Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

有価陶磁器製品に不可視な 2 次元コードを焼き付ける方法の提案とその評価

藤川真樹[†1]　西村英伍[†2]　渕真悟[†3]

概要：本論文では，窯元や作家によって日々製造される有価陶磁器製品について，製造プロセスにおいて個々の製品に不可視な情報を焼き付ける方法と，当該製品から情報を非接触で抽出する方法を提案する．前者は，透明なガラス蛍光体によって形成された薄い厚さの 2 次元コードを，陶土層（素焼き後）と釉薬層との間に配置してから焼成することで実現できる．後者は，励起光を製品に照射した状況下で，ガラス蛍光体による発光の様子をカメラで撮影したあと，得られた画像を処理することで実現できる．著者らは，製品に焼き付けられた 2 次元コードが視認困難であることと，OpenCV を使った画像処理により，当該コードに格納された情報を抽出できることを実験により証明する．考察では，提案手法が 4 つの要件（色への影響，視認困難性，情報の抽出，特徴情報としての利用可能性）を充足していること，転写紙の製造コストがリーズンナブルであること，および，インクジェット印刷を用いることにより製品ごとに異なる情報を焼き付けられる可能性があることを示した．

キーワード：2 次元コード，ガラス蛍光体，光励起，画像処理，ステガノグラフィ

Proposal and Evaluation of the Baking Method to Apply Visually Unrecognizable Two-dimensional Code onto Valuable Ceramic Products

MASAKI FUJIKAWA[†1]　EIGO NISHIMURA[†2]　SHINGO FUCHI[†3]

Abstract: We propose two technologies for valuable ceramic products produced daily by renowned artists and manufacturers. The former technology can bake invisible two-dimensional code onto each product in manufacturing process. This very thin code is made from transparent glass phosphor and allocated between the clay and the glaze layer of the ceramic product. The latter technology can extract the information from each product with the said code in a non-contact state by using photo shooting and image processing. The photo image of QR code is taken by the infrared camera and the optical excitation by laser light as the glass phosphor emits near-infrared light when it receives the said light. We proved the feasibility of these technologies based on the experiments and found the fact that the baked QR code onto the ceramic could not be seen by naked eyes and the said information could be extracted correctly. We also described the following considerations: (1) Our technologies satisfied four requirements, namely, Effects on colors, Difficulty in visibility, Information extraction, and Availability for the artifact-metrics. (2) Manufacturing cost of the transfer paper was reasonable price. (3) Each product could have different content of QR code by using inkjet printing.

Keywords: Two-dimensional code, Glass phosphor, Optical excitation, Image processing, Steganography

1. はじめに

1.1 背景と目的

日常生活で使用される器物のうち，意匠や美しさが重要視され，知的・美的趣味として用いられることがあり，コストをかけて製作されるものを工芸品と呼び，その一例として織物，陶磁器（陶器と磁器の総称），漆器，木工品がある．なかでも，名高い窯元や作家によって製作された陶磁器には高い金銭的価値が付くことから，一般家庭では，日常的に使用される陶磁器よりも大切に取り扱われ，子や孫といった次の世代に引き継がれていくことが多い．

日本では，上記のような陶磁器は，それとペアになった木箱に入れて保存されることが多い[1]．木箱の表面には，陶磁器の題名（名称），作家・窯元名，製造日などといった情報（いわゆる「箱書き」）が記載されることから，陶磁器にまつわる情報を知る上で有効である[2]．

陶磁器と木箱は物理的に分離可能であり，木箱は陶磁器（無機物）と異なり有機物であるため，木箱の紛失や経年劣化・汚損により，木箱の新調と箱書きの依頼が作家・窯元に寄せられることがある．依頼を受けた作家・窯元は，陶磁器の真正性（本物であること）を確認したあとに木箱を新調して箱書きをするのだが，木箱が紛失あるいは著しく劣化・汚損している場合，オリジナルの木箱に書かれていた箱書きに関する情報を正確に得ることは困難であると考えられる．

このような問題の発生を将来的に回避するために，現代の作家・窯元によって日々製造される「陶磁器」とその「情

†1 綜合警備保障株式会社
ALSOK
†2 サイエンスパーク株式会社
SCIENCE PARK Corporation
†3 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

報」を一体化する（つまり，陶磁器に情報を記録する）とともに，情報を陶磁器から正確に抽出できる手段を設けることは，解決方法のひとつであると著者らは考えている．当該方法が実現すれば，後世において陶磁器の鑑定や木箱の新調を行うときに助けになる．

上記のアイデアを実現する際には，2 つのことを技術的にクリアする必要がある．ひとつは，陶磁器には意匠（粘土や釉薬・絵の具がもたらす色や絵付けされた図柄）があるため，当該情報を記録しても意匠が損なわれない技術を確立することである．もうひとつは，陶磁器に対する物理的なダメージ（傷や汚れの付着など）を避けるために，情報を非接触かつ正確に抽出できる技術を確立することである．

本論文では，上記の技術を具体化する方法のひとつとして，透明かつ厚さの薄い 2 次元コードを陶磁器に焼き付ける方法と，撮影と画像処理によって当該コードから情報を抽出できる方法を提案する．著者らは，以下の流れで論述を展開する．第 2 章では，議論を展開するために必要となる情報を示す. 第 3 章では, 著者らのアイデアを紹介する. 第 4 章では，実験によってアイデアの実現可能性を示す. その後，第 5 章で提案手法に対して考察を加え，第 6 章で本論文を総括する．

1.2 関連技術（有価陶磁器製品の真正性を判定する技術）

我々は，有価陶磁器製品の真正性を機械的に判定できる技術を提案している[3]．この技術では，製品の製造プロセスにおいて自然偶発的に発生した特徴情報をあらかじめセキュアなデータベースに保存しておく．真正性を判定するときには，対象となる製品から特徴情報を抽出し，データベース上の特徴情報とマッチするか否かを検証する．このような技術を人工物メトリクスと呼び，これをシステム化したものを人工物メトリック･システムと呼ぶ(図 1 参照)．

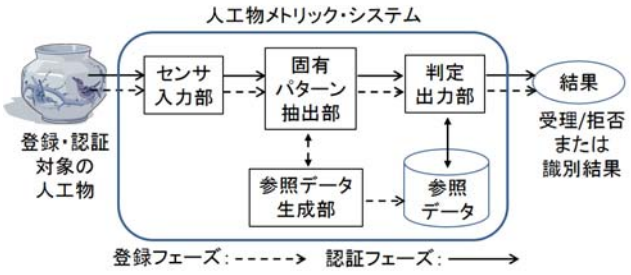


図 1　人工物メトリック・システムの概要

Figure 1　An outline of artifact-metric system.

人工物メトリクスでは，特徴情報を抽出しやすくするために光学的･電気的･磁気的特徴をもつ材料を添加する．我々が提案した技術[3]では，製品に添加した材料が光励起によって近赤外線を発光する様子を画像化したものを特徴情報として用いる．

人工物メトリクスで取り扱われる特徴情報は，文字情報とは異なり，自然偶発的に形成された非法則的・非規則的な情報である．一方，本研究では，人工物に特徴情報と文字情報の両方を持たせることを目的としている．

2. 基本情報，前提条件と要件

本章では，陶磁器の製造に関する基本情報を紹介したあと，本論文の前提条件および著者らが提案する 2 つの技術（情報の焼付けとその抽出）が満たすべき要件を示す．

2.1 基本情報

陶器・磁器は，8 つの製造工程を経て製造される．具体的には，(1)原材料の粉砕（陶器は粘土を，磁器は陶石を原材料とする），(2)粉砕した粉の精製と陶土生成，(3)成形，(4)素焼き，(5)釉薬の塗布，(6)焼成，(7)絵付け，(8)焼成である．

図 2 は，(4)から(8)までのプロセスを，皿を用いて示している．素焼きの皿は，釉薬に浸して乾燥させたあと焼成する．焼成により釉薬はガラス化して皿全体をカバーし，絵付けに最適な平滑面を形成する．絵付けの工程では，筆を用いて皿に図柄を描いたり，転写紙[4]を用いて図柄を皿に貼り付けたりする．その後，低めの焼成温度で図柄を焼き固めることで製品が完成する．



図 2　(4)から(8)の製造プロセス

Figure 2　Fabrication process from (4) to (8).

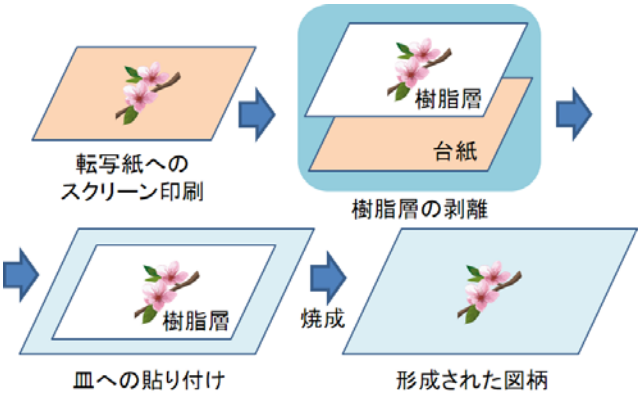


図 3　転写紙を使用した図柄の焼き付け

Figure 3　The pattern baking method by using transfer paper.

転写紙を使った絵付けのメリットは，図柄を高速・高精彩かつ低コストで焼き付けられることである．図 3 に，図柄の転写方法を示す．はじめに，スクリーン印刷技術と絵

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

付け用のインクを用いて，図柄を転写紙に印刷する．つぎに，転写紙を水に浸して透明な樹脂層（表面に図柄が印刷されている層）を剥離させ，これを 1 回目の焼成が終わった皿に貼り付けて乾燥させる．その後，2 回目の焼成を行うことで絵付け用のインクのみが残り，これがガラス化することで釉薬層上に図柄が形成される．なお，この方法で陶磁器に焼き付けられる図柄の厚みは約 10μm である．

2.2 前提条件

本節では，議論の範囲を明確にするために，本論文の前提条件を設定する．

条件 1：本論文では，1 章で述べた問題の発生を将来的に回避するために，作家や窯元によって日々製造されている製品を議論の対象とする．

条件 2：著者らは，提案方法を陶磁器に適用することを考えているが，今回は磁器の皿を用いて有効性を検証する．

条件 3：皿に焼き付ける 2 次元コードとして，世界的に普及しており高い誤り訂正能力を持つ QR コードaを採用する．QR コードは，撮影というシンプルな方法で情報を抽出でき，電気的・磁気的な情報の抽出方法に比べて，情報抽出時における製品への物理的なダメージ（傷や汚れの付着など）を避けることができる．

条件 4：著者らは，厚さの薄い QR コードを高速・高精彩かつ低コストで皿に焼き付けるために，転写紙を使用する．

2.3 要件

本節では，提案手法が満たすべき要件を示す．

要件 1（色への影響）：

「QR コードを皿に焼き付けたときに，陶土や釉薬・絵の具がもたらす色に影響を与えるリスクが低い.」

これは，QR コードを焼き付けたことによって，製品が本来持つべき色を損なうことがあってはならないためである．

要件 2（視認困難性）：

「QR コードが焼き付けられた皿とそうでない皿を見比べたときに，その違いを容易に区別することが難しい.」

これは，QR コードの存在が容易に視認できることによって，製品が持つ意匠を損なうことがあってはならないためである．

要件 3（情報の抽出）：

「QR コードが焼き付けられた皿から，情報を正確に読み取ることができる.」

これは，製造プロセスにおいて QR コードの形状が崩れないことと，撮影によって得られた QR コードの画像から情報を正確に抽出できることの 2 点が求められるためである．

要件 4（特徴情報としての利用可能性）：

「撮影によって得られた QR コードの画像は，人工物メトリクスにおける特徴情報としても利用できる」

これは，本研究が人工物に特徴情報と文字情報の両方を持たせることを目的としているためである．

3. 提案方法

本章では，1 章で述べたアイデアを実現しつつ，2.3 節で述べた要件を満たす方法を提案する．

3.1 転写紙への QR コードの印刷

著者らは，透明かつ厚さの薄い QR コードを焼き付けることができ，撮影によって当該コードの画像を取得できる技術を確立するために，ガラス蛍光体と呼ばれる，透明かつ光励起によって近赤外線を発光する素材をインクの顔料に見立ててインクを作成し，これを使って転写紙に QR コードを印刷する方法を提案する．

今回著者らが使用するガラス蛍光体（図 4 参照）は，透明かつ高い赤外線変換効率を有しているが，薄い青色を呈している．この点について，白い陶器と透明釉薬（焼成すると透明なガラス質を形成する釉薬）を用いて行った別の実験では，ガラス蛍光体粉末の量が微量の場合，陶器の表面に添加された当該粉末の存在は視認困難であり，光励起によって近赤外線を十分に発光することが確認されている[3]．このことから，当該蛍光体は上記の技術を確立できる有効な素材であるといえる．

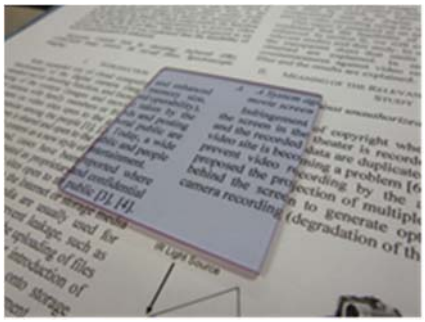


図 4　光励起により近赤外線を発光するガラス蛍光体
Figure 4　Glass phosphor emits near infrared light by optical excitation.

3.2 QR コードの焼き付け

転写紙の利用によって，焼き付けられる QR コードの厚みは約 10μm になるが，この値は微粒子の存在を視認できるか否かの境目である[5]ため，物理的に QR コードの存在が視認できる可能性がある．また，QR コードの厚みによって生じる段差は光を散乱するため，目視により QR コードの存在が確認できる可能性がある．

上記 2 つの視認可能性を解消するために，著者らは，陶土層（素焼き後）の上に QR コードが印刷された樹脂層を貼り付けたあと，陶土層の上位に形成される透明釉薬層を

a 「QR コード」は，株式会社デンソーウエーブの登録商標である．

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

通常よりも厚めにする方法を提案する(図 5 参照). これは，ガラス蛍光体と釉薬は同じガラス質であり，焼成時に双方が親和性を伴って溶融することで QR コードの厚みと段差を減らすことができるため，物理的・光学的側面から QR コードの存在を視認困難にできると考えられるからである.

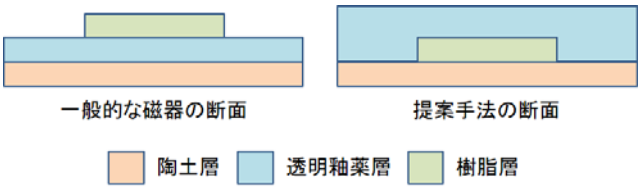


図 5　QR コードの焼き付け方法

Figure 5　Baking QR code onto the porcelain products.

なお，ガラス蛍光体は安定した酸化物であるため人体や自然に影響を与えない[3]が，上記のように釉薬層でカバーすることによって，製品に対する安心感と信頼性を高めることができる.

3.3 QR コードの画像撮影と情報の抽出

著者らは，広範囲に励起光を照射できる光源を用いて，皿に焼き付けられた QR コードに含まれるガラス蛍光体を励起する．そして，図 6 に示すように，ガラス蛍光体による発光の様子を赤外線カメラで撮影することで，QR コードの画像を取得する.

製品の情報の抽出は，上記によって得られた画像に適切な前処理を加えたあと，画像に含まれる QR コードから文字列を抽出できるソフトウェアを用いて実施する.

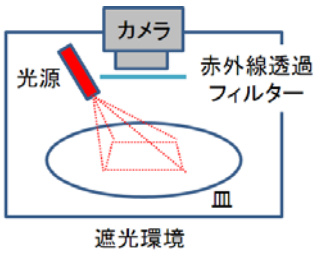


図 6　QR コードの画像の取得

Figure 6　Acquisition of the QR code's images.

4. 実験

本章では，3 章で述べた提案方法の実現可能性を検証するために行った実験とその結果について述べる.

4.1 転写紙への QR コードの印刷

はじめに，一般的な転写紙用インクの作製方法に従い，ガラス蛍光体粉末（インクの顔料に相当する）とビヒクル（顔料を分散させる液体であり，樹脂とこれを溶かす溶剤から構成される）との重量比を 50%：50%にした透明なインクを作製した.

つぎに，QR コードに関する文献[6][7]を参照し，バージョン 1（21 セル），誤り訂正レベル L（復元率約 7%b），セルサイズ 3×3 画素の QR コードを作製した（図 7 参照）. 試みに，上記のコードには Fuchi という英文字を格納した. ちなみに，バージョンと誤り訂正レベルと格納可能な文字数には相関関係があるため，上記コードに格納できる最大文字数は英数字 25 文字となる.

その後，当該コードが 10.5mm 四方に収まるように縮小して転写紙に印刷した（図 8 参照）. 印刷サイズを 10.5mm 四方にした理由は，陶磁器を含む工芸品に付される落款印の最小サイズが 10.5mm 四方であるからである[8].



図 7　作成した QR コードの画像

Figure 7　An image of generated QR code.



図 8　転写紙に印刷された QR コード

Figure 8　Printed QR code onto the transfer paper.



図 9　情報の閲覧方法

Figure 9　Referring method of information.

前述した QR コードに対し，陶磁器に関するすべての情報を格納することは困難である．一方，セキュアな web サーバを構築してその中に上記の情報を格納するとともに，当該情報を参照できる URL を短縮 URL[9]に変換し，「https://」以降の文字列を QR コードに格納する方法であれば，QR コードが持つリソースを有効活用できるとともに，インターネットを経由して陶磁器に関するすべての情報を閲覧できる（図 9 参照）.

本論文では，著者らのアイデアの実現可能性を検証するために上記の大きさの QR コードを用いて実験を行うが，今後は，QR コードのバージョンを変えて実験を行い，当該コードに格納できる情報量を増やす予定である.

b 4 段階ある誤り訂正レベル（H, Q, M, L）のなかで，最も低い復元率．一般的にはレベル M（復元率約 15%）以上が使用される.

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

4.2 QR コードの焼き付け

はじめに，白色陶土を使用した素焼き皿を用意した．当該皿を選択した理由は，2.3 節で述べた要件 1（色への影響）の充足を確認するためであり，ガラス蛍光体がもつ薄い青色が，白色陶土がもたらす色に影響を与えるか否か（つまり，焼成後に薄い青色が視認されるか否か）を検証しやすくするためである．

つぎに，4.1 節で作成した転写紙から樹脂層を剥離し，素焼き皿の中央に貼り付けて乾燥させた．3.2 節で示した，透明釉薬層に厚みを持たせる作業は，素焼き皿に透明釉薬を塗布して乾燥させるという作業を 2 回繰り返すことで実現した．透明釉薬は，焼成前は白色であるが，焼成すると透明なガラス質を形成するため，前段の検証を妨げることはない．焼成では，上記のプロセスを経た皿を炉の中に入れ，2.5 時間かけて 800 度にまで温度を上げたあと 10 分間温度を維持し，1.5 時間かけて温度を下げた．



図 10　QR コードが焼き付けられていない皿（左）と焼き付けられている皿（右）の写真

Figure 10　Image of the porcelain plate without QR code (left) and with QR code (right).

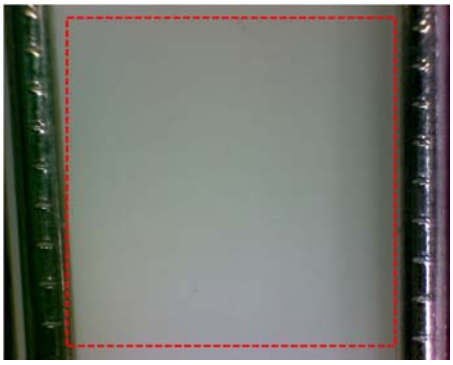


図 11　赤枠内に QR コードが焼きつけられている

Figure 11　QR code was baked in red frame.

図 10 に，QR コードが焼き付けられた皿とそうでない皿の画像を示す．2 つの皿に，外見上の違いは見られない．図 11 に，マイクロスコープを使って，QR コードが焼き付けられている部分を撮影した画像を示す（倍率 10 倍）．QR コードが焼き付けられている場所を分かりやすくするために，幅約 10mm のクリップを目印として撮影している．QR コードは，赤の破線部分（クリップの内径部分）に焼き付けられているが，QR コードの存在と，ガラス蛍光体がもつ薄い青色が視認しにくいことがわかる．

4.3 QR コードの視認性

2.3 節で述べた要件 2（視認困難性）の充足を確認するために，著者らは 4.2 節で示した要領で QR コードを焼き付けた皿とそうでない皿（樹脂層を貼り付けなかった皿）を 3 枚ずつ作成し，前者の皿の裏面にのみ目印を付けた．つぎに，被験者 30 人に対して以下の要領で実験を行い，被験者ごとに正答率を算出した．

(1) 実験者は，QR コードが焼き付けられている皿とそうでない皿の 2 種類があることを説明する．なお，QR コードを焼き付けている位置は教えない．
(2) 実験者は，被験者から見えない場所で 6 枚の皿から 2 枚の皿をランダムに選択する．そして，選択した皿を机の上に置く．
(3) 被験者は，目視により 15 秒間皿を観察する（この間，被験者は皿に触れたり皿の裏面を見たりすることはできない）．つぎに，2 枚の皿が，以下に示す 3 つの組み合わせのうち，どれに該当するのかを回答する．
  (A) QR コードが焼き付けられている皿とそうでない皿のペア
  (B) QR コードが焼き付けられている皿のペア
  (C) QR コードが焼き付けられていない皿のペア
(4) 実験者は皿の裏面を確認し，回答が正しいときにのみ 10 点を加算する．なお，回答の正誤は被験者に通知しない．
(5) (2)から(4)を 10 回繰り返し，正答率を算出する．

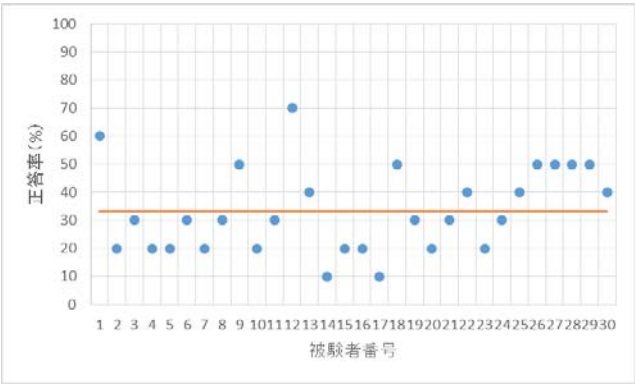


表 1　正答率の分散図

Table 1　Test results (scatter chart).

表 1 は，被験者ごとの正答率を示す散布図である．横軸は被験者番号を，縦軸は被験者の正答率を，赤線は平均正答率（33.3%）を表している．表 2 は，正答率の度数分布を表している．正答率 20%にピークが見られ，これが全体的な正答率を下げている．これらのことから，目視によって QR コードの存在の有無を識別することは難しいといえる．

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

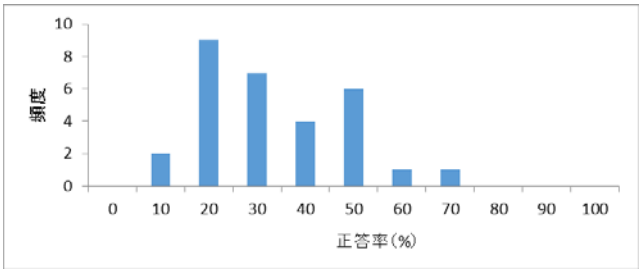


表 2　正答率の度数分布

Table 2　Graph of frequency distribution.

4.4 QR コードの画像撮影と情報の抽出

2.3 節で述べた要件 3（情報の抽出）の充足を確認するために，照射する励起光（レーザー光）の出力を 3 段階（300mA, 400mA, 500mA）に変化させながら，3.3 節で示した要領で，皿に QR コードが焼き付けられている部分を赤外線カメラで撮影した．図 12 に OpenCV[10]を用いた画像処理（ヒストグラムの調整，黒白の反転，輪郭の抽出）前の画像を，図 13 に画像処理後の画像を示す．

つぎに，OpenCV を用いてそれぞれの画像から情報を抽出したところ，文字列 Fuchi が正しく抽出された．



図 12　画像処理前（左：300mA, 中央：400mA, 右：500mA）

Figure 12　Before the image processing. Left: 300mA, Center: 400mA, Right: 500mA

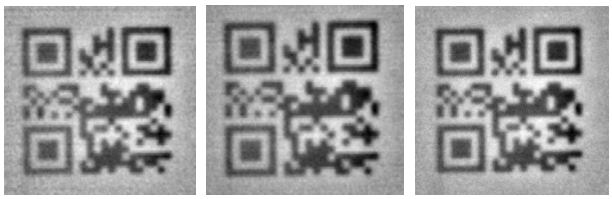


図 13　画像処理後（左：300mA, 中央：400mA, 右：500mA）

Figure 13　After the image processing. Left: 300mA, Center: 400mA, Right: 500mA

5. 考察

本章では，要件の充足と転写紙の製造コストという観点から提案システムを考察する．その後，現在研究が進められている陶磁器向けのインクジェット印刷技術について言及する．

5.1 要件の充足

本節では，提案システムが 2.3 節で述べた 4 つの要件を充足していることを述べる．

5.1.1 要件 1（色への影響）

4.1 節と 4.2 節で述べたように，ガラス蛍光体とビヒクルとの重量比を 50%:50%にしたインクを用いて転写紙に QR コードを印刷し，白色陶土と透明釉薬からなる皿に当該コードを焼きつけたところ，ガラス蛍光体がもつ薄い青色は視認されなかった．これは，著者らが行った別の実験[3]の結果と同じであり，10.5mm 四方におけるガラス蛍光体の割合が微量であったからであると考えられる．

以上のことから，他の色の陶土や釉薬を用いた陶磁器，および絵の具によって絵付けされた陶磁器についても同様のことが成立する可能性が高い．このため，4.1 節と 4.2 節で述べた方法は有効であり，要件 1 を充足しているといえる．

5.1.2 要件 2（視認困難性）

4.3 節で述べたように，被験者 30 人に対して行った実験では，平均正答率は 33.3%であった．これは，QR コードの存在を視認しにくくするための工夫（3.2 節参照）が著者らの狙い通りに功を奏したこと，および，これによって QR コードの有無を正しく識別することが難しかったことを意味している．

以上のことから，3.2 節で述べた工夫は有効であり，要件 2 を充足しているといえる．

5.1.3 要件 3（情報の抽出）

4.4 節で述べたように，3.3 節で示した要領で，皿に QR コードが焼き付けられている部分を赤外線カメラで撮影したところ，励起光の出力を変化させても QR コードが撮影できた．また，OpenCV を用いて QR コードから情報を抽出したところ，いずれの画像からも文字列が正しく抽出された．これは，励起光の出力に多少の幅があっても，また，ガラス蛍光体の量が多少変化しても，光励起によってガラス蛍光体が近赤外線を発光し，その様子を赤外線カメラが捉えられること，および，得られた画像から情報が正しく抽出できることを意味している．

以上のことから，3.3 節で示した方法は有効であり，要件 3 を充足しているといえる．

5.1.4 要件 4（特徴情報としての利用可能性）

ここでは，撮影によって得られた QR コードの画像が皿ごとに異なることを示すことで，当該画像が人工物メトリクスにおける特徴情報として利用できる可能性があることを示す．



図 14　QR コードが焼き付けられた 3 枚の皿から抽出された QR コードの画像

Figure 14　QR code images extracted from three plates with baked QR code.

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

はじめに，QR コードが焼き付けられた 3 枚の皿について，励起光の出力を固定（400mA）して撮影を行い，得られた画像を処理（ヒストグラムの調整，黒白の反転）して図 14 に示す画像を得る．つぎに，図 15 に示すように QR コードの領域 A と B にフォーカスし，図 14 に示すそれぞれの画像についてヒストグラムを算出する(図 16, 17 参照)．

ヒストグラムを比較すると，皿ごとに異なることが分かる．これは，QR コードの焼き付け時にガラス蛍光体粒子の大きさや厚さが自然偶発的に決定され，これらが画素ごとの明暗の違いとして表現されるためである．このことから，撮影によって得られた QR コード画像は特徴情報としても利用できる可能性が高く，提案システムは要件 4 を充足しているといえる．



図 15　ヒストグラムを算出する領域

Figure 15　The area to calculate histogram.



図 16　領域 A のヒストグラム（上：皿(1)，中：皿(2)，下：皿(3)）

Figure 16　The histogram of area A (Top: plate (1), Center: plate (2), Bottom: plate (3)).



図 17　領域 B のヒストグラム（上：皿(1)，中：皿(2)，下：皿(3)）

Figure 17　The histogram of area B. (Top: plate (1), Center: plate (2), Bottom: plate (3))

5.2 転写紙の製造コスト

今回試作した転写紙は，(1)ガラス蛍光体の生成（1kg），(2)インクの作製（ガラス蛍光体の粉砕と微粒粉末化，ビヒクルとの混合），(3)スクリーン印刷用の版の作成，(4)転写紙への印刷，という 4 つのプロセスを経て製造された．

転写紙 50 枚のサンプル製造にかかったコストは 441,129 円であり，内訳は(1)が 333,129 円，(2)から(4)が 108,000 円であった．転写紙 1 枚あたりに換算すると 8,822 円であるが，実運用では大量製造が見込まれるため，上記の金額よりも安く生成できると考えてよい．ちなみに，図柄が印刷された陶磁器用の転写紙 1 枚あたりの販売価格は数百円であり[11]，概ねこの価格帯に収まるものと考えられる．

参考までに，転写紙 1 枚に含まれるガラス蛍光体の価格を算出してみる．著者らは，転写紙 1 枚を印刷するために必要なガラス蛍光体の量を計測していない．このため，QR コードを印刷したサイズである 10.5mm 四方にガラス蛍光体が一様に印刷され，その厚さが図柄の厚みと同じ 10μm になったと仮定する．

図 4 に示すガラス蛍光体（50mm 四方，厚さ 3mm）の重さは 22g であるため，10.5mm 四方，厚さ 10μm におけるガラス蛍光体の重さは 15.4×10^{-3}g となる．このため，転写紙 1 枚あたりのガラス蛍光体の価格は 5.13 円である．実際には，転写紙と同様にガラス蛍光体も大量生産が見込まれ

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

るため，転写紙 1 枚あたりのガラス蛍光体の価格は，上記の金額よりも安くなると考えられる．

5.3 インクジェット印刷の活用と課題

本節では，陶磁器への図柄の焼き付けを目的として研究されているインクジェット印刷[12]を紹介し，その活用可能性と課題について述べる．

5.3.1 オンデマンド印刷

本論文で紹介した，転写紙を用いた図柄の焼き付け方法は，同じ QR コードを持つ製品を大量生産するのに適しているが，転写紙に QR コードを印刷するための版を製造する必要がある．一方，インクジェット印刷は大量生産には適していないが製版プロセスがないため，QR コードを焼き付ける製品の数が少ないときに有利である．

オンデマンド印刷とは,「要求があり次第, 迅速に印刷する」という意味であるが，インクジェット印刷には上記のような柔軟性があることから，作家や窯元のニーズに応じて製品ごとに異なる QR コードを焼き付けることが可能になると考えられる．

5.3.2 より厚みの薄い QR コードの印刷

文献[12]では，ガラス紛体とアルコール系の溶剤を混合させたインク（重量比 10%：90%）を生成し，シェアモードタイプピエゾ式ノズルのインクジェット印刷機を用いて撥水加工されたガラス基板にパターン印刷を行ったあと，基板を 700 度で 10 分焼成した結果が示されている. それによると，厚さ約 0.1μm，幅約 0.12mm のパターンを描くことができている．これは，転写紙による印刷で得られる厚さの 100 分の 1 である．

ガラス紛体の重量比は低いものの，この結果から，インクジェット印刷により QR コードの厚みを大幅に削減できる可能性が高いことがわかる．

5.3.3 課題（ガラス蛍光体粉末の沈降）

文献[12]では，インクに含まれるガラス紛体の沈降試験を行っており，紛体（平均粒子径約 1μm）に表面処理（ステアリン酸処理）を施すことでガラス紛体と溶剤との分離を抑えることに成功している．

著者らが試作したインクはスクリーン印刷用ではあるが，インクに占めるガラス蛍光体の割合は文献[12]よりも多いため，同じ割合でインクジェット用のインクを作成したときに，沈降による分離が見られる可能性がある．このため，割合を調整したり，表面処理の方法を変更したりするなど，沈降による分離を抑える方法を検討する必要がある．

6. おわりに

6.1 サマリー

本論文では，窯元や作家によって日々製造される有価陶磁器製品について，製造プロセスにおいて個々の製品に不可視な 2 次元コードを焼き付ける方法と，当該製品から情報を非接触で抽出する方法を提案した．

前者は，スクリーン印刷と転写紙を使用した図柄の焼き付け技術の応用である．はじめに，透明なガラス蛍光体を含むインクを使って転写紙に QR コードを印刷する．つぎに，転写紙の樹脂層を陶土層と釉薬層との間に配置してから焼成することで実現できる．

後者は，QR コードに含まれるガラス蛍光体による近赤外線発光の様子を赤外線カメラで撮影したあと，得られた画像を処理することで実現できる．

著者らは，ガラス蛍光体がもつ薄い青色が，釉薬や絵の具がもたらす色に影響を与えないこと，製品に焼き付けられた QR コードが視認困難であること，および，撮影によって取得された QR コード画像から文字列を抽出できることを実験により証明した．今回使用した QR コードに格納できる英数字は最大 25 文字であるが，web サーバと短縮 URL の活用により，製品に関するすべての情報をインターネット経由で閲覧することが可能である．

考察では，提案手法が 4 つの要件を充足していること，転写紙の製造コストがリーズンナブルであることを示した. また，インクジェット印刷を用いることにより QR コードの厚みを大幅に削減できる可能性があること，製品ごとに異なる QR コードをオンデマンドで焼き付けられる可能性があることを示した．

6.2 今後の取り組み

転写紙を用いた方法により，著者らのアイデアの実現可能性が高いことが証明されたため，今後は，インクジェット印刷を用いて QR コードをオンデマンド印刷する方法について研究を行う．具体的には，焼成後に形成される QR コードと釉薬層の厚さの低減，QR コードに格納する情報量の増量と誤り訂正率の抑制，ガラス蛍光体粉末の沈降によるインクの分離の抑制があげられる．また，撮影装置の低価格化を図るために，LED 光源を使用した光源の開発を行う．

謝辞 鳴海製陶株式会社・野崎哲様には，転写紙の印刷と焼成実験にご協力をいただいた．岐阜県セラミックス研究所・安達直己博士，茨木靖浩博士，倉知一正研究開発部長には，インクジェット技術に関するディスカッションにご協力をいただいた. ここに謹んで感謝申し上げる. なお，この研究の一部は，公益財団法人・倉田記念日立科学技術財団の支援を受けた．

参考文献

1) 山口真吾, 根付と共箱, http://www5d.biglobe.ne.jp/~mystudy/kikite/column/column9/kikite9.htm, 2015 年 6 月 17 日アクセス
2) 細谷隆男, インターネット公開文化講座 骨董で贋作をつかまないシリーズ, http://www.aichi-kyosai.or.jp/service/culture/internet/art/antique/antique

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GN-97 No.14
Vol.2016-CDS-15 No.14
Vol.2016-DCC-12 No.14
2016/1/21

_2/post_84.html, 2015 年 6 月 17 日アクセス
3) 藤川真樹, 森安研吾, 小田史彦, 渕真悟, 竹田美和, 有価陶磁器製品に対する人工物メトリクス適用のための研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 9, pp. 1992/2007, 2014 年 9 月
4) 田中転写株式会社, 転写技術の利用, http://tanaka-tensha.com/technology.html, 2015 年 8 月 21 日アクセス
5) 芦川秀夫, 食品業界の微粒子測定, http://www.rion.co.jp/product/docs/04.pdf, 2015 年 8 月 20 日アクセス
6) 印刷工業会, QR コードについて, http://www.j-magazine.or.jp/doc/QRcode.pdf, 2015 年 6 月 19 日アクセス
7) パナソニックソリューションズ株式会社, QR コード認識について, http://www.panasonic.com/jp/company/pstc/products/fileocr_l/qr_sample.html, 2015 年 6 月 19 日アクセス
8) 鑑定印鑑ドットコム, 落款印サイズ一覧表, http://inkan.kanteiin.com/Goods/Seal/List/Rakkansize.htm, 2015 年 6 月 19 日アクセス
9) Matthias Kerstner, Shortening Strings (URLs) using Base 62 Encoding, https://www.kerstner.at/en/2012/07/shortening-strings-using-base-62-encoding/, 2015 年 9 月 8 日アクセス
10) OpenCV (Open Source Computer Vision), http://opencv.org/, 2015 年 9 月 8 日アクセス
11) 白磁屋, http://www.hakujiya.com/index.html, 2015 年 8 月 24 日アクセス
12) 横山久範，柘植英明，安達直己，尾畑成造, ガラス紛体を用いたインクジェット印刷試験，岐阜県セラミックス研究所・平成 19 年度報告書, pp. 12/15, 2008 年

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan