

## 「第20回日本臨床環境医学会学術集会特集」

原 著

## 室内化学物質を低減したオフィスの改装設計と濃度測定

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 an office with low volatile organic compounds (VOCs) and the analysis of VOCs in its air

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27日 採用：平成24年1月30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 27, 2012 Accepted: January 30, 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、VOC 濃度を抑えたオフィスが求められている。本研究では、VOC 濃度を抑えたオフィス改装計画に有用な手法や知見を得ることを目的として、既設の鋼製 OA フロアの上に、接着剤を用いないタイルカーペット、鋼製間仕切り、ロックウール吸音板天井、低 VOC オフィス家具を新設し、一部の壁面を塗装、改装工事前のタイルカーペット用接着剤を除去し、約 1 ヶ月の養生を経て供用開始としたオフィスの改装において、室内化学物質濃度を調査した。結果、工事完了直後で総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度は  $274.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、供用開始直前の測定では  $62.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と、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 のオフィスを実現した。(臨床環境20: 108~114, 2011)

《キーワード》 室内空気質、揮発性有機化合物、事務所、建築設計、改修・改装

## Abstract

To solve the problem of Sick Building Syndrome (SBS) in office environments, we renovated an office on the university campus in an effort to reduce the volatile organic compounds (VOCs) in the air of the office. The renovation of the office was conducted as follows: The PVC backing tile carpets on the floor were replaced by non-PVC carpets, the ceiling was fitted with sound absorbing dressed rockwool board and the partition walls were made from steel boards. Furthermore, furniture that emitted very little VOCs was chosen for the room. Office air samples were collected and the chemicals in the samples were analyzed and calculated before and after the carpet and office furniture were set. The total VOCs, the accumulation of the values of 81 chemicals was  $274.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  before the carpet and furniture were set and  $62.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  after the carpet and furniture were set. By choosing the interior materials carefully, it is possible to reduce the VOCs level, which will eventually reduce the number of SBS patients. (Jpn. J. Clin. Ecol. 20: 108~114, 2011)

《Key words》 indoor air quality, volatile organic compounds (VOCs), office building, architectural design, renovation

## 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や総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度の暫定目標値の設定<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。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 濃度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、シッ

クハウス症候群を予防する居室を計画、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>。このプロジェクトは、学校教室や事務室など、住宅以外の空間においても化学物質を低減する方法を研究している。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。

日本のオフィスについて「建築物の衛生的環境の確保に関する法律」により換気量が確保されているため、シックビル症候群として欧米ほどの問題となっていないという指摘<sup>8)</sup>がある。一方、我々は OA フロア支持脚用接着剤由来のイソドデカンによるシックハウス症候群の発症について報告<sup>9)</sup>し、酒井らは、鉄筋コンクリート造による事務所ビルの床下構造に由来する2-エチル-1-ヘキサノールによるシックビル症候群について報

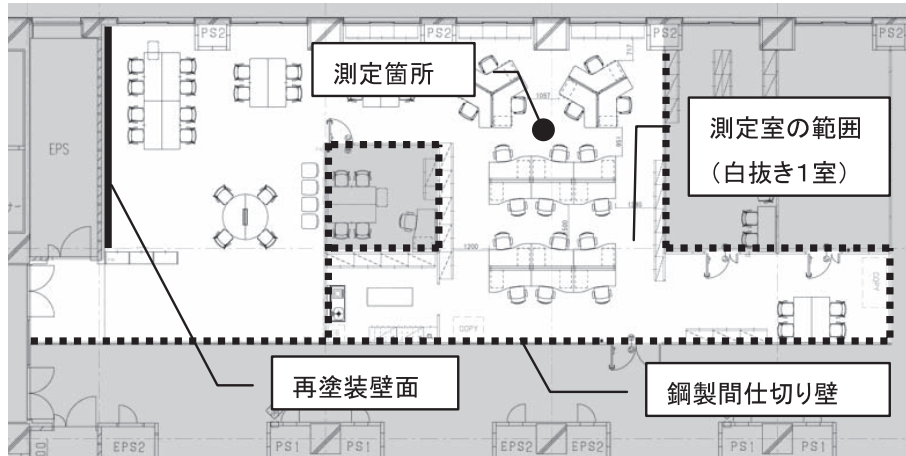


図1 改装オフィス平面図

告<sup>10,11)</sup>するなど、オフィスの室内VOCによる健康被害は発生しており、室内VOC濃度を抑えた試みが求められている。また、近年の急激な国際経済の変化やIT分野の急成長、持続可能性にもとづく優良建築ストックの再利用、東日本大震災をうけての耐震・防災改修など、オフィスの新設、移転、リニューアルに伴う改修・改装工事は今後、ますます増加することが予測される。このような背景を踏まえ、本研究では、オフィスの改装時に、材料選定、工事監理、濃度測定からなる一連の調査を実施し、VOC濃度を抑えたオフィスの実現や改装計画に有用な知見を得ることを目的とする。

## II. 研究方法

### 1. 研究対象

#### 1) 対象オフィスの概要

千葉大学内の研究棟（延べ面積8,556.30m<sup>2</sup>）の7階床面積1,175.76 m<sup>2</sup>の内、286.30m<sup>2</sup>分に図1、図2のオフィスを計画した。研究棟は平成14年3月竣工、鉄骨鉄筋コンクリート造、地上8階建てである。測定対象はオフィス内の主要な事務室（図1）であり、床面積は214.74m<sup>2</sup>、天井高は3.00m、室容積は644.22m<sup>3</sup>である。

#### 2) 改装内容

表1に改装オフィスの仕様を示す。一般的なオフィスの改装を想定し、床は既存の鋼製OAフロアのうえに、タイルカーペットを新設した。壁



図2 改装オフィス完成写真

は鋼製間仕切りを新設、天井はロックウール吸音板によるシステム天井を新設した。

表2に改装工事のスケジュールを示す。撤去工事の後、改装工事として、天井のロックウール吸音板、鋼製間仕切り壁を設置し、汚れのあった一部の壁面18.00m<sup>2</sup>（図1、再塗装壁面）について水性塗料（合成樹脂エマルジョンペイント）により塗装した。床は、既設塩ビタイルを撤去後、OAフロア上に残る塩ビタイル用接着剤を溶剤にて剥離、洗剤で拭き取る、接着剤除去工事を実施した。

天井材であるロックウール吸音板や壁材である鋼製間仕切りは、塗装の種類、方法、塗厚より室内濃度への影響が少ないと考えられた市販材料を選定した。床材であるタイルカーペットは裏面のバックング層をポリ塩化ビニルのものから、不織

布と滑り防止ゴムからなる層に変更し、接着剤を使用せず施工できるものを開発した(図3)。オフィスデスクは、スチールやアルミなどの金属製の骨組みとスチール天板や側板によるスチールデスク、或いは、金属製の骨組みにパーティクルボードやペーパーハニカムなどを芯材とし表面化粧材などを貼った天板をもつデスクに分類される。本研究では後者のパーティクルボードを芯材とした天板について VOC 低減化対策を検討した。パーティクルボードは木材などの小片を主な原料として、接着剤を用いて成形熱圧した板のことであり、ホルムアルデヒドを用いた接着剤が使用されることが一般的である。本研究のデスク天板に使用したパーティクルボードは、イソシアネート系の接着剤とすることで VOC の放散量を低減したものを選定した。また、事前に実施した放散速度試験より、表面化粧材にはメラミン化粧紙に比べ TVOC が少ないと推察されたジアリルフタレート(DAP)化粧紙を用いた。

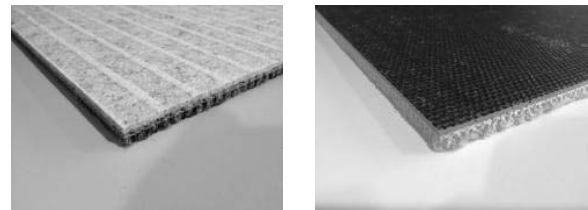
2. 測定方法

1) 室内化学物質濃度測定

アルデヒド類16種を含む計81物質を測定対象物質とした。測定のスケジュールを表2に示す。開発したタイルカーペットとオフィス家具の濃度影

響を調べるために、改装工事のあとに測定①を、床材・什器設置のあとに測定②を実施した。室内空気については図1に示す測定箇所にて採取し、外気については建物屋上で採取した。表2に示す全期間において冷暖房設備は未使用とし、全熱交換機付き換気設備は常時稼働とした。換気設備のコントローラーによる運転能力は弱とした。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、換気設備を未使用の状態では0.76回/h、換気設備を弱運転の状態では1.45回/hであった。

VOC 捕集管は TC1000 (Tenax TA 100mg+ Carboxen 1000 100mg) とし、100ml/min で、アルデヒド類捕集管は LpDNPH S10L (Sigma-Aldrich 製) とし1,000ml/min で、いずれも1時間アクティブサンプリングした。空気採取に先立ち、30分窓開け換気後、5時間以上窓、ドアなどを閉め切った。同定・定量分析は、VOC は加熱脱着-ガスクロマトグラフ質量分析法(GC/MS)、



(A) 開発した不織布バックキ  
ング層 (B) 一般的な PVC バックキ  
ング層

表1 改装オフィスの仕様

	仕 様	備考
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC 造)	
床面積	286.30m <sup>2</sup>	
天井高	3,000mm	
床下地	鋼製 OA フロア	既設
床	タイルカーペット (ナイロンパイル・不織布バックキ ング)	
壁	鋼製間仕切り壁 水性塗料による再塗装	一部
天井	ロックウール吸音板	
什器	オフィス家具 ブラインド	既設
電気設備	蛍光灯照明器具	既設
空調設備	冷暖房空調	既設
換気設備	全熱交換機付き換気設備	既設

図3 タイルカーペットの裏面

表2 改装・測定スケジュール

撤去工事	2/7~10	各種内装撤去工事
改装工事	2/18~20	天井ロックウール吸音板工事
	2/21	既存塩ビタイル用接着剤除去
	2/23~28	鋼製間仕切り設置
	2/27	一部既設壁を塗装
測定①	3/2	1時間アクティブサンプリング
床材・什器設置	3/18	タイルカーペット設置
	3/25	オフィス家具設置
測定②	4/11	1時間アクティブサンプリング
	4/14	供用開始

アルデヒド類は溶媒抽出-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。本研究では、同定、定量した物質の総和を TVOC としトルエン換算 TVOC とは区別する。トルエン換算 TVOC はヘキサンからヘキサデカンまでの保持時間に出現する未同定物質を含む VOC のトルエン換算定量値の総和とした。

## 2) 放散速度試験

開発したタイルカーペットについて JIS A 1901小形チャンバー法による放散速度試験を実施した。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、アルデヒド類については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

### 1. 室内化学物質濃度

測定①、測定②の室内及び外気で検出された物質と濃度を表3に示す。測定対象81物質のうち、検出された物質は23物質であり、これらの濃度の総和を TVOC とする。TVOC は測定①で274.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、タイルカーペットやオフィス家具を設置した約1ヶ月後の測定②で62.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と減少した。同様にトルエン換算 TVOC は測定①で364.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、測定②で68.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と減少した。測定①に特徴的な物質として、テキサノールが148.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ベンジルアルコールがトルエン換算値で220.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  検出された。本研究では TVOC を同定・定量した物質の総和としているため、測定①の TVOC 値274.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  にはトルエン換算値であるベンジルアルコール220.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  は含まれていない。一方、トルエン換算 TVOC の364.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  には含まれているため TVOC に比べ濃度が高い結果となった。測定②ではテキサノールやベンジルアルコールに減少がみられた一方、ホルムアルデヒドに濃度の上昇がみられた。また、新しくヘキサアルデヒド、ノナールなどが検出された。

表3 室内濃度測定結果 (同定・定量した全物質濃度)

	測定① (3/2)		測定② (4/11)	
	室内 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	外気 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	室内 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	外気 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
エタノール	10.0	<4.0	<4.0	<4.0
アセトン	18.1	<1.0	10.0	<1.0
2-プロパノール	4.7	<1.0	<1.0	<1.0
2-ブタノール	1.4	<1.0	<1.0	<1.0
酢酸エチル	7.0	1.7	2.1	<1.0
ヘキサン	<1.0	<1.0	3.4	1.9
クロロホルム	5.8	<1.0	2.0	<1.0
ベンゼン	2.2	2.1	1.5	<1.0
シクロヘキサン	21.8	2.3	<1.0	<1.0
メチルシクロヘキサン	17.6	<1.0	<1.0	<1.0
トルエン	9.0	3.6	4.4	1.1
エチルベンゼン	3.1	2.4	<1.0	<1.0
m,p-キシレン	1.1	<1.0	<1.0	<1.0
デカン	3.6	<1.0	<1.0	<1.0
3-カレン	1.3	<1.0	<1.0	<1.0
リモネン	4.2	<1.0	<1.0	<1.0
テキサノール	148.4	<1.0	12.0	<1.0
ホルムアルデヒド	5.1	5.5	8.3	2.3
アセトアルデヒド	6.7	6.6	3.6	6.6
シクロヘキサノン	2.9	<1.0	<1.0	<1.0
ヘキサアルデヒド	<1.0	<1.0	11.2	<1.0
ノナール	<1.0	<1.0	3.7	<1.0
TVOC	274.0	24.1	62.1	11.8
トルエン換算 TVOC	*364.6	15.3	68.4	4.0
平均温度 (°C)	20.2	10.7	23.2	18.1
平均湿度 (%)	32.3	55.9	36.3	48.6

※トルエン換算 TVOC の内、ベンジルアルコール 220.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表4 開発したタイルカーペットの放散速度試験結果

	放散速度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )
ブタノール	3.5
2-エチル-1-ヘキサノール	1.5
ホルムアルデヒド	4.3
ベンズアルデヒド	4.3
シクロヘキサノン	3.3
TVOC	17.0
トルエン換算 TVOC	41.4

## 2. 放散速度試験

開発したタイルカーペットの放散速度試験を表4に示す。測定対象81物質の内、検出された物質は5物質で、これらの合計であるTVOC放散速度は $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 、トルエン換算TVOC放散速度は $41.4 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ であった。

## IV. 考察

測定①でやや高濃度で検出されたテキサノールについて、小林らによる小学校新築校舎での発生事例の報告がある<sup>12)</sup>。テキサノールの発生源は壁面の塗装に使用された水性塗料成分とされ、商品安全データシート(MSDS)にテキサノールの記載を確認している。本工事で使用した水性塗料のMSDSにはテキサノールの記載はなかったが、混合物としての沸点範囲が $100\sim 274^\circ\text{C}$ と記載されており、テキサノールの沸点は $255\sim 260^\circ\text{C}$ であるため、範囲内であった。水性塗料についての放散速度試験は未実施であるが、他に使用された建材はロックウール吸音板や鋼製間仕切りであることなどを踏まえ、テキサノールの発生源は水性塗料と推定した。

テキサノールは測定①の $148.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から測定②で $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に濃度が低下し、約1ヶ月の養生期間で濃度が約1/10となった。今回の実験における塗装壁面は $18.00\text{m}^2$ と事務室の壁面のうち一部であり、塗装壁面の大きさによっては1ヶ月後においても高濃度になる可能性が示唆された。塗装後の十分な養生期間とベイクアウト等の濃度低減の手法により、供用開始時の室内濃度を低下させる試みが重要であると考えられた。

ベンジルアルコールは一般的に、塗料などの溶剤、化粧品などの香料や殺菌成分として用いられている。室内空気中のVOC濃度測定における他の報告は確認できなかったため建材以外の発生源が疑われた。測定①に特徴的な状況としては、測定前に実施した既存塩ビタイル用接着剤除去工事が挙げられ、その溶剤や洗剤の一部が残り発生源となったと推察した。溶剤・洗剤のMSDSにはベンジルアルコールの記載は無かったが、溶剤のMSDSにはd-リモネンが35~50%含有されてい

るとの表示があった。測定①においてリモネンが $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出され、溶剤・洗剤の一部が室内空気中に含まれていたことが確認できたため、ベンジルアルコールについても同様に、溶剤・洗剤の一部が発生源になったと考えた。

ベンジルアルコールは測定②で濃度が低下した。ベンジルアルコールはアルコールの一種であるため揮発が早い。そのため揮発が十分に進んだか、設置したタイルカーペットが蓋の役割を果たし、溶剤・洗剤の一部が室内空気中に放散しなくなったなどの要因が推察された。

本研究において、溶剤と洗剤を使用した既存の床用接着剤除去を試みた。接着剤除去直後はこれらの材料による室内化学物質の濃度の増加はみられたものの、1ヶ月後の室内濃度は低下し、接着剤除去の有用性について知見が得られた。改修・改装工事にあたっては、既存する材料についての、メーカー名や品番などの材料情報や材齢などを把握することは困難であり、それらの室内濃度影響を推察することは難しい。本研究のように、発生するVOCとその濃度の程度をあらかじめ予測できる清掃法の知見を集積していくことも、室内化学物質濃度を抑えた改修・改装工事を実施する点で、重要な視点といえよう。

測定②で濃度が増加したホルムアルデヒドや、新しく検出されたヘキサアルデヒドやノナノールの発生源として、測定①の後設置されたタイルカーペットやオフィス家具が疑われた。事前に実施したタイルカーペットの放散速度試験では、ホルムアルデヒドが $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 検出された。この放散速度値と材料の使用表面積( $214.74\text{m}^2$ )と実測した換気回数(1.45回/h)、室内空気の体積( $644.22\text{m}^3$ )をもとに、室内ホルムアルデヒド濃度増加値を算出したところ、 $0.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。測定②で検出されたホルムアルデヒドは $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、タイルカーペットの影響は少なく、オフィス家具による濃度増が多くを占めると考えられた。また、放散速度試験では、ヘキサアルデヒドやノナノールは検出されなかったため、これらの物質の発生源についてもオフィス家具による可能性が高いと推察された。しかし、オフィ

ス家具搬入後の TVOC 濃度は  $62.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と暫定目標値  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を十分に下回る濃度であり、本研究で選定したオフィス家具は、化学物質を抑えたオフィスを実現するうえで有効であることが確認された。

## V. まとめ

本研究では、既設の鋼製 OA フロアの上に、接着剤を用いないタイルカーペット、鋼製間仕切り、ロックウール吸音板天井、低 VOC オフィス家具を新設し、一部の壁面を塗装、改装工事前のタイルカーペット用接着剤を除去したオフィス改装において、室内化学物質濃度を調査した。結果、工事完了後、テキサノールやベンジルアルコールがやや高濃度で検出されたが、TVOC の暫定目標値  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を下回り、約 1 ヶ月後の供用開始時点では十分に濃度が減少することが確かめられた。また、接着剤未使用タイルカーペットや低 VOC オフィス家具など、室内の VOC 濃度を抑える手法を開発するとともに、オフィス改装に伴う清掃や再塗装工事による、VOC の室内濃度影響の基礎的知見が得られた。

## 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一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) 鍵直樹、他：パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討。日本建築学会環境系論文集 Vol.74 No.638: 501-506、2009
- 9) 戸高恵美子、他：OA フロア—支持脚用接着剤由来のイソドデカンによるシックハウス症候群発症について。平成22年度室内環境学会学術大会講演要旨集、168-169、2010
- 10) Kamijima M, et al.: 2-Ethyl-1-hexanol in Indoor Air as a Possible cause of Sick Building Symptoms. Journal of Occupational Health, 44: 186-191, 2002
- 11) Sakai K, et al.: Annual transition and seasonal variation of indoor air pollution levels of 2-ethyl-1-hexanol in large-scale buildings in Nagoya, Japan. Journal of environmental monitoring, 11: 2068-2076, 2009
- 12) 小林智、他：水性塗料成分1-メチル-2-ピロリドン及びテキサノールによる新築小学校の室内空気汚染。室内環境 13: 39-54, 2010