

理化学研究所工学基盤研究部 (ロボティクス関連技術)

浅間 一^{*1,2} 嘉悦 早人^{*2} 川端 邦明^{*1} 倉林 大輔^{*1} 鈴木 剛^{*1}

1. はじめに

理化学研究所工学基盤研究部(田代英夫部長)は、研究支援を目的としていた研究基盤技術部の技術系3室が平成11年4月に独立して発足した組織であり、現在では技術的研究支援のみならず、様々な独自の技術開発を行っている。私はその中で、ロボティクス関連技術の統括を行っているのので、これに絞って紹介する。

まず、理化学研究所工学基盤研究部のロボティクス関連技術は、私が1988年より理化学研究所生化学システム研究室(当時は化学工学研究室)主任研究員遠藤 勲先生の基でロボティクス研究を立ち上げたのが原点であり、現在では研究者は、工学基盤研究部技術開発促進室、基盤技術開発室、生化学システム研究室にまたがっている。

以前、生化学システム研究室ロボット研究グループとして我々が開発を行っているロボティクス関連技術についての紹介をさせていただいたことがあるので^{1,2)}、本稿ではそれと重複する内容(自律分散型ロボットシステム、群知能ロボットのための要素技術、群ロボットと環境との協調、人との協調など)に関しては、簡単な紹介にとどめ(詳細は上記文献をご参照いただきたい)、新たな研究内容を重点的に紹介したい。

2. 自律分散型ロボットシステム

原子力プラントのメンテナンスをはじめとする、人間が立ち入れない環境での多様な作業を予測できない状況で行うための、高度な知能を有するロ

ボットシステムをいかに実現するかが研究の動機かつ目標である。研究を開始した当時は、極限作業ロボットをはじめとして、知覚機能、判断・計画機能、行動機能の高度化と、それを集中型アーキテクチャで統合したロボット単体の知能化アプローチが主流であった。しかるに、このようなアプローチは、技術的限界により、融通のきかない信頼性の乏しいシステムになりがちであった。そこで我々は、多様な作業を柔軟に行えるシステムとして、自律分散型アーキテクチャのロボットシステムの開発に取り組んだ。

まず、合体によって構造を変化させることができる自己組織型ロボットシステム³⁾、協調制御マニピュレーション技術⁴⁾、無線通信を用いた複数移動ロボットの協調技術などの開発を行った。特に複数移動ロボットの協調技術に関しては、ロボット間での無線通信システム、通信を用いた様々な協調アルゴリズム、分散的作業分担決定、協調チームの組織化、同期協調制御、ハイブリッド型環境情報管理などの技術開発を行い、これらを統合して多数の自律移動ロボットによる「荷片づけ作業」を実現した⁵⁾。多数の荷が存在し、環境や作業状況が動的に変化したり、新たな作業要求が発生する中で、状況に応じて柔軟に作業を行えるようにしたことが最大の特徴である。

一方、協調のためのより器用な動作、狭い環境制約下での動作などを考慮し、マルチロボット環境下で有効に機能する新たな要素技術の開発も行った。具体的には、全方向移動機構⁶⁾、赤外線通信センサシステム⁷⁾などである。写真1は、自立化・自律化を行ったホロノミック全方向移動ロ

* 1 理化学研究所工学基盤研究部

* 2 理化学研究所生化学システム研究室

ボット ZEN の外観である。このロボットの最上段の円筒形の部分に赤外線通信センサシステムが内蔵されている。このロボットを複数台用い、相互衝突回避⁹⁾、大型対象物の協調搬送⁹⁾などを実現した。各ロボットにフォークリフト機構を搭載し、相互にハンドリングすることによって段差乗り越えも可能にした¹⁰⁾。現在、単独で段差を乗り越える全方向移動メカニズムの開発も行っている¹¹⁾。

我々が開発を行った全方向移動ロボットは UTTORI United チーム (宇都宮大学・東洋大学・理化学研究所合同チーム) としてロボカップ (ロボットによるサッカー競技) に出場し、RoboCup-98 世界大会で 4 位となった。RoboCup Japan Open 2000 では、ロボットの小型化、移動の高速化、キック機構の強化を図り (写真 2)、準優勝を果たした。

さらに、人間との協調技術として、仮想環境を用い、ネットワークを介して自律移動ロボットを遠隔操作するための操作技術、ユーザ・インタフェース、開発環境の開発にも取り組んでいる¹²⁾。

3. ロボットシステムの適応制御技術

ロボットシステムの適応性を向上させるには、想定外の事象に対してどのように行動すべきかを

自律的に学習する機能が必要となる。そこで、このようなロボットシステムを用いて学習に基づく適応機能に関する研究にも取り組んでいる。

まず、移動ロボットの環境に対する適応性の研究として、フィードバック誤差学習を用いて移動ロボットの自己モデルを獲得し、床とのすべりなどがあっても車輪の制御機構を自律的に学習する手法の開発¹³⁾や、移動に伴って取得する動的視覚情報 (見え様) からその状況で取るべき移動ロボットの行動を自己組織的に学習によって獲得するシステムの開発¹⁴⁾を行っている。また、FPGA を用い、視覚情報に応じた行動学習をハードウェアで行う手法も検討している。

一方、移動ロボットの自己の状態に対する適応性の研究として、ロボット内部に異常が生じてても、センサ情報から自己の状態を自律的に診断し、対処動作を生成する技術開発も行っている¹⁵⁾。

さらに、マルチロボットの学習に関する研究も行っている。先に述べた赤外線通信センサシステムを用い、強化学習法を適用することにより 4 台の自律型移動ロボットによる柔軟な回避動作を実現した⁹⁾。最近では、複数のロボットが協調的に動作するために、通信を用いることを学習する手法についても議論を行っている¹⁶⁾。

4. 創発ロボティクスと知的データキャリア

適応性を高めるためには、ロボット本体の知能

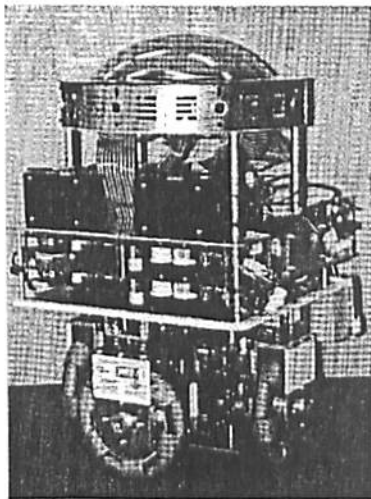


写真1 自律型全方向移動ロボット ZEN の外観

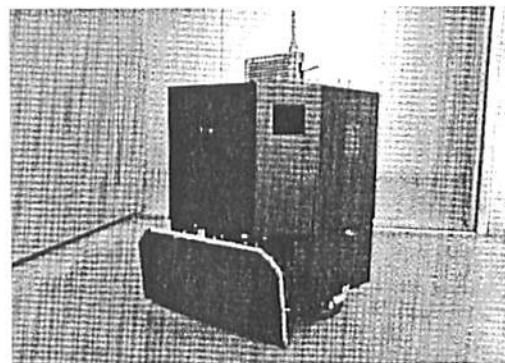


写真2 RoboCup Japan Open に出場した小型サッカーロボット

化・高度化のみならず，ロボットが動作する環境も含めたシステムの検討を行う必要がある。そこで我々は，創発システムの考え方¹⁷⁾に基づき，環境（場所）も知能化し，ロボットが環境と能動的にインタラクションを行うことを可能にする技術として，知的データキャリア（IDC: Intelligent Data Carrier）の開発を行ってきた¹⁸⁾。IDCは，内部にCPU，メモリ，局所的無線通信ユニット，電池などを有するポータブルな情報格納／処理装置である。写真3に，IDC ver.4の外観を示す。ロボットはReader/Writerを搭載し，局所的非接触通信によってIDCと情報交換を行う。プログラムの動的ダウンロード機能を有し，外部から処理手順を随時変更することも可能である。IDCを環境の様々な場所に設置することによって，ローカルな「場所」で情報を分散的に管理したり，「場所」を知能化・エージェント化することが可能になる。IDCは，データキャリア内部での知的情報処理能力，最大約3[m]程度の局所通信領域，データの読み出し／書き込み機能などの特徴を有し，RF-IDタグなどのデータキャリアと携帯型計算機の利点を合わせ持っている。これまでに，荷搬送におけるタスク分散管理，未知環境協調探索，自己位置同定のためのランドマーク，役割分担による協調作業，分散地図管理などのロボットシステム技術にIDCを応用し，ロボットシステムの新規な協調的行動の実現を達成した¹⁹⁻²¹⁾。

IDCは，ロボットシステム技術としてだけでなく，非常に広範な応用の可能性を有している。

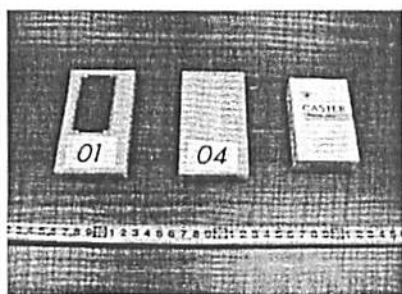


写真3 知的データキャリア (IDC ver.4)

小型化・コストダウンを図ったIDCを人間や動物などの生体に設置し，個体固有の情報を管理させることにより，ユーザ個人に適応して動作する可変環境システム²²⁾，生体個体情報の確実な対応付けが可能な動物管理システム，患者・薬品・血液の照合が可能な医療過誤防止システムなどの実現が可能である。また，IDCに外部とインタフェース機構（I/O部）を付加することにより，センサ機能やアクチュエーション（操作・動作）機能を持たせることも議論している。具体的には，人に呼びかけ可能なレスキュー支援システムの試作²³⁾，人の体温等の生体情報を計測管理するメディカルデバイス，生化学チップなどとの融合によるバイオデバイスなどの検討などを行っている。

5. おわりに

理化学研究所工学基盤研究部で行っているロボティクス関連技術について紹介した。なお，理化学研究所では，研究成果の実用化を促進しており，我々もその一環で理研ベンチャー「ライテックス」社を設立し，全方向移動サッカーロボットとその要素機構，知的データキャリア，その応用システムなどの製品化も行っている。今後，人間と密に共生する適応性の高い自律ロボティクスシステムの開発をさらに進めていきたいと考えている。最後に，本稿で紹介した研究の一部は，大学，他研究所，企業と共同で行ったものであり，共同研究にご協力いただいた諸氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 浅間 一：“理化学研究所生化学システム研究室ロボット研究グループ”，自動化推進，27-5，pp.21 (1998)
- 2) 浅間 一：“理化学研究所生化学システム研究室ロボット研究グループ”，自動化推進，27-6，pp.20 (1998)
- 3) K. Hosokawa, et al.：“Self-Organizing Collective Robots with Morphogenesis in a Vertical Plane”，JSME Int. J.(Series III)，42-1，pp.195 (1999)

- 4) 大隅 久, 他: "3本のワイヤを有する7自由度クレーンとロボットの協調制御システム", 日本機械学会論文集 (C編), 63-609, pp.1649 (1997)
- 5) K. Ozaki, et al.: "Distributed and Cooperative Object Pushing by Multiple Mobile Robots Based on Communication", Advanced Robotics, 11-5, pp.501 (1997)
- 6) 浅間 一, 他: "3自由度独立駆動型全方向移動ロボットの開発", 日本ロボット学会誌, 14-2, pp.249 (1996)
- 7) 鈴木昭二, 他: "マルチ移動ロボット環境における衝突回避のための局所的な通信を利用したセンサシステムの開発", 日本機械学会論文集 (C編), 62-602, pp.3752 (1996)
- 8) 新井義和, 他: "群ロボット環境における局所的通信に基づく衝突回避", 日本ロボット学会誌, (2000) (印刷中)
- 9) 平田泰久, 他: "複数移動ロボットによる未知形状物体の協調搬送", 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1025-1026 (2000)
- 10) 浅間 一, 他: "2台の自律移動ロボットの相互ハンドリングによる協調搬送", 日本ロボット学会誌, 15-7, pp.1043 (1997)
- 11) 山下 淳, 他: "自律型段差適応ホロミック全方向移動ロボットの開発", 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1153 (2000)
- 12) 鈴木 剛, 他: "仮想環境を用いた群ロボットの遠隔操作におけるコミュニケーション", 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.709 (1998)
- 13) 川端邦明, 他: "脳の計算理論に基づく'移動機能'の構築 (第2報: 目標センサパターン実現制御器の構築)", ロボティクス・メカトロニクス講演会'00講演論文集, pp.2P2-31-036 (2000)
- 14) 石川達也, 他: "移動に伴う動的視覚情報を用いた行動学習", 第12回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.457 (1999)
- 15) 翁信之介, 他: "センサ情報に基づいた移動ロボットの自己診断システム 第3報: 診断結果に基づく対処動作の検討", 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.115 (2000)
- 16) 星野美保, 他: "自律ロボットによる協調のための通信学習", ロボティクス・メカトロニクス講演会'00講演論文集, pp.2P1-33-040 (2000)
- 17) 藤井輝夫, 他: "知的データキャリアによる群ロボットの機能創発", 日本ロボット学会誌, 17-6, pp.848 (1999)
- 18) 伊藤宏司 (編著): "知の創発", NTT出版 (2000)
- 19) 倉林大輔, 浅間 一: "知的データキャリアを用いた自律ロボット群と環境の情報交換", 日本ロボット学会誌, 17-5, pp.633 (1999)
- 20) H. Asama, et al.: "Distributed Task Processing by a multiple Autonomous Robot System Using an Intelligent Data Carrier System", Intelligent Automation and Soft Computing, An Int. J., 6-3, pp.215 (2000)
- 21) 倉林大輔, 他: "知的データキャリア (IDC) を用いた分散地図管理による自律ロボットの作業実行", 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.185 (1998)
- 22) 浅間 一, 他: "データキャリアを用いたユーザ適応型可変環境システムの開発 (第1報, システムの構想)", 1999年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.500 (1999)
- 23) 浅間 一, 倉林大輔: "知的データキャリアを用いたレスキュー支援環境構築の構想", ロボティクス・メカトロニクス講演会'00講演論文集, pp.1A1-06-011 (2000)