

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03915

研究課題名（和文）分光分子検出の新機軸：多色多光子光熱変換分光法の開拓

研究課題名（英文）Novel approach for spectroscopic molecule detection: Pioneering multicolor multiphoton photothermal spectroscopy

研究代表者

原田 明 (Harata, Akira)

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：90222231

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,800,000円

研究成果の概要（和文）：重要性が高く微量な生体・環境関連の溶液中化学種の多くは、紫外域にのみ光吸収を持ち、非蛍光性である。それら無修飾のまま高感度検出できる汎用的計測法が求められる。深紫外光励起光熱変換ヘテロダイン計測法を発展させ、汎用性・高感度性・化学種選択性を併せ持つ、多種化学種の無標識・超高感度検出技術の開発に挑んだ。全固体レーザーを励起光源とし深紫外吸収帯の多色多光子励起を実証した。非蛍光性化学種について2色2光子励起による熱レンズおよび光音響スペクトル測定に成功した。高速液体クロマトグラフィーの光熱変換ヘテロダイン検出による分離検出装置性能、単色・2色2光子励起光音響スペクトルの特徴をまとめ、公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい計測技術が、科学技術の発展の礎となる例、また、安全・安心な社会を実現する上での実用的重要性を示す例には事欠かない。蛍光性化学種の高感度検出がもたらした技術革新は顕著である。一方、化学修飾に適さない非蛍光性化学種には取って代われないことも一部習慣化されており、科学技術の課題でもある。本研究は、重要性が高く微量な生体・環境関連の溶液中化学種の無修飾・高感度検出において、次の2つの点を実証したことに重要な意義がある。2色2光子励起により深紫外吸収帯を励起できること。光熱変換検出により無蛍光性化学種が高感度分離・検出できること。これらは、非蛍光性化学種の汎用的な高感度検出実現に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Many important and trace amounts of biological and environmental species in liquid solutions are non-fluorescent and absorb light only in the ultraviolet region. A general-purpose method that can detect them without chemical modification and with high sensitivity is required. A label-free and ultra-sensitive detection technique for non-fluorescent chemical species that involves versatility, high sensitivity, and species selectivity is designed and examined by further improving a deep-UV photoexcitation photothermal heterodyne-interferometer. It has been demonstrated that deep UV absorption bands are photoexcited by two-color two-photon excitation using an all-solid-state laser as an excitation light source, and that thermal lens spectra and photoacoustic spectra are successfully measured. Performance of a separation-detection system with high-performance liquid-chromatography and the photothermal heterodyne-interferometer is reported.

研究分野：分析化学

キーワード：2色2光子励起 光熱変換 非蛍光性化学種 超高感度検出 紫外レーザー分光 多色多光子吸収 ヘテロダイン検出 偏光依存性

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

- (1) 凝縮系における化学種の高感度検出に関する近年の研究動向が本研究の学術的背景にある。
- (2) 不完全抗原 (ハプテン)、内分泌攪乱物質、多環芳香族ハロゲン化物に代表される生体中や環境中で重要な役割を担う比較的小さな化学種(分子量:数10~数100程度)は、ほとんどが非蛍光性(弱蛍光性)であり、また、多くは紫外域にのみ光吸収を持つ。これらは、極微量で生理活性を持つ場合があり、溶液系や表面吸着系における高感度検出が強く求められている化合物群である。
- (3) 化学種の高感度検出に関して、1990年に蛍光性化学種の単一分子検出が実証され、2000年以降に関連論文が急増した(原田、現代化学、421巻28頁2006年)。現在、単一分子検出は物理化学・生命科学の新しい領域を拓く道具として活用されている。しかし、蛍光法は、無蛍光・非蛍光性化学種の直接検出には無力で、一般的には蛍光標識操作との併用が不可避である。
- (4) この欠点を克服できる可能性を持つ無標識高感度検出法には、光熱変換分光法、多光子イオン化分光法、電気化学検出法、荷電粒子検出法、表面増強ラマン分光法、誘導ラマン顕微分光法等あったが、どれも蛍光法に遜色ない感度性能を発揮するケースは例外的であった。また、多くの場合、前述の化合物群の直接検出への適用性は期待できなかった。
- (5) 一方、非蛍光性化学種の単一分子レベルでの超高感度無標識検出に最も有望な手法として光熱変換分光法が注目された(原田、信学技報、113巻167号US2013-32 51頁2013年)。この検出法の近年の研究動向に見るように、研究の主要な流れは“適用性拡大(深紫外励起・全固体化)”と“高感度化”にあった。
- (6) 212-220nmの励起光波長帯は、分離分析用の溶媒として優れた特性を持つリン酸バッファー水溶液とアセトニトリルが強い吸収を持たず、ほとんどの有機物が吸収を持つ最下限である。この波長帯で発振する全固体紫外レーザー光源を用いた申請者らの実験は、“1光子吸収では、アセトニトリル溶媒中の不純物に由来するバックグラウンド変動のため、1970年代にレーザー蛍光法が溶媒の不純物に影響されて感度が上がらなかったのと同様に感度は上がらない”ことを示していた。残されたアプローチは、アセトニトリルに代わる分離分析用の溶媒を見いだすか、アセトニトリルの純度を上げる方法を開発するか、新原理に挑むかの選択であった。
- (7) 高感度化については、近赤外光や可視光を励起光源に用いた実験において多くが報告され、申請者らも多色励起による過渡吸収利用を提案し、410nm可視光励起・532nm可視光増幅により2桁以上、215nm紫外光励起・532nm可視光増幅により1桁以上の信号増幅を実証し、液中化学種の無標識単一分子カウンティング装置の最適設計指針を提示してきた。しかし、紫外域では光源性能の制約が厳しく、紫外域にのみ光吸収があるような実用的な関心が高い化学種については、全世界的にも、液中系・表面吸着系を問わず、未だ分子カウンティングは実現されていない。

2. 研究の目的

- (1) 本研究の目的は、多色多光子光熱変換分光法の開拓を通して、溶液中の非蛍光性化学種・ナノ粒子の無標識・超高感度分光検出法に新機軸をもたらすことにある。
- (2) 非蛍光性化学種の無標識・超高感度検出法として申請者らが開発してきた深紫外光励起光熱変換ヘテロダイン計測法を進展させ、汎用性・高感度性・化学種選択性を併せ持つ非蛍光性化学種の無標識・超高感度検出技術を開発する。技術的キーポイントは、多色多光子吸収を利用した深紫外吸収帯の光励起・検出の実現である。次の3つを主要課題とした。(i)多色多光子励起光熱変換現象を詳細検討、(ii)顕微ヘテロダイン検出装置として開発、(iii)分離分析応用。

3. 研究の方法

- (1) 次の3項目を検討し、溶液中非蛍光性化学種等の汎用・超高感度計測に迫った。
- () 2色2光子光熱変換現象の実証と基本特性把握
 - () フロー系・2色2光子光熱変換顕微ヘテロダイン検出装置の開発
 - () 分離分析・検出装置としての開発、性能評価と応用
- (2) 光熱変換検出により非蛍光性化学種の分子カウンティング実現のためには、信号の増強、バックグラウンドの低減とともに発熱由来の屈折率変化の高精度計測が不可欠である。原理検証、基本特性把握とともに分離分析応用を念頭に、装置としての操作性・長期安定性を確保しつつ、性能向上を図り、超高感度の実現に挑戦した。

(3) ()では、全固体レーザーを励起光源としつつ多色多光子吸収を利用した深紫外吸収帯の光励起・検出の実現を検証した。最重要課題である多色励起は、新規に導入した高出力紫外可視近赤外波長可変レーザーシステムとNd:YAGレーザー第2、第3高調波(532nm、355nm)とを同期した2色2光子励起光熱変換検出系を試作して、主に次の特性を検討した。(a)信号検出自体、(b)溶液中ターゲット化学種の2色2光子遷移確率、(c)溶媒中で、不純物と推定される化学種とターゲット化学種とで選択性を向上する条件[波長、偏光特性、出力比、等]。なお、生態関連アミノ酸、多環芳香族化合物、同塩素化物とニトロ化物等をターゲット化学種とした。

(4) 高い安定性と疑似連続光特性(80MHz帯の高い繰り返し周波数)を持つ故に分離分析用検出器用の光源として優れるTi:サファイヤレーザー(モードロックレーザーのオシレータのみ)を光源とし、光熱変換検出のうちでも簡易検出性能に優れる光音響検出を用いて、多光子励起光音響スペクトルの測定を試みた。

(5) ()については、マイクロ流路でシースフローシステムの導入を検討した。カスタムメイドマイクロ化学チップを検出部とし、レーザー蛍光顕微鏡を組み合わせることで流れを制御した。(1)マイクロフロー系における光熱変換信号のバックグラウンドの抑制法、(2)汎用性の高い全分子カウンティングを実現し得る装置系の提案にある。

(6) ()では、試作した検出系とセミマイクロ液体クロマトグラフィー(HPLC)とを結合して、超高感度分離検出を検討した。実験を効率的に行うために、HPLC用オートサンプラーを導入するとともに、現有のヘテロダイン検出系に光学系配置等に改良を加えて整備し、検討する。無標識での単一分子カウンティングが目標の一つであるが、検出感度がそのレベルに達しなかった場合には、多様な試料系で網羅的に測定を行って検出限界を整理して報告する。

(7) 本研究では研究代表者が研究を計画・遂行し、研究分担者を設けていない。研究協力者として、公表した学術論文の共著者である研究者・大学院生、公表した学術研究会等における講演の共同発表者である研究者・大学院生の多大な協力があつた。

4. 研究成果

“() 2色2光子光熱変換現象の実証と基本特性把握”に関して

(1) 全固体レーザーを励起光源とし、多色多光子吸収を利用した深紫外吸収帯の光励起・光熱変換検出の装置系を設計・試作し、2色2光子吸収および単色2光子吸収の熱レンズ検出、光音響検出により、報告例を見ない溶液系の非蛍光性化学種について、深紫外吸収帯の2光子吸収スペクトルの観測に成功し、論文として公表している。

(2) 試作した装置系(図1)光源とした市販の高出力・ナノ秒パルス・紫外可視近赤外波長可変レーザーシステムにより発振する紫外光から可視光に渡る全波長用域の光とは別に、Nd:YAGレーザーの第2または第3高調波(532nm、355nm)を同期出力できる様に装置改良を加えた。これを用いて2色2光子励起光熱変換検出系を試作している。

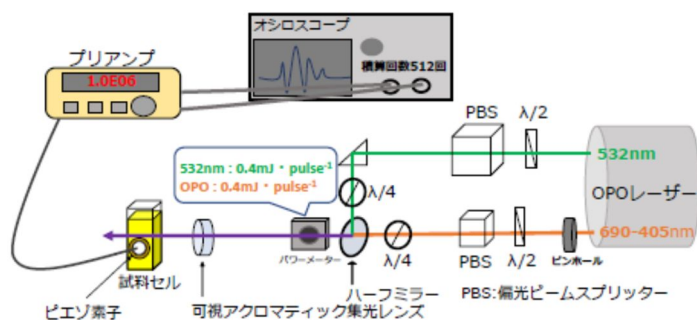


図1 溶液系試料の2色2光子光音響スペクトル測定装置図

OPOレーザー、ナノ秒パルス波長可変レーザー
 /2, 1/2 波長板
 /4, 1/4 波長板
 PBS, 偏光ビームスプリッター

(3) それぞれの光路には、1/2波長板と偏光ビームスプリッターを配置して光強度の調整を行うとともに、1/4波長板を配置して偏光を制御できる様にしている。スペクトル測定においては、光強度を励起波長によらず一定に保つように調整している。

(4) 偏光制御は、円偏光と直線偏光とで、単色2光子遷移確率が異なることを利用して、溶媒由来のバックグラウンド信号の強度(B)を抑制し、溶質由来の信号強度(S)としたときのS/B比を向上するために検討している。

(5) 光熱変換信号の検出は、熱レンズ効果(発熱に伴う屈折率変化を計測)の利用と光音響効果(発熱に伴う体積膨張を音響波として検出)の利用を併用している[図1には、検出系がより簡

素化可能な検出方式である光音響効果利用の場合を示した]

(6) 光音響検出は、石英セルに圧電素子を接着した単純な構造の検出器を用いた。電磁的な外乱やレーザーの散乱光が雑音源となるので、経験的ノウハウを活かした対策により、十分な信号/雑音比が得られるようにしている。

(7) 波長帯にも溶媒の種類にもよると推測されるが、アセトニトリル溶媒の紫外・可視光域においては、傾向として、単色 2 光子吸収由来の信号強度が、円偏光励起では直線偏光励起時より弱くなることを見いだしている。一方、溶媒の単色 2 光子吸収バックグラウンドが予想外に大きいこと、深紫外光励起では円偏光のバックグラウンド抑制効果は限定的であること等の特徴把握も進んでいる。

(8) 弱蛍光性の非対称分子である 4-ニトロフェノール、ニトロベンゼンの単色 2 光子光音響スペクトルでは、1 光子吸収スペクトルと比較して、対応する光子エネルギーの総和に応じた吸収スペクトル形状の一致を検証した (図 2 に 4-ニトロフェノールのスペクトルを示す)。本測定により本装置の有用性を確認している。

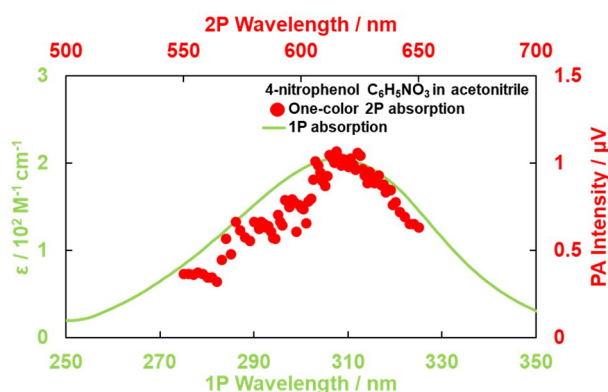


図 2 4-ニトロフェノール-アセトニトリル溶液の単色 2 光子光音響スペクトル (0.44 mM、励起光強度 0.4 mJ/pulse、2P wavelength vs PA Intensity を赤丸で表示) と一光子吸収スペクトル (10 μM、1P wavelength vs モル吸収係数を黄緑色曲線で表示)

(9) 室温で非蛍光性の中心対称分子であるジフェニルアセチレンの単色 2 光子および 2 色 2 光子光音響スペクトルを測定し、光子エネルギーの総和が深紫外域 230 ~ 250nm の波長に対応する 2 光子吸収の観測に成功している。1 光子吸収スペクトルと比較すると吸収スペクトル形状は大きく異なり、2 光子吸収の終状態が 1 光子禁制準位であることが示された (図 3)。単色 2 光子と 2 色 2 光子吸収ピークは良好な一致が得られた。2 色 2 光子吸収由来の信号は、単色 2 光子吸収由来の信号強度と比較して弱めで、2 色励起による共鳴増強には至らなかった。十分な増強条件設定が容易ではないことを見いだしている。

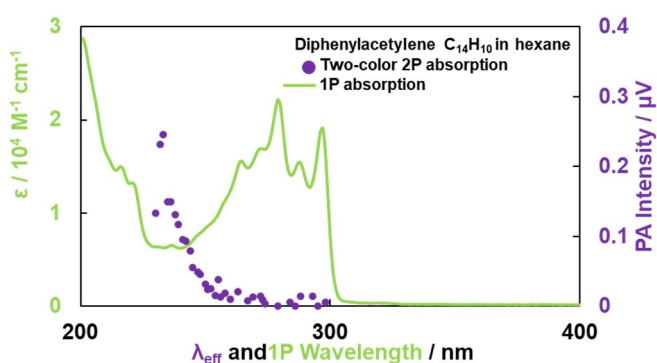


図 3 ジフェニルアセチレン-ヘキサン溶液の 2 色 2 光子光音響スペクトル (0.11 mM、励起光強度 2 色ともに 0.4 mJ/pulse。実効波長 λ_{eff} vs PA Intensity を紫丸で表示) と一光子吸収スペクトル (10 μM、1P wavelength vs モル吸収係数を黄緑色曲線で表示)

(10) 光音響検出は、簡便かつ溶液中の弱・非蛍光性化学種の 2 光子吸収測定に有効な手法であり、蛍光量子収率の波長依存性の影響を受けない正確なスペクトル測定を可能とする。測定対象試料に大きな制約が無いので、溶液中化学種の測定法として分析化学のみならず、化学、生物学、物理学、材料物性学、薬学、医学などあらゆる分野への応用が期待できる。

(11) 別光源であるフェムト秒 Ti:サファイアレーザー (再生増幅無し) での 2 光子励起測定を検討し、2 光子励起光音響スペクトル測定が可能であることを検証した。本件に関しては、レーザー光源の不測の故障に対処するために当初の年次計画を変更して検討している。計画の後には後に解消し、これまでの報告例が見当たらない弱蛍光性の化学種であるニトロピレン-アセトニトリル溶液の 760-840 nm 波長帯での 2 光子励起光音響スペクトルの測定に成功している。

“() フロー系・2色2光子光熱変換頭微ヘテロダイン検出装置の開発”、“() 分離分析・検出装置としての開発、性能評価と応用”、に関して

(12) ミクロ HPLC、および、温調付オートサンプラーを備えたセミマイクロ HPLC の分離分析条件検討を進め、375 nm の単色励起について光熱変換ヘテロダイン (PHI) 検出装置の分離検出特性を検討し、性能をまとめて報文として公表している。

(13) 試作・改良を加えた PHI 検出器を備えたマイクロ HPLC 分離分析装置系において、市販の UV 検出器 (紫外・可視検出器) と比較して、検出感度 (濃度検出限界、吸光度検出限界とも) が優れることを実証している (図 4)。

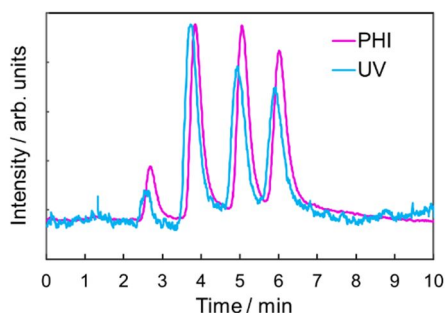


図 4 4 種類のニトロ多環芳香族ニトロ化物のクロマトグラム。PHI (光熱変換ヘテロダイン) 検出と UV (紫外可視) 検出との比較。試料は、溶出時間の短い順に、1-ニトロフェナントレン、1,6-ジニトロピレン、1-ニトロピレン、6-ニトロクリセン。

(14) 温調付オートサンプラーを備えたセミマイクロ HPLC 分離分析装置系においても、市販の UV 検出器と比較して、分離検出性能 (濃度検出限界、見かけの理論段数) が優れることを実証している。

(15) 上記装置系で深紫外レーザー (213 nm) を光源としたとき、アラニンやセリンを含む各種アミノ酸を無修飾で分離検出できることを実証している (図 5)。

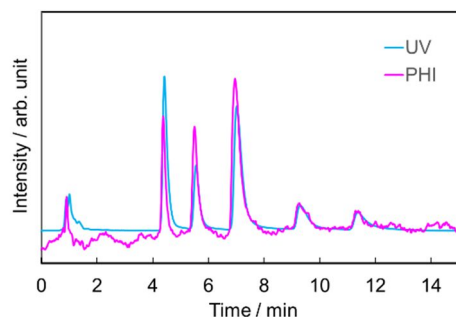


図 5 5 種類の無修飾アミノ酸のクロマトグラム。PHI (光熱変換ヘテロダイン) 検出と UV (紫外可視) 検出の比較。試料は、溶出時間 (4 分以降) の短い順に、L-トリプトファン、L-メチオニン、L-プロリン、L-アラニン、L-セリン。

(16) 従来、光熱変換検出との相性が悪いとされてきたグラディエント分離条件下においても検出性能を最適化すべく検討し、高感度化を実現している。(表 1)

表 1 紫外可視検出法 (UV) と光熱変換ヘテロダイン干渉法 (PHI) との検出限界 (3) 比較例。
: モル吸光係数。化合物: 1NN (1-ニトロフェナントレン), 5-NAC (5-ニトロアセナフテン), 1,6-DNP (1,6-ジニトロピレン), 9-NA (9-ニトロアントラセン), 1-NP (1-ニトロピレン), 6-NC (6-ニトロクリセン), 6-NBaP (6-ニトロベンゾ [a] ピレン)

化学種	1-NN	5-NAC	1,6-DNP	9-NA	1-NP	6-NC	6-NBaP
モル吸光係数 ($\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}\text{L}$)	3000	4800	5700	4300	7100	4800	9100
UV 検出限界 (nM)	42	21	31	52	22	45	64
PHI 検出限界 (nM)	16	15	28	34	9.6	37	49

(17) フロー系装置の開発を進め、シリンジポンプを導入して、検出部流路のマイクロチップシースフロー化を試験した。シースフローを実現する条件は整えられるものの、熱レンズ信号検出器のセル部分とするには安定性において課題があることが分かっている。

(18) フロー系の 2 色励起光熱変換検出装置として、励起光源導入方法、多色励起のための光学素子配置、検出部セル形状等に必要な改良を加えた上で、完成を図った。単色励起に比較して十分な信号増強を実現する条件については検討の余地が残っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shiori Sakurai, Miki Isoda, Akira Harata	4. 巻 62
2. 論文標題 Two-Photon Photoacoustic Spectroscopy of Liquid Solutions under Degenerate and Non-Degenerate Laser Excitation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJ1001 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acb063	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 Miki Isoda, Toshihiko Abe, Kai Aoki, Akira Harata	4. 巻 37
2. 論文標題 Ultraviolet and Deep-Ultraviolet Excitation Photothermal Heterodyne Interferometer Combined with Semi-Micro HPLC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 911-916
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.20P328	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 Miki ISODA, Makoto FUKUMA, Akira HARATA	4. 巻 35
2. 論文標題 Ultraviolet-Excitation Photothermal Heterodyne Interferometer as a Micro-HPLC Detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1311-1315
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.19P190	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 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 櫻井 菜 磯田 美紀 原田 明
2. 発表標題 液体中化学種の二色二光子光音響スペクトル測定法の開発
3. 学会等名 第 43 回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富丸 和希 磯田 美紀 原田 明
2. 発表標題 フェムト秒レーザーを用いた二光子吸収の光音響分光分析装置の開発
3. 学会等名 第 43 回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 明、木原 香澄、山中 雄太、磯田 美紀
2. 発表標題 グラジエント溶離セミアクロHPLC/紫外光熱変換ヘテロダイン干渉検出による無標識ニトロ多環芳香族炭化水素の高感度分離分析
3. 学会等名 日本分析化学会71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 菜 磯田 美紀 原田 明
2. 発表標題 光音響検出による液体試料の二光子吸収スペクトル測定法の開発
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富丸 和希 磯田 美紀 原田 明
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射による二光子吸収の光音響分光検出による分析装置の開発
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木原 香澄、磯田 美紀、原田 明
2. 発表標題 セミミクロHPLC/光熱変換ヘテロダイン干渉分光法を用いた環境関連物質の無標識・高感度分離分析
3. 学会等名 日本分析化学会70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木原 香澄、磯田 美紀、原田 明
2. 発表標題 セミミクロHPLC/光熱変換ヘテロダイン干渉分光法を用いた生体・環境関連物質の無標識・高感度分離分析
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田 明、上戸 あいら、小平田 新十郎、磯田 美紀
2. 発表標題 2色2光子熱レンズ検出と2光子吸収スペクトル
3. 学会等名 日本分析化学会69年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aira KAMITO, Miki ISODA, Akira HARATA
2. 発表標題 Development of Laser Excitation Thermal Lens Spectroscopy by Deep Ultraviolet Excitation (LETLS-213)
3. 学会等名 5th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinjuro KOHIRATA, Miki ISODA, Akira HARATA
2. 発表標題 Development of Multiphoton Excitation Thermal Lens Spectroscopy for Label-Free and High-Sensitive Detection
3. 学会等名 第40回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KAMITO Aira, ISODA Miki, HARATA Akira
2. 発表標題 Deep Ultraviolet Excitation Thermal Lens Spectroscopy
3. 学会等名 21st Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology (CSS-EEST) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯田 美紀、安倍 聡彦、原田 明
2. 発表標題 HPLC/光熱変換ヘテロダイン干渉法を用いたニトロ多環芳香族炭化水素の高感度分析
3. 学会等名 総合技術研究会2019九州大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KOHIRATA, Shinjuro; ISODA, Miki; HARATA, Akira
2. 発表標題 Development of Thermal Lens Spectroscopy by Deep Ultraviolet Excitation for Label-Free and High-Sensitive Detection for Micro-Analysis
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩坂 諒、原田 明、磯田 美紀
2. 発表標題 マイクロ流路デバイスを用いた深紫外光励起熱レンズ分光法の開発
3. 学会等名 第55回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田 明、安部 聡彦、岩坂 諒、磯田 美紀
2. 発表標題 セミマイクロHPLC/紫外光励起光熱変換検出法を用いたニトロ多環芳香族炭化水素の高感度分析
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学大学院総合理工学府原田・薮下研究室 https://www.mm.kyushu-u.ac.jp/lab_07/ 九州大学研究者情報「原田 明」 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K000367/index.html 研究者プロフィールツール 九州大学Pure https://kyushu-u.pure.elsevier.com/ja/persons/akira-harata
--

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
研究協力者	磯田 美紀 (Isoda Miki)	九州大学・総合理工学府・技術専門職員 (17102)	

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