

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04270

研究課題名(和文) 空中に浮かぶ2.5次元情報を知覚させるサッカード制御型ラインディスプレイの研究

研究課題名(英文) Study of saccades induced line display that perceives 2.5 dimensional information

研究代表者

奥村 万規子 (OKUMURA, MAKIKO)

神奈川工科大学・創造工学部・教授

研究者番号：30329304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：64個のフルカラーLEDを最速20[ $\mu$ s]で点灯可能なラインディスプレイを製作し、距離ごとの知覚に最適な点滅周期を求めた。その結果、点滅周期が早くなるほど知覚最適距離が遠くなることがわかった。しかし、距離が離れると知覚する画像が小さくなり、評価に限界があることもわかった。そこで、次に夜間屋外の遠距離からの観測を想定してLEDの個数を128個に増やし大型化し、アスペクト比1:1では77インチ、2:1では121インチ相当となるラインディスプレイを製作した。また、Wi-Fiモジュールを用いて、点滅周期の変更などを遠隔操作で可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、縦一列にLEDを並べて固定し、高速にLEDを点滅させ、その間にサッカードと呼ばれる高速な眼球運動を行うことで二次元の画像の情報を知覚させるラインディスプレイに関するものである。表示部は縦一列のLEDのみであるため通常の二次元ディスプレイと比べて省スペースで情報提示が可能である。また、高速に点滅しているため注視した際は連続点灯している直線状の照明に見える。我々の研究成果により、知覚条件が明確になり、情報を組み込んだ街灯や、視線を向けたときだけ画像が空中に浮かび上がる不思議なイルミネーションの実現が可能となる。

研究成果の概要(英文)：We developed a line display with 64 full-color LEDs at the fastest speed of 20 [ $\mu$ s], and found the optimum flashing period for perception at each distance. As a result, it was found that the faster the flashing period, the longer the optimum perceptual distance. However, it was also found that the perceived image became smaller as the distance increased, and the evaluation was limited. Therefore, next, assuming observation from a long distance outdoors at night, the number of LEDs was increased to 128 and the size was increased, and a line display equivalent to 77 inches at an aspect ratio of 1:1 and 121 inches at 2:1 was developed. In addition, using the Wi-Fi module, it is possible to change the flashing period by remote control.

研究分野：電気電子工学

キーワード：ラインディスプレイ サッカード 眼球運動 空中ディスプレイ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) サッカーの検出と点滅タイミングに関する課題

固定した一次元の点滅する光点列から、二次元の広がりを持たせる情報提示手法として、サッカーと呼ばれる高速な眼球運動を利用する手法がある。サッカーを利用した情報提示法では、個人差のあるサッカーのタイミングと、光点列の点滅タイミングを合わせる必要があり、安定して情報を視認させることが難しい。これに対して、網膜再帰反射を利用したサッカー検出手法や、眼鏡型のサッカー検出器を利用した選択的視覚情報提示法などが提案されているが、これらは観測者が検出用装置を装着しなければならなかった。

#### (2) サッカー中に認識できる情報に関する課題

一般に、サッカー中は、サッカー抑制と呼ばれる脳の働きで、知覚が抑制され、視覚刺激やその変化が見えにくくなる。一方で、高空間周波数成分を多く含む図形や色、暗い背景などの条件下では、サッカー抑制が起こりにくいことが報告されている。サッカー型ディスプレイでは、これらの特徴を考慮する必要があるが、これまで十分な評価がなされていなかった。

#### (3) ラインディスプレイの立体視に関する課題

サッカーを利用したラインディスプレイは、実空間にあるのは1次元光点列のみで、得られる視覚像に対応する実体が存在しない。このような条件下では、脳が実世界と一致しない網膜情報を補完する部分が多い。そのため、従来の3Dディスプレイのように、画素毎にレンズをつけて光線を制御するような手法が使えず、ラインディスプレイ用の3D手法が必要になる。

### 2. 研究の目的

本研究では、視線移動で生じる高速な眼球運動（サッカー）中に、点滅する光点列から、奥行きや動きを持たせて人に知覚させ、情報の2.5次元提示を行うラインディスプレイ装置を開発する。観測者が、1次元の光点列上を通過して視線を移動する間に、表示情報を縦に分割して高速に点滅させると、点滅パターンが空間に展開され、網膜上に2次元の情報が知覚されることが知られている。しかし、視線を移動するタイミングや知覚できる条件には個人差があり、安定して情報を視認することができず、未だ実用には至っていない。そこで、本研究では、複数のラインディスプレイを離して置き同期させることで観測者のサッカーを制御し、さらに、認知心理学で得られている視覚的特性を組み入れたコンテンツを作成し、世界初の空中に浮かぶ奥行きのある画像を知覚させる2.5次元サッカー制御型ラインディスプレイを提案する。本装置は、情報が空間に提示されるので、省エネ・省スペースで、広告用やエンターテインメントなど幅広い分野での応用が期待できる。

### 3. 研究の方法

#### (1) サッカー制御型大型ラインディスプレイの開発及び評価

LED64個(50cm)を1列に配置し、PWM制御による256階調のフルカラーLEDを周波数 $f=1k\sim 4kHz$ で点滅させるラインディスプレイと、点滅周期を変更可能なコントローラを開発する。これらを用いて、ラインディスプレイの最適なパラメータや、「まばたき」で視認できる条件を得るために評価実験を行う。その後、LED128個(1m)以上の大型ラインディスプレイを開発し、同様に検証する。

#### (2) サッカー制御型ラインディスプレイに適した画像表示方法の開発

表示情報に高周波成分を挿入する、あるいは知覚しやすい形と色の組み合わせなどを実験により明確にし、どんな画像でも見易いサッカード制御型に適した表示方法を開発する。

### (3) 2.5次元情報を知覚させるためのコンテンツの作成

認知心理学で得られている線遠近法、肌理勾配などの単眼性の奥行き認知の視覚的特性が本ディスプレイ上でどのように視認されるかを評価し、実験結果に基づき、奥行きや動きを持つ2.5次元情報を知覚させるためのコンテンツを作成する。

## 4. 研究成果

(1) まずは、LED32個を用いた256階調ラインディスプレイを製作し、知覚感度を考慮した表示に関する評価実験を行った。製作したラインディスプレイは、LED16個で情報提示を行うユニット基板と、割り込み信号の生成、ユニットへの電源供給を行う親基板から構成した。LED32個を表示部とするため、ユニット基板は2枚使用し、親基板で生成した割り込み信号により同期を取った。これにより、安定した動作を実現することができた。また、Arduino unoを書き込み装置として使用することにより、AVRマイコンを実装したまま表示画像の書き換えを行えるようにした。評価実験では、知覚感度を考慮した画像データについて、75%が知覚感度を考慮した画像の方が見やすいと答えた、これらの結果から、知覚感度を考慮した表示画像生成は有効であることがわかった。これらの成果は論文①で発表した。

(2) 次に、(1)で開発した16個のLEDを駆動する基板を4枚接続し、割り込み信号を生成する回路で構成したラインディスプレイを製作した。構成図を図1に示す。これにより、LED64個を256階調で点滅可能なラインディスプレイを製作できた。図2は製作したラインディスプレイで、図3は点滅動作中のラインディスプレイの写真である。これらの成果は論文②で発表した。

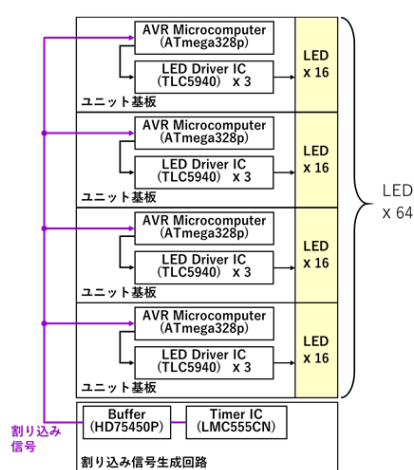


図1 ラインディスプレイの構成

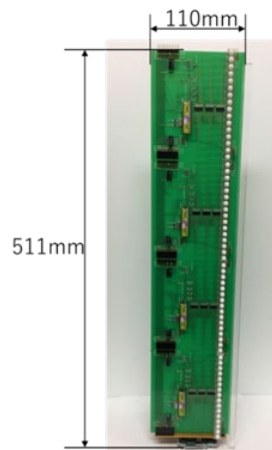


図2 ディスプレイ



図3 動作中の写真

(3) (2)で開発したラインディスプレイを使って、2種類の評価実験を行った、1つは知覚感度に関する実験で、知覚感度補正を行うことにより画像の知覚が向上することがわかった。また、空間周波数を変化させた評価実験を行い(図4)、表示画像の空間周波数による知覚への影響は二次元ディスプレイと似たような傾向であることが分かった(図5)。これらの成果は論文③で発表した。

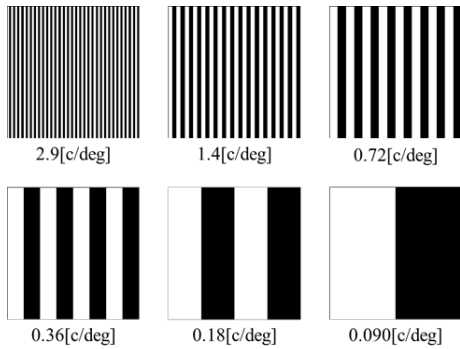


図4 6種類の空間周波数の矩形波格子

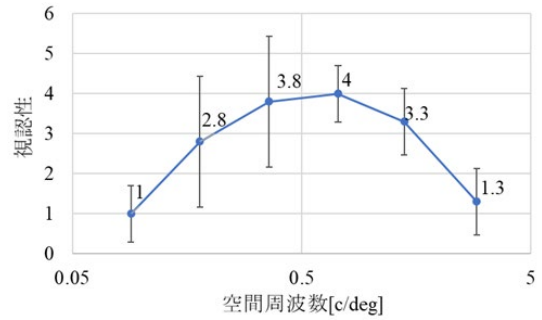


図5 空間周波数に対する視認特性

(4) 一方、階調は多くないが、高速に点滅するラインディスプレイの開発を行った。CPLDとPICマイコンを用いてラインディスプレイを製作し、データ転送時間が  $20 \mu s$  と高速化が実現できた。図6にCPLDを使ってLED16個を駆動する基板の構成図、図7にパターン図と部品を装着した基板、図8に基板を接続して製作したラインディスプレイを示す。点滅周期と最適な視覚距離を実験で評価したところ、画像を知覚しやすい最適な点滅周期と距離の関係は点滅周期が速いほど距離が遠く、点滅周期が遅いほど距離が短いことが分かった。図9に点滅周期と最適な視覚距離との関係を示す。これらの成果は論文④で発表した。

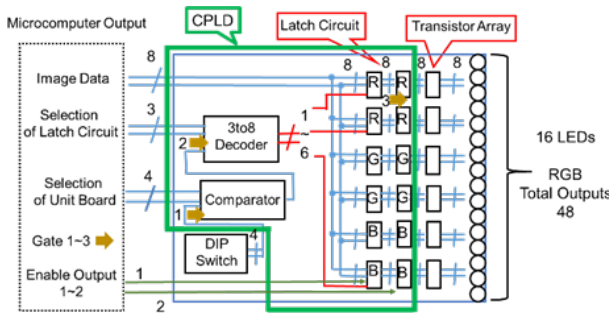


図6 16個LED駆動回路の構成図

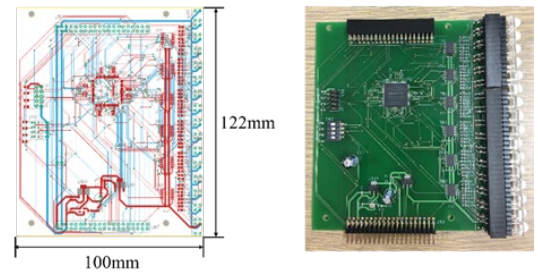


図7 パターン図と部品を装着した基板

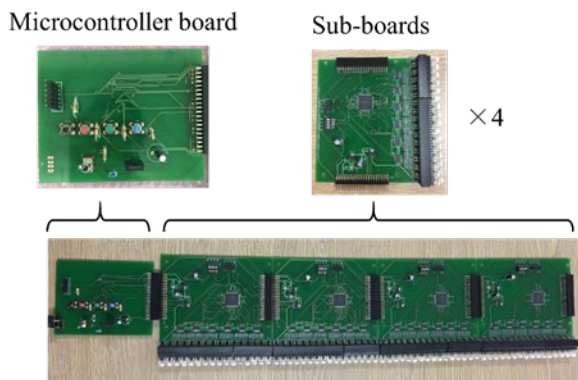


図8 製作したラインディスプレイ

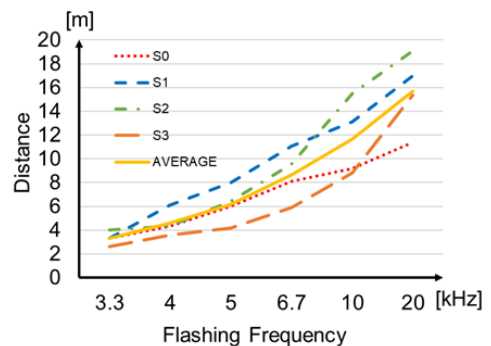


図9 点滅周波数と最適な視覚距離との関係

(5) 夜間屋外から観測することを想定して、LED128個からなる大型ラインディスプレイを製作した(図10)。信号を送るマイコン基板1枚とLEDを駆動するLED駆動回路基板8枚と16個のLEDからなるLED基板8枚から構成される。表示部の高さは1.384[m]である。また、ラインディスプレイ観測中に、眼球運動測定装置Pupil Coreを装着し、瞳孔の動きを記

録し、これをもとに眼球の回転角度を計算するプログラムを作成した。夜間屋外でのラインディスプレイ観測中に、被験者はPupil Coreを装着し、点滅周期を変化させたときの知覚の最適距離を測定した。点滅周期と最適距離、点滅周期と眼球の回転角度の関係を評価した結果、最適距離が長い被験者は角度が小さく、最適距離が短い被験者は角度が大きかった(図11, 図12)。これらの成果は論文⑤で発表した。

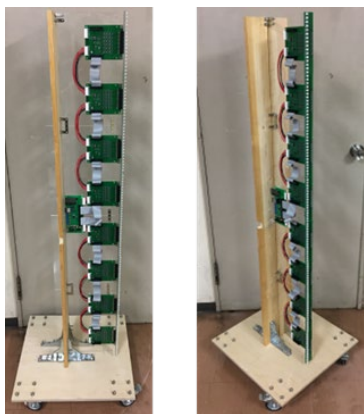


図10 製作した大型ラインディスプレイ

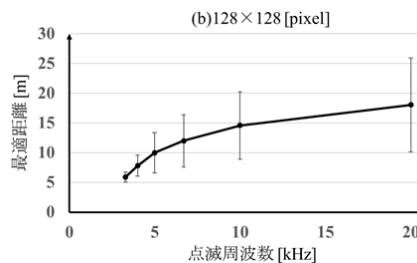


図11 点滅周波数ごとの知覚最適距離の平均と標準偏差

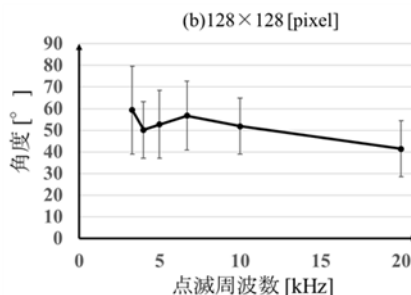


図11 点滅周波数ごとの眼球の回転角度の平均と標準偏差

#### 参考文献

- ① 町田優希, 川崎直紀, 若林恭平, 奥村万規子, “LED64 個を用いた多階調表示可能なラインディスプレイの開発”, 情報処理学会第82回全国大会, 4J-06, 2020年3月6日.
- ② Yuuki MACHIDA, Naoki KAWASAKI, Takayuki MISU, Keiichi ABE, Hiroshi SUGIMURA, Makiko Okumura, “Verification of Visibility Improvement by Perceptual Sensitivity Correction in Line Display,” 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics(GCCE). Oct. 2020.
- ③ 町田優希, 川崎直紀, 奥村万規子, ”ラインディスプレイを用いたサッカード時における視認特性に関する調査”, 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究会, Vol.2021-CDS-30 No.20, 2021年1月26日.
- ④ Naoki Kawasaki, Yuuki Machida, Takayuki Misu, Keiichi Abe, Hiroshi Sugimura, Makiko Okumura, “A Study on the Increase of Perceivable Information in the Saccade with High Speed Line Display”, IEICE Trans. Electron., Vol.E105-C, No.2, pp. 72-78, Feb. 2022.
- ⑤ 川崎直紀, 奥村万規子, ”サッカード型ラインディスプレイ観測時における眼球運動の角度測定”, 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究会, Vol.2022-CDS-33 No.51, 2022年1月21日.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 KANAZAWA Kousuke, KAZUNO Shota, OKUMURA Makiko	4. 巻 E101.C
2. 論文標題 Optimization of Flashing Period for Line Display Using Saccade Eyeball Movement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 851 ~ 856
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.E101.C.851	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 該当する

1. 著者名 Naoki KAWASAKI, Yuuki MACHIDA, Takayuki MISY, Keiichi ABE, Hiroshi SUGIMURA, Makiko OKUMURA	4. 巻 E105.C
2. 論文標題 A Study on the Increase of Perceivable Information in the Saccade with High Speed Line Display	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 72 ~ 79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 関裕二, 川崎直紀, 奥村万規子
2. 発表標題 遠隔操作可能な屋外用ラインディスプレイの製作
3. 学会等名 情報処理学会第82 回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎直紀, 奥村万規子
2. 発表標題 サッカー型ラインディスプレイ観測時における眼球運動の角度測定
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, CDS研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Kawasaki, Yuuki Machida, Takayuki Misu, Keiichi Abe, Hiroshi Sugimura, Makiko Okumura
2. 発表標題 A Study on the Increase of Perceivable Information in the Saccade with High Speed Line Display
3. 学会等名 The 27th International Display Workshops (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuuki MACHIDA, Naoki KAWASAKI, Takayuki MISU, Keiichi ABE, Hiroshi SUGIMURA, Makiko Okumura
2. 発表標題 Verification of Visibility Improvement by Perceptual Sensitivity Correction in Line Display
3. 学会等名 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 町田優希, 川崎直紀, 若林恭平, 奥村万規子
2. 発表標題 LED64 個を用いた多階調表示可能なラインディスプレイの開発
3. 学会等名 情報処理学会第82 回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 町田優希, 川崎直紀, 奥村万規子
2. 発表標題 ラインディスプレイを用いたサッカード時における視認特性に関する調査
3. 学会等名 情報処理学会, コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山和輝, 菅野広貴, 熊木亮, 町田優希, 川崎直紀, 奥村万規子
2. 発表標題 ラインディスプレイにおける奥行き知覚に関する検討
3. 学会等名 2021年 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki KAWASAKI, Kyohei WAKABAYASHI, Takayuki MISU, Keichi ABE, Hiroshi SUGIMURA, Makiko OKUMURA
2. 発表標題 Development of High Speed Flashing Line Display Using Eyeball Movement
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics Proceedings (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 町田優希, 三栖貴行, 安部恵一, 杉村博, 奥村万規子
2. 発表標題 モノリシックLED ドライバを用いた多階調表示可能なラインディスプレイの開発
3. 学会等名 第18回情報科学技術フォーラム (FIT2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎直紀, 若林恭平, 三栖貴行, 安部恵一, 杉村博, 奥村万規子
2. 発表標題 眼球運動を利用した高速ラインディスプレイの開発と点滅周期の最適化
3. 学会等名 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 川崎直紀, 露木直人, 松本怜, 若林恭平, 三栖貴行, 安部恵一, 奥村万規子
2. 発表標題 眼球運動を利用したラインディスプレイの高速化と基板化
3. 学会等名 電子情報通信学会, 信学技報, 回路とシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田征岐, 町田優希, 遠藤大暉, 杉村博, 奥村万規子
2. 発表標題 サッカー型ラインディスプレイの製作と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2018年ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	安部 恵一  (Abe Keiichi)  (50795945)	神奈川工科大学・創造工学部・教授   (32714)	
研究分担者	三栖 貴行  (Misu Takayuki)  (80570572)	神奈川工科大学・創造工学部・教授   (32714)	
研究分担者	杉村 博  (Sugimura Hiroshi)  (80647503)	神奈川工科大学・創造工学部・准教授   (32714)	

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
---------	---------