

## 撮影環境によって読み取り情報が変わる QR コード QR Codes That Decode Two Types of Information Depending on Lighting Conditions

廣友 雅徳\* 池田 奈々子\* 瀧田 慎† 白石 善明†  
Masanori Hiroto\* Nanako Ikeda Makoto Takita Yoshiaki Shiraiishi

### 1 はじめに

QR コードは 1994 年に株式会社デンソーの開発部門 (現在は分離し株式会社デンソーウェーブ) によって開発された 2 次元コードである [1]. 今日では, スマートフォンの普及に伴い, ライブや飛行機などの電子チケットやキャッシュレス決済, Web ページへのアクセスなど, 様々な用途で利用されている. 経済産業省が報告しているコード決済の年別決済額 [4] によると, 2018 年は 0.2 兆円であったが, 2024 年には 13.5 兆円と 6 年間で 60 倍以上になっており, 多くの人々に利用されていることが分かる. その一方で, 悪意のあるものが作成した偽装 QR コードを読み取らせ, フィッシングサイトへ誘導させたり不正な取引を行わせたりすることが問題となっている [5].

一般的な QR コードを悪用した不正サイトへの誘導では, 正規の QR コードの上に誘導用の QR コードを貼ることで QR コードを偽装する [6]. QR コードは人の視覚のみで内容を読み解くことは不可能であり, 読み取る前に QR コードの偽装に気づくことが難しいことが被害の原因となっている. 一方, 文献 [7] では, 悪意ある QR コードの存在性の調査として, 2 つの情報を出力する偽装 QR コードが提案されている. この偽装 QR コードでは, 正規の QR コードに小さな差異を加えることで, 誤り訂正符号の性質を用いて, 確率的に異なる 2 つの情報を出力できることを示している. 正規の QR コードと差異が小さいため, また, 確率的に読み取り結果が変わるため, QR コードの偽装を検出することが難しい. また, 文献 [9] では, 不可視光レーザ照射を利用した動的偽装 QR コードが提案されている. これはレーザ照射によって意図したタイミングで QR コードに変化を与え, 動的に QR コードの読み取り結果が変えられることを示している. QR コードの悪用を防ぎ安全に利用するためには, まずどのような偽装 QR コードが存在するか網羅的に把握しておく必要がある.

本稿では, 撮影環境によって読み取り情報が変わる QR コードの構成法を提案する. 提案する QR コードでは, 屋外日光下と室内照明下のような撮影環境の違いによって読み取り結果が変わり, 異なる 2 つの情報を出力することを可能にしている. 提案手法は, 文献 [9] のような能動的な QR コードの変更ではなく, 撮影環境という受動的な変化によって QR コードの読み取り結果が変わるところに特徴を持つ. また, 文献 [7] の手法が確率的に読み取り結果を変化させることにに対し, 提案手法は撮影環境という条件によって QR コードの読み取り結果が変わる点が異なる. カメラによる撮影において光の影

\* 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga University

† 神戸大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kobe University

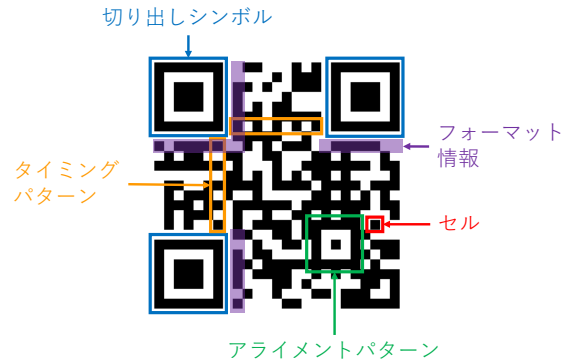


図1 QR コードの構造 (モデル 2 の場合)

響が撮影画像に変化を与える特徴を利用し, 撮影環境によって QR コードの読み取り情報を制御する点が提案手法の新規点である. このような QR コードが構成可能であることを示し, 社会的効果としてその脅威を認知してもらうことを目的にしている. さらに本稿では, その QR コードによる脅威への対策についても述べる.

### 2 QR コード

#### 2.1 QR コードの構造

QR コードはデンソーによって開発されたマトリック型二次元コードである. QR コードの構造は図 1 のようになっている [2][3]. セルは白色または黒色の正方形の QR コードを生成する最小単位である. 切り出しシンボルは別名ファインダパターンといい, QR コードの 3 コーナーに配置されている位置検出用パターンのことである. これによって QR コードの位置を認識することができ, どのような角度からでも高速に読み取ることができる. アライメントパターンはカメラを斜めにかざした場合にシンボルの歪みによって各セルに生じる位置や形状のずれの補正に用いられる. タイミングパターンには黒いセルと白いセルが交互に配置されており, 各セルの中心の座標を補正を行う. データ領域はモード識別子, 文字数指示子, データ, 終端パターン, 埋め草ビット, 埋め草ワードで構成されており, すべて 0, 1 のビット列に変換される. モード識別子には数字モード, 英数字モード, 8bit モード, 漢字モードの 4 種類があり, 格納する内容によって選択する. 文字数指示子はその名の通り, 格納する情報の文字数を二進数で表現したものである. 終端パターンはデータの終わりを示す「0000」のビット列である. 埋め草ビットはデータ領域全体の 0 ビット数が 8 の倍数になるように「0」を付加したものである. 埋め草コードは情報コードが QR コードの格納容量に満たない場合に付与される決まったパターンである.

QR コードは図 2 のように右下から左に向かって蛇行してデータ領域が格納され, その後に誤り訂正符号

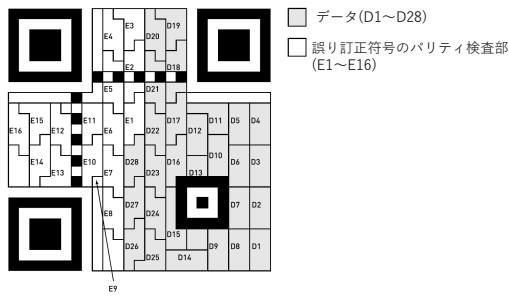


図2 データと誤り訂正符号のパリティ検査部の配置 (モデル2、バージョン2、誤り訂正レベルMの場合)

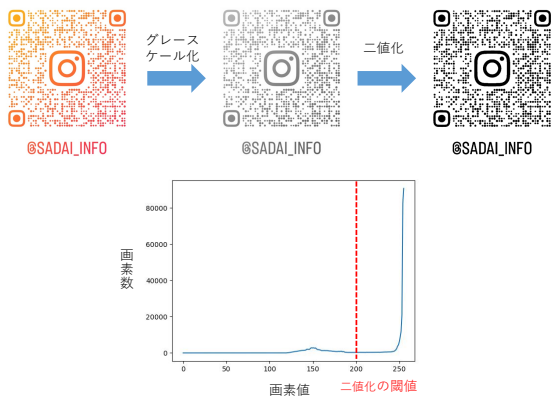


図3 QRコードの二値化

のパリティ検査部が格納される。誤り訂正符号には Reed-Solomon 符号が用いられており、QRコードの一部が損傷した場合でもデータを損失することなく復元できる。誤り訂正レベルはL:7%, M:15%, Q:25%, H:30%の4段階がある。誤り訂正レベルを上げるほど誤り訂正能力は高くなるが、その分誤り訂正に必要なパリティ検査部が増加するため、格納できるデータの容量が少なくなる。

QRコードにはモデル1、モデル2、マイクロQRの3種類がある。一般的に利用されているモデル2のQRコードはバージョン1(21×21セル)からバージョン40(177×177セル)まであり、バージョンを上げるほど格納できる情報が多くなる。最大でバイナリでは2953バイト、数字で7089字、英数字で4296字、漢字で1817字まで格納できる。また、QRコードの読み取りを正確に行うためには白黒のセルが均一に配置する必要がある。そのため、データや誤り訂正符号を格納した後必ずマスク処理が行われている。マスクパターンは8種類あり、適用対象の領域において白黒が反転されることで、セルの分布が最適化される。

## 2.2 QRコードの判定の仕方

QRコードの読み取りでは、まず撮影された画像をグレースケール化し、その後二値化することでQRコードの形状を鮮明にして白黒画像として読み取っている。図3は佐賀大学のインスタグラムのQRコードを読み取った場合の例である。グレースケール化したQRコードの下の部分と左上の部分と比較すると下の部分より左上の方が薄くなっていることが分かる。しかし、二値化の閾

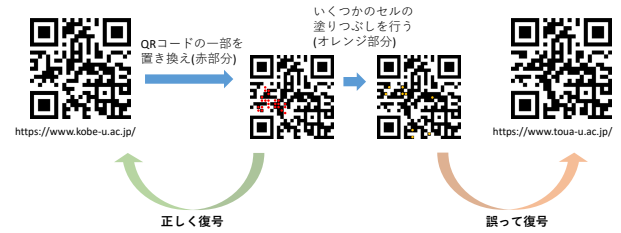


図4 偽装QRコードの構成例

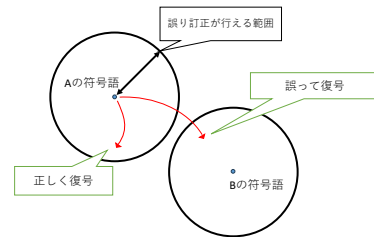


図5 誤り訂正を利用した偽装QRコードの原理

値よりも左側にあるため黒に判定される。

## 3 偽装QRコード

文献[7]では、2つの情報を出力する偽装QRコードが提案されている。この偽装QRコードでは、正規のQRコードに小さな差異を加えることで、誤り訂正符号の性質を用いて、確率的に異なる2つの情報を出力できることを示している。三井らによって提案された方法では二つ目の手法を利用し、また、文献[8]では、図4のような偽装QRコードの構成方法が示されている。情報Aと似た情報Bの符号化領域は似たようなものとなることが多い。また、誤り訂正機能は汚れやシミなどが付着した場合に正確に読み取るためのものであるため、一部のデータ変更しても読み取り情報は維持される。これらを悪用し、情報Aと似た情報Bを作り出し、Aのデータの一部分を置き換えることで2つのQRコードの中間の情報を作り出しQRコードを生成する。こうすることで図5のように、いくつかのセルの塗りつぶしを行うとAではなくBの読み取り情報になり、外見に大幅な変化を加えず、QRコードに埋め込まれた情報を変更できる。

## 4 撮影環境によって読み取り情報が変わるQRコード

### 4.1 色の反射率とQRコードの読み取りへの影響

物体の色は物体に当たり反射する光の波長に依存する。特定の波長の光を物体が吸収し、吸収されなかった波長の光が反射されることで、その物体の色が決まる[10]。全ての波長で反射率が100%に近づけば物体は白く見え、全ての波長で反射率が0%に近づけば物体は黒く見える。また、色の中でも黄色は低波長では黒と同じく反射率が低く、高波長では白と同じくらい反射率が高い。

さらに、どのような波長の光がどのような強さで含まれているか、その割合は光源によって異なる[11]。照明は低波長と中波長の光を多く含んでおり、高波長はあまり含まれていない。それに対し、日光は全ての波長の光を多く含んでいる。そのため、黄色に光を当てたとき照

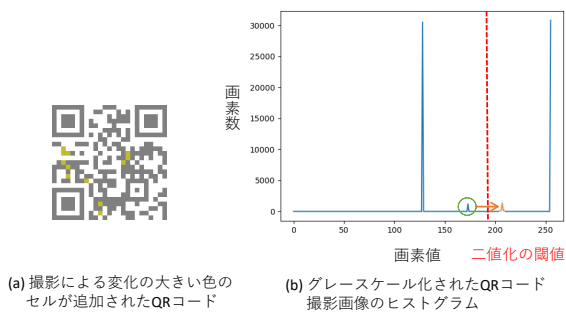


図6 環境による影響が大きい色の照明下と日光下のグレースケール値の変化イメージ

明下ではあまり反射せず、日光下では反射し、二つの環境下で黄色のグレースケール値が変化すると考えられる。この性質に着目し、白黒のQRコードに黄色のような環境による変化の大きい色のセルを追加すれば、QRコードの判定の仕方に基づき図6のようにその色が二値化の閾値を超えることで、同一のセルで白色または黒色の判定が変化することが可能となる。本稿ではこのような特徴を利用して、撮影環境によって読み取り情報が変わるQRコードを提案する。

#### 4.2 提案手法

本節では、撮影環境によって読み取り情報が変わるQRコードの構成方法を与える。

撮影環境によって変化の大きい色が白に判定された場合に出力される情報をA、環境による変化の大きい色が黒に判定された場合に出力される情報をBとする。AとBは似た情報であると仮定する。まず、AのQRコードとBのQRコードを作成し、その差を確認する。次に、AのQRコードに対して、2つのQRコードが異なるセルのうちのいくつかを置き換える。そして、置き換えたセルのうちのいくつかを色付けし、環境による変化の大きい色が白に判定にされたらAを出力し、黒に判定されたらBを出力するようにする。ここで、環境による変化の大きい色によってQRコードの読み取り結果を変化させるためには、8種類のマスクパターンから適切なものを選択する必要がある。マスクパターンによっては同じ位置のセルであっても白色または黒色の両方になる可能性がある。

撮影環境によって読み取り情報が変わるQRコードの構成手順を以下にまとめる。

##### [提案手法]

- Step1:** 情報AのQRコードと情報BのQRコードを作成し重ね合わせる。
- Step2:** AのQRコードに対して、2つのQRコードで異なっているセルの位置の一部を、BのQRコードのセルで置き換える。(このときの読み取り結果はAを維持したものである。)
- Step3:** 一部置き換えたQRコードのいくつかのセルを黒に変えることによって、読み取り結果がBになるQRコードを探索する。
- Step4:** Step3で発見した際に黒にしたセルを環境による影響が大きい色に変える。



図7 提案手法によるQRコードの構成例

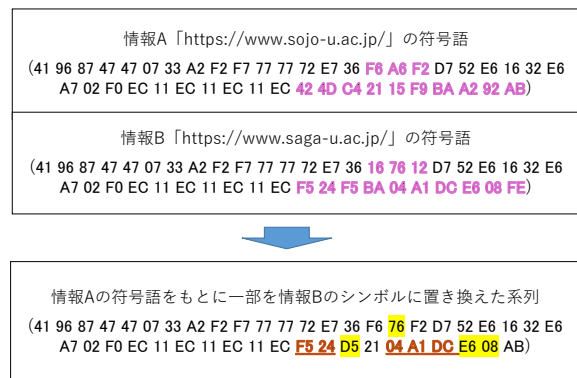


図8 QRコードに格納する系列の構成例

#### 4.3 提案手法によるQRコードの構成例

図7は提案手法に従って作成したQRコードであり、環境による影響が大きい色は黄色を採用した。この例では、黄色が白に判定された場合に出力される情報Aを「<https://www.sojou-u.ac.jp/>」、黄色が黒に判定された場合に出力される情報Bを「<https://www.saga-u.ac.jp/>」とした。また、QRコードはバージョン2、誤り訂正レベルLのものを利用した。図7のStep1では、情報AのQRコードと情報BのQRコードを重ね合わせており、紫色は情報AのQRコードを、灰色は情報BのQRコードを示している。このように違う色で重ね合わせることでどのセルが異なっているかが一目で分かる。

図8は2つのQRコードの符号語を16進数で表したものである。桃色の部分は2つのQRコードの異なる部分であり、図2におけるD16-D18、E7-E16の位置の合計13シンボルが異なっている。この桃色の部分が少ないほど置き換えるシンボルを少なくして読み取り情報が変わりやすくなる。また、異なるシンボル数は同じであってもマスクパターンによっては、1シンボルの異なる部分が図7のStep1のQRコードのように、紫色と灰色のセルで構成されていたり、紫色のセルのみで構成されていたり、灰色のセルのみで構成されていたりする。紫色のセルのみで構成されるシンボルは最後の工程におい

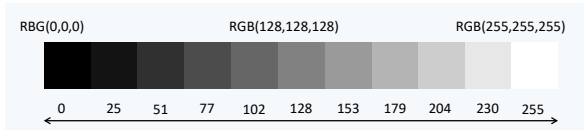


図 9 黒セルの色と RGB 値

表 1 使用した機材

プリンタ	brother DCP-J981N
撮影端末	iPhone13
コピー用紙	PPC-NBA4
撮影ライト	amaran 200d S
室内照明	FL20SS・ENW/18H

て、その部分を黄色にするだけでシンボルの置き換えができるため重要となる。そのため、マスクパターンをすべて試した上で 1 シンボルの異なる部分が紫色のセルのみで構成されたシンボルが多いものを選ぶ必要がある。今回は、情報 A の符号語に対して、そのシンボルの一部を情報 B の符号語のシンボルに置き換えた。置き換えたシンボルは図 7 と図 8 の橙色部分であり、それは E7, E8, E11, E12, E13 の位置である。その後、図 8 における黄色部分に対応する D17, E9, E14, E15 の位置のセルを黄色に変更した。

## 5 実験

### 5.1 実験目的

本実験では、提案手法で構成した QR コードが撮影環境によって読み取り結果がどの程度変化するか確認する。なお、QR コードの黒セルをそのまま用いると読み取り結果の変化が起こり難いため、黒セルと白セルの明暗の差を近づけて、黄色セルが撮影環境によって白または黒のどちらに判定されるか変化が起こりやすくした。黒セルに用いる色とその RGB 値は図 9 のようになる。さらに、環境による影響を受けやすい色としていくつかの黄色を候補とし、読み取り結果の差を比較する。

### 5.2 実験方法

4.3 節で構成した QR コードを用いる。環境による影響を受けやすい黄色セルとしては RGB 値が (255,200,0), (230,255,0), (191,189,47) の 3 種類を用いる。また、QR コードの黒セルの RGB 値は (102,102,102), RGB(128,128,128), RGB(153,153,153) と 3 つを用いる。図 10 は本実験で使用した QR コードである。

4.3 節の QR コードは、4.1 節で述べたように、日光下と照明下で読み取り情報が変わることを中心に構成したが、今回の実験では、QR コード撮影時の照明の条件を固定させるため、日光の代わりに撮影ライトの照射によって撮影環境を明るくし、撮影ライト下と室内照明下での撮影環境による QR コードの読み取り結果を比較する。照明ライトの照射出力は 10% とした。使用した機材は表 1 の通りである。表 1 のプリンタで用紙に図 10 の QR コードを印刷した後、それぞれの QR コードを撮影ライト下と室内照明下で 10 回ずつ撮影を行う。そして、撮影端末から読み取り情報の確認と二値化された QR コードの状態確認を行い精度の検証を行う。図 11 は読み取り結果の変化の理想である。

### 5.3 実験結果

実験結果は表 2 にまとめている。表 2 の「sojo」は情報 A 「<https://www.sojo-u.ac.jp/>」を出力した場合を、「saga」は情報 B 「<https://www.saga-u.ac.jp/>」を出力した場合を表している。

表 2(a) から分かるように、黄色セルが RGB(255,200,0) の QR コードでは、黒色セルが RGB(102,102,102),(128,128,128) のとき室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果に変化があった。しかし、黒セルが RGB(153,153,153) のときは室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果がすべて「<https://www.saga-u.ac.jp/>」になり変化がなかった。

また、表 2(b) から分かるように、黄色セルが RGB(230,255,0) の QR コードの場合でも、黒セルが RGB(102,102,102),(128,128,128) のとき室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果に変化があった。特に黒セルが RGB(128,128,128) のとき室内照明下で「<https://www.saga-u.ac.jp/>」、撮影ライト下で「<https://www.sojo-u.ac.jp/>」と判定されており理想的な結果となった。一方、黒セルが RGB(153,153,153) のときは室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果がすべて「<https://www.saga-u.ac.jp/>」となり変化がなかった。

黄色セルが RGB(191,189,47) の QR コードに関しても、他 2 色と同様、表 2(c) のように黒セルが RGB(102,102,102),(128,128,128) のとき室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果に変化があった。しかし、黒セルが RGB(153,153,153) のときは室内照明下と撮影ライト下の読み取り結果がすべて「<https://www.saga-u.ac.jp/>」となり変化がなかった。

以上の結果より、黒セルに RGB(128,128,128) を、黄色セルに RGB(230,255,0) または RGB(191,189,47) を使った QR コードによって、通常の室内照明下では「<https://www.saga-u.ac.jp/>」を出力し、光の強い撮影ライト下では「<https://www.sojo-u.ac.jp/>」を出力する意図した現象を起こせることが確認できた。

さらに、撮影画像から二値化され得られた QR コードを確認した。「<https://www.sojo-u.ac.jp/>」と判定されたとき黄色セルはすべて白に判定されていた。図 12 はその一例である。室内照明下と撮影ライト下で読み取り結果が同じになった黒セルが RGB(153,153,153) の QR コードに関しては、黄色セルが室内照明下の時点で RGB(153,153,153) にかかなり近いグレースケール値になっていたため、黄色セルが常に黒に判定されたと考えられる。

## 6 提案手法で構成された QR コードによる脅威への対策

提案手法で構成された QR コードは図 10 のようにセルの一部が環境による影響を受けやすい色になっているため、目視で QR コードの偽装に気付くことができる。よって、そのような QR コードを読み取ることに注意すれば対策を取ることができる。一方で、図 3 に示したインスタグラムなどで使われているような黒以外の色の QR コードでは、環境による影響を受けやすい色のセルが含まれていることに気付くことは難しい。よって、そのような QR コードを読み取る場合には、提案手法に

		黒セル		
		RGB(102,102,102)	RGB(128,128,128)	RGB(153,153,153)
黄色セル	RGB(255,200,0)			
	RGB(230,255,0)			
	RGB(191,189,47)			

図10 実験で使用したQRコード



図11 読み取り結果の変化の理想

図12 撮影画像から二値化され得られたQRコードの状態

よる偽装に注意しなければならない。黒以外の色のQRコードにおいて、提案手法を用いて読み取り情報を変えられるかの検証は今後の課題とする。

また、提案手法は屋外日光下と室内照明下のような撮影環境の違い、すなわち、撮影時の光の強さの違いによってQRコードの撮影画像に変化が生じる特徴を利用している。よって、極端に光が強い環境でQRコードを撮影することを避ける、あるいは、QRコード撮影時に手などで影を作ってその下でQRコードを撮影するような対策で、読み取り情報の変化を防ぐことも可能である。

## 7 まとめ

本稿では、撮影環境によって読み取り情報が変わるQRコードを提案し、その特性を検証した。具体的には、「<https://www.sojo-u.ac.jp/>」と「<https://www.saga-u.ac.jp/>」の2種類の異なる情報をもつQRコードを作成し、実験を通じてその動作を確認した。さらに、撮影条件の変化がQRコードの読み取り結果や黄色のセルの認識に与える

影響を分析した。その結果、室内照明下と照明ライト下でQRコードの読み取り情報が変化することを確認し、環境要因がQRコードの読み取りに影響を与えることを示した。

課題として、実験した色の種類やQRコードの黒色部分のRGB値のパターンが少ない点やが挙げられる。よって今後の展望として、色の種類やQRコードの黒色部分のRGB値のパターンを増やし、より詳細な実験データを取ることが挙げられる。また、今回は黄色と黒のみのQRコードで行ったが他の色の組み合わせでもできるかどうかの検証なども行っていく予定である。特にインスタグラムなどで使われるような黒以外の色のQRコードでの検証ができればその危険性を明示することができる。

表 2 提案手法で構成した QR コードの読み取り結果

(a) 黄色セルが RGB(255,200,0) である場合

黒セル	RGB(102,102,102)		RGB(128,128,128)		RGB(153,153,153)	
撮影環境	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下
sojo	50%	80%	0%	30%	0%	0%
saga	50%	20%	100%	70%	100%	100%

(b) 黄色セルが RGB(230,255,0) である場合

黒セル	RGB(102,102,102)		RGB(128,128,128)		RGB(153,153,153)	
撮影環境	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下
sojo	60%	100%	0%	100%	0%	0%
saga	40%	0%	100%	0%	100%	100%

(c) 黄色セルが RGB(191,189,47) である場合

黒セル	RGB(102,102,102)		RGB(128,128,128)		RGB(153,153,153)	
撮影環境	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下	室内照明下	撮影ライト下
sojo	30%	100%	0%	70%	0%	0%
saga	70%	0%	100%	30%	100%	100%

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K17852 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 日本工業規格, “JIS, X0510, 二次元コードシンボル—QR コード—基本仕様,” 2004 年.
- [2] キーエンス, よくわかる 2 次元コードの基本 vol.1 2 次元コードの種類, [https://www.keyence.co.jp/ss/products/autoid/codereader/basic2d\\_qr.jsp](https://www.keyence.co.jp/ss/products/autoid/codereader/basic2d_qr.jsp).
- [3] “独極 QR コードを極める,” <http://ik1-316-18424.vs.sakura.ne.jp/category/QRCode/index.html>.
- [4] 経済産業省, “2024 年のキャッシュレス決済比率を算出しました,” <https://www.meti.go.jp/press/2024/03/20250331005/20250331005.html>.
- [5] サイバーセキュリティ.com, “QR コードのセキュリティ対策 偽装 QR コードの仕組みや被害事例について徹底解説,” <https://cybersecurity-jp.com/column/30940>
- [6] “QR コード決済窃盗に登場した第 3 の手口。バーコードがセキュリティホールに,” 中華 IT 最新事情, <https://tamakino.hatenablog.com/entry/2019/11/29/080000>.
- [7] 瀧田慎, 大熊浩也, 森井昌克, “二つの情報を出力する QR コードの構成—悪性サイトに誘導する QR コードの存在とその脅威—,” 信学論, vol.J103-D, no.4, pp.291-300, April 2020.
- [8] 三井陸豊, 白石善明, 森井昌克, “モジュールの塗りつぶしによるホログラム QR コードの拡張—QR コードを利用したフィッシングサイトへの誘導方法も含めて—,” 信学技報, LOIS2024-1, July 2024.
- [9] 鎌田悠希, 川口宗也, 大東俊博, 高山佳久, “不可視光レーザー照射を利用した動的偽装 QR コード,” 信学技報, ICSS2022-49, March 2023.
- [10] FriP Firm Station, “色の講義ノート,” [http://www.fripfirm.jp/color/hansha\\_kyuushuu.html](http://www.fripfirm.jp/color/hansha_kyuushuu.html).
- [11] プラスカラーズ, “分光分布とは? 光を波長ごとに分けグラフで表したものを,” [https://pluscolors.net/color\\_knowledge/separate/](https://pluscolors.net/color_knowledge/separate/).