

花水：移動可能なフォグディスプレイによる バーチャル手持ち花火

石川優^{†1} 星野准一^{†2}

フォグスクリーンは、従来からエンタテインメントやアートへの応用可能性が示唆されている。しかし、従来法ではシステムとユーザの位置関係が固定である、もしくは移動可能であっても映像を視認できるユーザが一人であるなどの制約があった。そこで本稿では、マーカや近赤外線、マルチプロジェクションを利用することにより多視点観察可能かつ移動が可能なフォグスクリーンを実現する手法を提案する。そして、本手法を応用したバーチャル手持ち花火システム「花水」を実装し、アンケートによる評価実験を行った。評価実験により、多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーンの実現が示唆され、多くのユーザが「花水」の演出をきれいと感じていることが確認できた。

HANASUI: Virtual Fireworks by Using Movable Fogscreen

YU ISHIKAWA^{†1} JUNICHI HOSHINO^{†2}

In the past it was suggested that fogscreens could have applications in entertainment or art. However, present implementations have different problems, like having fixed geometrical relationships between the users and the system or having a single user limit even for movable fogscreens. We propose a method to achieve a multi-user movable fogscreen using markers, near infrared rays and multi-projection. Using our method we built a handheld system called "HANASUI", and through the evaluation survey we verified the ability to be observable in multi-view and its movability, receiving also numerous positive feedback about the beauty of the projection.

1. はじめに

フォグをスクリーンとしてプロジェクタから投影を行うフォグスクリーンが、演出や情報提示技術の一方式として提案されている[1][2][3][4][5][6]。フォグスクリーンは、従来の液晶を用いたディスプレイとは異なり、明示的な縁が存在しない、もしくは存在が希薄であることが特徴である[7]。そして、フォグがスクリーンであるため、投影される映像に触れることができるという特徴がある[1][2][3][4]。これらの点は、映像に高い自由度を与えるとともに、立体感を与える要因となる[6][7][8][9][10]。Rakkolainenらは、映像に直接触れられる特性を活用したインタラクティブなシステムを構築しており、アートやエンタテインメントにおける利用可能性を指摘している[1][2][3][4]。さらに、近年ではタッチスクリーンと同様に扱えるフォグスクリーンが商品化されており[11]、今後、より身近な存在となると期待される。

しかし、フォグスクリーンにはミー散乱により光の進行方向に発生する散乱光が大きくなる特性があるため、ユーザはフォグを挟んでプロジェクタと対をなす位置付近に限られた範囲でしか投影される映像を視認することができない[12]。[1][2][3][4][6][8][9]のような従来のシステムは視認可能領域の制約のために、視点とフォグスクリーン、プロジェクタの相対位置関係を固定している。

そこで八木らは、ミー散乱を考慮した円筒状のフォグスクリーンとキャリブレーション済みのプロジェクタを複数台用いることにより、多視点観察可能なフォグスクリーンを実現している[12]。しかし、八木らのシステムにおいては、多視点観察可能としたことにより、フォグと視点の位置関係は自由なものとしたが、フォグとプロジェクタの位置関係は固定されたままである。すなわちこのシステムではフォグの発生位置を移動させることはできていない。

一方、文らのPocket Cosmos[13]では、フォグを発生するデバイスに3軸加速度センサを搭載することにより、鉛直上向きにフォグを噴出する移動可能なフォグスクリーンを実現している。しかし、移動可能であっても多視点観察については考慮していないため、フォグスクリーンに映る映像を視認できるのはデバイスを持つ鑑賞者のみであると考えられる。

先に述べたように、フォグスクリーンには縁の存在が希薄という特徴があり、先行研究においてアートやエンタテインメントへの応用可能性が示唆されていることから、多視点観察及び移動が可能なもの、さらに複数台デバイスの同時使用を実現することができれば、アートやエンタテインメントの発展に寄与すると考えられる。

そこで本稿では、多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーンを実現し、複数台のデバイスの同時利用を可能とする手法を提案する。そして、本手法を応用したシステム「花水」を開発することで評価を行う。

花水は、多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーンをエンタテインメントに応用したシステムである。したが

^{†1} 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering University of Tsukuba

^{†2} 筑波大学大学院 システム情報系
Faculty of Engineering Information and Systems, University of Tsukuba

って、実際にユーザに体験してもらい、実際に多視点観察及び移動が可能なディスプレイが実現できているか、魅力的な演出を実現できているかという点を評価とする。

本稿では以降、2章で本稿の提案手法、3章で花水の実装方法を述べ、4章で評価のためのアンケート調査の結果と考察を述べる。そして、5章では多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーンの考えられる応用例について述べ、本稿のまとめとする。

2. 多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーン

本稿では、以下の手法により、多視点観察及び移動可能なフォグスクリーンを実現する。

1. 多視点から観測可能にするため、複数台のプロジェクタで同時に投影する
2. フォグの発生位置を移動させても正しく投影されるよう、フォグ発生装置にマークを取り付けて位置及び姿勢を取得し、取得した位置に合わせて投影位置を移動させる

なお、ここでの多視点観察可能とは、フォグスクリーンに投影される映像が、フォグを発生するデバイスを把持する鑑賞者以外からも視認できることを指し、移動可能とは、プロジェクタとスクリーンとなるフォグの相対位置関係が変化可能であることを指す。

まず、複数台のプロジェクタを照射部が円の中心を向くように円形に設置する。フォグを発生するデバイスに位置及び姿勢が識別可能なマークを取り付けて、別に設置したカメラからマークを撮影する。フォグはデバイスの先端より円錐形に噴出することを仮定し、デバイスの位置及び姿勢を利用することで、デバイスの先端に映像が配置されるように動的に映像を変化させる。動的に映像を変化させることにより、プロジェクタから投影される映像が移動するフォグスクリーンに投影される。

この際、プロジェクタが円形に配置されているため、各プロジェクタに出力する映像は、映像が出力先のプロジェクタから見てデバイス先端に配置されるよう、各プロジェクタから異なる映像を出力する必要がある。この出力映像の生成は、現実空間と幾何関係を一致させた仮想空間を構築し、仮想空間上のデバイス先端に映像を配置し、その映像を各プロジェクタの位置の仮想カメラから撮影することで行う。処理フローを図1に示す。

本章では、2.1節でフォグの中を進む光の特性を考慮したプロジェクタの配置方法を述べ、2.2節でデバイスの位置と姿勢の検出方法について述べる。2.3節で仮想空間を用いて各プロジェクタに出力する映像を生成する方法と、仮想空間と現実空間の幾何関係を一致させる方法について述べる。

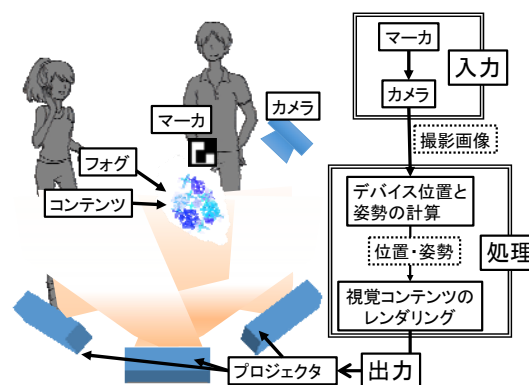


図1 処理フロー

Figure 1 System flow

2.1 プロジェクタの配置方法

複数ユーザが同時にシステムを利用した際に、あるユーザが、他のユーザが利用するフォグスクリーンに投影される映像を視認できる必要がある。これを実現するため、プロジェクタを複数台配置する。本稿では、ミー散乱を考慮し、およそ60度間隔で短焦点プロジェクタを3台同一平面内の同一円の円周上から照射部が中心を向くように配置する。このように配置することで、光の散乱指向性により各々のプロジェクタから投影される映像がフォグ上で重畳せず、多視点観察可能なフォグスクリーンを構築することができる。

2.2 デバイスの位置及び姿勢の検出

デバイスの位置及び姿勢の検出には、形状と大きさが既知であるマークと、内部パラメータが既知であるカメラを利用する。これらのパラメータが既知であれば、マークの位置及び姿勢を知ることができる[13]。なお、プロジェクタから投影された映像がマーク上に映りこんだ際にマーク認識の妨げになることをさけるため、カメラは赤外線カメラを利用し、赤外線投光器を併用して赤外線領域でマークを撮影する。

2.3 プロジェクタの出力映像の生成方法

各プロジェクタがフォグに映像を投影できるように、2.2で取得したデバイスの位置と姿勢の情報を利用して各々のプロジェクタで投影位置を移動させた映像を生成する必要がある。この映像を生成するために、現実空間と幾何関係を一致させた仮想空間を構築し、これを利用する。

幾何関係が一致しているとは、仮想空間内に配置されたマーク撮影用のカメラの位置（仮想マーク撮影用カメラ）とプロジェクタ（仮想プロジェクタ）の相対的な位置関係が、現実空間のマーク撮影用赤外線カメラとプロジェクタと一致していることをいう。あらかじめ幾何関係を一致させておくことにより、検出したマークの位置及び姿勢をそのまま仮想空間に反映させることができるようになる。

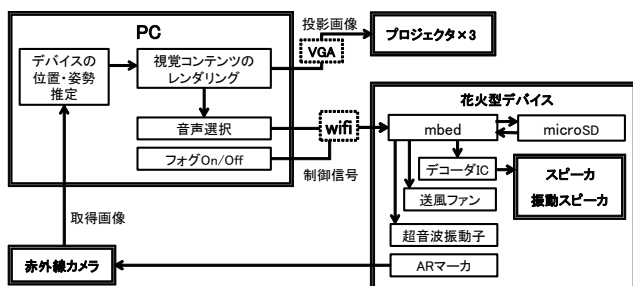


図2 花水のシステム構成

Figure 2 System configuration of HANASUI

仮想空間内に配置したデバイス（仮想デバイス）に取得した位置と姿勢を反映させ、仮想デバイスの先端に投影したい映像を配置する。さらにこの状態でそれぞれの仮想プロジェクタの位置に仮想カメラを配置する。仮想カメラの視野角はプロジェクタの視野角と同じものを設定する。この状態において仮想カメラでデバイス先端の映像を撮影すると、この撮影された映像は幾何関係が一致したプロジェクタが投影すべき映像となる。

現実空間と仮想空間の幾何関係を一致させる方法について、本稿の段階では自動化は行っていない。現実空間と仮想空間の両方に六角柱を配置した上で、仮想カメラで六角柱を撮影した映像をプロジェクタで投影し、投影される六角柱が実空間の六角柱と一致するように手動でプロジェクタを移動し、調整した。

3. パーチャル花火システムの実装

本章では、本稿が提案する多視点観察及び移動可能なフォグスクリーンの実現手法を応用したシステム「花水」の実装について述べる。花水のシステム構成を図2に示し、システム全体の図を図3に示す。

花水は、演出ステージとハンドヘルド型デバイス（以降、花火型デバイス）（図5）から構成される。

ユーザは演出ステージの上からデバイスを中央部にかざすことによって花水を体験できる。

3.1 演出ステージ

演出ステージは、高さ1.8m、四方1.8mの暗室の中に、床上約15cmに四方1.1mの中抜けの足場を設置する。足場の下に短焦点プロジェクタ（CASIO社製 XJ-ST155 1024×768）3台を中抜け中央部に向け、約60度の間隔で設置する。また、中抜け中央部床には鉛直上向きに、赤外線投光器（WTW社製 WTW-F6085）と赤外線カメラ（Logicool社製 HD Pro WebCam C910 1920×1080）2台を設置している。

また、赤外線投光器と赤外線カメラをモジュール化したものをマーク検出モジュール（図4）と呼称する。

3.2 マーク検出モジュール

マーク検出モジュールを図4に示す。赤外線投光器を中

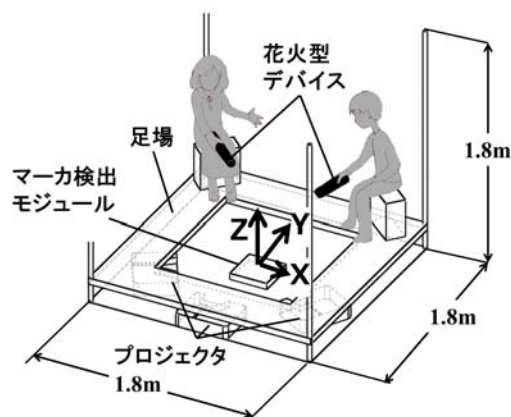


図3 システム全体図

Figure 3 Bird's-eye view of the system

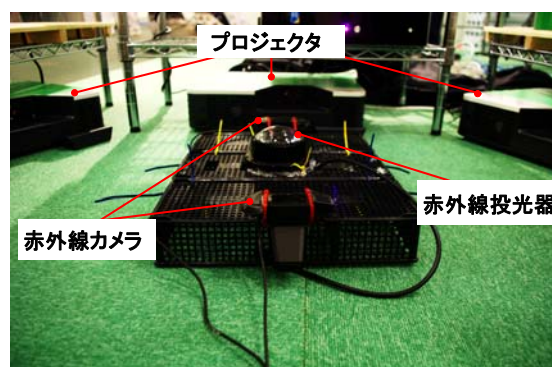


図4 マーク検出モジュール

Figure 4 Marker detection module

心とし、赤外線カメラを対称の位置に配置する。赤外線を利用することによって、暗室内でプロジェクタの投光の影響を受けずに安定したマークの検出を実現する。

赤外線投光器と赤外線カメラはシステム中央の床に鉛直上向きで設置する。なお、床部に設置するのは、天井部に設置するよりもユーザがデバイスの上からシステム中央部を覗き込んだ際にオクルージョンが発生しないと考えられるためである。また、2台のカメラを用いるのは認識領域を広くとるためである。

3.3 AR マーカ

1.8m四方の演出ステージの大きさと今回使用したプロジェクタの性能では、床から1.3mの地点がプロジェクタの投影領域の最高点であった。したがって、この地点までカメラが認識可能なマークとして、95mm四方の亚克力板の中央に、80mm四方のARマークを取り付けた。

マークの位置及び姿勢の推定にはARToolKit[14]を利用し、30fpsで位置及び姿勢を推定可能である。

3.4 花火型デバイス

花火型デバイス（図5）は、フォグの散布と映像に合わせた音声の再生を行う。花火型デバイスは、超音波振動子、貯水部、送風ファン、mbed（マイコン）、スピーカ、振動スピーカ、無線モジュール、バッテリー、microSD、MP3デ

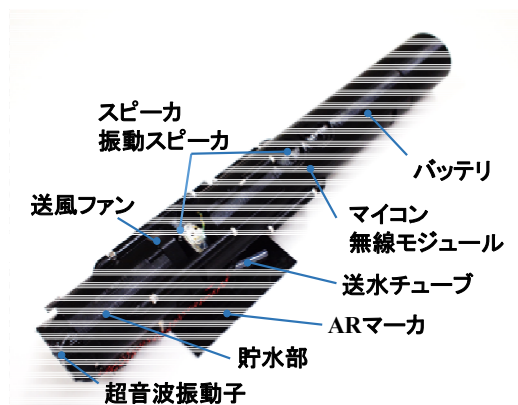


図 5 花火型デバイス

Figure 5 Handheld fireworks device

コード IC, AR マーカを搭載した, 無線通信により制御可能なデバイスである.

これらの制御は内蔵したマイコンにより行う. PC から送信される信号によって, フォグの散布の有無や microSD から音声ファイルを読み込み, デコーダ IC を通して音声を再生する. フォグは超音波振動子を利用することで発生させており, 毎時およそ 90ml の水をフォグに変えて噴出する. 貯水部には, およそ 40ml の水を貯めることができるため, 最大およそ 20 分間連続でフォグを噴出できる. 内部には高吸水スポンジとスプリングを内蔵しており, デバイスがいかなる姿勢であっても超音波振動子に水を接触させることが可能となっている.

スピーカと物体に貼り付け, 振動させることによって音を発する振動スピーカを搭載することによって再生する音声に同期した振動をユーザに提示する.

ファンによる送風によりフォグが拡散せず, プロジェクタによって投影される映像が鮮明になる.

3.5 コンテンツ

実験時の体験時間は 3 分間とした. その間に 6 種類の視覚コンテンツを 30 秒ごとに切り替えた. 視覚コンテンツは毎回, 炎, 桜の花びら, ひまわり, 打ち上げ花火, もみじ, 雪の結晶の順に提示した. この順序は, 最初は通常の花火のような演出と行い, 以降は春夏秋冬を意識したコンテンツとなっている.

いずれも花火型デバイスの先端から噴出するように演出を行った. 図 6 がユーザ視点から打ち上げ花火を見た様子である.

また, 視覚コンテンツに合わせて 6 種類の音声を再生した. 順序は早い順に, たき火の燃焼音, 鶯の鳴き声と鹿威し, ミンミンゼミの鳴き声, 打ち上げ花火の破裂音, コオロギの鳴き声, 鈴の音である.

4. 評価実験

評価実験は, 2013 年 10 月 24 日から 26 日に日本科学未来館で開催された IVRC[15](国際学生対抗バーチャルリア

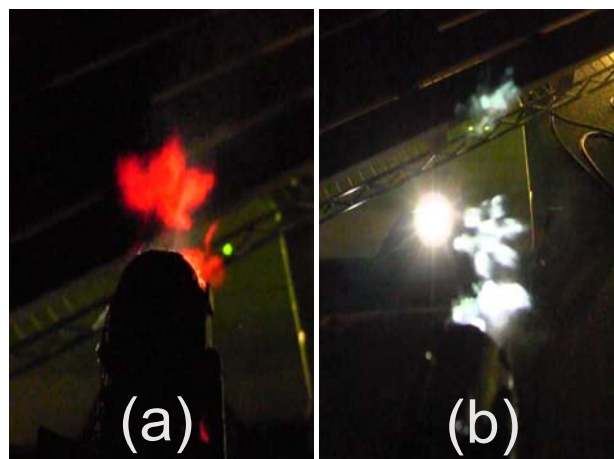


図 6 フォグに投影されたコンテンツ

(a)もみじ, (b)雪の結晶

Figure 6 Content projected on the fog

(a) Japanese maple, (b) snowflake



図 7 花水の体験の様子

Figure 7 Detecting situation of HANASUI

リティコンテスト)2013 東京決勝大会において展示を行合計 200 人以上の来場者に体験してもらった (図 7).

4.1 評価実験

本システムの評価のため, 体験者にアンケート調査を行った. 7 歳から 68 歳までの来場者から 162 枚のアンケートを回収した.

アンケートは 1 点から 5 点までの 5 段階で採点する質問 6 問と自由記述である. 質問項目を表 1 に, 各項目の採点一覧を表 2 に示す. 問 5 については, 2 人の体験者がそれぞれ 1 台ずつ花火型デバイスを持って体験してもらった際のアンケート 145 枚での結果を示す. この項目では 1 人で体験した際には無回答と指示した.

なお, 手順は, 体験前に「花水はフォグとプロジェクタを使用して手持ち型花火のような演出を行うシステムです.」というシステムの概要に加えて, デバイスの持ち方及びフォグスクリーンの使用可能範囲が演出ステージ中抜け上部であることを説明し, システム体験後に回答をお願いした.

4.2 結果

回収したアンケートの結果を図8に示す。両端を100%とした点数毎の割合を示す。

4.3 自由記述

評価項目に関連したものから述べると、「音がもっと大きい方がいい」「振動を感じない」といった音と振動に物足りなさを感じたものがあったが、逆に「音が非常によかった」「振動が素晴らしかった」というコメントもあった。

印象に関する記述では、「きれいだった」というコメントの他に「幻想的だった」というコメントが多く見られた。

他には「プロジェクトの光が目に入るとまぶしい」という、フォグスクリーン特有の位置関係によるものが多くの体験者から指摘された。

4.4 考察

問1では90%以上の体験者が花水の演出をきれいであると感じていた。また、幻想的というコメントも多かったことから、一演出として成立していると考えられる。

問2の結果からデバイスの先端から視覚コンテンツが噴出しているように見えると感じたユーザが多いと言える。しかし、どちらでもないと感じるユーザも存在していることから、投影ずれが生じている領域があると考えられる。

問3の結果から視覚コンテンツが花火型デバイスの先端を追従しているように見えると感じているユーザが多いと言える。しかし、問2と同様にフォグを追従できていない

表1 アンケート質問項目

Table 1 Questionnaire Items

問1	花水の演出はきれいでしたか、きれいではなかったですか？
問2	デバイスの先端からコンテンツ（投影している内容）が噴出しているように見えましたが、見えませんでしたか？
問3	コンテンツが花火型デバイスについてくるように感じましたか、感じませんでしたか？
問4	デバイスから出る音はコンテンツをより魅力的にしましたか、しませんでしたか？
問5	ほかの人のミストに投影されているコンテンツは見えましたが、見えませんでしたか？
問6	デバイスの振動はシステムをより魅力的にしましたか？

表2 採点項目一覧

Table 2 Marking items

	5点	⇔	1点
問1	きれいだった		きれいではなかった
問2	見えた		見えなかった
問3	感じた		感じなかった
問4	魅力的にした		魅力的にしなかった
問5	見えた		見えなかった
問6	魅力的にした		魅力的にしなかった

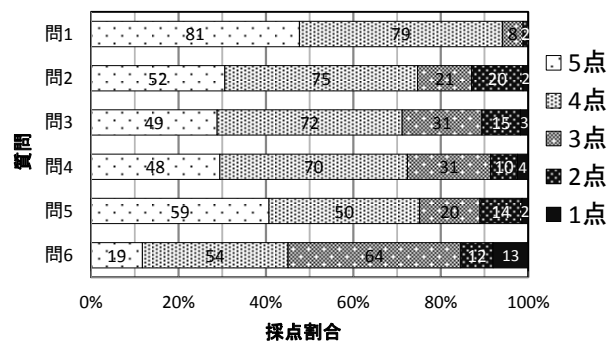


図8 アンケート結果の採点割合

Figure 8 Result of the questionnaire survey

と感じているユーザもいる。この原因として、花火型デバイスを移動させる速さが大きいとフォグが散ってしまい、投影映像が映りにくくなってしまったことが考えられる。

この他の原因として、デバイスを動かす範囲が大きく、花火型デバイスのマーカがカメラに写らなくなり、位置推定が行えなかったことが考えられる。

問2と問3の結果から移動可能なフォグスクリーンを実現できていると言える。しかし、投影ずれやカメラがマーカを見失うケースがあると考えられるため、今後、投影精度の検証や、マーカとカメラの設置方法について検討が必要であると考えられる。

音及び振動についてであるが、演出をより魅力的にしたと感じたユーザの方が多いものの、感じなかったユーザも多い。音については音量が十分ではなく、周囲の音に左右されたと考えられる。振動については、デバイスの握り方によって感じ方に差が出たと考えられる。したがって、提示する音量や振動については検討する必要があると考えられる。

問5の結果から、多くのユーザがもう一方のユーザのフォグに投影される映像を視認できていることがわかる。今回、視覚コンテンツの投影の精度についての評価は行っていないが、75%以上の体験者がどちらかというに見えた以上の評価をしている。このことから多視点観察可能なフォグスクリーンを実現できていると言える。

5. おわりに

本稿では、AR マーカと仮想空間を利用して多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーンを実現する手法を提案し、その手法を応用したシステム「花水」を制作した。そして、質問紙を用いた評価実験を行った。

その結果から多くの体験者が他ユーザのフォグスクリーンに映る視覚コンテンツを視認し、かつ把持するフォグスクリーンを発生させるデバイスの先端に視覚コンテンツが配置されていると感じていることを確認できた。

以上の点から、本稿が提案する多視点観察かつ移動可能なフォグスクリーンの構築手法が有効であることが確認できた。

さらに、本稿が提案する手法を応用して制作したシステム「花水」は多くの体験者に「きれいだった」「幻想的だった」という印象を与えることも確認できた。

しかし、中には投影ずれによる空間的整合性の不一致を感じているユーザをいることから、カメラやマーカの配置の変更による投影精度の向上について検討する必要があると考えられる。

本手法を応用することにより様々な応用例が考えられる。その一例を以下に示す。

演出表現の拡張としての応用が考えられる。例えば、ダンスが把持しながら踊ることやマーチングバンドが把持する楽器に装着することによって、音楽と動きに同期した演出を行うことが可能であると考えられる。

また、特定の位置における提示情報の共有としての応用が考えられる。AR マーカやカメラの位置を考慮することによって特定の位置にフォグを噴出した際に特定の情報を提示することが可能となる。また、多視点観察可能であるため、一つのデバイスでその情報を多人数で共有することが可能となる。

なお、「花水」は、IVRC2013において明和電機社長賞を得た。体験中およびユーザ視点での映像は[16]で閲覧できる。

謝辞 本システムを実装するにあたってご協力くださった牟田将史氏、田丸順基氏、中田英輔氏、上原皓氏、また、本稿を執筆するにあたって的確な助言をくださった向健次氏、里井大輝氏、Bernacchia Matteo 氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Rakkolainen, I., Palovuori, K.: Walk-thru screen. In Electronic Imaging International Society for Optics and Photonics., pp. 17-22(2002)
- 2) Rakkolainen, I., Palovuori, K.: Interactive digital fogscreen. In Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction, ACM, pp.459-460(2004)
- 3) Rakkolainen, I., DiVerdi, S., Olwal, A., Candussi, N., Hüllerer, T., Laitinen, M., Palovuori, K.: The interactive fogscreen. In ACM SIGGRAPH Emerging technologies, ACM, p.8(2005)
- 4) Rakkolainen, I., & Palovuori, K.: Laser scanning for the interactive walk-through fogScreen. In Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, pp.224-226, ACM(2005)
- 5) Rakkolainen, I.: Tracking users through a projection screen. In Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia, pp.101-104, ACM(2006)
- 6) 神里亜樹雄: moony, <http://kakehashi.tv/works.php?blogid=39&i=205>, 2013/12/9
- 7) 石川洵: 空間映像による映像と現実世界の融合、立体視テクノロジー, NTS, pp.391-398(2008)
- 8) 林宏憲, 大西諒, 平井重行: 一般住宅用浴室におけるミストを利用した立体的映像, EC2007, pp.75-76(2007)
- 9) 橋本直己, 東佑圭: 霧を用いた空中立体像提示システムの提案, 映像情報メディア学会誌, 65(7), pp.1007-1010(2011)
- 10) 遠藤祐二, 稲沢綾二, 前田広一郎, 坂井志郎, 三輪敬之:

霧スクリーンの多層構造化による 3 次元的ディスプレイ装置の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.91-94(2010)

- 11) DISPLAIR play with air: <http://displair.com/>, 2013/12/7
- 12) 八木明日華, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理: 多視点観察可能なインタラクティブフォグディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17, No.4, pp.409-417(2012)
- 13) 文奈美, 曾根順治, 夏井伸隆, 長谷部智宏, 吉田庸一: Pocket cosmos-手のひらに宇宙を-, 芸術科学会論文誌, Vol.3, No.4, pp.244-249(2004)
- 14) Kato, H., Billingham, M.: Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In Augmented Reality, Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on pp. 85-94. IEEE(1999)
- 15) IVRC2013 official home page: <http://ivrc.org/>, 2013/12/8
- 16) hanasui: http://www.youtube.com/watch?v=_kLVEq-qVu4, 2013/12/8