

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04222

研究課題名（和文）ウェアラブル眼光学計測と光変調による視覚の自在制御技術の提案

研究課題名（英文）Wearable ophthalmology measurement and light modulation for flexible control of vision

研究代表者

伊藤 勇太（Itoh, Yuta）

東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・特任准教授

研究者番号：10781362

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：主要成果は2カテゴリに分かれている。波面計測を用いた眼の焦点距離・収差の推定や視界の見え方推定である。網膜投影ディスプレイと波面計測センサを組み合わせたARディスプレイ技術を開発し、被写界深度に応じたレンダリングにおける奥行知覚の評価実験も行った。空間光変調を用いた映像最適化と視覚との連携である。新しいARディスプレイ方式であるStainedViewを提案し、光学シースルーな光学遮蔽システムを構築するために空間光変調技術を応用し、光学的に連続的な奥行きを再現することに成功した。最終年度では、フォトリソミックとホログラフィック材料を用いたコンパクトな光学遮蔽システムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は「視界の見え方推定と眼に入る光の制御によって個人毎の視覚を高度に制御できるか？」という課題に取り組んでいる。この課題に対して、本研究成果は目の状態を計測しながら最適な映像を提示するという先進的な拡張現実感（AR）ディスプレイ技術につながる。また光の制御のため、一般のARディスプレイで問題となる映像が半透明になる課題に対して新しい解決策を提案し、今後よりリアルなAR映像を再現する技術開発の先駆けともなっている。

研究成果の概要（英文）：The main results of the research are divided into two sections. The first is the estimation of the focal distance and aberration of the eye and the visibility of the field of view using wavefront measurement. AR display technology combining a retinal projection display and a wavefront measurement sensor was developed, and experiments were conducted to evaluate depth perception in rendering according to depth of field. The second is image optimisation using spatial light modulation and its linkage with vision. A new AR display method, StainedView, was proposed and spatial light modulation technology was applied to construct an optical see-through optical shielding system, successfully reproducing continuous depth optically. In the final year, a compact optical shielding system using photochromic and holographic materials was constructed and presented as a conference paper in IEEE VR 2023.

研究分野：拡張現実感

キーワード：拡張現実感 HMD 光学シースルー 視覚拡張 光学透過型 AR 波面計測 網膜投影

1. 研究開始当初の背景

視覚拡張は、人の能力を技術で補助・増幅する**人間拡張学**の一領域である。人間拡張は、老若男女を問わず万人が恩恵をうけ、不自由なく生活できる社会を目指すという面で意義深い。視覚拡張は特に、**計算機によって人間の視覚を賢く支援すること**を目指している。

申請者は、スマートフォンや眼鏡、補聴器のように、将来多くの人が**日常的に視覚拡張システムを身につけて生活する「スマート知覚社会」**が実現すると考えている。超高齢社会の日本にて、視覚拡張は人々の知覚処理を補助し、生活の質を維持・高めることに貢献できる。

本研究提案では**視界の見え方の推定と視界に入る光の制御が出来ない問題を解決し、自在な視覚の拡張**を実現する。これらの問題は既存の眼光学的計測や空間光変調と関連が深く解決済みに見える（例えば視力検査装置は直接眼球内を計測できる）が、**ウェアラブルな、小型で誰でも使える技術として実現する**点に学術的な意義がある。

本提案研究により、長期的には、個人の視覚の最適化、つまり**個人毎の視覚に応じた、視覚機能の制御**の実現を目指す。想定成果は**ARディスプレイ技術にも転用可能**であるため短期的には現在開発が盛んなAR産業にも寄与することが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、上記の問いに基づき、

【A】 眼光学計測による**視界の見え方**（焦点距離、色見え方、等）の推定

【B】 **眼に入る光そのもの**の制御を含めた自由度の高い複合的な映像提示

【C】 A/Bを複合した**光学系の小型化と応用システム**

を実現することにより、OST-HMDによる**視覚の自在な制御**の実現を目指した。

3. 研究の方法

図1に本提案の研究ロードマップと研究協力者の関係を示す。

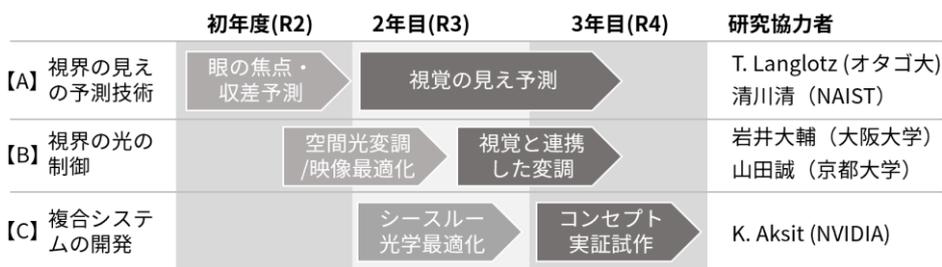


図1: 本研究提案のロードマップ及び研究協力者の関連性。

研究ロードマップは**3研究項目カテゴリ(A,B,C)**に分かれており、項目A・Bでは**基盤技術の開発**を、項目Cではそれらの**統合小型化と応用システム**の開発を行う。

4. 研究成果

主要な成果に関して、2つのセクションに分けて述べる。

(1) 【波面計測による眼の焦点距離・収差の推定、補償光学による視界の見え方推定】

初年度は、網膜投影ディスプレイと波面計測センサを組み合わせた拡張現実感向け (AR) ディスプレイを試作した。これにより、視線計測等の既存のシステムから一歩進み、個人の視覚を直接計測しながら映像提示を行えるディスプレイ技術の道を示した。次年度は、初年度より取り組んでいた網膜投影ディスプレイと波面計測センサを組み合わせた AR ディスプレイの応用として、目の焦点距離に応じて被写界深度を再現する Focus-aware 網膜投影を提案し、リアルな奥行き知覚を行えるディスプレイシステムをコンセプト実証した (図2)。成果は VR/AR に関するトップ国際会議である IEEE ISMAR2021 のポスター論文1件として発表された。[1]。これは、時間解像度と空間解像度を犠牲にすること無く、知覚的に正しい AR 映像を表現できる新しいフレームワークである。更に最終年度はこの被写界深度に応じたレンダリングにおける奥行き知覚の評価実験を行った。

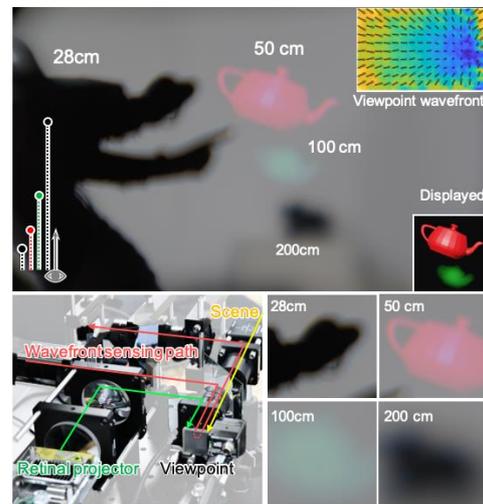


図2: AO-SLOによる網膜撮影像と一人称カメラによる視界の推定。網膜像とカメラ像の対応を取れば、視界への映像の映り方が推定できる。光源の走査型レーザーをカラーとすることで、原理上は映像提示も可能になる。

(2) 【空間光変調による映像最適化と視覚との連携】

初年度は光の減算によって AR 映像を生む新しい AR ディスプレイ方式である StainedView を提案した (図3、[2])。これは既存の加算方式の光学シースルーAR ディスプレイの欠点を補う新しい方式であり、本研究により AR ディスプレイの新しい分野を開拓した。通常の AR ディスプレイは LCD 等のマイクロディスプレイからの映像を視界に重畳する。提案した StainedView では空間光変調器による偏光干渉

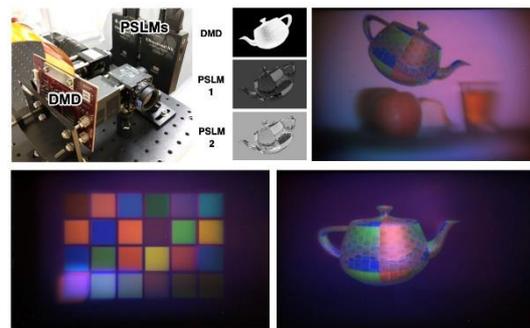


図3: Stained view [2]

色を用いて、視界に空間的なカラーフィルターを再現することが可能になる。いわゆるステンドグラスのように、カラーフィルターによる模様を出力することで、視界に減算による映像を再生することができる。

次年度では、以下の課題に取り組んだ。光学シースルーAR ディスプレイでは映像が背景にゴーストのように半透明に表示される。この問題を解決するのが光学遮蔽ディスプレイである。この光学遮蔽においては従来はなめらかな奥行きのある光学遮蔽を実現できなかった。本年度は空間光変調技術を応用し、光学的に連続的な奥行きを再現した光学シースルーな光学遮蔽システムを構築し、コンセプト実証を行った。研究成果は、光学系研究で権威の

ある国際論文誌である OSA Optics Express に 1 報[3]発表された。

最終年度では、フォトクロミック材料とホログラフィック材料を用いて、コンパクトな光学シースルーな光学遮蔽システムを構築し、コンセプト実証を行った (図 4)。本成果は VR/AR に関するトップ国際会議である IEEE VR 2023 のカンファレンス論文 1 件として発表された[4]。

[1] Mayu Kaneko, Yuichi Hiroi, Yuta Itoh "Focus-Aware Retinal Projection-based Near-Eye Display" Proceedings of IEEE ISMAR 2021, pp 207-208, Bari, Italy, Oct. 4-8, 2021

[2] Takumi Kaminokado, Yuichi Hiroi, Yuta Itoh, "StainedView: Variable-Intensity Light-Attenuation Display with Cascaded Spatial Color Filtering for Improved Color Fidelity", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2020

[3] Yuichi Hiroi, Takumi Kaminokado, Shunsuke Ono, Yuta Itoh "Focal Surface Occlusion" OSA Optical Express, Vol. 29, Issue 22, pp. 36581–36597, 2021

[4] Chun Wei Ooi, Yuichi Hiroi, Yuta Itoh, "A Compact Photochromic Occlusion Capable See-Through Display with Holographic Lenses", Proceedings of 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp 237-242, Shanghai, China, Mar. 25-9, 2023

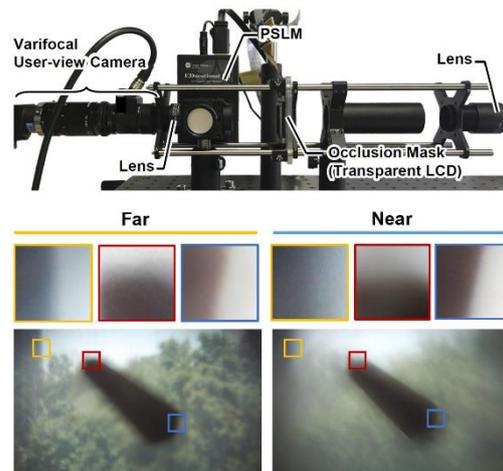


図 4:奥行きを再現する光学遮蔽技術 [3]

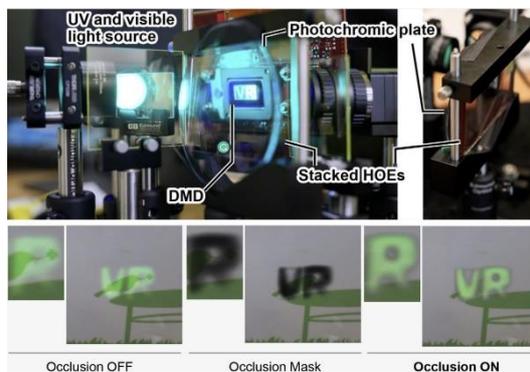


図 4:フォトクロミック材料によるコンパクトな光学遮蔽技術 [4]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kaneko Mayu, Hiroi Yuichi, Itoh Yuta	4. 巻 n.a.
2. 論文標題 Focus-Aware Retinal Projection-based Near-Eye Display	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE ISMAR 2021, Bari, Italy, Oct. 4-8, 2021	6. 最初と最後の頁 207--208
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Itoh Yuta, Langlotz Tobias, Sutton Jonathan, Plopski Alexander	4. 巻 54
2. 論文標題 Towards Indistinguishable Augmented Reality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACM Computing Surveys	6. 最初と最後の頁 1~36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3453157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroi Yuichi, Kaminokado Takumi, Ono Shunsuke, Itoh Yuta	4. 巻 29
2. 論文標題 Focal surface occlusion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 36581~36581
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.440024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kaminokado Takumi, Hiroi Yuichi, Itoh Yuta	4. 巻 26
2. 論文標題 StainedView: Variable-Intensity Light-Attenuation Display with Cascaded Spatial Color Filtering for Improved Color Fidelity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 3576~3586
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVCG.2020.3023569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Itoh Yuta, Kaminokado Takumi, Aksit Kaan	4. 巻 27
2. 論文標題 Beaming Displays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 2659 ~ 2668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVCG.2021.3067764	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Xuan, Lundgren Jonathan, Mesaki Yoya, Hiroi Yuichi, Itoh Yuta	4. 巻 -
2. 論文標題 Stencil Marker: Designing Partially Transparent Markers for Stacking Augmented Reality Objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE ISMAR 2020 poster paper	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroi Yuichi, Itoh Yuta, Rekimoto Jun	4. 巻 23
2. 論文標題 NeARportation: A Remote Real-time Neural Rendering Framework	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3562939.3565616	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroi Yuichi, Someya Kiyosato, Itoh Yuta	4. 巻 30
2. 論文標題 Neural distortion fields for spatial calibration of wide field-of-view near-eye displays	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 40628 ~ 40628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.472288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ooi Chun-Wei、Hiroi Yuichi、Itoh Yuta	4. 巻 -
2. 論文標題 A Compact Photochromic Occlusion Capable See-through Display with Holographic Lenses	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp 237-242, Shanghai, China, Mar. 25-9, 2023	6. 最初と最後の頁 237-242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VR55154.2023.00039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kaneko Mayu、Hiroi Yuichi、Itoh Yuta
2. 発表標題 Focus-Aware Retinal Projection-based Near-Eye Display
3. 学会等名 IEEE ISMAR 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaminokado Takumi、Hiroi Yuichi、Itoh Yuta
2. 発表標題 StainedView: Variable-Intensity Light-Attenuation Display with Cascaded Spatial Color Filtering for Improved Color Fidelity
3. 学会等名 IEEE ISMAR 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Itoh Yuta、Kaminokado Takumi、Aksit Kaan
2. 発表標題 Beaming Displays
3. 学会等名 IEEE VR 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhang Xuan、Lundgren Jonathan、Mesaki Yoya、Hiroi Yuichi、Itoh Yuta
2. 発表標題 Stencil Marker: Designing Partially Transparent Markers for Stacking Augmented Reality Objects
3. 学会等名 IEEE ISMAR 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroi Yuichi、Itoh Yuta、Rekimoto Jun
2. 発表標題 NeARportation: A Remote Real-time Neural Rendering Framework
3. 学会等名 The 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ooi Chun-Wei、Hiroi Yuichi、Itoh Yuta
2. 発表標題 A Compact Photochromic Occlusion Capable See-through Display with Holographic Lenses
3. 学会等名 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp 237-242, Shanghai, China, Mar. 25-9, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 拡張現実ディスプレイ、ビューアおよびプロジェクタ	発明者 伊藤 勇太、カーン アクシット、神之門 拓己	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-051323	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	清川 清 (Kiyokawa Kiyoshi)		
研究協力者	岩井 大輔 (Iwai Daisuke)		
研究協力者	山田 誠 (Yamada Makoto)		
研究協力者	ラングロッツ トビアス (Langlotz Tobias)		
研究協力者	アクジット カーン (Aksit Kaan)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ニュージーランド	University of Otago			
英国	University College London			
米国	NVIDIA			
アイルランド	Trinity College Dublin			