

4-4-4 部位別放散速度測定

(1) カルボニル化合物

室内における化学物質の主要放散源と考えられる床、壁、天井の部位別放散速度測定結果を表4-13に、夏季実測結果を図4-14、冬季実測結果を図4-15に示す。

表 4-13 部位別放散速度測定結果 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

測定場所		ホルムアルデヒド		アセトアルデヒド	
		夏季	冬季	夏季	冬季
居間	床	13.5	3.0	10.4	5.6
			3.1		5.4
	壁	9.0	—	3.5	—
	天井	7.9	—	3.4	—
洋室	床	16.1	1.8	5.4	1.1
			1.6		1.0
	壁	7.4	—	4.9	—
	天井	7.3	—	2.2	—

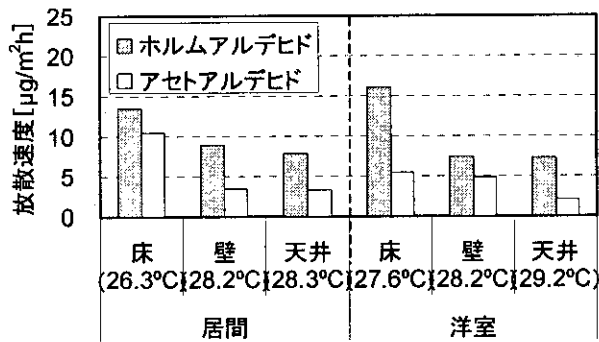


図 4-14 夏季実測における測定結果

表 4-14 各部位放散速度測定結果 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$] (ダブルサンプリング)

測定場所	居間				洋室			
	床		壁	天井	床		壁	天井
	夏季	冬季	夏季	夏季	夏季	冬季	夏季	夏季
トルエン	4.7	4.1	20.9	12.2	3.5	2.4	6.4	5.9
	4.3	4.2	19.0	11.4	3.5	3.5	5.9	6.3
エチルベンゼン	2.4	1.7	3.0	3.1	2.7	1.7	3.3	3.1
	2.3	2.3	4.1	2.4	2.9	N.D.	3.1	3.0
キシレン	N.D.	0.9	1.7	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	N.D.
	N.D.	0.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
スチレン	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	N.D.	N.D.	0.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
p-ジクロロベンゼン	0.2	N.D.	0.7	1.0	0.4	N.D.	1.9	1.7
	0.1	N.D.	1.6	0.8	0.5	N.D.	1.7	1.4

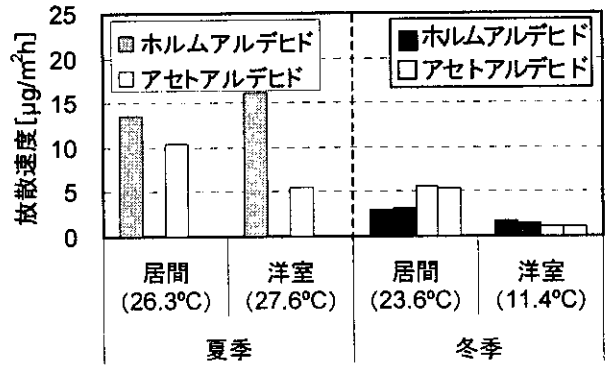


図 4-15 床材放散速度測定結果

ホルムアルデヒドに関しては、デシケータ法とADSECとの比較より、 F_{50} (☆☆☆) 相当の建材はADSECの測定値では $50\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ に相当することより、いずれの建材からも放散が少なくなっていることが分かる。この要因は居住者が非常にシックハウスに対して関心が高く、入居前に意識的に換気を行っていたこと、化学物質の放散の少ない建材を使用したこと、入居後も換気を続けて行っていたことが考えられる。

また、居間・洋室共に床からの放散速度が、ほぼ同じ値を示している壁と天井より高くなっている。この原因としては仕上げ材の相違があげられる。

(2) VOCs

気中濃度と同様にトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼンの5物質を考察対象物質とした。各部位放散速度測定結果を表4-14に示す。居間における部位別放散速度測定結果を図4-16に、洋室における部位別放散速度測定結果を図4-17に示す。冬季実測での各室の床材放散速度測定結果を図4-18に示す。測定はダブルサンプリングでおこなった。

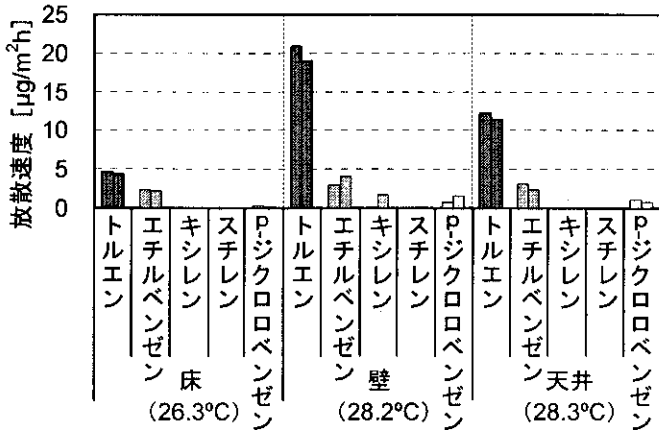


図 4-16 夏季実測各部位放散速度測定結果（居間）

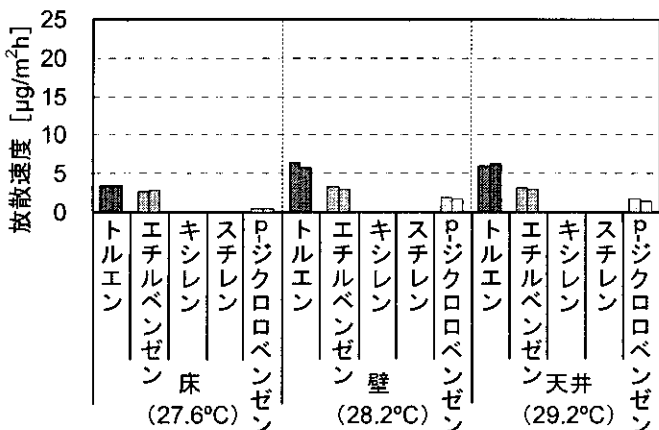


図 4-17 夏季実測各部位放散速度測定結果（洋室）

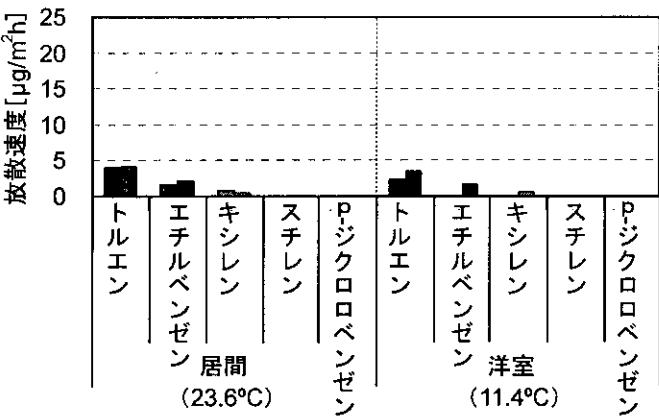


図 4-18 冬季実測床材放散速度測定結果

VOCs もカルボニル化合物と同様に、放散速度は低く、施工時に VOCs 放散の少ない建材を用いたためと考えられる。カルボニル化合物では床の放散速度が高かったが、VOCs では壁の放散速度が対象 5 物質ともに居間、洋室それぞれで最も高い値を示していた。また、床・壁・天井共に 5 物質の中でも気中濃度の高かったトルエンが放散速度においても高かった。しかし、結果的には気中濃度と同じく、全体的に放散速度が低くなっているためトルエンの放散速度が高くなっているとはいえ、各物質間での誤差範囲である考える。

(3) 寄与率

各部位の放散速度と表面積から、気中濃度への予測される各部位の寄与率を算出した。ここでいう寄与率とは測定室内の全放散量に対する各部位放散量の割合のことであり、式 (4-1) より求めた。

$$R_N = \frac{EF_N \times S_N}{EF_F \times S_F + EF_W \times S_W + EF_C \times S_C} \dots (4-1)$$

EF_F, EF_W, EF_C :

床、壁、天井の部位別放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

S_F, S_W, S_C : 床、壁、天井の部位別表面積 [m^2]

R_N : 寄与率 [%]

($N=F, W, C$: 床、壁、天井)

放散速度測定結果より、考察対象物質をホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、p-ジクロロベンゼンの 5 物質とし、測定対象室の各部位の表面積比と併せて寄与率を図 4-19 に示す。表 4-15 に各測定対象室の床・壁・天井の表面積を示す。

表 4-15 床・壁・天井の表面積

	床	壁	天井
居間 [m^2]	34.33	59.55	36.84
洋室 [m^2]	13.40	24.23	13.40

結果より、カルボニル化合物における寄与率は各部位表面積比とほぼ等しくなった。しかし、居間のアセトアルデヒドにおける床の割合が高い値を示していた。これは、アセトアルデヒドの床の放散速度が壁、天井の約 3 倍近い値であったためであり、洋室のホルムアルデヒドについても同様であるといえる。これに対して VOCs における寄与率は壁と天井の割合が 80% 以上を占め、床からの放散が気中濃度に与える影響は小さい。つまり、床材のフローリングからはカルボニル化合物が主として放散され、壁、天井材のビニルクロスからは主として VOCs が放散し、気中濃度に影響を及ぼしていると考えられる。

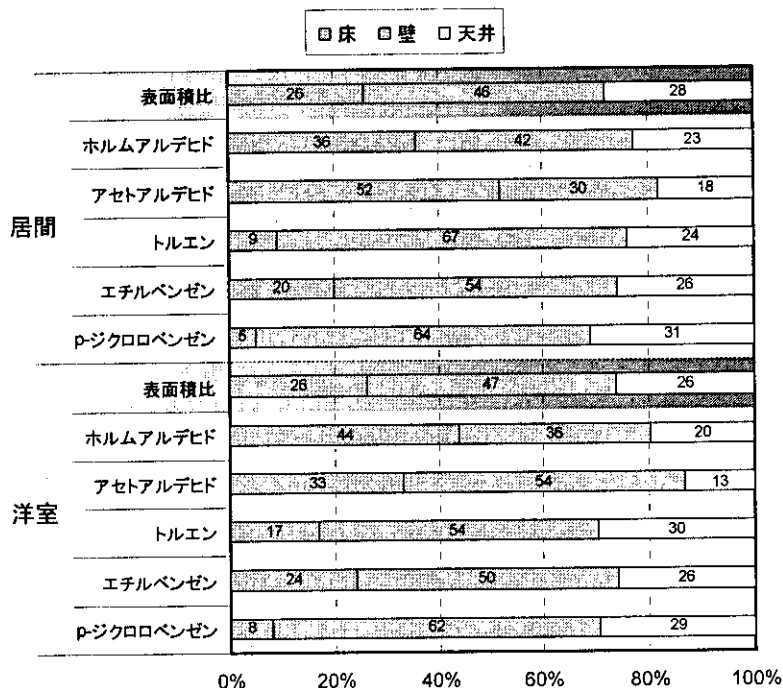
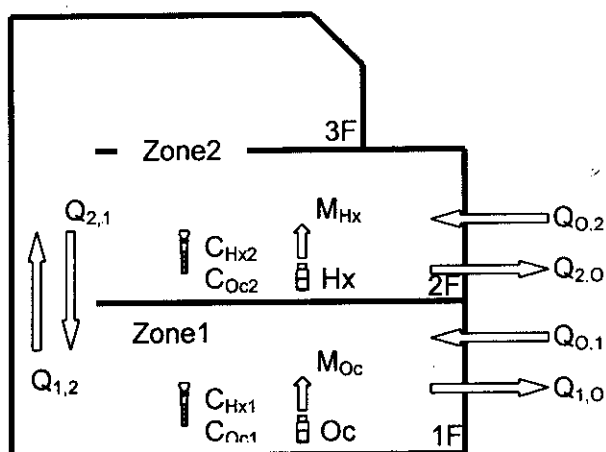


図 4-19 寄与率

4-4-5 換気量測定

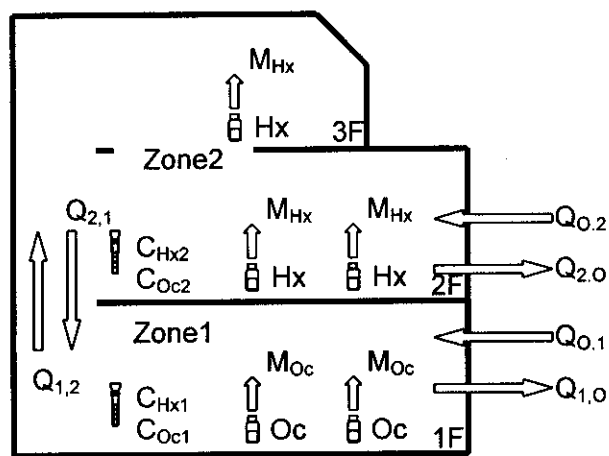
第2章より、PFT 放散源の放散量に関する温度換算式及びパッシブサンプラー-VOC-SDのサンプリングレートが得られた。図4-20, 21より、1階全体と、2・3階全体2つの空間それぞれの、換気量と換気回数を実測時期ごとに算出した。それぞれの時期の各室換気量を表4-16, 17に示す。居間・洋室の各室容積を表4-18に、換気回数算出結果を表4-19に示す。

ここで示す換気量は各室の場合は外気導入量、住居全体の場合は室内空気の入れ替わり量を表す。換気回数は一時間あたりの室容積に対する外気導入量の割合を表している。



$$\begin{aligned}
 \text{Zone1 Oc} &: Q_{2,1}C_{Oc2} - Q_{1,0}C_{Oc1} - Q_{1,2}C_{Oc1} = -M_{Oc} \\
 \text{Zone1 Hx} &: Q_{2,1}C_{Hx2} - Q_{1,0}C_{Hx1} - Q_{1,2}C_{Hx1} = 0 \\
 \text{Zone2 Oc} &: Q_{1,2}C_{Oc1} - Q_{2,0}C_{Oc2} - Q_{2,1}C_{Oc2} = 0 \\
 \text{Zone2 Hx} &: Q_{1,2}C_{Hx1} - Q_{2,0}C_{Hx2} - Q_{2,1}C_{Hx2} = -M_{Hx} \\
 Q_{0,1} &= Q_{1,0} + Q_{1,2} - Q_{2,1} \\
 Q_{0,2} &= Q_{2,0} + Q_{2,1} - Q_{1,2}
 \end{aligned}$$

図 4-20 夏季換気概要図



$$\begin{aligned}
 \text{Zone1 Oc} &: Q_{2,1}C_{Oc2} - Q_{1,0}C_{Oc1} - Q_{1,2}C_{Oc1} = -\sum M_{Oc} \\
 \text{Zone1 Hx} &: Q_{2,1}C_{Hx2} - Q_{1,0}C_{Hx1} - Q_{1,2}C_{Hx1} = 0 \\
 \text{Zone2 Oc} &: Q_{1,2}C_{Oc1} - Q_{2,0}C_{Oc2} - Q_{2,1}C_{Oc2} = 0 \\
 \text{Zone2 Hx} &: Q_{1,2}C_{Hx1} - Q_{2,0}C_{Hx2} - Q_{2,1}C_{Hx2} = -\sum M_{Hx} \\
 Q_{0,1} &= Q_{1,0} + Q_{1,2} - Q_{2,1} \\
 Q_{0,2} &= Q_{2,0} + Q_{2,1} - Q_{1,2}
 \end{aligned}$$

図 4-21 冬季換気概要図

第4章 季節による新築戸建住宅室内空気質調査

表 4-16 夏季における各室の換気量算出結果 [m³/h]

Q _{1,0}	Q _{0,1}	Q _{1,2}	Q _{2,1}	Q _{2,0}	Q _{0,2}
484.8	130	2	357	-88	267

表 4-17 冬季における各室の換気量算出結果 [m³/h]

Q _{1,0}	Q _{0,1}	Q _{1,2}	Q _{2,1}	Q _{2,0}	Q _{0,2}
39	50	15	3	32	20

※換気量が負のものは図 4-20 の矢印が逆向きであることを表す。

表 4-18 表面積及び各室容積

品番	床 [m ²]		壁 [m ²]	天井 [m ²]	室容積 [m ³]
	DF-956-A	DXD-856-A	VL1109B	VL1109B	
1階全体	29.58	—	61.29	32.64	136.29
洋室	13.39	—	20.93	13.39	29.48
2階全体	18.83	38.52	123.76	63.21	132.62
居間	—	34.33	59.55	36.84	75.53
3階全体	23.69	—	38.13	23.69	77.02
Zone 1 (1階)	29.58	—	61.29	32.64	136.29
Zone 2 (2, 3階)	42.52	38.52	161.89	86.90	209.64
全体	72.10	38.52	213.18	119.54	345.93

表 4-19 各階換気測定結果

ゾーン	1階		2, 3階		全体 (345.9 m ³)	
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
換気量 [m ³ /h]	130	50	355	20	485	70
換気回数 [回/h]	1.0	0.4	1.7	0.1	1.4	0.2

図 4-20, 21、表 4-16~19 より、換気に関して図式化したものを図 4-22 に示す。

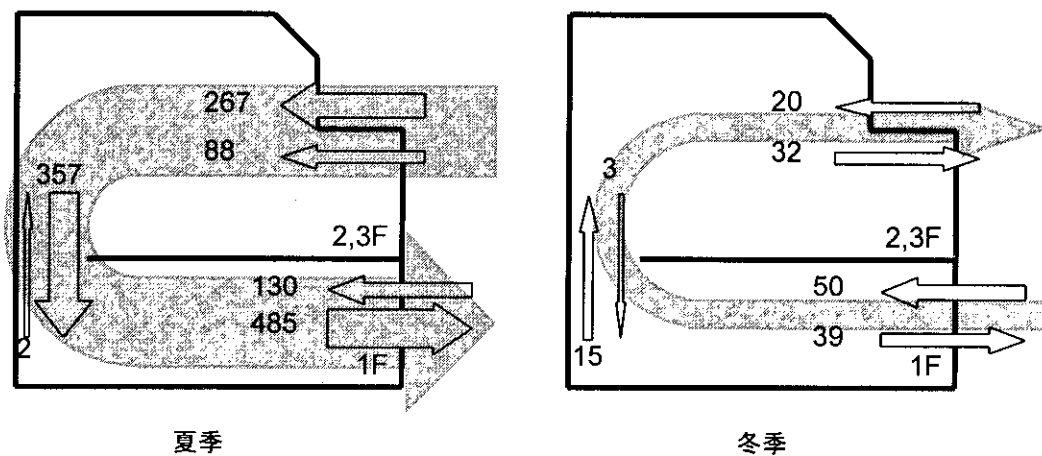


図 4-22 出入り空気図 [m³/h]

結果より、次のようなことが言える。

(1) 全体的に夏季に比べて冬季の方が換気量が小さく。ヒアリング調査結果でも得られたように夏季に日常的に行っていた換気を冬季は寒さのため行わなくなり、測定中も夏季に行っていた窓開け換気も居間(2階)は換気扇、洋室(1階)は換気なしに変わったためであることは明確である。

(2) 夏季は冷房により居間が冷やされたことにより居間の空気が1階の洋室に移動していく様子がわかる。また、冬季は床暖房により居間が暖められ、1階の空気が徐々に暖められていく様子がわかる。

(3) 居間と洋室の換気回数の大小が逆転していた。各室とも建築基準法の規定値である0.5回/hを超えていた夏季に対し、冬季は床暖房の効果を損なわないように窓を閉め切り、人のいない洋室よりも居間の方が換気回数が低くなった。

(4) 夏季実測で換気量が高く算出されたのは窓開け換気などの影響がもちろん主なものであるが、PFT放散源を設置したのが各ゾーンにひとつずつであったので、全体的にPFTが各室に行き渡っているかが懸念される。

(5) PFT放散源の本数が夏季と冬季で異なるため、サンプラーのPFT捕集量が、夏季は少なく、冬季は多くなったため、必然的に換気量に明確な差が出たことも考えられる。(4)でも明記した通り、今後は各室にPFT放散源とサンプラーを設置し、各室のサンプラー捕集量から空気齢を考慮して正確な換気回数を算出できるように手法を確立する必要がある。

4-4-6 予測気中濃度

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、p-ジクロロベンゼンの4物質について、夏季に測定した換気量と建材の放散量から1階(洋室)、2,3階(居間)の建材由来の予測気中濃度を算出した。放散量の実測値はダブルサンプリングの平均とし、予測気中濃度は図4-23をもとに、式(4-2)、(4-3)から求めた。それぞれの物質における予測気中濃度と実測値を比較したものを図4-25, 26に示す。

ホルムアルデヒドを放散する建材では、放散速度は換気回数n、試料負荷率Lの比n/Lに影響を受ける²⁾。そこで、建材への吸着を考慮し、Carbonyl-ADSECで得た放散速度測定結果を補正した。

式(4-4)、(4-5)から式(4-6)が得られる。ここで $\alpha=0.1^3)$ と仮定すると、ADSEC測定時のEF, n, Lを用いて式(4-6)よりCeが求められる。このCeを用いて、測定室の換気回数をn'、試料負荷率をL'とし、式(4-5)に代入しC'が求められる。算出したC'及び、n', L'よ

り補正された放散速度EF'が式(4-4)より求められる。放散速度補正に使用したL', n'値、及びホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの実測値と補正値を表4-20に示す。

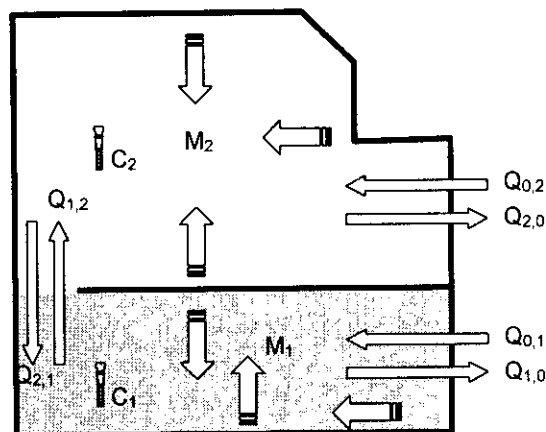


図4-23 予測気中濃度算出方法

$$-C_2(Q_{2,0}+Q_{2,1})+Q_{0,2}C_0+Q_{1,2}C_1=-M_2 \quad \dots (4-2)$$

$$-C_1(Q_{1,0}+Q_{1,2})+Q_{0,1}C_0+Q_{2,1}C_2=-M_1 \quad \dots (4-3)$$

C_N : 物質の Zone N の気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

M_N : 物質の Zone N の放散量 [$\mu\text{g}/\text{h}$]

($N=1$: 1階、 $N=2$: 2,3階、 $N=0$: 室外)

$$EF=C \cdot \frac{n}{L} \quad \dots (4-4)$$

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_e}+\frac{1}{\alpha C_e} \cdot \frac{n}{L} \quad \dots (4-5)$$

$$C_e=\left(\frac{\alpha L+n}{\alpha L}\right) \cdot \frac{EF \cdot L}{n} \quad \dots (4-6)$$

C: 気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_e : 平衡濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

EF: 放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

L: 試料負荷率 [m^2/m^3]

n: 換気回数 [回/h]

α : 吸収係数 [m/h]

表4-20 放散速度補正值算出

	1階(洋室)			2,3階(居間)			
	床	壁	天井	床A	床B	壁	天井
L' [m^2/m^3]	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	0.4
n' [回/h]	1.0	1.0	1.0	1.7	1.7	1.7	1.7
n'/L'	4.6	2.2	4.2	8.4	9.3	2.2	4.1
ホルムアルデヒド放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]							
実測値 EF	16	7	7	16	14	9	8
補正值 EF'	18	8	8	18	15	10	9
アセトアルデヒド放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]							
実測値 EF	5	5	2	5	10	4	3
補正值 EF'	6	5	3	6	12	4	4

EF': 放散速度補正值 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

L': 各部位材面積の室容積に対する試料負荷率 [m^2/m^3]

n': 換気回数実測値 [回/h]

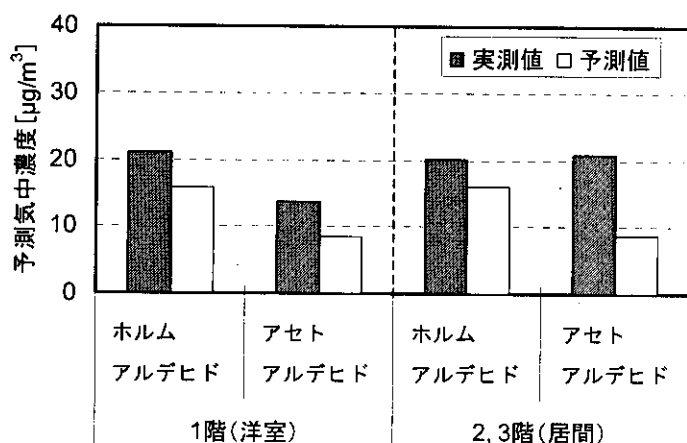


図 4-25 ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド
予測気中濃度

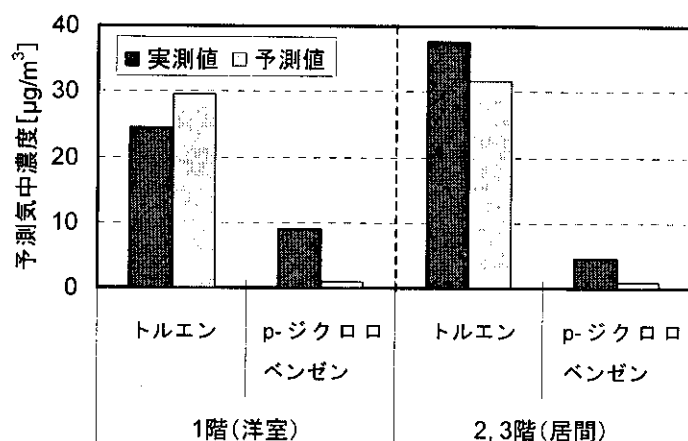


図 4-26 トルエン・p-ジクロロベンゼン予測気中濃度

ホルムアルデヒドとトルエンについては、実測値と予測値が近い値を示していることから、気中濃度において床・壁・天井の建材由来の化学物質が大部分を占めていると考えられる。2,3階のアセトアルデヒドとp-ジクロロベンゼンについては、実測値と予測値の差から気中濃度の大半が建材以外を要因とすることが分かった。生活活動調査の結果より、これらの物質は飲酒や生活用品等の影響を大きく受けていると考えられるため、建材由来の予測気中濃度は実測値よりも大幅に低くなっている。このことから、今後物質によって様々な生活スタイルや生活用品を要因とする室内空気質への影響に配慮が必要である。

4-5 まとめ

- 1) 居住者のシックハウス問題への関心が高いことから、建材対策などによる放散速度・気中濃度低減への効果がみられた。
- 2) ホルムアルデヒド結果に関しては居間、洋室共に床からの放散速度が、壁と天井の値の2倍近くになっていた。
- 3) トルエンに関しては、他の物質に比べて夏季から冬季にかけての減衰が小さかった。
- 4) 表面積比と比較すると、床材のフローリングからはカルボニル化合物が主として放散し、壁・天井材のビニルクロスからは主としてVOCsが放散していると考えられた。
- 5) アセトアルデヒド、p-ジクロロベンゼンについては、建材からの放散による原因よりも生活用品による寄与が大きいことが分かった。
- 6) 居住者が意識的に換気を行っていたことから、換気の面からのシックハウス対策については十分に効果がみられた。ただし、冬季の住戸全体での換気回数は0.2回/hであり、小さい値であった。
- 7) 夏季と冬季では、空気の流れ、換気状況に大きな違いが見られた。室内空気質を考える上で、季節の特性を把握した対策が求められる。

【参考文献】

- 1) 松本仁, 酒井聡至, 浅井万里成, 青木龍介, 田辺新一, “パッシブ測定法を用いた室内空気質評価 その1~4”, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, 2002, pp837-844
- 2) 田辺新一, “小型チャンバーADPACを用いたアルデヒド類、VOC 放散量の測定に関する研究 その9”, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, 2002, pp867-868
- 3) 国土交通省, “建築基準法関係シックハウス対策技術的基準の試案の作成根拠”

第5章 健康影響予測に関わる
室内空気中の化学物質要因による
生体影響知見の整理

第5章 健康影響予測に関わる室内空気中の化学物質要因による 生体影響知見の整理

Review of Information on the Biological Effects due to Exposure to Indoor Air Chemical Substances and their Prospective Health Effects

Sick House Syndrome (SHS), arising from Volatile Organic Compounds (VOCs) exhaled by certain building materials, has been well documented. Various factors of SHS have been reported, but it is very difficult to clarify the main factor. In 2001, we reported about the effect of chemical substance on health. We can get the informations from them, because the recommended permissible level of indivisual material is setting on the basis of past documents. However, it is supposed that not only the exposure concentrations itself but also the stress by mental factors or a personal atopy factor can induce subjective symptoms particularly psychosomatic ones. It is necessary to investigate relevance between subjective symptoms of workers and real measurement results. ① We made a questionnaire to investigate subjective symptoms. ② We investigated the health effect of formaldehyde.③We measured VOCs level in a new building by a PC method of construction and compared with VOCs level in conventional houses and those in buildings.

KEYWORDS: Sick House Syndrome, Volatile Organic Compounds, Formaldehyde, Health Effect

5-1 背景と目的

近年、室内環境における化学物質等による健康影響が多数報告されている。この原因として様々な要因が疑われているが、その関与には交絡因子が複雑に絡み合い解析は困難を極める。平成13年度についてはこの中で主要な化学物質の物質別生体影響についての文献的検討を行ってきたが、個々の物質の許容濃度についてはこれら過去の文献情報をもとに設定されており、それを引き出すことでその根拠を得ることができる。

しかし、シックハウス症候群には揮発性化学物質以外にも、職業性ストレスによる精神的要因や個人のアトピー素因など様々な要因が関連していると考えられ、実際に測定し作業者の自覚症状との関連性を検証する必要がある。

本年度は、①自覚症状を調査するためのツールとして使用する質問紙票を、文献から得られた情報をもとに作成すること②シックハウス症候群を引き起こす揮発性有機化合物のうちでも最も有害性が高いといわれているホルムアルデヒドについての健康影響と指針値設定の根拠について最新文献をもとに調査すること。③近年、室内環境を配慮して用いられるようになったPC工法により建設された新築建造物におけるVOCs濃度を実測し、従来の住宅やビルのVOCs濃度と比較検討することを目的とした。

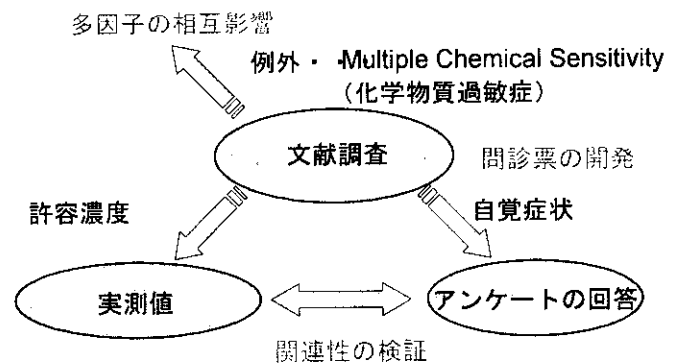


図5-1 本研究のあらすじ

5-2 シックハウス症候群に関する知見の整理

5-2-1 シックハウス症候群（シックビルディング症候群）の定義

シックハウス症候群（Sick House Syndrome, 以下SHS）という定義は本邦に特有のものであり、欧米ではシックビルディング症候群（Sick Building Syndrome, 以下SBS）という用語が一般的である。これには、日本での発生が欧米と比較して新築ビルやオフィスよりも一般の戸建て住宅で認められることが多く、日本語的にもSBSよりも理解されやすい形で紹介され、一般的に用いられるようになったという経緯がある。

SBSについては、WHO¹⁾は以下のように定義している。「SBSは、不明な病態により特異的な症状を呈し、特定の建物に居住または働く人々に認められるが、その建物から離れることで症状が改善する。」

(SBS is the occurrence of specific symptoms with unspecified aetiology, and are experienced by people while working or living in a particular building, but which disappear after they leave it.)

本邦においては、林ら²⁾が「住宅の高気密化や化学物質を放散する建材・内装材の使用などにより、新築・改築後の住宅やビルにおいて、化学物質による室内空気汚染等により、居住者に様々な体調不良が生じている状態が、数多く報告されている。症状が多様で、症状発生の仕組みをはじめ、未解明な部分が多く、また様々な複合要因が考えられることから、シックハウス症候群と呼ばれる」と説明している。

これらの定義の共通点としては、①複合要因（特に揮発性有機化合物などの化学物質）により、②病態は不明であるが、③症状は多様であり、特徴的である、の3点があげられ、SHSはSHSと同義といえる。しかしながら、生活の場としての建物に関連して発生した健康障害は総称してSHSと扱われていることが多いようである。

5-2-2 概念

シックハウス症候群の概念図を図5-2に示した。シックハウス症候群のなかには、重複してシックハウス関連病と言われる感染症やアレルギーが原因となっているものや、化学物質過敏症によるものがオーバーラップしていると考えられる。

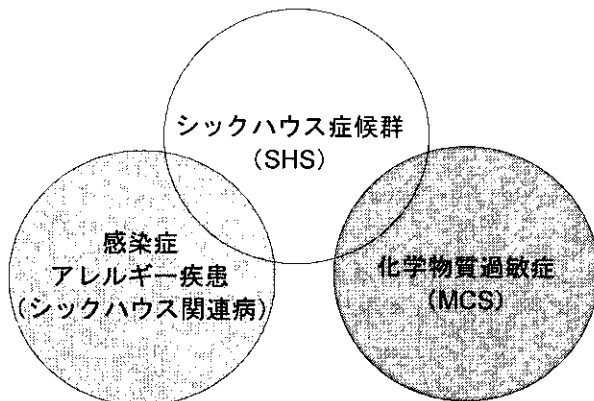


図5-2 シックハウス症候群の概念

シックハウス関連病には、レジオネラ菌による感染（在郷軍人病）やダニやカビなどによるアレルギーが最もよく知られており、シックハウス症候群の原因のひとつと考えられている。

また、化学物質過敏症 (Multiple Chemical Sensitivity; MCS) の一部がシックハウス症候群と同様の症状を呈する場合がある。化学物質過敏症とはかなり大量の化学物質に接触した後、あるいは低濃度の化学物質に長期にわたり接触した後に、極めて

微量な同種または類似の化学物質に再接触した際に現れる症状である。一般的に用いられている化学物質過敏症の定義を以下に示した。³⁾

- ・環境由来の曝露によって発症する。
- ・症状は2つ以上の臓器にわたる（そのうち1つは神経系であることが多い）。
- ・想定された原因への曝露により再発し、曝露減少により症状が緩和する。
- ・多様な化学物質により症状が引き起こされる。
- ・低濃度であるが測定可能な曝露により症状が引き起こされる。
- ・症状を発現する曝露濃度が非常に低いレベルである。
- ・一般に行われている検査では症状を説明できない。

Cullen et al., Occup Med 1987

これら、感染症やアレルギーなど原因が判明しているSHSや、MCSによるSHSをのぞいたものを狭義のシックハウス症候群と言う場合もある。⁴⁾

5-2-3 臨床症状

SHSで認められる症状は多彩であり、個人差も大きい。共通してみられる症状を、WHOは次のように整理している¹⁾。①粘膜・皮膚・眼への刺激、②息がつまる感じ、③疲労、④頭痛、⑤めまい、⑥眠気、⑦集中力の低下、⑧嗅覚の異常、⑨インフルエンザ様症状、である。

また、Carrieらは共通の症状を種類別に表5-1のように分類している⁵⁾。

表5-1 SBSの一般的な症状

粘膜刺激症状

眼・咽頭・咳嗽

精神神経系の影響

頭痛・疲労・集中力の低下

呼吸器症状

頻呼吸・咳嗽・喘鳴

皮膚症状

発疹・掻痒・乾燥

感覚機能の変化

視覚障害

(Carrie et al., Lancet 1997; 349)

5-2-4 発症要因

1970年代にSHSが発生したのは、いわゆる省エネのためにビルの気密性をあげ、換気回数を減らすことにより室内空気質の汚染が進み、さらに建材や内外装に用いられる材料である合成化学物質の比率が高まったためといわれている。また、オフィスオートメーションが進み、事務機械の増加や職業ストレ

スの増大もその一因と考えられる。そのため、SHSの原因物質は、室内空気汚染物質はもちろんのこと、その他の環境や個人要因も含めて考慮する必要がある⁵⁾。それらは表5-2のように整理できる。

表5-2 疾病因子

空気汚染	
換気	
職業組織	
職務満足度	
ストレス	
社会構造	
個人要因	
性	アトピー
気道過敏性	既往症

(Carrie et al., Lancet 1997; 349)

また、特に室内空気汚染については、表5-3のような物質があげられ、化学物質だけでなく、バイオエアロゾルや温湿度・騒音などの物理的因子も含まれる。

表5-3 一般的な室内空気汚染物質

揮発性有機化合物	
ホルムアルデヒド	ソルベント (溶剤)
塗料及び樹脂	印刷物
プリンター及びコピー機からの放出物	
粉じん/繊維	
アスベスト (石綿)	
人造鉱物繊維 (ガラス繊維)	
埃、建築、紙粉じん	
バイオエアロゾル	
細菌	真菌
糸状菌	ホコリダニ
ウイルス	動物の老廃物やふん
花粉	
屋外からの取り込み	
自動車の排気	工場からの排気
物理的因子	
気温	湿度
騒音	照明
ヒトの活動による汚染	
二酸化炭素	芳香
その他	
燃料燃焼産物	ラドン
環境タバコ煙 (ETS)	清掃用品
殺虫剤	建材

(Carrie et al., Lancet 1997; 349)

以上のように危険因子は多岐にわたるが、これら

の因子が単独でSHSの症状を引き起こすわけではなく、発症には複数の要因が関連していると考えられている。現在は、揮発性有機化合物 (volatile organic compounds; VOCs) が複合的に作用することでSHSの多彩な症状を呈すると考えられており、空気汚染物質と換気機構の2つが密接に関連した複合要因と考えるのが妥当である。

このような状況のため明確な診断基準は得られておらず、数々の報告のばらつきや、信頼の高い疫学調査が不足している原因となっている^{6,7)}。

5-2-5 発症機序

感染症やアレルギーなど原因が判明している SHS や、MCS による SHS を除いた、いわゆる狭義のシックハウス症候群では急性中毒と慢性蓄積性中毒にわけて考えることが多いが、発生機序は同じと考えられる。人間の化学物質の処理能力には限界があり、この許容量をこえると化学物質による健康障害が現れるが、この許容量には個人差があるため発症までの時間は個人によって異なる。したがって曝露量を増やせば必ず全員が発症する。このような曝露のうち急激に曝露を受けた場合を急性中毒、慢性的・持続的に曝露を受けた場合を慢性蓄積性中毒といい、一般にシックハウス症候群として問題になるのは後者である。

これに対し、化学物質過敏症による SHS では、過敏性を獲得した個人にだけ、しかも極めて低濃度の化学物質曝露により症状が現れる。この化学物質過敏症が引き起こされるメカニズムについては、化学物質がハプテンとして作用し IgE 抗体を介してアレルギー反応を引き起こすという報告など、様々な仮説が出されているがいまだに一定の見解は得られていない。

5-2-6 転帰・予後

SHSであることが明らかになった場合には、主に以下のような対策がとられる⁷⁾。

(1) 原因物質の特定

症状はもちろん住まいの環境変化などについても問診を行い、考えられる原因物質を調査する。

(2) 原因物質からの隔離

有害化学物質の発生源を同定し、できる限り安全な材料と交換する。発生した有害化学物質を希釈するため、十分な換気システムを設け、正しく使用する。

(3) 身体状況の改善と有害化学物質の排出

自律神経機能異常が高頻度で認められるため、生活のリズムが乱れがちとなる。その点を改善すると

ともに、軽い運動、入浴、サウナなどにより有害化学物質の体外への排出をはかる。

SHSが認知されるようになり、積極的に治療が行われることで、より多くの人を悩みから救うことができると考えられる。建物からの化学物質によるSHSの場合には、時間とともに有害化学物質の発散も低下するため、自覚症状は改善する場合が多く、また建材の材質や換気の改善によって、多くは症状の改善を見るようになった。しかし、一部では化学物質過敏症（Multiple chemical sensitivity; MCS）に移行するような事例も認められるため⁸⁾、長期的な罹患による生体影響も含め、調査を続けていく必要がある。

5-3 ホルムアルデヒドの健康影響について

5-3-1 ホルムアルデヒドの健康影響についての最新の知見

ホルムアルデヒドはシックハウス症候群や化学物質過敏症と言われる状態を引き起こす原因物質のひとつである。またホルムアルデヒドは目や粘膜などに対する刺激性を持ち、アレルギーとの関連性も示唆されているだけでなく、IARCでは「ヒトに対し恐らく（probably）発がん性がある（2A）」物質に分類されている⁹⁾ため、シックハウス症候群を引き起こすとされる揮発性有機化合物の中で最も早急な対策を要する物質のひとつとされる。今年度は、ホルムアルデヒドの健康影響について急性曝露と慢性曝露にわけて、最新知見を整理しレビューする。

(1) 急性曝露

① 刺激作用：

ホルムアルデヒドは眼や鼻咽頭を含む呼吸器系を刺激する作用をもつ。まず刺激臭として感知され（閾値0.05~1ppm）、続いて眼や上気道の粘膜刺激症状を引き起こす。これらの症状はホルムアルデヒドの濃度や曝露時間に比例すると考えられているが、個人差が著しいことが特徴である。ホルムアルデヒドの濃度の増加に伴い、その刺激症状を訴える人の割合や症状の強さが増加する⁹⁾。（表5-4）

表5-4 ホルムアルデヒドによる健康障害

ホルムアルデヒド濃度 [ppm]	人体への影響・症状
0.01	結膜の中等度の刺激
0.03~0.05	中等度の眼の刺激
0.16~0.45	眼・鼻・喉の灼熱感、結膜刺激症状
0.8	臭気を感じる
1~3	眼・鼻・喉への刺激、不快感
5~10	眼・鼻・喉への強い刺激、流涙
15~20	咳が出る、呼吸困難
50~	深部気道障害（肺水腫・肺炎）

② 肺機能：

ホルムアルデヒドは、室内環境中では気体として存在することが多いため、吸入という形で体内に侵入する。低濃度のホルムアルデヒドは大部分が上気道で吸収されるが、5ppmを超える濃度で吸入されると可逆的な気管支攣縮が引き起こされ、咳、胸内苦悶感、呼吸困難などの下気道症状を引き起こすことがある。更に50ppm以上では肺水腫などの重篤な気道障害を惹起する。しかし、ホルムアルデヒド濃度が高い環境では、他の化学物質による汚染度も高いことが少なくないため、その原因の特定は困難であることが多い。

(2) 慢性曝露

① 鼻粘膜への影響：

動物実験において、Ruschらはサル、ラット、ハムスターに0.19~2.95ppmのホルムアルデヒドを曝露した結果、2.95ppmのホルムアルデヒドを曝露したサルとラットの鼻粘膜に扁平上皮化生を認めたと報告している¹⁰⁾。また、人間への影響に関しては、Borderらによると、尿素・ホルムアルデヒド断熱材を使用した住居と使用していない住居で生活している人の鼻粘膜細胞で細胞形態学的に調べた結果、頻度は低いながらも扁平上皮化生の増加が認められたと報告している¹¹⁾。しかし一般的にホルムアルデヒドが下気道に及ぼす長期慢性曝露の影響に関する情報は不足しており、結論はまだなされていない。

② 肺機能：

曝露濃度が、0.02~5ppmであるパーティクルボードや合板製造をする作業員、尿素・ホルムアルデヒド樹脂製造での作業員や葬儀屋、解剖学や組織学技師に対して肺機能検査を行ったところ、ホルムアルデヒドによるものと考えられる肺機能の低下（1秒率の低下）が認められたという報告がある⁹⁾。

③ 皮膚への影響：

ホルムアルデヒドは皮膚刺激性を持つとともに遅延型過敏反応により接触性皮膚炎を引き起こす。

④ 発がん性：

様々な職業における労働者でのがんの発病率に関する研究では、ヒトにおけるホルムアルデヒドの発がん性については、納得のいく結果が得られていない。Staynerらは、ホルムアルデヒド処理衣料工場で働いた米国人作業員で調査をした結果、口腔内の癌や多発性骨髄腫の軽度の増加を認めたと報告している⁹⁾。また、Achesonらは、ホルムアルデヒド樹脂を製造する英国の工場で働いた米国人作業員において、鼻腔や肺がんに有意差は認められなかったと報告してい

る⁹⁾。ホルムアルデヒドの発がん性に関しては納得のいく結果が得られておらず、IARCにおける総合的な発がんリスク評価は2A（おそらくヒトに対して発がん性がある）となっている¹²⁾。

⑤ 催奇形性および胎児毒性：

ヒトにおいては情報が無い。動物研究では影響が認められない。

⑥ 生殖毒性：

ホルムアルデヒドとその他のいくつかの化学物質に曝露した女性における月経不順と続発性の不妊症についてソ連からの報告が1件なされている⁸⁾。

⑦ 変異原性：

ヒトまたは動物には十分な情報が無い。分離されたヒトおよび動物細胞における細菌試験では陽性反応が認められている。

⑧ 毒物相互作用物質：情報なし。

⑨ 蓄積性：

ホルムアルデヒドは、ヒトにおいて代謝課程で生じる通常の副産物である。体内で速やかに蟻酸から二酸化炭素と水へ分解される。¹³⁾

5-3-2 ホルムアルデヒドの指針値設定の根拠について

平成8年頃から厚生労働省（当時の厚生省）や建設省などにより、ホルムアルデヒドの室内濃度指針値（0.08ppm）の設定や健康住宅の設計・施工ガイドラインが策定され、平成14年1月までに総計13物質および総揮発性有機化合物の指針値が策定された。また平成14年3月には、職域においてホルムアルデヒド等の化学物質による労働者の健康リスクの低減を図るため、「職域における屋内空気中のホルムアルデヒド濃度の低減のためのガイドライン」が、厚生労働省により策定された。

一般の職域における室内空気中のホルムアルデヒド指針値（0.08ppm）としては、一般住居における室内空気の指針値と同じ数値を採用している。そのレベルでは一部の敏感な人を除き、大部分の人がホルムアルデヒドによる眼や呼吸器への刺激を感知しないとされている。作業の性質上、0.08ppm以下にすることが著しく困難な作業場（特定作業場）については、屋内空気中のホルムアルデヒドの濃度を0.25ppmとすることとしたが、その根拠は以下の通りと考えられる。

ホルムアルデヒド曝露による顕著な症状は眼、鼻、および咽頭の急性刺激症状であり量依存性が見られる。粘膜刺激を生じる閾値は個人差が大きい。0.08ppm程度と考えられ、1ppm以上では症状が強く

なる。

また、62人のホルムアルデヒド単独曝露作業者と32人の対照者から鼻粘膜の一部を採取して組織学的に検討した研究報告によると、これらの曝露作業者のホルムアルデヒド個人曝露濃度の中間値は0.25ppmであり、平均値は0.25ppmを超えており、頻回に0.8ppmに達するピーク曝露があった。鼻粘膜組織を形態学的に調べると、線毛の消失、扁平上皮化生、および異形性の程度の増加が認められた。したがって、眼および鼻腔・咽頭の刺激感覚を防ぎ、慢性影響としての鼻粘膜の組織学的変化の発生を防ぐため、一般の職域においては0.08ppm、特定の作業場においては0.25ppmを指針値とするのが適当とされた。^{9, 14)}

5-4 質問紙票の作成

昨年度、本年度と過去の文献から抽出した情報をもとにシックハウス症候群の最新の知見を各揮発性有機化合物による健康影響を含めてレビューしてきた。しかし、前述のようにシックハウス症候群には揮発性有機化合物による影響のみではなく、職業性ストレスによる精神的要因や個人のアトピー素因など様々な要因が関連していると考えられ、実際に調査・測定を行って作業者の自覚症状と各要因との関連性を検証する必要がある。

そのため、今回、Claudia S. MillerとThomas J. Prihodaらにより作成された、QEESI（Quick Environmental Exposure and Sensitivity Inventory）をもとに、シックハウス症候群の自覚症状を調査するための質問紙票を作成した。（別添1）

この質問紙票は化学物質曝露による反応に関する質問事項、その他の化学物質曝露による反応に関する質問、症状に関する質問、マスクングに対する質問、日常生活の障害の程度に関する質問、各10項目合計50項目について10段階評価で点数をつける質問紙と、既往歴やアレルギー歴を記入する問診票からなっている。

これを用いて作業者の自覚症状を調査し、実際に各要因との関連性の検討を今後行っていく予定である。

5-5 調査研究

室内環境を配慮した新築建造物における揮発性有機化合物の測定

5-5-1 背景

シックハウス症候群(SHS)は建材などから発生す

揮発性有機化合物（VOCs）が原因となって皮膚粘膜刺激症状、アレルギー様症状、自律神経失調症などの不定愁訴が発症する疾患群の総称である。日本においては現在、主に住宅の一般住居者において問題となっているが、職場のビルディングにおいて新築・改装を行う際にも配慮されるべき事項であることは言うまでもなく、最近では労働生産性を含めた社会問題にも発展している。そんな中、近年揮発性有機化合物の放散が少ない建材や建築方法を使用するなど、VOCs 濃度を抑える配慮がなされた建造物が立てられるようになってきているが、実際に測定を行い報告しているものはほとんどない。

5-5-2 目的

本研究では、近年工期の短縮や廃材の減少を目指して行われるようになった PC 工法を用いて建設された新築建造物における VOCs 濃度を実測し、従来の住宅やビルの VOCs 濃度と比較検討することを目的とする。

5-5-3 対象と方法

対象は、2002年11月に竣工した、PC工法鉄筋コンクリート7階建ての新築建造物で、机や機材等が入る前の状態で測定を行った。当建築物は、室内環境への配慮から、内装材にはホルムアルデヒドをできるだけ使用しないものを選んで建築されている。測定は11月に行い、外気温は6度であった。



測定は平成13年「シックハウス問題に関する検討会中間報告書」の測定マニュアルに準じパッシブサ

ンプラーを床上1.2mに設置し24時間捕集を行った。測定項目は厚生労働省が指針値を定める物質の中から、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、TVOCの7種とした。

また、分析は、アルデヒド類は吸光光度分析法、その他の揮発性有機化合物はガスクロマトグラフ質量分析法(GC/MS)により分析した。

その結果と、従来ビルにおいて測定されているもののうち医中誌に引用されているものと公的機関が報告しているものについて比較検討した。

5-5-4 結果

今回測定を行った室内環境を配慮した新築ビルディングと、従来工法が用いられたビルディングにおいて過去に報告された測定結果を比較した。

まず、シックビルディング症候群を引き起こすといわれている VOCs の中でも、最も人体に有害性が強いといわれているホルムアルデヒドについては図5-3に示した。点線は厚生労働省が定める室内環境における指針値であるが、指針値を大幅にしたまわり、従来報告されている住宅・ビルにおける VOCs 濃度よりも低い結果であった。

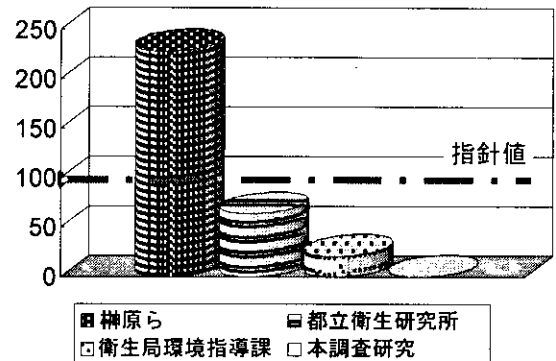


図5-3 ホルムアルデヒド (単位 μm^3)

また、塗料や接着剤に含まれるトルエンについては図5-4に示した。トルエンの指針値は $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ に設定されているが、今回測定した建築物においても指針値を下回る結果であった。

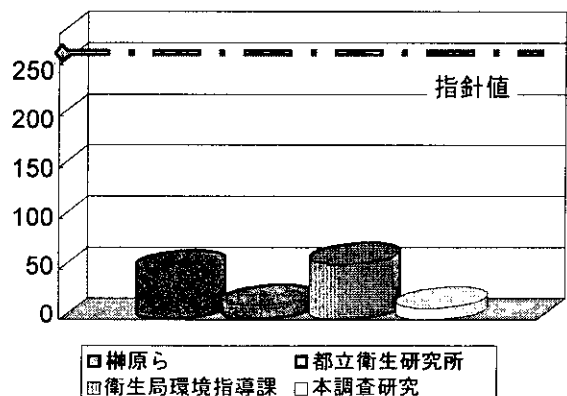


図5-4 トルエン (単位 μm^3)

これらの結果をまとめたものを表5-5に示した。今回測定した揮発性有機化合物については、従来工法において測定されたものに比べ低い値が得られた。また厚生労働省が定める指針値をこえたものは、TVOCのみであった。

5-5-5 考察

今回測定した室内環境を考慮した新築建造物における VOCs 濃度は、従来報告されている住宅・ビルにおける VOCs 濃度をいずれも下回る結果であった。これらは厚生労働省が定める指針値にくらべ十分に低い値であり、この主な原因として、調査対象とした建築物においてとられた PC 工法により揮発性有機化合物の発散が少なくなっていること、内装材に低ホルムアルデヒド建材が使用されていることなどが考えられる。

また、指針値が設定されている物質に関しては揮発性有機化合物の濃度は低くなっているものの、TVOC のみ指針値をこえていた。近年、指針値が策定された物質に関しては内装材や塗装等に使用しないように認識されてきているが、何百種類も存在す

るそのほかの揮発性有機化合物の合計濃度は増加していく可能性があり注意が必要と思われた。

一方、SBS の発症要因は、単に VOCs 濃度だけでなく温度・湿度などの物理的因子、職場ストレスなどの精神背景など様々な要因が関連していると考えられている。本調査においても、規制されている揮発性有機化合物の濃度は十分に指針値を下回っていたものの、ビル特有の臭気は認められ、SBS の発症に継続的に注意を要すると思われた。

5-5-6 結語

今回我々は、室内環境を配慮した PC 工法新築ビルにおける揮発性有機化合物の濃度測定を行った。ホルムアルデヒドを含め、測定した VOCs についてはほぼ厚生労働省が定める室内濃度指針値を下回り、従来報告されている住宅・ビルにおける VOCs 濃度よりも低い結果であった。しかし、規制されている揮発性有機化合物の濃度は指針値を下回っていたものの、ビル特有の臭気は認められたことから、精神的負担の増加等による SBS の発症にも継続的に注意を要すると思われた。

表 5-5 従来工法との VOCs 濃度の比較 (単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

調査研究	報告年	対象	時期	HCOO	トルエン	キシレン	スチレン	エチルベンゼン	p-ジクロロベンゼン	TVOC
榊原ら	2000	ビル	新築	228	48	56.5				
都立衛生研究所	2002	住宅	新築	64	14.0	12.8	13	32.2	38.5	
衛生局	2001	住宅		21	55.0	14.2	3.2	8.3	86.4	
環境指導課	2001	ビル								
本調査	2002	ビル	新築	N.S.	11.5	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	416
研究										
指針値				100	260	870	220	3800	240	400

【参考文献】

- 1) World Health Organization, Indoor Air Quality, "Guidelines for Air Quality" 2000; 72-81
- 2) 林裕造ら, 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, 厚生労働省 2000
- 3) Cullen M. R., The worker with multiple chemical sensitivity; Occup Med, 1987
- 4) 鳥居新平, シックハウス症候群; 呼吸, 2001
- 5) Redlich et al., Sick-building Syndrome. Lancet 1997; 349:1013-1016
- 6) Crawford J. O. et al., Sick building syndrome, work factors and occupational stress. Scand J Work Environ Health 1996; 22:243-50
- 7) Apter et al, Epidemiology of the sick building syndrome. J Allergy Clin Immunol 1994; 94:277-288
- 8) International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 73. Some chemicals that cause tumors of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances. World Health Organization, 1999
- 9) 工藤雄一朗ら, ホルムアルデヒドの健康影響; 産業医学ジャーナル, 2002
- 10) Rusch G.M. et al., A 26week inhalation toxicity study with formaldehyde in the monkey, rat, and hamster.; Toxicol. Appl. Pharmacol., 1983
- 11) Border I et al., Formaldehyde exposure and health status in Households.; Environ Health Perspectives 95, 1991
- 12) ACGIH: Documentation of Threshold Limited Values, 1996
- 13) Fielder R. J., et al., Toxicity review 2; Formaldehyde.; Health and safety Executive, 1981
- 14) 桜井治彦, 職域におけるシックハウス症候群対策; 働く人の安全と健康, 2003

1. 問診票

記載年月日： _____年____月____日

氏名： _____ 性別： 男・女 年齢： ____歳

生年月日： _____年____月____日

会社名： _____ 所属： _____

・ 既往歴を記入して下さい。(症状と関係する場合は、出生前後からの病歴、例えば、じんましん、湿疹なども記入して下さい。)

・ 過去にアレルギー疾患歴などがあれば記入して下さい。(皮膚、眼、鼻、のど、呼吸器、その他)

・ 現在かかっている病気があればその自覚症状を書いて下さい。(5つ迄にして下さい)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

質問紙票(2)

	その他の化学物質曝露による反応に関する質問	評価
1	水道のカルキ臭、その他の臭い	
2	キャンディー、ピザ、牛乳、油、てんぷら、肉、バーベキュー、タマネギ、ニンニク、香辛料、およびグルタミン酸ソーダ（味の素など）のような添加物などの特定の食物に対する対応	
3	何か習慣性になってしまっていたり、食べないと体調不良となるような別な食物への反応	
4	食後一定時間気持ちが悪い	
5	コーヒー、紅茶、日本茶、コーラ、チョコレートで気持ちが悪くなる	
6	コーヒー、紅茶、日本茶、コーラ、チョコレートを食べないと気持ちが悪くなる	
7	少量のビール、ワインのような軽いアルコール飲料で気持ちが悪くなる	
8	皮膚に触れる繊維もの、メタルの装飾品、化粧品類などで気持ちが悪くなる	
9	抗生物質、麻酔薬、鎮痛剤、精神安定剤、X線造影剤、ワクチン、ピルなどの医薬品、インプラント（人工品の体への埋め込み）、入れ歯、避妊薬、避妊器具	
10	樹、草、花粉、ハウスダスト、かび、動物のあか、虫刺され、特定の食物などで喘息、鼻炎、じんましん、湿疹のようなアレルギー反応	

	症状に関する質問	評価
1	筋肉、関節の痛み、けいれん、こわばり、力が抜ける〔筋〕	
2	眼の刺激、やける感じ、しみる感じ、息切れ、咳のような気管や呼吸症状、たん、鼻汁がのどの奥の方に流れる感じ。風邪にかかりやすい〔気管粘膜〕	
3	どうき、脈の欠滞、胸の不安感などの心臓や胸の症状〔心・循環〕	
4	お腹の痛み、胃けいれん、膨満感、吐き気、下痢、便秘のような消化器症状〔胃腸〕	
5	集中力、記憶力、決断力低下、無気力などを含めた思考力低下〔認識〕	
6	緊張し過ぎ、上がりやすい、刺激されやすい、うつ、泣きたくなったり激情的になったりする。以前興味があったものに興味がもてないなどの気分の変調〔情緒〕	
7	めまい、立ちくらみなど平衡感覚の不調、手足の協調運動の不調、手足のしびれ、手足のチクチク感、目のピントが合わない〔神経・末梢神経〕	
8	頭痛、頭の圧迫感、一杯に詰まった感じなどの頭部症状〔頭部〕	
9	発疹、じんま疹、アトピー、皮膚の乾燥感〔皮膚〕	
10	外陰部のかゆみ、または痛み、トイレが近い、尿失禁、排尿困難などの泌尿・生殖器症状（女性の場合には：生理時の不快感、苦痛、などの症状）〔泌尿・生殖器〕	

第6章 吸着性建材による
室内化学物質濃度の低減に関する
実験と数値解