

2007 380 20A

厚生労働科学研究費補助金

地域健康危機管理研究事業

# シックハウス症候群の実態解明及び具体的対応方策 に関する研究

平成19年度 総括・分担研究報告書

## 主任研究者

北海道大学大学院医学研究科予防医学講座公衆衛生学分野

岸 玲子

## 分担研究者

福島学院大学福祉学部

田中 正敏

福岡県保健環境研究所

吉村 健清

大阪大学大学院医学系研究科社会環境医学講座環境医学

森本 兼曩

愛知医科大学医学部衛生学講座

柴田 英治

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科公衆衛生学分野

瀧川 智子

東邦大学医学部社会医学講座医療政策・経営科学分野

長谷川友紀

旭川医科大学医学部健康科学講座

西條 泰明

中央労働災害防止協会大阪労働衛生総合センター

河合 俊夫

東京労災病院産業中毒センター

圓藤 陽子

東京都健康安全研究センター環境保健部環境衛生研究科

斎藤 育江

平成20（2008）年3月

# 目 次

I. はじめに	1
II. 総括研究報告書	
シックハウス症候群の実態解明及び具体的対応方策に関する研究（岸 玲子ほか）	2
III. 分担研究報告書	
1. 一般戸建住宅を対象とした全国規模のシックハウス症候群に関する疫学調査研究	
1) 微生物由来VOC (Microbial VOC) とシックハウス症候群に関する全国調査研究 (岸 玲子ほか)	11
2) 寒冷地住宅の特徴とシックハウス症候群に関する調査 —北海道地区と本州・北九州地区との比較から— (岸 玲子ほか)	28
3) 西日本地区（北九州、岡山、大阪）における有機リンとシックハウス症候群に 関する調査研究（森本 兼曩、吉村 健清、瀧川 智子ほか）	43
4) 室内空気室汚染の原因と発生源 そして対策（田中 正敏ほか）	49
5) 岡山地区におけるシックハウス症候群に関する疫学研究2（瀧川 智子ほか）	51
6) シックハウス症状と農薬・殺虫剤・リン酸トリエステル類・ライフスタイル・ 住まい方の大阪地区での関連性（森本 兼曩ほか）	67
7) 北九州におけるシックハウス症候群の実態解明に関する研究（吉村 健清ほか）	84
2. 児童におけるシックビルディング症状の検討（西條 泰明ほか）	99
3. 各種セメントへのフタル酸ジエチルヘキシル添加に伴う室内空気汚染物質 2-エチル-1-ヘキサノール発生に関する実験的研究（柴田 英治ほか）	107
4. 化学物質の分析技術の開発研究	
1) 樹脂気孔型拡散型サンプラーの捕集速度 —ノナナール、デカナール、ドデカン、トリデカン、テトラデカン、ペンタデカン、 ヘキサデカン、2,2,4-トリメチルペンタン—（河合 俊夫ほか）	121
2) 室内のダスト中及び空气中可塑剤、難燃剤、殺虫剤等の分析法開発に関する研究 （斎藤 育江）	133

5. 化学物質過敏症に関する研究2 (圓藤 陽子ほか) .....	146
6. 保健所におけるシックハウス症候群の相談対応に関する研究 (長谷川 友紀ほか) .....	150
7. シックハウス症候群の原因と対策に関するマニュアル (岸 玲子ほか) .....	168

## I. はじめに

平成 18 年度に開始した厚生労働科学研究費補助金・地域健康危機管理研究事業「シックハウス症候群の実態解明及び具体的対応方策に関する研究」の平成 19 年度総括・分担研究報告書を取りまとめました。

これまで、我が国ではシックハウス症候群は大きな問題となって取り上げられてきましたが、本格的な疫学調査はほとんどありませんでした。特に、新改築住宅について、地域ベースで無作為に対象を抽出し、築年数を調べた上で住宅の環境測定と居住者の自覚症状など医学的な調査を同時に実施する研究は行われていませんでした。そこで、厚生労働科学研究費補助金「全国規模の疫学研究によるシックハウス症候群の実態と原因の解明（平成 15～17 年度）」において、北海道、福島、名古屋、大阪、岡山、北九州地域の 6 都市において共通のプロトコールで住宅の調査を行う、我が国で初めての本格的な疫学研究を実施しました。この結果、シックハウス症候群には化学物質のみならず、湿度環境や生物学的要因の影響を考えた対策が必要で、症状の変化や環境の変化についても留意する必要があることが明らかになりました。

平成 18 年度にカビなど微生物によって産生する MVOC（微生物由来揮発性有機化合物）、小児のアレルギー疾患への影響が考えられるフタル酸エステル類、難燃剤や可塑剤として使用されるリン酸トリエステル類、殺虫剤といった、室内汚染要因として健康への影響が懸念される物質を新たに測定対象に加えて全国的な調査を初めて実施しました。その後の全国統合解析の結果、新規に測定項目に加えた MVOC をはじめとする化学物質には SHS 症状との関連を示したものが複数あり、さらに検討が必要と思われました。また、経年的に、住宅室内空気中のホルムアルデヒドやトルエンなどの建材由来と考えられる化学物質濃度は減少傾向にあり、逆に真菌・ダニアレルゲンのような生物学的要因は増加の傾向にあることがわかりました。平成 19 年度は夏季の西日本での殺虫剤による室内空気汚染の実態の調査と、全国 528 か所の保健所を対象としたシックハウス症候群相談体制についての調査を実施しました。この間、個別研究として、電話調査によりシックハウス症候群の有病率・医療サービスのアクセス状況などについての調査、築年数の経過した集合住宅における湿度環境とシックハウス症状との関連、児童におけるシックビルディング症状の検討、化学物質の個人曝露量の評価、症例研究、室内環境要因の分析法の開発、シックビルディング・シックハウス症候群との関連が疑われる 2-エチル-1-ヘキサノールの発生源対策、化学物質過敏症に関する検討を実施しました。さらに、最終的にこれらの研究成果を踏まえ、保健所等のシックハウス症候群相談窓口で使用できる、実用的でわかりやすいマニュアルを作成しました。

本研究の成果が人々の健康な生活環境確保に役立てば幸いです。最後に全国の皆様がたのご協力により、ここに本研究報告書をまとめることができましたことを記して、衷心より御礼申し上げます。

主任研究者 岸 玲子  
平成 20 年 3 月

シックハウス症候群の実態解明及び具体的対応方策に関する研究

主任研究者 岸 玲 子 北海道大学大学院医学研究科予防医学講座公衆衛生学分野 教授

研究要旨

日本の建築・気候・住まい方などの特徴を加味して、化学物質のみならず、住宅構造、換気、湿度環境、生物学的要因についても評価を行い、シックハウス症候群（SHS）の実態を解明し、その予防対策を明らかにし、保健所等の SHS 相談窓口で使用するマニュアルを作成する目的で研究を実施した。

全国 6 地域（北九州、岡山、大阪、名古屋、福島、札幌）の 182 軒の一般住宅とその全居住者 624 名を対象とした疫学調査を実施した。一般住宅内の微生物由来揮発性有機化合物（Microbial VOC）濃度を日本で初めて測定し、2-ペンタノールとシックハウス症候群（SHS）の症状、特に鼻症状と喉・呼吸器症状との関連を認めた。北海道地区（札幌市）と本州・九州地区の比較によって、他 5 地域と比べ札幌市の湿度環境は良好であるにもかかわらず、いずれの地区でも湿度が SHS に影響を与える重要な要因であった。西日本地区（北九州、岡山、大阪）での 57 軒を対象とした夏季の室内殺虫剤濃度調査で、殺虫剤の中でピレスロイド系トランスフルトリンの検出頻度が 38.6%と最も高く、住宅への使用が規制されている有機リン系のクロルピリホスとカーバメート系のフェノブカルブの検出率はそれぞれ 10.5%、5.3%、室内濃度はいずれも指針値内であった。「ゴキブリ駆除剤の使用」、「ダニ駆除剤の使用」は女性で SHS のリスクを上昇させた。

実験的に、セメントとフタル酸ジ（2-エチルヘキシル）との接触で、SHS の一因といわれる 2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）が 13 週間にわたり発生することを明らかにした。

化学物質の測定においては、拡散法による捕集ではこれまで定量できなかった 8 物質について、捕集速度を求めて定量を可能とした。さらに、住宅室内のダスト中及び空気中の可塑剤、難燃剤、殺虫剤等計 38 物質の一斉分析法を確立した。

化学物質過敏症（MCS）の研究において、MCS を疑う患者 15 名と健康なボランティア 5 名にクリーンルームにおけるホルムアルデヒドまたはトルエンの負荷試験を行った結果では、これらの化学物質と症状との関連を認められなかった。

東京、大阪、札幌の保健所職員に対してのフォーカスインタビューを行った後に、全国の保健所を対象として、SHS に関する相談体制と実態について、郵送法による調査を実施した。回収率は 82.6%で、そのうち 81.9%で SHS に関する相談窓口を設置していた。SHS への対応について 38.3%が他機関（「居住（室内）環境測定を行う技術のある機関」、「他の相談機関」など）と連携体制を確立していると回答した。65.6%が「相談対応で困難を感じている」と回答し、その内容は「職員研修の機会がない」、「予防方法や生活上の注意などの情報収集、環境測定機関や医療機関などの専門機関に関する情報がない」、「専門機関との連携を図ることが困難」であった。「住環境改善の手段や改善事例に関する情報」、「原因物質および原因物質を含有している建材や生活用品に関する情報」、「簡便な自己診断チェックシート」、「いわゆる『化学物質過敏症』や他のアレルギー疾患との相違点」に関する情報が、相談窓口の充実に向けて必要な情報として挙げられた。

以上の研究成果を踏まえ、保健所等の相談窓口で使用するマニュアルを作成した（1.マニュアルの活用方法と相談フローチャート；2.疾病概念・疫学・自覚症状；3.原因と発生源そして対策；4.住宅等の環境測定；5.症状の出た住宅や職場などへの支援；6.内容別相談と回答例）。

分担研究者

田中 正敏 福島学院大学福祉学部  
福祉心理学科 教授  
吉村 健清 福岡県保健環境研究所 所長  
森本 兼曩 大阪大学大学院医学系研究科  
社会環境医学講座 環境医学  
教授  
長谷川友紀 東邦大学医学部  
医療政策・経営科学 教授  
柴田 英治 愛知医科大学医学部衛生学講座  
准教授  
圓藤 陽子 東京労災病院産業中毒センター  
センター長

河合 俊夫 中央労働災害防止協会  
大阪労働衛生総合センター  
上席専門役  
瀧川 智子 岡山大学大学院医歯薬学  
総合研究科公衆衛生学分野 助教  
西條 泰明 旭川医科大学健康科学講座  
准教授  
斎藤 育江 東京都健康安全研究センター  
主事  
研究協力者  
湯浅 資之 北海道大学大学院医学研究科  
金澤 文子 北海道大学大学院医学研究科  
荒木 敦子 北海道大学大学院医学研究科

山下 京子	北海道大学大学院医学研究科
竹田 誠	北海道大学大学院医学研究科
田中かづ子	福島県立医科大学衛生学講座
福島 哲仁	福島県立医科大学衛生学講座
力 寿雄	福岡県保健環境研究所
岩本 眞二	福岡県保健環境研究所
中山 邦夫	大阪大学大学院医学系研究科 社会環境医学講座 環境医学 医学部講師
上島 通浩	名古屋大学大学院 医学系研究科環境労働衛生学
酒井 潔	名古屋市衛生研究所
森吉 昭博	北海道大学
荻野 景規	岡山大学大学院医歯薬学総合研 究科公衆衛生学分野 教授
片岡 洋行	就実大学薬学部 教授
高橋 清	独立行政法人国立病院機構南岡 山医療センター 院長
岡田 千春	独立行政法人国立病院機構南岡 山医療センターアレルギー科 医長
堀家 徳士	ピーエッチェル 作業環境測定士
竹内 靖人	岡山大学大学院医歯薬学総合研 究科公衆衛生学分野 大学院生
王 炳玲	岡山大学大学院医歯薬学総合研 究科公衆衛生学分野 大学院生
竹村 洋子	岡山大学大学院医歯薬学総合研 究科公衆衛生学分野 大学院生
城川 美佳	東邦大学医学部 社会医学講座 公衆衛生学分野
吉田 貴彦	旭川医科大学健康科学講座 教授
伊藤 俊弘	旭川医科大学健康科学講座 講師
杉岡 良彦	旭川医科大学健康科学講座 講師
中木 良彦	旭川医科大学健康科学講座 助教
遠藤 整	旭川医科大学健康科学講座
永滝 陽子	中央労働災害防止協会 大阪労働衛生総合センター
小川 真規	東京労災病院 産業中毒センター
後藤 浩之	関西労災病院 環境医学センタ

## A. 研究目的

シックハウス症候群（SHS）は本質的には1970年代より欧米で注目を集めたシックビルディング症候群の延長と考えられるが、原因が化学物質のみならず湿度環境など問題が多岐にわたり十分解明されていない。日本ではいわゆる「化学物質過敏症」も加わり診断や予防対策の焦点を絞れない原因になっていた。そこで、日本の建築・気候・住まい方などの特徴を加味して研究を進め、化学物質のみならず、住宅構造、換気、湿度環境、生物学的要因について実態解明を行い、予防対策を明らかにして、①微生物由来の揮発性化合物（Microbial VOC, MVOC）による一般住宅の室内汚染状況とSHSへの影響解明、②寒冷地住宅の室内環境の特徴およびSHS症状への影響解明、③夏季の西日本での一般住宅における殺虫剤使用状況とSHS症状への影響解明、④児童のSHSの実態解明、⑤SHSの一因である2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)が、コンクリートの床と可塑剤から発生する状況の解明、⑥これまで、パッシブ法では測定できなかった物質の拡散型サンプラーでの捕集速度測定と定量法の開発、⑦試料採取者及び住宅居住者への負担を軽減し、かつ感度の高い室内空気中可塑剤・難燃剤・殺虫剤等の測定方法の開発、⑧化学物質過敏症（MCS）を疑う患者への化学物質負荷試験の実施と評価、⑨保健所等でのシックハウス相談への対応の現状と問題点解明、⑩保健所等のSHS相談窓口で使用するマニュアルの作成、などを目的とした研究を実施した。

## B. 研究方法

### 1. 一般住宅を対象とした全国規模のシックハウス症候群に関する疫学調査研究

#### 1-1) 全国規模の微生物由来揮発性有機化合物（Microbial VOC, MVOC）とシックハウス症候群に関する疫学研究

全国6地域（北九州、岡山、大阪、名古屋、福島、札幌）の182軒の一般住宅と居住者624名を対象とした疫学調査研究において、MVOCとSHSの自覚症状との関連について、住宅構造、湿度環境、個人的要因の影響を加味した検討を行った。

## 1-2) 寒冷地住宅の特徴とシックハウス症候群に関する調査—北海道地区と本州・北九州地区との比較から

過年度調査の結果を再解析し、北海道（札幌市）と他6地域（福島市、名古屋市と近郊2市、大阪府下4市、岡山市と倉敷市、北九州市を統合）の住宅環境要因、およびSHSとの関連について検討した。

## 1-3) 西日本地区（北九州、岡山、大阪）における有機リンとシックハウス症候群に関する研究

北九州、岡山、大阪の3地域において、57軒を対象に、殺虫剤の使用頻度が高い夏季の一般家屋の室内空気中有機リン（殺虫剤および難燃性可塑剤）の濃度を測定した。同時に、調査票を使用して、殺虫剤使用状況を質問した。

## 1-4) 大阪地区でのシックハウス症状と農薬・殺虫剤・リン酸トリエステル類・ライフスタイル・住まい方の関連性に関する研究

大阪府下4市において、2006年の家庭室内環境調査にも継続した協力を得られた家庭28軒の住居・それらの住宅に居住する96人（男43人、女53人）を対象に、自記式質問票調査（シックハウス症状・住まい方・ライフスタイルなど）、室内空気測定（アクティブサンプリング法による、農薬・殺虫剤・リン酸トリエステル類の居間の空気中濃度測定）を行った。

## 1-5) 岡山地区におけるシックハウス症候群に関する疫学研究

SHSが疑われる症例に対して、医療機関における病態診断に加えて自宅の環境調査を実施することで、適正な診断と医療のあり方を検討した。南岡山医療センターアレルギー科からの紹介により、SHSであると訴えている患者宅の環境測定を実施した。対象はアルデヒド類（15種類）と揮発性有機化合物（VOC、33種類）で、パッシブ法で24時間捕集した。

## 1-6) 北九州地区におけるシックハウス症候群の実態解明に関する研究

環境大気中のVOCについて、拡散法による捕集では検出できない微量濃度（ $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度）までの室内汚染の実態を容器採取GC/MS法により調査した。あらかじめ減圧し

ておいた内容積6Lのステンレス容器（キャニスター）に、居間空気を流量1.5ml/分で48時間採取し、居間の空気中VOC類を捕集した。採取後の試料は当所において、窒素ガスにより希釈加圧、低温濃縮、加熱脱着後、GC/MSにより測定した。環境大気（屋外）からのVOCの影響を把握するために、調査家屋の屋外VOC濃度について同時に試料採取を行った。さらに、これらの結果を基に、居住者のVOC吸入曝露量の推定を行った。

## 2. 児童におけるシックビルディング症状の検討

旭川市内の1小学校を通じて、SwedenのAnderssonらが開発した児童向けのシックビルディング症候群調査票MM080 for schoolを配布し、児童の状況について保護者から回答を得た。有訴率や湿度環境との関連を検討した。

## 3. 各種セメントへのフタル酸ジ-（2-エチルヘキシル）添加に伴う室内環境汚染物質2-エチル-1-ヘキサノール発生に関する実験的研究

コンクリートの床とフタル酸エステル（AP）含有床材が接触する室内で、築後長期間にわたって2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）が発生し、シックビル症候群発症の原因になっている2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）発生とセメントの種類との関連についての検討を行った。数種類のセメントにフタル酸ジ（2-エチルヘキシル）（DEHP）を添加の後、2E1H発生の推移を経時的に観察した。

## 4. 化学物質の分析技術の開発研究

### 4-1) 樹脂気孔型拡散型サンプラーの捕集速度—ノナール、デカール、ドデカン、トリデカン、テトラデカン—

厚生労働省の「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」で指針値および指針値案が示されている物質を含む8物質について、拡散型のサンプラーによる捕集速度を求め、定量を可能にし、室内濃度を明らかにした。具体的には、①GC/MSを用いた分析条件、②定量下限値、回収率（抽出率）、③拡散法測定の捕集速度、④平成16年度室内濃度全国調査の応用例事例の検討を行った。

### 4-2) 室内のダスト中及び空気中可塑剤、難燃剤、殺虫剤等の分析法開発に関する研究

少量のダスト及び空気試料で、多種類の化

学物質（可塑剤 8 物質、酸化防止剤 2 物質、リン系難燃剤 11 物質、有機リン系殺虫剤 10 物質、ピレスロイド系殺虫剤等 7 物質の計 38 物質）を同時に検出できる精度の良い測定法の開発を行った。ダスト分析においては、住宅での採取後、分析実施までの間にダスト中の測定対象物質が増減しない保存方法を検討した。また、少量のダスト(50mg 程度)から測定対象物質を効率よく抽出し分析する方法を検討した。空気分析においては、ポンプを用いたアクティブ法により空気を採取することとし、採集中のポンプの騒音を抑えるために、低流量（200mL/min）での測定法を検討した。また、採取した化学物質の酸化変化をさけるため、サンプラーへの酸化防止剤の添加を検討し、各物質について回収率を求めた。

#### 5. 化学物質過敏症に関する研究

化学物質過敏症（MCS）の発症に化学物質曝露が関与しているかを負荷試験により確認する試験を実施した。MCS を疑う患者 15 名に、一重盲検法によりホルムアルデヒドまたはトルエンの負荷試験を実施した。負荷にはブランクを含む 3 濃度を用い、判定には負荷前後の自覚症状、臭いの検知の有無、および血圧・脈拍数・酸素濃度飽和度の変化および眼球運動の乱れの有無、瞳孔反射の遷延の有無などを用いた。また、ホルムアルデヒドによるアレルギーを発症した SHS 患者においては、ホルムアルデヒドの負荷試験を実施した。さらに、クリーンルームにおいて健康なボランティア 5 名に  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  のホルムアルデヒドを 1 時間負荷し、負荷前後および 30 分おきに採血を行い、2 時間後までの血液中のホルムアルデヒド濃度を標準添加法により測定した。

#### 6. 保健所のシックハウス症候群相談体制に関する研究

2007 年 10 月、全国 530 保健所の保健所長、室内環境関連担当者の連名宛に自記式調査票を送付し、郵送法により送付・回収した。

調査票は本調査の目的に従って作成し、調査項目は、SHS に関する相談体制、相談対応実績、相談対応時の困難事項やニーズ、SHS に関する情報提供、である。

#### 7. 保健所等の相談窓口で使用するマニュアルの作成

東京都、大阪府、札幌市の保健所の職員に対するフォーカスインタビュー、全国保健所の相談窓口担当職員に対する質問紙調査の実施、全国の一般住宅を対象とした疫学調査の結果を踏まえて、「保健所等の SHS 相談窓口で使用するマニュアル」を作成した。

（倫理面への配慮）

本研究は主任研究者が所属する北海道大学大学院医学研究科の疫学研究倫理審査委員会、および分担研究者の所属する機関の倫理審査委員会の承認を受けた。実施にあたってヘルシンキ宣言の趣旨に則り、被験者に対しては書面による十分な説明に基づくインフォームドコンセントを行った上で実施した。また、本研究の過程で得られた個人情報に関わるものについては厳格な秘密保持に努めた。

保健所の相談窓口担当職員に対する調査の実施に当たっては、全国保健所長会での承認を受けた。また得られた情報は、回答施設が特定できないが連結可能な形で保管した。

#### C. 研究結果

##### 1. 一般住宅を対象とした全国規模のシックハウス症候群に関する疫学調査研究

##### 1-1) 全国規模の微生物由来揮発性有機化合物 (MVOC) とシックハウス症候群に関する疫学研究

SHS のリスクとなった個人要因は未成年であること、現在アレルギーの治療を受けていること、不十分な睡眠、週 1 回以上の運動、ストレスが多いことであった。住宅要因については、1 年以内のリフォーム、絨毯を敷き詰めている、窓の開放時間が短いことであった。

MVOC 8 物質のうち、検出率が高かったのが 1-ペンタノールであり、濃度の幾何平均値は  $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、検出率は 54.9% であった。次いで、3-メチル-1-ブタノールの幾何平均値が  $0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、48.9% の住宅で検出された。また、住宅の窓と壁に結露があると MVOC 濃度が高く、窓を開けている時間が長い住居では MVOC の濃度が低かった。住宅が古くなるほど



2-ペンタノールの濃度が高かった。

測定した MVOC のうち検出率が 25%を超えた 4 化合物を検出と未検出のグループに 2 分し、総 MVOC は中央値で 2 分して SHS 症状（ひとつ以上の症状が週一回以上の頻度でおこる）との関連を検討したところ（カイ二乗検定）、2-ペンタノールの有意な関連性を認めた [オッズ比 (OR), 2.20 (95% CI: 1.11, 4.37)]。また、鼻症状、喉・呼吸器症状に限って見た場合にも有意な関連性があった [鼻症状、2.74 (1.20, 6.22); 喉・呼吸器症状、3.04 (1.04, 8.88)]。

### 1-2) 寒冷地住宅の特徴とシックハウス症候群に関する調査—北海道地区と本州・北九州地区との比較から

質問項目への回答が全くなかったものを除くと、札幌市と他 5 地域の解析対象数は、それぞれ 575 軒と 1700 軒であった。さらに、性・年齢、健康に関連する項目について記載のないものを除外した場合には、札幌市が 566 軒、他 5 地域は 1654 軒であった。札幌市の有訴率が 4.7%、他 5 地域が 3.3%であった。

平成 15 年度全国質問紙調査の結果の北海道と他 5 地域との比較によって、北海道の住宅の特徴をいくつか明らかにできた。他 5 地域に比較して札幌市では木造建築の占める割合が多いこと、換気状況と湿度環境に特徴があることがわかった。寒冷地であるために、窓の開閉による室内空気と外気の入れ替えを行う機会が他地域より少なく、その代替補完的な手段として、外気から室内、室内から外気への空気の流れを保障するような換気孔・通風口が設置された住宅が多く、また半数近い住宅に全室に強制換気装置が設置されていた。室内に人がいる場合には、換気扇、自動換気装置など機械的な換気設備を常時運転している住宅が多かった。

「結露の発生」「カビの発生」「カビくさいにおい」「風呂場でぬれタオルが乾きにくい」「水漏れ」など、湿度環境についての質問に「はい」と答えた割合が札幌市では他 5 地域より少なかった。このうち SHS との関連が示された湿度環境項目は、札幌市では「結露の発生」のみであった。他 5 地域は、「カビの発生」「カビくさいにおい」、「風呂場

でぬれタオルが乾きにくい」の 3 項目が SHS との関連を示した。

### 1-3) 西日本地区（北九州、岡山、大阪）における有機リンとシックハウス症候群に関する調査研究

殺虫剤の中でピレスロイド系トランスフルトリンの検出頻度が 38.6%と最も高く、次いで共力剤の s-421（有機塩素系）が 26.3%、有機リン系殺虫剤のジクロロボスが 17.5%であった。住宅への使用が規制されている有機リン系のクロルピリホスとカーバメート系のフェノブカルブの検出率はそれぞれ 10.5%、5.3%であった。最大値は、ジクロロボスの 1730ng/m<sup>3</sup>であった。難燃剤のリン酸トリエステル類では、リン酸トリエチル、リン酸トリブチル、リン酸トリス（2-クロロイソピロピル）、リン酸トリス（2-クロロエチル）といった物質が高頻度に検出された。リン酸トリエステル類の濃度と難燃性製品の関連性は認められなかった。ピレスロイド系・有機リン系殺虫剤成分は、建材のシロアリ防除処理、ゴキブリ駆除剤、蚊取り用薬剤、ダニ駆除剤を使用している家屋で高濃度であった。「ゴキブリ駆除剤の使用」と「ダニ駆除剤の使用」は女性で SHS リスクを上昇させた。

### 1-4) 大阪地区でのシックハウス症状と農薬・殺虫剤・リン酸トリエステル類・ライフスタイル・住まい方の関連性に関する研究

SHS 症候群の症状と、住宅環境・住まい方・生活習慣との関係の解明を目的に、農薬・殺虫剤・難燃剤等有機リン化合物による室内空気汚染調査・質問紙調査を行った。その結果、農薬・殺虫剤・難燃剤等有機リン化合物の室内環境中濃度、それらの室内における使用に関連する住まい方、にの自覚が、SHS 症状に関連を示した。殺虫剤の室内での使用・難燃加工物の室内での存在は、SHS 症状のリスクであり、にの自覚も、リスクの増大に関連を示した。また、ライフスタイルでは、睡眠不足・睡眠の質の低下が、以前の調査から継続して関連性を示した。

### 1-5) 岡山地区におけるシックハウス症候群に関する疫学研究

紹介を受けた症例で、住居の環境測定を実施した 1 家屋の 1 室（有症状者が使用してい

る書齋）でホルムアルデヒドが室内濃度指針値を超過していた。

#### 1-6) 北九州地区におけるシックハウス症候群の実態解明に関する研究

室内汚染の実態を示す、室内濃度(I)と屋外濃度(O)の比、すなわち I/O 比が 1 以上であったものはシクロヘキサン(I/O=10.6)、 $\beta$ -ピネン(6.4)、 $\alpha$ -ピネン(4.7)、クロロホルム(4.2)、パラジクロロベンゼン(3.2)などであった。吸入曝露量の大きい成分のうち、屋外寄与と室内発生源寄与を分けた場合、トルエン、ベンゼン、ヘキサンなどは屋外の寄与が大きく、シクロヘキサン、パラジクロロベンゼン、 $\alpha$ -ピネンなどは室内の影響が大きい成分であった。

ヒトの 1 日における空気の吸入量を 15 m<sup>3</sup>、外出先を含めた室内と屋外の滞在時間比を 9:1 として、吸入曝露量の推定を行った。今回の調査結果から得られた平均的なヒトの 1 日の吸入曝露量を推定し、吸入曝露量の大きい順に、トルエン、シクロヘキサン、パラジクロロベンゼン、 $\alpha$ -ピネン、キシレン、エチルベンゼン、ベンゼンなどであった。

#### 2. 児童におけるシックビルディング症状の検討

自覚症状については、「いつもあり」を陽性としたところ、疲れ:2.5%、頭痛:1.1%、不眠:2.2%、目の症状:4.3%、鼻の症状:18.3%、咳:4.7%、顔面の皮膚症状:5.0%、頭皮・耳の皮膚症状 7.2%、手の皮膚症状 5.4%であった。以上のいずれかの症状有り（有訴群）は 28.4%であった。家で受動喫煙有りは 28.4%に認め、その症状出現に対するオッズ比(OR)は 1.30 (95%CI:0.73-2.32, p=0.372)、カビ発生 15.8%、OR は 2.20 (1.12-4.31, p=0.021)、カビ臭 5.4%、OR は 2.56 (0.89-7.33, p=0.080)、水漏れ 12.2%、OR は 0.248 (1.18-5.18, p=0.016)、結露 40.6%、OR は 1.82 (1.06-3.11, p=0.030)であった。

#### 3. 各種セメントへのフタル酸ジ- (2-エチルヘキシル) 添加に伴う室内環境汚染物質 2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H) 発生に関する実験的研究

普通・早強ポルトランドセメント等 5 種類のセメントのいずれも 1 日後には 5mg/時・m<sup>3</sup>

を超える 2E1H 放散量が観察され、その後は 10mg/時・m<sup>3</sup>を超える放散が続いた。28 日後の放散量は 17.3~29.6mg/時・m<sup>3</sup>、56 日後は 31.6~49.4mg/時・m<sup>3</sup>であった。いずれのセメントも DEHP の添加により、2E1H の放散が少なくとも添加後 13 週間続き、AE 減水剤添加の早強セメントは特に初期発生量が多いことが明らかになった。

#### 4. 化学物質の分析技術の開発研究

##### 4-1) 樹脂気孔型拡散型サンプラーの捕集速度—ノナール、デカナール、ドデカン、トリデカン、テトラデカン—

捕集剤の活性炭からの二硫化炭素による抽出率はノナール、デカナールのアルデヒド類が 67.0、68.9%と低く、その他の化学物質は良好であった(89.5~118.6%)。装置定量下限値は 8 種類の化学物質のなかで 2, 2, 4-トリメチルペンタン 0.04  $\mu$ g/ml が低く、デカナール 0.16  $\mu$ g/ml が高値であった。2, 2, 4-トリメチルペンタン、ノナール、デカナール、ドデカン、トリデカンの 5 化学物質とトルエンはポンプ法と拡散法との間には高い有意な相関が得られたが、テトラデカン、ペンタデカン、ヘキサデカンは相関が得られなかった（ポンプ法には吸着されているが拡散型サンプラーには吸着量が非常に少ない）。捕集速度はトリデカンが 15ml/min でデカナールが 100ml/min であった。気中濃度に換算した定量下限値は 1.0 から 1.7g/m<sup>3</sup>の範囲であるが、分析の実際の定量下限値は捕集時間を考慮して 5 化学物質とも 10  $\mu$ g/m<sup>3</sup>とした。

室内環境測定の同意が得られた住宅 284 軒を対象として環境調査を実施したところ、トリデカンが 43~48%、ドデカンが 22~24%、デカナールが 8~12%の住宅で検出された。次に多くの住宅を測定した札幌と大阪の平均値を比較したところ (Welch の方法)、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、酢酸エチル、トルエン、デカン、リモネン、ウンデカン、ドデカンが札幌で有意に高値であった。p-ジクロロベンゼンは札幌が低値であり、地区差がみられた。

##### 4-2) 室内のダスト中及び空気中可塑剤、難燃剤、殺虫剤等の分析法開発に関する研究

採取したダストをガラス試験管に入れてテ

フロンテープで密栓し、アルミ薄に包んで冷凍保存（-20℃）した。主な物質の平均濃度は、1年間保存後には採取直後の72%~129%であり、ほぼ良好な状態で保存できることが分かった。また、操作ブランクを低減し、抽出溶媒に少量のアセトンを用いることにより、50mg以上のダストの場合、測定対象物質の定量下限値は $0.04\mu\text{g/g}$ ~ $4.0\mu\text{g/g}$ と、低濃度までの分析を可能とした。各物質の添加回収率はいずれも80%以上と良好だった。

空気分析では、直径1cmのオクタデシルシリカゲルフィルターを用いたミニサンプラーを開発し、空気採取を行った。空気採取量が少量であるにもかかわらず（200mL/minの流速で48時間、空気量：576L）、 $2.2\text{ng/m}^3$ ~ $61.4\text{ng/m}^3$ と低濃度まで分析が可能であった。また、酸化防止剤として、フィルターにアスコルビン酸を添加したところ、各物質の回収率は、ジブチルヒドロキシトルエン（BHT）を除き80%以上であった。BHTの平均回収率は68%と推定された。

## 5. 化学物質過敏症に関する研究

負荷試験の結果、症状を訴える患者はいたが、ブランク濃度の負荷においても同様な症状を訴えるとともに、検査所見の変化や臭いにより負荷の有無を正しく感知できた患者はおらず、15名全員陰性と判定した。また、ホルマリン特異的IgEおよびホルマリンのパッチテストが陽性のSHS患者においても負荷試験の結果は陰性であった。さらに、ボランティアにおけるホルムアルデヒド負荷による血中濃度の上昇は見られなかった。

## 6. 保健所のシックハウス症候群相談体制に関する研究

11月21日までに436の保健所から回答が得られた（回答率82.3%）。

SHSに関する相談体制：SHSに関する相談窓口を設置しているのは357所（81.9%）であった。相談窓口や担当部署の職員にSHSに関する知識を習得させているのは271所（75.9%）であった。相談窓口を設けていない理由は「相談がほとんどないから」が最も多かった。相談の対象は、「所轄地域内の個人居住者」が91.6%（327所）、「学校や公民館などの公共施設関係者」が38.9%、（139

所）、「建築・内施工業者」が27.5%、（98所）であった。相談や対応に対して、他機関と連携体制があるのは167所（38.3%）であった。連携先機関は、「居住（室内）環境測定を行う技術のある機関」が77.2%（129所）、「他の保健所や行政窓口など他の相談機関」が37.7%（63所）であった。今後連携したい機関は、「SHSの診断が可能な機関」が69.0%（301所）、「環境測定を行う技術のある機関」が55.5%（242所）であった。

SHSに関する相談対応の実績：居住（室内）環境に関する相談を受けた経験を持つ保健所は297所（68.1%）であった。平成18年度の平均相談件数53.7件であり、このうちSHSが強く疑われるか、SHSと診断された平均件数は0.9件であった。相談を受けて、職員が居住（室内）環境の測定を行うのは136所（45.8%）、環境測定が可能な他機関を紹介するのは81所（27.3%）、また、相談者の訴える症状に対して専門家のいる医療機関を紹介するのは140所（47.1%）であった。相談者の訴えが居住（室内）環境に起因すると判明したとき、職員による生活上の注意事項を説明するのは238所（80.1%）であった。SHSに関する情報提供を行っているのは全体の39.0%（170所）であり、その手段は「パンフレット」が最も多かった（122所、71.8%）。

SHSに関する相談対応のニーズ：相談対応に際し、困難を感じているとの回答は286所（65.6%）からあった。その内容としては、「職員研修の機会がないこと（64.7%）」、「予防方法や生活上の注意などの情報収集が困難（61.9%）」、「環境測定機関や医療機関などの専門機関に関する情報がない（57.7%）」、「専門機関との連携を図ることが困難（39.2%）」が挙げられた。相談窓口の充実に向けて必要な情報として、「住環境改善の手段や改善事例に関する情報（70.4%）」、「原因物質および原因物質を含有している建材や生活用品に関する情報（68.3%）」、「簡便な自己診断チェックシート（61.2%）」、「いわゆる『化学物質過敏症』や他のアレルギー疾患との相違点に関する情報（55.5%）」などが挙げられた。

## 7. 保健所等の相談窓口で使用するマニュアルの作成

本マニュアルは、第1章マニュアルの活用方法と相談フローチャート、第2章疾病概念・疫学・自覚症状、第3章原因と発生源そして対策、第4章住宅等の環境測定、第5章症状の出た住宅や職場などへの支援、第6章内容別相談と回答例、から構成され、SHSの実態と予防対策、支援組織等について述べた。

## D. 考察

### 1. 一般住宅を対象とした全国規模のシックハウス候群に関する疫学調査研究

これまではSHSとの関連が不明であったいくつかの化学物質がSHSのリスクになることが、本研究によって示された。全国6地域の調査では、MVOCのうち2-ペンタノールが室内空気に含まれることで、SHS症状に影響することが示された。2-ペンタノールは、壁・窓の両者に結露が見られる住居での濃度が高く、結露ができた壁の建材中に真菌などの微生物が生育している可能性がある。札幌市での調査では、可塑剤・難燃剤そのものの健康影響が示されたが、加えて、カビによる分解によって産生する揮発性物質がSHS症状に影響している可能性が示された。これらの研究結果は、ある種の化学物質曝露の背景には住宅の湿度環境の悪化と微生物の繁殖があることを強く示唆している。

札幌市の場合、寒冷地であるため、住宅の気密性が高く、窓の開放や隙間風のような自然換気に依存する割合が低いと考えられる。札幌市の有訴率が他地域より高いことから、住宅の高気密性が室内空気質に影響している可能性があるが、住宅環境調査を実施することによって、その点を更に明確にできると考える。

西日本地区の殺虫剤による室内空気汚染についての調査では、前年度の札幌市の調査に比べて殺虫剤の使用頻度が高く、住居内での防アリ剤、ゴキブリや蚊の駆除剤など、薬剤の使用があった家屋での室内空気濃度が高いことが示された。

これまでの研究によって、化学的要因、生

物学的要因、湿度環境がSHSの要因であることを明らかにしてきたが、特に化学物質については建材由来、微生物由来、難燃剤、可塑剤、殺虫剤など様々な異なる性質の化合物が存在し、住まい方とも密接に関係することから残された問題を整理したうえで、しっかりした研究デザインにもとづく疫学研究を実施することが必要である。

### 2. 児童におけるシックビルディング症状の検討

MM080 for school で把握した自覚症状は自宅の湿度環境悪化と有意に関連、シックビルディング症状の検出に有効であることが示唆された。今後もさらに症例数を重ねて、学校環境などの影響を検討する必要がある。

### 3. 各種セメントへのフタル酸ジ-（2-エチルヘキシル）添加に伴う室内環境汚染物質2-エチル-1-ヘキサノール発生に関する実験的研究

セメントと代表的なフタル酸エステル、DEHPとの接触により、観察期間の13週間にわたり、2E1Hが発生することが明らかになった。この結果からコンクリートを使用する建築物では2E1Hの持続的な発生を避けるためには、乾燥が不十分なセメントとフタル酸エステルを含む建材を接触させないようにすることが必要である。

### 4. 化学物質の分析技術の開発研究

有害化学物質を拡散の法則で行う方法はポンプを必要としないことから、小型、軽量であること、電気をい用いないので引火の心配が無いこと、ポンプの稼動状態の確認が不必要などの理由で近年よく使用されるようになってきている。拡散型のサンプラーは数社から市販されているが取扱書には一部溶剤の拡散速度は示されているがその補償はしていない。ポンプを使用する方法は、より低濃度の物質を検出できるが、機材が大きいためにそれらの運搬に労力を要し、空気採取中にはポンプの騒音が居住者の負担となることが多い。

本研究では、これまで拡散法による測定ができなかった物質についての定量法を確立すると同時に、低流量の吸引にもかかわらず高感度な分析技術を開発し、ポンプを使用する場合でも、作業者と居住者の負担を減らすことができた。また、開発したミニサンプラーは個人暴露モニター用としても利用可能と考

えられる。これらの技術開発によって、室内環境測定のための有用な手段を提供できたと考える。

#### 5. 化学物質過敏症（MCS）に関する研究

MCS は微量の化学物質に反応する疾患であるとされている。しかし今回の結果では全例陰性であったことから、反応する濃度は我々が負荷した濃度より高い可能性が示唆された。

#### 6. 保健所のシックハウス症候群相談体制に関する研究

SHS に関する相談窓口を設置している保健所の割合は高く、過去の居住（室内）環境に関する相談対応の実績との関連が示唆された。また、相談対応において困難を感じることから他機関との連携をつくる必要があると考えられた。

#### 7. 保健所等の相談窓口で使用するマニュアルの作成

保健所のシックハウス症候群相談体制に関する研究で明らかとなった、「保健所職員研修の機会が少ない」、「予防方法や生活上の注意などの情報がない」、「環境測定機関や医療機関などの専門機関に関する情報がない」などの相談窓口で困難を感じている点に対して、本マニュアルは回答を与えるものである。

### E. 結論

#### 1. 一般住宅を対象とした全国規模のシックハウス症候群に関する疫学調査研究

- ① 住宅の室内環境中のMVOCは、SHSのリスク要因である可能性が高い。
- ② 北海道地区の場合、湿度環境、換気の状態が本州・九州地域と異なり、気象条件に加えて、高断熱・高气密の寒冷地型住宅構造がSHSに影響している可能性がある。
- ③ 殺虫剤成分は、住宅内での使用履歴がある家屋内で検出されたが、指針値をこえるものではなかった。
- ④ 住まい方の工夫、ライフスタイルの変容によって、SHSのリスクを軽減することができる。

#### 2. 児童におけるシックビルディング症状の検討

MM080 for school は児童のシックビルディング症状の検出に有効と考えられる。

#### 3. 各種セメントへのフタル酸ジ-（2-エチルヘキシル）添加に伴う室内環境汚染物質 2-エチル-1-ヘキサノール発生に関する実験的研究

コンクリートを使用する建築物では 2E1H の持続的な発生を避けるためには、乾燥が不十分なセメントとフタル酸エステルを含む建材を接触させないようにすることが必要である。

#### 4. 化学物質の分析技術の開発研究

これまで拡散法では測定ができなかった物質についての定量法を確立した。また、ポンプ法では低流量の吸引で高感度な検出が可能な分析技術を開発したことによって、SHS の原因解明のための研究がこれまで以上に牽引される。

#### 5. 化学物質過敏症（MCS）に関する研究

MCS を訴える患者においても、微量化学物質の負荷では、症状の発現等は見られなかった。

#### 6. 保健所のシックハウス症候群相談体制に関する研究

今後の相談対応を充実するためには、SHS の原因物質や関連した生活用品、予防などに関する情報提供のほか、職員の研修や連携組織など相談・対応体制を支援する体制づくりが必要であると考えられた。

#### 7. 保健所等の相談窓口で使用するマニュアルの作成

本研究班の成果を反映し、SHS の実態解明と具体的な予防対策と支援の方法を含む実用的な活用マニュアルを作成した。

### F. 研究発表

（各分担研究報告書を参照）

厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）  
総括研究報告書

### 謝辞

家中亜里砂さん、多田和美さんのご援助に感謝します。

## 微生物由来 VOC (Microbial VOC) とシックハウス症候群に関する全国調査研究

主任研究者 岸 玲 子 北海道大学大学院医学研究科予防医学講座公衆衛生分野 教授

### 研究要旨

シックハウス症候群は、室内の化学物質、湿度環境とそれに伴う真菌やダニの生息、生活習慣などとの関連が今まで報告されてきたが、本研究では既知の要因に加えて今までシックハウス症候群との関連が明らかになっていなかった微生物由来揮発性化合物 (Microbial volatile organic compounds, MVOC) の影響について調査研究を実施した。

全国 6 地域で、182 軒の一般戸建て住宅および、その全居住者 624 人を対象とし、平成 18 年 10 月から平成 19 年 1 月の間に質問紙調査および住宅環境測定を実施した。シックハウス症候群（ひとつ以上の症状がいつもおこる）(Sick House Syndrome, SHS) 有訴と関連する個人要因は未成年であること、現在アレルギーの治療を受けていること、不十分な睡眠、週 1 回以上の運動、ストレスが多いことであった。住宅要因については、1 年以内のリフォーム、絨毯を敷き詰めていること、窓の開放時間が短いことであった。

MVOC 8 化合物のうち、1-ペンタノール(幾何平均値  $0.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、3-メチル-1-ブタノール ( $0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) が約 50% の住宅で検出された。また、住宅に結露がある、窓を開けている時間が短い住居で MVOC 濃度が高いことが観察された。測定した各 MVOC の未検出をリファレンスとした場合、2-ペンタノールが検出された場合は SHS のオッズ比を有意にあげた。また、鼻症状、喉・呼吸器症状に限ってみた場合にも有意な関連性があった。MVOC の低濃度暴露による健康影響への可能性が示された。

### 【分担研究者】

田中 正敏 福島学院大学福祉学部  
吉村 健清 福岡県保健環境研究所  
森本 兼曩 大阪大学大学院医学研究科  
社会環境医学講座 環境医学  
柴田 英治 愛知医科大学医学部衛生学講座  
瀧川 智子 岡山大学大学院医歯薬学総合研  
究科  
河合 俊夫 中央労働災害防止協会  
大阪労働衛生総合センター

### 【研究協力者】

湯浅 資之 北海道大学大学院医学研究科  
金澤 文子 北海道大学大学院医学研究科  
竹田 誠 北海道大学大学院医学研究科  
荒木 敦子 北海道大学大学院医学研究科  
山下 京子 北海道大学大学院医学研究科  
馬 明月 北海道大学大学院医学研究科  
田中かづ子 福島県立医科大学衛生学講座  
福島 哲仁 福島県立医科大学衛生学講座  
力 寿雄 福岡県保健環境研究所  
岩本 眞二 福岡県保健環境研究所  
中山 邦夫 大阪大学大学院医学研究科  
社会環境医学講座 環境医学  
上島 通浩 名古屋大学大学院医学系研究科  
酒井 潔 名古屋市衛生得研究所

岡村 愛 名古屋大学大学院医学系研究科  
荻野 景規 岡山大学大学院医歯薬学総合研  
究科  
片岡 洋行 就実大学薬学部  
三谷公理栄 就実大学薬学部  
高橋 清 独立行政法人国立病院機構  
南岡山医療センター  
岡田 千春 独立行政法人国立病院機構  
南岡山医療センターアレルギー科  
堀家 徳士 ピーエッチェル  
竹内 靖人 岡山大学大学院医歯薬学総合研  
究科  
王 炳玲 岡山大学大学院医歯薬学総合研  
究科  
永滝 陽子 中央労働災害防止協会  
大阪労働衛生総合センター  
山内 恒幸 中央労働災害防止協会  
労働衛生調査分析センター

### A. 研究目的

我国における 1990 年代後半からのシックハウス症候群の多発に伴い、本研究班では平成 15 年度から一般住宅を対象として、全国規模の疫学研究を継続してきた。この間、対象住宅の築年数が経過し、室内環境中のアル

デヒド類やVOC類の濃度は減少傾向を示している。一方、個人レベルではシックハウス症状の持続、改善、新たな発症といった変動は見られるものの、有訴率そのものには明らかな減少は見られない。この理由としては、築年数の経過によってむしろ湿度環境が悪化し、その結果ダニアレルゲンや真菌量が増加してシックハウス症候群発現のリスクとなっていることが懸念される。さらに近年、微生物由来の揮発性有機化合物（Microbial volatile organic compounds, MVOC）による室内汚染が懸念されている。

MVOCは、真菌などの微生物が室内の有機物（畳、木材、紙、布、食品の粉や飛まつ、石鹼かす、あか、ふけ、など）を代謝し、産生する揮発性有機化合物の総称である〔1〕。湿度環境の悪化によるシックハウス症状の増加は過去に本研究班でも明らかにしてきたが、そのメカニズムとしてMVOCの介在の可能性はある。Fiedlerら〔2〕は、12の菌種を4種類の培地で培養し、MVOCとして150化合物を報告しており、アルコール類、ケトン類、アルデヒド類、テルペン類の他、硫化物、窒素化合物など様々な化合物が含まれる。このうち、Wessenら〔3〕は、屋外と室内のMVOC濃度を測定し、屋外よりも室内で濃度の高かった23化合物は健康に影響を及ぼす可能性があると示唆している。

実験室で様々な真菌を培養してMVOCを測定した研究報告〔2、4-12〕から、菌種、菌株の違い、湿度や栄養素といった培養条件、成長ステージによって、様々な異なるMVOCが産生されることが明らかになってきた。その一方で、実際の室内空気中のMVOCの測定報告は少ない。また、一般的に日本では室内空気中化学物質の測定項目にこれら化合物は含まれず、住宅の室内空気中MVOCを測定した報告は無い。

そこで本研究ではシックハウス症状との関係が懸念される物質として新たにMVOCに着目し、全国6地域の一般住宅における室内空気中MVOC濃度を測定し、健康との関連を調べることにした。

## B. 研究方法

### 1. 研究デザイン

本研究は、2003年から継続している厚生労働科学研究「全国規模の疫学研究によるシックハウスの実態と原因の解明（主任研究者岸玲子）」の一部であり、2006年度の調査結果をまとめた横断研究である。

### 2. 研究対象

平成17年の調査対象住宅のうち、同意を得られた住宅 全国6地域182軒、およびその全居住者624人を対象とした。

### 3. 調査実施時期

平成18年10月から平成19年1月の間に質問紙調査および住宅環境測定を実施した。

### 4. 住宅環境測定

#### 4-1) MVOC類

SUPELCO VOC-SD サンプラー(Sigma-Aldrich Corporation)を壁から100cm以上離れていて、床から100-150cmの位置に設置し、48時間かけて室内空気を捕集した。MVOCは8物質(2-ヘキサノン、2-ヘプタノン、3-オクタノン、3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、2-ペンタノール、3-オクタノール、1-オクテン-3-オール)をGC/MSで分析した。分析は中央労働災害防止協会 大阪労働衛生総合センターで実施した。

#### 4-2) アルデヒド・VOC類

SUPELCO DSD-DNPH サンプラー（アルデヒド類）、SUPELCO VOC-SD サンプラー（VOC類）（いずれもSigma-Aldrich Corporation）を壁から100cm以上離れていて、床から100-150cmの位置に設置し、24時間かけて室内空気を捕集した。アルデヒド類はHPLCを用いて中央労働災害防止協会 大阪労働衛生総合センターで分析した。VOC類はGC/MSを用いて中央労働災害防止協会 労働衛生調査分析センターで分析した。

#### 4-3) 真菌

室内空気中真菌は、DG-18 寒天培地を装着したSASサンプラー(AINEX BIO-SAS, AINEX Co., Ltd.)により、0.1 m<sup>3</sup>の空気を吸引した。27°Cで10日間培養後、真菌同定およびコロニー数の計測を実施した。同定は三菱化学 BCLで行った。

#### 4-4) ダニアレルゲン量

居間中央部の床を、専用紙パックを装着したハンドクリーナーで吸引・集塵した。ELISA法で塵 1g あたりのダニアレルゲン量を測定した。測定は、ニチニチ製薬株式会社で実施した。

#### 4-5) 温度・湿度

おんどとり TR-72U (T&D 社製) を用いて、居間の温度と湿度を 48 時間測定し、平均温度・湿度を求めた。

### 5. 質問紙調査票

#### 5-1) 住居に関する調査

各住居につき 1 部を配付し、世帯主もしくはそれに準ずる成人に記入を依頼した。1 年以内のリフォーム、芳香剤・防虫剤の使用、ペットの有無、床や壁の材質、換気や清掃状況など住居に関する内容 30 項目について質問した。住宅の湿度に関しては結露、眼に見えるカビの発生、濡れタオルの乾きにくさ、カビの臭い、過去 5 年間の水漏れの有無の 5 項目について調査をおこない、さらに 5 項目の合計を湿度環境指数とした。結露とカビ発生については、発生場所も確認した。また、農薬に関して建材の防蟻剤処理など 7 項目について質問した。フタル酸エステル類、リン酸トリエステル類を含むと考えられる什器・備品として 10 品目の家具や家電の設置状況、難燃加工・難燃素材のカーテン、敷物、壁紙クロス、天井クロス 4 項目の使用状況について質問した。

#### 5-2) 健康に関する調査

各住居の住人全員に 1 部ずつ配付した。住宅由来の症状と考えられる自覚症状は、Andersson 1998 [13] によるシックビル質問票 MM40EA 日本語版 [14] の 5 症状 12 項目を利用した。なお、6 歳以下の未就学児には「とても疲れる」「頭が重い」といった精神・神経項目を除いた未就学用調査票を用い、4 症状 7 項目とした。シックハウス症候群の自覚症状に加えて、喫煙状況、在宅・睡眠時間、運動・栄養・ストレス状況、家・家具のにおいや室内の空気が気になるか、危険物や化学物質の取り扱い、アレルギー疾患による治療の有無などについて質問した。

### 6. 解析

#### 6-1) シックハウス症候群の定義

本研究では、健康項目調査票に Andersson 1998 [13] によるシックビル質問票日本語版 [14] に合わせた自覚症状 5 症状 12 項目（未就学児は精神神経症状をのぞく 4 症状 7 項目）のうち、1 つでも「はい、よくあった（毎週のように）」かつ「その症状が自宅の環境によるものと思う」と回答した場合を Sick House Syndrome（以下 SHS）ありとした。症状別は、5 つの症状につき、それぞれの項目のうち 1 つでも「はい、よくあった（毎週のように）」かつ「その症状が自宅の環境によるものと思う」と回答した場合を、SHS-症状別ありとした。

- ① 精神神経：とても疲れる、頭が重い、頭痛、はきけやめまい、集中できない（5 項目）
- ② 眼：目がかゆい・あつい・チクチクする（1 項目）
- ③ 鼻：鼻水・鼻づまり・鼻がムズムズする（1 項目）
- ④ 喉・呼吸器：声がかすれる・のどの乾燥、咳がでる（2 項目）
- ⑤ 皮膚：顔が乾燥・赤くなる、顔や耳がかさつく・かゆい、手が乾燥・かゆい・赤くなる（3 項目）

#### 6-2) SHS との関連の検討時における、定量下限値 (Limit of detection, LOD) 未満の取り扱い

MVOC 類の LOD=0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  未満は 0.25 を代用入力した。

アルデヒド類、VOC 類の LOD（それぞれ 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）以下は 0.5 を代用入力した。

ダニアレルゲン量の LOD=0.10g/g fine dust 未満には 0.05 を代用入力した。

#### 6-3) 解析方法

住宅調査票および健康調査票から、有訴数および有訴率を計算した。室内環境測定項目は、検出率、中央値または幾何平均値、および最小値、25%、75%、最大値を求めた。SHS と個人および住宅要因との関連は、 $\chi^2$  検定を実施し、オッズ比 (95%信頼区間) を求めた。

MVOC と SHS の関連については、検出率が



25%以上の4化合物(3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、2-ペンタノール、2-ヘキサノン)、および8化合物の合計(Total 8 MVOC)について実施した。4化合物は定量下限値未満の未検出/検出の2群に、Total 8 MVOCは中央値の $2.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で2群にし、未検出(Total 8 MVOCは $2.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満)をリファレンスとして検出群(Total 8 MVOCは $2.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)について $\chi^2$ 検定、およびオッズ比(95%信頼区間)を求めた。さらに、MVOC濃度とアルデヒド・VOC、真菌との関連はスピアマンの相関、MVOC濃度と住宅要因との関連は、Mann-Whitney U 検定を実施した。

解析には全てSPSS ver. 14.0J for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)を用いた。

## C. 研究結果

### 1. 対象住宅の特徴

全国6地域 182軒の対象住宅特徴を表1に示す。構造は木造住宅が全体の80%を占めた。築年数は2003年の調査時点での数値に経過した3年を加算して実際の築年数とした。最も多いのは築4年目の住宅で、全ての住宅は築3年以上、8年以下である。一部屋あたりの居住者数は、平均0.65人(SD±0.24)だった。1年以内にリフォームを行ったのは7軒(3.8%)、芳香剤は約25%、室内の防虫剤は約40%の住宅で使用していた。喫煙者のいる住宅は約20%、室内で居間にじゅうたんを敷き詰めている住宅は3.8%だった。掃除頻度は、2日に1回以上掃除をする家が56%、2日に1回以上窓を開ける家が77%だった。1回に窓を開ける時間が30分以内の住宅と1時間以上の住宅はほぼ半数ずつであった。

対象住宅の湿度環境を表2に示す。湿度環境のうち、最も有訴が多かったのは目に見えるカビの生育で約77%の住宅でみられた。結露は約67%の住宅で見られた。結露の場所は窓のみが最も多く、60%近くの住宅に生じていた。壁の結露は5%の住宅で、また3%の住宅では窓と壁の両方に結露が生じていた。カビ臭さと風呂場の濡れタオルの乾きにくさは20%の住宅で、水漏れは10%の住宅でみられた。これら5つの湿度環境の有訴を足し上げ

て湿度環境指数としたところ、有訴数が最も多いのは2つ、次いで1つまたは3つであった。湿度環境にひとつも有訴がない住宅が13%だった一方、5つの項目全てに「ある」と答えた住宅も3件(1.6%)あった。

### 2. 対象者の特徴

対象者の特徴を表3に示す。対象者の男女比は、若干女性が多かった。年齢は19歳以下と40-59歳が30%ずつ、20-39歳が20%、60歳以上が15%だった。現在の喫煙は10%、ストレスレベルが高いは26%、ぐっすり眠れないは34%、週1回以上運動する者は48%であった。現在のアレルギー治療は17%だった。

### 3. SHSと住宅要因、個人要因との関連

SHSの有訴率を表4に示す。5症状のうちいずれか1つ以上の症状があるSHS有訴率は5.6%だった。症状別にみると、最も有訴率が高いのが鼻症状の3.8%、次いで喉・呼吸器症状の2.2%だった。

$\chi^2$ 検定でSHS有訴と住宅要因で有意差が見られた項目を表5に示す。1年以内のリフォームOR 3.87, 95%CI:1.24, 12.07、絨毯/カーペットの敷き詰めOR 3.87, 95%CI:1.24, 12.07、1回の窓の開放時間が短いことOR 2.58, 95%CI:1.25, 5.31であった。統計学的には有意でなかったが、芳香剤の使用がある住宅の方がSHSの有訴が低い傾向が見られた( $p=0.069$ )。

$\chi^2$ 検定によりSHS有訴と個人要因で有意が見られた項目を表6に示す。年齢グループ(19歳以下をリファレンスとして60歳以上であることOR 0.22, 95%CI:0.05, 0.95)、現在のアレルギー治療(OR 3.14, 95%CI:1.52, 6.45)、ストレスレベルが高いこと(OR 2.23, 95%CI:1.10, 4.53)であった。「ぐっすり眠れないこと」と「週1回以上の運動」は統計学的に有意ではなかったものの、有意な傾向が見られた(それぞれ $p=0.058$ ,  $0.054$ )。

### 4. 室内環境調査

#### 4-1) MVOC類

室内のMVOCの測定値(表7)を示す。最も高濃度のMVOCは1-ペンタノールで、幾何平均値は $0.64 \mu/\text{m}^3$ 、検出率は56%だった。以下、検出率の多い順に3-メチル-1-ブタノー

ル (0.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、49%)、2-ペンタノール (0.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、32%)、2-ヘキサノン (0.34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、28%)、1-オクテン-3-オール (0.29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、11%)、2-ヘプタノン (0.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、10%)、3-オクタノン (0.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、4.4%) だった。3-オクタノールはすべての住宅で定量下限値未満だった。

#### 4-2) その他の住宅環境調査

測定中の室内平均温度は 22°C、平均湿度は 54% だった (表 8)。アルデヒド・VOC (表 9)、真菌同定結果 (表 10)、ダニアレルゲン量 (表 11) の測定結果を示す。室内濃度が高かったアルデヒド類は、ホルムアルデヒド (幾何平均値 32.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、アセトアルデヒド (15.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、アセトン (22.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) で、検出率がすべて 95% 以上だった。また、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの厚生労働省の指針値 (それぞれ 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を超えていた住宅は、それぞれ 7、14 軒だった。VOC 類は検出率の高い順に n-ウンデカン (幾何平均値 4.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出率 56%)、リモネン (3.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、51%)、トルエン (2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、45%)、パラジクロロベンゼン (3.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、37%)、 $\alpha$ ピネン (2.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、35%) などであった。パラジクロロベンゼンの指針値 (240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を超えた住宅は 11 軒、TVOC の指針値 (400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を超えた住宅は 13 軒だった。トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンで指針値を超えた住宅はなかった。真菌は最も多く検出されたのが *Cladosporium* 属 (中央値 190 CFU/ $\text{m}^3$ 、検出率 89%)、次いで *Penicillium sp.* (20 CFU/ $\text{m}^3$ 、78%)、*Aspergillus* 属 (10 CFU/ $\text{m}^3$ 、52%) だった。総真菌量の中央値は 330 CFU/ $\text{m}^3$ 、99% の住宅から何らかの真菌が検出された。Der f1 は中央値 1.65g/g fine dust、90% の住宅で検出されたが、Der p1 の検出率は 40% だった。Der1 (Der f1 と Der p1 の和) の中央値は 2.47g/g fine dust、91% の住宅で検出された。

#### 5. MVOC 類と真菌量の相関

MVOC と真菌量の相関を表 12 に示す。MVOC の中では 1-ペンタノールと 2-ヘキサノンがもっとも強い正の相関を示した ( $r=0.688$ 、 $p<0.000$ )。その他の 2-ペンタノール、3-メ

チル-1-ブタノールも、互いに正の相関を示した ( $r=0.174\sim 0.388$ 、いずれも  $p<0.05$ )。MVOC と真菌量は、*Cladosporium* 属と弱い負の相関を示す一方 ( $r=-0.154\sim -0.257$ )、*Aspergillus* 属とは正の関連であった (統計学的に有意となったのは 2-ペンタノールのみで、 $r=0.171$ 、 $p<0.05$ )。 *Penicillium sp.* と MVOC 濃度には関連は見られなかった。

#### 6. MVOC 類と住宅要因

表 13 に MVOC 濃度と住宅要因の関連を示す。木造構造の住宅では、1-ペンタノールと 2-ヘキサノンが木造以外の構造の住宅よりも有意に高濃度だった。また床が板の住宅は板以外の住宅よりも 1-ペンタノールが有意に高濃度で、2-ヘキサノンは有意ではないものの高い傾向がみられた ( $p=0.059$ )。窓の開閉頻度が低い (2 日に 1 回以下) 住宅で、頻繁に窓を開ける (2 日に 1 回以上) 住宅よりも 3-メチル-1-ブタノールの濃度が高かった。さらに、1 回の窓を開ける時間が 30 分以内の住宅では、1 時間以上開ける住宅よりも、3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、2-ペンタノール、2-ヘキサノンすべての濃度が高かった。表 14 に MVOC 濃度と湿度環境の関連を示す。場所を問わずに結露の有無と MVOC 濃度との関連は見られなかったが、壁に結露がある場合は Total 8 MVOC 濃度が有意に高く、2-ペンタノールは高い傾向が見られた ( $p=0.096$ )。さらに壁と窓の両方に結露がある場合は 2-ペンタノールおよび Total 8 MVOC 濃度は有意に高かった。目に見える真菌の有無、かび臭さ、濡れタオルの乾きにくさ、水漏れ、といったそのほかの湿度環境と MVOC 濃度には関連は見られなかった。

#### 7. MVOC 類の健康影響

測定した MVOC のうち、検出率が 25% 以上の 4 種 (3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、2-ペンタノール、2-ヘキサノン) を、未検出をリファレンスとして検出された場合の SHS オッズ比 (95% 信頼区間、以下 95% CI:) を求めたところ (表 15)、2-ペンタノールは有意にオッズ比をあげた (OR 2.20、95% CI: 1.11, 4.36)。その他の 3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、2-ヘキサノンおよ

び Total 8MVOC については、有意な関連はみられなかった。SHS 症状別で見た場合でも、2-ペンタノールは鼻症状、および喉・呼吸器症状で有意な関連が見られた（それぞれ、OR 2.74、95%CI:1.20, 6.22）、OR 3.04、95%CI:1.04, 8.88）。

## D. 考察

### 1. MVOC 濃度と住宅との関連

本研究によって、日本の築8年以内の一般住宅の室内 MVOC 濃度の実態が初めて明らかになった。8種類の MVOC のうち、もっとも高頻度で検出され、平均濃度も高かった物質は1-ペンタノール（幾何平均値  $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出率 55%）、ついで3-メチル-1-ブタノール（ $0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、49%）だった。Elke ら [15] の報告と比較すると、3-メチル-1-ブタノール濃度は真菌生育のある住宅で  $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ない住宅でも  $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と本研究よりも少し濃度が高い程度だった。最も高濃度検出されていた3-オクタノールは本研究では検出されなかった。Elke らは本研究同様拡散法サンプラーを用いているが測定期間が4週間と本研究よりも長い。Dewey ら [16] の報告した湿度環境が悪化して真菌が生育している住宅の2-ペンタノール、2-ヘプタノン、1-オクテン-3-オール、3-オクタノール濃度はいずれも本研究よりも高かったが、湿度環境に問題のない対照住宅の濃度は本研究結果よりも低かった。Dewey らはアクティブ法を用いている。本研究の濃度はすべての住宅の平均であるため、Dewey らによるケース/コントロールの中間の値になったと考えられる。

本研究では、MVOC 濃度が室内空気中化学物質と相関を示した。特にアセトアルデヒドは1-ペンタノールや3-メチル-1-ブタノールともそれぞれ相関係数が0.5前後であった。Bartlett ら [17] は、*Fusarium verticillioides* の培養2日目でアセトアルデヒド、エタノール、1-ペンタノールが、次いで5日目から3-メチル-1-ブタノールが多くなることを示している。本研究ではアセトアルデヒドは96%の住宅で測定されており、このうちの一部はMVOC 同様真菌によって放散されている可能

性がある。一方、MVOC 濃度と気中真菌量とは *Cladosporium* 属とは負の相関、*Aspergillus* 属とは正の関連（有意差は2-ペンタノールのみ）がみられた。MVOC 濃度と真菌量との逆相関は Kim らも報告しており、この理由として、窓の開閉習慣の関与を示唆している。本研究でも、窓の開放時間が長くなると MVOC 濃度が有意に低いと、反面、*Cladosporium* 属の真菌数が有意に多いため（data not shown）、負の相関が得られたと考えられる。なお、窓の開放時間と *Aspergillus* 属の真菌数には有意な関連は見られなかった。

さらに、Menetrez らは [5] いくつかの真菌を培養してピーク時の MVOC の放散レベルを測定したところ、MVOC の放散濃度が多いのは *Rhodotorula* 属（ $515 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、*Aspergillus* 属（ $63.7\text{--}205 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、*Penicillium* 属（ $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）であった一方、*Cladosporium* の放散量は  $33.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と少なかった。さらに、*Cladosporium* が放散する MVOC のうちアルコール類とケトン類は 5.1% と少なかったことを報告している。本研究では MVOC 放散量が少ないとされた *Cladosporium* 属が主要真菌で約 60% を占め、測定した MVOC はアルコール類とケトン類のみである。また、これらの MVOC は真菌のみならず、放線菌 [6] や *Bacillus spp* [18] から産生されている。今回測定された室内空気中の MVOC 発生源としては室内気中真菌以外にもその可能性がある。

MVOC 濃度は、結露の有無とは有意な関連は見られなかった。本研究では、平均室内湿度は 54% と高くはなく、室内湿度と MVOC 濃度にも有意な相関は見られなかった。しかし、壁と窓の両方に結露がある住宅では有意に MVOC 濃度が高かった。Korpi [19] は、異なる湿度で微生物の混合培養を建材（壁表面の石膏ボードと壁紙、床材や壁の素材となる樹脂合板とガラスウール、浴室の床に用いられるセラミックタイルの3種）を用いて実施した。湿度が 90–92% で微生物を接種した樹脂合板からは、3-メチル-1-ブタノール、1-ペンタノール、1-ヘキサノールが産生されたと報告している。さらに、一旦湿度が 90% 以上と

高くなると、湿度が 32-33%に低下しても建材中の湿気は高く保たれることを示している。今回の結果から、窓枠のみの結露では真菌生育は少ないが、壁に結露がある場合は室内湿度が低くても局所の湿度が高くなるため建材に真菌が生息し、MVOC を産生している可能性が示唆された。

本研究では、かび臭さと MVOC 濃度に関連が見られなかった。これは、MVOC の中でもかび臭の原因とされる 2-ヘプタノン や 1-オクテン-3-オール [21] の検出が低かったためと考えられる。さらに、今回は分析しなかったかび臭の原因化合物である 2-メチル-1-プロパノールや、硫化物類を分析に加える必要があるだろう。

限界と今後の課題として、本研究ではパッシブ法で室内 MVOC 濃度を測定したことがあげられる。パッシブ法の測定は検出下限値がアクティブ法より高く、検出率が低くなることで結果を歪めている可能性がある。しかし、本研究では実際に何らかの MVOC が 80%近い住宅で検出され、平均濃度も Elke ら [14] や Dewey ら [15] の研究と近似であったため、測定方法としては妥当性があると考えられる。本研究で用いた測定した方法は簡便なため、今後さらに大規模な疫学調査での使用が可能である。今後さらに対象住宅を増やすことで検出率を上げ、住環境と MVOC 濃度とのより詳細な関連を示すことが可能になるだろう。

本研究では MVOC 濃度を居間のみで測定した。そのため、目に見える真菌の生育、風呂場の湿度、かび臭さ、水漏れといった湿度環境と MVOC に有意な関連が見られなかった可能性がある。本研究での MVOC 濃度は低く、例えば浴室や脱衣所の真菌生育を居間の MVOC 濃度が反映していない可能性がある。建材中の真菌生育については、結露のある壁や床をぬぐって微生物量を測定することで、MVOC 濃度との関連について検討することが可能になると考えられる。

本研究結果は、MVOC 濃度と窓の開放時間の関連を示した。室内あるいは建材に真菌が生育して MVOC を産生しても、長時間窓を開けることで室内空気中の MVOC 濃度を低下させる

ことができることを示した。今後、換気扇やエアコンの使用などの換気システムと MVOC 濃度との関連についての解析を実施する予定である。

## 2. MVOC 濃度と症状との関連

本研究から、MVOC のうち 2-ペンタノールの存在が SHS、特に鼻や喉・呼吸器症状に影響する結果が得られた。

2-ペンタノールの鼻・呼吸器への作用機序としては、先行研究から下記の仮説が考えられる。

① 動物実験で *Penicillium* 種と *Trichoderma viride* が産生する VOC が呼吸器粘膜の毛様運動に作用し、細胞からの炎症メディエーターを放出させたことから [19]、2-ペンタノールの暴露により、炎症メディエーターが産生されて呼吸器刺激が起こった。

② MVOC が細胞毒性 [20] を引き起こすという報告から、低濃度ではあるが 2-ペンタノールの慢性暴露により鼻粘膜細胞の損傷が起こり、他のアレルゲン接触時に症状が誘発されやすくなった。

本研究で測定された 2-ペンタノールをはじめとする MVOC 濃度は Pasanen ら [8] が示した空気中で刺激となりうる MVOC 濃度よりも低い。しかし、非常に低濃度の MVOC も暴露されれば健康への影響がある可能性が示唆された。

限界と今後の課題としては、MVOC と SHS の関係は未検出をリファレンスとして検出された場合のオッズ比で示したため、量-反応関係を示すものではない。しかし、本研究から非常に低濃度であっても健康への影響がある可能性が示唆されたため、今後より大規模での疫学研究や、2-ペンタノールの暴露実験により、その健康影響について詳細に検討する必要があると思われる。

今回 MVOC と SHS の解析には、以前より SHS の原因として指摘されている他の室内環境測定値、例えばホルムアルデヒドなどの化学物質や真菌量の影響を考慮していない。今後、他の室内環境要因も含めた多変量解析を実施するなど、より詳細な解析が必要である。