

住宅用モデル実験室における室内化学汚染濃度の検討

収納による室内濃度への影響

梅田和彦・荒川琢也・深尾 仁・森川泰成

Keywords: indoor air chemical pollution, model laboratory, storage space, volatile organic compounds

室内空気化学汚染，実大実験室，収納，VOC

1. はじめに

建物の建設効率化において，人工的に製作された建材の使用が必要不可欠になっている．人工的な建材には，化学物質が使用されていることが多く，室内空気の化学汚染源になっている．また，天然の木材からも化学物質が放散されており，特に施工直後の室内は，多種類の化学物質によって汚染されやすい状況になっている．

現在，地球環境保護を目的としたエネルギーの削減が社会的な要請となっており，民生部門においても，建物の高気密・高断熱化が，法規制により急速に進められている．一方，高気密化された建物で適切な換気が施されなければ，人工建材などから放散された化学物質による室内空気汚染濃度は高くなり，人体の健康状態に悪影響を与えるため，汚染低減が社会的な解決課題になっている．特に住宅においては，高齢者や年少者をはじめ，空気化学汚染に対して敏感な人体が受ける影響が，甚大になる可能性が高い．そのような背景から，シックハウス症候群等の問題の早期解決が重要になっており，室内化学汚染に関する数値解析¹⁾や実験²⁾での研究成果が近年多く報告されている．

本研究は，住宅の居室における室内化学汚染の状況を把握し，内装材や換気などの化学汚染低減技術の効果を確認することを目的としている．筆者らは，昨年当社技術センター（神奈川県横浜市）内に構築したシックハウス対策実験室³⁾において，内装材を部位別に2種類に分け，施工段階毎に，ホルムアルデヒド（以下，HCHO）と，揮発性有機化合物（VOCs: Volatile Organic Compounds，以下，VOC）の濃度を測定し，化学汚染源について検討した結果^{4) 5) 6)}を報告した．本報では，住宅の引渡し時の居室には，造付けの壁面収納（以下，収納）がある状態が大半であり，居室を構成する天井，壁，床の内装材以外の建築部位である収納が，室内空気

化学汚染濃度へ与える影響についての研究報告が少ないことに着目し，収納が居室室内空気の化学汚染へ与える影響を把握する実験を，平成14年1月から平成14年2月にかけて，当社のシックハウス対策実験室において，VOCを対象に調べたので報告する．

2. 実験概要

2.1 実験室の概要

2.1.1 実験室の主な仕様

実験で使用した当社シックハウス対策実験室は，同じ寸法の2つの実験室を有しており，実験条件を変えた場合の室内空気化学物質濃度の違いを同時に比較することが可能³⁾である．実験室の主な仕様を表-1に示す．

表-1 実験室の主な仕様
Specification of Laboratory

形状寸法	幅2.5m×奥行き2.6m×高さ2.3mの2室
実験室のペ-ス	軽量鉄骨軸組に亜鉛鉄板張り．隙間は7mmテープで目貼り．
温度・湿度	乾球温度18 ～ 30 ，相対湿度40% ～ 60%
換気設備	第一種機械換気0.1回/h ～ 10回/h

2.1.2 実験室の内装材の状態

実験は，内装仕上げが施されていない室内状況，例えば人工気象室のような金属板のみの空間に，収納だけを設置して行う方法が考えられるが，実際の室内では，天井，壁，床の内装仕上げの表面と室内空気との間で，化学物質の吸着や脱着の現象があり，この現象による室内濃度への影響があると考えられる．従って，内装材が施されている状態と，内装材が施されていない状態の2種類を，当社シックハウス対策実験室の2つの実験室に別々に構築し，収納が室内空気の化学物質濃度へ与える影響について比較する実験を行った．

内装材が施されている実験室（以下，実験室A）の内

装材の選定では、収納から放散される化学物質が、室内空気の化学物質濃度へ与える影響を把握しやすくするため、実験室の内装材からの化学物質放散量を最大限削減した状態の実験室内を構築する必要があると考えた。そこで、表-2に示すHCHOやVOCの放散速度が小さい建材⁴⁾⁵⁾⁶⁾を使って実験室の内装を仕上げ、さらに約3ヵ月間、室内を乾球温度 25 ± 5 、相対湿度 $50\% \pm 10\%$ に維持しながら、1時間に実験室気積の約半分の外気を実験室内へ取り入れる換気（以下、0.5回/h換気）を行って、十分に濃度が低減した実験室Aに、新規に収納を追加して実験を行った。

内装材が施されていない実験室（以下、実験室B）では、表-1に示すように、亜鉛鉄板張りで隙間をアルミテープで目貼りした竣工当時の状態で1年経過後、扉全体をポリエチレンシートで覆って、さらに濃度を低減させた室内に、新規に収納を追加して実験を行った。

2.2 収納の施工手順と仕様

収納は、一般的な施工手順に準拠し、釘のみで組み立てる方法とした。従って、接着剤は全く使用していない為、解体が簡単で、解体後に収納起因の化学物質が残存しにくいことになる。

具体的な収納の施工手順を図-1に、収納内の仕様を"収納ベース"と"収納内装"に分けて表-3に示す。実験での収納の施工を、表-2の内装材を実験室内に設置した施工段階A（以下、段階A）、段階Aに表-3に示す"収納ベース"を設けた施工段階B（以下、段階B）、段階Bの収納に表-3に示す"収納内装"を設けた施工段階C（以下、段階C）の合計3段階に分けた。この実験で、VOC対策を施した折戸Bで収納を施工した場合、室内のVOC濃度がどの程度削減されるのかを確認する為、この施工手順を、下記のとおり、一般的な仕様の折戸Aと、VOC対策を施した接着剤で化粧シートを貼った折戸Bについて繰り返した。従って、段階Cでは、折戸毎に、木下地施工以降の材料が、全て新しくなっている。なお、収納の施工は、どちらの実験室も同時に実施し、数時間で終了した。

収納の施工の全手順

段階A → 段階B（折戸A） → 段階C（折戸A）
→ 段階A → 段階B（折戸B） → 段階C（折戸B）

段階Aから段階Bへの施工過程では、図-1に示す実験室隅角部に木下地の収納フレーム（以下、収納フレーム）を組み立てた。ここで、収納で隠蔽される既存の実験室の天井、壁、床等の内装仕上げについては、既存のままの状態とし、特別な加工を施さないようにした。さら

表-2 実験室の内装材の構成

Composition of Interior Materials in Model Laboratory

室名	部位	内装材の構成
実験室A	天井、壁	紙加工(SV規格)+加工用接着剤 ^{注1)} +石膏ボード
	床	無垢フローリング+フローリング用接着剤 ^{注1)} +合板(Fco)
	廻縁、幅木	木製塗装済+フローリング用接着剤 ^{注1)}
実験室B ^{注2)}	天井、壁、床	亜鉛鉄板張り。隙間はアルミテープで目貼り。
共通	扉	化粧シート+接着剤 ^{注1)} +MDF+接着剤 ^{注1)} +化粧シート

注1) 接着剤はVOC対策品。

注2) 廻縁と幅木はなし。

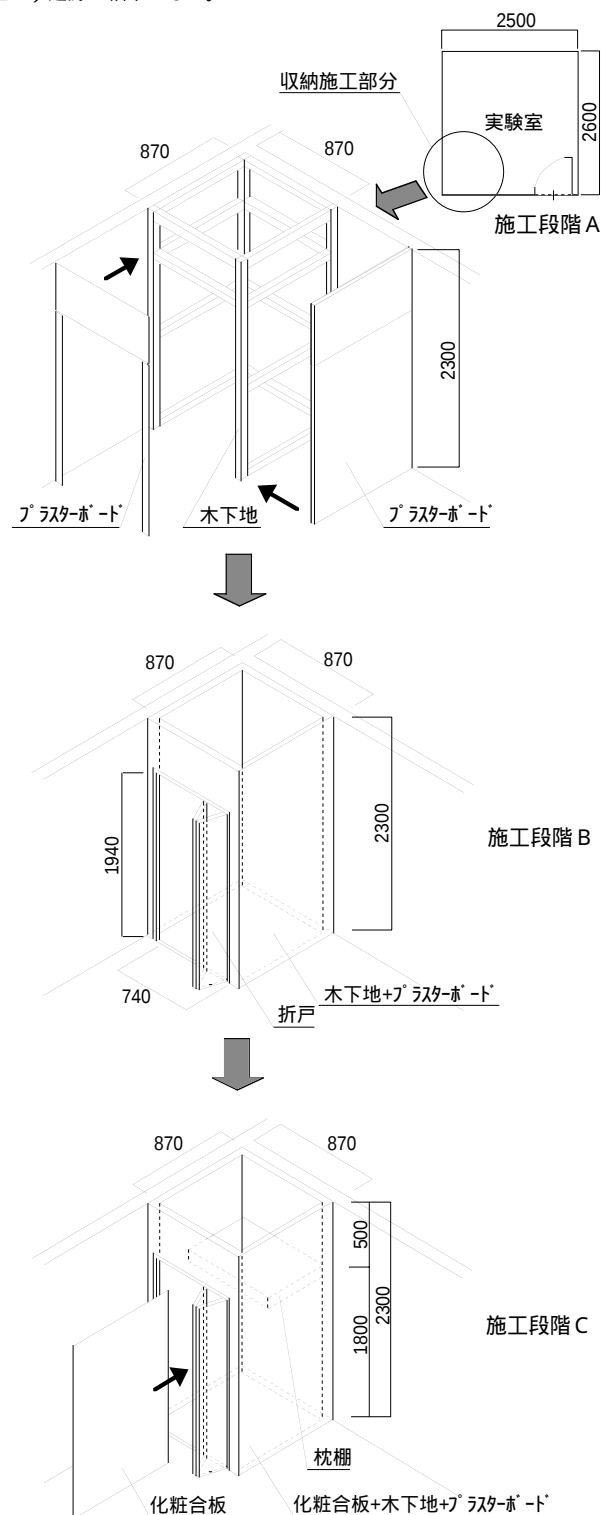


図-1 収納の施工方法の概要
Execution Method of Storage Space

に、図-1に示す収納フレームの外側2面にプラスターボードを隙間なく張り込んだ。このプラスターボードの外側表面は、実際の施工にあわせて、実験室内と同じ内装仕上げにすべきであるが、外側表面に壁紙を貼り込むとクロス用接着剤からの化学物質放散の影響で、収納からの化学物質放散の影響が判別しにくい状況が考えられる。その為、この実験では、プラスターボードまでの仕上げとした。段階Bは、この状態に折戸を設置した状態である。

段階Cは、段階Bの収納フレームの収納内側の天井と壁に、表-3に示す化粧合板を隙間無く張り込み、さらに、図-1に示すように枕棚を床から1.8mの高さに1段設け、収納底には底板を置いて、収納が完成した状態である。なお、棚下は洋服掛けを想定しているが、吊下げ用の棒は設置していない。

収納で使用する材料の製造から施工までの所要日数を表-3に示す。表-3の材料は、通常の流通ルートで入手し、特別な取り扱いが行っていない。また、製造から施工までは日陰で保管され、折戸については施工時に梱包を開封、木下地、プラスターボード、“収納内装”（化粧合板、棚板、棚前框、棚受材、廻縁、雑巾摺り、底板）については、製造から施工まで特別な梱包はせず、まとめて保管された状態であった。

2.3 VOCの捕集方法と分析方法

VOCの捕集は、表-3に示す折戸Aと折戸Bの開閉状態を条件として、表-4に示すような施工段階別に行った。実験室Aでは、折戸が、全て開いた状態（以下、折戸開放）と全て閉った状態（以下、折戸閉鎖）における室内濃度の比較を、実験室Bでは、折戸開放の室内濃度を実験室Aの場合と比較することを目的としている。

実験室AでのVOCの捕集は、表-2に示す内装材を施工後約3ヵ月経過した段階Aで1回、段階Bでは、表-3に示す“収納ベース”の施工後1日目で折戸開放の状態を、施工後2日目で折戸閉鎖の状態を各1回、段階Cでは、表-3に示す“収納内装”の施工後1日目と7日目で折戸開放の状態を各1回、“収納内装”の施工後2日目と8日目で折戸閉鎖の状態を各1回、合計7回実施した。

実験室BでのVOCの捕集は、表-1に示す“実験室のベース”を施工後1年が経過した段階Aで1回、段階Bでは、表-3に示す“収納ベース”を施工後1日目の折戸開放の状態を1回、段階Cでは、表-3に示す“収納内装”を施工後1日目と7日目で折戸開放の状態を1回、合計4回実施した。

VOCの捕集は、実験室の扉を開けて、折戸がある場合は折戸開放の状態を、表-5に示す送風機にアルミ製フレキシブルダクトを接続して実験室内（収納内含む）の隅々

表-3 収納の仕様

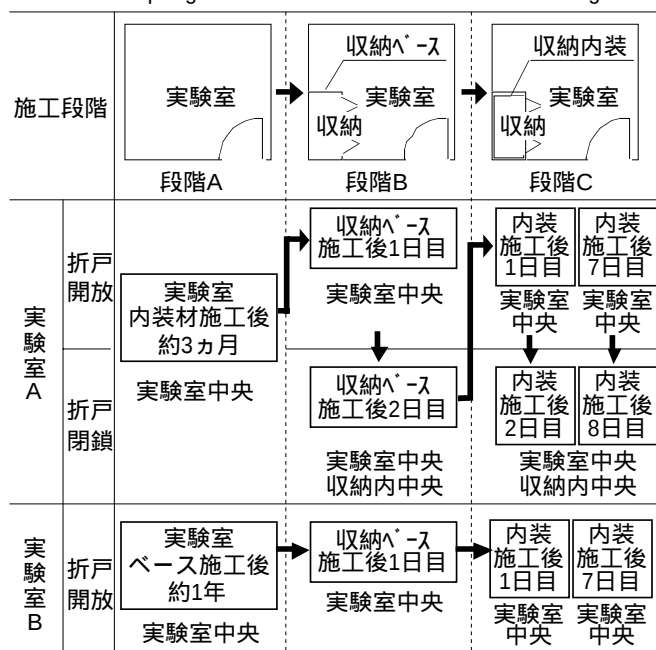
Specification of Storage Space

項目	内容	製造 施工
外形寸法	幅0.87m×奥行き0.87m×高さ2.3m	-
収納 ベース	折戸A 化粧シート+接着剤+MDF+接着剤+化粧シート	30日
	折戸B 片開き式、幅0.74m×高さ1.94m	
	木下地 野縁(幅0.030m×高さ0.040m)×使用長さ21.8m	40日
	プラスターボード 厚さ0.009m×使用面積2.4m ²	15日
収納内装	化粧合板(厚さ0.004m)×使用合計8.1m ²	40日
	棚板(幅0.8m×奥行き0.50m×厚さ0.015m)×1枚	110日
	棚前框(幅0.075m×厚さ0.025m)×使用合計0.8m	40日
	棚受材(幅0.060m×厚さ0.025m)×使用合計2.7m	40日
	廻縁、雑巾摺り(幅0.010m×厚さ0.015m)×使用合計9.1m	40日
	底板(幅0.8m×奥行き0.8m×厚さ0.015m)×1枚	110日

注1) 接着剤はVOC対策品。

表-4 施工段階におけるVOCの捕集スケジュール

Sampling Schedule of VOC in each Execution Stage



注) 収納の施工を実験室Aと実験室Bで同じ日に実施する為、段階Bの捕集開始日は段階Aの捕集後4日目、段階Cの捕集開始日は、実験室Aでは段階Bの捕集終了翌日、実験室Bでは段階Bの捕集終了後2日目になる。

表-5 温度・湿度・換気量の測定機器

Measuring Equipment of Temperature or Humidity or Ventilation Air Volume

項目	機器			
	名称	型番	メーカー	主な仕様
温度測定	C-C型熱電対	-	(株)浜田電機製作所	-
湿度測定	ヒート型	ヒガ-THP-B4	神栄(株)	20%RH～95%RH
	温湿度変換器	本体:THT-B111	神栄(株)	±3%RH(25℃)
0.1回/h, 0.5回/h 換気量測定	マルチゲージ	TYPE1302	B&K社	6チャンネルタイプ
	サブロード	TYPE1303	B&K社	6チャンネルタイプ
VOC捕集準備用換気	ジェットスワイフ	SJF-300-1	(株)スワイフ	送風量3120m ³ /h

へ外気を送り込む換気を1時間行った後、実験室の扉を閉めて(自然換気で0.1回/h換気の状態)、実験室内(収納内含む)を 25 ± 3 、 $50\% \pm 10\%$ にして15時間経過した状態にする作業(以下、VOC捕集準備)を行った後で実施した。VOCの捕集準備と捕集以外の時間帯は、折戸がある場合は折戸開放で、実験室に装備されている第一種機械換気設備を稼働させて、実験室内を自然換気との合計による0.5回/h換気し、実験室内(収納内含む)を 25 ± 3 、 $50\% \pm 10\%$ の状態にした。ここで、0.1回/h換気と0.5回/h換気の換気量については、表-5に示す機器を使って、六フッ化硫黄をトレーサースガスとして用いた濃度減衰法による測定を、段階AのVOC捕集前に実施して事前に確認した。なお、温度と湿度の測定は、表-5に示す機器のセンサーを、VOCの捕集位置と同じ実験室平面中央で床から1.2mの高さに設置して行った。

実験における室内の総揮発性有機化合物(TVOC: Total Volatile Organic Compounds, 以下、TVOC)の濃度は、収納の主要部材3種類(石膏ボード、棚板・底板、化粧合板)を、温度 25 、湿度 50% において小型チャンバーによる方法⁷⁾で求めた図-2に示すTVOCの放散速度の結果から、低い濃度であることが類推できる。そこで、実験室内に捕集用ポンプを設置した図-3の方法Aでは、入退室時の室内外空気の交換による室内濃度への影響が大きいと判断し、捕集管の1次側にテフロンチューブを接続する図-3の方法Bを検討した。合板のTVOC放散速度を、温度 25 、湿度 50% において小型チャンバーによる方法⁷⁾で、方法Aと方法Bを比較した結果を図-4に示す。この結果から、捕集管の1次側にテフロンチューブを接続する方法Bでも室内のVOC濃度の測定は可能と判断し実験で採用した。

VOCの捕集ではTenax TA捕集管を使用した。VOCの捕集位置は床から1.2mの高さで、折戸開放では実験室の平面中央、折戸閉鎖では実験室の平面中央と収納内平面中央である。なお、折戸閉鎖では、実験室の平面中央と収納内平面中央で、同時にVOCの捕集を行った。また、VOCの分析ではガスクロマトグラフ質量分析装置(GC/MS)⁷⁾を使用して行った。VOCの捕集と分析の条件を表-6に示す。

3. 実験結果

3.1 折戸開放による室内濃度の比較

3.1.1 TVOC気中濃度

実験室Aの段階A、折戸開放での段階Bと段階Cの室内TVOC濃度の比較を図-5に示す。段階Aは、厚生労働

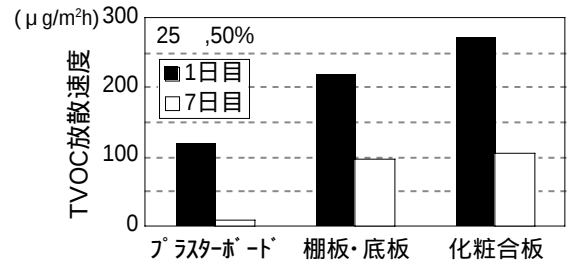


図-2 収納主要部材のTVOC放散速度
TVOC Emission Rate of main materials in Storage Space

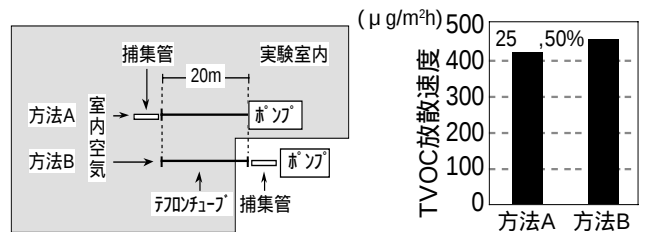


図-3 VOC捕集方法検討の概要
Outline of Study in Sampling Method of VOC

図-4 合板の捕集方法別TVOC放散速度
TVOC Emission Rate by different Sampling Method

表-6 VOCの捕集と分析の条件
Condition of Sampling and Analysis

捕集管	Tenax TA捕集管(60/80mesh)
吸引量	3L(0.15L/min, 20min)
分析法	固相吸着-加熱脱着-GC/MS
分析装置	アジレントテクノロジー; HP6890/HP5973

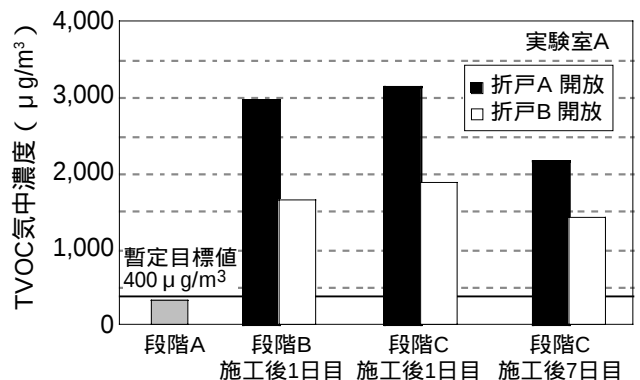


図-5 実験室Aの折戸開放における施工段階別TVOC気中濃度
TVOC Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door Open in Laboratory A

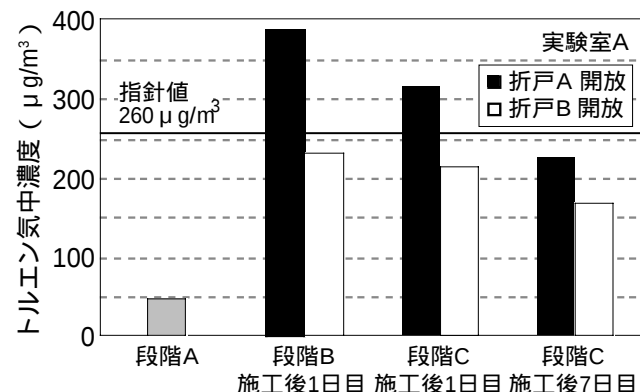


図-6 実験室Aの折戸開放における施工段階別トルエン気中濃度
Toluene Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door Open in Laboratory A

省暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の約 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対して、段階Bの折戸Aの場合約 $3,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で約10倍、折戸Bの場合約 $1,600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で約5倍まで室内VOC濃度が増加した。段階Cの施工後1日目では、“収納内装”が設置されることによって、段階Bより若干上昇する傾向がある。図-5における、段階C施工後1日目でのTVOCの捕集が、段階Bでの捕集の2日後であり、段階Bと段階Cが同時施工である実際の施工では、“収納内装”が室内濃度をさらに高くすると考えられる。段階C施工後7日目の濃度は、段階C施工後1日目と比較して、折戸A開放で約3割、折戸B開放で約4分の1減少したが、厚生労働省暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満にはならなかった。

3.1.2 トルエン気中濃度

図-5の各施工段階におけるトルエン気中濃度を図-6に示す。段階Aのトルエン気中濃度が約 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対し、折戸A開放状態の段階B施工後1日目では、約8倍の $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 弱まで増加して、厚生労働省指針値 $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越え、段階C施工後7日目まで漸く同指針値未満の約 $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ になった。一方、折戸B開放状態の段階B施工後1日目では、約 $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で同指針値未満になり、段階C施工7日目の約 $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで減少した。また、折戸Aと折戸Bの濃度差に縮小の傾向があった。

3.2 折戸開放時の施工段階別検出物質の比較

図-5の折戸Aの開放状態の段階Bと段階C施工後1日目のVOCクロマトグラムを図-7に示す。折戸Aから発生したと思われるトルエンやキシレン、木下地、“収納内装”から発生したと思われる α -ピネン、 β -ピネンが、段階Bと段階Cで検出された。従って、これらの化学物質が収納による室内濃度を増大させた一因であると考えられる。また、段階Cでは、段階Bで検出されていない化学物質が検出された。これは、“収納内装”で使用した建材によるものと考えられる。以上から、折戸、木下地、“収納内装”にVOC対策を施せば、収納起因の室内VOC濃度を低減できると考えられる。

3.3 折戸開放時の実験室内装による室内濃度の比較

折戸Aを設置した実験室Aと実験室Bの施工段階別TVOC気中濃度を図-8に示す。段階Aでは、どちらの実験室も約 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対して、段階B施工後1日目で実験室Aでは約 $3,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、実験室Bでは約 $3,600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで室内のTVOC濃度が増加した。段階B以降の濃度変化は、どちらの実験室も同じであるが、実験室Aの濃度が実験室Bより2割弱ほど室内のTVOC濃度が低くなる傾向がある。これは、実験室Aの内装材の表面には実験室Bより凹凸が多く表面積が大きいので、室内空気から内装材表面への吸着の影響が一因であると考えられる。

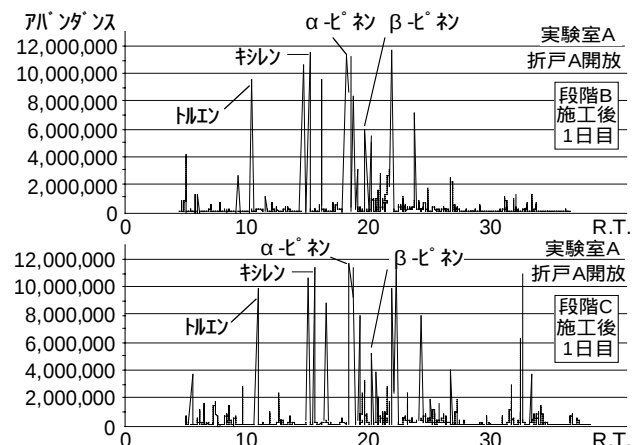


図-7 実験室Aの折戸A開放での施工段階別VOCクロマトグラム
VOC Chromatograph in each Execution Stage with keeping the Folding Door A Open in Laboratory A

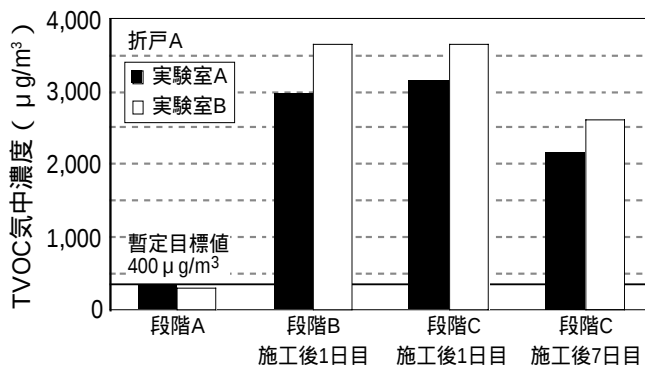


図-8 実験室内装による施工段階別TVOC気中濃度
TVOC Concentration of each Execution Stage by Interior Materials in Model Laboratory

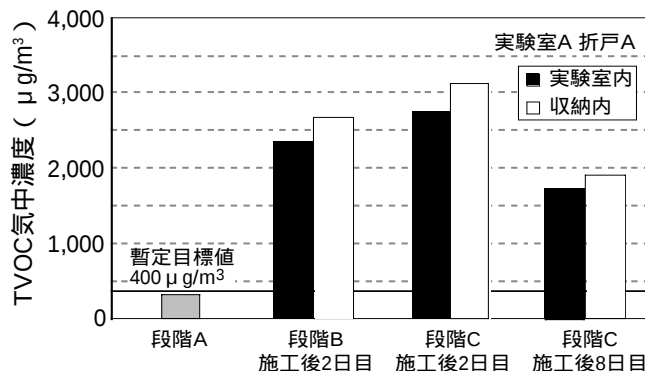


図-9 実験室Aの折戸A閉鎖での施工段階別TVOC気中濃度
TVOC Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door A Close in Laboratory A

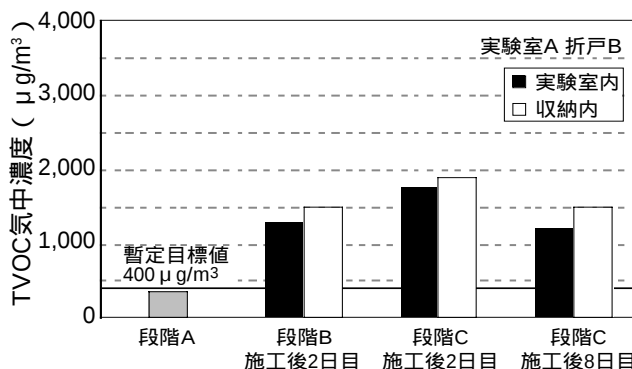


図-10 実験室Aの折戸B閉鎖での施工段階別TVOC気中濃度
TVOC Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door B Close in Laboratory A

3.4 折戸閉鎖による室内濃度の比較

3.4.1 TVOC気中濃度

折戸Aを閉めた状態での段階Bと段階Cの実験室内と収納内のTVOC気中濃度の比較を、折戸Aについては図-9に、折戸Bについては図-10に各々示す。どちらの折戸も各段階において、折戸を閉めても、実験室側の室内濃度への影響が大きく、室内濃度は収納内濃度の約9割であった。室内濃度が収納内濃度並みに大きくなった理由としては、下記の2つがあげられる。

収納起因のTVOC放散のうち、折戸のTVOC放散の割合が大きい。

折戸の収納内部側表面、木下地、“収納内装”から放散したTVOCが、折戸の隙間から室内側へ拡散する。

については、収納の外側に材料表面があるプラスチックボードと折戸のうち、プラスチックボードのTVOC放散速度が、図-2で示すとおり材料加工後7日目で9割強減少しているのに対して、図-9や図-10の段階C施工後7日目の室内側TVOC気中濃度の減少幅が4割未満である。従って、室内濃度が収納内濃度並みに大きい原因が、プラスチックボードである可能性は低いと考えられる。

3.4.2 トルエン気中濃度

図-9と図-10の各施工段階におけるトルエン気中濃度を、各々図-11と図-12に示す。段階Aのトルエン気中濃度が約50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対し、折戸Aの閉鎖状態で段階B施工後2日目では、室内側濃度が約6倍の約300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで増加して、厚生労働省指針値260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越え、収納内も約330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で同指針値を越えた。段階C施工後2日目の室内側と収納内でも同指針値を越えており、段階C施工後8日目で漸く同指針値未満になった。一方、折戸Bの閉鎖状態で段階B施工後2日目では、室内側と収納内のどちら共、同指針値未満になり、段階C施工後でも同様であった。

4. まとめ

一般的な仕様の折戸AとVOC対策を施した折戸Bを使って、収納による室内濃度への影響を実験で検討した結果は下記のとおりである。

折戸Bは折戸Aより、収納起因のVOC気中濃度の削減効果がある。折戸設置後1日目の折戸開放での折戸Bによる気中濃度は、TVOCでは折戸Aの約半分、トルエンでは約4割であった。

収納起因のTVOCが、実験室の内装材へ吸着する傾向がある。

折戸閉鎖の室内濃度は、収納内濃度の約9割であった。

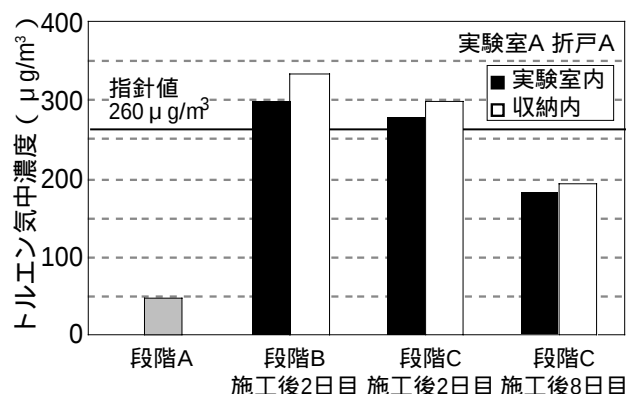


図-11 実験室Aの折戸A閉鎖での施工段階別トルエン気中濃度
Toluene Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door A Close in Laboratory A

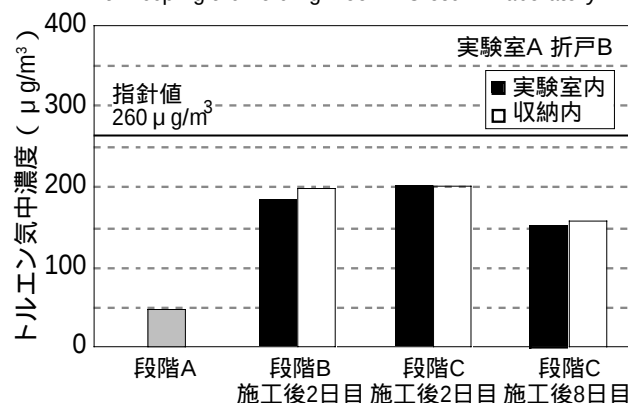


図-12 実験室Aの折戸B閉鎖での施工段階別トルエン気中濃度
Toluene Concentration of each Execution Stage with keeping the Folding Door B Close in Laboratory A

参考文献

- 1) 村上周三他：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27）小型チャンパーADPAC内の物質放散性状に関するCFD解析，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.811-812，2001.9
- 2) 田辺新一他：小型チャンパーADPACを用いたアルデヒド類、VOC放散量の測定に関する研究 その3 小型チャンパーADPAC内の物質伝達率に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.819-820，2001.9
- 3) 梅田和彦他：モデル実験室における化学汚染濃度の検討（その1）実験室概要と換気効果，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.859-860，2001.9
- 4) 荒川琢也他：モデル実験室における化学汚染濃度の検討（その2）施工段階毎のホルムアルデヒド濃度，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.861-862，2001.9
- 5) 市原真希他：モデル実験室における化学汚染濃度の検討（その3）施工段階毎のVOC濃度，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.863-864，2001.9
- 6) 梅田和彦他：住宅用モデル実験室における室内化学汚染濃度の検討 ホルムアルデヒドと総揮発性有機化合物の施工段階濃度と換気効果，第34号大成建設技術センター報，2001.11
- 7) 市原英樹他：フローリングより発生するHCHOとVOCの濃度およびその減衰の研究その1 各種フローリングの比較 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2環境工学 pp.837-838，2000.9