

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350327

研究課題名(和文) 国宝・文化財修復における自習システムの開発

研究課題名(英文) Development self-learning system for conservation of national treasure and cultural property

研究代表者

岡 興造 (Oka, Kozo)

京都工芸繊維大学・伝統みらい教育研究センター・特任教授

研究者番号：80456904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：次世代に伝承することが必要な装こう修理技術の中で、古糊の接着促進の作業である打刷毛による増裏打ち工程における叩打の作業に着目し、安全で確実な接着促進ができる叩打の動作を多様な視点から定量的に解明し、未経験者への教授方法を明確化することを目的とした。熟練者および非熟練者を対象とし、叩打作業における3次元動作、筋活動、眼球運動測定および剥離試験を行った。これらの結果から未経験者への教授内容を決定し、教授の効果を作業姿勢より検証した。この結果、本実験にて検証した教授内容は、未経験者の技術的な成長に寄与しているということが証明された。

研究成果の概要(英文)：We performed quantitative analysis regarding beating technique for restore of hanging scrolls. We designated an expert and non-expert as test subjects and conducted beating process and motion analysis, and eye movement, surface electromyogram and delamination load measurements, explicating the results in each section. In so doing, we aim to contribute to beginners' beating technique acquisition, and also assist experts who provide guidance to beginners. Finally, we intend to propose as a model the method of affixing lining paper by means of traditional paste and beating brush that has been elucidated through our various analyses.

研究分野：文化財科学、教育工学

キーワード：装こう修理技術 文化財 掛軸 裏打ち 叩打 習熟 伝承 自習

### 1. 研究開始当初の背景

掛軸に仕立てられた美しい書画は、鑑賞の際の巻き解きや照光や環境の変化により経年の劣化を生じる。あるいは不適切な取り扱いによって多様な損傷が生じることもある。特にその書画が我が国の文化財として認められている貴重な作品である場合、あるいはそれに準ずる美術品であるならば、発生した損傷は悪化する前に改善することが望ましい。建造物や美術工芸品といった様々な文化財修理分野において、絹や紙を素地とした書画の修理を専門的に行っているのが装飾修理技術と呼ばれる分野である。また、その技術者を装飾師と呼ぶ。本研究では、次世代に伝承することが必要な装飾修理技術の中で、古糊の接着促進の作業である打刷毛による増裏打ち工程における叩打(こうだ)の作業に注目した。叩打作業の様子を図1に示す。叩打の加減は強すぎても弱すぎてもその効果を正しく得ることができない。また、他の伝統産業分野と同様に、その技術の習得方法は何ら明文化されておらず、基本的に非熟練者は、熟練者の動作を目で見て学ぶしかないのが現状である。そのため、技術の習得には長い時間がかかる。装飾修理技術の習得を志す非熟練者は、この叩打の作業だけではなく、数多くの技術の習得が求められている。装飾分野の作業を安定的にできるようになるためには、最短でも8年という技術習得期間が必要であると、一般社団法人国宝修理装飾師連盟の実施する資格制度では定めている。その中でも叩打の作業は本紙の裏面に直接的に過剰な衝撃を与える可能性もあり、正しい技術習得は欠かせない。



図1 熟練者による叩打作業

### 2. 研究の目的

本研究では、本紙や裏打ちに用いられた和紙を傷めることなく、安全で確実な接着促進ができる叩打の動作とはどのようなものであるのかということ、多様な視点から定量的に解明し、これまで十分に行われていなかった非熟練者への教授方法を明確化することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)実験概要

熟練者1名(経験年数20年、年齢38歳、身長171cm、体重72kg、男性、右利き)お

び非熟練者1名(経験年数4年、年齢25歳、身長170cm、体重54kg、男性、右利き)を対象とし、増裏打ち工程の叩打作業における3次元動作、筋活動、眼球運動の測定を実施した。さらに仕上がったサンプルの剥離試験を行った。これらの結果から未経験者への教授内容を決定し、教授の効果を作業姿勢より検証した。

全ての実験において、サンプル作製のために、被験者は本紙に見立てた無地の平織絹に美濃紙にて肌裏打ちが完了して乾燥させた試験材料に対して、糊付けの終わった美栖紙を用いて叩打を行った。

#### (2)3次元動作解析

被験者の作業を記録するために、2台のデジタルビデオカメラで撮影をおこなった。3次元動作解析には光学式3次元動作測定装置(MAC 3D SYSTEM, Motion Analysis社製)と6台の赤外線カメラ(Raptor-H, Motion Analysis社製)を用いた。被験者は頭頂、前頭、左右側頭、左右肩、左右肘、左右手首、左右腰の12点に、打刷毛には12点に標点となる赤外線反射マーカーを設置した。座標系は、被験者に対し左右方向をX軸、前後方向をY軸、上下方向をZ軸とした。

#### (3)筋活動測定

熟練者、非熟練者ともに右手のみで作業した際の筋活動を計測した。計測部位は①短母指外転筋、②上腕二頭筋、③僧帽筋中部線維、④上腕三頭筋の4筋とした。計測には、多チャンネルテレメータシステムWEB1000(日本光電社製)を用いた。身体表面に装着する電極は、コードレステレメータ電極のテレメータピッカを使用した。全作業時の中間の5回の筋電図波形を計測し、平均値にて解析を行った。計測された筋電図波形は整流化した後、各筋の5回の筋活動波形データを数値化し、平均値を算出してスムージングを行った。

#### (4)眼球運動測定

眼球運動計測には竹井機器工業製のTalk Eye IIを用いた。ゴーグル中央に設置されたCCDカメラで被験者の視野を撮影した。両眼下のカメラでは視線を検出した。サンプリングレートは30Hzとした。

#### (5)剥離試験

縦1尺5寸、横1尺3寸(約455mm×約395mm)の平織絹を本紙に見立て、肌裏紙を新糊にて接着し、仮張りにて乾燥させた後、増裏打ちをおこなってT型剥離試験に用いるサンプルとした。全てのサンプルは十分に乾燥させた後、サンプルの端から均等に25mm幅で带状に切断し、試験片として剥離試験に供した。各試験片の大きさは、1尺5寸(約455mm)×25mmとした。試験片は被験者に対し右から順番に1から5の番号を付けた。剥離試験にはSHIMADZU

AUTOGRAPH AGS-X を用い、剥離試験速度を 10mm/min、剥離長さを 200mm とした。

#### (6) 教授効果の検証

装飾修理技術の作業現場に入って 3 年目であり、打刷毛による叩打作業は全くの未経験である作業者を被験者（経験年数 0 年、年齢 34 歳、身長 170cm、体重 56kg、女性、右利き）とした。この被験者を未経験者と呼ぶこととする。未経験者は日常の業務において熟練者の叩打作業の様子を見ているというだけで、具体的な指導を受けたことはない。未経験者に具体的に口頭で伝えることができるように教授内容を検討するにあたり、3 次元動作測定、筋活動測定、眼球運動測定、剥離試験の結果を熟練者に提示しヒアリングを実施した。計測結果およびヒアリング結果をもとに教授内容を以下の通り決定した。

- 1、刷毛の持ち方：上から持ち、薬指を毛の根元に引っ掛ける
- 2、刷毛と体の距離：体と作業台の距離は 30cm 程度とし、肩と刷毛の距離は特に固定させず、腕が伸びきる前に立膝して体を前に出す
- 3、刷毛の動き：空中での刷毛の動きと傾き
- 4、叩打の瞬間の刷毛の角度：右手に刷毛を持つ場合は、刷毛の左側やや奥側が当たる

熟練者から教授を受けることなく、サンプルの作製を未経験者に 2014 年 3 月に依頼した。この時点を経験前とした。2014 年 4 月に熟練者が口頭で上述した教授内容を未経験者に教授した。その後、2014 年 11 月に未経験者には 2014 年 3 月と同様のサンプルの作製を依頼した。この時点を経験後とした。未経験者の教授前後における叩打作業をビデオカメラにて撮影した。撮影した動画を用い、教授内容の「1、刷毛の持ち方」と「2、刷毛と体の距離」の 2 点について変化の有無を評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 3 次元動作解析結果

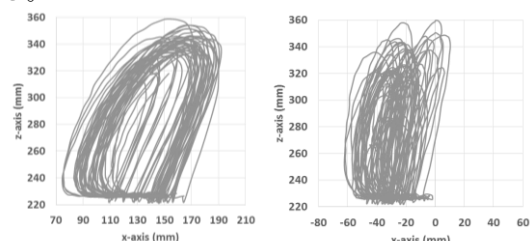
熟練者は 1120 秒という作業時間の間に 451 回の叩打で作業を終えていた。非熟練者は 1358 秒の作業時間で 603 回の叩打を行っていた。熟練者は非熟練者よりも短い時間、少ない叩打回数で作業を終えていた。これらの結果より、熟練者はより効率的に作業を進めていることが分かった。

刷毛の速度および加速度を計測した。平均速度は熟練者が 978mm/s であったのに対し、非熟練者は 691mm/s であった。また、平均加速度については熟練者が 1067mm/s<sup>2</sup> であったのに対して非熟練者は 676mm/s<sup>2</sup> であった。

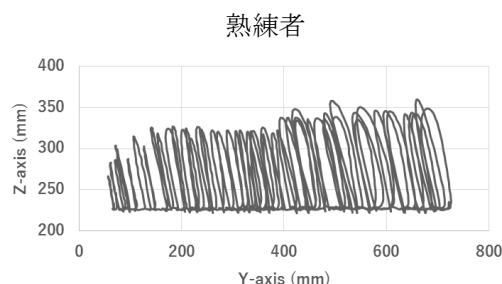
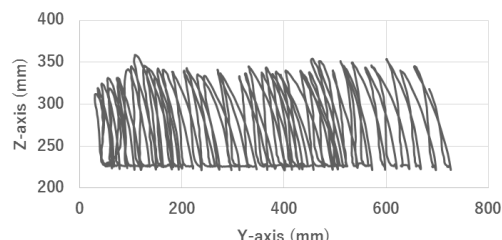
叩打作業における動作を 3 次元的に見た時、どのような時間空間的な挙動を示すのかを把握するため、打刷毛の柄のマーカの軌跡を図示した。図 2 に X-Z 平面の軌跡を示す。熟練者の打刷毛の動かし方には再現性があり、同一の軌跡を描いていることが分かった。その一方で、非熟練者の打刷毛の動かし方は

再現性が乏しく、叩打するために刷毛を振り下ろす角度が一定していないことが明らかとなった。図 3 に Y-Z 平面の軌跡を示す。熟練者に比して非熟練者は、叩打する場所が体から遠くなるにつれて、高い位置から打刷毛を振り下ろすようになる傾向が見られることから、場所によって叩打の強さに違いが生じてしまい、均一な力で叩打できていない可能性が示唆された。刷毛の柄が最も高い位置に到達した Z 方向の平均位置は、熟練者が 339.3±9.2mm、非熟練者が 326.9±18.9mm であった。熟練者の方が非熟練者よりも刷毛を高く振り上げ、ばらつきが少なかった。

熟練者は非熟練者よりも打刻回数が少なく、刷毛の速度が速いことから作業時間が短くなっていると考えられ、熟練者は非熟練者よりも速い速度と大きな加速度で刷毛を振りおろしており、加えて刷毛を大きく動かし、且つその動きには再現性があることも明らかとなった。熟練者は非熟練者よりも 1 回の叩打で大きな荷重を接着面に与えていたことをこれらの結果から推測することができる。



熟練者 非熟練者  
図 2 X-Z 平面の刷毛の軌跡



熟練者 非熟練者  
図 3 Y-Z 平面の刷毛の軌跡

##### (2) 筋活動測定結果

各筋肉が打刷毛を振り上げて振り下ろすという 1 回の叩打動作においてどのような筋活動をしていたのかを、筋活動が安定した段階の各筋の 5 回の筋活動波形データを数値化し、平均値を算出してスムージングを行った。図 4 に熟練者と非熟練者の正規化したスムー

ジグデータを示す。全体的に非熟者の筋活動の量と持続時間は、熟練者と比較して非常に高く、長い傾向を示した。これにより非熟者は、上肢全体を過剰に緊張させ、動作を遂行していることが明らかとなった。その一方で、熟練者は、ほとんど力を用いることなく、リラックスして、いわゆる肩の力を抜いて動作を行っていることが明らかとなった。

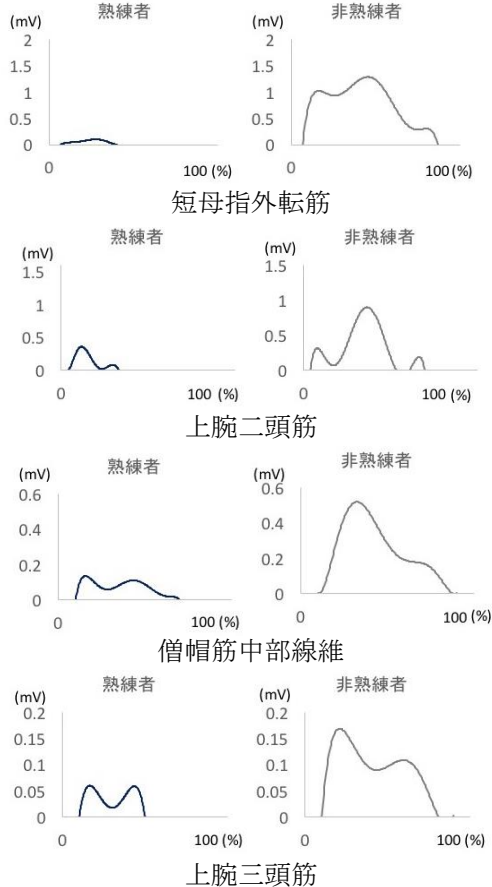


図4 筋活動のスムージングデータ

(3) 眼球運動測定結果

熟練者および非熟練者の叩打の瞬間とその後、刷毛を持ち上げた時の視線の動きの模式図を図5および図6に示す。熟練者は叩打した瞬間、その次の叩打をする点に視線を送り、刷毛を持ち上げた時には、叩打し終わった周辺に視線が戻るといった動きが繰り返されていた。それに対して非熟練者は叩打をしている点に視線を置いたまま作業を進めていた。熟練者は作業の先を見て、これからおこなう作業を予測することで、非熟練者よりも正確に作業を遂行することができるようになっていると考えられる。

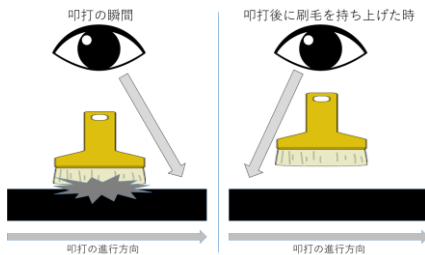


図5 熟練者の視線の動き

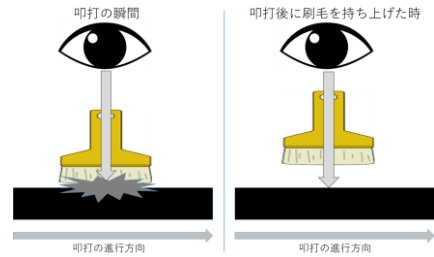


図6 非熟練者の視線の動き

(4) 剥離試験結果

安定して計測された変位 20mm から 120mm における熟練者および非熟練者の試験片の荷重-変位線図を図7および図8に示す。熟練者と比較し非熟練者の試験片は、荷重が大きく、一試験片内での荷重の増減が大きい傾向が見て取れた。各試験片の平均剥離荷重を表1に示す。全ての位置において非熟練者の剥離荷重が大きかった。日常より熟練者から叩打の力が強すぎると指導を受ける傾向にあった非熟練者の特徴が数値にて確認できた。

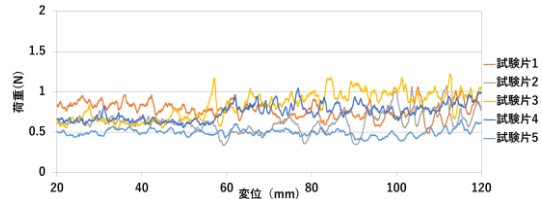


図7 熟練者の試験片の荷重-変位線図

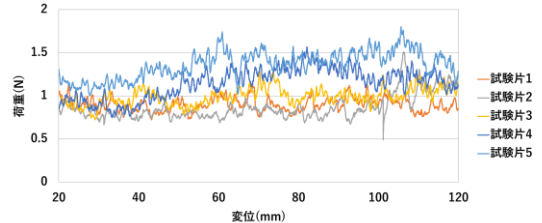


図8 非熟練者の試験片の荷重-変位線図

表1 平均剥離荷重

試験片	剥離荷重 (N)	
	熟練者	非熟練者
1	0.777	0.899
2	0.627	0.856
3	0.831	0.990
4	0.745	1.145
5	0.496	1.360

(5) 教授効果の検証結果

教授前後の未経験者の叩打作業の画像を図9に示す。刷毛を斜め上方向から把持すると熟練者は教授した。教授前の未経験者は刷毛を横から把持していることが分かった。教授後においては、斜め上方向から刷毛を把持していた。さらに、体から遠い位置を叩打する場合は、立膝をして腰の位置を高くし、体から遠い点でも腕が伸びないように叩打するという点について注目すると、教授前では正座したまま右肩を前斜め下方向にせり出して叩打していた。教授後では、立膝をして



腕が伸びきらないように作業をしていることが分かった。これらのことにより、刷毛の把持方法および体から遠い位置を叩打する際の姿勢に関しては、教授の効果が現れていることが分かった。しかしながら、本実験で明らかになったのは短期的な効果に過ぎず、未経験者の技術が熟練者の水準まで達しているとは言い難い。より実践的に広い接着面を長時間にわたって叩打することが必要な状況ともなれば、熟練者と未経験者の技術の差異が明確となることが予測される。しかし、通常は行われない丁寧な口頭による教授は、ある一定の技術的な成長を促したことはまちがいでなく、本実験にて検証した教授内容は、未経験者の技術的な成長に寄与しているということが証明された。



図 9 教授前後における未経験者の叩打作業の様子

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、増裏打ち作業における工程分析と眼球運動解析、文化財保存修復学会誌、査読有、Vol.59、2016、pp.9-18
- ② Yasuhiro Oka, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hisanori Yuminaga, Kozo Oka, Electromyography Measurement of Workers at the Second Lining Pounding Process for Hanging Scrolls, Digital Human Modeling, 査読有, Vol. 9185, 2015, pp. 205-215  
DOI: 10.1007/978-3-319-21070-4\_21
- ③ Yasuhiro Oka, Yuka Takai, Akihiko Goto, Keisuke Ono, Kozo Oka, Researching Sounds Generated During the Second Lining Pounding Process, 査読有, Vol. 9184, 2015, pp. 154-164  
DOI: 10.1007/978-3-319-21073-5\_16
- ④ 岡泰央、早川典子、高井由佳、後藤彰彦、増裏打ち作業における古糊と打刷毛の接着効果について、保存科学、査読有、Vol.54、2014、pp15-24
- ⑤ Yasuhiro Oka, Akihiko Goto, Yuka Takai, Chieko Narita, Hiroyuki Hamada, Motion Analysis of the Pounding Technique Used for the Second Lining in the Fabrication of Traditional Japanese Hanging Scrolls, Digital Human Modeling, 査読有, Vol. 8529, 2014, pp.55-65  
DOI: 10.1007/978-3-319-07725-3\_6

〔学会発表〕(計 13 件)

- ① 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、濱田泰以、経験年数が掛軸修復の打刷毛作業におよぼす影響、平成 27 年度日本人間工学会関西支部大会、2015 年 12 月 5 日、大阪府立大学 I-site なんば(大阪府大阪市)
- ② 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、増裏打ち工程において用いられる打刷毛があたえる接着面への荷重計測、2015 年日本機械学会年次大会、2015 年 9 月 14 日、北海道大学(北海道札幌市)
- ③ 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、濱田泰以、表装裂地修理に用いる増裏打ち工程の教授方法の検討、第 40 回教育システム情報学会全国大会、2015 年 9 月 2 日、徳島大学(徳島県徳島市)
- ④ 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、増裏打ち工程における打刷毛作業の動作解析、文化財保存修復学会第 37 回大会、2015 年 6 月 28 日、京都工芸繊維大学(京都府京都市)
- ⑤ 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、表装裂地修理に用いる増裏打ち工程の材料と接着促進技術、日本繊維機械学会第 68 回年次大会、2015 年 6 月 6 日、大阪科学技術センター(大阪府大阪市)
- ⑥ 岡泰央、高井由佳、後藤彰彦、岡興造、掛軸製作時の増裏打ち工程に用いる伝統技術と伝統材料、日本機械学会西支部第 90 期定時総会・講演会、2015 年 3 月 17 日、京都大学(京都府京都市)
- ⑦ Yasuhiro Oka, Akihiko Goto, Research of Adhesive Effect Enhanced by Pounding Brush on Second Lining Pounding Procedure for Japanese Scrolls, ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2014 年 11 月 18 日、Montreal (Canada)
- ⑧ 岡泰央、後藤彰彦、高井由佳、小野喬祐、濱田泰以、表具作製の増裏打ち工程において用いられる伝統材料の重要性と接着作業の熟練度について、第 58 回日本学術会議材料工学連合講演会、2014 年 10 月 28 日、京都テルサ(京都府京都市)
- ⑨ 岡泰央、濱田泰以、成田智恵子、後藤彰彦、高井由佳、増裏打ち作業の工程分析と眼球運動について、文化財保存修復学会第 36 回大会、2014 年 6 月 7 日、明治大学アカデミーコモン(東京都千代田区)
- ⑩ 岡泰央、岡岩太郎、谷祐一郎、成田智恵子、高井由佳、後藤彰彦、掛軸制作のための伝統技術と伝統材料について、第 57 回日本学術会議材料工学連合講演会、2013 年 11 月 25 日、京都テルサ(京都府京都市)
- ⑪ Yasuhiro Oka, Iwataro Oka, Chieko Narita, Yuka Takai, Akihiko Goto, Hiroyuki Hamada, EYE MOVEMRNT ANALYSIS

AND ADHESIVE PROPERTIES ON THE  
BACKING PROCESS OF SCROLLS  
WITH DIFFERENT CAREER  
CRAFTSMAN, 13TH JAPAN  
INTERNATIONAL SAMPE SYMOSIUM  
AND EXHIBITION, 2013年11月12日、  
ウイックあいち（愛知県名古屋市）

- ⑫ 岡泰央、岡岩太郎、成田智恵子、高井由佳、後藤彰彦、表具修復の増裏打ち工程における熟練職人の動作解析、日本機械学会機械材料・材料加工部門第21回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2013)、2013年11月10日、首都大学東京（東京都八王子市）
- ⑬ 岡泰央、岡岩太郎、成田智恵子、高井由佳、後藤彰彦、濱田泰以、表具修復の増裏打ち工程における熟練職人の眼球運動解析、学会等名日本人間工学会第54回大会、2013年6月1日、日本大学津田沼キャンパス（千葉県津田沼市）

〔図書〕（計 1 件）

岡岩太郎 他、日刊工業新聞社、匠の技の科学－材料編一、2016、pp.80-85

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

岡 興造 (OKA, Kozo)

名跡：岡 岩太郎 (OKA, Iwataro)

京都工芸繊維大学・伝統みらい教育研究センター・特任教授

研究者番号：80456904

### (2)研究分担者

濱田 泰以 (HAMADA, Hiroyuki)

京都工芸繊維大学大学院・工芸科学研究科・教授

研究者番号：10189615

後藤 彰彦 (GOTO, Akihiko)

大阪産業大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：50257888

高井 由佳 (TAKAI, Yuka)

大阪産業大学・デザイン工学部・講師

研究者番号：90626368