

CURRENT TO  
FUTURE

# インターネットを用いた 群ロボットの遠隔操作



理化学研究所・生化学システム研究室 藤井 輝夫・鈴木 剛・浅間 一・遠藤 勲

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN) Teruo FUJII, Tsuyoshi SUZUKI, Hajime ASAMA, Isao ENDO

## 1. はじめに

複数の自律ロボットから構成される自律分散型ロボットシステム<sup>1)</sup>は、多様な作業要求に対応可能であると同時に耐故障性に優れており、原子力プラントに代表されるような極限環境において人間の代りに作業を行うシステムとして期待されて

いる。従来、こうしたシステムに関する研究では、主としてシステムを構成するロボット達が自律的に組織化し、協調行動を実現しながら必要な作業を行うための技術が議論の対象となってきた<sup>2)</sup>。しかしながら、非定型的な作業も含むすべての作業をロボット群に自律的に行わせることは技術的

にも、またロボットの能力的にも困難であり、むしろ作業に対して随時人間が介入し、ロボット群とうまく協調して作業を行うことを目指す方が現実的かつ、柔軟なシステムの実現につながる。

理化学研究所生化学システム研究室では、以上のような観点から、インターネットを介して人間が群ロボットを遠隔操作するシステムの開発を進めている。本稿では、ネットワーク技術とロボット技術の融合に関する現状について簡単に述べるとともに、当研究室で開発した群ロボット遠隔操作システムを紹介し、その特徴や技術的な将来展望について解説する。

## 2. ネットワーク技術とロボット技術の融合

近年のマルチメディアおよびインターネットなどのブームにより、社会資本としての光ファイバー通信網の必要性が本格的に議論されるようになり、物理的な距離を越えて伝送されるデジタル情報を、専門知識を必要とせず一般家庭で容易に利用できる時代が到来しつつある。こうした状況の中、これまで産業用ロボットなど主として機械の自動化技術を中心に発展してきたロボット技術についても、高度の情報通信網を利用した遠隔操縦型ロボットなど、新たな技術開発に基づくアプリケーションの展開が望まれており、例えば通産省を中心としたアールキューブ(R<sup>3</sup>: Realtime Remote Robotics)構想<sup>3)</sup>など、ネットワーク技術とロボット技術との融合に関する議論が活発化している。

### 2-1 WWWによる情報の提示

WWW(World Wide Web)システムは1989年にCERN(European Laboratory for Particle Physics)の研究者によって提案され、世界各国に散らばる研究者間の効率的な情報共有を目的として開発されたInternet上に展開する広域情報システムである<sup>4,5)</sup>。その後、1993年に米国のNCSA(National Center for Supercomputing Applications)によってグラフィカルなユーザインタフェースを持つブラウザであるMosaicが開発されると一気に普及した。それまでInternetの利用者は、テキスト、音声、グラフィクス、画像などの各種データをそれがどこのホストにあるかをまず確認してから、ftp(file transfer protocol)などを用いて転送し、入手してきたが、WWWではいちいちそのようなデータを転送するのではなく、Mosaicに代表されるようなブラウザ機能を有するクライアントプログラムによって、情報発信元となるサーバプログラム(ホームページ)にアクセスすることにより、有機的に結合可能な関連情報を次々にたどりながら、Internet上のデータを閲覧することが可能となった。近年では、例えばNetscapeやInternet Explorerなどのようにユーザフレンドリなブラウザが開発され、研究者だけでなく一般の人々の間にも普及が進んでいる。

### 2-2 ハードウェアの接続

WWW上の文章の記述にはHTML(Hyper Text Markup Language)と呼ばれる言語が用いられる。HTMLは文章中に埋め込んだタグによって、表示

する情報におけるテキスト部分の基本的な配置や内容および画像や音声データや関連する情報へのリンクなどを指定する。図1に筆者らの研究室のWWW Home Page<sup>6)</sup>の表示例、図2に表示のためのHTMLによる記述の例を示す。こうした文字や



〔図1〕WWW Home Pageの表示例

図面情報を中心にWWWの利用がさかんになっていくなかで、WWWサーバにビデオカメラやロボットなどのハードウェアを接続し、不特定多数の利用者がこれを遠隔操縦することによって、インタラクティブに情報を獲得する試みが行われるようになった<sup>7)</sup>。現在では例えば天体望遠鏡を操作

```
<HTML>
<TITLE>Biochemical Systems Lab., RIKEN</TITLE>
<BODY BACKGROUND="bg2.gif">
<CENTER>
<br>
</CENTER>
<H2><A HREF="http://www.riken.go.jp/">
The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)
</A><BR></H2>
Hirosewa 2-1, Wako, Saitama 351-01, Japan <BR>
Tel : +81-48-462-1111 ext.3142, 3143, 3144 <BR>
Fax : +81-48-462-4658 <BR>
<HR>
<A HREF="/news/cel_news.html"><H2><i>BSL News (Update May 28, 1996)
</i></H2></A>
<A HREF="/news/dars96.html"><H2><i>DARS '96 (Oct. 29-31, '96)
</i></H2></A>
<HR>
<H3>
Summary of Activities->
<A HREF="/cel_j.html"><i>(in Japanese) </i></A>
<A HREF="/cel_e.html"> (in English) </i></H3></A>
<HR>
```

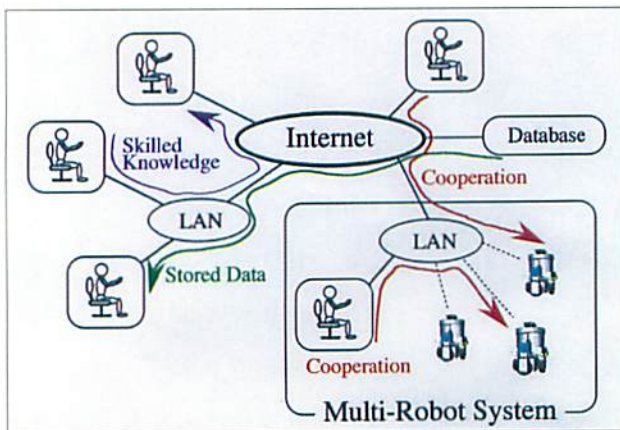
〔図2〕HTMLによる記述の例

するものや<sup>8)</sup>、ロボットアームを操作するもの<sup>9)</sup>、さらには移動ロボットを操作して研究室内を見ることが出来るもの<sup>10)</sup>などがある。

### 2-3 ロボットのネットワークへの接続

以上述べてきたように、WWWシステムを中心として普及してきたインターネットは、ロボットなどのハードウェアを接続すれば、これを遠隔地から誰でも操作することが可能である。従ってWWWシステムにおける情報提示のみを目的としたロボットの接続だけでなく、実際に作業を行うことを目的としてロボットをインターネットに接続し、遠隔から操作することも想定できる。近年では、例えば宇宙空間のロボットを地上から操作したり<sup>11)</sup>、太平洋をまたいでアメリカ大陸のロボットを日本から遠隔操作したりといった遠隔操作の

実験が盛んに行われるようになった<sup>12)</sup>。いずれのケースも通信の信頼性、安定性や容量の必要性から、衛星回線あるいは大陸間の光ファイバー網を用いたPoint-to-pointの専用回線を使用しており、必然的にシステムは大がかり、かつ固定的なものとなる。これに対してインターネットにロボットを接続する場合、通信の信頼性やトラフィックの安定性に問題があり、微妙な制御が必要となるようなアプリケーションに適用するのは困難であるが、ネットワークに接続されていることを考慮すると以下のようなメリットが考えられる(図3参照)。



〔図3〕インターネットへのロボットの接続

- 1) オペレータはネットワークに接続されたどのサイトからでも、WWWのブラウザが使用可能であれば、全く同じインタフェースを介してロボットを操作できる。
- 2) オペレータはネットワークに接続された、熟練操作者の知識や特殊な事例のデータベースな

どの情報を利用できる。

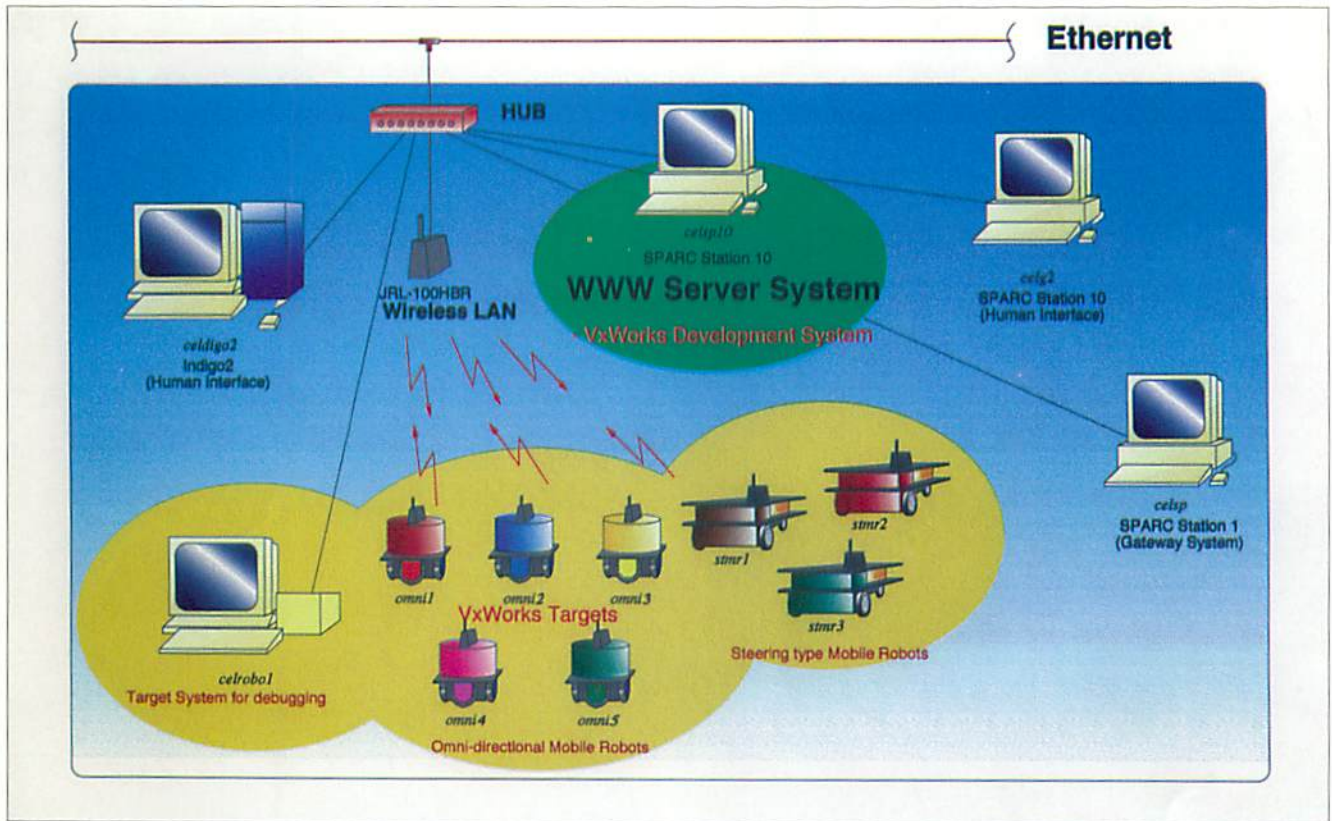
- 3) 複数のロボットをネットワークに接続しておけば、別々の場所にいる複数のオペレータが、それぞれロボットを操作することによって共同作業を行うことができる。
- 4) ロボットや操作システム自身もネットワークに接続されたデータベースや他の機器類などを利用して効率的に作業を進めることができる。

### 3. 群ロボット操作システム

理化学研究所生化学システム研究室では、これまでに述べてきたような考察に基づき、以前より研究を行ってきた自律分散型の群ロボット<sup>1,2)</sup>をインターネットに接続し、WWW Home Pageを介して遠隔操作するシステムの開発を進めている<sup>13,14)</sup>。以下にシステムの全体構成について述べ、実際にロボットを動作させた実験例を紹介する。

#### 3-1 操作システムの全体構成

システムの全体構成を図4に示す。また、自律移動ロボット群の一部を図5に示す。ロボット群の制御プログラムは、それぞれリアルタイムOSであるVxWorks上に書かれており、各ロボットは無線LANによってネットワークに接続されている。WWWのサーバプログラムは、このVxWorksの開発環境のあるワークステーション上に構築されており、ネットワーク上のWWWのクライアントプログラム(Netscapeなどのブラウザ)からの入力に応じてロボットを制御するためのコマンドをロボット側に送信する。ロボットに搭載されたカメラに



〔図4〕システムの全体構成



〔図5〕自律移動ロボット群

よって得られる画像などの情報は、ロボットから一旦WWWサーバに転送された後、ネットワーク

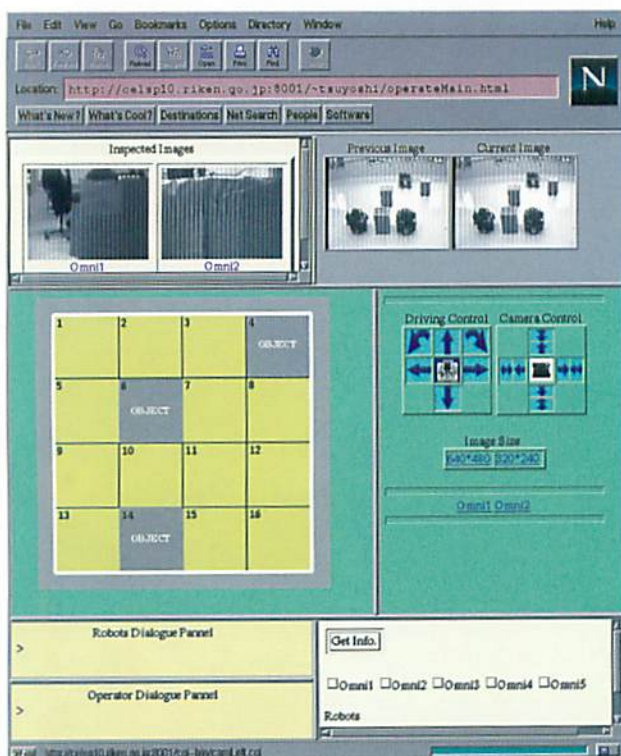
上のクライアントへ送信される。

### 3-2 操作用インタフェースと動作例

システムの機能としては、遠隔地からロボットを操作し、ロボットに搭載したカメラによって得られる画像を用いることによって、オペレータが目的物の監視を行うことを想定している。また、ロボットを操作するためのコマンドの与え方として、オペレータがどこまで細かい指定を行うかに応じて、1)タスクレベル、2)アクションレベル、3)ダイレクトレベルの三つの操作レベルを設定してある。タスクレベルでは例えば目的物をマップ上でマウスによって指定することにより、自動

的にロボット群がその目的物の監視体制をとって監視作業を行う。アクションレベルでは、マップ上での位置をクリックすることにより、ロボットをその位置まで移動させることができる。ダイレクトレベルでは、ロボットあるいは搭載されたカメラの角度を直接操作することができる。

ロボット操作のインターフェースとなるWWWブラウザ(ここではNetscapeを用いている)による



〔図6〕ロボット操作インターフェース

表示例を図6に示す。操作のインターフェースは全体が三つの段に区切られており、最上段が画像表示、中段がロボットの操作パネル、下段が細か

い情報の表示を行うためのエリアである。最上段の左半分は、ロボットに搭載されたカメラから見た画像が表示され、右半分には作業エリアを俯瞰するカメラからの画像が表示される。中段左側の升目上のマップは作業エリアの平面図であり、OBJECTとしてグレイで表示された升目が作業対象物の存在するセグメントである。中段右側はロボットの移動(Driving Control)とカメラの角度(Camera Control)をそれぞれ直接的に制御するための制御パネルである。矢印をマウスでクリックすることによって選択したロボットの操作を行う。

本表示例では、オペレータがマップ内のNo.14のセグメント内にあるOBJECTを指定することによって、近傍の2台のロボットがその対象物に近づき、それぞれのアングルからカメラによって取得した画像が表示されている。遠隔地からの操作に関しては、本システムを用いて、理化学研究所(埼玉県和光市)の実験室内にあるロボットを運輸省船舶技術研究所(東京都三鷹市)からダイレクトレベルで操作を行うことに成功した<sup>13)</sup>。

#### 4. おわりに

本稿では、最近注目を集めているインターネットおよびWWWシステムを用いて群ロボットを遠隔操作するシステムを紹介した。冒頭にも述べたように、自律ロボットだけでは実現できないような複雑な作業を行おうとする場合、オペレータが遠隔操作によって介入することが求められる。近年めざましい発展をとげているネットワーク技術


をロボット技術と融合することにより、そうしたシステムの大きな可能性が開けるものと考ええる。インターネットを応用した群ロボット操作の試みは、そうした可能性を裏付けると同時に、技術的課題とその解決方法を掘り起こすのに有効な実験の場を提供するものである。

### 参考文献

- 1) 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 (1991) pp.2117-2122
- 2) Asama, H., et al. eds.：“Distributed Autonomous Robotic Systems”、Springer-Verlag (1994)
- 3) 通産省アールキューブ研究会編：“アールキューブ”、日刊工業新聞社(1995)
- 4) 白橋明弘：“インターネットとWWWシステムの基礎”、インターフェース、Vol.21、No. 9 (1995) pp.64-74
- 5) 丸山充：“Internetにおけるマルチメディア技術”、bit、Vol.26、No.11(1994) pp.4-14
- 6) <http://celsp10.riken.go.jp/>
- 7) [http://www.yahoo.com/Computers\\_and\\_Internet/Internet/Entertainment/Interesting\\_Devices\\_Connected\\_to\\_the\\_Net/](http://www.yahoo.com/Computers_and_Internet/Internet/Entertainment/Interesting_Devices_Connected_to_the_Net/)
- 8) <http://www.telescope.org/rti/>
- 9) <http://telegarden.aec.at/>
- 10) <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/Web/People/Xavier/>
- 11) 若林靖史：“宇宙ロボットの遠隔操作技術”、日本ロボット学会誌、Vol.14、No.7(1996) pp.931-934
- 12) Wakita, Y., et al.：“Application of Intelligent Monitoring for Super Long Distance Teleoperation”、Proc. IROS'96, Osaka, JAPAN (1996) pp.1031-1037
- 13) Suzuki, T., et al.：“Cooperation between a Human Operator and Multiple Robots for Maintenance Works from a Distant Place”、Distributed Autonomous Robots Systems 2, eds. Asama, H., et al., Springer-Verlag (1996) pp. 50-59
- 14) Suzuki, T., et al.：“Teleoperation of Multiple Robots through the Internet”、Proceedings of 5th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, Tsukuba, JAPAN (1996) pp.84-89

## 強誘電体／高誘電体 デバイス・部品技術とアプリケーション

■定価／66,000円 ■資料コードNo.269609-509 ■415頁(B5判)

ミマツデータシステム書籍室  ■お申し込みは、直接当社まで、FAX又は現金書留にて、お申し込みください。  
〒170 東京都豊島区巣鴨3丁目1番1号 ミマツビル 電話 東京(03)3940-1881(代表) FAX 東京(03)3940-1880