

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：37116

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23590763

研究課題名(和文) 混合有機溶剤取扱い作業におけるリスクアセスメント・リスクマネジメント手法の開発

研究課題名(英文) Development of risk assessment and risk management methods in the working environment using multicomponent organic solvents

研究代表者

保利 一 (HORI, Hajime)

産業医科大学・産業保健学部・教授

研究者番号：70140902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：混合有機溶剤を取り扱う作業におけるリスクアセスメントに必要なツールを開発することを目的とし、溶剤の蒸発速度および気中濃度の推定と、蒸気濃度のリアルタイムモニタリング法の開発の2つの面から検討を行った。恒温槽内に設置したガラス製の円筒容器に入れた混合有機溶剤を入れて蒸発させ、環境濃度を測定するとともに、気液平衡論、蒸発速度論および数値流体解析を用いて蒸気濃度の時間的、空間的分布をシミュレーションした結果、ある程度実験値の傾向を説明することができた。また、各種リアルタイムモニタリング機器により混合有機溶剤蒸気を測定評価する方法についても検討した結果、条件付きで評価できることが示された。

研究成果の概要(英文)：A prediction and a simple monitoring methods of multicomponent organic vapor concentrations were developed to promote risk assessment and risk management in the working environment using organic solvents. Two to five components of organic solvents were put into a glass vessel in a chamber, and the vapor concentrations were measured at different points in the chamber. Spatial and temporal change in the vapor concentrations were evaluated experimentally and theoretically by introducing a prediction model of the vapor concentrations based on the vapor-liquid equilibria, mass transfer theory and computational fluid dynamics, and the experimental data could be explained by the proposed model. A simple monitoring method of multicomponent organic vapors using real-time monitors was also discussed. The results showed that the evaluation is possible under some conditions.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会医学・衛生学

キーワード：混合有機溶剤 作業環境 リスクアセスメント リスクマネジメント リアルタイムモニター 数値流体解析 気液平衡 物質移動速度

### 1. 研究開始当初の背景

有機溶剤作業は有害業務の中で最も労働者数が多い作業であり、労働衛生上の対策がきわめて重要な作業である。実際の作業現場で使用されている有機溶剤の約 80% は混合有機溶剤であり、混合有機溶剤を対象にしたリスクアセスメント、リスクマネジメントを実施することは特に重要である。そのためには、混合有機溶剤の物理化学的性質を正確に把握し、理解するとともに、環境中の蒸気をモニタリングし、作業環境に問題があれば直ちに対応できるようにする必要がある。

混合有機溶剤作業のリスクアセスメントを実施するには、まず、溶剤の蒸発による蒸気発生メカニズムを把握する必要がある。有機溶剤は、蒸気圧や極性等の物理化学的特性がそれぞれ異なるため、混合した場合、液の組成と蒸発した蒸気の組成は一般に異なる。理想溶液の場合は、それぞれの溶剤の飽和蒸気圧と液のモル組成がわかれば、液組成から平衡蒸気濃度を推算することができるので、気中濃度の推定も比較的容易であるが、一般の混合有機溶剤系では理想溶液とはならず、液のモル分率から平衡蒸気濃度を推算することは困難である。このことは、液の組成がわかっているにもかかわらず、蒸発した場合の気中濃度を予測することは容易ではないことを示している。また、発生した蒸気が環境中にどのように拡散するか、さらに、室内の気流により、どのように移送され環境中に分布するかについて、流体力学的な解析を加えて検討することや、刻々と変化する作業環境を連続的にモニタリングし、作業条件と作業環境濃度との関係を調べることも必要になる。

### 2. 研究の目的

本研究は、混合有機溶剤を取り扱う作業において、発生する各成分の作業環境濃度を予測する方法を開発すること、また、現場で濃度を簡便にモニタリングする方法を確立することを目的とした。このうち、作業環境濃度の推定については、研究代表者らは、実験室レベルで混合有機溶剤が蒸発し、それが気中にどのくらいの速度で発生するのか、また、それが経時的にどのように変化するのかについて、実験、理論の両面から検討を行い、良好な結果を得ている。しかし、気流と蒸発速度との関係や非定常状態における蒸発特性等については未解決であるため、本研究では、非定常状態を含む混合有機溶剤蒸気の発生速度を理論的、実験的に検討するとともに、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics (CFD))により環境中への蒸気の拡散を流体力学的に解析し、現場に応用できるモデルを確立する方法を検討した。さらに、原理の異なるセンサーを内蔵した 4 種類のリアルタイムモニタを用いて、有機溶剤中毒予防規則で作業環境測定の対象物質である全有機溶剤蒸気に対する感度を網羅的に調べるとともに、シンナー等、実際に使用されている代表

的な混合有機溶剤蒸気を定量する方法について検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 発生蒸気濃度の予測法

##### 実験装置及び方法

実験装置の概略を図 1 に示す。直径約 3 cm の円筒形のガラス製容器(蒸発セル)に有機溶剤を入れ、容積約 160 L の恒温槽内に静置した。温度、湿度をコントロールされた空気を恒温槽に一定速度で連続的に供給し、槽内 4 か所の空気をオートガスサンプラーで採取し、FID 付ガスクロマトグラフ(GC)で経時的に濃度を測定することにより、有機溶剤蒸気濃度の経時変化を調べ、これから蒸気の発生速度を計算した。また、有機溶剤の入った容器の重量を電子天秤を用いて定期的に秤量し、重量の減少量からも蒸発速度を求め、GC から求めた値と比較検討した。

有機溶剤の蒸発速度は温度、湿度、気流等の影響を受ける。そこで、実際の作業現場を想定して、供給する空気の温度及び湿度を変え、蒸発速度に及ぼすこれらのパラメータの影響についても実験的、理論的に検討した。溶剤は、単一物質として、トルエン、*o*-キシレン、メタノール、酢酸エチル、酢酸ブチル、メチルエチルケトン、アセトンの 7 物質、さらにこれらを組み合わせた 2 成分系の混合有機溶剤を用いた。溶剤はすべて、和光純薬あるいは関東化学の特級試薬を使用した。

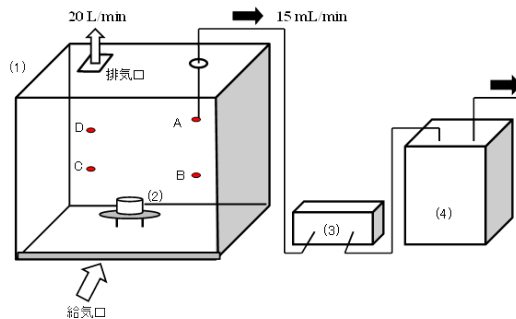


図 1 蒸発速度検討のための実験装置  
(1)恒温槽、(2)蒸発セル、(3)オートガスサンプラー、(4)FID-ガスクロマトグラフ

#### 理論的解析

恒温槽内の空気は下部の給気口から導入され、上部の排気口から排出される。蒸発セルの液面から蒸発した混合有機溶剤は、セル上面まで拡散により移動し、槽内を流れる空気とともに移動する。密閉系でなければ気相と液相が平衡状態に達することはないが、気液の界面のごく薄い部分(境界層内)はほぼ平衡状態にあると考えられる。このときの  $x_i$  を液相モル分率、 $y_i$  を気相モル分率とすると、平衡蒸気濃度  $C_i^*$ (ppm)は(1)式で表わされる。

$$P_i^* = y_i P = \gamma_i x_i P_i^{sat} = 9.869 C_i^* \quad (1)$$

ただし  $P_i^*$  は平衡分圧(Pa)、 $P$  は全圧(Pa)、 $P_i^{sat}$  は飽和蒸気圧(Pa)、 $\gamma_i$  は活量係数である。理想溶液では  $\gamma_i = 1$  であるが、一般の混合溶剤

では理想溶液ではないため、活量係数を求める必要がある。本研究では、活量係数 $\gamma_i$ の推算には以下に示す UNIFAC 式を用いた。

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad (2)$$

UNIFAC 式はグループ溶液モデルの一つで、分子を化学的基団(グループ)に分割し、それぞれの寄与を計算することにより、多成分の活量係数を推算することができる。(2)式において、右辺第1項は Combinatorial 項と呼ばれる成分分子の形状や大きさの差による寄与を表す項、第2項は Residual 項と呼ばれグループ間の相互作用エネルギーによる寄与を表す項である。詳細は平成 23 年度の科研費成果報告書(課題番号 20590623)に記載しているので省略するが、計算に必要なパラメータは、本実験の溶剤の組み合わせの系については既に得られているので、推算可能である。

気液界面における気相濃度を平衡蒸気濃度、界面から遠ざかるにつれて蒸気濃度は低下し、セルの上端ではほぼ環境濃度となると仮定する。このとき、蒸発速度は蒸発セル内の気相内の濃度勾配と、蒸発してから気相中を拡散する速度に関連するパラメータ(物質移動係数)によって決定される。この時の移動速度は次式で表される。

$$n \frac{dx_i}{dt} = k_i A (C_i - C_i^*) \times 10^{-6} \quad (3)$$

ただし、 $n$  は初期の液相全モル数、 $t$  は時間(min)、 $k_i$  は成分  $i$  の物質移動係数(mol/min $\cdot$ mm $^2$ )、 $A$  は蒸発面積(mm $^2$ )、 $C_i$  は容器上面の蒸気濃度を (ppm)である。

蒸発セルを出た蒸気は、気流に乗って槽内に拡散し、排気とともに系外に排出される。このときの恒温槽内の流体の流れは次式で示す Navier-Stokes 式(N-S 式)で表される。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} \quad (4)$$

ただし、 $U$  は流速、 $P$  は圧力、 $\mu$  は流速変動、 $x$  は距離、 $\rho$  は流体密度、 $\nu$  は動粘性係数である。(4)式の左辺第1項は時間変化の項、第2項は対流項、右辺第1項は質量力、第2項は圧力勾配、第3項は粘性拡散項、第4項は乱流拡散項を表す。これは1次元の記述であるが、実際は3次元である。N-S 式は非線形の2階偏微分方程式であり、特殊な場合を除き、一般的には解けないが、数値的に解くことはできる。ここでは市販の CFD ソフト(Flow Designer ver 4, アドバンスドナレッジ)を用いて槽内の気流の解析を行い、空気中を拡散する蒸気分子の動態のシミュレーションを試みた。

#### (2) 有機溶剤蒸気のリアルタイム測定法

有機溶剤蒸気に対する各種リアルタイムモニタの特性試験

20 L または 50 L のテドラーバッグ内に有機溶剤を所定量(管理濃度の 1/10, 1, 2 倍相当量)入れて気化させ、この蒸気の濃度を

GC で定量するとともに、光イオン化検出器(Photo Ionization Detector, PID)を有する2種類のモニタ(VM-30, 横河電機及び MiniRAE 3000, RAE Systems), 半導体センサーを有するモニタ(FTVR-02, フィガロ技研)及び干渉増幅反射法(Interference Enhanced Reflection Method, IER)を有するモニタ(VOC-121H, O.S.P.)の計4種類のリアルタイムモニタリング機器に対する各種有機溶剤の感度を調べた。有機溶剤は有機溶剤中毒予防規則の第1種, 第2種有機溶剤に指定されている全47物質(異性体を含むと52物質)を対象とし、これらの溶剤に対する各センサーの特性およびモニタの感度を網羅的に調べた。

#### リアルタイムモニタによる混合有機溶剤の測定法

20 L または 50 L のテドラーバッグ内にマイクロシリンジで単一有機溶剤または2種類の有機溶剤を所定量(管理濃度の 1/4, 1/2, 1 倍相当量)入れて完全に気化させ、蒸気の濃度を GC で定量するとともに、PID センサーを有するリアルタイムモニタ(MiniRAE 3000)でモニタリングした。1)の試験結果から、このモニタに対する感度が高い溶剤、中程度の溶剤および低い溶剤を選択し、それぞれの溶剤が単一蒸気のとときのモニタの指示値と、これらを任意に組み合わせ、2~4 成分の混合有機溶剤としたときの指示値を比較し、指示値とそれぞれの蒸気の濃度との関係を調べた。また、一方の濃度を固定して他方の濃度を変化させ、センサーの指示値から計算した濃度と、GC による濃度を比較検討し、混合有機溶剤蒸気の濃度をリアルタイムモニタで推定可能か否か検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 発生蒸気濃度の予測法

##### 実験値と計算値の比較

図2にトルエン-o-キシレン系の蒸気濃度の測定結果を示す。測定点は図1のA~D点で行ったが、図はA点における結果である。図は排気流量 20 L/min の時の結果である。

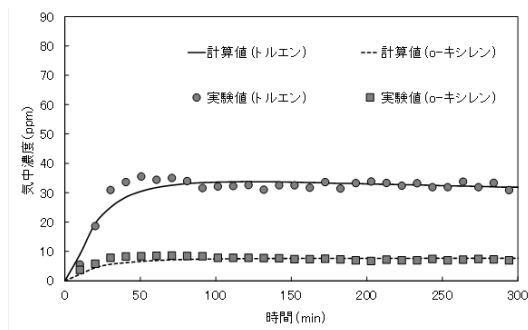


図2 トルエン-o-キシレン系における蒸気濃度の経時変化の例(A点)

また、気液界面の濃度を(1),(2)式から計算し、これに(3)式の数値論と CFD 解析により気中の任意の点の濃度を経時的に推定した

結果を図中に実線で示している。実験値と計算値はよく一致しており、実験で得られた傾向説明できているが、初期の濃度にやや差が見られる。この原因としては、CFDの空間メッシュの数に限界があり、精度の高い計算ができなかったことや、N-S式を解く際に仮定したパラメータの精度が十分ではなかったことなどが考えられる。

恒温槽内における濃度の空間分布を経時的にシミュレーションした結果を図3に示す。時間的空間的に蒸気が発生部から広がっていく様子が示されている。

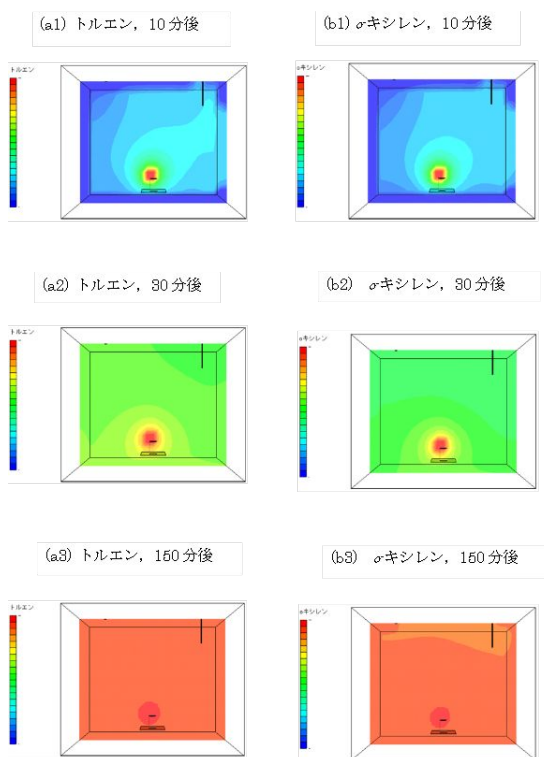


図3 トルエン - o-キシレン系における気中濃度分布の経時変化の例

#### 湿度の影響

槽内の空気の湿度を 20% , 50% , 80% と変えて、1)と同様に蒸発速度に及ぼす湿度の影響を調べた。その結果、高湿度では槽内の蒸気濃度がやや高くなる傾向が見られた。しかしながら、CFDによるシミュレーションでは湿度の影響は認められなかった。本モデルの蒸発速度式(3)式は、溶剤の平衡蒸気濃度と実際の気中濃度の差を推進力として蒸発すると仮定している。したがって、湿度は、拡散モデルには考慮されていても蒸発モデルには考慮されていないので、計算上は、発生蒸気濃度には影響を及ぼさないと考えられるが、実験的にはやや差が認められた。このことは、水蒸気と有機溶剤蒸気との間に相互作用が生じ、湿度が発生速度に影響を及ぼしている可能性が考えられる。これについてはさらに追加実験を行い、実験的に検証する必要がある。

#### (2) 有機溶剤蒸気のリアルタイム測定法

単一有機溶剤に対する各種リアルタイムモニタの特性

光イオン化検出器(PID)を備えたモニタ(VM30,横河電機,及び MiniRAE 3000, RAE Systems),干渉増幅反射法(IER,)を備えたモニタ(VOC-121H, O.S.P.)及び半導体センサーを有するモニタ(FTVR-02, フィガロ技研)の4種類のモニタについて、52種類の有機溶剤に対するモニタの特性を調べた。VM30については、21種類の溶剤がセンサーに全く反応しなかった。その他の物質についても反応はするものの、感度が低い物質が多かった。また、センサーの感度が日によって変動することも観察された。この原因として、センサーが長時間の使用により劣化していること、またこのモニタは空気の吸引力が弱いため、濃度がなかなか安定しないことが考えられた。そこで、センサーの交換を考えたが、この機種自体が生産中止となったため、同じPIDセンサーを用いた後継機で、空気の吸引流量も大きいMiniRAE 3000を購入し、同様の検討を行った。このモニタは、多くの有機溶剤に反応し、また、GCによる値との間にはいずれも直線的な関係が得られ、作業環境測定にも使用できる可能性が示唆された。ただし、反応はするものの、管理濃度の1/10が定量できず、作業環境測定には感度が不十分な物質も存在した。さらに、クロロホルム、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1,2,2-テトラクロロエタン、メタノールの5物質については、本センサーは応答を示さなかった。これは、これらの物質のイオン化電位が、モニタのPIDセンサーのイオン化電位(10.6eV)よりも大きいため、センサーの光源では溶剤分子をイオン化できず、センサーが蒸気を検知できなかったためと考えられる。

VOC-121Hはメタノール以外の51物質について反応を示したが、その内の18物質については回帰直線が原点を通らなかった。このセンサーは、高分子膜が蒸気を吸収して膨潤し、膜厚が変化することを利用したものであるが、回帰直線が原点を通らないのは、低濃度域で高分子膜の蒸気吸収量が飽和に近くなり、高濃度域での高分子の膨潤量が低濃度域よりも小さくなったためと考えられた。また、このモニタでは、12物質が管理濃度の1/10まで精度よく測定できなかった。したがって、これらを除く39物質が作業環境測定に適用可能と考えられた。

FTVR-02は34物質に対して応答を示した。このうち、回帰直線が原点を通るものが31物質あったが、全般的に感度が低く、モニタが物質に対して全く応答を示さなかった物質が18物質あった。しかし、他の2種のモニタが応答を示さなかったメタノールには感度を示し、直線性がみられた。FTVR-02については、管理濃度を考慮すると、33物質については管理濃度の1/10までは精度よく測定できず、メチルエチルケトンのみが作業環

境測定に適用可能であると考えられた。しかし、本モニタは購入時のモニタの感度が本来の値の約 1/10 と低かったため、本来の感度を有するセンサーを用いて再度検討する必要がある。

#### リアルタイムモニタによる混合有機溶剤蒸気の測定法

図 4 にトルエン - p-キシレン系の結果を示す。図の A と B はそれぞれ、単独溶剤の GC による値とモニタ表示値との比較である。トルエンは、GC による濃度が 15 ppm のときモニタ表示値は 28.1 ppm、p-キシレンについては、30 ppm のとき 54.1 ppm であることを示している。加成性が成り立つと仮定すれば、トルエン 15ppm と p-キシレン 30 ppm を混合した場合のモニタ表示値は 81.2 ppm となることが期待される。これを表示予測値としてモニタ表示値と比較したものが図の C である。図より、回帰式の傾きは 1.0 に近く、加成性が成立していることがわかる。実際、この系のモニタの表示予測値は 82.2ppm であり、実際の表示値 81.2ppm とほぼ一致した。

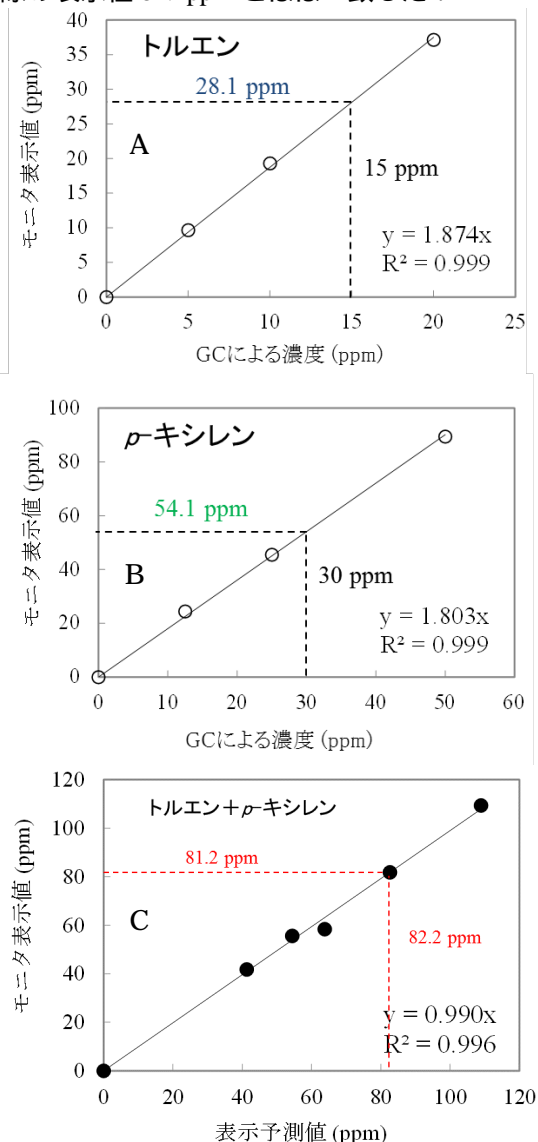


図 4 混合有機溶剤蒸気の測定法の説明図

センサーに対する感度が異なる任意の 2~4 成分系の混合溶剤についても、同様に検討した結果、いずれも同様に加成性が成り立つことが示された。したがって、任意の混合有機溶剤についても、リアルタイムモニタリング機器により各成分の濃度を評価できる可能性が示された。これは、混合有機溶剤作業のリスクアセスメントを実施する上で有用な情報であると考えられる。ただし、孫場合各成分の濃度比を知る必要があり、現状では、一か所で併行測定を行う、あるいは理論的に推定するなどの方法を併用する必要がある。

本研究結果から、新規に混合有機溶剤作業を始める場合には、使用する有機溶剤から蒸発速度を予測し、環境濃度あるいは曝露濃度を予測することにより、あらかじめ、効果的な局所排気装置や換気装置の設計、設置手法等を考えることが可能となる。また、既存の作業場についても、作業環境中の有機溶剤蒸気の濃度を、リアルタイムモニタを用いて測定し、リスクが高いと判断される場合には、効果的な対策を検討することができるようになる。したがって、本研究の成果は、混合有機溶剤作業のリスクアセスメント・リスクマネジメントを効果的に行う際に有用なツールになることが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 4 件)

Hori H, Ishimatsu S, Fueta Y, Hinoue M, Ishidao T, Characteristics of a Real Time Monitor Using the Interference Enhanced Reflection Method for Organic Vapors. J UOEH 35: 2013, 267-272

Hori H, Ishimatsu, S, Fueta Y, Ishidao T, Evaluation of a real-time method for monitoring volatile organic compounds in indoor air in a Japanese university. Environmental Health and Preventive Medicine, 18, 2013, 285-292

石田尾 徹, 石松 維世, 樋上 光雄, 笹田 由紀子, 保利 一, 蒸発に伴う 2 成分混合有機溶剤蒸気濃度の経時変化の推算法, 作業環境, 34(2), 2013, 73-78

保利 一, 石松 維世, 笹田 由紀子, 樋上光雄, 石田尾 徹, PID センサーを内蔵したリアルタイムモニタの有機溶剤蒸気に対する反応特性, 産業医科大学雑誌, 34(4), 2012, 363-368

(学会発表)(計 21 件)

保利 一, 石松 維世, 樋上 光雄, 笹田 由紀子, 石田尾 徹, PID センサーを有するリアルタイムモニタの混合有機溶剤蒸気に対する応答特性, 第 87 回日本産業衛生学会, 岡山, 2014 年 5 月 23 日  
古山 由佳, 石田尾 徹, 石松 維世, 笹田 由紀子, 樋上 光雄, 保利 一, PID センサーを有するリアルタイムモニタの混合有機溶剤蒸気に対する応答特性,

第 53 回日本労働衛生工学会, 松山, 2013 年 11 月 13 ~ 15 日

古山 由佳, 石田尾 徹, 石松 維世, 樋上 光雄, 笛田 由紀子, 柘野 幸生, 保利 一, リアルタイムモニタの混合有機溶剤に対する応答特性, 第 31 回産業医科大学学会, 北九州, 2013 年 10 月 26 日

石田尾 徹, 石松 維世, 樋上 光雄, 笛田 由紀子, 保利 一, 2 成分系混合有機溶剤の蒸発に伴う気中濃度の時間的・空間的変動の推算, 第 86 回日本産業衛生学会, 松山, 2013 年 5 月 14 ~ 17 日

保利 一, 石松 維世, 樋上 光雄, 笛田 由紀子, 石田尾 徹, 有機溶剤蒸気濃度測定における各種リアルタイムモニタリング, 第 86 回日本産業衛生学会, 松山, 2013 年 5 月 14 ~ 17 日

那須 愛子, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 保利 一, 半導体センサを内蔵したリアルタイムモニタによる住居内の TVOC 濃度の連続モニタリング, 2012 年度日本室内環境学会, 東京, 2012 年 12 月 15 ~ 16 日

矢山 裕展, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 保利 一, 容器から自然拡散により蒸発する 2 成分系混合有機溶剤蒸気濃度の推算, 第 52 回日本労働衛生工学会, 福岡, 2012 年 11 月 14 ~ 16 日

中山 綾香, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 保利 一, 有機溶剤蒸気に対するリアルタイムモニタの有用性評価, 第 52 回日本労働衛生工学会, 福岡, 2012 年 11 月 14 ~ 16 日

中山 綾香, 石田尾 徹, 樋上 光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利 一, 有機溶剤蒸気に対する各種リアルタイムモニタの特性評価, 第 30 回産業医科大学学会, 北九州, 2012 年 10 月 20 日

那須 愛子, 石田尾 徹, 樋上 光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利 一, 半導体センサを内蔵した簡易測定器による住居内の VOC 連続モニタリング, 第 30 回産業医科大学学会, 北九州, 2012 年 10 月 20 日

矢山 裕展, 石田尾 徹, 笛田 由紀子, 石松 維世, 樋上 光雄, 保利 一, 非定常状態における 2 成分系混合有機溶剤の蒸気濃度の推算, 第 30 回産業医科大学学会, 北九州, 2012 年 10 月 20 日

石田尾 徹, 樋上 光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利 一, 有機溶剤蒸気濃度測定における簡易測定器の有用性評価, 第 30 回産業医科大学学会, 北九州, 2012 年 10 月 20 日

Hori H, Ishimatsu S, Hinoue M, Fueta Y, Ishidao T, Prediction of vapor concentrations continuously emitted from bicomponent organic solvents, The 9th IOHA International Scientific Conference, Kuala Lumpur, 2012

年 9 月 18 日 ~ 21 日

石田尾 徹, 樋上 光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利 一, 有機溶剤蒸気濃度測定における簡易測定器の有用性評価, 第 85 回日本産業衛生学会, 名古屋, 2012 年 5 月 30 日 ~ 6 月 2 日

保利 一, 川瀬 敬三, 石田尾 徹, 石松 維世, 樋上 光雄, 笛田 由紀子, 非定常状態における混合有機溶剤の蒸発に伴う気中濃度蒸気の推算, 第 85 回日本産業衛生学会, 名古屋, 2012 年 5 月 30 ~ 6 月 2 日

Hori H, Ishidao T, Ishimatsu S, Fueta Y, Hinoue M, Change in vapor concentrations emitted from multicomponent organic solvents, 30th International Congress on Occupational Health, Cancun, Mexico, 2012 年 3 月 21 日

川瀬 敬三, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 保利 一, 蒸発に伴う多成分系混合有機溶剤蒸気濃度の経時変化の推算法, 第 51 回日本労働衛生工学会, 宇都宮, 2011 年 11 月 18 日

山下 浩末, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 柘野 幸生, 保利 一, リアルタイムモニタリング機器による混合有機溶剤蒸気濃度の簡易測定法, 第 29 回産業医科大学学会, 北九州, 2011 年 10 月 18 日

川瀬 敬三, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 樋上 光雄, 柘野 幸生, 保利 一, 蒸発に伴う多成分系混合有機溶剤蒸気濃度の経時変化の推算法, 第 29 回産業医科大学学会, 北九州, 2011 年 10 月 18 日

保利 一, 石田尾 徹, 石松 維世, 樋上 光雄, 笛田 由紀子, 作業環境における混合有機溶剤蒸気濃度の経時変化の推算法, 第 84 回日本産業衛生学会, 東京, 2011 年 5 月 19 日

② 樋上 光雄, 石田尾 徹, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利 一, 有機溶剤蒸気濃度測定におけるポータブル VOC モニタの有用性評価, 第 84 回日本産業衛生学会, 東京, 2011 年 5 月 19 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

保利 一 (HORI, Hajime)  
産業医科大学・産業保健学部・教授  
研究者番号: 70140902

### (2) 研究分担者

石田尾 徹 (ISHIDAO, Toru)  
産業医科大学・産業保健学部・講師  
研究者番号: 90212901

樋上 光雄 (HINOUE Mitsuo)  
産業医科大学・産業保健学部・助教  
研究者番号: 40588521