

WindStage (WindDisplay & WindCamera)

小坂 崇之

金沢工業高等専門学校 国際コミュニケーション情報工学科

〒921-8601 石川県金沢市久安 2-270

WindStage (WindDisplay & WindCamera)

Takayuki KOSAKA

Kanazawa Technical College

Kosaka@neptune.kanazawa-it.ac.jp

概要

本稿では、全方位の風の記録と再生を可能とした WindStage を提案する。現在、市販されている風向風速計は風見鶏に代表されるように風向に関して出力は常に一方向のみである。そこで我々は多方向からの風情報を同時に計測することのできる WindCamera と多方向からの風を呈示する WindDisplay を開発した。本稿では、その二つを統合した WindStage について述べる。また WindStage を用いた応用コンテンツについて述べる。

キーワード: 風ディスプレイ, 風カメラ, 風アーカイブ, 五感通信, マルチモーダル, 映像合成

Abstract

In this paper, we proposed WindStage which can record and reproduce of the wind patterns from many directions. Ordinary anemoscope and air speedometer such as fence-sitter are able to detect wind from only one direction of the wind. We developed WindCamera which can measure information about wind coming from many directions simultaneously and WindDisplay which can reproduce wind patterns in many directions. We explained WindStage which integrated WindCamera with WindDisplay and an application of WindStage.

Keywords: WindDisplay, WindCamera, Wind Archive

1. はじめに

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、視聴覚だけでなく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におこなわれている[1][2]。

本稿でもこのような仮想現実の拡張を目指す手法の1つとして、風の記録と風の呈示が可能なWindStage[3]を提案し、その応用について述べる。以降、第2章において研究の背景と関連研究について述べる。第3章では従来システムの現状と問題点について述べ、第4章では改良したシステムについて述べる。第5章ではWindStageを用いたコンテンツ、映像合成システムへの応用について述べる。第6章において、まとめと今後の課題を述べる。

2. 研究の背景と関連研究

本章では、本研究の背景と目的、そして関連研究、研究目的について述べる。

2.1 背景

我々は感覚を働かし物事を認知する。一般的に五感と呼ばれる器官であり、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚である。これまでVR研究者が対象としてきたのは主に視覚と聴覚に対してであり、残りの感覚についてはあまり研究が進んでいないのが現状である。近年、視覚と聴覚以外の感覚を追加することにより、VRにおいて現実感が高められると期待されている。また、デジタル技術やネットワーク技術を活用して、文化財を電子的に保存するデジタルアーカイブが国内外で注目されている。今日

までハイビジョンカメラなどを用いて様々なデジタルアーカイブ映像が記録されている。しかし、それらは現状のVR分野と同じく、視覚と聴覚、映像と音声のみを対象にしているのが現状である。デジタルアーカイブにおいても視覚聴覚以外の情報を付加することが望まれている。本稿では、風を感じる風覚を付加することを目的としている。

2.2 関連研究

風を呈示するシステムは今日までにいくつか開発されており、その呈示感覚は風覚と呼ばれている。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明確に定義されているわけではない。ただしVR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「触圧感、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呈示する二次元の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おこなっている。また、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]。この他にも、ノズルから空気を噴出し、ユーザが持つ風受容器にその風を当てることで力覚呈示を行う鈴木らのシステム[6]や、距離に基づいて風を制御し、現実には存在しない物体に接触したような感覚を呈示する井上らのシステム[7]、複数人で映像と音声とともに風のやりとりが出来る澤田らのシステム[8]、風によって情報取得を補助する水口らのディスプレイ[9]、ポンプや空気砲を用い、風に乗せて嗅覚呈示を行うデバイス[10][11]などもある。このように風覚、風デバイスおよび、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、呈示するデバイスが手や指といった領域にとどまっている。また、呈示方位が一次元か二次元の呈示にとどまっているのも現状である。

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行ったときに発生する向い風、海辺や山頂などの地理条件に応じた環境風、嵐のような天候の体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なく全身への風の呈示が必要となると考えられる。そこで我々は、ブローファンを円状型に16個配置した没入型の風覚ディスプレイを開発している[12][13][14](図1)。第14回国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト[15]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、環境風や走るときの向い風の呈示や、環境に応じた環境風を呈示するデモをおこなった。

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、視聴覚デバイスにおいては三次元呈示がもはやあたりまえとなっている状況から、それらと親和性が高いデバイスとして、風に関しても同様に全身に風を呈示する三次元呈示システムが求められていると考えられる。

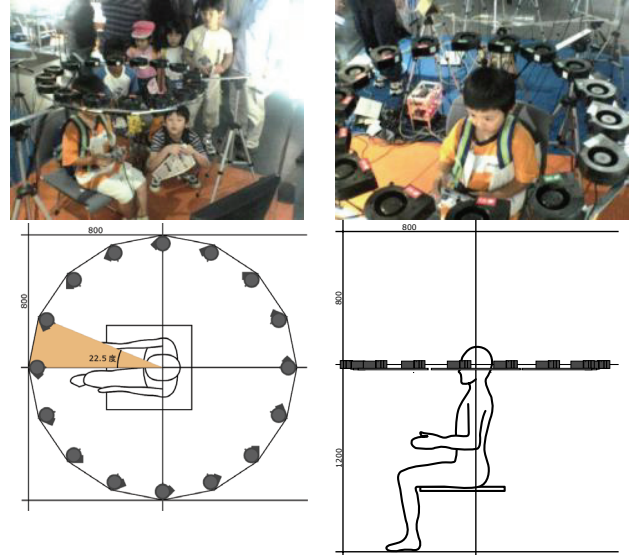


図1：円状WindDisplay ファン配置図と展示風景。

VRにおける視聴覚デバイスには、ヘッドマウントディスプレイのようにデバイスを身につける装着型のものと、CAVE[16]のような没入型のものがある。全身への風呈示についても、ファンをユーザに装着する装着型タイプと、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没入型タイプのものが考えられる。我々は装着時や脱着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)を重要視するべきであると論じている[6]。

2.3 研究の目的

我々はこれまでに、全身（特に頭部-上半身部位）に対して三次元的に風の呈示を行うWindDisplay[17][18]、そして風情報を記録するWindCamera[19]を開発している。しかし、従来型のWindCameraでは風向の計測が一方向からである点や、WindDisplayでは均一な風を呈示できない問題点が挙げられる。そこで本稿では、従来システムの問題挙げ、改良したWindDisplay、WindCamera、そして2つを統合したWindStageを用いて風のアーカイブ化と、その応用について提案する。

3. 既存システム

本章では、既存の従来型のWindCameraとWindDisplayを挙げ、その問題点を挙げる。

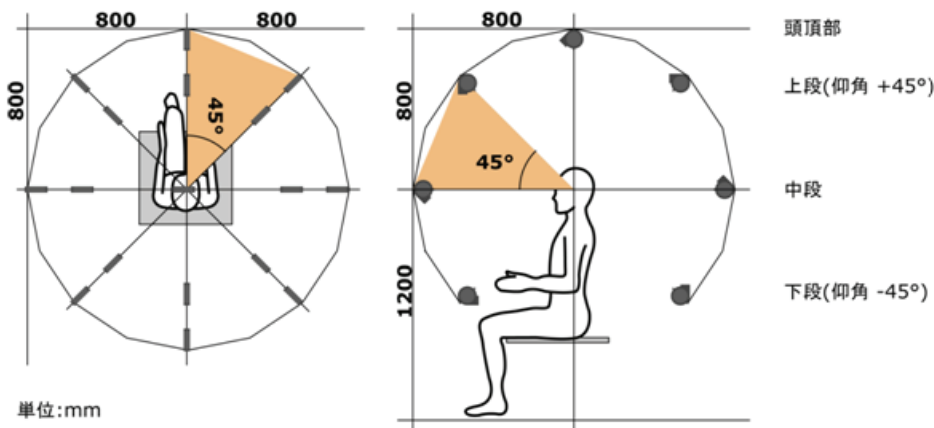


図2 従来式WindDisplay ファン配置図とイメージ外観図.

3.1 従来式WindDisplay

我々は多方向からの風を呈示するWindDisplayを開発している. 従来式WindDisplayにおけるブローファンの配置を図2に示す. 半径が0.8mのアルミ製ドーム骨格において, 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)に設置している. そして頭頂部にファンを加えることで, 計25方向からの風呈示を可能としている.

システムで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の風を出力しモータドライバを用いて風速を制御している.

3.2 従来式WindCamera

テレビに代表される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, スピーカにはマイクという入力・記録機器が対応して存在する. 我々はWindDisplay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と考えWindCameraの開発を行っている.

従来式のWindCamera(図3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空けた穴の内部に取り付け風速を計測している. 一般的に, 風速の測定方法には熱式, 超音波式, 翼車式, ビトー管式があげられる. 本システムで用いた熱式は, 通電状態にあるセンサ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測する. 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・軽量性にも優れている. 適用範囲は風速0.0から20m/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測するもので, 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センサを振り回すような用途には向かない

いといえる. また翼車式・ビトー管式はそれぞれ1m/s, 5m/s以下の風を計測できない. このことから, 熱式のエ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. また熱式エアフロセンサは「点」での温度変化に基づいているためセンサに指向性はない.

このWindCameraをビデオカメラと共にブランコに乗せ計測することで, ブランコに乗っているときの映像と共にブランコに乗っているときの風情報も記録することができる. (図4)



図3 従来式WindCamera.



図4 従来式WindCameraを用いた風記録.

3.3 従来式WindDisplayの問題点

従来のWindDisplayは角度こそ45度ずつと, 均一に配置されているが, 距離としてみると, 隣接するファンとファンとの距離が頂点付近と中段付近では異なる.

つまり, 全てのファンを同じ風速で呈示した場合, 上段と中段では上段のほうが多くの風を呈示してしまうという問題点が挙げられる. より均一な風を呈示するには隣接するファンとファンとの距離を均一に配置しなければならない.

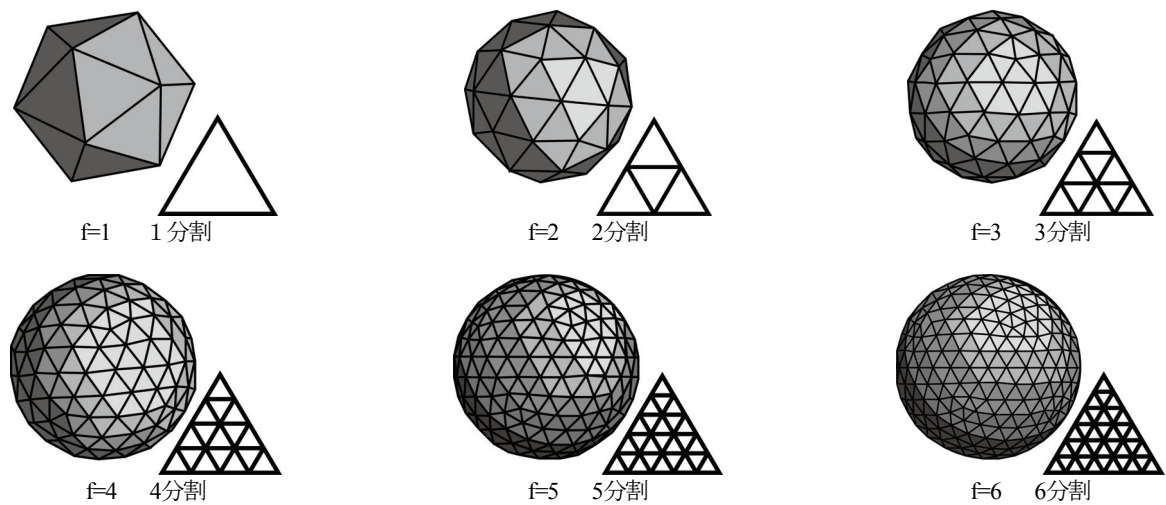


図5 オデシックドーム分割図.

3.4 従来式WindCameraの問題点

従来式WindCameraに限らず、市販されている風速計の多くは、風向の出力は風見鶏と同じく常に一方向だけである。前後左右から風がぶつかり合う環境で計測したとしてもベクトル計算を行い常に一つの方向を出力する。つまり、ビル風のような複雑に混じり合った状況下では、従来の風向風速計では計測することが困難である。

ビル風のような状況で風を厳密に計測するには多方向からの風を方向毎に計測する必要がある。

4. 提案システム

本章では、第3章で挙げた問題点を解決する手法としてドーム骨格をジオデシックドーム(フラードーム)[20][21]型にすることにより問題を解決する。

ジオデシックドームは最小の表面積で最大の体積を持つ球体を再現するにあたり、正多面体として存在する正4面体、立方体、正8面体、正12面体、正20面体の中で最も球に近い正20面体を基本としている。基本となる正20面体の正三角形の1面を2等分、3等分、4等分とすることにより細分化することができる(図5)。表1に1分割から6分割を行ったときの面数と頂点数を示す。

表1 ジオデシックドーム 分割により面数と頂点数.

分割数(f)	面数	頂点数
1	20 ※	12
2	80	42
3	180	108
4	320	192
5	560	300
6	7200	432

※ 正20面体

4.1 改良式WindDisplay

隣接するファンとファンとの距離が異なるため、均一な風を呈示できないという問題を解決する手法として、ドーム骨格をジオデシックドームに変更する。こうすることで、隣接するファンとファンをほぼ均一に配置することが可能となりこの問題を解決する。本研究では、ファンの数や設計の容易さから分割数2、42頂点のトラケータブル・ジオデシックドームをドーム骨格として用いることにした。改良式WindDisplayの外観を図6に、ファンの配置を図7に示す。地面から1.7mの地点に半径1mの42頂点ジオデシックドームの中心になるように設置した。各頂点にファンを41個配置した。最下部は出入り口のためファンを設置することはできず41個となっている。

使用するファン(日本サーボ製DCファン DC ParkyIII PADC24H7)は、24Vで最大風量4.2m³/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 TA8440H)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41セットのユニットを秋月電子通商社H8マイコン3台用いてコントロールをおこなっている。



図6 改良式WindDisplay外観.

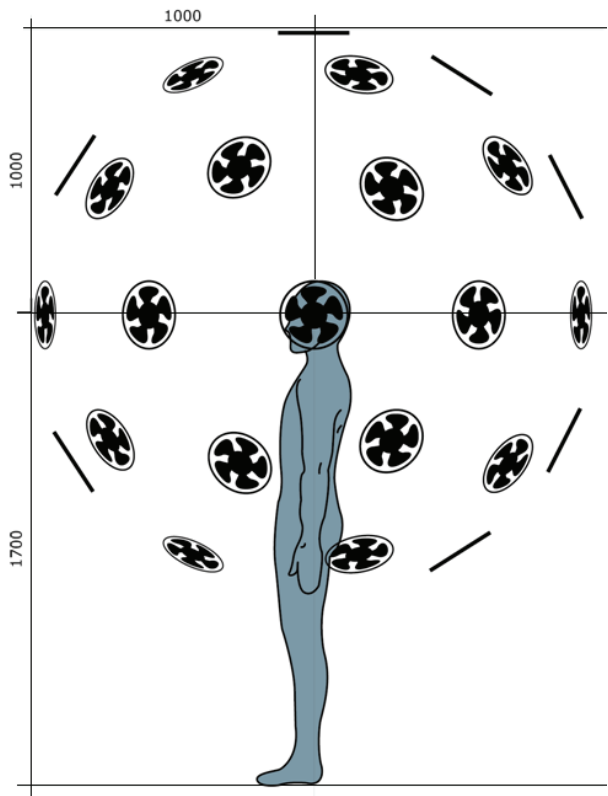


図7 改良式WindDisplay ファン配置図.

4.1.1 ファン精度

ファンの回転制御に用いるPWM信号と風速の関係を測定し、その5回平均をプロットした(図8). 計測には熱式風速計(Kanomax24-6121)を用いた. PWM信号が31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ため、本システムでは実質70段階の分解能となっている. ファンと熱式風速計は85cm離れた距離で測定をおこなった.

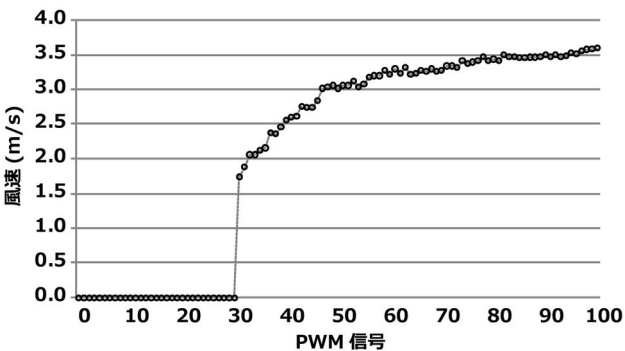


図8 PWM信号と風速の関係.

4.1.2 ファン遅延

表2はPWM信号100,70,40の値において、通電からドーム中心に風が到達するまでの時間を計測し10回平均で求めたものである. PWM値によって異なるが、おおよそ2秒から5秒の遅延が発生している.

表2:PWM値による遅延

PWM値	100	70	40
通電から中心到着までの時間(s)	2.10	3.14	5.15

4.2 改良式WindCamera

複数方向から混じり合った風を計測できないという問題を解決する手法として、センサをドーム型に複数配置する. 各センサは、ドームでの位置と風速を計測する. 計測したデータを、風向計算を行わず個々に保存することにより、複数方向からの風を同時に記録し、この問題を解決する.

WindCameraは第3.2章で挙げたようにWindDisplayの風の出力に対して風の入力を目的として設計しており、WindCamera、WindDisplayの親和性を高めるべく、WindCameraの骨格においても42頂点のトラーケータブル・ジオデシックドームを用いている. 改良式WindCameraにおけるエアフロセンサの配置を図9に、外観を図10に示す. 半径3.2cm、厚さ1.9cmの木の構造物にエアフロセンサを取り付け、竹棒でつなぎ合わせ半径15cmのジオデシックドーム骨組としている. 改良式で用いたエアフロセンサは第3.2章で述べた熱式エアフロセンサを使用した. WindCameraは三脚で固定することが可能である. 最下部はセンサケーブル、三脚固定金具のためエアフロセンサを配置できず41個のセンサとなっている. エアフロセンサの出力をマイコン(AKI-H8/3664F)に100Hzでコンピュータに取り込んでいる.

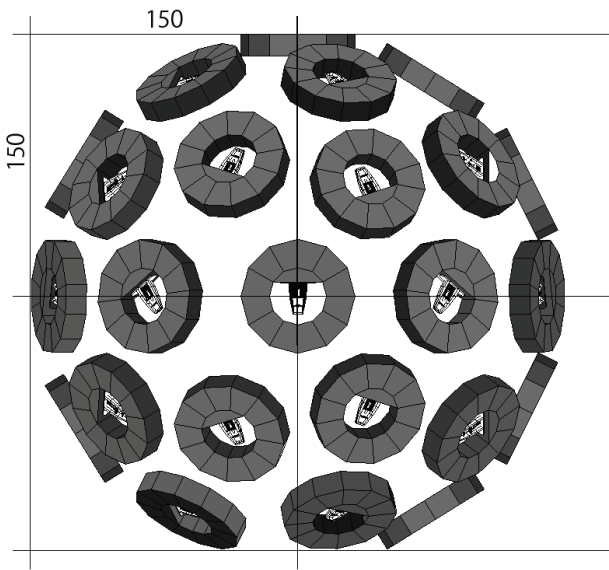


図9 改良式WindCamera センサ配置図.



図10 改良式WindCamera外観.

5. WindStage (WindDisplay + WindCamera)

WindStageは第4章で挙げたWindDisplay, WindCameraから構成されている. 本章ではWindStageを用いることでどのようなコンテンツを享受できるのかを述べる.

5.1 WindStageを用いた風通信

WindCameraを用いて計測された風情報をWindDisplayで呈示する. WindCamera, WindDisplay共に第4章で述べたように頂点数が同じジオデシックドームで構成されており, センサ数, ファン数ともに41個である. WindCameraの1つのセンサに対応するWindDisplayの1つのファンを対応させる(図11). センサで得られた風速と同じ風速をファンで呈示することによりWindCameraで得られた風をWindDisplayで呈示することが可能である. WindCameraとWindDisplayには歴然としたスケールの差が存在するが, WindDisplayでの風呈示領域はWindCameraの半径と同じく中心から15cmの位置である. つまりWindDisplayの中心から半径15cmで再現される風速はWindCameraで計測された風速と同じである. 第4.1.1章でのファン精度評価に関して85cm離して測定したのはこのためである.

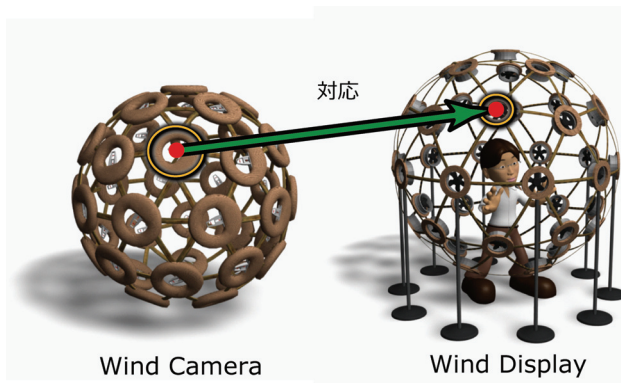


図11 WindCamera, WindDisplay対応.

本システムを用いることにより, 例えばWindCameraをモンゴルの草原に, WindDisplayを日本に設置する. してお互いをインターネットで接続することにより, 日本に居ながらモンゴルの風を体感するような風通信が可能である.

本システムをインタラクティブ東京2008[22]にて展示を行った(図12,13). 体験者は, WindCameraに息を吹き込み, WindDisplay内の体験者に風を送る姿が見られた. 体験者の中にはWindCameraをWindDisplayの内に持ち込んで風のハウリングを試みようとするなど, 様々な観客の反応が見られた.

第4.2章で述べたとおりファンには遅延が発生する. 風通信では遅延に対する処置は行ってはいない. また, エアフロセンサは風速20m/sまでの風速を計測できるが, ファンは風速3.5m/s以上の風を呈示できないという問題や, エアフロセンサで得られるのは指向性のない風速のみであり, WindCameraを撫でるような風もWindCameraの中心に向かって垂直に風が吹いたものとして記録し再現してしまうという問題もあり, 「計測された風を正確に再現する」というレベルまで達していないのが現状である. しかしながら, 人間の風に関する感覚は, 鈍く正確に再現していなくてもリアリティを感じるという実験結果[18][19]もあり, 上記の展示においても風の遅延に対する違和感を訴える体験者は見られなかった.



図13 インタラクティブ東京展示風景.

5.2 風の視覚化

WindCameraを用いて風の視覚化を行うことができる。パソコンに取り込まれた風情報をVR空間内のジオデシックドーム状のメッシュ頂点に対応させる。色とベクトルでリアルタイムに風情報を視覚化することができる。図14は風速が強いほど、頂点がドーム中心から離れ、色が赤色で表示さる。また、風速が弱いほどドーム中心に近く、青色で表示されることを表している。第5.1章で述べたインタラクティブ東京2008でも、自分の吐いた息や見えない風の流れを視覚化する体験に驚く体験者も見られた。

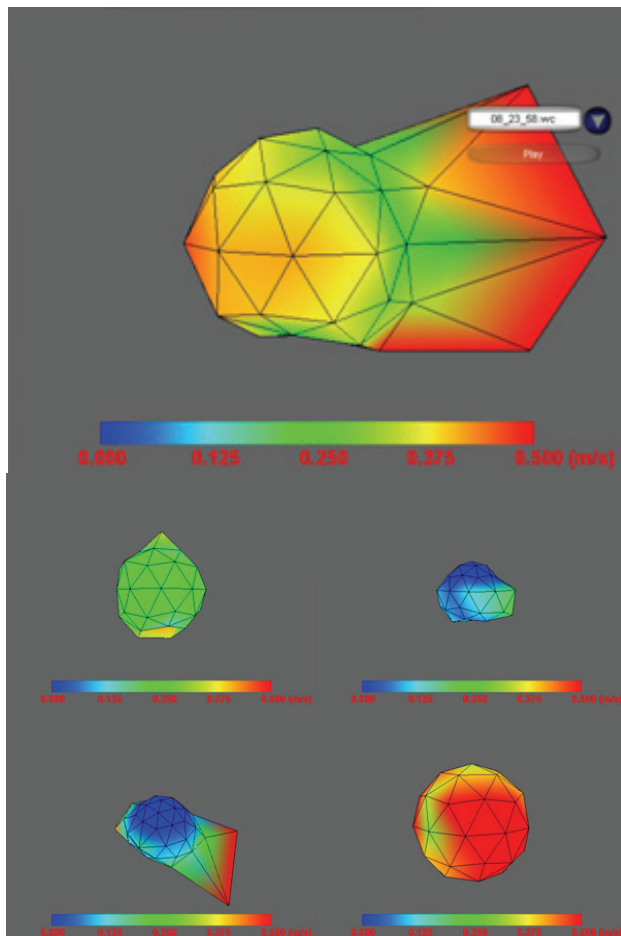


図14 風の視覚化。

5.3 風のアーカイブ

デジタル技術やネットワーク技術を用いて、文化財を電子的に保存・継承するデジタルアーカイブ技術が国内外で注目されている。国や地方公共団体において博物館・美術館などの収蔵品のデジタル化による保存、維持、修復を中心に、デジタルアーカイブに関する取組が活発化している。デジタルアーカイブが単に収蔵品の保存・保持だけでなく、歴史の記録や文化の保存・継承に有効な手段であるとの認識が高まりつつあり、今日まで、ハ

イビジョンカメラなどを用いて様々なデジタルアーカイブが記録されている。しかし、それらはVR分野と同じく、視覚と聴覚、映像と音声のみを対象としているのが現状である。我々はデジタルアーカイブとは記録する場所の環境情報全てを記録する必要があるのではないかと考える。環境情報とは映像、音声だけでなく、温度や湿度、気圧、位置情報、そして風情報などである。また、単に保存記録するだけでなく、それらを再現する必要がある。現状のデジタルアーカイブコンテンツのほとんどが保存・記録のみに特化しており、それらを体験・活用するためのものではない。本当の意味のデジタルアーカイブとは「保存・記録」だけではなく「体験・活用」がセットになってこそ意味があるのではないかと考える。

我々の開発したWindStageを用いることにより、環境情報の風情報（風向、風速）をアーカイブすることが可能である。WindCameraを用いて風をアーカイブし、WindDisplayを用いて風を呈示することができる。従来の視聴覚デバイスと共に呈示をおこなえば現実感のある体験が可能になる。我々は、台風の風や砂浜の波風など様々な場所で風の計測を行っている(図15)。



図15 風アーカイブの様子。

5.4 映像合成システム

コンピュータグラフィックスの分野にImage Based Lighting と呼ばれる分野が存在する。鏡面球への環境光の写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環境光とする技術である。Debevecら[23][24]はこの考えを応用し、ドームの内側にRGBのLEDを複数配置し、役者に環境光を投影するLightStageを構築している。例えば、森の映像シーンに役者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、合成時に影の位置が異なるなどの違和感を大幅に軽減することができる。LightStageはハリウッド映画でも使用され、ビル谷間を飛ぶ主人公にその影が写り込むなど高度な合成結果を生んでいる。

同じように本稿におけるWindStageも映像合成の用途で使用できると考えられる。LightStageは光を用いて髪や肌への光の写り込みを再現している。我々のWindStage

を用いることにより風を用いて髪や衣服のなびきを再現できる。例えば、第3.2章のようにWindCameraとビデオカメラをブランコに乗せブランコが揺れているときの映像と風情報を計測する。ブルースクリーンを設置したWindDisplayで計測した風情報を呈示する。そしてブランコの風が呈示されているユーザを外側からビデオカメラで撮影を行う(図16)。その映像のブルースクリーン部分をマット処理、除去し(図17)、ブランコ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を作成(図18)することができる。Wind Cameraを台風の中で計測すれば台風の中にいるような紙や服の靡きを再現することができる。通常、映画などの撮影で風を呈示する場合、送風機を用いて手作業で風を当てるのが一般的である。このため合成された映像には違和感が生じてしまう。また、役者がミスをした場合など何度も同じタイミングで同じ風を当てるのは困難である。我々の提案するWindStageを用いることにより、あらかじめ作成、または計測しておいた風を何度でも役者に同じタイミングで風を呈示することが可能である。

第5.1章の風通信ではファンの遅延に関する処置は行っていない。しかし、映像合成システムでは髪や服の靡きに関しては視覚的に表わされるためファン遅延は避けては通れない問題である。今回はファンの遅延を平均3.5秒とし、3.5秒だけ映像を先に再生する簡便な遅延補正を行っている。



図 16 映像合成システム 風呈示。



図 17 映像合成システム マット処理。



図 18 映像合成システム 合成。

6 おわりに

本稿では、従来型の WindDisplay, WindCamera の骨格をジオデシックドームへと改良し、その二つを統合した WindStage を提案した。そして WindStage を用いた風通信や、映像合成システムなどについての可能性を示した。WindCamera については、木と竹の構造体で構成されているため、壊れやすくジェットコースタなどの過酷な環境下では使用できないという問題がある。また、今回使用したエアフロセンサには指向性ない点とドーム中央が空洞となっているため、センサを通過した風が反対側のセンサにも影響を与えてしまうという問題もあげられる。ドーム形状に改良を設けるか、複数のセンサを併用して指向性を持たせる必要がある。さらに、今回はエアフロセンサを用いて風速のみを計測しており、より厳密に計測するのであれば風量についても考える必要がある。WindDisplay については、全てのファンの向きをドームの中心になるように設置しているため、頭をなげるような風を呈示することはできない。可動式の雲台などを設けることによってこの問題を解決することが可能である。また、台風のような風を呈示するのであれば、当然、台風の風速を呈示するだけの機構が必要になる。今回使用したファンが出力できる風速は風速3.6m/s までである。実際の台風となると風速24m/s 以上、猛烈な台風となると風速54.0m/s 以上の風速が必要である。風速24m/s 以上を出力するファンとなると大型になり、当然 WindDisplay も巨大化する必要がありコストも増大し現実的ではない。このためエアコンプレッサを用いて風呈示を行うのがより現実的である。その際には、遅延補正についても考えなければならない。たとえば風速0.5m/s の風と5m/s の風が出力されるとき、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からである。光や音とは異なると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調整するなど高度な遅延補正アルゴリズムが必要である。今後は、WindStage の機能向上を目指すとともに、応用アプリケーションについて開発を行ってきたい。

参考文献

- [1] 安藤英由樹, 吉田知史, 前田太郎, 渡邊淳司: "Save Yourself!!!" -前庭刺激による平衡感覚移植体験-, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.255-231, 2007.
- [2] 上村尚弘, 森谷哲郎, 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.

- [3] 小坂 崇之: WindStage(Wind Display & Wind Camera)の開発,エンタテインメントコンピューティング 2008 論文集,pp35-36,2006.
- [4] 小木哲郎, 廣瀬通孝:科学技術データ呈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呈示方式, 電子情報通信学会論文誌,Vol43, No.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] 澤田枝里香,淡路達人,森下圭介,古川正紘,有賀友恒,木村秀俊,藤井智子,武市隆太,清水紀芳,井田信也,新居英明,常盤拓司,杉本麻樹,稲見昌彦:ビュー・ビュー・View:風を情報媒体とするインタフェース, 第 15 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2007) 予稿集 pp.155-158, 1997.
- [9] 水口充:風感 Web,DEWS2007 予稿集(2007).
- [10] Y. Yanagida: Projection Based Oldfactory Display with Nose Tracking, Proceedings of IEE VR, pp.43-50, 2004.
- [11] 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.
- [12] 小坂崇之, 服部進実:Wind-Surround System,情報処理学会インタラクシオン 2006 論文集,pp187-188,2006.
- [13] 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.
- [14] 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 論文集, pp83-84, 2006.
- [15] 小坂崇之:KITAKAZE,IVRC2006,日本科学未来館, 9 月 16-17 日, 2006.
- [16] 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.
- [17] 小坂崇之, 宮下芳明, 服部進実:没入型三次元風覚ディスプレイの開発と評価, 情報処理学会インタラクシオン 2007 論文集, pp105-112,2007.
- [18] 小坂崇之, 宮下芳明, 服部進実:頭部・上半身部位に対する風覚実験についての評価, 情報処理学会論文誌, Vol.48,No.12,pp.3827-3836, 2007.
- [19] 宮下芳明, 小坂崇之, 服部進実:没入型三次元風覚ディスプレイのためのコンテンツ開発,日本バーチャルリアリティ学会論文誌,Vol.12,No.3,pp315-321,2007.
- [20] バックミンスターフラー, 宇宙船地球号操縦マニュアル, 筑摩書房, 2000.
- [21] Boring van loon, GEODESIC DOMES, TARQUIN PUBLICATIONS,1997.
- [22] 小坂崇之:WindStage,インタラクティブ東京 2008, 2008.
- [23] Paul Debevec, Tim Hawkins, Chris Tchou, Haarm Pieter Duiker, Westley Sarokin, and Mark Sagar: Acquiring the Reflectance Field of a Human Face. Computer, ACM SIGGRAPH2000, pp.145-156, 2000.
- [24] Paul Debevec: A lathing reproduction approach to live-action composition, ACM Transactions on



小坂 崇之

2003年金沢工業大学大学院工学研究科博士前期課程(情報工学専攻)修了。同年金沢工業大学情報処理サービスセンター助手。2007年金沢工業大学工学研究科博士後期課程(情報工学専攻)単位取得満期退学。同年、金沢工業高等専門学校国際コミュニケーション情報工学科講師。2008年博士(工学)。エンタテインメントコンピューティング2008 芸術科学会最優秀論文賞受賞, 平成19年度情報処理学会山下記念研究賞受賞。バーチャルリアリティおよびマルチモーダルインタフェースに関する研究に従事。芸術科学会, 情報処理学会会員。