

# ガラス製 Flat-Plate Test Chamber を用いた Sticking Coefficient の測定

正会員 〇瀧ヶ崎薫\*<sup>1</sup> 同 伊藤一秀\*<sup>2</sup>  
同 安宅勇二\*<sup>3</sup>

ガラス製チャンバー ホルムアルデヒド Sticking Coefficient

## 1. 序

本研究ではガラス製の境界層型チャンバーである Flat-Plate Type Test Chamber を用いて、ホルムアルデヒドを対象とした各種建材表面における吸着フラックスの支配パラメータである Sticking Coefficient の測定を行うことを目的とする。

## 2. 化学物質沈着モデリングの概要

本研究では、固相面に対する吸着現象を支配する吸脱着モデルとして、SEMATECH<sup>文1)</sup>による分子の平均熱運動速度 $\langle v_T \rangle$ 、ならびに Sticking Coefficient (沈着係数)  $Es$  を用いたモデリングを採用する。気体分子運動論より、平均自由行程スケール $\lambda$ における固体表面近傍における吸着対象となる化学物質の気相濃度を  $C|_{y<\lambda}$  [ppm]、固体表面に衝突(もしくは透過)した量に対して、固体表面に留まった、すなわち吸着した割合を  $Es$  (Sticking Coefficient) とした場合、気中から固体表面に至る化学物質の吸着 flux  $J$  は(1)式で示される。

$$J = -Es \cdot \frac{\langle v_T \rangle}{4} \cdot C|_{y<\lambda} \quad (1)$$

ここで、 $\langle v_T \rangle$  は対象化学物質分子の平均熱運動速度 [m/s] であり、気体分子運動論より、以下の(2)式により定義される。

$$\langle v_T \rangle = \left[ \frac{8RT}{\pi M} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

また  $R$  は気体定数 [8.3145 J/mol/K]、 $T$  は絶対温度 [K]、 $\pi$  は円周率、 $M$  は対象化学物質の分子量である。ホルムアルデヒド(分子量  $M=30$ )を対象として、平均熱運動速度 $\langle v_T \rangle$  を推定すると、雰囲気温度  $T$  を 293 [K] とした場合、 $\langle v_T \rangle = 454.744$  となる。本研究では各種の吸着性能を有する建築材料を対象として、(1)式の支配パラメータである  $Es$  (Sticking Coefficient) の測定を行い、データを蓄積することで、数値解析の境界条件となる  $Es$  値の提供を行うことを目的とする。

## 3. ガラス製 Flat-Plate Test Chamber 概要ならびに基本性能

本研究で用いるガラス製 Flat-Plate Test Chamber (境界層型チャンバー)の概要を図1に示す。チャンバー本体は 1500(x)×300(y)×10(z) [mm] の容積を有し、y 方向には均一な流れ場が形成されるよう、吹出スロットならびに吸込スロットが設計されている。チャンバー内壁は全てガラス製である。またチャンバー内の建材設置面は床レベルで Flat が確保されるよう、建材厚さに応じて高さ調節が可能な構造となっている。また、チャンバー内は建材設置位置上面で一様流となるよう、吹出スロットから建材設置位置までに十分な助走を設けている。チャンバー吹出風速は 1.0 m/s、スロット幅を代表長さとした場合の Reynolds 数は 700 であり、チャンバー内は層流である。

## 4. 実験概要

チャンバーは恒温室内に設置し、温度 20°C 一定に制御する。吹出風速は 1.0 m/s (換気回数 2400 回/h) に制御している。チャンバーに

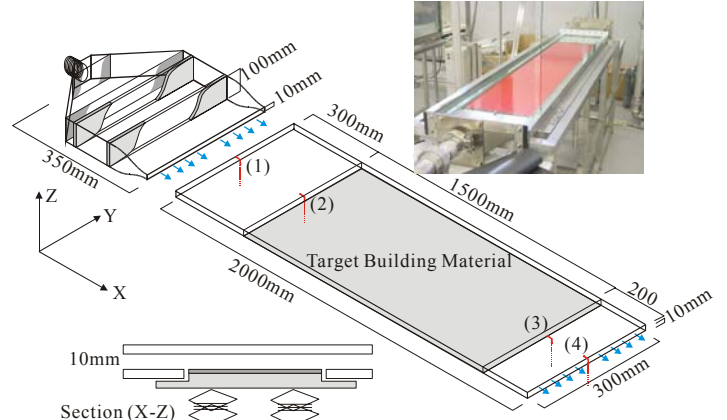


図1 ガラス製境界層型チャンバー概要

表1 実験条件

Glass Chamber Vol.	1500(x) [mm]×300(y) [mm]×10(z) [mm]
Air Inlet Velocity	$U_{in} = 1.0$ m/s (Re=700)
Air Change Rate	2400 /h
Temperature	20 ± 0.1°C
Relative Humidity	30 ± 5%

表2 実験ケース

Exp. Case	Building Material	$C_{in}$ [ug/m <sup>3</sup> ]	$U_{in}$
Case (eb)	Glass	104.9	1.0 m/s
Case (e1)	SUS 304	104.6	
Case (e2-1)	Gypsum Board (Normal type)	32.5	
Case (e2-2)		50.5	
Case (e2-3)		120.5	
Case (e3-1)	Gypsum Board (Passive ads. Type1)	35.1	
Case (e3-2)		65.5	
Case (e3-3)		123.9	
Case (e4-1)	Gypsum Board (Passive ads. Type2)	43.3	
Case (e4-2)		61.7	
Case (e4-3)		166.1	

対する配管系はすべて SUS304 の鏡面仕上げであり、供給空気は、化学物質除去を対象とした活性炭フィルタを通過後、HEPA フィルタを通過させることで粒子状物質の除去を行う。配管系統を含むチャンバーの Back Ground 濃度を測定した結果、TVOC レベルで 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下、光散乱式デジタル粉塵計で浮遊粉塵濃度の測定を行った結果、0.01  $\text{mg}/\text{m}^3$  (直径 10  $\mu\text{m}$  以下の粉塵濃度) 以下を達成していることを確認している。実験条件を表1に示す。

### 4.1 実験ケース

測定対象建材ならびに供給濃度をパラメータとして設定した実験ケースを表2に示す。本実験は供給濃度一定の条件で試験建材表面通過後の対象化学物質(ホルムアルデヒド)濃度低下を測定する方法である<sup>注1)</sup>。試験建材はチャンバー材質のGlassの他、SUS304、石膏ボード(通常製品と化学吸着剤を添加した製品 2種類)を対象

とする。ホルムアルデヒド濃度レベルは厚生労働省指針値(100ug/m<sup>3</sup>)前後で3段階設定する。

## 4.2 サンプルングおよび分析法

DNPHによるサンプルングは、試験開始後(ホルムアルデヒド供給開始後)1時間の時点で行う<sup>注2)</sup>。溶媒抽出後、HPLCにて分析を行う。実験はN=2の条件で行っている。

## 5. 濃度測定結果

各建材表面通過後のホルムアルデヒド濃度低下の測定結果を表4に示す。供給濃度は実次元濃度[ug/m<sup>3</sup>]、建材表面通過後のサンプルング点(4)位置(図1)での濃度は供給濃度レベルで除した無次元濃度として示す。ホルムアルデヒドを対象とした場合、SUS304と比較してGlass面での濃度低下が相対的に大きい結果となった。

## 6. Sticking Coefficientの推定

FPT Chamber内建材上部の流れ場を十分に定常プロファイルに達した層流と仮定し、主流方向(x方向)の拡散に対し、移流が十分に大きいと仮定した場合、FPT Chamber内の化学物質濃度場を記述する輸送方程式を以下に示す。

$$\frac{3}{2}\bar{u}\left[\left(\frac{z}{h}\right)^2 - 1\right]\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, \quad -h \leq z \leq h, \quad 0 \leq x \leq x_L \quad (3)$$

$$J = D\frac{\partial C}{\partial z} = Es\frac{\langle v_T \rangle}{4}C \quad \text{at } z = -h \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = h \quad (5) \quad C = C_{in} \quad \text{at } x = 0 \quad (6)$$

$x_L$ はFPT Chamber建材設置面長さ(=1.5[m])、 $h$ は $z$ 方向半幅(=0.005[m])を示す。また、実験条件より、平均風速 $\bar{u}$ (=1.0[m/s])、吹出口位置での化学物質濃度 $C_m$ (=1.0)は無次元値とし、対象化学物質であるホルムアルデヒドの気中における分子拡散係数 $D$ (=1.53×10<sup>-5</sup>[m<sup>2</sup>/s])および平均熱運動速度 $\langle v_T \rangle$ (=455[m/s])である。(3)式の方程式ならびに上述した境界条件を用いて算出したSticking Coefficient( $Es$ )と図1に示す濃度測定点(3)( $x=1.5$ [m]位置= $x_L$ )におけるホルムアルデヒド平均濃度( $C_{ave}$ )の関係を図2に示す。また図2と表4に示す濃度測定結果より推定した $Es$ (Sticking Coefficient)の推定結果を表4中に併せて示す。

濃度測定結果よりチャンバー内壁のGlassに対するホルムアルデヒドの吸着が無視できないため、図2に示す $Es$ と $C_{ave}$ の関係式はホルムアルデヒドのバックグラウンド吸着量を考慮して算出している(具体的には(4)式の吸着フラックス式をFPT Chamber上壁面にも適用)。Glassに対するホルムアルデヒドの $Es$ は $9.5 \times 10^{-7}$ [-]、石膏ボードは $10^{-4}$ から $10^{-6}$ [-]のオーダーとなった。石膏ボードに関して $Es$ と供給濃度の関係を図3に示す。 $Es$ は濃度依存性を示す結果となった<sup>注3)</sup>。

## 7. 結論

Flat-Plate Type Test Chamberを用いて、ホルムアルデヒドを対象とした各種建材表面に対するSticking Coefficientの測定を行った結果、Glass面では $Es=9.5 \times 10^{-7}$ [-]、石膏ボードでは $Es=10^{-4} \sim 10^{-6}$ [-]と推定された。また $Es$ の濃度依存性が確認された。

**注[1]** 各測定点でChamberのZ(高さ)方向に3点の濃度測定を行い、空間平均濃度を算出している。吹出スロット位置ではY方向に濃度測定を行い、均一濃度が供給されていることも事前に確認している。

**注[2]** 本測定では吸着フラックスの時間変化は考慮せず、1時点のみの測定を行っている。時間依存性については今後の検討課題である。

**注[3]** Sticking Coefficient  $Es$ の濃度依存性は、吸着相濃度と気相濃度の関係を示す吸着等温線と組み合わせる必要がある。図3の縦軸 $Es$ を $Es$ に気相濃度を乗じた仮想的な吸着相濃度と仮定すると、 $Es$ と供給濃度 $C$ にはLangmuir型の関係式が仮定可能である。

表4 ホルムアルデヒド濃度測定結果ならびに $Es$ 推定値

Exp. Case	Building Material	$C_m$ [ug/m <sup>3</sup> ]	$C_{out}/C_m$ [-]	$Es$ [-]
Case (eb)	Glass	104.9	0.974	$9.5 \times 10^{-7}$
Case (e1)	SUS 304	104.6	0.994	$< 1.0 \times 10^{-9}$
Case (e2-1)	Gypsum Board (Normal type)	32.5	0.897	$6.0 \times 10^{-6}$
Case (e2-2)		50.5	0.872	$8.0 \times 10^{-6}$
Case (e2-3)		120.5	0.830	$1.2 \times 10^{-5}$
Case (e3-1)	Gypsum Board (Passive ads. Type1)	35.1	0.762	$2.1 \times 10^{-5}$
Case (e3-2)		65.5	0.731	$2.7 \times 10^{-5}$
Case (e3-3)		123.9	0.715	$3.0 \times 10^{-5}$
Case (e4-1)	Gypsum Board (Passive ads. Type2)	43.3	0.628	$6.2 \times 10^{-5}$
Case (e4-2)		61.7	0.585	$9.5 \times 10^{-5}$
Case (e4-3)		166.1	0.568	$1.4 \times 10^{-4}$

(濃度測定位置は図1の(1)および(4)位置)

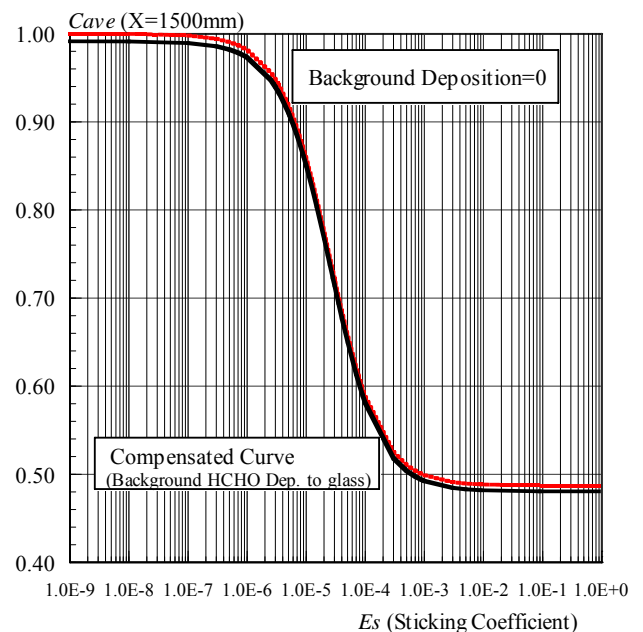


図2  $C_{ave}$  &  $Es$  の関係 ( $X=1.5m$ )

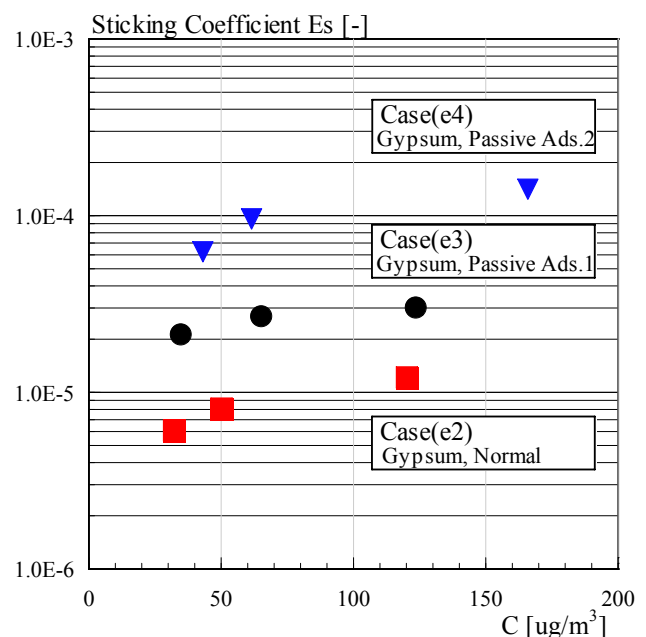


図3  $Es$  の濃度依存性

## 参考文献

- [1] SEMATECH, Forecast of Airborne Molecular Contamination Limits for the 0.25 Micron High Performance Logic Process, Technology Transfer 95052812A-TR, 1995.3

\*1 前田建設工業株式会社(東京工芸大学大学院) Maeda Corporation

\*3 吉野石膏株式会社 Yoshino Gypsum Co. Ltd.

\*2 東京工芸大学 助教授 工博 Tokyo Polytechnic Univ.