

MMAPとミストを使った空中お絵描きシステムの開発

杉本 佳亮^{1,a)} 水野 慎士^{1,b)}

概要：本稿では、空中にミストでできたような映像をインタラクティブに生成する手法を提案する。提案手法では、ミストスクリーンとマイクロミラーアレイプレートを組み合わせることで、ミスト風映像を空中に表示することを実現する。生成された空中映像は、ミスト自体が持つ立体感によって立体的に感じることができる特徴を持つ。

Development of Drawing System in Mid-Air using MMAP and Mist

Sugimoto Keisuke^{1,a)} Mizuno Shinji^{1,b)}

1. はじめに

近年では、単純なディスプレイだけではなく、球面スクリーン、透明スクリーン、HMD などさまざまな映像表示システムが開発されて利用されている。それらは、デジタルサイネージ、エンターテインメントなどといった幅広い分野での活用が期待されている。中でも、映像がまるで浮かび上がっているかの様に感じることができる、空中映像を用いたコンテンツに注目が集まっている。

空中映像を実現する映像表示デバイスとしては、プラズマ、ハーフミラー、フォグスクリーン、空間再現ディスプレイなどが挙げられるが、その中でもマイクロミラーアレイプレート (MMAP) を用いる手法は、手で触れることができる空中に十分に大きな実像を表示することができるという、他のデバイスにはない特徴を持つ。MMAP は、縦に並べた多数の鏡アレイを直交するように2層重ねた構造を持ち、MMAP の下に実物体を置くと、MMAP の面対称の位置に空中像として表示できる。MMAP と MMAP の下に配置するものの組み合わせで、バラエティに富んだ空中映像を作成することができる。

そこで本研究では、MMAP を用いて空中に立体的な映像を表示する新たな手法として、MMAP の直下にミスト

スクリーンを設置する手法を提案する。ミストスクリーンは、ミストにプロジェクタで映像を投影するものである。MMAP と組み合わせることで、ミストスクリーンの映像を空中に表示する。ミストスクリーンは表面に凹凸があるため、その空中像も立体的に観察されることが期待できる。

ミストを使った大規模なプロジェクションマッピングとしてディズニーランド・パークの「ファンタズミック！」[1]がある。迫力のある映像を生み出し、幻想的なディズニーの世界を表現している。しかし、ユーザがインタラクティブに映像に変化を加えるものではない。

そこで、指の操作に応じてミストスクリーンに映像を投影し MMAP で空中像にすることで、空中にミストで絵を描くことができるシステムを開発した。

2. 関連研究

2.1 空中映像生成手法

空中映像を生成する手法はいくつか報告されている。Ochiai らはプラズマを使い、触れられる空中映像を提案した [2]。しかし、現れる空中映像は小さく、大きくしようとするとプラズマを用いているため危険を伴う場合がある。巻口らはハーフミラーを使い、装置の正面と背面から観察できる空中映像を提案した [3]。また、ソニーは裸眼両眼立体映像と視点追跡に伴う運動視差立体映像を組み合わせた空間再現ディスプレイを開発した [4]。しかし、ミラーやディスプレイ本体の関係で、これらの空中映像に直接手で触れたり、映像中に手を入れることができない。

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology

a) b22711@aitech.ac.jp

b) s_mizuno@aitech.ac.jp

2.2 MMAP を使った空中映像生成

MMAP を使った空中映像生成に関する研究はいくつか報告されている。Kim らは実物体ブロックを用いて空中像と移動させることで空間中の空中映像とインタラクションを行うことができるシステムを提案した [5]。松浦らは水面に空中映像を生成して、水を掬うことでインタラクションを可能にしたシステムを提案した [6]。Koizumi らは観察者が照らす明かりを MMAP に通し、空中映像の光源とすることでインタラクションを直接的にできる手法を提案した [7]。しかし、いずれも MMAP の下に平面的なディスプレイを用いているため、空中映像は平面的である。

2.3 MMAP を使った空中映像に立体感を持たせる手法

MMAP を使った空中映像に立体感を持たせる手法はいくつか報告されている。Takazaki らは運動視差立体視 CG 手法を用いて立体的に空中像を作り上げる手法を提案している [8]。また、MMAP は直下に設置した実物体の実像を MMAP に対する面対象の空中位置に結像させる性質がある。したがって、立体物を設置すれば空中像も立体的になる。そこで、木村らは MMAP の下に立体光源装置を置いて、空中への立体映像の表示とインタラクションを行う手法を提案している [9]。

2.4 ミストスクリーンを使った研究

ミストスクリーンを使った研究はいくつか報告されている。細田らは流れるミストにプロジェクションマッピングを行い、インタラクションを行うことができるシステムを提案した [10]。和田らは触感を伴って空中映像に直接接触するインタラクションを行うためにミストスクリーンを用いたシステムを提案した [11]。しかし、いずれもその場にあるミストスクリーンに映像投影するだけで、ミストを目の前に具現化するものではない。

2.5 本研究の位置付け

本研究では MMAP と組み合わせる映像ソースとしてミストスクリーンを用いるという点が大きな特徴である。MMAP と通常の平面的なディスプレイを用いると空中映像もまた平面的になってしまう。しかし、ミストスクリーンにプロジェクタで投影した映像はミスト自体の形状に基づく凹凸があり、その映像を MMAP を用いて結像した空中映像も凹凸を持つ。そして、何もない空中での指の操作でミスト映像をインタラクティブに具現化することができる。

3. 提案システムについて

3.1 概要

本研究では、空中映像の新しい表現方法の創出を目的として、MMAP とミストスクリーンを組み合わせた空中映

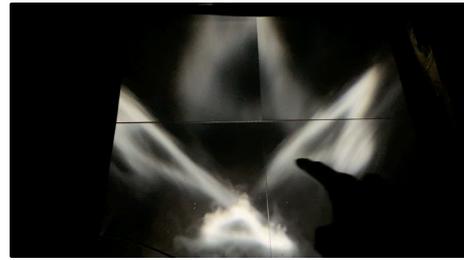


図 1 提案システムでの映像生成例

像システムの開発を行った。提案システムでは MMAP によって空中にミスト映像を表示する。このとき、空中のミスト映像は指操作によってインタラクティブに生成可能である。つまり空中にミストで絵を描くことができる。そして、空中映像に対してミストが持つ立体感をそのまま感じることができる。

ユーザが MMAP の上に指を差し出すと、指先の空中にミストが表示される。指を動かすと、その軌跡に合わせて空中にミストが表示されていく。空中に表示されるミストの色と太さは、手の操作によって変更することができる。空中で描画動作を行うことを繰り返すことで、色や太さを変えながらインタラクティブに空中にミストで絵を描くことができる。

図 1 にシステムで絵を描いている様子を示す。

3.2 システム構成

図 2 に本研究で提案するシステムの構成図を示す。MMAP の下にミストスクリーンが設置してあり、ミストスクリーンにプロジェクタで映像を投影する。MMAP は縦に並べた多数の鏡アレイを直交するように 2 層重ねた構造を持ち、MMAP の下に実物体を置くと、MMAP の面対称の位置に実物体の実像を空中に結像する。そのため、ミストスクリーンに投影した映像は MMAP によって空中に結像する。

MMAP の上には指先の位置を取得するための Leap Motion が設置してある。そして、指先の位置に合わせてプロジェクタに映像を投影する。その結果として、指先のある空中に映像が生成される。

なお、指先の位置取得と映像生成は 1 台の PC で行う。

3.3 空中へのミストの表示

本研究で用いるミストスクリーンは、ミスト発生器、板、ミスト吸引器で構成される。図 3 に実際のシステムの写真を示す。

使用するミスト発生器は、水に超音波を当ててミストを生成するものである (図 3(a))。つまり、ミストは水の微粒子であるため空気より重く下方に落ちていく性質があり、器に溜めたりすることも可能である。そこで本研究では、発生したミストを器に溜めながら、45 度の角度で斜めに設

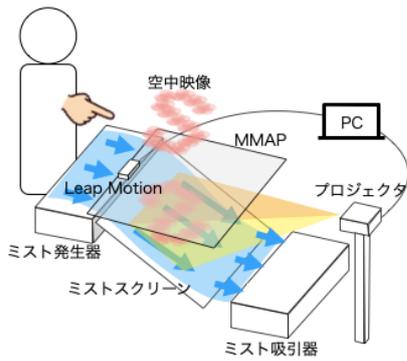
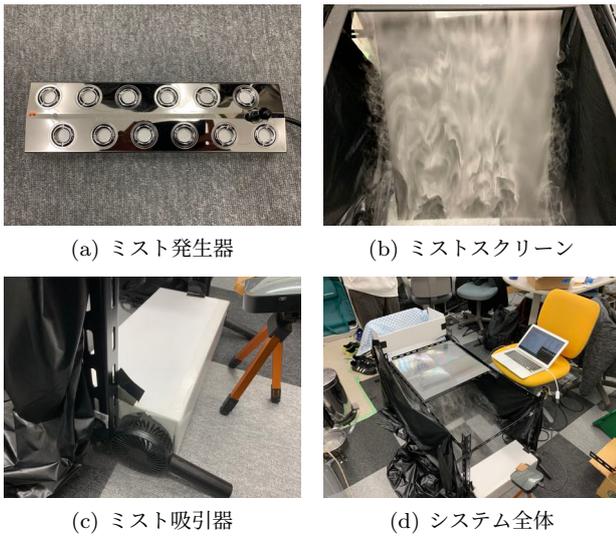


図 2 システム構成図



(a) ミスト発生器

(b) ミストスクリーン

(c) ミスト吸引器

(d) システム全体

図 3 実際のシステムの写真

置した板にミストを流すことで、ミストスクリーンを実現している。実現したミストスクリーンを図 3(b) に示す。

ここで、板を流れ落ちたミストが過剰に溜まってしまうと、ミストスクリーンに鮮明な映像が映せなくなったり、プロジェクタなど電子機器に影響を与えることがある。そこで、スクリーンを流れ落ちたミストは小型扇風機を使ったミスト吸引器で排出している (図 3(c))。

そして、ミストスクリーン上部に MMAP を設置する (図 3(d))。その結果として、MMAP 上方の空中に 45 度の角度でミストスクリーンに映る映像の実像が表示される。

ミストスクリーンにプロジェクタで映像を投影すると、ミストの流れに基づくミストスクリーン自体の凹凸によって立体のある映像となる (図 4)。そのため、その実像となる空中映像にも立体的な凹凸が観察される (図 5)。写真では分かりづらいが、実際に空中にミストが立体的に存在しているように観察されることを確認した。

3.4 インタラクティブな空中お絵描きの実現

インタラクティブな空中お絵かきの実現のためには、空中での指先の位置の取得と、取得した位置に合わせた空中映像の生成が必要になる。



図 4 プロジェクタで映像をミストに投影した様子

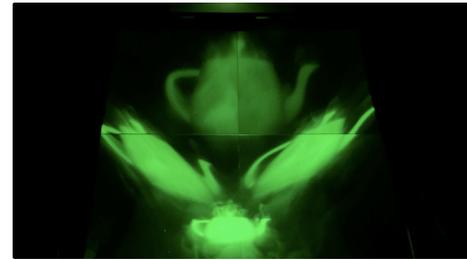


図 5 ミストに投影した映像を MMAP を用いて空中映像とした様子

まず、空中の指先の位置の取得は Leap Motion を用いて三次元的に行う。そして、実空間の座標系と単位を再現した CG 空間を作り、プロジェクタの投影方向と CG 空間上の視点の方向を合わせることで実空間と投影する CG 空間を一致させる。

ここで、ミストスクリーンは MMAP の下方に 45 度の角度で設置しているため、空中には図 6 に示すように仮想ディスプレイが存在することになる。そこで、指先座標が仮想ディスプレイから 3cm 以内にあるときに触れたと判定して、対応する座標にオブジェクトを配置する。実空間と CG 空間は一致しており、ミストスクリーンの空中像は実空間と同じ位置に表示されるため、指先が触れた仮想ディスプレイの位置にオブジェクトが表示されることになる。

お絵描きシステムのため、指先位置に配置するオブジェクトは円盤である。指の移動に応じて指の先端座標に円盤を連続的に配置し、円盤と円盤との間を楕円で接続させることで指の移動軌跡を曲線として描画することで実現している (図 7)。

以上の手法によって生成した映像をミストスクリーンに投影し MMAP によって空中に表示させることで、ユーザはインタラクティブに空中にミストで絵が描くことができる。

3.5 ユーザインタフェース

ミスト映像の太さや色を変えるユーザインタフェースは図 8 のようになっている。左手をかざすとパレットを表示する球体が表示され、描画できないようになる。指先に表示される球体は現在の太さと色を表す。パレットの球体に触れると球体に応じた太さや色が変化する。もう一度左手をかざすとパレットが消え描画することができる。

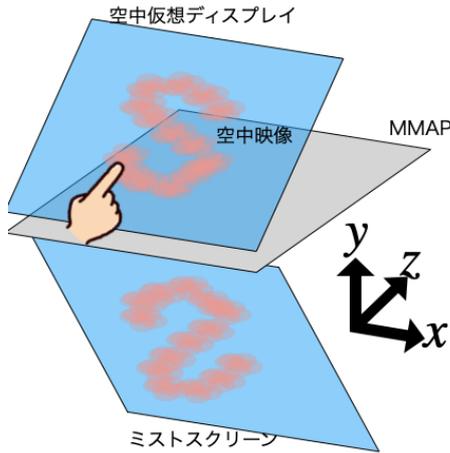


図 6 空中仮想ディスプレイ

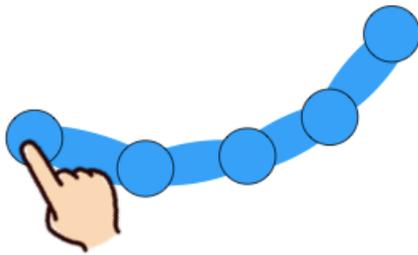


図 7 円盤と楕円による曲線の描画



図 8 ユーザインタフェースの画面

4. 実験

4.1 実装環境

提案手法に関する検証として、提案システムを用いた描画実験を行った。

使用した PC は MacBook Air (2.2 GHz デュアルコア Intel Core i7) で、実装は C++で行っており、映像生成に OpenGL と OpenCV を利用している。使用したプロジェクタは、iOCHOW iO4 ミニ (1280×720 画素, 800lm) である。MMAP は 25cm 四方の樹脂製のものを 4 枚使うことで 50cm 四方のものとして扱っている。ミストスクリーンは縦 60cm 横 45cm の板を MMAP に対して約 7cm 下方に斜め 45 度で配置し、そこにミスト発生器によって生成したミストを流している。

4.2 描画実験

提案システム実装して描画実験を行った。その結果、図 9 に示すように、指を動かすことで空中にミストで作られたような絵をインタラクティブに生成できることを確認した。

しかし、空中映像の境界がかなり明瞭でミストで描いた絵としては違和感を感じた。これは、指の移動軌跡を描画する際に使用するオブジェクトとして、図 10 で示すような、一様に塗りつぶした円盤を用いていることが原因だと思われる。

そこで映像の境界をぼかす効果を実現するため、指の移動軌跡の描画に図 11 で示すようなグラデーションを付加して、中央ほど不透明度が高くなる円盤を 4 種類用意し、描画実験を再度行った。

実験に用いた円盤の不透明度はそれぞれ、一次関数 (図 11(a)), 三角関数 (図 11(b)), 無理関数 (図 11(c)), 分数関数 (図 11(d)) に基づいて決定した。円盤の中心からの距離を l ($0 \leq l \leq 100$) としたとき、不透明度 α ($0 \leq \alpha \leq 255$) はそれぞれ以下の式で求めた。

- 一次関数：

$$\alpha = 128 - \frac{128}{100}l \quad (1)$$

- 三角関数：

$$\alpha = 64 \cos\left(\frac{l}{100}\pi\right) + 64 \quad (2)$$

- 無理関数：

$$\alpha = -\frac{64}{5}\sqrt{l} + 128 \quad (3)$$

- 分数関数：

$$\alpha = 64 \frac{150}{l+50} - 64 \quad (4)$$

図 12 に描画結果を示す。図 12(a) と図 12(b) は一様に塗りつぶした円盤を用いた場合と比べてあまり変化を感じなかった。図 12(c) と図 12(d) は絵の境界が不明瞭になったと感じられた。特に図 12(d) はよりミストらしくなったと感じた。そこで今回は描画方法として図 11(d) の円盤を採用した。指の軌跡の描画結果の境界が不明瞭になり、よりミストで描かれたような表現となることが確認できた。

また、図 14(a) に正面から見た描画結果、図 14(b) に左から見た描画結果、図 14(c) に右から見た描画結果を示す。ミストで描かれた絵が空中に浮かんでいることがわかる。

さらに、図 13 に色を変えた描画結果、図 15 に軌跡の大きさ変えた描画結果を示す。提案手法によって、多様な表現のミストでお絵描きできることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、ミストスクリーンと MMAP を組み合わせ、



図 9 提案システムで空中ミスト映像を描画している様子

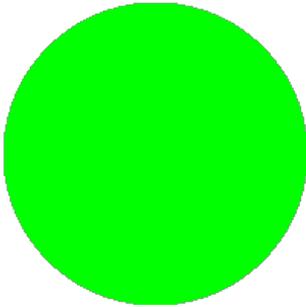
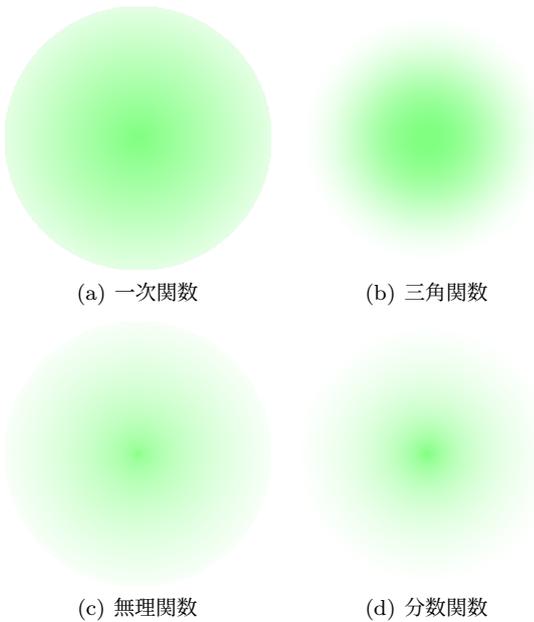


図 10 一様塗りつぶし円盤



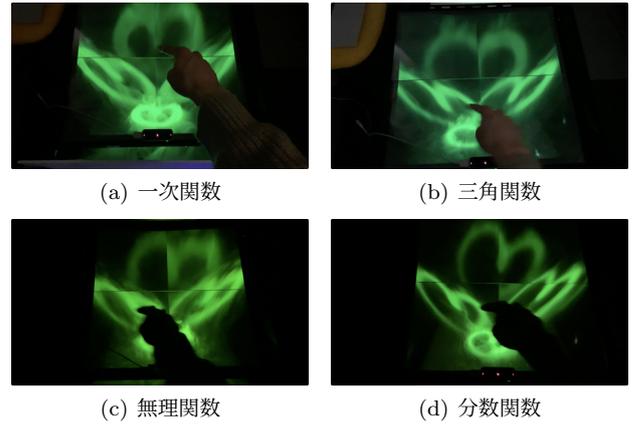
(a) 一次関数 (b) 三角関数
(c) 無理関数 (d) 分数関数

図 11 指の移動軌跡の描画に用いる円盤

空中にミストで指の操作に合わせてお絵描きができるインタラクティブなシステムを開発した。本研究で提案した手法によって、空中にミストの立体感のある映像を表示できることを確認した。今後の課題としては流れるミストの量を増やすなど、よりミストらしい空中像の実現や、ミストスクリーンへの段差の生成によるより立体感のある空中映像というような、より多彩な表現の実現が挙げられる。

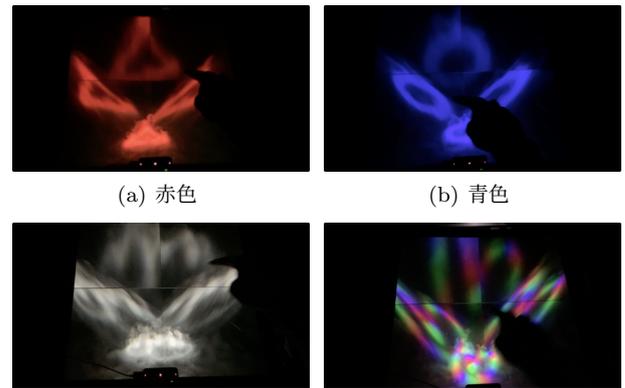
参考文献

[1] ディズニーランド・リゾート：ファンタズミック！, 入手先 <<https://disneylands.disney.go.com/jp/disneyland/entertainment/fantasmic/>>



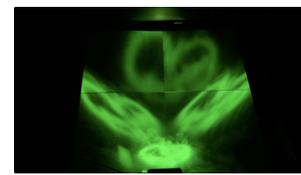
(a) 一次関数 (b) 三角関数
(c) 無理関数 (d) 分数関数

図 12 円盤の種類を変えた描画結果



(a) 赤色 (b) 青色
(c) 白色 (d) 虹色

図 13 色を変えた描画結果

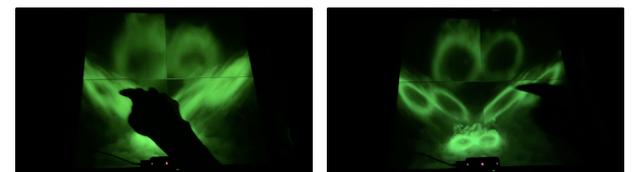


(a) 中心から観察した様子



(b) 左から観察した様子 (c) 右から観察した様子

図 14 描画結果を中心や左右から観察した様子



(a) 太く (b) 細く

図 15 太さを変えた描画結果

(参照 2022-05-17).
[2] Y. Ochiai, K. Kumagai, T. Hoshi, J. Rekimoto, S. Hasegawa, Y. Hayasaki: Fairy Lights in Femtoseconds:

Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields, Proc. SIGGRAPH 2015 Emerging Technology, 2015.

- [3] 巻口誉宗, 高田英明, 坂本大介, 小野哲雄: 両面透過型多層空中像表示技術の提案と実装, 情報処理学会論文誌, デジタルコンテンツ, Vol. 8, No. 1, pp. 1–10 (2020).
- [4] SONY: 空間再現ディスプレイ, 入手先 (<https://www.sony.jp/CorporateCruise/Press/202010/20-1016/>) (参照 2022-05-15).
- [5] H. Kim, I. Takahashi, H. Yamamoto, S. Maekawa, T. Naemura: “MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects”, J. of Entertainment Computing, Vol. 5, Issue 4, pp. 233-241 (2014).
- [6] 松浦 悠, 小泉 直也: Scoopirit: 水面反射を用いた空中像とのインタラクション, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 2, pp. 318–327 (2019).
- [7] N. Koizumi, Y. Niwa, H. Kajita, T. Naemura: Optical design for transfer of camera viewpoint using retrotransmissive optical system, Optical Review, 27, 1, pp 126–135 (2020).
- [8] M. Takazaki, K. Ohashi, S. Mizuno: Interaction of a stereoscopic 3DCG image with motion parallax displayed in mid-air, SIGGRAPH ASIA 2018 Posters, 2 pages (2018).
- [9] 木村優太, 牧野泰才, 篠田裕之: 空中超音波による触覚フィードバックを有するインタラクティブ立体映像システムの開発, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 34C-02 (2016).
- [10] 細田菜未, 杉浦美衣奈, 水野慎士: ミストの動きに反応するインタラクティブ映像の提案, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-26, No. 18 (2020).
- [11] 和田恭平, 木島卓也, 小水内俊介, 近野敦: 触感を伴って空中映像に触れるインタラクションシステム, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2015) , pp. 107–115 (2015).