

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月11日現在

機関番号：16101
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2009～2011
課題番号：21550083
研究課題名（和文） 振幅変調多重化フロー分析法とその実用レベルへの発展
研究課題名（英文） Study on Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis and Its Improvement to Analysis of Practicality
研究代表者 田中 秀治（TANAKA HIDEJI） 徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・教授 研究者番号：40207121

研究成果の概要（和文）：研究代表者が考案した振幅変調多重化フロー分析法は、周波数解析に基づいて多試料同時分析を行う新規フロー分析法である。本研究では、同分析法の発展を目的として、システムの改善と分析条件の最適化による測定効率の向上、1試料中の多成分同時定量への展開、気節-非相分離法の導入による分散抑制と高感度化などを研究した。河川水など環境試料中のリン酸イオン、塩化物イオン、鉄(II)・鉄(III)イオン、亜硝酸・硝酸イオンなどの定量に応用し、その実用性と汎用性を示した。

研究成果の概要（英文）：Amplitude modulated multiplexed flow analysis is a new concept for simultaneous analysis of multiple samples based on frequency analysis. In this study, we have 1) improved the throughput of the measurement by the optimization of the system and analytical conditions, 2) proposed a concept for the simultaneous determination of multiple analytes in a sample, and 3) limited the axial dispersion through the segmentation of the liquid stream with of air-bubbles for sensitivity enhancement. The developed system has successfully been applied to the determinations of phosphate ions, chloride ions, ferrous & ferric ions, nitrite & nitrate ions, and so on, in environmental water samples.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：フロー分析，自動分析，振幅変調，多重化，フーリエ変換，同時分析，空気分節

1. 研究開始当初の背景

(1) フローインジェクション分析法（FIA）をはじめ各種フロー分析法は、その優れた長所（たとえば高精度、高効率、経済性）により、環境分析や臨床分析などの分野でめざましい発展を遂げてきた。現在では、

International Conference on Flow Injection AnalysisやFlow Analysisなどの国際会議を通じて活発な学術交流が行われ、年間数百報に達する論文が公表されている。

(2) その一方、成熟の域に近づきつつあるFIAやその関連法（シーケンシャルインジェ

クシオン分析法、ピーズインジェクション分析法など)の中で工夫や改良を行い、応用を見いだすことは益々困難になりつつあり、フロー分析の分野における新たな突破口・展開が求められている。

(3) 2000年、研究代表者はフィードバック制御フローレイシオメトリー **Feedback-based Flow Ratiometry (FFR)** と名付けた新規フロー分析法を発売した。2液をさまざまな流量比で合流させ、この流量比と下流で得られる分析信号との関係を解析することで、目的とする情報を得る。分析信号をリアルタイムで解析し、流量比走査へとフィードバックすることによって、高い測定効率を実現する。同法をフロー滴定、薬物の分配係数や電離定数の決定へと応用し、良好な成果を得た。

(4) **FFR** では、三角波制御信号を用いて流量比の上昇・下降走査を繰り返す。このことから、波に関する原理や理論がフロー分析へと応用できるのではとの着想に達した。三角関数波による試料流量の制御と高速フーリエ変換 (**FFT**) による周波数解析を組み合わせた振幅変調多重化フロー分析法 (**AMMFA**) を考案し、2007-2008年度科研費萌芽研究補助金を得て、プログラム作成およびシステム構築を行い、各種色素水溶液を用いた実験で、本発想の妥当性を示した。

(5) しかし、**AMMFA** の短所も明らかとなった。すなわち、1) 目的とする情報に変調をかけても、流れ系内での分散によってその振幅が減衰すること (感度が低下する)、2) **FFT** の原理上、解析窓において試料が一定不変でなければ正確な分析結果が得られないこと (試料濃度の速い変動を追跡できない) である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、前項 (1. (5)) で述べた2つの短所を極力克服し、**AMMFA** を実用レベルへと発展させることを目的とした。すなわち、微少流量・無脈流の送液ポンプおよび高性能検出器を用いたシステムを構築し、1) 分散による振幅減衰の抑制と 2) 脈流に起因する周期的雑音の低減をはかるとともに、3) より高周波の制御信号の適用によって試料濃度変化にも迅速に対応できるようにする。構築したシステムを 4) 環境試料中の窒素化合物の測定などに応用し、本分析法の汎用性・実用性を示す。

(2) 研究の進行に伴い、1) の分散抑制については、液流を気泡で分節することが有効であることが明らかとなり、2年度目の研究には、5) 気節-**AMMFA** の高感度化も目標に掲げた。ここでは、気泡が検出器に導入されると大きなノイズを生じ解析不能になることから、検出器直前で多孔質膜によって脱気を行った。良好な成果が得られたが、脱気後の分

散も少なからず生じたため、さらなる高感度化のため、3年度目の研究では 6) 気節-非相分離 **AMMFA** (気泡を脱気せずに検出器に導き、信号処理により気泡由来信号を除去) の研究も目的とした。

3. 研究の方法

図1に最終的な進化形である気節-非相分離 **AMMFA** の基本構成を示す。呈色反応や測定原理に応じて、図1に示したシステムを適宜アレンジした。気節法を導入していない初期の実験では P_4 の流路はない。

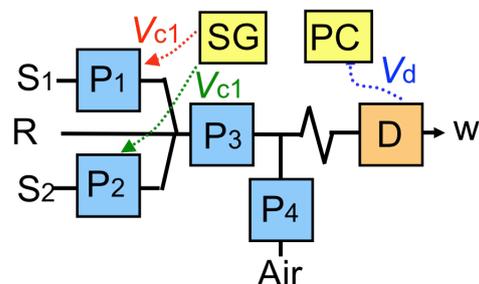


図1. 気節-非相分離 **AMMFA**

信号発生器(**SG**)から周波数の異なる制御信号(V_{c1} , V_{c2})を発生させ、試料(S_1 , S_2)流量を変動させる。総流量一定のもと、試料を試薬(**R**)と合流させる。この液流を、第4の流路から導入される空気(**Air**)によって分節し、反応コイルを経て、脱気を行うことなく検出器(**D**)に導く。検出信号 V_a を、制御信号とともにコンピュータ(**PC**)に取得し、**Excel** 形式で保存する。

制御、計測、解析、図表表示は、**VBA for Excel** で作成した自作プログラムによって完全自動化する。制御信号 V_{c1} および V_{c2} の周期の最小公倍数を解析窓として **FFT** 計算を行う。解析窓を時間とともに前方へと移動させることにより、リアルタイムでの解析を可能にする。制御信号に対応する周波数成分の振幅より、多試料同時分析あるいは多成分同時定量を行う。

まず、色素水溶液を試料として基本的分析条件の確立を行った。次に各種分析化学反応に応用し、本法の汎用性・実用性を検証した。最後に、気節法の導入による **AMMFA** の高感度化について探究した。

4. 研究成果

(1) **AMMFA** システムの最適化と塩化物イオン定量への応用

前述(2.(1))のように、正確な測定のためには、**FFT** 解析窓の時間内において試料濃度は不変でなければならない。したがって、測定効率の上昇のためには、できる限り短い変調周期を適用することが重要である。本補助金

で購入した高性能ポンプ等を用いてシステムを再構築し、マラカイトグリーン(MG)水溶液を試料として基本的分析条件を検討した。試料分散を抑制するため、図 1 に示した P₃ ポンプを検出器 D の下流に配した。総流量は、2 cm³ min⁻¹ が最適であった(小さすぎると管路内の滞留時間が長くなるため分散が進行し、大きすぎると検出器が濃度変化を追従できなくなるため、いずれも振幅が減衰したと考えられる)。5 秒の制御周期(これまでの 6 倍の測定効率)でも十分な振幅が得られ、0 - 30 μmol dm⁻³ の間で得られた検量線の直線は良好 ($r^2 = 0.999$) であり、検出限界(3.3σ) は 1.3 μmol dm⁻³、15 μmol dm⁻³ の MG 測定の繰り返し性は RSD = 2.4% (n = 10) であった。構築したシステムをチオシアン酸水銀法による塩化物イオンの定量に応用した(分析波長 480 nm)。河川水および水道水を用いた添加回収試験 (~10 mg dm⁻³) では、ほぼ 100% の良好な回収率が得られた。

(2) 振幅変調・ロックイン検出フロー分析法によるリン酸イオンの定量

遍在するものの資源としては枯渇が危惧されているリンについて、水中の微量リン酸イオンの定量を目的として振幅変調フロー分析法を応用した(多重化は行わなかった)。図 1 の S₁, S₂, R の流路からは、それぞれ試料、呈色試薬(モリブドリン酸+マラカイトグリーン+硫酸の混合水溶液; 定流量(0.6 cm³ min⁻¹)), 希釈液(水)を送液した。生じたモリブドリン酸とマラカイトグリーンのイオン対の吸光度を 625 nm で測定した。検出信号をロックインアンプに導き、試料流量の変調周期に対応する周波数成分の振幅を求め、この振幅の大きさより定量を行った。変調周期は 15 s、反応温度は 50°C に最適化した。0~2.9 μmol dm⁻³ のリン酸イオンに対して得られた検量線の直線性は $r^2 = 0.999$ 、検出限界(3.3σ) は 0.17 μmol dm⁻³ であった。これらの結果は、流量に変調を加えない一般的な連続フロー分析法によって得られた結果 ($r^2 = 0.967$, LOD = 1.03 μmol dm⁻³) に比べて優れている。これは、従来法では吸光度の

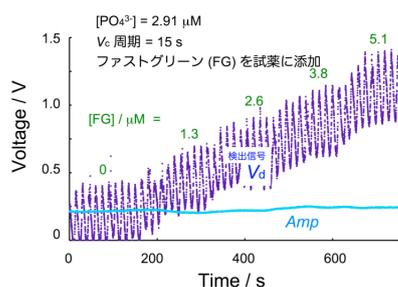


図 2. ベースライン変動の影響

値そのものから定量するのに対し、本法では吸光度の振幅をもとに定量を行うため、イオン対の光学セル窓への吸着に伴うベースラインの変動を受けないからである。図 2 に示すように、色素(ファストグリーン)を共存させ、その濃度を意図的に変化させても、2.91 μmol dm⁻³ のリン酸イオンに対してほぼ一定の振幅(Amp: 0.226 ± 0.014 V) が得られた。淡水域、汽水域の河川水を用いた添加回収試験 (~2 μmol dm⁻³) では 100% 前後の良好な回収率が得られた。

(3) 気節-AMMFA

AMMFA においては、試料流量の変動によって情報に変調をかけても、検出器に達するまでの間に管軸方向への分散が起こり、振幅減衰、ひいては感度低下につながる短所がある。そこで気節法を AMMFA に導入し、気泡によって区切られた各液節内に分散をとどめる方法を検討した。Acid Red S (食用色素) 水溶液を試料として、気泡導入法を検討した。検討した送気デバイスの中ではペリスタポンプが最も高い気泡導入精度 (RSD < 5%) を与え、液総流量 1.35 cm³ min⁻¹、空気流量 1.11 cm³ min⁻¹ のとき、生成する液節および気節の体積はそれぞれ 79.5 ± 2.9 (n = 12) and 117.1 ± 1.6 (n = 12) mm³ であった。界面活性剤の添加は、気泡導入に関してよい効果は与えなかった。気泡導入は分散(したがって振幅減衰)の抑制と、これによる感度上昇に効果的であった。この効果は、制御周期が短いほど、検出器までの流路長が長いほど、効果的であった。本法を sub-ppm レベルのリン酸イオンや亜硝酸イオンの定量へと応用し、良好な結果を得た。すなわち、気節を導入しな場合に比べ、感度が 1.26~7.27 倍に増大した。

(4) 気節-非相分離 AMFA

気節-AMMFA では、気泡が検出器に導入されると解析不能な信号を与えることから、検出器直前で PTFE 製多孔質膜(ポアフロントチューブ)によって脱気を行った。しかし、脱気後、検出器のフローセルに達するまでの間でも無視できない分散が起こり、感度が低下した。そこでさらなる感度の向上のため、脱気を行わずに気泡も検出器へと導き、信号解析によって気泡由来信号を除去する方法を検討した。まず、このためのプログラムを作成した。検出信号の傾き、および液相信号からの変位にそれぞれ閾値を設定し、いずれかを超えたとき検出信号を気泡ノイズとみなして排除した。さらに、移動平均処理によって信号を平滑化した。測定シグナルの一例を図 3 に示す。ここで、流量は P₁ (試料), 0 ~ 0.9 (周期: 30 s); P₂, 0 (closed); P₃ (水), 1.0; P₄ (空気), 0.2 cm³ min⁻¹ である。気節判定のための閾値は 信号の傾きについては 1.0 V

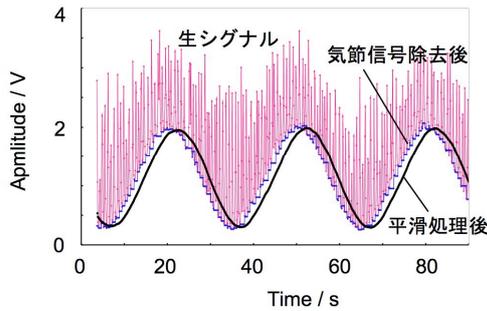


図 3. 気節-非相分離 AMMFA の信号例
(試料: 15 ppm メチルオレンジ)

s⁻¹, 液節信号からの変位については 0.7 V, 移動平均に用いるデータ数は 31 点である(これらは予備実験により決定した)。図 3 より, 上方に飛び出した気節由来信号が完全に除去され, 平滑化処理によって滑らかな検出信号が得られていることがわかる。

メチルオレンジ水溶液を試料とした場合には, AMMFA (初期の方法) で得られた振幅に対し, 気節-AMMFA (改良法) では 1.17 倍に, さらに気節-非相分離/AMMFA (本法) では 1.73 倍に感度が増大した。最適化したシステムをマラカイトグリーン法によるリン酸イオンの定量に応用した。気節を用いない場合に比べて感度は 1.64 倍に上昇し, 本法により検出限界は 1.32 mmol dm⁻³ から, 0.83 mmol dm⁻³ へと低下した。本法を河川水および池水を用いたリン酸イオンの添加回収試験に応用し, 回収率約 100% の良好な結果を得た。

(5) 1 試料中の亜硝酸イオンおよび硝酸イオンの同時定量

(1), (3), (4) 節の AMMFA 研究は, 基本的に 1 目的成分について多試料同時分析を行うものであった。そこで, 1 試料について, それに含まれる複数の目的成分を AMMFA によって定量する方法について検討した。目的成分として, 環境水の分析において関心の高い亜硝酸イオンと硝酸イオンを採り上げた。試料を 2 流路から導入する。一つの流路には硝酸イオンを亜硝酸イオンへと還元する Cd-Cu カラムを挿入した。それぞれの流量を周波数の異なる交流波形制御信号によって変動させた。両流路からの液を合流させたのち, 下流で Griess 法 (ナフチルエチレンジアミン吸光光度法, 分析波長 538 nm) による吸光光度測定を行った。上記還元カラムを有する流路からは硝酸イオンと亜硝酸イオンの総濃度が得られ, 有しない流路からは亜硝酸イオン濃度が得られる。前者から後者を差し引くことによって, 硝酸イオン濃度が求められる。感度の向上のため, (3) 節で述べた

気節法 (相分離あり) を導入した。分析条件を最適化後 (反応コイル長: 0.5 m, 反応温度: 50°C), 総濃度および亜硝酸イオン濃度の検量線を作成した。本法は μmol dm⁻³ レベルの硝酸イオン, 亜硝酸イオンの同時定量が可能であり, 河川水を用いた添加回収試験においても良好な結果が得られた。

(6) 1 試料中の鉄(II)イオンおよび鉄(III)イオンの同時定量

(5) 節で述べた方法は, 試料を 2 流路から導入し, そのうちの 1 流路に還元前処理過程を組み入れたものである。したがって, 1 試料中の多成分同時定量とは言っても, 原理的には (1), (3), (4) 節で述べた多試料同時分析と大きく変わるものではなかった。一方, 本節で述べる鉄(II)イオンおよび鉄(III)イオンの同時定量に関する研究では, 試料を 1 流路から導入し, 試料流量と前処理試薬流量を異なる周波数で変動させるものである。そのシステムを図 4 に, 制御信号プロファイルを図 5 に示す。呈色反応にはオルトフェナントロリン吸光光度法 (分析波長 510 nm) を用いた。この反応では鉄(II)イオンが呈色するので, 鉄(III)イオンについてはあらかじめ, 還元剤 (L-アスコルビン酸; VitC) によって鉄(II)イオンへと還元しておく必要がある。FFT 解析窓 (V_{c1} 周期と V_{c2} の周期の最小公倍数) の時間を 1 周期とすると, 図 5 に示すように VitC 流量を制御する V_{c1} は基本波相当の周波数で, 試料流量を制御する V_{c2} は第 2 高調波相当の周波数でそれぞれ制御する (V_{c2} は最小値が 0

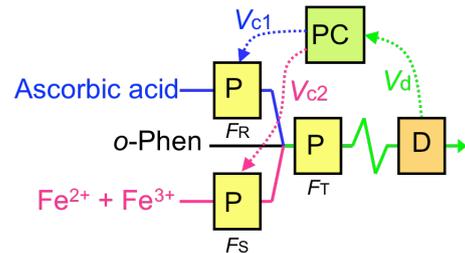


図 4. 1 試料中の鉄(II)イオンおよび鉄(III)イオンの同時定量のための AMMFA システム

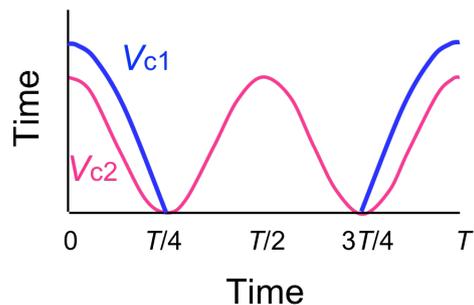


図 5. 制御信号プロファイル

V になるようオフセットをかけている)。鉄(II)イオンは VitC 濃度とは無関係であり、試料流量の変動のみに依存するので、検出信号中の第 2 高調波成分の振幅のみに寄与する。一方、鉄(III)イオンは呈色のためには VitC による還元を受けなければならないので、検出信号中の基本波成分の振幅にも、第 2 高調波成分の振幅にも寄与する。この鉄(III)イオンのそれぞれの振幅への寄与の比は、理論的には $16:3\pi$ 、すなわち 1.6976 となることを明らかにした。鉄(III)イオンのみを含む試料を用いて検証したところ、理論値に非常に近い実測値 1.695 が得られた。

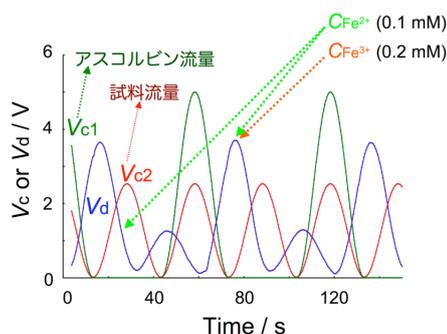


図 6. Fe²⁺, Fe³⁺同時定量のシグナル例

実際の制御信号および検出信号の一例を図 6 に示す。鉄(III)イオン濃度と基本波成分の振幅 A_1 との関係から、鉄(III)イオンを定量する。 $A_1 / 1.695$ が第 2 高調波成分の振幅 A_2 中の鉄(III)イオンの寄与と考えられるので、この値を A_2 より差し引き、鉄(II)イオン濃度との関係を求めることで、鉄(II)イオンの定量も可能になる。本法を様々な濃度比の鉄(II)イオン・鉄(III)イオン混合溶液、河川水、温泉水に応用し、良好な結果を得た。

以上、AMMFA は研究代表者が考案したオリジナルな分析法であり、システムの構築やプログラム作成も独自に行っている。本研究では、AMMFA にロックイン検出、気節導入などの手法を組み入れ、環境水中の重要な成分の定量に追うようすることで、その汎用性・実用性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Haruka Yoshida, Koji Inui, Masaki Takeuchi, Hideji Tanaka, "Simultaneous Determination of Nitrite and Nitrate Ions by Air-Segmented Amplitude Modulated Multiplexed Flow

Analysis," *Anal.Sci.*, 査読有, **28**, 2011, 523-525. (DOI: 10.2116/analsci.28.523)

- ② Koji Inui, Takeshi Uemura, Takeshi Ogusu, Masaki Takeuchi, Hideji Tanaka, "Air-Segmented Amplitude-Modulated multiplexed Flow Analysis," *Anal. Sci.*, 査読有, **27**, 2011, 305-308. (DOI: 10.2116/analsci.27.305)

- ③ Takeshi Uemura, Takeshi Ogusu, Masaki Takeuchi, Hideji Tanaka, "Spectrophotometric Determination of Trace Phosphate Ion by Amplitude Modulated Flow Analysis Coupled with Malachite Green Method," *Anal. Sci.*, 査読有, **26**, 2010, 797-801. (DOI: 10.2116/analsci.26.797)

- ④ Yohei Kurokawa, Masaki Takeuchi, Hideji Tanaka, "Investigation on Analytical Parameters for Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis," *Anal. Sci.*, 査読有, **26**, 2010, 791-796. (DOI: 10.2116/analsci.26.791)

[学会発表] (計 19 件)

- ① Hideji Tanaka, "Simultaneous Determination of Multiple Analytes by Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis," 2011 年 12 月 3 日, 第 49 回フローインジェクション分析研究懇談会, 愛知工業大学 (豊田市).

- ② Takeshi Ogusu, "Air Segmented - Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis without Deaeration," 2011 年 12 月 3 日, 第 49 回フローインジェクション分析研究懇談会, 愛知工業大学 (豊田市).

- ③ 大楠剛司, 気節-非相分離/振幅変調フロー分析法による高感度化, 2011 年 9 月 14 日, 第 60 回日本分析化学会年会, 名古屋大学 (名古屋市).

- ④ Hideji Tanaka, "Air-segmented amplitude modulated multiplexed flow analysis," 2011 年 9 月 6 日, The 14th Asian Chemical Congress 2011 (招待講演), The Queen Sirikit National Convention Center (Bangkok, Thailand).

- ⑤ Hideji Tanaka, "Air Segmented Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis," 2011 年 5 月 24 日, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan).

- ⑥ Hideji Tanaka, "Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis for Simultaneous Determination," 2011 年 5 月 24 日, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan).

- ⑦ Yohei Kurokawa, "Amplitude modulated

- multiplexed flow analysis for simultaneous determination of chloride ions,” 2010年12月23日, The Second Decennial Meeting Between The University of Tokushima and Soul National University on Pharmaceutical Sciences, Awaji Yumebutai International Conference Center (Awaji, Japan).
- ⑧ Hideji Tanaka, “Principle and application of amplitude modulated multiplexed flow analysis,” 2010年12月19日, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2010 (招待講演), Hawaii Convention Center (Honolulu, Hawaii, USA).
- ⑨ Hideji Tanaka, “Air-segmented amplitude modulated flow analysis,” 2010年12月16日, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2010, Hawaii Convention Center (Honolulu, Hawaii, USA).
- ⑩ 上村剛史, 振幅変調フロー分析法による微量リン酸イオンの定量, 2010年10月7日, 第20回無機リン化学討論会, 東北大学(仙台市).
- ⑪ 黒河洋平, 振幅変調多重化フロー分析法の原理と応用. 塩化物イオン, 鉄イオンの定量, 2010年9月15日, 日本分析化学会第59年会, 東北大学(仙台市).
- ⑫ 田中秀治, 流量変化に基づく分析法; フローレイシヨメトリーと振幅変調フロー分析法, 2010年9月15日, 日本分析化学会第59年会(招待講演), 東北大学(仙台市).
- ⑬ 田中秀治, 気節導入による振幅変調フロー分析法の高感度化, 2010年5月15日, 第71回分析化学討論会, 島根大学(松江市).
- ⑭ 田中秀治, 振幅変調/ロックイン検出フロー分析法によるリン酸イオンの定量, 2009年11月27日, 第48回フローインジェクション分析講演会, 大阪府立大学(堺市).
- ⑮ 上村剛史, 振幅変調フロー分析法/マラカイトグリーン法による微量リン酸イオンの定量, 2009年10月27日, 東京医科歯科大学(東京都文京区).
- ⑯ 黒河洋平, 振幅変調多重化フロー分析法の測定効率向上のための検討, 2009年9月24日, 日本分析化学会第58年会, 北海道大学(札幌市).
- ⑰ 美馬卓人, 振幅変調多重化フロー分析法によるFe(II)およびFe(III)の同時定量, 2009年9月24日, 日本分析化学会第58年会, 北海道大学(札幌市).
- ⑱ Hideji Tanaka, “Determination of Phosphate Ion by Amplitude Modulated Flow Analysis with Lock-in Detection,” 2009年9月17日, Flow Analysis XI, Pollentia Club Resort (Mallorca, Spain).
- ⑲ Hideji Tanaka, “Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis. Application to

Simultaneous Determination of Ferrous and Ferric Ions,” 2009年9月17日, Flow Analysis XI, Pollentia Club Resort (Mallorca, Spain).

〔図書〕(計1件)

- ① 田中秀治, 竹内政樹, じほう出版, 「薬学分析科学の最前線」, 2009, 106-107, 107-108.

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等:

<http://www.tokushima-u.ac.jp/docs/2011102600010/files/saisentan145.pdf> (徳島大学広報, 「最先端研究探訪」)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中秀治 (Tanaka Hideji)
徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・教授
研究者番号: 40207121

(2) 研究分担者

竹内政樹 (Takeuchi Masaki)
徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・准教授
研究者番号: 10457319

(3) 連携研究者: なし

(4) 研究協力者

美馬卓人 (Mima Takuto)
徳島大学・大学院薬科学教育部・博士前期課程・大学院生

黒河洋平 (Kurokawa Yohei)
徳島大学・大学院薬科学教育部・博士前期課程・大学院生

上村剛史 (Uemura Takeshi)
徳島大学・大学院薬科学教育部・博士前期課程・大学院生

大楠剛司 (Ogusu Takeshi)
徳島大学・薬学部薬学科・学生

戌亥孝次 (Inui Koji)
徳島大学・薬学部薬学科・学生

吉田 悠 (Yoshida Haruka)
徳島大学・薬学部薬学科・学生