

平成30年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「高精細多積層転写技術を用いた透かし情報タグによる製品のブランド化」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 中部経済産業局

補助事業者 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 蛍光材料の開発
- 2-2 高精細多積層転写技術の確立
- 2-3 透光性を有する磁器飲食器への対応
- 2-4 スマートデバイスを用いた読取方法の確立
- 2-5 実機によるシステムのテスト

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

「高度化指針」において定める、川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

「高度化指針」において定める項目

(一) デザイン開発に係る技術に関する事項

1 デザイン開発に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業等の共通の課題およびニーズ

カ. ブランド化

飲食器メーカーにおいては、ライフスタイルの変化や人口減少による国内市場の縮小に対応するため、海外に向けた販路拡大に取り組んでいる。この取組は徐々に成果を上げており、平成24年度から海外への出荷額が右肩上がりに上昇している。特に、ここ2年間での上昇は目を見張るものがあり、いずれも120%以上の高い伸びを示している。出荷額を見れば、平成27年度は平成24年度の1.5倍となり、100億円規模の市場となった。とりわけヨーロッパ市場での日本食ブームは好調でパリやロンドンなどへの展示会に日本飲食器メーカーが初出展するなど、海外市場への進出が目立っている。一方で、アジア圏内でも中国の富裕層を中心に美濃や有田などの高い技術を誇るMade in Japanの製品の購買欲は非常に高い。その一方で近年、アジア諸国（特に中国）において、形状だけを似せて粗悪な原料や粗雑な手法で製品を作製し、裏印や落款印を偽装することで模倣品を正規品として販売する事例が出始めており、企業ブランドに対する信頼性の低下が懸念されている。このため、川下企業においては、従来からの意匠を損なうことなく、正規品と模倣品を安価かつ容易に区別する手法を確立することが喫緊の課題となっている。

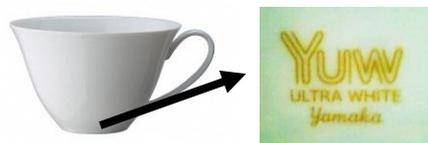
また、現状では製品のコンセプトや作り手の思いを消費者へ伝達することは商品カタログに頼っているが、多種多様の製品があるため、現物とカタログ情報の対応付けに手間がかかり、十分に情報を消費者に伝えることは困難な状況である。商品を追加購入するに際しても、膨大なカタログ情報の検索が必要で、顧客サービスの低下を招いている。このため、商品から直接、製品情報やコンセプト情報等を提供できるシステムを構築し、顧客へのサービスを向上させることが望まれている。

本研究では、このような課題を解決するため、飲食器の意匠に影響を与えない蛍光材料を用いた高精細転写技術（すかし転写技術）とこれに関する読取、認証システムを開発し、国産飲食器のブランド保護とユーザーサービスの向上を目指す。

○研究開発の概要

従来技術（陶磁器分野）

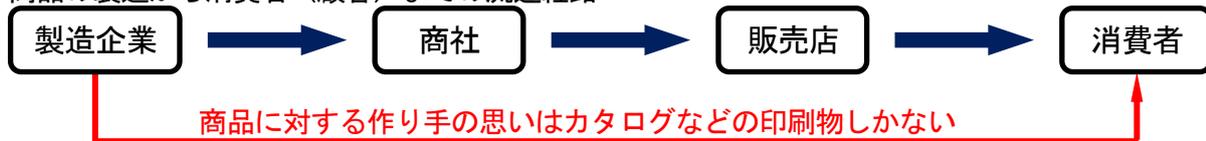
- ・ 自社ブランドを漏示既製品の裏側などに通常の顔料で標記



課題

- ・古典的な裏印や落款印では現在のコピー技術を用いると容易に模倣が可能
- ・膨大な商品の種類がある中で、小物商品においては裏面等のスペースが狭く、意匠を損なわず商品を持定するコード等を埋め込むことが困難

- ・商品の製造から消費者（顧客）までの流通経路

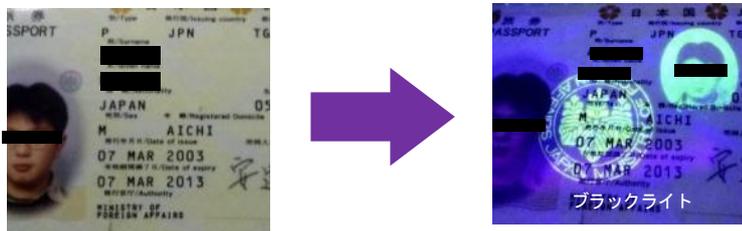


課題

- ・商品に対する作り手の思いを直接消費者に届けるカタログなどの印刷物では限界がある。
- ・製造企業と販売店が乖離しているため消費者への思いが伝えづらい

従来技術（陶磁器分野外）

- ・有機蛍光材料を用いた透かし印刷技術（パスポート等の偽造防止に応用）

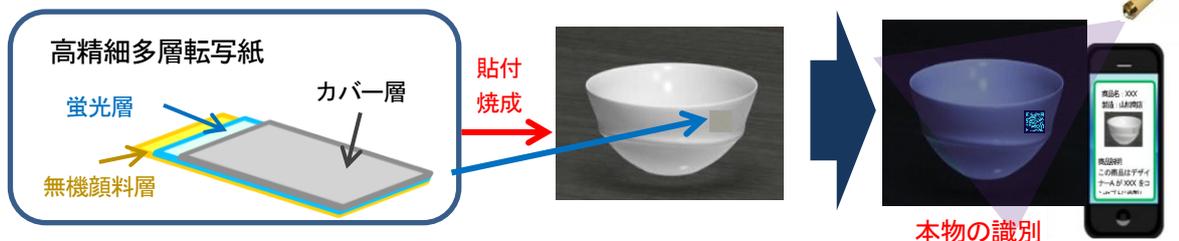


国内への入国に際して入国審査官がパスポートで審査

偽装パスポートかどうかを有機蛍光体のデザインを用いて判別

本研究が提案する新技術

- ・無機蛍光体を用いた透かし効果を有する高精細多積層転写技術の開発



○新技術を実現するために解決すべき研究課題

解決すべき課題	解決方法(サブテーマ)
・高精細の転写技術に対応する微粒な蛍光材料がない。	視認性およびコストを考慮して、無機蛍光顔料とフリットからなる蛍光材料を開発する。無機蛍光顔料とフリットの相性や熱膨張率、屈折率などの課題がある。これら課題に対して最適化した蛍光材料を開発するとともに、高精細転写に対応するため蛍光材料の粒子径を5μm以下まで微粒化を図る。 【1-1】 蛍光材料の開発
・従来の意匠をなるべく損なわない透かしを付与した転写技術が必要になる。	無機顔料層(従来の意匠)、無機蛍光層(QRコード)、カバー層(耐摩耗と耐薬品の機能)からなる3層構造の転写紙を開発することで解決を図る。透かし技術の要件を満たすため明所では無機顔料層まで70%透過する蛍光層・カバー層を開発する。 【1-2】 高精細多積層転写技術の確立
・高級磁器飲食器は非常に肉厚が薄いため透光性があり、転写の遮蔽が影響を与える可能性がある。	極限まで肉厚が薄い試作品を作製し、透光性のある磁器に対しての転写紙の要求される厚みや定着方法を検討し、明所で視認できない条件を見出す。 【1-3】 透光性を有する磁器飲食器への対応
・消費者が簡単に読取できる方法や情報を得る手段がない。	汎用性を考慮してスマートフォン等のスマートデバイスを用いたQRコードの読み取り技術を開発する。 【1-4】スマートデバイスを用いた読取方法の確立
・従来とは異なる転写紙のため実際に川下企業での作業性が考慮されていない。	実際の製品を想定した製造工程での実機試験を行い、実用化に向けた検討を行う。 【1-5】 実機によるシステムのテスト

○研究開発の高度化目標及び技術的目標値

「高度化指針」において定める高度化目標

(一) デザイン開発に係る技術に関する事項

1 デザイン開発に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

②高度化目標

カ. ブランド化

簡易な近紫外線(ブラックライト)で励起し、可視光領域で発光する無機蛍光材料を活用することで透かし技術を付与した高精細で多積層な転写技術の開発を目標とする。さらに、この転写技術でQRコードなどの機能性デザインを描くことで製品情報などをセラミックス製品に組み入れることを特徴とし、明所では不可視で従来の意匠を妨げない。そのQRコードは簡易なブラックライトを照射することで発光し、スマートデバイス(スマートフォンやタブレット)を用いることで簡単に情報を表示できるシステムを構築する。このシステムを活用することで消費者に対して、正規商品であることの証明や製品情報を提供することによる再販や販売促進といった効果が得られ、その高い技術力によって作られた製品は新機能デザインとして製品のブランド化を図ることができる。

本研究開発における技術的目標値

【1-1】蛍光材料の開発

高精細転写技術が要求する 5μ 高以下の蛍光材料で、蛍光材料を0.5Wの近紫外線(ブラックライト)で励起した際に、 10 mcd/cm^2 の発光輝度を有する蛍光材料を開発する。

【1-2】高精細多積層転写技術の確立

従来の意匠をなるべく損なわず、透かしにてQRコードを描いた3層構造の転写紙を作製する。川下企業のニーズに応じるために、カバー層と蛍光層の透過率が70%以上の転写紙が提供できる技術を確立する。

【1-3】透光性を有する磁器飲食器への対応

開発した転写が透光性を有する高級磁器食器に違和感なく貼り付けられること。透光性を有する肉厚が1.5mmの試作品を作製し、開発した転写紙が違和感のないように貼り付けられる条件を見出す。

【1-4】スマートデバイスを用いた読取方法の確立

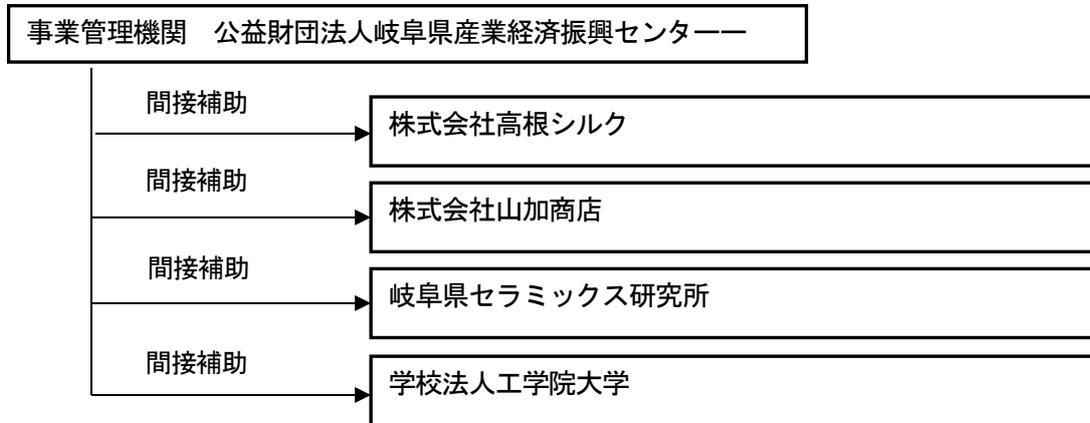
簡易なブラックライト(波長:375nm)を用いてQRコードが焼き付けられている部分に紫外線を照射したときに、スマートデバイス(OS: iOS, Android)に搭載されているカメラを使用して文字情報が読み取れる環境条件を把握する。当該条件下において、文字情報が読み取れる確率を99%以上にする。

【1-5】実機によるシステムのテスト

これまでに作製したシステムを市販商品(山加商店のオリジナル製品)で実機テストを行い、本システムの稼働テストを行う。読取精度が99.9%を目標とした生産ベースでの条件を見出す。

1-2 研究体制

履行体制図



1-3 成果概要

ブラックライトで励起し、可視光領域で発光する無機蛍光材料を活用することで透かし技術を付与した高精細で多積層な転写技術の開発することができた。この転写技術で情報タグ（QRコードなど）を印刷し、磁器製品に転写することで、必要なときにのみ情報タグからスマートデバイス（スマートフォンやタブレット）を用いることで簡単に情報を入手できるシステムを構築することができた。下図には、本事業で開発した成果品を示す。明所にて視認困難で、ブラックライト照射時に発光した図柄や QR コードが表示される。この QR コードはスマートフォンで読み込むことができ、必要なときに必要な情報を得ることができる。また、QR コードに秘密の情報を入れることができる SQRC の技術を導入することで、真贋判定や製造管理ができるシステムとなった。本事業の成果によって、消費者に対して、正規商品であることの証明や製品情報を提供することによる再販や販売促進といった効果が期待できる。

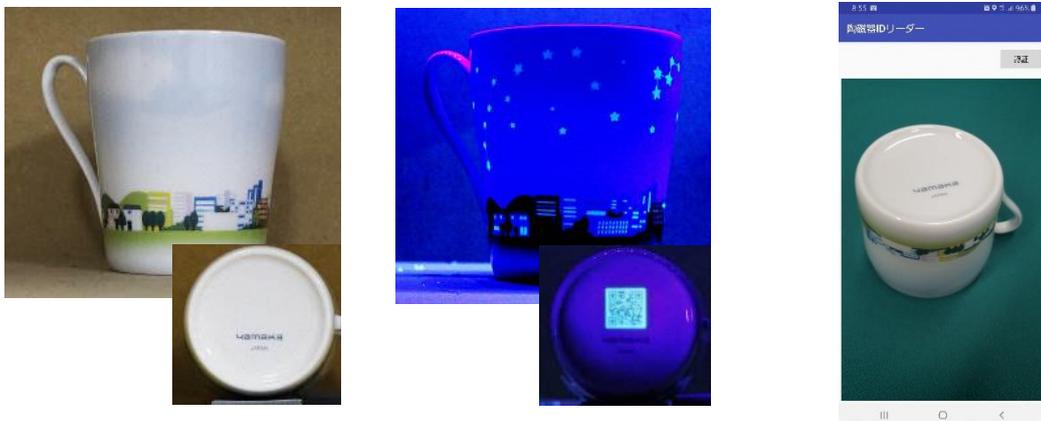


図 本事業で開発した成果品

1-4 当該研究開発の連絡窓口

企業名：株式会社高根シルク

担当者氏名：代表取締役 大澤大二

電話番号：0572-27-3435 FAX番号：0572-27-3676

E-mail：tknsilk “アット” quartz.ocn.ne.jp

メールアドレスは”アット”の部分を@に置き換えて下さい。

第2章 本論

2-1 蛍光材料の開発

(2-1-1) 背景

透かし情報タグを転写紙で作製するにあたり、透かしに用いられる蛍光層の材料を開発することが最も重要なファクターである。本事業の提案では、陶磁器（やきもの）については、製品に定着させるため 800 °C 程度の温度で焼き付ける必要がある。このため有機蛍光顔料を用いると熱によって発光性能が消失するため使用することができず、無機蛍光顔料を用いる必要がある。また、無機蛍光顔料を製品に定着させるためには、接着剤の効果を持たせるためにフリット（ガラスの粉碎物）を混合する必要がある。無機蛍光顔料とフリットの相性が悪いと発光性能の低下や消失が生じたり、反応して変色したりすることがあるため蛍光顔料とフリットの選定は重要である。本項目では、無機蛍光顔料とフリットの選定および組み合わせを評価して、本提案が要求する最適な蛍光材料を開発することが目的である。

(2-1-2) 蛍光顔料の選定

本事業で用いる蛍光材料は蛍光顔料とフリットから構成される。使用する蛍光顔料で求められる条件は次にあげられる。(1) 近紫外線領域で励起して可視光領域で発光すること。(2) セラミックスに定着させるために 800 °C 程度で焼成を行うが、この焼成温度で蛍光顔料が分解や反応などが起こらない耐熱性を有すること。(3) 定着のために混合するフリットが蛍光顔料と反応して顔料が変色を起こしたりや輝度を失ったりしないこと。(4) 不可視であることが求められるため、蛍光顔料に強い色がついていないことなどが求められる。以上の条件をもとに各種蛍光顔料の調査を行った。その結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 のとおり、代表的な無機蛍光顔料について区分けを行い各種項目にて評価した。酸化物演色体は酸化ネオジム (Nd_2O_3) や酸化ホルミウム (Ho_2O_3) のような酸化物であり、各種の波長を吸収することで色見え方が変化する材料である。385 nm の波長を照射して変色するガラスなどに用いられている。酸窒化蛍光体は、サイアロン ($\text{Ca-}\alpha\text{-SiAlON:Eu}$) で示される組成をもった化合物であり、特徴として組成

表 2-1 無機蛍光顔料の種類とその性能

	酸化物演色体	酸窒化系蛍光体	硫化物系蛍光体	蓄光型蛍光体
代表的な組成	Nd_2O_3	$\text{Ca-}\alpha\text{-SiAlON:Eu}$	$\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Eu}$	$\text{Sr}_{14}\text{Al}_4\text{O}_{25}:\text{Eu, Dy}$
通常光での色	紫色	黄色	白色	薄い黄緑色
励起波長	~400 nm	300~400 nm	254 nm	200~400nm
フリットとの反応	低	高	高	低
発光色(演色)	青色	青色	赤色	青緑色
輝度	無	高	高	高
本研究の可能性	× 通常光の色	× フリットと反応	× 励起波長が短い	○

をコントロールすることで多色に発光させることが可能な蛍光体である。硫化物系の蛍光体は、ユーロピウム活性酸化硫化ガドリニウム ($Gd_2O_2S:Eu$) など多種の蛍光体が存在し、活性元素を変えることで発光色を変えることができる(例えばテルビウムの場合は緑色に発光)。蓄光型蛍光体は、アルミン酸ストロンチウム ($Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu, Dy$) の蛍光顔料であり、ユーロピウムとディスプレイウムなどの共付活剤を付与することで発光性能を得る。また、蓄光型蛍光体の特徴として励起した光を蓄光することが可能で、励起光を遮断しても燐光(残光)によって光る性能を有する。それぞれの比較を行うと、通常光での色は酸化物演色体が紫色、酸窒化系蛍光体が黄色、硫化物系蛍光体が白色、蓄光型蛍光体が淡い黄色を呈している。本研究で応用する透かし技術ではなるべく製品の色と類似の色が求められるため、紫色である酸化物演色体は不相当であると考えられる。次に励起波長について比較すると、硫化物系蛍光体は非常に短く、特殊な励起光源が要求されるため本研究では用いることができないが、その他の蛍光体については近紫外光(360~390 nm)で励起するため、本研究での使用は問題ないと考えられる。フリットとの反応性については、用いるフリットが低熱膨張のホウケイ酸ガラスを想定しているため、アルカリ成分との反応性を重視して検討した。その結果、酸窒化系蛍光体は窒素化合物であるためフリット熔融時に酸素と置換するため、発光性能を失うことが考えられる。また、同様に硫化物系蛍光体も硫化物がアルカリと反応するため、発光性能を失うと考えられる。酸化物演色体および蓄光型蛍光体は比較的アルカリ成分に強い酸化物で構成されているため、フリットの種類(化学組成)を検討する必要はあるが、フリットとの相性が良いと考えられる。励起光(近紫外線領域)を与えた際の発光輝度について比較すると、波長の吸収による色の変化である酸化物演色体は原理が発光ではないため輝度はないが、その他の蛍光体については高い発光輝度を示すことが知られている。

それぞれの項目によって検討した結果、本研究での使用の可能性については表 2-1 に示したとおり、蓄光型蛍光体(蓄光顔料)を用いることが最適であると判断した。さらに、蓄光顔料の耐フリット性能や発光輝度の観点から、2種類の蓄光顔料をベースとすることにした。緑色に発光する蓄光顔料は化学式が $SrAl_2O_4:Eu, Dy$ であり、励起波長 200~470 nm で発光波長 520 nm という性質である。もう1種類は青緑色に発光する蓄光顔料は化学式が $Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu, Dy$ であり、励起波長 200~450 nm で発光波長 490 nm という性質である。いずれも励起する波長が広いことが特徴であり、残光輝度も高いことが知られている。また、緑色に発光する蓄光顔料は初期の発光輝度が高いが残光性は青緑と比較すると短く、水によって希土類元素が溶出することで輝度の低下が起こりやすいことが知られている。一方で、青緑色に発光する蓄光顔料は初期の発光輝度は緑色よりも低い、残光性は長く耐水性に優れていることが知られている。本研究ではこれらの2種類の蓄光顔料を蛍光材料のベースに用いることにした。

(2-1-3) フリットの選定

転写紙製造で用いられているフリットを中心にガラス軟化点が 800 °C 以下で低熱膨張なフリット 6 種類を選定した。これら 6 種類のフリットの物性を表 2-2 に示すとともに蛍光顔料との相性を比較検討した。蛍光顔料は(2-1-2)で選定した緑色と青緑色に発光する蓄光顔料を使用した。

線熱膨張係数は製品の素地および塗薬の熱膨張に近いもしくは少し小さいとヒビ割れ(貫入)やキレなどの問題を生じる。また、蛍光顔料の熱膨張係数が大きい ($8.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) ことから使用するフリットはなるべく熱膨張係数が小さい方が良いと考えられる。ただし、転写紙の厚みが薄いために圧縮応力を緩和することが可能であるため、サンプル F に $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ といった熱膨張係数の大きいフリットも比較検討することにした。

表 2-2 比較検討したフリットとその性質

	軟化点	線熱膨張係数		軟化点	線熱膨張係数
A	502 °C	$4.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	D	560 °C	$5.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
B	606 °C	$4.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	E	633 °C	$6.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
C	610 °C	$5.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	F	530 °C	$10.4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

フリットと蛍光顔料との相性比較は、2種類の蛍光顔料でいずれも 25 μm の粒径と表 1-2 で示したフリットを用いて検討した。蛍光顔料の割合を 5 wt%、フリットの割合を 95 wt%となるように秤量し、乳鉢と乳棒で混合した。均一に混合するために、原料と同量のエタノールを添加して混合した。混合後、110°C の乾燥機にて 3 時間以上乾燥し蛍光材料のサンプルを作製した。作製したサンプルは、外割にて 70 wt% のスキージオイルを添加し、3 本ローラーにて 3 回、繰り返し通すことで蛍光材料とスキージオイルを均一混合した。これを 310 メッシュのスクリーン印刷板を用いて、印刷を行って転写紙を作製した。作製した転写紙を磁器食器（山加商店製）の皿に貼り付けて 800°C で焼き付けた。作製したサンプルは、本年度に当事業にて導入した図 2-1 に示す輝度計（オーシャンオプティクス製）を用いて測定を行った。各種フリットで作製したサンプルを暗所にて、385 nm の LED 光源を用いて励起した際の発光輝度を測定するとともに、明所で目視にて評価を行った。緑色に発光する蛍光材料を用いて各種フリットで作製したサンプルを図 2-2 に示す。図 2-2 の左図は明所にて観察した結果であり、右図は暗所にて 385 nm の紫外線を照射した際の発光状態である。転写したサンプルはいずれも貫入などは確認されず、良好に定着していた。この転写サンプルの輝度を図 2-1 の装置にて測定した。図 2-3 にはフリット C で作製したサンプルの輝度



図 2-1 測定に用いた輝度計



明所

暗所

図 2-2 緑色に発光する蛍光材料を用いて各種フリットで転写したサンプル

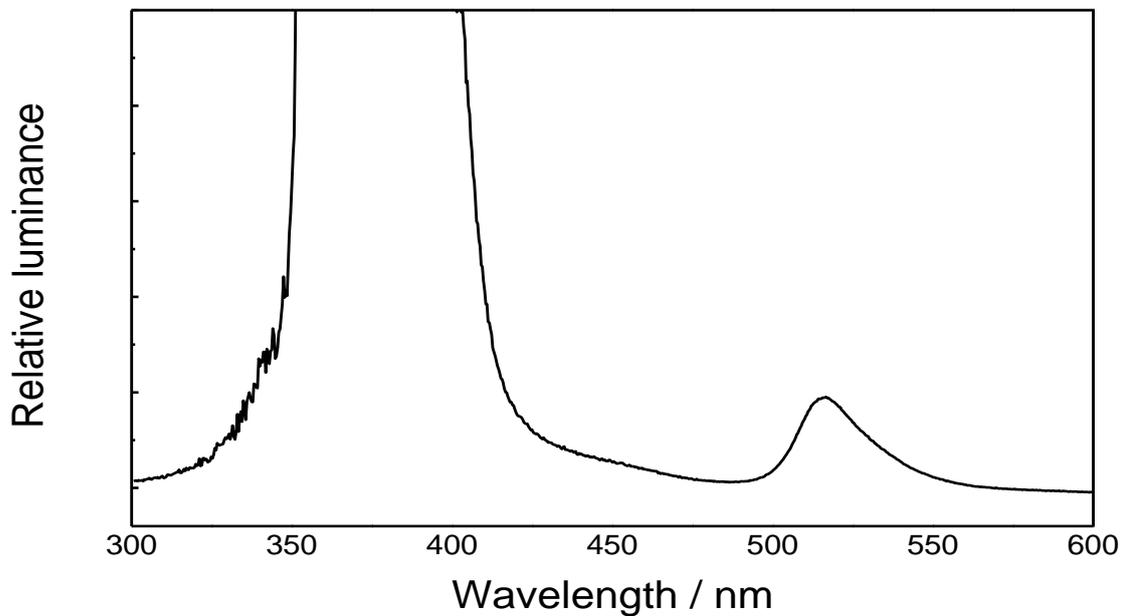


図 2-3 測定した輝度データ

を測定した結果を示す。横軸は波長を示し、縦軸は相対輝度を示す。385 nm の高いピークは、励起光源である紫外線 LED の発光輝度である。近紫外線（385 nm）で励起しているため測定時には励起光源も測定される。本事業で導入した装置の励起光源は出力を手動で可変するため発光輝度が小さい場合は励起光源の出力を上げることで、より弱い発光でも測定することが可能である。ただし、あまりにも出力を上げすぎると励起光源の影響を受けてバックグラウンドが上昇し、サンプルの発光輝度にも影響を与えるため、励起光源の出力はサンプルの発光輝度の測定に影響が出ないように調整した。また、測定結果は相対輝度であるため、異なるサンプルで比較するには同じ励起光源の出力で各サンプルを測定する必要がある。比較を明確にするために、一番高い発光輝度を示すサンプルを 100 として比較をおこなった。図 2-3 に示す通り、緑色に発光する蛍光材料は 516 nm 付近で相対輝度が最も高くなった。いずれのフリットも

同じ蛍光顔料を使用しているため、同じ波長で最も高い輝度を示す。相対輝度および明所で目視にて評価した結果を表 2-3 に示す。測定した相対輝度は、一番輝度が高かったフリット B を 100 として各フリットを比較した。その結果、相対輝度は B>E>C>A>D>F の順に高い発光を示した。特に、フリット D、F については紫外線励起時に目視で判断できない程度の輝度であった。相対輝度の結果から、本研究で利用できる可能性があるサンプルはフリット B、E、C と判断した。次に、目視にて比較したところ、フリット C、D、F は透明性が高く、角度によっては、転写されていることが目視で確認できない程度であった。その他のフリット A、E については転写箇所が若干白く濁っており、目視で確認することができるため△とした。また、フリット B についてはフリットが白濁し、明らかに転写されていることがわかる程度であった。白濁の原因はフリットの成分に含まれているホウ酸の分相によると考えられ、低熱膨張で低軟化点を示すフリットではたびたび生じる現象である。以上のことを総合して判断すると緑色に発光する蛍光顔料との相性を検討した結果、フリット C が本研究で最も実現性が高いと判断した。

次に同様の実験を青緑色に発光する蛍光顔料で行った結果を表 2-4 に示す。その結果、緑色の蛍光顔料とほぼ同じ傾向を示した。この結果から、青緑色に発光する蛍光顔料においても相対輝度および視認性を考慮するとフリット C が本事業で最も実現性が高いと思われる。

表 2-3 各種フリットと緑色の蛍光顔料で作製したサンプルの比較

	A	B	C	D	E	F
相対輝度	18.5	100	85.7	1.9	90.4	1.2
目視評価	△	×	○	○	△	○
評価	×	×	○	×	△	×

表 2-4 各種フリットと青緑色の蛍光顔料で作製したサンプルの比較

	A	B	C	D	E	F
相対輝度	16.9	100	78.7	2.0	83.1	18.5
目視評価	△	×	○	○	△	○
評価	×	×	○	×	△	×

(2-1-4) 蛍光顔料の濃度と輝度の関係について

蛍光顔料とフリットの選定を行い、蛍光顔料 2 種類とフリット 1 種類に絞り込んだ。これまでの研究では蛍光顔料の濃度を一定 (5 wt%) として評価を行ったが、発光した情報タグ (QR コード) を読み取るにはデバイスに付属するカメラで読み取れる発光輝度が要求される。そこで蛍光顔料の割合と輝度の関係を把握することが必要である。各種蛍光顔料 (緑色、青緑色) を 5wt% から 30 wt% まで 5 wt% ごとに濃度を変化させた転写紙を作製し、それぞれの輝度を測定した。使用した原料は緑色・青緑色ともに (2-1-3) で使用した蛍光顔料であり、フリットは最適と判断した C を用いた。蛍光材料の作製および転写紙作製の方法は (2-1-3) で行った方法と同じである。

緑色に発光する蛍光顔料の濃度を変化させて転写紙 (縦 35 mm×横 50 mm のベタ刷り) を作製し、山加商店製の磁器でできた皿に転写して、800°C で焼き付けて輝度を比較するためのサンプルを作製した。作製したサンプルを図 2-4 に示す。いずれの濃度においても転写紙を焼き付けたことによってヒビ割れなどの不具合を発生することはなかった。また、明所にて確認したところ 30 wt% は転写が焼き付けてあることが認識できてしまう可能性があるが、25 wt% までは角度を変えるなどの方法を用いない限り、一見しては認識できない程度であった。想定される製品は蛍光層の上を透明なカバー層が覆うため、より目視では認識できなくなることが期待される。

図 2-4 のサンプルを用いて、蛍光顔料の濃度と相対輝度の関係を把握するべく測定を行った。それぞれのサンプルにおいて発光強度が最大となる 516 nm での相対輝度を測定した。蛍光顔料の濃度と相対輝度の関係を図 2-5 に示す。相対輝度は、385 nm の LED 光源の出力を一定にし、蛍光顔料の濃度が 20 wt% のときを相対輝度 100 としたときの相対輝度を示す。また、各濃度の相対輝度の結果は、転写箇所をスクリーニングして最も高い輝度を示した箇所を測定した。図 2-5 に示す通り、蛍光顔料の濃度が高くなるにしたがって、比例的に相対輝度が高くなっていることがわかる。このことから、スマートデバイスでの読取において要求される発光強度が提示されれば、その輝度の為に必要な蛍光顔料の濃度がわかる。また、印刷のムラから蛍光顔料が濃いところと薄いところが存在し、20 wt% の場合では密な個所が 100 の相対輝度であった場合に疎なところは 75 % 程度の輝度であった。また、各濃度とも蛍光顔料の粒子が個々に確認できる粒径であり、より微粒化が必要であることが分かった。



図 2-4 種々濃度の蛍光顔料 (緑色) で作製したサンプル

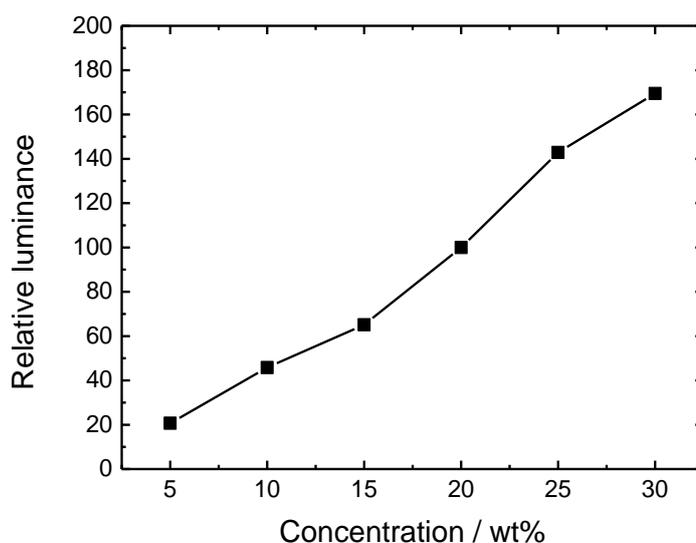


図 2-5 蛍光顔料 (緑色) の濃度と輝度の関係



図 2-6 種々濃度の蛍光顔料（青緑色）
で作製したサンプル

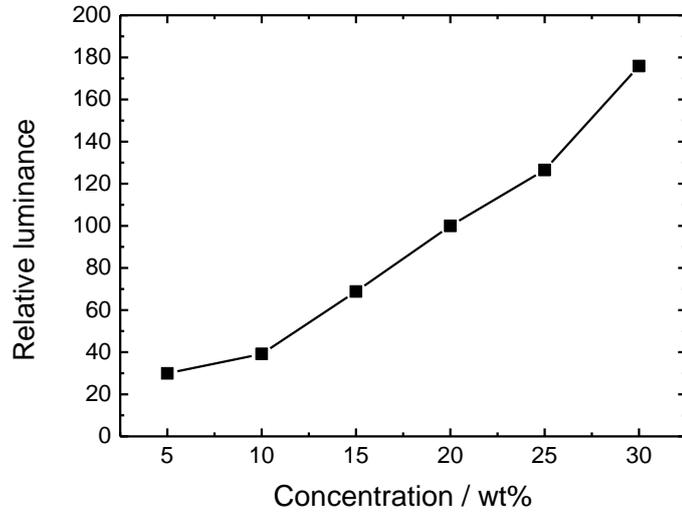


図 2-7 蛍光顔料（青緑色）の濃度と輝度の関係

同様の実験を青緑色に発光する蛍光顔料を用いて比較を行った。作製したサンプルを図 2-6 に示す。青緑色に発光する蛍光材料を用いて作製した転写箇所もひび割れなどの不具合を示すことがなかった。また、明所にて目視にて転写箇所の確認を行ったが、緑色に発光する蛍光顔料よりも目立たなかった。これは蛍光顔料の明所での色が青緑の方が白いためと考えられる。作製したサンプルにおいて各濃度におけるピークトップ（490 nm）の最大相対輝度を測定した結果を図 2-7 に示す。同一出力の紫外線光源を照射して、蛍光顔料が 20wt% の発光強度を 100 とし、各濃度の相対輝度を算出した結果である。図 2-7 に示すとおり、蛍光顔料の濃度が増えるにしたがって相対的に輝度が高くなっていることがわかる。各濃度と相対輝度の関係も緑色に発光する蛍光顔料とほぼ同じような強度を示すことが分かった。また、スクリーニングしたところ緑色に発光する蛍光顔料と同様に顔料のバラツキが確認できた。青緑色に発光する蛍光体も微粒化する必要があることが分かった。

(2-1-5) 蛍光顔料の粒径と輝度の関係について

25 μm の粒子径の蛍光顔料を用いて作製した転写は緑色、青緑色ともにサンプル内での輝度のバラツキが確認された。このため QR コードを作製すると必要な個所が疎らな発光を示すと情報が欠落する可能性が出てくるため問題となる。また、QR コードのバージョンを 40、サイズを 10 mm とした当初の目標値を達成するためには 5 μm 以下の蛍光顔料を用いる必要がある。

そこで、同一種類の蛍光顔料の粒度が 2 μm の蛍光顔料を入手して同様の実験を行った。図 2-8 には 2 μm の緑色の蛍光顔料を用いて作製したサンプルを示す。(2-1-3) の結果と同様に、転写の表面にひび割れなどは発生することはない。ただし、30 wt% の濃度を比較すると 25 μm と比較して 2 μm の方が転写してあることを確認しやすい（白く確認できる）ことが分かった。各種濃度での最大相対輝度を測定した結果を図 2-9 に示す。この際の相対輝度は 25 μm で 20 wt% の濃度で作製したサンプルを 100 として比較した。その結果、10wt% までは緑色の発光が確認できず、発光が確認できたのは 15 wt% 以上であった。また、30 wt% を入れても 25 μm の蛍光顔料で作製した際の 80wt% 程度の輝度であった。同じ濃度で比較すると 2 μm で 20 wt% の濃度で作製したサンプルの相対輝度が 25 μm で 20 wt% の濃度で作製したサンプルの 40% 程度しかなく、粒径が細くなると顕著に輝度が小さくなることが分かった。図 2-10 には緑色で発光する蛍光顔料の 25 μm と 2 μm の相対輝度の測定結果を示す。2 μm で作製したサンプルは輝度が低くなり、25 wt% の蛍光顔料で比較すると 2 μm の輝度は 25 μm と比較して 1/4 程度まで落ち込んだ。2 μm で作製したサンプルが 10 wt% まで発光が確認できなかったことや大きく輝度が低下したことの原因として、元の蛍光顔料の輝度が小さいこと（蛍光顔料は粒度が小さくなると輝度が低くなることが知られている）および使用しているフリットと蛍光顔料が反応したことによる輝度の低下が考えられる。しかしながら、25 μm のサンプルと比較して 2 μm は均一な発光をしめしており、スクリーニングで測定してもほとんど輝度は変わらなかった。以上のことから次年度は当所の予定通り、25 μm の蛍光顔料を粉碎し、任意の蛍光顔料の粒度で発光輝度と均一な発光を示す転写の条件を把握する。



図 2-8 種々濃度の 2 μm の蛍光顔料（緑色）で作製したサンプル

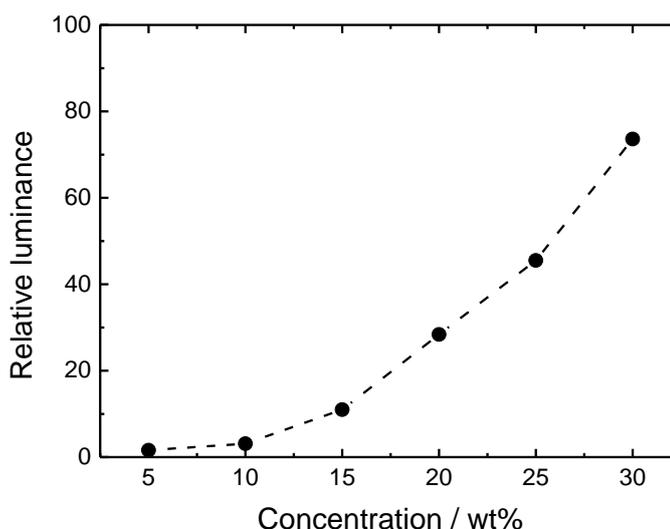


図 2-9 2 μm の蛍光顔料（緑色）の濃度と輝度との関係

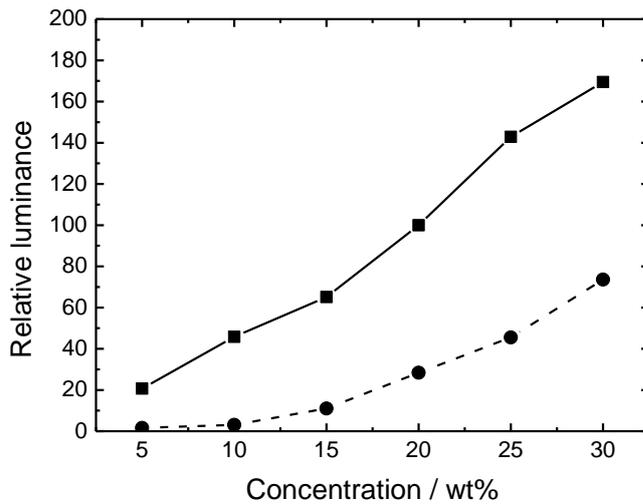


図 2-10 緑色に発光する蛍光顔料の粒度が異なる原料で作製したサンプルの相対輝度と濃度の関係

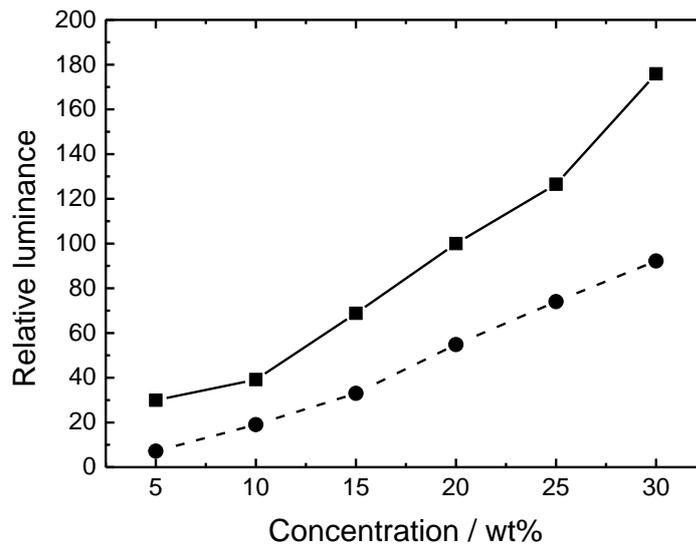


図 2-11 青緑色に発光する蛍光顔料の粒度が異なる原料で作製したサンプルの相対輝度と濃度の関係

同様に、青緑色に発光する蛍光顔料を用いて粒度の違い（2 μm、25 μm）による相対輝度の違いについて検討した。それぞれの測定した結果を図 2-11 に示す。緑色と比較して青緑色に発光する蛍光顔料の方が輝度の低下が小さく、25 μm の相対輝度と比較して 2 μm は 1/2 程度であり、10 wt%以上で発光を確認することができた。この結果から、粒度を小さくしても青緑色の方が輝度の低下が小さいため、フリットとの反応が緑色よりも少ないと考えられる。以上の結果から、青緑色の方が輝度の低下が少ないことから、本事業の蛍光顔料は青緑色に発光する蛍光顔料が最適であると判断した。

(2-1-6) 蛍光顔料の割合と輝度の関係把握

次に、青緑色に発光する蛍光顔料を 30wt%以上の高濃度での相対輝度について濃度と輝度の関係について検討した。蛍光顔料の濃度と相対輝度の関係を図 2-12 に示す。蛍光顔料の濃度が高くなるにつれて相対輝度は高くなり、50wt%の蛍光顔料では 30wt%と比較して約 2.3 倍の輝度を示した。また、蛍光顔料が 50wt%を超えると、相対輝度の上昇は小さくなる傾向を示した。さらに蛍光顔料を 60wt%よりも多い含有量で転写紙を作製すると、混合しているフリットが不足するためと考えられる表面のざらつきが発生した。相対輝度の結果とコスト面を考慮すると蛍光顔料の濃度は 50wt%以下にすることが望ましいことが分かった。以上の結果をまとめると蛍光材料は青緑色に発光する蛍光顔料とフリットを蛍光顔料の濃度が 50wt%以下で調製することが必要である。

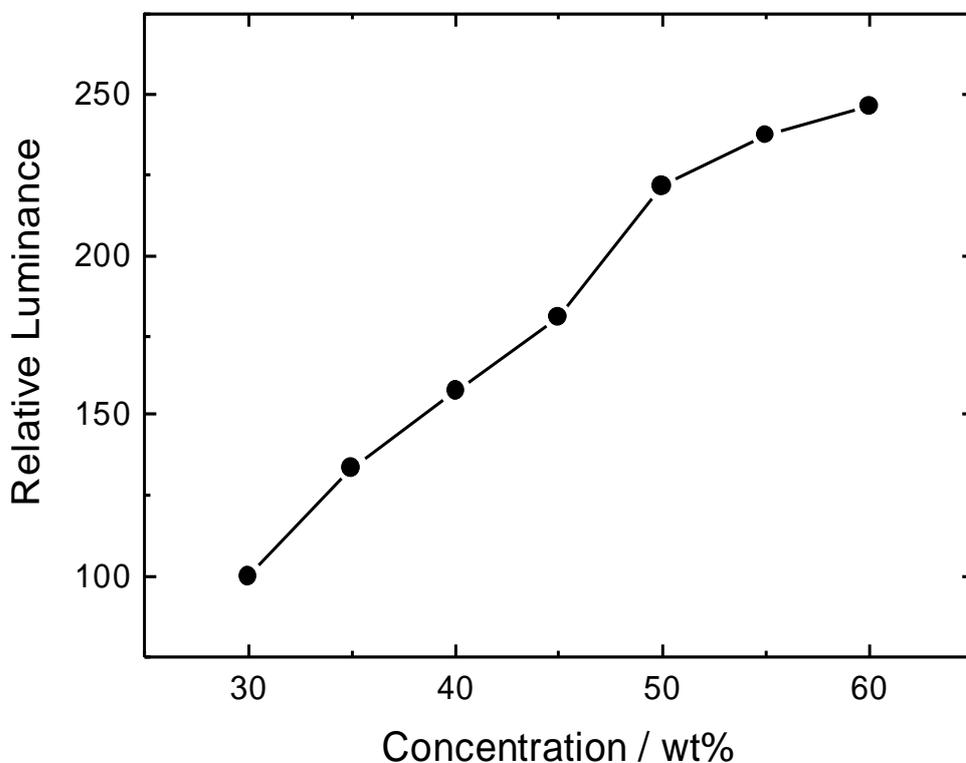


図 2-12 青緑色に発光する蛍光材料を用いた濃度（30 wt%以上）と相対輝度との関係

(2-1-7) 遊星攪拌脱泡機を用いた蛍光ペーストの調製

これまでの研究によって、必要な蛍光材料の調合を見出すことができた。しかし、これまでの調製方法では以下の図 2-13 に示すような工程で転写で使用する蛍光ペーストを作製しペーストの調製に時間がかかっていた。調製方法は、あらかじめ蛍光顔料とフリットにアルコール(イソプロピルアルコール、IPA)を添加して乳鉢と乳棒にて均一混合し、その後 110°C に設定した乾燥器にて 24 時間乾燥することで蛍光材料を得た。得られた蛍光材料にスキージオイルを添加して、3 本ローラーにて混練することで蛍光ペーストを作製した。また、蛍光材料を事前に調製せずに、3 本ローラーで蛍光顔料とフリット、スキージオイルを添加して調製したところ、蛍光顔料の一部が凝集しており、均一なペーストを作製することができなかった。実用化に向けては蛍光ペーストを量産化できる体制が必要であり、従来の手法では量産化は困難であると判断した。そこで、新規にペーストを調製する方法を検討する必要がある。

近年、インクや懸濁液の調製を短時間で実施可能な遊星攪拌を利用した装置が普及し始めている。この遊星攪拌脱泡機を導入し、短時間で蛍光ペーストを調製することを試みた。導入した遊星攪拌脱泡機による蛍光ペーストの調製工程および攪拌機構を図 2-14 に示す。従来では蛍光ペーストを作製するために 24 時間以上の処理時間が必要であったが、遊星攪拌脱泡機を使用するとおおむね 5 分程度で蛍光ペーストを調製することが期待できる。

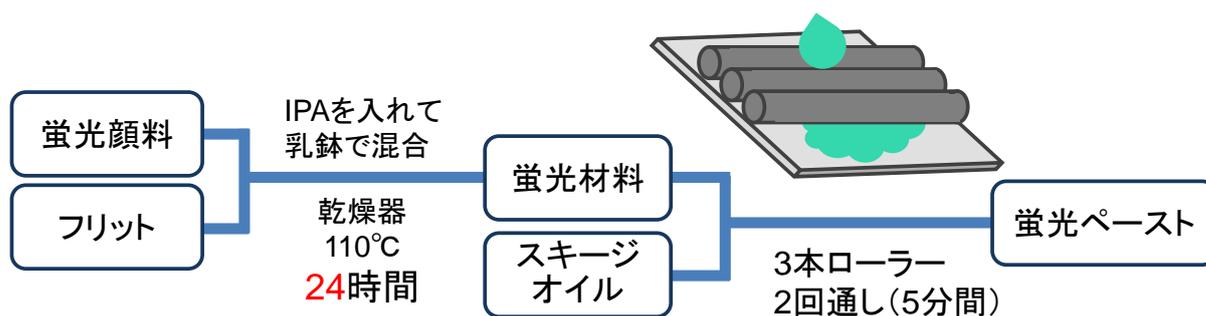


図 2-13 昨年度まで実施していた蛍光ペーストの調製工程



図 2-14 遊星攪拌脱泡機を用いた調製工程と攪拌機構について

表 2-5 遊星攪拌脱泡機の公転速度について

公転設定値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ロータ回転速度 (rpm)	0	250	345	440	533	630	720	820	915	1000

表 2-6 遊星攪拌脱泡機の自転速度について

公転 \ 自転	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.1	26	36	45	55	65	75	85	95	103
2	0.2	52	71	91	111	130	150	170	189	207
3	0.3	78	107	136	166	195	225	254	284	310
4	0.4	103	143	182	221	261	300	339	378	414
5	0.5	129	178	227	277	326	375	424	473	517
6	0.6	155	214	273	332	391	450	509		
7	0.7	181	250	318	387	456	525			
8	0.8	207	285	364	443	521				
9	0.9	235	324	414	503	592				

この遊星攪拌脱泡機は図 2-14 に示すような自転と公転を組み合わせることで発生する遠心力による材料の対流によって攪拌できる。特徴として、攪拌する羽根を必要としないため応力集中が起こりにくく、粘性の高い液体と固体を短時間に均一混合するのに優れている。設定可能な公転速度と自転速度を表 2-5 および表 2-6 に示す。公転速度は表 2-5 に示すとおり、0 から 9 までの値に設定することができ、その際の回転速度は 0 から 1000rpm にて表のとおり回転速度に設定することが可能である。また、自転速度は表 2-6 に示すとおり、0 から 9 までの設定値にて速度を設定することが可能であるが、自転の回転速度は公転速度に依存し、公転速度が設定値 6 以上になると自転の最高速度の設定値は 9 よりも小さい値となる。

従来の蛍光ペーストの調製条件を踏襲して、導入した遊星攪拌脱泡機を用いて蛍光ペーストの調製を試みた。試作は蛍光顔料 30g とフリット 30g にスキージオイルを 40g 添加し、計 100g の蛍光ペーストを作製する条件で実施した。遊星攪拌脱泡機の設定条件はメーカーの推奨条件を参考にし、遊星の回転を与える前に真空引きし、真空到達後に公転 9、自転 5(表 2-6 の白字部分)で 180 秒間攪拌することで調製を行った。その結果、ペーストは均一な混合状態で、流動性も良好であったが、高速回転の攪拌による発熱が発生し、ペーストの温度は 53.2℃と非常に高くなった。この温度は、使用しているスキージオイルの引火点 (56℃) に近いことから、温度を抑制する必要があることが分かった。

メーカーの推奨条件で発熱の問題が発生したため、これらを解決するために次の 2 つの条件を目標として調製条件を検討した。1 つ目はペースト調製後の温度は 46℃ 以下になること (スキージオイルの引火点より 10℃低い温度を設定)、2 つ目は従来の 3 本ローラーで作製していた蛍光ペーストと同じ程度の粘性を示すペーストを調製すること。この条件が得られるような調製条件を見出すことを目標に蛍光ペーストを種々設定条件にて検討した。メーカーの推奨条件でのペーストの発熱現象の発生は、始めに真空引きすることで攪拌中の摩擦熱 (顔料とフリットの摩擦熱) が蓄積され、大気に戻った際に一気に発熱を起こしたのではないかと推察した。そこで、これらの問題を解決するために、3 段階のステップを行うことで、1.始めに大気状態で攪拌を行って各原料を均一に攪拌する。2.攪拌して得られたペ

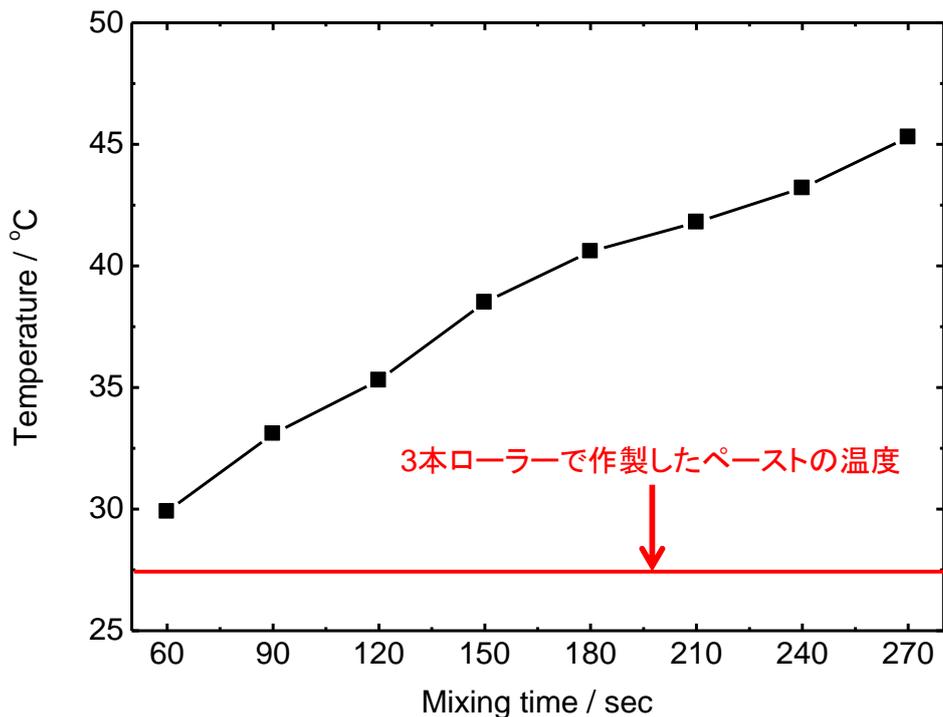


図 2-15 攪拌時間と調製直後のペーストの温度との関係について

ーストを真空引きし、脱泡を行う。3.そのまま真空状態で緩やかに攪拌して、脱泡時の不均一な状態を解消することで目標をクリアする蛍光ペーストの調製を検討した。

大気状態での攪拌時間による蛍光ペーストの発熱と粘性の関係を把握するために、遊星攪拌脱泡機の設定条件を公転速度 9、自転速度 5 に設定し、攪拌時間を種々変更して調製を行った。調製したペーストは直ちに温度測定を実施し、その後温度 25°C にてレオメーターにて 1/s から 100/s のせん断速度にて、それぞれのせん断応力を測定した。また、その結果から、見掛け粘度を算出し攪拌時間と見掛け粘度の関係を測定した。

攪拌時間を 30 秒から 270 秒まで 30 秒間隔にてそれぞれの攪拌時間でペーストを調製し、調製直後の温度を測定した。ただし、攪拌時間が 30 秒の際は、均一にペーストを調製するには攪拌時間が短すぎたため均一なペーストとならず蛍光顔料やフリットの粉が残っていた。しかし、60 秒間以上で攪拌を行うと、粉は分離しておらず、均一なペーストを作製することができた。そこで、各攪拌時間で調製したペーストの温度を測定した結果を図 2-15 に示す。ペーストの温度は攪拌時間が長くなるにつれて、相対的に上昇していることが分かる。また、270 秒間以上攪拌すると目標とした設定温度 46°C を超えたため、それ以上の攪拌を行わなかった。比較として、3 本ローラーで調製したペーストの温度を測定したが、3 本ローラーで調製したペーストは室温とほぼ同じで発熱は起こらないことが分かった。以上の結果から、攪拌時間はなるべく短くすることがペーストの温度を抑制する効果大きいことが明確になった。

次に、攪拌した時間とペーストの粘性の関係を図 2-16 に示す。比較として、3 本ローラーで調製したペーストの粘性もあわせて示す。攪拌時間が長くなるにつれて、せん断速度に対するせん断応力が相対的に小さくなっていることが分かる。3 本ローラーの粘性はほぼ 90 秒間攪拌して調製したペーストの粘性とちかい挙動を示していることが分かった。そこで、せん断速度とせん断応力から算出される見掛け

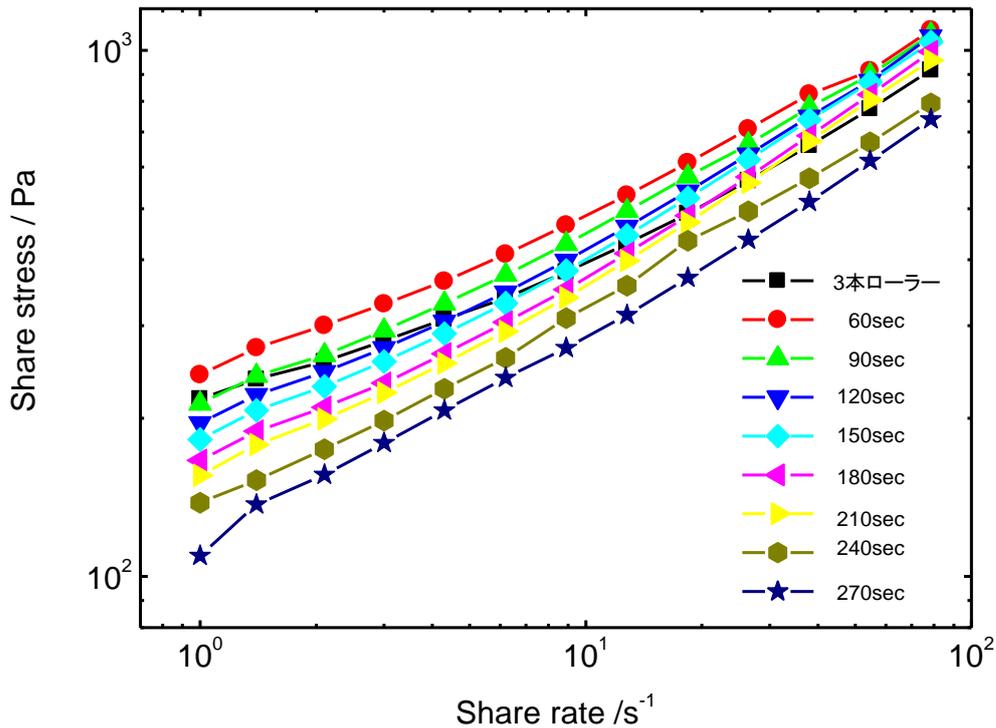


図 2-16 ペースト調製の攪拌時間と粘性の関係について

粘度から、従来の3本ローラーと同等になる粘性を示す条件を見出すことにした。この際に、シルクスクリン印刷で吐出するせん断速度はおおよそ $1/s$ であることから、このせん断速度に着目し、その結果を図 2-17 に示す。攪拌時間が長くなるにつれて、粘度が相対的に小さくなっていることが分かる。また、3本ローラーの見掛け粘度と比較すると90秒間攪拌するとほぼ3本ローラーと同じ見掛け粘度を示すことが明らかとなった。以上の結果から、遊星攪拌脱泡機の攪拌時間は、発熱温度と粘性の関係から90秒間が最適であると判断した。大気状態での最適な攪拌時間を得ることができたことから、脱泡工程を含めたペースト調製の検討を行った。脱泡工程を含めた調製条件は次のような3段階のステップを踏むことで実施した。各工程の条件は次の通りである。

1st step⇒大気状態で公転9・自転5の条件で90秒間攪拌

2nd step⇒真空状態100秒間真空引き（攪拌なし）

3rd step⇒真空状態で60秒の低速攪拌（公転3、自転6）

これらの工程を行って、ペーストを作製した結果、調製直後のペーストの温度は 33.2°C でペーストの粘性は従来の3本ローラーとほぼ同じであった。この結果は、従来の工程を大幅に短縮することができ、約5分程度で良好な蛍光ペーストを作製することが可能となった。このことから、この調製条件で遊星攪拌脱泡機を使用すれば量産化が可能である。

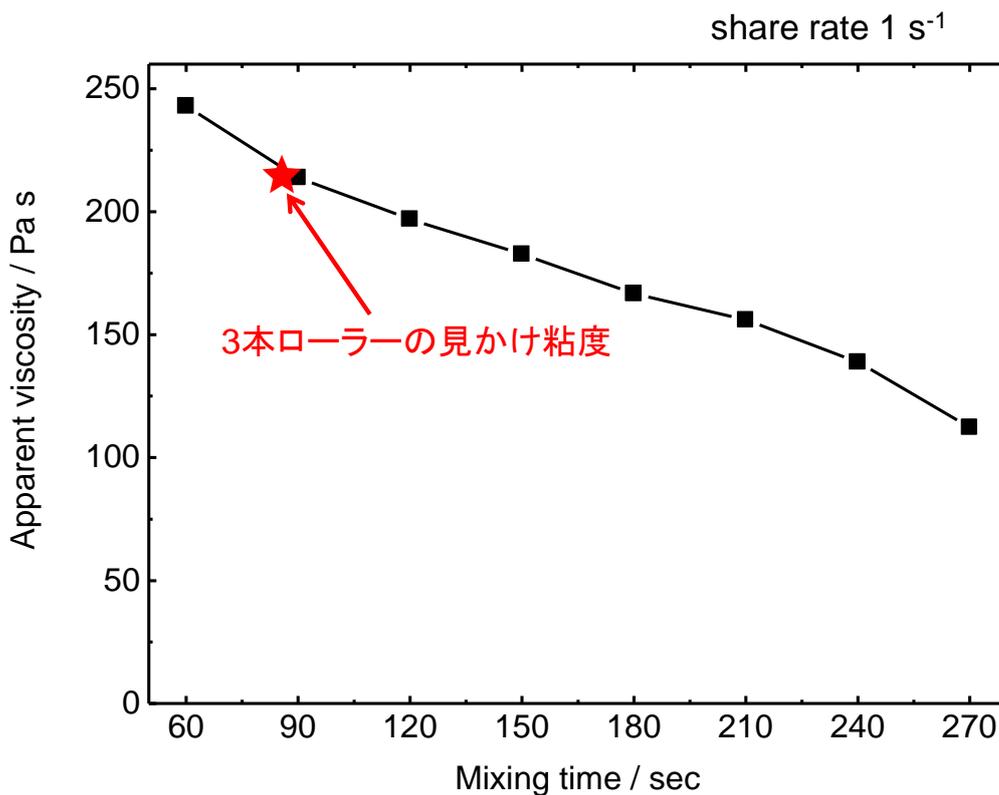


図 2-17 ペースト調製の攪拌時間と見掛け粘度の関係について

(2-1-8) まとめ

本事業で使用する蛍光材料の開発を行った。その結果、ブラックライト照射時に青緑色に発光する蛍光顔料とフリットCが最適であると判断した。蛍光材料の発光輝度は蛍光顔料の濃度で制御することが可能であることが明らかとなった。また、蛍光顔料の粒径が小さくなると発光輝度が低下することが分かった。さらに量産化に対応するため、遊星攪拌脱泡機を用いた蛍光ペーストの調製を検討した。その結果、従来の工程を大幅に短縮することができ、約5分程度で良好な蛍光ペーストを作製することが可能となった。このことから、この調製条件で遊星攪拌脱泡機を使用すれば量産化が可能であることが判った。

2-2 高精細多積層転写技術の確立

(2-2-1) 背景

高精細多積層転写技術の確立では透かし情報タグを印刷する転写紙の作製を目的とする。この転写紙は複数の層で構成されており、情報タグを印刷する蛍光層以外にも通常の絵具で印刷する無機顔料層やカバー層などによって形成される。作製条件として、各層が熱膨張差などによってヒビ割れが起こらないことや白濁などの変色を起こさないことが条件として求められる。さらに、より複雑なQRコードを描くことから高精細且つ高精度に転写紙を印刷する必要がある。また、蛍光層を保護するカバー層については蛍光層の輝度をなるべく低下させないことが重要である。本章では、このような高精細で多積層層構造を有する不可視な転写紙の条件を見出すことを目的とする。

(2-2-2) 印刷版の mesh サイズと輝度の関係について

蛍光層を印刷する際の印刷版の mesh サイズと輝度の関係について検討を行った。転写に使用する印刷版は、転写紙の解像度と厚さに大きく関係している。印刷版はポリエステル製の糸を網目構造で張り、網目の空孔部分がインクを通過することで転写される。本研究では、一般的に使用されている mesh サイズ #150～ #310 の印刷版を用いて比較検討を行った。各 mesh の印刷版の目開きと線径、空間率について表 2-7 に示す。表 2-7 に示すように、印刷版の mesh の目開きは番手の数字が大きいくほど狭いため、高解像度となる。また、線形については高さ方向が転写紙の膜厚に影響し、線形が太いほど膜厚は厚くなる。また、空間率は解像度が高くなると mesh 幅（網目）が細くなることから、使用する線径が同じであれば空間率は比例して小さくなる。

目開きの差を比較すると#150では115 μ mに対して#310では53 μ mと半分以下の目開きであり、解像度は4倍以上となる。また、線径は#150のときに54 μ mと比較して#310のときに30 μ mと半分程度の高さであり、#180と#200および#250と#270はそれぞれ48 μ mと40 μ mと同じ線径である。印刷版の mesh サイズと膜厚および輝度の関係を明確にするために、それぞれの印刷版に2-1で開発した蛍光材料（蛍光顔料の濃度30wt%）を用いて、QRコードと20mm角のベタ刷りの画像を転写紙として作製した。作製した転写紙は無地の白色磁器に800 $^{\circ}$ Cで焼き付けた。膜厚の測定はデジタルマイクロスコープを用いて評価した。

転写に使用する印刷版は、転写紙の解像度と厚さに大きく関係している。印刷版はポリエステル製の糸を網目構造で張り、網目の空孔部分がインクを通過することで転写される。図 2-18 には本研究で使用

表 2-7 印刷版の mesh サイズと各仕様について

mesh	目開き(mm)	線径(mm)	空間率(%)
#150	115	54	46.4
#180	93	48	43.5
#200	79	48	38.7
#250	62	40	36.8
#270	54	40	33.0
#310	52	30	40.1

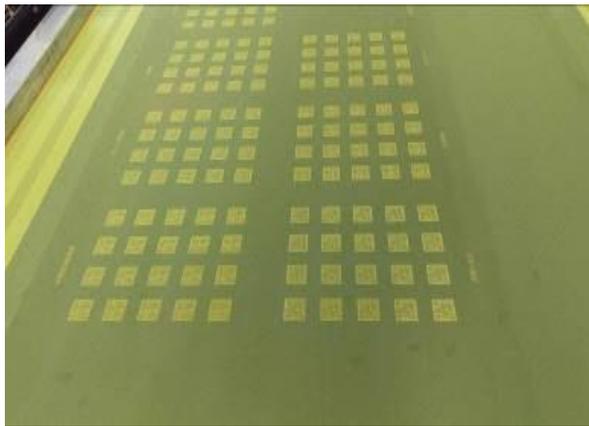


図 2-18 本研究で使用した印刷版

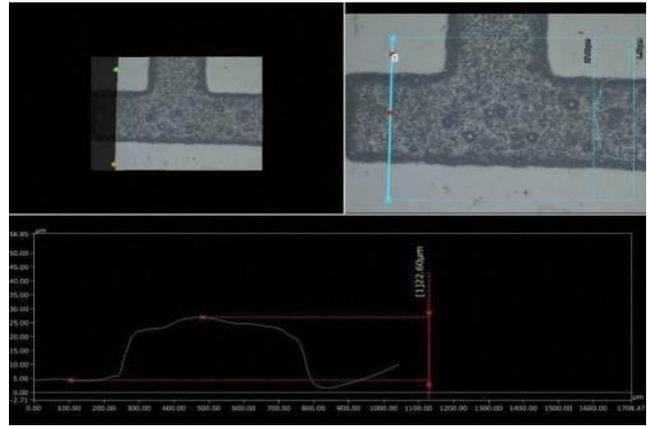


図 2-19 膜厚の測定方法

した印刷版 (mesh #270) を示す。黄色に見える部分はインクが吐出される個所であり、緑色の個所は硬化樹脂によりインクが吐出されない部分となる。印刷機にこの印刷版を設置してインクを塗布し、ブレードで刷り切ることで転写紙は作製される。

発光輝度を左右する蛍光層の膜厚は転写紙の解像度とともに使用する印刷版の mesh サイズが大きな影響を与えると考えられる。そこで mesh サイズと膜厚の関係および相対輝度について比較検討を行った。蛍光層の膜厚はデジタルマイクロスコープを用いて、QR コードの凸の部分と凹の部分の高低差を、測長機能によってデジタルマイクロスコープの機能を用いて測定を行った。図 2-19 には蛍光顔料が 30wt% の蛍光材料を用いて #150 mesh で転写した試作品を用いて磁器食器に 800°C で焼き付けたサンプルを倍率 500 倍で観察した結果を示す。図 2-19 の上半分に示された微構造が、転写された磁器の表面であり、濃い灰色の部分転写された蛍光層となる。表面の観察結果から、蛍光層が転写されている箇所と転写されていない箇所の境界ははっきりとしていることが分かる。蛍光層をまたいだ磁器表面の 2 点間の凹凸をデジタルマイクロスコープの高低差を測定 (ピントの自動調整機能を利用して深度を測定) する機能を用いて測定した。その結果、#150 mesh では 22.6 μ m の膜厚を示していることが分かった。それぞれの mesh で同様の測定を行い、得られた印刷版の mesh サイズと蛍光層の膜厚の関係を図 2-20 に示す。蛍光層の膜厚は番手の数字が大きくなるにつれて小さくなることが分かった。#150 mesh が膜厚 22.6 μ m と比較して #180 mesh は膜厚が 16.7 μ m と薄く、さらに #200 mesh では 14.6 μ m と薄くなった。#150 mesh から #180 mesh の膜厚の差は 5.9 μ m に対して、#180 mesh から #200 mesh の差は 2.1 μ m と差が少ない。この結果から、膜厚は線径 (mesh 系の太さ) に大きく影響すると考えられ、#180 mesh と #200 mesh の差は空間率によると考えられる。同様に、#200 mesh→#250 mesh (線径の差)、#250 mesh→#270 mesh (空間率の差)、#270 mesh→#310 mesh (線径の差) も同じ傾向を示した。#310 mesh では膜厚が 7.0 μ m と #150 mesh と比較して、約 1/3 の膜厚になった。

次に蛍光顔料が 30wt% の蛍光材料を用いて、各 mesh の印刷版で作製したサンプルの相対輝度を測定した。相対輝度は #250 mesh で作製したサンプルの輝度を 100 として比較を行った。印刷版の mesh サイズと相対輝度の関係を図 2-21 に示す。相対輝度は番手の数字が大きくなるにしたがって低くなっている。最も膜厚が厚かった (低解像度) #150 mesh の相対輝度は 150 であり、最も膜厚が薄い (高解像度) #310 mesh は 66 であった。相対輝度の結果は、線径が同じ #180 mesh と #200 mesh、#250 mesh と #270 mesh の相対輝度は膜厚の結果とほとんど変わらない挙動を示した。

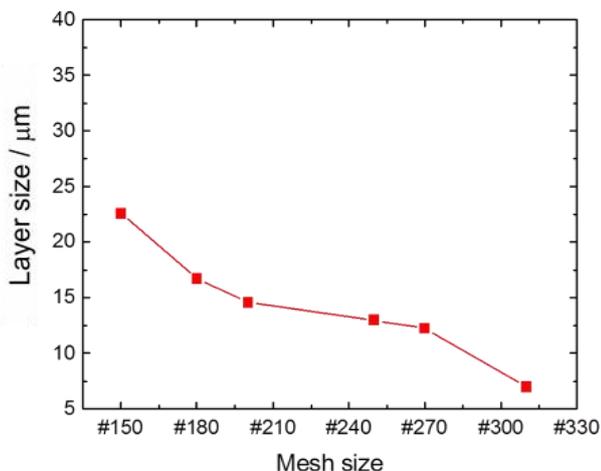


図 2-20 印刷版の mesh サイズと膜厚の関係

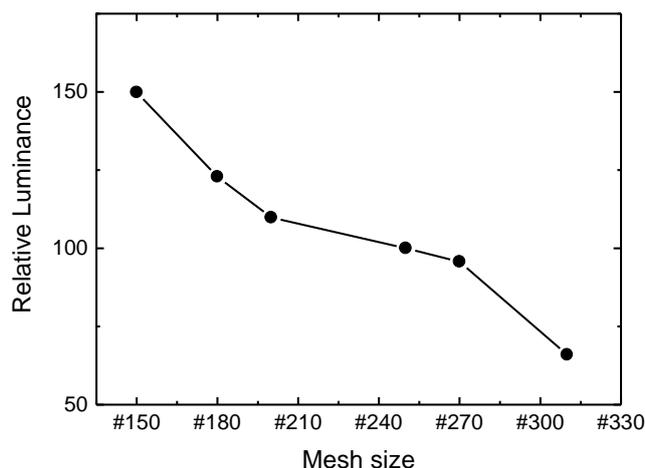


図 2-21 印刷版の mesh サイズと相対輝度の関係

(2-2-3) カバー層の選定について

蛍光層を保護するカバー層について、3種類のフリットを用いて、比較検討した。このカバー層は、水に弱い蛍光顔料の保護や蛍光層の摩擦による劣化の保護を目的とする。カバー層の役割から求められる条件として、800℃で焼き付けた際に熔融して表面をカバーすることができること、蛍光層と反応して変色などを起こさないことなどが挙げられる。このため、カバー層に使用するフリットは、蛍光材料を開発する際に白濁を起こさなかった3種類のフリットを用いて検討した。具体的には、表 2-2 の C、D、E である。それぞれ蛍光顔料が 30wt% 入った蛍光層をベタ塗りし、その上から各カバー層となるフリットをベタ塗りしてサンプルを作製し評価を行った。比較した3種類のフリット（表 2-1 の C、D、E）のうち、フリット E は、カバー層として使用すると乳濁が発生したため、候補から外れた。カバー層として透明であったフリット C と D はいずれも、温度差 150℃でのスポーリング試験をクリアし、使用に問題ないことが分かった。ただし、それぞれの相対輝度を比較したところフリット C の方が相対輝度は高かったため、フリット C を最適なフリットとした判断した。さらに、カバー層をつけることで QR コードはいずれも見えにくくなり、不可視化に有効であることが分かった。

カバー層を用いることによる輝度の変化を把握するために、それぞれの mesh サイズで作製した転写紙のカバー層が有るか無いかでの比較を検討した結果を図 2-22 に示す。カバー層無しでの #250 mesh で作製したサンプルの輝度を 100 として相対輝度の比較を行った。図 2-22 からカバー層を付けることによって相対輝度が低下していることが分かる。同一の mesh サイズで相対輝度を比較するとカバー層を付けるとカバー層無しでの約 80%~70%の輝度に低下することが分かった。ここで、各 mesh の印刷版を用いて QR コードの試作を行い、スマートフォンを用いて簡便な読み取りテスト（山加商店のホームページの URL にて作製、version5 程度の QR コード）をカバー層の有り無しで比較しながら行った。小型のブラックライト（1W 相当）とスマートフォン（OS: android 6.0.1 htv31）を用いて読取アプリ「Q」（デンソーウェーブ社製）にて読取テストを行った結果、カバー層無しでの読取試験では #310 mesh のみ QR コードを読み取ることができなかった。この原因として、#310 mesh で作製したサンプルはブラックライト照射時の発光輝度が小さいために読み取れなかったと思われる。さらに、カバー層有で同様の試験を行った結果、#200 mesh 以下の解像度でないと読取ができなかった。このことは図 2-22 の相対輝度の結果とよく一致しており、カバー層をつけることで輝度が低下したため読み取りができなかった。

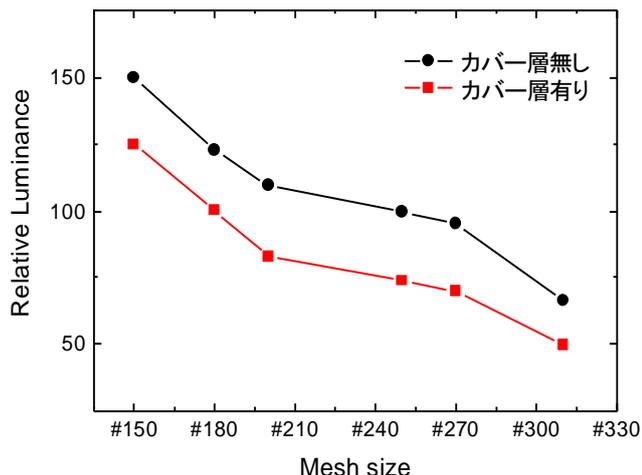


図 2-22 各 mesh におけるカバー層と輝度の関係

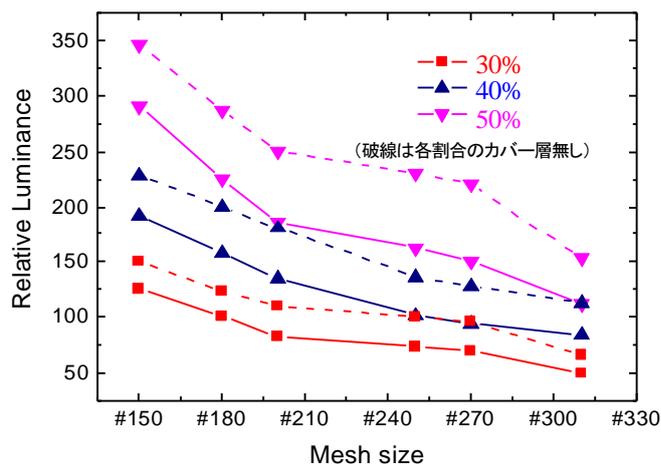


図 2-23 蛍光顔料の濃度と相対輝度の関係

と考えられる。得られた結果をもとに、各 mesh サイズと蛍光顔料の濃度が発光輝度に与える影響について、カバー層の有り無しの違いを含めて検討した。これまでと同様に、蛍光顔料 30 wt%でカバー層無し #250 mesh で作製したサンプルの輝度を 100 として、各濃度および各 mesh サイズで測定した相対輝度の結果を図 2-23 に示す。カバー層無しの #250 mesh で作製した各濃度の相対輝度を比較すると、30 wt% の相対輝度が 100 に対して 40 wt% では 130、50 wt% では 230 の相対輝度であった。他の mesh サイズでも同様に相対輝度は蛍光顔料の濃度が高くなると相対的に輝度が高くなる。この結果はカバー層を付けても同様であり、カバー層を付けた条件で蛍光顔料の濃度を高くしていくと、相対輝度も相対的に高くなった。また、カバー層を付けることで、いずれの条件でも相対輝度は 70~80%程度に低下している。製品化に向けて読取に支障がない輝度を確保するために、従来は 30 wt%をベースに試験を行ってきたが、今後は 50 wt%をベースに試験を行うこととした。

(2-2-4) コーティング層の導入

検討したカバー層でも十分コーティングの役割と考えていたが、よりコーティングを強化した方が良い（強アルカリの洗剤や高温の食洗機の使用などが考えられるため）との考えから、カバー層の上に耐薬品性・耐久性を考慮したコーティング層を設けることとした。蛍光層およびカバー層との相性を比較するために、熱衝撃を与えて貫入（ヒビ）が入るかどうかを確認するスポーリング試験（急冷試験）を行った。それぞれのサンプルは蛍光顔料 50wt%含んだ蛍光材料で作製した蛍光層と最適なフリットを用いて作製したカバー層の上に、コーティング層として 3 種類のフリット（フリット G、H、I）を印刷して転写紙を作製した。作製した転写紙は QR コードとべた刷りで蛍光層が印刷されており、この転写紙を磁器食器表面に 800℃で焼き付けてサンプルを作製し、試験方法は耐熱食器で行われる条件（JIS S 2400）の温度差 150℃にて試験を行った。また、それぞれの相対輝度を測定し、最適なコーティング材料の選定を行った。3 種類のフリット G、H、I でコーティングした転写紙を比較したところ、いずれのフリットも 150℃差のスポーリング試験をクリアした。また、相対輝度はコーティング層無しの時を 100 として、フリット G は 59、フリット H は 43、フリット I は 72 であった。この結果から、フリット I が最も輝度低下が小さかったため、コーティング層はフリット I を採用することとした。以上によって、蛍光層、カバー層、コーティング層の 3 層構造を転写紙で作製することができ、蛍光顔料 50wt%で作製した QR コードの転写紙は

スマートデバイスで読み取ることができた。

(2-2-5) 逆層材料の印刷について

より視認が困難な転写紙の作製を目指し、蛍光層に描く QR コードの凹凸の段差を埋めるため、逆層に発光しない材料を塗布することで解決を考えた。そこで逆層に添加する材料の候補として、次にあげる 3 種類の材料を検討した。1 つ目は、蛍光顔料の母相成分であるアルミン酸ストロンチウム、2 つ目はコスト面で優位であると考えられるアルミナ、3 つ目は蛍光ペーストを作製する際に用いているフリットである。アルミン酸ストロンチウムとアルミナについては、蛍光ペーストの調製条件と同じになるように、蛍光顔料の濃度（材料 50wt%とフリット 50wt%）と一致させて評価を行った。通常、複雑なドットの QR コードのような図柄の逆層に転写をすることは非常に困難な技術であるが、高精細印刷機を用いることで台紙の位置合わせの精度が格段に向上したことで、この課題をクリアできると考えた。図 2-24 にはそれぞれ逆層材料を印刷した QR コードの結果を示す。比較として、逆層を印刷していない QR コードも示す。図 2-24 の上段から、明所において逆層材料としてアルミナを選択した場合は、アルミナが白色を示すため、逆に QR コードが目立ってしまうことが分かった。また、図 2-24 からは確認が難しだが、目視すると逆層を印刷していない QR コードよりもアルミン酸ストロンチウムとフリットを逆層に印刷することで、より視認が困難であることが分かった。また、これら QR コードにブラックライトを照射し発光した際の QR コードを図 2-24 の下段に示しているが、いずれもスマートデバイスを用いて読み取ることが可能であった。以上の結果から、アルミン酸ストロンチウムとフリットを逆層に印刷することで明所にて、より視認が困難な QR コードを作成できることが分かった。

(2-2-6) まとめ

高精細な転写技術を用いて、多積層な転写紙の作製を試みた。QR コードなどの情報タグがブラックライトの照射によって発光する蛍光層とその蛍光層を保護するカバー層、さらに耐久性を向上させるために形成したコーティング層からなる転写紙を作製することができた。これらの層はそれぞれの役割によって最適な材料を用いることで達成することができた。また、より視認が困難となることを目的として、蛍光層が印刷されていない部分に逆層材料を印刷することでより視認が困難な転写紙を作製することができた。

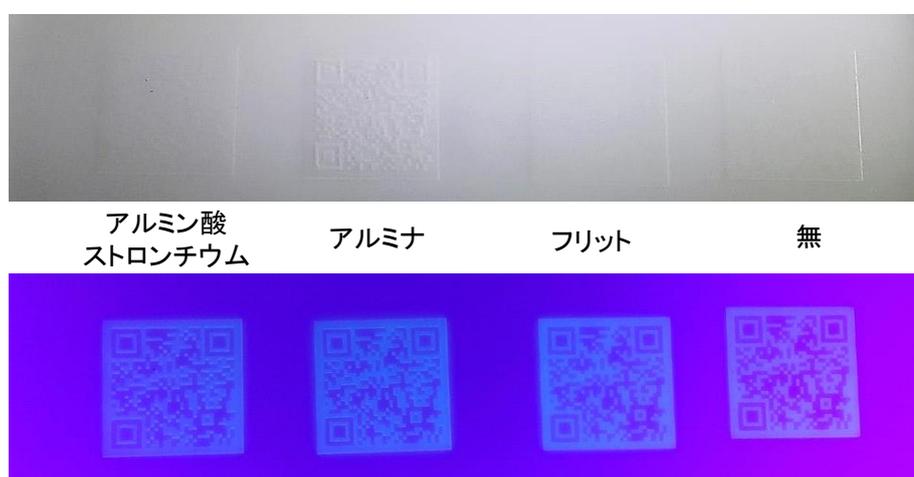


図 2-24 逆層材料を付与して試作した転写紙（上段：明所、下段：暗所にてブラックライト照射）

2-3 透光性を有する磁器飲食器への対応

(2-3-1) 背景

高級な磁器飲食器は、白色で非常に薄く透光性があることが多い。このような透光性が高い磁器飲食器にも本転写紙が対応できるかどうかを把握することが必要である。そこで、本章では、これまでにならぬほどの極薄の磁器食器を作製し、2-2で開発した転写紙を違和感なく貼り付けるための条件を見出すことを目的とする。目標として焼成品が肉厚 1.5mm 以下となる磁器飲食器を作製し、転写紙の最適な焼き付け温度を把握する。また、透明釉以外で作製された飲食器への対応が可能であるかどうかを検討する。

(2-3-2) NC 成形機を用いた極薄磁器飲食器の作製

極薄の磁器食器の形状はマグカップとし、ローラーマシン成形にて実施することとした。成型時の肉厚を制御するためには、大きな力で繊細に制御する必要がある。昔から用いられているカム式のローラーマシンでは、カム軸の動きでローラーを上下駆動させるために坯土を抑える力が弱く薄物に成形に向かない。そこで、微調整がプログラムによる数値制御で可能な NC 成型機を用いて、迅速かつ正確に肉厚調整をすることを試みた。使用する原料は素地で白色度が比較的高く可塑性の良い 3 種類の土（37 号、73 号、85 号、いずれも山加陶料製）で比較し、NC 成型機で試作後にそれぞれ酸化焼成と還元焼成を行って、 $L^*a^*b^*$ 色差にて算出したハンター白色度にて評価を行った。また、可塑性については NC 成型機で成形した際の伸び具合で評価した。従来よりも過酷な条件で成形を行うために伸びの良い坯土が要求され、さらに透光性を追求するためには白色度の高い原料が求められる。表 2-8 には選定を行った坯土の評価結果を示す。焼成雰囲気は酸化焼成(OF)と還元焼成(RF)で試験を行い評価した。その結果、白色度 W は OF において 85 号土が最も白色度が高く、RF では 73 号土が最も白色度が高かった。可塑性の評価においては 85 号土が最も良く、次いで 37 号土、73 号土の順となった。以上のことを総合的に判断し、本研究では 85 号土にて検討することとした。85 号土で坯土硬度 9.5 水分量 22.5 % を使用して NC 成型機にてローラー回転数、スピンドル回転数及びセリコミ時間、ナラシ時間を自動算出にて試作用に飯碗の成形を行った。しかし、作製した成形体の芯の部分（中心部）を観察すると成形時に発生したと思われるシワが確認された。この現象は使用坯土の硬度と回転速度による抵抗の関係が原因と考えられる。この現象を改善するためには、ローラー回転数とスピンドル回転数の差を変えることで坯土に加わる力を成形体の内側と外側で変化させて、シワの発生しない成形体が得られると考え、それぞれの回転数を調整することにした。NC 成型機のローラー回転数およびスピンドル回転数を表 5 に示す条件にて種々変化させて改善を図った。表 2-9 の B1 は NC 成型機が自動算出した条件であり、ローラ

表 2-8 使用する坯土の評価結果

坯土	OF				RF				可塑性
	W	L*	a*	b*	W	L*	a*	b*	
37	86.0	86.93	-0.11	4.99	86.7	86.8	-1.1	1.13	○
73	87.7	88.36	-0.32	4.09	88.7	88.8	-1.4	0.18	△
85	89.7	90.59	-0.4	4.07	88.6	88.7	-1.1	0.7	◎

表 2-9 調整した各回転数

	ローラー回転数／rpm	スピンドル回転数／rpm	回転差／rpm
B1	512.11	617.00	104.89
B2	492.11	617.00	124.89
B3	532.11	617.00	84.89
B4	512.11	597.00	84.89
B5	512.11	637.00	124.89

一回転数 512.11 rpm およびスピンドル回転数 617.00 rpm である。成形条件を各回転数とも 20 rpm 変化させて成形を行った。成形体は各条件で 8 個ずつ作製し、成形シワの確認や個体のバラツキなどについて検討した。成形体の芯の部分の成形シワの観察結果から B5>B4>B3>B1>B2 の順にシワは改善されており、B2 の条件で作製した成形体はすべて成形シワが発生しなかった。また、それぞれの成形体を 700℃ で素焼きし透明釉を施釉後、1300℃の還元状態で焼成して試作品の作製を行った。その結果、成形シワが観察された成形体は 25%~37.5%の割合で本焼成後に釉薬表面にピンホールが確認でき、成形時の問題が製品に影響していることが分った。B2 の条件で作製した試作品はすべてピンホールを発生することなく、また寸法ムラもほとんどない試作品を作製することができた。このことから、成形シワの発生時はローラーおよびスピンドルの回転数を調整することで発生を抑えることができることが分った。

飯碗の作製で得られたローラーとスピンドルの回転数の結果をもとに、製品時の肉厚が 1.5 mm となる極薄のマグカップの作製を試みた。従来の条件にて試作した 1.5mm のマグカップを図 2-25 に示す。設計上では側面が直線状になる予定であったが、図 2-25 の左側の写真が示す通り、上側が凹凸形状の歪を生じており、製品の変形が生じた。また、図 2-25 の右側の写真が示すように底面中心付近に亀裂が発生した。この亀裂は肉厚の制御不足で発生していると考えられる。これらの現象を解消するために NC 成型機で成形し、脱型した成形体の肉厚測定を試みた。成形体の肉厚を測定するために生乾きの状態で脱型して成形体を取り出し、カッターで測定箇所を切断し定規を用いて計測を行ったが、成形体が薄くて柔らかいため肉厚計測時に成形体の変形や定規による計測のばらつきが多く、信頼性のおけるデータ取得ができなかった。



図 2-25 試作したマグカップ(改善前)

表 2-10 試作したサンプルの成形時測定断面図

No	1	2	3	4	5
上部10mm位置肉厚	1.84	1.56	1.41	1.47	1.53
下部20mm位置肉厚	1.8	1.57	1.39	1.37	1.44
底面の肉厚	2.05	1.88	1.46	1.56	1.43
x調整値	-	-0.5	-0.3	-	0.1
y調整値	-	-0.5	-0.3	-	-0.1
逃げ角調整値	60	60	60	75	75

そこで、レーザー式 3D スキャナ (Creaform 製 Handyscan700) を導入し正確に成形体および試作品の肉厚を計測することを試みた。測定方法は、3D スキャナを用いてあらかじめ型断面をデジタル図面で用意し、試作した成形体を型にいったまま計測して、重ね合わせで差分を求めることにより数値で肉厚を求めることにした。差分の 3D データから任意の箇所の断面を図面化することで、成形体断面のデータを求めることができ、この断面図から成形体の肉厚の歪を確認することができる。マグカップの歪が生じている部分について、NC 成形機の肉厚補正データ (x 軸および y 軸、逃げ角) に修正値を入れることで改善を試みた。改善による成形体の肉厚の変化を表 2-10 に示し、実際に試作した成形体の断面図を図 2-26 に示す。サンプル 1 は NC 成形機の調整にて試作しためし碗のデータをもとに試作した結果で、肉厚は側面が 1.8mm、底面が 2.0mm といずれも目標の肉厚には達していない。また、側面と底面に肉厚さが生じていることが分かる。そこで、さらに肉厚を均一にし、薄くするために、x 軸と y 軸、逃げ角を調整した。サンプル 2 では、肉厚を目標の 1.5mm 以下となることを目指して NC 成形機の x 軸と y 軸に補正データを入力した。その結果、肉厚は 0.2~0.3 mm 薄くすることができた。さらにサンプル 3 では底面の肉厚と側面の肉厚が同じ程度になるように、サンプル 2 よりも x 軸と y 軸を移動させて、肉厚を減らすような設定を行った。その結果、成形体の肉厚は 1.4 mm 程度に抑えることができた。この成形体を素焼きし、透明釉を施釉した後 1300°C で還元焼成を行ったところ、釉薬を含めた肉厚は 1.1mm 程度であった。しかし、側面にナメ (肉厚にムラ) が生じた。このナメを解消するために逃げ角を調整し、成形体 (サンプル) の試作を行った。試作したサンプル 4 は成形体の肉厚のムラが生じてしまったため、サンプル 5 にて x 軸と y 軸の補正を行った。その結果、成形体は 1.5 mm 程度に均一な成形体を作製することができた。この形体で本焼成を行ったところ、図 2-27 の左図に示すような製品を作製することができた。図 2-27 左図に示すようにこのマグカップ肉厚は 1.3 mm 程度であり、目標の肉厚 1.5mm 以下をクリアしていた。また、このマグカップを繰り返しの作製しても変形や割れを生じることがなく、試作したマグカップは高い透光性を示した。

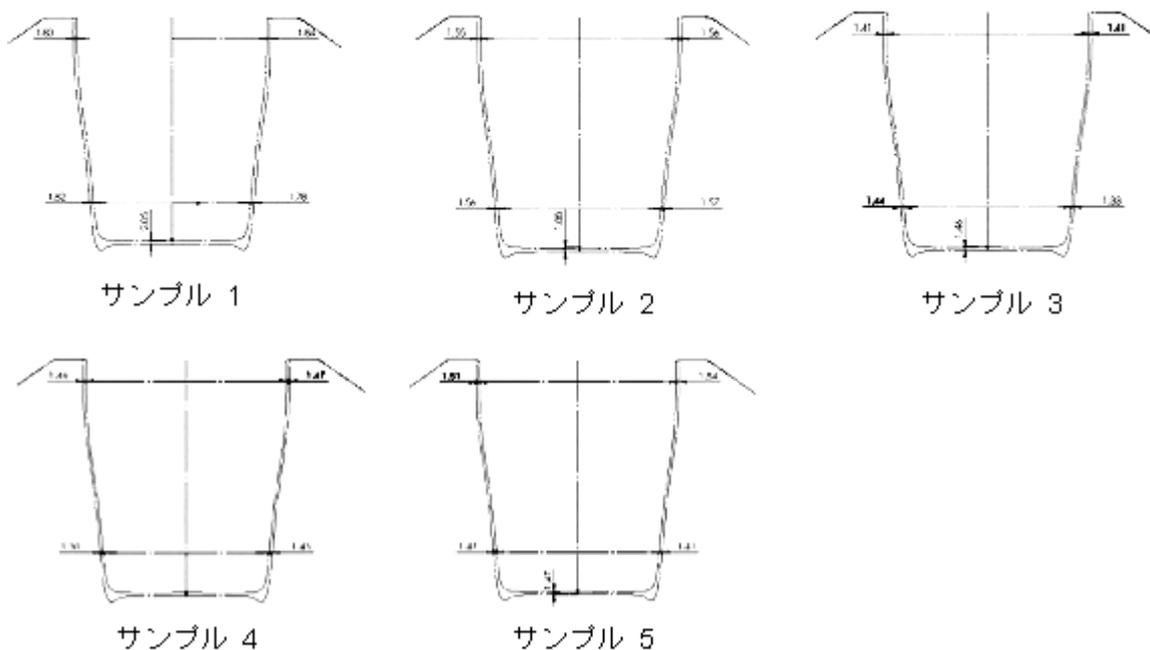


図 2-26 試作したサンプルの成形時測定断面図

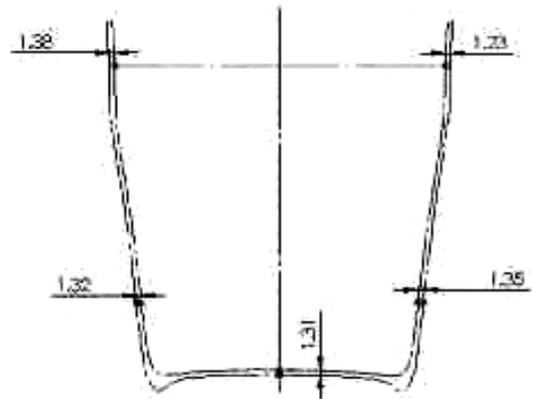


図 2-27 試作した肉厚 1.5mm 以下のマグカップとその断面図

(2-3-3) 転写条件の確立

開発した透光性を有する磁器食器（マグカップ）を用いて 2-2 で開発した転写紙の貼付条件について検討した。転写紙の貼付位置は、食器の意匠を損なわないようにすることを考えた結果、底面外側（高台の内側部分で裏印記載の位置）とした。マグカップの内側に貼り付けることも考えたが、同じ位置に転写することが難しく、直接飲食物と接触することへの不安を考慮し外側へ貼り付けることにした。

転写紙を貼り付ける際の条件として、最も重要なことは転写温度である。特に、蛍光材料を使用した場合は、高温焼成を行うと発光輝度の低下や消失が起こるため、転写温度の管理は重要である。フリットのガラス軟化点から 1000℃までの種々温度条件で酸化雰囲気にて転写紙の焼付テストを行った。図 2-28 には開発した転写紙を種々温度で焼き付けたマグカップを示し、表 2-11 にはそれぞれの転写温度と QR コードの読取テストや発光輝度、視認性の結果について示す。転写紙の発光輝度は 650℃で焼き付けられたサンプルを相対輝度 100 として比較した。表 2-11 から転写温度が 750℃まではフリットの溶けが悪く、転写紙は定着しているものの、蛍光材料がそのまま視認できてしまった。750℃以上の焼成からフリットが完全に溶けて、マグカップの釉表面と一体化した。また、相対輝度の結果については 750℃よりも高い温度で焼成すると蛍光材料の発光輝度は焼成温度が高くなるにしたがって低下する傾向を示した。

図 2-28 開発した転写紙の貼付温度の比較（650～1000℃）

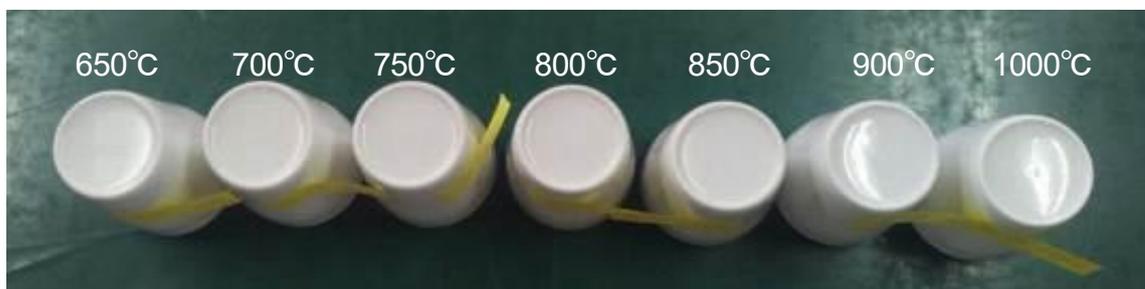


表 2-11 開発した転写紙の転写温度の評価 (650~1000℃)

焼付温度 / °C	650	700	750	800	850	900	1000
読み取り	○	○	○	○	△	×	×
相対輝度	100	100	99.4	57.2	20.3	0.62	0.62
視認性	×	×	△	○	○	○	○
総合評価	×	×	△	○	△	×	×

特に、850℃よりも高い温度で焼き付けると蛍光体の発光性能はほぼ消失することが分かった。QRコードの読取テストについても、発光輝度の結果とよく一致しており、850℃で焼き付けたQRコードは読まないことが多く、さらに850℃より高い温度で焼き付けたQRコードは読み取ることができなかった。この結果をもとに、さらに最適な転写温度を把握するために750~830℃の間で転写紙の焼き付け試験を行った。図 2-29 にはQRコードを各温度で焼き付けたマグカップの写真を示し、表 2-12 にはそれぞれの転写温度と発光輝度、視認性の結果について示す。測定した結果、相対輝度は焼成温度が10度上がるごとに顕著に低下していくことが分かった。視認性については770℃まで、目視にて転写紙(QRコード)を確認することができた。780℃以上での焼き付けによってフリットは完全に溶けて見えなくなることが分かった。以上の結果をもとに、転写温度はなるべく蛍光層の発光が高い方が読取りやすいことが分かっているため、780℃での焼成が最適であると判断した。また、一般的な陶磁器の意匠用の転写紙の焼き付け温度は800℃であることから、従来の転写焼付時にそのままQRコードを焼き付けることは可能であり、この特殊な転写紙を貼り付けるために新たに作業工程を増やす必要がないことも明らかとなった。

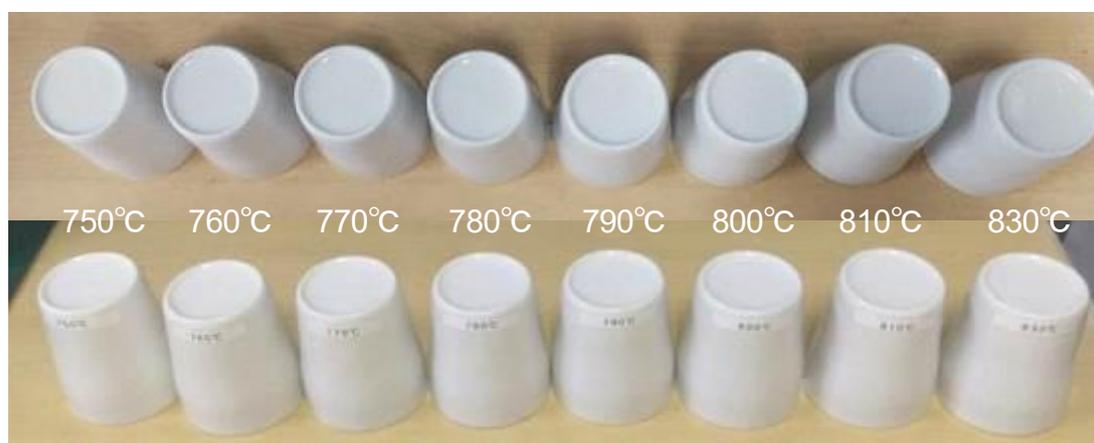


図 2-29 開発した転写紙の貼付温度の比較 (750~830 °C)

表 2-12 開発した転写紙の貼付温度の評価 (750~830℃)

焼付温度 / °C	750	760	770	780	790	800	810	830
相対輝度	99.6	93.6	88.0	77.8	72.1	57.2	46.4	28.6
視認性	△	△	△	○	○	○	○	○
総合評価	△	△	△	◎	○	○	○	△

(2-3-4) 最終製品を見据えたプロトタイプの作製

これまでの結果をもとに、最終製品のプロトタイプの作製を行った。図 2-30 には、2-3-3 で試作した極薄のマグカップに 2-2 で開発した転写紙を焼き付けて完成させた最終製品のプロトタイプを示す。図 2-30 の左図はブラックライトを照射していない場合の状態を示し、右図はブラックライトを照射し、蛍光層が発光した状態を示す。蛍光層の発光は、QR コードに限らず、食器の意匠にも応用することができる。図 2-30 に示したプロトタイプではブラックライト非照射時は青空に雲が浮かんでいるが、ブラックライトを照射すると夜をイメージした星が現れる。さらに、ブラックライトでビル群の窓に明かりをついた状態を表現している。裏印の上の QR コードは図 2-30 の各マグカップの右下の底面に示すように、ブラックライト非照射時は見えないがブラックライトを照射すると右図のように発光して見えるようになる。この発光した QR コードはスマートデバイス (スマートフォン) で読み取ることが可能であり、写真で示したプロトタイプは山加商店のホームページにリンクすることができる。



図 2-30 最終製品を見据えたのプロトタイプの作製

(2-3-5) 素地の焼成雰囲気（酸化、還元）による転写紙の焼き付けへの影響

焼成の雰囲気による違いを検討するために、白磁器素地について、昇温速度や保持時間等のヒートカーブを同じ条件にし、酸化および還元雰囲気にて 1200℃で焼成を実施した。焼成時における酸素濃度を酸素濃度測定器を用いて測定し、酸化還元状態を把握した。この酸素濃度測定器を用いることで、酸化雰囲気ならば、還元雰囲気ならマイナス表示になり、その値が大きいほど酸化もしくは還元が強いことが分かる。実際に 1200℃で還元焼成を行った時の酸素濃度を測定した際の結果を図 2-31 に示すとおり、-5.50 であることが分かる。炉内の酸素濃度を 950℃から 50℃ごとに測定し、サンプルの焼成温度まで測定した。焼成雰囲気と各温度における炉内の酸素濃度の結果を表 2-13 に示す。

一般的に陶磁器食器の還元焼成は、炉に設置されたダンパーで空気孔を遮断し炉内を密閉空間にすることで生じる不完全燃焼によって、一酸化炭素(CO)を発生させ、炉内の酸素濃度を低下させることで達成する。表 2-13 の結果から、酸化雰囲気では温度が上昇するとともに、徐々に酸素濃度が低下している。これは温度が高くなるにつれてガス量が増えるため酸素が徐々に欠損するためである。ただし、酸化条件での焼成では、1200℃まで酸素濃度はプラス表示であり、酸化雰囲気が最後まで保たれている。一方で、還元焼成では還元を開始するまでは 4%程度の酸素濃度を示していたが、還元を開始するとすぐに還元雰囲気になることが分かった。酸化焼成および還元焼成で作製した白磁器サンプルに、開発した転写紙を 800℃で焼き付けて、雰囲気の違いを確認した。酸化焼成および還元焼成で試作したサンプルの転写結果を図 2-32 に示す。



図 2-31 1200℃で測定した酸素濃度（還元雰囲気）

表 2-13 焼成雰囲気と酸素濃度の関係について

焼成温度	酸化焼成	還元焼成
950 °C	6.50 %	4.20 %
1000 °C	5.00 %	4.00 %
1050 °C	4.75 %	-3.90 %
1100 °C	3.30 %	-5.75 %
1150 °C	3.13 %	-5.50 %
1200 °C	2.27 %	-5.58 %

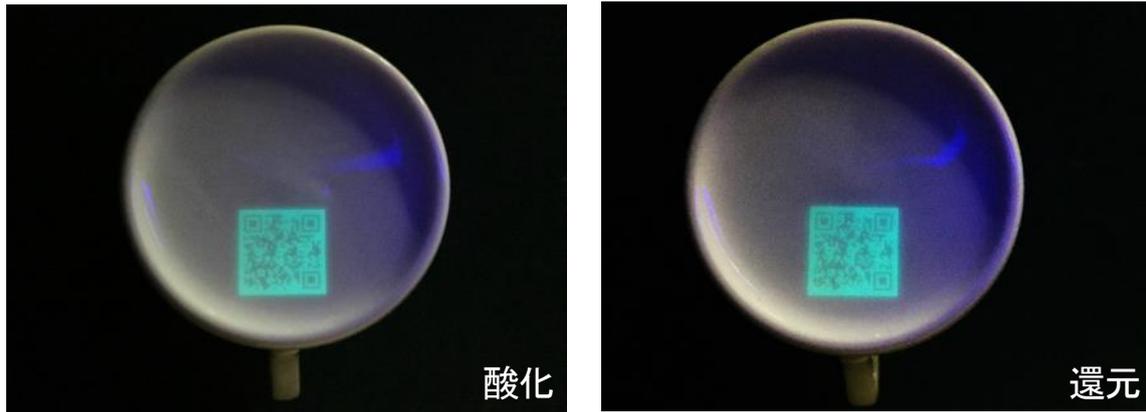


図 2-32 酸化焼成と還元焼成で作製したサンプルの比較について

いずれの雰囲気で作製したサンプルも発光輝度に大きな差がなく、スマートデバイスにて読み取りを行うことができた。このことから開発した転写紙は還元雰囲気での焼成品に対しても使用することができることが分かった。

(2-3-6) 釉薬の種類による転写紙の焼き付けへの影響

陶磁器製品においては、透明釉に顔料を混合した色釉を施釉した製品も数多く販売されている。当初は、透光性を有する白磁器食器のみをターゲットとしていたが、開発した転写紙が色釉に応用することができれば商品展開も拡大できる。そこで6種類の色釉(赤・青・ベージュ・黄・ピンク・グレー)を用いて製品を作製し、開発した転写紙の貼り付け試験を行った。開発した転写紙の焼き付け温度はこれまでと同様に800°Cで行った。試作した6種類のマグカップとそれらにブラックライトを照射した際の結果を図2-33に示す(下の段左から赤・青・ベージュ、上の段左から黄・ピンク・グレー)。いずれの色においても焼き付けた際に転写紙が変色することがなかった。さらに、ブラックライトを照射するといずれの色も発光したQRコードが現れた。ただし、輝度は同じであるが下地の色によってQRコードの見え方が異なることが分かった。特に、赤色と青色を比較すると目視による差は明らかで、下地の色が青色の方がはっきりと目視が可能であった。しかしながら、スマートデバイスでの読み取り確認を行ったところ、読み取りの反応(読取アプリが認識を完了するまでの時間)は下地が赤色がもっとも良く、次いでピンク、黄色の順番となり、目視の結果と大きく異なる結果となった。これは、スマートデバイスがQRコードを読み取る際に、ドットのコントラスト差を読み取って認識する(デ



図 2-33 色釉の製品で試作した結果(左:明所、右:ブラックライト照射時)



図 2-34 色釉を酸化および還元焼成し試作したサンプルの結果

ンソーウェーブ社の説明)ことから、青緑色の発光色と反対の色相を示す赤色をもっとも読み取り反応が良かったのではないかと推測できる。

これら色釉を用いて酸化焼成と還元焼成の差を比較検討した。比較に用いた色は赤色、青色、黄色であり、それぞれ 1200°C で酸化焼成および還元焼成を行った。図 2-34 には作製したサンプルに開発した転写紙を 800°C で焼き付けたサンプルを示す。焼成条件により色釉の発色具合が異なることが確認できる。特に、黄色の釉薬は酸化焼成では黄色を示すが、還元焼成では黄色からグレーに近い発色となった。しかし、いずれの製品においても開発した転写紙を張り付けることが可能であり、ブラックライトを照射すると QR コードが発光することが確認でき、スマートデバイスによる読み取りも可能であることが分かった。

以上の結果から、開発した転写紙は 800°C の焼き付けを行うことができれば多くの陶磁器製品に応用できることが明らかとなった。

(2-3-7) まとめ

透光性を有する高級磁器食器への対応を検討するために、極薄の磁器マグカップを作製し、開発した転写紙を違和感なく貼り付けるための条件を検討した。NC 成形機を用いたローラーマシン成形によって、マグカップの肉厚が 1.3mm 程度の製品を試作することができた。この試作品を用いて、転写紙の焼き付け試験を行ったところ、最適な焼き付け温度は 780°C であることが分かった。ただし、通常の上絵を焼き付ける温度 (800°C) でも問題なく焼き付けることが可能であることから、従来の製造工程をそのまま使用することができることが分かった。また、これらの結果をもとに、最終製品のプロトタイプを作製し、発光した QR コードをスマートフォンで読み取ることができ、希望する URL へ誘導することができた。

2-4 スマートデバイスを用いた読取方法の確立

(2-4-1) 背景

本章はブラックライトで励起して発光する QR コードをスマートデバイス（スマートフォンやタブレットなど）で読みとり、文字列に変換できるシステムを構築することである。また、QR コードに秘密情報を付与し、真贋判定などに応用できるアプリケーションを開発する。開発したアプリケーションをもとに、スマートデバイスによる最適な読み取り条件を見出すことを目的とする。

(2-4-2) スマートデバイスでの QR コードのバージョン読取限界の検討

QR コードに格納できる情報の量は、バージョンと誤り訂正レベルによって定められている。たとえば、バージョン1（誤り訂正レベル M：15%復元能力）の場合、数字であれば34文字、漢字であれば8文字格納できる。QR コードでは、バージョンは1から40まで存在し、バージョンの数が増えるほど格納可能な情報量が増える。

実験では、はじめに誤り訂正レベルを M に固定し、バージョン1から30までの QR コードを作成した（バージョン15からは、バージョンを5刻みにして作成した）。バージョンを30でとどめた理由は、QR コードを作成する web アプリケーションサービス (<https://www.cman.jp/QRcode/>) に入力できる文字列の上限（500文字）に達したため、バージョン35と40を作成できなかったためである。表2-14には、各バージョンの QR コード（1辺約15mm）と格納した文字列を示す。文字列が増えるほど、セルの大きさが小さくなっていくことがわかる。

表 2-14 QR コードと格納した文字情報

バージョン	QR コード	文字情報
1		あいうえおかき
2		あいうえおかきくけこさしす
3		あいうえおかきくけこさしすせそなにぬねのは
4		あいうえおかきくけこさしすせそたちつてとなにぬねのはひふへほま
5		あいうえおかきくけこさしすせそたちつてとなにぬねのはひふへほまみむめもやゆよりるれ

つぎに、これを OA 用紙に印刷したもの（印刷サイズ：1 辺約 1.5cm、1.3cm）について、情報抽出の可否を調査した。この実験では、10 人の被験者が所有するスマートフォンを使用し、読み取りの限界と、スマートフォンの OS との関係性を調査した。なお、使用した QR コード読み取りアプリケーションは、デンソーウェーブ社製の「Q」を使用した。その結果、1.5cm の場合にはバージョン 11 までは情報を抽出することができたが、それ以上のバージョンについては情報を抽出することができなかった。一方、1.3cm の場合にはバージョン 9 までは情報を抽出することができた。スマートフォンの OS に着目すると、iOS が、Android よりも少しだけ優位であった。このため、スマートフォンにおける読み取り目標をバージョン 11 とした。

QR コードを皿に焼き付ける条件と、QR コードを撮影する条件を探索するために、表 2-15 に示すパラメータを実験により探索した。蛍光顔料 50%、カバー層とコーティング層を 250 mesh で作製したバージョンが異なる QR コードについて、読み取り限界をテストした。その結果、Android 端末ではバージョン 10 まで、iOS ではバージョン 11 まで読み取ることができた。

QR コードを携帯情報端末（ここでは、iPhone6s）のカメラ機能を用いて撮影する場合、撮影環境にはいくつかのパラメータが存在する。このうち、情報抽出において影響をもたらしやすいパラメータは、「照度」、「紫外線強度」、「カメラ・紫外線ライトと皿との距離」、「カメラ・紫外線ライトと皿との角度」であると考えられる。照度については、当初は 300 lx 程度の暗い状況下においてのみ文字情報が抽出できていたが、QR コードの形成方法を変更（蛍光顔料の割合を高めた、番号の小さな mesh を使用した）後は、一般的な部屋の明るさである 500 lx においても文字情報が抽出できるようになった。紫外線強度については、昨年度よりも強度が低いものを使用しているが、500 lx の環境下でも光励起させることができている。「カメラ・紫外線ライトと皿との距離」は、実験の結果から約 10cm が適切であると考えられる。一方、「カメラと皿との角度」は約 65 度、「紫外線光源と皿との角度」は約 45 度が適切であると考えられる。これは、QR コードから文字情報を抽出するためには、なるべく QR コードの形状を崩さないようにして撮影することが望ましいからである。

表 2-15 探索したパラメータ

		探索したパラメータ
2次元コードを皿に焼き付ける条件	2次元コードの大きさ	15 mm
	QRコードのバージョン	11
	蛍光顔料の配合比率	60 %
	メッシュ番号	# 150
2次元コードを撮影する条件	UV光源と皿までの距離	10 cm
	UV光源と皿との角度	45°
	スマートデバイスと皿までの距離	6 cm
	スマートデバイスと皿との角度	65°
	撮影環境の照度	500 lx
	撮影環境の色温度	5000 K
	UVの強度	1.95 mW/cm ²

スマートデバイスを用いた読み取り方法の確立のために、QRコードが焼き付けられた試作品を用いた文字情報の読み取り精度の検証を行った。その結果、照度 500 lx の環境下において、90%程度の割合で文字情報を抽出できることがわかった。また、QRコードのバージョンは、1 辺が約 1.5cm であれば「バージョン 11」まで対応ができることがわかった。

(2-4-3) 本事業における QR コードの生成について

次に、QRコードに秘密にすべき情報を複合化した SQRC への対応の可能性について検討した。SQRC は QRコードとともに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。セラミックス製品に焼き付けるための SQRC の生成・読み取り方法について述べる。図 2-35 に示すように、外観は通常の QRコードと同じである。QRコードには公開情報のみが格納できるのに対して、SQRC には公開情報と暗号化された秘密情報が格納できる。復号は、スマートフォンまたはクラウド環境で実行できるが、いずれの場合にもデジタル鍵が必要となる。このため、デジタル鍵にアクセスできないスマートフォンは秘密情報を閲覧できない。

SQRC に格納できる公開情報と暗号化された秘密情報の量は、誤り訂正レベル(L:約 7%、M:約 15%、Q:約 25%、H:約 30%)、文字モード(数字、英数字、バイナリ、漢字)、バージョン(セルと呼ばれる四角い黒白の数のこと。ver.1(21×21 セル)~40(177×177 セル))の組み合わせに依存する。文字情報は、セルのサイズが大きいほど(バージョンの数が小さいほど)読み取りやすくなる。1.5cm 四方に収まる SQRC について、読み取りやすかつ公開情報と暗号化された秘密情報が可能な限り多く格納できるバージョンを探索した。その結果、図 2-36 に示すようなバージョン 3 が最も多くの文字情報を格納できることが分かった。

バージョンを増やすことでより多くの文字情報を格納できるが、セルのサイズが 1.5cm 四方に収まる条件で、現行のスマートデバイスではバージョン 3 が限界であった。また、印刷された SQRC の読み取り(反射光の観測)とは異なり、この SQRC は発光するため、カメラは発光を観測する(つまり、カメラの分解能が低い場合、個々のセルを明瞭に捉えられない可能性がある)。

表 2-16 に、公開情報と秘密情報の URL の例と対象者を示す(厳密にいうと、各ディレクトリにはコンテンツとして index.html が含まれるが、web クライアントはディレクトリを指定するだけで web サーバから index.html を受領できるため、SQRC に格納する情報はディレクトリだけで十分である)。たとえば、消費者とバイヤーと製造業者は、製品 n1 の公開情報として <https://www.abc123.com/n1> が得られるため、これをブラウザに入力することで当該ディレクトリ内にあるコンテンツ index.html を閲覧できる。一方、製造業者管理職は公開情報とともに秘密情報として /sec1、/sec2、/sec3 が得られるため、公開情報とこれらのディレクトリを組み合わせることで同様にして 3 つの検証方法を閲覧できる。



図 2-35 SQRC の例 (バージョン 2)



図 2-36 バージョン 3 の SQRC

表 2-16 URL と対象者の関係

URLs	対象者
[公開情報] https://www.abc123.com/n1	消費者とバイヤー、製造業者
[秘密情報] /sec1	バイヤーと製造業者
[秘密情報] /sec2	製造業者
[秘密情報] /sec3	製造業者の管理職

(2-4-4) 秘密情報のアクセス制御について

図 2-37 にネットワーク構成とアクセス制御方法を示す。登場するエンティティは、スマートフォン、陶磁器 ID 管理サーバ、SQRC 管理サーバである。消費者向けのリーダーシステムにはユーザに ID とパスワードの入力を求める機能はないが、製造業者向けのリーダーシステムにはユーザに ID とパスワードの入力を求める機能がある。ID とパスワードは検証者ごとに異なるため、陶磁器 ID 管理サーバは ID とパスワードの正誤をチェックしたあと、SQRC から抽出された文字列について、公開情報と ID に対応した秘密情報を SQRC 管理サーバに送信する。SQRC 管理サーバは、ID に対応したデジタル鍵を用いて秘密情報を復号し、公開情報とともにスマートフォンに送信する。図 2-38 に、暗号化された秘密情報とデジタル鍵の関係を示す。秘密情報は入れ子構造になっており、3 つの鍵で暗号化されている。スタッフが閲覧できる秘密情報を得るためには 1 つのデジタル鍵があればよいが、課長の場合には 3 つのデジタル鍵が必要となる。

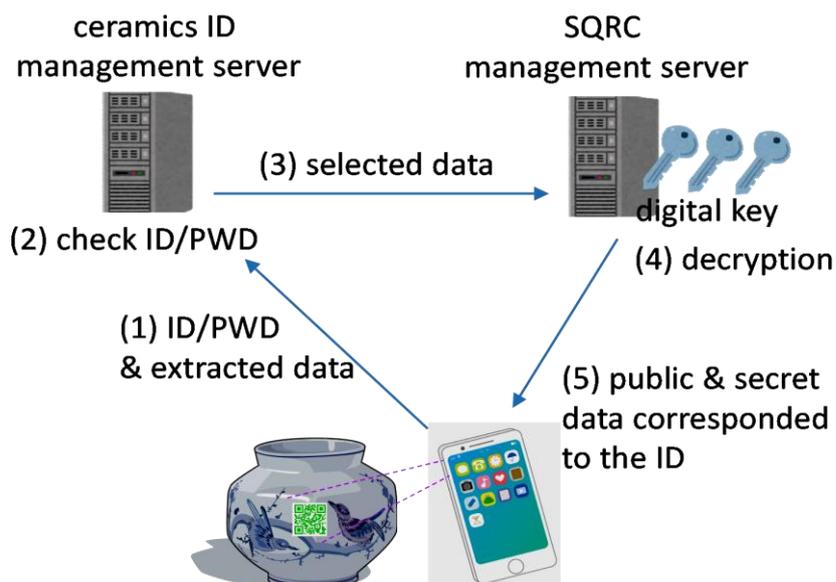


図 2-37 ネットワーク構成とアクセス制御

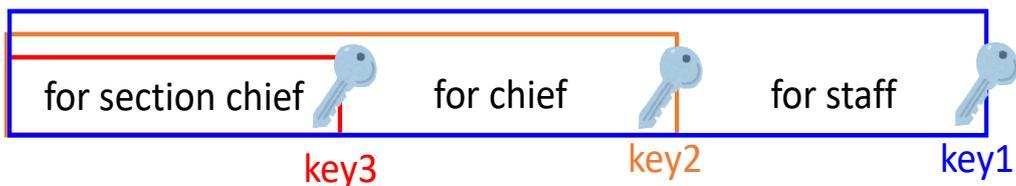


図 2-38 暗号化された秘密情報とデジタル鍵の関係

(2-4-5) 陶磁器製品向けのアプリケーションを開発について

前述した秘密情報のアクセス制御を可能とするためには、従来の SQRC のシステムをベースにより複雑な制御を実施しなければならない。そこで、デンソーウェーブ社の SQRC ライブラリーキットを導入し、これをベースに QR コードの生成、管理システムと階層別読み取りアプリを開発することになった。

QR コードの管理システムは、いろいろな場所や場面での使用が想定されるため Web アプリで作成することとし、この管理システムで秘密情報を 3 階層まで含むことができる SQRC の生成とこれまで生成された QR コードの確認と削除が可能な機能を必要とする。図 2-39 には開発した陶磁器 ID 管理システムを示す。本システムは、ユーザー管理、SQRC コード管理、管理者設定で成り立っている。ユーザー管理では読み取り側のユーザーにどの階層までのデジタル鍵を与えるかを設定することができ、それぞれユーザー ID とパスワードによって制御される。SQRC コード管理では、階層別のデジタル鍵を含んだ SQRC を作成することができる。管理者設定では、本システムにログインできる権限を持つユーザーを設定する。また、ユーザー側の読み取りアプリについては、スマートデバイスを使用した読み取りを想定し、Android および iOS に対応した読み取り専用アプリ「陶磁器 ID リーダー」を開発した。このアプリの画面を図 2-40 に示す。陶磁器 ID リーダーには認証ボタンが設置されており、ボタンを押すと図 2-40 の左図のような認証画面が表示される。

図 2-39 開発した陶磁器 ID 管理システム



図 2-40 開発した陶磁器 ID リーダー(左: 認証画面、右: 読み取り結果)

認証画面の ID とパスワードは陶磁器管理システムで管理されており、登録されている ID とパスワードを入力すると、それぞれに割り振られたデジタル鍵が発行される。認証後に、生成された SQRC を読み取ることで図 2-40 の右図のような階層別の秘密情報を読み取ることができる。デジタル鍵を持たないユーザーは読み取り結果の最上部である公開情報のみが表示され、公開情報が web アドレスの場合は web ブラウザが立ち上がり、指定されたホームページが表示されるシステムとなっている。このような、複雑なシステムを介することで、情報の秘匿化や模倣対策に活用できると考えられる。

(2-4-6) 読み取り条件の探索について

読み取り条件の探索の構成はスマートフォン、紫外線光源、固定治具、デスクライトと、これらを覆うことができる暗室からなる。実際に使用したシステムを図 2-41 に示す。スマートフォンには今回開発した SQRC リーダーアプリ「陶磁器 ID リーダー」(以下、アプリ)がインストールされている。紫外線光源(LED385-SPT)は顔料を最も明るく発光させることができる 385nm の紫外線を照射でき、ポリュームツマミによって光量を無段階に調節できる。固定治具はスマートフォンとセラミックス製品(白色の磁器製皿)の角度を調節できる。デスクライト(Z-N1100W)は光量と色温度を調整できる(光量は無段階調節が可能、色温度は 3000K、4000K、5000K、6200K の 4 段階から選択可能)。スマートフォンには iPhone 8 (iOS11.3) と arrows M04 (Android7.1) を使用し、無線 LAN を経由して各サーバと情報の送受信を行う。

上記のスマートフォンを選定した理由は、それぞれの F 値が近いためである。iPhone 8 と arrows M04 の F 値はそれぞれ 1.8 と 2.0 である。F 値とは、カメラに取り込まれる光量を数値化したものであり、この値が小さいほど光量は大きくなる。異なる OS を持つスマートフォンで SQRC の発光をほぼ同じ条件で撮影するために、当該値に近い 2 機種を選定した。

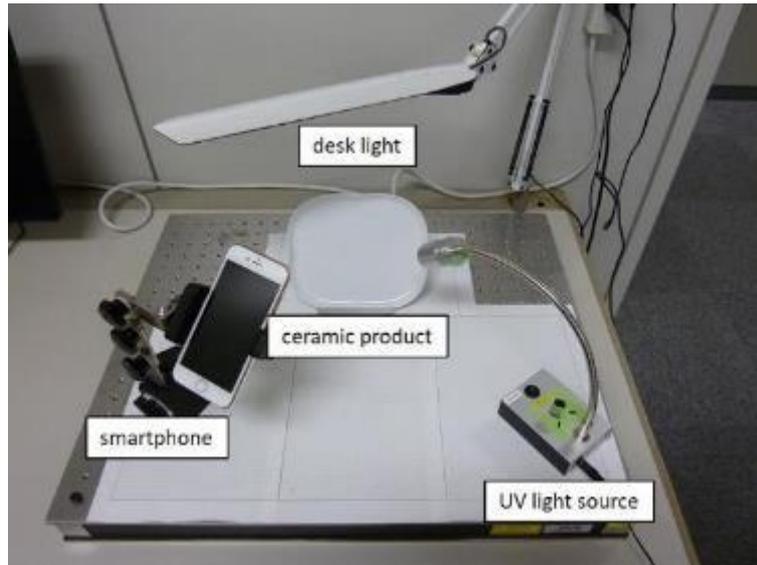


図 2-41 実験システム

探索する読み取り条件は以下の 6 つとした。

- (1) SQRC の中心(観測点)における照度と色温度。照度は照度計により計測するが、色温度はデスクライトによって設定された値を使用する。
- (2) 紫外線ライトと観測点までの距離と角度。各値は、定規と角度計を用いて計測する。
- (3) スマートフォンのレンズと観測点までの距離と角度。各値は、定規と角度計を用いて計測する。
- (4) スマートフォンのレンズと紫外線ライトの角度。当該値は角度計を用いて計測する。
- (5) 観測点での紫外線強度。当該値は紫外線強度計を用いて計測する。
- (6) SQRC(=皿)の角度。当該値は角度計を用いて計測する

パラメータの探索は 2 つのステップにより行う。第 1 ステップ(初期パラメータと基本パラメータの設定)は SQRC から文字情報を抽出できるスマートフォンのおおよその 3 次元位置を特定することが目的であり、第 2 ステップは当該位置を起点として SQRC から文字情報の再現性をもって抽出できる各パラメータの範囲を特定することが目的である。はじめに、第 1 ステップを説明する。当該ステップは以下の通りである。

- (a) パラメータ(1)、(2)、(5)、(6)の初期パラメータを以下のように与える。

(1) 照度 300 lx、色温度 3000K、(2) 距離 10cm、角度 45 度、(5) 1.0mW/cm ² 、(6) 45 度。
--

これらは、目視によって SQRC が明瞭に確認でき、かつスマートフォンのディスプレイ上において個々のセルが明瞭に確認できた(サチュレーションが発生していない)ときの値である。一方、スマートフォンには 3 次元の自由度を与える(パラメータ(3)と(4)の初期パラメータを設定しない)。

- (b) スマートフォンを自由に動かしながら、SQRC から文字情報が得られる 3 次元位置を探索する(文字情報が得られなかった場合には、パラメータ(1)、(2)、(5)、(6)を調整したあと再度(b)を実行する)。

(c) (b)によって文字情報が得られた場合には、パラメータ(1)、(2)、(5)、(6)を固定する。パラメータ(3)と(4)を調整しながら、SQRC から文字情報が得られる 3 次元位置を探索する。文字情報が得られた場合には、(1)～(6)を基本パラメータと定義する。

第 1 ステップによって得られた基本パラメータを表 2-17 に示す。SQRC がアプリによって認識されてから公開情報と秘密情報の表示までにかかった時間はいずれも 1 秒以内であった。なお、色温度の変化は SQRC の読み取りに影響を与えなかった。

次に第 2 ステップを説明する。当該ステップは以下の通りである。なお、ここではある基本パラメータについて、それを起点とした範囲を設定して再現性を確認するが、範囲の発散を避けるために以下のように定めた。照度: 前後 200 lx(50 lx 刻み)、距離: 前後 5 cm(1 cm 刻み)、角度: 前後 40 度(1 度刻み)、紫外線強度: 前後 3.0 mW/cm²(0.5 mW/cm² 刻み)。

- (a') 基本パラメータのうち、任意の 2 つのパラメータに着目する。一方のパラメータ X を固定し、もう一方のパラメータ Y の前後の値について、SQRC が再現性をもって読み取れることを確認する。たとえば、パラメータ(4)と(6)に着目する場合、パラメータ(4)を 30 度で固定し、パラメータ(6)(45 度)について値を +40 度から -40 度まで 1 度ずつ変化させる。そして、当該条件において SQRC の読み取りを 10 回行い、10 回ともに文字情報が得られた場合には再現性があると認定する。
- (b') 上記とは別の、任意の 2 つのパラメータに着目し、(a')を実施する。

第 2 ステップによって得られた基本パラメータの範囲を表 2-18 に示す。SQRC がアプリによって認識されてから公開情報と秘密情報の表示までにかかった時間はいずれも 1 秒以内であった。

パラメータ(1)の場合、照度が 350 lx を下回るとディスプレイ上に表示される SQRC にサチュレーションが見られ、照度が 500 lx を上回ると SQRC の発光が弱く観測され、文字情報が抽出できなかった。パラメータ(2)の場合、当該範囲を超えると SQRC に対して紫外線が均一に照射されず、文字情報が抽出できなかった。パラメータ(3)の場合、距離が 5 cm を下回ると SQRC がディスプレイの範囲に収まらず、9 cm を超えるとディスプレイ上の SQRC が小さくなり文字情報が抽出できなかった。一方、角度の場合、当該範囲を超えるとディスプレイ上の SQRC が台形となり文字情報が抽出できなかった。パラメータ(4)の場合、当該範囲を超え

表 2-17 基本パラメータ

No.	値
(1)	照度 500 lx, 色温度 any
(2)	距離 9 cm, 角度 40 度
(3)	距離 9 cm, 角度 40 度
(4)	角度 30 度
(5)	紫外線強度 3.0 mW/cm ²
(6)	角度 45 度

表 2-18 基本パラメータの範囲

No.	範囲
(1)	照度 350~500 lx, 色温度 any
(2)	距離 9~11 cm, 角度 40~55 度
(3)	距離 5~ 9 cm, 角度 40~55 度
(4)	角度 30~60 度
(5)	紫外線強度 3.0~5.0 mW/cm ²
(6)	角度 30~55 度

るとパラメータ(3)における角度と同様の現象が発生し、文字情報が抽出できなかった。パラメータ(5)の場合、3.0 mW/cm²を下回ると SQRC の発光が弱く、5.0 mW/cm²を上回るとディスプレイ上に表示される SQRC にサチュレーションが見られ、文字情報が抽出できなかった。パラメータ(6)の場合、当該範囲を超えると SQRC に対して紫外線が均一に照射されず、文字情報が抽出できなかった。

OS が異なる 2 台のスマートフォンを用いて探索を行った結果、9 つのパラメータが明らかとなった。このパラメータの範囲であれば、文字情報を確実に抽出できる。また、SQRC の認識から文字情報の表示までにかかった時間は 1 秒以下であった。

(2-4-7) まとめ

本事業で開発したブラックライトで発光する QR コードがスマートデバイス（スマートフォンやタブレットなど）で読みとるための条件を見出すことができた。この発光した QR コードは、開発した読み取りアプリ「陶磁器 ID リーダー」以外にも、汎用されている QR コードリーダーで読み取れることを特徴とする。さらに、この QR コードにセキュリティを組み入れた SQRC への対応についても検討し、「陶磁器 ID 管理システム」を開発した。この「陶磁器 ID 管理システム」と「陶磁器 ID リーダー」を組み合わせることで秘密情報を 3 段階まで組み込んだ SQRC を提供することが可能となった。これによって、製品の真贋判定のほか製品管理などが行えるシステムとなった。

2-5 実機によるシステムのテスト

(2-5-1) 背景

これまでに、各サブテーマにて実験レベルで評価を行い最終製品の作製および活用方法などの展開を行ってきた。本サブテーマでは、これまでの成果を融合し、一連の製造工程として問題点が発生するかどうかを実機を用いてテストを行うことで、早期の実用化に向けた準備を行うことを目的とする。

(2-5-2) 実機による製品の作製と読み取り試験の方法について

これまでの各サブテーマの成果をもとに、実用化を見据え 100 個の製品を通常の転写工程に沿って、次に示す手順で実施した。

- (1) 蛍光ペーストの作製（高根シルクにて製造）
遊星攪拌脱泡機を用いて蛍光ペーストを作製した。
- (2) 転写紙の作製（高根シルクにて製造）
通常の転写紙作製の工程に合わせて A3 サイズにて QR コードと山加商店の裏印が入った転写紙を作製した。転写紙は本開発品であるカバー層やコーティング層も含んだ転写紙である。QR コードの内容は、山加商店のホームページに誘導する URL とし、QR コードの誤り定数は M とした。
- (3) 透光性磁器への転写（山加商店にて貼り付け）
事前に山加商店にて開発した技術をもとに 100 個の透光性を有するマグカップを製造し、その底面に(2)で作製した転写紙を貼り付け、転写用の焼成工程にて焼き付けを実施した。
- (4) 読み取りテスト（山加商店）
山加商店にて、各研究機関の担当者が集合し、スマートフォンにて「陶磁器 ID リーダー」を用いて読み取り試験を実施。読み取り試験に使用したスマートフォンは HTC U11 (android:8.0.0) と iPhone XR (iOS:12.1.2) の 2 台を用いて、読み取りアプリはいずれもデンソーウェーブ社の QR コード読み取りアプリ「Q」を用いて行った。試作した 100 個のサンプルの全数を 2 台のスマートフォンで読み取り問題点の把握を行った。



図 2-42 実機試験で作製したサンプルから表示された QR コード

作製したサンプルにブラックライトを照射し、QRコードを確認すると図 2-42 の欠点を有する製品の赤丸中に示された欠点がいくつか確認できた。このような全体の約 10%程度存在し、転写紙の貼り付けから焼き付けの工程で発生したと考えられる。しかしながら、読み取りテストを実施した結果、android も iOS もいずれのスマートフォンにおいてもすべての製品について読み取りに成功し、山加商店のホームページに誘導することができた。これは事前に設定した QR コードの誤り定数 M (15%) で補正できる程度の欠点であることが分かった。以上のことから、QR コードの誤り定数が製造中の欠点のある程度カバーできることがわかり、実用化に向けて問題のないシステムであることが分かった。

(2-5-3) まとめ

転写紙の作製から陶磁器製品への転写まで一連の製造工程で 100 個の試作品の作製を行った。新しい技術を導入することで、複雑な工程を経ることなく、ほぼ従来の工程で開発した QR コードを転写することができることが明らかとなった。また、100 個の試作品にブラックライトを照射して、開発した「陶磁器 ID リーダー」で読み取り試験を行ったところ、すべての試作品で読み取ることができた。この転写した QR コードには 10%程度の割合で欠点を確認されたが、QR コード作製時に誤り定数 M (15%) 補正ができる機能があり、この機能でカバーできることが分かった。以上により、本技術の早期実用化が期待できるシステムであることが分かった。

最終章 全体総括

本事業では、近年問題となっている有名企業や有名産地を名乗った粗悪な偽物や模造品に対する問題の解決や商品のこだわりや作り手の思いを直接ユーザーに訴えかえるための手段を提供するために、飲食器の意匠に影響を与えない蛍光材料を用いた高精細転写技術（すかし転写技術）とこれに関する読取や認証システムを開発し、国産飲食器のブランド保護とユーザーサービスの向上を目指した。

上記のシステムを確立するために、5つのサブテーマを設定し解決を図った。本事業によって得られた各テーマの結論を簡潔に以下に述べる。

1. 蛍光材料の開発

本事業のベースとなる蛍光材料の開発を行い、ブラックライトで青緑色に発光する蛍光顔料とそれに適したフリットの選定を行った。また、量産化に向けた新しい調製技術を応用することで蛍光ペーストを短時間に製造する方法を見出した。

2. 高精細多積層転写技術の確立

1で開発した蛍光材料をもとに、高精細多積層転写技術によってブラックライト照射時に発光する情報タグ（QRコード）の作製を行った。開発した転写は、通常の裏印などを印刷した無機顔料層とブラックライトで発光する無機蛍光層、その蛍光顔料を保護するカバー層、耐久性を向上するためのコーティング層の4層構造の転写紙を開発することができた。また、視認が困難となるように、無機蛍光層に印刷されていない部分に逆層材料を印刷する困難な印刷技術を確立することができた。

3. 透光性を有する磁器飲食器への対応

高級磁器食器へ本開発品を応用するための条件を検討した。これまでにない透光性を有する薄物の磁器食器を作製し、転写紙の貼り付け条件を検討した。薄物磁器食器は、プログラムで制御可能なNC成形機を導入し、3Dスキャナを用いることで肉厚1.3mmのマグカップを作製することができた。このまぐカップを用いて転写紙の貼り付け条件の検討を行い、底面の裏印余白部に800°C程度の焼き付けが最適であることを見出した。この焼き付け温度は従来の上絵用転写の焼き付け温度と同じであり、従来の工程をそのまま利用できることが分かった。また、色釉を施釉した食器についても検討し、これらにも開発した転写紙が利用できることが分かった。また、得られた成果をもとに、最終製品のプロトタイプを作製することができた。

4. スマートデバイスを用いた読取方法の確立

転写された情報タグ（QRコード）の読み取りについて検討を行った。スマートデバイス（スマートフォン等）で発光したQRコードを読み取るために必要なQRコード条件について明確にし

た。さらに、秘密情報を共有できる SQRC 技術を応用したアプリケーション「陶磁器 ID 管理システム」と「陶磁器 ID リーダー」を開発し、真贋判定や製品管理といったサービスが提供可能なシステムを開発した。

5. 実機によるシステムのテスト

得られた結果をもとに、100 個の試作品を作製した。開発した転写紙やマグカップの製造は製品化を見据えた工程で行って作製した。読み取り試験の結果、すべての QR コードを読み取ることができ、製品化に問題がないことを確認した。

以上のように5つのサブテーマはそれぞれ当初の目標を達成し、最終製品を製造するプロセスを確立するとともに、ユーザー側でブラックライトを用いて情報を得ることができるシステムを確立することができた。

※今後の課題

陶磁器製品に関する開発した転写紙を応用する技術は確立できた。得られた成果をもとに、展示会への出展や企業訪問によって、積極的にマーケティング調査を実施している。その中で、金属やプラスチックなどへの応用がニーズとして挙がっている。特に、真贋判定では、スポーツ用品や工業部品への応用が期待されており、異材料への対応が必要である。

また、QR コードの利用方法は多岐にわたっており、各ニーズに応じたサービスの提供が今後の課題となってくる。本事業では真贋判定や製造管理を目的とし、通常は不可視で必要な時にブラックライトを当てると QR コードが発光し、情報を読み込むことができるシステムを提案したが活用方法が限定化されているため、より広く普及するためにはいろいろなアイデアを提案する必要がある。

本事業で得られた成果は、本提案技術以外に多くの派生技術が存在している。それら技術は以下のとおりである。

- ・遊星攪拌脱泡気を利用した短時間のペースト（泥漿・懸濁液）調製技術
- ・セラミックスの極薄成形体・焼成体作製技術
- ・3階層まで秘密情報を入れることができる SQRC システム

これらは、異なる分野への応用が期待でき、今後も必要なニーズに応じて開発研究を進めていく予定である。