

第2章 多孔質建材の化学物質除去性能

3.2.1 塗り壁材

野崎淳夫(東北文化学園大学)

3.2.1.1 序論

1) 既往の研究

既往の研究について以下の①、②に示す。

①鈴木昭人、河合秀治、田辺新一：多孔質セラミック調湿建材に関する研究、小型チェンバーADPACを用いたホルムアルデヒド吸着性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002年8月、pp.995～996

自然素材を利用した多孔質セラミック調湿建材について、小形チェンバーを用いた、ホルムアルデヒドの吸着性能評価を行っている。測定方法は、財)日本建築センター及び、財)ベターリビングを参考にしている。

多孔質セラミック調湿建材におけるホルムアルデヒド低減効果、室内温度依存性及び換気回数依存性について検討を行っている。

②安宅勇二、加瀬田郎、横山至、加藤信介、村上周三：定常法によるHCHO吸収分解せつこうボードの濃度低減効果の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、2001年9月、pp.875～876

HCHO吸着分解性能を有する石膏ボードについての吸着性能結果を報告している。パッシブ吸着剤は、室内における吸着剤表面への汚染物質の物質伝達率、及び吸着材自身の吸着特性(吸着等温線)等により、その吸着性能が定まるものと考えられ、実際の室内での性能に対応した性能試験を行うには、対応した汚染物質濃度、温度、湿度のみならず、吸着材周辺の気流による汚染物質の物質伝達率も対応させる必要があることを示している。

2) 研究の目的

近年、化学物質の吸着効果の期待される対策品や建材が数多く市販されている。しかし、現状では、試験法やこれらの機材の有する吸着効果については、不明な部分が多い。

そこで、本研究では、総合技術開発プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」による試験評価法「吸着・分解効果の標準試験法(案)主査(野崎淳夫)」に準拠し、吸着剤と塗り壁材について、化学物質の低減効果について明らかにするものである。

これらにより、有効な化学物質汚染低減対策技術の開発と確立に寄与するための基礎的資料の収集を行うものである。さらに、データが蓄積されることにより、ユーザーへの有用な情報提供が期待できる。図-3.2.1.1に本研究のフローチャートを示す。

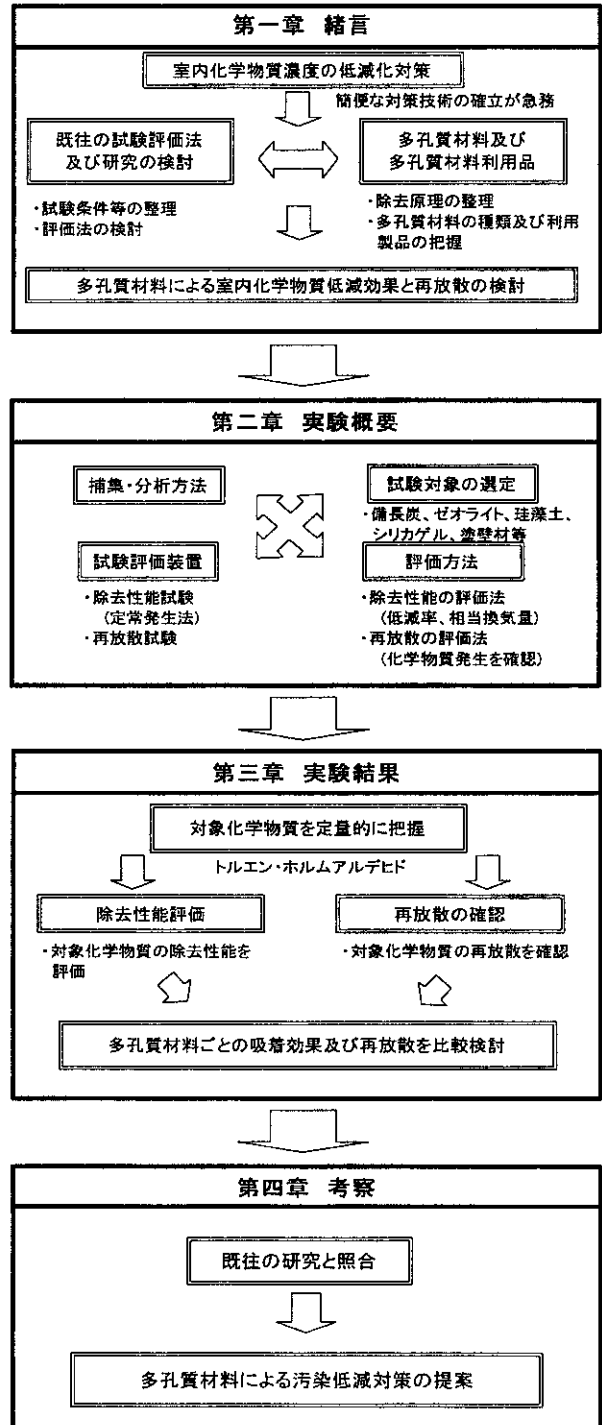


図-3.2.1.1 本研究のフロー

3.2.1.2 実験概要

1) 測定評価の概要

本研究における汚染低減建材(吸着系)の低減効果は、総合技術開発プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」により提案されている試験評価法「吸着・分解効果の標準試験法(案)」⁹⁾に準拠し、求めたものである。以下に試験評価法等について示す。

a) 試験評価システム

本試験評価システムは、定常ガス発生装置と小形チェンバーを用いて構築したものである。

i) 定常ガス発生装置の概要

発生装置は、標準ガス発生装置(ガステック社製、Model:PD-1型)マスフローコントローラ(Estec社製、SEC-B40、PAC-D2)により構成した。(試験評価の)対象物質である液体状試薬を拡散管に分注し、この拡散管を標準ガス発生装置に設置したものである。発生条件(表-3.2.1.1参照)を制御することで、対象物質の任意の発生量が得られるものである。(写真-3.2.1.1参照)

ii) 試験評価システムの概要

本試験評価システムを図-3.2.1.2に示す。空気環境実験室に、気積が65[l]の環境制御小形チェンバーを設置した。定常ガス発生装置を用いて、一定量の発生ガスを小形チェンバー内に供給できるものである。

尚、空気環境実験室の環境条件は、温度:28±1[°C]、相対湿度:50±5[%]とし、環境制御小形チェンバー内の環境条件については、温度:28±1[°C]、相対湿度:50±5[%]、対流熱伝達率:3[W/m²k]以下(ファンなし)、換気回数:0.5±0.05[1/h]とした。(写真-3.2.1.2参照)

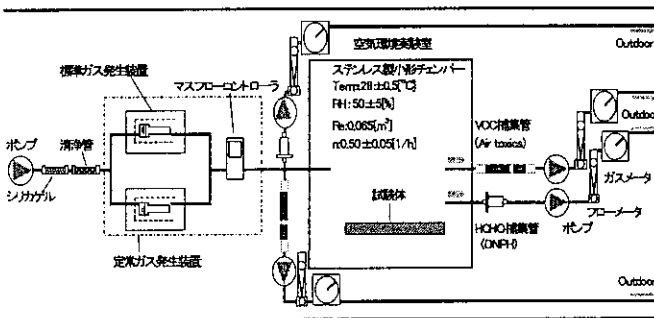


図-3.2.1.2 実験システムの概要図

表-3.2.1.1 標準ガス発生装置運転条件

標準ガス発生装置	ガステック社製 パーミエータ PD-1B-2
設定温度	40(°C)
設定圧力	1(kgf/cm ²)
流量	2000(ml/min)
ディフュージョンチューブ	多成分用 ディフュージョンチューブ
チューブ形式	トルエン D-01
(①)内はNo.	ホルムアルデヒド D-02

2) 試験評価対象の化学物質

試験評価対象の化学物質は、「吸着・分解効果の標準試験法(案)」の試験評価法と同様のものを選定した。対象物質の室内濃度指針値(厚生労働省)、主な発生源、毒性指標は表-3.2.1.2に示される。

表-3.2.1.2 試験評価対象物質

測定対象物質	厚生労働省 室内濃度指針値 (μg/m ³)	主な発生源	指針値の毒性指標
ホルムアルデヒド	100	接着剤、防霉剤	ヒト被曝における鼻咽頭粘膜への刺激
トルエン	260	塗料用溶剤 接着剤	ヒト被曝における神経行動機能及び生殖発生への影響

3) 対象物質の捕集分析法

a) ホルムアルデヒドの捕集分析法(固相捕集-HPLC法)

i) 捕集装置

捕集には、以下の装置を用いた。

- ・ホルムアルデヒド捕集管:Waters社製、Model:Sep-Pak XPoSure(2,4-ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)シリカゲル充填管)
- ・定流量ポンプ:Sibata社製、Model:MP-103T
- ・積算流量計:Shinagawa社製、Model:DC-1
- ・フローメータ:Stec社製、Model:AM-V080S

ii) 分析装置

分析には、以下の装置を用いた。

- ・高速液体クロマトグラフ(以下:HPLC):日立社製、Model:L-7000

iii) 捕集・分析方法

ホルムアルデヒド捕集管に、試料空気を0.5(l/min)の流量にて180(min)通気させることで、ホルムアルデヒドを捕集した。このDNPHカートリッジから、アセトニトリルにより、HCHO-DNPH誘導体を溶出(1(ml/min)×5(min))した。これを分析試料とし、HPLCに導入し、定性、定量分析を行った。

b) VOCの捕集分析法

i) 捕集装置

捕集には、以下の装置を用いた。

- ・定流量ポンプ:Sibata社製、Model:MPΣ-30
- ・積算流量計:Shinagawa社製、Model:DC-1
- ・VOC捕集管:Spelco社製、炭素系捕集剤(上流:Air toxics、下流:Air monitoring)

ii) 分析装置

分析には、以下の装置を用いた。

- ・ガスクロマトグラフ/質量分析計(以下:GC/MS):Perkin Elmer社製、Turbo mass gold
- ・加熱導入装置(以下:ATD):Perkin Elmer社製、Turbo matrix ATD
- ・マルチサンプラー、マルチガスモニター(B&K社製)

iii) 捕集・分析方法

VOC捕集管に、試料空気を0.05(l/min)の流量にて30(min)通気させることで、VOCを捕集した。この捕集管から、ATD加熱導入装置を用いて、加熱脱出したVOCをGC/MSに導入し、内部標準法(内部標準物質:Toluene-d8)による定性、定量分析を行った。

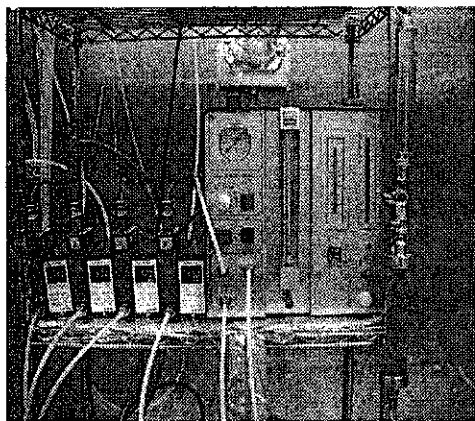


写真-3.2.1.1 定常ガス発生装置

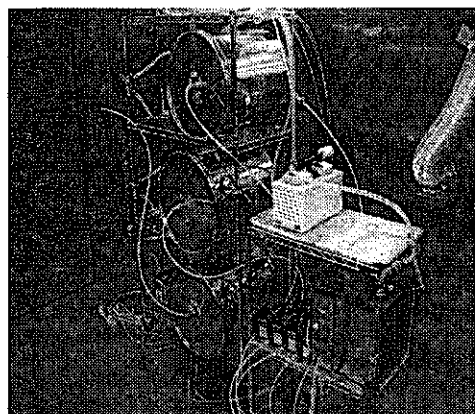


写真-3.2.1.2 実験システム

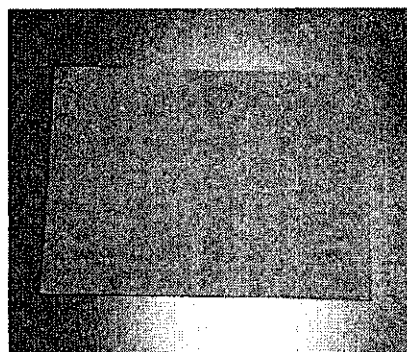


写真-3.2.1.3 pw1 (珪藻土壁)

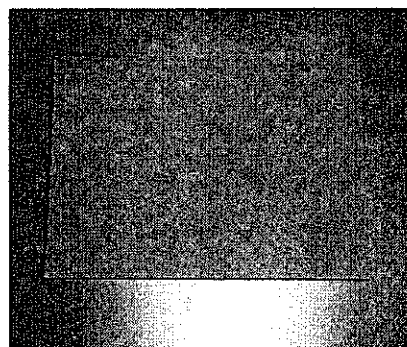


写真-3.2.1.4 pw3 (ゼオライト壁)

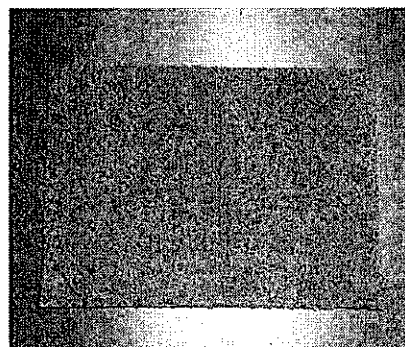


写真-3.2.1.5 pw4 (炭壁)

4) 試験片の概要

試験評価対象とした塗り壁剤4種類の概要を表-3.2.1.3に示す。この仕様表は、メーカーからのMSDS^{資料2)}を基に、まとめたものである。

表-3.2.1.3 試験片の概要

記号	建材	面積 (m ²)	主成分	ホルムアルデヒド放散等級
pw1	珪藻土壁①	0.144	炭酸カルシウム、珪藻土	F☆☆☆☆
pw2	珪藻土壁②	0.144	炭酸カルシウム、珪藻土	F☆☆☆☆
pw3	ゼオライト壁	0.144	砂、珪藻土	F☆☆☆☆
pw4	炭壁	0.144	寒水石、備長炭、珪藻土	F☆☆☆☆

a) 試験片の作製

ステンレス製金属板の表面上に、製品仕様に応じた施工マニュアルに則り、試料負荷率 2.2 ± 0.2 (m²/m²)となるように均一に塗布した。これらの試験片は、試験評価までの間、保管室にて養生した。試験片の作製例について、写真-3.2.1.3～3.2.1.5に示す。

5) 試験評価法

a) 試験方法

i) チェンバーの洗浄

小形チェンバーのバックグラウンド濃度を低減させるために、チェンバー内を蒸留水で洗浄した。洗浄後、残存化学物質を揮発させるために加熱処理を行った。小型チェンバーの加熱処理は、室内環境試験室内の加熱空気により行われた。

ii) 試験方法

本試験は、①小形チェンバーのバックグラウンド濃度の確認、②吸着性能試験、③再放散の確認により行われた。

①バックグラウンド濃度

チェンバーの洗浄、換気(1日)を行った後に、試験体を挿入しないチェンバー濃度を測定した。

②吸着性能試験

予め、暖機運転を行った定常ガス発生装置をチェンバーに接続した。次に、チェンバー内に試験体を設置し、試験体設置から3日後における供給濃度と排出濃度を測定した。

③再放散の確認

供給空気の経路を清浄管に付け替え、3日後の排出空気の濃度を測定した。

b) 評価方法⁶⁾

試験で得られたチェンバーの供給空気 (C_{in}) と排出空気 (C_{out}) の濃度差により、対策建材の低減効果について確認した。次に、濃度低減が清浄空気による換気量の増大により評価できるものとし、次式(1)により換気量換算値 (Q_{eq}) ($m^3/h \cdot m^2$) を算出した。(図-3.2.1.8参照)

$$Q_{eq} = \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) \times \frac{Q}{A} \quad - (1)$$

- ここで、 Q_{eq} : 相当換気量 ($m^3/h \cdot m^2$)
- C_{in} : 供給濃度 ($\mu g/m^3$)
- C_{out} : 排気濃度 ($\mu g/m^3$)
- Q : チェンバー換気量 (m^3/h)
- A : 吸着面積 (m^2) とする。

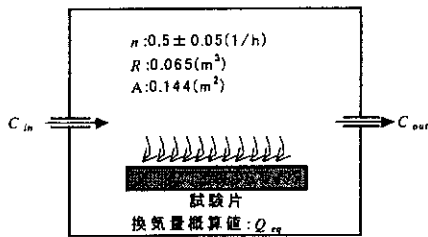


図-3.2.1.3 実験チェンバーの概要

3.2.1.3 実験結果

1) バックグラウンド濃度

チェンバー内のバックグラウンド濃度についての測定を行った。図-3.2.1.4にホルムアルデヒド濃度、図-3.2.1.5にトルエン濃度について示す。結果から、小形チェンバー内のバックグラウンド濃度の変動は小さいことが示された。

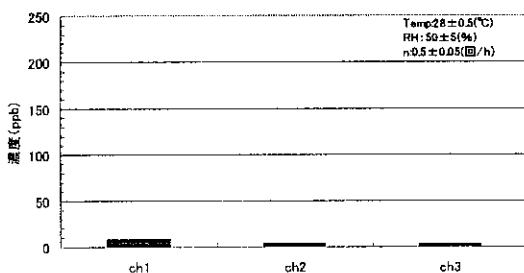


図-3.2.1.4 バックグラウンド濃度 (ホルムアルデヒド)

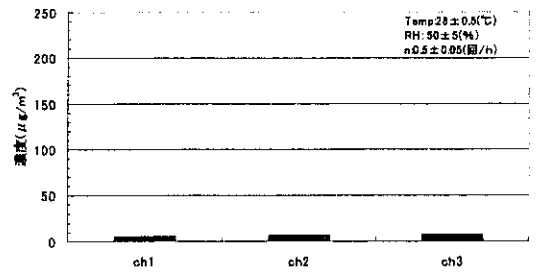


図-3.2.1.5 バックグラウンド濃度 (トルエン)

2) 塗り壁材の吸着性能

チェンバー内へ化学物質を定常発生させ、塗り壁材の吸着性能についての試験評価を行った。試験評価はチェンバーへの供給空気 (C_{in}) と排出空気 (C_{out}) の濃度差により、吸着効果の評価を行うものとした。

a) 多孔質材料の濃度低減効果

多孔質材料を挿入した小形チェンバーの C_{in} と C_{out} の測定結果について図-3.2.1.6～3.2.1.13に示す。

ホルムアルデヒドについて、全ての多孔質材料は、3日後とも、 C_{out} は C_{in} よりも低濃度であり、多孔質材料の吸着による低減効果が示された。また、トルエンについても同様の傾向が示され、吸着による低減効果が確認された。

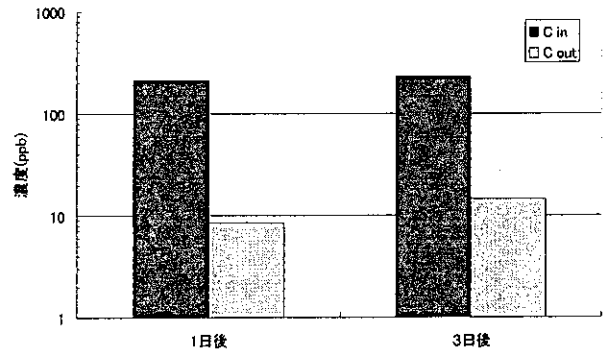


図-3.2.1.6 ホルムアルデヒド濃度 (珪藻土壁①)

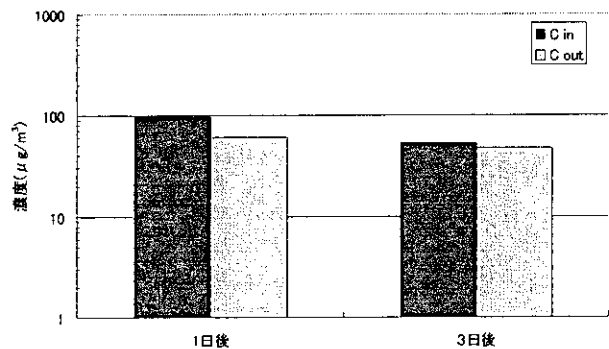


図-3.2.1.7 トルエン濃度 (珪藻土壁①)

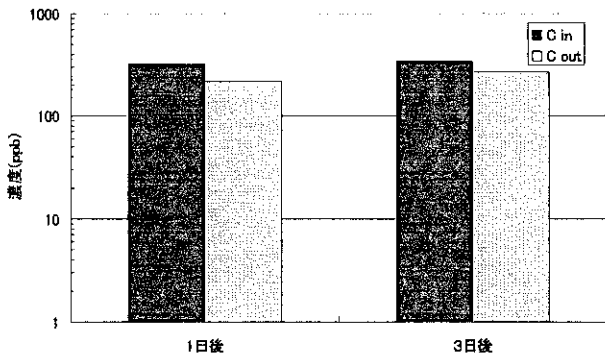


図-3.2.1.8 ホルムアルデヒド濃度(珪藻土壁②)

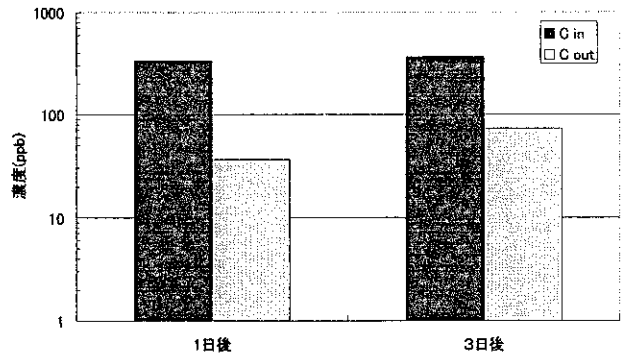


図-3.2.1.12 ホルムアルデヒド濃度(炭壁)

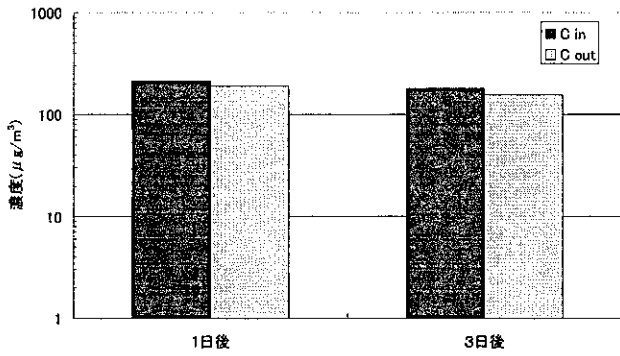


図-3.2.1.9 トルエン濃度(珪藻土壁②)

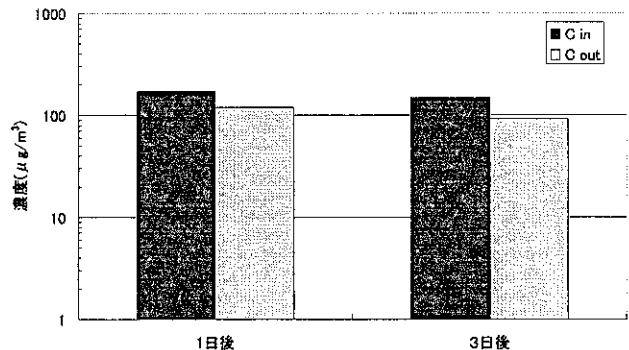


図-3.2.1.13 トルエン濃度(炭壁)

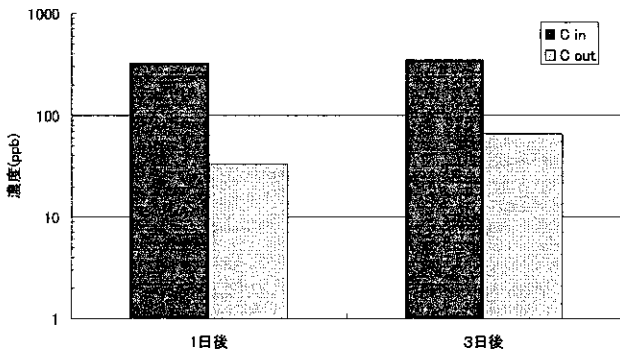


図-3.2.1.10 ホルムアルデヒド濃度(ゼオライト壁)

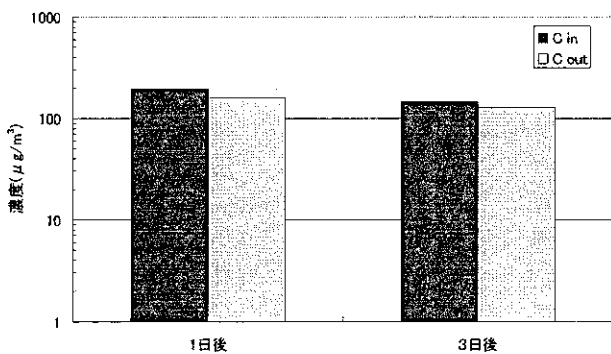


図-3.2.1.11 トルエン濃度(ゼオライト壁)

b) 塗り壁材の濃度低減率と相当換気量

本試験で得られた測定結果から低減率 R と相当換気量 Q_{eq} を求めた。低減率 R を図-3.2.1.14～3.2.1.17に示す。相当換気量 Q_{eq} を図-3.2.1.18～3.2.1.21に示す。

i) ホルムアルデヒド

低減率(R)は、珪藻土壁①:93.7～96.0(%)、珪藻土壁②:21.3～32.5(%)、ゼオライト壁:81.4～89.8(%)、炭壁:80.1～89.3(%)であった。

相当換気量(Q_{eq})は、珪藻土壁①:3.35～5.42($m^3/h \cdot m^2$)、珪藻土壁②:0.0612～0.109($m^3/h \cdot m^2$)、ゼオライト壁:0.99～1.98($m^3/h \cdot m^2$)、炭壁:0.907～1.89($m^3/h \cdot m^2$)であった。

珪藻土壁①について、ホルムアルデヒドの低減効果が顕著にみられた。この要因として、珪藻土壁①にホルムアルデヒド分解剤が含まれていたため、吸着効果に違いが生じたものと思われる。

ii) トルエン

低減率(R)について、珪藻土壁①:11.1～37.1(%)、珪藻土壁②:9.9～13.9(%)、ゼオライト壁:10.3～17.4(%)、炭壁:30.4～37.7(%)であった。

相当換気量(Q_{eq})について、珪藻土壁①:0.0281～0.133($m^3/h \cdot m^2$)、珪藻土壁②:0.0247～0.0364($m^3/h \cdot m^2$)、ゼオライト壁:0.0260～0.0477($m^3/h \cdot m^2$)、炭壁:0.0986～0.1366($m^3/h \cdot m^2$)であった。

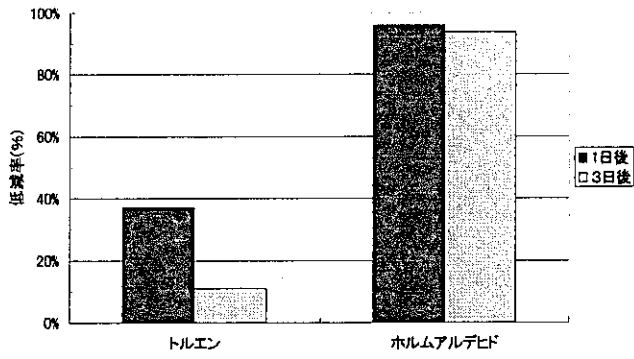


図-3.2.1.14 低減率(珪藻土壁①)

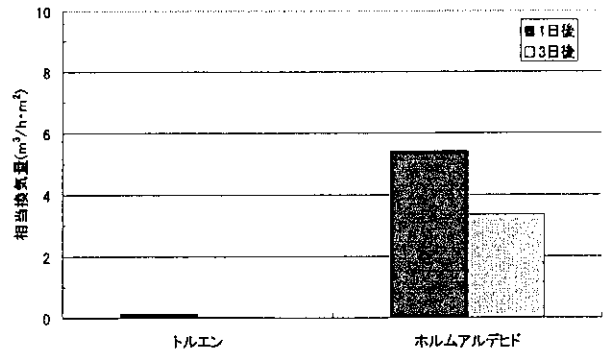


図-3.2.1.18 相当換気量(珪藻土壁①)

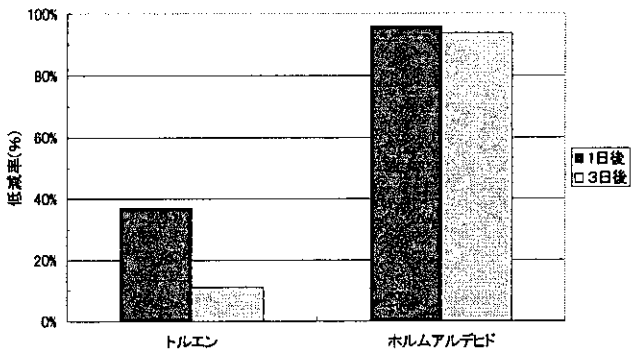


図-3.2.1.15 低減率(珪藻土壁②)

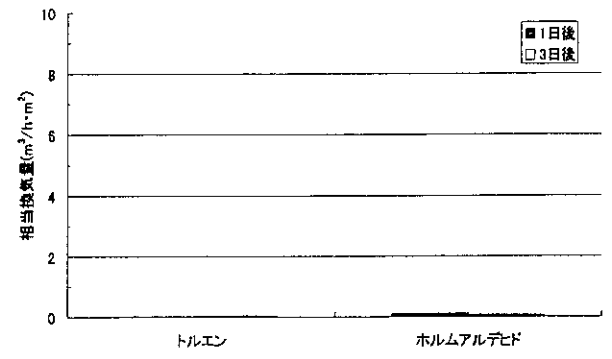


図-3.2.1.19 相当換気量(珪藻土壁②)

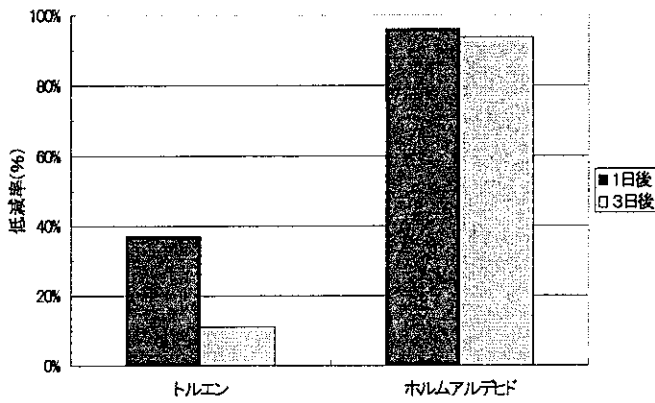


図-3.2.1.16 低減率(ゼオライト壁)

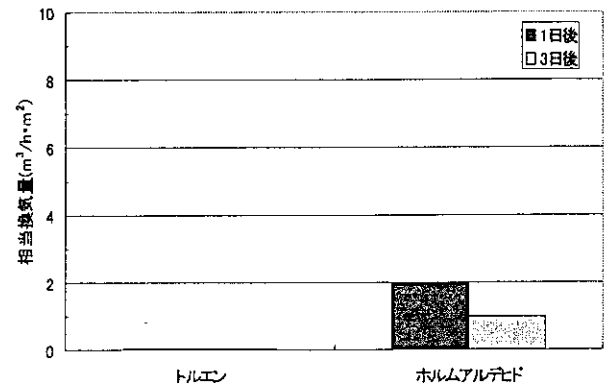


図-3.2.1.20 相当換気量(ゼオライト壁)

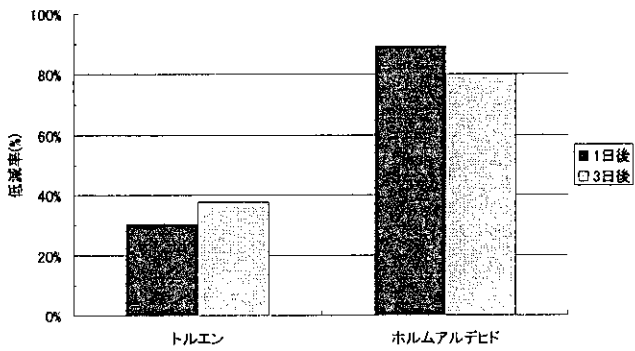


図-3.2.1.17 低減率(炭壁)

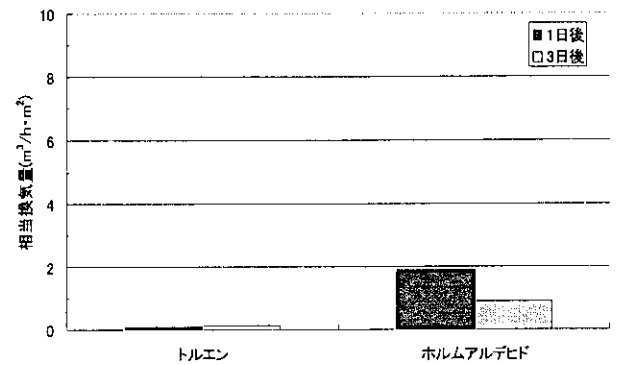


図-3.2.1.21 相当換気量(炭壁)

c) 塗り壁材の化学物質再放散試験の結果

塗り壁材における、再放散試験の排出空気濃度の測定結果を図-3.2.1.22、図-3.2.1.23に示す。この結果から、チェンバー内の環境条件における、塗り壁材からの再放散現象が確認された。

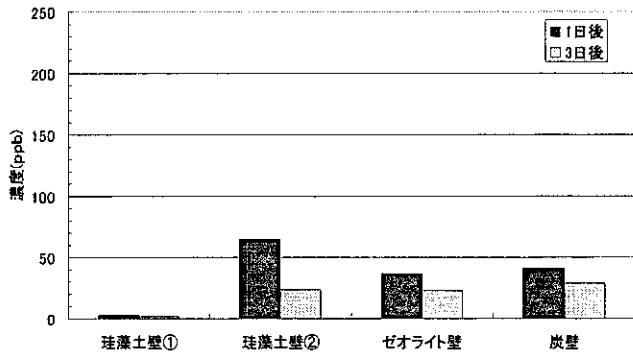


図-3.2.1.22 再放散試験 (ホルムアルデヒド濃度)

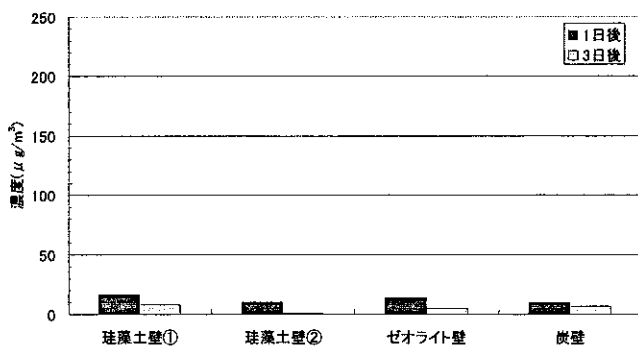


図-3.2.1.23 再放散試験 (トルエン濃度)

3.2.1.4 まとめ

塗り壁材における化学物質吸着性能についての実験室実験を行った。本研究の範囲による知見を以下に示す。

- 1) 定常発生法による吸着建材の試験評価法を確立した。
- 2) 塗り壁材におけるホルムアルデヒド、トルエンの吸着効果について把握した。

3.2.1.5 今後の課題

今後の課題として、以下1)、2)が挙げられる。

- 1) 吸着効果の持続性を把握する。
- 2) 吸着建材が設置された室内の濃度予測式を提案する。

3.2.1.6 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力を頂いた大和田雅樹君(当時東北文化学園大学卒論生)、早坂友規君(東北文化学園大学学生)に謝意を表す。

3.2.1.7 参考文献

- 1) 野崎淳夫：室内空気質改善策の現状と今後の展望、第4回室内空気質シンポジウム 最新の室内空気質対策と環境要素測定、pp.1~3、2003年8月
- 2) 国土交通省シックハウス総プロ委員会：吸着材の市場調査、2003年10月27日
- 3) 鈴木昭人他：多孔質セラミックス調湿建材に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.995~996、2002年9月
- 4) 安宅勇二他：定常法によるHCHO吸収分解せっこうボードの濃度低減効果の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.875~876、2001年9月
- 5) 国土交通省シックハウス総プロ委員会：吸着・分解効果の標準試験法(案)、2003年10月27日
- 6) 国土交通省シックハウス総プロ委員会：光触媒によるVOC分解性能評価技術、2003年10月27日
- 7) 竹内節：吸着の化学、表面・界面制御のキーテクノロジー、pp.91~106、産業図書株式会社、1998年6月

第3章 バイクアウトの化学物質除去性能

要約

第3章 ベイクアウトの化学物質除去性能

3.3.1 アルデヒド類・VOC

野崎淳夫 (東北文化学園大学)
飯倉一雄 (東北文化学園大学)

1. はじめに

室内化学物質汚染の低減対策技術の一つとして、ベイクアウト(室内の加熱蒸発)が注目されている。野崎ら¹⁾²⁾は、実大実験と実験室実験を行い、ベイクアウトの試験評価法を確立し、化学物質(ホルムアルデヒド、VOC)低減効果を明らかにしている。さらに、ベイクアウトを施した室内の濃度予測式も提案している。

しかし、アセトアルデヒドやVOC成分の低減効果については、明らかにされていない現状にある。

そこで、本研究では、部材レベルの実験室実験を行い、アルデヒド類、VOC成分のベイクアウト効果を把握し、実験的に得られた部材レベルの低減効果を基に、室内全体におけるベイクアウト効果を予測するものである。

2. 実験概要

1) 実験装置の概要

本研究で用いたベイクアウト実験装置を図-1に示す。二つの空気環境実験室に、ベイクアウトによる濃度測定と実験期間中の建材履歴による濃度測定を行うための小形チェンバー(気積:65[l])をそれぞれ設置した。それぞれの小形チェンバー内には、同一仕様の試験片を設置し、また空気環境実験室で温湿度の制御された清浄空気を導入した。

尚、チェンバー内には、拡散ファンを設置し、チェンバー内に一定の気流と一様拡散をもたらすものとした。

2) 試験条件

試験条件として温度 28 ± 1 [°C]、ベイクアウト実施時の温度: 38 ± 1 [°C]、相対湿度: 50 ± 5 [%]、換気回数: 0.5 ± 0.05 [1/h]、気流: $0.2 \sim 0.3$ [m/s]で行った。

3) 試験片の概要

試験片は表-1に示される床(1検体)、壁(2検体)、天井(2検体)、家具(1検体)を用いた。試験片は、文献¹⁾で提案された作製法に基づいて作製した。すなわち、仕上げ表面のみからの単位面積当たりの化学物質発生量を求めるため、端面、及び裏面をアルミ箔等で被覆した。試験片のサイズは試料負荷率 2.2 ± 0.2 [m²/m³]とするため、30[cm]×30[cm]とした。

4) 捕集・分析方法

a) アルデヒド類の捕集・分析

試料空気は、DNPHカートリッジに0.5[l/min]の流量で30[min]の捕集を行った。DNPHカートリッジに捕集された試料空気は、アセトニトリルで(溶出速度:1.0[mL/min]、溶出時間:5[min])溶出した。溶出後、高速液体クロマトグラフに導入し、定性・定量分析を行った。

b) VOCの捕集・分析

試料空気は、炭素系捕集剤に0.05[l/min]の流量で30[min]の捕集を行った。炭素系捕集剤に捕集された試料空気は、加熱導

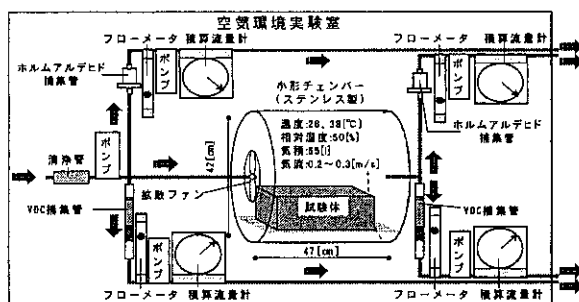


図-1 ベイクアウト実験と建材履歴実験の装置概要図

表-1 試験片の概要

部材	試験片		仕様建材・施工剤
	記号	厚さ [mm]	種別等
床	FFC1	60	合成ゴムデラックス(F☆☆☆☆)
			塩ビシート(F☆☆☆☆)
			コンクリート平板
壁	FWG1	38	ビニルクロス(F☆☆☆☆)
			接着剤(澱粉系)(F☆☆☆☆)
	FWG2	38	石膏ボード
			APE塗装(F☆☆☆☆)
			接着剤(澱粉系)(F☆☆☆☆)
天井	FCG1	22	岩綿吸音板(F☆☆☆☆)
			接着剤(F☆☆☆☆)
	FCL1	6	石膏ボード
			APE塗装(F☆☆☆☆)
家具		25	珪酸カルシウム板 LGS下地

表-2 ベイクアウト及び建材履歴の実験手順

ベイクアウト実験の具体的手順(①~⑨)	
①	小形チェンバー内の充分な清浄及び換気を行う。(2[h])
②	小形チェンバー内に設置された拡散ファンで、一様拡散状態と一定の気流条件を構築しつ、チェンバー内の初期濃度を測定する。(8[h]、温度28[°C]、相対湿度:40~50[%]、気流:0.3~0.4[m/s])
③	チェンバー内に試験片を設置し、VOC濃度が定常状態であることを確認する(10[h])。その後、チェンバー内の定常濃度について測定する。(8[h]、温度28[°C]、相対湿度:40~50[%]、気流:0.3~0.4[m/s])
④	小形チェンバー内の充分な清浄及び換気を行う。(2[h])
⑤	人工気象室内の温湿度を制御し(温度:38[°C]、相対湿度:40~50[%])、その加熱空気を小形チェンバー内に導入する。(64[h])
⑥	⑤と同様である。(8[h])
⑦	④と同様である。(8[h])
⑧	試験片の濃度が手順②と同程度であることを確認し、同様の操作を行う。(10[h])
⑨	④と同様である。(8[h])
建材履歴実験の具体的手順(①'~⑤')	
①'	①と同様である。(2[h])
②'	②と同様である。(10[h])
③'	③と同様である。(8[h])
④'	人工気象室内の温湿度を室温:28[°C]、相対湿度:40~50[%]に保ち、その空気を小形チェンバー内に導入する。(90[h])
⑤'	④と同様である。(8[h])

入装置を用いてGC/MSに導入し、定性・定量分析を行った。

5) 実験手順

ベイクアウト実験及び建材履歴実験の具体的な手順を表-2に示す。

6) ベイクアウトの発生量低減率(R_b)の算出法

部材レベルのベイクアウトによる発生量低減率(R_b)は、野崎らが提案した評価式(1)を用いて検証を行った。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{3a} - C_{1a}}{C_{3b} - C_{1b}}\right) \times 100 - R_m \quad (1)$$

ここで、C_{1b}: ベイクアウト前のチェンバー内定常濃度[μg/m³]
 C_{1a}: ベイクアウト前のチェンバー内初期濃度[μg/m³]
 C_{3a}: ベイクアウト後のチェンバー内定常濃度[μg/m³]
 C_{3b}: ベイクアウト後のチェンバー内初期濃度[μg/m³]
 R_m: 建材履歴実験により求める実験期間中の発生量減少率[%]

3. ベイクアウトによるアルデヒド類発生量低減効果

ベイクアウトによるホルムアルデヒドとアセトアルデヒド発生量の低減効果について、表-3、4に示す。結果として、FFC1、FWG1、FCG1、FCL1の検体に示されるように、ホルムアルデヒドで、8.02~48.5[%](Ave.=26.5[%])、アセトアルデヒドで、13.2~30.3[%](Ave.=19.3[%])の発生量低減効果が確認された。低減効果を示さなかったFWG2は、建材履歴実験のベイクアウト実施前の濃度が高く測定されたためであると考えられ、検体の問題等も考えられる。

4. ベイクアウトによるVOC発生量低減効果

ベイクアウトによるVOCの低減効果の一例を表-5、6に示す。結果として、FFC1、FWG1、FCG1、FCL1の検体に示されるように、VOCにおいて、16.6~40.3[%](Ave.=25.1[%])の低減効果が確認された。アルデヒド類と同様に、FWG2は低減効果が示されなかった。

5. ベイクアウト実施室の化学物質濃度予測

文献1)を用いてベイクアウト実施後の室内濃度の予測を行った。予測条件は、床(FFC1)、壁(FWG1)、天井(FCL1)の建材を用いた約6畳の居室を想定した。

これは、野崎らが提案している(2)式により求められる。

$$C_{in} = C_0 + \frac{\sum_{i=1}^n \left[m_{Ai} \left(1 - \frac{R_{Ai}}{100} \right) \right] + m_{Bt} A_{Bt} \left(1 - \frac{R_{Bt}}{100} \right)}{Q} \quad (2)$$

ここで、 m_{Ai} : ベイクアウト前における各部位の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)
 A_i : 各部位の発生表面積 (m^2)
 R_{Ai} : ベイクアウトによる建材部位毎の室内発生量減少率 (%)
 m_{Bt} : ベイクアウト前におけるその他の部位の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)
 A_{Bt} : その他の部位の発生表面積 (m^2)
 R_{Bt} : ベイクアウトにおけるその他の建材部位毎の室内発生量減少率 (%)

結果、ベイクアウト(38[℃]、72[h])により、ホルムアルデヒドで27.9[%]、アセトアルデヒドで37.2[%]、TVOCで25.0[%]の室内濃度低減が予測された。

6. まとめ

本研究では、部材レベルのベイクアウト実験を行い、アルデヒド類、VOC発生量低減効果を定量的に把握した。ホルムアルデヒドは、床部で36.5[%]、壁部で11.1[%]、天井部で8.0~33.4[%](Ave.=20.7[%])の発生量低減率が示された。アセトアルデヒドは、床部で24.1[%]、壁部で30.3[%]、天井部で13.2~14.2[%](Ave.=13.7[%])の発生量低減率が示された。VOCは、床部で16.6[%]、壁部で5.00~17.1[%](Ave.=11.1[%])、天井部で19.6~32.3[%](Ave.=26.0[%])の発生量低減率が示された。

また、室全体におけるベイクアウトによる室内濃度低減効果について予測法と予測値を提案した。

今後の課題として、より多くの事例(建材・施工剤の仕様)を用いて、ベイクアウトの低減効果についての評価を行い、事例毎の定量的データを蓄積することが挙げられる。

7. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力頂いた矢戸潤君(当時東

表-3 ホルムアルデヒドの発生量低減効果

部位	試験片	放散速度($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)					低減率[%]
		ベイクアウト実験			建材履歴実験		
		B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
床	FFC1	2.07	2.43	1.22	2.16	2.06	36.5
	FWG1	3.15	5.00	2.25	1.91	1.57	11.1
壁	FWG2	2.08	5.52	1.88	4.75	2.31	-
	FCG1	12.4	27.3	8.90	14.1	14.8	33.4
天井	FCL1	3.29	5.90	2.68	4.03	3.82	8.02
	家具	12.0	37.9	9.75	9.99	12.5	43.3

表-4 アセトアルデヒドの発生量低減効果

部位	試験片	放散速度($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)					低減率[%]
		ベイクアウト実験			建材履歴実験		
		B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
床	FFC1	2.14	2.24	1.60	1.87	1.85	24.1
	FWG1	3.88	5.68	2.55	2.24	2.16	30.3
壁	FWG2	3.54	6.04	1.62	5.07	2.29	-
	FCG1	3.46	5.88	1.67	4.58	2.86	14.2
天井	FCL1	6.44	8.61	3.45	7.04	4.71	13.2
	家具	10.5	25.4	7.28	13.2	11.1	14.5

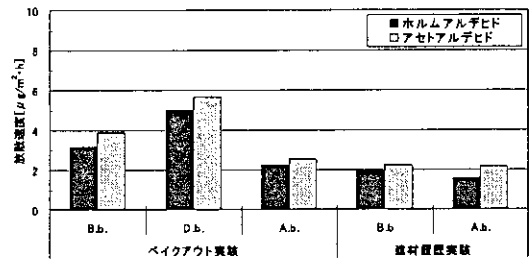


図-2 アルデヒド類の発生量低減効果(FWG1:壁)

表-5 VOCの発生量低減効果(FCG1:天井)

VOC	放散速度($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)					低減率[%]
	FCG1(天井)					
	ベイクアウト実験			建材履歴実験		
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
dichloromethane	6.40	8.67	3.13	3.01	2.87	46.4
methyl ethyl ketone	1.477	2.28	1.11	1.87	1.51	5.85
ethyl acetate	0.782	2.79	0.510	1.84	1.40	11.8
hexane	1.07	2.84	0.546	1.66	1.60	45.4
toluene	1.78	3.48	0.888	1.95	1.48	24.8
ethylbenzene	1.10	1.38	0.782	0.818	0.851	33.0
m,p-xylene	1.04	1.70	0.516	1.35	1.12	33.0
o-xylene	0.448	0.734	0.232	0.804	0.537	14.8
m,p-ethyltoluene	1.33	2.00	0.407	1.44	1.44	89.8
1,2,4-trimethylbenzene	0.638	1.20	0.435	0.947	0.721	8.01
decane	0.845	1.48	0.535	0.921	0.778	21.0
TVOC	16.9	28.5	9.09	16.8	14.3	32.3

表-6 低減率のまとめ

	FFC1(床)	FWG1(壁)	FWG2(壁)
	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]
ホルムアルデヒド	36.5	11.1	-
アセトアルデヒド	24.1	30.3	-
TVOC	16.6	17.1	5.00
	FCG1(天井)	FCL1(天井)	家具
	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]
ホルムアルデヒド	33.4	8.02	43.3
アセトアルデヒド	14.2	13.2	14.5
TVOC	32.3	19.6	40.3

北文化学園大学卒論生)、木内慎也君(東北文化学園大学卒論生)に謝意を表す。

8. 文献

- 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋:室内化学物質汚染低減対策としてのベイクアウトの効果(その2)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その3)、日本建築学会計画系論文集、第557号、pp.73~79、2002年
- 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋:室内化学物質汚染低減対策としてのベイクアウトの効果(その3)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その4)、日本建築学会計画系論文集、第568号、pp.57~62、2003年

第3章 ベイクアウトの化学物質除去性能

3.3.1 アルデヒド類・VOC

野崎淳夫（東北文化学園大学）

飯倉一雄（東北文化学園大学）

3.3.1.1 序論

1) 既往の研究

ベイクアウトの低減効果、実施手法に関する既往の研究例を以下のa)～e)に示す。

a) J. R. Girman et al.: Bake-out of a New Office Building to Reduce Volatile Organic Concentrations, Proc. of the 82nd Annual Meeting and Exhibition of the Air Pollution Control Association, June, 1989

新築直後の事務所ビルにおいて、実大実験によりベイクアウト効果を検討している。ベイクアウトの実施時の加熱条件は、加熱時の室温：29～32[℃]、加熱時間：24[h]であり、この結果TVOC値（Total VOC）が29[%]減少したことを報告している。

b) 野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏：室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウト効果（その1）、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究（その2）、日本建築学会計画系論文集、第530号、pp. 61～66、2000年4月

VOC、ホルムアルデヒドについてのベイクアウト効果を実大実験を用いて明らかにしている。

築後4ヶ月のRC構造14階の集合住宅で、加熱温度：約32[℃]、加熱時間：24[h]のベイクアウト実験を行っており、ベイクアウト実施後は、①在来仕様の対象室で23～33[%]のホルムアルデヒド発生量の低減を示し、低ホルマリン仕様の対象室では27～52[%]の低減が認められ、②TVOCについては、在来仕様の対象室では、むしろその発生速度の軽微な増大が観察されたものの、低ホルマリン仕様の対象室では、19～63[%]の低減を示したことを報告している。

また、③加熱温度を高くすると、ホルムアルデヒドのベイクアウト効果も増大する現象が示され、④加熱時間の延長により、ベイクアウト効果の増大が図れることを報告している。また、建築物における基本的なベイクアウト手法（加熱条件、実施手順等）とその評価法を提案している。

c) 駒野清治、荒川琢也、佐藤：戸建住宅におけるベイクアウト方法の検討、「健康的な居住環境形成技術の開発」報告書、pp. 210～216、2000年10月

戸建住宅において、現実的な室内化学物質濃度の低減手法の確立を目的としている。この研究では、①化学物質の低減効果の確認、②実際に適用できるベイクアウト実施のスケジュールを検討されている。

実際の戸建住宅におけるベイクアウト効果について、実験的検証は行われていないが、戸建住宅における現場の制約や引渡し時の問題等を考慮した現実的提案を行っている。

d) 熊野康子他：新築集合住宅におけるベイクアウトと換気によるTVOCの低減化についての研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 771～772、2000年9月

実際の建築現場で実施可能なベイクアウト手法の検討を行っている。また、提案した実施手法を用いて、実大実験によるベイクアウトの化学物質濃度の低減効果を求めている。内装仕様の異なる2つの建物でベイクアウトと換気による室内濃度低減化に関する実験を行っている。特に、ベイクアウトを間欠的に行う「サイクル法」を提案し、その効果を定量的に明らかにしている。実験の結果、ベイクアウトは換気よりも低減効果がある事を明らかにしている。

e) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋：室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウト効果（その2）、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究（その3）、日本建築学会計画系論文集、第557号、pp. 73～79、2002年7月

試験片レベルのベイクアウト効果を評価する基礎的試験法と評価法を確立し、加熱温度（38℃）、加熱時間（72h）のベイクアウトで、建材部位毎のホルムアルデヒドの発生量減少率を明らかにしており、床（6.5～34[%]）、壁（11～59[%]）、天井（36～56[%]）の発生量減少率を報告している。また、ベイクアウトを施した建築物の濃度予測法を提案している。

2) 研究の目的

既往の研究により、実験室実験のベイクアウトの手法とその評価法が確立され、ベイクアウトによるホルムアルデヒドとVOCの発生量低減域が示されている。また、建築現場で実施可能な方法の検討も行われている。

ただし、アルデヒド類やVOC成分毎のベイクアウト効果については、十分な解明が成されていない現状にある。

そこで、本研究では、当該物質のベイクアウト効果を明らかにするために、部材レベルのベイクアウト実験を行い、ある加熱条件における建材、施工剤の仕様と当該物質の発生量低減効果との関係を明らかにするものである。すなわち、ベイクアウトによるアルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）、VOC成分毎の発生量低減効果を明らかにするものである。

また、ベイクアウトを実施した室内における濃度予測手法と予測値について報告するものである。

3) 本研究のフロー

本研究では、汚染低減対策技術として、ベイクアウトを取り上げている。特に、既往の研究では把握されていないアセトアルデヒド、VOC成分毎の低減効果を求めるものである。また、実験的に求めた値を用いて、ベイクアウトを施した室内の濃度予測法の検討を行うものである。

本研究のフローを図-3.3.1.1に示す。

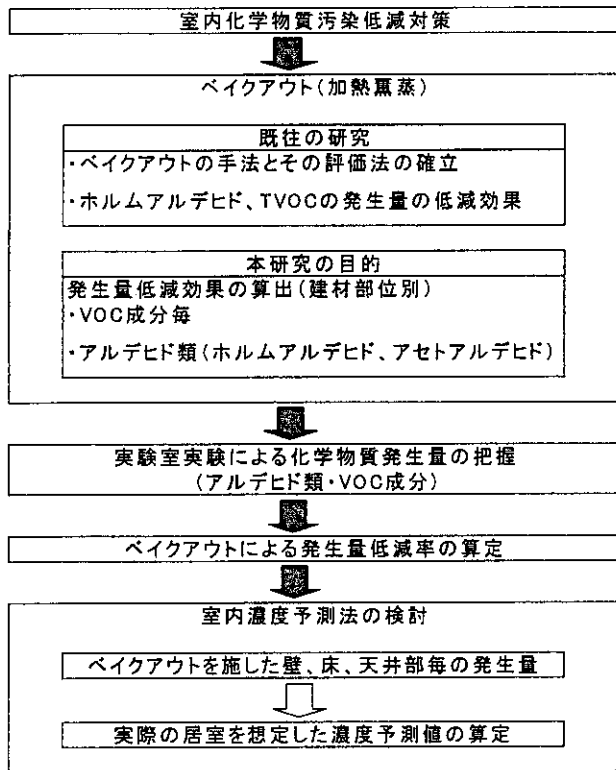


図-3.3.1.1 本研究のフロー

3.3.1.2 実験概要

1) 実験装置の概要

本研究で用いたベイクアウト実験装置を図-3.3.1.2に示す。二つの空気環境実験室内に、ベイクアウトによる建材の化学物質発生量の変化を求めるベイクアウト実験(Experiments with bake-out)と実験期間中の建材履歴による建材の化学物質発生量の変化を求める建材履歴実験(Experiments without bake-out)を行うための小形チェンバー(写真-3.3.1.1参照)をそれぞれ設置した。それぞれの小形チェンバー内には、同一仕様の試験片を設置し、また、空気環境実験室内で温湿度の制御された清浄空気を導入した。

尚、小形チェンバー内には、拡散ファンを設置し、チェンバー内に一定の気流と一様拡散状態をもたらすものとした。

2) 試験条件

ベイクアウトを行わない時の温度は、 28 ± 1 (°C)で、ベイクアウト実施中(72(h))の温度は 38 ± 1 (°C)に設定した。試験条件を表-3.3.1.1に示す。

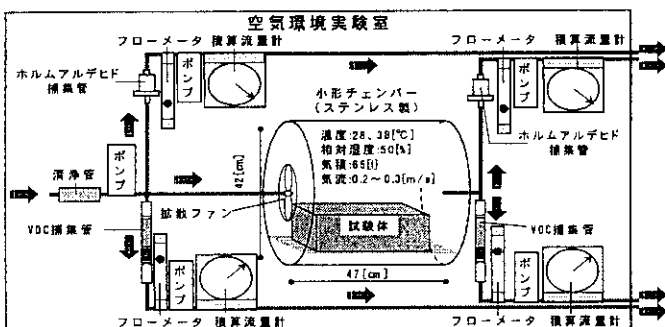


図-3.3.1.2 ベイクアウト実験と建材履歴実験の装置概要図

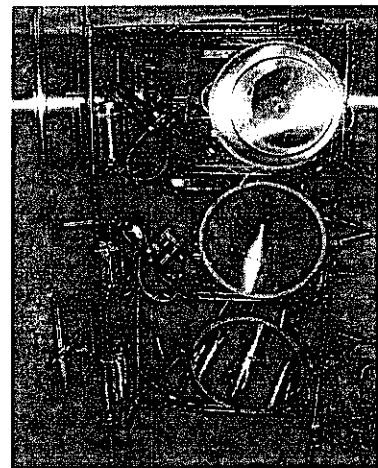


写真-3.3.1.1 小形チェンバー

3) 測定対象物質

- ・ホルムアルデヒド
- ・アセトアルデヒド
- ・VOC

4) 試験片の概要

実験に使用した試験片は、表-3.3.1.2に示されるように、床(1検体)、壁(2検体)、天井(2検体)、家具(1検体)を用いた。試験片の作製は、文献¹⁾で提案された作製法を用いた。すなわち、仕上げ表面のみからの単位面積当たりのアルデヒド類、VOC発生量を求めるため、端面、及び裏面をアルミ箔等で被覆した。試験片のサイズは試料負荷率 $2.2 [m^2/m^3]$ とするため、 $30 [cm] \times 30 [cm]$ とし、具体的な作製例は写真-3.3.1.2~3.3.1.7及び図-3.3.1.3に示される。

表-3.3.1.1 試験条件

	ベイクアウト実施前	ベイクアウト実施中	ベイクアウト実施後
温度	28 ± 1 (°C)	38 ± 1 (°C)	28 ± 1 (°C)
相対湿度	50 ± 5 (%)		
換気回数	0.5 ± 0.05 (1/h)		
気流	$0.2 \sim 0.3$ (m/s)		

表-3.3.1.2 試験片の概要

部材	試験片		仕様建材・施工剤 種別等
	記号	厚さ [mm]	
床	FFC1	60	合成ゴムデラックス(F☆☆☆☆)
			塩ビシート(F☆☆☆☆)
			コンクリート平板
壁	FWG1	38	ビニルクロス(F☆☆☆☆)
			接着剤(澱粉系)(F☆☆☆☆)
	FWG2	38	石膏ボード
			APE塗装(F☆☆☆☆)
天井	FCG1	22	接着剤(F☆☆☆☆)
			石膏ボード
	FCL1	6	APE塗装(F☆☆☆☆)
			珪酸カルシューム板
家具		25	LGS下地

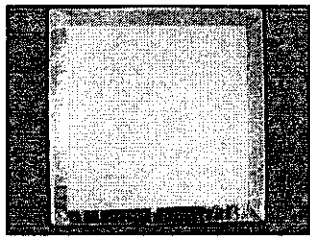


写真-3.3.1.2 FFC1 (床)

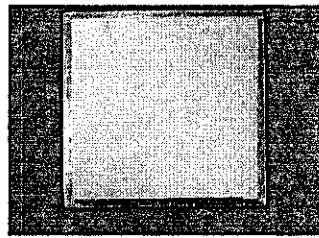


写真-3.3.1.3 FWG1 (壁)

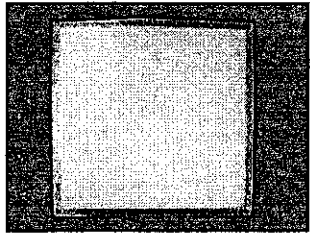


写真-3.3.1.4 FWG2 (壁)

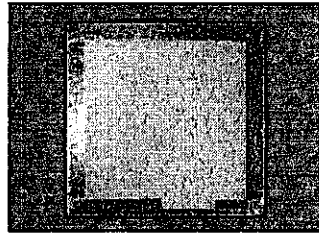


写真-3.3.1.5 FCG1 (天井)

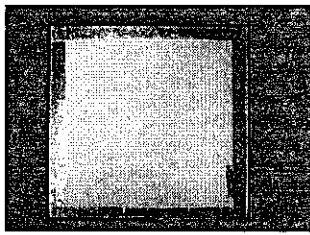


写真-3.3.1.6 FCL1 (天井)

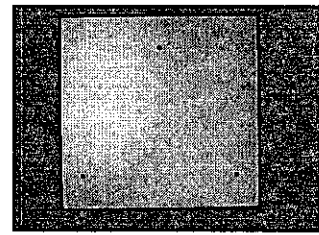
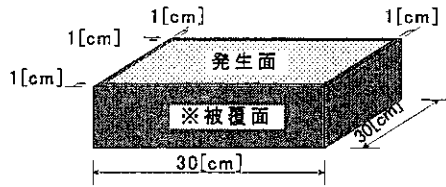


写真-3.3.1.7 家具構成部



*アルミ箔及びアルミシールにて端面、裏面を被覆する。

図-3.3.1.3 試験片の作製法

表-3.3.1.3 合板・複合フローリングの規格

ホルムアルデヒド放散量					
表示記号	改正前		改正後		
	基準値	最大値	表示記号	平均値	最大値
F ₀₀	0.5mg/l	0.7mg/l	F☆☆☆☆	0.3mg/l	0.4mg/l
F ₀₁	1.5mg/l	2.1mg/l	F☆☆☆	0.5mg/l	0.7mg/l
F ₀₂	5.0mg/l	7.0mg/l	F☆☆	1.5mg/l	2.1mg/l
			F☆	5.0mg/l	7.0mg/l

5) 測定機器

本実験においては、次の捕集・分析装置を用いた。

a) アルデヒド類

- ・ポンプ(柴田機器工業社製、Model:MP-Σ300)
- ・乾式ガスメータ(シナガワ社製、Model:DC-1A)
- ・DNPHカートリッジ(Waters社製、Model:Xposure)
- ・高速液体クロマトグラフ(日立社製、Model:L-7000)

b) VOC

- ・ポンプ(柴田機器工業社製、Model:MP-Σ30)
- ・乾式ガスメータ(シナガワ社製、Model:DC-1A)
- ・炭素系捕集管(SUPELCO社製)
- ・ガスクロマトグラフ(Perkin Elmer社製、Model:Turbo mass gold)

6) 捕集・分析方法

a) アルデヒド類の捕集・分析

試料空気は、DNPHカートリッジを用いて捕集流量は0.5[l/min]とし、約30分間捕集した。DNPHカートリッジに捕集された試料空気は、アセトニトリルで(溶出速度:1.0[ml/min]、溶出時間:5[min])溶出した。溶出後、高速液体クロマトグラフに導入し、定性定量分析を行った。(分析条件:表-3.3.1.4参照)

b) VOCの捕集・分析

試料空気は、炭素系捕集剤を用いて捕集流量は0.05[l/min]とし、30分間捕集した。加熱導入装置を用いて、試料空気をGC/MSに導入し、表-3.3.1.5に示される分析条件で定性定量分析を行った。

表-3.3.1.4 高速液体クロマトグラフの分析条件

HPCL	日立社製、L-7000シリーズ
カラム	ODS-3、内径4.6mm×長さ250mm
カラム温度	50℃
移動層	アセトニトリル:水/70:30
流速	1.0ml/min
検出器	UV検出器(波長:360nm)

表-3.3.1.5 GC/MS分析条件

加熱導入装置	Perkin Elmer社製 Model:Turbo Matrix AID
GC/MS	Perkin Elmer社製 Model:Turbo Mass Gold
加熱前バース時間	1[min]
チューブ加熱温度	加熱温度:300[℃]、加熱時間:10[min]
加熱バルブ温度	温度:280[℃]
トランスファー	温度:290[℃]
トラップ	捕集温度:10[℃]、加熱時間:350[℃]、加熱保持時間:30[min]
キャリアガス流量	17[psi]
脱着流量	30[ml/min]
スプリット流量	Inlet:15[ml/min]、Outlet:10[ml/min]
カラム	SPB-1、内径:0.25[mm]、膜厚:1[μm]、長さ:60[m]
カラム昇度	50~300[℃]
インターフェイス温度	270[℃]
スキャンモード	m/z:40~250

7) 実験手順

本研究は、表-3.3.1.6に示す実験手順で行った。すなわち、バイクアウト時のVOC発生量の変位を測定する「バイクアウト実験」(Experiments with bake-out)とバイクアウト実験期間中におけるVOC発生量の変位を測定する「建材履歴実験」(Experiments without bake-out)を行い、それぞれの実験値からバイクアウトによる発生量低減率を求めるものである。

表-3.3.1.6 バイクアウト実験及び建材履歴実験の手順

バイクアウト実験の具体的手順(①~⑨、図-3.3.1.4参照)	
①	小形チェンバー内の充分な清浄及び換気を行う。(2h)
②	小形チェンバー内に設置された排気ファンで、一定の気流状態と一定の気流条件を構築しつつ、チェンバー内の初期濃度を測定する(8h)。温度28[℃]、相対湿度40~50[%]、気流0.3~0.4[m/s]
③	チェンバー内に試験片を設置し、VOC濃度が定常状態であることを確認する(10h)。その後、チェンバー内の定常濃度について測定する(8h)。温度28[℃]、相対湿度:40~50[%]、気流0.3~
④	小形チェンバー内の充分な清浄及び換気を行う(2h)。
⑤	人工気象室内の温度を制御し(温度38[℃]、相対湿度40~50[%])、その加熱空気を小形チェンバー内に導入する(6h)。
⑥	③と同様である(8h)。
⑦	④と同様である(8h)。
⑧	試験片の温度が手順②と同程度であることを確認し、同様の操作を行う(10h)。
⑨	③と同様である(8h)。
建材履歴実験の具体的手順(①~⑤、図-3.3.1.5参照)	
①	①と同様である(2h)。
②	②と同様である(10h)。
③	③と同様である(8h)。
④	人工気象室内の温度を室温28[℃]、相対湿度40~50[%]に保ち、その空気を小形チェンバー内に導入する(90h)。
⑤	⑨と同様である(8h)。

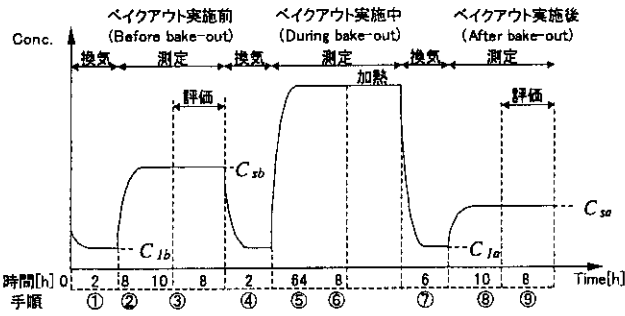


図-3.3.1.4 ベイクアウト実験時におけるチェンバー内濃度パターン

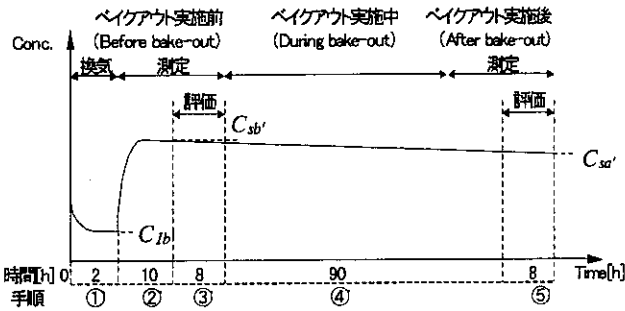


図-3.3.1.5 建材履歴実験時におけるチェンバー内濃度パターン

8) ベイクアウトによる発生量低減率 (R_b) の算出法

a) 実大実験の場合

野崎ら²¹⁶⁾は、ベイクアウト実施前後における室内濃度変化を用いたベイクアウト効果の評価法を提案している。

室内でベイクアウトを実施すると図-3.3.1.4に示したチェンバー内濃度変位と同等の室内濃度変化が生ずる。この時の室内濃度を測定し、以下の(1)式に代入すると室内濃度減少率 (R_b [%]) が求められる。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{sa} - C_{ia}}{C_{sb} - C_{ib}} \right) \times 100 - R_m \quad (1)$$

ここで、 C_{sb} : ベイクアウト実施前の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{ib} : ベイクアウト実施前の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{sa} : ベイクアウト実施後の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{ia} : ベイクアウト実施後の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

R_m : 実験期間中の建材履歴実験による発生量減少率 [%] とする。

尚、本式における R_m は、同じ仕様の2室ついで連続測定を行い、ベイクアウトを実施した室としなかった室との比較を行うことにより求められる。

b) 実験室実験の場合

チェンバーを用いた実験室実験により、部材レベルのベイクアウト効果が求められる。部材レベルのベイクアウトによる建材毎、あるいは部位別の発生量減少率 (R_b [%]) は、以下の(2)式により求められる。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{sa} - C_{ia}}{C_{sb} - C_{ib}} \right) \times 100 - R_m \quad (2)$$

ここで、 C_{sb} : ベイクアウト実施前の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{ib} : ベイクアウト実施前の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{sa} : ベイクアウト実施後の室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{ia} : ベイクアウト実施後の室内初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

R_m : 実験期間中の建材履歴実験による発生量減少率 [%] とする。

3.3.1.3 結果

1) ベイクアウトによるアルデヒド類発生量低減効果

ベイクアウトによるアルデヒド類の低減効果について、図-3.3.1.6~3.3.1.11、表-3.3.1.7~3.3.1.8に示す。

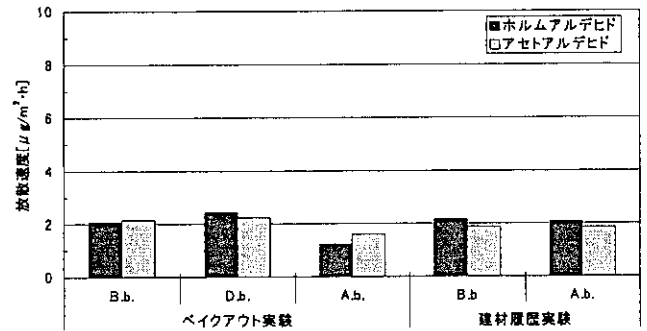


図-3.3.1.6 ベイクアウトのアルデヒド類低減効果 (FFC1 : 床)

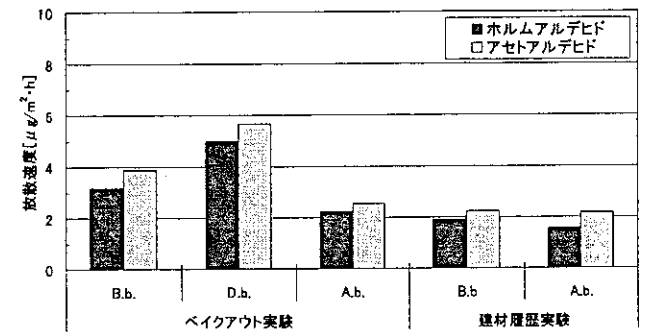


図-3.3.1.7 ベイクアウトのアルデヒド類低減効果 (FWG1 : 壁)

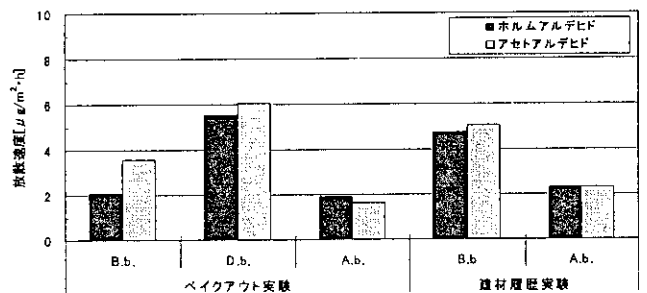


図-3.3.1.8 ベイクアウトのアルデヒド類低減効果 (FWG2 : 壁)

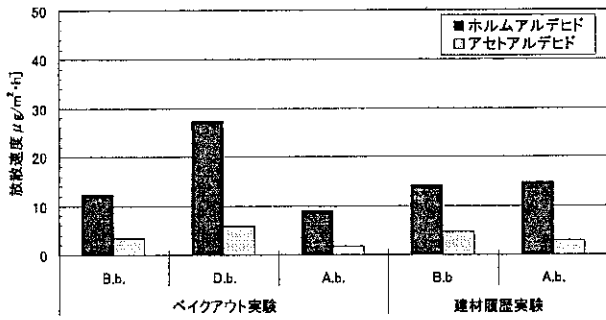


図-3.3.1.9 バイクアウトのアルデヒド類低減効果 (FCG1:天井)

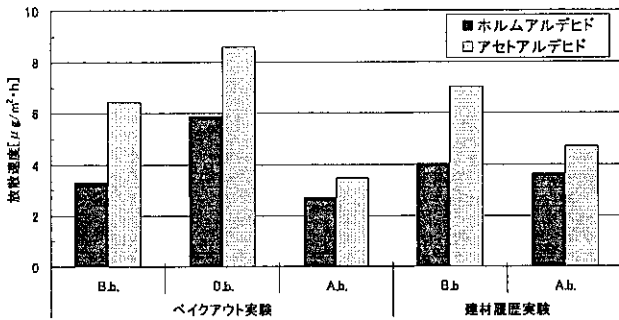


図-3.3.1.10 バイクアウトのアルデヒド類低減効果 (FCL1:天井)

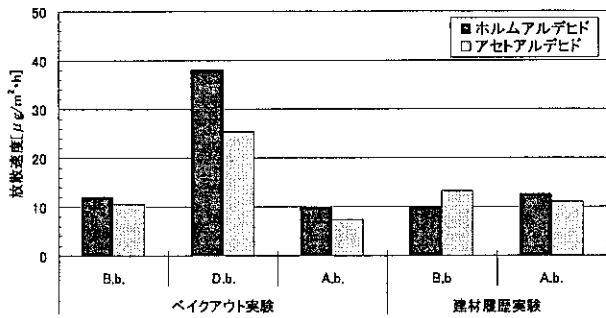


図-3.3.1.11 バイクアウトのアルデヒド類低減効果 (家具)

* B.b.: バイクアウト実施前, D.b.: バイクアウト実施中, A.b.: バイクアウト実施後とする。

表-3.3.1.7 バイクアウトのホルムアルデヒド低減効果

部位	試験片	放散速度[μg/m ² ·h]				低減率[%]	
		バイクアウト実験		建材履歴実験			
		B.b.	D.b.	A.b.	B.b.		A.b.
床	FFC1	2.07	2.43	1.22	2.16	2.06	36.5
	FWG1	3.15	5.00	2.25	1.91	1.57	11.1
壁	FWG2	2.08	5.52	1.88	4.75	2.31	-
	FCG1	12.4	27.3	8.90	14.1	14.8	33.4
天井	FCL1	3.29	5.90	2.68	4.03	3.62	8.02
	家具	12.0	37.9	9.75	9.99	12.5	43.3

表-3.3.1.8 バイクアウトのアセトアルデヒド低減効果

部位	試験片	放散速度[μg/m ² ·h]				低減率[%]	
		バイクアウト実験		建材履歴実験			
		B.b.	D.b.	A.b.	B.b.		A.b.
床	FFC1	2.14	2.24	1.60	1.87	1.85	24.1
壁	FWG1	3.88	5.68	2.55	2.24	2.16	30.3
	FWG2	3.54	6.04	1.62	5.07	2.29	-
天井	FCG1	3.46	5.88	1.67	4.58	2.86	14.2
	FCL1	6.44	8.61	3.45	7.04	4.71	13.2
家具		10.5	25.4	7.28	13.2	11.1	14.5

図-3.3.1.6~3.3.1.11に示された実験結果を式(2)に入れて、建材部位別のバイクアウト効果を求めた。

表-3.3.1.7~3.3.1.8に示されるように床、壁、天井部において、ホルムアルデヒドで、8.02~43.3[%](Ave.=26.5[%])、アセトアルデヒドで、13.2~30.3[%](Ave.=19.3[%])の低減効果が確認された。

a) 床部におけるバイクアウトによる発生量低減効果

ホルムアルデヒドで、36.5[%]、アセトアルデヒドで、24.1[%]の低減効果が確認された。

b) 壁部におけるバイクアウトによる発生量低減効果

ホルムアルデヒドで、11.1[%]、アセトアルデヒドで、30.3[%]の低減効果が確認された。FWG2は低減効果が示されなかったが、これは、建材履歴実験のバイクアウト実施前の濃度が高く測定されたためであると考えられ、試験片の問題も考えられる。

c) 天井部におけるバイクアウトによる発生量低減効果

ホルムアルデヒドで、8.02~33.4[%](Ave.=20.7[%])、アセトアルデヒドで、13.2~14.2[%](Ave.=13.7[%])の低減効果が確認された。FCL1は他の検体より、アセトアルデヒドの発生が顕著であった。既往の研究と同様に、バイクアウトによる低減効果の最も大きい部位は、天井部であった。

d) 家具におけるバイクアウトによる発生量低減効果

家具においてはホルムアルデヒド43.3[%]、アセトアルデヒド14.5[%]の低減効果が確認された。この仕様には、バイクアウトがとても有効であると言える。

2) バイクアウトによるVOC発生量低減効果

バイクアウトによるVOC成分毎の低減効果を、表-3.3.1.9~3.3.1.14に示す。TVOCで評価すると、16.6[%]~40.3[%](Ave.=25.1[%])の低減効果が示された。

表-3.3.1.9 バイクアウトのVOC低減効果 (FFC1:床)

VOC	放散速度[μg/m ² ·h]					低減率[%]
	FFC1(床)					
	バイクアウト実験		建材履歴実験			
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
methyl ethyl ketone	1.85	2.96	1.82	1.19	1.11	5.55
ethyl acetate	1.30	1.75	0.982	0.751	0.778	27.9
hexane	4.32	8.48	2.03	1.37	0.89	17.9
heptane	7.78	10.8	5.71	1.48	1.16	4.92
toluene	18.8	25.7	15.8	5.29	5.61	22.1
octane	19.3	34.0	16.6	3.25	2.95	4.67
ethyl benzene	2.35	3.57	1.88	1.05	1.11	21.6
m,p-xylene	4.22	7.37	3.64	1.32	1.39	19.2
styrene	1.56	2.50	1.22	3.6	3.30	14.1
o-xylene	2.36	3.22	1.82	2.72	2.44	21.0
nonane	22.7	37.9	15.5	8.06	8.07	31.7
m,p-methyltoluene	1.59	4.43	0.819	2.15	2.92	42.3
1,2,4-trimethylbenzene	1.25	1.29	1.02	0.573	0.571	17.6
decane	3.89	3.50	3.26	3.98	3.04	-
TVOC	93.2	147	71.8	36.8	34.4	16.6

表-3.3.1.10 バイクアウトのVOC低減効果 (FWG1:壁)

VOC	放散速度[μg/m ² ·h]					低減率[%]
	FWG1(壁)					
	バイクアウト実験		建材履歴実験			
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
methyl ethyl ketone	2.51	2.42	1.89	1.67	1.32	3.28
ethyl acetate	1.32	1.86	0.460	0.774	0.715	57.4
hexane	1.86	1.58	1.61	1.52	1.46	9.85
benzene	0.867	0.705	0.734	0.751	0.680	5.87
toluene	2.58	2.90	1.98	1.48	1.38	16.2
styrene	1.09	0.821	0.793	1.09	1.02	20.6
TVOC	10.2	10.3	7.46	7.30	6.58	17.1

表-3.3.1.11 ベイクアウトのVOC低減効果 (FWG2:壁)

VOC	放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]					低減率 [%]
	FWG2(壁)					
	ベイクアウト実験			建材履歴実験		
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
methylethylketone	1.36	2.36	1.28	1.52	1.58	9.30
hexane	1.01	1.62	0.82	1.16	0.987	4.09
benzene	0.765	1.27	0.720	0.720	0.712	4.79
toluene	2.28	4.35	2.19	1.99	1.99	4.40
ethylbenzene	0.404	0.718	0.358	0.579	0.508	-
m,p-xylene	0.380	0.621	0.270	0.589	0.554	23.2
styrene	0.630	0.689	0.457	1.39	1.15	10.5
TVOC	6.83	11.6	6.09	7.95	7.49	5.00

表-3.3.1.12 ベイクアウトのVOC低減効果 (FCG1:天井)

VOC	放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]					低減率 [%]
	FCG1(天井)					
	ベイクアウト実験			建材履歴実験		
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
dichloromethane	6.40	8.67	3.13	3.01	2.87	46.4
methylethylketone	1.48	2.28	1.11	1.87	1.51	5.65
ethylacetate	0.792	2.79	0.510	1.84	1.40	11.8
hexane	1.07	2.84	0.546	1.86	1.80	45.4
toluene	1.78	3.48	0.886	1.95	1.46	24.9
ethylbenzene	1.10	1.38	0.782	0.818	0.851	33.0
m,p-xylene	1.04	1.70	0.516	1.35	1.12	33.0
o-xylene	0.448	0.734	0.232	0.804	0.537	14.9
m,p-ethyltoluene	1.33	2.00	0.407	1.44	1.44	89.8
1,2,4-trimethylbenzene	0.638	1.20	0.435	0.947	0.721	8.01
decane	0.845	1.46	0.535	0.921	0.776	21.0
TVOC	16.9	28.5	9.09	16.6	14.3	32.3

表-3.3.1.13 ベイクアウトのVOC低減効果 (FCL1:天井)

VOC	放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]					低減率 [%]
	FCL1(天井)					
	ベイクアウト実験			建材履歴実験		
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
dichloromethane	6.91	11.2	4.05	5.41	4.72	28.6
ethylacetate	2.39	6.51	2.19	1.24	1.20	5.59
toluene	2.55	6.20	1.89	3.21	2.68	9.31
ethylbenzene	1.10	7.16	1.04	1.50	1.48	4.63
m,p-xylene	1.71	6.41	1.09	1.14	1.09	31.9
o-xylene	0.486	2.80	0.467	0.474	0.466	2.25
m,p-ethyltoluene	0.749	3.30	0.439	0.481	0.378	19.9
decane	0.373	1.54	0.240	0.510	0.507	35.1
TVOC	16.3	45.1	11.4	14.0	12.5	19.6

表-3.3.1.14 ベイクアウトのVOC低減効果 (家具)

VOC	放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]					低減率 [%]
	(家具)					
	ベイクアウト実験			建材履歴実験		
	B.b.	D.b.	A.b.	B.b.	A.b.	
dichloromethane	9.59	18.4	4.17	9.36	8.11	43.2
methylethylketone	72.8	185	42.6	65.2	48.6	16.0
ethylacetate	73.8	94.3	19.1	65.2	56.7	61.0
hexane	4.39	6.21	1.52	2.43	2.23	57.4
benzene	0.546	2.55	0.481	0.708	0.622	-
methylisobutylketone	10.2	22.1	3.21	6.08	5.82	64.1
toluene	5.35	6.77	2.55	2.59	2.44	46.4
buthylacetate	1.58	5.27	0.587	1.90	0.988	14.7
ethylbenzene	2.80	1.04	0.997	0.959	0.679	35.2
m,p-xylene	2.82	1.04	0.949	0.852	0.648	65.7
TVOC	184	343	76.1	155	127	40.3

a) 床部におけるVOC低減効果

試験片FFC1からは、トルエン、オクタン、ノナンの発生が顕著であった。ベイクアウトの発生量低減率について表-3.3.1.9に示す。発生量の大きいトルエン、オクタン、ノナンについては、22.1[%]、4.67[%]、31.7[%]の低減効果が示された。同定したVOC14成分中13成分の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、4.67~42.3[%]であった。

b) 壁部におけるVOC低減効果

試験片FWG1からは、特に発生量の大きい物質は存在しなかった。ベイクアウトによる発生量低減率については表-3.3.1.10に示す。

同定したVOC6成分中6成分の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、3.28~57.4[%]であった。

試験片FWG2からも、特に発生量の大きい物質は存在しなかった。

ベイクアウトの発生量低減率について表-3.3.1.11に示す。FWG1と同様の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、4.09~23.2[%]であった。

c) 天井部におけるVOC低減効果

試験片FCG1からは、特に発生量の大きい物質は存在しなかった。ベイクアウトの発生量低減率について表-3.3.1.12に示す。同定したVOC11成分中11成分の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、5.65~69.8[%]であった。

試験片FCL1からも、特に発生量の大きい物質は存在しなかった。ベイクアウトの発生量低減率について表-3.3.1.13に示す。同定したVOC8成分中8成分の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、2.25~35.1[%]であった。

d) 家具試験片におけるVOC低減効果

家具試験片からは、メチルエチルケトン、酢酸エチルの発生が顕著であった。ベイクアウトの発生量低減率について表-3.3.1.14に示す。発生量の大きいメチルエチルケトンと酢酸エチルの低減率は、16.0[%]と61.0[%]であった。同定したVOC10成分中9成分の発生量低減効果が示され、VOC成分の低減率の範囲は、14.7~65.7[%]であった。既往の研究¹⁾によってベイクアウトの低減効果についての定量的報告が成されている。この報告値(床部:20.4~27.9[%]、壁部:9.21~29.3[%]、天井部:7.40~40.0[%])は、VOCの総量(TVOC)により評価が成されているが、この報告値と今回得られたVOC各成分毎の定値より求めたTVOC低減率は同程度のものであった。

3) 化学物質発生量低減率のまとめ

試験片毎の低減率を表-3.3.1.15に、床、壁、天井の低減率(平均値)を表-3.3.1.16に示す。

表-3.3.1.15 試験片毎の低減率

	FFC1(床)	FWG1(壁)	FWG2(壁)	FCG1(天井)	FCL1(天井)	家具
	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]	低減率[%]
ホルムアルデヒド	36.5	11.1	-	33.4	8.02	43.3
アセトアルデヒド	24.1	30.3	-	14.2	13.2	14.5
TVOC	16.6	17.1	5.00	32.3	19.6	40.3

表-3.3.1.16 床・壁・天井の低減率(平均)

	床の低減率平均[%]	壁の低減率平均[%]	天井の低減率平均[%]
ホルムアルデヒド	36.5	11.1	20.7
アセトアルデヒド	24.1	30.3	13.7
TVOC	16.6	11.1	26.0

3.3.1.4 考察

1) ベイクアウト実施後の室内濃度予測法の算出法

野崎ら⁸⁾はベイクアウト実施室における室内濃度予測法を提案しており、その予測式について以下に示す。

室内汚染物質発生量が一定の場合、ベイクアウト実施後の室内定常濃度 C_{ss} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]は、次式(3)にて表される。

$$C_{ss} = C_0 + \frac{M_a}{Q} \quad (3)$$

ここで、 C_0 ：外気濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]、 M_1 ：ベイクアウト実施後の室内総発生量 [$\mu\text{g}/\text{h}$]、 Q ：室換気量 [m^3/h]とする。

主要な化学物質の室内発生部位は、床、壁、天井であり、各部位のベイクアウト実施後における単位面積当たりの発生量を m_{ak} 、各部位の発生量面積を A_k とすれば、室内総発生量 M_a [$\mu\text{g}/\text{h}$] は、次式 (4) にて表せる。

$$M_a = m_{a1}A_1 + m_{a2}A_2 + m_{a3}A_3 + m_{aet}A_{et} \quad (4)$$

$$= \sum_{k=1}^n m_{ak}A_k + m_{aet}A_{et}$$

ここで、 m_{a1} ：ベイクアウト実施後における床の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]、 m_{a2} ：ベイクアウト実施後における壁の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]、 m_{a3} ：ベイクアウト実施後における天井の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]、 m_{aet} ：ベイクアウト実施後におけるその他部材の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]、 m_{bk} ：ベイクアウト実施後の各部位毎の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]、 A_1 ：床の発生表面積 [m^2]、 A_2 ：壁の発生表面積 [m^2]、 A_3 ：天井の発生表面積 [m^2]、 A_{et} ：その他の部位の発生表面積 [m^2]、 A_k ：各部材の発生表面積 [m^2]とする。

ベイクアウト実施後の発生量 m_{ak} [$\mu\text{g}/\text{h}$] は、次式 (5) にて表される。

$$m_{ak} = m_{bk} \left(1 - \frac{R_{bk}}{100} \right) \quad (5)$$

ここで、 M_{bk} ：ベイクアウト実施前における各部材の単位面積当たりの発生量 [$\mu\text{g}/\text{h}$] (部材レベルの建材試験により求める。本研究の「ベイクアウト実験」の「ベイクアウト実施前」の濃度測定値に実験チェンバーへの通気量を乗ずることにより発生量が求まる。)、 R_{bk} ：ベイクアウトによる建材部位毎の室内発生量減少率 [%] である。

(4)、(5)式を(3)に導入すれば、次式にてベイクアウト実施後の室内定常濃度 C_{sa} が求められる。

$$C_{sa} = C_0 + \frac{\sum_{k=1}^n \left[m_{bk}A_k \left(1 - \frac{R_{bk}}{100} \right) + m_{bet}A_{bet} \left(1 - \frac{R_{bet}}{100} \right) \right]}{Q} \quad (6)$$

2) ベイクアウト実施後の室内濃度予測

ベイクアウト実施後の室内濃度を予測するにあたり、床 (FFC1)、壁 (FWG1)、天井 (FCL1) の建材を対象とし、約6畳の居室を想定した。

表-3.3.1.17 床、壁、天井部の構成

部材	試験片		仕様建材・施工剤	
	記号	厚さ [mm]	種別等	
床	FFC1	60	合成ゴムデラックス (F☆☆☆☆)	
			塩ビシート (F☆☆☆☆)	
			コンクリート平板	
壁	FWG1	38	ビニルクロス (F☆☆☆☆)	
			接着剤 (澱粉系) (F☆☆☆☆)	
			石膏ボード	
天井	FCL1	6	APE塗装 (F☆☆☆☆)	
			珪酸カルシウム板 LGS下地	

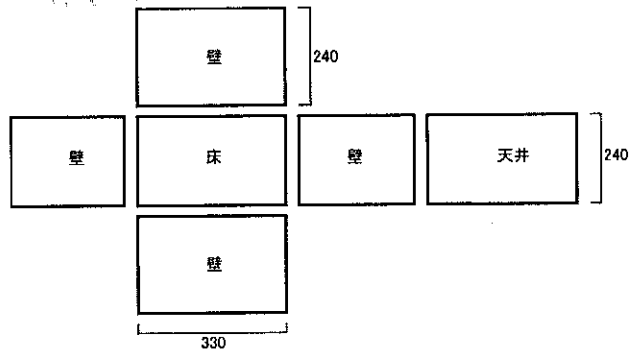


図-3.3.1.12 想定居室の展開図

表-3.3.1.18 ベイクアウト実施前後の単位面積当たりのホルムアルデヒド発生量

	B.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	A.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)
床: FFC1	2.07	1.22
壁: FWG1	3.15	2.25
天井: FCL1	3.29	2.68

* B.b.: ベイクアウト実施前、A.b.: ベイクアウト実施後

表-3.3.1.19 ベイクアウト実施前後の単位面積当たりのアセトアルデヒド発生量

	B.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	A.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)
床: FFC1	2.14	1.60
壁: FWG1	3.88	2.55
天井: FCL1	6.44	3.45

* B.b.: ベイクアウト実施前、A.b.: ベイクアウト実施後

表-3.3.1.20 ベイクアウト実施前後の単位面積当たりのTVOC発生量

	B.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	A.b.の単位面積当たりの発生量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)
床: FFC1	93.2	71.8
壁: FWG1	10.21	7.46
天井: FCL1	16.3	11.4

* B.b.: ベイクアウト実施前、A.b.: ベイクアウト実施後

(5)式より、ベイクアウト実施後の室内定常濃度が求められ、予想される室全体の低減効果を表-3.3.1.21に示す。

表-3.3.1.21 室内濃度予測

	室内定常濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		低減率 [%]
	実施前	実施後	
ホルムアルデヒド	13.5	9.73	27.9
アセトアルデヒド	18.3	11.5	37.2
TVOC	121	90.8	25.0

ホルムアルデヒドでは27.9[%]、アセトアルデヒドでは37.2[%]、TVOCでは25.0[%]の室内濃度低減が予測される。

3.3.1.5 まとめ

本研究では、以下の知見を得ることができた。

- 1) 部材レベルのベイクアウト実験を行い、アルデヒド類、VOC発生量低減効果について明らかにした。
- 2) ホルムアルデヒドは、床部で36.5[%]、壁部で11.1[%]、天井部で8.02~33.4[%] (Ave.=20.7[%]) の発生量低減効果が示された。

3) アセトアルデヒドは、床部で24.1[%]、壁部で30.3[%]、天井部で13.2～14.2[%](Ave.=13.7[%])の発生量低減効果が示された。

4) TVOCは、床部で16.6[%]、壁部で5.00～17.1[%]、天井部で19.6～32.3[%](Ave.=26.0[%])の発生量低減効果が示された。

5) 室全体におけるベイクアウト実施後の濃度予測値を求めた。

3.3.1.6 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力頂いた穴戸潤君(当時東北文化学園大学卒論生)、木内慎也君(東北文化学園大学学生)に謝意を表す。

3.3.1.7 参考文献

1) J.R.Girman et al.: Bake-out of a New Office Building to Reduce Volatile Organic Concentrations, Proc. of the 82nd Annual Meeting and Exhibition of the Air Pollution Control Association, June, 1989

2) 野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏: 室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウト効果(その1)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その2)、日本建築学会計画系論文集、第530号、pp.61～66、2000年

3) 駒野清治、荒川琢也、佐藤: 戸建住宅におけるベイクアウト方法の検討、「健康的な居住環境形成技術の開発」報告書、pp.210～216、2000年

4) 熊野康子他: 新築集合住宅におけるベイクアウトと換気によるTVOCの低減化についての研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.771～772、2000年

5) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋: 室内化学物質汚染低減対策としてのベイクアウトの効果(その2)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その3)、日本建築学会計画系論文集、第557号、pp.73～79、2002年

6) 野崎淳夫、飯倉一雄、堀雅宏、池田耕一、吉澤晋: 室内化学物質汚染の低減化対策に関する研究、第1報-室内ホルムアルデヒド、VOC汚染低減化対策としてのベイクアウトに関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.77、2000年

7) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋: 室内化学物質汚染低減対策としてのベイクアウトの効果(その3)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その4)、日本建築学会計画系論文集、第568号、pp.57～62、2003年

第4章 換気システムの化学物質除去性能

第4章 換気システムの化学物質除去性能

東北文化学園大学(野崎淳夫)

1. 目的と内容

1) 床下、壁体内、天井懐等における滞留汚染物質の排出

従来の建築基準法は室内側の建材仕様の規制に重きを置くものであり、床下や壁体内に蓄積する化学物質については、全く考慮されていなかった。また、化学物質過敏症患者の住宅を調査してみると、これらの空間からの汚染物質の室内移流が疑われるケースが存在した。

床下、壁体内、天井懐等の滞留化学物質の効果的排出により、この問題の解決が図られる可能性がある。そこで、本研究においては開発した2つの換気装置を実在住宅の床下と小屋裏に設置し、当該空間の滞留化学物質の排出性と室内濃度低減効果を求める実験を行った。

床下排気の換気装置は、住宅の床部のフローリングを除去した後、根太、大引き等の床構成部分を解体し、ダクト配管を行った後に設置された。

壁体内、天井懐排気の換気装置は小屋裏に設置され、フレキシブルダクトを壁体内等の空間に配置して、当該空間からの化学物質を排出した。吸引された空気は屋根に煙突を設置し、これを通して屋外に排出した。

2) 室内正圧型換気装置による室内化学物質の排出

既往の住宅換気システムは第3種換気を用いたものが殆どである。第3種換気とは、換気扇運転により室内圧を負圧にして、室内空気を排出するものであるが、これにより、床下、壁体内、天井懐等空間の滞留ガス状化学物質が室内に漏入してしまう現象が生ずる。

漏入口は(1)コンセント、(2)ダウンライト、(3)幅木部分、(4)廻り縁部分、(5)腰壁部分、(6)フローリング接合部、(7)照明器具接合部が想定される。これら漏入口を遮蔽することにより、室内に移流する化学物質量を削減することができるが、現実には難しい。

そこで、室内圧を正圧にする換気システム、すなわち第2種換気利用の新たな換気システムを検討した。実際の住宅に、同装置を設置して運転に伴う化学物質濃度の変化を測定した。

換気装置は小屋裏に設置され、取入れ外気は同装置からダクトを通して、各室に供給される。ダクトは天井あるいは床部を通して配管した。測定対象住宅の概要を図-1に示す。

2. 研究の経緯

- 平成13～14年度 床下換気装置の開発と評価
- 平成14～15年度 室内換気装置の開発と評価
- 平成15年度 壁体内・天井懐等換気装置の開発と評価

3. 床下換気装置による濃度低減効果

1) 実験概要

床下換気装置の運転に伴う床下懐等の空間におけるVOC、気圧の変化について測定を行った。測定は、測定対象住宅の(2F)床下で行った。

2) 結果

床下のVOC濃度の測定結果を図-2に示す。

床下換気装置の運転に伴い、床下濃度の有効な低減が示されている。

4. 第2種換気システムによる濃度低減効果

1) 機器(給気ユニット)の運転に伴う室内VOC濃度低減効果

a) 測定概要

測定対象住宅の3Fにて、機器運転に伴う室内VOC濃度の測定を行った。

b) 結果

機器運転に伴い、子供室のTVOC濃度は、200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) から81.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に低下し、59.4%の低減効果が示された。また、各室で次の低減効果が示された。(居室1:26.5%、居室2:67.7%、寝室:49.7%) (図-3参照)

2) 機器(給気ユニット)の風量変化に伴う室内湿度低減効果

a) 測定概要

機器運転時の給気風量と室内濃度との関係を求めるために、VOC濃度測定を行った。

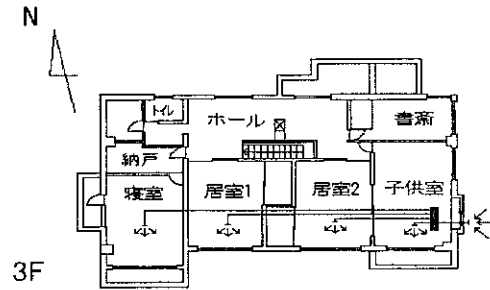


図-1 測定対象住宅の概要

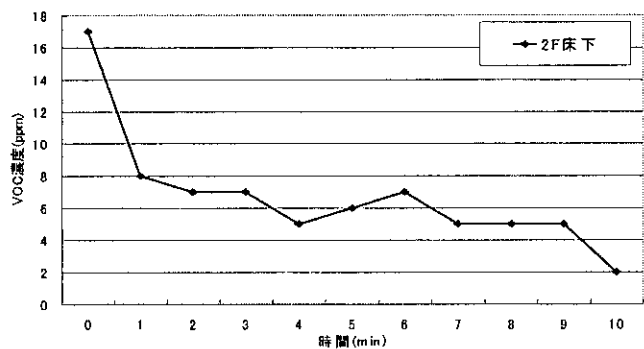


図-2 床下換気装置運転に伴う床下VOC濃度の変化

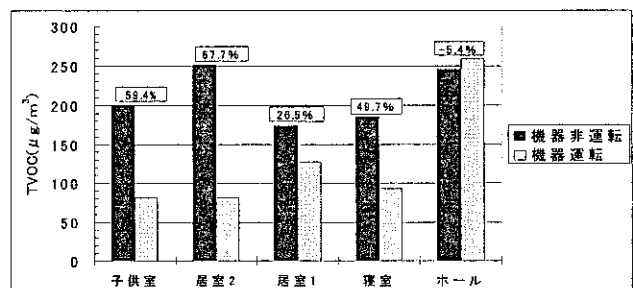


図-3 第2種換気システム運転に伴うVOC濃度低減効果