

研究論文

バブルディスプレイ： 水中の気泡を用いたインタラクティブ映像システム

佐川 俊介^{1,a)} 小川 剛史²

受付日 2013年7月15日, 採録日 2013年11月18日

概要：多様化する情報を扱うために、形状を柔軟に変化させることができ、直感的な操作が可能な新しいディスプレイの実現が期待されている。本研究では、水の透過性および流動性、人や環境に対する親和性の高さに着目し、水を用いた新しいディスプレイであるバブルディスプレイを提案する。提案ディスプレイでは、水中に発生させた気泡へプロジェクタで映像を投影することで、水中での映像提示を可能にし、ユーザが気泡の動きや形状を変化させることで、ユーザと映像とのインタラクションを実現する。インタラクションを実現するための重要な3要素として、気泡群の「形状」、「数」、「動き」に注目し、プロトタイプではそれぞれの要素の検出およびインタラクションへの応用を実現した。具体的には、透明板を用いて水中の気泡群の形状を任意に変化させる「変形」、気泡群を分割しその数に応じた映像投影を行う「切断」、波を起こし、それによって変化する気泡の動きをとらえ映像に反映させる「かき混ぜ」である。本論文では、提案するバブルディスプレイについて述べ、プロトタイプの実装によって明らかになったシステムを構築するうえでの課題について議論する。

キーワード：水ディスプレイ、気泡、透過スクリーン、インタラクション

Bubble Display: An Interactive Projection System Using Air Bubbles in the Water

SHUNSUKE SAGAWA^{1,a)} TAKEFUMI OGAWA²

Received: July 15, 2013, Accepted: November 18, 2013

Abstract: In order to deal with information which is becoming more diverse, it is expected that a new display which enable users to change shape flexibly and perform intuitive operation is developed. In this research, we propose the bubble display using air bubbles in the water focusing on the following characteristics of water (e.g., permeability, fluidity, and affinity for people or environment). In the proposed display, images are projected onto the air bubbles generated in the water by the projector. Users can interact directly with images by changing the motion and form of air bubbles. We focus on the shape, the number, the motion of the bubbles as important elements for realizing interactions between users and contents. Three operations implemented in prototype are following: “transformation” is that users change the form of the bubbles in the water by a closure plate, “cutting” is that users divide the bubbles, and “scrambling” is that users stir the water by the closure plate or their fingers. In this paper, we describe the bubble display and discuss the issues identified in implementation of the prototype.

Keywords: water display, bubbles, transparent screen, interaction

¹ 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

² 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo,
Bunkyo, Tokyo 113-8658, Japan

a) s.sagawa@ogawa-lab.org

1. はじめに

Web やゲームをはじめとする従来のデジタルコンテンツの多くは、マウスや専用のコントローラで操作し、液晶ディスプレイで表示する形態が主流であった。しかし、こ

のような既存のディスプレイでは、ただ視覚的に情報を表示するだけの1方向のものでしかなく、広告やインタラクティブアートなどの、より創造性豊かな表現が要求される現代のデジタルコンテンツに対して十分に対応できていない。そのため、今後はユーザの要求に対して、柔軟に形状を変化させることができたり、直感的に操作できたりするディスプレイが求められる。そこで注目されているのが水を媒体としたディスプレイである。水ディスプレイの1つであるフォグスクリーン [1] は、すでにアミューズメント施設や海上イベントなどのエンタテインメント分野で実用化されている。また、落下する水滴を制御し模様を描くスペースプリンター [2] は、駅前などのパブリックスペースに設置されている。これらのディスプレイは省エネルギーで大規模な演出が可能のほか、水に触れることで、その感触や温度など多感覚に訴えかけることも可能である。何より水が持つ神秘性や幻想性により、映し出される映像が人に与える印象は既存のディスプレイとは大きく異なる。このように水ディスプレイには、水自体の性質を利用した特徴が多く存在する。なかでも共通する点として、1) 水の透過性を利用した透過型ディスプレイである、2) 水は比較的容易に確保できるため、形状・サイズに制限されずに導入しやすい、3) 日常的に用いられる物質であり、人に対する安全性、周辺環境への親和性が高い、という3点があげられる。本論文では、上記の水の特徴を考慮したうえで、従来の水ディスプレイとは異なる、水中に発生させた気泡に映像を投影する新しい水ディスプレイであるバブルディスプレイ (図 1) を提案する。バブルディスプレイでは、立体感と指向性を持つ映像が映し出され、気泡独特の揺らぎを利用した表現が可能であり、水中の気泡の挙動に応じた、

ユーザと映像とのインタラクションが可能である [3], [4]。プロトタイプでは、気泡群の特徴の中で、ユーザによる操作が可能な「形状」、「数」、「動き」に着目し、ユーザがこれらを変化させることで、映像とのインタラクションを実現している。

以下、2章で関連研究について述べ、3章ではバブルディスプレイの概要について述べる。4章ではシステム構成、5章ではインタラクション実現方法について述べ、6章で映像とインタラクションに関する考察と課題を述べる。最後に7章において本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

水を用いたディスプレイには、杉原らの“かぶり型水ディスプレイ”がある [5]。このシステムでは、流水を平板に衝突させることで水膜を生成し、その水膜に向けて外部のプロジェクタから映像を投影する。体験者は水膜を被るようして、水に写った映像だけでなく水越しに見える外の風景なども観察できる。直接水に触れたり、水に包まれることによって水の流れる音や香りを体感したりすることが可能で、視覚だけでなく触覚や聴覚、嗅覚など五感で感じられるディスプレイとなっている。このように杉原らは日常生活において人や環境と非常に親和性の高い水の特長を最大限活かすことで、水ディスプレイの新たな可能性を見出した。一方、解像度の低さやインタラクティブ性の向上など技術的な課題も存在する。

次に Barnum ら [6] や、Eitoku ら [7] の水滴ディスプレイがあげられる。水滴は投射された光の大半を反射することで、広視野角のレンズとなることができる。これらのディスプレイではバルブを制御し、水滴を等間隔に落下させ、水滴1つ1つにプロジェクタで光を投影することで、様々な画像の描写を行っている。このような落下する水滴へ映像を投影するには、正確な水滴の制御もしくは投影するプロジェクタの調整が必要である。文献 [6] では、バルブ、カメラ、プロジェクタの同期制御により、リアルタイムに水滴の位置をトラッキングし、光を投影することで高解像度かつ複数レイヤからなる2.5次元のディスプレイを実現している。しかし、このシステムでは同期を図るためのキャリブレーションが非常に重要であるため、設備条件が厳しく、投影できる画像の形状、サイズにも限界がある。また、手で触れることによる画面操作が可能なインタラクティブシステムを提案しているが、まだ実現には至っていない。八木らはフォグにおける光の散乱が指向性を持つことを利用し、既存のフォグスクリーンでは不可能だった、立体的な映像表現を可能にしている [8]。空中に発生させたフォグに多方向から異なる映像を同時投影することで、体験者は視点位置によって様々な映像を見ることができる。その視点が移動する際に生じる運動視差により、体験者に

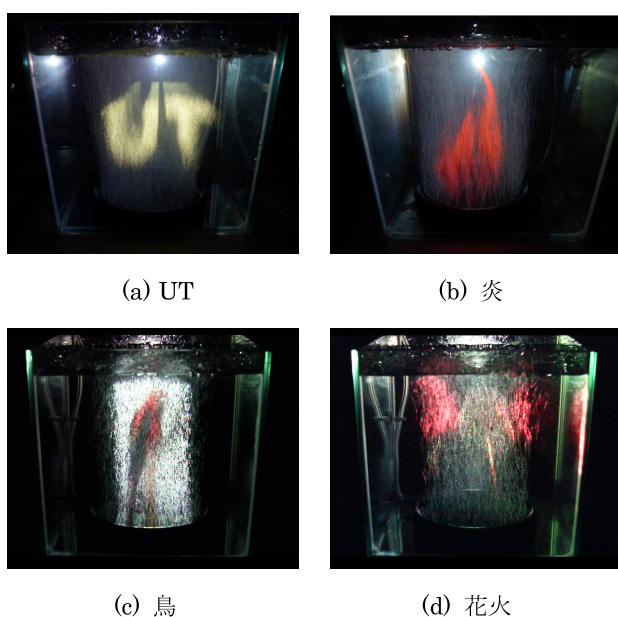


図 1 バブルディスプレイ

Fig. 1 Bubble display.

対して立体的な映像を提示することを可能にした。これは水の透過性、光学的特性を活かした、水ディスプレイ特有の表現方法といえ、筆者らが1つの目標としている多方向映像提示によるグループウェアシステムとも関連が深く、非常に興味深い。

水そのものではなく、水中の気泡を利用した例として、松村らによる“Water Canvas”や“Liquid Sculpture”などがある[9]。“Water Canvas”は、水槽内に発生した気泡で模様を描くディスプレイである。発生する気泡は水槽の底に設置された流量バルブを制御し、上昇する気泡のみで二次元的な視覚表現を可能にしている。なお、上昇する気泡をアクリルスリットで仕切っているため、気泡どうしが互いに干渉することはない。また、このシステムは体験者とのインタラクティブ性も有している。体験者はキーボードにより自由に文字を入力できるだけでなく、スピーカ付きのデバイスを持ち左右に振ると、音源の位置が特定されて、スピーカの位置に対応する部分のバルブから気泡を発生させるといった操作が可能である。松村らは、水自体ではなく水中を上昇する気泡という自然現象に注目し、これまでほとんど研究されてこなかった気泡独特の“揺らぎ”による癒しを効果的に表現した。しかし、このシステムでは表示できる情報は単純な二次元形状のみで、カラー表現はできないためディスプレイとして汎用性が高いものとはいえない。“Liquid Sculpture”は、水槽を円柱状にすることで三次元的な表現を可能にしている。体験者は立ち位置で描画する模様を選択することができる。上昇する気泡の空間的配置のみで模様が描かれているという点は変わらず、“Water Canvas”と同様に、表現できる情報には大きな制限がある。

3. バブルディスプレイ

3.1 概要

従来の水ディスプレイは空間中あるいは水面に映像を投影するものしか存在せず、水中での映像提示は不可能であった。提案するバブルディスプレイは、水中に映像が提示し、ユーザと映像との相互作用が可能なインタラクティブディスプレイである。

水に映像を投影するには、文献[6], [7], [8]のように水滴やフォグ状にした水に光を投射することで、光を散乱させて、映像を提示していたが、水中で同様の仕組みを利用することは不可能である。そこで、本研究では、水中に発生させた気泡に光を投射して、映像を提示する。従来研究とは、水と空気が逆の構造ではあるが、気泡が水滴と同様の役割を果たしている。十分に小さい透明な気泡へ投影された光は、大部分が反射せずに透過し、通り抜ける過程で光を散乱させる。そのため、気泡はレンズのような役割を果たし、まるで自らが発光しているかのように見え、気泡の1つ1つが一般のディスプレイのドット1つに対応するよ

うに、気泡が集まることでディスプレイとしての機能を果たす。

3.2 インタラクション

バブルディスプレイにおいて、映像を提示するために水中で発生させた気泡は、独特の揺らぎを持ちながら浮力によって上昇し、水面にて破裂する。この一連の動作過程において、水中の気泡に対しユーザが様々なインタラクションを起こすことで、リアルタイムに投影する映像を変化させて、インタラクティブコンテンツの提示を実現する。水中で発生させた気泡群には、その形状や数、気泡そのものの動きや大きさなど、様々な要素が存在すると考えられるが、本論文では、ユーザが制御（変化）させやすいと考えられる「形状」、「数」、「動き」に着目し、それらを用いてユーザのインタラクション「変形」、「切断」、「かき混ぜ」を実現する。

変形：ユーザが映像を投影している気泡を手や物を用いて遮ったり潰したりすることで形状を変化させる操作である。この操作は、気泡群の形状を認識することで実現できる。気泡群の形状は、気泡群内に存在するオブジェクトの形状を認識したり、投影される映像自体の形状を変化させたり、映像コンテンツの投影範囲を制限したりすることに利用できる。「変形」のインタラクションコンテンツ例を図2に示す。水中で発生させた気泡はあらゆる方向に揺らぎながら上昇し、気泡群は台形に近い形状を形成するが、ユーザは上昇する経路を板で遮断することで、気泡群を異なる形状に変えることができ、その形状変化に応じた映像が提示される。たとえば、赤いボールがバウンドを繰り返しながら、気泡群内を自由に動くアニメーションにおいて、気泡

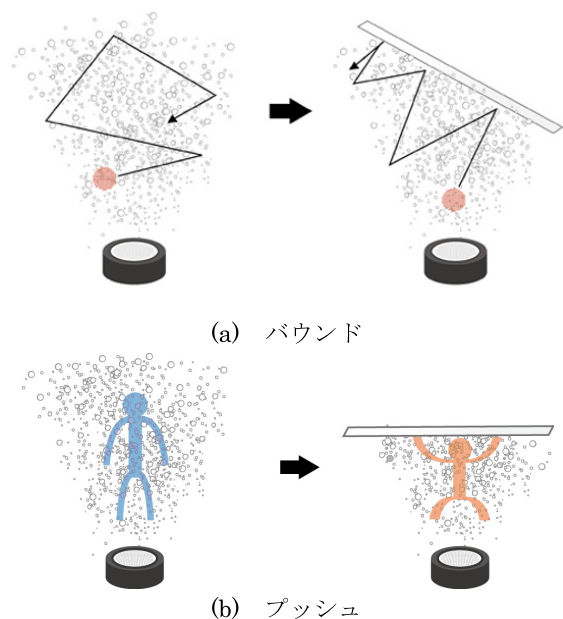


図2 変形インタラクションの例

Fig. 2 An example of transformation interaction.

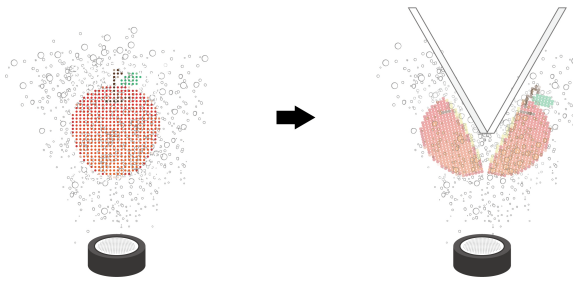


図 3 切断インタラクションの例

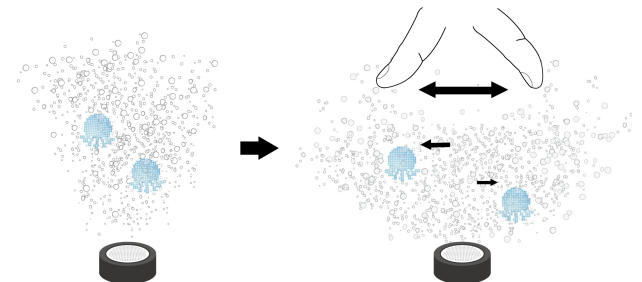
Fig. 3 An example of cutting interaction.

群の形状に合わせてその移動範囲を設定すれば、ユーザは任意の角度で透明板を挿入することで、ボールの動く範囲を変えることができる (図 2(a)). また、透明板で気泡群形状を徐々に潰していくと、投影されている人間も潰されてしまうようなインタラクションも可能である (図 2(b)).

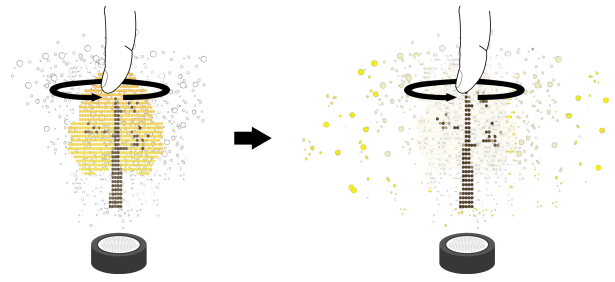
切断: ユーザが映像を投影している気泡を手や物を用いて遮って気泡群を分割する操作である。この操作は気泡群の数を認識することで実現できる。また、ユーザの操作をともしない場合でも、気泡の発生源が複数個存在するような状況において数を利用できる。たとえば、1つの気泡群が元と同じ大きさの2つの気泡群に変化した場合には、映像としては切断よりも分裂 (複製) のようなコンテンツがふさわしい場合も考えられる。状況に応じたコンテンツの提示が可能である。「切断」のインタラクションコンテンツ例を図 3 に示す。提示されているリングに板を挿入し、気泡群を2つに分割するとリングが割れるコンテンツとなっており、気泡群の形状も利用すれば、任意の場所でカットできるリングを映し出すことが可能である。

かき混ぜ: 指や物などで水中をかき混ぜることで波を作り出し、気泡の流れを変化させる操作である。この操作は、気泡の動きを認識することで実現可能である。バブルディスプレイにおけるインタラクションは、水中で指や物を動かすことが想定されるため、かき混ぜに限らず、水流や波といった水の動きが生じる。通常、水の動きを目で確かめることはできないが、気泡群の動きを介することで水中での大まかな動きを検出することが可能となる。「かき混ぜ」のインタラクションコンテンツ例を図 4 に示す。水中を漂うクラゲは、気泡の動きに応じて、水中を移動する。水をかき混ぜることで、気泡に動きが生じ、気泡の移動方向や流れの強さによってクラゲの動きも変化する (図 4(a)). また、いちろうの木が投影されている気泡を指でかき混ぜることにより、拡散された気泡1つ1つがいちろうの葉になったかのように黄色に投影される (図 4(b)).

「変形」、「切断」、「かき混ぜ」以外にも、気泡群の「形状」、「数」、「動き」といった要素を組み合わせることで、3つのインタラクションとは異なる複雑なインタラクションを実現することも可能となる。図 5 に想定される複合インタラクションの例を示す。「数」要素と「動き」要素を組み



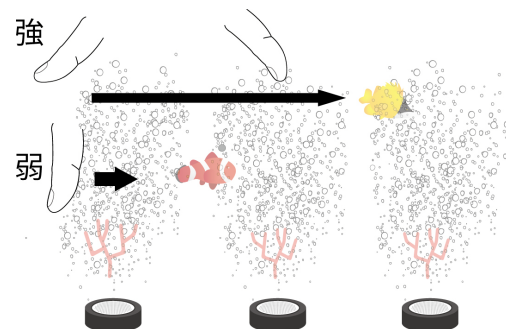
(a) クラゲ



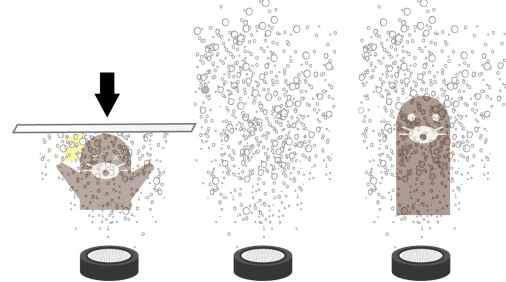
(b) いちろう

図 4 かき混ぜインタラクションの例

Fig. 4 An example of scrambling interaction.



(a) 「数」 + 「動き」



(b) 「形状」 + 「数」

図 5 複合インタラクションの例

Fig. 5 An example of multiple interaction.

合わせることで、複数の気泡群間で魚の移動を行うことができ、起こす波の速さによって魚の移動先を変えることも可能である (図 5(a)), また、「形状」要素と「数」要素を組み合わせることで、もぐら叩きのようなゲームもできるようになる (図 5(b)).

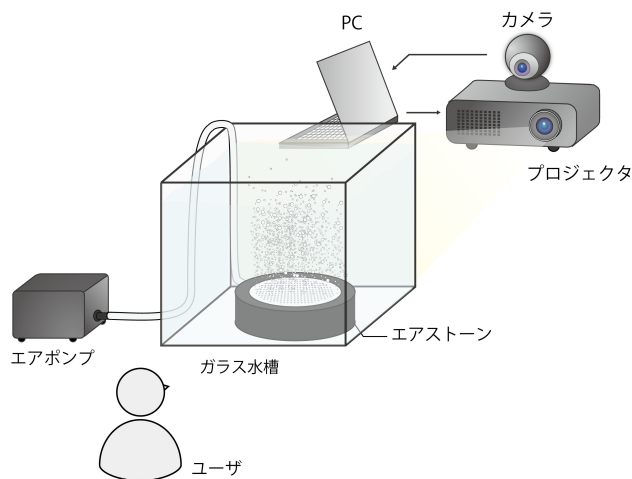


図 6 システム概略図
Fig. 6 System overview.

表 1 システムの諸元
Table 1 Properties of system.

気泡生成	ガラス水槽	W200×D200×H200mm (7L)
	エアストーン	Φ132mm, 円形タイプ
	エアポンプ	ノンノイズ S-500 (日本動物薬品株式会社製), 吐出量 2L/分程度
映像投影	プロジェクタ	MPRO120 (住友スリーエム社製)
	方式	LCOS
	画素数	640×480 Pixels
	明るさ	12 lm
映像取得	カメラ	Webcam C615 (Logicool 社製)

4. バブルディスプレイの構成

本章では、提案システムの概要と投影される映像について述べる。

4.1 システム

本システムの概略図を図 6 に、システムを構成する装置の諸元を表 1 に示す。W200 × D200 × H200mm (7 リットル) の立方体ガラス水槽の中に、直径 132mm のエアストーンと水道水を入れ、エアポンプによって空気を送り、気泡を発生させる。エアポンプは吐出流量が毎分約 2 リットルのものを使用している。この発生した気泡に、住友スリーエム社製のポケットプロジェクター MPRO120 を使用して、水槽の背面から映像を投影する。また、同プロジェクタ上部に Logicool 社製 Web カメラを固定しリアルタイムで気泡の映像を取得している。この取得した映像から、PC で気泡の挙動を抽出、適切な処理を施し、投影する映像の制御を行う。

4.2 水中の気泡への映像提示

図 7 に、実際に気泡へ映像を投影した様子を示す。

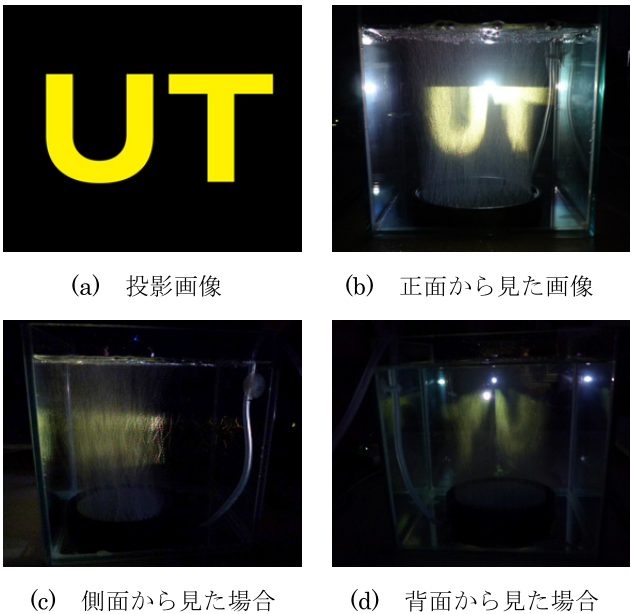


図 7 各方向から見た投影画像
Fig. 7 Projection image from each direction.

図 7(a) が今回投影した、黒地に黄色の文字で「UT」と記した画像である。図 7(b) はこの画像を実際に投影し、前面から気泡を見た様子であり、図 7(c) は側面から気泡を見た様子、図 7(d) は背面であるプロジェクタ側から気泡を見た様子である。前面から見た場合、気泡に映像が鮮明に映し出されており、まるで宙に浮いているような印象を受ける。側面から見た場合、気泡部分のみが色づいており、水中には何も投影されないことが分かる。背面から見た場合、わずかながら水槽壁面で映像が反射し、映し出されているが、気泡自体にはまったく映像は投影されていない。つまり、本ディスプレイは、プロジェクタに対して正面から見た気泡部分にのみ映像が映し出される、指向性の強いディスプレイである。

5. バブルディスプレイのインタラクション手法

本章では、3 章で述べた 3 つのインタラクションである「変形」、「切断」、「かき混ぜ」について、具体的な実現方法を説明する。

5.1 変形

「変形」インタラクションの処理内容について説明する。図 8 が実際にインタラクションしている様子である。プロトタイプでは、気泡群全体の形状取得のため、OpenCV でフレーム間の差分から動体の検出を行っている。気泡群の形状を変形させるために挿入した物を検出するのではなく、気泡を直接検出するようにしたことで、ホースからの水流で気泡群を変形させるような場合にでも対応できる。気泡の映像はプロジェクタ上に固定したカメラから毎秒

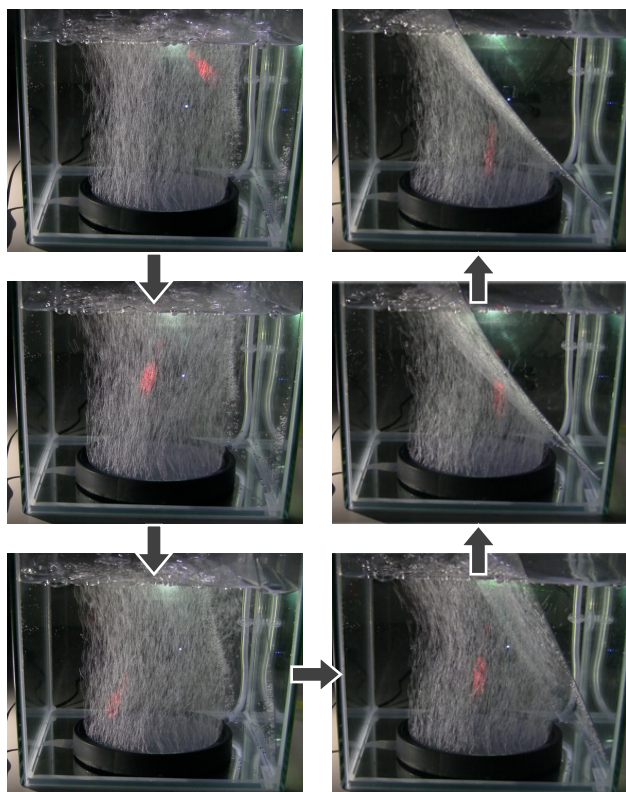
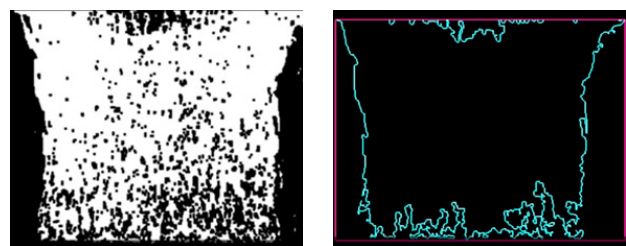


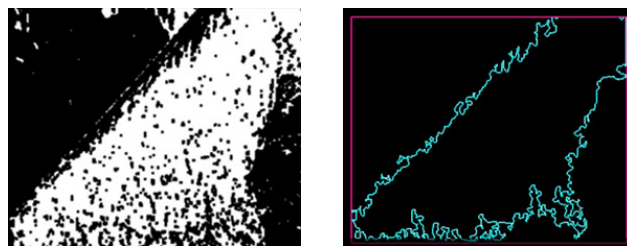
図 8 変形インタラクションの様子
Fig. 8 Transformation interaction.



(a) 二値化した画像 (b) 輪郭を抽出した画像

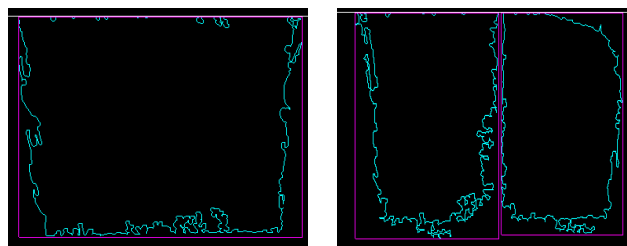
図 9 発生した気泡群形状の検出
Fig. 9 Detection of bubbles shape.

30 フレームで取得する．取得した映像から毎フレーム，1 フレーム前の画像と現在のフレームの画像との差分絶対値をとり，設定した閾値で二値化することで，動いている気泡群の輪郭をリアルタイムに抽出した．図 9 に得られた画像を示す．図 9 (a) は 1 フレーム前との差分を二値化して得られた画像である．図 9 (b) はその画像から輪郭線を描画した画像である．また，気泡群の形状を変化させる目的で，水の中に透明な板を斜めに挿入し，発生した気泡の上昇する方向を制限することで気泡群の形状を三角形に変化させた．そのとき，得られた画像を図 10 に示す．図 9 と同様に，図 10 (a) が差分を二値化して得た画像であり，図 10 (b) がその輪郭線を描画した画像である．オブジェクトの描画には openFrameworks を用いており，得られた輪郭内でバウンドし続けるアニメーションを描画・投影して

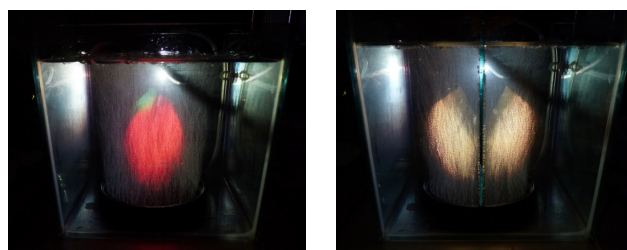


(a) 二値化した画像 (b) 輪郭を抽出した画像

図 10 変形した気泡群形状の検出
Fig. 10 Detection of transformed bubbles shape.



(a) 通常時輪郭線 (気泡群 1 つ)
(b) 切断時輪郭線 (気泡群 2 つ)



(c) 通常時の投影様子 (d) 切断時の投影様子

図 11 切断インタラクションの様子
Fig. 11 Cutting interaction.

いる．

5.2 切断

「切断」インタラクションの処理内容について説明する．図 11 が実際にインタラクションしている様子である．基本的な処理の流れは，「変形」インタラクションと同様であり，フレーム差分により気泡群の検出後，輪郭線の抽出を行っている．その後，取得した気泡群の数に応じて，投影する映像を切り替えるが，その際に，輪郭線内に収まるように画像をリサイズし，画像が輪郭の中心座標になるように描画している．図 11 (a) では，1 つの大きな気泡群が認識されているが，図 11 (b) では透明板を中央に挿入したことにより，認識された気泡群が 2 つになっている．対応するように投影される映像も切り替わっている．図 11 (c)，図 11 (d) は実際に投影された映像の様子である．

5.3 かき混ぜ

「かき混ぜ」インタラクションの処理内容について説明

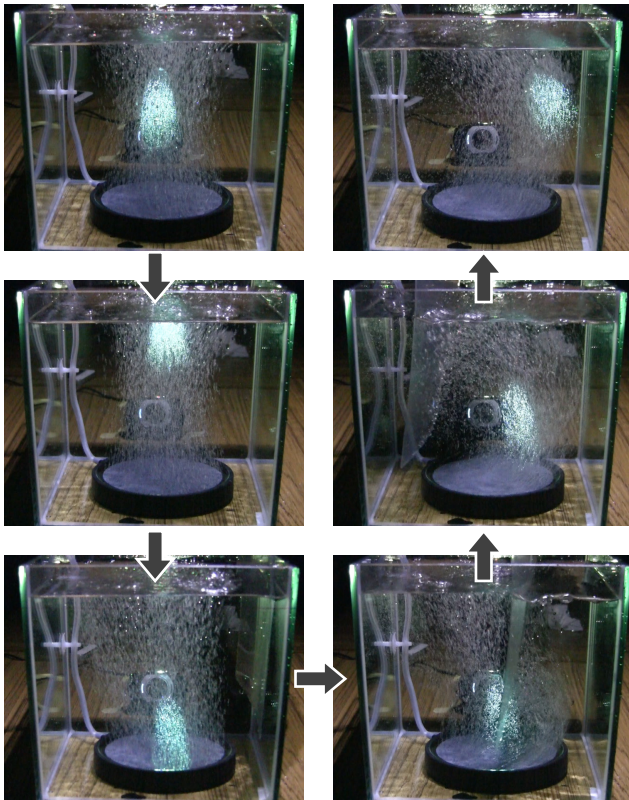


図 12 かき混ぜインタラクションの様子
Fig. 12 Scrambling interaction.

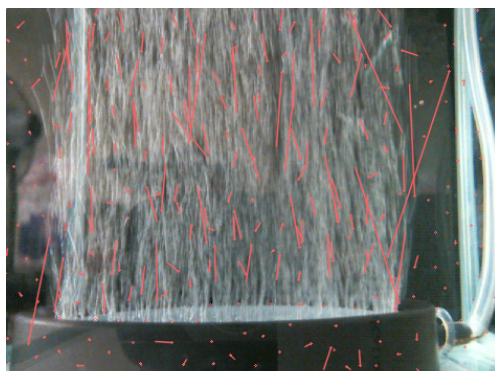


図 13 オプティカルフローの検出
Fig. 13 Detection of optical flows.

する．図 12 が実際にインタラクションしている様子である．気泡の動き検出にはオプティカルフローを用いる．オプティカルフローとは，画像の輝度値に基づいて各点の速度ベクトルを計算し，物体のフローを検出する手法である．実装では OpenCV で，勾配法の中の Lucas-Kanade 法を用い，疎な特徴点におけるフローを算出している．かき混ぜに関しても，透明板や指以外で動きを生起させることも想定されるため，道具ではなく気泡自身の動きを検出する方法を採用している．検出の様子を図 13 に示す．各特徴点におけるベクトル（フロー）を算出した後，得られた映像を 12×9 に分割，各ブロックにおいて，そのブロックを始点とするベクトルを加算する（図 14）．各ブロックにつき

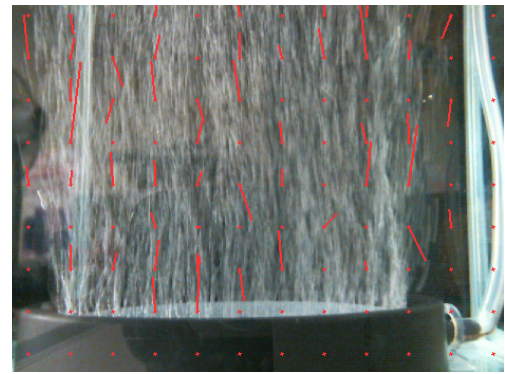


図 14 各ブロックにおける気泡の移動量
Fig. 14 Moving distance of bubbles in each block.

1 つ， 12×9 個のベクトルとした後，上昇するクラゲが位置するブロックのベクトルを移動量に足すことで，クラゲの動きを変化させている．

6. 考察

6.1 映像提示

本システムでは，表示される画像の解像度は気泡 1 つ 1 つの粒子径に大きく依存する．それ以外にも，エアストーン径やポンプ流量による気泡の密度，投影画像の解像度や輝度などの影響も考えられ，ディスプレイの性能評価を行う必要がある．また，映像投影の際にわずかに水槽に画像が映し出されるという問題が発生したため，PL フィルタによる反射抑制を検討している．4 章で述べたとおり，本ディスプレイではプロジェクタの投影方向によって，ただ 1 方向からのみ映像を見ることができると指向性を持つ．そのため，複数光源を用いることで，1 つのディスプレイに対し複数の映像を投影できるようになり，ユーザは自分の位置によって見る映像を選択できるようになる．そして，本ディスプレイが持つ立体感に加え，気泡発生源の制御により提示できる奥行き方向移動を用い，3D ディスプレイとしての応用を考えている．

6.2 インタラクション

実装したシステムは，気泡群の形状，数，動きの 3 つの要素に注目した基本的なコンテンツではあるが，それぞれの特徴を検出しインタラクションとして応用できることが確認できた．今後は，この 3 要素を組み合わせることによって，3 章で提案したような，より複雑なインタラクションの実現を目指す．また，現在の気泡検出では，背景ノイズや細かな気泡の動きに対応できておらず，精度の高い検出は望めない．より高い制御を行うためには，アルゴリズムの最適化だけでなく，赤外線カメラによる映像取得も採用したい．現在のシステムでは，二次元的に映像を取得しているため，「変形」，「切断」によるインタラクションの際，カメラに対して平行に透明板を挿入しなければ，投影

する映像にズレが生じてしまう。「かき混ぜ」の際も同様で、検出できるフローは二次元方向のベクトルのみであり、前後方向の動き考慮できていないため、投影できるコンテンツには大きな制限がある。バブルディスプレイが持つ、立体感や気泡の揺らぎを最大限に活かすためには、複数台のカメラを用いた三次元的な気泡群の検出が必要である。また、気泡発生方法に関しても、現在の単一のエアストーンではなく、グリッド状に細分化したエアストーンを敷き詰め、気泡発生位置を制御したい。プロジェクタ、カメラに加え、エアストーンでの同時処理が可能になれば、より複雑なインタラクションや先に述べた 3D 映像の表現も可能になると考えられる。

7. おわりに

本論文では、新たな水ディスプレイの 1 つとして、バブルディスプレイを提案した。本ディスプレイは、水中に発生させた気泡に対し、プロジェクタで投影することでバブルをスクリーンとして映像を提示している。投影される映像は、気泡の揺らぎによる効果や立体感により、既存のディスプレイとは大きく異なった印象を与えるとともに、気泡の散乱現象を利用しているため、指向性を持つ映像提示も可能である。また、本システムでは、ユーザと映像とのインタラクションを可能としており、プロトタイプにおいて気泡群の「形状」、「数」、「動き」という要素に着目した、「変形」、「切断」、「かき混ぜ」の 3 つのインタラクションを実装した。「変形」と「切断」は、フレーム間差分により気泡群の形状を抽出、「かき混ぜ」では、オプティカルフローにより気泡群の動きを検出することで、目的の処理を行っている。今回の実装では一般的な水槽サイズで行ったが、水族館などの大型の水槽やプールでの活用も考えられる。大型化により、気泡発生方法、映像投影、カメラ設置など機材やパラメータ調整に関する課題は残るが、インタラクション手法に関しては、魚やスイマが直接的に気泡に触れることで形状や動きに変化を与えることは可能であると考えている。また、気泡群の 3 要素を用いる手法は水槽の規模にかかわらず応用できると考えている。今後は、この 3 要素の検出方法を組み合わせることで、より複雑な操作を実現することや、提示する映像の解像度と検出の精度の向上、気泡発生源の制御や複数方向から映像取得などの新たな機能実現について検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C) (25330227) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] FogScreen Projection Screen, available from (<http://www.fogscreen.com>) (accessed 2013-07-15).
- [2] 光栄：最新技術，入手先 (<http://www.koeiaquatec.co.jp/>

index.php?data=../data/cl2/) (参照 2013-07-15).

- [3] 佐川俊介，小川剛史：映像とのインタラクションを可能にするバブルディスプレイの提案，情報処理学会研究報告，Vol.2013-DCC-3, No.13 (2013).
- [4] 佐川俊介，小川剛史：バブルディスプレイにおける水の特性を考慮したインタラクション手法，DICOMO2013 シンポジウム論文集 (2013).
- [5] 杉原有紀，館 暲：かぶり型水ディスプレイの開発，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.6, No.2, pp.145-152 (2001).
- [6] Barnum, P.C., Narasimhan, S.G. and Kanade, T.: A Multi-Layered Display with Water Drops, *ACM Trans. Graph.*, Vol.29, Issue 4, Article 76 (2010).
- [7] Eitoku, S., Nishimura, K., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Study on Design of Controllable Particle Display Using Water Drops Suitable for Light Environment, *Proc. 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp.23-26 (2009).
- [8] 八木明日華，井村誠孝，黒田嘉宏，大城 理：多視点観察可能なフォグディスプレイ，情報処理学会インタラクション 2011, 1INH-5 (2011).
- [9] 松村誠一郎，鈴木太朗，荒川忠一，伊藤隆道：気泡と音響を用いたインタラクティブアート，環境芸術学会論文集，Vol.2, pp.29-36 (2002).



佐川 俊介 (学生会員)

2012 年上智大学理工学部機能創造理工学科卒業。現在，東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻修士課程在学中。インタラクティブディスプレイに関する研究に従事。



小川 剛史 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同研究科博士後期課程中退後，同大学サイバーメディアセンター助手。2007 年東京大学情報基盤センター講師，2010 年同准教授となり，現在に至る。拡張現実感，ヒューマンインタフェース，グループウェア等に関する研究に従事。博士 (情報科学)。