車に比べて同じ機能ならば早期に実現できる。現在は情報技術が社会インフラの中心であるが、ロボットのメカトロ技術を住宅設計、都市設計あるいは工場設計に適用すれば、高齢者も含めて誰でもが安全かつ快適に活動が営めるロボット化環境の構築が可能である。また、自律型ロボットに比べて実現上の

法的な問題も少ない。

現在は情報家電が中心であるが、ホームネットワーク環境は、ビデオカメラをはじめとするあらゆるセンサ類の接続を可能にする。また、電話で外部から風呂や空調などの機器操作が可能であり、住宅内の状況を音声や映像でレポートしたり、病人や要介護者の挙動を見守り適切な措置をとる住環境が実現し始めている。すでに公共建築物では当たり前になっている自動ドアなどの一般住宅への導入を想定すると、すでに我々はロボット化した環境にいると考えてもよいのである。

4. スマートハウスと WABOT-HOUSE プロジェクト

環境のロボット化および知能化に関係すると思われる構想にスマートハウスがある。1980年代に米国で行われたスマートハウスの検討では、メディア機器ではなく、エネルギー線（電気、ガス）、情報線、電話線など住宅内ネットワークの統合と安全性の確保が中心課題であった。あらゆる家電機器がその運転にエネルギーを必要とする限り、現在のホームネットワークにおいてもこの問題は相変わらず重要である。無線、光では情報伝送はできてもエネルギーの安全な配送は殆ど不可能であるのに対して、住宅のネットワーク化、ロボット化が進展して、使用される機器やセンサ・アクチュエータが増えれば増えるほど、住宅内の電気配線が錯綜するのは避けられないからである。

時代的な背景もあり、スマートハウスは住環境の知能化とはいえないが、知能化に必要な環境構造化を目指したものと考えることができる。工場などでは、生産性向上を目的として構造化が行われるのに対して、住宅は間取りや家具が住人の好みで決められる上、電気製品や日用品も生産ラインでの合理性とは異なる原理で配置されるため、構造化が複雑になりがちである。スマートハウスはエネルギーネットワークを中心に構造化を試みたものと言える。これに対して最近のホームネットワークは情報的な意味での構造化ということができる。

スマートハウスは住宅内の設備の自律システム化を目指すものであるが、住宅の構造物そのものをスマート化するスマートストラクチャの検討も行われている。スマートハウスにおけるセンサは、環境および住人を対象にしているが、スマートストラクチャにおいては、構造物に埋め込まれたセンサが構造物の損傷や安全性を監視するために使われる。つまり、壁面などに多くの圧電センサなどを埋め込み、機械的歪から損傷を検出して、必要に応じてアクチュエータを駆動して強度を保持する仕組みを作ろうとするのがスマートストラクチャの目的である。いわば、住宅に神経と筋肉を張り巡らせて定常的な構造モニタリングと自己修復によって物理的な確保するのである（図2、図3）。

各務原の岐阜県テクノプラザに開設された早稲田大学 WABOT-HOUSE 研究所では、建築系、情報系、ロボット系の研究者が協力して、高度ロボット化社会での人間と

図2 ロボット化ハウス

図3 スマートハウスブレインの役割

機械の新しい関係を目指して研究を始めた。そこでは、様々なロボットが製作されているが、同時にロボット共存時代の建築物の自動施工やスマートハウスさらにはロボットハウスの研究と実証建築を始めた。このような住環境にはコントロールタワーとしての頭脳（スマートハウスブレイン）が必要となり、一種の環境知能化が早くから構想された。

当初は、高機能なホームサーバが家の知能化の中心と考えられたが、住民をアシストする家庭用ロボットが室内を動き回る状況を考えると、そのロボットの知能を補助する仕組みが必要であるということになった。まず、第一に重要なことは、ロボットが自己位置を正確に把握するための環境整備である。WABOT-HOUSEでは、菅野を中心に室内GPS（スードライト）とパッシブRFIDにより屋内外をシームレスに測位するシステムを構築し、ロボット化した家具を取り入れた近未来住環境の実験を行っている。また、筆者らは、屋外GPSの精度向上のために、RTK方式の基地局を設け、WABOT-HOUSE周辺に無線で補正情報を発信している。これにより、研究所周辺では数10[cm]の精度で測位が可能となり、ロボットの自律走行実験を行っている（図4）。また、別の建物では、建築学科の嘉納と協力して、パッシブRFIDとアクティブRFIDを併用して、室内でのロボットの誘導と建物内での出来事のアーカイビングを始めている（図5）。さらに、最近の建造物はCADデー

図4 GPS ロボット. ローカルに設置された基地局からの補正データを利用する RTK-GPS により自己位置を数 10 [cm] の精度で認識でき、レーザレンジファインダーで障害物を回避しながら、目的地に向かって走行する

図5 RFID ロボット. 床に貼った RFID タグ番号をロボット底部のアンテナで検知し位置をデータベースから知ることができる. 位置は正確に分かるが、ロボットの姿勢は分からないためここでは履歴から方向を推定してロボットを誘導している

タがあるので、位置が分かれば、そこからの情景を CG で得ることができる. これを用いてロボットの視覚系のロボスタ性を向上することを検討している. CAD データからは、壁の内側の様子も知ることができるため、自動保守などにも利用可能である.

5. ロボットと環境知能化

我々の生活する物理的な環境の知能化は人間とサイバースペースをスムーズに結びつけるユビキタス情報環境の構築に不可欠であるが、実世界で働くロボットの知的能力を補完する上でも有用である. 人間と同じように自然な物理情報を正確に理解して行動できるロボットを目指している自律ロボット研究者として見れば、環境知能化はシステム論的な妥協であり、敗北感を覚えることもあるが、工学が

社会を見つめて進むものであり、社会に奉仕するものと考えれば、自律型、操縦型を問わずロボット開発の前提として知能化環境を想定することは正しい選択であると思われる. 現在の車社会が成立しているのは、道路という環境構造化インフラの整備を前提としていることと同じことである. 技術的な興味と挑戦は別として、道路の整備が一般的な自動車の走行性能と折り合いをつけて行われるように、ロボットにとっての環境知能化もロボットの情報処理能力との兼ね合いで実用的なところを目指さなければならない. また、環境知能化は人間に直接役に立つと同時にロボットにも利用できるという意味で投資効果は高い.

交通に特化した環境知能化が ITS で先行して行われている. つまり、従来の道路網という物理環境の構造化に加えて、自動走行あるいは運転アシストのためのインフラ構築が次世代交通網で検討されている. 主として車専用の環境知能化である. ITS は道路を中心とした線的な環境知能化であり対象となる物のサイズも概ね決まっているが、人間と共に活動する次世代ロボットの場合は、生活空間の全体が知能化の対象となり、空間的な広がり対象物のバリエーションが圧倒的に多い. それだけ、技術課題は多くロボット技術者、IT 技術者ばかりでなく、建築、都市工学などの専門家との連携も必要となると思われる.

6. あとがき

筆者が参加しているロボットプロジェクトを中心に環境知能化とロボット技術について述べた. 環境知能化によって、環境中の物はタグ付けされ相互の関係や意味が明らかになる. 非整備環境が整備された環境になると言ってもよい. そして、環境をロボットが理解するのではなく、環境が自らをロボットに語り説明することになる. 考えてみれば、都市空間は文字やサインにあふれ、人間専用の記号で物理空間を知能化しているのだとも言える. 環境型 AI の源であるサブサンプリング・アーキテクチャを提唱した MIT の Rodney Brooks には、高度な知能発現までの道のりが遠過ぎるという批判があるが、環境知能化が人間やロボットの知能に及ぼす影響は、AI 研究の立場からも興味深いところである.

参考文献

- [1] <http://www.humanoid.waseda.ac.jp/>
- [2] <http://www.wabot-house.waseda.ac.jp/>

橋本周司 (Shuji Hashimoto)

1970 年早稲田大学理工学部応用物理学科卒業. 1993 年より早稲田大学理工学部応用物理学科教授. 2000 年 4 月より早稲田大学ヒューマノイド研究所所長. ロボティクス、確率過程の応用、画像処理、音楽情報処理などの研究を通して、メタアルゴリズム、感性情報処理、ヒューマンインタフェースに興味を持つ. 工学博士.

(日本ロボット学会正会員)