

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

佐川 俊介^{†1,a)} 小川 剛史^{†2,b)}

概要: 多様化する情報を扱うために、柔軟に形状を変化させることが可能で、直感的な操作ができる新しいディスプレイの実現が期待されている。本稿では、水が透過性、流動性、人や環境への親和性が高いことに着目し、水を用いた新しい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可能にする。提案システムの実現に向け、まず、画像処理による動体検出で気泡を検出し、リアルタイムで気泡群の形状を抽出する機構を実装した。

キーワード: 水ディスプレイ, 気泡, インタラクション, 動体検出

A Proposal of Bubble Display allows Interaction with Projection

Shunsuke SAGAWA^{†1,a)} and Takefumi OGAWA^{†2,b)}

Abstract: In order to deal with the various forms of complex and diversified information, realization of the new display, which enable users to operate information intuitively by changing its shape flexibly, are expected. In this paper, we propose the idea of new water display; focusing on the characteristics of water's transparency, liquidity, and the high affinity for the people and the environment. Our proposed display projects an image to the air bubbles inside the water, where the shapes and the movement of air bubbles itself can be changed by users; allowing the interaction between the users and the projected images. In order to materialize this idea; we first structured a program which captures the shapes of air bubbles through the use of motion detection, and created a system which presents its captured images in real-time.

Key words: water display, bubble, interaction, motion detection

1. はじめに

近年、SNSのような情報伝達手段やスマートフォンなどの小型デバイスの発達により我々が扱う情報の量は劇的に増加し、その形式も多様化してきている。しかし、ほとんどのデバイスで表示・出力に用いられる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一方のものだけでなく、また、途中でディスプレイの形状、サイズを変えることができないなど、多様化する情報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、柔軟に形状を変化できることや直感的に操作が可能なディスプレイが求められる。そのようなディスプレイの例として有機 EL ディスプレイ[1]などが挙げられるが、特殊な素材と技術を必要とするため生産コストが高い。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。

水ディスプレイのひとつであるフォグスクリーンは、既にアミューズメント施設などのエンターテイメント分野において実用化されており、水という自然な素材であるためパブリックスペースなどにも受け入れられやすい。また、水独特の波や濡れという現象を用いることで聴覚や触覚を刺激し、マルチモーダルな表現方法も可能となる。他にも水ディスプレイは下記のような特長をもつ。

- 1)水の透過性を利用した透過型ディスプレイである。
- 2)形状・サイズに制限がなく、大規模な演出が可能である。
- 3)人に対する安全性、周辺環境への親和性が高い。

本稿では、今までの水ディスプレイとは異なり、水中に発生させた気泡に映像を投影するディスプレイを提案する。水をかき混ぜたり、波を起こすといったユーザの行動によって、気泡の動きや形状を変化させることができる。そこで提案ディスプレイでは、水中に発生する気泡の挙動に注目し、気泡の形状変化に対応した画像を提示することでユーザと映像とのインタラクションを可能にする。つまり、本システムではユーザがディスプレイ自体に直接干渉することになるため、変形・生成などの操作も実現可能である。

^{†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.

^{†2} 東京大学情報基盤センター

Information Technology Center, The University of Tokyo.

a) qq126313@iii.u-tokyo.ac.jp

b) ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp

これは今までのディスプレイにはなかったインタラクションであり、新たな表現方法と直感的操作性の向上として期待できる。

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[2]。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、水に含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事が可能で、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に課題は存在する。

次に Barnum ら[3]や、永徳ら[4]の水滴ディスプレイが挙げられる。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、水滴一つ一つにプロジェクタで光を投影することで、さまざまな画像の描写を行っている。本来、このような落下する水滴への投影には、正確な水滴の制御が投影するプロジェクタ側の調整が必要である。文献[3]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。しかしながら、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。

他には、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[5]。“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、気泡同士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言えない。“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. 提案システム

3.1 目標とするシステム

本研究では、水中に気泡を生成し、上昇していく気泡にプロジェクタで映像を投影することで、気泡をスクリーンとした新しい水ディスプレイを提案する。また、上昇する気泡をユーザが直接触れる事で気泡の形状が変わり、その形状を検出し、リアルタイムで投影する映像を変化させるインタラクティブ水ディスプレイを目指す。

3.2 インタラクション

水中で発生した気泡は独特の揺らぎをも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で、水中の気泡に対しユーザがさまざま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される映像が変化する。図1に想定しているインタラクションの例を示す。図1(a)は透明のアクリル板などで敷居を作り、形成される気泡群の形状を変えたときの例である。通常時はそのままのりんごが投影されているが、透明板によって気泡群を中心から半分に分けると、それに合わせてりんごも切られたように投

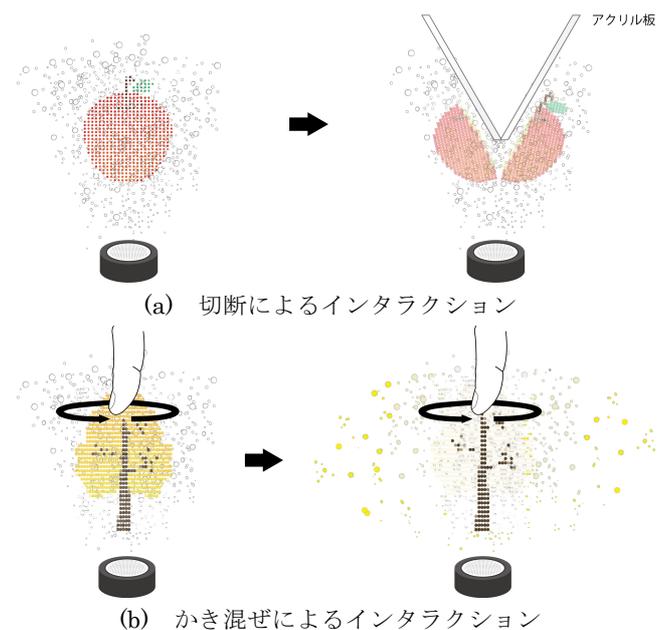


図1 インタラクション例

影される。板の挿入の仕方によって、気泡群の輪郭はさまざまに変化し、それに対応するように映像が切り替わる。図 1(b)はかき混ぜによって、気泡が拡散したときの例である。いちょ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、拡散された気泡一つ一つがいちょうの葉になったかのように黄色に投影されている。通常気泡は、動きのない水の中では浮力によって上昇していきただけであるが、指などで水中をかき混ぜると、渦を巻くようにして拡散する。この拡散する気泡一つ一つをトラッキングし、対応した映像を投影する。他のインタラクションとしては注射器を使用して、水圧で気泡を吹き飛ばす、あるいは水中の何もない所から気泡を発生させるといった、注入によるインタラクションなども想定している。

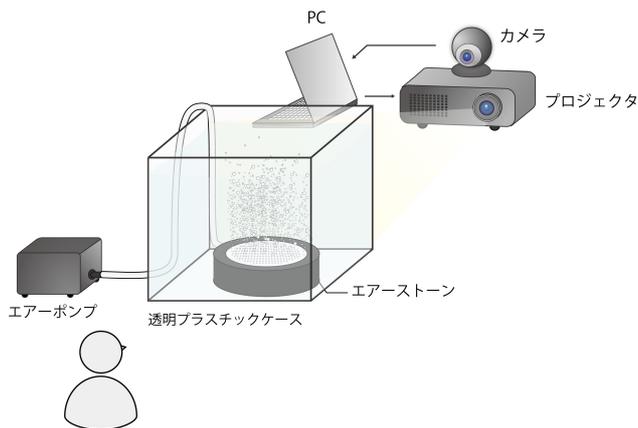


図 2 システム概略図

4. 実装

4.1 水中の気泡への投影

本システムの概略図を図 2 に示す。90×90×75mm の透明プラスチックケースに直径 60mm の市販のエアストーンと水を入れ、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約 1 リットル/分のものを使用している。この発生した気泡に対し、住友スリーエム社製、明るさ 12 ルーメンのポケットプロジェクタを用いて背面から映像を投影する。また、同プロジェクタ上にカメラを固定しリアルタイムで気泡の形状を取得する。図 3 に、実際に気泡へ映像を投影した様子を示す。図 3(a)が今回投影した、プロジェクタの起動画面で表示される住友スリーエム社の会社ロゴ画像*1)である。図 3(b)は前面から気泡を見た場合であり、気泡に画像が鮮明に写し出されており、まるで宙に浮いているような印象を受ける。図 3(c)は側面から気泡を見た場合であり、うっすら気泡に色づいている以外にはほとんど何も見えない。図 3(d)は背面であるプロジェクタ側から気泡を見た場合であるが、気泡には何も投影されているようには見えない。つまり、本ディスプレイではプロジェクタを投影する方向の一方のみから映像を見ることができる。これは文献[3]や文献[4]の水滴ディスプレイと、水と空気が逆の構造ではあるが、同様な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るようになり、気泡一つ一つがドット一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。ただし、水滴ディスプレイと本システムの異なる点として、前者は落下する水滴に触れるだけでその形状に影響を与えることはできないが、後者はユーザが手でかき混ぜたり、波を起こすことによって気泡の形状、つまりディスプレイ自体を變形させることが可能である。

*1) 住友スリーエム社企業ロゴ



(a) 投影画像
 (プロジェクタ起動画面)



(b) 正面から見た画像



(c) 側面から見た場合

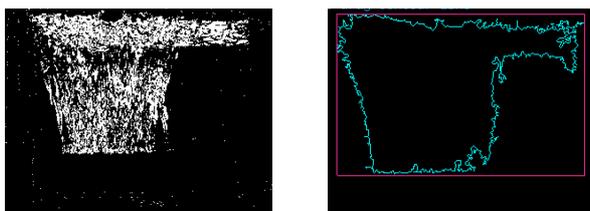


(d) 背面から見た場合

図 3 各方向から見た投影画像

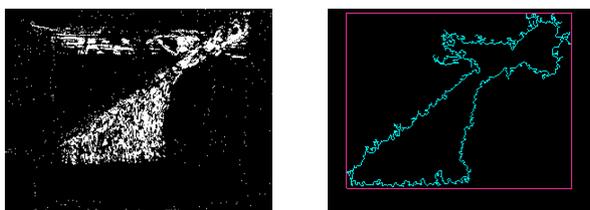
4.2 気泡群の形状の抽出

本システムではディスプレイにインタラクティブ性を持たせることを目的としているため、発生した気泡のトラッキングを行い、その形状に応じて画像を切り換える必要がある。そのため、今回は画像処理にて気泡の形状を検出する。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 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取り、設定した閾値を境に二値化することで、リアルタイムで動いている気泡群の輪郭を抽出した。図 4 に得られた画像を示す。図 4(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 4(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、水の中に透明なプラスチック板を斜めに挿入し、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。その時、得られた画像を図 5 に示す。図 4 と同様に、図 5(a)が差分を二値化して得た画像であり、図 5(b)がその輪郭線を描画した画像である。図 4, 5 とも



(a) 二値化した画像 (b) 輪郭を抽出した画像

図4 発生した気泡群形状の抽出



(a) 二値化した画像 (b) 輪郭を抽出した画像

図5 透明プラ板で気泡群の形状を変化させた場合

に、動体すべてを検出したため水面に揺れまでも検出してしまったが、気泡群の形状は鮮明に得られた。

4.3 投影画像の切り替え

4.2 で説明したように、透明プラ板を挿入することで変化した気泡群の形状をリアルタイムで取得することができた。これにより、取得した画像及び輪郭線から投影する範囲と映像を選択し、映像を切り換える機能は実装可能であり、既に実験段階にある。

5. 考察と課題

今回のシステムでは、画像の解像度が気泡一つ一つの大きさ、プロジェクタの明るさ、プロジェクタの投影距離に大きく依存する。今後は写し出される画像解像度を高める条件を見つけるとともに、現在のシステムよりも大きな気泡群に対する投影実験が必要である。また、水槽として用いる容器に画像が投影されてしまう問題がみられたが、より透過性が高く反射しにくい素材の容器を選ぶことで解決できると思われる。気泡の形状検出に関して、動体検出による余分な水面の動きの検出を除去し、水中の気泡の動きのみを取得することが必要である。また、かき混ぜるインタラクションを可能にするためには、拡散した気泡一つ一つを検出する方法を検討し、その上で気泡の形状と動きの両方を加味した映像切り替え方法を確立する必要がある。

水ディスプレイの特長である透過性を用いることで、複数方向から異なった映像を投影することが可能である。第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、ただ一方方向からのみ映像を見ることができ。そのため、複数光源を用いることで、一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。これは水以外のディスプレイでも実装できているものは少な

い。また、実際に投影される映像は宙に浮いているような印象を受けるため、気泡の層を複数作るなどして光が反射する部分を制御することで、3Dに近い立体的なディスプレイにもなりうる。他にも、圧力の制御により気泡全てを瞬時に除去するなど、気泡ならではの多彩な演出も可能である。ディスプレイ以外にも、気泡の動きや形状をトラッキングする本システムでは、ユーザが気泡を操作することでインタフェースのような使い方もできるかもしれない。

6. まとめ

本研究では、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、新しい水ディスプレイを提案した。また、このディスプレイの最大の特長であるユーザが気泡の動きや形状を直接変えることで、映像とのインタラクションを可能にするため、画像処理によりリアルタイムで発生した気泡群の形状を検出する機構を実装した。

今後は取得した画像と気泡群の輪郭をもとにして、投影する映像を切り替えることで、実際にユーザと映像とのインタラクションを可能にすることや、具体的なインタラクションについて検討し実装する予定である。

参考文献

- 1) Noda, M., Kobayashi, N., Katsuhara, M., Yumoto, A., Ushikura, S., Yasuda, R., Hirai, N., Yukawa, G., Yagi, I., Nomoto, K., and Urabe, T.: "Society for Information Display 10 Digest," 710(2010).
<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201005/10-070> (2012.12.16 確認)
- 2)
- 3) 杉原有紀, 舘障: "かぶり型水ディスプレイの開発", 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.145-152 (2001).
- 4) 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).
- 5) Eitoku, S., Nishimura, K., Tanikawa, T., and Hirose, M.: "Study on Design of Controllable Particle Display Using Water Drops Suitable for Light Environment," *Proc. of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp.23-26 (2009).
- 6) 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).