

## 「第20回日本臨床環境医学会学術集会特集」

## 原 著 奨励賞受賞発表論文

## 室内化学物質を低減した居室ユニットの設計・開発

花 里 真 道<sup>1, 2)</sup> 戸 高 恵美子<sup>2, 3)</sup> 中 岡 宏 子<sup>2, 3)</sup>  
 瀬 戸 博<sup>4)</sup> ケミレスタウンプロジェクト・コンソーシアム<sup>\*</sup>  
 森 千 里<sup>2, 3, 5)</sup>

- 1) 千葉大学大学院工学研究科
- 2) 千葉大学予防医学センター
- 3) 千葉大学大学院医学研究院環境生命医学
- 4) 財団法人東京顕微鏡院
- 5) 千葉大学環境健康フィールド科学センター
- \* ) 株式会社イトーキ、鬼怒川ゴム工業株式会社、クリナップ株式会社、京葉ガス株式会社、積水ハウス株式会社、株式会社高千穂、株式会社東急ホームズ、東京ガス株式会社、三井不動産株式会社、三井不動産レジデンシャル株式会社、リリカラ株式会社、ロンシール工業株式会社、YKK AP株式会社

## Designing and developing a laboratory room unit with low volatile organic compounds

Masamichi Hanazato<sup>1, 2)</sup> Emiko Todaka<sup>2, 3)</sup> Hiroko Nakaoka<sup>2, 3)</sup>  
 Hiroshi Seto<sup>4)</sup> Chemiless Town Project Consortium<sup>\*</sup>  
 Chisato Mori<sup>2, 3, 5)</sup>

- 1) Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Chiba University
- 2) Center for Preventive Medical Science, Chiba University
- 3) Department of Bioenvironmental Medicine, Graduate School of Medicine, Chiba University
- 4) Tokyo Kenbikyoin Foundation
- 5) Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University
- \* ) Itoki Corporation, Kinugawa Rubber Industrial Co., Ltd., Cleanup Corporation, Keiyo Gas Co., Ltd., Sekisui House, Ltd., Takachiho Corporation, Tokyu Homes Corporation, Tokyo Gas Co., Ltd., Mitsui Fudosan Co., Ltd., Mitsui Fudosan Residential Co., Ltd., Lilycolor Co., Ltd., Lonseal Corporation, YKK AP Inc.

受付：平成24年1月23日 採用：平成24年1月25日

別刷請求宛先：森 千里

〒260-8670 千葉市中央区亥鼻1-8-1 千葉大学大学院医学研究院環境生命医学

Received: January 23, 2012 Accepted: January 25, 2012

Reprint Requests to Chisato Mori, Department of Bioenvironmental Medicine, Graduate School of Medicine, Chiba University, 1-8-1 Inohana, Chuo-ku, Chiba 260-8670, Japan

## 要約

揮発性有機化合物 (VOC) を主な原因とするシックハウス症候群などの健康障害を予防するため、室内化学物質濃度を抑えた空間が求められている。本研究の目的は、具体的な居室を想定した内装をもつ「居室ユニット」を建設し、季節ごとの室内濃度測定をおこない、VOC を抑えた居室を計画、実現するための手法や知見を得ることである。千葉大学敷地内に、平屋建てプレハブ建物を3棟建設し、内部に各々異なる内装を施した居室ユニットを製作、アルデヒド類16物質を含む計81物質について室内化学物質濃度を測定した。2008年12月から2011年11月の約3年間で6種類の居室ユニットを開発した結果、最も濃度の高いユニットで、総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度が $262.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。6種の居室ユニットいずれも厚生労働省によるTVOCの暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回り、低VOCの居室ユニットの製作が実現できた。(臨床環境20:100~107, 2011)

---

《キーワード》室内空気質、揮発性有機化合物、シックハウス症候群、建築設計、工事監理

---

## Abstract

Sick Building Syndrome (SBS) is a series of symptoms such as eye irritation, running nose and headaches in remodeled houses or buildings. Volatile organic compounds (VOCs) are suspected to be one of the major causes of SBS. The Ministry of Health, Labor and Welfare of Japan (MHLW) has set guideline values for 13 VOCs and the interim target total value of VOCs (TVOC) is 400 micrograms/ $\text{m}^3$ . However, other chemicals which are not regulated have recently been used in the construction of houses and buildings, which result in the occurrence of SBS and in many cases, the chemicals responsible are not identified. It is necessary to design and develop buildings and rooms with low VOCs to prevent SBS. In Chemiless Town, a model town in a campus of Chiba University, 3 laboratory prefabricated room units were set, and 6 types of different rooms that differed in interior materials were studied in regards to indoor air quality. Eighty-one VOCs in the air of the laboratory units were analyzed and calculated 12 times from December 2008 to November 2011. The results showed that the highest TVOC in the unit was 262micrograms/ $\text{m}^3$ . It became clear that by choosing materials and using them carefully it was possible to lower the TVOCs. It is also possible to apply the results of this research in the actual construction of houses and buildings to prevent the increase of SBS patients.

(Jpn. J. Clin. Ecol. 20:100~107, 2011)

---

《Key words》 indoor air quality, volatile organic compounds (VOCs), sick house syndrome, architectural design, supervision of construction

---

## I. 緒言

建物室内に使用される建材や家具などから発生する揮発性有機化合物 (VOC) が原因で体調不良を引き起こすシックハウス症候群が社会問題となり<sup>1,2)</sup>、厚生労働省による指針値および総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度の暫定目標値設定<sup>3)</sup>や国土交通省による建築基準法の一部改正など<sup>4)</sup>、様々な対策が実施されてきた。しかし、指針値が設定された物質は13物質にとどまり、近年の新築住宅では未規制の化学物質が高濃度に検出される傾向があるとの報告<sup>5)</sup>もある。揮発性有機化合物

(VOC) を主な原因とするシックハウス症候群などの健康障害を予防するため、VOC を抑えた室空間が求められている。

そこで、我々は千葉大学環境健康フィールド科学センター (千葉県柏市) の敷地に、戸建住宅や鉄筋コンクリート造の実験棟を建設し、VOC を抑えた室空間を計画、実現するための産学共同研究事業「ケミレスタウン・プロジェクト」を進めてきた<sup>6,7)</sup>。本研究はそのプロジェクトの一部として実施されたものである。

本研究の目的は、上記の背景をふまえ具体的な

居室を想定した内装をもつ室を「居室ユニット」とし、材料選定、工事監理、室内濃度測定の一連の流れ（図1）において、VOC濃度の放散を抑えた居室を計画、実現するための手法やそのために有用な知見を得ることである。

## II. 研究方法

### 1. 研究対象

#### 1) 居室ユニットの種類（表1、表2）

本研究では、千葉大学環境健康フィールド科学センター内に床面積17.8m<sup>2</sup>の平屋建てプレハブ建物を3棟建設し（以下、A棟、B棟、C棟）、内部に各々異なる内装を施した居室ユニットを製作、測定対象室とした（図2）。

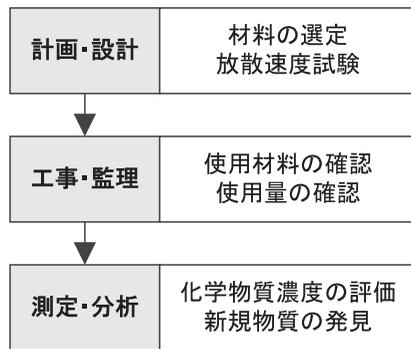


図1 計画・設計、工事・監理を含んだ本研究のフロー

表2に示すように、各ユニットにおいて期ごとに12回の測定を行い、それぞれ測定①から測定⑫とした。居室ユニットを施工する前（内装未着手）の期間は0期とし、測定は2008年12月から2009年3月まで測定①から⑤とした。その後、1期居室ユニットとしてダイニング・キッチン（A棟）、寮個室1（B棟）、リビング1（C棟）を製作した。測定は2009年3月から2010年9月まで測定⑥から⑨とした。2期居室ユニットとして寮個室2（A棟）、寮個室3（B棟）、リビング2（C棟）を製作し、2010年10月から2011年10月まで測定⑩から⑫とした。ユニットの種類は1期と2期で計6種類である。

#### 2) プレハブ建物の仕様

ユニットの躯体となるプレハブ建物の仕様は次のとおりである。構造は鉄骨造、屋根は鋼製折板（0.8mm厚）、床は耐水合板（12mm厚）、壁は内側がカラー鋼板（0.27mm厚）、スチレンフォーム断熱材（25mm厚）、外側がカラー鋼板（0.27mm厚）からなる複合パネル、天井は内側が発泡ウレタン断熱材のうえ化粧合板（4mm厚）張りであり、床、壁は油性塗料にて仕上げられている。また、出入り口として、幅740mm、高さ1,869mmのアルミ片開き戸が1箇所あり、採光・換気窓として、幅1,676mm、高さ980mmのアルミ引き違い窓を2箇所備えている。室内の床面積は17.8m<sup>2</sup>であり、天井高さは2,340mmである。

表1 居室ユニットの内装仕上げ一覧

	1 期			2 期		
	A 棟	B 棟	C 棟	A 棟	B 棟	C 棟
室名	ダイニング・キッチン	寮個室1	リビング1	寮個室2	寮個室3	リビング2
床	MDF フローリング A	長尺塩 ビシート A	MDF フローリング B	長尺塩 ビシート B	長尺塩 ビシート A	MDF フローリング B
壁	塩ビクロス	オレフィンクロス	珪藻土パネル	塩ビクロス	オレフィンクロス	左官壁
天井	塩ビクロス	オレフィンクロス	珪藻土パネル	塩ビクロス	オレフィンクロス	珪藻土パネル
家具	キッチン A テーブル A	寮家具 A	テーブル B クッション	寮家具 A キッチン B	寮家具 B	テーブル B クッション

表2 全測定のTVOC濃度と室温

		A 棟		B 棟		C 棟		外気	
		TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	室温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	室温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	室温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )
0期 設置日	2008/12/12	—	—	—	—	—	—	—	—
測定①	2008/12/16	344.9	7.9	—	—	—	—	3.0	7.8
測定②	2008/12/24	399.8	7.9	—	—	—	—	19.6	7.4
測定③	2009/01/04	—	—	158.7	4.4	60.0	4.4	—	—
測定④	2009/01/20	—	—	125.2	5.1	—	—	17.8	8.3
測定⑤	2009/03/03	43.8	3.7	35.8	3.7	10.4	3.7	2.3	2.5
1期 竣工日	2009/03/23	—	—	—	—	—	—	—	—
測定⑥	2009/03/25	262.3	7.6	39.4	7.5	114.6	7.8	ND	6.6
測定⑦	2009/07/16	106.6	30.1	140.0	29.7	43.6	29.8	4.7	26.0
測定⑧	2009/10/06	72.8	19.9	98.2	19.2	78.1	19.4	41.8	17.6
撤去完了日	2010/08/27	—	—	—	—	—	—	—	—
測定⑨	2010/09/21	402.0	30.9	180.9	31.3	279.5	32.2	68.1	28.5
2期 竣工日	2010/10/01	—	—	—	—	—	—	—	—
測定⑩	2010/10/05	125.2	23.3	76.0	24.1	41.7	23.2	15.7	21.0
測定⑪	2011/05/25	105.5	21.5	55.5	20.0	36.5	21.6	19.0	18.5
測定⑫	2011/10/05	51.7	19.3	55.7	19.4	39.7	19.9	19.5	19.0

ND:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満

図2 キャンパス内に設置した3棟の居室ユニット

この室内に、下地工事および内装工事を実施した。

### 3) 居室ユニットの下地・内装

床下地として、接着剤や表面材の選定に配慮してVOCの放散を抑えたパーティクルボードをプレハブ建物の既存床である耐水合板の上にビス止め固定した。壁および天井は、プレハブ内壁の内側に軽量鉄骨下地を設置し、普通石膏ボードをビス留めにて固定、目地をパテ処理した。

各居室ユニットの内装仕上げおよび家具は表1の内容とした。1期の実験の後、内装を撤去し、その後、2期の内装工事を実施した。電気工事として内装にあわせた照明器具、空気測定用の電源を設置した。換気設備は各室ともに第1種換気を想定し、給気、排気ともに換気扇を設置した。換気扇を一部アルミホイールにて塞ぎ換気量を調整した。その後、空調・衛生工学会による二酸化炭素濃度減衰法により、換気回数を測定した結果、A棟は0.73回/h、B棟は0.77回/h、C棟は1.40回/hであった。

## 2. 測定方法

### 1) 室内化学物質濃度測定

試験方法は、厚生労働省が定める標準的測定方法<sup>8)</sup>による。空気採取に先立ち、30分間窓を開け換気した後、5時間、窓やドアなどの開口部をすべて閉鎖した。24時間換気装置は稼働状態とした。各々のユニットにあわせた家具などの什器は搬入済みの状態とした。VOCの捕集管は、Carbotrap317 (Sigma-Aldrich製) とし、流量10 ml/min で24時間のアクティブサンプリングと



図3 24時間アクティブサンプリングによる  
空気採取

した。捕集管として一般的に使用される TenaxTA ではなく、Carbotrap317を採用した理由は C6以前の炭素数の少ない VOC も対象とするためである。アルデヒド類の捕集管は、LpDNPH S10L (Sigma-Aldrich 製) とし、流量100ml/min で VOC と同じく24時間のアクティブサンプリングとした (図3)。同定・定量分析方法は、VOC は加熱脱着ーガスクロマトグラフ質量分析法 (GC/MS)、アルデヒド類は溶媒抽出ー高速液体クロマトグラフ法 (HPLC) とし、財団法人東京顕微鏡院に依頼した。同定・定量対象物質はアルデヒド類16物質を含む計81物質である。以下、81物質の合算値を総揮発性有機化合物 (TVOC) とし、トルエン換算 TVOC 値とは区別する。なお、すべての室内測定時に外気濃度についても測定した。

#### 2) 放散速度試験

放散速度試験は JIS A 1901小形チャンバー法により実施した。チャンバー内は温度28℃、湿度50%、換気回数0.5回/時間とし、チャンバー投入1日後の空気を吸引速度167ml/min で採取した。吸引時間は VOC については30分、アルデヒドについては60-180分とした。捕集管および分析方法は、前述の室内化学物質測定法と同様とした。

### Ⅲ. 結果と考察

表2に全測定の TVOC 濃度と室温を示した。

2期工事のために内装を撤去した後 (内装未着手) の測定⑨のA棟が402.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  と、厚生労働省による暫定目標値400.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超過したが、他の測定では400.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超過することなく、概ね低濃度の居室を製作することができた。

#### 1. 居室ユニット0期 (内装未着手)

居室ユニット施工前の測定①にて、TVOC が344.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  検出された。主にはトルエンが68.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼンが62.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m,p-キシレンが36.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。使用したプレハブは、出荷時に清掃および油性塗料による再塗装が施されていたため、発生源はこれらの塗料によるものと考えられる。これらの化学物質による影響を抑えるため、躯体を樹脂フィルムで覆う VOC 遮蔽実験と、ベイクアウトによる VOC 低減実験を実施した。

##### 1) 樹脂フィルムによる VOC 遮蔽実験

樹脂フィルムによる遮蔽実験はA棟にて EVOH (エチレンビニルアルコール) 樹脂層と帯電防止塩化ビニル層、水酸化アルミニウム層の三層からなる樹脂フィルム壁紙 (0.26mm 厚) を選定した。これはクリーンルーム向け壁紙として開発された市販品である。B棟では、EVOH 樹脂層をオレフィン樹脂層で挟んだ、透明のガスバリアシート (0.15mm 厚) を選定した。これは食品包装材や容器、ガソリントank、建築部材向けの市販品である。A棟の樹脂フィルム壁紙、B棟のガスバリアシート、ともに EVOH 樹脂がガスバリア性をもつ。施工はA棟、B棟、ともに、長尺材を石膏ボード下地にタッカー留めし、タッカー部分、建具やシート同士の重なり部分などアルミテープで隙間のないように一体的に接合した。天井および床についても同様に施工した。

結果、A棟では樹脂フィルム壁紙の施工前の測定①で TVOC が344.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、施工後の測定②では399.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  に上昇し、遮蔽効果は認められなかった。濃度上昇の要因としては、樹脂フィルム壁紙そのものから VOC が揮発した、あるいは壁紙の接合に使用したアルミテープから VOC が揮発した、などが考えられる。B棟では、ガスバリアシートの施工前の測定③で TVOC が158.7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、施工後の測定④では $125.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ に低下した。 $33.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度低下が認められた。

## 2) ベイクアウトによる VOC 低減実験

樹脂フィルムによる十分な遮蔽効果が得られなかったため、ベイクアウト<sup>9)</sup>を実施した。ベイクアウトとは、一定期間、室温を一時的に上昇させることで、発生源からの VOC の揮発を促進させ、平常時の VOC 発生を緩和する手法である。暖房には室内空気の再汚染を防止するため、3層200Vの電気式ヒーターを使用し、室温が約40度となるよう加熱した。スケジュールは、加熱2時間の後、すべての開口部を開放した30分換気の計2時間30分を1セットとし、1日に3セット、計8日間実施した。

結果、ベイクアウトの前後、測定②から⑤を比較すると、TVOCがA棟で $399.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $43.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $125.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $35.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $60.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $10.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり各々、濃度が低下した。物質ごとには、A棟のトルエンが $68.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼンが $62.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $5.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m,p-キシレンが $36.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ から $5.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ と濃度が低下した。

## 2. 居室ユニット1期

### 1) 工事監理

1期居室ユニットの施工を実施した(図4)。長尺塩ビシートの施工時に、接着剤の使用量が職人により任意に決められていた。ヒアリングより、



図4 1期A棟(ダイニング・キッチン)の室内写真

一般的には施工性を高めるために塗布量を多めにするというコメントが得られたので、その場でメーカーによる標準使用量の徹底を指示した。また、石膏ボードの目地埋めに使用したパテの硬化を促進する材料として、パテ専用硬化促進剤を使用しようとした場面も見られたので、仕上げ表などの設計図書に記載のない材料の使用は禁止した。

### 2) TVOC・VOCの結果

施工直後の2009年3月の測定⑥において、A棟のTVOCは $262.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $39.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $114.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。A棟とC棟のTVOCの多くを占めた化合物はエタノールであり、A棟から $184.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟から $89.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。A棟とC棟に共通する内装材料は床材MDFフローリングであり、施工は一成分形変成シリコン系接着剤とフロアビスによる。この内装用接着剤について放散速度試験を実施し、エタノールについて $564.5\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ の放散量を確認していたため、発生源はこの接着剤と考えられた。材料選定の際、竣工直後にはエタノールが高濃度になる推定をしていたが、揮発性が強いと数ヶ月後には十分に濃度が低下するという見解で選定した。

竣工4ヶ月後の測定⑦では、夏季の高温の状態にもかかわらず、A棟のTVOCは $106.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟は $140.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟は $43.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、A棟、C棟ともにTVOC低下がみられた。B棟の濃度上昇の要因は家具によるアルデヒド類にあり後述する。エタノール濃度は、A棟で $7.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で定量下限値以下であり、推定どおり、4ヶ月の間に充分揮発が進んだ結果となった。

竣工7ヶ月後の測定⑧ではA棟のTVOCは $72.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $98.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $78.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、A棟、B棟において更なるTVOC低下がみられたが、C棟については $34.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度増加がみられた。測定⑦と測定⑧を比較すると、外気のTVOCが測定⑦は $4.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、測定⑧は $41.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。測定⑧の外気でトルエンが $17.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、酢酸エチルが $10.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出され、そのほか、エチルベンゼンやキシレンなども検出された。A棟やB棟は、これら外気の

VOCの影響に比べ室内濃度の低下の割合がおおく、濃度が低下したが、C棟においては、外気濃度の影響が大きく濃度が上昇する結果となった。

### 3) アルデヒド類の結果

測定⑥では、 $2.8\sim 5.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったホルムアルデヒドやアセトアルデヒド濃度が、測定⑦において増加した。測定⑦で、ホルムアルデヒドがA棟で $24.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $52.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $11.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドがA棟で $26.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $20.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $11.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。A棟では、キッチンの上部吊り戸棚の荷重を支えるための下地として木毛セメント板を使用している。事前に実施した木毛セメント板の放散速度試験では、アセトアルデヒドが $570.8\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 検出されたため、A棟のアルデヒド類の主な発生源は木毛セメント板であると考えられる。B棟においてアルデヒド類がやや高濃度で検出された要因として、家具が疑われた。測定⑥は家具が未搬入で、測定⑦から家具が搬入されている状態であり、測定⑦よりアルデヒド類濃度が上昇していることによる。B棟に設置したベッド、机、クローゼットなどの家具の芯材に使用されているパーティクルボードについての放散速度試験では、様々な物質が検出されたが、ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドも検出された。なお、測定⑦のアルデヒド類の上昇は室内の温度湿度上昇によるホルムアルデヒド濃度の上昇<sup>10)</sup>が関係していると考えられる。

## 3. 居室ユニット2期

### 1) 内装撤去後の測定

2期居室ユニットの施工に先立ち、A棟では床、壁、天井を撤去し、C棟では壁を撤去した後の測定⑨では、A棟のTVOCは $402.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $180.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $279.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。A棟とC棟で濃度が大きく上昇し、トルエンがA棟から $59.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟から $35.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼンがA棟から $69.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟から $35.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m,p-キシレンがA棟から $39.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟から $20.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。これらの物質は、居室ユニット施工前の測定①から④の間において検出された物質と同じであることから、発生

源は内装撤去後、室内に面する壁となったプレハブ建物の壁面と推察された。

### 2) TVOC・VOCの結果

2期居室ユニットの施工を実施した(図5)。施工直後の2010年10月の測定⑩において、A棟のTVOCは $125.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $76.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $41.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。7ヶ月後の測定⑪ではA棟で $105.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $55.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $36.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1年後の測定⑫ではA棟で $51.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で $55.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で $39.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低下した。

測定⑩において、TVOCは $125.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、トルエン換算によるTVOCは $315.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ とやや高濃度であった。測定対象以外の物質の揮発が疑われたため、同定をおこなったところ、シクロペンタンがトルエン換算値で $185.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。第2期のA棟のみ、室温の上昇を抑えるため硬質ウレタンフォーム断熱材を工事していた。この断熱材に使用されたウレタンフォームは、ノンフロン化を目的としたシクロペンタン発泡<sup>11)</sup>により製造されたものと推察した。なお、硬質ウレタンフォーム断熱材の商品安全データシートからは、シクロペンタンの発生の推定は困難であった。約1年間、各測定での室温は $20^\circ\text{C}$ 前後であったが、厚生労働省の暫定目標値 $400.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることなく、概ね低濃度の居室が実現できた。

### 3) アルデヒド類の結果

測定⑩において、ホルムアルデヒドがA棟で



図5 2期B棟(寮個室3)の室内写真

11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で8.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドがA棟で11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B棟で6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C棟で5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。B棟には、1期でこれらの物質の発生源として疑われた寮家具の改良品を設置している。1期の室内ホルムアルデヒド濃度52.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、一定の改良の効果がみられた。

#### IV. 結論

6種の居室ユニットいずれも厚生労働省によるTVOCの暫定目標値400.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回り、低VOCの居室ユニットの製作が実現できた。また、以下の知見が得られた。

- ① プレハブ建物から、トルエン、エチルベンゼン、m,p-キシレンなどが検出された。一般的な鉄骨造のプレハブ建物において、塗料由来のVOCには注意が必要である。
- ② 床、壁、天井からのVOCを樹脂フィルムにより遮蔽することは難しく、ベイクアウトにより一定の低減は期待できるが、熱による建材の損傷には注意が必要である。
- ③ 内装用接着剤に含まれるエタノールがやや高濃度で検出された。4ヶ月後には十分な濃度低下がみられたが、竣工直後には十分な注意が必要である。
- ④ 内装下地部分に設置されている断熱材由来と考えられるシクロペンタンが、室内空気中で検出されたことから、下地や躯体から発生するVOCが内装下地を通過して、室内空気に影響を与える可能性が示唆された。
- ⑤ 工事監理時、接着剤などについて標準使用量の徹底と、施工性の高めるために使用される施工補助材の確認が重要と考えられる。これらの量や使用の有無は、現場の職人の裁量に

委ねられていることが多く、適切な施工監理が求められる。

以上、材料選定、工事監理、室内濃度測定の一連の実験を通じて、VOCを抑えた居室の計画に有用な手法および知見を得ることができた。

#### 文献

- 1) 石川哲、坂部貢：シックハウス症候群、化学物質過敏症最近の知見. 空気清浄 44: 222-229, 2006
- 2) 吉野博、石川哲：シックハウス症候群を防ぐには—長期に亘る実態調査をふまえて. 東北大学出版会, 2011
- 3) 厚生労働省：室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法等について. 2002
- 4) 国土交通省：建築基準法, 2002
- 5) 大貫文、他：新築住宅における高濃度化学物質の傾向. 東京都健康安全研究センター研究年報 第60号: 245-251, 2009
- 6) 森千里、他：“ケミレス”環境医学—化学物質を削減した社会づくり. 医学のあゆみ, 2009
- 7) Mori, C. Todaka, E.: Establishment of sustainable health science for future generations: from a hundred years ago to a hundred years in the future. Environ Health Prev. Med., 14: 1-6, 2009
- 8) 厚生労働省：室内空气中化学物質の測定マニュアル. シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書—第6回及び第7回のまとめ（別添3）、2001
- 9) 野田耕右、石原修：ベイクアウトによる建材に含まれる化学物質の低減効果について. 日本建築学会計画系論文集 564: 49-54, 2003
- 10) 井上明生：ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策. 木材工業 52: 9-14, 1997
- 11) ウレタン用発泡剤 HCFC-141b の規制とフォーム業界対応. CMC Research. (<http://www.cmcre.com/jyouhoufile/kz200508-report.htm>, 2012.1.17.)