

表 厚生労働省「室内濃度ガイドライン値」

1996年から厚生省（当時）によりホルムアルデヒドに関する全国調査が開始され、シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会により、1997年から2002年にかけて室内汚染物質13種について室内濃度ガイドライン値が定められた。

揮発性有機化合物	室内濃度ガイドライン値	設定日
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)	1997.6.13
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)	2002.1.22
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)	2000.6.26
キシレン	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20 ppm)	2000.6.26
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)	2000.12.15
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)	2000.12.15
パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)	2000.6.26
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)	2001.7.5
クロルピリフォス	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 小児の場合 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)	2000.12.15
フェノブカルブ	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)	2001.1.22
ダイアジノン	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)	2001.7.5
フタル酸ジ-n-ブチル	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppm)	2000.12.15
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6 ppb)	2001.7.5

な症状を説明し得る他の器質的疾患が除外されていることが大前提であるが、以下の6項目からなっている。

- ① 慢性の経過をたどる
- ② 再現性をもって症状が出現する
- ③ 微量な化学物質に反応を示す
- ④ 関連性のない多種類の化学物質に反応を示す
- ⑤ 原因物質の除去で症状は改善される
- ⑥ 症状は複数の器官、臓器にまたがる

本邦では、石川ら⁴⁾によって紹介され、その後、彼のグループをはじめ国内外の多くの研究者・臨床家が病態解明・診断治療に関する報告を行っているが⁵⁻⁷⁾、SBSのような臨床分類⁸⁾は存在せず、標準化された診断基準・診断ガイド

ラインの作成・確立までには至っていない。しかしながら、一般生活環境に加え、職域においてもMCS症状を訴える労働者が存在することは明らかであるにも関わらず、その病態解明が未だ進展していないために、対応する産業医・企業によって患者である労働者への対応は大きく異なっているのが実状である。そこで本稿では、SBS・MCSの発症に関わる職業性環境因子の関与について解説する。

1. 職域におけるシックハウス症候群 (シックビルディング症候群 SBS)

職場における室内空気汚染による健康障害の

代表的なものとして、SBSがあげられるが、MCS発症契機の一つとして臨床的に重要である。職場の新築ビルへの移転、IT環境整備に伴うリフォーム等に使用された建築材料および建築材料関連品によるケースが重要である。職場であっても通常の事務作業場としてのオフィスや会議室等は、一般住宅と同様、厚生労働省によって定められている13種類の室内空気汚染物質(表)⁹⁾をガイドライン値以下に保つ努力が建築側にも企業側にも要求されているため、13種の化学物質がガイドライン値を大幅に超過する状況は、近年ほとんど見られなくなっている。しかしながら、これら13種の化学物質の代替化合物として使用されるようになった新規化合物によるものと考えられるSBSが知られている。齋藤ら¹⁰⁾は、最近の室内で比較的高い濃度で検出された物質として、ジクロロメタン、メチルシクロヘキサン、2-ブタノン(メチルエチルケトン)等をリストアップしている。一方、建築材料および建築材料関連品から放散する先述のVOCsに加え、作業者の業種に係るSBS関連化学物質にも注意が必要である。SBS症状を呈する作業環境として問題となりうる可能性のある業種として、これまでメラミン樹脂塗料製造、塗料製造を除く化学品製造、プリント回路銅めっき、プリント回路を除く無電解銅メッキ、ガラス短繊維製造、ロックウール製造、ガソリンスタンド業、クリーニング業、集材材製造業、接着剤製造業、合成ゴム製造業などの調査がなされている¹¹⁾。

1) メラミン樹脂を用いて塗料を製造する作業工程：

メラミン樹脂は、メラミンとホルムアルデヒドとを反応させてえられる熱硬化性樹脂で、わずかではあるがホルムアルデヒドを含有する。製造作業工程中の原料仕込みまたは分散後にメラミン樹脂を投入する作業が行われ、この時のホルムアルデヒド曝露が問題となる。

2) 塗料以外の化学品製造作業工程：

これまでの調査では、ホルムアルデヒドまたはパラホルムアルデヒドを用いて化学製品を製造する作業工程においてSBS症状に関連する健康リスク調査が行われている。

3) プリント回路銅めっき作業工程：

プリント回路基板への無電解銅めっき作業工程では、銅箔を圧着した基盤に貫通孔を形成し、無電解銅めっきを行って通電する工程を経ることなしに樹脂の表面にごく薄い銅の皮膜を形成させるが、その作業工程の中で、ホルムアルデヒドが使用される。

4) 無電解銅めっき作業工程：

プラスチック製品に対するめっき方法である。プラスチックを表面処理によって金属化し高級感を与える装飾的なものと、プラスチック樹脂の劣化防止目的で使用されるものがある。主な作業工程は、プリント回路銅めっき作業工程とほぼ同様で、ホルムアルデヒド曝露が問題となる。

5) ガラス短繊維製造作業工程：

ガラス繊維どうしをバインダー液により接合するが、このバインダー液にフェノール樹脂を用いている。フェノール樹脂は、フェノールとホルムアルデヒドに触媒等を用いて反応させて得られるため、ここでもホルムアルデヒド曝露が問題となる。

6) ロックウール製造作業工程：

ガラス短繊維製造工程とほぼ同様である。上記1)～6)の作業工程において、一部を除きその大部分において、特定作業場におけるホルムアルデヒドの指針値濃度である0.25 ppmは下回る状況であったが、厚生労働省が定める室内空気質のガイドライン値である0.08 ppm以下を維持するのは作業の性質上困難な状況であるとされている。

7) ガソリンスタンド業：

ホルムアルデヒドは、多くの測定場所で0.08

ppm未満であり、厚生労働省ガイドライン値の遵守というレベルでは問題とはならないが、給油作業場付近において、トルエンが同ガイドライン値である0.07ppmを超える場所の報告が見られている。トルエンの検出は、ガソリン、軽油等の含有成分に依存したものと考えられている。

8) クリーニング業：

ホルムアルデヒドについては、測定対象となった事業場のすべてで厚生労働省ガイドライン値未満であり、リスクは低いと判断されたが、トルエンについては、石油系ドライクリーニング作業場付近でガイドライン値を超える事業場の存在が確認されている。キシレンについてもトルエンと同様の放散挙動を認めている。

9) 集材材製造業：

調査対象となったすべての事業場で、ホルムアルデヒドを含有した接着剤を使用しており、ホルムアルデヒドはこれらすべての事業場において、特定作業場の指針値0.25ppm以上の高い値が認められている。

10) 接着剤製造業：

ホルムアルデヒドを主原料とするため、調査対象となった事業場は、0.25ppmを超える値を認めている。トルエンについても反応釜への原料投入時の作業場で、厚生労働省ガイドライン値の0.07ppmを超える値が測定されている。

11) 合成ゴム製造業：

ホルムアルデヒド、トルエンをはじめ、ガイドライン値の遵守という意味で問題となる事業場はなかったとされている。

2. ホルムアルデヒド-ヘモグロビン付加体 (Fab-Hb) 測定の意義

基礎医学教育において人体解剖学実習は極めて重要な実習科目の一つであり、医育機関にお

いては、すべての医学生が履修しなければ医師にはなれない。しかし、実習期間は約6か月にも及ぶため、ご遺体の防腐処置は必須作業であり、一般的にこの処置に用いられるのが4%ホルムアルデヒド水溶液(10%ホルマリン)である。よって、その曝露を長期間受けることになる医学生、担当指導教員の中には、少なからず眼・喉の刺激感や頭痛、元来のアレルギー症状の悪化などのSBS症状を訴えるケースも存在する。そこで松井ら¹²⁾は、血中のホルムアルデヒド-ヘモグロビン付加体(Fab-Hb)を弱陽イオン交換カラムを用いたHPLC法を用いる定量測定法を開発し、ホルムアルデヒド個人曝露量の推計を試みている。職域におけるホルムアルデヒド個人曝露量の客観的指標として期待されている。

3. 呼気中化学物質の測定による曝露評価

シックハウス(シックビルディングSBS)症状、MCS症状を訴える化学物質不耐性集団(高感受性集団)に対して、呼気中の化学物質濃度を測定し、健康影響評価を行うことが水越ら¹³⁾によって提案されている。健常者ならびに化学物質不耐性を有する被験者から呼気を約1.0L採取し、加熱脱着ガスクロマトグラフ質量分析計にて6種類の揮発性有機化合物を測定している。測定対象とした化合物は、ベンゼン、パラジクロロベンゼン、イソプレン、リモネン、トルエンの5種である。それぞれ健常者の値に比して化学物質不耐性を有する群では高い傾向が認められ、このうちトルエン濃度は健常者に対して約2倍の高値を示した。以上のことから、呼気中のVOCsを測定することは、作業環境の生体影響の評価に今後役立つものと思われる。

おわりに

シックハウス(シックビルディング)症候群

SBS, 化学物質過敏症 MCS は、発症要因の多様性に加えて、発症時の症状や重篤度が多岐にわたっており、診断方法が確立されているとは言えない状況である。しかしながら、一般生活環境に加え、職域における SBS あるいは MCS 症状を訴える労働者が存在することは明らかであり、対応する産業医・企業によって患者である労働者への適切な対応が望まれている。そこで本稿では、SBS・MCS の発症に関わる職業性環境因子の関与について解説した。

室内空気汚染物質の中でもホルムアルデヒド濃度は、2002年における改正建築基準法の施行以後、新築住宅・リフォーム住宅では減少傾向にあり、表-1の厚生労働省による室内空気質に関するガイドライン値 0.08 ppm を超過する家屋は少なくなった。しかし化学物質を扱う作業環境でのホルムアルデヒド濃度は、未だ高い状態が継続している。ホルムアルデヒドを含有する原料を使用する集材製造業、接着剤製造業で作業場所や作業内容によって中毒症状が問題となるレベルまでは到達しないまでも、衛生上の問題となりうる 0.25ppm を超える値が認められている。特に集材製造作業場所では、5ppm を超える値も確認されている。よって、このような労働環境における適切な換気システムの構築、作業方法の改善が望まれる。また、一般住居環境、職域を問わず、厚生労働省ガイドライン値の示されている13種の化学物質の代替化合物として使用されるようになった新規化合物によるものと考えられる健康障害も報告されている。このような理由から、2012年度より「シックハウス（室内空気汚染）問題検討会」が厚生労働省により10数年ぶりに立ち上げられ、新しいガイドライン値の設定について検討が続けられている。

なお本稿では、平成25年度環境省委託研究

「環境中の微量化学物質による健康影響に関する調査研究業務（研究代表者：坂部 貢）、平成25年度厚生労働科学研究費補助金「シックハウス症候群の診断基準の検証に関する研究」（H25-健危-一般-008、研究代表者：坂部 貢）ならびに平成25年度文部科学研究費補助金・基盤研究（C）「化学物質過敏症を訴える集団における微量化学物質影響のリアルタイムモニタリング」（25340050、研究代表者：坂部 貢）で行われている研究成果の一部を紹介している。

*揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds; VOCs）は、揮発性を有し、大気中で気体状となる有機化合物の総称。具体的な成分として、塗料、印刷用インク、接着剤、洗浄剤、ガソリン、シンナーなどに含まれるトルエン、キシレンなどが代表的な物質

文 献

- 1) Randolph TG: J. Lab. Clin. Med. 54:936, 1959
- 2) Cullen MR: an overview. Occup. Med.:State of the Art Rev. 2:655-661, 1987
- 3) Editorial: A 1999 consensus. Arch. Environ. Health 54 (3) :147-149, 1999
- 4) 石川 哲ら：日本医事新報 3857:25-29, 1998
- 5) Meggs WJ:Toxicol. Indust. Health, 15:331-338, 1999
- 6) Yasunari Matsuzaka *et al*: Environ. Toxicol. Pharmacol. 29:190-194, 2010
- 7) Kenichi Azuma *et al* .A multi-channel near-infrared spectroscopic study. PLoS One 8 (11) :1-8, 2013
- 8) 宮島江里子ら：臨床環境医学 20 (1) :32-39, 2011
- 9) 厚生労働省「室内濃度指針値一覧表」. <http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/situnai/hyou.html>
- 10) 齋藤育江ら：臨床環境医学 21 (1) :57-65, 2012
- 11) 職域におけるシックハウス対策報告書. 中央労働災害防止協会・労働衛生調査分析センター編. 2005
- 12) 松井康人ら：臨床環境医学 15 (1) :50-57, 2006
- 13) 水越厚史ら：臨床環境医学 15 (1) :58-63, 2006

シックハウス症候群への対策と予防

監修：坂部 貢（東海大学基礎医学系生体構造機能学教授）

居住者の健康を維持するという観点から、問題のある建物内においてみられる健康障害を総称してシックハウス症候群と呼んでいる。その中でも、主として人工化学物質による室内空気汚染によって生じる狭義のシックハウス症候群については、標準化された疾患概念が十分に確立していないため、本症候群を取り扱う医療機関によって患者背景が大きく異なり、たびたび現場での混乱も指摘されている。本特集では、最近問題となっているシックハウス症候群の動向について、環境医学的ならびに建築工学的な視点から解説し、本症候群への対策と予防に関する理解を深めることを目的とした。

① シックハウス症候群，化学物質とアレルギー

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻環境衛生学講座教授 高野裕久

② 最近問題となる室内空気汚染物質とシックハウス症候群

千葉大学予防医学センター 中岡宏子

千葉大学予防医学センター特任教授 瀬戸 博

千葉大学予防医学センター教授 戸高恵美子

千葉大学予防医学センター長 教授 森 千里

③ 建築工学的視点から見た医師に必要な知識

——シックハウス症候群を中心に

早稲田大学創造理工学部建築学科教授 田辺新一

早稲田大学理工学研究所研究員講師 金 炫兌

シックハウス症候群，化学物質とアレルギー

高野裕久(京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻環境衛生学講座教授)

Point

- ▶シックハウス症候群は，アレルギー疾患の発症や既存のアレルギー疾患の再発，悪化として表出する場合がある
- ▶アレルギー疾患の増加，悪化に関わる環境要因を考える際，アレルゲンのみならず，環境化学物質をはじめとする環境汚染物質の存在に配慮する必要がある
- ▶少なくとも実験的には，ある種の環境汚染物質・化学物質は，明らかにアレルギー疾患を悪化させ，そのメカニズムも解明されつつある
- ▶アレルギー疾患の制圧をめざすためには，医学的アプローチのみならず，環境科学的アプローチも重要と考えられる

1. シックハウス症候群とは

厚生労働科学研究(健康安全・危機管理対策総合研究事業)の「シックハウス症候群診療マニュアル」によると，シックハウス症候群は4型に分類される。1型は化学物質による中毒症状，2型は新・改築などで化学物質曝露の可能性が大きいもの(狭義のシックハウス症候群)，3型は化学物質曝露が考えにくく，心理・精神的関与が考えられるもの，4型はアレルギー疾患や他の疾患によるものである。また，「シックハウス症候群の概念は(中略)広範囲の病態を含むため，中毒，アレルギーなどの疾患以外で，微量の化学物質により発生する病態未解明の状態を，狭義のシックハウス症候群として扱うことを，2007年に厚生労働科学研究費補助金による合同研究班(中略)で合意した。化学物質により発生する狭義のシックハウス症候群は，『建物内環境における，化学物質の関与が想定される皮膚・粘膜症状や，頭痛・倦怠感等の多彩な非特異的症状群で，明らかな中毒・アレルギーなど，病因や病態が医学的に解明されているものを除く』」との記載もある。

一方，化学物質，特に建物内に存在する化学物質の曝露による，既存のアレルギー疾患の再発，再燃や悪化は，臨床的にしばしば経験されてきた。本稿では，シックハウス症候群，化学物質とアレルギーの関連について，筆者の知見を交えつつ概説する。

2. アレルギーの増加と環境要因

アレルギー疾患の増加，悪化に関連する要因として，居住環境，食環境，衛生環境などの

環境の変化が挙げられている。たとえば、居住環境の密閉化、空調の使用による湿度・室温の定常化(ダニアレルギー増加の可能性)、食生活の欧米化や多様化、寄生虫感染や細菌感染の減少などの重要性を指摘する研究者もいる。

一方、これらの環境の変化に共通してみられるのが、化学物質の増加である。居住環境に関しては、木材の防腐剤、防虫剤、建材の接着剤や塗料、家電製品に含まれる防燃剤や可塑剤、事務設備・機器や生活用品に使用されているナノ材料や界面活性剤など、食環境に関しては、食品中の防腐剤、抗酸化剤、着色剤、食品包装・容器などの添加物に含まれる可塑剤など、衛生環境に関しては、農薬、抗菌化学物質など、生活環境では多くの化学物質が使用されるようになってきた。これらの環境化学物質の中で筆者がまず注目したのは、大気汚染物質、特に大気中の微小粒子状物質とアレルギーの関連である。

3. 大気・空気汚染物質とアレルギー

筆者は、大気汚染物質であり、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)の代表とも言えるディーゼル排気微粒子(diesel exhaust particles: DEP)がアレルギー性気管支喘息を悪化させることを明らかにした¹⁾。DEPは平均直径が $1\mu\text{m}$ 未満と小さく、屋外のみならず室内環境にも容易に侵入しうるが、この経気道曝露はアレルギーによる好酸球性気道炎症、粘液産生増加、気道反応性亢進、アレルギー特異的抗体産生という気管支喘息の諸病態を悪化させた。また、この悪化メカニズムとして、アレルギーの存在下で多くのサイトカインの局所発現を増強させること、中でもTh2リンパ球由来のinterleukin (IL)-5の発現を加速させることが重要と考えられた。

DEPは、粒子と莫大な数の化学物質(芳香族炭化水素をはじめとする炭化水素や金属など)の集合体である。DEPに含有されるアレルギー悪化成分について検討を進めると、それは主に、脂溶性化学物質(群)であった。また、脂溶性化学物質を抽出した後の残渣粒子と脂溶性化学物質(群)が共存することにより、アレルギーは相乗的に悪化することも明らかになった。さらに、DEPに含有される環境化学物質であるフェナントラキノンの経気道曝露も、アレルギー特異的IgE抗体およびIgG抗体の産生を増強した。フェナントラキノンはアレルギー性炎症に対しても軽度の悪化影響を示したが、その作用はDEPに含有される脂溶性化学物質(群)に比較すると弱かった。ほかに、DEPに含有されるほかの環境化学物質であるナフトキノンの経気道曝露も、アレルギー性炎症を悪化させ、粘液産生細胞を増加させた。

4. 環境化学物質とアレルギー

環境化学物質には、経気道的以外にも、経口的、あるいは、経皮的に曝露されるものが存

在する。一方、アレルギー疾患には、喘息以外にも多数の病態が存在する。ついで、筆者らは、全身的に摂取（経口曝露）される環境化学物質が、アトピー性皮膚炎に及ぼす影響に注目した。たとえば、プラスチックの可塑剤として汎用され、ヒト臍帯でも検出されているフタル酸ジ(2-エチルヘキシル) (DEHP) では、ダニアレルギーによるアトピー性皮膚炎モデルの重症度は、低用量曝露で悪化を示した。逆に、高用量曝露では悪化影響は目立たなくなった。このような量-反応関係は、いわゆる「環境ホルモン（内分泌かく乱物質）」の作用でしばしば観察されることから、DEHPのアレルギー悪化作用は環境ホルモン作用と類似したメカニズムを介している可能性が示唆された。

1 環境化学物質のかく乱作用

筆者らは、環境化学物質の「内分泌かく乱作用」は、「遺伝子発現かく乱作用」「シグナル伝達かく乱作用」を含む「生命・生体システムかく乱作用」の一表現型であると考えている。環境化学物質のかく乱作用は、内分泌系のみにとどまらず、免疫系をはじめとするほかの系統にも発現する可能性があり、免疫系の不適切なかく乱がアレルギー疾患の悪化に結びついていると思われる。低用量曝露では不適切な活性化が、高用量曝露では細胞・組織障害性が誘導されると推定すると、inverted Uを示す量-反応関係も理解しやすくなる。

2 環境化学物質によるアレルギー悪化メカニズム

また、DEHPによるアレルギー悪化に係るメカニズムとしても、IL-5やエオタキシンなどの局所発現が重要と考えられた。筆者らの研究においてアトピー性皮膚炎を悪化させたDEHPの曝露量は、肝臓に病理学的変化をもたらす量に比較し、かなり少ないということも特筆すべき知見と言える。その後、DEHPの母体への曝露が、乳児期に曝露を受けた子ども（雄）のアトピー性皮膚炎を悪化させることも明らかになった。また、フタル酸ジイソノニルなどの可塑剤もアトピー性皮膚炎を悪化させるが、その一方で、アレルギー悪化作用を示さない化学物質も多数存在することも明らかになってきた。

3 環境化学物質によるアレルギー悪化作用のスクリーニング

環境化学物質をはじめとする環境汚染物質は莫大な数に上り、日々増加している。そのため、これらのアレルギー悪化作用を簡易かつ迅速にスクリーニングすることが重要となる。筆者らは、免疫・アレルギー反応や疾患に深く関わる樹状細胞、脾細胞の単独、あるいは複合培養系を用いて、in vivoでのアレルギー疾患の病態悪化作用をよく反映するin vitroスクリーニング手法の開発を進めてきた。総じて、樹状細胞の細胞表面分子であるCD86発現、脾細胞の細胞表面分子であるTCR (T cell receptor) 発現およびそのIL-4産生、抗原刺激による細胞増殖などが、in vivoにおけるアレルギー悪化影響をよく反映し、in vitroスクリーニング系、および指標として有用であることが示されつつある。

5. シックハウス症候群とアレルギー

① 広義のシックハウス症候群と狭義のシックハウス症候群

シックハウス症候群では、自宅、学校、勤務先などの居住空間における環境化学物質を含む環境要因により、種々の症状が誘起される。広義には、化学物質以外にも、たとえば室内の真菌が原因となる健康障害も含まれる。実験的にも、真菌に含まれるβグルカン¹は、経気道的に曝露されるとそれ単独でも気道炎症を惹起し、アレルギーと共存曝露されることでアレルギー性気管支喘息の病態をも悪化させうる。

一方、狭義のシックハウス症候群は、「何らかの化学物質(たとえば、ホルムアルデヒドやトルエン、有機リン系殺虫剤など)に比較的高濃度に汚染されている屋内でのみ症状が出現し、汚染された室内空間を離れば、症状は消失する」ことが一般的な特徴である。

② シックハウス症候群における(アレルギー)症状

シックハウス症候群で認められる症状は多岐にわたり、不定愁訴や自律神経失調症と診断されることも多いが、アトピー性皮膚炎、食物アレルギー、蕁麻疹、花粉症、アレルギー性鼻炎、気管支喘息など、もともと罹っていたアレルギー疾患の悪化や再発で表出することもしばしば経験される。言い換えれば、アレルギー疾患の既往者やアトピー体質者はシックハウス症候群の罹患に対し、高感受性群の可能性があるので留意する必要がある。

たとえば、小学校の改修工事に伴い皮疹が生じ、学校を離れると改善傾向を示す児童に関し、抗アレルギー薬内服により徐々に症状の改善がみられたというケース²⁾や、新築マンション入居後に膨疹が生じ、総IgEとホルムアルデヒドに対するIgE抗体価が上昇し、パッチテストにおいても陽性反応が示されたケース³⁾が報告されている。また、シックハウス症候群・化学物質過敏症の精査目的でアレルギー外来を受診した者の68%が、radio-allergosorbent test (RAST)で何らかのIgE陽性であったとの報告もある⁴⁾。小児におけるシックハウス症候群の疫学調査では、有訴者におけるアレルギー疾患有病率は70~95%と高率であったともいう⁵⁾。一方、ホルムアルデヒドによるアトピー性皮膚炎の悪化⁶⁾、フローリングに使用されているポリ塩化ビニル(polyvinyl chloride: PVC)の妊娠中における曝露と子どもの気管支喘息の関連⁷⁾、また、トリクロサンやパラベンのアレルギー疾患への影響が示されている⁸⁾。

6. シックハウス症候群，アレルギーに関する対策

シックハウス症候群に関する症状の中で、アレルギー疾患の関連の要素が大きいと判断される場合には、環境化学物質に関する対策とともにアレルギー疾患に関する対策・治療が有用である場合も少なくない。

たとえば、カビやダニやペットがアレルゲンとして、特に呼吸器系のアレルギー疾患に関与している場合がしばしば見受けられる。そのため、室内の化学物質だけでなく、室内のアレルゲンを極力減らすことも重要である。カーペット、畳、床、ソファ、カーテン、寝具、エアコン、空気清浄機など、徹底した掃除が有用となる場合がある。防虫剤や防カビ剤も化学物質であるため、それらは使わずに、掃除機で丹念に吸引することが効果的と考えられる。もちろん、掃除機の使用にあたっては、マスク着用や換気などのアレルゲンと化学物質に関する対策や、家族や同僚の協力が不可欠である。化学物質対策に用いた機器が、カビやダニの温床となり、アレルギー症状を増悪させる可能性もあるので、もう一度、よく振り返ってみることが必要であろう。

また、季節によっては、花粉がアレルギー性鼻炎の原因となることがある。一般的に、花粉は日中に大量飛散するため、花粉の時期の換気に関しては、注意を払う必要がある。換気により化学物質は減少しても、花粉というアレルゲンが増加するために、アレルギー症状が悪化する可能性も考えなければいけない。一般的なアレルギー疾患に対する薬物治療が効果的なケースもあり、専門医への受診がその助けとなる。

7. 未来に向けて

身近な環境に存在する大気汚染物質、環境化学物質などがアレルギー疾患を悪化させる可能性はあり、シックハウス症候群におけるアレルギー症状の悪化にも関与している可能性がある。特に、それ単独では低毒性と考えられる環境化学物質の少量曝露が、アレルギー疾患などをもつ感受性の高い集団に与える影響に注意を向ける必要がある。現段階では、環境化学物質の「生命・生体システムかく乱作用」に基づく健康影響に関し、研究や対策は不十分である。次世代のために、アレルギー疾患の制圧・撲滅をめざすためには、医学的対策のみならず、環境科学的対策も不可欠と考えられる。その第一歩として、悪化メカニズムのより詳細な解明とともに、莫大な数の環境化学物質を対象としうる簡易かつ、迅速で信頼性の高いスクリーニングの開発が望まれる。

文献

- 1) 高野裕久:京府医大誌. 2010;119(12):867-76.
- 2) 水城まさみ:アレルギーの臨. 2012;32(2):157-61.
- 3) 小川真規, 他:産業衛誌. 2008;50(3):83-5.
- 4) 池田浩己, 他:耳鼻免疫アレルギー. 2007;25(2):239-40.
- 5) 富川盛光, 他:日小児会誌. 2005;109(5):638-43.
- 6) 山川有子, 他:皮膚臨床. 2000;42(12):1903-6.
- 7) Shu H, et al:Indoor Air. 2014;24(3):227-35.
- 8) Savage JH, et al:J Allergy Clin Immunol. 2012;130(2):453-60.

特集
2

最近問題となる室内空気汚染物質とシックハウス症候群

中岡宏子 (千葉大学予防医学センター)

瀬戸 博 (千葉大学予防医学センター特任教授)

戸高恵美子 (千葉大学予防医学センター教授)

森 千里 (千葉大学予防医学センター長/教授)

Point

- ▶ホルムアルデヒドやトルエンに代表される初期のシックハウス問題は、ほぼ解決した
- ▶代替物質、微生物揮発性有機化合物 (MVOC)、準揮発性有機化合物 (SVOC)、PM_{2.5}などの新たな物質による汚染が注目されている。加えて、天然素材からの発生や二次的な生成など、汚染物質の生成要因は複雑化している
- ▶総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度や臭気とシックハウス症状発現の関係は、高感受性群で明確に現れる
- ▶揮発性有機化合物 (VOC) 濃度の総量規制が望まれる
- ▶「環境改善型予防医学」による未来世代のための街づくりが重要である

1. 変化する室内空気汚染の実態とシックハウス症候群 予防への試み

室内空気中には多くの化学物質が存在し、シックハウス症候群の主な原因はそれらの化学物質〔揮発性有機化合物 (volatile organic compounds: VOC)〕と考えられている。そのため厚生労働省は、2002年までに体内への影響が懸念される13物質について室内濃度の指針値を設定し、03年には国土交通省が建築基準法を改正した。これらにより、住宅や労働環境における室内空気中のホルムアルデヒドやトルエンなど指針値のある化学物質の濃度は一部を除いて指針値以下のレベルとなり、シックハウス問題は終息したかに見えた。しかし、室内空気汚染の実態が大きく変化しているため、シックハウス症候群の訴えは後を絶たず、問題はいまだ解決されていない。

当センターでは、環境を改善して疾病を予防する「環境改善型予防医学」の実践の場として、2007年に千葉大学柏の葉キャンパス内に化学物質をできるだけ削減したモデルタウン「ケミレスタウン[®]」を建設し、シックハウス症候群を予防するための実践研究「ケミレスタウン・プロジェクト」を開始した。「ケミレスタウン」では、室内空気中のVOC濃度を継続的に測定するとともに、健康なボランティアに依頼をして五感による体感評価試験を行ってきた。

表1 最近問題となる室内空気汚染物質の例

化合物群	化合物	用途, 室内発生源
脂肪族炭化水素	ウンデカン, イソドデカンなど, 主として炭素数11~12	接着剤, 塗料などの溶剤
	ペンタン	断熱材の発泡剤
	メチルシクロヘキサン	接着剤などの溶剤
芳香族炭化水素	トリメチルベンゼン類	溶剤
	ベンゼン	喫煙, 線香, お香, 開放型石油ストーブ
	ナフタレン	繊維防虫剤
アルコール	2-エチル-1-ヘキサノール	可塑剤, 溶剤, フタル酸ジ(2-エチルヘキシル) やアクリル酸-2-エチルヘキシルの分解により生成
	テキサノール	溶剤, 塗料の造膜助剤
	グリコール類	樹脂・塗料の溶剤
	2-メチル-1-プロパノール, 1-オクテン-3-オールなど	微生物由来
テルペン	α-ピネンなど	木材成分
ハロゲン化炭化水素	クロロエタン	断熱材の発泡剤
アルデヒド	ヘキサナール	香料(青臭い), 植物油などに含まれる
ケトン	2-ブタノン	接着剤, 塗料などの溶剤
	3-オクタノン	微生物由来
フタル酸エステル	フタル酸ジ-n-ブチル, フタル酸ジ(2-エチルヘキシル), フタル酸ブチルベンジルなど	可塑剤
リン酸トリエステル	リン酸トリス(1-クロロ-2-プロピル) など	可塑剤, 難燃剤
臭素化ジフェニルエーテル	テトラプロモジフェニルエーテルなど	難燃剤
ネオニコチノイドおよび類似物	アセタミプリド, イミダクロプリド, チアクロプリド, ジノテフラン, チアトキサム, クロチアジン, ニテンピラム, フィプロニル	シロアリ駆除剤, 家庭用殺虫剤, ペットのノミ駆除, 農薬

2. 注目される室内空気汚染物質

最近, 筆者らのグループが注目している室内空気汚染物質の例を表1に示す。

1 溶剤類

指針値が設定されていない化学物質によるシックハウスやシックスクール問題事例がこれまでも報告されている¹⁾²⁾が, 原因はほとんどが溶剤類である。「ケミレスタウン・ブ

プロジェクト」においても、2-ブタンオンやイソドデカンなどの未規制の溶剤用化学物質が室内空气中に高濃度で検出され、シックハウス症候群を引き起こす可能性があることを報告してきた³¹⁾。今後も未規制の溶剤類の健康リスク評価および低減化対策が必要である。

2 テルペン、アルデヒド類

近年、構造材や内装材に木材を使用した住宅・公共施設の建築が推進されている³⁾。しかし、木材や自然素材から揮発する化学物質が人の健康に悪影響を及ぼすことがあることはあまり知られていない。建材として使用されている木材には α -ピネン、リモネン、3-カレン、カンフェンなどのテルペン類が含まれているが、これらの物質は呼吸器症状に影響を与えることが懸念されており⁴⁾、国内の疫学調査においても α -ピネンの室内濃度が喉・呼吸器症状と関連していることが報告されている⁷⁾。 α -ピネンやリモネンは室内のオゾンと反応し、二次的粒子を生成する⁸⁾。

また、天然の内装材として漆喰が注目されているが、防水性を高めるため、施工時に植物油が加えられることがある。植物油を添加した漆喰から多種のアルデヒドが放散され、健康に影響を与えるレベルに達することが筆者ら⁹⁾の実験で明らかになった。それらアルデヒド類には、悪臭防止法¹⁰⁾で特定悪臭物質に指定されている物質もあり、臭気の面でも問題となる。天然や自然だから「安全・安心」という思い込みは変える必要がある。

3 SVOC (殺虫剤, 可塑剤, 難燃剤), PM_{2.5}

準揮発性有機化合物 (semi-volatile organic compounds: SVOC) は蒸気圧が低く室内空气中濃度は低いが、粒子状物質に付着して気中に浮遊し移動する。スウェーデンでの疫学調査によると、ハウスダスト中のフタル酸エステル類濃度は子どもの喘息やアレルギー症状に関連性があると報告されている¹¹⁾。

国内の疫学調査でも、ハウスダスト中の有機リン系可塑剤・難燃剤とアトピー性皮膚炎やアレルギー性鼻炎との関連性が示唆されている¹²⁾。また、ミツバチの大量死との関係が指摘されているネオニコチノイド系殺虫剤は、近年その消費量が急増し、室内空気汚染への影響が問題視されている¹³⁾。本剤は、人体への急性毒性は低いとされるが、有機リン系農薬と同程度の毒性を有し、中枢神経系や自律神経系に関連する広範な症状を誘起するという報告もある¹⁴⁾。

中国からの移流で問題になったPM_{2.5}(微小粒子状物質)は外気から室内に侵入する。SVOCとPM_{2.5}は同じ微小粒子状物質を成分と形態という異なる定義でわけて計測したものの、との見方もできる。

4 dampness (湿気) とMVOC

近年の疫学調査で、シックハウス症候群の発症と室内dampness(湿気)の関係が示唆さ

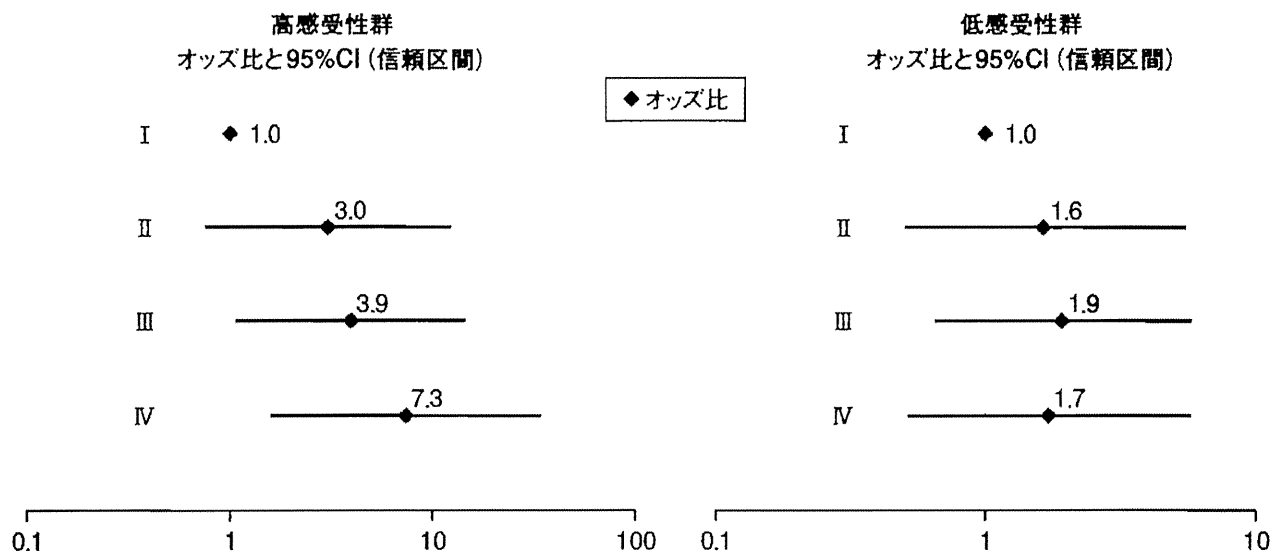


図1 ケミレスTVOCとシックハウス症状との関係

ケミレスTVOCは四分位で4グループ(I~IV)に分割して高感受性群、低感受性群と症状との関係を比較
 I: 36.5~112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、II: 222.3~265.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、III: 428.2~839.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、IV: 979.9~11763.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

れている¹⁵⁾。

dampnessによるカビ自体もアレルギーや肺真菌症の原因となるが、有害な微生物由来の微生物揮発性有機化合物 (microbial volatile organic compounds: MVOC) によるシックハウス症候群やアレルギー症状の誘発などが注目されている。

3. ケミレスTVOC (ΣVOCs) とシックハウス症候群

これまで述べてきたように、シックハウス症候群問題は原因物質が多様化しているにもかかわらず、実態把握が追いついていないのが現状である。そのため、化学物質を総量で規制することや人の感覚である臭気を客観的に評価することなどでの対策が必要となってきた。

VOCの総量については、ISO16000-6で定義している総揮発性有機化合物 (total volatile organic compounds: TVOC)¹⁶⁾があるが、「ケミレスタウン・プロジェクト」では、アルデヒド類と測定できるVOCすべてを加算したものをケミレスTVOC (ΣVOCs) とし、ケミレスTVOCとボランティアによる体感評価試験結果との関係を解析してきた。その結果、ケミレスTVOCがおよそ400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上になれば、症状を訴える人は有意に増加することがわかった。

さらに、この集団をQEESI (quick environmental exposure and sensitivity inventory)¹⁷⁾による問診によって、化学物質への高感受性群と低感受性群とに分けると、ケミレスTVOCが高いほど高感受性群では顕著に症状が現れることがわかった¹⁸⁾ (図1)。

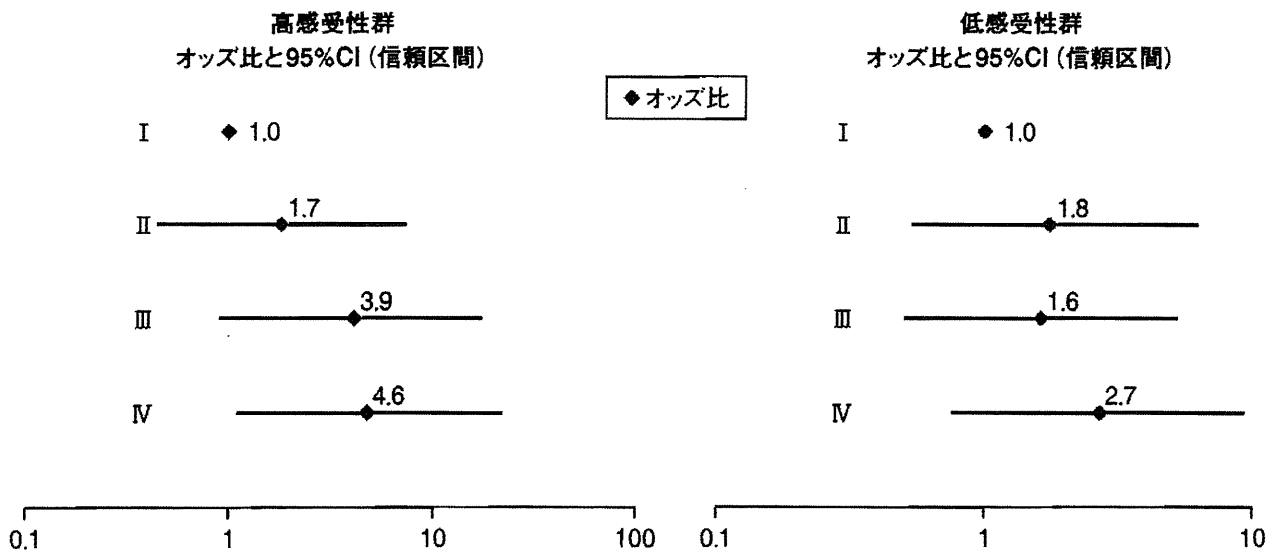


図2 総臭気閾値比 (TOTR) とシックハウス症状との関係
 TOTRは四分位で4グループ(I~IV)に分割して高感受性群, 低感受性群と症状との関係を比較
 I: 0.2~3.2, II: 9.6~12.96, III: 13.2~41.5, IV: 41.7~260.0

4. 臭気とシックハウス症候群

臭気とシックハウス症候群については、これまでも密接な関係があると考えられてきた。人がシックハウス症候群を訴えるときは必ずと言っていいほど、同時に臭気についての訴えがあるためである。しかし、臭気は人の文化的背景や好みで判断されるために客観的に評価をすることが難しい。

そこで、筆者らの「ケミレスタウン・プロジェクト」では、室内空气中の化学物質濃度をそれぞれの化学物質の嗅覚閾値濃度¹⁹⁾で除した臭気閾値比 (odor threshold ratio: OTR) および総臭気閾値比 (total odor threshold ratio: TOTR) を開発し²⁰⁾、人の官能試験によらずに臭気を数値化する試みを行った。その後、実証実験で得たデータをもとに臭気とシックハウス症状との関係を解析したところ、TOTRが40以上の場合、有意に症状と関係があることがわかった。

また、高感受性群では、化学物質への臭気においてもTOTRが高いほど症状を発症することが明らかとなった¹⁸⁾ (図2)。このことから、VOC濃度が低い室内でも臭気閾値の低い物質の存在がシックハウス症候群を引き起こす可能性があることが示唆された。

5. 今後の対応—未来世代のための街づくり

シックハウス症候群は室内空气中の原因物質を低減する、あるいは取り除くことで容易に予防が可能な疾患である。しかし、シックハウス症候群を引き起こす原因物質が多様化

している現在、その原因物質を1つ1つ特定し、規制や低減することで解決に導くことは非常に難しい。「ケミレスタウン・プロジェクト」では根本的な解決をめざし、「環境改善型予防医学」の概念に基づいて実証実験を行ってきたが、その結果、化学物質の放散をなるべく少なくした材料の使用と適切な工程管理が重要であること、化学物質の総量規制や臭気の観点からの室内空気質の評価が有効であることが明らかになってきた。同時に、特に化学物質に対する感受性が高い人、胎児や子どもたちなど次世代を対象に対策を講じる必要があることもわかってきた。

「未来世代のための街づくり」には、多くの領域の研究者が協力をして学際的研究を行い実践していく必要がある。また、この概念が住空間だけではなく、公共施設や街全体に広がれば、多くの人が快適で安全に生活できる環境になることが期待できる。

文献

- 1) 小林 智, 他: 室内環境. 2010; 13(1): 39-54.
- 2) 斎藤育江, 他: 臨環境医. 2012; 21(1): 57-65.
- 3) 戸高恵美子, 他: 平成20年度室内環境学会学術大会講演集. 2008, p94-5.
- 4) 戸高恵美子, 他: 平成22年度室内環境学会学術大会講演集. 2010, p168-9.
- 5) 林野庁: 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律.
[<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou/>]
- 6) Danish Environmental Protection Agency. Survey no. 36-2003.
- 7) Saijo Y, et al: Int Arch Occup Environ Health. 2004; 77(7): 461-70.
- 8) Nazaroff W, et al: Atmospheric Environment. 2004; 38: 2841-65.
- 9) Odaka Y, et al: Indoor and Built Environment. 2014; DOI: 10.1177/1420326X14553998.
- 10) 環境省: 悪臭防止法の概要.
[<https://www.env.go.jp/air/akushu/low-gaiyo.html>]
- 11) Bornehag CG, et al: Environ Health Perspect. 2004; 112(14): 1393-7.
- 12) Araki A, et al: Indoor Air. 2014; 24(1): 3-15.
- 13) 斎藤育江, 他: 第22回日本臨床環境医学会学術集会抄録集. 2013, p50.
- 14) 平久美子: 臨環境医. 2012; 21(1): 24-34.
- 15) Kishi R, et al: Indoor Air. 2009; 19(3): 243-54.
- 16) ISO16000-6: 2004.
[http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=30147]
- 17) Miller CS, et al: Toxicol Ind Health. 1999; 15(3-4): 370-85.
- 18) Nakaoka H, et al: Indoor and Built Environment. 2014; 23(6): 804-13.
- 19) Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method.
[http://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_3_2.pdf]
- 20) Nakaoka H, et al: Jpn J Clin Eco. 2011; 20(2): 115-22.

特
集
3

建築工学的視点から見た医師に必要な知識—シックハウス症候群を中心に

田辺新一 (早稲田大学創造理工学部建築学科教授)

金 炫兌 (早稲田大学理工学研究所研究員講師)

Point

- ▶ 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によって定められたホルムアルデヒド, トルエンなどの13物質に関しては, 過去10年間で低減されている
- ▶ 建築基準法により住宅に24時間換気が義務化された
- ▶ 指針値が定められた13物質以外の物質による問題が指摘されており, 中でもフタル酸ジ (2-エチルヘキシル) (DEHP) などの準揮発性有機化合物 (SVOC) 汚染に関しては注意が必要である
- ▶ 適切な建材選定が対策の第一歩となる

1. 室内空気環境の大切さ

現代社会に生きる我々の多くは, 1日の約9割は住宅, オフィス, 電車などの室内で生活をしており, 室内空気環境は居住者の健康性と密接な関連がある。従来からの室内空気汚染問題として開放型石油ストーブや排気装置のない燃焼器具による窒素酸化物, 一酸化炭素, 二酸化炭素, カビ・ダニなどの微生物が知られている¹⁾。

しかし, 技術の進歩や時代のニーズの変化による建物における高断熱・高気密化, 新建材の多用, 生活用品の変化, 換気量の減少, 汚染化学物質発生源の増加により, 室内化学物質汚染が問題となるようになった。

1996年5月, 国会にシックハウス対策に関する質問主意書が提出されたことがきっかけとなり, 「シックハウス症候群」と呼ばれる室内化学物質汚染の問題が国レベルで検討され, 室内空気汚染化学物質として13物質に対する室内濃度指針値が定められた²⁾。しかし, TVOC (total volatile organic compounds) という総揮発性有機化合物の総合計濃度は必ずしも毒性を示しているものではないため, 暫定目標値とされた。また, 建築基準法の改正³⁾により, 建材からのホルムアルデヒド放散速度を考慮した室内における使用面積制限や, 室内の換気確保のための機械による24時間換気システムの設置が義務づけられた。

室内濃度指針値が2002年に設定されて以来, 10年以上が過ぎたが, 指針値が定められた化学物質以外の代替物質による汚染問題などが新たに指摘されている。それらを受けて2012年9月には, 厚生労働省において「第11回シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する

検討会」が開催され、14年3月まで18回開催された。検討会では、新たな汚染物質として、テルペン類、フタル酸エステル類、防蟻剤、防虫剤として使用される有機リン系、ピレスロイド系、ネオニコチノイド系などの殺虫剤が指摘されている。

また、室内化学物質に関する国際標準を作成しているISO TC146 SC6 (indoor air) においては、継続的に準揮発性有機化合物 (semi-volatile organic compounds: SVOC)、粉塵や知覚空気質への規格化が進んでいる。そこで、本稿では室内化学物質汚染に関する汚染対策および新たな汚染物質や最近の傾向について述べる。

2. 室内空気汚染の対策と最近の傾向

1 従来の室内空気汚染対策²⁾³⁾

従来の室内空気汚染対策として、厚生労働省は室内空気中の化学物質濃度に関するガイドライン (13物質) を設けている。これらの指針値は、人がその化学物質の示された濃度以下の曝露を一生涯受けたとしても、健康への有害な影響を受けないであろうとの判断により設定された値である。今後、新たな知見やそれらに基づく国際的な評価作業の進捗に伴い、将来必要があれば変更されるものである。

また、国土交通省はシックハウス対策に関わる建築基準法の改正をし、ホルムアルデヒドが放散される内装材は放散速度の程度によって、使用面積が制限されるようになり、防蟻剤として使用されるクロルピリホスの場合、居室を有する建築物には建材として使用禁止とした。さらに、原則としてすべての建築物に機械換気設備の設置を義務づけた。

2 新たな汚染物質

東京都健康安全研究センターの斎藤ら⁴⁾の調査により、新築住宅における高濃度の物質について報告 (表1) があった。調査対象とした69物質のうち α -ピネン、メチルシクロヘキサン、リモネン、トリメチルベンゼンなどが高濃度で測定されている。また、指針値が定められているスチレンの場合、指針値を超えている結果も報告されている。さらに、木造住宅の居住者のアンケートによると、木のおいが強すぎて気分が悪くなり、喉、目、顔などが痛いと訴えていた事例もあった。原因として、木の芳香成分である α -ピネンのようなテルペン類はスギ、マツ、ヒノキなどの針葉樹に多く含まれているが、空気中で酸化されやすく、刺激性の強いアルデヒドに変化するのではないかと考えられている。EU諸国では、 α -ピネンについて最小影響濃度 (lowest concentration of interest: LCI) が示されており、デンマークでは $250\mu\text{g m}^{-3}$ 、フランスでは $450\mu\text{g m}^{-3}$ となっている⁴⁾。

また、TVOCについても暫定目標値 ($400\mu\text{g m}^{-3}$) が定められているが、目標値より10倍以上高濃度で測定される事例が検討会で報告された⁵⁾。さらに、防蟻剤として使用されていたクロルピリホス、フェノブカルブおよびダイアジノンなどの殺虫剤が指針値設定後に

表1 新築住宅における高濃度の物質 ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$)

物質名	最大値	最小値	中央値	指針値
α -ピネン	3140	不検出	204.0	-
p-シメン	2550	不検出	67.7	-
メチルシクロヘキサン	2500	不検出	0.65	-
リモネン	2450	不検出	74.6	-
3-カレン	1770	不検出	47.7	-
カンフェン	1680	不検出	19.5	-
スチレン	1430	1.9	10.3	220
トリメチルベンゼン	1300	1.9	30.0	-
テキサノール	967	不検出	6.5	-
2-エチル-1-ヘキサノール	783	不検出	1.6	-

新築後半年以内の新築住宅(未入居)11軒(22室)で室内空気中の化学物質69物質を測定(2007~08年)
(文献4より改変)

有機リン系・カーバメート系からピレスロイド系・ネオニコチノイド系へと変遷しているため、室内での汚染が懸念されている⁵⁾。

③ フタル酸エステル類に対する規制

2002年6月11日に厚生労働省食品衛生分科会により、「器具及び容器包装並びにおもちゃの規格基準」の改正がなされた。これにより、油脂、脂肪性食品を含有する食品の器具および容器包装に対するフタル酸ジ(2-エチルヘキシル)(DEHP)を含有する合成樹脂の使用禁止、並びに合成樹脂製のもので乳幼児の口に接触させるおもちゃに対するDEHPあるいはフタル酸ジイソノニル(DINP)を含有する合成樹脂の使用禁止といった規制がなされた⁶⁾。しかしながら、建材にはまだ多く使用されている。

また、EUではDEHPをはじめ、6種類のフタル酸エステル類の使用について、3歳児未満の乳幼児の口に入れることを意図したおもちゃへの使用規制がなされた。対象フタル酸エステル類は、DEHP、フタル酸ジ-n-ブチル(DBP)、フタル酸ブチルベンジル(BBP)、DINP、フタル酸ジイソデシル(DIDP)、フタル酸ジオフチル(DNOP)である⁷⁾。

3. 室内のSVOC汚染

室内のSVOC物質は可塑剤、難燃剤として多く使用されているフタル酸エステル類であるが、特に生産量が多いDEHP、DBPが代表的な汚染物質であることが知られている。内

分泌かく乱物質であると一部では疑われている DBP, DEHP の室内濃度指針値は各々 $220 \mu\text{g m}^{-3}$, $120 \mu\text{g m}^{-3}$ である²⁾。その沸点の高さから、この気中濃度になることはまずない。

しかし、DBP, DEHP のようなフタル酸エステル類は空気中より、ハウスダストや家具などの表面に付着し、室内に堆積することが指摘されている³⁾。ハウスダスト中のフタル酸エステル類の濃度と子どもの喘息やアレルギー症状には関係性がみられるとの報告がある⁴⁻⁶⁾。幼児は体重当たりの1日ハウスダスト摂取量が成人の10倍以上である。そのため、室内のハウスダスト中SVOC濃度の上昇により、成人より幼児のほうが健康へのリスクが高くなると考えられている。

以下に、著者らの研究室で調査したハウスダスト中SVOC濃度について報告する。

1 測定・分析方法

ハウスダスト中SVOC濃度を測定するため、新たな捕集装置を開発し、ハウスダストを捕集した。捕集ノズルはステンレス製として、ノズル表面に付着しているSVOC物質を加熱脱着できるようにした。また、測定方法は海外の既往研究や日本人の生活習慣などを考慮し定めた。

海外の既往研究では、7日齢のハウスダストを捕集している⁷⁾が、日本住宅では日本人の生活習慣を考慮し、3日齢のハウスダストを捕集した。3日齢ハウスダストとは、0日目に家庭用掃除機を用いて、床上のハウスダストをすべて取り除き、3日間(72時間)掃除せず、居住者には通常通りに生活してもらい、3日後、床上に堆積したハウスダストを捕集し、 $63 \mu\text{m}$ 未満のダストにふるいわけを行ったものである。ふるいわけを行った $63 \mu\text{m}$ 未満ダストは2~5mLのジクロロメタンで溶媒抽出をし、GC-MS(gas chromatograph: agilent 6890 mass spectrometer: 5973 inert)を用いて定量定性をした。分析対象はDBP, DEHP, リン酸トリブチル(TBP), ジブチルヒドロキシルエン(BHT), アジピン酸ジオクチル(DOA), リン酸トリス(2-クロロエチル)(TCEP), トリクロロホン(DEP)など13の物質である。

2 ハウスダスト中SVOC濃度

調査されたすべての住宅のハウスダストから検出されたDEP, TBP, D6, BHT, C16, DBAは $2 \mu\text{g g}$ 以下の濃度であったが、TCEP, DOA, TPP, C20は2~ $100 \mu\text{g g}$ の範囲で検出された。また、ハウスダスト中DBP濃度は15~ $200 \mu\text{g g}$ であった。しかし、ハウスダスト中DEHP濃度はこれらの物質と比較すると高頻度・高濃度で測定された。ハウスダスト中DEHP濃度の50パーセントイルと95パーセントイルは各々 $810 \mu\text{g g}$, $3680 \mu\text{g g}$ である。図1にハウスダスト中DEHP濃度を示す。

調査された住宅の床材とハウスダスト中DEHP濃度の相関性を知るため、床材の種類とハウスダスト中DEHP濃度を比較した。その結果、ポリ塩化ビニル(PVC)床材を使用し