

修士論文

カラーQRコードの実装と
画像生成AIを用いた検出可能
イラスト生成手法の検討

(Implementation of color QR codes and a study on detectable
illustration generation methods using image generation AI)

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

内容梗概

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、従来使用され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世界中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で、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

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 本研究の目的	2
第2章 カラー QR コードに関する先行研究	3
2.1 Henryk Blasinski の先行研究	3
2.2 三重大の先行研究	3
第3章 カラー QR コード検出システムの開発	5
3.1 エンコード方法	5
3.2 デコード方法	7
3.3 読み取りアプリの開発	10
第4章 検出性能の比較実験	13
4.1 実験手法	13
4.2 実験結果	17
4.3 考察	18
第5章 カラー QR コードを用いた AI イラストの生成	21
5.1 イラストに見える QR コード	21
5.2 イラスト生成 AI の原理	22
5.3 使用したソフトとモデル	22
5.4 実験結果	22
5.5 考察	22
第6章 結論	23
6.1 まとめ	23
6.2 今後の展望	23
参考文献	23
謝辞	29
発表論文リスト	31

目 次

1.1	電子機器の普及率の推移	2
2.1	Blasinski によるカラー QR コード	3
2.2	三重大大学のカラー QR コードに関する先行研究	3
3.1	加法混色	6
3.2	カラー QR コードのエンコード方法	6
3.3	カラー QR コードのデコード方法	7
3.4	デコード時のフローチャート	8
3.5	膨張処理のイメージ	9
3.6	収縮処理のイメージ	9
3.7	読み取りアプリの web 画面表示	11
3.8	QR コード不検出時の web 画面表示	12
4.1	実験に使用したカラー QR コード画像	13
4.2	実験時の画像の撮影環境	14
4.3	20cm から撮影したときの画像	14
4.4	40cm から撮影したときの画像	15
4.5	60cm から撮影したときの画像	15
4.6	80cm から撮影したときの画像	16
4.7	比較対象とするモノクロ QR コードの画像	16
4.8	膨張処理前の画像	18
4.9	膨張処理後の画像	19
5.1	膨張処理前の画像	21

表 目 次

4.1	色抽出処理のみを行った際の検出率の比較	17
4.2	膨張処理時にカーネルサイズ 5×5 を適用した際の検出率	17
4.3	膨張処理時にカーネルサイズ 4×4 を適用した際の検出率	17
4.4	膨張処理時にカーネルサイズ 3×3 を適用した際の検出率	17
4.5	膨張処理時にカーネルサイズ 2×2 を適用した際の検出率	18

第1章 序論

1.1 研究背景

近年、高速かつ安定した読み取りが可能な2次元コードであるQRコード(Quick Response code)が世界的に使用されている。このような技術の普及には、大きく分けて三つの背景があると考えられる。それは、技術的背景、権利的背景、社会的背景の3つである。

初めに、技術的背景について、これはQRコードが持つ技術的な優位性から由来する。従来使用されてきたバーコードと比較して、QRコードは記録可能な情報量が多く、誤り訂正能力が強い、かつ高速で安定した読み取りが可能というように使用するメリットが複数存在している。

次に、権利的な背景について、これはQRコードが特許フリーなため誰でも自由に使用可能なことに由来する。QRコードは自動車部品のトレーサビリティ管理のためにデンソーの一事業部(現デンソーウェーブ)によって開発された。しかし、デンソーはその仕様をオープンにし、特許の自由な使用を許可した。これにより、QRコード決済や、航空券等のチケット管理など、本来開発者が想定していなかったような用途でも使われ、社会に広く浸透していった。最後に社会的な背景について、これはQRコードの読み取りを可能にする電子機器、特にスマートフォンの普及に由来する。半導体製造技術の向上により、高性能かつ低消費電力な電子デバイスが安価に手に入るようになったことで、2010年代からスマートフォンが急速に普及してきた。日本において、その保有率は2010年で10%程度に留まっていたものが、2021年には90%近くに達している [1]。

⁰総務省 令和4年版 情報通信白書 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd238110.html> より引用

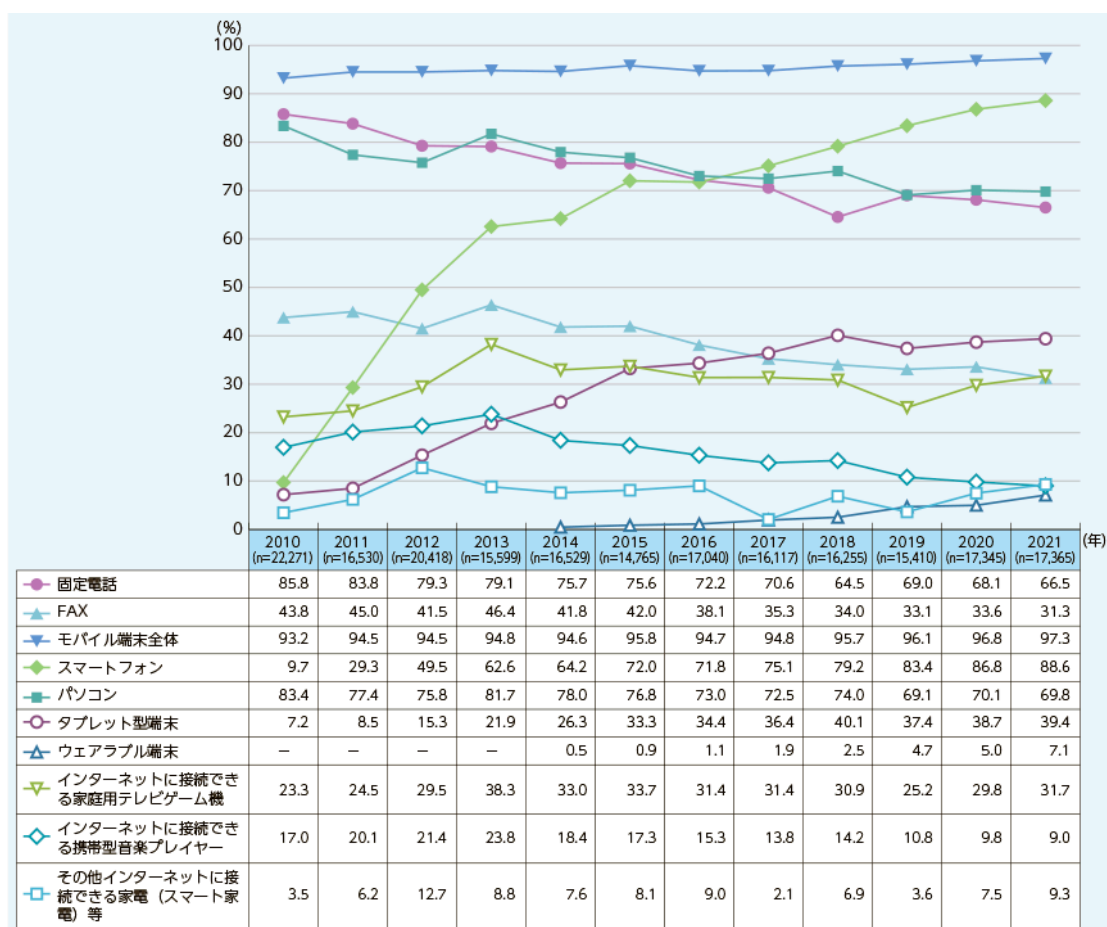


図 1.1: 電子機器の普及率の推移

このスマートフォンの普及は、誰もがQRコードを読み取り、情報を取得する事ができるという土台を作り、QRコードの普及を後押ししただろう。現にSNSアカウントの共有や、市中の広告でもQRコードが使用されている。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は大きく二つに分けられる。一つ目は、面積当たりの情報量を増やすこと。二つ目は、広告媒体等で他のデザインを既存しないような二次元コードを作成することである。

第2章 カラーQRコードに関する先行研究

本章では，カラーQRコードに関する先行研究について述べる．

2.1 Henryk Blasinski の先行研究

X

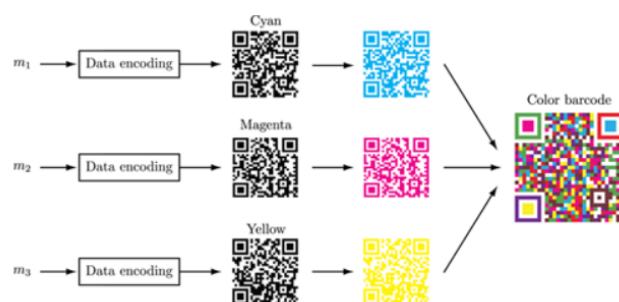


図 2.1: Blasinski によるカラー QR コード

2.2 三重大の先行研究



図 2.2: 三重大大学のカラー QR コードに関する先行研究

第3章 カラーQRコード検出システムの開発

本章では、カラー QR コードの読み取りシステムの開発について述べる。はじめに、3.1 節、3.2 節で、エンコード方法とデコード方法を述べ、3.3 節で読み取りアプリの開発概要について述べる。

3.1 エンコード方法

カラー QR コードの読み取りシステムに使用するエンコード方法を示す。はじめに、任意の文字列が一般の QR コード生成の仕様によりモノクロの QR コードが作成される。同様に、3つの文字列をもとに3種類のモノクロ QR コードを用意する。この3種類のモノクロ QR コードを単色のカラー画像に変換する。本システムでは、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の三色に変換している。その後、3種類の単色カラー画像を加法混色 (図 3.1) により重ね合わせることで、カラー QR コードが作成される (図 3.2)。カラー QR コードは、赤、緑、青色の各色が画素値として 0 か 255 のどちらかの値をとる。つまり、 $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$ 通りの色で表される。ここで8通りの色とは、白、黒、赤、緑、青、シアン、マゼンタ、イエローの8種類となる。画素値を (R, G, B) で表記すると、各色はそれぞれ、白 (255, 255, 255)、黒 (0, 0, 0)、赤 (255, 0, 0)、緑 (0, 255, 0)、青 (0, 0, 255)、シアン (0, 255, 255)、マゼンタ (255, 0, 255)、イエロー (255, 255, 0) となる。

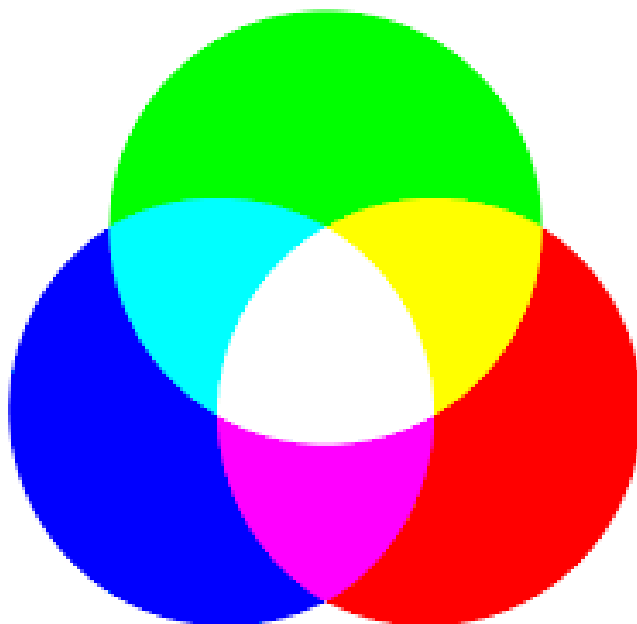


図 3.1: 加法混色

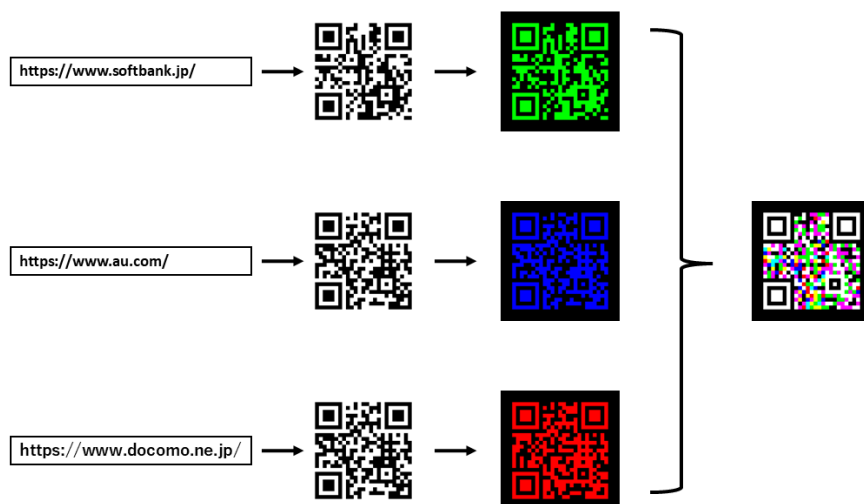


図 3.2: カラー QR コードのエンコード方法

3.2 デコード方法

カラー QR コードの読み取りシステムにおけるデコード方法を示す。はじめに、カラー QR コードに対して、画像処理による色の抽出を行う。デコードのフローチャートが図 3.4 である。

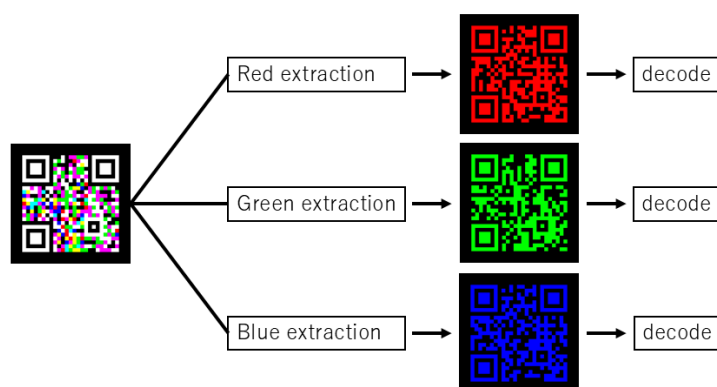


図 3.3: カラー QR コードのデコード方法

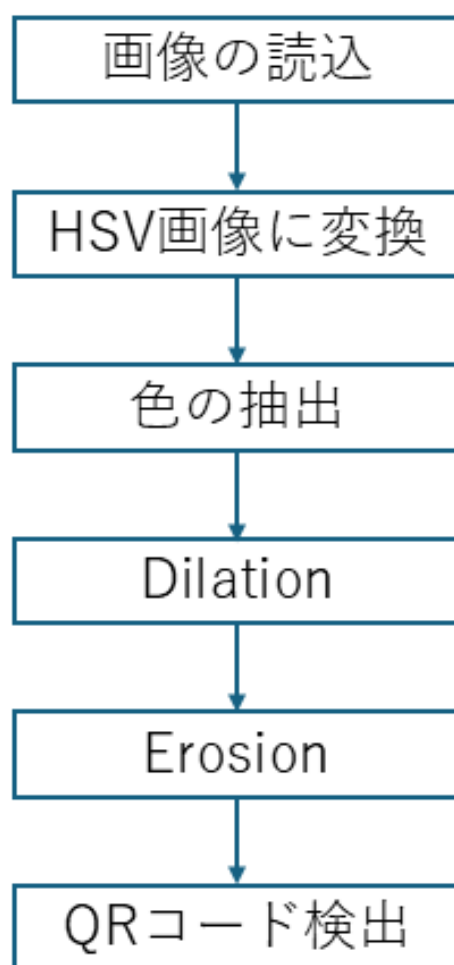


図 3.4: デコード時のフローチャート

ここで，膨張 (dilation) 処理と収縮 (erosion) 処理について詳しく述べる．膨張処理とは，画像中の指定個所を太くするような処理のことである．例えば，白色の箇所に対して膨張処理を行う場合，対象とする構造要素 (カーネル) に対して，周囲も白色に塗りつぶすような処理が行われる．膨張処理の処理イメージが図 3.5 である．

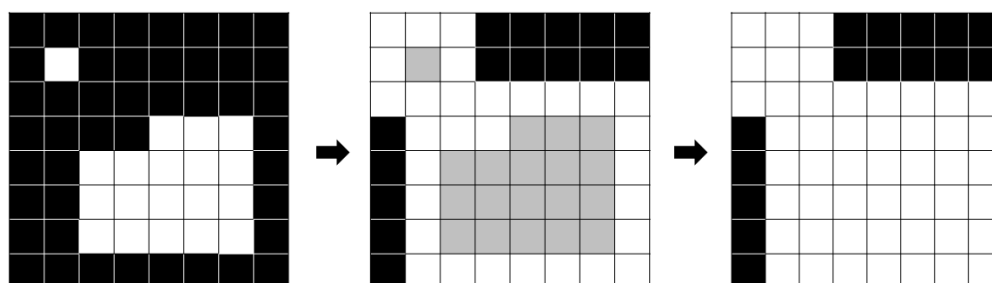


図 3.5: 膨張処理のイメージ

次に、収縮処理とは、画像中の指定個所を細くするような処理のことである。例えば、白色の箇所に対して収縮処理を行う場合、対象とする構造要素 (カーネル) に対して、周囲の黒い画素に浸食されるような処理が行われる。収縮処理の処理イメージが図 3.6 である。

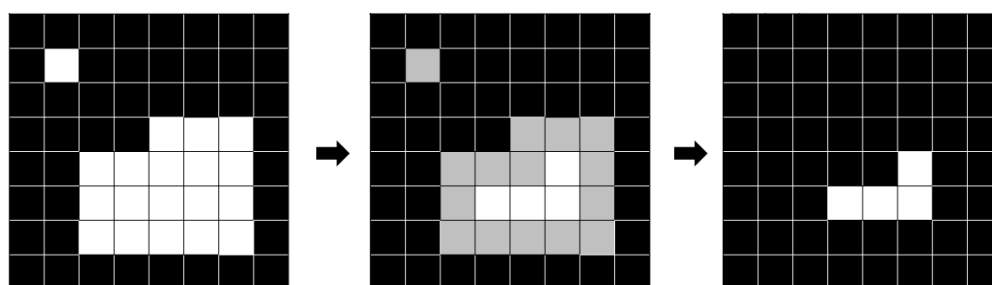


図 3.6: 収縮処理のイメージ

このように画像の形状を整えるような処理を総称してモルフォロジー処理と呼

ばれる。また、収縮の後に膨張を行う処理をオープニング (opening) 処理、膨張の後に収縮を行う処理をクロージング (closing) 処理と呼ぶ。本システムでは、ノイズ除去を目的として、クロージング処理を適用している。

3.3 読み取りアプリの開発

前述のエンコード、デコード方法を使用して、読み取りアプリの開発を行った。開発にあたり Python 製の軽量 Web フレームワークである Flask を使用し、画像保存時のデータベースとしては、SQLite を使用した。また、バックエンド側の画像処理には、OpenCV を使用した。さらに、QR コードの認識には、ZBar を Python から利用するライブラリである pyzbar を使用した。ここで、Zbar とは、バーコードや QR コードなどの 2 次元コードを読み取る為のフリーかつオープンソースで利用できるライブラリのことである。

開発したアプリにスマートフォン端末からアクセスした際の表示画面が図 3.7 である。本システムの実装はノート PC にローカルのサーバーを立てることで実装を行った。従って、スマートフォンをローカルサーバーと同一の Wi-Fi に接続するなど、同一のネットワーク内のみで動作検証が可能である。ユーザーは”ファイルを選択”ボタンからカメラによる画像撮影が可能である。次に、画面中央の各色の抽出ボタンを選択可能である。各ボタンを押すことで、抽出する色の種類を選択することが可能であり、バックエンド側での画像処理が実行される。QR コードが検出された際には、検出先の URL へ遷移される。また、QR コード不検出の場合には、画面中央にポップアップが表示される (図 3.8)。



図 3.7: 読み取りアプリの web 画面表示

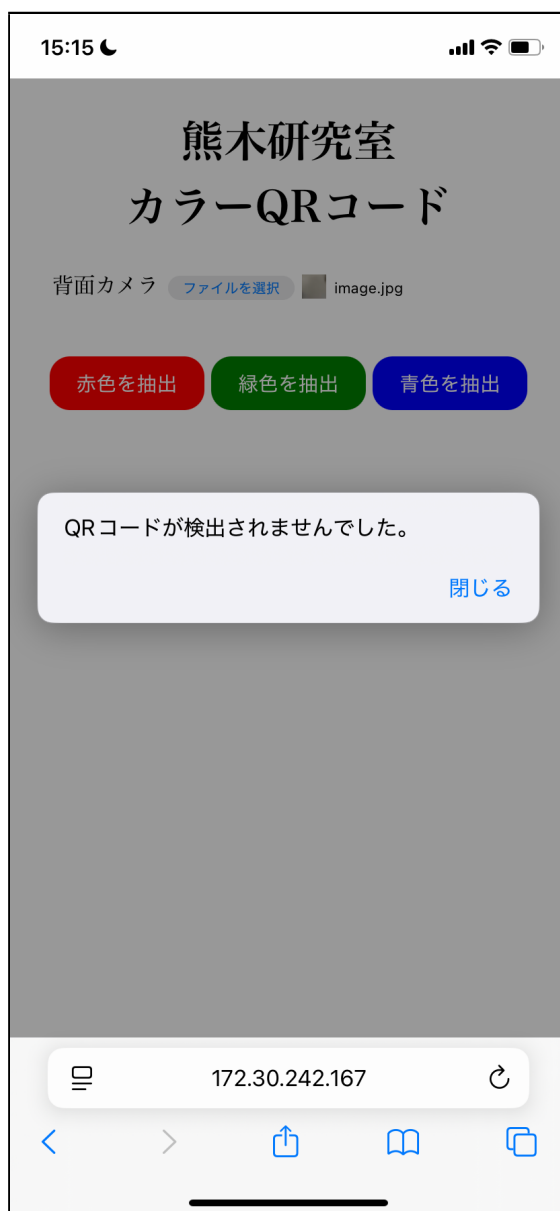


図 3.8: QR コード不検出時の web 画面表示

第4章 検出性能の比較実験

本章では，従来のモノクロ QR コードとカラー QR コードの検出率の比較実験について述べる．はじめに，4.1 節で実験手法について述べ，4.2 節で実験結果について述べる．また，4.3 節では実験に対する考察を述べる．

4.1 実験手法

実験に際して，10 種類のカラー QR コード画像を用意した．これは，カラー QR コードの種類による検出への影響を調べる為である．用意した 10 種類のカラー QR コードが図 4.1 である．

撮影距離について，20cm, 40cm, 60cm, 80cm の 4 種類の距離から撮影を行った．撮影時の実験環境を図 4.2 に示す．



図 4.1: 実験に使用したカラー QR コード画像

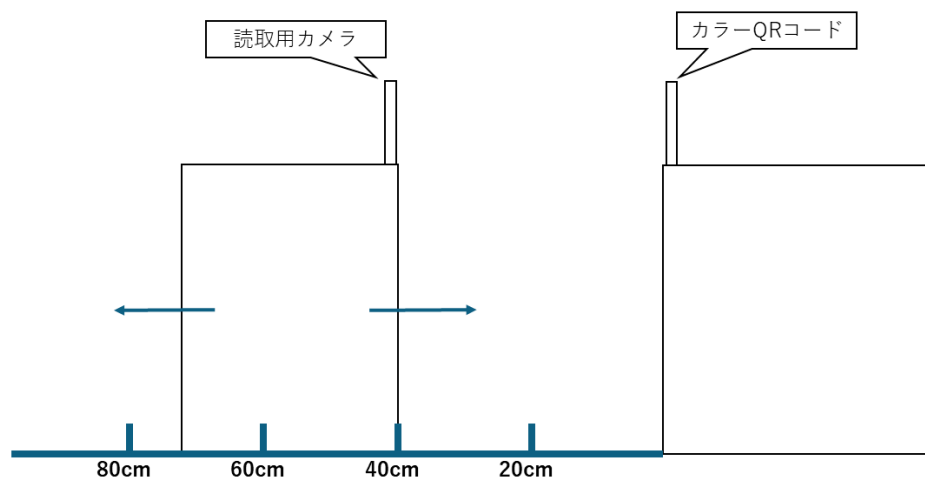


図 4.2: 実験時の画像の撮影環境

撮影した画像を以下に示す. 画像はそれぞれ, 撮影距離 20cm, 撮影距離 40cm, 撮影距離 60cm, 撮影距離 80cm を表している. また, 対照実験として, 一般の QR コードの撮影も行った.

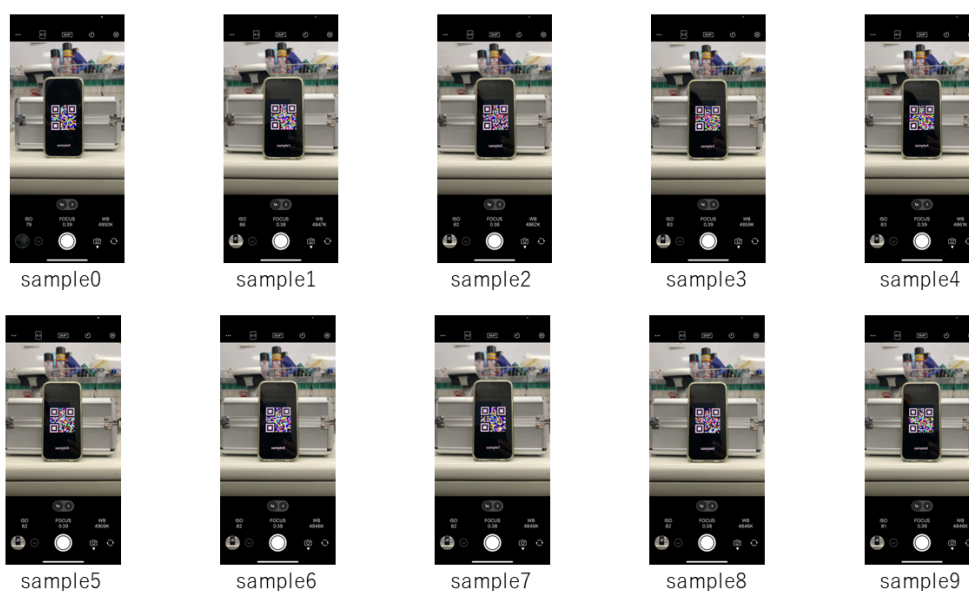


図 4.3: 20cm から撮影したときの画像

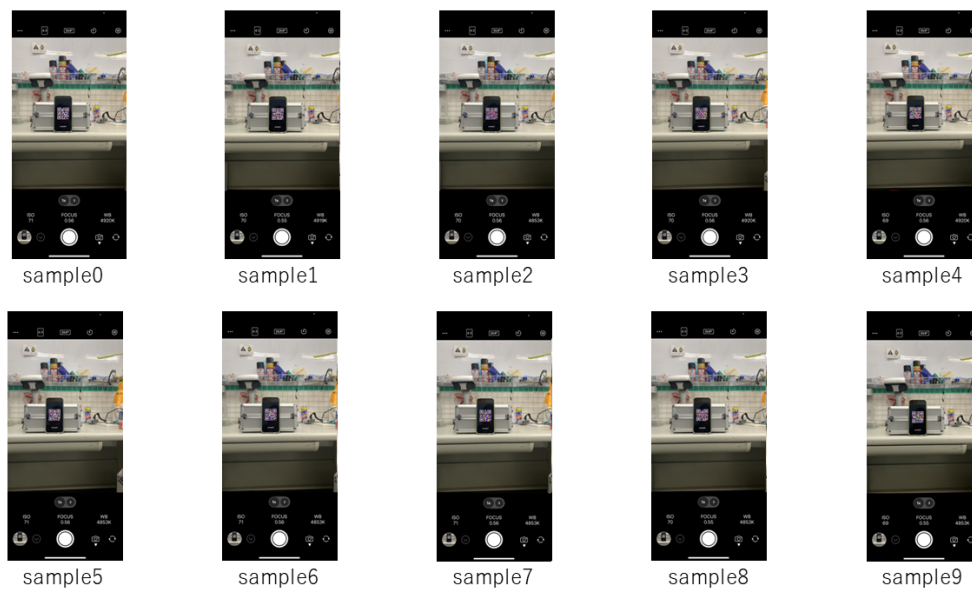


図 4.4: 40cm から撮影したときの画像

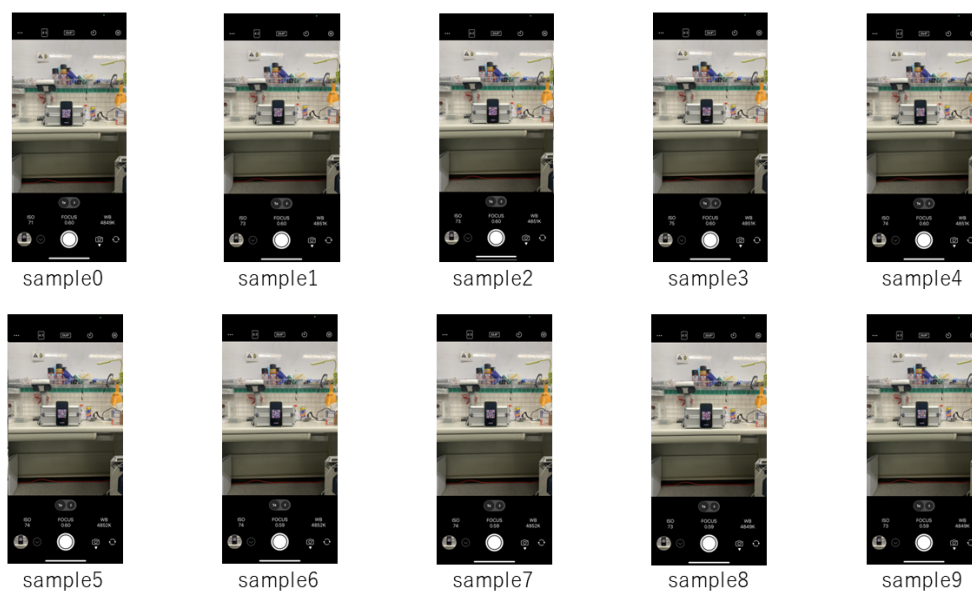


図 4.5: 60cm から撮影したときの画像

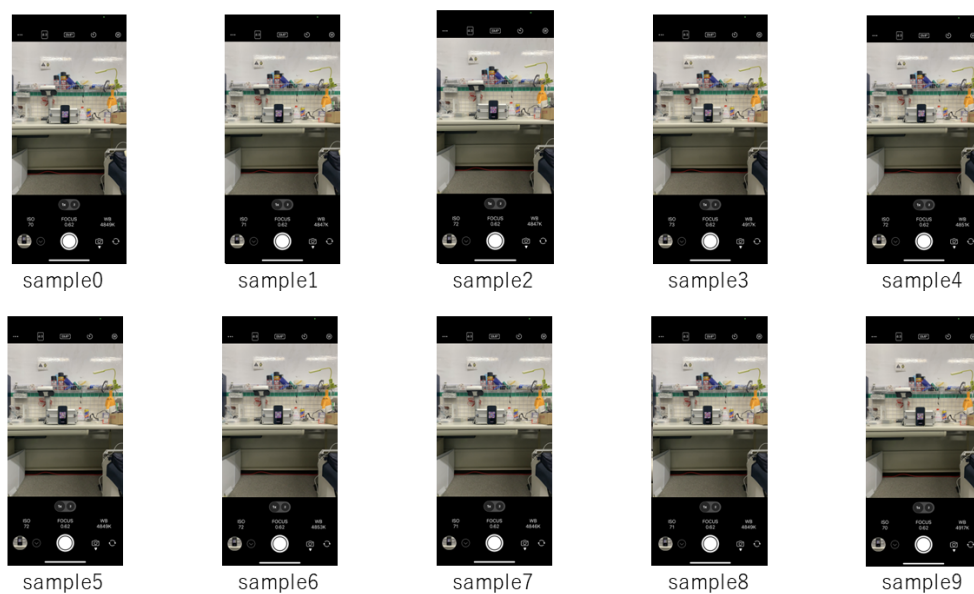


図 4.6: 80cm から撮影したときの画像

比較対象として、従来のモノクロ QR コードの撮影を行った。撮影された画像をまとめたものが図 4.7である。

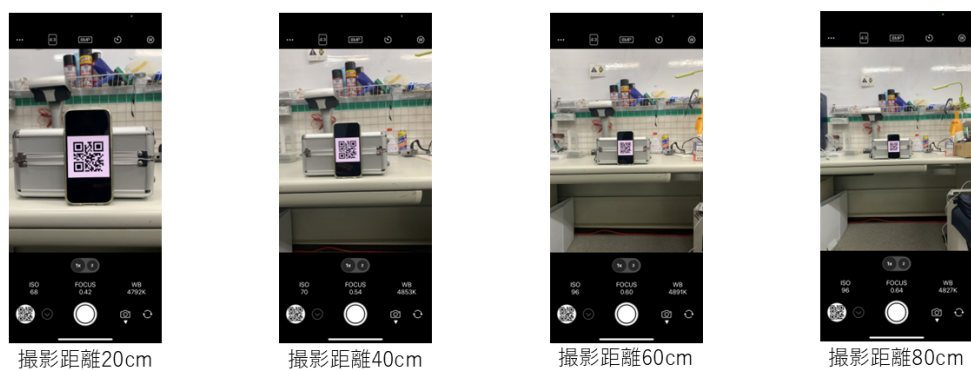


図 4.7: 比較対象とするモノクロ QR コードの画像

4.2 実験結果

はじめに，カラー QR コードに対して，色抽出処理のみを行って，その検出率の比較を行った．結果を表形式でまとめたものが表 4.1 である．

表 4.1: 色抽出処理のみを行った際の検出率の比較

	distance20cm	distance40cm	distance60cm	distance80cm
Blue	100%	20%	0%	0%
Green	100%	0%	0%	0%
Red	100%	40%	0%	0%

実験の結果を踏まえ，膨張処理を加えたうえで検出率の比較を行った．膨張処理に適用するカーネルサイズはそれぞれ， 5×5 ， 4×4 ， 3×3 ， 2×2 を使用した．各カーネルサイズでの検出率をまとめたものが表 4.2，表 4.3，表 4.4，表 4.5 である．

表 4.2: 膨張処理時にカーネルサイズ 5×5 を適用した際の検出率

	distance20cm	distance40cm	distance60cm	distance80cm
Blue	100%	0%	0%	0%
Green	100%	0%	0%	0%
Red	100%	0%	0%	0%

表 4.3: 膨張処理時にカーネルサイズ 4×4 を適用した際の検出率

	distance20cm	distance40cm	distance60cm	distance80cm
Blue	100%	0%	0%	0%
Green	100%	0%	0%	0%
Red	100%	0%	0%	0%

表 4.4: 膨張処理時にカーネルサイズ 3×3 を適用した際の検出率

	distance20cm	distance40cm	distance60cm	distance80cm
Blue	100%	20%	0%	0%
Green	100%	0%	0%	0%
Red	100%	40%	0%	0%

表 4.5: 膨張処理時にカーネルサイズ 2×2 を適用した際の検出率

	distance20cm	distance40cm	distance60cm	distance80cm
Blue	100%	20%	0%	0%
Green	100%	0%	0%	0%
Red	100%	40%	0%	0%

4.3 考察

実験の結果として、膨張処理の追加による検出率の向上は見られなかった。これは、画像処理の対象となる QR コード部分の解像度の低さが問題であると考えられる。膨張処理前の画像と膨張処理後の画像は下図のとおりである (図??), (図??).

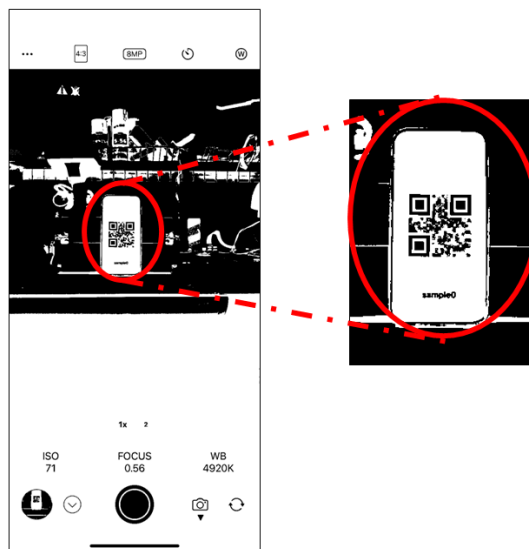


図 4.8: 膨張処理前の画像

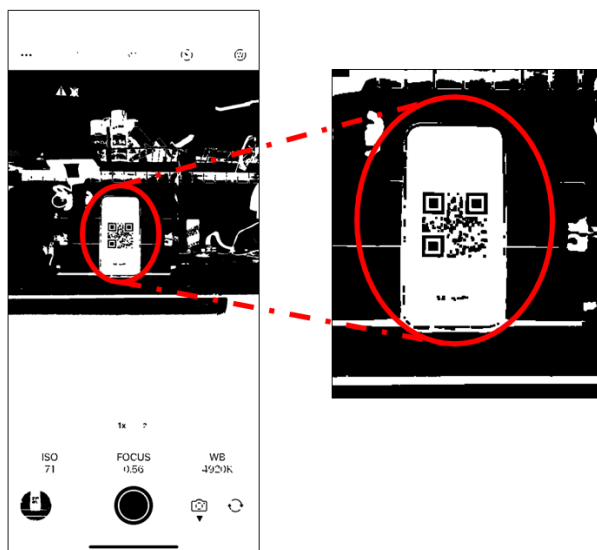


図 4.9: 膨張処理後の画像

第5章 カラーQRコードを用いたAIイラストの生成

本章では、イラストに見える QR コード画像について触れ、その技術の根幹を支えるイラスト生成 AI の原理について述べる。また、カラー QR コードを使用した類似画像の生成手法について検討を行った。

5.1 イラストに見える QR コード

近年、イラスト生成 AI 技術が急速に発展している。FORTUNE BUSINESS INSIGHTS の生成 AI 市場分析によると、世界の生成 AI 市場規模は 2023 年に 438 億 7,000 万米ドルと評価されていると述べている。また、この市場規模は年々増加し、年平均成長率は 39.6%にまでのぼると推定している (図 5.1)。

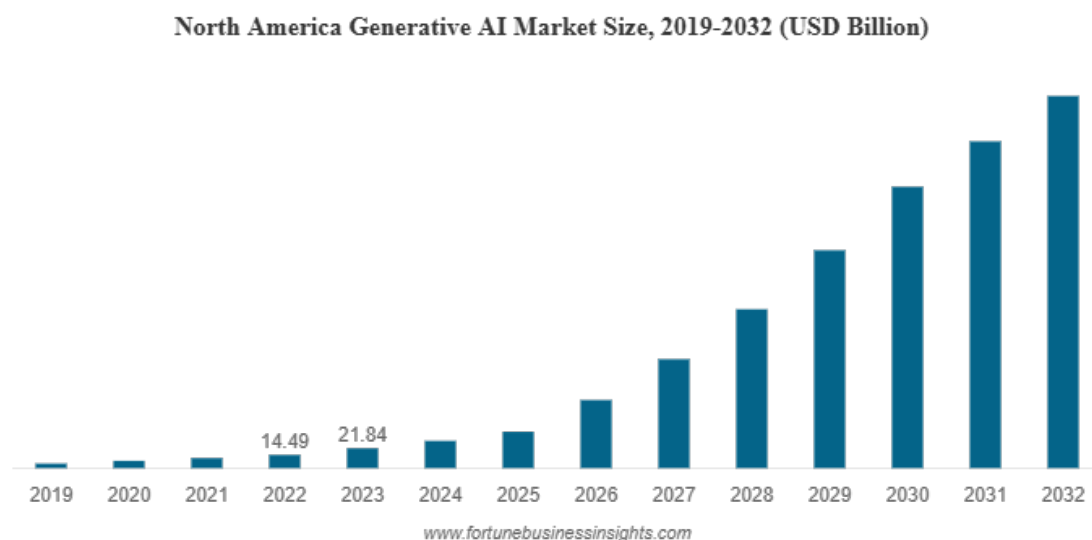


図 5.1: 膨張処理前の画像

⁰Fortune Business Insights — 生成 AI 市場規模、シェア&業界分析、モデル別（生成官民ネットワークまたは GANS および変圧器ベースのモデル）、業界対アプリケーション、地域予測、2024-2032 別 —SS より引用

5.2 イラスト生成 AI の原理

5.3 使用したソフトとモデル

5.4 実験結果

5.5 考察

第6章 結論

本章では，本研究のまとめと今後の展望について述べる

6.1 まとめ

6.2 今後の展望

関連図書

[1] “総務省 令和4年版 情報通信白書.” <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja>

付録

クロスフリッカ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 Kiriara, Yuki Hirota, Xiangbo Kong and Takeshi Kumaki, "Development of invisible information lighting display "Stego-panel IV"," IEEE Grobal Conference on Consumer Electronics (GCCE), Excellent Demo! award, Gold prize, Oct., 2021.