

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間：2020年度～2024年度
課題番号：20H05702
研究課題名：多重反射による空中ディスプレイの薄型化と水中 CAVE への応用
～魚に映像を見せる～
研究代表者氏名（ローマ字）：山本 裕紹 (YAMAMOTO Hirotsugu)
所属研究機関・部局・職：宇都宮大学・工学部・教授
研究者番号：00284315

研究の概要：

本研究の目的は空中ディスプレイの新規光学系の開発と VR 動物学および水産養殖への応用可能性を実証することである。多重反射を用いて空中ディスプレイの薄型化を実現する。薄型光学系を用いて水中の没入型映像空間（水中 CAVE）を初めて実現する。水中ディスプレイを用いてヒトの水中に対する視覚特性を解明すると共に、魚に CG 映像を見せる VR 行動生物学研究および水産養殖への応用手法を開発する。

研究分野：ヒューマンインターフェース・インタラクション、応用光学・量子光工学、動物学、水産学

キーワード：空中ディスプレイ、水中ディスプレイ、VR 動物学、機械学習、水産増養殖

1. 研究開始当初の背景

「釣り逃した魚は大きい」と言われる通り、水中のものは実際よりも大きく見える。我々は水中の世界を大気中の延長にあるかのように誤解し、水中の大きさや奥行きを誤って認識する。空気と水の界面で光の屈折が生じることを知識として理解しているつもりであっても、見た目からの大きさや奥行きの推定は大気中で獲得された視覚機能であり、水中に対しては誤認識を補正できないのである。本研究では、何もない空中に映像を形成する「空中ディスプレイ」を応用して、水の流れや魚の動きを妨げることのない「水中ディスプレイ」を開発する。この水中ディスプレイに囲まれた空間は我々の認識を正しくガイドするだけではない。行動生物学分野においては魚にとっての没入型 VR 空間という実験映像の提示手法、水産養殖分野においては泳ぐ魚の撮影により体長を測定、体重を推定する水中定規として活用が期待される。

2. 研究の目的

空中ディスプレイは、広い範囲から光を集束させることで何もない空中に映像を形成する技術である。本研究では空中ディスプレイの高画質化と薄型化を実現する光学系を開発する。薄型化された空中ディスプレイを水槽に設置して、水中映像空間（水中 CAVE）を世界で初めて実現する。空中ディスプレイを薄型化する新規光学設計を明らかにするとともに、水中映像技術を用いて、水中に対するヒトの視覚認知特性を解明すること、魚に CG 映像をみせる VR 行動生物学実験の手法を開発すること、養殖魚の平均体長・平均体重を推定するシステムを構築することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

研究の目的を達成するために、宇都宮大学・水産教育研究機構・中央大学の複数の研究機関に属する、光工学・生物学・水産学・感性工学・情報工学の研究者による異分野融合により次の6項目を実施する：

- ① 再帰反射による空中結像（AIRR）に偏光変調と多重反射を導入して薄型化を実現する。
- ② 空中ディスプレイの性能を定量化する指標とその測定手法を開発する。
- ③ 水中 CAVE を世界で初めて実現するとともに、水中映像に対する視覚実験装置を開発する。
- ④ 空中映像の画質評価および水中の映像に対するヒトの奥行き知覚特性を明らかにする。
- ⑤ 水中映像システムを魚への刺激映像の提示に用いた行動生物学実験（VR 動物学実験）を行う。
- ⑥ 養殖水槽の撮影により、養殖魚の平均体長・平均体重を推定するシステムを構築する。

本研究のプロジェクト全体構想を図1に示す。空中ディスプレイの高輝度化および薄型化と画質評価、水中 CAVE をはじめとする水中映像技術の開発と VR 動物学実験への応用、ゲノム編集により筋肉増強されたフグの養成とその体長・体重推定 AI の開発など、異分野融合による3領域の研究を行う。

4. これまでの成果

- ① AIRR 光学系に偏光変調と多重反射を導入することで、輝度 2.5 倍、薄さ 1/5 を達成した。再帰反射素子に穴を開ける構造により小さなフットスペースで大画面を結像する光学系を実現した。
- ② 空中ディスプレイの性能指標と測定手法について、情報ディスプレイの国際標準を決める会議である IEC/TC110 に NP（New Work Item Proposal）を提出して成立した。
- ③ 多重反射により形成された水中ガイド映像をフグの水槽内に形成することに成功した（図2）。水中映

像をフグが通り抜けて泳ぐ姿から体長の測定を行う可能性を実証した。

- ④ 水中の映像に対するヒトの奥行き知覚特性のための光学系を設計した。光源ディスプレイからの射出角度に応じて異なる深さに水中像が結像する「voxelの伸び」が生じることが明らかとなった。
- ⑤ 水中映像システムを魚への刺激映像の提示に用いた行動生物学実験（VR動物学実験）を行い、水中の光刺激に対してメダカが反応する結果が得られた。
- ⑥ 養殖水槽の撮影画像をクラウド上の物体認識のニューラルネットワークに入力する方法で縞模様を有するトラフグの個体識別に成功した。さらに、畳み込みニューラルネットワークを用いて、顕著な模様のないメダカの5個体（図3）に対してでも、高い精度（98%以上）で個体識別に成功した。



図1 異分野融合による空中・水中ディスプレイの開発と応用展開の構想

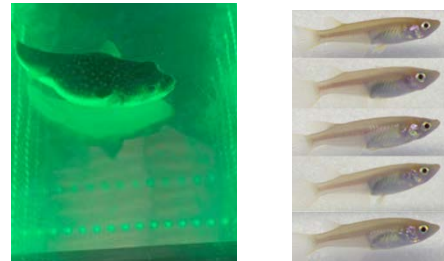


図2 泳ぐフグと水中ガイド映像
図3 個体識別されたメダカ画像

5. 今後の計画

- ① 偏光変調のための複屈折材料の影響により、白色の空中像が黄色く見える課題が判明した。再帰反射素子、位相差フィルム、ビームスプリッターの偏光特性の計測と設計最適化を進める。
- ② AIRRにより形成された空中映像の画質を向上させるために、新しい光学系の設計と開発を行う。
- ③ 水槽の全面を映像で囲む水中CAVEの構築と水中映像を用いた魚の体長測定システムを開発する。
- ④ 水中にディスプレイハードウェアの存在が肉眼で見えることなく、映像を提示する手法を開発して、水中映像に対するヒトの奥行き知覚特性ならびに大きさ知覚実験を行う。
- ⑤ 水中への刺激映像の提示とともに、刺激に対して魚が反応する様子を映像側から撮影する新しい光学系を開発して、VR動物学の新しい実験手法を開発する。メダカ研究の世界的な研究拠点と連携してVR動物学実験手法を行動生物学者に普及させる学術展開を図る。
- ⑥ 畳み込みニューラルネットワークにより学習した個体識別手法が、対象魚の生育に対してどこまでロバストかが興味のあるところであり、成長と識別率の関係について追跡調査を行う。水中グリッドを用いた体長測定と合わせて、画像からの体長推定や体重推定のAIの構築を進める。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

論文（すべて査読有）

- 1) Kojiro Matsushita, Masaki Yasugi, Akinori Tsuji, Toyotaro Tokimoto, Hirotsugu Yamamoto, “Improvement of apparent resolution by subjective super-resolution display for aerial display using AIRR”, Optical Review, (2022) (<https://doi.org/10.1007/s10043-021-00710-3>)
- 2) Daiki Nishimura, Masaki Yasugi and Hirotsugu Yamamoto, Proposal of moire-free aerial display based on the LED panel and apertured retro-reflectors, Optical Review (2021) (<https://doi.org/10.1007/s10043-021-00642-y>)
- 3) Ryota Kakinuma, Norikazu Kawagishi, Masaki Yasugi, and Hirotsugu Yamamoto, “Influence of incident angle, anisotropy, and floating distance on aerial imaging resolution,” OSA Continuum, 4, 865-878 (2021).
- 4) Masaki Yasugi and Hirotsugu Yamamoto, “Triple-views aerial display to show different floating images for surrounding directions,” Optics Express, 28, 35540-35547 (2020).

受賞・表彰

- 1) Daiki Nishimura, Kazunari Chiba, Kojiro Matsushita, Kengo Fujii, Masaki Yasugi, Masatoshi Kato, Takashi Miyashita, Keitaro Sawada, Hirotsugu Yamamoto, 3DSA2021, Best Poster Paper Award (2021年11月25日)
- 2) Hirotsugu Yamamoto, IEC (International Electrotechnical Commission), IEC1906 Award (2021年10月20日)

報道

- 1) 日本独走の「空中ディスプレイ」、国際標準化で中国追撃に対抗, 日経クロステック, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01981/00005/> (2022年3月29日)

上記を含め、査読付き論文28件、招待講演42件（うち国際13件）、受賞11件、報道14件。

7. ホームページ等

<http://www.yamamolab.science/kiban-s/>