

# モバイル端末で利用可能な 小型多層空中像投影装置の提案と実装

巻口 誉宗<sup>1,a)</sup> 高田 英明<sup>1,b)</sup> 新島 有信<sup>1,c)</sup> 松井 龍也<sup>1,d)</sup> 横山 正典<sup>1,e)</sup>

受付日 2016年12月21日, 採録日 2017年7月4日

**概要:** デジタル情報をあたかも実空間に存在するかのよう投影する「空中像投影技術」が注目され, 近年はスマートフォン等のモバイル端末を用いて複数の空中像を多層に投影する装置も実用化されている. 一方で, 既存のモバイル端末を用いた多層空中像投影装置では, 多層化の際に「空中像どうしの奥行間隔を任意設計できない」, 「空中像どうしの重なり表現が困難」といった課題があり, 表現可能なコンテンツや, 空中像の存在感を高めるために適用可能な技術が制限されるという問題がある. そこで本稿では, ハーフミラーと全反射ミラーをV字に組み合わせることで空中像どうしの奥行間隔を任意に設計できるV字ミラー方式(V字式)を提案する. また, 空中像どうしの重なり表現について, 前面空中像の輝度を後面空中像より高めるアプローチに注目し, 前後の空中像の奥行位置を反転した奥行反転V字ミラー方式(DR式)を提案する. DR式とV字式の2つの提案手法に対し空中像の輝度値を評価した結果, DR式がV字式と比較してモバイル端末の画面輝度を効率的に利用した空中像投影が可能であることが示された. また, 実験参加者による印象評価によって, DR式がV字式と比較して重なり表現に有効であること, 前面空中像をより鮮明に投影できることが示唆された. さらにDR式のプロトタイプの実装とユーザヒアリングによって, DR式が低価格で高品質な空中像投影装置の実用化と普及に貢献できる可能性が示された.

**キーワード:** 多層空中像, ハーフミラー, モバイル端末, スマートフォン

## Proposal and Implementation of Compact Multilayer Floating Imaging Projection System Using Mobile Device

MOTOHIRO MAKIGUCHI<sup>1,a)</sup> HIDEAKI TAKADA<sup>1,b)</sup> ARINOBU NIJIMA<sup>1,c)</sup>  
TATSUYA MATSUI<sup>1,d)</sup> MASANORI YOKOYAMA<sup>1,e)</sup>

Received: December 21, 2016, Accepted: July 4, 2017

**Abstract:** In recent years, a projection system which displays multi-layer floating images using a mobile device has been proposed. On the other hand, in the existing systems using mobile device, there are problems that “difficulty in arbitrarily design the depth intervals between images” and “difficulty in overlapping representation of images”. In this paper, we propose a V-shaped mirror system (V-shape method) that can design the depth of floating images at arbitrary intervals by combining half mirrors and full reflection mirrors. Also, regarding the overlapping representation of the floating images, we focused on the approach to increase the luminance of the front image than the rear image, proposed a Depth Reversed V-shaped method (DR method) that inverts the depth position of the front and rear images. And we show that floating image by DR method can use mobile device’s screen luminance more efficiently compared with V-shape method. By impression evaluation by subjects, it is shown that the DR formula is effective for overlapping expression compared to the V shape, and clearly floating image can be projected. We also implement prototype for practical application and show the possibility that DR method can contribute to popularization of high quality floating image viewing experience.

**Keywords:** multi-layer floating image, beam splitter, mobile device, smart phone

<sup>1</sup> NTT サービスエボリューション研究所  
NTT Service Evolution Laboratories, Yokosuka, Kanagawa  
239-0847, Japan

a) makiguchi.motohiro@lab.ntt.co.jp

b) takada.hideaki@lab.ntt.co.jp

c) nijima.arinobu@lab.ntt.co.jp

d) matsui.tatsuya@lab.ntt.co.jp

e) yokoyama.masanori@lab.ntt.co.jp

## 1. はじめに

近年、4K・8Kをはじめとする映像機器の高解像度化や High Dynamic Range Imaging (HDR) によるコントラスト比の向上等、2次元映像のリアリティを高める技術が発展している。また、奥行方向も加えた3次元の映像表現を実現するために、左右の眼に視差を持つ映像を提示するステレオ立体表示技術の実用化や、視点に応じて異なる映像を提示する多眼立体表示技術 [1] 等の研究開発が進んでいる。これらの技術は連続的で効果的な奥行感提示が可能な一方で、ステレオ立体視では眼のピント（調節）が表示面の奥行位置に合い、眼の軸（輻輳）は2つの画像の視差によって提示される仮想物体の奥行位置に合うことから、この2つの奥行間隔が大きく異なる際に輻輳調節矛盾の問題が指摘されており、コンテンツの奥行幅やユーザの年齢に制限が必要とされている [2]。また多眼立体視は、視点数の増加にともなって表示映像を増やす必要があることから、ハードウェア・ソフトウェアともに構成が大がかりになるという問題がある。

一方、3次元の映像表現の適用先の中には、連続的な奥行表現が求められるコンテンツ以外にも、ステージやコンサート、ライブパブリックビューイングといった、限られた範囲の非連続な奥行表現によっても再現可能なコンテンツが存在する。こうしたコンテンツに対し、ハーフミラー（入射した光の一部を反射し、一部を透過させる半透過ミラー）にスクリーンやディスプレイ等の表示面を反射させ、ステージ上に空中像を投影する図 1 のような装置が実用化され、様々な活用が提案がされている [3], [4], [5]。

この装置は投影される空中像が2次元映像であるにもかかわらず、ステージの背景に設置した映像の演出や、ステージ上の実物体との奥行比較等によってユーザに奥行を感じさせ、あたかもステージ上の実空間に投影対象が存在するかのよう知覚させることができる。また、表示面と仮想物体の奥行位置が一致するため輻輳調節矛盾の問題が発生せず、表示映像も少ないためハードウェア・ソフトウェアともにシンプルな構成で実現できる。

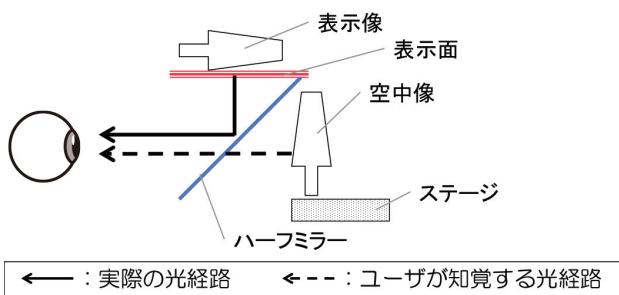


図 1 【既存手法】ハーフミラーを用いた空中像投影の例

Fig. 1 [Existing Method] Example of a single layer floating image projection system using a half mirror.

我々はこうした、対象がその場に存在するかのような高品質な空中像視聴体験を、ステージでの利用にとどまらず幅広いユーザに個人でも手軽に楽しめる体験として普及させることで、デジタルコンテンツ市場における空中像分野の開拓や、アマチュアクリエイタによる空中像演出手法の高度化、空中像の新たな適用先の発掘を実現したいと考えている。

図 1 のようなハーフミラーを用いた空中像投影手法は、他の空中像投影手法である実像鏡を用いた方式 [6], [7] や、レンズを用いた方式 [8], [9], 凹面鏡を用いた方式 [10] と比較して装置の小型化や簡易化、それにとまなう低コスト化が容易であることから、ユーザ個人に向けた空中像視聴体験の普及という我々の目的により適している。また、ユーザのスマートフォンやタブレット等のモバイル端末を表示面に活用することで、さらなる低コスト化が可能となるほか、手持ちの端末を利用できる手軽さやコンテンツ配信プラットフォームの充実等の理由から、よりいっそう、空中像視聴体験の普及に貢献できると考えられる。そこで本研究では、モバイル端末とハーフミラーの組合せによる小型の空中像投影装置に注目した。なお、モバイル端末を利用した3次元映像表現装置として、「ハコスコ」[12] や「Google Cardboard」[13] 等のステレオ立体視を用いた製品も販売されているが、これらは前述のとおり輻輳調節矛盾の問題によってユーザの年齢制限等が必要である。

モバイル端末とハーフミラーを用いた既存の空中像投影装置の例として、ユーザが描いた魚の絵をスマートフォンに表示し水槽型装置内に空中像で投影する株式会社タカラトミーアーツ「おえかきすいそう ピクチャリウム」[14] や、プロジェクションマッピングのコンテンツを建物のミニチュア模型に空中像で重畳する株式会社バンダイ「ハコビジョン」[15] 等が販売されている。しかし、これらの空中像は1層であるため、提示できる情報が少なく立体感の低下が懸念される [8], [10]。

これらの問題を解決する手法として、表示面の分割とハーフミラーの追加によって空中像を多層化し、それぞれのレイヤに投影対象や背景、演出を提示する手法が提案されている。この手法は図 2 のようにハーフミラーを平行に追加して空中像を多層化するため、以下では「平行式」と定義する。平行式を用いた例として、Palm Top Theater B.V. 社 “Palm Top Theater” [16] や株式会社ポニーキャニオン「スマホロ」[17] がある。

平行式は手軽に空中像を多層化できる一方で、「空中像どうしの奥行間隔を任意設計できない」という課題がある。これは、図 2 においてハーフミラーの設置角度  $\theta = 45^\circ$  とした際、表示面 B の奥行幅  $W_B$  が空中像の高さ  $H$  と等しくなり ( $W_B = H$ )、空中像どうしの奥行間隔  $D_{AB}$  が2枚のハーフミラーどうしの奥行間隔  $D_w$  と  $H$  を用いて  $D_{AB} = D_w + H$  と表され、空中像の高さ  $H$  より小さくで

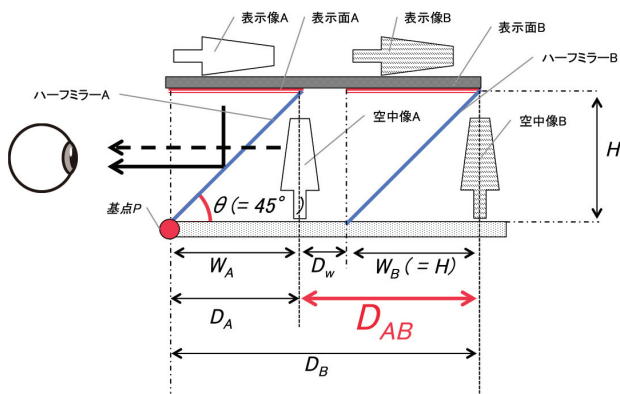


図 2 【既存手法】ハーフミラーの平行配置による多層空中像投影の例 (平行式)

Fig. 2 [Existing Method] Example of multilayer floating image projection system with parallel arrangement of half mirror.

きないことによる。空中像どうしの奥行間隔が任意設計できないという課題は、たとえばコンサートでのアーティストとバックバンドをそれぞれ投影対象とした際に、所望の奥行間隔の配置を表現できず、不自然に距離が空いてしまうといったコンテンツへの制約となる。さらに、空中像の存在感を高める技術の適用が困難になるという問題がある。

空中像の存在感を高める技術の例として、「影の投影」がある。Kimら[11]や梶田ら[7]は、空中像が表示される足元にプロジェクタで影を投影する展示システムを提案しているほか、等身大の空中像を表示するステージ装置[3]でもステージ背景に設置したスクリーンに空中像の影を投影する演出手法が見られる。また、Suganoら[18]はAugmented Realityにおいて、仮想物体とその仮想物体のものと認識しやすい特徴的な形状の影を同時にユーザに提示することで、仮想物体の存在感が向上することを報告している。よって影の投影を多層空中像に適用し、投影対象を前面空中像に、その影を後面空中像に表示する場合、2つの空中像を同時に焦点が合う範囲内で視認させるため、空中像の奥行間隔は人間の被写界深度範囲である前後0.3D (Diopter: 1D = 1/1m) [19]から大きく外れないように設計することが望ましいと考えられる。しかし、我々が対象とするモバイル端末を用いる空中像投影装置において、およそその視距離(眼から前面空中像までの距離)を4D (250mm)程度と想定した場合、被写界深度内に収まる後面空中像の奥行位置は3.7D (270mm)となり、空中像どうしの奥行間隔は約20mmとなるが、平行式では後面空中像の高さを20mm以下にする以外この間隔への設定は困難である。なお、空中像の奥行を強調するためにあえて空中像の間隔を被写界深度外に設計し、前面空中像に焦点を合わせた際に背景空中像がボケるように設計する表現手法も考えられるが、奥行間隔を空中像の高さより大きくすることは従来の平行式においてミラーどうしの間隔 $D_w$ を広げることで実

現可能なため、本稿での「空中像どうしの奥行間隔の任意設計」においては空中像どうしの奥行間隔を空中像の高さ以下とする点を重視した。

空中像の存在感を高める技術の別の例として、Depth-fused 3-D (DFD) [20]と呼ばれる裸眼立体表示技術がある。DFDは2つの半透過表示面の奥行間隔を3~5min (of arc)で設置し、前後表示面の輝度比を変化させることで、表示面間に体積を持った空中像をユーザに知覚させる手法である。視距離250mmでは5minの奥行間隔は約5.8mmとなり、平行式では実用的な空中像の高さでこの奥行間隔を設計できない。

上記の「空中像どうしの奥行間隔の任意設計ができない」という課題に加え、平行式には「空中像どうしの重なりが困難」という課題もある。これは、ハーフミラーによって空中像を多層化した際、各レイヤの空中像の光が加算してユーザに知覚されることで、前面空中像に対して本来遮蔽されるはずの後面空中像が透過し、視覚的な違和感が引き起こされることによる[7], [21]。この現象は投影対象が半透明に見えることから空中像の存在感を大きく低下させる。

そこで本研究では、ユーザのモバイル端末で手軽に利用できる小型の多層空中像投影装置を対象とし、従来の平行式の課題を解決するために「空中像どうしの奥行間隔の任意設計を実現する」、「空中像どうしの重なり表現を実現する」という2要件を満たす手法を検討する。

2章では、既存の空中像投影手法における2要件の関連研究と、我々が対象とするモバイル端末を用いる小型の多層空中像投影装置への適用可能性を述べる。3章では、奥行間隔を任意に設計可能な手法「V字ミラー方式」を提案し、空中像の輝度測定評価を行った結果を述べる。4章では、空中像の重なり表現を実現するために、前面空中像の輝度を高める手法「奥行反転V字ミラー方式」を提案し、輝度測定評価の結果を述べる。5章では、空中像の重なり表現の要件検証のため、前面空中像の透過性と鮮明さについて実験参加者による印象評価を行った実験の方法と結果、および考察を述べる。6章では、本空中像表示装置のプロトタイプの実装における「筐体設計」、「コンテンツ設計」の検討について述べ、ユーザヒアリングの結果を述べる。最後の7章ではまとめを述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 要件1「空中像どうしの奥行間隔の任意設計」

奥行間隔の任意設計を実現するシンプルな手法として、ディスプレイ等の表示装置を追加する手法がある(図3)。梶田ら[7]のOpaqueLusionは実像鏡を用いて多層空中像を表示するシステムであるが、多層化原理はハーフミラーと複数ディスプレイによるものである。この手法では、空中像どうしの奥行間隔 $D_{AB}$ を表示面Bの位置調整や、ハーフミラーと表示面Aとの間隔調整によって任意に設計でき

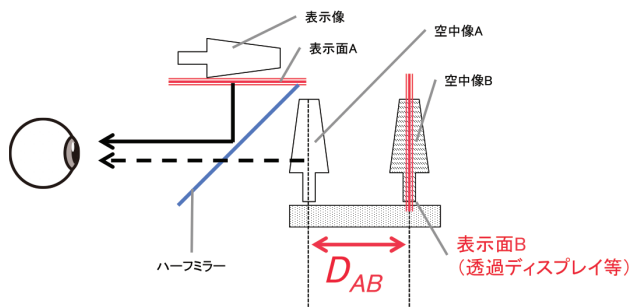


図3 【既存手法】複数ディスプレイによる多層空中像投影の例  
 Fig. 3 [Existing Method] Example of multi-layer floating image projection with multiple displays.

るが、表示装置が2台以上必要になるためモバイル端末1台では構成できない。

別の多層化手法として、中島ら [8] は、ハーフミラーとレンズを組み合わせて空中像の結像位置を制御し、展示物内の任意の実空間に多層空中像を投影する展示システム ExFloasion を提案している。また、金ら [10] は、凹面鏡によって空中像を投影し結像位置を制御する手法を提案している。これらの手法はレンズや凹面鏡の焦点距離を設ける必要があるため装置の小型化が困難で、我々の対象とするモバイル端末への利用に適さない。

2.2 要件2「空中像どうしの重なり表現」

村瀬ら [21] は、等身大の人をハーフミラーによってステージ上に投影する装置 ARView において、プロジェクタを照明の代わりに用いてステージ上の実物体を照らし、その形状を制御することによる空中像と実物体の重なり表現手法を提案している。この手法では、ステージ上の実物体に対して空中像と重なる部分が暗くなるようマスクを生成し、照明の形状と範囲を制御する。この手法は、空中像どうしの重なり表現に対しても空中像どうしが重なる部分をコンテンツ側でマスクし、表示しないことで適用できると考えられる。一方で、この手法はユーザの片目の位置を基準としてマスクを生成するため、ユーザの視位置や両眼視差のズレによって重なり表現が正確にできなくなるという問題があげられている [21]。我々が対象とする装置ではステージ上の空中像よりも視距離が近いので両眼視差が働きやすく、さらにユーザの手や頭の動きによる運動視差の影響も大きいので、この手法の効果は低いと考えられる。

別の重なり表現手法として、梶田ら [7] の OpaqueLusion では前面空中像の形状にあわせて液晶シャッターで動的なマスクを生成し、後面空中像の光を物理的に遮蔽する手法を提案している。この手法は村瀬らの手法と異なり前面空中像の奥行き位置で後面空中像の光を遮断するため、両眼視差、運動視差による影響を軽減できると考えられる。一方で、この手法は液晶シャッターを追加する必要があるため、小型化の観点で我々の対象とするモバイル端末への利用に適さない。

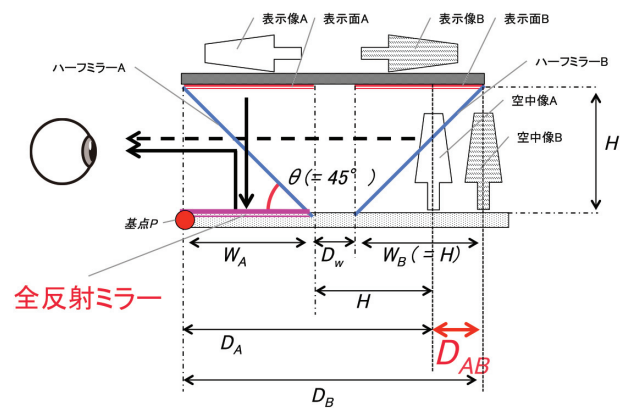


図4 【提案手法1】V字ミラー方式の構成  
 Fig. 4 [Proposed Method 1] Construction of V-shaped mirror method.

3. V字ミラー方式 (V字式) の提案

我々は要件1の「空中像どうしの奥行き間隔の任意設計」を実現するため、図2で平行に配置していたハーフミラーをV字に配置し、前面のハーフミラーを表示面と挟み込むように全反射ミラーを配置する「V字ミラー方式 (V-shaped mirror system. 以下、V字式)」を考案した (図4)。以下で、それぞれの要件の充足性を検討する。

3.1 要件1「空中像どうしの奥行き間隔の任意設計」の充足性検討

V字式は、凹面鏡やレンズ等の光学系を用いず、平面鏡の組合せで構成されるため、空中像の奥行き位置を単純な計算式で算出できる。図4において、ハーフミラーAは全反射ミラーで反射された表示像Aをユーザ方向へ反射する。そのため、ハーフミラーAは、平行式と比較して空中像の高さH離れた位置の表示面Aを反射することと等しく、空中像Aの奥行き位置D\_AはD\_A = W\_A + Hとなる。よって空中像どうしの奥行き間隔D\_ABは、

$$\begin{aligned}
 D_{AB} &= |D_B - D_A| \\
 &= |(W_A + D_w + W_B) - (W_A + H)| \\
 &= |D_w + W_B - H|
 \end{aligned}$$

となり、 $\theta = 45^\circ$ の際、 $W_B = H$ が成り立つため、 $D_{AB} = D_w$ となる。よってD\_ABは空中像の高さHに依存せず、ハーフミラーどうしの奥行き間隔D\_wの調整で任意に設計できることから、V字式は要件1を充足する。

本提案手法に類似した光学構成として、大阪瓦斯株式会社による「ステレオ立体視装置」がある [22]。この装置は、図4においてハーフミラーどうしの間隔D\_wを0として、表示面Aと表示面Bの直下にそれぞれ直交させた偏光板を配置し、ユーザの眼前にも偏光板を配置することでステレオ立体視を実現する装置である。この装置はステレオ立体視を対象としており、提案手法の光学系を用いた多層化

表 1 スマートフォンの画面輝度を 1 とした際の V 字式における空中像の輝度比

Table 1 The luminance ratio of the floating image in the V-shaped method (the screen luminance of the smartphone is set to 1).

測定対象	輝度比
前面空中像 (空中像 A)	0.10
後面空中像 (空中像 B)	0.09

による奥行感提示や空中像どうしの奥行間隔設計, 重なり表現に注目した検討は我々の知る限り行われていない。

### 3.2 要件 2 「空中像どうしの重なり表現」の充足性検討

V 字式において要件 2 の空中像どうしの重なり表現が可能かを検証するため, 実験装置を作成した。実験装置は, 画面サイズ 5 インチのスマートフォンでの利用を想定し, 空中像の高さ  $H = 40\text{ mm}$ , 横幅  $w = 60\text{ mm}$ , 空中像どうしの奥行間隔  $D_{AB} = 15\text{ mm}$  として設計した。筐体は黒マットアクリル板をレーザーカッターで加工して組み立てた。量産時のコスト削減を考え, ハーフミラー A・B には市中に広く安価に販売されている 0.5 mm 透明樹脂板を, 全反射ミラーには同じく市販の 0.5 mm 樹脂ミラー板を用いた。

作成した実験装置にスマートフォンで空中像を投影し観察したところ, 前面空中像に対して重なる部分の後面空中像が透過し, 視覚的な違和感が引き起こされる課題 2 の現象が確認された。一方で, 前面空中像に対して後面空中像の輝度が低い部分では, 前面空中像の透過が気にならず, 重なりが表現される現象も確認できた。そこで我々は「前面空中像の輝度を後面空中像よりも高める」アプローチによって前面空中像の後面空中像に対する透過性が軽減され, 両眼視差や運動視差に影響されずに空中像どうしの重なりを表現できると考えた。このアプローチの適用可能性を検証するため, V 字式における前面空中像と後面空中像の輝度を測定した。

#### 3.2.1 V 字式における空中像の輝度評価

輝度計はコニカミノルタ社の CS-100A を用いた。スマートフォンは SAMSUNG 社の Galaxy S5 (画面サイズ 5.1 インチ, 解像度  $1,920 \times 1,080$ ) を用い, 画面輝度出力は最大値に設定した。空中像は 1 辺約 20 mm の白色 ( $RGB = [255, 255, 255]$ ) の正方形とし, 前面空中像, 後面空中像それぞれを別々に表示して輝度を測定した。測定は暗室で行い, 実験装置と輝度計の距離は 1,000 mm に設定した。

表 1 に, スマートフォンの画面輝度を 1 とした際の V 字式の前面空中像 (空中像 A), 後面空中像 (空中像 B) の輝度比を示す。表 1 から, 空中像の輝度に反映されるのは前面空中像, 後面空中像ともにスマートフォンの画面輝度の 10% 程度であることが分かる。以下に V 字式における

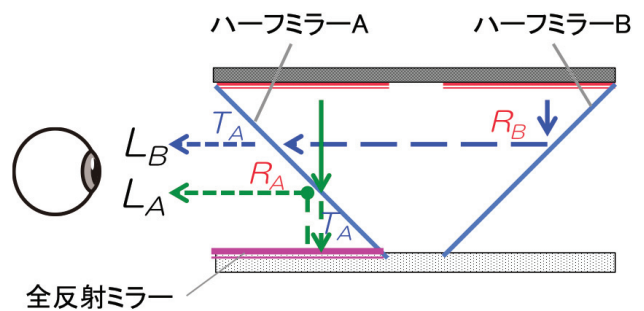


図 5 V 字式の光線方向

Fig. 5 Ray direction in V-shaped method.

空中像の輝度の理論値を述べる。

図 5 に V 字式における光線方向を示す。この図において, モバイル端末の画面輝度を 1, ハーフミラー A の透過率を  $T_A$ , 反射率を  $R_A$ , 全反射ミラーの反射率を 1 とすると, 前面空中像 (空中像 A) の輝度  $L_A$  は  $L_A = T_A \times R_A$  となる。また, 後面空中像 (空中像 B) の輝度  $L_B$  は, ハーフミラー B の反射率を  $R_B$  とすると  $L_B = R_B \times T_A$  となる。よって表 1 から, 実験装置で用いた透明樹脂板の透過 ( $T$ ) と反射 ( $R$ ) の割合は吸収率を無視するとおおよそ 0.9 : 0.1 程度であると想定される。

ここで, ハーフミラー A を吸収率 0 の理想的なハーフミラーとし,  $T_A = 1 - R_A$  が成り立つと仮定すると, 表示面の輝度を 1 とした前面空中像の最大輝度は  $R_A = T_A = 0.5$  のとき  $L_A = 0.25$  となる。また, この条件時の後面空中像の最大輝度は, ハーフミラー B の反射率  $R_B$  が 1 のとき  $L_B = 0.5$  である。よって前面空中像の輝度は理想条件でもモバイル端末の画面輝度の 25% しかなく, 要件 2 の重なり表現のために, 前面空中像の輝度を後面空中像よりも高めるアプローチを適用すると後面空中像はさらに輝度を下げることがあることから, 実利用における屋外や明るい室内等では後面空中像の視認がきわめて困難になると考えられる。

そこで我々は, 空中像の輝度を向上させるため, V 字式における前面と後面の空中像の奥行位置関係を反転させる「奥行反転 V 字ミラー方式」を提案する。

## 4. 奥行反転 V 字ミラー方式 (DR 式) の提案

奥行反転 V 字ミラー方式 (Depth Reversed V-shaped mirror system : 以下, DR 式) の構成を図 6 に示す。

### 4.1 要件 1 「空中像どうしの奥行間隔の任意設計」の充足性検討

DR 式では, V 字式 (図 4) の全反射ミラーの位置を表示面から遠ざける方向へ  $D_h$  移動させている。図 6 より, 空中像 A の奥行位置  $D_A$  は  $D_A = W_A + (H + 2D_h)$  となることから, 空中像どうしの奥行間隔  $D_{AB}$  は,

$$D_{AB} = |D_B - D_A|$$

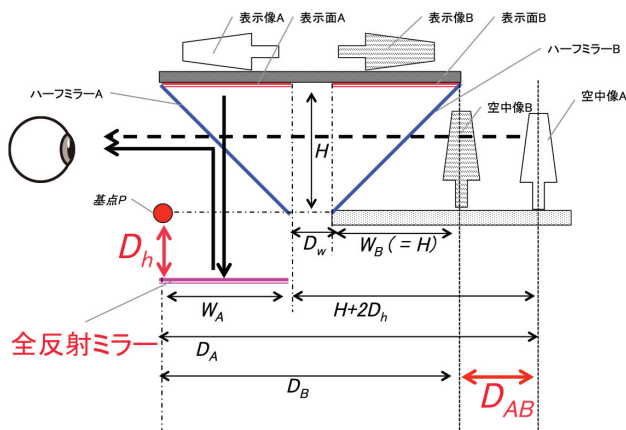


図 6 【提案手法 2】 奥行反転 V 字ミラー方式の構成

Fig. 6 [Proposed Method 2] Construction of Depth Reversed V-shaped mirror method.

$$\begin{aligned}
 &= |(W_A + D_w + W_B) - (W_A + H + 2D_h)| \\
 &= |D_w + W_B - H - 2D_h| \\
 &= |D_w - 2D_h| \tag{1}
 \end{aligned}$$

となる。よって  $D_{AB}$  は表示面 A と B の間隔  $D_w$  と、全反射ミラーとハーフミラー A の下端までの距離  $D_h$  を調整することで任意に設計できるため、DR 式も V 字式同様、要件 1 を満たす。また、V 字式では、空中像どうしの奥行間隔  $D_{AB}$  を大きくするほど表示面 A と B の間隔  $D_w$  が増加して表示面積が減少するのに対し、DR 式では  $D_{AB}$  は全反射ミラーの位置を下げることで奥行間隔を大きくできることから、V 字式よりもモバイル端末の表示面を効率的に利用できるというメリットがある。

4.2 要件 2 「空中像どうしの重なり表現」の充足性検討

DR 式では、式 (1) において  $D_h > D_w/2$  の条件で空中像どうしの奥行位置関係が反転する。よって図 5 におけるハーフミラー A による空中像が後面空中像に、ハーフミラー B による空中像が前面空中像になることから、DR 式の前面空中像の輝度は  $L_B = R_B \times T_A$ 、後面空中像の輝度は  $L_A = T_A \times R_A = T_A(1 - T_A)$  となる。このことからハーフミラー B の反射率  $R_B$  とハーフミラー A の透過率  $T_A$  を 1 に近づけるほど、前面空中像を明るく、後面空中像を暗くでき、空中像どうしの重なり表現のための、前面空中像の輝度を後面空中像より高めるといったアプローチでは、DR 式は V 字式よりもモバイル端末の画面輝度を効率的に活用できると考えられる。以下では DR 式の輝度向上効果を実測値で評価するため、DR 式の実験装置を作成し、前面空中像と後面空中像の輝度測定を行った。

4.2.1 DR 式における空中像の輝度評価

実験装置は空中像 A が後面空中像、空中像 B が前面空中像となるよう、 $D_w = 5\text{ mm}$ 、 $D_h = 10\text{ mm}$  とし奥行間隔  $D_{AB} = 15\text{ mm}$  に設計した。ハーフミラー A には 0.5 mm

表 2 スマートフォンの画面輝度を 1 とした際の DR 式における空中像の輝度比

Table 2 The luminance ratio of the floating image in the DR method (the screen luminance of the smartphone is set to 1).

測定対象	輝度比
前面空中像 (空中像 B)	0.71
後面空中像 (空中像 A)	0.10

厚の透明樹脂板を用い、ハーフミラー B には前面空中像の輝度を高めるため、0.5 mm 厚の樹脂ミラー板を用いた。透明樹脂板、樹脂ミラー板はいずれも市中に広く安価に販売されていることから採用した。測定に使用した輝度計とスマートフォン、測定条件は V 字式と一致させた。

表 2 に輝度測定結果を示す。この表から、DR 式の前面空中像の輝度は表示輝度の約 70%、後面空中像は表示輝度の 10% となることから、DR 式の実験装置は前述の V 字式の実験装置と比較して後面空中像の輝度を低下させずに約 7 倍の輝度の前面空中像が得られることが分かる。また、V 字式ではハーフミラー A に透明樹脂板の代わりに透過率と反射率の比率が 5 : 5 の理想的なハーフミラーを用いた場合でも前面空中像の輝度は表示輝度の 25% であり、DR 式でハーフミラー B に同じハーフミラーを用いたと仮定すると前面空中像の表示輝度は 50% で表示できることから、理想的な部材を用いても DR 式は V 字式よりも後面空中像の輝度をより落とさずに要件 2 の空中像どうしの重なり表現を実現できると考えられる。

以下では、空中像どうしの重なり表現について、V 字式と DR 式それぞれの実験装置において、前面空中像の輝度を後面空中像より高めるアプローチによって重なり表現が可能か、および DR 式の前面空中像の輝度向上が前面空中像の鮮明さの印象に影響を与えるかを実験参加者による印象評価によって検証する。

5. 印象評価

5.1 評価方法

5.1.1 前面空中像の透過性の印象評価

V 字式、DR 式の輝度評価で用いたそれぞれの実験装置を使い (図 7)、前面空中像と後面空中像に半径約 10 mm の円を投影し、重なり合う部分の透過性について印象評価を行った。

円の色は人間の視感度の高い緑色 ( $RGB = [0, 255, 0]$ ) とした。円は前面、後面ともに左右に約 5 mm ずつずらして表示することで、部分的な重なりが生じるよう提示した。前面空中像の輝度出力は緑色 ( $RGB = [0, 255, 0]$ ) に固定し、後面空中像の輝度出力を線形に 10 段階に変化させた表示パターンを作成した。この 10 パターンを実験参加者にランダムに提示し、「後面の空中像による前面の空



図 7 作成した実験装置, 左: V 字式, 右: DR 式

Fig. 7 Left: V-shaped experimental apparatus, Right: DR method experimental apparatus.



図 8 実験の様子

Fig. 8 The experiment image.

中像の透けが気になるか」という質問に「気にならない」, 「気になる」の 2 値で回答させた (0: 気にならない, 1: 気になる). 各パターンの回答後は 2sec の間, 何も表示しないインターバルを設け, 空中像の左右を入れ替えて次のパターンを表示した. この 10 パターンの回答を 1 試行とし, 1 人の実験参加者につき V 字式, DR 式それぞれで 10 試行を行った.

実験参加者は 20 代後半~30 代前半の 8 人 (男性 5 人, 女性 3 人) で, 椅子に座った状態の目線の高さと 2 つの空中像の高さが一致するよう装置の高さを合わせ, 想定利用シーンである装置を手に持って観察する状態と近づけるために, 装置前面と実験参加者の両目までの距離が約 500 mm となるよう設置した (図 8). 装置前面を規準とすることで前面空中像の奥行き位置は V 字式と比較して DR 式の方が 15 mm 奥に表示される. 実験の順序による偏りを防ぐため, V 字式と DR 式の提示順序は実験参加者ごとに入れ替えた.

### 5.1.2 前面空中像の鮮明さの印象評価

V 字式, DR 式で投影される前面空中像は, それぞれ透

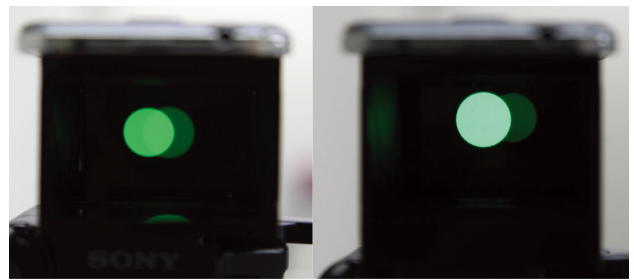


図 9 後面空中像の輝度出力 0.6 における透過性比較. 左) V 字式, 右) DR 式

Fig. 9 Comparison of transparency of the floating image at the luminance output 0.6. Left: V-shaped, right: DR method.

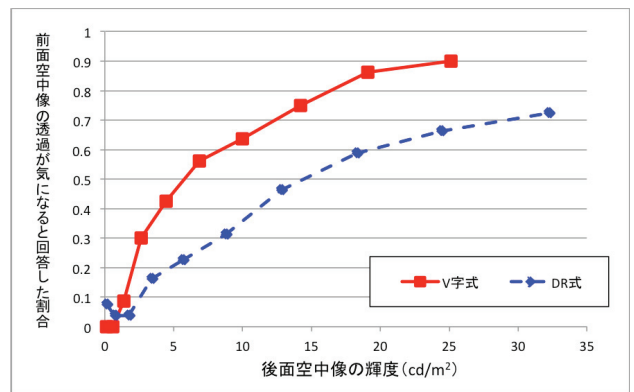


図 10 後面空中像の輝度による前面空中像透過性の印象変化

Fig. 10 Impression change of front floating image transparency by luminance of rear floating image.

明樹脂板, 樹脂ミラー板によるものであり, 4.2.1 項では DR 式の輝度値が 7 倍になることを示した. この輝度値, および部材の差がそれぞれの空中像の印象に与える影響を評価するため, アンケートを実施した. 透過性の印象評価終了後に, V 字式と DR 式の実験装置をランダムに装置 1, 装置 2 として同時に提示して空中像を比較させ, 「前面の像が鮮明なのはどちらか」という項目に, 「装置 1」, 「どちらでもない」, 「装置 2」の選択式アンケートと自由記述によってフィードバックを取得した. 実験の順序による偏りを防ぐため, V 字式と DR 式の提示順序は実験参加者ごとに入れ替えた.

## 5.2 結果と考察

### 5.2.1 前面空中像の透過性の印象評価について

図 10 に, 後面空中像の輝度増加による前面空中像の透過性の変化について, 全実験参加者の平均値を示す. 横軸は, V 字式, DR 式それぞれにおいて 10 段階で輝度出力値を変化させて実測した後面空中像の輝度値である. 輝度値の間隔が不均等なのはスマートフォンの画面輝度がソフトウェアの輝度出力値に対して非線形であることによる. 縦軸の「前面空中像の透過が気になると回答した割合」は,

各輝度出力に対して前面空中像の透過が気になると答えた回数を足し合わせ、全試行回数 80 (試行数 10, 実験参加者数 8) で除算した値である。よってこの値は前面空中像の透過が気にならないほど 0 に、気になるほど 1 に近づく。

図 10 から、V 字式、DR 式ともに後面空中像の輝度が高まるにつれ、前面空中像の透過が気になると回答する割合が増加する傾向が見られる。前面像の透過が気になる割合は、後面空中像の輝度が V 字式では約  $5 \text{ cd/m}^2$  以下、DR 式では約  $13 \text{ cd/m}^2$  以下のとき、0.5 以下になることから、V 字式、DR 式いずれの手法でも後面空中像の輝度を低下させることで前面空中像の後面空中像に対する透過性が軽減され、要件 2 の空中像どうしの重なり表現を実現できる可能性が示唆される。

また、図 10 から、V 字式と比較して DR 式の方が後面空中像の輝度が高い場合でも前面空中像の透過が気になりにくいという傾向が確認できる。これは DR 式の前面空中像の輝度向上効果と考えられ、DR 式では空中像の重なり表現が可能な前面空中像と後面空中像の輝度値を、どちらも V 字式より高く設計できることが示唆される。

### 5.2.2 前面空中像の鮮明さの印象評価について

空中像の鮮明さに対する印象評価の結果、8 人すべての実験参加者が、V 字式より DR 式の前面空中像が鮮明であると回答した。その要因の 1 つとして、DR 式の前面空中像の輝度が V 字式の約 7 倍高いという点が考えられる。また、アンケートの自由記述では、V 字式では空中像の輪郭線が 2 重に見えるという報告があった。これは V 字式の実験装置でハーフミラーに用いた透明樹脂板において、本来の反射面である表面だけでなく裏面でも反射される「多重反射」が起きているためと考えられる。多重反射を軽減する手法として、ハーフミラーの板厚を薄くし多重像のズレを少なくする手法や、表面の反射率を高める手法、Anti-Reflection (AR) コートを施す手法等が考えられるが、板厚を薄くする手法では強度低下による歪みやたわみが生じるほか、反射率向上のためのアルミ蒸着や AR コートといった特殊な加工が必要な手法はハーフミラー部材のコスト増加につながるため望ましくない。この多重反射の問題に対し、DR 式の前面空中像は片面の反射率がきわめて高い全反射ミラーによって投影されるため、多重反射がほとんど目立たず、この効果も空中像の鮮明さの印象に影響したと考えられる。このことから、DR 式では高反射率のハーフミラー等の特殊な部材を用いなくても多重像の少ない鮮明な前面空中像を投影できることが示唆される。

## 6. プロトタイプの実装

以下では、実用化に向けたプロトタイプを実装するために行った「筐体設計」と「コンテンツ設計」についての検討結果と、実装したプロトタイプを用いたユーザヒアリングの結果を述べる。

### 6.1 筐体設計について

我々の目的である空中像視聴体験の普及のためには、装置の低コスト化が重要である。既存の平行式による多層化では、前面空中像の輝度を高めるために高反射率のハーフミラーが必要になり、部材コストの増加につながる。一方で、我々の DR 式では、市中の樹脂ミラー板と透明樹脂板で輝度の高い鮮明な前面空中像が得られるため、コスト削減につなげやすいと考えられる。

我々は 0.5 mm 厚の透明樹脂板と 0.5 mm 樹脂全反射ミラー板を用い、筐体をペーパークラフトによる組み立て式とすることで低コストに量産できる DR 式のスマートフォン用プロトタイプを作成した (図 11)。空中像どうしの奥行間隔は、前面空中像の投影対象と後面空中像に表示する影を同時に視認しやすくするため、装置を手を持って視聴することを想定して視距離 250 mm とした際の被写界深度 0.3D 内に収まるよう、20 mm に設定した。

### 6.2 コンテンツ設計について

図 12 にプロトタイプ用のスマートフォンの画面表示を、図 13 にコンテンツをプロトタイプで投影した様子を示す。背景となる表示面 A は、全反射ミラーとハーフミラー A に計 2 回反射するため、反転は不要だが、前面空中像となる表示面 B はハーフミラー B に 1 回反射するため、上下方向への垂直反転が必要である。

以下では、我々が実装した代表的なコンテンツタイプである「動画視聴タイプ」と「3D モデル視聴タイプ」の 2 タイプについて、それぞれの特徴と作成方法を述べる。

#### 6.2.1 動画視聴タイプ

「動画視聴タイプ」は、動画をコンテンツとしたシンプ

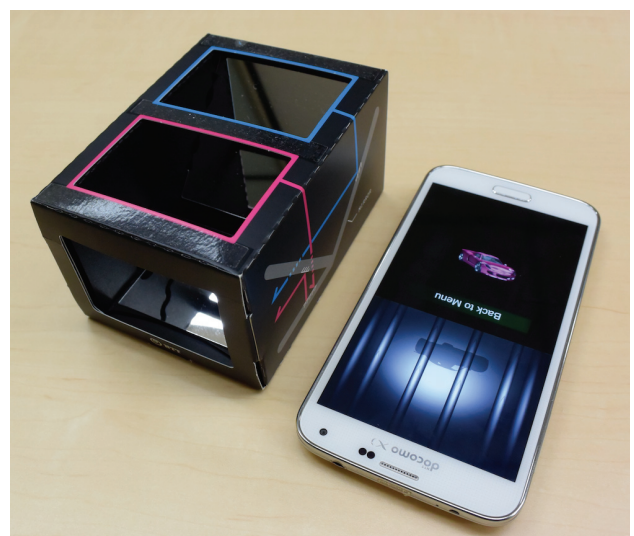


図 11 DR 式のペーパークラフトによるプロトタイプ (左) と表示に利用するスマートフォン (右)

Fig. 11 Prototype using DR method (left) and smartphone used for display (right).



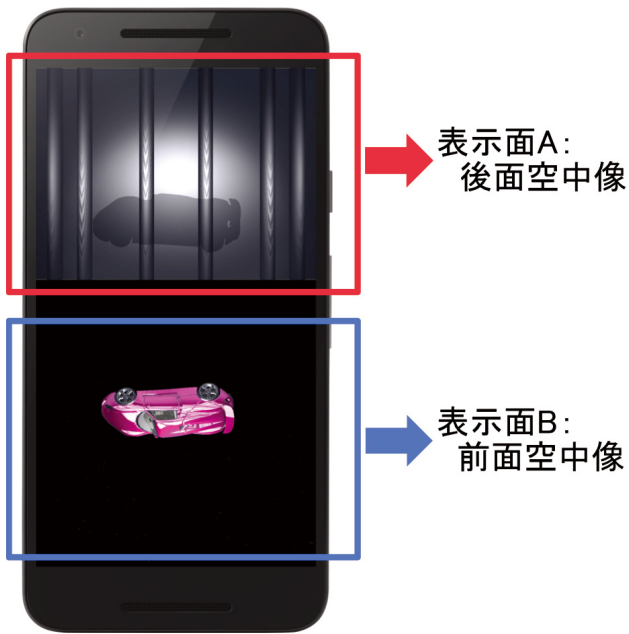


図 12 コンテンツの画面表示  
Fig. 12 Example of content display.

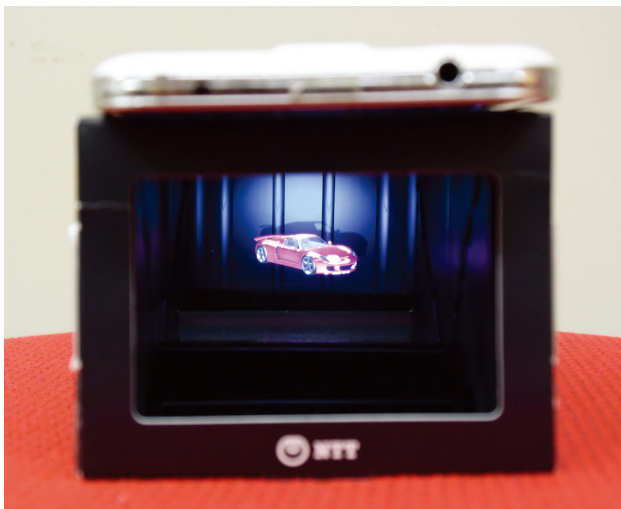


図 13 プロトタイプによる空中像投影  
Fig. 13 Floating image displayed by prototype.

ルなコンテンツタイプである。図 14 に、例として実写で撮影したアイドルを前面空中像に、その影とステージ映像を後面空中像に表示したコンテンツイメージを示す。コンテンツの作成は、まず投影対象とする人物等を黒背景で撮影、もしくはグリーンバックで撮影した動画をクロマキ処理することによって、映像の背景が黒の前面空中像用の映像を作成する。そして後面空中像用としてステージの背景映像に前面の影を投影した映像を作成し、図 12 の配置で前面空中像の映像と並べ 1 つの動画とする。

動画視聴タイプのコンテンツは、作成に必要なクロマキ処理や合成等の技術が映像編集分野で広く普及していることからコンテンツの作成が比較的容易な点に加え、既存の動画配信プラットフォーム等を用いることでコンテンツ配



図 14 動画によるパーソナルコンサートのコンテンツイメージ  
Fig. 14 Image of personal concert by movie contents.



図 15 3D モデルによる 360° 動物図鑑のコンテンツイメージ  
Fig. 15 Image of 360 degree animal pictorial book by 3D model contents.

信や管理も容易なため、導入しやすいという利点がある。利用用途として、等身大空中像ステージのコンテンツを個人向けに配信するといったパーソナル化の用途に加え、手のひらに投影対象が現れたかのような体験を提供できることから、舞台やコンサートでのファングッズ、プロモーションビデオ等への利用が適していると考えられる。

### 6.2.2 3D モデル視聴タイプ

もう 1 つのコンテンツタイプとして「3D モデル視聴タイプ」がある。これは 3D モデルを投影対象とするコンテンツで、モバイル端末のセンサ情報を用いてインタラクティブに視点位置や 3D モデルのサイズ、動作を変えられるという特徴がある。図 15 に、例として動物の 3D モデルを前面空中像に、その影と生息地のイメージを背景に表示したコンテンツイメージを示す。コンテンツは 3D ゲーム開

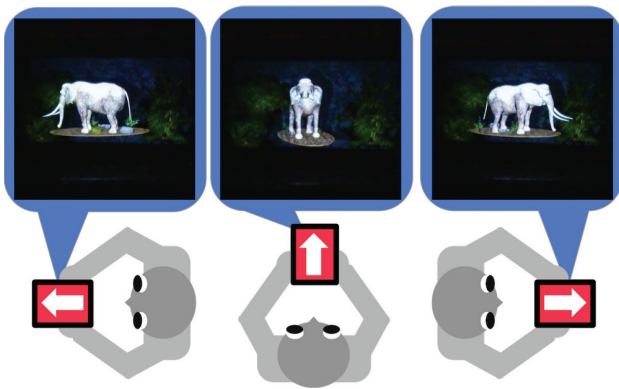


図 16 ジャイロセンサによる端末向きに応じた視聴角度の制御  
**Fig. 16** Control of viewing point according to device orientation using gyro sensor.

発エンジンである Unity3D [23] で実装した。モバイル端末のジャイロセンサを用いることで投影対象を中心にカメラ位置を制御 (図 16) し、ユーザの動きに合わせて上下左右 360° から投影対象を眺められるインタラクティブ機能を実装した。これにより手に持った端末を動かすことで運動視差を擬似的に再現でき、立体感の向上が期待される。また、加速度センサを用い、端末を傾けることによる投影対象の入れ替えや、上を見上げることでズームインし、下に向けることでズームアウトする機能等、タッチ操作を代替する操作手法も実装した。

3D モデル視聴タイプのコンテンツは、コンテンツ視聴のためにモバイル端末に専用アプリケーションや WebGL 対応ブラウザがインストールされている必要があるため、動画視聴タイプと比較してコンテンツ配信のハードルは上昇するが、投影対象を様々な角度から鑑賞したり、モバイル端末を通したインタラクティブな表現も可能なため、演出の幅が広がるという利点がある。利用用途として、博物館や美術館等の展示物の 3D モデルを表示するグッズや、昆虫・恐竜図鑑の付録等での利用、企業の新製品プロモーション等への利用が想定される。

### 6.3 ユーザヒアリング

上記の検討に基づいて作成したプロトタイプに対し実用化に向けたさらなる課題を抽出するため、実際のイベントに合わせたコンテンツを用いた実ユーザからのヒアリングを実施した。

#### 6.3.1 動画視聴タイプコンテンツ

2016 年 7 月 26 日～8 月 21 日に行われた展示会「NTT 西日本スペシャル おいでよ！絵本ミュージアム 2016」において、恐竜と解説者を前面空中像に、背景にその影を投影した動画視聴タイプのコンテンツを用いて、期間中に来場した親子にデモンストレーションを体験してもらい、その感想をヒアリングした。計 411 人にヒアリングした結果、316 人が「おもしろい」、88 人が「ややおもしろい」と好

意的な評価をし、好意的な評価をした人のうち 353 人 (約 87%) はその要因として、自由記述を含む複数選択式の中から「立体的に見える」ことを選択した。一方で、筐体がペーパークラフトであるため強度を不安視する声もあり、子ども向けに普及させるための今後の課題として筐体の強度向上が抽出された。

#### 6.3.2 3D モデル視聴タイプコンテンツ

2016 年 7 月 13 日に行われたサッカー「明治安田生命 J1 リーグ 2nd ステージ 第 3 節」において、大宮アルディージャの選手やマスコットキャラクタを投影対象とした 3D モデル視聴タイプのコンテンツを用いて、来場者にデモンストレーションを体験してもらい、その感想をヒアリングした。74 人にヒアリングした結果、59 人が「おもしろい」、12 人が「ややおもしろい」と好意的な評価をし、好意的な評価をした人のうち 57 人 (約 80%) がその要因として、自由記述を含む複数選択式の中から「立体的に見える」ことを選択した。さらに、好意的な評価をした人のうち 30 人が、「様々な角度から見られる」点も好意的に感じた要因として選択しており、コンテンツに 3D モデルを用いる効果とジャイロセンサによるインタラクティブな操作の効果を確認できた。

上記 2 度のヒアリングで「おもしろくない」や「ややおもしろくない」といったネガティブな評価をした人は、その要因として「表示サイズが小さい」ことをあげた。今後、この問題の解決のために、モバイル端末としてタブレットを用いることによる表示サイズの拡大や、Head Mounted Display (HMD) のようにユーザの眼前に小型のレンズ系を設け、空中像を拡大する方式等を検討していきたい。一方で、好意的な評価をした要因の自由記述に「のぞき込む楽しさ」をあげた人もおり、こうした万華鏡のようなユーザ体験の設計についても今後検討の余地があると考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、モバイル端末とハーフミラーを用いた多層空中像投影装置において、従来の平行式で生じる課題を解決するため、「空中像どうしの奥行間隔の任意設計を実現する」、「空中像どうしの重なり表現を実現する」の 2 要件を満たす手法を検討し、ハーフミラーと全反射ミラーを V 字に組み合わせることで空中像どうしの奥行間隔を任意に設計できる V 字ミラー方式 (V 字式) を提案した。また、空中像どうしの重なり表現について、前面空中像の輝度を後面空中像より高めるアプローチに注目し、V 字式の前後の空中像の奥行位置を反転する奥行反転 V 字ミラー方式 (DR 式) を提案し、V 字式と比較してモバイル端末の画面輝度を効率的に利用した空中像投影が可能なることを示した。さらに実験参加者による印象評価によって、DR 式が V 字式と比較して空中像どうしの重なり表現に有効である

こと、前面空中像をより鮮明に投影できることを示した。また、プロトタイプの実装とユーザヒアリングによって実用化に向けた今後の課題を抽出した。ユーザヒアリングでは、DR 式の空中像に対して立体的に見えるといった好意的な評価が多く得られたことから、我々は DR 式が低価格で高品質な空中像投影装置の実用化と普及に貢献し、空中像の新たな適用先の創出をはじめとした空中像視聴体験の今後の発展につながることを期待している。

**謝辞** 本稿執筆にあたり、ユーザヒアリングの場を提供くださった福岡アジア美術館様、西日本新聞社様、TNC テレビ西日本様、NPO 法人子ども文化コミュニティ様、NACK5 スタジアム大宮様、およびコンテンツ制作にご協力いただいた大宮アルディージャ様、西日本電信電話株式会社様、エヌ・ティ・ティ・ブロードバンドプラットフォーム株式会社様に深謝いたします。

### 参考文献

- [1] Jones, A., Unger, J., Nagano, K., Busch, J., Yu, X., Peng, H.-Y., Alexander, O., Bolas, M. and Debevec, P.: An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Human, *Proc. ACM SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies*, Article No.6 (2015).
- [2] 3D コンソーシアム：3DC 安全ガイドライン〈日本語〉(2011年10月31日・3DC 発行), 入手先〈[http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt\\_wg\\_rep/guide\\_index.html](http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/guide_index.html)〉(参照 2016-12-08).
- [3] DMM VR Theater, available from 〈[http://www.dmm.com/hidden\\_radiosity/index.html](http://www.dmm.com/hidden_radiosity/index.html)〉(accessed 2016-12-08).
- [4] 阿久津明人, 小野 明, 高田英明, 外村喜秀, 井元麻衣子: 2020 Public Viewing—イマーシブテレプレゼンス技術「Kirari!」, *NTT 技術ジャーナル*, Vol.28, No.10, pp.26–29 (2016).
- [5] Elmorshidy, A.: Holographic Projection Technology: The World is Changing, *Journal of Telecommunications*, Vol.2, No.2, pp.104–112 (2010).
- [6] Maekawa, S., Nitta, K. and Matoba, O.: Transmissive optical imaging device with micromirror array, *Proc. SPIE 6392, Three-Dimensional TV, Video, and Display V*, 63920E (2006).
- [7] 梶田 創, 山本紘暉, 小泉直也, 苗村 健: 動的マスクを用いた多層空中像におけるオクルージョン表現, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J99-D, No.11, pp.1102–1111 (2016).
- [8] 中島統太郎, 箕 康明, 杉田 馨, 山内康晋, 苗村 健: ExFloasion: 多層空中像を用いた複合現実展示システム, *電子情報通信学会技術研究報告 MVE, マルチメディア・仮想環境基礎*, Vol.109, No.466, pp.35–40 (2010).
- [9] Nii, H., Zhu, K., Yoshikawa, H., Htat, N.L., Aigner, R. and Nakatsu, R.: Fuwa-Vision: An auto-stereoscopic floating-image display, *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*, Article No.13 (2012).
- [10] 金ハンヨウル, 前川 聡, 苗村 健: 複合現実感展示システム MRsionCase における多層空中像のための実像光学系の検討, *電子情報通信学会技術研究報告 IE, 画像工学*, Vol.111, No.478, pp.151–156 (2012).
- [11] Kim, H., Takahashi, I., Yamamoto, H., Maekawa, S. and Naemura, T.: MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects, *Elsevier Entertainment Computing*, Vol.5, No.4, pp.233–241 (2014).
- [12] ハコスコ: HACOSCO INC, 入手先 〈<http://hacosco.com/product/>〉 (参照 2017-04-28).
- [13] Google Cardbord: Google, available from 〈[https://vr.google.com/intl/ja\\_jp/cardboard/](https://vr.google.com/intl/ja_jp/cardboard/)〉 (accessed 2017-04-28).
- [14] おえかきすいそう ピクチャリウム: 株式会社タカラトミーアーツ, 入手先 〈<http://www.takaratomy-arts.co.jp/specials/suisou/>〉 (参照 2016-12-08).
- [15] ハコビジョン: 株式会社バンダイ, 入手先 〈<http://www.bandai.co.jp/candy/hakovision/>〉 (参照 2016-12-08).
- [16] Palm Top Theater B.V., Palm Top Theater, available from 〈<http://www.palmtoptheater.com/ja/>〉 (accessed 2016-12-08).
- [17] スマホロ: PONY CANYON INC, 入手先 〈<http://smaholo.com/>〉 (参照 2016-12-08).
- [18] Sugano, N., Kato, H. and Tachibana, K.: The Effects of Shadow Representation of Virtual Objects in Augmented Reality, *Proc. 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE Computer Society (2003).
- [19] Campbell, F.W.: The Depth of Field of the Human Eye, *Optica Acta: International Journal of Optics*, Vol.4, pp.157–164 (1957).
- [20] Suyama, S., Takada, H. and Ohtuka, S.: A Direct-Vision 3-D Display Using a New Depth-fusing Perceptual Phenomenon in 2-D Displays with Different Depths, *IEICE Trans. Electronics*, Vol.E85-C, No.11, pp.1911–1915 (2002).
- [21] 村瀬香緒里, 小木哲朗, 齋藤康太, 小山尚英: 大画面ハーフミラーによる没入型拡張現実環境の構築とオクルージョン表現, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.13, No.2, pp.141–150 (2008).
- [22] 大阪瓦斯株式会社: ステレオ画像表示装置, 特開 2004-013051 号 (2004.1.15).
- [23] Unity 3D, Unity Technologies Japan, available from 〈<http://japan.unity3d.com/>〉 (accessed 2016-12-08).



巻口 誉宗 (正会員)

2010年北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科卒業。2012年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。NTT サービスエボリューション研究所でヒューマンコンピューテーション・クラウドソーシングの研究を経て、現在バーチャルリアリティにおける映像提示手法の研究に従事。



高田 英明

2007年8月早稲田大学大学院国際情報通信研究科博士後期課程修了。1997年4月日本電信電話株式会社NTT 入出力システム研究所入社，途中，NTT 研究企画部門人事育成担当課長を経て，現在，NTT サービスエボリューション研究所主幹研究員。立体知覚を中心とした視覚心理，3D ディスプレイに関する研究に従事。2003年電子情報通信学会業績賞，2006年文部科学大臣表彰科学技術賞，2014年/2016年IEEE Industry Applications Society 論文賞受賞。博士（国際情報通信学）（早稲田大学）。



新島 有信（正会員）

2010年東京大学工学部電子情報工学科卒業。2012年同大学大学院工学系研究科博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。2017年東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了。バーチャルリアリティにおける触覚提示やウェアラブルセンサを用いた歩容推定に関する研究に従事。博士（工学）。



松井 龍也

NTT サービスエボリューション研究所 2020 エポックメイキングプロジェクト主任研究員。1995年3月東京工業大学大学院理工学研究科情報科学専攻修了。同年NTT入社。2015年より現職。



横山 正典（正会員）

2010年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士前期課程修了。同年NTT サイバーソリューション研究所入社。現在，NTT サービスエボリューション研究所研究員。ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル（DICOMO2012）シンポジウム優秀論文賞受賞，ACM Augmented Human 2016 Third Best Paper Award 受賞等。