

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03316

研究課題名(和文)人と情報をつなぐ漆インタフェース技術の開発

研究課題名(英文)Development of Urushi Interface Technology to Link People and Information

研究代表者

橋本 悠希(hashimoto, yuki)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：10601883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、塗膜内に電子回路を作り込むことでモノに機能を付加する漆インタフェース技術の確立とその応用に取り組んだ。まず、漆膜の電気絶縁特性を検証し、回路のレジスト材で使用可能であることやその条件を明らかにした。漆膜への回路組込技術では、導電箔を用いた箔押し手法を用いて設計から印刷までを高い精度・自由度で作り込み、多層化を実現した。応用として、タッチインタフェース、NFCタグ、漆の色制御に取り組み、多様なアプリケーションへの応用可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実装した技術は、既存のモノに塗料を塗り、電子回路を組み込むことを可能とし、既に存在するモノを機能化する。これにより、空間圧迫の問題を解消し、自然なインタラクションが実現できる。モノに塗り込む情報インタフェースには、カスタマイズ性や環境性能の高さなどの利点がある。本研究で焦点を当てた漆は、耐久性や安全性、美しさなどの付加価値を持ち、日常生活で直接触れ合う用途に適する。また、漆は再生産可能な天然素材であり、「自然との共生」に大きく寄与する。伝統工芸で培ってきた日本の漆技術を基にした本研究成果は、社会的なニーズに応えつつ、持続可能な社会の実現に貢献するものと言える。

研究成果の概要(英文)：An innovative technology has been developed that creates electronic circuits within a lacquer film, adding functionality to objects. Researchers tested the lacquer film's electrical insulation properties and found it suitable as a resist material for circuits. Multi-layer circuits were created using a foil stamping method with conductive foil, offering high precision and design flexibility. The technology has potential applications in touch interfaces, NFC tags, and color control of lacquer, making it versatile for various uses.

研究分野：触覚インタフェース

キーワード：漆 回路 インタフェース

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来のインタフェース技術では、新たな機能を求める度に新たなデバイスを用意する必要があった。このため、モノの増加による生活空間の圧迫や、増えた機能の利用によって他の活動時間が奪われる時間損失が大きな問題となり、日常生活がデバイスに振り回されることが懸念される。これに対して申請者は、日常生活で最も多く触れ合っている情報デバイスとほぼ無縁だった木工品、陶器、家具、家屋などに塗料を塗り、その塗膜内に電子回路を作り込むことで機能を付加するという解決策を考えた。本解決策は、既にあるモノが機能化されるため空間圧迫の問題は解決し、これまでのモノを扱う所作を入力とした自然なインタラクションを実現できる。したがって、日常生活における日々の行動がそのまま情報と繋がるという関係が構築され、これまでと同様の生活空間・生活様式を保ったまま新たな機能にアクセスできる人に優しい情報化社会が実現できる。さらには、モノに応じた機能のカスタマイズ性や、愛着のあるモノを長く使い続けられることによる環境性能の高さなど、モノに塗り込む情報インタフェースは従来には無い利点と高い自由度がある。モノを機能化する手法として、目的に合った機能性塗料を塗布するという手段が従来から存在する。しかし、塗料の枠を超えた機能は付加できない。一方本提案は、エレクトロニクスという異分野を塗料側に取り込む新たな発想で塗料のスマート化を実現するものであり、人に優しい情報化社会の実現にとって極めて有効で革新的な手段だと考えられる。

(2) 漆は、最先端の合成物質にも劣らない耐久性、人への安全性、美しさや心地よい手触りなどの付加価値を備えた唯一無二の存在である。これらの特徴は、常に身の回りにおいて人と直接触れ合う機会が多いモノを対象とする本研究にとって重要である。また、再生産可能な天然樹脂であるため環境負荷も低く、現代社会の重要な課題である「自然との共生」に適する。漆を精製するには高度な技術が必要だが、幸い日本はその技術を脈々と受け継いでおり、地の利を生かすことと本研究の成果を基に我が国発のオリジナル技術として世界に発信できる。漆は絶縁性を有しており、回路における絶縁材としての利用が可能である。

以上から、漆を用いた回路によるインタフェース技術の開発に取り組むという本研究課題を提案した。

2. 研究の目的

本研究では、身近なモノに漆を塗り、その塗膜内に電子回路を作り込むことでモノに機能を付加する漆インタフェース技術を開発し、従来の生活空間・生活様式を保ったまま最新の機能やサービスにアクセスできる人に優しい情報化社会の実現を目指す。

3. 研究の方法

「基礎研究」「技術開発」「試作検証」という3つの課題に分け、それぞれ取り組んだ。具体的には以下のとおりである。

(1) 基礎研究

未だ不明確な点が多い漆の電気的特性について詳細な検証を行い、漆回路の実用性を明らかにする。漆膜の電気絶縁特性に焦点を当て、湿度の影響および漆膜の Batch 依存性、電界印加のサイクル特性を評価し、漆膜の厚み、成分、湿度の変化に対する挙動を比較することで、レジスト材として漆を用いる際の有効性・実用性を明らかにする。

(2) 技術開発

3層以上の積層漆回路の実装手法を確立し、漆回路の高機能化を実現する。また、漆の特徴である装飾性を損なわないよう、配線パターン自体を文様として用いる配線設計手法を実装し、漆インタフェースとして付加価値を高める。

(3) 試作検証

実用的なアプリケーションを持った漆インタフェースを試作し、動作の検証や有効性を検証する。これまで試作してきたタッチインタフェースのマルチタッチ化や、NFCチップの組み込み、サーモクロミック顔料を混ぜ込んだ色漆の色制御に取り組み、漆インタフェースの応用範囲を拡大する。

4. 研究成果

上述した3つの課題について、それぞれ以下の成果が得られた。

(1) 基礎研究

漆の電子回路利用に向けて、漆膜に対して電気絶縁特性を評価した(図1)。

・漆膜の絶縁抵抗に対する湿度の影響および漆膜の Batch 依存性を検証した。その結果、漆膜の電気絶縁体積抵抗率は、室温において $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度となり電気絶縁体としての絶縁機能を有し、一定以上の印加電圧において絶縁抵抗値が 4-5 桁減少した。この絶縁抵抗減少時の印加電圧は、漆液中の混合物の不均一性や成分量の違いが特性に違いをもたらしたと考えられ、漆液の成分分布を統制することで安定した性質を得られることが示唆された。また、湿度が大きいほど体積抵抗率の分布の範囲が広くなり、下限の体積抵抗率が 1 桁低下するが、回路としての利用にはほぼ影響しないことが明らかになった(図2左)。

・漆膜の印加電界-漏れ電流特性を示し、電界印加のサイクル特性を検証した。その結果、オームの法則に従って漏れ電流の増加が見られ、ある印加電界以上でステップ的に 4-5 桁電流値が増加した。電界印加を繰り返したサイクル評価では、ある電界で一度漏れ電流値が急激に増加す

ると、低電界でも高い漏れ電流値を保つ試料が存在した(図2右)。このため一度高電界が印加された漆膜は、絶縁抵抗値の確認が必要になることが分かった。

・膜厚と電気絶縁特性の関係から、5 μm 以上の漆膜であれば、USB 給電や電池駆動の電圧範囲内である数 V 程度における絶縁性能を維持できることが示された。漆膜の厚みが増加することで利用可能な電圧範囲も広がるため、必要な電圧に合わせた膜厚を設定することで、漆回路に十分な汎用性を持たせることが可能である。

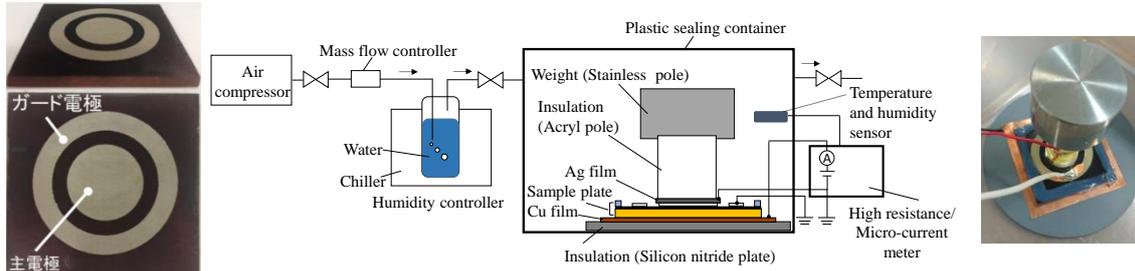


図1 左：漆膜上に電極を印刷した試験片 右：実験セットアップ

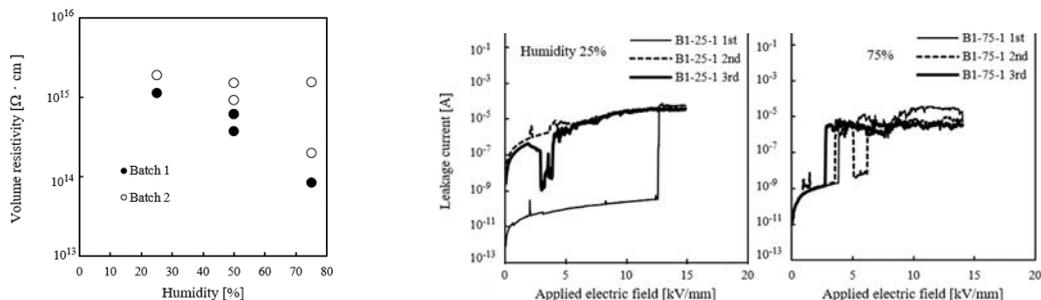


図2 左：印加電圧 1V における湿度毎の体積抵抗率 右：電界印加のサイクル特性

(2) 技術開発

・電極配線手法

これまで行ってきた銀ナノインクのスクリーン印刷手法から、導電性箔を箔押し印刷する手法に変更し、箔押し法実現のための装置や工程の検証、歩留まりの向上、配線の微細化限界の検証、積層手法の確立を行った。装置・工程の検証では、様々な手法や装置を検証した結果、最終的にレーザー箔転写技術を導入し、配線パタンのデザインから印刷までデジタル化することに成功した(図3)。歩留まり向上では、漆膜上の下処理を加え、印刷時の欠損が最小限となるレーザー出力・印刷速度等のパラメータを導出するとともに、ヒーターを用いて箔を予め加熱する手法を導入した。配線の微細化では、本手法単体で約 0.4mm の線幅で配線パターン転写を実現した。これは、昨年度の線幅 1mm に対して約 60%細くなっており、JIS 規格で定めるプリント配線板における標準導体幅内を満たす。また、許容差についても同様に JIS 規格を満たすことから、本手法は配線パターン作成に十分な精度を持った手法だと言える。積層手法では、各層の平滑化を行うための表面研磨を導入し、各層の厚みも均一にすることで、最大 12 層までの積層に成功した。

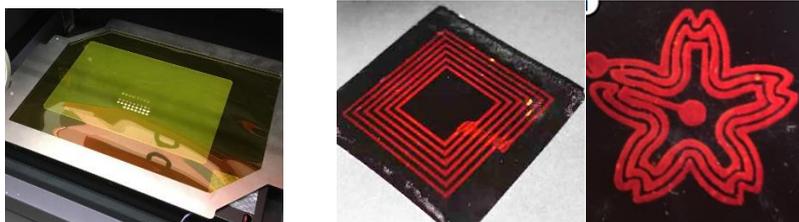


図3 左：箔押し装置による配線パターン印刷の様子 右：印刷された配線パターン

・漆の文様と機能を両立した配線設計手法の開発

漆の蒔絵のような文様と、回路としての機能を両立した配線の設計手法を開発し、文様のデータ、層数、配線数を入力すると、文様の中に自動で配線パターンを組み込むソフトウェアを試作した(図4左)。検証として、タッチインタフェース回路について配線デザインを出力し、試作した(図4右)。その結果、タッチ操作を問題なく検出することができた。

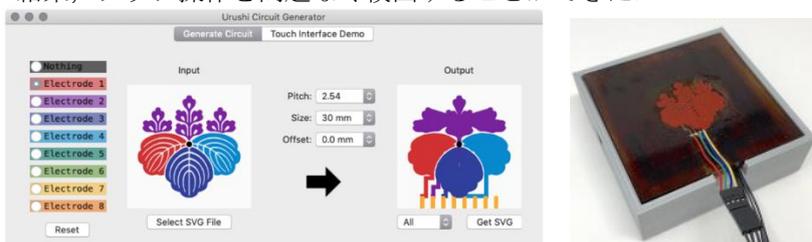


図4 左：試作したソフトウェア 右：生成された配線デザインを用いて作成した漆タッチ回路

(3) 試作検証

・マルチタッチ

2層配線による漆マルチタッチインタフェースを試作し、実用性を検証した。2層の配線を重ねた積層回路について、複数の配線条件における動作を評価した。その結果、各層に対する独立したタッチ検出やスワイプ動作の検出などが実現可能であることを確認した(図5)。また、2層それぞれに独自の配線パターンを構成したマトリクス回路に対しても動作を検証し、マルチタッチを実現した。

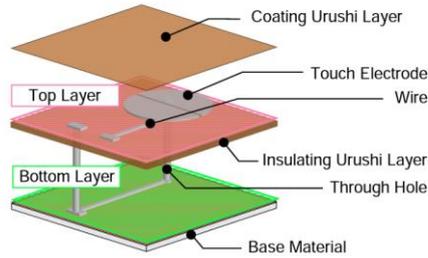


図5 左：マルチタッチインタフェースの配線例 右：試作機でのスワイプ入力の様子

・NFC

NFCを構成するICチップ及びアンテナを漆膜内に組み込んだ漆NFCを試作した。上層にアンテナを、下層にICチップをそれぞれ配置した。アンテナの形状は装飾性を損なわないよう文様の形とし、受信する電波の周波数に合わせた感度特性となるよう設計した(図6左)。検証の結果、試作した漆NFCがスマートフォンに代表される市販のNFCリーダーで十分利用可能であることが確認された。また、漆器への組み込みやスマホと連動するためのアプリの試作等を行った(図6右)。

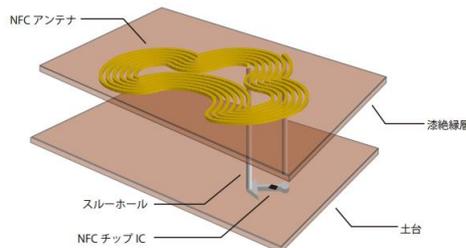


図6 左：漆NFCの配線例 右：試作したアプリケーション

・サーモクロミック漆

漆自体の表現力向上を狙い、漆自体の色を変化させるディスプレイに関する検討を行った。その結果、漆は様々な粉末を混ぜ合わせることが可能である特徴を利用し、電気や熱などによって色が変わる顔料を混ぜ合わせ、その発色と色変化の実現可能性を検証した。その結果、サーモクロミック顔料が発色・色変化ともに評価が高かったため、ヒートパターン層を組み込み制御することで動的に漆の色が変化するディスプレイの構築を行った。試作したディスプレイは、素地にヒートパターン層および回路層があり、その上に漆層が塗布されている。漆層には、透き漆にサーモクロミック顔料と透き漆を混ぜ合わせた色漆を用いており、ヒーターの温度制御により漆の色が変化する(図7左)。本ディスプレイに最適な温度特性を持つサーモクロミック顔料の選定、配合の調節を行い、意図した温度での色変化を確認した(図7右)。これにより、漆インタフェースの表現の幅が拡張された。

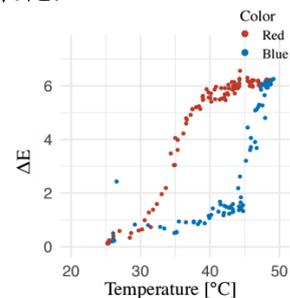
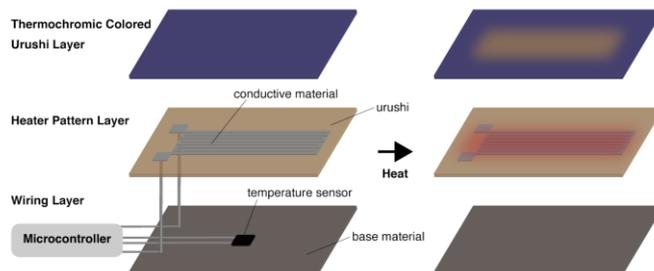


図7 左：サーモクロミック漆ディスプレイの構成 右：温度と色差の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 花田信子, 三井雅史, 志築文太郎, 山口佳樹, 橋本悠希	4. 巻 58
2. 論文標題 電子回路利用に向けた漆膜の電気絶縁特性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集電子回路利用に向けた漆膜の電気絶縁特性評価	6. 最初と最後の頁 61-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.58.61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Keita Saito, Takuto Nakamura, Kazushi Kamezawa, Ryo Ikeda, Yuki Hashimoto, Buntarou Shizuki
2. 発表標題 Japanese Patterns as NFC Antennas for Interactive Urushi-ware
3. 学会等名 International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '20)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuto Nakamura, Koshi Ikegawa, Shogo Tsuchikiri, Keita Saito, Kazushi Kamezawa, Yuki Hashimoto, Buntarou Shizuki
2. 発表標題 Touch Interface Design System in Multilayered Urushi Circuit
3. 学会等名 the 2019 ACM CHI symposia on ASIAN CHI SYMPOSIUM (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koshi Ikegawa, Shuhei Aoyama, Shogo Tsuchikiri, Takuto Nakamura, Yuki Hashimoto
2. 発表標題 Investigation of Touch Interface Using Layered Urushi Circuit
3. 学会等名 the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土切匠悟, 橋本悠希
2. 発表標題 金属箔による漆面上への文様回路作成手法の検討
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hinako Nozaki, Ryo Ikeda, Yoshiki Nishikawa, Yui Atarashi, Yuki Hashimoto, Buntarou Shizuki
2. 発表標題 Prototyping an Urushi Display that Changes Color Interactively by Temperature Control
3. 学会等名 NICOGRAPH International (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Hashimoto
2. 発表標題 Development, verification, and application of a urushi-based electronic circuit
3. 学会等名 Past, present and future of Asian lacquer: urushi from art to electronics (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	志築 文太郎 (Shizuki Buntaro) (20323280)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	高橋 徹 (Takahashi Toru) (40780672)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関