

室内空气中化学物質の実態調査 - 平成11年度 -

齋藤育江*, 大貫文*, 瀬戸博*, 上原真一*, 藤井孝**

Survey of Indoor Air Chemicals : Nov.1999-Mar.2000

Ikue SAITO*, Aya ONUKI*, Hiroshi SETO*, Shin-ichi UEHARA* and Takashi FUJII**

Keywords: ホルムアルデヒド formaldehyde, 揮発性有機化合物 volatile organic compound, フタル酸エステル類 phthalate, 内分泌攪乱化学物質 endocrine disrupter, 室内空気 indoor air, 外気 outdoor air

緒言

現代社会では、住宅や職場の室内環境及びその周囲環境において、建材、家庭用品、殺虫剤、防虫剤などに内分泌攪乱作用が疑われる化学物質が広く使用されている。特に気密性の高い現在の住宅においては、多種類の化学物質が室内空気を汚染し、それらが呼吸器を介して血中に移行し、内分泌系や免疫系に影響を及ぼすことも懸念される。

著者らは、シックハウス問題の広がりを受け、平成7年度から室内空气中のホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物(VOC)等について調査の取り組みを行い、実態を明らかにしてきた¹⁻⁶⁾。また、平成11年度からはそれらの成果を踏まえ、調査対象を内分泌攪乱化学物質を含む半揮発性有機化合物(SVOC)にまで広げ、調査を実施している。今回は、平成11年度にホルムアルデヒド、VOC及びフタル酸エステル類の計19物質について室内及び外気濃度を調査した結果を報告する。

実験材料及び方法

1. 調査対象物質(略号)

ホルムアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、パラジクロロベンゼン、ナフタレン、ブタノール、フタル酸ジメチル(DMP)、フタル酸ジエチル(DEP)、フタル酸ジ-*i*-プロピル(DiPP)、フタル酸ジアリル(DAP)、フタル酸ジ-*n*-プロピル(DnPP)、フタル酸ジ-*i*-ブチル(DiBP)、フタル酸ジ-*n*-ブチル(DnBP)、フタル酸ブチルベンジル(BBP)、フタル酸ジヘキシル(DHP)、フタル酸ジシクロヘキシル(DCHP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)

2. 測定方法

空気の採取は、平成11年11月～平成12年3月の冬期に、東京都内の住宅及びオフィスビルにおいて、1軒あたり室内2ヶ所、外気1ヶ所で行った。室内の測定は、住宅では

居間及び寝室、オフィスビルでは事務室及び会議室を中心として行った。外気濃度の測定は、住宅ではベランダあるいは軒下等、オフィスビルでは屋上あるいは非常階段等で行った。

ホルムアルデヒドは、捕集管にパッシブガスタンブ(柴田科学)を用いて、パッシブ法により空気を24時間採取した後、AHMT(4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール)-吸光光度法により分析した⁷⁾。

VOC(トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、パラジクロロベンゼン、ナフタレン及びブタノール)は、吸着剤としてTenax TA(200 mg)を充填したステンレス製加熱脱着チューブを捕集管に用い、パッシブ法により空気を24時間採取した後、加熱脱着装置によりガスクロマトグラフ-質量分析計(GC-MS)に導入して分析した⁸⁾。

フタル酸エステル類は、石英及びODS(Empore C18)フィルターを用いて、アクティブ法により空気を10L/分で24時間採取した後、フィルターをアセトンで抽出し、GC-MSにより分析した⁹⁾。

なお、室内測定中は特に条件を設けず、通常的生活状態でサンプリングを行い、換気、冷暖房の使用等について生活行動を記録した。また、同時にアンケート調査を行い、住宅の建築構造(木造、鉄骨、鉄筋コンクリート)及び建築様式(戸建、集合)、築年数等について質問するとともに、健康に関する質問項目を設け、室内に居て不快な症状の起きる者の有無、症状が起きる者がいる場合はその内容及び頻度について調査した。

結果

1. 建築物の概要

測定を行った建物は、住宅23軒及びオフィスビル12軒で、外気はそれぞれの建物について1ヶ所採取した。住宅を構造及び様式によって分類すると、木造戸建住宅(以下、木

* 東京都立衛生研究所環境保健部環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

* The Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0073 Japan

** 東京都立衛生研究所環境保健部

造戸建) 13軒, 木造集合住宅(以下, 木造集合) 1軒, 鉄骨戸建住宅(以下, 鉄骨戸建) 2軒, 鉄筋コンクリート集合住宅(以下, 鉄筋集合) 7軒で, 高気密高断熱住宅(相当隙間面積 $2.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以下)⁰⁾は含まれていなかった。オフィスビルは延べ面積 $3,000 \text{ m}^2$ 以上の特定建築物11軒, 老人保健施設 1軒で, 勤務時間中及び使用時間中は空調設備が作動していた。なお, 住宅は1軒を除き居住住宅で, オフィスビルはすべて使用中であった(勤務日に採取)。

建築物の築年数は, 住宅が0.3~20年(平均3.1年), オフィスビルが0.6~38.5年(平均10.7年)であった。なお, 測定を行なった部屋で床や壁紙等リフォームのあった建物については, リフォーム後の年数を築年数とした。

測定中(24時間)の平均温度及び平均湿度は, 住宅で温度 $4.9 \sim 25.8$ (平均 14.2), 湿度 $19.0 \sim 65.0\%$ (平均 42.5%), オフィスビルで温度 $19.4 \sim 24.7$ (平均 22.3), 湿度 $29.5 \sim 70.0\%$ (平均 44.7%), 外気で温度 $3.5 \sim 17.4$ (平均 8.5), 湿度 $22.0 \sim 73.6\%$ (平均 45.6%)であった。また, 住宅の平均窓開け時間は73.9分, 換気扇の平均使用時間は72.3分であった。

2. 室内及び外気濃度統計値

表1に室内及び外気におけるホルムアルデヒド, VOC及びフタル酸エステル類濃度の統計値を示す。室内のホルムアルデヒド濃度の中央値は, 住宅で $30.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, オフィスビルで $16.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と住宅の方が高く, 有意差がみられた($p < 0.01$)。VOCの中では, 中央値が最も高かったのは住

宅, オフィスビルともにトルエン(約 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)で, 次にキシレン(約 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$)の濃度が高かった。パラジクロロベンゼンについては, 住宅とオフィスビルで濃度に有意差($p < 0.05$)がみられ, 住宅($13.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)ではオフィスビル($6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)に比べて中央値で約2倍高濃度だった。その他のVOCについては両者の間に濃度差はみられなかった。

フタル酸エステル類では, 住宅, オフィスビルともに, 中央値でDnBP(住宅 $278 \text{ ng}/\text{m}^3$, オフィスビル $603 \text{ ng}/\text{m}^3$)が最も高く, 次にDEHP(住宅 $171 \text{ ng}/\text{m}^3$, オフィスビル $202 \text{ ng}/\text{m}^3$)が高濃度で, これら2物質の値は他に比べて一桁高かった。また, DiBP($p < 0.01$), DnBP($p < 0.01$)及びBBP($p < 0.05$)の3物質については, 住宅とオフィスビルで濃度に有意差がみられ, いずれの物質もオフィスビルの方が住宅に比べて中央値で約3倍高濃度だった。

外気では, ホルムアルデヒド濃度の中央値が $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で, VOCでは室内と同様に中央値でトルエン濃度が最も高く($24.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)次にキシレン濃度が高かった($8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。しかし, 各物質の中央値は, ホルムアルデヒドを除き, いずれも住宅及びオフィスビルの濃度よりも低かった。

得られた調査結果のうち, 現在, 室内濃度の指針値が示されている8物質について評価を行った。指針値を超過した住宅数は, ホルムアルデヒド1軒(2室, ただし空家), トルエン1軒(2室), パラジクロロベンゼン4軒(5室)であった。オフィスビルでは, 指針値を超えたものはなか

表1. 室内及び外気における空气中化学物質濃度

物質名	住宅 (n = 46)*			オフィスビル (n = 24)			外気 (n = 35)		
	Min.	Max.	(Med.)	Min.	Max.	(Med.)	Min.	Max.	(Med.)
ホルムアルデヒド	10.0	~ 125	(30.5)	7.0	~ 28.1	(16.0)	5.5	~ 34.3	(19.8)
揮発性有機化合物 (VOC)									
トルエン	7.3	~ 2020	(27.9)	17.7	~ 103	(30.9)	4.3	~ 85.6	(24.9)
エチルベンゼン	1.6	~ 7.8	(6.3)	2.4	~ 19.7	(6.5)	0.61	~ 26.2	(4.8)
キシレン	2.9	~ 32.0	(12.2)	3.9	~ 31.7	(11.3)	1.7	~ 29.7	(8.7)
スチレン	0.59	~ 36.5	(2.8)	1.0	~ 20.4	(3.0)	<0.34	~ 58.9	(2.1)
パラジクロロベンゼン	1.0	~ 1150	(13.2)	1.3	~ 98.0	(6.6)	<0.72	~ 23.8	(2.0)
ナフタレン	<0.70	~ 145	(1.3)	<0.70	~ 2.1	(1.2)	<0.70	~ 6.3	(<0.70)
ブタノール	<1.2	~ 25.2	(2.2)	1.3	~ 7.3	(3.2)	<1.2	~ 7.7	(<1.2)
フタル酸エステル類									
フタル酸ジメチル	8.6	~ 6290	(26.4)	7.7	~ 156	(38.1)	<0.50	~ 51.1	(3.8)
フタル酸ジエチル	3.4	~ 857	(32.5)	9.1	~ 246	(107)	<0.50	~ 17.2	(1.9)
フタル酸ジ- <i>i</i> -プロピル	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)
フタル酸ジアリル	<5.0	~ <5.0	(<5.0)	<5.0	~ <5.0	(<5.0)	<5.0	~ <5.0	(<5.0)
フタル酸ジ- <i>n</i> -プロピル	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	1.7	~ 58.5	(9.1)	5.9	~ 49.8	(28.4)	<0.50	~ 11.1	(0.69)
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	120	~ 3340	(278)	170	~ 3310	(603)	<15.0	~ 118	(18.3)
フタル酸ブチルベンジル	<1.0	~ 7.3	(1.7)	<1.0	~ 62.6	(3.1)	<1.0	~ 7.9	(1.2)
フタル酸ジヘキシル	<0.50	~ 0.78	(<0.50)	<0.50	~ 0.98	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)
フタル酸ジシクロヘキシル	<0.50	~ 1.0	(<0.50)	<0.50	~ 0.72	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	51.8	~ 592	(171)	59.0	~ 496	(202)	<10.0	~ 154	(34.2)

ホルムアルデヒド及びVOC: 単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, フタル酸エステル類: 単位 ng/m^3 , Min.: 最小値, Max.: 最大値, Med.: 中央値

*: 住宅は, フタル酸エステル類で欠測が1室あったため, フタル酸エステル類については n = 45.

った。なお室内濃度指針値はホルムアルデヒド $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエン $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パラジクロロベンゼン $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼン $3,800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、スチレン $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DnBP $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DEHP $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ である¹¹⁾。

3. 室内濃度の分布

ホルムアルデヒド、トルエン及びDnBPのヒストグラムを図1に示す。いずれの濃度も正規分布には近似されず、一般的に知られているように、高濃度側に裾を引いた形の分布を示した。ホルムアルデヒド及びトルエンについては、

オフィスビルに比べて、住宅で濃度の分布範囲が広く、他のVOCでも同様の傾向がみられた。また、DnBPについては住宅とオフィスビルで濃度の分布範囲に差はみられず、DMP及びDEPを除くフタル酸エステル類でも分布範囲は同程度であった。DMP及びDEPについては、住宅の方が高濃度側に広く分布していた。

4. 空気中化学物質の検出率

表2に部屋別及び建物別の空気中化学物質検出率を示す。なお、建物別の検出率は室内2ヶ所のうち1ヶ所以上で検出された場合を検出として算出した。ホルムアルデヒド

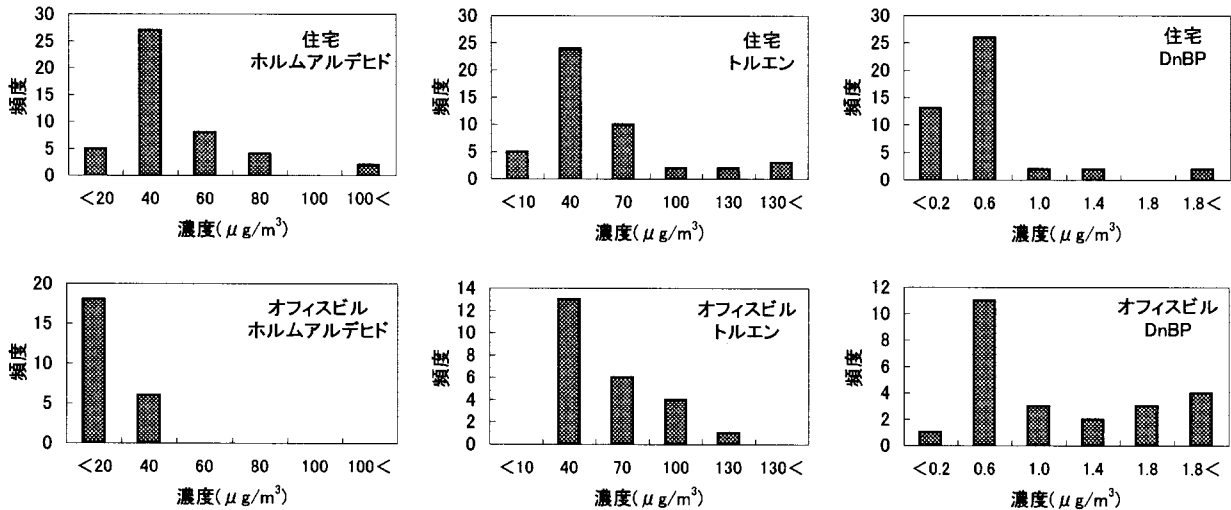


図1. 室内空気中化学物質のヒストグラム

表2. 室内及び外気における空気中化学物質検出率

物質名	住宅		オフィスビル		外気
	部屋別	建物別	部屋別	建物別	地点別
	検出数 / 調査数 (%)	検出数 / 調査数 (%)	検出数 / 調査数 (%)	検出数 / 調査数 (%)	検出数 / 調査数 (%)
ホルムアルデヒド	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
揮発性有機化合物 (VOC)					
トルエン	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
エチルベンゼン	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
キシレン	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
スチレン	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
パラジクロロベンゼン	46/46 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	35/35 (100)
ナフタレン	29/46 (63.0)	16/23 (69.6)	17/24 (70.8)	9/12 (75.0)	14/35 (40.0)
ブタノール	31/46 (67.4)	17/23 (73.9)	24/24 (100)	12/12 (100)	12/35 (34.3)
フタル酸エステル類					
フタル酸ジメチル	45/45 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/ (100)	35/35 (100)
フタル酸ジエチル	45/45 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/ (100)	35/35 (100)
フタル酸ジ- <i>i</i> -プロピル	0/45 (0)	0/23 (0)	0/24 (0)	0/12 (0)	0/35 (0)
フタル酸ジアリル	0/45 (0)	0/23 (0)	0/24 (0)	0/12 (0)	0/35 (0)
フタル酸ジ- <i>n</i> -プロピル	0/45 (0)	0/23 (0)	0/24 (0)	0/12 (0)	0/35 (0)
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	45/45 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	27/35 (77.1)
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	45/45 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	23/35 (65.7)
フタル酸ブチルベンジル	38/45 (84.4)	21/23 (91.3)	20/24 (83.3)	10/12 (83.3)	22/35 (62.9)
フタル酸ジヘキシル	2/45 (4.4)	2/23 (8.7)	5/24 (20.8)	4/12 (33.3)	0.35 (0)
フタル酸ジシクロヘキシル	6/45 (13.3)	4/23 (17.4)	2/24 (8.3)	1/12 (8.3)	0/35 (0)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	45/45 (100)	23/23 (100)	24/24 (100)	12/12 (100)	32/35 (91.4)

建物別の検出率は、室内2ヶ所のうち1ヶ所以上で検出された場合を検出として、算出した。

ド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン及びパラジクロロベンゼンは、室内及び外気でいずれも検出率100%であった。ナフタレンは、室内での検出率は約70%、外気では40%であり、ブタノールについては住宅で約70%、オフィスビルで100%、外気では34%であった。

フタル酸エステル類については、室内でDMP、DEP、DiBP、DnBP及びDEHPの検出率はいずれも100%で、BBPの検出率は83～91%であった。また、DHP及びDCHPの検出率は4～33%と低く、DiPP、DAP及びDnPPの3物質については、検出されなかった。

外気においては、DMP及びDEPの検出率は100%で、次いでDEHPが91%と高く、DiBP、DnBP及びBBPの検出率は63～77%であった。DiPP、DAP、DnPP、DHP及びDCHPは検出されなかった。

5. 室内濃度と外気濃度の比率 (I/O比)

表3に中央値を用いた室内濃度と外気濃度の比率 (I/O比) を示す。オフィスビルのホルムアルデヒドを除き、室内では外気よりも化学物質の濃度が高く、I/O比は住宅で1.1～17.1、オフィスビルで1.2～56.3であった。ホルムアルデヒドのI/O比は、住宅で1.5、オフィスビルで0.8であった。VOCでは、住宅におけるパラジクロロベンゼン濃度のI/O比が最も高く(6.6)、次いで、オフィスビルにおけるブタノールの比率が高かった(5.3)。トルエン、エチルベンゼン、キシレン及びスチレンについては、I/O比は1.5以下であった。また、VOC 7物質の中央値合計を用いたI/O比は、住宅で1.5、オフィスビルで1.4であった。

フタル酸エステル類では、住宅、オフィスビル共に

表3. 中央値を用いた室内濃度 / 外気濃度の比率 (I/O比)

物質名	住宅	オフィスビル
ホルムアルデヒド	1.5	0.8
揮発性有機化合物 (VOC)		
トルエン	1.1	1.2
エチルベンゼン	1.3	1.4
キシレン	1.4	1.3
スチレン	1.3	1.4
パラジクロロベンゼン	6.6	3.3
ナフタレン*	3.7	3.4
ブタノール*	3.7	5.3
VOC合計	1.5	1.4
フタル酸エステル類		
フタル酸ジメチル	6.9	10.0
フタル酸ジエチル	17.1	56.3
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	13.2	41.2
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	15.2	33.0
フタル酸ブチルベンジル	1.4	2.6
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	5.0	5.9
フタル酸エステル類合計	8.6	16.3

*: ナフタレン及びブタノールについては、外気濃度が検出下限値以下であったので、計算には検出下限値の1/2の値を用いた (ナフタレン: $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ブタノール $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。

DMP、DEP、DiBP、DnBP及びDEHPのI/O比はいずれも5.0以上で、特にオフィスビルにおけるDEPは56.3と、最高値を示した。BBPのI/O比は住宅1.4、オフィスビル2.6であった。フタル酸エステル類6物質の中央値合計を用いたI/O比は住宅で8.6、オフィスビルで16.3と、ホルムアルデヒド及びVOCに比べ高値を示した。

6. 室内濃度の最大値と最小値の比率 (Max./Min.比)

表4に室内濃度の最大値と最小値の比率 (Max./Min.比) を示す。Max./Min.比の範囲は住宅で3.1～1150、オフィスビルで2.9～125であった。Max./Min.比が最も大きかったのは、住宅におけるパラジクロロベンゼン(1150)で、次いで住宅におけるDMP(731)の値が大きかった。これら以外に、Max./Min.比が100以上であったのは住宅ではトルエン(281)、ナフタレン(414)及びDEP(252)、オフィスビルではBBP(125)であった。これらの物質は各住宅あるいは各オフィスビルにより濃度差が大きいことが明らかとなった。

7. 建物内における室内2ヶ所の濃度比

同一建物内で行った測定結果について、室内2ヶ所で各物質が検出された場合、両者の測定値を比較し、濃度の高い方を低い方で除して2ヶ所の濃度比を算出した。結果を表5に示す。2ヶ所の濃度比は住宅で1.0～25.2、オフィスビルで1.0～15.6であった。濃度比の平均値が2以上だったのは、住宅ではナフタレン(3.8)、パラジクロロベンゼン(3.3)、DEP(3.0)及びDiBP(2.4)で、オフィスビルではBBP(2.9)、DEP(2.4)、スチレン(2.1)及びパラジク

表4. 室内濃度の最大値 / 最小値の比率 (Max./Min. 比)

物質名	住宅	オフィスビル
ホルムアルデヒド	12.5	4.0
揮発性有機化合物 (VOC)		
トルエン	281	5.8
エチルベンゼン	4.9	8.1
キシレン	11.1	8.1
スチレン	61.0	20.4
パラジクロロベンゼン	1150	75.4
ナフタレン*	414	6.0
ブタノール*	42.0	5.6
フタル酸エステル類		
フタル酸ジメチル	731	20.3
フタル酸ジエチル	252	27.0
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	34.4	8.4
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	27.8	19.5
フタル酸ブチルベンジル*	14.6	125
フタル酸ジヘキシル*	3.1	3.9
フタル酸ジシクロヘキシル*	4.0	2.9
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	11.4	8.4

*: ナフタレン、ブタノール、フタル酸ブチルベンジル、フタル酸ジヘキシル及びフタル酸ジシクロヘキシルについては、最小値が検出下限値以下であったので、計算には検出下限値の1/2の値を用いた (順に0.35, 0.60, 0.50, 0.25, $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。

表5. 同一建物における室内2ヶ所の空气中化学物質濃度比

物質名	住宅				オフィスビル			
	n	Min.	Max.	(Ave.)	n	Min.	Max.	(Ave.)
ホルムアルデヒド	23	1.0	~ 2.3	(1.4)	12	1.0	~ 1.7	(1.2)
揮発性有機化合物 (VOC)								
トルエン	23	1.0	~ 2.7	(1.4)	12	1.0	~ 1.7	(1.2)
エチルベンゼン	23	1.0	~ 2.7	(1.4)	12	1.0	~ 1.9	(1.4)
キシレン	23	1.0	~ 2.1	(1.3)	12	1.0	~ 1.7	(1.4)
スチレン	23	1.0	~ 3.4	(1.7)	12	1.1	~ 6.5	(2.1)
パラジクロロベンゼン	23	1.0	~ 17.1	(3.3)	12	1.0	~ 4.9	(2.1)
ナフタレン	13	1.0	~ 25.2	(3.8)	8	1.0	~ 2.7	(1.7)
ブタノール	13	1.0	~ 3.2	(1.5)	12	1.1	~ 4.0	(1.8)
フタル酸エステル類								
フタル酸ジメチル	22	1.0	~ 3.9	(1.7)	12	1.1	~ 2.9	(1.6)
フタル酸ジエチル	22	1.0	~ 16.7	(3.0)	12	1.1	~ 12.1	(2.4)
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	22	1.0	~ 5.4	(2.4)	12	1.1	~ 3.2	(1.7)
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	22	1.0	~ 8.8	(1.9)	12	1.0	~ 4.7	(1.7)
フタル酸ブチルベンジル	17	1.0	~ 3.4	(1.7)	10	1.0	~ 15.6	(2.9)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	22	1.0	~ 6.3	(1.9)	12	1.1	~ 2.1	(1.4)

n: 室内2ヶ所で各物質が検出された建物数, Min.: 最小値, Max.: 最大値, Ave.: 平均値

表6. 住宅構造及び様式別の室内空气中化学物質濃度

物質名	木造戸建 (n = 26)			木造集合 (n = 2)			鉄骨戸建 (n = 4)**			鉄筋集合 (n = 14)		
	Min.	Max.	(Med.)	Min.	Max.	(Ave.)*	Min.	Max.	(Med.)	Min.	Max.	(Med.)
ホルムアルデヒド	10.0	~ 79.9	(32.3)	18.5	~ 30.5	(24.5)	22.6	~ 46.2	(26.8)	23.0	~ 125	(30.8)
揮発性有機化合物 (VOC)												
トルエン	7.3	~ 2020	(20.9)	33.5	~ 41.1	(37.3)	26.4	~ 73.9	(51.3)	7.5	~ 147	(39.8)
エチルベンゼン	1.6	~ 17.8	(4.6)	7.0	~ 9.1	(8.0)	5.2	~ 11.3	(7.2)	1.7	~ 13.9	(9.6)
キシレン	2.9	~ 29.5	(9.8)	15.6	~ 19.5	(17.6)	7.8	~ 32.0	(16.7)	3.3	~ 26.1	(16.7)
スチレン	0.89	~ 21.7	(2.2)	1.2	~ 2.3	(1.8)	6.8	~ 13.2	(9.2)	0.59	~ 36.5	(4.1)
パラジクロロベンゼン	1.0	~ 812	(10.2)	39.1	~ 80.0	(59.5)	7.8	~ 16.8	(10.8)	2.7	~ 1150	(18.9)
ナフタレン	<0.70	~ 145	(0.92)	0.73	~ 1.9	(1.3)	<0.70	~ 1.7	(0.55)	<0.70	~ 14.2	(2.4)
ブタノール	<1.2	~ 6.1	(1.5)	2.5	~ 3.3	(2.9)	2.1	~ 3.3	(2.6)	<1.2	~ 25.2	(2.0)
フタル酸エステル類												
フタル酸ジメチル	8.6	~ 107	(20.8)	17.2	~ 21.6	(19.4)	18.3	~ 48.7	(18.8)	26.0	~ 6290	(49.8)
フタル酸ジエチル	6.0	~ 857	(25.1)	26.4	~ 89.4	(57.9)	46.3	~ 222	(55.2)	3.4	~ 218	(40.7)
フタル酸ジ- <i>i</i> -ブチル	1.7	~ 28.0	(8.5)	12.6	~ 58.5	(35.6)	9.1	~ 34.9	(19.5)	3.4	~ 56.2	(7.1)
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	120	~ 1020	(289)	187	~ 249	(218)	151	~ 1330	(287)	141	~ 3340	(254)
フタル酸ブチルベンジル	<1.0	~ 6.6	(1.6)	5.6	~ 5.8	(5.7)	2.9	~ 3.3	(3.0)	1.1	~ 7.3	(1.7)
フタル酸ジヘキシル	<0.50	~ 0.53	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ 0.78	(<0.50)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)
フタル酸ジシクロヘキシル	<0.50	~ 1.0	(<0.50)	0.60	~ 0.82	(0.71)	<0.50	~ <0.50	(<0.50)	<0.50	~ 0.59	(<0.50)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	59.9	~ 379	(153)	55.4	~ 89.6	(72.5)	159	~ 447	(441)	51.8	~ 592	(310)

ホルムアルデヒド及びVOC: 単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, フタル酸エステル類: 単位 ng/m^3 , Min.: 最小値, Max.: 最大値, Med.: 中央値, Ave.: 平均値

*: 木造集合住宅は n = 2 のため平均値を示した。

** : 鉄骨戸建住宅は, フタル酸エステル類で欠測が1室あったため, フタル酸エステル類については n = 3 .

ロクロベンゼン (2.1) であった。また, 濃度比が高値を示したのは住宅におけるパラジクロロベンゼン (25.2) 及びナフタレン (17.1) で, これら防虫剤由来のVOCは, 同じ住宅内でも部屋毎に濃度が異なる傾向がみられた。

8. 住宅の構造及び様式による室内濃度比較

住宅を建築構造及び建築様式別に分類した場合の, 室内濃度統計値を表6に示す。住宅は4種に分類されたが, 木造集合及び鉄骨戸建は数が少なかったため(それぞれ2室,

4室), 木造戸建(26室)及び鉄筋集合(14室)について比較を行った。その結果, 濃度に有意差がみられたのは, エチルベンゼン ($p < 0.01$), キシレン ($p < 0.05$) 及び DEHP ($p < 0.01$) でいずれも, 鉄筋集合の方が中央値で約2倍高濃度だった。なお, 築年数平均値は, 木造戸建が2.7年, 鉄筋集合が2.0年で, ほぼ同様の築年数であった。温湿度平均値は, 木造戸建が13.6, 40.1%, 鉄筋集合が15.9, 45.8%で, 鉄筋集合の方が温度で約2, 湿度で約6%高かった。また, 平均窓開け時間は, 木造戸建が71.3分, 鉄筋集合が65.4分, 換気扇の平均使用時間は, 木造戸建が108分, 鉄筋集合が29.6分で, 木造戸建の方が換気時間が長かった。

9. 健康に関するアンケート調査

測定と同時に健康に関するアンケート調査で, 室内に居て不快な症状の起きる者がいると答えた住宅は8軒あった。8軒の建築構造及び様式をみると, 木造戸建4軒, 鉄骨戸建2軒, 鉄筋集合2軒であった。症状が多かったものは, 目, 喉の痛み(7軒), 頭痛(3軒), 咳(2軒)で, その他には鼻水, くしゃみ, めまい, 倦怠感, 皮膚のかゆみ等の訴えがあった。これらの住宅は, 築後あるいはリフォーム後, 0.25~3.5年の住宅であった。また, 室内指針値が示されている8物質についてみると, 不快な症状の訴えがあった住宅のうち, 指針値を超えた濃度が検出されたのは2軒のみで(トルエン1軒, パラジクロロベンゼン1軒), 他の6軒については指針値を超えた物質はなかった。なお, オフィスビルでは不快な症状の訴えはなかった。

考 察

住宅とオフィスビルの室内濃度を比較すると, 住宅ではホルムアルデヒド及びパラジクロロベンゼンの濃度が有意に高く, いずれも中央値で約2倍高濃度だった。また, 住宅のホルムアルデヒド, VOC, DMP及びDEPは濃度の分布範囲が広く, 各住宅及び各部屋による濃度差が大きい傾向がみられた。一方, オフィスビルでは住宅に比べ, DiBP, DnBP及びBBPといったフタル酸エステル類の濃度が有意に高く, いずれも中央値で約3倍高濃度だった。しかし, それらの濃度分布範囲はBBPを除き住宅と同程度で, ホルムアルデヒド及びVOC濃度については, 同一建物内の各部屋による濃度差が小さい傾向がみられた。

こうした濃度分布状況の違いは, 両者の換気システムの相違が一因と考えられた。すなわち, 住宅における換気は, 窓開けや換気扇によって行なわれ, 特に冬期では換気時間が短い(平均窓開け時間74分)のに対し, オフィスビルでは, 空調システムにより勤務時間中(約10時間)は一定の換気回数で連続的な換気が行われている。したがって, 室内に発生源がある場合, 住宅では個々の住まい方により室内濃度に大きな差が生じるのに対し, オフィスビルでは, 機械換気により濃度は一定の範囲に制御されているものと推察された。

ホルムアルデヒド及びパラジクロロベンゼン濃度が住宅

で有意に高かった原因としては, ホルムアルデヒドの発生源となる合板及びパラジクロロベンゼンを含む衣類の防虫剤が, オフィスビルよりも住宅で多く使用されていることが考えられた。また, オフィスビルで3種のフタル酸エステル類の濃度が有意に高かったことについては, オフィスビル室内で樹脂製品が多用されていることが原因と考えられた。オフィスの多くは, 壁がビニルクロス, 床が絨毯あるいはリノリウムという内装で, 事務用机, 椅子, OA機器等, いずれも樹脂を構成要素に持つ製品が多く, これらに添加されているフタル酸エステル類が揮発あるいは粉塵に吸着して, 室内空気を汚染しているものと推察された。

ホルムアルデヒドの外気濃度中央値が $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と, オフィスビルの室内濃度中央値 $16.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも高濃度だったことについては, 暖房の室外機及び風の影響が考えられた。

ホルムアルデヒドは暖房器具からの発生が知られており, 外気の採取にあたっては, サンプラーの設置場所を暖房の室外機からなるべく離すように考慮した。しかし, 住宅, ビル共に建物が密集した場所が多く, 近隣の建物からの影響を受けることがあったものと考えられた。

また, パッシブ法で採取する場合, 風があると取り込み空気量が多くなり, 風速が $1 \text{ m}/\text{sec}$ 増すと捕集量が約5%増加することが分かっている¹²⁾。そこでサンプラーの設置に際しては, なるべく風の当たらない場所を選定したが, 冬期には比較的風の強い日が多いため, 外気の測定では風の影響を受けたケースがあったものと考えられた。したがって, 以降の調査からは, 外気採取時には風よけのカバーを使用することとした。

ま と め

平成11年11月~平成12年3月の冬期に, 東京都内の住宅(23軒, 46室), オフィスビル(12軒, 24室)及び外気(35ヶ所)について, ホルムアルデヒド, VOC及びフタル酸エステル類, 計19物質の濃度を調査した。

室内における各物質の濃度範囲は, ホルムアルデヒド $7.0 \sim 125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, トルエン $7.3 \sim 2020 \mu\text{g}/\text{m}^3$, エチルベンゼン $1.6 \sim 19.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, キシレン $2.9 \sim 32.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, スチレン $0.59 \sim 36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, パラジクロロベンゼン $1.0 \sim 1150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ナフタレン $<0.70 \sim 145 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ブタノール $<1.2 \sim 25.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, フタル酸ジメチル $7.7 \sim 6290 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ジエチル $3.4 \sim 857 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ジ-*i*-ブチル $1.7 \sim 58.5 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ジ-*n*-ブチル $120 \sim 3340 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ブチルベンジル $<1.0 \sim 62.6 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ジヘキシル $<0.50 \sim 0.98 \text{ ng}/\text{m}^3$, フタル酸ジ-2-エチルヘキシル $51.8 \sim 592 \text{ ng}/\text{m}^3$ であった。フタル酸ジ-*i*-プロピル, フタル酸ジアリル, フタル酸ジ-*n*-プロピルは検出されなかった。

室内濃度は, 外気濃度に比べて高く, 中央値を用いた室内濃度と外気濃度の比率(I/O比)は0.8~56.3であった。

また, 住宅とオフィスビルを比較すると, 住宅ではホル

ムアルデヒド及びパラジクロロベンゼンの濃度が高く、オ
フィスビルではフタル酸ジ-*i*-ブチル, フタル酸ジ-*n*-ブチ
ル及びフタル酸ブチルベンジルの濃度が高かった。

文 献

- 1) 斎藤育江, 瀬戸 博, 竹内正博, 他: 東京衛研年報, 51, 213-218, 2000.
- 2) 瀬戸 博, 斎藤育江, 大貫 文, 他: 東京衛研年報, 51, 219-222, 2000.
- 3) 大貫 文, 斎藤育江, 瀬戸 博, 他: 東京衛研年報, 51, 223-228, 2000.
- 4) 瀬戸 博, 斎藤育江, 大貫 文, 他: 東京衛研年報, 51, 223-233, 2000.
- 5) 斎藤育江, 瀬戸 博, 多田宇宏, 他: 東京衛研年報, 50, 253-239, 1999.
- 6) 斎藤育江, 瀬戸 博, 竹内正博: 東京衛研年報, 49, 225-231, 1998.
- 7) 斎藤育江, 瀬戸 博, 多田宇宏, 他: 東京衛研年報, 48, 250-254, 1997.
- 8) 瀬戸 博, 斎藤育江, 竹内正博, 他: 東京衛研年報, 50, 240-244, 1999.
- 9) 斎藤育江, 大貫 文, 瀬戸 博, 他: 東京衛研年報, 52, , 2001.
- 10) 住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する基準: 建設省・通商産業省, 平成11年3月30日.
- 11) 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(案) - 第6回及び第7回のまとめ: 厚生労働省医薬局審査管理課化学物質安全対策室, 平成13年7月5日.
- 12) 松村年郎, 村松 学, 川田 浩, 他: 空気清浄, 30(6), 37-44, 1993.