

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K00207

研究課題名（和文）刀装金工における金属接合法の研究—継承されなかった技法の解明—

研究課題名（英文）Research on metal-joining methods in sword metalwork - Elucidation of a technique that was not inherited

研究代表者

相原 健作（AIHARA, Kensaku）

東京藝術大学・大学院美術研究科・専門研究員

研究者番号：50376894

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：刀装金具の制作において、伝統的着色方法として知られている金アマルガムによる接合があったのか、また金アマルガムで金属同士の接合が可能であるか研究を実施した。後藤家製の刀装金具6点を選び蛍光X線分析装置、走査型電子顕微鏡、X線検査装置、X線CTを用いて調査を実施した。その結果、水銀は検出されるものの、アマルガム鍍金で接合したと特定はできなかったが、接合実験から金アマルガムでの接合の有効性の実証は出来た。それに、今まで報告がなされていない新たな接合法を発見が出来た。角棒の端部の断面に四等分の切れ込みを入れてのリベット留めは、現在使用されているリベット接合よりも、少ない力で接合することが出来る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

刀装金具における今までの研究は、目視による鑑定での制作者の推定および技法の推測に留まり、材料学・表面科学に基づく解析は殆ど行われてこなかった。精細な造形を作り出す高度な技術は現代に継承されず消失してしまっている。本研究は、現在も注目を集める刀装金具の技法研究であり、秘儀と伝えられている技法を分かりやすく可視化し、その成果を文化財保存修復学会での発表、「刀剣美術」に投稿した。この成果は文化財修復、復元分野や刀剣研究分野に還元が出来、金属製文化財の保護や活用に生かされると考える。

研究成果の概要（英文）：We investigated whether gold amalgam, a known traditional coloring method, was used in the production of sword fittings, and whether gold amalgam could be used to join metal to metal. Six sword fittings made by the Goto family were selected for investigation using an X-ray fluorescence analyzer, scanning electron microscope, X-ray inspection system, and X-ray CT. As a result, although mercury was detected, it could not be identified as having been joined by amalgam plating, but the joining experiments demonstrated the effectiveness of joining by gold amalgam. In addition, we were able to discover a new joining method that has not been reported before. Riveting by cutting a square slit in the cross section of the end of a square bar can be done with less force than the currently used riveting method.

研究分野：金属工芸

キーワード：文化財 金属工芸 刀装金具 彫金 鍛金 非破壊調査 X線CT 復元

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本の金属工芸は、室町時代以降、刀剣及び刀装金具を中心に隆盛した。刀装金具の今までの研究は、目視による鑑定での制作者の推定および技法の推測に留まり、材料学・表面科学に基づく解析は殆ど行われてこなかった。刀装金具とは、刀身を納める鞘に付属する金具のことで、「目貫」「小柄」「筭」などが刀装金具と言われる。刀装金具は高度な技術で作られており、詳細な制作方法は現代に継承されず、明らかにされていない。先行研究で、金の装飾が施された小柄を材料学的な分析調査を行ったところ、固着された金から、水銀が検出され水銀で金を接合したという新たな可能性が示された。定説として、水銀はアマルガム鍍金の着色材料としてのみ金属工芸技法に使用されると考えられており、接合材料としては全く分かっていない。もし水銀での接合が可能であったらならば、今までの定説を覆す可能性があると考えた。

### 2. 研究の目的

現在、金属工芸の接合技法において、水銀を使用した技法は存在しない。文献においても江戸時代に稲葉通龍によって編纂された「装剣奇賞」にも記述されていない。水銀は金を溶かしてアマルガムを造り、古墳時代から銅合金を金色に着色する着色技法として使用され、現在に継承される。古に水銀を使用した接合技法は存在したと推測するが、継承はされなかった。かつて水銀が着色技法と共に接合技法としての材料として使用されていたことを本研究で科学的に検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、刀装金具の制作に水銀による接合が使われていたか明らかにするため、図1で示す後藤家製の刀装金具6点を選び蛍光X線分析装置、走査型電子顕微鏡、X線検査装置、X線CTを用いて調査を実施した。伝統的な着色技法としては知られている、水銀に金を溶かした金アマルガムを用いて銅同士の接合実験を行い、ボールシェア試験で接合強度を計測した。そして、この研究で明らかになった、今まで知られていない接合技法の再現実験をおこなった。



図1. 後藤家製の小柄

### 4. 研究成果

(1) 調査した6点の小柄に使用された赤銅の組成はCu97~95%、Au1.5~4.2%、Ag0.6~3.5%で配合されていた。現代の赤銅は銅と金の二元合金であるが、今回の調査では、数%の銀が必ず含まれることが分かった。銀が金よりも多く配合されていた小柄もあった。現代の赤銅に配合されない銀がなぜ検出されたのか今後調査を進める。小縁や個々の文様に使用された金の組成はCu1.2~3.4%、Au60.0~97.6%、Ag0.8~36.6%で配合されて、現代の金合金の規格となるK23(金95.8%含有)、K18(金75%含有)、K14(金58.5%含有)などが使用されていた。金に銀を加えることで、金の純度が下がり青白く見え、文様に合わせて使い分けていたと推測する。

(2) 図1の一番上の三匹獅子小柄の左側の獅子の眉に、金が破けた箇所を見つけ出した。図2はその箇所の写真で、金が破けて下地の金属を確認した。そして蛍光X線分析装置で破損部を測定した結果が図3で、多量の銀と銅、亜鉛が検出された。よって、獅子は赤銅(銅に金を数%含有する銅合金)に薄い金板を被せ銀ロウによって接合したと結論づけた。



図2. 眉の破損箇所

	破損部	全体
Cu	26.9	3.4
Au	15.0	60.0
Ag	53.9	36.6
Zn	4.2	0

図3. 金の破損部の組成表 (wt%)

(3) 獅子が地板にどのように接合されているのかX線CTで調査を行った。図4は解析ソフトによる獅子と地板の接合箇所を三方向から見る断面画像である。この画像から獅子の裏側に2mmの銅製の角棒がロウ付けで接合され、赤銅地板に四角い穴があいて、その穴に角棒を差し込んで端部を広げて固定していることがわかった。注目すべきは、三匹の獅子全て角棒の端部の断面に縦横4等分の切れ込みがあり、同じ手法で固定している点である。通例では、端部を叩いて加圧して、差し込んだ穴のサイズよりも広げることにより、接合するカシメ留めと推測されていた。しかし、切れ込みがあることで割足のように裂いて固定する効果も相乗させたと考えられる。

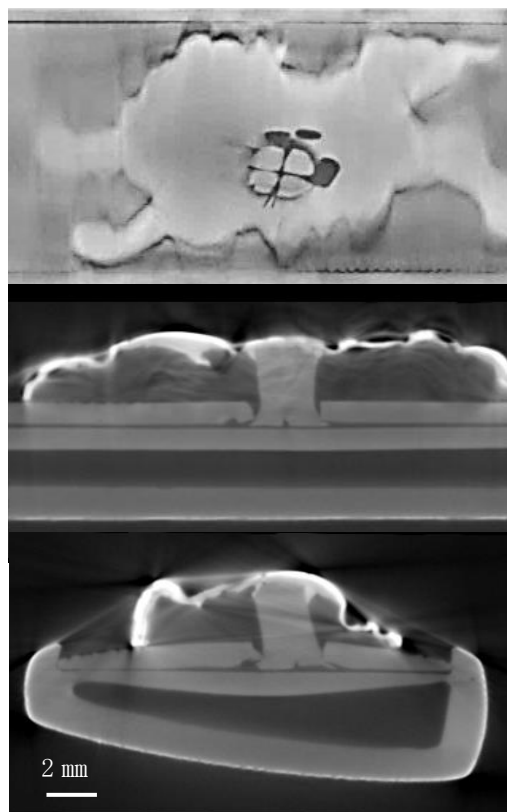


図4. 獅子の断面画像

(4) この研究で発見した、図4の接合方法の再現実験を図5に示す。端部を糸鋸で四等分に切れ込みを入れて、鑿を使用して裂きながらカシメていくと小さな加圧力で、四方に端部を広げられ、強固に接合することが出来た。端部を加圧して広げる際は、ヤニの上などに固定するため表面の獅子にも加圧はかかる。よって、端部の切れ込みの効用は、小さな加圧力で端部を広げて、厚さ0.25mm板材で作られた獅子の造形に加圧によるダメージを減少させるためにおこなったと推測する。

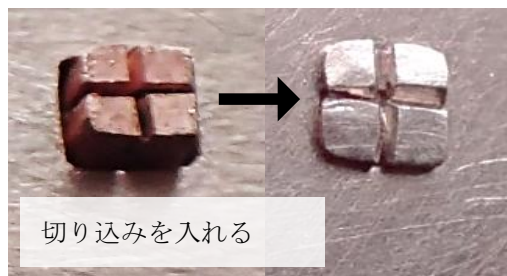


図5. カシメの再現

(5) アマルガム鍍金での接合実験をおこない、図6で示すボールシェアテストにて接合強度を計測した。接合試料はA・厚み1.2mm、10×10mmの銅板の基盤と、B・厚み1.5mm、3×3mmの銅板として、表面に硝酸水銀を塗布した後、金アマルガムを両面に塗り、専用ブース内でバーナーで加熱して接合させた。アマルガム鍍金の熟練者の聞き取り調査を踏まえ、実験条件を工夫し、50Nを超える接合強度を計測した。アマルガム鍍金での接合が可能であったことを実証することは出来た。

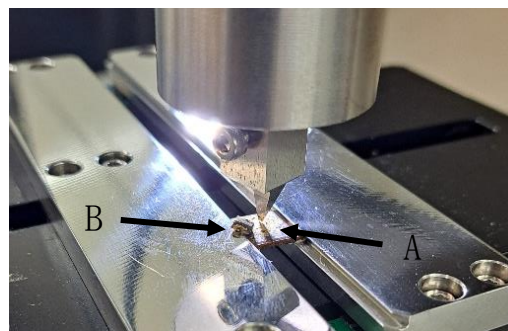


図6. ボールシェアテスト

①加熱する温度は着色技法としてのアマルガム鍍金をおこなう温度より低温で加熱することが有効であった。  
 ②金アマルガムを塗布してから接合（加熱）するまでの時間は、塗布した直後より時間をあけた方が有効であった。これは、接合する銅に対して、塗布した金アマルガムがより拡散されたために、接合強度が高くなったと推測する。  
 ③加熱により水銀が気化する際に試料Bが動くので、逆ピンセットで固定したことが有効であった。これは、接合部位に加圧を付与出来たことが接合強度を高めたと推測する。  
 ④アマルガム鍍金での接合は銀ロウ付けよりも低温で接合することが出来る。よって、銀ロウ付けの後でも銀ロウでの接合箇所を痛めることなく金属同士の接合を可能にする。制作工程の中で、最後の接合箇所使用されたと推測する。  
 ⑤アマルガム鍍金での接合が工学的な評価を元の実証が出来たことが大きな成果となり、金属工芸界にインパクトを与えることが出来た。

(6) 本実験でアマルガム鍍金を用いた接合の可能性について調査をおこなったが、水銀は検出されるものの、アマルガム鍍金で接合したと特定はできなかった。調査方法の改良及び調査資料を増やして調査を継続していく。しかし、金アマルガムでの接合の有効性を実証が出来たこと、新たな接合技法を発見するなどの新たな知見を得ることが出来た。発見した角棒の端部の断面に四等分の切れ込みを入れてのリベット留めは、現在使用されているリベット接合よりも、少ない力で簡便に接合することが可能である。実際に研究代表者は、文化財の修理に使用した。よって文化財の修理や復元に応用出来る。

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 0件）

1. 著者名 相原健作 成井美穂 原田一敏	4. 巻 810号
2. 論文標題 刀装金具に使用された金属と据文・色絵の接合方法について - 工学的手法による可視化 -	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 刀剣美術	6. 最初と最後の頁 6 ~ 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 相原健作 成井美穂 原田一敏
2. 発表標題 刀装金具に使用された金属と接合方法
3. 学会等名 文化財修復学会第45回大会
4. 発表年 2023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	原田 一敏  (HARADA Kazutoshi)  (20141989)	東京藝術大学・学内共同利用施設等・教授    (12606)	

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