

臨場感のためのホログラフィ

徳島大学 山本健詞

私は「その場にいるかのような臨場感を伝える」ことをテーマにしてホログラフィを含めた立体映像を研究してきました。ですので、HODICでは様々な研究を取り扱っておられますが、その中でも臨場感に関連した技術を中心に私は講演・聴講してきました。本巻頭言では、このような私が今感じていることを中心に述べさせていただきます。

私は電子ホログラフィなどを研究しています。空間光変調素子（SLM）に干渉縞を表示させることで動画表示させるというものでして、インテグラルフォトグラフィ（IP）・カメラで自然光下で撮影した立体情報をリアルタイムで干渉縞に変換する装置と連動させて、数フレーム程度分の遅れはあるものの、リアルタイムに撮影から表示までを行うというシステムを作りました。Figure 1にあるように当初は被写体がどんなものなのか写真も一緒にないと分からないような再生像から、Figure 2にあるようにカラーで、ぼちぼちきれいな画質のものにするところまで出来ました。この研究を一例として、電子ホログラフィに関するその他の技術や計算機合成ホログラム（CGH）、ホログラム印刷などについて、自らの手でシステムを構築したり、マネージャーとして研究の方向性を議論したりという形で研究してきました。（1 ページにつづく）

目 次

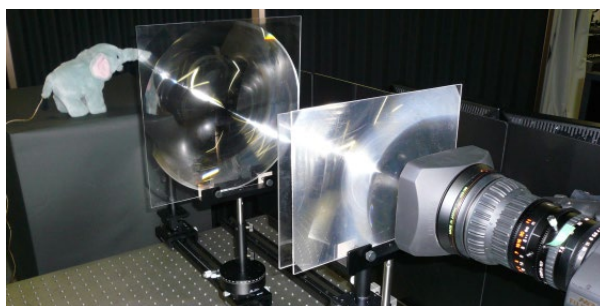
1. 巻頭言：臨場感のためのホログラフィ	山本健詞 表紙
2. 2020 年度鈴木・岡田記念賞選考報告	山本健詞 3
3. 時間多重方式を用いた光線再現型ディスプレイ	矢野寛明, 他 7
4. 色多重化時分割による光線再生超多眼表示	掛谷英紀 12
5. マイクロミラーアレイ素子を用いた環境反射型空中像	小泉直也 18
6. DFD 表示およびアーク 3D 表示の実世界への拡張	水科晴樹, 他 22
7. 次回研究会のお知らせ	巻末

臨場感の研究として、ホログラフィとは呼べない立体映像技術にも携わってきました。IPや多視点映像、マルチカメラシステム、映像圧縮符号化などでして、ホログラフィックな映像に関する研究ではあるもののホログラフィではありません。いわばホログラフィの周辺技術になります。

以上のような臨場感に関する研究をしてきて、臨場感のためのホログラフィについて改めて考えると、実現までの道のりはまだまだあるという印象を受けております。身に着けるタイプであればまだしも（といっても決して簡単なことではないですが）、裸眼となると非常に大変と感じております。そのため、IPなどのホログラフィの周辺技術でできることは周辺技術でおこない、ホログラフィでしかできないことはホログラフィができるまで待つという時代が最初に来るだろうと感じております。諸先輩方がおっしゃられてきた通りの流れであり何一つ新しい意見ではありませんが、10年以上携わってきたうで改めて考えてもそのように感じます。余談にはなりますが、臨場感のためのホログラフィが



(a) 当初の再生像

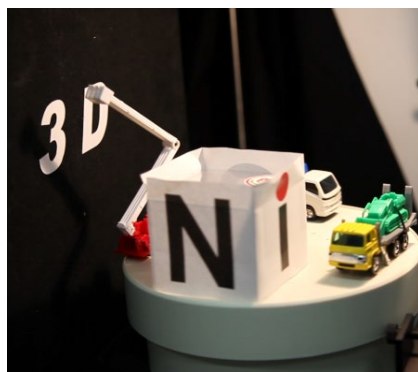


(b) (a)のための撮影

Figure 1 当初のシステム



(a) 再生像



(b) (a)のための撮影

Figure 2 その後のシステム

実用化されるまでの間は特に、周辺技術についても伝統あるHODICで発表できるようですと、研究者としては大変ありがたいです。また、私としては、ホログラフィだけでなく周辺技術でも構わないので、ユーザの求めに応じて何か提案できるようになりたく、HODICでそういったことにつながる研究が発表されると有意義に感じます。

私のおりました国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）は、国として掲げた目標に向けた研究を行うための機関であり、何でも研究できる機関ではございません。入所した当時は臨場感が国の目標として明示的に掲げられておりましたが、最近では少々表現が弱くなり、それに合わせて目的も少々変えながら研究をしておりました。このような私の状況はともかくとして、臨場感に関しては諸先輩方や多くの研究者が取り組んでいるにもかかわらず、十分に達成しているとは言えない状況であるのはご存知の通りです。その結果、コストをかけてその場に行ったり、行くことができずに不自由している人がいたりしているのが現状です。エネルギー消費を抑えながら不自由を克服するには、臨場感の研究に今後も取り組むべきであることは疑う余地はありません。国の目標において表現が少々弱くなっているのは決して良くはなく、ホログラフィを含めた臨場感研究の重要性をこれからも声を大にして訴え続けていきたいと考えております。

私事になりますが、2021年3月末日にNICTを退職いたしました。NICTでは多くの皆様にご指導を賜り、なんとか務めることができました。改めてお礼申し上げます。ありがとうございました。

NICTにおりました最後の数年間の間に、情報通信におけるプライバシーの取扱いに携わる機会がありました。臨場感におけるプライバシーを考えてみると、臨場感が高い映像においては、個人の特定につながりやすいことからプライバシーの取扱いには特に注意する必要があります。立体映像や特にホログラフィでは注意が必須のはずですが、まだまだ議論されてないように見受けられます。今後は「臨場感×プライバシー」「立体映像×プライバシー」「ホログラフィ×プライバシー」といった分野も研究したいと考えております。

4月1日からは徳島大学で教員をしております。ご退任されました陶山史朗先生の後任として様々を受け継ぎ、同じ研究室の水科晴樹先生とともに、今まで同様に頑張りながら学生指導や研究を行っていきたいと気持ちを新たにしております。是非とも従前どおりのご指導ご鞭撻を賜れますよう、どうぞよろしくお願い申し上げます。

2020 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考報告

2020 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考委員長 山本健詞（徳島大学）

2020 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考委員会は、2020 年 4 月 12 日に開催した委員会にて慎重に審議を行い、2020 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞として以下のように技術部門奨励賞 2 件を選出いたしました。後日幹事会において承認され、受賞が決定しましたのでここにご報告します。

■技術部門奨励賞（2 件）

（1）平山 竜士 氏（英国ユニバーシティカレッジロンドン（UCL））

平山氏は大学時から主にボリュウムディスプレイの研究に従事し、その業績は高く評価されており、2015 年にはコニカミノルタ科学技術振興財団光みらい学生奨励金、2016 年には日本学術振興会育志賞、2018 年には高柳健次郎財団高柳記念奨励賞や井上科学振興財団井上研究奨励賞などを受賞したり、2019 年には第一著者の論文が Nature に掲載されたりしている。今回の対象論文は、超音波フェーズドアレイによる、視覚・聴覚・触覚のコンテンツを同時に表示可能な空中表示ディスプレイを紹介したものである。このディスプレイは、超音波によって小さなポリスチレン粒子を浮遊させ、LED で光を照射しながら高速に走査することでカラー 3 次元像を空中に表示できる。また、超音波の音圧により手で感じられる圧力を作り出すことができ、更には空気の振動により可聴音を生成することもできる。ボリュウムディスプレイの可能性を広げる研究でありインパクトは大きい。

対象論文：

平山 竜士、“超音波によるマルチモーダルボリュウムディスプレイ,” 令和 2 年第 2 回ホログラフィック・ディスプレイ研究会

（2）米田 成 氏（和歌山大学）

米田氏は、2019 年には磁気記録・情報ストレージ研究会の専門委員長賞を受賞、International Workshop on Holography and Related Technologies 2019 の Best Student Paper Award を受賞、2020 年には OSA-OSJ-OSK Joint Symposia の General Chair Award を受賞、International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2020 の Best Student Award ISOM' 20 を受賞している。またここ数年で、モーションレスオプティカルスキャンニングホログラフィ、CGH を導入した強度輸送方程式 (TIE) による位相イメージング、バイナリ SLM を使用したホログラフィックメモリ、

TIE による位相ページデータの読みとりなど、ホログラフィを用いたイメージングとメモリ分野で特筆すべき成果を挙げており、これら業績は高く評価できる。受賞対象論文は、オプティカルスキャニングホログラフィにおいて必要な二次元走査機構・位相シフタ・二光束干渉計を一台の液晶型 SLM により実現した内容であり、SLM に表示する分布を変更することでさまざまな応用が期待できる。また、並列位相シフト法の応用による測定数低減や、偏光・蛍光などのマルチモーダルイメージングへの応用可能性も実験的に検証している。

対象論文：

米田 成、最田 裕介、野村 孝徳、“モーションレスオプティカルスキャニングホログラフィ,” 令和3年第1回ホログラフィック・ディスプレイ研究会

受賞者のプロフィール

技術部門 平山 竜士 氏 (英国ユニバーシティカレッジロンドン (UCL))

【抱負・コメント】

この度は、名誉ある HODIC 鈴木・岡田記念賞の技術部門賞を受賞させていただき、誠にありがとうございます。これもひとえにご支援いただいた方々のお力添えのおかげと深く感謝しております。ホログラフィには学部生のときに出会い、それからこれまで継続して3次元ディスプレイの研究を行ってきました。今は主に超音波を扱っており、音場制御による音響浮遊や触覚提示を利用したディスプレイシステムの開発に取り組んでいます。今後は、波としての光と音の共通点および相違点に着目し、それらをうまく活用することで新たな可能性を開拓していければと考えています。光学・音響学の両面から、ホログラフィの発展に少しでも貢献できるよう努力していきたいと思っています。今後とも今後ともご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

【略歴】

2012年3月 千葉大学工学部電気電子工学科 卒業
2014年3月 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻 博士前期課程修了
2017年3月 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻 博士後期課程修了
2017年4月－2018年3月 千葉大学大学院工学研究科 ポスドク研究員
2018年4月－2018年12月 東京理科大学基礎工学部 ポスドク研究員
2018年4月－2018年9月 英国サセックス大学 客員研究員

2019年1月－2020年6月 英国サセックス大学 ポスドク研究員

2020年7月－現在 英国ユニバーシティカレッジロンドン ポスドク研究員

【研究分野】

ボリュームディスプレイ、音響ホログラフィ、高速計算

【主要な研究業績】

- 1) D. M. Plasencia, R. Hirayama, R. Montano, and S. Subramanian, “GS-PAT: High-Speed Multi-point Sound-Fields for Phased Arrays of Transducers,” *ACM Transactions on Graphics* 39, 138 (2020).
- 2) R. Hirayama, D. M. Plasencia, N. Masuda, and S. Subramanian, “A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping,” *Nature* 575, 320–323 (2019).
- 3) R. Hirayama, H. Nakayama, A. Shiraki, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “Projection of multiple directional images on a volume structure with refractive surfaces,” *Optics Express* 27(20), 27637–27648 (2019).
- 4) R. Hirayama, A. Shiraki, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “Operating scheme of a light-emitting diode array for a volumetric display exhibiting multiple full-color dynamic images,” *Optical Engineering* 56(7), 073108 (2017).
- 5) R. Hirayama, T. Suzuki, T. Shimobaba, A. Shiraki, M. Naruse, H. Nakayama, T. Kakue, and T. Ito, “Inkjet printing-based volumetric display projecting multiple full-colour 2D patterns,” *Scientific Reports* 7, 46511 (2017).
- 6) R. Hirayama, A. Shiraki, M. Naruse, S. Nakamura, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “Optical Addressing of Multi-Colour Photochromic Material Mixture for Volumetric Display,” *Scientific Reports* 6, 31543 (2016).
- 7) R. Hirayama, H. Nakayama, A. Shiraki, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “Image quality improvement for a 3D structure exhibiting multiple 2D patterns and its implementation,” *Optics Express* 24(7), 7319–7327 (2016).
- 8) R. Hirayama, M. Naruse, H. Nakayama, N. Tate, A. Shiraki, T. Kakue, T. Shimobaba, M. Ohtsu, and T. Ito, “Design, implementation and characterization of a quantum-dot-based volumetric display,” *Scientific Reports* 5, 8472 (2015).

受賞者のプロフィール

技術部門 米田 成 氏（和歌山大学）

【抱負・コメント】

この度は荣誉ある HODIC 鈴木・岡田記念賞を賜りまして、大変嬉しく思っております。

選考委員会の皆様、ご指導頂きました野村孝徳先生、最田裕介先生に心よりお礼申し上げます。また日頃から研究に関して議論してくださった研究室の皆様に感謝申し上げます。

本研究は二光束干渉計を用いてアナログに構造化照明をおこなっていた従来のオプティカルスキャニングホログラフィに、空間光変調器を導入しデジタルな要素を取り入れ

た方法で、デジタルならではの扱い易さが特徴の一つです。

本研究の基本的な考え方がゴーストイメージングの分野で 2008 年に Shapiro 博士が提案した計算ゴーストイメージングと類似していることもあり、本研究が計算ゴーストイメージングと同様に幅広い分野へ応用展開されていくことを期待しています。

しかしながら、本研究の実用化・多機能化に向けた課題はまだまだ山積していますので、今後もさらなる研究活動に励んで参ります。

【略歴】

2017 年 3 月 和歌山大学システム工学部光メカトロニクス学科 卒業
2019 年 3 月 和歌山大学大学院システム工学研究科博士前期課程 修了
2019 年 4 月－現在 和歌山大学大学院システム工学研究科博士後期課程
2020 年 4 月－現在 日本学術振興会 特別研究員 DC2

【研究分野】

ホログラフィックメモリ、計算機合成ホログラム、強度輸送方程式、シングルピクセルホログラフィ、デジタルホログラフィ

【主要な研究業績】

- 1) Naru Yoneda, Aoi Onishi, Yusuke Saita, Koshi Komuro, and Takanori Nomura, "Single-shot higher-order transport-of-intensity quantitative phase imaging based on computer-generated holography," *Optics Express* 29, 4783-4801 (2021).
- 2) Naru Yoneda, Yusuke Saita, and Takanori Nomura, "Spatially divided phase-shifting motionless optical scanning holography," *OSA Continuum* 3, 3523-3535 (2020).
- 3) Shota Sakamaki, Naru Yoneda, and Takanori Nomura, "Single-shot in-line Fresnel incoherent holography using a dual-focus checkerboard lens," *Applied Optics* 59, 6612-6618 (2020).
- 4) Yusuke Saita, Aoto Matsumoto, Naru Yoneda, and Takanori Nomura, "Multiplexed recording based on the reference wave correlation for computer-generated holographic data storage," *Optical Review* 27, 391-398 (2020).
- 5) Naru Yoneda, Yusuke Saita, and Takanori Nomura, "Motionless optical scanning holography," *Optics Letters* 45, 3184-3187 (2020).
- 6) Naru Yoneda, Yusuke Saita, and Takanori Nomura, "Computer-generated-hologram-based holographic data storage using common-path off-axis digital holography," *Optics Letters* 45, 2796-2799 (2020).
- 7) Naru Yoneda, Yusuke Saita, and Takanori Nomura, "Binary computer-generated-hologram-based holographic data storage," *Applied Optics* 58, 3083-3090 (2019).
- 8) Naru Yoneda, Yusuke Saita, Koshi Komuro, Teruyoshi Nobukawa, and Takanori Nomura, "Transport-of-intensity holographic data storage based on a computer-generated hologram" *Applied Optics* 57, 8836-8840 (2018).

時分割多重方式を用いた光線再現型ディスプレイ Time-multiplexed Light-field Displays

矢野 寛明
Hiroaki YANO

圓道 知博
Tomohiro YENDO

長岡技術科学大学 大学院工学研究科
Nagaoka University of Technology

ABSTRACT

Light-field displays based on time multiplexing can display an image with higher resolution using fewer pixels than other light-field displays. We have developed planer, cylindrical, or spherical time-multiplexed light-field displays. These displays use a mechanical scanning screen and a high-speed projector. We also studied wavelength-multiplexed light-field display that can display an image with a passive spectroscopic screen.

1. はじめに

光線再現型ディスプレイ (Light-field display) や多眼式ディスプレイは、ディスプレイ面上の位置と角度別に発生する光の色を変える構造を持っている。この構造によって表示する映像で視差を再現し、裸眼で観察可能な立体視を実現している。

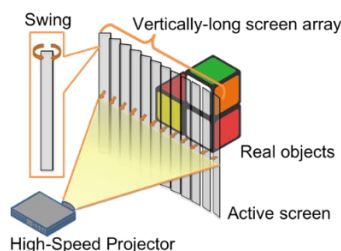
光線再現型ディスプレイの典型的な実現方法には、二次元ディスプレイの前にレンズアレイを配置する方法があげられる。しかし、この方法は空間分解能 (すなわちレンズ密度) を上げると角度分解能 (レンズ当たりの画素数) が低下するというトレードオフを有している。そこで、時分割多重方式を利用し、少ない表示素子数でも画質の高い光線再生型ディスプレイが提案されてきた。

本稿では我々の研究室で研究・製作したディスプレイの中から、時分割多重方式を使ったものについて紹介する。

2. 透過性のある投影型ディスプレイ

プロジェクタで投影する表示方法は大型化が比較的容易である。スクリーンが動的に反射方向を変えられるようにすることで、時間ごとに映像が見える位置を変更できるようになる。これを十分に高速にし、反射角度と同期してそれぞれの方向に向けた映像をプロジェクタから投影することによって、時分割多重化された光線再現型ディスプレイを達成できる。

本研究^{[1],[2]}では短冊状に並べた鏡をモーターで揺動させ、それに高速度プロジェクタで映像を投影するディスプレイを製作した。例えばショーウィンドウを利用した映像の表示といった応用を考えて、この研究では更にスクリーンに透過性を持たせることで重畳表示を行った。



スクリーンの大きさ	900 x 900 mm
想定視域角	30°
視点数	30
想定視距離	2160 mm
揺動周波数	7Hz

Fig.2.1 提案系の概要

Table 2.1 製作した能動スクリーンの諸元



Fig.2.2 製作した能動スクリーンとテーブル上に重畳表示された Stanford Bunny の立体像

3. 重畳表示可能な円筒型ディスプレイ

円筒型のディスプレイは 360° 周囲から観察が可能のため多人数で映像を共有するのに適している。本研究^{[3],[4]}では細長い鏡を高速に回転させ、鏡の位置に応じた映像をスクリーン部にプロジェクタで投影することで時分割多重による立体映像の表示を行う。この構造により、回転する鏡の内部には現実の物体を配置可能である。この手法では時分割で円筒鏡ができるため、アナモルフォーシス(Fig.3.2) のような原理で各視点に映像が届けられる。

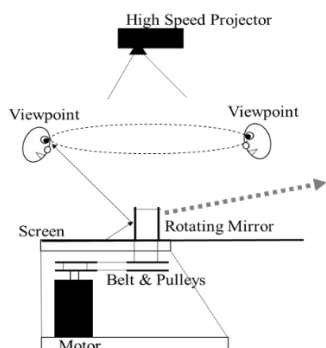


Fig.3.1 提案系の概要と製作した回転鏡の写真

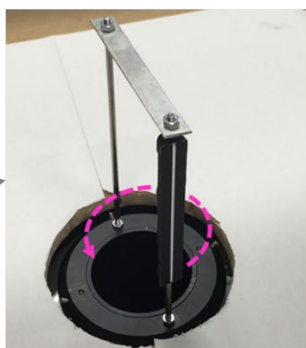


Fig.3.2 アナモルフォーシスの例

映像の高さと半径	高さ35mm x 半径35mm
想定視点位置	鏡から上300mm半径 300mmの円形
視点間隔	1mm
回転周波数	20Hz

Table 3.1 製作したディスプレイの諸元

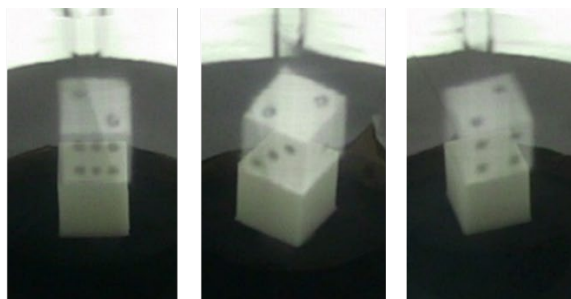


Fig.3.3 実物の立方体の上に重畳表示されたサイコロの立体像

4. フルパララックスの球状ディスプレイ

球状のディスプレイは上下左右に視点をかえながら中に表示された映像を観察するのに適している。本研究では横方向の視差のみではなく上下の視差も再現する、フルパララックス表示に取り組んだ。フルパララックス表示のためには上下左右に反射方向を変更するスクリーンが必要となる。

そこで、本研究[5],[6],[7]では球面に小さな鏡を並べたミラーボールのようなスクリーンを製作した(Fig.5.3)。このスクリーンの鏡は1枚1枚の角度が上下左右に異なっている。これを高速回転させることによりプロジェクタからの光を様々な方向に反射させる。プロジェクタからは反射方向に合わせた光を出すことで立体像を表示する。この手法では光線の走査範囲がスクリーンに対する映像の大きさを決めている(Fig5.2)。大きな映像を高い画質で表示するためには、鏡の枚数を増やし、反射角度の角度分解能を上げる必要があった。

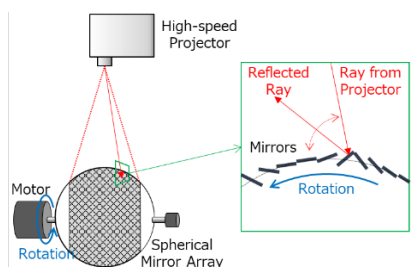


Fig.5.1 提案系の概要

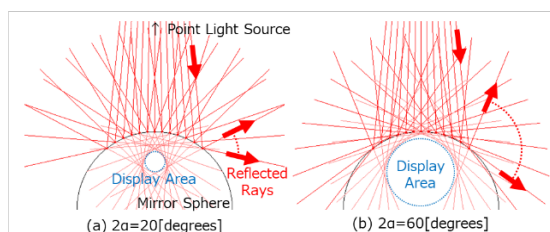


Fig.5.2 光線走査角度と表示領域の大きさの関係

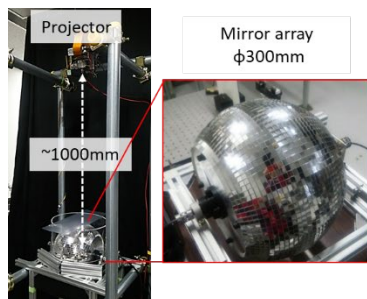


Fig.5.3 平面鏡アレイを使用した表示装置

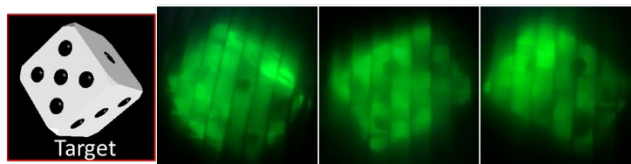


Fig.5.4 平面鏡アレイで表示された1辺40mmのサイコロ

この研究の第2段階⁸⁾では大量の鏡を並べる代わりに少ない数の凸面鏡を並べたスクリーンを使用する(Fig.5.6)ことで、画質を向上させられることを確認した。半分の大きさのスクリーンで、平面鏡アレイの場合より大きな映像を高い画質で表示できた。

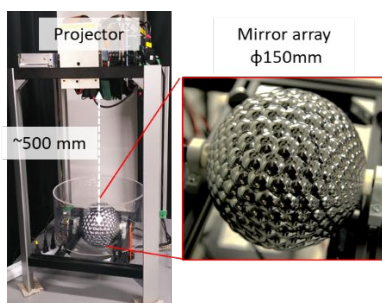


Fig.5.6 凸面鏡アレイを使用した表示装置

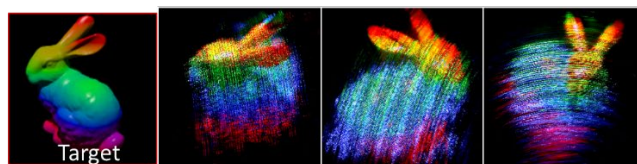


Fig.5.7 凸面鏡アレイで表示された高さ60mmのStanford Bunny

5. 波長による多重化

ここまでは時間で光を多重化することにより、表示素子の数が少なくても高い解像度を実現可能とした光線再現型ディスプレイについて紹介してきた。しかし、ここまでに紹介したディスプレイでは時間に多重化された光を、角度や位置ごとに異なる光に戻すために能動的な機構が用いられている。このため、スクリーンの機械的な振動や、耐久性などの問題があった。

そこで、光の波長ごとに違う角度に向けた映像を投影し、分光作用のあるスクリーンに投影することで立体映像を表示する研究を行った⁹⁾。波長ごとに違う映像を表示するために、高速に波長を変更可能な光源と高速なプロジェクタを用いた。波長の変更は回折格子を高速で揺動させることで行った。この光源では十分な明るさが確保できなかったが、静的なスクリーンでも立体像の表示ができることを確認した。

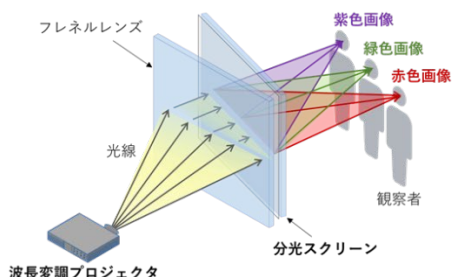


Fig.5.1 提案系の概要

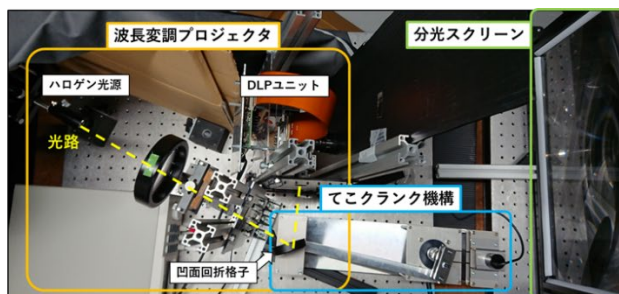


Fig.5.2 製作した実験系

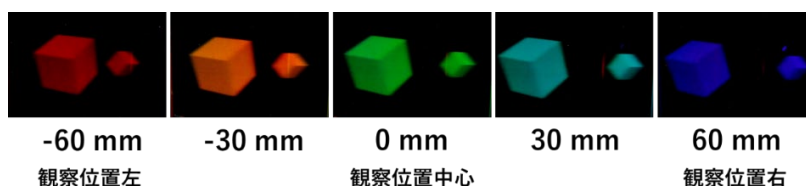


Fig.5.3 実験系で確認された立体像

- [1] 梶本雅弘, 鴨志田博貴, 圓道知博, “能動走査スクリーンによる投影式 3D ディスプレイ”, 3 次元画像コンファレンス, 大阪, 2016, 7 月
- [2] Masahiro Kajimoto, Hiroki Kamoshita, Tomohiro Yendo, “See-through projection 3D display using time-division multiplexing”, Electronic Imaging, Stereoscopic Displays and Applications XXVIII, pp. 96-100(5), 2017
- [3] Hiroki KATO, Tomohiro YENDO, “A wide viewing zone 3D display with silindrical mirror” , International Workshop on Advanced Image Technology, Taiwan, January, 2015
- [4] Hiroki KATO, Tomohiro YENDO, “Superimposed 3D Display Viewable from 360 Degrees” , International Display Workshops, Shiga(JAPAN), December, 2015
- [5] 矢野寛明, 圓道知博. ミラーアレイを用いた球状広視域フルパララックス 3D ディスプレイの提案, 3 次元画像コンファレンス, 2017-7
- [6] 矢野寛明, 圓道知博. ミラーアレイを用いた裸眼で観察可能な球状フルパララックス 3D ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会 第 22 回大会, 2017-9
- [7] Hiroaki Yano, Tomohiro Yendo. Full-parallax spherical light field display using mirror array, Electronic Imaging Symposium, Stereoscopic Displays and Applications, 2018-1
- [8] Hiroaki Yano, Tomohiro Yendo. Spherical full-parallax light-field display using ball of fly-eye mirror. In ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies, 2018-8
- [9] Masaki Yamauchi, Tomohiro Yendo, “Light field display using wavelength division multiplexing”, Electronic Imaging 2020, Stereoscopic Displays and Applications XXXI, 2020

色多重化時分割による光線再生超多眼表示

掛谷英紀（筑波大学）

Abstract: This paper reviews a super-multiview display by time division and color multiplexing. Time-division multiplexing parallax barrier can realize a super-multiview display with horizontal parallax. To realize a super-multiview display with both horizontal and vertical parallax, we have also proposed a wearable display where the relative position of the eye to the display panel is fixed. On the front panel, images of different colors with parallax are displayed according to the projected position of the backlight so that images from three viewpoints can be observed simultaneously. More viewpoints are generated by time-division multiplexing. Increasing the number of time-division to deliver white images to each viewpoint generates a more natural blur. Psychophysical experiments using a refractometer show that a larger number of time divisions enhance the induction of focal accommodation of the viewers.

1. 背景

立体視における輻輳調節矛盾の問題を解決する方法の一つとして超多眼表示がある[1-4]。超多眼表示は、瞳孔の大きさよりも小さい間隔で複数の画像を表示することで、各眼に多数の画像を投射する。つまり、眼の周囲に密な光線空間（ライトフィールド）を生成する。空中の点を通る2本以上の光線を瞳に投射したとき、網膜像がぼけないようにするため、目の水晶体の焦点調節はその点に誘導される。超多眼表示では、この焦点誘導によって輻輳調節矛盾を解消している。しかし、実用的な超多眼表示には、広い視域をカバーするために膨大な数の多視点画像を表示する必要がある。

超多眼表示を実現する技術として、レンチキュラーレンズを用いて、トラッキングした目の周辺のみに光線空間を生成する手法[5]や、SLM（空間光変調器）を利用した手法[6,7]などが提案されている。しかしながら、SLMを用いるとシステムが高価になるという問題があった。

筆者らは、時分割パララックスバリア[8,9]と色多重化を組み合わせた手法[10,11]を用いて、安価に高解像度の超多眼立体像を提示する方法を提案している。本稿では、それらの研究のレビューを行う。

2. 超多眼表示の原理

両眼立体視で起こる目の疲れの原因の一つに輻輳調節矛盾がある。現実世界で物を見る

とき、焦点と輻輳は同じ奥行きに調節されている。従来の 3D ディスプレイによって与えられた立体視画像を見るときは、観察像のぼけを防ぐために目の焦点はディスプレイ画面に誘導されるのに対し、輻輳は視差提示により画面から離れた位置に誘導される。この違いは、しばしば観察者に違和感や眼精疲労を引き起こすことが知られている。

この輻輳調節矛盾を解決する方法の一つとして、超多眼表示が提案されている。図 1 に示すように、超多眼表示では、単眼に 2 つ以上の画像を投影する。図 1 (a) のように焦点をディスプレイ面に合わせていると、像が網膜で 2 重に結像する。網膜像が二重にならないようにするためには、図 1 (b) のように光線の交点に目の焦点を合わせる必要がある。焦点が光線の交点に誘導されることで、焦点と輻輳が照準を合わせる奥行きが一致し、輻輳調節矛盾は解消される。しかしながら、超多眼表示を実現するためには、連続した膨大な数の多視点画像を生成する必要がある。

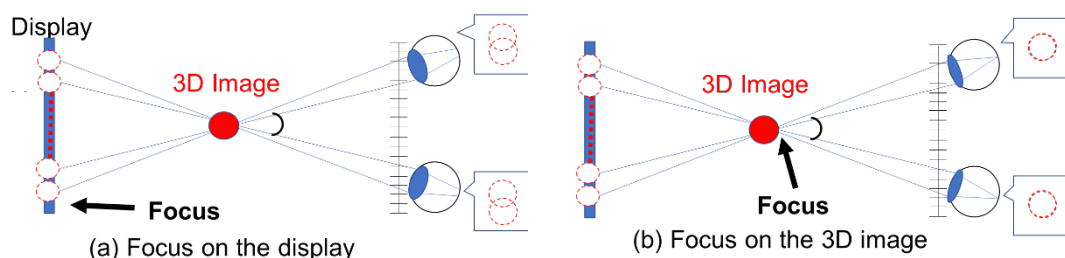


図 1 超多眼表示の原理

3. 時分割パララックスバリアによる超多眼表示

解像度の低下を防ぎフルカラーの画像を提供する超多眼表示の方式として、筆者らは時分割パララックスバリアを利用したシステムを提案している[12]。このシステムでは、多時分割パララックスバリアを利用し、2 枚の液晶パネルを対面に配置して映像を表示する(図 2)。

この方式の特徴として、パネルを対面に配置することで、カラーフィルタの順番が逆にし、異なる色の光線が異なる方向に向けられることがある。光線毎に異なる視点の画像を表示することで、カラーフィルタを同じ方向に配置したときの 3 倍の多視点表示が実現している。図 2 は 6 時分割パララックスバリアを適用した場合を示しており、計 18 視点の表示を実現している。この方式では、観察者の位置をトラッキングする装置と組み合わせることで、据え置き型の超多眼ディスプレイを実現することできる。18 視点のうちの 9 視点の画像を右目付近、残り 9 視点の画像を左目付近に投影すればよい。

時分割数が固定の場合、右目用画像の視域と左目用画像の視域の間隔が固定になるため、視域が奥行き方向に固定されるという問題がある。しかし、観察者の奥行き位置に応じて

時分割数を変化させることで、奥行き方向に視域を拡大可能することも可能である[13]。先行研究では、4, 5, 6 時分割を切り替えることで奥行き方向に観察可能な視域を広く有するシステムを提案している。

この方式の最大の弱点は、提示する視差が水平方向に限定されることである。そのため、縦線に対しては焦点調節を誘導できるが、横線に対して焦点調節を誘導することはできない。

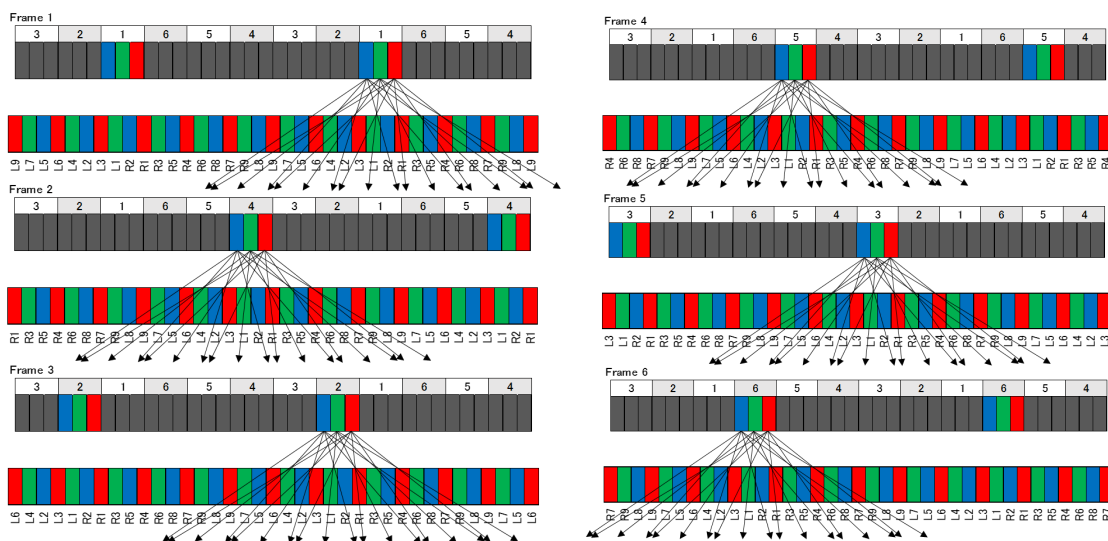


図 2 時分割パララックスバリアと色多重化を用いた超多眼表示

4. 水平・垂直方向に視差を有する超多眼表示

水平方向と垂直方向の両方に視差を提示するためには、用意しなければならない視差画像の数が膨大になる。しかし、ウェアラブルのニア・アイ・ディスプレイのように、ディスプレイと目の相対位置が固定されている場合は、瞳孔に限られた数の画像を照射するだけで、水平・垂直の両方向に視差を有する画像を提示できる。

しかしながら、たとえば垂直 3 方向、水平 3 方向の画像を提示するためには 3×3 で 9 視点の画像を提示する必要がある。SLM のような高価な素子を使えば、それは時分割表示により容易に実現できるが、液晶のような安価な素子で時分割のみに頼ると、ちらつきが目立つという問題が発生する。そこで、ここでも図 3 のように、時分割表示に加えて色多重化を行うことで、効率的な超多眼表示が可能となる[14]。

このシステムでは、凸レンズ（アクロマティックレンズ）を用いてバックライトの実像を瞳孔付近に生ずる。そして、バックライトの点滅位置に合わせて、液晶パネル上に視差画像を提示する。これにより、瞳孔に複数視点の画像を投影することができる。各フレー

ムでは赤・緑・青の各色をバックライトの別々の位置で発光させ、瞳孔でそれぞれの像が生じる位置に対応した視差画像を手前の液晶パネル上に表示する。これにより、各フレームで3種類の視差画像を同時に提示することができる。3時分割を用いれば、9視点の画像が生成される。

しかしながら、図3の方式では、各視点の画像を単色になる、これを図4のように6時分割さらには9時分割と増やしていくことで、9時分割の場合は各視点にフルカラーの画像を提示できることになる[15]。

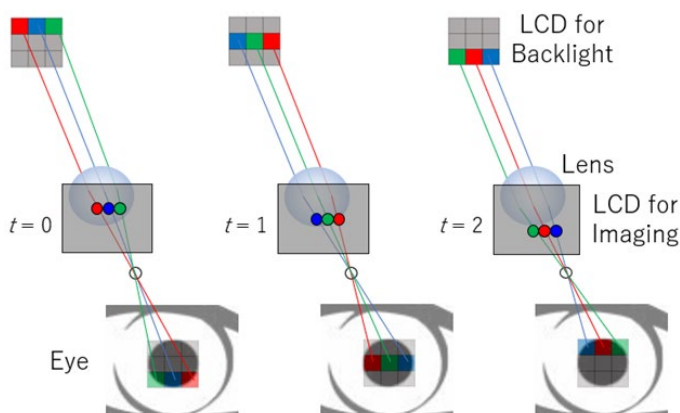


図3 水平・垂直方向に視差を有する超多眼表示

Time division number	3	6		9		
Backlight patterns	$t \bmod 3 = 0$ 	$t \bmod 6 = 0$ 	$t \bmod 6 = 3$ 	$t \bmod 9 = 0$ 	$t \bmod 9 = 3$ 	$t \bmod 9 = 6$
	$t \bmod 3 = 1$ 	$t \bmod 6 = 1$ 	$t \bmod 6 = 4$ 	$t \bmod 9 = 1$ 	$t \bmod 9 = 4$ 	$t \bmod 9 = 7$
	$t \bmod 3 = 2$ 	$t \bmod 6 = 2$ 	$t \bmod 6 = 5$ 	$t \bmod 9 = 2$ 	$t \bmod 9 = 5$ 	$t \bmod 9 = 8$

図4 時分割数を増加させるときの提示方法

時分割数を増やすと、提示画像のちらつきが気になる可能性があるが、超多眼の場合は目の周辺に極めて視差の非常に小さな画像を提示するので、観察者にちらつきはほとんど

知覚されない。それと同時に、図 5 に示すように、各視点にフルカラーの画像が提示されるため、焦点から外れたときに生じるぼけも色味がなく、より自然なものとなる。レフラクトメータを用いた観察者の焦点調節応答を調べる実験においても、9 時分割提示により調節応答を刺激する能力が増すことが見出されている[15]。

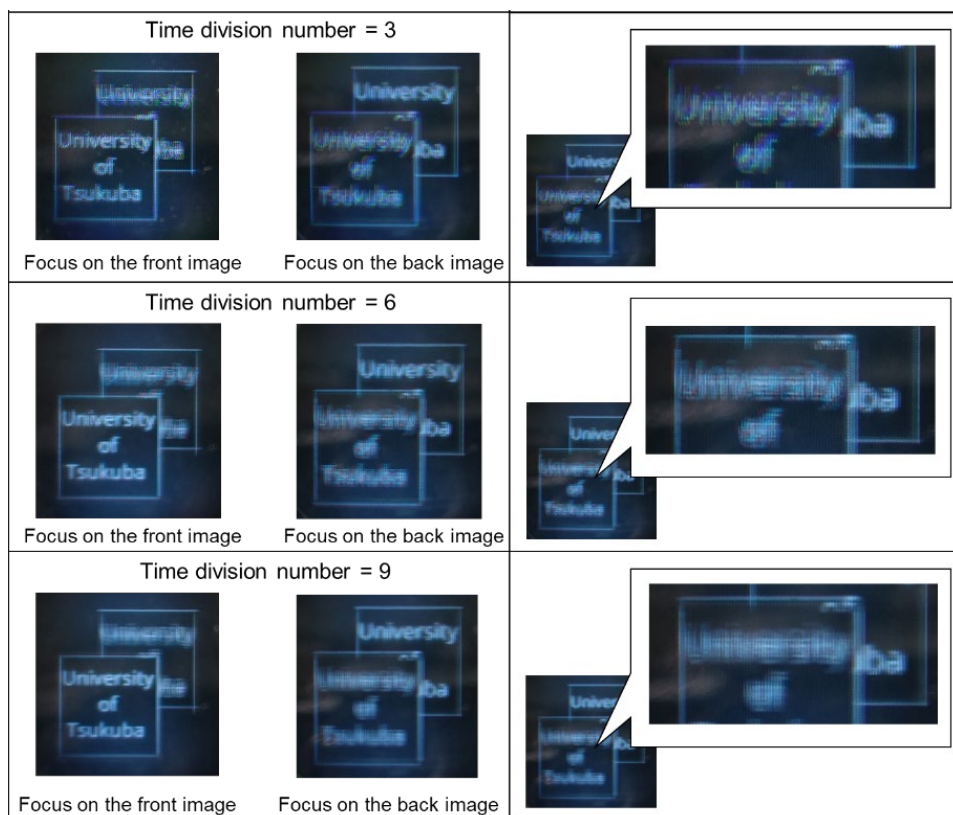


図 5 異なる時分割数で生じる画像ぼけの違い。

5. まとめ

本稿では、時分割と色多重化を組み合わせた超多眼表示ディスプレイについて、筆者らが提案している 2 つの手法をレビューした。時分割パララックスバリアを用いた手法は据え置き型ディスプレイに使用できるが、水平方向の視差しか提示できないという問題がある。この問題の解決が今後の課題である。レンズを用いてバックライトの像を瞳孔に照射する手法については、今後ニア・アイ・ディスプレイとして実装することが課題である。

謝辞

本研究は JST CREST (JPMJCR18A2) の支援を受けて行われている。

参考文献

- [1] Y. Kajiki, H. Yoshikawa, and T. Honda, "Hologram-like video images by 45-view stereoscopic display," Proc. SPIE 3012, 154–166 (1997).
- [2] Y. Takaki, "Thin-type natural three-dimensional display with 72 directional images," Proc. SPIE 5664, 56–63 (2005).
- [3] H. Nakanuma, H. Kamei, and Y. Takaki, "Natural 3D display with 128 directional images used for human-engineering evaluation," Proc. SPIE 5664, 28–35 (2005).
- [4] Y. Takaki and N. Nago, "Multi-projection of lenticular displays to construct a 256-view super multi-view display", Opt. Express 18(9), 8824-8835 (2010).
- [5] Y. Takaki, K. Tanaka and J. Nakamura, "Super multi-view display with a lower resolution flat-panel display," Opt. Express 19(5), 4129-4139 (2011).
- [6] T. Ueno and Y. Takaki, "Super multi-view near-eye display to solve vergence–accommodation conflict", Opt. Express 26(23), 30703-30715 (2018).
- [7] 栗原遥樹, 上野高明, 長浜佑樹, 高木康博, "超多眼ヘッドマウントディスプレイの時分割カラー化," 映像情報メディア学会冬季大会 (2019).
- [8] H. Takeya, K. Okada, and H. Takahashi, "Time-Division Quadruplexing Parallax Barrier with Subpixel-Based Slit Control," ITE Trans. on MTA, 6(3), pp. 237-246 (2018).
- [9] H. Takeya, A. Hayashishita, and M. Ominami, "Autostereoscopic display based on time-multiplexed parallax barrier with adaptive time-division," Journal of the Society for Information Display, 26(10), 595-601 (2018).
- [10] Q. Zhang and H. Takeya, "An Autostereoscopic display system with four viewpoints in full resolution using active anaglyph parallax barrier," Proc. SPIE, vol. 8648, 86481R (2013).
- [11] Q. Zhang and H. Takeya, "Time-division quadruplexing parallax barrier employing RGB slits," Journal of Display Technology, 12(6), pp. 626-631 (2016).
- [12] H. Takeya, "A Full-HD Super-Multiview Display with Time-Division Multiplexing Parallax Barrier", SID 2018 Digest, 259-262 (2018).
- [13] Y. Watanabe and H. Takeya, "A full-HD super-multiview display based on adaptive time-division multiplexing parallax barrier," ITE Trans. On MTA, 8(4), 230-237 (2020).
- [14] Y. Watanabe and H. Takeya, "A Super-Multiview Display with Horizontal and Vertical Parallax by Time Division and Color Multiplexing", SID 2020 Digest, 1017-1020 (2020).
- [15] Y. Watanabe and H. Takeya, "Time-Division and Color Multiplexing Light Field Display Using LCD Panels to Induce Focal Accommodation," Applied Optics, 60(7), pp. 1966-1972 (2021).

マイクロミラーアレイ素子を用いた環境反射型空中像

小泉 直也

電気通信大学 大学院 情報学専攻

〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1

Email: koizumi.naoya@uec.ac.jp

あらまし 空中像とは、光源の光が反射・屈折し空中に結像したものであり、映像と実物体を融合させた情報提示が可能で、映像と鑑賞者が物理空間を共有するため新しいインタラクションデザインの基盤になりうるものである。本稿では、マイクロミラーアレイ素子を中心に現在までに試みられている環境反射型空中像の研究例を紹介する。

キーワード 空中像提示技術, マイクロミラーアレイ, インタラクション

Mid-air imaging optical system on glossy materials

Naoya Koizumi

Department of Informatics, The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

Email: koizumi.naoya@uec.ac.jp

Abstract A mid-air image is a reflection or refraction of light from a light source that forms an image in the air, and it can be used as a basis for new interaction design because it can present information by integrating images and real objects, and the image and the viewer share a physical space. In this paper, we introduce the research examples of mid-air image interaction that have been attempted using micromirror-array-plates.

Keyword Mid-air imaging, micromirror-array-plates, interaction

1. はじめに

新型コロナウイルスの影響で非接触インタフェースが求められており、空中像とのインタラクションはかつてないほどに注目を集めている。空中像はマイクロミラーアレイ素子(Micro-Mirror Array Plates, 以下 MMAPs と省略)や再帰性反射材によって容易に結像し表示することができる[1]が、単純に像を表示だけでは、普及に至るほどの魅力を出すことはできない。本稿では、著者が取り組む環境反射型空中像を紹介し、空中像を実環境にどのように組み込み・調和させていくかについて議論する足がかりとしたい。

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消しつつ空中像を表示することが望ましい。図1の左図に示す通り、現状の空中像光学系では空中像を見る際に空中像装置そのものを覗き込んでいる。本稿では、それを避ける方法として図1の右図に示すように、光沢のある建材等に光を反射させて空中像を結ぶ環境反射型空中像の研究例を紹介する。

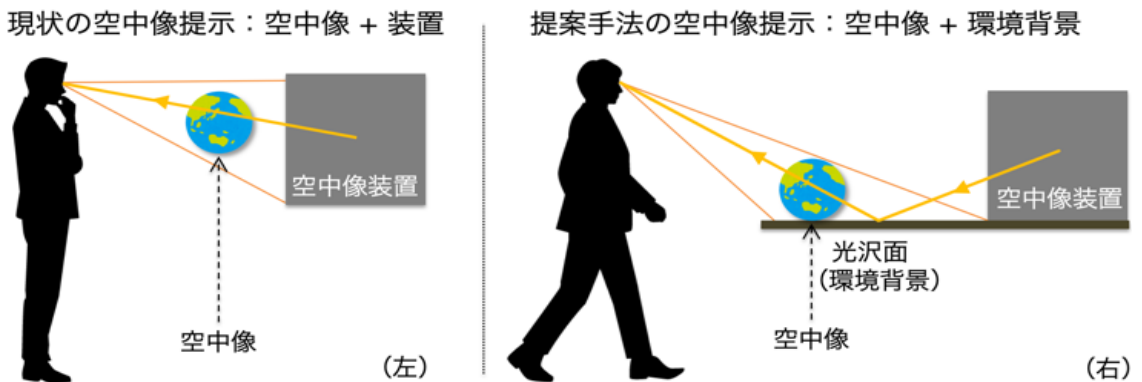


図1 現状の空中像提示と提案する光沢面を用いた空中像インタラクション

空中像を結像する手法は複数提案されているが、本稿では平行に並ぶ短冊形のミラーアレイ素子が二枚直交して配置された光学素子である MMAPs を用いた例を紹介する。MMAPs はミラーアレイで光を 2 回反射させることで空中像を結像することができるものであり、その結像位置は素子を対称面として光源と面对称な位置になる。

この素子を用いて環境反射型空中像を実現した最初の例として、テーブル上に直立した空中像を表示する光学設計 EnchanTable[2]を提案した(図2)。これは空中像をテーブル上に表示することと、光学系をテーブル奥の空間に設置すること要件としたものである。

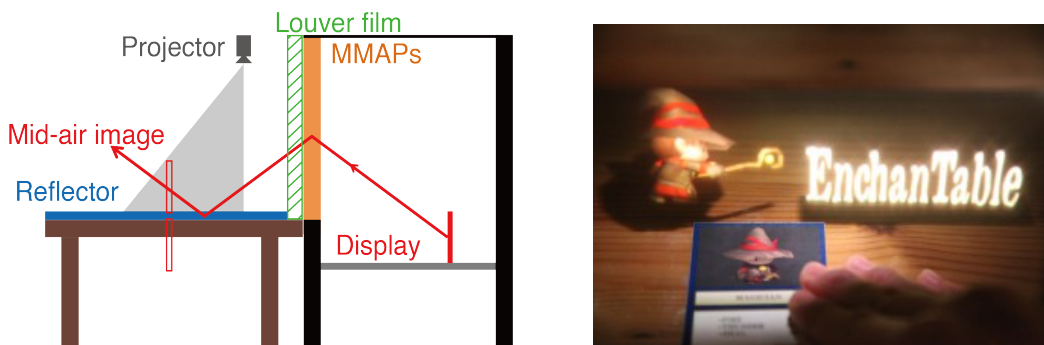


図2 EnchanTable の構成と表示例

EnchanTable の光学系について述べる．まず表示する空中像の光源を担うディスプレイから発せられた光は、MMAPs を通り、面对称な位置に空中像を結像するように進む．次にテーブル反射面で反射することで空中像を結像する．ここ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る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を、MMAPs の手前側に設置する．これにより、空中像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．

この光学系にセンサを加えることで、空中像とのインタラク션을設計する．たとえば、カードリーダーを取り付けることでテーブルの下に隠して配置することで、机の上に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できる．他にも反射面をタッチパネルディスプレイにすることで、タッチパネル面上の地図と空中像のキャラクターを使ったゲームコンテンツなどのインタラクティブシステムなども実現できる[3]．

EnchanTable の光学系における反射面を水面に置き換え、その水面の高さを計測し、それに応じた光源を配置することで、素手で水ごと空中像をすくいあげるインタラクシオンデザイン Scoopirit も提案した[4]．センサとしては、水面の高さを計測するために超音波センサを使用することもあったが、これでは面上に高さのセンシングができなため、RGB-D カメラを用いて手の高さを計測し、そこに水面があると仮定して光源を移動させる方法を選んだ．これによって、水面を動き回る妖精の CG 映像を素手ですくい上げるという、映像との印象的なインタラクシオンを実現することができたと考えている．

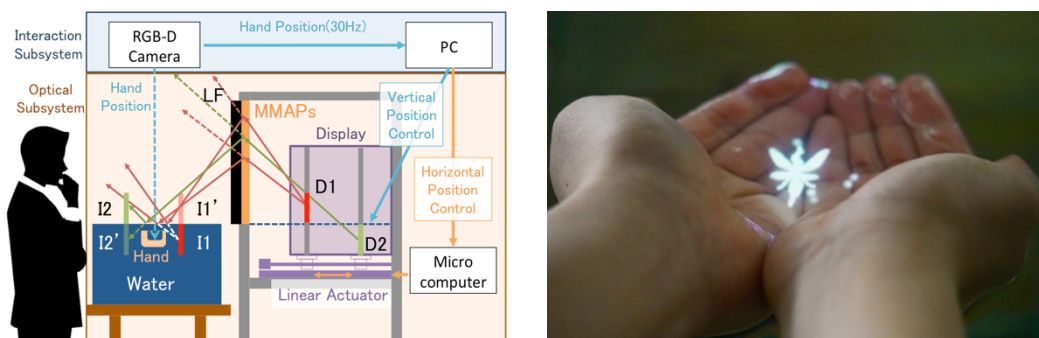


図3 Scoopirit のシステム構成と表示例

EnchanTable や Scoopirit は床面などへの適応が難しかったが、これを解消する光学系 PortOn[5] も提案した．これは、EnchanTable の光学系の内部に鏡を用いる方法であるが、単純

に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を検討した。具体的には光アイソレーターに類似する方式で、空中像の下に表示される地中像と空中像を生成する光線の偏光の向きを分けることで、空中像のみを表示することができる光学系を実現した。具体的な利用例として、小型ディスプレイを光源としたシステムを制作し、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できる空中像を提案している。インタラクションというと計算機とセンサとディスプレイの三者を連携させることを考えてしまいがちであるが、このように装置そのものを動かすことによって、物理的な装置の扱いやすさをいかした空中像とのインタラクションも面白いと考えている。

3. おわりに

本稿では、筆者が携わった MMAPs を活用した環境反射型空中像の研究を紹介した。空中像の社会的需要が高まっており、空中像インタラクションの研究もますます活発になると考えている。しかし製品レベルの設計をするにあたっては、空中像の迷光などの美観を損ねる部分をいかに見せないように製作するかを考える必要があると考えられる。筆者は CG によるシミュレーションによって、MMAPs と光源の配置によってどの様に空中像が結像し、迷光が発生するのかを映像で見ることができるシステムも開発している[5]。本稿で紹介したインタラクション技術や CG による設計支援によって空中像システムの設計ハードルが下げ、より美しく見える設計手法の普及に貢献し、引き続き空中像の発展に寄与したいと考えている。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H04223 の助成を受けたものである。

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*, Vol.21, No. 3, pp.401-410, 2016.
- [3] Yui Osato, Naoya Koizumi. Charrot: Pseudo-haptics with Mid-air CG Character and Small Robot. In *Proceedings of the Virtual Reality International Conference*, Article 18, pp.1-5, 2018.
- [3] 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] Naoya Koizumi, Sano Ayaka. Optical System to Display Mid-Air Images on a Glossy Plane and Remove Ground Images. *Optics Express*, Vol. 28, Issue 18, pp. 26750-26763, 2020.
- [6] Shunji Kiuchi, Naoya Koizumi. Simulating the appearance of mid-air imaging with micro-mirror array plates. *Computers & Graphics*, Vol. 96, pp. 14-23, 2021.

DFD 表示およびアーク 3D 表示の実世界への拡張

水科 晴樹[†] 陶山 史朗^{†‡}

[†]徳島大学 大学院社会産業理工学研究部理工学域光応用系

〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

[‡]宇都宮大学 オプティクス教育研究センター

〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

E-mail: mizushina.haruki@tokushima-u.ac.jp

あらまし DFD (Depth-fused 3D) 表示およびアーク 3D 表示を, 実世界の視覚情報に適用する試みについて紹介する. DFD 表示を実世界に適用することで, 実世界を直接見ながら特定の実物体の奥行き知覚を変化することができる. また, 両眼視差と滑らかな運動視差を併せ持つアーク 3D 表示を用いることで, 実物体表面に貼り付かず, さらに奥にめり込んで知覚される 3D 像の表示が可能である. これらの方式により, 3D 表示のさらなる応用が期待できる.

キーワード DFD 表示, アーク 3D 表示, 運動視差

Real-world application of DFD and arc 3D displays

Haruki MIZUSHINA[†] and Shiro SUYAMA^{†‡}

[†]Department of Optical Science, Graduate School of Technology, Industrial and Social Science, Tokushima University 2-1 Minamijosanjima, Tokushima-shi, Tokushima 770-8506, Japan

[‡]Center for Optical Research and Education (CORE), Utsunomiya University
7-1-2 Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi 321-8585, Japan

E-mail: mizushina.haruki@tokushima-u.ac.jp

Abstract We introduce our trials to apply DFD (Depth-fused 3D) display and arc 3D display to the real world. By applying the DFD display to the real world, perceived depth of a specific real object in the real world can be modified. By using the arc 3D display with binocular disparity and smooth motion parallax, perceived depth of 3D image can penetrate behind real object by moving observers head or 3D image. It is expected that these methods will expand the range of applications for 3D displays.

Keyword DFD, Arc 3D, Motion parallax

1. はじめに

拡張現実 (Augmented Reality: AR) により実世界にさまざまな情報を付加することで, 我々は改変された実世界を体験することができる. また, 自動車運転におけるナビゲー

ションや手術支援などに AR を活用することで, 実世界におけるスムーズな行動を支援することも可能である. 現時点では, ポケモン GO に代表されるスマートフォンによる情報提示や, シースルー型のヘッドマウントディ

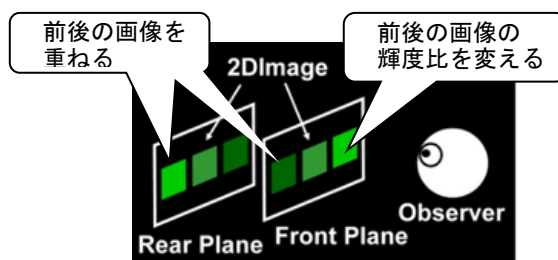
スプレイ (HMD) による視覚情報の提示が主流であるが、いずれにしても 2 次元的な画像情報の提示が主で、実世界に対して 3 次元的な情報を付加する手段についてはまだ不十分な点も多い。

本稿では、これまでに我々が研究してきた DFD (Depth-fused 3D) 表示方式とアーク 3D 表示方式を実世界に拡張する試みについて紹介する。

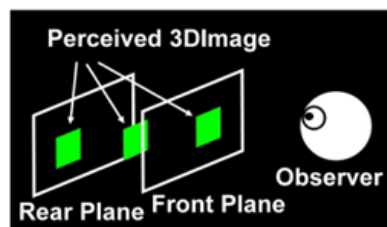
2. DFD 表示方式の実世界への拡張

実世界の奥行き方向の配置を改変して提示することができれば、3D 表示の適用範囲の広がりが期待できる。例えば、住宅展示場における実物の窓を出窓に見せる、あるいはショーケース内の実物の中からお勧め商品のみを手前に見せるなどの応用が考えられる。二眼式立体表示でも、HMD 等によるビデオシースルーを用いればそのような操作は可能であるが、視差の調整のための画像処理が必要であること[1]、視差を変化させた場合に周囲の画像との間に違和感が生じやすいこと、そして何より、光学的なシースルーではないので、周囲の環境を直接見ることができないといった問題がある。そこで我々は、この用途に DFD 表示方式[2]を適用することを提案した。

図 1 に DFD 表示の原理を示す。奥行きの異なる二つの画像を観察者の左右眼の中間から見て重なるように配置したとき、奥行き方向に融合した一つの画像を知覚することができる。さらに、知覚される奥行きは、前後像の輝度比を変えることで操作することが可能である。



(a) DFD 表示の構成。前後画像は、両眼の中間から重なるように配置し、その輝度比を変化。



(b) 知覚される奥行きは輝度比の変化に応じて変化する。

図 1 DFD 表示の原理

DFD 表示の前後像のいずれかを実物とすることで、実物体の知覚される奥行きを変化できると考えた。この方法によれば、輝度を調整した前後像を実物体に重ねて表示するだけで、容易に実物の奥行き知覚を改変することができる。周囲の環境を光学シースルーで直接見ることができるというメリットも有する。

図 2 に実物体の奥行き知覚評価の実験系を示す。ハーフミラー合成で、ディスプレイ上の前面画像を後方の実物体の 50 mm 手前に虚像として表示した。なお、前面画像と後方の実物体の中間の奥行き位置に、後方の実物体 (Occluded real object) の一部を隠す手前の実物体 (Occluding real object) を設けた。これは、強力な絵画的奥行き手がかりである遮蔽 (occlusion) の影響を調べるためである。

図 3 に前面画像の輝度変化による実物体の知覚された奥行きの変化を示す。前面画像の

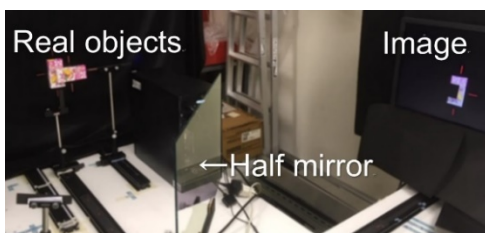
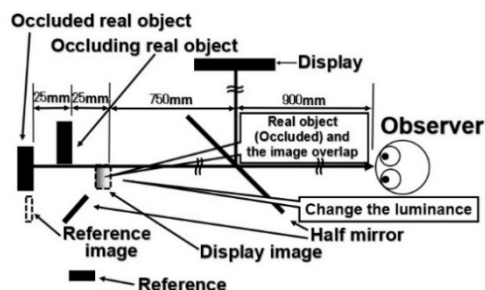


図2 遮蔽関係のある実物体の奥行き知覚評価の実験系

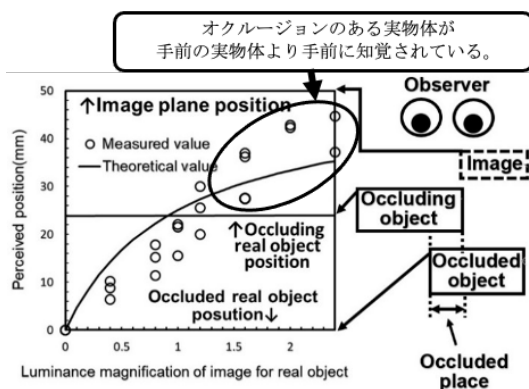


図3 DFD表示を遮蔽された後方の実物体に適用した場合の奥行き知覚の変化

輝度が高くなると、それに応じて後方の実物体 (Occluded real object) の奥行きが手前に知覚されている。このことから、DFD表示を用いて実物体の知覚される奥行きを改変できることが示された[3]。特筆すべきは、前面画像の輝度の上昇とともに、後方の実物体が手前の実物体 (Occluding real object) のさらに手前に知覚されるという状況が作り出せる点である。すなわち、遮蔽という強力な奥行き知覚手がかりに打ち勝って、DFD表示により、

後方の実物体をさらに手前に知覚されることが可能ということを示す。実世界では、奥行きを改変したい物体以外にもさまざまなオブジェクトが存在しうる。それらと改変対象の実物体との間に遮蔽関係があった場合でも、DFD表示による奥行き知覚の操作が有効であり、この特性は応用場面においても大きな利点であると言える。

3. アーク 3D 表示方式の実世界への拡張

実世界に 3D 像を表示したい場合に、他の実物体に妨げられて、想定している奥行き位置に像が知覚されないことがある。例えば図4に示すように、(a)車両ナビゲーション用の3D表示が所望の奥行き位置ではなく、手前の車の車体に貼り付いて知覚される、あるいは(b)手術ナビゲーションにおいて臓器や血管の3D表示の位置が所望の位置ではなく、体表面に貼り付いて知覚される、などの現象がある。

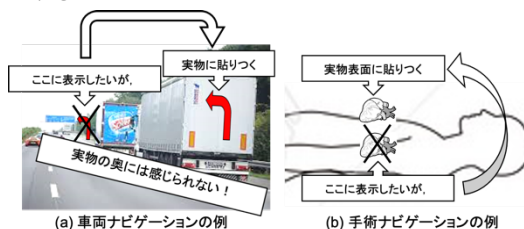


図4 3D像が実物体の表面に貼りついて知覚される例

この原因として、二眼式立体像と実物体に対する奥行き知覚手がかりの違いが挙げられる。すなわち、実物体においては両眼視差と運動視差の両方が満たされているのに対し、二眼式立体像では両眼視差は満たされているが、運動視差は満足していない。そこで我々は、両眼視差と運動視差の両方を同時に

満足するアーク 3D 表示方式[4-6]を適用することで、3D 像の実物体への貼り付きが解決できるのではないかと考えた。

図 5 にアーク 3D 表示の原理を示す。(a)は両眼視差、(b)は運動視差を示す。基盤上に付けられた円弧状の線刻が照明されると方向性散乱が生じ、観察位置によって線刻上の異なる位置に輝点が知覚される。左右の眼はその位置が異なるため、異なる位置に輝点を知覚し、その結果として図 5(a)のように両眼視差が表現できる。また、図 5(b)のように視点が連続的に移動すると、それに応じて輝点の位置も連続的に移動し、滑らかな運動視差が得られる。以上のことから、アーク 3D 表示は両眼視差と運動視差の両方を満たすとい

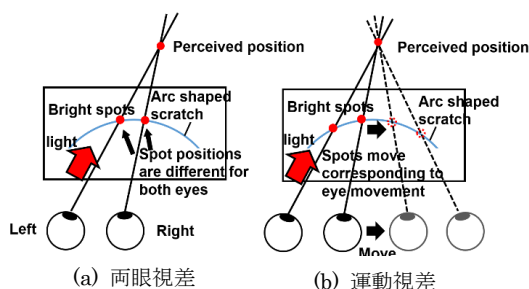


図 5 アーク 3D 表示の原理

う特徴を持つ。

図 6 に、アーク 3D 表示による 3D 像付近に実物体がある場合の、3D 像の奥行き知覚評価の実験系を示す。ハーフミラー合成で、3D 像が光学的に実物体の奥に表示された場合に、実物体表面への貼り付きが生じるかどうかを調べた。また、アーク 3D 表示を二眼式立体表示に置き換えた場合にも同様の実験を行い、結果を比較した。

実験条件として、(a)観察者の頭部と 3D 像

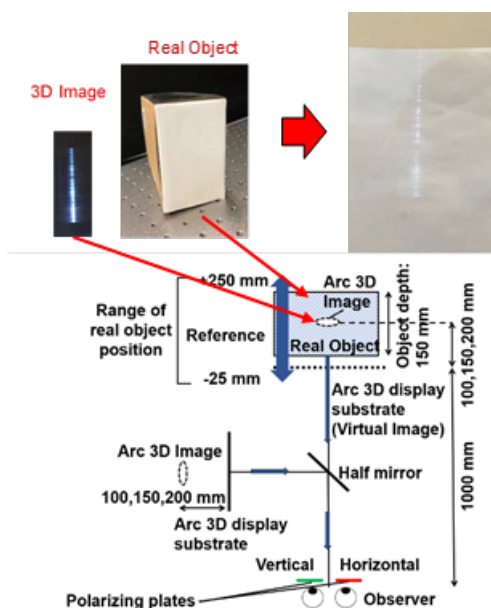
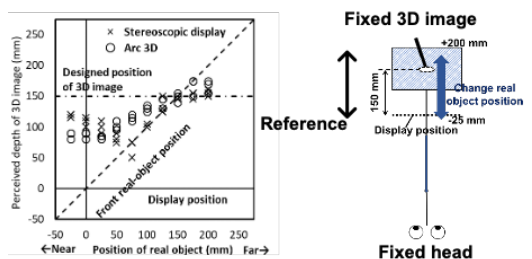


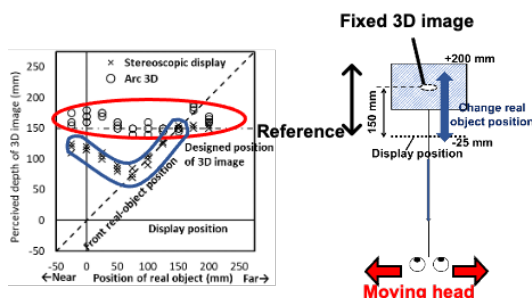
図 6 実物体が存在する場合のアーク 3D 像の奥行き知覚評価の実験系

が固定、(b)頭部が左右に往復運動し 3D 像は固定、(c)頭部は固定し 3D 像が左右に往復運動、の三条件を設定した。なお、(b)および(c)において、アーク 3D 表示の場合は運動視差が存在するが、二眼式立体表示では運動視差は得られない。

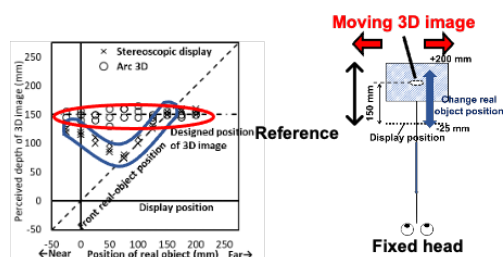
図 7 に各条件において、基盤の奥 150 mm に 3D 像の奥行きを設定した場合に知覚された奥行きを示す。縦軸は知覚された奥行き、横軸は実物体の位置である。よって、3D 像が設定された奥行き (150 mm) に知覚された場合、データは水平な破線に沿い、実物体に貼り付いて知覚された場合、データは斜めの破線に沿う。図 7 が示すように、(a)頭部と 3D 像の両方が固定の場合は、アーク 3D 表示と二眼式表示の場合のいずれの場合でも 3D 像は実物体に貼り付く。一方、(b)頭部が運動し 3D 像が固定の場合および、(c)頭部が固定で 3D 像が運動する場合には、二眼式表示では実



(a) 頭部と 3D 像が固定の場合



(b) 頭部が運動し 3D 像が固定の場合



(c) 頭部が固定で 3D 像が運動する場合

図 7 アーク 3D 像と二眼式立体像の奥行き知覚における実物体の位置の影響

物体への貼り付きが一定の範囲で見られるが、アーク 3D 像では常に設定した奥行き (150 mm) に知覚されていることが分かる。これは、二眼式表示は両眼視差のみで運動視差を満足しないが、アーク 3D 表示では両眼視差と運動視差をともに満たすことによると考えられる。以上のことから、滑らかな運動視差を持つアーク 3D 表示を用いることで、3D 像を実物体表面に貼りつかず、その奥にめり込むように表現することが可能になった

と言える[7]。このアーク 3D 表示の特性を利用すれば、実物体の妨害を受けずに任意の奥行き位置に 3D 像が提示でき、3D 表示の応用面において有効と考えられる。

4. おわりに

本稿では、我々が研究してきた DFD 表示とアーク 3D 表示を実世界に拡張する試みについて紹介した。DFD 表示は実世界における特定の実物体の奥行きの改変に、アーク 3D 表示は実物体にめり込む 3D 像の表現に活用できることを示した。これらの 3D 表示方式を用いることで、従来方式では成し得なかった表現が可能となり、3D 表示の応用範囲のさらなる広がりが期待できる。

謝 辞

本研究は、JSPS 科研費 (19H04155, 20K11919, 20K21817, 20H05702) および放送文化基金の助成を受けて行われた。

文 献

- [1] C. Vazquez, W. J. Tam and F. Speranza, "Stereoscopic imaging: filling disoccluded areas in depth image-based rendering," Proc. SPIE 6392, Three-Dimensional TV, Video, and Display V, 63920D (2006).
- [2] S. Suyama, S. Ohtsuka, H. Takada, K. Uehira, and S. Sakai, "Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D images displayed at different depths," Vision Research, Vol. 44, pp. 785-793 (2004).
- [3] O. Iwamoto, H. Mizushima, and S. Suyama, "Real-object DFD display can enable occluded rear real

object to perceive in front of front real object,”
IMID 2019, p. 76 (2019).

- [4] W. T. Plummer and L. R. Gardner, “A mechanically generated hologram?,” *Applied Optics*, Vol. 31, pp. 6585-6588 (1992).
- [5] M. Daibo, M. Kobayashi, S. Machida and M. Kimura, “Three – dimensional display using arc shaped fine grooves,” *BULLETIN OF JSSD*, Vol. 46, pp. 19-26 (1999).
- [6] N. Yamada, C. Maeda, H. Yamamoto and S. Suyama, “Lighting position dependence and observation angle dependence of perceived depth in arc 3-D display,” *IDW '12, 3Dp-14* (2012).
- [7] K. Nakano, T. Yoshida, H. Mizushina and S. Suyama, “Perceived depth in Arc 3D display can penetrate into behind real object by moving Arc 3D images in contrast to non-penetrated perceived depth in stereoscopic display”, *IDW '19/3DSA* 2019, pp. 167-170, (2019).

令和 3 年第 2 回 ホログラフィック・ディスプレイ研究会のお知らせ

■開催日： 2021 年 6 月 4 日(金) 13:00～17:00

■場 所： Zoom によるオンライン開催

■テーマ： 非ホログラフィによる立体映像

■プログラム：

1. HODIC 鈴木岡田記念賞授賞式及び記念講演

- HODIC 鈴木岡田記念賞について

ホログラフィック・ディスプレイ研究会会長 伊藤 智義

- 選考経緯と選考結果の報告

2020 年度 HODIC 鈴木岡田記念賞選考委員長 山本 健詞

- 授賞式および記念講演

- 技術賞奨励(1) 平山 竜士 氏 (英国ユニバーシティカレッジロンドン (UCL))
- 技術賞奨励(2) 米田 成 氏 (和歌山大学)

休憩

2. 講演会

「時間多重方式を用いた光線再現型ディスプレイ」

矢野 寛明, 圓道 知博 (長岡技科大)

「色多重化時分割による光線再生超多眼表示」

掛谷 英紀 (筑波大)

「マイクロミラーアレイ素子を用いた環境反射型空中像」

小泉 直也 (電通大)

「DFD 表示およびアーク 3D 表示の実世界への拡張」

水科 晴樹, 陶山史朗 (徳島大)

■参加費： 会員, 非会員, とともに無料

■問合せ先

- ・研究会について: e-mail meeting@hodic.org

- ・その他全般: HODIC 事務局

日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川 浩 宛

TEL/FAX 047-469-5391

e-mail office@hodic.org

令和 3 年第 3 回ホログラフィック・ディスプレイ 研究会のお知らせ／講演募集

ホログラフィック・ディスプレイ研究会では、2021 年 9 月 3 日（金）に公募形式の研究会を開催します。今回は「立体映像およびホログラフィー」というテーマで、技術・アート・デザイン等の観点での発表を公募します。下記の申込み方法をご参照の上、ぜひご応募下さい。

■開催日： 2021 年 9 月 3 日(金) 午後を予定

■場 所： Zoom によるオンライン開催

■テーマ： 立体映像およびホログラフィー

■共 催： 映像情報メディア学会

映像表現&コンピュータグラフィックス研究会

立体映像技術研究会

■発表申込方法：

申し込みについては、共催の映像情報メディア学会の研究会発表申込システムを使用します。申し込み方法等が不明な場合は、下記までご連絡ください。

・映像情報メディア学会の WEB ページより（研究会発表申し込みシステム）

<http://www.ite.or.jp/> → 「投稿する/参加する」 → 「研究会」 → 「研究会スケジュールはこちら」 映像表現&コンピュータグラフィックス研究会 または 立体映像技術研究会 を選択

または以下の URL へアクセス。

<https://www.ite.or.jp/ken/program/index.php?tgid=OSJ-HODIC>

・講演申込み締め切り：2021 年 7 月 16 日（金）

■問合せ先

・研究会について： e-mail meeting@hodic.org

・その他全般: HODIC 事務局

日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川 浩 宛

TEL/FAX 047-469-5391

e-mail office@hodic.org

ホログラフィック・ディスプレイ研究会役員（敬称略）

名誉会長	辻内 順平	会長	伊藤 智義（千葉大学）
副会長	山本 健詞（徳島大学）	前会長	橋本 信幸（シチズン時計）
国際担当	西辻 崇（東京都立大学）	企画委員長	角江 崇（千葉大学）
会計幹事	山内 豪（大日本印刷）	事務局長	岸本 康（凸版印刷）
編集長	吉川 浩（日本大学）		

幹 事（５０音順）

石井勢津子（美術家）	石川 洵（石川光学造形研究所）	岩田 藤郎
鎌田 康昌（凸版印刷）	坂本 雄児（北海道大学）	下馬場朋禄（千葉大学）
白木 厚司（千葉大学）	白倉 明（アーティエンス・ラボ）	高橋 進（凸版印刷）
松島 恭治（関西大学）	山口 健（日本大学）	山口 雅浩（東京工業大学）
渡邊恵理子（電気通信大学）		

相 談 役（５０音順）

上田 裕昭（ユニカム・プラネタリウム）	小野 雄三（立命館大学）	勝間ひでとし（湘南 LRT 研究 G）
桑山 哲郎	久保田敏弘（久保田ホログラム工房）	酒井 朋子（千葉大学）
佐藤 甲癸	永田 忠昭（arts-unis）	三田村峻右
堀内 道夫（光と風の研究所）	本田 捷夫（本田ひかり技研）	

編集部よりのお知らせ

編集部では皆様からの情報を募集いたしております。ホログラフィ関連のお知らせや報告などがございましたら、下記編集部連絡先までお送り下さいますようお願い申し上げます。

なお、次号会報に掲載するためには研究会開催日の１ヶ月前が締切となります。

HODIC Circular, Vol. 41, No. 2 (Jun. 2021)

2021 年 6 月 4 日発行

編 集 日本光学会 ホログラフィック・ディスプレイ研究グループ
 編 集 長 吉川 浩(日本大学)

HODIC 事務局 (入会・連絡先変更・各種問合せ等)

日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川・山口研究室 気付 (担当: 吉川 浩)
 〒274-8501 船橋市習志野台 7-24-1

TEL/FAX 047-469-5391 E-mail: office@hodic.org

WEB: <http://www.hodic.org/>

ご連絡はなるべく電子メールまたは FAX にてお願いいたします。

For foreign members, any corresponding to

Hiroshi Yoshikawa, Dept. Computer Engineering, Nihon University

7-24-1 Narashino-dai, Funabashi, Chiba 2748501 JAPAN

E-mail: yoshikawa.hiroshi@nihon-u.ac.jp

HODIC