

厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）
総合研究報告書

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の策定およびリスク低減化に関する研究

室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

研究分担者	酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	室長
研究協力者	田原麻衣子	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	主任研究官
研究協力者	田中 礼子	横浜市衛生研究所	理化学検査研究課	医務職員
研究協力者	村木 沙織	横浜市衛生研究所	理化学検査研究課	技術職員
研究協力者	大嶋 直浩	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	主任研究官
研究協力者	高木規峰野	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	研究助手
研究協力者	高橋 夏子	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	研究補助員
研究協力者	高橋 文子	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	研究補助員

【1年目：令和3(2021)年度】

ガスクロマトグラフィー質量分析法 (GC/MS) のキャリアーガスにはヘリウムが汎用されているが、昨今の世界的な供給不足により、ヘリウム代替ガスを用いた標準試験法の開発が求められている。本研究では、室内空气中揮発性有機化合物(VOC)の標準試験法に水素及び窒素が適用できるかどうか検討した。キャリアーガス毎の検出限界・定量限界を検証するために標準品のピーク面積及びシグナルノイズ比を比較した結果、ヘリウムの感度が最も高く、水素、窒素と続いた。いずれのキャリアーガスを用いた測定においても 0.1–100 µg/mL の濃度範囲で概ね良好な直線性を示し、室内濃度指針値の 1/100 程度まで定量分析することが可能であったことから、GC/MS を用いた室内空气中 VOC の標準試験法に水素もしくは窒素が適用できることが示された。

【2年目：令和4(2022)年度】

新型コロナウイルス感染症対策として手指消毒用アルコールの使用が励行され、室内空气中のエタノール濃度が増加している。本研究は、2-Ethyl-1-hexanol (2E1H), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate (TMPD-MIB), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate (TMPD-DIB) の測定において、室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼすかどうか検証した。加熱脱離 (TD) 法ではエタノール濃度の違いによる回収率の差異は認められなかった。一方、溶媒抽出 (SE) 法ではエタノール高濃度条件下、2E1H と TMPD-MIB の回収率が高くなり、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼす可能性が考えられた。SE 法に使用されるカーボンビーズアクティブ捕集管は、高湿度下におけるアルコール類の回収率が低下することから、室内におけるエタノール濃度以外にも湿度が測定に影響を及ぼす可能性が考えられた。

【3年目：令和5(2023)年度】

「室内空气中化学物質の測定マニュアル」に掲載されるトルエン、*o*-, *p*-, *m*-キシレン及び *p*-ジクロロベンゼン等揮発性有機化合物の測定方法 第2報 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法には、測定対象となる VOC を捕集するための捕集管がいくつか例示されている。本研究では、Carbotrap™-217 捕集管を用いて、室内濃度指針値策定物質および室内濃度指針値代替化学物質を含む 53 物質の測定に関し、検量線の妥当性評価を実施した。作成した検量線のうち、妥当性評価の結果が最も良好であったものは「5-50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5-50 ng), 重み付け有」であり、2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB の測定に適用可能であることが明らかになった。

A. 目的

我々はこれまでに、室内空气中揮発性有機化合物(VOC)を測定するためのガスクロマトグラフィー質量分析法(GC/MS)を用いた標準試験法を開発し、国内・国際規格化を推進してきた。GC/MSを用いた測定のキャリアガスにはヘリウムが汎用されている。わが国ではヘリウムを産出することが出来ないため、その全量を輸入に依存している。ヘリウムの産出国は限定されており、原産国の備蓄制限や生産量が不安定であること、半導体デバイス製造や医療機器分野における需要拡大等が世界的な供給不足に拍車をかけている。上述の背景に加え、将来的に安定的なヘリウム供給が期待できないことから、代替キャリアガスを用いた試験法の開発が急務となっている。本研究では、ヘリウム代替キャリアガスとして、水素及び窒素を用いた試験法を開発し、その定量性について確認した。

新型コロナウイルス感染症の蔓延以来、感染防止対策として手指や什器などのアルコール消毒が励行されるようになった。これに伴い、室内空气中のエタノール濃度は新型コロナウイルス感染症蔓延以前よりも増加していることは想像に難くない。本研究は、Toluene, Xylene, Ethylbenzene,

Styrene, 1,4-Dichlorobenzene, *n*-Tetradecane の室内濃度指針値策定物質および 2-Ethyl-1-hexanol (2E1H), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate (TMPD-MIB), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate (TMPD-DIB)の測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼすかどうか検証するために添加回収試験を行った。

「室内空气中化学物質の測定マニュアル(室内空气中化学物質の採取方法と測定方法)」に掲載されるトルエン、*o*-, *p*-, *m*-キシレン及び *p*-ジクロロベンゼン等揮発性有機化合物の測定方法 第2報 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法には、測定対象となる VOC 類を捕集するための捕集管がいくつか例示されている。本研究では、Carbotrap™-217 捕集管 (Or217 捕集管)を用いて、Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, 1,4-Dichlorobenzene, *n*-Tetradecane の室内濃度指針値策定物質、および 2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB を含む VOC 類 53 物質の測定に関し、真度・併行精度・キャリアオーバーに関する検量線の妥当性評価を実施した。

B. 方法

GC/MS 測定におけるヘリウム代替キャリアガ

スの検討

1. 測定対象物質

本研究における検討対象物質は、室内濃度指針値が設定されている Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, 1,4-Dichlorobenzene, *n*-Tetradecane の 6 物質とした。内部標準物質には Toluene-*d*₈ 標準品を用いた。

2. 装置

GC-MS: Agilent 5977B GC/MSD システム

多機能オートサンブラ: PAL3 RSI

高純度水素ガス発生装置: NM-Plus 160

3. GC/MS 分析条件の検討

ヘリウムをキャリアガスとした測定では Rtx[®]-1 (0.32 mm i.d. x 60 m, 膜厚 1 μm) を、窒素及び水素をキャリアガスとした測定では Rxi[®]-1ms (0.25 mm i.d. x 60 m, 膜厚 1 μm) を用いて分析した。

室内におけるエタノール濃度が室内空气中揮発性有機化合物の測定に及ぼす影響について

1. 室内空气中のエタノールの分析

室内空气中のエタノールは Or217 捕集管を用いた加熱脱離 (TD) 法で測定し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づく検量線の評価を行い、定量下限値と検出限界値を算出した。

2. 加熱脱離(TD)法および溶媒抽出(SE)法を用いた VOC 類の検量線の評価

室内空气中の VOC 類は、TenaxTA 捕集管を用いた TD 法およびカーボンビーズアクティブ捕集管を用いた SE 法で測定し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づく検量線の評価を行い、定量下限値と検出限界値を算出した。

3. 室内空气中のエタノール濃度の違いによる VOC 類の回収率の比較

冬季と夏季の 2 回にわたり、それぞれ連続した

2 日間に VOC 類の添加回収試験を実施した。添加回収試験は TD 法および SE 法を同時併行で行い、横浜市内の会議室において室内空気を捕集した。冬季・夏季とも 1 日目は通常状態における VOC 類の回収率を測定した。2 日目は会議室内の机上に 80% (v/v) エタノール水溶液を数回噴霧することにより室内空气中にエタノールが揮散した状態を作り出した上で、1 日目と同様に VOC 類の回収率を測定した。添加回収試験の際には室内空气中のエタノール濃度を測定し、その結果と VOC 類の回収率とを比較することで、室内におけるエタノール濃度が VOC 類の測定に及ぼす影響を検証した。

CarbotrapTM-217 捕集管を用いた TD 法による VOC 類検量線の検証

1. 試薬および試料

VOC 類は Indoor Air Standard (VOC 50 mix : 各 100 μg/mL メタノール溶液), 2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB 標準品を用いた。内部標準物質は内部標準ガス (C₇H₈-*d*₈・C₆H₅F・C₆H₅Cl-*d*₅ 各 1 ppm / N₂), 希釈溶媒はメタノール (残留農薬・PCB 測定用 5000 倍濃縮検定品) を用いた。

2. 検量線の作成

VOC 50 mix 検量線

氷冷下 VOC 50 mix をメタノールで段階的に希釈し、2–50 μg/mL の 50 mix 標準系列を調製した。続いて、窒素通気下にて予めクリーンアップした Or217 捕集管に 50 mix 標準系列を 1 μL 添加し、1 分 20 秒間窒素を通気後、DiffLokTM Cap にて密栓した。各検量線用試料に添加される VOC 50 mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。TD-GC/MS を用いて VOC 50 mix 検量線用試料を測定し、得られた測定対象物質のピーク面積値と内部標準物質 Toluene-*d*₈ のピーク面積値を求め、これらの面積比と検量線用試料に含まれる測定対象物質の重量から VOC 50 mix 検量線を作成した。

VOC 3 mix 検量線

メスフラスコに 2E1H を 1.0 g 量り取り、メタノールを加えて 100 mL に定容し、10 mg/mL の 2E1H 標準原液を調製した。同様に TMPD-MIB および TMPD-DIB についても標準原液を調製した。さらに、これら 3 種の標準原液を一定量分取し、混合してメタノールで希釈し、2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB を各 100 µg/mL 含有する混合標準液 (3 mix 混合標準液) を調製した。氷冷下 3 mix 混合標準液をメタノールで段階的に希釈し、2, 5, 10, 20, 50 µg/mL の 3 mix 標準系列を調製した。続いて、窒素通気下にて予めクリーンアップした Or217 捕集管に 3 mix 標準系列を 1 µL 添加し、1 分 20 秒間窒素を通気後、DiffLok™ Cap にて密栓した。各検量線用試料に添加される VOC 3 mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。TD-GC/MS を用いて VOC 3 mix 検量線用試料を測定し、得られた測定対象物質のピーク面積値と内部標準物質 Toluene-*d*₈ のピーク面積値を求め、これらの面積比と検量線用試料に含まれる測定対象物質の重量から VOC 3 mix 検量線を作成した。なお、TMPD-MIB については各異性体のピーク面積を合算した後、同様に検量線を作成した。

3. ブランク試料の分析

予めクリーンアップした Or217 捕集管をブランク試料として、TD-GC/MS にて測定を行った。得られた測定対象物質のピーク面積値と内部標準物質 Toluene-*d*₈ のピーク面積値を求め、これらの面積比と VOC 50 mix 検量線あるいは VOC 3 mix 検量線からブランク試料に含まれる測定対象物質の重量を算出した。

4. 分析装置および条件

TD 条件 (Or217 捕集管の分析条件)

- ・ TD 装置 : TD100-xr
- ・ 捕集管加熱温度 : 340°C
- ・ 捕集管パージ時間 : 10 分
- ・ 捕集管パージ流量 : 50 mL/分

- ・ キャリヤーガス : He
- ・ トラップ管 : General Purpose Carbon Cold Trap
- ・ トラップ冷却温度 : -20°C
- ・ トラップ加熱温度 : 320°C
- ・ ライン温度 : 250°C
- ・ TD スプリット比 : 10

GC/MS 条件

- ・ GC/MS 装置 : JMS-Q1500GC
- ・ カラム : VF-1MS 60 m × 0.25 mm × 1.0 µm
- ・ 昇温条件 : 35°C (6 分) → 3°C/分 → 100°C (0 分) → 8°C/分 → 250°C (3 分) → 20°C/分 → 300°C (0 分)
- ・ 注入モード : 全量注入
- ・ カラムコントロール : Constant Flow
- ・ 注入量 : 2 mL/分
- ・ イオン源温度 : 250°C
- ・ インターフェイス温度 : 250°C
- ・ 測定モード : Scan 測定

C. 結果および考察

GC/MS 測定におけるヘリウム代替キャリアガスの検討

1. クロマトグラムの比較

いずれのキャリアガスにおいても定性・定量分析に問題ない良好な分離能を有することが明らかになった。

2. シグナル強度及びシグナルノイズ比の比較

水素を用いた際のシグナル強度は、ヘリウムと比較して 1.7~2.6 倍と高く、窒素を用いた際のシグナル強度は、ヘリウムと比較して 1.1~1.7 倍と高かった。他方、シグナルノイズ比 (S/N 比) については、水素はヘリウムと比較して 6.8~40.1% 低く、窒素はヘリウムと比較して 2.1~8.9% と顕著に低かった。水素、窒素がヘリウムよりもシグナル強度が高かったにも関わらず、S/N 比が大幅に低かった原因として、高いノイズ強度が影響したと考えられる。また、窒素で極端に感度が低下

した原因として、窒素がイオン源において選択的に除去されず、分析部に導入されたことが考えられた。

3. 検量線の直線性の比較

ヘリウム及び水素において、0.1–100 µg/mL の濃度範囲で決定係数 (R^2) 0.9976–1.000 を与え、良好な直線性を示した。他方、最も感度が低い窒素では、ほとんどが良好な直線性 ($R^2 > 0.99$) を示したが、テトラデカンの決定係数が 0.99 を下回ったため、濃度範囲を 0.1–20 µg/mL に設定し、決定係数は 0.9948 を与えた。

4. 検出限界及び定量限界の比較

本研究では、検出限界付近の濃度（注入量 0.1 ng）の 5 回繰り返し測定標準偏差 (σ) の 3 倍 (3σ) を検出限界、10 倍 (10σ) を定量限界とした。いずれのキャリアガスにおいてもヘリウムと遜色なく測定できることが明らかとなった。日本薬学会環境・衛生部会が示す衛生試験法に基づいて 100 mL/min の流速で 24 時間室内空気をサンプリングした際 ($144 \text{ L} = 0.144 \text{ m}^3$) に、いずれのキャリアガスを用いた場合においても室内濃度指針値の 1/100 程度まで定量することが可能であった。

5. 分析機種の違いによる影響

分析機種の違いによる影響を確認するため、島津製作所製 (GC-2010Plus/ GCMS-QP2020) を用いて同様の条件で分析した。ヘリウム及び窒素のキャリアガスにおいて、いずれの化合物も 0.1–100 µg/mL の濃度範囲で決定係数 (R^2) が 0.99 以上であり、定量限界値 (LOQ = Toluene: 1.6 µg/m³, Ethylbenzene: 2.5 µg/m³, *m,p*-Xylene: 1.8 µg/m³, *o*-Xylene: 2.0 µg/m³, Styrene: 6.3 µg/m³, 1,4-Dichlorobenzene: 5.7 µg/m³, Tetradecane: 3.6 µg/m³) であり、指針値の 1/100 程度まで定量が可能であったことから、分析機種の違いによる影響に顕著な差は認められなかった。

室内におけるエタノール濃度が室内空气中揮発性有機化合物の測定に及ぼす影響について

1. 室内空气中のエタノールの分析

1.1 エタノールの検量線の妥当性評価

Or217 捕集管を用いた TD 法によるエタノールの検量線には、低濃度域 (5–50 ng) および高濃度域 (50–1,500 ng) の 2 種類を作成し、それぞれ検量線の重み付けの有無に関し、検量線の真度、精度、キャリアオーバーを評価した。

1.1.1 真度および精度

検量線用試料の測定を行い、1.1 に示した各検量線を 3 回ずつ作成し、真度および精度を評価した。水道水質検査方法の妥当性評価の目標値は、各検量点の真度が調製濃度の 80–120% 以内であること、精度が相対標準偏差 20% 以内であることとされている。いずれの検量線の真度、精度はこれらを満たしたが、重み付け有の方がより良好な評価結果であった。

1.1.2 キャリーオーバー

キャリアオーバーの確認は、各検量線の最大濃度以上の標準品試料の測定直後にブランク試料の測定を行い、これを 3 回実施した後、ピーク面積値を用いて評価した。水道水質検査方法の妥当性評価では、キャリアオーバーの目標として検量線濃度範囲の下限値を下回る (下限値の 100% 未満) こととされている。低濃度域 (5–50 ng) および高濃度域 (50–1,500 ng) のいずれの検量線においてもキャリアオーバーは目標値を満たした。

1.2 定量下限値と検出限界値

1.1 で妥当性評価を行った低濃度域検量線のうち、より良好な評価結果が得られた「重み付け有」の検量線を用い、検量線最下点である 5 ng の標準試料の測定を 5 併行で行った。この結果から算出された定量下限値は 7.0 µg/m³、検出限界値は 1.7 µg/m³ であった。

2. TD法およびSE法を用いたVOC類の検量線の検証

2.1 TD法によるVOC類の検量線の妥当性評価

TenaxTA捕集管を用いたTD法によるVOC類の検量線として、5–50ngの4点検量線（定量範囲5–50ng）、2–50ngの5点検量線（定量範囲2–50ng）、2–50ngの5点検量線（定量範囲5–50ng）の3種類について、それぞれ検量線の重み付けの有無に関し、検量線の真度と精度、キャリーオーバーを評価した。

2.1.1 真度および精度

2.1に示した各検量線を3回ずつ作成し、真度および精度を評価した。測定に用いたTenaxTAは沸点100~400°C、n-C₆~n-C₂₆を使用推奨範囲とされている捕集剤である。Hexaneよりも沸点が低い物質についてはEthanol、Acetone、Methylene chlorideなど、真度もしくは精度の目標値を満たさない物質がいずれの検量線においても散見された。なかでもMethylene chlorideは今回検討したいずれの検量線においても精度が20%を超過したことから、TenaxTAを用いたTD法によるこの濃度域での測定は困難と考えられた。

一方、Hexaneよりも沸点が高い物質に関して、真度あるいは精度の目標値を満たさない物質があった検量線は、定量範囲を2–50ngとした「重み付け無」の5点検量線のみであった。その他の検量線の真度および精度はいずれの物質も目標値を満たす良好な評価結果であった。特に、定量範囲を5–50ngとした「重み付け有」の4点検量線は、Hexaneよりも沸点が高い物質の真度90~110%以内かつ精度10%以内と、最も良好な値を示した。

2.1.2 キャリーオーバー

2.1に示した各検量線の定量範囲の最大値である50ngの検量線用試料の測定直後にブランク試料の測定を行った。ブランク試料のピーク面積値を、それぞれの検量線における定量範囲の下限として設定した2ngおよび5ngの検量線用試料の

ピーク面積値と比較したところ、EthanolおよびAcetoneについてはどちらもキャリーオーバーの目標値を満たさなかったが、その他の物質は目標値を満たした。EthanolおよびAcetoneについてはTenaxTAを用いたTD法によるこの濃度域での測定は困難と考えられた。

2.1.3 TD法によるVOC類の定量下限値と検出限界値

妥当性を評価した検量線のうち、Hexaneより沸点が高い物質において最も良好な結果が得られた定量範囲5–50ngの4点検量線「重み付け有」を用い、定量範囲の下限である5ngの標準試料の測定を5併行で行った。今回検討したVOC類には室内濃度指針値策定物質や室内濃度指針値策定候補化合物が含まれるが、算出された定量下限値はいずれもこれらの室内濃度指針値等の1/10を十分に下回った。

2.2 SE法によるVOC類の検量線の妥当性評価

SE法によるVOC類の検量線として、0.2–5μg/mLの検量線「重み付け有」に関し、検量線の真度と精度、キャリーオーバーを評価した。

2.2.1 真度および精度

2.2に示した検量線を3回作成し、真度および精度を評価した結果、ほとんどの物質は妥当性評価の目標値を満たしたが、NonanalとDecanalは目標値を満たさなかった。この2物質の検量線は相関係数が0.9を下回ったケースもあり、検量点の真度が全て設定値の80~120%を超過した。

2.2.2 キャリーオーバー

検量線の最大濃度である5μg/mLの標準系列の測定直後にブランク試料の測定を行い、これを3回実施してキャリーオーバーを評価した結果、全ての物質に関して目標値を満たした。

2.2.3 SE法によるVOC類の定量下限値

積算捕集量の設定値を 72 L (200 mL/分×6 時間) とし、2.2 で妥当性を評価した検量線の定量範囲の最下点濃度である 0.2 µg/mL から、SE 法の定量下限値を 5.6 µg/m³ と算出した。

3. 室内空気中のエタノール濃度の違いによる VOC 類の回収率の比較

3.1 添加回収試験時の温度、相対湿度とエタノール濃度

添加回収試験時の相対湿度については、冬季は 1 日目が 37%、2 日目が 24% と低湿度であったのに対し、夏季は 1 日目が 70%、2 日目が 51% と高～中湿度であった。また、室内空気中のエタノールの濃度は、冬季および夏季ともに 1 日目、すなわちエタノールの噴霧を行わなかった日は 13 µg/m³ および 14 µg/m³ であったが、エタノールの噴霧を行った 2 日目は冬季が 840 µg/m³、夏季が 13,000 µg/m³ であった。

3.2 Or217 捕集管におけるエタノールの破過

冬季と夏季の 2 回、それぞれ連続した 2 日間の添加回収試験の各日において捕集体積が最も多い約 6 時間のサンプリングを行った試料については、Or217 捕集管を 2 連結してエタノールを捕集した。エタノールの平均室内濃度が最も高かった夏季 2 日目の試料はエタノールの捕集量も最大だったが、このケースであっても後段への破過率は 2.4% 程度にとどまり、その他の 3 試料については後段にエタノールが検出されなかったことから、Or217 捕集管を用いた TD 法によるエタノールの測定における破過は認められなかった。

3.3 VOC 類の回収率

3.3.1 通常状態 (エタノール噴霧なし) における添加回収試験

3.3.1.1 TenaxTA 捕集管を用いた TD 法の試験

水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインでは、添加試料の目標値として回収率 (真度) は添加濃度の 70～130% 以内、併行精度は相対標準偏差

(RSD%) 20% 以内とされている。冬季および夏季ともに添加回収試験の目標値に満たなかった物質は 2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanal の 5 物質で、いずれも回収率が 70% 未満であった。また、冬季にはこれらに加えて Chloroform, Nonanal の回収率が 70% 未満であった。他方、冬季の n-Nonane は回収率が 130% を超過した。目標値を満たさなかった物質は回収率が低いものがほとんどであったが、これらは前後段を合算しても目標値の 70% に満たないか、破過率が 20% を超過しているかのどちらか、あるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性については問題がなかったことから、通気の影響で回収率が低下した可能性が考えられた。

3.3.1.2 CBA 捕集管を用いた SE 法の試験

冬季および夏季とも添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質は Acetone, Methylene chloride, n-Butanol, Styrene の 4 物質であった。冬季は 4 物質とも回収率 (真度) は 70% 未満であったが、夏季は Acetone および n-Butanol は回収率 (真度) が 130% 超過し、Methylene chloride および Styrene は 70% 未満であった。加えて、Methylene chloride の併行精度は目標値である 20% 以内を超過した。これらの 4 物質の回収率は、前後段を合算しても目標値を満たさないか、破過率が 20% を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価については問題がなかったことから、通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられた。また、Styrene は重合による回収率の低下を補正するために重水素体にて補正を行う方法が知られているが、今回はその補正を行っていないことも回収率低下の一因と考えられた。

3.3.2 エタノール存在下における添加回収試験

3.3.2.1 TenaxTA 捕集管を用いた TD 法の試験

冬季および夏季ともに添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質は、2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanal の 5 物質で、いずれも回収率（真度）が 70%未満であった。また、冬季にはこれらに加えて Chloroform, Nonanal の 2 物質も回収率（真度）が 70%未満であった。物質ごとの傾向は 3.3.1.1 に示した通常状態の添加回収試験の結果と類似しており、通常状態と同様に、前後段を合算しても目標値の 70%に満たないか、破過率が 20%を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価には問題がなかったことから、これらの 7 物質については通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられた。

3.3.2.2 室内空気中エタノールの影響（TenaxTA 捕集管を用いた TD 法）

冬季・夏季とも、1 日目の通常状態と 2 日目のエタノール噴霧時における回収率の差が 20%以上となった物質は認められなかったことから、TenaxTA 捕集管を用いた TD 法において、室内空気中のエタノール濃度が VOC 類の測定に及ぼす影響は小さいと考えられた。

3.3.2.3 CBA 捕集管を用いた SE 法の試験

冬季および夏季とも添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質は Methylene chloride, Styrene の 2 物質で、いずれも回収率（真度）が 70%未満だった。また、夏季にはこれらに加えて Acetone の回収率（真度）が 70%未満であった。これらは前後段を合算しても添加試料の評価の目標値の 70%に満たないか、破過率が 20%を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価に問題がなかったことから、通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられるが、Styrene については 3.3.1.2 同様に重合による回収率低下も一因となった可能性が考

えられた。

3.3.2.4 室内空気中エタノールの影響（CBA 捕集管を用いた SE 法）

1 日目の通常状態と 2 日目のエタノール噴霧時における回収率の差が 20%以上となった物質は、n-Butanol（冬季および夏季）、2E1H（夏季）、TMPD-MIB（夏季）の 3 物質であった。特に、夏季の n-Butanol および 2E1H については回収率の差が 30%以上であった。n-Butanol については、冬季は 2 日目の回収率の方が低かったが、夏季は逆に 2 日目の回収率の方が高かった。また、夏季の 2E1H および TMPD-MIB についてはいずれも 2 日目の回収率の方が高かった。これら 3 物質はいずれもアルコール類であり、CBA 捕集管は高湿度下における回収率が低下するとの報告がある。夏季については 1 日目の湿度は 70%と高湿度であったが、2 日目は 51%と中湿度であった。これら 3 物質の 2 日目の回収率が 1 日目よりも高くなった要因としては 2 日目に湿度が下がった影響である可能性が考えられた。また、冬季については 1 日目の湿度は 37%、2 日目は 24%であり、どちらの日も低湿度であったが、夏季同様に 1 日目よりも 2 日目の方が低湿度であった。これにもかかわらず冬季の n-Butanol 回収率は 2 日目の方が低かった要因としては、2 日目に噴霧した室内空気中のエタノール濃度の影響が関係している可能性が考えられた。

Carbotrap™-217 捕集管を用いた TD 法による VOC 類検量線の検証

1. 検証に用いた VOC 類検量線

測定対象とした VOC 類 53 物質に関し、Or217 捕集管を用いて 6 種類の検量線を作成し、真度と併行精度、キャリーオーバーを評価した。

検量点	検量線の 範囲 (ng)	定量範囲 (ng)	重み付け

①	4	5-50	5-50	有
②	4	5-50	5-50	無
③	5	2-50	2-50	有
④	5	2-50	2-50	無
⑤	5	2-50	5-50	有
⑥	5	2-50	5-50	無

全ての検量線において、沸点の低い Acetone は検量線に定量性が認められず、Methylene chloride は 2, 5, 10 ng の検量点のピークが検出されなかったため、検量線の妥当性評価が実施不能であった。また、Chloroform および 1,2-Dichloroethane に関し、検量線の最下点である 2 ng の検量点のピークが検出されないものもあり、これらの妥当性評価が不能であった。

2. 検量線の真度および併行精度

水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインにおいて検量線の目標値は、各検量点の真度が調製濃度の 80~120%以内であること、併行精度が相対標準偏差 20%以内であることとされている。① 5-50 ng の 4 点検量線（定量範囲 5-50 ng, 重み付け有）については、Acetone, Methylene chloride の 2 物質が評価不能であったが、その他の測定対象物質の真度・併行精度は全て目標値以内であった。② 5-50 ng の 4 点検量線（定量範囲 5-50 ng, 重み付け無）については、評価不能であった Acetone, Methylene chloride の 2 物質以外にも 4 物質で真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった。③~⑥の検量線については、Acetone, Methylene chloride, Chloroform, 1,2-Dichloroethane の 4 物質が評価不能であった他に、真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった物質があった。2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB については、重み付け有の検量線の全て、および重み付け無の検量線では 3 物質とも良好な評価結果が得られたが、重み付け無の検量線の 3 物質のうちの一部で真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった。

3. キャリーオーバー

各検量線の測定の際、定量範囲の最大値である 50 ng の検量線用試料の測定直後にブランク試料の測定を行った。これを 3 回実施し、ブランク試料の測定結果（面積値）を用いて評価した。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインでは、キャリーオーバーの目標として検量線濃度範囲の下限值を下回ること（定量下限値の 100%未満）とされている。①および②の検量線では評価不能だった 2 物質の他、1,2-Dichloroethane のキャリーオーバーが認められた。1,2-Dichloroethane については③~⑥の検量線では妥当性評価が実施不能であり、これにキャリーオーバーの結果を併せると全ての検量線で妥当性評価結果が目標値を満たさない結果となったことから、Or217 捕集管を用いた場合、今回の分析条件や濃度域での 1,2-Dichloroethane の測定は困難であった。③および④の検量線では評価不能だった 4 物質の他、Benzene のキャリーオーバーが認められた。⑤および⑥の検量線では、評価不能だった 4 物質以外にキャリーオーバーは認められなかった。

4. Or217 捕集管と TenaxTA 捕集管の妥当性評価結果比較

①~⑥の検量線毎の妥当性評価の項目を比較すると、検量線①が最適と考えられる。各検量線の重み付けの有無で比較を行ったところ、概ね、重み付け有の方が適用可能な VOC 数が多かった。捕集管を比較すると、TenaxTA の方が Or217 よりもやや良好であったが、①の検量線での集計値はどちらの表でも同じ数値（50 物質）であったことから最適な検量線を用いばいずれの捕集管を用いてもほぼ同等な妥当性評価結果が得られると考えられる。

今回実施した Or217 捕集管を用いた妥当性評価と既報の TenaxTA 捕集管を用いた妥当性評価に関しては、捕集管の種類および TD 条件並びに妥当性評価の実施時期については異なっているが、

検量線の作成方法や分析条件等についてはほぼ同じ条件で実施しているため、両者の差はそれぞれの捕集管からの加熱脱離に起因すると推測される。各検量線の最大濃度である 50 ng の検量線用試料の TIC クロマトを比較すると、捕集管によりピークの大きさに差が見られた物質があった。例えば Ethanol のピークは Or217 捕集管の方が TenaxTA 捕集管よりも大きかったが、TMPD-DIB のピークは逆に Or217 捕集管の方が小さかった。同様に、Methylene chloride や Chloroform などの低沸点の塩素化炭化水素や TMPD-MIB に関しても Or217 捕集管のピークは TenaxTA 捕集管と比べて小さかった。なお、ここで述べた物質は捕集管毎の妥当性評価結果の比較において両捕集管での集計値に差が生じた物質であり、ピークの大きさの差は妥当性評価結果の差の一因となっていることが推察される。

D. まとめ

GC/MS 測定におけるヘリウム代替キャリアガスの検討

- 1) VOC の測定感度をキャリアガス毎に比較した結果、感度はヘリウムで最も高く、水素、窒素と続いた。
- 2) いずれのキャリアガスにおいても良好な直線性を示した。
- 3) 室内濃度指針値の 1/100 程度まで定量が可能であった。
- 4) 窒素を用いた分析では測定に時間を要するものの、検出限界及び定量限界共にヘリウムと遜色ない数値を示した。
- 5) 分析機種の違いによる試験法への影響は認められなかった

これらの結果より、室内空气中揮発性有機化合物の GC/MS 分析に、ヘリウム代替ガスとして水素もしくは窒素を適用できることが示唆された。

室内におけるエタノール濃度が室内空气中揮発性

有機化合物の測定に及ぼす影響について

Or217 捕集管を用いた TD 法による室内空气中のエタノールの分析について、定量範囲の異なる 2 種類の検量線の妥当性を評価した結果、いずれの検量線についても良好な結果であったが、重み付け有の方がより良好であり、エタノールの定量下限値は $7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出限界値は $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と算出された。

TenaxTA 捕集管を用いた TD 法による VOC 類の分析について、定量範囲が異なる 3 種類の検量線の重み付け有無について検量線の妥当性を評価した。Methylene chloride はいずれの検量線において精度の目標値を満たさなかったことから TenaxTA を用いた TD 法によるこの濃度域における測定は困難であった。一方、Hexane よりも沸点の高い物質の真度・精度に関しては概ね良好な結果が得られた。特に、定量範囲を 5–50 ng とした「重み付け有」の 4 点検量線は真度・精度が最も良好な値を示した。ほとんどの物質のキャリアオーバーは目標値を満たしていたが、Ethanol および Acetone については目標値を満たさなかったことから TenaxTA を用いた TD 法によるこの濃度域での測定は困難であった。今回検討した VOC 類には室内濃度指針値策定物質や室内濃度指針値策定候補化合物が含まれるが、定量下限値等の算出を行ったところ室内濃度指針値等の 1/10 を十分に下回った。SE 法による VOC 類の分析について、検量線の妥当性を評価したところ、ほとんどの物質の真度・精度は良好であったが、Nonanal と Decanal については目標値を満たさなかった。キャリアオーバーについては全て目標値を満たす良好な結果が得られた。

冬季と夏季の 2 回にわたり、それぞれ連続した 2 日間の VOC 類の添加回収試験を実施した。添加回収試験は上述で検討した検量線による TD 法および SE 法を同時併行で実施し、会議室内の空気を捕集する条件下で実施した。通常状態における TD 法による添加回収試験で、冬季および夏季ともに添加試料の評価の目標値を満たさなかった物

質は、2-Propanol、1-Propanol、2,4-Dimethylpentane、Iso-octane、Decanalの5物質、冬季のみ満たなかった物質はChloroform、Nonanalおよびn-Nonaneであった。また、SE法による添加回収試験で、冬季および夏季とも添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はAcetone、Methylene chloride、n-Butanol、Styreneの4物質であった。回収率の低下は通気の影響によるものと考えられるが、SE法のStyreneについては重合による回収率低下の可能性があり、今回、重水素体による補正を行っていないことが一因と考えられた。

会議室内の机上に80% (v/v) エタノール水溶液を噴霧することにより室内空气中にエタノールが揮散した状態を作り出した上で、VOC類の添加回収試験を実施した。TD法による添加回収試験で、冬季および夏季ともに添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質は、2-Propanol、1-Propanol、2,4-Dimethylpentane、Iso-octane、Decanalの5物質、冬季のみ添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はChloroform、Nonanalの2物質であった。これらの傾向は冬季のn-Nonaneを除き通常状態における結果と類似していた。室内空气中のエタノール濃度の影響について検討した結果、TD法ではエタノールの有無で回収率の差が20%以上となった物質はなく、室内空气中のエタノール濃度がVOC類の測定に及ぼす影響は小さいと考えられた。

SE法では、冬季および夏季とも添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はMethylene chloride、Styreneの2物質、夏季のみ添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はAcetoneであった。回収率の低下は通気の影響によるものと考えられるが、SE法のStyreneについては前述のとおり重合による回収率の低下が考えられた。室内空气中のエタノール濃度の影響について検討した結果、SE法はエタノールの有無で回収率の差が20%以上となった物質は、n-Butanol (冬季および夏季)、2E1H (夏季)、TMPD-MIB (夏季) の3物

質であった。特に、夏季のn-Butanolおよび2E1Hについては回収率の差が30%以上であった。夏季においてこれら3物質の2日目の回収率は1日目よりも高くなったが、これは2日目に湿度が下がった影響である可能性が考えられた。また、2日間ともに低湿度であった冬季においてn-Butanol回収率は2日目の方が低かった結果については、室内に噴霧したエタノールの影響が関係している可能性が考えられた。

Carbotrap™-217 捕集管を用いた TD 法による VOC 類検量線の検証

Or217 捕集管を用いた VOC 類 53 物質の測定について、6 種類の検量線を作成し真度・併行精度・キャリアオーバーに関する検量線の妥当性評価を実施した。

Acetone、Methylene chloride、および 1,2-Dichloroethane の 3 物質については妥当性評価結果が目標値を満たした検量線がなかったことから、Or217 捕集管を用いた場合、今回の分析条件や濃度域での測定は難しいものと考えられる。6 種類の検量線のうち、妥当性評価の結果が最も良好だったものは「5-50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5-50 ng)、重み付け有」であり、Acetone、Methylene chloride、1,2-Dichloroethane 以外の 50 物質について良好な評価結果が得られた。最も良好ではなかったものは「2-50 ng の 5 点検量線 (定量範囲 2-50 ng)、重み付け無」であり、良好な評価結果が得られたのは測定対象 53 物質のうち 28 物質だった。各検量線について重み付けの有無で比較を行ったところ、概ね、重み付け有の方が評価結果が良かった。参考として既報の TenaxTA 捕集管を用いた妥当性評価結果を集計し、同様に比較をおこなったところ、妥当性評価結果が最も良好だった検量線と最も良好ではなかった検量線および重み付けの有無での評価結果の傾向が、Or217 捕集管での傾向と類似していた。また、Or217 捕集管、TenaxTA 捕集管とも、最適検量線においては評価結果が良好であった物質数がどちらも 50 物質で

あり，最適検量線を用いれば Or217 捕集管と TenaxTA 捕集管のどちらを用いてもほぼ同等の評価結果が得られると考えられる。ただし，その内訳は一部異なっており，評価結果が良好であった 50 物質に該当するのは Or217 捕集管では Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane の 3 物質以外，TenaxTA 捕集管では Ethanol, Acetone, Methylene chloride の 3 物質以外であった。例えば Ethanol を測定する必要がある場合などのような，主目的とする測定対象物質がある場合にはそれぞれの特性などを踏まえて捕集管を選択する必要があると考えられる。

E. 健康危機情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 大嶋直浩，高橋夏子，高木規峰野，田原麻衣子，酒井信夫，五十嵐良明：国立医薬品食品衛生研究所 殿町新庁舎における室内空気質について（第 2 報），国立医薬品食品衛生研究所報告，**139**，59-63（2021）。
- 2) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Analysis of volatile organic compounds emitted from bedding products, *BPB Reports*, **4**, 182-192 (2021).
- 3) 酒井 信夫：用語解説 ベンゼン，室内環境，**25**，324（2022）。
- 4) 酒井 信夫：用語解説 ナフタレン，室内環境，**25**，324（2022）。
- 5) 酒井 信夫：解説 ISO 16000-33: GC/MS を用いたフタル酸エステル類の定量の改訂，クリーンテクノロジー，**32**，60-63（2022）。
- 6) Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y: Survey of phthalates, glycols, and several volatile organic compounds in domestic hand-pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality, *Journal of Environmental Chemistry*, **32**, 84-94 (2022).
- 7) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Nationwide survey of the candidate substances in guideline values for indoor air concentrations, *Bulletin of National Institute of Health Sciences*, **140**, 40-47 (2022).
- 8) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: A nationwide survey on indoor air concentrations of benzene and naphthalene in general residential housings, *Indoor Environment*, **25**, 177-184 (2022).
- 9) Sakai S, Tahara M, Kubota R, Kawakami T, Inoue K, Ikarashi Y: Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Volatile organic compounds, *Science of the Total Environment*, **838**, 156400 (2022).
- 10) Oshima N, Takagi M, Sakai S, Ikarashi Y: Comparison of the helium-alternative carrier gases for the gas chromatography/mass spectrometry of standard test methods for indoor air quality guidelines in Japan, *BPB Reports*, **5**, 84-87 (2022).
- 11) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno H: Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality, *Journal of Toxicological Sciences*, **48**, 37-45 (2023).
- 12) Yoshitomi T, Nishi I, Onuki A, Tsunoda T, Chiba M, Oizumi S, Tanaka R, Muraki S, Oshima N, Uemura H, Tahara M, Sakai S: Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction, *BPB Reports*, **6**, 76-80 (2023).

2. 学会発表

- 1) 大嶋直浩，高木規峰野，酒井信夫，五十嵐良明：

- 室内空气中揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガスの比較, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
- 2) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: マイクロチャンバー及び加熱脱離 GC/MS による穀物由来揮発性有機化合物のメタボローム解析, 日本食品化学学会第 28 回学術大会, 東京, 2022 年 5 月
 - 3) 酒井信夫: 質量分析法を用いた標準試験法の必要条件: レギュラトリーサイエンス研究に基づく信頼性と汎用性とサステナビリティ, 第 70 回質量分析総合討論会, 福岡, 2022 年 6 月
 - 4) 森葉子, 井上凌子, 青木明, 岡本誉士典, 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 香川 (田中) 聡子, 神野透人: TVOC のデコンボリューション解析による室内空気汚染化学物質の探索, 第 68 回日本薬学会東海支部総会・大会, 名古屋, 2022 年 7 月
 - 5) 大嶋直浩, 河上強志, 高橋夏子, 高木規峰野, 小濱とも子, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: マスクの規格改定を指向した揮発性有機化合物の実態調査, 第 8 回次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム, 東京, 2022 年 8 月
 - 6) 大嶋直浩, 高橋夏子, 高木規峰野, 小濱とも子, 河上強志, 酒井信夫, 五十嵐良明: 家庭用マスクから放散される揮発性有機化合物, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー, 熊本, 2022 年 8 月
 - 7) 香川 (田中) 聡子, 酒井信夫, 神野透人: 室内空气中総揮発性有機化合物 (TVOC) に関する最新の動向, 第 63 回大気環境学会年会, 大阪, 2022 年 9 月
 - 8) Kenichi AZUMA, Hideto JINNO, Toshiko TANAKA-KAGAWA, Shinobu SAKAI: Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: dimethylsiloxanes, glycols, butanediol, hydrocarbons, trimethylbenzenes, benzene, naphthalene, and ethyltoluene, 34th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE 2022), Athens, September 18-21 (2022)
 - 9) 大嶋直浩, 高木規峰野, 高橋夏子, 酒井信夫, 五十嵐良明, 千葉真弘, 柴田学, 岩館樹里, 後藤吉乃, 佐藤智子, 田中智子, 大竹正芳, 角田徳子, 上村仁, 田中礼子, 高居久義, 中村雄介, 堀井裕子, 望月映希, 伊藤彰, 山本優子, 大野浩之, 藤本恭史, 吉田俊明, 古市裕子, 八木正博, 伊達英代, 谷脇妙, 松本弘子, 吉村裕紀, 前田美奈子: 令和 3 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会, 川崎, 2022 年 10 月
 - 10) 酒井信夫: ヘリウムガス供給不足に対する国立衛研の対応, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会, 川崎, 2022 年 10 月
 - 11) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 酒井信夫: 室内空气中の揮発性有機化合物 (VOCs) 分析における除湿管の影響, 2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月
 - 12) 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: 一般居住住宅における室内空気質に関する全国実態調査, 2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月
 - 13) 森葉子, 香川 (田中) 聡子, 田原麻衣子, 河上強志, 青木明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 東賢一, 酒井信夫, 神野透人: 2-Ethyl-1-hexanol, Texanol および TXIB による侵害刺激の種差に関する研究, 2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月
 - 14) 高木規峰野, 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: GC-MS/MS を用いた室内空气中殺虫剤の分析, 日本薬学会第 143 年会, 札幌, 2023 年 3 月
 - 15) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: 機能性繊維製品から放散する揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガ

- スの比較, 日本薬学会第 143 年会, 札幌, 2023 年 3 月
- 16) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: シリコン含有製品から放散するシロキサン類の GC-MS/MS 分析, 第 31 回環境化学討論会, 徳島, 2023 年 5 月
- 17) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: GC-MS/MS を利用した室内空気におけるフェノール系内分泌かく乱物質の一斉分析法について, 第 31 回環境化学討論会, 徳島, 2023 年 5 月
- 18) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明, 大泉詩織, 岩館樹里, 今野鈴子, 大槻良子, 草原紀子, 大竹正芳, 角田徳子, 上村仁, 田中礼子, 高居久義, 渡邊好介, 堀井裕子, 望月映希, 羽田好孝, 山本優子, 若山貴成, 小寺明, 吉田俊明, 古市裕子, 八木正博, 伊達英代, 高木春佳, 島田友梨, 松永尚子, 田崎盛也: 令和 4 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 19) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内空気におけるアルキルフェノール類, ビスフェノール類の実態調査, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 20) 酒井信夫: 室内空气中化学物質の規制に関する最新情報, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 21) 田原麻衣子, 大貫文, 角田徳子, 大泉詩織, 千葉真弘, 酒井信夫, 五十嵐良明: VOC およびフタル酸エステル類の分析におけるカーボン系捕集管の適用の検討, 2023 年室内環境学会学術大会, 沖縄, 2023 年 11 月
- 22) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: 一般居住住宅における室内空气中ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの全国実態調査, 2023 年室内環境学会学術大会, 沖縄, 2023 年 11 月
- 23) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 上村仁, 酒井信夫: 室内濃度指針値が設定された準揮発性有機化合物の一斉分析法について, 令和 5 年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部 第 36 回理化学研究部会, 浜松, 2024 年 2 月
- 24) 大貫文, 田原麻衣子, 酒井信夫, 高木規峰野, 田中礼子, 村木沙織, 斎藤育江, 千葉真弘, 大泉詩織, 大野浩之, 若山貴成, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 香川(田中)聡子, 神野透人: 空気試験法: フタル酸ジ-n-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量(新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 25) 香川(田中)聡子, 森葉子, 田原麻衣子, 大河原晋, 磯部隆史, 大貫文, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 埴岡伸光, 酒井信夫, 神野透人: 空気試験法: 総揮発性有機化合物(新規): 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 26) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内環境中のハウスダストにおけるアルキルフェノール類とビスフェノール類の抽出及び精製法の検討と住宅における実態調査, 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし