

らも、複合曝露のリスク評価を行うには解明すべき課題が残されている。

今後、我が国で複合曝露のリスク評価スキームを開発するにあたり、代謝酵素活性や代謝産物の影響など、低濃度化学物質の複合曝露による毒性発現のメカニズムに関する研究が必要である。

4. 代替物質のリスク予防策

総量規制は室内空気質ガイドラインが策定されていない化学物質への置き換えによるリスクを生じさせない1つの手段である。これについての課題はすでに述べた。諸外国において、総量規制以外に代替物質のリスクを予防する明確な取り組みは見あたらなかった。関係諸機関に対する問い合わせでも明確な回答は得られなかった。基本的な考え方として、総量規制の取り組みに含めて検討すべき課題であると考えられる。

5. 高感受性集団の個人差を考慮したアセスメント

ドイツ連邦環境庁は、大人と子どもの違いを考慮した場合、室内空気に関しては、子どもは大人よりも体重あたりの呼吸量が多いことから、現在一般的に使用されている同種間係数10に2を掛けた20を使用している。この不確実係数2は、大人と子どもの呼吸量の差を考慮したものであって、化学物質への感受性の個人差を考慮したものではない。

ドイツ連邦環境庁は、最も脆弱度が高い年齢群であっても、個体間の差を適正に考慮した対応が確実に取られるためには、現在一般的に使用されている同種間係数10は適正であるとしている。

近年、アレルギー性疾患の有症率の高さが報告されている。日本の厚生労働省が実施した全国調査によると、アレルギー様症状の有症率は

1991年42.1%、2003年35.9%であった。しかし、汚染要因に対する感受性の個人差は明らかではない。

ドイツとフィンランドは、室内空気質ガイドラインにおいて、これらの個人差を考慮している。現時点では、薬物動態学や薬物動力学などの毒性学的な見地からではなく、概念的に室内空気質ガイドラインを複数に分類している。

例えばドイツは、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室内空気質ガイドラインRW IIと、さらに不確実係数10を除いたRW Iを定めている。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。しかしながら、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。

フィンランドは、室内空気質ガイドラインにおいて、高齢者およびアレルギーや呼吸器系疾患等を有する居住者の目標を満たす水準と定義した室内空気質ガイドラインを別途定めている。

我が国の室内濃度指針値は、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ている。クロルピリホスの指針値は、子どもの影響に関して信頼できる科学的知見が存在した。そのため、同種間係数10を追加した子どもの指針値が策定された。

今後、アレルギー性疾患の有症率の高さや体重当たりの大人と子どもの呼吸量の差を考慮した不確実係数を検討し、室内濃度指針値に反映させる必要がある。

E. 結論

室内空気質規制における健康リスク評価について、諸外国の取り組み状況と課題を調査した。さらに、日本の室内空気質規制の現状と課

題を整理し、諸外国と対比した。本研究で得た今後の研究課題を以下に示す。

- 1) 室内空気汚染物質のリスクスクリーニング。
- 2) 室内空気汚染物質の毒性データベースの充実。
- 3) 室内空気汚染物質の室内挙動に関する研究およびその挙動を考慮した室内空気質リスク評価スキームの開発。
- 4) 政策決定プロセスにおけるリスクコミュニケーションの導入。
- 5) 汚染物質の総放散量を抑制し、部材に特異的な放散物質の放散基準を定めたラベリングの充実と建材以外への対象部材の拡大。
- 6) 生物学的要因等の住まい方が関与する汚染物質の室内空気質ガイドラインの検討。
- 7) 低濃度化学物質の複合曝露による毒性発現メカニズムおよびリスク評価スキームの研究。
- 8) 高感受性集団の個人差や大人と子どもの呼吸量の差を考慮した室内濃度指針値策定スキームの開発。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Azuma K., Uchiyama I. and Ikeda K.: The Regulations for Indoor Air Pollution in Japan, *Journal of Risk Research*, (submitted)

2. 学会発表

- 1) Azuma K., Uchiyama I. and Ikeda K.: The Regulations for Indoor Air Pollution in Japan –A public health perspective-, *2nd WHO International Housing and Health Symposium*, Vilnius, Lithuania, September 29th -October 1st, 2004
- 2) Azuma K., Uchiyama I. and Ikeda K.: The risk management for indoor air pollution caused by formaldehyde in housing: the historical perspectives on early warnings and actions, *The 10th International*

Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air 2005, Beijing, China, September 4th -September 9th, 2005 (submitted)

G. 知的所有権の取得状況

なし

表1 諸外国の室内空気質ガイドライン

国、組織	室内空気質ガイドライン値の設定状況				
	HCHO	個別VOCs	TVOC	ラドン	その他
WHO本部	*	*	n.a.	n.a.	アセトアルデヒド、ベンゾ-a-ピレン、ニコチン、水銀、防虫剤など
WHO欧州	*	*	n.a.	*	ベンゾ-a-ピレン、アスベスト、水銀、セラミック繊維など
欧州連合	INDEXプロジェクトで検討中				
イギリス	*	n.a.	+	n.a.	ベンゼン、ベンゾ[a]ピレン
イタリア	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
エストニア	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
オーストリア	農林・環境・水資源管理省で検討中				
オランダ	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
スイス	*	n.a.	n.a.	n.a.	ポリ塩化ビフェニル
スウェーデン	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
スペイン	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
スロベニア	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
スロバキア共和国	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
チェコ共和国	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
デンマーク	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ドイツ	**	**	***	n.a.	防腐剤、水銀、防虫剤、難燃剤、テルペンなど
ノルウェー	*	n.a.	n.a.	*	アスベスト、人工鉱物繊維、ニコチン、ハウスダスト
フィンランド(FISIAQ)	***	n.a.	***	*	アンモニア、臭気強度
フランス	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ブルガリア	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ベルギー	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ポーランド	*	*	*	n.a.	防腐剤、アンモニア、フタル酸ジブチル、水銀、クレゾールなど
ポルトガル	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
リトアニア	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ロシア連邦	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
中国	*	*	*	*	アンモニア、ベンゾ-a-ピレン細菌
中国(香港)	**	*	**	*	細菌
シンガポール	*	n.a.	*	n.a.	細菌、カビ
韓国	*	n.a.	*	*	細菌、アスベスト、オゾンなど
日本	*	*	*	n.a.	アセトアルデヒド、フタル酸-2-エチルヘキシル、防蟻剤、防虫剤など
アメリカ	*(CA)	n.a.	n.a.	*	クロルデン(NAS)
カナダ	**	n.a.	n.a.	*	n.a.
オーストラリア	*	n.a.	*	*	硫酸塩

*: 1種類のガイドライン値 ** : 2種類のガイドライン値 ***: 3種類のガイドライン値
n.a.: ガイドライン値なし

+ : 概念を提示(1mg/m³以上の濃度と感覚や刺激の症状が報告された場合は汚染源調査と対策を実行すべきであることは明白)

FISIAQ: 室内空気質気候学会 PB: パーティクルボード UFFI: ユリア樹脂系発泡断熱材
CA: カリフォルニア州 NAS: 国立科学アカデミー

表2 諸外国のラベリング

国	機関	規格、法律	対象部材	放散基準設定物質			
				HCHO	個別VOCs	TVOC	その他
アメリカ	グリーンガード研究所(GEI)	GREENGUARD™	一般建材、床材、接着、壁紙、塗料、天井材、断熱材、消費者製品	*	*	*	全アルデヒド、PM10
			オフィス家具、 オフィス機器、電気製品、繊維製品、清掃用品	*	*	*	全アルデヒド 全アルデヒド、オゾン、PM10、粉じん
	カーペット・ラグ協会(CRI)	Green Label	カーペット、クッション、接着剤	*	*	*	
		Green Label Plus	カーペット	*	*	*	ナフタレン
カナダ	環境省の環境選択プログラム(ECP)	EcoLogo	竹及び他の木質代替床材	*	n.a.	*	
			カーペット	*	n.a.	*	
			繊維製床仕上げ材	*	*	*	
			可動間仕切り、オフィス家具等	*	n.a.	*	
			コピー機	n.a.	n.a.	*	オゾン、粉じん
ドイツ	商品安全・表示協会(RAL)、連邦環境庁	RAL	布張り家具	*	n.a.	*	全アルデヒド、SVOC、※AgBBスキーム
			床用接着剤	*	*	*	SVOC、※AgBBスキーム
			合板、繊維板、木質ボード	*	*	n.a.	
			室内用木質製品(家具、ドア、パネル、フローリング)	*	n.a.	*	CMT物質
			壁用塗料	*	n.a.	n.a.	
			壁紙	*	n.a.	*	芳香族TEX
	環境配慮カーペット協会	Gut	カーペット、カーペット用接着剤	*	*	*	SVOC、※AgBBスキーム
GEV	EMICODE	床用製品(接着剤、レベリング剤、タイル、モルタル、下塗り剤)	n.a.	n.a.	*	発がん性物質	
フィンランド	建築情報財団(RTS)	RTS	壁材、床材、塗料、接着剤等	*	*	*	発がん性物質、臭気試験
スκανジナピア諸国	エコラベリング・ノルウェー	Nordic Swan Label	フローリング	*	n.a.	n.a.	
			接着剤	n.a.	n.a.	*	
			壁装材料	*	n.a.	n.a.	
デンマーク、ノルウェー	デンマーク室内気候協会(DSIC)、ノルウェー室内気候フォーラム(NFIC)	THE INDOOR CLIMATE LABEL	室内ドア、折り畳み式間仕切り、天井・壁システム、床材、木質系床タイル、窓、外装ドア、キッチン、浴室、洋服収納棚、カーペット	n.a.	*	*個別のVOCsのリスクを総計	粒子状物質、臭気試験
日本	農林水産省	JAS	合板、構造パネル、フローリング、積層板、構造用積層板、集成材、構造用集成材	*	n.a.	n.a.	
	経済産業省	JIS	繊維板、パーティクルボード、壁紙、火山性ガラス質複層板、接着剤、保温材、断熱材、塗料、塗材	*	n.a.	n.a.	
	全国家具工業連合会	室内環境配慮マーク	家具に使用する材料(木質建材、接着剤、塗料)	*	n.a.	n.a.	
	壁紙製品規格協議会	SV	壁紙	*	n.a.	*	芳香族TEX
	壁装材料協会	ISM	壁紙、カーテン、カーペット内装塗料、壁張り接着剤	*	n.a.	*	
	ベターリビング	BL認定基準	木質系内装部品	*	n.a.	n.a.	

注) HCHO:ホルムアルデヒド SVOC:半揮発性有機化合物 TVOC:総揮発性有機化合物 VOCs:揮発性有機化合物
PM10:粒子状物質 CMT物質:発がん性、変異原性、催奇形性を示す物質 芳香族TEX(トルエン、エチルベンゼン、キシレン)

調査資料のまとめ

1. 室内空気質のリスクアセスメントの基本概念と課題

我々は、生活時間の90%以上を室内空気中で過ごしている。また、室内空気中には人の健康に影響するさまざまな有害因子がある。その主なものは、喫煙・燃焼器具などの居住者の生活行為、ホルムアルデヒドや揮発性有機化合物などを放散する建材や家具などである。これらの汚染源によるリスクをアセスメント（影響評価）し、必要に応じて適切なリスクマネジメント（リスク管理）を選択しなければならない。また、これらのリスクアセスメントやリスクマネジメントの過程において、汚染物質による影響を被る一般市民、建築に携わる設計者や施工者等が参加したリスクコミュニケーションが不可欠である。

多数の室内空気汚染物質によるリスクが存在する中で、実際の生活環境におけるリスクの程度を評価しなければならない。リスクアセスメントは、1983年にアメリカ国立科学アカデミー(U.S. National Academy of Sciences: NAS)とアメリカ学術研究会議(National Research Council: NRC 1983)が開発した基本原則が欧米諸国のリスクアセスメントのモデルとなっている。この原則は、アメリカ環境保護庁が採用し、欧州共同体委員会(Commission of the European Communities: CEC)の委員会指令 93/67/EEC (CSC 1993)で参考にされている。

室内空気質のリスクアセスメントに関しては、欧州委員会共同研究センター(Joint Research Center: JRC)の研究プロジェクト(欧州共同研究, European Collaborative Action: ECA 2000)が2000年に報告書を公表している。この報告書にある室内空気質リスクアセスメントの枠組みは、委員会指令 93/67/EEC (CSC 1993)を採用している。表1-1に欧米のリスクアセスメントの枠組みを示す。

表1-1 欧米のリスクアセスメントの枠組み (ECA 2000)

	委員会指令 93/67/EEC	NAS/NRC 1983
有害性の同定	物質固有の有害影響の同定	人の健康に対する化学的な有害影響の決定
用量/反応アセスメント	用量や曝露レベル/有害影響の発生率や重症度の関係の概算	曝露レベル/有害影響の発生可能性の間の関係の決定
曝露アセスメント	人の曝露量を概算するためのパラメータの決定 (排出量、曝露経路、移動率、反応、分解)	曝露の程度の決定
リスクの判定	人の健康に生じる可能性のある有害影響の発生率や重症度の概算	不確実性を含むリスクの規模と種類の記述

表1-1の枠組みは、リスクアセスメントの一般的な概念である。室内空気質のリスクアセスメントは、この基本概念に基づき実施される。しかしながら、室内空気質のリスクアセスメントに特徴的な性質や課題がある。図1-1には、アメリカ学術研究会議(National Research Council: NRC 1985)が公表した汚染物質の排出と健康影響の関係を考慮する際の枠組みを示す。

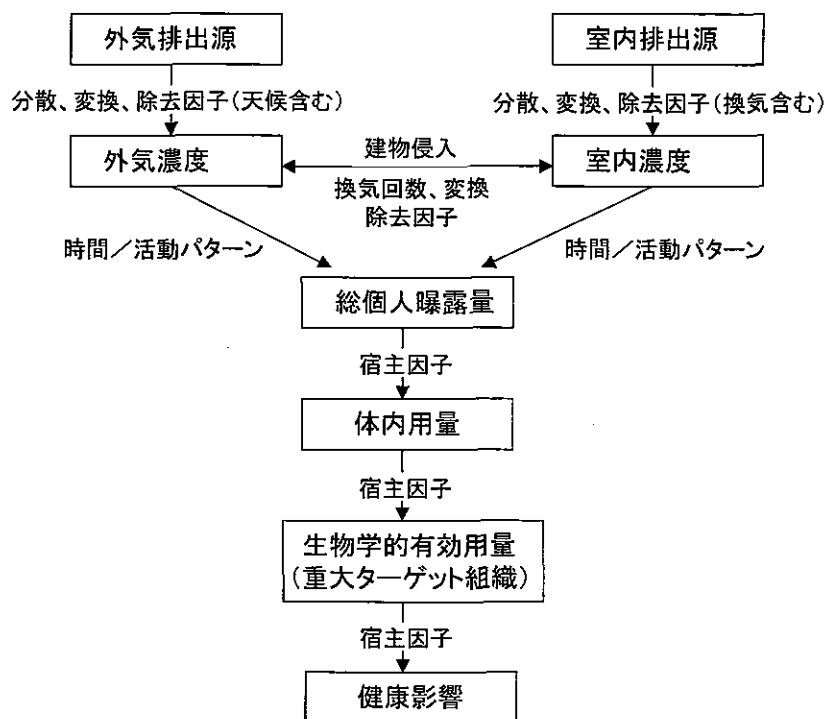


図 1-1 汚染物質の排出と健康影響の関係を考慮する際の枠組み(NRC 1985)

1999年にアメリカの Sciences International 社の Anderson らが室内空気質のリスク評価 (Risk Assessment and Indoor Air Quality) という書籍を出版した (Anderson et al 1999)。Anderson は、アメリカ環境保護庁 (USEPA) で 20 年以上にわたりリスクアセスメントの研究に従事し、USEPA の規制プログラムにおいてリスクアセスメントを所管してきたこの分野の専門家である。この書籍は、室内空気質のリスクアセスメントに関して、その特徴、適用方法、限界や課題等が膨大な文献調査に基づき解説されている。我が国で室内空気質のリスクアセスメントを解説した書籍はない。そこで内山と池田らは、この書籍を和訳し国内で出版した (内山ら 2004)。この書籍の情報と、我々の調査による知見をもとに、室内空気質のリスクアセスメントの特徴と課題について以下に概説したい。

1. 1. 特徴的な室内空気汚染物質の有害性

アメリカ環境保護庁 (USEPA 1989) が、室内空気中の汚染物質と汚染源およびその健康影響に関する基本情報を提供している。表 1-2 にその概要を示す。このような情報は、室内空気質のリスクに関連する汚染物質とその汚染源や健康影響の確認の際に有用となる。世界保健機関 (WHO Headquarters 2000) も空気質ガイドラインの中で、汚染物質と汚染源に関する情報を提供している。表 1-3 にその概要を示す。

表 1-2 室内空気の汚染物質とその汚染源および健康影響 (USEPA 1989)

室内空気汚染物質	汚染源	健康影響
環境たばこ煙	喫煙	発がん、粘膜刺激、慢性および急性呼吸器系影響、循環器系影響、感染症
微生物汚染 (ウイルス、微生物、カビ、害虫およびクモ類、花粉、動物と人間のふけ)	外気、人間、動物 (高湿建物地域はいくつかのものを増大させる)	アレルギー反応、毒性影響
揮発性有機化合物 (VOCs)	塗料、染色液、接着剤、染料、溶剤、コーキング剤、洗剤、殺虫剤、建材、事務機器	刺激、神経毒性影響、肝毒性影響、発がん
ホルムアルデヒド (VOCs の一種)	環境たばこ煙、断熱材、パーティクルボード、合板、家具、室内装飾類	刺激、アレルギー、発がん
多環芳香族炭化水素 (PAHs)	環境たばこ煙、燃焼暖房機、薪ストーブ	発がん、刺激、循環器系影響、動物実験データは抗体機能の低下とアチローム性動脈硬化を示唆している
殺虫剤	室内外の殺虫剤散布	神経毒性、肝機能障害、生殖影響
アスベスト	アスベストセメント、断熱材、他の建材	アスベスト障害、発がん
一酸化炭素	燃焼器具、環境たばこ煙、排気ガス	狭心症の頻度の増加と重篤度化、健全な成人の作業能力低下、健全な成人の頭痛、注意力の低下、インフルエンザ様症状、患者の呼吸循環器系障害の悪化、窒息
二酸化窒素	燃焼器具、環境たばこ煙	喘息患者の呼吸機能低下、動物の易感染症の増加、子供や、おそらく成人の呼吸器機能の影響、動物における他の汚染物質との複合影響、動物における抗体反応能力の低下、肺の形態と機能の変化
二酸化硫黄	硫黄含有燃料の燃焼	喘息患者の肺機能の低下 (気道抵抗の増加と粒子状物質の複合影響)、動物における肺機能の低下
粒子状物質	燃焼器具、環境たばこ煙	発がん (粒子の吸着された煤煙と多環芳香族炭化水素)、呼吸器組織と目の刺激、単独および二酸化硫黄との複合による肺機能の低下
ラドン	土壌、地下水、いくつかの建材	発がん
発じん、調理によるエアロゾル	個人活動	不定 (刺激から発がんまでの可能性あり)

表1-3 先進工業国における主要な空気汚染物質と汚染源 (WHO Headquarters 2000)

場所	主要な空気汚染物質	汚染源
大気	二酸化硫黄	燃料燃焼、製錬所
	浮遊粒子状物質(SPM)	
	オゾン	光化学反応
	花粉	森林、草木、雑草、植物
	鉛(Pb)、マンガン(Mn)	自動車
	鉛(Pb)、カドミウム(Cd)	産業排出物
	VOC, PAH	石油系溶剤、燃料の揮発
大気及び 室内	窒素酸化物(NOx)	燃料燃焼
	一酸化炭素	
	二酸化炭素	燃料燃焼、新陳代謝活動
	浮遊粒子状物質(SPM)	間接喫煙(ETS)、再浮遊物、揮発物や燃焼物が凝縮
	水蒸気	生物活動、燃焼、蒸発
	揮発性有機化合物(VOCs)	揮発、燃料燃焼、塗料、新陳代謝活動、農薬、殺虫剤、殺菌剤
	孢子	細菌、カビ
室内	ラドン	土壌、建築材料、水
	ホルムアルデヒド	断熱材、家具、間接喫煙(ETS)
	アスベスト	難燃材、不燃材、断熱材
	アンモニア	クリーニング用品、新陳代謝活動
	多環芳香族炭化水素(PAHs)、ヒ素 ニコチン、アクロレイン	間接喫煙 (ETS)
	揮発性有機化合物(VOCs)	接着剤、溶剤、調理、化粧品
	水銀	殺菌剤、塗料、水銀含有製品の破損
	煙霧質	家庭用品、ハウスダスト
	アレルゲン	ハウスダスト、動物のふけ、有機体への感染

室内空気汚染物質として、燃焼式の調理器具や暖房器具から排出される、いわば化石燃料の燃焼に伴い発生する一酸化炭素、二酸化炭素、二酸化硫黄、粒子状物質、多環芳香族炭化水素(PAHs)がある。これらの汚染物質は、喫煙行為により空気中に放散されるたばこの煙も汚染源となる。次に、建物に使用される建材や家具、生活用品などから放散されるホルムアルデヒド、揮発性有機化合物がある。シロアリ防除や衛生害虫の駆除に使用される殺虫剤散布も室内空気汚染物質となりうる。自然の土壌や岩石に含まれるラドンが室内に放散され、その濃度が上昇して室内を汚染することもある。室内空気汚染物質は、化学物質だけではない。家屋の内部に発生したカビやハウスダスト、屋外から持ち込まれた花粉やウィルス、室内ペットのふけなどの生物因子も室内空気汚染物質となりうる。

これらの汚染物質と汚染源は、諸外国と我が国で大差はない。しかし、化学工業の発達や新製品の開発、環境影響問題への対応などにより、従来使用されていた化学物質が廃止され、他の化学物質へ置き換わる、あるいは新たに使用されることがある。また、生活様式の変化や多様な汚染物質や汚染源の変化に関係する。そこで、このようなデータベースは、最新の知見や情報に基づき更新され、基本情報として一般市民、建築業者、施設管理者などに提供される必要があろう。このような汚染物質と汚染源に関する情報を一般市民向けにパンフレットとして提供している諸外国として、アメリカ環境保護庁、カリフォルニア州環境保護庁、オーストリア環境省がある。これらの詳細は、本研究の分担研究報告書「諸外国における室内空気質規制」の諸外国の状況で解説している。

1. 2. 室内空気質のリスクアセスメントの課題

室内空気質のリスクアセスメントには固有の限界や課題がある。そのため、室内空気質のリスクアセスメントを複雑にしている。主な問題は、低濃度汚染物質の複合曝露、室内空気汚染物質による症状の非特異性、室内空気汚染物質の挙動の把握と定量の困難さなどである。以下のこれらの問題を詳細に解説する。

1) 低濃度化学物質の複合曝露

室内空気中からは、約 900 種類の化学物質が確認されている(安藤 1997)。その排出源は、建材、家庭用品、暖房器具、家具、農薬、空調機器など、室内空間を取り巻く大半の製品である。つまり、室内空気汚染は、特定の化学物質に高濃度曝露する労働環境衛生問題とは異なり、多数の低濃度の化学物質に複合曝露する。

Molhave (1991)らは、容積当たりの重量(例えば mg/m^3)で揮発性有機化合物(VOCs)の総量を表す総揮発性有機化合物(TVOC)の概念を提唱した。また、TVOC の用量と健康影響との関係を示唆する研究報告を行った(Molhave 1991)。しかし、有害性の高い VOC が多く含まれている TVOC と、有害性の低い TVOC が多く含まれている TVOC では、リスクの大きさが異なる。つまり、TVOC は毒性学的な見地からガイドラインを設定することが困難である。そのため複合曝露のリスクを表すことはできない。

アメリカ環境保護庁(USEPA 1986, 2000)は、化学物質の複合曝露によるリスクに関して 1986 年にガイドラインを公表している。USEPA のガイドラインは、個々の化学物質のリスクを総和した有害性指数(HI)を用いている。これはいわゆる相加モデルである。有害性指数が 1 以下なら許容できる。しかし 1 以上であれば、どれほど 1 を越えているか、あるいは AL を算出する際の不確実係数の大きさによってリスクの許容度が判断される。

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum_{i=1}^n [E_i / \text{AL}]$$

HI : 有害性指数
E : 曝露レベル
AL : 許容可能なレベル

しかし、実際に室内空気質のリスクを求めるには、多数存在する室内空気汚染物質の信頼できる許容濃度が全て把握できていなければならない。また、アルデヒド類、揮発性有機化合物、粒子状物質など、測定方法が異なる化学物質があるため、曝露レベルを把握するには膨大な時間と費用がかかる。そのため、実行可能な複合曝露に関するリスク評価スキームを開発する必要がある。

2) 室内空気汚染物質の症状の非特異性

シックビルディング症候群(sick building syndrome: SBS)やビル関連疾患(building related illness: BRI)は、室内空気汚染に起因する病態の 1 つである。しかしながら、これらの病態の症状は、慢性疲労症候群(chronic fatigue syndrome: CFS)や結合繊維筋痛症(fibromyalgia: FM)との類似性から、それらの病態との区別が臨床的に難しい。さらに、いわゆる多種化学物質過敏症の

症状も、これらの病態との類似性があり、さらに複雑にしている(Kipen and Fielder 2002a, 2002b, Buchwald and Garrity 1994)。これらの問題の1つの要因として、汚染物質に対する感受性の違いがあり、その基本的なメカニズムに関する研究が必要である。

内山らが(Uchiyama et al. 2003)実施した日本における化学物質過敏症の実態調査では、化学物質過敏症のリスクを有する回答者は 0.74%であった。これらの研究から、化学物質への曝露だけでなく、曝露時の諸条件が、その個体差間に見られる感受性の違いに関係しているのではないかと考えられる。この諸条件とは、温湿度、微生物汚染、ストレスなどである。

3) 室内空気汚染物質の挙動と定量における課題

一般に、揮発性有機化合物の中でも沸点が低い化学物質ほど、室内濃度が時間とともに減衰する時間が短い。つまり、建物の施工後、入居したときに高濃度の揮発性有機化合物があり、居住者に目や鼻の刺激などの症状が発現していたとしても、1ヶ月後に室内濃度を測定した際には濃度が低下して症状が軽減されていたということが起こりうる。このような挙動を示す化学物質の有害性を同定することは難しい。

一方、ホルムアルデヒドは、尿素樹脂中に遊離しているホルムアルデヒドが放散される場合と、尿素樹脂が空気中の湿気で加水分解して放散される場合がある。尿素樹脂は、合板などの木質合板の接着剤として利用されてきた。概して尿素樹脂からの放散は、加水分解による放散が支配的である。そのため、ホルムアルデヒドの室内濃度は、高温多湿である夏場に高く、低温低湿度である冬場に低いという挙動を年々繰り返しながら、徐々に室内濃度が低下する。そのため、ある冬場に低濃度であったとしても、翌年の夏場にはさらに濃度が上昇するという挙動を引き起こす(東ら 2002)。表1-4に室内空気汚染物質、表1-5に有機汚染物質の室内挙動を示す(東 2003)。

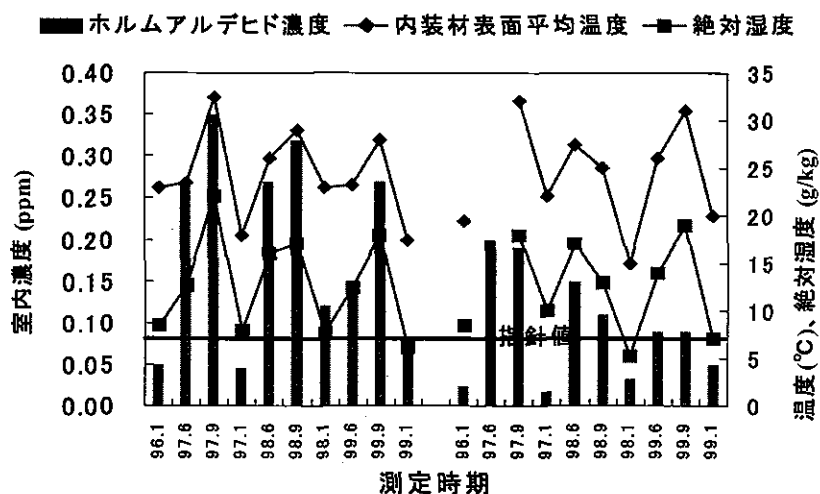


図1-2 ホルムアルデヒド濃度の経年変化 (東ら 2002)

表 1-4 室内空気汚染物質の挙動 (東 2003)

分類	化学物質の例		挙動
有機ガス状物質	溶剤揮発型	トルエン、キシレン、酢酸エチルなど希釈溶剤として使用されているもの	初期に大量に放出されるが、いったん全て放出してしまうと、その後は放出されない。 <u>短期放散型</u>
	拡散型	スチレンなど未反応成分や不純物等が微量に残留	徐々に放出され、夏場など気温の高い時期は気中濃度が上がる。 <u>長期放散型</u>
	分解生成型	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド	加水分解などの分解反応によって生成するもので、数年経過しても徐々に放出される。 <u>長期放散型</u>
	昇華型	パラジクロロベンゼン、ナフタレン	固形物が徐々に気化するもので、製品設計上放出期間は長い。
有機粒子状物質	燃焼生成型	ベンゾ-(a)-ピレンなどの多環芳香族炭化水素	粒子状の燃焼生成物
	拡散型	フタル酸エステル類、リン酸エステル類 クロロピリホス	気体、あるいは液体が粒子に付着した状態で、徐々に空气中に放出される。放出期間は長い。 <u>長期放散型</u>
無機ガス状物質	燃焼生成型	二酸化窒素、二酸化硫黄、二酸化炭素、一酸化炭素	主に燃焼にともなって空气中に放出される。
無機粒子状物質	拡散型	カドミウム、アスベスト、グラスウール、マンガン、鉛	建材の劣化・分解・密封不足などによって空气中に放出される。 <u>長期放散型</u>

表 1-5 有機汚染物質の室内挙動 (東 2003)

分類	使用目的、生成機構		気中濃度の事例報告	出典
有機ガス状物質	溶剤揮発型	希釈溶剤として使用	竣工直後は気中濃度が高く、4~5ヶ月で大きく減少し、その後徐々に減少 (トルエン、キシレン)	大塚ら (2002)
	拡散型	未反応性分野不純物等が微量に残留	竣工直後からしばらくして夏場の高温時に気中濃度が向上 (スチレン、リモネン)	大塚ら (2002)
	分解生成型	加水分解などによる生成物	気温の変動と連動しながら徐々に濃度が低下するが、長期にわたり放散が続く (ホルムアルデヒド)	東ら (2000)
	昇華型	目的の品質を発現するために使用	防虫剤の入れ替えにより気中濃度が向上 (パラジクロロベンゼン)	大塚ら (2002)
有機粒子状物質	燃焼生成型	暖房器具や調理時の燃焼、喫煙等	喫煙本数に従い気中濃度が向上 (ベンゾ-a-ピレン)	高木ら (2002)
	拡散型	目的の品質を発現するために使用	使用后7年経過しても顕著な気中濃度の低下がなく、気温の高い夏場に高い傾向を示しながら推移 (クロロピリホス)	吉田ら (2002)

Wolkoff et al (2000)らは、室内でテルペン類とオゾンが反応し、刺激物質を生成する研究を行っている。また、Anderberg (2005)は、床スラブのコンクリートと、その上に設置されたフローリング材や接着剤が反応し、室内に揮発性有機化合物が放散されるメカニズムを実験的に研究している。これらの現象は、室内で生じた化学反応が原因であり、建材から最初に放散される初期放散(Primary emission)に対して二次放散(Secondary emission)と呼ばれている。EUのIndexプロジェクトが、リスクアセスメントを行うために優先評価対象物質として選定した13の化学物質の中に、 α -ピネンとd-リモネンがある(European Commission, JRC 2003, 表2-13参照)。ま

た、ドイツ(Indoor Air Hygiene Commission: IRK 2005)は α -ピネンなどの二環式テルペンの室内空気質ガイドラインを策定している。これらの化学物質は、オゾンとの共存による気道に対する強い刺激が懸念されているからであり、二次放散物質による室内汚染が考慮されている。

二次放散は、室内のさまざまな環境因子によって、室内の化学物質間で二次的な化学反応が起こり、新たな化学物質が室内に放散することを意味する。例えばこれらの環境因子として、オゾン、湿熱、光（特に紫外線）などがある。オゾンは強い酸化作用を有する化学物質であり、高い化学反応性を有している。紫外線は活性エネルギーが高いため化学反応を起こしやすく、特に300nm以下の低い波長の紫外線は人体に対して有害である。また、アクリル酸エステル系樹脂、ポリエステル系樹脂、アミド系樹脂、ウレタン樹脂、尿素樹脂など、エステル結合、アミド結合、ウレタン結合、尿素結合を有する化学物質は加水分解することがある。特に、高温多湿下、酸や塩基性物質が共存すると、その反応は進行しやすくなる。また、このような反応は、数十年経過しても進行することがある。

Wolkoff (2000)らの報告によると、人を使ったボランティアによる小型チャンバー実験でカーペットにオゾンを曝露したところ、臭いの閾値を下回るわずか10ppbのオゾン濃度でも、オゾンを曝露していない対照群よりも臭気強度の増加や臭気好みの変化が確認されている。Wilkins (2001)らは、イソプレンとオゾンの混合気体に曝露したマウスにおいて感覚刺激による呼吸数の減少を確認している。

表1-6 二次反応によって生成する物質の一例 (Wolkoff et al 2000, 大勝 1997, 東の分析結果)

もとの物質	反応種	二次生成物
テルペン	オゾン	アルデヒド類、ケトン類
紫外線硬化樹脂に残留する光開始剤	紫外線	アルデヒド類、ケトン類、アルコール類等
ポリエチレン	紫外線	アルコール類、ケトン類
アクリル酸エステル系樹脂	加水分解	アルコール類等
ポリスチレン	紫外線	不飽和ケトン類、アルデヒド類、スチレン、スチレントリマー等
ウレタン樹脂	加水分解	アゾ化合物、キノンイミド

室内空気汚染物質の室内挙動は、曝露評価に影響する。どの時点で測定したデータを用いたか、あるいは室内濃度の減衰をどのように見積もるかが重要となる。さもなければ、リスクを過小に見積もることもあれば、過大に見積もることもある。

二次放散は、化学物質間の反応を予測あるいは把握しなければならない。 α -ピネンやd-リモネンは、毒性としてはさほど強くない。しかし、オゾンとの共存で気道に対する刺激が強まるのであれば、そのリスクを適正にアセスメントするスキームとリスクマネジメントが必要となる。これらの室内空気汚染物質の室内挙動に関しては、これらのスキームに関するさらなる研究が必要である。

2. 諸外国の室内空気質規制におけるリスク概念

リスクアセスメントは、リスクマネジメントを行うべき汚染物質の優先付けに利用できる。室内空気質ガイドラインが策定されている諸外国において、リスクアセスメントに基づいて室内空気質ガイドラインを策定する汚染物質の優先付けを実施した諸外国は見あたらなかった。いずれも、各国の実情や他国を参考にしたものであった。

アメリカは、室内空気質ガイドラインを連邦レベルでは策定していない。しかし、室内空気汚染物質のリスクの大きさを定量的に把握するために、室内空気汚染物質のリスクランキングを試みている。諸外国の室内空気質規制において、健康リスクの概念を取り入れているものがあつた。それは、空気質のガイドラインではなく、汚染源である建材の評価方法であつた。ドイツとデンマークが健康リスクの概念を導入した評価方法を開発している。揮発性有機化合物の総量規制としてTVOCの概念が提唱されている。しかし、低濃度化学物質の複合曝露のところで述べたように、毒性学的な見地からガイドラインを設定することができない。近年、ドイツが不確実係数に関して子どもの特質を考慮した試みを行っている。以下、諸外国における規制対象物質の優先付け、リスク概念を取り入れた建材評価法、総量規制 (TVOC)、不確実係数について詳説する。

2. 1. 規制対象物質の優先付け

多くの諸外国が、公衆衛生問題としての室内空気汚染の重要性を認識している。それは、大多数の居住者は、生活時間の80~90%以上を室内空間で過ごしていること、室内空気中からは多数の汚染物質が検出され、その濃度は外気よりも25倍、時には100倍に達すること(USEPA 1993)、などである。アメリカ環境保護庁(USEPA 1993)は、室内空気汚染は公衆衛生に対する5大環境リスクのうちの1つであると報告している。そこで、多数存在する室内空気汚染物質のうち、規制対象物質をどのように諸外国が選定しているかについて、以下に解説したい。これらの内容は、諸外国の報告書や関係諸機関への問い合わせ調査をもとにしている。

2. 1. 1. 世界保健機関 欧州事務局 (WHO Europe)

世界保健機関 欧州事務局 (World Health Organization Regional Office for Europe: WHO Europe)が2001年に公表した「Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition」(WHO Europe 2000)では、35物質がガイドラインを作成すべき化学物質として選定されている。そして、その選定基準は次の通りである。ただし、このガイドラインの対象は、室内空気だけでなく大気も含まれている。そのため、室内空気汚染に限定した選定基準が含まれていない。これらの物質のリストの詳細は、本研究の主任研究報告書「諸外国における室内空気質規制」の表2-1~6を参考にされたい。

- (1) 曝露源の点から広範囲に問題を引き起こしている化合物
- (2) 個人曝露の可能性が高い化合物
- (3) 健康及び環境影響に関する新しいデータが明らかになっている化合物
- (4) モニタリングが実現可能となった化合物
- (5) 大気中濃度の上昇傾向が明白である化合物

2. 1. 2. 欧州連合(EU)

欧州連合(European Union)の共同研究センター (Joint Research Centre: JRC)が 2003 年に公表した今後検討すべき優先評価物質は、次の観点から選定されている (European Commission, JRC 2003)。ただし、すでに EU 指令等で規制がなされているラドンや環境たばこ煙は、優先評価対象物質から除外された。また、室内空気汚染のメカニズム、毒性、曝露経路等に関する情報が不足しているリン酸エステル系の難燃剤は優先評価物質から除外された。これらの物質のリストの詳細は、本研究の主任研究報告書「諸外国における室内空気質規制」の表 2-12, 13 を参考にされたい。

- (1) 室内に強い発生源があること
- (2) アレルギーや喘息に対して高い感受性を示す毒性があること
- (3) 人の健康に対して既知の有害な影響があること

2. 1. 3. アメリカ環境保護庁(USEPA)

冒頭で述べたように、アメリカ環境保護庁(USEPA 1993)は、室内空気汚染は公衆衛生に対する 5 大環境リスクのうちの 1 つであると報告している。USEPA が優先的に取り組んでいる室内空気汚染物質は、ラドン、受動喫煙、一酸化炭素である。USEPA Region 4, indoor air program の Slack (2005)氏によると、これらの化学物質が優先取り組み物質として選定されている理由は、年間死者数が多いからである。アメリカでは死亡の原因となる製品には注意が払われてきた。しかし、健康影響がより小さい(咳き、くしゃみ、喘息)製品には、ほとんど注意が払われてこなかった。

USEPA は、室内空気汚染化学物質の健康リスクの順位付けについて研究レベルで調査を行っている。2000 年 12 月にその報告書「Ranking Air Toxics Indoors: 室内有害化学物質ランキング」が作成されている(USEPA and EH&E 2000)。この報告書は、Environmental Health & Engineering, Inc (EH&E)が USEPA 向けに作成したものである。数千もの汚染物質が室内空気中で検出されているにも関わらず、これらの汚染物質がどの程度のリスクを有しているか確認されてこなかった。この調査の目的は、それらのリスクをスクリーニングすることであった。この調査では、次の 3 つのステップで順位付け(以下、ランキング)を行っている。

Step1. 室内の代表的な汚染物質濃度の決定

Building Assessment Survey and Evaluation (BASE) (100 のオフィスビルディングが測定対象であり、化学物質を製造または使用する労働現場は含まれない)、National Association of Energy Service Companies (NAESCO) study、School Intervention Studies (SIS)など、これまで USEPA が実施した研究報告や、EPA が選定した過去の 8 つの文献(オフィスビル、アリゾナやカリフォルニアの住居などが測定対象)など、主に 1990 年代全般を通じて測定された報告書をもとに、室内濃度を統計的に解析し、算術平均値、95 パーセンタイルなどの上限値を算出している。また、それらの室内外の濃度差も算出している。室内外の濃度差からは、どちらが汚染源に関与しているかが推定できる。これらの報告などから選定された化学物質は 112 種類であった。

Step2. リスクベース濃度の決定

「総合リスク情報システム：Integrated Risk Information System (IRIS)」、「EPA 健康影響評価要約表：EPA Health Assessment Summary Table (HEAST)」、「全米諮問委員会急性曝露ガイドラインレベル：National Advisory Committee (NAC) Acute Exposure Guideline Level (AeGL)」、「毒物疾病登録機関(ATSDR)の最小リスクレベル(MRL)：Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Minimum Risk Level (MRL)」、カリフォルニア環境保護庁、アメリカ産業衛生協会(AIHA)、国立労働安全衛生研究所(NIOSH)などの、規定の「技術サポートドキュメント：Technical Support Document: TSD」にある健康ベースの曝露基準値やガイドラインを用いて、Step 1 の汚染物質のリスクベース濃度(RBCs)を算出している。RBCs は、以下に示す、急性毒性、慢性毒性、発がん性ごとに算出している。

- ・ 急性 RBCs：急性曝露による深刻な健康影響リスクがない濃度
- ・ 慢性 RBCs ケース 1:非発がん性の健康影響のうちリスクが小さい健康影響タイプ(呼吸器系、神経系、生殖系への影響などの影響が小さい方)における濃度、または一生涯の発がんリスクの上限が百万分の1の濃度
- ・ 慢性 RBCs ケース 2：非発がん性の健康影響のうちリスクが小さい健康影響タイプにおける濃度、または一生涯の発がんリスクの上限が1万分の1の濃度

Step3. リスクランキング比率の算定 (室内濃度(Step1)/RBCs(Step2))

Step2 で算出した RBCs と Step1 で算出した室内濃度の比からリスクランキング比率が決定されている。リスクランキング比率が大きいほど、室内濃度値が RBCs に対して高く、よりリスクが大きいとみることができる。表 2-1 には算出したリスクランキング値と略号、表 2-2 には各化学物質の RBCs を示し(代表的な化学物質のみを抜粋)、図 2-1 から 6 までに、表 2-1 に示す 6 種類のランキング値に対する上位 15 種類の化学物質のランキング比率を示す。

表 2-1 算出したランキング値と略号

ランキング値の種類	略号
室内上限値/急性 RBCs	IA
(室内上限値-室外上限値)/急性 RBCs	IOA
室内平均値/慢性 RBCs ケース 1	IC1
室内平均値/慢性 RBCs ケース 2	IC2
(室内平均値-室外平均値)/慢性 RBCs ケース 1	IOC1
(室内平均値-室外平均値)/慢性 RBCs ケース 2	IOC2

*室内上限値は 95 パーセンタイル値。95 パーセンタイル値が使えない場合は、最大値か 90 パーセンタイル値を用いている。

表2-2 各化学物質のRBCs (抜粋)

化学物質名	IARC	急性 RBCs mg/m ³	慢性 RBCs ケース 1 mg/m ³	慢性 RBCs ケース 2 mg/m ³
エチルベンゼン	—	350	1.0	1.0
スチレン	2B	210	1.0	1.0
1,4-ジクロロベンゼン	2B	90	9.1×10 ⁻⁵	9.1×10 ⁻³
トルエン	3	190	0.4	0.4
フェノール	3	38	0.6	0.6
ノルマルヘキサン	—	390	0.2	0.2
オクタン	—	470	—	—
n-ノナン	—	—	—	—
n-ウンデカン	—	—	—	—
n-ドデカン	—	—	—	—
ジ-2-エチルヘキシルフタレート	3	—	4.2×10 ⁻⁴	0.01
ヘキサクロロベンゼン	2B	—	2.2×10 ⁻⁶	2.2×10 ⁻⁴
マラチオン	3	25	—	—
酢酸ブチル	—	810	—	—
ノナノール	—	—	—	—
テトラクロロエテン	2A	680	1.7×10 ⁻⁴	1.7×10 ⁻²
キシレン	—	390	0.43	0.43
リモネン	—	—	—	—
酢酸エチル	—	720	—	—
t-ブチルメチルエーテル	—	7.2	3.0	3.0
アルドリン	—	2.5	2.0×10 ⁻⁷	2.0×10 ⁻⁵
α-BHC	—	—	5.6×10 ⁻⁷	5.6×10 ⁻⁵
ホルムアルデヒド	2A	1.2	7.7×10 ⁻⁵	7.7×10 ⁻³
ベンゾ(a)ピレン	2A	—	9.1×10 ⁻⁷	9.1×10 ⁻⁵
クロルダン	2B	10	1.0×10 ⁻⁵	7.0×10 ⁻⁴
γ-BHC	—	5.0	3.2×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻⁴
d-リモネン	3	—	—	—
ディルドリン	3	5.0	2.2×10 ⁻⁷	2.2×10 ⁻⁵
ジクロロボス	2B	10	1.2×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻⁴
エタノール	—	670	—	—
2-プロパノール	3	490	7.0	7.0
アセトン	—	510	31	31
クロロホルム	2B	240	4.3×10 ⁻⁵	4.3×10 ⁻³
1-ブタノール	—	420	—	—
ベンゼン	1	160	1.3×10 ⁻⁴	0.013
鉛	2B	10	8.3×10 ⁻⁵	8.3×10 ⁻³
マンガン	—	50	5.0×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻⁵
アセトアルデヒド	2B	18	4.5×10 ⁻⁴	9.0×10 ⁻³
塩化メチレン	2B	690	2.1×10 ⁻³	2.1×10 ⁻¹
二硫化炭素	—	3.1	0.7	0.7
ジクロロジフルオロメタン	—	7400	0.2	0.2
ヘプタクロル	2B	3.5	7.7×10 ⁻⁷	7.7×10 ⁻⁵
α-ピネン	—	—	—	—
n-ブチルフタレート	—	400	—	—
ナフタレン	—	130	0.003	0.003

*IARC(WHO の国際がん研究機関)の発癌性分類

1: ヒトに対して発癌性を示す

2A: ヒトに対しておそらく発癌性を示す

2B: ヒトに対して発癌性を示す可能性がある

3: ヒトに対する発癌性について分類できない

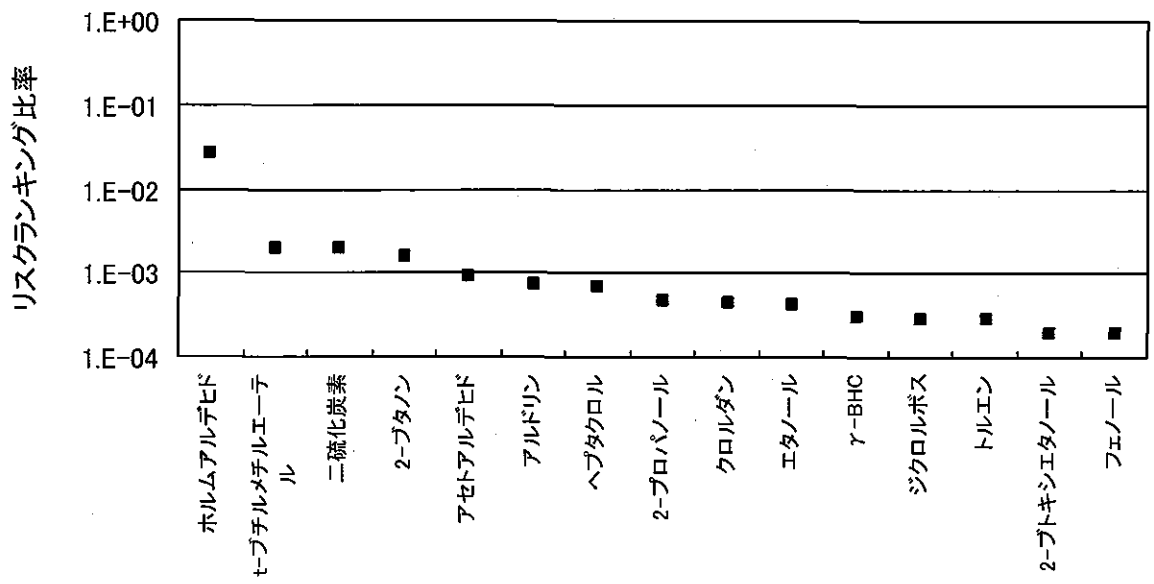


図 2-1 IA のリスクランキンング比率

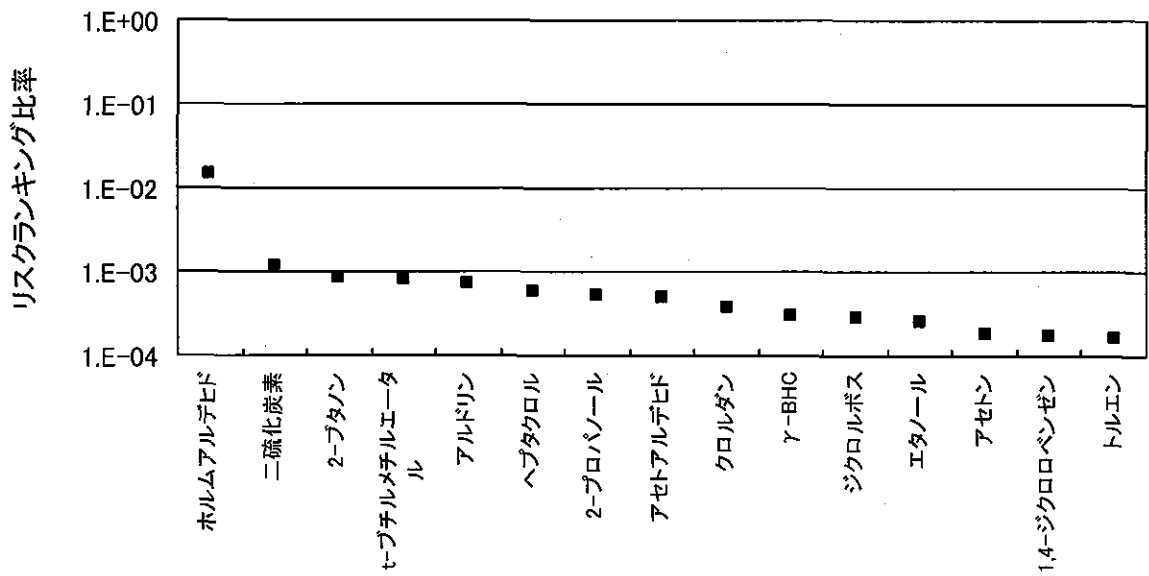


図 2-2 IOA のリスクランキンング比率

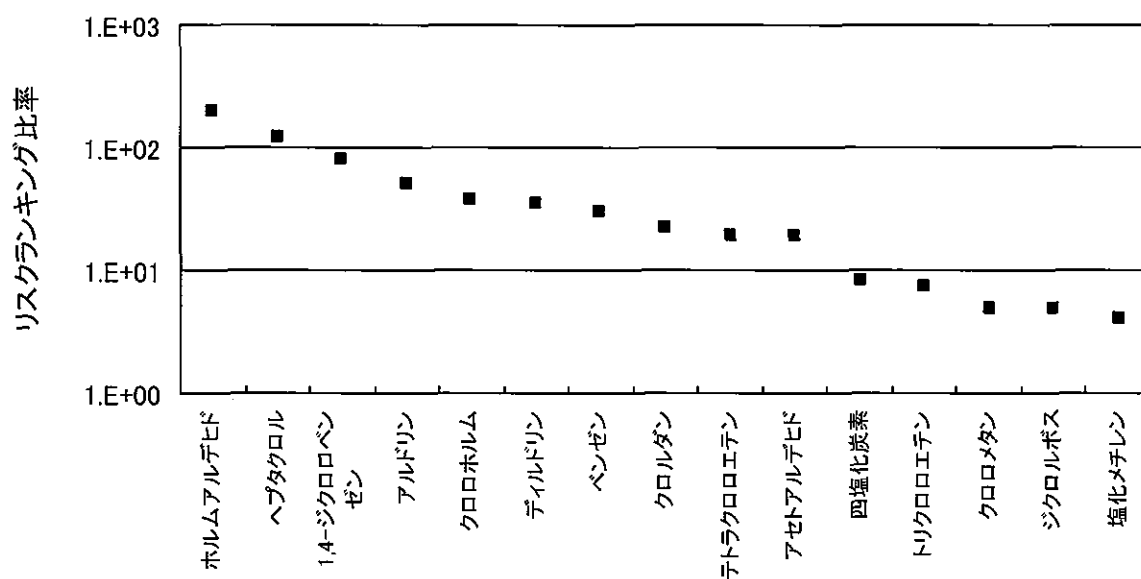


図 2-3 IC1 のリスクランキング比率

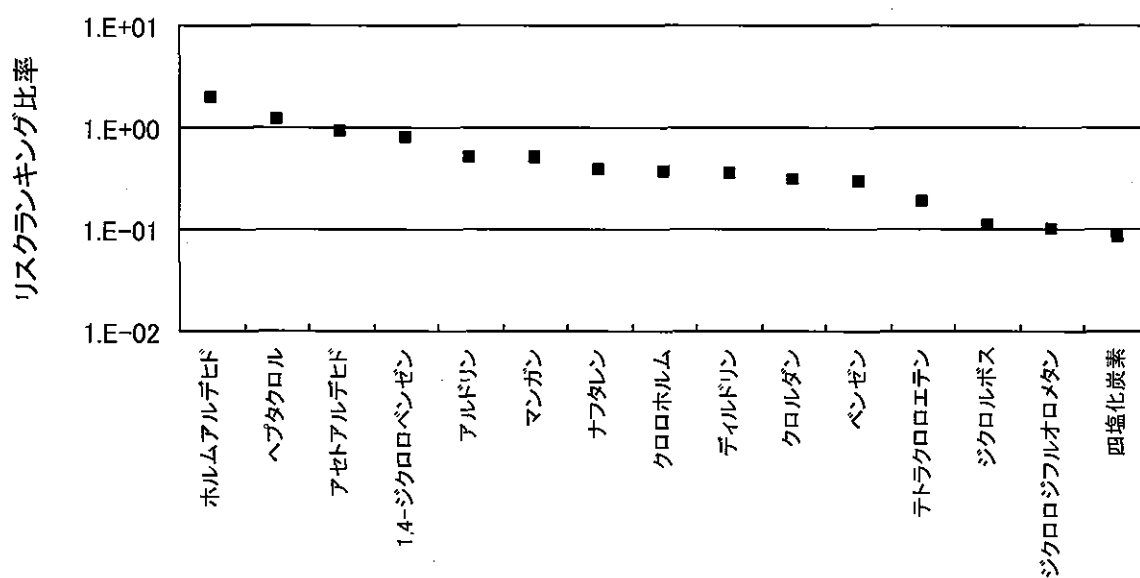


図 2-4 IC2 のリスクランキング比率

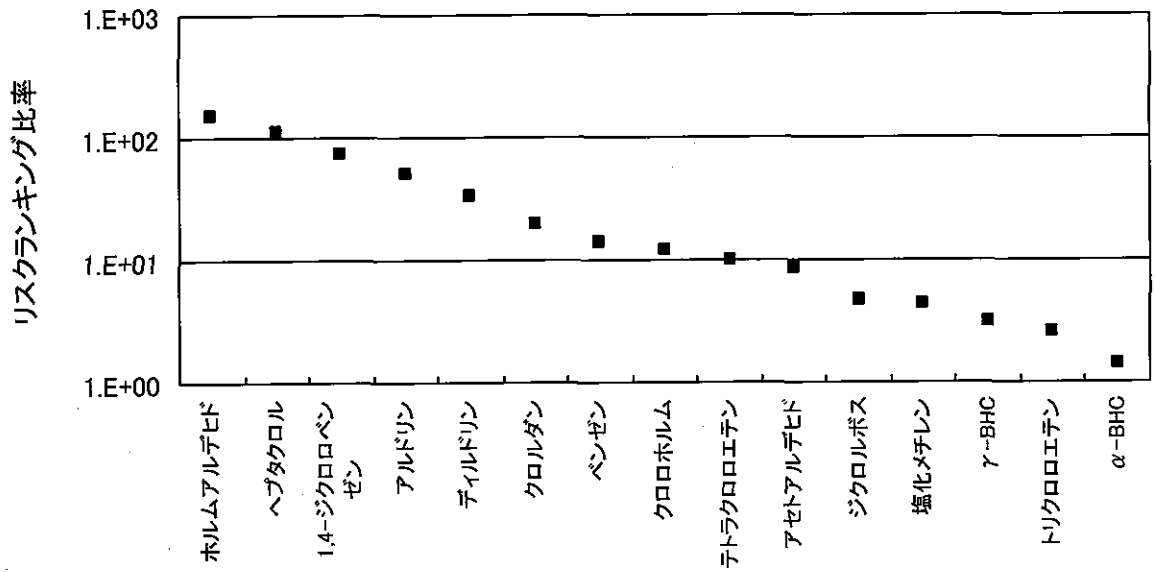


図 2-5 IOC1 のリスクランキング比率

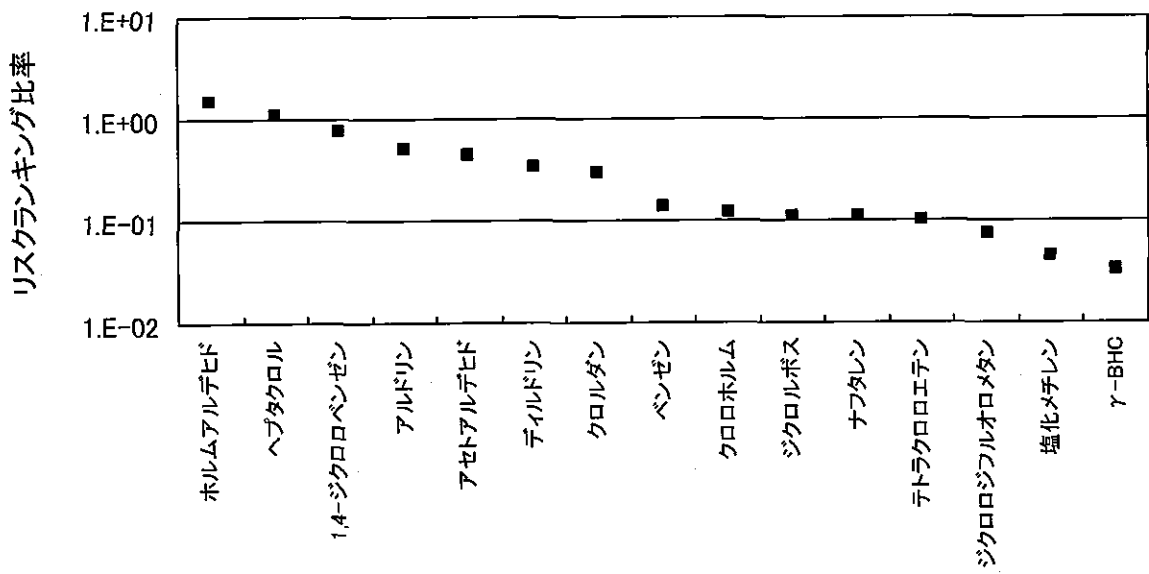


図 2-6 IOC2 のリスクランキング比率

図2-1～6から明らかなように、ホルムアルデヒドのリスクが高い。また、ヘプタクロル、アルドリン、ディルドリン、クロルダンなど、現在では規制されている有機塩素系殺虫剤や、アセトアルデヒドのリスクが高い。

この調査結果には、いくつかの制限や不確実性がある。例えば、表2-2にみられるように、RBCs 値を算出するために必要な信頼できる健康ベースの曝露基準値やガイドラインが存在しない化学物質がある。いずれかの RBCs 値が算出できた化学物質は、およそ半分の 62 物質であった。これらのことから、この調査は初期スクリーニング評価と位置付けられている。

日本でも環境省(2002, 2003, 2004)が化学物質の健康リスク初期評価を行っている。この調査では、経口、吸入(環境)、吸入(室内)等の曝露経路ごとに、化学物質の有害性評価と曝露評価から曝露余裕度(Margin of Exposure: MOE)が算出されている。

2. 1. 4. カナダ

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 1989 年に室内空気質ガイドライン(DNHWC 1989)を公表している。ガイドラインが設定された室内空気汚染物質の選定基準は、次の通りである。

- (1) 人の健康影響を引き起こす可能性があること
- (2) 室内に存在する可能性があること

これらの基準をもとに、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。そして、これらの汚染物質のうち、定量評価が不可能な物質、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ている。

2. 1. 5. 中国

国家環境保護総局 (国家环境保护总局 / State Environmental Protection Administration: SEPA)、衛生部 (卫生部 / Ministry of Health)、国家品質監督検査検疫総局 (国家质量监督检验检疫总局 / General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine)の 3 つの行政機関が共同で 2002 年に「室内空気質基準 (GB/T18883-2002) (SEPA 2002)」を公布している。基準が作成された化学物質の選定は、以下に示す中国の室内空気汚染の実情が考慮されている(中国室内装饰协会室内环境监测中心 2003)。

- (1) 発達地域や都市部の建物では、風量、温湿度とホルムアルデヒド、ベンゼンなどの汚染物質が問題となっている。
- (2) 未発達地域では、調理や暖房時に使用される炭から排出される一酸化炭素、二酸化炭素、二酸化窒素が問題となっている。