

# RCML: アールキューブ操作言語の開発 (第1報)

## - 概念と基礎的検討 -

Development of R-Cube Manipulation Language (1st report)  
- Concept and Basic Study -

柳田 康幸, 川上 直樹, 舘 暁  
Yasuyuki YANAGIDA, Naoki KAWAKAMI and Susumu TACHI

東京大学 大学院工学系研究科  
(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, {yanagida, kawakami, tachi}@star.t.u-tokyo.ac.jp)

**Abstract:** R-Cube is the concept which enables human beings to exist anywhere in the world by controlling remote robots in real time through the network. We propose a language RCML (R-Cube Manipulation Language) to describe remote robots and environments, and a protocol RCTP (R-Cube Transfer Protocol) to communicate with the remote robot site, based on the requirements for real-time remote robotics.

**Key words:** R-Cube, tele-existence, RCML, RCTP, VRML

### 1 はじめに

アールキューブはネットワーク環境を利用したパーソナルなテレグジスタンス社会をめざした研究開発構想とそのための基礎研究と位置づけられている。Real-time Remote Robotics (実時間遠隔制御ロボット技術)の頭文字をとって R<sup>3</sup> と表記し、これをアールキューブと呼んでいる[1]。現在のネットワークの利用形態では、ネットワーク端末において標準的な計算機インタフェース以外が利用されることは希であり、ネットワークおよび端末としての計算機の世界で閉じている。アールキューブは遠隔ロボットおよび VR 技術を利用した操作インタフェースにより、ネットワークを流れる情報を作業の伴うものにする試みともいえる。

アールキューブ構想では、自宅や会社、公共施設などに設けられた操作端末からネットワークを介して遠隔ロボットを臨場感を持ちつつ制御することにより、仮想的に遠隔地に存在し行動することを可能にする。

本研究では、アールキューブネットワークの実現へ向けたユーザサイドからのアプローチとして、遠隔ロボット制御のための制御情報、感覚情報などの標準的な記述・通信手法の開発を行う。

### 2 背景と目的

3次元仮想空間へのアクセスを行うにあたって、WWW上での3次元グラフィックスのISO標準となっている記述言語がバーチャルリアリティモデリング言語 VRML である[2]。VRML 1.0では三次元シーンを記述するのみであったが、2.0では動きの記述が可能となり、さらに、3.0で共有3次元環境の記述が可能となろうとしている[3]。しか

し、現在の VRML は実世界は対象外としている。

一方遠隔ロボットをインターネットやISDN回線を用いて制御する研究が近年活発に行われている[4-11]。しかし、そのための標準の言語やプロトコルの開発には至っておらず、ユーザインタフェースや通信内容はまちまちであり、解決すべき課題も多い。

例えば、遠隔ロボットを WWW ブラウザを用いて制御する研究[4][5]が行われているが、記述と通信に用いられているのはそれぞれ通常の HTML (Hyper Text Markup Language)言語および HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) プロトコルである。この場合、広く普及している WWW ブラウザをそのまま利用できるという利点があるが、反面、ユーザインタフェースの問題 (HTML がサポートする GUI に限定される)、通信情報内容の適合性の問題 (制御情報ではなく、GUI 操作情報である)、記述と制御実行の整合性の問題 (HTML ファイルと CGI スクリプトは独立)、プロトコルの性質の問題 (HTTP は一連のデータを送出した後コネクションを切断するので、連続的制御には不適) などが存在する。

これらの問題うち、ユーザインタフェースの問題に関する解決策としては VRML と Java を取り入れた研究[9][10]が注目されるが、直接実環境へアクセスすることを指向するものではない。本研究では、実世界のロボットを実時間で制御することを基本コンセプトとして、必要に応じて仮想環境を介在させるアプローチをとる。すなわち、三次元仮想空間と実空間へアクセスする手段を統合し、現在の情報ネットワークの利用形態からシームレスに実空間へのアクセスを可能にすることを目的として、アールキューブ操作言語 RCML (R-Cube Manipulation Language)およびア

ールキューブ通信プロトコル RCTP (R-Cube Transfer Protocol)の設計を行う。

### 3 実現イメージ

RCML による実現イメージを図 1 示す。VRML ブラウジングの場合と同様に、WWW サーバ上に RCML を用いて記述したロボット記述ファイルを用意し、このファイルを WWW ブラウザがダウンロードして RCML ブラウザを起動する。RCML ブラウザは記述ファイルの内容を読み込み、遠隔ロボットサーバの位置、ロボットの自由度配置などの情報、諸元、制御パラメータ、入手可能遠隔情報の種類などを解析する。RCML ブラウザは解析結果を元にこれらの情報を提示する。ユーザが接続ボタンを押すと、ブラウザは RCTP (R-Cube Transfer Protocol)プロトコルを用いて遠隔ロボットサーバに接続要求を行う。接続が確立されると、ブラウザは制御のためのユーザインタフェースや画像などの遠隔情報表示ウィンドウを生成し、リアルタイムに遠隔ロボットと通信を行いユーザの操作を遠隔ロボットに伝達するとともにロボットから入手する情報を提示する。

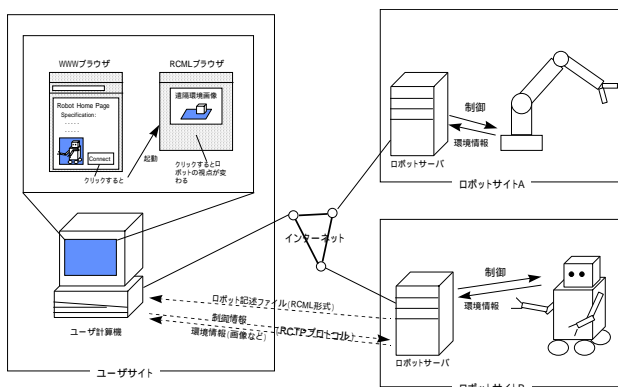


図1 RCML による実現イメージ

### 4 技術的課題

RCML の開発における技術的課題について考察する。

- RCML の記述形式：RCML にはロボット制御のための情報と空間記述情報を統合化して盛り込むことが重要である。そのため、三次元仮想空間記述の標準である VRML との整合性を保つことが必要になる。ロボット制御用の情報としては、自由度配置、制御可能パラメータ、遠隔サイトからの入手可能情報などが考えられる。
- プロトコル設計レベル：現在のネットワーク利用形態からのスムーズな導入を図るため、標準的な TCP/IP プロトコルスタックを使用する。データの前後関係を保証するためにはコネクション指向(TCP)が望ましいが、画像や音声などの大量のストリームデータに関してはエラー発生時に再送を行う TCP の弊害が指摘されており、必要に応じて UDP や Multicast を導入する。
- 通信手順：排他制御、状態同期などの機能の設計を行う。

- 通信内容と形式：プログラム制御情報、ロボット制御情報、センサデータなどの包括的・効率的な伝送手法の開発を行う。
- リアルタイム性の確保：通信経路にインターネットを使用する限り、絶対的なリアルタイム性は保証されない。現在、音声やビデオのストリームデータに関してはある程度連続性を保証するソフトウェアが開発されているが、この場合は一方通行の送信であり遅延は許される。遠隔ロボットを真の意味で実時間制御するには、双方向の実時間性と遅延の最小化が求められる。本研究では、まず現在のネットワークである程度の操作感覚を得るために、ローカルサイトでの円滑な操作・情報提示を行う手段を開発するとともに、リアルタイム指向ネットワークの要求点を明確化し、フィードバックしていく。

### 5 むすび

ールキューブ操作言語 RCML の基本的概念と課題について述べた。なお、本研究は通産省の国際標準創成型研究開発「ロボット制御システム」の一環として行われた。本研究の遂行にあたり、貴重なアドバイスをいただいたソニー（株）アーキテクチャ研究所 松田晃一氏ならびに樋井井太氏に感謝の意を表する。

### 参考文献

- [1] 通産省ールキューブ研究会：「ールキューブ」, 日刊工業新聞社 (1996)
- [2] M. Pesce: "VRML Browsing and Building Cyber-space", Macmillan Publishing (1995)
- [3] K. Matsuda, et al.: "Virtual Society: Multi-use Interactive Shared Space on WWW", Proc. of the 6th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT '96), pp. 83-95, Makuhari, Japan (1996)
- [4] URL <http://www.usc.edu/dept/raiders/story/index.html>
- [5] URL <http://www.cs.cmu.edu/~xavier/>
- [6] 光石, 他：インターネットを用いたテレ・マニファクチュアリングの試み, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.633-634 (1994)
- [7] 呉, 安田, 横井：力覚フィードバック装置による VRML オブジェクト操作システム, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.1, pp.11-12 (1996)
- [8] 松丸, 他：通信回線 ISDN を介したロボットの遠隔操作(基礎実験), 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.805-806 (1996)
- [9] 松井, 他：ネットワークロボティクスの可能性 - その 2 : VRML を用いた分散型 3 次元モデル操作システム -, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.811-812 (1996)
- [10] 音田, 他：ネットワークロボティクスの可能性 - その 3 : 6 自由度アームを用いた仮想遠隔環境操作システム -, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.813-814 (1996)
- [11] 中井, 國井, 橋本：Computer Networked Robotics における遠隔操作と時間遅れ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '97 講演論文集, Vol.B, pp.977-978 (1997)