

〔報告〕 展示収蔵施設に用いられる木質材料の放散ガス試験

古田嶋 智子・呂 俊民・林 良典*・佐野 千絵

1. はじめに

博物館・美術館などの展示収蔵施設で用いられる内装材の木質材料については、発生する化学物質が文化財に有害な影響を及ぼすことが以前から示唆されており、例えば合板など木質材料から発生する有機酸やアンモニア¹⁾、そしてベイスギなど特有の木材から放散される有機酸やヒノキチオール²⁾などが報告されている。前報³⁾で筆者らは、建材や内装材料から発生する放散ガスを調査するための試験方法を報告した。そこで試験体とした合板は、内装材下地として一般的に用いられている木質材料だが、試験の結果、合板の種類によってガス放散量が異なる可能性があり、選定には注意が必要であることがわかった。そして、実際にはこれらの木質材料の多くは単体で使用されるのではなく、複数の木材やクロス材などの材料と合わせて用いられることから、複合材料としての検証が望まれる。

本研究では、展示収蔵施設で用いられる内装材料の選定指標を提案することを目的として、内装材料の中で下地材として使用頻度が高く、木質材料である合板について単体および複合材料での放散ガス試験を実施した。本報では、試験により確認した合板のガス放散挙動について報告する。また、合板の一つを主材とした収蔵ラックの空気質調査から放散ガスの評価を行ったので、合板使用事例として併せて報告する。

2. 合板および複合材料の放散ガス試験

各材料からの放散ガス濃度を測定し、放散速度に換算して比較した。対象ガスは、博物館・美術館の展示収蔵環境で問題となっている酢酸、ギ酸、そしてアンモニアとした。また、合板からの放散ガスは、清浄な空気環境に一定の時間静置すること（枯らし）で放散速度が指数関数的に減少する。枯らし措置を施した合板の初期放散が終了するまでの時間として、前報で約3週間（21日前後）を要した³⁾ことから、枯らし期間が0日と21日または32日の放散ガス濃度を比較した。

2-1. 試験体

合板単体の放散ガス試験に用いた試験体を表1に示す。普通合板には、放散するホルムアルデヒド濃度から定められる等級がF☆☆☆☆等級（放散速度 $5\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 以下）のものを用いた。接着剤による分類は「2類」はユリヤ樹脂系接着剤、「特類」はフェノール樹脂系接着剤を指す。防虫合板は、上述したF☆☆☆☆等級、特類の合板に防虫効果を施したものである（株式会社岡村製作所「インセクターボード[®]」）。この製品は、接着剤に殺虫剤（シフェノトリン）のマイクロカプセルを混入したもので（薬剤含有量 $0.01\sim 0.02\text{kg}/\text{m}^3$ ）、製造後の合板に木材文化財害虫であるヒラタキクイムシが侵入した場合、マイクロカプセルを嘔吐、踏みつぶすこと

*株式会社岡村製作所

で虫の体内に薬剤が入り、殺虫効果を示すものである。合板Aを除く全ての試験体は、製造してから2～6ヶ月の間に試験を実施し、試験に至るまでの間は換気設備のある倉庫内で保管した。合板Aは材歴が不明である。枯らし期間は21日または32日間として、試験期間中に検出限界値となった試料については、その後の測定は実施していない。

複合材料による放散ガス試験では、展示収蔵施設で一般に合板と組み合わせて用いられる材料を想定し、展示ケースに使用されるクロス貼りした合板と、収蔵庫の床材として合板とブナ材を合わせた試験体を用意した(表2)。また複合材料では、それぞれの材をつなぎ合わせるための接着剤が必要となることから、クロス貼り試験体では接着剤の影響を調べるために合板にクロス貼り用接着剤を塗布しただけの試験体を用意し、クロス貼りした試験体との放散速度を比較した。なお、接着剤は乾燥初期にガス放散が多いと考えられるため、試験体の作成は同時に行い、接着剤塗布から2時間後に1回目の測定(枯らし0日)を実施した。収蔵庫の床材用試験体には、合板種類による放散速度の違いを確認するために、異なる種類の合板による試験体を用意した。

表1 試験体(合板)

	合板A	合板B	合板C	合板D
種類	普通合板	普通合板	普通合板	防虫合板
材料	ラワン材			
接着剤	2類	2類	特類	特類
製造先	輸入	国産	輸入	国産
製造日	不明	2012/1	2011/6輸入	2011/6
試験時期	2012/3	2012/3	2011/11	2011/8
サイズ	410mm×410mm×12.0mm			

表2 試験体(複合材料)

	複合材A	複合材B	複合材C	複合材D
表面	なし	クロス材 (基材:レーヨン, 綿)	ブナ材	
接着剤	でん粉のり		尿素メラミン樹脂	
下地材	普通合板 (輸入・2類)		普通合板 (国産・2類)	防虫合板 (国産・特類)
使用対象	展示ケース 壁面など		収蔵庫	床面など
サイズ	410mm×410mm×12.0mm			

2-2. 試験方法

試験体から放散するガスの捕集には、筆者らが導入している SUS チャンバー (350mm×350mm×300mm 容積36.75L) による放散ガス試験方法³⁾を用いた。試験体をチャンバーに設置し、清浄空気でチャンバー内空気を置換した後に、チャンバー上流から清浄空気を1.0L/minの

流量で流し、下流側からガスをインピンジャーに入った超純水に0.8L/minの吸引流量で3時間捕集する。捕集液中の成分分析はイオンクロマトグラフ(DIONEX ICS-5000)を用い、測定条件は表3の通りである。

表3 イオンクロマトグラフ分析条件

	Anion	Cation
分離カラム	IonPac [®] AS20	Ion Pac [®] CS12A
溶離液	KOH	MSA
グラジェント	5.0mM (0-5.0min), 5.0-30mM (5.0-15min), 30-40mM (15-23min)	20mM
流量	1.0mL /min	
試料導用量	25 μ L	
サプレッサー	ASRS [®]	CSRS [®]
検出器	電気伝導度検出器	

3. 合板を用いた収蔵ラックの空気質調査事例

2011年に改築された美術館収蔵庫に、防虫対策として扉付き収蔵ラックが新設された。収蔵ラックには、全面に組み立て前に枯らし期間を設けた防虫合板を用いている。保存環境に配慮して製作された収蔵ラックによる周囲および収蔵ラック内部の空気質への影響を確認するため、調査を実施した。

3-1. 調査対象

収蔵ラックは、表4の概要にあるラック1、2と同形状のものがそれぞれに連結し、一連の大型ラックを形成している(図1)。ラック外郭は防虫合板で製作され、その中にスチール製の移動型ラックが収納されており、移動型ラックを外側に引き出して絵画などの平面的な作品をラックに固定させて収納できるようになっている(図2)。収蔵ラックは、設置から調査までに約5ヶ月が経過しているが、その形状から気密性が高いことが予測されたため、ラック1の扉を事前に開放し、枯らしの期間を設けた。そのため本調査は、ラック1は2ヶ月の枯らし経過後、ラック2は枯らし未処置にて5ヶ月が経過した状態で実施した。また、収蔵ラックの基材である防虫合板は、製作日から調査時まで約7ヶ月が経過していた。

3-2. 調査方法

ガス捕集には、空間内のガスをポンプにて吸引し、インピンジャーに入れた超純水に捕集するインピンジャー捕集法を実施した。収蔵ラック内ガス捕集では、捕集装置を収蔵ラック内に設置し、直ちに扉を閉めてガス捕集を開始させた。どちらも吸引流量は1.0L/min、採取時間は2時間とし、捕集液中の成分分析は合板による放散ガス試験と同様にイオンクロマトグラフを用いた(分析条件も同様)。収蔵ラック内の換気回数を得るために、収蔵ラック内の換気量を測定した。測定は、収蔵ラック内にトレーサーガスとしてCO₂を放出し、CO₂濃度計(Telaire

表4 収蔵ラック概要

調査対象	収蔵ラック 1 (ラック 1)	収蔵ラック 2 (ラック 2)
仕様	本体：防虫合板（製作日2012/1/13） 移動ラック：スチール製，粉体塗装 隙間処理：ネオプレンゴム	
サイズ	0.5m×2.0m×3.0m 容積：3.0m ³ 内表面積：17m ²	0.5m×2.0m×2.3m 容積：2.3m ³ 内表面積：14m ²
設置場所	美術館収蔵庫（567m ² ）	
履歴	搬入	2012/3/14
	枯らし	ラック扉開放 (2012/6/18)
	調査日	2012/8/20



図1 収蔵ラック外観



図2 収蔵ラック内部

7001)にてCO₂濃度減衰を確認した。測定方法はJIS A1406⁴⁾における二酸化炭素濃度減衰法に準じ、得られたCO₂濃度の変化から式(1)を用いて換気回数に換算した。なお、測定中は収蔵ラック内の空気濃度を均一とするために、収蔵ラック内部に小型ファンを取り付けて内部空気を攪拌した。

$$n = (-2.3/t) \log (Cr - Co)/(Cr_0 - Co) \quad (1)$$

n ：換気回数 (回/h)， t ：時間 (h)， Cr ： t 時間後の収蔵ラック内CO₂濃度 (ppm)， Co ：収蔵庫内CO₂濃度 (ppm)， Cr_0 ：収蔵ラック内CO₂初期濃度 (ppm)

また、ラック2のガス捕集と同時にラック内の揮発性有機化合物 (VOCs) 濃度 (イソブチレン換算) をVOC計 (RAE Model 740, 光イオン化検出法) により測定し、このラック内の閉扉直後からの放散ガスの濃度推移を観察した。

4. 結果と考察

4-1. 放散ガス試験（合板）

合板の試験結果を表5に示す。接着剤の種類が2類に相当する合板A, Bでは、酢酸の放散速度が合板Aは枯らし21日には検出限界値以下となったが、合板Bは21日経過しても $94\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、35日でも $76\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ の値を示し、枯らし期間による放散速度の減少が小さい。ギ酸は酢酸とは異なる挙動を示し、合板Aは21日までに検出限界値まで放散速度が減少したが、合板Bは0日から21日まで約 $8\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ として変化が見られなかった。同じ2類の合板でも21日後の酢酸、ギ酸の放散速度の推移に違いが生じた。また、前報³⁾で2類の接着剤を用いた合板からはアンモニアガス放散が確認されたが、今回は両試験体とも0日から検出限界値以下であった。

次に接着剤の種類が特類である合板C, Dでは、合板Cは試験日までの期間が他と比べて長く取れたためか、枯らし0日から酢酸の放散速度の値は低い。合板Dも32日には酢酸の放散速度は低い値へと推移したが0日と比較した減少率は75%であり、これは合板Bの枯らし32日の減少率と同じとなり、同様の放散速度の推移であることが推測された。ギ酸についても、合板Dは合板Bと同様に放散速度減少の傾向は示さなかった。アンモニアは、両試験体とも0日から検出限界値以下であった。

本試験では、接着剤の種類が2類では初期放散速度が高く、国産合板は2類、特類共に枯らし期間が21日では放散速度が十分に減少しているとは言えない結果を示した。国産合板（合板B, D）と輸入合板（合板A, C）によって、酢酸、ギ酸の放散速度減少傾向に相違が見られたが、製造工程の違いなどがあれば、合板の仕上がりに差異が生じている可能性が考えられる。また、アンモニアは今回全ての試験体で0日から検出限界値以下を示したが、その要因について特定できておらず、さらに検討が必要である。防虫合板である合板Dについては、他の合板と比較して著しく異なる値や挙動は示さなかった。本試験結果から、当初は合板の枯らし期間に約3週間を要すると考えていたが、合板の種類によってその期間では十分ではないことがわかった。

なお、放散速度の評価については、東京文化財研究所が推奨する望ましい基準値を指標としている⁵⁾。基準値となる空間濃度算出には、用いられる空間の換気量、および使用する材の面積といった使用条件が必要であり、その条件により値は異なる。

4-2. 放散ガス試験（複合材料）

合板単体では放散速度が、特に初期放散速度が高いことが確認された。この合板を複合材料として用いた場合の放散ガス挙動について、複合材料によるガス放散試験を試験的に実施し確認した。

クロス貼りによる試験では、クロス貼り試験体である複合材Bは、接着剤だけを合板の上に塗布した複合材Aよりも酢酸の初期放散速度が55%ほど低く、枯らし21日にはかなり低い値まで下がった（表6）。複合材Aの酢酸の初期放散速度は $628\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ と高い値を示し、合板および表面に塗布した接着剤からのガス放散があったとみられる。また、複合材Aは枯らし21日で酢酸の放散速度が $64\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であり、合板単体よりも放散速度の減少が小さく、接着剤の影響が考えられた。アンモニアについては、複合材Bが枯らし0日で放散速度が $31\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ を示した。これは、クロスに含まれる難燃剤のリン窒素化合物から発生していると考えられるが、21日には検出限界値以下となった。試験に用いた接着剤やクロス材には、酢酸やアンモニ

表5 放散速度 (合板)

枯らし (日)	酢酸			ギ酸		
	0	21	32	0	21	32
合板A	456	ND	—	26	ND	—
合板B	315	94	76*	8.1	7.5	7.7*
合板C	68	0.6	—	7.0	0.1	—
合板D	228	—	56	13	—	10

ND: 検出限界値以下, —: 未測定, *枯らし日数35日

表6 放散速度 (複合材料)

枯らし (日)	酢酸		ギ酸		アンモニア	
	0	21	0	21	0	21
複合材A	628	64	5.4	4.1	8.4	0.4
複合材B	287	8.5	4.8	2.0	31	ND
複合材C	443	41	33	1.3	ND	ND
複合材D	648	46	51	1.0	ND	ND

ND: 検出限界値以下

アを生成する成分が含まれているために、それぞれの初期放散速度が高くなる傾向が見られた。しかし、クロス貼り試験体である複合材Bでは、放散速度の減少率が高く、21日には酢酸、アンモニア共に低い値まで下がった。複合材料の場合は、用いる材によりその成分は異なるため一概に述べることはできないが、本試験で用いたクロス材では合板、および接着剤からの酢酸ガス放散を抑制する結果であった。しかし、その効果については下層では下地材である合板や接着剤からガスが放散しているため、ガスの拡散挙動や経時変化など十分な検討が必要と考える。なお、内装材に用いられるクロス材についての詳細な検証は別報⁶⁾を参照されたい。

収蔵庫の床材を想定してブナ材を用いた試験体である複合材C、Dでは、両試験体ともに酢酸の放散速度が枯らし0日で、4-1で示した合板単体(合板B、D)の試験結果よりも高い値を示した。特に複合材Dの初期放散速度は $648\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ で、下地に用いた防虫合板は合板単体では初期放散速度が高い値を示さなかったことから、接着剤やブナ材からのガス放散が考えられた⁷⁾。ギ酸は枯らし0日で両試験体とも合板単体では見られなかった高い放散速度を示したが、21日には両試験体とも約 $1\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ まで減少した。

4-3. 合板を用いた収蔵ラックの空気質調査

空気質調査の結果、2ヶ月間扉を開放していたラック1では、酢酸の気中濃度は $37\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、扉を閉めていたラック2では $237\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった(図3)。また、ラック内の CO_2 濃度測定の結果から換気回数を算出した結果、ラック内換気回数は0.027回/hとなり、本ラックの気密性が高いことが確認された。この結果から、扉を閉めていたラック2では、気密性が高いことで防虫合

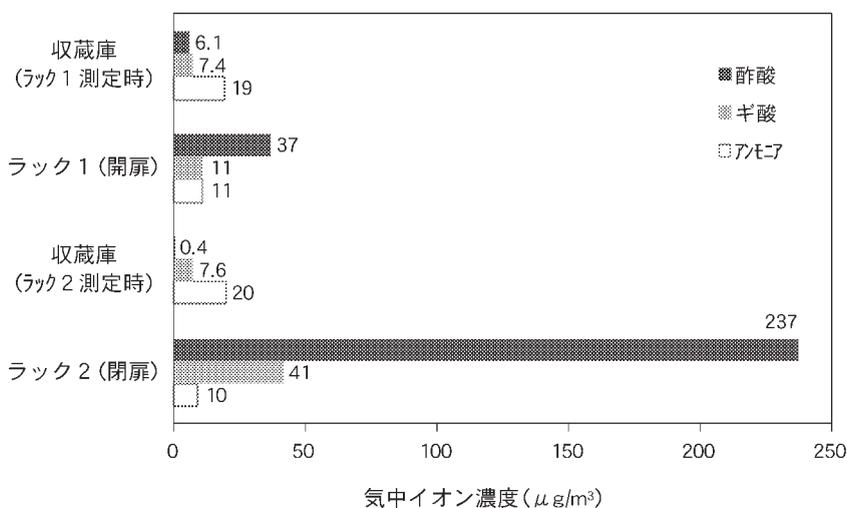


図3 収蔵庫，ラック内ガス濃度

板から放散された酢酸ガスがラック内で滞留し、ラック1より高い値を示したと考えられる。しかし、東京文化財研究所が推奨する濃度基準値⁵⁾は酢酸 $430\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、両ラックともこの推奨値を下回る値であった。また、収蔵庫内の気中ガス濃度は調査中を通して低い濃度であり、ラックによる収蔵庫内への放散ガスの影響はないものと考えられた。

このラックに用いられている防虫合板と、放散ガス試験の試験体とした防虫合板の放散速度を比較するために、ラックに用いられている防虫合板の放散速度を試算した。また、ラック内のガス捕集は測定時間が2時間と限られており、測定のためにラックの扉を開閉した後にラック内空間ガス濃度が均一となるまでに要する時間として十分ではなく、測定値に影響を及ぼすことが推測された。そのため、測定した値にVOC計で求めたガス濃度の定常値と平均値の比を乗じて、定常状態値とする補正を行った。VOCs濃度測定の結果、ラックの扉を閉めた約2時間後にはVOCs濃度が3850ppbでほぼ一定の値を示した。この値を定常値として、測定値の平均値3430ppbとの比率1.12を濃度補正值として用い、試験で得られた各ガス濃度に補正值を乗じ、定常状態のガス濃度を算出した。得られた定常状態ガス濃度より、ラックに用いた防虫合板の放散速度を式(2)より求めた。

$$EF = (C - C_0)Q/S \quad (2)$$

EF ：放散速度 ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)、 C ：ラック内ガス濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 C_0 ：収蔵庫ガス濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Q ：換気量 (m^3/h)、 S ：ラック内表面積 (m^2)
 $Q = nV$ V ：ラック容積 (m^3)

その結果、ラック2の放散速度は酢酸 $1.2\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、ギ酸 $0.2\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ となった。これは4-1で示した防虫合板である合板Dの試験結果枯らし32日の2%程度の放散速度であり、かなり低い値まで放散速度が減少していることがわかる。

5. おわりに

本試験では、展示収蔵施設の内装材の中で下地材として用いられる合板を中心に放散ガス試験を実施した。その結果、合板の種類によって初期放散速度、枯らしに要する日数などが異なることを確認した。また試験をした複合材料では、合板以外の材料によって初期放散速度が合板単体よりも大きくなる場合があるが、それらの放散速度は枯らしによって減少したことから、合板以外の材料が空間へ及ぼす長期的影響は小さいものと考えられた。これらの結果から、合板が最も長期に渡りガスを放散していることがわかり、合板の選定、および十分な枯らしが重要と言える。

合板は単体での使用は少ないが、設置事例として合板を主材とする収蔵ラックの調査事例を示した。調査事例とした収蔵ラックでは、用いられていた合板の放散速度は、試算の結果から大変低い値であったが、使用される面積や気密性によっては空間ガス濃度が高くなる可能性があることが示された。この結果から、材料の枯らしだけでなく、収蔵設備に応じて定期的な換気による清浄空気との交換を推奨したい。

本試験では、材料では製造後約2ヶ月、調査事例とした収蔵ラックも設置後約半年として材料の初期におけるガス放散挙動を確認してきたが、材料の中には仕入れから約6ヶ月が経過してもガス放散があるものもあり、今後は長期的観察を視野に入れた放散ガス試験を実施し、安全性を見極めていく必要があると考える。

謝辞

収蔵庫および収蔵ラックの空気質調査を行うにあたり、多大なるご協力を賜りました東京都美術館 板谷敏弘氏、大橋菜都子氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 佐野千絵：博物館等施設の室内空気汚染—酢酸・ギ酸濃度—, 保存科学, **38**, 23-30 (1998)
- 2) 及川規, 手塚均, 松井敏也, 松田泰典：ベイスギ (*Thuja plicata*) を内装材に用いた収蔵庫の空気環境とその揮発成分の文化財材質への影響, 文化財保存修復学会誌, **46**, 58-65 (2002)
- 3) 古田嶋智子, 呂俊民, 佐野千絵：展示収蔵環境で用いられる内装材料の放散ガス試験法, 保存科学, **51**, 271-279 (2012)
- 4) JIS A1406：1974「屋内換気量測定方法（炭酸ガス法）」
- 5) 佐野千絵, 呂俊民, 吉田直人, 三浦定俊：『博物館資料保存論』みみずく舎, pp.61-72 (2010)
- 6) 呂俊民, 古田嶋智子, 林良典, 佐野千絵：展示空間に用いるクロス材の放散ガスの測定と評価, 保存科学, **52**, 207-216 (2013)
- 7) Arni, P.C., Cochrane, G.C., and Gray, J.D.: The Emission of Corrosive Vapours by Wood. II., *Journal of Applied Chemistry*, **15**, 463-468 (1965)

キーワード：合板 (plywood)；収蔵ラック (storage rack)；放散ガス (emission gas)
；有機酸 (organic acid)；美術館空気環境 (air quality in museum)

Emission Test of Plywood and Interior Materials Used in Museums

Tomoko KOTAJIMA, Toshitami RO, Ryosuke HAYASHI* and Chie SANO

In a previous study, it was found that acetic acid was emitted from plywood used as interior material and suggested that emission rates might differ by type of plywood. In this study, emission tests were performed on plywood and on plywood with some interior materials to assess emission rates of acetic acid, formic acid and ammonia. Results of measurement of air pollutants in a renovated storage room, where new racks made of plywood are placed, are reported in this paper as a case of the use of plywood in museums.

It was confirmed that the emission rate of acetic acid from plywood differed according to the adhesives used or country of manufacture. Plywood using urea resin adhesive showed high rate in the early stage. Plywood made in Japan was slow to decrease in emission rate. In a research of air pollutants in the storage, the air was found to be clean. In contrast, acetic acid concentration inside the racks was rather high, although emission rate of acetic acid from the plywood used for the rack was extremely low. It is assumed that this is because the racks are air tight. This result suggests that air pollutants may be increased by the situation in which plywood is used.

Sufficient attention must be paid to gases emitted from plywood. Moreover, it is strongly recommended that plywood be ventilated to decrease emission gases before using it as an interior material.

*Okamura Corporation