

令和 2 年 4 月 6 日現在

機関番号：37116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K09173

研究課題名(和文) ウェアラブルデバイスとしてのシート状拡散型サンプラ - の開発

研究課題名(英文) Development of a sheet-type diffusion passive sampler as a wearable device

研究代表者

宮内 博幸 (Miyuchi, Hiroyuki)

産業医科大学・産業保健学部・教授

研究者番号：90784025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では個人曝露測定用の操作しやすくかつ低コストである有機溶剤蒸気用のシート状拡散型サンプラ - の開発を試みた。Sampling Rateは4.5ng/(ppm・min)(1.2ml/min)となった。トルエンを測定対象物質として検討した結果、添加回収率は94%以上、20 ppm(TLV-TWA)のトルエン蒸気を4時間捕集後、9日間の保存後の回収率は4 で98.4%と良好だった。応用研究として、一般的に使用されている作業服や防護服等に、本サンプラ - を内外に貼り付けて測定し、実際の有機溶剤取扱い作業時における防護性能を評価する方法を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

作業者が曝露する化学物質濃度を把握することは、化学物質による健康障害の防止として重要である。しかし、この測定機器である拡散型サンプラ - は、クリップやピンを使用して作業者の襟元に装着するものが多く、実際の製造現場では落下や製品への混入、ピンによる針刺し事故のリスクもあった。開発した本サンプラ - はシート状のためこのリスクは無い。また、使用されている防護手袋や防護衣の防護性能評価に使用可能なため、働く方々の健康障害防止に大きく寄与する。

研究成果の概要(英文)：An easy-to-operate layered passive sampler is developed in this study. Experiments are conducted to determine the effectiveness of ACF for absorbing toluene organic solvent vapor. Calculated sampling rate (SR) was 4.5 ng/(ppm・min)(1.2 ml/min). TLV(20 ppm) was sampled for 4 hours. The recovery rates of the spike and recovery test are 94% or more, and the recovery rates of 8th day on storage tests with a sampled toluene of 20 ppm for 4 hours was 99.8% stored at 4 °C.

As an applied research, this sampler was affixed to the inside and outside of commonly used work clothes and protective clothing, etc., and measurement was conducted to examine a method of evaluating the protective performance during actual organic solvent handling work.

研究分野：作業環境管理

キーワード：パッシブサンプラ - 繊維状活性炭 ばく露濃度測定 リスクアセスメント 作業環境測定 透過速度
化学防護手袋 化学防護服

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成 26 年 6 月に危険有害性がある全ての化学物質については化学物質リスクアセスメントを行うことが法制化され¹⁾、日本産業衛生学会 産業衛生技術部会よりは「個人ばく露測定に関するガイドライン」²⁾も作成された。個人ばく露濃度測定を活用したリスクアセスメントの普及には、汎用なばく露サンプラーの開発が必須であるが、使用する時に安全上のリスクや費用がかかる問題があった。

2. 研究の目的

化学物質を取扱っている作業場では引火性物質を使用している場所も多い。そのような現場では電動ポンプを使用せず、自然拡散現象の利用による拡散型サンプラーが有用と言える。ただし、現在、使用されているパッシブサンプラーは、その形状が立体的で、労働者の襟元や胸元にクリップやピンのみで固定して装着するものがほとんどである。作業者の複雑な動きにより脱落して製品に混入、ピンによる針刺し事故も見受けられ、今後広く普及させるには多くの問題があった。そこで普及可能なシート状のサンプラーを開発することにより、いろいろな領域で活用され、化学物質による労働者の健康障害防止に役立つサンプラーを開発し、応用した活用方法についても研究することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) サンプラーの開発

使用機器

図 1 に開発したサンプラーの構造図と写真を示した。開発したサンプラーは縦横 3 cm のシート状で、重さは約 0.5 g とごく軽量である。繊維状活性炭 ACF (Activated Carbon Fiber) を中心とした 5 層のシートから構成される。検討に用いたばく露実験装置の概略図を図 2 に示した。検討の対象とした有機溶剤はトルエンとした。微量濃度校正用ガス発生装置 Permeater PD-1B (ガステック) の恒温槽温度を 50 に設定し、トルエン蒸気を発生させた。温湿度・流量制御装置には微小流量用温湿度制御装置 KTC-Z02A-S (コトヒラ工業) を用いた。またばく露セルの空調には、精密空調・局所空調 PAU-800S (アビステ) を用いた。

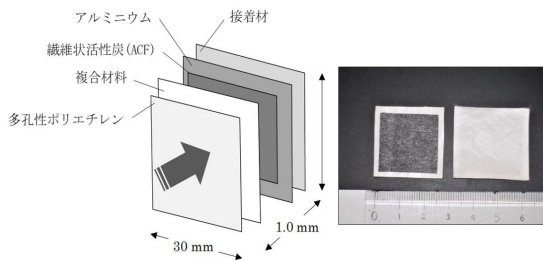


図 1 サンプラーの概略図と写真

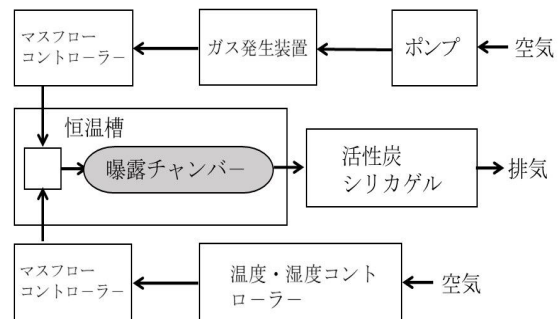


図 2 サンプラーばく露実験装置の概略図

分析方法

トルエンの測定方法は OSHA Method No.111, NIOSH Manual 4000、作業環境測定ガイドブック No.5 などにて報告されており、活性炭により固体捕集する方法が確立されている。したがって、線維化した活性炭材である ACF を捕集材とし、ガスクロマトグラフ (GC) 分析法により検討した。トルエンを吸着させたシート状サンプラー内の ACF を取り出し、二硫化炭素試薬特級 (和光純薬工業) 2.0 ml にて脱着を行った。脱着液を Flame ionization detector 検出器付ガスクロマトグラフ (GC-FID) HP 6890 Series (Hewlett-Packard) に 1.0 μ l を導入してトルエン濃度を求めた。カラムは DB-WAX 30 m \times 0.32 mm, 0.50 μ m (J&W) を用い、温度条件 10 にて 1 分、10 毎分にて 80 まで昇温させ分析した。

実験条件

ACF の捕集性能を調べるために、ACF をバイアルピンに入れ、トルエン二硫化炭素溶液を調整し、マイクロシリンジにてトルエン 1.29 μ g、4.67 μ g、12.9 μ g、25.9 μ g を添加した (各 n=5)。その後 25 にて 4 時間保存した後に脱着を行い、回収率を求めた。捕集後サンプラーの保存安定性を調べるために、サンプラーをトルエン標準ガス TLV-TWA 20 ppm、20、相対湿度 40% の環境下にて 4 時間ばく露後、速やかにアルミ製の密閉袋に入れ、4 及び 25 にて保存した。捕集直後を基準として 0~8 日目の保存率を確認した。ばく露濃度・ばく露時間と捕集量の関係の評価するためには、4、10、20 ppm のトルエン蒸気に 1、2、3、4 時間ばく露後に捕集量を求めた。測定時の気象状態による影響を調べるために、温度を 15 から 35 の範囲にて (トルエン濃度 10 ppm, 相対湿度 47%, 風速 0.1 m/s の条件下), 相対湿度は 33% から 75% (温度 25, 風速 0.1 m/s の条件下), 気流は 0.06 m/sec ~ 0.3 m/sec (10 ppm, 30, 相対湿度 47% の条件下) にて試験を行った。

(2)防護衣性能試験への応用

測定対象とした防護衣等は白衣(a)、作業服(b)、2種類の化学防護服(c、d)とした(表1)。製品A、Bは調合作業を想定し、屋外にて容器に入ったトルエンの移し替え作業時に装着して30分間の測定を行った。製品C、Dはリネンサプライ業のシミ抜き作業場にて、実際の洗浄作業時に装着して30分間の測定を行った。

表1 試験対象防護衣

記号	製品の種類	素材	厚さ(mm)	その他
A	白衣	ポリエステル80% 綿20%	0.38	シングルボタン
B	作業衣	ポリエステル100%	0.55	厚手
C	化学防護服I	不織布+ポリマーコーティング	0.38	JIS T8115の分類 タイプ3-6
D	化学防護服II	不織布+ポリマーコーティング+バリアフィルム+ポリマーコーティングの4層構造	0.23	JIS T8115の分類 タイプ3-6

表2 トルエンのサンプリングへの回収試験結果

トルエン添加量(μg)	回収率(%) (n=5)		
	平均	標準偏差	相対標準偏差(%)
1.29	101.6	7.4	7.3
4.67	100.5	3.5	3.5
12.9	93.9	6.6	7.0
25.9	95.8	4.3	4.5

4. 研究成果

(1)サンプリングの開発

トルエン添加量 1.29 μg ~ 25.9 μg において、平均回収率 (n=5) は 95.8% ~ 101.6% と良好であった(表2)。捕集後サンプリングの保存安定性は、25℃の8日目まで90.2%、4℃の8日目まで99.8%の保存率となり、許容濃度付近にての測定後、冷蔵にて約1週間の保存が可能と言えた(図3)。ばく露時間と全捕集量の関係を図4に示した。その結果、各試験ガス濃度ともばく露時間と全捕集量は比例関係にあった。この条件におけるばく露時間と全捕集量の関係より求めた Sampling Rate (SR) は 4.5 ng/(ppm・min) (1.2 ml/min) となった。

脱着液中トルエン濃度の定量下限値は 2.00 μg/sample となった。これは TLV 20 ppm の 1/10 である 2 ppm を 4 時間サンプリングした場合の脱着液濃度になる 2.18 μg/sample より低い値となった。

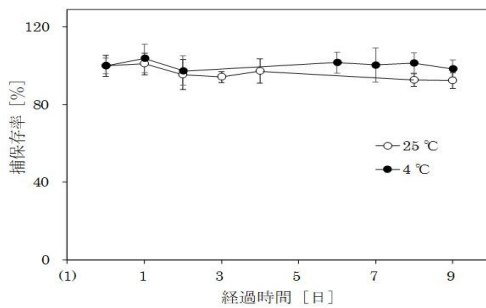


図3 サンプリングの 25℃ と 4℃ 保存による捕集量の経時変化

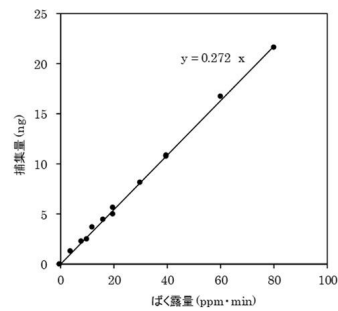


図4 ばく露時間と全捕集量の関係

サンプリングの室内気象状態による影響を調べた結果を図5に示した。図5(a)には、温度と捕集量の関係を示した。その結果、温度 15 ~ 30℃ ではサンプル捕集量は一定であったが、30℃から35℃では捕集量は 5% で 13.1% 上昇した。図5(b)には、相対湿度と捕集量の関係を示した。相対湿度 48% から 75% に上がると捕集量は相対湿度 27% で 9.4% 現象した。図5(c)は風速と捕集量の関係を示した。風速 0.1 m/s ~ 0.06 m/s の変化による減衰は 13.2% であった。以上の結果から、実験を行った温度、相対湿度、風速の範囲内にてサンプリングが可能と言えた。

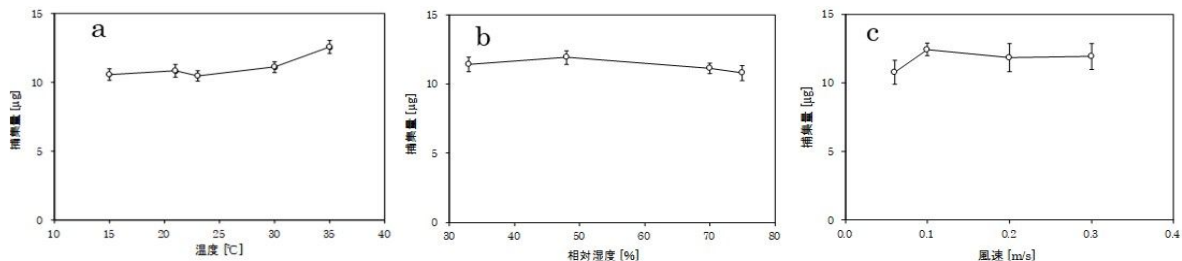


図5 トルエン捕集量と環境要因である温度(a)、相対湿度(b)、風速(c)との関係

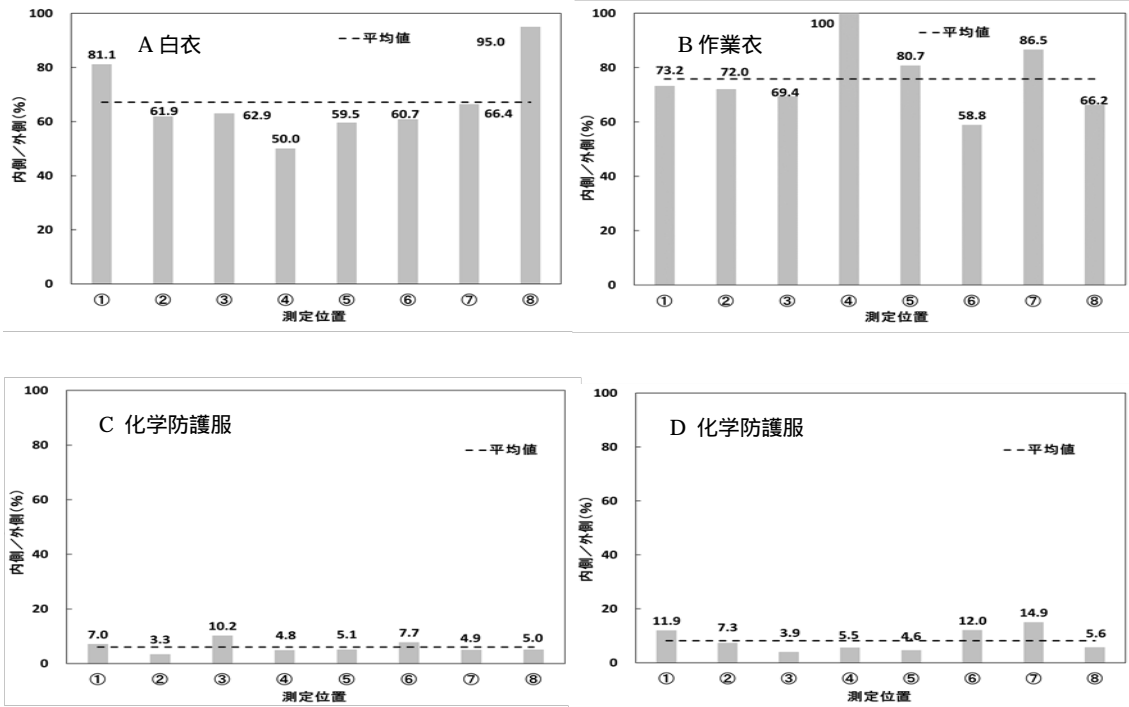


図6 各防護におけるトルエン濃度の内側/外側の割合(%)

(2)防護衣性能試験への応用

試験対象防護衣の内側/外側の割合を図6に示した。試験対象防護衣A、B、C、Dの平均の内側/外側の割合は各々、67.2%、75.8%、6.0%、8.2%であった。化学防護服では平均の内側/外側がC 6.0%、D 8.2%と白衣や綿作業服に比べて低い値であった。ただし、Cの部位③やDの部位⑥では10%を超えており、襟元やファスナー部分の僅かな隙間からトルエン蒸気の流入が、Dの部位⑥では12%を超えており、袖と手首の隙間からのトルエン蒸気流入も原因の一つと推定された。本研究により製品の防護性能を有効に使用するには、防護服の襟や袖口、裾、ファスナー部等と人体との隙間をできるだけなくす指導や管理が重要であることが分かった。その他、防毒マスクのマスク内濃度測定など、他の分野への応用も可能と思われた。

引用文献

- 厚生労働省 (2005), 労働安全衛生法の一部を改正する法律. 平成 26 年法律第 82 号. 厚生労働省, 東京 <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyoku/0000049223.pdf>
- 日本産業衛生学会 産業衛生技術部会 個人ばく露測定に関する委員会 (2015), 化学物質の個人ばく露測定のガイドライン. 産業衛生学雑誌 57(2), 2015, A13-A60

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤田 ゆかり, 田中茂, 津田洋子, 宮内博幸
2. 発表標題 シート状サンプラーによる手袋内の皮膚表面曝露濃度測定方法の開発
3. 学会等名 第91回 日本産業衛生学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内博幸
2. 発表標題 個人曝露測定用シ - ト状サンブラ - の開発およびその応用
3. 学会等名 第91回 日本産業衛生学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内博幸
2. 発表標題 パッシブサンブラ - を用いた手袋内外測定方法の開発
3. 学会等名 第28回 日本産業衛生学会全国協議会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田ゆかり, 石橋洋行, 小山武尊, 宮内博幸
2. 発表標題 シート状サンプラーによる皮膚表面曝露濃度測定方法の開発
3. 学会等名 第58回 日本労働衛生工学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 有機溶剤の捕集器ならびに捕集方法、および有機溶剤量の測定方法	発明者 宮内博幸	権利者 産業医科大学
産業財産権の種類、番号 特許、2018-018326	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----