

乾漆仏像を含む遺産の漆塗壁における
火災延焼抑制用高粘度液体塗布後の原状回復技術とテクスチャー評価

DC21339 横山 小春

1. はじめに

伝統的建造物では白木や漆塗仕上げが一般的であるが、木材は火に弱く、災害時には即時の延焼防止対策が重要である。文化財等伝統的建造物の延焼防止を目的として開発された高粘度液体は対象物に付着後乾燥すると白濁膜が析出するが、この白濁膜は一定時間湿潤させて元のジェル状に近い状態に戻し除去が可能である。

今回は対象を文化財建造物とその内部に保管される国宝級の乾漆仏像などの漆塗の美術工芸品に広げ、漆塗り表面に高粘度液体が付着した場合、表面形状や粗さの違いにより白濁膜が目立つことが問題となるとし、漆塗り表面の白濁膜除去に関する研究を継続展開した。

具体的には、文化財建築と文化財乾漆仏像などに使用する漆塗の塗装工程調査を行い、次に作製した漆塗試験体を用い既存劣化外壁や乾漆仏像などを想定した凹凸のある面に対する除去効果の影響を確認し、より効果的な除去方法を検討した。また、高粘度液体を塗布した劣化漆表面に漆塗り修復を行い原状回復の方法を検討した。

2. 実験概要

2.1. 使用材料と実験要因水準（研究 3・4）

表 1 に実験要因と水準を示す。漆塗りは紫外線によって劣化すると表層から順に剥がれていくため、研究 3 では、劣化した文化財漆塗壁材に準じた劣化模擬試験体を 90mm×90mm×15mm の桧板材に表 4 の 19 地付けの工程まで施して作成した。研究 4 では、白濁膜拭取り後の研究 3 の試験体を用いて修復を行う。

2.2. 実験方法と評価項目（研究 3）

表 2 に実験方法を、図 1 に湿潤材の構成と拭取り研究の様子を、図 2 に拭取り実験の試験体の表面処理構成を示す。漆試験体に規定量の高粘度液体を塗布し乾燥後、白濁膜を湿潤させ、拭取りを行う。観察後、色差や明度等を計測するにあたり、研究前後で比較できるように計測器のセンサ部の大きさ(φ25mm)を考慮して高粘度液体を塗布しない部分(赤枠：非塗布部 N)を作る。高粘度液体塗布部でも、湿潤と拭取りをしない白濁膜残存部(青枠：塗布部)(P)と拭取り部(緑枠：塗布後拭取り部)(L)に分ける。拭取りは大きさ 60mm×90mm の重りで荷重をかけ、短辺方向に対して行う。荷重は既往研究(500g/15×20mm)に準じ 9000g とする。拭取り中の漆塗り面への面圧が変化しないよう漆試験体と同じ高さの台を横並びに設置し、所定以上の荷重が加わらないようにガーゼを横に引き拭取りを行う。上下で白濁膜除去量に差

表 1 実験要因と水準

研究	実験要因	水準
研究 1 ヒアリング調査 (2023-24)	漆仕上 ヒアリング調査	建築壁材用・乾漆像用の 2 水準
	漆仕上 劣化状態評価	素地・劣化・仕上状態の 3 水準
研究 2 文化財データベース 調査(2024)	乾漆像文化財調査対象	国宝・重要文化財の 2 水準
	乾漆像文化財保存状態	移動不可による現地建物内安置のみ
	乾漆像文化財安置場所	都道府県レベル
研究 3	実験 1 漆塗試験体作製	黒漆劣化模擬のみ
	実験 2 高粘度液体塗布	塗厚さ 3mm(0.18 g/cm ²)一定 乾燥期間室温 25℃3 日間一定
	実験 3 白濁膜高粘度液体の湿潤化処理	水分保持法(3 時間、温度 27℃、湿度 80%一定。文化財修復用ポリエステルシート(8 g/m ²)の上にガーゼを重ね水分 0.19 g/cm ² を付加)
	実験 4 湿潤させた白濁膜の拭取り	通常拭き取り法(ガーゼ 5 枚に一定荷重(167 g/cm ²)をかけ単一方向に拭取り)
研究 4	実験 6 白濁膜残存劣化漆の修復	通常の劣化漆の修復過程と比較する

表 2 実験方法（研究 3・4）

方法	内容
湿潤させた白濁膜の拭取り (研究 3)	ガーゼ 5 枚とポリエステルシート 1 枚を組み合わせた湿潤材に水分を付加し、恒温槽(温度 27℃、湿度 80%)で湿潤 湿潤後、湿潤材を取り除き、新品のガーゼを 5 枚重ね合わせ見た目の変化がなくなるまで拭取る。拭取り作業は一度で拭取り部分全面が拭取れるように、大きさ 60mm×90mm の重りで 9000g の荷重をかけた状態で、短辺方向に拭取り
修復 (研究 4)	漆塗り職人によって 3 つの試験体 1~3 をそれぞれ以下の工程まで修復を行う。 試験体 1 N' 非塗布部と L' 塗布後拭取り部の粗さが同じに感じる工程 試験体 2 N' 非塗布部と L' 塗布後拭取り部の色が同じに感じる工程 試験体 3 P' 塗布部と L' 塗布後拭取り部の色が同じに感じる工程 試験体 3 の修復部左端 15mm を最終工程まで修復を行う。漆塗り職人に修復作業についてのアンケートとヒアリングを実施
表層状態調査 (研究 3・4)	写真撮影・電子顕微鏡による画像観察
色彩測定 (研究 3・4)	L*a*b* JIS Z8730 色の表示方法 色差明度 L*と色味 a*b*を測定。色差計を用いて図 2 に示す N・P1・P2と・L1・L2・L3 のそれぞれ左・中央・右(図 2 丸)の 12 か所を測定し非塗布部と塗布部 2 か所、塗布後拭取り部 3 か所の平均値と比較
表面粗さ測定 (研究 3・4)	算術表面粗さ Ra(μm):図 2 に示す N・P1・P2と・L1・L2・L3 のそれぞれ左・中央・右(図 2 赤丸)の 12 か所を測定し非塗布部と塗布部 2 か所、処理部分 3 か所の平均値と比較 測定力(N) 0.75mmN
光沢度測定 (研究 3・4)	60 度鏡面光沢度:光沢度試験により白濁膜の影響と汚損度を測定。

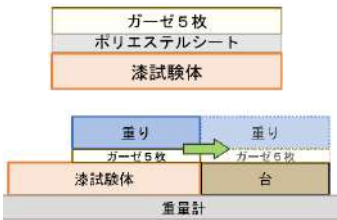


図 1 拭取り実験状況

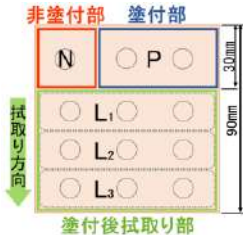


図 2 試験体構成

が生じることが見込まれ、除去量の小さい順に上部(L1)・中部(L2)・下部(L3)とした。拭取り後、電子顕微鏡で表面状態の観察と表面状態を色彩値、表面粗さ、光沢度の測定により定量評価を行った。

2.3. 実験の方針（研究4）

漆塗文化財建造物の表面の漆の多くが長年の紫外線により劣化状態である。研究3より、劣化状態を模擬した漆表面に付着した高粘度液体白濁膜は拭取りによって一部は除去できるが、凹部に入り込み残存する。本研究では、拭取り後白濁膜が残存する劣化模擬漆に仕上げ工程まで漆塗り修復を行い、残存白濁膜が修復に影響するかを調査する。

2.4. 実験方法と評価項目（研究4）

表2に実験方法を示す。高粘度液体拭取り後の漆試験体を漆職人により修復を行う。それぞれ表面の色、粗さが高粘度液体非塗付部と同じと感じる工程まで修復する。そして、修復作業の際、各工程において白濁膜残存部が非塗付部と比較して、色・反射・粗さについて表面状態に違いを感じるかを漆職人にアンケート調査した。

3. 漆塗建築と乾漆文化財に関する調査

3.1. 漆塗り工程のヒアリング調査(研究1)

2024年5月に栃木県日光市・文化財建物漆塗り職人に文化財建築の漆塗り工程のヒアリング調査を行った。表4に

修理修繕工程と新規工程の漆塗装工程を、図3に漆塗装工程見本を示す。漆塗りの工程は素地調整、下地付け、中塗り、



図3 漆塗装工程見本

表3 本研究の高粘度液体使用対象文化財条件

1	レプリカではなく本物が寺社に設置されている。(美術館等保管ではない)
2	火災時に運搬し逃げるができない重量・大きさ。
3	国宝・重要文化財であること。



a) 国宝（：15）

b) 重要文化財（：31）

図4 乾漆仏像分布

表4 本研究で用いた漆試験体の漆塗装工程

作業 段階	基本工程	摘用	材料・工具	M 修理修繕工程				N新規漆工程		
				1 本 直 し	2 真 掻 き 合 せ	3 掻 き 合 せ	4 上 塗 り 直 し	1 珪 色 仕 上 げ	2 立 塗 り	3 箔 押 し
0	現状	見取り・記録								
1	旧塗装掻き落とし	素地を傷めない様掻き落とし	前鉋、平鑿	○	○	○				
2	木地整備	素地の荒れを整える	砥石、サンドペーパー	○	○	○	○			
3	刻芋彫り	干割れ、接合部を彫り込む	三角鑿	○	○	○		○	○	○
4	埋木、矢引木	欠損部に同質剤を漆で接着	糊、生漆、木篋	○	○	○		○	○	○
5	木地固め	木地を生漆で含浸補強	生漆	○	○	○		○	○	○
6	木地固め払い	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
7	刻芋彫り	刻芋彫り部分を充填	糊、生漆、木粉、麻綿、竹篋	○	○	○		○	○	○
8	刻芋揃え	刻芋彫り平滑に整える	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
9	引込地	刻芋彫の肌を切粉を付けて整える	生漆、砥の粉、地の粉、木篋	○	○	○		○	○	○
10	引込地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
11	地直し地付け	素地を平滑にするために地を付ける	生漆、自己の、糊、木篋	○						
12	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○						
13	地直し地付け	木地を平滑にするため地を付ける	生漆、地の粉、糊、木篋	○						
14	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○						
15	布着せ	麻布を張る	麻布、糊、生漆、木篋	○				○	○	○
16	布目揃え	布の境、布肌を整える	砥石、サンドペーパー、平鑿	○				○	○	○
17	布目擦り	布目の下地を擦り込む	生漆、地の粉、糊、木篋	○				○	○	○
18	布目擦り空研ぎ	塗膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○				○	○	○
19	地付け	地を付ける	生漆、地の粉、糊、木篋	○	○			○	○	○
20	地空砥ぎ	塗膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○			○	○	○
21	地付け	地を付ける	生漆、地の粉、糊、木篋	○	○			○	○	○
22	地空砥ぎ	塗膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○			○	○	○
23	切粉付け	切粉を付ける	生漆、砥の粉、地の粉、糊、木篋	○	○	○		○	○	○
24	切粉水研ぎ	素地を平坦に砥ぐ	砥石	○	○	○		○	○	○
25	錆付け	錆びを付けて肌を整える	生漆、砥の粉、木篋	○	○	○		○	○	○
26	錆水研ぎ	素地を平滑に砥ぐ	砥石	○	○	○		○	○	○
27	錆固め	錆肌を生漆を含浸させる	生漆	○	○	○		○	○	○
28	錆固め払い	塗膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
29	錆い錆	凹部に錆を付ける	生漆、砥の粉、木篋	○	○	○	○	○	○	○
30	錆い錆水研ぎ	錆びを砥ぎ平滑にする	砥石	○	○	○	○	○	○	○
31	錆固め	錆肌を生漆を含浸させる	生漆	○	○	○	○	○	○	○
32	錆固め払い	塗膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○	○	○	○	○
33	下塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○	○	○	○	○
34	下塗り水砥ぎ	塗膜を砥ぎ平滑にする	炭、(耐水ペーパー)	○	○	○	○	○	○	○
35	中塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○	○	○	○	○
36	中塗り砥ぎ	塗膜を砥ぎ平滑にする	炭、(耐水ペーパー)	○	○	○	○	○	○	○
37	上塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○	○	○	○	○
38	銅職砥	平滑に砥ぐ	炭、(耐水ペーパー)					○		○
39	銅擦り	砥ぎ傷を消すために磨く	コンパウンド					○		○
40	揩漆 (1回目)	上塗り漆を塗り綿に擦り込む	上塗り漆、綿					○		○
41	磨き (1回目)	菜種油で磨く	菜種油							○
42	揩漆 (2回目)	上塗り漆を塗り綿に擦り込む	上塗り漆、綿					○		○
43	磨き (2回目)	菜種油で磨く	菜種油					○		○
44	金箔押し (1回目)	箔押し漆を擦り込み、金箔を押す	箔押し漆、金箔、綿							○
45	金箔押し (2回目)	箔押し漆を擦り込み、金箔を押す	箔押し漆、金箔、綿							○
46	コーティング	クリアー塗料を表面に填霧	クリアー塗料							○

上塗りに大きく分けられる。素地調整ではひび割れ防止や補強を施し、下地付けでは下地材を塗っては研ぎ出すという工程を繰り返し下地を平滑にした後、中塗漆、上塗漆によって仕上げる。漆塗の保存修理の場合は、はじめに古い塗膜の劣化を見極め、破損した塗層までを掻き落とす。そして必要な工程から再び塗りなおす。

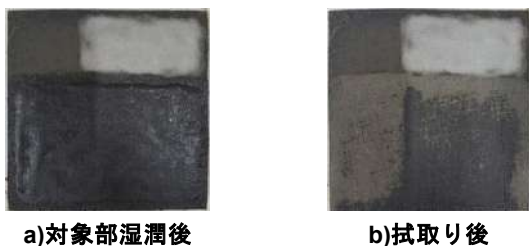


図 5 劣化模擬漆試験体 (研究 3)

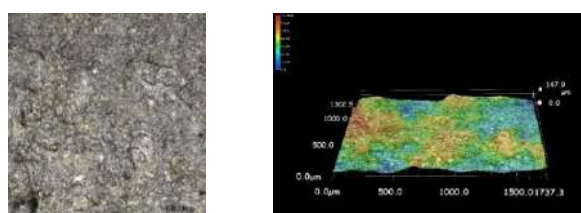


図 6 非塗布部(N)

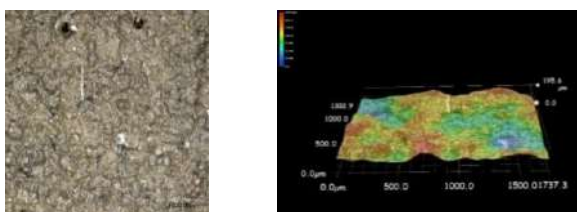


図 7 塗布・湿潤・拭取り部(L)

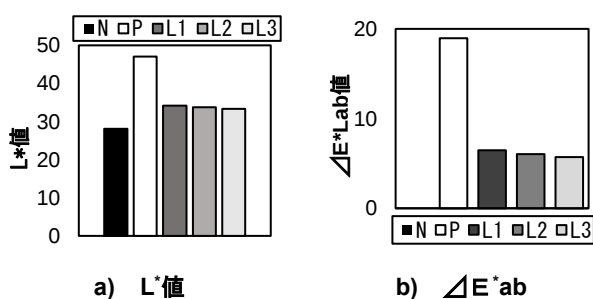


図 8 色彩値による除去効果比較

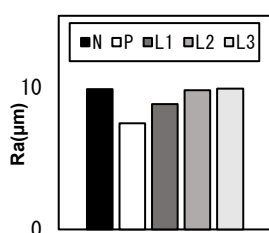


図 9 表面粗さによる除去効果比較



図 10 修復後試験体

3.2. 対象となる文化財の文献調査(研究 2)

高粘度液体の使用対象となる文化財の条件を表 3 に示し、国指定文化財等データベースを用い調査を行った。なお、運搬可能なものは重さと寸法がわかるため、重さと寸法が公表されていないものは建物の中に収蔵されているものとして高粘度液体の使用対象とした。結果、条件を満たす文化財は、木彫りでおおまかな形をつくり、その上に木屑を混ぜた漆を盛って仕上げる製造方法である乾漆造の仏像が多いことがわかった。図 4 に対象となる乾漆像の国宝と重要文化財の国内分布を示す。

4. 劣化試験体の白濁膜拭取り実験(研究 3)

4.1. 外観検査

図 5 に外観観察結果を示す。湿潤材を取り除いた時点では高粘度液体が水分を含み湿潤化しているが、拭取りを重ねるごとに表面が乾燥し白濁膜に戻っていた。劣化模擬試験体は表面に凹凸があり水分を吸収しやすい状態であるため、十分な高粘度液体の湿潤が保持できないためと推察される。劣化模擬試験体は白濁膜の除去が困難と確認できた。図 6 と図 7 に試験体の各部の表面状態を示す。図より、非塗布部(N)では麻布などによる凹凸がみられる。塗布後拭取り部(L)では高粘度液体が一定量拭取られていることが考えられるが、非塗布部(N)とも表面状態が異なっているため、凹部に高粘度液体が入り込み拭取りができていないことが推定できる。これは乾漆仏像の表面仕上げが、刻芋彫り材(7 段階)の配合と厚塗り・形状化の観点で類似する点も考慮される。

4.2. 色彩測定

図 8 に拭取り後の劣化試験体の色彩値を示す。明度 L*値は拭取りで高粘度液体非塗布部(N)の値に近づくが、非塗布部(N)の数値とは大きく異なる。塗布後拭取り部(L1・L2・L3)の非塗布部(N)との色差 ΔE*ab は、最大で 6.5、最小で 5.7 となり、既往研究の仕上黒漆試験体の色差 ΔE*ab の値の 10 倍以上となった。また、下端部ほど色差 ΔE*ab は小さくなる傾向であった。

4.3. 算術平均表面粗さ Ra 値測定

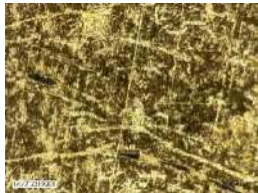
図 9 に拭取り後の劣化漆試験体の算術平均表面粗さ Ra 値を示す。表面粗さ Ra 値は拭取りで高粘度液体非塗布部(N)の値に近づく。上端部から下端部(L3)にかけての表面粗さは非塗布部(N)と近づく。研究 2 の通常試験体と同様の傾向が見られた。

4.4. 劣化模擬漆における高粘度液体の白濁膜除去試験

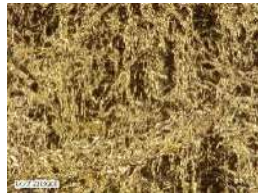
高解像度顕微鏡による表面状態観察から、高粘度液体の拭取りを行った場合でも、完全除去は出来ておらず、高粘度液体が有する光沢が見られた。劣化漆には表面状態を構成する地の粉や砥の粉などによる微細な凹凸があり、高粘度液体が凹凸に入り込み除去が困難となったことが考えられる。色彩値や表面粗さにもその結果が反映された。劣化した漆塗木質建材において高粘度液体が付着した場合、除去には課題があることが確認された。

表 5 漆職人による官能検査結果

工程	N'と比較したP'とL'の色・反射・粗さの違い				
14 目止め (修復前)	全く感じない 1	2	3	4	非常に感じる 5
15 下地付け	①	2	3	4	5
16~32	①	2	3	4	5
33 金箔押し	①	2	3	4	5



a) 非塗付部仕上げまで修復 N33



b) 塗付後拭取り部仕上げまで修復 L33

図 11 顕微鏡観察

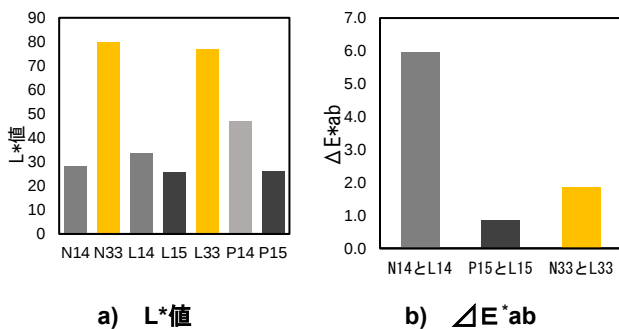


図 12 色彩値による除去効果の比較 (劣化模擬試験体の修復)

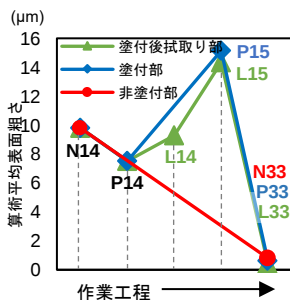


図 13 漆塗修復による算術平均表面粗さ値の変化



図 14 修復試験ヒアリングの様子

5. 白濁膜拭取り後の劣化漆修復実験(研究 4)

5.1. 漆職人による官能検査結果

図 10 に修復後の試験体を、表 5 に白濁膜残存劣化漆の修復前後の漆塗り職人による官能検査の結果を示す。漆職人へのアンケートの結果、修復前は塗付部と塗付後拭取り部は非塗付部と比べて表面の色・反射・粗さについて違いを非常に感じた。修復工程一つ目の下地付けの後には表面の色・反射・粗さについて違いを全く感じなくなった。これは、下地付けの工程で地の粉と生漆を混ぜた下地を厚く盛ることによって凹部に残存する白濁膜も完全に覆われるためである。そして、下地付け以降の工程でも塗付部と塗付後拭取り部は非塗付部と比べて表面の色・反射・粗さについて違い

を全く感じなくなった。漆職人への修復作業についてのヒアリングでは、修復作業の段階で塗付部(図 2b)青枠)の白濁膜が剥がれて漆に混ざることと、今後白濁膜の影響による下地の浮きが予想されることもわかった。

5.2. 外観検査

図 11 に試験体修復後の電子顕微鏡観察結果を示す。電子顕微鏡による拡大観察からもわかるように、最終工程まで修復した場合、高粘度液体塗付後拭取り部は非塗付部と同様の表面状態となった。

5.3. 色彩測定

図 12 に色彩値の測定結果を示す。修復前の高粘度液体塗付後拭取り部(L14)と塗付部(P14)の明度 L*値の差は 13.4 であったが、一つ目の修復工程の後では塗付後拭取り部(L15)と塗付部(P15)では 1.6 まで減少している。最終工程まで修復した塗付後拭取り部(L33)と非塗付部(N33)の明度 L*値の差は 3.0 まで減少している。

5.4. 算術平均表面粗さ Ra 値測定

図 13 に算術平均表面粗さ測定結果を示す。最終工程まで修復した塗付部(P33)、塗付後拭取り部(L33)と非塗付部(N33)の算術平均表面粗さ値はほぼ同じになった。

5.5. 光沢度測定

劣化模擬漆の表面は光沢がないため、光沢度はすべて 0 であった。

6. まとめ

本研究で以下のことが明らかとなった。

- 1) 今回の条件において劣化模擬サンプルの白濁膜除去後の表面状態は、塗布前と同様には戻らず新たな除去方法の開発が必要となる。
- 2) しかし、表面粗さの測定結果と漆塗り職人の官能検査及びヒアリング結果から問題なく修復を行うことが可能であることがわかった。

謝辞

本研究は、能美防災株式会社との共同研究の一部であり、実験にご協力いただいた能美防災株式会社、防災コンサルタントの皆様をはじめとする関係者各位に感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 檜山, 田村ら, 高粘度液体による延焼抑制技術の漆塗り建材への適用性評価と原状回復技術の開発 その2, 2022 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2023.3
- 2) 田村, 水野, 松永ら, 高粘度液体による延焼抑制技術の漆塗り建材への適用性評価と原状回復技術の開発 その1, 日本火災学会(青森), 2023.5
- 3) 横山, 田村, 青山ら, 乾漆像を備えた遺産的建造物への延焼抑制技術における高粘度液体塗布後の原状回復技術の開発, 日本建築仕上学会(岐阜), 2024.10
- 4) 横山, 田村, 青山ら, Restoration the Urushi Finishing after Using Water gel for Preventing Fire Spreading, ISAT-23, 2024.11