

- Tyihak E, Rusznak I. Determination of endogenous formaldehyde level in human blood and urine by dimedone-¹⁴C radioometric method. *J Radioanal Nucl Chem* 1986; 106: 357-367.
- (54) Holley AE, Walker MK, Cheeseman KH, Slater TF. Measurement of *n*-alkanals and hydroxyalkanals in biological samples. *Free Radic Biol Med* 1993; 15: 281-289.
- (55) Sárdi E, Tyihák E. Simple detection of formaldehyde in dimedone adduct form in biological samples by high performance liquid chromatography. *Biomed Chromatogr* 1994; 8: 313-314.
- (56) Satoh T, Omae K, Takebayashi T, Nakashima H, Higashi T, Sakurai H. Acetone excretion into urine of workers exposed to acetone in acetate fiber plants. *Int Arch Environ Health* 1995; 67: 131-134.
- (57) Luo XP, Yazdanpanah M, Bhooi N, Lehotay DC. Determination of aldehydes of other lipid peroxidation in biological samples by gas chromatography-mass spectrometry. *Anal Biochem* 1995; 228: 294-298.
- (58) Angerer J, Kramer A. Occupational chronic exposure to organic solvents XVI, Ambient and biological monitoring of workers exposed to toluene. *Int Arch Environ Health* 1997; 69: 91-96.
- (59) Ohata H, Otsuka M, Ohmori S. Determination of acetoaldehyde in biological samples by gas chromatography with electron-capture detection. *J Chromatogr B* 1997; 693: 297-305.
- (60) Ukai H, Okamoto S, Takada S, Inui S, Kawai T, Higashikawa K, Ikeda M. Monitoring of occupational exposure to dichloromethane by diffusive vapor sampling and urinalysis. *Int Arch Environ Health* 1998; 71: 397-404.
- (61) Miyake T, Shibamoto T. Quantitative analysis of acetaldehyde in whole blood from human and various animals by gas chromatography *J Chromatogr B* 1998; 719: 213-216.
- (62) Wahl HG, Hoffman A, Luft D, Liebich HM. Analysis of volatile organic compounds in human urine by headspace gas chromatography-mass spectrometry with a multipurpose sampler. *J Chromatogr A* 1999; 847: 117-125.
- (63) Spanel P, Smith D, Holland TA, Singary WA, Elder JB. Analysis of formaldehyde in the headspace of urine from bladder and prostate cancer patients using selected ion flow tube mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom* 1999; 13: 1354-1359.
- (64) Andrade JB, Andrade MV, Pinheiro HLC, Martins RA, Borges EL. Determination of formaldehyde and acetaldehyde in urine by HPLC. *Am Lab* 1999; 22-27.
- (65) Deng Y, Yu PH. Simultaneous determination of formaldehyde and methylglyoxal in urine: involvement of semicarbazide-sensitive amine oxidase-mediated deamination in diabetic complications. *J Chromatogr Sci* 1999; 37: 317-322.
- (66) Luo W, Li H, Zhang Y, Ang CYW. Determination of formaldehyde in blood plasma by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J Chromatogr B* 2001; 753: 253-257.
- (67) 篠塚達雄, 黒田直人, 村井達哉, 武井節子, 栗原克由, 柳田純一. 高速液体クロマトグラフィーによるホルムアルデヒドの微量定量法. *法医学の実際と研究* 1989; 32: 61-64.
- (68) 鈴木 (渡部) 加奈子, 鈴木 修, 石井 晃, 妹尾 洋. 低温オーブントラッピングガスクロマトグラフィーによるヒト体液中ステレン及び関連物質の高感度分析. *法中毒* 2001; 9: 182-183.
- (69) 浅川富美雪, 賈成文彦, 須那 滋, 平尾智広, 戴 紅. 化学物質室内空気汚染のモニタリングに関する研究—気中クロルピリホス, ペル

メトリンおよび尿中代謝物の測定法一. 地域
環境保健福祉研究 1999; 3: 22-25.

- (70) 井坂英樹, 石井豊彦, 澤田則宏, 荒木孝二,
須田英明. 生体内に分布する Formaldehyde の
検出について. 日歯保誌 1990; 33:
1709-1716.

表1 アルデヒド類の測定・分析法

対象物質	捕集方法	捕集材	分析法	適用濃度 (µg/m ³)	引用文献
ホルムアルデヒド	アクティブ法	DNPH ¹⁾ 加工ポリマー (Amberlite XAD-2)	HPLC 法	100-10000	2 (1981)
ホルムアルデヒド	アクティブ法	検知管 インピンジヤー (クロモトローブ酸, パラローザニン) 連続ホルムアルデヒドモニター DuPont Pro-Tec Formaldehyde Badge 3M Formaldehyde Monitor Air Quality Reserch, Inc. Passive Formaldehyde Kit Envirotech, Inc. Dosimeter	-	>61 - 61-12282 147-8351 >12 >12 >12	3 (1985)
ホルムアルデヒド	パッシブ法				
ホルムアルデヒド	パッシブ法	DNPH 含浸フィルター	HPLC 法	7-246	4 (1989)
ホルムアルデヒド、アクロ レイン、アセトアルデヒド、 グルタルアルデヒド	アクティブ法	DNPH 含有インピンジヤー DNPH 含浸カートリッジ・フィルター 2-HMP 加工 XAD-2	HPLC 法 溶媒抽出- GC-MS 法	0.5-150	5 (2002)
ホルムアルデヒド	アクティブ法	検知管	-	12-590	6 (2003)
ホルムアルデヒド	アクティブ法	ホルムアルデヒド反応分子 (KD-XA01)	比色法	>6	7 (2003)
ホルムアルデヒド	パッシブ法	DNPH 含浸シリカゲル	HPLC 法	-	8 (2000)

1) 2,4-dinitrophenylhydrazine

表2 VOC (揮発性有機化合物) の測定・分析法

対象物質	捕集方法	捕集材	分析法	適用濃度 (µg/m ³)	引用文献
VOC	パッシブ法	Tenax-GC	加熱脱着-GC-PID 法	—	9 (1985)
VOC	パッシブ法	Tenax-TA	加熱脱着-GC-FID 法	—	10 (1992)
C ₅ -C ₈ 炭化水素、イソブレン、ベンゼン、トルエン、 <i>p</i> -キシレン	パッシブ法	Tenax-TA, Tenax-GR, Chromosorb 106	加熱脱着-コールド トラップ-GC-FID 法	—	11 (1993)
VOC (≤C ₆)	パッシブ法	Tenax-TA, Tenax-GR, Chromosorb 106	加熱脱着-コールド トラップ-GC-RGD 法	—	12 (1993)
ベンゼン、トルエン、キシレン	パッシブ法	Perkin-Elmer 拡散サンブラー	—	—	13 (1999)
ベンゼン、トルエン、キシレン	パッシブ法	ココナツ殻活性炭	溶媒抽出-GC 法	>0.3	14 (2000)
VOC	パッシブ法	Carbopack B	加熱脱着-GC-MS 法	0.001-0.007 (µg)	15 (2002)
VOC	パッシブ法 アクティブ法	Tenax-GR + Carbosieve SIII	加熱脱着-冷凍凝縮- GC-MS 法	—	16 (2002)
モノテルペン	アクティブ法	Tenax-TA, Tenax-GR, Carbosieve SIII, Chromosorb 106	加熱脱着-GC-MS 法	>1	17 (2002)
クロルピリホス	パッシブ法	Supelpack	溶媒抽出-GC-MS 法	>0.001	18 (2003)
VOC	パッシブ法	活性炭	溶媒抽出-GC-MS 法	—	19 (1999)
VOC	パッシブ法	Tenax-TA	加熱脱着-GC-MS 法	>0.3 (スチレン) >2.1 (トルエン)	20 (2000)
VOC	パッシブ法	Carbosieve SIII, Carboxen 564	溶媒抽出-GC-MS 法	—	21 (2000)

表3 アルデヒド類・VOCの測定結果

対象物質	測定点数	測定結果 (μg/m ³)	引用文献
ホルムアルデヒド	9(事務所1, 家屋1, 工場7)	7-56	4(1989)
ホルムアルデヒド	171(81家屋)	147±123	6(2003)
ホルムアルデヒド	12(アパート1, 学校3)	25-61	7(2003)
ホルムアルデヒド	7(家屋7)	11.9-63.9	8(2000)
VOC	4(化学工場労働者)	0.063-0.144(1,2-ジクロロエタン)	9(1985)
VOC	100(家屋)	9-11400	10(1992)
VOC(≤C ₆)	17(屋外)	0.2(イソプレン)~ 1.3(ベンゼン)	12(1993)
ベンゼン、トルエン、キシレン	20(屋外)	6.6(トルエン)~8.0(ベンゼン)	14(2000)
VOC	3(屋内・外)	2.09±0.09(エチルベンゼン)~ 2.85±0.06(<i>m,p</i> -キシレン)	15(2002)
VOC	3(ガレージ1×3日)	パッシブ 0.1(ナフタレン) ~63.8(トルエン) アクティブ 0.1(イソプロピ ルトルエン、ナフタレン) ~348.5(ヘキサン)	16(2002)
クロルピリホス	43(家屋)	0.001-0.35	18(2003)
VOC	1(家屋)	13(<i>o</i> -キシレン)~ 210(トルエン)	20(2000)
VOC	1(新築家屋入居者)	0.339(テトラクロロエチレン) ~219(スチレン)	21(2000)

表4 居住環境におけるアルデヒド類・VOCの測定(海外)

対象物質	測定対象・地域	測定方法	気中濃度 ²⁾ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	引用文献
ホルムアルデヒド	有症状者の居住する家屋の 台所・居間・寝室・浴室等 (n=100) アメリカ	アクティブ法	中央値(範囲) 438 (<0.13-4,600) うち65軒は移動住宅 588 (<0.13-4,600)	22 (1981)
ホルムアルデヒド	UFFI ¹⁾ 使用家屋 (n=636), 不使用家屋 (n=41) アメリカ	—	平均(範囲)濃度 UFFI使用家屋 140 (10-4,100) UFFI不使用家屋 40 (10-100)	23 (1982)
ホルムアルデヒド	一般家屋の台所・居間・寝室 (n=202) アメリカ	パッシブ法	33, 最高濃度 175	24 (1990)
ホルムアルデヒド	移動住宅 夏季 (n=663) 冬季 (n=523) アメリカ	パッシブ法	夏季 111 冬季 110 全体の範囲 13-575	25 (1991)
ホルムアルデヒド・ VOC	新築・改築家屋 (n=10) スイス	アクティブ法	最高濃度 TVOC 31,696 ホルムアルデヒド 1,269 アセトン 7,763 イソブタノール 12,177 トルエン 9,741 シクロヘキサン 7,162 n-ブタノール 6,050 トリメチルベンゼン 4,576 n-ヘキサナール 1,750 酢酸エチル 1,052 デカン 916 キシレン 855	26 (1992)

1) 尿素-ホルムアルデヒド発泡断熱材

2) 特記しているもの以外は平均濃度

表 4 (続き)

対象物質	測定対象・地域	測定方法	気中濃度 ¹⁾ (µg/m ³)	引用文献
ホルムアルデヒド・VOC	喘息の有症状者 (n=47) と無症状者 (n=41) の家屋の居間・寝室 スウェーデン	アクティブ法	ホルムアルデヒド>100 は1軒のみ 平均 TVOC 濃度 (範囲) 夜間呼吸困難がある者の寝室 790 (90-9,380), 居間 780 (70-8,350) 夜間呼吸困難がない者の寝室 310 (70-2,920), 居間 300 (70-1,670)	27 (1995)
アルデヒド類・VOC	定性測定: 一般家屋とアパート (n=26), 定量測定: 正常家屋 (n=50) と病的家屋 (n=38) フィンランド	アクティブ法	定性測定: 200 種類以上の VOC を検出 定量測定 (対象 48 物質): 芳香族炭化水素, テルペン類, アルキルシクロヘキサン, 1,1,1-トリクロロエタン, テトラクロロエチレンを多く検出	28 (1995)
ホルムアルデヒド・VOC	一般家屋の居間・寝室 (n=62) スウェーデン	アクティブ法	TVOC 過去1年以内に塗装あり: 居間 413, 寝室 387 過去1年以内に塗装なし: 居間 302, 寝室 286 ホルムアルデヒド 寝室の木材塗装: あり 32, なし 17	29 (1997)
ホルムアルデヒド	体調不良者がいるアパート (n=792), オフィス (n=4) オーストリア	Draeger test tube	157 軒のアパートで気中濃度>125 1988-1989 年は気中濃度が 2,000-2,375 と高値を示す家屋が見られ, 1990 年以降は 125 を超える家屋はほとんどなくなった	30 (1997)
ホルムアルデヒド	一般家屋 (n=53) の居間・廊下 アメリカ	アクティブ法	460, 最高濃度 6,600 春夏に濃度が低く、秋冬に高い傾向	31 (1998)
ホルムアルデヒド	アレルギー・非アレルギーの子供がいる家庭 (n=80) オーストラリア	パッシブ法	中央値 15.8, 最高 139	32 (1999)
ホルムアルデヒド	築6ヶ月から43年までのアパートの台所・寝室・居間 (n=7) エジプト	アクティブ法	台所 111, 寝室 125, 居間 125 最高濃度 184 (築6ヶ月のアパート), 最低濃度 54 (築43年のアパート) 春季 109.50, 夏季 132.00	33 (2000)

1) 特記しているもの以外は平均濃度

表 4 (続き)

対象物質	測定対象・地域	測定方法	気中濃度 ¹⁾ (µg/m ³)	引用文献
アルデヒド類・VOC	築2-9.5ヶ月の新築プレハブ住宅 (n=4) と築1-2ヶ月の新築戸建住宅 (n=7) アメリカ	アクティブ法	幾何平均TVOC濃度 (範囲) プレハブ住宅 1,520 (810-2,960), 戸建住宅 2,720 (1,580-4,880) 両タイプの家屋において主に検出された物質はα-ピネン, ホルムアルデヒド, ヘキサナール, 酢酸	34 (2000)
ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド	ランダムに選出 (n=15), フィンランド	個人曝露モニター 微小環境モニター	ホルムアルデヒド 個人曝露 26.8 (9.5-50.4), 気中 41.6 アセトアルデヒド 個人曝露 12.6 (2.2-22.2), 気中 16.2	35 (2001)
VOC	喫煙者のいない家庭 10軒 (n=48) アメリカ	キャニスター法	プロピレン 11.100 エチルベンゼン 9.710 クロロメタン 2.000 <i>m,p</i> -キシレン 34.900 塩化メチレン 140.000 <i>o</i> -キシレン 11.200 1,1,1-トリクロロエタン 24.900 クロロホルム 1.800 ベンゼン 4.100 四塩化炭素 0.516 トルエン 15.300 スチレン 1.100 テトラクロロエチレン 2.610	36 (2001)
アルデヒド類・VOC	築1年の新築家屋 (n=1) アメリカ	アクティブ法	α-ピネン 232 ペンタナール 72.9 β-ピネン 73.9 ヘキサナール 267 d-リモネン 40.3 ヘプタナール 25.3 ホルムアルデヒド 94.9 オクタナール 44.3 アセトアルデヒド 42.5 2-オクタナール 19.3 ノナール 46.6	37 (2002)
ホルムアルデヒド	築1-2ヶ月の家屋 (n=14) アメリカ	アクティブ法	平均 (範囲) 50 (16-91)	38 (2004)

1) 特記しているもの以外は平均濃度

表5 居住環境におけるアルデヒド類・VOCの測定(国内)

対象物質	測定対象・地域	測定方法	幾何平均	気中濃度 ¹⁾ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	引用文献	
ホルムアルデヒド・VOC	築6ヶ月以内の新築住宅 (n=7) とそれ以降の既設住宅 (n=7) 東京	パッシブ法	ホルムアルデヒド	新築 63.9	39 (1999)	
		アクティブ法	ホルムアルデヒド	既設 37.1		
			ウンデカン	6.4		2.2
			ドデカン	6.1		1.7
			トルエン	137.2		32.4
			酢酸エチル	16.6		7.6
			酢酸ブチル	19.5		1.8
			メチルエチルケトン	8.6		2.2
			メチルイソブチルケトン	7.0		0.78
			ブタノール	18.8		6.4
ホルムアルデヒド	戸建住宅12軒 (n=43) と 居住者 (n=31) 長野	パッシブ法	全体 気中 72 (16-157), 個人曝露 65 (17-154)	40 (1999)		
			気中 新築 (築6ヶ月以内) 101, 中古 (築6ヶ月以後) 52 個人曝露 新築 87, 中古 45			
VOC	一般家屋 (3期, 各n=6, 7, 6) 福島	アクティブ法	濃度範囲 TVOC 1期 48.1-1,243.1, 2期 58.8-3,778.1, 3期 1,424.1-9,119.1	41 (1999)		
VOC	一般家屋 (n=15) 名古屋	パッシブ法	冷房期, 暖房期 クロロホルム 0.542, 1.050 1,1,1-トリクロロエタン 0.366, 0.655 四塩化炭素 0.182, 0.447 トリクロロエチレン 0.897, 1.676 テトラクロロエチレン 0.617, 1.255 p-ジクロロベンゼン 78, 2,747	42 (1999)		
ホルムアルデヒド・VOC	一般家屋 (n=33) と 居住者 (n=15) 愛知	パッシブ法	中央値	ホルムアルデヒド 気中 48, 個人曝露 38	43 (2000)	
			気中 新築 (築6ヶ月以内) 106, 中古 (築6ヶ月以後) 23 個人曝露 新築 86, 中古 26 気中 トルエン 新築 117, 中古 15 m,p-キシレン 新築 30, 中古 9			

1) 特記しているもの以外は平均濃度

表 5 (続き)

対象物質	測定対象・地域	測定方法	気中濃度 ¹⁾ (µg/m ³)	引用文献
VOC	一般家屋 夏季 (n=10) 冬季 (n=4) 仙台	アクティブ法	濃度範囲 p-ジクロロベンゼン 1.5-1,900 夏季 冬季 トルエン 7.9-170 80-240 m,p-キシレン 2.3-36 13-34 リモネン 1.6-110 7.0-36 3.8-36	44 (2000)
アルデヒド類・VOC	一般家屋 (n=6) 高知	アクティブ法	ホルムアルデヒド 18.7 アセトアルデヒド 69.9 アセトン 37.3 トルエン 36.1 キシレン 12.5 p-ジクロロベンゼン 15.4 エチルベンゼン 8.8 スチレン <0.3 テトラデカン 4.1 TVOC 238.0	45 (2002)
ホルムアルデヒド・VOC	住宅 (n=22) と オフィスビル (n=13) 東京	パッシブ法	濃度範囲 ホルムアルデヒド 5.2-202 p-ジクロロベンゼン 0.96-2,260 トルエン 7.6-232 ナフタレン <0.70-120 エチルベンゼン 1.3-68.9 ブタノール <1.2-72.8 キシレン 2.6-93.0 テトラデカン <4.0-15.5 スチレン <0.34-125	46 (2003)
VOC	住宅 44 軒 (n=88) 東京	アクティブ法	濃度範囲 フタル酸ジ-n-ブチル 夏季 (7-9月) 冬季 (1-3月) 0.345-3.310 <0.0300-0.439 フタル酸ジ-2-エチルヘキシル 0.0461-1.110 <0.0150-1.350 クロルピリホス <0.0010-0.0192 <0.0010-0.0135 ビスフェノール A <0.00030-0.0046 <0.00030-0.0013 ベンゾ(a)ピレン 0.00010-0.0031 0.00011-0.0025	47 (2003)
VOC	一般家屋 (n=5) 仙台	アクティブ法	幾何平均 エタノール 75.1-643 トルエン 4.8-19.4 α-ピネン 2.7-69.8 TVOC 167-862	48 (2003)

1) 特記しているもの以外は平均濃度

表 6 生体試料からのアルデヒド類・VOC の検出

対象物質	測定対象	測定方法	検出限界	対象環境	気中濃度との対応	引用文献
アセトアルデヒド	動物血液・組織 (種の記載なし)	HPLC 法	0.1 μmol/L	指定なし	DNPH ¹⁾ 誘導体を使用	52 (1983)
ホルムアルデヒド	ヒト血液・尿	同位体測定	—	指定なし	—	53 (1986)
n-アラルカナル・ ヒドロキシアラルケナール	ヒト血漿 ラット肝臓・血漿	HPLC 法	1 nM	指定なし	—	54 (1993)
ホルムアルデヒド	動物組織 植物組織	HPLC 法	—	指定なし	—	55 (1994)
アセトン	ヒト尿	ヘッドスペース-GC 法	—	作業場	liquid passive sampler による 8hTWA に比例	56 (1995)
生体内アルデヒド	ヒト尿・血漿 ラット心臓・血漿	GC-MS 法	50-100 fmol/1μL injected aldehyde	指定なし	—	57 (1995)
トルエン	ヒト血液 (トルエン) ヒト尿 (o-クレゾール と馬尿酸)	ヘッドスペース-GC 法 (トルエン) HPLC 法 (o-クレゾール, 馬尿酸)	0.2 mg/L (o-クレゾール)	作業場	拡散型個人サンプリャーを用いた測定と相関	58 (1997)
アセトアルデヒド	ヒト血漿 ラット血漿・肝臓	GC 法	0.5 μM	指定なし	DNPH 誘導体を使用	59 (1997)
ジクロロメタン	ヒト尿	ヘッドスペース-GC 法	10 μg/L	作業場	50, 100, 200 ppm で 2, 4, 6, 8h 曝露したとき, TWA と尿中濃度と直線関係	60 (1998)

1) 2,4-dinitrophenylhydrazine

表6 (続き)

対象物質	測定対象	測定方法	検出限界	対象環境	気中濃度との対応	引用文献
アセトアルデヒド	ヒトを含む各種動物の全血	GC法	7.1 pg per 50μL sample (0.142 μg/L)	指定なし	2-メチルチアゾリジンとして測定	61 (1998)
トリメチルアミン・4-ヘプタノンなど尿中のVOC	ヒト尿	ヘッドスペース-GC-MS法	定量限界 15 ng/mL (4-ヘプタノン), 50 ng/mL (トリメチルアミン)	指定なし	—	62 (1999)
ホルムアルデヒド	ヒト尿	select ion flow MS法	10 ppb level	指定なし	—	63 (1999)
ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド	ヒト尿	HPLC法	1.13 ng/mL	指定なし	DNPH ¹⁾ 誘導体を使用	64 (1999)
ホルムアルデヒド・メチルグリオキサール	ラット尿	HPLC法	—	指定なし	DNPH誘導体を使用	65 (1999)
ホルムアルデヒド	ヒト血漿	HPLC法	0.46 μg/mL (定量限界 0.87 μg/mL)	指定なし	アンピシリン誘導体を使用	66 (2001)
クロルピリホス (気中) 3,5,6-トリクロロ-2-ピリジノール (尿中)	空気 ヒト尿	GC-MS法	1 ng/m ³ (クロルピリホス) 0.1 mg/mL (3,5,6-トリクロロ-2-ピリジノール)	室内	気中濃度と尿中代謝物濃度のそれぞれの対数に弱い相関あり	18 (2003)

1) 2,4-dinitrophenylhydrazine

厚生労働科学研究費補助金(厚生労働科学特別研究事業)
分担研究報告書

室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理
健康障害の概念の整理

主任研究者 相澤好治(北里大学医学部・衛生学公衆衛生学教室・教授)

研究目的

本研究においては、室内空気質の健康影響に係わる医学的知見の整理として文献調査より発生場所による分類と発生原因による分類を行った。発生原因については化学的要因と物理的要因に焦点を絞った。

研究協力者

和田耕治 北里大学大学院・労働衛生学専攻・
大学院生

はじめに

1970年代前半におけるオイルショック(エネルギー危機)を契機として省エネルギーのための空調設備の開発と建物の気密化により職場での室内環境が悪化し、オフィスビルで働く人々の間に不定愁訴を自覚する作業が増加した。このような健康問題は、シックビル症候群(以下、SBS)と名付けられた。しかし、その原因については完全には解明されておらず、化学物質、ダニや真菌などの生物学的要因、働く人々の心理的要因などの複合要因により生じるとされている。

シックハウス症候群(SHS)とはSBSから転じた和製英語である。広義には建物内に居住することによって由来する様々な体調不良の総称として便宜的に用いられている。一方、狭義のシックハウス症候群は建材や内装材などから放散するホルムアルデヒドやトルエンなどの揮発性有機化合物の吸入曝露による健康影響のことを指している。しかし、SHSは未だ医学的に確立した概念ではなく、研究者やマスコミにより様々な定義付けがされている。

1. 発生場所による分類

我が国でも、SHSによると思われる症状が発生した場所としては、様々な報告がある(1-5)。住居だ

けでなく幼稚園や小学校などでも報告され、“シックスクール”という言葉も一部で使われるようになった。

発生場所別では、大きく分けると住居用建物と非住居用建物に分けられるが、建物に共通した要因も認められている。発生場所を下記のように分類し、それぞれについて医学的知見より考察を行う。

- 1) 建物に共通する要因
- 2) 住居用建物
- 3) 非住居用建物

1) 建物に共通する要因

建物に共通する要因については様々な報告がなされている。SBSによると考えられる症状が多く認められる建物において気温、湿度、照明などは基準を満たしている場合も多い。有訴率についてはシンガポール、日本、デンマークでの調査があるが、症状によって1.2から20.9%と幅広い値を示している(6-8)。建物の中でSBSによると考えられる症状の数の平均を“Building symptoms index:建物症状指数”とした調査によると建物によって様々であるが、良い建物と悪い建物では4~5倍の差が認められた。

(図1)

これらの調査は100人以上を対象に行われた。それによると空調設備のあるところより建物症状指数が高かった。しかし、空気質の測定では空調設

備があるほうが良いという結果もみられた。このことより、空調設備には、良い影響と悪い影響があると考えられる。

表1には、様々な調査で繰り返し認められた SBS に関連する現象を記した。表2には SBS の有訴率をあげる要因を記した(9)。表以外には個人の要因として女性、職位の低さがあげられていた。表3には建物の換気システムの管理に関する WHO ガイドラインを示した。

(表1, 2, 3)

2) 住居用建物

我が国の伝統的な家屋は木造でふすまや土壁により部屋が仕切られ、床には畳がひかれていた。この構造は通気が良く、高温多湿な気候に適していたといえる。しかしながら現在の家屋では壁面にコンクリートや合板を使用し、床には断熱材、窓枠のアルミサッシなどを使用している。省エネルギーの観点からは好都合だが、通気性が悪く、湿気や建材から放出した化学物質が屋内にたまりやすく、真菌やダニも増殖しやすい環境である。そうした環境が SHS の発生の原因になっていると考えられている(10)。

(図2)

我が国の住居用建物における SHS についての疫学調査として子安ら(11)の報告がある。2002 年に成人 8737 人と小児 7171 人を対象に調査を行った。対象者は東京都品川区全公立小学校児童、岐阜県内の一部の公立小学校児童、昭和大学小児科外来、山口県及び北海道の調査協力医院を受診した患児とその保護者である。

SHS の定義は定まっておらず、下記に示すように様々なものがある。

- 1) 飯倉の定義では、「特定の建物において化学物質やアレルゲン及び微生物等の影響により、家庭内の微妙な変化によって皮膚粘膜刺激症状や不定愁訴を中心とした症状を呈する状態」である。
- 2) 厚生労働科学研究費補助金事業シックハウス症候群に関する疫学的研究 室内空気質健康影響研究会の案では「特定の室内環境における様々な外的環境因子の関

与が想定され、皮膚粘膜刺激症状や不定愁訴を主体とする非特異的症状(病因や病態が医学的に解明されているものを除外する)と位置づける。」

- 3) WHO による SBS の定義では、「ビルの居住者の20%以上が不快感に基づくある特定の症状を呈するもの。新築または改築後に一時的にその症状は出現し、半年ほどで症状が改善または消失するもの。」
- 4) ヨーロッパ基準として SBS の定義では「ある特定の症状が組み合わさって生じるもの。ビル関連疾患や感染と深い関係がある疾患は除外する。」

成人においては、SHS の有病率は、飯倉の定義では 22.1%、WHO 基準では 18.4%、ヨーロッパ基準では 3.0%であった。

小児においては、SHS の有病率は飯倉の定義で 19.8%、WHO 基準では 17.7%、ヨーロッパ基準では 1.7%であった。

このように現状としては SHS の定義は確立されていないためこの数字についてはさらなる調査が必要である。またこの調査では対象者のセレクションバイアスが指摘されており、SHS の有病率についてはさらなる疫学調査が必要であると考えられる。

他の要因について、成人では、SHS の有訴率を住所別でみると地方都市よりも東京で高かった。また住居の築年数については SHS 群が非 SHS 群よりもわずかに短かった。住居の増改築の有無では SHS 群と非 SHS 群では有意な差が認められなかった。しかし、職場の増改築の有無については両者に有意な差が認められた。換気状況を「よくしている」と答えたのは SHS 群に多かった。これは SHS 群が部屋の空気環境を敏感に感じとった結果、環境改善のために換気をよくしているためと考えられた。

小児では、SHS の有訴率が住所別にみると成人と同様に地方都市よりも東京に多かった。住居の築年数や増改築の有無については成人と異なり SHS 群と非 SHS 群で有意差は認められなかった。

(表4, 5)

Engvall ら(12)は、スウェーデンの集合住宅に住む 609 件の 14,235 名を対象に調査を行い、77%からの回答を得た。図3のように最低一つ以上の

症状を呈する人が予測よりも多かった建物の割合は建てられた年代によって差がみられた。1961年以前の建物では3%、1976年から1984年に建てられた建物では13%、1985年から1990年に建てられた建物では14%で予測よりも多く症状が認められた。1961年以前の建物は、ほとんどが石を使って作られており、多くは機械換気設備がない。1961年から1975年の建物は建築ブームの間に建てられた。1976年から1984年の建物は省エネルギーの風潮を反映したもので新しい建築材料が用いられた。床にはコンクリートの厚板やモルタルなどが使用されるようになり、部屋の密閉性が高くなり、湿気が十分に除去できなくなったと考えられる。さらに1985年から1990年の建物で14%の訴えがあるように未だ健康影響のない建物の条件についての結論がでていない。

(図3)

現状としては有訴者が発生しやすい建物とそうでない建物があると考えられ、今後その要因についてのさらなる研究が必要である。この調査では、換気システムの違いでは有意な差は認められなかった。

我が国の調査では西條ら(13)により新築住宅の1775軒を対象にし、564軒より回答を得たものがある。無回答の家では症状がなかったために回答をしなかったと仮定するとSHSによると考えられる有訴率は、11.8%から37.2%の範囲にあると考えられる。また多変量解析にて屋内での結露・カビの発症についてSHSの症状のある群とない群の間に有意な関連が認められたが、臭いのある家具は多訴群と症状のない群との間に有意な関連を認めた。芳香剤の使用についてはSHS群と非SHS群との間で有意な関連が認められなかった。新築・改築後の年数と発症・悪化した症状の関連では、年数が増えるごとに症状があった住居の割合は増えているが、有意な差は認められなかった。これは年数が短いほど症状が多いという報告とは異なるものである。

さらに返答のあった564軒のうち承諾が得られた191軒の住宅にて揮発性有機化合物の環境測定を行った(13)。実際の測定値が日本の「シックハウス問題に関する検討会の室内濃度指針値」を超える家は認められたが、下回った住宅がほとんどで

あった。それ故、化学物質以外による原因が示唆された。

また日本における大規模な疫学調査(14)によると原因環境因子は、小児、成人とも「シャンプー、化粧品、香水」、「壁や床の建材のにおい」、「塗料」が上位にあり、それぞれ20~30%を占めた。建材や家具を新しくする機会よりもシャンプーや香水などの日用品に対する曝露の機会が多いため原因になりやすいと考えられた。また、前述の西條ら(13)の報告と同様の住居の築年数や増改築の期間が短い場合で発症しやすいと考えられていたが、有意な関連は認められなかった。

(図4)

3) 非住居用建物: 職場(事務室)、学校、病院、化学物質取り扱い現場

① 職場(事務室)

Mizoueら(6)によると北九州市の公務員でSBSと思われる一つ以上の全身症状または一つ以上の目、咽頭、皮膚の症状があった人は、喫煙者で6%、非喫煙者で6~16%であった。また過重労働により職場に長時間滞在することで受動喫煙の機会が増えることがSBSの発症に関与することを示した。

Pommerら(15)は、スウェーデンのオフィスとして使われている建物210カ所において、SBSの有訴率の高い建物と低い建物の要因について検討した。強制換気、熱交換がない、最近の改装、建物の階数の多さ、湿度が高い、地下室があるという特徴で有意な関連が認められた。

Teculescuら(16)はフランス北部のオフィスにおいて空調の効いた部屋(odds ratios:1.54~2.84)で働く従業員に症状を呈する者が多いことを示した。またこの調査にて家庭内での日曜大工が交絡として影響すると指摘した。

Ooiら(7)によるとシンガポールのオフィスでの調査より多変量解析で温度調整の悪さ、騒音、照明の悪さなどによりSBSのオッズ比があがることを示した。

(表6)

Skovらはデンマークのコペンハーゲンの市庁にて調査を行い、ほこりが症状の原因になると指摘し

た(8)。

②学校

我が国でも“シックスクール”として問題となっている。Cooleyら(17)は、アメリカ合衆国の48の学校(40は小学校)のスタッフ(生徒は含まれていない)622人を調査し、28%が何らかの訴えがあったと報告している。鼻汁、鼻つまり感、目のかゆみ、流涙感をもっとも多い訴えであった。さらに Penicillium や Stachybotrys らの真菌が症状の原因であった可能性を示唆している。

(表7)

Allermann ら(18)によると、訴えの少ない学校では有訴者は 4.4-11.0%で、訴えの多い学校では 19.6-31.9%であった。

Kamijima ら(19)は大学の建物で症状を呈した患者の環境における揮発性の有機化合物の測定を行い、2-ethyl-1-hexanol が症状の原因となった可能性を示した。2-ethyl-1-hexanolは、SBSの症状の原因となると最近指摘された物質である。今後従来指摘されていなかった化学物質の関連が明らかになる可能性がある。

③病院

Nordstrom ら(20)は、スウェーデンの老人病院において女性従業員 225 名に調査を行い、30%が疲労、23%が目の刺激症状、34%が顔面の皮膚の乾燥を自覚していると報告した。目の刺激症状は仕事上のストレス、静電気の曝露への自覚、換気の強さ、換気装置からの騒音とも有意な関連が認められた。また、病院の心理的環境と室内環境の改善も必要であると指摘した。

④化学物質取り扱い現場

Holmstrom ら(21)は、ホルムアルデヒドまたはホルムアルデヒドを用いた工場で働く 70 人を対象に調査を行ったところホルムアルデヒドに曝露をされた群では鼻腔の腫脹や鼻腔の粘液線毛クリアランスの遅れ、嗅覚の低下が認められた。

4)環境改善による介入研究

Nordstrom ら(23)によると冬の加湿器の導入では SBS の症状の有意な変化はみられなかった。

Bourbeau ら(24)は、5つの建物で働く従業員 1390 人を対象に機械換気、空調、加湿の機能を備えた建物に異動した後の症状の変化を観察した。換気設備の改善により SBS の症状が 40 から 50% 減少したと報告している。

5)まとめ

SBS の発生場所としては様々な場所がある。文献的な報告としては住居、職場(事務所)、病院、学校などがある。建物に共通する要因はしだいに明らかになり、また環境改善を伴った介入研究²³⁾、²⁴⁾も行われ、症状の改善も確認されている。個人が室内環境に求めるものは様々であり、現段階としては、全ての人に適した環境を提供することは不可能である。しかしながら発症の誘因となると考えられる条件を改善することで症状を呈する人を減らすことができる可能性が期待される。

2, 発生原因による分類

発生原因については

- 1) 化学的要因:ホルムアルデヒド、トルエンなど
- 2) 生物学的要因:カビ、ダニなど
- 3) 物理的要因:温度、湿度、騒音など
- 4) 複合的要因
- 5) 心理的要因

があげられる。本研究では、化学的要因と物理的要因を取り上げる。

1)化学的要因

SHS の発症の原因として共通の要因は建物において外気の取り入れが少なく、再循環される空気が多い換気装置を備えていることである。これによりホルムアルデヒドやトルエンなどの揮発性有機化合物 (volatile organic compounds: VOC)の汚染物質が蓄積し、シックハウス症候群の原因となると考えられている。

現在室内における揮発性有機化合物は数百種類あるといわれている。主な物質にアルデヒド類、ケトン類、芳香族炭化水素類、有機リン系殺虫剤などがある(25-26)。これらは建材や家具、調度品、芳香剤、塗料、シロアリ駆除などに使用される。これらの汚染物質は単一の物質の汚染ではなく、複

合汚染が一般的である。新たな汚染物質のカテゴリとして化学物質全体としての枠を設定し、総揮発性有機化合物 (total volatile organic compounds: TVOC)としてとらえられるようになった。

小林らは(27)イミダクロプリドを主成分とするシロアリ駆除剤によると思われるSHSのケースを紹介している。また、吉田ら(5)は住宅展示場の受付として赴任した45歳女性が勤務2~3週間後に頭痛や目の刺激症状を生じたケースを報告している。環境測定にて症状を呈した場所での総揮発性有機化合物濃度は厚生労働省が提案している暫定目標値とほぼ同じであった。その女性の症状は退職により改善した。

Kamijima ら(19)は大学の建物で症状を呈した患者の環境中における揮発性有機化合物の測定を行い、2-ethyl-1-hexanolという従来SBSの原因物質として考えられていなかったものが症状の原因となった可能性を示唆した。今後も従来指摘されていなかった化学物質の関連が明らかになる可能性がある。

馬場ら(28)は成人の気管支喘息患者の80人で症状が安定している時期に採血し、ホルムアルデヒドに特異的なIgEを測定した。結果として2名で陽性を認めた。ホルムアルデヒドIgE (FA-IgE)の保有者は少なかった。文献的には他のアレルギー全体としてみても決して高くなかった。しかし、室内のホルムアルデヒド濃度が0.043-0.075 ppmと比較的高い教室で勉強する8歳の学童において調査したところ40%の児童にFA-IgEが陽性で合ったとの報告もあり(29)、成人より小児の方がFA-IgEの獲得が起こりやすいとも推測されている(30)。

さらにHolmstrom(1988)ら(31)は、ホルムアルデヒドを用いた工場で働く70人を対象に調査を行ったところ曝露をされた群では鼻腔の腫脹や鼻腔の粘液線毛クリアランスの遅れ、嗅覚の低下が認められた。

一方、Bako-Biroら(32)によると、新しいコンピューター機器から発生したVOC濃度とSBSの症状について調査を行った。フェノール、トルエン、2-エチルヘキサノール、ホルムアルデヒド、スチレンを検出し、TVOCは13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。測定された濃度より症状が起こりうる濃度ではないため“ス

テルスのような物質”が症状の原因になったと示唆している。

個人の建物では、揮発性有機化合物が原因と考えられるSBSを認めるが、その他の建物で原因になるとは明らかにはされていない(9)。我が国では原因となりうる化学物質に室内濃度指針値が定められた。そうした対策により特にホルムアルデヒドが原因であると考えられた症状は減少しているという報告もあるが、今後SBS,SHSへの化学物質の作用機序についてさらなる議論の余地があると考えられる。

2) 物理的要因

物理的要因としては、温度、湿度、騒音、照明などが影響していると考えられる。

温度について北欧で行われた調査によると23°C以上で症状が増えることが指摘された(8, 33)。またシンガポールで行われた調査(6)(表6参照)にても職場の温度の不快感が発症の原因となっている。

室内の湿度は、外気の天候に影響を受ける。Nordstromら(23)は暖房シーズンの加湿器の導入による介入を行った。それにより空気の乾きや静電気、呼吸器系の症状が減少した。しかしSBSの症状の有意な変化はみられなかった。

表7でのアメリカ合衆国での調査では湿度が高いことで「症状が悪くなる」と、有訴者の1/3が答えた。本邦での調査では屋内で結露が発生するという要因が発症に有意な関連を認めている(13)。

湿度に関しては、北欧では冬期に湿度が10%以下になるような場合には25%ぐらいまであげると症状が減少する(34)。しかしながら温和な気候ではむしろ真菌や細菌の増殖の原因となり、症状の発症に影響を与える可能性がある。

騒音に関しては我が国では西條ら(13)の調査では関連がなかったとされた。一方、表4(6)では症状の発症に有意な関連が見られている。

照明についても表6によると有意な関連が認められている。

物理的要因については温度、湿度が発症の原因となりうると思う文献が複数みられる。騒音や照明については文献も少なく、今後さらなる調査が必要である。症状の発生には、直接でなくとも間接

的な影響を与えている可能性がある。

参考文献

- (1) 池田浩己, 中澤浩子, 中村晶彦, 山下敏夫, 圓藤陽子, 嶽良博, 榎本忠夫. 労働環境が原因と考えられるシックハウス症候群様症状を呈した 2 症例, 耳鼻咽喉科免疫アレルギー 2002; 21: 49-51.
- (2) 飯田望. シックハウスにおける居住環境の実態と健康に関する調査研究. 臨床環境医学 2002; 11: 77-87.
- (3) 小西一夫, 頭司隆史, 角南貴司子, 高山雅裕, 山根英雄. シックハウス症候群の一症例, 耳鼻咽喉科免疫アレルギー 2002; 21: 52.
- (4) 池田浩己, 中澤浩子, 中村晶彦, 山下敏夫, 圓藤陽子, 嶽良博, 榎本忠夫. シックハウス症候群の疑われた 4 症例, アレルギーの臨床 2002; 22: 967-971.
- (5) 吉田俊明, 松永一朗, 南豊彦, 井野千代博, 原一郎. 職場のシックハウス症候群を呈した一例 職場環境を中心に. 労働科学 2002; 78: 66-71.
- (6) Mizoue T, Reijula K and Andersson K. Environmental tobacco smoke exposure and overtime work as risk factors for sick building syndrome in Japan. *Am J Epidemiol* 2001; 154: 803-808.
- (7) Ooi PL, Goh KT, Phoon MH, Foo SC and Yap HM. Epidemiology of sick building syndrome and its associated risk factors in Singapore. *Occup Environ Med* 1998; 55: 188-193.
- (8) Skov P, Valbjorn O. The sick building syndrome in the office environment; the Danish town hall study. *Environ Int* 1987; 13: 339-349.
- (9) Burge PS. Sick building syndrome. *Occup Environ Med* 2004; 61: 185-19.
- (10) 相澤好治. シックハウス症候群の総論, 生活と環境 2004: 1-5.
- (11) 子安ゆうこ, 酒井菜穂, 今井孝成, 小田島安平. 住民を対象にしたアンケート調査について. 室内空気質と健康影響, 東京:ぎょうせい 2004: 150-166.
- (12) Engvall K, Norrby C, Bandel J, Hult M and Norback D. Development of a multiple regression model to identify multi-family residential buildings with a high prevalence of sick building syndrome (SBS). *Indoor air* 2000; 10: 101-110.
- (13) 西條泰明, 岸玲子, 佐田文宏, 片倉洋子, 浦島幸雄, 畠山亜希子, 向原紀彦, 小林智, 神和夫, 飯倉洋治. シックハウス症候群の症状と関連する要因 北海道の一般住宅を対象にした実態調査. 日本公衆衛生雑誌 2002; 49: 1169-1183.
- (14) 子安ゆうこ, 酒井菜穂, 今井孝成, 神田晃, 川口毅, 小田島安平: 本邦におけるシックハウス症候群の大規模調査, アレルギー 2004; 53: 484-493.
- (15) Pommer L, Fick J, Sundell J, Nilsson C, Sjostrom M, Stenberg B and Andersson B. Class separation of buildings with high and low prevalence of SBS by principal component analysis. *Indoor Air* 2004; 14: 16-23.
- (16) Teculescu DB, Sauleau EA, Massin N, Bohadana AB, Buhler O, Benamghar L and Mur JM. Sick building symptoms in office workers in northeastern France: a pilot study. *Int Arch Occup Environ Health* 1998; 71: 353-356.
- (17) Cooley JD, Wong WC, Jumper CA and Straus DC. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occup Environ Med* 1998; 55: 570-584.
- (18) Allermann L, Meyer HW, Poulsen OM, Nielsen JB and Gyntelberg. Inflammatory potential of dust from schools and building related symptoms. *Occup Environ Med* 2003; 60: e5.
- (19) Kamijima M, Sakai K, Shibata E, Yamada T, Itohara S, Ohno H, Hayakawa R, Sugiura M, Yamaki K and Takeuchi Y. 2-ethyl-1 hexanol in indoor air as a possible cause of sick building symptoms. *J Occup Health* 2002; 44:

- 186-191.
- (20) Nordstrom K, Norback D and Akselsson. Influence of indoor air quality and personal factors on the sick building syndrome (SBS) in Swedish geriatric hospitals. *Occup Environ Med* 1995; 52: 170-176.
- (21) Holmstrom M, Wilhelmsson B. Respiratory symptoms and pathophysiological effects of occupational exposure to formaldehyde and wood dust. *Scand J Work Environ Health* 1988; 14: 306-311.
- (22) Bourbeau J, Brisson C, Allaire S. Prevalence of the sick building syndrome symptoms in office workers before and after being exposed to a building with an improved ventilation system. *Occup Environ Med* 1996; 53: 204-10.
- (23) Nordstrom K, Norback D and Akselsson. Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: a four-month longitudinal study. *Occup Environ Med* 1994; 51: 683-688.
- (24) Bourbeau J, Brisson C and Allaire S. Prevalence of the sick building syndrome symptoms in office workers before and after being exposed to a building with an improved ventilation system. *Occup Environ Med* 1996; 53: 204-210.
- (25) Torii S. Sick house syndrome, *日本臨床* 2002 Jan; 60 Suppl 1: 621-7.
- (26) Torii S. Concept of sick house syndrome, and the strategy for the management and the prevention, *アレルギー* 2000; 49: 404-11.
- (27) 小林康隆ら. シックハウス症候群の一例. *臨床皮膚科* 2001; 55: 693-696.
- (28) 馬場研二, 八木健郎, 丹波さやか, 榊原綾子, 服部努, 小石川功, 吉田和仁, 小林正. 慢性成人気管支喘息患者におけるホルムアルデヒド特異 IgE 抗体について. *アレルギー* 2000; 49: 404-411.
- (29) Wantke F, Demmer CM, Tappler P, Gotz M and Jarisch R. Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitization to formaldehyde in school children. *Clin Exp Allergy* 1989; 26: 276-280.
- (30) Kramps JA, Peltenberg LTC, Kerklaan PRM, SpijksmaFTHM, Valentijn RM. Measurement of specific IgE antibodies in individuals exposed to formaldehyde. *Clin. Exp. Allergy* 1989; 19: 509-514.
- (31) Holmstrom M, Wilhelmsson B. Respiratory symptoms and pathophysiological effects of occupational exposure to formaldehyde and wood dust. *Scand J Work Environ Health* 1988; 14, 306-311.
- (32) Bako-Biro Z, Wargocki P, Weschler C.J. and Fanger P.O. Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices. *Indoor air* 2004; 14: 178-187.
- (33) Jaakkola JJK, Heinonen OP, Seppanen O. Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: need for individual control of temperature. *Environ Int* 1989;15: 163-8.
- (34) Reinikainen LM, Jaakkala JJK, Helenius T. et al. The effect of air humidification on symptoms and environmental complaints in office workers. A six period cross-over study. *Indoor air* 1990; 90: 775-780.

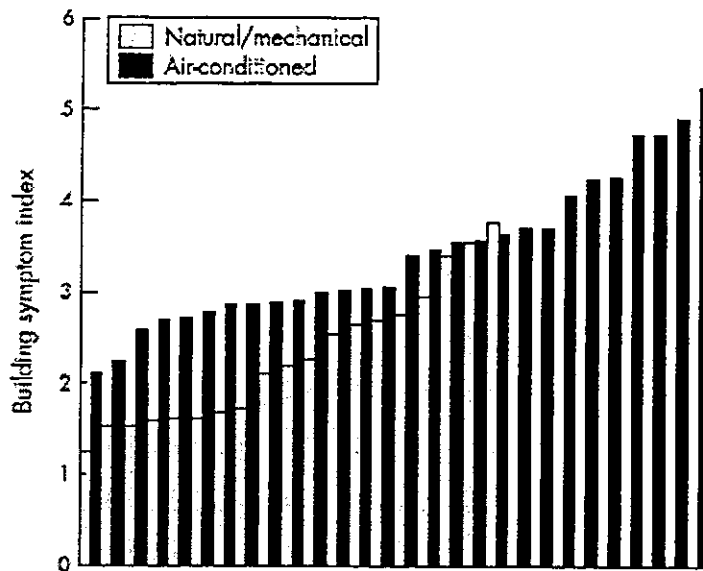


Figure 1 Range of building symptom indices in a group of buildings studied with the same questionnaire with a maximum of 10 symptoms (the actual BS) is dependent on the number of possible positive answers and differs between questionnaires).

図 1. 建物別の症状指数の範囲⁹⁾

表 1. 様々な調査で繰り返し認められたシックビルディング症候群に関連する現象

1. 建物の居住者によって個人要因では解釈できない、有訴率の大きな違いが認められる。
2. 一般的に空調設備のある建物で自然換気の建物よりも有訴率が高い。
3. 気温、換気、照明の基準をすべて満たしている建物でも症状を呈している人がいる。
4. 特に揮発性有機化合物などの化学物質による SBS と考えられる症状は個人の建物では認められるが、自然換気である建物などを含む様々な建物においては原因になりうるという根拠は明らかにされていない。
5. 自然換気の建物ではたいてい温度や換気は勧告基準からはずれているが、SBS によると考えられる症状を訴える労働者は少ない。

(文献 9 より引用)