

## 化学物質による室内空気汚染の実態とその健康影響

瀬戸 博\*, 斎藤 育江\*

### Survey and Health Effects Caused by Chemicals in Indoor Air

Hiroshi SETO\* and Ikue SAITOH\*

**Keywords:** 室内空気汚染 Indoor air pollution, シックビルディング症候群 sick building syndrome, シックハウス症候群 sick house syndrome, ホルムアルデヒド formaldehyde, 揮発性有機化合物 volatile organic compound, 殺虫剤 pesticide, 可塑剤 plasticizer, 難燃剤 flame retardant

#### 1. はじめに

現代の生活においては、人工的に合成された多種類の化学物質が様々な場で使用されている。化学物質の使用は人類に大きな利便性をもたらしたが、一方で、制御技術が十分でないため、生活環境がこれら化学物質によって汚染されるようになった。その結果、短期間のうちに起きたこのような環境変化に敏感に反応する人々、すなわちシックハウス症候群（欧米ではシックビルディング症候群 Sick Building Syndrome, SBSと呼ぶのが一般的である）や化学物質過敏症と呼ばれる患者の増加が問題になってきた。

わが国では住宅や学校で発症することが多いため、シックビルディングよりもシックハウスやシックスクールという用語の方が頻繁に使用されている。シックハウス症候群はSBSと異なって定義がないまま便宜的に使用されているが、住宅でおきたSBSという意味の和製英語である。いずれも厳密な学術的、医学的用語ではない。

シックハウス症状を誘発する主な原因は、建物の気密性が向上し、建材等から放散するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物(VOC)等の室内濃度が健康を害するレベルにまで上昇するためである。シックハウス症候群の他、化学物質過敏症、さらにはアレルギー患者の増加についても環境中の化学物質の増加が要因の一つと考えられている<sup>1-3)</sup>。しかし、これらの疾患が極めて微量の化学物質に起因あるいは関連することや病態把握が困難なために医学的議論が十分になされず、行政の対策や業界対応も遅れているのが実情である。

東京都ではこれまで「健康・快適居住環境の確保対策事業」(1995 - 1998)、「住宅やビルにおける室内化学物質調査」(1995 - 2001)に取り組んできた。また、2002年度は「子どもガイドライン」策定のための「学校や幼稚園施設等の室内化学物質調査」を実施している。本稿では、著者らの調査結果を含めて、化学物質による室内空気汚染の実態と微量化学物質による健康影響について最近の知見をまとめた。

#### 2. 室内空気中化学物質とその濃度を支配する因子

##### 2.1. 室内空気中化学物質の発生源と種類

最近の住宅では、経済性や施工後の歪みに対するクレームを避けるといった事情から無垢の木材に代えて接着剤で貼り合わせた合板、集成材、パーティクルボードが使用されるようになった。また、内装材には装飾を施したビニル壁紙、化粧合板、化粧石膏ボード、ビニルシート等の建材や機能性を有した化学量、防虫・難燃カーペット、難燃カーテン等が多く使用されるようになった。しかし、これらの建材や内装材及び塗料・接着剤からはホルムアルデヒドやVOC等が徐々に放散し、室内空気を汚染する可能性がある。さらに、防蟻剤処理や防虫剤、殺虫剤、芳香剤、ワックス等の家庭用品も室内空気汚染の原因となる。表1及び表2に住宅やオフィスビルの室内を汚染する可能性のある化学物質の発生源と種類<sup>4,5)</sup>を示した。

世界保健機構(WHO)<sup>6)</sup>によれば沸点の低い方から順に高揮発性有機化合物(VVOC, Very Volatile Organic Compounds, 沸点50-100以下)、揮発性有機化合物(VOC, 50-100~240-260)、準揮発性有機化合物(SVOC, Semi-Volatile Organic Compounds, 240-260~380-400)粒子状物質(POM, Particulate Organic Matter, 380以上)と分類されている。VVOCにはアセトアルデヒド、VOCにはトルエン、キシレン、SVOCにはフタル酸エステル、リン酸トリエステル等が含まれる。

##### 2.2. 発生速度と換気

室内空気中の化学物質汚染を考えるにあたっては、室内空気中濃度と発生速度及び換気の関係について理解しておく必要がある。化学物質の外気濃度を $C_0$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、化学物質の発生速度を $E$ ( $\mu\text{g}/\text{h}$ )、室内容積を $V$ ( $\text{m}^3$ )、換気回数を $n$ (1/h)とすると、室内空気中の化学物質濃度 $C$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )は

$$C = C_0 + E/nV$$

で記述される。

\* 東京都立衛生研究所環境保健部環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

\* The Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

この式より、発生速度が大きいほど、また換気回数が少ないほど、室内空気中の化学物質濃度が高くなることわかる。最近の高気密住宅では自然換気回数が少なく、1時間当たり0.1回以下と従来の住宅の1/10になる場合がある。仮に、換気回数が1/10で化学物質の発生速度が同じで外気濃度を0とすれば、室内空気中の化学物質濃度は10倍にもなる。

逆に窓開け等により換気を心がければ、室内空気中の化学物質濃度を一気に低下させ、健康被害を未然に防止することも可能である。なお、自然換気回数は基本的にC値(隙間相当面積)に依存するが、室内外温度差及び外気の風速によっても変化する。

発生速度Eは様々な発生源からの1時間当たりの発生量の

表1. 室内空気を汚染する化学物質の発生源と材料<sup>4)</sup>

発 生 源	主 な 材 料
合板, パーティクルボード, 中密度繊維板 (MDF), 集成材	接着剤
化粧板	接着剤, 可塑剤
壁紙・糊	接着剤, 可塑剤, 溶剤, 防カビ剤
断熱材	発泡尿素樹脂, 尿素樹脂バインダー
塗料, 接着剤, シール剤	有機溶剤, 可塑剤
プラスチック配管	可塑剤
澱粉糊	防カビ剤
プラスチックタイル	可塑剤, 有機溶剤
畳	殺虫剤
床	接着剤, ワックス
木材	防腐剤, 殺虫剤
カーペット	接着剤, 可塑剤, 溶剤, 防カビ剤, 防ダニ剤
家具, 調度品	接着剤, 塗料, 防虫剤
カーテン	難燃剤
開放型暖房器	燃料, 燃焼生成物
ガスレンジ	燃焼生成物
日用品	化粧品, 事務用品, 接着剤, 芳香・消臭剤
電化製品, 事務機器	接着剤, 芳香・消臭剤
	掃除機,
	防菌剤, 防虫剤
	テレビ, OA機器, コード
	可塑剤, 難燃剤
自動車関連	燃料, 添加剤
	排ガス
	内装材
	可塑剤, 難燃剤

表2. 材料と発生する化学物質の例<sup>4,5)</sup>

材 料	化 学 物 質
木材	α-ピネン, β-ピネン, リモネン
有機溶剤・油性塗料用	トルエン, キシレン, トリメチルベンゼン, デカン, ウンデカン, アルコール類, メチルエチルケトン, 酢酸エチル, 酢酸ブチル
有機溶剤・水性塗料用	エチレングリコール, ベンジルアルコール, 1-メトキシ-2-プロパノール, エタノール, イソプロピルアルコール
殺虫剤, 防蟻剤	ジクロロボス, クロルピリホス, アレスリン, ベルメトリン, フェニトロチオン, ダイアジノン, ケロシン,
防菌・防カビ剤	チアベンダゾール (TBZ), p-クロロメタキシレノール, イソプロピルメチルフェノール, ホルムアルデヒド
防ダニ, 防虫剤	ヒノキチオール, フェニトロチオン, フェンチオン, TBZ, パラジクロロベンゼン, ナフタレン, アレスリン, エムペントリン
芳香・消臭剤	リモネン, α-ピネン, パラジクロロベンゼン, 植物抽出油
清掃剤・ワックス	エタノール, デカン, トルエン, キシレン, トリメチルベンゼン
接着剤	ホルムアルデヒド, トルエン, キシレン, トリメチルベンゼン, アルコール類, アセトン, 酢酸エチル, メチルエチルケトン, フタル酸ジブチル, フタル酸ジエチルヘキシル
難燃剤	リン酸トリブチル, リン酸トリス (2-クロロエチル), リン酸トリス (2-クロロイソプロピル)
可塑剤	フタル酸ジブチル, フタル酸ジエチルヘキシル

総和である。発生形態には建材・家具等の表面からの放散、殺虫剤プレート(シート)・防虫剤ビーズからの放散、スプレー剤や燻煙剤からの噴射、喫煙や燃焼器具の排気等がある。このうち、建材・家具等の表面からの放散と殺虫剤プレート(シート)・防虫剤ビーズからの放散は内部及び界面での拡散速度に支配されるため温度依存性がある。

### 3. 室内空气中化学物質濃度の指針値

厚生省(現厚生労働省)は1997年6月に、「快適で健康的な住宅に関する検討会議」の小委員会報告で、ホルムアルデヒドの室内濃度指針値を100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)と設定している。さらに2000年4月に「シックハウス(室内空気汚染)問題検討会」を立ち上げ、室内空气中の化学物質濃度の指針値策定作業を開始し、2002年10月1日現在で13物質についての指針値と測定法を策定した。表3に各物質の室内濃度指針値と策定の根拠となった毒性指標及び健康影響を示した。各物質に対する感受性には大きな個人差が存在することから、設定された指針値以下であっても、人によっては健康

に有害な影響を及ぼす可能性があることを否定できない。従って、「指針値以下だから安全」というのではなく、努めて低いレベルに保つように心がけることが重要である。この指針値は、今後集積される新たな知見や、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うるものであるとされている。

また、個々の化学物質の規制だけでなく総量規制を目指して総揮発性有機化合物(TVOC, Total VOC)の暫定目標値を400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした。個別の化学物質の指針値が毒性データに基づくのに対して、TVOCの値は1997年及び1998年に厚生省(現厚生労働省)が実施した室内VOC濃度の実態調査結果<sup>7)</sup>を基にして、調査家屋の半数が達成できると考えられた値である。すなわち、この値は竣工後居住を開始してある程度時間が経過した住宅における目安であり、汚染程度を表す指標である。TVOC暫定目標値の決定方法は、欧州委員会共同研究センター環境研究所による「室内空気質とヒトへの影響 - 報告書No. 19: 室内空気質の検討における総

表3. 室内空气中化学物質濃度の指針値(厚生労働省)と健康影響

化合物名	指針値		根拠とした毒性指標	健康影響 <sup>注1)</sup>
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm		
ホルムアルデヒド	100	0.08	ヒト吸入暴露における鼻咽頭粘膜への刺激	臭気閾値(0.08 ppm), 眼・鼻・喉への刺激・炎症, 流涙, 接触性皮膚炎, 発ガン性(IARC.2A)
トルエン	260	0.07	ヒト吸入暴露における神経行動機能及び生殖発生への影響	臭気閾値(0.48 ppm), 眼・気道に刺激, 高濃度長期暴露で頭痛, 疲労, 脱力感等
キシレン	870	0.20	妊娠ラット吸入暴露における出生児の中樞神経系発達への影響	トルエンと似た症状を呈する
パラジクロロベンゼン	240	0.04	ビーグル犬経口暴露における肝臓及び腎臓等への影響	臭気(15-30ppm), 高濃度長期暴露で肝・腎・肺・メトヘモグロビン形成に影響
エチルベンゼン	3800	0.88	マウス及びラット吸入暴露における肝臓及び腎臓への影響	臭気(10ppm以下), 眼・喉への刺激, 目眩, 意識低下等
スチレン	220	0.05	ラット吸入暴露における脳や肝臓への影響	臭気(60 ppm), 眼・鼻・喉への刺激, 眠気, 脱力感等
クロルピリホス	1 (小児) 0.1	0.07 ppb 0.007 ppb	母ラット経口暴露における新生児の神経発達への影響及び新生児脳への形態学的影響	アセチルコリンエステラーゼ阻害, 倦怠感, 頭痛, 目眩, 胸部圧迫感, 吐き気, 縮瞳等
フタル酸ジブチル	220	0.02	母ラット経口暴露における新生児の生殖器の構造異常等の影響	眼・皮膚・気道に刺激
テトラデカン	330	0.04	C <sub>8</sub> -C <sub>16</sub> 混合物のラット経口暴露における肝臓への影響	高濃度で麻酔作用, 接触性皮膚炎
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120	0.0076	ラット経口暴露における精巢への病理組織学的影響	眼・鼻・気道に刺激, 接触性皮膚炎
ダイアジノン	0.29	0.02 ppb	ラット吸入暴露における血漿及び赤血球コリンエステラーゼへの影響	クロルピリホスと似た症状を呈する
アセトアルデヒド	48	0.03	ラットの経気道暴露における鼻腔嗅覚上皮への影響	眼・鼻・喉に刺激, 接触性皮膚炎, 高濃度で麻酔作用, 意識混濁, 気管支炎, 肺浮腫等
フェノブカルブ	33	0.0038	ラットの経口暴露におけるコリンエステラーゼ活性等への影響	アセチルコリンエステラーゼ阻害, 倦怠感, 頭痛, 目眩, 悪心, 吐き気, 縮瞳等
総揮発性有機化合物	400 <sup>注2)</sup>		実態調査結果に基づく	

両単位の換算は25 の場合による。注1: 厚生労働省「室内空气中化学物質についての相談マニュアル作成の手引き」より

注2: 暫定目標値

揮発性有機化合物(1997年)<sup>8)</sup>に基づいている。手順の概要は、濃縮捕集した空気は無極性のガスクロマトグラフカラムで展開し、ヘキサンからヘキサデカンの保持時間までに出現するピークを定量する。未同定のVOCはトルエンの検出量に換算して、先に同定したピークの定量値と合算するというものである。TVOC測定に際し、表4のような必須VOCがリストアップされており、濃度順の上位10物質の定量は必須で、本表の1/2以上測定、できれば2/3以上の物質を同定し定量することが望ましいとしている。

しかし、天然の木材に由来する $\alpha$ -ピネンやリモネン等もTVOCに含まれるため人工化学物質の使用を抑えた「自然派住宅」においてもTVOCが高くなるという矛盾がある。

#### 4. 室内空気汚染の現状

##### 4.1. ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドは化学式HCHO、分子量30.03、沸点-20の無色で刺激臭のある水溶性の可燃性気体である。極めて反応性が強く化学工業材料として重要でユリア(尿素)樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂等の合成樹脂や接着剤の原料となるほか、防腐剤や繊維製品中の樹脂加工剤としても使用されている。ホルムアルデヒドの約37%水溶液

はホルマリンと呼ばれている。

2000年から2001年まで、都内の住宅を対象にした調査の結果を他のVOCとともに表5に示した。指針値を超えた住宅は5.8%であり、1995年から1999年までの統計データ<sup>9)</sup>による17.6%に比べ減少した。室内空気中のホルムアルデヒドの指針値が設定された1997年以降は、高濃度検出例が減少し、現在では指針値を超える新築住宅はほとんど無くなった。図1は築半年以内の新築住宅の室内空気中ホルムアルデヒド濃度を調査年ごとに比較したものである<sup>10)</sup>。比較のために温度、湿度、換気(窓開け時間)を補正し条件を一定にしてある(後述)。

国土交通省が主導する室内空気対策研究会が、2000年度に実施した全国約4,500戸を対象とした空気環境調査によれば、ホルムアルデヒド濃度の平均は0.071 ppm(89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )で、全体の27.3%(1,224戸)で指針値を超過していた<sup>11)</sup>。指針値超過率は著者らの調査<sup>9)</sup>よりもかなり高いが、これは調査地域の違いや築年数が比較的新しい住宅を測定対象とするなど、著者らの調査とは母集団が異なるためであろう。

表4. TVOCの計算に用いるVOCリスト<sup>8)</sup>

グループ	化合物名
芳香族炭化水素	ベンゼン, トルエン, エチルベンゼン, キシレン, プロピルベンゼン, 1,2,4-トリメチルベンゼン, 1,3,5-トリメチルベンゼン, 2-エチルトルエン, スチレン, ナフタレン, 4-フェニルシクロヘキセン
脂肪族炭化水素	ヘキサン, ヘプタン, オクタン, ノナン, デカン, ウンデカン, 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-メチルペンタン, 3-メチルペンタン, 1-オクテン, 1-デセン
環状アルカン	メチルシクロペンタン, シクロヘキサン, メチルシクロヘキサン
テルペン	3-カレン, $\alpha$ -ピネン, $\beta$ -ピネン, リモネン
アルコール	2-プロパノール, 1-ブタノール, 2-エチル-1-ヘキサノール
グリコール/グリコールエーテル	2-メトキシエタノール, 2-エトキシエタノール, 2-ブトキシエタノール, 1-メトキシ-2-プロパノール, 2-ブトキシエトキシエタノール
アルデヒド	ブタナール, ペンタナール, ヘキサナール, ノナナール, ベンズアルデヒド
ケトン	メチルエチルケトン, メチルイソブチルケトン, シクロヘキサノン, アセトフェノン
ハロゲン化炭化水素	トリクロロエチレン, テトラクロロエチレン, 1,1,1-トリクロロエタン, 1,4-ジクロロベンゼン
酸	ヘキサン酸
エステル	酢酸エチル, 酢酸ブチル, 酢酸イソプロピル, 酢酸2-エトキシエチル, ヘキサノールイソブチレート
その他	2-ペンチルフラン, テトラヒドロフラン

表5. 東京及び近郊における住宅室内空気中の化学物質濃度 (2000 - 2001年)

単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

項目	HCHO	トルエン	エチルベンゼン	キシレン類	スチレン	p-DCB	ブタノール
n	103	109	109	109	109	105	108
最大値	569	4260	130	167	237	906	97.6
最小値	2.8	9.8	1.4	2.1	0.04	1.1	0.15
幾何平均値	31.8	55.6	8.2	14.6	4.0	19.6	3.6
中央値	31.0	38.8	6.5	11.3	3.5	12.6	3.0
90パーセンタイル	77.6	228	23.0	44.3	26.8	257	17.0
95パーセンタイル	140	727	62.1	121	69.4	466	32.4
幾何平均外気濃度	8.9	22.2	4.3	7.8	0.76	3.2	0.69
室内/外気 (平均)	3.6	2.5	1.9	1.9	5.3	6.1	5.2
濃度比 (最大)	203	435	93	80	5925	824	651
指針値超過戸数	6	10	0	0	1	12	-
指針値超過率 (%)	5.8	9.2	0	0	0.9	11.4	-

HCHO: ホルムアルデヒド, p-DCB: パラジクロロベンゼン.

通常の住まい方による24時間平均値. 築年数 0-30年 平均 4.4年, 中央値 2.0年.

最近, 合板等の市場はF<sub>00</sub>やE<sub>0</sub>等の低濃度ホルムアルデヒド製品に急速にシフトしている<sup>12)</sup>. 接着剤や塗料についてもノンホルムアルデヒド製品が主体となっている. 図1の結果はこのような市場動向を反映したものである. しかし, 高濃度のホルムアルデヒドを放散する合板等を用いて建設された住宅では, 室内汚染が長期間にもわたることが知られている<sup>13)</sup>. その理由は, 特にユリア・ホルムアルデヒド樹脂では空気中の水分や酸素などによって合成時と逆の分解反応が進み, 徐々にホルムアルデヒドを放出するためである<sup>14)</sup>.

合板からのホルムアルデヒドの放散速度は温度及び湿度が高くなるほど大きくなる. 実際, ホルムアルデヒドの室内空気中濃度は夏季に高く, 冬季に低くなる傾向がある<sup>13)</sup>. 厚生労働省のホルムアルデヒド測定マニュアルでは, 室温が20 に満たない場合には濃度補正することを推奨している. 図1のデータは厚生労働省のマニュアルに示された式により温度, 湿度の補正がされている. 石丸<sup>15)</sup>も任意の温度, 湿度での実測データを基準温度, 基準湿度に換算する式を提案している.

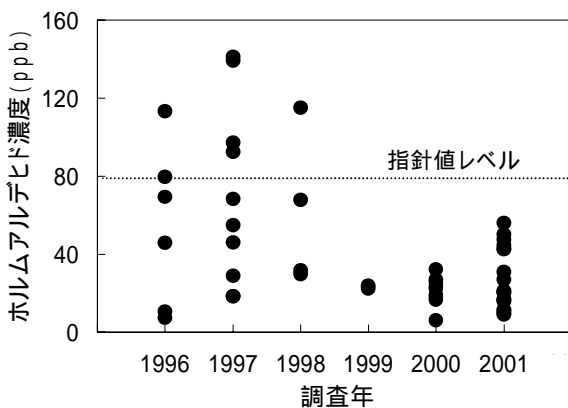


図1. 新築住宅室内空気中ホルムアルデヒド濃度の年次推移<sup>10)</sup>

温度, 湿度, 換気補正後のデータ, 6ヶ月以内新築住宅.

#### 4.2. VOC

住宅室内空気中の濃度が高いVOCはトルエン, キシレン, エチルベンゼン, トリメチルベンゼン, パラジクロロベンゼン, デカン, トリデカン, ノナナール, リモネン,  $\alpha$ -ピネンなどである<sup>7)</sup>.

一般に建材等に含まれるホルムアルデヒドが徐放性なのに対して, VOCは比較的速やかに放散する<sup>16)</sup>. 実際の調査においても新築住宅のVOC濃度は, 当初高濃度だが築後急速に低下する. 例えば, トルエンは1.5ヶ月で1/2に, 6ヶ月で温度, 湿度, 換気補正後のデータ, 6ヶ月以内新築住宅.

1/10以下に低下していた<sup>13)</sup>. トルエンは溶剤として汎用されており, 室内空気中に存在するVOCの代表的な物質である. 新築住宅におけるトルエン濃度の調査年ごとの年次推移を図2に示した. このグラフでは比較のために温度, 換気(窓開け時間)を補正し条件を一定にしてある. トルエン濃度は観測期間中, 減少あるいは増加傾向が認められず, むしろ各住宅によって大きな違いがみられた. 2001年調査においても高濃度事例があることから指針値策定の効果はまだ表れていない. 個々のVOC低減法として, 低放散性の建材・施工法を開発するか, 低毒性の代替物質を使用するかが考えられるが, いずれもまだ不十分な状態といえよう.

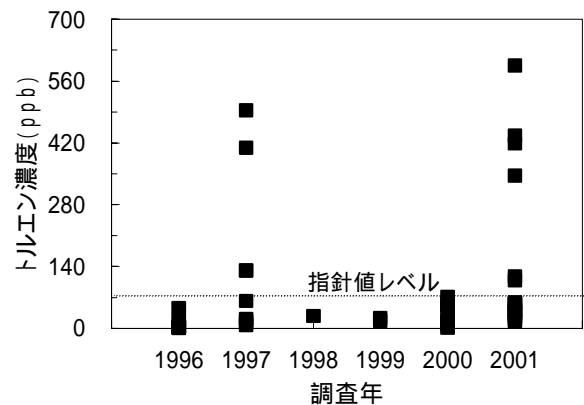


図2. 新築住宅室内空気中トルエン濃度の年次推移<sup>10)</sup>

温度, 換気, 補正後のデータ, 6ヶ月以内新築住宅.

表5に2000年から2001年度における主要なVOCの統計データを示した。指針値を超えた住宅の内訳は、パラジクロロベンゼンにおいて11.4%あり、最も多かった。次いでトルエン(9.2%)、スチレン(0.9%)の順であった。エチルベンゼン、キシレンの指針値を超える住宅はなかった。国土交通省の全国調査におけるトルエンの指針値超過率は12.3%(552戸)<sup>11)</sup>で著者らの調査よりもやや高かった。ホルムアルデヒドの項で指摘したように新築住宅の割合が多いと思われる。パラジクロロベンゼンは主に防虫剤・消臭剤として衣料用等に年間約2万トン(2000年度)使用されている。東京都では2002年4月26日、日本繊維製品防虫剤工業会に対し、パラジクロロベンゼンを主成分とする防虫剤の健康に配慮した使用方法と適正使用量を表示するよう要望した。一方、大型ビルにおいては機械換気による空調が行われているため指針値を超えることはほとんどない。図3は著者らが調査したビルの事例だが、空調装置の作動に伴って室内VOC濃度の低下が顕著にみられている<sup>17)</sup>。

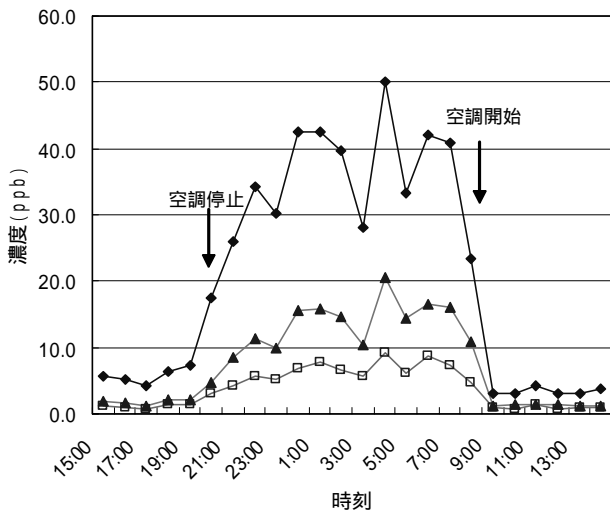


図3. 空調によるビルの室内VOC濃度の変化

- - :トルエン, - :キシレン, - :エチルベンゼン。

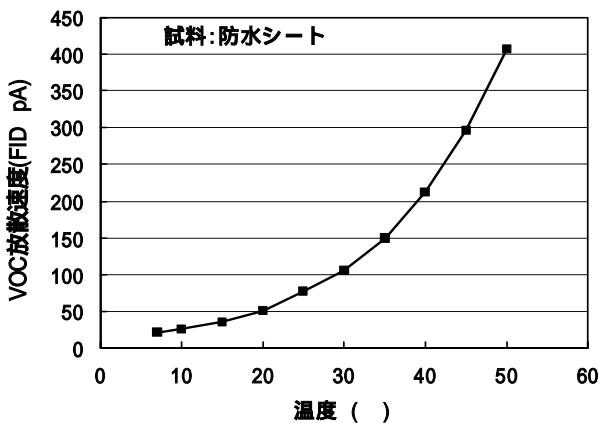


図4. VOC放散速度の温度依存性

室内空気中VOC濃度は換気量の他に、温度によっても影響を受ける。図4はガスクロマトグラフのガラスカラム内に挿入した防水シート片(3mm角×5mm長)からヘリウム気流下で放散するVOC量をフレームイオン化検出器(FID)でモニターをした際の温度-電流値(pA)プロットである。電流値はVOCの放散速度に比例する。温度が10℃上がると電流値(VOCの放散速度)は約2倍になっている。これは建材等からの発生速度が温度に支配されているためで、実際の住宅では、換気回数が同じであれば、室温が10℃上がると空気中濃度は約2倍になると予測できる。従って、夏季に十分な換気を行うことは建材中に残存しているVOCを早期に追い出す上でも非常に効果的で、健康被害の未然防止にもつながる。

4.3. 殺虫剤

室内空気中から検出される主な殺虫剤、可塑剤、難燃剤、酸化防止剤関連物質の濃度レベルを図5に示した。

住宅においては害虫駆除、シロアリ防除、畳の防虫等の目的で様々な殺虫剤が使用されている。2000年度に住宅及びビルの室内空気中有機リン系殺虫剤の調査<sup>18)</sup>を行ったところ、調査対象物質9種類のうち住宅、ビルの両方から検出されたのは、ジクロロボス(DDVP)、ダイアジノン、フェニトロチオンの3種でクロルピリホスは住宅からのみ検出された。ジクロフェンチオン、クロルピリホスメチル、メチルパラチオン、マラチオン、ピリダフェンチオンは検出されなかった。注目されるのは、ビルにおけるDDVP、ダイアジノン、フェニトロチオン濃度(各最大値130, 52.3, 1,480 μg/m<sup>3</sup>, n=54)が住宅における濃度(各最大値18.1, 3.3, 51.3 μg/m<sup>3</sup>, n=82)よりも高い傾向がみられたことである<sup>18)</sup>。これは、ビルは「建築物の衛生的環境の確保に関する法律」(ビル衛生管理法)により、昆虫等の駆除が義務付けられ定期的な殺虫剤散布が行われているためと考えられている<sup>18)</sup>。

クロルピリホスや共力剤S-421(オクタクロプロピルエーテル)によるシロアリ防除処理をした住宅での追跡調査において、これらの薬剤の室内空気中濃度は5年間にわたり、あまり減少しないことが報告されている<sup>19)</sup>。季節的には気温が高くなる夏季に室内濃度が上昇する<sup>20)</sup>。ペルメトリンによるシロアリ防除をした家屋や燻煙処理をした室内ではハウスダスト中にペルメトリンが長期間高濃度で残留する<sup>21)</sup>。また、ペルメトリンを含む家庭用エアゾール殺虫剤を25.4 m<sup>3</sup>の室内(6畳間に相当)で5秒間噴霧すると最高64 μg/m<sup>3</sup>となった<sup>22)</sup>。現在、クロルピリホスとダイアジノン以外の殺虫剤には室内空気中濃度指針値が設定されていない。しかし、有機リン系殺虫剤は化学物質過敏症との関連<sup>23)</sup>が、またペルメトリンには内分泌かく乱作用が指摘<sup>24)</sup>されていることから、これらの薬剤による汚染実態と健康影響を的確に把握しておくとともに、居住者が適切な使用をするよう配慮する必要がある。

4.4. 可塑剤・難燃剤等

可塑剤はプラスチックを柔らかくするための添加剤でフ

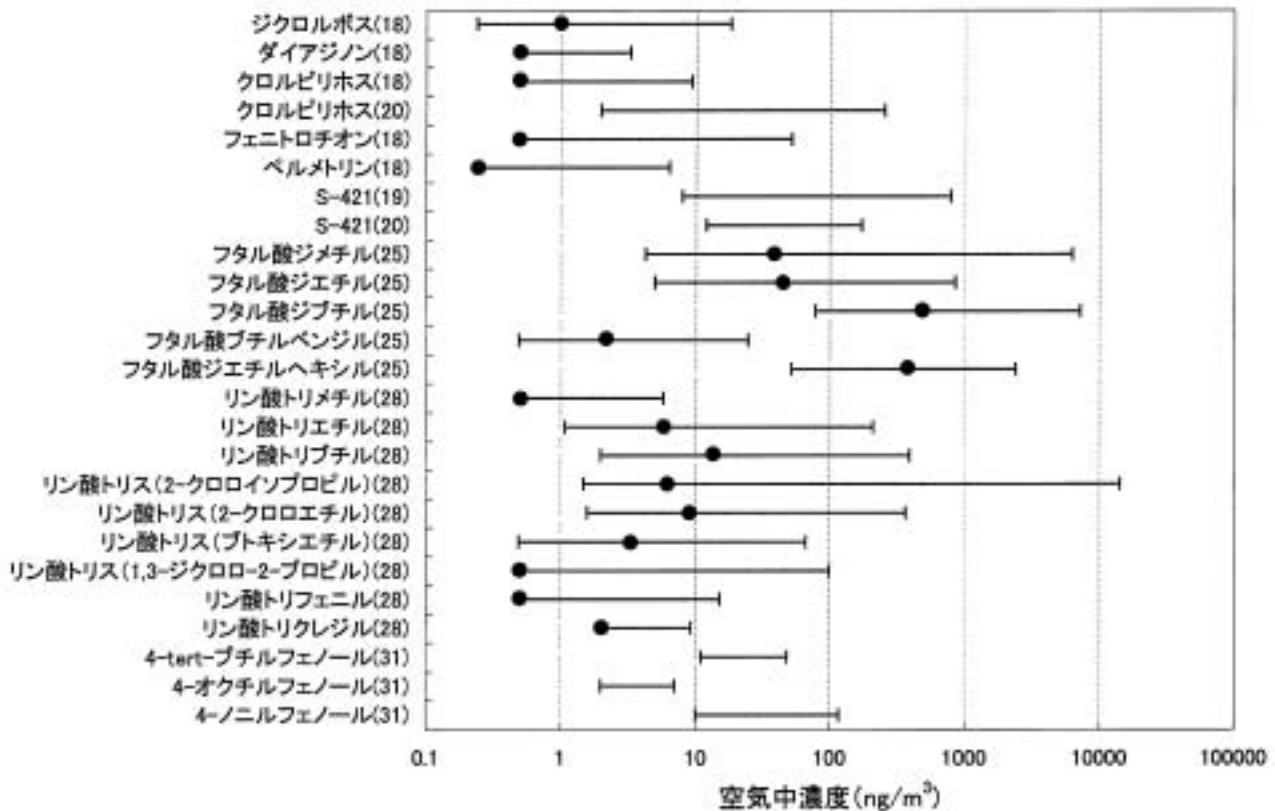


図5. 室内空気から検出される殺虫剤, 可塑剤, 難燃剤, 酸化防止剤関連物質の濃度レベル  
化合物名末尾の( )内数字は文献番号. 中央値( - )は記載のあるデータのみ示した.

タル酸エステルやアジピン酸エステル, リン酸トリエステル等が使用されている. 什器類の表面塗装にも可塑剤が含まれている. 難燃剤はプラスチック, 合成ゴム, 繊維, 紙等, さまざまな素材を燃えにくくするための添加剤でテレビ, パソコン, カーペット, カーテン, 壁紙等に臭素系, 塩素系, リン系, 無機系難燃剤が使用されている.

これらの物質は比較的蒸気圧が低いいため, ホルムアルデヒドやVOCのように室内空気を高濃度に汚染することは少ない. しかし, 中には内分泌かく乱作用, 化学物質過敏症との関連, さらに発ガン性が疑われる物質があり, 低濃度であっても注意深く監視する必要がある.

図5に室内空気から高頻度に検出されたフタル酸エステル(可塑剤)及びリン酸トリエステル(可塑剤及び難燃剤)についての調査結果を示す. フタル酸エステルのうち, 生産量が多いのはフタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP, 1998年の生産量26万t)だが, 室内濃度は生産量がDEHPの約1/20と少ないフタル酸ジブチル(DBP)の方が高濃度であった<sup>25)</sup>. これはDBPの蒸気圧がDEHPのその約300倍高いことに起因すると考えられる<sup>25)</sup>. フタル酸エステルの放散量も温度の影響を受け<sup>26)</sup>, 夏季に高く冬季に低い結果が得られている<sup>25)</sup>. また, 存在形態に関する研究では, 低分子量のフタル酸ジメチルは大部分がガス状物質として, 高分子量のDEHPは大部分が粒子状物質として捕集されていた<sup>25)</sup>. 中間のフタル酸ジエチル, DBP, フタル酸ブチルベンジルは室温によってガス状/粒子状の割合が変化するという結果が得られている<sup>25)</sup>.

以上の結果はフタル酸エステルの室内汚染の機構を考える上で非常に重要である. VOCの場合には内装材表面から気化した分子が, 自然拡散し, やがて気流に乗って室内に拡散していくと考えられている. 粒子状物質として存在するフタル酸エステルの場合について, 著者ら<sup>27)</sup>は図6のような内装材表面付近での微細な塵埃への吸着を介した拡散機構を提案している. 蒸気圧が極めて低い物質, 例えばDEHPのような物質も材料内部では拡散運動をしており, 表面付近に内部から滲み出てくる. この時, 塵埃が表面に接触していれば材料内部からDEHPが浸透する. この移動現象はFickの法則に従うことがモデル実験によって確認されている<sup>27)</sup>. さらに, 表面付近の領域では再吸着も頻繁に起こるため近くに塵埃があれば一旦気化したDEHPが塵埃表面に吸着しやすくなる. DEHPを吸着した塵埃が気流により再び内装材表面から離れ, 空気中を自由運動するという考え方である.

リン酸トリエステル類のうち, 室内空気から高頻度に検出された(検出率50%以上)のはリン酸トリエチル, リン酸トリブチル, リン酸トリス(2-クロロエチル), リン酸トリス(2-クロロイソプロピル)及びリン酸トリフェニルの6種であった<sup>28)</sup>. このうち, リン酸トリス(2-クロロイソプロピル)の住宅室内空気中濃度は最高で14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達した.

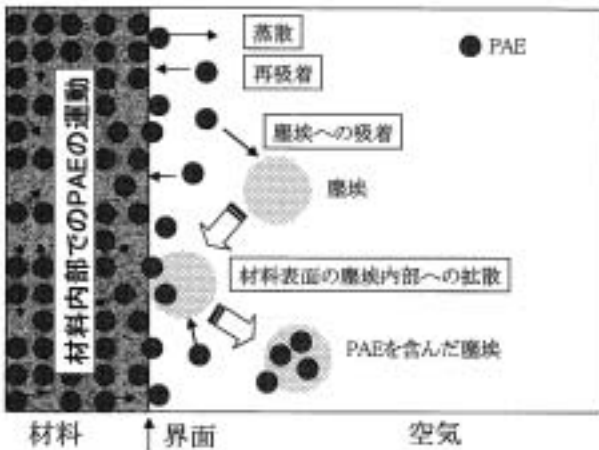


図6. 材料からのフタル酸エステル(PAE)の滲出と空気中への放散概念図<sup>27)</sup>

この他、アジピン酸エステル、ビスフェノールA<sup>29)</sup>、酸化防止剤トリスノルフェニルホスファイトが起源と考えられるノルフェノール<sup>30)</sup>が室内から検出されている。また、Rudelら<sup>31)</sup>は、内分泌かく乱作用や発ガンに関連する農薬、フタル酸エステル、アジピン酸エステル、多環芳香族炭化水素、フェノール類を室内空気やハウスダスト中から検出している。この他、テトラプロモビスフェノールA、ポリプロモビフェニル、ポリプロモビフェニルエーテル等の臭素系難燃剤による海洋や生物等広範な環境への汚染の増加、さらにはヒトへの影響が懸念される<sup>32)</sup>ことから、これらの発生源が多く存在している室内環境における汚染実態についても明らかにしていく必要がある。

5. 微量化学物質による健康影響

一般に室内空気中に存在する化学物質の濃度は、労働環境基準よりもはるかに低く、従来の中毒の概念では影響が認められないと判断されるような低レベルである。患者が症状を訴えても、医師が「室内空気質に起因する疾患」と判断することが困難なケースでは自律神経失調症や更年期障害等と診断されてきた。また、同居家族にはまったく異常が認められないケースが多いことも周囲の理解を得にくくしている。現在、室内空気中の微量化学物質に起因する疾患としては、化学物質過敏症とシックハウス症候群の二つの捉え方がある。いずれもまだ研究途上で明確な病態把握をするまでに至っていない。さらに、アレルギーも微量化学物質と関連があると言われている<sup>2,3)</sup>。以下に、これらの疾患について事例を交えながら概説をする。

5.1. 化学物質過敏症

ある化学物質によって一旦過敏な状態が獲得されると、極めて微量な他の化学物質に対しても過敏な反応が引き起こされる病態は、1960年代にRandoIph<sup>33)</sup>が提示した報告が最初とされている。しかし、病態が不明確であったことから、当時医学界では十分な議論はなされなかった。その後、1987年にCulllen<sup>34)</sup>がこのような疾病像に対し、多種化学物質過敏症(MCS; Multiple Chemical Sensitivity)という言葉を提唱した。MCSという用語は現在最も広く使用されて

おり、その定義を表6に示す。その後、いくつかの考え方が提唱されているが、1996年にベルリンで開催されたWHO(IPCS),ILO合同ワークショップ<sup>35)</sup>では、MCSといわれる病態が確定していないとの考えにたち、複数の反復的な症状を示す後天性の疾患、大多数の人々では問題とならない多様な環境要因と関連する、これまで知られている医学的、精神科学的疾患及び心理学的疾患では説明不可能な疾患を当面、Idiopathic Environmental Intolerances(IEI,本態性環境非寛容症)と呼ぶことが提唱された。

わが国で最初の化学物質過敏症外来を開設した北里研究所病院では表7に示す診断基準を設定している<sup>36)</sup>。本病院外来における化学物質過敏症患者の発症原因は大部分が「新築・改築」と関連し、ホルムアルデヒド、有機溶媒、有機リン化合物等の室内空気汚染によるものが56%と推定されている<sup>37)</sup>。その他の原因物質としてはタバコ煙、排気ガス、歯科金属等があげられている<sup>37)</sup>。MCSの発症機序は未解明で

表6. 多種化学物質過敏症(MCS)の定義(Culllen<sup>34)</sup>)

1. 環境因子暴露の存在が証明されること
2. 複数の臓器の症状があること
3. 予知可能な原因物質の暴露により症状が誘発し、暴露を除去することにより症状が軽快すること
4. 多彩な化学物質により症状が誘発されること
5. 検出可能な化学物質暴露により症状が誘発すること
6. 極めて低濃度の暴露により症状が誘発されること
7. 通常の身体機能検査では症状が説明できないこと

表7. 化学物質過敏症の診断基準(石川ら<sup>36)</sup>)

A 主症状	
持続または反復する頭痛	
筋肉痛、あるいは筋肉の不快感	
持続する倦怠感、疲労感	
関節痛	
B 副症状	
咽頭痛	
微熱	
下痢、腹痛、便秘	
羞明、一過性の暗点	
集中力、思考力の低下、健忘	
興奮、精神不安定、不眠	
皮膚のかゆみ、感覚異常	
月経過多などの異常	
C 検査所見	
副交感刺激型などの瞳孔異常	
視覚空間周波数特性の明らかな閾値低下	
眼球運動の典型的な異常	
SPECT <sup>注1)</sup> による大脳皮質の明らかな機能低下	
誘発試験の陽性反応	

診断: 主症状2項目+副症状4項目陽性 または  
主症状1項目+副症状6項目+検査所見2項目陽性

注1: Single Photon Emission CT (脳の画像検査)



あるが、荒記ら<sup>38)</sup>は次のような仮説が提唱されていることを紹介している。暴露の反復による化学物質に対する耐性の喪失が、時間依存的に神経細胞に生ずる。動物のキンドリング (Kindling) 現象がモデルとしてあげられる。キンドリングとは、脳、主に扁桃体への痙攣を起こさない程度の刺激でも、反復することにより時間経過に伴い完全な痙攣を起こすようになる現象である。嗅覚系、辺縁系、中間辺縁系とそれに関連する中枢神経伝導路が、神経シグナルと物質分子輸送により辺縁系を直接刺激し、その反復により感作が起こる。神経原性スイッチングと呼ばれるもので、化学物質がシナプス等を通じてC-神経線維を刺激することにより、軸索反射や自律神経反射を介して多臓器に症状をきたす、というものである。MCSとアレルギーは環境因子への暴露によって炎症性の反応が起こる点で極めて似ている。アレルギーは環境タンパク (抗原) が肥満細胞上のIgE抗体に結合し、炎症性メディエーターを放出するのに対し、MCSでは低分子量化学物質がC-神経線維上でケモレセプターに結合し、炎症性メディエーターを放出すると考えられている<sup>39)</sup>。多器官にわたる非常に多彩な臨床症状を呈し、通常の理学的検査、生化学的検査では異常が認められず、女性が約8割と多いのが特徴で、個人により感受性が大きく異なる<sup>40)</sup>。

MCSについては、共通の定義や診断の基準がなく統一されていないことから、信頼しうる疫学データはこれまで報告されていない<sup>41)</sup>。米国ノースカロライナでの電話による疫学調査で「化学物質に過敏」と回答した人は回答総数(1027名)の33%、毎日、化学物質過敏症状が表れる人は3.9%で、アレルギーと回答した人は35%であった<sup>42)</sup>。カリフォルニアの行動リスク要因調査 (BRFS) では、4,046名を対象に電話による質問を行ったところ、回答者のうち6.3%が医師によって化学物質過敏症あるいは環境病と診断されており、15.9%が化学物質に対し、毎日、アレルギーあるいは異常な過敏状態になると答えている<sup>43)</sup>。一方、わが国では、内山ら<sup>44)</sup>が全国4,000人の男女について面接調査したところ、実際に化学物質過敏症と診断されたことのある人は、回答者2,851人中28人で約1%であった。わが国の現状では受診者が少ないことを考慮すると、もっと多くの患者が潜在していると考えられる。

環境省の研究班ではMCSとアレルギー、IEI、中毒等との異同についての検討等を行う「本態性多種化学物質過敏状態の調査研究」が進められている。2000年度の報告<sup>45)</sup>では、微量の化学物質暴露 (ホルムアルデヒド0, 8, 40 ppb, トルエン0, 130, 260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) による過敏状態の誘発を二重盲検法により検討したところ、非患者群と比べて患者群で自覚症状の変動が大きくなった。患者群についてみると濃度が高度になるに従って症状が悪化するものから、濃度と関係なく症状の変動がみられるものまで、各人によって自覚症状に様々な傾向を示し、共通したパターンは得られなかった。今後は二重盲検法による対象者数を増やして調査を行うとしている。

## 5.2. SBS

1970年代に二度にわたる石油ショックを受けた欧米では、冷暖房費を節約するため、建築物の省エネルギー化 (換気回数の低減) が進められた。その結果、1980年代の初め頃から、欧米各地のいわゆる省エネルギーにおいて頭痛、眼、鼻、喉の痛み、粘膜や皮膚の乾燥感、息切れ、咳等の呼吸器系の諸症状、めまい、吐き気等、体の不調を訴える居住者が多数あらわれ、SBSと呼ばれた<sup>46)</sup>。

WHOで定義したSBSの診断基準<sup>47)</sup>を表8に示す。WHOの空気質に関するガイドライン<sup>48)</sup>では、SBSの症状は問題の建物の中にいる時に誘発され、退去すれば軽快する特徴があり、その原因には物理的要因 (温度、相対湿度、換気、照明、騒音、振動等)、化学的要因 (タバコ煙、ホルムアルデヒド、VOC、殺虫剤、芳香剤、一酸化炭素、二酸化炭素、二酸化窒素、オゾン等) や生物学的及び心理学的要因があり、症状とこれらの要因との間に明確な関係が認められないと述べている。要するにSBSと診断するのに、建物が原因であると判断されれば十分で、建物の何が原因かは問わないということである。

表8. シックビルディング症候群の診断基準 (WHO 1984)

- |                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 眼、鼻、のどの刺激症状、粘膜の乾燥                |
| 2. 皮膚の紅斑、かゆみ                        |
| 3. 易疲労感、頭痛、精神疲労、集中力低下、記憶力低下、めまい、吐き気 |
| 4. 嗅覚、味覚変化                          |
| 5. 過敏性反応 (分泌亢進)                     |

一方、室内における生物及び化学物質 (カビ、細菌、エンドトキシン、マイコトキシン、ラドン、一酸化炭素、ホルムアルデヒド等) の暴露によって引き起こされた特定の病気の場合には Building Related Illnesses (BRI) として区別している<sup>48)</sup>。BRIの例として気管支炎、レジオネラ症、心臓血管病、肺ガン等があり、問題の建物から退去しても症状がすぐに軽快することはない<sup>48)</sup>。

ホルムアルデヒドには皮膚感作性があることが知られているが、ホルムアルデヒドの吸入は卵白アルブミンの経鼻感作において抗原特異的IgEを増加させる作用がある<sup>49)</sup>。また、最近、トルエンやキシレン等の室内VOCによって幼児の食品アレルギーに対するIgE産生が増加するとの報告がされている<sup>50)</sup>。

以上のようにSBSあるいはシックハウス症候群は建物に起因する不快な症状群の総称だが、MCSやアレルギーと重複する部分があり、その境界はあいまいである<sup>37, 51)</sup>。すなわちMCSは主として自律神経系や中枢神経系に障害が生じるのに対して、アレルギーは免疫系に障害を生じるが、いずれも化学物質への暴露により過敏状態を獲得すると、その後、ごく少量暴露した場合でも症状が発現する。また、その感受性には大きな個人差があることも共通している。

類似疾患<sup>52)</sup>との関係を図7<sup>37,51)</sup>に示した。

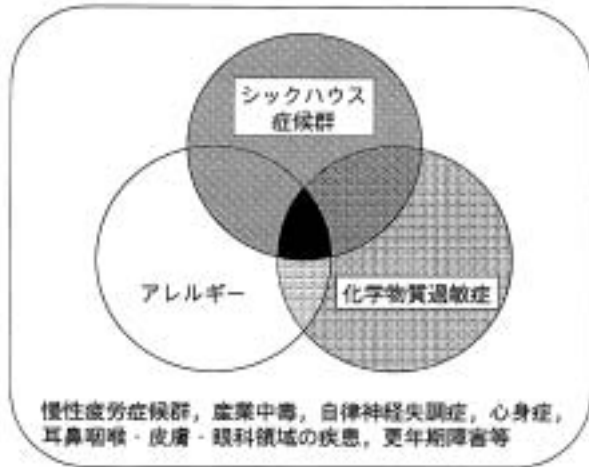


図7. シックハウス症候群, 化学物質過敏症, アレルギーと関連疾患の関係<sup>37,51)</sup>

### 5.3. 室内空气中化学物質による健康被害の事例

わが国の大規模ビルの空気環境については、管理基準と必要換気量の規定が設けられており<sup>18)</sup>、欧米のような大きな問題には至っていないといわれている。しかし、化学物質を含む新建材が多用される最近の新築ビルでは、健康被害の事例もある。事例 1997年10月に東京の小学校で改築工事の際、塗料の溶剤によって280名の生徒のうち約4割が頭痛、吐き気、鼻水、鼻・眼・喉の痛みを訴えた<sup>53)</sup>。事例

1997年11月、新築ビルの見学会で発生した東京でのSBSの事例<sup>54)</sup>を表9に示した。本例では、ホルムアルデヒド濃度は低かったが、換気が不十分であったためブタノールやエチルベンゼン等のVOCが高濃度になったことが原因であろうと考えられている<sup>54)</sup>。女性で有病率が高い傾向はMCSの調査結果<sup>40)</sup>と共通している。事例 2000年6月に千葉市で建設した大規模複合施設において準備業務に携わる複数の職員がめまい、吐き気、眼がチカチカする、鼻水がでる、疲れやすい等の症状を訴えた<sup>55)</sup>。本事例では、ホール等いくつかの室内でホルムアルデヒドとトルエン濃度が指針値を超えていた。事例 2000年11月から2001年3月にかけて行われた旭川市役所庁舎の改修工事で、職員4名がトルエンによる化学物質過敏症と診断された<sup>56)</sup>。事例 2001年8月に完成した札幌市の高校新校舎で生徒2名が化学物質過敏症、1名がその疑いと診断された<sup>56)</sup>。特に多数の人が利用する建物では、ひとたび事故が発生すると被害が大きくなる可能性があり、十分な管理と対策が要求される。

SBSの原因となりうる化学物質の種類は多数あることから、すべての事例で原因をつきとめ、解決できるわけでは

ない。生物的及び物理的な因子による可能性にも留意する必要がある。当所に寄せられた一般住宅での健康被害の苦情事例では、ホルムアルデヒド、キシレン、エチルベンゼン、酢酸エチル、ブタノール、脂肪族炭化水素、農薬等が疑われた<sup>55)</sup>。著者らは室内空気の調査と並行して健康に関するアンケートを行い、統計的解析を行った<sup>57)</sup>。その結果、ホルムアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン及びブタノールの6物質の濃度は「症状あり」と答えた人の家屋の方が「症状なし」と答えた人の家屋に比べて有意に高く、濃度と症状の頻度との間に相関がみられた。興味あることにパラジクロロベンゼンは逆に「症状なし」と答えた人の家屋の方が有意に高かった。これは化学物質に敏感な人は防虫剤パラジクロロベンゼンの使用を控えるためではないかと推測している<sup>57)</sup>。一方、宮城県内のシックハウスと疑われる住宅を対象にした調査<sup>58)</sup>では、ホルムアルデヒドの指針値を超えた住宅が63%と一般住宅における割合<sup>11)</sup>(27.3%)に比較して高かった。しかし、化学物質濃度と点数化した症状との関係は明確ではなかったという。兵庫県が1995年の阪神・淡路大震災後に新築、改築、補修等の工事を行った住宅を対象にした調査では、総数2,000戸のうち482戸から回答があり、そのうち眼が痛い・チカチカする、鼻がツーンとする等何らかの症状を訴えたのは449名中71名(15.8%)であった<sup>59)</sup>。本例ではホルムアルデヒドが原因物質として疑われている<sup>59)</sup>。

### 5.4. 長期的な影響

化学物質過敏症やシックハウス症候群等のように比較的急性に表れる症状に対して、長期間室内空気汚染物質を吸入し続けることによって誘発する可能性がある呼吸器病、心臓病、ガン<sup>48)</sup>さらには内分泌かく乱作用<sup>31)</sup>にも留意する必要がある。汚染物質暴露濃度×期間とこれら疾病の発生率あるいは悪影響との関係はまだ明らかではないが、リスクを回避するために室内空気質 (Indoor Air Quality) を良好なレベルに保つことが望ましい。

### 6. 健康被害の防止のために

室内空気中の化学物質による健康被害を未然に防止するには、有害な化学物質を極力少なくした建材・内装材を選択することである。メーカーはユーザー(住まい手)に望まれるこのような製品を安価に供給することが不可欠である。既に、ホルムアルデヒドについては本稿で述べたようにほぼ成功したように見える。しかし、これは単に他の化学物質へ転換しているにすぎない可能性がある。トルエン等の溶剤は依然として高濃度なケースがあることから、工場出荷時の品質保証ばかりでなく、現場での適切な施工方法の徹底等、メーカーの更なる努力が期待される。

表9. 健康被害のあった新築ビルにおける諸症状(複数回答)<sup>54)</sup>

性別(人数)	有症者数	鼻の刺激	目の刺激	喉の痛み	悪心	頭痛	意欲低下	吐き気	だるい	その他
男(74)	37	20	16	14	6	5	4	1	0	1
女(46)	38	21	11	9	16	10	8	4	2	5
合計(120)	75	41	27	23	22	15	12	5	2	6

入館者総数 202名、回答数 120名(男74名、女46名)。

一方、住まい手側に出来る最も有効な健康被害の防止対策は換気である。高気密住宅で機械換気装置が備え付けられている場合には、常時運転をすることが必要である。空気清浄機の使用にあたっては、性能を確かめた上で安易に頼り過ぎないことや防虫剤・殺虫剤の適切な使用をすることも大切である。

#### 7. おわりに

シックハウスの問題は1996年の国会審議をきっかけに大きな社会問題となり、国の各省庁や地方自治体、関連業界で本問題に対する対策が本格的に検討されている。その結果、いくつかの化学物質について室内空气中濃度の指針値が策定されたことにより、新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度の低下がみられる等の具体的な効果が表れている。しかし、トルエン等のVOCについては依然として一部住宅で指針値を超えており、指針値策定以前と大きな変化はない。また、今までに指針値が策定された物質は13種類のみで、100種類以上はあるといわれるその他の化学物質についてはまだ手付かずのままである。

WHO欧州事務局は2000年5月に清浄空気に関する人権宣言「The Right to Healthy Indoor Air」<sup>60)</sup>を公表し、全ての人々は清浄な室内空気を呼吸する権利を有する。そして、あらゆる関連機関は建物の空気質や居住者の健康と環境上の影響を評価及び査定するために明確な基準を確立すべきである。と述べている。2002年5月には社団法人・日本建築学会は「清浄空気・建築憲章」<sup>61)</sup>を公表し、今日のシックハウス問題に建築が大きく関わっていることを認識し、清浄な空気環境を提供する努力を行うことを宣言している。そして、この宣言を具体化するにあたり、清浄空気的重要性に関する説明と情報発信、空気汚染の情報開示、学会基準の作成と公的基準の作成支援、安全な建材、安全な施工方法の開発、効率的な換気システムの開発、健康リスクの最小化、維持管理指導に取り組むとしている。

地方衛生研究所においてもシックハウス問題に対して果たすべき役割は大きく、住民から寄せられる期待も大きなものがある。関係行政部局、保健所と緊密な連携のもとに、先取りの調査研究、試験検査等を積極的に行う必要がある。具体的には化学物質分析方法の開発、実態調査に基づく問題点の提示、健康被害の実態把握、発生源の解明と室内化学物質濃度の低減化に関する研究、微量化学物質による健康リスクの情報収集等が課題であると考えられる。

#### 文 献

- 1) 渡辺一彦：建築雑誌，117，15-17，2002.
- 2) 滝沢始：アレルギー疾患，松島綱治編，分子予防医学，275-284，1999，医学書院，東京.
- 3) 石川昌，第9回環境ホルモンの学会講演会テキスト32-45，2002.
- 4) 堀雅宏：ALIA NEWS，37，30-39，1997.
- 5) 花井義道，陳永紅，中西準子：横浜国大環境研紀要，22，1-10，1996.
- 6) WHO：Indoor air quality：Organic pollutant，EURO Report and Studies No. 111，WHO Regional Office for EURO，1989，Copenhagen.
- 7) 厚生省：居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査，1999.
- 8) WHO：Indoor Air Quality & Its Impact on Man - Report No.19：Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigation，European Commission Joint Research Center Environmental Institute，1997.
- 9) 瀬戸 博，斎藤育江，大貫 文，他：住宅室内空气中揮発性有機化合物濃度の「推奨値」及び「要監視濃度」の提言70-75，2000，プロジェクト研究報告 居住環境の安全性に関する研究，東京都立衛生研究所.
- 10) 大貫 文，斎藤育江，瀬戸 博，他：東京衛研年報，53，206-210，2002.
- 11) 室内空気対策研究会実態調査分科会：平成12年度実態調査報告書，国土交通省．大澤元毅：建築雑誌，117，20-21，2002.
- 12) 正札 肇：室内環境学会誌，4，34-48，2001.
- 13) 斎藤育江，瀬戸 博，多田宇宏，他：東京衛研年報，50，235-239，1999.
- 14) 厚生労働省：室内空气中化学物質についての相談マニュアル作成の手引き，2001.
- 15) 石丸 章：室内環境学会誌，4，192-193，2001.
- 16) Tahtinen, M., Saarela, K., Tirkkonen, T., et al.: *Proceedings of 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 3, 591-596, 1996.
- 17) 大貫 文，斎藤育江，瀬戸 博，他：東京衛研年報，51，223-228，2000.
- 18) 斎藤育江，瀬戸 博，大貫 文，他：東京衛研年報，53，191-198，2002.
- 19) Yoshida, S., Taguchi, S., and Fukushima, S.: *J. Health Sci.*, 46, 104-109, 2000.
- 20) 桂英二，小川 広，小島弘幸，他：衛生化学，42，354-359，1996.
- 21) 吉田精作，田口修三，田中之雄，他：室内環境学会誌，4，154-157，2001
- 22) 原邦夫，深堀すみ江，中明賢二，他：日衛誌，52，390，1997.
- 23) Miller, C. S. and Mitzel, H.C.: *Arch Environ Health*, 50, 119-129, 1995.
- 24) 環境庁：環境ホルモンの戦略SPEED'98，1998 & 2000.
- 25) 斎藤育江，大貫 文，瀬戸 博：室内環境学会誌，5，13-22，2002.
- 26) 藤本武利，竹田菊男，野中辰夫，他：エアロゾル研究，14，348-356，1999.
- 27) 瀬戸 博，斎藤育江，大貫 文：エアロゾル研究，16，305-310，2001.

- 28) 斎藤育江, 大貫 文, 瀬戸 博: エアロゾル研究, 16, 209-216, 2001.
- 29) 瀬戸 博, 斎藤育江, 大貫 文, 他: 東京衛研年報, 52, 208-212, 2001.
- 30) 瀬戸 博, 斎藤育江, 大貫 文, 他: 第4回日本内分  
泌攪乱化学物質学会要旨集, 172, 2001.
- 31) Rudel, R.A., Brody, J.G., Spengler, J.D., et al.:  
*J. Air and Waste Manage. Assoc.*, 51, 499-513, 2001.
- 32) 崔 宰源, 森田昌敏: 環境化学, 11, 773-783, 2001.
- 33) Randolph, T.G.: *Ann. Allergy*, 23, 11-22, 1965.
- 34) Cullen, M.R.: *Occupational Medicine*, 2, 655-662,  
1987.
- 35) International Program on Chemical Safety (IPCS) /  
German Workshop on Multiple Chemical Sensitivity  
(MCS): Report on "MCS" Workshop, Berlin, 21-23  
February 1996. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*,  
69, 224-226, 1997.
- 36) 石川 哲: 日本医事新報3857号, 28, 1998.
- 37) 宮田幹夫: 環境ホルモン学会 第9回講演会テキスト,  
22-31, 2002.
- 38) 荒俊俊一, 坂井 公, 金子哲也, 他: 本態性多種化学  
物質過敏状態(MCS)とアレルギー, 中毒等との関連に  
ついて, 97-104, 平成10年度本態性多種化学物質過敏  
状態の調査研究報告書, 1999, 環境庁.
- 39) Meggs, W.J.: *Toxicol. Ind. Health*, 15, 331-338,  
1999.
- 40) 難波龍人: 本態性多種化学物質過敏状態の概要を掴む  
ための調査(眼科的報告), 68-96, 1999, 平成10年度  
本態性多種化学物質過敏状態の調査研究報告書, 環境  
庁.
- 41) 吉村健清: MCS (Multiple Chemical Sensitivity) の  
疫学, 111-119, 1999, 平成10年度本態性多種化学物質  
過敏状態の調査研究報告書, 環境庁.
- 42) Meggs, W.J., Dunn, K.A., Bloch, R.M., et al.: *Arch.*  
*Environ. Health*, 51, 275-282, 1996.
- 43) Kreutzer, R., Neutra, R.R., and Lashuay, N.: *Am. J.*  
*Epidemiol.*, 150, 1-12, 1999.
- 44) 内山巖雄, 村山留美子: 公衆衛生学的立場からみた化  
学物質過敏症についての研究, 223-239, 2001, 室内空  
気中化学物質に関する調査研究, 厚生科学研究.
- 45) 環境省: 平成12年度本態性多種化学物質過敏状態の調  
査研究報告書, 2000.
- 46) Godish, T.: *Sick Buildings Definition, Diagnosis  
and Mitigation*, 1996, CRC Press, Inc., Boca Raton,  
Florida. 小林剛訳: シックビルディング - 診断と対策  
-, 1998, オーム社, 東京.
- 47) WHO: *Indoor air quality Research*, EURO Report and  
Studies No. 103, WHO Regional Office for EURO, 1984,  
Copenhagen.
- 48) WHO: *Guidelines for Air Quality*, WHO, 1999. Geneva.
- 49) Tarkowski, M. and Gorski, P.: *Int. Arch. Allergy  
Immunol.*, 106, 422-424, 1995.
- 50) Lehman, I., Rehwagen, M., Diez, U., et al.: *Int  
Hyg. Environ. Health*, 204, 211-221, 2001.
- 51) 石川 哲, 宮田幹夫: 化学物質過敏症 - ここまできた  
診断・治療・予防法 -, 2001, かもがわ出版, 京都.
- 52) 環境省: 平成10年度本態性多種化学物質過敏状態の調  
査研究報告書, 1999.
- 53) 斎藤育江, 瀬戸 博, 竹内正博: 東京衛研年報, 49,  
225-231, 1998.
- 54) 瀬戸 博, 斎藤育江, 竹内正博: 第39回大気環境学会,  
440, 1998.
- 55) 高梨嘉光, 竹田敏晴, 大道正義: 大規模施設の化学物  
質汚染の実態と対応, 54-61, 2001, 田中正敏編著 室  
内化学物質汚染 - シックハウスの実態と対応 -, 松香  
堂, 京都.
- 56) 羽山広文: 建築雑誌, 117, 26-27, 2002.
- 57) 斎藤育江, 瀬戸 博, 竹内正博, 他: 東京衛研年報, 51,  
213-218, 2000.
- 58) 吉野 博, 池田耕一, 飯田 望, 他: 日本建築学会技  
術報告集, 15, 161-164, 2002.
- 59) 阪神・淡路大震災に伴う建て替え住宅等に関する調  
査: 兵庫県立生活科学研究所研究報告第14号, 12-14,  
1999.
- 60) WHO: *The Right to Healthy Indoor Air*, WHO, Regional  
Office for Europe, 2000.
- 61) 日本建築学会: 清浄空気・建築憲章, 2002.