

伝統的焼付漆技法の研究

—漆の焼き付け（高温硬化）に関する研究(1)—

木下 稔夫*1・上野 博志*1・中里 壽克・宮田 聖子*2

1. はじめに

漆は漆の木を傷つけたとき、そこから分泌・浸出する樹液のことをいい、日本ではこの漆のほとんどを、伝統産業である漆工芸に塗料として用いている。文化財の分野において、建造物や工芸品の飾金具には漆が焼き付け塗装されているものがあり、現在でも修復の際の復原作業には伝統的技法として経験的に用いられている。通常漆は塗布した後、湿度の高い空气中で乾燥・硬化させるが、金属に対しては付着性が悪いという理由により昔から焼き付けが行われてきた。しかし、漆の焼き付けについては、科学的に解明されておらず、技術的にも曖昧な部分が多い。

本研究では、漆の焼き付け（高温硬化）について、造膜のメカニズム、金属素材への塗装技術を解明することにより、漆工芸の歴史の中で明らかとなっていなかった漆の焼き付け技術を完成することを目的とする。

そのために、まず金属素材に対する漆の焼き付け塗装（高温硬化）の伝統的技法について現地調査を行い、漆の塗布方法、焼き付け方法・条件について調査し、漆膜の力学的特性・色・光沢度といった光学的特性についても解析した。次に、漆の焼き付け温度と硬化速度、それに伴う化学構造を検討した。さらに、漆膜の金属に対する付着性に着目し、漆の種類・焼き付け温度の違いによる検討を行ったので第1報として報告する。尚第2報では、耐候性を中心に報告する予定である。

2. 伝統的技法の調査・解析

2-1. 調査対象

漆の焼き付けを行っている3者に対し調査を行った。3者は以下のとおりである。

- ①甲冑の金具部品の漆焼き付け（業者A）
- ②建築物鍔金具の漆焼き付け（業者B）
- ③建築物鍔金具の漆焼き付け（業者C）

*）以後A, B, Cと略して結果を記す。

2-2. 調査方法

- 1) 素地金属の種類 2) 使用漆 3) 焼き付け装置 4) 焼き付け方法

漆の焼き付け作業の観察と口頭質問により行った。

- 5) 焼き付け温度、時間

漆の焼き付け時の素地金属の表面温度を放射温度計（ミノルタ製 HT-11）で測定した。また、漆が塗り付けられてから焼き付けが終わるまでの時間を測定した。

- 6) 漆膜厚

鉄素地は電磁式、銅・真鍮素地はうず電流式（ケット科学製 LZ-330）で測定した。

- 7) 付着性

* 1 東京都立産業技術研究所

* 2 漆芸家

- ① JIS K 5400 塗料一般試験方法における 8.5 付着性の 8.5.2 碁盤目テープ法による。
- ② JIS K 5400 塗料一般試験方法における 8.7 付着強さによる。

8) 硬度

JIS K 5400 塗料一般試験方法における 8.4 鉛筆引っかき値の 8.4.2 手かき法による。

9) 光学的測定

- ①色 : JIS Z 8722 物体色の測定方法 により行い, L*a*b*表色系により表示した。(村上色彩研究所 CMS-500 使用)
- ②光沢度: JIS K 5400 塗料一般試験方法における 7.6 鏡面光沢度で行った。なお, 入射・受光角は 60° とした。(村上色彩研究所 GMX-202 使用)

2-3. 調査結果

1) 素地金属の種類

業者	使用する金属の種類
A	鉄他
B	鉄, 銅, 真鍮
C	鉄他

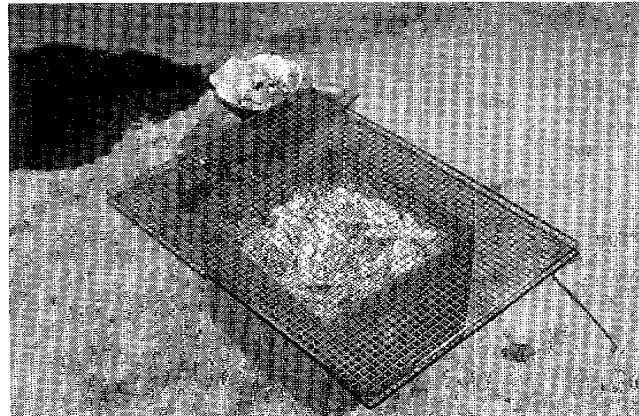


図1 焼き付け装置 (業者C)

2) 使用漆

業者	使用する漆の種類
A	瀬ノ漆 (生漆)
B	瀬ノ漆 (生漆)
C	瀬ノ漆 (生漆)

3) 焼き付け装置

業者	焼き付け方法
A	七輪に炭火を起し金網を被せ, その上で金具を加熱する。
B	円形の鉄釜みたいなもので炭火を起し金網を被せ, その上で金具を加熱する。
C	鉄板で箱形を作ったもので炭火を起し鉄板を被せ, さらに金網を被せその上で金具を加熱する。また, 鉄板をはずして, 金網だけ被せて行う場合もある。(図1)

4) 焼き付け方法

業者	塗装方法	作業工程
A	刷毛塗り	①金具を#120~200のペーパーで研磨した後, アルコールで脱脂する。 (あるいは, 金具を屋外に曝し, わざと錆びさせる。) ②漆刷毛を用いて, 金具に漆を塗る。(図2) ③塗りを終えた金具を金網の上に置き, 3~4分焼き付けを行う。(焼き付けの終点は煙が出なくなった時で判断する。)

B	拭き漆	①網の上に金具を置き、加熱する。 ②ある程度の温度(100~120℃)になったら、漆を真綿に含ませ拭き漆の要領で金具表面に薄い皮膜を作る。(図3) ③しばらく焼き付け(1分程度)を行い、拭き漆・焼き付けを繰り返し(20回以上)、十分な着色が得られたところで終了する。
C	刷毛塗り (以後C-Iと略す。)	①網の上に金具を置き、加熱する。 ②ある程度の温度(160~170℃)になったら、カシュー刷毛(筋かい刷毛)を用いて金具に漆を塗る。 ③塗りを終えた金具を金網の上に置き、約20分焼き付けを行う。
C	拭き漆 (以後C-IIと略す。)	①網の上に金具を置き、加熱する。 ②ある程度の温度(160~170℃)になったら、漆をウエスに含ませ拭き漆の要領で金具表面に薄い皮膜を作る。 ③しばらく焼き付け(2~3分)を行い、拭き漆・焼き付けを繰り返し(4~5回程度)終了する。

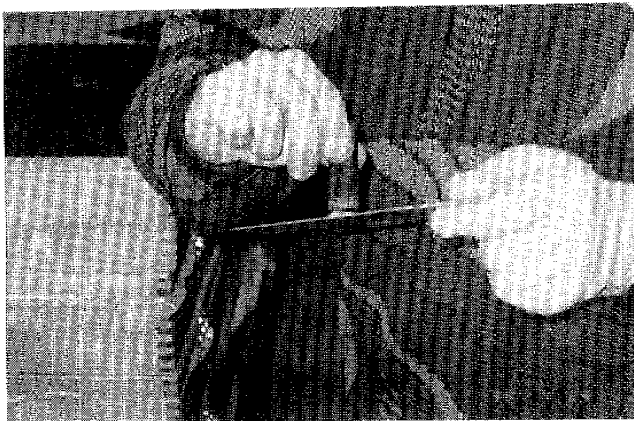


図2 刷毛による漆塗り(業者A)

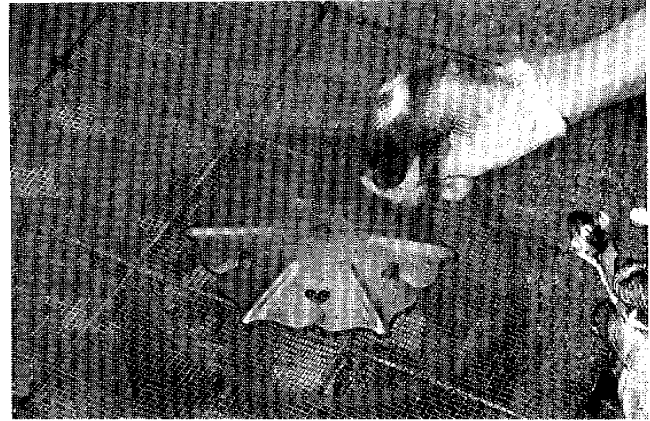


図3 拭き漆による塗り(業者B)

5)焼き付け温度, 時間

業者	最高温度	焼き付け時間
A	未測定	3~4分
B	240~245℃	7~13分
C-I	240~245℃	7~13分
C-II	320℃	約10分

6)漆膜厚

業者	素地金属	最低膜厚	最高膜厚	平均膜厚
A	鉄	6.1 μm	10.9 μm	8.9 μm
A	銅	6.1 μm	9.0 μm	8.1 μm
B	鉄	3.4 μm	7.2 μm	5.1 μm
B	銅	11.8 μm	16.3 μm	14.1 μm
B	真鍮	—	—	15.0 μm
C-I	鉄	3.7 μm	9.4 μm	6.3 μm
C-II	鉄	8.8 μm	12.0 μm	9.5 μm

7) 付着性

業者	素地金属	碁盤目テープ法	付着強さ (kgf/cm ²)
A	鉄	10点	38.4
A	銅	10点	34.6
B	鉄	10点	29.1
B	銅	10点	23.3
B	真鍮	8点	9.0
C-I	鉄	10点	33.5
C-II	鉄	8点	16.2

8) 硬度

業者	素地金属	硬度
A	鉄	6 H
A	銅	6 H
B	鉄	6 H
B	銅	6 H
B	真鍮	6 H
C-I	鉄	8 H
C-II	鉄	5 H

9) 光学的特性

業者	素地金属	色: L*	a*	b*	光沢度
A	鉄	26.89	-0.42	-0.48	59.4
A	銅	21.40	-0.16	-0.63	82.1
B	鉄	24.98	+0.64	-0.66	15.2
B	銅	24.97	+0.29	-0.54	4.0
B	真鍮	24.62	+0.43	-0.37	4.9
C-I	鉄	18.27	-0.01	-1.17	52.0
C-II	鉄	23.38	0.00	-0.71	12.5

2-4. 考察

調査結果から次のことがわかった。

- 1) 焼き付ける素材は鉄が大半を占める。
- 2) 焼き付け方法は刷毛塗り又は拭き漆で行う。
- 3) 焼き付ける温度は240°C以上(240~245°Cが多い)で行う。
- 4) 焼き付ける時間は3~13分と幅があるが全体的に短い。
- 5) 漆の膜厚は10 μm前後である。
- 6) 付着性は、碁盤目試験の結果ではだいたい良い結果で実用上の問題はないが、付着強さは大きくても30~40 kgf/cm²である。
- 7) 硬度は5 H~8 Hとかなり硬く、塗膜の中ではハードコートの部類に入る。
- 8) 焼き付けられた各漆膜の色はほぼ同様に黒色だが、光沢度は拭き漆塗りより刷毛塗り、焼き付け温度は低い方が高い傾向にある。

今回、実際の作業中の焼き付け温度測定を行ったが、各業者とも200°Cを越え、中には300°Cに達する場合まであった。これまでの焼き付け漆に関する文献では、数少ない焼き付け温度に関する記述において200°Cを越えて焼き付けている記述はなく¹⁾²⁾³⁾、温度条件が伝統技法による実際の焼き付け温度より低く考えられていることがわかった。こういった焼き付け温度設定が最適なものは、今後の課題である。

今回、伝統的技法の調査とともに神社に取り付けてある漆仕上げされた銚子金具の観察を行った

が、取り付けられて数年で腐食や漆膜の剥離が発生していた。(図4)屋外に取り付けられた状況では、紫外線に弱い漆の性質からやむを得ないところもあるが、膜厚が非常に薄い(10 μ m前後)といったことなど焼き付け漆の塗装上の問題点もある。これは、金属に対する漆の焼き付けが着色を第一の目的としているため、仕上げの外観で塗装の良否が判断されているからだと考える。

これらのことは、業者Bの鉄と銅・真鍮に拭き漆仕上げされた膜厚の違いからもわかる。鉄に生漆で拭き漆仕上げをする場合、すぐにウルシオールが鉄と反応し黒色の鉄錯体となるため数回の拭きで容易に黒色にできる。しかし、銅や真鍮はウルシオールとの反応が遅く、1回の拭きでは褐色の膜にしかならないので黒く仕上げるためには拭き回数を多くして膜をある程度厚くする必要があるのである。結果として、鉄と銅・真鍮を外観で同等に仕上げると膜厚差が生じる。

また、耐久性を高めるために膜厚を厚くする場合、拭き漆仕上げは手間がかかるため、作業的に無理が生ずると考えられる。その点では刷毛塗りの方が塗装効率が良く、塗装条件を考える上では検討しやすい。

これらのことより、漆の焼き付けによる金具などの耐久性を向上させるためには、現在の焼き付けを検討し、より良い焼き付け条件を見つけておくことが必要と考えられる。

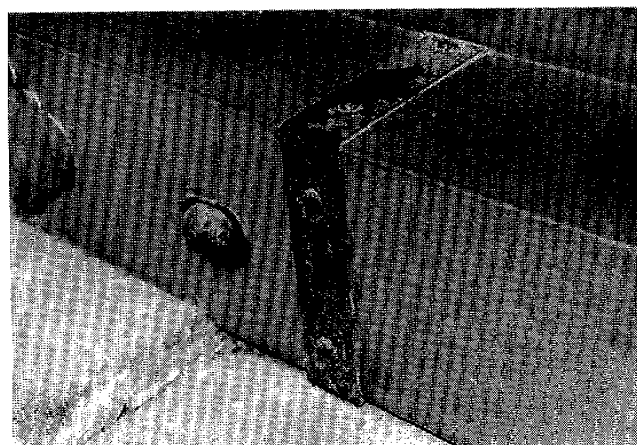


図4 数年経過した漆塗り金具

3. 漆の焼き付け硬化に伴う化学構造

生漆の焼き付けに関して、各設定温度における硬化速度、最高硬度を測定し、乾燥条件を検討した。また、赤外線吸収スペクトル(IRスペクトル)により漆の高温硬化と常温乾燥のメカニズムについて比較検討し、化学構造を解析するとともに最高硬度に達した時期の推測を行った。

3-1. 使用漆

1) 種類

日本産生漆(1996年 浄法寺産)

2) 化学組成

水分	ウルシオール	ゴム質	含窒素物
27.2	66.3	5.4	1.1

(mass%)

3) 常温乾燥時間

5時間(20°C 80%RH 膜厚10 μ m 素材:SPCC鋼板)

3-2. 実験方法

3-2-1 焼き付けによる硬度変化

1) 試験片の作成

生漆を鉄板（冷間圧延銅板 70×150×0.8 mm）上にバーコーターを用いて塗布し、それぞれ 120℃、150℃、180℃、210℃、240℃、270℃で乾燥させた。なお、乾燥膜厚は 10±3 μm とした。

2) 硬度測定

JIS K 5400 塗料一般試験方法における 8.4 鉛筆引っかき値の 8.4.2 手かき法による。なお、評価は塗膜のすり傷で行う。

3-2-2 IR スペクトル測定

生漆をシリコンウェハ（t=0.5 mm）上にアプリケーションナーを用いて塗布し、上記焼き付け条件と同一温度で乾燥させたものを分析試験片とした。また、自然乾燥の試験片も作成し、20℃、80% RH で乾燥させた。

3-3. 結果及び考察

3-3-1 焼き付けによる硬度変化

焼き付け温度と時間経過に伴う硬度との関係を図 5 に示す。焼き付け温度が高いほど、硬度上昇速度が早くなるのがわかる。その差は顕著でたとえば、120℃では最高硬度に達するのに 240 分かかったのに対し、270℃では 10 分で達する。

本実験で最高硬度までに達する時間と伝統技法の調査結果と比較してみると、伝統技法で多かったのが温度 240～245℃で焼き付け時間 7～13 分だが、本実験では 240℃で 15 分、270℃で 10 分と偶然にも焼き付け温度と時間の関係はかなり近い数値を示した。

焼き付け温度と到達最高硬度との関係を図 6 に示す。最高到達硬度は 180℃以上では 5 H と一定でかなり硬い膜だといえる。ただ、今回の実験で膜厚の設定を 10 μm にしたのは伝統技法の調査結果に合わせたためであるが、10 μm という薄い膜厚では表面硬度は素材の影響を受けていると考えられ純粋な膜の硬度とは言い難い。硬度に関する伝統技法の調査結果が、6 H 以上であり今回の実験結果と異なるのもそのためだと考えられる。

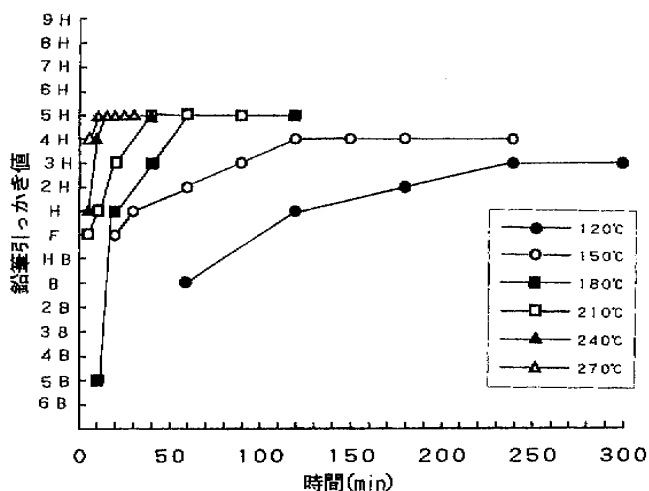


図 5 生漆の焼き付け温度と時間経過による硬度変化

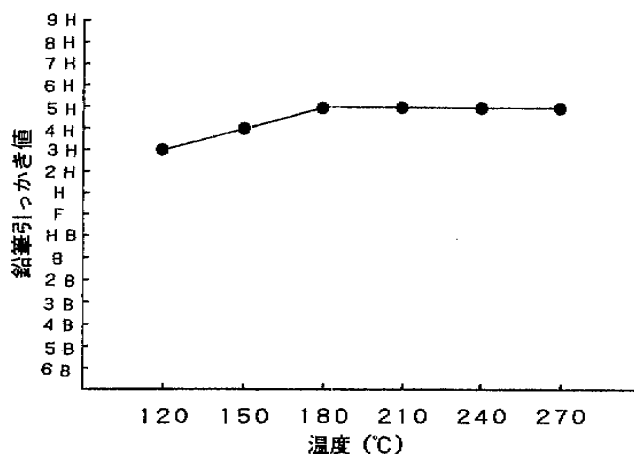


図 6 生漆の焼き付けによる最高硬度

3-3-2 漆の酵素と焼き付けによるウルシオール反応

酵素反応で硬化させた漆膜の IR スペクトルを図 7 に、各温度で焼き付けた漆膜の IR スペクトルを図 8 に示した。

酵素反応で硬化させた場合、見城は IR スペクトルからウルシオールが二量化することにより、共役ジエン構造から共役トリエン構造になることを明らかにした⁴⁾。図 7 から共役ジエンに帰属される 985 cm^{-1} の吸収がだんだん小さくなり、反応 3.5 時間後には共役トリエンに帰属される 995 cm^{-1} の吸収とほぼ同等に、それ以後は 995 cm^{-1} の吸収の方が大きくなっていることがわかる。焼き付け漆においても焼き付け直後にウルシオールは 2 量化していると考えられ、 180°C 5 分で 985 cm^{-1} と 995 cm^{-1} の吸収の大きさがほぼ同等になっている。焼き付けの時間が長くなるにつれて 995 cm^{-1} の吸収も小さくなり、 180°C 40 分では肩に小さな吸収が認められる程度になった。酵素反応では 2 カ月経過したものでも 993 cm^{-1} の吸収は大きな吸収として残っている。このことから焼き付け硬化では早い時期にトリエン構造をもつオリゴマーからトリエン構造を持たない重合体に反応しているものと考えられる。

CH 伸縮振動による吸収に注目すると、 3015 cm^{-1} の吸収がアルケンの CH 伸縮振動によるものと考えられる。酵素反応の場合には 2 カ月後でも吸収は残っており、 993 cm^{-1} の吸収とあわせて考えると、2 カ月後でも共役トリエン構造は残っているものと推測される。一方、図 8 に示した焼き付け漆の場合は 180°C 5 分では 3015 cm^{-1} の吸収はあるが、40 分では 3015 cm^{-1} の吸収が消失しており、熱的重合反応により $\text{C}=\text{C}$ 二重結合のない化合物になっていることが推測される。

また、各温度で最高硬度に達した時点での IR スペクトルを見ると、 3015 cm^{-1} の吸収が消失している。したがって、 $\text{C}=\text{C}$ 二重結合がない重合体に変化したときに、漆膜は最高硬度に達すると思われる。また、IR スペクトルから最高硬度に達した時期を容易に推測できる。

これらのことから、 $\text{C}=\text{C}$ 二重結合のない化合物となる時点を完全硬化と考え、各焼き付け温度における乾燥時間を設定した。(図 9)

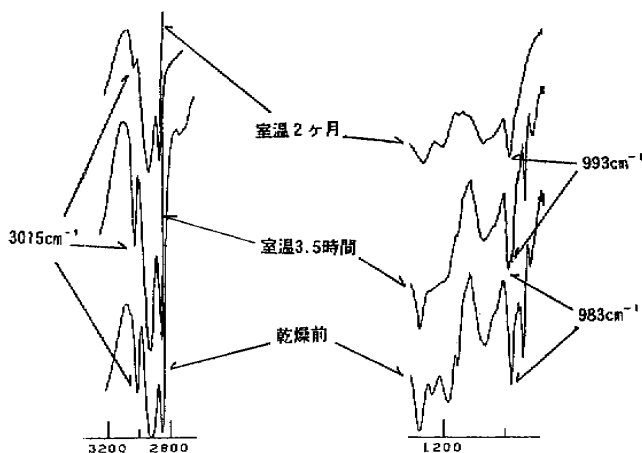


図 7 常温乾燥により硬化した漆膜の IR スペクトル

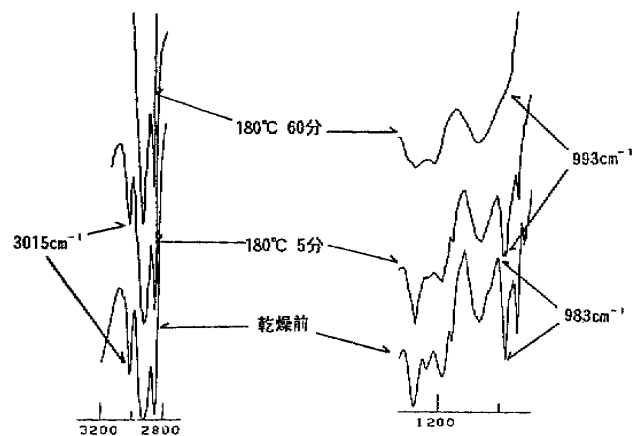


図 8 焼き付けにより硬化した漆膜の IR スペクトル

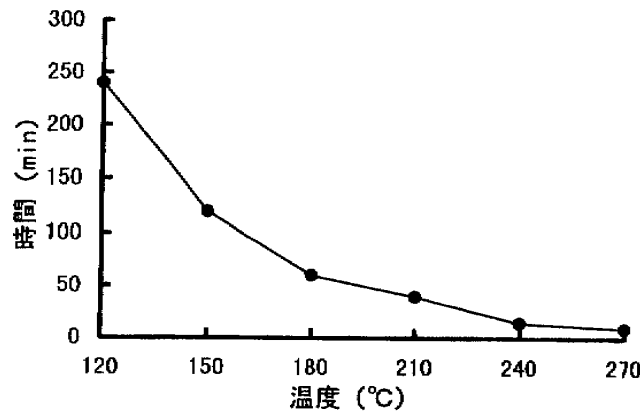


図9 生漆の焼き付け温度と最高硬度に達した時間

4. 焼き付け温度の違いによる漆の付着性変化

漆の焼き付け温度について今までの文献や認識と伝統的技法による実際との間に違いがあることが明らかになった。そこで、漆膜を焼き付ける根拠ともなっている付着性について、温度を常温乾燥と120°Cから300°Cまでで設定し、漆の種類による違いについても検討を行った。

4-1. 実験方法

4-1-1 使用漆

1) 種類

日本産生漆 (1997年 浄法寺産)

日本産素ぐろめ漆 (1997年 浄法寺産)

2) 化学組成

	水分	ウルシオール	ゴム質	含窒素物
生漆	24.8	69.4	5.0	0.8
素ぐろめ漆	1.6	89.2	6.4	2.8

(mass%)

4-1-1 試験片の作成

漆を鉄板 (SPCC 鋼板 70×150×0.8 mm) 上にバーコーターを用いて塗布し、各設定温度で焼き付けを行った。乾燥時間は各設定温度での最高硬度に達する時間とした。(図9) 常温乾燥については20°C 80%RHで1ヶ月乾燥させたものを試験片とした。なお、乾燥膜厚は10±3 μmとした。

4-2-2 二元配置実験

1) 要因と水準

・要因A 漆の種類

水準 ①生漆 ②素ぐろめ漆

・要因B 乾燥温度

水準 ①常温 ②120°C ③150°C ④180°C ⑤210°C ⑥240°C ⑦270°C

⑧ 300°C

2) 評価方法

JIS K 5400 塗料一般試験方法における 8.7 付着強さにより、1 cm²の塗膜が剥離するのにかかる強度 (kgf) で表す。

4-2. 結果と考察

分散分析結果を図 10, 図 11, 図 12 に示す。要因 A 漆の種類, 要因 B 乾燥温度, 要因 A と B の交互作用すべて危険率 1% で有意となり, これらの焼き付け要因により付着性に違いがあることが確認できた。漆の種類では生漆, 乾燥温度は 270°C の組み合わせが付着強度が最も大きく, 信頼率 95% の信頼区間は 47.9~55.7 kgf/cm²であった。

また, それぞれの漆に関しては生漆は 270°C, 素ぐろめ漆は低温の 120°C が付着強度が最も大きいことがわかった。外観的に生漆は硬化に伴い黒く変色し, 素ぐろめ漆は透明な褐色を呈し大きな色の変化は無い。これは, 生漆の方が鉄とウルシオールが反応して, 鉄錯体ができたためである。漆の種類による付着強度曲線の違いは, この鉄とウルシオールの反応性の違いに起因すると考える。

常温乾燥と焼き付けとの付着強度は, それぞれの漆について焼き付ける温度によっては常温乾燥の方が大きい値を示すことがあった。ただ, ほとんどの焼き付け温度帯で常温よりも付着強度が大きく, 一般に言われている焼き付けの効果が裏付けされた。

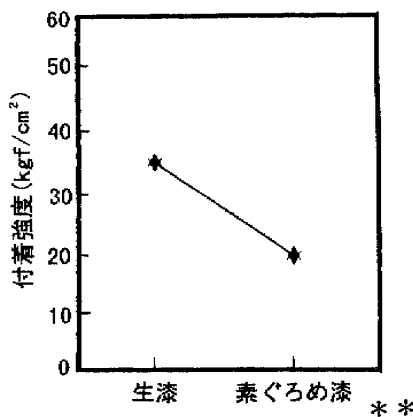


図 10 漆の種類による付着強度の解析結果

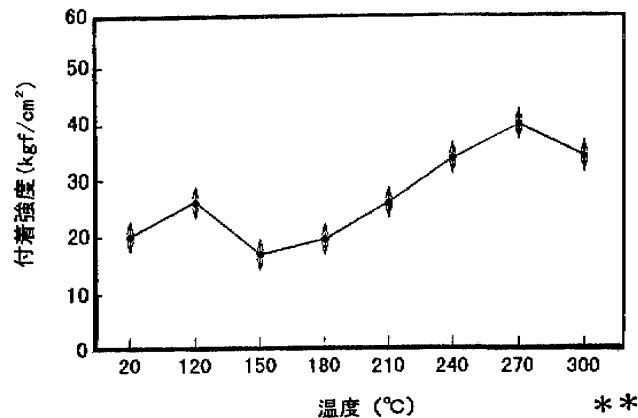


図 11 漆の焼き付け温度による付着強度の解析結果

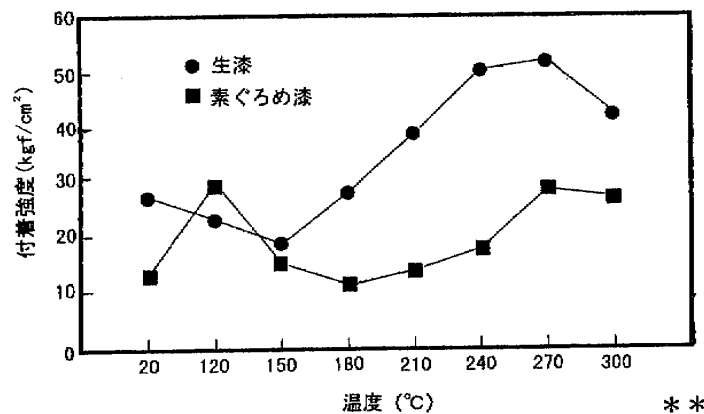


図 12 漆の種類と焼き付け温度による付着強度の解析結果

7. おわりに

文化財修復に関連する焼き付け漆については、別稿において中里が記しているので合わせて参照されたい。ここでは、日本における焼き付け漆の歴史と実例、正倉院蔵刀剣類の例について建造物修復における焼き付け漆の実際、焼き付け漆に関する文献他特許例等について述べているが、これらの内容を合わせると例えば今回の一連の実験研究によるデータを建造物修復において行っている施工との間には大きな差があることが明らかになった。この研究において文化財修復の分野における焼き付け漆の実態がかなり解明されたことは一つの成果であり、この事実が本研究において何をすべきかの方向を示しているように思われる。

更にこの成果が新たな文化財修復の分野で応用され、新たな産業に発展していくことを示唆していると確信する。

最後にこの研究を進めるに当たってご協力いただいた、甲冑修理専門家小沢正美氏、森本鋳金具製作所の森本安之助氏、鈴木鋳金具工芸社の鈴木正男氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 須原伊豫，大岩三郎：京都市工業研究所報告第 23 号
- 3) 石橋芳雄ほか：石川県工業試験場報告 No.37 (1989) 37～44
- 2) 永瀬喜助：漆の本 104，研成社
- 3) 見城敏子：色材 46 (1973) 420～428

A Study on the Traditional Heating Technique of *Urushi* Coating: Experimental Study on the Heating Technique of *Urushi* (1)

Toshio KINOSHITA*¹, Hiroshi UENO*¹,
Toshikatsu NAKASATO, Seiko MIYATA*²

Among cultural properties, *yakitsuke* technique (the technique of hardening *urushi* at high temperature) is found on metal ornaments on buildings and other objects. Today, this technique is employed experientially as a traditional technique during restoration of cultural properties. It is said that this technique is used because *urushi* does not adhere to metal well when it is allowed to harden by zymosis at normal temperature. However, the *yakitsuke* technique for *urushi* has not been made clear scientifically nor technically.

Therefore, in order to elucidate the *yakitsuke* technique for *urushi*, we carried out on-site investigations of the method of and conditions surrounding *yakitsuke* in order to analyze the mechanical and optical characteristics of *urushi* film. We then examined the temperature and speed of hardening for *yakitsuke* and the chemical structure involved. Furthermore, nothing the adhering of *urushi* film on metal, we examined the differences caused by types of *urushi* and *yakitsuke* temperature.

1) Investigation and analysis of the traditional method

Investigation was made at 3 workshops where metal ornaments used on cultural properties are restored. We investigated the ground used for *yakitsuke*, types of metal, *urushi* used, method of *yakitsuke*, temperature and duration of *yakitsuke*, thickness of *urushi* film, adherence, degree of hardening, color and luster. As a result, we were able to clarify the method for traditional *yakitsuke* technique for *urushi*. We also learned that the difference in the method of *yakitsuke* influence the mechanical and optional characteristics of *urushi* film.

2) Chemical structure involved in the hardening of *urushi* by *yakitsuke*

We hardened raw *urushi* at 120°C ~270°C by employing *yakitsuke* technique and investigated the time required for complete hardening at different temperatures by studying the relation between time and degree of hardening. As a result, we found that an increase in temperature accelerates the time required for hardening. Moreover, by measuring the IR spectrum of these sample, we were able to presume that maximum hardening is achieved when a peak of 3015cm⁻¹ disappears.

3) Examination of the adherence of *urushi* to iron

We carried out analysis as a way of evaluating the adherence of *urushi* to an iron plate by examining: a) types of *urushi* (raw *urushi* and *sugurume-urushi*, which is raw *urushi* without moisture content) and b) temperature for hardening (20°C, 120°C ~300°C). As a result, we learned the following about adherence.

a. Raw *urushi* is superior to *sugurume-urushi*.

* 1 The Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute

* 2 *Urushi* Artist

- b. Hardening by *yakitsuke* is superior to hardening at normal temperature (20°C).
- c. Urushi adheres most at 270°C in the case of raw *urushi* and at 120°C in the case of *sugurome-urushi*.

From the results discussed above, we were able to elucidate the most appropriate conditions for *yakitsuke* employed in the traditional *yakitsuke* technique.