

表 2 化学物質の曝露影響に関する実験的研究 (続き)

出版年	著者	実験動物・細胞	対象とした疾患	アレルゲンあるいは疾患モデル作成物質	化学物質
2012	Nakajima et al.	mouse	気管支喘息	OVA	bisphenol A
2012	Palmer et al.	rat basophilic leukemia mast cells (RBL-2H3)	アレルギー性皮膚炎	DNP-BSA	triclosan
2012	Satou et al.	mouse	アトピー性皮膚炎	PICL	xylene
2012	Sibilano et al.	mouse and human mast cells	-	-	6-formylindolo[3,2-b]carbazole
2012	Wagner et al.	rat	気管支喘息	OVA	ambient, concentrated PM2.5
2012	Yoshida et al.	pregnant mouse	気管支喘息	OVA	urban particulate matter
2011	Samuelsson et al.	mouse	皮膚炎	-	diphenylthiourea
2010	Antonios et al.	human dendritic cells	接触性皮膚炎	-	nickel sulfate
2010	Bleck et al.	human bronchial epithelial cells-myeloid dendritic cell	気管支喘息	-	diesel exhaust particles
2010	Hung et al.	dendritic cells (mDCs) from five subjects	-	-	nonylphenol, 4-octylphenol
2010	Inoue K et al.	mouse, bone marrow-derived dendritic cells	気管支喘息	OVA	single-walled nanotubes
2010	Kobayashi et al.	mouse	-	OVA	trichloroethylene
2010	Koike et al.	mouse, bone-marrow-derived dendritic cells, splenocytes	アトピー性皮膚炎	Dp	diisonoyl phthalate
2010	Larson et al.	mouse	接触性皮膚炎	FITC	dibutyl phthalate
2010	Smelter et al.	human airway smooth muscle	呼吸器疾患(気道収縮)	-	cigarette smoke extract
2010	Stefaniak et al.	mouse peritoneal monocytesartificial, lung surfactant	接触性皮膚炎、呼吸器疾患	-	tungsten, tungsten carbide, cobalt, tungsten carbide and cobalt powders, spray dryer, post-sintered chamfer grinder powders

表 2 化学物質の曝露影響に関する実験的研究 (続き)

出版年	著者	実験動物・細胞	対象とした疾患	アレルゲンあるいは疾患モデル作成物質	化学物質
2009	Hirasawa et al.	mouse	アトピー性皮膚炎	PICL	12- <i>O</i> -Tetradecanoylphorbol 13-acetate
2009	Inoue K et al.	mouse、bone marrow-derived dendritic cells	気管支喘息	OVA	multi-walled nanotubes
2009	Koike et al.	mouse splenocytes、bone marrow-derived dendritic cells	アレルギー疾患	—	di-(2-ethylhexyl) phthalate
2009	Shigeno et al.	mouse	接触性皮膚炎	FITC	dibutyl phthalate
2009	Zhang et al.	rat	気管支喘息	-	trimellitic anhydride aerosol

OVA : ovalbumin, PICL : picryl chloride, FITC : fluorescein isothiocyanate, Dp : Dermatophagoides pteronyssinus, Df : Dermatophagoides farina, DNP : dinitrophenyl, BSA : bovine serum albumin

「シックハウス症候群の診断基準の検証に関する研究」

シックハウス問題の原因となる可能性の高い化学物質を把握

研究分担者 田辺 新一 早稲田大学創造理工学部建築学科 教授

研究要旨

研究要旨

平成14年1月に室内汚染物質についての指針値が検討されて以来、約10年を過ぎ、指針値に定められた化学物質以外の代替物質による問題が新たに指摘されている。特に、SVOC物質に対する室内汚染が懸念されている。そのため、シックハウス問題の原因となる可能性の高い化学物質を把握すると共に今後室内における指針値の方向性と有効な対策を検討する目的で、既往研究のレビューを通じて室内のSVOC汚染物質に対する指針値の方向性及び今後注目すべき室内のSVOC汚染物質を検討することとした。既往研究の結果からDBP、DEHPのようなSVOC物質は気中に存在することより、ハウスダストに多量含まれていることが報告されている。室内でのSVOC汚染はVOC物質とは異なり、リスク評価をする際には経口、呼吸、経皮吸収など多経路曝露を考慮しなければならない。特に、幼児は1日当たり摂取するハウスダスト量が成人より10倍以上であると報告されており、床面に接触する機会が多いため、経皮吸収のリスクも高いと考えられる。可塑剤のDBP、DEHPの代替物質として使用されているDINP、DIDP、DINCH、DOTP、BBPとTBEPなどの使用量が増加し、室内での汚染が懸念される。上記の化学物質について実態調査する必要があり、高濃度、高頻度で検出される化学物質は新たな室内汚染物質として、採用を検討すべきである。

A. 研究背景と目的

1982年にWHOで「シックビルディング症候群」が定義され、1990年代後半から日本国内においてもホルムアルデヒドなどのカルボニル化合物や揮発性有機化合物（VOC）などの化学物質による室内空気質汚染が原因とされる居住者の健康問題が社会的に大きくなったことがある。主な背景として、技術の進歩や時代のニーズの変化と共に建物における高断熱・高気密化、新建材の多用、生活用品の変化が起こり、住宅内の換気量の減少、汚染化学物質

発生の増加にあると考えられている<sup>1)</sup>。

1996年5月、国会にシックハウス対策に関する質問趣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るようになった。また、健康住宅研究会は、(財)住宅・建築省エネルギー機構（IBEC）に事務局が置かれ、住宅内化学物質汚染に関するガイドライン化を目的として、第1回委員会が1996年7月に開催された。さらに、2000年6月から2004年3月までに、厚生省生活衛生局（現

厚生労働省医薬食品局)にて「シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会」第1~10回が開催され、室内空気汚染化学物質として13物質(TVOCは暫定目標値)に対する室内気中濃度指針値を定められた。2003年7月には、ホルムアルデヒドに対して、改正建築基準法により使用制限がなされるに至った。また、機械換気システムの設置が義務付けられ、室内の換気が一定に確保出来るようになった。

しかしながら、平成14年1月に室内汚染物質についての指針値が検討されて以来、約10年を過ぎている今、指針値に定められた化学物質以外の代替物質による問題などが新たに指摘されている。特に、SVOC物質に対する室内汚染物質が懸念されている。そのため、2012年9月にはシックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会が再開され、現在まで第17回の検討会が開催された。

沸点の高い準揮発性有機化合物(SVOC)はVVOC、VOC等と比べ、空气中に気体として存在することが少なく、浮遊粉塵やダスト等に付着して、室内に蓄積していることが報告されている。また、SVOCは放散源が多種多様であること、化学物質の複合作用を調べつくすことが不可能であること、体内に蓄積されて健康被害を導く可能性が考えられることから、それらの挙動や人体への影響について幾つかの機関によって研究が行われている。

現在、発癌性を始めとするSVOC成分による人体への深刻な有毒性は立証されてはいないが、SVOC成分を含む製品の広範的使用、難分解性を原因とする永続的汚染が考えられているため、健康影響への懸念は高まる傾向にある<sup>2)</sup>。Kolarik.Bら<sup>3)</sup>はダスト中のフタル酸エステル類濃度と子どものアレルギー症状との関係性、Robin.Mら<sup>4)</sup>は出産前の母体のフタル酸エステル曝露と

子どもの精神発達障害、運動発達障害の関係性を指摘している。DEHPの毒性学的研究はラットの胎児や新生児を対象に、生殖毒性や脳の発達問題等の健康影響の可能性を示唆している。また、加工食品の製造過程処理において間接的な添加があると考えられており、食料や飲料の汚染が確認されている。

Wensingら<sup>5)</sup>の研究では、成人の体重1kgあたり一日あたりのダスト摂取量が1.03 mg/kg・dayであるのに対し、幼児(1~3歳)の摂取量は10.3 mg/kg・dayであると報告している。また、わが国では欧米諸国に比べ、床座の文化があることから、床に接触する機会が多く、床面に堆積したダストを摂取してしまう量も多いと考えられる。このように気中より室内の表面、ハウスダストに多く存在するSVOC物質は成人より子供にリスクが高いと考えられる。

本研究ではシックハウス問題の原因となる可能性の高い化学物質を把握すると共に今後室内における指針値の方向性と有効な対策を検討する目的の一環として、室内でよく検出されるSVOC物質の使用用途や健康影響などを調べた。また、既往研究を調査することで、室内のSVOC汚染物質に対する指針値の方向性及び今後注目すべき室内のSVOC汚染物質を検討した。

## B. 準揮発性有機化合物(SVOC)

### a) 室内有機汚染物質の分類

世界保健機構(WHO)のワーキンググループでは、有機性室内空気汚染物質を沸点によって分類した<sup>6)</sup>。表1に室内有機汚染物質の分類を示す。

### b) フタル酸エステル類について

フタル酸エステル類やリン酸エステル類の多くがSVOCに属し、可塑剤や、難燃剤として、様々な建材や家庭用品等に含まれている。フタル酸エステル類が環境汚染物質の一つとして大きく

とりあげられている。フタル酸エステル類自体は環境中での生分解性があり、濃縮性や生物に対する毒性はそれほど高くないといわれている<sup>7)</sup>が、その使用量が多いため、環境（空気、水、土壌）や生物から常に検出されることが問題視されている。また、プラスチックという難分解性の製品中に組み込まれているため、廃棄方法によっては永続的な汚染をもたらす可能性があることも問題の一つである。

さらに、フタル酸エステル類のうち、フタル酸ジ-n-ブチル（DBP）、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（DEHP）等に環境ホルモンとして生物の生殖や発育に対して影響を与える内分泌かく乱作用の疑いももたれている。厚生労働省では、2000年にDBPの室内濃度指針値を $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2001年にはDEHPの室内濃度指針値を $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定めた。また、2002年8月には油脂・脂肪性食品を含有する食品の器具及び容器包装に対してDEHPの使用禁止、乳幼児が口に含むためのおもちゃに対してDEHPあるいはDINPの使用禁止、合成樹脂製おもちゃに対するDEHPの使用が禁止となった。また、日本壁装協会でもISM商品として、760 mmHgの気圧条件下における沸点 $400^\circ\text{C}$ 以上の可塑剤を使用するよう規制している<sup>8)</sup>。

このように、フタル酸エステル類については徐々に規制が設けられてきてはいるものの、未だ広く一般家庭内で使用されている。また、近年のプラスチックの多用に伴い、人体曝露量は増加していると推測されており、人への健康影響も懸念されている。

表2に可塑剤を使った主な製品<sup>7)</sup>、図1に可塑剤の生産量に占めるフタル酸エステルの割合<sup>9)</sup>を示す。可塑剤とはプラスチックの材料に柔軟性を与え、加工をしやすくするために添加する添加物であり、ビニルクロスや合成樹脂系のフローリング等の内装仕上げ材、

家具、電化製品等、あらゆるものに使用されている。また、可塑剤にはフタル酸エステル類の他にも、アジピン酸エステル系、リン酸エステル系、トリメリット酸エステル系、クエン酸エステル系、エポキシ系、ポリエステル系等があるが、可塑剤の大部分はフタル酸エステル類が占めている。これらフタル酸エステル類は、より高沸点で揮発性の乏しいフタル酸類を使用するように移行している。

#### c) 各物質の特徴

##### 1) 2E1H (2-Ethyl-1-Hexanol)<sup>10, 11, 12)</sup>

2-エチルヘキサノール（2E1H）は別名オクチルアルコールとも呼ばれており、特徴的な臭気のある無色の液体で、水溶性の低い物質である。強酸化剤と激しく反応する性質を持つ。また、可燃性で、 $73^\circ\text{C}$ 以上では蒸気/空気の爆発性混合気体を生じることがある。DEHPが加水分解すると2-エチルヘキサノールが発生する。主な用途としては可塑剤、ヘキシルエステル類、アクリレート類の合成の原料（中間体）として主に使用され、他にも塗料等の用途がある。健康への影響は強酸化剤と激しく反応する。体内には蒸気の吸入、あるいは経口摂取により吸収される。職業性曝露による重度の障害例は報告されていない。曝露濃度は不明であるが、頭痛、眠気、疲労等の症状の報告例がある。

##### 2) D6

##### (Dodecamethylcyclohexasiloxane)<sup>13)</sup>

ドデカメチルシクロヘキサシロキサン（D6）は、揮発性メチルシロキサン（Volatile Methylsiloxane：VMS）の一種である。シロキサンとは、 $\text{D}_2\text{SiO}$ を構成の基本単位とするシリコンと酸素を主成分とする有機又は無機化合物の総称のことである。無色、無臭の安定物質で、常温では液体で、撥水性、潤滑性、電気絶縁性が高いのが特徴で

ある。気体でバイオガスに混入し、燃焼反応により粉末または結晶状のシリカ (SiO<sub>2</sub>) に酸化し、残留する性質を持つ。これより、機械に対し影響を与えるとされている。主な用途はシャンプー・デオドラント・化粧品等に含まれる添加物、工業製品や建材（代表的例としては潤滑油・シール材）等に用いられる。人体への影響は内分泌かく乱作用があるのではないかとの懸念が示されたことがある。しかし、現在では健康影響は認められていない。

### 3) BHT (Butylated hydroxitoluene)<sup>14)</sup>

ジブチルヒドロキシトルエン (BHT) は無色～薄黄色の結晶または粉末として存在し、燃焼あるいは酸化性物質と接触すると分解する性質を持つ。主な用途としては安価な酸化防止剤として、接着剤、ゴム、繊維加工剤、包装材料等に使われているフェノール系酸化防止剤。また、樹脂の酸化による黄変等の化学変化を防止するための添加剤として使用されている。その他、食品の腐敗、変敗、化学変化を防ぐ酸化防止剤として、魚介冷凍品、チューインガム、魚介乾燥品、バター・マーガリン、食用油脂、各化粧品としても使用されている。健康への影響は短期曝露により眼、皮膚を刺激する。反復または長期の皮膚への接触により、膀胱・甲状腺癌、肝臓・腎臓の機能障害、体重低下、脱毛、皮膚炎を起こすとされており、毒性の強い添加物である。また、水生生物に対して毒性があるとされる。

### 4) DEP (Diethyl phthalate)<sup>15)</sup>

フタル酸ジエチル (DEP) は無色で油状の液体である。可燃性であり、加熱や燃焼により分解し、有毒なフェームやガスを生じる性質をもつ。また、ある種のプラスチックを侵すとされている。環境に有害な場合があり、魚類への影響に特に注意が必要である。製造量は 100~1000t (平成 13 年度) であった。主な用途は酢酸セルロース、メ

タクリル酸、酢酸ビニル、ポリスチレン樹脂等の可塑剤、溶剤、香料の保留剤等に使われている。また、健康への影響は体内へは吸入、経皮、経口により摂取され、吸入によるめまい、感覚鈍麻、経口摂取より腹痛、吐き気等を引き起こすとされている。発癌性について US.EPA にてグループ D (ヒト発癌性に関して分類できない物質) に分類され、また、ACGIH (1998) にて A4 (発癌性物質として分類できない物質) とされている。IARC では発癌性評価がされていない。ヒトの内分泌系、生殖器系への影響に関する報告はない。また、性ホルモン受容体を解する内分泌かく乱作用を有する可能性は低いものと考えられている。

### 5) C16 (Hexadecene)<sup>15)</sup>

脂肪族炭化水素である。1つの炭素が結合できる最大の水素をもっているため、飽和している。また、パラフィンとも呼ばれ、一般に化学的に安定で反応性に乏しい。ヘキサデカン (C6) は炭化水素の一種で分子中に炭素を 16 個含むものである。主な用途は軽油等。その他、油性ペイント、油性ペイントうすめ液、油性ニス、ワックス、防腐剤等に使用されている。経口摂取にて肝臓に障害を生じる。

### 6) TBP (Tributyl phosphate)<sup>16, 17, 18)</sup>

リン酸トリブチル (TBP) は無色無臭の粘稠液体である。温水と反応し、腐食性のリン酸、ブタノールを生じる性質を持つ。ある種のプラスチック、ゴム、被膜剤を侵す。可燃性であり、加熱や燃焼による分解からリン酸化物等の有毒なフェームを生じる。放射線分解及び加水分解により MBP (リン酸モノブチル) を生成する。温水と反応し、腐食性のリン酸、ブタノールを生じる。ある種のプラスチック、ゴム、被膜剤を侵す。体内には蒸気の吸入により吸収される。20℃で気化したとき、空気は汚染されても有害濃度には達し

ない、または達しても極めて遅い。主な用途としてプラスチックの可塑剤、その他、ラッカー、接着剤、レザー、印刷インキ、安全ガラス、セロハン、染料、殺虫剤の製造、織物用潤滑剤、雑貨等に使用されている。産業用としては、航空機の圧媒液と稀土類の抽出および精製のための溶剤として使用されている。健康への影響は気体として体内に吸入される。短期曝露により眼、皮膚、気道を著しく刺激する。曝露はほとんど皮膚経路を通じて起こる。また、中枢神経に影響を与えることがある。動物実験データでは、弱い抗コリンエステラーゼ作用を示す。動物発癌性物質である。IARC ではヒトに対し発癌性は評価されていない。水生生物に対して毒性が強い。環境への影響は土壌中と水中の双方で TBP は底質または粒子状物質に吸着され、生分解すると思われる。大気中では TBP は蒸気として存在し、速やかに光分解される。生物濃縮は起こらない

#### 7) TCEP

(Tris(2-Ethylhexyl)Phosphate)<sup>15)</sup>

リン酸トリス (2-クロロエチル) (TCEP) は無色の液体である。アルコール、エーテル、ベンゼン等の有機溶媒に可溶、脂肪族炭化水素に不溶である。別の呼称としてトリス (2-クロロエチル) ホスフェート、トリス (β-クロロエチル) ホスフェート等がある。徐々に加水分解し、リン酸及び塩化エチルを生じる。加水分解の半減期は、100 日 (pH7, 25°C) である。主な用途はウレタン樹脂用難燃剤 (95%以上)、潤滑油添加剤 (5%以下) に主に使用されている。健康への影響として人における急性影響は報告されていないが、実験動物において痙攣等の中枢神経への影響が見られている。また、人の疫学調査で慢性影響はみられていないが、実験動物の反復投与毒性試験において肝臓、腎臓、精巣、さらには中枢神経

への影響が観察されている。実験動物において腎臓、ハーダー腺、甲状腺での腫瘍、さらに白血病の発症率の増加が報告されている。変異原性・遺伝毒性では *in vitro*、*in vivo* 試験の一部の試験で陽性の報告がみられる。生殖・発生毒性試験で奇形は認められていないが、実験動物において精巣重量、生存精子数の減少がみられている。

本物質は環境中に放出された場合、大気中では OH ラジカルとの反応が関与しており、半減期は 1 日以内と計算されている。水圏では生分解されにくい、生物への蓄積性は低い。環境庁のモニタリングでは水質、底質、魚類及び大気中で検出されている。水圏環境生物に対する急性毒性は弱い。発癌性について ACGI による発癌性分類では A4 (発癌性物質として分類できない物質) に分類されている。

#### 8) DBA (Dibutyl adepate)<sup>19)</sup>

アジピン酸ジブチルは無色に近い粘稠液体であり、微かな臭気を有する。揮発性を有する液体であり、1987～1992 年の日本の生産量は 100 トン/年未満である。本物質は中性・酸性・アルカリ性溶液中で安定するため、容易に生分解されないと考えられる。主な用途は床用ワックスに含有される。健康への影響は本物質は魚類とミジンコに対して中程度の毒性を持ち、藻類に対して軽微な毒性を持つと考えられる。

#### 9) DBP (Dibutyl phthalate)<sup>20)</sup>

フタル酸ジ-n-ブチル (DBP) は特徴的な臭気のある無色～黄色の粘稠液体である。流動、攪拌等により、静電気が発生することがある。燃焼すると分解し、有毒で刺激性のフューム (無水フタル酸 [ICSC 番号 0315]) を生じる。強酸化剤と反応する。製造量は 11982t (平成 10 年度)。主な用途はプラスチックの可塑剤、接着剤、レザー、印刷インキ、安全ガラス、セロハン、染料、殺虫剤の製造、織物用潤滑剤、雑貨に

使われる。健康への影響としてエアロゾルの吸入、経口摂取により体内に吸収される。20℃で気化したとき、空気は汚染されても有害濃度には達しないか、きわめて遅く有害濃度に達する。眼を刺激し、腹痛、吐き気、下痢、嘔吐の原因となる。長期曝露により、肝臓に影響を与え、肝機能障害を生じることがある。動物試験では人の生殖に毒性影響を及ぼす可能性があることが示されている。発癌性については人の内分泌系、生殖器系への影響に関して、本物質曝露との関連が明確にされている報告はない。EPAによる評価でグループD（ヒト発癌性に関して分類できない物質）とされている。

#### 10) C20 (icosane)<sup>21)</sup>

C20 (n-イコサン) は炭化水素の一種で分子中に炭素を 20 個含むものである。1つの炭素が結合できる最大の水素をもっているため、飽和している。また、パラフィンとも呼ばれ、一般に化学的に安定で反応性に乏しい。主な用途としては軽油等。その他、油性ペイント、油性ペイントうすめ液、油性ニス、ワックス、防腐剤等に使用されている。健康への影響は経口摂取にて肝臓に障害を生じる。

#### 11) TPP Triphenyl phosphate<sup>15, 22)</sup>

リン酸トリフェニルは特徴的な臭気のある無色の結晶性粉末である。主な用途としては PVC、アクリル樹脂、ポリスチレン、繊維素系樹脂の難燃性可塑剤として使用されている。健康への影響は吸入により体内へ吸収される。20℃ではほとんど気化しないが、粉末の場合、噴霧もしくは拡散すると浮遊粒子が急速に有害濃度に達することがある。長期曝露にて末梢神経系に影響を与え、機能障害を生じることがある。水生生物に対して毒性が非常に強い。水生環境中で長期にわたる影響を及ぼすことがある。発癌性については ACGI の発癌性評価では A4（発癌性物

質として分類できない物質）に分類されている。また、環境への影響は水生生物に対して毒性が非常に強いため、水生環境中で長期にわたり影響を及ぼすことがある。したがって、通常の使用法と異なる状況での環境中への放出を避けることが必要である。

#### 12) DOA (Dioctyl adipate)<sup>23)</sup>

アジピン酸ジオクチル (DOA) は無色～黄色の液体であり、微かな臭気を有する。強酸化剤であり、強酸と反応し、火災の危険をもたらすとされている。2-エチルヘキサノールと 1,6-ヘキサジカルボン酸とにアルカリ加水分解されるという性質を持つ。主な用途は塩化ビニルに対する可塑剤（耐寒、耐光、耐熱性）として用いられる。健康への影響は蒸気として体内に吸入される。眼を刺激し、経口摂取より下痢を引き起こす。短期曝露により中枢神経系に影響を与えることがある。長期曝露により肝臓に影響を与えることがある。また、水環境に対して慢性有害性の可能性があることから、曝露アセスメントとその後の適切なリスクアセスメントが勧告される。

#### 13) DEHP (Diethyl phthalate)<sup>24)</sup>

フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) は、無色～淡色で、特徴的な臭気があり、常温では粘稠性の液体である。可燃性だが水溶性は低く、ある種のプラスチックを侵すとされている。強アルカリ、強酸で加水分解し、2E1H を発生させる。別称として、一般的にはフタル酸ジオクチル (DOP) とも呼ばれている。主な用途は DOP は可塑化効率に優れ、揮発分が少なく、耐寒性、相溶性、耐候性、加水分解安定性、電気特性、耐老化性、耐移行性に優れており、フィルム、レザー、シート、電線、コンパウンド等幅広く使用されている。健康への影響は工場等における事故的な高濃度の短期曝露で、目、皮膚、気道に刺激を与えることがある。



消化管に影響を与えることがある。反復または長期間の接触により皮膚炎を起こすことがある。また、当該物質は動物の種による感受性の差が問題となっている。げっ歯類においては、共通して肝臓及び精巣への影響が認められるが、カニクイザル等の霊長類では影響は認められていない。DEHP のげっ歯類の肝臓への影響として、ラット及びマウスの2年間の反復投与における肝腫瘍の発生が挙げられる。

ガイドラインは、現在の厚生労働省指針値は、 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  (7.6ppb) で、安全性の観点から影響が認められる可能性がある濃度のうち最も低くなる、雄ラットの経口反復投与において精巣に病理組織学的影響を及ぼさない無毒性量を採用し、安全率を加味して設定している。また、器具及び容器包装並びにおもちゃの規格基準にて食品の器具及び容器包装、乳幼児の口に接触させるおもちゃへの使用が禁止されている。

発癌性については IARC は 3 (ヒトに対する発癌性については分類できない物質)、ACGIH は A3 (動物発癌性物質)、NTP は R (合理的にヒト発癌性があることが予想される物質)、EPA では B2 (動物での十分な証拠があり、かつ疫学的研究から、ヒトでの発癌性の不十分な証拠があるか、または証拠がない物質) と分類されている。ヒトの内分泌系、生殖器系への影響に関して、本物質曝露との関連が明確にされている報告はないが、従来知見より生殖・発生毒性による影響がみられることから、有害性評価や曝露評価を踏まえてリスク評価を実施し、適切なリスク管理のあり方について検討すべきとされている。

#### 14) DINP (Diisononyl Phthalate)<sup>25)</sup>

ブテンの二量体をオキシ化したイソノニルアルコール (炭素数 9) のフタル酸エステル。このアルコールは従来のノニルアルコールと異なり、分岐度

の少ない点の特徴。DINP は汎用可塑剤 DEHP に比較し、可塑化効率、加工性は若干劣るが、耐熱性に優れており DOP と DIDP の混合比 3 対 1 にほぼ匹敵する。また、プラスチック配合では DEHP より粘度安定性に優れている。主な用途は DEHP に比べ耐熱性、耐寒性、耐揮発性に優れており、またプラスチック配合では粘度安定性に優れている。一般用途の他、フィルム、シート、高級レザー、電線用に適している。健康への影響は妊娠中の女性の曝露によって、産まれてくる子供の生殖器官の発達に対する影響や、成人の生殖システムへの影響、口にくわえるおもちゃ等から DINP に曝露した子供への健康影響が懸念されている。

### C. 既往研究による室内における SVOC 濃度

#### a) 気中 SVOC 濃度

室内の SVOC 汚染については住宅を対象として多くの調査が行われている。室内空気中の SVOC 濃度について、H.Fromme ら<sup>2-6)</sup>はアパート 59 軒における測定結果として気中 DBP 濃度の 50 P (パーセンタイル) 値が  $1.086\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、95 P 値が  $2.453\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、気中 DEHP 濃度の 50 P 値が  $0.156\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、95 P 値が  $0.35\mu\text{g}/\text{m}^3$  であったと報告している。金澤ら<sup>2-7)</sup>の札幌の住宅 40 軒の冬季における測定では気中 DEHP 濃度の中央値が  $0.147\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値が  $1.66\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、東京の住宅 22 軒の夏季における測定では中央値が  $0.495\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値が  $2.37\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、東京の住宅 21 軒の冬季における測定では中央値が  $0.158\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値が  $0.592\mu\text{g}/\text{m}^3$  であったと報告している。斎藤ら<sup>2-8)</sup>による住宅 44 軒の測定結果では、気中 DEHP 濃度の中央値が夏季で  $0.495\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬季で  $0.202\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、気中 DINP 濃度の冬季の中央値が  $0.0272\mu\text{g}/\text{m}^3$  であったと報告している。これらの既往研究に示される気中

DBP、DEHP 濃度の値は、日本の室内空气中 DBP、DEHP 濃度の指針値として定められている  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を大きく下回っている。

#### b) ハウスダスト中 SVOC 濃度

表 3 に住宅のハウスダスト中 SVOC 濃度 [ $\mu\text{g}/\text{g}$ ] に関する既往研究<sup>29)</sup>を示す。SVOC については経口摂取も無視することができないことから、ダストへの吸着量の測定も重要となり、気中濃度を測定する方法のみでは過小評価となる危険性がある。そのため、実空間におけるダストへの SVOC 吸着量の測定が国内外で数多く行われている。

### D. 指針値の方向性と新たな室内汚染物質の検討

#### a) SVOC 物質に対する指針値の方向性の検討

表 4 に厚生労働省（厚生省）で策定された指針値を示す。これらの指針値は、現状において入手可能な科学的知見に基づき、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。これらは、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得るものである。

既往研究の結果から DBP、DEHP のような SVOC 物質は気中に存在することより、ハウスダストに多量含まれていることが報告されている。表 4 に示したようにフタル酸ジ-n-ブチル (DBP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) の指針値は各々  $220$ 、 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  に定められているが、実空間ではこの指針値より非常に低い濃度であると報告されている。

当時シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会から定められたこの 2 つの物質の指針値は動物試験デー

タから得られた耐容一日摂取量 (TDI) を用いて、不確実性係数 (UF) などを考慮し、日本人の平均体重と一日当たりの呼吸量から指針値を定めた。すなわち、この指針値は呼吸による曝露しか考慮されていない。

室内での SVOC 汚染状態は VVOC、VOC 物質とは異なり、リスク評価をする際には多経路曝露について検討する必要がある。DBP、DEHP のような SVOC 物質の曝露経路は経口、呼吸、経皮吸収などが報告されている。特に、幼児は 1 日摂取するハウスダスト量が成人より 10 倍以上であると報告されており、床面に接触する機会が多いため、経皮吸収のリスクも高いと考えられる。

今後 DBP、DEHP など、他の SVOC 物質あるいは吸着性質を持つ化学物質は多経路曝露を検討したうえで、指針値を見直す必要があると考えられる。

#### b) 新たな室内汚染物質の検討

平成 14 年まで、13 物質の化学物質について室内気中濃度指針値が定められた。その後、約 10 年が経過し、指針値が設定されている化学物質の代替物質として新たな物質が使用され、室内での汚染が指摘されてきた。特に、シロアリ防蟻剤として使用されたクロロピリホスの代わりに有機リン系、ピレスロイド系などが使用されている。

また、可塑剤の DBP、DEHP の代替物質として使用されている DINP(フタルさんジイソノニル)、DIDP(フタル酸ジイソデシル)、DINCH(ヘキサモールデインチ)、DOTP(ベンゼン-1,4-ジカルボン酸ビス(2-エチルヘキシル))、BBP(フタル酸ベンジルブチル)と TBEP(りん酸トリス(2-ブトキシエチル))などの使用量が増加し、室内での汚染が懸念される。

上記の化学物質について実態調査する必要があり、高濃度、高頻度で検出

される化学物質は新たな室内汚染物質として、採用を検討すべきである。

## E. 今後の研究

居住環境内における SVOC 汚染濃度（空気・ダストなど）の実態調査を行い、既存の SVOC 物質のみではなく、代替物質として使用されている物質を把握することで、高濃度、高頻度で検出されて化学物質を検討する。

また、室内での放散原の情報を収集するため、マイクロチャンバーを用いて建材、家庭用品などから SVOC 放散速度を測定する。

## F. 参考文献

- 1) 田辺新一, “室内化学汚染 シックハウスの常識と対策”, 講談社現代新書, 1998
- 2) Plastics that may be harmful to children and reproductive health, EHHI - Environment & Human Health, Inc, 2008
- 3) Barbara Kolarik, Kiril Naydenov, Malin Larsson, Carl-Gustaf Bornehag, and Jan Sundell, The Association between Phthalates in Dust and Allergic Diseases among Bulgarian Children, Environ Health Perspect. 2008 January, 116 (1), 98-103
- 4) Robin M. Whyatt, Jennifer J. Adibi, Antonia M. Calafat, David E. Camann, Virginia Rauh, Hari K. Bhat, Frederica P. Perera, Howard Andrews, Allan C. Just, Lori Hoepner, Deliang Tang and Russ Hauser, Prenatal Di (2-ethylhexyl) Phthalate Exposure and Length of Gestation Among an Inner-City Cohort Pediatrics 2009, 124, e1213, DOI: 10.1542/peds.2009-0325
- 5) M. Wensing, E. Uhde, T. Salthammer, Plastics additives in the indoor environment-flame retardants and plasticizers; Science of the Total Environment 339; pp19-40; 2005
- 6) WHO, “Indoor air quality: organic pollutants, EURO Reports and Studies 111”, 1987
- 7) 可塑剤工業会, “可塑剤とは? - 可塑剤に出会わない日はありません”,
- 8) 日本壁装協会 ISM 機構, 2012, <http://www.wacoa.jp/ism/index.html>, 2014.1.10
- 9) 通商産業省 (当時), 化学工業統計年報, 1999
- 10) 協和発酵ケミカルの化学製品, 2012, [http://www.kyowachemical.co.jp/products/OA\\_jcat/](http://www.kyowachemical.co.jp/products/OA_jcat/), 2014.1.10
- 11) 環境省, 化学物質環境調査 <http://www.env.go.jp/chemi/kurohon/http1996/html/envinv.html>, 2014.1.10
- 12) 環境省, 化学物質の環境リスク評価第2巻, pp1-6, <http://www.env.go.jp/chemi/report/h15-01/pdf/chap01/02-3/17.pdf>, 2014.1.10
- 13) 日本下水道施設業協会, “消化ガス精製装置(シロキサン除去装置)” [http://www.siset.or.jp/setsubi/f120/120\\_9\\_0.htm](http://www.siset.or.jp/setsubi/f120/120_9_0.htm), 2014.1.10
- 14) 環境省, 環境白書, 化学物質の環境調査結果について, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/honbun.php?kid=154&serial=3007&bflg=1>, 2014.1.10
- 15) 国際化学物質安全性カード (ICSC) - 日本語版 -, <http://www.nihs.go.jp/ICSC/>, 2014.1.10
- 16) 原子力百科事典, リン酸トリブチル ( TBP )

- <http://www.rist.or.jp/atomica/>,  
2014.1.10
- 17) 社団法人日本化学物質安全・情報センター, リン酸トリブチル, 2012,  
<http://www.jetoc.or.jp/safe/doc/J126-73-8.pdf>, 2014.1.10
- 18) 環境省, 化学物質の環境リスク評価第2巻, pp,129-131  
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h15-01/pdf/chap02/02-2/02/50.pdf>, 2014.1.10
- 19) 社団法人 日本化学物質安全・情報センター (JETOC), “Screening Information Data Set for High Volume Chemicals”,  
[http://www.jetoc.or.jp/HP\\_SIDS/htmlfiles/105-99-7.htm](http://www.jetoc.or.jp/HP_SIDS/htmlfiles/105-99-7.htm),  
2014.1.10
- 20) 環境省, 環境リスク評価室, 化学物質の環境リスク評価第1巻, pp375-386, 平成14年3月,  
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h14-05/chap01/03/30.pdf>,  
2014.1.10
- 21) lChemFinder,  
<http://chemfinder.cambridgesoft.com/result.asp>, 2014.1.10
- 22) 環境省, 化学物質の環境リスク評価第3巻, リン酸トリフェニル  
[http://www.env.go.jp/chemi/report/h16-01/pdf/chap02/02\\_2\\_57.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/report/h16-01/pdf/chap02/02_2_57.pdf), 2014.1.10
- 23) 環境省, 環境リスク評価室, 化学物質の環境リスク評価第2巻, pp16-29, 平成15年3月,  
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h15-01/pdf/chap01/02-2/02.pdf>, 2014.1.10
- 24) 中西準子, 詳細リスク評価書シリーズ1 フタル酸エステル—DEHP—, 丸善株式会社, 2005
- 25) Kanda Chuodori Bldg.2F, 2-3-3, Kaji-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0044, Japan  
<http://www.j-plus.co.jp/dinp.html>, 2014.1.10
- 26) H.Fromme et al., Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany), *Indoor Air*, 14, 188-195, 2004
- 27) 金澤文子, 斎藤育江, 荒木敦子, 竹田誠, 矢口久美子, 岸玲子, 札幌市一般住宅におけるフタル酸エステル リン酸トリエステルによる室内汚染—実態解明とシックハウス症候群との関連 日衛誌 2008; 63: 357
- 28) 斎藤育江, 大貫文, 瀬戸博, 上原眞一, 加納いつ, 室内空气中化学物質の実態調査 (可塑剤, 殺虫剤及びビスフェノール A 等), 東京健安研七年報 *Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. P H.*, 54, 253-261, 2003
- 29) Bornehag CG, Lundgren B, Weschler ChJ, Sigsgaard T, Hägerhed-Engman L, Sundell J. Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics. *Environ Health Perspect.* 2005a, 113, 1399-1404.

表 1 室内有機汚染物質の分類 (WHO 1989) <sup>6)</sup>

Category	Description	Abbreviation	Boiling-point range (°C) *	Sampling methods typically used in field studies
1	Very volatile organic compounds (高揮発性有機化合物)	VVOC	<0 to 50-100	Batch sampling; adsorption on charcoal
2	Volatile organic compounds (揮発性有機化合物)	VOC	50-100 to 240-260	Adsorption on Tenax, carbon molecular black or charcoal
3	Semivolatile organic compounds (半揮発性有機化合物)	SVOC	240-260 to 380-400	Adsorption on polyurethane foam or XAD-2
4	Organic compounds associated with particulate matter or particulate organic matter (粒子状物質)	POM	>380	Collection on filters

表 2 可塑剤を使った主な製品 <sup>7)</sup>

生活用品	ガーデンホース、ビニル電線、サッシのシーリング、自動車のダッシュボード・内装レザー、冷蔵庫のガasket、洗濯機、掃除機のフレキシブルホース、食品包装フィルム 等
インテリア	ソファやイスのレザー、テーブルクロス、テーブルカバー、オーディオンカーテン、床材、壁紙、天井材 等
ファッション	ベルト、バッグ、カバン、レインコート、ショッピングバッグ 等
履物	ケミカルシューズ、サンダル、スリッパ、ぞうり 等
レジャー	浮き輪、ビーチボール、人形・おもちゃ 等
その他	飲食店の料理サンプル 等

表 3 住宅のハウスダスト中 SVOC 濃度 [ $\mu\text{g/g}$ ] に関する既往研究 <sup>29)</sup>

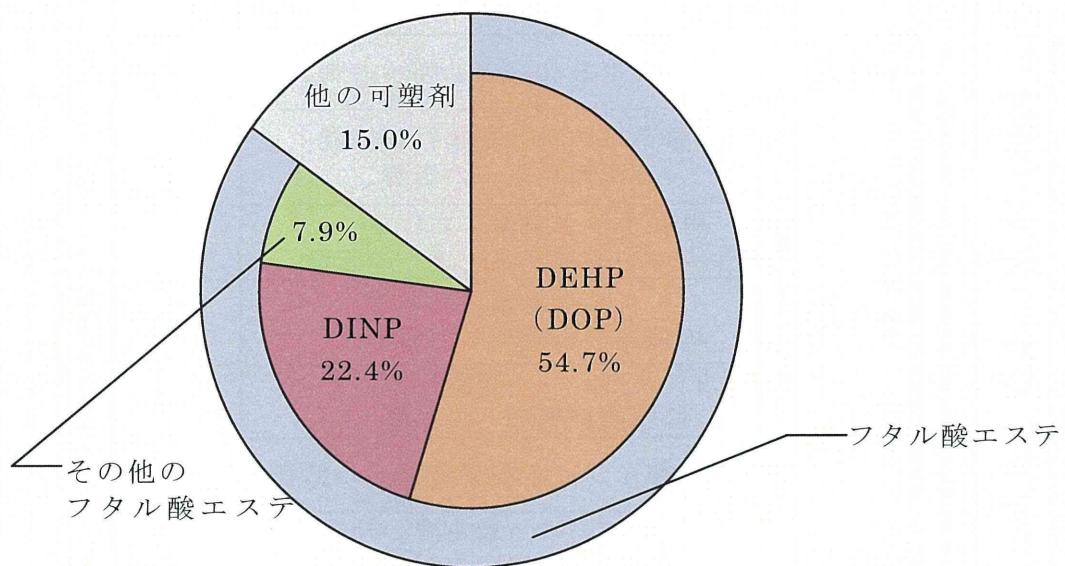
Study	Country	No.	Substance	50th <sup>a</sup>	95th <sup>a</sup>
Pohner et al. 1997	Germany	272	DEHP	450	2000
Oie et al. 1997	Norway	38	DEHP	640	-
Butte et al. 2001	Germany	286	DEHP	740	2600
Becker et al. 2002	Germany	199	DEHP	420	1190
Clausen et al. 2003	Denmark	23	DEHP	860	2590
Rudel et al. 2003	USA	120	DEHP	340	850 <sup>b</sup>
Kersten et al. 2003	Germany	65	DEHP	600	1600
		62	DINP	72	540
Fromme et al. 2004	Germany	30	DBP	55.6 <sup>c</sup>	-
			DEHP	755	1540
Becker et al. 2004	Germany	252	DEHP	510	1840
Bornehag et al. 2004	Sweden	346	DEHP	770	4070
			DINP	639 <sup>c</sup>	1930
Kolarik et al. 2008	Bulgaria	184	DEHP	990	7980
Kanazawa et al. 2008	Japan	41	DBP	19.8	-
Takagi et al. 2008	Japan	8	DEHP	334 <sup>d</sup>	737 <sup>e</sup>
Jinno et al. 2010	Japan	24	DBP	14	100
			DEHP	860	-
Kim et al. 2010	Japan	7	DEHP	490 <sup>d</sup>	1600 <sup>e</sup>
	Korea	6	DEHP	1200 <sup>d</sup>	4000 <sup>e</sup>

<sup>a</sup>50 th and 95 th percentiles. <sup>b</sup>90 th percentile.  
<sup>c</sup>Mean concentration. <sup>d</sup>Minimum value. <sup>e</sup>Maximum value.

表 4 厚生労働省（厚生省）で策定された指針値

揮発性有機化合物	毒性指標	室内濃度指針値*
ホルムアルデヒド	ヒト曝露における鼻咽頭粘膜への刺激	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
トルエン	ヒト曝露における神経行動機能 及び生殖発生への影響	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
キシレン	妊娠ラット曝露における 出生児の中樞神経系発達への影響	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20 ppm)
パラジクロロ ベンゼン	ビーグル犬曝露における 肝臓及び腎臓等への影響	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
エチルベンゼン	マウス及びラット曝露における 肝臓及び腎臓への影響	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
スチレン	ラット曝露における脳や肝臓への影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
クロルピリホス	母ラット曝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	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
フタル酸ジ-n-ブ チル	母ラット曝露における 新生児の生殖器の構造異常等の影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppm)
テトラデカン	C <sub>8</sub> -C <sub>16</sub> 混合物のラット経口曝露における 肝臓への影響	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
フタル酸ジ-2- エチルヘキシル	ラット経口曝露における 精巣への病理組織学的影響	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6 ppb)
ダイアジノン	ラット吸入曝露における血漿及び 赤血球コリンエステラーゼ活性への影響	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
アセトアルデヒド	ラットの経気道曝露における 鼻腔嗅覚上皮への影響	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
フェノブカルブ	ラットの経口曝露における コリンエステラーゼ活性等への影響	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0038 ppm)
総揮発性有機化合 物量 (TVOC)	国内の室内 VOC 実態調査の結果から、 合理的に達成可能な限り低い範囲で決定	暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

図1 可塑剤の生産量に占めるフタル酸エステルの割合<sup>9)</sup>





「シックハウス症候群の診断基準の検証に関する研究」

微量影響対策としての臭いによる新たな暫定室内空気規制値の提言  
(情報提供)

研究協力者	森 千里	千葉大学大学院医学研究院環境生命医学 千葉大学予防医学センター
	戸高恵美子	千葉大学大学院医学研究院環境生命医学 千葉大学予防医学センター
	瀬戸 博	千葉大学大学院医学研究院環境生命医学 千葉大学予防医学センター
	中岡宏子	千葉大学大学院医学研究院環境生命医学 千葉大学予防医学センター

研究要旨

シックハウス症候群が問題になっている現場では、臭気を訴えるケースが多い。室内環境に関する全国規模の疫学調査においても、「家のおい」と「シックハウス症状」の発現には関係があることが示されている。カビなどの微生物により発生する臭い物質（MVOC, Microbial Volatile Organic Compound）がアレルギーやシックハウス症候群と関連するという報告もある。総揮発性有機化合物（TVOC）の主要成分と総臭気閾値比（TOTR）の主要成分は異なるケースが多く、TVOCのみでは健康影響の評価をする上で不十分なことが推察される。しかし、これまでは室内環境で臭い物質を規制するような動きはほとんどなかった。

しかしながら、大量の臭い成分による嗅覚刺激が脳辺縁系に作用した場合、情動や自律神経、内分泌、免疫系が攪乱されることが懸念される。実際、揮発性化合物の臭いによって、頭痛、体調不良、悪心、咳が止まらないなどの訴えが増加傾向にあることも報告されている。これは、シックハウス症候群に見られる一般的な症状である。「匂い」に対する反応には個人差があり、たとえ一般的には「よい匂い」とされる成分であっても、高い感受性を有する集団（匂いに敏感な集団）にとっては耐えがたい臭いとなることがある。

千葉大学では、ケミレスタウンプロジェクトの研究成果をもとに、臭気閾値比を活用した暫定規制値の設定を提言し、シックハウス対策は勿論のこと、シックハウス症候群の診断根拠の一助となることを目的とする。具体的には、TOTRとして40が一応の目安になるが、今後広範な追認試験によって検証されなければならない。

## A. 緒言

### 1. はじめに：もてはやされる匂いと軽んじられる臭い

香料は古代より宗教的な儀式などに使われてきた。上流階級では香料を使用することは地位の象徴でもあった。最近の流行の一つに様々な商品への「香りづけ」がある。タバコ、シャンプー・リンス、各種洗剤、仕上げ用柔軟剤、トイレットペーパー、蚊取り線香、防虫剤、付箋紙、ボールペンさらには USB メモリーにまでかぐわしい匂い、香りがついている。これらは「においビジネス」の一環で、これらの商品の性能にとって匂いは本来なくても支障がないものだが「香りづけ」により消費者の購買意欲を高め、商品価値の向上を意図したものである。さらには、「アロマ」と呼ばれる様々な形態の香料商品が販売され、医学的な効果を期待するような「アロマセラピー」も盛んである。

一方、人にとって悪臭となるような「臭い」は、そのものの価値を下げる方向に働く。代表的なものが食品の腐敗である。また、火災時に発する煙の臭い、漏れた都市ガスの臭いなど悪臭は人の注意を引き付け、警戒信号ともなりうる。一般的に、臭いは人の感情にとってネガティブな効果を与えるものの、ただちに忌避行動がとられることが多く、健康に与える影響については重大なもの、深刻なものとは考えられていない。つまり、臭いの健康への悪影響は軽んじられているのである。ましてやよい匂いについては健康に悪影響があるなどとはほとんど考えられていない。

(ここでは好ましいと感じられるにおいを

「匂い」、嫌悪感を抱かせるようなにおいを「臭い」とし、両者を含める場合や一般的な意味で使用されるにおいは「におい」とした)

### 2. におい成分の健康影響と規制の現状

#### (1) 嗅覚の重要性とにおい成分の健康影響

ヒトを含む霊長類は進化の過程で嗅覚機能が低下したと言われている。それでも、食事の時の匂いは食欲を増進させるし、ワインや日本酒の匂いを愛でたりもする。腐敗した食糧を避けるのにも嗅覚は決定的な役割を果たす。快・不快、安全か危険かの本能的判断など、嗅覚は生命活動にとって外界を探る最も基本的なセンサーである。

におい成分は分子量 300 程度以下の揮発性低分子で嗅覚受容体に結合し、その情報は電気信号として嗅球に送られ、さらに大脳辺縁系から視床下部、大脳皮質嗅覚野へと伝達される<sup>1-4)</sup>。このように嗅覚刺激は、生命活動にとって根幹ともいえる情動や自律神経、内分泌、免疫を制御する大脳辺縁系・視床下部に作用する<sup>2,3)</sup>。

以上のことから、大量のにおい成分による嗅覚刺激が大脳辺縁系に作用した場合、情動や自律神経、内分泌、免疫系が攪乱されることが懸念される。実際、柔軟仕上げ剤に含まれる芳香剤のにおいによって、頭痛、体調不良、悪心、咳が止まらないなどの訴えが増加傾向にあることが報告されている<sup>5)</sup>。芳香剤に対する反応には個人差があり、たとえ「よい匂い」とされる成分であっても、敏感な方にとっては耐えがたい臭いとなることがある。

#### (2) 悪臭防止法による臭気規制

高度経済成長期に悪臭物質を発生させる事業場の周辺では「臭い公害」と称されるような状況で、周辺住民からの苦情が相次いだため、1971年に世界初となる国法としての悪臭防止法が制定された<sup>6)</sup> (1972.05.31施行)。悪臭の測定方法には、大別して個々の物質濃度を分析機器で測定する「機器分析法」と人間の嗅覚で臭い物質濃度を測定する「官能試験法」の二つの方法がある。制定当初は機器分析法による濃度規制のみであったが、対象物質は22物質に限られており、現実の悪臭は複雑な組成の混合物であることが多いため、現実と測定結果の間に乖離があった。そのため、1995年に臭気指数による規制(官能試験法)が導入された(1996.04.01施行)。

悪臭防止法では、臭気の強さを表すのに臭気濃度、臭気指数、臭気強度が使用される。臭気指数は人の感覚に合わせるため臭気濃度の対数を10倍した数値<sup>7)</sup>で、これが官能試験法での規制の基準となる。事業場の置かれた環境にもよるが基準となる濃度(臭気指数)は敷地境界において概ね10から21程度、相当する臭気強度は2.5から3.5の範囲である<sup>8)</sup>。ちなみに臭気強度は0(無臭)から5(強烈なにおい)までであり、臭気強度3とは「楽に感知できるにおい」とされている<sup>8)</sup>。このように悪臭防止法では、対象事業場から発するにおいが敷地境界ではっきり感知できるようであれば、規制対象となる可能性が高いと言えよう。悪臭防止法における悪臭規制の手法は、室内空気に対しても有効なモデルと考えられる。

## B. 研究目的と方法

1990年代に日本でもビルや住宅内の空気

質が原因となって生ずる様々な健康障害、すなわちシックビルディング症候群(日本ではシックハウス症候群が一般的に使用される)が大きな問題となった。そこでシックハウス症候群の予防を目的として千葉大学と企業が共同参画してケミレスタウン<sup>®</sup>プロジェクトが2006年にスタートした。千葉大学柏の葉キャンパス内に実験棟が建設され、室内空気質の測定と並行してボランティアを対象に健康影響調査が行われた。

この研究を推進していく過程で空気中の揮発性有機化合物の総量(TVOC, Total Volatile Organic Compound)の濃度とは別に臭い物質がシックハウス症状に影響を及ぼしていることが示唆された。そこで、シックハウス症状との関連性をみるため、従来のTVOCの概念(概ねヘキサンからヘキサデカンまでの沸点範囲)の枠を広げ、アルデヒド・ケトン類などの低沸点有機化合物も含めたケミレス<sup>®</sup>TVOC( $\Sigma$ VOC, Sum of VOC)を定義した。また、簡便に臭い濃度を表すため臭気閾値比(OTR, Odor Threshold Ratio)を新たに定義した。さらに、便宜上、臭い物質濃度に加成性があると仮定して臭い物質の総量を総臭気閾値比(TOTR, Total Odor Threshold Ratio)として定義した。

解析の結果、 $\Sigma$ VOCが $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上ではシックハウス症状が有意に発現することが認められた<sup>9)</sup>。また、TOTRが40以上でシックハウス症状が有意に発現することが認められた<sup>8)</sup>。化学物質に敏感でない人では、これらの症状の発現は有意ではなかった<sup>9)</sup>。TOTRが40ということは、臭気指数で16となり、臭気強度では3程度に相当する。これは悪臭防止法の規制基準にほぼ一致する。

なお、臭気による規制は、上記による総

臭気閾値比 (TOTR) と併用してパネルによる官能試験が有効であることは悪臭防止法の施行経過から明らかである。今後は、シックハウス現場における官能試験の実施上の諸問題を検討することが求められる。

### C. まとめ

#### 室内空気質評価軸としての臭気の意義と暫定規制値の提言

シックハウス症候群が問題になっている現場では、臭気を訴えるケースが多い。室内環境に関する全国規模の疫学調査<sup>10)</sup>においても、「家におい」と「シックハウス症状」の発現には関係があることが示されている。カビなどの微生物により発生する臭い物質 (MVOC, Microbial Volatile Organic Compound) がアレルギーやシックハウス症候群と関連するという報告もある<sup>11-13)</sup>。TVOC の主要成分と TOTR の主要成分は異なるケースが多く、TVOC のみでは健康影響の評価をする上で不十分なことが推察される。しかし、これまでは室内環境で臭い物質を規制するような動きはほとんどなかった。

千葉大学では、ケミレスタウンプロジェクトの研究成果をもとに、臭気閾値比を活用した暫定規制値の設定を提言する。具体的には、TOTR として 40 が一応の目安になるが、今後広範な追認試験によって検証されなければならない。

### D. 参考文献

- 1) 川崎通昭、堀内哲嗣郎：嗅覚とにおい物質，4-26，（社）におい・かおり環境協会，東京(2006)。
- 2) 川崎通昭、堀内哲嗣郎：嗅覚とにおい物質，90-94，（社）におい・かおり環境協会，東京(2006)。
- 3) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%97%85%E8%A6%9A>，嗅覚：2014，03，16 閲覧。
- 4) 鈴木教世：においを感じるしくみ，月刊バイオイングストリー，22(12)，5-14，2005。
- 5) 国民生活センター：柔軟仕上げ剤のにおいに関する情報提供 2013年9月19日公表。
- 6) 樋口隆哉ら：悪臭の評価因子としての嗅感覚の時間特性に関する実験的検討，大気汚染学会誌，29，313-322，1994。
- 7) 環境省環境管理局大気生活環境室編：嗅覚測定法マニュアル，46-48，（社）におい・かおり環境協会，東京(2005)。
- 8) 環境省環境管理局大気生活環境室編：嗅覚測定法マニュアル，85-93，（社）におい・かおり環境協会，東京(2005)。
- 9) H. Nakaoka et. al. : Correlating the symptoms of sick-building syndrome to indoor VOCs concentration levels and odour, Indoor and Built Environ., 1420326X13500975, first published on August 28, 2013.
- 10) 中山邦夫他：シックハウス症状に及ぼすライフタイル・住まい方のリスクー全国疫学調査よりー，日衛誌，64，689-698，2009。
- 11) A. Araki et. al. : Relationship