

境界層型テストチャンバーを用いた Terpene 類の Sticking Coefficient 測定 Measurement of Sticking Coefficient of Terpene by Using Flat-Plate Test Chamber

細谷 聡* 伊藤 一秀**
Satoshi HOSOYA, Kazuhide ITO

Keyword : FPT Chamber, Limonene, Sticking Coefficient

はじめに

本研究ではガラス製の境界層型チャンバーである Flat-Plate Test Chamber を用いて、Terpene 類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。

1. 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着モデルとして、SEMATECH^{文1)}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) E_s 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 E_s (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。

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

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(2)式で定義される。

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

ここで、 R は気体定数 [8.3145 J/mol/K]、 T は絶対温度 [K]、 π は円周率、 M は対象化学物質の分子量である。本研究では SUS 等の材料を対象として、(1)式の支配パラメータである E_s (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 E_s 値の提供を行うことを目的とする。

2. FPT 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

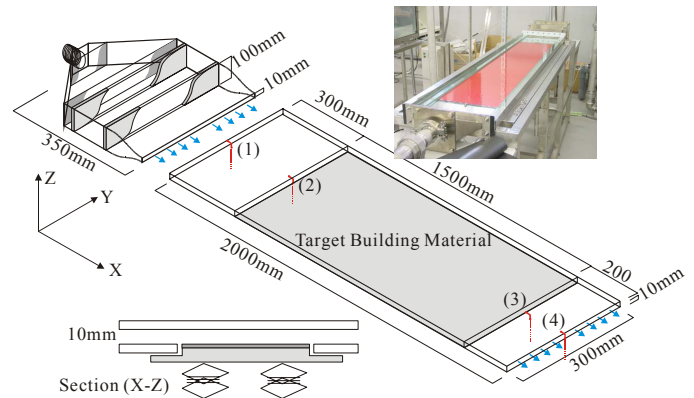


図1 ガラス製境界層型チャンバー概要

表1 実験条件

Glass Chamber Vol.	1500(x) × 300(y) × 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	Terpene	C_{in} [ug/m ³]
Case(eb)	Glass	d-Limonene	1893
Case(e1)	SUS 304	d-Limonene	1668

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。

3. 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 μg/m³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。

3.1 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 (Terpene 類)濃度低下を測定する方法である。試験建材は SUS304 を対象とする。対象化学物質濃度

* 東京工芸大学大学院 修士課程

** 東京工芸大学工学部建築学科 助教授 工博

レベルは厚生労働省指針値前後の設定が合理的であるが、本測定では若干高めの濃度で実験を行う(表2)。また、FPT チャンバー材質のGlassに対するBack Ground Deposition を評価するため、チャンバー内がブランクの状態においても試験を行う。

3.2 サンプルング・分析方法

Carbotrap 349 を用い、試験開始後(Terpene 類供給開始後)5時間経過した時点でサンプルングを行う。5時間経過時点で、吸着フラックスはほぼ定常になっていることを確認している。加熱脱着後、GC/MSにて分析を行う。実験はN=3の条件で行っており、濃度測定結果はアンサンプル平均値である。

4 濃度測定結果

試験建材を対象とした測定に先立ち、Glass に対する Terpene 類の Back Ground Deposition レベルの検討を行った結果、供給濃度に対する濃度低下比として 8 [%]程度(Sticking Coefficient で $Es=4.6 \times 10^{-6}$ [-] 程度)の影響があることが明らかとなった。

各建材表面通過後の Terpene 類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/m³]、建材表面通過後のサンプルング点(3)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。

試験建材は床レベルの一面のみに設置しているため、上面はチャンバーの素材であるガラス面となる。SUS 304 を設置した場合、ガラスによる濃度低減効果を含め、供給濃度に対する濃度低下比として 85 [%]程度となり、ガラスのみと比較して、濃度低下が大きい結果となった(表4)。

5. 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。

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

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

$$J = D \frac{\partial C}{\partial z} = Es \frac{\langle v_T \rangle}{4} C \quad \text{at } z = h \quad (\text{Back Ground Glass}) \quad (5)$$

$$C = C_{in} \quad \text{at } x = 0 \quad (6)$$

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_{in} (=1.0) は無次元値とし、対象化学物質である Terpene 類の気中における分子拡散係数 $D=6.2 \times 10^{-6}$ [m²/s]、および平均熱運動速度 $\langle v_T \rangle$ (=213.4 [m/s])であ

表4 Terpene 濃度測定結果ならびに Es 推定値

Exp. Case	Building Material	C_{in} [ug/m ³]	C_{out}/C_{in}	Es [-]
Case(eb)	Glass	1893	0.920	4.6×10^{-6}
Case(e1)	SUS 304	1758	0.855	1.5×10^{-5}

(濃度測定位置は図1の(2)および(3)位置)

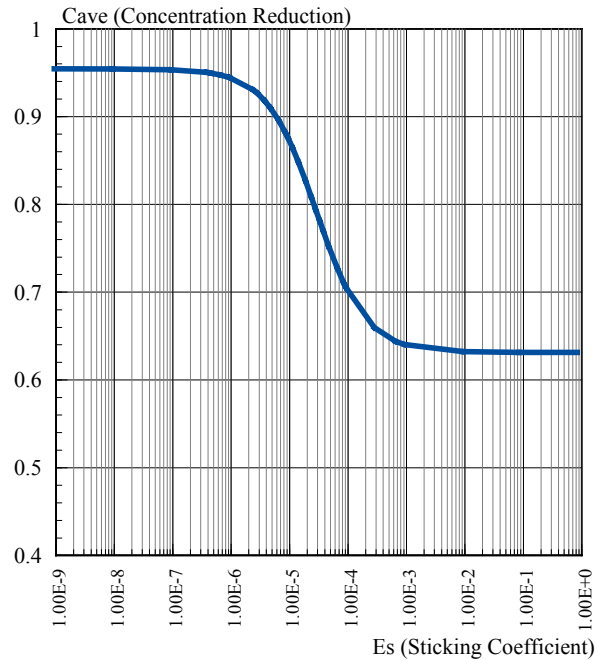


図2 C_{ave} & Es の関係 (X=1.5m)

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)における化学物質平均濃度(C_{ave})の関係を図2に示す。濃度測定結果よりチャンバー内壁のGlassに対するTerpene類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 Terpene 類の Back Ground 吸着量を考慮して算出している。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。SUS304に対するTerpene類の Es は 1.5×10^{-5} [-]と推定された。

6. 結論

FPT Chamber を用いて Terpene 類の Sticking Coefficient を推定した結果、Glass に対して 4.6×10^{-6} [-]、SUS 304 に対して 1.5×10^{-5} [-]と推定され、相対的に SUS 304 に対する吸着が大きい結果となった。

[注]

今回の解析対象である Terpene 類(d-Limonene, α -Pinene, α -Terpinene)は全て C10H16、分子量 M=136.23。そのため3種ともに分子拡散係数 $D=6.2 \times 10^{-6}$ [m²/s]、平均熱運動速度 $\langle v_T \rangle=213.40$ [m/s]は同一の値を使用

[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
- [2] Yaws, C.L., 1995. Handbook of Transport Property Data. Gulf Publishing Company, Houston, TX.