

修理記録（建造物）

環境調査報告（2）本丸御殿御常御殿障壁画の支持体について

—支持体構造の違いが障壁画の劣化に及ぼす影響の検討—

高取伸光 小椋大輔 高林弘実 貴田啓子 岡村知明

1 はじめに

本報では、文化財建造物内の障壁画の支持体に着目し、現地保存に適切な支持体構造について検討する。障壁画は絵画作品であると同時に建物を構成する建具であり、原画を現地にて保存・公開する事例は国内の社寺においても広く散見される。しかしながら、書院造のような日本の伝統的な建築様式は断熱性や気密性が低いことに加え、障子のように光を取り入れる建具が用いられるため、外界気象の影響を受けやすく、空調設備・照明などにより環境管理が徹底されている収蔵庫と比べるとその保存環境は良いとは言いがたい [1, 2]。そのため現地で保存される障壁画は、環境変動に伴う様々な劣化が懸念されている [3-5]。

一方で、障壁画に描かれる顔料は、同一の顔料であっても変褪色の傾向は様々であるとは限らない [5]。これは、顔料の変褪色が温度や湿度、照度や紫外線といった環境的な要因に左右されることに加え、バインダーとして用いられる材料から放散される揮発性有機物や、試験体構造の違いに由来する温度や湿度変動の違いに起因する。そのため、実際の障壁画の劣化メカニズムを理解するためには、原画と同様の構造を有する試験体からの放散物を測定し、その熱湿気挙動を把握することや、実際に文化財がおかれる環境における顔料の変褪色挙動を観察することが肝要である。

二条城本丸御殿では、耐震補強対策として、室内の壁を対象に従来構造（土壁等）から構造用合板へと置き換える補強工事が行われ、障壁画の貼られた壁も対象となった。障壁画の現地保存を考える場合、構造用合板は壁の耐力向上を目的とした建材であり、美術工芸品の保存分野で施工実績のない材料を障壁画の新たな支持体として用いるには、竣工後の維持管理の観点からも懸念がある。

本報は、以上を鑑み、文化財建造物内部において

保存・公開される本丸御殿御常御殿の障壁画を対象に、特に壁貼り付けについて、支持体構造の違いと劣化のリスクについて検討を行った。

2 壁貼り付け障壁画の構造

壁貼り付けの障壁画の支持体構成として想定したものを図1に示す。合板の上あるいは組子下地の上に障壁画を貼り付けるといったことは施工実績があるのに対し、防虫合板や構造用合板上に障壁画を貼り付けるといったことは施工実績がこれまで無かった。そこで、耐震補強のために新設された構造用合板上に普通合板あるいは、組子下地、防虫合板を貼り付ける構造を想定した。

次に、図2および表1に各支持体における紙の構成を示す。紙の構成は上貼紙（うわばりがみ）と下貼紙（したばりがみ）に大別され、組子下地とその他で異なる。これは組子下地の場合、下地骨のような格子に本紙を貼り付けることに起因する。上貼紙は本紙と浮貼（うけばり）、下貼紙は蓑縛（みのしばり）、蓑貼（みのばり）、胴貼（どうばり）、骨縛（ほねしばり）から構成される6種8層の紙の構成とした。一方、普通合板や防虫合板支持体の場合、下貼紙として楮紙（こうぞし）をベタ貼りする形とした。

表1 紙貼りに用いた材料の構成

合板に紙を直接貼る際の紙貼り構成				
	工程	糊付け	材料	製造先
上貼り	本紙	ベタ貼り	雁皮紙	岐阜県
	裏打2層	ベタ貼り	楮紙	京都府
下貼り	浮貼2層	袋貼り	楮紙	京都府
	捨貼り	ベタ貼り	楮紙	島根県
組子下地の紙貼り構成				
	工程	糊付け	材料	製造先

上貼り	本紙	ベタ貼り	雁皮紙	岐阜県
	裏打2層	ベタ貼り	楮紙	京都府
下貼り	浮貼2層	袋貼り	楮紙	京都府
	蓑縛	ベタ貼り	楮紙	島根県
	蓑掛3層	袋貼り	楮紙	京都府
	胴貼	袋貼り	間似合紙	高知県
	骨縛	ベタ貼り	楮紙	島根県
下貼り (下地骨 の裏面)	骨縛り	ベタ貼り	楮紙	島根県
	胴貼	袋貼り	間似合紙	高知県
	蓑掛3層	袋貼り	楮紙	京都府
	蓑縛	ベタ貼り	渋紙	島根県

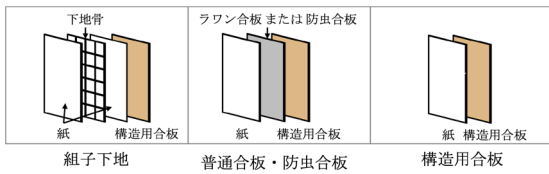


図1 暴露試験体の支持体構成

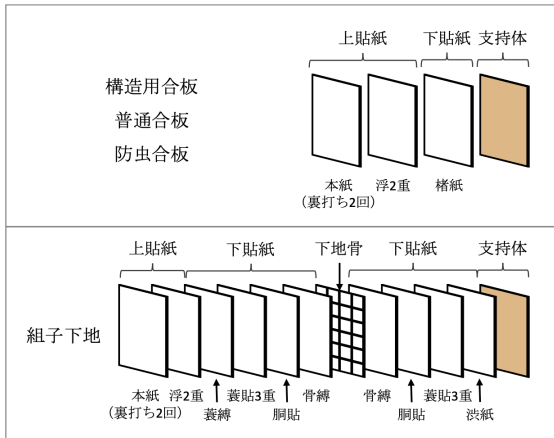


図2 各試験体における紙の構成

3 支持体から放散される揮発性有機物質

防虫合板に代表されるように、支持体である木質材料からは揮発性有機物（VOC）が放散される。本章では各支持体から放散されるVOCの種類と量について測定を行った。

3.1 測定方法の概要

VOCの試験および分析は一般財団法人ボーケン品質評価機構大阪認証・分析センターに依頼した。VOCの放散速度は以下の式により算出される。

$$qA=pt \frac{n}{L}$$

qは放散速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]、Aは試料の表面積 [m^2]、Lは試料負荷率 (A/V) [m^2/m^3]、ptはチャンパー内濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、nは換気回数 [1/h]、Vはチャンパー容

積 [m^3]である。

測定時の試験環境は表2に示すとおりである。試料はSUSチャンパー（直径300mm、高さ300mm、容積20L）内に設置し、小型チャンパー法（JIS A 1901:2015）に基づき試料から放散される化学物質の捕集を行った。

表2 VOCの測定時の試験環境

温度	28±1[°C]
相対湿度	50±5[%]
換気回数	0.5±0.05[1/h]
チャンパー容積	20[L]

3.2 試料の調製と測定内容

測定は模擬障壁面に用いられる下地材単体と下地材に紙を貼ったものの2ケースに分けて行った。下地材単体でのVOC放散量の測定は以下に示すとおりである。試料はラワン合板、シナ合板、構造用合板、防虫合板、下地骨の計5種とした。図3に試料の写真を、表3に試料の詳細を示す。

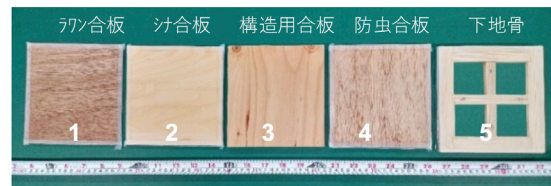


図3 VOC放散速度の測定に用いた試料

試験体は、これらの材をそれぞれ約165mm角にカットし、試料の放散面（表面のみ）以外をシールし調製した。VOCの検出項目は、紙や顔料の劣化に影響を及ぼすとされるアルデヒド類、VOC41種、有機酸とし、1つの試験に対し同一の試験体を2つチャンパー内に設置し、測定期間は1日とした。

紙貼りの有無による違いを検討するための試料の写真を図4に、試料の構成を表4に示す。下地材の測定結果を踏まえた上、保存管理で使用頻度の高いラワン合板と下地骨について試験した。試料は各下地材を2つ用意し、暴露試験同様、裏面にはすべてに構造用合板をステンレスビスで固定した。各下地のうち1つは、放散面に紙貼りを行った。下地材は表3で示したのと同じ条件の材料を使用し、紙貼り施工をしたのち45日間の保管期間を経て試験を行った。

表3 下地として用いた試料の概要

試料	材料	接着剤	製造先	サイズ	購入日 [製造日]	乾燥期間
ラワン合板	ラワン1等	1類F☆☆☆☆	インドネシア	910×1820 厚み3mm	2020年3月 [2019年12月]	20か月
シナ合板	シナ1等	1類F☆☆☆☆	マレーシア	915×1825 厚み5.5mm	2019年11月 [不明]	24か月
構造用合板	ラワン2級C-D	特類F☆☆☆☆	日本	910×1820 厚み9mm	2020年6月 [2020年4月]	17か月
防虫合板	2級B-C	特類F☆☆☆☆ シフェノトリン	日本	910×1820 厚み9mm	2020年3月 [2019年11月]	20か月
下地骨	杉辺材 (含水率20%以下)	なし	日本	— 厚み12mm	2021年10月 [2020年6月頃]	3か月

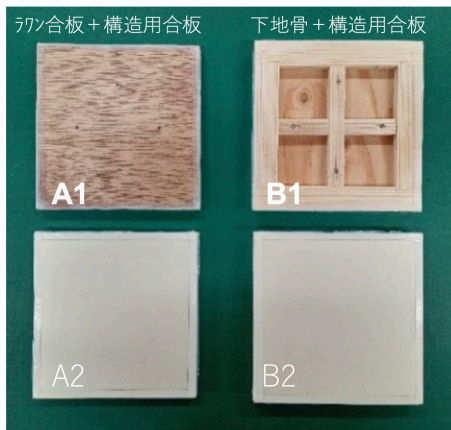


図4 紙貼りによるVOC放散速度への影響の測定のために用いた試料

表4 紙貼りの検討に用いた試料の概要

番号	下地材	紙貼り	接着剤
A1		なし	1類・2類
A2	ラワン合板 + 構造用合板	上貼：雁皮紙 下貼：楮紙	同上 + 正麩糊
B1		なし	2類
B2	下地骨 + 構造用合板	上貼：雁皮紙 下貼：楮紙・ 間似合紙・渋紙	同上 + 正麩糊

注1 酢酸，ギ酸の測定は，チャンバー内にVOC等を除去する吸着剤で処理し，清浄空気を供給し，予め内部の空気を清浄空気で置換したその後，チャンバーの下流側に超純水を入れたインピンジャーを設置し，吸引流量0.17 L/分で

紙貼りの構成材料は表1に示すとおりとし，絵具の滲み止め（礬砂引き）は施工しないものとした。試験体の養生条件は下地材単体のときと同条件とし，チャンバー内に設置する試験体の数は1つとした。検出項目は，下地材の結果を考慮し，アルデヒド類と有機酸の酢酸およびギ酸とした。表5に紙貼りの検討におけるVOCの検出項目と方法を示す。

表5 VOCの検出項目と方法

検出項目	捕集管/ 捕集溶液	流量	吸引量
アルデヒド類	DNPH吸着管	0.167 L/min	20L
VOC*	Tenex TA吸着管		1L
有機酸	検知管(910)		10L
酢酸・ギ酸**	注 ¹		30L

* 下地材に対してのみ実施

** 紙を貼った試験体に対してのみ実施

3.3 測定結果と考察

図5に下地材単体からのアルデヒド類、VOC41種、有機酸の放散速度の測定結果を示す。ホルムアルデヒドの検出量は、普通合板に用いられる南洋材（ラワン合板、シナ合板）の方が、国産材の構造用合板や防虫合板より大きかった。一方、アセトアルデヒドは下地骨からの検出量が最も多く24 [μg/ m² h] という結果が得られた。その他のVOC41種は、5種

チャンパー内空気を30 L捕集し，酢酸イオン（CH₃COO⁻）とギ酸イオン（HCOO⁻）をイオンクロマトグラフ（島津製作所 Prominence シリーズ）で分析した。

とも定量下限値未満であった。今回試験した下地材では、アルデヒド類以外の VOC の発生は軽微であった。ギ酸・酢酸を含む有機酸は、合板材から比較的高い数値が検出され、防虫合板からは最も高い 125 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] が検出された。下地骨は、合板材に比べて有機酸の放散量が小さかった。

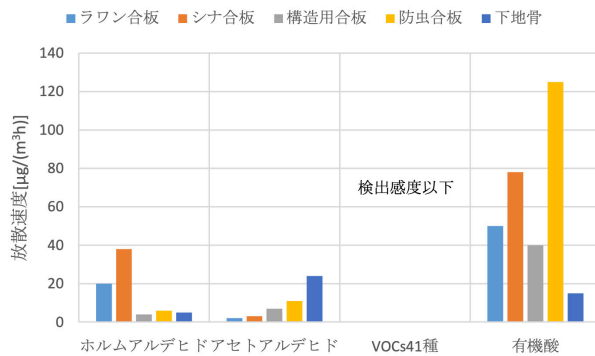


図5 下地材単体からの VOC の放散速度

次に、図6にラワン合板および下地骨を下地とした試験体の紙貼りの有無による結果の比較を示す。アルデヒド類の放散量は、紙貼りの有無による差は小さく、下地材単体の結果とも差は小さいことが分かる。一方、ラワン合板からは酢酸が、下地骨からはギ酸が主に検出された。また、紙を貼ることでラワン合板からの酢酸の放散速度は 39 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] から 14 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] へ、下地骨からのギ酸の放散速度は 32 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] から 13 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] へと減少した。このことから有機酸の放散は紙貼りにやや抑えられるものと考えられる。

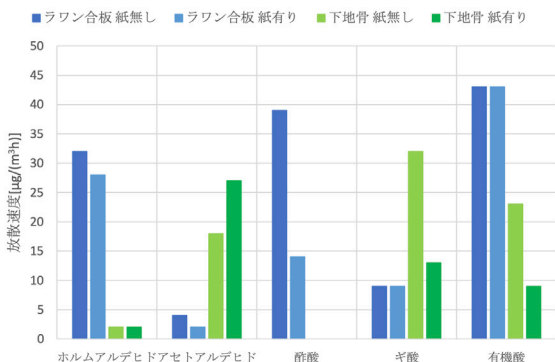


図6 紙貼りの有無による放散速度の違い

4 実環境下における顔料の変褪色実験

障壁面に塗布される顔料は経年により劣化する。顔料の劣化は温度・湿度・照度・紫外線など環境因

子に加え、顔料が塗られる支持体からの放散物質など多様な要素に左右される。そのため、実際の障壁面にて用いられる顔料および支持体構成を模した模擬試験体を、二の丸御殿白書院廊下に設置することにより、実在の障壁面の劣化を予測することを試みた。

4.1 絵具の調製

顔料種類の選定は、本丸御殿御常御殿一の間・四の間障壁面での目視調査の結果をもとに決定した。図7に実験にて用いた計12種類の絵具を示す。株式会社放光堂で購入した顔料で絵具を調製し、図の右上から順に朱の具(水銀朱+胡粉)、鎌倉朱極赤(水銀朱)、濃茶系(水干絵具混合:胡粉・黄土・焦茶・赤口朱土・赤口岱赭)、天然白群(銅化合物)、天然群青10番(銅化合物)、丹の具(鉛丹+胡粉)、丹(鉛丹)、淡茶系(水干絵具混合:胡粉・黄土・焦茶・赤口朱土)、天然白緑(銅化合物)、天然緑青10番(銅化合物)、胡粉(三号胡粉)、焼白緑(銅化合物)の計12種類とした。

これらのうち、鎌倉朱極赤、天然群青10番、丹、天然緑青10番は、障壁面の彩色層構造を模した二層構成であり、各顔料の下層には朱の具、天然白群、丹の具、天然白緑が塗布されている。なお、本紙には滲み止めのため髹水引きをし、絵具の塗布は川面美術研究所に依頼した。

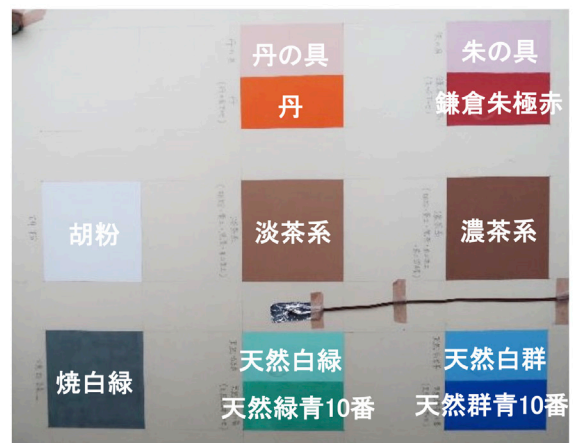


図7 暴露試験体における顔料の構成

4.2 試験体の設置概要

模擬障壁面の暴露試験は二の丸御殿白書院の西側廊下にて実施した。図8に試験体の設置位置の概要を、図9に試験の実施状況を示す。試験体はより劣化が進行しやすくなるよう表面が障子を向くように

設置した。なお、白書院では閉城中は雨戸が閉じられている。

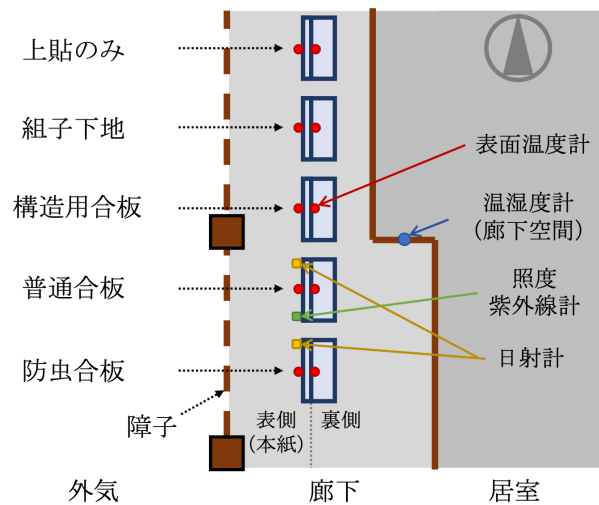


図8 試験体の設置概要

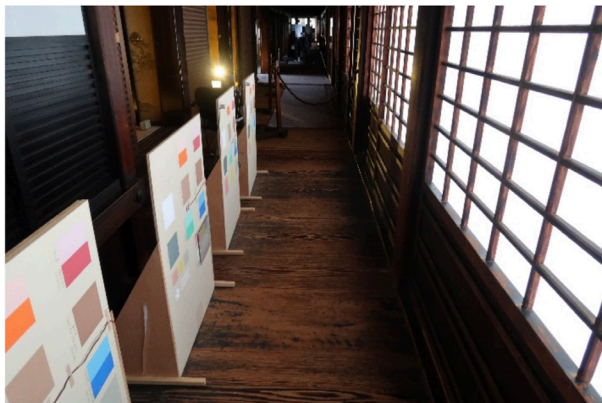


図9 暴露試験の実施状況

4.3 試験体および暴露環境の測定と分析方法

暴露試験では表6の項目について測定を行った。各測定機器の設置位置を図8に示す。試験体に塗布された顔料の色は、暴露試験開始から約1年間は約1か月の周期で、それ以降は3か月から半年ごとの周期で測定された。

表6 測定項目および測定に用いた機器

測定項目	機器名称
L*a*b*値	コニカミノルタ社 土色計 SPAD-503
表面温度	Onset社 UX100 (T型熱電対使用)
空間温湿度	T&D社 TR-74Ui
紫外線量	
日射量	EKO英弘精機 ML-01 小型日射計

測色結果の評価はL*a*b*値に加えてそれらの値から得られるCIE1976による色差 ΔE^*_{ab} 、彩度差 Δ

C^*_{ab} 、明度差 ΔL^* 、色相差 ΔH^*_{ab} により行う。測色では常に同じ位置を測定できるようなガイドを用い、測定の振れ幅は概ね L^* 値、 a^* 値、 b^* 値それぞれ約0.2以下であった。また、測色は複数回を行い最終値を採用した。

4.4 測定結果と考察

顔料の長期的な測色結果について示す。図10に3年間の測色結果のうち、環境温湿度が同程度であった12月頃の測色結果として、2020年12月22日を基準とした色差の分析結果を示す。なお、ここでは代表値として普通合板支持体の結果を示した。鎌倉朱極赤、天然群青10番、天然白群の順に色差の変化が大きくなること、色差は概ね単調に増加することが分かる。

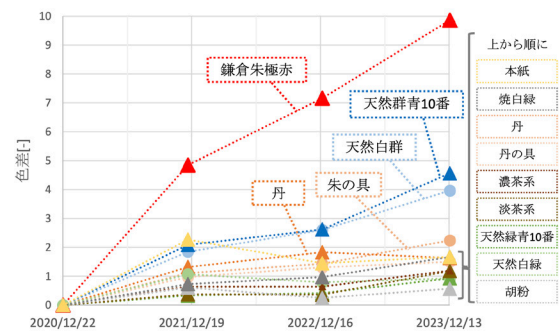


図10 各顔料の色差の長期的な推移

次に、組子下地、普通合板、防虫合板における各顔料および紙の色差の年間の変化速度を図11に示す。なお、グラフは2020年から2023年の12月頃の測色結果のみを用い、色差の変化を直線で近似し切片を0とすることで傾き、すなわち色差の年間における変化速度を求めた。測定結果より、丹および丹の具については有機酸の放散量の最も多い防虫合板にてやや色差の変化速度が大ききようにも見て取れる。ただし、支持体間の年間における色差の変化速度は概ね0.3以下に収まっており、測定の誤差および近似に用いたデータ数の少なさを考慮すると顕著な差とは言い難く、さらなる検討が必要である。なお、白書院廊下空間は換気が十分になされた環境であったためVOCおよび有機酸による影響は過小評価されている可能性については留意したい。

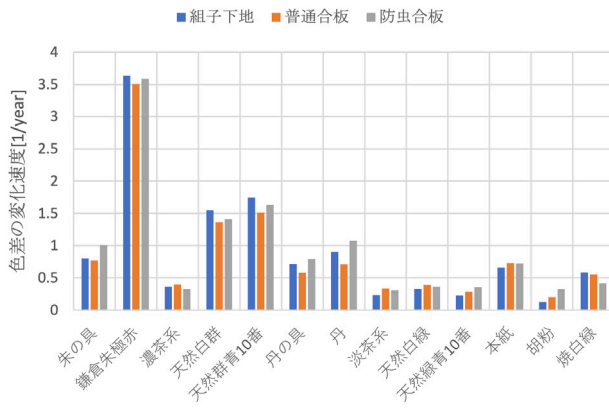


図 11 各顔料の色差の年間の推移

次に、色の変化の季節変動について検討する。図 12 に暴露環境である廊下空間および京都市気象台の環境測定結果を、図 13 に試験体に入射する紫外線量および照度の測定結果を示す。廊下空間は、年間を通じて温度および相対湿度は外気と同様の変動傾向を示した。これは空調などの機械設備が存在せず、外気との換気が十分になされているためと考えられる。また、廊下空間は障子等を介した光の流入があり、図 16 より試験体表面に入射する日平均照度は高い時期で 900 [lx]、日平均紫外線量は 0.01 [mW/cm²] に達した。

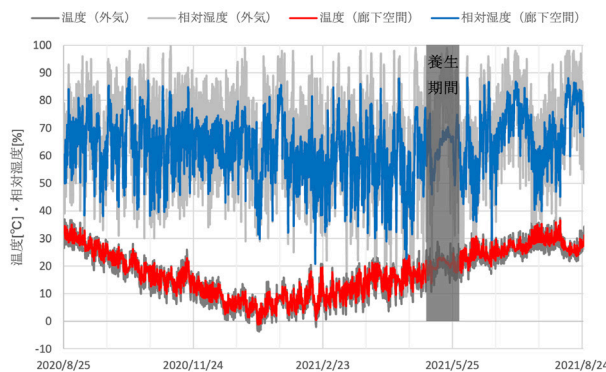


図 12 暴露環境および外気の年間の温度・相対湿度

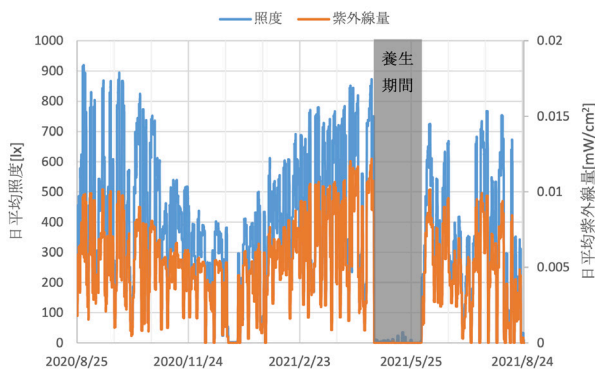


図 13 普通合板支持体に入射する照度・紫外線量

図 14 に、丹・鎌倉朱極赤・天然群青 10 番における試験開始直後から 1 年間の色差の変化を示す。鎌倉朱極赤の色差は時間経過に対し比較的線形的に推移しているのに対し、丹や天然群青 10 番の色差の推移は年間を通じて一定でないことが分かる。特に丹は年周期的な変動をすること、天然群青 10 番は梅雨である 6 月ごろに色差が増加することが分かる。

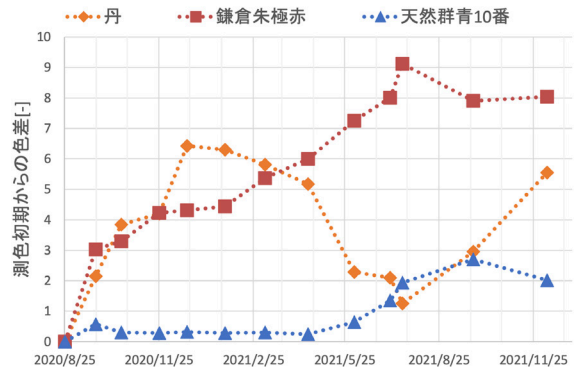


図 14 各顔料の色差の年間の推移（普通合板）

図 15 から 17 に鎌倉朱極赤、丹、天然群青 10 番の a*b* 値の夏季および冬季の測色結果を示す。年周期的な色の変動傾向として、鎌倉朱極赤および丹は夏季と冬季で周期的な色の変動を示すこと、鎌倉朱極赤は冬季に鮮やかに、夏季にくすんだ色になる傾向が見られた。また、丹は冬季にはより黄色く、夏季にはより赤くなる傾向が見られた。長期的な変褪色の傾向としては、鎌倉朱極赤および天然群青 10 番は a* 値と b* 値がともに 0 に近づいており、彩度が低下していることが分かる。なお、L* 値については、鎌倉朱極赤でのみ長期的な低下が見られ、実験開始初期から 2 から 3 程度の低下が見られた。また、年周期的には L* 値の変動も見られ、鎌倉朱極赤、丹ともに冬季に L* 値が高く、夏季に低くなるという傾向が見られた。

次に支持体構造の違いと季節ごとによる色差の変化の比較を行う。なお、上貼りのみについては、測色の結果が支持体背後の影響をやや受けるため、今回の測定結果からは除外した。図 18 に各支持体における鎌倉朱極赤の色差の結果を、図 19 に天然群青 10 番の色差の結果を示す。いずれの支持体でも色差の変化傾向は概ね一致していることが分かる。ただし、鎌倉朱極赤では、支持体ごとに色差に若干差が見られ、組子下地では他の支持体より色差がや

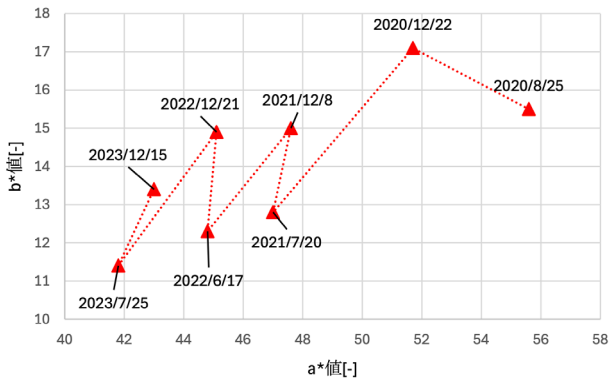


図 15 鎌倉朱極赤の a*b* 値の長期的な推移

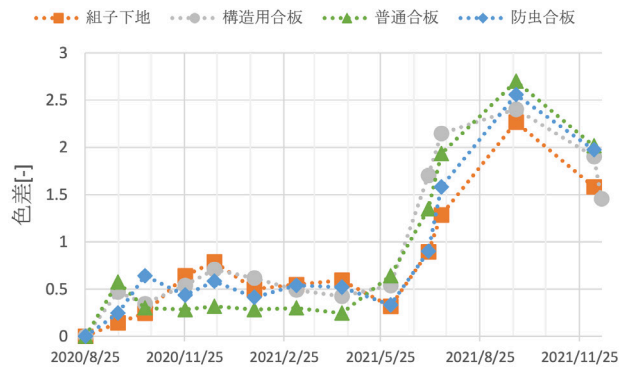


図 19 支持体ごとの天然群青 10 番の色差の推移

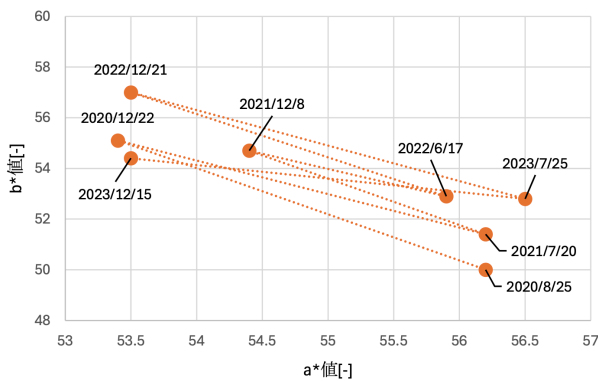


図 16 丹の a*b* 値の長期的な推移

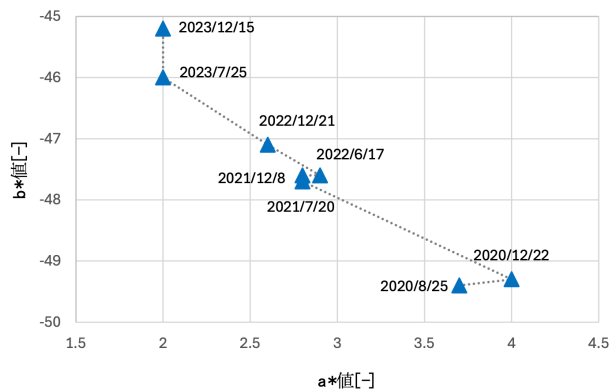


図 17 天然群青 10 番の a*b* 値の長期的な推移

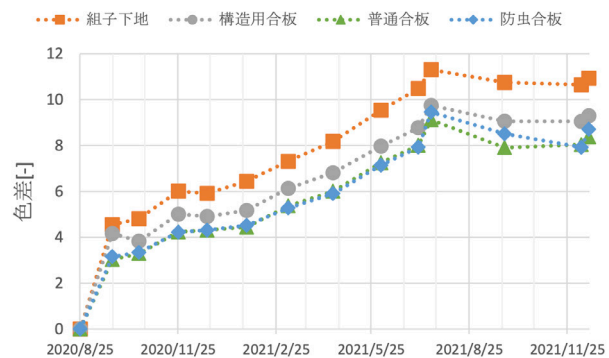


図 18 支持体ごとの鎌倉朱極赤の色差の推移

や大きくなっていることが分かる。一方で、構造用合板、普通合板、防虫合板で色差は概ね一致している。また、天然群青 10 番では組子下地の色の変化が他の支持体よりやや小さいようにも見て取れる。

5 支持体の違いと本紙の熱湿気性状

壁貼り付けの障壁画は、建物の壁に直接貼り付ける様式のため、襖とは異なり壁の構造が画一的とは限らない。一例として床の間の界壁構造を図 20 に示す。絵は床の間の界壁一面に貼られる一方、界壁の構造は長押の上部と下部で異なる。こうした構造の違いは、熱や水分の移動性状の差に繋がる。もし、障壁画の本紙内において顕著な温度や湿度の差が生じる場合、膨張・収縮率の差によって本紙の亀裂が生じやすくなるのが危惧される。そこで、本章では界壁構造の違いによる材料表面の温度・水分状態について数値シミュレーションにより比較を行った。

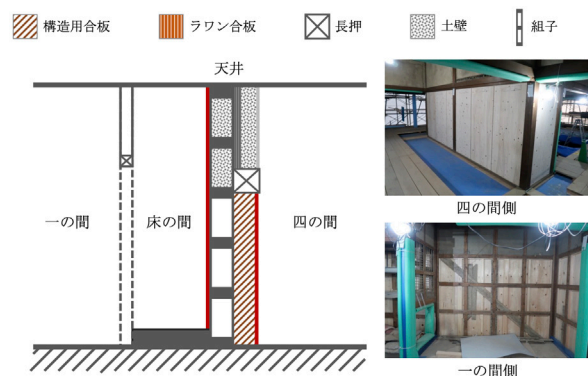


図 20 対象とする界壁の構造

5.1 数値シミュレーション概要

図 21 に数値シミュレーションで対象とする 5 つの壁構造を示す。本章ではまず、支持体の存在が本紙の温度・水分状態に与える影響を検討するため、土壁単体、土壁の下地を合板とした場合、土壁の下地を組子とした場合について検討を行う（Case 1）。次に、支持体の違いによって本紙の温度・水分状態が長押しと長押し下でどの程度異なるのか検討するため、合板および組子を下地とした場合における長押し上下の温度差・相対湿度差について検討を行う（Case 2）。

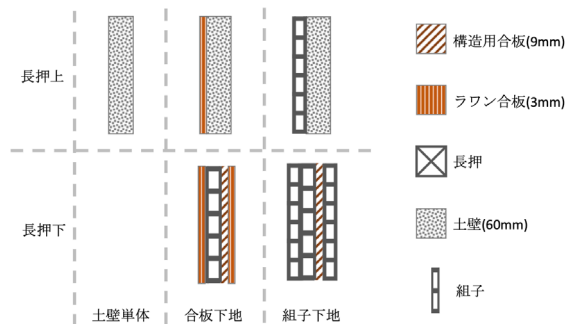


図 21 シミュレーション対象

各壁構造が接する一の間側および四の間側空間の温湿度には 2004 年 8 月 1 日から 2004 年 12 月 31 日までの御常御殿における測定結果を用い、壁表面と空気との間の熱と湿気の伝達を考慮した。なお、日射および本紙の存在は今回の計算では考慮しないものとした。本紙が貼り付けられる組子や土壁が収まっていない格子部分については空気層として取り扱い、熱や湿気の抵抗として考慮した。このとき、組子部分の空気層のみかけの熱コンダクタンスと、土壁が収まっていない格子部分の空気層の熱コンダクタンスをそれぞれ 11.5, 5.0[W/m²K] とし、それぞれの湿気コンダクタンスは Lewis 関係を参考に算出して与えた。

5.2 シミュレーション結果と考察

図 22 に Case 1 における一の間側の壁表面の温度および相対湿度の計算結果を示す。温度の変動は大きい順に室内>組子下地>合板下地≒土壁単体であることが分かる。これは土壁の熱容量が大きいことが原因であり、熱伝導率の高い合板下地の方が土壁の熱を伝えやすく、組子下地よりも日中の温度変化が小さくなる。一方、相対湿度の変動については合

板下地の方が組子下地よりもやや大きいことが分かる。例として 9/24 の 12 時ごろの結果をしてみる。合板下地は温度が最も低くなっている一方、相対湿度が最も高くなることが分かる。紙表面における水分の絶対量（絶対湿度）は支持体に関わらず等しいが（図省略）、温度の低下が相対湿度の向上を招く結果となった。

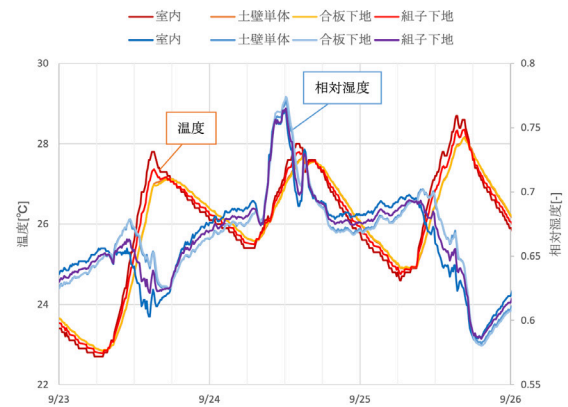


図 22 シミュレーション結果 (Case1)

次に Case 1 における合板を下地とした場合の長押し上部および下部の壁表面温度・相対湿度の計算結果を図 23 に示す。長押し上部は土壁の熱容量の影響により日中の温度上昇が長押し下部より緩やかであることが分かる。結果として、温度変化の大きい日中では長押し上部と下部で温度差に加えて、相対湿度差が生じている。面内における紙の膨張・収縮の程度の不均一、すなわち亀裂の発生要因となりうることから、こうした温度および相対湿度の不均一性は可能な限り抑制できることが望ましいものと考えられる。

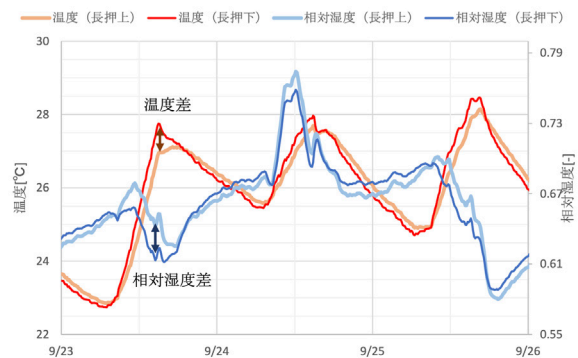


図 23 シミュレーション結果 (Case 2: 合板下地)

そこで、合板下地および組子下地における計算結果のうち、長押上部を基準とした長押下部の相対湿度差を表7に示す。組子下地は合板下地に比べ上部と下部の相対湿度差を抑制できていることが分かる。生じやすいことが分かる。これはCase1で示すように組子下地は合板下地に比べ支持体からの熱の影響を受けにくいいため、長押上部と下部における紙表面の温度差・相対湿度差を抑制できているものと考えられる。

表7 長押上部と下部における相対湿度差

	合板下地	組子下地
最大値 [%]	3.1	1.6
最小値 [%]	-1.7	-1.0
平均値 [%]	-0.02	-0.02

なお、本シミュレーションでは日射を含む熱放射の影響を加味していないが、強い日射が当たる場所の場合、組子下地の方が紙表面の温度が上昇しやすいという点には留意すべきである。

6 結論

本研究では、本研究では、壁貼り付け障壁画における適切な支持体構造について検討するため以下3点について検討を行った。1点目は支持体から放散されるVOC量の測定、2点目は実環境下における顔料の変褪色と支持体構造の関係の解明、3点目は支持体構造の違いに伴う壁貼り付け障壁画の熱湿気挙動の解明である。得られた主な結果を以下に示すとおりである。下地材から放散されるVOCの量は木材の種類ごとに異なり、防虫合板で有機酸の放散量がやや多く、紙貼りにより下地材からの有機酸の放散量を抑えられた。本実験で用いた顔料のうち、3年で色差が3以上変化したものは鎌倉朱極赤、天然群青10番、天然白群の3つであり、鎌倉朱極赤が最も変化した。色の変化は季節に依存し、天然群青10番は梅雨頃に変色が進む傾向にあった。組子下地は内部に存在する空気層が熱抵抗として働くため合板に比べると下地からの伝熱をやや妨げる可能性がある。床の間の界壁のように、障壁画が貼り付けられる壁の構造が面内で不均一な場合、界壁からの熱や湿気の影響をより受けづらい材料を選択することが本紙の亀裂抑制に繋がる可能性がある。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究（B）（課題番号：21H01491、研究代表者：小椋大輔）の助成を受けたものである。

【参考文献】

- [1] 登石健三, 1974, 「特別研究「書院等障壁保存の科学的調査研究」について」, 保存科学, vol. 12, pp. 1-4
- [2] 石川陸郎, 1974, 「書院内の保存環境について」, 保存科学, vol. 12, pp. 5-18
- [3] 植松 みさと, 2015, 「文化財建造物における障壁画の劣化損傷要因の検討」, 日本建築学会計画系論文集, vol. 80, No. 717, pp. 2725-2733
- [4] 中里寿克, 1974 「京都寺院障壁画彩色の現状」, 保存科学, vol. 12, pp. 39-48
- [5] 江本 義理, 1974, 「障壁画彩色層の変質について」, 保存科学, vol. 12, pp. 77-82