

ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法の数値理論解析

THE NUMERICAL AND THEORETICAL ANALYSIS
OF THE GLASS AND ACRYLIC DESICCATOR METHODS

羽田正沖*, 田辺新一**, 舟木理香***

Masaoki HANEDA, Shin-ichi TANABE and Rika FUNAKI

This study discusses the reasons for the inconsistency between the glass and the acrylic desiccator methods which have been used in Japan to classify building materials for the emission rate of formaldehyde. Evidences from experiments showed that the theoretical equations used in the glass desiccator method were not applicable to the acrylic desiccator method. Three-dimensional models for the two desiccators were built for numerical calculations to analyze emission, diffusion and absorption associated with the desiccator methods. The results showed that the time to reach the steady state in the acrylic desiccator method is much long which deviates from the conditions of the equations to apply. Smaller exposed area of the testing materials and larger volume of the desiccator in the acrylic desiccator method are included as the major factors for the delay in the formation of steady state.

Keywords : Formaldehyde, Desiccator method, Diffusion, Experiment, Simulation

ホルムアルデヒド, デシケータ法, 拡散, 実験, シミュレーション

1 はじめに

建材に関するホルムアルデヒドの放散性能について, 日本では小型チャンバー法¹⁾及びデシケータ法による測定値により規定されている。小型チャンバー法は気中濃度を直接測定できるため, 国際的にも建材からの化学物質放散測定方法として採用されている。接着剤 (例 JIS A5536:2003等) や断熱材 (例 JIS A9504:2003等) に関しては小型チャンバー法によりホルムアルデヒドの放散規定がなされている。一方, デシケータ法には, 工場等での品質管理において30年以上にわたる測定実績をもつガラスデシケータ法 (JIS A1460) と, 多様な形状や大きさの建材にも対応できるようガラスデシケータ法の放散・吸収理論を適用したアクリルデシケータ法とがある。アクリルデシケータ法は2000年のJAS改正によって集材材等を対象に適用されるようになった。それぞれ容器の材質の他, 試験体のサイズや蒸留水量など条件が異なっているが, いずれも一定期間中に水に溶け込んだホルムアルデヒドの濃度を測定するという簡易な測定方法である。しかし, アクリルデシケータ法では建材の放散性能を危険側に見積もる可能性があるとの報告¹⁻³⁾もあり, これらの測定方法の理論値が一致しない原因に関して明確な説明はなされていない。本報では, ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法に関する放散理論の差異について検討を行った。

2 デシケータ法

デシケータ内のホルムアルデヒドの状態は, 質量保存の法則より

(1)式が成り立つとされている⁴⁾。定常時のデシケータ内濃度は(1)式より(2)式で表される。ここで, デシケータ内のホルムアルデヒド濃度が測定時間の24時間に対して十分に短い時間で定常になっていると仮定すると, ホルムアルデヒドの水中濃度は(3)式で推定される。建材の特性値である m , 水の物性値である β と α はデシケータの種類や大きさに依存しない値であるため, (2)式から建材と水の表面積の割合を一定に保った場合にはデシケータ内濃度は一定となる。また建材と水の表面積の比が一定の場合には, (3)式より水中濃度は水の表面積と水の体積の比によって決定される。

$$\frac{dC_d}{dt} V_d = mS - \beta C_d S - \alpha S_w C_d \quad \cdots \cdots (1)$$

$$C_d = \frac{m}{\beta + \alpha S_w / S} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$D = C_d \times \frac{\alpha S_w}{W} \times t = \frac{m}{\beta + \alpha S_w / S} \times \frac{\alpha S_w}{W} \times t \quad \cdots \cdots (3)$$

ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法の測定条件を表1に示す。測定条件についてガラスデシケータ法と比較すると, アクリルデシケータ法は建材面積が1/4, 水の表面積が1/4である。このことから, (2)式に従うと両デシケータ内濃度は同じになると考えられる。一方, 水の体積は1/15であるため, (3)式に従うとアクリルデシケータ法による水中濃度はガラスデシケータ法の3.75倍になると推定される。このことより, アクリルデシケータ法では, ホルムアルデヒド水中濃度の換算係数として3.75が用いられている。ガラスデシケータ法はデシケータ値 D_G [mg/L] により建材の等級基準が定

* 早稲田大学大学院理工学研究科 博士課程・修士(工学)

** 早稲田大学理工学術院 教授・工博

*** 早稲田大学理工学総合研究センター
客員研究員・博士(工学)

Graduate Student, Waseda University, M. Eng.

Prof., Waseda University, Dr. Eng.

Visiting Researcher, Advanced Research Institute for Science and Engineering,
Waseda University, Dr. Eng.

められているが、アクリルデシケータ法を用いた建材の等級は、そのデシケータ値 D_A [mg/L] を3.75で除した値をガラスデシケータ法の等級基準と照合することにより決定されている¹⁾。

表1 デシケータ法の測定条件

デシケータ	ガラスデシケータ	アクリルデシケータ
容積 [m ³]	0.010	0.040
建材表面積 [m ²]	0.18	0.045
水面表面積 [m ²]	0.0104	0.00255
蒸留水量 [L]	0.300	0.020

3 デシケータ法の比較実験

ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法の換算係数とされている3.75の妥当性を確認するため、同一の建材を用いた測定を行った。

3.1 実験概要

試験体にはMDFベースの複合フローリング²⁾を用いた。ガラスデシケータ法は、JIS規格による建築用ボード類の測定方法⁵⁾に、アクリルデシケータ法はJAS規格によるフローリングの測定方法⁶⁾にそれぞれ従った。試験片は、アクリルデシケータ法では表面からの放散のみとするために小口部分と裏面をシールし、ガラスデシケータ法では全面からの放散とした。各測定法について6セット用意し、それぞれ2セットずつ12, 24, 48時間後の水中濃度を測定し平均濃度を求めた。

3.2 実験結果

実験結果を図1に示す。水中濃度は測定時間に比例して増加し、ガラスデシケータ法によるデシケータ値は0.07mg/L、アクリルデシケータ法では0.17mg/Lとなった。ガラスデシケータ法の測定時間と水中濃度の関係を(4)式に、アクリルデシケータ法の測定時間と

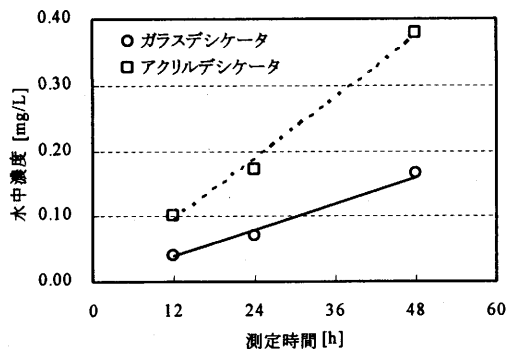


図1 デシケータ法の比較実験結果

水中濃度の関係を(5)式に示す。本実験の結果では水中濃度比 (D_A/D_G) は2.36となった。

$$D_G = 0.033 \times t \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$D_A = 0.078 \times t \quad \dots\dots\dots(5)$$

4 数値シミュレーション手法

デシケータの比較実験で得られた結果の原因を調べるため、各デシケータ内のホルムアルデヒドの拡散性状を数値計算により解析した。形状の違いを比較するために、各デシケータについて実物を計測してモデル形状データを詳細に作成した。作成したガラスデシケータモデルを図2に、アクリルデシケータモデルを図3に示す。モデルの解析条件を表2に示す。

4.1 解析領域の条件

デシケータ内の空気中におけるホルムアルデヒドは、(6)式に示すFickの第一法則に従い拡散するものとした。デシケータ内の状態を(7)式に示す。全ての境界面について移流のない条件とし、また、温度条件は一定と仮定して解析領域内での対流現象は考慮しないこととした。なお、解析領域内のホルムアルデヒドの拡散係数 Da は(8)式⁷⁾を用いて算出し、0.0532[m²/h]とした⁸⁾。湿度による放散性状の変化、デシケータなどの表面への吸着は考慮しないものとした。

$$E = -Da \frac{\partial C_d}{\partial x} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{\partial C_d}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(Da \frac{\partial C_d}{\partial x_i} \right) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$Da = 0.044 \frac{T^{3/2}}{P(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \times 3600 \quad \dots\dots\dots(8)$$

4.2 解析条件

モデル内が定常状態になるまで、解析間隔を1分とした非定常解析を行った。解析結果としてデシケータ内のホルムアルデヒド平均濃度と、水面付近に設置した検出面よりホルムアルデヒドの通過物質質量を出力した。検出面を通過する物質質量は水へ吸収されるものと仮定し、解析間隔ごとに得られるため水への吸収速度 [μg/min] とした。デシケータ内が定常状態になった場合には吸収速度が一定となるため、本解析では吸収速度の変化が 1×10^{-7} μg/min² 以下になる場合を定常状態に達したと判断することとした。

5 建材面と水表面の境界条件

ここでは、図2, 3で示したデシケータ内を対象としたホルムアルデヒドの拡散現象の数値解析⁸⁾を行うに際し設定した建材面と水表面の境界条件について、その設定条件と設定値の算出方法を述べる。なお、建材面と水表面については、面近傍の3層分のメッシュが厚さ一定 ($=5.0 \times 10^{-4}$ m) となるようにモデルを作成した。

5.1 建材面の境界条件

建材面からのホルムアルデヒドの放散は、建材内部から建材表面までの濃度差に依存する放散条件とし、建材表面のメッシュ i から

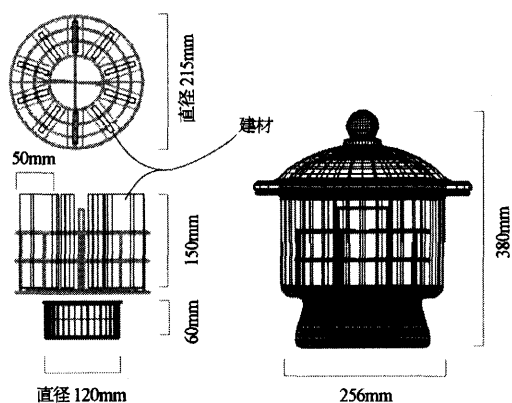


図2 ガラスデシケータモデル

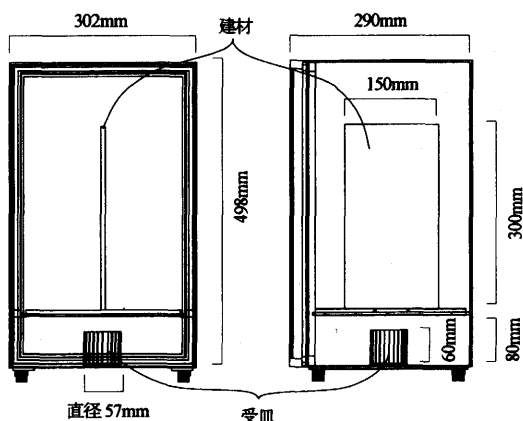


図3 アクリルデシケータモデル

表2 モデルの解析条件

		ガラス デシケータ	アクリル デシケータ
デシケータ、 内部空間の 条件*	体積メッシュ数	2,320,610	1,001,966
	温度条件	20℃等温	20℃等温
	初期濃度 [μg/m³]	0	0
	容積 [m³]	0.0107	0.0396
	HCHO 拡散係数 [m²/h]	0.0532	0.0532
建材面の 境界条件**	表面メッシュ数	55,658	14,759
	建材表面積 [m²]	0.180	0.045
	建材面の平衡濃度 [μg/m³]	115	115
	物質移動係数 [m/h]	0.252	0.252
水表面の 境界条件***	表面メッシュ数	2,384	2,986
	水表面積 [m²]	0.0103	0.00252
	水面の平衡濃度 [μg/m³]	0	0
	水中の物質移動係数 [m/h]	106	106

* 詳細は4.1 参照

** 詳細は5.1 参照

*** 詳細は5.2 参照

の放散量は(9)式によるものとした。ここで、図4に示すように C_e は建材内部の平衡濃度、 C_i は建材表面のメッシュ i の濃度、 k_b は建材内の物質移動係数である。ガラスデシケータモデルについては建材面全面を(9)式の条件とし、アクリルデシケータモデルについては放

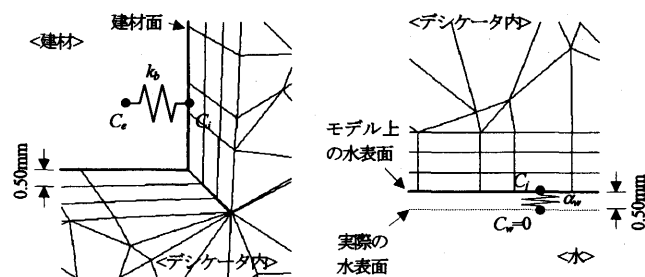


図4 建材面と水表面の境界部分

散面である表面のみを(9)式の条件として、側面および裏面は移流のない条件とした。

$$E_i = k_b \cdot (C_e - C_i) \cdot S_i \quad \text{.....(9)}$$

(9)式で条件を与える際に必要となる建材の物質移動係数と平衡濃度を得るため、小型チャンバー法による測定を行った。Hoetjer ら⁹⁾は、定常時のチャンバー内濃度の逆数 ($1/C$) と n/L には(10)式に示すような線形関係が成り立つとしている。この関係を用いることで、チャンバー内での物質移動係数 k と建材の平衡濃度 C_e を傾きや切片の値から求めることができる。

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_e} + \frac{1}{kC_e} \times \frac{n}{L} \quad \text{.....(10)}$$

測定には20Lの小型チャンバー⁹⁾を用い、3項で示した比較実験と同一の建材を用いた。測定条件は換気回数を0.5回/hに固定し、試料負荷率を0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.2m³/m³とした。試験体は試料負荷率に合わせて1枚のボードから切り出し、試験体表面のみからホルムアルデヒドを放散させるため、小口部分および裏面をシールした。実験は温度25±1℃、相対湿度50±4%の条件で行った。平衡濃度に関しては、容積10Lの気密袋(テドラーバッグ)に試験体を設置して密封し、圧縮空気(純ガスS)を封入して25℃の恒温槽内に約24間放置した後、7.5L捕集した。実験の結果から(10)式を用いて k 及び C_e を算出すると、 k は0.234m/h、 C_e は115μg/m³となった⁵⁾。

チャンバー内の建材の物質移動係数は、(11)式より建材内の物質移動係数 k_b と空気側の物質移動係数 k_{c-air} に分解することができる。村上¹⁰⁾によると、今回の測定に用いた小型チャンバーの空気側の物質移動係数は3.33m/h程度とされている。これらにより、本実験で用いた建材内の物質移動係数は0.252m/hと推定された。

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{c-air}} + \frac{1}{k_b} \quad \text{.....(11)}$$

5.2 水表面の境界条件

水表面へのホルムアルデヒドの吸収は、水表面の濃度に依存する条件とし、水表面のメッシュ j の吸収量は(12)式によるものとした。なおホルムアルデヒドは水溶液中では水和したメチレングリコールおよびその重合体の形で存在するため、ホルムアルデヒドとしての濃度は極めて低くなる。そのため、水表面については(12)式の $C_w = 0$ として設定した。また、水中におけるホルムアルデヒドの拡散は非常に速く抵抗にならないと仮定し、係数 α_w は空気側第1層目の抵抗として、(13)式を用いて拡散係数と境界層1層分の厚さより求めた。算出結果より、 $\alpha_w = 106\text{m/h}$ として設定した。つまり、本モデル上の水表面は仮定の境界面であり、実際には水表面上 $5 \times 10^{-4}\text{m}$ に位置

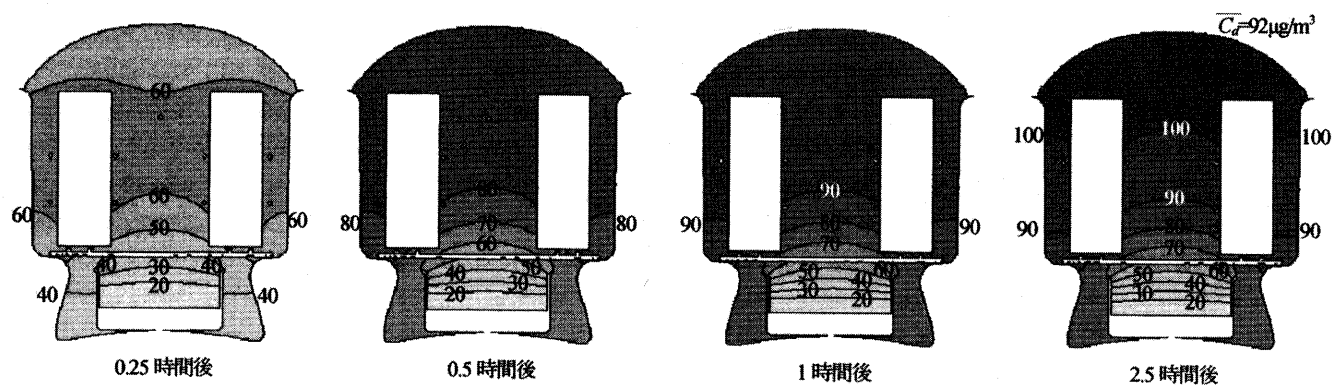


図5 ガラスデシケータモデルの解析結果

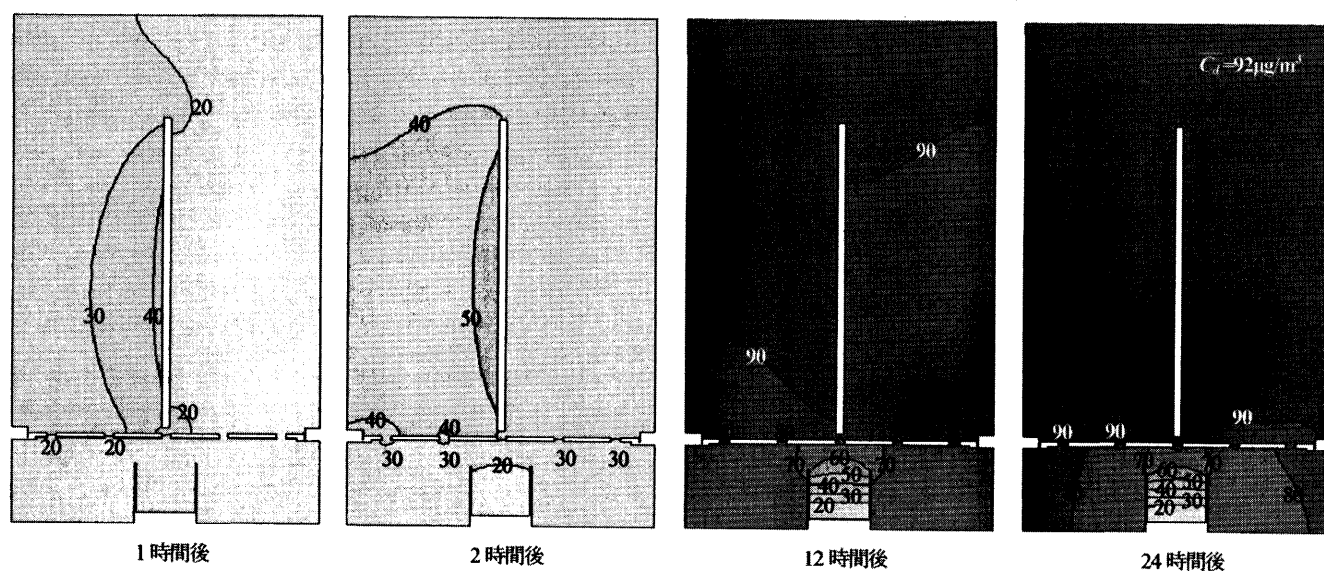


図6 アクリルデシケータモデルの解析結果

する空気層の面となる。建材面と水表面の境界部分での扱いの違いについては図4に示す。

$$E_j = a_w \cdot (C_w - C_j) \cdot S_j \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\alpha_w = \frac{Da}{x_1} \quad \dots\dots\dots (13)$$

6 数値モデルの解析結果

6.1 水中濃度

水面の吸収量の累積をそれぞれのデシケータ法で定められている水の体積で除したものを水中濃度とした。なお、解析モデルが4.2節の定常判定基準を満たした場合は、それ以降吸収速度は一定として吸収量を加算した。解析結果より得られた24時間後の水中濃度はデシケータ値に換算すると、ガラスデシケータモデルでは0.068mg/L、アクリルデシケータモデルでは0.19mg/Lとなった。いずれのモデルについても3項の実験結果と近い値が得られた。

6.2 デシケータ内濃度

各モデルのデシケータ内の濃度変化について検討する。デシケータ内濃度分布を10μg/m³ずつの等濃度線で、ガラスデシケータモデ

ルは0.25, 0.5, 1, 2.5時間後の解析結果を図5に、アクリルデシケータモデルは1, 2, 10, 20時間後の解析結果を図6に示す。

ガラスデシケータモデルは中心軸に対して点対称であるため、濃度分布にも対称性が保たれていた。解析開始後は0.25時間後の図に見られるように板の周りの濃度が高く、デシケータ上部と下部に向かって拡散した。その後、吸収も放散もしない上部は板の周りと同程度の濃度となり(0.5時間後)、デシケータ上部から吸収面に向けた濃度勾配が形成された(1時間後)。また、2.5時間後には濃度分布の変化はほぼなくなり、定常状態に達した。

アクリルデシケータモデルでは図中のモデル中央部に位置する建材の左側が放散面となっている。濃度分布より左右の非対称性が確認された。解析開始後は、デシケータ上部から板背部へ回る拡散と、下部にある吸収面に向かう拡散に分かれた(1時間後, 2時間後)。測定開始後12時間が経過すると、デシケータ内が広い範囲で高濃度となり、その後さらに測定終了時間まで徐々に高濃度の領域が拡大した(24時間後)。

24時間後のデシケータ内に存在しているホルムアルデヒドの物質質量から算出したデシケータ内の平均濃度は、ガラスデシケータモデルでは92μg/m³、アクリルデシケータモデルでは92μg/m³であり、両モデルとも同じ濃度となった。

6.3 吸収速度および拡散速度

数値解析により得られたホルムアルデヒドの吸収速度の経時変化を図7に示す。ガラスデシケータモデルでは解析開始後3時間未満で定常判定基準を満足したため、それ以降は一定の吸収速度とした。一方、アクリルデシケータモデルにおける吸収速度は、解析開始から終了時間まで変化し、一定にはならなかった。

定常時には吸収速度と建材面からの放散速度は等しくなるため、定常時における吸収速度を放散速度として考える。放散速度は(9)式より定まるため、両モデルの違いが表面積のみであれば定常時にガラスデシケータモデルの吸収速度はアクリルデシケータモデルの4倍となるはずであった。しかし、本解析の結果ではガラスデシケータモデルで0.86 $\mu\text{g}/\text{h}$ 、アクリルデシケータモデルでは0.20 $\mu\text{g}/\text{h}$ となり、その比は4.3倍であった。

7 デシケータ法の比較検証

アクリルデシケータ法による測定濃度をガラスデシケータ法による測定濃度に換算する係数として提案された3.75について、数値シミュレーションによる検証を行った。換算係数の導出に使用された(2)式と(3)式について考察すると、デシケータ内濃度はいずれのモデルにおいても同程度の濃度となっていたことから、(2)式には妥当性があると考えられた。しかし(3)式を用いた濃度推定は、デシケータ内濃度が測定時間である24時間と比較して十分短い時間で定常になることが前提条件である。数値計算より得られた結果では、ガラスデシケータ法は2.5時間程度で定常状態となりその条件を満たすが、アクリルデシケータ法では24時間後においても定常に達しない可能性が示された。また、定常時における放散速度についても、放散面積に比例した放散速度が得られなかった。これらの影響と原因について数値解析結果より考察を行った。

7.1 非定常時における水の吸収量

アクリルデシケータモデルでは定常状態となるまでに時間がかか

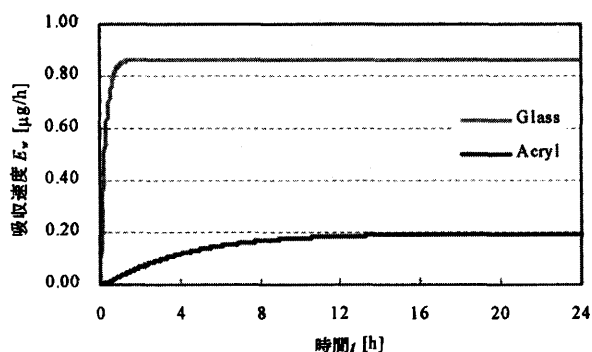


図7 吸収速度の変化

表3 水への吸収量と理想的な吸収量

	ガラス デシケータ	アクリル デシケータ
①水への吸収量 [μg]	21	3.9
②定常時の放散速度×24 [μg]	21	4.7
①÷②=r [%]	99	82

ることが、デシケータ内の濃度変化や放散速度の変化などより確認された。この原因として放散面積に対するデシケータ体積が関係していると考えられる。6.2節において述べたように、測定終了時におけるデシケータ内の濃度はいずれのモデルにおいても同程度となっていた。しかし、物質質量に換算するとガラスデシケータモデルでは0.99 μg 、アクリルデシケータモデルでは3.6 μg となり、デシケータ容積による違いが顕著に現れた。デシケータ内が定常状態になるためには、少なくともこの量のホルムアルデヒドが放散されていなければならないとも考えられる。数値計算で用いた建材の最大放散速度は(9)式において $C_i = 0$ となったときであるが、この最大放散速度を以てデシケータ内にホルムアルデヒドを放散した場合を仮定すると、ガラスデシケータモデルでは0.19時間、アクリルデシケータモデルでは2.8時間必要となる。このことより、水や建材への吸収を考慮しなかった場合においても、アクリルデシケータ法の測定条件では定常状態に至るまでに長い時間がかかりやすいといえる。

(3)式による吸収量の算出では時間を変数とした一次式で表されている。その精度を検討するために(14)式を用いて、①実際の24時間での吸収量(式中の分子)、に対する、②定常時の放散速度 E_t [$\mu\text{g}/\text{h}$] が仮に24時間得られたとする理想的な吸収量(式中の分母)の割合を求めた。検討結果を表3に示す。この割合はガラスデシケータモデルでは99%、アクリルデシケータモデルでは82%となった。このことより、アクリルデシケータ法では理論上理想とする吸収量に対して非定常時の吸収量が与える影響は大きく、(3)式の精度を十分に保つことができないといえる。

$$r = \frac{\int_0^{24} E(t) \cdot dt}{E_t \cdot 24} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (14)$$

7.2 定常時における放散速度

前述の非定常時の影響は測定時間を長くすることによりその影響を緩和することが可能である。しかしシミュレーション結果では、ガラスデシケータモデルの定常時の放散速度がアクリルデシケータモデルの4.3倍となり、面積比と一致する放散速度は得られなかった。このことから、測定時間を伸ばして非定常時の影響を小さくした場合においても、両測定法の結果を換算して比較する上では不都合が生じる可能性が考えられる。

放散速度に関する(9)式中の変数は両モデルにおいて共通していることから、放散面付近の濃度の影響が起因していることが考えられる。デシケータ内の濃度勾配は、デシケータの形状や建材の位置、受皿の設置位置などによって形成されたため、建材の位置によっても拡散、デシケータ値が変わる可能性があることが推察される。

7.3 等価拡散距離

小沢・伊藤ら¹¹⁾は拡散距離、濃度分布、放散速度について、放散面濃度一定の場合は拡散距離の変化で濃度勾配と放散速度が変化し、放散フラックス一定の場合には濃度分布のみ変化すると報告している。本報の解析条件はこのいずれにも該当しないが、Fickの第一法則による拡散場においては、放散速度は拡散距離の変数となっており、拡散係数を拡散距離で割った値は便宜上、物質移動係数として用いられる。ここでは、各デシケータモデルについて、建材表面か

ら水表面までの間の平均的な距離（等価拡散距離とする）について検討する。

定常時には吸収速度、建材の放散速度、デシケータ内空気層中を移動するホルムアルデヒドが全て同じとなる。ホルムアルデヒド移動速度を TR とすると、このとき $TR = E_i$ となる。建材面の平衡濃度 C_e から水面の平衡濃度 $C_w (= 0)$ の濃度差によって生まれる移動速度 TR は、その濃度差とその間に存在する抵抗との関係から求めることができる。なお等価拡散距離を算出するに当たり、建材面と水表面の面積が異なるために、単位面積当たりの放散速度で検討するのは困難である。そこで(15)式に示す¹⁶⁾濃度差、抵抗、移動速度の関係を利用して算出することとした。ここで、建材面の抵抗は(15)式右辺括弧内の第一項で建材の物質移動係数と建材面積の積の逆数、水面の抵抗は同第二項で水中の物質移動係数と水面積との積の逆数とした。また、空気層内の物質移動係数は同第三項で拡散係数を等価拡散距離で除したものとし、空気層内の断面積はデシケータ容積を等価拡散距離で除したものとした。

等価拡散距離は(15)式から、また(16)式よりデシケータ内の空気層の物質移動係数¹⁷⁾を計算した。これらの算出結果を表4に示す。等価拡散距離はガラスデシケータでは0.250m、アクリルデシケータでは1.02mとなった。このことから、ホルムアルデヒドが放散面から吸収面まで拡散するために必要な平均的な距離は、アクリルデシケータではガラスデシケータの4.1倍相当と推定された。一方、デシケータ内空気層の物質移動係数はガラスデシケータでは0.21m/h、アクリルデシケータでは0.052m/hと算出された。

$$(C_e - C_w) = \left(\frac{1}{kS} + \frac{1}{a_w S_w} + \frac{1}{Da/\Delta x \cdot V_d/\Delta x} \right) \cdot TR \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$k_{d-air} = \frac{Da}{\Delta x} \quad \dots\dots\dots(16)$$

表4 等価拡散距離とデシケータ内空気層の物質移動係数の算出結果

	ガラス デシケータ	アクリル デシケータ
等価拡散距離 Δx [m]	0.250	1.02
空気層の物質移動係数 ¹⁷⁾ k_{d-air} [m/h]	0.21	0.052

ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法は放散、拡散、吸収の現象を共有している。しかし、デシケータ内濃度が測定時間に対して十分に短い時間で定常になるというガラスデシケータ法の成立根拠となる理論式の必要条件をアクリルデシケータ法は満たしていない可能性が示された。また測定条件の相違点が多いため定常時における放散速度も一致しないことから、換算係数を用いて安易に評価基準を作成することは妥当ではないと考えられた。

8 まとめ

- (1) ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法の測定値と理論値が一致しない原因を解明するために、両デシケータ法と小型チャンバー法による実験結果を境界条件として、数値計算により検証した。
- (2) ガラスデシケータの数値モデルでは2.5時間でデシケータ内が

定常状態となったのに対し、アクリルデシケータのモデルでは24時間後でも定常状態には達しなかった。

- (3) 24時間後のデシケータ内の濃度はガラスデシケータ、アクリルデシケータともに同程度となった。容積が大きく放散面積が小さいアクリルデシケータ法では、デシケータ内濃度を高め、定常状態に至るためにより長い時間が必要となると考えられた。
- (4) 今回の解析条件では、定常時における放散速度が放散面積と比例しなかった。デシケータ内の濃度勾配形成に関わるデシケータの形状や建材の位置、受皿の設置位置が原因である可能性が考えられた。
- (5) 吸収速度を用いて算出した等価拡散距離はガラスデシケータでは0.250m、アクリルデシケータでは1.02mとなった。等価拡散距離と拡散係数より求めたデシケータ内の空気層の物質移動係数は、ガラスデシケータでは0.21m/h、アクリルデシケータでは0.052m/hとなった。
- (6) ガラスデシケータ法とアクリルデシケータ法は放散、拡散、吸収の現象を共有しているが、測定時間に対して十分に短い時間でデシケータ内濃度が定常になるというガラスデシケータ法の成立根拠となる理論式の必要条件をアクリルデシケータ法は満たしていないと考えられた。

【謝辞】

本研究の一部は、農林水産省から委託された先端技術を活用した農林水産研究高度化事業による「シックハウス対策としての特定の木質建材に関する化学物質の放散特性の解明(2002-2004年、総括責任者 鈴木憲太郎)」の助成により行われた。また研究を行うにあたり、井上明生様(独立行政法人 森林総合研究所)、田村彰様(日本合板検査会)、吉田弥明様(静岡大学名誉教授)に多大なご協力をいただきました。記して感謝いたします。

【注】

- 1) JIS規格(A 1901)では「小形チャンバー」と表記されている。
- 2) 測定当時(2002年)のホルムアルデヒド放散性能の最高等級建材
- 3) 拡散係数は文献¹⁰⁾の式をそのまま用いると[m²/s]で算出される。ここでは単位の便宜上[m²/h]で求められるように(6)式は換算した。また、成分A、Bはそれぞれ空気とホルムアルデヒドとして、分子容($V_{air} = 29.9$ [-], $V_{HCHO} = 2 \cdot V_{H-化合物} + V_O - \text{アルデヒド} = 29.6$ [-])と分子量($M_{air} = 29.0$ [-], $M_{HCHO} = 30.0$ [-])は文献値を使用し、温度($T = 293.15$ [K])、圧力は大気圧($P = 101,325$ [Pa])とした。
- 4) 数値解析にはソフトウェアクレイドル社のSCRYU/Tetra V5を使用した。
- 5) 平衡濃度や物質移動係数は温度や湿度の影響により変化する。小型チャンバーの測定結果から補正を行う必要があると考えられるが、本解析においてはその影響を考慮せずに小型チャンバーの測定結果をそのまま使用した。
- 6) 建材面積および水表面積が異なること、またデシケータ内空気層の平均的な断面積が不明であるため、この式においては各境界部の面積を抵抗の一部として考慮し、一次元的な観点における等価拡散距離を求めることを試みた。
- 7) 拡散係数と等価拡散距離を用いて空気層の物質移動係数を算出する場合には、対象とする空間のどこまでとするかが重要である。ここでは等価拡散距離を対象として算出した。

【記号】

- C : 濃度(添字なしの場合はチャンバー内濃度) [μg/m³]
 D : 水中濃度(デシケータ値) [mg/L]
 Da : 拡散係数 [m²/h]
 E : 拡散速度、吸収速度 [μg/h]
 L : 試料負荷率 [m²/m³]

M_A : 成分 A の分子量 (拡散係数算出式) [-]
 P : 圧力, 全圧 [Pa]
 Q : 換気量 [m^3/h]
 S : 表面積 (添字なしの場合は建材の表面積) [m^2]
 T : 温度 [K]
 TR : 移動速度 [$\mu\text{g}/\text{h}$]
 V : 体積 [m^3]
 V_A : 成分 A の分子容 (拡散係数算出式) [-]
 W : シャーレ内の蒸留水の量 [L]
 k : 物質移動係数 (添字なしの場合は建材の物質移動係数) [m/h]
 m : 最大可能ホルムアルデヒド放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
 n : 換気回数 [回/h]
 t : 時間 [h]
 α : 吸収係数 (添字なしの場合は水の吸収係数) [m/h]
 β : 材料の吸収係数 [m/h]
 Δx : 拡散距離 [m]

[添字]

A : アクリルデシケーター
 G : グラスデシケーター
 W : 水中, 水側
 b : 建材, 建材側
 c : チャンバー
 $c\text{-air}$: チャンバーの空気側
 d : デシケーター
 $d\text{-air}$: デシケーターの空気側
 e : 平衡
 t : 定常時
 i : 要素 i
 j : 要素 j

[参考文献]

- 1) 日本住宅・木材技術センター:「木質建材環境問題委員会報告書—木質建材からのホルムアルデヒド放散に関する実験成果と規格・使用目安の提案」, 1999.8
- 2) Risholm-Sundman, M., Vestin, E. and Weibull, A.:「Determination of Formaldehyde Emission-Precision, Accuracy and Correlation between Different Desiccator Methods」, Akzo Nobel
- 3) 舟木理香, 田中博, 田辺新一:「小型チャンバーADPACを用いたアルデヒド類, VOC放散量の測定に関する研究 (その12 デシケーター法におけるホルムアルデヒド放散量の検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.937-938, 2003.8
- 4) 藤井正一, 鈴木庸夫, 小八ヶ代貞雄:「パーティクルボード JIS 改正にともなうホルムアルデヒド放出量に関する研究」, 建材試験情報, Vol. 9(3), pp.10-13, 1973.3
- 5) JIS A 1460:「建築用ボード類のホルムアルデヒド放散量の試験方法—デシケーター法」, 2001.3
- 6) 「フローリングの日本農林規格」, 2000.7
- 7) 日本機械学会:「物質移動」, 伝熱ハンドブック, 丸善, pp.144-146, 1993
- 8) Hoetjter, H.H. and Koerts, F.:「A model for formaldehyde release from particleboard」, American Chemical Society, pp.125-144, 1986
- 9) 田辺新一, 舟木理香, 島田菜穂美:「小型チャンバーADPACを用いた建材・施工材からの室内汚染化学物質放散速度の測定」, 日本建築学会技術報告集, 第10号, pp.153-157, 2000.6
- 10) 村上周三, 加藤信介, 朱晴宇, 田辺新一, 伊藤一秀:「揮発性有機化合物の放散・吸脱着等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その27) 小型チャンバーADPAC内の物質放散性状に関するCFD解析」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.811-812, 2001.9
- 11) 小沢麻理, 伊藤一秀, 田辺新一, 熊谷一清:「パッシブ型化学物質サンプラーの内部空間を対象とした物質拡散場解析」, 日本環境管理学会・室内環境学会学術研究発表会, pp.264-267, 2004.10

(2005年12月22日原稿受理, 2006年5月22日採用決定)