

## 特集：身の回りに潜む健康リスクと我が国の安全管理への取組

## ＜総説＞

## 室内空気質と化学物質

金勲, 下ノ菌慧

国立保健医療科学院生活環境研究部

## Indoor air quality and chemical substances

KIM Hoon, SHIMONOSONO Kei

Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

## 抄録

厚生労働省の室内空気中化学物質の室内濃度指針値（厚生労働省指針値）（1997～2002）と改正建築基準法（2003）が施行されてから20年が経過し、室内空気質には多くの改善が見られた。また、厚生労働省指針値は2019年4月に既存3物質の濃度指針が改正・強化された。一方で、規制物質を避けるために代替物質に移行する問題は今後も継続的に対処すべき課題である。

今後も議論の対象となる化学物質として考えられるものは、2E1H（2-Ethyl-1-hexanol）、Texanol（2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate）、TXIB（2,2,4-Trimethylpentane-1,3-diyl diisobutyrate）、天然木材成分であるピネン（Pinene）やリモネン（Limonene）のようなテルペン（Terpene）類、可塑剤・難燃剤成分、防虫剤・殺虫剤、芳香剤・消臭剤や洗剤に含まれる香り成分などが挙げられる。

現代社会で化学物質と接しない生活は不可能である。化学物質だから全てが有害という訳ではなく、なるべく低い濃度にする努力をしながら合理的に対処し、賢く付き合うことが重要である。

キーワード：室内空気質、シックハウス症候群、化学物質、香り成分

## Abstract

It has now been more than 20 years since the establishment of the MHLW Guidelines (1997-2002) and the revised Building Code (2003) came into force, and there has been a dramatic improvement in indoor air quality since that time. In addition, guideline values on the concentrations of three substances were revised and strengthened in the MHLW guidelines in April 2019. The issue of shifting to alternative substances to avoid these regulations is an ongoing challenge that needs to be addressed.

Possible pollutants that will continue to be discussed include benzene, 2E1H, texanol, TXIB, terpenes such as pinene and limonene, which are components emitted from natural woods, plasticizers and flame retardants, insect repellents and insecticides, fragrance components in air fresheners, deodorants, and detergents.

It is impossible to live without contacting chemicals in modern society. While not all chemicals are harmful, we need to deal with them rationally, making efforts to keep concentrations as low as possible, and to live with them wisely.

連絡先：金勲

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan.

Tel: 048-458-6250

Fax: 048-458-6253

E-mail: kim.h.aa@niph.go.jp

[令和5年7月5日受理]

*keywords:* indoor air quality, sick house syndrome, chemicals, fragrances

(accepted for publication, July 5, 2023)

## I. 化学物質は悪いもの？

ここでは室内空気汚染,特にシックハウス症候群 (Sick house syndrome) の主要原因とされている化学物質を中心に概説する。室内空気中の化学物質,シックハウスの話をする時には必ず触れる話題がある。カフェインとニコチン,つまり嗜好品であるコーヒー,お茶,チョコレートやタバコの話である。カフェインやニコチンは植物が昆虫などの外敵に触まれないように自ら作り出している“毒”である。LD50 (Lethal Dose 50% : 半数致死量) は,カフェインが約 200 mg/kgであり,成人の場合 10 ~ 15 g 以上,ニコチンは成人の場合 60mg以下 (30-60mg) と認識されてきた (ニコチンに関してはラットやウサギ実験のLD50 値と比較して低いため議論が続いているようである)。

我々はこのような“毒”を毎日のように摂取している。カフェインは脳血管収縮作用と中枢神経を興奮させるため覚醒作用を持ち,仕事や勉強,休憩のための嗜好品として親しまれている。我々は何の害も受けず毎日のように飲んでいますが,カフェインはカブトムシの幼虫を殺し,成虫を不妊にする[1]といった一部の昆虫や哺乳類にとっては猛毒である。ヒトも一日にコーヒーを 100 ~ 200 杯ほど飲むと致死量に達するようであるが,それだけのコーヒーを飲むヒトは当然いないだろう。紅茶やワインに多く含まれる渋味成分のタンニンもまた植物が生成する毒であり,昆虫が食べると腸組織に損傷を受ける。

タバコのニコチンは,人間の脳に作用して一時的なリラックスと安定感を与える。ニコチンもタバコが外敵から自分の身を守るために生成する毒であり,ネオニコチノイド (Neonicotinoid) 系農薬に移行するまでは殺虫剤としても使われていた。ただ,ヒトに対しての精神毒性がなく麻薬に指定されていないだけであり,ドーパミン系神経に作用して快感が得られるといった脳へのはたらきは他の麻薬と同じである。

この他にも,クッキーやケーキ,ハンバーグなどの挽肉料理にも使用される香味料であるナツメグ (Nutmeg, ニクズク) は,生の実を 2 粒ほど食べると致死量に至り,生け花にも用いられるトウゴマは,石鹼,医薬品,香水,ポマードなどに使用されるヒマシ油の原料であるが,熱処理をしていない実はリシン (Ricin) という猛毒成分を含んでおり,3 粒ほど食べれば致死量に達すると言われている。

身の回りにはこのように様々な化学物質が存在し,我々はその様々な化学物質と毎日付き合っている。化学物質がすべて有害というわけではなく,人体が許容できる量を超えて摂取した場合に悪影響が生じる。現代社会ですべての物質濃度“0”を目指すのは能力的にも経済的にも合理的ではなく,健康影響を勘案して賢く付き合う

ことが重要である。

## II. 天然成分はいいもの？

植物由来の天然香り成分を謳い,爽やかな雰囲気を出している宣伝をご覧になったことがあるだろう。多くの人が天然素材・天然成分はヒトに優しく,人工・合成物質は有害であるイメージを持っているのではないかと思うが,果たしてそうだろうか。

例えば,トルエン (Toluene) はシックハウス症候群の原因物質の一つとして有名である。汎用性が高く,使用量も多いトルエンは,ほとんどが石油や石炭を原料にして人工的に生産される。しかし,このような合成技術がなかった時代には天然の木 (Myroxylon balsamum) から採れるトルオール (Toluol) という樹脂から得られる天然物質であった。針葉樹の独特な香りを出す天然成分で杉やヒノキの香り成分であるピネン (Pinene) 類も,低濃度では自然の香と清涼感を与えるが高濃度では粘膜刺激を表し,LD50 も設定されている。

また,古くから人々は蚊遣り火にヨモギ,杉や松の葉などを使っていた。19 世紀末には蚊取線香が日本で発明されたが,これも除虫菊を使用したものである。現在の家庭用殺虫剤にはピレスロイド (Pyrethroid) 成分がよく使われているが,これも元を辿れば除虫菊から得られた成分である。ピレスロイドは昆虫や爬虫類などには神経毒として強い毒性を発揮するが哺乳類と鳥類への影響は少ないため生活の中で幅広く使われており,様々な合成ピレスロイドが開発・利用されている。

天然成分として,得られる量が少なく使用量も多くなかった時代には問題視されなかった物質も人工生産が可能になって大量に使用されるようになると問題になる。また,同じ成分であれば天然,人工を問わず同じ香りを放ち,ヒトへの影響も同じである。近年,使用量が増加している消臭剤・芳香剤や柔軟剤なども植物抽出香り成分などと美辞麗句が用いられているが,香害とも呼ばれる強い香りによる健康被害が報告されている[2]。

## III. 健康リスクと基準／指針値

前述のように昆虫や他の動物にとっては猛毒であっても,ヒトは摂取量の調節や用途の制限により化学物質を有効に活用できる。大量では危険であるが微量なら嗜好品としても薬品としても使える訳である。これを 500 年も前に「物質は全て毒性がある,量が毒か薬かを決める」と謳った人がいる。毒性学の父と呼ばれるパラケルスス (Paracelsus, スイス, 1493-1541) である。現代の有害物質指定の基本となるこのような「量-反応」作用,つまり毒性限界値や無毒性量の概念を 500 年も前に提唱し

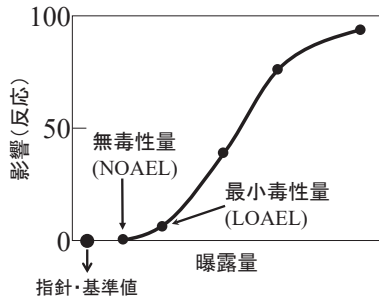


図1 閾値のある化学物質の指針値決定プロセスの例 [3]

ていたことになる。

国や学会団体等が示している化学物質の指針値や基準値は動物実験、最小毒性量 (LOAEL) や無毒性量 (NOAEL) などの情報に基づき、更に曝露時間、不確実係数 (種差、個体差、試験期間、発がん性、中枢神経作用性など)、その他の要素を考慮して設定されるため無毒性量よりも更に低い濃度で決定される (図1)。

現代を生きている我々は、有害・無害問わず、化学物質と接しない生活は不可能である。そのため、用量と人体影響、現在の科学知識が許容するレベル (法律で定める指針値や基準値) 以下では、健康影響を及ぼさないことをよく理解する必要がある。

#### IV. なぜ空気質なのか

ヒトは1日におおよそ3~5kg程度の飲食物を摂取している。空気は無色透明であり軽いと認識されることも多いが、乾燥空気1m<sup>3</sup>の質量はおおよそ1.2kgである。1日に呼吸によって体内に入れている空気量は11~15m<sup>3</sup>で、質量としては13~18kgと飲食物の3~4倍にもなる。

現代人は1日の80~90%以上の時間を室内で過ごしていることを考えると室内空気は健康に多大な影響を与えていることがよく分かる。空気は摂取量も多いが、より注目すべき点は吸収効率である。肺胞では空気に含まれている酸素や炭酸ガスはもちろんホルムアルデヒド (Formaldehyde)、ベンゼン (Benzene)、トルエンのようなガス状の化学成分が直接吸収され血液に溶け込むため、飲食物よりも吸収効率が高い。

先進国の住宅やオフィスなど室内環境で空気質悪化による重度の健康影響や死亡事例はほとんどないが、発展途上国では炊事や暖房のための室内燃焼と在来型燃料の使用で深刻な健康影響をもたらす事例もある。また、産業現場では呼吸器系疾患による死亡者 (17.1%) は循環器系疾患、悪性新生物 (がん) に次いで多いと報告されており (図2) [4]、呼吸器系疾患による死亡者数の減少のために空気質の改善が重要とされている。

#### V. シックハウス症候群 (Sick house syndrome)

シックハウス症候群は住宅内の空気質が悪化して生じ

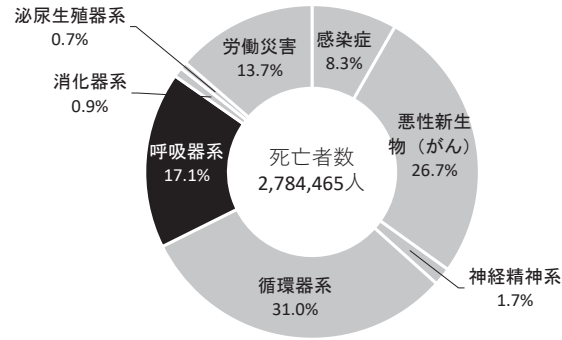


図2 労働関連死亡者の原因別割合 (2015・全世界データ) [4]

る様々な健康障害の総称である。症状としては、頭痛、めまい、だるさ、吐き気、目がちかちかする、咳が出る、湿疹等様々であるが、原因となる特定場所 (部屋) を離れると症状が改善する。しかし、症状が悪化すると、アレルギー症や化学物質過敏症 (Chemical sensitivity) に発展することもある。更に近年では、揮発性は低いがハウスダストや物体表面に吸着して存在する可塑剤・難燃剤成分のフタル酸エステル類やリン酸エステル類による健康影響も懸念されている。

シックハウスの発症要因は細菌、カビ、ダニ、ダストなども挙げられるが、社会問題となった当初は建材から発生するホルムアルデヒドやトルエンのような化学物質が主であった (表1)。従来の住宅では、外壁の取り合い部やサッシ等の隙間が多く“自然に”換気されていたが、オイルショック以降、省エネルギー指向による住宅の高気密化が進み、“自然に”換気されることは少なくなり、シックハウスが顕在化する一因となった。このような背景から現在の住宅には改正建築基準法によって最小必要換気量を確保できる換気設備が備わっており、これを24時間常時使用することが推奨されている。図3は住宅リフォーム・紛争処理支援センターが毎年発表している住宅のトラブルに関する相談統計[6]の中でシックハウスに関連する統計である。2003年は国土交通省が改正建築基準法を施行した年であり、2003年をピークに減少に転じている。

なお、国内ではシックハウス症候群として知られているが、先にこの問題が顕在化した西欧ではシックビル

表1 沸点による分類 (WHO, 1989) [5]

名称	略称	沸点範囲 (°C)	物質例
Very volatile organic compounds (高揮発性有機化合物)	VVOC	<0 to 50-100	アルデヒド類 (ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド)
Volatile organic compounds (揮発性有機化合物)	VOC	50-100 to 240-260	有機溶剤系 (ベンゼン、トルエン、キシレン)
Semi volatile organic compounds (準/半揮発性有機化合物)	SVOC	240-260 to 380-400	可塑剤・難燃剤成分 (フタル酸エステル、リン酸エステル)
Particulate organic matter (粒子状有機物質)	POM	>380	硫酸塩、硝酸塩、有機化合物など



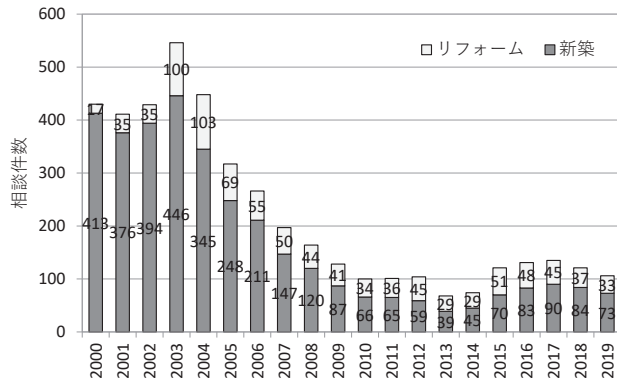


図3 シックハウス関連相談件数の推移 (住宅リフォーム・紛争処理支援センター) [6]

1973年	第1次石油危機
1979年	第2次石油危機
1979年	省エネルギー法制定
1992年	新省エネルギー基準の改正
1996年	シックハウス問題が国会で取り上げられる
1997年	ホルムアルデヒド指針値策定
1999年	次世代省エネルギー基準の改正
2002年	13物質指針値とTVOC暫定目標値の策定が終了
2003年	改正建築基準法施行
2019年	指針物質中3物質の指針値が強化改定

図4 国内シックハウス問題の経緯

ディング症候群 (Sick building syndrome) という言葉が使われていた。図4で示すように、1970年代の2回にわたるオイルショックにより、省エネルギーへの要求が高まり、ビルや住宅でも換気量低減による冷暖房エネルギーの削減等の省エネ対策が講じられた。その影響で生じた健康障害が1980年代のシックビルである。一方、日本ではシックビルが顕在化することはなかったが、その理由の一つとして建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (建築物衛生法) が一助した。建築物衛生法における特定建築物 (興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、共同住宅等の特定用途に使われる面積が3000m<sup>2</sup>以上の建物) では適切な換気の確保のためにCO<sub>2</sub>濃度1000ppm以下という管理基準が定められている。一般的にCO<sub>2</sub>濃度を1000ppm以下にするためには1人あたり約30m<sup>3</sup>/hの換気量を確保する必要があるが、これは改正建築基準法の1人あたりの換気基準20m<sup>3</sup>/hと比較しても大きな値であり、シックビルの顕在化が抑えられた理由と考えられる。因みに、建築物衛生法のCO<sub>2</sub>濃度1000ppmを含め衛生管理基準の根拠[7]を定めたのは国立公衆衛生院 (当時) の小林陽太郎先生である。

## VI. 厚生労働省の指針値と室内空気質関連法

室内環境の化学物質汚染は、住宅ばかりでなく、学校、職場、公共施設などあらゆる場所で起きる。それぞれの場で対策に取り組むために必要な原因分析、防止対策、健康に対する基準値の設定や法律等の整備が求められ、各省庁でも下記のような対策を講じてきた。

### ■室内空气中化学物質の室内濃度指針値 (厚生労働省)

#### ■建築基準法 (国土交通省)

- 居室を有する建築物には、クロルピリホスを添加した建築材料の使用が禁止。
- ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積制限や常時換気設備の設置に関して義務化されている。

#### ■住宅の品質確保の促進等に関する法律 (国土交通省)

### ■建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (厚生労働省)

- ホルムアルデヒドに関して新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回測定することになっている。

### ■学校保健安全法 (文部科学省)

- ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレンの基準値が設定されている。

※他に農薬取締法、有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律、地域保健法で空気質に関する項目が存在する。

室内空気質に関連して、厚生労働省は1997年から2002年にかけてシックハウス症候群に関連した室内濃度指針値を定めた (表2, 2019年4月一部改定)。ここでは、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン (Xylene)、パラジクロロベンゼン (Paradichlorobenzene) 等13個別物質の室内濃度指針値が定められ、TVOC (Total VOC: 総揮発性有機化合物) は暫定目標値として400 μg/m<sup>3</sup> [8]が設定された。この指針値に対して厚生労働省は、「現時点で入手可能な毒性に係る科学的知見から、ヒトがその濃度の空気を一生涯にわたって摂取しても、健康への有害な影響は受けないであろうと判断される値を算出したものであり、その設定の趣旨はこの値までは良いとするのではなく、指針値以下がより望ましいということである」と定義している (太字及び下線は著者による)。

改正建築基準法 (2003年7月) では、ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積制限、クロルピリホスの室内使用の全面禁止、必要換気量確保のための換気設備の設置が義務化された。ここで、厚生労働省指針値指定の13物質中、法的規制を受けている物質はホルムアルデヒドとクロルピリホス2成分であり、クロルピリホスは防蟻剤として住宅の床下や基礎などに使われた物質で毒性が強く急性中毒を引き起こすため室内での使用が全面

禁止された。そのため、事実上規制を受けているのはホルムアルデヒドだけであり、日本産業規格 (JIS) や日本農林規格 (JAS) で建材から発生するホルムアルデヒドの量によってF☆☆☆☆～F☆までの4等級性能基準を定めた。内装仕上げ材としてF☆☆☆☆は制限なく使えるが、F☆☆☆とF☆☆☆は使用できる面積に制限があり、F☆は使用禁止である。

厚生労働省では職域対策として、職場の室内空気中ホルムアルデヒド濃度低減のためのガイドライン (2002年3月) を発出している。事業者は職域における室内空気中のホルムアルデヒド濃度が0.08ppm (0.1mg/m<sup>3</sup>) を超過した場合には、換気装置の設置又は増設、継続的な換気の励行、発生源の除去等の措置を講ずることとしている。

また、厚生労働省の建築物衛生法では2003年4月の改正で、特定建築物を対象に室内空気中のホルムアルデヒド濃度を0.1mg/m<sup>3</sup>以下にすることとした。

文部科学省では2002年2月と2004年2月に「学校保健法」の学校環境衛生基準の改訂が行われ、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、スチレン (Styrene)、エチルベンゼン (Ethylbenzene) を対象に定期検査とその判定基準を定めており、2020年には厚生労働省の指針値改正に準じた改正が行われている。

## VII. 今後も議論になる室内汚染物質

今後も議論の対象となる可能性のある物質としては、ベンゼン、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H, 2-Ethyl-1-hexanol)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオールモノイソブチレート (Texanol, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオールジイソブチレート (TXIB, 2,2,4-Trimethyl-

pentane-1,3-diyl diisobutyrate)、天然木材成分であるピネン、リモネン (Limonene) のようなテルペン (Terpene) 類、可塑剤・難燃剤成分、防虫剤・殺虫剤、芳香剤・消臭剤や洗剤に含まれる香り成分などが挙げられる。

### 1. 指針値の見直し

2012年9月 (第11回) から2018年12月 (第23回) まで開かれた厚生労働省シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会[9]では既存物質の濃度指針を強化 (表2) すると共に、新規指針候補3物質 (2E1H, Texanol, TXIB) についても検討したが、基盤データの拡充及び産業界との調整が必要なため留保された。2E1Hは香料としても使用される脂肪族高級アルコールで、プラスチック系床材の可塑剤又は接着剤中に含まれる2-エチルヘキシルアクリレートが床コンクリートのアルカリ性水分と接触・加水分解して生成される悪臭成分である。テキサノールは水性塗料及び家具、TXIBはPVC可塑剤、家具、水性塗料に含有される。シックハウス対策として、溶剤型塗料から水性塗料への移行が進んだが、水性塗料は施工後乾燥までの時間が長いため、垂れ防止の目的で膜を形成させる助剤 (造膜助剤) が添加される。水性塗料に含まれるテキサノールは、小学校で問題が報告された例がある[10]。TXIBは揮発性が弱くSVOC (Semi VOC: 半揮発性有機化合物) に近いが、Texanolと性質が似ている物質である。

### 2. ベンゼン (Benzene)

白血病を誘発する発がん性物質であり、指針値の制定が行われていた際には国内住宅内に汚染源は少なく室内濃度も高くないとされていたが、その後のシックハウス検討会で夏季に大気環境基準値 3μg/m<sup>3</sup> を超える住宅が6%程度存在すると報告されている[9]。開放型燃焼器具、自動車排ガス、室内喫煙、お香、蚊取り線香などが発生

表2 厚生労働省シックハウス関連指針値 [8]

成分	指針値	設定日
ホルムアルデヒド	100 μg/m <sup>3</sup>	1997.6.13
アセトアルデヒド	48 μg/m <sup>3</sup>	2002.1.22
トルエン	260 μg/m <sup>3</sup>	2000.6.26
キシレン	870 → 200 μg/m <sup>3</sup>	2000.6.26/2019.1.17
パラジクロロベンゼン	240 μg/m <sup>3</sup>	2000.6.26
エチルベンゼン	3800 μg/m <sup>3</sup>	2000.12.15
スチレン	220 μg/m <sup>3</sup>	2000.12.15
テトラデカン	330 μg/m <sup>3</sup>	2001.7.5
クロルピリホス	1 μg/m <sup>3</sup> (小児 0.1 μg/m <sup>3</sup> )	2000.12.15
フタル酸ジ-n-ブチル	220 → 17 μg/m <sup>3</sup>	2000.12.15/2019.1.17
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120 → 100 μg/m <sup>3</sup>	2001.7.5/2019.1.17
ダイアジノン	0.29 μg/m <sup>3</sup>	2001.7.5
フェノブガルブ	33 μg/m <sup>3</sup>	2002.1.22
TVOC (暫定目標値)	400 μg/m <sup>3</sup>	2000.12.15

源で室内発生の可能性も示唆されている。

### 3. 天然木材成分

日本は伝統的に木造住宅が多く、杉、ヒノキ、赤松のような天然木材を好む傾向がある。天然木材から放出されるテルペン類は、爽やかな香り、心理的安定感、防虫効果などの肯定的な効果がある。一方で、濃度が高くなると粘膜刺激を誘発し、空气中で酸化されやすく刺激性アルデヒド類を生成する。更に、図5のように天然木材から発散されるテルペン類は濃度減衰が遅く、竣工後1年が経過してもなかなか濃度が下がらず、長期間にわたって発散される傾向があり、建材の選択には注意が必要である。

### 4. 可塑剤・難燃剤

可塑剤は床材や壁紙等の内装建材から家電、玩具、化粧品等に、難燃剤は素材を燃えにくくするために壁紙や木材、プラスチック、カーテン・カーペットなどあらゆる家庭用品に使用されており、その使用量が膨大であるため室内の重要な汚染物質である。可塑剤・難燃剤成分の多くはSVOCに分類され、沸点が高く(240~260℃から380~400℃)、揮発性が低いため空気中よりも物体や

ダスト表面に吸着して存在するとされている。飲食物を除くと、呼吸による吸入摂取よりはダスト吸着成分による経口摂取、また空気や表面接触による経皮摂取が多いと考えられている。

中でも可塑剤として多く使用されてきたフタル酸ビス(2-エチルヘキシル) (DEHP, Di(2-ethylhexyl) phthalate)、フタル酸ジブチル (DBP, Butyl Benzyl Phthalate)、フタル酸ベンゼンブチル (BBP, Butyl Benzyl Phthalate) は内分泌かく乱作用が疑われている。スウェーデンの研究ではハウスダスト中のフタル酸エステル類濃度と子供の喘息やアレルギー症状と相関があると報告されている[11]。また、SVOC成分を含む製品の使用増加、難分解性成分による長期的な汚染が健康に及ぼす影響が危惧されている[12]。

リン酸系難燃剤は、アレルギー関連性や発がん性のほか、神経系への影響や生殖毒性も報告されており (Andersen et al. 2004 [13], Ni et al. 2007 [14])、特に小児の場合、学習発達や行動障害との関連性も懸念されている。

国際的には、経済協力開発機構 (OECD) で議題として大きく報道されるなど関心が高まっている中、EUのRoHS指令 (2015年6月) [15]でDEHP, DBP, BBP、フタル酸ジイソブチル (DIBP, Diisobutyl Phthalate) が電気電子機器の規制対象として正式に追加された。スウェーデンやフランスなどもフタル酸類に対する健康影響に懸念を示し、規制の必要性を表明するなど、世界的な規制の動きは続いている。

一方、代替物質への移行も進んでおり、可塑剤ではDEHPがフタル酸ジイソノニル (DINP, Diisononyl phthalate) や1,2-シクロヘキサンジカルボン酸ジイソノニル (DINCH, 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester) に、難燃剤ではポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE, Polybrominated diphenyl ether) がヘキサブロモシクロドデカン (HBCD, Hexabromocyclododecane) などの物質に替わりつつある。

図6に示すように国内におけるフタル酸エステル類の生産量は1996年には約44万トンであったのに対して、2021年には約21万トンと半減している[16]。一方で、先

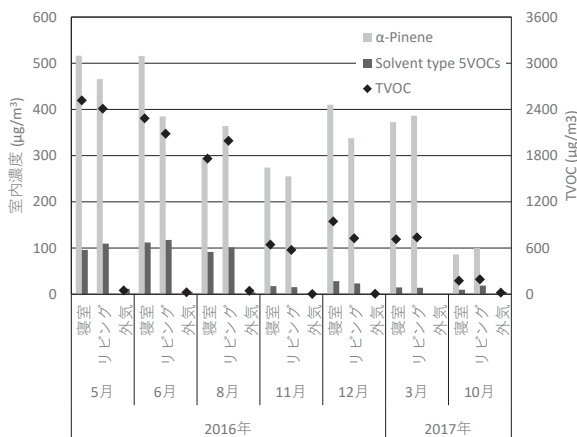
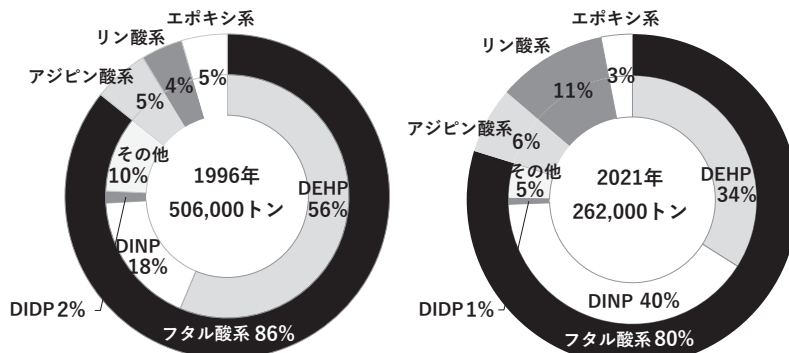


図5 天然木材を使った住宅における化学物質散特性



※DEHP: フタル酸ビス(2-エチルヘキシル), DINP: フタル酸ジイソノニル, DIDP: フタル酸ジイソデシル

図6 国内における可塑剤生産量[16]



進国であっても既存生産分や使用分が膨大に残存しており、発展途上国における生産量は依然として膨大であるため、環境と人体に脅威となっている。

5. 防虫剤・殺虫剤

以前は防虫剤として樟脳やナフタレン (Naphthalene) が使われていたが、現在の家庭用防虫剤の殆どはパラジクロロベンゼンやピレスロイド系薬剤に置き換えられている。更に、パラジクロロベンゼンが指針物質として策定 (2000年6月) されてから室内濃度も低くなっているが、居住者の生活パターンや習慣によって濃度に違いが見られる[17,18]。

人体への毒性が強く、急性中毒の危険性がある有機リン系殺虫剤は住宅周りでの使用は減少しているものの、蚊、ハエ、ゴキブリ殺虫剤のような一般家庭用殺虫剤はピレスロイド系が主流となっている。現在は合成ピレスロイド物質が多く開発されているが、本来ピレスロイドは植物 (除虫菊) から得られていた成分である。哺乳類や鳥類に対する毒性は弱いとされているが、昆虫や爬虫類には強力な神経毒として作用することから、人体にもその有害性を完全に否定できないこと、生活環境で接する機会が増えていること、更に有効成分の持続時間を長くするための残留性の強化などが懸念されている。

6. 香り成分

高度経済成長期の悪臭防止法 (1971年) では、公害と悪臭による健康影響が懸念され、物質濃度の規制基準が設けられた。今は大気質や自然汚染が改善され公害ということばは殆ど聞かなくなったが、飲食臭や生活臭など生活の中でのにおいが問題になったことから、改正悪臭防止法 (1995年) では人の嗅覚を用いた評価と規制 (臭気指数規制) が導入された。

更に近年は、化粧品、香水、芳香剤、洗剤、柔軟剤などの香りによる体調不良と健康影響を訴える事例が増え、「香害」とも呼ばれる空気汚染も問題となっている[2]。

香りも単一若しくは複数の成分で構成された化学物質であり、香りに対する感受性には個人差がある。同じ濃度の香り成分であっても、「香り」として肯定的な効果を与える一方で、「臭い」として不快感や健康影響を与えることもある。また、柔軟剤は香り成分だけでなく、芳香を持続させるため香り成分を包んでいるマイクロカプセルに含まれるイソシアネート成分が悪さをするとの見解もある。

強い香りは個人差に関係なく悪臭になることが多い。例えば、インドール (Indole) という成分は低濃度では花の香りを放つが、高濃度では糞臭になる。また、お茶として好まれるジャスミンの香り成分であるスカトール (Skatole) は低濃度では清涼感のある花の香りであるが、高濃度ではスカンク臭になる。

自分にはいくらよい香りと思えても、他の人には悪臭になることを理解し、香りも結局は化学物質に違いがないため強すぎる香りは避けるようにすることが重要である。

7. 代替物質とTVOC

指針値策定や規制が行われると、指針物質を避けるためにまだ規制が掛かっていない代替物質へ移行する例がある。例えば、以前は溶剤として多用されていたC1ベンゼン、C2ベンゼンに代表されるトルエン、キシレン、エチルベンゼンなどが指針値策定物質に指定された後、C3・C4ベンゼン系のトリメチルベンゼン (Trimethylbenzene)、エチルトルエン (Ethyltoluene)、ジエチルベンゼン (Diethylbenzene)、テトラメチルベンゼン (Tetramethylbenzene) 等へ移行したことが挙げられる。このような代替物質が出る度に指針制定や規制をかけることは効率的ではなく、合理的な対処法を考える必要がある。

厚生労働省指針値には13指針物質と共にTVOCがある。指針値でもない暫定目標値という曖昧な存在であり、ガスクロマトグラフ質量分析法においてC6ヘキサン (Hexane) からC16ヘキサデカン (Hexadecane) までのピーク

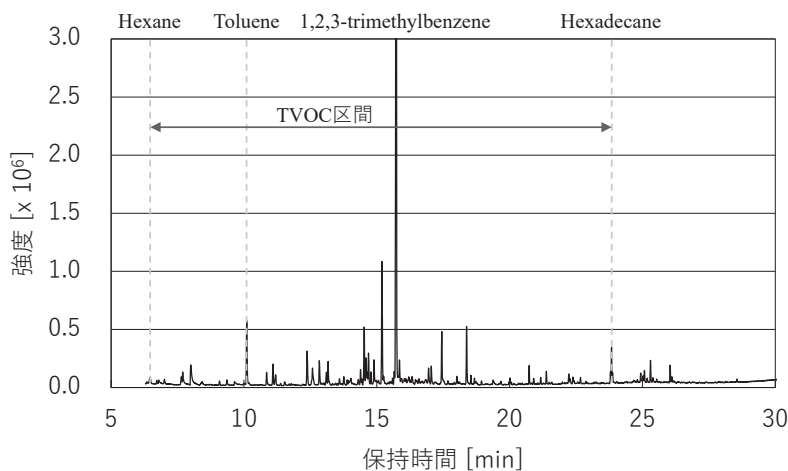


図7 GC-MSのクロマトグラム

面積を全て合わせてトルエン強度として濃度換算した値である(図7)。ヘキサンからヘキサデカンの間には数多い成分が検出されるが、その成分を一々定性定量するのは時間、手間、費用上困難である。そのため、その区間で検出される数多い成分を包めて1つの濃度に定量してしまう概念がTVOCである。TVOCはその濃度の有害性に基づいて設定された訳ではないが、屋内化学汚染の可能性を知らせる指標として働く。

## VIII. 結語

室内空気中化学物質の室内濃度指針値の制定と改正建築基準法が施行されてから20年が経過し、室内空気質には多くの改善が見られた。一方で、規制物質を避けるために代替物質に移行する問題は今後も継続的に対処していくべき課題であり、副作用を最小限にしながら室内環境の品質を確保し、室内空気質を改善することができる管理体系と制度の整備が必要である。また、幼児、児童のように化学物質に耐性が弱い年齢層や高感受性の人に対する社会的配慮と制度づくりも重要な課題である。

現代社会で化学物質と接しない生活は不可能である。化学物質が含まれている大気や室内空気、食品添加物をはじめ包装材から出る可塑剤成分、日常生活用品から溶出される化学物質、芳香剤・消臭剤や洗剤に含まれる香り成分に至るまで、口や呼吸器、消化器、また皮膚を介して摂取している。しかし、化学物質だから全てが有害という訳ではなく、なるべく低い濃度にする努力をしながら合理的に対処し、賢く付き合うことが重要である。

## 引用文献

- [1] Paulsen S. Wie Pflanzen leben. (Korean Version) 2002.5. chapter 7-8.
- [2] 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. 2020年.  
National Consumer Affairs Center of Japan. [Jnan shiage zai no nioi ni kansuru joho teikyo.] 2020. [https://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20200409\\_2.html](https://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20200409_2.html) (in Japanese) (accessed 2023-06-15)
- [3] 安藤正典. 室内空気汚染と化学物質. 資源環境対策. 1997;33(7):657-662.  
Ando M. [Shitsunai kuki osen to kagaku busshitsu.] Shigen Kankyo Taisaku. 1997;33(7):657-662.
- [4] Ministry of Manpower Services Centre, Singapore. Global estimates of occupational accidents and work-related illnesses 2017. Workplace Safety and Health Institute; Sept. 2017. <https://www.mom.gov.sg/-/media/mom/documents/safety-health/reports-stats/oshd-annual-report-2017.pdf> (accessed 2023-06-15)
- [5] WHO. Indoor air quality: organic pollutants. EURO Reports and Studies 111. 1987.
- [6] 住宅リフォーム・紛争処理支援センター. 統計・資料等.  
Center for Housing Renovation and Dispute Settlement Support. [Tokei shiryō to.] <https://www.chord.or.jp/documents/tokei/> (in Japanese)(accessed 2023-06-15)
- [7] 小林陽太郎. 昭和40年厚生科学研究-ビルの環境衛生基準に関する研究. 1966.  
Kobayashi Y. [Showa 40-nen kosei kagaku kenkyū: Biru no kankyo eisei kijun ni kansuru kenkyū 1966.] (in Japanese)
- [8] 厚生労働省. 室内空気中化学物質の室内濃度指針値について.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. [Shitsunai kuki kagaku busshitsu no shitsunai nodo shishin-chi ni tsuite (Kosei rodosho iyaku seikatsu eisei kyokuchō tsuchi, 2019.01.17.)] [https://www.mhlw.go.jp/web/t\\_doc?-dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1](https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?-dataId=00tc3866&dataType=1&pageNo=1) (in Japanese) (accessed 2023-06-15)
- [9] 厚生労働省, 第11回~第23回 シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会議事録.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. [Dai 11kai-dai 23kai sick house (shitsunai kuki osen) mondai ni kansuru kentokai gijiroku.] [https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-iyaku\\_128714.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-iyaku_128714.html) (in Japanese)(accessed 2023-06-15)
- [10] 小林智, 武内伸治, 小島弘幸, 高橋哲夫, 神和夫, 秋津裕志, 他. 水性塗料成分1-メチル-2-ピロリドン及びテキサノールによる新築小学校の室内空気汚染. 室内環境. 2010;3(1):39-54.  
Kobayashi S, Takeuchi S, Kojima H, Takahashi T, Jin K, Akitsu H, et al. [Indoor air pollution in a newly constructed elementary school caused by 1-methyl-2-pyrrolidone and texanol emitted from water-based paints.] Indoor Environment. 2010;3(1):39-54. (in Japanese)
- [11] Bornehag C, Sundell J, Weschler CJ. The Association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study. Environmental Health Perspectives. 2004;112(14):1393-1397.
- [12] EHHL. Plastics: Plastics that may be harmful to children and reproductive health. Environment & Human Health, Inc(EHHL). 2008. [https://www.ehhi.org/ehhi\\_plastics\\_report\\_2008.pdf](https://www.ehhi.org/ehhi_plastics_report_2008.pdf) (accessed 2023-07-08)
- [13] Andresen JA, Grundmann A, Bester K. Organophosphorus flame retardants and plasticisers in surface waters. Science of the Total Environment. 2004;332:155-166.
- [14] Ni Y, Kumagai K, Yanagisawa Y. Measuring emissions of organophosphate flame retardants using a passive flux sampler. Atmospheric Environment. 2007;41(15):3235-3240.
- [15] European Union. Commission delegated directive (EU) 2015/863 of 31 March 2015. Official Journal of the Euro-



- pean Union. L 137:10-12. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0863&from=EN> (accessed 2023-06-15)
- [16] 塩ビ工業・環境協会. 可塑剤出荷量統計データ. Enbi kogyo kankyo kyokai. [Kaso-zai shukkaryo tokei data.] [https://www.vec.gr.jp/statistics/statistics\\_6.html](https://www.vec.gr.jp/statistics/statistics_6.html) (in Japanese)(accessed 2023-06-15)
- [17] 安藤正典. 厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業「化学物質過敏症等室内空气中化学物質に係わる疾病と総化学物質の存在量の検討と要因解明に関する研究」平成13年度総括・分担研究報告書. 2002. p.531-554.  
Ando M. Kosei Kagaku Kenkyuhi Hojokin Seikatsu Anzen Sogo Kenkyu Jigyo [Kagaku busshitsu kabin-sho to shitsunai kukichu kagaku busshitsu ni kakawaru shippei to sokagaku busshitsu no sonzairyo no kento to yoin kaimei ni kansuru kenkyu.] Heisei 13 nendo sokatsu buntan kenkyu hokokusho. 2002. p.531-554. (in Japanese)
- [18] 長谷川一夫, 仲野富美, 辻清美, 伏脇裕一. 木造住宅室内空気中におけるパラジクロロベンゼン濃度の推移. 神奈川県衛生研究所研究報告. 2006;36:30-32. Hasegawa K, Nakano F, Tsuji K, Fushiwaki Y. [Mokuzo jutaku shitsunai kukichu ni okeru paradichlorobenzene nodo no suii.] Kanagawaken Eisei Kenkyusho Kenkyu Hokoku. 2006;36:30-32. (in Japanese)