

紫外線制御を用いた漆器に対する文様描画手法

小泉 直也^{*1} 橋本 悠希^{*2} 苗村 健^{*1}

A design method of Urushi surface by UV projection for digital fabrication

Naoya Koizumi^{*1}, Yuki Hashimoto^{*2} and Takeshi Naemura^{*1}

Abstract – We propose a design method that processes the surface of Urushi, a Japanese traditional coating material, with computer technology and ultraviolet (UV) light control. Urushi changes their physical condition by absorbing UV light energy. Our research introduces design method with this physical feature for digital fabrication. Our contribution is to realize imprinting method on urushi coated surface with computer-designed pattern. We use two methods to control of the light. One method is laser method that uses laser and galvanomirror. The other one is mask method that uses a lamp and mask pattern. We introduce suitable material and procedure for these methods, and demonstrate the potential of them.

Keywords : Digital Fabrication, Urushi, Appearance Design

1. はじめに

人は使用する道具として愛着の持てるものを選択し、使用し続ける。その選択の条件としては、機能的であること、美しいこと、自分だけのものであることなどが挙げられる。本研究では、個々人が自分だけのデザインを持つことをサポートするためのファブリケーション技術に関して、漆器に適応可能な手法の開発を行う。

自分だけのデザインを作るしくみを検討するにあたり、本論文では形態のデザインではなく、表面のデザインに注目した。形態のデザインは、主にその道具の機能や使い手の身体サイズによって決定される。一方で表面のデザインは、色彩、文様、質感など使い手の好みによって様々に選択される。そのため、同じ商品であっても様々なカラーバリエーションが多く展開されることがある。また、ラップトップやスマートフォンなど同一製品の利用者が多い場合、シールやケース等で周囲と異なるデザインを付与することで、表面のデザインに個性をもたせることが行われている。このような背景の中で、デジタルファブリケーション技術の発展に伴い、mi ZX Flux Photo Print^[1]のように、購入者が好きな写真を用いてスニーカーの表面に自分だけのデザインを施すなどのサービスも開始している。本研究でも、同様のサービスを漆器に展開することを見据え、ユーザーがコンピュータでデザインし、それ

を漆器に転写する手法の開発を行った。

漆塗りは、伝統的な日本文化であり、寺社仏閣等の建築物という大きなものから、椀や箸などの食器類といった小さなものまで幅広く使用されている。漆の特性は非常に優れており、耐水性、耐腐食性、抗菌作用、絶縁性などの高い性能を有している。さらに、独特の美しさやしっとりとした触感があり、日常生活によく馴染む優れた塗料である。一方で、その製作工程が専門化しており、個人がデザインを施すことは難しい。そこで我々は、誰もが好きな文様を漆器にデザインできるようにすることを目的とし、紫外線によって分解され色彩や光沢が変化するという漆の性質を活用し、選択的に紫外線を漆器に照射することによる文様描画手法を提案する。

2. 関連研究

2.1 漆器

漆器は日本の伝統的な文化の一つとして世界中で親しまれている^[2]。漆を塗る際にはアレルギー反応が生じる可能性があるため取り扱いが難しく、そのほとんどが専門家によって扱われており、一般的な塗料としてはあまり使用されていない。しかし、乾燥後にはアレルギー反応を生じず、非常に安全性の高い塗料となる。そのため、縄文時代からはじまり、現在でも様々に使用されており、その装飾方法が長い歴史の中で育まれてきた。代表的な手法としては、金属を用いた蒔絵や貝殻を用いた螺鈿、彫刻によって層を活かす彫漆などがある^[6]。これらの装飾には熟練の技術が必要であると同時に、未乾燥の漆に触れるためかぶれの危険性もある。このように漆の表面デザインを専門家でない人が行うには課題が多い。このような課題がある

*1: 東京大学 大学院 情報学環

*2: 筑波大学 システム情報系

*1: Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo

*2: Faculty of Engineering, Information and Systems, The University of Tsukuba

中で、宮城大学の土岐らによるワークショップ活動^[3]は、漆器とデジタルファブリケーションを組み合わせることで、専門家でない人でも漆でデザインを行う活動として特筆すべき活動である。このワークショップでは、漆加工品の一種である乾漆^[4]をレーザーカッターで加工し、金箔押しや磨きといった追加工を加えることで、漆器をデジタルファブリケーションと組み合わせる体験を提供している^[5]。漆器とデジタルファブリケーションを組み合わせようとする考えは一致するが、本研究では素材そのものは損傷させずに残しながら、その表面だけに文様描画を実施しようとしている点で異なる。

また素材としての漆の開発を進めることで、漆器のデザイン領域を広げようとする試みとして、宮腰らの研究^[7]が挙げられる。彼らは、漆にケイ素を少量混ぜることで従来は塗布できなかったガラスや金属に塗ることを可能にしたハイブリッド漆や、漆の粒子を細かくすることでインクジェットプリンタにも適用可能なナノ漆などを開発している。これらの研究は漆の優れた特性に着目しながら、漆の塗りに関する特性をコントロールすることで、その応用範囲や利用者を増やしていく試みとして実施されている。本研究では、既存の漆自体に手を加えることなしで、コンピュータによるデザインパターンの描画を実現しようとする点が異なる。

2.2 デジタルファブリケーション

Personal Fabrication^[8]は個人的なモノづくりのことである。その背景には、コンピュータによってさまざまなツールを自動化し、その手法や知見をインターネットを介して共有することで、個人がより容易に、かつ高度な創作に取り組むことができるという発想にもとづいている。日本では、「科学技術イノベーション総合戦略」（2013年6月7日閣議決定）^[9]において、少量多品種なもののづくりによる地場産業の確立を目標とし、デジタルファブリケーション等を活用した産業競争力の育成が掲げられている。このような背景の中で、コンピュータのサポートを受けてデザインしたデジタルデータを実世界に出力するプリンタが数多く提案されている。特に3Dプリンタが取り扱うことの出来る素材の範囲が拡大しており、形状・特性・機能などが様々な出力ができるようになっている^[10]。一方で、3Dのデザインは2Dに比較して自由度が大きい分、取り扱いが難しいと考えられる。本研究では、個人が自分の持っている写真やロゴなどの二次元情報を活用して、筆などでは描画できないような細かく正確な文様などのデザインも、漆器に施すことを可能にすることを目的としている。

2.3 表面のデザイン

本研究では表面のデザインに主眼をおいた。表面のデザインは所有者が自身の所有物の識別するためや、衣服などのファッションと同様の表現であり、Digital Fabricationの中でも重要な研究領域であると我々は考えている。これらの分野の研究として、ZhangらはHydrographic Printingを対象にした研究を実施しており、複雑な形状の表面にデザインを貼り付けることを実現している^[11]。彼らの研究は専用システムが必要になるが、陶器やセラミックなどにも適用可能である。一方で本研究では、デザインの対象として漆器に絞り、最も簡易にできる手法を検討した。その方法として、Saaksらのslow display^[12]の手法を参考とした。これは熱に反応する双安定型サーモクロミック素材を描画対象に塗布し、それにレーザーを局所的に照射することで、選択的に化学変化を生じさせ、コンピュータでデザインした文様を物体に描画する方法である。本研究ではこの選択的エネルギー投影手法を参考にし、漆への応用を行った。

3. 提案手法

3.1 原理

漆の木から採れる樹脂を精製した生漆はウルシオールを主成分としている^[2]。このウルシオールは二重結合を多く含む。他の樹脂と同様に、この二重結合は紫外線によって分解される。この分解により、漆表面の色彩や光沢に変化が生じる。本研究は、このウルシオールの紫外線との反応による分解を活用する。この分解は工業的には劣化と捉えられるが、日用品においては経年変化の楽しみとも捉えられている。本研究では、この分解によって漆の表面にコンピュータによってデザインした文様等を描く手法を提案する。本研究では紫外線の照射領域を制御する方法として、マスク法と走査法の2つの方法を提案し、試験的実装を行った上で、その効果の比較を行った。

3.2 マスク法

マスク法は、半導体製造時のフォトリソグラフィと同様の手法である。紫外線によって分解したいパターンを設計し、そのパターンを対象とする漆器に貼り付けて紫外線環境下に露光することでパターンの転写を行う。図1では、紫外線を遮蔽する方法として、蛍光増白剤を含む白紙をカットしたマスクパターンを、描画対象の上に紫外線を遮蔽するように配置している。このようなマスク法として、本研究では紫外線を遮蔽する紙をカットして使用する方式（切断式）と、透明なフィルムに紫外線を遮蔽するインクを印刷する方式（印刷式）の2方式を検討した。切断式は紫外線が直接対象に当たるため、紫外線強度の減衰がないという

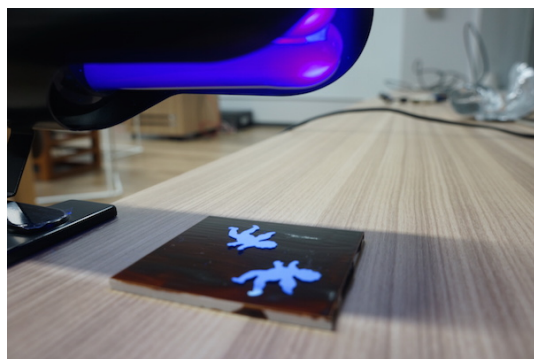


図1 マスク法の様子
Fig.1 Appearance of the mask method



図2 マスク法の実施例
Fig.2 Example of mask method

メリットがある一方で、二重丸記号の様な中抜けの文様においては位置ずれを起こしてしまうという問題点がある。一方で印刷式はプリンタに応じた細かい文様のデザインにも対応できるメリットがある一方で、印刷対象の透明なフィルムによる紫外線強度の減衰が問題となる。

これらの手法は、コンピュータでデザインしたマスクをプリンタで印刷加工し、対象物に貼り付け、紫外線を当てるだけで実施できるため、実施が簡易である。本研究ではランプとして波長が 352nm で、15W の出力をもつランプ (EFD15BLB-T, Toshiba) を使用した。本手法によってデザインを描き込んだ例を図2に示す。

3.3 走査法

紫外線を局所的に照射する手法として、紫外線を光学機器によって走査させる手法もある。紫外線を走査する手法として、DMD を用いた手法^[13] や紫外線レーザーをガルバノスキャナミラーによって制御する方法^[12] が検討できる。紫外線レーザーを漆加工に用

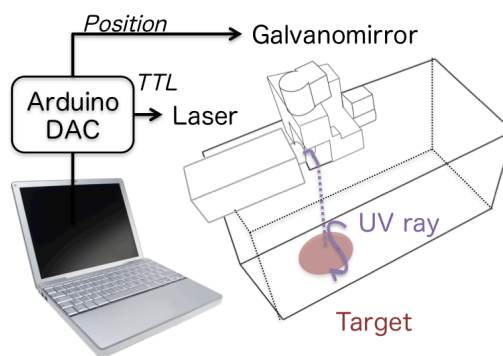


図3 走査法システム図
Fig.3 System diagram of scanning method



図4 走査法による実施例
Fig.4 Example of scanning method

いる方法として、既に筆者らは漆を絶縁体として使用する際に、紫外線を局所的に照射することで電気絶縁性をコントロールする手法を開発している^[14]。今回も先行研究で使ったものと同じのレーザー機器を利用した。システムの実装において、紫外線レーザーには Blu-ray Disc と同じ波長のため入手性の高い 405nm のものを使用した。またガルバノミラーの制御は Arduino と DAC(MCP4922) によるアナログ電圧の制御によって行った。ソフトウェアは Processing によって実装した。1024x1024 ピクセルの白黒二値のデータに応じて、レーザースポットの座標を移動させることができる。システム構成を図3に示す。また、本システムによって「漆」という文字を描画した例を図4に示す。

4. 実験1：マスク素材の選定と転写精度の調査

4.1 目的

マスク法を用いるにあたり、各種素材の紫外線遮蔽率を計測し、加工性等を考慮した方式及び素材の選定を実施した。マスク法で検討できる方式は切断式と印刷式の2方式である。切断式としては、紫外線遮蔽率が高い素材が望ましい。印刷式としては、紫外線透過率の高い素材と、紫外線遮蔽率の高いインクの組み合わせが望ましい。本実験ではそれぞれの方式を比較検討するために、入手性・加工性の高い紙や、プリンタ



図5 紫外線透過率の測定
Fig. 5 Measurement of ultraviolet transmittance

で印刷できる素材を選択し、それらの紫外線透過率を調査し、その精度を確認した。

4.2 実験手順

実験では、図5の様に紫外線ランプを固定し、テーブルに紫外線強度を計測するための紫外線照度計 (TM-208, TENMARS 社) を固定し、その上に透過率を測定する試料を固定して計測を行った。紫外線ランプと照度計のセンサ間の距離は、マスク法を実施した際と同程度の距離に合わせて 3cm とした。何も遮蔽する試料を配置しない際の紫外線強度は $854\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。これは日本国内での真夏の正午の太陽からの紫外線と同等の強度である。紫外線強度の比較一例として、東京都江東区において真夏の快晴時 (2014 年 8 月 22 日正午) における紫外線強度を計測したところ、 $855\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。

紫外線を遮蔽する加工性の高い素材として、一般的なリサイクル OA 用紙 (リサイクル 70PPC, 大王製紙) のほかに、白色 OA 用紙 (中性上質紙, ジョインテックス)、蛍光増白剤を含んだ厚みのある紙としてインクジェット用紙 (JP-ERV1N A4, サンワサプライ) を使用した。また印刷によって部分的に遮蔽する素材として、OHP シート (TY731, 住友スリーエム株式会社) にレーザープリンタ (OKI C811dn) で印刷した試料及び、銀ナノ粒子インク専用メディア (NB-TP-3GU100, 三菱製紙株式会社) にインクジェットプリンタ (Canon iP100) で銀ナノ粒子インク (NBSIJ-MU01, 三菱製紙株式会社) を印刷した試料を使用した。

これらの膜厚を、レーザー変位計 (LK-G30, KEYENCE) を用いて、治具で試料を固定したうえで計測を行った。使用した OHP シートの厚みは約 $108.2\mu\text{m}$ 、インク部を含めた厚みは約 $120.5\mu\text{m}$ であり、インクの膜厚は約 $12.3\mu\text{m}$ となる。また、銀ナノ粒子専用メディアの膜厚は約 $141.4\mu\text{m}$ で、銀ナノ粒子インクの印刷膜の厚みは約 $2.1\mu\text{m}$ であった。

表1 紫外線透過率
Table 1 UV transmittance

方式	試料	紫外線透過率 [%]
切断式	白色 OA 用紙	5.1
	リサイクルコピー用紙	0.25
	インクジェット用紙	0.0
印刷式	OHP シート	80
	銀ナノ粒子用メディア	41
	OHP シート 1 回印刷	5.6
	OHP シート 二重印刷	0.0
	銀ナノ粒子インク印刷	0.0

4.3 実験結果

何も試料を置かない際の紫外線強度を 100% とし、各試料の紫外線透過率を表1に示す。実験の結果、OHP シートに黒インクを二重印刷したもの、インクジェット用紙、銀ナノ粒子インクを印刷したものには、高い紫外線遮蔽性能があることがわかった。

切断式の素材に関しては、市販の紙の中ではインクジェット用紙が非常に高い遮蔽特性を有していることがわかった。したがって切断法ではインクジェット用紙を用いることが適切であると考えられる。印刷式での素材に関しては、検討した銀ナノ粒子インクは、印刷する際に専用メディアを使用する必要があり、かつその専用メディアの透過率が、OHP シートに比較して約半分程度の透過率であることがわかった。この結果を踏まえると、印刷式の素材は紫外線透過率が8割以下であるため、より速い加工を期待する際は、インクジェット用紙を用いた切断式が良いことがわかった。一方で切断式には中抜けの文様の描画の難しさ等があるため、より細かな文様等を転写するためには印刷式が適していると考え、本研究では OHP シートを二重印刷したものがマスク法の中では最も汎用的であると判断し、その精度を評価した。

4.4 マスク法による変色最小サイズ調査

二重印刷を行った OHP シートを用いて、その変色最小サイズに関して調査を行った。実験に先立ち二重印刷の精度に関して調査を行ったところ、使用したプリンタでは 0.09mm より細い線を印刷すると目視で確認できるずれが生じてしまう事がわかった。そこで本研究では 0.09mm 以上の太さの線を使用した。予備実験において、OHP シートと試料の重ね方に関して調べたところ、試料の上に OHP シートを重ねる際に印刷したインク面が上に来るように配置したほうが、ボケが少ないことがわかった。これはフィルム面の方が凹凸がなく試料に良く貼り付いたためと推測される。本実験においても、この配置条件で細い線のパターンを二重印刷したマスクを用い、線幅を確認した。

実験の結果、線幅 0.09mm では線が見えるものの、幅にムラが生じていた。また、紫外線ランプから十分

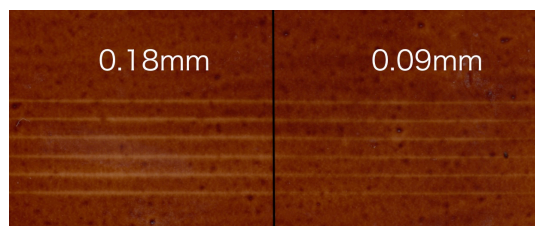


図6 マスク法における精度
Fig.6 Precision of mask method

にはなさいと線が浮き出なかった。一方 0.18mm 程度であれば、ランプのそばに試料を置いても、十分に印刷パターンを変色させられることがわかった。この原因としては、使用した OHP シートの厚みが黒線のパターンより厚いため、斜めから入射した光の影響があったと予測される。転写を行った結果を図 6 に示す。これより、0.18mm 幅の文様が OHP への二重印刷を用いたマスク法で可能になることがわかった。

5. 実験 2：変色加工時間の比較

5.1 目的

マスク法と走査法では紫外線強度や照射面積が異なるため、その加工に要する時間が異なっている。本研究ではそれぞれの加工に必要な時間を計測し、両手法の比較を行う。

5.2 実験方法

本実験では、銅板に生漆を塗布した試料を使用した。この漆試料に前述した紫外線照射源によって紫外線を照射し、漆の色変化を確認した。計測にはスキャナ (CANON LiDE 210) を用いて色情報を取得した。得られた TIFF ファイルをもとに、Adobe Photoshop にて Lab パラメータを取得し、色差を計算した。

5.3 実験結果

色差変化のグラフを図 7 に示す。縦軸を色差、横軸は照射時間になっている。予備実験において、走査法では 60 秒間レーザーを照射すると目視で十分判別可能な色差が生じることがわかった。このときの色差は 10 であり、JIS における C 級許容差と同等であることがわかった。このレーザーを 60 秒間照射した際の色差である色差 10 を、ランプ法との比較基準として点線で示した。

グラフよりランプ法での色差変化は、ほぼ線形であることがわかった。このグラフから、色差 10 を見ると、紫外線ランプは 100 時間以上の照射が必要だとわかった。

5.4 考察

レーザーによる走査法とランプによるマスク法の比較を行う。色差の変化に関して、レーザーを 60 秒間照射した時の色差と、紫外線ランプを 100 時間当たった際

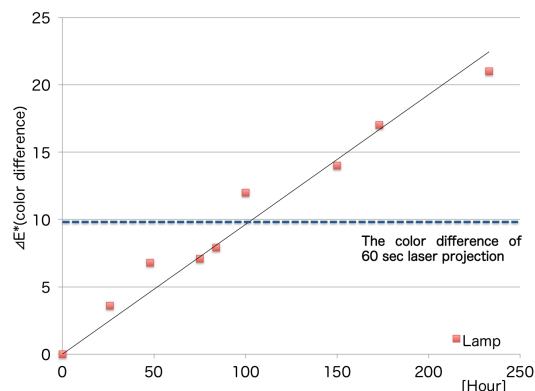


図7 紫外線照射時間と色差変化の関係
Fig.7 The relation between UV radiation and color difference

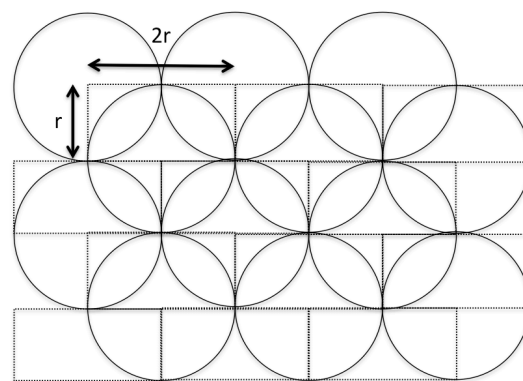


図8 走査法におけるスポット配置
Fig.8 Alignment of laser spot by scanning method

の色差がほぼ同じであった。このことを踏まえて変色時間と面積に関して検討した。レーザーは光と同時に熱エネルギーも持つため、照射径を絞りすぎるとレーザーエネルギーによる熱で漆が燃えてしまう。予備実験より、照射径の半径が最小で 0.75mm 程度あれば、今回の強度のレーザーでは燃えないことが分かった。今回はその照射径のサイズを採用し 60 秒間当たった変色と比較する。ここで、照射径の形状を円と仮定して図 8 に示すように配置し、100 時間のレーザー照射した場合の面積を計算した。その面積 S は、 N を投影する点の数、 r を半径とすると、式 1 に近似できる。

$$S = 2Nr^2 \quad (1)$$

ここで、1 点当たり 1 分間レーザーを照射すると考えると、100 時間 (6000 分間) で 6000 点を加工できる。 $N=6000$ 、 $r = 0.75$ を代入し計算すると、 6750mm^2 を加工できることがわかる。したがって、今回の機材選定及び走査法を用いた際の照射点配置を仮定すると、走査法よりマスク法の方が速く加工できる面積の目安としては約 8cm^2 であると考えられる。

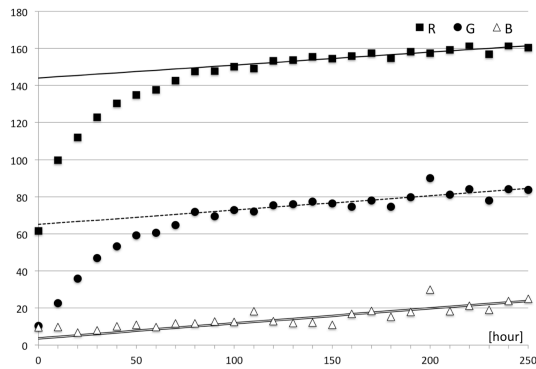


図9 紫外線照射時間と RGB の色変化の関係
Fig.9 The relation between the duration of UV radiation and the change of RGB color

6. 実験3：変色のモデル化

6.1 目的

漆に紫外線によるデザインを施すためには、その変色に要する時間を見積もる必要がある。そこで、漆の変色と時間の関係をモデル化することにした。

6.2 実験方法

本実験では、白色 ABS に生漆を塗布した試料に対して、実験2と同様の手法で変色を計測した。

6.3 実験結果

250 時間の色変化のグラフを図9に示す。縦軸は RGB それぞれ 0 から 255 で表される値であり、横軸は照射時間になっている。色差が 10 以上になるのは、100 時間以上であることを踏まえ、100 時間以上の計測値を用いて、最小二乗法でその変色をモデル化し、 H 時間後の RGB を、それぞれを式 2, 3, 4 とした。

$$R = 0.0629H + 129.62 \quad (2)$$

$$G = 0.0697H + 58.56 \quad (3)$$

$$B = 0.0728H + 3.29 \quad (4)$$

本モデルを活用して、実際にスキャンしたデータから 250 時間後の変化を推定したものと、実際に 250 時間照射した際のデータを比較した。図10に 250 時間経過時のシミュレーション結果と実際にスキャンした変色状態を示す。

6.4 考察

実際に 250 時間照射したものは、変化が生じていない漆溜まりの部分などがあり、色変化にムラがあった。そのため、全体として色味の平均がずれており、推定値は $(R,G,B)=(137,66,18)$ であるのに対して、実際の計測値の平均は $(R,G,B)=(144,75,22)$ となっていた。この時、実測値の標準誤差はそれぞれ $(R,G,B) = (6.8, 7.8, 5.5)$ であり、推定値の標準誤差は (R,G,B)

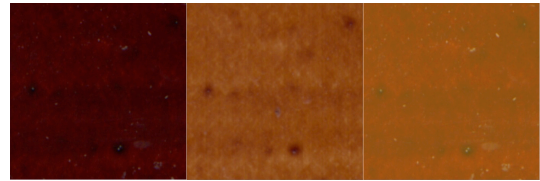


図10 紫外線による 250 時間照射における変色の推定と実測の違い (右: 照射前 / 中: 照射後 / 左: 推定)

Fig.10 The color difference of 250 hours UV projection (Right: Original material / Middle: projected sample / Left: Simulation)

$= (6.6, 0.9, 1.3)$ であった。したがって、本手法でのモデル化では変色のムラの影響で正確な色の推定はできないが、おおよその平均値を推定することは可能であり、変色後のデザインを検討することに活用できると考えている。

7. 考察

7.1 両手法の比較

解像度に関して、200mW の強さのレーザーでは半径 0.75mm 以上にしなければならないことがわかった。これに対してマスク法では 0.18mm の線も描画可能であったことから、マスク法の方がより細かい表現が実現できることがわかった。ただし、C 級許容差程度の色差までの変色に至るまでの時間は、マスク法では 100 時間であるのに対して、走査法は一点に 60 秒間の照射で実現可能であった。面積に換算して比較したところ、 8cm^2 以上であればマスク法が速く変色を実施できることがわかった。マスク法の長所は解像度が高く大面積に対して加工が速いことであり、短所は変色に時間を要することである。また、走査法の長所として狭い範囲であれば加工が速い点であり、短所は解像度がマスク方より低いことがあげられる。今後、走査法に関しては、レーザー強度・スキャン速度・対象とする物体の比熱などに様々なパラメータに動的に対応した制御手法の検討を行い、解像度や描画速度を向上させたいと考えている。

7.2 本技術の限界

細かい文様のデザインの例として、江戸小紋のデータを使用した表現を実施した。実施例を図11に示す。手塗りのサンプルのため、一部付着物が残って入るものの、直径 0.4mm 程度のドットの集まりの様に人の手では描けないような非常に細かい文様も再現することができることがわかった。

またベンガラの入った朱漆に対しても同じ手法で文様のデザインをすることができた。朱漆に対して文様を描画した例を図12に示す。

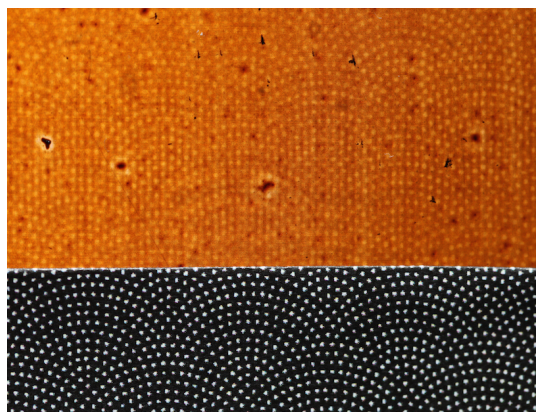


図 11 マスク法による江戸小紋デザイン (上: 実施例 / 下: マスクパターン)

Fig. 11 EDO KOMON design by mask method (Top: Fabrication example / Bottom: Mask pattern)

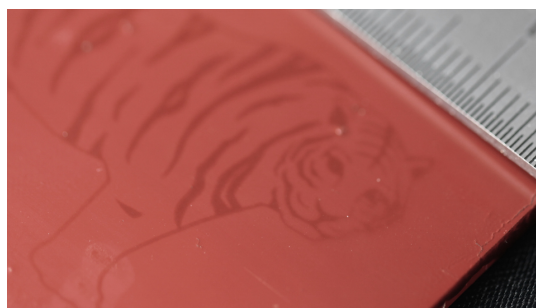


図 12 虎模様を朱漆に描いた例

Fig. 12 Fabrication example: Tiger pattern on Shu Urushi

走査法は小さな文様を高速に描画する際には適していることが分かったが、非金属製の素地に漆を塗った場合、漆がレーザーの熱で焦げてしまうことがあった。これを防ぐために、描画対象の漆器を水中に沈めた状態で描画する方法も検討したが、水面が安定しない点や、光が屈折してしまう課題があった。したがって、非金属の素地に細かい文様を加工するには、マスク法が適している。

8. 結論

8.1 本研究のまとめ

本研究では、デジタルファブリケーションの考えを漆器工作に持ち込むことに関して研究を行った。研究の目的は、漆器に対してコンピュータでデザインした文様を転写する手法を開発することである。本研究では、デザインを漆器に転写するという課題に対して、紫外線による漆の局所的分解という手法を提案した。その手法として紫外線をカットするマスク法と、紫外線レーザーを用いる走査法を検討した。本研究では、マスク法で使用するマスク素材の検討を行い、適切なマスクの選択を実施し、そのマスクによる解像度の比

較を行った。その上でマスク法と走査法の比較を行い、約 8cm^2 以上のサイズであれば、マスク法の方が早く実施可能であることを示した。実際にマスク法で細かい文様の代表例である江戸小紋を漆器表面に転写し、人の手では描けないような非常に細かい文様の実現できることを示した。

8.2 今後の展開と応用

本技術の利用として、文様のデザインへの展開はもちろんであるが、漆を用いた電子回路への利用を検討している。先行研究^[14]ではレーザーによる漆の分解を実施しているが、その対象は金属に漆を塗布したものに限定されている。本研究で実施しているマスク法で漆を分解することで、木地等の燃えやすい物質に対しても回路の展開ができると考えている。また、平面に対する転写においては、マスク法による転写が有効であると考えられるが、凹凸のある立体など印刷したマスクパターンを塗布できないものに対してはレーザーによる走査法が有効であると考えられる。

今後の課題の一つとして、階調表現の実現が挙げられる。実装方法としては、今回作成した色変化モデルを活用した照射時間を制御する方法と、網点を設計しドットパターンの疎密で階調表現を行う方法の二種類を検討している。これらを実現し、インターネットを介したデジタルデザインのプリントサービスのように、漆器に対するプリントサービスの実現に向けたソフトウェアの整備を進めたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は JST CREST 「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。

参考文献

- [1] adidas: mi ZX Flux Photo Print; <http://shop.adidas.jp/mizzflux/> (2015).
- [2] 小川 俊夫: うるしの科学; 共立出版. (2014).
- [3] 土岐 謙次: <http://kenjitoki.tumblr.com/> (2015).
- [4] 土岐 謙次, 金田 充弘, 尾関 美紀: 構造実験に基づいた乾漆造形手法の研究; 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 60, pp. 44-45 (2013).
- [5] FabLab SENDAI: 乾漆 一森山紅葉ブローチワークショップ http://fablabsendai-flat.com/knsts_151031/ (2015).
- [6] 松田権六: うるしの話; 岩波書店 (2001).
- [7] 宮腰 哲雄, 陸 榕, 石村 敬久, 本多 貴之: グリーンポリマー漆の化学と工業塗装への応用; ネットワークポリマー, Vol.31, No.5, pp.224-232, (2010).
- [8] Neil Gershenfeld, 田中 浩也, 糸川 洋: Fab パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ; オーム社 (2012).
- [9] 内閣府: 科学技術イノベーション総合戦略～新次元日

本創造への挑戦～; <http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2013/honbun.pdf> (2013).

- [10] 小林 広美: 3D プリンタ最新情報と今後の可能性; 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 20, No.1, pp.34-39 (2015).
- [11] Zhang, Y., Yin, C., Zheng, C., Zhou, K.: Computational Hydrographic Printing; *ACM Trans. Graph.*, Vol. 34, No. 4, Article 131, 11 pages. (2015).
- [12] Saales, D., Chiu, K., Hutchison, T. Buczyk, B., Koizumi, N., Inami, M., Raskar, R.: Slow display; *In ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies*, Article 22, 1 pages. (2010).
- [13] 橋田 朋子, 苗村 健: 発色型映像投影技術の試み; 日本バーチャルリアリティ学会誌「プロジェクションマッピング」特集, Vol19, No.2, pp.10-13 (2014).
- [14] 橋本 悠希, 小泉 直也: 漆をベースとした電子回路構築手法の基礎的検討. 計測自動制御学会論文集, Vol. 51, No. 1 pp.64-71 (2015).

(2015 年 7 月 31 日受付, 12 月 4 日再受付)

著者紹介

小泉 直也



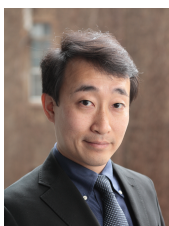
2012 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科後期博士課程修了。日本学術振興会特別研究員 PD を経て、現在、東京大学情報学環研究員。知覚作用インタフェースやクロミック作用を利用したディスプレイの研究に従事。博士（メディアデザイン学）。

橋本 悠希



2010 年 電気通信大学 電気通信研究科博士課程修了。2013 年 筑波大学 システム情報系助教 現在に至る。触覚インタフェースの研究に従事。博士（工学）。

苗村 健 （正会員）



1997 年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。米国スタンフォード大学客員助教授（日本学術振興会海外特別研究員）を経て、現在、東京大学大学院情報学環教授。ヒューマンインタフェース、複合現実感などの研究に従事。文部科学大臣表彰若手科学者賞、日本バーチャルリアリティ学会論文賞、グッドデザイン賞など受賞多数。博士（工学）。