

修士論文

カラーQRコードの提案とその応用例
について

（Proposal for a color QR code and its application examples）

池田 新

立命館大学大学院
理工学研究科電子システム専攻

2026年3月

概要

近年、技術的背景や、権利的背景、社会的背景から、QRコード(Quick Response code)が広く普及している。QRコードは、高速読み取りが可能な二次元コードの一種であり、従来使用してきたバーコードに比べて、記録可能な情報量が多く、誤り訂正能力が強いかつ高速な読み取りが可能という技術的な優位性があった。また、自動車部品のトレーサビリティ管理のために開発されたという背景がありながらも、特許権を行使しないと宣言したことでの特許フリーな使用が可能となっている。さらには、スマートフォンのような、高性能かつ多機能なデバイスが世界的に普及したこと、広告媒体や、決済手法としてQRコードの利用がなされている。しかし、現状のQRコードは単一の色の濃淡で表現されており、その色については、符号化する情報量増加の余地が残されている。そこで本研究では、RGBを用いたカラーQRコードの実装を行い、その有用性について検討した。本研究で扱うカラーQRコードは、RGBの単色カラー画像に変換したQRコードを重ね合わせることにより作成し、計8色(赤、青、緑、シアン、マゼンタ、イエロー、白、黒)のカラー画像となっている。具体的には、カラーQRコードの検出アプリの実装、従来のQRとの検出距離の比較実験を行い、さらには、近年、技術向上が進んでいる画像生成AIを使用したQRコード検出可能なイラスト生成AIの実装方法について検討を行った。本研究の結果として、カラーQRコードは、従来のQRコードには検出性能で劣るといったデメリットがあるが、従来のQRコードではできなかった用途での利用が可能であることが確認できた。

目 次

内容梗概	i
第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 本研究の目的	3
第2章 LED 照明を用いたデジタルサイネージについて	5
2.1 一般のデジタルサイネージ	5
2.2 デジタルサイネージの有効性に関する研究	6
2.3 デジタルサイネージに関する技術	7
第3章 ダイナミック点灯方式を用いたステゴパネルの開発	11
3.1 フリッカ現象とダイナミック点灯について	11
3.2 ステゴパネルについて	12
3.3 ドットマトリクス LED を用いたダイナミック点灯方式ステゴパネル	14
3.3.1 HUB75 規格のドットマトリクス LED について	14
3.3.2 情報・背景差分方式によるステゴパネルの実装	17
3.3.3 ダイナミック点灯方式によるステゴパネルの実装	22
第4章 光の三原色を用いたトリケラパネルの開発	25
4.1 光の三原色について	25
4.2 トリケラパネルとは	26
4.3 3種類の QR コードを表示するトリケラパネルの実装	28
4.4 イラストを表示するトリケラパネルの実装	33
第5章 結論	37
5.1 まとめ	37
5.2 今後の展望	37
5.2.1 ステゴパネルの展望	37
5.2.2 トリケラパネルの展望	38
参考文献	38
謝辞	45

図 目 次

1.1 オレンジLEDが使用されたサイネージ	1
1.2 フルカラーLEDが使用されたデジタルサイネージ	2
1.3 電子化された意見箱	2
1.4 デジタルサイネージジャパンの来場客数の推移	3
2.1 3D大型ビジョン広告	5
2.2 RGBカメラを用いた骨格推定によるデジタルサイネージの表示	6
2.3 データマイニング技術を用いた広告効果の実験環境	7
2.4 4Kと8Kの画素数	7
2.5 SONYが発売する空間再現ディスプレイ	8
2.6 カバー画像によるQRコードの秘匿	9
3.1 フリッカが入った画像	11
3.2 フリッカ現象の発生原理	12
3.3 肉眼で見た時のステゴパネル	13
3.4 カメラで見た時のステゴパネル	13
3.5 スタティック方式ステゴパネルの点灯イメージ	14
3.6 使用したドットマトリクスLED	15
3.7 HUB75のピン配置	15
3.8 HUB75の点灯イメージ	17
3.9 点灯の順序	19
3.10 プログラム実行時の様子	19
3.11 情報・背景差分方式プログラムのフローチャート	20
3.12 点灯の順序	22
3.13 ダイナミック点灯方式プログラムのフローチャート	23
3.14 プログラム実行時の様子	24
4.1 光の三原色 ¹	25
4.2 アナグリフ式3Dメガネ	26
4.3 アナグリフ式立体画像	26
4.4 トリケラパネルによるQRコードの重ね合わせ	27
4.5 カラーフィルタによる色の抽出	27

図目次

図目次

4.6 各機器を配置した様子	29
4.7 プログラム実行時	29
4.8 プログラムのフローチャート	30
4.9 赤色を抽出した画像	32
4.10 緑色を抽出した画像	32
4.11 青色を抽出した画像	32
4.12 トリケラパネルによる視認性評価	33
4.13 クジラ	34
4.14 カバ	34
4.15 ペンギン	34
4.16 可視光線の波長	35

表 目 次

3.1 各ピンの制御対象	16
------------------------	----

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、駅構内の広告や、バスの運賃表、ビルの広告等に多くのデジタルサイネージが使用されており、我々に身近なものとなっている。デジタルサイネージとはディスプレイやタブレット等の電子表示媒体を活用した情報発信システムの総称であり [1]、LEDを利用したものが多い。背景には、1993年に中村修二氏らの研究チームにより青色LEDが発明された事が挙げられる [2]。青色光源の発明によって、赤、緑、青と光の三原色が揃うこととなり、白色を表現することが可能となった。

当初、LEDをサイネージに利用する際には、青色の光を生み出せないために白色を表すことができなかった。そのため文字の表示にオレンジ色のLEDを使用していた(図1.1)。これが現在では、フルカラーの表示が可能となった(図1.2)。



図 1.1: オレンジ LED が使用されたデジタルサイネージ¹

¹<http://tikutetsuzuki.blog64.fc2.com/blog-entry-664.html> より引用



図 1.2: フルカラー LED が使用されたサイネージ²

デジタルサイネージの用途は幅広く、公共交通機関の掲示板から、ショッピングモール内の広告、ビルの広告などに使われている。最近ではペーパーレス化の流れを受け、紙媒体であった商業施設内の顧客用意見箱を電子媒体にしている事例もある(図 1.3).

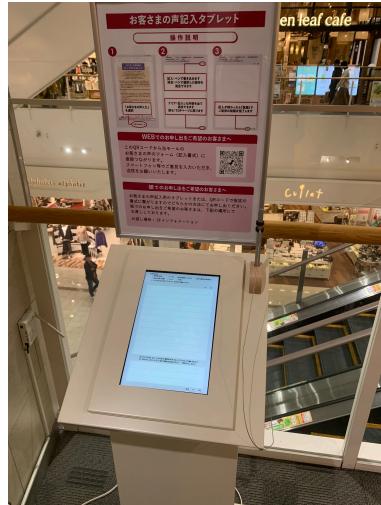


図 1.3: 電子化された意見箱³

デジタルサイネージに対する需要の高さはデータからも伺える。図 1.4 はデジタルサイネージジャパンの来場客数の推移を表したものである。ここでデジタルサイネージジャパン(DSJ)とは、デジタルサイネージの最新動向を伝える目的として毎年開催されている展示会のことである[3]。図 1.4 から分かるように、2020 年以降は新型コロナウィルスの影響で一時的に会場の来場者が大幅に減少したもの、オンライン開催の来場者も含めると、毎年約 10 万人が参加している。また、

²https://www.neyagawa-np.jp/uploads/livedoor-blog/neyagawa_np/imgs/8/4/848dc93a.jpg
より引用

2021年から会場での来場者数は年々回復し、2020年以前の来場者数まで回復することが見込まれる。

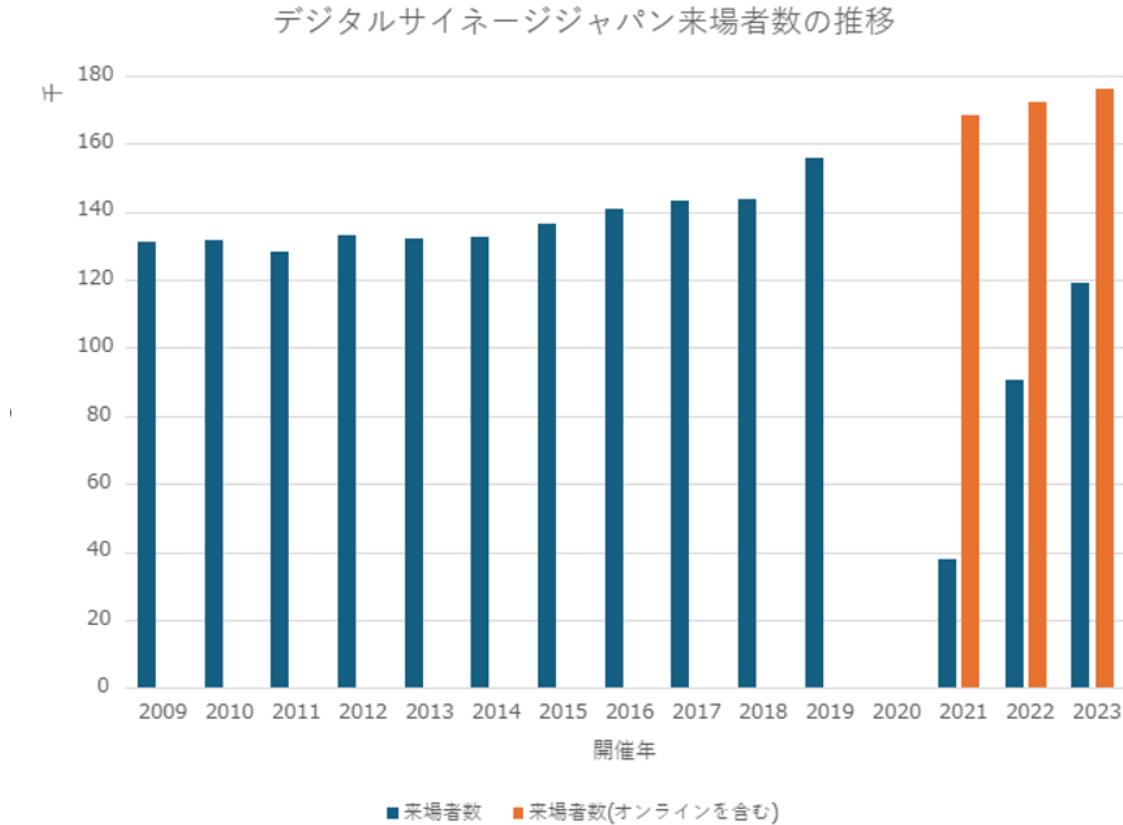


図 1.4: デジタルサイネージジャパンの来場客数の推移⁴

1.2 本研究の目的

本研究では、1.1節で述べたデジタルサイネージの普及を背景として、デジタルサイネージに対する新たな情報の付加手法を提案する。デジタルサイネージは限られた表示領域の中でより多くの情報を表示できることが望ましい。そこで本研究が提案する情報の付加手法が次の二つである。一つ目は、肉眼では視認できないが、カメラで読み取ったときにのみ情報を視認できる情報表示照明装置であり、これをステゴパネルと呼称する。これまで、ステゴパネルの小型化と高解像度化を進めており、更なる機能向上のため異なる点灯方式を用いた仕様の実装を目指す。

二つ目は、同時に複数の情報読み取りが可能なデジタルサイネージであり、これをトリケラパネルと呼称する。この情報付加手法は、光の三原色を個別に読み取ることで複数の情報を提供するものであり、特に、複数のQRコードを一度に表示することを想定して開発する。サイネージ内に複数のQRコードを並べること

第 1 章

は、QR コードの誤読み取りや、表示領域の低下につながる。そこで、各 QR コードをカラーに変換し、3枚の画像を重ね合わせて表示する。その後、読み取り時に抽出を行うことで各 QR コードを別々に読み取る事を目指す。

第2章 LED 照明を用いたデジタルサイネージについて

本章では、LED を用いたデジタルサイネージについての技術と本論文に関わる研究について述べる。はじめに、2.1節で一般に使用されているデジタルサイネージについて述べる。次に2.2節、及び2.3節で、その関連研究を述べる。

2.1 一般的なデジタルサイネージ

デジタルサイネージとは、交通機関や、店舗、公共空間等で、電子的な表示装置を使って情報を発信するメディアのことである [4]。過去には木製の看板や、張り紙等を用いて情報の発信を行っていたが、LED 及びディスプレイ技術の発展やネットワークの普及、制御回路の小型化に伴いデジタルサイネージが増加してきている。

最近では、建物に取り付けられた3D ビジョンを用いた、モノや動物が飛び出してくるような広告が話題となっている(図2.1) [5]。



図 2.1: 3D 大型ビジョン広告¹

¹<https://www.rbbtoday.com/article/2023/06/26/210153.html> より引用

2.2 デジタルサイネージの有効性に関する研究

ここでデジタルサイネージの有効性を示す論文を二つ紹介する。論文 [6] では、デジタルサイネージに人々の注意を向ける方法として視聴者側によるタッチ操作等のインタラクティブ要素を取り上げ、各エフェクトに対する消費者の購買意欲を評価している。本論文に用いられているアプリケーションは、ディスプレイ上部に取り付けられたRGBカメラから人物の画像を取得し、骨格推定からユーザの動作を検知する。検知した動作をもとに、ユーザの動きに合わせてサイネージを覆ったぼかしが取り除かれることで、ユーザの広告に対する注意力の向上を図っている。この様子を図 2.2 に示す。

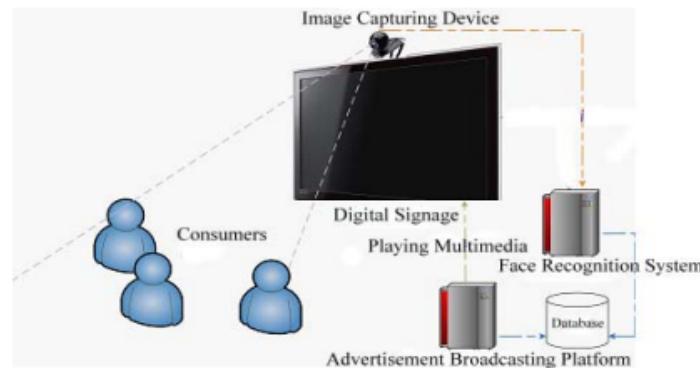


図 2.2: RGB カメラを用いた骨格推定によるデジタルサイネージの表示²

研究の結果として、表示するエフェクトの違いと被験者に行った質問の正答率に有意差は見られていない。一方で、操作性が楽しいと感じるエフェクトほど購買意欲が高い傾向にあるという結果が得られている。

また、論文 [7] では、データマイニング技術を使用してデジタルサイネージ広告の効果を調査している(図 2.3)。デジタルサイネージ上部に消費者を撮影するカメラを取り付けることで、顔認識による広告視聴の有無や、視聴時間の追跡を行い、集めたデータの分析を行っている。研究の結果として、データマイニング技術を用いた広告効果の評価は、広告提供者がマーケティング手法を考える際の有益な評価手段になると結論付けている。

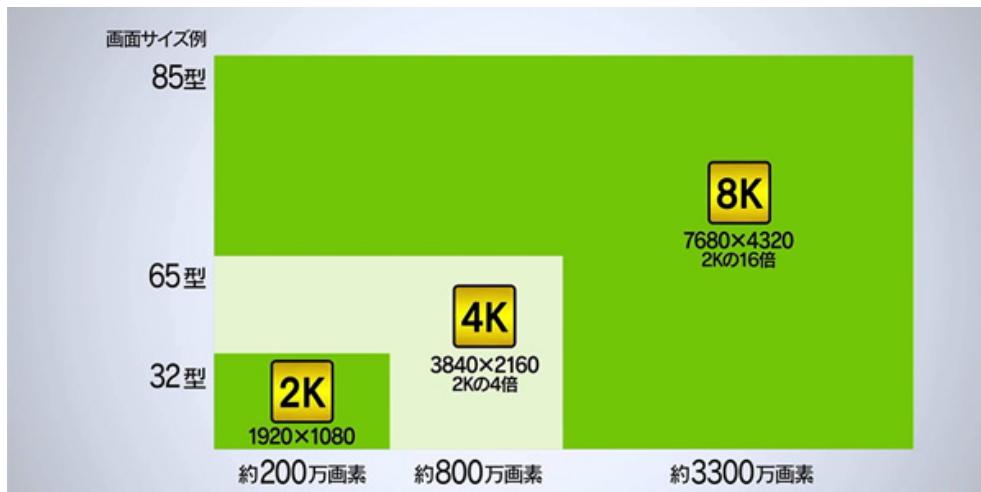
² インタラクティブデジタルサイネージにおける映像エフェクトの違いによる広告効果の検証 (https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/76/2/76_297/_pdf/-char/ja) より引用

図 2.3: データマイニング技術を用いた広告効果の実験環境³

2.3 デジタルサイネージに関する技術

昨今のデジタルサイネージに関する技術傾向として、高解像度ディスプレイ、透明ディスプレイ、裸眼立体ディスプレイ等が挙げられる。

高解像度ディスプレイについて、現在はハイビジョンや2Kと呼ばれる $1,920 \times 1,080$ 、即ち、約200万画素で構成されるディスプレイが一般に普及している。これに対し、次世代の映像規格である4K、8Kが登場し、製品化がなされている(図2.4)。

図 2.4: 4K と 8K の画素数⁴

³A Study on the Effectiveness of Digital Signage Advertisement(<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6228274>) より引用

⁴総務省、4K8Kとは(https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/housou_suishin/4k8k_suishin/about.html) より引用

また、4K、8K の映像では高精細化の他に、表現可能な色の範囲が拡大する広色域化、画面の高速表示、多階調表現等、現実に近い輝度表現が可能になっている [8].

透明ディスプレイについて、論文 [9] では、PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystals) 技術と呼ばれる液晶中に特殊な高分子を利用するディスプレイ手法により、透過ディスプレイの作成を行っている。ここで、PDLC 技術には印可電圧が OFF である高分子の散乱時と、印可電圧が ON である透過時が存在するが、作成したディスプレイでは、散乱時で透過率 1.27%，透明時には透過率 15.87% に達したと述べられている。

裸眼立体ディスプレイについて、映像を投影し、立体的に見せる手法や、三面にディスプレイを配置することで奥行きを表現する手法など様々あるが、特徴的な例として、SONY により開発、販売がされている空間再現ディスプレイを紹介する 2.5. SONY の Spatial Reality Display (空間再現ディスプレイ) ではディスプレイに取り付けられたカメラからユーザーの瞳の位置を捉えることで、視点位置に合わせた立体映像を表示する [10].

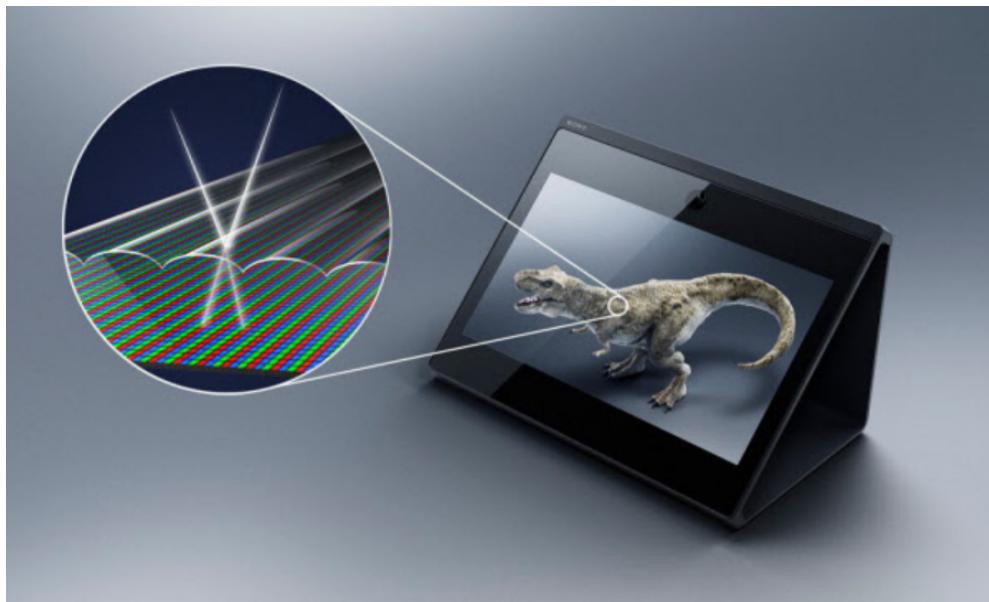
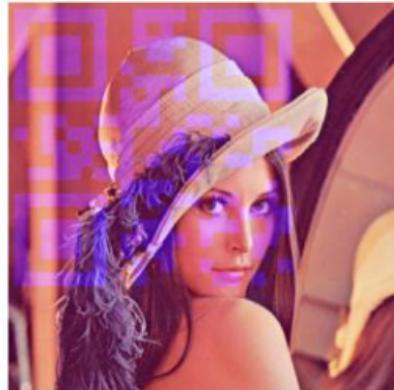


図 2.5: SONY が発売する空間再現ディスプレイ⁵

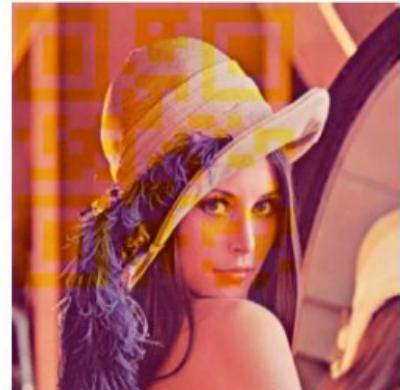
更に、本論文に直接関連する論文を紹介する。論文 [11] では、色を混ぜる事で画像内に二次元コードを埋め込む手法を提案している(図 2.6)。人間が高速に画面が切り替わるディスプレイを見た際には、視覚システムにより加法混色が発生する。一方で、CMOS センサを用いたカメラでシャッタースピードを速めて観測した際には、画面の切り替わりを捉えることができる。この原理を用いて、肉眼では QR コードを視認できない情報隠匿技術の開発を試みている、結論として、QR

⁵<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO72038730Z10C21A5000000/> より引用

コードを覆うカバー画像に対して、画像のような静的なものであれば実用的であるが、動画のような動的なカバー画像に対しては実用的でないと述べている。



(a) Plus (+96) variation



(b) Minus (-96) variation

図 2.6: カバー画像による QR コードの秘匿⁶

⁶ [11]Mimetic Code Using Successive Additive Color Mixture より引用

第3章 ダイナミック点灯方式を用いたステゴパネルの開発

本章では、フリッカ現象を用いた肉眼では視認不可能な情報表示照明装置ステゴパネルとその機能拡張について述べる。

3.1 フリッカ現象とダイナミック点灯について

フリッカ現象とは、照明装置やディスプレイのような発光装置で発生する「ちらつき」現象のことである [12]. 例として、カメラで蛍光灯やLED等を撮影したときに生じるちらつきが挙げられる(図3.1). この現象は高速で点滅している照明をシャッタースピードの速いカメラで撮影したときに発生する. 高速で点滅している光源があり、これを肉眼で視認する場合を考える. この時、点滅周波数が約 60 Hz, つまり約 0.017 秒に一度点灯していると、肉眼は残像現象により常時点灯しているように錯覚する. 一方で、シャッタースピードの速いカメラで同じ光源をとらえると、一瞬の消灯状態を撮影するため黒い縞模様が映りこむ(図3.2).

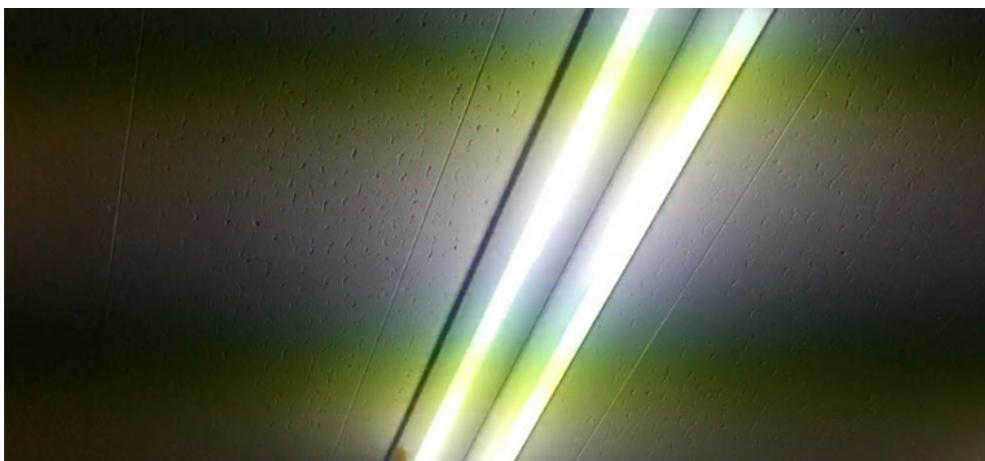
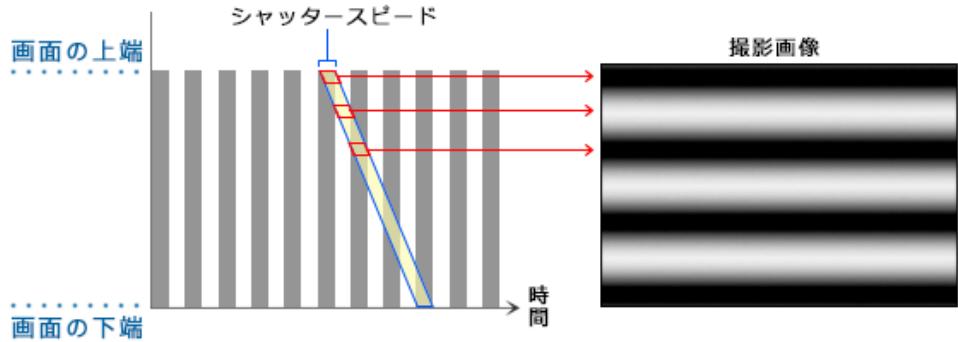


図 3.1: フリッカが入った画像¹

¹<https://www.isss.jp/led-column/column20/> より引用

図 3.2: フリックカ現象の発生原理²

多くのLED照明やデジタルサイネージでは、マトリクス上に配置されたLED素子群を水平、もしくは垂直方向に一定間隔で高速に点滅させるダイナミック点灯と呼ばれる点灯方式が採用される [13]。ダイナミック点灯の利点は主に二つ知られている。一つ目は消費電力の削減となる。LEDの消灯している時間が存在することにより、常時点灯させた時と比べて消費電力を削減できる。これは主に熱で発光しており、応答速度が遅い白熱電球には実現が難しいLEDならではの利点と言える。二つ目は回路規模の縮小である。一部のLEDを制御するダイナミック点灯とは反対に、すべてのLEDを個別に制御するスタティック点灯と呼ばれる点灯方式では、全てのLED素子にそれぞれ制御用の半導体素子と配線が必要となるため、回路規模が大きくなる。

3.2 ステゴパネルについて

ステゴパネルとは、これまで我々が提案、開発してきたものであり、3.1節で述べたフリックカノイズを利用して、文字情報を高速で点滅するドットマトリクスLEDに隠蔽する情報表示照明装置である [14] [15] [16] [17] [18] [19]。

ステゴパネルという名称は、情報の隠蔽技術の一つであるステガノグラフィー (steganography) と照明パネルを合わせた造語である。ステゴパネルは、肉眼で視認したときには全てのLEDが白色に点灯している照明であるが、カメラを介して、シャッタースピードを短くして観測した時には情報を読み取ることができる。肉眼で見た時のステゴパネルが図3.3であり、カメラで見た時のステゴパネルが図3.4である。

²<https://support.d-imaging.sony.co.jp/support/ilc/flicker/01/ja/> より引用

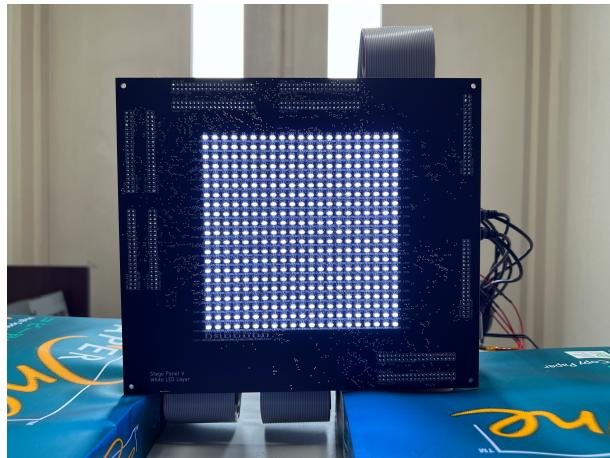


図 3.3: 肉眼で見た時のステゴパネル

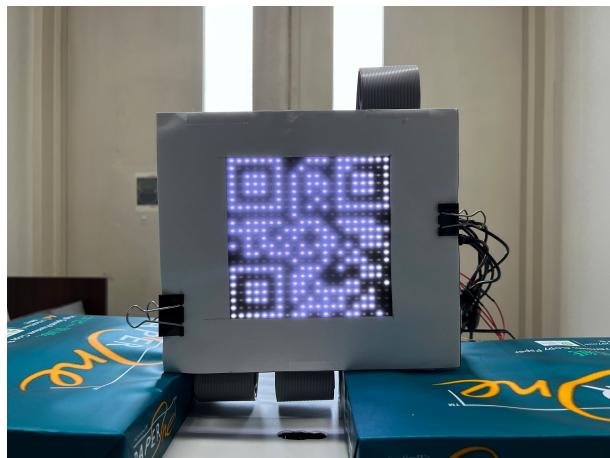


図 3.4: カメラで見た時のステゴパネル

これまで開発してきたステゴパネルは、LEDを個別に制御するスタティック点灯方式を採用していた。従って、表示面積に比例して回路規模が大きくなり、本体は小型ブラウン管テレビ程の大きさとなっていた。また、周波数発生用のマイクロコントローラー基板が2台、周波数設定用のパソコン、点灯制御用のRaspberry Piを動作に使用するなど、本体と同様に、制御部に関しても、規模が課題となっていた。このステゴパネルは、肉眼で視認できる約91 Hzの周波数発生装置とカメラでのみ視認できる約1,600 Hzの周波数を、各LED素子に入力してスイッチングする(図3.5)。これに対して本論文では、LED素子点灯のダイナミック制御により類似の機能を実現した。

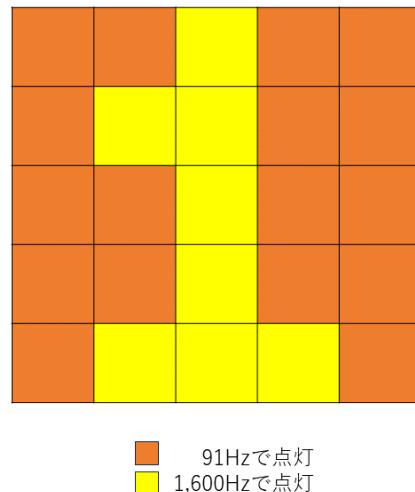


図 3.5: スタティック方式ステゴパネルの点灯イメージ³

3.3 ドットマトリクス LED を用いたダイナミック点灯方式ステゴパネル

3.3.1 HUB75 規格のドットマトリクス LED について

ダイナミック点灯方式によるステゴパネルを実装するにあたり, HUB75 規格の 32×64 ドットマトリクス LED [20] を用いて点灯実験を行った. 使用したドットマトリクス LED [21] が図 3.6 である.

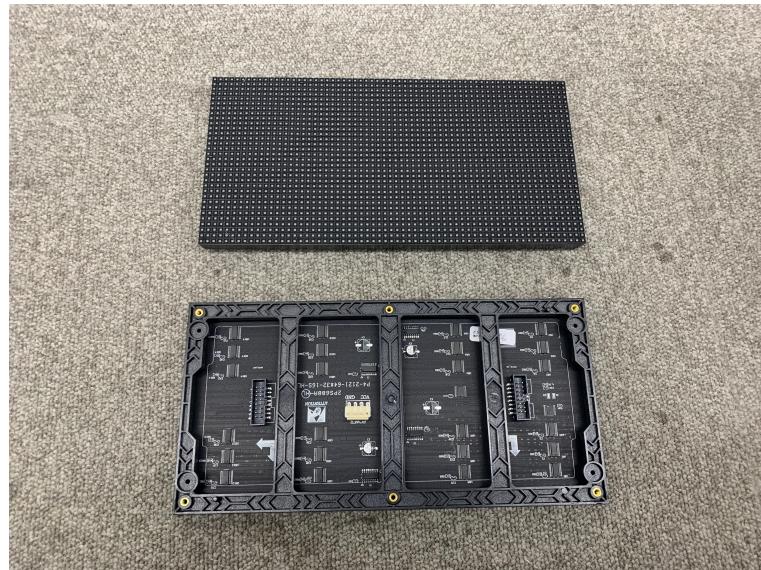


図 3.6: 使用したドットマトリクス LED⁴

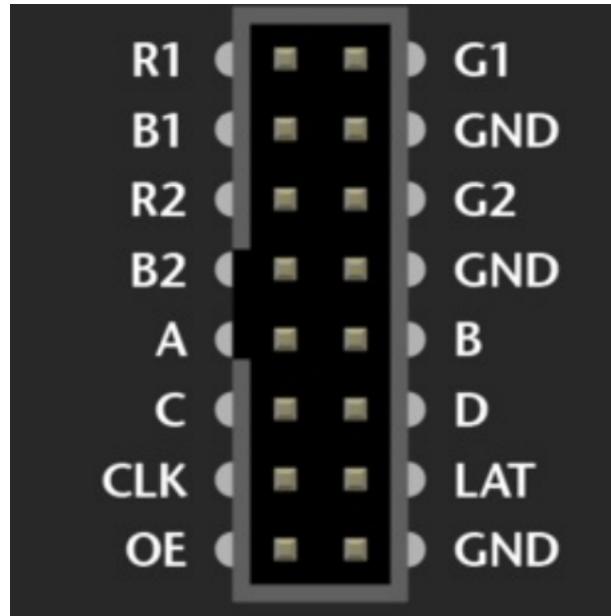


図 3.7: HUB75 のピン配置

HUB75 規格とは、シフトレジスタを用いた LED ドットマトリクスピネルの規格を指しており、ダイナミック点灯方式によりパネルの点灯制御を行うことができる。各入力データのピン配置が図 3.7 であり、ピンの制御対象をまとめたものが表 3.1 である [22] [23] [24].

⁴M5Stack で LED マトリクスピネル (HUB-75) を光らせる

表 3.1: 各ピンの制御対象

R1	上段の赤色 LED を制御
G1	上段の緑色 LED を制御
B1	上段の青色 LED を制御
R2	下段の赤色 LED を制御
G2	下段の緑色 LED を制御
B2	下段の青色 LED を制御
A, B, C, D	行アドレスを指定
LAT	行の点灯制御
CLK	クロック信号
GND	グランド

ここで、HUB75 規格の特徴について二点述べる、一つ目が点灯させる行を上段と下段に分けて制御を行う点となる。上段と下段は連動しており、0行目と16行目、1行目と17行目…15行目と31行目と2行づつ点灯制御が行われる(図3.8)。ここで、点灯する色は上段はR1, G1, B1、下段はR2, G2, B2により制御される。二つ目はLATと呼ばれる信号を点灯のために使用する点である。前述した通り、上と下段にそれぞれあるR, G, Bの計6信号により点灯する色が決定される。この時、点灯させる値はシフトレジスタに格納されたままであり、LAT信号がONされるまではディスプレイ側には表示が行われない。この二点に注意して制御プログラムを作成した。

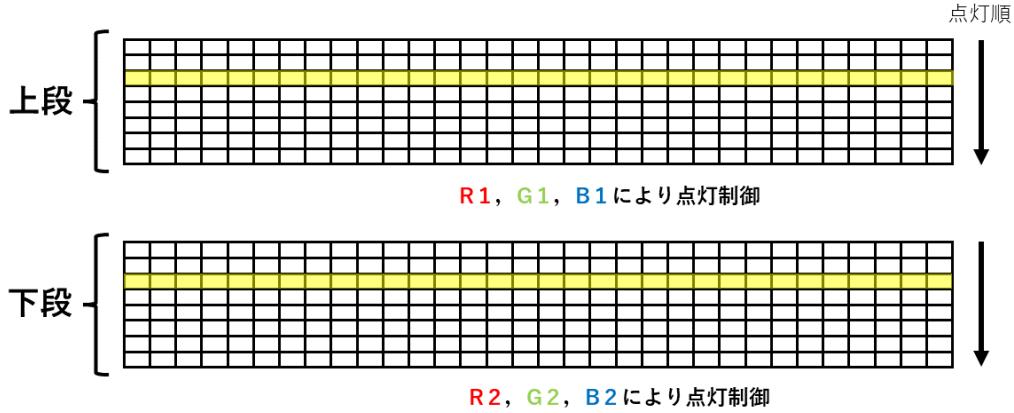


図 3.8: HUB75 の点灯イメージ

3.3.2 情報・背景差分方式によるステゴパネルの実装

ダイナミック点灯方式を用いたステゴパネルを開発する事前準備として、情報・背景差分方式 [25] によるデジタルサイネージを実装した。

これは文字部分と背景部分の点灯の仕方に差異をつける事で情報を埋め込む。文字部分は黒・黒・白と3周期に1回白を点灯し、背景部分は周期ごとにシアン、マゼンタ、イエローの順で点灯させる。点灯のイメージが図3.9である。この一連の点灯周期を、肉眼に残像現象が発生する約0.0167 sに設定することで、視認した際に白色となる。プログラム実行時の様子が図3.10である。また、図3.11が制御プログラムのフローチャートである。制御にはRaspberry PiのGPIOピンを用いているため、最初にGPIOピンの定義とピンの初期化を行う。次に、表示する画像を行列として定義する。点灯制御では、行を制御するループ内に列を制御するループが入る二重ループの構造を用いた。プログラム内のdelayにより、点灯状態でプログラムを一時停止させることができる。従って、delayの数値を調整することで、肉眼で残像現象が発生する点灯周期を生み出すことができる。

ここでマトリクスLEDには、プログラムで 16×32 の行列を入力している。これにより上段と下段で周期的に色が変化する部分を変えている。すなわち、上段では、文字部分が周期ごとに白色で点灯、背景部分は周期ごとに色が変化する。反対に、下段では文字部分の色を周期的に変更し、背景部分は黒・黒・白に点灯さ

第3章

せる。図3.10では、カラー表示部分がシアンのタイミングで撮影されたため、上部では背景部分がシアン色、下部では文字部分がシアン色になっている。

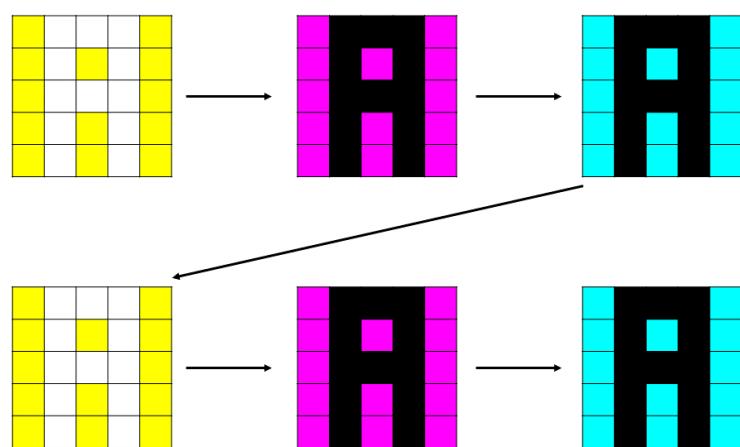


図 3.9: 点灯の順序

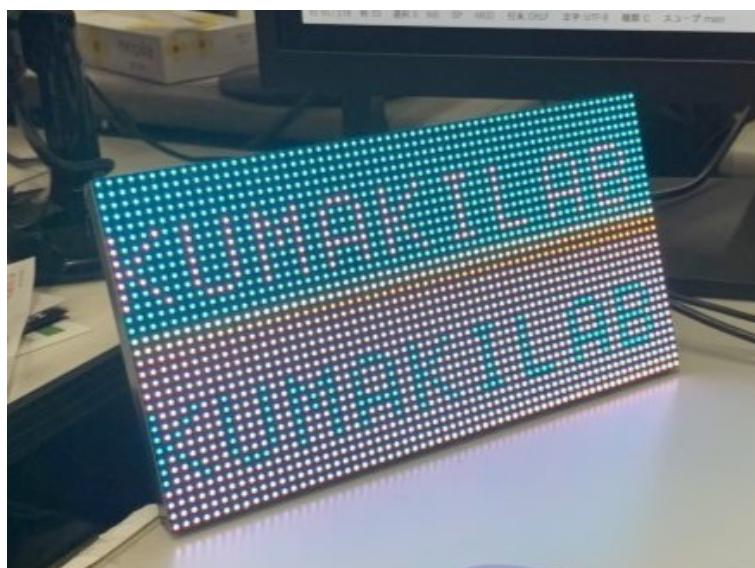


図 3.10: プログラム実行時の様子

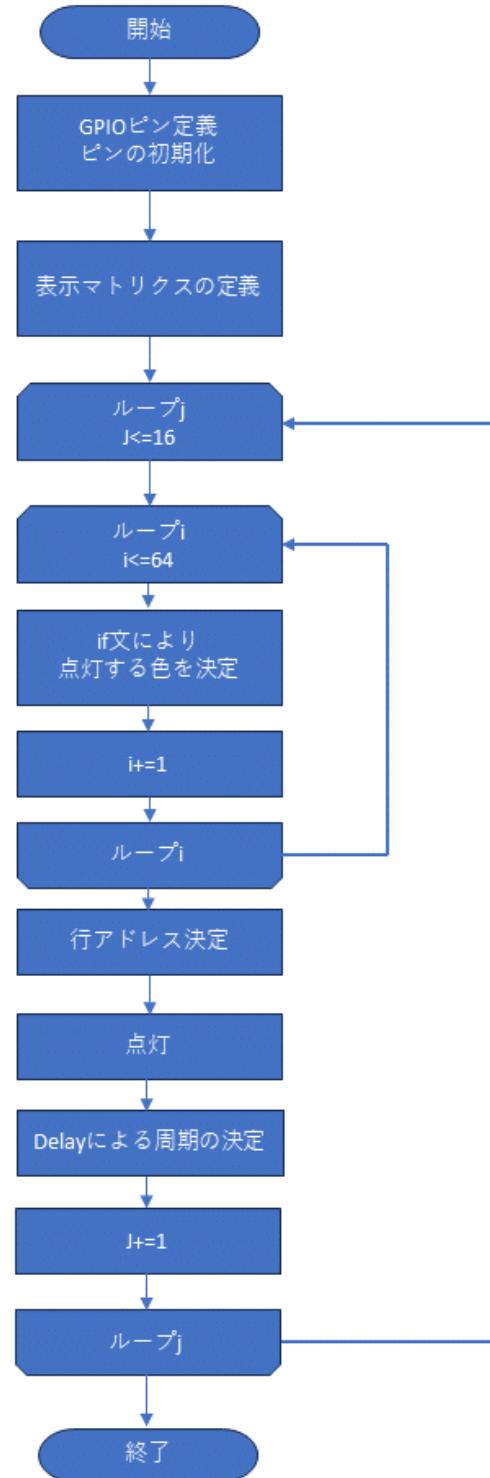


図 3.11: 情報・背景差分方式プログラムのフローチャート

実験の結果として, $\text{delay} = 350 \text{ ms}$ において, 肉眼でも僅かなちらつきが確認された.ちらつきが発生しない $\text{delay} = 300 \text{ ms}$ に設定して点灯を行うと, カメラ撮影時のフリッカの動きが速くなってしまうため, カメラで表示情報を読み取ることができなかった. また, 文字部分と背景部分に僅かな色の差を確認した.

3.3.3 ダイナミック点灯方式によるステゴパネルの実装

ダイナミック点灯方式を利用するためには、HUB75 規格のマトリクス LED を用いる事で、ステゴパネルの小型化、及び多機能化を目指す。この方式では、各行の内、一行が点灯している画像を高速に切り替えることでステゴパネルの仕様を実現する。更には、HUB75 を利用することでプログラミングが柔軟になる事から、肉眼でも情報を視認できる様にし、カメラ情報と合わせて別々の表示を可能とする。点灯の順序を表したもののが図 3.12 となる。

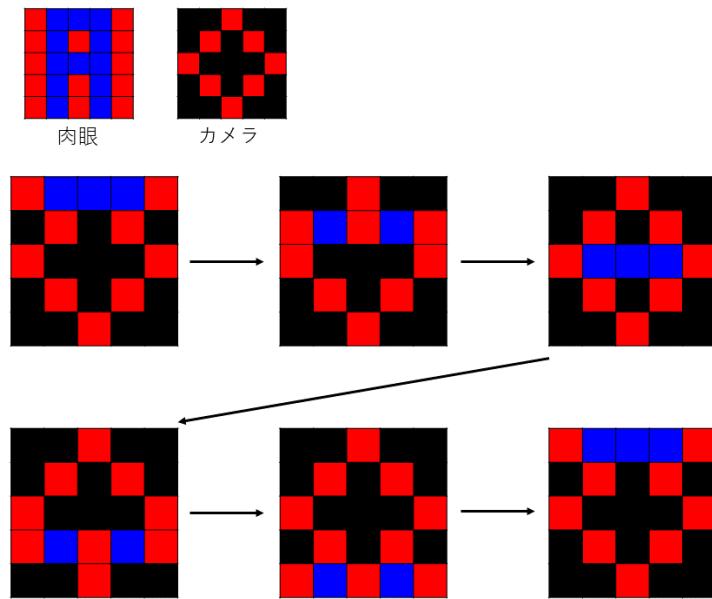


図 3.12: 点灯の順序

このように上段から下段に向かって一段ずつ肉眼視認用の画像を表示し、他の行ではカメラ視認用の画像を表示させる。点灯する全ての画像を重ね合わせた時に肉眼で見える画像が表示される。また、図 3.13 が制御プログラムのフローチャートである。制御プログラムには Raspberry Pi の GPIO を使用しており、最初に GPIO ピンの定義と初期化を行う。次に表示する画像を行列として定義する。この方式では制御する行数の画像が必要とされるため、16 個の行列を定義する。また 3.3.2 項で述べた情報・背景差分式のプログラムと同様に点灯制御に二重ループを用いている。

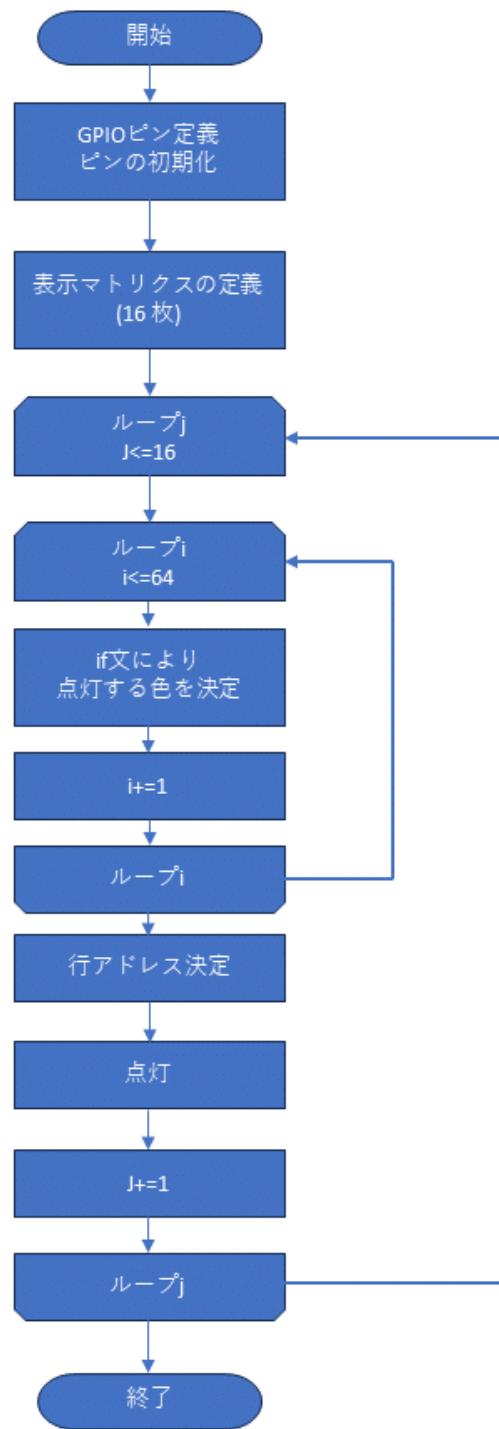


図 3.13: ダイナミック点灯方式プログラムのフローチャート

ダイナミック点灯方式によるステゴパネル実行時の様子が図 3.14 である。作成したプログラムは、肉眼ではアルファベットの R, カメラ撮影時には立命館大学のホームページへと飛ぶ QR コードが表示される仕様となっている。

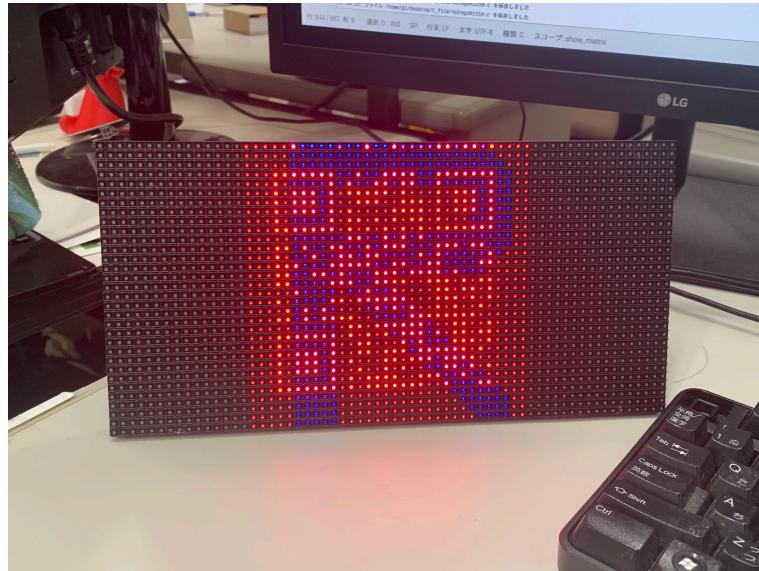


図 3.14: プログラム実行時の様子

スタティック点灯方式のステゴパネルでは、1 周期における High と Low の比を表す duty 比 [26] を、同じ周波数で点灯する LED 素子毎に設定することで、点灯の明るさを表す輝度値を一定に保っていた。一方で、ダイナミック点灯方式のステゴパネルでは、肉眼で表示させたい部分と、カメラで表示させたい部分の点灯周期が異なる。ここでダイナミック点灯による行毎の点灯制御のタイミングが一定であることから、点灯箇所毎に duty 比の差が生じてしまう。結果として、PWM 制御のように色の濃淡が発生する。

図 3.14 に示したように、今回作成したプログラムでは肉眼でも QR コードが透けて見える事となった。しかしながら、ダイナミック点灯方式によるステゴパネルを作成する上での基礎となる技術を確立することができた。また、改善すべき点として、行毎の点灯時間を一定にしていた点が挙げられる。QR コードを秘匿するための点灯パターンのみ点灯時間を長くすることで、duty 比の差を軽減することができると考えられる。

第4章 光の三原色を用いたトリケラパネルの開発

フリッカ現象を用いたステゴパネルでは、視認手法の違いによる取得情報の変化を実装してきた。ステゴパネルにより実現したい仕様は、同一のデジタルサイネージで複数人が違う情報を読み取ることであった。このような仕様を別手法により実装することを考え、当研究に至った。

4.1 光の三原色について

トリケラパネル開発のベースとなる光が持つ色の性質について述べる。フルカラーのLEDパネルや、液晶ディスプレイ等では様々な色が表現されているが、これは赤、青、緑という三色の光を混ぜ合わせることで表現している。この元となる三色を「光の三原色」と呼ぶ[27]。図4.1は光の三原色による混色を表したものである。

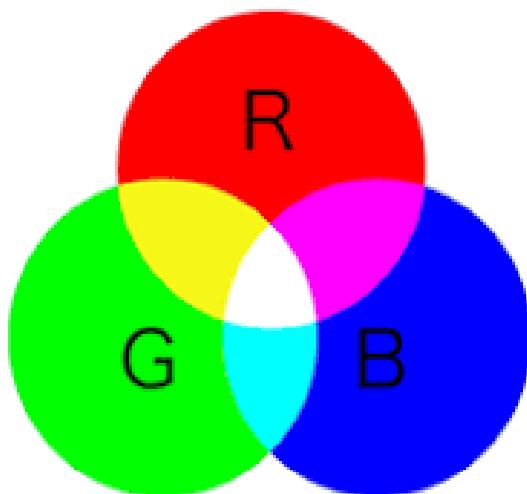


図 4.1: 光の三原色¹

¹光はRGBでできている (https://global.canon/ja/technology/kids/mystery/m_04_02.html) より引用

光の三原色を活用した事例としてアナグリフ式の 3D メガネがある。この方式では左右に赤、青と異なる色のついたレンズを使用することで、赤色と青色を乗せた映像を左右に分離して見ることができる。これにより視聴者は映像を立体的に視認することができる [28]。図 4.2 は一般にアナグリフ式の 3D 映像視聴用に使用される 3D メガネである。また図 4.3 はアナグリフ式の立体画像である。この映像から右目の赤色レンズで透過される画像と左目の青色レンズで透過される画像が重なっていることがわかる。



図 4.2: アナグリフ式 3D メガネ²

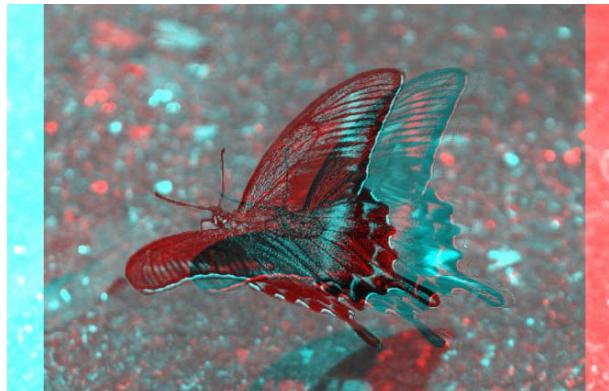


図 4.3: アナグリフ式立体画像³

4.2 トリケラパネルとは

本論文で提案するトリケラパネルとは、光の三原色を用いることにより実現する、複数の情報読み取りを可能にするデジタルサイネージのことである。この名称は、三つ組を意味する Triple、色を意味する Color と照明パネルという言葉を融合した造語である。ステゴパネルの派生技術であることを踏まえ、恐竜の名前も

²<https://amzn.asia/d/8i4H9SF1> より引用

³<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=DYeYHpoIUYg> より引用

意識している。このパネルは、LEDマトリクスにより3色の画像を重ね合わせた表示をする。図4.4はQRコードの重ね合わせを表したものである。実装時は画素毎に重ね合わせた画像の色を与え点灯を行う。

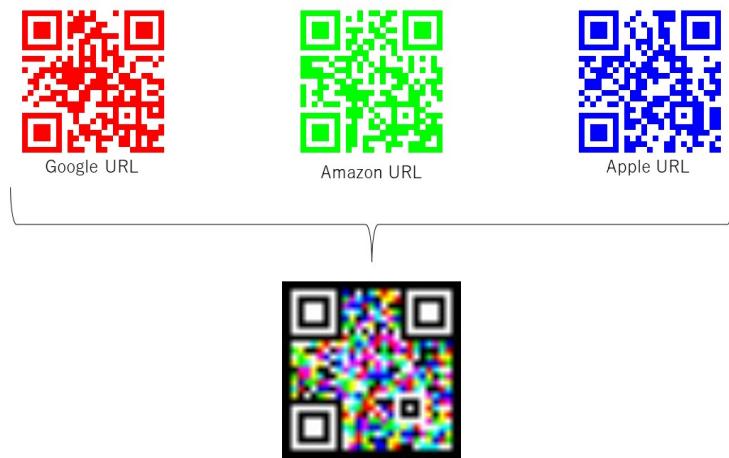


図4.4: トリケラパネルによるQRコードの重ね合わせ

視認側はカラーセロハンを用いて色の抽出を行う。物理的にはカラーフィルタ等、電子的には画像処理を利用できる。これにより特定の表示画像を視認することが可能となる。図4.5はセロハンを用いて色の抽出を行う例である。

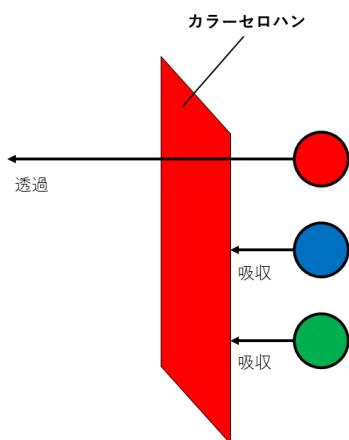


図4.5: カラーフィルタによる色の抽出

4.3 3種類のQRコードを表示するトリケラパネルの実装

トリケラパネルを開発するにあたり、実装には、Raspberry Pi 3 Model B, HUB75規格の 32×64 LED ドットマトリクスディスプレイ、DC 安定化電源を用いた。また、Raspberry Pi を用いても高速な処理が行える様に C 言語を用いて制御プログラムを作成している。図 4.6 が使用した機器を配置した様子である。今回の実験では、3種類の QR コードを重ね合わせる処理を行う。図 4.7 がプログラム実行時の様子である。

これから分かるように、画像の四隅の模様が白色で点灯している。これは QR コードを認知するための模様であり、3つの画像に共通していることから、3色すべての LED が光ることで白色に発光する。また、図 4.8 が作成した制御プログラムのフローチャートである。このプログラムは、ダイナミック方式によるステゴパネルの点灯に用いたプログラムをベースとして改良している。改良点は、点灯する色の決定に case 文を用いている点となる。これは、点灯させる色の種類が 8 色あることからプログラムの簡潔さを考慮している。

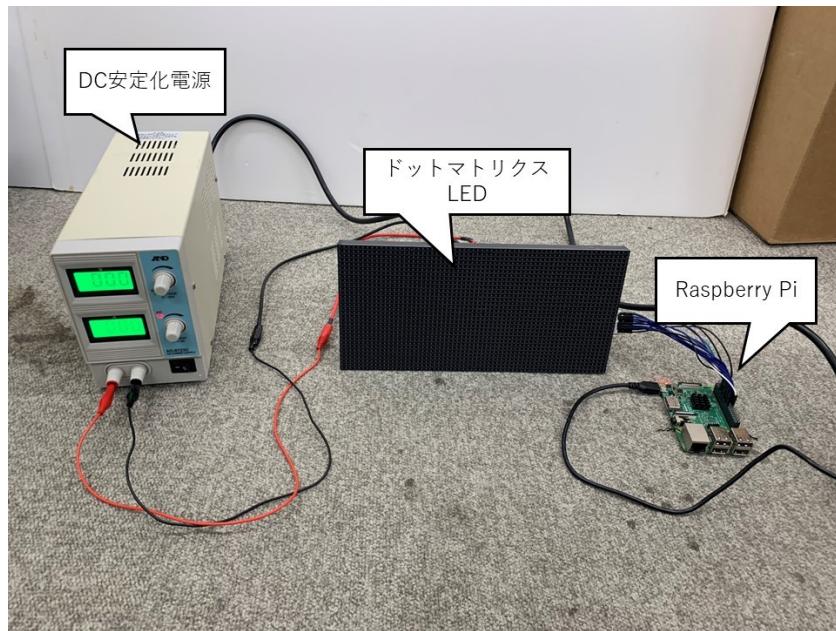


図 4.6: 各機器を配置した様子

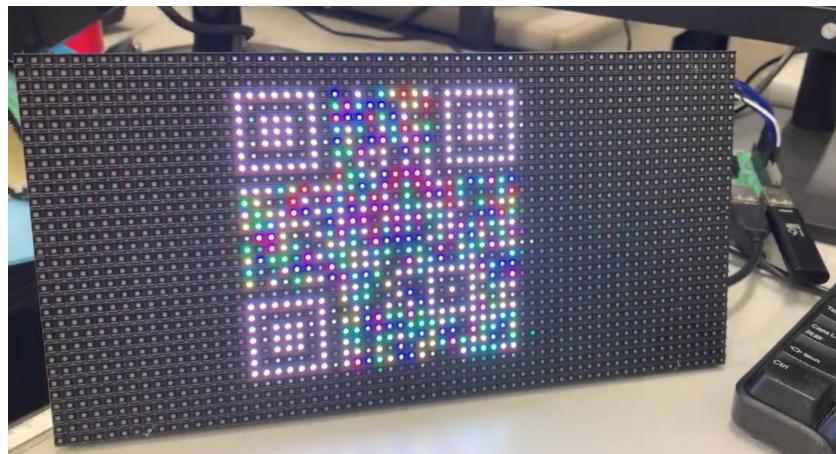


図 4.7: プログラム実行時

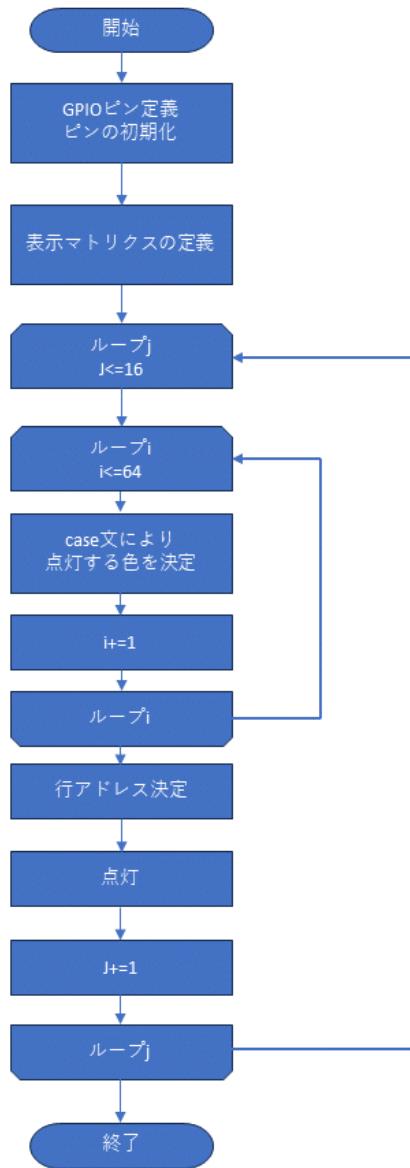


図 4.8: プログラムのフローチャート

プログラム実行後、スマートフォンを用いて色の抽出による QR コードの読み取りを試みた。検証方法として、複数回折り重ねたカラーセロハンをスマホカメラの前に配しフィルタとした。色ごとに抽出した画像が図 4.9 から図 4.11 である。

検証の結果として、画像からは 3 種類の QR コードが想定通り抽出できたことが分かった。しかしながら、QR コードの読み取りによるリンクへの移動は困難で

あった。この理由として、文字と背景の色差が考えられる。一般の QR コードは、背景の色と印字の色差により情報の読み取りを行っている。この理由から QR コード印字の際には白背景に黒字で表示することが推奨されている。今回の実験の場合では、肉眼では QR コードが表示されていると確認できたものの、カメラ側で読み取れるほどの色差を生じることができなかったと考えられる。



図 4.9: 赤色を抽出した画像



図 4.10: 緑色を抽出した画像



図 4.11: 青色を抽出した画像

4.4 イラストを表示するトリケラパネルの実装

QRコードのトリケラパネルによる抽出実験を踏まえて、各色による画像抽出の視認性評価を行った。肉眼でも判別がしやすい動物のイラストを用いて3枚の単色画像を混ぜ合わせたプログラムを作成した。マトリクスLEDで表示した時の様子が図4.12である。想定した通り3種類のイラストが重なり合った画像が表示された。

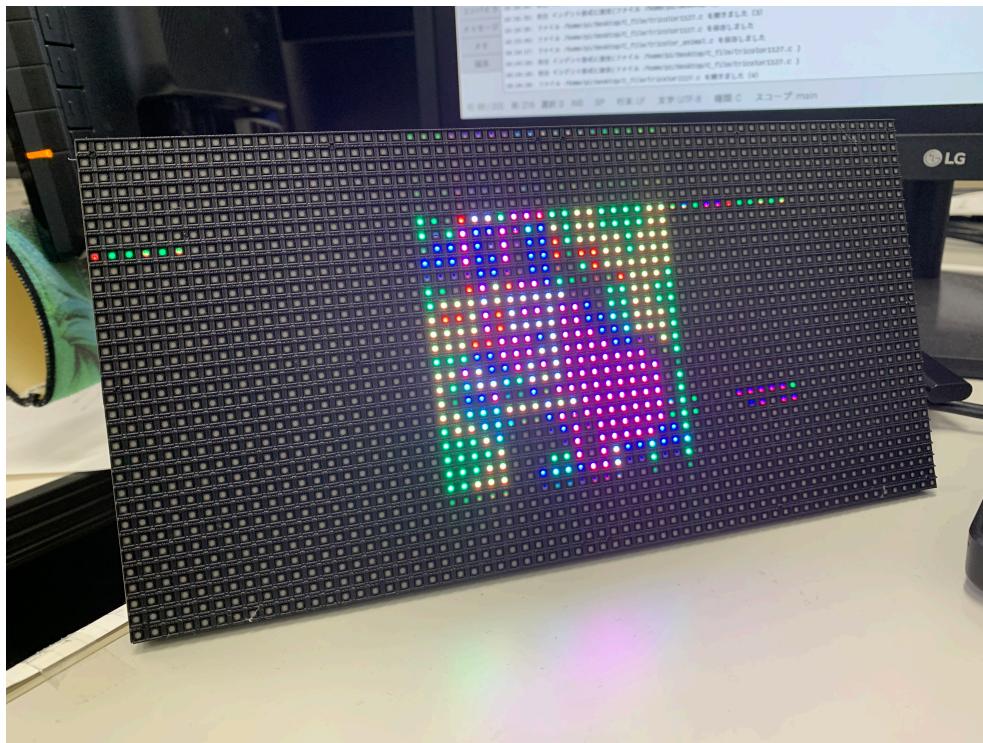


図4.12: トリケラパネルによる視認性評価

この表示から、カラーセロハンで色の抽出を行った画像が図4.13から4.15である。赤色ではクジラ、緑色ではカバ、そして青色ではペンギンが抽出できた。

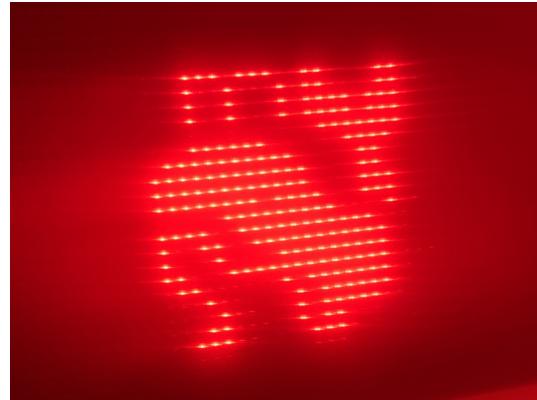


図 4.13: クジラ



図 4.14: カバ



図 4.15: ペンギン

ここで、表示画像以外にも LED が点灯する箇所が現れるノイズが確認された。このノイズは Raspberry Pi での別ソフト起動時や、マウス動作時に増加がみられ

た。ノイズの要因として、高周波によるプログラムの動作、ジャンパ線の配線密集、マトリクス LED のシフトレジスタの誤作動などが考えられる。

抽出画像から、光の色により抽出画像の鮮明さに違いが生じている事が分かった。ここで、赤色と緑色の抽出には 12 枚重ねたカラーセロハンを使用し、青色の抽出には 18 枚重ねたカラーセロハンを使用した。この原因として、各光が持つ波長の差が考えられる。

光のエネルギーと波長の式は、光のエネルギーを E 、波長を λ とすると、以下の式で求められる。

$$E = h \nu = hc/\lambda \quad (4.1)$$

ただし、 h はプランク定数、 ν は光の振動数、 c は光の速度である。

ここで、青色から赤色にかけて可視光の波長は長くなる(図 4.16)。つまり、光が持つエネルギーは大きさ順に、青色光、緑色光、赤色光となる。ここで、エネルギーの大きい青色光の透過力が高かったため、今回の様な結果が得られたと考えられる。

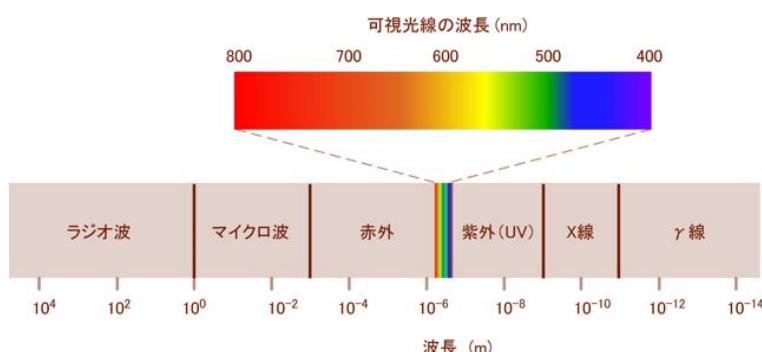


図 4.16: 可視光線の波長⁴

また、青色光の抽出を行った際には、緑色光が同時に写っていた。これは、緑色光と青色光の波長の差が小さい事が原因であると考えられる。

⁴可視光線 (visible light) (https://www.toho-u.ac.jp/sci/biomol/glossary/chem/visible_light.html#:~:text=%E5%8F%AF%E8%A6%96%E5%85%89%E7%B7%9A%20%EF%BC%88visible%20light%EF%BC%89,760%2D830%20nm%3%81%82%E3%82%8B%E3%80%82) より引用

第5章 結論

5.1 まとめ

本論文ではデジタルサイネージに対する情報付加手法の提案と、制作した制御プログラムによるサイネージの点灯を行ってきた。ダイナミック点灯によるステゴパネルの実装に関しては、大幅にハードウェア量を削減できた。しかしながら、ダイナミック点灯等の特性上、本論文で取り上げた手法では、従来のステゴパネルと同等の精度を実現する事は困難であった。その一方で、肉眼視認時に、カメラ視認時と異なる画像を表示するステゴパネルなど、ステゴパネルの新たな可能性を見い出すことができた。色差の少ない 8×8 程の低解像度ドットマトリクスLEDを用いることで、濃淡の少ない仕様を実現できると考えられる。トリケラパネルに関して、カラーセロハンによる簡易的な色の抽出ではQRコードの読み取りは困難であった。その一方で、簡単な図柄に対してはカラーセロハンによる色の抽出で肉眼で視認できた。今後は、画像処理等の抽出技術による補完で実用的なものになると考えられる。

5.2 今後の展望

5.2.1 ステゴパネルの展望

ステゴパネルの展望として、小型化、軽量化、低消費電力化が挙げられる。従来のステゴパネルでは、基盤作成時に片面実装により制作されていた。よって両面実装を取り入れることで、ある程度の小型化が可能になると見える。また制御信号を振り分けるためのシフトレジスタの数が多く、仕様の実現上、減らすことが困難であるため、実用化に向けた小型化を考える際には、基となる回路を見直す必要がある。

5.2.2 トリケラパネルの展望

トリケラパネルの展望として、高解像度化によるイラストの表示が挙げられる。セロハンによるフィルタでも肉眼でイラストが確認できることから脱出ゲームなどのエンターテイメント領域での活用が期待できる。また、カメラアプリによる画像処理的なアプローチでQRコードの読み取りが可能になると見える。例えば、色の抽出を行った画像を画像処理により2値化し、モノクロ画像としてQRコードを読み込む方法である。従って、今後は色の抽出とQRの読み取りを行うカメラアプリの開発に注力したい。

関連図書

- [1] “一般社団法人デジタルサイネージコンソーシアム, デジタルサイネージとは.” <https://digital-signage.jp/about/>.
- [2] 中村 修二, “InGaN 高輝度青色 LED に関する研究,” 1994.
- [3] “LED デジタルサイネージジャパン 2023.” <https://www.dsignage-expo.jp/2023/about/>.
- [4] “RICOH, デジタルサイネージとは? 仕組みから活用までをご紹介.” <https://www.ricoh.co.jp/signage/column/signage.html>.
- [5] “渋谷の大型ビジョンから巨大な秋田犬が飛び出す!? 肉眼 3D 動画が公開に.” <https://www.rbbtoday.com/article/2023/06/26/210153.html>.
- [6] 猪野志織, 小室孝, 小川賀代, “インタラクティブデジタルサイネージにおける映像エフェクトの違いによる広告効果の検証,” 映像メディア学会誌, vol. Vol. 76, No.2, 2022.
- [7] Yin, Kuo-Cheng and Wang, Hsin-Chieh and Yang, Don-Lin and Wu, Jung-pin, “A study on the effectiveness of digital signage advertisement,” 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, pp. 169–172, 2012.
- [8] 総務省, “4K8K とは 4K8K の魅力.” https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/housou_suishin/4k8k_suishin/about.html.
- [9] Su, Chun-Wei and Liao, Chia-Cheng and Chen, Mei-Yung, “Color transparent display using polymer-dispersed liquid crystal,” Journal of Display Technology, vol. 12, no. 1, pp. 31–34, 2016.
- [10] 日本経済新聞, “ソニー「空間再現ディスプレイ」 裸眼で OK 迫力 3D.” <https://www.nikkei.com/article/DGXZ072038730Z10C21A5000000/>.
- [11] S. Komuro, S. Kuriyama, and T. Jinno, “Mimetic code using successive additive color mixture,” IEIEC trans. inf. & SYST., vol. VOL.E98-D, no. NO.1, january 2015.

- [12] “大塚商会, LED 電球・LED 照明のちらつき・フリッカーの原因.” <https://www.otsuka-shokai.co.jp/products/led/knowledge/flicker.html>.
- [13] “LED のダイナミック点灯とは_大塚商会.” <https://www.otsuka-shokai.co.jp/products/led/knowledge/dynamic-lighting.html>.
- [14] 嶋田拓也, 下村優太郎, 桐原瑠也, 熊木武志, “フリッカパターンを用いた動画向け情報埋め込み手法の実装と評価,” 信学技報, vol. 119, no.2, pp. 117–122, 2020.
- [15] 下村優太郎, 嶋田 拓也, 熊木武志, “フリッカノイズによるドットマトリクス LED への実装,” LSI とシステムのワークショップ, no. no.4.
- [16] Y.Shimomura, T.Shimada, R.Kirihara, and T.Kumaki, “Live demonstration: Development of dot matrix LED using flicker noise as a base,” IEEE International Symposium on Circuits And Systems (ISCAS), May 2020.
- [17] T.Shimada, and T.Kumaki, “A study of led-based spy-photo prevention system using flicker noise for actual environment,” International Technical Conference on Circuits/Systems, 2018.
- [18] R.Kirihara, Y.Shimomura, T.Shimada and . T.Kumaki, “Live demonstration: Development of LED-based stego-panel for new smartphone usage,” IEEE International Symposium on Circuits And Systems (ISCAS), 2020.
- [19] T.Shimada, and T.Kumaki, “Development of flicker-noise-based lighting communication method,” RISP International workshop on Nonlinear Circuit, 2020.
- [20] “大塚商会, LED ドットマトリクスとは.” <https://www.otsuka-shokai.co.jp/products/led/knowledge/lighting/dot-matrix.html>.
- [21] “P4 RGB LED マトリックスパネル 64 x 32 ピクセル 256mm x 128mm 室内用.” https://www.amazon.co.jp/dp/B07KW9152T?ref_=cm_sw_r_cp_ud_dp_CRZ3W3A9GSRXYX9QM07Q.
- [22] “LED ドットマトリクスパネル HUB75 規格について調べてみた.” <https://qiita.com/onokatio/items/1b99ae9475b6a9fc2f15>.
- [23] “HUB75 規格を深掘りしてみる.” <https://ryosukeeeee.hatenablog.com/entry/2019/05/11/153910>.
- [24] “HUB75【raspberry pi】電光掲示板にも応用できるマトリックス LED を制御する方法.” <https://hellobreak.net/raspberry-pi-matrix-led-64-32/>.

付録

- [25] “クロスフリッカー, caustics light.” [https://twitter.com/causticslight/
status/1471471769693593607?s=53&t=FDHx_f06kKJUNJoq08hL4A](https://twitter.com/causticslight/status/1471471769693593607?s=53&t=FDHx_f06kKJUNJoq08hL4A).
- [26] “duty 比について.” [https://www2.denshi.numazu-ct.ac.jp/mirsdoc/
mirs97/01/shousai/elec/sp/duty.html](https://www2.denshi.numazu-ct.ac.jp/mirsdoc/mirs97/01/shousai/elec/sp/duty.html).
- [27] “光は RGB でできている.” [https://global.canon/ja/technology/kids/
mystery/m_04_02.html](https://global.canon/ja/technology/kids/mystery/m_04_02.html).
- [28] “3D の仕組み, CyberLink.” [https://jp.cyberlink.com/stat/
3d-support/jpn/3d-primer.jsp](https://jp.cyberlink.com/stat/3d-support/jpn/3d-primer.jsp).

付録

クロスフリック式ステゴパネル制御プログラム

sutego3.c

2段ダイナミック式ステゴパネル制御プログラム

sutegoR1219.c

```
%lstinputlisting[label=sutegoR1219]sutegoR1219.c
```

トリケラパネル制御プログラム

tricolor1127.c

謝辞

本論文の作成にあたり、貴重な助言、ご指導をして頂いた立命館大学理工学部電子情報工学科 熊木 武志教授に深く感謝の意を表します。また、本研究に関わりご助言をして頂いた立命博士氏、琵琶太郎氏、草津悟志氏に深く感謝致します。そして、実験を行うにあたってご協力をして頂いた衣笠智樹氏、茨木慎太郎氏に感謝致します。最後に、日頃から様々な事においてお世話になりましたX期生を始めとするマルチメディア集積回路システム研究室の皆様に最大の感謝をお贈り致します。

2023年3月 立命 太郎

研究業績リスト

【国内研究会等発表】

- 立命太郎, 逢坂京太郎, 安藤義男, 竹 信孝, 熊木武志, "2nm プロセスルールの SoC の製造技術可能性," ET&IoT West 2021, Jul., 2021.

【国外研究会等発表】

- Taro Ritsumei and Takeshi Kumaki, "Possibility of 2nm process rule SoC manufacturing technology," International Computers and communications (ICC), 2021.

【その他研究活動】

- ET&IoT West 2021, Jul., 2021.
- ET&IoT 2021, Nov., 2021.

【受賞】

- Yuta Moritake, Yutaro Shimomura, Ryuya Kiriwhara, Yuki Hirota, Xiangbo Kong and Takeshi Kumaki, "Development of invisible information lighting display "Stego-panel IV"," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Excellent Demo! award, Gold prize, Oct., 2021.