

新築医療施設でのVOC濃度とその推移

森田 陽子¹⁾, 坂井 公¹⁾, 中嶋 義明²⁾, 河口 友香³⁾
横沢 册子³⁾, 西中川秀太³⁾, 吉田 友彦³⁾, 永田 直一⁴⁾

¹⁾ 東京労災病院産業中毒センター, ²⁾ 同 検査科, ³⁾ 同 環境医学研究センター, ⁴⁾ 同 院長

(平成15年6月10日受付)

要旨: 新築医療機関の揮発性有機化合物 (VOC) 濃度の調査を病歴室, 栄養管理室, 事務室, 検査室, シックハウス科クリーンルーム, 病室とその廊下で行った. 調査した VOC 成分はトルエン, キシレン, スチレン, ホルムアルデヒドの4種類である. 調査は2002年4月移転の後6月~9月と, 2003年1月に実施した. 測定は厚生労働省の標準的な方法によった. 新築棟の VOC 濃度はいずれも厚生労働省の室内空気汚染の指針値を大幅に下回っており, これは有機溶剤の発生が少ない内装材の使用と効率のよい換気回数の設定によると考えられる.

(日職災医誌, 51: 437-441, 2003)

—キーワード—

揮発性有機化合物 (VOC), ホルムアルデヒド, シックハウス症候群

はじめに

近年, 一般および室内環境中で化学物質を使用する機会が多くなり, 化学物質過敏症 (Multiple Chemical Sensitivity: MCS) やシックハウス症候群が問題とされている¹⁾. 労働の場で使用される化学物質の量は一般環境のそれに比べてはるかに高いことが多く, また種類も多彩であるため, MCSは産業保健の新たな問題の一つともなっている²⁾. シックハウス症候群やMCSの原因と考えられているものには新築建造物の内装材(壁材, 床, 接着剤)や家具などから発生するホルムアルデヒド, トルエン, キシレン等の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound, VOC) があり, ヒトへの健康影響を及ぼしている可能性が指摘されている^{3)~5)}. 当施設では, 2002年4月に新築棟への移転が行われ, 環境医学研究センター(シックハウス科)も開設されたのを機会に, 室内VOC環境調査を行った. この目的は新築棟のVOCについての基礎データの収集と, それを病院受診者および職員の健康管理に役立てるものである.

材料と方法

調査したVOCはトルエン, キシレン, スチレン, ホルムアルデヒドの4種類である. 調査は2002年4月移転の後6月~9月と, 2003年1月に実施した. 新築棟は鉄

筋7階建であり, 換気が常に行われている. 地下1階(病歴室, 栄養管理室), 3階(事務室, 検査室, シックハウス科クリーンルーム), 6階(病室)の各部屋とその廊下で測定を行った. 測定は厚生労働省の標準的な方法⁴⁾により行った. すなわちトルエン, キシレン, スチレンの測定は固相吸着/加熱脱着-ガスクロマトグラフ質量分析 (GCMS) 法, ホルムアルデヒドはDNPH (ジニトロフェニルヒドラゾン) 誘導体化固相吸着-高速液体クロマトグラフ (HPLC) 法によった.

VOCの標準物質は揮発性芳香族混合液 (EPA8020/8240), 内部標準物質はトルエン重水素体 (トルエン-d8)

表1 熱脱着装置の分析条件

| | |
|------------|----------------------|
| オープン温度 | 250℃ |
| 脱着時間 | 10 min |
| 脱着流量 | 30 ml/min |
| トラップ温度 | 10℃ → 40℃/min → 250℃ |
| ホールド | 10 min |
| トランスファーライン | 250℃ |
| バルブ温度 | 225℃ |

表2 GC-MSの分析条件

| | |
|--------|--|
| カラム温度 | 40℃ (8 min) → 10℃/min → 120℃ (10 min) → 20℃/min → 200℃ (5 min) |
| キャリアガス | He |
| イオン源温度 | 200℃ |
| 検出モード | SCAN (m/z = 40 - 250) SIM (m/z = 92, 100, 104, 106) |

(ともにSupelco)を使用した。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの測定にはそれぞれのDNPH標準品(東京化成工業)を使用した。アセトニトリルはHPLC用(和光純薬工業)を用いた。試薬の調整や前処理にはMill-Qシステム(Millipore)による純水を使用した。

VOCの捕集には熱脱離型捕集管(AirToxics 25051, Prepacked ATD tube, Supelco)を用い、ポンプ(GSP-250FT, ガステック)に接続して部屋の中央床上約1mの空気を30分間で31採取した。廊下は壁から1m離れた位置で床上1mの空気を捕集した。サンプリング終了後、脱着チューブに流量30ml/minの高純度窒素ガスを5分間流し乾燥後、内部標準液(トルエンd8, 20 μg/ml)を1 μl注入した。同様に未使用の捕集管に標準液(揮発性芳香族混合液, 100 μg/ml)と内部標準液を注入したものを標準物質捕集管、内部標準液のみを注入したものをブランクとした。これらの捕集管を加熱脱着装置(Turbo Matrix ATD, Perkin Elmer)にかけ、発生させたガスをトランスファーラインを経由してGCMS(AutoSystem XL-TurboMass, Perkin Elmer)に導入して測定した。分離カラムはSPB-1(60mL. × 0.25mm I.D., 0.25 μm, Supelco)を使用し、分析条件については表1, 表2に示す。

ホルムアルデヒドはアルデヒドサンプラー(Sep-Pak XPoSure, Waters)を用い、ポンプ(GilAir5, Gillian)に接続して床上約1mの空気を30分間で30l捕集した。サンプリング終了後、アルデヒド誘導体をアセトニトリル5mlにより抽出し、HPLC(LC-10A, 島津)により分

析した。使用カラムはTRP-100(150mmL. × 4.6mm I.D., 5 μm, Supelco), 注入量20 μl, 移動相はアセトニトリル/水(45:55), 流速1.3ml/min, 検出波長は360nmである。

室内および廊下は機械換気(換気回数2~10回), 空調が行われ, 空気は全館24~25℃に設定されている。

結果

図1は6月後半の測定結果である。すべての測定値は室内空气中化学物質の室内濃度指針値⁶⁾の範囲にあった。指針値はトルエン70ppb, キシレン200ppb, スチレン50ppb, ホルムルデヒド80ppbである。6階では, 病室(個室)と病室廊下のVOC濃度はほぼ同じであり, トルエン, ホルムアルデヒドが約20ppb, キシレン2.5ppb, スチレンは1ppb未満であった。一方, 病室のクローゼット内のスチレン濃度は5.2ppbとなり, 病室の7~10倍, 指針値の約1/10の濃度であった。クローゼット内はホルムアルデヒド, トルエンについても病室の1.5倍ほどであった。3階の事務室は病室よりも低い値であった。事務室内への供気口でのトルエン濃度は外気のそれ(2.0ppb)とほぼ同じであった。シックハウス科クリーンルーム(診察室)のVOCはトルエン0.2ppb, ホルムアルデヒド0.6ppb, キシレン・スチレンともに

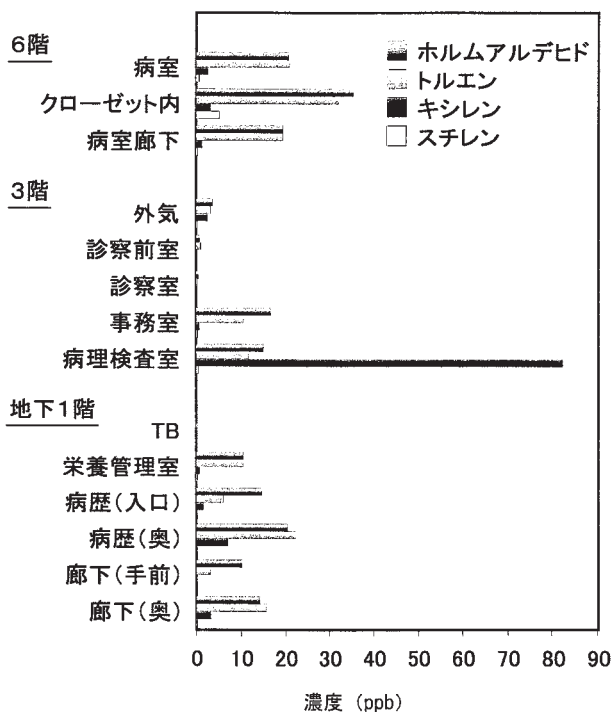


図1 各部屋の揮発性有機化合物濃度

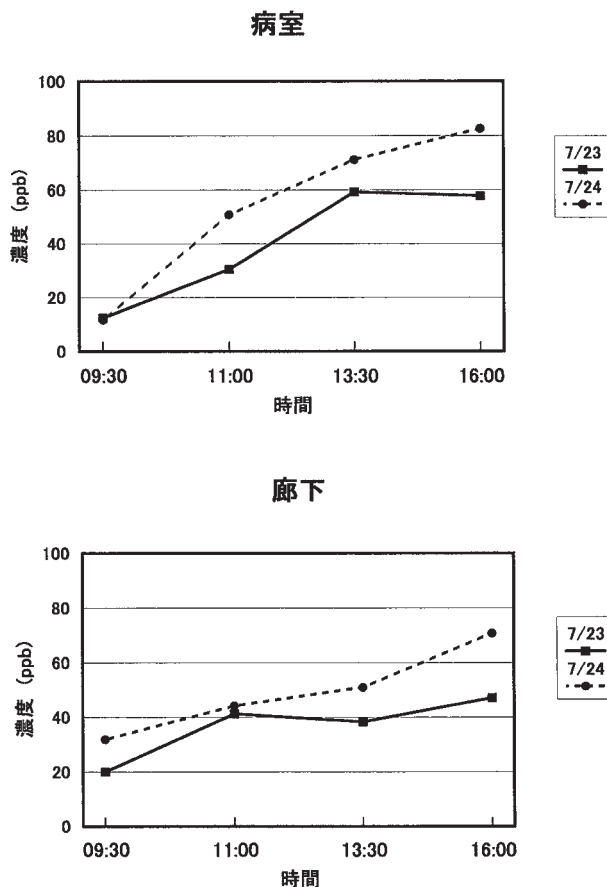


図2 6階病室および廊下のトルエン濃度の経時変化

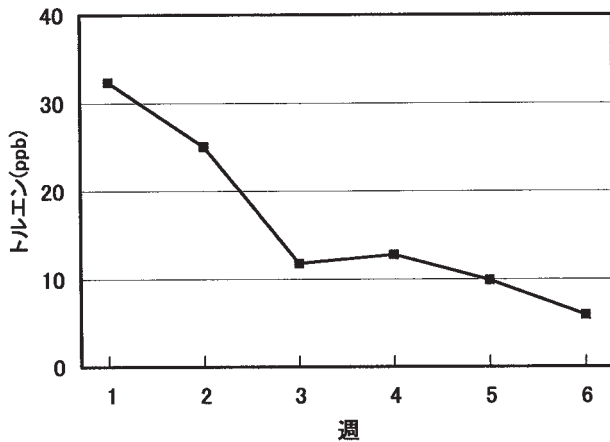


図3 旧館採液室塗装後のトルエン濃度の推移

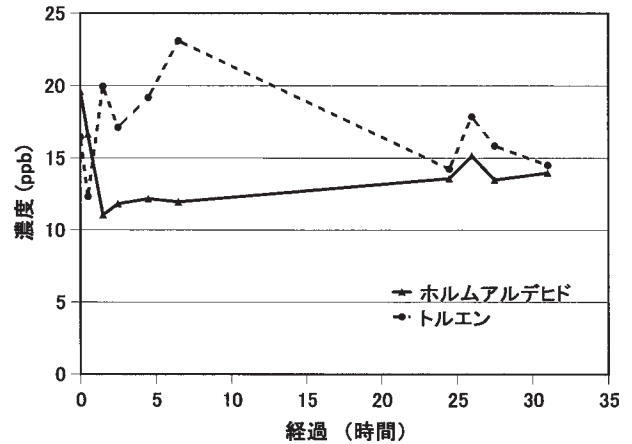


図4 6階病室の空気清浄機稼働後のトルエンおよびホルムアルデヒド濃度の推移

検出限界以下であった。病理検査室では、特にキシレン濃度が高く82.3ppbであったが、これも指針値を下回っていた。地下では栄養管理室、病歴室、廊下で測定を行い、廊下とも奥で高い濃度となった。病歴室の奥には新設のカルテ棚があり、そこからのVOC発生があった。病歴室奥は病室と同程度、栄養管理室は事務室と同程度のVOC濃度であった。TBは測定の際のブランク（トラベルブランク）である。

一日のなかでVOCの変化を経時的に測定すると、多くの場合は午前よりも午後に高濃度となった。図2には6階の病室と廊下でのトルエン濃度の経時変化を示す。測定は7月後半の2日であり、いずれも外気温が30℃を越える日であった。主要なVOCであるトルエンは時間の経過とともに上昇し、夕方16時には病室と廊下でそれぞれのピーク濃度（82.6ppb、70.8ppb）となった。この2点は指針値70ppbを超えるものであった。今回の調査中のすべての測定値（500回超）において指針値を越えたのはこの2点だけであり、いずれも翌朝には20ppb未満に低下した。トルエン以外のキシレン、スチレンともに経時的に上昇し、翌朝にはトルエン同様に低下した。

この後も測定を続けた結果、8月、9月の測定では病室、廊下ともにトルエン濃度の最高値は約30ppbにとどまり、2003年1月の測定では10ppb以下となっている。

図3は旧棟の採液室でのトルエン濃度の経時変化を示す。7月末に塗装をし、その日を0日としたトルエン濃度の推移を示している。塗装1週間後では30ppbを越えていたものが約2カ月で約5ppbにまで低下した。

図4に病室で空気清浄機（A. ether エアークリーナー、三菱冷熱工業）を連続運転した時のホルムアルデヒドとトルエンの経時変化を示す。測定は8月中旬に行った。ホルムアルデヒド濃度は1日運転で20～30%の低下を見たが、翌日にはわずかに上昇した。トルエン濃度は一度上昇し、2日間で元の濃度に戻った。

事務室内でのトルエンの発生量を推定するために、供

気口と排気口でのトルエン濃度を測定した。事務室への供気口でのトルエン濃度は外気のそれ（2.0ppb）とほぼ同じであるが、排気口では10ppbであった。

考 察

新築棟の病室、廊下、シックハウス科診察室、検査室、事務室、地下においてVOC測定を行い（図1）、VOC濃度はいずれも指針値よりも大幅に低下していると考えられた。この中での特徴として、クローゼット内でスチレン、ホルムアルデヒドが高い傾向にあったが、クローゼットは平素は閉じているため、開放空間よりも溶剤が留まりやすいことを示している。病室のVOCよりも事務室のそれが低い理由として、事務室の換気回数（5回/時間）が病室（2回/時間）より多いこと、人の出入りも激しいことなどにより、VOCがより多く外部へ放散されることがあげられる。シックハウス科クリーンルームのVOC濃度は非常に低いことが確認された。病理検査室では使用溶剤を反映してキシレンが高値であった。病歴室の奥で高い濃度となった原因として病歴室の奥にはカルテ棚が新設されたため、それからの放散によるVOCが反映されていると考えられた。

病理検査室は医療機関の中でもホルムアルデヒド、アルコール類、キシレンなどのVOCを多量に使用する職場である。このためホルムアルデヒド、VOC濃度は高濃度であったとの報告も多く⁷⁾⁸⁾、病理検査室はホルムアルデヒド発生職場としてガイドライン⁹⁾では特定作業場とされ、その対策がとられることになっている。本施設は新しい基準に基づき換気装置が十分に機能するように設計・施工されたために（換気回数10回/時間）、ホルムアルデヒドやVOCの発生を指針値レベル以下に抑えることができたものと考えられる。

気温の上昇とともに、VOCが上昇し、4カ月間のべ数百回の測定で、7月後半の16:00の病室と廊下の2点

(トルエン)のみが基準値を超えていたが、翌朝には元のレベルにまで低下した(図2)ことから換気の効率もよいことがわかる。8月、9月になると発生量も減少し、最高で約30ppbとなり、2003年1月の測定では10ppb以下と非常に低濃度となった。

医療機関では患者に対するホルムアルデヒド、VOC対策は特に重要である。今回はあるメーカーの空気清浄機について効果を検討した。空気清浄機(フィルターろ過式)を連続運転した時のホルムアルデヒドとトルエンの経時変化では、ホルムアルデヒド濃度は1日運転で20~30%の低下を見たが、トルエンの除去には効果が認められなかった(図4)。この装置を他所(学校および病院)で使用したデータ¹⁰⁾¹¹⁾によると、学校(校長室)ではトルエン(65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、ホルムアルデヒド(28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)が運転2時間でそれぞれ2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にまで低下している。しかし病院(小児科乳児室)ではトルエン(37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)は1時間後に17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで低下するも、2.5時間後に47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで上昇した。ホルムアルデヒドは11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ へ約30%の低下を示した。病院での結果は本研究の測定結果と類似する。空気清浄機の効能はその間の人の出入りや部屋の換気回数に影響され、同一機種でも効果が一定ではないと考えられる。空気清浄機はVOCを機内で除去した洗浄空気を含む空気を吹出すことにより換気に相当する効果を発揮するため、機械の相当換気量が部屋の設計換気量よりも相当上回らないと効果的な低減は期待できないという¹²⁾。

新築棟でのVOCの発生量を推定するため、事務室(気積50 m^3)でのトルエンの発生量を試算できる。供気口と排気口でのトルエン濃度を測定したところ、それぞれ2ppb、10ppbであり、換気回数は5回/時間であることから、時間あたりのトルエンの発生量は $8 \times 50 \times 5 / 1,000,000,000 = 0.000002\text{m}^3$ (0.002l)と計算される。トルエンの分子量は92であることから、室温を25℃として $92 \times 0.002 \times (273 + 25/273) / 22.4 = 0.0075\text{g}$ となる。これは部屋内外のトルエン濃度の差と部屋の気積から単純計算した結果であり、他に換気効率や家具からの放散、部屋の気流など考慮すべき点も多いが、VOC発生量の目安になると考えられる。

新築棟への移転後、地下階の職員から頭痛などの体調不良の訴えもあったため、頭痛、目の痛み、倦怠感ほかの症状を呈するというシックハウス症候群の可能性も考慮し^{1)~4)}、VOCの測定が依頼された。しかしいずれも厚生労働省の室内空気汚染の指針値よりも低値であった。この後、職員の体調不良の訴えも減少していった。この稿を書くにあたり工事担当者に問い合わせた結果、新築棟の壁紙やタイル、天板、接着剤などにはホルムアルデヒドの発生が少ない素材が使用されていることがわかった。壁ぬりの塗料についても水溶性のものを多く使用し、わずかにクロス張りの部屋でのみトルエン含有の素材が

使われていた。乾燥の際にトルエンなどの有機溶剤の発生を極力抑えていることがわかった。

室内空気汚染の原因として喫煙があげられるが、近年は発がん性との関連で一般の医療機関では禁煙が進められている。タバコの煙には発がん性が認められているベンツピレンほか、トルエン、キシレン、エチルベンゼンなどの多くのVOCも含まれ、シックハウス症候群との関連でも室内空気汚染に対するタバコ煙の負荷量を推計した報告もある¹²⁾。今回調査した新築棟では移転当初から全館禁煙として、喫煙による健康影響対策が講じられているので、本研究では喫煙を調査対象としなかった。

新築棟のVOC濃度はいずれも厚生労働省の室内空気汚染の指針値よりも大幅に下回っており、これは有機溶剤の発生が少ない内装の使用と換気回数の多いことによると考えられる。今回の測定により新築棟でのシックハウスの発生は考えにくいことが確認された。

本研究の一部は厚生労働科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)および労働福祉事業団医学研究費により行われたものである。

文 献

- 1) 荒記俊一, 坂井 公, 佐藤 元, 他: 本態性多種化学物質過敏症(Multiple Chemical Sensitivities)疾患概念, 発現機序, およびアレルギー, 中毒, 心因疾患との異同について. 日本公衆衛生学雑誌 46: 769—777, 1999.
- 2) 相澤好治, 遠乗秀樹: 化学物質過敏症(本態性環境不寛容状態)について—労働衛生とのかかわり—. 産業医学レビュー 12: 171—175, 2000.
- 3) 坂部 貢, 宮田幹夫, 石川 哲: シックハウス症候群の診断と治療. 日胸臨床 60: 719—724, 2001.
- 4) 石川 哲, 宮田幹夫, 難波龍人, 他: 化学物質過敏症診断基準について. 日本医事新報 3857: 22—29, 1998.
- 5) Cullen MR: The workers with multiple chemical sensitivities: an overview. Occup Med 2: 665—661, 1987.
- 6) 厚生労働省医薬局審査管理課化学物質安全対策室: 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6回~第7回のまとめ. 2001.
- 7) 職域におけるシックハウス対策検討委員会: 平成13年度「職域におけるシックハウス対策事業」に関する報告書. 東京, 中央労働災害防止協会, 2001.
- 8) 呉羽晃徳, 中村之信, 多田慎也, 他: 病院内病理検査室の気中ホルムアルデヒド濃度と個人暴露. 産衛誌 臨増: 611, 2003.
- 9) 厚生労働省労働基準局: 職域における屋内空気中のホルムアルデヒド濃度低減のためのガイドライン. 2002.
- 10) 新菱冷熱工業中央研究所: 学校法人専門学校空気室測定結果報告書. 2001.
- 11) 新菱冷熱工業中央研究所: 大学病院空気室測定結果報告書. 2000.
- 12) 日本建築学会編: シックハウス辞典, 東京, 技報堂出版. 2001. pp1—25, pp39—40, pp148—150.

(原稿受付 平成15.8.6)

別刷請求先 〒143-0013 東京都大田区大森南4-13-21
東京労災病院産業中毒センター
森田 陽子

Reprint request:
Yoko Morita
Occupational Poisoning Center, Tokyo Rosai Hospital 13-21,
Omoriminami-4, Ota-ku, Tokyo, 143-0013

VOC LEVELS AND THEIR FLUCTUATION IN NEWLY CONSTRUCTED HOSPITAL

Yoko MORITA¹⁾, Tadashi SAKAI¹⁾, Yoshiaki NAKAJIMA²⁾, Yuka KAWAGUCHI³⁾, Fumiko YOKOSAWA³⁾,
Shuta NISHINAKAGAWA³⁾, Tomohiko YOSHIDA³⁾ and Naokazu NAGATA⁴⁾

¹⁾Occupational Poisoning center, Tokyo Rosai Hospital, ²⁾Clinical Laboratory, Tokyo Rosai Hospital,

³⁾Environmental Medical Research Center, Tokyo Rosai Hospital, ⁴⁾President of Tokyo Rosai Hospital

We have examined the concentrations of volatile organic compounds (VOCs) in newly constructed hospital. Intended VOC were toluene, xylene, styrene, and formaldehyde which have been determined in various rooms, such as chart room and nutrition teaching room in underground floor, office room, pathological laboratory, and clean room (department of sick-building syndrom) in the 3rd floor, and in patient room in the 6th floor. After the movement to newly built hospital in April 2003, air samplings have been carried out between June to September in 2002 and in January 2003. VOCs were determined by the standard method of Ministry of Health, Labor and Welfare. The almost all concentrations of VOCs in this study were much lower than that of “the guideline of contamination of room air” by Ministry of Health, Labor and Welfare. It have been appeared that the VOCs concentration were very low in the newly constructed hospital. It must be due to use of trim volatizing little organic solvents and formaldehyde, and the extensive ventilation.
