

# 有機溶剤使用職場におけるポータブル VOC モニタによる有機溶剤個人曝露測定

榎本光紀

獨協医科大学衛生学教室

抄録：有機溶剤使用職場におけるポータブル VOC モニタによる有機溶剤個人曝露測定：榎本光紀。獨協医科大学衛生学教室—一般に、有機溶剤取扱い作業者の個人曝露濃度測定には、固体捕集後ガスクロマトグラフによる分析法が利用されている。しかしながら、この方法では、作業時間中の平均的曝露濃度を算出することは可能であるが、瞬間的な高濃度曝露や、時間的な濃度変動を把握することは不可能である。最近、住宅室内や学校の教室等で揮発性有機化合物（VOCs）のスクリーニングのためにポータブル VOC モニタが使用されるようになった。この VOC モニタは光イオン化検出器を内蔵し、気中 VOC 濃度をリアルタイムに測定することが可能である。著者は VOC モニタが有機溶剤個人曝露濃度をリアルタイムに測定可能であるかを検討した。まず、実験的に各濃度段階の各種有機溶剤標準ガスを作製し、パッシブサンプラーと VOC モニタで同時に測定し、各種有機溶剤とその VOC 濃度との相関を検討して換算係数（CF 値）を算出した。その結果は、メチルエチルケトンの CF 値は 0.5952、トルエンは 0.4418、N,N ジメチルホルムアミドは 0.9017 であった。更に、各濃度段階の混合有機溶剤標準ガスを作製し、パッシブサンプラーで得られた各種有機溶剤濃度に前述の CF 値を乗じた VOC 推定濃度と VOC モニタで測定した VOC 濃度との相関を検討した。パッシブサンプラー捕集による混合有機溶剤標準ガス濃度の VOC 推定濃度と、VOC モニタで測定した VOC 濃度は有意な相関を認めた ( $p < 0.001$ )。次に、有機溶剤を使用している合成皮革工場の男性作業員 37 名を調査対象とし、パッシブサンプラーと VOC モニタを用いて有機溶剤個人曝露測定を行い、その際、作業員に追従し全作業内容を記録した。パッシブサンプラーで得られた各種有機溶剤濃度に前述の CF 値を乗じた

VOC 推定濃度と VOC モニタで測定した VOC 濃度は有意な相関を認めた ( $p < 0.001$ )。VOC モニタはリアルタイムに結果が得られ、作業内容と照らし合わせることでより高濃度曝露を受ける作業を特定することができることから、作業環境改善、作業改善に有用な情報となる。VOC モニタは、有機溶剤個人曝露濃度測定において有用であると考えられる。

(産衛誌 2006; 48: 214-220)

キーワード：Portable VOC monitor, Organic solvents, Personal exposure, Passive air sampler, Photoionization detector

## I. 緒言

有機溶剤は、塗装、洗浄、印刷、接着作業など、さまざまな職場で幅広く使用され、神経毒性、生殖毒性、肝障害などの健康影響が指摘されている<sup>1)</sup>。そのため、作業員の健康障害防止のためには、作業員各々の曝露量を把握することが極めて重要なことといえる。

一般に個人曝露測定法は、パッシブサンプラー、アクティブサンプラーなどの捕集剤を作業員の呼吸域に近接した部位に装着して一定時間サンプリングを行い、ガスクロマトグラフなどの分析機器で分析して、個人曝露濃度を算出する<sup>2)</sup>。ところが、実際の作業現場においては、有害物の発生場所や発生状況、作業方法や作業日時により、個人曝露濃度も経時的に大きく変動する<sup>3)</sup>。瞬間的な高濃度曝露状況を把握することは、作業管理や工学的な環境改善に有用な情報である。そこで、個人曝露濃度の経時的変動を把握するために、より短時間のサンプリングを繰り返す方法も報告されているが<sup>4)</sup>、煩雑な手順を要すること、測定機器の大きさや重量の問題、低濃度時の分析感度の問題があり、実際の現場での個人曝露測定法に応用するには改善すべき点がある。また、これらの方法ではサンプリング機器と分析機器がそれぞれ異なるため、リアルタイムに測定結果を得ることは不可

2006年4月17日受付；2006年7月20日受理  
連絡先：榎本光紀 〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林880 獨協医科大学医学部衛生学教室  
(e-mail : emitsu@dokkyomed.ac.jp)

能である。そこで、直読式の検知管や、サンプリング機器と分析機器が一体となった携帯型のガスクロマトグラフなども開発されているが<sup>5)</sup>、使用方法、機械の大きさや、重量の問題で個人曝露測定法に応用することには困難である。

近年、直読式の光イオン化検出器（PID検出器）を搭載し、データロギング機能を持つ携帯型のポータブルVOCモニタ〔RAE systems〕が開発され、住宅や学校などで室内の揮発性有機化合物（VOC）濃度の測定に使用されてきた<sup>6)</sup>。PID検出器の原理は紫外線ランプから放射された紫外線によりガス分子がイオン化され、このときに放出される電子を電極で捉え電位計で測定する<sup>7,8)</sup>。PID検出器は測定対象物質の分子構造によってその感度が異なることが示されている<sup>9)</sup>。このため、PID検出器は既知濃度の標準ガスで検出器の校正を行うが、一般的にはイソブチレンを標準校正ガスに使用している<sup>6)</sup>。測定対象ガスがイソブチレン単独以外であれば、得られた濃度はイソブチレン換算VOC濃度（VOC濃度）ということになる。したがって、この場合は、分析されたVOC濃度を対象物質の感度で補正する必要がある<sup>6)</sup>。

著者は、各種単独の有機溶剤標準ガスを作製し、VOCに対する各々有機溶剤の換算係数（CF値）を求めたのち、混合有機溶剤標準ガスを作製し、CF値で換算してVOCモニタとパッシブサンプラーから得られた結果との相関関係を検討した。そして、有機溶剤使用職場でVOCモニタとパッシブサンプラーを使用して全作業時間の個人曝露測定を行い、同様の方法でVOCモニタとパッシブサンプラーから得られた結果との相関関係を検討し、VOCモニタの個人曝露測定への有用性について検討した。

## II. 研究方法

### 1. 有機溶剤標準ガスに対するVOCモニタとパッシブサンプラーの併行測定

#### 1-1. 有機溶剤

有機溶剤標準ガス作製には、メチルエチルケトン（MEK）〔和光純薬工業〕、トルエン〔和光純薬工業〕、N,Nジメチルホルムアミド（DMF）〔和光純薬工業〕を使用した。

#### 1-2. VOCモニタ

VOCモニタVM30〔RAE Systems〕を使用した。校正用ガスはイソブチレンガス100ppm〔日本エア・リキード〕を使用した。今回のデータ記憶間隔は作業時間とデータ記憶限度を考慮し20秒間隔に設定した。今回、同型のVOCモニタ5台を使用した。

#### 1-3. パッシブサンプラー

パッシブサンプラーは有機ガスモニター No. 3500〔3M〕を使用した。

#### 1-4. 実験装置

標準ガスの作製には拡散セル法<sup>10,11)</sup>を応用した標準ガス発生装置を作製した。装置の主要な部分は空気を送り出すコンプレッサー、除湿用のシリカゲル管、希釈空気量を調整する流量計、有機溶剤を貯留する拡散セル、拡散セルを保持するチューブホルダー、チューブホルダーを一定温度に保つ恒温層、モニタを有機溶剤に曝露させるためのチャンバーからなる。拡散セルに各種有機溶剤を一定量注入して恒温層に入れ、一定温度で加温する。恒温層の温度は、各有機溶剤の沸点を考慮し、MEK79℃、トルエン110℃、DMF152℃とし、MEK、トルエン、DMFの3種混合液79℃とした。拡散により上昇した有機溶剤の蒸気を、チューブ上端のチューブホルダーの中で一定流量の洗浄空気希釈し、洗浄空気の流量を調節することにより各濃度の有機溶剤標準ガスを作製した。有機溶剤標準ガス濃度はそれぞれの物質のTLV-TWAのおよそ0.1倍から2倍の範囲で作製した。作製した有機溶剤標準ガスをチャンバー内に充満させ、2時間以上の平衡時間を確保したのちサンプリングを開始した。チャンバー内の温度は24～25℃、湿度は25～46%であった。

#### 1-5. サンプリング

サンプリングはVOCモニタとパッシブサンプラーを一定濃度に調整した有機溶剤標準ガスの入ったチャンバー内に入れ、並行測定を行った。サンプリング時間は8時間とした。サンプリング後のVOCモニタはデータ記憶をパソコンへ取り込み、パッシブサンプラーは付属の半透明のキャップを取り付け直ちに5℃で保存し、2週間以内に分析した。検量線用のサンプルは未使用のパッシブサンプラーに2.5×2.5mm大の円形のろ紙〔東洋濾紙〕をのせ、半透明のキャップを取り付け、既知量のサンプルを注入して作製した。

#### 1-6. 分析方法

VOCモニタで得られた結果は、データ記憶をパソコンへ取り込み、表計算ソフトで解析した。パッシブサンプラーは、脱着溶媒としてジクロロメタン〔和光純薬工業〕1.5mlを使用し、30分間放置したのち、その1μlをガスクロマトグラフ〔HEWLETT PACKARD 6890N〕に導入しFID検出器で測定した。ガスクロマトグラフの分析条件下記に示すとおりである。

カラム：HP-INNOWAX 60m×0.325mm 膜厚0.50μm  
キャリアガス：ヘリウム2.6ml/分

燃焼ガス：水素 60 ml/分, 空気 450 ml/分  
 メイクアップガス：ヘリウム 45 ml/分  
 パージガス：ヘリウム 55 ml/分  
 注入法：スプリットレス  
 検出器：水素炎イオン化型 (FID)  
 注入口温度：250℃  
 検出器温度：250℃  
 カラム槽温度：初期温度 50℃ (1分)-10℃/分-160℃  
 (0分)-40℃/分-最終温度 240℃ (10分)  
 注入量：1  $\mu$ l

### 1-7. 曝露濃度の計算

曝露濃度の計算は次式の通りである<sup>12)</sup>.

$$C = \frac{M}{r \times k \times t} \times 10^3$$

C：濃度 [mg/m<sup>3</sup>]

M：ガスクロマトグラムより得られた捕集量 [ $\mu$ g]

r：脱着率(検量線サンプルを作製したため, 1.00とした.)

k：サンプリング速度 [cm<sup>3</sup>/min] (技術ガイド<sup>13)</sup> の値を使用した.)

t：サンプリング時間 [min]

$$C' = C \times \frac{1}{M_w} \times \frac{298}{273} \times 22.4 \quad (25^\circ\text{C})$$

C'：濃度 [ppm]

M<sub>w</sub>：測定物質の分子量 [g/mol]

## 2. 有機溶剤使用職場での有機溶剤個人曝露測定

### 2-1. 調査対象

平成 16 年 6 月から 12 月にかけて, 合成皮革製造工場を調査した. 本工場では MEK, トルエン, DMF を使用している. あらかじめ研究の趣旨を説明し同意を得た作業員 (男性, 19~59 歳, 平均年齢 46 歳) 37 名を調査対象とした. また, 同時期の本工場の作業環境測定結果は, 第 1 評価値 (E<sub>A1</sub>) が 0.27 から 0.98, 第 2 評価値 (E<sub>A2</sub>) が 0.09 から 0.39, B 測定値 (C<sub>B</sub>) が 0.13 から 0.50 であり, 第 1 管理区分であった.

### 2-2. 測定方法, 分析方法

作業員の胸部の呼吸域に両モニタを装着した. サンプリング時間は作業開始から終了までの休憩時間を含む 9 時間とした. 測定中は作業員に追従し, 全作業内容を記録した. 分析方法は II. 1-6, 曝露濃度の計算は II. 1-7 に準ずる.

## III. 結果と考察

### 1. 有機溶剤標準ガスに対するポータブル VOC モニタの機器間の差

MEK に対する, 同型 5 台のポータブル VOC モニタで

同時に測定した VOC 濃度は, 144.5  $\pm$  5.5 ppm であり, 変動係数は 3.8% であった. 変動係数が 5% 未満であり, ポータブル VOC モニタの機器間の差がないことを確認した.

### 2. 有機溶剤標準ガスに対するポータブル VOC モニタとパッシブサンプラーの併行測定

Fig. 1 は MEK, Fig. 2 はトルエン, Fig. 3 は DMF の各気中濃度と, VOC モニタで測定した VOC 濃度との関

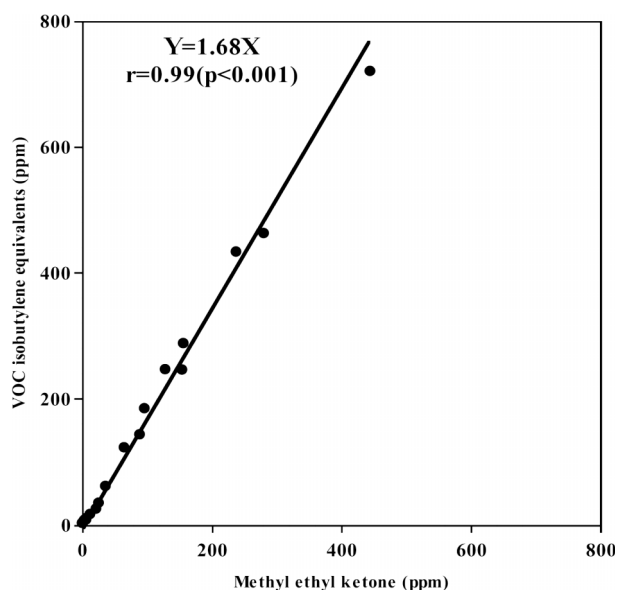


Fig. 1. Plot of Methyl ethyl ketone and its VOC isobutylene equivalents data in the experimental room (n=18).

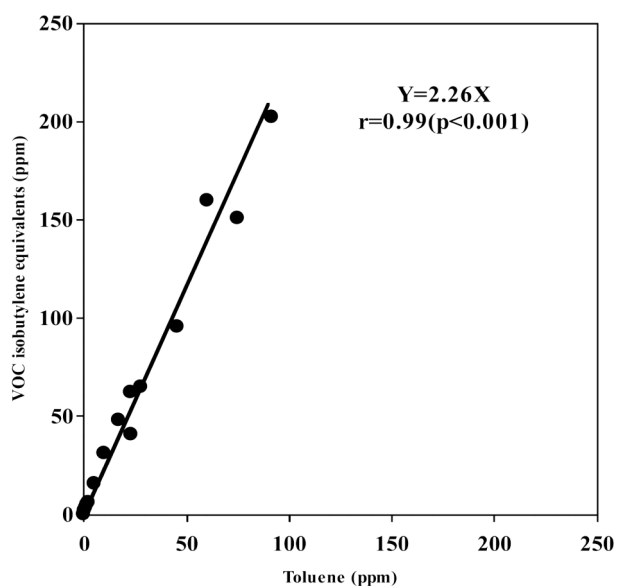


Fig. 2. Plot of Toluene and its VOC isobutylene equivalents data in the experimental room (n=15).

係を示す。これらの回帰直線はMEKが $y = 1.68x$  ( $r = 0.99$ ), トルエンが $y = 2.26x$  ( $r = 0.99$ ), DMFが $y = 1.11x$  ( $r = 0.99$ ) であり有意な相関を認めた。これらの回帰直線の傾きの逆数がCF値であり, MEKのCF値は0.60, トルエンのCF値は0.44, DMFのCF値は0.90であった。これらのCF値はRAE systemsから提示されている値とほぼ同様であった<sup>14)</sup>。Fig. 4はパッシブサ

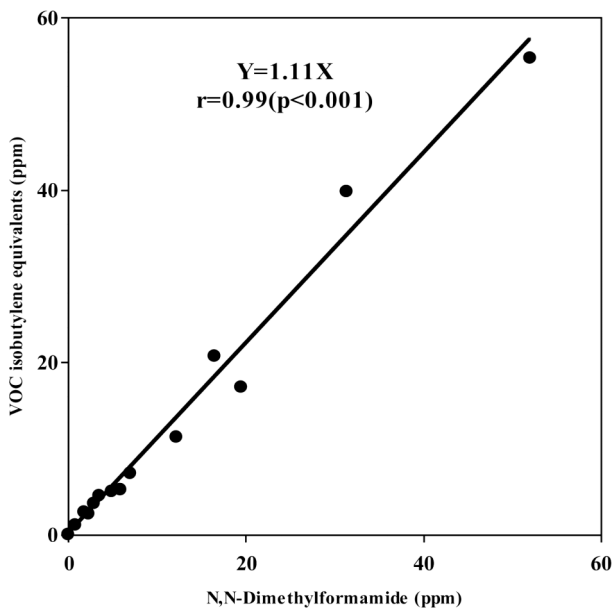


Fig. 3. Plot of N,N-dimethylformamide and its VOC isobutylene equivalents data in the experimental room (n=14).

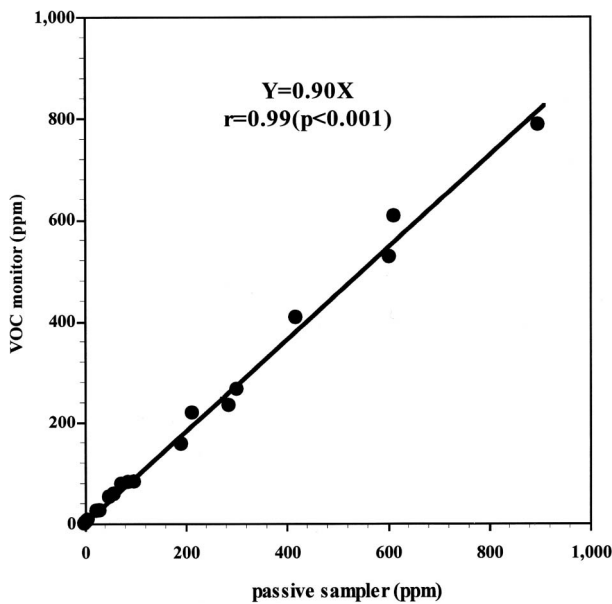


Fig. 4. Plot of VOC isobutylene equivalents calculated from passive sampler and its VOC isobutylene equivalents data obtained from VOC monitor in the experimental room where three mixed organic solvents were evaporated (n=22).

ンプラーから得られたMEK, トルエン, DMFの各濃度をCF値で換算したイソブチレン換算VOC推定濃度と, VOCモニタで測定したVOC濃度との関係を示す。この回帰直線は $y = 0.91x$  ( $r = 0.99$ ) であり有意な相関を認めた。今回の実験結果から, MEKで約450ppm, トルエンで約90ppm, DMFで約50ppm程度までは有意な相関を認めたことから, 少なくともこの範囲をPID検出器の測定可能範囲と考えた。以上の結果から有機溶剤標準ガスに対して, VOCモニタはパッシブサンプラーと同等に気中濃度を反映していると考えた。

### 3. 作業現場での全作業時間の個人曝露測定

Fig. 5は37名のうち比較的低濃度の曝露を受けた作業者No.029と比較的高濃度の曝露を受けた作業者No.033

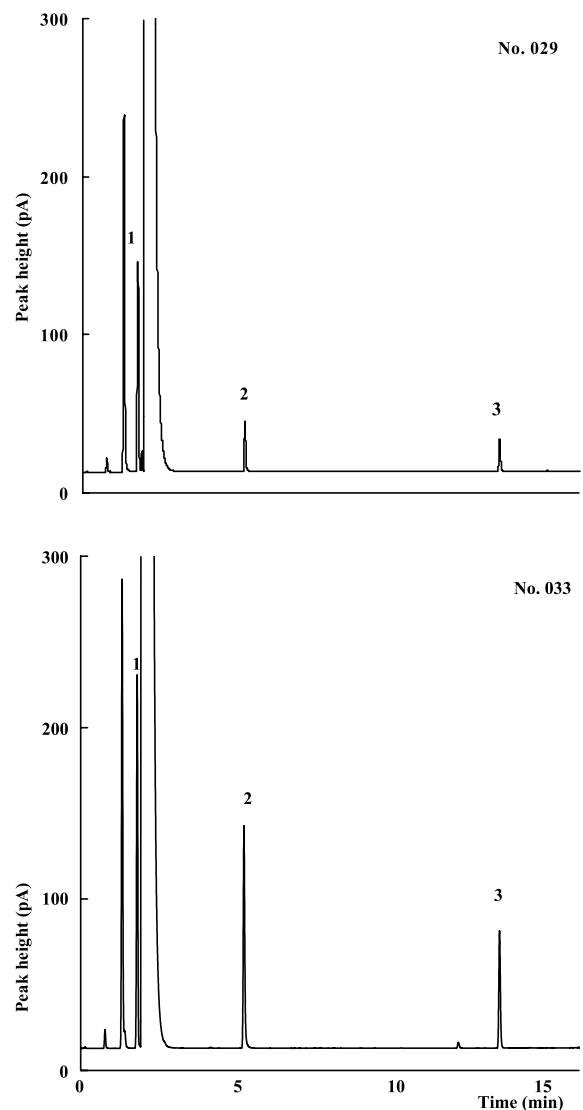
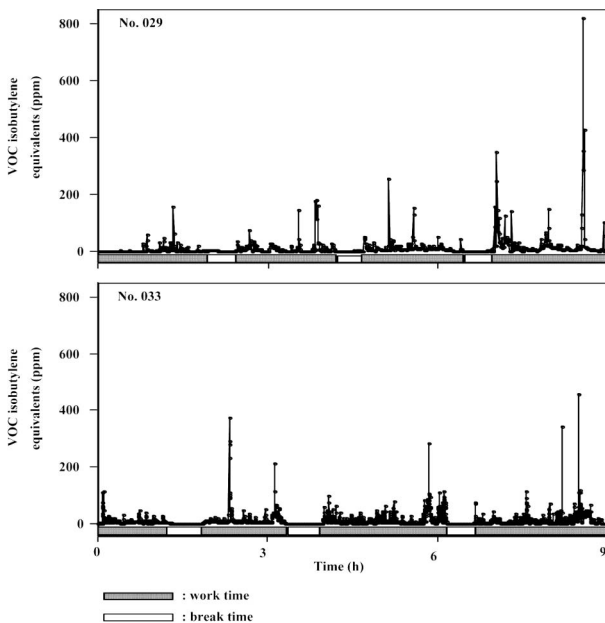


Fig. 5. Two examples (No.029, No.033) of gas chromatograms of extracts of passive sampler. 1=methyl ethyl ketone; 2=toluene; 3=N,N-dimethylformamide.

のパッシブサンプラーからの抽出液のガスクロマトグラムを例示する。作業員 No.029 の時間加重平均濃度は MEK が 14.0 ppm, トルエンが 3.1 ppm, DMF が 5.0 ppm であり, 作業員 No.033 の時間加重平均濃度は MEK が 20.3 ppm, トルエンが 11.6 ppm, DMF が 18.8 ppm であった。また, この 3 種類の有機溶剤以外のピークを認めなかった。日本産業衛生学会の勧告した許容濃度の時間加重平均濃度<sup>15)</sup>, 米国労働衛生専門官会議 (ACGIH) の勧告した TLV-TWA<sup>16)</sup> は, MEK が 200 ppm, トルエンが 50 ppm, DMF が 10 ppm である。したがってパッシブサンプラーの結果から, 作業員 No.029 は許容濃度以下であり, 作業員 No.033 は DMF のみで評価した場合, 許容濃度以上の曝露を受けていると評価した。作業環境測定では第 1 管理区分であるが, 個人曝露測定をおこなうと許容濃度を超過する曝露を受ける場合があることが判明した。ガスクロマトグラムからは, 各有機溶剤の時間加重平均濃度を求めることは可能であるが, いつ, どこで, どの程度の曝露を受けたのかを把握することは不可能である。

次に, Fig. 6 は作業員 No.029 と作業員 No.033 の VOC モニタの経時的 VOC 曝露濃度変化を示す。両者とも作業時間中は 200 ~ 800 ppm の VOC に曝露され, 瞬間的に高濃度曝露を受けていることを確認した。また, 昼休みや会議中はまったく曝露されていないことも確認した。一方, 異なる点としては, 作業員 No.033 は作業員 No.029 に比べ, 時間加重平均濃度は高濃度であるが,



**Fig. 6.** Two examples (No.029, No.033) of real-time measurements from the portable VOC monitor in isobutylene equivalents parts-per-million concentration versus time.

瞬間的な最高濃度はむしろ作業員 No.029 のほうが高いという結果が得られた。VOC モニタのチャートを解析すると, 作業員 No.033 は比較的低濃度の曝露を長時間受けていることが把握できる。作業員 No.033 の作業内容は, 有機溶剤が入ったドラム缶から, 一定時間ごとに有機溶剤を取り出す作業を行っている。この作業場所は, ドラム缶を覆うように排気装置が設置されているため, 作業員側に高濃度の有機溶剤が飛散することが比較的少ないと考えられた。VOC モニタのチャートから, 中程度の有機溶剤の曝露を持続して受けていると推察された。これに対し, 作業員 No.029 の高濃度曝露を受けた作業内容は, 有機溶剤を使用しての部品洗浄作業であった。部品洗浄作業を行っていた場所には排気装置はなく, 非常作業であったため従来あまり問題視されていなかったが, VOC モニタを利用することにより瞬間的に高濃度曝露を受けていることが判明した。このような瞬間的な高濃度曝露状況は, パッシブサンプラー等を使用した個人曝露測定や, 作業環境測定では把握不能である。VOC モニタを使用することにより個人曝露濃度の時間縦断的变化のデータを得て, いつ, どこで, どの程度の曝露を受けたのかを把握することが可能となった。また, 37 名の VOC モニタのチャートを解析すると, 作業員によりそれぞれ曝露のパターンが異なることが視覚的に明らかとなった。これらの情報は作業環境改善, 作業改善, 危険予知などに利用可能で極めて有益である。実際の作業現場で VOC モニタを使用した経時的曝露濃度測定を行った例が報告されている<sup>17-20)</sup> が, 数名程度の作業員, 数時間程度の測定時間の調査報告がほとんどであり, 今回のように長時間, 多数の作業員について検討した例は見られない。

Fig. 7 は, パッシブサンプラー捕集による個人曝露濃度の VOC 推定濃度と, VOC モニタで測定した VOC 濃度との関係を示す。この回帰直線は,  $y = 0.51x + 3.73$  ( $r = 0.70$ ) であり有意な相関を認めた。実際の作業現場の調査報告でも同様の結果が報告され<sup>17, 21)</sup>, VOC モニタの相対濃度法への応用の可能性も指摘している<sup>21)</sup>。しかしながら, 実験室で行った混合有機溶剤標準ガスに対する実験結果と比較すると, 作業現場では VOC モニタの PID 検出器の感度が低下することが示された。Drummond は, ガソリン積み下ろし作業において, ベンゼンの個人曝露測定を活性炭管法と, VOC モニタ法を同時に行い, その CF 値を 0.2 としているが<sup>19)</sup>, RAE Systems から提示されている CF 値は 0.53 であり<sup>14)</sup> 大きく異なっている。このため, 測定濃度の信頼性を保つため活性炭管での平行測定を推奨している。大上らも複数の作業現場で同様の調査を行い, 各作業現場の CF 値を求めているが, 一部の作業現場で RAE Systems から提示されている値と異なる結果が得られることがあるた



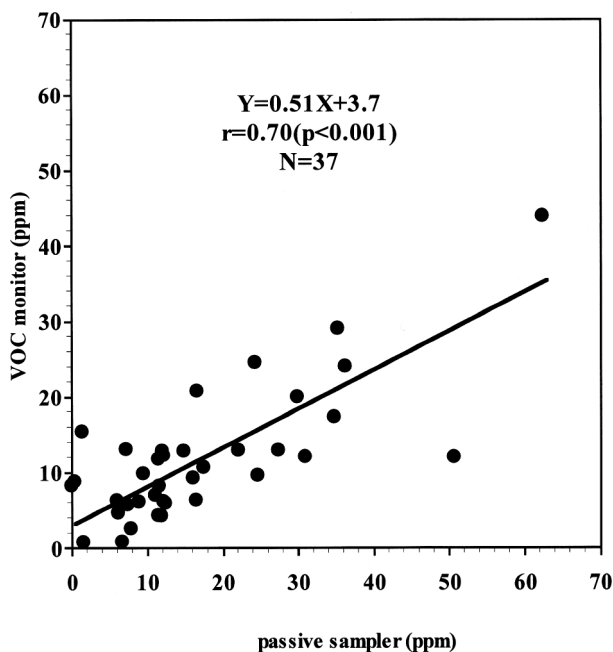


Fig. 7. Plot of VOC isobutylene equivalents calculated from passive sampler and its VOC isobutylene equivalents data obtained from VOC monitor in the work place (n=37).

め、活性炭管での平行測定を推奨している<sup>21)</sup>。PID検出器はVOC濃度が2,000 ppmを超過するとその反応性が低下することが示されている<sup>8)</sup>。この理由として、PID検出器の紫外線ランプから放射された紫外線によりすべてのガス分子がイオン化されるはずであるが、測定気中の有機溶剤濃度が非常に高濃度になった場合、すべてのガス分子がイオン化されずそのまま検出器を通り抜けてしまう分子が出てくるため、本来の値よりも低下するのではないかと考えられている<sup>8)</sup>。しかし、本作業場でのPID検出器によるVOC濃度の平均は12.5 ± 10.0 ppmでありVOC濃度が2,000 ppm以上の高濃度が原因とは考えられない。Jamesらは作業現場でのPID検出器の反応低下について、測定空気中にPID検出器に感度のないメタノールなどの物質の混在を理由として挙げている<sup>17)</sup>。しかし、本作業場ではメタノールは使用していない。また、ガスクロマトグラムから、MEK、トルエン、DMF以外の有機溶剤の混入は考えられない。PID検出器は高湿度になると感度が低下することが示されている<sup>8, 22)</sup>。本作業場内の湿度は29～66%であった。前述のとおり、実験室のチャンバー内の湿度は25～46%であったことから、有機溶剤標準ガスの湿度と作業現場の湿度の大きな差は認めずPID検出器の感度低下の原因とは考えにくい。作業現場の測定条件の異なる点として各有機溶剤の時間的濃度変化、時間的混合比率の変化などの影響が推測されるが、PID検出器の感度低下の原因は不明である。

#### 4. VOCモニタの有用性

パッシブサンプラーは一度使用すると再利用は不可能でありランニングコストが高くなる。また、ガスクロマトグラフなどの分析機器が必要であり、それに伴い分析技術も必要となる。自社の作業環境測定士が作業環境測定を行う自社測定事業場は別としても、パッシブサンプラーを実際の現場で使用した場合、外部機関へ依頼分析を行うことが多いと考えられ、時間的、経済的損失が大きい。これに対しVOCモニタは、リアルタイムに測定可能であり、測定結果も作業終了時に把握できる。また、作業環境改善、作業改善の効果を視覚的に評価することが可能である。また、曝露状況を視覚的に提示することにより、事業者や作業員に対する衛生教育にも利用可能である。さらに、許容濃度に天井値のある化学物質では、時間加重平均濃度ではなく、今回得られた経時的曝露濃度測定を用いて、曝露リスクの評価への情報としても利用できると考える。操作法が容易で分析技術も必要としないことから、衛生管理者や衛生推進者などが測定を行うことも可能である。欠点として、混合有機溶剤に対しては、個々の濃度を測定することが不可能であること、一部ではあるがメタノールなど測定不能な物質があること、比較的メンテナンスの頻度が高いことが挙げられる。以上の結果からいくつかの欠点はあるもののVOCモニタは、MEK、トルエン、DMFだけでなく多くの有機溶剤に対しても応用可能であると考えられる。他の有機溶剤を使用する工場での応用についても現在検討中である。

謝辞：稿を終えるにあたり、本研究に対しご指導いただきました衛生学教室松井寿夫教授に感謝いたします。また、ご協力頂きました衛生学教室員の皆様に深謝します。なお、本研究の一部は、平成16年獨協医科大学研究奨励賞、平成17年度私立大学等経常費補助金私立大学教育研究高度化推進特別補助大学院高度化推進特別経費大学院整備重点化経費－研究科特別経費（学生分）の助成を受けた。また、本研究の要旨は、第78回日本産業衛生学会総会（2005.4.東京）にて発表した。

#### 文 献

- 1) Axelson O, Hogstedt C. The health effects of solvents. In: Zenz C, ed. Occupational Medicine. Saint Louis: Mosby, 1994: 764-778.
- 2) McDermott HJ. Air monitoring review. In: McDermott HJ, ed. Air Monitoring for Toxic Exposures. Hoboken: Wiley-Interscience, 2004: 3-31.
- 3) Francis M, Selvin S, Spear R, Rappaport S. The effect of autocorrelation on the estimation of workers' daily exposures. Am Ind Hyg Assoc J 1989; 50: 37-43.
- 4) Kumagai S, Matsunaga I. The development of a revol-

- ing personal sampler. *Am Ind Hyg Assoc J* 1992; 53: 261-264.
- 5) Lu C-J, Whiting J, Sacks RD, Zellers ET. Portable gas chromatograph with tunable retention and sensor array detection for determination of complex vapor mixtures. *Anal Chem* 2003; 75: 1400-1409.
  - 6) McDermott HJ. Background concepts for air monitoring. In: McDermott HJ, ed. *Air Monitoring for Toxic Exposures*. Hoboken: Wiley-Interscience, 2004: 325-358.
  - 7) Lovelock JE. A photoionization detector for gases and vapours. *Nature* 1960; 29: 401.
  - 8) Maslansky CJ. Photoionization detectors. In: Maslansky CJ, ed. *Air monitoring instrumentation*. New York: Wiley-Interscience, 1993: 101-122.
  - 9) Langhorst ML. Photoionization detector sensitivity of organic compounds. *J Chromatogr Sci* 1981; 19: 98-103.
  - 10) Mckelvey JM, Hoelscher HE. Apparatus for preparation of very dilute gas mixtures. *Anal Chem* 1957; 29: 123.
  - 11) 厚生労働省安全衛生部環境改善室編. 作業環境測定ガイドブック 5 有機溶剤関係. 東京: 日本作業環境測定協会, 1998.
  - 12) 作業環境測定におけるサンプリング技術に関する調査研究委員会編. パッシブサンプラーとガス・蒸気用簡易型測定器. 東京: 日本作業環境測定協会, 2000.
  - 13) Technical data bulletin. Saint Paul: 3M, 2000: 1-11.
  - 14) Rae Systems. Correction factors, ionization energies, and calibration characteristics. In: Rae Systems, ed. *Application & technical notes*. San Jose: Rae Systems, 2005: 193-203.
  - 15) 日本産業衛生学会許容濃度委員会. 許容濃度等の勧告 (2005年度). 産衛誌 2005; 47: 150-177.
  - 16) ACGIH. 2006 TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH, 2006: 3-64.
  - 17) Coy JD, Bigelow PL, Buchan RM, Tessari JD, Parnell JO. Field evaluation of a portable photoionization detector for assessing exposure to solvent mixtures. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61: 268-274.
  - 18) Stefaniak AB, Breyse PN, Murray MPM, Rooney BC, Schaefer J. An evaluation of employee exposure to volatile organic compounds in three photocopy centers. *Environ Res* 2000; 83: 162-173.
  - 19) Drummond I. On-the-fly calibration of direct reading photoionization detectors. *Am Ind Hyg Assoc J* 1997; 58: 820-822.
  - 20) 原 邦夫, 中明賢二. 有機溶剤個人ばく露濃度測定の試み. 作業環境 2001; 22: 55-62.
  - 21) 大上誠司, 上野 浩, 高倉敏行, 藤木幸雄. ポータブル VOC モニターの簡易測定への応用について. 作業環境 2001; 41 (特集号): 37-41.
  - 22) Lee IN, Hee SSQ, Clark CS. Additivity of detector response of a portable direct-reading 10.2 eV photoionization detectors and a flame ionization gas chromatograph for atmospheres of multicomponent organics: Use of PID/FID ratios. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985; 46: 9-14.

## Evaluation of Individual Exposure to Organic Solvents using a Portable VOC Monitor

Mitsunori ENOMOTO

Department of Hygiene, Dokkyo Medical University School of Medicine, 880 Kitakobayashi, Mibu, Tochigi 321-0293, Japan

**Abstract:** Analysis by gas chromatograph after collection of personal samples is the most common method of evaluating individuals' exposures to organic solvents. This method provides us time-weighted averages (TWA) only, and does not measure fluctuating concentrations of organic solvents. A portable VOC monitor is widely used as a rapid screening instrument for volatile organic compounds (VOCs) in houses, schools, etc. The VOC monitor equipped with a photoionization detector can measure real-time concentrations of VOCs. In this study, the author investigated whether the VOC monitor can evaluate individuals' exposures to organic solvents. First, standard organic solvent gases were prepared and the gas concentrations were measured by a passive air sampler and the VOC monitor. Correction factors (CF) were obtained for the response of the isobutylene calibrated VOC monitor

to equal concentrations of the organic solvents. Methyl ethyl ketone's CF was 0.5952, toluene's CF was 0.4418, and N,N-dimethylformamide's CF was 0.9017. Then, a mixed standard organic solvents gas was prepared and the gas concentration was measured by both methods. A significant correlation between both methods was obtained ( $p < 0.001$ ). Subsequently, 37 male workers in a synthetic-leather factory were examined for solvent exposure using both the VOC and a passive sampler. Similar results were obtained by both methods ( $p < 0.001$ ). Real-time data can be obtained using the VOC monitor and high exposure tasks can be identified. The VOC monitor will be useful for reducing occupational exposure. Since the VOC monitor provides detailed data of individuals' exposures to organic solvents.

(*San Ei Shi* 2006; 48: 214-220)