

美術館等における展示ケース内の空気質対策技術 「ピクチャープロテクト®」の開発

勘 坂 弘 子 三 谷 一 房 岩 波 洋
(本社建築本部)

東 淳 子 我 妻 信 行
(本社建築本部) (内外テクノス開発部)

Development of “Picture-Protect®”, Air Quality Control Technology for Display Cases in Museum

Hiroko Kanzaka Hitofusa Mitani Hiroshi Iwanami
Junko Azuma Nobuyuki Wagatsuma

Abstract

Air quality control is required in art museums. Three chemical substances: ammonia, acetic acid, and formic acid, have to be maintained in low concentrations. They are emitted from the interior materials of display cases. Because the display cases are typically made airtight for maintaining the internal temperature and humidity condition, it increases the concentration of the internal chemical substances. Therefore, an air quality control technology, “Picture Protect®” is developed as the wall specification in the display case. Further, an adhesive for wallpaper is developed satisfying this wall specification. Laboratory experiments verified that the adhesive did not emit the three substances. Subsequently, the wall specification is applied to the true size of the airtight display case. The measurement indicates that the concentrations of the three substances are low in the display case. The presented wall specification allows for the adsorption or desorption of moisture.

概 要

美術館や博物館では空気中の化学物質、特にアンモニア、酢酸およびギ酸が文化財等の収蔵品の損傷原因となるため、その制御が必要である。これらの化学物質は展示ケースの内装材からも発生し、合板、壁紙用接着剤および壁紙からは酢酸やギ酸などが発生する。近年、温湿度管理の観点から展示ケースは高気密なものが主流である。そのため、密閉時には、展示ケースの内装材からわずかに発生する酢酸などの有害なガスの影響が無視できなくなり、展示物に有害な影響を与える濃度にまで上昇する場合がある。そこで、展示ケース内の空気質対策技術の一つとして、有害ガスを発生しない壁仕様「ピクチャープロテクト®」を開発した。本報では、開発した壁紙用接着剤の実験室での検証結果と、エアタイト仕様の実験用実大展示ケースにピクチャープロテクトを適用して検証した結果を報告する。

1. はじめに

美術館や博物館は1980年代から1990年代前半（いわゆるバブル期）に竣工したものも多く、耐震補強や改修・増築の需要が増加している。改修工事では、工期が短く、施工後、長期間清浄空気にさらず「枯らし」期間が十分に確保できない場合も多い。改修工事の主要な要素の一つが展示ケース改修であるが、展示ケース内は展示物が直にさらされる空間なので、その内部の環境には細心の注意が必要である。壁付展示ケースの断面をFig. 1に示す。内装は、合板にでん粉系壁紙用接着剤を用いて壁紙を接着する仕様が一般的である。

近年、展示ケースは内部の温湿度管理の観点から高気密なエアタイト仕様が主流となっている。展示ケースの気密性は、一日あたりの換気回数である空気交換率で示

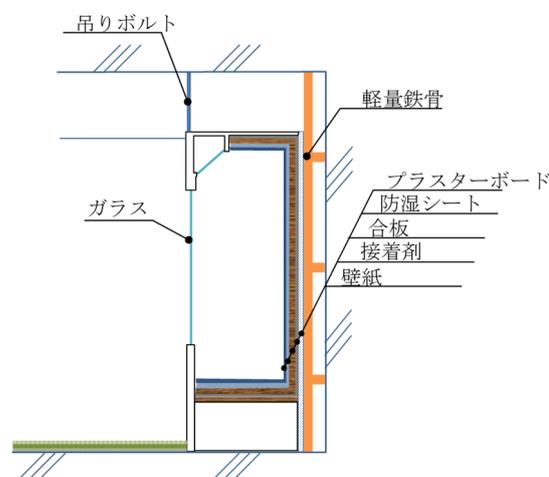


Fig. 1 展示ケースの断面
Cross Section of Display Case

されるが、某博物館では壁付展示ケースについて気密性を確保する目標性能値を「1日あたり0.3回」と設定しており、この値がエアタイト仕様の目安となる。気密性の高い展示ケースにおいて、密閉時には、展示ケースの内装材（合板、壁紙用接着剤及び壁紙など）からわずかに発生する酢酸などの有害なガスの影響が無視できなくなり、展示物に有害な影響を与える濃度にまで上昇する場合がある。対策として、有害ガスを発生しない調湿建材を壁下地に使用する場合もあるが、展示品を固定する鉋を打つことができない等の理由から、合板が壁下地として一般的である。しかし、合板を使用する場合、空気質汚染に対しては、合板の使用前に「枯らし」を行う事や定期的に展示ケースを開放して換気をする事、また吸着シートや空気清浄機を設置するといった限られた対策しかないのが現状である。

そこで、展示ケース内の空気質対策技術の一つとして、鉋を打つことが可能な合板下地で、アンモニア、酢酸およびギ酸の放散の少ない壁仕様ピクチャープロテクトを開発した。本報告では、開発した壁紙用接着剤の実験室での検証結果と、エアタイト仕様の実験用実大展示ケース（以下、展示ケース）にピクチャープロテクトを適用して性能を検証した結果を報告する。

2. 目標値

美術館や博物館では文化財等の収蔵品や展示品の損傷防止のため空気中の化学物質の制御が必要であり、独立行政法人東京文化財研究所（以下、東文研）では、空気環境調査の測定対象物質と上限として目安の濃度（以下、推奨値）を公表している²⁾。その中でもアンモニア、酢酸およびギ酸は、高濃度でない限り人体に影響を与えないため一般環境では注目されない物質であるが、展示物に対しては微量でも変色や腐食を生じるため注意が必要である。コンクリートなどからは主としてアンモニアが発生し、また、展示ケース内に使用されている合板や木材などからは主として酢酸やギ酸が発生する事が知られている³⁾。東文研によるアンモニア、酢酸およびギ酸の推奨値をTable 1に示した。本開発では、この値を目標値とした。

3. ピクチャープロテクトの概要

ピクチャープロテクトの構成と機能をFig. 2に模式図で示した。ピクチャープロテクトは、合板上にガスバリア層とガス吸着シートを設け、その上に開発した壁紙用接着剤で壁紙を張付けた構成である。

下地材として一般的に使用されている合板は、酢酸の発生が多く、対策として使用前に数ヶ月に及ぶ「枯らし」が行われているが、酢酸などの有害ガスの発生が全くない状態にすることはできない。わずかながら長期間にわたって継続して発生するため、展示ケース内の濃度が高く

なり、問題となる。ピクチャープロテクトでは、この点を改善するために、合板の表面にガスバリア層を設けて、ガスの発生を抑制している。

また、最表面の壁紙を施工するための壁紙用接着剤は、一般的にはでん粉系接着剤や酢酸ビニル樹脂を添加した接着剤が使用され、酢酸などが発生するが、ピクチャープロテクトでは、開発したアクリル系壁紙用接着剤を使用し、酢酸などの有害ガスを発生しない。

さらに、表面に使用された壁紙や、運用時に壁に打った鉋穴などから発生する酢酸等の有害ガスは、開発した壁紙用接着剤を通して、その下層に設置したガス吸着シートにより吸着する。

展示ケースでは内部の温湿度管理が重要であるが、ピクチャープロテクトでは、ガス吸着シートに抄き込まれた天然粘土系調湿材料により調湿性能が付与されており、開発した壁紙用接着剤を通して、その下層のガス吸着シートにより吸放湿が行われるしくみである。

Table 1 東京文化財研究所の推奨値
Recommended Value of Tokyo National Research Institute for Cultural Properties

項目	目安の濃度
アンモニア	30 ppb 以下
ギ酸	10 ppb 以下
酢酸	170 ppb 以下

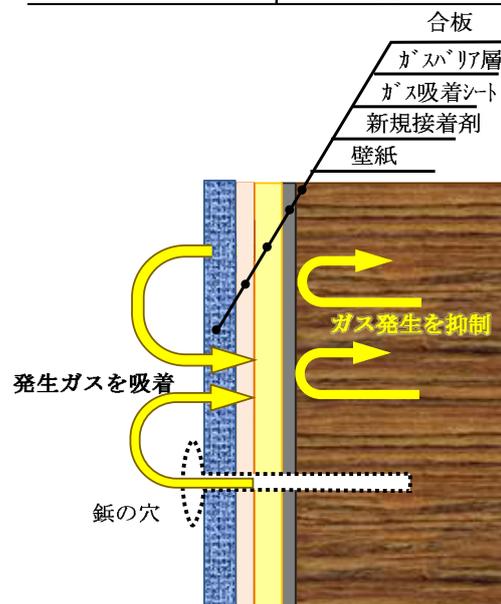


Fig. 2 ピクチャープロテクトの構成と機能
Layer of “Picture-Protect” and the Function

Table 2 供試接着剤一覧
List of Adhesive for Examinations

名称	種類	塗布量 (g/m ²)
従来品	でん粉系	150
開発品	アクリル系	250

4. 開発した壁紙用接着剤の性能評価

4.1 目的

開発した壁紙用接着剤の性能評価として、アンモニア、酢酸およびギ酸を対象とした化学物質放散速度測定と接着強さ試験を行った。

4.2 試験方法

4.2.1 化学物質放散速度 試験に供した壁紙用接着剤の種類をTable 2に示した。測定方法は、JIS A 1901:2015（建築材料の揮発性有機化合物（VOC）、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法—小形チャンバー法）およびJIS A 1902-2:2015（建築材料の揮発性有機化合物（VOC）、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散量測定におけるサンプル採取、試験

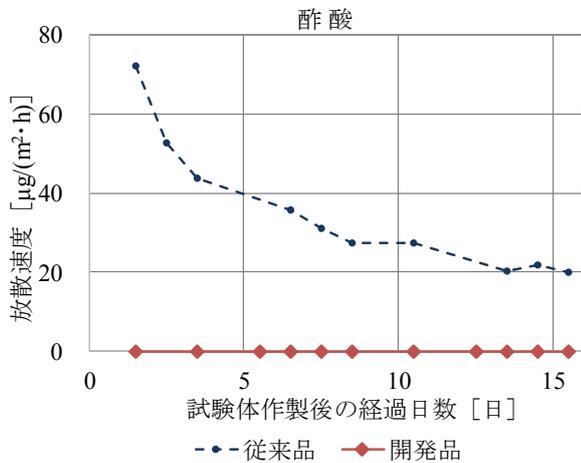


Fig. 3 接着剤からの酢酸放散速度
Emission Rate of Acetic Acid Emitted from Adhesive

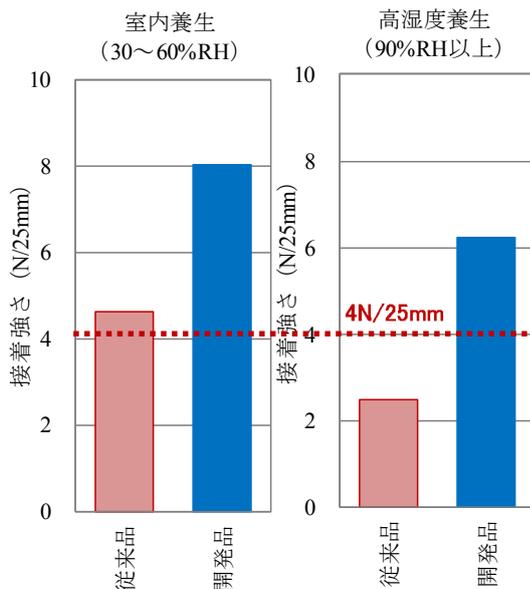


Fig. 4 接着強さ試験結果
Result of Adhesive Strength Test

片作製及び試験条件—第2部：接着剤）に準拠し、発生した酢酸等をインピジンジャー中の純水に捕集し、イオンクロマトグラフにて分析した。

4.2.2 接着強さ試験 Table 2に示した壁紙用接着剤について接着強さ試験を行った。測定方法は、JIS A 6922:2003（壁紙施工用及び建具用でん粉系接着剤 5.2接着強さ試験（180度はく離強さ試験））に準拠した。但し、試験体作製後の養生期間は1週間とし、温度は室温とした。室内養生は空調された室内の湿度環境（30~60%RH）で、高湿度養生は性能確認のために過酷な条件である相対湿度90%RH以上の環境で養生した。なお、養生時の温度は室内養生、高湿度養生ともに24~25°Cの範囲であった。相対湿度は、室内養生では30~60 %RHの範囲にあり、高湿度養生では90~96 %RHの範囲であった。



Photo 1 多目的人工気象再現室
Multipurpose Artificial Meteorological Simulation Chamber



Photo 2 実験用実大展示ケース
Full-scale Display Case for Experiment

Table 3 展示ケースの仕様
Specifications of Display Case

外寸	W2000×D1200×H2500 mm
展示スペース	W1820×D1124×H1800 mm
その他仕様	エアタイト仕様 両側側面開き扉 壁面は t15 の合板仕上げ 調湿ボックス付 仕上げは錆止め塗装のみ キャスター付

4.3 試験結果と考察

4.3.1 化学物質放散速度 壁紙用接着剤からの酢酸の放散速度をFig. 3に示した。従来品では、塗布した翌日の放散速度は72 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であり、日数の経過とともに減少し、減少傾向が緩やかになった15日後の放散速度は20 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であった。一方、開発品では、測定を開始した塗布翌日から定量下限値未満（3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満）であった。

アンモニアおよびギ酸の放散速度は従来品も開発品もいずれも塗布翌日から定量下限値未満（3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満）であった。

4.3.2 接着強さ試験 試験結果をFig. 4に示す。JIS A 6922:2003に記載された品質の基準では、合成樹脂エマルジョンを配合する2種1号および2種2号の接着強さは、4 N/25mm以上（試験片の幅25mmあたりの接着強さ）である（Fig. 4に赤色破線で記載）。従来品では室内養生時は基準を満たすものの高湿度養生では基準を満たすことができなかった。一方、開発品では高湿度養生でもこの基準を満たすことが示された。

5. 展示ケースを用いたピクチャープロテクトの性能評価

5.1 目的

酢酸等の化学物質に対する性能と調湿性能を評価するために、ピクチャープロテクトを展示ケースに取付けて試験を行った。温湿度制御が可能な多目的人工気象再現室(Photo 1)内に展示ケース(Photo 2)を設置し、設置環境の温度条件を制御しながら、展示ケース内の化学物質濃度の経時的变化と、温度変化に伴う相対湿度の変化を測定した。

5.2 展示ケースの概要

検証試験で使用した展示ケースの仕様をTable 3に示す。実際の施工時に使用する展示ケースの壁は、事前に「枯らし」を行った合板であるシーズニングボードを使用することが多い。本試験では、酢酸等の有害ガスの発生量が多いと思われる一般的な合板（厚さ15 mm）を「枯らし」を行わずに使用した。展示ケースの壁面を構成する複数の仕様で作製した試験体（Table 4）を、展示ケースの天井、背面、床面および扉裏2面の計5面に適用した。小口は処理をせずに切放し状態とし、下地からの酢酸などの漏れ出しがある条件を模擬した。

展示ケースのエアタイト性能は空気交換率を測定して確認した。トレーサーガスとして二酸化炭素（CO₂）を用

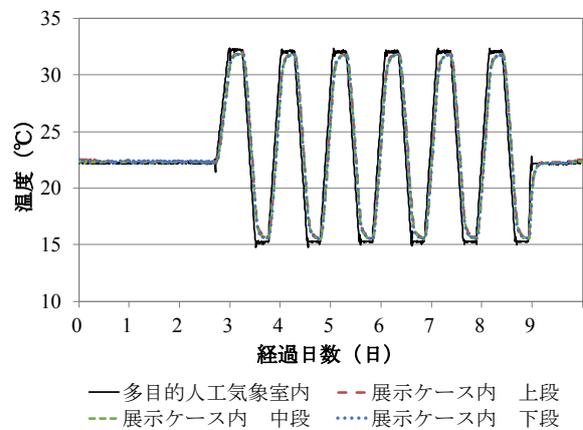


Fig. 5 多目的人工気象再現室内と展示ケース内の温度
Temperature in Multipurpose Artificial Meteorological Simulation Chamber and Display Case

Table 4 試験体の仕様一覧
List of Specimen Specification

既存仕様 「既存」	ピクチャープロテクト仕様 「PP」	ピクチャープロテクト被せ張り仕様 「PP被」	調湿建材仕様 「調湿」
合板 t 12 + 従来接着剤 + 壁紙	合板 t 12 + ガスバリア層 + ガス吸着シート + 新規接着剤 + 壁紙	既存仕様 + 合板 t 5.5 (+ ガスバリア層 + ガス吸着シート) + 新規接着剤 + 壁紙	ガスバリア層 + 調湿建材 + 新規接着剤 + 壁紙

いJIS A 1406:1974 (屋内換気量測定方法 (炭酸ガス法)) に準拠して測定し、一日あたりの換気回数で示した。展示ケース内の二酸化炭素濃度を2500 ppm程度にして扉を閉じ、一定時間間隔で二酸化炭素濃度を測定した。2回繰り返して測定し、平均を求めた。なお、二酸化炭素は比重が重く上部と下部で濃度差ができやすいため、測定中はサーキュレーターでケース内の空気を攪はんした。

測定の結果、空気交換率は、0.063 回/日であり、一般的なエアタイト仕様に相当する事を確認した。

多目的人工気象再現室と展示ケース内の温度を10分ごとに測定した結果をFig. 5に示した。設定温度22 °C一定とした3日間の多目的人工気象再現室の平均温度は22.3 °C、最大22.6°C、最小22.1 °C、標準偏差度0.06であり、展示ケース内は平均22.4 °C、最大22.6 °C、最小22.2 °C、標準偏差0.06であった。また、昇温および降温時には展示ケース内の温度は、多目的人工気象再現室内温度に追従していることが示された。

5.3 試験体の種類

試験体の仕様一覧をTable 4に記載した。既存仕様、ピクチャープロテクト仕様、ピクチャープロテクト被せ張り仕様および調湿建材仕様の計4仕様とした。

壁付展示ケース内の壁から酢酸などのガスが発生して問題となったとき、対策として、原因である下地の合板を取り外す場合には、展示ケース全体の改修工事が必要で大がかりな工事となる。そこで、ピクチャープロテクト被せ張り仕様を、簡易に展示ケース内の空気質を改善する対策として、試験に供した。

調湿建材仕様は、開発した壁紙用接着剤を調湿建材に適用したときの性能の確認と、調湿性能の評価の際の比較用として試験に供した。

また、展示ケース内化学物質濃度測定において、試験体を取り付ける前の展示ケース内の化学物質濃度を測定し、ケース内ブランクとした。

5.4 試験方法

5.4.1 展示ケース内化学物質濃度 測定対象とした化学物質は、アンモニア、酢酸およびギ酸である。Table 4のそれぞれの試験体を施工し、1週間室内で養生したのち、展示ケースに取り付けて密閉し、取り付け2日目、4日目、7日目および10日目の計4回サンプリングを行った。ケース内ブランクは、試験体を取り付ける前の展示ケースを1日密閉した後、サンプリングを行った。サンプリング方法の模式図をFig. 6に示す。純水を入れたインビンジャーを展示ケース外に設置し、ポンプを用いてケース内空気を吸引し、純水中に化学物質をサンプリングした。採取チューブの入口は、展示物の高さを考慮して展示ケースの中央付近、床上30 cmに設置した。また、展示ケース内が減圧になったり、外部の空気が展示ケース内に流入したりしないように、吸引後の空気は展示ケース内に戻した。サンプリングは空気流量1 L/minで3時間行った。

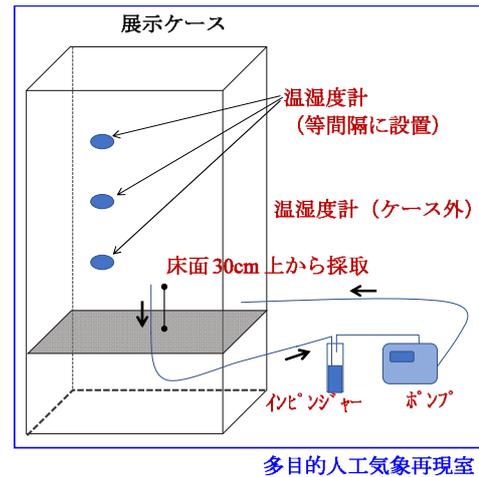


Fig. 6 サンプルング方法の模式図
Outline Diagram of Sampling Method

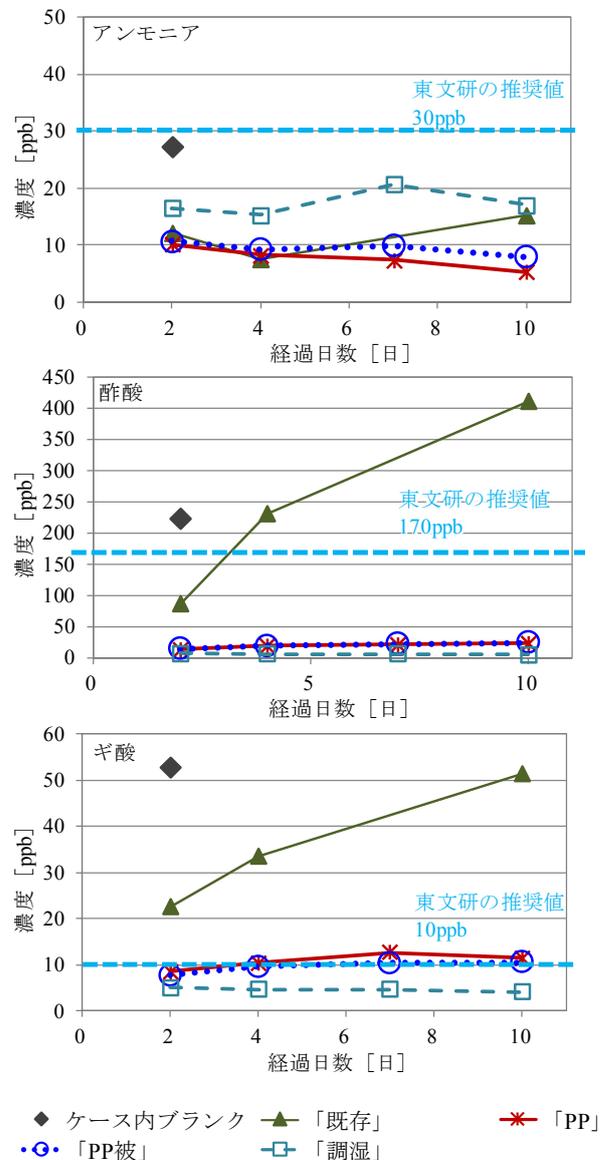


Fig. 7 壁の仕様による展示ケース内の化学物質濃度の違い
Difference of Chemical Substance Concentration in Display Case by Wall Specifications

化学物質は、イオンクロマトグラフにより分析した。また、サンプリング期間を通して展示ケース内の温湿度をモニタリングした。

5.4.2 調湿性能の評価 調湿性能を測定するために、展示ケースを設置している多目的人工気象再現室の温度を上下させて、密閉した展示ケース内の温度を変化させ、そのときの展示ケース内の相対湿度の変化を計測した。温湿度センサーは展示ケース内の高さ方向に、等間隔に床から30 cm, 90 cm, 150 cmの3箇所を設置した。まず、多目的人工気象再現室内の温湿度を、22℃, 50%RHで一定に制御し、その中に扉を開放した展示ケースを1～3日置いて、内部の水分量を一定にしたのち、扉を閉じて密閉した。その後は、32℃まで6時間昇温、32℃で6時間定温、その後、15℃まで6時間降温、15℃で6時間定温を1サイクルとして、これを繰り返し、その間の展示ケース内の温湿度を測定した。

5.5 結果と考察

5.5.1 展示ケース内化学物質濃度 結果をFig. 7に示す。アンモニアは、ケース内ブランク、「既存」、「PP」、「PP被」および「調湿」のいずれもほぼ同程度で東文研の推奨値の30 ppb未満であった。

酢酸およびギ酸の濃度については、ケース内ブランクは推奨値を超過しており、「既存」は時間経過とともにケース内濃度が増加し、酢酸では4日目から、ギ酸では2日目から推奨値を超過した。一方、「PP」、「PP被」および「調湿」ではこれら2物質の濃度を大幅に低減でき、測定期間を通じて酢酸は推奨値の170 ppbを大幅に下回り、ギ酸ではほぼ推奨値の10 ppb程度となった。

「PP」、「PP被」および「調湿」では、アンモニア、酢酸、ギ酸ともに、経時的な濃度の増加がほとんど見られないことが示された。

測定期間中の多目的人工気象再現室および展示ケース内の温度は、いずれも22～22.5℃で、ほぼ一定であった。展示ケース内の相対湿度は、「調湿」は40～44%RH、それ以外は54～60%RHで、ほぼ一定であった。

以上の結果より、ピクチャープロテクト仕様は、合板下地であるにもかかわらず、展示品への影響が懸念されるアンモニア、酢酸およびギ酸のいずれも低濃度であった。さらに、密閉を続けても経時的な増加がほとんどなく、密閉性の高い展示ケース内の空気環境を良好に保つために有効であることが示された。

また、下地に既存仕様を残置したピクチャープロテクト被せ張り仕様では、既存仕様で発生していた酢酸などの有害ガスの濃度を低減し、空気質改善効果があることが示された。

5.5.2 調湿性能の評価 Table. 4に示した試験体、「既存」、「PP」、「PP被」および「調湿」をそれぞれ取り付けた展示ケース内の温湿度測定結果をFig. 8～11に示した。Fig.8より密閉前のケース内湿度は、4仕様ともに47.8～50.9%RHの範囲であったが、密閉後の室内温度

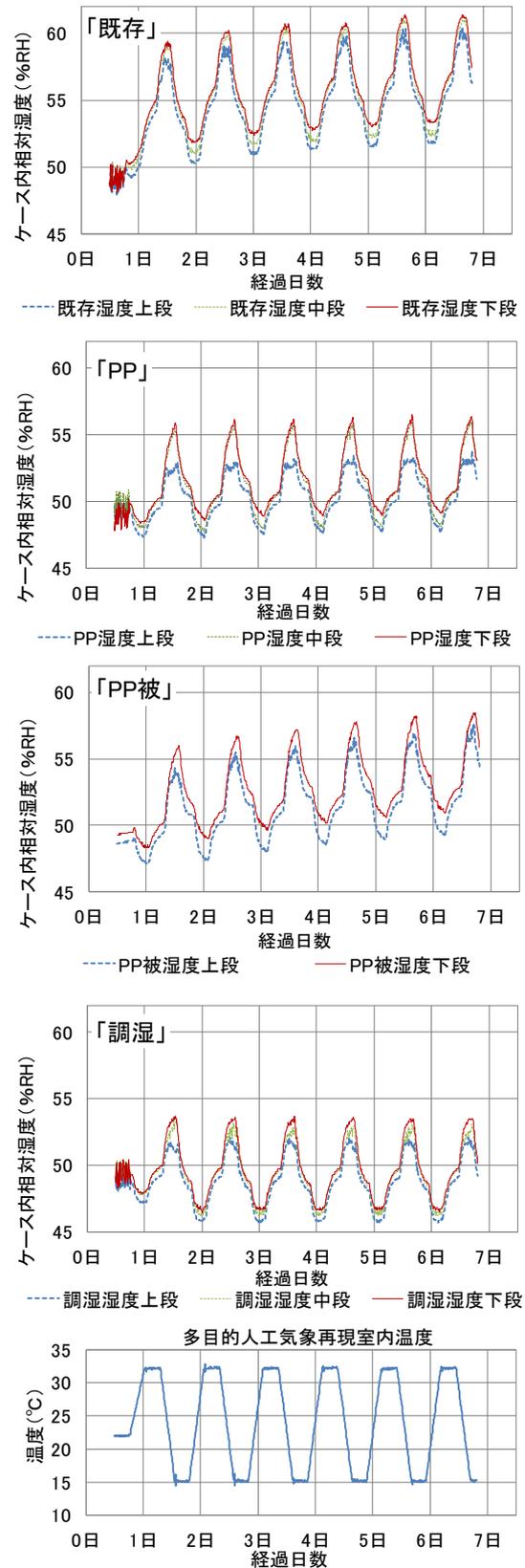


Fig. 8 展示ケース内の湿度と多目的人工気象再現室の温度
Relative Humidity in Display Case and Temperature in Multipurpose Artificial Meteorological Simulation Chamber

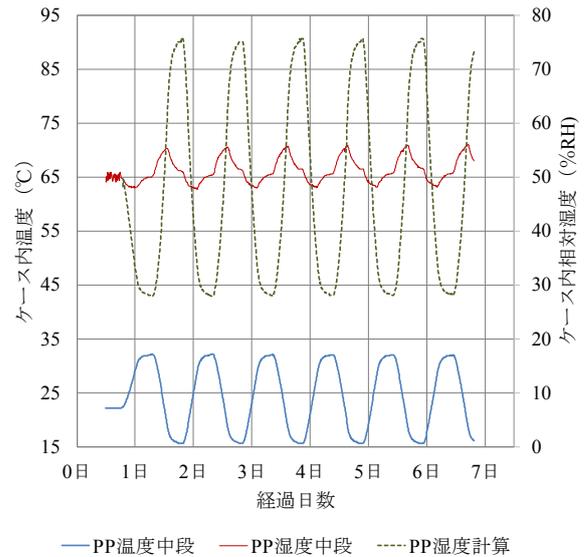
の上下と共に展示ケース内の湿度が変化している。同一仕様では、上段の湿度が低く、下段の湿度が高い。上段と下段の差は最大で、「既存」2.2%RH、「PP」3.6%RH、「PP被」2.7%RH、「調湿」2.7%RHであった。

全く調湿性能がないと仮定した時の温度変化に伴う相対湿度の変化を見るために計算を行った。計算値は、密閉直後の展示ケース内部の絶対湿度が一定と仮定した時のそれぞれの温度における相対湿度である。Fig.9に、一例として「PP」中段で計測した温湿度の実測値と計算値を示した。計算値では、15℃～32℃の温度変化に対する相対湿度の最大と最小の差は47～49 %RHであったが、「PP」中段の実測値では最大と最小の差は5～8 %RHであった。同様に、実測値での最大と最小の差は、「PP被」で7～8 %RH、「調湿」で5～7 %RH、そして「既存」では8～9%RHであった。いずれの試験体も計算値と比較すると最大と最小の差は小さい。

Fig.10に代表例として「PP」中段の温度と湿度の変化を拡大して示した。Fig.9より、調湿作用が全くない計算値では、温度上昇に伴って相対湿度が降下し、高温一定時は相対湿度もほぼ一定であり、温度降下に伴って相対湿度は上昇し、低温一定時にも相対湿度はほぼ一定であった。それに対して、実測値はFig. 10に示した①～④のような挙動を示した。①温度上昇に伴い相対湿度が降下する、②高温で温度が一定の時には相対湿度は上昇しており、建材からの放湿による調湿作用が働いている、③温度降下時には、相対湿度が上昇するが、④低温で温度一定の時には相対湿度は降下し、建材の吸湿による調湿作用が働いていることがわかった。

それぞれの温度サイクルにおける最大値と最小値をFig. 11に示した。「調湿」では、初期値は最大値と最小値の間にあり、繰返しによる値の変化はほとんどなく、吸湿量と放湿量がほぼ同じであることが示された。「既存」では、1サイクル目より最大値も最小値も初期値22℃、50%RHを超えており、繰返す毎に最大値、最小値共に増加しており、放湿量が多く吸湿量が少ない事がわかった。「既存」は調湿性能を持つものの、それだけでは展示ケース内の湿度環境を良好に保つ事は難しいと考えられる。一方、「PP」は「調湿」に比較すると若干値が高いものの初期値を挟んで最大値と最小値があり、繰返しによる相対湿度の増加は若干あるものの試験での繰返しでは最小値が初期値を超えることはなかった。「PP被」は「既存」と「PP」の間の性能であった。隙間や小口より、残置した既存仕様の影響を受けているものと推測される。

以上の結果より、ピクチャープロテクト仕様は、合板下地ではあるが、既存仕様と比較すると、より調湿建材に近い調湿性能を有し、温湿度環境を保つためにより有効であることがわかった。



— PP温度中段 — PP湿度中段 — — — PP湿度計算
Fig. 9 展示ケース内の温度および相対湿度の計算値と実測値の例
Example of Calculated and Actual Value of Temperature and Relative Humidity in Display Case

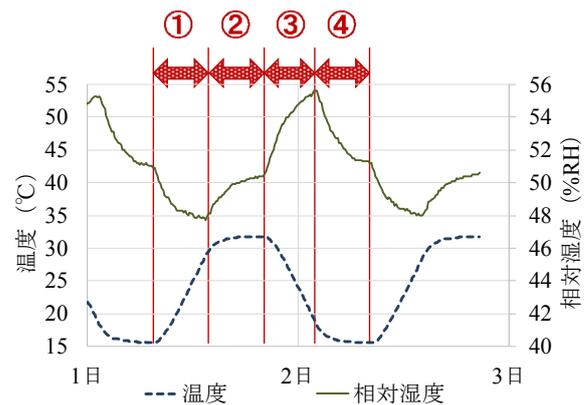


Fig. 10 「pp」中段の温度と相対湿度の変化
Outline diagram of Sampling Method of “PP” Middle Level

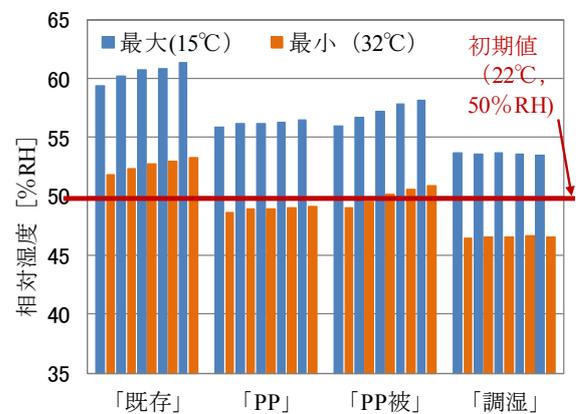


Fig. 11 各温度サイクルにおける相対湿度の最大値と最小値
The maximum and the minimum of the relative humidity of each temperature cycle

6. まとめ

美術館や博物館の展示ケース内の空気質対策技術の一つとして、合板下地の壁仕様ピクチャープロテクトを開発した。開発した壁紙用接着剤の性能およびエアタイト仕様の展示ケースに適用したときの性能を評価した。主な結果を以下に示す。

- 1) 開発した壁紙用接着剤からはアンモニア、酢酸およびギ酸の放散はいずれも定量下限値未満（ $3 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 未満）であり、また、接着強さは湿度環境にかかわらず4 N/25mm以上である事が示された。
- 2) ピクチャープロテクトを適用した展示ケースでは、ケース内のアンモニア、酢酸およびギ酸の濃度は東文研の推奨値程度かそれより低く、経時的な増加傾向がない事がわかった。
- 3) ピクチャープロテクトを適用した展示ケースでは、密閉状態で温度変化をさせたとき、設定した相対湿度の値を挟んで相対湿度が変化し、既存仕様に比較すると、より調湿建材に近い調湿性能を持つことがわかった。

謝辞

「ピクチャープロテクト®」は、株式会社大林組、株式会社内外テクノス、大谷塗料株式会社による共同開発の成果であり、開発に際しては、多大なるご協力を頂きました。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 犬塚将英, 他:九州国立博物館の壁付展示ケースにおける換気回数, 温度, 相対湿度の測定. 保存科学, №. 44, pp. 83-96, 2005
- 2) 独立行政法人東京文化財研究所:“文化財公開施設の室内汚染物質測定に関するお問い合わせについて” <http://www.tobunken.go.jp/~hozon/announcement/ann3.html>, 2018.5.18閲覧
- 3) 呂俊民, 他:美術館・博物館環境の最適化に関する研究その5 展示室で用いられる壁材からの放散ガス測定. 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 865-866, 2012.9