

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06491

研究課題名（和文）針型濃縮デバイスを用いた製剤中残留溶媒の迅速高感度スクリーニング分析法の開発

研究課題名（英文）Determination of Residual Solvents from Pharmaceutical Formulations using a Needle-Type Extraction Device

研究代表者

植田 郁生 (Ueta, Ikuo)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：50598688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：製剤中に微量に残留している揮発性有機化合物（残留溶媒）を簡便かつ迅速に定量分析する新規スクリーニング分析法を開発した。粉末状にした製剤試料をピペットチップ内に固定し、シリコンセプタムで密閉した後に、針型濃縮デバイスを用いて残留溶媒の捕集・濃縮を行った。捕集した残留溶媒はガスクロマトグラフ 水素炎イオン化検出器により定量分析を行った。

疎水性が高いクラス1残留溶媒については、粉末状とした製剤試料を微量の水に溶解させ、針型濃縮デバイスを用いる小型のパージ・トラップ装置による捕集も検討した。これらの方法は、非常に簡便かつ迅速な操作ながらも基準値濃度以下の残留溶媒を定量分析可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

製剤中の残留溶媒分析は、製剤を接種する人々の健康を守る上で非常に重要であるが、長年にわたり、分析法の改善は行われてきておらず、公定法による分析では長時間の試料前処理操作が必要である。本研究では、従来法よりも極めて短時間かつ簡便に製剤中の残留溶媒を定量分析することが可能であり、本研究で得られた成果は日本国内のみならず、世界中で意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research developed a rapid screening method to determine residual solvents in a tablet formulation using a needle-type extraction device. The tablet formulation was pulverized, and the powdered sample was rapidly inserted into a pipette tip. A needle-type extraction device packed with Carboxpack X and a carbon molecular sieve was inserted into the pipette tip, and 100 mL of the gas sample was collected.

In this research, two extraction methods; dynamic extraction and purge-and-trap method were investigated.

研究分野：分析化学

キーワード：残留溶媒 揮発性有機化合物 ガスクロマトグラフィー

### 1. 研究開始当初の背景

原薬、医薬品あるいは添加物を製造または精製する工程において、有機溶媒が使用される場合がある。有機溶媒の多くは人体にとって悪影響がある為、医薬品に残留する有機溶媒の量に限度値が設けられている。日本では、日本薬局方において種々の溶媒の濃度限度値が規定されている。クラス 1 に分類されている化合物は発がん性が知られている、あるいは強く疑われる化合物であり、医薬品の製造において使用を避けるべき溶媒である。クラス 2 の化合物は毒性が確認されているまたは疑われる化合物であり、医薬品中の残留量を規制すべき溶媒である。また、日本薬局方において製剤中の残留溶媒の分析方法も記載されている。その分析方法は、製剤を水に溶解後にその一部をヘッドスペースバイアルに移し、そのヘッドスペースガス 1 mL を採取してガスクロマトグラフ-水素炎イオン化検出器 (GC-FID) で分析する方法である。

一方で、薬局方に記載されている分析法では、クラス 2 に含まれる 2-メトキシエタノールやエチレングリコールなどの一部の化合物は揮発性が低く、ヘッドスペース法では十分な感度が得られないため、その他のバリデーションされた分析法で分析する必要がある旨が明記されている。また、製剤を溶解させた溶液の一部のみをバイアルに取り出すことや、検出器である FID は炭素数に応じた感度を示すため、炭素数の少ない四塩化炭素や 1,2-ジクロロエタン等の測定感度も十分ではない。これらの化合物はクラス 1 に分類されており、低濃度で人体に毒性を示すことが明らかとなっているため、濃度限度値が低く設定されている。この様に、公定法は測定感度についていくつかの問題点を含んでいる。さらに、四塩化炭素やベンゼン等の疎水性化合物やアセトンやエタノール等の揮発性が高い化合物はヘッドスペースバイアルに入れるまでの溶解操作や保存中に溶液からの揮発による損失の可能性があるなど、測定精度についても個々の薬剤や測定成分に関して十二分な検証が必要である。その上、ヘッドスペースバイアルは平衡化のために 45 分から 60 分の静置が必要である。

薬局方は日米欧医薬品規制調和国際会議 (ICH) に基づいたガイドラインであり、厳密にバリデーションされた分析法で精密な定量分析が要求されることは当然である。その一方で、現状では医薬品中の残留溶媒を定量分析するには薬局方記載の分析法しか選択肢が無く、非常に時間と労力を要する。また、上述の様な感度と精度に関する技術的な問題も存在する。したがって簡便かつ迅速な新規残留溶媒の定量分析法の開発は同分野において学術的に解決すべき課題の一つであると考えられる。

### 2. 研究の目的

当研究者は針型の揮発性有機化合物 (VOC) 濃縮デバイスを開発し、これまでに種々の微量 VOC の高感度分析を行ってきた。この濃縮針は、内径 0.5 mm のステンレス針の内部に直径約 200 μm の粒子状の抽出媒体を充填している。抽出媒体は多孔質の活性炭粒子あるいは高分子粒子であり、目的化合物に応じて最適化を行うことが可能である。濃縮針をガス採取ポンプに接続して針先から気体試料を吸引し、気体試料中の VOC を吸着剤に捕集・濃縮する。試料採取後は濃縮針をガスタイトシリンジに付け替えて、GC の試料注入口に挿入して、加熱脱離を行う。加熱脱離後は濃縮針を繰り返して使用可能である。従って、脱離の際に特別な装置を必要とせず、簡便で安価である上に、捕集した VOC の全量を GC に導入するため、高感度な分析が可能である。また、脱離溶媒を使用しないため、脱離溶媒のピークに低分子量の分析対象化合物のピークが隠れることがなく、本法は低分子の有機化合物の分析に適している。

本研究では針型の VOC 濃縮デバイスを用いて製剤中の残留溶媒を簡便かつ迅速に定量分析する新規スクリーニング法を開発することを目的とする。

本研究では、製剤試料の粉碎から試料のサンプリングまで 15 分以内であり、日本薬局方記載の分析法と比較すると極めて短時間に試料前処理を行うことが可能である。また、従来法では必要となる製剤の溶解操作、試料溶液のヘッドスペースバイアルへの移し替えやヘッドスペースの平衡化などの操作も不要であり、極めて簡便な分析法であると共に、測定対象化合物の揮発による損失を極力抑えた定量的な分析が可能である。

### 3. 研究の方法

#### 【ダイナミック抽出】

錠剤状の製剤を粉末状にする方法を最初に検討した。乳鉢と乳棒を用いて製剤試料を粉末化すると、摩擦熱が発生し、VOC が揮発して損失するため、すり潰す方法は除外した。プレス機による粉碎は大きな破片が残った。粉碎方法を数種検討した中で、錠剤を葉包紙に包んで、木製ハンマーで数回叩いて粉碎する方法が最も再現性が良く、迅速に粉末を作成することが可能であった。

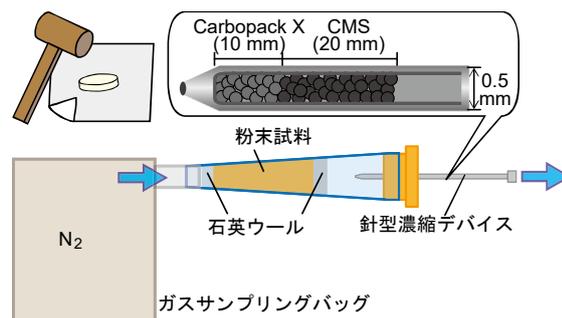


図 1 針型濃縮デバイスの概略とダイナミック抽出法。

粉砕した製剤を充填する容器は容積 1 mL の使い捨てのマイクロピペット用チップを用いた。粉末試料の両端は石英ウールで固定した。粉末状製剤試料を充填後にピペットチップの後方側を GC 用のシリコンセプタムで塞いで密閉した。容器の先端側は清浄な窒素ガス等が封入されているガスバッグに挿入した。次に針型 VOC 濃縮デバイスをセプタムを通して容器内に挿入し、気体試料を吸引した。気体試料採取量は 50 mL とし、試料採取時間は 5 分程度であった。この時、ガスサンプリングバッグ内の窒素ガスが粉末状の製剤試料を通過して、製剤中の残留溶媒と共に濃縮針内に供給され、濃縮針中の吸着剤に残留溶媒成分が捕集・濃縮される (図 1)。試料採取後は、濃縮針を GC の試料注入口に挿入して濃縮した残留溶媒成分の加熱脱離および GC による分離分析を行った。VOC の検出は FID で行い、実試料中の VOCs については確認のために質量分析計でも測定を行った。

#### 【ページ・トラップ抽出】

粉末状に粉砕した製剤試料を少量の水に溶解させ、針型濃縮デバイスを用いてページ・トラップ法により残留溶媒を捕集・濃縮する方法についても検討した。容量 10 mL のガラス製固相抽出カートリッジに、水は通さずに気体は通す多孔質機能性 PTFE 膜を固定し、そこに 5 mL の水をいれた。粉末状の製剤および 1.8 g の塩析用の塩化ナトリウムを加えて密閉し、10 分間マグネチックスターラーで攪拌させて製剤および塩化ナトリウムを溶解させた。固相抽出カートリッジの先端を窒素が入ったガスサンプリングバッグに接続し、針型濃縮デバイスを固相抽出カートリッジの上部から挿入し、ヘッドスペースガスを 100 mL 採取した (図 2)。試料採取時間は約 10 分であった。試料採取後は針型濃縮デバイスを GC の試料注入口に挿入し、捕集した VOC の加熱脱着および定量分析を行った。

#### 【公定法】

クラス 1 化合物各 1 mL を 9 mL のジメチルスルホキシドに溶解させ、その溶液を 100 mL に純水で希釈した。この標準液を適宜希釈した後に容量 13.5 mL のガラスバイアル瓶に採り、80°C で 1 時間温度を一定にした後にそのヘッドスペースガス 1 mL を GC-FID に注入した。

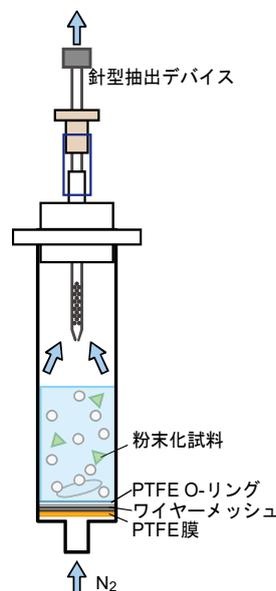


図 2 針型濃縮デバイスを用いるページ・トラップ法による残留溶媒分析法。

## 4. 研究成果

針型濃縮デバイスに充填する吸着剤は、比表面積が大きく、低分子量の VOC に対する捕集力が強いカーボンモレキュラーシーブ粒子と、ベンゼン等の中程度の揮発性化合物を高効率に捕集して脱離することが可能な Carboxack X 粒子を 2 層に充填することとした。針の先端側に Carboxack X を 15 mm、その後方にカーボンモレキュラーシーブを 15 mm 充填した (図 1)。

クラス 1 指定の 5 種の VOCs について、ダイナミック抽出法により残留溶媒を GC-FID で検出下限 (LOD) を測定した結果を表 1 に掲載する。また、参考のためにクラス 1 化合物の基準値も記載する。残留溶媒は標準試料を水溶液として作製し、水溶液 25  $\mu$ L を粉末試料に添加することにより測定を行った。表 1 に示す通り、本分析法は四塩化炭素以外のクラス 1 化合物全てに対して基準値を十分に下回る LOQ を達成した。四塩化炭素の FID における感度は極めて低く、公定法による四塩化炭素の LOD は 100  $\mu$ g/g であり、方法は公定法よりも十分に高い感度を有することを確認した。

次に、粉末状製剤試料に添加したクラス 1 標準試料の添加回収率を調査した。粉末試料 (0.2 g) にクラス 1 化合物が各 10  $\mu$ g/g になるよう、標準水溶液を添加し、100 mL の気体試料採取と

表 1 ダイナミック抽出法の検出限界

クラス 1 化合物	LOD ( $\mu$ g/g)	基準値 ( $\mu$ g/g)
ベンゼン	0.0025	2
四塩化炭素	2.0	4
1,2-ジクロロエタン	0.16	5
1,1-ジクロロエタン	0.16	8
1,1,1-トリクロロエタン	0.3	1500

表 2 ダイナミック抽出法によるクラス 1 化合物の添加回収率

クラス 1 化合物	回収率 (%)
ベンゼン	91
四塩化炭素	100
1,2-ジクロロエタン	85
1,1-ジクロロエタン	92
1,1,1-トリクロロエタン	90

GC-FID 測定を同一試料に対して 3 回連続で行い、1~3 回のピーク面積の合計の内、1 回目のサンプリングで得られたピーク面積の割合を添加回収率として算出した結果を表 2 に示す。この結果より、粉末製剤試料に添加したクラス 1 化合物を高い効率で回収できていることが確認できた。

次に、添加した成分と製剤に元から含まれていた成分について回収率の比較を行った。1 回目のサンプリングで得られた面積を「1」として、2~5 回目の面積比を求めた。クラス 1 化合物は検討した全て製剤から検出されなかったため、ほとんどの製剤試料から検出されたエタノールを用いて検討した。製剤に元から含まれるエタノールは、試料を 5 回連続でサンプリング・GC 分析を行い、面積比を算出した。添加回収率は、粉末試料をピペットチップに充填した後、窒素ガスを 50 mL/分で 20 分間、通気して製剤中のエタノールを取り除き、そこにエタノール標準液を添加して面積比を検討した。製剤試料 8 種中のエタノールと、添加したエタノールの面積比を測定した結果を図 3 に示す。添加したエタノールの面積比の変動は、どの製剤でもほぼ同様となった。一方で、製剤に元から含まれるエタノールの面積比は製剤によって大きく異なっていることが明らかとなった。同一の製剤では、複数回回収率を検討した結果、概ね同一の面積比の変動が得られた。つまり、製剤中のエタノールと、添加したエタノールは回収率が異なり、さらに製剤によって回収率が異なる。これは、製剤を粉末状にした際に、製剤の試料によって、粉末の大きさや表面積が異なっており、製剤中からのエタノールの揮発挙動が異なるためであると考えられる。そのため、製剤中の残留溶媒を本ダイナミック抽出法で定量分析するためには、対象とする製剤中の対象化合物の追い出し効率を事前に把握する必要がある。対象製剤からの対象化合物の追い出し効率を把握しておくことにより、本法を用いて、製剤中の残留溶媒を 10 分程度の試料採取時間で簡便にスクリーニング分析が可能であると考えられる。本ダイナミック法でクラス 1 標準化合物を粉末状製剤に添加し、測定したクロマトグラムの例を図 4 に示す。クラス 1 化合物の濃度は、粉末製剤試料 0.2 g に対して各化合物が基準値濃度となるように添加している(1,1,1-トリクロロエタンは 15 µg/g)。図 4 のカラムでは 1,2-ジクロロエタンと四塩化炭素が共溶出しているため、これらの化合物の定量限界や添加回収率は別々に検討した。また、薬局方に記載されている標準カラム(6%シアノプロピルフェニル 94%ジメチルシリコン固定相)を用いた際にも一部化合物の共溶出が見られ、また、試料注入時の夾雑ピークとも分離が不十分であった。

次に粉末状として製剤を水に溶解させてパージ・トラップ法により残留溶媒を分析する方法について検討した。抽出に用いる針型濃縮デバイスはダイナミック抽出法と同じ濃縮針とした。まず、13.5 mL 容積のガラスバイアル瓶に採った 5 mL の水に粉末試料を溶解させた。バイアル瓶の蓋に 2 つのシリコンセプタムを取り付け、一方には濃縮針、他方にパージガス(窒素)供給用の針を挿入した。パージガス供給針の先端は試料溶液の底に届くようにした。この方法でパージ・トラップ捕集を行ったが、試料溶液が泡立ち、その泡が濃縮針まで到達し、試料採取を最後まで行うことはできなかった。従って、水

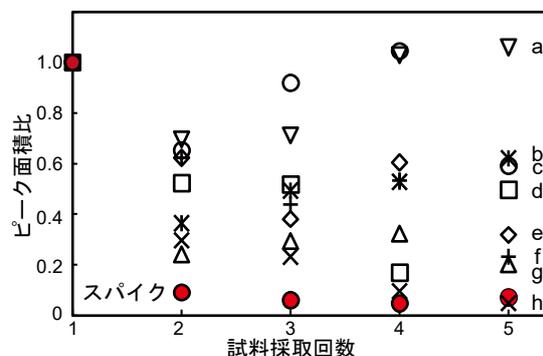


図 3 添加および製剤中エタノールの回収率。

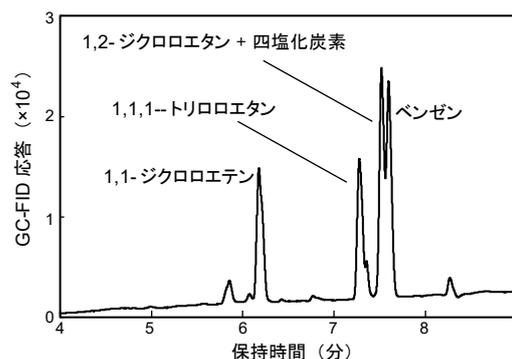


図 4 ダイナミック抽出法により測定した添加クラス 1 化合物のクロマトグラム。

試料: クラス 1 化合物基準値濃度 (1,1,1-トリクロロエタンは 15 µg/g), カラム: AQUATIC (60 m × 0.25 mm, 1 µm) .

表 3 パージ・トラップ抽出法の検出限界

クラス 1 化合物	LOD (µg/g)	基準値 (µg/g)
ベンゼン	0.02	2
四塩化炭素	0.4	4
1,2-ジクロロエタン	0.5	5
1,1-ジクロロエテン	0.5	8
1,1,1-トリクロロエタン	0.5	1500

溶液の液面から試料濃縮針までの距離を十分に採れる、容積 10 mL の固相抽出カートリッジを用いることとした。塩析効果のために、飽和濃度になるように塩化ナトリウムを加えると、クラス 1 化合物のピーク面積は約 3 倍向上した。

ページ・トラップ法により、0.2 g の粉末試料中のクラス 1 化合物を分析する際の LOD および基準値を表 3 に示す。ページ・トラップ法においても、クラス 1 化合物に対して、十分な測定感度を示した。クラス 1 化合物は疎水性化合物であり、水試料からの追い出し効率が非常に高いため、高い感度が得られたと考えられる。ページトラップ法は製剤試料を水に溶解させ、更に塩化ナトリウムを飽和濃度で加えているため、製剤の違いによるマトリクスの違いはほとんど無く、溶液からの追い出し効率は一定であると考えられる。図 5 は製剤中に含まれていたエタノールと酢酸をページ・トラップ法により測定したクロマトグラムである。酢酸やエタノール等の親水性化合物は、水からの追い出し効率が低いため、微量分析は困難であると考えられるが、特にエタノールはほぼ全て製剤中に比較的少量に含まれているため、ページ・トラップ法においても簡便に分析が可能であった。クラス 2 に分類されるメタノールやアセトニトリルに対しては本法で十分な感度が得られるか更なる検討が必要である。

本研究課題では針型濃縮デバイスを用いる製剤中残留溶媒の迅速かつ簡便なスクリーニング分析法を開発した。粉末化した試料をピペットチップに固定し、チップ内のガスを採取するダイナミック抽出法は、非常に迅速に分析が可能であり、クラス 1 化合物の内、四塩化炭素以外は水素炎イオン化検出器において十分な測定感度が得られた。一方で薬剤からの成分の追い出し効率は薬剤ごとに異なっていることが明らかとなり、定量分析するためには、薬剤からの測定対象化合物の追い出し効率または追い出し挙動を事前に把握しておく必要がある。

粉末化試料を微量の水に溶解させ、その水試料をページ・トラップ法により分析する方法は、溶剤ごとのマトリクスの違いを無くし、標準試料による検量線の作成による定量を可能とした。クラス 1 化合物の様な疎水性化合物に対してはページ・トラップ法は高い感度を示した。

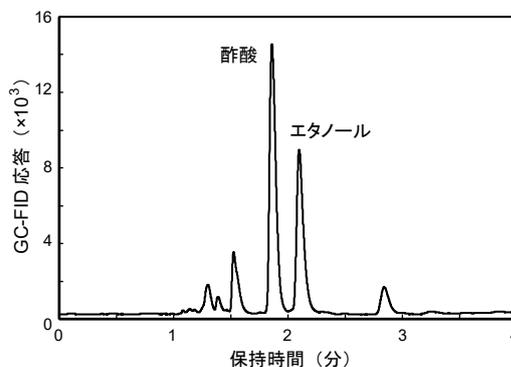


図 5 ページ・トラップ抽出法により測定した製剤中残留溶媒のクロマトグラム。

カラム: ULBON HR-20M (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Ikuo Ueta, Aya Miyazaki, Shinichiro Yano, Ryosuke Kikuchi, Koki Nakagami, Yoshihiro Saito, Keishi Kawata	4. 巻 43
2. 論文標題 Evaluation of Volatility of Bendamustine Using Solid Phase Extraction-Type Extraction Device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chromatography	6. 最初と最後の頁 87-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2022.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ikuo Ueta, Taiga Komatsu, Koki Nakagami, Yoshihiro Saito	4. 巻 43
2. 論文標題 Super Absorbent Polymer for Water Removing Process Followed by a Needle-Type Extraction to the Effective Collection of Methanol in Water Samples	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chromatography	6. 最初と最後の頁 127-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2022.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ikuo Ueta, Syuhei Kamei, Yoshihiro Saito	4. 巻 1685
2. 論文標題 Needle Extraction Device for Rapid and Quantitative Gas Chromatographic Determination of Volatile Chlorinated Hydrocarbons and Benzene in Soil	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Chromatography A	6. 最初と最後の頁 463586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chroma.2022.463586	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ikuo Ueta, Daiki Kato, Masanori Nagao	4. 巻 102
2. 論文標題 Preconcentration of Hydrogen Selenide using Hydride Generation and Purge-and-Trap Collection for the determination of Selenium in Water Samples by Atomic Absorption Spectrometry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 7817-7823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/03067319.2020.1839061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koki Nakagami, Keiichi Shimizu, Ohjiro Sumiya, Ikuo Ueta, Yoshihiro Saito	4. 巻 42
2. 論文標題 Molecular Shape Selectivity for Polycyclic Aromatic Compounds on a Poly(4-vinylpyridine) Stationary Phase in Liquid Chromatography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chromatography	6. 最初と最後の頁 91-97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2021.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikuo Ueta, Tomoya Koyama, Katsunori Sumiya, Yoshihiro Saito	4. 巻 42
2. 論文標題 Quantitative Determination of Gaseous Alkanes Adsorbed on Filter Paper During PM2.5 Sampling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chromatography	6. 最初と最後の頁 115-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2021.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikuo Ueta, Taiga Komatsu, Koji Fujimura, Yoshihiro Saito	4. 巻 85
2. 論文標題 Porous Membrane-Assisted Purge and Trap Sampling for Determination of VOCs in Gas Chromatography with Needle-Type Extraction Device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chromatographia	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10337-021-04103-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohjiro Sumiya, Koki Nakagami, Ikuo Ueta, Yoshihiro Saito	4. 巻 43
2. 論文標題 Molecular Shape Selectivity for Polycyclic Aromatic Compounds on a Poly(benzoguanamine-co-melamine-co-formaldehyde) Stationary Phase in Reversed-Phase Liquid Chromatography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chromatography	6. 最初と最後の頁 47-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2022.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueta Ikuo, Kawamura Shunsuke, Saito Yoshihiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Miniaturized liquid extraction cartridge with a functional porous polytetrafluoroethylene membrane for the determination of formaldehyde in gaseous samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SEPARATION SCIENCE PLUS	6. 最初と最後の頁 2300033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/sscp.202300033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ueta Ikuo, Hayashibe Mizuki, Sumiya Katsunori, Ariizumi Yuki, Fujimura Koji, Saito Yoshihiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Polydimethylsiloxane-coated macroporous silica adsorbent in thermal desorption gas chromatography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Chromatography Open	6. 最初と最後の頁 100084 ~ 100084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcoa.2023.100084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueta Ikuo, Kato Eriko, Saito Yoshihiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Sampling bag-based emission chamber for measuring volatile organic compounds from household materials using solid-phase extraction-type collection device	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1615 ~ 1621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s44211-023-00375-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 UETA Ikuo, MAKABE Hiroto, MASUDA Suguru, NAKAGAMI Koki, SAITO Yoshihiro	4. 巻 44
2. 論文標題 Foam-Eliminatory Purge-and-Trap Technique Using a Functional PTFE Membrane and Needle-Type Extraction Device to Determine Flavors in Drink Samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CHROMATOGRAPHY	6. 最初と最後の頁 133 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2023.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 UETA Ikuo, KAMEI Syuhei, NAKAGAMI Koki, SAITO Yoshihiro	4. 巻 44
2. 論文標題 Determination of Volatile Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil Using Needle-Type Extraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CHROMATOGRAPHY	6. 最初と最後の頁 139 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15583/jpchrom.2023.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ueta Ikuo, Sumiya Katsunori, Fujimura Koji, Ariizumi Yuki, Kikuchi Ryosuke, Kawata Keishi, Saito Yoshihiro	4. 巻 40
2. 論文標題 Volatile anticancer drug determination by thermal desorption technique with polydimethylsiloxane-coated macroporous silica adsorbent in gas chromatography?mass spectrometry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 3 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s44211-023-00449-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件(うち招待講演 4件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 植田 郁生
2. 発表標題 気体試料および水試料中の揮発性有機化合物の捕集濃縮
3. 学会等名 第83回分析化学討論会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林部 瑞季, 藤村 耕治, 植田 郁生
2. 発表標題 PDMS被覆マクロ孔シリカ粒子吸着剤による揮発性有機化合物の加熱脱着GC分析
3. 学会等名 日本分析化学会大72年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 飛雄真, 植田 郁生
2. 発表標題 ハイボリュームエアサンプラーを用いるPM2.5採取におけるガス状成分のフィルターへの吸着の評価
3. 学会等名 日本分析化学会大72年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤 大輔, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 針型濃縮デバイスを用いた製剤中の残留有機溶媒の新規分析方法の検討
3. 学会等名 日本分析化学会大72年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小松 虎凱, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 吸水性ポリマーと針型濃縮デバイスを用いる水中メタノールの分析
3. 学会等名 第29回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河村 俊輔, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 PTFE 膜小型インピンジャーを用いた空气中ホルムアルデヒドの定量分析
3. 学会等名 第29回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀井 脩平, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 針型濃縮デバイスを用いる土壤中揮発性有機化合物のガスクロマトグラフィー分析"
3. 学会等名 第29回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田 郁生
2. 発表標題 大気中VOCおよびSVOCの捕集用固相抽出型デバイス
3. 学会等名 大気環境総合センター 第4期定期セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林部 瑞季, 植田 郁生, 藤村 耕治, 齊戸 美弘
2. 発表標題 ポリジメチルシロキサン被覆マクロ孔シリカ粒子を吸着剤に用いる加熱脱着GC分析
3. 学会等名 第33回クロマトグラフィー科学会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中神 光喜, 阿野 智樹, 柚木 孝太, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 ポリブレンテレフタレート固定相におけるアルキルピラジン類の保持挙動
3. 学会等名 第33回クロマトグラフィー科学会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小松 虎凱, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 PTFE多孔質膜と針型濃縮デバイスを用いる水中揮発性有機化合物の分析法の開発
3. 学会等名 第28回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀井 脩平, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 針型濃縮デバイスを用いる土壤中揮発性有機化合物の迅速分析法の開発
3. 学会等名 第28回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植田 郁生
2. 発表標題 固相抽出型デバイスによる空气中VOCとSVOCのGC分析
3. 学会等名 第373回ガスクロマトグラフィー研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植田 郁生
2. 発表標題 SPE型捕集デバイスを用いる揮発性有機化合物のガスクロマトグラフィー分析
3. 学会等名 クロマトグラフィー次世代技術セミナー2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有泉 勇紀, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 針型濃縮デバイスを用いた医薬品中残留溶分析の基礎的検討
3. 学会等名 第32会クロマトグラフィー科学会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植田 郁生, 住家 克典, 菊池 良介, 河田 圭司, 齊戸 美弘
2. 発表標題 揮発性抗がん剤のガスクロマトグラフィー分析
3. 学会等名 第32会クロマトグラフィー科学会議 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中神 光喜, 隅谷 王士郎, 清水 佳一, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 逆相液体クロマトグラフィーにおけるPoly(4-vinylpyridine)固定相の保持挙動
3. 学会等名 第28回クロマトグラフィーシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中神 光喜, 隅谷 王士郎, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 Poly(butylene terephthalate)およびPoly(4-vinylpyridine)固定相を用いたLCにおける芳香族化合物の分子形状認識
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中神 光喜, 隅谷 王士郎, 阿野 智樹, 柚木 孝太, 植田 郁生, 齊戸 美弘
2. 発表標題 逆相液体クロマトグラフィーにおけるPoly(butylene terephthalate)固定相の分子形状選択性
3. 学会等名 第32回クロマトグラフィー科学会議
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 植田郁生	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 7
3. 書名 ガスクロ自由自在 5.3.3固相マイクロ抽出(SPME)法, 5.3.8その他(試料前処理法)	

1. 著者名 植田 郁生, 中神 光喜, 齊戸 美弘	4. 発行年 2023年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 5
3. 書名 多孔質体ハンドブック 4.1. ガスクロマトグラフィー	

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------