

第4章 環境共生住宅S邸での実測

第4章 環境共生型住宅S邸での実測

Investigation of an Ecology House “S”

In an ecology house, what factors affected indoor air quality were considered. During long terms, indoor air concentration of Formaldehyde and VOCs were measured and emission rate from floor and wall, too. Temperature, relative humidity and air change rate of house were also measured. Each values of concentration of Formaldehyde were under $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (the numerical target by Ministry of Health, Labour and Welfare), but those of VOCs were above $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ which were measured at three months after moving in. Alpha-Pinene and D-limonene were main ingredients and considered to be emitted from cedar material and wooden furniture. Air exchange rate was $0.29[1/\text{h}]$ and this value was slightly smaller than which was planned. Comparing outdoor, indoor temperature and relative humidity were stable. So, it was considered that house had a sufficient insulation performance.

KEYWORDS: Ecology House, Investigation, IAQ, Emission Rate

4-1 研究目的

近年、省エネルギーに有効であるとして、高気密・高断熱の住宅が増加している。一方で、十分な換気量が確保されず、室内空気質の悪化が問題視されている。

本研究では低ホルムアルデヒド仕様であり、自然素材を多く用いた高気密・高断熱の環境共生型木造住宅において、施工段階からの化学物質気中濃度経時変化測定を行った。各段階における下地材や仕上材の室内化学物質濃度へ与える影響の大きさの違い、在来型住宅との違いを検討することを目的とした。下地材施工完了時、内装材完了時、入居時、及び生活開始1・3・6ヶ月後に、室内化学物質気中濃度測定を行い、各段階で使用された下地材、仕上材及び備品の室内化学物質濃度への寄与の大きさを比較検討した。実測時に各部屋の床・壁各面からの化学物質放散速度測定を行い、気中濃度に影響を与える部位についての考察を行った。更に、長期間に亘って温・湿度の経時変化の測定と、換気回数測定を行った。

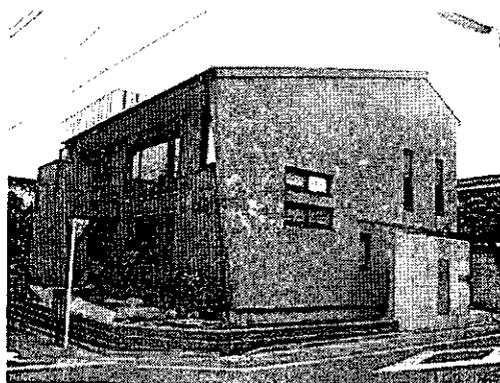


図4-1 S邸外観

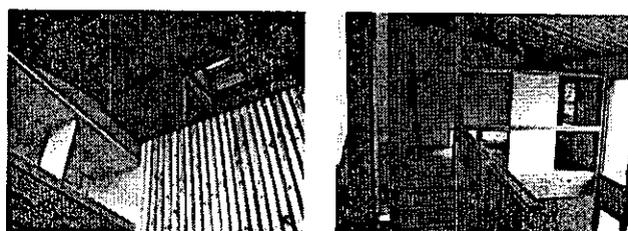


図4-2 S邸内観

4-2 S邸概要

4-2-1 設計主旨

S邸は、低エネルギーで温度差の極力少ない室内環境を実現したいという施主の要望から、気密性、断熱性の高い環境共生型住宅として設計施工された。そのため、室内の空気質に与える影響を考慮して、低ホルムアルデヒド仕様建材を使用している。外貼り断熱仕様で、冷房はエアコン、暖房は太陽熱給湯及びガス熱源床暖房によって行われ、給湯は太陽熱給湯をガス熱源と併用している。図4-1, 4-2にS邸外観、内観を、表4-1, 4-2にS邸概要及び各段階における表面材について示す。

表4-1 S邸概要

所在	東京都世田谷区	
構造	在来木造	
仕様	高気密高断熱 (相当隙間面積 $0.3\text{cm}^2/\text{m}^2$)	
階数	2階建て	
規模	床面積 156.62m^2 (1階/ 87.94m^2 2階/ 68.68m^2)	
換気	下地施工時 完成時	自然換気 機械換気 0.35 回/h
室内温度調整	下地施工時 完成時	不可 エアコン

表 4-2 主室内部仕上表

	室名	部位	下地材	仕上材
1 F	居間	床	下地合板 (Fco)	栗無垢 フローリング
		壁	サーモプライ	無機質塗り壁
		天井	杉板ラワン合板	竹すのこ
	アトリエ	床	コンクリート	墨モルタル金鏝
		壁	漆喰系土壁	無機質塗り壁
		天井	ケイカル板目 透かし貼	杉挽き板
階段室	床		栗無垢板	
	天井		杉挽き板	
	側面		柿渋塗り 和紙貼り	
2 F	寝室	床	遮音床パネル	栗無垢 フローリング
		壁	サーモプライ	無機質塗り壁
		天井		杉挽き板
	和室	床	ラワン合板	天然畳 備長炭入り
		壁	サーモプライ	無機質塗り壁
		天井		杉挽き板

4-2-2 気密性能

S邸の気密性能試験結果を、表4-3、図4-3に示す。試験は業者に依頼し、2001年5月10日14時00分より、測定装置はコーナー札幌株式会社 KNS-4000II型を用いて行われた。

表 4-3 試験結果計算値

隙間特性値: n (1<=n<=2)	1.59
通気率: a (ΔP=1Pa 時の通気量)	23.8 m ³ /h/Pa ^{1/n}
ΔP=9.8Pa における 通気量: Q9.8	100.1 m ³ /h
総相当隙間面積: αA [cm ²]	69 cm ²
相当隙間面積: C [cm ² /m ²]	0.3 cm ² /m ²

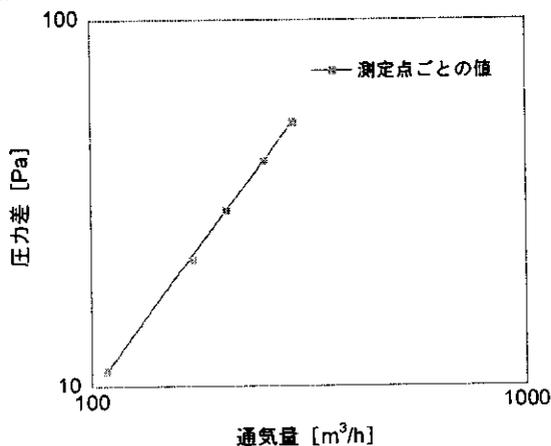


図 4-3 測定結果

各測定点の結果を、縦軸を対数に取ってプロットす

ると直線が得られる。総相当隙間面積 69 cm²を対象延べ床面積 199.02 m²で割ることによって、相当隙間面積は 0.3 cm²/m²と求められた。

4-2-3 換気設計

換気システムで設計する住宅の必要換気量は、

1 居住者員数×25m³、2 住宅気積×0.35 回、3 部位別換気量 の内大きい値を換気量として設定した。

S邸の場合、

1 居住者数による換気量 2×25m³=50m³

2 建物規模による換気量

$$215.8\text{m}^3 (\text{実質床面積}) \times 2.4\text{m} (\text{天井高}) \times 0.35 \text{回} = 181\text{m}^3$$

住宅気積 518m³

3 用途別による換気量

換気場所及び部位別の必要換気量

キッチン・浴室・寝室 30m³以上

床下・土のアトリエ 20m³以上

トイレ2 15m³以上

$$30\text{m}^3 \times 3 + 20\text{m}^3 \times 2 + 15\text{m}^3 \times 2 = 160\text{m}^3$$

より、総換気量 181m³以上、排気カ所7カ所の換気システムを採用している。

4-2-4 実測日程

表4-4に実測日程を示す。気中濃度及び部位別放散速度測定は、2001年5月20日から2002年2月12日にかけて、施工から生活開始後の各段階において同時に行った。温熱環境の測定は、2001年7月29日から2002年2月までの長期間に亘って行った。換気回数測定は、2001年10月18日に濃度減衰法にて行った。

表 4-4 実測日程

日程	時期	測定概要
'01.5.20	下地施工完了	気中濃度・部位別放散速度
7.29	内装施工完了	気中濃度・部位別放散速度
8.9	入居時	気中濃度・部位別放散速度
9.6	入居1ヶ月後	気中濃度・部位別放散速度
10.18		換気回数測定
11.15	入居3ヶ月後	気中濃度・部位別放散速度
'02.2.7	入居6ヶ月後	気中濃度測定
2.12	入居6ヶ月後	部位別放散速度測定

4-3 気中濃度実測

4-3-1 実測概要

(1) 概要

本実測は、長期間に亘って室内環境中のアルデヒド類及びVOCsの気中濃度を測定し、施工の各段階において使用された下地材、仕上材及び備品の室内化学物質濃度への寄与の大きさを比較検討することを目的とした。図4-4、4-5に測定位置及び気中濃度実測風景を示す。

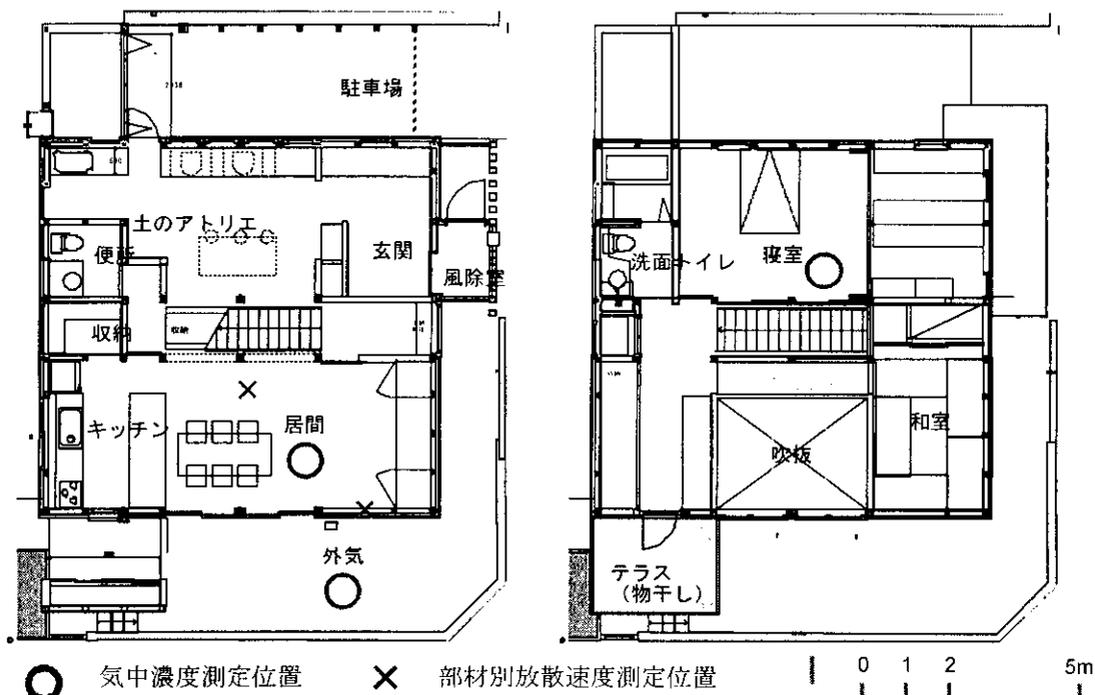


図4-4 測定位置（左：1階平面図、右：2階平面図）

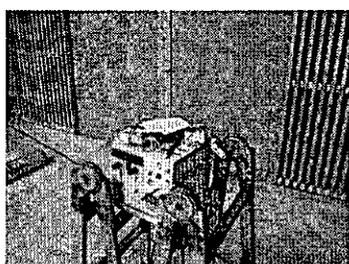


図4-5 気中濃度測定風景

(2) 温熱環境の測定方法

室内・外の温湿度は、部屋の中央（高さ1.2m）で Thermo Recorder を用いて測定・記録した。

(3) サンプルング方法

表4-5に、サンプルング条件を示す。

表4-5 サンプルング条件（気中濃度）

項目	アルデヒド類	VOCs
捕集管	Sep-Pak DNPH Silica Cartridge (short type)	マルチベット Tenax TA (60/80mesh)
測定位置	部屋内気中濃度：床上1.2m 外気濃度：外壁より2m+地上1.2m	
測定環境	温度：成り行き（竣工後は25°C） 湿度：50%rh	
吸引流量 [mL/min]	300	100
捕集時間[min]	33	32
捕集量[L]	10	3.2

サンプルングは、以下の条件で行った。

- ① 下地施工完了時、内装施工完了時における実測は、開口部を全て閉じ、自然換気・温度は成り行きにて行った。
- ② 入居後の実測は、24時間機械換気の状態で行い、

室温は空調機にて約25°Cに制御した。

- ③ 施工中、現場は禁煙、禁酒とした。
- ④ サンプルング時、喫煙者の立ち入りを禁止した。
- ⑤ 外気測定場所は建物の影響を避け、最小で2m、最大で5m程度離れた。
- ⑥ 測定室の概要をチェックシート、写真によって記録した。
- ⑦ 測定前後の捕集サンプルは、冷暗所（4°C前後）で運送・保管した。
- ⑧ アルデヒド類サンプルは、採取後1週間以内に抽出した。
- ⑨ 実測前3日間の生活状態をヒアリングによって把握し、化学物質気中濃度に影響を与えると思われる要因を考察した。

(4) 分析方法

アルデヒド類の分析は高速液体クロマトグラフィー（HPLC）、VOCsに関しては、GC/MSを用いた。表4-6、4-7に分析条件を示す。

表4-6 アルデヒド類分析条件

HPLC	Water 2640 Separations Module alliance
検出器	UV Detector
解析ソフト	Millennium
カラム	Nova-Pak C18 Φ3.9×150mm
移動相	Water/Acetonitrile/Tetrahydrofuran (Gradient)
カラム温度	40°C
注入量	20μL
検出波長	360nm

表 4-7 VOCs 分析条件

GC/MS 質量分析計	HP6890/5973			
熱脱着装置	ATD400			
分析 条件	ATD 400	捕集チューブの条件		
		脱着温度	280°C	
		脱着流量	50.6mL/min	
		脱着時間	10min	
		入口スプリット	なし	
		トラップチューブの条件		
		トラップ温度	-30°C	
		脱着温度	300°C	
		脱着時間	15min	
		出口スプリット	9mL/min	
		HP 6890 /5973	カラム	SPB-1 0.32mm ×60mm×5µm
			温度	50°C (15min) - (10°C /min) -260 (14min)
			キャリアガス	1.5mL/min
			モード	SCAN
	マスレンジ	10-700amu		

4-3-2 実測結果・考察

居間と寝室、外気における、気中濃度測定結果を図4-6, 4-7に示す。VOCsの測定結果について、同規模の木造戸建て住宅の気中濃度測定結果と比較を行った。VOCs 気中濃度結果の成分内容について、図4-8, 4-9と表4-8に示す。

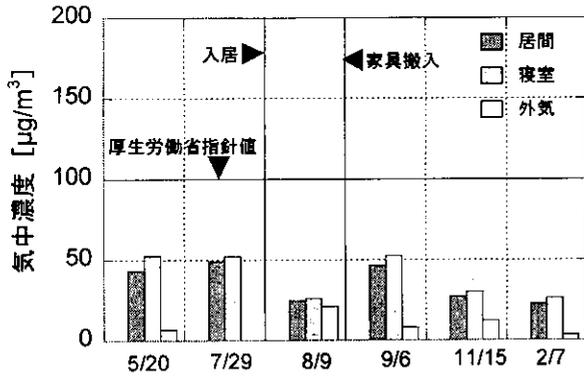


図 4-6 ホルムアルデヒド気中濃度結果

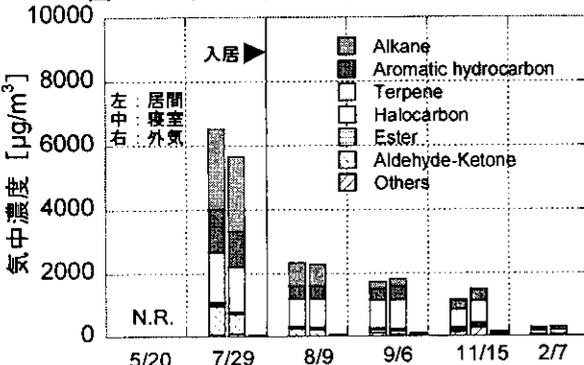


図 4-7 VOCs 気中濃度結果

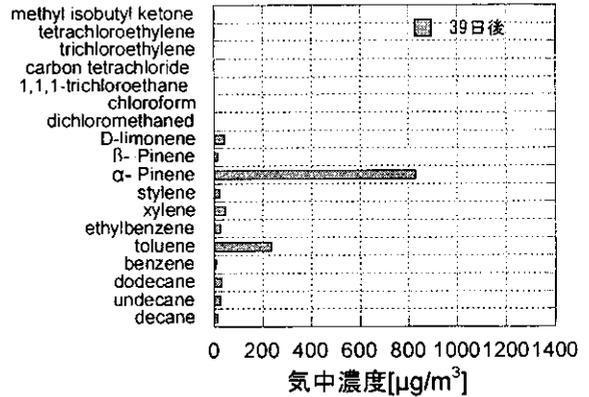


図 4-8 居間・VOCs 気中濃度結果詳細 (9/6 測定・竣工 39 日後)

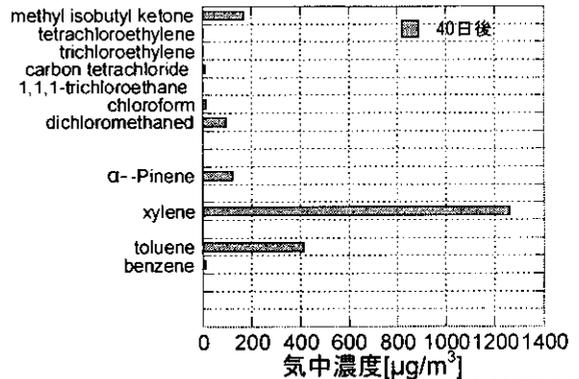


図 4-9 木造戸建住宅居間・VOCs 気中濃度結果詳細 (8/21 測定・竣工 40 日後)

表 4-8 VOCs 物質の内訳比較

	S 邸		木造住宅*	
	[µg/m³]	[%]	[µg/m³]	[%]
脂肪族炭化水素	232	13	ND	0
芳香族炭化水素	357	21	1690	33
テルペン類	887	52	120	2
ハロゲン類	44.6	3	130	3
エステル類	23.8	1	ND	0
アルデヒド・ケトン類	76.0	4	168	3
アルコール類その他	106	6	3020	59
TVOC (トルエン換算)	1669		5000	

*参考文献4) をもとに換算

下地施工完了時から内装施工完了時にかけて1階居間・2階寝室のホルムアルデヒド気中濃度はほとんど減衰が見られなかったが、入居時には放散が減衰し、入居1ヶ月後である9月6日に再び大きくなっていった。最もホルムアルデヒド気中濃度が大きい内装施工完了時において、1階居間、2階寝室のホルムアルデヒド気中濃度は、それぞれ49.3µg/m³, 51.2µg/m³であった。2点共に厚生労働省指針値(100µg/m³)を下回っていることから、S邸で使用されている建材は、十分な低ホルムアルデヒド対策がなされていると考えられた。入居後ホルムアルデヒド気中濃度が減衰しているこ

とに関して、入居に伴い24時間機械換気が行われるようになったことや、空調機によって室内の温・湿度の制御がなされるようになり、測定時の温度が下がったことが原因として考えられた。内装施工完了時には、養生シートや運搬保護材が多く残っており、これら施工途中の部材からの放散も考えられた。また、入居後9月6日の実測前に木製家具が多く搬入されており、これら家具からの放散が入居1ヶ月後の測定結果に影響を与えていると考えられる。

VOCsに関しては、入居3ヶ月後においても暫定指針値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を大きく上回っていた。VOCsの成分では、入居時以降他の成分が大きく減衰しているのに比較して、 α -ピネンやD-リモネンといった、テルペン類の放散が大きかった。これは、床・天井に多く使用されていた杉材、自然塗料からの放散の影響が考えられた。VOCsの成分を他の木造戸建新築住宅の結果と比較すると、S邸においてテルペン類が非常に大きい値を示しており、脂肪族炭化水素類も割合が高かった。木造住宅においては、不明物質を除くとほとんどを芳香族炭化水素類が占めていた。

4-4 部材別放散速度実測

4-4-1 実測概要

(1) 概要

各部位から放散される化学物質の、室内気中濃度に与える影響度の大きさを評価することを目的として、気中濃度測定時に各部位の部材別放散速度測定を行った。測定位置は、図4-4を参照。図4-10に床の測定風景を示す。

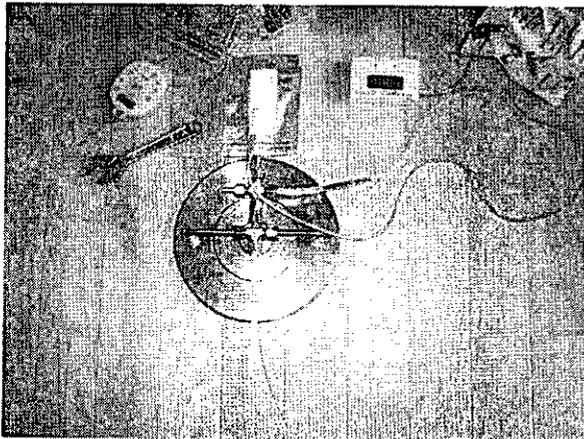


図4-10 床測定風景

(2) 温熱環境の測定方法

室内・外の温湿度は、部屋の中央(高さ1.2m)でThermo Recorderを、表面温度は、MINOLTA505を用いて測定・記録した。図4-11にThermo Recorder及びMINOLTA505を示す。

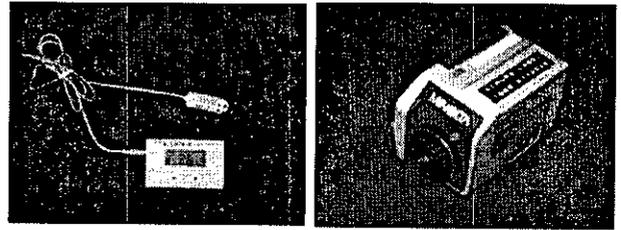


図4-11 Thermo Recorder(左)及びMINOLTA505(右)
(3) サンプリング方法

測定には小型セル FLEC^{1,2)}を用いた。図4-12にFLEC-CELL接続図を示す。

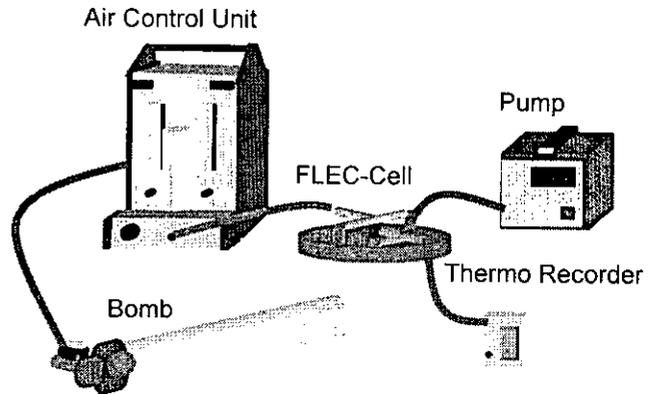


図4-12 FLEC法

1階居間と2階寝室の床・壁が同じ材料であった為、測定は1階居間の床・壁にて行った。天井は材料の形状から測定不可能であった。

表4-9, 4-10に、各実測段階における表面材及びサンプリング条件を示す。

表4-9 表面材

測定時期	測定箇所	表面材
下地材施工完了時	床	下地合板(F _{CO})
	壁	サーモプライ
内装材施工完了時	床	栗フローリング材(無塗装)
	壁	漆喰系土壁
入居時以降	床	栗フローリング材(oil finish)
	壁	漆喰系土壁

表4-10 サンプリング条件(床・壁)

項目	アルデヒド類	VOCs
捕集管	Sep-Pak DNPH Silica Cartridge (short type)	マルチベット
測定位置	床: 居間中央部 壁: 床上1.2m	
測定環境	温度: 成り行き(竣工後は25°C) 湿度: 50%rh	
吸引流量 [mL/min]	300	100
捕集時間[min]	33	32
捕集量[L]	10	3.2

サンプリングは、以下の条件にて行った。

- ① 下地施工完了時、内装施工完了時における実測は、開口部を全て閉じ、自然換気・温度は成り行きにて行った。
- ② 入居後の実測は、24時間機械換気の状態で行い、室温は空調機にて約25°Cに制御した。
- ③ セル内に流入させる空気は湿度は、Air Controlによって50%RHに制御した。
- ④ 壁の測定は、図4-13に示す器具によってFLEC-CELLを固定して行った。
- ⑤ 施工中、現場は禁煙、禁酒とした。
- ⑥ サンプリング時、喫煙者の立ち入りを禁止した。
- ⑦ 測定室・測定部位の概要をチェックシート、写真によって記録した。
- ⑧ 測定前後の捕集サンプルは、冷暗所(4°C前後)で運送・保管した。
- ⑨ アルデヒド類サンプルは、採取後1週間以内に抽出した。
- ⑩ 実測前3日間の生活状態をヒアリングによって把握し、化学物質気中濃度に影響を与えると思われる要因を考察した。

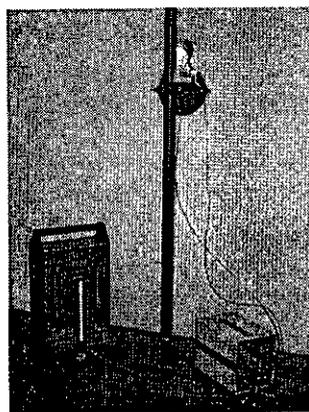


図4-13 壁測定風景

(4) 分析方法

アルデヒド類の分析は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)、VOCsに関しては、GC/MSを用いて行った。分析条件は、表4-6、4-7参照。

4-4-2 実測結果・考察

部位別放散速度測定結果を、図4-14~4-16に示す。ホルムアルデヒドに関して、下地施工完了時から入居6ヶ月後まで、VOCsに関して、床は内装材施工完了時から、壁は入居1ヶ月後から入居6ヶ月後について示す。

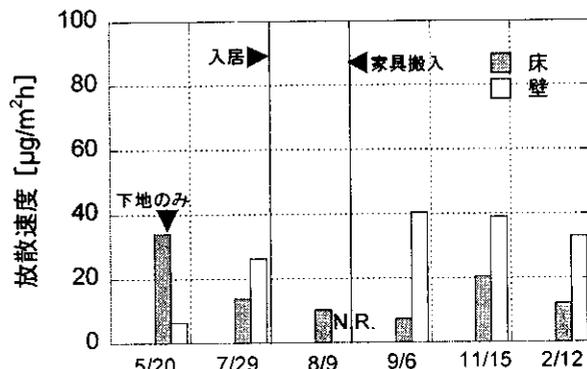


図4-14 ホルムアルデヒド放散速度結果

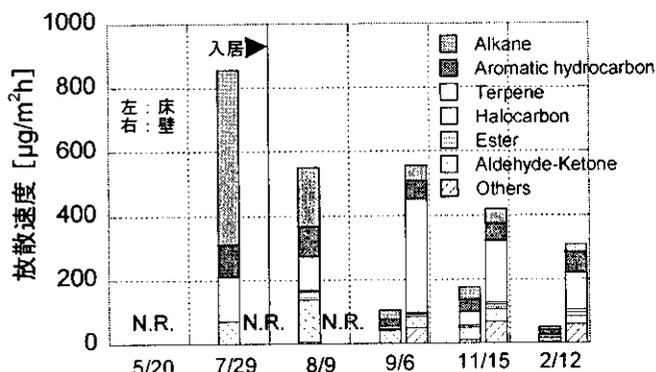


図4-15 VOCs放散速度結果

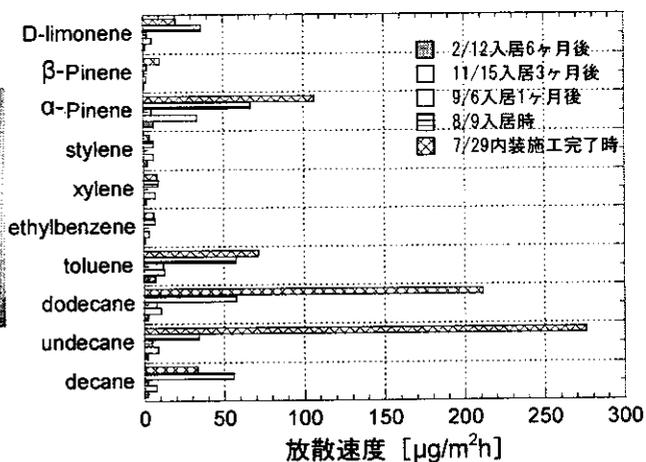


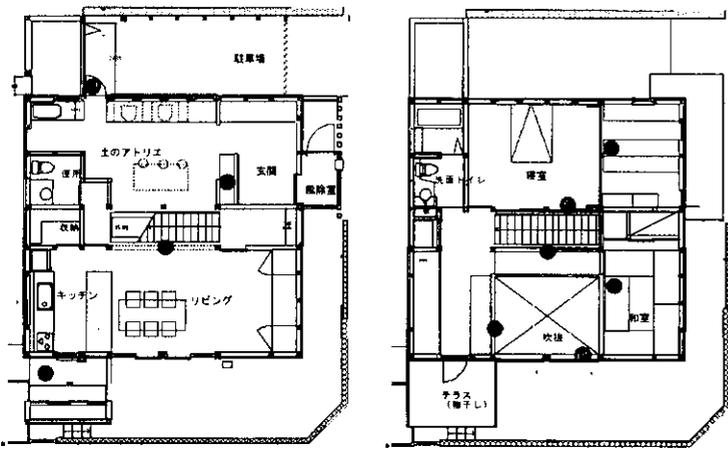
図4-16 VOCs放散速度結果詳細(床)

床材において、ホルムアルデヒドは時間と共に減衰がみられたが、入居3ヶ月後の11月には値が大きくなっていった。これは、床暖房が使用されるようになったことが原因として考えられた。壁材の5月20日測定は下地材であるサーモプライからのホルムアルデヒド放散速度を測定しており、6.6µg/m²hと非常に小さかった。7月29日の測定では仕上材である漆喰系土壁からの放散速度を測定しており、26.2µg/m²hであった。その後減衰はあまり見られなかったが、全ての値は40µg/m²hを下回っていた。VOCsに関しては、入居前に高い放散速度を記録した。9月6日の測定では急激に低下し、特に脂肪酸と芳香族炭化水素が低下している。一方壁材からは、多くのテルペン類が確認された。

4-5 温熱環境実測

4-5-1 実測概要

室内空気質に影響を与える要因について考察するために、長期間に亘って室内・外の温湿度の経時変化を測定した。測定は Thermo Recorder RS-11 を室内・外の計 10 箇所に設置して行い、設置位置は、外気（南側）、外気（北側）、1階居間、2階寝室、収納、階段、アトリエ、吹き抜け、窓、和室の生活行為に支障のない場所とした。（床上高さ2～3mに設置）図4-17、4-18に設置位置及び測定風景を示す。



● Thermo Recorder 設置位置
図4-17 温湿度測定位置

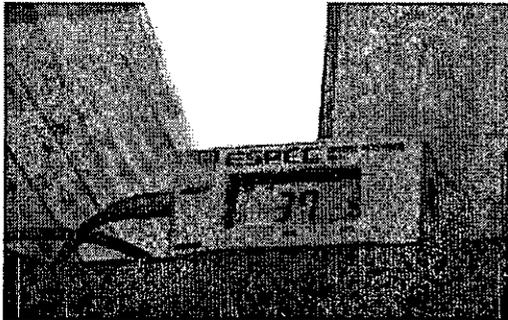


図4-18 温湿度測定風景

4-5-2 実測結果・考察

2001年8月と11月の、一日の温度経時変化測定結果及び相対湿度温度経時変化測定結果を、図4-19～4-22に示す。

各月における結果から、室内の温湿度は、外気の変化と比較してほぼ安定していることが分かった。後に示すヒアリング結果より一日の空調使用時間が少ないことから、S邸は十分な断熱性能を有することが分かった。また1階アトリエは他室よりも1°Cほど室温が低く、和室は相対湿度が5%rhほど高かった。和室の湿度は絶対湿度においても他室より平均して高い値を示していた。原因として、ほとんど換気がなされていないことと、畳であること等が考えられた。

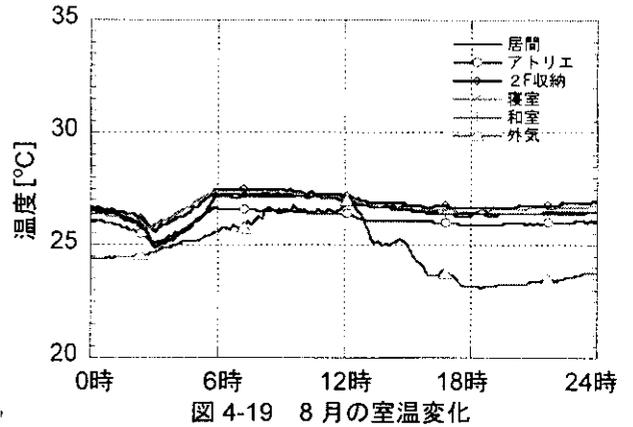


図4-19 8月の室温変化

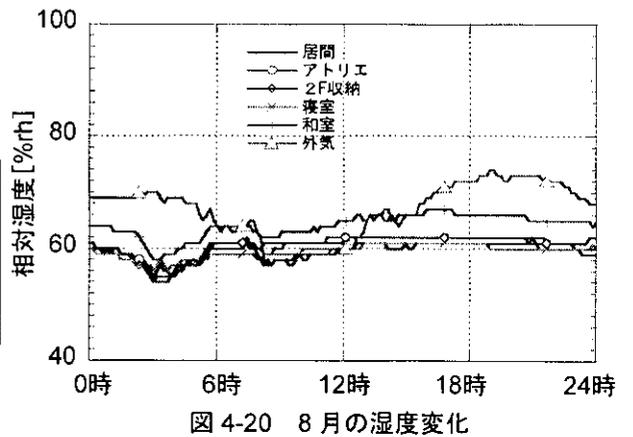


図4-20 8月の湿度変化

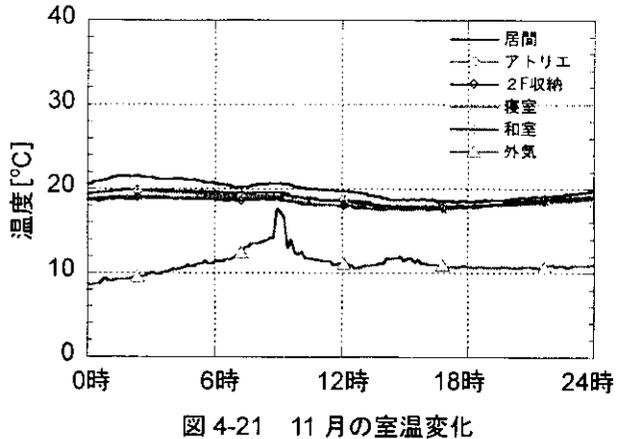


図4-21 11月の室温変化

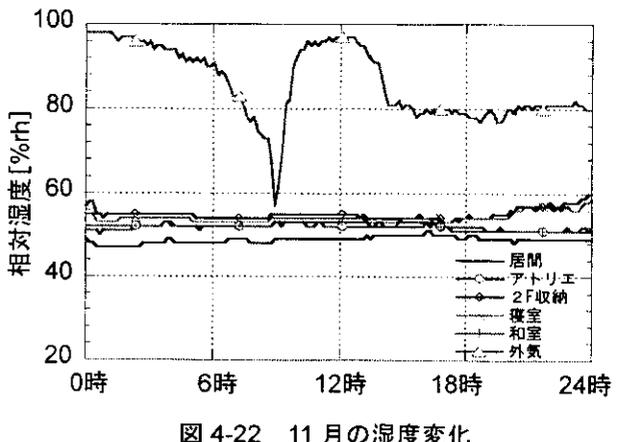


図4-22 11月の湿度変化

4-6 換気量測定

4-6-1 測定方法・概要

換気量の測定には、濃度減衰法(トレーサガス:SF₆)を用いた。この方法は、最も基本的な換気率の測定方法で、短時間に離散的な換気回数を求めることができる。以下に理論を示す。

いま、瞬時一様拡散を仮定し、室内に対象ガスの発生源がない場合、あるガス濃度の室内における質量保存則は以下の簡単な微分方程式で表される。

$$\frac{dC}{dt} = -nC \quad \dots (4-1)$$

(C:ガス濃度、n:換気回数、t:時刻)
これを初期条件 t=0 で C=C₀ のもと、解くと

$$C(t) = C_0 e^{-nt} \quad \dots (4-2)$$

となり、両者の自然対数をとると、

$$\ln(C(t)) = \ln(C_0) - nt \quad \dots (4-3)$$

となる。したがって、あるガスを室内にまき、その濃度減衰曲線(C-tカーブ)を、Cについて自然対数をとってプロットしてやれば、直線となるはずである。この回帰直線の傾きが、換気回数 n である。

本実測では、室内に無害で不活性かつ自然にはほとんど存在しないSF₆ガスを、瞬時一様拡散に近づくよう扇風機6台を用いて室内を攪拌しながら、定常濃度に達するまで室にまいた。定常に達したのち噴出を止め、室内の5点においてマルチガスモニタで濃度減衰を測定した。測定位置を図4-23に示す。

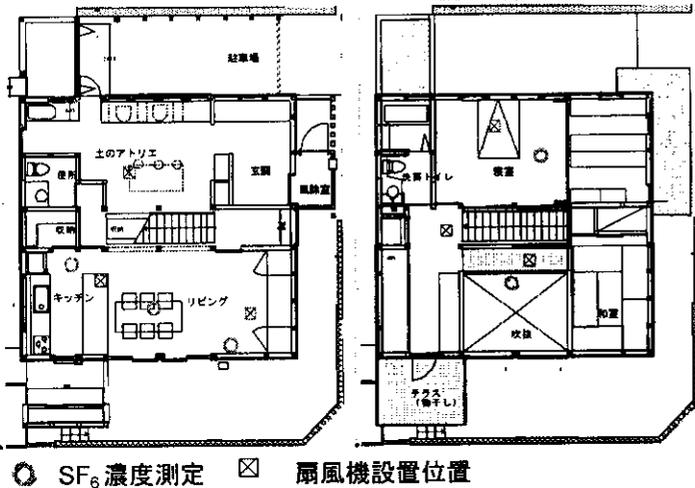


図4-23 SF₆測定位置・扇風機設置位置

4-6-2 測定結果・考察

濃度測定結果を、自然対数をとってプロットしたものを図4-24~4-27に示す。

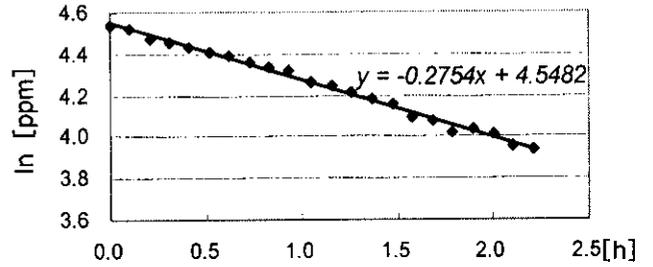


図4-24 1階居間濃度測定結果

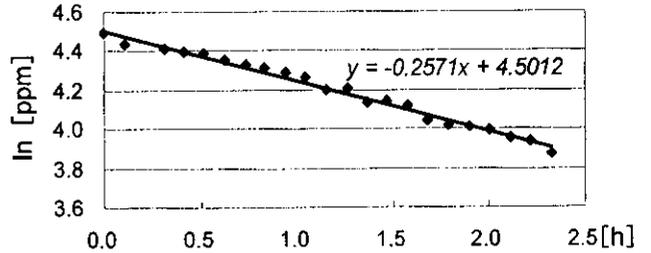


図4-25 2階寝室濃度測定結果

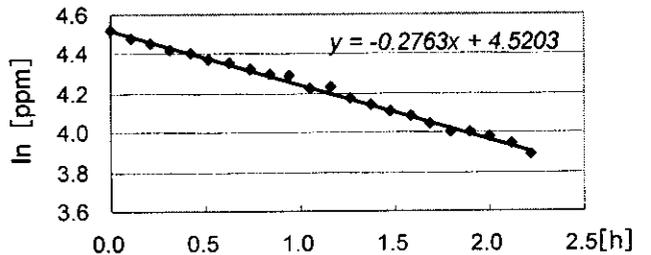


図4-26 2階吹き抜け濃度測定結果

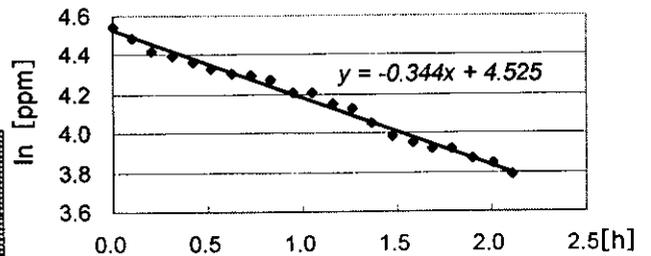


図4-27 排気口濃度測定結果

以上のプロットから、前述した様に回帰直線をひき換気回数を求めた結果を表4-11に示す。

表4-11 換気回数結果

測定点	換気回数[回/h]
1階居間	0.28
2階寝室	0.28
2階吹き抜け	0.28
排気口	0.34
平均	0.29

ほとんどの点において、同様の減衰が測定されたことから、SF₆ガスは室空気とよく攪拌されていたことが分かった。排気口のみ、他の点よりも大きい値を示していた。

換気回数の測定結果は、4点の平均から0.29回/hと算出され、設計された換気回数(0.35回/h)よりもやや小さい値であった。S邸は24時間第3種機械換気として計画されている。原因として、排気口の測定結果より算出された値は計画換気回数に近いことから、室内が負圧になっても十分な給気が確保されていないことが考えられた。

4-7 生活実態調査

4-7-1 ヒアリング調査内容

居住者の生活行為が室内空気質に与える影響を考察するために、実測前3日間の生活状態、換気などについて、図4-28に示すヒアリング調査を行った。

実験前3日間における生活状態についてお答えをお願いします。

生活状態について

室内に人の在室していた時間は、一日平均何時間ですか？
(時間)
使用した冷暖房器具があれば、使用した時間と、設定温度をお願いします。

換気状態について

一日総換気時間をお願いします。
換気扇/24時間換気システム/換気孔/窓を開けた/
その他 (時間)
人の出入りについて、家に出入りした述べ人数でお答えください。(3日前 人、2日前 人、前日 人)

空気質に影響を与えと思われることについて

燃焼器具(ガスコンロなど)は使用しましたか？
タバコを吸われた方はいらっしゃいましたか？
アルコール類を飲まれた方はいらっしゃいましたか？
殺虫剤を使用しましたか？
これらの他に室内空気質に影響を及ぼしたと感じるもの
があればご記入ください。

図4-28 ヒアリング調査内容

4-7-2 調査結果

ヒアリング調査の結果を、表4-12に示す。生活開始1ヶ月後においては、室内に人の在室していた時間は、一日平均16時間であった。エアコンの使用された時間は7時間、設定温度は25°Cであった。燃焼器具の使用、喫煙、飲酒は無かった。入居後の実測時以降に搬入された家具は、箆笥(MDF製)、椅子(チーク材)、テーブル(トチ材)、ブラインド(杉材)であり、塗装は全て自然系塗料を使用したものであった。すべて木製製品であることから、入居1ヶ月後におけるα-ピネン等、テルペン類の気中濃度が、入居時よりも高くなっていた原因と考えられた。生活開始3ヶ月後においては、在室時間が23時間であったことと、床暖房の使用が始まったこと以外は1ヶ月後の結果とほぼ変化はなかった。

表4-12 ヒアリング調査結果

実測日	9/6	11/15	
調査期間	9/3~9/5	11/12~11/14	
生活状態			
1日平均在室時間	16h	23h	
空調使用時間 ・設定温度	7h・設定25°C (クーラー)	8h・床暖房 (アトリエ)	
ペット在宅時間	約20h	約20h	
増えた家具	箆笥 (MDF製) イス (チーク材) テーブル (トチ材) ブラインド (杉材)	なし	
換気			
1日総換気時間	24h 機械換気	24h 機械換気	
出入り 延人数	3日前	2人	2人
	2日前	2人	2人
	前日	3人	6人
その他			
燃焼器具の 使用の有無	無し	無し	
喫煙の有無	無し	無し	
飲酒の有無	無し	無し	
殺虫剤使用の 有無	ホウ酸系置型 殺虫剤使用	無し	
その他	掃除機の使用	拭き掃除程度	

4-8 まとめ

本研究では室内空気質に影響を与える要因について考察することを目的として、環境共生型木造住宅において気中濃度と各部位からの放散速度測定を行った。測定は、施工途中段階から入居6ヶ月後までの長期間に亘って行い、平行して換気回数と温熱環境の測定を行った。

(1) 1階居間・2階寝室のホルムアルデヒド気中濃度測定結果は、各段階全ての値が厚生労働省指針値(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を下回っていた。VOCsに関しては、暫定指針値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を大きく上回っていた。VOCsの成分では、 α -ピネンやD-リモネンといったテルペン類の放散が主であった。

(2) 部位別放散速度測定結果に関して、下地材からのホルムアルデヒド放散速度は非常に小さかったが、仕上材である漆喰系土壁からの放散速度は4倍以上の値だった。床においては、時間とともに減衰がみられた。

(3) 換気回数の測定結果は0.29回/hであり、設計された換気回数(0.35回/h)よりも小さい値であった。

(4) 長期間の温・湿度経時変化は全室にてほぼ同様の結果が得られた。外気の変動に比較して、室温は安定していたことから、S邸は十分な断熱性能を有すると考えられた。

本研究では、室内空気質に影響を与えると思われる要因について、様々な実測を行い影響度の大きさを検証した。内装材だけでなく施工途中部材や、居住者の持ち込んだ家具からの放散等の影響がみられた。また、天然建材や自然系塗料からの放散も多くみられたことから、化学物質放散に関して十分に考慮する必要があると考えられた。本研究の結果から、今後内装材にとどまらない、施工途中部材や部材の運搬状況、居住者の生活スタイルといった幅広い範囲において室内汚染化学物質への対策が求められると考えられた。

【参考文献】

- 1) P. Wolkoff et al., Field and Laboratory Emission Cell : FLEC, IAQ91 Healthy Buildings, pp.160-165, 1991
- 2) P. Wolkoff et al., Application of the Field and Laboratory Emission Cell : "FLEC"-Performance study, Intercomparison Study, and Case Study of Damaged Linoleum in an Office, Indoor Air 1995, 5, pp.196-203, 1995
- 3) クラフト oil finish 仕様書、エキストラクリアー技術資料
- 4) 百瀬、岡田、木質住宅における室内空気質の実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.789-790, 1998
- 5) 谷川、環境共生住宅における熱・換気性能の研究、修士論文、1998

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

We have retrieved and analyzed scientific papers on the health effects of indoor air pollution from MEDLINE and the Japana Centra Revuo Medicina. The Number of published papers in international scientific journals concerning the sick house syndrome has been increasing since 1990, and about 40 quality papers were published in 2001. Formaldehyde, volatile organic compounds are considered to be contributors, studies on the mechanism of occurrence have been few. Moreover, though evaluations for the dose-effects of individual substances exist, such knowledge for the dose-effect and dose-response for combined substances is insufficient. In predicting the health effects it is necessary to investigate the exposure to compound chemicals and to exam the sensitizing potential of their interaction. In this study we review papers to examine the biological effects of individual chemical substances contributing to indoor pollution.

KEYWORDS: Sick house syndrome, Indoor air pollutants, VOCs, health effect

5-1 研究目的

近年では、住宅環境に起因する様々な健康被害を総称した「シックハウス症候群」が認知されつつあり、その原型は欧米にて提唱されたシックビルディング症候群と同義とされる。

室内汚染物質による健康障害を予測するための手法の開発に先立ち、それら汚染物質が生体に与える影響について、これまでの知見を整理する必要があると考えられる。

ここでは、シックハウス（シックビルディング）症候群、ならびにそれらの原因とされる代表的な化学物質についての知見を整理することを目的とした。

5-2 研究方法

医学文献の代表的なデータベースであるMEDLINEおよび医学中央雑誌を用いて、“sick building syndrome (sick house syndrome)”, “indoor air pollution”, “formaldehyde”, “volatile organic compound (s)”などのキーワードで関連文献を検索し、評価のうえで知見の整理を行った。

なお、評価にあたっては、以下の点について留意した。

- (1) 健康影響を関知する指標の記載
- (2) 影響予測のための曝露および環境指標の記載
- (3) 許容範囲の設定のために有用な情報の記載

5-3 研究結果

5-3-1 シックハウス症候群に関する知見の整理

(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.)

また、SBSに対して、原因が明確であり、建物から離れても症状が改善しないものをBuilding Related Illness (BRI) と定義して、SBSとは区別している¹⁾。

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、SBS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。

(2) 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1のように分類している³⁾。

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)

以上のように、一般的症状は認知されているものの、それらの発生機序は明らかでなく、また原因であろう曝露物質との量-反応関係も明らかではない。

(3) 原因（物質）

1970年代にSBS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³⁾。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^{5,6)}。

(4) 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ケースが多く、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³⁾、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。

5-3-2 主な化学物質による生体影響知見の整理

主にシックハウス症候群についての整理を行い、原因の中でもVOCsが現在のところ原因として最も認知されていることについて述べた。

後半部分ではその内容を受けて、代表的なVOCsについて、個々の物質の生体影響について整理する。

(1) ホルムアルデヒド

① 短時間(急性)曝露

吸入

・蒸気は鼻腔、咽頭および気管に重篤な炎症を引き起こす。

・高濃度の急性吸入では、肺水腫(肺への致命的な体液貯留)や、肺炎(肺の炎症)のような肺障害が生じ、死に至る。肺水腫は曝露後数時間遅れて発生することもある^{14,15,16,17)}。

表5-4 ホルムアルデヒドの急性影響

濃度 [ppm]	影響
0.2	眼の刺激
2-3	上気道の刺激痛, 眼の刺激痛
4-5	上気道の刺激は30分以上耐えられない, 流涙
10-20	数分しか呼吸できない, 呼吸困難, 上気道の灼熱感, 咳き込み, 流涙が止まらず
50-100	上気道の傷害, 肺水腫や肺炎の罹患, 死に至る

皮膚接触

・溶液は皮膚に炎症を生じさせ、ヒリヒリとした刺激、乾燥、発赤となる。

眼の接触

・濃縮したホルムアルデヒド溶液は重篤な眼の炎症と傷害を生じる^{14,15,16,17)}。

経口摂取

・ホルムアルデヒド溶液の摂取は口腔、咽頭、食道および消化管に炎症と激しい痛みを生じる。

・後にはふらつきが生じたり、機能障害、昏睡状態がみられる。体温は低下する。黄疸、アシドーシス、血尿(尿に混じる血液)が認められる。

・摂取(吸引)に引き続いて、食道から気管への蒸気の移動によって、吸入時の症状も認められる。

・ホルムアルデヒド溶液の品質によっては、メチルアルコール(ホルムアルデヒド溶液中の他の化学物質)が摂取したホルムアルデヒドの毒性に寄与することがある(最も深刻なのは視神経に与える障害とそれによる失明である)。

② 長期間(慢性)曝露

吸入

・ホルムアルデヒドガスへの慢性曝露は、呼吸器の炎症、慢性の閉塞性気道障害、肺機能障害を引き起こす。いくつかの報告では、ホルムアルデヒドによる呼吸器感作が論じられている。これらの報告では、ホルムアルデヒドは弱い感作物質となりうることを示唆している。

皮膚

・炎症と感作が慢性的な曝露の結果生じる。アレルギー反応は、皮膚のピリピリした刺激と発赤を生じ、赤色皮疹や裂孔を呈する湿疹を急速に生じる。湿疹は顔面や頸部、肘窩や膝窩にみられる。その後、感作された労働者は非常に低い濃度のホルムアルデヒドでも反応するようになる^{14,15,16,17)}。

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

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。IARC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）である¹⁸⁾。

催奇形性および胎児毒性

・ヒトにおいては情報がない。動物研究では影響が認められない。

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^{13,15)}。

変異原性

・ヒトまたは動物には十分な情報がない。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。

毒物相互作用物質

・情報なし。

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^{15,16)}。

(2) ジクロロベンゼン (1, 4-DCB)

① 短時間（急性）曝露

吸入

表5-5 ジクロロベンゼンの急性影響^{21,23)}

濃度 [ppm]	影響
15-30	臭気を少し感じる
30-60	臭気を強く感じる
80-160	痛みを伴う眼の刺激
不明（家庭での曝露レベル）	頭痛、めまい、嘔気、発音障害などの神経症状

・長時間曝露された者は高い濃度でも耐えることができた（順応）²¹⁾。

・中枢神経系の影響は、家庭あるいは職場で未知の濃度に曝露された、いくつかの事例が報告されている。症状は頭痛、めまい、嘔気、不器用および不明瞭発語などであった¹⁹⁾。曝露の詳細は明らかでなく、1,4-DCB単独の曝露であったかどうか定かではないため、これらの研究は1,4-DCBが吸入曝露により中枢神経の影響を引き起こすことを単に示唆するだけであり、証明はできない。

皮膚接触

・固体の粒子は、健全な皮膚ではかろうじて感覚できる刺激であるが、接触が持続すると、灼熱感を生じる。
・加熱された蒸気あるいは濃度の高い溶液は、反復ま

たは持続する接触により、皮膚を刺激することがある²¹⁾。

・1,4-DCBは皮膚から吸収されるが、有害性が生じるとは考えられない。

眼の接触

・固体の粒子が眼の中に入った場合には、痛みを生じる。

・1,4-DCBにしばらく曝露された者では、より高い濃度でも耐えうるかも知れない（順応）。

・眼の変化に注意して行われた定期健康診断ではレンズの変化を認めなかった²¹⁾。

経口摂取

・1,4-DCBは、おそらく経口摂取によって刺激が生じ、わずかに有毒である。

・中枢神経系抑制の症状は、吸入による記述と同様に生じると考えられる。

② 長期間（慢性）曝露

・皮膚炎が報告されている²³⁾。

・45-105ppmの蒸気に曝露した作業者の医学検査では、外傷はなく、血液検査と眼にも異常がなかった²¹⁾。

・慢性的に吸入・摂取を続けた事例（職業性／非職業性の両方）では、衰弱、極度の疲労、頭痛、めまい、嘔気、食欲不振（るいそう）、体重減少、肝脾の腫大が報告されている^{20,23)}。

発がん性

・5例の白血病の事例が報告されている。IARCはヒトに対する発がん性の評価は不十分であるが、動物に対する発がん性にはエビデンスがあるとして、グループ2Bに分類している²²⁾。

蓄積性

・1,4-DCBは吸入または経口摂取によって急速に吸収され、身体の全体に分配される。吸収された大部分の1,4-DCBは脂肪組織に沈着し、いくらかは肝臓および腎臓に分配され、さらに少量は肺、心臓および脳のような他の器官でも認められる。

・脂肪中のレベルは曝露の少なくとも5日後には残存していることが認められた。

・1,4-DCBは主として2,5-dichlorophenolとして代謝される（大部分は尿中に排出される）^{19,20)}。

・便中および呼気中にもある程度認められた。尿中の代謝および排出はおよそ6～8日を要した。

・曝露された労働者に関する研究は、排泄（2,5-dichlorophenolの）が、曝露後まもなく始まり、作業の終わりにはピークとなり、その後数日間持続することを示している²⁰⁾。

(3) エチルベンゼン

① 短時間（急性）曝露

吸入

- ・蒸気またはミストは鼻腔および咽頭を刺激する。
- ・吸入されたエチルベンゼンは嘔気、頭痛、嘔吐、および中枢神経系低下の他の徴候を引き起こすかもしれない²⁶⁾。

皮膚接触

- ・液体はわずかに皮膚を刺激しうる。
- ・エチルベンゼンはわずかに皮膚によって吸収される。

眼の接触

- ・表5-6を参照。

経口摂取

- ・ヒトにおける情報は得られていない。
- ・エチルベンゼンは比較的低い経口毒性を持っており、嘔気、嘔吐、頭痛およびめまいを引き起こすことがある。
- ・液体が吸引された場合、エチルベンゼンは激しい肺障害あるいは死に至らせる。
- ・蒸気やミストは鼻腔及び咽頭を刺激する。
- ・吸入により嘔気、頭痛、嘔吐などの中枢神経抑制症状が起こる。

表5-6 エチルベンゼンの急性影響^{24,25,27,28)}

濃度 [ppm]	影響
85	8時間過ごしても影響なし
100	軽いめまい、眠気、頭痛
200	一時的な眼の刺激
1000	流涙を伴う刺激があるが、耐性ができる
2000	直ちに激しい刺激と流涙
1000-2000	6分間でチャンパーを出る際に、疲労、めまいの増加、胸部の圧迫感

② 長期間（慢性）曝露

- ・ヒトにおける慢性的な低レベル毒性のエビデンスはほとんど無い。
- ・高濃度の長期曝露は腎臓、あるいは血液や精巣に影響を与えるかもしれない³¹⁾。
- ・他の炭化水素と同様に、エチルベンゼン蒸気への曝露は、頭痛、記憶消失、疲労のような中枢神経系影響などをもたらすことがある²⁷⁾。

皮膚

- ・反復または継続した接触は、エチルベンゼンの溶解力のある脱脂作用によって皮膚炎を起こし、発赤や脱毛、ひび割れを起こすかもしれない^{29,30)}。

感作性

- ・10%のエチルベンゼンを含んだワセリンに曝露され

た25人のボランティアには、皮膚のアレルギー反応は認められなかった²⁷⁾。

発がん性

- ・ヒトにおける情報は得られていない。

催奇形性および胎児毒性

- ・ヒトにおける情報は得られていない。
- ・動物吸入実験では、母体に有毒な高濃度への曝露で、催奇形性及び胚毒性の結果が認められた。

生殖毒性

- ・ヒトにおいて生殖毒性を示す根拠はほとんどない。
- ・24-49歳の66人の男性が、エチルベンゼンおよび四エチル鉛の両方に職業曝露された1つの研究は、精子数の減少、インポテンツ、性欲の減退および中枢神経系の影響が認められたが、多くの症例は治療によって軽快した³⁴⁾。

変異原性

- ・ヒトにおける情報は得られていない。

毒物相互作用物質

- ・アルコールあるいは他の化学物質への曝露は、肝臓において分解を阻害し、エチルベンゼンの毒性をおそらく増加させる。

蓄積性

- ・エチルベンゼンは皮膚、あるいは吸入と経口摂取によって吸収されるかもしれない。
- ・吸収されたエチルベンゼンのほとんどは一日以内に mandelic acid に代謝される。
- ・脂肪組織中への一時的な蓄積が起こりうる^{32,33)}。

(4) トルエン

① 短時間（急性）曝露

吸入

- ・蒸気の吸入による主な影響は、中枢神経系に対する影響である。吸入により嘔気、頭痛、嘔吐などの中枢神経抑制症状が生じる。
- ・最も深刻なのは閉所にたまった蒸気吸入の曝露である³⁶⁾。

表5-7 トルエンの急性影響³⁶⁾

濃度 [ppm]	影響
50	軽微な眠気、頭痛
50-100	鼻腔・咽頭・上気道の刺激
100	疲労感、ふらつき
200 ≤	酩酊状態、めまい、局所的知覚脱失、軽い嘔気
500 ≤	意識障害、運動失調
10000 ≤	中枢神経の抑制、意識喪失、死亡

- ・2例の職業性急性曝露では、血液検査に異常を認めず、肝臓や腎臓の障害も認められなかった³⁸⁾。血液へ

の影響はベンゼンによるものと類似するといわれている。

- ・肝・腎への影響は、心障害と同様に、溶剤中毒（シンナー遊び）の事例による報告である³⁵⁾。
- ・塗料工場では、重篤な職業曝露の結果、可逆的な腎不全が生じた³⁶⁾。

皮膚接触

- ・皮膚への接触は、最初弱い刺激を生じる。接触時間が長くなると、溶剤の脱脂作用によってより刺激は強まり、皮膚炎（乾燥、発赤）が生じる。
- ・液体のトルエンの皮膚からの吸収はゆっくりのため、その他の毒性作用は考えられない³⁹⁾。
- ・トルエンの利用がこれだけ普及しているにもかかわらず、皮膚過敏性は報告されていない。

眼の接触

- ・300ppmの蒸気へのごく短時間（3～5分）の曝露によって軽度の眼の刺激を生じる。
- ・100ppm以上の濃度での比較的長い時間（6～7分）の曝露でも軽い刺激を認める³⁶⁾。

摂取

- ・摂取すると容易に吸収され、中枢神経の機能低下を引き起こし、症状は吸入の場合と類似する。
- ・摂取または嘔吐する際に、肺内に吸入し、トルエンの誤嚥を引き起こす。
- ・重篤な肺の刺激と肺組織の障害は死に至る。
- ・約60ml（2オンス）のトルエンを摂取したことにより、30分以内に死亡した成人の事例報告があり、中枢神経の機能障害が原因であると結論づけているが、誤嚥によっても死に至りうる³⁵⁾。

② 長期間（慢性）曝露

皮膚

- ・皮膚に対して、反復性または長期の接触により皮膚炎（発赤、掻痒、乾燥皮膚）を生じうる。

中枢神経

- ・トルエンへの慢性曝露を伴う印刷業、塗装工、ラバーマット労働者についての多くの研究は、慢性の中枢神経障害について結論が出ていない。記憶障害、睡眠障害、集中力の低下、運動失調の報告もあるが、影響なしとする報告もある^{36,40,41)}。

視覚及び聴覚

- ・視覚の変化（例えば鋭敏性の低下や色覚の異常）は混合溶剤への曝露に続いた報告がある³⁶⁾が、トルエンの直接作用であるかどうかは明らかでない。長期のトルエン曝露が聴力に影響を及ぼすことを示唆する根拠も認められる³⁶⁾が、得られる情報は限られており、結論を導くには至っていない。

腎

- ・ヒトの腎障害を報告する研究のほとんどは、溶剤の乱用（例えばシンナー遊び）によるものである。これらの極端な曝露は職域には適切でない。労働者における疫学研究では、200ppm以下の長期曝露での腎障害を示す明確な根拠は認められなかった^{35,36)}。

血液系

- ・血液検査の小変化は観察されるが、トルエンが著しい血液障害を引き起こさないことは一般に認められている。

肝

- ・500ppm以下の職業曝露において、肝影響とは関連がなかった^{35,36)}。

発がん性

- ・ヒトにおけるトルエン曝露と癌の関連を調査したいくつかの研究がある。どの研究においても、ほとんどの部位の癌は、トルエン曝露との関連は明らかではなかった。胃癌による死亡、肺癌の割合および大腸・直腸癌はいくつかの研究の中で評価されている。多くの研究が複合曝露であり、結果の不定であることを考慮すれば、トルエン曝露がヒトにおいて癌に関連しているとはいえない。IARCは、トルエンの発癌性を立証するだけの十分な証拠がヒトにおいては不足していると結論している。IARCの結論は、トルエンはヒトへの発癌性に関して分類不能としている（グループ3）⁴⁵⁾。

胎児催奇形性と胚毒性

- ・胎児催奇形性に対する多くの関心は、溶剤の乱用事例（シンナー遊び）で認められた影響（通常は腎/尿）から生じた。これらの極端なトルエン曝露は、タバコおよびアルコール乱用のような他の交絡因子と同様、職域では適切ではない。

- ・先天的異常を持った子供を産んだか、自然流産が増加した女性に関する疫学研究では、妊娠中にトルエンを含む有機溶剤に曝露していたことがわかった^{36,42,44)}。しかしながら、大部分は混合曝露であったり、症例数が少なかったり、および対照群の適否のために、結論をこれらの研究から導くことはできない。これらの知見を明確にするために、さらなる研究が必要である。
- ・得られている動物実験の結果から、トルエンが催奇形性か胚毒性か、胎児毒性かという結論をだすことはできない。

生殖毒性

- ・1つの疫学研究は、トルエンの曝露に月経機能が影響されないことを示唆している⁴³⁾。この知見の確証には、より多くの研究が必要である。

- ・10年間トルエンを乱用した男性の、精巣の萎縮およ

び精子形成の低下に関する報告が1例ある³⁷⁾。この極端な(曝露)状況は職業曝露には適当ではない。

変異原性

- ・ヒトにおける研究結果は確定的でない。
- ・陽性の結果も陰性の結果も認められるが、トルエン単独曝露で、かつその他の適切な因子のコントロールを設定した研究は認められない^{35,36,44,45)}。陽性の結果は動物実験による報告があるが、それらは不適切な曝露(腹腔内)を使用しているか、または評価のための詳細が不足している。

毒物学的相互作用物質

- ・ベンゼン、キシレンおよびエタノール(アルコール)のような他の溶剤への曝露は、身体からのトルエンのクリアランスの速度を低下させ、そのためトルエンの毒性を増強する³⁵⁾。

蓄積性

- ・トルエンは、吸入または経口摂取で容易に吸収され、脂肪組織か、豊富な血液供給(例えば脳、肝臓、腎臓、脂肪)を受けている組織により蓄積される傾向がある⁴⁴⁾。
- ・300ppmの濃度で吸入曝露を繰り返されたネズミには、蓄積を示す形跡はなかった³⁶⁾。
- ・トルエンは肝で代謝され、腎臓によって尿中に排泄される。また、そのままの状態で発散することもできる^{35,36)}。

(5) キシレン

① 短時間(急性)曝露

吸入

- ・キシレン蒸気の吸入による主な作用は、頭痛、ふらつき、嘔気および嘔吐のような徴候を伴う中枢神経系(CNS)の低下である。
- ・鼻腔および咽頭の刺激も生じうる。
- ・極めて高濃度(およそ10000ppm)では運動失調、意識障害、呼吸困難を引き起こし、死に至る可能性がある。
- ・場合によっては、潜在的に肺への致命的な液体の貯留(肺水腫)が生じうる。息切れおよび困難呼吸のような肺水腫の徴候は曝露に数時間遅れて出現することがある。
- ・しかしながら、キシレンはこれよりはるかに低い濃度で刺激があり、芳香によって認識できるため、これらのような影響が認められるのはまれである^{46,47)}。
- ・報告されている死亡事例は、閉じ込められた場所でのキシレン(不明な異性体構成および濃度)への曝露の結果であった^{48,50)}。
- ・著しいキシレン曝露の事例において、可逆的な肝臓および腎臓障害が報告されている^{49,50)}。

- ・人間のボランティアにおける短期研究の結果は、キシレンが短期記憶や反応時間(300ppmの混合キシレンの環境中で、運動を行った)の障害や、身体バランスの変化(65~400ppmのm-キシレン)などといった神経行動に関する影響を与えることを示している。
- ・運動を伴わない300あるいは400ppmの混合キシレンへの曝露か、または65から150ppmのp-キシレンへの曝露は、異なった反応を示した。
- ・結果におけるこの変動は、おそらく調査されている影響、曝露条件、耐性の出現、およびキシレンの吸収(それは運動の間に増加する)の違いによる^{48,52)}。

皮膚接触

- ・キシレン異性体の研究では、炎症、発赤および灼熱感が接触によって生じることがあることを示した。これらの影響は接触終了後短時間(1時間)で回復する^{46,47,50)}。
- ・塗布された0.015mLのo-キシレンは、5~10分後、覆いの下で刺激を生じ、10~20分以内に改善した⁴⁷⁾。
- ・o-キシレンへの繰り返されているかあるいは継続的な曝露は、皮膚を脱脂し、皮膚炎(発赤、乾燥して痒みを伴う皮膚)を引き起こすことがある⁵⁰⁾。
- ・o-キシレンの液体あるいは蒸気は皮膚から吸収されるが、吸入や経口摂取のようには早くない^{46,52)}。著しい悪影響はこの経路からは考えられない。

眼の接触

- ・混合キシレンを用いた動物実験によれば、液体は、おそらく弱い刺激物である。
- ・o-キシレンについての特定の情報は認められない。
- ・眼の刺激は、混合キシレンでは200ppmの低さで生じたという報告がある⁴⁷⁾。
- ・角膜空胞(角膜中の液体あるいは空気の小胞)が、不確定の濃度の蒸気曝露に続いて認められたという報告がある。この影響は、8人の労働者のうち7人が8~11日以内に可逆的であった^{46,47)}。

経口摂取

- ・動物実験では、o-キシレンは経口摂取ではわずかに有毒である。
- ・大量の経口摂取は、ふらつき、嘔気および嘔吐のような中枢神経の影響を生じるであろう。
- ・1つの事例では、おそらくキシレン(不特定構成)で汚染された食物の摂取が肺の浮腫、肝臓障害および昏睡を引き起こした。その人は治療後2時間以内に回復した⁵⁰⁾。経口摂取は一般的な職業曝露の経路ではない。
- ・吸引による事例報告はないが、o-キシレンはその物理的性質(粘性と表面張力)によれば、吸引されうるであろう。吸引は経口摂取または嘔吐中、物質を肺に吸入することである。重篤な肺炎、肺組織への障害や

死亡に至るかもしれない。

② 長期間（慢性）曝露

皮膚

・反復する接触は、脱脂作用により皮膚炎（乾燥とひび割れ）を生じることがある。

皮膚過敏性

・皮膚感作は、24人のボランティアのうちの誰にも認められなかった^{46,47,50}。

・キシレン（不特定構成）蒸気の曝露に続いてアレルギー皮膚反応（接触蕁麻疹）を発症した事例の報告が1例あり、その後の皮膚貼布試験において陽性であった。以前のアレルギーの既往についての情報は記載されていない。この単独の事例報告に基づいて、キシレンがアレルギーの皮膚感作性をもつ可能性について結論づけることはできない⁵¹。

神経系

・長期のキシレン曝露は、神経系に対する有害な影響を引き起こすかも知れない。しかし、確固とした結論を引き出すことができる十分な情報はない。

・頭痛、いらだち、うつ、不眠、不安、極度の疲労、振戦、集中力や短時記憶の低下のような徴候が、キシレンおよびその他の溶剤への長期職業曝露に続発した報告がある。この状態は、かつて一般には「有機溶剤症候群」と呼ばれていた。

・残念ながら、これら慢性神経影響の検査において、他の溶剤の曝露からキシレンを分離して考慮できる情報はほとんどない。

・他の研究報告では、曝露期間と曝露レベルについて不十分であり、コントロールとのマッチングに乏しい^{47,48,50,52}。

・最近の研究では、175人の従業員が7年の間、平均21ppmのキシレンに曝露された。不安、不注意、集中力低下およびふらつきといった自覚症状が報告されている。キシレンは、全曝露の70%以上を占めた⁵³。この研究もまた、上記のような要因について制限されている。

血液系

・歴史的には、かつて白血病（現在はベンゼンによって引き起こされると知られている）を含む、ある種の血液影響とキシレン曝露を関連づけている。

・不純物のないキシレンはこれらの影響を引き起こすとは考えられていない^{46,48,50}。

・血小板数の低下は、200ppm以内の混合キシレン（不特定構成）に曝露された27人のうちの12人に観察された。

・曝露が消失したとき、血小板数は正常に戻った⁴⁷。この研究からは任意の結論を導き出す、十分な情報は

ない。

肝臓と腎臓の障害

・多くの事例報告および職域研究は、混合キシレン異性体への長期的な職業曝露によって肝臓および腎臓障害が起因することを示唆した。

・しかしながら、一般的には同時に他の化学薬品への曝露（特に他の溶剤）があり、曝露期間や曝露レベルの情報が十分に提供されていなかったため、キシレン曝露によってこれらの影響が直接起因すると考えることはできない^{47,48,52}。

・175人の従業員が7年の間、平均21ppmのキシレンに曝露された最近の研究では、肝臓と腎臓の影響は報告されていない。キシレンは、全曝露の70%以上を占めた⁵³。

発がん性

・キシレンは、4つのケースコントロール研究において曝露に関して言及されている。どの研究においても、ほとんどの部位の癌は、キシレン曝露との関連は明らかではなかった。

・多くの結果は少数のケースに基づき、また、潜在的に他の有害物質に曝露されている状態を含んでおり、曝露物質の濃度は希薄である。

・IARCは、キシレンの発癌性を立証するだけの十分な証拠がヒトにおいては不足していると結論している。IARCの結論は、キシレンはヒトへの発癌性に関して分類不能としている（グループ3）^{49,55}。

胎児催奇形性と胚毒性

・ヒトにおけるいくつかの研究は、有機溶剤（キシレンを含む）への曝露と流産または先天的異常の増加の関連を示唆した。

・しかしながら、大多数のケースでは、同時に複数の溶剤への曝露があり、それぞれの曝露ははっきりせず、症例数が少なかった^{47,48,49,50}。

・全体として、情報が不十分のために出生前の子供へのキシレン曝露の影響は結論づけることはできない。

・動物実験では、*o*-キシレンは母親に有害でない曝露レベルであれば、催奇形性でなく胚毒性でもないと示唆している。

・胎児毒性については、利用できる限定的な情報からは、結論を導くことができない。

生殖毒性

・月経不順の増加が、ベンゼン、トルエンおよびキシレンのような有機溶剤に曝露された女性において報告されている⁵⁰。しかし、これらの影響が特にキシレン曝露によって発生したと考えることはできない。

・限定的な動物実験の結果では、*o*-キシレンは生殖影響を起こさないと示唆している。