

# いまどき ラボ ABO

## 第6回

# 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

理化学研究所 浅間 一

### 1. はじめに

本来、理化学研究所生化学システム研究室の紹介であれば、当研究室の主任研究員である遠藤 勲先生にご登場いただくべきところであるが、本稿では、ロボット関連の研究についてのみということで、ロボット研究グループの統括を行なっている私をご紹介することとさせていただきます。

1988年以来、我々のグループでは、原子力プラントで保全作業を行なうロボットシステムに関する研究開発をしてきた。原子力用ロボットに関する研究では、通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」が有名だが<sup>1)</sup>、我々は耐故障性に優れ、狭いプラント環境下でも、点検、監視、保守などの多様な作業を、環境の変化に応じて柔軟にかつ効率的に行なえるようなロボットシステムとして、自律分散型ロボットシステム(群知能ロボットシステムとも呼ぶ)の開発を行なっている<sup>2)</sup>。このロボットシステムは、分散化・知能化された多数の小型自律ロボットを、状況に応じて協調させることが可能なロボットシステムである。

本稿では、これまでに開発した自律分散型ロ

ボットシステムと、新たに開発した群知能ロボットのための要素技術、実現した協調動作などを紹介する。また、群知能ロボットと環境との協調、人との協調などに関して開発したシステムなどについても触れる。

### 2. 自律ロボット間通信システムの開発と問題解決機能の実現

実際に複数の自律ロボットを協調させて、何らかの作業を行なわせるとなると、既存のセンサを用いて人間と同等な状況認識機能を実現することは技術的に困難なので、通信技術を用いることが必要不可欠となる。そこで我々は、自律ロボット間の無線通信システムの開発を行ない、これを用いて様々な問題解決機能を構築した。

具体的には、典型的例題として「荷片付け作業」を取り上げ、3台の自律型3輪操舵型ロボットによる荷片付け作業を実現した(図1)<sup>3)</sup>。これは、部屋の中に複数個の荷物が散在している状況で、それを複数の移動ロボットによって壁ぎわまで押し、部屋を片付けるという作業である。ただし、荷物の中には軽い荷物と重い荷物が存在する。軽

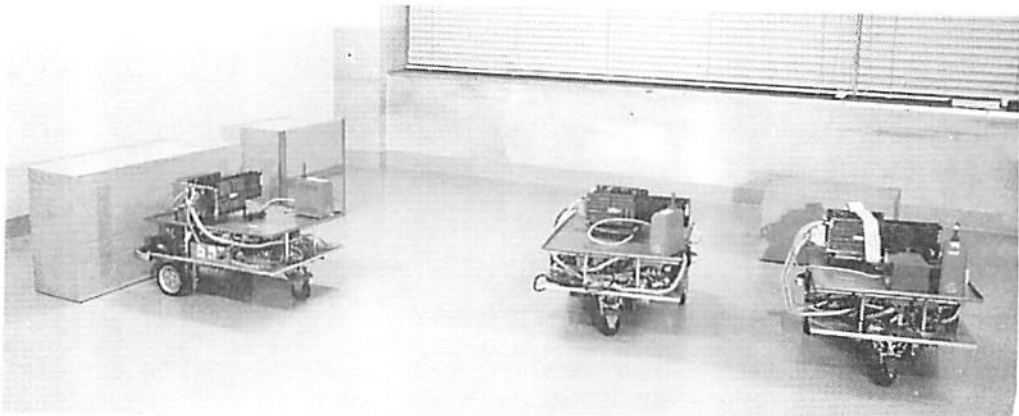


図1  
3台のロボットによる  
荷片づけ作業の様子

い荷物は単独のロボットで片付けられるが、重い荷物は協調が必要となる。

この作業を、実際に多数台の自律移動ロボットで行なわせるには、作業分担を決定する問題、重い荷物を運ぶ際に協調ロボットとチームを編成する組織化の問題、同期して荷を押す協調制御の問題、ロボットどうしの衝突を回避する問題など、様々な面での技術的問題を一つ一つ解決する必要がある。この研究では、各問題ごとに対して手法を開発し、それらの手法の統合を行なった。ここでの動作アルゴリズムの最大の特徴は、個々のロボットが個別行動(並列的動作)を行なっているときには、お互いに邪魔しない協調機構(競合解消機構)が働き、また複数のロボットが協力行動を行なっているときには、助け合う協調機構(飢餓対処機構)が働くようになっている点である。

この研究では、自律移動ロボット間の通信システムの開発、通信を用いた様々な協調動作の実現に主眼を置いた。しかし、ロボットをさらに小型化し、ロボットの台数をさらに増加させようとする(数台から数十台、さらには群へ)、新たな要素技術(協調のためのメカ、協調のためのセンサ・通信システム、協調のための情報処理・知能化)を開発する必要がある。そこで我々は次に述べるような、群ロボットのためのハードウェアの開発を行ないながら、それを用いた新たな協調動作の実現を図った。

### 3. 自律型全方向移動ロボットZEN

群ロボット環境下で動作するロボットには、狭いスペースでも自在に動ける移動性が要求される。また、複数の移動ロボットで大きな対象物を搬送するには、搬送移動方向と垂直な方向(横方向)のずれを補正できるようなホロノミック性が必要となる。

そこで我々は、ホロノミックな全方向移動機構<sup>9)</sup>を開発した。ここで開発した全方向機構を用いると、姿勢を変えずにいかなる方向へも移動ができるばかりでなく、定位置での旋回も可能である。本機構の最大の特長は、特殊な形の車輪4輪

を用い、これを3つのアクチュエータで駆動する伝達機構である。これによって、冗長でない制御機構、安定した直進走行を実現できるだけでなく、走行動作プログラミングが容易になる。

また、移動ロボットを任意に動き回れるようにするためには、自立化・自律化することが重要である。まず自立化については、駆動系や電装系に供給する電源を、移動ロボット上に搭載した<sup>9)</sup>。自律化については、計算機システムを含む電装系と、マルチロボット環境下で周囲の状況を認識するための様々なセンサ、CCDカメラ、通信システムなどを搭載し、状況に応じて動作できるような制御系・情報処理系を構築した。群ロボット環境下でナビゲーションを行なったり、相互に通信したり、多様な協調動作を実行するためのソフトウェアが、リアルタイム・マルチタスクOSのもとで実現されている。

この全方向移動ロボットを複数台用いて実現した、協調動作の例をいくつか紹介しよう。

全方向移動ロボットに力センサを搭載し、1台のリーダーロボットを目標軌道に沿って速度制御し、他のロボットをそれに追従するように力制御することによって、大型対象物の協調搬送を実現した<sup>9)</sup>。図2は、2台のロボットが、大型対象物の協調搬送を行なっている様子である。

また、ここで開発したロボットにフォークリフトを搭載し、2台のロボットを相互にハンドリングさせることによって、単独では乗り越えられない段差を乗り越える動作を実現した<sup>7)</sup>。図3は実

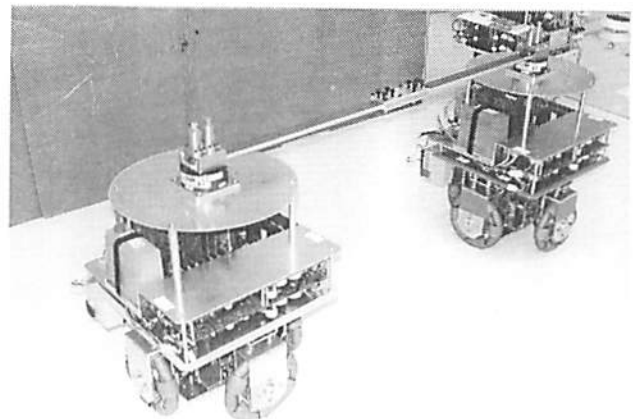


図2 2台の自律ロボットによる大型対象物協調搬送動作

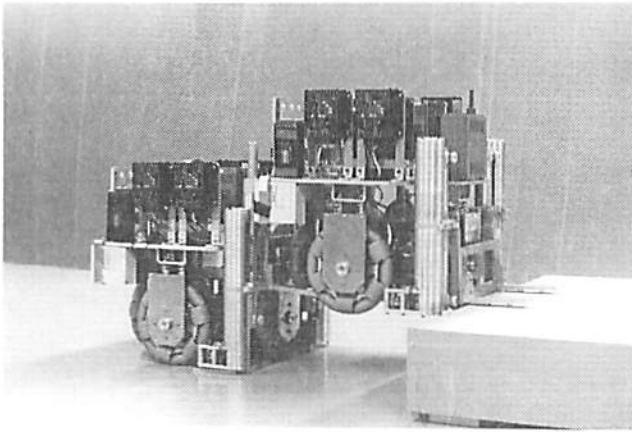


図3 2台のロボットの相互ハンドリングによる段差乗り越え動作

際の2台のロボットが、相互ハンドリングによって段差を乗り越えている様子である。

さらに我々は、宇都宮大学横田研究室、東洋大学松元研究室、理化学研究所生化学システム研究室の合同チームとして(チーム名は頭文字をとってUTTORI United)、ロボットによるサッカー競技<sup>8)</sup> Robo Cup-98(1998年7月上旬にパリで開催)の実機中型リーグに参加した。我々の特徴はまさに、全方向移動機構、通信による協調機構である。結果は、16チーム中、4位に終わったが、安定した高度な動作を実演でき、満足している。図4は、UTTORI United 対エール大学戦の様子である(手前がUTTORI United のロボット。この試合は、1対0でUTTORI United が勝利した)。

#### 4. 赤外線通信センサシステムLOCISS

マルチロボット環境下では、各ロボットにいかにも周囲の状況を認識させるかが、大きな問題となる。アクティブセンサを、マルチロボット環境下で用いると、複数のアクティブな信号の干渉問題が生じる。また、パッシブな画像処理などでは、周囲に存在するものの抽出や、その動きの計測自身が非常に困難であるし、実時間性、信頼性にも問題がある。一方、無線LANのような大局的な通信デバイスを用いると、ロボットの台数が増えたり通信頻度が増すにつれ、トラフィックが増加し、通信の渋滞が発生することが予測される。

そこで我々は、協調のための新しいセンサ・通信要素技術として、赤外線通信センサシステム



図4 RoboCup-98での競技の様子

(LOCISS: LOcally Communicable Infrared Sensory System)を開発した<sup>9)</sup>。このシステムは、赤外線出力を小さくし、到達範囲を限定・局所化することによって、アクティブな赤外線の干渉を極力防ぐことができる。

また、赤外線アクティブ信号に各ロボットのIDや位置・速度情報を含ませることによって、障害物に近づいた際に、それは静止障害物であるか、ロボットであるかの区別ができるばかりでなく、相手がどのロボットか、またそれがどこにいて、どのように動いているかなどを実時間で知ることができる。すなわち、局所的通信によって、大局的通信デバイスに負担をかけることなく、周囲の状況のセンシングが可能となる。さらに、冗長なビット列として信号を符号化することによって、干渉が生じた場合にそれを検出することも可能である。

このシステムを用い、複数ロボットの相互衝突回避動作を実現した。一般的に、群知能ロボットを開発する際、ロボットが状況に応じてどのように行動すべきかを、すべて記述することはたいへ

ん困難である。

そこで我々は、群知能化情報処理技術として、強化学習法を用い、ロボットが自ら学習によって適切な行動を獲得させた。ここでは例題として、4台のロボットが相互に衝突を回避する状況を取り上げた。学習の結果、各ロボットは、本センサシステムを用いながら周囲の状況を認識し、状況に応じた相互衝突回避を行なえるようになった<sup>10)</sup>。図5はその相互衝突回避の様子である。写真中のロボットの円筒形の頭部が、開発したLOCISSである。(次号に続く)

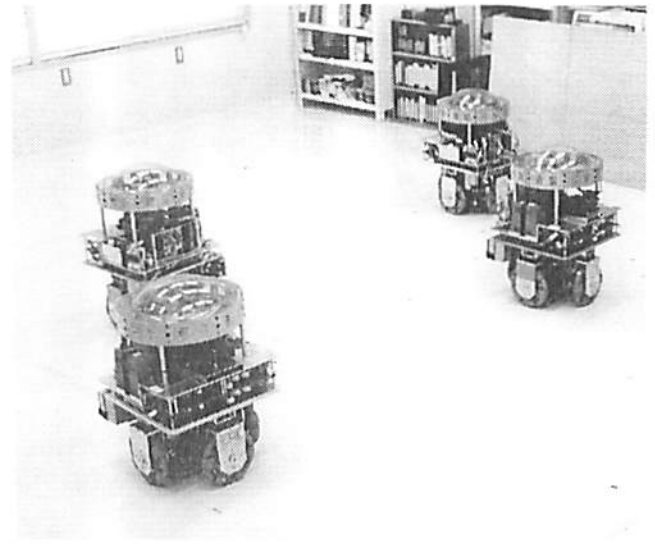


図5 赤外線通信センサシステムを用いた相互衝突回避動作

#### 参考文献

- 1) 小中元秀：“大型プロジェクトにより極限作業ロボット開発について”，ロボット，no. 80，pp. 10-16 (1991).
- 2) 浅間 一：“マルチエージェントから構成された自律分散型ロボットシステムとその協調的活動”，精密工学会誌，vol. 57，no. 12，pp. 2117-2122 (1991).
- 3) 尾崎功一，他：“自律分散型ロボットシステムACTRESS（第13報）-通信を用いた複数移動ロボットによる荷片付け作業の実現-”，第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp. 643-644 (1995).
- 4) 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，14，1，pp. 249-254 (1996).
- 5) 佐藤雅俊，他：“3自由度独立駆動型方向移動ロボットの自立化”，1995年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，pp. 485-486 (1995).
- 6) 浅間 一，他：“力センサを用いた全方向移動ロボットの直接操縦型制御”，1997年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，p. 445 (1997).
- 7) 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，vol. 15，no. 7，pp. 1043-1049 (1997).
- 8) 北野宏明，浅田 稔：“ワールドカップロボットの挑戦”，28，322，pp. 74-82 (1998).
- 9) 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)，vol. 62，no. 602，pp. 3752-3758 (1996).
- 10) 新井義和，他：“強化学習に基づく複数自律移動ロボットの衝突回避のためのルール生成”，ロボティクス・メカトロニクス講演会'97講演論文集，pp. 413-414 (1997).

## Waiting Room

## 工場見学のオクノテ

工場が好きで、著者との原稿打合わせの後などは、お願いしてよく工場見学をした。著者のかたは圧倒的に技術屋さんなので、ほんとに隅から隅までといった感じで案内し、説明して下さり、たいへん参考になった。

生産技術や技術部のかたは、自分たちが改良した機械装置や、作業標準などを詳しく見てもらいたいから、見学コース以外にも出入りできて、楽しい。工場設備をガラス越しの上の階から見るのではなく、工場内の通路を歩いて見学したいものである。

機械工場であれば、刃具から削

り出される切屑の色と音、切削油の匂い、主軸が停止する瞬間の音などの中でこそ、生産現場だ！という感じがする。

あるとき、運悪く総務課の女性に案内していただく破目になったことがある。一般的な説明とその会社が誇る機械については詳しく説明して下さるのだが、ポイントがちょっとズレる。そこで、工場見学のオクノテを出した。

ごく一般的な汎用旋盤の前に立ち止まり、しばらく動かずにいて質問するのだ。

「この切削油は？」「周速度は？」  
「バイトの変換時期は？」……

たいていの場合、生産技術のかたを呼んでくれる。こうなるともうこっちのもので、見学コースから外れた奥の方にある機械などについて質問すると、連れていって説明してくれることになる。当然、生産技術の苦労話なども聞くことができる。

ただし、多くの経験側から言うと、庶務、総務経由の見学には、歓迎の看板とお土産はつくが、直接に技術からお願いすると、土産はおろか、会社案内のパンフレットもつかないことがある。(天)