



# 金属箔による漆面上への文様回路作成手法の検討

土切匠悟<sup>1)</sup>, 橋本悠希<sup>1)2)</sup>

1) 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, s\_tsuchikiri@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp, hashimoto@iit.esys.tsukuba.ac.jp)

2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ (〒332-0002 埼玉県川口市本町 4-1-8)

**概要:** 本研究では、漆の持つ防水性・電気絶縁性に着目し、漆を電子回路の構造体・絶縁材として用いる漆回路を提案してきた。漆回路によって漆器の文様を回路化させることによって、美しさと機能性を両立した電子デバイスが実現可能であると考えられる。そこで本稿では、元々光沢を持つ金属箔による漆器の文様作成手法を応用した漆回路の作成手法を提案と検討を行い、金属箔文様による漆回路の実現可能を示した。

**キーワード:** 漆, 電子回路, 金属箔, ファブリケーション

## 1. はじめに

ウェアラブルデバイスやフィジカルコンピューティング, IoT 技術の普及によって, 人々の生活と電子デバイスの関係性はより密接なものとなった。これらの電子デバイスには, 様々な環境下においても支障無く使用可能であること, 衛生面において極めて安全であることが求められる。特に, 人の肌と電子デバイスが触れ合う箇所のは, 電子回路に含まれている人体に有害な成分や漏電による健康被害を防ぐために, 注意深く設計する必要がある。また, これらの電子デバイスには, デバイスの機能性だけでなく, 違和感なく生活に馴染み, 親しみを感じることができるデザイン性も求められる。

そこで本研究では, 電子回路の構造体として漆を使用する「漆回路」を提案してきた[1]。漆は熱や酸への耐性, 防水性, 優れた電気絶縁性を持つため, 電子回路の構造体や絶縁体への利用が期待できる(表 1)。また, 漆は古くから伝統工芸品として親しまれてきた歴史をもつ。このような漆の素材としての利点と文化的価値を組み合わせることで, 安心安全・様々な環境下でも使用可能なだけでなく, 先端技術に対してあまり馴染みのない人々でも親しみを持つことが可能な電子デバイスが実現できると考えられる。

また, ウェアラブルデバイスの発展に伴い衣服やアクセサリの電子デバイス化だけではなく, 製品の模様を回路化させて新たな付加価値を生み出す研究も行われている[2][3]。漆器には金粉や金箔のような導電性のある金属を用いて文様を描く手法が存在するため, これらの手法で描かれた文様を回路化することによって漆器の見た目の

美しさを損なわない漆回路が実現できると考えられる。しかし, 漆器の文様を描く手法は熟練の技術を必要とするため, 文様回路を作成するためには電子回路構築のための知識だけでなく装飾技法の技術を習得する必要がある。その結果, 製作にかかる時間や作業量が非常に多くなってしまふ。そこで, ファブリケーション機器による特別な技術を必要としない造形手法による文様回路の作成手法に着目した。これまでに本研究では, 導電性銀ペーストを用いて文様回路パターンをシルクスクリーン印刷する手法によって文様回路の作成を行ってきた。しかし, 従来手法では銀ペーストの光沢の無さや銀ペーストを導通加工させるための紫外線照射によって漆器の見栄えが悪くなるため, 漆器としての美しさを損なわない電子デバイスを実現することが難しい。そこで, 素材としての光沢と導電性を併せ持つ金属箔による漆器の装飾技法を応用した, 美しさを損なわない漆回路の作成手法の検討を行う。

本稿では, 装飾用の金属箔を回路として使用可能であるかの検討と, 熟練の技術を必要としないカッティングマシンを用いた文様回路を作成する手法の検討を行う。また, 提案する加工手法によって電子デバイスを作成することで, 金属箔文様回路の実現可能性を示す。

表 1: 漆の特性

水・湿気	高い防水性[4]
薬品	硫酸, 塩酸, 王水等に不溶
電気	高分子と同等の絶縁性[5]
さび・腐食	防錆・防腐蚀性
硬さ	鉄と同様の硬さ
虫・菌	防虫・防菌性[6]
耐熱	120~300℃
環境	有害物質が発生しない天然樹脂
対人	硬化すればかぶれない, アレルギー性無し

Shogo TSUCHIKIRI and Yuki HASHIMOTO

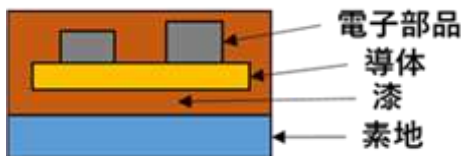


図1：漆回路の構造

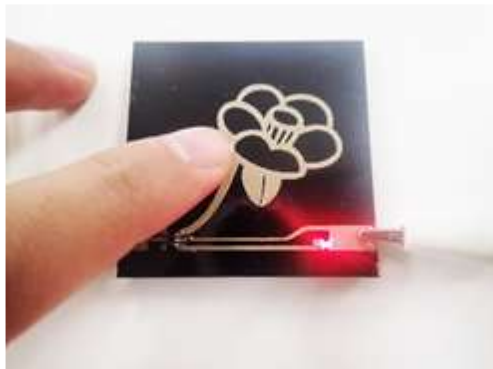


図2：蒔絵回路タッチインタフェース

## 2. 漆回路

漆回路は、回路を漆で覆うことによって、漆を絶縁体や構造体として使用する(図1)。漆器は重ね塗りにより層を形成するため、層と層の間に回路を作成することによって回路を漆で覆っている。また、漆が紫外線によって分解される性質を利用した紫外線照射による漆膜加工システムを用いてスルーホール等を作成することで、積層漆回路を作成することができる[7][8]。

### 2.1 既存の文様回路作成手法と問題点

本研究ではこれまでに、金粉を蒔いて文様を描く漆器の装飾技法である蒔絵を応用した、導電性銀ペーストのシルクスクリーン印刷による文様回路作成手法を提案した[9](図2)。しかし、ここで使用する導電性銀ペーストUV-700SR1J(田中貴金属工業)は光沢が無く、また、導電性を発生させるための紫外線照射によって回路周辺の漆が分解されてしまうといった欠点があるため、漆器の見た目の美しさを保った漆回路の作成においては相性が悪い。

## 3. 金属箔の性質と加工手法

前章で述べた問題点の解決のために、本稿では金属特有の光沢があり、特殊な加工を必要とせず導線として利用可能、さらには漆器の装飾技法に使用されている金属箔による回路作成に着目した。

### 3.1 金属箔の電気抵抗率

金属箔の材料となる金、銀、銅、そして従来手法で使用する導電性銀ペーストの電気抵抗率、および抵抗理論値によって、金属箔で作成した回路の実現可能性を評価した。抵抗理論値は、金属箔の厚さを装飾用に利用される $0.3\mu\text{m}$ 、銀ペーストの厚さを実際に印刷した際の厚みである $10\mu\text{m}$ と仮定した、 $10\times 50\text{mm}$ の長方形型配線パターンの理論値を計算した。

各導体の電気抵抗率と抵抗理論値を表2に示す。装飾用

表2：金属箔と銀ペーストの抵抗値の比較

	電気抵抗率( $\Omega\text{m}$ )	抵抗値( $\Omega$ )
金箔	$2.4\times 10^{-8}$	0.40
銀箔	$1.6\times 10^{-8}$	0.27
銅箔	$1.7\times 10^{-8}$	0.28
銀ペースト	$1.0\times 10^{-6}$	0.50

の金属箔を用いて作成された配線パターンの抵抗理論値は既存手法である銀ペーストを用いたものよりも低いため、装飾用の金属箔は回路の導線としての利用が期待できる。銀ペーストは導電性発生のための紫外線の照射の度合いによって抵抗値が理論値よりも大きくなることがあるため、特別な処理を必要としない金属箔を用いた回路作成手法は銀ペーストを用いたものよりも安定した手法になると期待できる。

### 3.2 金属箔加工手法

金属箔による漆器の文様作成手法の例として、漆で描いた文様に金属箔を貼り付ける箔絵[10]、漆面上に彫った溝に漆を刷り込んだ箇所金属箔を刷り込ませる沈金[11]が挙げられる。これらの装飾技法によって文様を描くためには熟練の技術が必要となる。また、複数の金属箔を貼り合わせて文様を作成するため、回路として使用した場合断線が多く生じる可能性がある。そのため、回路作成のためのコストや安定性の問題上、そのまま応用することは難しい。一方、装飾用の金属箔は1枚あたりの厚さが数 $\mu\text{m}$ であるため扱いが非常に難しいが、油やロウを塗った和紙に金属箔を一時的に貼り付ける箔あかし[12]を用いることで、紙のように扱うことができる。そこで本稿では、ファブリケーション機器の一つであり、先行研究[2][3]でも使用されているカッティングマシンと、カッティングマシン用のカッティングシートを用いた箔あかしを組み合わせることで、1枚の金属箔を紙と同様の切断加工を行える手法を考案した。

## 4. 金属箔文様回路の作成手法

本章では、カッティングマシンを用いた金属箔の加工手法について説明する。カッティングマシンはCE6000-40Pro(GRAPHTEC)を、金属箔は厚さ約 $0.3\mu\text{m}$ の大きさ $115\text{mm}$ 四方の銀箔(今井金箔)、カッティングシートは表面が塩化ビニル製、厚さが約 $0.26\text{mm}$ の中期用屋外耐候4年カッティング用シート(丸和書店)を使用した。

### 4.1 作成手法

箔あかしにおける金属箔を貼りつける紙の代わりに、表面が塩化ビニル製のカッティングシートの表面に漆を塗布したものを用意し、漆が硬化する前に金属箔を貼りつけ、加工用シートを作成する(図3)。ここで、塩化ビニル上で硬化した漆は塩化ビニルからの剥離が容易である性質によって、金属箔と漆が一体化した層を作成することができる。金属箔と一体化した漆は、回路部分を保護する漆の一部として利用することができる。

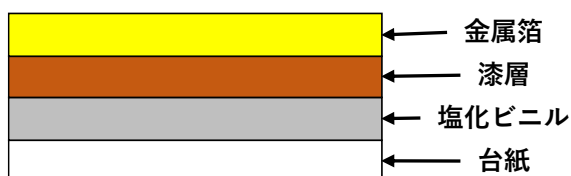


図3：加工用シートの構造

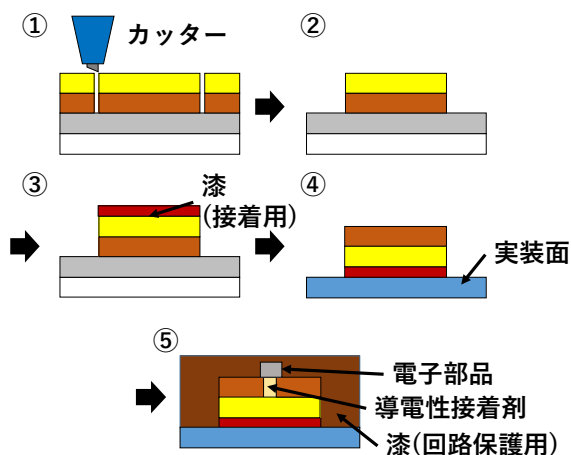


図4：文様回路の作成手順

作成した加工用シートとカッティングマシンによる文様回路作成手法の手順を示す(図4)。

- ① 加工用シートをカッティングマシンにセットし、シート表面の金属箔と漆層を Adobe Illustrator で作成した文様パターンの形に切断する。
- ② 文様回路以外の部分の金属箔と漆層を剥す。
- ③ 接着用の漆を金属箔面に塗布する。
- ④ 文様回路を実装したい箇所に貼り付け漆を十分に硬化させ、漆が十分に硬化したらカッティングシート部分を剥し、金属箔と漆層を貼りつける。
- ⑤ 紫外線照射によって漆層に電子部品や配線の接続用の穴を開け、最後に回路部分を保護するための漆を塗布する。

ここで使用する金属箔は $0.3\mu\text{m}$ と非常に薄いため、切断加工時に加わる力による金属箔の変形が生じやすい。また、漆の硬化時の体積の減少により、加工用シートから剥離させた金属箔は丸まってしまう。その結果、切断加工中の文様パターンの変形による加工精度の低下や、丸まった金属箔を延ばす作業による金属箔の破損・断線リスクの増加が生じてしまう。これらの問題点は、金属箔を貼りつける漆層を厚くする、具体的には漆を4回塗布して漆層の厚さを約 $0.04\text{mm}$ にすることで金属箔の不要な変形を防ぐ、カッティングマシンの刃が加工対象物に与える力を低下させる、加工用シートからの剥離と回路実装箇所への貼り付けの工程を一体化させることで金属箔と漆層の破損リスクを低下させることによる対策を行った。

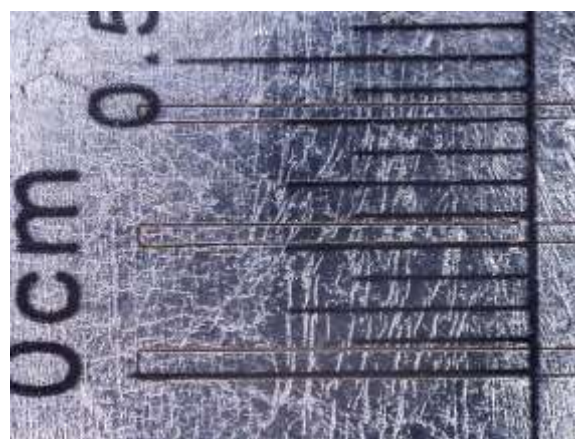


図5：長方形パターン(上から0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 定規1目盛り辺り0.5mm)

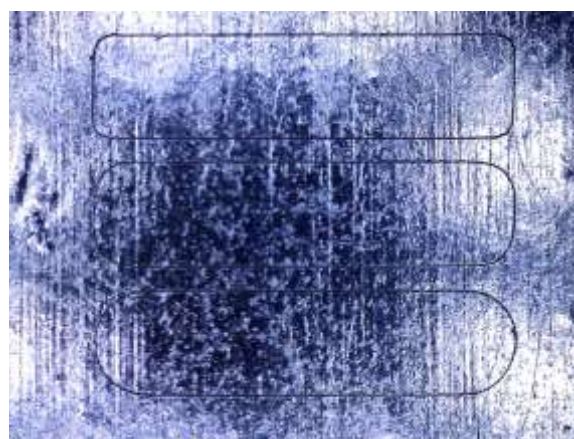


図6：角丸長方形パターン(10×2.5mm, 上から角半径0.5mm, 1mm, 2.5mm)

#### 4.2 作成可能な文様回路のサイズ

提案した加工手法によってどのくらいの細かさの文様パターンが作成可能であるかの検証を行うために、Adobe Illustrator で長さ50mm、幅がそれぞれ0.1mm, 0.2mm, 0.3mmの長方形パターンを作成し、カッティングマシンのカット圧の設定数値を3(約0.43N)に設定して切断加工を行った。切断したパターンを顕微鏡で撮影した結果を図5に示す。枠部分を剥して導通確認を行ったところ、3つすべてのパターンにおいて導通を確認できた。プリント基板における配線幅の最小値は約0.1mmであることから、既存の回路作成手法と同等の細さの回路作成が可能であると考えられる。また、加工可能な曲線の検証も行うために、角半径が0.5mm, 1mm, 2.5mmである10×2.5mmの角丸長方形パターンを作成し、同様に切断加工を行った(図6)。本稿で使用しているカッティングマシンの円弧の加工可能サイズの最小値である半径2.5mm以下の円弧の切断を確認できたが、輪郭が歪んでいる箇所が発生した。今後は、直線および曲線加工時の精度およびに加工時に生じるのずれによる影響をより深く検証していくことによって、提案する加工手法の評価を行っていく。

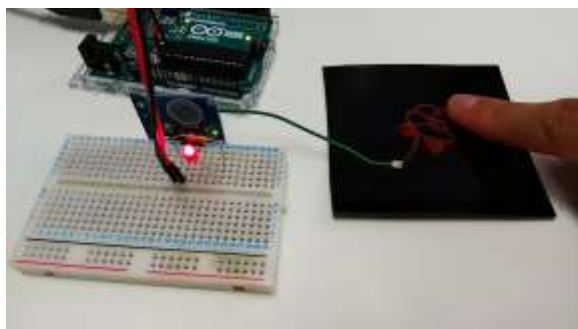


図7：作成したタッチインタフェース



図8：既存手法との見た目の比較(左：金属箔，右：導電性銀ペースト)

## 5. 作成手法の検証

本稿で提案した加工手法によって実際に文様回路を作成できるかの検証を行う。そこで、図2に示した蒔絵型タッチインタフェースと同等の機能を持つ回路の作成を行った。静電容量変化を検出するIC(TTP223-BA6)を搭載する1chタッチモジュールMSW223のセンサ部分と金属箔で作成した文様を接続することで、金属箔文様に触れるとLEDを光らせるタッチインタフェースを作成した(図7)。花柄の文様に触れることによって、ブレッドボード上のLEDを点灯させることが確認できたため、本稿で提案する金属箔文様による漆回路の作成手法の有用性が示された。

また、既存手法の銀ペーストによって作成された回路と異なり、文様回路の上に漆を塗布した場合であっても文様の光沢を失わないことが確認できた(図8)。今後は、図2に示したタッチインタフェースと同様に漆器上に回路部分すべてを実装するような漆回路の作成や、タッチ検出以外の機能を持たせた漆回路の実装を行う。

## 6. まとめと今後の展望

本稿では、漆器としての見た目の美しさと電子デバイスとしての機能性を両立させた漆回路を作成するために、金属箔を用いた装飾技法に着目した文様回路作成手法の検討を行った。

既存の漆回路作成手法で用いた導電性銀ペーストと金属箔の材料となる金属の電気抵抗率を比較し、装飾用の薄い金属箔を用いた場合においても既存手法と同等、もしくはそれ以上の性能を有した電子回路が実現可能であるこ

とを示した。また、熟練技術を必要としない文様作成手法を実現するために、カッティングマシンによる金属箔の加工手法を考案した。具体的には、漆で金属箔を接着させた加工用シートを作成することでカッティングマシンによる金属箔回路の加工を可能にした。また、作成可能な細かさの検証を行い、プリント基板と同等の細さの配線が作成可能であることを示した。

今後、加工可能な細かさと精度に関するさらなる検証を進め、カッティングマシン以外のファブリケーション機器、例えば基板加工機を用いた金属箔加工手法の検討を行い、金属箔文様回路を用いることで漆の素材としての利点と伝統工芸としての利点を両立させた電子デバイスを作成していく。

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤B(18H03316)、科研費基盤B(17KT0069)、電気通信普及財団の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 橋本, 小泉: 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
- [2] Kao, Holz, Roseway, Calvo, Schmandt: "DuoSkin: Rapidly Prototyping On-Skin User Interfaces Using Skin-Friendly Materials.", ISWC'16, pp.16-23, 2016
- [3] Du, Markopoulos, Wang, Toeters, Gong: "ShapeTex: Implementing Shape-Changing Structures in Fabric for Wearable Actuation", TEI2018, pp.166-176, 2018
- [4] 脇田, 小島: 岐阜県工業試験場業務報告 堅地塗膜の吸水, 吸湿変動について
- [5] 四柳: 漆I, 法政大学出版局, 2009
- [6] 京都漆器工芸協同組合「抗菌漆器」のレポート記事, <http://www.kyo-shikki.jp/think/#>
- [7] 明神, 橋本: 紫外線照射法を用いた漆膜加工システムの開発, バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol22, No.1, pp.31-40, 2017
- [8] Ikegawa, Aoyama, Tsuchikiri, Nakamura, Hashimoto, Suzuki: "Investigation of Touch Interfaces Using Multilayered Urushi Circuit", TEI2018, pp.115-122, 2018
- [9] 明神, 橋本, 志筑, 花田, 山口: 漆の美しさや質感を保った漆回路の開発, 情報処理学会インタラクシオン2016, pp.519-521, 2016
- [10] 柴田: 漆の技法(「炎芸術」工芸入門講座), 阿部出版, 2012
- [11] 沈金による漆器の装飾, <https://j-tradition.com/lacquer/chinkin.html>
- [12] 日本画の技法 箔あかし- 岡田絵具店, [http://okadaenoguten.o.oo7.jp/detail\\_studio21](http://okadaenoguten.o.oo7.jp/detail_studio21)