

シミュレーションとバーチャルリアリティ

舘 暲*

* 東京大学 大学院 情報理工学系研究科 東京都文京区本郷 7-3-1
 * Graduate School of Information Science & Technology, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo Japan
 * URL: <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/>

キーワード：人工現実感(virtual reality), テレイグジスタンス(telexistence), 拡張現実(augmented reality), ウェアラブル技術(wearable technology), 頭部搭載型プロジェクタ(HMP: Head-Mounted Projector).

JL0011/01/4011-0777 © 2001 SIC

1. はじめに

バーチャルリアリティの祖といわれるサザランド (Ivan E. Sutherland) は、氏が1965年に情報処理国際連合会議(IFIP)で発表した「究極のディスプレイ」(The Ultimate Display)の論文のなかで、究極のディスプレイとは、いわば数学的な不思議の世界を垣間見る鏡であり、まさにコンピュータが物質の存在を制御できる部屋のようなものであろうと述べている¹⁾。これをSF的に表現したものが、実はスタートレックのホロデッキにほかならない。バーチャルリアリティは、その端緒からこのような究極のディスプレイを目指しており、それがしばしばバーチャルリアリティは究極のシミュレーションであると言われるゆえんでもある。もちろん、このような究極のディスプレイは完成されていないが、視覚、聴覚、触覚においては人間の感覚機能を解明しつつ、それを利用して人間に実体験と等価な感覚を生じさせるためのさまざまな提示装置の研究が現在精力的に進められている。それを用いて人間はコンピュータが生成した環境をある種リアルに認識し、その中で現実のように行動できるのである。もちろんそれを逆に物理的なものとして実在化したり、そこで得た経験や訓練に基づいて現実のシステムを操作したりすることも可能となる。

一方、バーチャルなシミュレーション空間は実空間と混在しはじめている。最近話題になっているオーグメンティド・リアリティ(augmented reality)では、実世界にコンピュータで得られたシミュレーション情報を加えて実世界を増強する。眼下の現実世界にコンピュータの情報を三次元的に付加してバーチャル空間を重ね、人間のさまざまな行動や所作を助けるわけである。ウェアラブル・コンピュータと眼鏡のような大きさの提示装置を組み合わせ、GPSで人間の位置を確認して、携帯電話で情報を得たり、ICを含有するユビキタスな機器と通信したりして、その情報を現実世界に書き込む。たとえば、目の前の風景に地図や等高線を3次元的に書き込んだり、建物が何という名前のどのような建物であるかを示したり、作業中であれば、作業手順をコンピュータシミュレーションでスーパーインポーズして示したり、壁の中の見えない配管を可視化してみせたりできる。コンピュータトモグラフィ(CT)やマグネティックレゾナンスイメージリー(MRI)や超音波像などを立体

的に重ねて診断や治療に役立てたりもできるのである²⁾。

本解説では、コンピュータによるシミュレーション結果をコンピュータの生成したバーチャル空間としてインタラクティブに人間に提示するバーチャルリアリティの体験型シミュレータとしての側面に着目し、特に視覚と触覚の提示法の現在を概観し解説して将来を展望する。

2. バーチャルリアリティ

バーチャルとは、「Existing in essence or effect though not in actual fact or form: みかけは実物そのものではなく実際の形をなしてはいないが、本質的あるいはその効果として実体そのものであること」であり³⁾、一部巷間で旧来の慣習から誤って使用されている仮想(仮に想定した)という訳語とは実はまったく正反対の意味を有しているのである。たとえばバーチャルマネーは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、取引ができない。従来の会社の体裁はなしにいても実際の会社と同じ機能を有するのだから、恐くてそこを利用できないのである。明治以来このかた、バーチャル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わが国にはまったく存在しなかったためである。したがって最近、学界を中心として、バーチャルリアリティの訳として国際的に誤解を招く恐れのある仮想現実を使わずに、バーチャルリアリティとそのままVRと表記するか、あるいは意識ではあるが、人工現実感を用いる気運が高まっている⁴⁾。

バーチャルリアリティの最も特徴的な点は、コンピュータの生成する人工環境が(1)人間にとって自然な三次元空間を構成しており、(2)人間がそのなかで、環境との実時間の相互作用をしながら自由に行動でき、(3)その環境を使用している人間と環境とがシームレスになっていて環境に入り込んだ状態が作られているということである。これらをそれぞれ、「三次元の空間性」、「実時間の相互作用性」、「自己投射性」と呼び、バーチャルリアリティの三要素をなす⁵⁾。つまり、この三要素すべてを兼ね備えたものが理想的なバーチャルリアリティシステムである。「三次元の空間性」とは、コンピュータが生成した立体的な視覚空間、立

体的な聴覚空間が人間の周りに広がることである。アミューズメントパークなどでみる三次元の映画などは、この要素を備えている。しかし、別の角度から見ようとしたら、物体の後ろに回り込もうとしたりしてもできない。まして、見ている物体を触ったり別の場所に動かしたりすることなどできない。つまり「実時間の相互作用性」が欠けているからである。一方、通常のコピュータゲームでは、物体との実時間の相互作用はあるが、目の前のディスプレイをみているだけで、自分が包まれるような三次元空間は利用できない。まして、自分とコンピュータの生成した環境とが深さ方向においても矛盾なくシームレスにつながって、自分が環境に入りこんだ状態を実現する「自己投射性」はない。この自己投射性を別の言い方で説明すると、人間は眼をつぶっていても自分の身体がどのような形をしているかがわかる。これは、体性感覚の固有受容感覚つまり「自己感覚」によっている。通常われわれが経験している実空間ではこの自己感覚と眼や耳で観察する空間の情報とが一致している。たとえば、眼をつぶった状態で自分の手があると思った位置に自分の手が見えている。この現実空間の特徴である人間の異なる感覚モダリティ間に矛盾のない状態を、コンピュータが生成した人工環境のなかでも矛盾なく実現するのが「自己投射性」である。バーチャルリアリティは、これらの三要素を有したシミュレーションシステムを構成して、人間が実際の環境を利用しているのと本質的に同等な状態でコンピュータの生成した人工環境を利用することを狙った技術なのである。

3. シミュレーションのVR化

実はVRという概念は、サザランドの究極のディスプレイの系譜とは独立に「シミュレーション」という古くからのコンピュータの利用分野からも生まれてきた。シミュレーションは「シミュレータ」と「サイエンティフィック・シミュレーション・ビジュアライゼーション」の二分野に大別される。「シミュレータ」は航空機などの訓練用に使われてきたものが典型的なものである。シミュレータは、考えてみれば古くからその言葉は使わずともVRそのものであった。747などのフライトシミュレータに乗ると、その操縦席の窓から、ランディングする夜の飛行場の光景などを、まさに実際のもので変わらない現実感とともに見ることができる。だからこそ訓練に使えるわけである。しかしその操縦席であるコクピットは長い間、シミュレータにおいても実物を使用していた。ところが、アメリカ空軍ライトパターソン空軍基地のアームストロング航空宇宙医学研究所にいたトム・ファーネス(Thomas Furness)は、1980年代に、その操縦席までもバーチャルにしよう考えた⁹⁾。というのも、そうすることにより“まだ造られていない飛行機”の操縦訓練などもできるようになるからである。また、どういう操縦席が使いやすいか、どのような操縦装置だと人間は誤りを起こしやすいか等が、設計中の操縦席や装置

を用いて人間にさまざまな状況に対応させ系統的に試してみるによりわかるからである。そういうことができるシミュレータを、ファーネスは「スーパーコクピット」という名前と呼んだ。ファーネスは今、シアトルにあるワシントン大学で、ボーイング社などと一緒にコンソーシアムを作って研究している。ちなみに米国の大手飛行機会社では、「電子モックアップ」という手法をすでに導入しており、新しい777などの機種の開発では、ほとんど電子モックアップだけでつくられている。

シミュレーションには、「サイエンティフィック・シミュレーション・ビジュアライゼーション」という解明や設計を目的とした分野がある。これは基本的には、飛行機や船の設計に際して、昔は実際に模型をつくり、それを風の流れや水の流れの中に置いていわゆる模型実験を行っていたものを、コンピュータでの実験に置き換えたものである。船や飛行機の形も風や水の流れも数式化してモデルをつくり、スーパーコンピュータで計算することによって、模型実験に比べて非常に精密に、かつさまざまな条件で試すことができるようになってきている。ところが、コンピュータからどんどん数値は出てくるのではあるが、それが何を意味しているのかが直感的にわからない。非専門家の関係者などにはほとんどわからず、そういう人たちの意見を反映することもできないという問題があったわけである。専門家にとっても、もう少しわかりやすく見たいという希望があり、そこでビジュアライゼーション(可視化)、つまり、コンピュータで計算したことを実際の絵のように眼に見える形にして表わすという手法が生まれてきた。そのビジュアライゼーションという手法を突きつめた究極の方法が、三次元ディスプレイでバーチャルな模型をつくり、実験結果などもそのバーチャルな模型の変化として示すというやり方である。それをみごとに実現した例が、NASA・エームズ・リサーチセンターのスティーブ・ブライソン(Steven Bryson)による「バーチャル風洞」であった⁷⁾。エームズ・リサーチセンターにはスペースシャトルが入るくらいの大きな風洞があり、大気再突入のときの状態をシミュレーションしたりもしているのであるが、その大風洞の代わりにバーチャル風洞で、具体的には頭部運動追従型3次元ディスプレイとコンピュータ・モデルを用いて、スペースシャトルをつくりだし、さらに空気の流れを描き出すことでシミュレーションを行ったのである(写真1)。

ビジュアライゼーションによって、コンピュータで実行されている数学的な過程が非常にわかりやすく、多くの人に直感的に理解できるようになった。するとそのコンピュータの出した結果を見て新しいことを発想するというような、人間の創造性を刺激するということがわかってくる。そのため今では、スーパーコンピュータとビジュアライゼーションが、さまざまな分野で用いられるようになってきている。ビジュアライズするのは、模型のような物理的なものとは限らない。たとえば、コンピュータの中で起きて

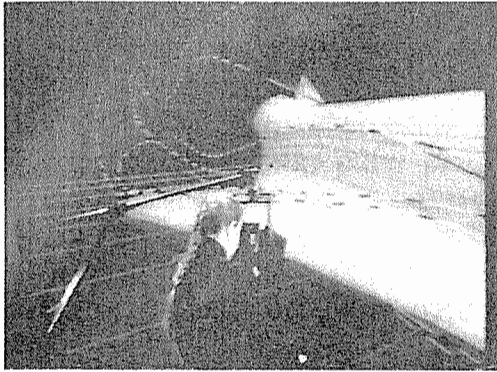


写真1 バーチャル風洞によるスペースシャトルの 대기再突入時のシミュレーション

いる抽象的な論理的演算のプロセス(過程)を立体的に映像化し、その論理プロセスのどこでどういう事象が生じているかを映し出すというようなこともできる。そしてプロセスの構成をこう変えたらどうかというような、そのVR空間に働きかけて結果を見ることもできるのである。さらに抽象的な、人間思考過程や数学的な世界なども具象化して可視化することも可能となる。このように、シミュレーションのVR化は、シミュレーションと同時にコンピュータ自体の応用可能性も大きく拡大したのである。

現在、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。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。また、シミュレーション外科という分野も生まれている。手術のシミュレータ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とみに高まっている⁹⁾。

一方、写真2は、米国大手自動車会社で研究開発中のVR自動車設計支援システムである。ケーブ(CAVE)と呼ばれる四方をスクリーンで囲った場所に三次元の映像空間をつくりだしてシミュレーションを行うVR装置である。実物体としては存在しないが、ケーブの中にいる人にとってはコンピュータの創りだした自動車の操縦席が存在している感覚が生じ、本質的には同一かそれ以上の体験が可能となる。それを見ながら自分自身にマッチした自動車の操縦環境を試してみることができる。あるいはいろいろなオプションを選んでいくことができる。自動車ではなく家の環境をコンピュータで提示すれば、家を建てる前に自分の設計した家の空間を創り出して、その中を移動し味わって、さらに行動して空間を試してみることができる⁹⁾。それで良



写真2 CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) を用いた自動車のバーチャルプロトタイプの研究

いと思えばそれを購入するし、良くなければどういふふう直せばいいかということとをいろいろと相談して、それをインタラクティブに変えながら自分の欲しい住居空間を創り出すことができる。これも、まさにバーチャルリアリティのシミュレーション応用であり、すでに現実のものになり始めている。

4. VRシミュレーションシステム

図1にVRシミュレーションシステムの概念図を示す。物理世界や数学的抽象世界、あるいは架空世界などのさまざまな世界における種々の物体や生命体などの形状や性質を定義し、さまざまな属性を保持するモデルをコンピュータ内に作り、そのモデルを物理法則、生物原理などの法則のもと動作させる。まさに、世界のシミュレータである。この部分は、通常のシミュレーションと同一である。VRシミュレーションでは、そのようなシミュレータに、実際の人間が投射される。その投射は、VR人間(virtual human)

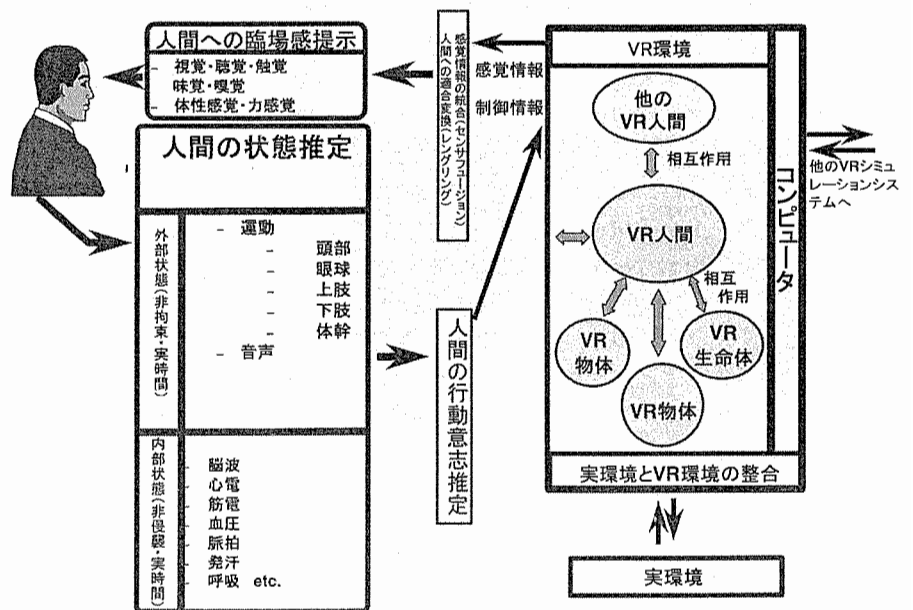


図1 VRシミュレーションシステムの概念図

と呼ばれる本人のコンピュータ内に構成された人間の等価行動モデルによってなされる。そのVR人間は、人間の運動や内部状態の実時間計測の結果から推定された人間の意志を的確に反映し、VRシミュレーション空間内を行動して、VR空間内の物体や生命体とインタラクションを起こす。これがVRシミュレータは体験型シミュレーションであると言われるゆえんでもある。そのインタラクションはVR空間を改変し、そのことが、VR人間を介して実際の人間の感覚器に提示される。それにより人間は、そのVRシミュレーション空間内に自分が入り込み、シミュレーション空間に存在しているかの臨場感を得ながら、その空間内で自在に行動し作業することが可能となる。

ここで、重要なサブシステムとして、(i)コンピュータ内にVRシミュレーション世界を構成するためのVR構成サブシステム、(ii)人間の運動計測や状態計測に基づいてVR人間を制御するための人間の意志推定サブシステム、(iii)VR人間とVR世界のインタラクションの状況を人間に視覚、聴覚、触覚などの感覚器を介して臨場的に提示する提示サブシステムがあげられる。紙面の関係上すべて紹介するのは難しいため、本解説の後半では、この3つの重要技術のうち、特にVR固有の技術である提示技術について視覚、触覚の現状と最近注目されている新技術につき解説する。

4.1 視覚ディスプレイ

(1) HMD (Head Mounted Display: ヘッド・マウント・ディスプレイ)

HMDでは、LCD(液晶ディスプレイ)などの平面ディスプレイをメガネのように目のすぐ近くに置いて、できるだけ大きな視野角で映像を映し出す。ただ、そのままでは映る映像が近すぎて、その物体を両眼で捉えようとして眼球が輻輳という逆相の回転を行いその角度と眼間距離から三角測量の原理でわかる距離情報と、物体に焦点を合わせようとする水晶体調節から得られる距離情報に齟齬が生じる。そのため、いくら本物と同じようにつくられた映像でも単なるミニチュアの模型のように見えてしまい、正確な距離感と大きさをもった実際のような光景にはならない。そこで、表示画面と目の間に凸レンズを置いて、視角を変えずに提示距離を1m程度の遠方に変換して、焦点調節による距離情報が効果をもたないような状況にしている。それにより、焦点調節に起因する距離情報の効果がなくなり、輻輳情報と視角のみで物の大きさと距離が規定されるので、実際と同じ距離感と大きさの感覚をもった三次元の光景が得られるのである。この等価的な表示面を、「バーチャルプレーン」と呼ぶ¹⁰⁾。

提示したい位置にある三次元物体をCGにより左右の眼球の位置からバーチャルプレーンに線透視した画像をつくり、正しい透視変換で作成され、正確な陰影、色などを有する、限りなくその物体に近い透視図をHMDのバーチャルプレーン上に映し出す。そのとき、CG映像に距離感を与

えるために最も基本的で重要な情報は両眼による輻輳角であるので、その物体の画像は右眼で見たものと左眼で見たものと2枚別々の画像がつけられて表示される。これで、その左右の対応点を人間が注視すると正しい距離関係が復元されるので、物体を実際に見たときとまったく同じ距離感が得られることになる。また、距離とともにその物体の大きさを判断する手がかりとなる視角も、その物体を実際に見た場合の視角と同じになるよう提示されている。視角が同じであれば、網膜上の像の大きさも同じとなり、大きさの感覚も実際にその物体を実際と同じ距離で見たときと同じ大きさになるわけである。

バーチャルプレーン上の映像は、人間の行動を反映して実時間に変化し、人は、眼前に自分の周囲に三次元のシミュレーション空間を知覚する。

(2) CAVE

三次元空間の表示システムには、HMDのほかに、CAVE(ケープ)がある。CAVEは、「人間は洞穴(CAVE)の中で、世界そのものでなく世界の炎によって映し出された映像を見ているにすぎない」というプラトンの言葉に由来するその名称が示す通り、部屋をつくらせてその部屋の各面にHMDと同様の三次元映像を投影するシステムである。1993年に、アメリカのSIGGRAPHという、コンピュータ・グラフィックスの学会であり展示会でもある有名な学会で発表された¹¹⁾。

CAVEの映像表示、つまり空間提示原理は基本的にHMDとまったく同様である。最も初期のプロトタイプは1枚の単なる大型ディスプレイであったが、見ている人が首を動かしたとき、その動きを検出し計算して、そのとき見える映像を表示するものであった。ただ、HMDにおけるバーチャルプレーンは実際の表示面(実プレーン)とは別の場所につくられたが、CAVEではちょうど実プレーンのところに位置するわけである。また、そのバーチャルプレーンに投影された映像から、シャッター式の眼鏡や偏光を利用して左右の目の映像に分離するのも同一である。

CAVEとHMDが考え方として最も異なるのは、HMDが頭部に装着され、表示系が体と一緒に動くシステムであるのに対し、CAVEは表示系が自分の外部にあり、それが人間の動きによって変わるという点である。HMDも非常に広い空間を提示するわけであるが、その瞬間見えていない空間は首を動かすことで見えてくる。CAVEも首を動かさないと全部は見えないが、人間がある位置にいて見えるはずの空間については最初から全部提示しておくことができるというところが大きく違っている。それにより、CAVEでは見る人間に広い視野を自然に提供できる。さらに、HMDでは表示装置を小さくするため解像度を上げようとすると素子そのものを小型高精細にしなければならず、技術的に大変なことになるが、CAVEではそれぞれの面に対し提示面を分割し、映像を複数のプロジェクタで投影すれば割合容易に解像度を上げられる。つまり映像品質を高く

し、よりリアルな空間にしやすいということもメリットとしてあげられる。しかし一方、装置が大掛かりになる点と実空間を消去しきれない点が欠点である。

(3) HMP (Head Mounted Projector: ヘッド・マウント・プロジェクタ)

VRを実現する方法としては、HMDとCAVEという2つの装置が代表的であるが、しかしその2つとも、オーグメンティド・リアリティのように「実空間とVR空間を重ね合わせて見る」という目的には、実はあまり適していない方法なのである。というのは、HMDでは、それで目を覆ってしまうので実空間が見えない。「シースルーHMD」を利用すれば実空間もVR空間も両方見えるのであるが、オクルージョンの問題が解決されていない。すなわち、たとえば自分の手がVR物体の前に来たらVR物体が隠れて見えなくなったり、あるいは逆にVR物体に隠れて自分の手が見えなくなったりしなければいけないのであるが、HMDでは提示位置が計算されて決まった場所に投影されているので、どうしても透けて見えてしまう。実環境もカメラで捉え、物体までの距離を計測して、VR環境と遮蔽の矛盾なく重ねるといふ「ビデオシースルー」という方法も考えられるが、距離の高速で正確な計測が必要となりシステムが複雑で、しかも視野が狭くなってしまい決め手にはなっていない。

この「遮蔽問題」はCAVEの環境でも同じである。CAVEはVR空間提示には良いシステムであるが、VR物体で自分の手を隠せない。遮蔽問題に加えてもう1つ「焦点」の問題もある。通常VR空間を見ているとき、人間の眼の焦点は常に1mぐらいのところであり、おもに両眼視の輻輳機能によって眼から20cm以上の距離にある場所であれば、あまり違和感がなく観測できる。ところが、オーグメンティド・リアリティでは同時に実空間にある物も見られるわけで、そのとき眼の焦点はどうしても実際にその物がある距離に合わせられることになる。すると、オーグメンティド・リアリティで現実の物とVR物体を両方見ていると、急にどちらかの像がぼけてしまったり、実際の物とVR物体を重ねたはずなのにそうは見えなかったりという状況が生じる。

それを解決する方法の1つにHMPと再帰性反射材を用いる方法が提案されている¹²⁾。HMPは、人間の運動を計測して対応する両眼用の画像をつくり、それらの画像を別々に投影するのはHMDと同じであるが、投影する場所が異なる。まず、ちょうど眼とプロジェクタの位置を一致させるための工夫として、ハーフミラーを用いて90度光路を折り曲げた眼の共役点の位置にプロジェクタを置いて画像を投影すると、人間の眼の位置から遠方のスクリーン面に向けてその画像が投影される。このスクリーン面には再帰性反射材という、光を受けると、キャッツアイや直角プリズムのように、その光が来たのまったく同じ方向に反射し返す物質が塗ってある。左右の両眼の位置からスクリーンに投射された2系統の光は、そのまま両目の位置に戻り、

右目の位置から出た光は右目に、左目の位置から出た光は左目に帰ってくるので、眼鏡なしのそのまま両眼立体視が可能なのである。

再帰性反射剤を塗ったHMPのスクリーンは、「オブジェクト・オリエンティド・ディスプレイ」と呼ばれ、スクリーンとなりうる実体物があるところでだけ映像が映るというディスプレイの一種である。触覚再現装置とこのHMPを組み合わせると、VRの物体に実際に触ることができる。そのときもちろんVR物体は、伸ばした人間の手にしっかり隠れ、透けて見えるということがないので、HMPは、オーグメンティド・リアリティを応用する際の有望な装置として期待されている(写真3)。

4.2 触覚ディスプレイ

触覚のうち固有受容感覚の提示については、遭遇型の触覚ディスプレイが有望視されている。これは、実際に何か実物か模型を置いておくのがよいというアイデアから実現されたものである。ただ、本物や模型を置いては、汎用性がないので、バーチャルな模型を置く仕組みになっている。つまり考えられる限りあらゆる物体の形状の要素を備えた、模型的物体を「素片」と呼び、その素片が、人間の動く手の先に待ち構えていて、手と素片が実際に接触することで触れたという感覚を提供するものである¹³⁾。

視覚を提供するにはHMDを用い、人間の運動を計測して、物体のモデルと人間がどういう位置関係にあるか、物体や自分の手がどう見えるかを計算して三次元のCGで映像化していることは、他のVRシステムと同様であるが、その物体モデルに手を触れようとしたとき、素片がその場所に待ち構えていて、それに触れることができる点が他のシステムと異なっている。そしてHMDでたとえば円筒状の物体が見えているとして、円筒の側面の丸い部分に触り、つぎに両端の平らな部分に指を滑らせるとすると、システムがそうした指の動きを検知して素片を動かし、丸い触れ心地や平らな感触を実際に提供する(写真4)。この

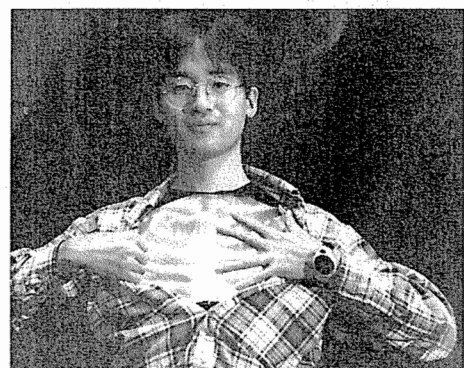


写真3 頭部搭載型プロジェクタ(HMP)と再帰性反射材によるスクリーンを利用することにより、新しいオーグメンティド・リアリティの世界が拓ける。この例では、人間のX線像を遮蔽矛盾なく人間に重ね利用可能としている。



写真4 物体の形を「素片」(考えられる限りのあらゆる物体の形状の要素を備えて模型的物体)で近似して人間に提示する。人間はHMD(頭部搭載型ディスプレイ)をかぶり、物体の形状を“みる”と同時に、その形状を“さわる”ことができる。

システムは現在のところ、指先を模した器具を手を持って物体に触るようになっている。というのは、指先に皮膚感覚が生じると、素片が動いているのが人間にわかってしまい、それがこのシステムで触覚を提供する根拠となっている固有受容感覚で得たものと矛盾してしまうからである。また、現在は指一本で物に触れるシステムであり、手の平全体や両手で触れた感触が得られるものではない。今後、多くの指で触ることのできるシステムへの進展が課題となる。

一方、皮膚感覚については、振動子で振動を起こし、振動の周波数やインパルス成分の頻度などを変えることで、たとえばサンドペーパーを触っているような感覚を生じさせる装置なども開発されている¹⁴⁾。また、電気パルスを経皮電極を介して人に提示して、振動感覚に似た感覚を伝えることも可能である。現に、マイスナー小帯とマーケル触盤を選択的に発火させる経皮電気刺激の方式も考案されており¹⁵⁾ 今後が期待されている。

触覚研究は実際の応用を考えたとき、きわめて重要な要素でありながら研究が遅れており、今後の研究成果が期待されている。固有受容感覚と皮膚感覚の統合などが今後の重要な研究テーマであろう

5. おわりに

VRはシミュレータによる訓練や科学的な解明シミュレーションをはじめとして、人間がさまざまな事項を体験的に学び解明するための3次元かつインタラクティブな没入環境を提供する道具である。それが、VRはAI(アーティフィシアル・インテリジェンス:人工知能)に対比してIA(インテリジェンス・アンプリファイア)であるといえわれているゆえんでもある。いずれにしても、VRを用いるシミュレーションは人間の知性に磨きをかけ、さらに素晴らしいものとしてゆくための大きな意義と可能性を秘めた概

念であり、技術であり、道具であって、今後の進展が大いに期待されている。(2001年9月19日受付)

参考文献

- 1) I. E. Sutherland: The Ultimate Display, Proceedings of IFIP Congress, 506/508 (1965)
- 2) 舘 暉: ロボットから人間を読み解く: パーチャルリアリティの現在, NHK 人間講座, 日本放送出版協会 (1999)
- 3) The American Heritage Dictionary, Third Edition, p. 898 (1994)
- 4) 舘 暉 (監修): パーチャルリアリティの基礎, 全4巻, 培風館 (2000)
- 5) 舘 暉: 人工現実感, 日刊工業新聞社 (1992)
- 6) T. A. Furness, et al.: Virtual Cockpit's Panoramic Displays afford Advanced Mission Capabilities, Aviation Week & Space Technology, January 14, 143/152 (1985)
- 7) S. Bryson and C. Levit: A Virtual Environment for the Exploration of Three Dimensional Steady Flows, Proceedings of the 1st International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT'91), 15/23, Tokyo, Japan (1991)
- 8) G. Szekely, et al.: Virtual Reality-Based Simulation of Endoscopic Surgery, Presence, 9-3, 310/333 (2000)
- 9) R. C. Smith: Automotive Applications of Virtual Environments, Proceedings of the Industrial Virtual Reality Show & Conference (IVR'99), 38/40, Tokyo, Japan (1999)
- 10) 舘, 荒井: テレグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価, 日本ロボット学会誌, 7-4, 314/326 (1989)
- 11) C. Cruz-Niera, T. DeFanti and D. Sandin: Surrounded-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, ACM SIGGRAPH'93 Conference Proceedings, 135/142 (1993)
- 12) 川上, 稲見, 柳田, 前田, 舘: オブジェクト指向型ディスプレイの研究, 情報処理学会論文誌, 40-6, 2725/2733 (1999)
- 13) S. Tachi, T. Maeda, R. Hirata and H. Hoshino: A Construction Method of Virtual Haptic Space, Proceeding of the 4th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT'94), 131/138, Tokyo, Japan (1994)
- 14) 田中, 諸橋, 前田, 柳田, 舘: インパルス成分を有する振動刺激によるインタラクティブ触覚ディスプレイ, 計測自動制御学会論文集, 33-7, 680/686 (1997)
- 15) 梶本, 川上, 前田, 舘: 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 電子情報通信学会誌, J84-D-II-1, 120/128 (2001)

[著者紹介]

たち
舘

すずむ
君 (正会員)



1946年1月1日生。68年東京大学工学部計数工学科卒業。73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、通産省機械技術研究所バイオロボティクス課長、マサチューセッツ工科大学(MIT)客員研究員、東京大学先端科学技術研究センター教授などを経て、94年東京大学工学部教授。現在、同大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻教授。バイスペクトル、盲

導犬ロボット、テレグジスタンス、アールキューブなどの研究を行う。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、日本バーチャルリアリティ学会初代会長などを務める。SICEフェロー