

## 水性フローアポリッシュ（ワックス）清掃による室内空气中 VOC 濃度の変化

大 貫 文\*, 齋 藤 育 江\*, 瀬 戸 博\*, 上 村 尚\*\*

### VOC Concentrations in Indoor Air after Floor Polishing

Aya ONUKI\*, Ikue SAITO\*, Hiroshi SETO\* and Hisashi KAMIMURA\*\*

**Keywords** : フローアポリッシュ floor polish, ジエチレングリコールモノメチルエーテル diethylene glycol monomethyl ether, ジエチレングリコールモノエチルエーテル diethylene glycol monoethyl ether, 室内空気 indoor air, 揮発性有機化合物 volatile organic compounds

#### 緒 言

近年、学校の新築や増築、耐震工事等で建材等から放散した化学物質により、児童らが健康被害を受けたという事例がしばしば報道されている<sup>1)</sup>。またこれら大規模な工事の他にも、教科書等から発生する化学物質により、健康影響を受ける児童がおり、社会問題になっている。こうした、学校内における健康被害の発生原因について、子どもの健康と環境を守る会が、学校生活の中で有害化学物質などにより健康影響を受けている（受ける可能性がある）小中高生107人を対象に聞き取り調査した報告<sup>2)</sup>がある。その結果、学校で体調が悪くなる原因の上位は、「コンピューター」、「カーテンの合成洗剤のにおい」、「廊下・教室の油性ワックス」及び「廊下・床用の水性ワックス」であった。また、別の調査で、化学物質過敏症支援センターが、相談窓口に相談を寄せたシックハウス症候群の児童、生徒及び学生らを対象に行ったアンケート調査<sup>1)</sup>がある。この調査によると、回答者の7割以上がワックスで体調不良を引き起こすと答えた。

従来、床清掃に用いられるワックスは、カルナバやパラフィン等のろうを石油系溶剤に溶かした油性ワックスが主流であった。しかし、この油性ワックスに含まれる溶剤が有機系化学床材に影響を及ぼす事から、ろうを水に溶かした水性ワックスに置き換わった<sup>3,4)</sup>。しかし、水性ワックスについても、原料のろうが軟らかいため、耐久性の面で問題が生じてきた。そこで、その欠点を補い、性能的にも優

れた樹脂ワックスが開発された。樹脂ワックスは、アクリル系またはアクリル・スチレン系の樹脂をエマルジョン化したもので、塗布後乾燥するだけで光沢を持つ硬い塗膜を形成するため、ビル等の業務用として広く普及するようになった<sup>3,4)</sup>。最近では、この樹脂ワックスと水性ワックスは共に水性フローアポリッシュ、油性ワックスは油性フローアポリッシュと呼ばれるようになってきた<sup>3)</sup>。本稿でも、床用ワックス製品をフローアポリッシュと呼称することとした。

前述のアンケート調査結果から、フローアポリッシュ清掃の際、放散する化学物質によって体調不良が引き起こされる事が唆されているにもかかわらず、どのような化学物質がどのように放散しているのかは、ほとんど知られていない。そこで今回我々は、市販の水性フローアポリッシュ製品を対象に、揮発する主な揮発性有機化合物（以下、VOC）を同定し、そのうち一製品を床に塗布した時の、室内空气中VOC濃度の変化を調査したので報告する。

#### 実 験 方 法

##### 1. 対象製品

市販の水性フローアポリッシュ製品（FP1～FP3）と、洗剤（C1）及びはく離剤（R1）の合計5製品を対象に、揮発するVOCを調査した。調査した製品の概要を表1に示す。FP1は業務用の水性フローアポリッシュで、成分はアクリル樹脂エマルジョン、アルカリ可溶樹脂、ポリエチレンワ

表 1. 調査対象製品の概要

製品の種類	表示成分
FP1 水性フローアポリッシュ・業務用	アクリル樹脂エマルジョン, アルカリ可溶樹脂, 高沸点ポリエチレンワックス, 可塑剤, レベリング剤, 防腐剤, 消泡剤, 水
FP2 水性フローアポリッシュ・家庭用	合成樹脂, ろう, 水
FP3 水性フローアポリッシュ・家庭用	合成樹脂, ろう, 水
C1 アルカリ洗剤・業務用	界面活性剤, グリコール系エーテル溶剤, ケイ酸塩, 金属イオン封鎖剤
R1 はく離剤・業務用	有機ビルダー, アルコール系溶媒, 界面活性剤

\* 東京都健康安全研究センター環境保健部環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1

\* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

\*\* 東京都健康安全研究センター環境保健部

表2. 加熱脱着装置の条件

オープン温度	: 230°C
脱着時間	: 5 min
脱着流量	: 50 mL/min
二次トラップ	: Tenax TA
二次トラップ温度	: 10°C
二次脱着温度	: 230°C
二次脱着時間	: 3 min
二次スプリット比	: 1:6
トランスファライン	: 200°C
バルブ温度	: 120°C

ックス, 可塑剤, レベリング剤等であった。FP2及びFP3は家庭用の水性フローポリッシュで, 成分は合成樹脂, ろう, 水であった。C1は床用のアルカリ洗剤, R1はフローポリッシュを床からはがすためのはく離剤であった。

## 2. 試薬

室内大気VOCs分析用試薬 (52成分, スペルコ)。ジエチレングリコールモノメチルエーテル (以下, DEGME) (98%, 和光純薬)。ジエチレングリコールモノエチルエーテル (以下, DEGEE) (98%, 和光純薬)。トルエン<sub>d</sub> (50 µg/mL, ACROS ORGANICS)。

標準液には, VOCs分析用試薬, DEGME及びDEGEEをメタノールで50 µg/mLに希釈した溶液を使用した。

## 3. 捕集管及び装置

捕集管 (TenaxTA充填ステンレスチューブ, Perkin-Elmer製), 自動空気採取装置 (STS25, Perkin-Elmer製), 加熱脱着装置 (ATD-400, Perkin-Elmer製), ガスクロマトグラフ/質量分析計 (以下, GC/MS) (GC-17A/QP5050A, 島津製作所製)。

## 4. 揮発する成分の同定

対象製品を10 mL試験管に入れ, 上層の空気層を20 mL/minで約10秒間捕集管に採取し, 加熱脱着-GC/MSで分析した<sup>5)</sup>。装置の条件を表2及び表3に示す。

## 5. 室内空气中DEGME及びDEGEEの分析

フローポリッシュから主に検出されたDEGME及びDEGEEについては, 室内大気VOCs分析用試薬に含まれていない。室内大気VOCs分析用試薬についての分析精度は検討しており<sup>5)</sup>, 今回はDEGME及びDEGEEについて以下の実験を行い, 分析精度を評価した。

1) 検量線の作成 DEGME及びDEGEEをメタノールで希釈し, 捕集管に1.0~8.0 µg及びトルエン<sub>d</sub> (内部標準溶液) 50 ngを添加した。加熱脱着-GC/MSで分析後, トルエン<sub>d</sub>のピーク面積に対する各物質のピーク面積の比を求め, この値と添加量より検量線を作成した。

2) 添加回収・破過試験 DEGME及びDEGEEを捕集管に1.0 µg及び5.0 µg添加し (n=3), 室内空気を約6 L通気した。5.0 µgを添加した捕集管に通気する際には, 下流に未使用

表3. ガスクロマトグラフ/質量分析計の条件

カラム	: DB-1 (30 m×0.25 mm i.d., 1 µm film)
カラム温度	: 40°C (3 min) -12°C/min-220°C (2 min) -20°C/min-300°C (1 min)
注入口温度	: 200°C (スプリットレス)
キャリアーガス	: ヘリウム (カラムヘッド圧 50 kPa)
インターフェース温度	: 250°C
イオン化法	: EI
検出モード	: SCAN (m/z 45-350)

の捕集管を連結し, 破過試験を行った。

3) 定量下限値 空試験 (n=5) を行い, 得られたブランク値より捕集空気量を6 L (17 mL/min×6時間) として空气中濃度を求め, その標準偏差の10倍を定量下限値とした。

## 6. 室内空气中VOC濃度の測定

FP1を塗布した室内において, 塗布前後の空气中VOC濃度の変化を調査した。調査の概要を表4に示す。清掃を行った室内は当センター会議室 (床面積87.6 m<sup>2</sup>) で, 3ヶ月に1度の頻度でフローポリッシュ清掃を行っている。

清掃は, 初めにC1を用いてフローポリッシャーで床を清掃した後, FP1を塗布し, 扇風機で乾燥した。作業は約1時間 (10時30分~11時30分) で完了した。換気状況については, 作業時のみ窓を開放し, それ以外の採取日は窓を閉め切っていた。換気回数は密閉時が0.14回/h, 窓開放時は14.7回/hであった。室内空気採取は自動空気採取装置を用い, 約17 mL/minで4~6時間採取した。清掃前24時間から清掃後47時間までの3日間は連続して採取 (4時間×18回), 清掃後5, 12, 25, 46, 73日には, 10時30分から6時間×4回採取した。採取時の気温範囲は11.7~19.7°C, 湿度範囲は49~61%であった。採取後の捕集管は, トルエン<sub>d</sub>を50 ng添加し, 加熱脱着-GC/MSで分析した。

表4. 室内空气中VOC濃度測定調査の概要

清掃工程	床 (87.6 m <sup>2</sup> ) をC1で洗浄後, FP1を塗布し乾燥約1時間で完了
換気状況	清掃時以外は窓等を密閉 (換気回数0.14回/h)
採取方法	自動空気採取装置で, 約17 mL/min×4~6時間*
採取日	清掃前日, 清掃当日, 清掃後1, 2, 5, 12, 25, 46, 73日経過日

\*清掃前24時間から清掃後47時間までは4時間毎に, それ以外の採取日は6時間毎に採取。

## 結果

### 1. 揮発成分の同定

対象製品から揮発した成分のGC/MSクロマトグラム (TIC) を図1に示した。FP1, FP2, FP3からはDEGEEが共通して検出された。その他に検出された主な成分は, FP1ではDEGME, FP2ではリモネン, FP3ではジメチルペンタノールであった。またC1からはジクロロメタン, クロロホルム及びヘキサン, R1からはベンジルアルコールが主に検出された。

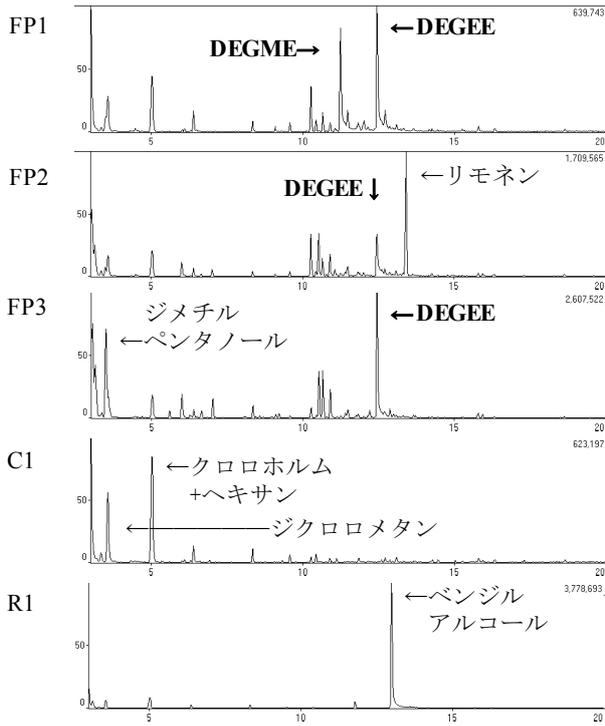


図1. フロアポリッシュ等から発生したVOCのGC/MSクロマトグラム (TIC)

各製品を10 mL試験管に入れ、上層の空気層を20 mL/minで約10秒間捕集管に採取、加熱脱着-GC/MSで分析した。  
 DEGME: ジエチレングリコールモノメチルエーテル,  
 DEGEE: ジエチレングリコールモノエチルエーテル。

2. 室内空气中DEGME及びDEGEEの分析

1) 検量線 検量線を図2に示した。添加量8.0 µgまでの直線性が確認でき、相関係数はDEGME, DEGEEとも $r=0.988$ だった。

2) 添加回収・破過試験 添加回収率を表5に示した。添加量1.0 µg及び5.0 µgでの回収率は、DEGMEが96.9%及び101.9%、DEGEEが99.6%及び97.4%で、添加量が異なっても良好な結果が得られた。また、5.0 µg添加時に行った破過試験の結果、後段の捕集管からDEGMEが約0.0016 µg、

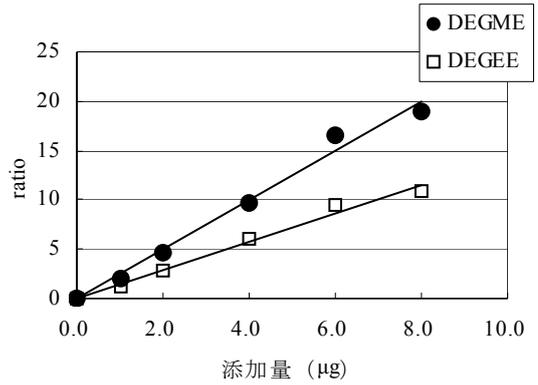


図2. DEGME及びDEGEEの検量線

捕集管にDEGME及びDEGEEを1.0~8.0 µg添加し、加熱脱着-GC/MSで分析した。  
 DEGME: ジエチレングリコールモノメチルエーテル,  
 DEGEE: ジエチレングリコールモノエチルエーテル,  
 ratio: トルエン<sub>d8</sub> (内部標準物質)のピーク面積に対する各物質のピーク面積の比。

表5. DEGME及びDEGEEの添加回収率(%)

添加量 (µg)	DEGME	DEGEE
1.0	96.9	99.6
5.0	101.9	97.4

捕集管にDEGME及びDEGEEを1.0 µg及び5.0 µg添加し、室内空気を約6 L通気した。DEGME: ジエチレングリコールモノメチルエーテル, DEGEE: ジエチレングリコールモノエチルエーテル。

DEGEEが約0.0025 µg検出されたが、これは添加量の0.05%以下の量であり、破過は無視できると判断した。

3) 定量下限値 採取空気量を6 Lとした場合の定量下限値は、DEGMEが0.46 µg/m<sup>3</sup>, DEGEEが0.35 µg/m<sup>3</sup>であった。

3. フロアポリッシュ清掃による室内空气中VOC濃度の変化

室内空气中のDEGME及びDEGEE濃度の変化を図3に、トルエン, エチルベンゼン, キシレン及びブチレン濃度の変

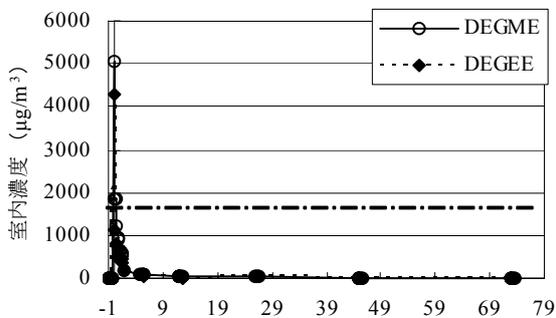


図3a 清掃後の経過日数 (日)

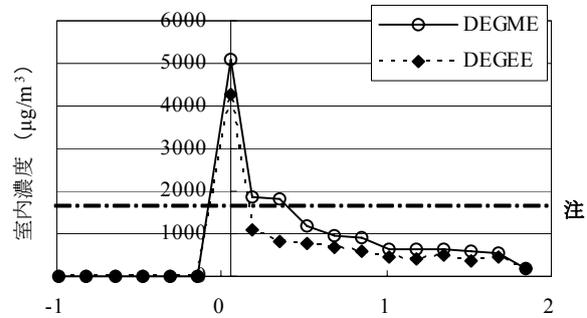


図3b 清掃後の経過日数 (日)

図3. フロアポリッシュ清掃前後の室内空气中DEGME及びDEGEE濃度の変化

横軸は経過日数で、-1は清掃前日、0は清掃作業時を表し、図3aは清掃前日から清掃後73日まで、図3bは清掃前日から清掃後2日までを示した。縦軸は室内空气中濃度で、清掃前日から清掃後2日は4時間平均値、それ以外は6時間平均値を示した。DEGME: ジエチレングリコールモノメチルエーテル, DEGEE: ジエチレングリコールモノエチルエーテル。  
 注) 点線より高濃度については、捕集管当りの捕集量が破過試験時の添加量 (5 µg) 以上あり、実際の室内は図中の値よりも高濃度であった可能性がある。

化を図4に示した。横軸は経過日数で、-1は清掃前日を、0は清掃作業時を表し、図3aは清掃前日から清掃後73日まで、図3b及び図4は清掃前日から清掃後2日までを示した。縦軸は室内空气中化学物質濃度で、清掃前日から清掃後2日は4時間平均値、それ以外は6時間平均値を示した。

DEGME及びDEGEEの空气中濃度は、清掃前日が約 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、清掃作業時にはDEGMEが約 $5,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に、DEGEEが約 $4,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に急増した。この最大濃度を検出した時の捕集管当りの捕集量は、破過試験を行った添加量 ( $5.0 \mu\text{g}$ ) 以上であったため、実際のDEGME濃度は $5,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上、DEGEE濃度は $4,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上だった可能性がある。これら化学物質濃度は、清掃後4時間で $1,000 \sim 2,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に低下し、1日後には $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、5日後には約 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、73日後には $3 \sim 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。トルエン等VOC4物質については、DEGMEやDEGEEのような清掃時の濃度上昇は見られなかった。

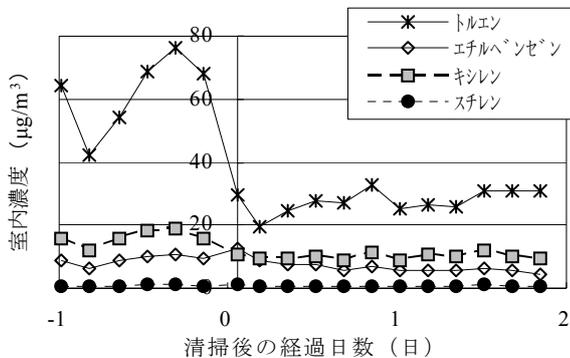


図4. フロアーポリッシュ清掃前後の室内空气中VOC濃度の変化

横軸は経過日数で、-1は清掃前日を、0は清掃作業時を表す。縦軸は室内空气中濃度4時間平均値を示した。

## 考 察

水性フロアーポリッシュの品質については、不揮発成分、pH、粘度、光沢度、耐水性、除去性、耐洗剤性及び貯蔵安定性の項目が規格化されている<sup>3)</sup>。しかし、揮発成分についての規格はなく、空气中に揮発する化学物質の種類や量については明らかではない。そこで我々は、水性フロアーポリッシュを用いて床清掃を行った場合の空气中VOC濃度について調査した。

まず初めに、水性フロアーポリッシュ特有のVOCを見つけるため、揮発するVOCの同定を行った。その結果、調査した製品全てからDEGEEの揮発が観察された。このDEGEEや同類のDEGMEは、被膜形成助剤としてフロアーポリッシュに添加されている<sup>4)</sup>ことから、この2成分をフロアーポリッシュ清掃による空気汚染の指標とした。

フロアーポリッシュ清掃における室内空气中VOC濃度の測定には、自動空気採取装置を用いた。この装置は設定した時間毎に自動的に捕集管を交換するため、採取者が室内に立ち入ることなく連続採取が可能である。清掃前日から清掃中を含め、清掃後2日まで連続測定した結果、清掃中

にDEGME及びDEGEEの室内空气中濃度が急増する事が分かった。

DEGME及びDEGEEは、被膜形成助剤として添加されていると前述したが、その配合割合は1.4-6.6%で、フロアーポリッシュ用エマルジョン (75-85%) やアルカリ可溶樹脂 (5-15%)<sup>4)</sup>よりは少ない。しかし、被膜形成助剤の特徴として、水に溶ける事や水と共沸して揮発しやすい事があり、そのためDEGME及びDEGEEの室内空气中濃度が大きく増加したと思われる。

DEGME及びDEGEEの毒性については、長期暴露による皮膚の脱脂や、短期暴露による眼の刺激が報告されている<sup>6)</sup>。また、DEGEEの蒸気を吸入したラットにおいて、上気道の特異的炎症が見られるという報告<sup>7)</sup>があり、吸入暴露による危険性は無視できない。したがって、高濃度のDEGME及びDEGEEに暴露される作業中は、眼や皮膚の保護の他、呼吸保護具着用や換気の徹底など、吸入暴露量の低減対策を行うべきである。

その他、水性フロアーポリッシュに含有される有害なVOCとしては、スチレンが樹脂原料の購入段階で混入している<sup>8)</sup>という報告がある。清掃前後の空气中スチレン濃度は、約 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と低濃度のまま変化しなかった事から、今回の調査対象製品 (FP1, C1) については、室内濃度に影響する含有量ではない事が分かった。また、トルエンについては、清掃当日以降に室内濃度の減少が見られたが、5日後からは上昇し、25日後には清掃前の濃度に戻った。したがって、これは作業時の窓開けによる換気回数の増加に伴った一時的な現象と考えられた。

最後に、今回は、家庭用の水性フロアーポリッシュについても、揮発するVOCの同定を行った。その結果、DEGEEの他、リモネン及びジメチルペンタノールの放散が多い事が分かった。しかし製品の成分表示には、合成樹脂、ろう、水しか記載されていないため、これらの物質の発生を予測することはできない。これは、家庭用品品質表示法<sup>9)</sup>により住宅用ワックスの成分表示は、ろう、油脂、有機溶剤、合成樹脂、シリコーン、水の中で1%以上含むものと定められているためである。したがって、使用の際には、表示成分に明示されていない化学物質の放散を考慮し、暴露低減のために十分な換気と保護具の着用が必須である。

## ま と め

学校内において、児童や生徒が健康被害を受ける原因の一つに水性フロアーポリッシュがある。そこで、水性フロアーポリッシュによる床清掃を行った場合の、室内空气中VOC濃度を調査した。調査の結果、清掃作業時には、DEGME及びDEGEEの空气中濃度が $4,000 \sim 5,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上に急増した。この濃度は、室内空気汚染の指標である総VOCの暫定目標値 ( $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>10)</sup>の10倍以上である。DEGME及びDEGEEは、皮膜形成助剤としてフロアーポリッシュに添加されており、吸入毒性については、ラットにおける上気道の炎症が報告<sup>7)</sup>されている。今回の清掃作業時には窓

開け換気を行っていたにもかかわらず、室内空気が高濃度に汚染された事から、換気だけでなく保護具を着用する等、暴露量低減の対策を十分に取る必要がある。

清掃後の室内濃度は、4時間で1,000~2,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に低下し、1日後には1,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、5日後には約100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、73日後には3~7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、清掃前と同レベルとなった。清掃後5日までは数百 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の室内濃度であるため、清掃後数日間は積極的な換気を行い、迅速な濃度低減を実現するべきである。

(本研究の概要は平成15年度室内環境学会2003年12月で発表した。)

### 文 献

- 1) 化学物質過敏症支援センター シックスクールプロジェクト編, シックスクール 子どもの健康と学習権が危ない, 3-13, 68-75, 2004, 現代人文社, 東京.
- 2) 生活編, シックスクール調査集計報告, 1-78, 2004, 子どもの健康と環境を守る会, 北海道.
- 3) 日本フローポリッシュ工業会規格, 日本フローポリッシュ工業会技術委員会編, 水性フローポリッシュの正しい使い方, 55-68, 1984, 日本フローポリッシュ工業会, 東京.
- 4) 滝野俊夫: エマルジョン系フロアポリッシュ, 奥田平, 稲垣寛編, 合成樹脂エマルジョン, 301-312, 1978, 高分子刊行会, 京都.
- 5) 大貫 文, 斎藤育江, 瀬戸 博, 他: 東京衛研年報, **51**, 223-228, 2000.
- 6) 国立医薬品食品衛生研究所: 国際化学物質安全性カード, <http://www.nihs.go.jp/ICSC/>
- 7) Hardy, C.J., Coombs, D.W., Lewis, D.J., et al.: *Fundam. Appl. Toxicol.*, **38**, 143-147, 1997.
- 8) 黒嶋恵: シックスクールの現状と対策, そして今後の対策, 吉田弥明監修, 井上雅雄, 藤田清臣編, シックハウス対策の最新動向-環境設計・測定・治療-, 363-376, 2005, 株式会社エヌ・ティー・エス, 東京.
- 9) 経済産業省: 雑貨工業品品質表示規程, 家庭用品品質表示法, 2001.
- 10) 厚生労働省: 室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定法等について, 2001.