

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05173

研究課題名(和文) 三角波制御振幅変調フロー分析法の開発と高濃度試料の非希釈分析への応用

研究課題名(英文) Development of triangular-wave controlled amplitude-modulated flow analysis and its application to high concentration sample analysis with no dilution.

研究代表者

田中 秀治 (TANAKA, Hideji)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部(薬学域)・教授

研究者番号：40207121

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者が創案した振幅変調多重化フロー分析法(試料流量の周期的変動と周波数解析を利用した多試料/多成分同時分析法)を基盤に、高濃度試料の非希釈分析が可能な「三角波制御振幅変調フロー分析法」を提案した。試料流量を三角波周期信号で変動させ、下流で得られる検出信号を高速フーリエ変換で解析することにより、分析装置の測定レンジの上限あるいは試薬の不足により検出信号が飽和する高濃度試料でも定量が可能であることを理論的に示し、色素水溶液や吸光度法を用いて実証した。さらに、高濃度呈色物の沈着の恐れのない光学窓のない検出法として、液滴を用いた検出法についても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
分析化学研究は高感度化、高選択性、高分離能などに向かっている。微量試料中の超微量成分の測定が可能な超高感度分析法も開発されている。一方、産業現場では、工程管理や水質管理のために常量試料中の主成分が対象になることも多く、測定に先だつ試料の希釈がしばしば必要となる。希釈操作は手間と時間を要するだけでなく、誤差の原因にもなりうる。このため、高濃度試料を希釈することなく測定できる分析法の開発は意義がある。本研究で提案した「三角波制御振幅変調フロー分析法」は装置の測定レンジ上限あるいは試薬量不足により検出信号が飽和する系にも適用でき、学術的な新規性・独創性に加え、社会的意義のあるものである。

研究成果の概要(英文)：Amplitude-modulated multiplexed flow analysis (AMMFA) is a multiple sample/analyte analytical method utilizing flow rate modulation and frequency analysis. In this study, based on AMMFA, we proposed a "triangular wave controlled amplitude-modulated flow analysis" that enables non-dilution analysis of high concentration samples. The sample flow rate was varied with a periodic triangular signal. The detection signal was analyzed with a fast Fourier transform. From the amplitudes of the wave components, quantification of highly concentrated samples is possible even when the detection signal is saturated due to the upper limit of the instrument's range or lack of reagents. The concept was demonstrated using a dye solution and spectrophotometric methods. Furthermore, a drop-based detection with no optical window was also investigated to avoid the deposition of a highly concentrated colored analyte on the optical window.

研究分野：分析化学(フロー分析法)

キーワード：フロー分析法 自動連続分析法 振幅変調フロー分析法 高濃度試料 非希釈分析 高速フーリエ変換 液滴検出法

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、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の分析化学の進展はめざましく、研究の潮流は、高感度化、高選択性、高分離能、自動化、小型化、非破壊、環境負荷の低減などに向かっている。微量試料中の微量成分(究極的には単一原子あるいは分子)の測定が可能な超高感度分析法も開発されている。一方、産業現場では、高度な技能や先端機器を必要としない簡易かつ経済的な分析法への期待も高い。工程管理や水質管理のために常量試料中の主成分が対象になることも多く、測定に先だって試料の希釈がしばしば必要となる。希釈操作は手間と時間を要するだけでなく、誤差の原因にもなりうる。このため、高濃度の試料を希釈することなく測定できる分析法の開発は意義があると考得られる。

研究代表者は、2000年にフィードバック制御フローレイシヨメトリー feedback-based flow ratiometry (FBFR)と名付けた新規分析法を発表した。三角波制御信号を用いて2液をさまざまな流量比で合流させ、制御信号と検出信号との関係を解析することで定量分析(2005-2006 基盤研究(C))を行う。フィードバック制御により、目的情報の取得のために必要最小限の範囲に流量比走査を限定し、高い効率を得る。フロー滴定への応用では、最高43.1滴定/分(1滴定あたり1.4秒)という超ハイスループット化を実現した(2015-2017 基盤研究(C))。物性測定への応用も可能である(2002-2003 基盤研究(C))。

FBFRでは三角波で流量を制御することから、「波」に関する理論をフロー分析法に応用できないかと考え、2008年に振幅変調多重化フロー分析法 amplitude modulated multiplexed flow analysis (AMMFA)を発表した(2007-2008 萌芽研究)。複数の試料の流量を、それぞれ周波数が異なる正弦波制御信号で変動させ(試料情報の変調)、試料を合流させて情報の多重化を行い、下流で得られる検出信号を高速フーリエ変換 FFT することで、簡素なシステムで多試料同時分析あるいは多成分同時定量を可能にする(2009-2011, 2012-2014 基盤研究(C))。さらに、頑健性の向上のため、内標準法を導入した AMMFA の研究を行った。

以上の背景をもとに、本研究では、FBFRの三角波制御方式を AMMFA に導入することで、高濃度試料の非希釈分析にも対応できる新規フロー分析法「三角波制御振幅変調フロー分析法」の発想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フィードバック制御フローレイシヨメトリーの手法(三角波制御信号による流量の制御)を振幅変調多重化フロー分析法の原理(検出信号の周波数解析による定量)に導入し、高濃度試料の直接分析(非希釈分析)にも対応可能な「三角波制御振幅変調フロー分析法」を開発することである。高濃度試料では、検出信号が分析装置の測定レンジの上限に達したとき、あるいは目的成分が試薬に対して過剰になったとき、信号が飽和する(上限値に達する)。このような場合、試料流量を三角波制御信号で変動させると、台形状の検出信号が得られる。この台形波形を周波数解析することで、各周波数成分の振幅をもとに直線検量線が作成できることを、特定条件におけるシミュレーションから予測している。本研究ではその一般的証明を数学的に導くとともに、呈色反応を要しない色素水溶液を用いて実験的な証明を与える。さらには呈色反応に応用して、本法の有効性を明らかにする。実際のフロー系では、試料の分散による振幅の減衰が避けられない。本研究では、三角波制御振幅変調フロー分析法がどれくらい高い濃度の試料にまで適用可能か、実試料に応用したときどの程度の分析性能を発揮できるかを明らかにしながら、新規性と実用性を兼ね備えた新規フロー分析法として完成させる。

3. 研究の方法

フローシステムを図1に示す。信号発生器 SG から供給される三角制御信号 V_c でポンプ P_1 を制御し、試料溶液 S の流量を変動させる。呈色試薬液 CR は一定流量で送液する。総流量一定のもと、第3の流路から水を吸引する。合流液は分光光度検出器 D 内の石英セル(光路長1mm)に導かれ、その相対吸光度が測定される。検出器の出力信号 V_d を V_c とともに A/D-D/A 変換器を介してコンピュータ PC に取得する。Microsoft Visual Basic .NET プログラムを自作し、信号の取得と解析を自動化する。FFT 計算は、制御周期内の等間隔16点を用いてリアルタイムで行う。

4. 研究成果

(1) 理論の構築 [1]

図2に本法の原理を示す。 V_c (周期 T) は液の合流点における溶液組成を決定するため、これ

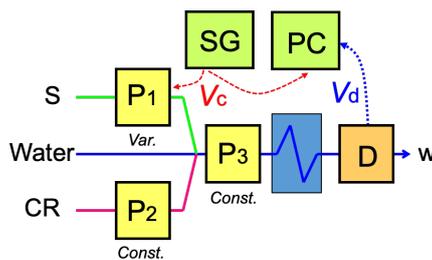


図1 三角波制御振幅変調フロー分析システム

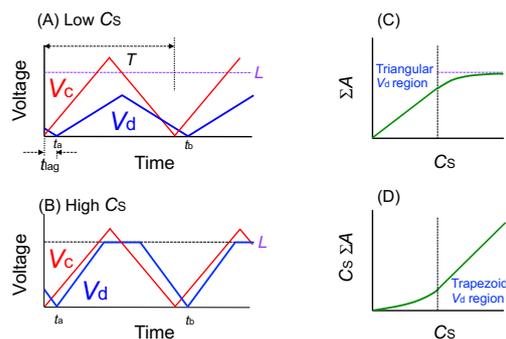


図2 三角波制御振幅変調フロー分析法の原理

に対応する V_d が下流で得られるまでに遅れ時間 t_{lag} が生じる。試料濃度 C_s が低い場合(A), V_d は V_c と同様に三角形形状となる。 V_d の傾きは C_s に比例する (a を比例定数として $-aC_s$ または aC_s)。周期信号とフーリエ変換の性質から, FFT で得られる各周波数成分の振幅 A_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) と C_s の関係は, 図 2(A) の t_a と t_b をそれぞれ時刻 0 と T とすることで, 余弦項のみで表すことができる。

$$A_n = \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} - \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} \cos n\pi \quad (1)$$

n が偶数または奇数のとき, A_n はそれぞれ 0 または $2aC_sT/(n^2\pi^2)$ となる。したがって, 振幅の和 ΣA と C_s との間には, 公式 $\Sigma \{1/(2k-1)^2\} = \pi^2/8$ を用いて以下の関係で表され, ΣA は C_s に比例することがわかる。

$$\begin{aligned} \Sigma A &= \Sigma \left\{ \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} - \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} \cos n\pi \right\} = \frac{2aC_sT}{\pi^2} \left(\frac{1}{1^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{5^2} + \dots \right) \\ &= \frac{2aC_sT}{\pi^2} \frac{\pi^2}{8} = \frac{aC_sT}{4} \end{aligned} \quad (2)$$

C_s が高くなると(B), 装置の測定上限値や試薬に対する目的物質の過剰により V_d が上限値 L で飽和する。式(1)の場合と同様の時刻設定をすることで, A_n は余弦項のみで表される。

$$A_n = \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} - \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} \cos \frac{2n\pi L}{aC_sT} \quad (3)$$

公式 $\Sigma(1/n^2) = \pi^2/6$ および $-\frac{1}{\pi^2} \Sigma \frac{\cos 2n\pi x}{n^2} = x - x^2 - \frac{1}{6}$ (ただし $0 \leq x \leq 1$) を用いて, 以下の関係が導かれる。すなわち, ΣA は C_s に反比例する。

$$\begin{aligned} \Sigma A &= \Sigma \left\{ \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} - \frac{aC_sT}{n^2\pi^2} \cos \frac{2n\pi L}{aC_sT} \right\} = \frac{aC_sT}{\pi^2} \Sigma \frac{1}{n^2} + aC_sT \left\{ -\frac{1}{\pi^2} \Sigma \frac{\cos \frac{2n\pi L}{aC_sT}}{n^2} \right\} \\ &= \frac{aC_sT}{\pi^2} \frac{\pi^2}{6} + aC_sT \left\{ \frac{L}{aC_sT} - \frac{L^2}{(aC_sT)^2} - \frac{1}{6} \right\} = L - \frac{L^2}{aC_sT} \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)の両辺に C_s を乗じると, C_s について一次の関係式が得られる。

$$C_s \Sigma A = LC_s - \frac{L^2}{aT} \quad (5)$$

式(5)は, $C_s \Sigma A$ が C_s に比例することを意味している。

(2) 結果と考察 [1]

まず, 解析を容易にするために, 呈色反応を要しないメチレンブルー(MB)水溶液を用いて検討した。図 3 に, 種々の MB 濃度(C_{MB})に対する 2 周期 (240 s) 分の V_d を, 各信号の位相が一致するように重ね合わせて示す。40 mg dm^{-3} 以上の C_{MB} で, 信号が飽和した。図 4 には, 式(2)および(5)に基づくプロットを示す。0~30 mg dm^{-3} C_{MB} では, 式(2)で予想されるように, ΣA は C_{MB} に比例し ($r^2 = 0.996$), 検出限界(3.3 σ)は 2.69 mg dm^{-3} であった。高 C_{MB} 領域 (40~90 mg dm^{-3}) では, 式(5)で予想されるように, $C_{MB} \Sigma A$ が C_{MB} に比例した ($r^2 = 0.997$)。これらの結果は, 分析信号が飽和している場合でも, 本法では定量が可能であることを示している。対照実験として, 流量等の条件を同じにして FIA で測定したところ, 45 mg dm^{-3} 以上の MB で信号が飽和し, 測定不能となった。

本法を *o*-Phenanthroline (Phen) 吸光光度法による Fe^{2+} 定量 (試料流量 0-1.2, 試薬流量 0.15, 総流量 1.47 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$, 分析波長 510 nm, 制御周期 60 s, Phen 濃度 40 mmol dm^{-3}) および Tiron 吸光光度法による Fe^{3+} 定量 (試料流量 0-1.2, 試薬流量 0.16, 総流量 1.40 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$, 分析波長 660 nm, 制御周期 120 s, Tiron 濃度 10.5 mmol dm^{-3}) に応用した。前者では 0.7 mmol dm^{-3} 以上の Fe^{2+} 濃度で検出信号は飽和したが, 式(5)を用いて 1.2 mmol dm^{-3} まで定量することができた。後者では 2 mmol dm^{-3} 以上の Fe^{3+} 濃度で飽和信号となり, 4 mmol dm^{-3} まで定量できた。いずれも, さらに高濃度では, 管軸方向の分散による振幅減衰の影響が避けられず, 式(5)による直線プロットから下側にずれた。

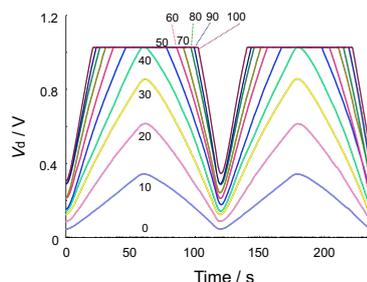


図 3 種々濃度の MB に対する検出信号 (分析波長 660 nm)

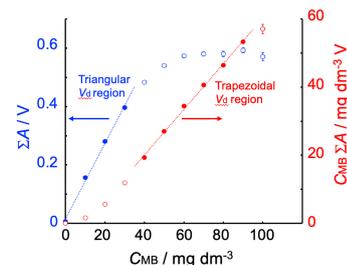


図 4 種々濃度の MB に対する検出信号

管軸方向の分散による振幅減衰の影響が避けられず, 式(5)による直線プロットから下側にずれた。

研究遂行の過程で、本法は試薬不足により V_d が飽和する系にも有効であることがわかった。Phen 濃度を 2 mmol dm^{-3} まで減少させて測定したところ、 $0.1 \sim 0.2 \text{ mmol dm}^{-3}$ の Fe^{2+} 濃度で台形状の V_d が得られ、式(5)による解析が可能であった。1 回の測定(60 秒)における Phen の消費量は 0.00026 mmol であり、公定法(バッチ法、最終容量 100 cm^3)の 0.94% であった。この結果は、本法は試薬削減にも有効であることを示している。本法を非常用シャワー(長期滞留のため赤錆発生)、含鉄温泉水、汚染河川水、農業用ため池水の総鉄定量に応用し、良好な結果を得た。

(3) 液滴検出法の開発

高濃度試料の吸光光度検出では、呈色物質が光学セル窓に吸着し測定結果に影響を与えるおそれがある。そこで、「窓」を有しない光学セルとして流路末端に生成する液滴に注目し、その吸光光度測定法および画像検出法について検討した。クリスタルバイオレット(CV)水溶液を用いた基礎的検討を行ったのち、モリブデンブルー(MB)法による PO_4^{3-} の定量へ応用した。図 5 に液滴の吸光光度測定システム[2]を示す。流路末端に生じる液滴に光ファイバーを介して LED 光($\lambda_{\text{max}} = 880 \text{ nm}$)を入射させ、透過光をフォトセンサアンプ PD で検出・増幅したのち、デジタルデータとしてコンピュータに取得する。画像検出システム[3,4]では、液滴をデジタルマイクروسコープで動画撮影し、Open CV ライブラリを活用して画像の RGB 値を求めた。

いずれの検出法においても、液滴の生成・生長・落下に伴い、検出信号は周期的に変動する(図 6)。各液滴の落下直後の空気をブランクにすることで、吸光光度検出では LED 光のゆらぎに対する頑健性が向上した。 $0 \sim 100 \mu\text{M}$ の PO_4^{3-} に対し、吸光光度検出では $r^2 > 0.997$ 、画像検出では輝度 $L = (0.17697R + 0.81240G + 0.01063B)$ を用いた場合 $r^2 > 0.98$ の直線性がそれぞれ得られた。

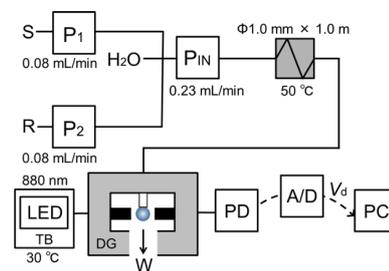


図 5 液滴検出システム (吸光光度検出)

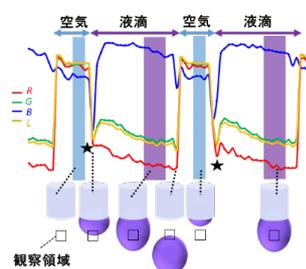


図 6 検出信号と液滴状態 (画像検出)

(4) RGB 単位ベクトル間の内積に基づく指示薬の変色判定とフロー滴定への応用 [5]

液滴の画像検出法の開発から派生して、測色値(色彩値)を用いて変色を判定する方法を開発した。これを固定三角波制御フローレイシヨメトリーによるフロー滴定に応用した。システムを図 7(A)に示す。総流量一定のもと、三角波制御信号 V_c によって流量比を連続的に変化しつつ滴定液と被滴定液を合流させ、動画データ IMG を得る。画像の色を RGB 色空間中の単位ベクトルに変換し、滴定開始時と滴定中の両ベクトル (\vec{v}_1, \vec{v}_2) 間の内積 ($|\vec{v}_1||\vec{v}_2| \cos \theta = \cos \theta$; θ は両ベクトルがなす角度)を求める。指示薬の変色前は両ベクトルが同方向を向いているため内積は 1 であるが、変色域に達すると急激に低下するので、これをもとに当量点を判定する(図 1(B))。当量点検出の瞬間に V_c の走査方向を反転させて走査範囲を限定する。隣り合う V_c の極大値と極小値を平均することで、両液の合流から検出までの遅れ時間が相殺され、当量点組成を与える V_c が求められる。

様々な酸・塩基・指示薬の組み合わせで検討し、内積 = 0.7 を当量点信号とした。日本薬局方医薬品や食酢の酸塩基滴定(非水滴定を含む)に応用した結果、1 滴定あたり約 18 秒の効率、 $\text{RSD} < 4.4\%$ の精度で定量できた。本システムは光源や波長の選択を必要しないため経済的であり、指示薬の色に応じて三刺激値 R, G, B のいずれが最適かを選択する必要もないことから、汎用性にも優れると考える。

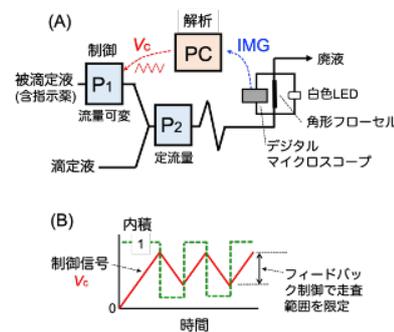


図 7 フィードバック制御フローレイシヨメトリー (A) システム (B) 原理 (制御信号と内積値との関係)

- [1] H. Tanaka, R. Wada, M. Yanase, E. Tomiyama, A. Ohbuchi, K. Higuchi, M. Takeuchi, *Anal. Sci.*, 38, 795-802 (2022).
- [2] 田島 歩未, 竹内 政樹, 田中 秀治, 日本分析化学会第 70 年会講演要旨集, Y1040 (2021).
- [3] 田中秀治, 大楠剛司, 久保祐哉, 竹内政樹, 「振幅変調多重化フロー分析法によるリン酸イオンの定量」 in 杉山茂 編 「人類の恒久的繁栄に向けた対枯渇資源対応技術の開発」, 徳島大学産業院出版部, 徳島, 2020, pp. 15-19.
- [4] 谷口朋代, 森口一平, 竹内 政樹, 田中 秀治, 日本分析化学会第 70 年会講演要旨集, Y1136 (2021).
- [5] N. Kakiuchi, J. Ochiai, M. Takeuchi, H. Tanaka, *Anal. Sci.*, 37, 3-5 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Naoya KAKIUCHI, Junya OCHIAI, Masaki TAKEUCHI, Hideji TANAKA	4. 巻 37
2. 論文標題 Inner Product of RGB Unit Vectors for Simple and Versatile Detection of Color Transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 3-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.20C015	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 Hideji Tanaka, Riona Wada, Masatoshi Yanase, Erina Tomiyama, Akira Ohbuchi, Keiro Higuchi, Masaki Takeuchi	4. 巻 38
2. 論文標題 Triangular-wave controlled amplitude-modulated flow analysis for extending dynamic range to saturated signals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 795-802
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s44211-022-00097-4	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18件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 築瀬真利, 和田莉緒菜, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 三角波制御振幅変調フロー分析法による高濃度試料の非希釈分析
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柿内直哉, 落合惇也, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 医薬品定量のためのデジタル画像処理によるフロー滴定
3. 学会等名 第59回日本薬学会・日本薬剤師会・日本病院薬剤師会 中国四国支部学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 築瀬真利, 和田莉緒菜, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 三角波制御振幅変調フロー分析法による試薬消費量低減; 全鉄定量による検証
3. 学会等名 第59回日本薬学会・日本薬剤師会・日本病院薬剤師会 中国四国支部学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中秀治, 和田莉緒菜, 築瀬真利, 竹内政樹
2. 発表標題 試薬消費量の節減を可能にする三角波制御フロー分析法の開発
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口朋代, 田島歩未, 柿内直哉, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 液滴を用いたRGB画像検出法の開発
3. 学会等名 第25回分析化学若手セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島歩未, 谷口朋代, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 液滴を用いた吸光光度検出法の開発
3. 学会等名 第25回分析化学若手セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田莉緒菜, 竹内政樹, 田中秀治
2. 発表標題 高濃度試料の分析を目的とした三角波制御フロー分析法の研究
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideji Tanaka, Masaki Takeuchi
2. 発表標題 Principle and application of amplitude modulated multiplexed flow analysis
3. 学会等名 International symposium on miniaturized systems for chemical separation and analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中秀治, 和田莉緒菜, 築瀬真利, 樋口慶郎, 竹内政樹
2. 発表標題 高濃度試料の非希釈分析を目的とする三角波制御振幅変調フロー分析法の開発
3. 学会等名 日本薬学会第140年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中秀治, 和田莉緒菜, 竹内政樹
2. 発表標題 高濃度試料の分析を目的とした三角波制御フロー分析法の開発とFe ²⁺ + 定量による検証
3. 学会等名 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中秀治, 和田莉緒菜, 築瀬真利, 樋口慶郎, 竹内政樹
2. 発表標題 振幅変調多重化フロー分析法と高濃度試料の非希釈分析
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideji Tanaka, Riona Wada, Masatoshi Yanase, Keiro Higuchi, Masaki Takeuchi
2. 発表標題 Triangular-wave controlled flow analysis for determination of high-concentration analyte without dilution
3. 学会等名 Pure and Applied Chemistry International Conference 2019 (PACCON 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中秀治, 和田莉緒菜, 築瀬真利, 竹内政樹
2. 発表標題 試薬消費量の節減を可能にする三角波制御フロー分析法の開発
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口朋代, 森口一平, 竹内 政樹, 田中 秀治
2. 発表標題 液滴の動画撮影・RGB画像検出に基づくフロー分析法の開発
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 田畠 歩未, 竹内 政樹, 田中 秀治
2. 発表標題 流路末端に生成する液滴を光学セルとして用いる吸光度検出法の開発
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 谷口朋代, 森口一平, 竹内 政樹, 田中 秀治
2. 発表標題 デジタルマイクロスコープを用いる液滴の動画撮影・測色検出法の開発
3. 学会等名 第57回フローインジェクション分析講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田畠 歩未, 竹内 政樹, 田中 秀治
2. 発表標題 LED-フォトセンサンプを用いた液滴光度検出フロー分析法の開発
3. 学会等名 第57回フローインジェクション分析講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideji Tanaka, Keiro Higuchi, Masaki Takeuchi
2. 発表標題 Development of triangular-wave controlled flow analysis and its application to the determination of high-concentration analyte without dilution
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田中秀治, 大楠剛司, 久保祐哉, 竹内政樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 徳島大学産業院出版部	5. 総ページ数 88
3. 書名 人類の恒久的繁栄に向けた対枯渇資源対応技術の開発	

〔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	竹内 政樹 (TAKEUCHI Masaki) (10457319)	徳島大学・大学院医歯薬学研究部(薬学域)・准教授 (16101)	

	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
研究協力者	樋口 慶郎 (HIGUCHI Keiro)		
研究協力者	大淵 朗 (OHBUCHI Akira) (10211111)		
研究協力者	柿内 直哉 (KAKIUCHI Naoya)		
研究協力者	和田 莉緒菜 (WADA Riona)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	富山 絵里奈 (TOMIYAMA Erina)		
研究協力者	落合 惇也 (OCHIAI Junya)		
研究協力者	築瀬 真利 (YANASE Masatoshi)		
研究協力者	谷口 朋代 (TANIGUCHI Tomoyo)		
研究協力者	田畠 歩未 (TABATA Ayumi)		
研究協力者	森口 一平 (MORIGUCHI Ippei)		

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