

美術館における空気質環境に関する研究 — 展示室の内装改修工事による建材の選定 —



三浦 勇雄*

板谷 俊朗*

袴谷 秀幸*

概 要

新設の美術館・博物館における特有の問題として、コンクリート躯体や内装材から発生するアルカリ物質および酸性物質が、絵画や重要文化財などを変質・劣化を起こすために問題となっている。当美術館は、新築時にアルカリ汚染および酸性汚染対策を行い、施設内の空気質環境を清浄化した後、文化財などを展示・収納を行っている。その美術館において、約10年間、展示・観覧および保存などの運用をして内装改修工事に至った。

本報は、内装改修工事にあたって、展示・保存物に対して悪影響を及ぼすことがないように、床材、天井材、クロスについて事前に有害物質の含有が少ないものを調査した後、変色試験紙による有害ガスの放散試験を行った。

さらにVOC（揮発性有機化合物）、酸性物質の含有が少ない水系エマルジョン塗料および接着剤について有害となるアルカリガスの放散量を測定・評価した。それらの結果から、選定した内装材を用いて施工した際の改修工事における展示・保存空気質環境測定・評価を行った。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 事前調査した床材（カーペットタイル）、天井材（石膏ボード）、クロス（ガラス）は、変色試験紙による有害ガスの放散試験により有害ガスの放散は少ないことが確認されたため、それらを選定した。
- (2) 水系エマルジョン塗料および接着剤のアンモニア放散量は、pH値と相関があり、pH8.5以下であればアンモニアの放散量が低く、pH値からアンモニア放散量の大小を概略判定できる。このことから、内壁・クロスの塗装は、アクリル樹脂系（pH8.3）の塗料を、床材、クロス、天井材の接着にはアクリル樹脂系（pH8.0）の接着剤を選定した。
- (3) このように選定された内装材を用いて改修工事を行うことにより、重要文化財などに対して適切な空気質環境を確実に構築することができ、早期に施設使用が可能となる。

Study on Indoor Air Quality at the Museums

Selection of Building Materials with Interior Finishing Repair Work in Display Room

Isao MIURA*

Toshiro ITATANI*

Hideyuki HAKAMAYA*

A newly-established museums are controversy about deterioration of painting and artistic handcrafts, The deterioration is caused by harmful materials(alkali and acid) rise in interior finishing and concrete.

This paper describes the results of the amount of alkali developed from emulsion paint and emulsion adhesive agent by use of alkali gas evaporation test and indoor air quality density with interior finishing repair work in display room.

As a results , it was found as follows.

- 1) There was admitted that alkali developed from floor, ceiling by use of discoloration paper and wall cross was of a low.
- 2) There is a correlation between the amount of alkali developed and pH, the amount of alkali developed is of a low in case of below pH8.5. It is able to decision an outline of the amount of alkali developed that pH of emulsion is measure. Therefore, painting and adhesive agent selected acrylic resin with pH8.3 and pH8.0.
- 3) Repair work by use of interior finishing materials selected can certainly construct appropriate indoor air quality to importance cultural materials, and a possibility early use of establishment.

* 戸田建設(株) 技術研究所

* Technical Research Institute, Toda Corp.

美術館における空気質環境に関する研究

－展示室の内装改修工事による建材の選定－

三浦 勇雄*
板谷 俊朗*
袴谷 秀幸*

1. はじめに

新設の美術館・博物館における特有の問題として、コンクリート躯体や内装材から発生するアルカリ物質および酸性物質が、絵画や重要文化財などを変質・劣化を起すために問題となっている。そこで、新設美術館では竣工後、約1年間建物を放置し、期間中に強制換気、あるいはコンクリート躯体のアルカリ処理やケミカルフィルター装着の空調機を用いて施設内の空気質環境を清浄化した後、美術品等を搬入、展示・収納している。

今回、新設時にアルカリ汚染対策^{1,2)}および空調機(ケミカルフィルター装着)を用いて施設内の空気質環境を清浄化した美術館において、約10年間、展示・観覧および保存などの運用をして内装改修工事に至った。

ところで、改修工事による空気質環境に関する既往の報告はほとんどないのが現状である。

本報は、内装改修工事にあたって、展示・保存物に対して悪影響を及ぼすことがないように、床材、天井材、クロスについて変色試験紙により有害ガスの放散の少ないものを選定した。さらにVOC(揮発性有機化合物)、酸性物質の含有が少ない水系エマルジョン塗料および接着剤について有害となるアルカリガスの放散濃度を測定・評価した。それらの評価結果から選定した内装材を用いて施工した際の改修工事における展示・保存空気質環境を測定・評価を行った。

その結果、改修工事前後もともに美術館施設の空気質環境濃度の評価基準値・推奨値(独立行政法人東京国立文化財研究所)をすべてクリアした結果が得られ、重要文化財などに対して適切な空気質環境であることが確認されたので、ここに報告する。

2. 目的

当美術館改修工事において、事前に有害ガスの放散の少ない床材、天井材、クロスを選定するとともに、塗料、接着剤について有害となるアルカリガスの放散量を測定・評価し、美術品などに対して悪影響を及ぼさない適切な内装材を選定する。

さらに、展示室の床タイルカーペットおよび展示ケース内ならびに展示室の壁、天井(石膏ボード)、ロビーの床タイルカーペット、壁、天井(石膏ボード)のクロ

ス(ガラス)貼り替え工事および塗装工事を行った際、床材、クロスとその接着剤や塗料から放散されるアルカリ・酸性ガスを測定・評価し、重要文化財などに対して適切な展示・保存空気質環境であることを確認する。

3. 試験概要

3.1 選定試験

(1) 対象床材、天井材、クロス

事前に有害ガスの発生が少ない建材を調査・選定した。その試験体(250×250mm)をデシケータ中(20℃)に10日間封入し、変色試験紙で偏酸・偏苛性を確認した。

変色試験紙は、美術館や博物館などで広く行われている空気質を把握する方法であり、空気中に存在するアルカリイオンおよび酸性イオンの存在性を5段階で判定し、簡易的かつ総合的に空気環境を評価する方法である。

(2) 対象塗料・接着剤

表-1に示すようなVOC、酸性物質の含有が少ない各種水系エマルジョン塗料および接着剤を試験対象とした。

①試験体の作製

ガラス板上にゴムパッキン(外寸法350×350×0.5mm、内寸法250×250×0.5mm)を置き、その中に水系エマルジョン塗料および接着剤を入れて作製した。

②測定項目

測定項目は、放散するアンモニアガス濃度とした。

③評価基準

評価基準は、保存空気質環境の30ppm以下(東京国立文化財研究所推奨値)とした。

表-1 対象塗料および接着剤

	No	種類
水系エマルジョン塗料	1	アクリル樹脂系A
	2	アクリル樹脂系B
	3	アクリルシリコン樹脂系
	4	ビニル樹脂系
	5	ウレタン樹脂系
	6	シリコン樹脂系
水系エマルジョン接着剤	7	アクリル樹脂系
	8	エポキシ樹脂系A
	9	エポキシ樹脂系B
	10	エポキシウレタン樹脂系

* 戸田建設(株) 技術研究所

④試験方法

試験は、クリーンルーム実験棟の室内（クリーン度1）で行った。試験体を図-1に示すような測定装置のデシケータの中に入れ、清浄な空気を2l/min流した。

測定は2時間と設定し、微量ガスモニター「ピュアメイト」（日本ピュアテック製）を用いてガスを吸引後、通気量とガス検知管の変色幅から空気中に含まれるアンモニアガスの濃度を次式により算出した。

$$\text{アンモニア濃度} = \frac{\text{変色幅 (mm)} \times 8.5 \mu\text{g NH}_3 \times 1000}{\text{通気量 (l/min)} \times \text{時間 (min)}}$$

ppbに換算すると、1atm 25℃の場合、NH₃ 17g、24.4 lなので24.4 ÷ 17 × 上式の結果 μg = ppb (vol) となる。

3.2 内装改修工事前後の気中濃度

測定の概要を以下に示す。

- (1) 測定対象室：A 展示室（写真-2）・展示ケース B 展示室、ロビー、外気（図-2参照）
- (2) 測定個所と数量：A 展示室 1点、A 展示ケース 2点、B 展示室 1点、ロビー 1点、外気 1点（改修前のみ）

(3) 測定項目

①機器分析

- アルカリ物質：アンモニア濃度 (NH₃⁺)
- 酸性物質：ホルムアルデヒド (HCHO⁻)
- 酢酸 (CH₃COO⁻)、
- ギ酸 (HCOO⁻)

②変色試験紙：偏酸・偏苛性

③室内の温・湿度

(4) 評価項目と評価基準

東京国立文化財研究所の評価項目に対する評価基準・推奨値を表-2に示す。

(5) 測定方法

機器分析による測定と変色試験紙による比色判定を行った。捕集法は写真-3、4に一例を示す。

①アンモニア濃度

- 方式：湿式
- 補集法：インピンジャー補集（ホウ酸）
- 捕集速度 3 l/min、100 min
- 分析法：比色分析（インドフェノール法）

②酢酸、ギ酸濃度

- 方式：湿式
- 補集法：インピンジャー補集（純水）
- 捕集速度 1 l/min、8 hour
- 分析法：液体クロマトグラフ

③ホルムアルデヒド濃度

- 方式：乾式
- 補集法：DNPH 固体捕集
- 捕集速度 0.7 l/min 30min
- 分析法：液体クロマトグラフ

④変色試験紙

変色試験紙は一昼夜放置し、写真-1に示すカラースケールで比色判定する。（2の黄緑色が清浄環境：中性）

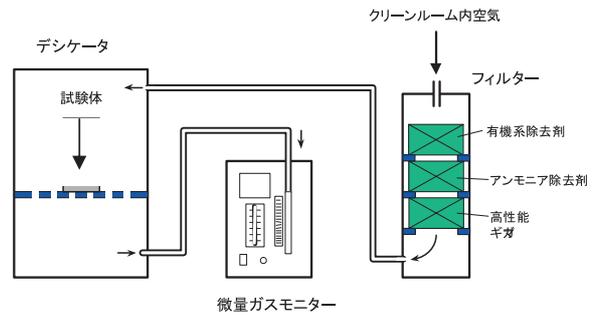


図-1 アルカリガス放散濃度の測定装置システム

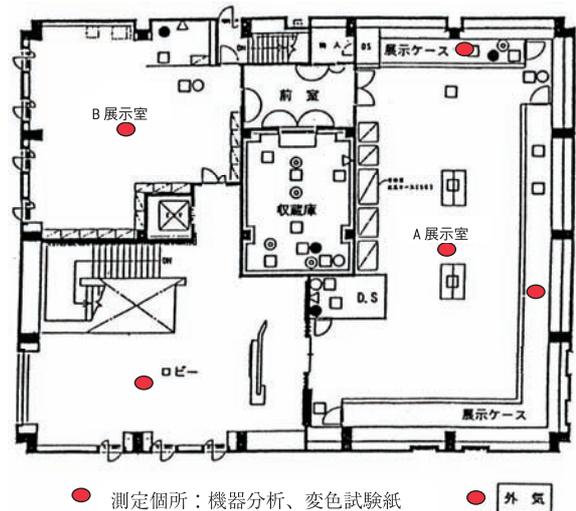


図-2 展示室の測定個所



写真-1 変色試験紙（環境モニター）とカラースケール

表-2 評価基準・推奨値

評価項目	評価基準・推奨値
アンモニア濃度	30ppb 以下
ホルムアルデヒド濃度	40ppb 以下
酢酸濃度	200 μg/m ³ 以下
ギ酸濃度	200 μg/m ³ 以下

なお、改修前後および改修中は、空調運転を停止した。

4. 結果および考察

4.1 床材、天井材、クロス

変色試験紙は、床材、天井材、クロスともに2（清浄空気）を示した。

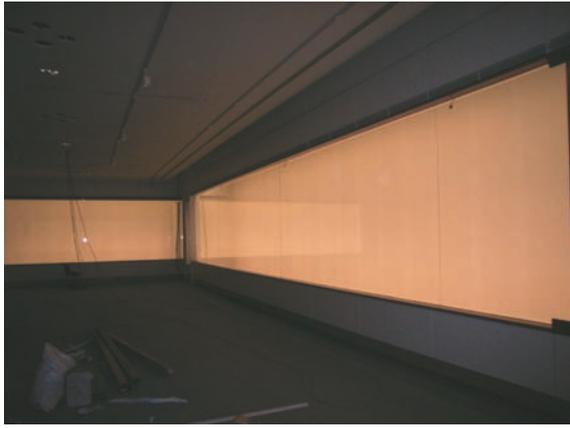


写真-2 展示室



写真-3 展示室のガス捕集状況

4.2 塗料および接着剤の選定

各種水系エマルジョン塗料および接着剤から放散するアンモニア量と pH 値との関係を図-3 に示す。

塗料については、アクリル樹脂系 B (No2) とウレタン樹脂系 (No5) が他の塗料と比べてアンモニアの放散量ははるかに高く、評価基準値以上であった。これは、エマルジョン樹脂の製造過程で、エマルジョンの安定化を図るため pH 調整剤としてアンモニアが使われているものと考えられる。

一方、上記 (No2) と同種のアクリル樹脂系 A (No1)、アクリルシリコン樹脂系、塩化ビニル樹脂系は、アンモニアの放散量が低く、評価基準値以下であった。

アクリル樹脂系の塗料は、銘柄によってはアンモニア放散量が高いものがある。

接着剤に関しては、エポキシ樹脂系 B (No9) が他の接着剤と比べてアンモニアの放散量が高く、評価基準値以上であった。これは、硬化剤に含有されているフリーアミンによるものと考えられる。また、同種のエポキシ樹脂系 (No8) de は、アンモニアの放散量が低い。

エポキシ樹脂系の接着剤も銘柄によってはアンモニアの放散量が高いものがある。

水系エマルジョン塗料および接着剤のアンモニア放散量は、pH 値と相関があり、pH が大きくなるほどアンモニアの放散量が高く、pH8.5 以下であればアンモニアの放散量が低く、評価基準値以下となることが判明した。

このことから、pH 値からアンモニア放散量の大小を概略判定できる。

したがって、改修工事では、内壁・クロスの塗装はアクリル樹脂系 (pH8.3) の塗料、床材、クロス、天井材等の接着にはアクリル樹脂系 (pH8.0) の接着剤を選定した。

4.3 内装改修工事前後の気中濃度

改修工事前後の各室と展示ケース内、外気のギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度の測定結果ならびに評価基準・推奨値を表-3、5に、温・湿度を表-4、6にそれぞれ示す。

(1) 改修工事前

① 2F A 展示室ならびに展示ケース内 1、2

ギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの



写真-4 展示ケース内のガス捕集状況

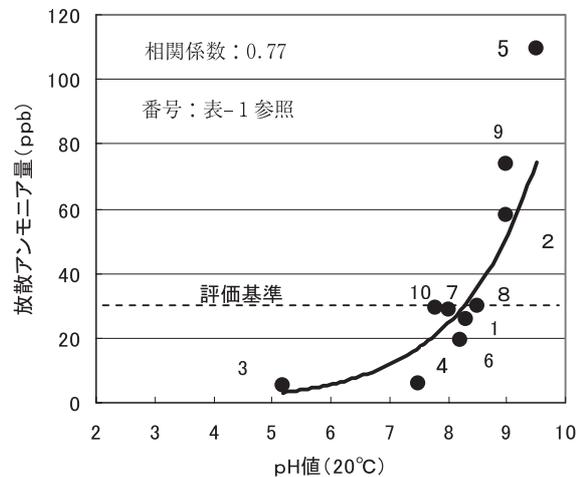


図-3 水系エマルジョン塗料、接着剤の pH と放散アンモニア量との関係

気中濃度は、定量下限値未満であり、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

② 2F B 展示室

ギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であり、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

③ 2F ロビー

ギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であり、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

④外気

ギ酸、酢酸およびホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であった。また、アンモニア濃度では11ppb（通常の外気濃度範囲）であった。

(2) 改修工事後

① 2F A 展示室ならびに展示ケース内 1、2

展示室、展示ケース内 2 におけるギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であった。また、展示ケース内 1 ではアンモニア濃度が 12ppb で、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

② 2F B 展示室

ギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であり、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

③ 2F ロビー

ギ酸、酢酸およびアンモニア、ホルムアルデヒドの気中濃度は、定量下限値未満であり、評価基準・推奨値を十分にクリアしていた。

各室、展示ケース内およびロビーの空気環境は、重要文化財などに対して適切な清浄環境であることが確認できた。

④外気

ギ酸、酢酸およびホルムアルデヒドの気中濃度は定量下限値未満であった。また、アンモニア濃度では 11ppb（通常の外気濃度範囲）であった。

4.4 変色試験紙による判定

変色試験紙による判定結果を表-7に示す。

表-3 改修工事前の各室と展示ケース内の気中濃度測定結果

場所	ギ酸 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	酢酸 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	アンモニア (volppb)	ホルムアルデヒド [*] (volppb)
2F A展示室	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F A展示ケース1	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F A展示ケース2(奥側)	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F B展示室	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F ロビー	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
外気	定量下限値未満	定量下限値未満	11	定量下限値未満
定量下限値	100	100	10	8
評価基準・推奨値	200	200	30	40

表-4 気中濃度測定時の温・湿度

場所	10:30	14:00	16:30
2F A展示室	14.7°C 58%	15.7°C 55%	15.6°C 64%
2F B展示ケース1	14.9°C 54%	16.1°C 55%	16.5°C 56%
2F A展示ケース2(奥側)	14.9°C 55%	15.6°C 55%	16.9°C 56%
2F B展示室	14.3°C 55%	14.8°C 57%	15.6°C 60%
2F ロビー	13.8°C 58%	14.7°C 62%	15.5°C 67%
外気	11.5°C 75%	13.8°C 78%	13.9°C 87%

表-5 改修工事後の各室と展示ケース内の気中濃度測定結果

場所	ギ酸 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	酢酸 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	アンモニア (volppb)	ホルムアルデヒド [*] (volppb)
2F A展示室	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F A展示ケース1	定量下限値未満	定量下限値未満	12	定量下限値未満
2F A展示ケース2(奥側)	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F B展示室	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
2F ロビー	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満	定量下限値未満
定量下限値	100	100	10	8
評価基準・推奨値	200	200	30	40

表-6 気中濃度測定時の温・湿度

場所	9:30	13:00	16:00
2F A展示室	13.6°C 46%	15.0°C 46%	15.9°C 43%
2F A展示ケース1	14.3°C 44%	15.2°C 46%	16.0°C 44%
2F A展示ケース2(奥側)	13.4°C 46%	14.7°C 48%	15.6°C 44%
2F B展示室	13.3°C 43%	16.5°C 37%	16.8°C 40%
2F ロビー	13.7°C 43%	15.3°C 40%	16.0°C 38%
外気	5.9°C 55%	11.6°C 42%	11.4°C 37%

表－7 変色試験紙による判定結果

場所	改修前	改修中	改修後
2F A展示室	1～2 の中間	2	2
2F A展示ケース1	1～2 の中間	2	2
2F A展示ケース2 (奥側)	1～2 の中間	1～2 の中間	2
2F B展示室	1～2 の中間	2	2
2F ロビー	3	2～3 の中間	2～3 の中間
外気	3	2	2
変色試験紙 (清浄)	2	2	2

(1) 改修工事前

A 展示室ならびに展示ケース 1、2 および B 展示室の変色試験紙は、カラースケールの 1～2 (酸性環境から清浄環境) の中間を示していた。

また、ロビーと外気では、カラースケールの 3 (弱アルカリ性環境) を示した。

(2) 改修中

A 展示室ならびに展示ケース 1、2 および B 展示室の変色試験紙は、カラースケールの 2 (清浄環境) を示していた。

展示ケース 2 およびロビーでは、カラースケールの 2～3 (清浄環境～弱アルカリ性環境) の中間を示した。

(3) 改修工事後

A 展示室ならびに展示ケース 1、2 および B 展示室の変色試験紙は、カラースケールの 2 (清浄環境) を示していた。外気も同様であった。

また、ロビーでは、カラースケールの 2～3 (清浄環境～弱アルカリ性環境) の中間を示した。

変色試験紙による判定結果においても、各室、展示ケース内、ロビーの空気環境は、改修前、改修中および改修後ともに重要文化財などに対して適切な空気環境であることが確認できた。

変色試験紙による偏酸・偏苛性の判定結果は、機器分析結果と良く対応している。

また、変色試験紙は機器分析に比べて短時間に判定できるため、改修時の空気環境のチェック (目安) に有効な方法である。

5. まとめ

以上、内装改修工事にあたって、展示・保存物に対して悪影響を及ぼすことがないように事前に床材、天井材、クロスについて変色試験紙により有害ガスの放散が少ないものを選定した。さらに塗料、接着剤の放散量試験および選定した内装材を用いて改修工事を行った。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 改修工事前、変色試験紙による有害ガスの放散試験を行った結果、床材 (タイルカーペット)、天井材 (石膏ボード)、クロス (ガラス) からの有害ガスの放散は少ないことが確認されたため、それらを選定した。
- (2) VOC、酸性物質の含有が少ない水系エマルジョン塗料および水系エマルジョン接着剤のアンモニア放散量は、pH 値と相関があり、pH8.5 以下であ

ればアンモニアの放散量が低く、pH 値からアンモニア放散量の大小を概略判定できる。このことから、内壁・クロスの塗装は、アクリル樹脂系 (pH8.3) の塗料を、床材、クロス、天井材などの接着にはアクリル樹脂系 (pH 8.0) の接着剤を選定した。

- (3) このように選定された内装材を用いて改修工事を行うことにより、重要文化財などに対して適切な空気質環境を確実に構築することができ、早期に施設使用が可能となる。

【参考文献】

- 1) 三浦、永橋；「実施設におけるコンクリート躯体および内装材から発生する有害性物質と除去方法に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) 1999 年 9 月
- 2) 三浦、永橋；「実施設におけるコンクリート躯体および内装材から発生する有害性物質と除去方法に関する研究」戸田建設 技術研究報告 vol.25 1999 年