

# アールキューブ

柳田康幸  
東京大学



## 1. はじめに

アールキューブとは、実時間遠隔制御ロボット技術のことであり、Real-time Remote Roboticsの頭文字を取ってR<sup>3</sup>と表している[1]。これは、テレイグジスタンス（遠隔臨場感制御）技術[2]を中核としたロボット制御技術とネットワーク技術を高度に融合させることにより、操作者が世界中に存在するロボットを、ネットワークを通してあたかも自分がロボットに成り代わったかのような感覚を有して制御し行動することを目指す構想である。本稿では、アールキューブの背景および将来像を紹介するとともに、現在進められている技術開発について解説する。

## 2. VRとロボティクスの関係

そもそも、今回アールキューブの紹介を行うにあたり、ロボティクス方面に馴染みのない方々に対しては、なぜここでロボティクスの話が出てくるのかを簡単に説明しておく必要があるだろう。アールキューブ構想の技術的な核の一つであるテレイグジスタンス技術は、人間が物理的に存在する空間以外の環境に存在する自分の分身を通じて、その環境に臨場感を持って存在し、行動するという概念である。「テレイグジスタ」する先の空間は、実際に存在する遠隔地であったり（実空間へのテレイグジスタンス）、計算機が創製したバーチャルな環境（バーチャル空間へのテレイグジスタンス）であったりする。前者の場合、自分の分身として遠隔物理空間に存在するロボットを使用し、後者の場合はバーチャル空間に配置された仮想人間を利用することになる。

ここで重要なのは、操作者にとって両者の相違はテレイグジスタ先の空間が実際に存在する世界そのものか、バーチャルな空間であるかというだけであり、操作者にとっては臨場感を持って遠隔/バーチャル環境に存在することを体験し行動するという意味で本質的に等価なことであ

る。つまり、テレイグジスタンス技術の側から見て「バーチャル空間へのテレイグジスタンス」というのはまさに世間一般でいうところのバーチャルリアリティ技術そのものなのである。

アールキューブは、このテレイグジスタンス技術をネットワーク技術と結びつけることにより、世界中のいたるところからいろいろな場所に存在するロボットを自在に制御することにより、時間的・空間的な制約から人間を解放しようという壮大な構想である。この場合、ネットワークを伝達するのは人間の行動や遠隔地環境の情報であり、その意味では分散仮想環境ネットワークとはほぼ同質のものであるとすることができる。両者の相違は、対象とする環境が計算機内に存在するバーチャルな環境か、それともロボットをネットワークと実世界とのインターフェースとして用いることにより実世界とつながっているかという点だけである。

## 3. アールキューブが描く将来像

アールキューブが実現された場合の世界の様子は、参考文献[1]に詳しく記述されている。そこには、脳機能障害を発生した老人が「アールキューブ登山」でヒマラヤの高山へ上りながらリハビリを行う様子、リアルに生地の風合いを触覚で感じながら外国でショッピングを楽しむ様子、危険な災害現場へ空輸されたロボットを通して救助活動を行う様子などが描かれており、こうした構想の例はともすればSF的であると思われがちである。しかし、本田技術研究所のP2、P3に代表される二足歩行ロボットの開発[3]、前述のテレイグジスタンス技術の蓄積、B-ISDNや次世代インターネットへ向けた高速ネットワークインフラの整備など、必要な技術の種は着実に育ってきており、あながち絵空事とも言えない環境が整ってきている。

アールキューブが実現されれば、例えば、現在の家庭

のパソコンがVR入出力付のVRパソコンになり、それを用いてB-ISDN等のネットワークを介して世界中のサイトにテレグジスタンスすることが可能となる(図1)。家庭内のパソコンにはパーソナルロボットがあたかもコンピュータの端末機器のように接続され、コンピュータの指令で制御されたり、テレグジスタンスモードでは使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の意のままに分身のように行動する。

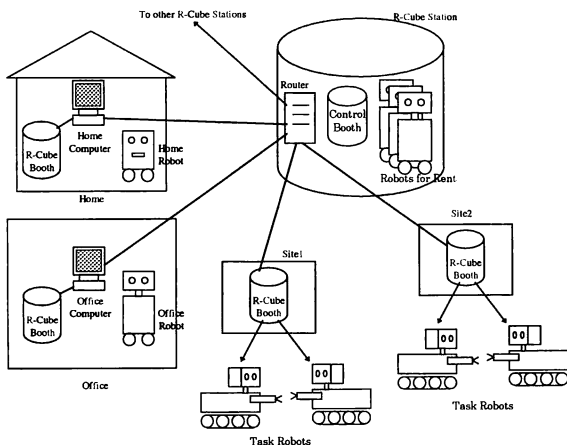


図1: アールキューブネットワーク

家庭だけではなく、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどあらゆるところに、テレグジスタンスロボットが配置されるようになれば、人は家庭からでもオフィスからでも、あるいは公衆電話のような公衆アールキューブサイトから世界中のアールキューブロボットを自分の分身として利用できる。

#### 4. ヒューマノイドの目指す方向

上記のような世界で活躍するロボットとしては、多くの人が二足歩行を行う人間型ロボットを連想するであろう。実際、日本における人間型ロボットへの思い入れは、他の国のそれとは一線を画すようである。もしかしたら、それは多くのロボティクス研究者・技術者が少年期に「鉄腕アトム」の世界に触れ夢と憧れを抱いたことに起因するのかもしれない。鉄腕アトムの世界では人間と同じ形をしたロボットが活躍し、人間社会の中に溶け込んでいる。

さて、ここでもう一度、ロボットが人間の形をしている意義について考えてみよう。ヒューマノイドの存在意義として言われることのひとつは、ロボットが人間社会に入り込んだ場合、その環境は人間用に設計されているのだから、そこで行動するには人間型ロボットが適している、というものである。しかしその一方で、機能を実現するだけなら

必ずしも完全な人間型である必要はないという議論もある。例えば、ロボットの移動に関しては、平地の移動は車輪で十分であるし、人間用環境の代表格である階段昇降ですらクローラなどの機構により安定して実現可能であり、なにも二足歩行という不安定でコストのかかる選択をしなくてもよいという訳である。こうした議論も含めてヒューマノイドに関する問題提起も行われている[4]。また同時に、形状に関するこうした議論は、鉄腕アトムのもう一つの側面である知能機械の実現に関しても、そのまま適用することができるだろう。すなわち、人間と同様の知的活動を行う機械を実現する必要は(もしできたとしても)本当にあるのだろうか。こうした批判もふまえ、ロボット研究者は「鉄腕アトムの呪縛」から自分自身を解放し今一度自由な視点でロボットの将来を考えるべき局面にさしかかっていると思われる。

では一体、ヒューマノイドの将来は全くないのだろうか。一つの可能性として、人間とのインターフェースとしての存在を考えてみたい。つまり、ヒューマノイドは人間と同じ形をしたものが物理的空間を占有してそこに存在することに意義があり、それはそのロボットが存在する空間で人間とのかかわりあいを持つことによりはじめて意味を持つものである。人間の形をしたロボットが実物として存在し、遠隔空間において周囲の環境と相互作用を及ぼしながら操作者の分身としてふるまう。筆者らの研究グループでは、この概念に基づく新しい型の双方向テレグジスタンスを提案している[5][6]。

#### 5. アールキューブ関連の研究開発

##### 5.1 ヒューマノイド用遠隔制御コックピット

このような中、通産省主導で各種プロジェクトが進められている。工業技術院の先導研究「フレンドリー・ネットワーク・ロボティクス」の後を受けて、平成10年度に開始された産業技術応用研究開発制度のプロジェクト「ヒューマノイド・ロボティクス・プロジェクト」(HRP)において、人間型ロボットの遠隔制御を行うプラットフォーム設計が行われている。このプロジェクトでは、人間型ロボットの操縦を行うためのコックピットと、それに対応するロボット側のインターフェースを開発するものである。開発される「スーパーコックピット」(図2)は大型多面スクリーンと作業用HMD、マスタアームおよび体感シートを備えている。操作者はコックピットにおいてマルチスクリーンによる広視野画像を観察しつつロボットに移動指令を行い、その際ロボットの歩行による揺れなどの体感が操作者にフィードバックされる。目的地に到着すると、操

作者はHMDとカフイーバック機構付きのマスターアームを装着して、トレイグジスタンスによる作業を行うというものである。また同時に、VR技術を駆使した補助情報の提示が行われる。この中には、移動中の環境地図提示による現在位置の確認、作業シミュレーションなどが含まれる予定である。

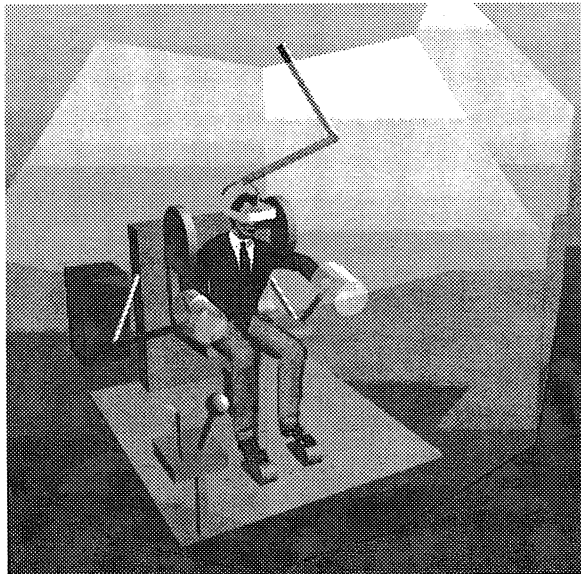


図2: HRP コックピット構想図

### 5.2 アールキューブ操作言語

上記のコックピットを用いた人間型ロボット制御はアールキューブ構想に沿った開発の中ではハイエンド側を構成するものであるが、筆者らの研究グループでは誰もがインターネットを通して簡単に遠隔ロボット操作が行えるようなエントリーレベルのシステムを開発している。これまで、遠隔ロボットの動作レベルでの制御にはシステムによりまちまちなアクセス手段が使われており、ネットワーク上に存在する様々なロボットをユーザが統一的手段で制御することは困難であった。知能ロボットを高レベルのコマンドで制御する場合は、ユーザとロボットの間でやりとりされる情報が少なくて済むので、World Wide WebにおけるHTML、HTTPおよびCGIなどの仕組みを利用すればインターネット上の様々なロボットを制御することが可能である[7]であるが、トレイグジスタンス型の動作レベルでの制御が要求される場合には通信のオーバーヘッドなどの面で適切とは言いがたい。

このような背景をふまえ、筆者らのグループではRCML (R-Cubed Manipulation Language: アールキューブ操作言語)[8, 9]というシステムを開発している。図3にその操作インタフェースの例を示す。RCMLシステムでは、ネットワー

クを通じた情報の受け渡しの単位を「オブジェクト」と呼んでおり、それは外界世界との情報入出力を行う「デバイス」と、それらデバイスが扱うローカルな情報・データ形式とネットワーク上を流れる標準的なデータ形式との間の変換を行う「トランスレータ」と呼ばれるモジュールで構成される。こうした仕組みにより、ネットワークを流れる情報に互換性を持たせつつ様々なデバイスのサポートを可能にすることを狙っている。

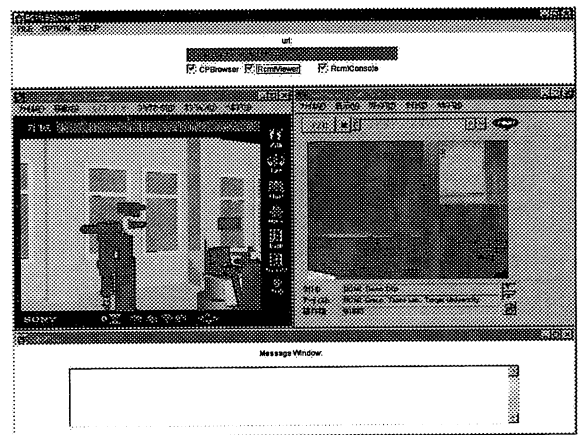


図3: RCMLのブラウザの画面

RCMLは特定のロボットの操作コマンド体系ではなく、むしろそのロボットの操作を行うにはどのような情報を送る必要があるか、またそのロボットから得られる情報はどのようなものかを記述する言語である。例えば、ロボットには何自由度のアームがあり、そのジオメトリ（リンクの長さや関節構成）はどのようなになっている、そのステータス情報としてどのような値が利用できる、またカメラがどのような自由度構成の台に載っていて画像情報をどのような手段で利用できるか、といった情報である。これにより、ネットワークユーザは制御するロボットごとに専用の制御用言語やソフトウェアを用意する必要はなく、ロボットサイトからダウンロードされる記述ファイルの中身を見て、必要ならばそのサイトに用意されている制御やユーザインタフェースのための補助プログラムもダウンロードして通信を行うという仕組みになっている。

現在その仕様[10]の作成が進められており、基本的には「バーチャル空間へのトレイグジスタンス」との親和性を高めネットワークユーザにスムーズな導入を図ることを狙って、三次元仮想空間の標準的記述形式であるVRML97 (国際標準規格ISO/IEC 14772-1)の拡張形式として設計が進められている。これは、ロボットのジオメトリ構成の記述を標準的な記述形式に任せ、制御とユーザへの感覚情報提示のために必要な記述のみを拡張するというアプロー

チである。

RCML システムでは、遠隔ロボットサーバとユーザのクライアントソフトウェアが通信する際に RCTP (R-Cubed Transfer Protocol) というプロトコルを使用する。RCTP はアプリケーション層のプロトコルであり、ロボットサーバとブラウザソフトウェアとの間でやりとりされる情報の手順と形式を規定するものである。ロボットとの間でやりとりされる様々な種類の情報のうち、RCTP では主に制御情報の形式を規定しており、動画や音声は既存のプロトコルに任せている。これは、ロボットを遠隔制御するにあたって、標準化が行われていない部分のプロトコルを補強するものである。制御情報は、一回でやりとりされる情報量が比較的少なくその代わり頻度の高い通信が行われるため、RCTP はなるべくオーバーヘッドが少なくなるように設計されている。

## 6. おわりに

アールキューブはロボティクスとネットワーク技術を統合した壮大な構想であるが、その実現までには数々の解決すべき問題が待ちかまえている。例えば、高い臨場感を得るための VR インタフェース技術に加えて、人間と共存可能となるためのロボットの安全技術は極めて重要である。通信に関しても、インターネットもしくはそれに匹敵する全世界規模の通信ネットワークにおいて実時間通信を実現することは大切な要素である。ロボットや VR のフィールドから、次世代ネットワークを流れる情報コンテンツとしての「実時間動作」の重要性をアピールしていく必要があるだろう。

## 参考文献

- [1] 通産省アールキューブ研究会：「アールキューブ」, 日刊工業新聞社(1996)  
 [2] 舘、阿部：テレイグジスタンスの研究 第1報 - 視覚

ディスプレイの設計 - 第21回計測自動制御学会学術講演会予稿集、pp.167-168 (1982)

- [3] 広瀬、竹中、五味、小澤：人間型ロボット、日本ロボット学会誌、Vol.15, No.7, pp.983-985 (1997)  
 [4] 広瀬：ヒューマノイドから機械知能発現型ロボットへ、日本ロボット学会誌、Vol.16, No.5, pp.607-611 (1998)  
 [5] 稲見、川上、関口、柳田、前田、舘：テレイグジスタンスの研究 (第29報) - オブジェクト指向型ディスプレイとしての遠隔ロボット - 第9回「人工現実感」研究会予稿集、pp.35-38 (1999)  
 [6] S. Tachi: Toward the Next Generation Telexistence, Proceedings of ISMCR '99, pp.173-178 (1999)  
 [7] 原：インターネットを利用した遠隔操作システム、日本ロボット学会誌、Vol.17, No.4, pp.477-480 (1999)  
 [8] 柳田、川上、舘：RCML: アールキューブ操作言語の開発 (第1報)、日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集、pp.348-349 (1997)  
 [9] 川上、柳田、鄧、奴久妻、舘：「RCML: アールキューブ操作言語の開発 (第3報)」、日本バーチャルリアリティ学会第3回大会論文集、pp.191-194 (1998)  
 [10] URL <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/projects/RCML/>

## 【略歴】

柳田康幸 (やなぎだやすゆき)

昭和63年東京大学工学部計数工学科卒業。平成2年同大学院修士課程修了、同年同大先端科学技術研究センター助手。平成9年同大学院工学系研究科計数工学専攻助手。音響を利用した計測、人工現実感システム、テレイグジスタンスなどの研究に従事。日本音響学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会、ヒューマンインタフェース学会会員。