

小型デシケータによる壁紙材透過の VOC 放散実験と CFD 解析 正会員○朱 清宇^{*1} 同 村上 周三^{*2}

同 加藤 信介^{*2} 同 近藤 靖史^{*3}

同 伊藤 一秀^{*4} 同 神 卓也^{*5}

蒸散支配型放散 CFD CUP

1 序 前報(その 18)に引き続き、建材からの揮発性有機化合物(以降 VOCs 等)の放散・拡散・吸着現象のモデル化、並びに CFD(計算流体力学)による解析法に関して検討した。特に蒸散支配型 VOCs 放散の建材に着目し、その放散過程の CFD 解析手法を検討する。また、Bake-out 効果に関連して、建材や空気温度の上昇により建材中有効拡散係数や蒸気圧を増加させて、短期的に空中への放散を促進させた場合についても検討する。本報では、小型デシケータ(desiccator)を用いて壁紙材を通過する VOCs の放散特性を計測するとともに、その CFD 解析を行い、実験結果と比較する。

2 小型デシケータを用いた VOCs の壁紙材透過・放散実験概要(図 1、表 1,2)

2.1 デシケータ実験 ステンレス製カップの中に VOCs をモデル化した純液デカン^{注1)}を入れ、カップの開口部分に壁紙材をセットし、カップ全体を図 1(1)に示すデシケータ内の床面より高さ 20mm の位置に設置し、デシケータの排出口での VOCs 濃度を測定する。デシケータの制御温度は 23°C とする。Loading Factor は 0.12(m²/m³)。建材放散面積は 6.1x10⁻⁴m²(直径 88mm)。**2.2 壁紙材** 使用した壁紙材^{注2)}は予めカップ法によりその拡散係数を測定している^{文1)}。デシケータ内の濃度ゼロを仮定すると、壁紙材(厚さ: 3.2x10⁻⁴m)からのデカン放散速度は 26.28g/m²h となり、実験時の換気量 5.0x10²m³/h からデシケータの排出口の濃度は 3.2g/m³ と見積られる。**2.3 測定方法** ガス濃度は GC/MS を用いて定量した。上記高濃度の空気を sampling すると、GC/MS で分析・定量することが不可能であるため、sampling する前デシケータの排出口の濃度を希釈する必要がある。ため、予備実験により希釈率、sampling 量と GC/MS の split 比を定めた。本実験ではデシケータの排出空気を 1/26 に希釈して、30mL/min の sampling 速度で 0.1L の排出空気を sampling し、1/300 Split 比の分析条件で GC/MS よりデシケータの排出でのデカン濃度を定量した(図 1(2)、表 1、2)。本実験は放散状態が定常になるまで実験を続ける。

3 CFD による流れ場・拡散場解析概要(図 1,2,表 1,3,4)

3.1 流れ場解析 図 1 に示す実験と同一条件で CFD 解析^{注3)}を行う。図 2(1)に解析メッシュを示す。壁紙材の内部にもメッシュ(100(x)X44(r)のメッシュ)(図 2(2))を設け、デシケータ内全領域を連成して解析する。デシケータ内では、吹出風速が 1.9x10⁻²m/s、FLEC 入口風速・入口幅により定義した Reynolds 数は 13.9 である。流れ場は層流と見なしてよい。表 4 に流れ場の計算条件を示す。**3.2 拡散場解析** 流れ場解析の後、実験に対応する拡散場と解析する。表 5 に拡散場解析に基礎式を示す。カップ内のデカン輸送抵抗は無視し、液面位置の変動も無視する。また純デカンの厚さは無視し、壁紙材は 3.2x10⁻⁴m。壁紙材内部と空気中の初期濃度はゼロとする。建材温度として 23°C とする。壁紙材内部の有効拡散係数 D_c^{文1)} は、カップ法による測定値 2.3x10⁻⁷ m²/s(23°C) を

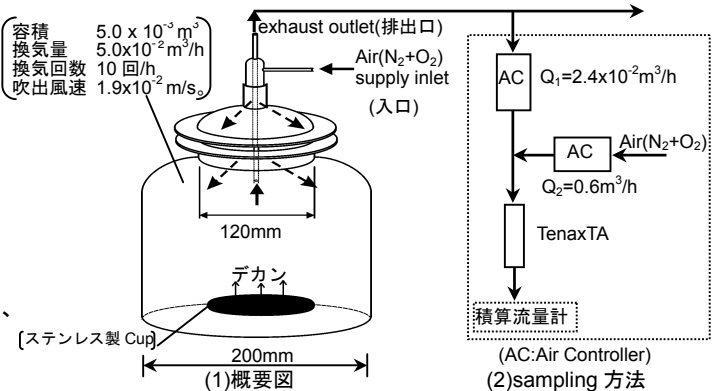


図 1 小型デシケータ

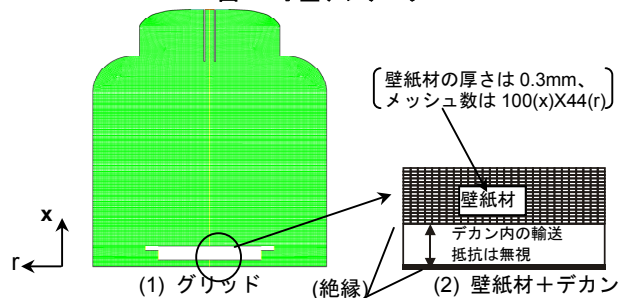


図 2 対象建材のモデル化

表 1 実験ケース及び解析ケース

室内温度 (°C)	対象建材	換気回数 (回/h)	壁紙材厚さ(m)	放散面積 (m ²)	希釈率
23	壁紙材+デカン	10	3.2x10 ⁻⁴	6.1x10 ⁻⁴	1/26

壁紙: IZM 4851-02-811-505

表 2 GC/MS の分析条件

GC	HP6890
加熱脱着装置	Gestel TDS (Thermal Desorption System)
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 x 0.25mm x 1 μm)
オープン温度	40°C(3min)→10°C/min→220°C(10min)
Split 比	10 : 1(blank test), 300 : 1(decane)
検出器 (MS)	HP5973MSD

表 3 液面におけるデカンの飽和気相濃度 C₀、初期量 M、壁紙材内のデカン有効拡散係数 D_c^{文1)}、空気中のデカン拡散係数 D_a^{文2)}

	温度(°C)	C ₀ (g/m ³)	初期量 M(g)	D _c (m ² /s)	D _a (m ² /s)
デカン	22.70	10.00	11.01	2.30 x 10 ⁻⁷	4.80 x 10 ⁻⁶

表 4 計算条件 (2次元層流解析 円筒座標系(x,r))

メッシュ分割	27,000	差分スキーム	2次精度風上
流入境界	V _{x,in} =1.90x10 ⁻² m/s V _{r,in} =0	流出境界	質量保存
壁面境界	No-slip	対称面	∂V _r / ∂r = 0

表 5 支配方程式 (円筒座表系に基づく)

壁紙材内部での拡散輸送

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

C: 気相換算濃度(g/m³), D_c: 壁紙材のデカン有効拡散係数(m²/s)。
壁紙材表面・空気境界面での物質フラックス保存

$$-D_c \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{B^+} = -D_a \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{B^-} \quad (2)$$

B+: 建材側 B-: 空気側

空気中での移流・拡散による輸送

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \left(V_r \frac{\partial C}{\partial r} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) = D_a \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

D_a: 空気中におけるデカン拡散係数(m²/s)。

仮定した(表 3)。純デカンの初期量M₀は 14.0g とした (表 3)。液体トルエンが蒸発により 0 になる時点で、蒸発過程は終了する。空気中に放散されたトルエンは室内気流により輸送され、排出口より排出される。

4 実験の結果(図 3) 図 3 は実験によるデシケータの排出口での濃度の時間変化及び換気量と排出口濃度から求めた壁紙材からデカンの放散量を示す(図 3)。実験開始から 2 時間後、デシケータの排出口濃度は 0.54g/m³ となり、8 時間後定常放散となり、排出口濃度は 0.63 g/m³ となる。重量測定により求めた 19 時間の実験で壁紙材を透過して、デカンは 0.51g であった。これは、実験から求めた壁紙材から放散量を積分した結果 0.54g とほぼ一致した。

5 考察 実験により壁紙材からの放散量は 0.03g/h。壁紙材表面の濃度をデシケータ排出口濃度と仮定すると、放散量は 0.15g/h となる。実験では少ない放散量は生じる原因が不明点もあるが、有効拡散係数が濃度によって変化したことと、壁紙材表面濃度が極めて高いことも理由の一つである。

6 流れ場の解析結果(図 4) 流れ場は層流解析である。図 4(1)には風速分布を示す。デシケータの吹出口と排出口に近い領域以外では、風速は 1.0×10⁻³m/s 以下となっている。図 4(2)には壁紙材の設置面近傍の風速分布を示す。壁紙表面の風速は非常に小さく、約 1.1×10⁻⁸m/s である。

7 デカン濃度場の解析結果(図 5) 図 5(1)には CFD 解析による壁紙材からデカンの放散量が一定である定常状態のデシケータ内部の濃度分布を示す。壁紙材表面濃度は 8.99g/m³(デカン 23℃の飽和気相濃度 10.00 g/m³)。排出口の濃度は 0.30 g/m³。これは、デシケータ内において大部分領域の空気齢が大きいため(図 5(2))、入口から排出口まで short-cut を生じるので、排出口の濃度が入口の新鮮空気により希釈されたと考えた。完全混合をさせるためデシケータの排出口の位置はもっと建材設置面に近い場所に換えるべきである。

8 結論 1) 重量測定により求めた 19 時間の実験で壁紙材を透過して、デカンは 0.51g であった。これは、実験から求めた壁紙材から放散量を積分した結果 0.54g とほぼ一致した。2) 実験により壁紙材からの放散量が少ない原因は、①有効拡散係数は濃度に依存する可能性があり、②壁紙材表面濃度が極めて高いため放散量が抑制された。3) 実験によるデシケータ排出口の濃度は 0.63 g/m³、CFD による排出口の濃度は 0.30 g/m³ であった。これは、筆者ら開発した複合建材(内部拡散支配+蒸散支配)からの化学物の放散・拡散・吸着現象のモデルは有る程度の精度があることを示した。4) 今後、有効拡散係数の温度依存性を検討する実験を行う予定がある。

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・

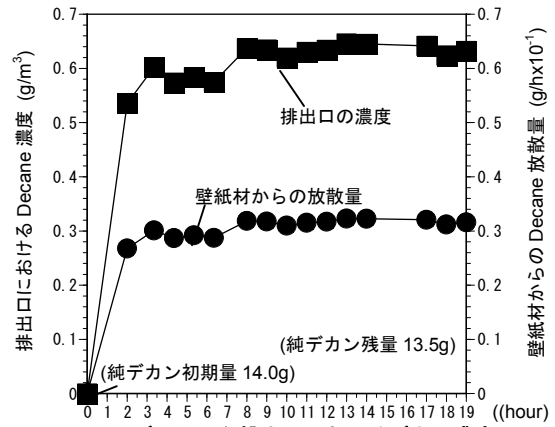


図 3 デシケータ排出口におけるデカン濃度及び壁紙材からのデカン放散量の時間変化

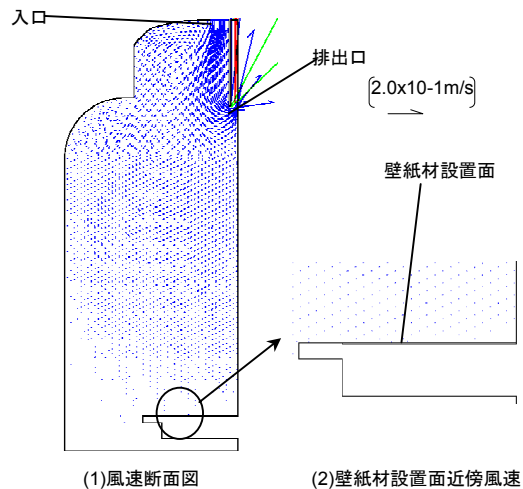


図 4 風速分布

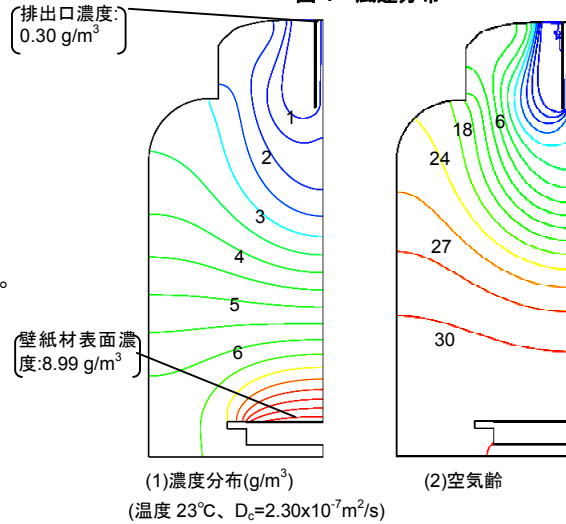


図 5 CFD 解析によるデシケータの濃度及び空気齢分布

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。

注 1) 空気中のデカン爆発限界は: 0.8~5.4vol%。2) IZM 規格に関しては<<http://wacoa.topica.ne.jp/ism/index.htm>>を参照。壁紙材はメーカーで製造直後にアルミホイルで包み、更にビニル袋で密閉した状態で輸送、保存している。3) 本解析は商用コード Fluent5.0 (Fluent Inc.®) を用いている。

参考文献 (1) 加藤, 村上, 朱清宇, 伊藤, 神 (2000): 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 17), カップ法による各種ペイント、壁紙材中の有効拡散係数の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集。(2) 朱清宇ら (1999), 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 15), 日本空調調和・衛生工学会学術講演梗概集。

*1 東京大学大学院

*2 東京大学生産技術研究所 教授 工博,

*3 武蔵工業大学 助教授 工博,

*4 東京工芸大学 助手 工博

*5 静岡ガス(株)