

振動触覚グローブを用いた流れ場表現

矢野 博明[†] 廣瀬 通孝[†]
 小木 哲朗^{††} 田村 善昭^{††}

本論文では空間型ディスプレイ内で流体計算などの科学技術データを振動触覚デバイスを用いて知覚する手法について述べる。空間型ディスプレイ用触覚デバイスは、(1) 可動範囲が大きいこと、(2) 軽量、(3) 動きやすいこと、(4) 画面を隠さないこと、という4つの特徴を兼ね備えていなくてはならない。振動子はこの特徴を満たしているものの1つである。振動子をユーザの手に複数個取り付け、手の位置や姿勢に応じてその振動パターンを変化させることでさまざまな情報を知覚することができる。本研究では空間型ディスプレイとしてCABIN (Computer Augmented Booth for Image Navigation) を用いて、振動触覚デバイスによる流体計算などにおけるベクトル場を提示する手法の開発を行った。評価実験を通してその有効性を検証している。

Haptization of Flow Field Using Vibroglove

HIROAKI YANO,[†] MICHITAKA HIROSE,[†] TETSURO OGI^{††}
 and YOSHIAKI TAMURA^{††}

This paper described a method of scientific haptization using vibrating devices in large working volume virtual environment. In such environment, haptic devices must have following characteristics, (1) large working volume (2) light weight (3) easy to move (4) ability to work with visual display. Vibrating device is satisfied such characteristics. By setting some vibrating device to user's hand and controlling the pattern of the vibration, we can feel the values of scientific data. We developed a system that consist of vibrating device and CABIN (Computer Augmented Booth for Image Navigation). Using this system, we developed a scientific haptization system which the user can feel the flow around a space plane.

1. はじめに

バーチャルリアリティの視覚ディスプレイとして複数の大型スクリーンを用いて利用者の周りを映像で覆うCAVE¹⁾などの空間型ディスプレイ装置が注目を集めている。このディスプレイは大規模な仮想空間表示や流体計算結果の可視化などさまざまな用途に利用されている。しかしながら、流速などのそもそも目に見えない情報を視覚情報だけで伝達するには限界があり、他の感覚キューの利用が考えられる。

一方、仮想物体からの反力を提示するために種々のデバイスの研究が行われ、触覚付きのより高度な仮想空間の構築が可能となってきた。この種の触覚デバイスを空間型ディスプレイの中で使い、仮想物体からの

反力などをユーザに提示できれば、操作性の向上や仮想空間の認識が容易になるなどさまざまな効果が期待される。ところが従来の触覚デバイスはデスクトップの作業に適するよう作られており、CAVEのような比較的移動範囲の大きい仮想環境での作業を前提としたものは例が少ない。これは触覚デバイスがマンピュレータを基本とした設計となっており、可動範囲と提示可能反力とのトレードオフで仕様が決定されていたためである。CAVEなどの空間型ディスプレイにおける触覚提示では、少なくとも、(1) 可動範囲が大きくとれ、(2) 軽量で、(3) 動き回りやすいこと、(4) 映像をなるべく隠さないことが望まれる。本研究では特に流体計算などにおけるベクトル場などを表現する手段に触覚の利用を考えている。

そこで、空間型ディスプレイにおいて流れ場などを触覚情報として提示するために、17個の振動子を手袋に取り付けた振動触覚グローブを開発した。この振動子の振動パターンを制御することで流れの方向の認識を可能とするデータ提示環境を構築し、その評価を

[†] 東京大学工学部

Faculty of Engineering, the University of Tokyo

^{††} 東京大学インテリジェント・モデリング・ラボラトリー

Intelligent Modeling Laboratory, the University of Tokyo

行った。

2. 従来の研究

流れ場などを提示する従来の研究例をあげると、視覚のみの例としては Brown 大学の Herndon²⁾らが NASA³⁾と共同で三次元グラフィックスを用いた仮想風洞における流れ場情報提示を行っている。しかし、空間型ディスプレイでは、視覚のみではデータの次元の増加にともない、提示物体によるオクルージョンの問題が発生するため情報量に限界がある。また視覚 + 音による提示では、NCSA の Brady ら⁴⁾のグループが CAVE 内においてボリュームデータを音で認識する sonification の環境を構築している。しかし、音によってベクトルデータを表現することは困難である。触覚によるデータ提示では CMU の Shimoga⁵⁾が Air jets という小型空気ノズルを 12 × 12 個のアレイ状にならべたものを開発している。これは文字などを表現できるが、重量が重く空間型ディスプレイには適さない。

また従来の触覚デバイスは、PHANTOM (Sensable Technologies 社)⁶⁾や HapticMaster (日商エレクトロニクス)⁷⁾など指先の 1 点に反力を提示する装置が主であった。これらは細かい作業が可能な反面、装置が大掛かりになり、空間型ディスプレイの中に持ち込むには画面を隠してしまうという問題点がある。映像を隠さないよう設計された装置としては、ワイヤーを用いた東京大学の HapticGEAR⁸⁾がある。これは空間型ディスプレイ内で力覚を提示可能であるが提示可能なベクトル方向に制限がある。手に装着するタイプとしては、Rutgers 大学の RutgersMaster⁹⁾、Virtual Technologies 社の CyberTouch¹⁰⁾がある。RutgersMaster は空気圧シリンダを用いて手先 4 カ所に力覚を提示できるが、ベクトルデータの提示という用途には向いていない。CyberTouch は触覚を提示する振動子が 6 個取り付けられたグローブであるが、物体との接触表現などを想定したデバイスであり、3 次元ベクトルを提示するには情報が足りない。また風覚を利用してベクトルを提示する東京大学の風覚ディスプレイ¹¹⁾があるが、前述の映像を隠す問題や重量のため長時間の使用には耐えられないという問題点があった。

本研究で開発した振動触覚グローブは、振動子を 17 個用いることで 3 次元のベクトルを表現することができる。また小型軽量の振動子を使っているため装置自体がコンパクトで、映像を隠すことも少ないという点で他の装置よりも優れている。

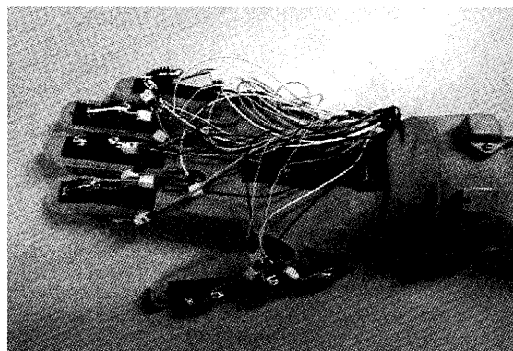


図1 VibroGlove

Fig. 1 Overview of VibroGlove.

3. システム構成

振動触覚グローブを用い、空間型ディスプレイにおいて科学技術データの触覚提示を可能とするためのシステムを開発した。

3.1 振動触覚グローブ (VibroGlove)

本研究では CyberGlove (Virtual Technologies 社) に 17 個の振動子を取り付けた振動子付きデバイス (図 1) の開発を行った。これは CyberGlove の 5 本の指の背と腹 (親指は背のみ) に 1 つずつ、掌、甲面にそれぞれに 2 つ、手の側面に 4 個の計 17 個の振動子 (ページャモータ) を取り付けられたものである。この配置については以下の条件について留意して設計した。

- (1) さまざまなパターンを提示するために、振動子は少なくとも手の表と裏で対称な位置に取り付ける必要がある。
- (2) 手の長さ方向に情報を提示するために、指先だけでなく手の甲などに複数個振動子をつける必要がある。
- (3) 裏表だけでなく手の側面にも振動子をつけると、より細かいデータ提示が可能となると考えられる。
- (4) 振動子はあまりたくさんつけても意味がない。振動子の触 2 点間を測定すると、場所にもよるが 1.5 ~ 3.0 cm という結果を得た。これを加味した間隔で配置する必要がある。

以上の条件を満たす配置として図 2 に示す場所に振動子を取り付けている。計算機は、RS232C を用いて指や手首の曲げ角の取得や振動子の制御を行う。センサデータの読み込み、モータの制御は V25CPU ボードを用いて行っている (図 3)。V25CPU ボードは CyberGlove のコントローラからセンサデータを受け取り、それを随時ホストコンピュータに送信する。

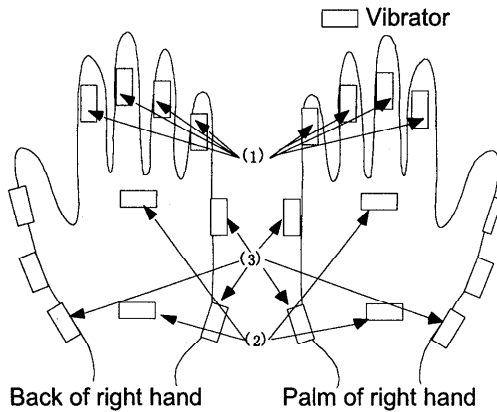


図2 17個の振動子の位置
Fig. 2 Positions of 17 vibrators.

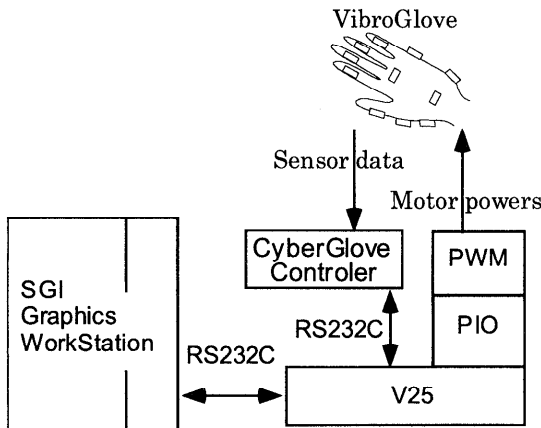


図3 振動子型触覚デバイスシステム構成
Fig. 3 System configuration of VibroGlove.

またモータの制御命令をホストコンピュータ（後述の Onyx i-Station）から受けると、PIOを通してPWM（Pulse Width Modulation）方式のモータ駆動回路へ制御信号を送信する。

また、手首の絶対座標系での位置計測には、磁気センサ（Polhemus社 UltraTrak）を用いている。手首の位置と指関節の曲げ角データから各指先の位置を計測することができる。振動子を動作させる際の磁気センサへの影響は、振動子を動作させない場合のノイズが0.7mm程度であるのに対して、振動子を最大出力で動作させた場合1mm程度であった。この主な原因としては振動そのものによる指先位置のぶれが考えられるが、この程度のノイズであれば、広い空間内を動き回る作業では、その影響は無視することができる。また、振動子は偏心質量が取り付けられたモータであり、計算機より0から255までの制御命令をPWM方式モータ駆動回路に入力することでその振動強度を

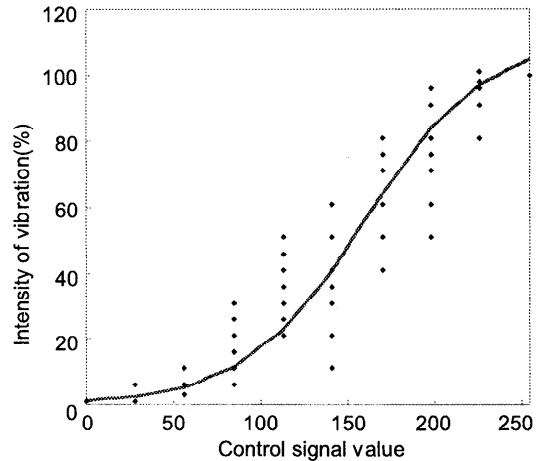


図4 人指し指の背の振動子における制御信号-振動感覚強度補正曲線
Fig. 4 Compensatory curve between control signal and intensity of vibration at the forefinger.

制御する。しかし、モータの電機子の機械摩擦による回転数の低下や偏心質量が十分な速度で回転しないと閾値に達しないなど、モータへの制御命令がそのまま振動感覚量と対応していない。したがって、モータへの制御命令の値と人間の振動感覚強度の関係を何らかの方法で対応付けし、制御信号-振動感覚強度曲線を作成する必要がある。本研究では心理物理学で用いられるマグニチュード推定法¹²⁾を用い、制御信号と振動感覚強度の関係を求めた。その結果を図4に示す。

制御信号-振動感覚強度曲線の近似曲線は、べき乗関数、1次関数、3次関数、log、ロジスティック関数のそれぞれで近似した結果、ロジスティック関数のそれぞれで近似した結果、ロジスティック関数の重相関係数が0.97と最も高かった。0からの立ち上がり255付近が横軸と平行になる特徴などがよくあっているためこの関数で近似する。予備実験をしたところ各指ごとの制御信号-振動感覚強度曲線の形状は手のひらの振動子、手の甲の振動子、側面の振動子、小指の振動子で図4とはほぼ同じ形状であった。この結果から各振動子ごとの曲線の形状は同じで、その倍率（スケール）が違っていると仮定した。各振動子の閾値を計測し、すべての振動子の中で最も感度の鈍い部位の振動子の最大出力を基準に正規化し、各指での制御信号-振動感覚曲線を決定した。なお、振動子は制御信号によって、回転周波数と振幅が同時に変化する。この曲線はその2つが同時に変化した場合の振動感覚強度を与えている。

3.2 空間型ディスプレイ（CABIN）

本研究では、空間型ディスプレイとしてCABIN（Computer Augmented Booth for Image Naviga-

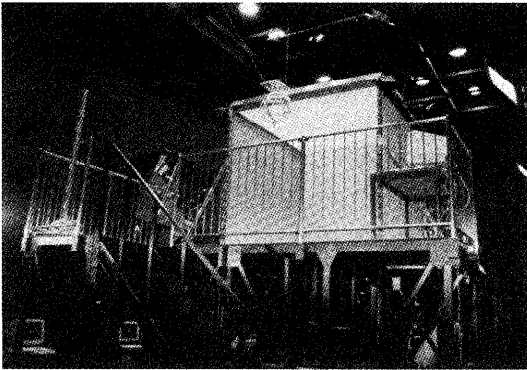


図5 CABIN システム
Fig. 5 Overview of CABIN.



図7 スペースプレーン周りの流れ場の可視化
Fig. 7 Haptization of the flow around a space plane.

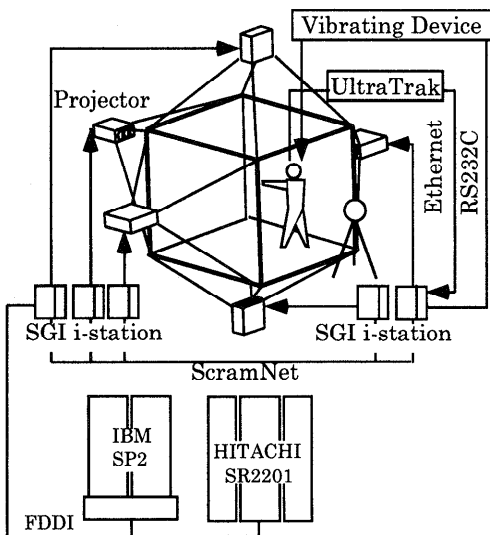


図6 CABIN システム構成
Fig. 6 System configuration of CABIN.

tion)¹³⁾(図5)を使用する。CABINは、上下、左右、前面の計5面を1辺2.5mのスクリーンによって覆った空間型ディスプレイである。5画面分のスクリーンの画像生成には、それぞれ1台ずつSGI ONYX i-Stationを用いている。UltraTrak (Polhemus社)を用いて利用者の頭の位置を計測することで視点位置に応じた立体映像を提示できる。視点や手先位置座標などのデータは、ScramNetを用いて5台の計算機で共有する。さらにこれらのグラフィックワークステーションは超並列計算機(IBM SP2, HITACHI SR2201)とFDDIで接続されており、大規模数値計算の結果をただちにCABIN内に表示することが可能である(図6)。上記振動触覚グローブ、磁気センサはi-stationとRS232CおよびEthernetにより接続されている。描画速度は60 Hz、デバイスの制御は振動子

付きグローブが50 Hz、UltraTrakが120 Hzで行われる。広い可動範囲を持つ仮想環境での振動子付きデバイスを用いた応用の1つに流体データを提示することが考えられる。図7はこのシステムを用いてスペースプレーン周りの流体の可触化を行っているところである¹⁴⁾。この応用では、スペースプレーン周りの流体の流線をユーザの指先から出し、手先位置の流速ベクトルを振動子によって提示している。

4. 流れ場の表現手法

大規模な空間の情報を2次元ディスプレイによる視覚情報のみで提示する場合、複雑なデータを認識することは困難である。特に流体の場合、多次元データとなるため視覚情報のみで表すと、離散的なベクトル表示や流線、半透明による等圧面表示などの方法が必要になり、これらのデータを同時に表現しようとする、ユーザに大きな負担をかけることになる。

CABINのようなユーザの周り全体を被うことができる3次元立体ディスプレイを用いると、大規模な流体シミュレーションの結果の全体を一望することができる。歩いてデータに近づけばその部分を拡大して見ることできる。また、計算結果の一部(流速ベクトル、渦度など)を手で直接触るあるいは感じることであれば、さらに理解の役に立つと考えられる。

本研究では、振動触覚グローブを用いて流体の流れを知覚するため4つの振動提示法を比較検討した(図8)。ここでは流速ベクトルの方向成分のみに注目し、各振動子間の振動感覚強度を変化させることで方向を知覚させている。提示データは、流れ場の中の手の代表点(人差し指先端)における1つのベクトル量を想定している。

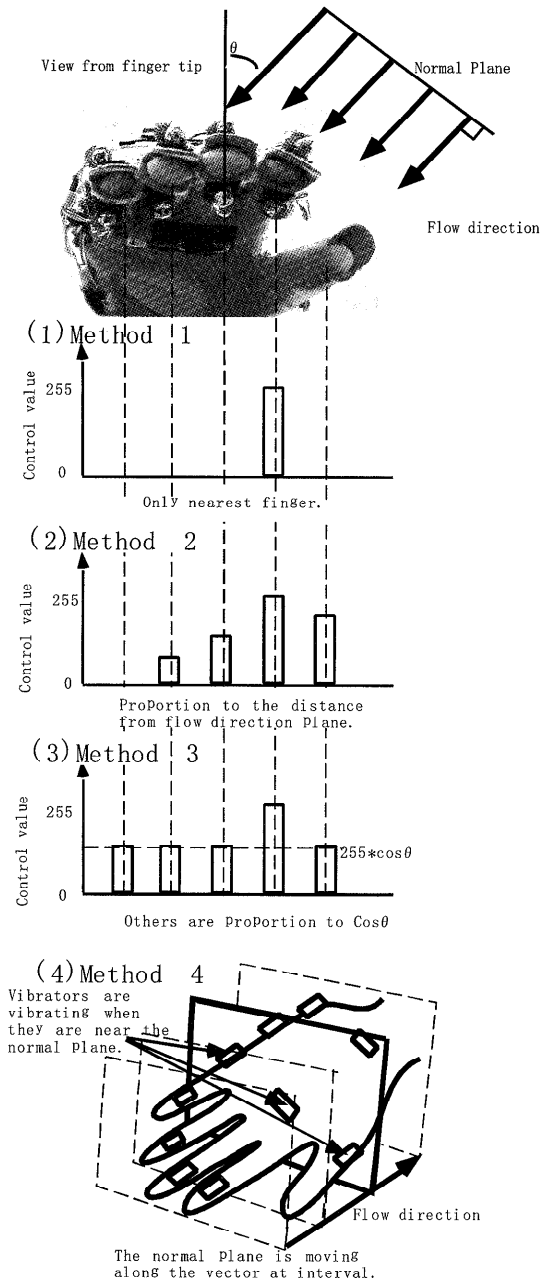


図8 ベクトル提示の際の振動提示手法
Fig. 8 Vibration patterns of displaying a vector.

4.1 方法 1

この方法は手の代表点の流速ベクトル（風向き）をもとに、風上に最も近い振動子に最大強度が提示され、他の振動子は振動しないモデルである（図8(1)）。

4.2 方法 2

手の代表点の風向きをもとに、風上に最も近い振動子に最大値、次に近い振動子はその3/4、次は最初の

2/4、次は最初の1/4の振動量、それ以外の振動子は振動がゼロになるように振動強度を決定する（図8(2)）。

4.3 方法 3

手の代表点の風向きをもとに、風上に最も近い振動子に最大値を出力する。それ以外の振動子については手のひらの法線ベクトルとなす角度のCos成分の振動強度を出力する（図8(3)）。

4.4 方法 4

上記の方法は、その場所での向きにあわせてデータを提示していたが、この方法は振動感覚がある一定の速度で移動していく方法である。提示する流速ベクトルを法線として持つ平面をベクトル方向に沿って移動させ、平面とぶつかる振動子を逐次振動させていくことで、振動の方向を提示する（図8(4)）。なお、手のひらの法線ベクトルと提示するベクトルとのなす角度に応じて、手のひらと手の甲側のどちらの振動子を振動させるかを決定する。

方法1は振動子を1つだけ用いた最小限の情報をもとにベクトルの方向を知覚する。手の中心から振動している振動子の位置に向かうベクトルがあると考えることが必要で、その知覚精度は振動子の配置間隔によって決まることが予想される。方法2は方法1の情報提示をさらに細かくするために周りの振動子も振動させる方法といえる。方法3は方法2よりもさらに情報が増え、振動子の振動強度が提示ベクトルとの角度に依存する。別の見方をすると方法2と3は、振動の空間的な広がりを用いた手法といえる。方法4はスキャン平面が動いていくもので時間的な変化を用いて情報を提示するため、方法2や3とは違う特性を示すと考えられる。

5. 評価実験

5.1 ベクトル提示

前述の4つの手法に対してベクトルを提示する実験を行った。実験では3次元空間を網羅する18方向のベクトルを提示手法、ベクトル量に関係なくランダムに提示した。実験では被験者が自身の手を能動的に動かして流れの方向を探索する。提示されたベクトルの方向を答える場合は、その方向に手のひらが垂直になるように向けスイッチを押して計算機に記録した。被験者の数は健康な男性5人である。図9は実験結果であり、誤差の平均および標準偏差を示してある。これらの結果から25から35度程度の誤差で方向知覚ができることが分かった。4つの方法について分散分析を行った結果、 $F = 16.7$, $p < 0.01$ と有意であった。平均の検定を行ったところ、方法2と3については有意

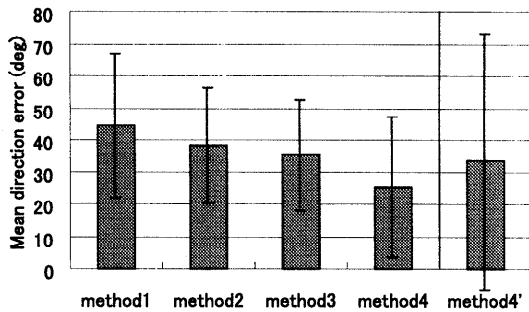


図9 ベクトル方向の絶対精度
Fig. 9 Precision of vector's direction.

差がなく、その他の組合せでは5%水準で有意であった。方法4が最も精度良く識別できており、方向知覚には方法4が最も優れていることが分かる。これは手を動かさなくても振動の強度がつねに変化するため、被験者にとって変化が識別しやすいこと、長時間同じ部位が同じ刺激を受けないので感覚麻痺が少ないことなどが原因としてあげられる。方法1の結果から振動子1つでは、方向を知覚することが難しいことが分かる。また、方法4については、手のひらの法線ベクトルと提示ベクトルとのなす角度に応じて、スキャン平面進行方向から見て手の裏側にある振動子は振動させないというアルゴリズムを導入する必要がある。図9のmethod 4'に予備実験として行った表裏判定がない場合の結果を示す。表裏の判定を入れていない場合は、方向を180度逆に答えた試行が全体の10%あった。表裏の判定を行った場合は方向を180度間違えることは1%であった。したがって、方法4については裏表判定をする必要がある。

5.2 ベクトルの変化

前述の4つの提示手法に対して提示ベクトルがどれくらい角度がずれるとそのずれを認識できるか、弁別閾を調べる実験を行った。実験の環境は、参照用のベクトルとそのベクトルからある角度ずれたベクトルをスイッチによって被験者が切り替え、どの程度の角度差があれば差が認識できるか上下法¹²⁾を用いて測定した。提示したベクトルは x , y , z 座標軸の正負方向6つである。前述の4種類の方法について行った実験の結果を図10に示す。それぞれの方法ごとに縦軸に被験者が答えた角度差の認知の下限値を示す。グラフ中の縦棒は標準偏差である。2元配置の分散分析を行うと各ベクトル方向ごとでは有意ではなく、方法別の比較では $F = 6.00$, $p < 0.01$ で有意であった。平均の検定を行ったところ5%水準で、方法1と方法4のグループと、方法2と方法3のグループの2つのグ

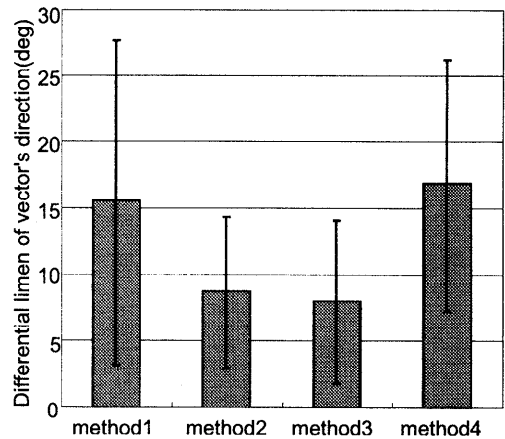


図10 ベクトル方向の弁別閾
Fig. 10 Differential limen of vector's direction.

ループに分かれた。ベクトルの方向変化の知覚では方法2や方法3を用いるとよいことが分かる。この方法1と方法4の精度が良くない原因は、方法1については振動子が1つだけの振動であり、多少ベクトルの向きが変わっても同じ振動子が振動してよく分からないこと、方法4についてはスキャン平面が動くので途中でベクトル方向が変化しても分かりにくいことが考えられる。方法2および方法3では、約8度の変化があれば知覚できることが分かる。これは、複数の振動子が提示ベクトルの方向が変化すると同時に振動パターンが変わり、その変化が方法4と比べるとすぐに反映されるためと考えられる。これらの結果から渦などを探索するような場合、手の近傍のベクトルの方向の変化が8度程度あれば、方法2および方法3を用いて認識することができる。方法4についてはスキャン平面が動くので途中でベクトル方向が変化しても分かりにくいことが考えられる。方法2および方法3では、約8度の変化があれば知覚できることが分かる。これは、複数の振動子が提示ベクトルの方向が変化すると同時に振動パターンが変わり、その変化が方法4と比べるとすぐに反映されるためと考えられる。これらの結果から渦などを探索するような場合、手の近傍のベクトルの方向の変化が8度程度あれば、方法2および方法3を用いて認識することができる。

6. 考察

本研究では、流体計算の結果などを可視化する際に触覚を用いたデータの提示手法の開発を行った。ここでは、データとして流速ベクトルを取りあげているが、流速だけでなく、力ベクトルや温度勾配ベクトルなど、ベクトル量として表現することができるのであれば、同様の方法で表現することが可能である。また、たとえばカルマン渦など、局所的な変化が大きいような流れの場合には、手を動かさずベクトルの方向が急激に変わるため、その変化が振動子の振動パターンに即座に反映される。本実験から刺激の変化するものに対する感度は高いため、カルマン渦のような場において、急激にベクトル方向が変化している場所を探索するようなアプリケーションでは、方法2や3で大まかに渦の場所を探し、その部分を拡大して方法4を用いて

ベクトルの方向を知るインタフェースも考えられる。また、流体に限らず有限要素法の計算結果から構造部材の主応力の向きを本システムによって提示することで、主応力の変化を探索する場合にも有効であると考えられる。しかしながら、ベクトルの方向変化が8度以下の非常に小さい場所を探索する場合は、隣り合ったベクトルの差分を計算した空間にするなど表現上の工夫は必要である。また、実験では、一様なベクトル場で、手を能動的に動かすことでベクトルの方向を知覚する方法をとった。したがって、局所的な変化の大きいデータ空間内でベクトルの向きを把握しようとする場合には、仮想の手の位置を固定し、実世界で手を動かしても仮想の手は姿勢だけしか変えない機能を付けるなどの手法が考えられる。手を能動的に動かさなくても方向を知覚する方法については今後の課題である。またモーメントを表す場合には、ベクトルをただ単に回転させるだけでは、認識の誤差が大きすぎて回転軸を特定することは非常に困難である。このような場合、ファントムセンセーション¹⁵⁾などを用いて刺激点を移動させることで提示する方法なども考えられる。

7. ま と め

本研究では、CABINなど比較的広い可動範囲を持つ仮想空間における触覚情報の提示手法の1つとして、振動触覚グローブを用い、その振動のパターンを制御することで流れ場を知覚できるシステムを構築した。提示手法の評価実験を行った結果、ベクトル場を提示する場合に本提示手法が有効であることが確認された。今後の課題としては、能動的に手を動かさなくても、ベクトル量を知覚する提示手法の開発などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) Cruz-Neira, C., Sandin, D.J. and DeFanti, T.A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, *Computer Graphics*, pp.135-142 (1993).
- 2) Herndon, K.P. and Meyer, T.: 3D Widgets for Exploratory Scientific Visualization, *Proc. UIST '94*, pp.69-70, ACM SIGGRAPH (1994).
- 3) Bryson, S. and Levit, C.: The Virtual Wind-tunnel: An Environment for the Exploration of Three Dimensional Unsteady Flows, RNR Technical Report RNR-92-013 (1992).
- 4) Brady, R., Bargar, R., Choi, I. and Reitzer, J.: Auditory Bread Crumbs for Navigating Volumetric Data, *Proc. IEEE Visualization '96*

(1996).

- 5) Shimoga, K.B.: A Survey of Perceptual Feedback Issues in Dexterous Telemanipulation: Part II. Finger Touch Feedback, *Proc. VRAIS '93*, pp.271-279 (1993).
- 6) Massie, T.H.: Virtual Touch Through point Interaction, *ICAT '96*, pp.19-38 (1996).
- 7) 浅野, 矢野, 岩田: フォースディスプレイを用いた仮想環境における手術シミュレーションの要素技術開発, 第1回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.95-98 (1996).
- 8) 廣瀬, 小木, 矢野, 寛, 中垣: ワイヤータンションを用いたウェアラブルフォースディスプレイの開発, 第3回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.1-4 (1998).
- 9) Gomez, D., Burdea, G. and Langrana, N.: Integration of the Rutgers Master II in a Virtual Reality Simulation, *Proc. IEEE VRAIS '95 Conference*, pp.198-202 (1995).
- 10) Virtual Technologies Inc.: http://www.virtex.com/prod_cybertouch.html
- 11) Ogi, T. Hirose, M.: Effect of Multisensory Integration for Scientific Data Sensualization, *JSME International Journal, Series C, Vol.39, No.2*, pp.411-417 (1996).
- 12) 心理学大辞典, 平凡社 (1981).
- 13) 廣瀬, 小木, 石綿, 山田: 没入型多面ディスプレイ (CABIN) の開発, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.2, pp.137-140 (1997).
- 14) 渡辺, 小木, 田村, 矢野: 没入型ディスプレイの流体シミュレーションへの応用, 機械学会第10回計算力学講演会論文集, pp.411-412 (1997).
- 15) 白井, 久米, 津田, 畑田: 皮膚感覚のファントムセンセーションを用いた3次元画像との対話システム, 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE. IT96-119, pp.77-84 (1997).

(平成10年6月8日受付)

(平成10年12月7日採録)



矢野 博明

昭和44年生。平成9年筑波大学大学院工学研究科構造工学専攻修了。博士(工学)。同年より日本学術振興会特別研究員(PD)、現在に至る。専門はヒューマン・インタフェース、バーチャルリアリティ、特に触力覚ディスプレイの開発、および仮想環境構築ソフトウェアの研究開発。日本バーチャルリアリティ学会、計測自動制御学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。

**廣瀬 通孝 (正会員)**

昭和29年生。昭和54年東京大学大学院修士課程修了。昭和57年同大学院博士課程修了，工学博士。同年同大学工学部産業機械工学科専任講師。昭和58年同大学工学部産業機械工学科助教授。平成3年同大学工学部機械情報工学科助教授。平成8年同大学工学部総合試験所助教授，現在に至る。専門はシステム工学，ヒューマン・インタフェース，バーチャルリアリティ。日本機械学会，計測自動制御学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員。

**田村 善昭**

昭和36年生。昭和61年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年より平成3年富士通(株)勤務。平成3年より平成8年文部省宇宙科学研究所宇宙輸送研究系助手を経て，平成8年東京大学大学院工学系研究科助教授，現在に至る。インテリジェント・モデリング・ラボラトリー担当。博士(工学)。専門は流体力学，特に数値流体力学における計算法と可視化。日本機械学会，日本航空宇宙学会，米国航空宇宙学会(AIAA)各会員。

**小木 哲朗**

昭和35年生。昭和61年東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻修士課程修了。同年より平成8年(株)三菱総合研究所勤務。平成6年東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻博士課程修了。博士(工学)。平成8年東京大学大学院工学系研究科助教授。インテリジェント・モデリング・ラボラトリー担当，現在に至る。専門はシステム工学，バーチャルリアリティ，特に没入型ディスプレイの研究開発に従事。日本機械学会，計測自動制御学会，日本バーチャルリアリティ学会，日本非破壊検査協会各会員。
