空气中揮発性有機化合物 (VOCs) 濃度測定用 熱脱離型パッシブサンプラーの性能評価

関根 嘉香, 松尾 文子, 佛願 道男*

東海大学理学部化学科 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

*日立化成工業株式会社化学製品事業部門 (〒317-8555 茨城県日立市東町4-13-1)

[平成16年3月24日受理]

Evaluation of Thermal Desorption Type Diffusion Sampler for Determination of VOCs in Ambient Air

Yoshika SEKINE, Ayako MATSUO and Michio BUTSUGAN*

Department of Chemistry, School of Science, Tokai University,
(1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292)

*Hitachi Chemical Co., Ltd., Chemical Products Division, Yamazaki R&D Group
(4-13-1 Higashi-cho, Hitachi, Ibaraki 317-8555)

[Received March 24, 2004]

Summary

Performance of a thermal desorption type diffusion sampler was evaluated for determination of volatile organic compounds (VOCs) such as toluene, ethylbenzene, xylene, styrene, *p*-dichlorobenzene and limonene in a small chamber. The diffusion sampler consists of porous polyethylene tube uniformly packed with carbon molecular sieves as a collection media. In addition to the previous white colored porous tube, black colored one, to which graphite powders was blended, was also used in this study. As an active sampler, Tenax TA tube was employed, and was connected to an air suction pump. Both passive and active samplers were simultaneously exposed to prepared VOC gases in the chamber for 2 hours. Collected VOCs were then thermally desorbed, transferred by a carrier gas and determined by a capillary gas-chromatography using flame ionization detector (GC-FID). The chamber experiments showed that Henry's adsorption isotherm could be applied to relationships between collected amounts of each VOC by diffusion sampler and air concentrations measured by active sampling method in the case of measuring Japanese Indoor Air Guideline levels. Then, we derived uptake rates of each VOC from slopes of linear regressions, to convert the VOCs amount on the passive sampler to air concentration. The uptake rates did not show temperature dependence in the range of 10~40 °C. Relative humidity also had no influence on the collection efficiency of the diffusion sampler from 47 % to 94 % at 20 °C. In a field sampling test, indoor air concentrations of VOCs measured by the diffusion sampler agreed to those by the active device, using derived uptake rates of each VOC.

Key words: VOCs, indoor air pollution, diffusion sampler, thermal desorption, measurement

1. はじめに

室内空気中の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) は、シックハウス症候群や化学物質過敏症 (Multiple Chemical Sensitivity, MCS) 等の健康障害の原因物質の一つと考えられている¹⁾。生活環境改善の観点から、一般家庭においても VOCs の濃度測定に関心が寄せられており、簡易な測定方法の開発が望まれている。

室内空気中の VOCs の捕集には、キャニスター法、固相吸着/溶媒抽出法、固相吸着/加熱脱着法等が用いられる²⁾。固相吸着法は、吸着剤を充填したカートリッジに吸引ポンプを取り付け、室内空気を強制的にサンプリングする方法 (いわゆるアクティブ法) によるものが一般的である。しかし、個人曝露量や室内の長期平均濃度を測定する場合、あるいは居住環境での測定を行う場合、キャニスター法やアクティブ法は、捕集容器のサイズ、ポンプの取り扱い、騒音、操作の習熟が必要等の問題により使用に適さないことがあり、また多点で同時測定を行なう場合、器材のコストや電源の確保など、サンプリング上の制約がある。このような場合、分子拡散型パッシブサンプラーを用いた簡易測定法が有用である^{3,4)}。

VOCs 濃度測定用パッシブサンプラーには、チューブ型 (Palme's tube 型)^{3,5,6)}、ディスク型^{3,7-9)}および多孔質チューブ型^{10,11,12)}が知られている。チューブ型は一方に開口端を有する円筒管を拡散部に用いるもので、労働環境および大気環境の測定に利用されている³⁾。しかしながら捕集速度が低いため捕集に1~4週間要し、熱脱離用捕集材を用いる場合、捕集材から VOCs が脱離して back-diffusion を起こすため⁵⁾、捕集期間毎に濃度換算係数を求める必要性が指摘されている⁶⁾。ディスク型サンプラーは透過膜を拡散部に用い、チューブ型に比べて高い捕集速度が得られ、捕集時間も短縮できる。米国を中心に労働環境、大気環境の測定に利用され、有機塩素系化合物⁷⁾、モノテルペン類⁸⁾に対する捕集性能の評価研究例がある。しかし、捕集材に活性炭を用いた市販のサンプラーは、ブランク値が高く、感度も低いため、大気環境への応用には適しないと報告されている^{3,9)}。筆者らは先に、多孔質チューブにカーボンモレキュラーシブを充填した VOCs の溶媒脱離型パッシブサンプラー (VOC-SD) を開発し、その性能評価を行った^{10,11)}。多孔質チューブは、ポリエチレン粒子の焼結体であり、空隙を有する立体構造をなしている。機械的強度に優れ、温度、湿度、紫外線等に対しても安定であり、捕集量に対する風の影響が少ないなどの特徴がある¹³⁾。VOC-SD は、カーボンモレキュラーシブに吸着した VOCs を溶媒によって抽出後、ガスクロマトグラフ装置により分

離・定量する方法であるが、試料の捕集に長時間 (24時間) 曝露を必要とし、抽出条件によりスチレンの回収率が低下する等の問題点があった。そこで多孔質チューブを用い、曝露時間を2時間とし、捕集された VOCs を加熱脱離によりガスクロマトグラフ装置に直接全量導入する熱脱離型パッシブサンプラー (VOC-TD) を開発した^{*}。本研究では、チャンバー内において環境条件を制御し、本サンプラーの VOCs に対する捕集性能の評価を行ったので報告する。

2. 実験方法

2. 1 試薬

本研究では VOCs として、ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、スチレン、*o*-, *m*-, *p*-キシレン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンを対象物質とした。用いた試薬は、ベンゼンは特級試薬 (和光純薬工業社製) トルエン、エチルベンゼン、スチレン、キシレン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンは特級試薬 (関東化学社製)、*o*-, *m*-, *p*-キシレンは1,000 $\mu\text{g/ml}$ 標準原液 (関東化学社製、水質試験用、メタノール溶液) をいずれも精製せずに用いた。各 VOC の希釈溶媒にはメタノール (関東化学社製試薬特級) を用いた。

ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンの検量線用標準原液は、50ml のメタノールが入った100ml メスフラスコに、ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンをそれぞれ1g ずつマイクロシリンジで取り、メタノールで100ml にメスアップして調製した (10,000 $\mu\text{g/ml}$)。この標準原液および1,000 $\mu\text{g/ml}$ の各キシレン標準原液をメタノールで適宜希釈して、検量線用標準溶液に用いた。

2. 2 サンプラー

本研究では2種類のパッシブサンプラーを用いた。一つは、拡散フィルター部に VOC-SD と同様のポリエチレン粒子の焼結体を用いたもので、拡散フィルター部が白色なので、以下白サンプラーと呼ぶ。この白サンプラーは、外見上 VOC-SD と区別がつかないため、サンプラーの取り違いなど人為的エラーを生じる可能性がある。そこで、拡散フィルター部に低比表面積のカーボングラファイトを混ぜ込んだ黒色のサンプラーを作成し、同様の検討を行った。黒色のものを以下黒サンプラーと呼ぶ。

アクティブサンプラーには Tenax TA (スベルコ製 60/80 TenaxTA, 7×10mm) を用いた。

各サンプラーの使用前のエージング処理は、Dynatherm 社製 6-チューブコンディショナー Model 60 により行った。

2. 3 曝露試験法

温度制御可能な恒温槽 (32 ℓ) をチャンバーとし、これにサンプリングバッグ内であらかじめ揮発させた VOC ガスを導入した。チャンバー内にパッシブサンプラーを吊るして 2 時間曝露すると同時に、アクティブサンプラー (Tenax TA) を積算流量計付ミニポンプ (柴田科学社製 MP-Σ30) に取り付け、0.05 ℓ/分 で 2 時間連続捕集した。恒温槽内の温度は 10~40℃ に変化させ、また恒温槽内に水を入れたシャーレを置いて湿度を変化させた。恒温槽内の温度は 10~40℃ に変化させ、また恒温槽内に水を入れたシャーレを置いて湿度を変化させた。ガス発生源は、あらかじめ純空気 で満たしたテドラーバック (25 ℓ) に、各 VOC 試薬をガスタイトシリンジで注入し揮発させたものを、シリコンチューブで恒温槽と繋ぎ、アクティブサンプラー用ミニポンプの吸引によって VOC ガスを導入させた。また、テドラーバック内の VOC ガスの濃度はその時に応じて適宜に変えた。恒温槽の温度、湿度は温湿度計でモニターした。

2. 4 分析方法

パッシブサンプラーを分析する際は、サンプラー内部の吸着剤を熱脱離用空チューブ (スベルコ製未充填空チューブ、7×10mm) に移した後、熱脱離装置にセットし、加熱脱離してガスクロマトグラフ装置に VOCs を導入した。空チューブに充填する際の充填剤のストッパーには、ガラスウールを用いた。アクティブサンプラーは、あらかじめ熱脱離用チューブに吸着剤が充填されているため、サンプリング後はそのまま熱脱離装置にセットし、加熱脱離してガスクロマトグラフ装置に注入した。

VOCs の分析は、熱脱離装置 (Dynatherm 社製 ACEM モデル 900) を接続した水素炎イオン化検出器 (FID) キャピラリガスクロマトグラフ装置 (島津製作所製 GC-1700) によって定量した。分析装置および分析条件を表 1 に示す。

Table 1 Analytical methods and operating conditions for determination of VOCs

Thermal desorption system	
TD	Dynatherm ACEM model 900
Focusing tube	Carbotrap™ 201
Dry	1min
Purge	350°C, 15min
Cool	1min
Inject	370°C, 13min
Aging equipment Dynatherm 6-tube conditioner	
Gas chromatograph system	
GC	Shimadzu GC-1700
Column	Supelco SPB-1, 0.25mm×60m, 1μm film
Column temp.	60°C(22min)-4°C/min-180°C
Carrier	He(99.9999%), 2.1mL/min
Detector	FID

2. 5 濃度換算係数 (uptake rate)

パッシブサンプラー法では、捕集された汚染物質の量 W (μg) から (1) 式に従って空气中濃度 C (ppm または mg/m³) を算出する。この (1) 式は、フィックの拡散第一法則において、捕集剤に十分近い場所で捕集対象物質の濃度がゼロになるという仮定の下で成り立つ。

$$C = W / (\alpha \times t) \quad (1)$$

ここで、 α は濃度換算係数、 t は捕集時間 (h) である。 α は uptake rate と呼ばれ³⁾、パッシブサンプラーの対象物質に対する捕集速度を表し、μg/h または mL/h の単位で表わされる。ただしここでは捕集量から濃度へ換算するための係数として用いるため、μg/(ppm・h) または μg/(mg/m³・h) の単位を用いた¹²⁾。すなわち濃度換算係数は、アクティブ法による濃度測定値 C (mg/m³ または ppm)、パッシブサンプラーによる捕集量 W (μg)、曝露時間 t (h) より、次の式で求めた。

$$\alpha_w (\mu\text{g}/(\text{mg}/\text{m}^3)/\text{h}) = W (\mu\text{g}) / C (\text{mg}/\text{m}^3) / t (\text{h}) \quad (2)$$

$$\alpha_v (\mu\text{g}/\text{ppm}/\text{h}) = W (\mu\text{g}) / C (\text{ppm}) / t (\text{h}) \quad (3)$$

また特に、捕集量を物質量 (μmol)、濃度を C (ppm) で表すとき、(4) 式で示すモル濃度換算係数を定義した。

$$\epsilon_v (\mu\text{mol}/\text{ppm}/\text{h}) = W (\mu\text{mol}) / C (\text{ppm}) / t (\text{h}) \quad (4)$$

2. 6 フィールド試験

チャンバー実験による濃度換算係数の実用性を評価するため、実環境下でのフィールド実験を行った。フィールド実験として 2003 年 1 月 17 日に東海大学湘南校舎 17 号館実験室にてパッシブサンプラー (黒サンプラー) とアクティブサンプラーを同時に使用して室内 VOCs 濃度を測定し、比較した。室内にパッシブサンプラーを吊るして 2 時間曝露すると同時に、アクティブサンプラーを積算流量計付ミニポンプに取り付け、0.05 ℓ/分 で 2 時間連続捕集した。実験時の天気は晴れ、平均室温は 15℃ であった。パッシブサンプラーの濃度換算係数は、恒温チャンバー法で求めた値を用いた。

3. 結果

3. 1 分析条件の検討

熱脱離条件として、パッシブサンプラーの吸着剤を充填したチューブに検量線用標準溶液を一定量注入し、注入した VOC が完全に加熱脱離される条件を探索した。すなわち、一度加熱脱離した後、続けて同条件で加熱脱離させた際に、はじめに注入した VOCs のピークが検出されないことを条件とした。またベンゼンのピーク近傍に、熱脱離装置由来と思われる未知成分のピークが現れたが、熱脱離装置とガスクロマトグラフ装置本体を繋ぐトランスファーラインを予備運転時に加温することにより、未知成分のピークが消失した。以上の検討結果から

熱脱離条件を、図1に示すものに決定した。尚、ガスクロマトグラムにおいて、*m*-キシレンと*p*-キシレンのピーク分離は困難であったが、他の成分のピークについては良好な分離が得られ、43分以内に分析目的物質をすべて溶出させることができた。アクティブサンプラーに

Fig. 1 Construction of the diffusion sampler for VOCs

についても同様の熱脱離、分析条件を用いた。

検量線を作成する場合、吸着剤が充填されていない空チューブに検量線用標準溶液を一定量添加し、加熱脱離装置に装着して表1に示す条件で同様に分析した。各VOCについて添加量0.001~20 μ gの範囲で検討したところ、どのVOCも添加量10 μ gを超えると、添加量とピーク面積の間に直線性が成り立たなくなることがわかった。したがって検量線の作成範囲は10 μ g以下とし、曝露実験においても捕集量の上限を10 μ gとした。

各成分の標準溶液5 μ gを空チューブに添加して加熱脱離させる操作を3回繰り返す、保持時間の安定性およびピーク面積の安定性を求めたところ、保持時間の変動係数は0.5%以下、ピーク面積の変動係数は10%以下であった。

3. 2 濃度換算係数の検討

次にパッシブサンプラーの濃度換算係数 α について検討した。気中VOCの濃度範囲は、室内濃度指針値が設定されている物質についてはエチルベンゼンを除きその指針値を含むものとした。図2は各VOCについて、横軸にアクティブ法による気中濃度測定値(ppm)、縦軸にパッシブ法による捕集量(μ g)をプロットしたもの

Fig. 2 Relationship between collection amounts by the white and black colored diffusion samplers and air concentrations measured by the active sampling method in the case of benzene(A), toluene(B), ethylbenzene(C), *m*-, *p*-xylene(D), styrene(E), *o*-xylene(F), *p*-dichlorobenzene(G) and limonen(H)

である。両者には良好な直線関係が得られた。パッシブサンプラーによる VOCs の捕集は吸着平衡関係にあるが、今回の実験のような低濃度域では、直線関係 (Henry 型) で関係付けできると考えられる¹⁰⁾。また白サンプラーを用いた時も同様に各 VOC に対して捕集量と濃度の間に良好な直線関係が見出された。そこで、これらの回帰曲線の傾きから α を求め、表 2 に示した。黒サンプラーにおいて、拡散フィルター部に添加したカーボングラファイトは VOCs に対して拡散抵抗を増大させ、 α の低下をもたらすと予想されたが、その影響は比較的分子量の大きい *p*-ジクロロベンゼン、リモネンに限られ、比較的分子量の低いものについては両サンプラーの α 値は良い一致を示した。このことから、拡散フィルター部にカーボングラファイトを添加し、従来の VOC-SD と外見上区別することは実用上有用であるといえる。

次に、捕集量を物質量 (μmol)、濃度を体積濃度 (ppm) で表して全 VOCs の測定値をプロットしたところ、図 3 に示すように 1 本の回帰直線で近似することができた。これは、今回対象とした VOCs は分子構造が類似し、カーボンモレキュラーシープに対しては物理吸着が主であり、同種分子間の反応性がないためと考えられる。この回帰直線の傾きからモル濃度換算係数 ϵ_v を求めた結果、白および黒サンプラーともに $\epsilon_v = 0.12$ ($\mu\text{mol}/\text{ppm}/\text{h}$) となった。この値は、今回の評価対象と

しなかった VOCs の濃度換算係数を予備的に見積もる際に使用できると思われる。

熱脱離型パッシブサンプラーは、使用前に加熱エージング処理することにより、ブランクの低減が可能である。そこで、クロマトグラムのノイズレベルから定量下限 (S/N 比=10) を求め、表 2 に示す濃度換算係数を用いて定量下限濃度を求めたところ、表 3 に示すように 2 時間捕集では $0.06 \sim 0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.01 \sim 0.03 \text{ppb}$) となった。この定量下限値は、質量分析装置など FID より高感度な検出器を用いることによりさらに低減できると考えられる。尚、実際に本サンプラーを用いてサンプリングを実施する場合、サンプラーの保管状況、保管時間等によりブランク値の増加が予想されるので、ブランク値に基づく定量下限値の設定が必要である。

3. 3 温度・湿度依存性

チャンバー実験における結果から、濃度換算係数の温度依存性を検討した。図 4 には各 VOC に対して (4) 式から求めたモル濃度換算係数 ϵ_v の平均値の温度依存性を示す。白・黒サンプラー共に、人が生活する通常の室内温度 ($10 \sim 40^\circ\text{C}$) では、モル濃度換算係数の明確な温度依存性は見られなかった。

チャンバー実験における 20°C の結果から、濃度換算係数の湿度依存性を検討した。その結果、図 5 に示すよう

Fig. 2 continued

に各 VOC の ϵ_v は47～94%の範囲で明確な湿度依存性を示さなかった。

3. 4 濃度換算係数の検証

上記で求めた濃度換算係数の実用性を検証するためフィールドにおいてアクティブ法との同時曝露実験を行い、得られた濃度値の比較を行った。パッシブサンプラーには黒サンプラーを用い、濃度換算係数には表2の

値を用いた。図6に結果を示す。パッシブ法で求めた濃度値はアクティブ法の値とほぼ一致した。このことから、チャンバー実験によって得られた濃度換算係数を用いることにより、熱脱離型パッシブサンプラーを用いた気中 VOCs 濃度の測定が可能であることがわかった。

4. 結論

熱脱離型 VOCs パッシブサンプラーの2時間曝露にお

Table 2 Comparison of uptake rates of VOCs derived between white and black type samplers

VOC	MW	conc. range mg/m ³	white type			black type			B/W**	
			n	α_w	α_v	n	α_w	α_v	α_w	α_v
benzene	78	0.02~1.7	11	2.6	8.5	11	2.6	8.5	1.0	1.0
toluene	92	0.055~1.5	13	2.9	11	13	2.9	11	1.0	1.0
ethylbenzene	106	0.018~1.0	15	2.8	12	15	2.8	12	1.0	1.0
<i>m,p</i> -xyrene	106	0.0090~1.0	16	3.1	13	16	3.0	13	1.0	1.0
styrene	104	0.024~0.62*	12	2.9	13	14	3.0	13	1.0	1.0
<i>o</i> -xylene	106	0.0038~1.3	12	2.8	12	14	2.8	11	1.0	1.0
<i>p</i> -dichlorobenzene	147	0.015~1.3	10	2.2	13	12	2.1	12	0.94	0.95
limonene	136	0.0070~1.2	13	2.6	15	13	2.0	11	0.76	0.76

unit: α_w : $\mu\text{g}/(\text{mg}/\text{m}^3)/\text{h}$, α_v : $\mu\text{g}/\text{ppm}/\text{h}$,

* 0.024~0.44 for white type sampler, ** Black/White ratio

Fig. 3 Scatter diagram of collection amounts of VOCs (μmol) by the diffusion samplers and air concentrations (ppm) measured by the active sampling method using all data on each VOC.

(A) White type sampler (n = 101), (B) Black type sampler (n = 104)

Table 3 Determination limits for measurements of VOCs by the diffusion samplers with thermal desorption GC-FID system (S/N=10, t=2h)

VOC	white type		black type	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb
benzene	0.06	0.02	0.06	0.02
toluene	0.08	0.02	0.08	0.02
ethylbenzene	0.08	0.02	0.08	0.02
<i>m,p</i> -xyrene	0.08	0.02	0.08	0.02
styrene	0.06	0.01	0.06	0.01
<i>o</i> -xylene	0.08	0.02	0.09	0.02
<i>p</i> -dichlorobenzene	0.11	0.02	0.12	0.02
limonene	0.15	0.03	0.19	0.03

Fig. 4 Effect of temperature on the averaged uptake rates of each VOC in the unit of $\mu\text{mol/ppm/h}$, using white and black type samplers. Vertical bars show standard deviations

Fig. 5 Effect of relative humidity on the averaged uptake rates of each VOC in the unit of $\mu\text{mol/ppm/h}$, using white and black type samplers. Vertical bars show standard deviations

Fig. 6 Evaluation of the uptake rates in the indoor field test using black type diffusion sampler, comparing with measured concentration by active sampling method

ける性能評価を行い、以下の結論を得た。

- 1) パッシブサンプラーによる VOCs の捕集は吸着平衡関係にあるが、室内濃度指針値付近の濃度範囲であれば、濃度と捕集量は Henry 型吸着等温線で関係付ける

ことができた。

- 2) 黒サンプラーは拡散フィルターに添加したカーボングラファイトの影響により白サンプラーに比べて濃度換算係数が低下すると予想されたが、その影響は比較的分子量の大きい VOC に限られ、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンを除き両サンプラーの濃度換算係数は良好一致を示した。
- 3) 濃度換算係数には明確な温度および湿度依存性は見られなかった。
- 4) フィールド実験によりチャンバー試験で求めた濃度換算係数の実用性が確認できた。

要約

カーボンモレキュラーシーブを吸着剤とする熱脱離型 VOCs パッシブサンプラーの、ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、スチレン、*o*-, *m*-, *p*-キシレン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネンに対する捕集性能を小型チャンバー試験により評価した。曝露時間は 2 時間とした。捕集された VOCs は加熱脱離後、FID 付キャピラリーガスクロマトグラフ装置により定量した。パッシブサンプラーによる VOCs の捕集は吸着平衡関係にあるが、室内濃度指針値付近の濃度範囲であれば、濃度と捕集量は Henry 型吸着等温線で関係付けることができた。白サンプラーと黒サンプラーでは濃度換算係数がほぼ一致したが、分子量が大きい VOC において黒サンプラーの方が低値となる傾向が見られた。濃度換算係数には明確な温度および湿度依存性は見られなかった。またフィールド実験によりチャンバー試験で求めた濃度換算係数の実用性が確認できた。

文献

- 1) 日本建築学会編：シックハウス辞典，技法堂出版，東京（2001）
- 2) 内藤季和：大気汚染物質のサンプリング法，大気環境学会誌，**31**（1），A1～A9（1996）
- 3) Brown, R.H.: Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations. *J. Environ. Monit.*, **2000**（2），1-9（2000）
- 4) Levin, J.-O. and Lindahl, R.: Diffusion air sampling of reactive compounds, A review. *Analyst*, **119**, 79-83（1994）
- 5) Posner, J.C. and Moore, G.: A thermodynamic treatment of passive monitors. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **46**, 277-85（1985）
- 6) Brown, R.H. and Walkin, K.T.: Performance of a tube-type diffusion sampler for organic vapors in air. *Anal. Proc.*, **18**, 205-208（1981）
- 7) Coutant, R.W., Lewis, R.G. and Mulik, J.: Passive

- sampling devices with reversible adsorption. *Anal. Chem.*, **57**, 219-223 (1985)
- 8) Eriksson, K., Levin, J.-O. and Lindahl R.: Evaluation of a diffusive sampler for air sampling of monoterpenes. *Analyst*, **119**, 85-88 (1994)
- 9) Coutant, R.W. and Scott, D.R.: Applicability of passive dosimeters for ambient air monitoring of toxic organic compounds. *Environ. Sci. Technol.*, **16**, 410-413 (1982)
- 10) 佛願道男, 関根嘉香: パッシブサンプラーを用いたホルムアルデヒド, VOC 濃度測定検討, 室内環境学会誌, **4** (1), 68-69 (2001)
- 11) 関根嘉香, 廣田ちはる, 佛願道男: 空气中揮発性有機化合物 (VOCs) 濃度測定用溶媒脱離型パッシブサンプラーの性能評価, 環境化学, **12**, 847-854 (2002)
- 12) Uchiyama, S., Asai, M. and Hasegawa, S.: A sensitive diffusion sampler for the determination of volatile organic compounds in ambient air. *Atmos. Environ.*, **33**, 1913-1920 (1999)
- 13) 関根嘉香, 佛願道男, 臼杵英俊, 北原滝男: パッシブサンプラーを用いた室内空气中ホルムアルデヒド濃度の測定方法, 環境化学, **11**, 511-516 (2001)
- * 本サンプラーは, シグマアルドリッチジャパン社スベルコ事業部より市販されている。