

小型チャンバーFLEC内の流れ場・拡散場 2次元 CFD解析と放散速度予測

2D-CFD ANALYSIS OF FLOW AND DIFFUSION FIELD IN FLEC AND PREDICTION OF VOCs EMISSION RATE

朱 清宇*, 村上周三**, 加藤信介***, 伊藤一秀****

Qingyu ZHU, Shuzo MURAKAMI, Shinsuke KATO, Kazuhide ITO

This study is performed as a part of the research that examines the emission and diffusion characteristics of volatile organic compounds (henceforth VOCs etc.) from indoor building materials. In this paper, flow and the emissions field of a VOC from the surface of building materials in FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) Cavity are examined by 2-D CFD analysis. Three types of emission phenomena from building materials are studied here; (1) emission through internal diffusion, (2) emission through external diffusion and (3) the one through mixed diffusion material (internal+external). With a total ventilation rate of 200 ml/min, air velocity near the test material surface ranges from 0.1cm/s to 0.8cm/s. In the case of internal diffusion material, FLEC works well. However, in the case of evaporation type (external diffusion) materials, or mixed material (internal+external) when the thickness of wallpaper (internal) is thin, FLEC is not suitable for the emission testing.

Keywords: CFD, Flow field, VOCs, Emission rate, Transmission
数値流体力学、流れ場、VOCs、放散速度、物質伝達

1. 序

近年の新建材・新工法の導入や、十分な計画換気を伴わない高気密・高断熱住宅の普及等を原因として、建材から放散される微量のホルムアルデヒドや VOCs (Volatile Organic Compounds)等の揮発性有機化合物による室内空気汚染が大きな社会問題となっている^{1,2)}。室内での化学物質濃度は、建材・施工材から放散される化学物質と換気量により大きく左右される。そのため、化学物質空気汚染に対する工学的アプローチとして、建材・施工材からの化学物質放散量測定法の開発、ならびにその放散量予測法の開発に重点が置かれてきた。化学物質放散量に関する測定法は、ASTM および ECA 等の規格に準じた完全混合型チャンバーを用いて、建材をチャンバー内に設置した状態で測定が行われることが多い^{3,4)}。現場実測においては、室内の各部位からの VOCs の放散速度を測定可能な小型チャンバーFLEC(Field and Laboratory Emission Cell)が、P. Wolkoffらによって考案され、多くの測定例が蓄積されている⁵⁻⁹⁾。しかし、これらチャンバーにおいて、放散性状に影響を与えると考えられるチャンバー内の気流性状の影響に関しては、十分な検討がなされていないのが現状である。

本研究は FLEC を対象として、そのキャビティ内の流れ場、拡散場を CFD (Computational Fluid Dynamics)手法により解析し、建材表面からの化学物質の放散性状を明らかとすることを目的としている¹⁰⁾。本報では、蒸散支配型建材と内部拡散支配型建材、および両者の複合型(蒸散+拡散)建材に関して、FLEC キャビティ内におけるその放散

性状を解析した結果を報告する。本解析により FLEC の化学物質放散速度測定の特徴が明らかにされる。

2. FLEC キャビティの構成

図1に P. Wolkoffらによって考案された FLEC の外形と断面を示す。FLEC 本体および付属部分は全てステンレス製である。温湿度調整された清浄空気が FLEC キャビティ外周部の幅 1mm の入口より吹出され、建材表面に沿ってキャビティ中央に収束し、上部より排出される。FLEC は、通常表1に示されるよう極めて大きな換気回数で放散速度測定が行われる。そのため、建材表面の物質伝達率が放散速度を支配する蒸散支配型建材の測定には不向きと言われている。今回、それ以外の問題点についても明らかにした。

3. FLEC 内の流れ場解析

FLEC キャビティ外周部から均一に清浄空気が供給されることを仮定し、軸対称流れとして 2次元の CFD 解析を行う。解析は換気量 $2.4 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{h}$ (換気回数 686 回/h) と $1.2 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{h}$ (換気回数 343 回/h) の 2 ケースを行う。CFD 解析条件を表3に示す。流れ場解析は、低 Re 型 k- ϵ モデル(Abe-Nagano model)¹¹⁾と層流解析の 2 ケースを行う。なお、本報ではキャビティ内の気流性状を形状に従う軸対称流れと仮定しているが、この仮定が必ずしも成立しないことが実験等⁹⁾により確認されている。本報は、流れ場を軸対称流と仮定した解析結果を

* 東京大学大学院

** 慶応義塾大学理工学部 教授・工博

*** 東京大学生産技術研究所 教授・工博

**** 東京工芸大学 講師・工博

Graduate student, Univ. of Tokyo

Prof., Keio University, Dr. Eng

Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng

Assistant Prof., Tokyo Institute of Polytechnics, Dr. Eng.

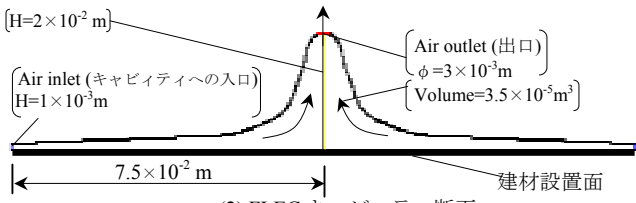
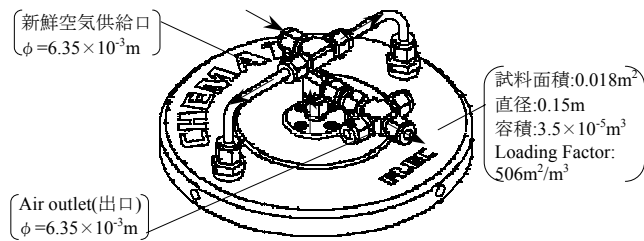
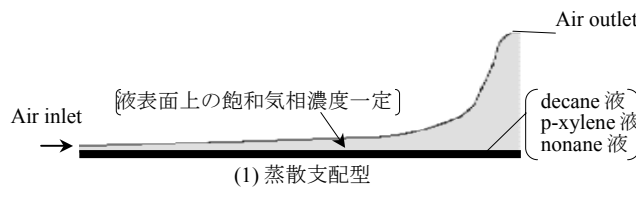
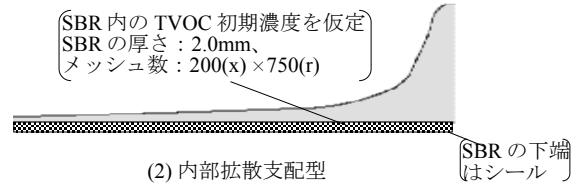


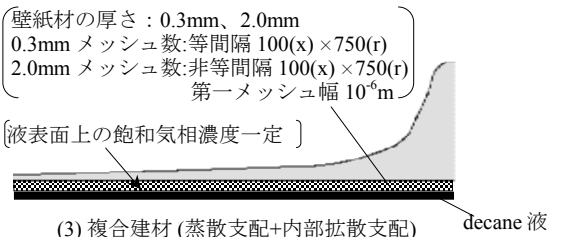
図1 FLECの外形と断面



(1) 蒸散支配型



(2) 内部拡散支配型



(3) 複合建材(蒸散支配+内部拡散支配)

図2 対象建材のモデル化

報告し、流れが軸対称流れから偏流にする影響に関しては別課題として別報で報告する。

4. FLEC内の拡散場解析と試料建材のモデル化

流れ場解析の後に、試料建材設置面(図1(2))に建材モデルの物質放散の境界条件を与え、等温状態を仮定し物質放散と拡散場解析を行う。等温状態の仮定は、一般にVOCsの放散速度が小さいため、放散速度はその気化熱の供給に支配されないことを前提としている。試料建材は、蒸散支配型放散、内部拡散支配型放散と複合建材(蒸散+内部拡散)の3種類を対象とする。

蒸散支配型建材の解析は建材表面に既知の気相濃度を境界条件として与え、放散速度が建材表面空気層における物質伝達率により支配されるものとして建材をモデル化している。内部拡散型建材の解析は、建材内部での拡散係数が小さく相対的に建材厚が厚い材料を対象とし、放散速度が表面境界層の性状に依存せず、建材内の濃度勾配と有効拡散係数によって律則されるものとしてモデル化する。本解析では合成ゴム(SBR)^{12,13)}を対象とする。複合建材(蒸散+内部拡散)の

表1 解析ケースと建材モデル

	換気量 [m ³ /h] ×10 ⁻²	換気 回数 [回/h]	温度 [°C]	建材 モデル	乱流 モデル
case1	2.4	686	21.8 23	蒸散支配型 Water、 decane液 p-xylene液 nonane液	Low-Re
case2	1.2	343			
case3	2.4	686			
case4	1.2	343	23 30	拡散支配型 (TVOC)	層流
case5	1.2	343			
case6	1.2	343	23 30	複合建材 (壁紙材+ Decane液)	層流

表2 C₀(飽和気相濃度)、C'₀(SBR初期濃度)、D_c(SBRと壁紙材中の有効拡散係数)とD_a(空気中の物質拡散係数)^{文14)}

	温度 [°C]	C ₀ [g/m ³]	C' ₀ [g/m ³]	D _c (SBR,壁紙) [m ² /s]	D _a [m ² /s]
case4 (Water)	21.8	19.9			2.27×10 ⁻⁵
case4 (p-xylene)	23	0.05			6.63×10 ⁻⁶
case4 (nonane)	23	0.03			5.07×10 ⁻⁶
case5 (TVOC)	23		192	1.10×10 ⁻¹⁴	5.94×10 ⁻⁶
	30		160	4.20×10 ⁻¹⁴	6.15×10 ⁻⁶
case6 (decane)	23	10.0		2.30×10 ⁻⁷	4.75×10 ⁻⁶
	30	14.0		8.78×10 ⁻⁷	4.81×10 ⁻⁶

表3 CFDの解析条件

座標系	円筒 座標系	メッシュ(2D)	27,300
乱流 モデル	Low-Re型k-εモデル(Abe-Nagano model) ^{文11)} 、層流		
移流項	QUICK		
流入 境界条件	Low-Re	V _{r,in} =1.4×10 ⁻² m/s(case1,3) V _{r,in} =7.0×10 ⁻³ m/s(case2,4,5,6) V _{x,in} =0(case1~6), k _{in} =3/2·(U _{in} ×0.05) ² , ε _{in} =C _μ ·k _{in} ^{3/2} L _{in} L _{in} =1/7 L ₀ =1.43×10 ⁻⁴ m	
	層流	V _{r,in} =1.4×10 ⁻² m/s(case1,3)V _{x,in} =0 V _{r,in} =7.0×10 ⁻³ m/s(case2,4)V _{x,in} =0	
流出 境界条件	質量保存 k _{out} , ε _{out} =free slip		
壁面 境界条件	no-slip 条件	対称面	∂v _r /∂r = 0

建材モデルとしては、建材内部での拡散係数が大きく相対的に建材厚の薄い材料面の片側で、或いは相対的に厚い材料面の片側で既知の気相濃度を与える。ここではその例として(溶液のdecane+壁紙材)を対象とする。壁紙材の厚さは0.3mmと2mmの2ケースの解析を行う。

表2に拡散場解析に使用した飽和気相濃度C₀および建材内有効拡散係数D_c等の境界条件を示す。なお、FLEC流入空気濃度はゼロとする。

4.1 蒸散支配型建材モデル FLECはまだ乾いていないペイントなど濡れた面からの放散量の測定を意図したものではない。蒸散支配型放散は建材表面の空気層(境界層)が放散速度を律則し、内部拡散が影響しないことから建材表面で既知の気相濃度が与えられるという条件で放散がモデル化される。図2(1)に蒸散支配型建材のモデル化を示す。この条件に対応する純水(Water(H₂O))とデカン(decane(C₁₀H₂₂))、p-キシレン(p-xylene(C₈H₁₀))、ノナン(nonane(C₉H₂₀))の4ケースを解析する。

純水の温度は 21.8°C、decane、p-xylene、nonane の温度は 23°C とする¹⁴⁾。建材表面に既知の気相濃度を境界条件として与え、拡散場の定常解析を行う。

4.2 内部拡散支配型建材モデル 内部拡散型の建材からの放散は建材内の拡散が建材表面からの物質放散速度を律則するもので建材表面における物質伝達率は、内部拡散に比べその放散抵抗が無視できるものである。これは、建材内の拡散係数が小さく材料厚が相対的に厚い場合に対応し、ここでは合成ゴム(SBR)^{12,13)}からの VOCs 放散を扱う。SBR の厚さは 2mm と仮定する。SBR 内部は一律に 23°C、もしくは 30°C とし、VOCs 初期濃度 C_0 は 23°C の場合 192 g/m³、30°C の場合 160 [g/m³] とする¹⁵⁾。初期状態において建材内部での VOCs 分布は考慮せず、一律と仮定する。SBR の下端はシールとし、SBR 内部の有効拡散係数 D_c は 23°C の場合 1.1×10^{-14} [m²/s]、30°C の場合 4.2×10^{-14} [m²/s] と仮定する。SBR 内部は拡散解析に際して解析メッシュ (200(x)×750(r)) を設け、建材内と FLEC 内の全領域を連結して非定常の拡散解析を行う。図 2(2)に内部拡散支配型建材のモデル化を示す。

4.3 複合建材(蒸散+内部拡散支配)モデル 図 2(3)に複合建材のモデル化を示す。複合建材(蒸散+内部拡散支配)の建材モデルとして、建材内部での拡散係数が大きく相対的に建材厚の薄い材料面の片側で、或いは相対的に厚い材料面の片側で既知の気相濃度を与える。ここで(decane + 壁紙材)を扱う。壁紙材の厚さは 0.3mm と 2mm とする。壁紙材と decane の境界面に decane 既知の気相濃度を与え、壁紙材の内部にはメッシュ(0.3mm 厚さの場合、等間隔の 100(x)×75(r)、2mm 厚さの場合、第一メッシュ幅 10⁻⁶m、不等間隔の 100(x)×75(r))を設け、建材内と FLEC 内の全領域を連結して定常解析を行う。有効拡散係数 D_c は ISM 規格の壁紙材を用いて、カップ法により我々が測定した値を用いた¹⁰⁾。壁紙材の有効拡散係数 D_c は、建材温度 23°C の場合 2.30×10^{-7} [m²/s]、30°C の場合 8.78×10^{-7} [m²/s] である。

5. 流れ場の解析結果

図 3 に層流解析(case3)の FLEC キャビティ内の風速分布を示す。建材設置面近傍のスカラー風速は 8×10^{-3} [m/s] 程度である。FLEC の入口の吹出速度 V_{in} (1.4×10^{-2} [m/s] (case1, 3, 5)、 7.0×10^{-3} [m/s] (case2, 4)) で無次元化した各ケースの建材設置面近傍の風速分布を図 4 に示す。低 Re 型 k-ε モデルによる解析と層流解析は全く同一の流れ場を示している。FLEC 入口風速・入口幅により定義した Reynolds 数は case1 および 3 で 0.93、case2 および 4 で 0.46 である。FLEC キャビティ内の流れ場はほぼ完全な層流であり、CFD 解析には乱流モデルに係る誤差が発生する余地がなく、結果に十分な信頼性を置くことが出来る。

6. 濃度場の解析結果

低 Re 型 k-ε モデルによる解析結果と層流解析結果が同一のため、拡散場解析は層流解析結果に関してのみ示す。また筆者らが開発した境界層型小型 Test Chamber(別報¹⁰⁾参照)に対して、換気量を除き表 2 に示す条件で純水と decane 液を用いて、同様の放散実験を行った結果を参考として示す。これは建材表面近傍の気流速度を約 0.1m/s にコントロールして得た結果である。表 4 にその実験結果と共に CFD 解析による FLEC キャビティ内の蒸散特性をまとめる。

6.1 蒸散支配型建材 表 4 に示すように case 3, 4 とともに、純水の場合も decane、p-xylene と nonane の場合も出口濃度と建材モデル表面気相

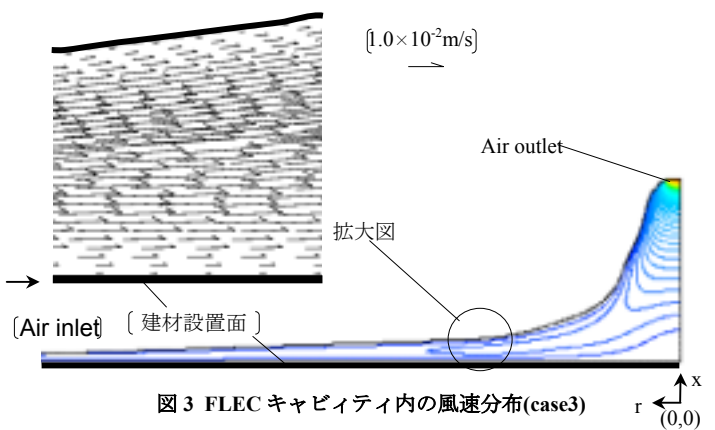


図 3 FLEC キャビティ内の風速分布(case3)

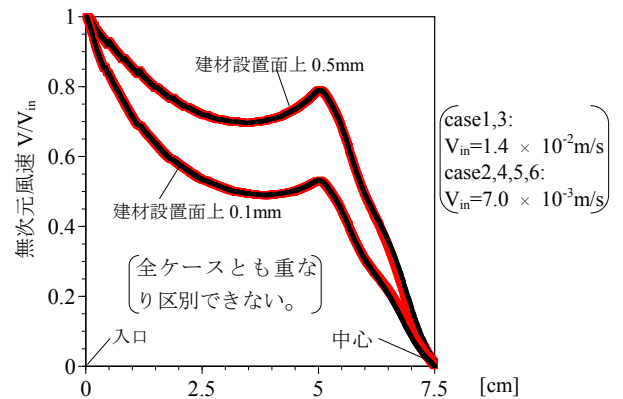


図 4 FLEC キャビティ内
建材設置面近傍のスカラー風速分布

濃度は等しい。純水の試料面平均放散速度¹¹⁾ (FLEC キャビティ内の放散面における平均放散フラックス、case3)は 26.95 [g/m²h]¹²⁾、decane の平均放散速度(case3)は 13.55 [g/m²h] である。換気量が case3 の 2 分の 1 となる case4 の場合、純水と decane の平均放散速度は換気量に比例してそれぞれ case3 の解析結果の 2 分の 1 となる。換気量を変化させても FLEC 出口濃度は一定であり、(出口濃度 [g/m³])=(平均放散速度 [g/m²h]×放散面積 [m²])/(換気量 [m³/h]) の関係より、試験建材面全体で評価される平均物質放散速度は換気量に比例する結果になった。case4 の場合、decane の平均放散速度は 6.74 [g/m²h]、p-xylene の平均放散速度は 0.035 [g/m²h]、nonane の平均放散速度は 0.026 [g/m²h] である。この種の化学物質濃度の測定においては一般に気中濃度が、建材表面濃度より低いことが基本的前提となるが、FLEC での蒸散支配型建材ではこれが成立しない。気中での拡散係数 D_a は化学物質によって大きく変わるものではないので、この結果は等温条件が満たされる限り、材料表面の気相濃度が気流性状に依存せずと定められる蒸散支配型建材すべてについて、また表面気相濃度の大小にかかわらずあてはまるものと考えられる。キャビティ内の濃度分布を図 5(1)に示す。decane の場合も nonane の場合も入口からわずかの距離ですぐ出口濃度と等しくなっている¹³⁾。これに対応して図 6(1-a)に示すように試料建材からの局所的な放散速度は入口近傍では大きな値を示すが、入口からほんの数 cm 位の距離ですぐゼロに近くなり中央付近まで殆どゼロとなっている。この局所放散速度を FLEC に対する吹出速度 V_{in} [m/h] と出口濃度 C_{out} [g/m³] で無次元化した結果を図 6(1-b)に示す。これに対し境界層型小型 Test Chamber の場合、出口濃度は飽和気相濃度よりやや低く、試料建材表面境界層の拡散速度が平均放散量を支配す

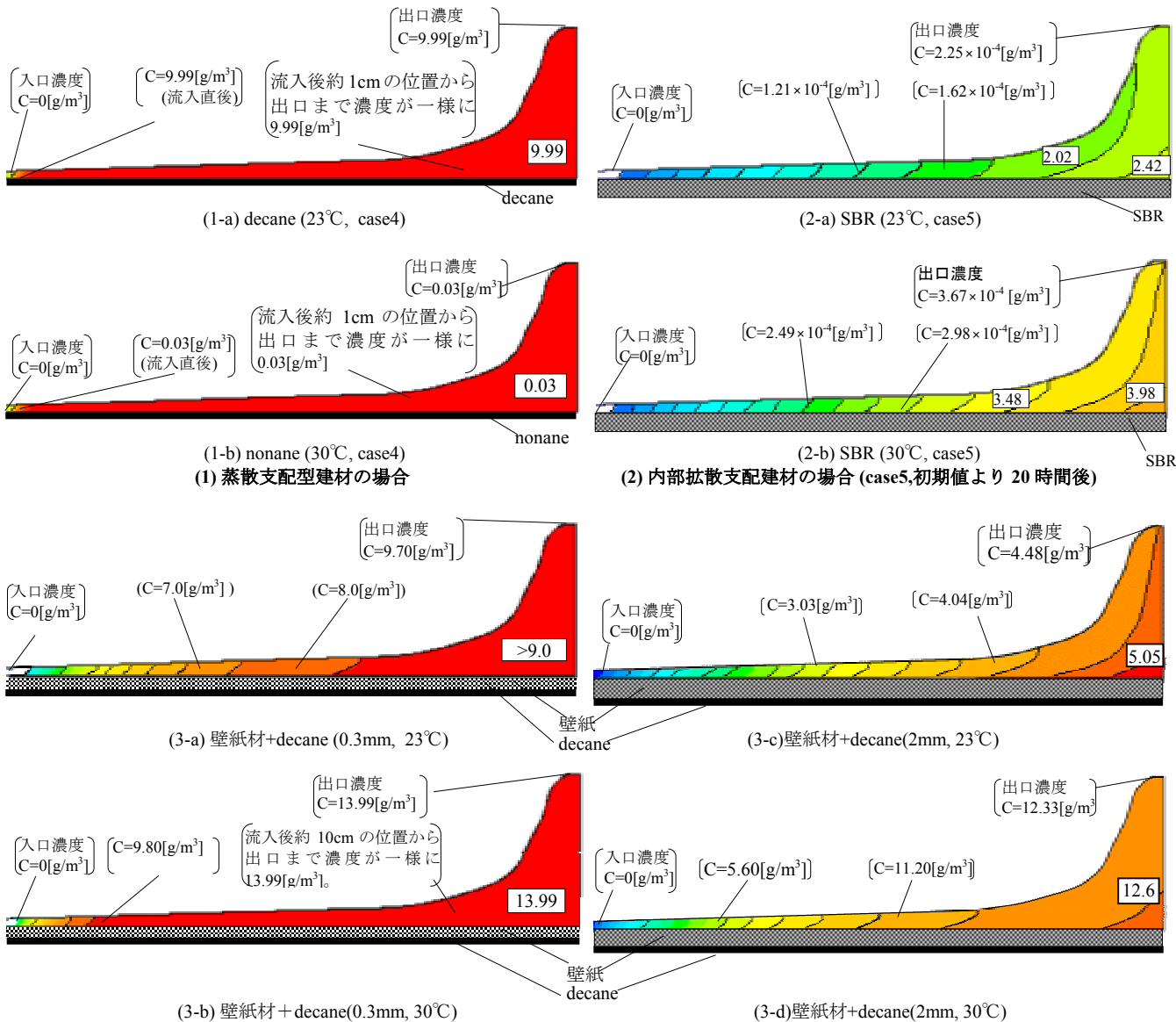


図5 FLEC キャビティ内濃度分布 [g/m³]

ることをある程度再現する結果となっている。

6.2 内部拡散支配型建材 解析開始(初期値)より20時間後の結果を示す。表4より、case5における建材表面平均濃度は、23°Cの場合に 1.21×10^{-4} [g/m³]、30°Cの場合に 1.96×10^{-4} [g/m³]である。図5(2)より、FLECキャビティ内には、鉛直方向、水平方向に濃度分布が形成されている。図6(2)より、建材面からのVOCsの局所放散速度は蒸散支配型建材のような大きな分布が存在せず、23°Cの場合に 1.52×10^{-4} [g/m²h]、30°Cの場合に 2.47×10^{-4} [g/m²h]とほぼ一定となる。

6.3 複合建材(蒸散+内部拡散支配) 表4より、複合建材 case6の場合、厚さ0.3mmの壁紙に関して、壁紙材表面の平均濃度は23°Cの場合に7.63 [g/m³]、30°Cの場合に13.07 [g/m³]となる。建材からのdecane平均放散速度は23°Cの場合に6.58 [g/m²h]、30°Cの場合に9.50 [g/m²h]となる。2.0mmの壁紙に関しては、壁紙材表面の平均濃度は23°Cの場合に2.65 [g/m³]、30°Cの場合に8.7 [g/m³]となる。建材からのdecane平均放散速度は23°Cの場合に3.03 [g/m²h]、30°Cの場合に8.30 [g/m²h]となる。純然たる蒸散支配のcase4の場合より多少小さい値となっている。

FLECキャビティ内の濃度分布を図5(3)に示す。厚さ0.3mmの壁紙に関しては、23°Cの場合、入口から約30mmの距離で出口濃度と等しくなり、建材表面濃度より大きくなる。30°Cの場合、入口から約10mmの距離で出口濃度とほぼ等しくなる。これに対応して図6(3)に示すように複合建材からの局所放散速度は、①23°Cの場合入口から約30mmの距離で局所放散速度はゼロに近くなり中央付近まで殆どゼロ、②30°Cの場合入口から約10mmの距離で局所放散速度はゼロに近くなり中央付近まで殆どゼロ、となる。図5(3)に示すように、厚さ2.0mmの壁紙の場合、内部拡散支配型建材と同様にFLECキャビティ内は、鉛直方向、水平方向に濃度分布が形成されている。複合建材面からの局所放散速度は厚さ0.3mmの壁紙材の場合のような大きな分布が存在しない。

7. 物質伝達率

7.1 蒸散支配型建材 図5および6に示すように、純水、decane、p-xyleneおよびnonaneにおいて建材表面から気中への物質伝達は入口のごく近くの極めて限られた領域のみで行われており、その建材表面平均物

表4 物質の放散速度、物質伝達率の予測結果

測定方法	Water			蒸散支配型 decane			p-xylene	nonane	拡散支配型 (TVOC)		複合型 (decane+壁紙材)				
	FLEC (case3)	FLEC (case4)	境界層型 chamber	FLEC (case3)	FLEC (case4)	境界層型 chamber	FLEC (case4)	FLEC (case4)	FLEC (case5, 20hours)		FLEC (case6)				
											(0.3mm)		(2mm)		
温度[°C]	21.8			23.0					23.0	23.0	23.0	30.0	23.0	30.0	
平均放散速度 ^{注1)} [g/m ² h]	26.95	13.51	29.9	13.55	6.74	46.4	0.035	0.026	1.52×10 ⁻⁴	2.47×10 ⁻⁴	6.58	9.50	3.03	8.30	
建材表面濃度 [g/m ³]	19.90			10.00			0.05	0.03	1.53×10 ⁻⁴	1.96×10 ⁻⁴	7.63	13.07	2.65	8.70	
出口濃度 [g/m ³]	19.89		18.0	9.99		0.6	0.05	0.03	2.25×10 ⁻⁴	3.67×10 ⁻⁴	9.70	13.99	4.48	12.3	
飽和気相濃 [g/m ³]	19.90			10.00			0.05	0.03			10.0	14.0	10.0	14.0	
平均物質 伝達率 [g/m ² h· (g/m ³)]	注 5)	1.35	0.68	1.50	1.36	0.67	4.64	0.60	0.67	1.25	1.26	0.87	0.73	1.14	0.95
	注 6)	∞	∞	15.7	∞	∞	4.9	∞	∞	-1.46	-1.44	-3.1	-10.3	-1.7	-2.3

物質伝達率を求めることに物理的意味はあまりない。強いて参照濃度を FLEC 入口の濃度とすると、表 4 に示すように、純水、decane の平均物質伝達率はほぼ一致し(case3 で 1.35 [g/m²h(g/m³)]、参照濃度を FLEC 出口濃度とすると、出口濃度は建材表面濃度に一致しているため濃度差ゼロとなり、平均物質伝達率は無限大に近い値になる。

7.2 内部拡散支配型建材 合成ゴム (SBR, 2mm) の平均物質伝達率は、FLEC 入口濃度を参照濃度とすると、23°C の場合に 1.25 [g/m²h (g/m³)]、30°C の場合に 1.26 [g/m²h (g/m³)] となり、ほぼ等しい値となる。参照濃度を FLEC 出口とすると FLEC 出口濃度が建材表面の平均濃度より高くなるため^{注 4)}、平均物質伝達率は見掛け上負値 (23°C の場合、-1.46 [g/m²h(g/m³)]、30°C の場合、-1.49 [g/m²h(g/m³)]) となる。

7.3 複合建材 (蒸散+内部拡散支配) 厚 0.3mm の壁紙の場合、(decane+壁紙材) の平均物質伝達率は FLEC 入口濃度を参照濃度とすると、23°C の場合に 0.87 [g/m²h (g/m³)] となり decane のみの平均物質伝達率である 0.68 [g/m²h (g/m³)] に比べ多少大きい値となる。これは decane のみの場合に比べ、局所放散速度がゼロとなる領域が減少したことに対応している。参照濃度を FLEC 出口とすると FLEC 出口濃度が建材表面の平均濃度より高くなるため、平均物質伝達率は見掛け上負値となる。

7.4 考察 内部拡散支配及び複合型建材のいずれも、FLEC キャビティ内に入口から出口にわたって大きな濃度分布が存在すること、出口濃度が建材表面平均濃度より大きくなることから、通常物質伝達率を定義することは困難である。

8. 結論

- (1) FLEC キャビティ内の流れ場は層流である。2 種類の換気量に関し、無次元化した流れ性状はほぼ同一となった。
- (2) 蒸散支配型建材モデルの場合、①FLEC キャビティ内濃度は入口より少し下流の位置ですぐ建材表面濃度に等しくなり、以後その下流は出口まで一定濃度となる。②対応して建材表面からの局所的な物質放散速度は、キャビティ入口付近のごく狭い範囲で大きな値を示すが、キャビティ内濃度が建材濃度と等しくなった下流ではゼロとなる。③この点で、FLEC は、蒸散支配型建材の試験建材面平均放散速度を過小評価するおそれが大きい。④入口より少し下流の位置でキャビティ内濃度が建材表面濃度とほぼ等しくなるため、換気量を数倍程度増や

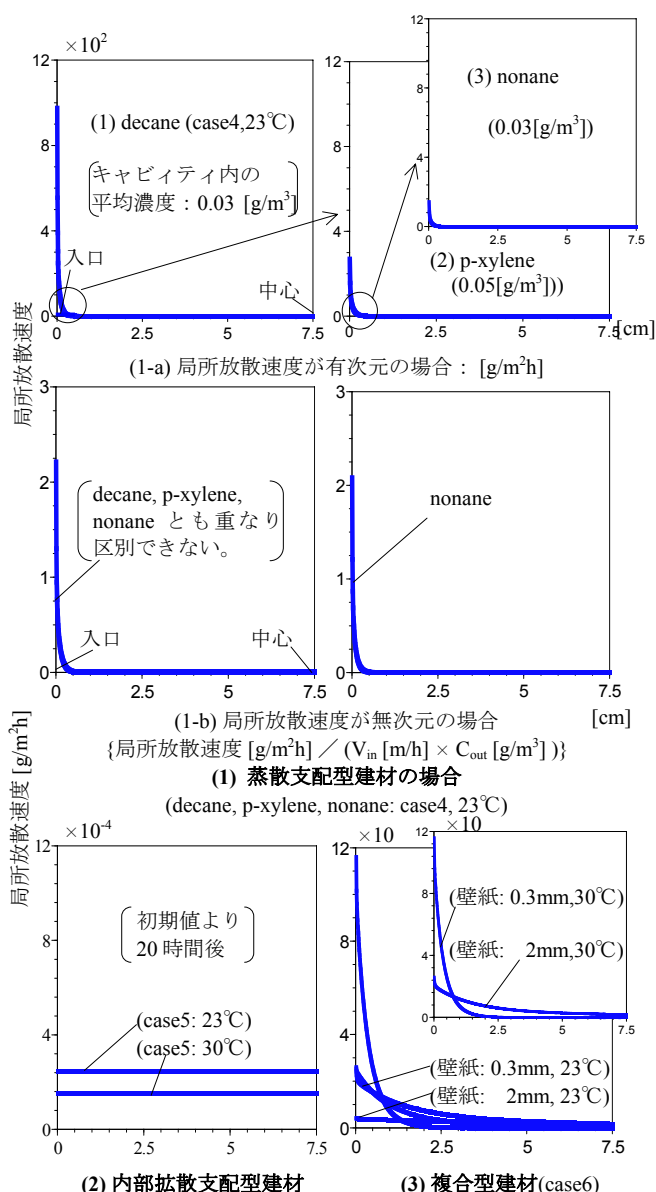


図6 建材面からの局所放散速度の分布
(縦軸の単位が異なるので注意されたい)

しても、出口濃度が建材表面濃度となる性状は変わらない。⑤そのため、試験建材面全体で評価される平均物質放散速度は、(出口濃度 $[g/m^3]$)=(平均放散速度 $[g/m^2h]$ × 放散面積 $[m^2]$) / (換気量 $[m^3/h]$) の関係より、換気量に比例する。

(3) 内部拡散支配型建材の場合、FLEC キャビティ内の濃度分布と関わりなく、建材表面からの局所的な物質放散速度は建材面で一様となり、建材表面全体で評価される平均物質放散速度に一致する。SBR ような内部拡散支配型建材に対して、FLEC は試験建材面平均放散速度を正確に測定できると考えられる。

(4) 複合建材(蒸散+内部拡散支配)の場合、付加された内部拡散支配型建材の物質移動の抵抗により、建材からの放散速度は、純然たる蒸散支配の場合に比べ小さくなる。①内部拡散による物質移動の抵抗が小さい場合、すなわち壁紙材の厚さが相対的に薄い場合は、蒸散支配の傾向が強く、蒸散支配型建材での放散速度測定と同様に、FLEC での試験建材面平均物質放散速度は過小評価されるおそれがある。②内部拡散による物質移動の抵抗が大きい場合、すなわち壁紙材が厚い場合は、内部支配型建材と同様に、建材表面からの局所的な物質放散速度はキャビティ内濃度分布と関わりなく建材面で一様となり、試験建材面の平均物質放散速度に一致する。すなわち、FLEC は試験建材面平均放散速度を正確に測定できると考えられる。

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 慶応義塾大学理工学部 教授)の活動の一環として実施したものである。早稲田大学 田辺新一助教授から格別のご助言を頂いている関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

注

- [1] 平均放散速度は、FLEC キャビティ内の試験建材の放散面における局所放散速度の平均値である。局所放散速度は、FLEC キャビティ内の試験建材の放散面局所における放散速度の値である。
- [2] 対応する気化熱は $17W/m^2$ 必要となる。実際の蒸散過程では、今回の等温仮定の成立は容易ではなく、蒸散速度は気化熱の供給に律則されるものと考えられる。
- [3] 建材表面から FLEC 上側内表面までの距離は入口近傍で最短の $L=1mm$ である(図 1)。キャビティ入口近傍は、流路が極めて薄いため建材表面から放散された物質は直ちに分子拡散により流れ横断方向に拡散する。ここで、分子拡散の特性時間 $T=L^2/\nu$ を L と ν (空気の動粘性係数)から求めると、 $T=0.07[s]$ となる。入口の流速約 $1cm/s$ に対し極めて短時間に流れ横断方向に拡散が進むことが示唆される。
- [4] 図 5(2) に示されるように建材表面濃度はその近傍の気中濃度とほぼ等しい。キャビティ入口に近く相対的に低濃度の外周部の面積が、出口に近く相対的に高濃度となる中心軸部の面積に比べて大きいため、建材表面の平均濃度は中心軸近傍の気中濃度(すなわち出口濃度)に比べ低くなる。
- [5] 試験建材面の平均物質伝達率は FLEC と Small Test Chamber は入口の濃度 0 を参照濃度として算出。

- [6] 試験建材面の平均物質伝達率は FLEC と Small Test Chamber の出口濃度を参照濃度として算出。

参考文献

- [1] Steve M. Hays, (1995) Indoor Air Quality, Solutions and Strategies, McGraw- Hill, Inc.
- [2] 田辺新一 (1997) ホルムアルデヒド、VOC による室内空気汚染について、日本建築学会年次大会、D-2, 767-768
- [3] ASTM-D5116-90, (1990) Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/Products
- [4] European Concerted Action, (1991) Indoor Air Quality & Its Impact on Man, Report No.8, Guideline for the characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers
- [5] P.Wolkoff, et al, Field and Laboratory Emission Cell: FLEC, IAQ 91 Healthy Buildings
- [6] P.Wolkoff, et al, (1995) Application of the Field and Laboratory Emission Cell: FLEC-Performance Study, Intercomparison Study and Case Study of Damaged Linoleum Office, Indoor Air, 196-203.
- [7] CHEMATEC, (1997) FLEC- Field and Laboratory Emission Cell
- [8] P.Wolkoff, (1995) Volatile Organic Compounds Sources, Measurements, Emission, and the Impact on Indoor Air Quality, Indoor Air, 43-45
- [9] E.UHDE, et al, (1998) Characterization of the Field and Laboratory Emission Cell-FLEC: Flow Field and Air Velocities, Atmospheric Environment, 773-781
- [10] 村上周三、加藤信介、朱清宇、伊藤一秀、田辺新一 (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 24) FLEC 内の化学物質放散性に関する CFD 解析, 空気調和衛生工学会講演論文集, 9-12
- [11] Nagano, Y., et al. (1994) A new turbulence model for predicting fluid flow and heat transfer in separating and reattaching flows- 1. Flow field calculations, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 38. No.1., 139-151
- [12] 村上周三、加藤信介、伊藤一秀 床材からの内部拡散支配型物質放散に対する材料温度の影響と換気除去効果 CFD 解析による室内の化学物質空気汚染の解明 第一報, 日本建築計画系論文集, 1999年9月、No.523 P.63
- [13] 近藤靖史、村上周三、加藤信介ら 多孔質固体内部における物質拡散のモデル化とマイクロマクロモデルによる室内 VOCs 濃度予測 揮発性有機化合物 (VOCs) の吸脱着・放散のモデル化とその数値予測 (その 1), 日本建築計画系論文集, 2000年9月、No.535 P.15
- [14] 化学工学協会編 (1968年), 化学工学便覧, 改訂3版
- [15] Xudong, Y., Chen, Q., et al (1998) Prediction of Short-Term and Long-Term VOC Emissions from SBR Bitumen-Backed Carpet Under Different Temperatures, ASHRAE
- [16] 伊藤一秀、村上周三、加藤信介、近藤靖史、朱清宇、神卓也 (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 14) 建材表面気流精密制御 Small Test Chamber の開発と物質伝達率の測定, 空気調和衛生工学会講演論文集, II, 493-496