

仮想空間における風と香りの表現手法 ——仮想空間システム Friend Park

重野 寛^{†1} 本田 新九郎^{†2} 大澤 隆 治^{†3}
永野 豊^{†4} 岡田 謙 一^{†1} 松下 温^{†1}

本稿では、3次元仮想空間をより実感することを可能にする仮想空間システム Friend Park について述べる。Friend Park は 3DCG で構築された空間や物体を特徴付ける香りをユーザに提供することや、ユーザが自然な振舞いで利用することのできる入力インタフェースによって、仮想空間の実感を高めるシステムである。人間の五感のうち嗅覚においては、他の感覚器では得ることのできない情報を取得し、物事を実感するうえでその効果は大きいと考えられる。そこで、仮想空間内の嗅覚情報を表現するために、「アロマ」という概念、およびアロマの伝達される範囲を表した「アロマオーラ」を定義し、アロマオーラ内にいるユーザにアロマの伝達を行った。実際に香りを発生させる方法としては、コンピュータ制御可能な芳香発生装置を利用し、香りの発生を行った。また、より自然な振舞いで利用できる入力インタフェースを実現するため、人間の「息を吹きかける」という動作に注目し、専用の風力センサを作成した。ユーザ側にはデバイスによる負荷を与えたり、過度に意識させることなく、ディスプレイに表示されている仮想空間において、息を吹きかけるという動作による直接的なオブジェクトの操作を可能にした。評価を行った結果、香りの伝達および風力センサを利用した入力インタフェースによる仮想空間の実感について、良好な結果を得た。

A Virtual Space Expressed the Scent and Wind ——A Virtual Space System “Friend Park”

HIROSHI SHIGENO,^{†1} SHINKURO HONDA,^{†2} TAKAHARU OHSAWA,^{†3}
YUTAKA NAGANO,^{†4} KEN-ICHI OKADA^{†1} and YUTAKA MATSUSHITA^{†1}

In this paper, we describe a 3D virtual space system named “Friend Park” that gives users a more definite sense of reality. Users can get reality by using Friend Park that provides the information of the sense of smell in virtual space and the input device which user can use by the natural behavior. Human perceive the important information through the sense of smell that cannot be perceived through other senses. So we propose the general idea of “Aroma”, the area of “aroma aura”, and the method of transmitting the actual smell from a virtual space to real world. By entering the aroma aura, the user can attain the aroma. In addition, to perform a natural way of input in virtual space, we focused on the action of “blowing”. we propose the technique of operating the virtual object by blowing onto the screen and measuring a force of the wind with a special device. we design a special device that can set below the display, thus the user can naturally make direct input without being too aware of the device. The system evaluation demonstrated that we have gained a better result on transmitting olfactory information, input device, and whether users can get reality by them.

1. はじめに

コンピュータの高性能化、特にグラフィック表示能力

の向上とともに、3次元コンピュータグラフィックス (3DCG) によって構築した仮想空間の利用が注目を浴びている^{1),2)}。近年のバーチャルリアリティ (VR) 技術の発展により、あたかも実在の空間と同等の別の空間が、ユーザの周りに存在するかのような感覚を生成する研究の中、より質の高い仮想空間を提示することによりユーザの実感を高める仮想空間を構築していく試みが行われている^{3),4)}。

そのようなユーザの実感を高める研究では、視覚、聴覚、触覚に関する情報の伝達は積極的にに行われてい

^{†1} 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Engineering, Keio University

^{†2} NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories

^{†3} キヤノン株式会社
CANON INC.

^{†4} パラマウントベッド株式会社
PARAMOUNT BED CO., LTD.

るのに対し^{5)~8)}、特に嗅覚、味覚といった感覚の情報の伝達が行われていないため、現実空間と比べて伝達される感覚情報の量が少ないといえる。このような、現実空間と仮想空間での伝達される情報量の差が、現実空間ほどの実感を得ることのできない空間になる要因になっていた。

また、コンピュータとのインタフェースを考えた場合、その入力装置は、マウスやキーボードが一般的である⁹⁾。しかしこのような入力装置を利用して仮想空間とのインタラクションを行おうとすると、現実の動作とは異なる方法で仮想空間の操作をするため、仮想空間を実感することとはほど遠いものになってしまう。一方、VR技術によって、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)やデータグローブといった特殊デバイスを利用して質の高い仮想空間を提示するという試みもなされているが^{10),11)}、ユーザにデバイスを装着させることから、ユーザの自然な振舞いを損なっていた。

このような背景のもと、本研究ではユーザの実感をより高める仮想空間の構築を行うための要素として、特に仮想空間内の嗅覚情報の伝達と、ユーザがより自然な振舞いで利用することのできる入力インタフェースに焦点をあて、仮想空間システム“Friend Park”(Feelable virtual space system for transmitting the information of scent and wind)の実装を行った。

仮想空間内の嗅覚情報として「アロマ」、およびアロマの伝達される範囲を表した「アロマオーラ」という概念を定義し、アロマオーラ内にいるユーザにアロマの伝達を行った。実際に香りを発生させる方法としては、コンピュータ制御可能な芳香発生装置を利用し、香りの発生を行った。

また、より自然な振舞いで利用できる入力インタフェースとして、人間の「息を吹きかける」という動作に注目し、専用の風力センサを作成することによって、ディスプレイに表示されている仮想空間に息を吹きかける動作を可能にした。

以下本稿では、2章において仮想空間に求められる環境、3章では提案する仮想空間システム Friend Park について、仮想空間における嗅覚情報の伝達、風力センサを利用したインタフェース、および Friend Park の概要について述べる。4章では Friend Park の実装を説明し、5章で Friend Park の評価について議論する。

2. 仮想空間に求められる環境

本章では、仮想空間に求められる環境について、特

に仮想空間における嗅覚情報と、自然な形での仮想空間へのインタラクションに注目し、考察する。

2.1 嗅覚情報の伝達

現実空間で人間は、実際に物を見る、あるいは触るといった行動の際、視覚や触覚といった五感を利用して情報を獲得し、その物体の存在や状態を認識している。しかし仮想空間における五感に関する情報の伝達において、視覚および聴覚に関する情報の伝達については、これまで多くの研究がなされてきた。そして、今ではディスプレイの大型化^{12),13)}や、HMDなどのデバイスの発達、あるいは高度な音響効果¹⁴⁾などにより、質の高い情報の伝達が可能となってきている。また、近年では、コンピュータの高性能化やデバイスの開発にともない、フォースフィードバック技術を利用して、触覚情報の伝達を行う研究も多くなされている¹⁵⁾。

また、仮想空間上におけるこれらの感覚に関する情報は、その伝達についての定義も研究されている。たとえば仮想オフィスシステム Valentin¹⁶⁾では、音声や映像情報を適切にユーザに伝達するために、ユーザの集中の度合などによって範囲の異なる伝達領域を定義している(仕事に集中しているときには近く雑音も聞こえなくなるなど)。このように適切な情報の伝達を行うことで、仮想空間における作業効率や仮想空間に対するユーザの臨場感の向上など様々な効果が期待できる。

しかし、現実空間で得られるすべての情報が適切に伝達されているかといえばそうではない。たとえば嗅覚情報の伝達については、嗅覚の仕組みがいまだ明解に解明されていない現状もあり^{17)~19)}、それを表現している仮想空間は数少ない。この嗅覚情報の不足が、仮想空間の実感を損なうことにつながっていると考えられる。なぜなら、たとえば物の存在感や場所の雰囲気(都会か田舎かなど)、季節感(ある季節の草花など)といったものを実感するうえで、嗅覚情報が重要な役割を果たしているからである¹⁷⁾。

これは、実装された数少ない例²⁰⁾においても、仮想空間における嗅覚情報の伝達が、空間上の物体の存在感を高めユーザの記憶に印象づけるのに非常に有効であるということが実証されている。だがこの例では、先に述べたような嗅覚情報の伝達についての概念は定義されていない。しかし、前述したように仮想空間における嗅覚情報についても伝達に関する概念の定義は必要不可欠であると考えられる。

2.2 仮想空間との自然なインタラクション

仮想空間との自然なインタラクションとして、以下

の3つのコンセプトについて考える。

2.2.1 直接的なインタラクション

デスクトップタイプのコンピュータを利用して仮想空間を実装する場合、仮想空間とのインタフェースは、キーボードおよびマウスに限定されてしまう。このため、仮想空間内での操作は、マウスボタンのクリックやメニューからの選択というように、現実空間での動作や操作とはかけ離れた間接的なものになってしまう。そのため、仮想空間および、仮想空間内のオブジェクトに対する実感を高めるためには、現実空間と同じ動作で、直接的に仮想空間やそこに存在するオブジェクトとのインタラクションを可能にするインタフェースが必要であると考えられる。

2.2.2 ユーザに負荷の少ないインタフェース

VR技術の進歩により、HMDや立体視ディスプレイなどの視覚情報を伝達するインタフェースや、データグローブやPHANTOMなどの触覚情報を伝達するインタフェースの開発が進められ、実用化されている²¹⁾。これらのデバイスは、立体視やフォースフィードバックの技術を利用し、ユーザに直接、視覚および触覚的な情報の伝達を行っている。このため、ユーザはリアルな仮想空間を体験することができ、アトラクションや手術のシミュレーションなどに応用されている¹⁵⁾。

しかし、このようなインタフェースは、ユーザの実感を高める仮想空間を実現できる反面、ユーザが特殊なデバイスを装着しなければならないため、ユーザへの負荷が高まってしまう。そこで、今後仮想空間を利用したシステムが普及していくためには、ユーザの実感を高め、かつ、ユーザにとって負荷の少ないインタフェースが必要となる。

2.2.3 デバイスを意識しないシステム

ユーザの動き（操作や行動）を仮想空間に取り込む機能と考えた場合²²⁾、データグローブなどを使用する方法が考えられる、しかし、そのように特殊なデバイスを身につけてしまうと、過度にそのデバイスを意識してしまうことがあり、ユーザの実感を妨げてしまい、自然なインタラクションとはいえない。また、マウスおよびキーボードのみでの人間の動きの検出はほとんど不可能である。このため、ユーザの自然なインタラクションを実現するためには、ユーザが装着せず、かつその存在を意識することなく、ユーザの動きを測定する専用のセンサを取り入れたシステムが必要であると考えられる。たとえば、ビデオカメラにより取得した画像を処理することのみで、ユーザのジェスチャを認識する技術もその1つである²³⁾。

3. 仮想空間システム“Friend Park”の提案

前章では、仮想空間に必要な要素として、嗅覚情報の伝達と、仮想空間への自然なインタラクション（直接的なインタラクション、ユーザに負荷の少ないインタフェース、デバイスを意識しないシステム）をあげた。これらの要素はユーザにとって、仮想空間に対するより高度な実感を獲得するための重要な要素となる。

そこで本研究では、これらの要素を実現するために、まず仮想空間における嗅覚情報およびその伝達についての概念を定義し、「仮想空間における嗅覚情報の伝達」を実装する。同時に「風力センサを利用したインタフェース」を実装し、これらを利用した仮想空間システム“Friend Park”を提案する。

3.1 嗅覚情報の定義とその伝達

本節では、仮想空間内の嗅覚情報に関して、ユーザに伝達される情報である「アロマ」、およびアロマの伝達される領域を表した「アロマオーラ」という概念を提案する。

3.1.1 アロマ

人間が現実空間において、嗅覚を使って物体や空間を実感する際に、獲得する嗅覚情報は主に2つに分かれると考えられ、それらをここでは環境の香りと物体の香りと呼ぶこととする。

まず第1に環境の香りは、ある程度の広さをもった場所特有の香りであり、人間が「実際にその場所にいる」という実感を獲得するのに非常に有効な情報である。たとえば、人間が森林の中に入っていったときに、たとえ目をつぶっていても、深呼吸をして森林の香りをかぐことにより、人間は実際に森林にいるという実感を得ることができるといったように、場所特有の香りはその空間の実感につながるといえる。

第2に物体の香りは、ある物体が持つ特有の香りであり、「その物体が目の前に存在する」という実感を獲得するのに非常に有効な情報である。たとえば、目の前にある花束から花の香りがするとき、人間は目で見て、また触ってその物体を認識することに加えて、その香りをかぐことによってさらにその物体を認識することができるのである。

これら「環境の香り」と「物体の香り」は、どのような香りであるということや、香りの強さとその時間的な変化、また香りのする領域などの情報で成り立っている。

本研究では、仮想空間において、どのような香りが、どの領域であるという嗅覚情報を「アロマ」という概念で定義する。そしてこの「アロマ」は、現実世界に

表 1 アロマの定義
Table 1 Definition of aroma.

仮想空間の嗅覚情報	現実空間の嗅覚情報	定義
環境アロマ	環境の香り	仮想空間において、環境（空間）特有の嗅覚情報であり、ユーザがその空間にいるという実感を与えることを目的とする。
物体アロマ	物体の香り	仮想空間において、物体特有の嗅覚情報であり、ユーザにその物体が目の前に存在するという実感を与えることを目的とする。

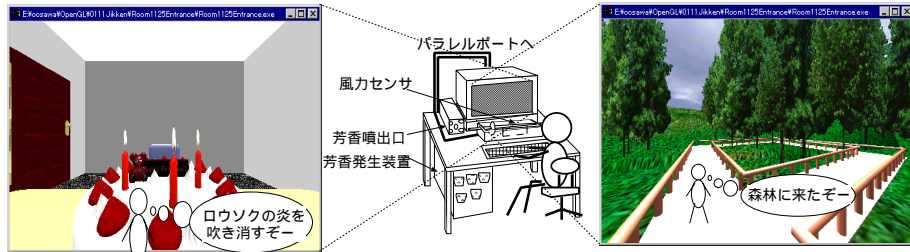


図 1 システム概念図

Fig. 1 The concept of Friend Park.

における「環境の香り」と「物体の香り」それぞれに特徴付けられる「環境アロマ」と「物体アロマ」に分かれる。本稿では、それぞれのアロマという概念を表 1 に示すように定義した。

この 2 つのアロマをユーザに提供していくことで、より実感できる仮想空間の構築を行う。

3.1.2 アロマオーラ

環境アロマおよび物体アロマにおいて、その特徴にあった伝達領域を考慮する必要がある。そこで、アロマの伝達される領域である「アロマオーラ」を定義し、伝達するアロマが環境アロマか物体アロマかによって次の 2 つを用意した。

環境アロマオーラ 環境（空間）全体。

物体アロマオーラ 物体を中心に円形をした領域。

物体アロマの強さによって大きさが異なる。

ユーザは、それぞれのアロマオーラの中に入ることによって、アロマを獲得することができる。すなわち現実のシステムにおいては、香りを発生させ嗅覚情報をユーザに提供する。

3.2 風力センサを利用したインタフェースの提案

本研究では、現実世界から仮想空間へ「風が吹き込む」という概念を念頭においた。ここでは、人間との自然なインタラクションという観点から「息を吹きかける」という動作に注目をした。この「息を吹きかける」という動作は、手を使わず、かつ他のオブジェクトに影響を与えることのできる動作である。例としては、ものを吹き飛ばす、火を吹き消すという行動があげられる。このとき仮想空間内のオブジェクトに対し

て「息を吹きかける」という動作をシステム側が自動的に測定することができれば、自然な形での仮想空間へのインタラクションの 1 つとなる。

吹きかけた息を測定する方法としては、風力センサの利用が考えられる。このとき、ユーザが口になんらかの特殊な装置を装着し、その息を測定する方法では、当然ユーザへの負荷が増大してしまう。また、身につけないまでも、特殊装置の方に向かって息を吹きかけてしまえば、デバイスを過度に意識することとなり、自然な形でのインタラクションとはいえない。

このような理由から、本研究では、専用に作成した風力センサをディスプレイの下部に設置することとした。このため、ユーザには負荷がまったくかからない。さらにディスプレイに吹きかけた息の反射を測定することで、ユーザはデバイスを過度に意識することなく、かつ直接的な操作を可能にするインタフェースといえる。

3.3 Friend Park の概要

Friend Park は、3DCG で構築された仮想空間であり、4 つの部屋とそれらの部屋を結ぶ玄関で構成されている。ユーザは玄関を通して 4 つの部屋を行き来する。それぞれの部屋では、その部屋やオブジェクトに関連した嗅覚情報をユーザに提供する。また、風力センサを利用したインタフェースによりユーザが自然な感覚でオブジェクトを操作することで、臨場感を与え仮想空間の実感を高めるシステムである。図 1 に Friend Park の概念図を示す。

4. Friend Park の実装

4.1 実装環境

Friend Park は、PC 上の実装で、システムの開発言語には C, C++, ユーザインタフェースには OpenGL を用いた。

4.2 芳香発生装置を利用した嗅覚情報の伝達方法

4.2.1 芳香発生装置

本システムでは、ユーザに実際嗅覚情報を提供する手段として「5 連式芳香発生装置」を試作した。5 連式芳香発生装置は、幅 253 mm、奥行き 550 mm、高さ 408 mm の箱型で、5 つの香りを同時に使用することのできるエアコンプレッサ方式の芳香発生装置である。

香りが発生する基本的な仕組みを、図 2 に示す。芳香発生装置の入力はコンピュータのプリンタポートに接続し、コンピュータにより香りの発生を制御する。

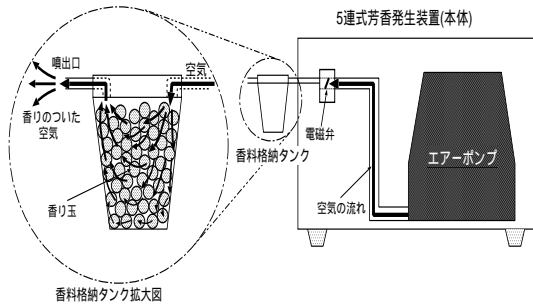


図 2 香り発生仕組み

Fig. 2 A fragrance generating mechanism.

芳香発生装置は、大きく分けて 2 つの部分（空気を送り出すエアポンプ部分と、香りの素を格納しておく香料格納タンク）からなる。香りの素には、フローライト RM-85S（けい酸カルシウムでできた直径 7~8 mm の粒）に香料をしみこませたものを使用した。この香りの素を香料格納タンクの中にあらかじめ入れておき、香料格納タンクにつながっているエアポンプからタンクに空気が送り込まれ、その空気の流れによって香りが噴出口外に運び出される仕組みになっている。

本体内部で使用しているエアポンプは 1 つであり、5 つの香料格納タンクのうち、指定された格納タンクにつながっている弁が開くよう制御し、空気が送られる。そして香りの付加された空気はチューブを通して、モニタの横から出力される。

4.2.2 仮想空間における嗅覚情報

Friend Park では、森林、バー（女性アバタを配置）、リビングルーム（ロウソクオブジェクトを配置）、和室（線香オブジェクトを配置）という 4 つの部屋を用意した（図 3）。それぞれの部屋や、部屋に配置してあるそれぞれのオブジェクトには、その特徴に応じたアロマを設定した。実装した環境アロマ、および物体アロマを表 2 に示す。

また表 3 に実装した環境アロマオーラおよび物体アロマオーラと、関係するアロマを示す。たとえば森林という部屋では、対応するアロマは森林アロマであり、森林アロマは環境という属性を持つ。ここでは、このときのアロマオーラを森林アロマオーラと呼ぶ。

表 2 実装した環境アロマおよび物体アロマ

Table 2 Environmental aroma and object aroma.

実装したアロマ	アロマの種類	特徴	対応する部屋 およびオブジェクト
森林アロマ バーアロマ	環境アロマ	森林を連想させる嗅覚情報 バー（酒場）を連想させる嗅覚情報	森林 バー
女性アバタアロマ ロウソクアロマ 線香アロマ	物体アロマ	女性を連想させる嗅覚情報 ロウソクが消えた後のロウの融けた香り 線香に火をつけたときの線香の香り	女性アバタ ロウソクオブジェクト 線香オブジェクト

表 3 実装したアロマオーラとアロマの関係

Table 3 The relation between aroma aura and aroma.

アロマオーラの名称	アロマオーラの種類	アロマオーラの特徴	関係するアロマ
森林アロマオーラ バーアロマオーラ	環境アロマオーラ	森林の部屋全体 バーの部屋全体	森林アロマ バーアロマ
女性アバタアロマオーラ ロウソクアロマオーラ 線香アロマオーラ	物体アロマオーラ	女性アバタにともなって移動する ロウソクの炎が消えると現れる 線香に火をつけると現れる	女性アバタアロマ ロウソクアロマ 線香アロマ



図3 Friend Parkの4つの部屋
Fig. 3 Four rooms of Friend Park.

4.3 風力センサを利用した仮想空間とのインタフェース

4.3.1 風力センサ

本システムでは、ユーザに特殊な装置を身につけることなく、自然な感覚で仮想空間において息を吹きかけるといった動作を実現するために、風力センサを作成した。

風力センサは幅 275 mm、奥行き 100 mm、高さ 105 mm の箱型のデバイスであり、ディスプレイの正面下部に設置して使用する。ユーザは画面に向かって息を吹きかけ、風力センサでは画面に沿って下側に流れる風力を測定する(図4)。

風力センサは、ユーザが吹きかけた息を受け取る受風部と、その吹きかけた息の強さを測定する測定部からなる。受風部は画面下側に流れた風を受け取り回転する。測定部は円形のグラデーション板、レーザー光を発する発光部、光センサから構成されている。グラデーション部分には、図4に示すようにレーザー光が当たっている。このグラデーション板は、偏光板の角度を変化させて組み合わせることによりグラデーションがかかっている。このため角度によって透過する光の強さが異なる。受風部とグラデーション板は中心を通る棒を通じて連結されており、受風部が風を受け回

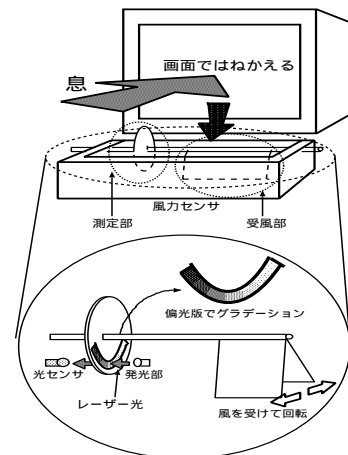


図4 風力センサの動作原理
Fig. 4 The principle of the operation of the wind measuring device.

転すると、それに合わせてグラデーション板も回転する。このとき、透過してくる光の強さを光センサで読み取ることににより、受風部の回転角度の変化を光の強さの変化として検出し、吹きかけた息の強さをリアルタイムに判定することができる。このとき、光センサにより検出された光の強さは抵抗値に変換され、プリンタポートを介してコンピュータ側に送信される。ま

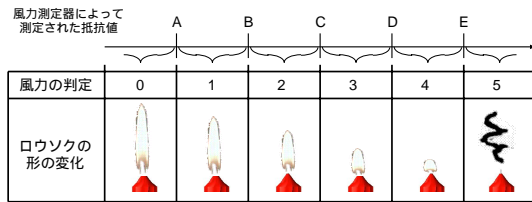


図5 風力の判定アルゴリズム

Fig. 5 Decision algorithm of force of the wind.

た測定部にはカバーがついており外界の光を遮断するため、周囲の環境に影響を受けることなく測定を行うことが可能である。

4.3.2 吹きかけた息に反応するオブジェクト

本研究では、Friend Park の部屋の 1 つであるリビングルームにおいて、画面に吹きかけた息を仮想空間に反映させるオブジェクトの例として、「ろうソクの炎」を実装した。

ろうソクはリビングルームに配置してあるパースデーケーキの上に立ててある(図3)。

前述したように、風力センサで測定された息の強さは、プリンタポートを介してコンピュータ側に抵抗値として送信される。コンピュータ側では、図5に示すようなアルゴリズムに基づき、抵抗値の変化に、A, B, C, D, E の 5 種の閾値を設け、抵抗値の変化に応じて風力 0 から 5 の 6 段階の風力を決定する。そして、ろうソクの炎はこの 6 段階の風力に対応して、炎のテクスチャの縦の長さを変化させることによって、炎の揺れを表現した。

風力センサを利用してろうソクの炎を消すと、前述したようにろうソクが溶けた香りがするのと同時に、煙が発生する。

5. システム評価

本システムにおいて芳香発生装置を利用した嗅覚情報の伝達について、仮想空間での香りの有効性を評価するために以下のような評価実験を行った。

研究室の学生 20 人に対し、芳香発生装置を用いて嗅覚情報の伝達を行ったシステム(以下 Case A と呼ぶ)と、嗅覚情報の伝達を行わないシステム(以下 Case B と呼ぶ)の両方をひととおり利用してもらい、その後アンケートに答えてもらった。被験者には、実験前の先入観を持たせないために、芳香発生装置の存在や香りの発生についてはまったく知らせず、各システム内をウォークスルーする方法のみを簡単に説明した。

また、本システムで風力センサを利用したインタフェースについて、自然な形での仮想空間へのインタラクション、および仮想空間の実感に関する有効性を

評価するために評価実験を行った。嗅覚情報の伝達の評価実験と同様に、研究室の学生 20 人に対し、風力センサを利用したシステム(以下 Case C と呼ぶ)と、風力センサを利用しないシステム(以下 Case D と呼ぶ)の両方を利用して、「仮想空間内のろうソクの炎を消す」という動作を行ってもらった。Case C では、風力センサを利用して直接画面に息を吹きかけることによってろうソクの炎を消してもらい、Case D では、キーボードのキーを押すことによってろうソクの炎を消してもらった。システム利用後、被験者にはアンケートに答えてもらった。純粋な評価をするために、実験前に被験者には本研究で考えている機能が果たす役割についてはまったく知らせず、各々の機能の使用方法だけを簡単に説明した。

これら 2 つの評価実験に関して、比較実験においてはどちらのシステムを先に利用したか、という順序関係による影響を考慮する必要があるため、被験者には、2 人 1 組になってもらい、システムを最初に利用する被験者の数を等しくした。

アンケートの内容は表 4、表 5 に示すとおりであり、0 から 3 の 4 段階(まったく思わない—ややそう思う—かなりそう思う—非常にそう思う)で答えてもらった。

実験結果を表 4 と表 5 に示す。結果の値は、4 段階で答えてもらった平均値である。結果データは、統計的客観性と検証するために Wilcoxon の符号不順位検定を行った。

5.1 嗅覚情報の伝達

嗅覚情報の伝達に関する実験結果(表 4)から、すべての質問において、Case A のほうが、Case B よりも高い評価を得ている。

各々について考察する。まず、質問 1, 4, 6, 8, 10 は空間表現における嗅覚情報の優位性を問う質問である。森林は CG による構成にテクスチャマッピングや音響効果などを加えて表現している。パーは緻密な CG 表現と照明、音響効果が特徴的である。空間を CG により構築する際、森林などの自然環境は視覚的に表現しにくく、それに対し、パーといった人工的な空間は視覚的に表現しやすい。このような森林、パーそれぞれに嗅覚情報という要素を加えたとき、双方において Case A に優位性がみられたが、森林においては非常に優位な結果であった。これにより、嗅覚情報を視覚・聴覚による空間表現に加えることは、非常に効果的であり、特に森林のような視覚的に表現しにくい空間の表現には、より高い効果が得られることが分かった。また、すがすがしさや雰囲気という印象をユーザ

表 4 比較実験のアンケート結果(嗅覚情報の伝達)

Table 4 Results of the questionnaire data from the comparative experiment (transmission of olfactory information).

No.	質問項目	Case A 平均得点	Case B 平均得点	Wilcoxon の符号付 順位検定 p 値
1	森林の空間を実感できた	2.10	1.05	**0.0013
2	女性が近づいてくるのが分かった	2.45	1.65	**0.0018
3	線香の煙を実感できた	2.15	0.85	**0.0025
4	森林に行った感じがした	1.60	0.75	**0.0029
5	線香を立てた感じがした	1.85	1.05	**0.0036
6	森林のすがすがしさを感じた	2.05	1.10	**0.0061
7	線香に火がついたのが分かった	2.20	1.50	*0.0164
8	バーの雰囲気を感じた	2.05	1.50	*0.0192
9	女性の動きを感じることができた	1.90	1.50	0.0692
10	バーに入った感じがした	1.90	1.55	0.0858

(N = 20; **:p < 0.01, *:p < 0.05)

表 5 比較実験のアンケート結果(風力センサを利用したインタフェース)

Table 5 Results of the questionnaire data from the comparative experiment (the input interface using a wind measuring device).

No.	質問項目	Case C 平均得点	Case D 平均得点	Wilcoxon の符号付 順位検定 p 値
1	ロウソクを自然に消すことができた	2.20	0.15	**0.0001
2	このシステムを実際に使ってみたいと思った	2.20	1.00	**0.0007
3	ロウソクを消す動作が自然だった	1.85	0.75	0.0750
4	ロウソクを消す動作をすぐに理解できた	2.35	2.25	0.7268

(N = 20; **:p < 0.01)

に与えるということにおいても優位性がみられることから、嗅覚情報により、空間を構築する制作者の意図も組み込むことができると考えられる。

質問 2, 3, 5, 7, 9 は物体の表現に嗅覚情報を付加したときの効果を問う質問である。線香オブジェクトに火をつけて立てる様子や女性アバタの動きはアニメーションにより表現している。質問の結果、線香に火をつけて立て、煙がでるという一連の動作、女性アバタの接近に関して Case A は非常に優位な結果を得た。また、女性アバタの動きの認識についても良好な結果を得たといえる。これより、ユーザの目の前の視界における、煙がでるなどの無から有、有から無という物体の変化に関しては、嗅覚情報の伝達は非常に効果的であることが分かった。それに対し、つねにユーザの視界に提示されている物体の実感に関しては、視覚情報による効果が大きいといえる。

この評価実験の結果から、視覚、聴覚、触覚情報に加えて、嗅覚情報を導入することは、仮想空間に対する実感を高める手法として非常に有効であるということが証明された。特に視覚的に表現しにくいときや、無から有、有から無という表現に関しては、嗅覚情報の伝達は非常に効果的であることが確認できた。

5.2 風力センサを利用したインタフェース

風力センサを利用したインタフェースに関する実験結果(表 5)から、風力センサを利用した Case C は、ロウソクの炎を自然に消すという動作に関しては高い評価を得ているが、動作の理解に関しては、優位な結果は得られなかった。

各々について考えてみると、まず質問 1 は、ロウソクを自然に消すことができたかどうかの質問であるが、Case C が高い評価を受けている。このことにより、風力センサを利用して直接ディスプレイに表示されているロウソクの炎に息を吹きかけるという動作は、より自然な動作であることが分かった。質問 4 の結果からは Case C の優位性はみられなかった。しかしロウソクを消すという動作を理解する点においては良好な結果を得た。この結果より、直接画面に息を吹きかける入力インタフェースは、自然に操作を行うことができ、かつ使用方法も直感的で理解しやすいということが分かる。

質問 2 は、システム全般の評価であるが、実際に使ってみてほしい、あるいは、空間を実感できたという回答が多く、この結果から、風力センサを利用した本システムは、自然な動作で利用できるということで、非常に受け入れられたことが確認できた。

評価実験から、被験者はやはりディスプレイの前に設置してある風力デバイスを過度に意識してしまうことが分かった。ユーザがデバイスを意識することなく、息を吹きかける動作を行えるということが目標の1つであったが、実際に使用してもらうと、デバイスの受風部をなんとかして回転させようという意識が、被験者に強くなってしまった。これに関してはデバイスの動作だけでなく、大きさや設置状態などへの配慮も必要であろうと考える。

6. ま と め

本研究では、より実感できる仮想空間を構築する要素として、仮想空間内の嗅覚情報の伝達と、ユーザがより自然な振舞いで利用することのできる入力インタフェースに焦点をあて、仮想空間システム“Friend Park”の実装を行った。

仮想空間内の嗅覚情報を表現するために、「アロマ」という概念を提案し「アロマオーラ」という領域を定義した。

また、より自然な形での仮想空間へのインタラクションの実現のため、人間の「息を吹きかける」という動作に注目し、仮想空間内の物体に対して息を吹きかける動作を可能にする風力センサを作成した。

上で述べた各々の機能の有効性を評価実験によって確認した結果から、嗅覚情報の伝達は、仮想空間の表現において新たな可能性を見出し、また風力センサを利用したインタフェースは自然な動作で利用することができ、非常に受け入れられることが分かった。このため、本研究で提案、構築した仮想空間システム“Friend Park”で用いた手法は、ユーザの仮想空間に対する実感を高めるために有効な方法であるといえ、今後仮想空間が広く利用されるためにこのような手法の導入が必要となると思われる。

また、本稿で提案した吐息による入力インタフェースは、on/offの入力（息を出す/出さない）、強弱の入力（吐息の強さ）、あるいはそれらの組合せによる入力が可能であり、たとえば、電源などの制御、イラストなどにおけるエアブラシの制御、音楽表現における音程、音量、音色などの表現などの応用が考えられる。このような一般的なインタフェースとしての利用法については今後の課題としたい。

謝辞 このたびの芳香発生装置の試作にあたりご協力してくださった、株式会社フクハラの下栗芳幸様、また、香料の調合をしてくださった長谷川香料株式会社の井手純一様につつしんで感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 国立民族学博物館：国立民族学博物館要覧 1996 (1996).
- 2) 小池 寛：コミュニケーション&ショッピングタウン『まちこ』、日本バーチャルリアリティ学会研究報告、Vol.1, No.1, pp.25-30 (1997).
- 3) 廣瀬通孝, 原島 博：バーチャルリアリティ, オーム社 (1995).
- 4) 内山晋二, 片山昭宏, 田村秀行, 苗村 健, 金子正秀, 原島 博：光線空間理論に基づく実写データとCGモデルを融合した仮想環境の実現, 3D Image Conference 96 (1996).
- 5) 岩田洋夫, 中川博憲：着用型力覚帰還ジョイスティック, 信学技法 MVE98-26, 電子情報通信学会 (1998).
- 6) 中嶋正之, 高橋裕樹：CAVEを中心とする大型映像システムの最新動向, 信学技法 MVE97-86, 電子情報通信学会 (1997).
- 7) 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 (Proc. ACM SIGGRAPH 93)*, pp.135-142 (1993).
- 8) Noma, H., Miyasato, T. and Kishino, F.: A Palmtop Display for Dextrous Manipulation with Haptic Sensation, *CHI 96*, pp.126-133 (1996).
- 9) 村田厚生：ヒューマンインタフェースの基礎と応用, 日本出版サービス (1998).
- 10) 藤田欣也, 河内卓朗：グローブ型簡易仮想物体硬さ感覚呈示装置の開発, 信学技法 MVE97-20, 電子情報通信学会 (1997).
- 11) 蒲原新一, 竹田 仰：分類システムと遺伝アルゴリズムによる腕相撲対戦の試み, 信学技法 MVE95-21, 電子情報通信学会 (1995).
- 12) 矢野博明, 小木哲朗, 廣瀬通孝：没入型多面ディスプレイ (CABIN) において振動子を用いた全身触覚呈示デバイス, 信学技法 MVE98-29, 電子情報通信学会 (1998).
- 13) 廣瀬通孝：バーチャルリアリティと空間型情報処理, 信学技法 MVE98-87, 電子情報通信学会 (1997).
- 14) Blauert, J., 森本, 後藤 (編著): 空間音響, 鹿島出版会 (1986).
- 15) Suzuki, N., Hattori, A., Takatsu, A., Uchiyama, A., Kumano, T., Ikemoto, A. and Adachi, Y.: Virtual surgery simulator with force feedback function, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol.1, No.1, pp.1260-1262 (1998).
- 16) 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下 温：アウェアネススペースを実現し気配を考慮した大部屋仮想オフィス, 情報処理

学会研究会資料：マルチメディア通信と分散処理
80-26・グループウェア 21-26, pp.151-156 (1997).

- 17) 中川照子：にのいの科学，理工学社 (1998).
18) 栗岡 豊，外池光雄：匂いの応用工学，朝倉書店 (1994).
19) 栗原堅三：味覚・嗅覚，化学同人 (1990).
20) Dinh, H.Q., Walker, N., Song, C., Kobayashi, A. and Hodges, L.F.: Evaluating the Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments, *IEEE VR '99*, pp.222-228 (1999).
21) Zimmerman, T.G. and Lanier, J.: A Hand Gesture Interface Device, *Proc. CHI + GI*, pp.189-192 (1987).
22) 篠原克也，石黒辰雄：バーチャルリアリティ，オーム社 (1994).
23) 本田新九郎，木村尚亮，大澤隆治，太田憲治，岡田謙一，松下 温：人間の現実動作の仮想空間への反映手法，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.4, No.2, pp.377-388 (1999).

(平成 12 年 9 月 11 日受付)

(平成 13 年 4 月 6 日採録)



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学院理工学研究科博士課程修了。1998 年同大学理工学部情報工学科助手 (有期)。現在，同大学理工学部情報工学科専任講師，工学博士。無線 LAN の構成法と媒体アクセス制御方式，計算機ネットワークにおけるステーション移動サポート，モバイル・コンピューティング，マルチエージェントシステム，遠隔教育システム等の研究に従事。著書「～ネットワーク・ユーザのための～無線 LAN 技術講座」(ソフト・リサーチ・センター)，「コンピュータネットワーク」(オーム社)等。電子情報通信学会，IEEE，ACM 各会員。



本田新九郎 (正会員)

1993 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年 12 月より 1999 年 3 月まで日本学術振興会特別研究員 (COE)。1998 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在 NTT サイバースペース研究所にて，サイバースペースコミュニケーション，インタフェースの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会会員。



大澤 隆治

1997 年度慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1999 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在，キャノン株式会社勤務。



永野 豊

1999 年度慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。2001 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在，パラマウントベッド株式会社勤務。



岡田 謙一 (正会員)

1978 年慶應義塾大学大学院後期博士課程所定単位取得退学。同年同大学理工学部計測工学科助手。現在同大学理工学部助教授。1990～1991 年アーヘン工科大学客員研究員。工学博士。グループウェア，コンピュータ・ヒューマン・インタラクションに興味を持つ。「コラボレーションとコミュニケーション」(共立出版)をはじめ著書多数。グループウェア研究会主査，モバイルコンピューティング研究会運営委員，日本 VR 学会仮想都市研究会幹事，情報処理学会論文誌編集主査，電子情報通信学会論文誌編集委員。ECSCW2001 プログラム委員，INTERACT2001 財務委員長。1995 年度情報処理学会論文賞受賞，情報処理学会 40 周年記念論文賞受賞。IEEE，ACM，電子情報通信学会，人工知能学会各会員。



松下 温 (正会員)

1963年慶應義塾大学工学部電気
工学科卒業。1968年イリノイ大学
大学院コンピュータサイエンス専攻
修了。1989年より慶應義塾大学理
工学部計測工学科教授。工学博士。

マルチメディア通信、コンピュータネットワーク、グループウェア等の研究に従事。情報処理学会理事、同学会副会長、マルチメディア通信と分散処理研究会委員長、グループウェア研究会委員長、電子情報通信学会情報ネットワーク研究会委員長、MIS研究会委員長、日本VR学会サイバースペースと都市研究会委員長等を歴任。現在、情報処理学会 ITS 研究会委員長、郵政省、通産省、建設省、農水省、都市基盤整備公団、行政情報システム研究所等の委員長、座長、委員を多数歴任。「やさしい LAN の知識」(オーム社)、「200X 年の世界」(共立出版)等著書多数。1993 年度情報処理学会よりベストオーサー賞、1995 年および 2000 年度に情報処理学会より論文賞、情報処理学会 40 周年記念 90 年代学会誌論文賞、2000 年電子情報通信学会フェロー、2000 年日本 VR 学会サイバースペース研究賞、2001 年情報処理学会功績賞受賞。電子情報通信学会、人工知能学会、ファジィ学会、IEEE、ACM 各会員。
