

MR用呼気インタフェースの開発と インタラクティブ・アートへの応用

坂内 祐一[†] 奥野 泰弘[†]
角田 弘幸[†] 高山 知彦[†]

複合現実感を利用したインタラクティブ・アート「ジェリーフィッシュ・パーティー」に用いる呼気インタフェースをスパイロメータを用いて開発した「ジェリーフィッシュ・パーティー」では、複数の参加者がHMDを装着しタンジブルなストローに息を吹き込むと、仮想のシャボン玉をはじめとするオブジェクトがストローの先から参加者の実空間へ放出され、他のオブジェクトと衝突するなどにより変化する。参加者はこれらのインタラクションを通して、幻想的な世界を楽しむことができる。3種類の異なるオブジェクト放出モードを設け、それぞれのモードにおいて息の吹き方に応じた呼気動作仕様を決め実装した「ジェリーフィッシュ・パーティー」は展示会へ出品され、4日間の会期中に1,000人以上の参加者が体験して高い評価を得た。このときのアンケートで、呼気インタフェースが作品鑑賞の阻害要因にならなかったかを分析し、大多数の人が呼気インタフェースに不自然さを感じずに、短時間で動作を理解し、操作に混乱をきたさずことなく作品を楽しんだという結果が得られた。

A Mixed Reality Blow Interface for the Interactive Art “Jellyfish Party”

YUICHI BANNAI,[†] YASUHIRO OKUNO,[†] HIROYUKI KAKUTA[†]
and TOMOHIKO TAKAYAMA[†]

We developed a blow interface using a spirometer sensor to measure the amount and speed of expelled air. This interface is implemented as a part of the interactive art named “Jellyfish Party”. The player wearing a Head Mounted Display (HMD) is able to generate CG objects such as soap bubbles by blowing his/her breath into a straw, then the system merges the CG soap bubbles into the real world by Mixed Reality (MR) technology. Multiple players can join the system and interact with objects generated by the other players. “Jellyfish Party” was open to general public in an exhibition and has been experienced by more than one thousand players, and it received high ratings. In this paper, we described the development of the blowing interface and its evaluation based on the survey done at the exhibition.

1. はじめに

複合現実感(MR)は現実世界と仮想世界の融合技術であり、HMD(Head Mounted Display)などを装着したユーザに対し、この融合された空間と実時間でインタラクション可能とする技術である¹⁾。MRは従来のVR(Virtual Reality)と比べて、ユーザが存在する空間も対象とすることができるため、ユーザ空間に合わせたCGの描画や、ユーザの空間的なインタラクションをシステムに取り入れることができるなどの長所があり、工業デザイン分野、作業教育などの産業応用分野や、インタラクティブ・アート、ゲームなど

のエンターテインメント分野まで幅広い応用が期待されている。

一方ヒューマンインタフェースの研究分野では、実世界に存在する物を利用して、デジタル世界とのインタラクションを行うタンジブルユーザインタフェースの研究がさかに行われている。このインタフェースの大きな特徴として、タンジブルな物体の直接操作、入出力空間の一致、およびタンジブルな表現とインタラクティブな表現とのシームレスな融合があげられる²⁾。

複合現実感でのインタフェースは、複合現実空間でのユーザの自然な動作による3Dのインタラクションによって実現されるのが望ましい。現実世界で我々が日常的に利用するタンジブルな道具を用い、この道具によるインタラクション結果を、複合現実感で位置合わせされた仮想物体として表示することにより、きわ

[†] キヤノン株式会社
Canon Inc.

めて直感的に分かりやすいタンジブルユーザインタフェースが構築可能である。これらの例として、Katoらのタンジブルなさじに仮想物体を載せて仮想物体を操作するシステム³⁾や、大島らのタンジブルな銃から飛び出る仮想の弾丸で、シューティングゲームを行うシステム⁴⁾などがあげられる。

本研究での提案は、基本的にこの流れに沿ったものであり、人の呼吸を入力とする複合現実感のインタフェースを実現し、これをインタラクティブ・アートの一体化した作品として完成させるものである。

今回 2003 年 10 月に開催された MR Expo2003 で展示されたインタラクティブ・アート「ジェリーフィッシュ・パーティー」⁵⁾用に、ストローに吹き込まれる息を計測してシステムに入力する呼吸インタフェースを開発した。このシステムでは、参加者がタンジブルなストローに息を吹き込むと、息の吹き方に応じてストローの先から仮想のシャボン玉やオブジェクトが生成され参加者の空間に漂うというインタラクションが基本になっている。

本稿では最初に「ジェリーフィッシュ・パーティー」のアーティストからの呼吸動作に関する要求仕様を、次に呼吸計測方式、呼吸動作仕様とその実現方法、システム実装について述べ、最後にこのシステムを実際に MR Expo2003 に展示した際の参加者からのアンケートを基にした複合現実感呼吸インタフェースの評価について述べる。

2. 呼吸インタフェースへの要求仕様

アーティストから提示された「ジェリーフィッシュ・パーティー」のシナリオおよび参加者の操作仕様は以下のとおりである。

2.1 「ジェリーフィッシュ・パーティー」の概要

複数の参加者が HMD を装着し、実物のストローに息を吹き込むと、ストロー先端から CG のシャボン玉が生成され空間に放出される。生成されたシャボン玉はしばらく空中を漂い、このうち一部のシャボン玉は空中でクラゲ (Jellyfish) に変身する。また「ジェリーフィッシュ・パーティー」では、シャボン玉のほかに海中の小生物であるクリオネをストローから生成する機能、さらにこのクリオネを吹き矢のメタファとして用いてシャボン玉を割ったりクラゲに当てたりといった仮想オブジェクトとのインタラクションを行う

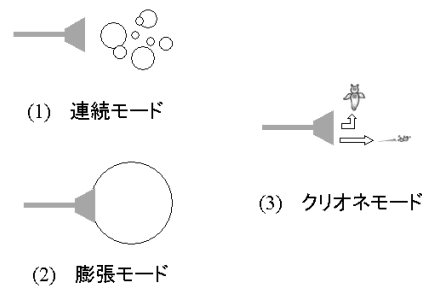


図 1 3つのオブジェクト生成モード
Fig.1 3 types of object generation mode.

機能も用意されている。複数の参加者間でこれらのオブジェクトが共有されているので、参加者は、他の参加者の生成したシャボン玉を割ったり、協力してクラゲを攻撃したりといった協調作業も可能であり、目の前に存在する幻想的な空間を参加者全員で共有して楽しむことができる。

2.2 「ジェリーフィッシュ・パーティー」の操作仕様
ストローからのオブジェクト生成に関してアーティストから図 1 に示すような以下の 3 種類のオブジェクト生成モードが示された。

- (1) 多数のシャボン玉が息の強さに応じて空中へ出ていく。
- (2) 1つのシャボン玉が息を吹きつけている間大きく膨らんでいく。
- (3) 弱い息の場合クリオネが空間に漂うように放出され (図 1 (3) の上)、強い息の場合クリオネが吹き矢のように飛び出し (図 1 (3) の下) 空間の床や仮想オブジェクトに衝突する。

参加者は上記モードのうち 1つを選択して動作を行うが、いつでも他のモードへ切り替えることができる。

3. ハードウェアの設計

3.1 呼吸センサ

呼吸センシング方法として、熱式センサである「スパイロメータ」の呼吸フローセンサ部分 (森測器有限会社製) を使用した。スパイロメータは、肺機能・呼吸機能測定機器として、外来診察、術前測定、在宅医療など多くの医療分野で使用されている。

図 2 は、この呼吸フローセンサ部分の概略図である。図に示す円筒空洞の筐体の中に、流速感知用の白金抵抗が 3 本並んで配置されている。外側 2 本の白金抵抗は呼吸方向検知用であり、真ん中 1 本の白金抵抗が流速検知用である。加熱された白金抵抗に呼吸があたると、冷却により白金抵抗の温度が下がる。呼吸流量と白金抵抗の温度、さらに抵抗値との関係は一意

「ジェリーフィッシュ・パーティー」は浅井和弘氏の原作で、複合現実型エンターテインメント協議会 (MREC) が主催した複合現実型エンターテインメント・ソフト・コンテスト (MREC 2002) でグランプリを獲得した。

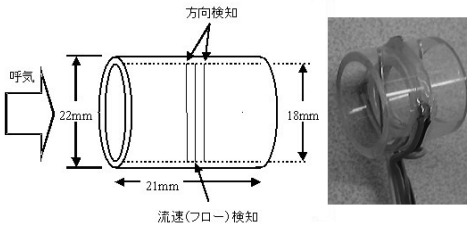


図 2 呼吸フローセンサ
Fig. 2 The flow sensor.

に決まるので、抵抗値から呼吸の瞬間風速を求めることができる。今回使用したフローセンサは測定範囲が 0~20 リットル/秒、精度が $\pm 3\%$ 以内である。

3.2 ストローガンとしての実現

参加者が息を吹き込むストロー部分には、上記呼吸フローセンサのほかに、ストローの位置/姿勢を検出するための磁気センサである Polhemus 社 Fastrak® のレシーバ端子を内蔵する必要がある。これらに加えて、操作仕様に示された 3 つのモード切替用にトリガスイッチを設けた。このトリガスイッチはオン・オフスイッチで、スイッチが押されるごとに 3 つのモードをトグルする。モードが切り替わると、ストローガンの先端にそれぞれのモードに対応した仮想のノズルが表示される。このことにより、実物のストローを交換して吹く手間を軽減し、参加者が短時間で 3 つのモードを体験できるようにした。

これらの部品を内蔵したデバイス形状を検討するうえで、参加者の使用形態として以下の要因を考慮した。

- 片手で保持できること。
- 片手で保持しながら 3 つのモード切替のためのスイッチ操作が容易かつ確実にできること。
- デバイスの重量とコードの引き回しが操作に影響をあたえないこと。

この結果ストロー部分のデバイスを図 3(1) に示すようなストローガンとして実現した。本体部分の重量は約 200 g で、Fastrak のケーブル、およびフローセンサ・トリガスイッチのケーブルは約 4 m (重量約 400 g) で、ストローガン下部より引き出されてから束ねられている。

図 3(2) は手に保持されている様子で、B の部分に図 3(3) に示す本物のシャボン玉ストローを挿入する。ストローを挿入した際に、フローセンサを破損しないように、B の挿入口の奥に管体を加工したストッパが設けられている。A は呼吸の出口であり、モードに応じた仮想のノズルの表示される場所である。シャボン玉はこの仮想ノズルの先から放出される。

Fastrak の磁界発生部であるトランスミッタには、計

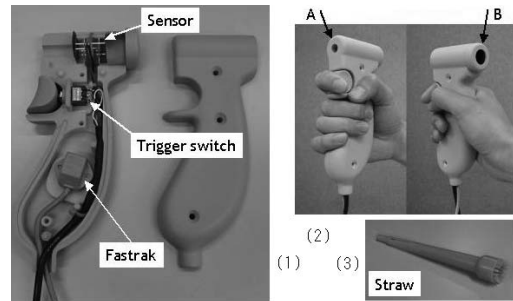


図 3 ストローガン
Fig. 3 The straw gun.

測範囲 1.5~2 m の TX4 を使用した。この TX4 をスタンドに載せて人の頭部程度の高さに設定し、参加者の HMD に搭載されているレシーバの位置に近くなるよう、参加者の右斜め後方に設置することにした。参加者は TX4 から約 2 m の範囲内を動くことができる。

4. 呼吸動作仕様と実現方法

4.1 連続モード

図 1(1) に示すような呼吸がある間、小さなシャボン玉が次々と出てくるモードである。処理時の呼吸流量に応じてシャボン玉の初速が決定され、空間に放出される。放出する際にすでに発生したシャボン玉と衝突する場合には、シャボン玉を発生させないアルゴリズムを用いているので、弱い息ではシャボン玉が生成される間隔が長くなり、ある息の強さからはほぼ一定間隔でシャボン玉が生成される。シャボン玉の大きさは、ある範囲内でのランダムな大きさである。

4.2 膨張モード

呼吸がある間、1 つのシャボン玉がずっと膨らみつづけるモードである (図 1(2))。処理時の呼吸の流量を体積増加分としてシャボン玉の大きさに反映させる。呼吸の流入が止まった時点でシャボン玉が空中にリリースされる。

実際のシャボン玉遊びにおいて、呼吸が止まるとシャボン玉がリリースされるということではなく、いったん休止してから強く吹いたりストローを振ったりすることで行われるが、実際に玉を離す動作/タイミングは微妙でシステムに組み込むのが困難であった。そのため参加者が操作方法を知らなくても、必ずいつかは息が続かなくなり、シャボン玉を空中に飛び立たせることができるということを重視し、上記のような仕様とした。

フローセンサはノイズも感知するので、息が吹き込まれない無風状態でも、流量が定常的にゼロにならな

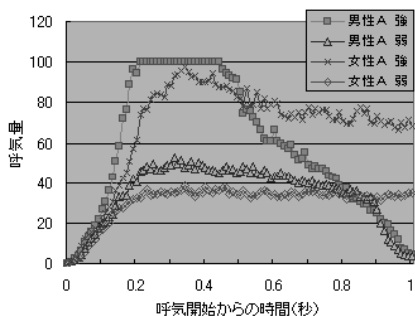


図 4 呼気量の時間分布
Fig. 4 Distributions of flow volume.

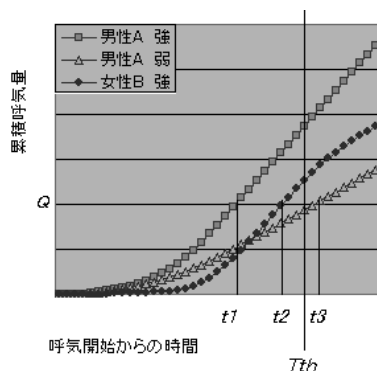


図 5 累積呼気量の分布
Fig. 5 Distributions of cumulative flow volume.

い。そのため一定時間無風の状態でセンサ出力を測定し、その最大値を呼気量ゼロの閾値としている。

4.3 クリオネモード

海の幻想的な小生物であるクリオネを射出するモードで、参加者が弱く吹き込んだときには手前でゆっくり浮かび上がるように出現し(図 1(3)の上)、強く吹き込んだときには吹き矢のように勢よく飛び出してくる(図 1(3)の下)。飛び出したクリオネは、遠くまで飛びシャボン玉を割ったり、CG のクラゲにあたってクラゲを変化させたり、床に到達すると跳ね返ったりする。このモードは吹き矢を模していることから、一続きの息に対して 1 匹のクリオネしか生成しない。

このモードでは、参加者の息の強弱を判別する必要がある。男女の被験者に強い呼気と弱い呼気を試行してもらい、フローセンサの出力を計測した結果の典型例を図 4 に示す。横軸は呼気開始からの時間を示し、縦軸はフローセンサの出力値で、最大値が 100 となるよう百分率で表している。呼気量のサンプリングレートは、100 Hz である。男性 A の強い呼気は、呼気開始後 0.2 秒程度でピークに達して飽和した値(100)を示しており、女性 A の強い呼気は、男性 A より呼気の立ち上がり方が遅く、ピーク値も男性よりやや低い。弱い息の呼気量は、図 4 の例では、男女とも強い呼気の場合の半分程度である。ただし個人差や、同じ個人でも試行ごとのバラツキが見られ、かつサンプリングごとの変動が大きいため、瞬間の呼気量では息の強弱の判定が難しい。

そこで、瞬間の呼気量を累積した値である累積呼気量を用いてデータを平滑化したうえで、閾値を設定することを試みた。累積呼気量の分布の例を図 5 に示す。図 4 の男性 A の呼気の変動が、平滑化された曲線になっているのが分かる。

もう 1 点考慮すべき問題として、息の立ち上りの速さが異なる場合があることが観測された。図 6 は、

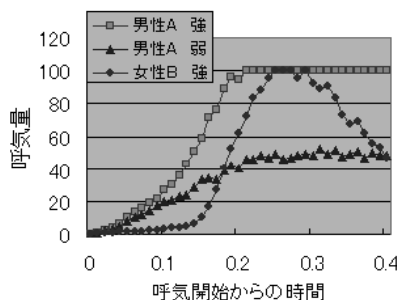


図 6 呼気量の立ち上がり分布
Fig. 6 Flow volume at the start.

図 4 に示された男性 A の呼気分布に、女性 B の強い呼気の呼気立ち上り時分布を重ねたものである。この例では、呼気開始後 0.2 秒付近までは、女性 B の強い呼気量は男性 A の弱い呼気量を下回っており、0.2 秒を過ぎたあたりから急激に立ち上がって、男性 A のピーク付近まで増加している。このように立ち上りが遅い例は、女性の場合に多く見られた。

以上の結果を考慮に入れて、累積の呼気量で息の強弱を判定する場合、どの時点で判定するかが問題となった。早い時間に判定を行うと、図 6 女性 B の場合のように、息の立ち上りが遅いがその後すぐに息が強くなっていく場合に、意図と違う判定になってしまう、判定までの時間が遅すぎれば反応が悪くなる。

上記の問題を解決するために本作品では、呼気入力があったから後の一連の呼気入力量を累積していき、その累積量が一定の値に到達するまでにかかった時間の長短で、息の強弱を判定することにした。この方法によれば、強い息があればすぐに累積量に達し、弱い息を続けていても、いずれは累積量に達して応答することができる。これを図 5 を用いて説明する。

図 5 の曲線で示される累積呼気量の分布関数を $F(t)$ として、呼気の累積量がある一定の値 Q になったと

きの時刻 t を求める．すなわち $F(t) = Q$ となる t を求め、 $t < Tth$ ならば強い息と判定し、 $t \geq Tth$ ならば弱い息と判定する．図 5 では、この時刻 t の値は、男性 A 強の場合 $t1$ 、男性 A 弱の場合 $t3$ 、女性 B 強の場合 $t2$ である．すなわち男性 A の強い息は、速い時刻 $t1$ で判定され、引き続いて時刻 $t2$ で女性の強い息が判定されることになる．この例の場合、時間閾値 Tth は、 $t2 < Tth \leq t3$ ならば入力呼気の強弱を判定できる．このような時間閾値の導入により、強く吹かれた息は短時間で判定できるので操作反応が良く、立ち上りが遅い強い息に対しても、判定時間を延ばすことで誤判定を減らすことができる．

この判定方法の副作用として、弱く吹いたときの息の判定が遅くなるという欠点があるが、弱い息を吹いた場合、クリオネがノズルからゆっくりと浮かび上がる仕様になっているので、ほとんど違和感は生じなかった． Tth の値は、事前に被験者を用いた検討の結果、経験的に 0.2~0.3 秒とし、これに基づいて Q の値を決定した．これらの値は参加者ごとの校正を行わずに、すべて事前に設定した値で運用することとした．

また 1 匹のクリオネを生成した後は、その一連の呼気入力があった途切れるまで入力を無視することで、「1 つの息で 1 匹のクリオネを生成する」という操作感覚を与えている．

5. システム実装

5.1 シャボン玉の CG 表現

対象がインタラクティブ・アートなので、シミュレータのようにシャボン玉を物理法則に忠実に再現する必要はないが、参加者に十分なリアルさを感じさせることが重要である．シャボン玉のポリゴン数は約 500 程度であるが、クラゲなど複雑なオブジェクトは、数千ポリゴンになるので、これらシャボン玉以外のオブジェクトに関しては、最大数を 12 に制限している．

5.1.1 シャボン玉の半透明表現

シャボン玉の背後にある別の CG オブジェクトが透過して見えることに加え、シャボン玉自体の裏面も前面から透けて見えるようにした．全オブジェクトを視点から見た奥行き方向でソートしたうえで、まず全オブジェクトの背面だけを描画し、その後で前面を描画する 2 パスのレンダリングを行った．

5.1.2 環境マップによる映り込み

プレイ環境のシャボン玉への映り込みを実現するために、環境マップを貼っている．環境マップの画像はリアルタイムに取得するわけではなく、事前に現場で撮影しておいた静止画であり、参加者ごとにその視点

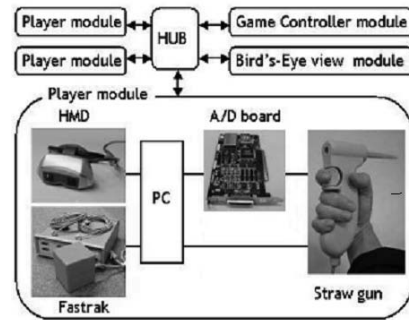


図 7 システム構成

Fig. 7 The system configuration.

から撮影したものを使う．また薄く虹色の模様もテクスチャで重ねた．

5.1.3 形状のゆがみ

シャボン玉が空中に飛び立った後しばらくの間、上下左右の直径を微妙に増減させシャボン玉の球の形状が変化するようにした．前述したとおりシャボン玉オブジェクトは、自分自身の背面が透過して見えるようにレンダリングされているため、形状をゆがませると、前面のテクスチャと背面のテクスチャが微妙にずれて重なって見え、質感を感じることができる．ゆがみは徐々に減衰していく．

5.2 仮想物体の位置合わせ

前述したように HMD とストローガンに磁気センサである Fastrak のレシーバが装着されており、これにより位置・姿勢の 6 自由度の値を取得する．このデータをもとに仮想物体の CG の描画位置を決定する処理は基本的に MR Platform⁶⁾ の機能を利用している．今回はアプリケーションがインタラクティブ・アートであり、生成される仮想のオブジェクトのほとんどが空中に漂う設定なのでマーカを用いることなく、Fastrak からのデータのみで仮想物体の位置合わせを行った．

5.3 システム構成

図 7 に本作品のシステムの概要を示す．本システムは複数参加者からなる MR システムで、基本的には RV-Border Guards⁴⁾ と同様の手法がとられており、1 つの Game Control module と複数の Player module から構成されている．

Game Control module はシーンの進行を制御するもので、それぞれの時点での CG 描画に必要な情報を Player module に通知するものである．Player module は各参加者の視点からの MR 映像を生成するもので、PC×1、HMD×1、位置姿勢センサシステム (Fastrak)×1 (レシーバ)×2、ストローガン ×1 からなっ



図 8 「ジェリーフィッシュ・パーティー」の様子
Fig. 8 Some views of "Jellyfish Party"

ている。

HMD はキャノン社製の VH2002 で、NTSC ビデオカメラと VGA 液晶ディスプレイが搭載され、水平視野角は 51 度、本体重量は約 400 g である⁶⁾。カメラ・ディスプレイ用と Fastrak 用ケーブルが、HMD を頭部に固定する金属製ベルトの後部から引き出され、中継ボックスに接続されている。参加者はこの中継ボックスを肩に掛けてプレイする。

PC はビデオキャプチャボードを 2 つ持ち、ビデオオースルー HMD の左右のカメラからのビデオ出力をキャプチャし、CG と合成して MR 画像を生成した後でそれを HMD に表示する。PC の仕様は、CPU : Pentium4 3 GHz, RAM : 1 GB, Graphics Board : nVIDIA Quadro FX1000, OS : Windows XP である。

ストローガンは A/D 変換ボードによって PC に接続されている。ストローガンの詳細は 3.2 節で述べたとおりである。

磁気センサ Fastrak は、HMD とストローガンに取り付けられ、それぞれの位置が検出される。各センサの値は、Player module によって検出された後で、Game Control module に通知される。Player module は、Game Control module から送られてきた情報に従って、それぞれの視点からのシーンを生成し、HMD に表示する。

同時に体験できる (MR 空間を共有できる) 参加者の人数は、Player module の数と等しい。Player module の数を増やすだけで、たやすく同時体験人数を増やすことができる。本構成での Game control module での CPU 負荷は数%であったが、Player module からの通信トラフィックが数 Mbps あるため、通信トラフィックが Player module を増やした際のボトルネックとなる可能性がある。

Player module のほかに、大型ディスプレイにプレイフィールドを俯瞰するような視点位置からの MR 映像を表示するための、Bird's-Eye module がある。こ

れは HMD, Fastrak, ストローガンを持たないこと以外は、Player module と同じものである。

Bird's-Eye View, および参加者から見た「ジェリーフィッシュ・パーティー」の映像を図 8 に示す。

6. システムの評価

6.1 MR Expo での展示

「ジェリーフィッシュ・パーティー」は、2003 年 10 月 9 日から 12 日に、東京品川で開催された MR EXPO2003 に展示された (10 月 9 日は ISMAR2003 併設展示⁵⁾)。会期中 1,600 名の入場者があり、1,000 名以上が実際に本作品を体験した。

参加者は待ち時間の間に、体験中の様子を実空間 (仮想オブジェクトは見えない) と、Bird's-Eye View モニタに映されている MR 空間 (仮想オブジェクトが重畳されている) 両方で観察することができる。図 1 に示すような、モードごとの動作解説図も待ち時間を利用して、目を通してもらうようにした。

HMD 装着のために、各参加者に補助者がつき、必要に応じてアドバイスをを行った。体験時間は 2 分 30 秒で、3 名が同時に体験可能である。体験終了時に、無作為に参加者を抽出してアンケートに回答してもらった。アンケートは会期最初の 3 日間実施し、合計 161 件回収した。

6.2 アンケート調査と結果

会場での「ジェリーフィッシュ・パーティー」の評価では、インタラクティブ・アートとして一体化されている作品のインタフェース部分だけを取り出して評価するのは困難である。そこで作品全体の評価とともに、ユーザインタフェースが作品の鑑賞の妨げにならなかったか (操作や操作結果の不自然さ、操作の難しさなどにより作品の鑑賞が妨げられなかったか) を調べることを主眼とした。

そこでアンケート項目として、作品全体としてのどの程度楽しめたかを 5 段階評価してその理由を記述してもらう設問、各モードでの操作につき操作上不都合と感じた点を記入してもらうマイナス評価の要因を調査する設問、さらにプレイ中に他の参加者の動作にどの程度気づいたかを選択肢から選んでもらう設問の合計 3 つの設問を設けた。

以下アンケート回答者プロフィールと呼気インタフェースに関する最初の 2 つの設問への回答結果を示す。

(1) アンケート回答者のプロフィール

総数 161 名 (男性 : 女性 = 101 : 60 (5 : 3)), 最年少 5 歳, 最年長 80 歳, 男女とも 20 代 ~ 30 代が全体の 7

表 2 各モードの操作で不都合を感じなかった人と感じた人の数
Table 2 The number of players who felt inconvenient in each mode.

| | 感じなかった | 感じた | 感じた理由 | | | |
|---------|------------|-----------|-------|-----|----|-----|
| | | | CG | I/F | 要望 | その他 |
| 連続モード | 141(89.2%) | 17(10.8%) | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 膨張モード | 141(91.0%) | 14(9.0%) | 1 | 6 | 5 | 3 |
| クリオネモード | 137(87.3%) | 20(12.7%) | 1 | 9 | 7 | 3 |

右の 4 列はその理由をあげた人数を示している。

CG: CG 表現に関する項目

I/F: 呼吸インタフェースに関する項目

要望: 機能に関する要望

その他: 上記以外 (未記入者も含む)

表 1 全体評価値
Table 1 Overall rating.

| 評価値 | 人数 (百分率) |
|------------------|-----------|
| 5: (非常に楽しめた) | 58(36.1%) |
| 4: (楽しめた) | 92(57.1%) |
| 3: (普通) | 6(3.7%) |
| 2: (楽しめなかった) | 5(3.1%) |
| 1: (まったく楽しめなかった) | 0(0%) |
| 平均評定値 4.26 | |

割)

(2) 全体の評価値

全体の評価値を表 1 に示す。

(3) 評価の理由について

評価の理由を高評価 (評価値 4, 5) をつけた人と, 中低評価 (評価値 2, 3 の理由) をつけた人に分け, さらにその内容を筆者らの分類に沿って以下に示す。』には, 具体的記述内容をあげてある。数字は答えた人の人数を表す。

● 高評価の理由

- 全体的な印象: 20 (「仮想と現実の一体感」: 13, 「初めての体験/不思議な体験/夢のよう」: 6)
- 作品コンセプト/演出: 28 (「ゲームとして楽しめる」: 11, 「クリオネが面白い」: 6, 「シャボン玉というテーマに共感」: 3)
- インタラクティブ性: 8 (「自分で操作でき反応があるのが面白い」: 7)
- インタフェース: 17 (「息でコントロールするユニークさ」: 10, 「分かりやすい, 操作が自然」: 5)
- グラフィックス: 13 (「映像がきれい」: 6, 「シャボン玉にリアリティがあった」: 5)
- グループウェア性: 9 (「他の参加者と遊べるのが楽しかった」: 7)

● 中低評価の理由

- HMD: 2 (「HMD があわない」(評価値 2): 1, 「画質が悪い」(評価値 3): 1)
- インタフェース: 1 (「吹くときの感度が悪い」(評価値 3))

(4) 各モードごとの評価

表 2 に各モードごとに, 不都合を感じなかった人と不都合を感じた人の数と百分率を示す。さらに, 不都合を感じた理由を整理した結果も示す。

(5) 不都合を感じた理由

不都合を感じた理由で多かった意見を以下に示す。数字は意見の件数を表す。

● 連続モード:

- CG の項目 (「多数のシャボン玉が見えにくかった」: 5)

● 膨張モード:

- I/F の項目 (「シャボン玉を離すタイミングが分からなかった」: 6)

● クリオネモード:

- I/F の項目 (「クリオネを遠くに飛ばすことができなかった」: 4, 「連続して出すのが難しかった」: 3)
- 要望の項目 (「クリオネを飛ばす速度を制御できるようにしてほしい」: 3)

6.3 考察

6.3.1 インタラクティブ・アート/複合現実感システムとしての評価

アンケート結果において, 全体的な評価は, 5 段階評価の 4.5 ときわめて高い評価を受けた。インタラクティブ・アートの成功の要因として, 身体性, 没入感, 芸術的な心地良さが指摘されているが⁷⁾, 高評価の理由を見ると, 身体性については, インタラクティブ性とインタフェースに関する意見から, 没入感については, 全体的な印象に関する意見から, 芸術的な心地よさは作品コンセプト/演出とグラフィックスに関する意見から, これらの要因が満足されていたことがうかがえる。

また複合現実感システムとして, 仮想と現実の一体感も参加者が十分に感じており, システムの位置合わせ精度などの問題は, 見られなかった。しかしながら一方で (5) 不都合を感じた理由での連続モードで「多数のシャボン玉が見え難い」と指摘された点に関しては, 背景ですべてコントロール可能な VR 環境とは

異なり MR では背景が現実空間となり、参加者の視野に映る背景によって仮想オブジェクトが見えにくくなる可能性はつねに存在することから、会場設置の方法を含めて考慮しなければならない。

6.3.2 インタフェースの評価

アンケートの結果(4)の各モードごとの評価において、操作に不都合を感じたと答えた人の割合は平均すると約 11%で、半分以上が機能追加に関する要望であった。機能追加の要望以外に指摘された点については、クリオネモードでの指摘で「クリオネを遠くに飛ばすことができなかった」のは、息の吹き方の個人差、特に肺活量の個人差を完全に吸収できなかったことが主な理由と考えられる(息の不足を自覚したコメントが複数あった)。

また同モードで「連続して出すのが難しかった」点を指摘した参加者は、吹き矢のメタファとして実現した仕様、1回の連続呼吸中に1匹のクリオネしか出ないことを、理解していなかったものと考えられる(多くの人は舌で息を切りながらゲーム感覚で速射を楽しんでいた)。

膨張モードでは、4.2節で述べた理由により現実世界とは異なる仕様(息を止めた時点でシャボン玉をリリースする仕様)として参加する前に知らせようとしたが、一部の人は知らなかった、あるいは知っていても不自然に感じたという結果になった。

操作の複雑なシステムにおいて、前提知識や意識の異なる参加者に対し、細かな仕様すべてにわたって意図どおりの操作ができるようにインタフェースを実現するのは困難なので、参加者が戸惑いや不都合を感じたときにこれらを回避し、さらには操作を通して仕様が理解できるようにすることが重要である。

本作品ではこの点について、前述したように「参加者の息は必ず途切れるという」ことを前提に、息の途切れで動作が完結するような考え方を基本とし、上記の要件を満たすようにした。その結果インタフェース自体の問題で不都合と感じた人の割合は、アンケート結果より連続モードで0%、膨張モードで約4%(6/141)、クリオネモードで約6%(9/141)にとどまり、3日間の展示を通して、プレイ中の戸惑いから途中でプレイを中断するような混乱を招くようなことはなかった。

7. 関連研究

呼吸のセンシング方式と、呼吸を利用したシステムには以下のものがある。

(1) 熱式(スパイロメータ)

通電状態にあるセンサが、風で冷却されたときに生じ

る電気抵抗の変化を測定することにより風速を計る方式で、小型化が可能でコストパフォーマンス(精度/コスト)に優れる。また医療機器に多数用いられているため、標準部品をそのまま使用できるメリットがあり、本システムで採用された方式である。

(2) ピラム式

風車の原理を応用し、翼の回転数を測定することにより風速を計る方式で、原理が簡単でコストは安い、測定精度が低いため、微風速の測定や小刻みな風速変化の測定には不向きである。

Friend Park⁸⁾は、ディスプレイの下部に風を受けて回転する風車のような受風部と回転数を測定するための円盤を設け、ユーザがディスプレイに向かって息を吹きかけたとき下部へ反射した風力を6段階に分類して、コンピュータに入力する。風力に応じてロウソクの炎が変化するようなアプリケーションが用意されている。

このシステムはVR技術を用いているので、タンジブルUIの入力空間と出力空間の一致という特性が満足されておらず、本複合現実感システムのような現実空間とのシームレスな融合もないため、ユーザが入力部と出力部を、知覚的に1つの連続された空間として認知するのは困難である。

(3) 呼吸圧式

呼吸を集める呼吸圧室を設け、ここでの圧力により呼吸量を測定する方式で、磁石の移動などを検知する。呼吸圧式を利用したものに電子楽器がある⁹⁾。息圧を判定するため楽器内に呼吸の圧力室を設け、その壁に磁石付きおわん型ゴムを取り付けて、息圧によって磁石が動くようにしている。この磁石の運動をホール素子で検知することにより、息圧を検知している。文献9)の例は汎用的なインタフェースというより楽器の一部として作り込まれている。

(4) プレスマイク

口元に装着したプレスマイクで、息を吹いたり吸ったりする際の唇の音を入力し、そのパワースペクトルの振動数から呼吸・吸気を検出する。Kirifuki¹⁰⁾はこの方法を利用して、計算機とのインタラクションを実現したシステムである。机の上にプロジェクターでコンピュータの画面を投影し、ユーザがその画面に向かって息を吹きかけたり吸ったりすることによりウインドウの移動、拡大・縮小などの操作を行う。

プレスマイクで検出しているのは呼吸・吸気の有無の識別で、あらかじめユーザごとに呼吸・吸気の試行を行い、識別のための閾値を決める必要があり、不特定多数の人が、試行なしに使える技術にはなっていない。

8. ま と め

スパイロメータを用いた MR 用呼気インタフェースを開発し、インタラクティブ・アート「ジェリーフィッシュ・パーティー」に応用した。このシステムでの3つの異なるモードの操作仕様を、人間の呼気の特徴を考慮しながら検討し、呼気強弱の判定に呼気累積量のほかに時間閾値を設ける方法や、呼気の途切れを動作の終了とする考え方に基づいた呼気インタフェース仕様により設計・実装を行った。

このシステムを展示会で公開し、4日間で1,000名以上の参加者が体験した。このときに実施したアンケート調査(サンプル数161)で、作品の鑑賞に障害があったマイナス項目を収集した結果、全体として、呼気インタフェース仕様での問題点の指摘は、全体の5%以下にとどまった。

不特定の参加者を対象に、短時間で操作を理解させ、操作に不自然さを感じさせないインタフェースによって、作品全体の魅力を損なわず、多くの人を楽しませることができたインタラクティブ・アート作品を実現することができた。

参 考 文 献

- 1) 山本裕之：複合現実感—仮想と現実の境界から見える世界, 情報処理, Vol.43, No.3, pp.213-216 (2002).
- 2) 石井 裕：タンジブル・ビット—情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン, 情報処理, Vol.43, No.3, pp.222-229 (2002).
- 3) Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K.: Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment, *Proc. ISAR 2000*, pp.111-119 (2000).
- 4) 大島登志一, 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行: RV-Boarder Guards: 複数人参加型複合現実感ゲーム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.699-706 (1999).
- 5) Okuno, Y., Kakuta, H. and Takayama, T.: Jellyfish Party: Blowing Soap Bubbles in Mixed Reality Space, *Proc. ISAR 2003*, pp.358-359 (2003).
- 6) Uchiyama, S., Takemoto, K., Sato, K., Yamamoto, H. and Tamura, H.: MR Platform: A Basic Body on Which Mixed Reality Applications are Built, *Proc. ISAR 2002*, pp.246-253 (2002).
- 7) 間瀬健二: インタラクティブ・アートにおける仮想と現実, 情報処理, Vol.43, No.3, pp.230-234 (2002).
- 8) 重野 寛, 本田新九郎, 大澤隆治, 永野 豊, 岡田謙一, 松下 温: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1922-1932 (2001).
- 9) 日本国公開特許公報 特開平 6-161441 (1994).
- 10) 伊賀聡一郎, 樋口文人: Kirifuki: 呼気・吸気によるエンターテインメントシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.4, pp.445-452 (2002).

(平成 16 年 10 月 21 日受付)

(平成 17 年 5 月 9 日採録)



坂内 祐一 (正会員)

1978 年早稲田大学理工学部卒業。1980 年同大学院修士課程修了。1988 年ミシガン州立大学コンピュータサイエンス学科修士課程修了。1980 年キヤノン(株)入社。画像処理、ヒューマンインタフェース、グループウェア、複合現実感などの研究開発に従事。当学会研究会幹事、論文誌編集委員などを歴任。日本 VR 学会会員。



奥野 泰弘

1989 年東京工業大学工学部卒業、同年キヤノン(株)入社。複合現実感システムの研究開発に従事。



角田 弘幸

1996 年多摩美術大学絵画学科卒業、1997 年株式会社エム・アール・システム研究所入社、2001 年キヤノン(株)入社。CG モデリング等デザイン業務、複合現実感システムのコンテンツディレクターおよびソリューション開発に携わる。



高山 知彦

2002 年横浜国立大学大学院修了、同年キヤノン(株)入社。HMD のハードウェアの開発に従事。