

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3)
マイクロ-マクロモデルによる建材内濃度分布予測およびベイクアウトの評価

正会員 ○藤村 淳一¹ 同 近藤 靖史²
同 村上 周三³ 同 加藤 信介³
同 伊藤 一秀⁴ 同 山本 明⁴

マイクロ-マクロモデル 建材内濃度分布 ベイクアウト

1序 建材内部からのVOCs等の放散量や室内濃度を予測するシステムとして、前報(その2)においてマイクロ-マクロモデルを定式化し、数値解析例を示した。また、長期予測を可能にする計算負荷の少ないシステムを提案した。本報では、これらを用いた建材内部における濃度分布予測、および Short-Term モデルと Long-Term モデルを併用したベイクアウトの評価に関する解析例などを示す。

2 マイクロ-マクロモデルによる建材内濃度分布予測

マイクロ-マクロモデルのうち Long-Term モデル(前報(その2)参照)によれば、建材内濃度分布は次のように表される。

$$C(x,t) = \frac{4C_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \exp\left[-D_c \left\{ \frac{(2n-1)\pi}{2L} \right\}^2 t\right] \sin \frac{(2n-1)\pi}{2L} x \quad (1)$$

また、単位面積あたりの放散量は次式の通りである。

$$E(t) = -D_c \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = -D_c \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} = \frac{2D_c C_0}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[-D_c \left\{ \frac{(2n-1)\pi}{2L} \right\}^2 t\right] \quad (2)$$

ここで、 x :位置[m] (放散面 $0 \leq x \leq L$ [建材の裏側(物質フラックス0)]), t :時刻[s], C_0 :建材内初期濃度[kg(VOC)/kg(air)] ($C_0 \equiv C(x,0)$), D_c :有効拡散係数[m²/s], L :建材厚さ[m]である。(1)式による濃度分布予測は差分計算を必要としないため、計算は短時間ですむ。図2にその解析例を示す¹⁾。なお、X.Yang と Q.Chen ら²⁾と同様に、アレニウスの関係³⁾を用いて有効拡散係数 $D_c = 2.2 \times 10^{-15}$ [m²/s] (15°C)での値を推定⁴⁾とした³⁾。また、建材は前報(その2)と同様のSBRで、厚さ $L = 1.5$ [mm]である。図2の解析結果から、建材からの放散量は初期の材齢1年以下の時期がかなり大きいと言える。また今回のように有効拡散係数が比較的小さい場合、10年以上経過してもかなりの量のVOCs等が内部に残留している。

3 ベイクアウト解析の概要 (1)式により得られる建材内濃度分布の予測結果は、Short-Term モデル等の建材内物質拡散方程式の初期条件として用いることができる。本報では、(1)式により材齢2ヶ月の建材内濃度分布を作成し、それを Short-Term モデルの初期値として入力した後、ベイクアウトの評価に関する解析を行った。図3に初期条件作成の概要を示す。また、ベイクアウトは図4に示すスケジュールを想定した。解析期間は5日間であり、1日目と3日目に10[回/h]でFlushingを行う。それ以外の通常時における換気回数は0.1[回/h]とする。ベイクアウトは2日目に24[h]にわたって行う。その際の実効拡散係数は $D_c = 4.2 \times 10^{-14}$ [m²/s]

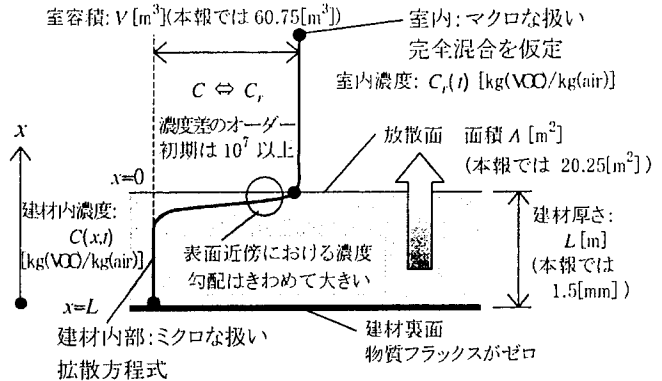


図1 建材断面と濃度分布の概要

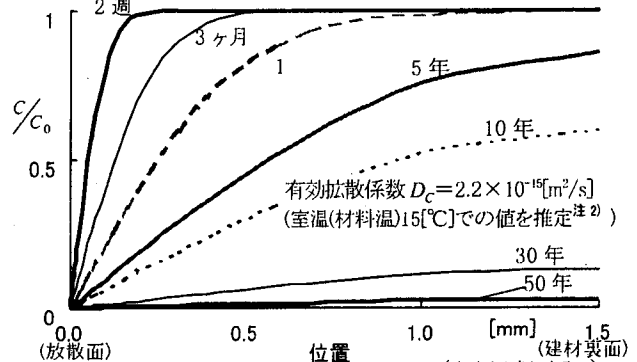


図2 建材内部における濃度分布の予測例 (本文(1)式による Long-Termモデル)

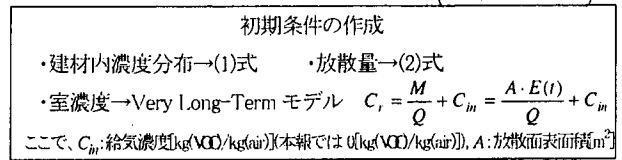


図3 ベイクアウト解析用の初期条件作成のフロー

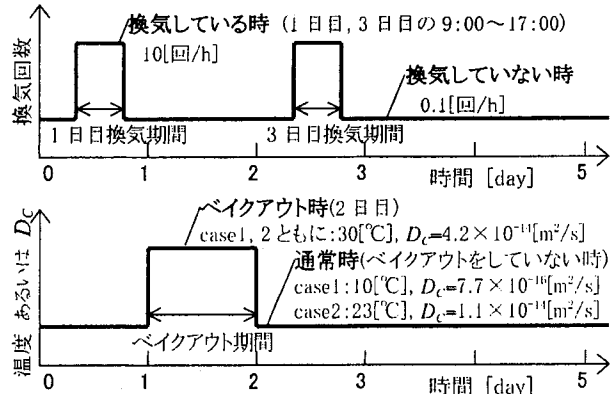


図4 換気、ベイクアウトの想定スケジュール

表1 ベイクアウト評価に関する解析ケース

解析ケース	状態	温度	有効拡散係数 D_c
case1-1	通常時(ベイクアウトしていない時)	10[°C]	7.7×10^{-16} [m ² /s]
	ベイクアウト時	30[°C]	4.2×10^{-11} [m ² /s]
case1-2	ベイクアウトなし	10[°C]	7.7×10^{-16} [m ² /s]
case2-1	通常時(ベイクアウトしていない時)	23[°C]	1.1×10^{-11} [m ² /s]
	ベイクアウト時	30[°C]	4.2×10^{-11} [m ² /s]
case2-2	ベイクアウトなし	23[°C]	1.1×10^{-11} [m ² /s]

(30[°C]を想定)である。また、ベイクアウトを行っていない状態(以下、通常時と記す)の温度が10[°C]の場合を case1、23[°C]の場合を case2 とし、各ケースについて、ベイクアウトを行わないケースを解析して両者の結果を比較検討する。

4 ベイクアウト解析の結果 4.1 室内濃度履歴(図5)

通常時とベイクアウト時の温度差 $\Delta \theta = 20$ [°C](10[°C]→30[°C])である case1 の室内濃度履歴(図5(a))から、ベイクアウトを行った case1-1 を、それを行っていない case1-2 と比較すると、約25%の室内濃度低減が得られることがわかる。一方で、ベイクアウト時の温度差 $\Delta \theta = 7$ [°C](23[°C]→30[°C])の case2(図5(b))においては、室内濃度低減は約2%にとどまり、ほとんどベイクアウトの効果が見られない。この差が現れた原因の1つは、通常時とベイクアウト時の有効拡散係数 D_c の差である。case1 ではベイクアウト時の D_c は通常時の約50倍であるのに対し、case2 では約4倍と差が小さい。

4.2 建材内濃度分布(図6) case1 と case2 ではベイクアウト開始時における VOCs の含有量が大きく異なっている。図6の建材内濃度分布を見ると、case1(図6(a))ではベイクアウトにより表層部分の VOCs 等がかなり放散されたことがわかるが、case2(図6(b))ではその量は小さい。このことから、ベイクアウトの効果は建材表層部分の VOCs 等の含有量に大きく左右されると考えられる。したがって、放散面近傍に VOCs 等が集中する、壁紙施工時の接着剤や、ペイント等に対してベイクアウトは効果的であると予想できる。一方で、合板等のように比較的厚い建材で、VOCs 等を内部に含有するものについては、状況により必ずしもベイクアウトが効果的でない場合があり得ると考えられる。

5 まとめ ミクロ-マクロモデルを用いた、建材内部の濃度分布予測の例を示した。また、Long-Term、Short-Term モデルを併用してベイクアウトの評価を行った。

[注]

$$D = D_{ref} \cdot \exp \left[-E \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{296} \right) \right]$$
 1) 無限級数の和については、第60項までの和をもって近似している。
 2) アレニウスの関係による有効拡散係数の温度依存性は、次式によって与えられる。ここで、 D_{ref} は 23[°C](296[K])における有効拡散係数である。T は絶対温度である。また、 $E=17200$ として算定した。

3) 本報では、境界条件における拡散係数に D_c を用いている(前報(その2)(2)式参照)。本来、境界条件においては物質伝導率 λ_c を用いるべきであるが、X.Yang²⁾らは実験結果により D_c を用いた境界条件に整合するようにこれを求めている。現状では λ_c などの詳細なデータが得られていないため、

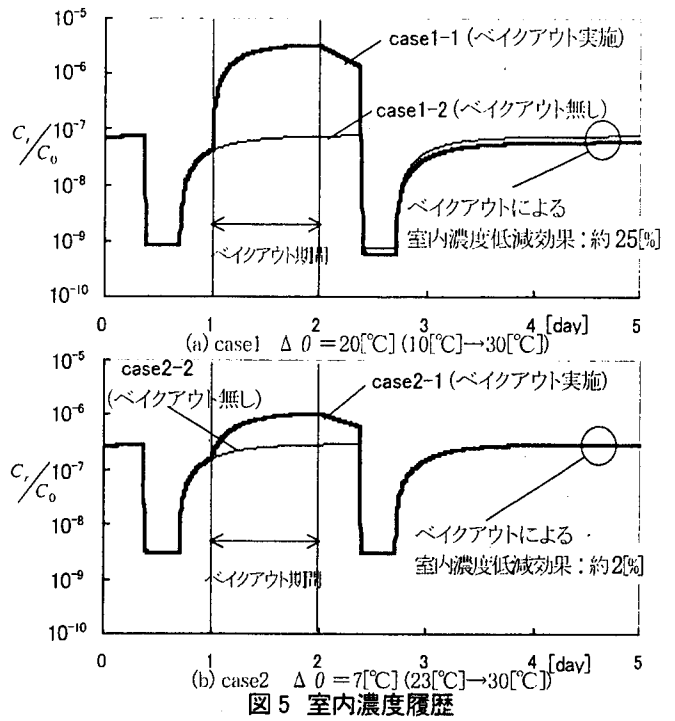


図5 室内濃度履歴

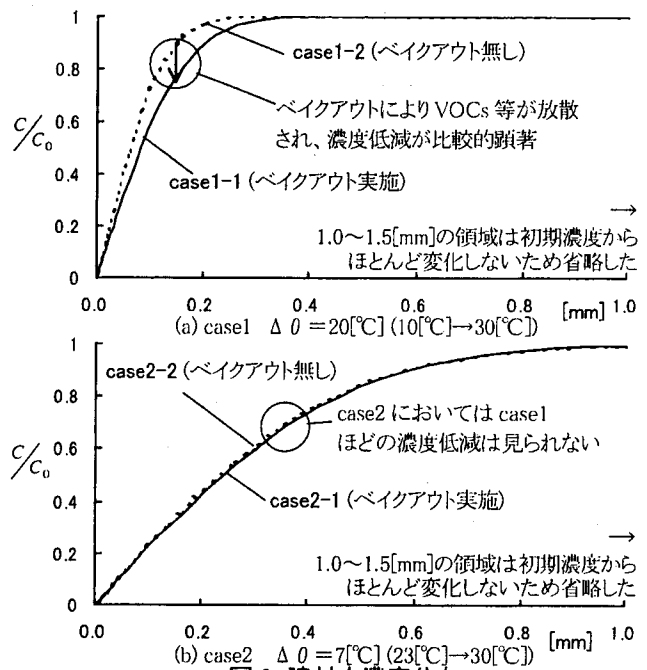


図6 建材内濃度分布

本報ではこれを用いたが、今後物性値に関する検討がさらに必要である。

[参考文献]

- 1) 村上周二, 加藤信介, 伊藤一秀, (1999): 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1報), 日本建築学会計画系論文集投稿中
- 2) Xudong Yang, Qingyan Chen, Philomena M. Bluyssen, (1998): Prediction of Short-Term and Long-Term VOC Emissions from SBR Bitumen-Backed Carpet Under Different Temperatures, ASHRAE TRANSACTIONS

[謝辞]

本研究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:村上周二 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。

*1 武蔵工業大学大学院
 *2 武蔵工業大学 助教授・工博
 *3 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*1 Musashi Institute of Technology
 *2 Assoc. Prof., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.
 *3 Prof., IIS, University of Tokyo, Dr. Eng.