

調査資料のまとめ

1. 世界保健機関のガイドライン

1. 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 Headquarters, 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 _{2.5}	25	24 時間平均値
	10	年間平均値
PM ₁₀	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

1. 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ものが検討された。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1）、室内空気にも適用可能である(WHO Europe, 2006a)。表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 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 _{2.5} , PM ₁₀)	オゾン
ハロゲン化合物 (テトラクロロエチレン, トリクロロエチレン)	フタル酸エステル類
多環芳香族炭化水素(特にベンゾ-a-ピレン)	殺生物剤、殺虫剤
	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に

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

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 mg/m³ 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 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 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：6.0×10 ⁻⁶ (μg/m ³) ⁻¹ 17 μg/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 1.7 μg/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 0.17 μg/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 μg/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 μg/m ³ (1 時間平均値) 40 μg/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 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 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 mg/m ³ (8 時間値) ※算術平均値 7 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：15×10 ⁻⁵ (Bq/m ³) ⁻¹ 67 Bq/m ³ (10 ⁻² の発がんリスク) 6.7 Bq/m ³ (10 ⁻³ の発がんリスク) 非喫煙者のユニットリスク：0.6×10 ⁻⁵ (Bq/m ³) ⁻¹ 1670 Bq/m ³ (10 ⁻² の発がんリスク) 167 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 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：4.3×10 ⁻⁷ (μg/m ³) ⁻¹ 230 μg/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 23 μg/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 2.3 μg/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 μg/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：8.7×10 ⁻⁵ (ng/m ³) ⁻¹ 1.2 ng/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 0.12 ng/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 0.012 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、ペットアレルゲン、衛生害虫アレルゲン、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（PM_{2.5}、PM₁₀）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4に示す燃焼生成物の目標排出基準を設定した(WHO, 2014)。

表4 燃焼生成物の目標排出基準

物質	器具	目標排出基準
PM _{2.5}	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

1. 3 世界保健機関の住宅と健康ガイドライン

住宅に関連する健康リスクとしては、室内空気汚染による呼吸器系や循環器系疾患、極度な温熱による疾患や死亡、不衛生な環境による感染症、社会病理、精神疾患、家の中での傷害（転倒や落下）などがある。そこでWHOは、良質な設計、建築、維持管理、立地環境等を通じて、これらのリスクを低減する健康な住宅のためのガイドライン（Housing and health guidelines）の開発に取り組んでいる(WHO, 2013)。

2. 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 を除した値、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、2014年までに45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いる。表5に2014年までに作成された室内空気質ガイドラインを示す (IRK, 2015)。今後も、酢酸エステル類、アセトン、テキサノール、エンドトキシンなどに対してガイドラインを定める予定となっている。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6に二酸化炭素、表7に総揮発性有機化合物のガイダンス値を示す。

PM_{2.5} 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/m³ 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7)。

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表5 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 ³)	指針値 I (mg/m ³)	制定年
ホルムアルデヒド	0.12		1977 2006 再評価
トルエン	3	0.3	1996
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
ジオソシアネート	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 ₉ ~C ₁₄ 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 ³		2007
C ₄ ~C ₁₁ 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 ₉ -C ₁₅ 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

表 6 室内空気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 7 総揮発性有機化合物のガイダンス値

区分	濃度範囲 (mg/m ³)	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 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. 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 (PM₁₀、PM_{2.5}) 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、PM₁₀ 及び PM_{2.5} 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/m³ (2013年1月施行)、2023年1月に 10 µg/m³ に変更予定
- ・ベンゼン：長期曝露の指針値 5 µg/m³ (2013年1月施行)、2016年1月に 2 µg/m³ 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 8 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2007 年
	長期 VGAI (1 年以上)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
一酸化炭素	短期 VGAI		2007 年
	8 時間曝露	10 mg/m^3	
	1 時間曝露	30 mg/m^3	
	30 分曝露	60 mg/m^3	
	15 分曝露	100 mg/m^3	
ベンゼン	短期 VGAI: 1~14 日間	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2008 年
	中期 VGAI: 14 日~1 年間	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 一年間以上	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 ⁻⁶	0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 ⁻⁵	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ナフタレン	長期 VGAI: 一年間以上	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2009 年
トリクロロエチレン	中期 VGAI: 14 日~1 年間	800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2009 年
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 ⁻⁶	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル=10 ⁻⁵	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
テトラクロロエチレン	短期 VGAI: 1~14 日間	1380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2010 年
	長期 VGAI: 一年間以上	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM _{2.5} PM ₁₀	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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
アクロレイン	短期 VGAI: 1 時間	6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2014 年
	長期 VGAI: 一年間以上	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

4. カナダ保健省

1987年にカナダ保健省 (Department of National Health and Welfare Canada: DNHWC)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(DNHWC, 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9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（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、ラドン、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9 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100ppb)	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 mg/m^3 (10ppm) 短期 [1時間] : 28.6 mg/m^3 (25ppm)	2010年
二酸化窒素	長期 [24時間] : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm) 短期 [1時間] : 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.25ppm)	1987年
オゾン	長期 [8時間] : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20ppb)	2010年
トルエン	長期 [24時間] : 2.3 mg/m^3 (0.6ppm) 短期 [8時間] : 15 mg/m^3 (4.0ppm)	2011年

微小粒子状物質 (PM _{2.5})	カナダ保健省は、以下を勧告する。 室内の PM _{2.5} 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 mg/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

5. 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由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)。

最近では、スウェーデンが、国内でフタル酸エステル類に対する対策を強化するための提案を 2014 年 12 月に行っている。具体的には、EU レベルで特定の成形品（アクセサリ、グループ、バッグ、衣類、自動車、家具、スポーツ用品、靴、内装建材など）中の特定のフタル酸エステル類の含有量を REACH で規制するよう提案している。

6. イギリス住居法の住宅健康安全格付けシステム

18 世紀後半の産業革命により、イギリスでは都市部へ多くの労働者が流入した。その結果、都

市内の環境は著しく悪化し、労働者の多くが過密で非衛生な環境で生活していた。1847年にはイギリス全土でコレラが流行し、多数の死者が発生した。そのため、衛生状態の改善を目的として、世界で初めての公衆衛生法が1848年に制定された。その後イギリスでは、共同宿泊所法や労働階級宿泊所法など、住居そのものを規制する法律への変遷し、現在では、住宅の維持管理や不衛生住宅に関する規制を目的とした「住居法」を施行している(東, 2010)。

イギリスの住居法では、2004年に住宅健康安全格付けシステムが導入された。このシステムは、29のリスク要因に起こりうる疾病や傷害の階級に応じて自治体の担当官がリスク定性的に評価を行い、処置等を勧告するシステムである(ODPM, 2006)。表10にリスク要因、表11に疾病や傷害の階級を示す。これらのリスク要因は、アメリカ公衆衛生協会が1938年に出版した健康住宅の基本原則に基づいている。地方自治体の環境健康調査官は、各リスク要因が発生する可能性および各階級の可能性を評価し、その住宅の措置について判定を行う。判定に基づく通知に従わない場合の罰則規定があり、地方自治体に強固な措置権限が委ねられている。なお、このシステムは、2012年から米国にも展開がなされている。

表10 住宅健康安全格付けシステムの評価項目

分類	評価項目
生理的	寒さ、湿気やかび、熱、アスベストと人造鉱物繊維 殺生剤、一酸化炭素、鉛、放射線、燃焼させない燃料、 揮発性有機化合物(VOCs)
心理的	過密性・空間、外部からの侵入、照明、騒音
感染	庭内の衛生状態、食品安全性、個人の衛生状態、給水
安全性	浴室での転倒、転倒（各階の床面、階段、各階間）、 電気的な有害性、火災、表面の熱、衝突/畏、 アメニティ（生活を便利に楽しくするもの）の位置や操作性、 爆発の危険、構造的な倒壊の危険性

表11 住宅健康安全格付けシステムにおける疾病や傷害の階級

階級	疾病や傷害
クラス1	死亡、肺がん、中皮腫およびその他の悪性肺腫瘍、首下の永久麻痺、重症肺炎、 恒久的な意識消失、80%の火傷
クラス2	心肺の疾病、喘息；悪性でない呼吸器系の疾病、鉛中毒、アナフィラキシーショ ック、クリプトスポリジウム症、レジオネラ症、心筋梗塞、軽度の脳卒中、慢性 の意識混濁、通常の高熱の発熱、手や足の喪失、重い骨折、重い火傷、何日間か の意識消失
クラス3	眼の疾患、鼻炎、高血圧症、睡眠障害、神経心理学的障害、シックビルディング 症候群、通常あるいは持続性の皮膚炎（接触性皮膚炎を含む）、アレルギー、胃 腸炎、下痢、嘔吐、慢性的な重度ストレス、軽度の心臓発作、悪性だが治療可能 な皮膚がん、指の喪失、頭蓋骨骨折および重度の脳しんとう、頭部や体への重い 刺創、重度の手の火傷、重い過労や運動過多損傷、通常あるいは重度の偏頭痛
クラス4	胸膜プラーク、時折発生する重度の不安、良性腫瘍、時折発生する軽度の肺炎、 骨折した指、軽い脳しんとう、顔や体への中程度の切り傷、体への重度の打撲、 通常の高い咳や風邪

7. 厚生労働省の室内空気汚染対策

日本では 1990 年代に入り、居住環境に起因する健康影響の問題として、いわゆるシックハウス問題が懸念されており、その中でも特に化学物質による室内空気汚染の問題が指摘されてきた。そこで厚生労働省は、1997 年にホルムアルデヒドの室内濃度指針値を策定した。また、揮発性有機化合物（VOC）に関する全国規模の実態調査を行い、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。こ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（表 1 2）。

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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	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	870 (0.2)	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	220 (0.02)	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	120 (0.0076)	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

() 内は 25℃換算時の体積濃度 ppm

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あること、準揮発性有機化合物（SVOC）の概念が出てきたこと、細菌由来の揮発性有機化合物（MVOC）類が検出されていること、WHO の空気質ガイドライン等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を再開した(厚生労働省, 2012)。

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に係る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内における揮発性有機化合物の実態調査を実施している。そして、表 1 3 に示す指針値の見直し案とそのスキーム案（図 2）を提案している(厚生労働省, 2013)。

表 1 3 室内濃度指針値の見直し方法（案）

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	1) WHO の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。 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。 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。
(2) 指針値の設定手順	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。
(3) 総揮発性有機化合物（TVOC）の暫定目標値について	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。
(4) その他の課題	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。

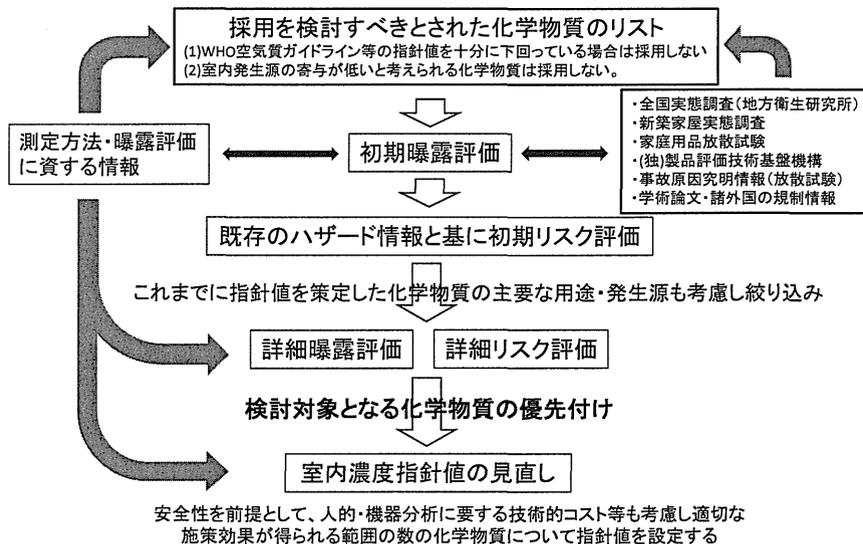


図 1 室内濃度指針値見直しスキーム（案）

2000年から2002年にかけて指針値を策定した際の指針値設定対象物質の選定基準は、以下の6項目であった(厚生省, 2000)。(1) WHO などにより気中濃度のガイドラインが提示されている。(2) 全国調査の結果から室内濃度が高く、その理由が室内の発生源によると考えられる。(3) パブリックコメントから特に要望があった。(4) 外国で新たな規制がかけられたこと等の理由により早急に指針値の策定を考慮する必要がある。(5) 主要な用途からみて万遍なく網羅している。(6) 主要な構造分類からみて万遍なく網羅している。この基準では、化学物質のリスクの大きさが十分考慮されていなかった。しかし1995年以降、室内空気汚染による健康被害の問題が社会的に大きくなる中、厚生労働省は、化学物質による健康被害を生じさせないうえで望ましいと判断された値を早急に策定する必要がある。そこで、全国調査の結果から室内濃度が比較的高く、室内に発生源があると考えられる物質に、諸外国における既存の規制等を指標として指針値が策定された。この施策の結果として、多くの化学物質の室内濃度が低下し、シックハウスの問題は大きく改善された。但し、その後約10年が経過して新たな課題が生じてきたことから、リスク評価による優先付けを取り入れて、より一層の改善を行うよう検討を進めている。

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 naphtalène. 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.
- 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.
- 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 (PM2.5) IN RESIDENTIAL INDOOR AIR.
- 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 (2015) Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte. available at <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte>, accessed at 27 January 2015.
- National Toxicology Program (2010) Report on Carcinogens Background Document for Formaldehyde, Research Triangle Park, NC.
- Office of the Deputy Prime Minister (2006) Housing Health and Safety Rating System: Operating Guidance, ODPM Publications, Wetherby, UK.
- 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.
- 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 Headquarters (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 (2013) WHO Housing and health guidelines. Public Health and Environment e-News, WHO Geneva, July 2013.

WHO (2014) WHO guidelines for indoor air quality: household fuel combustion. World Health Organization, Geneva.

東 賢一 (2010) 第4章医学からみた住環境. 住居医学(IV), 米田出版:14-18

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.

厚生省 (2000) シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会中間報告書-第1回~第3回のまとめ, 平成12年6月26日.

厚生労働省 (2012) シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会の開催について. 第11回シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会配付資料, 平成24年9月28日.

厚生労働省 (2013) 室内空気中化学物質の指針値の見直しの仕方等について (案). 第17回シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会配付資料, 平成25年8月1日.

VOC、MVOC、SVOC 分析法、代謝物を用いた生物学的モニタリング 方法の評価に関する研究

研究分担者 河合俊夫 中央労働災害防止協会 上席専門役

研究要旨

市町村の学校、集合住宅の新築ではホルムアルデヒド、トルエンなど 7 種類のシックハウス関連物質が測定されている。最近の動向を住宅リフォーム紛争処理センターのシックハウス関連相談件数で見ると 2012 年度は 104 件であり、新築よりも家のリフォーム時に多く見られている。我々が実施した住宅環境調査（2005、2006 年）ではトルエン、ホルムアルデヒドなど 7 種類以外にヘキシルアルデヒド、 α ピネン、リモネンなども検出された。測定値の管理には指針値が示されているがこれらの無い物質については管理する値として平均値と標準偏差を用いて各分布の 95% 上限値を計算する方法を提案した。その結果はホルムアルデヒド $92.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒド $47.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトン $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ヘキシルアルデヒド $24.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が得られ、トルエンは $28.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 α ピネンは $93.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、リモネンは $48.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と計算された。MVOC は 8 種類を測定し平均値の高い物質は 1-ペンタノール ($0.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。個人曝露サンプラーとして大きさ 2.2cm^3 、重さ 1.5g を作成した。サンプラーの性能は定量下限値、24 時間の捕集で $1\text{ppb} \sim 47\text{ppb}$ まで測定可能であり、測定種類はアルデヒド類 3 種類、VOC12 種類である。個人曝露サンプラーで測定された 22 名の曝露濃度は住宅環境で測定した値よりも VOC は高い濃度の傾向を示し、ベンゼンは約 3 倍あった。アルデヒド類は室内濃度と変わらない。シックハウスに関連する生物学的モニタリングの種類には血液、尿中のフタル酸エステル類、リン酸トリエステル類の報告が見られる。尿中のフタル酸エステル類は分析によりすべてが無水フタル酸となることが明らかになり、この値はすべてのフタル酸エステル類の合計と関連する。最も低い DEHP の NOAEL を用いて無水フタル酸の生物学的曝露指標を計算すると $130 \mu\text{g}/\text{gCr}$ となる。尿中 2-エチル-1-ヘキサノールは生物学的許容値として $0.08 \mu\text{g}/\text{mL}$ となる。ベンゼンの曝露の最大値は $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4.1ppb) でありこの濃度に対応する t, t-ムコン酸濃度は $60 \mu\text{g}/\text{L}$ となった。

A. 研究目的

保健所の市民相談者、職場、学校でシックハウスあるいはシックビルディング問題に対応される方および、一般医、住宅関係産業の方々の参考になるマニュアルの作成。26 年度の報告は蓄積されている研

究データを用い VOC (Volatile Organic Compounds : 揮発性有機化合物) 、MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds : 微生物由来揮発性有機化合物) 、SVOC (Semi Volatile Organic Compounds : 半揮発性有機化合物) について

捕集・分析法の確認とこれらを用いた調査結果から新たに得られた内容を解析し、マニュアルに必要な記載事項を見つける。またシックハウス（シックスクール）等や軽度の自覚症状の原因調査としての個人曝露測定用のサンプラーの有用性を確認した。生物学的モニタリングではシックハウスなどの低濃度曝露での応用が可能であるかを事例から検討した。

B. 研究方法

研究資料としては1) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会の報告書。2) 厚生労働科学研究として「シックハウス症候群ならびに室内空気質と健康問題に関わる全国規模の疫学」研究報告書からは2005、2006年度に札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州地区で調査測定された寝室と居間の室内濃度データを再解析した。またこの調査では、開発された超計量、小型の個人用サンプラーの測定事例を検討した。3) 「可塑剤・難燃剤の曝露評価手法の開発と小児アレルギー・リスク評価への応用」の中の可塑剤・難燃剤の環境曝露評価および尿中代謝物測定による生体曝露評価手法の開発の報告書を用いた。

（倫理面への配慮）

データは個人や、場所を特定できる表記を使用せずデータのグループでの統計処理である。すでに報告されたデータを用いる。

C. 研究結果

1. 室内空气中化学物質分析方法

環境中のVOC、MVOC、SVOCの分析方法の確認は厚生労働科学研究として2) シック

ハウス症候群ならびに「室内空気質と健康問題に関わる全国規模の疫学研究の調査」報告書に示されている方法と1) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会の報告書に示されている方法および3)

「可塑剤・難燃剤の曝露評価手法の開発と小児アレルギー・リスク評価への応用」の中の可塑剤・難燃剤の環境曝露評価および尿中代謝物測定による生体曝露評価手法の開発の」報告書を記載する。これらの報告には分析バリデーションとして1) 真度 (Accuracy/Trueness) 2) 精度 (Precision) 3) 特異性 (Specificity) 4) 検出限界 (Detection limit) 5) 定量限界 (Quantitation limit) 6) 直線性 (Linearity) 7) 範囲 (Range) などがまとめられている。

2. 室内空気濃度と評価

2005年と2006年に実施した札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州の居間と寝室のアルデヒド類15種類の535室濃度の平均値と標準偏差および検出数と最大値を表1に示した。15種類で室内検出された主なアルデヒド類はホルムアルデヒド、アセトン、アセトアルデヒドの3種類でその濃度も他の濃度に比べて高い値である。また検出率も高い。ヘキシルアルデヒド（建材の防腐剤：目、呼吸器、皮膚への刺激性）も検出されているが平均濃度、最大値（ $24.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は上記3種類に比べて低い。測定されたホルムアルデヒドのヒストグラフを示す（図1）分布は $20\sim 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に最大ピークを示す。

15種類のアルデヒドの間で関連が認められたのはホルムアルデヒドとアセトア

デヒド（相関係数 0.445）の間であった。アセトンはいずれのアルデヒドとも関連を認めていない。

次に平均値と標準偏差を用いて各分布の 95% 上限値を計算した。ホルムアルデヒドは $92.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドは $47.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトンは $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった（表 1）。ヘキシルアルデヒドは $24.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

VOC の測定は 32 種類の物質について測定した。測定された居間寝室の合計は 533 室である。表 2 に 32 物質の平均値、標準偏差、最大値、検出数を示した。32 物質で平均濃度が高い順から並べると、 α ピネン > パラジクロルベンゼン > リモネン > トルエン > n-デカン > エチルアセテート > n-ウンデカンであり、平均値が $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。 α ピネン、リモネンは、木に含まれる物質であるが芳香剤・消臭剤としても使用されている。パラジクロルベンゼンは服の防虫剤として使用されている。これらは人が住居に持ち込む場合が少なくない。パラジクロルベンゼンのヒストグラムを示す（図 2）。高濃度域にもピークが見られる。平均濃度は低いが一部の住居で高濃度検出された物質として n-ヘプタン ($339 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、ブチルアセテート ($242 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、n-オクタン ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) がある（表 2）。工業用キシレンにはエチルベンゼンが含有されている。住居の測定でも関連が見られる（図 3）。エチルベンゼンは 2012 年に有機溶剤から特定化学物質になっている。生殖毒性と IARC 区分（国際がん研究機関）でグループ 2B（人に対する発がん性が疑われるに分類される物質）である。その他、キシレンと 1, 2, 4-トリメ

チルベンゼン（刺激臭のする無色の可燃性液体）に関連が見られる（図 4）。ノナン（皮膚刺激性）1, 2, 4-トリメチルベンゼン（図 5）は高い関連を示す。

次に平均値と標準偏差を用いて各分布の 95% 上限値を計算した。トルエンは $28.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 α ピネンは $93.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、リモネンは $48.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。

3. MVOC 評価

MVOC としてケトン類（3 種類）、2-ヘキサン、3-オクタン、2-ヘプタン、アルコール類（5 種類）3-メチル-1-ブタノール、2-ペンタノール、1-オクテン-3-オール、3-オクタノール、1-ペンタノールの捕集と分析方法を報告している（荒木論文）。8 種類の MVOC と VOC32 物質を同時に分析できる分析条件を開発した。この方法の開発に伴い捕集剤からの抽出条件を二硫化炭素とイソプロピルアルコール、を用いると、すべての捕集物質の脱着率は良好であった（94%以上）。札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州の居間と寝室の MVOC 8 種類の 208 室濃度の平均値と標準偏差および検出数と最大値を表 3 に示した。平均値はいずれも $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満である。3-メチル-1-ブタノールは最大値 $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1-ペンタノールは $12.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり検出数も他の MVOC に比べて多い。3-オクタノールは検出されなかった。MVOC は室内の細菌などによって化学物質が変化（酸化、還元、加水分解等）することにより、新たに作られた化学物質であるので元の物質（前駆体）の存在を確認する必要がある。2-ヘキサンはヘキサン、3-オクタンはオクタン、2-ヘプタンはヘプタン、3-メチル-1-ブタノールは 3-メチルブタン、2-ペンタノールはペンタン、1-オクテン-3-オールはオクテン、3-

オクタールはオクタン、1-ペンタールはペンタンなどが考えられる。前駆体オクタンと3-オクタンとの関係を示す高い関連が見られる（図6）。

4. 個人曝露測定サンプラー

捕集は拡散方式で、捕集剤は活性炭とDNPH（2,4-ジニトロフェニルヒドラジン）含浸シリカゲルが数ミリグラム含有されている。形、大きさはどちらも同じタイプで、長さ2cm×直径1.1cm、重さは1.5gである。活性炭で捕集される有機化合物で検討された物質は、

メチルエチルケトン(1.2, 1.4, 5.7)、
1-ブタール(0.7, 0.7, 2.7)、
ベンゼン(4.5, 2.6, 13.1)、
トルエン(31.6, 41.3, 163.9)、
エチルベンゼン(54.5, 207.4, 981.9)、
m/p-キシレン(38.1, 84.2, 390.6)、
o-キシレン(13.2, 21.1, 88.7)、
スチレン(0.6, 0.7, 2.8)、
ピネン(26.4, 46.3, 174.8)、
パラジクロロベンゼン(88.6, 330.7, 1541.2)、
2-エチル-1-ヘキサール(2.6, 1.3, 5.7)、
リモネン(26.3, 40.1, 129.2)

で、曝露濃度の測定が可能である。DNPH含浸シリカゲルで捕集される有機化学物の捕集速度は、ホルムアルデヒド(26.8, 16.0, 63.6)、アセトアルデヒド(24.5, 18.8, 97.0)、アセトン(30.6, 34.3, 176.9)の曝露評価が出来る。()内は22例中の平均値 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、標準偏差、最大値を示している。サンプラーを一日(24時間)捕集した場合のこれらの有機化合物の曝露定量下限濃度は1ppb~47ppbとなり低濃度まで測定が可能である(写真1)。

5. 生物学的モニタリング

生物学的モニタリング検査は労働衛生の分野で活用されている。評価方法は生体試料の分析濃度から曝露濃度を予測することが主である。症状との関連で決められた生物学的評価値は少ない。シックハウス等の曝露は労働現場に比べて低濃度である。たとえばトルエンについて管理濃度は20ppmが示され、その曝露指標としては尿中トルエンが良いとされているが評価できるのは数ppmまでとされている。シック等の指針値は0.07ppm($260\mu\text{g}/\text{m}^3$)である。

最近、生物学的モニタリング検査として、血液、尿中のフタル酸エステル類、リン酸トリエステル類が測定され、症状との関連が報告されている。3)可塑剤・難燃剤の曝露評価手法の開発と小児アレルギー・リスク評価への応用の中の可塑剤・難燃剤の環境曝露評価および尿中代謝物測定による生体曝露評価手法の開発ではフタル酸エステル類5種類の代謝物質8種類(フタル酸酸モノエステル)とリン酸トリエステル3種類の代謝物質(リン酸ジエステル)を同時にできる分析方法を報告している。また尿中無水フタル酸や尿中2-エチル-1-ヘキサールの分析方法も開発した。図7に尿中無水フタル酸のヒストグラフを示す。すべての種類のモノフタル酸エステルはGC/MS分析時に注入口温度(280°C)で尿中無水フタル酸になることを明らかにした。その結果、無水フタル酸はモノフタル酸類の合計と高い相関があることを明らかにした(図8)。この結果は、無水フタル酸がフタル酸エステル類の混合曝露の曝露指標になり得ることを示している。そ