

解説

バーチャルリアリティとロボティクス

Virtual Reality and Robotics

館 暁 *東京大学工学部

Susumu Tachi* *Faculty of Engineering, The University of Tokyo

1 はじめに

バーチャルリアリティのバーチャルが仮想とか虚構あるいは擬似と訳されているようであるが、これらは明らかに誤りである。バーチャル (virtual) とは、The American Heritage Dictionary によれば、「existing in essence or effect though not in actual fact or form」と定義されている。つまり、「みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であること」である [1][2]。またバーチャルの反意語は、ノミナル (nominal) すなわち「名目上の」という言葉であって、バーチャルは決してリアル (real) と対をなす言葉ではない。虚は imaginary に対応し虚数 (imaginary number) などの訳に適している。ちなみに、虚像は virtual image の誤訳である。触れないというのは、像の性質であって、バーチャルに起因するわけではない。virtual image は real image のようにそこに光が集まったり、そこから光がでるわけではないが、それと同等の効果を有するというわけである。擬似は pseudo であって外見は似ていても本質は異なる偽者である。仮想はあくまでも supposed で仮に想定したという意味を表していて、これもバーチャルとはまったく異なる概念である。一例を挙げるならば、仮想敵国は supposed enemy であって、バーチャルエニミー (virtual enemy) というのは、友好国のように振る舞っているが本当は敵であるという意味である。バーチャルマネー (virtual money) も電子貨幣やカードのように貨幣の形はしていないが、貨幣と同じ役割を果たすものをいうのであって、決して偽金ではない。バーチャルカンパニー (virtual company) が仮に想定した仮想会社であったならば、そのようなところとは、取り引きができない。従来の会社の体裁はなしていないが、会社と同じ機能を有するので、そこを利用できるのである。明治以来このかた、この言葉を虚や仮想と過って訳し続け

てきたのは実はバーチャルという概念が我が国にはまったく存在しなかったためであろう。

しかし、考えれば考えるほどこのバーチャルという言葉は大変奥の深い重要な概念である。バーチャルは virtue の形容詞で、virtue は、その物をその物として在らしめる本来の力という意味からきている。つまり、それぞれのものには、本質的な部分があってそれを備えているものがバーチャルなものである。そもそも人間が捉らえている世界は人間の感覚器を介して脳に投影した現実世界の写像であるという見方に立つならば、人間の認識する世界は（これも）人間の感覚器によるバーチャルな世界であると極論することさえできよう。それは、人間の視覚が電磁波のうち光と呼ばれる 0.40 から 0.75 [μm] という極めて限られた領域を検出するに過ぎず、聴覚も空気の振動のうちのわずか 20 [Hz] から 20 [kHz] というこれもまた限られた部分を感知しているに過ぎない。触覚、味覚、嗅覚においてはさらに分解能の低い感覚器によりこの世界を捉えているわけである。人間は科学技術を進展させ、このバーチャルな世界を拡大してきた。ハッブルスペーステレスコープの捉えた宇宙の映像や [3]、STM (Scanning Tunnel Microscope) を介して観測した原子の世界はこの宇宙の本質を人間に伝えるのである。人が何をバーチャルと思うかも重要な要素である。つまり人が何をその物の本質と思うかによって、バーチャルの示すものも変わるのであると考えられる。

このように、バーチャルリアリティは本来、人間の能力

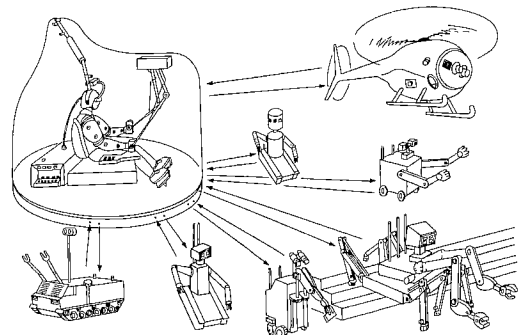


図1 テレプレゼンスの構成

原稿受付 1997年3月7日

キーワード: Tele-existence, R-cube, Tele-medicine, VRML, RCML

*〒113 東京都文京区本郷 7-3-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

拡張のための道具であり、現実世界の本質を時空の制約を超えて人間に伝えるものであって、その意味でロボティクス、特に図 1 に示すテレグジスタンス [4] の技術と表裏一体をなしている。本解説では新たな可能性として、マルチメディアネットワークを利用し現実世界の本質を反映するバーチャルリアリティをめざす研究開発のうち、最近進展の目覚ましい医療応用と、通産省を中心として構想されているアールキューブを中心に現状を概観し将来を展望する。

2 医療とバーチャルリアリティ

バーチャルリアリティの本格的な応用が医療の分野で展開されつつある。例えば IEEE の BME Magazine は医療におけるバーチャルリアリティの現状を克明に報告している [5]。また Medicine Meets Virtual Reality と題した国際会議が米国で開催され、バーチャルリアリティの人体模型も完成されつつある。軍関係もこの分野では熱心で、特に戦場での遠隔手術には大きな期待を寄せているようである。手術となると力感覚のフィードバックが必須となる。したがって触覚提示への関心がとみに高まっている [6]。Mark Raibert や Ken Salisbury といったロボティクスでかつて名をはせた研究者たちがバーチャルリアリティのベンチャービジネスを起こしたり、あるいはコンサルタントとして参入してきていることは特筆に値する。

我が国においても、精力的な研究が進められている。1980年代後半の胆石症の治療のための腹腔鏡下胆嚢摘出手術に端を発する各種内視鏡下の外科手術がその好例であり、最近では胸腔鏡下肺葉摘出手術も行われるに至った。実環境の患者に CT などから得た脳の三次元像を重ねあわせることにより、患者の内部を透視したかのような効果を得ながら定位を行ういわゆるオーグメントドリアリティを適用した定位脳手術治療もすでに東京女子医科大学などで実際に行われている。小児医療への応用や、リハビリテーションツールとしての利用も真剣に模索されている。

3 アールキューブ

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^3 と表記して、これをアールキューブと呼んでいる [7]。情報のみが行き交う現在のネットワークを作業の伴うものとする試みともいえる。工業技術院の先導研究「フレンドリネットワークロボティクス」で代表される研究開発を通して、新しいネットワーク社会の構想を世に問いながらそれを実現するための基礎的な研究が指向されることになる。図 2 と図 3 に構想のイメージを示す。このよう



図 2 アールキューブによる登山のイメージ

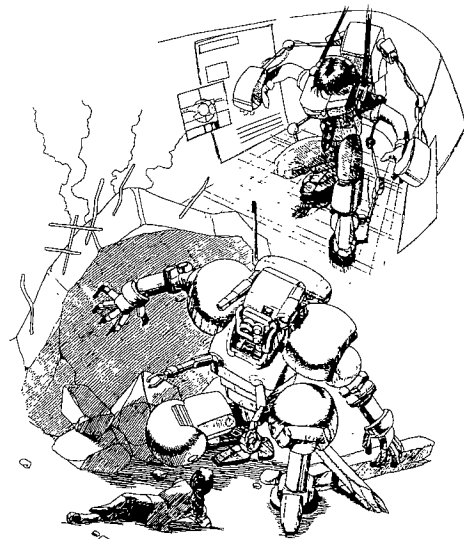


図 3 アールキューブによる災害救助のイメージ

な図はつい最近までは、いかにも SF 的であると思われがちであったが、本田技研工業により二足歩行ロボットが発表された現在 [8]、ある種の現実味をにわかにならせており、SF 的と一笑に伏すわけにはいかない状況にきている。事実、テレグジスタンスをはじめとして必要なテクノロジーの原形は、まなこを凝らしてよく見れば、今でもすぐそこにあるのである。

この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 4)。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。

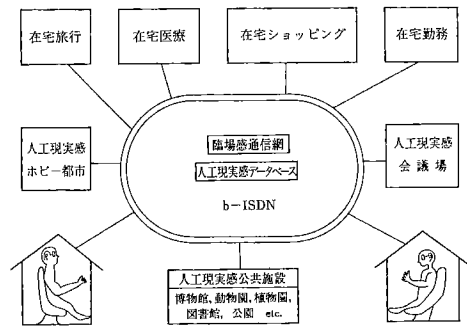


図4 バーチャルリアリティによるネットワーク構成

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ており、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。これを用いれば、例えば、病院に長く入院していて外にでられない子供たちやお年寄りが、ほかの子供たちと一緒に遊んだり、自分の家族の住む家に戻ったりすることが、等価的に可能となるのである。スペースシャトルのアールキューブロボットにテレグジスタンスすれば、いわゆる「宇宙からみた地球の平和」を宇宙飛行士でなくとも体感できるというわけである。

しかし、このような理想的なシステムを実現するためには解決しなければならない多くの技術課題があることは明白である。まず人間がいかにして臨場感を得て通常の生活を送るのと同じ感覚でアールキューブロボットを使いこなせるかという問題であり、人間の意図を非拘束かつ適格に反映できるよう、生理学や心理学的な知見に裏打ちされたVRインタフェースを模索し実現しなければならない[9]。通信の問題も重要である。リアルタイム性を保証した大容量・超高速の通信に加え、いかにして人間の異種の間同期を保証するのか、多数の使用者の協調作業をいかにして可能とするかなどVR固有の問題が含まれる。

アールキューブロボットのハードウェアとソフトウェアの構成の諸問題もある。家庭内に適したロボットと各種作業に適したロボットという形で多くの種類のロボットが作られるであろう。それはちょうど自動車とのアナロジーでとらえられよう。というのは高速道路を走るビークルが自動車であるように情報ハイウェイを行き交うビークルはアールキューブであるからである。家庭用のパーソナルロボットは自転車を運転するように無免許で利用でき、災害救助用の大型ロボットは特殊免許、通常の利用は普通免許といった運用形態が可能となる。

そしてここで最も重要となる技術が安全知能である。いままでややもすればロボットや機械の知能は人間の高度の

大局的な判断や思考を置き換えようとして失敗してきた。しかし、アールキューブにおいてはロボットの知能は人間の最高級の判断や意思を置き換える必要はない。むしろ、それこそが人間の最も重要な部分であり、人間はその部分こそ自分でやりたいのある。そして自動車を運転するようにアールキューブロボットを操縦する。しかし、自動車とは異なりアールキューブロボットは知能も有して人間が見逃した危険を回避するのである。これが安全知能である。安全知能の原則はアシモフのロボット3原則と同一である。すなわち、人に決して危害を加えてはならない、危険を看過することで人間に危害を与えてもいけない、危険を与えない範囲で人間の命令に従い、そして、前記の2項に反しない限りロボット自らの安全を守らなければならない。つまり、人間が自らの責任と判断でアールキューブロボットをテレグジスタンスで操りながら、人間の見逃した危険をロボットの側でも二重にチェックする安全知能は今後のロボット技術のキーテクノロジーの一つとなろう。

4. バーチャルリアリティモデリング言語とアールキューブ操作言語

WWW上での三次元グラフィックスのISO標準となっている記述言語が1993年にMark Pesceにより考案されたバーチャルリアリティモデリング言語VRMLである[10]。VRMLは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で共有三次元環境の記述が可能となろうとしている[11]。しかし、現在のVRMLで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事例は、本特集号の別の解説にも紹介されているように、南カリフォルニア大学や東京大学、電子技術総合研究所などに見られるが、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、現在のところHTMLやVRMLを用いるような手軽さで利用することはできない。

そのようななか、ロボットをネットワークを介して人間が利用するためのロボット制御およびロボット感覚情報提示に関する環境記述、運動制御、情報提示のための標準言語「アールキューブ操作言語(RCML: R-Cube Manipulation Language)」の開発が通産省の国際標準創造型研究開発の一環として計画されている。すなわち、WWWブラウザの利用を念頭に置き、インターネットでデファクト標準であるHTMLおよびインターネット上の三次元空間記述言語のVRMLをベースとし、それをロボットのネットワーク通信制御と情報提示にまで拡張し、デファクト標準のみならずISO等の国際標準を目指すという計画である。

この計画ではネットワーク上に配置された人間型ロボットなどの動作機構を、WWWのブラウザ上からホームページをアクセスするのと同様にアクセスするソフトウェアが

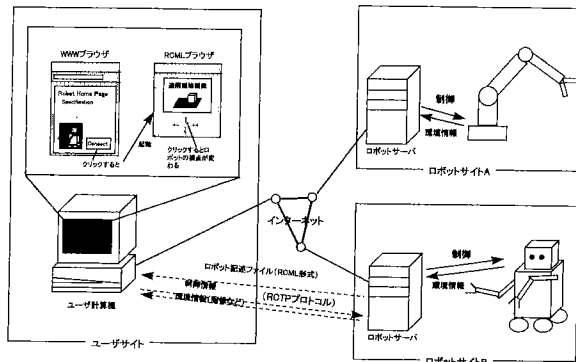


図5 R-Cube MLによる実現イメージ

開発される。すなわち、動作機構側においては、ロボットをコンピュータにインターフェースを介して接続し、開発するRCMLで動作を記述し、そのサイトのホームページに登録する。ネットワーク上の使用者は、そのホームページに登録されたアイコンを指示することで遠隔リアルタイムロボット操作ブラウザを起動させ、遠隔地にあるロボットを操作することができるというわけである(図5)。

例えば、使用者はデータグローブやマウス等の入力デバイスを用いて動きを指示し、遠隔地にあるロボットや移動カメラを操作し、見たい遠隔環境の映像を臨場的に得ることができる。また、アールキューブ操作ブラウザを介して、移動、物体操作等の作業指示を行うことによりロボットを操作し、遠隔の実環境内を自由に移動し、様々な作業を的確に行わせることができると期待されている。

5. おわりに

バーチャルリアリティが現実の本質を再現した人工環境を生成するものである限り、ロボティクス、特にテレグジスタンスとは表裏一体をなすものとなる。バーチャルリアリティは、アミューズメントの分野での利用が先行したが、医療にみられるように次第に本来の目的である実問題への適用が試行され始めている。そのようななか、ネットワークとロボティクスを融合させ真の意味での人間中心のテレグジスタンス社会を目指すアールキューブ構想が策

定されている。そのアールキューブの要ともいべき「人間型ロボット」の研究開発が通産省の産業科学技術プロジェクトとして模索されており、その実現がおおいに期待される。

参考文献

- [1] 館暉：人工現実感，日刊工業新聞社，1992。
- [2] 館暉，廣瀬通孝編著：バーチャル・テック・ラボ，工業調査会，1992。
- [3] C.J. Gott and D.J. Homan: "Application of Virtual Reality Technology, Including Force Feedback, for Astronaut Training," Proceedings of the 5th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT/VRST'95), pp.143-162, Makuhari, Japan, 1995.
- [4] 館暉，小森谷清：“第三世代ロボット”，計測と制御，vol.21, no.12, pp.1140-1146, 1982。
- [5] Special Issue: "Applying Virtual Reality," IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol.15, no.2, 1996.
- [6] G.C. Budea: "Force and Touch Feedback for Virtual Reality," WILEY-INTERSCIENCE, 1996.
- [7] 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。
- [8] 日本ロボット学会誌，vol.15, no.1, 表紙写真，1997。
- [9] 重点領域研究「人工現実感」平成8年度成果報告書，文部省，1996。
- [10] M. Pesce: VRML Browsing and Building Cyberspace, Macmillan Publishing, 1995.
- [11] K. Matuda, R. Lea and Y. Honda: "Virtual Society: Multi-use Interactive Shared Space on WWW," Proceedings of the 6th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT'96), pp.83-95, Makuhari, Japan, 1996.



館 暉 (Susumu Tachi)

1946年1月1日生。1973年，東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。東京大学助手。1975年通産省機械技術研究所研究員。その後主任研究官，遠隔制御課長，バイオロボティクス課長。1979年から1980年，マサチューセッツ工科大学客員研究員。1989年，東京大学先端科学技術研究センター助教授，1992年，同センター教授，現在，工学部計数工学科教授。盲導犬ロボット，テレグジスタンスなどの研究を行う。IEEE/EMBS学会賞，通産産業大臣賞などを受賞。国際計測連合学会(IMEKO)ロボティクス会議議長，重点領域「人工現実感」領域代表者，日本バーチャルリアリティ学会会長などを務める。

(日本ロボット学会正会員)