

# 漆をベースとした電子回路構築手法の基礎的検討

橋本悠希\*, 小泉直也\*\*

## Basic Study of Development Method for Japan-Based Electronic Circuit

Yuki HASHIMOTO\*, Naoya KOIZUMI\*\*

Japan (Japanese lacquer) has many kinds of interesting characteristics. Even among them, we focus on electric non-conductance and weakness of ultraviolet rays. From these features, it is assumed that an ultraviolet laser remove Japan locally, and several layers can be connected via removed point. This hypothesis means that it is possible to build a Japan-based multilayered electronic circuit. In this paper, we explain a development method of a Japan-based electronic circuit, and report three experiments to confirm feasibility of our hypothesis. In addition, we discuss application potentiality of Japan-based electronic circuit.

**Key Words.** Electronic Circuit, Japan, Ultraviolet Rays

### 1. はじめに

漆芸は日本独特の装飾美を持ち、世界から「Japan」と呼ばれるなど、日本を代表する伝統工芸である。使用されている漆は耐薬性、防水防腐性、抗菌性、堅牢性など塗料として非常に優れた特性を持ちあわせており、人や環境に対して優しい無公害の天然樹脂塗料である<sup>1)</sup> (Table. 1)。こうした特色から、今日においても史上最強の天然塗料と称されており、芸術品、食器等の日用品、家具、船舶、建築等に至るまで広範囲に用いられてきた。

ところで近年、家や家具、日用品など身近な環境のあらゆるところに電子デバイスが入り込み、ユビキタスコンピューティングが実現されつつある<sup>2) 3)</sup>。また、主に QOL 向上を目的とした、肌との接触時間が非常に長いウェアラブル機器が近年急激に広まっている<sup>4) 5)</sup>。さらには、人にとって最もデリケートな口唇や口腔内に焦点を当てたインタフェースに関する研究が増加している<sup>6) 7) 8)</sup> など、電子機器と人との距離は極めて近い状態になりつつある。このような状況下では、電子機器は人の汗などの水分や衝撃等の過酷な環境に耐え、人に対する衛生面やアレルギー等に対して極めて安全であることが必要となる。その結果、プロトタイプに留まるか、デザインや素材が大幅に限られるという現状がある。

**Table. 1 Characteristics of Japanese lacquer**

water proof	○
chemical proof	○
electric insulation	○
corrosion resistance	○
adhesiveness	○
hardness	same level as iron
antimicrobe	○
heat resistance	120°C~300°C
air conductivity	○
environmental adaptability	○
allergy	None

ここで我々は、漆と電子回路を組み合わせることで、高耐久性かつ人にやさしい新たな電子機器が実現できないかと考えた。回路基板の耐性向上対策としては、素地を変更する方法と、絶縁材を変更する方法が存在する。素地を変更する方法では、素地自体の電気的特性や構造材としての強度は向上するものの、実装された回路自体の耐性が低いままであり、別途コーティングを施す必要がある。絶縁材を変更する方法では、テフロン等を用いることで回路の特性や耐性を向上させる手法が開発されている。しかし、耐性が高いといっても一部溶解する薬品があることや、焼却時に有害物質が出る可能性があり環境や人体への悪影響が懸念される等から、利用範囲が限定されている。

一方で漆は、前述したように各種耐性に優れ、堅牢であることから、上述した2つの方法で生じる効果の両方を発揮することができる。電気絶縁性も有している<sup>1)</sup> ことから回路が

\* 筑波大学システム情報系 茨城県つくば市天王台 1-1-1 (E-mail: hashimoto@iit.tsukuba.ac.jp)

\*\* 東京大学情報学環 東京都文京区本郷 7-3-1

\* Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki

\*\* Interfaculty Initiative in Information Studies, The Univ. of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

ショートする心配もない。また、抗菌性を持ち、アレルギーも生じないため人の肌が直接触れる用途に適している。さらに漆は、ガラス、金属、プラスチックなどほぼすべての素材に塗布可能であり、素材選択の自由度が高い。以上から、人と密に触れ合う電子機器と漆の親和性は極めて高いと言える。

以上より本研究は、漆単体で絶縁基材、構造材、コーティング材の3役を担う電子回路基板(以降、漆回路と呼ぶ)を構築することを提案する。本稿ではまず、漆塗膜上に回路を構築することの実現可能性を述べ、漆と他の素材を比較することで漆回路の利点・欠点を議論する。次に、本提案実現のために漆塗膜加工手法を提案する。さらには、漆回路の実現可能性を検証した実験の結果について報告し、その応用可能性について考察する。

## 2. 漆と従来素材の比較

漆と従来電子回路で使用されてきた素材を、絶縁基材としての特性である電気的性質、構造材やコーティング材としての特性である硬度、耐熱性、耐薬品性のそれぞれに対して比較し、漆回路の実用性について議論する。比較対象としては、現在、電子回路によく用いられる素材であるアルミナ、石英ガラス、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、ポリエチレン、テフロンとした。

### 2.1 絶縁基材としての特性比較：電気的性質

漆および比較対象の電気的性質をTable. 2に示す。

Table. 2 Electrical property of insulating material<sup>9) 10)</sup>

material	volume resistivity [Ω-cm]	dielectric strength [kV/mm]	relative permittivity	tan δ (x10 <sup>-4</sup> )
Japanese lacquer	(3~10) x 10 <sup>15</sup>	25~100	3.6	no data
alumina	10 <sup>14~15</sup>	10~16	8~10	15~50
silica glass	2 x 10 <sup>18</sup>	20~40	3.5~4.5	1~7
phenol resin	10 <sup>12~15</sup>	10~20	4.5~7	70~500
epoxy resin	10 <sup>13~16</sup>	16~22	3.5~5.0	20~100
polyethylene	>10 <sup>16</sup>	18~28	2.2~2.4	5 >
teflon	10 <sup>18</sup>	20	20	2 >

Table. 2より、漆は他の素材と比較して性能的にほぼ同等であることが分かる。また、漆の優位点として、絶縁耐力に優れていることが挙げられる。以上から、漆は絶縁基材として十分な性能を持っていると言える。ただし、漆の電気的性質については知見が古く、誘電正接(tan δ)に関する情報が存在しない、資料によって微妙に値が異なるなど、信頼性が高いとは言えない。また、漆の種類や添加物について考慮した知見は少ない。したがって、今後は独自に電気的性質を詳しく検証する必要がある。

### 2.2 構造材やコーティング材としての特性比較：

#### 硬度、耐熱性、耐薬品性

漆および比較対象の硬度・各種耐性をTable. 3に示す。

Table. 3 Hardness and resistance properties of insulating material<sup>10) ~14)</sup>

material	hardness	heat resistance [°C]	acid proof	alkali proof	solvent proof
Japanese lacquer	5~8H	240~300	◎	◎	◎
alumina	1880Hk	1500	◎	◎	○
silica glass	820Hk	1000	○	△	○
phenol resin	M100~120	150~180	◎	×	◎
epoxy resin	M80~100	100~250	◎	○	○
polyethylene	M78	240~245	○	◎	△
teflon	50~60(shoreD)	150~290	◎	◎	◎

#### ・硬度

漆の硬度は鉄と同等に固いと言われているが、筆者らは実際にビッカーズ硬さなどの押し込み硬さ計測した資料を見つけれられていない。これは、漆は塗料として用いられており、構造材としては考えられてこなかったためであると考えられる。ただし、引っかき硬度については、塗布後90日でマルテンス硬さ=約170N/mm<sup>2</sup>という知見がある<sup>15)</sup>。漆の自然硬化は1年以上の長い時間をかけて進むので、さらに硬くなると思われる。また、漆の焼付け漆塗後では、5~8Hという知見が存在する<sup>16)</sup>。8Hは特殊ガラス・セラミックコーティング時と同等のハードコートであり、非常に堅牢である。他の素材の硬度を見てみると、アルミナと石英ガラスが圧倒的に硬く、その他合成高分子は似たような硬度特性を持つ。漆が自然硬化においても最終的に焼き付け時と同じ硬度に達するならば、積層することにより構造材として石英ガラス並の硬度を持つ可能性がある。

#### ・耐熱性

漆は従来、塗布による自然硬化では約100°Cまでと言われてきた。しかしこれは完全硬化されていない場合に、漆の中にある水分の膨張が問題であって、完全硬化後ならば耐熱性は焼付け時とほぼ同等だと思われる。近年の焼付け温度計測では、270°Cの場合が最も強固な膜が形成されるという結果が出ており<sup>16)</sup>、300°Cを超える焼付けにも耐えられることから、漆の熱耐性は通説よりも高い。他の素材では、セラミックスであるアルミナ、鉱物である石英ガラスが極めて高い熱耐性を持つが、その他は漆と同等かそれ以下である。

#### ・耐薬品性

現在に至るまで漆を腐食・溶出させる薬品は報告されていない。従って、極めて安定な素材であると言える。他の素材では、テフロンの安定性が飛び抜けて高く、アルミナやエポキシ、ポリエチレンも一部の薬品に対して弱い以外は高い安定性を持つ。一方、石英ガラスやフェノールは耐アルカリ性に弱い傾向がある。

以上から、絶縁基材、構造材、コーティング材のそれぞれに対して重要な特性に関して、漆は既存の素材と比較して同等以上の性能を有していることが示唆された。これに加えて、

漆には抗菌性や人や環境に対する安全性、装飾性など他には無い魅力的な特性を持つ。したがって、漆回路の潜在能力は高いと言える。

### 2.3 漆使用に関する問題点

漆を利用する際の最も大きな問題点は、硬化に要する時間が長いことである。漆を自然硬化する場合、酵素による架橋反応を用いるため、酸素と水分が必要である。この点は、他の塗料にはない特徴的な性質である。この反応が遅いため、漆表面の硬化には最低でも5~8時間が必要となる。さらに、その後もゆっくり硬化が進行していくため、完全硬化には数ヶ月~1年はかかると言われている。また、当然ながら、漆膜の性質も少しずつ変化する。工芸品として見た場合、この変化を味わいとして楽しむことができるが、工業製品として考えた場合、安定化、効率化という点で大きな問題となる。これに対しては近年、従来の約半分の時間で硬化するMR漆<sup>17)</sup>やインクジェット印刷可能なナノ漆<sup>18)</sup>、UV照射により数秒で硬化するUV漆<sup>19)</sup>などが開発されるなど漆の改良は着実に進展しており、今後、さらなる安定性、効率性の向上が期待できる。

## 3. 漆回路

### 3.1 漆回路の実現可能性

漆回路の構築には、漆の電気絶縁性が前提条件となる。これに関しては既にTable. 2に示したとおり十分な絶縁性を有しており、実際に漆を絶縁コート剤としての使用例が既に存在する<sup>20)</sup>。よって、前提条件は満たしていると考えられる。

漆塗膜への配線に関しては、漆芸で培われてきた蒔絵やシルクスクリーン等の技法によって導電性の金属粉や導電性ペーストを塗布することで実現できると考えられる。また、最近ではインクジェットプリンタで導電性インクを出力する装置も開発されており<sup>21)</sup>、これを応用することで漆塗膜上への高精細な配線パターン印刷も可能だと考えられる。

電子部品の取り付けに関しては、導電性を有する接着剤やテープで貼り付ける他、漆は最高で300℃程度までの高温に耐えられることから、理論上は低温ハンダならばハンダ付け可能である。また、漆の塗料としての実績から、電子部品上から漆を塗布し、保護することも容易だと考えられる。

以上から、漆回路構築の実現可能性は十分にありと考える。

### 3.2 漆塗膜の加工手法

漆は多くの環境耐性を有しているが、紫外線に対しては弱く、長期間紫外線に曝露されると塗膜を構成する分子およびその重合物が分解されてしまう<sup>1)</sup>。これは従来、漆の大きな弱点とされ、克服するための努力がなされてきた<sup>19)</sup>。しかし本研究ではこの弱点を「加工性が高い」という利点として捉え、紫外線レーザーで局所的に漆を分解することでスルーホールや路溝を作成することが可能ではないかと考えた。レ

ザーはその出力、照射径、照射位置を制御することで高精度な加工が実現できる。また、漆は基本的に多層塗りするのであるため、各層に回路を作り込み、本手法によって漆を局所的に分解し、層間を接続することで多層回路が容易に実現できることが期待される。本手法を用いた漆回路構築の流れをFig. 1に示す。

本手法の他に考えられる漆塗膜への加工方法として、基板加工で既に用いられている高出力レーザーやドリルによる熱分解や物理破壊が考えられる<sup>22)</sup> <sup>23)</sup>。しかしながら、これらの方法では加工点やその周辺に対して熱や力がかかるため、加工点周辺が溶ける、焦げる、歪むなどの影響がある。また、熱や力に弱い素材は下地に使えないなど、素材選択の自由度が下がる。他に考えられる方法としてエッチングがあるが、硬化した漆を溶かす溶剤がこれまで存在しないことから利用できない。もし仮に利用できたとしても廃液が有害であるなど環境への負荷が大きく、無公害という漆の特徴を活かすことができなくなってしまうという問題が生じる。

これらに対して本手法は、化学反応によって塗膜を分解するため、大きなエネルギーは必要なく発熱は少ない。よって加工点周辺への影響を最小限にでき、熱や力に弱い素材でも下地として用いることができる。また、分解によって生じるのは漆の成分のみであり、有害物質は発生せず無公害である。

以上から、本手法は漆の特性を利用したエコロジーで省エネルギーな加工方法であり、漆塗膜の加工方法としての妥当性を有していると考えられる。

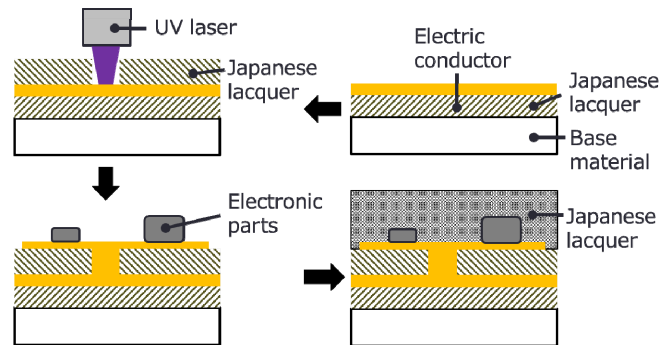


Fig. 1 Processing method of Japan-based electronic circuit

## 4. 検証課題

漆回路の構築にあたって、本稿ではその実現可能性を以下の項目を検証することで示す。

### ・漆の電気絶縁性

漆膜に対する電気絶縁性を検証する。漆は電気絶縁性を持つことが知られているが、実際にどの程度の厚みまで電気絶縁性が保たれるのかは検証されていない。そのため、厚みに対する電気抵抗を測定し、これを検証する。

### ・漆塗膜加工手法の実現可能性

紫外線レーザーによる局所的な漆塗膜の分解が現実的な時間で可能かどうかを検証する。

・多層回路の実現可能性

実際に2層までの回路を実装し、その動作を確認することで多層回路の実現可能性を検証する。

5. 漆の電気絶縁性検証実験

Table. 2にある通り、漆の絶縁耐力は25~100kV/mmである。この知見を基に、実際に使用する状況を想定して漆の厚みを3段階に塗り分け、それぞれに対して電気絶縁性を検証する実験を行った。

実験では、顔料が添加されていない木地呂漆を使用した。試験片として、銅箔に漆を塗布したものを作成した。漆塗膜をマイクロメーターで3箇所をランダムに計測し、銅箔の厚みを差し引いた漆膜厚さの平均値はそれぞれ13um, 9um, 5umである(Table. 4, Fig. 2)。漆は1回の塗りで5~50umの厚みとなる<sup>1)</sup>ことから、今回製作した試験片は1回の塗りの下限付近であると言える。塗布面積は、試験片Aが1.3 x 10<sup>3</sup>mm<sup>2</sup>、試験片Bが1.0 x 10<sup>3</sup>mm<sup>2</sup>、試験片Cが1.0 x 10<sup>3</sup>mm<sup>2</sup>であった。よって、推定される各抵抗値は以下通りである。

試験片A・・・(2.9~9.6) x 10<sup>10</sup>Ω

試験片B・・・(2.7~8.9) x 10<sup>10</sup>Ω

試験片C・・・(1.5~5.0) x 10<sup>10</sup>Ω

今回は高抵抗領域の計測器を持ち合わせていなかったため、6.0 x 10<sup>8</sup> Ωまで測定可能なテスター(HIOKI, DT4282)を用いて簡易的な抵抗値測定を行った。3種類の試験片に対して塗布面20箇所をランダムに測定した結果、全ての測定点でテスターの上限である6.0 x 10<sup>8</sup> Ωを示した。よって、漆を1回の塗りの下限まで薄く塗ったとしても小規模な電子回路に対して十分な電気絶縁性を持つことが分かった。

Table. 4 Thickness of Japanese lacquer

	thickness of Japanese lacquer[um]			
	1st	2nd	3rd	avg
specimenA	12	10	17	13
specimenB	10	10	7	9
specimenC	8	5	2	5

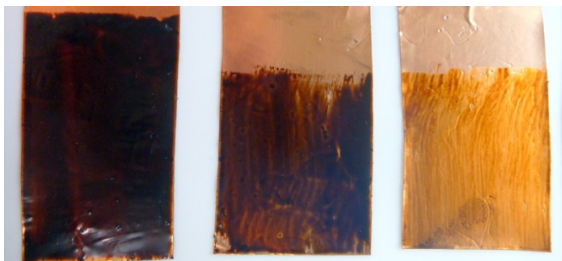


Fig. 2 Specimens (Left: A, Center: B, Right: C)

6. 紫外線による漆塗膜加工実験

6. 1 紫外線による局所的な漆分解手法の検証

漆塗膜に対して紫外線レーザー(以下、レーザー)を照射し、漆が局所的に分解可能かどうかを検証する実験を行った。

レーザーは、入手性の問題から紫外線の波長域に近い405nm, 出力200mWのレーザーモジュールを使用した。試験片は、5章で作成した最も塗膜が薄い試験片Cを用いた。レーザーと試験片の距離は5mmに固定した。また、照射径は約5mmとした(Fig. 3)。レーザーを試験片に1分間照射後、銅箔と塗布膜間の抵抗値をテスターで計測するという作業を導通するまで行った。実験の結果をTable. 5, Fig. 4に示す。

結果より、6分間の照射で漆の塗膜が分解され、銅箔が露出したことが分かった。これは、太陽光下で漆が劣化するのが数ヶ月と言われていることに対して劇的に短い結果である。この原因は、太陽光よりもレーザーの方が面積当たりの紫外線強度が大きかったと考えられ、漆の分解速度が紫外線の照射強度と比例関係にあると推測される。また、レーザーを照射した箇所以外は見た目や抵抗値に全く変化がなかった。よって、本手法は漆の局所的な分解が高速に出来ることが分かった。ただし、露出したのはレーザー照射エリア全体ではなく、その中の一部だった(Fig. 4)。その後、照射回数を重ねる度に銅箔露出部分は増加していった。これは、レーザーに空間的な強度斑があったが原因だと考えられる。この問題は、斑の無いレーザーを用いるか集光を行うことで空間的強度斑を抑えることが可能だと考えられる。

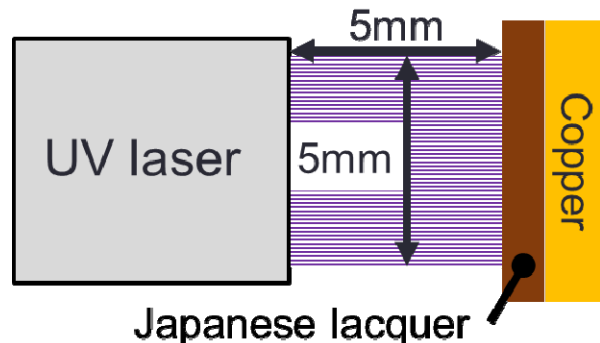


Fig. 3 Diagram of experiment

Table. 5 Time of reducing Japanese lacquer

	irradiation time of UV laser[min]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
insulation=X	×	×	×	×	×	○	○	○
conduction=○								

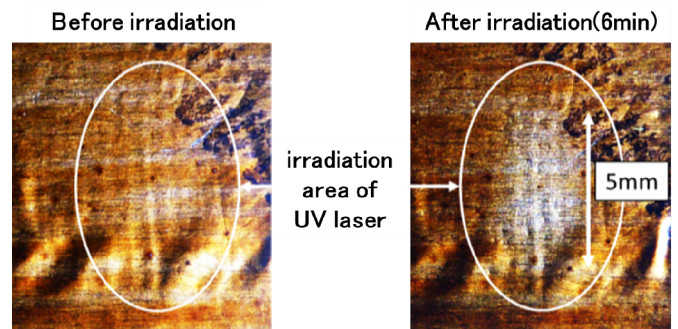


Fig. 4 Irradiation area of UV laser

## 6. 2 照射強度の違いによる漆分解時間の比較

6.1の結果を受けて、レーザーの照射径をレンズで集光した状態での漆分解実験を行った。使用したレーザーは、先の実験で用いたものと同様である。試験片には、顔料等が入っていない瀬々漆を銅板に塗布したものをを用いた。レーザーと試験片の距離は5cmに固定し、照射径は3mm, 2mm, 1mmの3種類を用意した。それぞれ照射径条件について、レーザーを試験片に1分間照射後、銅板と塗布膜間の抵抗値をテスターで計測するという作業を導通するまで行った。実験の結果をTable. 6, Fig. 5に示す。

Table. 6 Time comparison of reducing Japanese lacquer

		irradiation time of UV laser[min]					
		1	2	3	4	5	6
diameter of irradiation	3mm	×	×	×	○	○	○
	2mm	×	×	○	○	○	○
	1mm	○	○	○	○	○	○

insulation→X, conduction→○

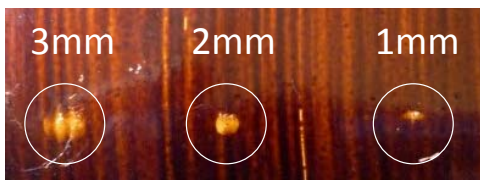


Fig. 5 Irradiating area of UV laser

Table. 6から、照射径が小さくなるほど導通までに必要な照射時間が短くなった。このことから、やはり紫外線の強度と漆の分解速度に関連があると考えられる。よって次に、照射面積の比率に対する照射時間の比率を比較した(Table. 7)。

Table. 7 Ratio of irradiation area and time

diameter of irradiation	3mm	:	2mm	:	1mm
ratio of irradiation area	9	:	4	:	1
ratio of irradiation time	4	:	3	:	1

結果から、今回の実験では面積の比率と照射時間の比率は完全には合致しなかった。この原因は2点考えられる。1点目は、レーザーの空間的な強度斑である。Fig. 5を見ると、Fig. 4と比較して強度斑は抑えられているものの、依然として一様な分布にはなっていない。特に照射径が大きいほど斑が顕著であることから、照射径が大きくなるほど理論値と実際の時間比率が離れてしまったものと考えられる。2点目は、照射面の塗膜厚みが条件ごとに異なっていたことである。マイクロメータで照射地点を計測したところ、照射径3mmの照射地点では塗膜厚みが15.5umであったのに対し、照射径2mmの照射地点では16.5umであった。このことから、2mm条件の塗膜の方が3mm条件の塗膜よりも厚かったため、2mm条件と2mm条件の照射時間比率が小さくなったと考え

られる。また、1mm条件では塗膜厚みが10umと最も薄かったことから、本実験における最短照射時間である1分間よりも前に漆塗膜が完全分解したと考えられる。以上から、レーザーの空間強度分布と漆塗膜の厚みを均一にすることで面積比率と時間比率の関係が正確に得られ、ある厚みの漆塗膜を分解するのに必要な紫外線強度・照射時間が算出可能となることが期待される。

以上から、我々が提案する漆塗膜の加工手法が十分実現可能であり、高速な塗膜加工が可能であることから、その実用性も示されたと考える。

## 7. 電子回路の試験的実装

6章までの結果を用いて、実際に以下の3種類の回路を実装し、漆回路の実効性と多層回路の実現可能性を検証した。

1: 単層回路 2: 単層回路+漆コート 3: 2層回路

### 7. 1 単層回路

5章で用いた試験片Bを用い、LEDを点灯させるという回路(Fig. 6左図)を実装した。配線パタンの作成には導電性ペースト(谷ロインキ製造株式会社, テクノペン)を用いた。これは、電子部品の接着も兼ねている。漆塗膜上に表面実装を行うため、電子部品にはチップ抵抗とチップLEDを用いた。電源には安定化電源(TAKASAGO, LTD., GPO35-5)を用い、銅箔に+端子を、漆塗膜上の配線パターンにGND端子をそれぞれ接続した。銅箔から漆塗膜上へ配線を接続するため、6章で使用したレーザーにて漆塗膜の右下部分を局所的に分解し、スルーホールを作成した。通電した結果、正常に回路が動作し、LEDが点灯した(Fig. 6右図)。

以上から、漆塗膜上に回路を構築することが可能であることを示した。

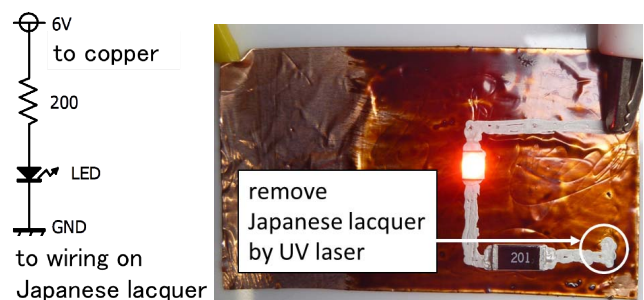


Fig. 6 Left: Diagram of 7.1, Right: Implemented circuit of 7.1

### 7. 2 単層回路+漆コート

銅板に瀬々漆を塗布し、その上にFig. 7左図の回路を構築した。配線パターンやスルーホールの作成方法、使用した電子部品、電源に関しては7.1と同様である。本回路には左側のみ、実装した回路の上に漆を塗布した。通電した結果、正常に回路が動作し、2つのLEDが点灯した。動作中、漆コートを施した部分に水滴を垂らしてみたが、全く問題なく回路は動作し続けていた(Fig. 8)。

以上から、漆コートによる電子部品の保護が可能であることが分かった。

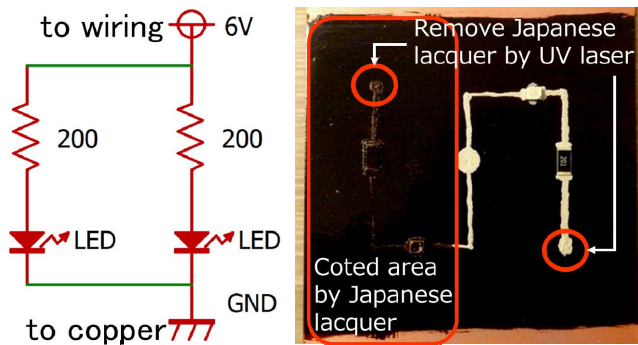


Fig. 7 Left: Diagram of 7.2, Right: Implemented circuit of 7.2

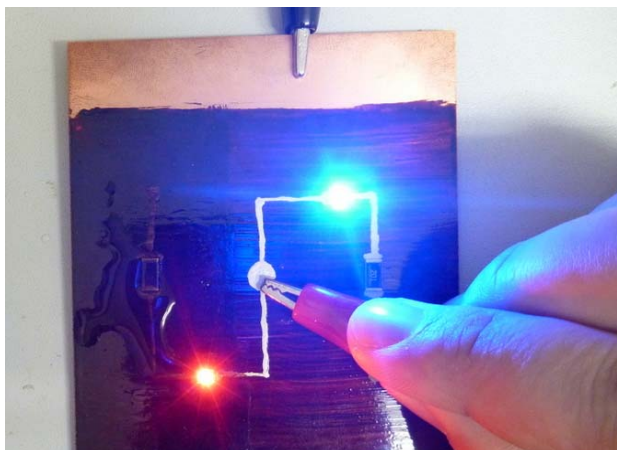


Fig. 8 Scene of driving circuit of 7.2

### 7. 3 2層回路

銅板に瀬漆を2回塗布し、各層に配線を塗布した2層回路の実装を試みた。回路図をFig. 9に示す。配線パタンの作成方法や電源に関しては7.1と同様で、実装の手順は以下のとおりである。

1. 銅板に瀬漆を塗布し、必要箇所紫外線レーザーでスルーホールを作成 (Fig. 10 左図)
2. 漆膜上に配線パターンを塗布 (Fig. 10 左図)
3. さらに瀬漆を塗布し、2層目の漆塗膜を作成
4. 2層目の漆膜のみを紫外線レーザーで分解し、1層目の配線パターンを露出させる (Fig. 10 右図)
5. 2層目の漆膜上に配線パターンを塗布 (Fig. 10 右図)
6. チップ部品を取り付け

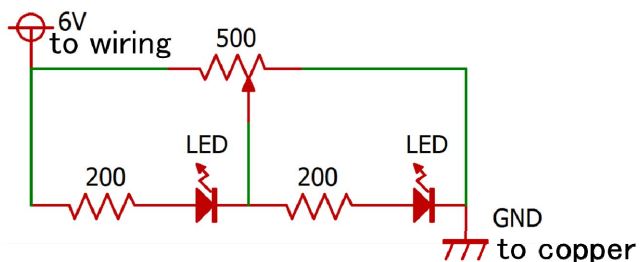


Fig. 9 Circuit diagram of 7.3

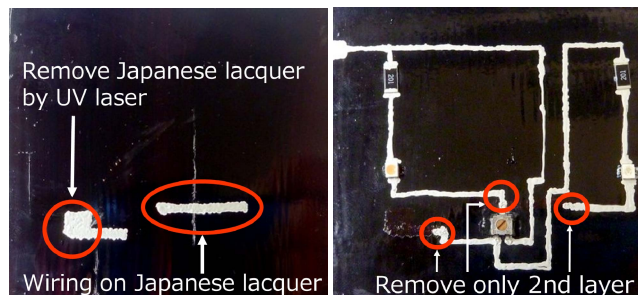


Fig. 10 Left: first layer, Right: Second layer

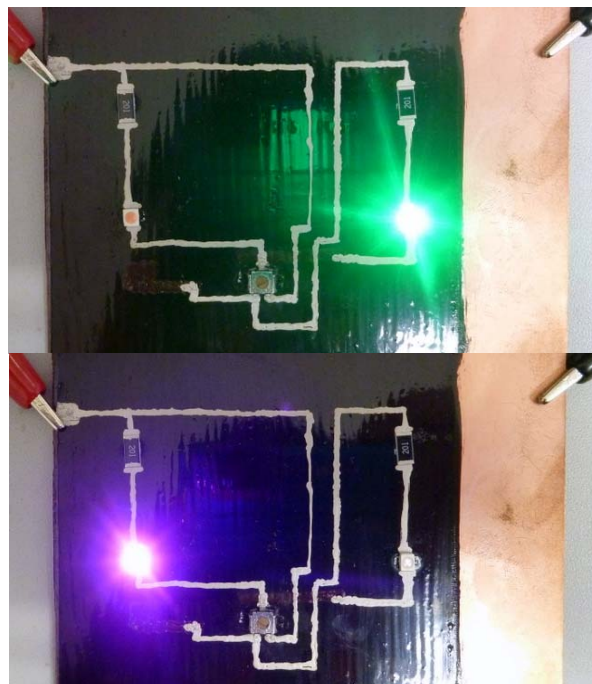


Fig. 11 Scene of driving circuit of 7.3

通电した結果、正常に回路が動作し、2つのLEDが点灯した。本回路では、2層目の配線が1層目の配線の上を通過しているが、ショートせずに動作することを確認した。また、本回路は可変抵抗により2つのLEDの輝度を調節できる設計となっているが、実際に可変抵抗の抵抗値を変化させることにより輝度の調節ができることも確認した (Fig. 11)。

以上から、漆回路を多層化できる可能性が示唆された。

## 8. 漆回路の応用可能性

漆は環境耐性に優れた優秀な塗料という側面だけでなく、芸術作品と成り得る装飾美を持ち、人に対して無害であり、なにより何千年も利用され続けているという安心感、親しみやすさがある。これらの利点を活かすことで、漆回路は従来の回路の枠と異なる応用も期待される。以下に、応用可能性の一部を示す。

・道具形態を維持したままに電子的な機能を付加

既に存在している漆器にはもちろん、日用品や家具等に対しても漆を塗布し、回路を構築することで、普段から慣れ親

しんでいるものに対して違和感なく電子的な機能を付加することができる。これまでの漆器の実績と親しみやすさから、変化を嫌う高齢者層や、繊細な触覚が重要な職人・医者などの道具に対して、新たな機能を付加する際の障壁を劇的に下げることが期待される。

#### ・回路そのものを魅せる

漆の表面は美しく、それだけでも工芸品としての価値を持つ。また、その高耐性、堅牢性により、外装を最小限にする、もしくは回路のままでの使い方も可能である。基板についても、配線パターンにも美しさがあり、多くの基板アートが存在する<sup>24)</sup> <sup>25)</sup>。これらを組み合わせることで、今まで内部に隠されていた回路を積極的に表に出し、「魅せる回路」としてデザインの一要素に組み込むことができる。例えば、蒔絵の様子が実は回路の配線である、ということも実現可能である。これにより電子機器を使うことの価値を高め、長く愛される製品を創出することが期待される。

#### ・触れても安全・安心な電子機器

漆は抗菌作用があり、アレルギー反応も生じない。よって、衛生面やアレルギーに気を使う必要がある道具、食器類、調理道具、乳幼児向けの玩具等に電子的な機能を組み込む用途が非常に有効だと考えられる。特に乳幼児に対しては、積極的に口の中に入れて楽しむなどの新たな遊びの提供や、Moff<sup>26)</sup>などのスマートトイが目指す飽きにくい玩具の開発を促進することが可能となる。これにより、幼い頃から漆と密に触れ合い、豊かな漆文化を育むことが期待される。

## 9. おわりに

本稿では、漆塗膜上に電子回路を直接構築することで、絶縁体基材、構造材、コーティング材の3役を漆が担う電子回路基板である漆回路の提案を行った。まず、漆と他の素材を上記3役に必要な特性に対して比較し、漆回路の潜在能力が高いこと確認した。次に、漆回路の実現可能性と漆塗膜の加工手法を述べ、3つの実験によって実現可能性を検証した。電気絶縁性の検証では、漆1回塗りにおける塗膜厚みの下限であっても小規模な回路であれば十分な電気絶縁性を持つことが確認された。紫外線による漆塗膜加工手法の検証では、紫外線レーザーを用いた局所的な分解が短時間で可能であることが明らかとなった。また、面積あたりの紫外線強度と漆の分解速度に関連性があり、紫外線の強度・照射時間を制御することで漆を任意の深さまで分解できる可能性を示唆した。漆回路の実装実験では、漆塗膜上で回路が確実に動作することを確認すると共に、漆コートによって電子部品の保護も可能であることを示した。また、2層回路を試験的に実装し、動作を確認したことで、回路の多層化に対応可能であることも示した。最後に、漆回路は人との親和性の高さから従来の電子回路分野とは異なる応用可能性があることを述べた。

以上から、漆回路の構築は十分に実現可能であり、電子機器の新たな応用を提供できる可能性が高いことを示した。

一方で、本研究は初期段階ということもあり、条件が曖昧な部分がある、装置の制約から厳密な測定が難しいなど、漆回路および漆膜の加工手法の有効性を確実に示すには至っていない。そこで今後は、漆の電気的性質と漆膜加工について厳密に測定し、漆の電気的性質の詳細および紫外線強度と漆分解速度の関係を明らかにする。具体的には、電気的特性ではTable. 2で示した電気的性質を筆者らが使用している漆について追検証し、実際の漆膜ベースで性質評価をすると共に、重要な電気的性質である耐アーク性についても新たに検証する。漆膜の分解特性については、高精度レーザー変位計を用いて紫外線照射部の厚さを計測することで膜厚の減少量をサブumオーダーで比較し、紫外線強度と漆分解速度の定量化を目指す。その後、紫外線レーザーの照射径や波長の最適化による漆塗膜の高速・安定分解を実現する。また、精密な配線パターン塗布手法の検討を行い、漆回路構築手法の基盤技術を確立させる。さらには、漆回路を用いたプロダクトを試作し、本研究の応用可能性を広げていく。

## 参考文献

- 1) 四柳 : 漆 I, 法政大学出版局 (2006)
- 2) 大和ハウス工業株式会社 : メンタルコミットロボ・パロ, <http://www.daiwahouse.co.jp/robot/paro/>
- 3) シャープ株式会社 : COCOROBO, <http://www.sharp.co.jp/cocorobo/>
- 4) NIKE, Inc. : NIKE+ FUELBAND, [http://www.nike.com/us/en\\_us/c/nikeplus-fuelband](http://www.nike.com/us/en_us/c/nikeplus-fuelband)
- 5) ドコモ・ヘルスケア株式会社 : ムーヴバンド, <http://www.watashi-move.jp/pc/wm/product/01.html>
- 6) 中村, 宮下 : 電気味覚を活用した味覚の増幅と拡張, インタラクシオン 2011, 461-464 (2011)
- 7) T. Hachisu, H. Kajimoto : Augmentation of Toothbrush by Modulating Sounds Resulting from Brushing, Proceedings of the Advances in Computer Entertainment Conference 2012, 31-43 (2012)
- 8) H.A. Samani, R. Parsani, L. T. Rodriguez et al : Kissenger: Design of a Kiss Transmission Device, In Designing Interactive Systems conference, DIS 2012 (2012)
- 9) 兵神装備株式会社 : 絶縁材料の性質, The Engineer's Book, 172 (2011)
- 10) 小川 : うるしの科学, 共立出版(2014)
- 11) 華陽物産株式会社 : プラスチック耐油性・耐溶剤性・耐薬品性一覧表, [http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla\\_proof.pdf](http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla_proof.pdf)
- 12) 華陽物産株式会社 : プラスチック物性一覧表,

- [http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla\\_propertylist01.pdf](http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla_propertylist01.pdf)
- 13) 東ソー・クォーツ株式会社：石英ガラスの特性データ，  
<http://www.tqgj.co.jp/silicaglass/chemical.html>
- 14) 京セラ株式会社：材料特性表，  
<http://www.kyocera.co.jp/prdct/fc/product/pdf/material.pdf>
- 15) 小林：漆の硬さを測りました，独立行政法人岩手県工業技術センター成果集 2010，7(2010)
- 16) 木下，上野，中里，宮田：伝統的焼付漆技法の研究-漆の焼付け(高温硬化)に関する研究(I)-，保存科学 No.37，34-35(2007)
- 17) 佐藤喜代松商店：MR 漆，  
<http://www.urusi.co.jp/mr/index.html>
- 18) 宮腰，陸，石村，本多：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.5，224-232(2010)
- 19) ユーアイズ：UV 漆，  
[http://www.yu-aizu.co.jp/uv\\_urushi/feature.html](http://www.yu-aizu.co.jp/uv_urushi/feature.html)
- 20) 劉：フィルム式スイッチ構造，登録実用新案第 3065520 号
- 21) AgIC inc.：AGIC FULL PRINTING SYSTEM，<http://agic.cc/>
- 22) ミッツ：プリント基板加工機，  
<http://www.mits.co.jp/doc/apri.htm>
- 23) 三菱電機：基板穴あけ用レーザー加工機，  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/fa/products/mecha/laser/driiling/index.html>
- 24) 代官山 蔦屋書店：東京回路図名刺入れ，  
<http://tsite.jp/daikanyama/ec/tsutaya/3270/>
- 25) 有限会社ケイ・ピー・ディ：healing leaf こもれび，  
[http://pcbart-healingleaf.com/products/healing\\_leaf.html](http://pcbart-healingleaf.com/products/healing_leaf.html)
- 26) 株式会社 Moff：Moff，<http://www.moff.mobi/>

---

## [著者紹介]

橋本悠希（正会員）



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)。

小泉直也



2013 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科博士課程修了。2014 年東京大学情報学環研究員，現在に至る。知覚インタフェースの研究に従事。博士(メディアデザイン学)