

実大居室模型を用いた化学物質の吸着効果と濃度分布の測定（2）

正会員 ○太田 直希*¹

同 加藤 信介*² 同 村上 周三*³

同 伊藤 一秀*⁴ 同 朱 清宇*⁵

実大居室模型 化学物質濃度 吸脱着効果

1.序 既報^{※1)}において、汚染質の放散と吸脱着モデルに基づく数値解析の有効性を検証するため、実大スケールの単純形状の2次元気流模型を用い、汚染質濃度分布性状や活性炭の吸着効果に関しての測定、及び対応する CFD 解析結果について報告した。本報では模型内にパーティションを設置し、室内形状をより複雑として行った CFD 検証用データの取得のための実大スケール模型における汚染質濃度分布性状の解析、及び活性炭の吸湿性状も含めた吸着効果測定に関して報告する。

2.実験概要 一般的な居室をモデル化した実大模型を用いて、床面に化学物質汚染源及び吸着材を設置した場合の室内濃度分布及び化学物質放散速度、吸脱着速度を測定する。

2.1 実大居室模型概要 実験に用いた模型の概略を図1に示す。模型は居室をモデル化したもので 1500^x × 300^y × 1000^z mm の大きさを持つ。Y 方向に均一な2次元流れ場を形成することを意図し、キャビティ幅(300mm、Y 方向)のスロット状吹出口と吸込口を備える。吹出・吸込口は共に幅(Z 方向)20mm である。模型内には X 方向に 500mm、1000mm の位置に高さ 500mm のパーティションを設置し、室内を3分割している。天井、床、左右両壁面及びパーティションは sus 304 で構成し、その他はガラス製である。この模型は、化学物質フリーの環境を実現した恒温恒湿室内に設置され、一定温・湿度(23℃、50%)に制御される。居室模型の吹出風速は 3 m/s (換気回数 144 回/h)に制御している。

2.2 化学物質汚染源・吸着材 本報では蒸散支配型の建材をモデル化し decane 溶液を汚染源として使用する。decane 溶液は 100^x × 300^y × 5^z mm の sus 製容器に満たし、模型床面の右側(吸込口側)の空間に設置する。吸着材は黒色顆粒状の活性炭で、4-6mesh(粒径 3.36-4.76mm)を使用^{※1)}。実験に用いる活性炭は前処理として、シリカゲルと共に真空乾燥器の中(0.1Torr 以下)で3時間以上 170℃程度の環境に曝している。吸着材は 100^x × 300^y × 5^z mm の sus 製容器に約 50g 敷き詰めたものを全 10 個(活性炭総量約 500g)用意し、decane の下流側に2つ、パーティションを挟んで隣の空間に4つ、さらに隣の空間に4つ設置する。

2.3 実験ケース 模型実験ケースを表1に示す。床面に汚染源の decane 溶液のみを設置した case1 と、汚染源の他に吸着材の活性炭を設置した case2、活性炭のみを設置して空気中の水蒸気の吸着量を評価する case3 の3ケースを設定する。すべての実験は温度 23℃、湿度 50%で行う。活性炭による吸着効果を期待するため、汚染源は床面近傍の流れの上流側に設置し、活性炭は汚染源の下流側に設置する^{※2)}。

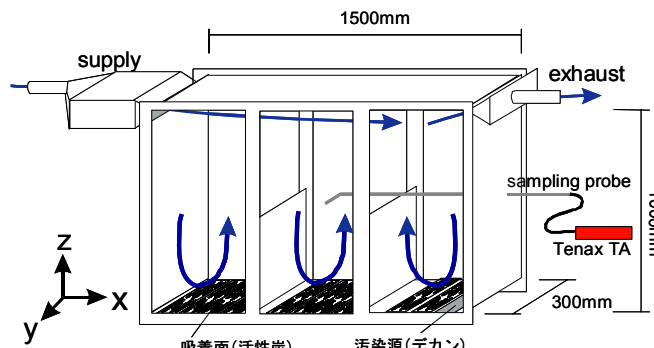


図1 実大居室模型及びサンプリング方法

表1 実大居室模型実験ケース

実験ケース	汚染源	吸着材	温度 湿度
Case1	Decane 溶液を sus 製容器に設置 (100 ^x × 300 ^y × 5 ^z mm)	無し	23℃ 50%
Case2		粒状活性炭 sus 製容器を 10 個設置 (100 ^x × 300 ^y × 5 ^z mm)	
Case3	無し		

2.4 化学物質サンプリング・分析法 室内各点の化学物質濃度は模型内に挿入した sus 製のサンプリングチューブを介して、Tenax TA により吸着捕集(0.1L/min の速度で全 0.5L サンプリング)する。分析は加熱脱着の後、GC/MS で行う。

3.実大室内模型実験結果 図2の測定値は decane の放散速度(電子天秤による重量測定から直接算出)と換気量より算出される完全混合濃度で無次元化している(括弧内の値は測定値 mg/m³)。測定は模型内に decane 溶液を設置した時点より5時間経過した後に行っている。また全実験系のブランクテストを行った結果、供給空気及び模型内での decane 濃度は GC/MS の検出限界以下であることを確認している。

3.1 汚染源のみを設置したケース(case1、図2(1)) 室内は天井面近傍の風速が強くなる他、天井を沿ってきた気流が対向壁に当たって右の空間に流入するため時計回りの循環流が生じる。また、右の空間で循環した気流は吹出口に向かって流れるため、中央と左の空間には反時計回りの循環流が生じることが LDV による気流測定により確認されている^{※2)}。図2(1)より中央の空間とその上部の空間で循環流の渦の中心の decane 濃度が高くなっていることが観察される。表3に decane の重量変化より直接算出した放散速度を示す。今回の測定条件では 1.98 × 10⁴ (mg/m²h)であった。

3.2 汚染源、吸着材を設置したケース(case2、図2(2)) 汚染源のみの case1 と比較し、室内の decane 濃度は室全体で 10~20%程度低下している。特に、右の空間での decane の下

流域や循環流の中心で濃度低下が顕著であり、室内の吸着材が汚染濃度低減に効果があることを示している。表 3 に decane 放散速度及び活性炭吸着速度を示す。放散速度、吸着速度(水蒸気等を含み decane のみとは限らない)は時間によらず一定として算出している(図 2(2)の床面に設置した容器①から⑩の全活性炭の平均値として算出)。decane 放散速度は吸着材を設置しない case1 と比べ case2 の方が若干大きい値となった。これは、活性炭を設置することによって室内の decane 濃度が低下し、decane 発生源近傍での濃度勾配が大きくなったためと考えられる。

3.3 吸着材のみを設置したケース(case3、図 3) 吸着剤への水蒸気の吸着の影響を検討するため、汚染発生のない条件で換気し、吸着剤への水蒸気吸着量を測定した。図 3 に case2 及び 3 の容器毎の活性炭の吸着量分布を示す。case3 の汚染源を設置しないケースと比較して、case2 では decane 発生源に最も近い容器①で吸着量が大きく、5 時間で活性炭 1g 当たり約 40mg であり、case3 より 10mg 程度多く吸着している。しかし、容器②から⑩では case2,3 共に 25~30mg/g の吸着量でほとんど変わらない。活性炭の吸着容量が十分に余っており、水蒸気と decane 吸着がそれぞれ独立して生じるものとする、case2,3 で吸着量がそれほど変わらないことから、これらの場所では decane の吸着はそれほど多くないものと考えられる。

5. 考察(1) case2 において、排出口濃度はおおよそ 9.8mg/m³ 程度である^{注3)}。流入空気中の decane 濃度が 0 であることから、換気によって持ち去られる decane 量は 9.8mg/m³ × 0.45m³ × 144 回/h × 5h = 3.18g となる。汚染源から放散した decane の量は 0.69g/h × 5h = 3.45g であることから、活性炭への decane の吸着量は 3.45 - 3.18 = 0.27 g であると考えられる。今回は換気回数 144 回/h で大量の換気を行っており、換気に比べ吸着による汚染質濃度低減効果は小さいが、換気量の減少とともに相対的に吸着による汚染質濃度低減効果は大きくなるものと考えられる。(2)既報^{※1)}のパーティションを設置しない場合の実験結果と比較して、case1,2 共に室全体で完全混合濃度により無次元化した decane 濃度は 2 倍程度上昇している。これはパーティションを設置することによって、室内の空気循環が妨害され、decane の室内滞在時間が長くなったためと考えられる。

6. 結論 (1) 室内の吸着材は室内汚染低減に効果がある。(2)室内をパーティションにより仕切った場合、汚染発生位置近傍の吸着材が汚染質濃度低減に大きく寄与する。また、室全体の濃度もパーティションがない場合に比べ上昇した。(3) 今回の実験では活性炭に吸着された decane の量は 270mg/5 時間であり、換気(換気回数 144 回/h)による除去量 3.18g/5 時間に比べ濃度低減に対する寄与は小さい。(4) 今後、実験に対応する数値解析を行い、吸着モデルを含むその精度の検証を行う。(5)また、疎水性の吸着剤として Tenax TA を使用した場合に関しても実験を行い、吸着剤の差異による影響の検討を行う。

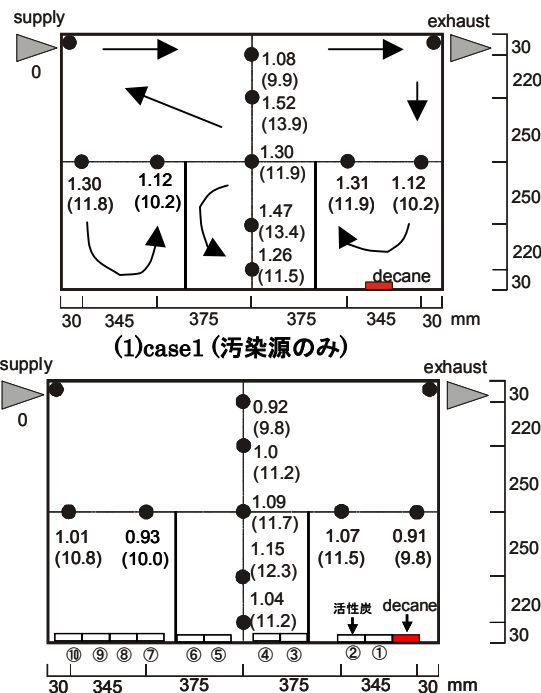


図 2 無次元 decane 濃度(完全混合濃度を 1 とする、括弧内の値は測定値、mg/m³)

表 3 decane 放散速度及び活性炭吸着速度

	Decane 放散速度 (mg/m ² h)	活性炭吸着速度 (mg/m ² h) (水蒸気含む)
Case1 (汚染源のみ)	1.98 × 10 ⁴ (0.59g/h)	—
Case2 (吸着材あり)	2.31 × 10 ⁴ (0.69g/h)	9.24 × 10 ³ (2.77g/h)
Case3(汚染源無し)	—	9.16 × 10 ³ (2.75g/h)

(括弧内の値は模型内の放散量、吸着量の総量を示す)

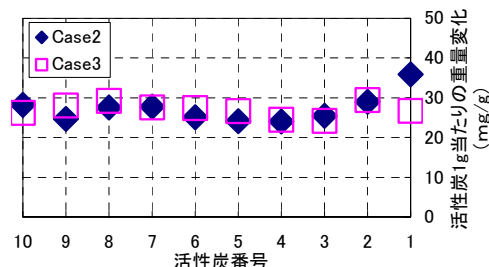


図 3 活性炭の吸着分布(5 時間暴)

謝辞 本研究の一部は、科学技術庁科学技術振興調整費(社会・基盤研究 生活者ニーズ対応研究「室内科学物質汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」)に基づいて設けられた健康学会学術委員会・室内科学物質汚染調査研究委員会(委員長: 村上周三 慶應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。関係各位に甚大なる謝意を表す次第である。注(1) 本報で使用する活性炭は重量法により decane の吸着量を調べており、100(μg/m³)近傍の濃度で最適近似した Henry 型の吸着等温式(C_{ad} = k_h · C)の Henry 定数 k_h は 1.8 × 10⁻² (m³/g、25°C)であり、飽和吸着量 C_{ado} は 410 (mg/g)程度である。本模型の decane 濃度は 10 mg/m³ (=10ppm)と一般的な化学物質汚染室内濃度に比べ 100 倍程度高い。高濃度では低濃度の場合と比較し、吸着等温線の傾きが多少異なり、吸着等は異なった性状となる。(2)既報^{※1)}で報告した実験は供給空気中の湿度を調整しておらず、今回の実験より低湿度の条件で実験している。再実験により湿度が活性炭の吸着性状、及び decane 放散性状に多少影響を与えることを確認している。(3) 排気濃度測定値は変動が大きく^{※1)}、今回は排気口上流の室内濃度による推定値を使用。参考文献(1) 朱他: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 23)実大居室模型を対象とした化学物質放散・吸着等の CFD 解析: 空気調和衛生工学会講演論文集、2000,9 A-II, P5-8 (2) 伊藤他: 換気効率指標の数値解析検証用の 2 次元室内気流実験: 日本建築学会計画系論文集、No. 534、2000.8

*1 東京大学大学院生
*4 東京工芸大学 講師 工博

*2 東京大学生産技術研究所 教授 工博
*5 東京大学大学院生

*3 慶應義塾大学理工学部 教授 工博