

## 揮発性有機化合物の化学反応等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その 6)

## ガラス製 Flat-Plate Test Chamber の開発と Mass-Accommodation Coefficient の測定

沈着フラックス Ozone ガラス製チャンバー

正会員 ○三田名津季\*<sup>1</sup> 同 伊藤一秀\*<sup>2</sup>  
同 加藤信介\*<sup>3</sup>

## 1. 序

本研究は外気由来の Ozone を中心とした室内空気中における化学反応に着目し、特に Ozone の単分子反応ならびに他の有機化合物との二分子反応のモデリングを行うことで高精度の室内化学物質濃度予測モデルを開発することに主眼がある。低 Re 型モデルを用いて室内空間を対象とした CFD を行う際には、気中での化学反応現象を予測することのほか、粘性底層内での建材表面に対する Ozone 沈着現象を正確に再現することが重要となる。本報では、Ozone の沈着 flux を支配する主要なパラメータである Mass Accommodation Coefficient ( $\gamma$ ) の測定を行うことを主目的として開発したガラス製の境界層型 Chamber (Flat-Plate Test Chamber) の性能試験結果を報告すると共に、各種の建材を対象として測定した  $\gamma$  のデータを報告する。

## 2. Ozone 沈着モデリングの概要

固体表面のごく近傍 (固体表面より  $2\lambda/3$  [m] 離れた所、 $\lambda$  は平均自由行程) における Ozone 濃度を  $C|_{y=2\lambda/3}$  [ppm]、固体表面に衝突した Ozone が固体表面で減少する割合を  $\gamma$  (Mass Accommodation Coefficient) とすると表面に至る Ozone 沈着 flux ( $J$ ) は(1)式となる。

$$J = -\gamma \cdot \frac{\langle v \rangle}{4} \cdot C|_{y=2\lambda/3} \quad (1)$$

ここで、 $\langle v \rangle$  は Boltzman 速度[m/s]である。更に、固体表面に面した数値解析上の離散定義点から固体表面まで(距離  $\Delta y_1$ ) の Ozone flux ( $J$ ) は、(1)式に加え、離散定義点から距離  $2\lambda/3$  [m] までの flux が分子拡散により定まる場合 (その条件として離散定義点において  $y^+ < 1$ )、離散定義点における Ozone 濃度を  $C|_{y=\Delta y_1}$  [ppm] とすれば(2)式で表現される。ただし  $D_o$  は Ozone の拡散係数である。

$$J = -\frac{\gamma \cdot \frac{\langle v \rangle}{4} \cdot C|_{y=\Delta y_1}}{1 + \gamma \cdot \frac{\langle v \rangle}{4} \cdot \frac{\Delta y_1}{D_o}} \quad (2)$$

本研究では CFD による解析を前提とし、(2)式で示す Ozone 沈着 flux モデルを採用し、その支配パラメータである Mass Accommodation Coefficient ( $\gamma$ ) の測定を行うことで、数値解析用の基礎データを蓄積する。

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

本研究で開発したガラス製 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  $1500(x) \times 300(y) \times 10(z)$  [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。Ozone を含む化学物質の吸着・分解が最小限となるよう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。

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

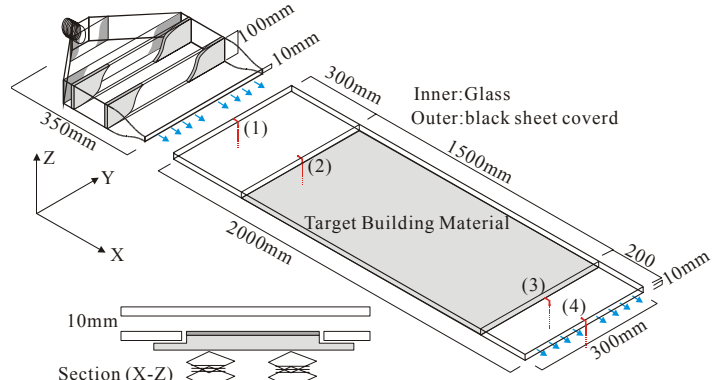


図 1 ガラス製境界層型チャンバー概要

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	$20 \pm 0.1^\circ\text{C}$
Relative Humidity	$30 \pm 5\%$

表 2 実験ケース

Exp. Case	Building Material	$C_{in}$ [Ozone]	$U_{in}$
Case (eb)	Glass	1.000 ppm	1.0 m/s
Case (e1)	SUS 304		
Case (e2)	Water-based Paint		
Case (e3)	Oil-based Paint		
Case (e4)	Wall Paper		
Case (e5)	Plywood		
Case (e6)	SBR Rubber		
Case (e7)	Cedar		

表 3 Ozone の分析条件

Ozone Analyzer	UV Photometric Analyzer (SOZ-3300, Seki Electronics)
Meas. Range	0 - 9.999 ppm
Min. Range	0.001 ppm
Sample Flow	1.5 L/min
Average time	10 min

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され、温度  $20^\circ\text{C}$  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。供給空気には Ozone を導入し、 $C_m=1.000$  ppm に制御する。また Ozone の光化学反応による濃度低下を防ぐため、恒温室は暗室と同条件の設定(床面平均照度  $1 \text{ lx}$  以下)とした。また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

実験ケースを表 2 に示す。チャンバー Back Ground の Ozone 沈着量(ガラス面)を評価する Case (eb)の他、7 種の建築建材を対象として Ozone 濃度低下を測定する。油性ペイントならびに水性ペイントは SUS 板に塗布し、十分に乾燥させた状態で実験を行った。チャンバー内に建材を設置した様子を図 2 に示す。

#### 4.2 サンプルングおよび分析法

気中の Ozone 濃度は模型内に挿入した SUS 製のサンプルングチューブを介して Ozone Analyzer により分析する<sup>注1)</sup>。サンプルング位置は図 1 中の(1)~(4)の 4 点で行う。Ozone 濃度は定常時の 10 分間の時間平均値である。分析条件を表 3 に示す。

### 5. 実験結果

各ケースの Ozone 濃度測定結果を表 4 に示す。濃度の値は Con.(1)位置の濃度で無次元化している。Case (eb)において Ozone 濃度低下は 1%未満であり、ガラス製チャンバーの Back Ground における Deposition が無視可能なことが確認された。また、Plywood (Case(e5)), SBR Rubber(Case(e6)), Cedar(Case(e7)), SUS304(Case (e1)), Oil-based Paint (Case (e3)), Water-based Paint (Case (e2)), Wall Paper (Case (e4))の順で濃度低下が小さくなった。

### 6. Mass Accommodation Coefficient の推定

Flat-Plate Test Chamber による Ozone 濃度低下の測定結果を用いて Mass Accommodation Coefficient ( $\gamma$ )をダイレクトに推定するため、Ozone 濃度低下量と  $\gamma$  の相関を求める。

チャンバー内建材上部の流れ場を層流と仮定し、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、チャンバー内濃度場の輸送方程式は次式で表現される。

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

$$J = D_o \frac{\partial C}{\partial y} = \gamma \frac{\langle v \rangle}{4} C \quad \text{at } y = -h \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad \text{at } y = h \quad (3)$$

$$C = C_{in} \quad \text{at } x = 0 \quad (4)$$

ここで、チャンバー条件である  $x_L=1.5\text{m}$ ,  $h=0.005\text{m}$ , ならびに実験条件である  $C_m=1.00\text{ppm}$ ,  $\bar{u}=1.0 \text{ m/s}$ ,  $D_o=1.81 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\langle v \rangle=360 \text{ m/s}$  を用いて上式より算出した Mass Accommodation Coefficient ( $\gamma$ )と図 1 に示す濃度測定点(3)( $x=1.5\text{m}$ )における平均濃度( $C_{ave}$ )の関係を図 3 に示す。解析は建材を 1 面(1 side deposition)のみに設置した場合と、上下 2 面(2 side deposition)に設置した場合の結果を図中に示している。また図 3 と表 4 に示す濃度測定結果より推定した  $\gamma$  の結果を表 4 中に併せて示す。また、本測定で対象とした 7 種の建材における  $\gamma$  の値は  $1.0 \text{ e-}6 \sim 1.0 \text{ e-}5$  のオーダーとなった。

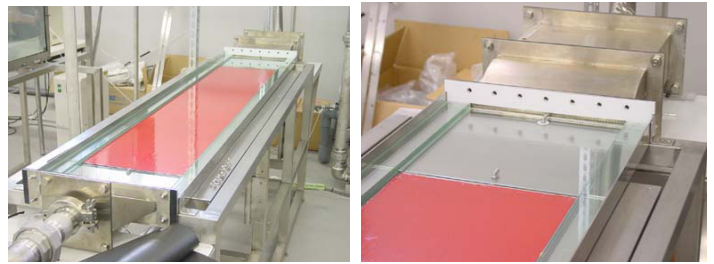


図 2 建材設置面の様子

表 4 Ozone 濃度測定結果ならびに  $\gamma$  推定値

Exp. Case	Con. (1)	Con. (4)	$\gamma$ [-]
Case (eb)	1.000	0.999	<1.0 e-7
Case (e1)	1.000	0.950	5.8e-6
Case (e2)	1.000	0.966	3.7e-6
Case (e3)	1.000	0.956	4.9e-6
Case (e4)	1.000	0.968	3.6e-6
Case (e5)	1.000	0.894	1.4e-5
Case (e6)	1.000	0.921	9.8e-6
Case (e7)	1.000	0.932	8.2e-6

(濃度測定位置は図 1 の(1)および(4)位置)

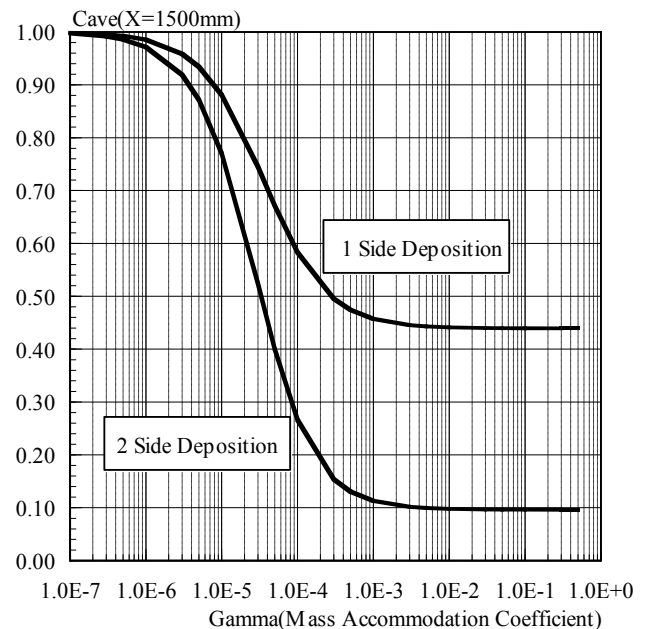


図 3  $C_{ave}$  &  $\gamma$  の関係 ( $X=1.5\text{m}$ )

### 7. 結論

- (1) Mass Accommodation Coefficient ( $\gamma$ )の測定を行うことを目的としてガラス製の境界層型 Chamber (Flat- Plate Test Chamber)を開発し、各種建材を対象として  $\gamma$  の測定を行った。
- (2) 本測定システムを用いて 7 種の建材を対象として Ozone 濃度低下を測定した結果、 $\gamma$  のオーダーは  $1.0 \text{ e-}6 \sim 1.0 \text{ e-}5$  程度と推定された。

#### 謝辞

本研究を推進するに当たり Prof. D Sorensen ならびに Prof. C.J.Weschler にご助言頂いた。記して深甚なる謝意を示す。

#### 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。

#### 参考文献

- [1] Nazaroff WW, and Cass GR (1986). Mathematical Modeling of Chemically Reactive Pollutants in Indoor Air, Environ. Sci. Techno. Vol. 20, No. 9, pp.924-934
- [2] Kleno J G., Clausen P A., Weschler C J., Wolkoff P., (2001) Determination of Ozone Removal Rate by Selected Building Products Using the FLEC Emission Cell, Environmental Science & Technology, Vol 35, No. 12, 2548-2553

\*1 東京工芸大学大学院 Tokyo Polytechnic Univ.

\*3 東京大学生産技術研究所 教授 工博 IIS, University of Tokyo

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