

ビュー・ビュー・View : 風を情報媒体とするインタフェース

BYU BYU View : A Wind Communication Interface

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*

Summary. 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.

1 はじめに

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するも数多く提案されている [16][10]。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、呼吸をすることや団扇を振ることで風を簡単に生み出すことができる。

Sutherland の Sketchpad[2] 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、実空間とバーチャル空間、ビデオ会議等の場合の遠隔空間同士は、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。しかし、部屋の窓を開ければ外の風が部屋に流れ込む。この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。このように、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と言える。

インタフェースの研究の中では、風を情報媒体とした研究がすでに行われている。先行研究に対して、本インタフェース(図1)は1枚の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に新規性がある。映像と風の入出力を同じ平



図 1. 本システムの展示の様子 (IVRC2006)

面上で一致させられるため、体験者のいる現実環境とスクリーンを通して広がるバーチャル環境をシームレスに繋ぐことができ、自然にインタラクションすることが可能となる。また、撮像系も備えるためバーチャル環境を通じて現実環境と現実環境をつなげば、テレビ電話に風を追加し、声や映像だけではなく相手の息遣いを伝達し、皮膚感覚を共有することのできる「風電話」の役目を果たすことが出来る。このシステムではスクリーン越しにプロジェクタからの投影映像による影響を低減しつつ相手を撮影することでテレビ会議システムで問題となる「相手との視線の不一致」を解消している。

本システムを用いることで、映像と風を介して遠隔地同士をつなぐ自然なテレコミュニケーションが可能となる。

Copyright is held by the authors.

* Erika Sawada, Tatsuhito Awaji, Keisuke Morishita, Masahiro Furukawa, Tomohisa Aruga, Hidetoshi Kimura, Tomoko Fujii, Ryuta Takeichi, Noriyoshi Shimizu, Shinya Ida, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, 電気通信大学, Hideaki Nii, Takuji Tokiwa, 東京大学

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。それに対して提案するインタフェースは、風の入力に対して風で出力することができる。また、入力と出力には1枚のスクリーンという同一の界面を通して行うことができる。位置計測もスクリーンの裏にある入力検出装置で行うので、体験者は身体に何もつける必要がないという特徴がある。

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」[8]は呼気・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」[3]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」[4]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、その絵を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」[5]がある。このシステムはバーチャル空間に風で入力すると、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、嗅覚情報を利用している。風を情報媒体と捉えると、匂いは風にのせることができる情報である。このシステムは入力センサの仕組みが本研究のシステムと似ている。しかし、入力検出箇所が一箇所に限られるという点や、入力箇所であるディスプレイとは別の箇所から出力される、という点で異なる。本研究のシステムでは風を通すことのできるスクリーンを用いているので、風の入力に対して入力と同一画面上から風の出力で返すことが可能である。

一方、風を出力とするインタフェースも存在する。

Heiligが1962年に開発した「Sensorama」[6]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「Untethered Force Feedback Interface That Uses Air Jets」[9]は、テーブルに埋め込まれた複数ノズルから風を噴出し、利用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感じさせることができるインタフェースである。これは、体験者はカップを用いて位置情報を入力し体験者に風で情報を提示する。

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[14]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[15]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[17]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。

入出力を同時に行ったシステムも存在する。小坂らによる「Wind-Surround System」[13]は体験者の回りに全方向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というものである。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わけではなく、別々の箇所から行われている。本システムはスクリーンという同一の界面から風の入力と出力ができる為、映像上の風と実際の風を繋ぎ合わせることができる。

3 システム構成

本システムは3つの核となる技術から成り立っている。

- 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
- 二次元平面での風のセンシング、及び風の出力
- カメラのシャッタータイミングとプロジェクタに装着したシャッターを用いることによる撮影時のアーティファクトの抑制

3.1 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

この装置のスクリーンには、風を通すことのできる特殊素材を使用している(図2)。帝人ネステックスが開発したこの素材は、花粉を防止する網戸のフィルタとして開発されたものである。同社から市販されているスクリーン「クロスキャビン」は、このシステムで使用されているものよりも目が細かい素材である。本システムで使用したスクリーンは繊維と繊維の間に150[μm]ほどの隙間があり、自由に風を通すことができる。また、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)。このスクリーンの詳細を表1にまとめた。表1内の輝度、減衰率、繊維数は実測値。他は帝人ネステックスから提供されたデータを使用した。ただし表内の輝度は、プロジェクタの照度988[lux]のときのプロジェクタ光源が当たっている箇所のスクリーン上での輝度値である。

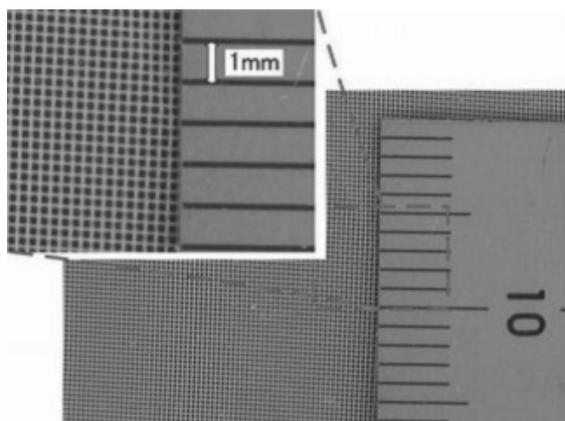


図 2. スクリーン



図 3. スクリーンに映像を投影した様子

我々は網戸越しでも部屋から外の風景を見ることが出来る．同様にこの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．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ーンと同様、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、スクリーンの前にいる体験者を撮影することができるが、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．また、投影面内にカメラを設置しているので、映像を見て

表 1. スクリーンデータ

繊維直径	70 μ m
開口率	52%
透過容量	62 × 10 ⁻⁶ m ³ /m ²
1mm 辺りの繊維数	3.9 本 /mm
風速の減衰率	0.57%
輝度	4.28cd/m ²

いる体験者をカメラで撮影すれば、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の影響を軽減できる．つまり、このスクリーンによって、風の入力及び出力と、映像を自然に融合することができる．

3.2 二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風の入力を検知するセンサ 64 個と、風の出力を実現させる装置 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．内部機構を横から見た図を図 4 に、スクリーンの裏の配置図を図 5 にまとめた．

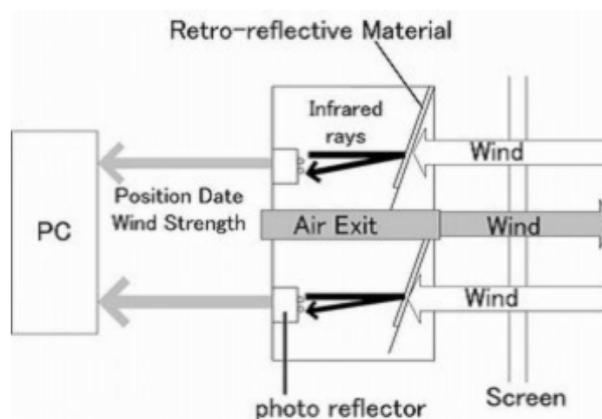


図 4. 風の入力及び出力のシステム

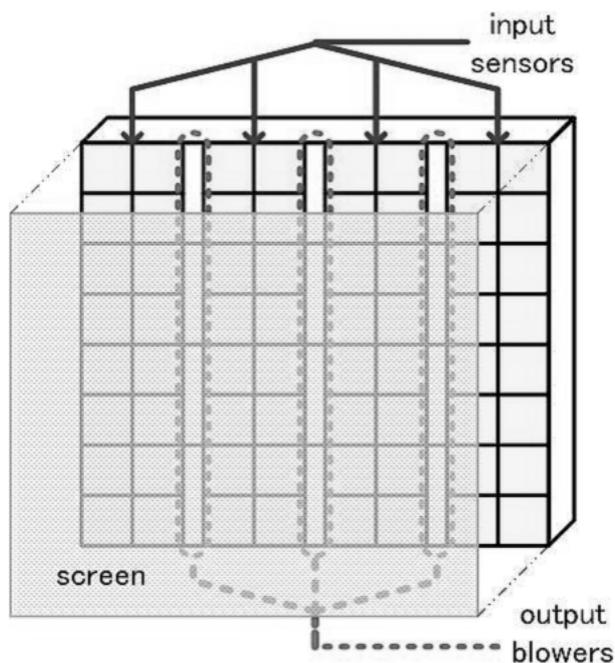


図 5. フロアとセンサの配置図

まず、風の入力センサの仕組みについて述べる。風の入力は風を受けると傾く板によって検知している。板の奥には反射型フォトリフレクタ 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リ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、フォトリ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光の量は減少し、光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あらわれる。この電圧変化を風の強さとして検知している。センサの特性を図 6 にまとめた。これは、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と本デバイスで計測したときのグラフである。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かいた。グラフを見るとこのセンサは風速計での測定値とおおよそ 1.0[m/s] の誤差を持っていた。また、スクリーン通過前 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ということがわかる。風速 2.5[m/s] 以内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かった。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] 以内のときに人の息は風速 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。

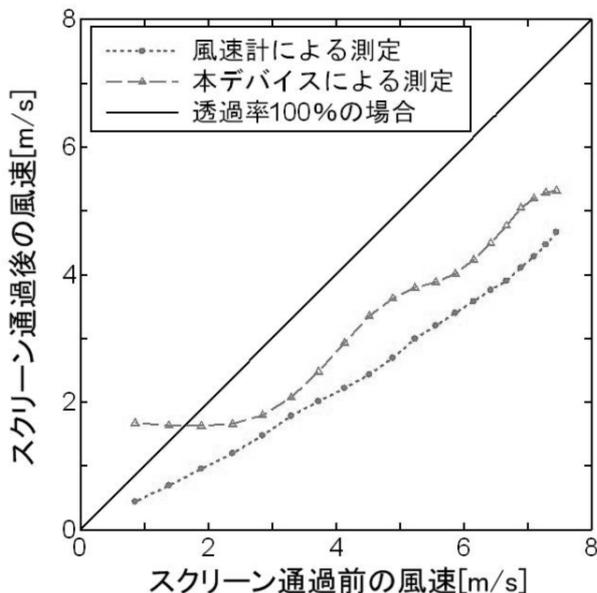


図 6. センサの特性グラフ

また、このセンサの間に最大風速 15.2[m/s] 、 22.2[W] のプロア (SANYO 製 DC ファン 9BAM12GA2) を挿入している。顔が風を感じる閾値は 1.09[m/s] とされている [12]。スクリーンは表 1 より 0.57%

風速を減衰させる。つまり、このプロ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。そして、スクリーンから出た後、スクリーンから距離 300[mm] 地点では 1.09[m/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。ただ、プ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。

3.3 カメラのシャッタータイミングとプロジェクタに装着したシャッターを用いることによる撮影時の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。これは、テレビ会議で起こりがちな「相手との視線の不一致」を解消することを意図している。同様に、従来からこの問題を解決する為の研究が行われている。山本らの研究は、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 [11]。それに対して、本研究ではスクリーン越しにカメラの撮影をすることで、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。

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。石井らによる「ClearBoard」[1] は同様の問題を低減するために偏光分離を用いている。偏光より高いコントラストの遮蔽を実現するため、本システムは、プロジェクタに回転式の機械シャッターを装着し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 MOTOR RS-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 を回転盤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。解像度は $640 \times 480\text{[pixel]}$ 、リフレッ

シミ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。フォト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7示す

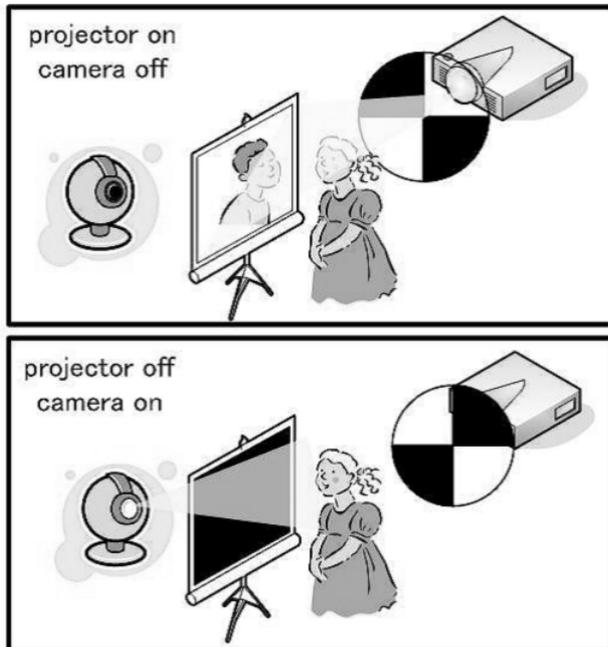


図 7. 遠隔地とのコミュニケーションとして用いたときの様子

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できる。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蔽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。このような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内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

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。本システムではスクリーンという風通しのよい素材がバーチャル環境と現実環境の界面となることで、窓ガラスを開け、外の風を吸ったときと同じように、バーチャル環境との太い境目を開き、バーチャル環境から現実環境に風が吹き込み、

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、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考えられる。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。

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

4.1 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、体験者の顔と一緒に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。体験の様子は図8の通りである。また、図9にシステムのブロック図を示した。



図 8. 2台ある装置のうち、1台の装置の撮影した映像をもう1台の装置のスクリーンに投影した様子 (SIG-GRAPH 2007 Emerging Technologies での展示より)

4.2 バーチャル環境と現実環境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風を与えると、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直接的に変化する。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)

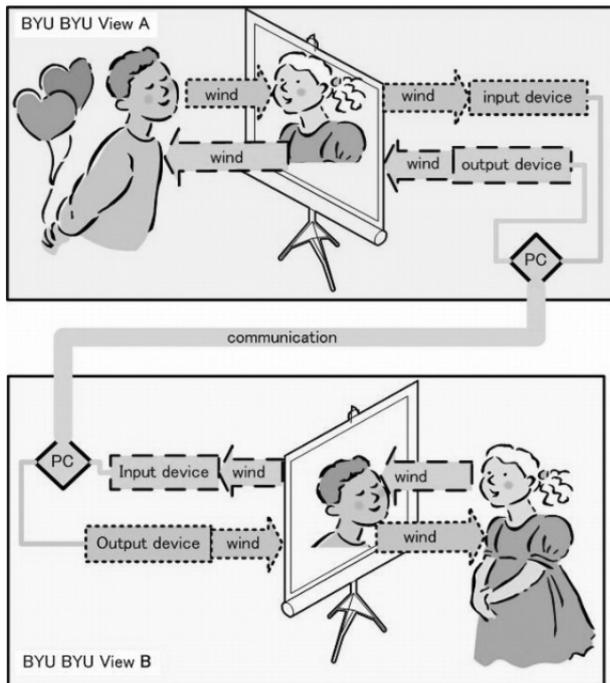


図 9. 現実環境と現実環境とのインタラクション ブロック図

で 2 位という成績を収めた。日本科学未来館や岐阜県各務原市テクノプラザでの実演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 1 に示した。

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と実環境のコミュニケーションや現実環境と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現実環境と現実環境を繋ぐアプリケーションを作り、ただの風電話ではなく、遠隔地の人と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してゆきたいと考えている。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。現在はそのうち、強さと位置情報のみの測定に焦点を当てている。今後は、そのような方向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] 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.
- [2] Ivan E. Sutherland. Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System. In *Proc. AFIPS Spring Joint Computer Conference*, pp. 329-346, May 1963.
- [3] K.Asai, Y.Okuno, H.Kakuta and T.Takayama. Jellyfish Party:Blowing Soap Bubbles. In *Mixed Reality Space,Proc. ISMAR03*, pp. 358-359, 2003.
- [4] K.Hatano, D.Masui, and Hui-Wan Yen. The Dimension Book. In *SIGGRAPH 2003 Emerging Technologies*, 2003.
- [5] K.Tominaga, S.Honda, T.Ohsawa, H.Shigeno, K.Okada, Y.Matsushita. "Friend Park"-expression of the wind and the scent on virtual space, 2001.
- [6] M. L. Heilig. Sensorama Simulator. In *U. S. PAT. 3,050,870*, 1962.
- [7] M.Katsura and M.Inage. LivePic. In *ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies 2006/SIGGRAPH 2006 Sketches*, 2006.
- [8] 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.
- [9] Y.Suzuki, S.Iwaki, M.Kobayashi, A.Nakayama and Y.Shimada, NTT Cyber Solutions. Untethered Force Feedback Interface That Uses Air Jets. In *ACM SIGGRAPH 2004 Emerging technologies*, 2004.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 小坂崇之, 服部進実. Wind-Surround System. *インタラクション 2006*, pp. 187-188, 2006.
- [14] 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.
- [15] 水口充, 中村聡史. 風ディスプレイを用いた協同型アンビエントシステムの提案. In *WISS 2006*.
- [16] 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.
- [17] 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.