

紙を用いた立体 QR コードの基礎検討

吉田 妃菜^{1,a)} 松崎 なつめ^{1,b)}

概要: QR コードは、スマートフォンのカメラを介して手軽に利用される 2 次元バーコードとして、ウェブサイトへのアクセスや決済サービス、入場券など幅広い用途で利用されており、特にキャッシュレス決済サービスでの利用が近年増えている。一方で QR コードは人間による可読性が乏しく、内容を直接解釈できないため、偽造した QR コードを用いた犯罪が発生している。この QR コードの偽造対策として、3D プリンタを用いて立体の QR コードを作成する方法などが提案されているが、特別な機器を用意するなど手間が増えコストが高くなる。本研究では偽造対策の効果は保ちつつ、簡便に利用できる方法として、紙を用いた立体 QR コードを提案する。

キーワード: QR コード, 立体, 紙

A Study of 3D QR Code with Paper

HINA YOSHIDA^{1,a)} NATSUME MATSUZAKI^{1,b)}

Abstract: QR codes are two-dimensional bar codes that can be easily used via the camera of a smartphone. Therefore, they are used for a wide range of purposes such as website access, payment services, and admission tickets, in particular, it has been recently increasing for cashless payment services. On the other hand, since QR codes are poorly readable by humans, crimes using forged QR codes have been occurring. As a countermeasure against forged QR codes, a three-dimensional QR code using a 3D printer has been proposed. However, it takes cost and effort, such as preparing non-general purpose module. We propose a three-dimensional QR code with paper that can easily be made, while preventing forgery.

Keywords: QR code, three-dimension, paper

1. はじめに

QR (Quick Response) コードは、スマートフォンのカメラを介して手軽に利用される 2 次元バーコードとして、近年、特に〇〇 pay などのキャッシュレス決済の手段として利用が増えている。

その一方、QR コードは白黒のパターンが並んだ画像データであるため、人間による可読性が乏しく、全体または一部が書き換えられていてもそれに気付くことは難しい。また、QR コードから読み取ったデータは正しいものであると信用してしまう利用者も多い。これを利用して、中国

では、悪意のあるものが偽造した QR コードをシールにして店側が用意した正規の QR コードの上から貼り、偽サイトに誘導して不正送金させる事件が発生している [10]。また、[8] では、QR コードの一部にドットを付加するなどにより、小さな確率でのみ悪性サイトに誘導する攻撃についても報告されている。

本稿では、この課題の解決に向け、紙を用いた立体 QR コードについて検討する。QR コードを立体化することにより、偽の QR コードを貼り付けにくく、また貼り付けを発見しやすくする。また、紙を用いることにより、コストを削減する。

¹ 長崎県立大学
University of Nagasaki
^{a)} bs218044@sun.ac.jp
^{b)} matsuzaki@sun.ac.jp



図1 QRコードの例

2. QRコード決済

2.1 QRコード

図1にQRコードの例を示す。QRコードの特徴として、格納できるデータ量が多いことが挙げられる。QRコードは、縦・横両方でデータを表現しているため、バーコードと同じ情報量であれば、10分の1程度の大きさで表示できる。また、QRコードは、数字・英字・漢字・カナ・記号・バイナリ・制御コード等のデータを扱うことが可能であり、数字であれば7089桁まで扱うことができる[3]。さらに、360度どの方向からでも、高速な読み取りが可能なこともQRコードの一つの特徴である。QRコードの中に3ヶ所の切り出しシンボルを搭載することで、背景模様の影響を受けない安定した高速読み取りを可能にしている[4]。

一方、QRコードの利用拡大に伴い、その偽造についても多く報告されている。誰でも偽造QRコードを作成できる上、可読性が乏しいため、改ざんされていても気づかない。文献[8]では低い確率で利用者を不正なサイトに誘導する「偽装QRコード」の可能性を実証している。同一のQRコードであるが、読み取った際に1/100～1/1000の確率で別のWebサイトに誘導するQRコードである。この偽装QRコードを悪用することで多くの利用者は正常なサイトにジャンプするが、一部の利用者のみ別の悪性サイトへ誘導される。悪性のサイトに低確率で誘導されるため、利用者が不正に気づきにくく、その間に被害も広がりやすい。

2.2 QRコード決済

QRコードを用いた決済方法として、以下の2種類がある。

- 利用者提示型 [5]
決済に際し、利用者が自己のスマートフォン等のモバイルデバイスにバーコード又はQRコードを表示して契約店側の処理端末に読み取らせる方式である。POSシステムとの連携により売り上げデータをシステム上で管理でき、商品の在庫管理がしやすくなる一方で、読み取りに必要な機器を用意する必要がある。
- 店舗提示型 [6]
決済に際し、契約店にあらかじめ設置されているQRコードを利用者が自己のスマートフォン等のモバイル

デバイスで読み取る方式である。QRコードを店に設置するだけで良いので、初期投資の必要がなく、小規模な店舗でも始めやすい。また、POSシステムとの連携がないため、災害時にも復旧が早い。しかし、QRコードの張り替えやすさによって、別の口座に不正に送金させる詐欺が発生している。このような詐欺を防ぐためには、店員側が決済用のQRコードに偽造QRコードシールなどが貼られていないかこまめに確認を行い、利用者側が正しい支払先に払っているのか確認する必要がある。しかしこれは人の注意による対策であり、詐欺を防ぐ抜本的な解決にはなっていない。

2.3 QRコードの偽造の例

中国では、「アリペイ」や「WeChat ペイ」などのQRコード決済が社会インフラとして普及している。中国支付清算協会の2018年の報告書によると、モバイル決済ユーザーのうち78.8%が「毎日使用している」と回答している[7]。そして、QRコード決済の普及に伴い、QRコードを用いた犯罪が多発している。

ここでは、中国でのQRコードを用いた犯罪の例を3つ示す。1つ目は、店頭提示のQRコードの上から偽物のQRコードを貼り付ける攻撃である[10]。攻撃者は、店員の目を盗んで店に設置されている決済用のQRコードの上から偽造QRコードを貼り付け、客が偽のQRコードを読み込んで、攻撃者の口座に支払いを行う。これによって攻撃者は店の売り上げを盗む。2つ目は、QRコード付きの駐車違反キップの罰金支払いにおける攻撃である[11]。攻撃者は、偽物のQRコードを印刷した偽造違反切符を作成し、これを駐車違反の車に貼り付ける。偽造だとは気づかない運転手が、攻撃者の口座に送金してしまう。3つ目は、自転車のシェアリングサービスにおいて、QRコード決済でロックを解除される仕組みを利用した攻撃である[1]。攻撃者は、QRコードの上に、偽のQRコードのシールを張る。利用者がこれを読み込むとフィッシングサイトに飛び、犯人の口座に送金される。もちろんロックは解除されない。

3. QRコード偽造の既存対策

2.3節に述べたQRコードの偽造に対策するための既存研究例を2つ紹介する。1つ目は、QRコードを特殊なインクなどを用いて複製を防止したり、特別な方法でQRコードに情報を埋め込んで、対応するソフトで検知する方法である(例えば、セキュアQRコード[2]など)。2つ目は、例えば3Dプリンタなどを用いてQRコードを立体化[9]して、測距が可能であるToF(Time of Flight)カメラで撮影する方法である[12]。ToFカメラは、赤外線を対象物に照射して反射光が戻ってくるまでの時間を測ることで、奥行き距離を計測する機能を有するカメラである。2020年3月に発売された「Xperia 1 II」のリアカメラには、ToFセン

サー (3D iToF センサー) が採用されているなど一部スマートフォンに搭載されている。

前記2つの方法はいずれの方法も QR コードの偽造対策として効果がある一方、非汎用のソフトやカメラなどを必要とする。私たちは、偽造対策の効果は保ちつつも、より簡便に利用できる方法を目指し、本検討における要件を次のように設定する。

- (1) 特に店頭提示型の決済を想定し、偽造シールの貼り付けや QR コードの改ざんを困難とする。あるいはもし貼り付けや改ざんがあったときに、その発見を容易とする。
- (2) スマートフォンの通常のカメラで QR コードの読み取りができる。
- (3) QR コード作成を簡易とし、その作成コストを抑える。

4. 提案

本研究では、紙で作成した立体 QR コードを、スマートフォンの通常のカメラを用いて認識できることを目指す。その中で、偽造 QR コードシールを貼り付けにくさや偽造のしにくさ、置き場所の制約などを検討する。

紙を用いた QR コードの作成方法と読み取り方法は次の通りである。

- (1) まず、図2のように QR コードを2つに分割し、 x cm 離れた状態で印刷する。このときが x cm が奥行きとなる。
- (2) 分割した QR コードの内側を、図3のようにそれぞれ直角になるように折って奥行きをつくり、立体 QR コードを作成する。
- (3) 分割した QR コードを、その奥行き線を手前側に延長した箇所からカメラで読み取る。図4は、立体 QR コードとカメラの位置関係を上部から見た図で示したものである。手前と奥の分割 QR コードを、カメラから見て1つの QR コードとして読む。
- (4) 奥行きの長さを大きくすると、奥の分割 QR コードが小さく見えるため、奥の面の方の QR コードを拡大して調整する。図5は奥行を 6 cm とし、奥の面に対応する右側を 120% 拡大した図である。また図6は、これを組み立て、奥行の延長上に設置したカメラからみた図である。

なお、偽造 QR コードシールの貼りにくさは、奥行きの長さに依存すると考え、どのぐらいの奥行きがあれば貼りにくく、仮に貼ったとして発見しやすいかを確認する。また、手前と奥の分割 QR コードの大きさが異なることで、偽造がしにくくなるを考える。

5. 実験

本検討では、まず提案方式の実現可能性を探るための基礎検討として、次の2点について実験で確認する。

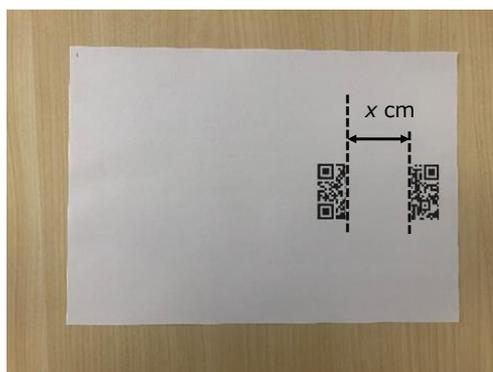


図2 立体 QR コードの作成 (印刷)



図3 立体 QR コードの作成 (組み立て)

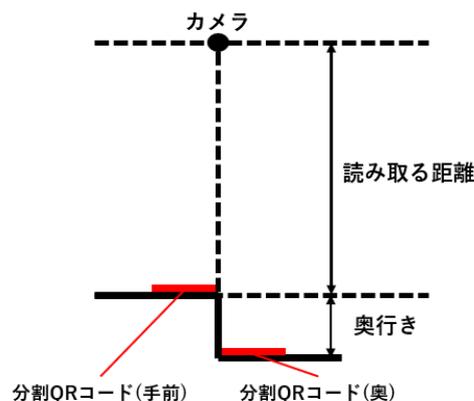


図4 立体 QR コードの読み取り (立体 QR コードとカメラの位置関係を上からみた図)

- (1) 奥行き
- (2) 奥の面の拡大率

実験の前提条件は次の通りである。

- カメラは iPhone の背面メインカメラ (1200 万画素)
- QR コードを読み取る距離は手前の面から 30 cm, 50 cm の 2 種類。紙で生成した立体 QR コードを床に置き、上部から読み取り
- QR コードの大きさは 5 cm × 5 cm
- 縦 5 cm × 横 2.5 cm ずつに 2 つに分割して奥と手前に配置



図5 立体 QR コードの作成（奥の面を 120 % 拡大して印刷）



図6 立体 QR コードの作成（図5を組み立てて所定位置より撮影）

5.1 奥行きの実験結果

表1と表2に、奥行きを1 cm から10 cm に変化したときの、QR コード読み取りの成功回数を示す。読み取りは10 回行い、それぞれ、10 秒以内に読み取ることができたら成功として、その回数を求めた。表1は、カメラから手前の分割 QR コードまでの距離を30 cm とする。表2は、カメラから手前の分割 QR コードまでの距離が50 cm とする。実験から読み取る距離30 cm では奥行き3 cm まで、読み取る距離50 cm では奥行き4 cm までは正確に読み取れた。

5.2 奥の面の拡大率

表1と表2において、奥行きが大きくなるほど、成功確率が下がるのは、奥にある方が小さく見えるためであると考え、奥の面の分割 QR コードを拡大する。レジで支払いをすること考えたとき、レジから離れることなく QR コードを読み取る必要があるため読み取る距離は30 cm とする。表3と表4は、奥の面の分割 QR コードをそれぞれ120 %、140 % に拡大した場合の成功確率を示す。読み取る距離30 cm、奥の面の拡大率120 % にすると奥行き3 cm から11 cm、奥の面の拡大率140 % にすると奥行き10 cm から14 cm までは正確に読み取れた。

5.3 考察

- 妥当な奥行きや拡大率については、以下の3点を確認した。

(1) QR コードの読み取りに関して

表1と表2より、読み取る距離が30 cm では奥行き3 cm まで、読み取る距離50 cm では奥行きが4 cm までは正確に QR コードを認識できることが分かった。店頭での利用を想定すると、読み取る距離はレジから近い30 cm が妥当と考察する。また、表3より、読み取る距離を30 cm とし、分割 QR コード（奥）の拡大率を120 % にすると、奥行き3～11 cm まで読み取れる。さらに、表4からは、読み取る距離を30 cm とし、分割 QR コード（奥）の拡大率140 % にすると、奥行き10～14 cm まで正確に認識できることが分かった。奥行き10 cm 以上になると、店頭に設置しにくくなると考え、拡大率は120 % とするのが妥当と考察する。

(2) 店頭での設置に関して

店頭の狭いレジ付近に、QR コードを設置すると想定すると、奥行き10 cm 以上では場所をとって都合が悪いと感じた。そのため、奥行きは1～9 cm とするのが妥当であると考察される。

(3) 偽造シールの貼りにくさについて

偽造 QR コードシールの貼りにくさや、貼り付けがあったときの発見のしやすさを考えると、できるだけ奥行きがあればあるほど貼り付けにくく、発見しやすいと考えられる。また、攻撃者が持参した偽造 QR コードのシールを、その場で2つに分割して手前と奥に貼り付けられる攻撃を考えると、分割 QR コード（奥）を拡大してはじめて正確に読み取れる程度の奥行きがあるほうが安全であると考えられる。

以上の点より、実験を行った条件下では、奥行きが9 cm で、分割 QR コード（奥）の拡大率が120 % の立体 QR コードが適当であると考えられる。

- 本提案の課題としては、次の点が考察される。通常の QR コードであれば多少斜めからでも読み取れるが、紙を用いた立体 QR コードは、奥行きによる影や大きなひずみができないようにカメラの位置に気を配る必要がある。実際に店に設置する時には、例えばカメラを構える位置にマークを付すなどの、QR コードを正確に認識するための工夫が必要になると考えられる。また、この立体 QR コードは紙で作成するため強度がない。今回実験では、床に置いて上部から撮影する方法を取ったが、実際には、紙を立てて設置する。このときに、紙がたわまないように、強度のある厚紙などで補強するなどの対策が必要である。
- 今回の実験では、QR コードを左右2つに分割したが、今後凹凸の数を増やしたり、縦だけでなく横の奥行きを増やして、より複雑にすることが考えられる。複雑

表1 奥行きの実験結果 (カメラからの距離: 30 cm)

奥行き	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm
成功回数	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0

表2 奥行きの実験結果 (カメラからの距離: 50 cm)

奥行き	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm
成功回数	10	10	10	10	2	0	0	0	0	0

表3 奥の面の拡大率の実験結果 (カメラからの距離: 30 cm, 拡大率 120 %)

奥行き	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm	11 cm	12 cm	13 cm	14 cm
成功回数	0	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	0	0

表4 奥の面の拡大率の実験結果 (カメラからの距離: 30 cm, 拡大率 140 %)

奥行き	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm	11 cm	12 cm	13 cm	14 cm
成功回数	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10	10	10	10	10

表1-4, いずれも10回試行した成功回数. 10秒以内に読み取ることができたら成功とする

にすることで, 偽造 QR コードの貼り付けを困難にし, 貼られても発見しやすくなると考える. 一方, 凹凸を増やすことで, 分割 QR コードの境目に影ができ, 認識が困難になるという可能性があるため, 適切な凹凸の数や形を考える必要がある. また, 今回カメラは奥行き延長点から撮影したが, カメラの角度を変え, 凹凸のどの程度の範囲内であれば QR コードを読み取れるのかの実験など, 実用に向けて様々な実験を行っていききたい.

6. 終わりに

本研究では, 悪意のあるものによって正規の QR コードの上から偽の QR コードを貼り付けられるという問題の解決のため, 紙を用いた立体 QR コードを提案した. 紙で作成することで, 取り扱いやすく立体 QR コード作成時のコスト削減できる. そして, 提案方式の実現可能性を探るために QR コードを立体にしたときの奥行き長さを変えたり, 奥の面の分割 QR コードの拡大率を変えたりし, 正しく QR コードを認識できるかの実験を行った. これらの実験から QR コードを分割し, 奥行きをつけても奥行き長さによっては QR コードを認識できることがわかった. さらに, 奥行きが大きくなるほど, 奥にある方が小さく見えるため, 認識成功確率が下がったが奥の面の QR コードを拡大することで認識できるようになることがわかった.

今後は, 課題である紙の強度の改善, 凹凸を複数にした場合や角度を変えた場合の実験など実験方法の増加や実験の試行回数の増加を行い, 将来的に実用できるように紙を用いた立体 QR コードについてさらに検討を続けていきたい.

参考文献

- [1] AFPBB News. QR コード決済の落とし穴、中国, 2016.6.5. <https://www.afpbb.com/articles/-/3130380>.
- [2] デンソーウェーブ. SqrC® ひとつのコードに「公開」と「非公開」の2種類のデータを格納. <https://www.denso-wave.com/ja/system/qr/product/sqrc.html>.
- [3] デンソーウェーブ. SQRC コードとは. <https://www.denso-wave.com/ja/system/qr/fundamental/qr-code/sqrc/index.html>.
- [4] デンソーウェーブ. SQRC コード開発. <https://www.denso-wave.com/ja/technology/vol1.html>.
- [5] 一般社団法人キャッシュレス推進協議会. コード決済に関する統一技術仕様ガイドライン【利用者提示型】. 2019.10.31.
- [6] 一般社団法人キャッシュレス推進協議会. コード決済に関する統一技術仕様ガイドライン【店舗提示型】. 2020.4.27.
- [7] 朱永浩. 中国におけるキャッシュレス化の現状と課題～o2o マーケティングの可能性～. *ERINA REPORT PLUS No.146*, 2019.2.
- [8] 大熊浩也, 瀧田慎, and 森井昌克. 偽造 QR コードの構成とその効果, およびその対策について. *コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS2018)*, 2018.10.
- [9] 中山木型. 3Dプリンターで作成する立体QRコードの作品 成功と失敗の話. <https://nakayamakigata.com/?p=2214>.
- [10] 日テレ NEWS24. キャッシュレス決済を悪用 驚きの犯罪手口, 2019.10.16. <https://www.news24.jp/articles/2019/10/16/10527011.html>.
- [11] 牧野武文. QR コード離れを起こす中国のキャッシュレス決済事情, 2019.3.4. <https://ascii.jp/elem/000/001/817/1817202/>.
- [12] 堀越健太郎. 3D 情報を用いた QR コードの安全性向上に関する基礎検討 (修士論文), 2021.1.25. https://uec.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=9942&item_no=1&attribute_id=20&file_no=1.