

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04513

研究課題名(和文) 観察者の近距離へ表示された仮想物への目のピント調整に関する研究

研究課題名(英文) Human eye focusability on a virtual object displayed in a short distance

研究代表者

石原 由紀夫 (Ishihara, Yukio)

島根大学・学術研究院理工学系・講師

研究者番号：30597571

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：一般的な立体映像表示方式では、仮想物を見た時に眼球はその仮想物を向くが、眼球の水晶体は投影スクリーンやテレビ等の表示面へピントを合わせてしまう。フライアイレンズアレイを用いた表示方式はこの問題を解決すると期待される。先行研究では、仮想物へのピント合わせを可能にする、レンズアレイとその背面に投影するMCOP画像のサイズをPCシミュレーションで算出した。実環境でレンズアレイの手前20mmの位置に仮想物を表示し、仮想物の手前150mmの位置からカメラで自動的にピントを合わせられることを示した。本研究では、ヒトが仮想物を観察した場合においても、当該仮想物に対し眼球のピント調節が実施されることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

立体映像表示方式では、眼球の輻輳とレンズのピント調整の間に矛盾が生じ、観察者は頭痛や視覚疲労などに悩まされることが多い。一方で、立体映像は娯楽をはじめ、教育、遠隔医療、福祉などさまざまな分野へ浸透し、臨場感や存在感を忠実に再現する有効な手段として今後活躍が期待される。本研究において、ヒトが仮想物を観察した場合においても、眼球のピント調節が適切に行われることを示したことは、前述の矛盾の解消と、視覚的に違和感のない立体映像の実用化に大いに貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Recently several types of 3D displays are available in many places and enables viewers to perceive objects behind and in front of the physical screen. When viewing a virtual object, both eyeballs turn inwards at the object. However, the crystalline lenses change its thickness to focus on the physical screen, not on the object itself. This conflict could cause headaches, eye fatigue and dizziness. Fly's eye lens array-based displays are believed to solve the conflict. Previously, a fly's eye lens array and MCOP image, projected on the back surface of the array, were designed by a computer so that cameras were able to automatically focus on the virtual objects. In a real environment, a virtual object was displayed 20mm in front of the array and a camera was placed 150mm from the object. It was confirmed that the camera automatically focused on it. This research has subsequently confirmed that human crystalline lenses are also able to focus on the virtual object.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：フライアイレンズアレイ MCOP画像 ピント調節 水晶体調節 レーザー直接描画 3Dディスプレイ 電子デバイス・機器

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様 式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

現在広く用いられている立体映像表示方式では、仮想物を観察する際、眼球はその仮想物を向くが、眼球の水晶体は投影スクリーンやテレビ画面等の表示面にピントを合わせてしまう。これは仮想物がその位置に結像されていないことに起因し、観察者は頭痛や視覚疲労、3D酔いを覚える。本研究ではこの問題を解決すると期待されるフライアイレンズアレイ（以降、FEL アレイと呼ぶ）を用いた表示方式により、観察者の目の前へ仮想物を結像させることを目指す。FEL アレイは多数の微細なレンズが縦横に配置されたものである。これまでの研究成果に基づいて FEL アレイを製作し、眼球のピント調節が適切に実施されるかを調査する。

### 2. 研究の目的

先行研究（H28 年度科研費）ではオートフォーカスカメラの前 15cm に表示された仮想物へ、自動的にピントを合わせられることを示した。本研究では、ヒトが当該仮想物を観察したときに、その仮想物に対して眼球のピント調整が実施されるかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、(1)カメラ撮影による仮想物の位置の算出と、(2)水晶体のピント調節度合による仮想物の位置の算出の二つの事項を実施する。図 1 は本研究の実験環境を示す。図中右側には FEL アレイと仮想物を表示するための画像（以降、MCOP(Multiple Center Of Projection)画像と呼ぶ）を配置している。FEL アレイと MCOP 画像の間隔は 0.150mm であり、FEL アレイの焦点距離と同じである。MCOP 画像を FEL アレイの焦点面に合わせることで、MCOP 画像の同一画素から発せられる複数の光線は、FEL アレイを通過後、すべて同じ方向へ並進する。異なる画素、例えば隣の画素から発せられる光線は、FEL アレイを通過後、先ほどの光線とは異なる方向へ並進する。MCOP 画像の各画素を適切な色で描画することで、FEL アレイ前面側に任意の光空間を作成することができる。

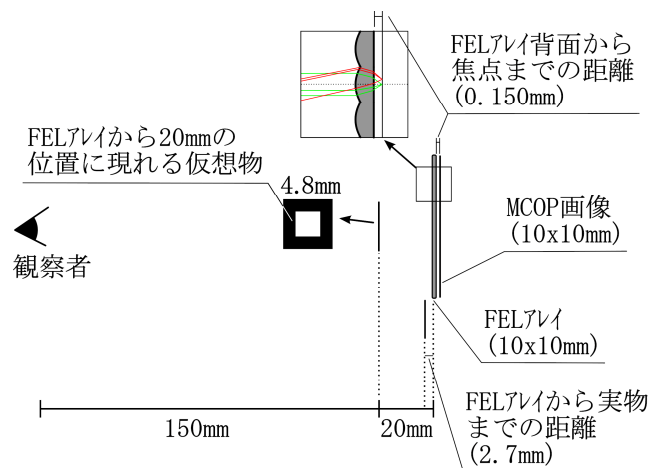


図 1 実験環境

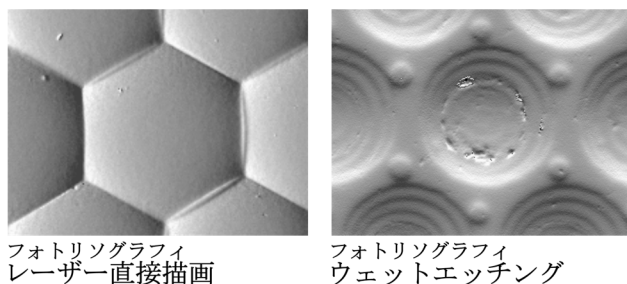


図 2 FEL アレイの製作法による成形精度の違い

FEL アレイと MCOP 画像は、先行研究（H28 年度科研費）にてオートフォーカスカメラにより自動的なピント合わせが可能であることを示した際に使用したものと同一であるが、FEL アレイについては成形精度の不足による光線の乱れが懸念されたため、レーザー直接描画法を用いて再製作した。図 2 は FEL アレイを構成する複数のレンズの一つを撮影した写真であり、製作法の違いによる成形精度の差を示している。今回使用するレーザー直接描画では滑らかなレンズ表面および鮮明なレンズ境界を確認でき、ウェットエッチングに見られる不要なくぼみや階段状の段差は認められない。

MCOP 画像により、FEL アレイの前 20mm の位置に仮想物が結像する。厚みのない図形（□）を仮想物として使用しているため、観察者からは 2 次元の絵として見える。観察者は FEL アレイの前 17cm の位置から仮想物を観察する。当該仮想物に加えて FEL アレイの前 2.7mm の位置に設置された実物も併せて観察する。この実験環境を用いて、先の二事項(1)(2)を実施する。

※各年度の実施状況報告書に当初の研究実施計画との差異を説明しておりますが、当初の研究目的に変更はありません。

(1)カメラ撮影による仮想物の位置の算出 最初に、仮想物と実物の位置を三角測量により算出し、FEL アレイの前 20mm の位置に仮想物が結像していることを確認する。図 3 は三角測量の実験風景を示す。デジタルカメラを FEL アレイの前約 30cm の位置に設置し、FEL アレイに対

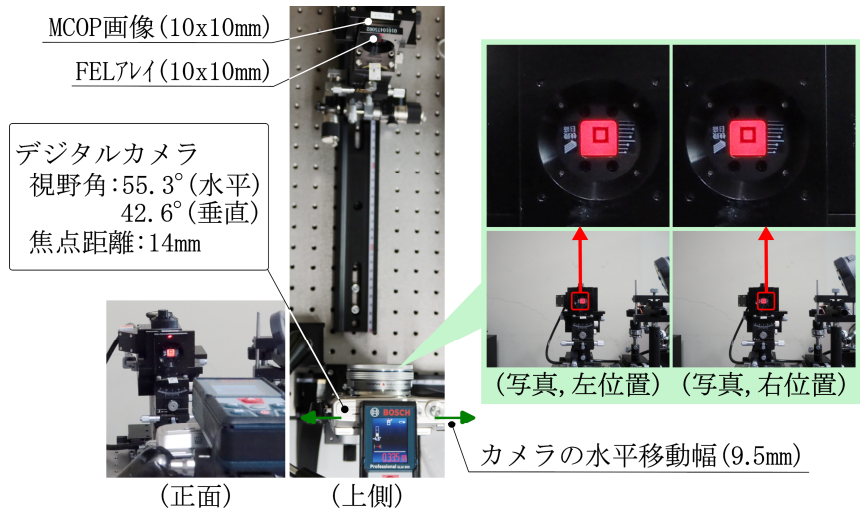


図3 三角測量による仮想物までの距離の算出

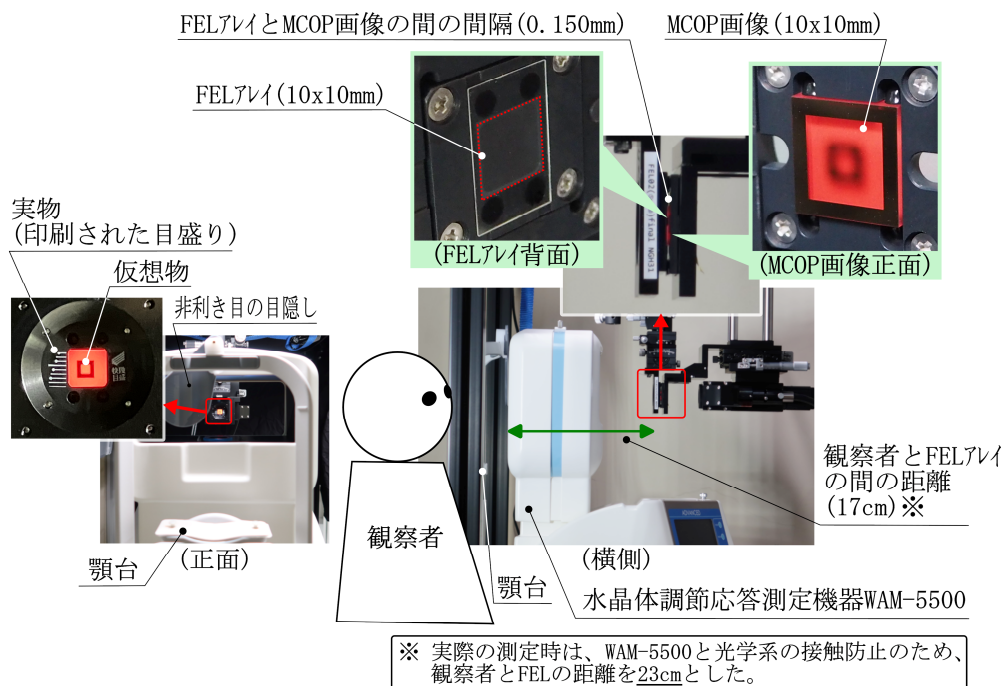


図4 実験に用いる光学系と測定機器

して水平に 9.5mm スライドさせる。スライド前後の2地点において、カメラの向きを変えずに仮想物と実物を撮影する。写真上での位置の差異から仮想物と実物までの距離を算出し、その差分を用いて仮想物から FEL アレイまでの距離を求める。スライド幅である 9.5mm は、FEL アレイの視域内でカメラをスライドできる最大の幅である。カメラが視域から外れると仮想物は正しく結像されず崩れる。

**(2)水晶体のピント調節度合による仮想物の位置の算出** 次に、FEL アレイの前 17cm の位置から観察者に仮想物を単眼 (利き目) で観察してもらい、観察者の水晶体を水晶体調節応答測定機器 (WAM-5500) で測定する。測定値はディオプタ (Diopter) と呼ばれる単位 (D) で表され、 $(-1 / \text{ピントが合っている位置までの距離 (m)})$  で算出される。図4は観察実験の風景を示す。FEL アレイの前 2.7mm の位置にある実物 (印刷された目盛り) についても同様の測定を行う。仮想物が実物より観察者側に位置し、仮想物の位置が(1)で求めた仮想物の位置付近であれば、仮想物へのピント調節が適切に実施されていると判断する。

#### 4. 研究成果

(1)について実施した結果、仮想物は実物のカメラ側にあり、仮想物と実物の間の距離は 15.56mm であったことから、設計値である 17.3mm に近い位置に仮想物が結像されていることを確認した。仮想物から FEL アレイまでの距離は 18.28mm となる。

(2)については被験者10名を募り FEL アレイによって結像された仮想物および実物の観察を実施した。被験者の条件は裸眼で 20cm 先のものが明瞭に見えることとした。被験者は FEL アレイから 23cm 離れた位置において顎台により頭の位置を固定し、実物と仮想物を交互に観察した。被験者と FEL アレイの間の距離は 17cm の予定であったが、観察中に WAM-5500 と光学系が接触する可能性があったため、両者を離し 23cm とした。すべての被験者が実物を観察してから仮想物を観察する場合と、その逆の場合の2試行を実施した。図5は水晶体のピント調節度合 (D) と対応する距離 (cm) を示す。一つの線が1被験者の1試行を表している。全体的に実物より仮想物の方が被験者に近い位置として測定される傾向が表れており、(1)の結果である「仮想物は実物のカメラ側にあり、仮想物と実物の間の距離は 15.56mm」を反映している。しかしながら、被験者間の測定値の幅が 22cm から 36cm と広がった。一般的に、測定されるピント調節度合は、斜視やほこり、涙等の眼の状態により被験者間で差が生じることが知られているため、測定値から仮想物の位置を得ることは困難であった。そこで、被験者から仮想物のまでの距離が、実物までの距離より有意に短ければ、仮想物へのピント調節が適切に実施されていると判断することとした。

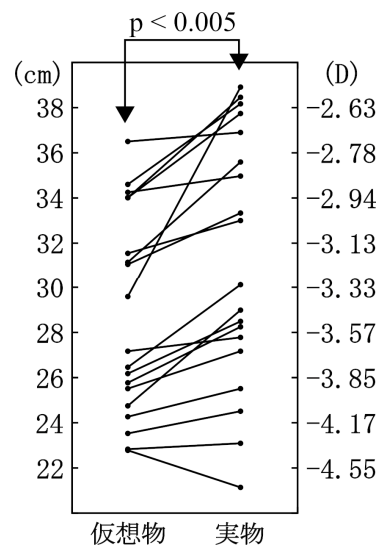


図5 被験者から仮想物および実物までの距離

WAM-5500 により算出された被験者から仮想物までの距離が、実物までの距離より有意に短いについて Wilcoxon 符号つき順位検定により片側検定を行った。その結果、仮想物までの距離は、実物までの距離より有意に短いことが示された ( $p < 0.005$ )。さらに、仮想物および実物の位置の差は約 25mm であったことから、本研究課題の目的である「観察者が仮想物を観察したときに、その仮想物に対して眼球のピント調整が実施されるか」は「実施される」と結論づける。

なお、研究期間後ではあるが、最終年度後半に研究成果が出揃ったこともあり、引き続き、研究成果の公表へ向け準備を進める。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

|  |                           |                       |    |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|