

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7)

建材表面気流精密制御 Small Test Chamber の開発とその基本性能

正会員 ○伊藤一秀*1 同 村上周三*2
同 加藤信介*2 同 近藤靖史*3
同 朱 清宇*1 同 山本 明*1

Small Test Chamber 物質伝達率 蒸散支配型放散

1. 序 本報では前報(その1~6)に引き続き、流れ場の性状が化学物質放散に与える影響を実験的に検討する。このため、建材表面近傍の流れ場、即ち境界層流の精密な制御が可能な新たな small test chamber を制作した。

2. 実験的アプローチによる化学物質放散量の評価 建材からの化学物質放散性状は、建材内拡散支配型放散と蒸散支配型放散に大別できる。建材内拡散支配型放散は建材内の化学物質濃度勾配と拡散係数によりその放散性状が支配され、周辺の流れ性状や気中濃度はそれほど大きな影響を与えない。化学物質の材料内拡散係数は一般に熱拡散係数に比べ極めて小さいオーダーであることが多く、そのため化学物質放散は長期に渡る。本研究では拡散支配型放散の建材に対しては、長期間に渡り静穏な環境の維持が可能で且つ容積の小さい(換気量が小さい)小型のガラス製 desiccator を test chamber として使用する(続報その8参照)。蒸散支配型放散は建材表面から気中に至る表面物質伝達率により、化学物質の気中への放散速度が支配される。そのため建材表面での流れ場(境界層)の性状が化学物質放散に大きな影響を与える。蒸散支配型放散の建材に対しては、本研究で新たに開発した建材表面の流れ場、即ち境界層流の精密な制御が可能な small test chamber を使用する。

本報では small test chamber の基本性能を把握するために流れ場の詳細な測定並びに配管を含めた Small Chamber 全系統の Blank Test を行うと共に、蒸散支配型放散の建材を模擬した純水を用いてその物質伝達率の測定を行う。

3. Small Test Chamber の基本性能 本研究で新たに開発した Small Test Chamber を図1に示す。Small Test Chamber は inner chamber(図1上部)と outer chamber(図1下部)より構成される。全て sus304 製。Inner chamber は outer chamber 内中心位置に設置される。両者の相互位置関係は図3のメッシュ図に示されている。Inner chamber には fan が設置されており、測定室内は第3種機械換気により換気される。Inner chamber 内の建材設置面上部における平均風速は fan の回転数により 0~0.2m/s で制御が可能。本報では Inner chamber 内の平均風速を 0.10m/s に制御した結果を報告する。また chamber 内での汚染質発生を防ぐため、モータ部は outer chamber の外側に設置。新鮮空気(本研究では N₂:80%、O₂:20% の人工空気)は outer chamber 上部に設置された supply opening より供給する。Small Test Chamber 内に供給される新鮮空気量と inner chamber 測定室内の換気回数(建材表面風速)は独立して制御が可能である。Small Test Chamber は恒温室内に設置される。

4. 化学物質 sampling 及び分析方法 Small Test Chamber を中心とした化学物質 sampling の一連のフローを図2に示す。

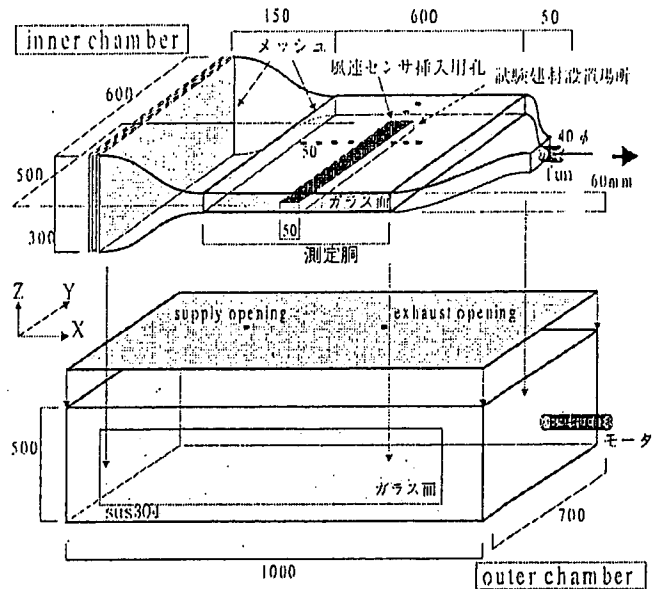


図1 Small Test Chamber 概要

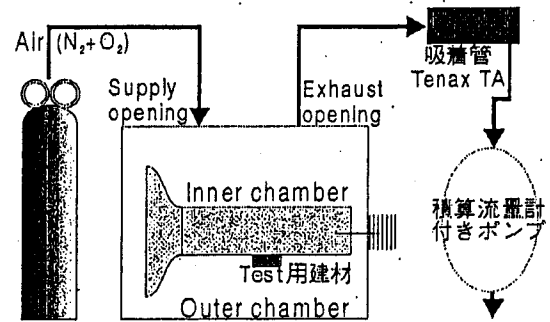


図2 small chamber による化学物質放散量測定システム

表1 GC/MS の分析条件

GC	HP6890
加熱脱着装置	Gestel TDS
加熱脱着温度	20°C (5min) → 60°C/min → 280°C (2min)
CIS 温度	-150°C (0.01min) → 12°C/sec → 300°C (3min)
カラム	HP5 (60m×0.25mm×1 μm)
オープン温度	40°C (3min) → 10°C/min → 220°C (10min)
Split 比	10:1
検出器 (MS)	HP5973MSD

Chamber 内へは N₂:80%、O₂:20% の人工空気を換気回数 0.1 回/h(0.035m³/h) で供給する。全ての配管はテフロンチューブを使用している(注1)。Chamber 内の空気は Tenax TA により吸着 sampling(0.033L/min、30 分間)し、加熱脱着、及び GC/MS により分析を行う。表1に GC/MS の分析条件を示す。

5. Small Test Chamber を対象とした CFD 解析 本報を含む一連の研究は、化学物質放散・拡散・吸脱着等の現象のモデリ

ングとその数値的予測手法の開発を最終目的とする。即ち、Small Test Chamberによる放散実験は、対応する数値解析の検証用の基礎実験となるものである。本報では拡散解析の基礎となる流れ場に関して、CFD 解析結果と実験結果を比較・検証する。CFD による解析条件を表 2、解析に用いたメッシュを図 3 に示す²⁾。

6. Inner Chamber 内平均風速分布 図 4(1)~(3)に inner chamber 内測定胴における主流 U の風速分布を示す。風速はサーミスタ風速計により測定。CFD による解析結果は実験結果と十分な精度で一致している。また測定胴内の y 方向風速分布は非常に均一(2 次元的)な分布が得られた(図 4(2))。

7. Small Chamber を含む全 sampling 系統の Blank Test^{注 2)} 一連の化学物質放散量測定を行うための基礎実験として行った Small Chamber を含む全 sampling 系統の Blank Test の結果を示す。Toluene 濃度は $2.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、また定性された化学物質(全 17 物質)を Toluene 換算により定量した結果、 $79.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることを確認した。

8. 物質伝達率測定 純水を $50 \times 500 \times 4 \text{mm}$ ($=100 \text{cm}^3$) の sus304 製の容器に満たし、液面が測定胴内床面と面位置になるように設置(図 1)。表面風速は 0.10m/s 、雰囲気温度は 23°C ($\pm 0.2^\circ\text{C}$ の精度)で制御。測定の前後に純水量を重量計で測定することにより放散量を測定し、outer chamber 排出空気の状態を測定することで small test chamber 内が完全混合していると仮定した場合の絶対湿度を把握する。測定は 30 時間行う。結果を表 3 に示す^{注 3)}。本実験条件下において物質伝達率は $12.82 (\text{kg}/\text{m}^2\text{h} \cdot (\text{kg}/\text{kg}))$ となった^{注 4)}。

9. 結論 (1) inner chamber 内測定胴の風速分布は水平 y 方向に非常に均一な分布が得られ、CFD の解析結果とも非常に良く一致した。(2) Small Chamber 内の Back ground 濃度は Toluene 換算した場合に $79.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。(3) 本実験条件下において物質伝達率は $12.82 (\text{kg}/\text{m}^2\text{h} \cdot (\text{kg}/\text{kg}))$ となった。(4) 今後各種建材を対象として化学物質放散試験を行う予定である。

注 (1) 加圧法により配管を含む Small Test Chamber 全系統の気密性を測定した結果、相当開口面積は 0.97mm^2 (1mmAq 時)であり、十分な気密性が確保されていることを確認している。(2) small test chamber 内の洗浄は Dr. Knudsen らによる方法(文 4)による。(3) toluene を chamber 内に設置した後、測定を開始するまでのタイムロスは 5 分程度であった。(4) 純水放散速度と換気量より排出口での絶対湿度を算出すると $2.04 \times 10^{-2} (\text{kg}/\text{kg})$ であり、測定値 $1.51 \times 10^{-2} (\text{kg}/\text{kg})$ と 35% の相違がある。この相違は測定誤差、並びに壁面への吸着量(目で判断できる結露は生じていない)と考えられる。
謝辞 本研究の一部は、科学技術庁科学技術振興調整費(生活・社会基盤研究 生活者ニーズ対応研究「室内化学物質空気汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」)に基づいて設けられた建築学会学術委員会・室内化学物質空気汚染調査研究委員会(委員長:村上周三 東京大学生産技術研究所教授)の活動の一環として実施したものである。関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献 (1) Zhang, J.S., Shaw, C.Y., (1996) Study of air velocity and turbulence effects on organic compound emissions from building materials/furnishings using new small test chamber, ASTM STP1287, Philadelphia, PA, 189-199 (2) Yang, X., Chen, Q., Zhang, J.S., (1998) Impact of early stage incomplete mixing on estimating VOC emissions in small test chambers, INDOOR AIR, 180-189 (3) 安部賢一, 長野清尚, 近藤雄男, (1992), はく離・再付着を伴う乱流場への適用を考慮した k-ε モデル, 日本機会学会論文集(B 編), 58 巻, 554 号, pp. 57-64 (4) Knudsen, H.N., Valbjørn, O. and Nielsen, P.A. (1998) "Determination of exposure-response relationships for emissions from building products". Indoor Air, 8(4), 264-275

表 2 計算及び解析条件

3次元、対象性を考慮し y 方向は 1/2 の領域で解析	
乱流モデル	低 Re 型 k-ε model (Abe-Nagano model ²⁾)
メッシュ分割	48(x)×26(y)×30(z)
差分スキーム	移流項・拡散項共に QUICK
流入境界	Inner chamber: U_{in} =(質量保存による) K_{in}, ϵ_{in} =free slip Outer chamber: $U_{in}=0.2526, l_{in}=1/7 \cdot L_0$ $k_{out}=3/2 \cdot (U_{in} \times 0.05)^2; \epsilon_{in}=C_{\mu} \cdot k_{in}^{3/2} / l_{in}$
流出境界	Inner chamber: $U_{out}=2.689, l_{out}=1/7 \cdot L_0$ $k_{out}=3/2 \cdot (U_{out} \times 0.05)^2; \epsilon_{out}=C_{\mu} \cdot k_{out}^{3/2} / l_{out}$ Outer chamber: U_{out} =(質量保存による) k_{out}, ϵ_{out} =free slip
壁面境界	No-slip

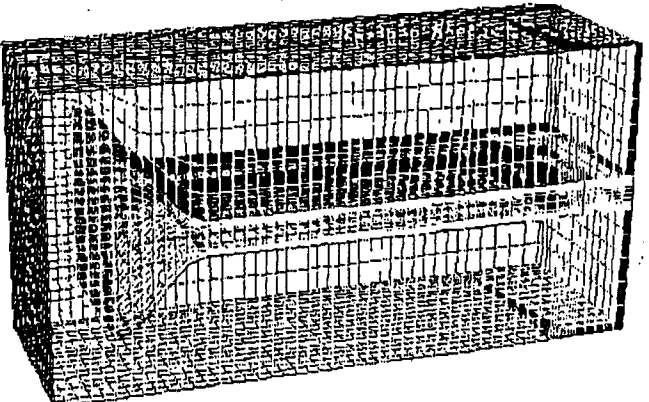
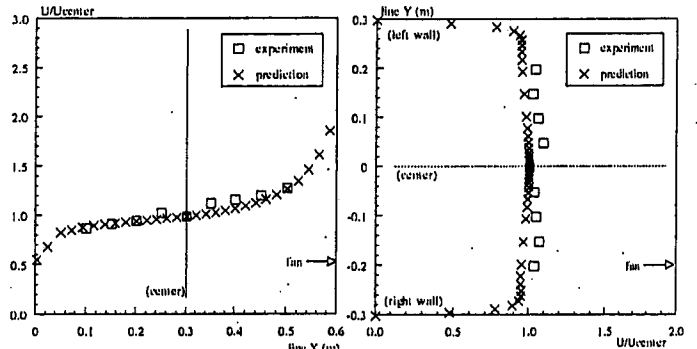
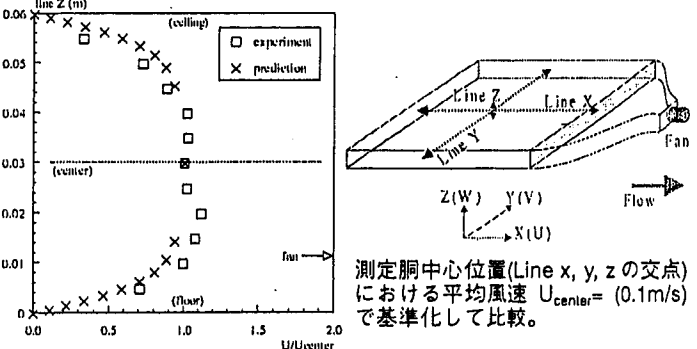


図 3 CFD メッシュ分割図



(1) U の主流方向分布(x) (2) U の横方向分布(y)



(3) U の鉛直報告分布(z) (4) 補図

図 4 inner chamber 内平均風速分布

表 3 物質伝達率測定結果

Small chamber 境界条件	温度 23°C 、 $U_{center}=0.1 \text{m/s}$
純水放散速度	$3.46 \times 10^{-2} (\text{kg}/\text{m}^2\text{h})$
排出口での絶対湿度 (30 時間後)	$1.51 \times 10^{-2} (\text{kg}/\text{kg})$
飽和水蒸気量 (23°C)	$1.78 \times 10^{-2} (\text{kg}/\text{kg})$
物質伝達率	$12.82 (\text{kg}/\text{m}^2\text{h} \cdot (\text{kg}/\text{kg}))$