

没入型三次元風覚ディスプレイの開発と評価

小坂崇之[†] 宮下芳明^{**} 服部進実[†]

[†] 金沢工業大学 工学研究科

^{**} 北陸先端科学技術大学院大学 科学技術開発戦略センター

kosaka@neptune.kanazawa-it.ac.jp homei@jaist.ac.jp hattori@infor.kanazawa-it.ac.jp

本稿では、仮想現実感の拡張を目指す手法のひとつとして三次元没入型風覚ディスプレイを開発し、頭部-上半身部位に対する風覚認知度について評価実験を行った。ドーム状の骨組みに配置した25個のプロアファンのうち、どこから風が出力されているかを問う正答率と、風が来たことを知覚する反応時間について、3種の風速を用いて計測した。その結果、左右に比べて前後の正答率が低く、仰角が45度以上のところでは反応時間が遅いなど、空間方位的に不均一な風覚認知が行われていることが明らかになった。この三次元没入型風覚ディスプレイというメディアにおけるコンテンツや応用の可能性を議論すべく、三次元風覚カメラの試作とコンテンツ評価、映像合成システムへの拡張、ゲームインタフェースへの応用について考察した。

Keywords: 風覚認知, 風覚ディスプレイ, 風覚カメラ, 没入型仮想環境, 無拘束インタフェース

Development and Evaluation of Immersive 3D Wind Display

Takayuki KOSAKA[†] Homei MIYASHITA^{**} Shimmi HATTORI[†]

[†] Kanazawa Institute of Technology

^{**} COE Center, Japan Advanced Institute of Science and Technology

In this paper, we developed an immersive 3D wind display as a method for extending virtual reality. We conducted an experiment to examine wind sensation of human using this system. In the experiment, examinees answer which blower fan has sent a wind from 25 fans allocated in the spherical dome frame; also we checked their reaction interval. From the result, we discovered that their percentage of questions in back and forth are lower than that in either side, and there exists latency when the wind came from over 45 degree at angle of elevation, that is, wind sensation of human is spatially-heterogeneous. Finally, we introduced applications for the system; development of 3D wind camera and evaluation of the contents, an application for image synthesis used in combination with image based lighting, and application for video game interfaces.

1. 従来研究

今日、バーチャルリアリティ(VR)技術が発達し、コンピュータによる仮想環境がより高い現実感を持ったものへと進歩している。特に近年は、視聴覚のみならず触覚から味覚まで様々な感覚呈示環境について研究開発が盛んである[1][2][3]。本稿でもこのような仮想現実感の拡張を目指す手法のひとつとして、三次元没入型風覚ディスプレイを開発した。これを用いて頭部-上半身部位への風覚認知がどうなっているかを解明すべく評価実験を行い、その応用についても考察する。

風覚とは、文字通り風を感じる感覚のことであるが、生理学においてこの感覚が定義されているわけではない。ただしVR機器の研究においては、しばしばこの用語が用いられており、小木らは「触

覚、温覚、冷覚等が複合された広い意味での触覚の一種」としている[4]。このうえで小木らは、多方向から手に風を当てる二次元風覚ディスプレイを開発し、科学技術データを感覚によって呈示するデータ・センシュアライゼーションの効果について評価実験を行っている。結果として、大きさと方向というふたつのパラメータでベクトル量を表現できる有利さや、風覚を視聴覚と統合したシステムで用いると知覚精度が高まることが発見されている。一方で橋本らは指先への風覚呈示を行う風覚ディスプレイを開発しており、人差し指の絶対閾値、弁別域、方向弁別域といった知覚特性を調べる実験を行っている[5]。

鈴木らは風圧を用いた力覚呈示システム(風インタフェースシステム)を開発している。そこで

はノズルから空気を噴出し、ユーザがもつ風受容器にその風を当てることで力を伝達している[6]。また、井上らは、センサで検出した手の距離に基づいた送風を行うことによって仮想物体と接触したときの感覚呈示を試みている[7]。嗅覚呈示デバイスとして開発されている機器においても、ポンプ[8]や空気砲[9]を用いて風によって匂い伝達を行っているものが多く、風の制御とVRに関連する先行研究ととらえることができる。

このように、風覚ディスプレイ及びそれに類するデバイスの研究はいくつか行われているが、それらの機器は手や指に限られ、方位についても一次元から二次元の情報呈示にとどまっているのが現状である。しかし、VRやゲームにおいて人が歩く・走るといった動作をおこなった時に発生する向かい風、海辺等の地理条件に応じた環境風、嵐のような天気の実験といったコンテンツを想定するのであれば当然、指や手に当たる風だけではなく全身への風の再現が必要になると考えられる。また、ロケットの上昇や崖からの落下など、上下方向からの風によってその現実感が高まる状況も存在する。こうした理由に加え、VRにおける視聴覚デバイスにおいては三次元の呈示がもはや当たり前となっている現状から、それらとの親和性が高いデバイスとして、風覚についても同様に全身に風を感じることができる三次元呈示システムが求められていると考えられる。

VR機器には、ヘッドマウントディスプレイのようにその機器を身につける装着型のものと、CAVE[10]のような没入型のものがある。全身への風覚呈示についても、ファンをユーザが装着するようなタイプと、全天周型ドームに設置されたファンからユーザに向かって風を送るタイプ両方のシステムデザインが考えられる。本稿では装着や着脱の煩雑さや拘束感を考慮し、後者の没入型を選択している。鈴木らも、装着型インタフェースでは利用者が自由に身動きすることが困難であることから無拘束性 (Untethered) を重要視すべきであると論じている[6]。全方向から風覚を呈示する没入型のシステムは、その発想こそ珍しいものの、実装を行った上で風覚呈示について実験調査を行った例は未だに存在しないのが現状である。

2. 三次元風覚ディスプレイ

2.1 システム概要

筆者らはこれまで、ブローファンを円状型に配置した風覚ディスプレイを開発し、発表やデモを行ってきた[11][12][13]。IVRCにおいてはテレビゲームの臨場感を高めるデバイスとして設計し、

浜辺や吹雪といった環境風や走るときの向かい風を再現するデモを行った[14](Fig.1(a))。本稿ではこのシステムを球状なシステムへと発展させ (Fig.1(b))、三次元風覚ディスプレイとして構築している。

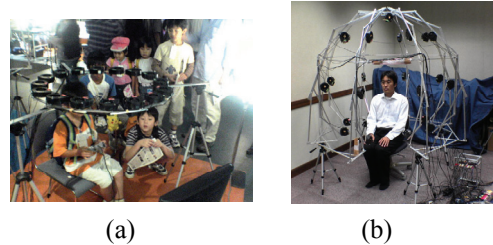


Fig.1 (a) 二次元円状型風覚ディスプレイ デモ風景
(b) 三次元球状型風覚ディスプレイ 外観

三次元球状型風覚ディスプレイにおけるブローファンの配置を Fig.2 に示す。半径が 0.8m のアルミ製骨組みのドームにおいて、頭頂部から見下ろした際、45 度ずつ 8 方向の位置で、中段 (耳の高さ)、上段 (仰角 45 度)、下段 (仰角 -45 度) に設置した。これらに頭頂部のブローファンを加えることで、計 25 方向からの風覚呈示を可能にしている。

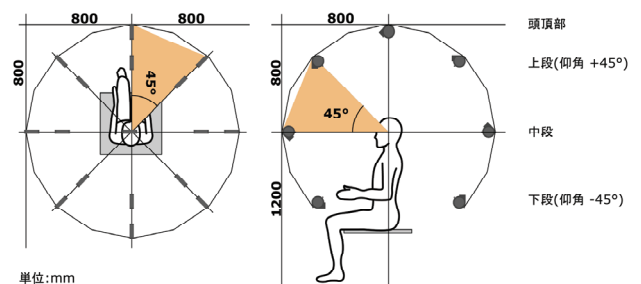


Fig.2 ブローファンの配置

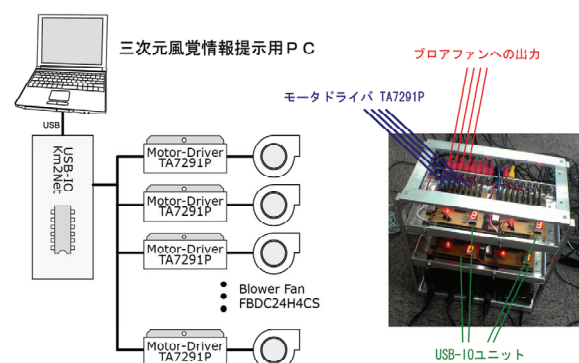


Fig.3 三次元球状型風覚ディスプレイ及び制御ユニット (右図)

システム図を Fig.3 に示す。使用するブローファン(日本サーボ製DC遠心ブロー FB BLOWER III FBDC24H4CS)は、24Vで最大風量 0.75m³/minの風を出力する。これをモータドライバ (東芝製

DC モータ用フルブリッジドライバ TA7291P) に接続し、100 段階のパルス幅変調 (PWM) で風速を制御している。これら 25 セットのユニットを Km2Net 社 USB-IO を 4 台用いてコントロールしている。

2.2 精度評価

2.2.1 風速制御の精度

Fig.4 は、ブローファンの回転制御に用いている PWM 信号とドーム中心における風速の関係測定し 10 回平均をプロットしたものである。計測には熱式風速計 (Kanomax 24-6121) を用いている。この風速計での測定範囲は 0.1-50m/s まで可能で、測定精度は $\pm 5\%$ F.S. である。

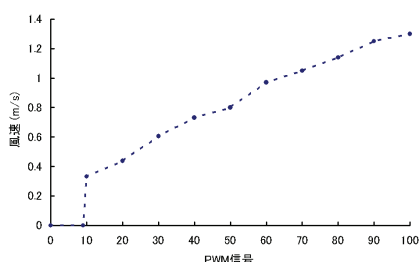


Fig.4 PWM 信号と風速の関係

このように、おおよそ線形近似が可能なものとなせるが、PWM 信号が 9 以下のところでは、摩擦によりブローファンが回転を開始しなかった。橋本らによる風覚ディスプレイ [5] においても、本システムと同様に 100 段階の PWM 制御に用いて小型 DC ファンを回転させているが、風速 0.2m/s 以下の信号で回転が開始されないために実質的な分解能が 80 段階となっている。本システムでは実質 91 段階の分解能となっている。

2.2.2 初速とレイテンシー

Table.1 は、PWM 信号 100, 70, 40 の設定 (それぞれ安定風速 1.30, 1.05, 0.73 m/s) において、通電から回転開始までの遅延時間、及びその回転開始からドーム中心に風が到達するまでの時間を計測し 10 回平均を求めたものである。このように、通電を行ってから風がユーザに到達するまでには 1 秒前後の遅延があり、当然ながら風速によっても異なるということが出来る。また、ここから計算される初期風速は、ブローファンが安定状態となったときの風速より若干遅いということがわかる。

Table.1 異なる PWM 信号における遅延

PWM 値 風速 (m/s)	100 1.3	70 1.05	40 0.73
回転開始までの遅延 (s)	0.13	0.14	0.39
回転開始から中心到達までの時間 (s)	0.73	0.79	1.38
中心到達時の初速 (m/s)	1.10	0.95	0.58
安定速度 (m/s)	1.30	1.05	0.73

2.2.3 リリース

Fig.5 は、PWM 信号を 100 で 1 秒間ブローファンを回転させたのち停止させたときの風速計の変化である。このように、PWM 信号を 0 にしてもブローファンは惰性で止まらず、リリースが大幅に伸びていることがみてとれる。ただし、熱式風速計はセンサの放熱に若干時間がかかるため、もともとリリースを長く計測する傾向がある。

ブレーキ機能を搭載したブローファンに換装すれば、このリリースの伸びを抑えられる可能性がある。リリース部分の精度も必要なコンテンツ再生を念頭に置くのであれば、こうした制御も考慮すべきであると考えられる。

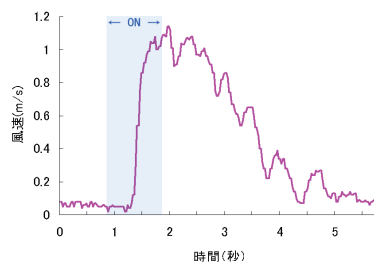


Fig.5 リリース部分の検証

3. ユーザ評価

3.1 実験目的

1 章で述べたように、これまで風覚については手や指に対して、その認知度についての調査が行われているが、頭部-上半身部位についての風覚に関しては未だその調査がなされていない。人間の風覚にはどれだけ空間解像度があるといえるのか、認識の分布は均一なのか、風速によって認知度に影響はあるのか、服装・髪型・性差など個人によつての差異はあるのか…これらの疑問についての答えは依然として出ていない。そこで、ここでは実装した三次元球状型風覚ディスプレイを用い、ユーザの風覚認知について評価を行い、風覚呈示デバイス設計の基礎となる知見を導く。

3.2 実験方法

本稿では、各方向に対する風覚認知度を、反応時間と正答率という二つの尺度で判断する。実験に際し、まず被験者はゲーム用コントローラを持ち、ドーム中心に頭部がくるように座る。ドーム中央に設置された椅子は上下可動式で、実験に際しては中段の左右のブローファンがちょうど耳の高さにくるように調整した。また頭部の位置 (特に前後位置) がずれたと思われるときは適宜被験者の姿勢を修正した。

実験プログラムは、被験者に目を閉じることを促す合図音を発した後、ランダムな間隔をあけて風を呈示する。被験者は風を感じた瞬間にコント

ローラのボタンを押すようインストラクションされている。2.2.2 で計測したレイテンシーをもとにすれば、風がユーザに最初に到達する時刻を推定できるので、その時刻からユーザがボタンを押すまでの時間を「反応時間」として算出する。

被験者は次に目を開けて、感じた風がどのブローファンからきたものであるか番号で答える。回答が実際に用いたブローファンと一致していたかどうかを「正答率」として算出する。

呈示する風は PWM 信号にして 100、70、40 の 3 種の風速を用い、それらの風速を 25 個のブローファンについてランダムにシャッフルした順序で行ってもらった。このように計 75 回の反応を取得するタスクを 1 セットとし、これを 3 セット行った。被験時間はおよそ 1 時間程度かかる。被験者は 20 代から 30 代前半にわたる 14 名であり、長袖・脱帽で被験を行った。うち、女性は 2 名であり、両名とも肩に掛かる程度の髪型であった。坊主のヘアスタイル(男性 2 名)の被験者に参加してもらっている。また眼鏡の着用者は 4 名(男性)であった。

予備実験の段階ではどの方向についても 8 割近い正答率が得られていたが、正答のブローファンが惰性で動いて完全に止まっていないことがあり、それを視覚によって発見するケースや、回転音が聞こえてしまうケースが懸念されたので、以下のような工夫を行った。まず、NRR 値 33 という高性能な遮音性能を持つ耳栓を被験者に着用させた(実験プログラムが発する合図の音はその分大音量に設定した)。また、被験者が風を知覚しボタンを押したと同時に、全 25 個のブローファンを 0.5 秒だけ回転させるようにした。これにより、被験者が目を開けた直後にどこを見回しても全ブローファンが惰性で動いている状態となり、視覚情報に基づいて判断できなくなった。ただし、全てのブローファンを回転させることによって生じた風も被験者に知覚されるケースがあった。このため、ボタンを押したときに知覚していた風の方向を記憶からたどって答えるようインストラクションを行った。

3.3 実験結果

3.3.1 方位における正答率

上述のような視聴覚情報を取り去る工夫の影響で正答率は大きく低下し、平均で 39 % となった。また、方向性による正答率の違いも顕著なものとなった。Fig.6 は球面状にある各ブローファンの位置をメルカトル図法の要領で展開し、その平均正答率を濃淡表示したものであり、明度が高い箇所ほど正答率が高いことを示している。縦軸は仰

角を表しており、下から仰角 -45 度(下段)、0 度(中段)、+45 度(上段)、そして頭頂部となっている(緯度に相当)。横軸は正面を 0 度とした水平方向の角度表記で、+90 度が右側面、-90 度が左側面、±180 度が背面となっている(経度に相当)。

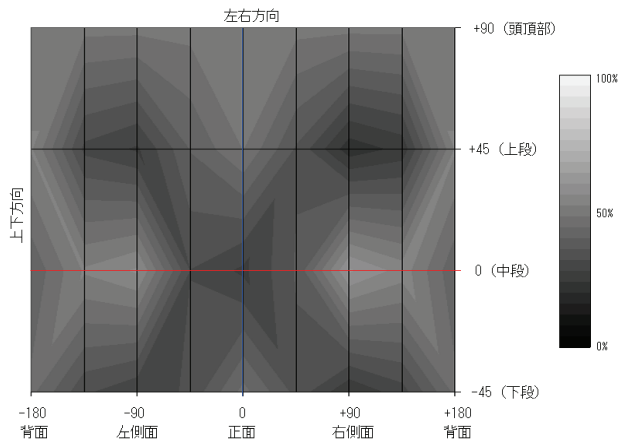


Fig.6 各方位における平均正答率の分布

このグラフを見ると、正答率に関しては左右対称なだけでなく上下対称ともいえる分布になっている。上段と下段の傾向が類似しており、そこでは側面での正答率が低く、正面での正答率がやや高いことが伺える。しかし、中段では全く逆の様相を呈しており、側面での正答率が高く、正面での正答率が低くなっている。

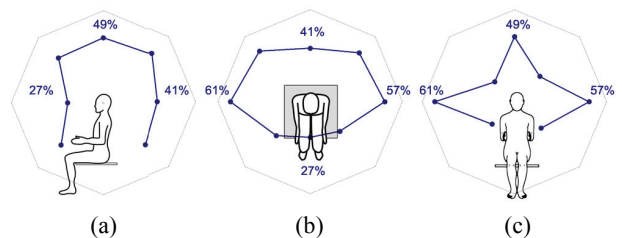


Fig.7 断面部での平均正答率 (%)
(外側輪郭は正答率 70 % を示す)

Fig.7 (a)(b)(c)は、それぞれ側面・上面・正面から見た各方向の断面部での正答率である。正面・背面の正答率が低く、なおかつ背面での 41 % に対し正面では 27 % とさらに低いため、上からみた Fig.7(b)では重心が後退した楕円形状となった。このように前後面が側面よりも正答率が低い傾向は全被験者に見られた(3%水準で有意)。また正面のブローファン動作時の誤答を調べると、隣接するブローファンや頭頂部のブローファンが回答されていた。正面からの風は額や耳にも広く当たるため、こうした誤答を誘発しているのではないかと考えられる。Fig.7(c)の断面でみると、右上・右下・左上・左下斜め方向の正答率が正面部分

と同様 20 %台に落ち込んでいる。

集計後、このデータのある被験者に見せたところ、「風がどこからくるか吹いてくるかわからないので全周囲に意識を向けるべきだが、なんとなく意識が後ろ側に向いていた」という内観が得られた。そもそも全周囲に均等に意識を向けるというインストラクション自体が難しいことだったのかもしれない。いずれにせよ、どの方向においても 7 割を越える正答率が得られることはないので、頭部-上半身部位は非常に風覚に対する空間分解能が低いと言うことができる。小木らが行った実験[4]では、固定した手の風覚認知において 19.28 度の誤差平均となっているが、本実験での誤差はこれを上回っている。ただしこの小木らの実験では、手を回転させることを許可すると誤差が大幅に減ることを確認している。本実験では風を呈示しているときの姿勢を固定してもらっていたが、これが自由に動けるような条件であれば、正答率も上昇すると予想される。

3.3.2 方位における反応時間

Fig.8 は Fig.6 と同様な表示方法で反応時間を表したものである。反応時間が長いほど明度が高い。明るい箇所ほど「風覚認知度が低い」ことになる。

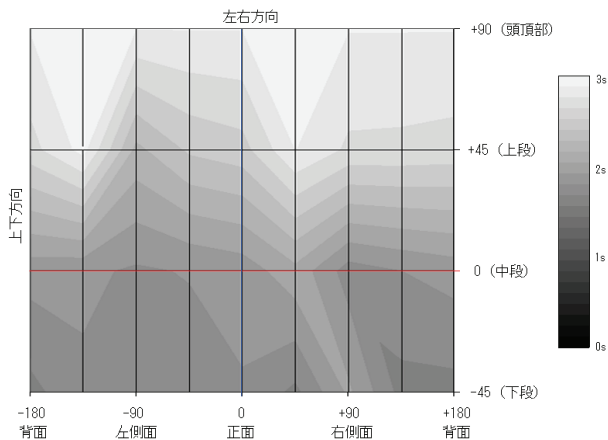


Fig.8 各方位における平均反応時間の分布

まず、全体として上段・頭頂部のブローファンについて平均反応時間が長いという傾向がみられる。風が来たということに気づくのに3秒近くもかかり、風覚認知が鈍いといえる。その差は中段と比較すると1秒以上異なっている。髪型の影響を予想し個別のデータを検証したが、この傾向は坊主のヘアスタイルの 2 名を含むどの被験者にもみられており、5 %水準で有意であった。

Fig.9(a)(b)(c)は、それぞれ側面・上面・正面から見た各方向の断面部での反応時間を示している。変位が大きいほど風覚認知が悪いことを意味する点に注意されたい。この図からも、上段の反

応時間が低いことがみてとれる。また Fig.9(b)をみると、正答率の場合のグラフとは異なり、それなりに均等なものとなっている。

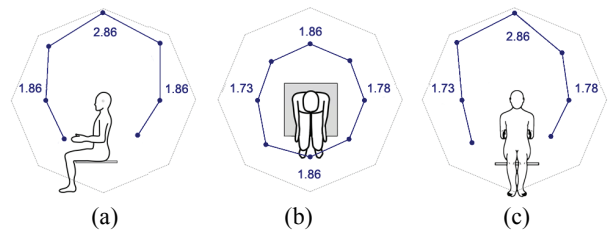


Fig.9 断面部での平均反応時間 (秒)
(外側輪郭は 3 秒を示す)

3.3.3 風速変化による影響

これまで各方位について議論を行ってきたが、今度は実験に用いた 3 種の風速について比較を行った。Table.2 は、PWM 信号 100、70、40 の 3 種の風速について、正答率・反応時間を平均したものである。なお、風速が遅いほど、ブローファンが回転を始めるまでの時間、及び風がユーザに到達するまでの時間に遅延が発生することを 2.2.2 で述べたが、本稿における「反応時間」は計測値からこの遅延時間を引いたものであるため、相互比較が可能となっている。

Table.2 風速による正答率・反応時間の影響

風速 (m/s)	0.73	1.05	1.3
PWM 信号	40	70	100
平均正答率 (%)	35**	40	41
平均反応時間 (秒)	2.5*	1.8	2.0

*は 1 %水準で有意、**は 3 %水準で有意

この表をみると、正答率についても反応時間についても、PWM 信号 40 と 70、100 の間に有意な差がでており、風速が下がると正答率も反応時間も低下する傾向があるといえる。

では、実際にどのような方位が風速の影響を受けるのだろうか。Fig.10、Fig.11 は、それぞれ正答率、反応時間において、PWM 信号 100 のときのものから PWM 信号 40 のときのものを引いた差を表示したものである。Fig.10 において明るい領域は、風速が上がると評価が向上する方位、逆に暗いところは風速が上がると評価が減少する方位である。つまり上段中央及び側面については風速が上がると正答率がより向上している。特に上段中央においては 27 %も正答率が上がっている。逆に正面では、「風速が上がると正答率が下がる」という傾向があり、その正答率の減少量は 14 %であった。この結果は「正面からの風が額や耳にも広く当たると誤答を誘発する」という前述の仮説を裏付けていると考えられる。

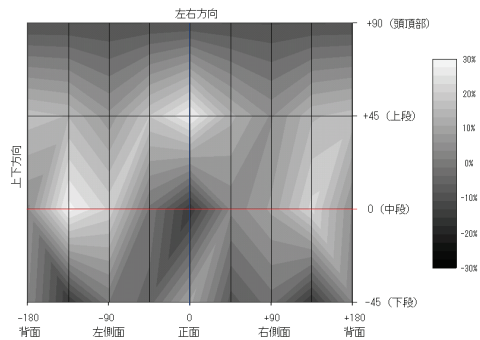


Fig.10 風速の正答率への影響

Fig.11 において、明るいところは風速の上昇によって反応時間が増大する部分、暗いところは反応時間が減少する部分である。上段・頭頂部の暗い領域は風速が下がるほど、反応するのに時間がかかることを意味する。その増加量は頭頂部で 1.2 秒、上段平均で 0.9 秒であった。

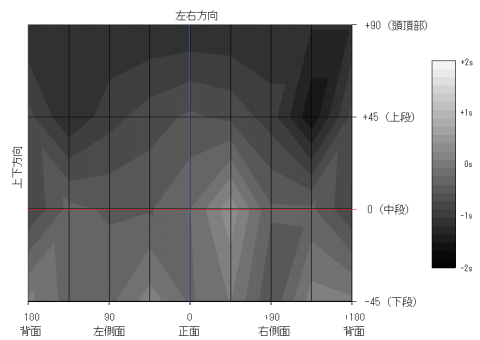


Fig.11 風速の反応時間への影響

以上の分析について主要な事柄をまとめると、正答率については左右や頭頂部が比較的高く、正面・背面および斜め方向が低いなど、分布が不均一であった。また反応時間については特に上段について時間がかかる傾向があった。このように全体として正答率が低く、空間的に不均一な特性となっていることから、少なくともこの風覚ディスプレイをデータ・センシュアライゼーションといった用途で用いるには向いていないといえる。また、被験者における男女差、眼鏡の有無、髪型による影響を確認することはできなかった。Weinstein によれば、皮膚への圧刺激呈示の実験で、女子の閾値がほとんどすべての部位で男子より有意に低いことが確認されている[15]ので、被験者数を増やせば差異が現れる箇所が出てくるのかもしれない。

4. アプリケーション

4.1 メディアとコンテンツ

新しいメディアが提案されても、そこにどういったコンテンツをのせることができるのか、それらのコンテンツはどのようにして作ることができ

るのが提案されなければ、そのメディアは空の「器」のままで終わってしまう。本稿で提案する三次元没入型風覚ディスプレイというメディアにおいても、そのコンテンツや応用可能性について考察する必要があると筆者らは考えている。

筆者らが現時点で考えているアプリケーションは、(a) 実世界での風覚情報も記録された複合感覚コンテンツの再生 (b) 映像合成システムへの応用 (c) ゲーム等のインタラクティブコンテンツにおける没入感の拡張である。以下、それぞれの応用について考察を行う。

4.2 風覚カメラの試作

例えばテレビのような映像出力機器には、実世界の映像情報を記録するためのビデオカメラが対応して存在し、スピーカという音声出力機器についてもマイクやレコーダという入力・記録機器が対応して存在する。本稿での三次元没入型風覚ディスプレイについても、実世界の風情報を記録するためのデバイスが必要である。そこで、三次元の風覚情報を記録するための風覚カメラを試作した (Fig.12)。

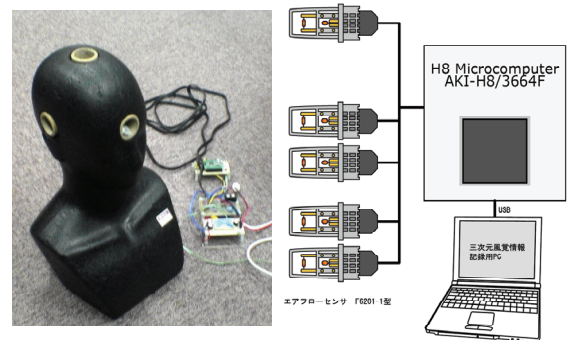


Fig.12 風覚カメラのシステム

システムは、熱式エアフロセンサ(芝浦電子製 F6201-1 型)を5機、ダミーヘッドの前後左右と上部にあけた穴の内部にとりつけ、これらからの出力をマイクロコンピュータ (AKI-H8/3664F) で処理し PC で記録するものである。一般に、風速の測定方法には熱式、超音波式、翼車式、ビトー管式がある。本システムで用いた熱式は、通電状態にあるセンサーが冷却されたときに生じる電気抵抗の変化によって風速を計る。風速検知用センサ・温度補償用センサからなる単純な原理であるため、コスト・耐久性に優れている。適用範囲も風速 0.05-50m/s、分解能も 0.01m/s の精度をもつ。超音波式は超音波の到達時間の遅れから風速を計るもので、コストが熱式の数倍から数十倍であり、センサ部が巨大かつ精密であるため振り回すような用途には向かないといえる。また翼車式・ビトー管式はそれぞれ 1m/s、5m/s 以下の風を測定で

きない。このことから、熱式のアフロセンサを用いることとしている。ただしセンサの特性として、約1秒の遅延が生じている。

この風覚カメラを用い、実際に評価用コンテンツを製作した。風覚カメラをブランコにのせ、その風覚情報を記録したもので、それはFig.13のようになっている。このデータを、ビデオカメラで記録した映像と同時に再生し、評価実験を行った。2.2.2で検証したように、本来の遅延は風速によって異なるが、今回はカメラ部の遅延を1秒、ディスプレイ部の遅延を1秒とし、合計2秒だけ映像を先に再生する簡便な遅延補正を行った。また、記録されたものは風速が2m/s以上と、風覚ディスプレイの出せる最大風速を越えているため、記録された風速を半分にして出力することにした。

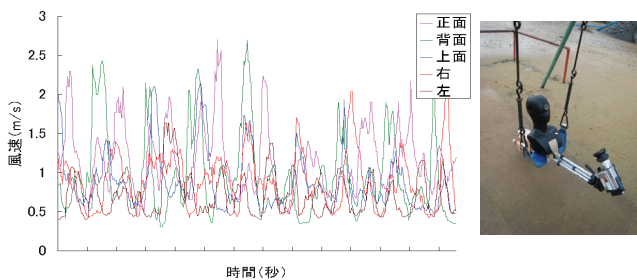


Fig.13 試作コンテンツ「ブランコ」のデータと収録風景

評価実験は、風を呈示しない映像だけの場合と比較して、没入感・違和感・不快感・満足度についてどうであったかを5段階（1:全くない 5:非常に強い）で答えてもらった。評価用紙には自由記述が可能なコメント欄が設けてある。被験者は合計15名である。結果は以下のTable.3のようになった。

Table.3 試作コンテンツ「ブランコ」の評価

没入感	違和感	不快感	満足度
4.1	1.9	2.3	3.3

今回のコンテンツ再生においては、遅延補正の方法が簡便であり、風速も実測の半分で、なおかつ2.2.3のようにブローファンにブレーキ機能が搭載されていないためにリリースが長くなる。ゆえに、記録された風を「再現している」といえるレベルに達していないのかもしれない。しかし、この評価をみると、違和感がそれほど大きいわけではなく、没入感の増大については一定の評価が得られたといえる。リリースが長くなっているにもかかわらず違和感が少ないことから考えると、風覚においてはアタックについての認知よりもリリースについての認知感覚が鈍いのかもかもしれない。聴覚についてもリリース認知がアタック認知

を下回ることはよく言われていることなので、追加実験を行うことで評価していきたいと考えている。不快感に関するコメントとしては「少し酔った」と訴えた被験者がみられた。これはブランコというコンテンツ特性に依存していたのではないかと考えられる。満足度に関連する意見としては、「重力の変化も感じたい」「全天周の映像で楽しみたい」といった改善要求に加えて「風力が物足りない」というコメントが多かった。

このように記録した風覚情報を再生する機器として見た場合、風覚ディスプレイに望まれる改善点として、まずは強い風速が出せるブローファンに換装すれば評価を高められると期待される。ただし、その際には遅延補正アルゴリズムも修正しなければならないと考えられる。0.5m/sの風と5m/sの風が出力される時、ドーム中心に到達するまでの時間は10倍異なることになり、その差は無視することができなくなるはずである。光や音と違って風は伝達に時間がかかるため、風速に応じて動的に呈示タイミングを早めるような高度な遅延補正アルゴリズムが必要になってくる可能性がある。

4.3 映像合成システムへの応用

コンピュータグラフィックス（CG）の分野においては、Image Based Lightingと呼ばれる技術がある。鏡面球への映り込みを撮影しておき、それを実空間の光源分布ととらえて照明光とする技術である。Debevecらは、球体の内側に向けてRGBのLEDを設置し、役者にそうした照明環境を投影するシステムLightStage[16]を構築している。例えば森のシーンで映像を合成するとき、このシステムを用いれば役者に木漏れ日を投影することができるため、合成映像の違和感を大幅に軽減することができる。LightStageは、映画「スパイダーマン2」でも使用され、ビルの谷間を飛ぶ主人公にその影が映りこむ高度な合成結果を生んでいる。

同じように、本稿における風覚カメラと風覚ディスプレイも映像合成の用途で使用できると考えられる。例えば前節で試作したコンテンツ「ブランコ」を視聴しているユーザを外から観察すると、ブランコが前進しているときは前から、後退しているときは後ろから風が当たっており、さながらブランコに乗っているかのように髪が揺れていたのが確認された。風覚呈示ディスプレイの後ろにブルースクリーンを設置した環境でユーザを撮影し、ブランコからの映像と合成すれば、実際にブランコに乗っているかのような合成映像が作れるのではないだろうか。現在、筆者らは映像合成シ

システムを構築しており、近い将来この効果をデモンストレーションできればと考えている。

4.4 インタラクティブシステムへの応用

信号発生から風の到達までに1秒程度の遅延をもつ没入型風覚呈示ディスプレイだが、リアルタイムに処理を行うインタラクティブコンテンツについても応用が可能であると考えられる。筆者らは、二次元円状型風覚呈示ディスプレイと組み合わせたゲームをIVRCにて展示しており[14]、多くの子供に体験してもらったが遅延に対しての違和感は少なく、高い評価を得ている。

2006年末には任天堂からWiiなる家庭用ゲームマシンが発売された。Bluetooth接続によるワイヤレスコントローラは、傾きや動きの変化を3軸で検出する加速度センサを内蔵しており、テニスのラケットにみたてて振り回したり、自動車のハンドルに見立て左右に回転させたりすることでより直感的なゲームプレイを実現する。Wii対応のソフトウェアラインナップのなかで、株式会社ハドソンのフライトアクションゲーム「Wing Island [17]」では、コントローラを飛行機に見立て、まるでおもちゃの飛行機を片手に持って動かすような操作でコントロールする。

筆者らは現在Wiiコントローラに5機のエアフロセンサを装着できるユニットを試作している。これらのセンサからの風覚情報はそのまま三次元没入型ディスプレイに送られるようになっており、おもちゃの飛行機を持っているかのようにこれを振り回すと、加速すれば正面から、急上昇するときには頭頂部から風が送られ、あたかもその飛行機に乗っているかのように風を感じるができる。Wiiを用いた評価テストはまだ行えていないが、高い没入感をもたらすことができるのではないかと予想している。

5. おわりに

本稿では、三次元没入型風覚ディスプレイを開発し、頭部-上半身部位に対する風覚認知度について評価実験を行った。その結果、左右に比べて前後の正答率が低く、仰角が45度以上では反応時間が遅いなど、空間方位的に不均一な風覚認知が行われていることが明らかになった。また4章では、この三次元没入型風覚ディスプレイというメディアにおけるコンテンツや応用の可能性を議論すべく、三次元風覚カメラの試作とコンテンツ評価、映像合成システムへの拡張、ゲームインタフェースへの応用について考察した。今後はこうしたアプリケーションについて開発を行うとともに、風覚ディスプレイの機能向上を目指したい。

将来的には温風や冷風、霧や雪などの多彩な風覚表現ができるようにしていきたいと考えている。

なお、本研究の一部は科学研究費補助金若手(B) 課題番号18700660の助成を受けた。

参考文献

- [1] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 雨宮智浩, 前田太郎, Embossed Touch: なぞり動作における触覚を利用した触覚提示装置, インタクション2006, pp. 27-28, 2006.
- [2] Norio Nakamura and Yukio Fukui, Development of Human Navigation System "HapticNavi" using GyroCube, XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association 2003, pp.352-355, 2003
- [3] 上村尚弘, 森谷哲朗, 矢野博明, 岩田洋夫: 食感呈示装置の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.8 No.4 pp.399-406, 2003.
- [4] 小木哲郎, 廣瀬通孝. 科学技術データ提示における多感覚の統合効果, 日本機械学会論文集C編, Vol.2, pp.13-18, 1993.
- [5] 橋本渉, 今枝良司. 人間の指先における微風の知覚特性に関する研究, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.8, No.3, pp.35-40, 2006.
- [6] 鈴木由里子, 小林稔, 石橋聡. 無拘束なインタフェースを目指した風圧による力覚提示方式, 信学会論文誌, Vol.43, 12, pp.3643-3652, 2002.
- [7] 井上陽, 加藤清敬. 次世代マルチメディアによる遠隔制御システム, 情報処理学会第64回全国大会, No.4, pp.689-693, 2002.
- [8] Y.Yanagida. Projection Based Oldfactory Display with Nose Tracking, Proceedings of IEEE VR, pp.43-50, 2004.
- [9] 廣瀬通孝, 谷川智洋, 石田健亮. 嗅覚ディスプレイに関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp.155-158, 1997.
- [10] Carolina Cruz-Neira, Daniel J.Sandin, Thomas A. DeFanti. Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality : The Design and Implementation of the CAVE, COMPUTER GRAPHICS Proceedings, Annual Conference Series, pp.135-142, 1993
- [11] 小坂崇之, 服部進実. Wind-Surround System, 情報処理学会インタラクション2006論文集, pp187-188, 2006.
- [12] 小坂崇之, 服部進実, Wind-Surround Systemを用いたVRコンテンツの試作, 信学技報 ITS2005, No.59, pp71-76, 2006.
- [13] 小坂崇之, 平山亮, 服部進実. 全方位型 Wind-Surround System, 情報処理学会 EC2006, pp.83-84, 2006.
- [14] 小坂崇之. KITAKAZE, IVRC2006, 日本科学未来館, 9月16日-17日, 2006.
- [15] 大山 正, 今井省吾, 和気典二. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, 1994.
- [16] Paul.Debevec: A lighting reproduction approach to live-action compositing, ACM Transactions on Graphics 21(3), pp. 547-556, 2002.
- [17] <http://www.hudson.co.jp/wingisland/>