

令和 2 年 4 月 8 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03772

研究課題名(和文)非解離レーザー脱離機構の解明と励起空間制御による高効率法の開発研究

研究課題名(英文) Study of mechanism of non-destructive laser desorption ionization and development of efficient detection methods by controlling excitation conditions

研究代表者

藤野 竜也 (Fujino, Tatsuya)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：20360638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：マトリクス支援レーザー脱離イオン化法の脱離過程・ダイナミクスを明らかにすることを目的とした。これまでに明らかにしてきたイオン化機構と組み合わせることで、レーザー脱離イオン化反応の全体像を理解する。さらに定量性を低くしてしまうマトリクス分子の空間分布の均一性を向上させることで、従来法の問題点を解決し、これまで成し得なかった効率的なレーザー脱離イオン化が実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、反応機構の全体像の理解から出発することで、機能的に発展させたレーザー脱離イオン化法を提供する研究である。レーザー脱離イオン化法の問題点を包括的に解決し定量分析までを実現させる研究は他に類がない。生体物質の構造や薬物との反応が気相分光により可能になるという基礎研究への貢献だけでなく、医療現場における病源の特定、警察による取締現場における禁止薬物の同定、加工食品に含まれる農薬や不純物質、環境汚染物質の検出など、不純物を多く含み、本来なら分離作業を利用した精密かつ長時間の分析が必要な分野においても、簡便かつ有効な手法として本法を提供できるものと考えている。

研究成果の概要(英文)：Desorption dynamics in Matrix Assisted Laser Desorption Ionization (MALDI) has been studied. Based on the research results, we have developed useful matrices that improve reproducibility of analyte ion and enabled us quantification by MALDI mass spectrometry.

研究分野：分光分析学

キーワード：レーザー脱離イオン化 質量分析 時間分解分光 ナノ粒子

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生体分子に代表される複雑な分子系が持つ多様な準安定状態やダイナミクスを計測する場合、それらを壊さず気相中に生成させ分光測定を行うことが一つの手法として考えられる。マトリクス支援レーザー脱離イオン化法(MALDI 法)は、タンパクやペプチドといった難揮発性分子を壊さずプロトンや金属カチオン付加の形でイオン化させ、気相中に生成させることができるソフトイオン化法の一つである。他のソフトイオン化法と比べて、試料調整や測定が圧倒的に容易であり、さらに装置が単純といった実用面での大きな利点を有している。また MALDI 法ならではの長所として、不純物の共存に極めて寛容でありクロマトグラム等の分離を必要としないという特徴を持つ。しかしながら、レーザー照射後に系内で起きる反応が分子科学的に十分理解されておらず、その結果、測定する試料に最適なマトリクス分子は試行錯誤により決定されること、効率が極めて低く他のソフトイオン化法に及ばないこと、測定不可能な分子が多種存在することなどの多くの問題点が存在する。加えて、試料とマトリクス分子の混合による混合結晶の空間不均一が免れず、定量性が乏しいことが広く認識されている。従ってこれらの問題点が解決されれば、汎用性の極めて高い分析法として位置付けることが可能となる。

MALDI 法には「イオン化」と「脱離」という二つの重要なプロセスがある。「イオン化」には光イオン化、クラスターイオン化、偽プロトン移動といったモデルが先行研究により存在し、それぞれがマトリクス分子の多光子イオン化([matrix]<sup>+</sup>の生成)を前提としている。我々はこれまでに励起速度の見積りを行い、一般の分析測定における実験条件下ではマトリクス分子の多光子イオン化は困難であることを示してきた。さらに、ポンプ・プローブ法によるピコ～フェムト秒時間分解計測が可能で質量分析法を新たに開発することで、独自のイオン化モデルを明らかにすることができた。一方、「脱離」に関しては先行研究による速度論的な考察以外、特定のモデルは存在しなかった。そこで我々は上記の時間分解型質量分析装置を用いることで、マトリクス分子の電子失活により生じた振動エネルギーの伝搬により、脱離に係するモードが多量子励起され試料が脱離する、というモデルを提案し発表した。しかしながら具体的にどのような分子間振動モード存在し、振動励起されて試料が脱離するのかといった詳細は未解明のまま残されてしまった。

### 2. 研究の目的

このため本研究ではまず MALDI 法の脱離過程・ダイナミクスを明らかにすることを目的とした。これまでに明らかにしてきたイオン化機構と組み合わせることで、レーザー脱離イオン化反応の全体像を理解することができる。全体像が理解されれば、反応機構の理解にもとづいた電子振動励起状態の操作・制御へと発展させることができる。さらには定量性を低くしてしまうマトリクス分子の空間分布の均一性を向上させることで、従来法の問題点を解決し、かつ、これまで成し得なかった効率的なレーザー脱離イオン化が実現できると考えた。

### 3. 研究の方法

励起速度の計算から一つの光パルス内で一回の光励起が行われるエネルギー範囲での実験を行い、多光子過程や電子脱離によるイオン化が高確率で起きる照射条件は扱わない。従って、純粋な化学プロセス(吸着、分子の電荷分離、イオン付着、脱離等)のみを取り扱った。イオンの観測に用いる飛行時間型(TOF)質量分析装置は自作及び市販の装置(両者とも既存)を併用した。時間分解用のパルスレーザーは既存のものを用いた。

### 4. 研究成果

#### (1) 分子脱離

時間分解質量分析法を用いて、2,4,6 トリヒドロキシアセトフェノン結晶 (THAP) の脱離時間測定を行った。ポンプ光、プローブ光の単独照射ではイオンが全く観測されないのに対し、ポンプ光プローブ光の遅延照射によって [THAP+H]<sup>+</sup> のイオン ( $m/z=169$ ) が観測された。フィッティング解析によりイオンの立ち上がり時間は 7.2ps と求められた。同様に THAP に構造が似ているまた 1 ヒドロキシ 2 アセトナフトン結晶 (HAN) の時間分解質量分析測定を行った。THAP の場合と同様、ポンプ光、プローブ光の単独照射ではイオンが全く観測されないのに対し、ポンプ光プローブ光の遅延照射によってイオンが観測された。さらに HAN の場合、2 種類のイオン種 [HAN]<sup>+</sup> ( $m/z=186$ )、[HAN+H]<sup>+</sup> ( $m/z=187$ ) が観測され、両方とも 14.0ps の立ち上がり時間を示した。つまり、本測定で観測しているものはイオン化のダイナミクスではなく、確かに分子脱離の情報を表していることがこの測定からも証明された。分子内振動数(3N-6)を考慮すると、構成原子数の多い HAN が THAP に比べて多くの分子内振動を持つ。両分子の 2 量体をモデルとして考えると、分子間振動の数は THAP 及び HAN でも同じであるが、一般的に分子間振動は分子内振動モードと相互作用している場合が多い。このため HAN の脱離には THAP に比べてより大きなエネルギーを必要とすると考えられるため、脱離までの時間が長くなったと考察した。レーザー照射によるエネルギーを分子間振動モードの切断に使い脱離が行われることをより確かめるために、THAP をゼオライト上に吸着させ、そこからの [THAP+H]<sup>+</sup> の脱離時間を観測した。このとき純粋にゼオライト表面からのイオン種の脱離を理解するため、つまりゼオライト表面からの静電的な影響を最小限に抑えるために、ゼオライト表面をアンモニア終端させ酸性水酸基を封じた。このとき得られた脱離時間は 229.1ps と大幅に増加した。ゼオライトは格子振動の状態密度が高く熱浴として働く効

果がある。つまり THAP の光励起によって分子内振動緩和が行われたあと、分子間振動モードの励起が行われるが、熱浴として働くゼオライトに振動エネルギーが拡散してしまい、脱離までに非常に長い時間が必要となったと考察した。

#### (2) 食品中発がん性物質のその場検出

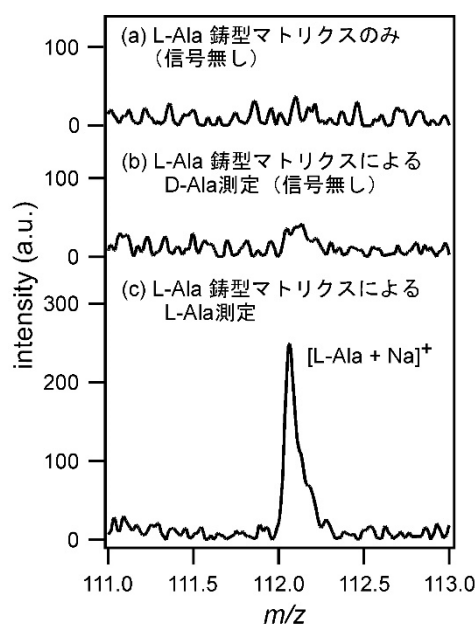
酸化鉄ナノ粒子をゼオライト上に担持させたマトリクスを利用し、コーラ中に含まれる 4-メチルイミダゾール(4MI)の定量分析を行った。一般的な MALDI 法は相対標準偏差が 30-50%程度と極めて再現性が低いため定量分析への適用が難しい。しかし我々が開発したマトリクスでは相対標準偏差を 8%程度に抑えることができ定量分析が可能である。さらにクロマトグラム等による分離作業を一切行うことなく測定が可能であり、65 $\mu$ g/355mL という定量値を得た。これは既報論文と良い一致をしており、本手法が有用であることを示すことができた。この他 シアノ 4-ヒドロキシ桂皮酸(CHCA)をゼオライト上に吸着させたマトリクスにより尿中薬物及び代謝物のその場観測と定量、または有機ゼオライトの利用により唾液中ニコチン及び代謝物コチニンのその場観測と定量を行った。

#### (3) 一価の遷移金属イオン生成とイオン化プローブとしての応用

酸化銅及び酸化ニッケルナノ粒子をゼオライト上に担持させて、一価の金属イオンを効率的に生成させることに成功した。さらに各種分光法を利用して、イオン化機構を理解するとともに低分子量試料のイオン化プローブとして利用した。

#### (4) 分子構造を認識してイオン化するマトリクスの開発

鏡像異性体は生体に対し異なる薬理作用を示すことから、その合成、分離、検出といった方法の開発が重要である。質量分析法では物質の質量を測定するため当然鏡像異性体の分離はできない。このためクロマトグラフィーの分離手法と組み合わせて計測を行うという方法が一般に取られる。今回 MALDI 用のマトリクスに鏡像異性体を認識する部位を作り、異性体の一方を選択的に測定できる方法を開発した。図にアミノ酸の一種である L-アラニン(Ala)を鋳型としてマトリクスを作成し、D-またはL-Alaを測定した結果を示した。マトリクスだけを測定した(a)ではL-Alaのピークが観測されないことから鋳型分子がすべて消失していることが分かる。作製したマトリクスを使いD-Alaを試料として測定した(b)ではピークは観測されず、L-Alaを測定した(c)においてのみピークが観測できていることが分かる。このため分子認識機能が機能し、鏡像異性体の分離計測が実現できたことが分かった。次にD体とL体が混在する試料の中から一方だけを識別してイオン化できるかを試みた。今回は鋳型分子としてD-Alaを使い、D体とL体の混合物からD体



だけを識別してイオン化させる実験を行った。D体とL体の混合溶液の濃度を1mg/mLに固定し、その濃度比をD:L = 1.00:0.00, 0.50:0.50, 0.25:0.75, 0.00:1.00と変化させた。また鋳型マトリクスを作製する際に用いたD-Alaの濃度は0.5mg/mLとした。D:L = 1.00:0.00, 0.50:0.50のときは、ほぼ等しいピーク強度が得られたが、これはD-Alaの鋳型を0.5mg/mLの濃度で作成したため、D-Alaが着席できる鋳型が0.5しか存在しないためである。つまり0.5以上のD-Alaが存在してもイオン化には参加できないということを意味している。次にD:L = 0.25:0.75の場合では  $m/z=112$  のピーク強度がほぼ半減したことが分かる。これは試料として添加されるD-Alaの量が半分になったため、ピーク強度も半減したことを意味している。最後にD:L = 0.00:1.00の場合では、わずかに信号強度が得られているが、シグナルノイズ比が3以下(S/N<3)であり、分析化学的にピークと認定されない。このためD体とL体が混在する状況においても確かに一方の鏡像異性体しか検出にかからないマトリクスが作成できたことが理解された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 J. Xu, J.N. Kondo, and T. Fujino	4. 巻 36
2. 論文標題 MALDI mass spectrometry of small molecules using nanometer-sized clay	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Anal. Sci.	6. 最初と最後の頁 177-181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P213	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 J. Xu, 藤野竜也	4. 巻 68
2. 論文標題 金属ナノ粒子担持ゼオライトを利用した低分子量化合物のレーザー脱離イオン化質量分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 817-824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.68.817	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 J. Xu, M. Sakurai, K. Akiyama, S. Kurosu, S. Sato and T. Fujino	4. 巻 19
2. 論文標題 Time dependent changes of nicotine and cotinine in mouth cavity after smoking studied by MALDI MS using functional organic analog of zeolite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomed. J. Sci. Tech. Res.	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26717/BJSTR.2019.19.003235	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 M. Sakurai, T. Sato, J. Xu, S. Sato and T. Fujino	4. 巻 8
2. 論文標題 Matrix-assisted laser desorption ionization mass spectrometry of compounds containing carboxyl groups using CdTe and CuO nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Sci.	6. 最初と最後の頁 492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8040492	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 M. Yang, K. Hashimoto and T. Fujino	4. 巻 706
2. 論文標題 Silver nanoparticles loaded on ammonium exchanged zeolite as matrix for MALDI-TOF-MS analysis of short-chain n-alkanes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 525-532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2018.07.002	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 該当する

1. 著者名 M. Sakurai, M. Yang, J. Xu, M. T. Nguyene, T. Yonezawa, K. Hashimoto and T. Fujino	4. 巻 434
2. 論文標題 Copper ion production using zeolite and application to MALDI MS of small molecules	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. Mass Spectrom.	6. 最初と最後の頁 179-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijms.2018.09.028	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 該当する

1. 著者名 Y. Fujii, J. Xu and T. Fujino	4. 巻 8
2. 論文標題 Chirality and structure-selective MALDI using mold matrix	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 13138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-31629-6	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 J. Xu and T. Fujino	4. 巻 12
2. 論文標題 Vibrational cooling effect of zeolite on molecular desorption studied by time-resolved laser desorption ionization mass spectrometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomed. J. Sci. Tech. Res.	6. 最初と最後の頁 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26717/BJSTR.2018.12.002191	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 Y. Fujii, Y. Ding, T. Umezawa, T. Akimoto, J. Xu, T. Uchida, and T. Fujino	4. 巻 34
2. 論文標題 Detection and quantification of 4-methylimidazole in cola by matrix-assisted laser desorption ionization mass spectrometry with Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nanoparticles on zeolite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Anal. Sci.	6. 最初と最後の頁 221-225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.34.221	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 該当する

1. 著者名 Yosuke Fujii, and Tatsuya Fujino	4. 巻 66
2. 論文標題 Laser desorption ionization mass spectrometry of polycyclic aromatic hydrocarbons using 2-step excitation energy transfer from anthracene	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bunseki Kagaku	6. 最初と最後の頁 115-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.66.115	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 Ali Ramadhan, Michal Wesolowski, Tomonari Wakabayashi, Haruo Shiromaru, Tatsuya Fujino, Takeshi Kodama, Walter Duley, Joseph Sanderson	4. 巻 118
2. 論文標題 Synthesis of hydrogen- and methyl-capped long-chain polyynes by intense ultrashort laser pulse irradiation of toluene	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 680-685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2017.03.096	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 該当する

1. 著者名 C. Kitaoka, T. Asano, T. Fujino	4. 巻 90
2. 論文標題 Direct Measurement and Quantification of Drugs and Their Metabolites in Urine by MALDI-MS Using Zeolite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 154-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1246/bcsj.20160311">http://dx.doi.org/10.1246/bcsj.20160311</a>	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 藤井洋佑, 藤野竜也	4. 巻 66
2. 論文標題 2-Step励起エネルギー移動を利用したペンタセンのレーザー脱離イオン化質量分析法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 115-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.66.115	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 A. Ramadhan, M. Wesolowski, T. Wakabayashi, H. Shiromaru, T. Fujino, T. Kodama, W. Duley and J. Sanderson	4. 巻 118
2. 論文標題 Synthesis of hydrogen- and methyl-capped long-chain polyynes by intense ultrashort laser pulse irradiation of toluene	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 680-685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2017.03.096	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 該当する

1. 著者名 M. Yang, *Tatsuya Fujino	4. 巻 2015(513761)
2. 論文標題 Ammonium ion exchanged zeolite for laser desorption/ionization mass spectrometry of phosphorylated peptides	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 International Journal of Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

1. 著者名 Y. Ding, K. Kawakita, J. Xu, K. Akiyama, *Tatsuya Fujino	4. 巻 87(15)
2. 論文標題 Analyte-size-dependent ionization and quantification of monosaccharides in human plasma using cation-exchanged smectite layers	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 7944-7950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 藤野竜也
2. 発表標題 試料分子の構造を認識して検出するレーザー脱離イオン化質量分析法
3. 学会等名 日本分光学会生細胞分光部会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤野竜也
2. 発表標題 見たい分子を選択的に高強度に検出するレーザーイオン化法
3. 学会等名 日本Archaea研究会第32回講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiawei Xu, Tatsuya Fujino
2. 発表標題 Chiral and Structural selective MALDI using Mold Matrix
3. 学会等名 Beijing Conference and Exhibition on Instrumental Analysis 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiawei Xu ・ 藤野竜也
2. 発表標題 レーザー支援脱離イオン化質量分析を用いたトマト缶に含まれる環境ホルモンの新規定量分析法の開発
3. 学会等名 日本分析化学会 第67年会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 藤井洋佑、藤野竜也
2. 発表標題 酸化鉄ナノ粒子を用いたMALDI法における清涼飲料水中発がん性物質の検出
3. 学会等名 日本分析化学会 第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井萌、藤野竜也
2. 発表標題 有機構造体をマトリクスに使用した MALDI -MS測定
3. 学会等名 日本分析化学会 第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shusei Nomura, Hisanao Hazama, Yasufumi Kaneda, Tatsuya Fujino, Kunio Awazu
2. 発表標題 Improvement of the Ionization Efficiency of MALDI Using Zeolite Matrix for Simultaneous Imaging of Multiple Drugs Administered in Cancer Cells
3. 学会等名 65th American Society for Mass Spectrometry (ASMS) Annual Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤野竜也
2. 発表標題 マイクロ・ナノ構造体を利用した分子レーザーイオン化法の研究
3. 学会等名 第76回分析化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井洋佑、藤野竜也
2. 発表標題 分子間励起エネルギー移動を用いたレーザー脱離イオン化質量分析の研究
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会(札幌)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川喜田健人、藤野竜也
2. 発表標題 ハイドロキシアパタイトと二酸化チタンを用いたマトリクスの有用性に関する研究
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会(札幌)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 櫻井萌、藤野竜也
2. 発表標題 一価の銅イオン付加によるタンパク質の高効率MALDI-MS検出に向けて
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会(札幌)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川喜田健人(発表), Y. Ding, J. Xu, 秋山和彦, 藤野竜也
2. 発表標題 カチオン置換型スメクタイト層による測定物サイズに依存したレーザーイオン化及びヒト血漿中単糖類の定量分析に関する研究
3. 学会等名 日本分析化学会 第64年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 中圓尾綾 (発表), 藤野竜也
2. 発表標題 レーザーイオン化法によるスポーツドーピング薬の高感度検出に関する研究
3. 学会等名 日本分析化学会 第64年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 北岡千裕 (発表), 浅野貴史, 藤野竜也
2. 発表標題 MALDI法による薬物代謝物の同時検出及び定量に関する研究
3. 学会等名 日本分析化学会 第64年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tatsuya Fujino
2. 発表標題 Application of CdTe Nanoparticles for Laser Ionization of Small Molecules
3. 学会等名 Collaborative Conference on 3D and Materials Research (CC3DMR) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tatsuya Fujino
2. 発表標題 Quantitative Analysis of Free Fatty Acids in Human Serum Using CdTe Nanoparticles
3. 学会等名 Annual Conference and EXPO of AnalytiX-2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 橋本健朗、藤野竜也、三島正規	4. 発行年 2018年
2. 出版社 放送大学教育振興会	5. 総ページ数 252
3. 書名 現代を生きるための化学	

1. 著者名 吉田泰彦、田代基慶、谷村景貴、田島正弘、浜名浩、佐々木直樹、松浦宏昭、徳村雅弘、相沢宏明、菅又功、萩原時男、相川俊一、越後輝敦、熊澤隆、藤野竜也	4. 発行年 2018年
2. 出版社 培風館	5. 総ページ数 180
3. 書名 理工系学生のための基礎化学	

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