

健康増進のための住環境についての研究  
化学物質の健康影響と指針値に関する分析と課題抽出

研究分担者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授

研究要旨

住環境による居住者の健康影響として、主として室内環境化学物質に起因するシックハウス症候群や化学物質過敏症、真菌・ダニ等によるアレルギー疾患、室内温度に起因する高血圧、脂質異常症、虚血性心疾患、脳血管障害等の多様な疾病が示唆されている。このうち室内環境化学物質については、国際機関や国内外で室内空気中濃度の指針値設定等の対応がとられてきた。しかしながら、引き続き課題が残されており、国内外で取り組みが進められている。本分担研究では、室内環境中の化学物質について、近年における国際機関や国内外の取り組みに関する情報を収集・整理し、今後の課題をとりまとめた。

室内環境中の化学物質による健康影響に対する国内外の取り組みは、室内空気中濃度の指針値（またはガイドライン）の作成に重点が置かれている。目標となる気中濃度を設定し、それを目指した発生源対策等を行うアプローチである。世界保健期間（WHO）は、各国の取り組みにおいて利用可能な情報や指針を提供する目的で、空気質ガイドラインを1987年から提供し始め、既存物質のガイドラインのアップデートや新たな物質に対するガイドラインの作成等を継続している。これまでのガイドラインは、単一の曝露経路かつ単一の物質を主眼においたガイドラインであった。しかしながら、室内環境においては、単一の物質であっても吸入、経口、経皮等の複数の曝露経路（aggregate exposure）を有する物質や、類似した有害性を有する複数の共存物質に複合曝露（combined exposure）することによる健康リスクが懸念されており、このことを考慮したリスク評価やリスク管理が欧州連合ではすでに一部で始まっている。この問題は、日本においても同様であり、これらの健康リスクに対するリスク評価及びリスク管理手法の検討が必要であると考えられる。また、指針値を策定すると、指針値が策定されていない物質に代替されることにより、新たな健康影響を生じることがあることや、製品に含まれず施工後の建築物で二次生成する化学物質による健康影響も報告されている。このような問題に対する対応も今後検討する必要がある、継続的な住居用建築物における実態調査はその1つの方法と考えられる。

A. 研究目的

住環境による居住者の健康影響として、主として室内環境化学物質に起因するシックハウス症候群や化学物質過敏症、真菌・ダニ等によるアレルギー疾患、室内温度に起因する高血圧、脂質異常症、虚血性心疾患、脳血管障害等の多様な疾病が示唆されている。このうち室内環境化学物質に

ついては、国際機関や国内外で室内空気中濃度の指針値設定等の対応がとられてきた。しかしながら、引き続き課題が残されており、国内外で取り組みが進められている。

本分担研究では、室内環境中の化学物質について、近年における国際機関や国内外の取り組みに関する情報を収集・整理し、今後の課題をとりま

とめる。

## B. 研究方法

国際機関や国内外の室内環境規制に関する報告書、関連学会の資料、関連論文をインターネットおよび文献データベースで調査する。近年、主だった活動が見受けられた世界保健機関(WHO)及びその欧州地域事務局(WHO 欧州)、欧州と北米を主な調査対象国とする。また、国際シンポジウムや国際ワークショップに参加し、国際的な動向や諸外国の動向に関する情報収集や情報交換を実施する。

(倫理面での配慮)

本研究は、公表されている既存資料を中心とした情報収集を行った後、それらの整理を客観的におこなうものであり、特定の個人のプライバシーに係わるような情報を取り扱うものではない。資料の収集・整理にあたっては、公平な立場をとり、事実のみにもとづいて行う。本研究は、動物実験および個人情報を取り扱うものではなく、研究倫理委員会などに諮る必要のある案件ではないと判断している。

## C. 研究結果及び考察

### C1. 厚生労働省の室内濃度指針値の状況

厚生労働省は、主としてシックハウス症候群への対策として、室内濃度指針値を策定してきた。室内濃度指針値は、現時点で入手可能な化学物質の有害性に関する科学的知見をもとに、有害性の量反応評価から、人がその濃度の空気を一生涯にわたって吸入しても有害な影響が何ら生じないであろうと判断された値である。シックハウス症候群による体調不良と室内濃度指針値との間に明確な因果関係はないが、因果関係が明確になっていなくても、現時点で入手可能な有害性に関する科学的知見をもとに室内濃度指針値を策定し、それを下回る室内空気質を確保することによって、より多くの人に対してシックハウス症候群様の体調不良をはじめ、有害な健康影響を生じさせないようにすることができるであろうという基

本理念に基づいている。

厚生労働省は、2000年から2002年にかけて13種類の化学物質に対して室内濃度指針値を策定した。その結果、2000年から2005年にかけて、ホルムアルデヒドで28.7%から1.5%、トルエンで13.6%から0.3%と室内濃度指針値を超えている家屋の割合は、5年間で大幅に減少した。しかしその後約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化学物質が使用されているとの指摘が国内であること、揮発性有機化合物(VOC)よりも揮発性が低い準揮発性有機化合物(SVOC)による室内汚染が報告されてきたこと、細菌由来の揮発性有機化合物(MVOC)類が検出されてきたこと、WHOの室内空気質ガイドラインとの整合性について検討する必要があることなどが課題としてあげられた。そして、これまで策定された室内濃度指針値の超過実態を改めて把握するとともに、化学物質の発生源と室内濃度との関係に係る科学的知見を踏まえ、室内濃度指針値の設定のあり方や見直し方法などを検討するため、2012年にシックハウス問題に関する検討会が再開され、検討が実施されている。

これまで検討会では、指針値の見直し方法とそのスキームを新たに提案し、そのスキームに基づいて全国規模の室内環境中化学物質の実態調査を実施し、初期リスク評価を実施した。その結果、2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレートに対して室内濃度指針値案が提示され、キシレン、エチルベンゼン、フタル酸ジ-n-ブチル(DnBP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)の室内濃度指針値改正案が提示された。その後パブリックコメントを経て、キシレン、DnBP、DEHPの室内濃度指針値が2019年1月17日に改正され、その他の物質は検討継続となっている。

### C2. WHOの空気質ガイドラインの状況

WHOは、1987年、2000年、2005年に空気質ガイドラインを公表してきた。WHOの空気質ガイドラインは、大気と室内の両方に適用可能とさ

れている。しかしながら、室内空気を汚染する有害物質の汚染源は、燃焼生成物、建材、住設機器、生活用品など多数ある。また、多種類の細菌やカビなどの微生物による汚染もある。室内空気質は、建築設計、材料、維持管理、換気、生活行為などのさまざまな要因の影響を受けるため、そのリスク管理は容易ではない。WHOのこれまでのガイドラインは、主に大気の大気質管理に利用されており、多くの諸国において、室内空気質の管理にはほとんど効果のないものであった。

これらのことを踏まえ、室内空気質の管理は、大気とは異なったアプローチが必要であることから、2006年より室内空気質ガイドラインの作成に着手し、2009年に湿気とカビの室内空気質ガイドライン、2010年に汚染物質の室内空気質ガイドライン、2014年に室内における燃料の燃焼に関するガイドラインを公表した。

その後WHOは、空気質ガイドラインを今後アップデートするにあたり、近年のエビデンスのレビューを2015年に実施し、10月にボンで開催された専門家会合での評価結果を公表した。喫緊に再評価が必要なグループ1の物質は、粒子状物質（特にPM<sub>2.5</sub>）、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素とした。再評価が強く推奨されるグループ2の物質は、カドミウム、クロム、鉛、ベンゼン、ダイオキシン類、多環芳香族炭化水素類（ベンゾ-a-ピレン）とした。その次に再評価が必要（再評価のエビデンスが存在）なグループ3の物質は、ヒ素、マンガン、白金、バナジウム、ブタジエン、トリクロロエチレン、アクリロニトリル、硫化水素、塩化ビニル、トルエン、ニッケルとなっている。再評価が不要と判断されたグループ4の物質は、水銀、石綿、ホルムアルデヒド、スチレン、テトラクロロエチレン、二酸化硫黄、フッ化物、ポリ塩化ビフェニル、1,2-ジクロロエタン、ジクロロメタンとされた。

なお、2018年10月30日から11月1日にかけてスイスのジュネーブで開催された「大気汚染と健康に関する世界会合」において、2016年以降空気質ガイドラインのアップデートを進めており、粒子状物質、二酸化窒素、オゾン、二酸化

硫黄、一酸化炭素、自然起源のミネラルダストのガイドラインを現在検討中と報告している。

### C3. 諸外国の室内空気質指針値

ドイツ連邦環境庁は、2020年2月までに56の物質または物質群に対して室内空気質ガイドラインを定めており、2015年以降だけでも、トリクロロエチレン、2-ブタノンオキシム（メチルエチルケトキシム）、2-クロロプロパン、キシレン、C<sub>7</sub>~C<sub>8</sub>のアルキルベンゼン、プロピレングリコール、テトラクロロエチレン、2-フェノキシエタノール、1,2-ジクロロエタンに室内濃度指針値を定めていた。またこの間、ホルムアルデヒド、トルエン、二酸化窒素については再評価も実施している。なお、トルエンの再評価の際に、C<sub>7</sub>~C<sub>8</sub>のアルキルベンゼンの共存曝露の評価基準として、トルエン、キシレン、エチルベンゼンの各室内濃度指針値に対する各曝露濃度の比を足し算して1未満とすることが示された。これは、この3つの物質が類似した神経毒性を有することから、毒性の相加則が成立すると仮定したことによる。

フランスでは2020年2月までに14物質の評価を行っており、2014年以降、アセトアルデヒドとエチルベンゼンの室内空気指針値を定めている。また、この間にホルムアルデヒドの再評価を実施している。

カナダでは、2020年2月までに10物質の評価を行っている。室内空気質ガイドラインは、カナダの住宅で頻繁に検出される物質に対して設定されてきたが、その他の物質のリスクを公衆衛生専門家がスクリーニングするための評価値として、室内空気評価値（Indoor Air Reference Levels: IARLs）を2018年2月から提供し始めた。この評価値は、カナダの室内空気質ガイドラインの付属データとして位置づけられており、米国環境保護庁のIRIS、米国カリフォルニア環境保護庁の有害性評価値、米国毒物疾病登録庁（ATSDR）の最小リスクレベルなどをそのまま用いることにより、25の物質（1,3-ブタジエン、1,4-ジクロロベンゼン、2-ブトキシエタノール、2-エトキシエタノール、3-クロロプロペン、アセトン、アクロレイン、アニリン、四塩化炭素、ク

ロロホルム、シクロヘキサン、ジクロロメタン、エピクロロヒドリン、エチルベンゼン、酸化エチレン、イソプロパノール、イソプロピルベンゼン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、プロピオンアルデヒド、酸化プロピレン、スチレン、テトラクロロエチレン、トルエンジイソシアネート、キシレン) に対して IARLs を設定している。

その他では、台湾の室内空気質法の概要をまとめた。

#### C4. フタル酸エステル類に対する室内環境規制

フタル酸エステル類は多くの製品で利用されており、揮発性が低いことから準揮発性有機化合物 (SVOC) に分類され、一般住宅の居住者は、フタル酸エステル類に対して、吸入曝露 (室内空気、大気)、経口曝露 (ダスト、飲食物)、経皮曝露 (室内空気、ダスト) の3つの経路から多経路多媒体曝露を受けている。従って、これらの複数の曝露経路に対してリスク管理を行うことが求められている。

このような状況において、欧州連合では、フタル酸エステル類に対する規制が 2020 年 7 月から REACH で強化される。フタル酸ジ-n-ブチル (DnBP)、フタル酸ジ-イソブチル (DiBP)、フタル酸ベンジルブチル (BBzP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) は室内用途で全面的に規制される。また、DBP、BBzP、DEHP、フタル酸ジ-イソノニル (DINP) には共通の生殖毒性を有すると考えられることから、これらの4つのフタル酸エステルを対象としたグループ TDI (グループ耐容一日摂取量) が欧州食品安全庁 (EFSA) から提案された。これら4つの物質の総量 (共存曝露) を規制することが目的である。以上のように、欧州連合では、単一の物質を対象とした規制から、多経路多媒体曝露や類似した毒性を有する複数の物質の共存曝露を考慮した健康リスク評価およびリスク管理を導入するようになってきた。このことは、化学物質の規制において、大きな転換期になると考えられる。

#### C5. ドイツ連邦環境庁のリスク評価国際シンポジウム

2018 年 9 月に室内空気汚染物質の健康リスク評価の国際シンポジウムに出席した。このシンポジウムでは、WHO、ドイツ、フランス、アメリカ、カナダ、ベルギー、オーストリア、イギリスから、各国におけるガイドライン等の状況、その他、汚染源対策としての建材ラベリングについての講演と議論がなされた。詳細は、国際雑誌に論文として公表され、すでに 2020 年 2 月の時点で日本からの論文を含めて 3 報が公表されている。

#### C6. 2-エチル-1-ヘキサノールと水性塗料中の有機溶剤による室内汚染と健康影響について

##### 1) 2-エチル-1-ヘキサノール

2-エチル-1-ヘキサノールは、それそのものが建築材料等に使用されているのではなく、建物に建材を施工した際の積層構造から特異的に二次生成した揮発性有機化合物である。具体的には、塩化ビニル樹脂の可塑剤として使用されるフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) とコンクリートのアルカリ成分の反応があり、コンクリートの床スラブに塩化ビニル樹脂製の床材を敷設する際に生じる。

このような二次生成物は、実態調査の際に測定対象物質になりにくく、1996 年から 1998 年にかけて全国規模で実施された戸建住宅の実態調査では、検出対象物質ではなかった。また、コンクリート製の床下地材の上に塩化ビニル樹脂製床材を施行する仕様は、戸建住宅ではなく、集合住宅、事務所、学校等の規模の大きい建築物に多くみられる。従って、実態の把握が遅れたと考えられる。2001 年以降に規模の大きい建築物を対象に名古屋地域を中心に行われた調査では、2-エチル-1-ヘキサノールの室内濃度が特異的に高い建物が見いだされ、シックハウス症候群様の症状との関係が報告されている。

##### 2) 水性塗料中の有機溶剤

2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート (TMPD-MIB) と 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート (TMPD-DIB) は、主として水系エマルジョン塗料の造膜助剤や合成樹脂の可塑剤として利用されている。水系エマルジョン塗料は、いわゆる水

性塗料と呼ばれている。水性塗料に含まれている有機溶剤は、油性塗料ほどは多くないため、シックハウス症候群対策として、室内で使用される油性塗料は水性塗料に置き換えられてきた。しかしながら、水性塗料使用後の室内でシックハウス症候群様の症状を呈し、室内からは高い TMPD-MIB 濃度が検出された事例が複数報告されている。

室内濃度指針値が策定されると、関係業界は、指針値が策定された物質の使用を避け、指針値が策定されていない物質へと置き換えることで、室内空気汚染対策とすることがある。しかしながら、置き換えられた物質の健康リスクを適切に評価しなければ、置き換えられた物質によって新たに健康被害が生じる可能性がある。このことは、シロアリ防除剤でも以前からみられる傾向であり、今後の重要課題であると考えられる。

#### D. 総括

室内環境中の化学物質による健康影響に対する国内外の取り組みは、室内空气中濃度の指針値（またはガイドライン）の作成に重点が置かれている。目標となる気中濃度を設定し、それを目指した発生源対策等を行うアプローチである。

WHO は、各国の取り組みにおいて利用可能な情報や指針を提供する目的で、空気質ガイドラインを 1987 年から提供し始め、既存物質のガイドラインのアップデートや新たな物質に対するガイドラインの作成等を継続している。これまでのガイドラインは、単一の曝露経路かつ単一の物質を主眼においたガイドラインであった。しかしながら、室内環境においては、単一の物質であっても吸入、経口、経皮等の複数の曝露経路 (aggregate exposure) を有する物質や、類似した有害性を有する複数の共存物質に複合曝露 (combined exposure) することによる健康リスクが懸念されており、このことを考慮したリスク評価やリスク管理が欧州連合ではすでに一部で始まっている。この問題は、日本においても同様であり、これらの健康リスクに対するリスク評価及びリスク管理手法の検討が必要であると考えられる。また、

指針値を策定すると、指針値が策定されていない物質に代替されることにより、新たな健康影響を生じることがあることや、製品に含まれず施工後の建築物で二次生成する化学物質による健康影響も報告されているこのような問題に対する対応も今後検討する必要がある、継続的な住居用建築物における実態調査はその 1 つの方法と考えられる。

- ・製品に含まれず施工後の建築物で二次生成する化学物質による健康リスク
- ・室内濃度指針値が策定されていない代替物質による健康リスク
- ・単一物質における多経路多媒体曝露（特に SVOC）による健康リスク
- ・類似した有害性を有する複数の化学物質の共存曝露 (VOC、SVOC、PM などの揮発性に依存しない) による健康リスク

#### E. 研究業績等

(著者氏名・発表論文・学協会誌名・発表年(西暦)・巻号(最初と最後のページ))

##### 1. 論文発表

- 1) 東 賢一. 健康リスクの立場からみた環境過敏症の予防について. 室内環境; 22(2), 203–208, 2019.
- 2) 東 賢一. 今後の室内空気汚染物質. 空気清浄; 57(2), 15–20, 2019.
- 3) 東 賢一. 室内化学物質汚染の現状と今後の対策. クリーンテクノロジー; 30(2), 41–45, 2020.
- 4) 東 賢一. 建築物環境衛生管理基準の設定根拠と近年の科学的知見. 空気清浄; 57(5), 4–13, 2020.

##### 2. 書籍

- 1) Azuma K. Guidelines and Regulations for Indoor Environmental Quality, Indoor Environmental Quality and Health Risk toward Healthier Environment for All. Springer, Singapore, pp.303–318, 2019.
- 2) 東 賢一. [対策] 室内汚染対策/室内環境指

針値、[物質編] マンガン及びその化合物. 大気環境の事典. 朝倉書店, 東京, 2019.

- 3) 東 賢一. WHO、諸外国の空気質ガイドライン. 最新の抗菌・防臭・空気質制御技術. テクノシステム, 東京, 2019.

### 3. 学会発表

- 1) Azuma K, Inaba Y, Kim H, Bekki K, Hayashi M, Uchiyama I, Kunugita N. Health risk assessment of human exposure to phthalates-contaminated indoor dust in the environment of homes. 31st annual conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Utrecht, The Netherlands, 25-28 August 2019.
- 2) 東 賢一、稲葉洋平、金 勲、戸次加奈江、林 基哉、内山巖雄、櫻田尚樹. 一般住宅の室内ダストに含まれるフタル酸エステル類による居住者の健康リスク評価. 第 90 回日本衛生学会学術総会, 盛岡, 2020 年 3 月 26 日-28 日.

## F. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

## 調査結果

### 1. 厚生労働省の室内濃度指針値

1996年に全国230戸の住宅で実施されたホルムアルデヒドの室内濃度の実態調査において、当時、世界保健機関欧州地域事務局（WHO 欧州）が公表していた室内空気質ガイドライン  $0.1 \text{ mg/m}^3$  (0.08 ppm) を超えていた住宅の比率が約25%強であった。この結果を踏まえて、1997年にホルムアルデヒドの室内濃度指針値が策定された。また、1997年から1998年にかけて44の揮発性有機化合物（VOC）の室内濃度に関する全国規模の実態調査が行われ、一部の家屋では室内空気汚染が高いレベルにあることが明らかとなった。そのため厚生労働省は、室内空気汚染の問題に対応するため、2000年から2002年にかけて「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」を開催し、13種類の化学物質に対して室内濃度指針値を策定した。

厚生労働省の室内濃度指針値は、現時点で入手可能な化学物質の有害性に関する科学的知見をもとに、有害性の量反応評価から、人がその濃度の空気を一生涯にわたって吸入しても有害な影響が何ら生じないであろうと判断された値である。一方、シックハウス症候群は、症状発生の仕組み等において未解明な部分が多く、シックハウス症候群による体調不良と室内濃度指針値との間に明確な因果関係はない。しかしながら、因果関係が明確になっていなくても、現時点で入手可能な科学的知見をもとに指針値を策定し、それを下回る室内空気質を確保することによって、より多くの人に対してシックハウス症候群様の体調不良をはじめ、有害な健康影響を生じさせないようにすることができるはず、というのが指針値の概念である。従って、室内濃度指針値は、化学物質による有害な影響を生じさせないうえで、それ以下が望ましいと判断された値である。室内濃度指針値は、居住環境のみならず、オフィスビル、教育施設、公共施設、医療機関、福祉施設、宿泊施設、飲食店、交通機関、地下街などを含め、原則として全ての室内空間に適用される。

厚生労働省がホルムアルデヒドとトルエンの室内濃度指針値を策定した後、これら2つの物質の室内濃度指針値を超えている家屋の割合は、2000年から2005年にかけて、ホルムアルデヒドで28.7%から1.5%、トルエンで13.6%から0.3%と5年間で大幅に減少した。しかしその後約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化学物質が使用されているとの指摘が国内であること、VOCよりも揮発性が低いSVOCによる室内汚染が報告されてきたこと、細菌由来の揮発性有機化合物（MVOC）類が検出されてきたこと、世界保健機関（WHO）の室内空気質ガイドラインとの整合性について検討する必要があることなどが課題としてあげられた。そして、これまで策定された室内濃度指針値の超過実態を改めて把握するとともに、化学物質の発生源と室内濃度との関係に係る科学的知見を踏まえ、室内濃度指針値の設定のあり方や見直し方法などを検討するため、2012年にシックハウス問題に関する検討会が再開された。

これまで検討会では、関係省庁や関係団体等のシックハウス問題への取り組みに関するヒアリングを行い、並行して諸外国等の室内空気質規制の調査や居住環境におけるVOC等の実態調査を実施してきた。そして、表1-1に示す指針値の見直し方法とそのスキーム（図1-1）が提案された。このスキームに基づき初期リスク評価を行った結果、2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレートに対して室内濃度指針値案が提示され、キシレン、エチルベンゼン、フタル酸ジ-n-ブチル（DnBP）、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（DEHP）の室内濃度指針値改正案が提示された。その後パブリックコメントを経て、キシレン、DnBP、DEHPの室内濃度指針値が2019年1月17日に改正され、その他の物質は再検討を行うことになっている。これまでに室内濃度指針値が策定された物質を表1-2に示す。

表 1-1 室内濃度指針値の見直し方法

項目	内容
(1) 新たに指針値を設定する化学物質の選定基準	<p>1) WHO の室内空気質ガイドライン            例えばベンゼンやナフタレンなど、WHO が室内空気質ガイドラインを設定している化学物質については指針値の設定を検討する。但し、居住環境内における実態調査等で室内濃度がこれらのガイドラインを十分に下回っている場合には対象外とする。</p> <p>2) 居住環境内における揮発性有機化合物の実態調査等            居住環境内における実態調査等で検出された化学物質について、詳細な曝露濃度データを収集する。そして高濃度かつ高頻度で検出された化学物質を対象に指針値の設定を検討する。但し、室内発生源の寄与が低いと考えられる化学物質は対象外とする。</p> <p>3) 家庭用品等からの検出結果やシックハウス関連研究の知見等            家庭用品の調査結果やシックハウス症候群の実態調査結果などから指針値設定対象物質を選定する。</p>
(2) 指針値の設定手順	<p>上記の選定基準から指針値設定候補となった化学物質に対して曝露評価および初期リスク評価を行い、これまでに指針値が設定された化学物質の主要な用途や発生源を考慮しつつ、個別の化学物質の詳細な曝露評価およびリスク評価を行う。これらの結果を踏まえ、さらに指針値設定候補となる物質を絞り込んで優先付けを行い、指針値の設定を検討する。これらの手順をフローにしたものが図 1 のスキーム案である。また、指針値の設定にあたっては、実効性のある設定数とすること、健康影響の種類別にカテゴリー分けすること、慢性及び急性影響を別々に検討することなども考慮される。</p>
(3) 総揮発性有機化合物 (TVOC) の暫定目標値について	<p>TVOC の暫定目標値については、最新の知見等を踏まえ、その取扱いや測定の意義などについて検討するとともに、試験法の見直しを行う。</p>
(4) その他の課題	<p>その他としては、小児等の高感受性集団に関する不確実性への対応方法、室内空気やハウスダスト中の化学物質を監視するシステムの構築、SVOC の曝露評価方法などがあげられている。</p>



表 1-2 厚生労働省の室内濃度指針値

化学物質	室内濃度指針値 (µg/m <sup>3</sup> )	主な排出源
ホルムアルデヒド	100 (0.08)	合板、接着剤
トルエン	260 (0.07)	接着剤、塗料
キシレン	200 (0.05)*	接着剤、塗料
パラジクロロベンゼン	240 (0.04)	防虫剤
エチルベンゼン	3800 (0.88)	断熱材、塗料、床材
スチレン	220 (0.05)	断熱材、塗料、床材
クロルピリホス	1 (0.00007)※小児 0.1	シロアリ駆除剤
フタル酸ジ-n-ブチル (DnBP)	17 (0.0015)*	軟質塩ビ樹脂、塗料
テトラデカン	330 (0.04)	接着剤、塗料
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)	100 (0.0063)*	軟質塩ビ樹脂、塗料
ダイアジノン	0.29 (0.00002)	シロアリ駆除剤
アセトアルデヒド	48 (0.03)	合板、接着剤
フェノブカルブ	33 (0.0038)	シロアリ駆除剤
ノナナール	41 (0.007) 暫定値	合板、接着剤
総揮発性有機化合物 (TVOC)	400 暫定目標値	内装材、家具、家庭用品

\* 2019年1月17日改正

( ) 内は 25°C換算時の体積濃度 ppm

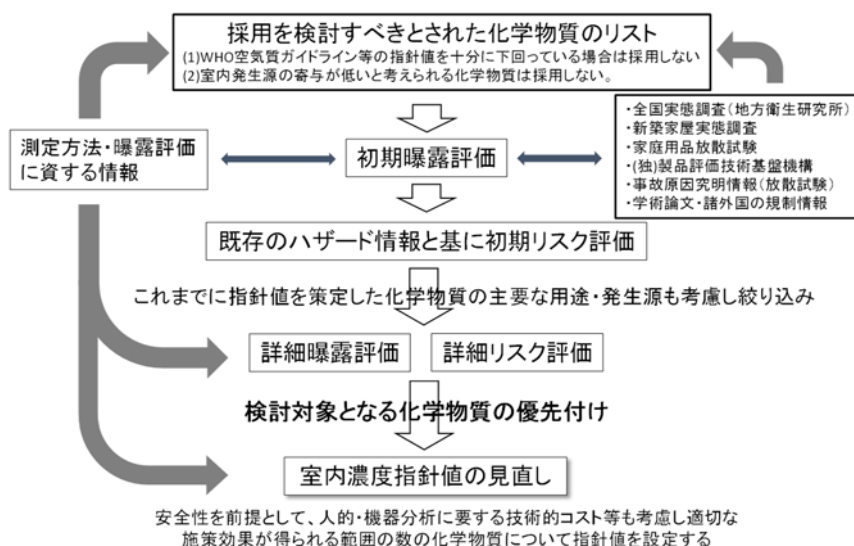


図 1-1 室内濃度指針値見直しスキーム

## 2. 世界保健機関の空気質ガイドライン

### 2. 1 欧州空気質ガイドラインのグローバル・アップデート

WHO 欧州は、欧州空気質ガイドライン第2版 (WHO Europe, 2000) を公表後、2002 年から2004 年にかけて欧州地域で調査した報告等に基づき、2005 年に粒子状物質、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄の空気質ガイドラインの改訂作業を行った (WHO Europe, 2006a)。特に発展途上国

では、固形燃料の燃焼から生じるこれらの汚染物質によって、毎年多くの死亡者が発生している。本アップデートは、これらの汚染物質による公衆衛生問題に対処するために作成された。このガイドラインは、欧州諸国のみならず、世界中の国々におけるリスク評価や政策立案において利用されるよう、WHO 本部からも公表された (WHO, 2006)。表1 にグローバル・アップデートのガイドラインを示す。

表2-1 グローバル・アップデートのガイドライン

汚染物質	ガイドライン値( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	曝露時間
PM <sub>2.5</sub>	25	24 時間平均値
	10	年間平均値
PM <sub>10</sub>	50	24 時間平均値
	20	年間平均値
オゾン	100	8 時間平均値
二酸化窒素	200	1 時間平均値
	40	年間平均値
二酸化硫黄	500	10 分間平均値
	20	24 時間平均値

### 2. 2 室内空気質ガイドライン

室内空気を汚染する有害物質の汚染源は、燃焼生成物、建材、住設機器、生活用品など多数ある。また、多種類の細菌やカビなどの微生物による汚染もある。室内空気質は、建築設計、材料、維持管理、換気、生活行為などのさまざまな要因の影響を受けるため、そのリスク管理は容易ではない。WHO のこれまでのガイドラインは、主に大気の空気質管理に利用されており、多くの諸国において、室内空気質の管理にはほとんど効果のないものであった。

室内空気質の管理は、大気とは異なったアプローチが必要である。そこで WHO 欧州事務局は、2006 年より、世界中において室内空気質の管理が容易に可能となるよう設計された室内空気質ガイドラインの作成に着手した (WHO Europe, 2006b)。ガイドラインの対象を選定するにあたっては、既存の科学的知見を精査し、定量的に設定

できるものと定性的なガイダンスを勧告するのが検討された。その結果、このガイドラインは以下の3つのカテゴリーに分類された。2009 年に湿気とカビのガイドライン (WHO Europe, 2009)、2010 年に汚染物質に対する個別のガイドライン (WHO Europe, 2010)、2014 年に室内における燃料の燃焼に関するガイドラインが公表されている (WHO, 2014)。なお、燃料の燃焼による健康影響は、アフリカや東アジア等の発展途上国で深刻な問題となっており、欧州地域のみならずグローバルな問題である。そこで燃料の燃焼に関するガイドラインは、WHO 本部からガイドラインが公表されている。

A : 汚染物質に対する個別のガイドライン  
pollutant-specific guidelines

B : 湿気とカビのガイドライン guidelines for dampness and mould

C : 室内における燃料の燃焼に関するガイドラ

イン guidelines for indoor combustion of fuels.

(1) 汚染物質

ガイドライン対象物質の選定基準は、(1)室内汚染源が存在すること、(2)利用可能な毒性及び疫学データ（無毒性量や最小毒性量など）があること、(3)室内濃度が無毒性量や最小毒性量を超えていること、の3つであった。この基準に基づいて表2-2に示す物質が選定された。グループ1は、ガイドラインの作成が必要とされる物質である。グループ2は、現時点では科学的根拠に対して不確実性がある、または科学的根拠が十分ではない物質である。従って、今後の新しい科学的知見に応じて、将来ガイドラインの作成が必要と

なる可能性のある物質である。WHO 欧州事務局は、環境たばこ煙（ETS）のガイドラインに関する議論も行っている。WHO 欧州事務局は、ETSには安全な曝露レベルに関する証拠が存在しないため、ガイドラインの作成は必要でなく、ETSは室内空間から排除すべきであるとの結論を示している(WHO Europe, 2006b)。

グループ1の物質のうち、粒子状物質に関しては、2005年に空気質ガイドラインが公表されており（表2-1）、室内空気にも適用可能である(WHO Europe, 2006a)。表2-3にこれらの物質の室内空気質ガイドラインを示す(WHO Europe, 2010)。表2-3のガイドラインのうち、特に一酸化炭素とホルムアルデヒドについては、新しい知見をもとに追加または修正された。

表2-2 汚染物質の一覧

グループ1	グループ2
ホルムアルデヒド	トルエン
ベンゼン	スチレン
ナフタレン	キシレン
二酸化窒素	アセトアルデヒド
一酸化炭素	ヘキサン
ラドン	一酸化窒素
粒子状物質 (PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> )	オゾン
ハロゲン化合物	フタル酸エステル類
(テトラクロロエチレン, トリクロロエチレン)	殺生物剤、殺虫剤
多環芳香族炭化水素(特にベンゾ-a-ピレン)	難燃剤
	グリコールエステル類
	アスベスト
	二酸化炭素
	リモネン、ピネン
	総揮発性有機化合物 (TVOC)

一酸化炭素について、WHO 欧州事務局は、2000年に公表した一酸化炭素のガイドライン(WHO Europe, 2000)では、短期間のピーク値のガイドラインである15分値（例えば、換気されていないストーブ）、その他に1時間値（例えば、器具の欠陥）、8時間値（職業性曝露など）を作成

している。2010年のガイドラインにおいて、これらの数値は変更されていない。しかし、一酸化炭素への長期間曝露によって、感覚運動能力の変化、認識能力への影響、感情や精神への影響、循環器系への影響、低体重児出生などとの関連が報告されてきたことから、24時間値のガイドライ

ンを新たに作成した。

ホルムアルデヒドに関しては、近年、発がん性に関する評価が WHO の国際がん研究機関 (IARC) と米国保健福祉省の国家毒性計画 (NTP) で実施され、その結果が公表された。IARC は、2009 年 12 月に鼻咽頭がんと急性骨髄性白血病に関してヒトの発がんに関する証拠が十分であるとし、グループ 1 に再評価した (IARC, 2009)。NTP も同様の報告書を 2010 年 1 月に公表した (NTP, 2010)。WHO 欧州は、ホルムアルデヒドのガイドラインを作成するにあたっては、発がん性に関する IARC や NTP の評価結果も考慮したうえで、最近までの科学的知見を包括的にレ

ビューしている。WHO 欧州は、室内空気質ガイドラインを作成するにあたり、非発がん影響と発がん影響に分けて評価を行った。そして、発がん影響を考慮したうえで、30 分平均値で  $0.1 \text{ mg/m}^3$  のガイドラインを公表した。このガイドラインは、長期曝露による肺機能への影響、鼻咽頭がんや骨髄性白血病の発症も防止できるとしている。また、ホルムアルデヒドの気中濃度は時間帯によって変動するが、いかなる時間帯もこの値を超えないこととしている。つまりホルムアルデヒドのガイドラインには、天井値としての意味合いが含まれている。

表 2-3 WHO 欧州事務局による汚染物質に対する個別の室内空気質ガイドライン

汚染物質	ガイドライン	影響指標
ホルムアルデヒド	$0.1 \text{ mg/m}^3$ (30 分平均値) いかなる時間帯もこの値を超えないこと ※長期曝露による肺機能への影響、鼻咽頭がんや骨髄性白血病の発症も防止できる	感覚刺激
ベンゼン	ユニットリスク : $6.0 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g/m}^3$ ) <sup>-1</sup> $17 \mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-4}$ の発がんリスク) $1.7 \mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-5}$ の発がんリスク) $0.17 \mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-6}$ の発がんリスク)	急性骨髄性白血病 遺伝毒性
ナフタレン	$10 \mu\text{g/m}^3$ (年平均値)	動物実験での炎症や悪性を伴う気道損傷
二酸化窒素	$200 \mu\text{g/m}^3$ (1 時間平均値) $40 \mu\text{g/m}^3$ (年平均値)	呼吸器症状、気管支収縮、気管支反応の増加、気道炎症、気道感染の増加をもたらす免疫防御の低下
一酸化炭素	$100 \text{ mg/m}^3$ (15 分値) ※1 日のうちで頻繁にこのレベルを超えないこと $35 \text{ mg/m}^3$ (1 時間値) ※1 日のうちで頻繁にこのレベルを超えないこと $10 \text{ mg/m}^3$ (8 時間値) ※算術平均値 $7 \text{ mg/m}^3$ (24 時間値) ※算術平均値	急性曝露時の運動負荷試験での運動能力の低下、虚血性心疾患の症状の増加 (心電図の ST 変化等)

ラドン	喫煙者のユニットリスク： $15 \times 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1}$ 67 $\text{Bq/m}^3$ ( $10^{-2}$ の発がんリスク) 6.7 $\text{Bq/m}^3$ ( $10^{-3}$ の発がんリスク) 非喫煙者のユニットリスク： $0.6 \times 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1}$ 1670 $\text{Bq/m}^3$ ( $10^{-2}$ の発がんリスク) 167 $\text{Bq/m}^3$ ( $10^{-3}$ の発がんリスク) ※安全な曝露レベルは存在しないが健康影響 (肺がん)を最小限にする参照レベルとして 100 $\text{Bq/m}^3$ を推奨	肺がん 白血病や胸郭外気道の癌 に関する示唆的証拠
トリクロロエチレン	ユニットリスク： $4.3 \times 10^{-7} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ 230 $\mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-4}$ の発がんリスク) 23 $\mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-5}$ の発がんリスク) 2.3 $\mu\text{g/m}^3$ ( $10^{-6}$ の発がんリスク)	発がん性(肝臓、腎臓、胆管、非ホジキンリンパ腫)
テトラクロロエチレン	250 $\mu\text{g/m}^3$ (年平均値)	神経行動障害、腎機能への影響
ベンゾ-a-ピレン	ユニットリスク： $8.7 \times 10^{-5} (\text{ng/m}^3)^{-1}$ 1.2 $\text{ng/m}^3$ ( $10^{-4}$ の発がんリスク) 0.12 $\text{ng/m}^3$ ( $10^{-5}$ の発がんリスク) 0.012 $\text{ng/m}^3$ ( $10^{-6}$ の発がんリスク)	肺がん

## (2) 湿気やカビ

ウイルス、細菌、カビ、ダニ類、ペットアレルギー、衛生害虫アレルギー、花粉などの生物因子への曝露は広範囲の健康影響を引き起こす可能性がある。また、湿気や換気もこれらの因子に大きく関与する。湿気とカビに関しては、既往の疫学研究を調査したうえで、健康影響との関連性に関する証拠の確からしさを評価している。その結果、喘息の増悪、上気道の症状、喘鳴、喘息の進行、呼吸困難、1年以内に発症した喘息、呼吸器感染に関しては、湿気とカビとの関連性が十分であると判断されている。ただし、気管支炎やアレルギー性鼻炎に関しては証拠が限定的、肺機能の変化やアトピー性皮膚炎に関しては証拠が不十分と判断されている。

これらの結果を踏まえ、湿気とカビのガイドラインが作成された。建物内や内装材表面において、過剰な湿気や微生物の増殖は最小限に抑えるべきである。しかしこれまでのところ、科学的知見の不足から、湿気やカビと健康影響に関して定量

的な評価を行い、ガイドライン値を勧告することはできないと判断された。従って、湿気とカビのガイドラインでは、数値ではなく、建築設計、建築施工、維持管理を適切に行い、過剰な湿気や微生物の増殖を防止するといった室内環境の設計・管理方法に関する指針が提供された。

## (3) 室内における燃料の燃焼

粒子状物質( $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ )や一酸化炭素は、室内空気を汚染する燃料の燃焼生成物として重要である。発展途上国では燃焼生成物による呼吸器系疾患が公衆衛生上の大きな問題となっている。

粒子状物質に関しては、2005年に空気質ガイドライン(WHO, 2006)が公表されており、室内空気にも適用可能である。一酸化炭素のガイドラインは、グループ1で公表された。しかし、定量的なガイドラインが示されても、特に発展途上国では、これらの物質の気中濃度を測定することが技術的及び経済的に困難である。そこで燃料の燃焼

に関するガイドラインでは、燃料の種類や不純物、暖房器具の種類、換気、排気口などに関する技術的な指針の提供を行っている。燃料に関する対策としては、特に低中所得の発展途上国において、液化石油ガス（LPG）、バイオ（生物）ガス、天

然ガス、エタノール、電気式などのよりクリーンな燃料に改善するよう推奨している。また、表2-4に示す燃焼生成物の目標排出基準を設定した(WHO, 2014)。

表2-4 燃焼生成物の目標排出基準

物質	器具	目標排出基準
PM <sub>2.5</sub>	煙突や排気フードを有する器具	0.80 mg/分以下
	排気口のないストーブ、ヒーター、燃料ランプ	0.23 mg/分以下
一酸化炭素	煙突や排気フードを有する器具	0.59 mg/分以下
	排気口のないストーブ、ヒーター、燃料ランプ	0.16 mg/分以下

### 2.3 空気質ガイドラインのアップデート計画

WHOが空気質ガイドラインを今後アップデートするにあたり、近年のエビデンスのレビューを2015年に実施し、10月にボンで開催された専門家会合での評価結果を公表した(WHO, 2016)。表2-5その結果を示す。喫緊に再評価が必要なグループ1の物質は、粒子状物質(特にPM<sub>2.5</sub>)、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素であった。再評価が強く推奨されるグループ2の物質は、カドミウム、クロム、鉛、ベンゼン、ダイオキシン類、多環芳香族炭化水素類(ベンゾ-a-ピ

レン)であった。その次に再評価が必要(再評価のエビデンスが存在)なグループ3の物質は、ヒ素、マンガン、白金、バナジウム、ブタジエン、トリクロロエチレン、アクリロニトリル、硫化水素、塩化ビニル、トルエン、ニッケルであった。再評価が不要と判断されたグループ4の物質は、水銀、石綿、ホルムアルデヒド、スチレン、テトラクロロエチレン、二酸化硫黄、フッ化物、ポリ塩化ビフェニル、1,2-ジクロロエタン、ジクロロメタンであった。

表2-5 空気質ガイドラインの今後のアップデートにあたってのエビデンスの評価結果

<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 1)	<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 2)	<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 3)	<i>Recent evidence does not justify need for re-evaluation</i> (Group 4)
Particulate Matter	Cadmium	Arsenic	Mercury
Ozone	Chromium	Manganese	Asbestos
Nitrogen dioxide	Lead	Platinum	Formaldehyde
Sulfur dioxide	Benzene	Vanadium	Styrene
Carbon monoxide	PCDDs & PCDFs	Butadiene	Tetrachloroethylene
	PAHs*	Trichloroethylene	Carbon disulfide
		Acrylonitrile**	Fluoride
		Hydrogen sulfide	PCBs
		Vinyl chloride	1,2-dichloroethane
		Toluene	Dichloromethane
		Nickel	

なお、2018年10月30日から11月1日にかけてスイスのジュネーブで開催された「大気汚染

と健康に関する世界会合：FIRST GLOBAL CONFERENCE ON AIR POLLUTION AND

HEALTH: Improving Air Quality, Combatting Climate Change - Saving Lives」においては、2016 年以降空気質ガイドラインのアップデートを進めており、粒子状物質、二酸化窒素、オゾン、二酸化硫黄、一酸化炭素、自然起源のミネラルダストのガイドラインを現在検討中と報告していた (WHO, 2018)。自然起源のミネラルダストは、粒子状物質に関連して、砂漠のダストを意図しているようであった。

### 3. 諸外国の室内空気質指針値

#### 3-1. ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン

1984 年に設立された連邦環境庁の室内空気衛生委員会 (Indoor Air Hygiene Commission: IRK) が、室内空気の保健衛生を所管している。1993 年 12 月には、室内空気質ガイドラインを作成するために、連邦保健省の室内空気ワーキンググループと合同で Ad-hoc ワーキンググループが発足された。このガイドラインの適用範囲は、1) 居間・寝室・趣味室・運動部屋・地下室・台所・浴室を有する住居、2) 有害物質に関する事務所衛生基準規則 (Ordinance on Hazardous Substances: GefStoffV) の規制対象外である建物の作業区域 (事務所や店舗など)、3) 公共施設 (病院、学校、幼稚園、スポーツ施設、図書館、レストラン、劇場、映画館、イベント開催施設など)、4) 自動車や公共輸送機関の室内である。

室内空気質ガイドラインには、指針値 I (RW I) と指針値 II (RW II) の 2 つの値が定められている (IRK, 1996; IRK, 2012)。RW II は、既知の毒性および疫学的な科学的知見に基づき定められた値であり、不確実性が考慮されている。RW II を越えていたならば、特に、長時間在住する感受性の高い居住者の健康に有害となる濃度として、即座に濃度低減のための行動を起こすべきと定義されている。RW I は、長期間曝露したとしても健康影響を引き起こす十分な科学的根拠がない値である。従って、RW I を越えていると、健康上望ましくない平均的な曝露濃度よりも高くなるため、予防のために、RW I と RW II の間

の濃度である場合には行動する必要があると定義されている。RW I は、RW II に不確実係数 10 を除いた値、つまり RW II の 10 分の 1 の値が定められている。不確実係数 10 は慣例値を使用している。RW I は、改善の必要性を示す値としての役割を果たすことができる。可能であれば、RW I の達成を目指すのではなく、それ以下の濃度に維持することを目指すべきであるとされている (IRK, 1996; IRK, 2012)。

ドイツでは、室内空気汚染の変化に対応すべく、継続的な調査と対策を進めており、1977 年に制定されたホルムアルデヒド以降、これまで 50 を超える物質または物質群に対して室内空気質ガイドラインを定めている。表 3-1 に 2019 年までに作成された室内空気質ガイドラインを示す (IRK, 2019)。また、空気中の濃度上昇に伴い愁訴や健康影響の可能性が増加しているが、毒性情報に基づく指針値設定を行うには現在の知見が不足している物質については、衛生学に基づいた評価値として個々の物質または物質群を対象としたガイダンス値が設定されている。これまでに二酸化炭素、総揮発性有機化合物 (TVOC)、微小粒子状物質にガイダンス値が設定されている。表 3-2 に二酸化炭素、表 3-3 に総揮発性有機化合物のガイダンス値を示す。

PM<sub>2.5</sub> は毒性情報に基づく指針値設定を行うには知見が不足しているとの判断より、衛生的な評価を行うためのガイダンス値として 25 µg/m<sup>3</sup> を設定している。この値は、室内に特有のダスト発生源がない住宅の室内空間で 24 時間平均値として適用される。

総揮発性有機化合物については、室内空気には数多くの有機化合物が含まれているが、個々に指針値が設定されている揮発性有機化合物は比較的少ないことから、Ad hoc ワーキンググループは、揮発性有機化合物の合計を用いることによって室内空気中の揮発性有機化合物を評価するための評価基準を開発した。そして、指針値導出における不確実性を例示するために、単一の数値ではなく、濃度範囲で示す方法が採用された。総揮発性有機化合物濃度の評価のために 5 段階の濃

度区分が定義され、各濃度区分に対して特定の対策が勧告されている（表3-3）。

なお、C<sub>7</sub>~C<sub>8</sub>のアルキルベンゼンについては、トルエン、キシレン、エチルベンゼンは、類似の神経毒性を有していることから、それぞれの指針値に対する室内濃度の割合を合計した値（リスクの総和）が1未満になるように評価するよう2016年に勧告している（IRK, 2016）。

$$x/GVtol + y/GVxyl + z/GVeth < 1$$

※x,y,zはそれぞれトルエン、キシレン、エチルベンゼンの測定濃度。

トルエンの指針値（GVtol）：0.3 mg/m<sup>3</sup>

キシレンの指針値（GVxyl）：0.1 mg/m<sup>3</sup>

エチルベンゼンの指針値（GVeth）：0.2 mg/m<sup>3</sup>

表3-1 ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン

物質	指針値 II (mg/m <sup>3</sup> )	指針値 I (mg/m <sup>3</sup> )	制定年
ホルムアルデヒド	0.12		1977 2006 再評価
ホルムアルデヒド（2016年改正最新版）		0.1 (30分間値かつ 1日の天井値)	2016
トルエン	3	0.3	1996 2016 再評価
ペンタクロロフェノール（PCP）	0.001	0.0001	1997
一酸化炭素	60 (30分) 15 (8時間)	6 (30分) 1.5 (8時間)	1997
ジクロロメタン	2 (24時間)	0.2	1997
二酸化窒素	0.350 (30分) 0.06 (1週間)	—	1998
スチレン	0.3	0.03	1998
水銀（金属蒸気として）	0.00035	0.000035	1999
ジイソシアネート	数値設定なし		2000
リン酸トリス(2-クロロエチル) (TCEP)	0.05	0.005	2002
二環式テルペン（主にα-ピネン）	2	0.2	2003
ナフタレン	0.03	0.01	2013 改訂
C <sub>9</sub> ~C <sub>14</sub> の低芳香族含量の炭化水素混合物 （アルカン/イソアルカン類）	2	0.2	2005
ダイオキシン様のポリ塩化ビフェニール	5 pg PCB-TEQ/m <sup>3</sup>		2007
C <sub>4</sub> ~C <sub>11</sub> の飽和脂肪族非環式アルデヒド類	2	0.1	2009
単環モノテルペン（主にd-リモネン）	10	1	2010
ベンジルアルコール	4	0.4	2010
ベンズアルデヒド	0.2	0.02	2010
トリクロラミン	0.2		2011



環状シロキサン (三量体から六量体)	4 (合計値)	0.4 (合計値)	2011
2-フルアルデヒド	0.1	0.01	2011
フェノール	0.2	0.02	2011
メチルフェノール (クレゾール)	0.05	0.005	2012
C <sub>9</sub> -C <sub>15</sub> アルキルベンゼン	1	0.1	2012
エチルベンゼン	2	0.2	2012
メチルイソブチルケトン (MIBK)	1	0.1	2013
エチレングリコールメチルエーテル (EGME)	0.2 (0.05 ppm)	0.02	2013
ジエチレングリコールメチルエーテル (DEGME)	6 (1 ppm)	2	2013 暫定
ジエチレングリコールジメチルエーテル (DEGDME)	0.3 (0.06 ppm)	0.03	2013
エチレングリコールエチルエーテル (EGEE)	1 (0.4 ppm)	0.1	2013
エチレングリコールモノエチルエーテルア セテート (EGEEA)	2 (0.4 ppm)	0.2	2013
ジエチレングリコールエチルエーテル (DEGEE)	2 (0.4 ppm)	0.7	2013 暫定
エチレングリコールブチルエーテル (EGBE)	1 (0.3 ppm)	0.1	2013
エチレングリコールブチルエーテルアセテ ート (EGBEA)	2 (0.3 ppm)	0.2	2013 暫定
ジエチレングリコールブチルエーテル (DEGBE)	1 (0.2 ppm)	0.4	2013 暫定
エチレングリコールヘキシルエーテル (EGHE)	1	0.1	2013
2-プロピレングリコール 1-メチルエーテル (2PG1ME)	10	1	2013
ジプロピレングリコールメチルエーテル (DPGME)	7	2	2013 暫定
2-プロピレングリコール 1-エチルエーテル (2PG1EE)	3	0.3	2013
プロピレングリコール 1-tert-ブチルエーテ ル (2PG1tBE)	3	0.3	2013
データが不十分なグリコールエステル類	0.05 ppm	0.005 ppm	2013 デフォルト 値

2-エチルヘキサノール	1	0.1	2013 暫定
アセトアルデヒド	1	0.1	2013
1-ブタノール	2	0.7	2014
1-メチル-2-ピロリドン (NMP)	1	0.1	2014
酢酸エチル	6	0.6	2014
トリクロロエチレン		20 µg/m <sup>3</sup> (UR 6.4×10 <sup>-5</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> , 10 <sup>-6</sup> risk)	2015
2-ブタノンオキシム (メチルエチルケトキシム)	0.06	0.02	2015
2-クロロプロパン	8	0.8	2015
キシレン	0.8	0.1	2015
C <sub>7</sub> ~C <sub>8</sub> のアルキルベンゼン	上述 (IRK, 2016)		2016
プロピレングリコール	0.6	0.06	2016
テトラクロロエチレン	1.0	0.1	2017
2-フェノキシエタノール	0.1	0.03	2018
二酸化窒素	0.25 (60 分値)	0.08 (60 分値)	2019
1,2-ジクロロエタン	実態調査の室内濃度の 95th より 1.0 µg/m <sup>3</sup> (暫定値) (発がんリスクからは 0.37 µg/m <sup>3</sup> (10 <sup>-6</sup> risk))		2019
ベンゼン	実態調査の室内濃度の 95th より 4.5 µg/m <sup>3</sup> (暫定値) (発がんリスクからは 0.1 µg/m <sup>3</sup> (10 <sup>-6</sup> risk))		2020

表3-2 室内空気中の二酸化炭素のガイダンス値

区分	濃度範囲 (ppm)	衛生的な評価
1	< 1,000	無害
2	1,000~2,000	衛生面の懸念が上昇
3	> 2,000	容認できない

表 3-3 総揮発性有機化合物のガイダンス値

区分	濃度範囲 (mg/m <sup>3</sup> )	衛生的な評価
1	≤0.3	支障なし
2	> 0.3~1	支障なし。ただし、個々の物質やグループ物質のための指針値は超過しないこと
3	> 1~3	衛生面の懸念あり
4	> 3~10	大きな支障あり
5	> 10	容認できない状況

### 3-2. フランス環境労働衛生安全庁 (ANSES)

フランスでは室内空気指針値 (VGAI) が定められている。浮遊粒子状物質 (PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>) 及びシアン化水素についても設定が検討されたが、数値の設定はされなかった。なお、PM<sub>10</sub> 及び PM<sub>2.5</sub> については世界保健機関 (WHO) の空気質ガイドラインを政府が活用することが推奨されている (Afsset, 2010b)。VGAI (valeurs guides de qualité d' air intérieur, 室内空気指針値) とは、一般に対して基本的に健康に対する直接的な影響、間接的な影響もしくは不快感 (臭気を伴う場合) が発生しない化学物質の最大濃度であると定義されている (Afsset, 2007a)。

二酸化炭素の室内濃度の管理は、閉鎖空間における室内空気質の指標としては使用可能である。しかし、これまでの疫学データからは、閉鎖空間における健康影響、快適性、認知能力に対する影響から居住者を保護するための二酸化炭素濃度の閾値を設定することが不可能であるため、二酸化炭素の VGAI は推奨されなかった。最近の研究では、二酸化炭素固有の影響として、意思決定や問題解決能力の低下が 1000 ppm で生じる可能性が報告されている。しかし、その作用機序も不明であり、さらなる検証が必要である。また、その濃度を超えた学校の教室において、子供の喘息関連症状の増悪が報告されている。従って、現時点で ANSES としては、窓や扉の開放等の換気など、閉鎖空間におけるこれらの影響を効果的に改善する手段や知識を自治体や学校関係者に周知することの重要性を指摘している (ANSES, 2013c)。

ANSES の室内空気指針値は、健康影響に関する科学的知見に基づいて推奨された値であるが、モニタリング等の運用を行うための規制値ではない。そこでフランス保健省 (Ministry of Health) は、ANSES の室内空気指針値に基づいて、閉鎖空間における空気質を管理するための参照値を提案するようフランス高等公衆衛生審議会 (French High Council of Public Health : HCSP) に諮問している。フランス高等公衆衛生審議会は、実用性、規制への適性、適法性、社会や経済への影響等を考慮し、ホルムアルデヒド、ベンゼン、テトラクロロエチレン、ナフタレン、トリクロロエチレンに対する勧告を公表してきた。しかし最終的には、2008 年 8 月に制定された環境賠償責任に関する法律に従い、エコロジー省 (Ministry of Ecology) が室内空気質の参照値を策定してきた。これは環境基準の一部であり、法的拘束力があるものである。これまで、ホルムアルデヒドとベンゼンに対して以下の値が策定されてきた (2011 年 12 月の法令 2011-1727)。

- ・ホルムアルデヒド：長期曝露の指針値 30 µg/m<sup>3</sup> (2013 年 1 月施行)、2023 年 1 月に 10 µg/m<sup>3</sup> に変更予定
- ・ベンゼン：長期曝露の指針値 5 µg/m<sup>3</sup> (2013 年 1 月施行)、2016 年 1 月に 2 µg/m<sup>3</sup> に変更予定

ANSES は健康影響の科学的知見に基づいて室内空気指針値 (IAQGs) を提案する。HCSP は、ANSES の評価、他の技術的・社会的・経済的問

題に基づいて、室内空気質の管理を支援するための参照値を提案する。エコロジー省は、HCSP の評価結果に基づいて、室内空気指針値 (IAQGs) の規制に関する法令を制定する。室内空気質のモニタリングは、徐々に実行されている。具体的には、2011年12月に施行された法令 2011-1728 に基づき、子供が居住する住宅で実行されている。

換気システムの評価、ホルムアルデヒド、ベンゼン、二酸化炭素の測定は、特定の建築物 (6歳児以下のデイケア施設、幼稚園、小学校、キャンプ施設、学校教育や職業教育用の中等学校) における室内空気質のモニタリングの一部として実施されている (2012年1月施行の法令 Decree 2012-14)。

表3-4 フランスにおける室内空気指針値のまとめ

物質	室内空気指針値 (VGAI*)		制定
ホルムアルデヒド	短期 VGAI (2 時間)	50 µg/m <sup>3</sup>	2007 年
	長期 VGAI (1 年以上)	10 µg/m <sup>3</sup>	
ホルムアルデヒド (2016 年改正最新版)	VGAI (1~4 時間)	100 µg/m <sup>3</sup> ※WHO (2010)の室内空気質ガイドラインにあわせた	2018 年
一酸化炭素	短期 VGAI 8 時間曝露 1 時間曝露 30 分曝露 15 分曝露	10 mg/m <sup>3</sup> 30 mg/m <sup>3</sup> 60 mg/m <sup>3</sup> 100 mg/m <sup>3</sup>	2007 年
ベンゼン	短期 VGAI: 1~14 日間	30 µg/m <sup>3</sup>	2008 年
	中期 VGAI: 14 日~1 年間	20 µg/m <sup>3</sup>	
	長期 VGAI: 一年間以上	10 µg/m <sup>3</sup>	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 <sup>-6</sup>	0.2 µg/m <sup>3</sup>	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 <sup>-5</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>	
ナフタレン	長期 VGAI: 一年間以上	10 µg/m <sup>3</sup>	2009 年
トリクロロエチレン	中期 VGAI: 14 日~1 年間	800 µg/m <sup>3</sup>	2009 年
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 <sup>-6</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 <sup>-5</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	
テトラクロロエチレン	短期 VGAI: 1~14 日間	1380 µg/m <sup>3</sup>	2010 年
	長期 VGAI: 一年間以上	250 µg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub>	VGAI: 無し	—	2010 年
シアン化水素	VGAI: 無し	—	2011 年
二酸化窒素	短期 VGAI: 2 時間	200 µg/m <sup>3</sup>	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	20 µg/m <sup>3</sup>	
アクロレイン	短期 VGAI: 1 時間	6.9 µg/m <sup>3</sup>	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	0.8 µg/m <sup>3</sup>	
二酸化炭素	VGAI: 無し	—	2013 年
アセトアルデヒド	短期 VGAI: 1 時間	3000 µg/m <sup>3</sup>	

	長期 VGAI: 一年間以上	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2014 年
エチルベンゼン	短期 VGAI: 24 時間	22 $\text{mg}/\text{m}^3$	2016 年
	長期 VGAI: 一年間以上	1.5 $\text{mg}/\text{m}^3$	
トルエン	VGAI (24 時間および年間)	20 $\text{mg}/\text{m}^3$	2018 年

ANSES は、室内ダスト中化学物質のガイドラインの検討を行っている。但し、その方法論を検討するにあたり、各国の専門家からの意見を収集しており、2019 年 9 月に非公開の国際ワークショップを開催した。私は健康リスク評価の専門家として招聘されて本ワークショップに出席した。

ANSES では、フタル酸エステル類と鉛のガイドラインの検討を行っており、本ワークショップでの議論を踏まえてさらに検討中である。

### 3-3. カナダ保健省

1987 年にカナダ保健省 (Department of National Health and Welfare Canada: DNHC) の環境と労働衛生に関する諮問委員会 (Federal/Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health :CEOH) が室内空気質ガイドライン (DNHC, 1989) を公表した。このガイドラインの主な目的は、(1) 特別なリスクを有する集団の感受性、汚染源、汚染物質の動態などの因子を考慮して住居用の室内空気中濃度のガイドライン値を開発すること、(2) 家屋の空気質を改善あるいは維持する実行可能な手段の勧告や指針を開発することである。

ガイドラインを作成するにあたり、17 の化学物質または物質群と 1 つの放射性物質が詳細な評価を行う汚染物質として選択された。これらの汚染物質が選択された理由は、人の健康影響を引き起こす可能性および室内に存在する可能性からである。そして、これらの汚染物質のうち、定量的評価が可能でない物質、あるいは人の曝露限

界値に関するデータが不適切と思われる物質を除く 9 つの汚染物質 (アルデヒド類、二酸化炭素、一酸化炭素、二酸化窒素、オゾン、粒子状物質、二酸化硫黄、湿気、ラドン) に対して室内濃度のガイドラインが定められた。

ホルムアルデヒドに関しては、発がん性の疑いがあるため、人の健康影響に基づいたデータだけでは室内濃度のガイドラインを設定することができないと判断された。そこで、費用と技術的実現可能性が考慮された。行動値は、現時点で実現可能な最小濃度である。目標値は、将来、改善策がとられ、室内濃度低減に向けてあらゆる努力がなされる値である。

曝露範囲の設定が適切に行えず、それが実行不可能な汚染物質 (生物因子、塩素化炭化水素、繊維状物質、鉛、殺虫製品、多環芳香族炭化水素、エアゾール製品、たばこ煙) に関しては、曝露低減が可能な実行手段に関するガイドラインが作成された。

その後、カナダ保健省では、1987 年に定めた室内空気質ガイドラインの追加や改正を行っている。本報では 1987 年のガイドライン以降に追加または改正された物質の室内空気質ガイドラインを表 3-5 にまとめた。ただしこれらのうち、カビ (細菌)、微小粒子状物質 ( $\text{PM}_{2.5}$ ) の 2 物質 (群) についても検討されたが、数値の設定は行われなかった。また、1987 年に定められた二酸化炭素、二酸化硫黄、受動喫煙、相対湿度の検討結果については現時点でカナダ保健省のホームページ等に公表されていない。

表 3-5 カナダにおける室内空気指針値のまとめ

物質	最大ばく露限界	制定年
ホルムアルデヒド	長期 [8 時間] : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40ppb) 短期 [1 時間] : 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 ppb)	2006 年
カビ (細菌)	カナダ保健省は、以下を勧告する。 湿度を制御すること、カビの増殖を防ぐために水で傷ついた住宅の修復をこまめにすること、 住宅用建物の中で繁殖しているカビ (見えないものも含む) を十分に除去すること	2007 年
一酸化炭素	長期 [24 時間] : 11.5 $\text{mg}/\text{m}^3$ (10 ppm) 短期 [1 時間] : 28.6 $\text{mg}/\text{m}^3$ (25 ppm)	2010 年
二酸化窒素	長期 [24 時間] : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm) 短期 [1 時間] : 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.25 ppm)	1987 年
ラドン	200 Bq/ $\text{m}^3$	2007 年
オゾン	長期 [8 時間] : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20 ppb)	2010 年
トルエン	長期 [24 時間] : 2.3 $\text{mg}/\text{m}^3$ (0.6 ppm) 短期 [8 時間] : 15 $\text{mg}/\text{m}^3$ (4.0 ppm)	2011 年
微小粒子状物質 (PM <sub>2.5</sub> )	カナダ保健省は、以下を勧告する。 室内の PM <sub>2.5</sub> 濃度は可能な限り低く保たなければならない。 室内の主要な排出源に対応するため、料理の際には換気扇を使用し、室内での喫煙は許容しないこと。	2012 年
ナフタレン	長期 [24 時間] : 0.010 $\text{mg}/\text{m}^3$ (0.0019 ppm)	2013 年
ベンゼン	カナダ保健省は、以下を勧告する。 ベンゼンの室内濃度を可能な限り低く維持すること	2013 年
アセトアルデヒド	長期 [24 時間] : 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 短期 [1 時間] : 1420 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2017 年

室内空気質ガイドラインは、カナダの住宅で頻りに検出される物質に対して設定されてきたが、その他の物質のリスクを公衆衛生専門家がスクリーニングするための評価値として、室内空気評価値 (Indoor Air Reference Levels: IARLs) を 2018 年 2 月から提供し始めた (Health Canada, 2018)。この評価値は、カナダの室内空気質ガイドラインの付属データとして位置づけられてい

る。カナダの室内空気評価値の概要を表 3-6 に示す。但し、この評価値は、カナダ保健省で独自に導出したものではなく、米国環境保護庁の IRIS、米国カリフォルニア環境保護庁の有害性評価値、米国毒物疾病登録庁 (ATSDR) の最小リスクレベルなどをそのまま用いており、数ヶ月から年単位の長期間曝露に適用される。

表3-6 カナダにおける室内空気評価値

化学物質 (CAS No.)	IARL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	影響		Reference
		発がん	非発がん	
1,3-ブタジエン (106-99-0)	1.7	白血病	-	EC/HC (2000)
1,4-ジクロロベンゼン (106-46-7)	60	-	鼻腔の変性	ATSDR (2006)
2-ブトキシエタノール (111-76-2)	11 000	-	血液学的影響	EC/HC (2002)
2-エトキシエタノール (110-80-5)	70	-	生殖影響	CalEPA (2000)
3-クロロプロペン (107-05-1)	1	-	神経毒性	US EPA (1991)
アセトン (67-64-1)	70 000	-	発達影響	VCCEP (2003)
アクロレイン (107-02-8)	0.35	-	気道上皮の変性	CalEPA (2008)
アニリン (62-53-3)	1	-	脾臓への影響	US EPA (1990a)
四塩化炭素 (56-23-5)	1.7	副腎腫瘍	-	US EPA (2010)
クロロホルム (67-66-3)	300	-	肝臓と腎臓への影響	CalEPA (2000)
シクロヘキサン (110-82-7)	6000	-	発達影響	US EPA (2003a)
ジクロロメタン (75-09-2)	600	-	肝臓への影響	US EPA (2011)
エピクロロヒドリン (106-89-8)	1	-	鼻腔の変性	US EPA (1994)
エチルベンゼン (100-41-4)	2000	-	腎臓、脳下垂体、肝臓への影響	CalEPA (2000)
酸化エチレン (75-21-8)	0.002	リンパ系がん、 乳がん	-	US EPA (2016)
イソプロパノール (67-63-0)	7000	-	腎臓の変性	CalEPA (2000)
イソプロピルベンゼン (98-82-8)	400	-	腎臓と副腎の変性	US EPA (1997)
メチルエチルケトン (78-93-3)	5000	-	発達影響	US EPA (2003b)
メチルイソブチルケトン (108-10-1)	3000	-	心奇形	US EPA (2003c)
プロピオンアルデヒド (123-38-6)	8	-	嗅上皮の萎縮	US EPA (2008)
酸化プロピレン (75-56-9)	2.7	鼻腔がん	-	US EPA (1990b)
スチレン (100-42-5)	850	-	神経毒性	ATSDR (2010)
テトラクロロエチレン (127-18-4)	40	-	神経毒性	US EPA (2012), ATSDR (2014)
トルエンジイソシアネート (26471-62-5)	0.008	-	肺機能の低下	CalEPA (2016)
キシレン (1330-20-7)	100	-	神経毒性	US EPA (2003d)

### 3-4. 台湾

台湾では、室内空気質法「Indoor Air Quality Act」が2012年11月に施行され、表3-7に示

す室内空気質基準及び表3-8に示す適用場所が定められている。

表3-7 台湾室内空気質法における室内空気質基準

化学物質	測定時間	基準値
一酸化炭素	8時間平均	9 ppm
二酸化炭素	8時間平均	1000 ppm
オゾン	8時間平均	0.06 ppm
総揮発性有機化合物 (TVOC)*	1時間平均	0.58 ppm
ホルムアルデヒド	1時間平均	0.08 ppm
PM <sub>10</sub>	24時間平均	75 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub>	24時間平均	35 µg/m <sup>3</sup>
細菌	ピーク値	1000 CFU/m <sup>3</sup> または I/O<1.30
真菌	ピーク値	1500 CFU/m <sup>3</sup>

\* ベンゼン、クロロホルム、四塩化炭素、1,2-ジクロロベンゼン、1,4-ジクロロベンゼン、ジクロロメタン、エチルベンゼン、スチレン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、トルエン、キシレン

表3-8 室内空気質基準の適用場所

第一グループ (2014年1月から)	第二グループ (2017年1月から)
大学、図書館、病院、社会福祉施設、行政機関 鉄道駅、空港 (利用客 100万人/年以上)、 大量高速輸送機関の駅 (床面積 10000m <sup>2</sup> 以上 または利用客 1000万人/年以上) 展示場 (床面積 5000m <sup>2</sup> 以上) 店舗 (床面積 3000m <sup>2</sup> 以上) 合計 455箇所	博物館・美術館 (床面積 2000m <sup>2</sup> 以上) 金融機関 興行場 映画館 (床面積 1500m <sup>2</sup> 以上) カラオケ (床面積 600m <sup>2</sup> 以上) フィットネスセンター (床面積 2000m <sup>2</sup> 以上) 合計 985箇所

#### 4. フタル酸エステル類に対する室内環境規制

近年、室内ダスト中のフタル酸エステル類と子どもの喘息やアレルギーとの関連性が報告されている。フタル酸エステル類は、プラスチックを柔らかくする材料として、主に塩化ビニル樹脂に使用されてきた。室内では、壁紙、床材、テーブルクロス、電線被覆材、子供用玩具などにフタル酸エステル類を使用した製品がある。近年、フタル酸エステル類の室内濃度と成人の尿中代謝物濃度との関連性が示唆されており、室内におけるフタル酸エステル類への曝露の重要性が指摘されている(東, 2014)。

室内ダスト中の化学物質に関しては、測定方法の標準化が容易ではなく、室内ダスト中の化学物質に対する基準値を設定している諸外国はみあ

たらない。しかしながら、室内で多くの製品に利用され、経気道、経口、経皮といった複数の曝露経路がある物質については、発生源対策が重要となる。デンマークでは、2013年12月1日より、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ブチルベンジル、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジイソブチルの1つ以上を0.1%以上含む室内で使用される製品及び皮膚や粘膜経路で曝露する製品の輸入と使用を禁止する決定(室内で使用される特定フタル酸エステルの含有制限を定めた政令)を行った(Retsinformation.dk, 2012)。一般的に、プラスチックに対するフタル酸エステル類の含有量は、数%から数十%必要であるため、0.1%の基準は実質的には使用禁止に相当する行政措置である。デンマークは、この規制を欧州連合(EU)



全体に適用するよう求めたが、関係業界等からの反発があり、デンマークでのみ実施することとした。しかしながら、欧州委員会は、これら4種のフタル酸エステル類の制限手続きについて検討した結果、REACH規則の制限手続きが行われた化学物質について、その製造や使用、上市の禁止はREACH規則に基づいてEU域内で共通化されるものであり、一度制限手続きが最終化されれば、加盟国が最終化されたEUレベルでの決定と異なった国内法の継続や新設はできないと報告した(European Commission, 2014)。また、欧州連合司法裁判所は、フィンランドに対して、REACH規則の制限手続きの結論に反する独自の国内法を制定することはできないとの判決を行った。これらのことから、デンマークは本政令の施行を断念して撤回した。但しEUは、今回対象となった4種のフタル酸エステル類以外のフタル酸エステル類に対する懸念や、4種のフタル酸エステル類のリスクを示す新たな科学的証拠が示された場合には、新たに制限手続きを実施する可能性を示唆している(European Commission, 2014)。

欧州におけるその後の動きとしては、電子・電気機器における特定有害物質の使用制限に関する欧州連合(EU)による指令であるRoHS指令において、2015年6月よりフタル酸エステル類の4物質(DEHP、BBP、DBP、DIBP)が規制対象として正式に追加された(European Union, 2015)。EU加盟国は、2016年12月31日までに上記指令に対応する国内法の整備が求められる。各物質の最大許容濃度は、DEHPが0.1wt%、BBPが0.1wt%、DBPが0.1wt%、DIBPが0.1wt%となっている。カテゴリ8および9以外の電気・電子機器は2019年7月22日以降上市分から、カテゴリ8および9の医療機器、監視制御機器は2021年7月22日以降の上市分から適用が開始される。

EUはその後、4種のフタル酸エステル類に関する再評価を行った結果、EUのREACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals: 化学品の登録、評価、

認可及び制限に関する規則)において規制することを決定した(European Union, 2018)。具体的には、DnBP、DiBP、BBzP、DEHPの1つ以上を0.1重量%以上含む全ての成形品(フタル酸エステル類で可塑化された材料)について、欧州の市場に導入することを2020年7月7日から規制することとした。ここでの可塑化された成形品には、塩化ビニル樹脂、塩化ビニリデン樹脂、酢酸ビニル樹脂、ウレタン樹脂、その他の樹脂(シリコンゴムと天然ラテックスコーティングを除く)、表面コーティング材、滑り止めコーティング材、仕上げコーティング材、ステッカー、印刷材、接着剤、シーラント、塗料、インクが含まれる。但し、ヒトの粘膜に接触しない、またはヒトの皮膚と長時間接触(1日あたり10分を超える持続的な接触、または1日あたり30分以上の断続的な接触)しないことを条件とした産業用、農業用あるいは屋外使用品は規制対象外となっている。なお、自動車と航空機用途に関しては、少し遅れて2024年1月7日から規制が実施される。

一般的に、プラスチックに対するフタル酸エステル類の含有量は、数%から数十%必要であるため、0.1%の基準は実質的には使用禁止に相当する措置である。室内で多くの製品に利用され、吸入、経口、経皮といった複数の曝露経路がある物質については、発生源対策が重要となる。

##### 5. ドイツ連邦環境庁主催室内空気汚染物質のリスク評価国際シンポジウム

2018年9月16日から18日にかけてドイツのベルリンで開催されたドイツ連邦環境庁主催の「International Conference on Risk Assessment of Indoor Air Chemicals」に参加し、日本の状況について講演を行った。以下のドイツ連邦環境庁のホームページで各講演資料がpdfファイルで公開されている。

International Conference on Risk Assessment of Indoor Air Chemicals

<https://www.umweltbundesamt.de/en/indoor-air-toxicology-start>

本シンポジウムでは、WHO、ドイツ、フランス、アメリカ、カナダ、ベルギー、オーストリア、イギリスから、各国におけるガイドライン等の状況、その他、汚染源対策としての建材ラベリングについての講演と議論がなされた。このシンポジウムの内容の一部は、査読付き論文として国際雑誌「International Journal of Hygiene and Environmental Health」に掲載される。日本の状況については、本分担研究者である東が論文を作成した。以下に現在までに公表されている論文を示す。

- Azuma K, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Sakai S. Risk assessment concepts and approaches for indoor air chemicals in Japan. *Int J Hyg Environ Health* 225, 113470, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113470>, 2020.
- Wolkoff P. Indoor air chemistry: Terpene reaction products and airway effects. *Int J Hyg Environ Health* 225, 113439, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113439>, 2020.
- Salthammer T. Emerging indoor pollutants. *Int J Hyg Environ Health* 224, 113423, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113423>, 2020.

## 6. 2-エチル-1-ヘキサノールと水性塗料中の有機溶剤による室内汚染と健康影響について

### 1) 2-エチル-1-ヘキサノール

2-エチル-1-ヘキサノールは、塩化ビニル樹脂の可塑剤として使用されるフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)、アクリル樹脂系の粘接着剤や塗料として使用されるアクリル酸-2-エチルヘキシルやメタクリル酸-2-エチルヘキシルの原料等に使用される。これらの化合物は化学構造内にエステル結合を有し、フタル酸エステル類やアクリル酸エステル類に含まれる。

コンクリート製の床下地材の上に塩化ビニル樹脂製床材を施行すると、コンクリートに含まれる水分が床材に移行して塩化ビニル樹脂に含ま

れる DEHP のエステル結合が加水分解し、2-エチル-1-ヘキサノールが生成する。実験室実験では、室温が高い夏場で約 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室温が低下した冬場で約 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の室内濃度が報告されている(栗木ら, 2011)。実際に建築された大学校舎の建物では、築4年後にも関わらず、夏場で約 65~1,080  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬場で約 30~160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の室内濃度が報告されており、翌年の夏場に再び濃度が上昇している(上島ら, 2005)。これは、エステル加水分解が、気温の高い夏場に進行しやすいためであり、合板に使用されるホルムアルデヒドを原料とする接着剤の加水分解で見られる傾向と同様である(東ら, 2002)。従って、このような加水分解生成物は、夏場を中心に長期間にわたって継続的に放散されることが大きな特徴である。

居住者への影響では、化学物質過敏症患者が発生した建物の室内において、2-エチル-1-ヘキサノールの濃度が 408~1,086  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  と突出して高く、この濃度の高低は、粘膜刺激症状等からなるシックビルディング症候群の症状の出現状況と関係していたと報告されている(Kamijima M et al, 2002)。また、これらの結果を含め、集団として粘膜刺激症状が過剰に出現する閾値は、65.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  から 336  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の間にあると推定されている(上島ら, 2005)。

厚生労働省のシックハウス対策では、1996年にホルムアルデヒド(安藤, 1997)、1997年から1998年にかけて44の揮発性有機化合物(厚生省, 1999)の室内濃度に関する全国規模の実態調査を行った結果を踏まえ、1997年から2002年にかけて13の物質に室内濃度指針値を策定してきた。しかしながら、これらの調査において、2-エチル-1-ヘキサノールは検出対象物質に含まれていなかった。また、これらの調査は戸建住宅に対して実施されているが、コンクリート製の床下地材の上に塩化ビニル樹脂製床材を施行する仕様は、戸建住宅ではなく、集合住宅、事務所、学校等の規模の大きい建築物に多くみられる。2003年2007年にかけて名古屋市内の61軒の特定建築物(事務所、百貨店、店舗、学校、遊技場、興行場)で室内濃度を調査したところ、99%の室内で2-エ

チル-1-ヘキサノールが検出されており、400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた建物もみられ、床の構造は建物の躯体に直接ビニルシートが敷設されていた(酒井ら, 2010)。

これらの状況を鑑みると、ホルムアルデヒド同様に、1990年代よりもかなり前から2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染と健康影響は生じていた可能性が考えられる。しかしながら、2-エチル-1-ヘキサノールそのものが建築材料等に使用されていたわけではなく、2-エチル-1-ヘキサノールは建物に建材を施工した際の積層構造から特異的に二次生成した揮発性有機化合物である。そのため測定対象物質になりにくく、実態の把握が遅れたと考えられる。

## 2) 水性塗料中の有機溶剤

2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート (TMPD-MIB) と 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート (TMPD-DIB) は、主として水系エマルジョン塗料の造膜助剤や合成樹脂の可塑剤として利用されている。TMPD-MIB はテキサノール、TMPD-DIB は TXIB として市販されており、一般的にはテキサノールや TXIB と呼ばれている。

エマルジョンとは、塗料の主成分である合成樹脂の粒子が水中に均一に分散している液体で、一般的には白色や乳白色である。主要な溶剤が水であることから、一般的には水性塗料として扱われている。しかしながら、溶剤である水に合成樹脂の粒子を安定して分散させるために、少なからず有機溶剤が含まれており、TMPD-MIB と TMPD-DIB もそのために水性塗料に使用されている。水性塗料であるため、塗料を塗布して乾燥させると、水だけが揮発すると思われているかもしれないが、実際には造膜助剤や凍結防止剤として使用されている有機溶剤も同時に揮発する。油性塗料には水が使用されておらず、乾燥させると有機溶剤が揮発する。水性塗料に含まれている有機溶剤は、油性塗料ほどは多くないため、シックハウス症候群対策として、室内で使用される油性塗料は水性塗料に置き換えられてきた。

居住者への影響では、竣工後約1ヶ月が経過し

た小学校の新築校舎において、目、鼻、喉の痛み、頭痛、吐き気を訴える複数の児童や教職員が発生したことから、竣工後約7ヶ月が経過した6月初旬に校舎内の室内濃度を測定したところ、一般教室とつながっているメディアセンターで120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、図書室で290  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のTMPD-MIBが検出された(小林ら, 2010)。粘膜刺激症状等が発生してから約半年後の測定であったため、新築校舎使用開始時の濃度を推定したところ、図書館の濃度は約10,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定された。ビルの居住者で異臭や頭痛が発生した小部屋の室内からは、320  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のTMPD-MIBが検出されており、壁の塗装に使用されたアクリル樹脂系エマルジョンの水性塗料には、造膜助剤としてTMPD-MIBが5~10%含まれていたと報告されている(斎藤ら, 2011)。

室内濃度指針値が策定されると、関係業界は、指針値が策定された物質の使用を避け、指針値が策定されていない物質へと置き換えることで、室内空気汚染対策とすることがある。しかしながら、置き換えられた物質の健康リスクを適切に評価しなければ、置き換えられた物質によって新たに健康被害が生じる可能性がある。1950年代から1970年代にシロアリ防除剤として有機塩素系化合物のクロルデンが使用されていたが、高い有害性を有することから日本国内での製造、使用、輸入が1986年に禁止された。そのため有機リン系化合物のクロルピリホスへと置き換えが進み、1987年におけるシロアリ防除剤の製造割合は76%がクロルピリホスとなっている。しかしながら、クロルピリホスに室内濃度指針値が策定され、建築基準法で住宅への使用が2002年に禁止されると、次はネオニコチニル系やピレスロイド系のシロアリ防除剤の使用が増加している(Azuma et al., 2008, Salthammer, 2020)。ネオニコチニル系殺虫剤によるヒトへの影響は十分把握されておらず、近年の研究によると、先天性心疾患のファロー四徴症、無脳症、記憶障害、手指の振戦などの生殖および神経系の影響が報告されている(Cimino et al., 2017)。

規制等の取り組みが実施された物質の代替物

質による健康影響は、かなり以前からの問題ではあるが、同様のことが繰り返されないよう、何らかの対応を検討する必要があると考えられる。

<参考文献>

- Afsset (2007a) Valeurs guides de qualité d'air intérieur: Le formaldéhyde. Avis de l'Afsset, Rapport du groupe d'experts.
- Afsset (2007b) Valeurs guides de qualité d'air intérieur: Le monoxyde de carbone. Avis de l'Afsset, Rapport du groupe d'experts.
- Afsset (2008) Valeurs guides de qualité d'air intérieur: Le benzène. Avis de l'Afsset, Rapport d'expertise collective.
- Afsset (2009a) Valeurs guides de qualité d'air intérieur: Le naphthalène. Avis de l'Afsset, Rapport d'expertise collective.
- Afsset (2009b) Relatif à la proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur pour le trichloroéthylène (TCE), AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.
- Afsset (2010a) Relatif à la proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour le tétrachloroéthylène (perchloroéthylène), AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.
- Afsset (2010b) Relatif à la proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour les particules, AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.
- ANSES (2013a) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, Le dioxyde d'azote, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.
- ANSES (2013b) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, L'acroléine, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.
- ANSES (2013c) Concentrations de CO2 dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.
- ANSES (2014) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur, L'acétaldéhyde, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.
- Azuma K, Uchiyama I, Ikeda K. (2008) The regulations for indoor air pollution in Japan: a public health perspective, *J Risk Res* 11:301-314.
- Cimino AM, Boyles AL, Thayer KA, Perry MJ. (2017) Effects of Neonicotinoid Pesticide Exposure on Human Health: A Systematic Review. *Environ Health Perspect* 125:155-162.
- David Suzuki Foundation (2014) Revisiting Canada's radon guideline. David Suzuki Foundation, Vancouver, BC.
- DNHWC (1989) Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality, A Report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Cat. H46-2/90-156E.
- European Commission (2014) INFORMATION FROM EUROPEAN UNION INSTITUTIONS, BODIES, OFFICES AND AGENCIES: on the finalisation of the restriction process on the four phthalates (DEHP, DBP, BBP and DIBP) under Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). Official Journal of the European Union, 2014/C 260/01.
- European Union (2015) COMMISSION DELEGATED DIRECTIVE (EU) 2015/863 of 31 March 2015. Official Journal of the European Union, L 137/10-12.
- European Union (2018) Commission Regulation (EU) 2018/2005 of 17 December 2018. Official Journal of the European Union, L 326/1-12.

- Union, L 322/14.
- Health Canada (2006) Residential Indoor Air Quality Guideline: Formaldehyde.
- Health Canada (2007) Residential Indoor Air Quality Guideline: Moulds.
- Health Canada (2010a) Residential Indoor Air Quality Guideline: CARBON MONOXIDE.
- Health Canada (2010b) Residential Indoor Air Quality Guideline: OZONE.
- Health Canada (2011) Residential Indoor Air Quality Guideline: TOLUENE.
- Health Canada (2012) GUIDANCE FOR FINE PARTICULATE MATTER (PM<sub>2.5</sub>) IN RESIDENTIAL INDOOR AIR.
- Health Canada (2018b) Indoor Air Reference Levels. available at <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/indoor-air-reference-levels.html>, accessed at 21 April 2020.
- Health Canada (2013a) Residential Indoor Air Quality Guideline: Naphthalene.
- Health Canada (2013b) Guidance for Benzene in Residential Indoor Air.
- IARC Monograph Working Group (2009) A review of human carcinogens—Part F: Chemical agents and related occupations. *The Lancet Oncology* 10(12):1143–1144.
- IRK (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. *Bundesgesundheitsblatt* 39:422–426.
- IRK (2012) Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. *Bundesgesundheitsbl* 55:279–290.
- IRK (2016) Richtwerte für Toluol und gesundheitliche Bewertung von C7-C8-Alkylbenzolen in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsblatt* 59:1522–1539.
- IRK (2020) Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte. available at <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppen-innenraumrichtwerte>, accessed at 21 April 2020.
- Kamijima M, et al (2002) 2-Ethyl-1-hexanol in indoor air as a possible cause of sick building symptoms. *J Occup Health* 44:186–191.
- National Toxicology Program (2010) Report on Carcinogens Background Document for Formaldehyde, Research Triangle Park, NC.
- Retsinformation.dk (2012) Bekendtgørelse om forbud mod import og salg af varer til indendørs brug, som indeholder ftalaterne DEHP, DBP, BBP og DIBP, og varer hvor dele med disse stoffer kan komme i kontakt med hud eller slimhinder. BEK nr 1113 , 26 November, 2012.
- Salthammer T (2020) Emerging indoor pollutants. *Int J Hyg Environ Health* 224:113423. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.113423.
- WHO Europe (2000) Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition., WHO Regional Publication, Europeans Series, No. 91, Copenhagen.
- WHO Europe (2006a) Air Quality Guidelines – global update 2005, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO Europe (2006b) Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Report on a Working Group Meeting. Bonn, Germany, 23-24 October 2006.
- WHO (2006) WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005, Summary of risk assessment, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, Geneva.
- WHO Europe (2009) WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

- WHO Europe (2010) WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (2014) WHO guidelines for indoor air quality: household fuel combustion. World Health Organization, Geneva.
- WHO Europe (2016) WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). Meeting report. Bonn, Germany, 29 September-1 October 2015, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (2018) First WHO Global Conference on Air Pollution and Health, Improving air quality, combatting climate change – saving lives, 30 October – 1 November 2018, Available at Join and view the conference sessions remotely: <https://www.who.int/airpollution/events/conference/en/>
- 東 賢一 (2014) ダスト中の汚染物質による公衆衛生上の問題. 空気清浄 52(3):164-169.
- 東 実千代, 他 (2002) 戸建て住宅におけるホルムアルデヒドおよび揮発性有機化合物濃度の継続的実測調査. 日本建築学会計画系論文集, 第 552 号, pp. 29-35.
- 粟木 茂, 他 (2011) コンクリート直貼工法における 2-エチル-1-ヘキサノールの発生に関する研究, その 2 実大試験室における濃度の経時変化と官能評価に関する実験. 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 617-618.
- 安藤正典 (1997) 平成 9 年度厚生科学研究: 化学物質のクライシスマネジメントに関する研究. pp. 82-87.
- 上島通浩, 他 (2005) 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染: 室内濃度, 発生源, 自覚症状について. 日本公衆衛生雑誌 52:1021-1031.
- 厚生省(1999) 居住環境中の揮発性有機化合物の全国実態調査について. 1999年12月14日.
- 小林 智, 他 (2010) 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 13:39-54.
- 斎藤育江, 他 (2011) 近年の室内空気汚染問題について: 未規制物質による健康リスク. 日本リスク研究学会誌 21:91-100.
- 酒井 潔, 他 (2010) 特定建築物における揮発性有機化合物による室内空気汚染 2002 年建築物衛生法改正後の実態と残された問題点. 日本公衆衛生雑誌 57(9):825-834.