

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00796

研究課題名（和文）乾漆を現代のものづくり技術として革新する研究

研究課題名（英文）Research into innovating dry lacquer as a modern manufacturing technology

研究代表者

土岐 謙次（Toki, Kenji）

宮城大学・事業構想学群・教授

研究者番号：20423783

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 36,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではこれまで培ってきた、主に乾漆造形法の要素技術をもとに、より一般的な製品を想定した具体的な実用レベルの用途開発を通じて乾漆造形技術を開発した。用途開発においては、自動車部品開発企業、印刷関連事業者等と具体的な応用事例を検討し、それぞれの形状に合わせた乾漆成型法と、積層に用いる骨材や漆と混練物の用途に合わせた最適な組成を採った。また、現代生活での利活用を想定し乾漆成形物の強度評価や成形後のVOC（揮発性有機化合物）発散評価を行った。合わせて実験室でのロボットアームによる漆掻き作業のシミュレーションを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究期間を通じて自動車関連企業をはじめ、印刷関連企業や建築関連企業など、研究期間中に秘密保持契約7件を結び本研究の技術の社会的実装の可能性について端緒的ではあるが検討が行われたことは、工芸とは直接関わりのない分野からの本研究に対する関心の高さが窺われた。学術分野では、漆の性質改善や伝統技法に関する科学的・学術的研究は様々になされてきたが、いずれも分野内での個々の議論に留まっている。本研究は技法の実際的な活用先である、建築や工業デザインといった分野と常に向き合っており取り組んできたことにより、現代のものづくり技術と漆を組み合わせた実践的な研究成果となったと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, based on the basic technology of dry-lacquer modeling method that has been cultivated up to now, we tried to improve the accuracy of the technology through the development of specific applications. In application development, we collaborated with companies developing automotive parts and printing-related businesses to consider specific applications and optimize the molding method to suit each product shape. A strength evaluation and VOC emission evaluation of dry lacquer moldings were conducted for the purpose of utilizing lacquer in modern life. In addition, a simulation of the lacquer scraping operation by a robotic arms in the laboratory was conducted.

研究分野：乾漆造形

キーワード：漆 乾漆 プロダクトデザイン デジタルファブリケーション ロボットアーム

1. 研究開始当初の背景

漆は化学製品に比べて硬化にやや時間を要すものの、接着力は強力であり、酸・アルカリにも高耐性の優れた天然樹脂である。漆を母材とし麻や綿布を骨材とする乾漆は、天平時代以降技術的断絶はあるが、主に彫像制作に用いられた伝統的造形技法であり、漆が構造材料であることを示している。内部構造から表面まで同一の素材で制作が可能で、その耐久性は天平6年(736年)に建立された国宝興福寺阿修羅像(図1)等が現存することが示すとおり、漆は高い造形任意性を持つ高耐久性の天然素材である。また抗菌性をもち防腐効果も高い漆は、環境や人体へのインパクトは低く衛生的で持続可能な優れた天然素材である一方で、日常生活にみる漆製品は決して多くなく、その素材の良さを知る機会も多いとは言えない。

【優れた構造素材としての乾漆】乾漆は「構造」としての強度が高く積層の構成によってはFRPに比肩もしくは凌駕する可能性もあり、また原料としての漆は計画的・持続的な生産が可能な点において環境負荷の小さい天然材料であると言えることから、乾漆は現代にも十分よみがあり、幅広い分野での活用の可能性のある造形技法といえる。

【漆の危機的状況】しかしながら、原料としての日本産漆の生産量は全体の2%に満たず(H22国産1.6t)、ほとんどを中国産漆に依存しており国産漆は危機に瀕している。現代的生活空間での漆利活用の機会減少がこうした危機的状況の一因であると考えられる。また陶磁器や染織といった他工芸分野に比べて、現代的な技術応用・機械化が進んでいないことも背景として挙げられるだろう。工芸的需要のみでは漆原料の大きな需要増は望めず、現代の製品として幅広い分野での用途開発が喫緊の課題である。

【漆分野が抱える構造的課題と学術的背景】伝統的漆工芸分野は技術公開性に乏しく異業種の知見の導入が困難で、現代的な技術としての更新を難しくしている。特に漆工芸は特異な工芸として理解されることにより、異分野での漆活用に結びついてこなかった。学術分野では、漆の性質改善や伝統技法に関する科学的・学術的研究は様々になされてきたが、いずれも分野内での個々の議論に留まっており、技法の実際的な活用先である、建築やデザインといった漆が活用される分野において、現代のものづくり技術と漆を組み合わせた実践的な研究は行われていない。

【重要な視点を欠く経済産業省の取り組み】経済産業省は漆分野を「伝統工芸品産業」と認識しており(伝統工芸品産業をめぐる現状と今後の振興施策について 平成20年8月経済産業省製造産業局伝統的工芸品産業室資料 <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g80825a07j.pdf>)、一定の地域で、伝統的に使用されてきた原材料・技術・技法による、高度な手仕事で作られた工芸品であるもの「のみ」を対象としている。これは伝統工芸産業を保護・育成・継承するための重要な視点ではあるが、単純に「天然素材を使った手仕事中心のものづくり」と捉えるだけで、技術革新や先端技術応用の視点を欠いている。漆を未来に繋ぐためには技術の継承のみではなく、現代技術との対峙による技術革新の可能性を見いだすべきである。

【本研究の問い】堅牢性や耐久性、造形任意性といった造形的側面を支える接着作用のみならず高い抗菌作用を持つことから、単なる工芸品の原料ではなく、機能性塗料として漆を再評価し、持続可能な現代のものづくり技術に活かすことで、伝統的な工芸の理解と需要の枠を越える新たな可能性を見いだせるのではないかと、というのが本研究の根源的な問いである。



図1 国宝興福寺阿修羅像

2. 研究の目的

これまでの研究で、乾漆がFRP等の合成樹脂系複合素材に比肩する強度を持つことや、FRP造形技術にヒントを得た乾漆の新しい造形技術開発、ロボットアーム等を用いた漆に関わる諸作業のデジタル制御などについて、基本的な理解と基礎的な技術を手におさめてきているが、いずれも要素的な段階であり生産技術として確立するに至っていない。これらを個々に精緻化し一連のものとするすることで、熟練職人の乾漆造形技法を、より一般的な造形技法として再構成し、デジタル基盤技術を導入した革新的な乾漆生産技術として確立し、建築・デザイン分野での用途開発を通じて乾漆が持続可能なものづくり技術として現実的であることをあきらかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究ではこれまで培ってきた、主に乾漆造形法の要素技術をもとに、より一般的な製品を想定した具体的な実用レベルの用途開発を通じて乾漆造形技術を開発する。用途開発においては、自動車部品開発企業、印刷関連事業者等と具体的な応用事例を検討し、それぞれの形状に合わせた乾漆成型法と、積層に用いる骨材や漆と混練物の用途に合わせた最適な組成を探る。また、現代生活での利活用を想定し乾漆成形物の強度評価や成形後のVOC発散評価を行う。合わせて実験室でのロボットアームによる漆掻き作業のシミュレーションを行う。

木材のCNC(Computer Numeric Control,デジタル制御による木材加工)切削物を原型とし,真空成形機を組み合わせて設計通りの寸法で乾漆製テーブル脚を試作し,一連の工程から雌型式乾漆積層法の利点・欠点を評価する.

雌型もしくは雄型表面への,手作業による糊漆(米粉と生漆の混練物)による麻布等の積層は,入り隅部や複雑な立体形状の場合,型表面への密着性が低く,成形精度の高い製品製作が困難である.そこで,FRP造形等に用いられるバキュームインフュージョン方を参考に,大気圧を利用した成型法を試みる.

乾漆製の座椅子を製作し,JIS規格の強度・耐久性試験を実施する.

非接触ICタグを内蔵し通信機能を有したクレジットカードサイズの乾漆カードを試作し,制作工程の最適化,機能性を評価する.

合成接着剤(ユリア樹脂接着剤,メラニン樹脂,フェノール樹脂1.32-1.52)と比較して漆は比重が1.0前後と軽い一方で,強力な接着力を持つ.これらの特性を利用して漆を接着剤とした成形合板を作成し,性能評価を行い,椅子を製作し実用的強度を検証する.

自動車内で乾漆を使用することを想定した揮発性有機化合物VOCを評価する.

ロボットアームを用いた漆掻き作業のシミュレーションプログラムを作成する.

4. 研究成果

これまでの研究において,雄型の塩化ビニル成形品から乾漆造形を得る技術を獲得しているが,より一般的には製品の外形的寸法を維持するためには雌型から製品を得ることが多い.そこでテーブルの脚を題材として,木材のCNC切削物を原型として真空成型機(図2)により塩化ビニル雌型を作成し,乾漆での造形を行った(図3).雄型と比較してより外形寸法精度の高い乾漆造形を得ることが出来た.しかしながら,筒状の成形品の場合に型を分割することにより,乾漆成形後に一体化させる工程が必要になる.型を合わせた状態で型の内側に積層することで原理的には解決するが,実際には手が入らない部分には作業を行うことができず,こうした筒状の一体成形にはFRP造形等においては,予め合成樹脂を含浸させておいた,形状に最適化された骨材(布等)を分割したそれぞれの雌型に積層し,硬化前に型を合わせて固定,内側から風船等を膨らませて型表面に圧着させることで成型を行った.そこで,本研究ではこの工法を参考にして,大気圧を利用した圧着法を検討した.



図2 真空成型機

図3 雌型からの乾漆成型

図4 乾漆製テーブル

FRP造形等に用いられるバキュームインフュージョン法は,真空ポンプを利用しガラス繊維やカーボン繊維に流動性の高い熱硬化性合成樹脂を循環・含浸させつつ,大気圧を利用してこれら骨材と樹脂を型表面に密着させて加熱硬化させる造形技術である.漆は高粘度で流動性が低く麻布等に流動的に循環・含浸させることは困難であるが,予め糊漆を含浸させたものを型に積層した後に,フィルムで表面を被い真空ポンプで負圧を発生させることで,大気圧との圧力差を利用して塩化ビニル型に密着させることが可能になる.本研究ではこの方法により乾漆の成形を試みた(図6).漆の初期硬化には大気から酸素を取り入れる必要があるため,図のようなフィルムで真空状態のままでは硬化が進まないため,型に密着したことを見極めた後(約30分)に真空ポンプを開放しフィルム等も剥離した状態で,気温25度湿度70%の環境で24時間硬化を行った.角半径2mmほどの入り隅部では密着性に不備が見られたが,おおよそ全体的には型からの再現性が高く,複雑な形状における本手法はあらかじめ麻布に糊漆を含浸させておく方法と合わせて新しい乾漆造形法であると言える.

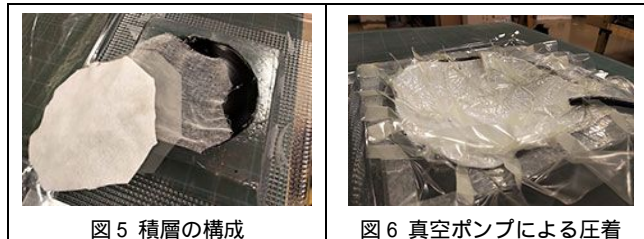


図5 積層の構成

図6 真空ポンプによる圧着

乾漆とペーパーハニカムのコンポジット構造による座椅子(図7)を製作し,福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センターにてJIS規格の強度・耐久性試験を実施した(図8).JIS S1203:1998

区分3（座面静的強度 1,300N
背もたれ耐久性 330N×50,000
回）をクリアし一般的な使用環
境において十分な強度・耐久性
を示した。

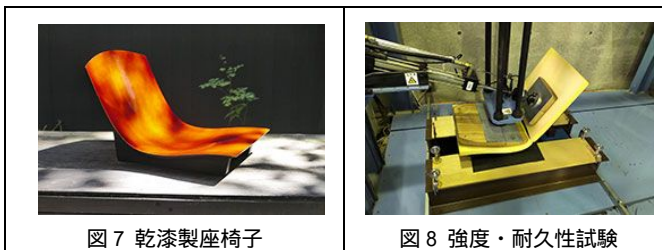


図7 乾漆製座椅子

図8 強度・耐久性試験

これまで本研究で取り組んできた板状の乾漆はクレジットカード等にみられるプラスチックカードとの比較において、同じ厚みの場合に靱性特性に類似した物性を持つ。本研究では薄板状の乾漆を制作する方法を開発し、乾漆の薄板が非接触型の電子的通信機能を持ったチップの機能を阻害しないことを確認した上で、スマートフォン等を利用した非接触式通信機能を有した乾漆カードを制作した（図10）。具体的には綿寒冷紗4枚を積層すると厚さ0.75～0.95mmの薄板状乾漆が得られる（図9）が、2-3層目の積層時に層間にRFIDタグを挟むことで機能が得られる。また、表面をCNC切削機により約0.25mm彫り下げICチップを接着することにより接触式ICカードとして機能させることを確認した（図11）。関連技術として以下2件の特許出願した。

出願番号：特願 2019-230700「漆塗膜を含むシート状体及びその製造方法」2019年12月

出願番号：特願 2021-098536「カード及びその製造方法」2021年6月



図9 乾漆板の厚さ測定

図10 非接触式通信乾漆カード

図11 接触式通信乾漆カード

現在一般的に流通している合板は、合成樹脂接着剤を用いるが、一定の設定強度を發揮した時点で硬化が終わり、以後一般的には経年劣化により接着強度は下がる。一方で漆は一般的には約3ヶ月程度で初期硬化に達した後、数年をかけて徐々に高剛性化する性質を持つため、長期的に強度が上がる合板を得ることが期待できる。また、漆製品は一般に経年により内在水分が徐々に蒸発することで全体として軽量になることが知られており、これらの点から軽量で高剛性の成形合板が制作できると考えた。本研究では、厚み1mmの突き板を45mm×150mmの大きさに揃え、それを9枚重ね接着したものを合板として制作した。使用した樹種は、ヒノキ、ウォルナット、チェリー、ヤマザクラ、ナラ、バスイッド、航空ベニヤ、バルサ、コルクの9種で、この他に、グレー台紙、スチロールペーパー、革の3種を足した全12種で実験を行った（図12）。接着剤として使用した漆は、薄力小麦粉を粉体重量の2倍の水で練り合わせ、生漆に対して質量比で20%を混入した麦漆（むぎうるし：接着力を増強した漆の呼称）と、薄力小麦粉を粉体重量の2倍の水で練り合わせ、赤漆に対して質量比で10%を混入した麦漆の二種である。どちらの麦漆も接着力が安定しており粘度においても作業性が良好で接着剤としての有効性が認められた。9枚の突き板それぞれの面に漆を塗り、圧着して制作した合板は、接着後3日である程度の強度を得ることができた。3日で圧着をやめた後、経過を指触観察していると徐々に強度が上がっていくことがわかり、ヒノキ合板においては同じ大きさ、厚みの無垢材よりも強度が上がっていることがわかった。上記の12種のうち、維管束の開いている針葉樹は漆との相性が良かった。また、全体として白い材は断面の漆の線も映え、造形的にアクセントを与えることがわかった。両点において、ヒノキはそれ本体の強度も優れており、軽いため漆によって強度の向上も見られるヒノキ合板は家具材としての使用に向いているのではないかと考えた。実験において漆との相性が良かったヒノキの突き板1mmを使用し、赤漆で接着した。赤漆を使用することにより強度を向上させるとともに意匠的にも赤いラインによるアクセントを追加し、全体としてメリハリのある一脚を制作した（図13）。



図12 12種のテストピース片

図13 乾漆板の厚さ測定

自動車部品開発企業と共同で、自動車内装材として乾漆を使用することを想定し、以下の7項目について、株式会社神戸工業試験場にて乾漆の性能評価を行った。

【燃焼試験】所定の条件による燃焼速度がポリプロピレン(PP)：50～60mm/mと比較して漆：30mm/mとなり、比較的燃えにくい性質であることがわかった。

【VOC試験】65 2時間、加熱によりホルムアルデヒド/アセトアルデヒドの測定放出量を測定したところ、6枚の試験片の平均値がホルムアルデヒド7.0(μg/試験片)アセトアルデ

ヒド 380 (μg/試験片)となり、車室内の自動車部品として利用するには高い数値であり、カーキーなど車室内以外での用途を検討、または乾漆の表面を樹脂コーティングするなどして VOC 放出を防ぐなど対策が必要であり、天然素材・抗菌性などのメリットがあるものの VOC 数値が高く車室内利用はできないことがわかった。

【耐光性試験】300-400nm 紫外線 150W/m²照射量 150MJ/m²による表面の劣化状況を測定した。光沢保持率が 5.8%と極めて低く紫外線によりかなり白化する結果となった。予めマット仕上げにするなど対策が求められる。

【熱老化試験】雰囲気気温 80 400 時間放置した場合の表面の劣化を測定した結果、光沢保持率 87.7%となり、耐光性試験同様に反りが生じ、耐光性試験同様に対策が求められる。

【湿老化試験】雰囲気気温 50 湿度 95% 400 時間 (熱帯雨林や赤道下の船内などを想定) に置いた場合の表面の劣化を測定した結果、光沢保持率 86%となった。

【表面比抵抗試験】漆塗面 (表面) の埃の付きにくさなどの測定した結果、3 枚の試験片の平均値が表面抵抗 1.9 (× 10¹⁵) 表面抵抗率 2.9 (× 10¹⁶) となり、一般的なアクリル樹脂同等の数値となった。

【高速衝撃試験】錐で次第に加重をかけ乾漆の耐久性を測定した結果、PP のような柔軟性がないため錐の形状で破断した。自動車内装材の場合は人の頭がぶつかった場合の荷重を考慮しなければならないが、設計で対処できる範囲内の数値であることがわかった。

従事者や関連事業者間では漆掻き若手職人の育成など現状技術の継承は行われているが、滲出量向上を目指した機械化を含めた技術改善に取り組む気配は感じられず、むしろ伝統文化として技術やその伝達のかたちを変えないことに重点が置かれているようである。これは岩手県や福島県の職人や関係者からの直接の聞き取り (2020 年 10 月 21 日ハイテクプラザ会津若松支援センター「漆とデザイン分科会」における関係者との懇談など) によるものである。一方で、ウルシ樹一本あたりの樹液含有量は、伝統的漆掻きによる 200g / 本が限界と言われる滲出量を上回る可能性 (岩手大学農学部 森林科学科 木質資源工学研究室 関野 登「ウルシ若木の内樹皮圧搾による新たな漆採取技術の模索」, 第 1 回いわて漆サミット, 令和 4 年 3 月 10 日) があり、熟練の技を必要としない、より効率的な漆採取の方法が確立できれば、伝統的な漆掻きで需要を満たせない場合、それを補完することができる。本研究においては、コンピュータシミュレーションの手法を使用し、実験室にてシミュレーションを行うことによってロボットアームを用いた漆掻きを実現する可能性を確認することができた。まず漆掻きに用いられるカンナと呼ばれる専用の特殊形状の刃物の実際に使われる場面での動きや角度を分析しアタッチメントを設計した。高精度ハンディスキャナーで実験室にて設置したウルシ樹を 3D スキャンし、樹皮の 3D 形状に沿ってアタッチメントを取り付けたアームが職人の作業を再現的に倣うような軌跡を 3DCAD 空間に描いた。シミュレーションを経て実木とロボットアームにより漆掻き作業を再現することが出来た。本研究の実験では漆掻きの動作精度は確認できたが、さらに誤差を減少させ、正確な実験結果を得るには、アタッチメント形状の最適化、木の幹からの反力フィードバックができるような自動制御システム (圧力、距離を検知できるセンサーなど) の追加などさらなる技術検討が必要である。実際の漆畑にロボットアームをウルシ樹一本毎に都度移動・設置することは現実的ではないが、たとえば一本毎に装着する小型ロボットのようなシステムに本研究を通じて得られた知見が活用されていくことを期待している。

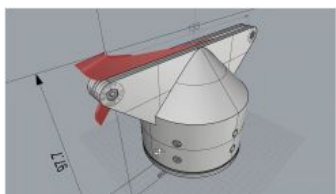


図 14 アタッチメントの設計

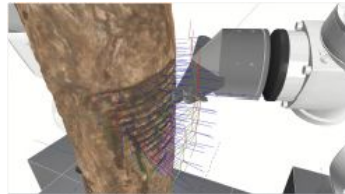


図 15 CAD シミュレーション



図 16 ロボットアームによる実行

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 漆塗膜を含むシート状体及びその製造方法	発明者 土岐謙次	権利者 宮城大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-230700	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 カード及びその製造方法	発明者 土岐謙次	権利者 宮城大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-098536	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

2020年【展示会・国際】AXISギャラリー 「ハイブリッド・クラフト展ークラフトの新たな未来」展 台北駐日経済文化代表処台湾文化センター、国立台湾工芸研究発展センター https://www.axisinc.co.jp/building/eventdetail/859 2021年【展示会・国内】KOGEI Next展 六本木Hills Cafe/Space
--

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	金田 充弘 (Kanada Mitsuhiro) (00466989)	東京藝術大学・美術学部・教授 (12606)	
研究分担者	田中 浩也 (Tanaka Hiroya) (00372574)	慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・教授 (32612)	

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
---------	---------