

特別論説


 情報処理最前線
 情報処理最前線

バーチャルリアリティの新しい進展†

館

障††

1. はじめに

バーチャルリアリティという言葉が世界で初めて使われた1989年から7年が経過した。当初は実用化の中心はゲームなどのアミューズメント分野であり現在もその状況は続いているが、最近になって医療などそれ以外の様々な産業分野への展開が真剣に模索され始め、いわば第2の発展の段階を迎えようとしている。バーチャルリアリティにおいてはコンピュータやロボットにより、等身大でかつ何らかの意味で現実を反映した、いわゆるバーチャルな空間が人間を包むようにして生成され、その空間での人間の自在な行動が可能となる。そのためには、生成された空間が実空間を反映した伝達空間であっても、あるいは創造された構成空間であっても、行動空間であるため人間の意図の計測とそれに基づく仮想物体やロボットの制御、そしてそれらを統合する情報処理が必須となる。したがって、それらの基本的な課題を追及しつつ、産業応用が計られなければならない。本稿では、この新しい展開を我が国と米国におけるバーチャルリアリティのプロジェクト研究開発を中心として紹介する。

2. バーチャルリアリティとは

2.1 定義

バーチャルリアリティ (virtual reality : VR) とは、「みかけは現実ないしは現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現物であること、あるいは人間がそのように認識すること」である¹⁾。しばしば、バーチャルは虚構とか仮想とか訳されているがそれは正しくな

い。虚は imaginary であり仮想は supposed であるのに対して virtual は現物そのものではないが実際の効果としては現物と同等であるという意味であり、虚や仮想とはまったく異なった概念を意味している。我が国にはもともとバーチャルという概念がなくしたがって適切な訳語がないのが現状である。一方、同一の概念を表す用語として人工現実感が使われており、人工現実感は少なくとも仮想現実よりはバーチャルリアリティの概念を正しく伝えているが、ここではバーチャルが「効果や本質としては現実であること」を意味することを強調するためにカナ表記のバーチャルリアリティあるいは略語の VR を用いることにする。また、「仮想」という用語はバーチャルの訳語としては不適切ではあるが、「仮に想定する」という意味あいの時、たとえば仮に想定した「仮想環境」などのような場合は適当であり、そのようなコンテキストでは使用することとする。

2.2 歴史的考察

そもそもバーチャルリアリティという言葉が使われ始めたのは米国の VPL 社がデータグローブやアイフォンなどの製品を市販しはじめた1989年からであり、ゲームへの応用とあいまって一般に知られるようになった。しかし、バーチャルリアリティの考えの起源は1968年のサザランドの頭部搭載型ディスプレイの研究にまで遡り、コンピュータグラフィクスに源流を持つジェネリックテクノロジーの1つである²⁾。その後我が国からは1982年にトレイグジスタンス、米国からは1983年にテレプレゼンスの概念が提唱され、それぞれ通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」とNASAの宇宙開発プロジェクトに関連して発展した。一方、芸術の分野においても1983年にアーティフィシャルリアリティの考え方が提唱されている。これらは、一言でいうなら

† Recent Progress in Virtual Reality by Susumu TACHI
 (Department of Mathematical Engineering and Information
 Physics, Faculty of Engineering, The University of Tokyo).
 †† 東京大学工学部計数工学科

ば、従来人間が機械に自らを合わせるという人間側の負担を前提にして成り立っていたマンマシンインタフェースの形態を脱却して、逆に機械の方から人間へ無限に歩み寄るいわゆるサイバネティックインタフェースの究極としてバーチャルリアリティが模索されていると解釈できる。ちなみにサザランドの研究目標の1つが「究極のディスプレイ」であったことは極めて示唆的である。

さて1990年3月に米国のサンタバーバラで工学、生理学、心理学、哲学、芸術など今まではまったく別の分野であると思われていた多くの分野において旧くからこの種の研究を行っていた専門家がMITの呼びかけで一堂に会した。3日間にわたるそれぞれの研究者長年の研究成果の発表と白熱した討論の中、一見異なるように見えるそれぞれの研究が実は同一の目標を目指しており、今後それらを学問的な新しい分野として形成していくことが緊要でありかつ有効であるとの認識が生まれたのである。この時をバーチャルリアリティのビッグバンと呼ぶことがあるのはこのような経緯によるのである。

実用的見地から見ると、近年コンピュータやセンサなどの技術が急速に進展し、また人間科学の進展による人間感覚などの知見の蓄積が進み、いままでは非現実的な夢と思われていたバーチャルリアリティの方法論が急速に現実味を増してきている点あげられる。そこでいままでは、独立に発祥し進展してきた多くの分野がバーチャルリアリティに注目しこれを21世紀へのキーテクノロジーとして認識し始め、それにともない、各分野に関連する企業においてもバーチャルリアリティの研究開発が精力的に繰り広げられるようになったのである。

しかも、単にこれらの分野で共通の概念が育ってきただけではなく、バーチャルリアリティはそもそも共通となりうる基礎技術を内包しており、1つの分野で開発された技術が他の分野でもそのまま利用できるもので、それらをまとめて1つの技術体系として研究開発することが重要かつ緊要となっている。したがって内外の学界でもこのバーチャルリアリティを重要な研究分野として認識し盛んに研究が進められ始めている。

3. 日本におけるバーチャルリアリティの最近の進展

3.1 重点領域研究「人工現実感」

文部省では科学研究の重点領域研究として「人工現実感」を平成7年度から発足させた³⁾。この領域研究の正式名称は「人工現実感に関する基礎的研究」であり、副題として「一仮想世界の生成と人間との相互作用に関する研究」をうたっている。人工現実感生起のメカニズム、人間とのインタフェース設計法、物理法則を加味した仮想世界の構築法、人工現実感の医学的・社会的影響の評価などの基礎的な研究を工学、心理学、生理学、医学などの視点から行うものである。

この研究では、コンピュータによる合成世界と人間とのかかわりを図-1に示す視点で捉え、それに基づき計画研究と公募研究を次に示す4つの研究班に分け研究を進めている。各班の研究の目標は次のとおりになっている。

(1) 人工現実感の解明に関する研究

人工現実感における人間の感覚統合と3次元空間の認知の機序、感性の機序、論理等悟性のメカニズムを情報制御工学、認知心理学、動物行動学、大脳生理学の観点から探求し臨場感・現実感・存在感との関わり方の解明の手がかりを探ろうとしている。

(2) 感覚提示と感覚・行動相互作用に関する研究

人間が仮想環境と自然なかたちでインタフェースするための入出力デバイスの提示特性や操作性

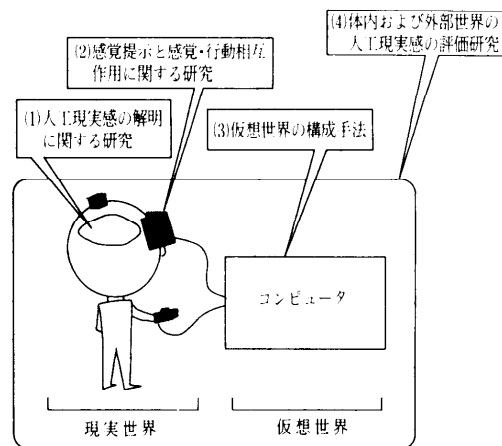


図-1 重点領域「人工現実感」の研究分野

の問題を人間の認知行動特性の面から体系的に検討し、人工現実感のための提示行動デバイスの最適設計法を模索している。

(3) 仮想世界の構成手法

合成される人工世界について研究を行っている。特に物理法則や生物原理を導入した仮想世界の構成法や現実感演出技術など複雑な仮想世界を創出するための道具立てを整備し、それをを用いて仮想世界を作り出し、その可能性を探っている。

(4) 体内および外部世界の人工現実感の評価研究

1班から3班までの3研究グループがシステムを構築する上での基本的知識体系の構築を目的として研究しているのに対し、本研究グループはそれを外側から眺める立場をとっている。すなわち、こうしたシステムが社会で一般化し、人々が頻繁に接するようになったとき、一体どのようなことが起るかを社会的、医学的に検討し評価するとともに、健全な技術の進展のための方策を探っていく。また、手術支援などの医療応用に加えて、人工現実感を高齢者や障害者の社会復帰への手助けとするための福祉分野での研究も行っている。

領域研究全体の進め方としては、総括班を中心として、全体会議と班会議のほかシンポジウムを開催して人工現実感の領域研究の進展を図っている。平成7年度にはシンポジウムの場を利用してパソリンクによる研究室紹介などを行って、新しい人工現実感メディアの実験的な試みにも挑戦している。なお、WWWの上に以下に示すホームページが設けられている。

<http://www.star.rcast.u-tokyo.ac.jp/VRjuten/>

3.2 産業技術研究開発プロジェクト「ヒューマンメディア」

通産省は、平成6年から先導研究「ヒューマンメディア」を開始した。平成8年度からは産官学による国の大型プロジェクト（産業技術研究開発プロジェクト）へと移行した。ヒューマンメディアとは human-centered media のことであり、人間中心のメディアを模索する新しい試みである。人間中心という言葉は今までも多く使われてはきたが、しかし従来のマルチメディアにしるヒューマンフレンドリーインタフェースにしる、コンピュータやテレビといったメディアがまず既存のものとして存在し、基本的にはそれを人間が使い

こなしていくといった技術であった。したがって人間は常に新しい技術の約束事を覚え、訓練によって自らをそれに適合させていくことを強いられる。

ヒューマンメディアはアプローチをそれらとは異にする。すなわち、まず人間にとって最適の環境はいかなるものかを求めようとする。そしてその実現に必要な基礎的な研究をつみ重ねていく。仮想メディア、感性メディア、知識メディアの3要素をキーワードとして、人間にとって真に使いやすい環境を模索するこの試みの真価は今後の研究プロジェクトの進展にかかっており、これまでのお題目としての人間中心から真の人間中心への発想の転換が図られるかどうかの重要な試金石となろう。

3.3 先導研究「アールキューブ」

通産省では平成8年度から「アールキューブ」の先導研究を開始する。これ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基礎研究と位置づけられる。Realtime Remote Robotics（実時間遠隔制御ロボット技術）の頭文字をとったRをアールキューブと呼んでいる⁹⁾。現在の情報のみが行き交うネットワークを作業のともなうものとする試みともいえる。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。

たとえば、このシステムが実現できれば、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、それをを用いてB-ISDN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が可能となる。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。

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。これを用いればたとえば、病院に永く入院

し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、自分の家族の家に戻ったりすることが、等価的に可能となる。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トすれば、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ふわけである。

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的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内されたVRインタフェースを模索し実現しなければならない。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感覚間の同期を保証するか、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捉えられよう。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。

そしてここで最も重要となる技術が安全知能であろう。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行いたいのである。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、そして、この2項に反しない



図-2 アールキューブの構想する未来図。
ネットワークとbボディクスが有機的に結合する

限りロボット自らの安全を守らなければならない。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1つとなろう。

多少SF的にはなるが(図-2)、アールキューブが構想する未来の世界の一部を以下のURLで垣間見ることができる。<http://www.irofa.com>

3.4 国際会議とイグジビション

我が国では、世界でも逸早く1991年から「ICAT(人工現実感とテレグジスタンス国際会議)」が開催されており、本年1996年には第6回を迎える。国内よりも海外でのほうが知名度の高い本格的な国際会議である。学生による「大学対抗手作りバーチャルリアリティコンテスト」も今年で4年目を迎え、企画立案から製作まですべてを学生が行うこのコンテストはVRにおける密かな話題となっている。若者が受け入れ、しかもそれに情熱を注ぎ込める技術こそが、真に未来に通じる技術であることは明白であり、若い情熱を傾けられるこのような場はまだまだ足りないぐらいである。

産業応用を目指した展示会も1993年から「インダストリアルバーチャルリアリティ展」(IVR)と命名され、爾来毎年開催されておりバーチャルリアリティの産業応用の今後が期待される。

4. 米国におけるバーチャルリアリティの最近の進歩

4.1 米国科学アカデミー・バーチャルリアリティ委員会と勧告書

米国では国立科学アカデミー (NAS) と国立科学財団 (NSF) が 1992 年から特別調査研究委員会を発足させ国家規模のプロジェクトを計画するなど新しい発展への展開をみせつつある。1995 年に出版された報告書⁶⁾のなかで、連邦政府に対する提言がなされているが、将来有望な応用分野として (1) 設計、製造、マーケティング; (2) 医療、福祉、健康; (3) 危険作業; (4) 訓練をあげており興味深い。

4.2 IEEE とバーチャルリアリティ国際会議

学術分野での進展も目覚ましい。この分野における世界最大かつ最高の権威を有する IEEE (米国電気電子工学会) は 1993 年 9 月にシアトル市でバーチャルリアリティの年次国際学術講演会 (VRAIS) を開始するとともに、全会員に配付する学会誌 (スペクトラム) の 10 月号にバーチャルリアリティを特集して大々的に扱うなどアカデミズムの世界でもバーチャルリアリティが認知され大いに注目されるに至った。

4.3 宇宙開発とバーチャルリアリティ

1994 年 12 月 1 日米国のヒューストン市で開催されたバーチャルリアリティのワークショップ (ISMCR'94) のオープニング・キーノート・スピーカーとして招待された宇宙飛行士のジェフ・ホフマン博士は「ハッブル宇宙望遠鏡の修理ミッションにおけるバーチャルリアリティの利用」という演題で特別講演を行った。その中で宇宙空間での実際の望遠鏡修理に先立って地上で行うジョンソン・スペース・センターにおける訓練のなかで、今回初めてバーチャルリアリティを用いた訓練を実施し、その経験がミッションの成功に大きく寄与したと述べた。これは、バーチャルリアリティが現実のハッブル宇宙望遠鏡の修理という世界的なミッションに利用され、それが成功を導いたという点で画期的な出来事であった。その詳細は昨年日本で行われた ICAT の国際会議で報告されている⁷⁾。

成功の鍵は実に現在のバーチャルリアリティの利点と欠点が宇宙空間の持つ特徴と極めて相性が

よかったためとされている。すなわち、宇宙空間は重力がなく座標系を失いやすい。自分が傾いていても自分は真っ直ぐであると思ひ込むわけである。視覚的な空間認知が唯一の手がかりであり、それを徹底的に訓練しておかなければならず、その手段として VR は極めて適切であった。一方、宇宙では飛行士は宇宙服を着ており、操作が直接操作と異なる点や視界が宇宙服により大幅に制限されること、また宇宙では決して急速な動作はしてはならず、「ゆっくりと確実に」が宇宙作業のモットーであることから、現在の VR の抱えている低操作性、狭視野、ローフレームレート等のいわゆる欠点を決して短所とすることがなかった。その相性のよさが VR 訓練によるミッションの成功への大きな要因となったのである。

4.4 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。たとえば IEEE の最近号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⁸⁾。

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りしたがって触覚提示への関心が頃に高まっている。Mark Raibert や Ken Salisbury といったロボティクスでかつて名を馳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て参入してきていることは特筆に値する。

5. おわりに

バーチャルリアリティを用いて人工的な環境を構築するならば、まったく新しい人工環境であっても、自然環境や人間が古くから慣れ親しんできた人工的な環境の良さを本質的に反映させ利用しやすいものとするができる。また人間が創造する極めて抽象的な概念を具象化ないしは現物化することが可能となる。事象の解明を助け人間の創造活動を高め、人間の経験を豊かにし時間と空間の制約を越えての制御と通信を可能とする、このいわば人間のための究極の道具ともいべきバーチャルリアリティは 21 世紀のジェネリックテ

テクノロジーとして期待されている。

本技術がいわば人間中心主義に基づく人間と機械のインタフェース技術であることから、その適用範囲はコミュニケーション、制御、コンピュータ、設計 (CAD)、製造 (CIM)、共同作業 (CSCW)、シミュレーション、芸術、メディア、アミューズメントなど極めて多岐にわたり、新しい産業需要を喚起し、壮大な市場を形成するとともに、我々の日常生活のレベルを向上させ、さらには文化の新しい形態さえ生むのではないかと期待されている。しかし、現実のバーチャルリアリティ技術を鑑みるに現実世界を反映しているとは言いがたい仮想世界が生成されているに過ぎず、人間の自由な運動もままならず、インタラクションを行おうにも時間遅れや空間の歪みのため思ったような行動ができないのが現状である。しかも、現在市販されている機器やソフトウェアはゲームなどアミューズメントを主目的として開発されたものがほとんどであり、産業応用にそのまま適用しようとしてもコンセプトを確かめるのがせいぜいであり、実のあがる成果は得られない。またゲーム用ソフトウェアの単なる延長であっては、将来においても産業用には適合しないことは明らかである。

このような状況のもと、本年5月には産官学の英知を結集した日本バーチャルリアリティ学会が発足した (URL: <http://www.ojk.info.gifu-u.ac.jp/vrsj/index.html/>)。工学・医学・心理学・芸術といった極めて学際的な分野の研究者が一堂に会し、我々の生活レベルや文化を飛躍的に向上させ明日の日本を根底から支える新しい基幹技術としてのバーチャルリアリティを指向する。このVR学会の諸活動と重点領域研究「人工現実感」や大型プロジェクト「ヒューマンメディア」、先導研究「アールキューブ」などを通じて、日本のVR研究がさらに大きく親展するものと期待されている。

参考文献

- 1) 舘 暉：人工現実感，日刊工業新聞社，(1992)。
- 2) 舘 暉，広瀬通孝編著：バーチャル・テック・ラボ，工業調査会 (1992)。
- 3) 重点領域研究「人工現実感」平成7年度成果報告書，文部省 (1996)。
- 4) ヒューマンメディアの調査研究報告書，新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1995)。
- 6) 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)。
- 6) National Research Council: Virtual Reality — Scientific and Technological Challenges, National Academy Press (1995)。
- 7) Gott, C.J. and Homan, D.J.: 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)。
- 8) Special Issue: Applying Virtual Reality, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol.15, No.2 (1996)。

(平成8年5月24日受付)



舘 暉

1946年生。1968年東京大学工学部計数工学科卒業。1973年同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。1979-1980年マサチューセッツ工科大学客員研究員。1989年東京大学助教授。1992年東京大学教授に就任，現在に至る。ロボット工学，計測制御工学，人工現実感などが専門分野。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，通商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を務める。