

## 基礎論文

## 風を利用した入出インタフェース：ビュー・ビュー・View

澤田 枝里香<sup>\*1</sup> 淡路 達人<sup>\*1</sup> 森下 圭介<sup>\*1</sup> 古川 正紘<sup>\*1</sup> 有賀 友恒<sup>\*1</sup>木村 秀俊<sup>\*1</sup> 藤井 智子<sup>\*1</sup> 武市 隆太<sup>\*1</sup> 清水 紀芳<sup>\*1</sup>井田 信也<sup>\*1</sup> 常盤 拓司<sup>\*2</sup> 杉本 麻樹<sup>\*3</sup> 稲見 昌彦<sup>\*4</sup>

## A Wind Communication Interface : BYU-BYU-View

Erika Sawada<sup>\*1</sup>, Tatsuhito Awaji<sup>\*1</sup>, Keisuke Morishita<sup>\*1</sup>, Masahiro Furukawa<sup>\*1</sup>,  
Tomohisa Aruga<sup>\*1</sup>, Hidetoshi Kimura<sup>\*1</sup>, Tomoko Fujii<sup>\*1</sup>, Ryuta Takeichi<sup>\*1</sup>, Noriyoshi Shimizu<sup>\*1</sup>,  
Shinya Ida<sup>\*1</sup>, Takuji Tokiwa<sup>\*2</sup>, Maki Sugimoto<sup>\*3</sup>, Masahiko Inami<sup>\*4</sup>

**Abstract** — This system is an interface realized with the symbiosis of the input/output of wind and graphics. This system brings the new communication medium of "wind" into the bidirectional interaction between the virtual environment and the real environment by integrating the graphic presentation with the input and output of wind on a special screen. The user can interact with the virtual environment in the screen through his/her breath and wind emission. Conversely, actions from the virtual environment to the user are performed by wind changing dynamically. As a result, the user can share not only sights and sounds but also the cutaneous sensation by wind with the system, and interact with the virtual environment feeling a non-conventional deep relationship.

**Keywords** :telecommunication, wind interface, cutaneous sensation, display

## 1. はじめに

## 1.1 背景

従来のテレコミュニケーションやバーチャル環境とのインタラクションの手段としては、聴覚情報及び視覚情報を利用したものが主であった。現在は、これらの情報とは異なる新しい感覚情報として触覚情報や嗅覚情報を利用したインタフェースに関しても数多く提案されている[1][2]。本研究では、皮膚感覚を刺激する情報媒体として「風」に着目した。風は私たちの皮膚感覚を刺激する情報媒体である。また、私たちは呼吸をすることやうちわを振ることで風を簡単に生み出すことができる。

Sutherland の Sketchpad[3]にはじまるインタラクティ

ブなディスプレイ環境において、現実環境とバーチャル環境や、ビデオ会議等の場合の遠隔地同士は、常にスクリーンやディスプレイといった壁やガラス板により隔てられていた。現実環境において部屋の中と外のように壁やガラス板によって隔たれた二つの環境は、窓を開けることやドアを開くによって繋げることができる。部屋の窓を開け、自然に部屋に流れ込む風を感じたとき、私たちは外界の環境と部屋の環境が繋がったと感じる。つまり、風は私たちが簡単に生み出すことができ、また異なる環境の間を自由に行き来し、環境同士をつなげる事の出来る情報媒体である。

本研究は、風を用いることができるシステムの構築を目的として、スクリーン面上で「風」を入出力するインタフェース：ビュー・ビュー・View を製作した。そして、このインタフェースを利用し、テレコミュニケーションやバーチャル環境とのインタラクションを試みた。また、実際に展示を行い、提案するシステムの風を使ったインタフェースとしての有用性を確認した。

\*1: 電気通信大学大学院 電気通信学研究所

\*2: 東京大学大学院 情報理工学系研究所

\*3: 慶應義塾大学 メディアデザイン研究センター

\*4: 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン学研究所

\*1: Graduate School of The University of Electro-Communications, University of Electro-Communications

\*2: School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

\*3: Media Design Research Center, Keio University

\*4: Graduate School of Media Design, Keio University

## 1.2 関連研究

風や息を用いたインタフェースには、後述するようにさまざまな手法が提案されている。これらのインタフェースは、入出力のどちらかは風で行っているが、もう一方は風とは異なる媒体で行っているものが多い。

入力として風を用いる先行研究には次のものがある。伊賀らによる「kirifuki」[4]は呼吸・吸気を利用したGUI操作環境を構築したものである。また、浅井らによる「Jellyfish Party」[5]は、息を吹き込むことでHMDを通して現実空間内にシャボン玉のCGが飛び出すインスタレーション作品である。波多野らによる「The Dimension Book」[6]も、入力に息を用いたアプリケーションが存在する。これは、マイクを用いて息の入力を検出し、CGで表現されたバーチャルなろうそくの状態が変化する作品である。桂らによる「LIVEPIC」[7]は体験者が絵を描き、その絵に自分の息をふきかけることにより、絵を操作する作品である。これらは全て、入力のインタフェースとして人間の息を的確に使用しているが、バーチャル環境からの出力はグラフィックスと音に制約されている。他に入力に風が使われているものとして、重野らによる「Friend Park」[8]がある。このシステムはバーチャル環境に風で入力を行うと、出力がグラフィック及び匂いで返ってくるインタフェースである。視覚情報や聴覚情報だけではなく、嗅覚情報も利用している。つまり、匂いという情報を風という情報媒体にのせて提示を行っているシステムだといえる。しかしこのシステムは、入力検出箇所が一箇所に限られており、出力箇所は入力箇所であるディスプレイとは異なる。

一方、出力として風を使用するインタフェースも存在する。Heiligが1962年に開発した「Sensorama」[9]は、映像や音声に加え香りや風の提示を試みたマルチモーダルなインタフェースである。鈴木らによる「Air jet driven force feedback in virtual reality」[10]は、テーブルに埋め込まれた複数のノズルから風を噴出し、体験者が持つ風受容器に当てることで、テーブル上の仮想物体に接触する感覚を利用者に提示することができるインタフェースである。風が人に与える情報について調べた小木らによる風覚ディスプレイ[11]は、触覚の提示装置として風を利用したものである。また、水口らは風を風量や風向の提示によるアンビエントディスプレイ[12]として利用している。これらも風は出力にのみ使用されている。柳田らは非装着型の香り提示システム[13]として「空気砲」により生成されたVortex Ringを用いており、香りと共に若干の風圧の提示を行っている。

入出力共に風を使用するシステムも存在する。小坂らによる「Wind-Surround System」[14][15][16][17]は体験者の周り全方向にファンが設置されているシステムである。まず体験者はエアフロセンサに息を吹き込む。すると、位置センサから得られた位置情報に相当するファンから、エアフロセンサから得られた風速に相当する風が出力される。この場合入出力は風で行われているが、入力と出力は同一の場所で行われているのではなく、別々の箇所から行われている。

本研究は、風を通す特殊なスクリーンを使用することで、視線の一致した映像の撮像と投影、風の入力と出力とを同一の界面上にて実現している点が従来研究と異なるを考える。

## 2. 風の入出力デバイス

### 2.1 システム構成

本システム(図1)は、風を通す特殊なスクリーン、プロジェクタ、カメラ、風の入力を検出するセンサ、風を出力するブローから構成されている。風の入力及び出力は、下記の2つの技術によって実現している。

- ・映像投影面及び映像撮影面、風の入力及び出力の界面となる特殊なスクリーン
- ・2次元平面での風の入力検出、及び風の出力  
それらの詳細を以下に述べる。



図1 ビュー・ビュー・View

Fig.1 BYU BYU View

### 2.2 映像投影面及び映像撮影面、風の入出力の界面となる特殊なスクリーン

本システムで用いるスクリーンには、風を通すことのできる特殊な素材を使用している(図2)。スクリーンの素

材は、帝人ネステックス株式会社により花粉を防止する網戸用のフィルタとして開発されたものである。使用したスクリーンの詳細を表1に示す。輝度、減衰率、繊維数は実測値であり、他は帝人ネステックス株式会社から提供されたデータである。ただし輝度は、照度988[lux]のプロジェクタでスクリーンを照射したときに、プロジェクタの光源が当たっている箇所の輝度を測定した値である。このスクリーンの繊維と繊維の間には150[ $\mu\text{m}$ ]隙間があり、自由に風を通すことができる。さらに、網戸よりも目が細かい為、風が自由に通るだけでなく映像を映すスクリーンとほぼ同様のコントラストにて映像を投影することができる(図3)。

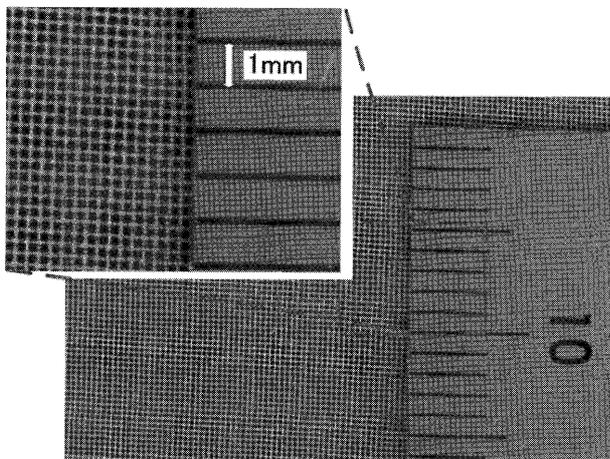


図 2 特殊なスクリーン  
Fig.2. Special screen

表 1 スクリーンデータ  
Table 1 Screen detail

繊維直径	70 $\mu\text{m}$
開口率	52%
透過容量	$62 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2$
1mm 辺りの繊維数	3.9本/mm
風速の減衰率	57%
輝度	$4.28 \text{ cd}/\text{m}^2$

我々が自分の部屋から網戸越しに外の風景を見ることが出来るのと同様に、使用したスクリーンは目が細かい為、網戸ほど鮮明ではないがスクリーンを通して撮像が可能である。更に、このスクリーンは薄手のカーテンや舞台上で用いられるシルクスクリンと同様、明るい環境側から暗い環境側の状態を観察しにくいという特徴を持っている。この特徴を活かしスクリーンの裏にカメラを設置すると、体験者からスクリーン越しにあるカ

メラの存在はわからないが、スクリーンの前にいる体験者を撮影することができる。投影面内にカメラを設置することが出来るため、遠隔会議などで起こりやすい視線とカメラ位置の不一致による影響を軽減できる。このスクリーンによって、風の入出力と、映像の入出力を自然に融合することができる。

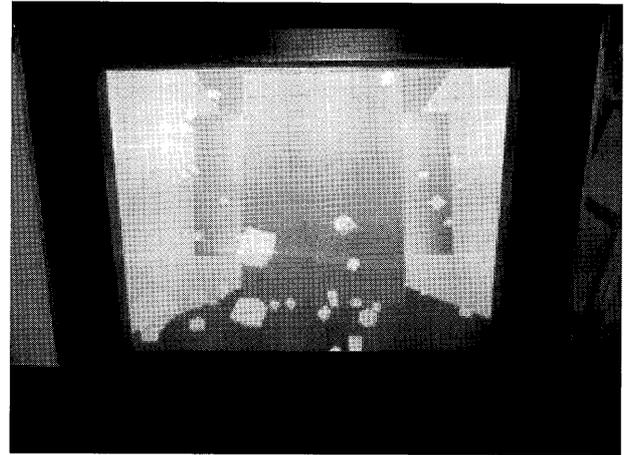


図 3 スクリーンに映像を投影した様子  
Fig.3 Graphics on the screen

### 2.3 2次元平面での風のセンシング、及び風の出力

スクリーンの後ろにはカメラの他、風の入力を検知するセンサ 64 個と、風の出力を行うブロー 12 個をアレイ状に設置している。これにより画面上で風が当たった位置を検出することができ、また任意の場所から風を出力することができる。スクリーンの裏のセンサとブローの配置を図4に示す。

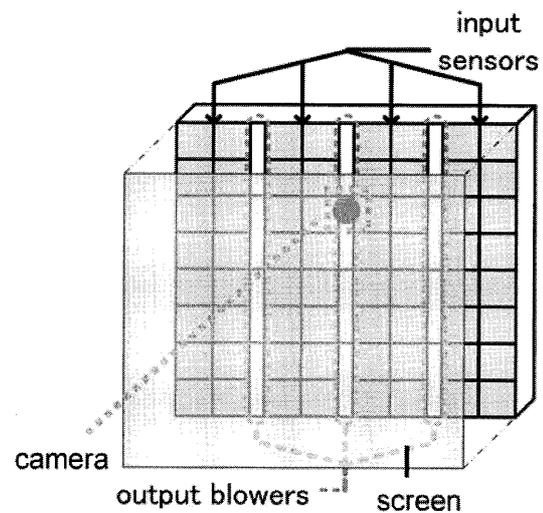


図 4 出力ブローと入力センサ及びカメラの配置図  
Fig.4 The positions of output blowers, input sensors and a camera

まず、風の入力センサの仕組みについて述べる。図5のように風の入力は風を受けると傾く板によって検知している。板の大きさは  $47 \times 50$  [mm]、板の奥には反射型フォトフレクタ ROHM 製 RPR-220 を設置した。板の後ろには再帰性反射材が張っており、この反射材にフォトフレクタの発光ダイオード部分から出た赤外光が当たると反射し、フォトフレクタのフォトトランジスタ部分に戻ってくる。板が傾くと戻ってくる赤外光の量は減少し、その量の変化はフォトトランジスタの電圧値の変化として表れる。この電圧変化を風の強さとして検知している。

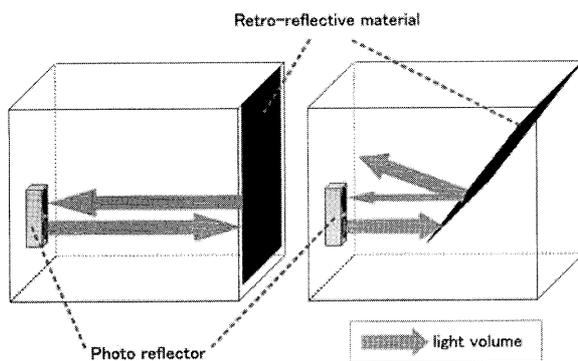


図5 入力センサの仕組み

Fig.5 The mechanisms of input sensors

センサの特性を図6、図7に示す。図6は再帰性反射材を貼り付けた板の角度を横軸に、フォトインタラプタの電圧変化値を縦軸に描いたグラフである。これを見ると、角度に対して電圧が一意に定まっていることがわかる。再帰性反射材の付いたセンサの板の傾きは、風速に対して角度が一定の場合、この関係から、センサの出力電圧を計測すれば、風速を求めることができる。ただし風速を計測する際には、 $0$  [V] 付近の電圧に対して角度が一意に定まらない領域は使用していない。図7は、使用しているスクリーンに風を当て、スクリーンを通過した後の風速を風速計(KANOMAX 社製 ANEMOMASTER6115) と本デバイスで計測したときの結果のグラフである。スクリーンを通過する前の風速を横軸に、スクリーンを通過した後の風速を縦軸にグラフを描いた。結果より、本デバイスのセンサは風速計での測定値に対して約  $1.0$  [m/s] の誤差を持っていた。また、スクリーン通過前で  $2.5$  [m/s] から  $7.0$  [m/s] の範囲の風速を測定できる特性をもつことがわかる。風速  $2.5$  [m/s] 以下のときは板が傾かない為測定できず、 $7.0$  [m/s] 以上のときは板が傾ききってしまう為測定できない。また、人の息の速度を風速計で測定したところ、風速計から  $300$  [mm] よりも近づいた

ところで吹いた息は風速  $2.5$  [m/s] を超えていた。つまり  $300$  [mm] よりもスクリーンに近づけば本センサは息の入力を感知することができることがわかる。

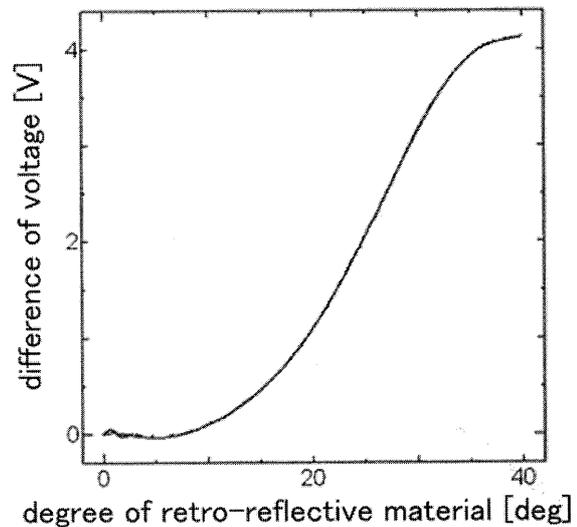


図6 入力センサの角度特性

Fig.6 Degree characteristic of the input sensors

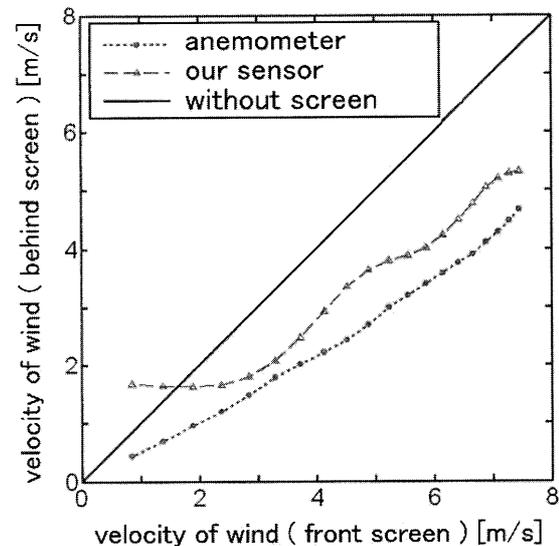


図7 入力センサの風速特性

Fig.7 Wind velocity characteristic of the input sensors

次に風の出力に関して述べる。本システムでは、風の入力センサの間に最大風速  $15.2$  [m/s]、 $22.2$  [W] のブローア(SANYO 製 DC ファン 9BAM12GA2)を設置している。表1のデータより本システムのスクリーンは入力した風速を  $57$  [%] 減衰させる特性を持つ。このことから、使用したブローアはスクリーンを出た後およそ  $9.0$  [m/s] の風速を維持することができる。顔が風を感

じる閾値は  $10.9[cm/s]$ とされており[18], 人に風を提示するのに十分な出力を持っているといえる. また, ブロアの出力口は横幅  $29[mm]$ 高さ  $51[mm]$ である. 体験者の顔全体に風をあてる為に, このブロアに対して図 8 に示すように ABS 樹脂で作った横幅  $29[mm]$ 高さ  $130[mm]$ の通風孔を付け足した. この通風孔のついたブロアをセンサの間に図 4 のように配置した. 高さ方向にはブロアの通風孔を隙間なく配置しているが, 横はブロアの上にセンサが二つ存在する. その為, 横方向に対してはブロアの上に  $125[mm]$ 間隔をあけて配置している.

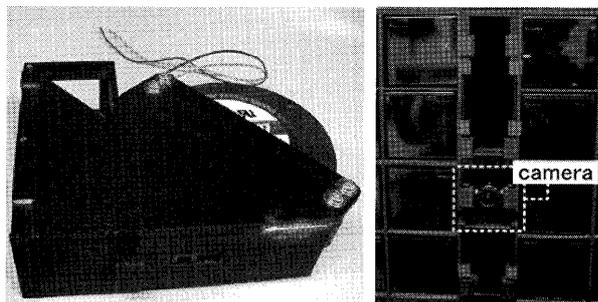


図 8 出力ブロア

(左：横から見た様子, 右：前から見た様子)

Fig.8 Output blowers (left : side view, right : front view)

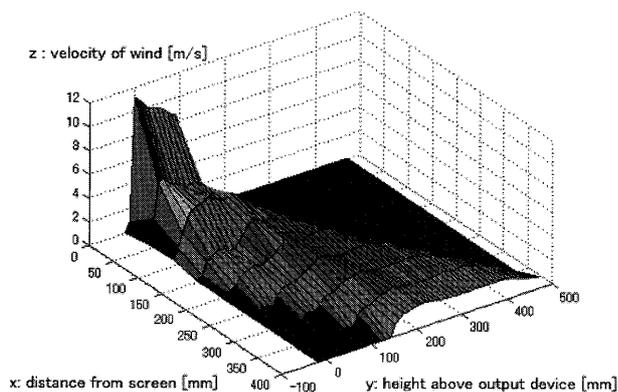


図 9 出力した風速の分布

Fig.9 distribution of the output wind velocity

実際にスクリーン通過後に, 風速がどのように変化するか風速計を用いて調べた. 結果を図 9 に示す. x 軸はスクリーンからの距離, y 軸はブロアからの高さ, z 軸は風速を表している. 結果から, 風がスクリーンから出た後, スクリーンから距離  $300[mm]$ 地点で  $10.9[cm/s]$ よりも早い風速を維持することが出来た.

以上より, 本システムは体験者が  $300[mm]$ よりもスクリーンに近づいたとき, 風を介したインタフェースとして十分な性能を持っていると考えられる. つまり, 息を吹くために体験者が  $300[mm]$ 以内に近づくことで, スクリーンからの風も感じやすくなるのである.

また, ブロアは立ち上がりに時間  $0.2[s]$ (実測値)を要するため, 映像の風出力と実際の風出力の間に遅延が生じてしまう. その為, 映像を  $0.2[s]$ 遅らせ, 実際の風の出力と映像上の風のタイミングを同期させることとした.

### 3. 撮影時におけるアーティファクトの抑制

本研究で製作したシステムではカメラでの人物撮影はスクリーン越しに行っている. これにより, テレビ会議で起こりがちな「相手との視線の不一致」を解消することが出来る. この問題を解決する為に山下らは, スクリーン上の目線からわずかにずらした位置にカメラを置き, スクリーンにはリアプロジェクションで映像を投影することによって, 体験者はカメラを気にすることなくコミュニケーションすることを可能としている[19]. これに対して本研究では, スクリーン越しにカメラで撮影をすることにより, カメラを気にすることなくコミュニケーションできるシステムを構築した. しかし, スクリーンは映像投影面でもあるため, プロジェクタから投影した映像がスクリーンを通してカメラ撮影に干渉してしまう. 松下らによる

「Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance : MAJIC Design」[20]は, 微小な黒と白の六角形のパターンを印刷した特殊なスクリーンを用いることで, この問題を解決している. プロジェクタ投影側にあるスクリーン面には光を反射する白, カメラ側のスクリーン面には光を透過する黒のパターンを印刷し, プロジェクタの映像とカメラ撮像を分離している. また, 石井らによる「ClearBoard」[21]では同様の問題を低減するために偏光分離を用いている. 本システムでは, 偏光より高いコントラストの遮蔽を実現するため, プロジェクタに回転式の機械シャッターを装着して投影タイミングをコントロールした上で, スクリーン裏面に設置したカメラのシャッタータイミングにより投影映像の干渉を低減する時分割型の手法を用いた. 回転式機械シャッターは, 円形の OHP シートを透過部と黒く着色した遮光部が  $90$ 度ずつ交互になるよう 4 分割して加工したものを, MABUCHI MOTORRS-380PH によって回転させることで実現した. フォトリフレクタ (ROHM 製 RPR-220) を回転している OHP シートの近傍に設置し, 回転により変化するパルス状の反射光を計

測することで、撮影用同期信号を生成した。モータの回転速度は2400[rpm]となるように制御した。

撮像用のカメラにはPoint Gray社のDragonflyを用いた。カメラのレンズの位置を図4に示す。このカメラはメイン基板とレンズがケーブルで繋がっており、レンズの入る場所さえあれば、自由にカメラを設置することができる。レンズの位置にあるブローの通風孔に対して、図8右の図のようにレンズを埋め込むことで実装した。カメラと風の出る箇所を仕切りを設け、カメラに風が当たらないようにした。レンズは体験者全体を撮影することができるよう魚眼レンズを使用した。解像度は640x480[pixel]、リフレッシュレートは回転式機械シャッターの回転速度に依存し、24~25[fps]である。フोटリフレクタにて取得した回転式機械シャッターの遮蔽タイミングにカメラのシャッターを同期させることで、時分割型の映像分離の実現した。この撮像の様子を図10に示し、以下に説明する。

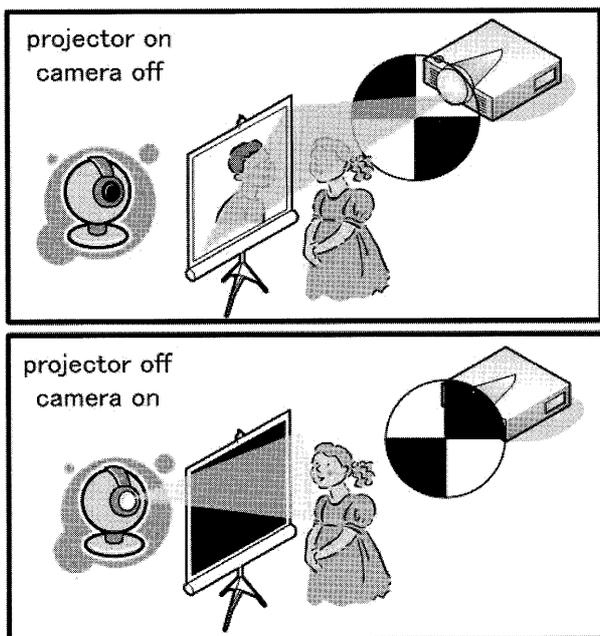


図10 遠隔地とのコミュニケーションとして用いたときの映像の投影と撮影の様子

Fig.10 the illustration of capture and projection system for telecommunication

プロジェクタの前に透過部があるときには、映像をスクリーンに投影する。この間は、プロジェクタの強い光がカメラに入射するため、カメラのシャッターを閉じ映像を取得しない。プロジェクタの前に遮光部があるときにはカメラに入射するプロジェクタからの光も遮蔽されているため、カメラのシャッターを開き映像を取得する。遮蔽と投影を80[Hz]程度という高い

周波数で繰り返すことで、ユーザに遮蔽によるちらつきを知覚させないよう配慮した。このシステムを用いることで、プロジェクタからの映像の投影とスクリーンの裏に設置したカメラによる撮像を両立することが出来た。

## 4. アプリケーションと評価

### 4.1 概要

本システムにおいてスクリーンとは、映像提示面、映像撮影面、風の入出力面だけではなく、バーチャル環境と現実環境の界面という意味もある。これまでガラスなどによる硬いパソコンの画面がバーチャル環境と現実環境の界面であった。本システムでは風を通す網戸のような風通しのよいスクリーンがバーチャル環境と現実環境の界面となっている。私たちが部屋の窓を開けて、外の空気を感じるのと同様に、バーチャル環境と現実環境との境界を開き、バーチャル環境の風を現実環境で感じることができる。こうして、より身近になったバーチャル環境とインタラクションができるようになるのである。また、遠隔地にいる誰かと本システムを使えば、風を通じてより身近に相手の存在を感じながらコミュニケーションができるようになると思われる。本システムのアプリケーションとして、下記の2つの機能を実現するソフトウェアを開発した。

- ・現実環境同士でのテレコミュニケーション
- ・バーチャル環境とのインタラクション

### 4.2 テレコミュニケーション

これは実写の画像を用いたアプリケーションで、体験者の顔は本システムを共有する相手のスクリーンに、体験者のスクリーンには共有する相手の顔を投影する。この状態でお互いスクリーンに向かって息を吹きかける。相手のアクションに応じた風がシステムから吹き出し、体験者の皮膚感覚を刺激するというものである。図11にシステムのブロック図を示す。

このアプリケーションはSIGGRAPH2007 Emerging Technologyにて実演展示を行った。図1は展示の様子である。展示の際、直接観察した体験者の様子を次に述べる。

体験者がスクリーンに映った相手に向かって息を吹きかけ、うちわを振り、積極的に風を送り込んでいた。この際、相手と視線を合わせながら笑い合ってコミュニケーションしていた。また、相手の方に風車や風鈴等のオブジェクトを持ってもらったときには、体験者がそのオブジェクトに向かって風を吹きかける様子も見受けられた。さらに、同時に吹きあう人や複数人同

士で体験している人もいた。本システムはスクリーンの裏に2次元でセンサとブローアを並べている為、複数人で同時に体験することもできる。

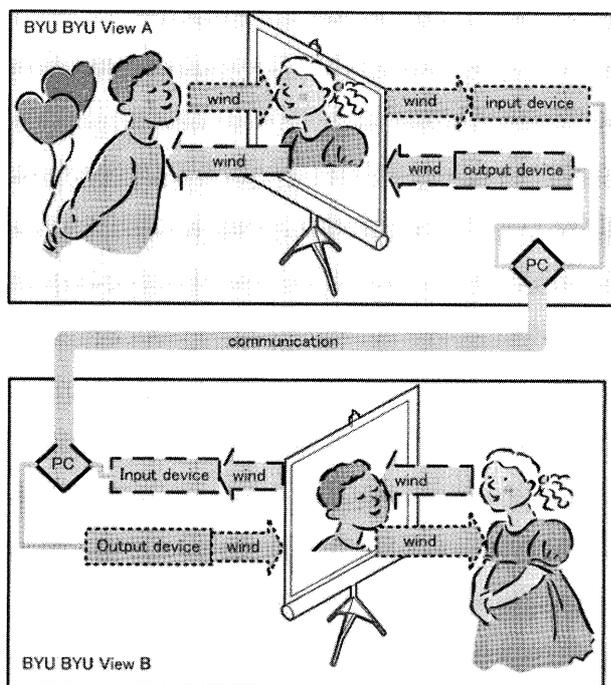


図 11 テレコミュニケーションのブロック図

Fig. 11 the block diagram of telecommunication

体験者の中には、全く知らない他人と一緒に体験している人も居た。人と息を吹きかけあう、という行為は、他人であれば勿論のこと、近しい人間が相手である場合でも、時に不快に感じることもある。この実演展示の際には、他人相手でも楽しく体験していた。

また、うちわでコミュニケーションした際には、画面の全体から風が出ているように感じたという体験者が多く居た。高さ方向に対しては、通風孔を隙間無く設置しているが、横方向は通風孔の間にセンサがある為、ブローア同士の距離が離れている。しかし画面全体から風が出てくる、という感想から、顔の数点に風を当てることで、体験者の顔全体に風を提示することができたと考えられる。

また、センサの間にもブローアの通風孔を設置している場所がある。体験者からは通風孔の位置がわからない為、センサではなく通風孔に向かって風を吹いてしまう体験者も居た。しかし、その場合でも、通風孔付近のセンサが体験者の風を認識していた。これは、風がスクリーンに当たって拡散し、拡散した風をセンサが認識していた為だと思われる。

以上のことから、体験者は本システムによって相手を身近に感じながらコミュニケーションすることがで

きたと考えられる。

#### 4.3 バーチャル環境とのインタラクション

これは、物理シミュレーションを用いたアプリケーションで、バーチャル環境と風という情報媒体を利用してインタラクションする。体験者がスクリーンの中のバーチャル環境に向かって息を吹きかけると、その息の強さによってバーチャル環境内の状態が物理シミュレーションによって変化する。この時の物体の動きを映像と風によって体験者に提示した。このシステムは国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト (IVRC2006)に出展した。さらに日本科学未来館や岐阜県各務原市テクノプラザ、Laval Virtual 2008での実演展示を行った。このような展示を通して様々な人に体験してもらうことが出来た。この体験の様子は図 12 に示す。このときにも、夢中になってスクリーンのブロック息を吹きかけ、うちわで吹き飛ばしている様子が観察できた。

このように体験者は、バーチャル環境と自分たちのいる現実環境との繋がりを感じながら、インタラクションしていたと思われる。

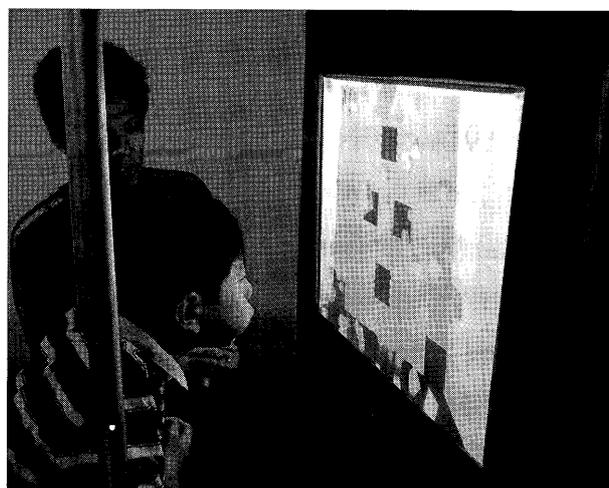


図 12 本システムの展示の様子(IVRC2006)

Fig.12 exhibition on IVRC2006

#### 5. おわりに

本システムでは、スクリーン面を通じた風の入出力と映像の入出力を実現する装置を開発した。また、この装置のアプリケーションとして現実環境同士のコミュニケーションやバーチャル環境とのインタラクションを実現した。

今後はバーチャル環境を通して、離れた二つの現実

環境を繋ぐアプリケーションを作る。こうして現在のただ風を伝え合うだけの風電話のアプリケーションではなく、遠隔地に居る相手の顔を見ながら、風を使った複合現実型のゲームなどで遊べるようにすることを考えている。また、現在のシステムは風の強さと入力、出力位置のみの情報に限られるが、風そのものは、強さ、位置、方向や温度、湿度、匂いなど様々な情報をのせることのできる情報媒体である。現在はその内、強さと位置情報のみの測定に焦点を当てている。今後は、方向や温度などの多様な情報出力、及び入力に対しても対応する予定である。

## 謝辞

本研究では、帝人ネステックス株式会社よりスクリーン素材の提供を受けた。

## 参考文献

- [1]池井寧(編). 特集「五感情報通信」日本バーチャルリアリティ学会誌, 第7巻, pp.6- 39, 2002.
- [2]広田光一, 廣瀬通孝. 五感情報通信の実現にむけて～触覚および嗅覚情報の伝達～ 情報処理学会研究報告, 2002-HI-98, pp.13- 18, 2002.
- [3]Ivan E.Sutherland. Sketchpad : A Man-Machine Graphical Communication System. In *Proc. AFIPS Spring Joint Computer Conference*, pp.329- 346, May 1963.
- [4]S.Iga, and F.Higuchi. Kirifuki : Inhaling and Exhaling Interaction with Visual Objects. In *International Workshop on Entertainment Computing 2002 Workshop Note*, pp.119- 126, 2002.
- [5]K.Asai, Y. Okuno, H.Kakuta, and T.Takayama. Jellyfish Party : Blowing Soap Bubbles. In *Mixed Reality Space, Proc. ISMAR03*, pp.358- 359, 2003.
- [6]K.Hatano, D.Masui, and Hui-Wan Yen. The Dimension Book. In *SIGGRAPH 2003 Emerging Technologies*, 2003.
- [7]M.Katsura, and M.Inage. LivePic. In *ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies 2006 / SIGGRAPH 2006 Sketches*, 2006.
- [8]K.Tominaga, S.Honda, T.Ohsawa, H.Shigeno, K.Okada, and Y.Matsushita. " Friend Park " -expression of the wind and the scent on virtual space. In *Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp.507-515, Berkeley, California, 25-27 October 2001.
- [9]M. L.Heilig. Sensorama Simulator. In *U. S. PAT. 3,050,870*, 1962.
- [10]Y.Suzuki, and M.Kobayashi. Air jet driven force feedback in virtual reality. In *Computer Graphics and Applications, IEEE, Jan.-Feb. 2005*
- [11]小木哲朗, 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), 第61巻, pp.322- 328, 1995.
- [12]水口充, 中村聡史. 風ディスプレイを用いた協調型アンビエントシステムの提案. In *WISS 2006*, 2006.
- [13]柳田康幸, 野間春生, 伴野明, 鉄谷信二. 非装着かつ局所的な香り提示手法に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告, 第102巻, pp.87- 92, 2002.
- [14]小坂崇之, 服部進実. Wind-Surround System. *インタラクシオン 2006*, pp.187- 188, 2006.
- [15]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, pp.315-321, 2007.
- [16]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.
- [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, *インタラクシオン 2007 論文集*, pp.105-112, 2007.
- [18]山崎昌廣, 坂本和義, 関邦博編. 人間の許容限界辞典. 朝倉出版, 2005.
- [19]山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一. 臨場感のある遠隔共同作業空間の構築. 第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.463- 468, 1998.
- [20]K.Okada, F.Maeda, Y.Ichikawa, and Y.Matsushita. Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance : MAJIC Design. In *Procs. Of CSCW ' 94*, 1994.
- [21]H.Ishii, and M.Kobayashi. ClearBoard : A Seamless Media for Shared Drawing and Conversation with Eye-Contact. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ' 92)*, ACM SIGCHI, pp.525- 532, 1992.

(2008年3月24日受付)

## [著者紹介]

澤田 枝里香



2007年電気通信大学電気通信学部電子工学科卒業。現在、電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

淡路 達人



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

森下 圭介



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

古川 正紘 (学生会員)



2007 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻修了。現在，同研究科博士後期課程同専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

有賀 友恒



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

藤井 智子



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

木村 秀俊



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

武市 隆太



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。現在，電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程知能機械工学専攻に在籍。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

清水 紀芳 (正会員)



2008 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程知能機械工学専攻修了，博士(工学)。同年より電気通信大学特別研究員，現在に至る。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。日本学術振興会特別研究員。

井田 信也



2007 年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。

常盤 拓司 (正会員)



2001 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了，2007 年同博士課程退学。産業技術総合研究所特別研究員，日本科学未来館科学技術スペシャリストを経て現在は東京大学大学院工学系研究科特任研究員。実世界指向インタフェースの研究開発に従事。

杉本 麻樹 (正会員)



2006 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程機械制御工学専攻修了。博士(工学)。電気通信大学電気通信学部知能機械工学科特任助教などをを経て，現在，慶應義塾大学メディアデザイン研究センター講師。画像提示装置を用いた計測と制御の研究に従事。

稲見 昌彦 (正会員)



1999 年東京大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。東京大学リサーチ・アソシエイト，同大学助手，電気通信大学講師，同大学助教授，同大学教授，JST さきがけ研究者，MIT コンピュータ科学・人工知能研究所客員科学者を経て現在慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授。