



アイトラッキング機能を備えたマクスウェル視 ディスプレイの小型化

Miniaturization of Maxwellian View Display with Eye-Tracking Function

野倉 大輝¹⁾, 金 光宇²⁾, 神谷 陸杜³⁾, 木島 竜吾⁴⁾

Daiki NOKURA, Kou KIN, Rikuto KAMIYA, and Ryugo KIJIMA

- 1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, nokura.daiki.i4@s.gifu-u.ac.jp)
- 2) 岐阜大学 工学部 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kin.kouu.jo@s.gifu-u.ac.jp)
- 3) 岐阜大学 工学部 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kamiya.rikuto.e1@s.gifu-u.ac.jp)
- 4) 岐阜大学 工学部 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima.ryugo.n4@f.gifu-u.ac.jp)

概要 : マクスウェル光学系を用いた 3 次元ディスプレイは融像を容易にすることができるが, アイボックスが非常に小さく, 少し目を動かすだけで像が見えなくなる. そこで, 使用者の瞳をトラッキングしピンホール像が瞳を追うようマクスウェル光学系のピンホール光源を動かす必要がある. 本研究では, ピンホールとして液晶ディスプレイの液晶光源の画素を用いた. さらに, マクスウェル光学系を用いた 3 次元ディスプレイの小型化した HMD を設計, 試作を行った.

キーワード : マクスウェル光学系, マクスウェル視ディスプレイ, アイボックスの瞳追従, 小型化

1. はじめに

現在, 立体的にモノを表示することができる 3 次元ディスプレイが普及している. さらに, このディスプレイを頭にのせることでユーザーに高い臨場感や没入感を提示することができる頭部搭載型ディスプレイも普及してきている. これらは主に, 左右両眼に異なる映像を見せる視差式である. 提示する映像は一般に一定の深さがあり, 与えられる 3 次元の手掛かりは両眼視差のみである. 3 次元ディスプレイには, 使用すると酔いや眼精疲労などの悪影響や使用中に融像ができない, または難しくなるという影響がある.

人間の眼の機能のうち, 立体視にとって重要なものは輻輳と調節の 2 点である. 輻輳は, ある対象物を見るように両眼が回転する機能であり, 調節はある対象物を見るときに水晶体の厚さを変化させることで網膜上に明瞭な像を得ようとする機能である. 輻輳と調節は連動しており, 一方を制限するともう一方の制御できる範囲が制限されることが実験により明らかになっている[1].

現実世界では, 輻輳と調節の制御系が与える距離情報が一致している. しかし, 視差式の 3 次元ディスプレイでは, 映像の提示面は固定である. このため鮮明な網膜像を得るためには調節をそこに合わせようとする. また, 輻輳は立

体像を見るように動作するため, 両者の制御系が与える距離情報の矛盾が生じる[1]. これは輻輳調節矛盾 (図 1) と呼ばれ, 視覚疲労などの影響を与えることが指摘されている[2].

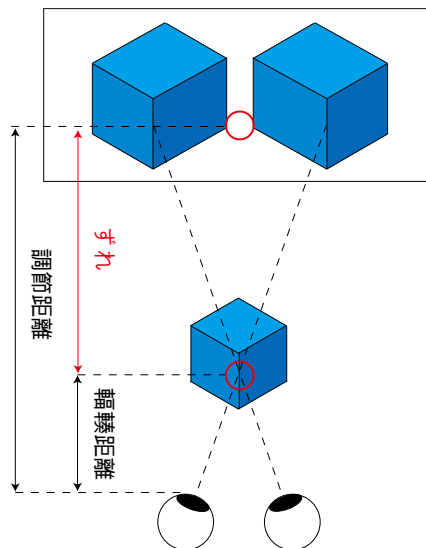


図 1: 輻輳調節矛盾

この問題に対する解決方法の一つにマクスウェル光学系を用いた3次元ディスプレイを用いる方法がある[3].

1.1 マクスウェル視ディスプレイ

マクスウェル光学系[3]とは、ピンホール光源やレンズ等の光学部品を同一光軸上に並び、集光点を瞳をおいた光学系である。筆者らは光路上に液晶ディスプレイを挟むことでディスプレイとして用いる研究を行っており、マクスウェル視ディスプレイと呼んでいる(図2)。このマクスウェル視ディスプレイは被写界深度を非常に深くすることが可能である。これにより、輻輳調節矛盾を解消することができ、融像を容易にできることが明らかになっている[3].

しかし、実用化のためには幾つかの問題が存在する。明るさと融像容易性とのトレードオフとアイボックスが非常に小さいこと、解像度と融像容易性とのトレードオフだ。1つ目の問題については、筆者らはピンホール像の大きさが1[mm]から2[mm]であっても融像を容易にでき、光量を確保できることを明らかにした[4]. 2つ目の問題については、筆者らは使用者の瞳をトラッキングし、瞳の位置に合わせて、機械的にピンホール光源を動かすシステムを提案した[5]. しかし、この方式ではサッケードのような速い動きに対応することができなかった.

1.2 本研究の目的

本研究では、ピンホール光源に液晶ディスプレイの画素を用いる方法を提案する。さらに、マクスウェル視ディスプレイの小型化を意識した設計と試作を行った.

2. 制作したマクスウェル視ディスプレイ

図3に筆者らが制作したマクスウェル視ディスプレイの概略図を、図4に実際に制作した片目用のマクスウェル視ディスプレイの画像を、図5に構成図を示す。また、表

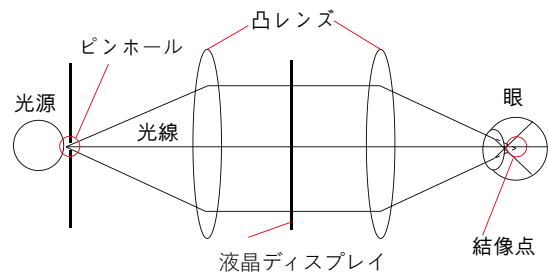


図 2: マクスウェル視ディスプレイ

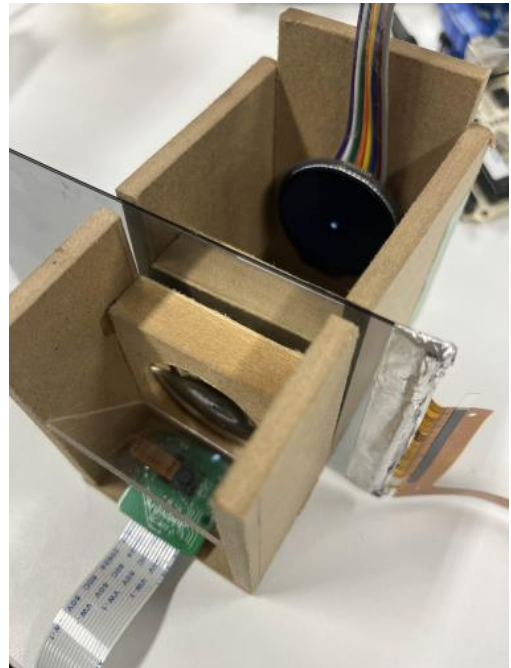


図 4: 制作した片目用のマクスウェル視ディスプレイ

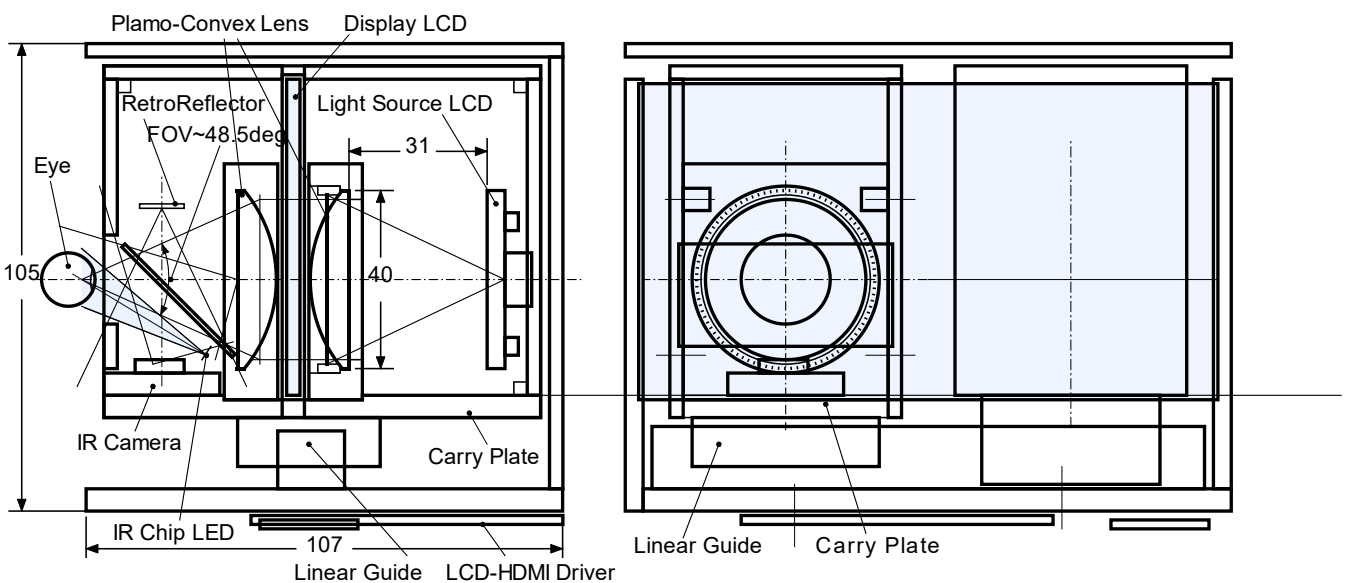


図 3: 制作した小型化マクスウェル視ディスプレイの概略図

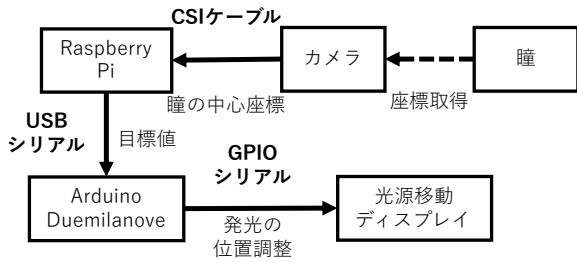


図 5: 制作したマクスウェル視ディスプレイの構成図

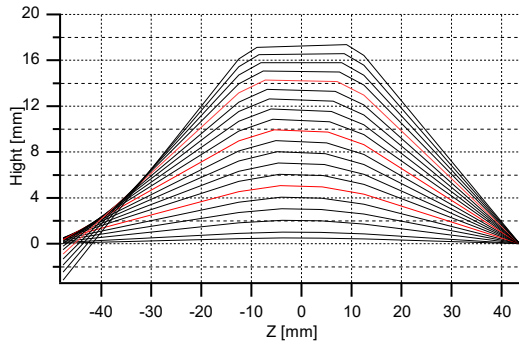


図 6: レンズ 2 枚の光線シミュレーション

1 に使用した光学素子やデバイスの諸元を示す。なお、図 3 の視野角は水平及び鉛直方向ともに約 60[deg]と求められる。また、図 6 は、図 3 の概略図の光線シミュレーションである。目元付近で光が集まっていることが見て取れる。マクスウェル光学系を用いたディスプレイはアイボックスが非常に狭いため、少し眼が動くと提示像が見えなくなる。眼の運動を捉えて瞳孔内部に光源の像を作り続けるために、図 2 に示すような仕組みを用いている。点光源からの開散光は第一レンズで平行光となり、第二レンズで瞳の内側で像点を結ぶ。平行光の際に透過型 LCD を通過することで提示画像を取得できる。点光源を下側に移動させるとレンズ間の平行光には上向きの角度が付き、光源の移動量と同じ距離だけ像点は上に動く。

2.1 アイトラッキング

全体の小型化を行うため Raspberry Pi 3 Model B+ (表 1) を用いて瞳検出の実行を行った。実際の眼の検出には、赤外領域まで感度のあるモノクロームカメラ (表 1) を用いて瞳の画像取得を行った。マクスウェル視の妨げにならないよう赤外線 LED を使い、カメラのそばに設置し使用者の眼球を照らした。このカメラに映るものは、ハーフミラーでの反射を介した使用者の眼球と、ハーフミラーを透過して見える再帰反射材上のピンホール像である。これにより、眼球の追跡と、瞳内にピンホール像があるかどうかの確認を行うことができる。

得られた画像から瞳を検出する方法を以下に述べる。

1. 眼の周辺を関心領域 (ROI, Region of Interest) として切り出す。手作業で ROI を指定する。
2. 切り出した ROI 画像を二値化する。
3. 二値化して得られた暗い方の領域を囲む矩形を求め、その中心の座標を瞳の中心座標とする。

表 1: 材料諸元

シングルボードコンピュータ	製造元	Raspberry Pi
	型名	Raspberry Pi 3 Model B+
ワンボードマイコン	開発元	Arduino
	型名	Arduino Duemilanove ATmega328
アイトラッキング用カメラ	販売元	Arducam
	型名	Arducam OV7251 B0206
	タイプ	モノクロ
	FoV	86.5[deg](D), 72.9[deg](H), 57.7[deg](V)
	最大フレームレート	640×480@30[fps]
ピンホール用丸形液晶ディスプレイ	販売元	秋月電子通商
	型名	SKU:19192
	画素数	240×240
	サイズ	Φ32.4[mm]
	ドットピッチ	0.135[mm]×0.135[mm]
表示用液晶ディスプレイ	製造元	Sharp
	型名	LS055T1SX01A
	画素数	1920×1080
凸レンズ	販売元	Edmund Optics
	型名	#48-657
	直径	40.0[mm]
	焦点距離	40.0[mm]

ここで取得した座標をシリアル通信で、光源装置へと送る。

2.2 ピンホール光源移動

光源には丸形液晶ディスプレイ (表 1) の液晶光源の画素を用いた。液晶ディスプレイ全体には黒色を表示し、加えて、一部に非常に小さな白い点を表示することでピンホール光源としての役割を果たしている。点のサイズを大きくすると、網膜を刺激する単位面積あたりの光量が多くなる一方で、ボケが大きくなり画像が見えづらくなる。反対に、点のサイズを小さくすると、明瞭な画像を見ることができ一方で、画像全体が暗くなるという対称的な一面を持つ。このため、今回は[4]より、融像を容易に行え、光量を十分に確保できるように直径 2[mm]となるようにサイズの調節を行った。液晶は Arduino Duemilanove (表 1) を介して出力を行っている。瞳の動きから取得した座標を元に、対応した点の移動を行う事で光源移動を行っている。

3. まとめ

本稿執筆時点では、片目用のマクスウェル視ディスプレイの試作を行い、光源液晶ディスプレイを用いたマクスウェル視ディスプレイにおいて、表示した画像を確認することができた。今後、アイトラッキングカメラと光源液晶ディスプレイを駆動させることでアイボックスの拡大を図り、両眼用のマクスウェル視ディスプレイの開発を行いたい。

参考文献

- [1] 原島博, 元木紀雄, 矢野澄男: 3次元画像と人間の化学, オーム社, 2000.
- [2] 山賀達也, 吉澤誠, 杉田典大, 阿部誠, 本間経康, 3D映像視聴における焦点距離と輻輳距離の矛盾が生体

に与える影響の評価, 計測自動制御学会東北支部研究集会, 287-10, 2014.

- [3] 野倉大輝, 稲守一晃, 木島竜吾: マクスウェル光学系を用いた輻輳調節矛盾の解消効果, 第27回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, 1D3-1, 2022.
- [4] 野倉大輝, 木島竜吾: 視差式ディスプレイにおける両眼立体視時の融像困難性と観察瞳制限の関係, 信学技報, Vol. 123, No 60. MVE2023-10, pp 51-56, 2023.
- [5] 野倉大輝, 吉川柊太, 大橋聖也, 木島竜吾: アイトラッキングによるアイボックス追従を備えたマクスウェル視ディスプレイ, 第28回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, 2H-02, 2023.