

## [招待講演] マイクロミラーアレイを用いた空中像インタラクション

小泉 直也<sup>†</sup>

<sup>†</sup>電気通信大学 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 西 3 号館 506 号室

E-mail: <sup>†</sup> koizumi.naoya@uec.ac.jp, <sup>‡</sup>

**あらまし** 空中像とは、映像装置の光が反射・屈折し、空中像を表示するものことである。これは映像と実物体を融合させた情報提示が可能であり新しい映像表現の一つであるが、それ以上に映像と鑑賞者が場を共有するという意味で、新しいインタラクションデザインのツールになっている。本稿では、講演者が取り組んできたマイクロミラーアレイ素子を用いた空中像インタラクションの実例を紹介する。これを、体験する映像としての空中像の価値を議論するきっかけとしたいと考えている。

**キーワード** マイクロミラーアレイ、空中像、インタラクション

## [Invited Talk] Interaction design with mid-air image by micro-mirror array plates

Naoya KOIZUMI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> The University of Electro-Communications 1-5-1 Yamada, Minato-ku, Tokyo, 105-0123 Japan

E-mail: <sup>†</sup> koizumi.naoya@uec.ac.jp,

**Abstract** A mid-air image is a display that displays an aerial image by reflecting and refracting light from an imaging device. This is one of the new visual expressions that can present information by merging video and real objects, but more than that, it has become a new tool for interaction design in the sense that the video and the viewer share a place. In this paper, we present an example of mid-air image interaction using a micro-mirror array plates, which the speaker has been working on. I hope to use this as an opportunity to discuss the value of the mid-air image as an image to be experienced.

**Keyword** Micromirror array plate, mid-air imaging, interaction design

### 1. まえがき

空中像とは、映像装置の光が反射・屈折し、空中像を表示するものことである。これは映像と実物体を融合させた情報提示が可能であり、デジタルサイネージ等への応用が期待される。この空中像の表示に有用な素子としてマイクロミラーアレイ素子(Micro-Mirror Array Plates, MMAPs)が挙げられる[1]。これは格子状または短冊状の微小なミラーアレイによって構成され、直交する2面の反射によって2軸再帰反射させる光学素子であり、空中像を光源と対称の位置に結像することができ、容易に空中像を表示することが可能である。

本稿では、MMAPsによる空中像やインタラクシ

ョンデザインの例を、簡単な概略と図を掲載し紹介する。MMAPsだけで容易に空中像を表示できるものの、それだけでは実際のアプリケーションにつなげるのは難しく、まだまだ普及には至っていない。この課題の解決には、適切なインタラクションデザインを行い、人をひきつけることを目指した表現技法の研究・開発が必要であり、本稿をその議論のきっかけとしたい。

### 2. 環境反射型空中像

空中ディスプレイの問題の一つは、表示される像よりも装置の方が大きく目立ってしまう点である。そこで、できる限り装置を隠しつつ空中像を表示することが望ましい。その方法のひとつとして、ここでは建

築などに使用されている素材などに光を反射させて空中像を結ぶ手法の研究例を紹介する。

## 2.1. EnchanTable

テーブル上に直立した空中像を表示する光学設計として EnchanTable[2]を提案した。これは空中像をテーブル上に表示することと、光学系をテーブルの下ではなくテーブル奥の空間に設置すること要件としたものである。具体的にはハーフミラー等を用いた反射率の高いテーブルを準備し、その反射を利用して空中像を表示すると同時に、透過を利用して空中像の影を投影した。実際に表示した空中像の例を図1に示す。



図1 EnchanTable での表示例

構造全体を図2に示す。まず表示する空中像のもととなる光源を担うディスプレイ D から発せられた光は、MMAPs を通り、面対称な位置に空中像 D' を結像するように進む。その後、テーブル反射面 HM で反射することで空中像 I を結像する。さらにプロジェクタによって空中像の影として見えるものを表示する。これはプロジェクタを点光源と仮定して、空中像の影をテーブル面に再現したもので、空中像が上からの光を遮って影ができていように見せることを目的としている。さらに、上方向へ進む光線を拡散し下方向へ進む光線を透過するルーバーフィルム LF を、MMAPs の手前側に設置する。これにより、I を結像する下向きの光を透過させながら、直接ユーザの目に届く上向きの光を遮蔽している。これによってテーブル上の空中像に注目を引き出し、その背部に設置された光源などの装置を見えにくくできる。

このとき、テーブルの下に非接触型のセンサを取り付けることで、入力を行うことができる。たとえば、カードリーダーを取り付けることで、カードを置くとキャラクターが出てくるゲームシステムなどへの応用が考えられる。

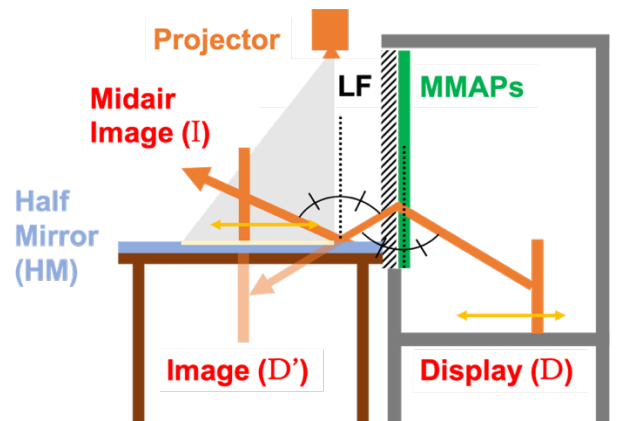


図2 EnchanTable の構成

## 2.2. PortOn

EnchanTable はテーブルなどの背部で、かつ反射面より下に光源を設置する必要があったため、床面などへの適応が難しかった。これに対して持ち運び可能で光沢のある水平面に置くだけで設置可能な空中像を表示する光学系 PortOn[3]を提案した。これは、EnchanTable の光学系の内部に鏡を用いる方法であるが、鏡を設置すると空中像よりも高輝度の像が水平面の中に表示されてしまう問題が生じる。そこで、使用する光源の種類ごとに空中像の下に表示される像を除去する方法として、偏光を用いた。実際に表示した様子を図3に示す。



図3 PortOn による空中像

斜偏光光源を用いる際の設計を図4 (a) に示す。MMAPs と LF の間に偏光板 P を設置する。LF より後ろに P を設置する場合、LF で光が拡散するため偏光特性が変化する。そのため D からの光を遮蔽することができない。したがって P を MMAPs と LF の間に設置する。斜偏光の場合、鏡 M に映り込むと偏光の位相が反転する。そこで、P を D の透過軸と直交するように設置することで D からの光が透過しなくなり、地中像を除去することができる。偏光特性のない光源を用い

る場合は、Dの前にPを配置し図4(a)と等しい状況にすることで対応する。

一方、縦偏光・横偏光の液晶ディスプレイを使用する場合の設計を図4(b)に示す。このときはMの上に1/4λ波長板W、MMAPsとLFの間にPを設置する。これは、縦偏光・横偏光の場合、Mに映り込んでも偏光の位相は反転しないため、D'の位相を反転させるためにWを設置する。これによってPをDの透過軸と直交するように設置することでDからの光が透過しなくなり、水平面内部の不要な像を除去することができた。図5に偏光による不要光の除去前と除去後の差を示す。

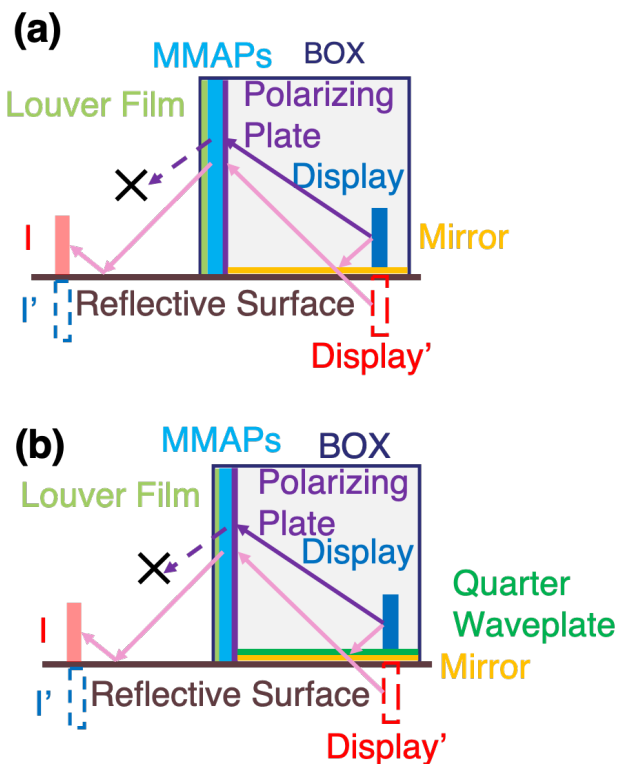


図4 PortOnの構成 (a) 光源の偏光が斜め45度の場合 (b) 光源の偏光が水平または垂直の場合

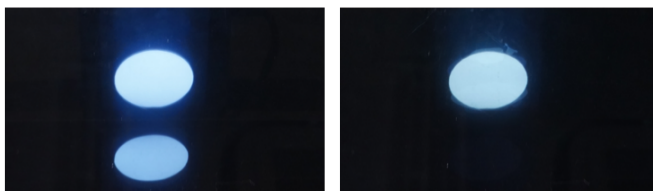


図5 PortOnによる不要光の除去(左:偏光操作がなしのため、不要な地中の像が見える 右:空中像だけが見える)

本システムでは、光沢面に装置を置くことで空中像

を結像することができる。そこで、携帯サイズの本システムをテーブルに置いて、すぐろくのコマのように使用して空中像インタラクションを実現することができる。

### 2.3. Scoopirit

EnchanTableと同じ光学系を水面に対して応用したのが、図6のように素手で水ごと空中像をすくいあげることのできるScoopirit[4]である。システム構成を図6に示す。水面の高さを超音波センサ等で計測することにより計測することで、素手で映像をすくい上げるインタラクションを可能とした。



図6 水面に浮かぶ空中像をすくい上げる

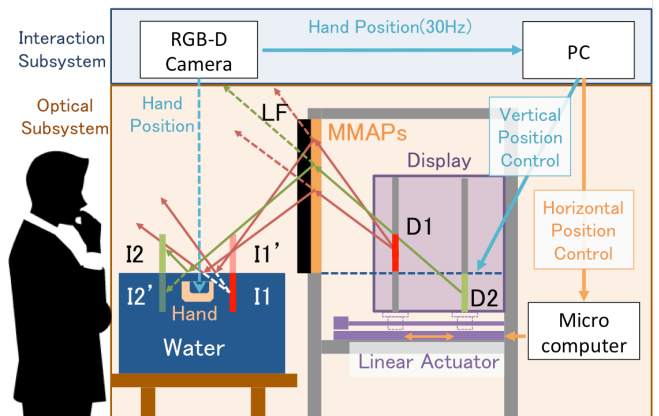


図6 Scoopiritのシステム構成

## 3. 空中像 CG アバタの視点再現

空中像として表示されたCGアバタを、操作者が自分自身の体のように空中像を操作する身体同期型空中像操作技術の開発に取り組んでいる。これは空中像CGアバタの視点からの視覚情報を、Head Mounted Display(HMD)を介して操作者に提示し、操作者が空中像CGアバタとして振る舞うことができるものにする。

### 3.1 GoThro

基盤技術として、マイクロミラーアレイと、カメラの

組み合わせによるシステム GoThro[5]を紹介する。これはいわば空中像ではなく空中カメラを実現したものである。

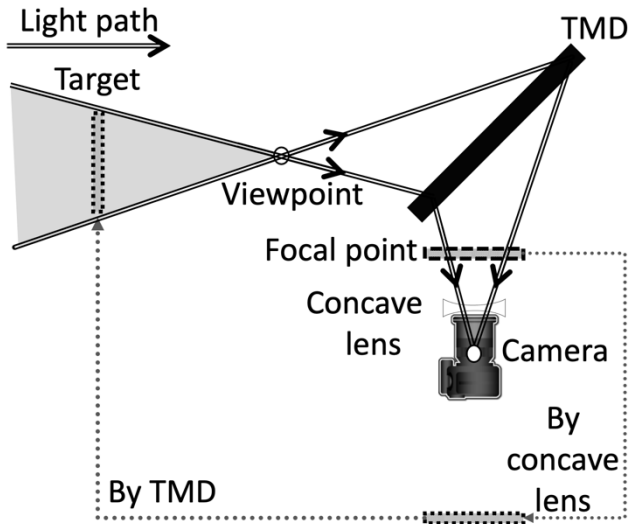


図7 GoThro の構成

本研究では、図7に示すように、マイクロミラーアレイ素子を使ってカメラの機能を光学的に転送し、空中カメラを実現している。ただし、マイクロミラーアレイ素子は前後関係が反転してしまうため、カメラとマイクロミラーアレイのみでは、カメラのフォーカス方向も反転してしまう。そこで、凹レンズをカメラに取り付けることによって、フォーカス方向を反転させている。この方法では、マイクロミラーアレイ素子による解像度の劣化は当然生じるが、ゲージを通り抜けて中にある動物の接写をするなどの、物理的実体がないカメラならではのインタラクションを実現できるものになっている。

### 3.2 Levitar

前述の GoThro を空中像提示と組み合わせた技術として、図8にしめす Levitar[6]を紹介する。

これは、図9に示すとおり、空中像の光源となるディスプレイと、GoThroのカメラシステムをハーフミラーで合成したものである。カメラを2台使用することで、両眼視を実現することができる。そこで、2台のカメラ映像を Head Mounted Display(HMD)に送り表示することで、HMDを装着したユーザーに、空中像視点の映像を提示することができるようになる。また、HMDには三軸センサがついており、この加速度センサの値を空中像の動きに同期させることによって、着ぐるみのように空中像を操作することが可能になり、空

中像アバタと鑑賞者のインタラクションを実現する。



図8 Levitar による空中像アバタの操作

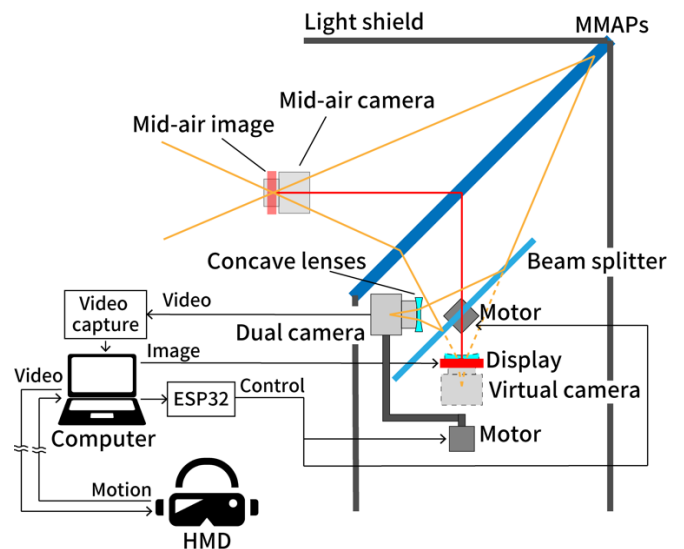


図9 Levitar のシステム構成

## 4. 多様な表示手法の例

### 4.1 Passive Midair Display

鑑賞者が空間を照らした光を、MMAPsに通し、反射型液晶を照らすことで、空中像の光源にする方法を Passive Midair Display[5]を提案している。これはお化け屋敷のように「懐中電灯で照らす」という行動を取り込んだ空中ディスプレイのインタラクションデザインである。図10にその構造と表示の例を示す。

本システムでは、懐中電灯からの光を空中像が表示される場所に向けた瞬間に空中像が浮かび上がるインタラクションを実現している。インタラクションシステムと言っても、センサ等を使用していないため、瞬時的な反応が可能である。また展示の際には、個人のスマートフォンに照らすことが観察されるなど、光学系のみで構成されたからこそ生まれるインタラクシ



ンもあった。また、光を自然に望む位置に照らすように、装置をドールハウス風にして、その窓を照らすとおぼけの空中像が出るようにデザインをした。ドールハウス上にする事で、空中像提示部分の横側にドールハウスの壁で障害物を作ることができ、ユーザーがマイクロミラーアレイ素子に入り込まない方向から光で照らすことがなくなった。これによって鑑賞者の試行錯誤を制限するインタラクションをデザインした。

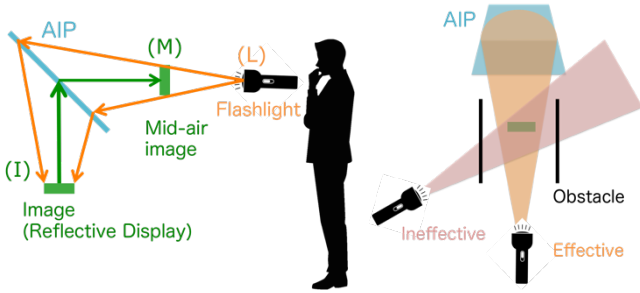


図10 Passive Midair Display

#### 4.1 HoVerTable

MMAPs をテーブル面として用いて、直立した空中像を表示したのが HoVerTable[8]である。テーブル表面に透過型のプロジェクションスクリーンを配置することで、テーブルトップディスプレイと空中像を同時に表示することができる。ただしこの方法では、MMAPs を通して光源が見えてしまう問題がある。そこで HoverTable PONG[8]では、光源として両面ディスプレイを使用し、MMAPs の上側で LF を移動する設計にすることで、空中像の位置に依らず透過光を遮蔽する方法を開発した。全体の構成を図 11に、LF による光源の隠消の効果を図 12に示す。

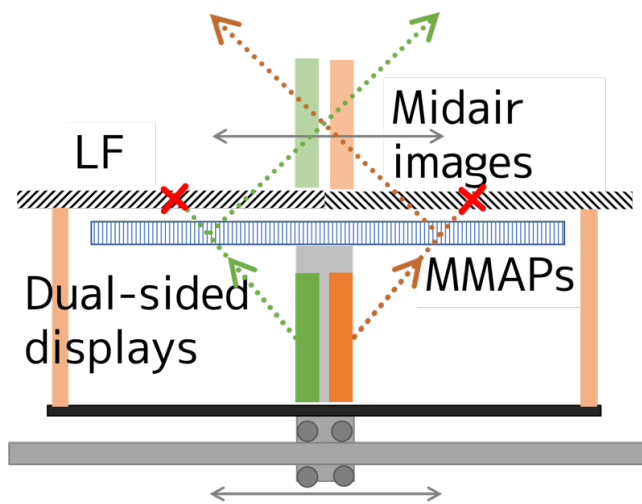


図 11 HoverTablePONG の構成

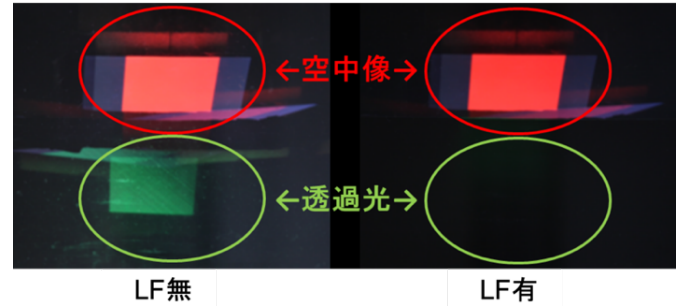


図 12 HoVerTablePONG による光源の隠消

#### 5. おわりに

本稿では、筆者が携わった MMAPs を活用した空中像とそれを用いたインタラクションの例を紹介した。今後も、より美しく多様な空中ディスプレイ表現の実現に向けて、引き続き多くの関係者との研究開発を進めていきたい。

#### 文 献

- [1] 山本裕紹(監修), 空中ディスプレイの開発と応用展開. シーエムシー出版, (2018).
- [2] 山本紘暉, 梶田創, 小泉直也, 苗村健: “EnchanTable: テーブル面の反射を用いた直立空中像ディスプレイ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 21, 3, pp.401-410, (2016)
- [3] A. Sano and N. Koizumi: “Portable Mid-air Imaging Optical System on Glossy Surface. In 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. 27, 5, (2019).
- [4] 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, No2, pp. 318-327. (2019).
- [5] 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).
- [6] K. Tsuchiya and N. Koizumi: “An Optical Design for Avatar-User Co-axial Viewpoint Telepresence”, In Proceedings of 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, pp.108-116 (2020).
- [7] N. Koizumi, and T. Naemura. : “Passive Mid-air Display. ” In *Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 39, 6, (2016).
- [8] H. Kim, H. Yamamoto, N. Koizumi, S. Maekawa, T. Naemura: “HoVerTable: Combining Dual-sided Vertical Mid-air Images with a Horizontal Tabletop Display”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 17, 3, 275 - 286, (2015)
- [9] H. Katsumoto, H. Kajita, N. Koizumi, and T. Naemura: ”HoVerTable PONG: Playing Face-to-face Game on Horizontal Tabletop with Moving Vertical Mid-air Image”, In *Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 50, 6, (2016).