

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

展示ケース内の環境改善： 国立民族学博物館における対策の事例とその効果

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 橋本, 沙知 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00009975

展示ケース内の環境改善 — 国立民族学博物館における対策の事例とその効果

橋本 沙知
(国立民族学博物館)

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1 はじめに | 3.2 合板以外の展示材料からのオフガス対策 |
| 2 簡易環境調査の手法 | 3.3 合板の養生に用いる材料の再検討 |
| 2.1 変色試験紙法 (環境モニター) | 3.4 合板を養生した展示ケース内の温湿度環境 |
| 2.2 パッシブインジケータ法 | 4 その他の対応事例 |
| 2.3 ガス検知管法 | 4.1 ガス吸着剤および調湿剤の長期間設置による展示ケース内への影響 |
| 2.4 簡易環境調査の手法の比較 | 4.2 汚染物質を取り除いた後の展示ケース内の環境改善 |
| 2.5 民博における簡易環境調査 | 5 おわりに |
| 3 展示ケースの環境改善対策—民博の取り組み事例 | |
| 3.1 アルミニウム箔による合板の養生 | |

1 はじめに

博物館の展示や収蔵の環境では、空気中の汚染物質による資料への影響にも配慮したい。空気中の汚染物質には、硫黄酸化物、窒素酸化物、塩化物、オゾンなどの大気汚染物質や、塵埃、有機酸（ギ酸、酢酸など）、アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなど）、硫黄・硫化物、アルカリ性物質などの室内汚染物質がある。これらの化学物質は、文化財に顕著に被害をおこす物質として指摘されている。たとえば、室内汚染物質として指摘されるアルカリ性物質は油絵の褐変を起し、そのなかでもアンモニアは緑青の変質を起す。有機酸は金属の腐食、貝標本の白色粉状物質の形成、鉛顔料の変色を起す可能性がある。また、アルデヒド類は、有機物質の硬化や脆化、染料の退色などの影響をあたえる。このような化学変化の多くは不可逆であり、修理などで戻せないことから、資料を管理している空間の空気を清浄に保つことが必要となる。（佐野 2010: 23-24, 2016: 71-73; 三浦 2010）。

博物館の室内環境のなかでも展示ケース内は、空間の容積が小さく、かつ、ケース内外の空気が入れ換わる量が少ないことから、長期間密閉状態が維持される状態である。そのため、これらの汚染物質が高濃度で維持され、資料に及ぼす影響がより大きくなるおそれが指摘されている（呂他 2019）。

国立民族学博物館（以下、民博）では、常設展示のほかに、年2回の特別展と年2回程度の企画展を開催している。常設展示では展示ケースを用いない露出展示を主としているが、特別展や企画展では借用資料や展示資料の材質、状態によっては展示ケースを用いる。このとき、既存の展示ケース¹⁾を用いて展示するほか、資料にあわせて新しく展示ケースを製作する場合がある。また、展示ケース内で資料を置く展示台を新しく製作する場合もある。このような新たに製作する展示ケースや展示台をふくめた造作物に使用する材料からは、前述した汚染物質が発生する機会が多いため、特別展、企画展の施工仕様書には、造作物に用いる合板は、日本工業規格（JIS）によるホルムアルデヒドの放散速度の区分等級がF☆☆☆☆のものを用いること、また、造作物にはクロスや壁紙を接着剤で貼り付けて表具をおこなうため、施工完了後に2週間の枯らし期間をもうけて²⁾、材料の乾燥を進めることを明記している（河村 2018: 17）。また、合板以外に用いられる材料についても、資料に色が移らないこと、資料に引っかからないこと、そして資料に影響をあたえるオフガスの発生が少ないものを選択することを求め、資料に直接接する材料については民博が選定した材料を用いることとしている。

このように、民博では汚染物質ができるだけ発生しないように、あるいは資料に影響をあたえないように、適切な材料の選定や展示の造作物の枯らしをおこなうことを心がけている。しかしながら、展示に使用する材料は、展示デザインの都合上、あらかじめ選定していた材料だけでは対応できない場合もある。また、汚染物質の発生が危惧される材料が使用候補となる場合もある。そのような場合には、館内で簡易な環境調査をおこない、対策を講じながら経過を観察している。

本稿では展示ケース内の環境に焦点をあて、簡易環境調査の手法を概観したあと、民博が取り組んだ展示ケース内の環境改善の対策事例を紹介する。

2 簡易環境調査の手法

有機酸、アンモニア雰囲気を評価する方法として、日本の博物館では、変色試験紙法（環境モニター）、パッシブインジケータ法、ガス検知管法が採用されている（佐野 2011: 59-82, 2016: 77-83; 吉田 2010: 114-121; 呂 2012: 41-53）。それぞれの特徴について、各製品のメーカーのwebページにて提示されている情報や製品に同梱されている説明書を参考に整理する（株式会社ガステック 2008; 株式会社内外テクノス; 光明理化学工業株式会社³⁾）。

2.1 変色試験紙法（環境モニター）

変色試験紙法（環境モニター⁴⁾による調査は、モニター液（指示薬）を含浸させた試験紙（濾紙）を測定したい環境に設置しておこなう（写真1）。空気中の酸性物質やアル



写真1 環境モニターの設置
(2006年10月24日 筆者撮影)



写真2 カラーチャートを用いた判定
(2006年10月20日 筆者撮影)

カリ性物質を吸着して試験紙が変色し、その色味を付属の5段階のカラーチャートを用いて判定する(写真2)。清浄環境である中性では黄緑(写真2のレベル「2」)、酸性では黄色(写真2のレベル「1」)となり、アルカリ性では緑から青(写真2のレベル「3～5」)に変わる。判定は、試験紙を設置してから24時間後に肉眼でおこなう。なお、設置空間の湿度が40% RH 以下の場合には、48時間後に判定する。

環境モニターによる調査は、モニター液と試験紙があれば実施できるため、導入が容易であるといえる。ただし、酸性ガスとアルカリ性ガスがそれぞれ同程度に存在する場合には清浄環境を示すことがあり、評価する際には注意が必要である。清浄環境でないことが疑われる場合には、少し時間をあけて同じ場所で測定をおこない経過をみるか、もしくは、ほかの簡易調査の手法とあわせて測定をおこない、結果を照らし合わせるなどの工夫が必要となる。また、環境モニターによる調査では酸性とアルカリ性の相対的なバランスが反映されることから、有機酸あるいはアンモニアの濃度が低い場合でも、それぞれ酸性環境、アルカリ性環境の結果となる場合があるため、この点もふまえた上で使用しなければならない(吉田 2010: 121-122)。

2.2 パッシブインジケータ法

パッシブインジケータ(有機酸インジケータ CID-80・アンモニアインジケータ CID-3、株式会社ガステック)⁵⁾は、博物館などの文化財保存施設の空気汚染を評価するために開発されたもので、有機酸とアンモニアの2種類のインジケータがある。小型の円盤状(直径24mm、厚さ8mm)の透明プラスチックケースに検知剤が収められており、検知剤の変色を目視で確認する。小型であるため、狭い空間にも設置できる。使用する際には、検知剤の裏側にあるガス透過孔が空気にさらされるように、たとえばクリップで挟んで固定するなどして設置する(写真3)。ガス透過孔と検知剤との間にある除去剤が、検知剤の反応を妨害する物質を除去するため、低濃度の有機酸、アンモニアを検知することができる。ただし、有機酸インジケータは、大気汚染物質である二酸化窒素の



写真3 バッシブインジケータの設置状況
(2008年8月25日 筆者撮影)

影響を受けると変色が促進することから、外気が入り込みやすい場所での測定には適さない。

有機酸インジケータの検知剤は青色である。設置から4日後に検知剤が青色から緑色に完全変色した場合、有機酸濃度は175ppb付近であり、設置から7日後に緑色に完全変色した場合は80ppb付近であると判断する。有機酸インジケータは、東京文化財研究所が示す空気質の「のぞましい値」(独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所)(以下、推奨値)の判定では4日間、さらに低濃度を判定したい時には7日間設置する(呂他 2019: 17)。アンモニアインジケータの検知剤は赤色である。設置から4日後に検知剤が赤色から黄色に完全変色した場合、アンモニア濃度は30ppb付近であると判断する。

民博では、色見本カードを参考に肉眼観察で判定をおこない、写真で記録を残している。基本的に有機酸インジケータとアンモニアインジケータは同時に設置し、設置から4日後に観察をおこなう。このとき、有機酸インジケータが完全変色していなかった場合は、設置から7日後に有機酸インジケータのみ再度観察をおこなっている。

2.3 ガス検知管法

ガス検知管は、特定のガスと反応する検知剤をガラス管に充填したものである。検知管内に試料空気を通気すると化学反応により検知剤が変色し、変色した先端の目盛を読み取り、試料空気中の測定ガスの濃度をもとめる。

ガス検知管による有機酸とアンモニアの測定には、従来から手動ポンプ式のガス採取器に検知管を取り付け、採取器のハンドルを引くことで、一定量のガスを採取しておこなう方法(写真4)がある。この方法は採取できるガスの量が少なく、高濃度の有機酸やアンモニアの測定には適しているが、博物館などの文化財保存施設で求められる極低濃度の有機酸やアンモニアの測定には利用できなかった。しかし、現在は、極低濃度の有機酸やアンモニアを測定する検知管と、大容量のガスを吸引する専用のエアーサンブ



写真4 手動式ガス採取器を用いた検知管測定
(2021年8月27日 筆者撮影)



写真5 エアースAMPLINGポンプを用いた検知管測定
(2017年4月18日 筆者撮影)

リングポンプが市販され、博物館などの文化財保存施設での簡易調査として使用できるようになった⁶⁾(写真5)。エアースAMPLINGポンプを用いた検知管測定では、有機酸は12L、アンモニアは24Lの空気を吸引し、測定には通常60分間程度を要する⁷⁾。測定中は常にポンプで空気を吸引するため、電源を必要とするが、電池を使用すれば展示ケース内などの密閉空間でも測定が可能となる。なお、展示ケース内などの小さな密閉空間にて測定する場合は、検知管とエアースAMPLINGポンプを設置する際の扉の開け閉めによって、密閉空間内の測定ガスの濃度が低下することが考えられるため、エアースAMPLINGポンプの待機時間の機能を利用して、空気を採取する開始時間を調整することが必要である。

有機酸の検知管は、使用環境の温度により測定値に影響がでるため、20℃以外の使用環境では読み取り値を補正する必要がある。そのため、使用環境の温度も記録しなくてはならない。アンモニアの検知管は使用環境10℃～40℃であり、この温度の範囲では測定値は温度による影響を受けない。

なお、有機酸の検知管は酢酸とギ酸の両方に反応する。これまでの研究により、展示ケースにおける酢酸とギ酸の濃度の割合は、酢酸よりもギ酸の割合が低いこと、また、有機酸の検知管による測定値は、精密測定による酢酸濃度の値との相関が高いことが明らかにされている(呂他 2014)。これらをふまえて、民博では、現状、有機酸の検知管の測定結果は、読み取った値(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を温度補正した後、酢酸濃度(単位ppb)に換算して記録している。

2.4 簡易環境調査の手法の比較

ここまで挙げた3種類の有機酸とアンモニアの簡易環境調査について、それぞれの手法により確認できる有機酸とアンモニアの濃度の範囲を、東京文化財研究所が推奨値として示す酢酸、ギ酸、アンモニアの濃度とともに、参照として表1にまとめる。

表1 酢酸、ギ酸、アンモニアの推奨値と簡易環境調査による測定範囲

測定項目	推奨値 ^{※1}	変色試験紙法 ^{※2}	パッシブインジケータ法 ^{※3}	ガス検知管法 ^{※4}
酢酸 (CH ₃ COOH)	170ppb (430μg/m ³) 以下	24時間で黄色に 変色 = 酸性環境	4日目で完全変色 = 175ppb 7日目で完全変色 = 80ppb 以上175ppb 未満 7日目で完全変色していない = 80ppb 未満	(型式910) 測定範囲 10~1,000μg/m ³
ギ酸 (CH ₂ O ₂)	10ppb (19μg/m ³) 以下			(型式910) 測定範囲 20~800μg/m ³
アンモニア (NH ₃)	30ppb (22μg/m ³) 以下	24時間で緑~青 色に変色 = アル カリ性環境	4日目で完全変色 = 30ppb 4日目で完全変色していない = 30ppb 未満	(型式900) 測定範囲 10~80μg/m ³

※1 東京文化財研究所が推奨する空気質の「のぞましい値」を参照（独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所）

※2 環境モニター説明書を参照

※3 パッシブインジケータのメーカーのwebページを参照（株式会社ガステック 2008; 株式会社内外テクノス）

※4 ガス検知管のメーカーwebページを参照（光明理化学工業株式会社）

（筆者作成）

ここであらためて、3種類の手法を比較する。まず、変色試験紙法は、有機酸とアンモニアの濃度の定量判定はできないが、環境が酸性に傾いているか、アルカリ性に傾いているかの判断が可能であり、比較的安価であることから、空気環境のおおまかな傾向をつかむための最初におこなう調査手法として有効である。次に、パッシブインジケータ法は、変色試験紙法と同じく色変化を肉眼観察で判断するものであるが、有機酸とアンモニアのインジケータが別個にあり、それぞれについて推奨値の範囲を超えているかどうかを判定できる。変色試験紙法と比べるとややコストは高くなるが、狭いスペースに設置できることから、取り入れやすい手法であるといえる。ガス検知管法は、3種類のなかで最も低濃度までの検知が可能である。しかし、目盛りと目盛りの間の変色を読み取るときに個人差がでることもあり、正確な値を判定することが困難な場合もある。また、測定にはガス検知管とあわせてエアースAMPLINGポンプが必要となる。有機酸とアンモニアの濃度を同時に測定したい時や、同時に複数の箇所での測定をおこないたい時には、エアースAMPLINGポンプが不足する状況なども想定される。コストと確実性を考慮し、日常的なモニタリングには安価な変色試験紙法を用い、より厳密な調査が必要となった場合にはパッシブインジケータ法やガス検知管法を用いるなど、目的に合わせた使い分けが推奨されている（佐野他 2006）。なお、変色試験紙法のモニター液、パッシブインジケータ、ガス検知管には、いずれも保管温度の条件と、使用期限があるため、保管する際には注意が必要である。

2.5 民博における簡易環境調査

民博では2006年頃より展示ケース内などの空気環境を確認するため、簡易環境調査をおこなっている。当初は変色試験紙法を用いていたが、その後パッシブインジケータ法

を併用するようになり、現在では、主にパッシブインジケータ法とエアースAMPLINGポンプを用いたガス検知管法を併用している。これは、有機酸とアンモニアの濃度が推奨値の範囲内であることを簡易に確認したい機会が増えたためである。具体的には、パッシブインジケータ法によって、展示ケース内の有機酸やアンモニアが推奨値の範囲内かどうかを確認し、濃度値を確認したい場合にはエアースAMPLINGポンプを用いたガス検知管法による測定を実施している。複数の箇所と同時に測定して結果を比較したい場合や、使用しているエアースAMPLINGポンプ（幅145mm、高さ99mm、奥行き54mm）の設置が困難な狭い空間では、パッシブインジケータ法を用いる。また、スケジュールの都合などで測定開始から4日後、7日後に観察をおこなえない場合や、できるだけ早く測定結果を確認したい場合には、エアースAMPLINGポンプを用いたガス検知管法による測定をおこなっている。このように、3種類の環境調査の手法の特徴をふまえたうえで、状況に応じて最も適した手法を選択するようにしている。

3 展示ケースの環境改善対策—民博の取り組み事例

3.1 アルミニウム箔による合板の養生

民博では、資料の保管や展示に用いる材料の選定を2004年よりおこなってきた。資料の保管や展示に用いる材料は、資料と直に接触するものである。たとえ、直に接触しない場合でも、長期間、資料と同じ空間で用いられることとなる。このため、使用する材料の選択にあたっては、天然由来の素材を基本とし、紙製品は中性紙あるいは無酸性紙であること、布製品は漂白剤や蛍光染料を使用していないことを前提としている。また、クッション性が高い発泡体や透明のフィルムなど、合成素材の特色を活かしたい場合は、比較的安定性が高いとされているポリエチレンテレフタレート、ポリプロピレン、ポリエチレンなどを主成分とする製品のうち、主成分以外の成分に可塑剤などの添加物を含まないもの、安定性に欠ける接着成分が添加されていないと確認できたものを選択している (Sonoda et al. 2008; 園田 2009: 16-18; 橋本 2021: 226-228)⁸⁾⁹⁾。また、選択した合成素材においても、まだ50年、100年といった長期的な安定性が確認できていないことから、使用する際には、できるだけ資料に接するところには薄葉紙などの天然素材の材料をあて、資料と直接触れない工夫をしている。

展示に特化した材料の選定を本格的に始めたのは、2008年9月11日から11月25日にかけて開催した特別展「アジアとヨーロッパの肖像」(以下、ASEMUS展)が契機となった。ASEMUS展では、資料借用先である大英博物館から、展示に用いる材料の条件をふたつ提示された。ひとつめの条件は、Oddyテスト¹⁰⁾に合格した材料のみを使用することである。先方からの要望により、使用候補となる材料のサンプルをすべて大英博物館に送り、大英博物館にてOddyテストがおこなわれ、合格と判定された材料のみを展示

で使用することが認められた。

ふたつめの条件は、展示ケース内で合板を使用するにあたって、合板からの有機酸等の放散を防ぐため、使用するすべての合板を厚さ50 μ mのアルミニウム箔で密封することである。アルミニウム箔での密封には、アルミテープもしくは両面テープを使用し、クロス貼りには接着剤を用いず、タッカー留めで仕上げるという条件も付加された（写真6）。

民博では、これらの条件をふまえて展示ケースを製作した後、環境モニターとパッシブインジケータを用いてケース内の環境調査をおこなった。調査対象は、この特別展で最も合板の使用面積が大きい、屏風のための展示ケース（展示ケース内の空間の幅7,500mm、高さ275mm、奥行1,200mm）とした（写真7・8）。測定の結果、環境モニターは清浄環境を示した。パッシブインジケータは、有機酸インジケータは7日後に全体的に変色していたため80ppb付近、アンモニアインジケータは4日後に若干の変色がみとめられた程度であったため、30ppb以下と判定した。ただし、両インジケータに変



写真6 アルミニウム箔で養生した合板にタッカー留めでクロス貼りをおこなう。(2008年8月21日 筆者撮影)



写真7 アルミニウム箔で合板を養生した展示ケース
(2008年8月21日 筆者撮影)



写真8 展示ケース内の環境調査の状況
(2008年8月25日 筆者撮影)

色がみられたことから、環境モニターが示した清浄環境の反応は、有機酸とアンモニアが同程度に近い状態で存在していることによるものと推測した。いずれにせよ、有機酸とアンモニアの濃度は、ともに推奨値の範囲内であった。

この環境調査から、合板からのオフガスへの対策として、合板をアルミニウム箔で密封することは有効な手段であることが実証された¹¹⁾。以降、民博では、特に空気環境に敏感で、オフガスによる影響を受ける可能性のある資料を展示する展示ケースを新たに製作する場合には、使用する合板をアルミニウム箔で包んで密封し、その上からクロスなどの表具をおこなう対策を採用している。

3.2 合板以外の展示材料からのオフガス対策

合板をアルミニウム箔で包んで密封することでオフガスの放散が抑えられることが実証されたが、合板以外にも表具に使用するクロスや壁紙、接着剤等が、酸性ガスやアルカリ性ガスの発生源となる可能性がある。

2009年3月12日から6月2日にかけて開催した特別展「千家十職×みんなくー茶の湯のものづくりと世界のわざ」では、光沢のある銀製品を新たに製作する展示ケースに展示した。金属のなかでも銀製品は、硫黄と反応して黒変するなど、空気中の汚染物質による影響を受けやすい（佐野 2016: 74-75）。そこで、展示ケースに用いる合板をアルミニウム箔で養生した後、接着剤は使用せずにタッカー留めによりクロスの表具をおこない、施工後に環境モニターによる調査をおこなった。その結果、環境モニターはやや酸性環境を示した。

合板からのオフガスはアルミニウム箔による養生で抑えられていると考え、クロスが酸性ガスの原因であると判断し、クロスを交換することとした。新しく貼り換える材料として、ASEMUS 展で使用したOddy テストに合格したクロスを用いることを施工業者に依頼したが、納期が間に合わないことがわかり、施工業者から提案のあった中性紙の壁紙に貼り換えをおこなった。再度、環境モニターによる調査をおこなったところ、結果はややアルカリ性環境に転じた。原因としては、中性紙の填料によるものとも考えられたが、究明はできなかった。アルカリ性環境に傾いた原因は特定できなかったが、銀製品に対しては酸性環境の方がより影響が大きいと判断し、中性紙の壁紙をそのまま採用することとした。展示ケース内の環境改善対策として、調湿・マルチガス吸着シート（エアチューンシート、株式会社内外テクノス¹²⁾）を観覧者からは死角となる展示台の背面に設置した。シートの設置に際しては、表面積を増やすために、シートを蛇腹折りにして自立させた（写真9）。会期中は毎朝の展示場点検時に資料管理担当の職員が目視観察をおこなったが、目視で確認できる異状はみられなかった。

展示ケース内の環境は、合板をアルミニウム箔で養生した場合であっても、表具に使用するクロスや壁紙、接着剤等の影響により、酸性あるいはアルカリ性の環境に傾く可



写真9 展示台の背面への調湿・マルチガス吸着シートの設置（2009年3月10日 筆者撮影）

能性がある。対策としては、適切な材料の選定や、十分な枯らしの実施に加え、人の目による状態確認も有効な対策となる。

3.3 合板の養生に用いる材料の再検討

合板の養生に用いるアルミニウム箔は、先述のASEMUS展の施工では、当初、厚さ50 μm のものを使用していたが、作業効率が悪かったため、途中より厚さ100 μm のものに変更した。しかし、前項の特別展「千家十職×みんなくー茶の湯のものづくりと世界のわざ」の施工時には、厚さ100 μm のアルミニウム箔を入手できず、厚さ50 μm のものを使用することとなった。これらの特別展で合板の養生に使用していた、厚さ50 μm や100 μm の厚手のアルミニウム箔は工業用製品であり、施工作业で取り回しのしやすい幅1m程度のは、元のロットの端材にあたる。民博で保管できる程度の量の製品はメーカー側の在庫が安定しておらず、必要な時にすぐに入手できないという問題があった。また、当時幅1mのアルミニウム箔の購入可能な単位は100m単位であったが、例えば幅1mで200m巻きの厚さ50 μm のアルミニウム箔の重量は約27kgにもなり、施工作业だけでなく保管時にも取り回しがしにくいという問題もあった。

そこで、合板の養生に用いるアルミニウム箔の代替品について検討することとした¹³⁾。候補としたのは、以下の2種類のシートである。

- 調湿剤（アートソープ、富士シリシア化学株式会社）の外装材：製品規格化はされていないが、調湿剤を購入することで入手可能となる。実験では、メーカーよりサンプルとして入手した、ロール状のものを使用した。
- 防湿包装材アルミシート（バリテックP-1、コスモ化成工業株式会社）：ポリエチレンテレフタレートフィルムにアルミ蒸着を施したフィルム、ポリエチレン、ポリエチレンクロス、ポリエチレン、リニア低密度ポリエチレン¹⁴⁾の5層構造からなる、厚さ142 μm の市販品。



写真10 合板製展示台の養生材料比較実験
 (左：調湿剤の外装材で養生，中央：防湿包装材アルミシートで養生，右：養生なし，2017年1月19日
 撮影：河村友佳子)

実験は、それぞれのシートで養生した合板製の展示台を各1枚と、比較のために養生なしの合板製展示台1枚を用意し、パッシブインジケータとともに、既存の覗き型展示ケース¹⁵⁾に密閉しておこなった(写真10)。その結果、それぞれのシートで養生した合板製展示台を入れた2つの展示ケースでは、有機酸インジケータは7日後でも変色がみられず、アンモニアインジケータは4日後に若干の変色がみとめられたものの完全変色にはいたらなかったため、有機酸、アンモニアともに推奨値の範囲内であることが確認できた。一方、養生なしの合板製展示台を入れた展示ケースでは、4日後、アンモニアインジケータは若干の変色のみで完全変色にはならず推奨値の範囲内であったが、有機酸インジケータは完全変色しており推奨値の範囲を超える結果となった。

この実験によって、合板からのオフガス対策として、調湿剤の外装材もしくは防湿包装材アルミシートにより合板を養生すると、どちらも展示ケース内の有機酸とアンモニアの濃度を推奨値の範囲内に抑えられることが確認できた。現在、民博で展示ケース内の合板を養生する際には、作業効率と材料の入手しやすさの両方の点から、防湿包装材アルミシートを使用している。

3.4 合板を養生した展示ケース内の温湿度環境

展示ケースに用いる合板をアルミニウム箔などで養生することは、合板からのオフガスの放散を抑える効果だけでなく、展示ケース内の温湿度環境にも影響をあたえる。ここでは、2019年8月29日から11月26日にかけて開催した特別展「驚異と怪異—想像界の生きものたち」で使用した覗き型展示ケース¹⁶⁾の温湿度推移について紹介する。

この覗き型展示ケースは2018年3月に納品された新しい展示ケースで、展示台に使用する合板をアルミニウムシートで包み込むことを設計仕様に組み込んだものである。展示ケースの空気交換量は0.3回/日以下であり、気密性は高い。また、展示台の下にファン付きの調湿剤ボックスが設置され、調湿された空気はダクトを通じて展示台の外側に配された通気口から流れる仕組みとなっている。この調湿システムの使用には、電源が

必要であるため、当該特別展では使用しないこととした。そこで、設置されている展示台よりも一回り大きい合板を防湿包装材アルミシートで養生して表具をおこない、新たな展示台として通気口をふさぐように全面に載せ、その上に調湿剤（アートソープ、富士シリシア化学株式会社）カセットタイプ（ハーフサイズ）1個を設置し、資料を展示した（図1）。

資料の借用条件である温度25℃以下、湿度50%RH～55%RHを維持できるよう、展示場の空調は24時間の制御をおこない、調湿剤は50%RH設定のものを設置して¹⁷⁾、会期中の展示ケース内の温湿度の推移を確認した。

会期中の温湿度推移を図2に示す。ケース内の温度は、展示場の室温に準じて推移した。一方、湿度は展示場内では変動がみられるが、ケース内は安定していることがわかる。ケース内の湿度は53%RH前後を維持しており、会期中の湿度の最大値と最小値の差は2%RH未満であった。調湿剤の設定湿度よりやや高めでの推移であったものの、非常に安定していたことが確認できた。

展示台の合板を養生することで、合板の吸放湿によるケース内の湿度変動への緩衝はなくなるが、合板からのオフガスを抑えるとともに通気口をふさいだことによりケース内の気密性が上がり調湿剤の効果を上げることができた¹⁸⁾。

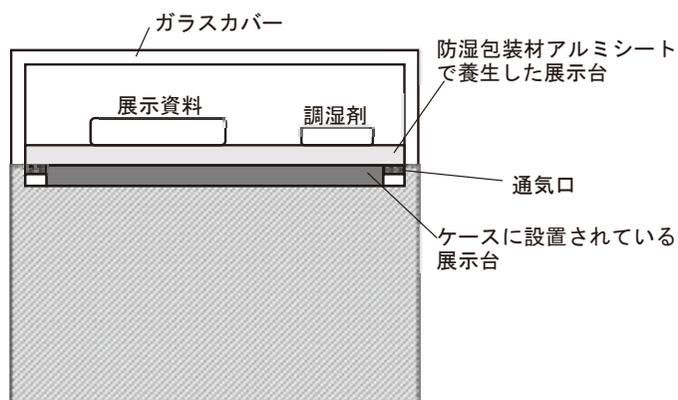


図1 展示ケースの概略図（断面）（筆者作成）

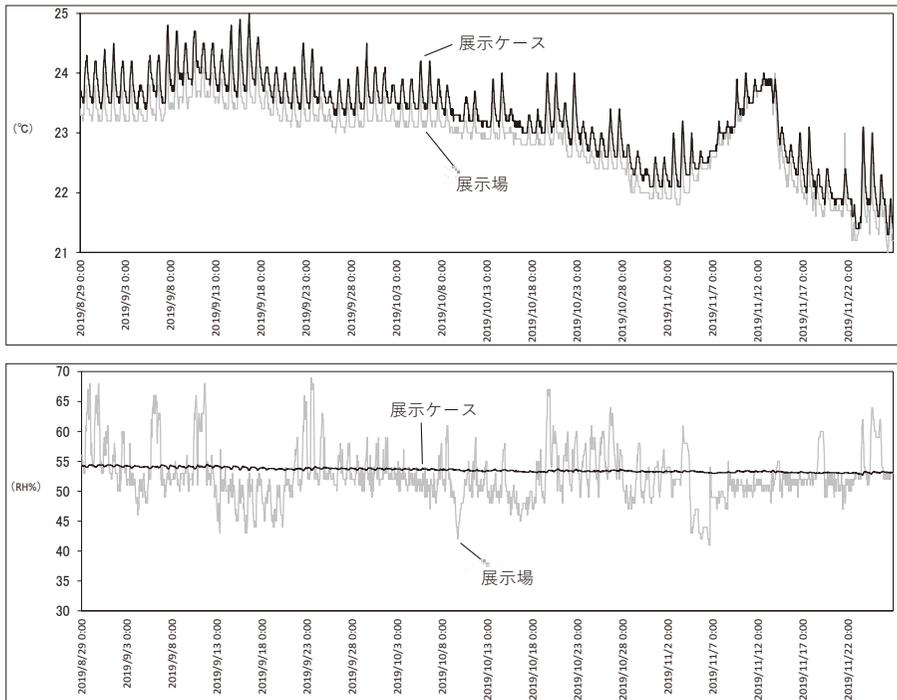


図2 合板を養生した展示ケース内の温湿度環境（上：温度，下：湿度）（筆者作成）

4 その他の対応事例

次に、展示ケースの材料以外の要因によりケース内の空気が汚染された事例と、汚染源をとりのぞいたあとの展示ケース内の環境改善の対策の事例を紹介する。

4.1 ガス吸着剤および調湿剤の長期間設置による展示ケース内への影響

2018年3月に納品された新しい覗き型展示ケース計15台は、納品時にメーカーから提出されたデータより、有機酸とアンモニアの濃度が推奨値の範囲内であることを確認していた。しかし、同年6月18日に発生した大阪府北部地震により、15台のうち3台のガラスカバーが破損したため、12月にガラスカバーの再接着をおこなった。2019年8月に開幕する特別展「驚異と怪異—想像界の生きものたち」で使用するにあたり、2019年7月、ガラスカバーを再接着したケースと、破損しなかったケースのなかからそれぞれ1台ずつを選び、展示ケース内に接着剤に由来する汚染物質が残っていないか確認するため、パッシブインジケータによる環境調査をおこなった。なお、この調査時の覗き型展示ケース内の展示台は、納品時の状態、すなわち合板をアルミニウムシートで包んだあとクロス貼りした状態であった。

調査の結果、ガラスカバーを再接着したケースでは、4日後、有機酸インジケータは変色しなかったが、アンモニアインジケータはほぼ完全変色したため30ppb付近であると判断した。展示ケース内部をあらためて確認したところ、展示台下にある調湿剤ボックスに、古いガス吸着剤が設置されたままとっていた。このガス吸着剤は、展示ケース納品時にメーカーにより設置されたものであった。古いガス吸着剤をケースから取り出してデシケータに密封し、パッシブインジケータによる調査を実施したところ（写真11）、4日後にアンモニアインジケータのみ完全変色した。このことから、展示ケース内で検知されたアンモニアの発生源は、古いガス吸着剤が一旦吸着したガスを放出したものである可能性が高いと考えられた。

一方、地震で破損しなかったケースは、納品より1年4ヶ月が経過していたにもかかわらず、有機酸インジケータ、アンモニアインジケータともに4日後に完全変色し、有機酸とアンモニアの濃度が推奨値の範囲を超えていた。ケース内部をあらためて確認したところ、調湿剤ボックスに、設置時期不明の使用済み調湿剤が設置されたままとっていた。そこで、古いガス吸着剤と同様に、使用済み調湿剤をケースから取り出してデシケータに密封し、パッシブインジケータ法による調査をおこなったところ（写真11）、有機酸インジケータ、アンモニアインジケータともに変色はみられなかった。このため、ケース内で検知された有機酸とアンモニアの原因は特定できなかった。

これらの環境調査の結果を受けて、ガス吸着剤の設置後はケース内の環境改善が確認でき次第、調湿剤は展示期間の終了次第、いずれも速やかに展示ケースから取り出し、入れたままで放置しないことを徹底することとした。



写真11 展示ケースから取り出した古いガス吸着剤および使用済み調湿剤の環境調査
(2019年7月19日 筆者撮影)

4.2 汚染物質を取り除いた後の展示ケース内の環境改善

前項での展示ケース内の環境調査の結果を受けて、同時に納品された計15台の覗き型展示ケースの内部をあらためて確認したところ、15台のうち14台の調湿剤ボックスには古いガス吸着剤が、残り1台の調湿剤ボックスには使用済み調湿剤が設置されていたため、これらの古いガス吸着剤と使用済み調湿剤はすべて取り出した。前項で述べたとおり、古いガス吸着剤が一旦吸着したガスを放出した可能性が高く、環境調査を実施しなかった残りの13台も含めてすべての展示ケース内の空気が汚染されていることが考えられ、環境を改善する必要がある。そこで、展示台の上にVOC等ガス吸着シート（ファブリックフィルター、株式会社内外テクノス¹⁹⁾を、異なる条件下で設置して汚染物質を吸着させることを試みた（表2）。

まずは、前項で環境調査をおこなった2台のケースを対象に、送風機（ペーパーボックスファン式送風機、イカリ消毒株式会社）を併用し、ガラスカバーを閉じて密閉した状態で、汚染物質の吸着を進めた。そのうえで、設置9日後より、展示台の上にパッシブインジケータを設置して、環境改善の効果を確認した（写真12）。

- 古いガス吸着剤が設置されていた展示ケース（ガラスカバーを再接着したケース）は、VOC等ガス吸着シートと送風機の設置前の調査では、有機酸インジケータは変色しなかったが、アンモニアインジケータは4日後にほぼ完全変色していた。この結果に対して、VOC等ガス吸着シートと送風機の設置から9日後に実施した調査では、有機酸インジケータは7日後も変色せず、アンモニアインジケータは4日後も完全変色にいたらなかった。この結果からVOC等ガス吸着シートと送風機の設置の前後で、アンモニア濃度は30ppb付近から30ppb未満まで低下したといえる。

表2 環境改善の対策による環境調査結果の比較

展示ケース		環境改善の対策			環境調査の結果			
					有機酸		アンモニア	
調湿剤ボックス内に設置されていたもの	ガラスカバーの再接着	VOC等ガス吸着シート	送風機	設置場所	対策前	対策後	対策前	対策後
古いガス吸着剤	再接着	○	○	展示台の上	175ppb 未満*	80ppb 未満	30ppb 付近	30ppb 未満
使用済み調湿剤	地震による破損なし	○	○	展示台の上	175ppb 以上	80ppb 未満	30ppb 以上	30ppb 付近
古いガス吸着剤	再接着	○	○	展示台下の調湿剤ボックス	—	80ppb 未満	—	30ppb 付近
古いガス吸着剤	地震による破損なし	○	○	展示台下の調湿剤ボックス	—	80ppb 未満	—	30ppb 付近
古いガス吸着剤	再接着	○	なし	展示台の上	—	80ppb 未満	—	30ppb 未満
古いガス吸着剤	地震による破損なし	○	なし	展示台の上	—	80ppb 未満	—	30ppb 未満

※4日目の観察でアンモニアインジケータが完全変色したことを受け、有機酸インジケータの7日目の判定をおこなわず環境改善の対策を優先した。

（筆者作成）

- 使用済み調湿剤が設置されていた展示ケース（地震で破損しなかったケース）は、VOC等ガス吸着シートと送風機の設置前の調査では、有機酸インジケータ、アンモニアインジケータともに4日後に完全変色していたが、VOC等ガス吸着シートと送風機の設置から9日後に実施した調査では、有機酸インジケータは7日後も変色せず、アンモニアインジケータは4日後に赤色が残るが変色し、30ppb付近と判定した。VOC等ガス吸着シートと送風機の設置の前後で、有機酸濃度は175ppb以上であったところ80ppb以下まで低下し、アンモニア濃度は30ppb以上であったところ30ppb付近まで低下したといえる。

いずれの展示ケースでも、展示台の上にVOC等ガス吸着シートと送風機を設置することで、環境が改善されることが確認できた。ただし、使用済み調湿剤が設置されていた展示ケースでは、アンモニア濃度が30ppb付近で検知され、このケース内の空気の汚染源は、使用済み調湿剤が設置されていた調湿剤ボックス内の空気であると推測されたことから、調湿剤ボックス内にもVOC等ガス吸着シートを追加設置して、資料を演示するまでの期間、ひきつづき環境改善を試みた。

さらに比較のため、以下の2つの条件による環境改善も同時におこない、環境改善の対策を開始してから9日後に展示台の上にパッシブインジケータを設置して環境調査をおこなった。

- 15台のうち、2台の展示ケース（1台はガラスカバーを再接着したケース、1台は地震で破損しなかったケース）では、VOC等ガス吸着シートと送風機（ベーパーボックスファン式送風機、イカリ消毒株式会社）を、展示台の上ではなく、展示台下にある調湿剤ボックス内に設置し、展示ケースの調湿システムは稼働させずに、環境改善を試みた（写真13）。VOC等ガス吸着シートと送風機の設置から9日後に実施した環境調査の結果は、2台とも、有機酸インジケータは7日後も完全変色にいたらなかった



写真12 展示台上へのVOC等ガス吸着シートと送風機の設置 (2019年7月18日 筆者撮影)



写真13 展示台下の調湿剤ボックスへのVOC等ガス吸着シートと送風機の設置 (2019年7月9日 筆者撮影)

ため80ppb未満であるが、アンモニアインジケータは4日後にほとんど変色したことから推奨値30ppb付近であった。

- ほかの2台の展示ケース（1台はガラスカバーを再接着したケース、1台は地震で破損しなかったケース）では、送風機なしで展示台の上にVOC等ガス吸着シートのみ設置し、展示ケースの調湿システムは稼働させずに、環境改善を試みた。VOC等ガス吸着シートと送風機の設置から9日後に実施した環境調査の結果は、2台とも、有機酸、アンモニアいずれのインジケータも変色はみられなかったことから推奨値の範囲内という結果であった。

これらの条件が異なる環境改善を試みた4台の展示ケースについては、VOC等ガス吸着シートを設置する前の環境調査を実施していないことから、環境改善の対策をとる前後での結果の比較はできない。しかしながら、4台ともに、調湿剤ボックスに古いガス吸着剤が設置されたままになっていた展示ケースであり、ガラスカバー部分の再接着の実施の有無にかかわらず、古いガス吸着剤により放出されたガスがケース内に充満していた可能性は高い。これらの調査結果の比較から、ケース内の環境改善のためにVOC等ガス吸着シートを設置する場合、展示台の上に設置することで、より確実にVOC等ガス吸着シートの汚染物質の吸着効果が得られるといえる。

5 おわりに

本稿では、展示ケース内の環境改善対策として民博でおこなった事例について紹介した。ここで述べたように、民博では、特別展や企画展の準備をすすめるなかで、対応が必要となった場合に簡易環境調査を実施して展示ケース内の環境を確認している。環境調査の結果を受けて、汚染の発生源を確認し、汚染物質を取り除き、新たな汚染発生の予防の対策を講じて、展示ケース内の環境改善が確認できるまで環境調査をおこない経過をみている。環境調査の手法は、状況に応じて選択している。

展示ケース内の空気の汚染物質の代表的なものといえる合板からのオフガスの対策として、合板をアルミニウム箔などで養生することによる効果を示した。さらに、合板を養生した状態であっても、表具に用いるクロスや壁紙、接着剤などの材料から汚染物質が発生した場合の対策と、合板を養生する材料の候補についても紹介した。

また、展示ケース内の環境改善の対策としては、汚染の発生源を取り除いた後、VOC等ガス吸着シートを設置することが有効であるとあらためて確認できた。VOC等ガス吸着シートの効果を得るには、送風機を一緒に設置することよりも、VOC等ガス吸着シートを設置する場所が重要であり、展示資料をおく空間にVOC等ガス吸着シートを置くことが適した方法であることが確認できた。

ただし、このような展示ケースへの対策や環境調査は、すべての展示ケースに対しておこなうのではなく、新たに製作する展示ケースで、空気環境の影響を受けやすい材質からなる資料を展示するときに、特に注意して対応しているものである。日常的には、展示に用いる材料の選択や、展示什器の枯らしの徹底により、空気中の汚染物質による資料への影響がでないように努めている。

付け加えると、合板からのオフガス対策として、例外的ではあるが、借用資料の輸送用クレートを対象に対策をとった事例がある。特別展閉幕後、展示資料の撤去作業中に、海外からの借用資料の額装絵画をおさめる輸送用クレートに強い有機酸臭があったため、クレート内で有機酸濃度を測定したところ（写真14）、使用したガス検知管（910有機酸（酢酸・ギ酸）、光明理化学工業株式会社）の目盛最高値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を優に超える有機酸濃度であった。借用資料は、国内の巡回展での展示を控えており、このクレートに納めて輸送する予定であったが、借用先の担当者に伝え、額装絵画を1点ずつ資料保存用ダンボール（アーカイバルボード、特種東海製紙株式会社）製の箱に納めた後、新たに製作した段ボール箱に入れて運ぶこととした。巡回展が終了した後、海外の借用先へ返却する際には、新たに製作したクレートに、この段ボール箱ごと納め、有機酸が確認されたクレートは空の状態を返却した。

多くの気体は無色で目に見えないものであるが、臭いは、酢酸のように、高濃度になってはじめて人の鼻で感じられるものもある。この事例では、作業にあたった職員が臭いに気づいたため対応をとることができたが、展示ケースの内部だけではなく、資料を密閉空間に納める場合には、その空気環境が資料に影響をあたえる可能性について、資料管理を担当する職員をはじめ、展示作業に関わる者が意識しておくことが重要である。

展示台の表具など、資料と直に接する材料や、展示ケースの中で資料とともに密閉される箇所を使用する材料は、これまでに使用経験があり、安全が確認できている材料を採用することで、汚染物質の発生を抑えることができる。新たな材料を使用する場合に

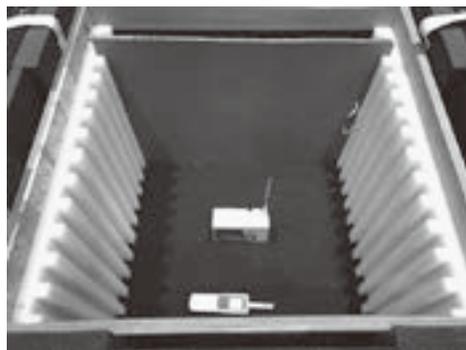


写真14 有機酸臭があるクレート内でのガス検知管測定
(2019年11月29日 撮影：園田直子)

は、事前にサンプルを入手して資料を展示する前に簡易環境調査により確認することが望ましい。特別展や企画展において展示ケース内で用いる材料は、収蔵庫での保管とくらべると短期間での使用となるが、常設展示において展示ケース内で用いる材料は、小さな空間での長期間での使用となる。また、資料と接触して使用する場合も、非接触の状態で使用する場合も、小さく密閉された空間で使用することとなるため、収蔵庫で用いる材料とは使用条件が異なる。展示のデザインや効果を考慮すると、保管で用いている材料だけで対応することは難しい。そのため、十分に枯らしをおこなったうえで、安全に使用できることを確認した材料の情報を地道に蓄積することに努め、今後の展示活動に日々備えている。

展示ケースにおける環境調査や環境改善の対策には時間と人手を要する。民博の場合、特別展や企画展を企画する段階で、空気環境の影響を受けやすい材質を含む資料を展示することが決まった場合や、その資料と密閉に近い空間で新しい材料を用いることが企画された場合、早い段階で、展示の企画者、資料管理を担当する職員、保存を専門とする教員のあいだで情報共有することを徹底しており、環境調査や対策と、展示作業とのスケジュールの調整を組みやすくしている。また、展示の会期中に環境改善の対策をとらなくてはならない場合には、展示仕器のデザインや見た目にも配慮しておこなうことにも心がけている。資料を安全な環境で展示するには、これらの関係者だけではなく、展示デザイナー、施工業者らにもその目的を伝えて共有し、展示活動を進めることが必要であると考ええる。

謝辞

ここで紹介した調査は企画課標本資料係、展示企画係と協力しておこなった取り組みである。また、本稿をまとめるにあたり千里文化財団の佐々木万珠氏、林典子氏にご協力をいただいた。ここに記して感謝を申し上げる。

注

- 1) 民博の特別展、企画展で使用している既存の展示ケースには、下記の5種類がある。
 - 行灯型ワイドケース：幅2,400mm×高さ2,400mm×奥行き1,200mm
 - 行灯型ケース（照明付きタイプ）：幅900mm×高さ2,000mm×奥行き900mm
 - 行灯型ケース（照明なしタイプ）：幅900mm×高さ2,000mm×奥行き900mm
 - 覗き型ケース（新）：幅900mm×高さ900mm×奥行き900mm
 - 覗き型ケース（旧）：幅900mm×高さ900mm×奥行き900mm
- 2) 民博の展示場では、通常の空調条件を給気ダンパー開度40%程度、排気ダンパー開度30%程度として8時間運転をおこなっているが、資料がない状況で仕器等の枯らしをおこなう際には、

空調条件を給気ダンパー開度50%、排気ダンパー開度50%として、ダンパー開度を上げて通常の空調より換気を進めている。なお、新型コロナウイルス感染症対策の一環として、2020年6月18日より、開館時はすべての展示場の給気・排気ダンパーの開度を100%にしている。

- 3) 変色試験紙法（環境モニター）については、製品に同梱されている「環境モニターの使用方法」を参照した。
- 4) 公益財団法人文化財虫菌害研究所より入手可能。
- 5) メーカーは株式会社内外テクノス、製造は株式会社ガステック、販売は太平洋マテリアル株式会社。
- 6) 低濃度の有機酸、アンモニアの測定用のガス検知管としては、有機酸：910有機酸（酢酸・ギ酸）、アンモニア：900美術館用アンモニア（いずれも光明理化学工業株式会社）がある。また、これらの検知管をはじめとした低濃度の化学物質を測定するガス検知管専用のエアサンプリングポンプとして、ASP-1200（光明理化学工業株式会社）がある。
- 7) 「910有機酸（酢酸・ギ酸）」のガス検知管で酢酸を対象として測定する場合、通常、測定時間60分（12L吸引）、印刷目盛の範囲10～400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で測定するが、酢酸が高濃度の環境では、測定時間を30分（6L吸引）として、読み取った値を温度補正した後、2.5倍することで、1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ までの値を得ることができる。
- 8) 民博では、材料選択の一助となるよう、資料の保管や展示に使用する材料の材質調査の手法として、熱分解分析法（発生ガス分析（EGA））、熱分解ガスクロマトグラフィー／質量分析法（Py-GC/MS）、熱脱着ガスクロマトグラフィー／質量分析法（TD-GC/MS）に着目し、その分析結果を使用する材料の判断基準とすることを試みてきた。従来、材質試験としておこなわれてきた写真活性度試験PATや、Oddyテスト（注10参照）は、それぞれ、写真、金属への影響に特化した試験方法であったことから、様々な材質から構成される博物館資料に適用するには無理があると考えたためである。はじめにEGAをおこない、材料の熱挙動を調べ、後におこなう熱分解や熱脱着で検出される物質が、どの程度の温度で発生するのか確認する。Py-GC/MSでは材料の主成分とともに、添加されている可塑剤や接着成分に関する情報が得られる。TD-GC/MSでは、生産時の残留物、素材の添加物、素材からのオフガス、素材の保管中についたコンタミなどが、熱分解の前に蒸発する成分として確認できる。
- 9) 材料の主成分から一次選別をおこない、さらなる選別として、主成分以外の微量成分を確認したうえで、総発生ガス濃度が低いものを選定した。総発生ガス濃度とは、TD-GC/MSの分析結果から、各データの最大ピーク（CO₂以外）強度を100%としたとき約10%以上観測されているピーク面積値の合計を総発生ガスとし、そのサンプルの何ppmに相当するか算出した値である。
- 10) Oddyテストは、1973年、大英博物館の保存科学者Andrew Oddy氏により始められた材質試験である。材料からのオフガス成分が試験片の金属（銀、鉛、銅）にあたる影響により、判定をおこなう。
- 11) これまでの経験により、民博で製作した展示ケースの合板を養生せずに表具をおこなった際、資料演示前に2週間の枯らしをおこなっても、ケース内は酸性環境であった事例がある。対策として特別展の会期中はVOC等ガス吸着シート（ファブリックフィルター、注19参照）と送風機（ペーパーボックスファン式送風機、イカリ消毒株式会社）を展示台の下に設置して約40日間経過観察したが、ケース内の環境は改善されなかった。特別展の会期終了後、VOC等ガス吸着シートをマルチガス吸着シート（エアチューンシート、注12参照）に交換して、送風機とともに設置して3ヶ月間経過観察をつづけたが、養生をしていない合板からはオフガスが放散しつづけることを確認している。

- 12) 製造・販売元は株式会社内外テクノス。太平洋マテリアル株式会社より入手可能。
- 13) 海外製および国内製のアルミシートを対象として展示ケースで使用する合板から放散されるガスを遮蔽する効果を検証した先行研究として、荒木臣紀・土屋裕子・神庭信幸・古田嶋智子・呂俊民・佐野千絵「展示ケース用合板からの放散ガスを遮蔽するアルミシートの性能と効果」(『文化財保存修復学会 第34回大会研究発表要旨集』p. 272-273, 2012年)がある。
- 14) ポリエチレンは高密度ポリエチレンと低密度ポリエチレンに大きく分けられる。リニア低密度ポリエチレンの特性は、薄いフィルム状でも強度に優れている。
- 15) ここで使用した既存の覗き型展示ケースは、注1で示した「覗き型ケース(旧)」である。
- 16) ここで使用した既存の覗き型展示ケースは、注1で示した「覗き型ケース(新)」である。
- 17) 当該展示ケースに設置した調湿剤は、2019年8月22日に資料を演示した時点では55%RH設定のものを設置したところ、湿度が借用条件の範囲を超える傾向がみられたため、翌23日に50%RH設定の調湿剤に交換し、その後展示会期が終わるまで設置した。
- 18) 当該特別展の会期中に記録した展示ケース内の温湿度データでは、展示台の合板を養生していない展示ケースとの比較ができない。しかし、過去の実験において、養生なしの合板製展示台と、防湿包装材料アルミシートで養生した合板製展示台をそれぞれ密閉した展示ケース内の温湿度を比較したところ、養生なしの合板製展示台は、防湿包装材料アルミシートで養生した合板製展示台と比べて展示ケース内の湿度の推移が緩やかであり、合板の吸放湿によるケース内の湿度への影響を確認している。
- 19) 製造・販売元は株式会社内外テクノス。太平洋マテリアル株式会社より入手可能。

参考文献

〈日本語〉

株式会社ガステック

2008 「有機酸・アンモニア検知用 パッシブインジケータ」『ガステック News』vol. 65。

https://www.gastec.co.jp/files/topics/1489_ext_03_0.pdf (2021年7月5日閲覧)

株式会社内外テクノス

「有機酸・アンモニア検知用 パッシブインジケータ」

<https://www.naigai-technos.co.jp/wp/wp-content/uploads/2020/01/パッシブインジケータ.pdf>

(2021年7月5日閲覧)

河村友佳子

2018 「紙素材の民族資料の保存, 生物被害対策」『文化財の虫菌害』75: 12-21。

光明理化学工業株式会社

「北川式検知管のしくみ」

<https://www.komyokk.co.jp/product/001/kensikumi.html> (2021年7月5日閲覧)

「ガス検知管」

<https://www.komyokk.co.jp/pdata/ppdf/kenchikan.pdf> (2021年7月5日閲覧)

佐野千絵

2010 「第2章 汚染物質の性状とその影響」佐野千絵・呂俊民・吉田直人・三浦定俊著『博物館資料保存論—文化財と空気汚染』pp. 17-41, 東京:みみずく舎。

2011 「4. 室内空気汚染」独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所編『文化財の保存環

- 境』 pp. 59-82, 東京：中央公論美術出版。
- 2016 「4. 空気汚染」三浦定俊・佐野千絵・木川りか著『文化財保存環境学 第2版』 pp. 71-93, 東京：朝倉書店。
- 佐野千絵・吉田直人・石崎武志
- 2006 「文化財公開施設の空気環境評価における変色試験紙法の再評価—パッシブインジケータとの相関」『保存科学』45: 215-226。
- 園田直子
- 2009 「民族学博物館での資料保存」『文化財保存修復学会誌（古文化財之科学）』54: 1-21。
- 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所
- 「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> (2021年7月5日閲覧)
- 橋本沙知
- 2021 「保存と活用の両立を目指した博物館資料の収納方法」日高真吾編『継承される地域文化—災害復興から社会創発へ』 pp. 224-238, 京都：臨川書店。
- 三浦定俊
- 2010 「第1章 文化財と空気汚染」佐野千絵・呂俊民・吉田直人・三浦定俊著『博物館資料保存論—文化財と空気汚染』 pp. 1-14, 東京：みみずく舎。
- 吉田直人
- 2010 「第5章 汚染物質測定手法の実際」佐野千絵・呂俊民・吉田直人・三浦定俊著『博物館資料保存論—文化財と空気汚染』 pp. 110-126, 東京：みみずく舎。
- 呂俊民
- 2012 「2.3 室内空気汚染」石崎武志編著『博物館資料保存論』 pp. 41-53, 東京：講談社。
- 呂俊民・石井恭子・古田嶋智子
- 2019 「美術館・博物館のための空気清浄化の手引き（平成31年3月改定版）」佐野千絵・吉田直人監修, 東京：独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所保存科学研究センター。
https://www.tobunken.go.jp/ccr/pub/190410aircleaning_guideline.pdf (2021年7月5日閲覧)
- 呂俊民・古田嶋智子・佐野千絵
- 2014 「(報告) 展示ケース内有機酸濃度のギ酸/酢酸比」『保存科学』53: 205-213。

〈外国語〉

- Sonoda, N., S. Hidaka, H. Ohtani, C. Watanabe, and S. Takeda
- 2008 Application of EGA, PyGC/MS and TD-GC/MS for the Testing of Materials for Use in Storage and Display in Museums. PittCon Conference and Expo 2008, New Orleans, March 2-7 (CD-Rom Abstracts).