

## バブルディスプレイ方式の実装と応用

中村 正宏<sup>1</sup> 稲葉 剛<sup>1</sup> 玉置 淳<sup>1</sup> 星野 准一<sup>1</sup> 白鳥 和人<sup>2</sup>

<sup>1</sup>筑波大学

<sup>2</sup>有限会社エンターウェイブ

本研究では、リアルなシャボン玉に白い煙をいれて、そのシャボン玉へ映像を投影することのできるバブルディスプレイ方式を提案する。空中を漂うシャボン玉の位置と大きさをカメラにより検出し、プロジェクタによってその位置にのみ映像を投影することで、バブルディスプレイを実現する。また、シャボン玉の破裂を判定することで、インタラクティブに映像や音を加えることができる。本稿ではこのようなバブルディスプレイを実装し、体験者が楽しむことのできるエンタテインメントとしての有用性を評価する。

## Mounting and Application of Soap Bubble Display Method

Masahiro NAKAMURA<sup>1</sup>, Go INABA<sup>1</sup>, Jun TAMAOKI<sup>1</sup>,  
Junichi HOSHINO<sup>1</sup>, Kazuhito SHIRATORI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Tsukuba

<sup>2</sup>Enter Wave Co.,Ltd.

**Abstract** – In this paper, we propose the soap bubble display method that the image can be projected to the real soap bubbles that white smoke entered. The position and the size of soap bubbles tossed in the air are detected with the camera. By projecting the image only to the position with the projector, the soap bubble display is realized. And the image and the sound can be interactively added when the explosion of soap bubbles are judged. We mount the soap bubble display, and evaluate usefulness as entertainment that player can enjoy.

### 1. はじめに

近年、エンタテインメントの分野においてファンタラクションの開発が盛んに行われている。ファンタラクションとは、一瞬の驚きや楽しさをインタラクティブに体験できるエンタテインメント性やアート性を重視した研究である。

従来のエンタテインメント性に重点を置いたディスプレイ装置の研究として“Walk-thru Fog Screen” [1] や“Lumisight Table” [2]がある。前者は乾いた霧状のディスプレイに高品質な映像を投影できるシステムであり、映像を通り抜けることができる新体験や、空中に映像が浮いているような感覚を得ることができるものである。後者はテーブル型ディスプレイであるが、四面のユーザの位置によって提示する映像を変化させることができるものである。また、インタラクティブ

エンタテインメントの研究も様々に行われており、部屋全体を遊び空間として床面の映像や触覚呈示デバイスによるインタラクティブが可能である“Tangible Playroom” [3]や、提示された映像に実際に触れることで、その触れた映像の時間を操作することのできるインタラクティブアートインスタレーション“KHRONOS PROJECTOR” [4]などがあげられる。

また、シャボン玉の魅力を利用した研究も行われている。“Jellyfish Party” [5]はそのひとつで、パーティクルなシャボン玉を利用した MR コンテンツである。ストロー型デバイスから息を吹くことで仮想空間にシャボン玉を再現するアート性の高い研究である。他には CG で本物のシャボン玉のような形状変化や表面の反射を表現しようという研究 [6] [7] もある。このように、パーティクルなシャボン玉を対象とした研究は行



シャボン玉 (写真中央), 体験者 (同右)

図 1 バブルディスプレイの実装の様子

われているが, リアルなシャボン玉の魅力を直接利用した研究はほとんど行われていない。

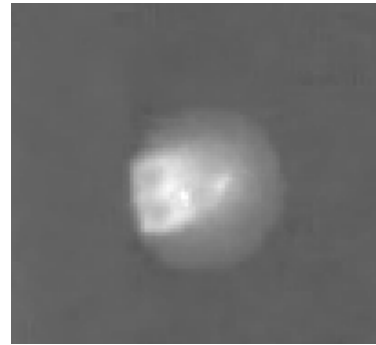
そこで本稿では, 煙入りのリアルなシャボン玉に映像を投影するバブルディスプレイ方式を提案する (図 1)。本システムでは, 図 2 (A)のように, 煙入りのシャボン玉に文字や画像を投影することができ, また映像の写りこんだシャボン玉を割ることで, きれいな音色が流れたり, 割れて拡散する煙の中に先ほどまでとは違った映像を投影 (図 2 (B)) したりといったインタラクティブな体験が可能である。このようなシャボン玉の検出および破裂判定は, カメラからの入力画像を領域分割し, その領域がシャボン玉であるかどうかを判定することで行う。同時にシャボン玉の位置と大きさも検出し, プロジェクタによって映像を投影する。

本システムはエンタテインメントシステムの提案であるため, 実際に実装して体験してもらい, 体験者に驚きや楽しさを与えることができる点を評価とする。

本稿では以降, 2 章では関連研究を, 3 章では本システムのコンセプトを説明し, 4 章では本システムの概要とシャボン玉を検出し投影するまでのプロセスについて説明し, 5 章では本システムの有用性を示すために, 実際に実装し, 体験して評価してもらった結果を示す。

## 2. バブルディスプレイ方式

本システムは, 煙入りのシャボン玉をスクリーンとして利用することで, 従来なかったような映像効果を表現することができる。シャボン玉の表面ではなく, 中の煙に映像が投影されるため, シャボン玉に映像が入り込んでいるような効果を演出することができる。また, カメラによって投影面であるシャボン玉をトレ



A : シャボン玉への投影



B : 拡散する煙への投影

図 2 映像投影の様子

ースすることで, 映像がシャボン玉に追従して宙を漂っている感覚を得ることができる。

また本システムでは, シャボン玉の破裂を判定して, それにあわせて効果音や映像の切り替えを行う。シャボン玉が自然に割れた, もしくは体験者によって割られた場合には, 検出していたシャボン玉が消失したこととして, 破裂判定を行う。そのタイミングにあわせて効果音を出力することで, 意外な破裂音を演出することができる。また, 破裂後に映像を切り替えることで, 拡散する煙特有の揺らめきなどによる映像効果を表現することができる。

このようなことを実現するため, 本稿では以下シャボン玉への投影手法および, 破裂判定によるインタラクション方法を説明する。

## 3. システム

本システムの概要図を図 3 に示す。システムの流れとしてはまず, シャボン玉発生器によって発生した煙入りのシャボン玉を, 固定カメラによって撮影し, それを画像処理してシャボン玉の位置と大きさを検出する。検出した位置にプロジェクタから検出した大きさの映像を投影する。また, シャボン玉が自然に割れた,

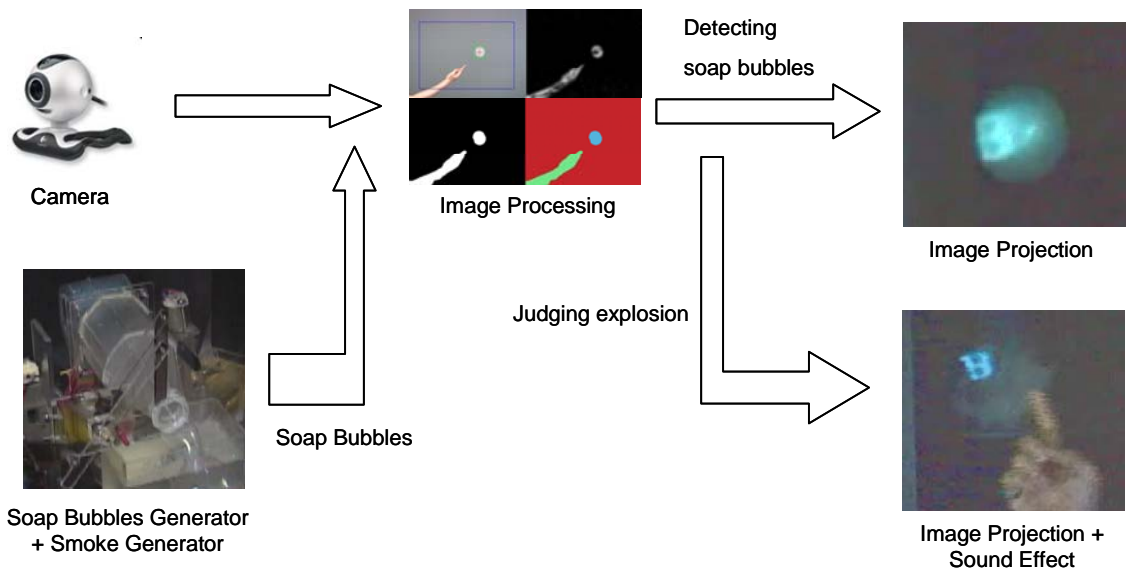


図 3 システム概要

もしくは体験者によって割られたことを判定し、スピーカーから効果音を出力したり、プロジェクタの映像を切り替えたりといった効果を演出することで、体験者に驚きや楽しさを与えることができるものである。

### 3.1. シャボン玉の検出

空中を漂うシャボン玉の検出は固定カメラで撮影した画像を画像処理することで行う。

まず、取得画像（図 4 (a)）をグレースケールに変換し、フレーム間差分（図 4 (b)）によって動いている物体を検出する。通常のシャボン玉では、明確にその形を検出することはできないが、煙を入れているためはっきりと検出することができる。そしてこの画像を Gaussian Pyramids[8]によってノイズを除去する（図 4 (c)）。Gaussian Pyramids は画像を Gaussian Filter によって階層的に縮小し、それを再びフィルターにかけ拡大することでエッジをぼかし、ノイズを除去する手法である。図 5 は Gaussian Pyramids を 3 階層まで使用した図である。入力された画像は、以下の (1) 式によって縮小される。そのとき (2), (3) 式のフィルターをかけることで、エッジをぼかすことができる。なお、拡大も同様の手順で行う。

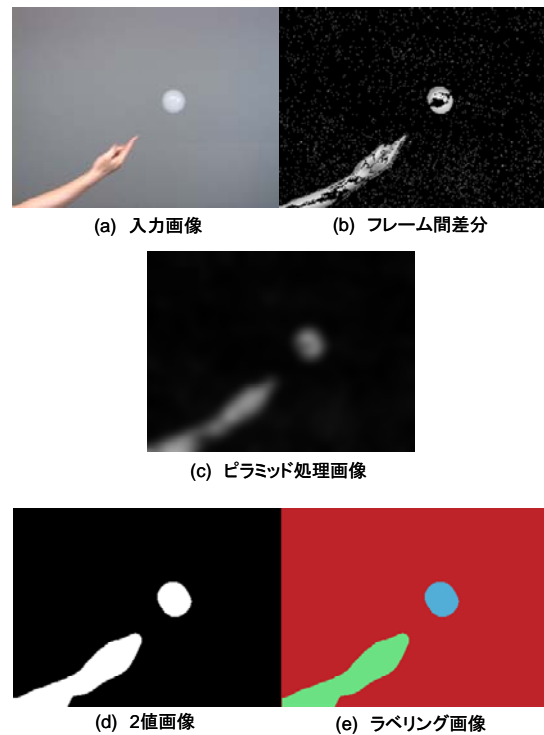


図 4 画像処理手順

$$g_i(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) g_{i-1}(2i+m, 2j+n) \quad (1)$$

$$w(m, n) = \hat{w}(m) \hat{w}(n) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \hat{w}(0) = weight \\ \hat{w}(\pm 1) = 1/4 \\ \hat{w}(\pm 2) = 1/4 - \hat{w}(0)/2 \end{cases} \left( \sum_{m=-2}^2 \hat{w}(m) = 1 \right) \quad (3)$$

なお、(3) 式における weight は今回 weight=0.375 でフィルターをかける。そして、適当な閾値によって 2 値化し（図 4 (d)）、その画像に領域分割（Labeling）処理（図 4 (e)）を施し、その時に得られた領域がシャボン玉であるか判定をする。

シャボン玉はほぼ円形で写るが、円形判別の処理は

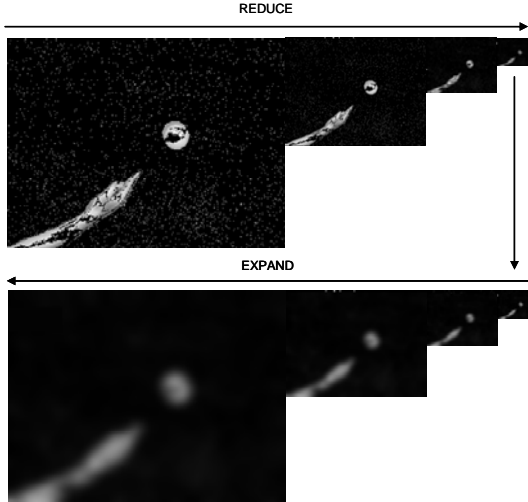


図 5 Gaussian Pyramid 処理

時間コストがかかるため、ラベリングされた抽出領域が上下左右びったり収まる四角形  $R$ 、およびその抽出領域  $S$  について以下の条件式を適用して判別を行った。なお、 $R_{width}$ 、 $R_{height}$  は四角形の縦と横の長さ、 $R_{area}$ 、 $S_{area}$  は四角形およびラベリング領域の面積とする。 $E_1 \sim E_3$  は閾値でありシステムの開始時に適宜変更する。

$$(R_{width} - R_{height})^2 < E_1 \quad (4)$$

$$S_{area} / R_{area} > E_2 \quad (5)$$

$$S_{area} > E_3 \quad (6)$$

まず、(4) 式はシャボン玉がほぼ円形なことを利用し、抽出領域が正方形に近いかどうかを判別している。また、(5) 式は四角形領域に対してラベリング領域がどれだけあるかを判別しており、円は四角形に近い値が大きく、利用者の腕などではラベリング領域の面積が四角形の面積に対して小さいため値が小さくなる。そして、(6) 式ではラベリング領域が適度な大きさかどうかを判別している。割れた後の煙が抽出された際に、シャボン玉に似た形で抽出されるため、これを誤認しないようにしている。これら 3 式すべてを満たした領域をシャボン玉であると判定し、その領域の位置と大きさを利用して、映像の投影を行う。

### 3.2. シャボン玉の破裂判定

本システムでは、シャボン玉の破裂判定を行うことで、インタラクティブな装置として利用することができる。

まず、同一シャボン玉の検出について説明する。あ

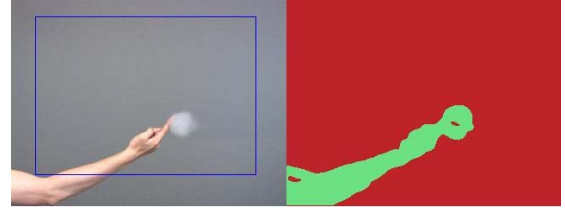


図 6 破裂時の様子

るフレームで検出されたシャボン玉が、その前フレームのシャボン玉のうちいずれと同一であるかを検出する必要がある。 $i$  フレーム目に検出されたシャボン玉  $Bbl(i, j)$  の位置と大きさを、 $i-1$  フレーム目に検出されたシャボン玉  $Bbl(i-1, k)$  の大きさ (式 7) と位置 (式 8) をそれぞれ比較し、その差が  $E_4, E_5$  より小さい場合にそれらのシャボン玉は同一であるとする。但し、 $E_4, E_5$  は閾値であり、 $j, k$  はそれぞれ  $i, i-1$  フレーム目に検出されたシャボン玉につけられた通し番号であり、その際検出されたシャボン玉は  $Num(i)$ 、 $Num(i-1)$  個存在するものとする。

$$Bbl_{size}(i, j) - Bbl_{size}(i-1, k) < E_4 \quad (7)$$

$$Bbl_{position}(i, j) - Bbl_{position}(i-1, k) < E_5 \quad (8)$$

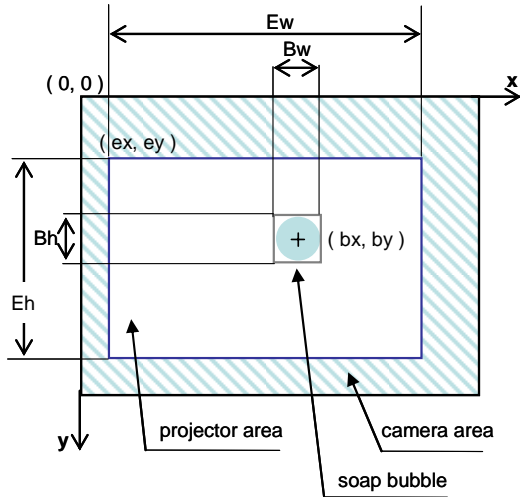
但し、 $(0 \leq j \leq Num(i), 0 \leq k \leq Num(i-1))$

上式において  $Num(i) > Num(i-1)$  であるとき、上式を満たさない  $Bbl(i, j)$  が存在し、そのシャボン玉は  $i$  フレーム目に初めて検出されたシャボン玉であるとみなす。

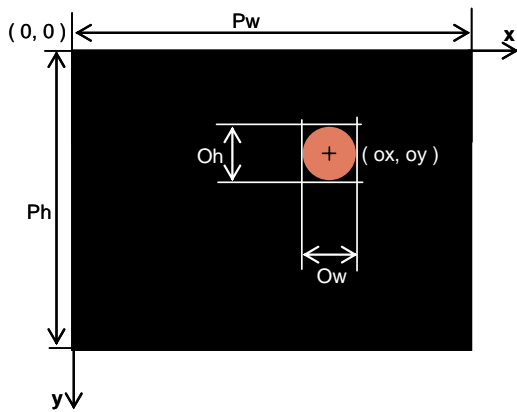
また、 $Num(i) < Num(i-1)$  であるとき、 $i$  フレーム目に検出されなかったシャボン玉が存在する。つまり、そのシャボン玉は破裂したものと判定される。シャボン玉が破裂した際には、前節の (4) ~ (6) 式のいずれかを満たさない。シャボン玉が自然に割れた際には、当然シャボン玉が消失するため検出されない。また、体験者がシャボン玉を割った場合には、図 6 のような領域分割になるため、(4) ~ (6) 式のいずれかを満たさなくなり、破裂したものと判定される。

### 3.3. 投影システム

本節では、画像処理によって検出されたシャボン玉へ、プロジェクタによって映像を投影するシステムについて説明する。投影システムでは、投影を容易にす



(a) 撮影画像の様子



(b) 出力画像

図 7 投影システム

るために、プロジェクタの光軸とカメラの光軸が非常に近く、同じ向きにあり、カメラの撮影面がプロジェクタの投影面よりも広く、投影面が中に納まっているということを前提とする。

まず、カメラの撮影画像全体をカメラ領域とする、その領域内のプロジェクタ投影面をプロジェクタ領域とし、その幅と高さを  $E_w$ ,  $E_h$  とし、左上の座標を  $(e_x, e_y)$  とする。また、4.2 節で検出したシャボン玉の中心座標を  $(b_x, b_y)$  とし、その幅と高さを  $B_w$ ,  $B_h$  とする。なお座標原点はカメラ領域の左上とし、図 7(a) のように  $x$  軸,  $y$  軸をとする。

図 7 (a) のような位置に検出したシャボン玉に映像を投影するためには、以下の式 9 を行うことで可能となる。なおプロジェクタによって出力される画像の幅と高さを  $P_w$ ,  $P_h$  とし、シャボン玉に投影する画像の中心座標を  $(o_x, o_y)$ , 幅と高さを  $O_w$ ,  $O_h$  とする。座標原点は出力画像の左上とし  $x$  軸,  $y$  軸は図 6 (b) のようにとる。

$$\begin{aligned}
 o_x &= (b_x - e_x) \times P_w / E_w \\
 o_y &= (b_y - e_y) \times P_h / E_h \\
 O_w &= B_w \times P_w / E_w \\
 O_h &= B_h \times P_h / E_h
 \end{aligned} \tag{9}$$

このような投影システムによって、ピンスポットのようにシャボン玉のみに映像を投影することができ、美しいシャボン玉を観ることができる。

また、煙入りのシャボン玉を破裂させると、中に詰まった煙が拡散する。その煙に映像を投影することが可能である。拡散する煙は事前実験より、約 2~3 秒ほどで消えてしまうことがわかっている。またおおよそその大きさに比例した広がりかたをすることもわかっている。そこで、4.3 節の破裂判定によって破裂したと判断されたシャボン玉へ投影する映像は、1.5~2 倍ほど大きく出力し、約 2~3 秒でフェードアウトする。

#### 4. 実験

本システムの有用性を示すために、実際にシステムを実装した。実験は 8 月 25・26 日に日本科学未来館で開催された IVRC[9] (国際学生対抗バーチャルリアリティーコンテスト) 東京予選大会の参加展示、および 10 月 28・29 日に岐阜県各務原市テクノプラザで開催された IVRC 岐阜本選大会において行った。それぞれ 2 日間で約 16 時間本システムを稼動し、合計 500 人以上の来場者に体験してもらった (図 8)。

なお実験においては、バブルディスプレイ方式を実際に実装した「bubble cosmos」[10]という作品として展示し、IVRC2005 において総合優勝 (Grand Prix) を得ることができた。

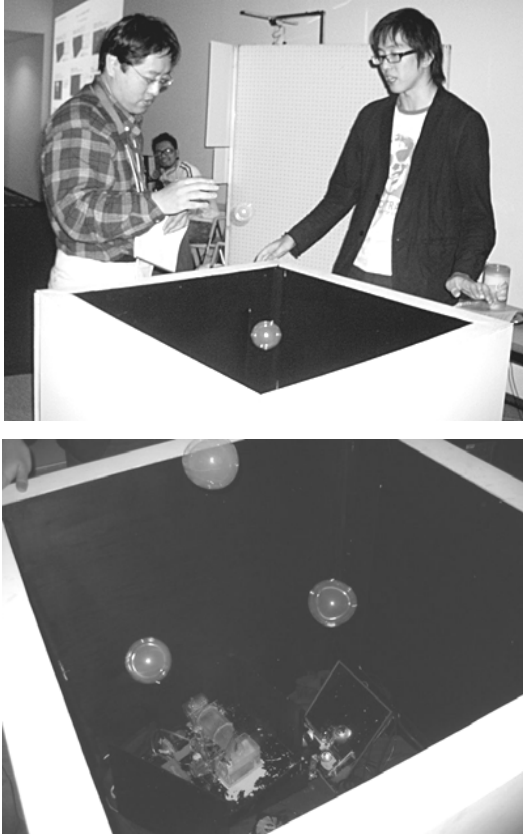


図 8 実験の写真

#### 4.1. 実験システムの概要

bubble cosmos の概観は図 7 上の写真のように、井戸型となっており、高さ 90cm、四方が 100cm の立方体のなかに、シャボン玉発生器 1 台、web カメラ (QcamPro4000:logicool 320×240) 2 台、プロジェクタ 2 台が床面に設置されている。体験者は装置四方を囲む形で体験することができ、井戸型デバイスから浮遊してくるシャボン玉を眺めたり、割ったりして楽しむことができる。

##### 4.1.1. 投影システムの構成

本実験では、4.3 節で説明した投影システムを実現するために、図 9 のような構成でカメラとプロジェクタを設置した。まず、投影システムの前提としてプロジェクタの光軸とカメラの光軸が非常に近く、同じ向きにあるという条件がある。そこで図 8 のように、プロジェクタの上部にカメラを設置し、プロジェクタの光軸とカメラの光軸の左右のずれを小さくした。そして、上空を漂うシャボン玉の撮影および投影は、装置前面にミラーを設置することで可能とした。

##### 4.1.2. シャボン玉発生器

実験で使用した、煙入りシャボン玉を自動発生させるシャボン玉発生器の概要図を図 10 に示す。本装置

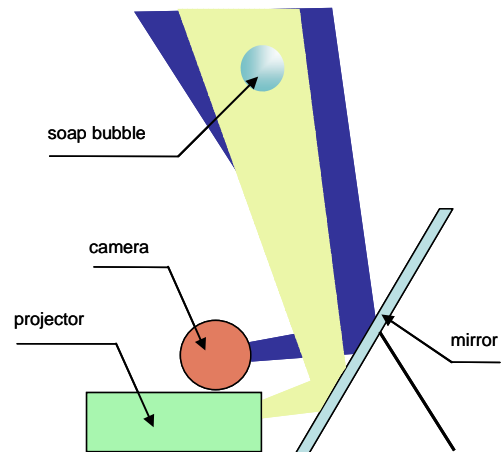


図 9 投影システムの構成

は約 15 秒間隔でシャボン玉を自動で発生させることが可能である。

まず、プラスチック製のリングを先端に取り付けたリンク機構を、末端に取り付けたモータによって上下させることによって、シャボン玉溶液槽にリングを浸しシャボン液をつけることができる。そして、後部ファンからそのリングに煙入りの空気を吹き付けることによってシャボン玉を発生させる。ファンの出力を調整することで一度に発生させるシャボン玉の個数を決めることができる。発生したシャボン玉は、前方床面に取り付けられた外部ファンによって打ち上げられ、適切な高さまで持ち上げられる。

シャボン玉に封入する煙にはロスコ液 (clear fog fluid: スモークマシン用の特殊溶液) を過熱して発生する白い煙を使用した。過熱したヒータにロスコ液を適量垂らし、そこにエアポンプから空気を送り込むことによって煙を噴き上げ、上部送風槽に蓄える。

#### 4.2. 評価

本システムの体験者にアンケート調査を行い、これを評価とした。アンケートは一般来場者 (ほとんどが専門知識をもっていない) 48 名に対して行い、単純に面白さを問うアンケートおよび簡単な記述によって答えてもらった。その結果の一部を図 11, 12 に示す。図 11 の円グラフは、本システムを体験して面白かったかどうか 5 段階の評価をしてもらった結果であり、図 12 の棒グラフは具体的にどこが面白かったか 5 項目について、上の質問で面白かったと答えた体験者に対して、複数選択できるチェックボックス形式でチェ

ックしてもらった結果である。

図 11 からわかるように、本コンテンツが面白かったかという質問に対しては、8 割近くの体験者が楽しかったという評価であった。また、どこが面白かったかという質問に対しては、ほとんどの項目で体験者が楽しむことができたという評価であった。このように本システムは、体験者が驚きや楽しさを感じることで新しいファンタクションとして有用であることが示された。

## 5. 考察

前章の実験結果より次のように考察することができる。まず、本システムの題材としてシャボン玉を利用したことへの評価が非常に高かったことが上げられる。これは、シャボン玉というアナログなインターフェースを利用していること、子供から大人まで誰もが楽しく利用できること、インターフェースを割る、消失するといった新しい体験ができる新規性のあるインタラクティブコンテンツであることなどが評価されていると考えられる。また、新しいディスプレイとしてや、インタラクティブなデバイスとしても評価されており、本研究の狙い通りの結果となったといえる。

しかし、映像によっては明度が低いため見えづらいという問題があった。明度の低い画像では煙に投影した際に、画像の色がはっきりと出ずに形を認識できないということがわかったため、今後改善していく。

## 6. まとめ

本稿では、煙入りのリアルなシャボン玉に映像を投影し、体験者がそれを割ることで、映像の変化や効果音の出力といったインタラクティブ可能なバブルディスプレイ方式を提案した。また、実際に本システムを実装し、一瞬の驚きや楽しさを体験者に与えることのできるファンタクションとしての有用性を示した。今後の課題として、現在のシステムでは映像の投影範囲が狭く、体験者に映像を提示できる範囲が限定されてしまう点について改善していくことを考えている。また、複数のシャボン玉が重なってしまった場合については考慮していないため、この点についても検討が必要であると考えている。

### 6.1. 応用例

本システムは様々な応用が考えられる。その一例を以下に示す。

#### ● 情報提示デバイス

情報提示の新しいデバイスとしての応用が考えられる。例えば、企業のエンブレムや商品名などをシャボン玉に投影し、そのシャボン玉を割ることで別スクリーンに企業 PR や商品コマーシャルなどを表示すれば、美しいインタラクティブな広告として利用可能である。また、幼児向け教育コンテンツとしても応用できる。例えば、シャボン玉に「い」の文字を投影し、それを割ると煙に「犬」の映像と犬の鳴き声を出力するものである。実験では利用者として幼児や児童にも体験し

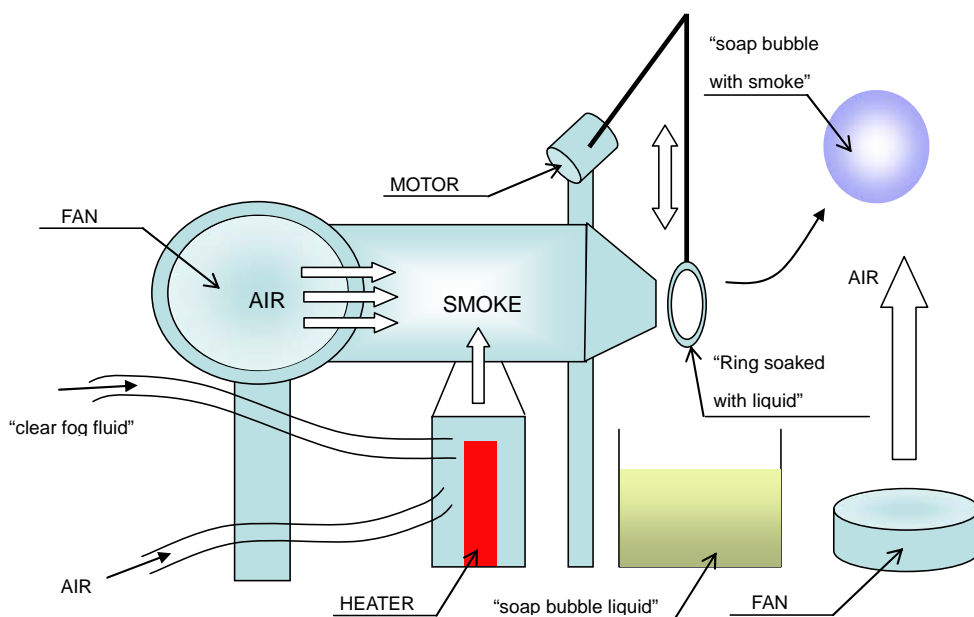


図 10 シャボン玉発生器

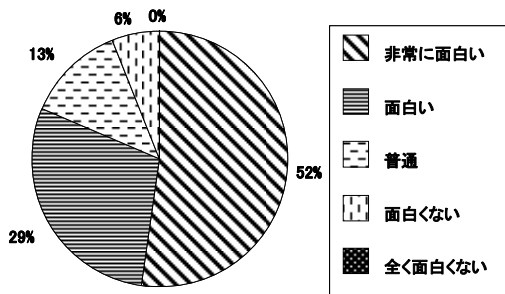


図 11 アンケート結果 1

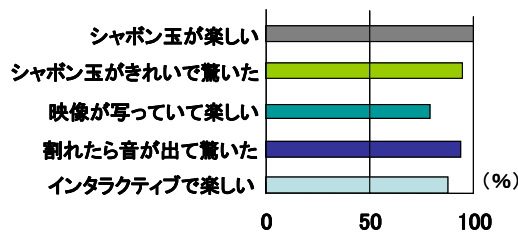


図 12 アンケート結果 2

でもらったが、非常に興味深く映像を見入ったり、割れたときの効果音などに驚いていたことからも、このような応用が教育コンテンツとして有用であると言える。

- 有機的で流動的なインターフェース  
本システムのシャボン玉の破裂判定を利用して、シャボン玉という有機的で流動的なインターフェースをスイッチとして利用できると考えられる。例えば、ジャンルごとに色分けされたシャボン玉を割ることで、設置された部屋の BGM が変化するインテリアシャッフルプレーヤーとして利用できる。ほかにも、本システムの特徴的なインターフェースを利用したアミューズメントゲームなどに応用できると考えている。

## 参考文献

[1] Ismo Rakkolainen, Karri Palovuori, "Walk-thru Fog Screen", SPIE vol. 4657, pp. 17-22, 2002.

[2] Y. Kakehi, M. Iida, T. Naemura, Y. Shirai, M. Matsushita, and T. Ohguro: "Lumisight Table: Interactive View-Dependent Tabletop

Display Surrounded by Mutiple Users," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 25, no.1, pp 48 -- 53

[3] Akihiko Shirai and Makoto Sato, "Tangible Playroom: An entertainment system using a haptic interface and body interaction", 6th Virtual reality international conference, IEEE VRIC 2004 Proceedings, pp.93-99, May, 2004.

[4] A. Cassinelli and M. Ishikawa. "Khronos Projector". Emerging Technologies, SIGGRAPH 2005, 2005

[5] Y. Okuno, H. Kakuta, T. Takayama and K. Asai, "Jellyfish Party: Blowing Soap Bubbles in Mixed Reality Space", Proc. ISMAR 2003, pp.358, 2003.

[6] H. Howards, F. Morgan, "The isoperimetric problem on surface" American Mathmatical Monthly 106, pp.430-439, 1999.

[7] F. Morgan, M. Ritore, A. Ros, "Proof of the double bubble conjecture " Electronic Research Announcements of the AMS 6, pp.459-486, 2002.

[8] P. J. Burt, E. H. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. COM-31, NO. 4, APRIL 1983.

[9] IVRC2005 official home page  
<http://www.ivrc.org/>

[10] bubble cosmos official home page  
Japanese: <http://in5.jp/bc/>  
English:  
<http://ivrc.net/arc/index.php?bubble%20cosmos%20%28b.c.p%29>