室内環境に関する研究

嵐谷奎一¹⁾, 秋山幸雄¹⁾, 樺田尚樹²⁾

¹⁾産業医科大学産業保健学部 〒807-8555 福岡県北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1

²⁾国立保健医療科学院 〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

Study of indoor air pollution

Keiichi ARASHIDANI¹⁾, Yukio AKIYAMA¹⁾ and Naoki KUNUGITA²⁾

1)Department of Environmental Management, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Japan

1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu City, Fukuoka 807-8555 Japan

2)Department of Environmental Health, National Institute of Public Health,

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

要旨

1970年代より今日までの室内環境中の化学物質の種類、濃度計測を中心とし発表された我が国の調査・研究についてまとめた。2000年以前の調査・研究については、NO₂、CO、CO₂、粉塵を室内汚染の中心としてなされ、2000年以降は、シックハウス症候群などの室内に起因する疾病の原因対策の視点で、揮発性有機化合物やアルデヒド類などの化学物質の調査、また化学物質過敏症調査や健康な住居環境構築のための調査・研究がなされてきている。

Abstract

We summarized about Japanese research reports according to chemical's kinds and concentrations in indoor air atmosphere from 1970's to today. The study reports before 2000 were mainly carried out on indoor air pollution of N O₂, CO, CO₂ and particle. The studies after 2000 were carried out on a relationship between sick building syndrome and chemicals. Therefore, studies were what measurement of volatile organic compounds and aldehydes, and about chemical sensitivity. We reviewed main researches in these many reports in Japan.

Key words: 室内環境(Indoor environment), 化学物質(chemicals), 化学物質過敏症(chemical sensitivity)

1. はじめに

1960年頃からの高度経済成長を迎え、食・住を含む生活様式全般に渡って、欧米型に変わり、室内汚染に係る健康障害の問題が注目されるようになった。特に、最近のビル環境を含めて一般生活環境として、高気密化による換気不足や新建材・冷暖房などの導入、室内用の殺虫剤などの使用、室外からの排気ガスや花粉などの大気汚染物質の侵入、食生活の変化、精神的ストレスの増加にアレルギー保持者の増加などによる健康問題が挙げられる。

最近の生活環境に起因して発症する疾病は従来型の中毒学では解明できない複雑な機序によるが、微量化学物質によって神経系や免疫系の異常な変化による様々な健康影響を誘発している。生活環境に係

る健康問題は、その発生原因を特定することが難しいことが多い。

室内汚染が大きく注目されたのは、1976年、米国フィラデルフィア市で開催されたアメリカ在郷軍人の大会での事象である。ホテルの空調機の冷房用冷却塔の水にレジオネラ菌が増殖し、室内空気へ供給された。この為多くの中毒患者や死亡者が30数名となる惨事が発生した。この種々の症状を呈する現象を広くシックビルディング症候群と称した。この原因は家屋に由来し、これから離れると症状は軽減し、消失する。しかし、これとは別に化学物質過敏症が問題となってきた。これは、室外に出ても排気ガス等の化学物質などに反応して症状があり、この症状は、ヘアースプレー、香水、芳香剤等々の化学物質に反応して、過敏状態となり、多臓器に影響が生じ、日常生活に支障をきたす。

受付：2009年9月28日(Received：28 September 2009)

受理：2009年10月15日(Accepted：15 October 2009)

近年の生活環境中は多様化し、家具、衣類、壁など物理的材料などから放散される化学物質が数百種類にのぼり、暖房、調理や喫煙などが加わると、4000種以上の化学物質で汚染されているといわれている。

最近我々の日常生活はビル、住居などの建築物内で80～90%を過ごし^{1,2)}、室内の空気質の良否、室内汚染とヒト健康影響などが問題となってきた。この様に、ビル・一般家庭室内の空気質、すなわち有害化学物質の汚染等が極めて重要な問題となり、汚染物質の個人曝露の把握、疾病などの調査と室内汚染低減は極めて重要な問題となってきた。

ここでは我が国における室内汚染に係る注目される発表を中心として年代順に記述する。

2. 生活環境中に存在する化学物質

ビル、一般住宅や公共施設等の建築物内環境には、アルデヒド類を含む揮発性有機化合物(VOCs)、CO、CO₂、NO_x、ラドン等の無機化合物、粉塵やアスベストなどの浮遊粒子状物質及び微生物、ダニ、花粉等のアレルゲンなど極めて多数の物質が存在する。

また、広義には、温熱、光、騒音、振動等々も重要な要素である。

室内汚染の原因物質は、室内に多くは発生源があるが、それ以外室外からの侵入によるものもある。室内に存在する汚染物質と発生源との関連について示す(表1)。

特に、室内汚染と健康障害との係りで問題とされている揮発性有機化合物と室内発生源を示す(表2)。

3. 2000年以前の研究

2000年以前の室内汚染の研究は窒素酸化物を中心に、CO、CO₂、粉塵で、その後、VOCs、アルデヒド類が注目されてきた。

1970年代に入って、室内環境の研究が本格的に始まり、その中で長谷川ら(1976)³⁾はチャンバーテストで、暖房器具使用で窒素酸化物濃度推移を求め、いずれの器具ともNO₂、NO濃度とも0.1ppmを越し、特に対流型石油ストーブでは1ppmを越す高値であった(図1)。

松村ら(1981)⁴⁾は大規模建築物内のNO₂濃度を計測し、一時間値の最高はオフィス0.083ppm、デパー

表1 室内汚染原因と代表的汚染物質

原因(発生源)	代表的汚染物質
外気の進入	
固定発生源	二酸化硫黄、窒素酸化物、一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素、アルデヒドなどのガス状物質 重金属類、多環芳香族炭化水素(PAH)、ニトロアレーンなどの粒子状物質 各種取扱い化学物質ならびにそれらの処理に伴う反応生物など ラドン、微生物など 重金属類など オゾン、アルデヒド、ニトロアレーンなど
移動発生源	
戸外焼却	
山火事	
化学物質取扱い作業場	
土壌	ラドン
土砂の巻き上げ	
大気中での光化学反応など	
室内発生源	
建物の構成材料	
コンクリート、石材	ラドン
パーティクルボード、合板	ホルムアルデヒド
断熱材	アスベスト、ガラス繊維、ロックウール、重金属類、ホルムアルデヒドなど
塗料	鉛、有機溶剤
建物内の施設	
暖房、調理などの燃焼器具	一酸化炭素、二酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素、アルデヒド、PAH、粒子状物質など
コピー機器	オゾン、粒子状物質
水まわり	ラドン
ヒトやペットからの発散物	二酸化炭素、アンモニア、ニオイ物質、ふけ、ダニ、微生物など
ヒトの活動に伴う発散物	
喫煙	一酸化炭素、ニコチン、ニトロソアミン、ニオイ物質、アルデヒド、PAH、粒子状物質など
エーロゾル噴霧	炭化水素、ニオイ物質
クリーニング	有機塩素系化合物、炭化水素、ニオイ物質
衣服の収納(防虫剤使用)	パラ・ジクロロベンゼンなど
シャワー	トリハロメタン
趣味(油絵、工芸など)	有機溶剤、ニオイ物質、粒子状物質
線香	ニオイ物質、PAH、粒子状物質
走行、カーテンの開閉など	粒子状物質

(松下)

表2 家具・建材に含有される代表的な揮発性有機化合物

家具接着剤	ホルムアルデヒド, トルエン, キシレン
建築資材	脂肪族炭化水素 n-デカン, n-ドデカン 芳香族炭化水素類 トルエン, スチレン, エチルベンゼン 有機ハロゲン化合物 塩化ビニル アルデヒド類 ホルムアルデヒド ケトン類 2-プロパノン, 2-ブタノン エステル類 ウレタン, エチルアセテイトジフタレイトイ エーテル類 放射線物質 ラドンガス
粘着/接着剤	脂肪族炭化水素 ヘキサン, ヘプタン 芳香族炭化水素 有機ハロゲン化合物 アルコール類 ケトン類 アセトン, メチルエチルケトン エステル類 塩化ビニル エーテル類
家具・布製品	芳香族炭化水素 スチレン 有機ハロゲン化合物 塩化ビニル エステル類 2-エチルヘキシル, フタル酸 アルデヒド類 ホルムアルデヒド エーテル類 エチレングリコールエーテル
塗料, スプレー	芳香族炭化水素類 トルエン 脂肪族炭化水素類 n-ヘキサン, ヘプタン 有機ハロゲン化合物 塩化メチレン, ニ塩化プロリレン アルコール類 ケトン類 メチルイソブチルケトン, メチルエチルケトン エステル類 酢酸エチルエステル エーテル類 メチルエーテル, エチルエーテル, ブチルエーテル

(安藤, VOCの毒性アレルギーの臨床, 1998)

ト0.050ppm, 厨房0.108ppm, 地下街0.173ppmで、室内／室外比はオフィス0.6～0.8, デパート0.6, 厨房4.5, 地下街1.2で、燃焼器具を有する室内に主な

発生源があることを認めた。

なお、ビル管理法の対象の特定建築物(床面積3,000㎡以上)の就業時間中の平均濃度値はオフィス0.054ppm, デパート0.044ppmであった。

NO₂の様に発生源が多様で、かつヒト健康影響を評価する上で、簡易でかつ個人曝露量が把握できるサンプラーが必要で、この視点から、柳沢ら(1980)⁵⁾はパーソナル・サンプラーの開発を行った。これにより、NO₂の気中濃度や個人曝露評価を飛躍的に発展させる契機になった。

新田ら(1981)⁶⁾は、開発されたNO₂フィルターバッジを用いて、個人(24時間)、室内、室外でNO₂濃度の計測し、冬が秋に比べ高く、特に室内の暖房器具使用由来であることを認めた。

松木ら(1985)⁷⁾は東京都内と郊外及び北海道田園地帯でNO₂個人曝露量の計測を行った。明らかに季節変動があり、冬期は夏季の約2倍の曝露濃度で、特に冬期非排気ストーブからの排出されるNO₂の影響を受けている。しかし、NO₂個人曝露は家庭内で能動・受動喫煙による影響をほとんど受けなかった。

村松(1986)⁸⁾は、冬期東京都内、及び近郊の住宅で化学物質の濃度を計測した。NO₂濃度は室外に比べ室内が高く、特に、1時間値の最高は0.3ppm, 日平均値の最高も0.08ppmであった。反射型ストーブ(開放型)の住居で、NO₂日平均値0.052～0.669ppm, 1時間値の最高は0.300～0.500ppmを超えることもあり、また、FF式石油ストーブでは、日平均値0.023ppmと低く、1時間値の最高は0.23ppmであった。なお、大気汚染に係る環境基準の日平均値0.06ppmを超える割合は全測定日数(27日)の約30～70%という結果であった。

図1 各種暖房によるモデルルーム中のNOx濃度

1990年代に入ると、VOCsを含めて室内汚染調査が盛んになされるようになってきた。1997年と1998年、厚生労働省が居住環境中のVOCsの大規模な全国実態調査を実施した。44種VOCsの室内と室外の濃度比較した結果、ほとんどのVOCsは室内が室外に比べ高値であった(表3)。

新築と中古(築14年)の居室のVOCs濃度は、新築ではデカン類、トルエン、パラジクロロベンゼン、 α -ピネン等が高い傾向であった(表4, 松村1998)⁹⁾。

北海道、夏(1998)、冬(1999)の両季節、従来型の建材タイプ住宅と、ほとんど化学物質を含まない建材の住宅のVOCs濃度を計測・比較した(中井ら, 1999)¹⁰⁾。トルエン濃度はほとんど化学物質を含まない建材を利用した住宅では半減しているが、それ以外のVOCs濃度は従来型タイプとほとんど変わらない結果であった(表5)。

室内汚染の原因の解明のため、比較的気密性の高いモデルルーム容積45m³(幅2.8m, 奥行6.4m, 高

さ2.6m)を用いて、6種類の暖房器具使用により発生する化学物質濃度を計測した(児玉ら1988¹¹⁾, Arashidani et al 1996¹²⁾)。なお、換気操作なしの場合で、換気回数0.3~1.4回/hrであった。CO濃度は反射式石油ストーブ、都市ガスでは、ビル衛生管理基準(10ppm)を若干超えるレベルであり(図2), CO₂濃度は、電気ストーブを除くすべての暖房器具でビル衛生管理基準1000ppmを大きく上回っていた(図2)。

NO₂濃度は電気ストーブを除く、石油系、ガス系ストーブのすべてで、一般環境基準(0.06ppm)を越す濃度レベルとなった。また、NO濃度は対流式石油ストーブと石油ファンヒーターでNO₂濃度に比べ、2倍以上の高値であった(図3)。

ホルムアルデヒド濃度は室外に比べ、いずれの暖房器具とも高いレベルで、特にプロパンガス及び都市ガスストーブで高値であったが、室内環境基準(80ppb)以下であった(図4)。

室内におけるホルムアルデヒド発生は暖房器具使

表3 全国実態調査成績－室内濃度の最大値、最小値、平均値

	物質名	最小値 (μg/m ³)	最大値 (μg/m ³)	平均値 (μg/m ³)
脂肪族炭化水素	ヘキサン	0.5	138	7.4
	ヘプタン	0.4	427	7.7
	オクタン	0.4	477	11.5
	ノナン	0.4	590	20.9
	デカン	0.4	572	23.1
	ウンデカン	0.4	268	14.6
	ドデカン	0.4	232	9.5
	トリデカン	0.4	182	7.3
	テトラデカン	0.4	75	5.7
	ペンタデカン	0.4	42	2
	ヘキサデカン	0.3	59.8	1.3
	2,4-ジメチルペンタン	0.3	61.5	1.2
	2,2,4-トリメチルペンタン	0.3	38.3	0.9
芳香族炭化水素	ベンゼン	0.4	65.8	5.9
	トルエン	0.3	2,375	93.3
	エチルベンゼン	0.2	723	21.6
	m,p-キシレン	0.2	717	26.7
	o-キシレン	0.2	380	11.5
	スチレン	0.1	183	4.5
	1,3,5-トリメチルベンゼン	0.1	1085	9.6
	1,2,4-トリメチルベンゼン	0.1	2988	29
	1,2,3-トリメチルベンゼン	0.1	155	5.8
	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0.1	122	1.5
テンペン類	α -ピネン	0.1	296	12.9
	リモネン	0.1	690	26.5
ハロゲン類	ジクロロメタン	0.4	154	7.5
	トリクロロエチレン	0.2	1,864	7.9
	テトラクロロエチレン	0.2	83.5	1.8
	クロロホルム	0.4	154	2.1
	1,1,1-トリクロロエタン	0.2	58.3	1.7
	1,2-ジクロロエタン	0.2	61	1.2
	1,2-ジクロロプロパン	0.2	37.4	1.1
	p-ジクロロベンゼン	0.3	6,058	128
	四塩化炭素	0.4	283	3.6
	クロロジプロモメタン	0.2	490	5.3
エステル類	酢酸エチル	0.5	149	9
	酢酸ブチル	0.3	441	10.3
アルコールアルデヒドケトン類	アセトン	2.6	361	32.3
	メチルエチルケトン	0.7	129	6.6
	メチルイソブチルケトン	0.3	473	7.3
	エタノール	5	2476	281
	n-ブタノール	0.5	82.6	5.1
	ノナノール	0.7	73.9	5.9
	デカノール	0.7	46.6	3.1

表4 新築と中古住宅のVOCs濃度比較

	化学物質 (μg/m ³)	新築住宅	中古 (築14年)
脂肪族	ヘキサン	2.6～9.4	3.7
	ヘプタン	0.7～61.3	1.6
	オクタン	1.3～7.5	-
	デカン	5.5～167	3.8
	ウンデカン	37.7～1449	2.3
	ドデカン	2.6～1770	-
	トリデカン	3.7～135	-
	テトラデカン	2.9～17.1	2.4
	ペンタデカン	0.7～16.9	1.5
	ヘキサデカン	1.6～2.8	-
	2,4-ジメチルペンタン	6.9～9.8	-
芳香族	ベンゼン	1.3～6.9	4.7
	トルエン	1.9～2216	31.4
	m-エチルトルエン	1.6～139	-
	p-エチルトルエン	5.5～65.1	-
	o-エチルトルエン	32.6～35.2	-
	m,p-キシレン	9.2～941	-
	1,3,5-トリメチルベンゼン	1.1～34.6	-
	1,2,4-トリメチルベンゼン	4.2～213	-
	エチルベンゼン	2.9～766	4.3
ハロゲン類	クロロホルム	3.5～24.4	7.3
	1,1,1-トリクロロエタン	5.5～6.5	-
	四塩化炭素	5.7～18.4	-
	テトラクロロエチレン	5.7	-
	ジクロロメタン	8.7	-
	p-ジクロロベンゼン	38.7～455	-
	トリクロロエチレン	2.3	8.1
エステル	酢酸エチル	2.5～105	4.1
アルデヒド類	1-ノナナール	11.8～571	5.1
	1-デカナール	4.7～5.2	6.9
	アセトン	16.9～69.1	-
アルコール	メタノール	7.6～7.9	-
	1-プロパノール	109.1	-
	2-プロパノール	2.7～30.9	-
	1-ブタノール	1.4～6.5	-
	エタノール	12.4	3.2
テルペン類	α-ピネン	525～3910	-
	TVOC	1427～14155	5.4

(松村, 建築雑誌, 113(1421), 18～19, 1998)

表5 住宅内の揮発性有機化合物の濃度(μg/m³)

		住宅		P値
		従来型の建材	ほとんど化学物質を含まない建材	
トルエン	1998冬	36.5(29.1～91.9)	19.2(14.5～30.7)	0.02
	1999夏	24.4(14.3～64.8)	6.3(4.4～7.2)	<0.01
ベンゼン	1998冬	2.2(2.0～3.0)	4.4(3.3～5.5)	<0.01
	1999夏	1.2(0.8～1.3)	1.2(0.8～1.4)	0.83
エチルベンゼン	1998冬	8.9(4.0～12.0)	5.4(3.8～11.5)	0.31
	1999夏	3.6(2.7～9.7)	1.6(1.4～3.7)	0.04
o-キシレン	1998冬	4.5(2.0～6.6)	5.8(2.5～7.8)	0.29
	1999夏	1.0(0.9～1.8)	1.6(1.0～3.0)	0.04
m,p-キシレン	1998冬	14.6(8.6～18.6)	16.9(8.9～26.1)	0.38
	1999夏	6.6(4.7～14.8)	3.1(2.8～6.0)	0.04
スチレン	1998冬	3.6(2.6～5.6)	2.6(1.0～3.7)	0.04
	1999夏	8.8(5.9～19.2)	4.1(3.6～7.8)	0.04
p-ジクロロベンゼン	1998冬	14.2(0.6～63.8)	1.8(0.8～13.9)	0.55
	1999夏	2.9(1.5～4.9)	1.3(0.7～2.0)	0.06

図2 各種暖房器具使用によるCO及びCO₂濃度比較

A:Convection oil heater B:Reflexion oil heater
C:Oil fan-heater D:Gas heater E:Propane gas heater
F:Electric heater

図3 各種暖房器具によるモデルルーム内のNOx濃度比較

A=Convection oil heater, B=Reflexion oil heater,
C=Oil fan-heater, D=Gas heater, E=Electric heater,
F=Electric heater

用のみでなく、濃度上昇における建材からの放散も考慮する必要もある。

暖房器具使用による浮遊粒子数は増加する傾向があるが、重量濃度は室外の濃度レベルとほぼ同等で、ビル衛生管理基準(0.15mg/m³)の1/3以下であり、また多環芳香族炭化水素は、石油系暖房器具使用時に他の暖房、室外に比べ、高い傾向であったが、ベンゾ(a)ピレン濃度はすべて2ng/m³以下の低いレベル

図4 各種暖房器具によるモデルルーム内のホルムアルデヒド濃度比較

A:Convection oil heater B:Reflexion oil heater
C:Oil fan-heater D:Gas heater E:Propane gas heater
F:Electric heater BKG:Back ground

図5 各種暖房器具によるモデルルーム内の多環芳香族炭化水素濃度比較

であった(図5)。

多くの研究者が測定した室内のホルムアルデヒド平均濃度は松村ら(1983)¹³⁾、新田ら(1986)¹⁴⁾、上月ら(1997)¹⁵⁾、の報告書に示されている。これらは、1980年から2000年頃までの調査結果でありこの当時新築などの室内で、ホルムアルデヒド濃度は室内環境基準値80ppbを越す値がしばしば認められている。

1970年代、松村ら(1983)¹³⁾により報告された各種建築物内のホルムアルデヒド濃度を測定年日、1時間値をもとにまとめたものを表6に示す。一般住居Cでは、建築後3ヵ月、子供部屋290ppb、居間197ppb、台所107ppbと高濃度で、この住人からは呼吸器疾患等の訴えがなされた。

1990年より今日までの、室内の化学物質の調査は極めて多く、活発なる調査がなされてきている。1990年以前に比べて、いずれの化学物質とも濃度は

表6 各種建築物内のホルムアルデヒド濃度(1983年)

建築物	測定年	1時間値 (ppb)
デパート	1979	2-79
	1981	29-89
スーパーマーケット	1979	32-65
	1981	4-65
一般住居 A	1979	8-45
A	1981	12-125
B	1979	136-172
C	1981	107-290
オフィスビル 事務所	1979	1-41
喫煙室	1981	40-63
公共図書館	1981	28-35
オフィスビル, 本屋	1981	47-71
映画館	1981	1-35
病院	1981	13-25
大規模家具店	1981	60
プレハブ 新築	1979	40~>200
築7年	1978	2-67
都市大気(東京千代田区)	1980	1-38

(出典 松村ら, 日本公衆衛生学会誌)

低減してきている。

ホルムアルデヒド個人曝露濃度は、建築後14年の住居で主婦が0.009ppm、最高は建築1ヵ月経過で個人住宅の主婦が0.259ppmであった。ホルムアルデヒド濃度は、建築直後の住宅で、1時間値0.1ppm以上の高濃度がしばしば認められた(村松, 1986)⁸⁾。

居住環境で、1980年代に計測された室内ホルムアルデヒド濃度は松村(1987)¹⁶⁾がまとめて報告している。我が国で最高値は築1ヵ月後の鉄筋コンクリートの住宅居間804 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (643ppb)、外国ではモデルホーム3,550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2,840ppb)であった。

我が国で2000年以前調査された主要なホルムアルデヒド濃度を表7に示す(上月ら1997)¹⁵⁾。多くの調査で、20~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、室外濃度の約10倍程度高値である。しかし、建築後の年数が短い場合、築1~3ヵ月では、300~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達し、築1年後で70~120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になることが注目される。

富士市・夏季(1999)、一般家庭内より、11種類のアルデヒド・ケトンを検出・定量した(雨谷ら, 2000)¹⁷⁾。すべてのアルデヒド・ケトン濃度は、屋外より室内濃度(表8)が高く、ホルムアルデヒドは新築住宅内が高く、室内濃度指針値を超えた家庭は2家庭(10%)であり、室内の10種類のアルデヒド濃度間には有意な相関が認められた。

生活環境中のたばこ喫煙汚染評価としてニコチン個人曝露濃度を計測し、種々生活環境中でニコチン曝露濃度は1.76~83.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲にあった(村松, 1985)¹⁸⁾。

表7 日本の各調査によるホルムアルデヒドの室内平均気中濃度

建造物	測定件数	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 範囲 (平均値)	築後年月数	文献
鉄筋共同住宅	2	59~79 (69)	9ヶ月	松村ら (1985)
	1	119	1年	
	20	20~28 (25)	1年6ヶ月	
一般住宅	1	516	9ヶ月	山本 (1994)
一般住宅	13	246~467 (320)	3ヶ月	三谷ら (1985)
	13	37~92 (52)	1年	
	24	25~71 (50)	4年	
鉄筋住宅	1	497	1ヶ月	松村 (1991)
	1	123	1年	
	1	107	2年	
事務所ビル	8	12~41 (24)		三谷ら (1985)
スーパーマーケット	15	10~60 (30)		
デパート		3~109		松村 (1991)
図書館		34~43		
学校	12	7~57 (26)		松村ら (1992)

(上月ら, 1997年)

表8 富士市・夏季の室内アルデヒド類濃度

	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	Arithmetic		Geometric		Max	Min	Max/Min	Percentage determined
	mean	std	mean	std				
Formaldehyde	39.9	± 33.0	27.8	± 2.47	110	7.35	14.9	100%
Acetaldehyde	14.3	± 9.9	11.3	± 2.02	35.1	4.21	8.32	100%
Propanal	1.60	± 1.16	1.30	± 1.89	4.24	0.512	8.28	100%
i-Butanal	0.375	± 0.315	0.256	± 2.70	1.17	<0.037	>31	95%
n-Butanal	0.490	± 0.324	0.399	± 1.96	1.39	0.099	14.1	100%
Ethylmethylketone	1.24	± 1.19	0.662	± 3.89	3.98	<0.055	>72	95%
Crotonaldehyde	0.408	± 0.263	0.334	± 1.93	1.10	0.111	9.94	100%
i-Pentanal	0.602	± 0.328	0.515	± 1.81	1.26	0.172	7.33	100%
n-Pentanal	0.933	± 1.17	0.591	± 2.49	5.35	0.139	38.4	100%
Benzaldehyde	0.919	± 0.634	0.663	± 2.80	2.27	<0.039	>58	95%
n-Hexanal	4.12	± 4.91	2.69	± 2.37	21.4	0.907	23.6	100%

4. 2000年以降

全国規模で室内空気中の化学物質の実態に関する調査が、安藤ら(2004)¹⁹⁾によってなされた。これは3年間に渡って全国約1,000家屋について約160化学物質、150,000に上るデータを得た。3ヵ年連続で10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の中央値濃度を示した化学物質は、トルエンで14~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エタノール100~770 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、リモネン10~12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、いずれかの年度で10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の中央値濃度を示した化学物質は、n-テトラデカン12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 α -ピネンで8~21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトン4~16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 等であった。また、1~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の化学物質は約20化学物質が認められた。3年間を通して10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度を超過した化学物質は12化学物質、いずれかの年度で10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度の高い値ものは22種も存在していた。化学物質群ごとの割合は、テルペン類30%、脂肪族炭化水素類23%、芳香族炭化水素類19%、ハロゲン化炭化水素類13%等であった。発癌性物質のベンゼンが認められ、開始年度は3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、最終年度では2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで低下して低減化していることがみられた。しかし、依然として2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 付近の値を示し、最大値が20~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と年度を問わず高い値を示す居住環境が存在し、特定の室内環境では発生源が室内に存在することが示唆された。室内・外の発生源の指標となるI/O比が2以下のものは、20化学物質も存在していた。これらの化合物質の中には、ベンゼン、イソオクタンなどの自動排出ガスに起因する化学物質が認められ、室外環境からの進入の可能性が認められた。

居室と子供部屋では、対象122化学物質のうち100化学物質以上の90%が検出された。化学物質群ごとの比較では「子供部屋」では脂肪族炭化水素が23成分検出され、その他芳香族炭化水素(18)、アルコール類(11)、ハロゲン化炭化水素(10)、追加13成分(8)、環状炭化水素、テルペン類及びエステル類(7)が検出された。平成14及び15年度で実施した居間と子供部屋の調査では、ほとんどの化学物質で極めて高い相関関係が認められ、子供部屋の室内空気はその居間の空気と同様な質と考えられた。しかしながら、平成13年度においては、テルペン類が子供部屋で極端に少なかったのに対し、ハロカーボン類は極端に高い結果が得られ、注意して監視していく必要がある。

特定建築物の空気環境調査として、美術館・博物館内の空気汚染調査(秋山ら、2008)²⁰⁾では、VOCs

が31種類とアルデヒド類2種類を定量したが、特に問題となる濃度レベルではなかった(表9、表10)。

大型ショッピングセンター内の空気汚染調査(真鍋ら、2008)²¹⁾では店舗内の陳列の違いにより化学物質濃度に比較的大きい差が認められた(表11)。

茨城県つくば市を中心に新築住宅と新築マンション各1戸(2003年)のVOCs測定の実施で、メチルエチルケトンが高濃度(442ppb)で、それ以外のVOCsは比較的低い濃度レベルで、4ヶ月後にはほとんど10ppb以下と低い濃度レベルに減少した(表12)²²⁾。

特殊な環境として国産乗用車101台中からVOCsを275物質の同定、242物質を定量した(吉田ら、2005)²³⁾。

化学物質類ごとにまとめると、脂肪族炭化水素類が総VOCs中の42%を占め、最も高く、次に芳香族炭化水素類が19%であり、その他アルコール類、含窒素化合物の濃度が高く、これらが車内の汚染に寄与している(表13)。

神奈川県内の新築集合住宅、竣工後1年間に渡って化学物質濃度計測した結果(大塚、2002)²⁴⁾、ホルムアルデヒド濃度は75~512.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均212.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、室内指標値(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の約5倍、年平均値で約2倍高値であり、押入れやタンス等の発生源由来である。また夏季に高値で室温の影響を受けている(表14)。

トルエンは67~2700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均値は660 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で室内指標値(260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の約10倍、年平均値が約2.5倍の高値である。パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、クロロピリボス等は室内指標値以下であった。

新築未入居戸建(アパート含む40件)の室内化学物質濃度を計測した(松田、2003)²⁵⁾。VOCsの気中の最も高かった物質は、 α -ピネン(7872 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、次いでリモネン、トルエン、キシレン、酢酸エチル、エチルベンゼンであった。最大値が最も高かった物質はアセトン(0.37ppm)で、次いでメチルエチルケトン、ホルムアルデヒド、プロピオンアルデヒドである。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンズアルデヒドの発生源として木質建材由来と考えられる(表15、表16)。

一定地域の新築住宅の自覚症状と室内化学物質濃度調査を実施した(岸ら、2004)²⁶⁾。その結果、厚生労働省の室内指標値を超えた住宅は96軒中ホルムアルデヒドが13軒、アセトアルデヒドは3軒、トルエ

表9 美術館内のVOC濃度(ppb)

	最小 ~ 最大	室内平均	個人曝露	室外	室内/室外
Toluene	N.D. ~ 0.77	0.39	0.05	N.D.	-
Ethylbenzene	0.30 ~ 2.43	1.04	0.51	0.17	6.13
m/p-Xylene	0.16 ~ 1.07	0.54	0.30	0.09	5.98
o-Xylene	0.16 ~ 0.86	0.45	0.26	0.06	7.56
1,2,3-Trimethylbenzene	0.10 ~ 1.24	0.46	0.24	0.11	4.14
1,2,4-Trimethylbenzene	N.D. ~ 0.39	0.13	0.05	N.D.	-
1,3,5-Trimethylbenzene	0.03 ~ 0.35	0.13	0.06	0.06	2.21
Styrene	0.04 ~ 0.20	0.10	0.10	N.D.	-
Hepathene	0.11 ~ 2.14	0.52	0.69	0.19	2.75
Octane	0.11 ~ 1.24	0.31	0.22	N.D.	-
Nonane	0.11 ~ 1.78	0.48	0.26	0.09	5.32
Decane	1.47 ~ 4.56	2.57	4.25	2.36	1.09
Undecane	0.32 ~ 1.82	0.81	0.80	N.D.	-
α -Pinene	0.04 ~ 25.1	3.23	2.54	N.D.	-
Limonene	N.D. ~ 1.78	0.20	0.14	N.D.	-
1-Butanol	N.D. ~ 2.53	0.47	0.30	0.21	2.22
2-Ethyl-1-Hexanol	N.D. ~ 1.30	0.33	0.14	N.D.	-
Methylethylketone	0.29 ~ 1.32	0.78	0.85	0.56	1.40
Methylisobutylketone	N.D. ~ 0.30	0.08	N.D.	0.15	0.52
p-Dichlorobenzene	0.10 ~ 0.91	0.32	0.56	0.11	2.90
Trichloroethylene	N.D. ~ 0.18	0.06	N.D.	0.18	0.33
Tetrachloroethylene	N.D. ~ 0.28	0.08	0.51	N.D.	-
1,1,1-Trichloroethane	N.D. ~ 0.04	0.01	0.00	N.D.	-
Dibromochloromethane	N.D. ~ 0.02	N.D.	0.00	N.D.	-
Chloroform	0.04 ~ 0.37	0.20	0.52	0.04	5.07
Ethyl Acetate	N.D. ~ 0.97	0.32	0.03	0.43	0.75
Butyl Acetate	N.D. ~ 11.4	1.35	N.D.	N.D.	-
TVOC	7.05 ~ 20.77	13.38	N.C	9.42	1.42

表10 博物館内のVOC濃度(ppb)

	最小 ~ 最大	室内平均	個人曝露	室外	室内/室外
Benzene	N.D. ~ 1.06	0.66	N.D.	N.D.	-
Toluene	N.D. ~ 50.08	15.02	8.01	3.10	4.85
Ethylbenzene	1.20 ~ 5.24	2.82	8.42	0.63	4.48
m/p-Xylene	0.52 ~ 4.10	1.35	3.11	0.27	5.01
o-Xylene	0.27 ~ 1.78	0.70	1.82	0.18	3.90
1,2,3-Trimethylbenzene	0.07 ~ 0.19	0.12	0.29	0.07	1.76
1,2,4-Trimethylbenzene	0.31 ~ 0.70	0.48	1.04	0.26	1.85
1,3,5-Trimethylbenzene	0.07 ~ 0.18	0.11	0.23	0.07	1.63
Styrene	0.54 ~ 15.01	4.34	7.45	N.D.	-
Hepathene	N.D. ~ 1.84	0.38	0.15	N.D.	-
Octane	N.D. ~ 0.39	0.11	1.19	N.D.	-
Nonane	0.02 ~ 0.30	0.15	0.64	0.06	2.43
Decane	N.D. ~ 7.96	1.97	N.D.	N.D.	-
Undecane	1.12 ~ 3.23	2.17	7.56	1.57	1.38
2,4-Dimethylpentane	N.D. ~ 2.67	0.68	1.12	N.D.	-
α -Pinene	1.29 ~ N.D.	0.25	N.D.	N.D.	-
Limonene	N.D. ~ 0.33	0.14	0.55	N.D.	-
1-Butanol	N.D. ~ 1.81	0.35	N.D.	N.D.	-
2-Ethyl-1-Hexanol	0.26 ~ 1.45	0.57	1.15	N.D.	-
Methylethylketone	0.83 ~ 7.10	3.15	2.78	1.09	2.89
Methylisobutylketone	N.D. ~ 0.74	0.29	0.48	N.D.	-
Carbon Tetrachloride	N.D. ~ 0.14	0.04	0.23	N.D.	-
1,2-Dichloroethane	N.D. ~ 0.03	N.D.	N.D.	N.D.	-
p-Dichlorobenzene	N.D. ~ 1.38	0.41	4.72	0.10	4.13
Trichloroethylene	N.D. ~ 0.04	0.02	0.08	N.D.	-
Tetrachloroethylene	0.01 ~ 0.30	0.11	0.34	0.02	5.50
1,1,1-Trichloroethane	N.D. ~ 0.12	0.03	0.14	N.D.	-
Dibromochloromethane	N.D. ~ 0.05	0.01	0.00	N.D.	-
Chloroform	N.D. ~ 1.20	0.51	1.93	0.66	0.77
Ethyl Acetate	N.D. ~ 20.57	8.00	28.12	N.D.	-
Butyl Acetate	N.D. ~ 0.09	0.03	0.00	N.D.	-
TVOC	20.89 ~ 90.08	40.08	N.C	8.80	4.56

表11 大型ショッピングセンターの汚染状況調査

分類	測定物質	室内濃度(μg/m³)				室外濃度(μg/m³)				室内/ 室外
		N	最小	最大	幾何平均値	N	最小	最大	幾何平均値	
芳香族炭化 水素類	ベンゼン	125	<1.5	13.5	<1.5	4	N.D	N.D	N.D	-
	トルエン	125	<0.7	88.5	8.3	4	7.2	7.8	7.5	1.1
	エチルベンゼン	125	<0.6	101.0	4.8 ^{''}	4	1.6	2.0	1.8	2.8
	m,p-キシレン	125	<0.9	67.5	3.5 ^{'''}	4	1.6	2.1	1.8	2.0
	o-キシレン	125	<2.7	58.9	2.9 ⁺	4	N.D	N.D	N.D	2.2
	1,2,3-トリメチルベンゼン	125	<4.2	14.1	<4.2	4	N.D	N.D	N.D	-
	1,2,4-トリメチルベンゼン	125	<3.5	16.0	<3.5	4	N.D	N.D	N.D	-
	1,3,5-トリメチルベンゼン	125	<2.8	21.7	<2.8	4	N.D	N.D	N.D	-
	スチレン	125	<4.3	116.0	<4.3	4	N.D	N.D	N.D	-
脂肪族炭化 水素類	ヘプタン	125	<1.8	49.2	2.4 ⁺	4	N.D	N.D	N.D	2.6
	オクタン	125	<1.7	44.3	1.8	4	N.D	N.D	N.D	2.1
	ノナン	125	<2.1	29.1	1.6	4	N.D	N.D	N.D	1.5
	デカン	125	<2.0	182.0	9.4 ⁺	4	<2.0	4.1	<2.0	9.2
	ウンデカン	125	<8.1	225.0	8.1	4	N.D	N.D	N.D	2.0
	2,4-ジメチルペンタン	125	<1.0	3.8	<1.0	4	N.D	N.D	N.D	-
テルペン類	α-ピネン	125	<5.4	129.0	6.1 ⁺	4	N.D	N.D	N.D	2.3
	リモネン	125	<5.8	229.0	11.3 ^{'''}	4	N.D	N.D	N.D	3.9
アルコール類	1-ブタノール	125	<1.0	29.1	2.9 ^{'''}	4	<1.0	1.0	<1.0	5.9
	2-エチル-1-ヘキサノール	125	<1.3	69.2	6.2 ^{'''}	4	N.D	N.D	N.D	9.3
ケトン類	メチルエチルケトン	125	<1.3	8.2	2.9 ^{'''}	4	<1.3	1.4	<1.3	4.5.
	メチルイソブチルケトン	125	<2.3	6.6	<2.3	4	N.D	N.D	N.D	-
含ハロゲン類	四塩化炭素	125	<1.2	5.2	<1.2	4	N.D	N.D	N.D	-
	1,2-ジクロロエタン	125	<0.8	9.1	<0.8	4	N.D	N.D	N.D	-
	1,2-ジクロロプロパン	125	N.D	N.D	N.D	4	N.D	N.D	N.D	-
	パラジクロロベンゼン	125	<1.1	54.5	2.1	4	<1.1	1.7	1.2	1.7
	トリクロロエチレン	125	<1.4	1.9	<1.4	4	N.D	N.D	N.D	-
	テトラクロロエチレン	125	<1.1	83.3	1.6	4	N.D	N.D	N.D	2.9
	1,1,1-トリクロロエタン	125	N.D	N.D	N.D	4	N.D	N.D	N.D	-
	ジブロモクロロメタン	125	N.D	N.D	N.D	4	N.D	N.D	N.D	-
	クロロホルム	125	<1.4	4.1	<1.4	4	N.D	N.D	N.D	-
エステル類	酢酸エチル	125	<2.2	30.5	4.1 ^{'''}	4	N.D	N.D	N.D	3.8
	酢酸ブチル	125	<3.1	7.5	<3.1	4	N.D	N.D	N.D	-
TVOC		125	38.6	1288.0	95.2 ^{'''}	4	45.7	50.0	47.1	2.0
ホルムアルデヒド		125	11.4	38.5	22.8 ^{'''}	4	7.9	18.0	12.0	1.9
アセトアルデヒド		125	5.9	23.7	10.7 ^{'''}	4	1.3	2.0	1.7	6.3

表12 2003年4月つくば市内住宅の化学物質測定結果(ppb)

	リビング ダイニング 台所			屋外1	屋外2
ヘキサン	1.39	1.54	1.74	0.01	0.26
2,4-ジメチルペンタン	0.29	0.35	0.36	0.05	0.00
ヘプタン	1.40	2.33	2.54	0.12	0.09
オクタン	1.75	2.66	2.94	0.06	0.05
ノナン	4.18	5.51	6.25	0.12	0.00
デカン	6.88	7.77	9.21	0.21	1.02
ウンデカン	9.07	9.84	11.0	0.22	0.13
ベンゼン	0.83	0.98	1.02	0.30	0.39
トルエン	40.9	40.2	45.3	2.60	1.26
エチルベンゼン	3.30	4.36	4.96	0.15	0.35
m,p-キシレン	5.26	6.61	7.55	0.20	0.41
o-キシレン	3.55	4.56	5.36	0.11	0.09
スチレン	0.54	0.65	0.69	0.28	0.34
1,3,5-トリメチルベンゼン	4.34	5.49	6.59	0.09	0.30
1,2,4-トリメチルベンゼン	27.0	35.0	42.8	0.29	0.16
1,2,3-トリメチルベンゼン	3.20	4.19	4.99	0.10	0.07
クロロホルム	0.18	0.23	0.24	0.05	0.14
1,2-ジクロロエタン	0.15	0.15	0.15	0.05	0.00
1,1,1-トリクロロエタン	0.15	0.14	0.14	0.05	0.12
四塩化炭素	0.17	0.15	0.12	0.07	0.10
1,2-ジクロロプロパン	0.85	0.70	0.13	0.06	0.02
トリクロロエチレン	0.20	0.17	0.17	0.04	0.11
テトラクロロエチレン	0.13	0.13	0.13	0.03	0.09
クロロジブロモメタン	0.14	0.18	0.19	0.00	0.11
p-ジクロロベンゼン	0.35	0.38	0.41	0.12	0.34
酢酸エチル	0.23	0.00	0.35	0.00	0.00
酢酸ブチル	3.32	4.14	4.64	0.09	0.00
メチルエチルケトン	442	314	360	1.75	1.04
メチルイソブチルケトン	1.60	2.85	3.14	0.12	0.00
1-ブタノール	2.77	3.81	4.45	0.50	0.74
α-ピネン	33.4	22.5	25.6	0.19	0.44
リモネン	3.22	4.41	4.84	0.05	0.15

表13 乗用車内の主要な化学物質濃度

	濃度 (μg/m ³)		T-VOC(MS)濃度に 占める割合(%) 中央値	指針値
	中央値	(最小～最大)		
Formaldehyde	19	(7.5 ～ 61)		100
T-VOC(MS) (241)	601	(136 ～ 3968)		400
脂肪族炭化水素 (70)	258	(56 ～ 1977)	42	
アルカン (42)	224	(41 ～ 1720)	37	
n-Tetradecane	7.6	(1.2 ～ 47)	1.2	330
シクロアルカン (24)	30	(5.9 ～ 294)	4.9	
アルケン (2)	2.3	(0.46 ～ 128)	0.35	
シクロアルケン (2)	0.48	(0.07 ～ 56)	0.07	
芳香族炭化水素類 (49)	112	(35 ～ 595)	19	
Toluene	33	(12 ～ 356)	5.5	260
Ethylbenzene	7.2	(2.2 ～ 59)	1.1	3800
Styrene	2.6	(0 ～ 79)	0.39	220
Xyrene	14	(4.6 ～ 89)	2.1	870
ハロゲン化合物 (8)	10	(3.1 ～ 195)	1.8	
p-Dichlorobenzene	4.8	(0.75 ～ 179)	0.72	240
テルペン類 (12)	9.1	(1.3 ～ 502)	1.6	
エステル類 (12)	16	(3.3 ～ 233)	2.4	
カルボニル化合物 (10)	31	(12 ～ 383)	5.5	
アルデヒド (4)	11	(3.3 ～ 35)	1.7	
ケトン (6)	22	(2.8 ～ 376)	3.2	
その他 (60)	123	(18 ～ 1239)	21	
アルコール・グリコール (18)	42	(6.1 ～ 573)	6.3	
キノン (2)	14	(1.4 ～ 61)	2.4	
フェノール (3)	15	(0.64 ～ 150)	2	
エーテル (3)	0.16	(0 ～ 1.6)	0.02	
フラン (2)	19	(0.35 ～ 25)	0.28	
リン酸エステル (9)	0.44	(0.02 ～ 8.5)	0.07	
アジピン酸エステル (3)	0.21	(0 ～ 13)	0.04	
フタル酸エステル (11)	0.78	(0.09 ～ 6.6)	0.12	
含窒素化合物 (9)	36	(36 ～ 1043)	6.6	

表14 化学物質濃度(μg/m³)

	濃度 (μg/m ³)	
	範囲	年平均値
Formaldehyde(μg/m ³)		
HCHO(indoor)	75～512.5	212.5
HCHO(outdoor)	N.D. ～45	22.5
Volatile organic compounds (μg/m ³)		
Acetone	N.D. ～49	47
Methylethylketone	N.D. ～118	53
Ethylacetate	N.D. ～113	37
Benzene	0.06 ～14	4.4
Methylisobutylketone	N.D. ～170	33
Toluene	67～2700	660
Butylacetate	3.8～170	40
Ethylbenzene	12～1100	300
m,p-Xylene	27～1800	430
o-Xylene	7.2～600	200
Styrene	5.6～87	33
α-Pinene	160～500	280
Decane	0.85～460	58
Tetradecane	N.D. ～15	4.3
1,2,4-Trimethylbenzene	0.8～320	64
Limonene	1.1～72	29
p-Dichlorobenzene	N.D. ～54	15

新築1年後1日/月の年平均値
測定場所：リビングルーム

表15 アルデヒド、ケトン類の住宅内濃度

	最小	最大	平均
ホルムアルデヒド	0.007	0.170	0.059
アセトアルデヒド	0.006	0.126	0.053
アセトン	0.008	0.377	0.055
アクロレイン	0.000	0.015	0.001
プロピオンアルデヒド	0.000	0.157	0.013
クロトンアルデヒド	0.000	0.007	0.001
メチルエチルケトン	0.002	0.251	0.027
メタクロレイン	0.000	0.015	0.001
n-ブチルアルデヒド	0.000	0.012	0.003
イソブチルアルデヒド	0.000	0.000	0.000
ベンズアルデヒド	0.000	0.091	0.009
バレアルデヒド	0.000	0.021	0.007
イソバレアルデヒド	0.000	0.000	0.000
m-toluアルデヒド	0.000	0.000	0.000
ヘキサアルデヒド	0.000	0.065	0.022

表16 揮発性有機化合物の住宅内濃度

	最小	最大	平均
酢酸エチル	12	945	143
ベンゼン	0	28	6
トルエン	1	1272	244
エチルベンゼン	0	913	83
o-,m-,p-キシレン	0	1047	63
スチレン	0	497	69
パラジクロロベンゼン	0	93	6
ノナール	1	421	23
ノナン	0	122	19
デカン	1	460	67
ウンデカン	0	609	64
ドデカン	0	325	29
トリデカン	0	777	24
テトラデカン	0	346	21
ペンタデカン	0	28	2
ヘキサデカン	0	15	1
α -ピネン	0	7872	810
β -ピネン	1	197	34
リモネン	1	3318	132

表17 居間の化学物質濃度(96軒)

	Mean	Min	Max
HCHO	70.0	8.1	146.9
CH ₃ CHO	16.3	< 11.7	45.8
2,4-dimethylpentane	4.4	< 4.2	48.0
Butanol	15.3	< 4.6	190.2
Heptane	2.3	< 4.1	8.3
Methylisobutylketone	5.9	< 3.8	44.1
Toluene(42軒)	325.5	< 3.0	3104.7
Tetra-chloroethylene	5.1	< 3.9	46.9
Butylacetate	14.8	< 4.4	142.8
Ethylbenzene	18.7	< 3.9	278.1
Styrene	13.1	< 4.7	171.3
Nonane	9.7	< 4.8	85.5
Alpha-pinene	27.5	< 4.6	218.9
P-dichlorobenzene	26.7	< 3.8	1028.9
Limonene	25.0	< 4.0	138.8
Undecane	7.2	< 5.3	48.2
Nonanal	5.7	< 4.6	45.4
Xylene	26.0	< 8.2	180.0
Trimethylbenzene	14.5	< 12.2	97.8
Total VOC 1†	482.6	43.0	3277.7
Total VOC 2††	221.9	41.5	1211.0

†VOCの合計

††dVOCの合計(Tolueneを除く)

ンは19軒(42軒中), パラジクロロベンゼンは2軒であり, エチルベンゼン, スチレン, キシレンは指針値を超える値はなかった(表17)。

ホルムアルデヒド, アセトアルデヒド濃度とシックハウス症状との関連は認められなかった。しかしトルエンと酢酸ブチルは皮膚症状, パラジクロロベンゼンは鼻症状と有意に関連していた。

東京近郊 新築住宅(1996~2001, 戸建23, 集合12)の化学物質濃度調査の結果(大貫ら²⁷⁾, 2001, 表18), ホルムアルデヒド, トルエン, p-ジクロロベンゼンの最大値は指針値を超え特にトルエンは8倍以上である。

近年に建築された住宅ほど, HCHO濃度低下が見られ, 1999年以降は, その傾向が著しく, 指針値以上の居室はなかった(表19)。

これは1997年に指針値が設定されたことにより, HCHO低減化の対策が充分に取られている結果である。

VOCsの指針値は2000年及び2001年に設定され, VOCsの低減対策が充分でなく, トルエンでは指針値以上の濃度の居室が多数あった。

瀧川の報告(2004)²⁸⁾によると, 近年, 一般家屋内の化学物質濃度は減少傾向であるが, 2003年の調査では, VOCsで指針値を超過しているのは0~2.2%とほとんどないが, トルエン, キシレン, スチレンの最高濃度はそれぞれ1,432 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 894 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と指針値を超過している(表20)。

室内のホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドで指針値を超過しているのはそれぞれ5%程度(最大221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)と10%程度(最大306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)である(表21)。

SHS症状と化学物質濃度との関係では, 指針値以下でも自覚症状のある例が存在するなど, なお不明な点が多い。

5. 室内環境と健康影響

シックハウス症候群, 化学物質過敏症に影響を及ぼす化学物質の研究は進んできているが, カビなどのハウスダストによると考えられる小児喘息などの問題は未だ残っている。

室内環境とヒト健康影響を調査した最近のいくつかの調査について紹介する。

内山ら(2003)²⁹⁾は全国から, 層化2段無作為抽出した満20才以上の男女4000人を対象としてMillerら(1999)³⁰⁾によって開発された「Quick Environmental

表18 築後6ヵ月以内の室内化学物質濃度(全49室)

化学物質	濃度(μg/m ³)				指針値
	最小	最大	平均値	中央値	
ホルムアルデヒド	5.9	141	40.9	26.9	80
トルエン	0.56	595	92.9	39.1	70
エチルベンゼン	0.69	22.6	6.1	4.9	880
スチレン	0.08	22	4.2	2.7	50
P-ジクロロベンゼン	0.12	207	22.8	1.6	40

表19 調査年の化学物質の平均濃度

化学物質	濃度(μg/m ³)				
	1996	1997	1998	1999	2000
部屋数 (n)	6	10	4	2	8
ホルムアルデヒド	54.3	70.4	61	23	27.4
トルエン	11.7	143	27.2	19.8	138
エチルベンゼン	-	8.1	4.9	11.5	6.2
キシレン	-	16.9	8	19	11
スチレン	1.8	6.2	5.6	2.4	3.4
P-ジクロロベンゼン	0.5	17.6	1.3	29.4	23.3

表20 全国及び主要都市の揮発性有機化合物濃度推移

	気中濃度(μg/m ³)			
	2001年	2002年	2003年	2004年
全国調査				
トルエン	86.7	64.1	64.1	—
キシレン	39.1	21.7	17.4	—
エチルベンゼン	21.7	13	17.4	—
スチレン	8.9	2.1	0.9	—
地域別調査				
トルエン				
東京(n=44)	39.6(夏)	28.6(冬)	—	—
高知(n=6)	36.1(冬)	—	—	—
宮城(n=5)	10.8(冬)	—	—	—
岡山(n=84)	—	—	—	11.2
エチルベンゼン				
東京(n=44)	8.3(夏)	4.5(冬)	—	—
高知(n=6)	8.8(冬)	—	—	—
宮城(n=5)	1.8(冬)	—	—	—
岡山(n=84)	—	—	—	2.3
スチレン				
東京(n=44)	5.2(夏)	2.8(冬)	—	—
高知(n=6)	<0.3(冬)	—	—	—
宮城(n=5)	ND(冬)	—	—	—
岡山(n=84)	—	—	—	ND
パラジクロロベンゼン				
東京(n=44)	46.4(夏)	14.1(冬)	—	—
高知(n=6)	15.4(冬)	—	—	—
岡山(n=84)	—	—	—	2.6
TVOC				
高知(n=6)	238.0(冬)	—	—	—
宮城(n=5)	337(冬)	—	—	—
岡山(n=84)	—	—	—	97.8
ベンゾ(a)ピレン				
東京(n=44)	0.44ng/m ³ (夏)	0.54ng/m ³ (冬)	—	—

表21 全国及び主要都市の大気中アルデヒド類濃度推

気中濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
全国調査*					
n	2,815	1,726	1,390	1,491	
ホルムアルデヒド ^a	89.7	61.4	52.8	49.1	—
アセトアルデヒド ^a	—		30.6	27	—
地域別調査**					
ホルムアルデヒド					
東京(n=44) ^b	—	34.1(夏期)	27.8(冬期)	—	—
高知(n=6) ^a	—	18.7(冬期)	—	—	—
岡山(n=84) ^b	—	—	—	—	36.1
アセトアルデヒド					
岡山(n=84) ^a	—	—	—	—	15.7

^a平均値, ^b中央値

注)

* 全国調査：室内空気対策研究会実態調査分析会(2004)

** 地域調査：岸, 平成16年度総括・分担研究報告書(2005), 大貫ら, 東京都健康度安全研究センター研究年報(2003), 川田ら, 高知県衛生研究所年報(2001), 東海ら, 仙台市衛生研究年報(2003)

Exposure and Sensitivity Inventory(QEFSI)」を石川らが日本人向けに改編した質問票を元にして新しく質問票を作成した。このQEFSIは化学物質過敏症患者の特徴ある調査項目である。

この調査票は「Chemical Exposure：化学物質曝露による反応(I)」「Other Exposures：その他の化学物質による反応(II)」「Symptoms：症状(III)」の3項目でそれぞれ10問あり, 計30問からなっている。

評価は3項目でそれぞれカットオフ値(I： ≥ 40 , II： ≥ 40 , III： ≥ 25)を超える点数である場合化学物質に対する感受性の高い群としてスクリーニングする。

この調査で, 3項目を満たしていたのは0.74%, 2項目を満たしていたのは2.1%と, Millerら(3項目が6.6%, 2項目が15.8%)の調査結果と比べ低いものであった。

この調査で, 化学物質過敏症と診断されたと回答したのは23名(回答者2,851人)で, そのうち実際に同基準の3項目とも満たした人は1名, 化学物質過敏症と診断された人の半数以上が基準を1つも満たしていなかった。

加藤ら(2007)³¹⁾は工場労働者2204名を対象者として(回答者数1986名)内山らが改良したQEESIを参

考にして作成した質問票を用いて化学物質過敏症の調査を行った。この結果, 3項目のカットオフ値を満たしているのは0.7%, 2項目のそれは2.4%であった。

真鍋ら(2008)³²⁾は, 特定建築物内で従来する従業員410名(回答率89.8%)を対象にして内山らの質問票を用いて, 化学物質過敏症の調査を実施した。

QEESI質問票の3項目全ての基準を満たしている人は1.1%(4名), いずれか2項目以上の人が3.5%(13名)である。

この調査の中で, 化学物質過敏症と診断された人は2名で, その中の1名が「症状」の項目でカットオフ値を超過し, 他の1名は3項目ともカットオフ値以下であった。

この調査結果は, 内山ら及び加藤らの調査結果とよく類似していたが, Miller³⁰⁾, Meggs³³⁾及びKrentzerら³⁴⁾の結果より低い結果であった。

その他岸ら(2006)³⁵⁾が全国を対象に築6年目以内の一戸建住宅2,298軒の居住者の症状アンケートと居住空間調査を実施した。

その結果, シックハウス症候群の症状とカビ臭が有意に関連していた。環境要因の変化とシックハウス症候群との関連について, α -ピネン, TVOCの

減少はリスクを減し、2-ペンタン、リモネン、TVOCの増加がリスクを上げることを示した。

国外の報告ではW.J.Firk(2007)³⁶⁾、C.G.Bornehagら(2004³⁷⁾、2005³⁸⁾で、前者は室内の結露・カビが呼吸器系の症状の発現の危険性が高い、後者の調査では、児童の喘息や鼻炎などの症状は居住内の結露・カビの発生と関連していると示した。

6. おわりに

室内環境研究は、日本の産業構造の変化によるビル内の業種の増加、また生活スタイルの変化に伴って発生する健康影響、また快適な室内空間の構築に関する研究が増加してきている。この問題を取り上げている学会は、大気環境学会が最も早く、1986年までは一般大気演題の中に含まれて発表されていたが、1987年に屋内汚染としてのセッションが初めて設けられ、6題の発表があった。今日まで毎年10～25題の発表がなされてきている。特に、VOCs、アルデヒド類、多環芳香族炭化水素などの化学物質の実態、測定方法などの発表が主である。

大気環境学会以外の発表の場として、室内環境学会は1995年設立され、室内研究の中心として活動を始めた。この学会では実態調査、測定技術、低減対策を中心に毎年約160題の発表がなされている。その他、日本建築学会は、演題数が多く、化学物質、温熱、換気、空調と幅広い研究発表である。空気清浄とコンタミネーションコントロール研究は空調設備、クリーンルームの設備関連、空気調和・衛生工学会など、その学会の研究目的によって、それぞれ活発に活動がなされている。

国際的には参加国・参加者とも最大の学会は、3年に1回開かれるIndoor Air Quality and Climateで、2008年はコペンハーゲンで11回目が開催された。この国際会議は発表演題は700題を超し、そのうち日本人は約65題と回をおうごとに増加し日本での室内環境研究が、世界的レベルであることが伺える。

今後、臨床系、工学系、物理系など空気環境に関連する研究者との共同研究などを踏まえて、積極的な室内環境の取り組みがなされることを願う。

引用文献

- 1) 日本放送協会放送世論調査所編：昭和55年度国民生活時間調査(1981)。
- 2) J.L.Repace:Indoor air pollution, Environ. Internet,

8:21～26(1982)。

- 3) 長谷川利雄，城戸勝義，小猿和男：住宅内の空気汚染に関する研究－室内の窒素酸化物濃度を中心にして－，公害と対策，12，1192-1202(1976)。
- 4) 松村年郎，村松學：室内空気中における窒素酸化物濃度について，公害と対策，17，443-448(1981)。
- 5) 柳沢幸雄，西村肇：生活環境中濃度測定用NO₂パーソナル・サンプラー，大気汚染学会誌，15，316-323(1980)。
- 6) 新田裕史，横山泰彦，三浦邦彦 他：都市オフィス勤労者の二酸化窒素個人暴露量に関する研究，大気汚染学会誌，16，277-284(1981)。
- 7) 松木秀明，春日斉，逢坂文夫 他：喫煙および二酸化窒素による室内汚染の影響に関する冬期と夏期の比較研究，日本公衛誌，32，549-559(1985)。
- 8) 村松學：室内空気汚染に関する研究，大気汚染学会誌，21，236-252(1986)。
- 9) 松村年郎：化学物質による室内空気汚染について，建築雑誌，vol.113，18-19(1998)。
- 10) 中井里史，高木裕司，柳沢幸雄，篠原直秀，西岡祐里佳，J Vallarino，J Spengler，河合了，前田雅彦，池田康也：北海道における室内空気環境測定，室内環境学会総会講演集，82-83(1999)。
- 11) 児玉 泰：生活環境中における慢性閉塞性肺疾患発症因子の解明に関する研究報告書，公害健康被害補償予防協会委託業務報告書，(1988)。
- 12) K. Arashidani, M. Yoshikawa, T. Kawamoto, K. Matsumoto, F. Kayama and Y. Kodama :Indoor Pollution from Heating, Industrial Health, 34, 205-215(1996)。
- 13) 松村年郎，村松學，亀谷勝昭：室内空気汚染に関する研究(第3報)－室内空気中のホルムアルデヒド濃度について－，日本公衛誌，30，303-308(1983)。
- 14) 新田祐史，前田和甫：公衆衛生の課題としての室内汚染，産業公害，22，464-468(1986)。
- 15) 上月千佳子，泉那彦：ホルムアルデヒドによる屋内大気汚染，Man & Environ, 23(1)，34-40(1997)。
- 16) 松村年郎：室内汚染の現状と今後の方向，第28回大気汚染学会講演要旨集，84-88(1987)。

- 17) 雨谷敬史, 大浦健, 杉山智彦, 房家正博, 松下秀鶴: 富士市・夏季におけるアルデヒド類による室内外の汚染実態調査, 室内環境学会誌, 3 (1), 35-43(2000).
- 18) 村松茂登彦, 梅村節子: ニコチン個人曝露センタールの開発とその応用, 医学のあゆみ, 113(9), 595-600(1985).
- 19) 安藤正典: 化学物質過敏症等室内空气中化学物質に係わる疾病と総化学物質の存在量の検討と要因解明に関する研究, 厚生労働科学研究費補助金がん予防等健康科学総合研究事業平成13~15年度 総合研究報告書, (2004).
- 20) 秋山幸雄, 樺田尚樹, 加藤貴彦, 内山巖雄, 山野優子, 嵐谷奎一: 美術館・博物館内の空気汚染調査, 大気環境学会誌, 43, 6, 323-331 (2008).
- 21) 真鍋龍治, 樺田尚樹, 加藤貴彦, 黒田嘉紀, 秋山幸雄, 山野優子, 内山巖雄, 嵐谷奎一: 大型店舗内の空気汚染及び個人曝露調査, 日本衛生学会誌, 63, 20-28(2008).
- 22) 山口貴史, 鈴木香織, 江副優香, 中島大介, 藤巻秀和, 後藤純尾: 新築住宅における揮発性有機化合物の経時変化について, 平成15年度室内環境学会総会講演集, 178-179(2003).
- 23) 吉田俊明, 松永一郎, 富岡公子, 熊谷信二: 揮発性有機化合物による乗用車室内空気の汚染—I.国産100車種における汚染実態調査—I, 室内環境学会誌, 8, 188-189(2005).
- 24) 大塚建次, 松村年郎, 濱田実香: 居住環境内における化学物質汚染の実態調査, 室内環境学会誌, 5, 23-35(2002).
- 25) 松田俊一, 寺村明憲, 辻恭子, 原田裕久: 新築住宅におけるアルデヒド・ケトン類(15物質), VOC(19物質)の気中濃度の現状, 6, 150-153 (2003).
- 26) 岸玲子, 西條泰明, 佐田文宏: 「シックハウス症候群」の自覚症状と関連する要因—北海道での新築一般住宅を対象とした実態調査結果について, 室内空気質と健康影響, 167-173(2004).
- 27) 大貫文, 斎藤育江, 瀬戸博, 上原眞一, 鈴木孝人: 室内環境学会誌, 新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度及び揮発性有機化合物濃度の年次推移, 4, 96-97(2001).
- 28) 瀧川智子: 化学物質による室内環境汚染とシックハウス症候群, 日本職業・災害医学会会誌, 54, 193-199(2006).
- 29) 内山巖雄, 村山留美子: QEESI調査票を用いた化学物質過敏症の全国調査, 第44回大気環境学会講演要旨集, 246-247(2003).
- 30) Miller C, Prihoda T. :The environmental exposure and sensitivity inventory (EESI):a standardized approach for measuring chemical intolerances for research and clinical application., Toxicol Ind Health., 15, 386-396(1999).
- 31) 加藤貴彦, 黒田嘉紀, 小宮康裕: 工場労働者における化学物質過敏状態の質問表調査, 産衛誌, 48, 98-99(2007).
- 32) 真鍋龍治, 樺田尚樹, 加藤貴彦, 黒田嘉紀, 秋山幸雄, 山野優子, 内山巖雄, 嵐谷奎一: 特定建築物で働く従業員の化学物質過敏症に関する質問票調査, 日本衛生学雑誌, 63, 717-723 (2008).
- 33) Meggs W, Dunn K, Bloch R, Goodman P and Davidoff A.: Prevalence and nature of Allergy and chemical sensitivity in a general population., Arch environ health., 51, 275-282(1996).
- 34) Kreutzer R, Neutra RR and Lashuay N. :Prevalence of people reporting sensitivities to chemicals in a population-based survey., Am J Epidemiol. 150, 1-12(1999).
- 35) 岸玲子: 全国規模の疫学研究によるシックハウスの実態と要因の解明, 健康科学総合研究成果発表会(研究者向け)報告書, 14-19(2006).
- 36) W.J.Fisk et al.:Meta-analysis of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes, Indoor Air, vol.17, vol.4, pp.284-296(2007).
- 37) C.G.Bornehug et al.:Dampness in buildings and health (DBH):Report from an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden, Indoor Air vol.14, supple. 7, pp.59-66(2004).
- 38) C.G.Bornehug et al.:Association between ventilation rates 390 Swedish homes and allergic symptoms in children, Indoor Air vol.15, No.4, pp.284-296(2005).
- 28) 瀧川智子: 化学物質による室内環境汚染とシック