

# 鏡像空間と実空間の境界を自在に超える 超鏡空中像表示システムの実装

巻口 誉宗<sup>1,a)</sup> 佐野 文香<sup>1,b)</sup> 松元 崇裕<sup>1,c)</sup> 山本 隆二<sup>1,d)</sup>

**概要:** 鏡面や鏡の中にデジタル情報を提示する手法は多々提案されているが、表示領域は鏡像空間に制限されている。我々はデジタル情報を鏡像空間だけでなく実空間へも連続的に移動させることのできる超鏡空中像 (MiTAi:Mirror-Transcending Aerial Imaging) のコンセプトを提案し、実世界におけるデジタル情報の新たな視聴体験の創出をめざしている。本稿では超鏡空中像の特徴である「空中像が鏡面を超える視聴体験」をソフトウェアによって自動制御できるシステムの実装について、光学系、制御系、アプリケーション、パラメータ設計の観点から概要を述べ、実装したプロトタイプの実動作をまとめる。

## 1. はじめに

我々は日常生活において鏡像空間と実空間の1対1の対応を理解することで、鏡を自己認知や空間認知に利用している。近年はビームスプリッタ（入射光の一部を透過し、一部を反射する光学素子）の裏面にディスプレイを設置することで、鏡像空間にデジタル情報を表示するスマートミラー [3], [4] や、ユーザの視点位置や動きを取得するセンサを追加したインタラクティブミラー [5], [6] が提案されている。こうした技術によって実空間に存在しないデジタル情報を鏡像空間に表示させることで、我々は鏡像空間を実空間との対応にとらわれずに利用できるようになった。さらにデジタル情報によって鏡の中の自己像や鏡像空間を積極的に拡張することで新たなインタラクションを創出する試みも行われている [16], [18], [19]。

こうした従来研究が、ユーザの自己像や空間の拡張を対象としていることに対し、我々は鏡像空間に表示されるデジタル情報自身の拡張に着目し、鏡像空間と実空間を連続的に移動可能な超鏡空中像 (MiTAi:Mirror-Transcending Aerial Imaging) を提案している。超鏡空中像によって従来、鏡像空間内、もしくは実空間内のみ限定されていたデジタル情報が、鏡面を超えて移動可能な存在となることで、実世界におけるデジタル情報の新たな視聴体験やインタラクションの創出が期待される。

これまで我々は超鏡空中像を実現するため、再帰反射

を用いた既存の空中像光学系である AIRR (Aerial imaging by retro-reflection) [8] を拡張した新たな光学系を提案した [1], [2]。そして簡易的な原理確認用プロトタイプを実装し、表示される空中像が鏡像空間と実空間を連続的に移動できることを確認した。本稿では超鏡空中像の特徴である「空中像が鏡面を超える視聴体験」を自動制御によって再現できる超鏡空中像表示システムの実装についてまとめる。さらに動作検証結果として、実装したシステムが空中像の移動と同期したアニメーションを付与できること、ビームスプリッタの偏光特性を活用することで実空間照明とディスプレイの迷光要因を軽減できることを述べる。

## 2. 関連研究

ビームスプリッタの裏面にディスプレイを設置したスマートミラーは、構成がシンプルで導入が容易なことからコンテキストウェアコンピューティング分野における情報取得インタフェース [3] や、アフェクティブコンピューティング分野における感情インタフェース [4] としての活用が提案されている。一方で、スマートミラーのシンプルな光学系のままではデジタル情報の表示位置は鏡面に固定され、ユーザの虚像と表示面には奥行方向のズレが生じる。そのためユーザや実物体の虚像にデジタル情報を重ねる AR (Augmented reality) や MR (Mixed reality) の分野では、センサを追加してユーザの視点位置や動きを取得し、ミラーに表示する情報を変化させるインタラクティブミラーが提案されている。インタラクティブミラーでは取得した視点位置に合わせてディスプレイの映像をリアルタイムに書き換えることで、視点位置に対して虚像とデジタル情報のズレの解消に加え、運動視差の再現 [5] や、裸眼

<sup>1</sup> NTT 人間情報研究所

a) motohiro.makiguchi.gn@hco.ntt.co.jp

b) ayaka.sano.sc@hco.ntt.co.jp

c) takahiro.matsumoto.ab@hco.ntt.co.jp

d) ryuji.yamamoto.sv@hco.ntt.co.jp

3D ディスプレイを用いることで両眼視差の再現 [6] を実現できる。しかしこれらの手法では、視点位置を検出するユーザ 1 名のみにしかな正確な情報重畳ができないことに加え、人の奥行知覚の要素のうちの調節機能はカバーできず、デジタル情報と虚像を同じ被写界深度で観察することが困難である。

Saakes ら [7] は、インタラクティブミラーの構成にプロジェクタを加えて実空間のユーザの身体に映像を投影する手法を提案している。このアプローチではユーザはデジタル情報が重畳された自身の虚像を奥行知覚の違和感なく観察できる。また、Uchida ら [9] や Jacobs ら [19], Plasencia ら [18] は、ビームスプリッタの裏面のディスプレイを物理的に奥行方向へ離れた光学系を用いている。鏡面とディスプレイに物理的な距離をもたせるこのアプローチは、シンプルながら人の奥行知覚の多くの要素をカバーできる他、複数人でもデジタル情報を正確な奥行位置に観察できる。しかしこれらの手法ではいずれもユーザが視認するデジタル情報の表示範囲はビームスプリッタの後ろ側の鏡像空間に限定されている。

デジタル情報を実空間へ表示する手法として、レンズ [10] や Micro-mirror array plates (MMAP) [11], 再帰性反射材 [8] などの光学素子を用いてディスプレイの実像を結像させる空中像表示手法が提案されている。実像による空中像はいずれも光学系の手前側にデジタル情報を表示できるため、ユーザは空中像の位置に指を重ねるなどのインタラクションを行うことができる。また、実像の空中像と鏡像空間を組み合わせた手法として、実空間に空中像を表示し、さらにその空中像の虚像を模した別の空中像を鏡像空間内に提示する光学系 [15] が提案されている。この手法は空中像の実在感向上を目的としており、超鏡空中像のようにデジタル情報を鏡像空間と実空間の間で移動させる概念は言及されていない。

鏡像空間と実空間の間でデジタル情報を移動させる手法として、箕ら [16] はテーブルトップ型の表示面の上に鏡を垂直に設置し、2 台のプロジェクタと拡散型の視域制限フィルムによって実空間の表示面と鏡に映る表示面にそれぞれ独立した映像を表示するシステムを提案している。このシステムは表示面にホッケー台を投影し、ホッケーのバックを実空間と鏡像空間で行き来させ、ユーザとユーザ自身の虚像とのインタラクションの創出を目的としているのに対し、我々は超鏡空中像を通してデジタル情報に対する認知の変化や、ユーザとデジタル情報との新たなインタラクションの創出をめざしている。

### 3. 超鏡空中像

超鏡空中像はデジタル情報を鏡像空間と実空間の間で連続的に移動させる [1], [2]。特に「鏡の中から何かが飛び出してくる体験」は我々が日常生活で見ることがないため、

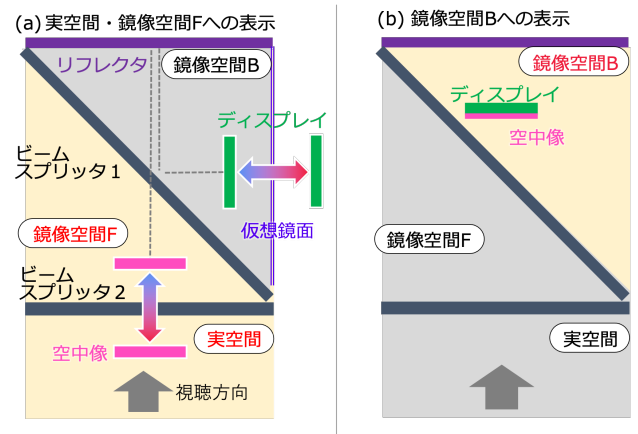


図 1 提案光学系の上面図。(a) 実空間と鏡像空間 F への空中像表示。(b) 鏡像空間 B への空中像表示

インパクトの求められるサイネージやエンターテインメントへの活用が期待できる。超鏡空中像のコンセプトを実現する提案光学系の上面図を図 1 に示す。提案光学系はリフレクタと 2 枚のビームスプリッタ、ディスプレイから構成される。リフレクタは再帰性反射材である。リフレクタに対して斜め 45 度に設置されるビームスプリッタ 1 は、ディスプレイの光をリフレクタ方向へ反射させ、リフレクタで反射した光を視聴方向へ透過させる。ユーザに正対して設置されるビームスプリッタ 2 は実空間の環境光を反射し、ユーザに鏡像空間を視認させる。

空中像を実空間に表示させる場合、および鏡像空間 F に表示する場合は図 1a のように、ディスプレイの表示面をリフレクタに対して垂直とする。これによりディスプレイの映像は既存の AIRR 光学系 [8] と同様にリフレクタによって実像の空中像が結像される。以下ではリフレクタによって結像される空中像を結像空中像と呼ぶ。ディスプレイの位置と空中像の結像位置はビームスプリッタ 1 を基準に面対称となる。そのためビームスプリッタ 1 に対してビームスプリッタ 2 が面対称となる仮想鏡面を定義すると、空中像の結像位置はディスプレイが仮想鏡面よりも外側では実空間に、内側では鏡像空間 F となる。よってディスプレイが仮想鏡面を挟んで連続的に移動することで空中像はビームスプリッタ 2 の鏡面を超えて実空間と鏡像空間を移動し、空中像が鏡面をすり抜けたように視認される。

空中像を鏡像空間 B に表示する場合は、図 1b のようにディスプレイの表示面を視聴方向に向けて鏡像空間 B に配置する。これによりユーザはディスプレイの映像を 2 枚のビームスプリッタ越しに直接観察することで鏡像空間 B 内に空中像を視認する。以下では鏡像空間 B へのディスプレイ直視による空中像を直視空中像と呼ぶ。

AIRR 光学系ではビームスプリッタと空中像の両方をユーザに正対させることが困難であるが、提案光学系ではビームスプリッタ 2 を追加することでこの問題を解決する。また、提案光学系では AIRR 光学系の光路にあたる空間を

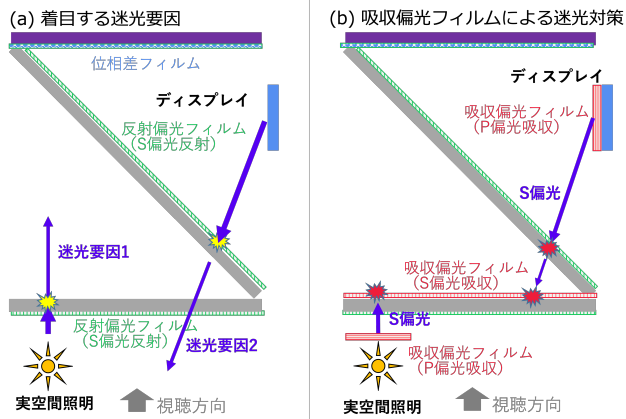


図 2 (a) 提案光学系における迷光要因. (b) 吸収偏光フィルムによる対策

直視空中像におけるディスプレイの移動領域として活用することで、実装スペースの削減に加え結像空中像の光路長増加を防ぐことができる。これまでの我々の検討では、提案光学系では既存の AIRR 光学系構成との比較において空中像の輝度を 75%以上を維持できること [1]、および再帰性反射材とビームスプリッタをタイリングすることで表示する空中像を大型化できることを確認した [2]。

#### 4. 実装

従来検討 [1], [2] では、ディスプレイの移動を手動で行っていたため、空中像の移動速度や距離といった条件の統制や、移動と同期した空中像へのアニメーション・演出の付与が困難であった。そこで我々は、鏡面を超える動作を安定して再現することを目的として結像空中像を対象を絞り、奥行方向 1 軸の移動と、移動と空中像映像の同期制御が可能な超鏡空中像表示システムを実装した。以下では光学系、制御系、アプリケーション、パラメータ設計の観点から実装の概要を述べる。

##### 4.1 光学系

提案光学系の実装にあたり、再帰性反射材として日本カーバイド工業製 空中ディスプレイ用リフレクタ RF-Ay (250 mm 角, 位相差フィルム貼合) を用い、ビームスプリッタ 1 に反射偏光フィルムを貼合した透明アクリル板 (幅 350 mm, 高さ 250 mm), ビームスプリッタ 2 に反射偏光フィルムを貼合した透明アクリル板 (250 mm 角) を用いた。反射偏光フィルムはビームスプリッタ 1 の透過軸とビームスプリッタ 2 の透過軸が等しくなる方向で配置する (例として P 偏光を透過し, S 偏光を反射するものとする)。

また、光学系構築にあたり図 2a に示す 2 つの迷光要因への対策を行う。1 つ目の迷光要因は実空間をビームスプリッタ 2 に映すために必須となる実空間照明である。実空間に設置した照明光がビームスプリッタ 2 を透過して装置内部に入ることによってユーザから装置内部の光学系やフレー

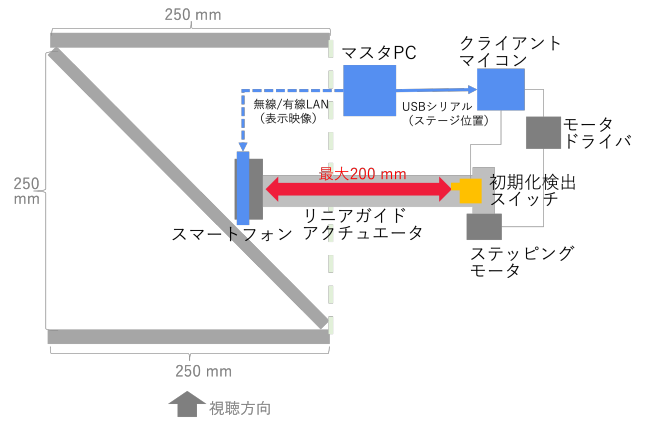


図 3 制御系の構成

ムが見えることに加え、照明光がリフレクタやビームスプリッタ 1 に反射されることで迷光が生じる。2 つ目の迷光要因はディスプレイである。結像空中像表示時にディスプレイから斜め方向に出射された光がビームスプリッタ 1, 2 を透過することで、ディスプレイの映像が迷光として視認される。

これらの迷光要因への対策としてビームスプリッタ 2 の偏光特性を活用する (図 2b)。まず、ビームスプリッタ 2 に対し、すでに貼合されている反射偏光フィルムの反射する偏光成分を吸収する光軸 (図 2b の例では S 偏光吸収) で、吸収偏光フィルムを貼合する。さらに実空間照明とディスプレイそれぞれに対し、ビームスプリッタ 2 の吸収偏光フィルムと直交する光軸 (図 2b の例では P 偏光吸収) で吸収偏光フィルムを貼合する。これにより実空間照明とディスプレイから出射される光は S 偏光のみとなり、ビームスプリッタ 2 にそれぞれ吸収されることで迷光を軽減することができる。

##### 4.2 制御系

提案光学系では結像空中像を鏡像空間から実空間へ移動させるためにディスプレイの物理的な移動が必要である。空中像の奥行位置を物理的に変化させる手法として XY ステージ [12] やリニアアクチュエータ [13] を用いる手法の他、ミラーを回転させる手法 [14] が提案されているが、本稿では奥行方向 1 軸の移動を最もシンプルに再現できる方式としてリニアアクチュエータを採用した。

図 3 に制御系の構成を示す。アクチュエータとして市販のベルト駆動型リニアアクチュエータ (移動量 200 mm, 精度:  $\pm 0.1$  mm, 最高速度: 500mm/s, 負荷: 300N) を用いた。ディスプレイにはスマートフォン motorola 製 moto g31 を用いた。リニアアクチュエータと空中像映像を同期制御するため、アクチュエータを制御するクライアントマイコンと、スマートフォンの表示映像をマスター PC から制御する。クライアントマイコンには M5Stack を用いた。クライアントマイコンはマスター PC と USB ケーブルで接

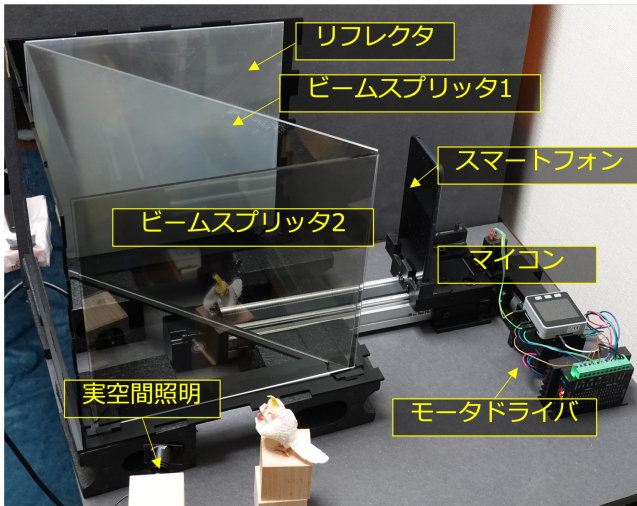


図 4 実装した光学系と制御系の外観（構造がわかりやすいよう一部外装を外した状態）

続され、シリアル通信で受信した奥行位置に合わせてリニアアクチュエータのステージを移動させる。実装で用いたベルト駆動リニアガイドアクチュエータは、ステッピングモータとタイミングベルトによってステージ位置とモータの回転数が対応しているため、物理スイッチによって初期位置を検出し、初期位置からのモータの回転数の増減をカウントすることで現在のステージ位置を把握する。

### 4.3 アプリケーション

マスタ PC とスマートフォンには Unity で実装したマスタアプリとクライアントアプリをそれぞれインストールする。マスタ PC 上のマスタアプリは上記光学系の実サイズに合わせた仮想ステージ環境と、空中像として表示したい被写体、想定視点位置に設置された仮想カメラを保持する。マスタアプリは仮想カメラで撮影した被写体の映像を、WebRTC ベースの UnityRenderStreaming によってスマートフォンのクライアントアプリにリアルタイムで伝送する。空中像映像をマスタアプリ上でレンダリングし、クライアントアプリは受信した映像の表示のみを行うことで、センサ導入などの拡張性が向上することに加え、コンテンツを更新する度にスマートフォンにクライアントアプリを書き出す作業がなくなり、調整時の PDCA サイクルを高速化できる。マスタアプリはユーザーの操作入力に基づいて仮想ステージ環境内の被写体を移動させ、アニメーションや演出を付与するとともに、被写体の奥行位置をクライアントマイコンに送信する。

### 4.4 パラメータ設計

提案光学系において空中像が視認できる範囲はビームスプリッタ 1 とリフレクタが同時に視認できる範囲に限定される。そのため空中像が両眼で観察される範囲は各眼とリフレクタの両端を結んだ 2 つの三角形の重畳部分（図 5 の

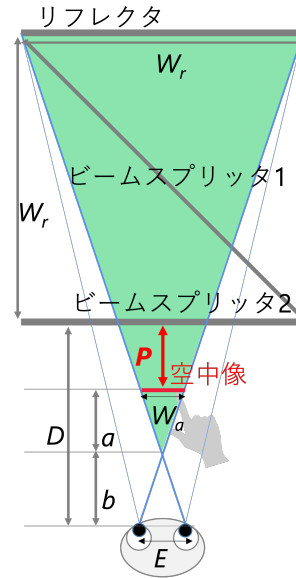


図 5 装置上面図に対する飛び出し距離の変数

緑）となり、その他の部分では空中像が視認されなかったり、片目のみに空中像が視認されることにより両眼視差が機能せず、空中像に対する奥行知覚が曖昧になるといった問題が生じる。こうした問題を避けるため以下では飛び出し距離の理論値の算出方法について述べる。

視聴条件として装置の上下左右中央に視点がある場合を想定する。図 5 に示すようにビームスプリッタ 1 がリフレクタに対して斜め 45 度に設置されている場合、リフレクタの幅を  $W_r$  とするとビームスプリッタ 2 からリフレクタまでの距離も  $W_r$  となる。また、ビームスプリッタ 2 から視点までの視距離を  $D$ 、瞳孔間距離を  $E$ 、空中像の表示幅を  $W_a$  とする。さらに両眼の輻輳の交差点から空中像までの距離を  $a$ 、交差点から視点までの距離を  $b$  とすると、 $a, b$  はそれぞれ以下の式で求められる。

$$a : W_a = b : E$$

$$a = \frac{W_a b}{E}$$

$$E : W_r = b : W_r + D - b$$

$$b = \frac{E(W_r + D)}{(W_r + E)}$$

このとき、飛び出し距離  $P$  は上記  $a, b$  を用いて以下の式から求められる。

$$P = D - (a + b) \quad (1)$$

瞳孔間距離  $E$  は女性の平均値よりも男性の方が長く、飛び出し距離の制約が強まることから、例として男性の平均である 65 mm を設定した ( $E = 65$ )。空中像の表示幅  $W_a$  はディスプレイサイズから設定でき、例として今回の実装に用いたスマートフォン g31 の画面幅である約 66 mm を設定した ( $W_a = 66$ )。視距離  $D$  について、先行研究 [17] では腕を伸ばして対象を操作する際の最適距離は、腕の長

さを  $L$  とした際に  $0.4L$  から  $0.8L$  とされていることを参考に、成人男性の腕の長さの平均として  $L = 700$  mm[18] を想定し、 $0.8L = 560$  mm を設定した ( $D = 560$ )。上記条件における飛び出し距離は式 (1) から約 223 mm となる。この数値を目安にコンテンツ制作時に被写体の飛び出し距離に上限を設定することで、両眼視差による奥行知覚を損なわない空中像表示を実現できる。

## 5. 動作検証結果と考察

### 5.1 超鏡空中像の移動とアニメーション

実装したシステムを用いて空中像を鏡像空間から実空間に連続的に移動させた際の写真を図 6 に示す。左側のインコは実空間に配置した実物体、右側のドラゴンは空中像である。実装システムによって、空中像が実空間の鏡像空間から実空間へ連続的に移動できることと、移動と同期して空中像のアニメーション（ドラゴンの飛行モーション）を再生できることが確認できた。一方で肉眼による観察では、鏡面の位置が曖昧で空中像が鏡面を超えた瞬間の把握が困難であった。そのため空中像が鏡面を超えるインパクトを増大させるためには、鏡面の前後で空中像の輝度や色を変化させるなどの演出の付与が重要と考えられる。

### 5.2 迷光要因の軽減効果

迷光要因対策の効果について、まず実空間照明に対する吸収偏光フィルム設置あり・なしの比較を図 7 に示す。図 7a の吸収偏光フィルムなし（対策なし）の場合、鏡像空間には実空間に配置したインコと実空間照明の虚像以外にもビームスプリッタ 1 に反射した照明の虚像や内部光学系を支えるフレームが視認される。一方、迷光要因対策として吸収偏光フィルムを設置した場合（図 7b）ではそれらの迷光が大きく軽減されることがわかる。

ディスプレイに対する吸収偏光フィルム設置あり・なしの比較を図 8 に示す。図 8a の吸収偏光フィルムなし（対策なし）の場合、装置を斜め方向から観察するとディスプレイの映像が直接視認されることによる迷光が生じている。一方、対策として吸収偏光フィルムを設置した場合（図 8b）ではディスプレイの迷光が大きく低下していることが確認できる。

ディスプレイに設置した吸収偏光フィルムで吸収される偏光成分は空中像結像に寄与しないことから、原理上は今回の対策によって空中像の輝度低下を生じずにディスプレイの映像を完全に除去できる。図 8b に見られる空中像の若干の輝度低下と迷光成分の残留は、偏光フィルムの性能、および視域が狭いことが要因と考えられ、今後、吸収偏光フィルムの性能向上や視域拡大によってさらなる改善が期待できる。また、今回の実装では結像空中像のみに絞って実装したため、ディスプレイの迷光要因に対して吸収偏光フィルムによる対策が有効であった。一方で、本来の提案

光学系 [1], [2] ではディスプレイの方向を回転させ、直視空中像を視認させることも想定している。ディスプレイの偏光方向を動的に切り替えることは困難なため、結像空中像と直視空中像の両方を実装する場合は、吸収偏光フィルムの代わりに視野角制限フィルムを用いる手法や 2 台の偏光方向の異なるディスプレイを L 字に組み合わせる手法などの代替案が有効と考えられる。

## 6. まとめ

本稿ではデジタル情報が鏡像空間と実空間を連続的に移動できる超鏡空中像表示システムを実装した。実装したシステムはマスタ PC によって空中像の移動機構と表示映像を制御することで空中像の移動と同期したアニメーションや演出を付与できる他、ビームスプリッタの偏光特性を活用することで実空間照明とディスプレイの迷光を軽減できる。今後、本システムを用いてユーザの超鏡空中像に対する認知やインタラクティブ性に関する評価を行い、実世界における人とデジタル情報との新たなインタラクティブ創出に向けた検討を進める。

## 参考文献

- [1] 佐野文香, 巻口誉宗, 松元崇裕, 山本隆二: 鏡像空間と実空間の境界を自在に超える超鏡空中像光学系の提案, 第 27 回バーチャルリアリティ学会大会, 1D4-4, 2022.
- [2] 巻口誉宗, 佐野文香, 松元崇裕, 山本隆二: 超鏡空中像の大型化検討と光学特性評価, 映像情報メディア学会, 3DMT2022-51 pp.45-48, 2022.
- [3] K.Fujinami, F.Kawsar, T.Nakajima: Awaremirror: A personalized display using a mirror, International Conference on Pervasive Computing, Springer, 2005.
- [4] N.Rajcic and J.McCormack: Mirror Ritual: An Affective Interface for Emotional Self-Reflection, CHI '20, pp. 1-13, 2020.
- [5] Q.Zhou, A.Irlitti, D.Yu, J.Goncalves, E.Velloso: Movement Guidance using a Mixed Reality Mirror, ACM DIS '22, pp.821-834, 2022.
- [6] G.A.Lee, H.S.Park, M.Billinghurst: Optical-Reflection Type 3D Augmented Reality Mirrors. ACM VRST'19, Article 82, pp. 1-2, 2019.
- [7] D.Saakes, H.Yeo, S.Noh, G.Han, and W.Woo: Mirror Mirror: An On-Body T-shirt Design System, In Proceedings of the CHI '16, pp.6058-6063,2016
- [8] H.Yamamoto, Y.Tomiyama, and S.Suyama: Floating aerial LED signage based on aerial imaging by retro-reflection (AIRR), Opt. Express 22, pp. 26919-26924,2014.
- [9] H.Uchida, T.Ebihara, N.Wakatsuki, K.Zempo: ALiSE: Through the mirrored space, and what user interacts with avatars naturally, ACM ISS '21, pp. 29-32, 2021.
- [10] H.Ikeda, T.Naemura, H.Harashima, J.Ishikawa: i-ball: Interactive Information Display like a Crystal Ball, ACM SIGGRAPH '01, pp. 122, 2001.
- [11] M.Otsubo: Optical imaging method using the same, U.S. Patent No.8,702,252, Patent and Trademark Office, 2014.
- [12] Hajime Katsumoto, Hajime Kajita, Naoya Koizumi, Takeshi Naemura: HoVerTable PONG: Playing Face-to-

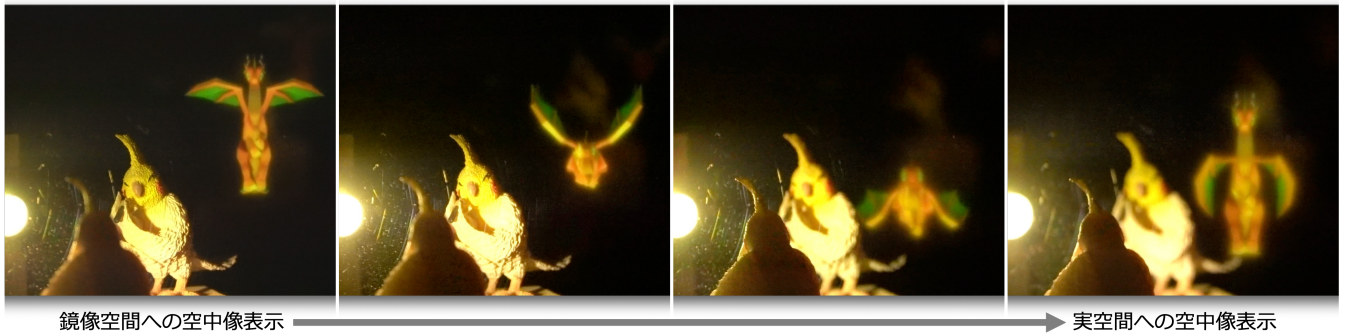


図 6 実装したシステムで表示した空中像. F 値 4.5, 露出時間 0.635 秒, ISO 値 64 で撮影.

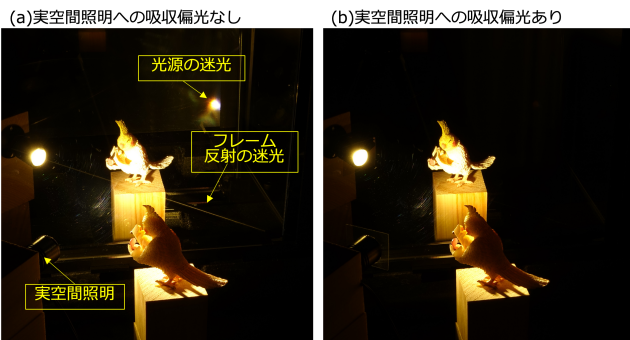


図 7 実空間照明の迷光軽減効果. F 値 11, 露出時間 8 秒, ISO 値 64 で撮影.

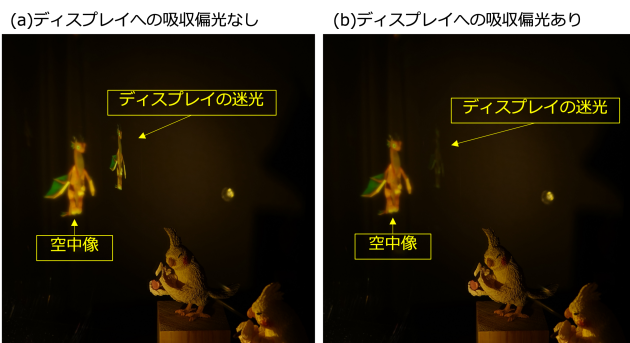


図 8 ディスプレイの迷光軽減効果. F 値 4, 露出時間 0.635 秒, ISO 値 64 で撮影.

face Game on Horizontal Tabletop with Moving Vertical Mid-air Image. ACE '16, pp.50:1-50:6, 2016.

- [13] H.Kim, I.Takahashi, H.Yamamoto, S.Maekawa, T.Naemura: MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects, Entertainment Computing Volume 5, Issue 4, pp.233-241,2014.
- [14] Y.Osato, N.Koizumi: Compact optical system displaying mid-air images movable in depth by rotating light source and mirror, Computers & Graphics, vol.91, pp.290-300, 2020.
- [15] N.Kato, T.Naemura: Mixed reality environment with a mirror, ACM SIGGRAPH '06, pp.155-es, 2006.
- [16] Yasuaki Kakehi and Takeshi Naemura: Through the looking glass: you can play against your own reflection, ACE '05, pp.373-374, 2005.
- [17] Valkov, Steinicke, Bruder, and Hinrichs: 2d touching of 3d stereoscopic objects, CHI '11, pp.1353-1362,2011.

- [18] D.M.Plasencia, F.Berthaut, A.Karnik, and S.Subramanian: Through the combining glass. UIST'14. pp. 341-350,2014.
- [19] R.Jacobs, H.Schnädelbach, N.Jäger, S.Leal, R.Shackford, S.Benford, and R.Patel: The Performative Mirror Space, CHI '19, pp.1-14, 2019.