

## 〔報告〕 試験用実大展示ケースを用いた ケース内ガス濃度の解析

古田鳴 智子・呂 俊民・林 良典\*・須賀 政晴\*・佐野 千絵

### 1. はじめに

展示施設で用いられる展示ケースは、ケース内環境を整えるために気密性を高めている。気密性を高めることにより展示ケースへの汚染空気の流入を防ぐことができるが、その反面、ケース内部で汚染ガスが発生した場合には、排出に相当な時間を要するためにケース内にガスが滞留し、展示物が汚染ガスに暴露される危険性を併せ持っている。

筆者らは、これまでこうした気密性が高い展示ケースにおけるケース内部のガス濃度を最小限に留めることを目的に、内装材料による小型チャンバーを用いた放散ガス試験（チャンバー法）を実施し、得られたガス放散速度から展示ケース内濃度を試算し、展示ケースへの影響を示してきた<sup>1,2)</sup>。また、実際の展示ケースによるガス濃度測定も実施している<sup>3)</sup>。しかし、これらはすべて一時的な濃度であり、現実の展示施設における展示ケースは展示期間中には長期間閉ざされた状態となり、このときにケース内にガス発生源がある場合、ケース内ガス濃度は上昇していくことが予測される。例えば、展示ケースの展示床に用いられる合板は、長期的なガス放散があることが知られており、ケース内部にある合板からは継続したガス放散があると考えたほうがよい。したがって、より現実的な展示ケース内のガス濃度推移を把握するためには、ケース内にガス発生源がある状態において、ケースを閉じたままで定期的にガス濃度を確認する必要がある。展示ケース内のガス濃度推移は、展示や展示ケースの換気計画にとって大変重要な情報であるため確認が望まれるが、ケースを閉じた状態のままでは定期的に測定器具の設置、回収ができない点などから、この測定は困難とされていた。そのため、展示ケース内ガス濃度推移については実測例が少なく、これまで実態が明らかではなかった。

今回、筆者らは実際に用いられている大きさの展示ケースに、環境試験のための設備を施した試験用展示ケースを製作した。この試験用展示ケースを用いることで、これまで困難とされていた展示ケース内の継続した空気サンプリングを可能とした。本報では、この試験用展示ケースを用いて確認したケース内ガス濃度推移について報告する。あわせて、これまで実施したチャンバー法から得た展示ケース内濃度推定値と実測値の整合性を確認し、チャンバー法のケース内濃度推定手段としての有効性について検討した。

### 2. 試験用展示ケース概要

試験用展示ケースは、幅0.75m×奥行0.75m×高さ1.92m(ガラスケース部：幅0.73m×奥行0.73m×高さ0.97m (0.52m<sup>3</sup>)) の行灯型五面ガラスエアタイトケースであり(図1)、空気交換率は炭酸ガスをトレーサーガスとして炭酸ガス濃度の減衰により確認した結果0.12回/日であり、気密性が非常に高い(表1)。なお、この値は試験用展示ケース製作時に窒素ガスを注入して酸素濃度の上昇から求めた空気交換率と差がないことを確認している。また、展示ケース

\*株式会社岡村製作所



図1 試験用展示ケース

表1 試験用展示ケース概要

サイズ (ガラスケース部)	W0.75m×D0.75m×H1.92m (W0.73m×D0.73m×H0.97m (0.52m <sup>3</sup> ))
展示床	0.61m×0.55m (0.33m <sup>2</sup> )
空気交換率	定常時：0.12回／日 FAN 運転時：4.6回／日
主な内装材料	展示床 (詳細は表2 参照), コーキング材 (オキシムタイプ), ガラス/反射防止フィルム貼 (ガラス部分の内外面貼)

内の空気循環用に FAN を設置しており, FAN 運転時の空気交換率は4.6回／日である。環境試験用である特徴として, ガラスケース部に測定孔を設けている。この測定孔からチューブなどを通すことで, 展示ケースを開閉することなく, ケース内空気の採取が可能である。また, 展示床部は交換が可能であり, 試験に応じて交換できる。なお, 展示ケースを構成する内装材料は, これまでのチャンバー法の結果よりガス放散が少ない材料を選択して用いている。

### 3. ガス濃度測定

#### 3-1. 測定方法・試料

測定前の準備として, 展示床は試験用展示ケースに設置してから約21日間ケースを開放し, 展示床からのガス放散が減少し安定してから測定に用いた。次に試験用展示ケース内部を十分に換気してからケースを閉じ, 測定期間中はケースを閉じた状態のままとした。測定では, 測定開始1時間前から内部の空気を均一化するために FAN を運転させ, 試験終了後に FAN を止めている。

試験用展示ケース内のガスサンプリング方法は, ガラスケース上部中央の測定孔から中部中央の高さまでチューブを通し, ポンプにて流量1.0L/min で3時間ケース内空気を吸引した(図2)。このとき, サンプリングによって生じるケース内空気の減少を防ぐため, サンプリング後の空気をケースへ戻している。同時に, 試験用展示ケースを設置する室内の空気も捕集した。ポンプで吸引した空気は超純水に捕集し, イオンクロマトグラフ (DIONEX ICS-5000) にて分析した。対象ガスは文化財に有害なガスである酢酸とした。

測定は, test 1, 2では試験用展示ケース内のガス濃度推移を観察するため間隔をあけて繰り返し測定をおこなった。test 1ではケースを閉じてから18, 42, 138, 186, 282時間後に, test 2では18, 42, 66, 90, 114, 186, 258時間後に測定を実施した。test 3, 4では, チャンバー法で求めたガス放散速度との比較をおこなうため, 試験用展示ケースを閉じてから18時間後に測定を実施した。測定期間中は試験用展示ケース, ケース設置室内にデータロガー (onset 社 HOBO U10) を設置し, 温湿度をモニタリングした。

本測定でガス発生源とした展示床は, 試験ごとに交換している。(test 1, 4は同じ展示床を使用)。test 1, 2では, ガス濃度推移の差異を確認するため, 異なる材料による展示床を用い, test

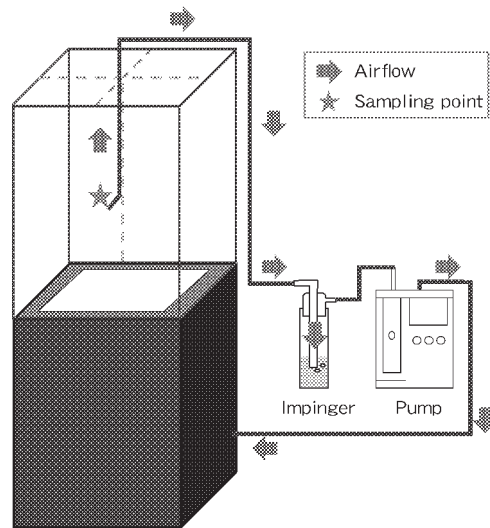


図2 サンプルング概略図

表2 試験用展示ケース展示床仕様

試験名	合板 (接着剤)	クロス	接着剤	製造から測定ま での経過日数
test 1	防虫合板 (フェノール樹脂)	布：セルロース繊維 難燃剤：有機リン化合物 裏打ち接着剤：酢酸ビニル樹脂	でん粉系 接着剤	65
test 2	複合材 [ラワン、 針葉樹] 合板 (ユリヤ樹脂)	布：再生セルロース繊維 難燃剤：リン窒素化合物 裏打ち接着剤：酢酸ビニル樹脂		42
test 3	test 1と同様			35
test 4				65
チャンバー法				59

3, 4では、チャンバー法との比較のため、チャンバー法で用いた展示床と同仕様となる展示床を用いた(表2)。測定に用いた展示床は、試験用展示ケースへ設置するまで緩衝材で梱包して保管した。また、試験用展示ケースの製作から本測定まで1年以上を経過していたため、試験用展示ケース製作当初に使用された他の内装材料からの放散ガスの影響はないものとし、展示床のみをガス発生源とした。

### 3-2. ガス濃度推移

測定時のFANの運転、サンプルング時の試験用展示ケースへ戻す空気量によりケース内の換気量は一時的に変化する。これらの条件下における任意の時間( $t$ )のケース内濃度は、以下の空気中の汚染物質濃度式<sup>4)</sup>から算出できる。このとき、サンプルング後に展示ケースへ戻す空気は清浄化されていることになり、汚染物質濃度式での相当換気量とみなせる。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t} + \frac{(M + QC_0)}{(Q + Q_{eq})} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t}\right) \quad (1)$$

$C$  : 試験用展示ケース内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $C_1$  : 試験用展示ケース内初期濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $Q$  : 試験用展示ケース換気量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $Q_{eq}$  : サンプルングにより生じる試験用展示ケース相当換気量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $R$  : ケース容積 ( $\text{m}^3$ ),  $t$  : 時間 (h),  $M$  : ガス放散量 ( $\mu\text{g}/\text{h}$ ),  $C_0$  : 室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

FAN 運転時は試験用展示ケース換気量が変化するため、式 (1) は式 (2) となる。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q_2}{R} + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t} + \frac{(M + Q_2 C_0)}{(Q_2 + Q_{eq})} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q_2}{R} + \frac{Q_{eq}}{R}\right)t}\right) \quad (2)$$

$Q_2$  : FAN 運転時の展示ケース換気量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

また、非サンプルング時には試験用展示ケースへ戻す空気は 0 となるため、式 (1) は式 (3) となる。

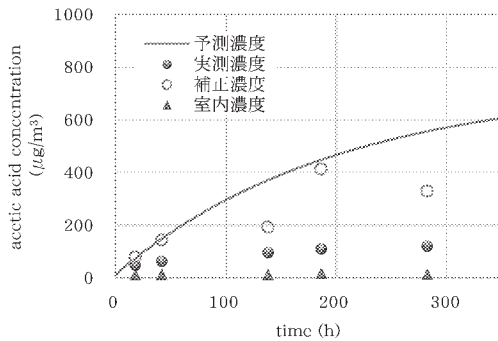
$$C = C_1 e^{-\frac{Q}{R}t} + \frac{(M + QC_0)}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q}{R}t}\right) \quad (3)$$

ここで、FAN 運転時の換気量 ( $Q_2$ ) は空気交換率の測定結果から  $0.11\text{m}^3/\text{h}$  となり、サンプルング時に生じる換気量 ( $Q_{eq}$ ) はポンプの吸引量 ( $1.0\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}$ ) より  $0.060\text{m}^3/\text{h}$  となる。また、ケース容積 ( $R$ ) は試験用展示ケース空間容積を算出した結果から  $0.55\text{m}^3$  となる。試験用展示ケース内ガス放散量の算出は式 (2) を用い、測定 3 時間のサンプルングにおける平均濃度を実測濃度に合わせて求めた。また測定 1 回目となる 18 時間後の濃度算出における試験用展示ケース内初期濃度は、室内濃度を用いた。

測定の結果、試験用展示ケース内の酢酸濃度は時間の経過に伴い test 1, 2 ともに上昇した (図 3, 4 : 実測濃度)。また、時間の経過に伴い実測濃度の上昇幅は小さくなった。室内濃度は、測定期間中ほぼ一定の値を示した。test 1, 2 による実測濃度差は、ガス発生源とした展示床の仕様の違いに起因すると考えられた。得られた実測濃度から、ガス発生源とした展示床のガス放散量を確認した。サンプルングの間隔があくことでガス放散量が一時的にやや下がる傾向が見られたが、測定期間中のガス放散量の変化は小さいと考えられた (図 5)。

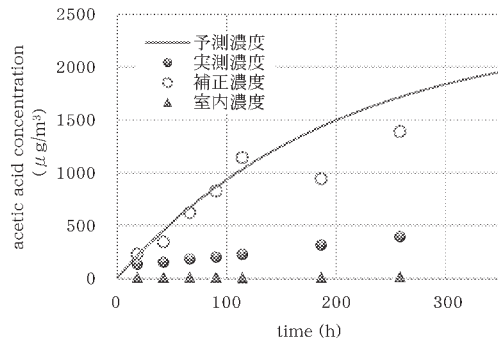
試験用展示ケース内でのガス放散量、室内濃度に大きな変化がないと仮定すれば、式 (1) より任意の時間におけるケース内濃度を算出し、連続したガス濃度推移を試算することが可能となる。そこで、測定 1 回目 (18 時間後) のガス放散量を式 (3) に代入し、サンプルングの影響を除いた状態におけるケース内ガス濃度推移を試算した (図 3, 4 : 予測濃度)。また、この予測濃度と各時に測定した試験用展示ケース内の実測濃度の対応を確認するため、各時の実測濃度から求めたガス放散量から予測濃度算出と同様に式 (3) を用いてサンプルングの影響を除いた状態における濃度 (補正濃度) として算出し、同図に示した。その結果、補正濃度の推移は、図 5 で示したガス放散量の推移と同様にサンプルングの間隔があくと一時的に濃度が低下する傾向は見られたが、test 1, 2 ともおおむね予測濃度の推移と同様の傾向を示した。ま

た、異なる仕様の展示床を用いた test 1,2の間でガス濃度推移の傾向に差異は見られなかった。これらの結果は、展示ケース内ガス濃度が濃度式から導出されるガス濃度推移と同様の推移を示している。このことから、展示ケース内濃度をすることで任意の時間におけるケース内濃度の予測が可能であることがわかった。しかし、ガス放散量がわずかなばらつきでも、試験用展示ケースの気密性の高さによる極めて小さい換気量が、補正濃度と予測濃度の濃度差を大きくしている。そのため、現段階ではガス濃度推移の傾向予測に留まるものである。また、一時的なガス濃度の低下については、空間ガス濃度の上昇に伴い材料からのガス放散速度が見かけ上で低下することも報告されており<sup>4)</sup>、その影響による可能性も考えられるが、現段階では明確ではない。



測定中温湿度：試験用展示ケース内25.8°C (±0.7), 68%RH (±1), 室内25.9°C (±0.6), 68%RH (±5)。\* ( ) 標準偏差

図3 酢酸ガス濃度推移 (test 1)



測定中温湿度：試験用展示ケース内24.5°C (±0.6), 48%RH (±1), 室内24.3°C (±0.6), 39%RH (±7)。\* ( ) 標準偏差

図4 酢酸ガス濃度推移 (test 2)

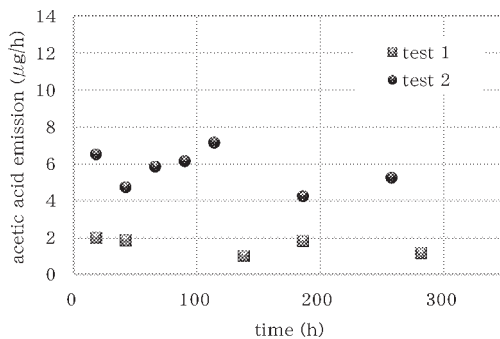


図5 酢酸ガス放散量 (test 1, 2)

## 4. チャンバー法との比較

これまで内装材料によるチャンバー法を実施し、得られたガス放散速度を用いて展示ケース内濃度を試算してきた。この試算の妥当性を検討するため、test 3, 4ではチャンバー法と同仕様の展示床を用いた試験用展示ケース内濃度測定を実施し、チャンバー法の結果と比較した。

### 4-1. 測定方法・試料

test 3, 4における試験用展示ケース内ガスサンプリング方法、捕集ガスの分析方法は3-1

に示した。チャンバー法は、小型チャンバーを用い、清浄空気をキャリアガスとして試料からのガスを捕集し、得られる濃度から放散速度を求める方法であり、詳細については別報を参照されたい<sup>5)</sup>。

試験用展示ケースおよびチャンバー法に用いた展示床は、すべて同仕様であり(表2)、試験用展示ケースへ設置後21日以上、チャンバー法に用いた展示床も21日間の枯らし処理を実施した。

#### 4-2. 結果と考察

試験用展示ケース内ガス濃度測定により得られた濃度は、式(2)を用いてガス放散量を算出し、下記の式よりガス放散速度に換算した。

$$EF = M/S \quad (4)$$

EF: ガス放散速度 ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ), S: 展示床表面積 ( $\text{m}^2$ )

試験用展示ケースを用いて得た test 3, 4のガス放散速度は両者で近い値を示しており、チャンバー法によって得たガス放散速度は test 3, 4と比較するとやや高い値となった(表3)。本検討は値の近似性を確認するものであり、test 3, 4とチャンバー法のガス放散速度の差に試料の差異や測定時の環境条件、空気交換率などによる影響が含まれていることを考慮すると、チャンバー法によるガス放散速度は実測によるガス放散速度と近い値を得ていると考えられた。

ガス放散速度によるガス濃度推移への影響を確認するため、test 3, 4およびチャンバー法、それぞれのガス放散量から式(3)を用いてガス濃度推移を試算した。チャンバー法で得られたガス放散速度は、式(4)を用いて試験用展示ケースの展示床表面積に応じたガス放散量を算出した。また、ここではケース内濃度のみを比較するため、室内濃度は考慮していない。その結果、test 3, 4とチャンバー法のガス濃度推移は、時間の経過に伴い濃度差が大きくなった(図6)。ガス放散量はガス放散速度に比例するため、ガス放散速度の差がガス濃度推移の試算においても反映し、前章と同様に気密性が高い展示ケースでは換気量が極めて小さいことから、ガス放散速度のわずかな差でも濃度換算値に及ぼす影響が大きいことがわかった。

表3 試験結果

	試験名	ガス 放散速度 ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )	ガス放散量 ( $\mu\text{g}/\text{h}$ )	ケース内		室内	
				温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	湿度 (RH%)	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	湿度 (RH%)
試験用 展示 ケース	test 3	4.9	1.6	26.0 ( $\pm 0.1$ )	59 ( $\pm 1$ )	26.2 ( $\pm 0.1$ )	56 ( $\pm 0$ )
	test 4	6.0	2.0	26.2 ( $\pm 0.1$ )	68 ( $\pm 0$ )	26.0 ( $\pm 0.2$ )	60 ( $\pm 1$ )
チャンバー法		8.9	3.0	—	—	21.1	52

※ ( ) 標準偏差



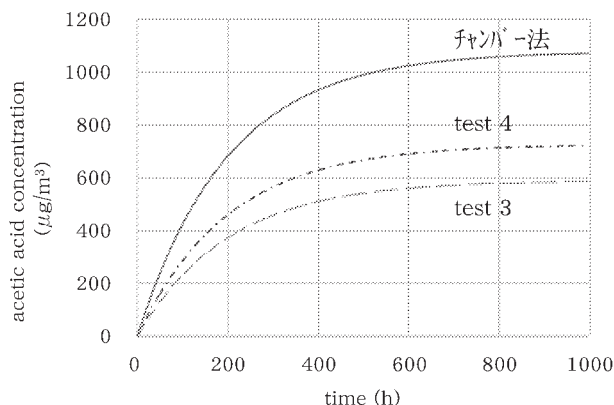


図6 酢酸ガス濃度推移 (test 3, 4, チャンバー法)

## 5. おわりに

実大サイズの試験用展示ケースを用いて、ケース内濃度測定を実施した。ガス発生源がある場合における試験用展示ケース内でのガス挙動は、汚染物質濃度式を用いたガス濃度推移と同様の傾向を示すことを確認した。この結果から、ガス放散が継続している内装材料がある場合には、展示ケース内濃度を得ることで任意の時間のケース内濃度の予測が可能であることがわかった。また、チャンバー法では、試験用展示ケースによる濃度測定から求まるガス放散速度と近い値を得られることがわかった。これにより、展示ケース内濃度の測定が困難な場合にも、チャンバー法を用いて展示ケース内濃度の把握が可能であることがわかった。

なお、本報告で扱った展示床は、長時間経過していても厳密にガス放散量が一定ではなく、また試料ごとのガス放散量のばらつきが避けられなかった。これは、他の内装材料にも同様のことが言える。気密性を有する展示ケースでは、ガス放散量のばらつきによって生じる試算値への影響が大きいいため、試算時にはこのばらつきを考慮する必要がある。

### 参考文献

- 1) 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)
- 2) Tomoko KOTAJIMA, Toshitami RO, Chie SANNO, Estimation of Acetic acid and Ammonia Gases Concentration in Museum Display Cases Using Emission Rate of Construction Materials, 11th International Conference Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments, Czech Republic, P012 (2014.4)
- 3) 佐野千絵, 古田嶋智子, 呂俊民: 展示ケース内有機酸の低減対策の評価法, 保存科学, **53**, 33-43 (2014)
- 4) 日本建築学会編: シックハウスを防ぐ最新知識, 日本建築学会 (2005)
- 5) 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)

キーワード：展示ケース (display case)；ガス濃度推移 (change in gas concentration)；酢酸 (acetic acid)；チャンバー試験 (chamber test)



## Change in Gas Concentration in a Display Case

Tomoko KOTAJIMA, Toshitami RO, Ryosuke HAYASHI\*,  
Masaharu SUGA\* and Chie SANO

Recently, display cases in museums have improved in airtightness. On the other hand, there is a risk that artifacts in display cases may be exposed to chemical gases if there is gas emission from the interior materials used in the display cases. Also it is thought that gas concentration increases with time. However, change in gas concentration in display cases has not been made clear until now. To confirm such a change, it is necessary to repeat gas sampling in a specific time cycle and to keep the display cases closed during test period. But if the cases are kept closed, confirming change in gas concentration is difficult since measuring devices cannot be easily set or removed. In order to solve this problem, a display case was made for environmental testing and gas concentration was measured.

This paper reports the change in acetic acid gas concentration in the display case as confirmed by measurement. It also compares the acetic acid emission rate of the interior materials obtained from the measurement of the display case and that obtained from chamber test.

As a result, it was found that there was little difference in emission throughout the experiment. Gas concentration obtained by the measurement was corrected by removing the effect of gas sampling. This corrected gas concentration was consistent with that obtained through prediction formula based on initial gas concentration. In addition, emission rate of the interior materials obtained by chamber test and by the present measurement was similar. From these results, it was found that it is possible to predict change in gas concentration in display cases by obtaining initial gas concentration and that chamber test is an effective method to estimate gas concentration in display cases.