

令和 5 年 9 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03912

研究課題名(和文) 単一エアロゾル表面張力の光解析

研究課題名(英文) Optical surface tension measurement of single aerosol droplet

研究代表者

火原 彰秀 (Hibara, Akihide)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：30312995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：大気化学分野で注目を集めているマイクロメートルサイズの水滴の表面張力の光学的計測法を新たに開発した。単一水滴を計測場にトラップするため光トラップ法・電気力学天秤法を開発した。単一水滴で表面張力波が自発的に共鳴することを実証し、その共鳴モード周波数から表面張力が得られることを示した。環境大気エアロゾル試料を含む水滴の表面張力に成功するところまで研究が大きく進展した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球的な気候変動モデルは、多くの科学分野の協力により着実に進展している。大気化学の分野では、フィールド観測・室内実験・モデル計算の協調により化学反応や雲によるエネルギー放射過程などの気候への影響が検討されているが、大気エアロゾルからの雲粒形成過程の理解は他の理解に比べて遅れている。この最大の要因は、水滴の表面張力計測法の欠如にあると考えている。本研究により計測法としてのブレイクスルーが果たされた。

研究成果の概要(英文)：A new optical measurement method for the surface tension of micrometer-sized water droplets, which has attracted much attention in the field of atmospheric chemistry, has been developed. Optical trapping and electrodynamic balance methods were developed to trap single water droplets in the measurement field. It was demonstrated that capillary waves resonate spontaneously in a single water droplet and that the surface tension can be obtained from the resonance mode frequency. The research has made significant progress to the point where surface tension of water droplets containing environmental atmospheric aerosol samples has been successfully measured.

研究分野：分析化学、レーザー計測化学、大気化学

キーワード：表面張力 レーザー計測化学 水滴 エアロゾル

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。

1. 研究開始当初の背景

(1) エアロゾル・粒子状物質 (particle matters、以下 PM) の計測法は、分子計測法に比べ未成熟であり、新しい検出技術体系の確立が求められている。検出法の観点で、比較的進んでいるのは、気象や大気科学に関わる水滴・固体微粒子などのエアロゾルの科学である。気象予測などに大きな影響をもつ雲粒形成や降水初期過程に、エアロゾル中有機物の界面活性 (表面張力低下) の影響が近年活発に議論されている。質量分析法を用いれば個別粒子の化学組成を知ることが出来る。しかし、雲粒生成過程解析は微粒子集団の現象論的解析を基本とし、個別測定・界面張力測定が不可能であるため、化学組成との関係解析に「越えがたい壁」がある。環境の「化学」を議論するためには、個々の微粒子の界面張力を直接知ることが分野としてのブレークスルーとなる。

また、エアロゾルにおける多相反応 (気液固各相での反応やその界面での反応) は、気象はもとより、オゾン・NO などの反応による PM 生成などを介して健康影響も指摘されており、界面反応を直接解析する方法が望まれている。ウイルスや微生物、人工起源・生物起源 PM の健康影響などを議論する上でも、粒子周囲に水滴が生成するかどうかなど、大気エアロゾルと同様の現象が広く議論されている。

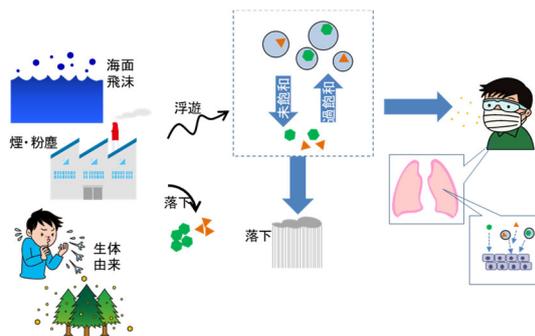


図1 エアロゾルの生成・水滴生成・人体暴露。

(2) 微粒子光散乱計測の歴史は古い。光散乱角分布による微粒子サイズ測定や、動的散乱による微粒子並進運動測定は普及技術である。いわゆる LIDAR を使えば大気中エアロゾルが解析も可能であり、ラマン散乱計測からは、成分情報が得られる。しかし、これらの計測法で得られる情報は、微粒子全体・微粒子集合体全体のものであり、解析可能な現象に限界がある。

2. 研究の目的

- (1) 最先端のエアロゾル科学に必要なツールとして、分析化学的・分光化学的手法開発を行う。エアロゾル科学に対し、界面化学的視点で望み、分野の新しい展開に寄与する。
- (2) 本研究では、界面張力波自発共鳴を利用するレーザー光散乱界面張力測定法を独自に開発させている。この方法では測定原理上最小サイズに制限はなく、エアロゾル解析において唯一無二の有用な方法であることを示す。

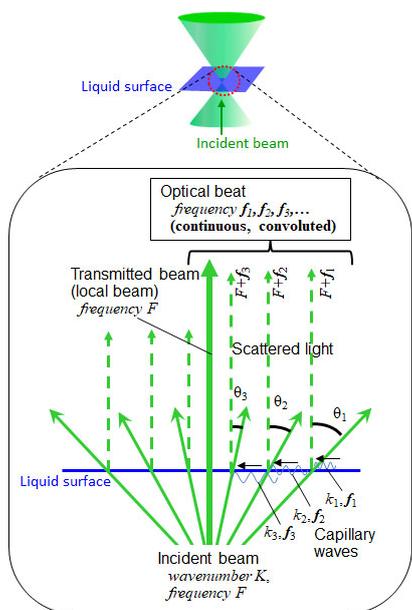


図2 準弾性レーザー散乱法 (QELS 法) の原理

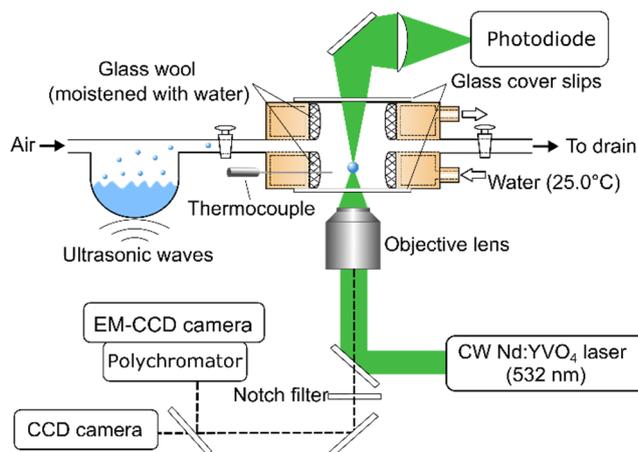


図3 液滴光トラップ QELS 法の装置図。超音波ネブライザーで生成した水滴の一つをトラップする。水滴を通過したトラップ光には、光散乱成分が含まれるため、そのまま QELS 測定光として用いることができる。水滴のラマン散乱 (-OH 伸縮) の Whispering Gallery モード間隔から液滴径を決定できる。

### 3. 研究の方法

(1) 気液界面・液液界面の境界面が平均水位から上昇すると、持ち上がった体積に重力がかかり、その重力を復元力に波が進行する。また、同様の変位により液面が変形すると曲率の内側に向けて表面張力がはたらき、その張力も波の復元力となる。このように重力と表面張力を考慮に入れた波の性質は、古くから研究されており、波数 $k$ （波の波長を $\lambda$ として $k = 2\pi/\lambda$ ）の波の振動数 $f$ は

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} g k + \frac{\gamma}{\rho_1 + \rho_2} k^3} \quad (1)$$

とあらわされる。ここで $g$ は重力加速度、 $\gamma$ は表面張力、 $\rho_1$ と $\rho_2$ はそれぞれ接触している第一相と第二相の密度である。水/空気の気液界面の場合、波長 10  $\mu\text{m}$  のときに振動数が 650 kHz 程になる。マイクロサイズ計測で興味のある 100 ミクロン以下のスケールは、張力支配の領域にあり、振動数 $f$ は

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma}{\rho_1 + \rho_2} k^3} \quad (2)$$

である。

(2) ある特定の波数 $k$ （振動数 $f$ ）の波に注目して、光（波数 $K$ ）が界面に入射することを考える。界面の屈折率差により光散乱が起こるが、その時界面が表面張力波により運動しているため、光の振動数 $F$ は、表面張力波の振動数 $f$ だけドップラーシフトを受けて、 $F + f$ となる。また、散乱角は $k = K \sin \theta$ を満足する角度 $\theta$ 方向に散乱される。この式は、表面張力波を準粒子（リブロン）として考えて運動量保存式としてみることもできるし、波の空間的周期構造による回折方向を定める式とみることもできる。垂直入射した光と交差角 $\theta$ となるように、同一光源から分けた干渉性の高い光（ローカル光、振動数 $F$ ）を導入すると、この方向の散乱光（振動数 $F + f$ ）と光ビート（振動数 $f$ ）を起こすため、光検出器によりパワースペクトルを計測して、散乱によるピークの中心周波数を定めることができる。

一光束型 QELS 法の原理を図 2 に示す。光が集光しながら、あるいは発散しながら液面に投射される状況を考える。ここでは簡単のため、光が発散しながら液面にあたる状況を考える。光軸中心から離れた点では、光は大きな角度（例えば図中 $\theta_1$ ）で、光軸中心近くでは小さな角度（例えば図中 $\theta_3$ ）液面に入射する。入射角にかかわらず液面垂直方向に散乱された光と、散乱されなかった光軸中心の透過光の光ビートを考える。この光学配置では、液面への入射角が散乱角となる。例えば、 $k_1, k_2, k_3$ の界面張力波により角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ に散乱され、それぞれ振動数 $f_1, f_2, f_3$ のドップラーシフトを受け、光ビートを計測したパワースペクトル上ではこれらが重畳したスペクトルが得られる。界面の空間サイズに制限がある場合、界面張力波の自発共鳴によるピークが観察される。

### 4. 研究成果

(1) 準弾性レーザー散乱 (QELS) 気液界面解析法の確立では、QELS 法による液滴ピーク帰属の決定を行った。球面調和関数型共鳴を仮定すると、共鳴モードの振動数は、球面調和型で次数を $l$ 、球の半径を $a$ 、液滴内側の密度を $\rho_1$ 、外側の密度を $\rho_2$ として、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l(l+1)(l-1)(l+2)}{(l+1)\rho_1 + l\rho_2} \frac{\gamma}{a^3}} \quad (3)$$

と表される。空気中の水滴の場合、 $\rho_1 \gg \rho_2$ であるので、(3)式は

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l(l-1)(l+2)}{\rho_1} \frac{\gamma}{a^3}} \quad (4)$$

と簡略化される。図 4 に SDS を含む水滴の QELS パワースペクトルの例を示す。このスペクトルには、 $l = 2, 3, 4, 5$ の共鳴モードが観測され、その振動数と(7)式のフィッティングから表面張力が得られる。原理的には 1 つのピークからも表面張力は得られるが、この例のように連続したモードへの理論式フィッティングにより、より精度の高い解析が可能であることが分かった。ピーク周波数が理論値とよい一致を見せたため、液滴についての解析方針が確定した。

(X) 円形開口気液界面を用いて、時間分解能の向上を目指して研究を進めた。その結果、5~10 程度のスペクトルを平均化した

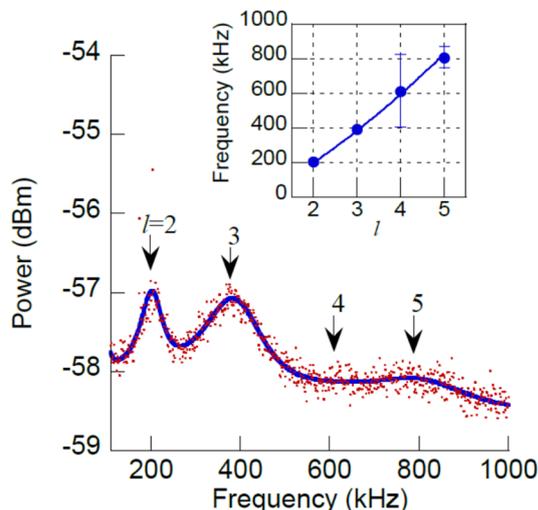


図 4 単一水滴からの QELS スペクトルの例。

後にフィッティングすることで、数ミリ秒の時間分解能が達成された。

(2) 環境試料測定への応用を念頭に置き、光トラップによる測定ではなく、基板上セシルドロップ計測法の検討を行った。顕微鏡下で雰囲気制御した空間に、疎水化ガラス基板の上に噴霧して作製したセシルドロップを配置した。その気液界面を QELS 測定したところ空間制限に起因する共鳴ピークを得ることができた。その周波数の水滴サイズ依存は、球形の共鳴周波数の傾向と一致したため、若干の補正を加え表面張力値を得ることができた。モデル試料としてリモネンを測定して表面張力変化を測定することに成功した。

(3) 疎水処理した直径 5 ミクロンの金薄膜被覆タングステン線にエアロゾル水滴を固定する方法を考案した。直径 10 ミクロン程度の 1M NaCl 水溶液水滴を固定化して観察することに成功した。ここで、タングステン線にレーザー光を照射すると温度上昇により気液平衡が変化して、液相が縮小して NaCl 結晶が析出した状態を作ることが出来た。また、光照射を停止すると元の液滴状態に回復した。この状況は、雲粒形成の前駆状態からの水和過程と見なすことが出来る新しい実験系である。環境をレーザー照射前の温度での飽和水蒸気とリモネン蒸気の混合蒸気とすると水和過程の遅延が観測された。新しい実験系の試行から、表面張力・気液平衡・水和速度を同時に計測する手法につながる切っ掛けを発見したといえる。

(4) 電気力学天秤 (EDB) 法による水滴トラップ装置を新たに作製し、QELS 法と組み合わせた。EDB 装置では、帯電した単一水滴を、四重極型交流電場と二極式の直流電場の組合せで空中にトラップすることができ、光トラップ装置よりも安定にトラップ可能なこと、広い範囲の液滴直径に対応可能であること、などの利点があり、QELS 測定の適用範囲が大幅に拡張した。

EDB-QELS 法では、半径 5 ミクロンから 20 ミクロン程度の水滴をトラップし、それぞれ単一液滴から文献値どおりの表面張力が得られることを確かめた。帯電水滴を用いるが、表面電荷の効果が限定的であることも確かめた。この方法を、界面活性剤分子である SDS による単一水滴の表面張力測定に適用したところ、同じ SDS バルク濃度であるにもかかわらず、小さな半径の水滴で表面張力が上昇するサイズ効果を見いだした。この現象を説明するモデルが構築できれば、大気化学試料での濃度・サイズ効果を新たに提案できることとなり、非常に重要な科学的成果を得た。次に、硫酸アンモニウムとポリエチレングリコールを混合した水滴周辺の相対湿度を変化させることで濃度を変化させると、低い相対湿度条件でこの水溶液が、ポリエチレングリコール濃厚相と硫酸アンモニウム濃厚相に液液相分離することを確かめ、その時の外側液体の表面張力測定に成功した。

(5) 名古屋大学持田教授との共同研究により、環境エアロゾル試料の表面張力測定に成功した。大気化学で長年課題であった単一環境エアロゾル水滴の表面張力測定に初めて成功し、学術的に大変意義ある成果を得た。

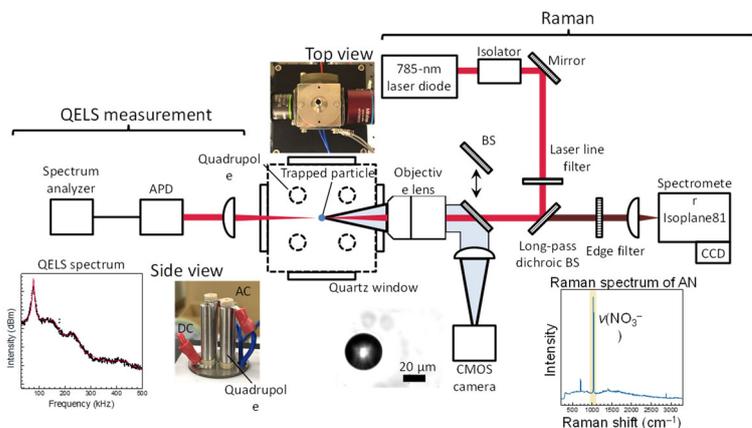


図 5 EDB-QELS 法の装置図。EDB により水滴をトラップし、側方入射のレーザーにて QELS 測定を行う。内容物確認のためラマン散乱も測定できるようにしている。

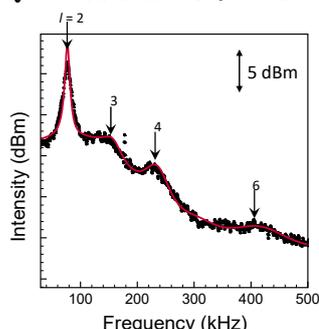


図 6 EDB-QELS 法による単一水滴 (4.6M NaCl 水溶液)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 A. Hibara	4. 巻 72
2. 論文標題 Optical Surface Tension Measurement Method for Microscale Liquid	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 79 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.72.79	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 Grasianto, M. Fukuyama, M. Kasuya, M. Gen, C. Baptista, S. Kondo, A. Hibara	4. 巻 -
2. 論文標題 Simple Aion Detection on Microfluidic Paper Analytical Device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS 2022	6. 最初と最後の頁 1107-1108
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
1. 著者名 K. Takahashi, S. Chida, T. Suwatthanarak, M. Iida, M. Zhang, M. Fukuyama, M. Maeki, A. Ishida, H. Tani, T. Yasui, Y. Baba, A. Hibara, M. Okochi, M. Tokeshi	4. 巻 22
2. 論文標題 Non-competitive fluorescence polarization immunosensing for CD9 detection using a peptide as a tracer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lab on a Chip	6. 最初と最後の頁 2971 ~ 2977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2lc00224h	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 S. A. Eremin, A. V. Zherdev, M. Tokeshi, A. Hibara	4. 巻 988
2. 論文標題 Bioanalytical Technologies for Safety Control of Fish and Seafood by Sensitive Rapid Tests for Phycotoxins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 042041 ~ 042041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/988/4/042041	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 福山真央, 西奈美卓, 富田峻介, 大橋祐美子, 粕谷素洋, 茶谷絵理, 丸山洋子, 白木賢太郎, 火原彰秀	4. 巻 21
2. 論文標題 液液相分離相からのアミロイド形成速度のサイズ依存	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 化学とマイクロ・ナノシステム	6. 最初と最後の頁 13-16
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 無
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 M. Fukuyama, A. Hibara	4. 巻 71
2. 論文標題 Development of the Pretreatment Method for Trace Analysis by Using Spontaneous Emulsification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 391 ~ 397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.71.391	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 火原彰秀	4. 巻 2023
2. 論文標題 マイクロ・ナノの分析化学	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ぶんせき	6. 最初と最後の頁 18-19
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 無
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 Mott Derrick M., Fukuyama Mao, Hibara Akihide	4. 巻 37
2. 論文標題 Aerosol Droplet Surface Measurement Methods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 61 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20SAR01	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 Grasianto, Fukuyama Mao, Mott Derrick M., Koseki Yoshitaka, Kasai Hitoshi, Hibara Akihide	4. 巻 333
2. 論文標題 Organic nanocrystal enrichment in paper microfluidic analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 129548 ~ 129548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2021.129548	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 Endo Takuya, Ishikawa Kyohei, Fukuyama Mao, Uraoka Masaru, Ishizaka Shoji, Hibara Akihide	4. 巻 122
2. 論文標題 Spherical Spontaneous Capillary-Wave Resonance on Optically Trapped Aerosol Droplet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20684 ~ 20690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b03784	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 Grasianto, M. Fukuyama, M. Kasuya, D.M. Mott, Y. Koseki, H. Kasai, A. Hibara	4. 巻 To be determined
2. 論文標題 Sensitive and simple multi-ion detection using organic nanocrystal enrichment in paper analytical devices	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2023.341451	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41件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 福山 真央, 西奈美 卓, 富田 峻介, 大橋 祐美子, 粕谷 素洋, 茶谷 絵理, 丸山 洋子, 白木 賢太郎, 火原 彰秀
2. 発表標題 マイクロサイズプリオンタンパク質集合液滴中からのアミロイド核生成速度解析
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第45回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hao Liu, Mao Fukuyam, Motohiro Kasuy, Ogura Yu, Sho Onose, Koji Shigemura, Manabu Tokeshi, Akihide Hibara
2. 発表標題 Comparison of surface modification of PDMS-based microfluidic devices for inhibition of protein adsorption
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第45回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Carlos Baptista, Derrick M. Mo, Masao Gen, Mao Fukuyama, Arinori Inagawa, Akihide Hibara
2. 発表標題 New diode-laser-based surface tension measurement system and its characterization
3. 学会等名 みちのく分析科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Derrick Michael Mott, Mao Fukuyama, Carlos Baptista, Atika Nur Rochmah, Akihide Hibara
2. 発表標題 Quasi-elastic Laser Scattering Surface Tension Analysis of Atmospheric Aerosols and Sessile Droplets
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 玄大雄, 火原彰秀
2. 発表標題 EDB-QELS法による単一エアロゾル粒子の表面張力測定
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 Carlos Baptista, Masao Gen, Derrick M. Mo, Akihide Hibara
2. 発表標題 Position-dependent analysis of spontaneous capillary-wave resonance for reproducible optical surface tension measurement
3. 学会等名 令和4年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 粕谷素洋, William Lee, 火原彰秀
2. 発表標題 電子線グラフト重合によりプラスチック表面に修飾した高分子電解質ブラシの潤滑挙動評
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 粕谷素洋, William Lee, 火原彰秀
2. 発表標題 高分子電解質修飾したプラスチック表面の水潤滑挙動評価
3. 学会等名 トライボロジー会議2022 秋
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akihide Hibara, Mao Fukuyama
2. 発表標題 One-step fluorescent immunoassay for rapid protein analysis
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Kota Kinabalu (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤 大樹, 西奈美 卓, 富田 峻介, 大橋 祐美子, 粕谷 素洋, 茶谷 絵里, 丸山 洋子, 白木 賢太郎, 火原 彰秀, 福山 真央
2. 発表標題 アミロイド核生成解析に向けたタンパク質濃縮相長時間観察のためのマイクロ流体デバイスの開発
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 粕谷 素洋, 長田 透真, 松下 美幸, 塩谷 暢貴, 下赤 卓史, 火原 彰秀, 長谷川 健
2. 発表標題 フッ素樹脂薄膜における摩擦誘起分子配向変化のMAIRS法による定量的解析
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Derrick Mott, Carlos Baptista, Yize Zhang, Jason Nyoto, Atika Nur Rochmah, Masao Gen, Mao Fukuyama, Akihide Hibara
2. 発表標題 Surface tension monitoring of single aerosol and sessile droplets exposed to hydrophobic organic compounds using the quasi-elastic laser scattering technique
3. 学会等名 ACS Spring Meeting, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akihide Hibara
2. 発表標題 Microdroplet Selective Enrichment
3. 学会等名 International Symposium on Microfluidics/BioMEMS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 曾根 ゆり, 福山 真央, 馬 騰, 平野 愛弓, 火原 彰秀
2. 発表標題 ラテラルバイアス型二重膜の光散乱測定法の検討
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li Xiaoying, 曾根 ゆり, 福山 真央, 火原 彰秀
2. 発表標題 マイクロ流体内気液界面への血清アルブミン吸着張力変化の光散乱測定
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Grasianto, Mao Fukuyama, Motohiro Kasuya, Derrick Mott, Carlos Baptista, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai, Tomoyuki Akutagawa, Akihide Hibara
2. 発表標題 Selective histamine detection using fluorescent organic nanocrystal immobilized-microfluidic paper analytical device
3. 学会等名 MicroTAS 2021-The 25th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Grasianto, Mao Fukuyama, Derrick Mott, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai, Akihide Hibara
2. 発表標題 METAL ION ENRICHMENT USING ORGANIC NANOCRYSTAL COATED-MICROFLUIDIC PAPER ANALYTICAL DEVICES TO ACHIEVE HIGHLY SENSITIVE COLORIMETRIC DETECTION
3. 学会等名 The 24th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihide Hibara, Mao Fukuyama
2. 発表標題 Microfluidic separations and their applications to bioanalysis
3. 学会等名 化学系学協会東北大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 火原彰秀
2. 発表標題 ナノ・マイクロ流体化学デバイスと分析応用
3. 学会等名 第1回東北大学材料科学Webinar
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 火原 彰秀, 福山, 真央
2. 発表標題 油中マイクロ水滴でのその場実験操作とタンパク分析法
3. 学会等名 生物工学Webシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾根ゆり、遠藤拓也、石川京平、福山真央、火原彰秀
2. 発表標題 マイクロ界面のミリ秒時間分解測定のための時間分解能向上と自動解析
3. 学会等名 第19回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Grasianto, Mao Fukuyama, Derrick Mott, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai Akihide Hibara
2. 発表標題 Organic Nanocrystal Coated- Paper Based Microfluidic for Detection of Heavy Metal Ions in River Water
3. 学会等名 第19回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曽根ゆり、遠藤拓也、石川京平、福山真央、火原彰秀
2. 発表標題 マイクロ界面のミリ秒時間分解測定のためのスペクトル自動解析法
3. 学会等名 2019年度日本分析化学会東北支部若手交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Grasianto, Mao Fukuyama, Derrick Mott, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai Akihide Hibara
2. 発表標題 Development of Organic Nanocrystal Coated- Paper Based Microfluidic for Detection of Heavy Metal Ions
3. 学会等名 2019年度日本分析化学会東北支部若手交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mao Fukuyama, Akihide Hibara
2. 発表標題 Microdroplet selective enrichment method toward single-cell analysis
3. 学会等名 The 13th Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 火原 彰秀, 福山 真央
2. 発表標題 ナノ・マイクロ溶液界面の利用と計測
3. 学会等名 第42回溶液化学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 火原 彰秀
2. 発表標題 エアロゾルや流路内気液・液液界面などの 微小界面を計測するレーザー分光法
3. 学会等名 日本分析化学会第68回 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Grasianto, Mao Fukuyama, Mott Derrick Michael, Akihide Hibara
2. 発表標題 Organic Nanocrystal Coated-Microfluidic Paper Analytical Device for Metal Detection
3. 学会等名 Royal Society of Chemistry - Tokyo International Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Derrick M. Mott, Mao Fukuyama, Akihide Hibara
2. 発表標題 Optical Surface Tension Measurement of Sessile Drop for Analysis and Monitoring of Ambient Organic Molecules
3. 学会等名 Royal Society of Chemistry - Tokyo International Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 モット デリック マイケル
2. 発表標題 単一エアロゾルと関連試料表面の光学的張力測定
3. 学会等名 第36回無機・分析化学コロキウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hibara
2. 発表標題 Optical tension measurement of single aerosol droplet based on surface thermal fluctuation
3. 学会等名 International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hibara
2. 発表標題 Time-resolved Measurement of Liquid Surface Phenomena
3. 学会等名 Matrafured(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Derrick M. Mott、Mao Fukuyama、Akihida Hibara
2. 発表標題 Optical Surface Tension Measurement of Sessile Drop for Ambient Organic Molecules Analysis
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第39回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾根 ゆり, 遠藤 拓也, 石川 京平, 福山 真央, 火原 彰秀
2. 発表標題 マイクロメートル界面のミリ秒時間分解張力測定
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 火原彰秀
2. 発表標題 単一エアロゾル水滴の表面測定
3. 学会等名 2018先端分析・機能創発研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山真央, Mikhail A. Proskurnin, 渡慶次学, 火原彰秀
2. 発表標題 ポリエチレングリコール添加ポリジメチルシロキサン表面の溶媒応答接触角変化
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第37回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤 拓也, 石川 京平, 福山 真央, 浦岡 将, 石坂 昌司, 火原 彰秀
2. 発表標題 単一エアロゾル水滴表面張力の非接触測定法
3. 学会等名 日本分析化学会第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山真央, Mikhail A. Proskurnin, 渡慶次学, 火原彰秀
2. 発表標題 ポリエチレングリコール鎖を添加したポリジメチルシロキサン表面の特性とマイクロ水滴生成応用
3. 学会等名 日本分析化学会第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤 拓也, 石川 京平, 福山 真央, 浦岡 将, 石坂 昌司, 火原 彰秀
2. 発表標題 単一エアロゾル水滴表面への有機物吸着測定
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 Akihide Hibara
2. 発表標題 Optical surface tension measurement of aerosol droplets
3. 学会等名 The 4th International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 火原彰秀
2. 発表標題 単一エアロゾル水滴の分光とイメージングに向けて
3. 学会等名 2018年度日本分光学会北海道支部シンポジウム - 分光イメージングの現在と未来 - (招待講演)
4. 発表年 2019年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 火原彰秀 (分担執筆)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 992
3. 書名 光と物質の量子相互作用ハンドブック 第6編 計測・分光技術 第1章分光分析	

1. 著者名 白木賢太郎編 分担執筆 福山真央 火原彰秀	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 400
3. 書名 相分離生物学の全貌 (現代化学増刊46) 73.Lab on a chipによるマイクロ多相流操作を用いた相分離生物学の展開	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

<p>東北大学多元物質科学研究所火原研究室  <a href="http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/hibara/">http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/hibara/</a>            リサーチマップ 火原彰秀  <a href="https://researchmap.jp/hibara">https://researchmap.jp/hibara</a>            リサーチマップ 岡田哲男  <a href="https://researchmap.jp/tokada">https://researchmap.jp/tokada</a>            リサーチマップ 石坂昌司  <a href="https://researchmap.jp/read0055187">https://researchmap.jp/read0055187</a>            リサーチマップ 福山真央  <a href="https://researchmap.jp/maofukuyama">https://researchmap.jp/maofukuyama</a>            リサーチマップ 玄大雄  <a href="https://researchmap.jp/mgen">https://researchmap.jp/mgen</a>            リサーチマップ 柳町 拓哉  <a href="https://researchmap.jp/t-yanagimachi">https://researchmap.jp/t-yanagimachi</a></p>
--

## 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	福山 真央  (Fukuyama Mao)  (40754429)	東北大学・多元物質科学研究所・講師   (11301)	

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
研究分担者	石坂 昌司  (Ishizaka Shoji)  (80311520)	広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授   (15401)	
研究分担者	柳町 拓哉  (Yanagimachi Takuya)  (50768744)	秋田工業高等専門学校・その他部局等・准教授   (51401)	2022年度～
研究分担者	玄 大雄  (Gen Masao)  (50774535)	東北大学・多元物質科学研究所・助教   (11301)	2022年度～
研究分担者	岡田 哲男  (Okada Tetsuo)  (20183030)	東京工業大学・理学院・教授   (12608)	～2021年度

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