

## 秘匿領域を有する多値セル構造の二次元コードの互換性と識別性の スマートフォン実装による評価

寺浦信之† 櫻井幸一‡

†テララコード研究所

477-0032 愛知県東海市加木屋町郷中53-25

TerraNob@terrara.jp

‡九州大学 大学院システム科学研究所

819-0395 福岡県西区元岡744番地

Sakurai@itslab.csce.kyushu-u.ac.jp

**あらまし** 現在普及している二次元コードは、その構成要素であるセルを白と黒の二つの色を用いており、セルは白か黒かの1ビットを表現し、秘匿性はない。しかし、用途によって秘匿性が必要とされる場合がある。そこで、従来機器で読取れる既存部に加えて、復号キを知らなければ読取れない秘匿部を追加し、互換性と秘匿性を有する二次元コードを実現する。秘匿部を付加するためにセルを多ビット化する必要がある。多ビット化には、多色化と多領域化を用いる。提案する多値化セルの二次元コードについて、スマートフォンを用いて、互換性と付加した秘匿部の読取検証を実施し、実用性を有することを確認した。

### **Evaluation of identity and compatibility of the two-dimensional code of multi-value cell structure having a concealed area by smartphone**

Nobuyuki Teraura† Kouichi Sakurai‡

†Terrara Code Research Institute

53-26 Gochu Kagiya-cho Tokai-city, 477-0032, JAPAN

‡Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

744 Motooka Nishi-ku Fukuoka, 819-0395, JAPAN

**Abstract** At the two dimensional code which has spread now, white and two black colors are used for the cell which is the element, a bit is expressed, and there is no confidentiality. However, a confidentiality may be needed by the use. Then, in addition to the existing part, a secrecy part is added and the two dimensional code which has a compatibility and a confidentiality is realized. In order to add a secrecy part, it is necessary to form a cell into many bits. A multicolor method is used for many bits. Using the smart phone, the read verification of the existing part and a secrecy part was carried out, and it checked having practicality.

## 1. はじめに

秘匿領域を有し、既存の二次元コードと互換性のある多値のセルを用いた二次元コードについて、スマートフォンを用いて既存部の読取り互換性を検証し、秘匿部の読取性を検証し、実用性を確認した。

### 1.1 背景

現在用いられている二次元コード[1][2]は、誰でもが読取り装置を用いて読取ることが可能である。携帯電話に読取り機能が具備されて以来、読取り装置も普及し、文字通り誰でもが二次元コードの内容を知ることが可能となった。

### 1.2 動機

WEB誘導の事例のように、すべての人への情報提供を目的とした応用だけでなく、特定の人だけに情報を提供するニーズも存在する。そこで、秘匿性のある二次元コードを開発するために、セルの多値化を検討する。

また、互換性により、既存領域のデータを既存機器を使用するユーザーに提供可能となり、提案するコードの初期導入や普及が容易となる。

### 1.3 既存の研究

収容データの大容量化を目的とし、セルを多値化する為の手段として多色化があり、多くの色の識別を目指す研究[3-6]がなされている。[3][4]は色の識別手法として識別対象となる標準色をコード内に保持し、識別対象と標準色を比較することで識別を行っている。[4][5]は、退色後の色空間で相互距離の最大化などを行い、識別対象間の比較で色を識別している。また、カラー化や電子透かしによってセキュリティ性の向上を目指す研究[7][8]もなされている。

一方、現在の白黒の二次元コードとの互換性を考慮したカラー二次元コードの研究は見られない。白黒の二次元コードでは、秘匿性と互換性を考慮した事例[9]が見られる。また、セルの微細化による大容量化の研究[10]がある。

我々は、互換性と秘匿化のための大容量化を実現する手法として、多色化手法[11]、多領域化手法[12]及びその両方を用いた手法[13]を提案し

た。また、秘匿領域を創出するためのパターンマスキング暗号化手法[14]を提案した。

### 1.4 課題

多値化二次元コードでは、スマートフォンを用いたアプリケーションを想定している。そこで、実際にスマートフォンで読取ったときの互換性と識別性について検証する。

## 2. セルの構造

既存の二次元コードとの互換性を維持しつつ、秘匿領域を追加するために、二次元コードの基本単位であるセルの多値化を行う必要がある。多値化の手法として、多色化と多領域化が知られている。多領域化は、セルを複数の領域に分割し、それぞれに独立した情報を与える方式である。ここでは、互換性と秘匿化のための大容量化のために、多色化と多領域化を併用する。そして、二次元コードとして、QRコード[1]を対象とする。この事例を図1左側に示す。QRコードのセルが白または黒の1ビットを表現しているが、それを多値化するために、図1右側に示すセルの構造を採用する。

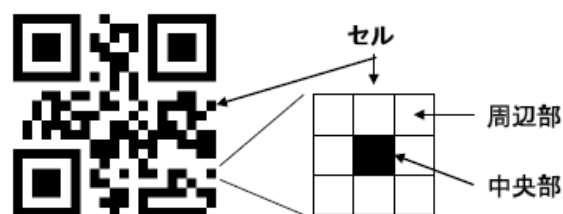


図1 QRコードとセルの分割

この構造は、セルを9個の正方形の領域に分割する。そして、中央部を互換部に、周辺部を新規の追加領域(秘匿部)に割当てる。互換部は、既存の読取装置で読取が容易になるように白色または黒色とする。周辺部は、大容量化のためにカラー色とする。

### 2.1 互換性の実現

#### 2.1.1 センター色方式

既存のスマートフォンの二次元コードの読取り

ソフトウェアは、セルの切り出し後、各セルの中央部の画素の色、すなわち白色または黒色かを判別している。そこで、互換部のデータの識別には、周辺部の寄与は小さい。

しかし、周辺部の色が、互換部と反対の色である場合には、誤って識別される可能性が高くなる[12]。すなわち、互換部が白の場合において、周辺部が黒の場合には、影響が大きくなる。これは、手振れやピントボケ、解像度不足が原因として考えられる。そこで、周辺部の色を白グループ色と黒グループ色に分類し、互換部が白色の場合には、周辺部を白グループ色を割り当て、黒色の場合には黒グループ色を割り当てる。ただし、これらのカラー色は、印刷される場合には、印刷時のインクの発色や経時劣化による変色で、白または黒グループの範囲に止まらない可能性がある。そこで、白または黒グループ色の周辺部への割り当ては、互換部の識別において、中央部の識別に与える影響を低減するための補助的な手法と言える。

## 2.2 多色化

ここでは、8色を用いた場合について述べる。

### 2.2.1 色の選択

3.2.2 節で述べるように、距離尺度としてユークリッド距離を用いる。この距離尺度では、RGB の三次元空間で相互に最も離れた色セットが識別が最も容易となる。そこで、相互に最も離れた位置は RGB 空間の立方体の端部であり、当該位置にある色を選択する。

選択した各色の RGB の具体値を表 1 に示す。表 1 に、各色の輝度を示したが、輝度(Y)と RGB 値の変換式は、ITU-R BT.601[15]で規定されている次式を用いた。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

輝度の値を基に、各色を白または黒グループに分類した

表 1 カラー8色の選択と符合化

色群	色コード	RGB			輝度	色	符号化データ
		R	G	B			
白グループ	000	255	255	255	1		00
	001	255	255	0	0.93	黄色	01
	010	0	255	255	0.79	青色	10
	011	0	255	0	0.72	緑色	11
黒グループ	100	255	0	255	0.28	洋赤色	00
	101	255	0	0	0.21	赤色	01
	110	0	0	255	0.07	藍色	10
	111	0	0	0	0	黒色	11

### 2.2.2 符号化

選択した8色について、白グループと黒グループの色はそれぞれ4色であるので、新たに2ビットを表現できる。この色コードと保持するデータの対応を示す符号化テーブルを表 1 に示す。この例では、色コード000(白)はデータ00を保持する。周辺部の8色の多色化によって、従来と同容量の既存領域と従来の2倍の容量の新規領域からなる二次元コードを表現する。

この構成は、一つのセルが3ビットを表現しているので、図 2 に示すように、白黒の既存の二次元コードが3層重なっているのと同様である。

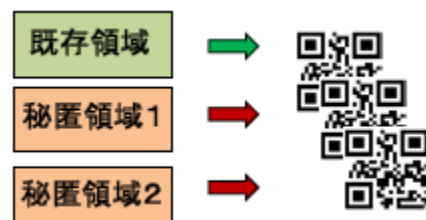


図 2 仮想的な積層構造

## 3. 色識別手法と処理ステップ

### 3.1 パレット方式

色を識別する手法としては、判別法[3][4]と比較法[5][6]がある。判別法は入力された画素の RGB 値から予め定められた色集合から特定の色を判別する手法である。それに対して、比較法は、

予め定められた色集合の色全てをコードの中の定められた領域に設定しておき、それらの色集合と識別すべき画素色と比較することにより、一番近い色を選択する手法である。

カラー色を用いた二次元コードを紙に印刷する場合には、印刷に用いるインクやトナーに依って、元の RGB 値から離れた色になったり、それらをスマートフォンで読取る場合には、用いられる撮像素子の特性によって、入力される RGB 値がさらに変化することが知られている。さらに、印刷された色が経時劣化によって、色が変わることが想定できる。

そこで、本提案では、これらの影響を回避できる比較方式を採用する。比較方式(パレット方式)は上記のインクによる発色の差異や経時劣化について、パレット色とセル色が同様に差異が発生し、経時劣化するので、それらの影響を回避可能である。

用いる色(パレット色)を二次元コードの定められた位置に收容する。図2に示すように、白及び黒グループのパレット色は、それぞれファインダーパターンの白部または黒部に配置する。その比較対象の色群をここではパレットと呼ぶ。QRコードでは、定められた位置にファインダーパターンを有しているのので、そこへパレットを收容する。また、これらのパレット色が汚れなどによって正しい色を表現できなくなる可能性があるのので、三つあるファインダーパターンのすべてにパレットを設定する。



図3 パレット色の設定

### 3.2 識別方式

各セルの色を識別する識別処理は、撮像された画像をセルレベルに切り出した後、比較対象

であるパレット色とセル色を準備するデータ抽出処理と比較処理から構成される。

#### 3.2.1 データ抽出処理

比較する対象は、パレット色とセル色である。パレット色はすべてのセルの比較に共通である。パレット色は、図4左図に示すように、パレットを構成するセルを9つの領域に分割し、さらにその中央部を9つに分割し、その中央の画素のRGB値の平均値とした。比較はセル色とパレット色の、白または黒のグループ色の4色と行う。また、パレットは各ファインダーパターンの中に3セット設定している。これを独立した色のセットとして扱い、仮想的に12色と比較し、最も距離の小さいパレット色を選択する。

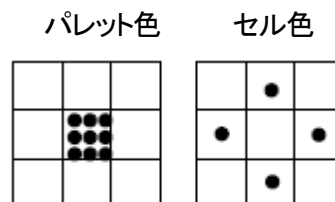


図4 パレット色とセル色のデータ抽出位置

セル色は、図4右図に示す周辺部の4個の領域の中央の画素のRGB値の平均値とした。これは撮像時の手振れやピントの不整合が発生した場合、中央部の中心の画素が、周辺のセルの影響を最も受けにくい。しかし、中央部は互換部に割当てており、比較対象として用いることができない。一方、4隅の領域の中央の画素は、上下左右の手振れ等の影響を受けやすい。それに対して、図3右図の上段と下段の中央の領域の中心点は上下の手振れ等については、4隅と同様に影響を受けるが、左右の影響は小さい。また、左列と右列の中央の領域の中心点は、同様に上下の手振れ等の影響が小さい。

#### 3.2.1 比較処理

比較処理は、データ抽出処理で作成したパレット色12色とセル色の各RGB値を比較する。パレット色のRGBデータ  $C_p$  は、

$$C_p = (R_i, G_i, B_i) \quad (2)$$

で表現できる。ここで、 $i$  は選択候補であるパレット

ト色 12 色の指標である。R<sub>i</sub>, G<sub>i</sub>, B<sub>i</sub> は各パレット色の RGB 値であり、0 から 255 の間の値をとる。

同様に、セル色の RGB データ C<sub>c</sub> は、
$$C_c = (R_c, G_c, B_c) \quad (3)$$

で表現する。i 番目のパレット色とセル色の RGB 値のユークリッド距離 D<sub>i</sub> は

$$D_i = \sqrt{(R_c - R_i)^2 + (G_c - G_i)^2 + (B_c - B_i)^2} \quad (4)$$

となる。

D<sub>i</sub> が最小値となるパレット色をセル色と同一と判定する。

### 3. 3 処理ステップ

ここで、本提案の符号化と復号の処理について述べる。検証試験に用いた二次元コードは本節の符号化処理に従って作成した。また、識別試験に用いるソフトウェアは、復号処理のステップ 1 からステップ 3 に従って作成した。

#### 3. 3. 1 符号化処理

##### ステップ 1: データの準備

既存領域に収容するデータ d<sub>0</sub> 及び秘匿領域に収容するデータを各層に分配して得た各層に収容するデータ d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> からなる収容データ D = (d<sub>0</sub>, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>) を準備する。

##### ステップ 2: 各層の白黒二次元コード化

各層の収容データ D = (d<sub>0</sub>, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>) を白黒の二次元コード化し、誤り訂正データを含めた二次元コードの白黒データ U = (u<sub>0</sub>, u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>) を得る。

##### ステップ 3: パターンマスク処理

ステップ 2 で得られた第 1, 第 2 層のデータについて、与えられた共通暗号パターンで排他的論理和演算を行い (パターンマスク処理 [14])、白黒データ U = (u<sub>0</sub>, u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>) を得る。

##### ステップ 4: 可変領域のセル色の決定

既存領域の各セルの白黒データ u<sub>0</sub> に基づき、表 1 の白グループまたは黒グループの符号化テーブルを用いて、秘匿領域の各セルの白黒データ u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub> を符号化し、可変領域 (コード語領域、管理領域) のセルの色を決定する。

##### ステップ 5: 固定領域のセル色の決定

パレット色を割り当てられたセルに設定する。それ以外のファインダーパターンなどの固定領域は黒または白に設定する。

#### 3. 3. 2 復号処理

##### ステップ 1: 画像入力, 画像抽出

撮像装置によって、二次元コードを含む画像を撮像し、二次元コードに含まれるファインダーパターンを基に二次元コードを検出し、二次元コードの画像を抽出する。

##### ステップ 2: 互換部の識別

撮像した二次元コードを白黒の二次元コードとして識別し、互換領域のセルの白か黒のデータ u<sub>0</sub> を得る。

##### ステップ 3: パレット色の抽出

ステップ 2 で切り出したセルについて、パレット色が格納されているセルから、パレット色のデータを取得する。

##### ステップ 4: 可変領域のセル色の識別

二次元コードの可変領域のセルの周辺部について、候補色との距離を計算し、1 位と 2 位の差が有意であり、距離が定められた範囲にある場合には、1 位の色を当該セルの色として選択する。

##### ステップ 5: 各層の白黒二次元コードに復号

秘匿領域について、各セルの互換部の白または黒の色に従い符号化テーブルによって復号し、二次元コードの白黒データ U = (u<sub>0</sub>, u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>) を得る。

##### ステップ 6: パターンマスク解除処理

共通暗号パターンで排他的論理和演算を行い暗号の復号をして、白黒データ U = (u<sub>0</sub>, u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>) を得る。

##### ステップ 7: 白黒二次元コードの復号

ステップ 4 で得られた二次元コードの白黒データ U = (u<sub>0</sub>, u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>) から各層の二次元コードを復号し、各層に収納されたデータ D = (d<sub>0</sub>, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>) を得る。

## 4. 互換性の検証

セルの周辺部にカラー 8 色を用いた場合について、

スマートフォンを用いて既存領域の読取りの検証を行った。その検証の条件と結果について述べる。

#### 4. 1 試験条件

##### 4.1.1 二次元コード

二次元コード及び印刷には、下記を用いた。

二次元コードの種類: QRコード  
 バージョン : バージョン 2 (25x25 セル)  
 誤り訂正 : レベルH (30%)  
 データタイプ : バイナリー  
 プリンタ : MG6230 (キャノン製)  
 印刷紙 : マット紙 (コクヨ)

検証に用いた収容データは、読取り時に確認が容易な漢字及び ASCII 文字をとした。二次元コードに収容するデータを表 2 に示す。また、それらのデータを収容する二次元コードを図 5 に示す。

表 2 収容データ

コード番号	互換部	秘匿部
1	カラー二次元	01234567890123456789012345
2	カラー二次元	ABCDEFGHIJKLMNQRSTUUVWX
3	ABCDEF GHIJKLM	01234567890123456789012345
4	0123456789ABC	ABCDEFGHIJKLMNQRSTUUVWX
5	テララコード	83031883012309050819201969

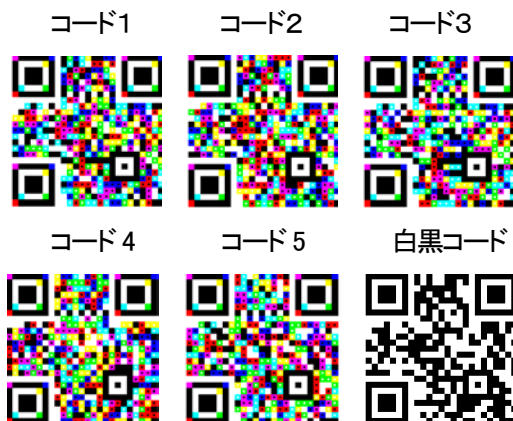


図 5 検証に用いた二次元コード

ここでは、色の読取性の検証が目的であるので、カラー部の暗号化(マスクパターン処理)は実施しなかった。

##### 4. 1. 2 読取り機器

読取りには、下記のスマートフォン及び読取ソフトウェアを用いた。

スマートフォン: GALAXY Note 2 (SAMSUNG 製)  
 読取りソフト: イーアプリ

#### 4. 3 検証結果

検証試験の結果を表 3 に示す。この結果について、検討する。

表 3 互換性検証結果

コードサイズ対象 (mm)	10	8	6	5	4	3
コード1	100	100	100	100	10	0
コード2	100	100	100	100	0	0
コード3	100	100	100	100	10	0
コード4	100	100	100	100	5	0
コード5	100	100	100	100	5	0
白黒コード	100	100	100	100	0	0

各20回試行した場合の識別率 (%)

コードサイズが5mm 以上の場合には、全てのカラーコード及び白黒コードで 100% の読取りができた。また、3mm 以下の場合には、全てのコードについて、読取が不可能であった。4mm の場合には、多くの場合読取が不可であったが、読取が可能であった場合もあった。カラーコードと白黒コードで読取率に差がなく、十分な互換性を有していることが確認できた。

## 5. 識別性の検証

### 5.1 試験条件

#### 5.1.1 検証サンプル

識別性の検証にも、図5に示す互換性検証で用いたコード1を用いた。

#### 5.1.2 読取条件

読取りは、下記の条件で実施した。

スマートフォン: GALAXY Note 2 (SAMSUNG 製)

照明 : 白色蛍光灯

二次元コードとの距離: 55mm に固定

焦点合わせ : スマフォによる自動焦点

### 5. 2 検証方法

カラー部の識別は、スマートフォンでの処理と



パソコンでの処理の2ステップで行った。

### 5. 2. 1 スマートフォン処理

スマートフォンでカラー二次元コードを撮像し、従来の白黒の二次元コードとして識別する。この処理に伴って、各セルを切り出し、各サンプリング値の表を作成する。この表に含まれるのは、図4右図に示す各セルを9分割した領域の中央値の各RGB値、図4左図に示すパレット色の9点のRGB値及び誤り訂正後の各セルの白または黒の区別である。

### 5. 2. 2 パソコン処理

スマートフォンで作成した上記の表をパソコンに転送する。そして、そのデータをエクセル上のVBAでデータ抽出処理での平均値処理及び比較処理を行い、色の識別処理を行った。識別率は、各セルの本来の色との比較により算出した。

## 5. 3 検証結果

### 5. 3. 1 セルレベル

従来の研究での評価は、コードレベルの読取率を用いる場合が多い。実用性を評価する場合には、適切な評価基準であるが、色の識別性を評価する場合には、次節で述べる誤り訂正の機能によって、誤りが見えなくなるので、ここでは個々のセルレベルでの誤り率を評価基準として評価する。

読取検証は図4に示す5個の二次元コードについて、コードサイズが40mmから10mmの二次元コードを作成し、それについて10回ずつ読取り、それぞれの読取について、読取率を計測し、それらの平均値を求めた。

QRコードのバージョン2は25x25セルの構成であり、セル数は全体で625個である。また、次節で述べるように、総コード語は44であり、これに対応するセル数は352である。

識別に関与するのは、コード語領域である。また、ファインダーパターン、タイミングパターン[1]及びアライメントパターン[1]は、白色または黒色に固定されており、カラー色の識別には当たらない。そこで、コード語領域について、識別率を計測した。この結果を図6に示す。

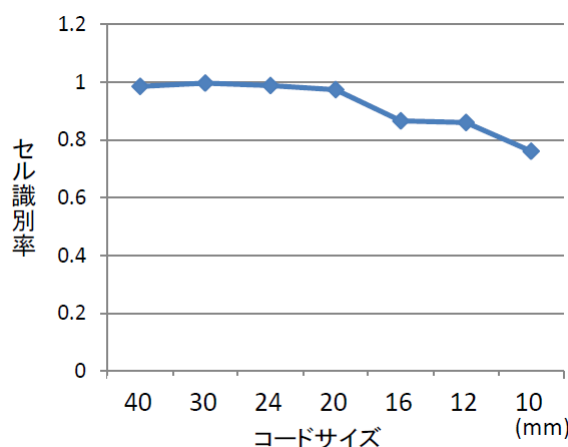


図6 セルレベルの識別率

この結果、20mmのコードサイズからセルレベルの誤りが発生していることが判る。また、識別を誤ったセルは、コード内の特定の位置に集中することなく、分散していた。そこで、コードサイズが小さくなるに従って、解像度が不足し、近傍のセルの色が混入してくるのが原因と考えられる。白黒の二次元コードの場合には、反対色が混入してもある程度までは識別可能であるのに対して、カラー色の場合には、色相が変化し、誤りが発生しやすい。

### 5. 3. 2 コードレベル

前節では、セルレベルでの識別率を示した。二次元コードには、誤り訂正機能が具備しており、予め定められた誤り率以下であれば、誤り訂正が可能であり、正しく復号可能である。

選択可能な誤り訂正レベルでの誤り訂正数[1]を表5に示す。この誤り訂正数以下であれば、コードレベルで正しく読取が可能である。

表5 誤り訂正レベルによる誤り訂正数

誤り訂正レベル	総コード語数	データコード語数	誤り訂正コード語数	誤り訂正数
L	44	34	10	4
M	44	28	16	8
Q	44	22	22	11
H	44	16	28	14

図7に、各セルがどのデータコード語に属するかを示す。白黒領域は固定部、黄色領域は管理

部、緑色領域は未使用部である。

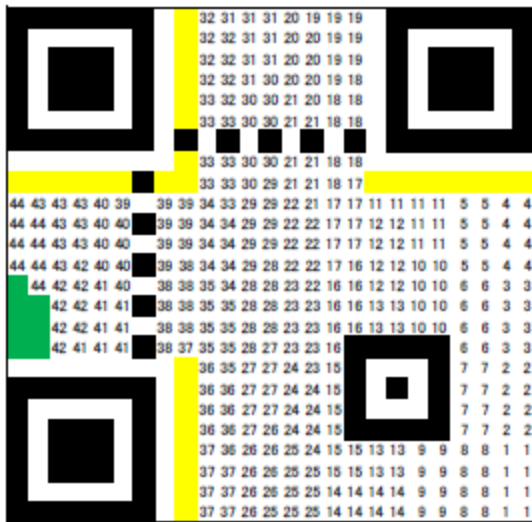


図7 各セルの用途と所属するコード語番号

図6のセル周辺部の色の識別誤りを、復号後の二つの白黒の二次元コードに誤りに展開した。また、それらの誤りセルがどのデータ語に属するかを計測し、誤りセルの存在するコード語数をカウントした。この誤りコード語数と各誤り訂正レベルの訂正可能な数と比較し、読取り可能性を判断したコードレベルの識別率を図8に示す。識別率は、二つの二次元コードの平均値である。

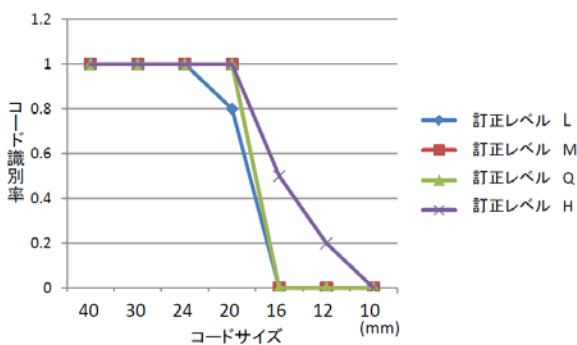


図8 コードレベルの識別率

この結果から、20mmのコードサイズまで読取可能であることが判る。これはセル幅が0.8mmであり、実際に白黒の二次元コードで用いられているセル幅とほぼ同等である。

そこで、提案する構造のカラー二次元は、実用性があると判断できる。

## 6. 終りに

既存の白黒の二次元コードと互換性を維持し且つ秘匿性を確保するために、セルを中央部と周辺部に分割し、中央部には白黒色を、周辺部にはカラー色を用いた二次元コードの提案した。既存部及び秘匿部の読取性の検証を行い、互換性及び識別性において、実用性を確認した。

### 謝辞

広島修道大学の井上徹教授に誤り訂正理論を指導頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] ISO/IEC 18004:2006 Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR Code 2005 bar code symbology specification.
- [2] ISO/IEC 16022:2006 Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Data Matrix bar code symbology specification.
- [3] H. Kato, K. Tan, D. Chai, Development Of A Novel Finder Pattern For Effective Color 2D Barcode Detection, Proceedings of IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications. ISPA '08. (pp. 1006-1013). Sydney, Australia. IEEE Computer Society, 2008
- [4] 寺田 遼平, 藤本 敬介, 中山 泰一, カラー二次元コードを高解像化するための認識アルゴリズムの実現と評価, 信学技報, SS2008-57, 2009-3
- [5] 助川 修司, QRコードの多色化による2次元コードの大容量化について, 情報処理学会全国大会講演論文集第70回平成20年(4), 845-846, 2008
- [6] 遠藤祐介, 廣友雅徳, 佐治勇樹, 渡辺優平, 森井昌克, 多値二次元コードにおける高階調認識アルゴリズムの提案, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J95-D No.11 PP.1935-1943
- [7] 小野 智司, 電子透かしを用いたカラー二次元コードの複製検知, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J94-D(12), 1971-1974, 2011
- [8] 新見道治, 反復型可逆的情報ハイディングを利用した大容量二次元コード, 2009年電子情報通信学会総合大会, S21-S22
- [9] 原 昌弘, 二次元コードの生成方法およびその読取り装置, 特開2008-299422
- [10] Adams, G., Simske, S., Pollard, S., 2D Barcode Sub-Coding Density Limits. NIP27: 27th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication, October 2-6, 2011, Minneapolis, Minnesota, USA, 696-699.
- [11] 寺浦 信之, 櫻井 幸一, グレイ及びカラー化による二次元コードの情報ハイディング, コンピュータセキュリティシンポジウム(CSS2012), 309-316, 2012
- [12] 寺浦 信之, 櫻井 幸一, 'セルの微細分割による二次元コードの情報ハイディング', 第11回情報科学技術フォーラム(FIT2012), 571-578, 2012
- [13] 寺浦 信之, 櫻井 幸一, 互換領域を有する多色多領域の高密度二次元コード, 第12回情報科学技術フォーラム(FIT2013), 589-596, 2013
- [14] 寺浦 信之, 櫻井 幸一, RS符号データコード語にパターンマスクを適用した多値化二次元コードの秘匿化, コンピュータセキュリティシンポジウム(CSS2013), 809-816, 2013
- [15] <http://www.itu.int/rec/R-REC-BT.601/e>.