

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K10553

研究課題名（和文）法薬毒物分析を指向した分子認識が可能な電気化学発光システムの開発

研究課題名（英文）Development of electrochemiluminescence determination system with molecular recognition for forensic toxicological analysis

研究代表者

高橋 史樹 (Takahashi, Fumiki)

信州大学・学術研究院理学系・准教授

研究者番号：40754958

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：電気化学発光（ECL）は高感度分析法として着目されている一方、選択性が比較的低いことが問題視されており、生体試料などの実試料分析への適用は限定的であった。

本研究では、分子インプリントポリマー（Molecularly imprinting polymer, MIP）法に着目し、薬毒物分析を指向した特異的なECL検出法の確立を試みた。目的化学種を鋳型として合成したMIPの特異的な再結合特性を利用し、厳格な判定が必要な法科学分析領域にECL法を展開させた。我が国において各種法令等により規制されている薬毒物に対して、簡便で選択的に検出できるプロトコルについて提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で得られたMIPによる目的化学種の選択濃縮ECL検出による高感度分析法の融合は、ECL法を今までにない新しい選択的な薬毒物検出法へ展開できることが期待された。特に、鋳型分子を用いる関係で合成の際に課題となる規制薬毒物分析への応用について、MIPに関する基礎的な知見が得られ、法医化学および分析化学領域の適用範囲を拡張できた。また、ポリマー内への分析対象化学種の再吸着挙動の詳細な解析が行われ、従来まで検討例が限定的であったMIP中の分子認識空間の特性が評価されたことで、分析結果の信頼性の向上が図られた。

研究成果の概要（英文）：Electrochemiluminescence (ECL) has attracted attention as a highly sensitive analytical method. However, the selectivity of the technique has been low, and the analytical application has been limited to actual samples, such as biological samples.

In this study, we focused on the molecularly imprinting polymer (MIP) method and attempted to establish a specific ECL detection method for medicinal toxicants analysis. We utilized the specific recombination properties of MIPs synthesized using the target chemical species as a template. Subsequently, we have developed an ECL method for forensic analysis, which requires strict determination. A simple and selective detection protocol for regulated toxicants was proposed.

研究分野：分析化学

キーワード：電気化学発光 分子インプリントポリマー 薬毒物分析 オンサイト分析

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気化学発光 (ECL) は電気化学反応に伴って発光する現象であり、トリス(2,2'-ビピリジン)ルテニウム(II)錯体 ($\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$) を発光化学種とする ECL 反応が広く研究されてきた。その ECL による分析は溶液中に分析対象物 (共反応物質) が共存しているとき、電極反応に伴って生じた励起状態の $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+*}$ が基底状態に戻る際の発光を検出する。この ECL 挙動は共反応物の種類と濃度に依存するため、定量的に分析対象物を検出することが可能である。特に、 $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ を ECL エミッターとして用いた分析では、脂肪族アミン類に対して pM オーダーの検出が可能であるため、高感度検出技術への展開が示唆されていた。

研究代表者らの研究グループは ECL について、種々の規制薬物群の検出への応用に展開し、ECL 活性のある覚醒剤、麻薬およびドーピング薬物などに対して、それぞれ尿試料に対し 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 未満の感度で検出できることを確認している。しかし、ECL 反応は選択性が低い性質があり、実試料に直接適用することは極めて困難であった。そこで、電気化学測定の際に同時に測定される電流応答を合わせた一種の多変量解析と組み合わせるところ、それぞれの化学種を識別できることを見出している。しかし、これらの挙動の差異は比較的小さく、薬毒物分析で極めて重要視されている誤判定の可能性を確実に除外することは本質的に困難であった。そのため、分子認識能の高い検出方法の開発、並びに反応機構の詳細な解析が必須の課題であった。

2. 研究の目的

ECL 原理に基づく分析の際の課題を根本的に解決するため、本研究では分子認識能を有する分離・検出法の開発を試みた。分子インプリントポリマー (Molecularly imprinted polymer; MIP) は特定の化学種を捕捉および固定化できる材料で、その分子認識能から人工酵素とも称される (図 1)。この MIP を ECL 検出と組み合わせることで、規制薬物を含む薬毒物分析への新しいスクリーニング試験法の創出を図ることを目的とした。

(1) MIP の合成と評価

MIP の合成方法は、気相重合、液相重合および固相重合があり、分析目的の化学種に応じて都度選択される。本研究では薬毒物分析への展開を考慮して、オーダーメイドでの重合が比較的容易な液相重合を選択し、MIP を調製した。MIP の物性は、目的化学種 (覚醒剤などの薬毒物) に対する親和性などに強く依存する。その評価および解析を詳細に行うため、GC-MS と LC-MS/MS によって目的の薬毒物の再結合挙動を定量的に調べた。最適な MIP 合成法を確立した上で、鑄型分子を含まない非インプリントポリマー (Non-imprinted polymer, NIP) と比較評価することで、特異吸着量に関する情報を得た。

(2) ECL 法による薬毒物検出の基礎検討

法薬毒分析における ECL の利用例は現在のところ、比較的限定的であった。そこで、分析対象物となる化学種の ECL 挙動について基礎的な知見を習得するため、従来行われていた電位掃引法によって電位を印加した際の ECL 挙動を確認した。また、MIP に捕捉される分析対象物の絶対量は微量であることが予想されたことから、ECL 検出の感度の向上を目指して、電位変調-ECL (PM-ECL) 測定を行い、高感度分析法の開発と応用について検討した。

(3) MIP と組み合わせた ECL 法による薬毒物の検出

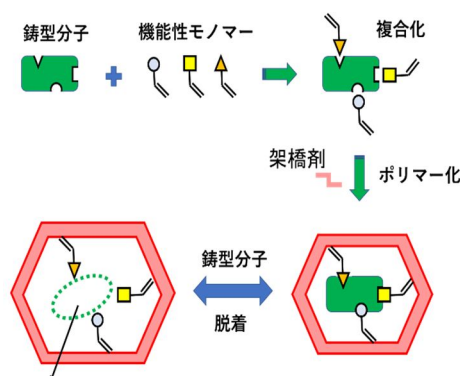
MIP を ECL 分析に適用するため、キャスト法によって MIP を固定した電極について ECL 挙動を調査し、選択性を有する ECL 分析技術の開発について検討した。一方、合成した MIP の電気伝導性は低いため、ECL を効果的に検出できない可能性があった。そこで、カーボンペースト法と組み合わせたシステムを設計し、薬動物の高感度分析技術への展開についても併せて検討した。

3. 研究の方法

(1) MIP の合成および評価方法

法薬毒物分野における対象となる分析化学種は多数存在するため、完全に網羅することは本質的に困難であった。そこで、分離分析を指向した MIP 技術として展開するため、代表的な目的化学種を選定した。生体に対して活性を示す可能性が高く、多くの薬毒物の化学構造に含まれているアミノ骨格とアミド骨格の双方を有する局所麻酔薬のリドカイン、 μ 受容体の代表的な作動薬で麻薬に指定されているモルヒネ、濫用等のおそれのある医薬品として指定されているコデインおよびジヒドロコデインを代表化学種として選定し、MIP の合成を行った。

ジメチルホルムアミドまたはアセトニトリル溶媒中で、鑄型分子と機能性モノマーのメタクリル酸およびスチレンを溶解させた。さらに、架橋剤のエチレングリコールジメタクリレートと重合開始剤の 2,2'-アゾビスイソブチロニトリルを加え、70 °C のオープン中で 8 時間加熱したと



分子認識サイト = 分析化学種 (鑄型分子) の固定・濃縮

図 1 MIP の合成方法の概念図。

ころ、白色の結晶が得られた。この結晶をメタノール：酢酸 = 9 : 1 の溶液で 24 時間ソックスレー洗浄することで鑄型分子を除去し、メノウ乳鉢で均一にすることで MIP を得た。また、鑄型分子を加えずに同様の方法で調製した NIP も合成し対照実験に供した。

(2) ECL 法による薬毒物検出の基礎検討

従来、報告例が限定的であった法薬毒物分析の対象化学種について ECL 反応機構の詳細な解析を行った。ECL 測定は一般的な 3 電極系の電気化学測定条件下で実施し、作用電極表面からの微弱発光は浜松ホトニクス社製 H11901-01 光電子増倍管、C10709 低電圧電源及び C7319 アンプユニットと組み合わせた微弱発光計測モジュールによって、計測した。通常の直流電位掃引法を用いた ECL 測定では、電極電位の制御やボルタンメトリーはポテンショスタットにより行い、得られた微弱発光は AD/DA 入出力ユニットによってデータ収集および解析を行った。

また、高感度 ECL 測定に向けた PM-ECL 測定システムを構築した。ファンクションジェネレータから発生させた交流電位を直流電位に重畳させた電位を電極に印加し、得られた発光信号をロックイン検出した。この電位変調 ECL シグナルを、ファンクションジェネレータからの参照信号と対応させることで、交流成分に対応した ECL シグナルを検出することで PM-ECL 応答とした。

(3) MIP と組み合わせた ECL 法による薬毒物の検出方法

合成した MIP をドロップキャスト法およびカーボンペースト法によって作用電極上に固定した後に、分析対象物を含む水溶液中に浸漬した。その電極を洗浄後、Ru(bpy)₃²⁺を含む溶液中で ECL 測定を行った。従来の電位掃引法による電位掃引させた条件下における ECL 挙動を確認し、基礎的な知見を得た。その後、同様の条件で PM-ECL 測定を行うことで生体資料中の薬毒物分析への展開を試みた。

4. 研究成果

(1) 先ず、合成した MIP の形状を電子顕微鏡 (SEM) により調査した。ジメチルホルムアミドを溶媒として用いた条件で合成した MIP は、リドカイン、モルヒネ、コデインおよびジヒドロコデインをそれぞれ鑄型分子とした条件において、いずれも板状で不均一な形状を示した。一方、アセトニトリルを溶媒として合成した MIP は粉末状の結晶が得られ、約数 μm の球状の粒子が均一に合成された。Fig. 2 に代表としてモルヒネを鑄型分子として合成した MIP の SEM 像を示した。そこで、アセトニトリルを溶媒として合成した MIP を評価するため、MIP への鑄型分子の吸着挙動を調べた。合成した MIP を 1.0 mM の鑄型分子を含む水溶液に浸漬させ、30 分間攪拌することで鑄型分子を再吸着させた。その後、MIP に再吸着した鑄型分子をメタノールで再溶出させ、GC-MS へ導入したところ再吸着された鑄型分子が検出された。続いて、分子認識部位を持たない NIP についても同様の条件で検討したところ、MIP と同様に鑄型分子が再吸着していることが分かった。MIP は、鑄型分子の化学形状に対応する特有の 3 次元的な吸着サイトが存在し、分子認識することで再吸着している。一方、MIP 表面には機能性モノマー由来の官能基が残存しているため、分子間相互作用などによる非特異吸着の影響が生じることが示唆された。この非特異的に吸着している鑄型分子は MIP の分子認識サイトへ吸着している分子より弱い相互作用で吸着していると考えられた。そこで、MIP 表面上に非特異的に吸着している化学種のみを除去する洗浄条件について調査したところ、洗浄溶液中にメタノールを混合することで効果的に非特異的に吸着している分析化学種のみを除去できることが分かった。

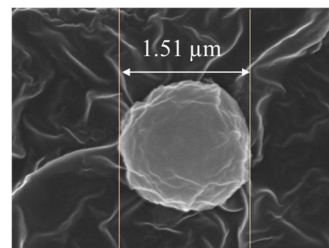


Fig. 2 モルヒネを鑄型分子として合成した MIP の SEM 画像。

MIP を用いて特異吸着法としての利用できることが期待されたことから、分離分析法としての適用を試みた。Fig. 3 にリドカインを鑄型分子として合成した MIP を用いた条件における類似化学種との再吸着の様子について示した結果を示した。リドカインに構造が類似した化学種に対して MIP は高い選択性を示すことが分かり、法薬毒分野に対する分離分析への適用の可能性が示唆されたことから、尿中のリドカインの分離検出法として応用した (F. Takahashi, et. al. *Sep. Sci. Plus.* 2023)。

(2) 従来報告例が限定的であった法薬毒物の ECL 検出の適用範囲の拡大を図った。覚醒剤による事犯は、検挙人員で毎年 1 万人に近い水準であり、薬物事犯における重要課題と位置付けられている。このうち、国内で流通している覚醒剤の多くはメタンフェタミン (MA) であるため、試料中に含まれる MA を正確かつ迅速に検出することが必要とされていた。研究代表者らの先行研究では ECL 原理

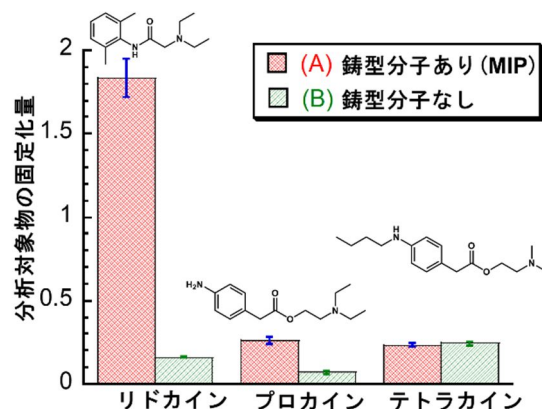


図3 リドカインを鑄型分子とした MIP への麻酔薬成分の再結合挙動。

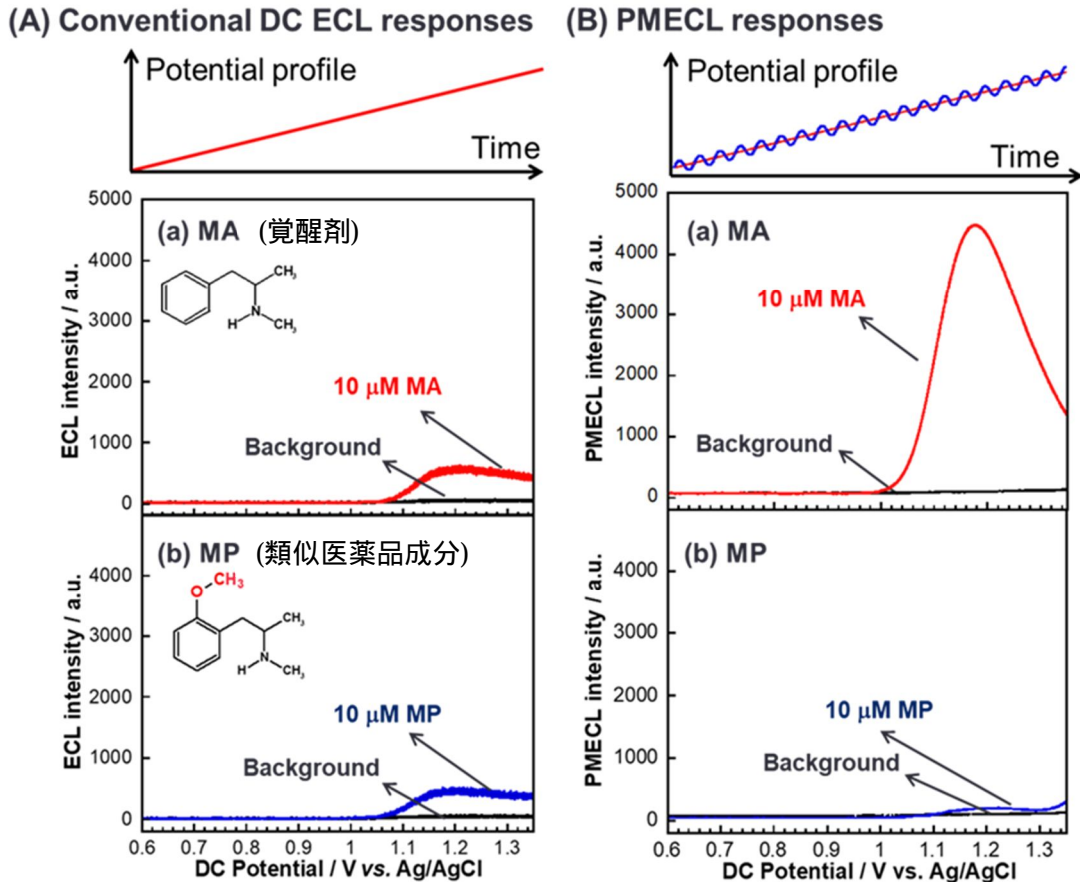


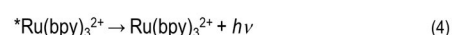
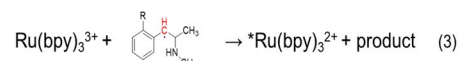
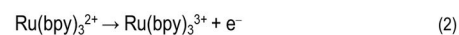
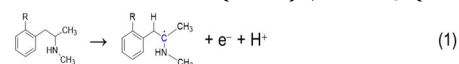
図4 MA (覚醒剤) と MP (医薬品: ドーピング薬物) の ECL 分析結果。

を用いることで覚醒剤を検出できることを示したが、類似の化学構造を有する化学種(メトキシフェナミン, MP) が覚醒剤に偽陽性を示す結果が得られている (Fig. 4 (A))。そのため, MA 分析の際は高感度検出に加えて, 選択性の向上が課題であった。そこで, PM-ECL による MA の高感度検出とともに類似化学種との識別技術への展開について検討した。PM-ECL 計測では直流電位に重畳させた交流成分に対応する ECL 応答を検出ため, 交流成分の周波数および振幅に対応する応答が観測される。10 Hz の周波数, 100 mV の振幅の交流成分を直流電位に重畳させた際に得られた ECL シグナルについて, 交流成分をロックイン検出した結果を Fig. 4 (B) に示した。MA では明瞭な ECL 応答が観測されたのに対して, MP ではその応答は微弱であったことから, その PM-ECL 挙動の違いについて調査した。MA を含むフェネチルアミン系の ECL 反応機構は完全には解明されていなかったことから, 先ずその詳細な解析を行った。ECL は電極反応に伴って生成した共反応物のラジカル中間体と, $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{3+}$ が後続化学反応することで, 励起状態となって発光する (Scheme 1)。ECL 強度は一連の反応機構中で生成するラジカル中間体の物質質量に対応する。そのため, 反応中で生じたラジカル中間体の寿命 (安定性) が強く ECL 強度に影響することから, MA ラジカルと MP ラジカルとの安定性について DFT 計算した。その結果, MP ラジカルに比べて MA ラジカルがより安定であることが分かった。PM-ECL 測定中では, 10 Hz の比較的速い変調電位が電極へ印加されるため, 安定性の高い MA ラジカルが MP ラジカルよりも速やかに ECL 反応に関与することが示唆された。選択的な検出方法として利用が期待されたことから, 尿試料について MA の添加回収実験を行ったところ, 簡便な前処理と組み合わせることで高感度に覚醒剤を検出できることが分かった (F. Takahashi, et. al. *Anal. Chim. Acta* **2022**)。

続いて, 濫用のおそれのある医薬品成分であるコデインの ECL 検出法について基礎的検討を行った。コデインは代謝によってモルヒネが生じるため, 法薬毒物分析において識別検出が求められている。今回, $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ を ECL エミッターとして用いたところ, コデインに ECL 活性を有することが確認され, ECL 活性が微弱なモルヒネと識別できることが分かった。現場分析を指向した市販薬中のコデイン検出に展開したところ, 通常のアミン類の ECL 測定で用いられている弱塩基性の条件下ではメチルエフェドリンやノスカピンなどの夾雑成分の影響でコデインの選択的な検出は困難であ

Scheme 1 推察したフェネチルアミンの ECL 反応機構。

R: -H (MA), -OCH₃ (MP)



った。そこで測定条件の詳細な検討を行ったところ、コデインは弱酸性の条件下で ECL 活性を示す特徴的な性質を有することが分かり、弱塩基性の条件下で強い妨害を示す夾雑成分の影響を除去して選択的に検出できた。微量の試料中に含まれるコデインを検出できるシステムに展開させるため、PM-ECL 測定と組み合わせることで、高感度で選択的なコデイン分析法が提案された (F. Takahashi, et. al. *Chem. Pharm. Bull.* 2022)。

(3) 合成した MIP による分離と、ECL による検出を組み合わせた分析技術への展開について検討した。ジヒドロコデインを鑄型分子とした MIP について、グラッシーカーボン電極上にキャスト法によって固定化した電極に対する ECL 検出を行ったところ、鑄型分子を選択的に検出することが可能であった。この ECL 強度は分析対象物の濃度に依りて変化するため、定量分析への展開が示唆された一方で、この電極はドロップキャスト時の MIP 修飾量を正確に制御することは困難であったため、再現性の点で課題が挙げられた。そこで MIP 修飾量を均一にするため、カーボンペースト電極と組み合わせる手法へと展開した。この電極を分析対象物を含む水溶液に浸漬させることで再吸着させた後、純水で洗浄、ECL 測定を行った。NIP を修飾したカーボンペースト電極 (NIP/CPE) からはほとんど発光が観測されなかった一方で、MIP/CPE では NIP/CPE と比較し、より明瞭な発光が観測された。代表としてジヒドロコデインを鑄型分子として合成した MIP に対する ECL 測定結果を Fig. 5 (a) に示した。これはポリマーの吸着サイトにジヒドロコデインが取り込まれたことで電極上に濃縮し、効率的に ECL 反応が進行したと推察した。そのジヒドロコデイン溶液の濃度や浸漬時間の増加に伴い ECL 強度も増加することが確認された。さらに MIP のジヒドロコデインに対する選択性を評価した結果を Fig. 5 (b)-(d) に示す。モルヒネ (b)、コデイン (c)、メチルエフェドリン (d) からの発光はバックグラウンドとほぼ同じ強度を示した。DHC を鑄型に用いた MIP の吸着サイトは 3 次元であるため、DHC に比べ平面構造であるモルヒネ等は捕捉されにくかったと推察され、選択的な検出技術への利用が期待された。しかし、MIP 中に再吸着された鑄型分子の物質量は微量で、一般的な ECL 測定では十分な感度を得られなかった (LOD 約 150 μM)。そこで高感度検出を試みるため電位変調を用いた ECL (PM-ECL) 法へ展開した。PM-ECL 強度は交流電位の振幅および周波数に依存し、振幅 100 mV、周波数 100 Hz の交流電位を直流電位に重畳させた測定を行ったところ、ノイズを除去して ECL 信号を増幅して検出でき、従来の電位掃引法と比較して 1 桁以上の感度を向上してジヒドロコデインを検出できた (Fig. 6 ; LOD 約 4.5 μM)。市販薬を用いた分析ではメチルエフェドリンやクロルフェニラミンなどの妨害成分を含んだ条件においても、ジヒドロコデインを選択的に検出できたことから、本法は簡便な高感度検出法の可能性が示唆された。

(4) その他、本研究課題の遂行中において、効果的な前処理技術の開発についても検討を行った。一般的な溶媒抽出法は、複雑な夾雑成分を含む試料中から分析対象化学種を分離抽出することが可能であるが、水-有機溶媒を混合した後に相分離させるためには比較的時間を要していた。そのため、現場における相分離法として手動遠心分離器を試作し、簡便に溶媒抽出できるシステムを試作した上で、神経剤の簡易スクリーニング技術に応用した。設計した前処理キットを用いて、一層選択性の高い ECL 分析に展開するための検討を現在行っている (F. Takahashi, et. al. *Sens. Actuators B.* 2021)。

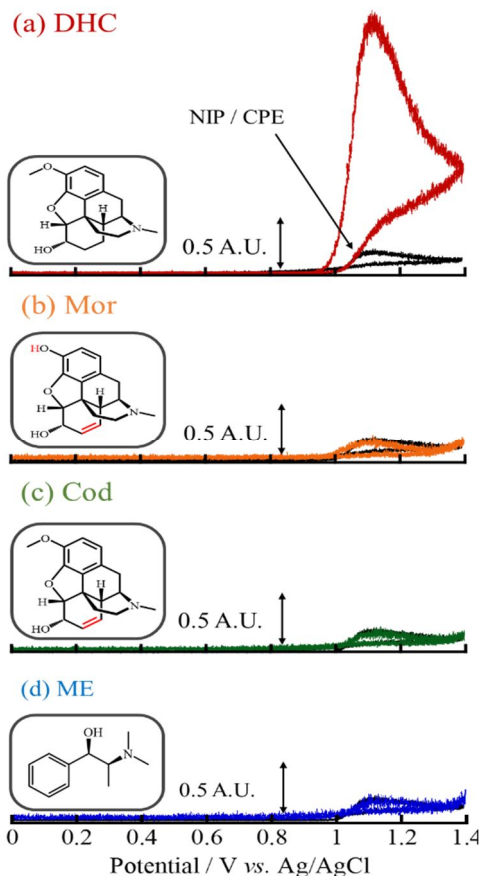


Fig. 5 MIP/CPE ヘジヒドロコデイン (赤線)、モルヒネ (黒線)、コデイン (緑線) およびメチルエフェドリン (青線) を再吸着させた ECL-電位プロファイル。

また、DHC を鑄型に用いた MIP の吸着サイトは 3 次元であるため、DHC に比べ平面構造であるモルヒネ等は捕捉されにくかったと推察され、選択的な検出技術への利用が期待された。しかし、MIP 中に再吸着された鑄型分子の物質量は微量で、一般的な ECL 測定では十分な感度を得られなかった (LOD 約 150 μM)。そこで高感度検出を試みるため電位変調を用いた ECL (PM-ECL) 法へ展開した。PM-ECL 強度は交流電位の振幅および周波数に依存し、振幅 100 mV、周波数 100 Hz の交流電位を直流電位に重畳させた測定を行ったところ、ノイズを除去して ECL 信号を増幅して検出でき、従来の電位掃引法と比較して 1 桁以上の感度を向上してジヒドロコデインを検出できた (Fig. 6 ; LOD 約 4.5 μM)。市販薬を用いた分析ではメチルエフェドリンやクロルフェニラミンなどの妨害成分を含んだ条件においても、ジヒドロコデインを選択的に検出できたことから、本法は簡便な高感度検出法の可能性が示唆された。

(4) その他、本研究課題の遂行中において、効果的な前処理技術の開発についても検討を行った。一般的な溶媒抽出法は、複雑な夾雑成分を含む試料中から分析対象化学種を分離抽出することが可能であるが、水-有機溶媒を混合した後に相分離させるためには比較的時間を要していた。そのため、現場における相分離法として手動遠心分離器を試作し、簡便に溶媒抽出できるシステムを試作した上で、神経剤の簡易スクリーニング技術に応用した。設計した前処理キットを用いて、一層選択性の高い ECL 分析に展開するための検討を現在行っている (F. Takahashi, et. al. *Sens. Actuators B.* 2021)。

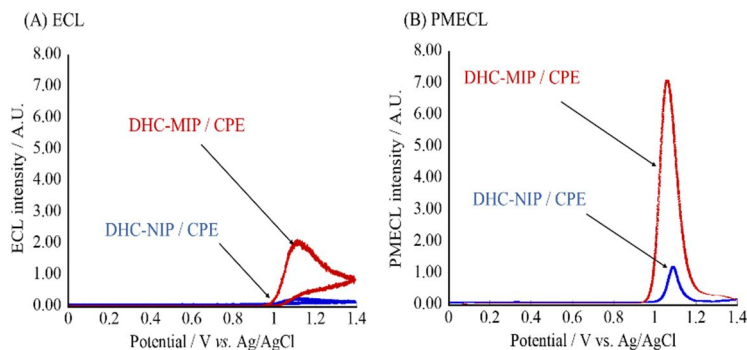


Fig. 6 MIP/CPE (赤線)、NIP/CPE (青線)、Bare/CPE (黒線) を用いて測定した 0.50 mM Ru(bpy)₃²⁺を含む pH 9.0 PBS に対する ECL 挙動 (A)、PM-ECL プロファイル (B)。掃引速度 20 mV/s、AC amplitude 100 mV、Frequency 100 Hz、PMT Voltage 750 mV。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takahashi Fumiki, Shimosaka Yuki, Mori Shuki, Kaneko Mayu, Harayama Yuta, Kobayashi Kanya, Shoji Taku, Seto Yasuo, Tatsumi Hirotsuke, Jin Jiye	4. 巻 72
2. 論文標題 Development of a Potential-Modulated Electrochemiluminescence Measurement System for Selective and Sensitive Determination of the Controlled Drug Codeine	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemical and Pharmaceutical Bulletin	6. 最初と最後の頁 271 ~ 279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1248/cpb.c23-00585	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 Takahashi Fumiki, Matsuda Kazusane, Nakazawa Tomoyuki, Mori Shuki, Yoshida Masachika, Shimizu Ryo, Tatsumi Hirotsuke, Jin Jiye	4. 巻 6
2. 論文標題 Synthesis and characterization of molecularly imprinted polymers for detection of the local anesthetic lidocaine in urine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SEPARATION SCIENCE PLUS	6. 最初と最後の頁 2200081 ~ 2200081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/sscp.202200081	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 TAKAHASHI Fumiki, TANAKA Ryutaro, ARAI Yuta, TATSUMI Hirotsuke, JIN Jiye	4. 巻 37
2. 論文標題 Electrochemiluminescence of Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)/Tri-n-propylamine with an Electric Contactless Power Transfer System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1309 ~ 1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.21A002	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 Takahashi Fumiki, Nitta Saki, Shimizu Ryo, Shoji Taku, Tatsumi Hirotsuke, Jin Jiye	4. 巻 1191
2. 論文標題 Sensitive screening of methamphetamine stimulant using potential-modulated electrochemiluminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 339229 ~ 339229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2021.339229	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 Takahashi Fumiki, Kazui Yuko, Miyaguchi Hajime, Ohmori Takeshi, Tanaka Ryutaro, Jin Jiye	4. 巻 327
2. 論文標題 Simple colorimetric screening of the nerve agent VX using gold nanoparticles and a hand-powered extraction device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 128902 ~ 128902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2020.128902	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23件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大野 翔太, 森 柊樹, 吉田 全慶, 高橋 史樹
2. 発表標題 ブロムヘキシンの選択的分析を指向した分子インプリントポリマー
3. 学会等名 「分析中部・ゆめ21」若手交流会 第23回高山フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五島 文太郎, 舘 匡磨, 高橋 史樹
2. 発表標題 Au-S 相互作用を利用した選択的なECL検出のための基礎検討
3. 学会等名 「分析中部・ゆめ21」若手交流会 第23回高山フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 全慶, 森 柊樹, 大野 翔太, 高橋 史樹
2. 発表標題 抗ヒスタミン薬レボセチリジンの選択検出を指向した分子インプリントポリマーの合成と評価に関する研究
3. 学会等名 「分析中部・ゆめ21」若手交流会 第23回高山フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 史樹, 森 柁樹, 吉田 全慶, 下坂 優貴, 松田 和真
2. 発表標題 分子インプリントポリマーと組み合わせた電気化学発光法によるジヒドロコデインの簡便な選択検出法の開発
3. 学会等名 日本薬学会第144回分析化学討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 金子 真由, 田中 竜太郎, 新井 優太, 高橋 史樹
2. 発表標題 電気化学発光法によるメトキシフェナミン鎮咳薬スクリーニングのための非接触給電分析デバイスの開発
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 全慶, 森 柁樹, 高橋 史樹
2. 発表標題 抗ヒスタミン薬レボセチリジンを指向した電気化学発光検出法の開発に関する研究
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 柁樹, 吉田 全慶, 下坂 優貴, 高橋 史樹
2. 発表標題 分子インプリントポリマーと組み合わせた電気化学発光によるジヒドロコデインの選択的な新規検出法の開発
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子 真由, 五島 文太郎, 田中 竜太郎, 高橋 史樹
2. 発表標題 現場分析を指向した安全・簡便な分析デバイス ~置くだけ分析チップの開発~
3. 学会等名 日本分析化学会第72年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金子 真由, 田中 竜太郎, 新井 優太, 高橋 史樹
2. 発表標題 非接触給電システムを利用したメトキシフェナミン鎮咳薬の電気化学発光検出システムの開発
3. 学会等名 第82回分析化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 史樹, 金子 真由, 田中 竜太郎
2. 発表標題 非接触給電システムを利用したメタンフェタミンの電気化学発光検出デバイスの開発
3. 学会等名 日本法中毒学会第41年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下坂 優貴, 林 真倫那, 森 柊樹, 金 継業, 高橋 史樹
2. 発表標題 電位変調-電気化学発光法を用いたコデイン鎮咳薬成分の高感度検出に向けた基礎検討
3. 学会等名 日本分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 史樹
2. 発表標題 微量薬毒物成分分析のための新規濃縮分離・検出技術の開発に関する研究
3. 学会等名 第39回分析化学中部夏期セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 柊樹、巽 広輔、金 継業、高橋 史樹
2. 発表標題 分子インプリントポリマ - と組み合わせた電気化学発光によるジヒドロコデインの選択的検出法の開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 真由、田中 竜太郎、新井 優太、高橋 史樹
2. 発表標題 非接触給電技術と組み合わせた電気化学発光の原理に基づくメトキシフェナミン鎮咳薬のスクリーニングに向けた基礎検討
3. 学会等名 「分析中部・ゆめ21」若手交流会第22回高山フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 史樹
2. 発表標題 簡便な溶媒抽出用の手動遠心分離器と組み合わせたナノ粒子を用いた化学剤スクリーニング
3. 学会等名 Nanotech2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 史樹、下坂 優貴、森 柊樹、吉田 全慶、瀬戸 康雄
2. 発表標題 電位変調-電気化学発光法を用いた薬剤中のコデインの高感度センシング法の開発
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 史樹
2. 発表標題 法科学分析の適用範囲の拡大に向けて ～科学捜査研究所の業務経験と研究内容のご紹介～
3. 学会等名 九州保健福祉大学薬学部 薬学科コロキウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下坂 優貴、松田 和真、巽 広輔、金 継業、高橋 史樹
2. 発表標題 電気化学発光法を用いたコデインの定量
3. 学会等名 日本分析化学会第81分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田 和真、中澤 朝之、巽 広輔、金 継業、高橋 史樹
2. 発表標題 リドカインの選択検出を指向した分子インプリントポリマーの合成と評価
3. 学会等名 日本分析化学会第81分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田 和真, 森 柊樹, 下坂 優貴, 巽 広輔, 金 継業, 高橋 史樹
2. 発表標題 モルヒネの選択検出を指向した分子インプリントポリマーの合成と評価
3. 学会等名 第52回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 :田中 竜太郎, 新井 優太, 高橋 史樹
2. 発表標題 ワイヤレス給電技術を利用したルテニウム()錯体/トリプロピルアミン系電気化学発光の基礎検討
3. 学会等名 日本分析化学会第69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 史樹, 数井 優子, 宮口 一, 大森 毅, 金 継業
2. 発表標題 金ナノ粒子の色調変化を利用したVX神経剤のスクリーニング分析
3. 学会等名 日本法中毒学会第39年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 史樹, 南 将司, 山本 直人
2. 発表標題 電気化学発光を利用したVX神経剤分解物 (2-(Diisopropylamino)ethanethiol) 検出法の開発
3. 学会等名 第80回日本分析化学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担 者	金 継業 (Jin Jiye) (40252118)	信州大学・学術研究院理学系・教授 (13601)	

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
---------	---------