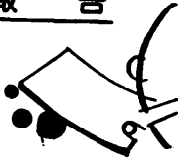


報告

パネル討論会



3次元対話環境の将来†

パネリスト

渡辺 顯¹⁾, 松井 俊浩²⁾,
 廣瀬 通孝³⁾, 神部 勝之⁴⁾,
 司会 井越 昌紀⁵⁾

司会(井越) 時間がまいりましたので「3次元対話環境の将来」という、パネルディスカッションを始めたいと思います。私、今回司会を務めさせていただきます機械振興協会の井越と申します。本日のパネルディスカッションは、ここにおいでになります4人のパネラの方を中心に進めさせていただきます。



それではまずパネラの方をご紹介します。私の右側の方から順にご紹介いたしますと、東京大学工学部産業機械工学科助教授の廣瀬通孝先生、廣瀬先生は52年産業機械工学科ご卒業、それから57年に博士課程を修了されまして、現在ご専攻がシステム工学、ヒューマン・インタフェースということで、情報の視覚表現、人工現実感、空間認知などに興味をもってご研究なさっていらっしゃいます。

そのお隣りが渡辺顯さん。42年に北大工学科の精密工学修士を卒業されまして、科学技術庁の航空宇宙技術研究所に入られ、それ以降飛行シミュレーション、飛行シミュレータなどの研究に従事されています。飛行解析システムですとか、新デジタル光操縦システムなどのご研究を進められて、現在飛行シミュレーションの研究室長でいらっしゃいます。

そのお隣りが松井俊浩さん。通産省の工技院の電子技術総合研究所、知能システム部、自律システム研究室、57年に東京大学の情報工学科の修士を卒業されて入所いたしまして、極限産業ロボットの大型プロジェクトの研究に従事されています。特に遠隔ロボット制御のためのマルチメディア・ディスプレイの開発に従事されています。

そのお隣りが、ソリッドレイ研究所社長の神部勝之さんでいらっしゃいます。52年に上智大学の数学科のご卒業で、図形処理の会社を経て、現在は日本で唯一の立体映像の専門会社を設立され、各産業分野、あるいは研究機関への導入を推進される一方、いろいろな立体視の研究開発に関与なさっていらっしゃいます。

1. 3次元対話環境

さて、3次元対話環境は、最近ではディスプレイ装置も非常に表示のスピードが早くなり、立体視を含む3次元映像技術も種々試みられるなど、表示のほうはかなり進んでおりますし、大きさも小さいものから大型のプロジェクトまでいろいろあるわけです。これからは3次元入力技術がかなり必要になるのではないかとということで研究開発がされておりまして、研究発表でも入力のむずかしさが、いろいろ指摘されているわけです。一方、実時間処理の行える3次元の入力装置と出力装置とを使った、いわゆる3次元の対話環境というのが、つまるところわれわれが望んでいるところがあります。新しい3次元出力技術、3次元入力技術の展開により、将来の対話環境、すなわち入力し、処理し、表示する環境の中で、人がインタラクティブにその3次元環境の中に入り込んで作業が行える、こういうようなことが将来望まれるんじゃないかと考えております。そこで今回はこのような観点から、いろいろお話を伺おうと思っております。まず、廣瀬先生から導入的なお話を伺いたいと思います。

廣瀬 ただいまご紹介に預かりました廣瀬でございます。与えられました宿題は大きくて、3次元対話環境の導入部の話をしろということですので、私の話ではこの分野全体を概括してみたいと思います。



†日時 昭和63年10月25日(火) 14:45~17:00

場所 機械振興会館大ホール

1) 航空宇宙研, 2) 電総研, 3) 東大, 4) ソリッドレイ研,

5) 機械振興協会

2. ニーズとシーズ

井越さんから話がございましたが、この話題は計算機の高能力化と密接な関係があります。計算機の高能力化はニーズでもあり、シーズでもあるということが最初に申し上げたいことです。計算機が高能力になって、今までキーボードでしか使えなかったものがディスプレイ上に出た3次元図形をぐるぐる動かせるようになる。そういうことができるようになる。これがシーズです。一方では計算機が高能力化して、たとえば高度なエキスパートシステムみたいなアプリケーションでは、そのままでは計算機が中で何をやってるか人間に分からなくなる。つまり、計算機は自分のやっていることを、人間に分かりやすく表現してやらなければならない。これはニーズでしょうね。一方技術全体に対してわれわれの満足水準が上がってきているということも確かです。たとえば実際の制御系にしましても、昔はセンサから自動的に計算機に情報がぱっと上がってくるだけでも、みんなが、ああ凄いと喜んだわけですが、今ごろはそれだけではあまり喜ばない。もうちょっと高度なものが要求される。そういったものがニーズとなるわけです。これらニーズとシーズが一体となって、新しい技術体系を作っていくことだろうと思います。

もともと計算機の世界というのは論理的な世界ですから、よほどのことがないかぎり空間という話が出てこなかったんですね。最近になって、アプリケーションの幅が広がってきたということでしょう。たとえばスペース・ロボットなどは最近のアプリケーションでしょうが、これだけ複雑なロボットをどういうふうにしてコントロールするかが大問題です。まさかキーボードだけ叩いて操作できないでしょうということ、3次元対話環境への大きなニーズとなっています。事実、NASAはこの分野で先端的役割を果たしています。

今度はシーズをご紹介します。メディア・ルームという部屋ですが、この部屋自身が計算機の入力装置であり出力装置であるというわけで、空間と人間とがインタフェースをする初めてのシステムです。部屋の中に椅子がありまして、椅子の前にはディスプレイやスクリーンがあります。椅子の中に座った人間の行動、たとえば、人間が指さしたとか、立ち上がったとか、そういう情報が、この部屋の中に置かれたセンサをとおして計算機が全部検出できるようになっていま

す。人間がスクリーンを指させば、スクリーンに人間の思うとおりの情報が出されるとか、そういう空間形のインタフェースが提案されたわけです。

それ以前ですと、それだけの能力をもった計算機もありませんでしたし、概念設計はできたとしても実際実現は不可能だった。やっという新しい環境が提案されてくるようになったというわけでありまして。

3. 人工現実感のハードウェア

それでは次に3次元の対話環境のハードウェアということに話を進めていきたいと思います。メディア・ルームなどは、3次元対話環境の前史みたいな感じでございますけれども、現在ではどんな操作のハードウェア、表示のハードウェアがあって、それからそれをどう統合していけばよいか、少しご説明したいと思います。3次元対話環境を実現するためには3次元空間を実時間表示するハードウェアもいりますし、先ほどのメディア・ルームで採用されたような、人間の動作を計算機が認識して、表示系のほうの側に情報を送り出してやるための操作システム、が必要です。それらを全部統合したものが最近よくいわれている人工現実感という技術であります。

これを一番最初にいい出したのはだれかよく分かりませんが、現在よく知られているのが、NASAのエイムズ・リサーチ・センタのシステムでしょう。これは表示系として頭部マウント形のディスプレイを採用しています。ヘルメットの両眼の部分に液晶の小さなディスプレイを付けまして、右目用左目用の画像を表示するわけです。さらにこれのおもしろい点は、頭の上に方位ないし位置を検出するセンサが付いておりまして、頭の動きに応じて、ここに表示される絵を、右だの左だのあるいは上だの下だのに動かしてやることができます。こうすれば、あたかも自分がいるかのごとくに、ぐるっと全周囲にディスプレイができるということになります。

それともう一つ、操作系についてですが、これはやはり西海岸のほうのベンチャが作った製品で、手袋であります。手の指にそって、あんまり性能の良くない光ファイバが入っております。それで指をキュッと曲げますと、その部分だけ光ファイバは光の透過効率が悪くなるんですね。曲がったということが分かるわけです。全部で光ファイバが10本ぐらいありますから、10関節、指の全自由度を表現することはできませんけれども、ジャンケンぐらいはできるわけです。

それと手首のところに、3次元空間の位置と姿勢を磁気的手段で検出するようなセンサがあります。これらのセンサからの情報を全部合わせますと、手がどんな形で、どういう姿勢をしているかすべて分かるというわけです。そういうことができますと、計算機の中に作られたソリッド・モデルの空間の中に、こういう手が突然として出現することが可能であるということでもあります。

先に申しあげましたヘルメットといまの手袋のような腕や手の動きを入力できるようなシステムを組み合わせた上で、あとは計算機の側で、ソフトウェアによって仮想的なワールドを作っちゃうわけですね。それを用いてたとえばここに仮想コントロール・パネルなどのような現実には存在しない物体をこうやってさわってみたりすることができるという環境を作り上げることができるというわけです。

ただ実際これやってみますと、触覚フィードバックをどうするかとか、なかなかむずかしいものがあります。次に技術的にどこがむずかしいかという話をいたします。

4. 操作における現実とのギャップ

3次元対話環境の装置を作ってマニピュレータ操作をやってみたんです。立体映像を表示するCRTがあって、ここに被験者がいて、まだデータグローブにはなっておりませんが、ある種の3次元位置と姿勢を入力するデバイスがあって、その指令に基づいてマニピュレータが動くという装置を作ってみました。やってみるといろいろなことが分かってきました。たとえば、うまく操作できる人と、非常に下手な人が出てくる。たとえば、現実の世界でこら辺に物が置かれていたとして、ぱっと取り上げられない人は、まず少ないわけですね。いたとすればどこかに障害があるはずだということでしょう。こういう操作は、われわれは何の苦労もなくやってるわけですが、ああいうふうに途中で電子装置が入ると、これがうまくいかないんですね。これは表示系のほうに問題があるのかもしれないし、操作系のほうに問題があるのかもしれないのですが。

われわれの頭の中というのは視覚と操作がループになった構造になっています。たとえば何か操作しようとしたときに、操作する空間というのを頭の中に描きます。目で見たときに網膜に映っているのが視覚空間です。両方の空間は脳みそのかなり賢い部分にある認

知プロセスによって結合されているというわけです。一方、外部の実空間でも操作の結果が見えるわけで、つまり全体がぐるっとループになるわけです。赤ちゃんのときからの発達の結果、このループは完成してくるわけです。けれども、人工的な3次元対話空間では、ループの途中がすばっと切れ、計算機入力と映像空間が強制的に割り込むわけで、よほどうまくやらないとなかなか動かないということになります。いわば歪んだ空間になっているわけで、従来のイメージでロボットの腕をひゅっともっていかうとすると取れないということになるわけです。いろいろ実験してみますと、そういうところが非常にむずかしいわけです。もう少し細かいところでは、自分の手の寸法を映像になった手とがどのくらい同じでなければならぬかということもあります。極端なことをいうと、指の寸法というのはみんな変わってるわけで、個人個人でチューニングしてやらなければならない。現実には先の手袋とかいろいろ使ってやってみますと、指先でリングを作ったつもりが人のキャリブレーションデータを使ったおかげで変なふうになっちゃったりすることがよくあるんです。この程度ならキャリブレーションの問題ですむでしょうけれども、手と相似形でないハンドをもったロボットをコントロールしようとしたときに、自由度の関係をどんな形で最適設計すればいいだろうかということが非常に今むずかしいと同時に面白いと感じてるわけがあります。

時間がだいぶん過ぎてしまいましたので、こういう技術が技術的にどんな意味をもつかについては、あとで申し上げたいと思います。

最後に一言だけ申し上げておきたいのは、アプリケーションについてです。こういう技術というのは、まあ、すぐグラフィックスとかCADとか、もともと空間的に図形を表現するようなものに、まず使えるんじゃないかと考えます。もちろん短期的な応用例としてはものすごくあるでしょうけれども、もうちょっと広がりのある分野があると思います。もともと空間的でないものを、どうやって空間的に表現するか、あるいは空間的であるものを、もうちょっと論理的に扱えないかとか、そういう分野が広がっていくことが1番おもしろいんじゃないかなと思ってます。

5. 飛行シミュレータ

司会 それでは次の対話環境ということでは、比較的历史がある飛行機のシミュレータについてお話を伺

います。飛行機の操縦士に対しては、実際に傾く機構部分と、ビジュアルな部分と両方ある飛行シミュレータでかなり飛行訓練を行って、それから実機に乗るといふ具合に使われています。飛行機のシミュレータというのは、ある意味では対話環境ということができるでしょうし、計算機とつながった環境としては非常に歴史のあるものじゃないかと思っております。この方面のご研究をなさっていらっしゃいます渡辺さんからお話を伺います。

渡辺 初めまして、航空宇宙技術研究所の渡辺と申します。私をご紹介にありましたように、飛行シミュレータ関連の仕事をしております。また今から



お見せしますビジュアル関係の仕事の監視役をやっています。実際にハードを作ったり絵を作るのは私ではありません。

まず最初にフライト・シミュレータというものが、どのようなものかご紹介いたします。その中でビジュアルがどのような具合になってるかをお伝えし、そして3次元と称するビジュアルのデータを、われわれのところではどんなふうにしてるかをご紹介しようと思っております。

飛行シミュレータというのは、ご存じのように飛行機が空を飛んでいるときの様子をパイロットが操縦しそのコメントをもらうときに使います。2種類ありまして、私ども航空宇宙技術研究所では研究開発用に用います。まだ飛行機がない段階、もしくはどこか飛行機の改造をしようというときに主に使います。もう一つは運行会社でおもちのもので、パイロットのトレーニングに使います。

飛行シミュレータは内容的には、まずパイロットが乗る操縦席の部分。そして操縦は離着陸のところが焦点になります。計器だけで降りろというのはさすがに酷ですので、外部に滑走路が見える必要がありますので外部視界を模擬するビジュアルシステム。それから飛行機は空に浮いてますので、体に動きを感じますので、その動きを伝えるモーション模擬装置。そして飛行機は運動してますからそれを解く計算機。大きく分けるとこの4つからなるわけです。訓練用のものも基本的には同じです。

きょうはビジュアルという話ですので、絵を見せる主な手法をお見せします(図-1)。ここにありますがこれは、ブラウン管でパイロット席の上から下向きに置

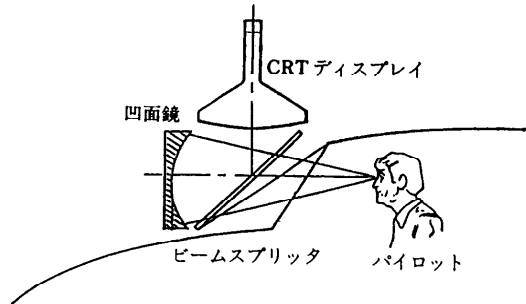


図-1 無限遠表示装置

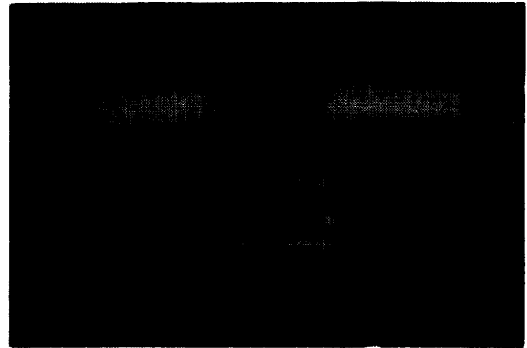


図-2 模擬操縦席部の内部

いてあります。その前のところにビームスプリッタという半透明のガラスが1枚置いてあります。向こう側に凹面鏡が置いてあります。したがってブラウン管から出た光はビームスプリッタで反射して、いったん向こう側に行きまして、つぎに凹面鏡で反射して返ってくる。そうするとパイロット席から見て大体40m先ぐらいのところに焦点を結ぶ像ができ遠くを見えるような感じがします。

さて、これらの装置が実際どういうふうになってるか、実際にものを見ていただいたほうが良いと思いますので、ビデオでご紹介します。

これは私どもの建屋でして、飛行シミュレーション・センタと呼んでるところで、この建屋の中にフライト・シミュレータがあります。

これは操縦席の中に入ったところでして(図-2)、ここにパイロットが実際に、実機の飛行機を操縦してるかのごとくにやります。計器類、それから操縦桿というのはなるべく実機に似せるわけです。もっとも開発の段階に実機というのはないですから、設計段階で考えたものを並べるわけです。並べ方は大体基本がありますので、それに合わせてやる。操縦は窓から外部の視界を見ながら滑走路に向かって降ります(図-3)。

この滑走路、今のくらの高度であり、それから

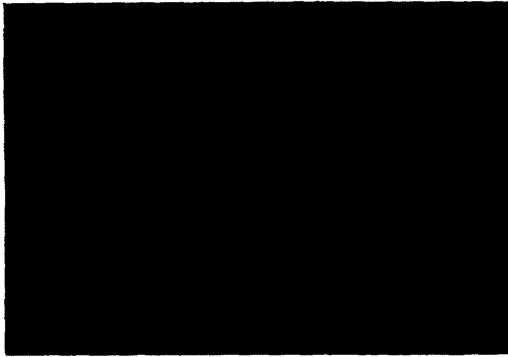


図-3 滑走路を含む外部視界の例

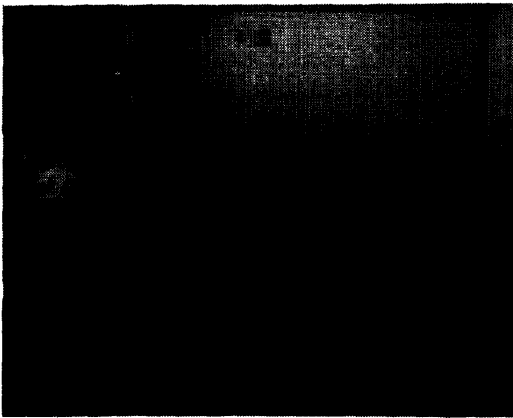


図-4 IMAP 操作環境

どのくらいの距離、離れてるかをこの絵から読み取ってくれということがなかなか大変です。なるべく細かい画像を作れば、たとえばそばに自動車が通ってれば、どのくらいの大きさか分かるようになる。

6. 3次元環境データの入力

こういうデータを研究開発の場合ですと短い滑走路にしてくれ、あるいは山の中にしてくれとかで、しょっちゅう入れ替えることになるのです。私どものところでは、このためにインタラクティブな手法でデータを作るプログラム (IMAP) を開発しました (図-4)、このデジタイザの上に図面を乗せまして、カーソルでメニューをピックしながらこちら側からの指示でデータを作っていきます。きょうの3次元の入力という話は3次元の空間に入っていくパイロットの話も含んでいますが、私どものところでは、そのデータを作ることも含め両方が大切です。

次にでき上がった画像がうまくできているかどうか

というチェックが当然必要になる。裏から見ても前から見ても間違いなく予定どおりにできてるかをチェックします。こういう (ジョイスティックのような) 操作レバーを使います。

実は私どものところ、これ (ビジュアル装置) を入れましてもう7年くらいたちます。では現在どのくらいまで進んでるかという例がこの画像で木、山はだ、雲などが非常に細かく描かれています。これは私どもがもってるものではないです。60ヘルツで絵を動かしてますから、このスピードどおりで絵が描かれるわけです。雲の様子とか森林のようなものがそれらしく出せる時代になっています。したがって出せるということはデータも作らなくてはならない。このデータを作るのがかなり大変なわけです。

画像を作るのは、先ほどもいいましたが私どものところでは、スーパー・ミニコンの計算機の中に入ってるIMAPと称するプログラムを動かして作ります。実際にこの画像発生装置がリアルタイムで動くわけで、それでデータとして作られた画像はこの3次元ディスプレイのところに出てくる。今、入れているデータがただちに自分の前の画面に出てくるようにして、データの作り方を早くしましょう、ということをやってるわけです。実際に3次元のデータを作るのは、今いいましたような装置を使っております。できた画像は一応3次元らしいわけです。そんなに強い立体感というのは、飛行機のシミュレーションの場合は多くないです。ところが先ほどスペースシャトルの例が出てきましたようにシャトルのふたがあいて中からマニピュレータが出て何かを動かしましょうという、立体感が強く出てくるものがほしくなってくる。そうすると表示装置では困ります。3次元の様子をつかみたいというのは、宇宙あるいは航空でも、よりそばに近付いたときには必要になると思います。

司会 ありがとうございます。フライト・シミュレータではパイロットが実際に操縦席に座って、シミュレータでいろいろテストをやるという前の、いわゆる環境モデルを作る、これが非常にむずかしい。現在でも非常に大変な苦勞をされて作っていらっしゃるというようなことが指摘されました。

7. ロボットの対話的指示

続きまして現在極限作業ロボット、人が到達できない所でロボットが作業するという内容の大型プロジェクトが走ってるわけですが、ここでご研究されていら

っしゃいます松井さんからマルチメディア・ディスプレイ、極限作業ロボット、ここら辺のことについてお話を伺いたいと思います。

松井 電総研の松井です。ご紹介にありましたようにロボットのテレオペレーションの立場から見た3次元の対話環境の将来を考えてみたいと思います。



従来ロボットというと、工場で組立や溶接、塗装などの作業を行う産業用ロボットが一般的だったわけですが、そういうものは決められた作業をするだけで、あらかじめ熟練した者が動作をきちんと教えておけば、そのままそれをくり返すという単純なことしかできなかったわけです。そういうものも人間を単純な労働から解放するという意味では重要なわけですが、ロボットに対する要求というのはそれだけではありません。災害時に人を助けに行くとか、放射性物質を扱う作業をするとか、人間がやると人命にかかわる作業をさせたいという要求が高まってきているわけです。そのほかにも、宇宙に出て行って衛星の保守作業をさせたいとか、あるいは海底の資源を探索するとか、極限環境のロボットというのが必要になってくるわけです。このようなロボットが、先ほどの工場で動くロボットと違うところは、動作の指示をあらかじめ与えておくことができない点です。かといって自律的動作もあまり期待できない。それでどうしても人間が対話的にロボットに動作を与え作業の進行を監視する必要があるわけです。

8. 反力の返るマスタスレーブマニピュレータ

そういう3次元の動作を機械にやらせるとき、制御の方法によってグラフがあります。横軸が作業に要する時間、縦が作業の難易度としてみてください。PPというのは、ピック・アンド・プレイスの非常に単純な作業、それからSAというのはシンプルな組立作業、NAはノーマルな組立作業ということです。関節のモータをオンオフできるだけの制御法ですと、このくらい時間かかるけれども、スピードの強弱が制御できるような制御法ですと、もう少しよくなる。それからRMRCといひまして、3軸方面の速度を制御してやる方法ですと、さらによくなる。それから関節の角度でなく、手先の位置が制御できるポジションコントロール方式ですと、また少しよくなる。これがいわゆるマスタスレーブ制御とよばれるものですが、さらに

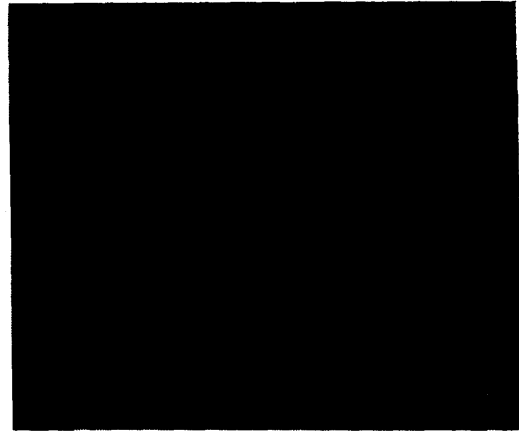


図-5

反力が返ってくるようなバイラテラルなマスタスレーブというものを使いますと一層改善されるということが分かるわけです。しかしそれでも、ここにある人間がじかにやった場合の評価と比べると、難易度の高い作業ではバイラテラルマスタスレーブをもってしても、まったくかなわないということが、分かるわけです。ここにありますのは昔からありますマスタスレーブのマニピュレータの例です(図-5)。1954年といひますから、35年も昔の写真です。右側にありますマニピュレータがマスタで、左側がスレーブで見えてわかるようにまったく同じ形状をしています。上のほうに駆動系がありますが、内部はリジッドなワイヤで結ばれておりまして、動かすとおりに動く。向こうで何かひっかかれば、その反力が返ってくる、重いものをもつときはこちらの人間は汗だくで仕事をするということだったんです。それがだんだん電気や、油圧を使った倍力装置を備えることによっていろんな仕事ができるようになったわけです。ここにありますのは、現実に原子力施設で使われていた例です。このほかにも、深海探査用のマスタスレーブですとか、双腕型のマスタスレーブなども大分昔から開発されてきております。

しかし、どれも人間側と機械側とをリジッドに結合させただけですとスレーブマニピュレータの形が変われば人間側のマニピュレータの形も変えなきやいけないということになります。間に計算機を入れることで関節の形状の差異を吸収し、異形状のマニピュレータの制御ができるようになりますし、あるいはこちら

側では速度を制御されるが、あちら側では位置が制御されるというような変換も可能になってきたわけです。

これは電総研で開発されましたマスタマニピュレータです。特色は全軸がダイレクト・ドライブになっているという点で、そのために摩擦が非常に小さく、反力の返り方が非常によくなっています。実際、10グラムとか、20グラムというレベルでの力の感覚フィード・バックが可能になっています。

これを使って、実際の操作をする場合には、ソフトウェアの力を借りて、いろいろな制御法が選べるようになっています。増分型制御というのは野球をするときに、まず素振りをしてみて、それからバッター・ボックスに立つようなものですが、離れた所で一回練習してきて、それから軸を当ててマッチをするというような操作をするものです。それからソフトウェア治具とっておりますのは、ある自由度は計算機が制御するけれども、ある自由度は人間が制御するものです。たとえばコップの水がこぼれないように水平に保つという拘束は機械が与えるけれども、それをどこに運んでいくかという制御は人間が与えてやるというような複合型の制御ができるようになってます。

9. マルチメディア・ディスプレイ

次に、図-6 はマン・ロボットインタフェースの一

つの概念図ですが、ここに近接センサ、タッチセンサ、事象などの情報が出てくるディスプレイが並んでいる。それから操作の入力手段としても、先ほどのデータグローブのようなものや、ボイス・コントロールなどを使ってシステムと協調していこうとしているわけです。このボイス・コントロールは現実には、スペースシャトルのテレビカメラの制御に使われているようです。手はマニピュレータの制御でふさがってますから、声でも使わないことにはテレビ・カメラまで口が回らないということなのでしょう。

それでもう一つ、電総研ではこの図に現れている情報表示を統合する装置としてマルチメディア・ディスプレイというものを開発してきました。マルチメディアということで文字の情報、グラフィックスの情報、それとテレビ・カメラの情報を同時に扱えましてさらにそれらをマルチウィンドウ中にスーパインポーズして表示することができるようになっています。先ほどのフライト・シミュレータのようなわけにはいかないですけれども、グラフィックスもかなり速く動くようになっています。それから最後に立体視の機能を付けて3次元中でのハンドリングがうまくいくようにということを考えたわけです。(ビデオを回してください)

ここには実際のロボットを監視してるテレビ・カメラが2ペアー並んでおります。これはディスプレイ、これは立体視用のめがね、これは制御装置です。画面

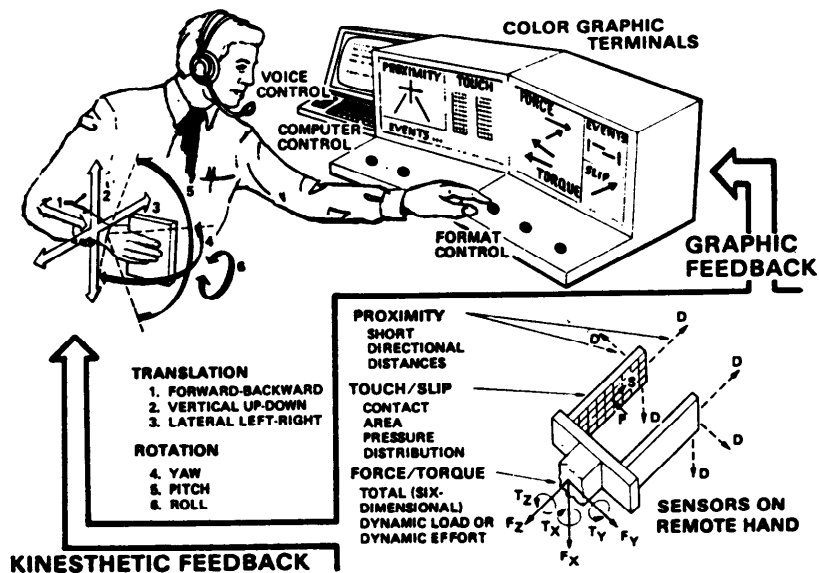


図-6

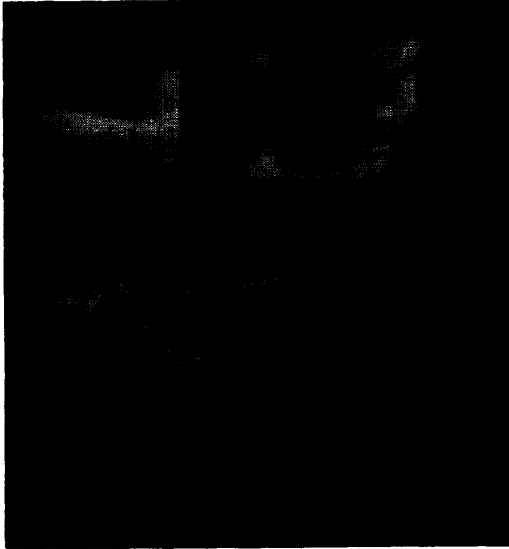


図-7

の左のほうにメニューがありまして、メニューとマウスを使ってこんな動作を教示できるようになっています。これはふたを乗せるという動作を教えるところですが、メニューでどの物体をつかんでどこに行きつけて離せというのを指定するけど、どの物体というのは、ピックアップで指示します。そこで取り付けろというのを入れると、上に置くという動作をする。これらをマルチウィンドウで監視しながら入力して、最後に全体を補間させながら動作をさせてみるわけです。これをスーパーインポーズディスプレイの上でやりますと、このように、実物をつかんでるがごとくに運んで行ってふたをしてくれる。

これは干渉チェックを機械にさせたいということでここに明るく現れてますのは、その面で干渉があるということを示して表示してるところです(図-7)。

このマルチメディア・ディスプレイを使って、作業の教示や編集それから動作のシミュレーションを行う例をお見せしたわけですが、次に実際の作業の監視ができるようになります。

10. プレディクティブディスプレイ

実際のロボットが、先ほどの災害救助の例のような有線で結合されているものと事態は割と楽ですね。それから、スペースシャトルのように、乗務員が操作できる場合も問題は少ない。ところが静止軌道ま

で行ってしまうと、人間が行けなくて無線で通信しなければなりませんので、動作の指令を出すのにも、結果を受け取るのにも必ずディレイが入るわけです。さらにディレイだけじゃなくて、通信の容量にも制限が加わります。それからテレビ・カメラの回りに浮遊物が現れて、よく見えないということもあります。

静止衛星のように、1秒2秒という単位のディレイが入るのはきわめて稀なケースかと考えがちですが、海中でも同じことが起こります。海の中では超音波を用いて通信しますが、海中での音速が毎秒1500メートルですので、何キロか離れるとそれだけでもう何秒かの遅れが出てしまう。さらに超音波ではデータのバンド幅が狭いので、毎秒数百ビットとか数十ビットとかいうオーダの通信しかできないわけです。これではマスタスレーブ操作に支障をきたすということで、大きなサーボのループを短い手元のループで置き替えてやろうという試みがあります。それがプレディクティブ(予測)ディスプレイと呼ばれるものです。これは実際の画像の上にモデルをスーパーインポーズして、実物を動かすとそれにつれてモデルが動くという表示です。このように、もし画面が真暗になって実物は見えなくなったとしても、モデルがどういうふう動いているかというのは、分かっているから、グラフィックスを見てれば何をしてるか分かるじゃないかというのがまずひとつです。これは実物の後でモデルを動かしてるわけです。

それからこれはマウスを動かすことによって、モデルが動いて、それにつれて今度は実際のロボットが動いているわけです。見て分かりますようにグラフィックスのモデルのほうが実物よりも先に動いています。ディレイが大きくなればもっと極端に効果が表れると思いますが、グラフィックスのほうが実物よりも速くフィードバックを返せるというのが要点です。また後でお話する時間があると思いますので、私の話はこれで終わります。

司会 ありがとうございます。ロボットの中では力のフィードバックの話、あるいはマルチメディアディスプレイということで、その中でモデルと環境とをどうスーパーインポーズするかと、そういうお話だったと思います。

11. 立体視ディスプレイ

実際には対話環境の中では物を立体的に見せる技術というのも非常に重要になってくると思います。たと

えば映画などでは、立体映画というのは比較的成功して興業されているわけですが、計算機のモデルを見せる立体視というものは、実験的なものはあったけど、なかなか実用にならなかった。しかし最近偏光技術をうまく利用いたしまして立体視をさせる製品がいくつか世の中に出てきたかに見えます。その技術のひとつをいち早く利用されまして、いろいろ開発もされ、その製品も売られているソリッドレイ研究所の神部さんのほうから立体視装置のお話を伺いたいと思います。

神部 今ご紹介に預かりましたソリッドレイ研究所の神部です。きょうは学会の席でして研究者の方、先生方が多いんですが、私だけ企業から出て人間ですがよろしく願いいたします。



それではまず私どもソリッドレイ研究所に関してご紹介したいと思います。これはちょうど一か月ぐらい前の『日経産業新聞』なんですが“流体の動き、立体映像化、ソリッドレイ研究所がソフト開発”こういう新聞をご覧になった方もいらっしゃると思います。それから、これは“そこはスターウォーズの世界、ソリッドレイ研、立体映像で宇宙体験”などという新聞記事も出ました。このソリッドレイのソリッドが立体という意味を表しています。そしてレイ、これはよく皆さんご存じの光線という意味ですね。すなわち立体光線を研究する会社という意味をもって昨年2月に設立いたしました非常に新しい会社です。

私どもの仕事はコンピュータの中にあるXYZの3次元データをいかに空間に映し出すか、そういったような装置の開発、それから製造、そして販売を行っております。

具体的に立体映像のお話をしたいと思うんですが、筑波万博で富士通のパビリオンで、ものすごく迫力のある立体映像を上映しました。この中の皆さまの中でも、かなり多くの方が富士通の映像をご覧になったと思います。あれはコンピュータグラフィックスを用いた立体映像でした。また、ディズニーランドにキャプテン EO というマイケル・ジャクソンが演ずる立体映画があります。これも有名になりました。どちらもそうですが、めがねを掛けます。私どものこれからご紹介する装置もサングラスのようなめがねを掛けます。われわれ人間のもっている両眼視差をうまく応用してコンピュータの中の3次元データをなんとか空間で立体的に見ることができないかと考えたのが、私ど

もの立体映像装置です。私どもはコンピュータの中の3次元データから、ある特殊な変換式を使いまして右目のデータと左目のデータを生成して、これらの画像情報をフレームバッファに格納します。それをどのようにその格納されているデータに関して、左目、右目を交互に120分の1秒ずつ切り替えて表示する立体コントローラに映像信号を送ります。さらにこの立体コントローラには、液晶バイザと呼ばれるスキーマのゴーグルのような特殊なメガネが接続されています。この液晶バイザは左目のデータが出てるときには右目のほうを暗くする。また左目データが出てるときは右目が暗くされて左目でしか映像は見えなくなるようになっています。このように、画面上に次々と出てくる左右画像に同期してバイザの左右のシャッターが開くようにすると、右目と左目にそれぞれ異なった映像が入ります。そして、これらの映像を頭の中で一つに融合し、3次元構造物を立体的に目の前に見ることが出来ます。

最近非常に多く出ているワークステーションにこの立体コントローラ、専用のディスプレイ、液晶バイザを接続して通常のワークステーションを立体映像で見ることができるようになりました。

さらにはこの立体コントローラからの立体的映像信号をプロジェクタに送りまして、このような大型のスクリーンで立体映像を見ることが出来るような装置も開発しております。最近こういう立体映像でこのようなプロジェクタ、あるいは19インチのディスプレイ上での立体映像装置を各研究所にお納めする例が多いです。ロボット関係でもいろいろ入ってますし、建築あるいは自動車、あるいは3次元CADを使っていらっしゃるメーカーさん、そういうところに私どもの立体映像装置が入って、現在利用されつつあるところで、時間になりましたので、これで終わりにさせていただきます。どうもありがとうございます。

司会 ありがとうございます。一とお話を伺いましたけれども、まだお話し足りないというパネルの方がいらっしゃるかと思います。特に3次元対話環境というのはどういうアプリケーションがあるのか、こら辺のところはこれからのところかと思えますけれども、お話かけになりました廣瀬先生のほうから、もし何かご提案があればお願いします。

廣瀬 ご指名でございますので、話かけのところを申し上げたいと思います。さっき申し上げましたように3次元対話環境を実現するためのハードウェア

は、これからだんだん作っていきけるのではないかと思いますね。ただこういう装置ができた際にはどういう使い方をすべきなのか、そういうことを少しずつ考えていく必要があるのではないかなというのが私の考えであります。

12. 形状以外の機能や属性の表現

それでこういう計算機の操作性についての有名な絵があるんですけども、これは横軸 Y はどれだけシステムの能力が高いかを示しています。Y 軸が上についてればいいほど、このシステムはいろんなことができる。X 軸が大きいほど分かりやすい。もちろん世の中のいろんなシステムをプロットしてやると当然このような右下がりのカーブになり、つまりトレードオフで話が進むわけですが、たとえば従来のメニュー方式のコンピュータを考えてみますと、これは論理だけの世界ですから、空間的制約がまったくない。ある所からある所へと突然ジャンプしたりできるわけです。これはたかさんのことができるわけです。ところが分かりづらい。一方、われわれが住んでる立体空間は、非常に分かりやすいですね。ところが制約が非常に多いですね。重力があったりとか、いろいろやかましいわけです。たとえば道具なんか、空中の一点に止まってくれれば非常にやりやすくて、すぐさま別の操作にも移れる。実際にはそんなことできませんから、機能からいいますと非常に低いレベルにとどまってしまう。それを何とかして、うまいところだけ取ってくることはできないだろうかということです。電子的に修飾された空間を作り上げることによって、機能を引き上げる努力をしようというわけです。つまり、空間をまったくそのままコピーするだけでは、より大きな技術的な成果を得られないのではないかと思います。通常の空間型のアプリケーションに、なんらかのロジカルな操作を加える必要があるということです。たとえば、ロボットの操作環境として私どもが提案しているのは、ロボットハンドの動くべきパスを表示してやるとか、ポインタをもっていった、こら辺の物体の情報は何なんだと聞くと、空間的にウィンドウがぱっと開いたりするような環境です。これは一種の魔法でありますけれども、実空間の中では絶対できないことなんです。むしろ論理に近い空間であります。こういうふうなことが、目で見ていただけではなくて、電子空間をはさんだことの大きなメリットではないかと思えます。フィジカルな空間、プラス論理空間というやつ

ですね。もう一つは先ほど申し上げました、本来空間的ではないようなアプリケーションだと思います。たとえば、私どもでは、大規模の並列プログラムの制御フローを 3 次元的に表示して、分かりやすくするという研究を行っていますし、MCC では、SEMNET といって、知識ベースのネットワークを空間的に表示することによって分かりやすくしようという試みを行っています。こういうふうな用途も考えてみてもいいんじゃないかと思えます。超空間といいますかそういうものをとり扱う技術が非常におもしろいんじゃないかと思っております。

司会 3 次元対話環境で扱う対象というのは、私どもは比較的現実に存在する形状を思い浮かべやすいわけですけども、今のように、3 次元で表現することによって、もっと論理空間も表現できるんじゃないかというご指摘は興味深い。この一つの例といたしましては、形状にも依存するんですけども、たとえば曲率ですとか、流速ですとか、いろいろな特徴というものを、たとえばベクトルの大きさを表すというようなことによって、設計者がとらえやすいような 3 次元の表示も、いろいろ試みられるようです。話を戻しまして、パネラの方は、ほかのパネラの方のお話をお聞きになった上で、是非ともこれだけは補足しておきたい、あるいはいい残しておいたところがあれば伺っていきたいと思います。渡辺さん、いかがでございますでしょうか。何かございましたら。

13. 訓練や経験による 3 次元認識

渡辺 私どものところはいずれにしても使う側が主で、使うのに、3 次元空間というか、立体的というか、少なくともふくらんでるなと感ずるのは、皆さんお分かりのようにシャドウを付けたり、こういうところに丸みを付けるからです。もちろん地球の前側にきてるから、これは手前側にあるとキャッチする。滑走路に非常に近くなると、それこそソビエタな操縦が要求されますから、正しく降りていくような感覚をいかに身に付けさせるかが重要です。一つには、こういう世界を知っていること、それからシミュレータに訓練されていることがあると思えます。私どものところではまだ見たこともないようなものは、そうたかさんは出てくるわけではないので、3 次元元といっても、使い勝手からいくと必ずしも本当の意味の立体感じゃなくても、人間の訓練で得られるようなものを使って、立体的に感ずるんじゃないかなと思うわけです。実際にシ

ミュレーションでやりたいのは、実は立体に関してじゃなくて、その飛行機の性能を知りたいわけですので、目的に応じて、3次元というものの使い分けが大切じゃないかなと、私は思ってるわけです。

司会 ありがとうございます。松井さんのほうで何か補足ございましたら。

松井 では、マルチメディア・ディスプレイの立体視の話させていただきます。マルチメディア・ディスプレイを使いまして、3次元空間の中でモデルを動かして実物の上にモデルを重ね合わせることで、実際の物体の位置を計測するとか、実際の作業監視に、どのくらい役に立つかということを実験してきたわけですが、うちの場合はやっぱり片側が毎秒30フレームずつの60ヘルツのもので、ちらつきがあったりするせいかもしれませんけれども、ある一点がどこにあるかを両眼立体視だけから見つけるというのは人間にとっても非常にむずかしい問題だと思います。そういう絶対的な距離の認識ではなくて、その物が、回りの物体との関係でどういうふうになってるか、動かしてみても、見え方がどう変わるかで立体感を認識してる、このほうが強いんじゃないかという気がするわけです。実際、両眼立体視で有効なパースペクティブが得られる範囲というのは、目から数十センチの所から、10メートルぐらいの範囲でしかありません。先ほど渡辺さんのおっしゃった飛行機のシミュレーションなんかの場合ですと、もっとスケールが大きいですから、おそらく両眼だろうが単眼だろうがあまり差が出てこないんじゃないかという気がするわけです。そういうことよりも、いかに動きをもった物体がリアルに表示されるかとか、陰の表示といったファクタが非常に大きいと思います。ファミコンでバレーボール・ゲームがありまして2次元の表示ですから奥行はよく分からないわけですが、ボールが飛んで行くとその陰が動くわけです。陰の動きからボールがどういう奥行方向のスピードをもってるかということを見極めてゲームをしているのを見てびっくりしたことがあります。それからテレオペレーションを海洋でやるところの研究者の方にお聞きした話では、立体視のはあまり使っていないんだ、ということをおっしゃりました。やはり目が疲れるとか、作業には輝度が下がる、眼鏡が邪魔などということで、なかなか両眼は使にくいということをお聞かせいただきました。私どもの経験でも、雲霧気として大ざっぱに扱うようなときには、両眼立体視による立体感はリアルで感性的な

わけですけれども、計測に用いる場合、あるいは細かい作業をするような場合には、両眼だけではまだたりなくて、さらにマルチウィンドウですとか、陰の情報ですとか、いろんな情報を総動員しないと3次元の対話というのはなかなかむずかしいんじゃないかという気がしています。

14. 立体視の利用実例

司会 ありがとうございます。立体視装置を使ったアプリケーションについて、いろいろ引き合いですとか、実際に納めたところで使ってるものとか、直接にはお話いただけないものも多いかと思えますけれども、立体装置というものは、どのような分野に使われて、あるいは使いたいという話があるか、少しお話いただければと思います。

神部 やはり3次元の将来ということで、立体視というのは有力な手段だと思ってます。私どもでは、コンピュータを立体視するということを手掛けるわけですが近未来的に、まず立体視を使ってかなりの効果が表れるだろうという分野をちょっとあげてみたいと思います。いうまでもなく3次元CAD。これは最近3次元でオペレーションできるようになってますが大体ワイヤーフレームですよ、設計してるときには。このワイヤーフレーム、複雑な構造になると非常に見にくいです。というのは奥の線か、手前の線か、分からなくなるわけですね。手前か奥の線か、分からないんですけれども、それを立体映像で確認できるようにすれば3次元CADなどはさらに効果的に使用できるようになると思います。

もうひとつ最近、数値シミュレーションがかなり発達してます。流体、構造解析、振動解析、そういった各種の数値シミュレーションの結果が、やはりコンピュータの3次元データで出てくるわけです。特に流体に関しては、空気や、水の流れをコンピュータで、クレイとかで計算するんですが、まず速度ベクトルが出てくるんですね。もちろんUVW・3次元もってるんですけど、どっちを向いてるか分からないです。ディスプレイに映してしまうと。あるいは流線がこういうふうに出てくるんですが、この渦のところに向こう側に回ってるのか、こちら側に渦を巻いてるのか分からないわけです。こういったようなのは、これを立体映像で見ますと空間に流線が浮かんで見えますので、どっちに渦を巻いてるか、あるいはこのベクトルはどっちを向いてるか確認できるわけです。そういう意味で

原子力関連とか、かなり高度な流体解析をしているところに立体映像装置が多く納入されています。それから建築、プラントエンジニアリングのプレゼンテーション用に導入されている例があります。これはどうしたことかといいますが9インチとか10インチのパイプがたくさん3次元的に配置されてるわけですね、プラントというのは、このパイプをお客様に見せる、あるいは自分たちで評価する場合に、この線手前なのか奥なのか、これがよく分からないわけです。それを立体で映すと一目瞭然です。これはプラント会社さんに納入実績があります。あと、松井さんのお話を聞きましたが、ロボットの動作シミュレーション、これも現在2件ほど受注をいただいています。大型のスクリーンをオペレータが見ながら、立体映像でロボットの腕を操縦するというようなアプリケーションでして、一つは原子炉内の極限ロボットのアーム・シミュレーション。そしてもう一つは人工衛星です。将来、日本が人工衛星を打ち上げるときに、人工衛星に積むロボットのアームハンドリングというために、これを来年ですけれども納入する予定です。

あと私どもで今考えてるアプリケーションですが、分子の立体構造をコンピュータでシミュレーション、あるいはエディティングするのが非常に多くなってくると思います。この分野も有効だと思います。あとはMRI、CT スキャナなどで人体の輪切りをした状況を、コンピュータでベクトル化して高速グラフィックワークステーションで見ると例が多いですが、これもやはり有効だと思います。レントゲンでもそうですね、骨が折れた絵を見るとこうなってる。じゃあこの骨はどういうふうに折れてるか、この骨が手前に折れてるのか、奥に行ってるのかはレントゲン写真からは分からないわけです。同じようにCT スキャナからのデータでも、患部がこっちから見るとどこにあるか分かるんですけれども、どのくらい奥に患部があるかというのを調べるために、立体映像が必要だということで、これは大学院のほうと一っしょにこれから開発を進めていきたいと思っております。

それからマッピングですね。特に地下埋蔵には水道管、ガス管、電話線、そういったものが複雑に入り乱れて地下に埋蔵されてるわけですが、これらを監視するのは立体映像でないとなかなかむずかしいわけです。

あと航空管制機器、レーダですね。よく映画でレーダのシーンが出てきますけれども、点がだんだん自分

のところ近くに寄ってくる。ところが飛行機は実際3次元空間を飛んでるわけですから、複数の飛行機をレーダで映したときに、2次元平面ではなかなか把握しにくいわけです。これを立体映像で映すことにより、光る点を3次元空間の中でそれぞれの飛行機の動きとして、確認できれば、かなり空の安全にもつながっていくだろうと思います。以上のようなところを私どもでは今めざしております。

司会 ありがとうございます。ひととおり、パネルの方々からお話をいただきまして、いろいろな3次元対話環境というものの将来の姿が少しずつ、見えてきたと思いますが、その中でいろいろ問題点というものもいくつか指摘されているかと思えます。

15. 実空間の仮想化の限界

まずその前に会場のほうからいただきましたおもしろそうな問題がありますので、これを伺ってみたいと思います。廣瀬先生に二つ質問があります。第1点は、実空間の仮想化の限界はどこにあるのでしょうかという質問です。先ほど人工的現実というお話もありましたけれども、実空間の仮想化の限界という点で何かコメントございましたらお願いします。それからもう一つですが、ヘルメットや手袋などの身に付ける装置が利用者にとって負担になりませんか、これは後ほど入力というところでも触れていただけるかと思えますが、その2点お願いします。

廣瀬 なかなかむずかしい問題でして、第1点は、これはやはりアプリケーションによるんじゃないかと思えます。基本的には限界はないと思います。むしろ、どこまで似せるべきかということが、アプリケーションによって決まるんじゃないかと思えます。1番究極にあるのが、われわれの実空間と同じで、たとえばペンキを塗ればペンキはたれてくるし、重力まで入っているような空間だろうと思えますけれども、先ほど申しあげたようにそれでは意味がないわけですね。一種の抽象化が必要です。どこレベルまで抽象するかが大切です。たとえばペンキを塗ったらば、たれてくるのはいやだから、塗るという動作だけを入れたい、というようなのがポイントでしょう。今のところは、個々のアプリケーションの領域で、それぞれに考えていかないといけないんじゃないかなと思います。お答えになったかどうか分かりませんが、

それと2番目のヘルメットと手袋、これはかなり負担になるようですね。ですから申しあげたいのは、そ

れが負担になっても、なおかつプラスのメリットのほ
うが大きいところで初めて意味があるだろうというこ
とです。われわれがもともと情報をもってなくて、3
次元で表示することによって初めて分かるというアプ
リケーションが良いわけですね。疲れるけれども見たい
ということは多いと思います。

16. OA とロボット

司会 会場からの質問をもう一つだけ上げさせてい
ただきます。

松井さんへの質問ですが、自立型ロボットというも
のは、OA 分野ではどのような用途があるとお考えで
すか、ということです。産業だけの分野じゃなくて、
ロボットというのは OA 分野にも使われると、先ほ
どのお話いただいたところと合わせても結構ですの
で、OA 分野のロボットの用途ということでお願いし
ます。

松井 私たちのところでは、産業用ロボットの次に
くるべきものとして極限作業ロボットというのを考え
てきたわけです。

OA の分野というのは、ワープロにせよワークス
テーションにせよ、すでにかなり電子化が進んできて
いますから、いい加減なロボットをもってきて解決で
きる問題というのはほとんどないと思います。極限作
業ロボットではテレオペレーションという対話的な手
法を取ることで現実の問題になんとか対人できるよう
にしてきたのですが、OA の世界ではテレオペレーシ
ョンという概念はあまり意味をもたないと思います。
文書の転送はファイルを送れば済むことですし、人が
立ち入れない危険な環境というのは存在しないからで
す。したがって、OA や家庭にロボットをもち込むと
したら、それは高度に自律的でなければならないので
すが、ご存知のように現在の自律ロボットの能力はき
わめて限られています。周囲の状況を見渡すセンシ
ング能力、目標に向かってプランをジェネレートする能
力、複雑な物体を器用にハンドリングする能力、また
自律動作するエネルギーをどこから得るか、どれをと
っても困難な問題ばかりで、OA ロボットの用途とい
うのは簡単には論じられないというのが現状だと思
います。

17. リアクションと環境入力

司会 ありがとうございます。それでは先ほどの
問題に戻ります。一つは3次元空間にモデルとして存

在する物体からのリアクション、たとえばロボットを
動かしたり、あるいはマニピュレータを動かしたとき
の、人が受ける反力といますか、こういうものも必
要じゃないかと思います。それからもう一つは、いわ
ゆる状況、環境、たとえばロボットが動き回る世界の
環境というものをモデル化するのか、あるいはモデル
化しないで、そのまま撮像しながら、その中にモデル
と、あるいは実体というものが動き回ると。すなわち
複雑な環境をいかに対話のシステムの中に取り込んで
いくかというようなこと、これは認識処理の問題もあ
るでしょうし、アプリケーションによってはそのまま
撮像した映像を利用するというところもあるでしょう
が、環境をいかに取り込むかという入力の技術とい
うのが、今後かなりむずかしい問題として残されると
考えるわけです。対話環境の中に入り込む技術とい
うものに関して、現在こういうもの、あるいはこんな
ことが考えられるというようなこととお話いただきたい
と思うわけです。先ほどお話にちょっとありましたよ
うに、ヘルメット、あるいはヘッドマウンテッドディ
スプレイというものがあつて、これをかぶると計
算機の中にあるモデルと周りの環境が融合し人工的な
現実が目当たりになるというお話がありました。一
方、実際にかぶるのではなくて、テレビ・カメラで撮
った環境と計算機のモデルというものを合わせた例と
してマルチメディア・ディスプレイがあるかと思うん
です。いずれにしても実際の環境の入力というのは、
将来的にもかなりむずかしい大変な仕事じゃないかと
いうふうに思うんですが、この大変さと、現在それを
どういうふうにして解決し、どのぐらいの時間をかけ
て環境を入力してるよ、というお話を簡単に各パネ
ラの方からいただきたいと思いますが、まず廣瀬先生か
ら環境の入力ということに関しましてお願いいた
します。

廣瀬 あまりちゃんとやっていません。深く突っ込
んでやってるわけではありません。ただ、今おっしゃ
ったようなこと、機械の中でジェネレートする物体
と、実世界とは、かなりなところまで整合性をとって
おかないと、ここに机があると思って、手をもってい
ったら実はなかったとか、あるいは逆に何も無い空間
だと思ったら、何か突然ある変なものにおち当たると
か、そういうことというのは当然あると思いますね。
とくに最近では虚空間といますか、完全に中だけで
クローズしてるような、ソフトウェア的に描画された
仮想空間に中心を置いていますのであまり取り組まず

に逃げてるという状況です。

司会 先ほど、飛行シミュレータの中での入力というのは、ある飛行場の環境を入力しなければならず、写真をとったり、それを分析したりして、非常に大変な仕事じゃないかと思えますけれども、ここら辺の入力の話について渡辺さんいかがでしょうか。

渡辺 その前に入力という言葉は、今ここで2通り理解してまして、一つは3次元のスクリーン、あるいは3次元の表示装置の中の環境に入っていくこと。もう一つは今廣瀬さんがおっしゃられたようにデータを作ること。その二つを分けようと思うんです。最初のほうですと、パイロットが見た瞬間に3次元だなど思うのは、先ほど申しあげたように閉じた空間、要するに操縦席の中から見るといことが大きいと思えます。とはいうものの、飛行機は3次元の空間を広く飛んでますので、あちこち行くわけです。そうしますともし視界に切れめというのがありますと非常に気になりますので、できるだけ大きな画像があると中に溶け込みやすいのです。それで私どもでも二つ追いかけて、一つはきれいに映すこと、よりリアリティに映すことによって実際に入り込んでる気分させる。それからもう一つは、広い空間にしてやる。するといかにも自分が中にいるみたいになる。後のほうがワイドスクリーンという言葉でわれわれいってるんです。全部ドームで、回りが全部スクリーンになって、かつ半径が大体10メートル以上になってくると、すごい雰囲気が出るんだというのがわれわれの予測なのです。その場合に投影するあるいは映し出す仕掛けが非常に問題になってきます。その逆に先ほど出てきましたヘルメットみたいなものがありますが、戦闘機のパイロットはもとヘルメットをかぶってるので異和感が少ないわけです。ところが皆さんがお乗りになる輸送機のパイロットはヘルメットは通常付けないわけですね。したがってヘルメットでの訓練は非常に異和感を感じて、映ってたとしても、やはり何か違うことをやっていると意識になっちゃうわけです。ですからやはり3次元といっても、雰囲気を出すために自分にとって異和感のないような環境がないと悪い言葉でいったらお遊びになってしまうんじゃないかというのが私の感じですね。パイロットになるべく異和感なくその環境に入れる手段を作るというのが大切であると思えます。それで私どものところでは、大きなスクリーンというのが夢であります。半径10メートルぐらいのスクリーンを作り、そこに全部今はやりの液晶ディスプレイを

全部はめ込んでくれると、かなりきれいだと思いますし、立体感も出るんじゃないかという期待感ももっています。

それから今度はデータを作るほうですが、パイロットに見せる手法は考えました。ところが実際にデータを作らなければどうにもならないわけですから、そのデータを作るのが、重要になる。

われわれのところでは開発したのは、その対話型のものでして、データを入れるときに、われわれのものですと1日、2日の講習をやる時とされるようになります。滑走路、工場、山を少し入れる程度でそこそこの雰囲気は出ます。1週間もあると大体作りあげ、それらしくするのに1カ月もかからないぐらいでできると思っています。先ほどきれいな絵が良いと申しましたがきれいな絵にしようと言って絵を完成するのに半年もかけて作るのには研究開発用としては問題になると思うんです。なるべく簡単なものと、それからどれだけぬぐるかということも必要な条件かなと思います。また最近はやりのAIというのかもしれませんが、何か言葉で指令したら目的の形ですばらしい形になるとか、そういうようなこともこれから可能になるんじゃないかと期待しています。

司会 ありがとうございます。松井さんには、先ほどマルチメディアの中で環境をいろいろ扱っていらっしゃると思うんですが、そこに触れていただけませんか。モデルの環境と、それから実環境というのがございました。

18. スーパーインポーズによる環境入力

松井 この表示例では、実際のテレビ・カメラでとらえた絵の中にロボットのモデルを出しています。このようなスーパーインポーズというのを考えた理由というのはやはりすべてのものをモデル化することはしよせんできないと考えたからです。マニピュレータですとか、あるいはマニピュレータがハンドリングする対象の物体というのは、あらかじめモデルを用意することが可能ですけれども、災害があって行ってみたらガレキの山があって、そのガレキの山のモデルを作らなければ仕事ができないということになったら煩雑でかなわないわけです。だからそういう当たりさわりのないものは、実際に撮像したものをええばいいんじゃないかと。作業に深いかわりのあるものだけモデルをしっかりとって、オフラインでプログラムを作ればいいんじゃないかということやってきたわけです。

スーパインポーズができますと、たとえばレーザーポインタを使って対話的に位置を測定し、モデルを作っていくこともできます。そういう研究もやっておりますが、理想をいえばやはり視覚認識でほんとモデルができてくれればありがたいというのは偏らないところですよ。

それから、モデルの形状だけではなくて、動作の入力に関しまして、最初に廣瀬先生からお話がありましたようにカエルの手を曲げてやるような方法を、われわれも意識してまして、3次元の環境の中に手を突っ込んで状態を変えてやるというようなことができれば非常に都合がいいと思ったわけです。ところが、マスターズで何か動かすというときに、自由空間内で動かすというのは、造作もないことで、問題なのは何か物があつたときに、そこに近付いて行って、そこに手を触れるか触れないかの所で止めるとか、物をそっと置くという動作をいかにやるかというところが問題なわけです。そういうことをやる場合には大ざっぱな入力をしたんでは役に立たないんで、物体がどこに置いてあって、どこまで行けばいいということを、モデルを使って精密に計算しないといけないわけです。ぬいぐるみの手をねじ曲げることにも私どもも非常な魅力を感じるわけですが、テレオペレーションする立場からは、モデルに基づいて、ぎりぎりのところで精密な位置合わせをしなければいけないということになるわけです。

そうなってくると今度は人間にとって6自由度をいっぺんに扱うことが、本当にいいことなのかという問題がわかります。人間の場合3次元の位置くらいまでは何とかなるんですが、それに回転がからんでくるとテレオペレーションでも、理解が非常に困難になるわけです。6自由度をいっぺんに操作するよりは、むしろ自由度を殺したほうが位置合わせは楽なことが多いということです。ですから、こっちにあるものをぱっとこっちにもって行くような、グローバルなモーションをする場合と、精密な位置合わせをする場合とは、違ったインターフェースが必要だという感じがします。

司会 ありがとうございます。神部さんは立体視をしながら入力をするというようなことを実際におやりになっていらっしゃると思いますが、そこら辺のところ、環境を作るというようなこともできるんでしょうか。複雑な図形を立体視を使いながら入力すると非常に便利でこういうふうにやっていると、このくらいの時間がこれにはかかっているというような何か事例があ

りましたらお話ししたいと思います。

神部 現在、私どもの会社では、コンピュータのデータを空間に、それこそそこに浮いてるように映し出すことができます、次に問題になりましたのが、やはり入力、エディティングですね。マウスとかタブレットを使ってたんですけど、XYの情報しかハンドリングできない。片や、ここは立体映像でXYZの空間ができるわけです。カーソルがXYしか動かないと、奥のほうにカーソルを動かしたいというニーズが出てくるわけです。私どもでも新しい装置を捜しています。廣瀬先生がもうデータグローブを購入されたというふうに聞きましたけれども、私どももデータグローブは非常に興味をもって見ます。それで現在私どもでは立体映像を見ながらカーソルを3次元に動かすというオペレーションは、さっき廣瀬先生もおっしゃいましたが、磁界を使ったセンサをペンに仕込みまして、ペン先のXYZの位置、空間の中における位置ですね。それからペンのオイラー角、どっちの方向を向いているかですね。この装置をコンピュータとつなげまして、もちろん原点は決めておきますけれども、センサペンで空間を指示すると、立体映像の中に位置対応した所にカーソルが表示されるようにしています。ですからペンを奥にやれば、カーソルがずっと奥に進んでいく。もちろん横にやればカーソルが横に移動するというしくみを作ってみましたですけども、非常に手が疲れてきて、これもよくないなと、それで非常に困ってるところではあります。

司会 おもしろい指摘で、考えただとそういうところが及ばないんですが、過去におけるライトペンも、ディスプレイ装置に当てて使いますと手が疲れてどうしようもない、それでタブレットがいいんだというようなことがいわれましたが…。3次元対話環境になりますと先ほどのグローブの重さとか、こういうものも現実的に解決しなければならない問題になってくるんでしょうか。

19. 将来の技術は仮説より実証を

最後にこういうような問題が解決されれば、3次元対話環境としてみたご自分たちの技術というようなものが、うまくいくんじゃないか、あるいはこういうようなものが、3次元対話環境の将来の姿じゃないかというようなことを、簡単にお話しただけだと思います。

廣瀬 基本的には、こういう技術ができたらばと待

っているようでは、いつまでたってもテイクオフしないような気がします。できたところからどんどん使っていくって失敗をくり返すという、そういう努力がいるんじゃないかと思います。失敗してはじめて分かる原理をわれわれは第2の原理といっているんですけどもね。第1の原理というのは大体頭の中で考え出した作業仮説です。3次元対話環境なら便利そうだから、とりあえず作ってみようというのが第1の原理のフェーズでしょう。それでいろいろやってみると、いろんな問題が生じてくる。その問題を克服するために四苦八苦して次なるものを考え出す。あるいは、全然別のアプリケーションに使えないだろうか、などが第2の原理のフェーズというわけです。先ほど松井さんがおっしゃってたところというのは非常に重要なことで、ただ単に空間を感覚的にいじればいいと、最初のうちは皆思うんですけども、やはり作業によってはうまくいかないこともあるわけです。本質的なところがどこで、どの部分にどういうふうな3次元対話環境を構築していったらいいかを考えるべきでしょう。ただこれは一種のモードですから、空間本来の利点が失われる。だからもうちょっと頭をひねってみたらどうかとか、そういう意味でおもしろい話題はこれからいろいろ尽きないのではないかと思います。

20. リアルタイムな高画質表示

渡辺 再度スクリーンのごとにふれます。皆さん、人間は60分の1度以下はそう簡単には識別できません。60分の1度というは5メータ先、10メータ先で何ミリぐらいになるかというのは、すぐ計算できるわけです。またパイロットの見えるのは大体上下左右とも180度よりかはちょっと広めになります。そういう所にずらっと画像発生光点をならべますと大体数十メガ点になると思うんです。それをリアルタイムできれいにコントロールできるような装置ができれば、たぶんパイロットは非常に喜びそうな気がします。また絵を作るためのソフトを作るときに、もう少しまく作り、作る側のルーズさを計算機のほうでカバーしてくれる。また立体物を作るときでも複雑な形状のものを作るときは、かなりの部分を今後計算機側に是非ともやってもらいたいというのが、われわれの希望です。

21. 人間の行動を推論してくれるシステム

松井 2点お話しします。一つは、われわれのところには一応マスタスレーブというのがありますから3

次元の動きというのは一応入力できるわけですけども、その次の段階を考えますと、ただどういうふうに動くということ記録するだけじゃなくて、一体その動かした人間は何を考えたんだろうかということまで推論してもらえないかなというのがあります。要するに人間の行動を理解して、その意図を推論してくれるシステムというのが将来の問題としておもしろいんじゃないかと思います。それができれば、たとえばマッチをもてば、アルコール・ランプのふたがあいてないですよ、というようなことをいってくれるインタフェースがとれるようになると思うわけです。さらにアルコール・ランプを運ぶときはこういうふうにしたほうがいいですよという計画を、サジェスションしてあげることができればと思います。人間の行動を理解して意図を推論してくれれば3次元の対話はもっと楽になるだろうと思います。

もう一つは、人間が何やってるかじゃなくて、逆にシステムが一体何やってるか分かってほしいわけですね。テレオペレーションには誤操作はつきものですが、何か物を運んでるときに落としても知らんぷりじゃなくて、落としたからじゃ拾いに行きましょうよ、といってくれるとか、今こういう動きをしたから落としたんだな、と反省してくれるシステムですね。そういう自分がやってることを常にメタの立場から評価していて、失敗したらどうすればいいということまで考えてくれているような、インタフェースがとれば3次元の世界を扱うのも楽になると思います。この点では、3次元のディスプレイとか、CADとかの問題だけじゃなくて、もっとAI的な色彩が濃くなってくるといっていいかなという気がします。

神部 数年先に、コンピュータのXYZのデータを立体視するというのがかなり一般的になるだろうと予測してるんですが、先ほどいいましたようにカーサ制御、今XYだけです、これがやっぱりXYZです。ごく簡単に制御を行える装置が必ず必要になってくるであろうというふうに思ってます。

22. ま と め

司会 ありがとうございます。いろいろなお話を伺ったわけですが、3次元対話環境というものは出力あり入力あり、内部のいろいろな技術的な問題ありで、なかなか短い時間には意見をすべて伺うということは不可能に近い。むしろ3次元の対話環境の将来に関する、本日は序章ぐらいじゃなかろうかと思ってお

ります。この中で指摘されたいくつかのこと、たとえば人の意志、これを理解するような機械というものもやはり3次元環境の中で非常に重要であろうということ。これは、人は目で見、キーやタブレットで指を使うだけじゃなくて、いろいろな表現動作をするわけですね。こういうような動作だとか、音だとか、人の発信するものをすべて受けて、それを理解する、そういうようなものがあつたら入力というのは非常によくならないでしょうか。もう一つは、モデルによる虚の空間、もちろんこれだけが必要なレベルもあると思いますけれども、そこから徐々に実の空間というものに置き替わってくるわけですが、その実の空間というものに置き替わってくる過程で、実際に物ができる前にリアクション、反力と申しますか、こうい

うようなもので、人が仮想のモデルにさわったらさわったなりの感覚が得られることも必要ではないでしょうか。こういうような世界を実現する技術ができてくるともう少し対話環境としてはよくなってくのではないかと、きょうお話を伺ってる中で、いろいろと思いをめぐらせたわけです。時間がだいぶんオーバーしてしまいましたけれども、今後こういう対話環境というものがますますいろいろ充実してくるんじゃないか、また、くるようにわれわれも技術的な面から関心をもってまいりたいと思います。それでは長いことディスカッションに参加していただきましたパネラの皆さん、それから熱心にお聞きいただきました皆さん、ともに感謝し拍手でもって終わりたいと思います。ありがとうございました。