

## 〔報告〕 展示空間に用いるクロス材の放散ガスの測定と評価

呂 俊民・古田嶋 智子・林 良典\*・佐野 千絵

### 1. はじめに

文化財を長期間保管する展示ケースは保存上もっとも重要な空間であり、最適な環境を維持するために温湿度や空気質の評価が行われている。密閉性の高いエアタイトケースは安定した温湿度環境と展示室からの汚染の侵入防止からの効果が示されている<sup>1)2)</sup>。しかしながら、密閉性が高いため展示ケース内部に汚染源があれば、エアタイトケースは高濃度に汚染される。汚染源の多くは展示ケースの内装材からの放散ガスであり<sup>3)</sup>、展示が始まってから空気汚染が確認された場合、換気や遮蔽、吸着剤による除去などの低減対策をとるが十分に効果を発揮できない<sup>4)</sup>。そこで、展示ケースが製作される前から、文化財に影響のない汚染レベルとするために、早い段階から清浄な空気環境が確保されるように、放散ガスの影響が少ない内装材を選定する必要がある。

内装材の選定に当たっては、建築基準法で定められたF☆☆☆☆等級（ホルムアルデヒド放散速度  $5 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  以下）の材料や、斯界の自主規準を拠り所としているのが現状である。室内の壁材として使用するクロス材については、(社)日本壁装協会において、安全な室内環境を目的として化学物質の発散を最小限に抑えた壁紙のラベルリングとしてISM (Interior Safety Material)規格を設けている。平成17年に壁紙の環境技術基準を、平成19年にISM 推奨壁紙施工用施工資材の品質基準を設け、人への健康から厚生労働省の室内空気汚染のガイドラインより、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンなどの物質とTVOC についての放散速度の基準値を定めている<sup>5)</sup>。

博物館・美術館の空気環境で内装材が起因して問題となる物質はアルデヒド（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）、有機酸（酢酸、ギ酸）、とアンモニアであり、東京文化財研究所では、上限として目安の濃度<sup>6)</sup>（酢酸170ppb ( $430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) アンモニア30ppb ( $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 望ましい基準値とよぶ)を示しているが、これらの物質の内装材からの放散速度のデータが十分とはいえない。本研究では、博物館・美術館の内装材に使用できる材料の範囲を定め、製法についても一定の技術基準を示すために放散ガスデータベースの構築を目指している。本報では先ず展示ケース内装材と展示室の壁材に用いられるクロス材について、通常の製作で用いられる方法で、製造時期がはっきりしている下地材にクロスを貼った複合材を組み合わせたモックアップ試験体を作り、放散試験を行った。さらに、通風乾燥「枯らし」によってどの程度の期間で放散速度が低減していくか検討し、その結果を用いて材料選択の方法について示した。

### 2. 展示ケース・展示室で用いるクロス材と試験体

博物館・美術館の展示室の壁材や展示ケースの内装材には、下地材の上にクロス材を貼ったものが多く、クロス材としては、紙壁紙、ビニル壁紙、織物壁紙などがある。展示ケースでは、

\*株式会社岡村製作所

意匠性から織物壁紙が多く使われ、展示室の壁材は、耐久性・メンテナンス性を維持するために、クロス貼りの上にさらに塗装を施す。

今回試験体として選んだクロス材を表1に示す。クロスA, B, Cは展示ケースに用いられるものであり、汚損した場合などの改修時には新たに塗装を施す場合がある。織物部分には表1に示す材料を基材とし、表面化粧層は酢酸ビニル系樹脂を採用している。基材自体に難燃性がないので、Aは有機リン系、B, Cはリン窒素化合物難燃剤を添加している。クロスDは汚れ防止壁紙として住環境で用いられるもので、クロスA, B, Cと比較するために試験体として選んだ。これは、塩化ビニルを基材とし、化粧層は気体遮断性の高い機能性樹脂であるEVOH(エチレン-ビニルアルコール共重合体)樹脂フィルムを用いている。クロスEは基材がガラス繊維で、新築の展示室の壁に塗装を施す材料として選んだ。

表1に示した単体のクロス材を用いて、表2, 図1に示す3種類のモックアップ試験体を製作した。モックアップ試験体の下地材は、いずれも、F☆☆☆☆等級の特類の合板で、文化財施設向けの防虫合板を、クロス貼りの接着材は、VOCガス放散の少ないクロス貼り用でん粉糊接着剤を採用した。試験体1は12mm厚の下地材に接着剤を塗布してクロス貼りをしたもので、試験体2は下地を平滑化するためにパテ処理したもので、パテ材は石膏を主成分としたも

表1 クロス材試験体

試験体名称	基材	難燃剤	化粧層	裏打ち紙	裏打ち接着材
クロスA	セルロース繊維	有機リン系	酢酸ビニル系樹脂	木材パルプ	酢酸ビニル系樹脂
クロスB	再生セルロース繊維, 綿繊維, アクリル繊維	リン窒素化合物	酢酸ビニル系樹脂	木材パルプ(難燃紙)	酢酸ビニル系樹脂
クロスC	再生セルロース繊維, 綿繊維	リン窒素化合物	酢酸ビニル系樹脂	木材パルプ(難燃紙)	酢酸ビニル系樹脂
クロスD	ポリ塩化ビニル	なし	EVOH樹脂フィルム	木材パルプ(普通紙)	記載なし
クロスE	ガラス繊維	なし	なし	水酸化アルミ紙	酢酸ビニル系樹脂

(各材料のMSDSを基に作成)

表2 モックアップ試験体

試験体	下地材						クロス接着剤	クロス(詳細は表1)	塗装
	厚さ	等級	合板接着剤	産地	防虫処理	表面処理			
1	12mm	F☆☆☆☆	特類フェノール樹脂	国産	防虫剤シフェノトリン	なし	でん粉糊	A,B,C,D	なし
2	24mm(12mm+12mm)	F☆☆☆☆	特類フェノール樹脂	国産	防虫剤シフェノトリン	パテ処理	でん粉糊	A,B,C,D	なし
3	24mm(12mm+12mm)	F☆☆☆☆	特類フェノール樹脂	国産	防虫剤シフェノトリン	パテ処理	でん粉糊	A,B,C,D,E	アクリル樹脂系エマルジョン塗装

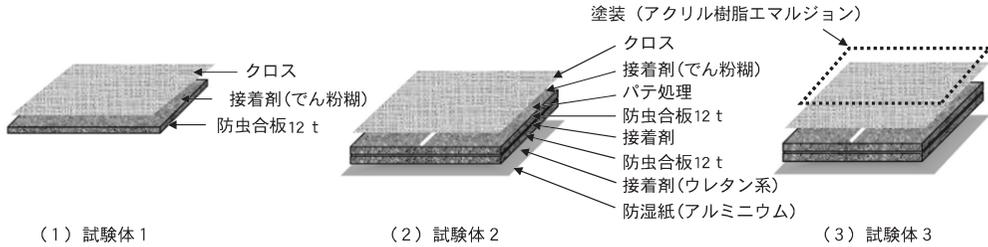


図1 モックアップ試験体

のである。24mm厚の下地材に、下塗りと上塗りに二回に分けパテ処理を施し、試験体1と同様の接着剤でクロス貼りした。試験体3は、試験体2に水性アクリル樹脂系合成樹脂エマルジョンペイントで塗装したものである。

本試験で用いた試験体の、試験開始までの材料の履歴を以下に示す。

クロス単体の試験体は、メーカーから防水紙で梱包したロール状のロットを入手し、開封して切断し試験を開始した。モックアップ試験体1から3の下地材に用いた合板は、2011年6月14日に製作され、換気設備のある倉庫で保管されているものを使用した。試験開始日は各試験体によって異なるが、いずれも下地材製作後4ヶ月以上経過している。試験体1は、試験開始の約1ヶ月前にクロス貼りを行い、試験まで室内で発泡ポリエチレンシートに包み保管した。試験体2は、試験開始の約1ヶ月前に、パテ処理し乾燥後、翌日クロス貼りをし、試験まで室内で発泡ポリエチレンシートに包み保管した。試験体3のクロスA、B、C、Dは改修の塗装直後の影響を想定し、試験体2の試験終了後約1ヶ月室内で枯らしした後に塗装し、2日後から試験を開始した。クロスDについては、新築時のクロス貼り後の塗装を想定し、塗装し14時間乾燥後室内で発泡ポリエチレンシートに包み10日間保管後に試験を開始した。

### 3. 試験方法

試験は図2に示すSUSチャンバー(350mm×350mm×300mm容積36.75L)を用い、410mm×410mmの大きさの試験体の表面にチャンバーを被せた。チャンバーには、空調された室内空気をアンモニア、有機酸を除去する吸着剤で処理した清浄空気を供給し、予めチャンバー内の空気を清浄空気で置換する。その後、清浄空気を1L/分の流量で流しながら下流側で超純水を吸収液としたインピンジャーで吸引流量0.8L/分で捕集し、酢酸イオン(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)をイオンクロマトグラフ分析法(ダイオネクスICS-5000)で分析した。結果は、チャンバー内各イオン濃度と供給清浄空気の流量から材料の面積・時間当たりの放散速度に換算した<sup>5)</sup>。以後、各イオン濃度から算出した放散速度の結果は酢酸放散速度、アンモニア放散速度として表す。枯らしについては、試験を開始した日を0日とし、室温で放置し、

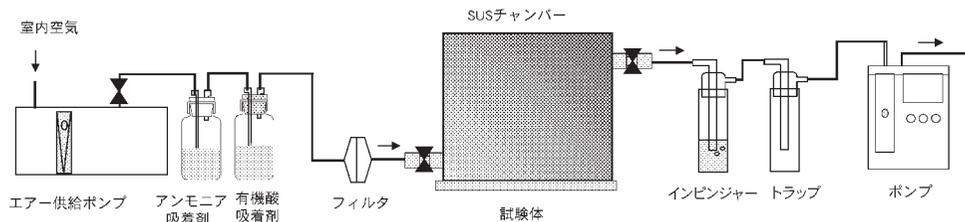


図2 放散ガス試験装置

枯らし7日後と21日後に試験した。

## 4. 結果及び評価

### 4-1. クロス単体からの放散速度

クロス単体からの酢酸放散速度を図3に、アンモニア放散速度を図4に示す。図中には放散速度の値を示してある。酢酸放散速度は、クロスA, B, Cは枯らし0日で100~200 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ の放散が確認された。クロス単体からの酢酸の放散に与える成分としては、表1に示した組成にある通り裏打接着剤にクロスA~Cでは共通して酢酸ビニル樹脂を用いておりそこからの放散が考えられる。クロスDでは枯らし0日から非検出であり、クロスDは表面にガス遮蔽性の高いEVOH樹脂フィルムを用いているため、下層からのガスが遮蔽されたものと考えられる。

クロス単体からのアンモニアの放散速度は、クロスBが65 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、クロスCが135 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ と高い。これらのクロスは難燃剤としてリン窒素系化合物を採用しており、そこからの放散影響が考えられる。クロスAでは3 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ と低く、難燃剤に有機リン系のものを採用していることからアンモニア発生が少ないと考えられる。クロスDは非検出でありEVOH樹脂フィルムにより下層からガスが遮蔽されているものと考えられる。

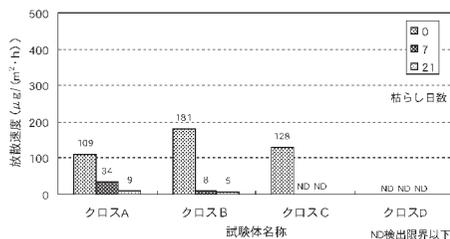


図3 クロス単体の酢酸放散速度

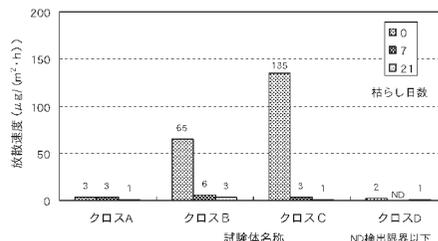


図4 クロス単体のアンモニア放散速度

### 4-2. 複合材からの放散速度

クロス貼りした試験体1からの酢酸放散速度を図5に、アンモニア放散速度を図6に示す。酢酸放散速度はクロスA, B, Cは300~500 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ の放散があり、クロス単体と比べて約3倍高い濃度となり、クロス単体の他に、下地材と接着剤の放散の影響を受けていることがわかる。これらは枯らし期間を設けることで減少している。クロスDはEVOH樹脂フィルムのガス遮蔽効果により下地材と接着剤の放散が遮蔽され非検出に近い。

アンモニアの放散速度は、クロスB, Cで140 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 程度であり、単体と同じ傾向であることから表層のクロス材が放散に寄与していると考えられる。クロスA, Dはクロス単体と同様に初期から放散が少ない。

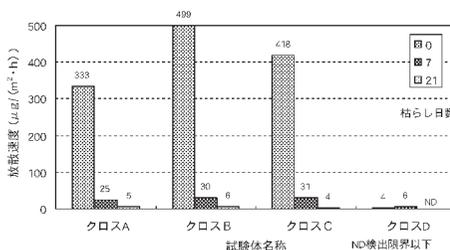


図5 複合材試験体1の酢酸放散速度

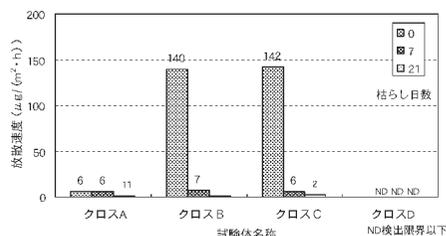


図6 複合材試験体1のアンモニア放散速度

クロス貼りした試験体2からの酢酸放散速度を図7に、アンモニア放散速度を図8に示す。酢酸放散速度は試験体1と比較してクロスA, Dは同程度であり、クロスB, Cで試験体2の方が高い。枯らし期間による減衰は試験体1と2は同様の傾向である。アンモニアに放散速度は、試験体1と同様の値で、枯らし期間による減衰も同様の傾向であった。これよりパテ処理による下地材からの放散影響はないと考えられる。

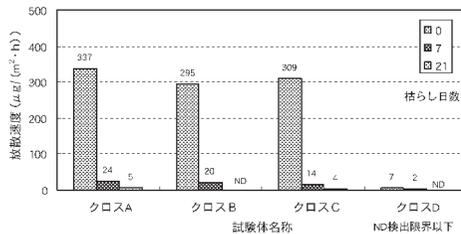


図7 複合材試験体2の酢酸放散速度

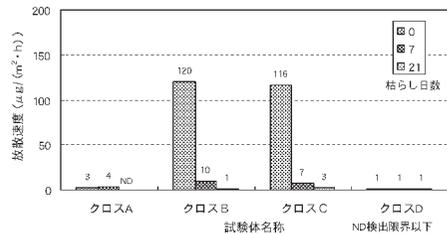


図8 複合材試験体2のアンモニア放散速度

クロス貼りした試験体に塗装した試験体3の酢酸放散速度を図9に、アンモニア放散速度を図10に示す。試験体の履歴で示したように、クロスA, B, C, Dは塗装後2日後からの試験である。酢酸の放散については塗料の揮発により初期の濃度が高く、塗装しない試験体1, 2と比較してクロスA, B, Cは酢酸が2から3倍高く、7日の枯らしで約1/10に低下するが、枯らし21日でも急激な減少はみられない。

アンモニアの放散についてはクロスAは試験体1, 2で放散がなかったものが初期に $182\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ の発生があるが、枯らし期間を設けることで検出限界以下になっている。クロスB, Cは枯らし0日では試験体1, 2と比べて高い放散があり、枯らし7日で急激に低下するが、枯らし21日でも継続した放散がある。クロスDは酢酸、アンモニアとも他のクロスより高く、試験体1, 2で見られなかった放散がある。基材がポリ塩化ビニルであることと、化粧層がEVOH樹脂フィルムにより、塗装成分が下地に浸透せず多くの量が放散したものと考えられる。クロスEは試験開始が塗装10日後であり、他のクロスの枯らし7日に相当する。酢酸は、クロスB, Cの枯らし7日の2倍程度高い。枯らし7日, 21日で初期より約1/10に低下するが、21日間の枯らしで $21\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ であり、塗装からの放散影響が継続しているものと考えられる。アンモニアは初期 $31\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ の放散があるが、枯らし期間を設けることで検出限界以下に減衰している。

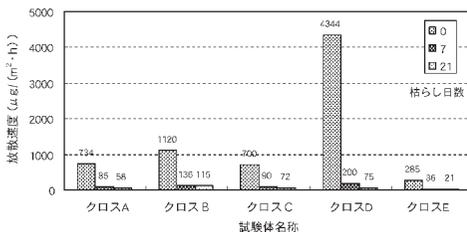


図9 複合材試験体3の酢酸放散速度

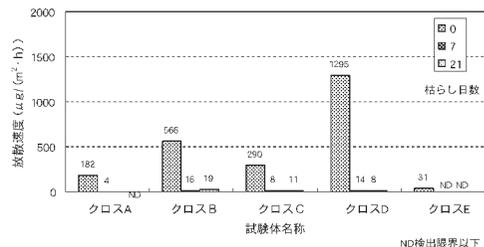


図10 複合材試験体3のアンモニア放散速度

## 5. 材料選定の方法

### 5-1. 選定のフロー

クロス貼り内装材の放散速度から、展示ケース、展示室の空気濃度を試算し、採用の適否を判断する。展示ケースの場合の材料選定のフローを図11に示す。意匠や展示などの面から選定されたクロス材について、MSDS(化学物質安全性データシート Material Safety Data Sheet)を取り寄せ、有害な化学成分が用いられていないこと確認した後、放散速度を本試験法に準拠した方法で実施する。試験体の形状は試験装置から決め、履歴の明らかなモックアップ試験体を製作する。対象となる展示ケースの空気交換率と内装クロス材面積を設計仕様から読み取り、枯らし日数の放散速度から展示ケース内濃度を試算する。採用する枯らし期間については、以下を目安とする。

枯らし 0日：クロス貼りしてすぐの展示を行う場合

枯らし 7日：展示工事後の展示までの期間が1週間程度の場合

枯らし 21日：展示工事後の展示まで十分枯らし期間が取れる場合

展示ケース、展示室の濃度試算については、上昇する室内濃度を式(1)を用いて試算する。

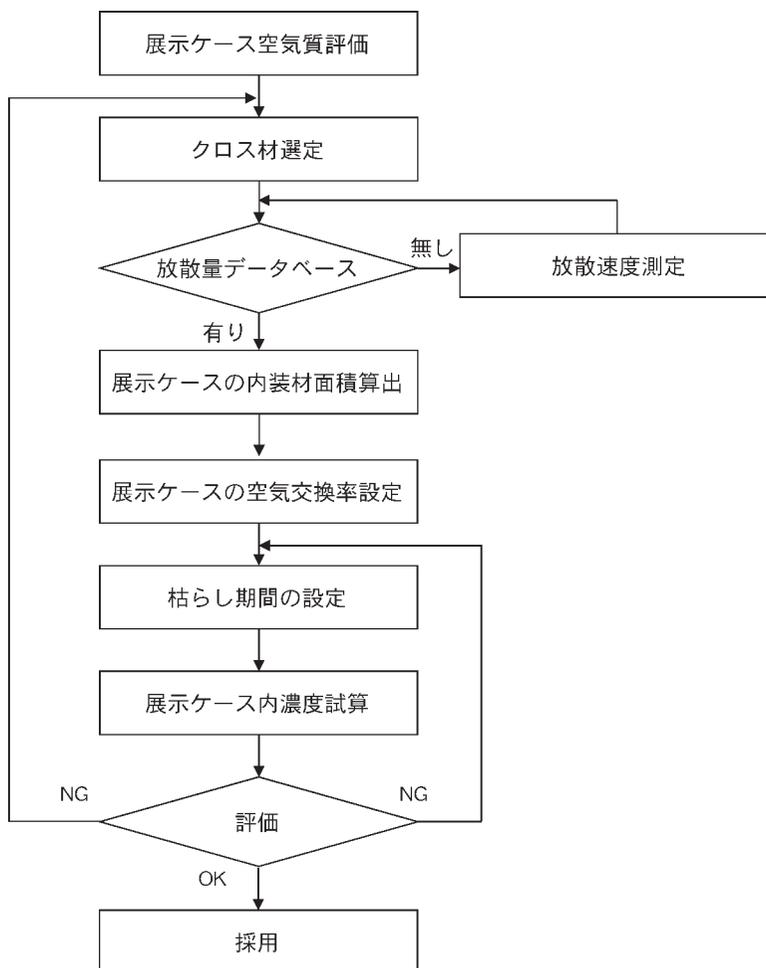


図11 材料選定のフロー

$$C = \frac{\sum EF \times S}{n \times V} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここで、

$C$  : 展示ケース内または展示室上昇濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$EF$  : 内装材放散速度 ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )

$S$  : 展示ケース内装材または展示室壁面積 ( $\text{m}^2$ )

$n$  : 展示ケースの空気交換率または展示室の換気回数 (回/h)

展示ケースの空気交換率 (回/日) は時間あたりに換算する

$V$  : 展示ケース容積または展示室容積 ( $\text{m}^3$ )

次に、この濃度上昇分を望ましい基準値と比較し、材料の枯らし期間の必要性和材料の適否を判断する。今回は展示ケースの内装材と展示室の壁材に限定した材料評価フローであり、特に、展示室では、壁材以外に床材や天井材などにも発生源があるため、望ましい基準値の1/10の濃度と比較することで評価する。

### 5-2. 展示ケースの評価例

図11のフローにおいて展示ケースの空気交換率とクロス貼り内装材面積は、個々の展示ケース毎の仕様から設定し、展示ケース内濃度を試算する。ここでは、今回の試験で用いたクロスB (試験体1) を対象として、展示ケースの空気交換率については、エアタイトケースの実測<sup>9)</sup>を参考として、表3に示す空気交換率0.3回/日と0.8回/日の独立展示ケースモデルを設定した。クロス材は底面の部分で $0.77\text{m}^2$ となり、7日後と21日後の枯らしの放散速度を用いて酢酸とアンモニアの濃度上昇分を試算した。空気交換率0.3回/日の場合、枯らし7日では、酢酸、アンモニアいずれも望ましい基準値を上回り、枯らし21日では酢酸は望ましい基準値の50%程度となったが、アンモニアが望ましい基準値を上回った。空気交換率0.8回/日のケースでは枯らし7日では、酢酸、アンモニアいずれも望ましい基準値を上回り、21日の枯らしで基準値以下となるのがわかる。空気交換率の小さいエアタイトケースでは、特に、アンモニアについては21日以上枯らし期間が必要といえる。

### 5-3. 展示室の評価例

展示室の壁については、下地材施工、下地材表面処理、クロス貼り、塗装を施した場合の濃度上昇分を試算した。用いたデータベースはクロスE (試験体3) で、枯らし0日、枯らし7日、枯らし21日における展示室の上昇濃度を(式)1より試算した。式からわかるように放散速度の他に、内装材の面積と空間容積の比( $S/V$ )が小さいほど影響が少なく、比が大きいほど

表3 展示ケースの濃度試算例

(単位  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

展示ケース 空気交換率	枯らし日数7日		枯らし日数21日	
	酢酸	アンモニア	酢酸	アンモニア
0.3回/日	1288	256	256	43
0.8回/日	479	96	96	16

空間容積： $1.45\text{m}^3$  W880mm×D880mm×H1878.5mm

内装材クロス貼り面積： $0.77\text{m}^2$

表4 展示室の濃度試算例

(単位  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

床面積 (壁面積)	枯らし0日		枯らし7日		枯らし21日	
	酢酸	アンモニア	酢酸	アンモニア	酢酸	アンモニア
100m <sup>2</sup> (250m <sup>2</sup> )	237	26	30	0	17	0
200m <sup>2</sup> (350m <sup>2</sup> )	171	19	22	0	13	0
400m <sup>2</sup> (500m <sup>2</sup> )	119	13	15	0	9	0
1500m <sup>2</sup> (960m <sup>2</sup> )	61	7	8	0	5	0

天井高さ：6 m

床縦横比：1.75相当

影響が大きい。また、換気回数が多いほど汚染は緩和される。そこで、計算例としての展示室モデルを、設計例<sup>8)</sup>を参考に、床の縦横比を1.75相当、天井高さ6 mに設定し、展示室の床面積を小部屋から大部屋の100 m<sup>2</sup>、200m<sup>2</sup>、400 m<sup>2</sup>、1500m<sup>2</sup>の4パターンについて、換気回数は建築基準法に基づくシックハウス対策の必要換気量から0.5回/hを設定した。各放散速度による上昇濃度を試算した結果を表4に示す。展示室の上昇濃度は、小部屋の床面積100m<sup>2</sup>展示室で枯らし0日では酢酸濃度は237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アンモニア26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、枯らし21日では酢酸が17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、アンモニアについては非検出となる。展示保存環境の望ましい基準値と比較すると、枯らし期間を設けることで、望ましい基準値の1/10以下で壁材からの放散ガスによる影響は軽微となり、さらに大部屋になると影響は緩和される。

## 6. まとめ

博物館・美術館における空気環境への内装材からの放散ガスの影響を、枯らし期間による放散速度を用いて、各空間の換気量や使用面積から試算できる濃度上昇を指標に評価した。今回は、展示ケースの内装材と展示室の壁材を例に材料の適否の判断ができる放散速度のデータベースを示した。この評価により、展示ケースを製作する場合、各部材の製作に使用できる材料と製法ならびに製作後の清浄化に要する期間について予測ができる。さらに、一定の基準を示すことで、設計仕様に反映でき、早い段階から清浄な空気環境が確保できる。今後は、展示ケースの展示台、展示室の床材、天井材など他の内装材についてのデータを蓄積し、これらの発生源も考慮した空間の総合的な評価が可能となるデータベース整備をはかっていく。

### 参考文献

- 1) 犬塚将英, 鳥越俊行, 石崎武志, 本田光子: 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 83-95 (2005)
- 2) 中村力也, 内藤 栄, 谷口耕生, 成瀬正和: 電子顕微鏡観察による展示ケースの密閉度の評価, 文化財保存修復学会第33回大会, pp.32-33 (2011)
- 3) 呂 俊民, 瀬古繁喜, 石黒 武, 佐野千絵: 展示・保存環境の酸性雰囲気改善のための研究, 文

化財保存修復学会第30回大会 pp.150-151 (2008)

- 4) 呂 俊民, 石黒 武, 内呂博之, 荒屋鋪 透, 村田 浩: ガス吸着剤による展示ケース酸性雰囲気  
気の改善, 文化財保存修復学会第29回大会 pp.180-181 (2007)
- 5) 日本壁装協会ホームページ: 壁紙の環境技術基準平成17年8月3日, ISM 推奨壁紙用施工資材  
の品質基準平成19年7月9日, [http://www.wacoa.jp/ism/ism\\_standard.html](http://www.wacoa.jp/ism/ism_standard.html)
- 6) 独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所 保存修復科学センター 保存科学研究室:  
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 (2010.8.30)
- 7) 呂 俊民, キムファンズデルト, 石黒 武, 内呂博之, 荒屋鋪 透: 展示ケース内の酸性雰囲気  
気の調査, 文化財保存修復学会第28回大会 pp.224-225 (2006)
- 8) 半澤重信: 『博物館建築』(1991.7) 鹿島出版

キーワード: 展示ケース (show case); 空気環境 (air quality); 内装材 (interior materials)  
; 放散ガス (emission gas)

## Measurement and Evaluation of the Gas Emission of Wallpaper for the Display Space in Museums

Toshitami RO, Tomoko KOTAJIMA, Ryosuke HAYASHI\* and Chie SANNO

In museums, clean air quality must be kept in showcases for conservation of artifacts. It is necessary to choose interior materials with little gas emission because generally they can be sources of contamination inside showcases. It is well known that organic acids and ammonia gases cause damage to artifacts. However, information on emission rate of gases from interior materials for museums has been insufficient.

In this study, gas emission rate from some wallpapers used for showcases and exhibition rooms was investigated. Using mock-up samples on which wallpaper was adhered to plywood, emission test was performed to observe decay of gas emission rate.

As a result, concentration of contaminants inside a showcase was calculated by using gas emission rate, ventilation rate and surface area of materials gained through the experiment. Calculated concentration was compared with required standard concentration of organic acids and ammonia gases in order to evaluate materials for museums.

These data are considered effective in evaluating the air environment in showcases and exhibition rooms.

---

\*Okamura Corporation