

令和 2 年 11 月 16 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2014～2018

課題番号：26282008

研究課題名（和文）構造から表面まで：漆造形物制作におけるデジタル基盤技術導入の実践的研究

研究課題名（英文）Liquid to Solid : Practical research on the introduction of digital technology in the production of lacquer modeling

研究代表者

土岐 謙次 (Toki, Kenji)

宮城大学・事業構想学群（部）・教授

研究者番号：20423783

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は古来仏像制作に用いられた乾漆造形技術の堅牢性・耐久性を評価し、持続可能な現代のものづくり技術として、漆による革新的な乾漆生産技術を確立し、建築・デザイン分野を中心とした幅広い分野での乾漆の用途開発を目指したものである。強度試験を中心とした造形的構造技術と、デジタルファブリケーション技術を中心とした表面的装飾技術の側面から研究を実施した。これらにより、乾漆が強度的・造形的にもFRP等の合成樹脂を代替しうる造形技術になり得ることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

はるか1,300年前の天平時代に確立した乾漆は、現代のF.R.P.と原理的に同じ造形技法である。しかしながら、現代まで乾漆自体が構造となって荷重を支えるような家具や建築物はほとんど作られていない。また漆は天然の抗菌作用があり、現代生活でも十分に利活用できる衛生的で高機能な天然素材である。本研究では乾漆がFRPと同等以上の強度を持つこと、自在な造形が可能な事を実証した。漆を機能性塗料と評価した場合に、新たなものづくりの可能性が予想される。天然資源による日本独自のものづくり技術として、伝統工芸以外の新たな漆の価値が創出される。

研究成果の概要（英文）：This study evaluated the robustness and durability of the dry lacquer molding technique, which was traditionally used to make Buddhist statues, and established an innovative production technique using lacquer as a sustainable modern manufacturing technique. We also examined the possibility of wide application of this material. We conducted research from the aspects of formative structural technology focusing on strength tests and surface decoration technology focusing on digital fabrication technology. These results show that KANSHITSU can be a molding technique that can replace synthetic resins such as FRP in strength and shape.

研究分野：漆造形

キーワード：漆 プロダクトデザイン

1. 研究開始当初の背景

天然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また酸・アルカリにも高耐性の優れた天然樹脂である。古来より表面保護・装飾用途以外にも木材や陶磁器の接着材としても利用されてきた。漆を母材とし麻や綿布の天然繊維を骨材とする乾漆は、天平時代以降の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術であり、漆が構造材料としても利用できることを示している。構造から表面まで同一の素材で制作が可能で、その安定性は、1300年前に造立された国宝興福寺阿修羅像が現存することが示すとおり、漆は多機能で高耐久性の天然素材である。

しかしながら、原料としての日本産漆の生産量は全体の1%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。戦後に始まる生活様式の変化による漆器需要の激減(過去60年間で-95%)も背景にあるが、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一因である。

伝統的漆工芸分野では、技術は職人徒弟制度による属人的なもので後継者の少ない現場においては継承が困難である。また、概念や手順といったものが経験を介して伝えられるため、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、接着強度や、硬化速度の改善、かぶれにくさ、耐候性など、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、いずれも漆を主題とする分野内での個々の議論に留まっており、本来の素材の利用先である、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的デザイン手法と漆を組み合わせた実践的な研究は行われていない。

これに対し、本研究代表者はこれまでの制作・研究を通じて、漆を「塗料」や「接着材」といった機能性素材と理解することで、様々な現代的もの作りの手法との融合を試みてきた。焼付け技術応用では株式会社JMCと共同で光造形技術とアルミ鋳造による漆造形を制作、東京藝術大学建築科金田充弘准教授との強度試験研究では、乾漆がFRPと比肩する強度を持つことを明らかにした。これらは漆が異分野との連携により多様なもの作りができる素材であることを示している。同研究では実践事例として人が実際に着座できる乾漆構造による椅子のデザインと制作を行った(図1)。制作過程においてはデジタルデザインによる設計支援、デジタルファブリケーションによる造形支援、技術の一般化による共創環境の提供など、現代的デザイン手法が導入可能であることも示してきた。

こうしたなか、2013年8月横浜で開催された世界FabLab代表者会議において、グローバル化が進むもの作りにおいて、CMF(Color,Material,Finishing)デザインの観点からその地域固有の素材や文化に依拠したもの作りが求められることが重要であることが指摘された。会議の主催者である慶應義塾大学環境情報学部田中浩也准教授はこの点においてアジア固有の漆の活用に注目しており、会議での特別講演者として本研究代表者を指名した。本研究代表者は既に漆の吹付け技術(図2)を確立しているが、塗料飛沫によるかぶれの問題で作業者は過酷な環境におかれる。一方で塗装機材は一般的なものが利用可能であり、ロボットアームを用いた漆塗装は技術的に可能であることが話題となった。

また、本研究代表者が平成23~25年度科研費補助金で行っている研究「乾漆を応用した炭素繊維漆コンポジットの制作工程の最適化と構造材料としての強度試験」では、乾漆が圧縮に対して非常に高性能であることを明らかにしたが、さらに漆と相性が良く強度があり効率的に増量できる骨材の検討が課題となっている。母材たる漆は酸化重合反応で硬化するが、ある条件においては加熱により硬化することが知られている。一部の3Dプリンターでは素材を加熱しながら積層しており、仮に骨材を3Dプリントしつつ漆で硬化させることができれば漆造形における機械化が可能となる。両氏との私的な通信の中で、これらは漆の高い技術受容性を示唆するものであり、ここから本研究が着想された。

2. 研究の目的

枯渇が危惧される化石燃料由来品に替わる素材開発において植物原料等の利点があらためて注目される中、塗料であると同時に造形素材でもある天然漆の多様な性質が注目され、全国各地で漆採取・生産が再開されつつある。そこで、本研究「構造から表面まで漆造形物制作におけるデジタル基盤技術導入の実践的研究」では、素材生産から造形、表面装飾技術まであらゆる段階において職人の身体的な経験に依存している伝統的漆分野に、現代的デザイン手法とデジタル技術を導入することで、従来手仕事に頼ってきた漆の造形と表面塗装の多くの部分を自動化することにより、手工芸素材・技術としての従来の理解を超える漆の可能性を実践的に示す。

3. 研究の方法

強度試験とFRP造形技術を参照した型による造形技術応用を中心とした造形的構造技術と、デジタルファブリケーション技術を中心とした表面的装飾技術の側面から研究を実施した。

4. 研究成果

26年度は「1 漆技術習得実習」「2 職人技術撮影」「3 漆の啓発活動」「4 レーザー沈金」を行った。1では、研究代表者所属の宮城大学に共同研究機関の教員、研究者、学生総勢20名が集い、漆職人の指導のもと、一連の漆伝統技術を実習体験した。2では、漆職人の基本的な漆の技術を4K解像度で映像に収録した。職人の頭部に小型カメラを取り付け、職人の目線からも同時に撮影し、多角的な視点で技術を記録した。合わせて職人の解説の英語字幕を入れた映像を映像共有サイトYouTubeにアップロードし、一般に共有できる状態とした。3では、ウルシ樹の生体電位を利用して、宮城県南三陸町長清水地区に植樹されたウルシを対象に、デジタル技術を応用して遠隔地にその佇まいを再現する仕組みを開発し、「Tele-Flow」と題した芸術作品を制作し各地の展覧会で展示発表を行った。作品展示と共に日本の漆の危機的な現状(国産は1%、99%は中国からの輸入)をまとめて日英両国語で製作した印刷物を配布して啓発を行った。4では、従来の漆加飾技術のうち、彫刻刀で漆塗表面を線彫りをした後に彫刻部分に漆で金粉を埋め込む「沈金」にレーザー加工機の応用を試みた。【代表的成果①】漆の表面装飾技術のひとつに「沈金」がある。非常に平滑に漆塗りを施した平面を彫刻刀で精細な溝を彫り込んだ部分に金粉、金箔を埋め込み、結果として金色の線描によって図案を表現する技法である。本事例ではアーティストの野老朝雄氏がデザインした図案をレーザーカッターによって漆表面に彫刻を施し、沈金として仕上げた作品(図4)を紹介する。本作品では120x120x10mmのアクリル板にスプレーガン吹き付けによる漆塗装を5層にわたって行ったのち、手作業で磨き上げた呂色面(ろいろめん:鏡面に磨き上げた漆表面)を対象表面とした。レーザー加工機はTrotec社rayjet機を用い、25wレーザーの出力と加工速度を可変させつつ沈金に最適な出力を探った。金粉・金箔の埋め込みは手作業で行っている。本作品は21_21 DESIGN SIGHTで開催された「単位展」(2015年2月20日(金)~5月31日(日))にて展示された。(図1)。

レーザー加工機はその原理上レーザー光が一定の周波数で発振しており、微細な加工ではその影響を受けてしまうことがわかった。一見滑らかに見える彫刻線が、一旦金を埋めるとごく微細ながらギザギザとしていることが分かる(図2)。機材の性能やキャリブレーション次第でさらに精度を上げる余地はあるが、職人の手彫りによる極微細な線表現には現在のところ太刀打ちできない。一方で、職人の見解によると幾何学的な図案を効率的に彫刻できるレーザー加工機は非常に魅力的であり、またやや太めの線彫りにおいては均一性においてレーザー加工機に分がある(2014年2月22日山口情報芸術センターにて蒔髻作家高橋香葉氏によるレーザー沈金に対する評価聞き取りより)とのことで、手しごととの棲み分けは十分に期待できることが確認された。



図1 TOKITOKOLO KUMAPONG 漆

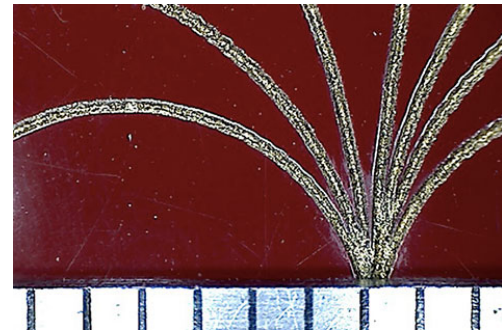


図2 沈金部の拡大画像(9倍) 目盛りは1mm

27年度は大別して「造形的構造技術」と「表面的装飾技術」について研究を進めた。「造形的構造技術」では「1 乾漆パイプ制作支援機構の開発」「2 乾漆の三次曲面型からの離型性評価」

「3 乾漆の熱硬化処理」「4 各種合成樹脂素材の漆離型性評価」を、「表面的装飾技術」では「5CNC 機構による漆刷毛塗り」「6 漆タッチインタフェースの開発」「7 漆塗膜の発熱性試験」を行った。「1 乾漆パイプ制作支援機構の開発」では、乾漆による立体構造の製法のひとつとしてパイプ形状の製法開発に着手した。本年度はステッピングモーターを動力とした自動螺旋送り機を試作した。「2 乾漆の三次曲面型からの離型性評価」では、これまで平板な型への積層で乾漆を制作してきたが、塩化ビニル素材を3次元形状に成形したものを雄型とし、これに乾漆積層を行い、硬化後に離型性を評価した。「3 乾漆の熱硬化処理」では、漆の持つ硬化特性のうち、熱による硬化プロセスに注目し、与える温度と処理の継続時間、および層間剥離の低減処理を検討した。

「4 各種合成樹脂素材の漆離型性評価」では、乾漆積層を行う型表面を異なる合成樹脂で製作し、それぞれに対して乾漆積層を行い、その後の型からの剥離性について比較評価を行った。

「5CNC 機構による漆刷毛塗り」では、漆に少量のタンパク質を混入したものを薄く均一に塗布した表面を毛足の硬い刷毛で恣意的に刷毛目を残す刷毛目塗りの伝統技法支援装置を制作した(図3)。「6 漆タッチインタフェースの開発」では、筑波大学システム情報系知能機能工学領域橋本悠希助教と共同で、漆塗り膜の下に導電性インクによって静電容量変化を感知するパターンを描き、電子回路を組み合わせることによって、タッチインタフェースを試作した。「7 漆塗膜の発熱性試験」では、木材試験片表面に漆塗りを施したものを一般財団法人建材試験センターにて発熱性試験に供し、漆塗りの熱に対する耐性を評価した。

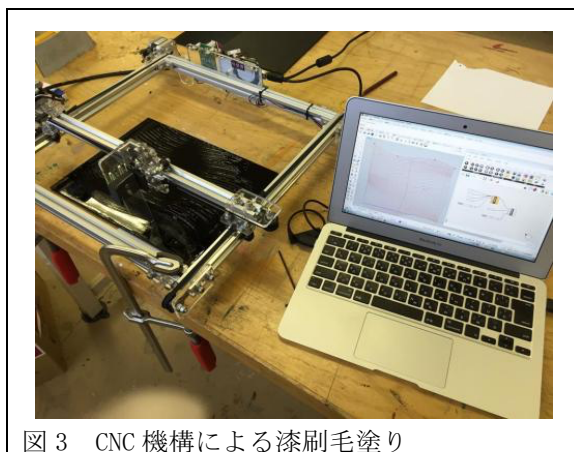


図3 CNC 機構による漆刷毛塗り

28年度は「1 塩ビ塗料による離型性評価」「2 紙ハニカムコアを用いた乾漆コンポジットの試作と強度試験」「3 ハニカム乾漆コンポジットによる家具制作の実践」「4 研究発表会の開催」を実施した。1では、昨年度までに塩ビ素材が乾漆造形制作の型素材として好適であることが確認できているが、3次元形状の型を制作する方法には大別して塩ビそのもので作る方法と、他素材で成形した型表面を塩ビ塗装する方法に分けられる。本年度は木型表面に塩ビ塗料を塗布したものからの乾漆離型評価を実施した。おおむね良好な離型性を示すものの、条件によっては不完全な場合もあり、引き続き安定した離型性を得るための諸条件の検討が必要である。塩ビそのもので型を作る手法についてはすでに試行に着手しており、29年度に実施する予定である。2では、紙ハニカムコアを乾漆板でサンドイッチ構造にしたものを制作し、強度評価を行った。その際、コアと乾漆板の接着にはアクリル系接着剤と漆による接着強度を比較評価し、漆接着はアクリル接着に対して約87%の強度を有することが分かった。1と2をうけて、3では椅子とテーブルの制作を通じて、ハニカム乾漆コンポジットの制作方法について実証的に検証した。【代表的成果②】成果物として実際に

着座可能な各種構造の椅子6脚、実用強度を持つテーブル1台(図4)を得た。4ではAXISギャラリー(東京都港区)にて研究発表会を開催した。会期中に漆掻きの実演と関係者によるシンポジウムを行い、漆をめぐる現状と新しい可能性について啓発を行った。

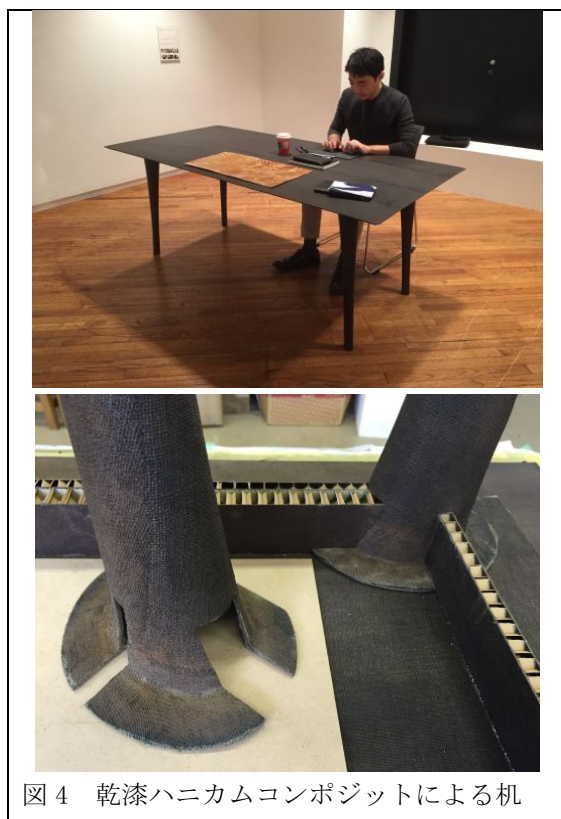


図4 乾漆ハニカムコンポジットによる机

29年度は「造形的構造技術」について「1 乾漆骨材の検討」「2 3Dプリント技術を応用した乾漆構造の制作」「3 屋外暴露環境での乾漆の風化特性の観察」「4 漆下地の吹付施工実験」を実施した。また「表面的装飾技術」については「5 金属表面への漆塗膜性能評価試験」を実施した。1では、従来の乾漆制作工程では布の織目と層間の空隙部が生じることにより、本来の強度が発揮されていないことが予想されたため、母材となる漆の接着強度の低下を招かないよう配慮しつつ増量し積層時の空隙充填を目的として、製紙工場から排出される副産物を加工した繊維質系セメント混和材(製品名パルフォース)を漆に混入して乾漆の制作を行った。従来工程の乾漆との強度比較試験を実施したところ、圧縮強度において25%程度の改善が見られた。2では、一般的なFDM方式の3Dプリントにより出力した造形物を、塩ビ樹脂板を用いた反転型利用によって、乾漆で形状を完全にコピーする一連の手法を確立した。**【代表的成果③】**この手法を用いて映像制作プロダクション株式会社WOWのデザインによる伎楽面を制作し、2018年4月東京・青山スパイラルギャラリーにて発表した(図5)。3では、漆が最も苦手とする紫外線暴露下においてその劣化の程度を観察することにより、屋外での乾漆構造物の使用可能性について評価を行った。試験体を屋外暴露環境に置き、一ヶ月ごとに強度試験を実施し強度の変化を観察した。4では、従来工程ではヘラや刷毛などによって一定の厚みに塗布する漆下地作業であるが、熟練を要し複雑な表面形状では一定の厚みを確保することが困難なため、建築外壁に利用される高粘度塗料塗布技術の応用を試みた。5では、スチール素材への漆焼付塗膜の定着強度について、異なる制作条件の18種類の試験体について評価した。

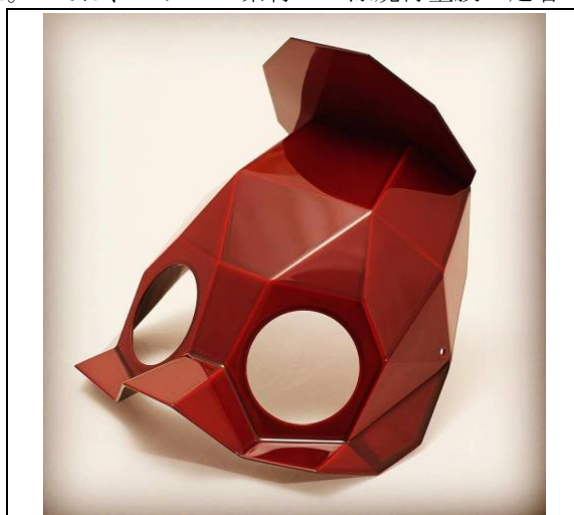


図5 BAKERU 乾漆面 wowlab x Kenji Toki

30年度は「造形的構造技術」について、昨年度から継続して「1 屋外暴露環境での乾漆の風化特性の観察」を通じて乾漆の屋外での実用強度耐用期間の見極めを行った。また「表面的装飾技術」については「2 ロボットアームによる漆の刷毛塗り技術の開発」を行った。1について強度試験結果から、約1年にわたり紫外線劣化の影響を受けた乾漆でも、最大圧縮力に大きな変動は見られなかった。一方で剛性は同期間で約4割減少した。乾漆自体の耐圧縮力に大きな変化はないが、乾漆は壊れやすい状態に変化した。同量の強度を与えた際の、破壊に至るまでの構造材料の耐久力が弱くなったと言える。これは構造材料として致命的である。しかし、約1年経過した乾漆の強度は、圧縮応力度、引張応力度、剛性ともに、甲種構造材のベイマツの強度と近似している。一般構造材の強度としては問題ない値であると言える。乾漆の堅牢さと軽さを活かし、乾漆を構造材料として屋外で使用することは十分に可能であると考えられる。また、**【代表的成果④】**約1年で剛性が半分になることから、連続使用期間の目安として、本研究では約1年を屋外での乾漆の実用強度耐用期間と考える。2について市販の6軸汎用ロボットアームを用いてA4サイズ程度の面積の漆の刷毛塗りを試行した(図6)**【代表的成果⑤】**。本試行では、ロボットアームの動作に対して漆塗りの職人に監修を依頼し、試行のその場で指摘を反映しつつパラメータの調整を行い、動作精度を高めていった。本試行は端緒的な取り組みであり、現状では作業品質において実用にはほど遠いが、伝統的な道具を活かしつつデジタル技術を用いるひとつのモデルを示した。



図6 ロボットアームによる漆塗り

総括

当初目的のひとつである「伝統的漆技術に現代的デザイン手法とデジタル技術を導入する」という点においては、上記**【代表的成果①】**や**【代表的成果②】**、**【代表的成果③】**などを通じて、試行的な技術開発にとどまらず、展示発表できる精度で実践的に作品制作というかたちで成果を残せたことで、達成できたと考える。当初目的には無かったが、乾漆の強度試験の一貫で屋外暴露における乾漆の耐久性を評価した**【代表的成果④】**を通じて屋外での乾漆の実用強度耐用期間が約1年であることを確認できたことは大きな成果であった。これは今後、乾漆が建築や屋外空間にも利活用される際の素材性能の指標となるものである。当初目的では漆造形作業の自動化を目指し、**【代表的成果⑤】**ではその端緒となる試行を行ったが、完全な自動化には至らず、また漆塗りの表面精度

も手仕事にははるかに及ばず、自動化において多くの課題を残すことになった。しかしながら課題が明らかになったことから、今後はこれらを改善していくことで、引き続き技術開発を進めていく方向性が明らかになった。総じて、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中におさめたが、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、工芸技術として理解されてきた熟練職人の乾漆造形技法を、より一般的な生産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で実際の乾漆生産技術として確立することが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

- ① 土岐謙次、漆 そのすばらしさと危うさ、日本建築学会大会資料集「遺産的建築物をめぐる新技術展開と教育・伝承」、査読有、P. 47-P. 52、2017
- ② 土岐謙次、メディア回帰する漆、ヒューマンインターフェース学会論文集、査読有、18巻、第1号、P. 1-P. 8、2016、

〔学会発表〕(計 6件)

- ① 土岐謙次、ロボットアームによる漆の刷毛塗り、日本デザイン学会第4支部2018年度研究発表会、2019年2月、京都工芸繊維大学
- ② 土岐謙次、Comprehensive experience Through Traditional craft and Digital fabrication、デザイン教育の質保証国際シンポジウム、2017年10月、九州大学
<https://bit.ly/2JR4EyX>
- ③ 土岐謙次、漆 そのすばらしさと危うさ、2017年度日本建築学会大会、招待講演
- ④ 土岐謙次、塩化ビニル樹脂を型素材とした乾漆造形手法の研究、第64回日本デザイン学会大会、2017年7月、拓殖大学
- ⑤ 土岐謙次、乾漆を構造材とする家具のデザイン・制作、芸術工学会、2017年7月
- ⑥ 土岐謙次、Laser Cutter Enhances URUSHI Craft Practice and Expression、International Conference on Digital Fabrication 2016、招待講演

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1件)

【特許出願】「漆塗膜を含むシート状体及びその製造方法」2019年12月20日出願

出願番号：特願2019-230700 審査請求日2020年11月4日

〔その他〕

ホームページ等

kenjitokilab.com

6. 研究組織

(1)研究分担者

①研究分担者氏名：金田 充弘

ローマ字氏名：Mitsuhiro Kanada

所属研究機関名：東京藝術大学

部局名：美術学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：00466989

③研究分担者氏名：田中 浩也

ローマ字氏名：Hiroya Tabaka

所属研究機関名：慶應義塾大学

部局名：環境情報学部(藤沢)

職名：教授

研究者番号(8桁)：00372574