

カップ法による各種建材中の有効拡散係数の測定 (その 1) Toluene, Decane, EthylBenzene を対象とした D_c 測定

カップ法 有効拡散係数 揮発性有機化合物

正会員 〇水野 優*¹
同 伊藤一秀*² 同 加藤信介*³
同 朱 清宇*⁴ 同 安宅勇二*⁵

1. 序

揮発性有機化合物による室内空気汚染問題が顕在化しており、シックハウス、化学物質過敏症といった言葉が広く認知されるようになってきている。室内空気汚染問題の根本的な解決のためには、有害な化学物質を含有し、気中への放散可能性を有する建材を建築から排除することが有効であり、建材毎に放散速度の基礎データを蓄積する必要性が高い。本研究では建材から気中への放散速度の支配パラメータである有効拡散係数 D_c に着目し、カップ法によりその測定を行う。また各種建材の測定を行うことで建材ラベリングの基礎データとなる D_c のデータベース化を行うことを目的とする。本報では、Toluene、Decane ならびに Ethylbenzene の 3 種の化学物質を対象として 9 種類の壁紙材・床材を対象として D_c の測定を行った結果を示す。続報(その 2)では測定された D_c の温度依存性に関する検討を行う。

2. カップ法概要

カップの中に対象とする化学物質を入れ、カップの開口部に建材を設置して密閉する。カップ中の揮発性化学物質は建材中を拡散移動することによってのみカップ外に移動する。カップを恒温室内に設置し、カップ外側上部(建材の上面)は大量の換気により化学物質濃度 0 の状態を保つ。建材の外側上面は化学物質濃度 0 であり、建材の下面(即ちカップ中)は化学物質の飽和蒸気圧状態の気相濃度となっており^{注1)}、建材中の濃度勾配が定まる。flux はカップ中の化学物質の重量変化ならびに建材設置面積より算出する。flux と建材内濃度勾配から(1)式を用いて D_c を算出する。本実験で用いたカップの概要を図 1 に示す。カップの開口部にはシールパッキングとしてテフロンシートを使用している。本実験では各種揮発性有機化合物のうち、脂肪族系の Decane、芳香族系の Toluene および Ethylbenzene の 3 種類の化学物質を対象として有効拡散係数 D_c の測定を行う。また雰囲気温度は 15°C、25°C および 35°C でそれぞれ一定に制御している。

3. 有効拡散係数の定義ならびに既存の D_c 測定法

建材中の化学物質、水分等の有効拡散係数測定は一般に(1)式に示すように、放散(拡散)フラックス q [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$] と濃度勾配 $\partial C/\partial x$ の測定を行うことで、有効拡散係数 D_c [m^2/s] を算出する。

$$q = D_c \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

(1)式では等温、定常、1次元流の仮定を用いている。また、(1)式で示される有効拡散係数は(2)式でモデル化される²⁾。

$$D_c = \frac{\lambda_c}{k \cdot \rho_{air} + \rho_{sol} \cdot \frac{\partial f}{\partial C}} \quad (2)$$

ここで、 λ_c は気相の濃度勾配に対する微小空隙内の伝導率 [$\text{g}/\text{m} \cdot \text{s}$]、 k は空隙率[-]、 f は吸着等温式を示す。すなわち(2)式で示される D_c は建材内部での吸脱着を考慮した総合的な物質拡散係数を示す。なお、(2)式は建材内の吸着性状が拡散係数に影響を及ぼすことを示唆しており、対象ガス以外の吸着性ガス物質(例えば水蒸

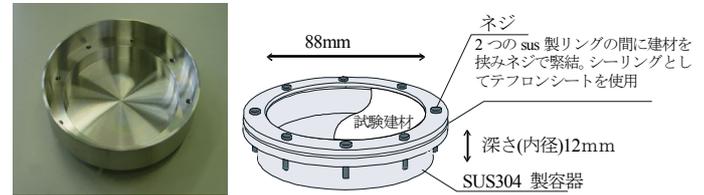


図 1 写真 図 2 カップ法概要

表 1 測定対象とした床材および壁紙材

建材名	平均厚さ (m)	建材の特徴	
壁紙材 1 (W1)	5.0×10^{-4}		NO 6255 (合成紙壁紙)
壁紙材 2 (W2)	5.4×10^{-4}		NO 6209 (合成紙壁紙)
壁紙材 3 (W3)	7.2×10^{-4}		NO 6242 エンボス加工
床材 1 (F1)	1.1×10^{-3}		MS 763-S 表面ビニル加工 (木目調)
床材 2 (F2)	1.1×10^{-3}		S 711 BE アクリル起毛仕上げ
床材 3 (F3)	1.1×10^{-3}		YS 104-S 表面ビニル加工 (木目調)
床材 4 (F4)	1.1×10^{-3}		MY 726-S 表面ビニル加工 (黄色)
床材 5 (F5)	1.1×10^{-3}		MY 728-S 表面ビニル加工 (柄有り)
床材 6 (F6)	1.1×10^{-3}		ST 3-S 表面ビニル加工 (水色)

気)の存在下で拡散係数が影響を受けることを示している^{注2)}。

4. 測定対象とする建材

本実験では壁紙材 3 種類及び床材 6 種類、あわせて 9 種類の建材を測定対象とする。本測定で使用する床材および壁紙材の特徴とサンプルを表 1 に示す。

5. 測定結果

表 1 に示す壁紙材および床材を対象として flux を測定した結果を図 3 に示す。また flux 測定結果より算出した D_c の結果を図 4 に示す。実験は相対湿度 60±10% の条件下で行っており、同条件で 2 回以上繰り返して行っている。

5.1 壁紙材 W1~W1 の 3 建材共に、 D_c の測定結果はほぼ同程度の値となった。15°C から 35°C の範囲内で D_c のオーダは Toluene および Decane では 10^{-8} [m^2/sec] 程度となる。Ethylbenzene では D_c

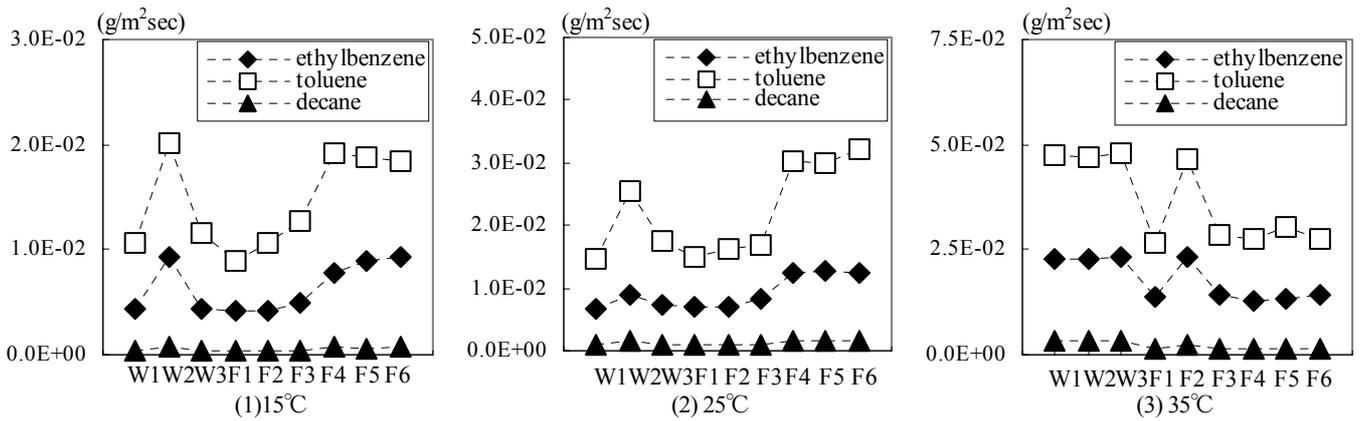


図3 flux 測定結果

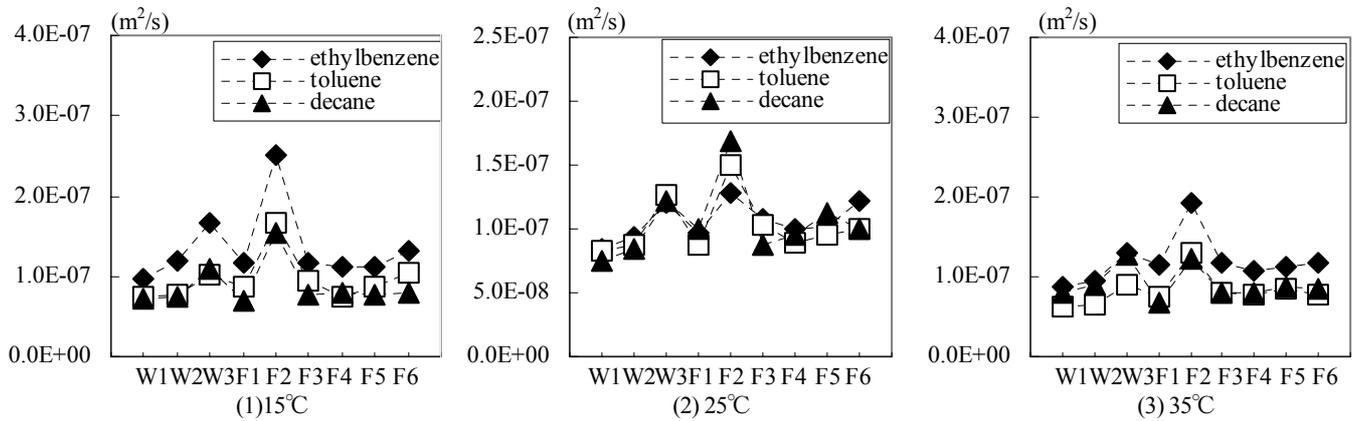


図4 Dc 測定結果

のオーダーが 10^7 [m²/sec] とわずかに大きく評価される結果となった。建材別では、全ての温度条件でエンボス加工を施した壁紙材 3(W3)の Dc が他の 2 つと比較すると若干大きく評価されている。

5.2 床材 flux 測定結果は床材 2(W2)を除く 5 建材ではほぼ同程度であった。床材 2(F2)は、壁紙材と同程度の flux となった。また、Toluene および Decane では、全ての対象床材において Dc のオーダーは 10^8 [m²/sec] 程度となり、Ethylbenzene は壁紙材の測定結果と同様に 10^7 [m²/sec] 程度となった。床材 2(F2, アクリル起毛仕上げ)は他の床材と比較して Dc が大きい結果となった。

5.3 考察 測定した flux は温度上昇と共に大きくなり、温度依存性を示した。Dc のオーダーは壁紙材および床材の差、ならびに対象化学物質の違いによってほとんど変化せず、 $10^8 \sim 10^7$ [m²/sec] となった。しかしエンボス加工を施した壁紙材やアクリル起毛仕上げの床材など、建材の表面仕上げの相違が有効拡散係数 Dc の測定結果に若干の変化を与えていると考えられる。今回測定した壁紙材 3(W3)および床材 2(F2)は共に建材中に空隙を多く有するため、Dc が他の建材に比べて大きく評価されたと考えられる。

6. 結論

- (1) 壁紙材の Dc は相対湿度 60±10% の条件下で、Toluene、Decane で 10^8 [m²/sec]、Ethylbenzene で 10^7 [m²/sec] のオーダーとなった。
- (2) 床材においても壁紙材と同様の傾向を示した。

注

(1) 厳密には液面から建材内側表面までは建材内の物質拡散 flux と等しい分子拡散ガス flux が生じており、この分子拡散 flux に対応するガス濃度(蒸気濃度)勾配が生じている。建材内の物質移動係数(拡散係数×建材厚)は一

般にガスの物質伝達率(分子拡散係数×カップキャピティ厚)の 10^3 以下のオーダーで試験しており、カップキャピティ内のガス濃度勾配は無視される。本実験ではカップキャピティ厚を 10mm 以下の条件で測定を行っている。(2) 鍵らは相対湿度 0% および 80% の条件下で測定を行い、相対湿度が拡散係数に大きく影響する結果を報告している⁵⁾。(3) 飽和気相濃度は(3)式に示す経験式より算出している⁴⁾。

$$C_0 = \rho_a \frac{M_1}{M_2} \cdot \frac{P_w}{P - P_w} \quad (3), \quad \log_{10} P_w = A - \frac{B}{(C+T)} - 3 \quad (4)$$

ここで、C₀は液面における VOC 飽和気相濃度(g_{vol}/m³)、P_wは液面における VOC 飽和蒸気圧(Pa)、P は大気圧(Pa)、ρ_aは空気密度(g/m³)、T は VOC 温度(°C)、M₁は VOC 分子量、M₂は空気分子量を示す。推定した飽和気相濃度は以下の通りである。(単位: g/m³)

	15°C	25°C	35°C
Toluene	130.2	182.7	383.7
Decane	4.6	9.98	19.87
Ethylbenzene	40.2	73.9	130.1

- (3) カップ法の測定精度を検証する目的で、厚さの異なるポリエチレンフィルムを用いて放散フラックスの測定を行っている。詳細は文献 1) 参照。
- (4) Q.Chen らが解析した SBR(合成ゴム)の拡散係数²⁾は 1.1×10^{-14} (m²/sec、TVOC を対象)、また S.Kichner らが行ったカップ法での SBR の拡散係数は 3.5×10^{-7} (m²/sec、Octane を対象)であり³⁾今回測定対象とした建材はその中間のオーダーとなった。

参考文献

[1] 村上、加藤他、揮発性有機化合物の放散・吸着等のモデリングとその数値予測に関する研究 その 1~8、日本建築学会年次大会、1999、他 [2] Yang, X., et al, Prediction of short- term and long-term volatile organic compound emissions from SBR bitumen-backed carpet at different temperatures. ASHRAE, 1998 [3] S. Kirchner, et al., Sorption capacities and diffusion coefficient of indoor source materials exposed to VOCs: Proposal of new test procedures, Indoor Air 99, 1999, vol. 1, 430-435 [4] 化学工学協会編 (1968 年), 化学工学便覧, 改訂三版 [5] 鍵直樹他, 揮発性有機化合物の発生ガスにおける湿度影響, 第 21 回空気清浄とコンタミネントコントロール研究大会 pp131-133

*1 東京工芸大学大学院 Graduate Student, Tokyo Polytechnic Univ.
 *3 東京大学生産技術研究所 教授 工博 Prof., IIS, Univ. of Tokyo, Dr.Eng
 *5 吉野石膏(株) Yoshino Gypsum Co., Ltd.

*2 東京工芸大学 講師 工博 Tokyo Polytechnic Univ., Dr. Eng.
 *4 東京大学生産技術研究所, 工博 IIS, Univ. of Tokyo, Dr.Eng