

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03940

研究課題名（和文）ソノルミネッセンスを用いた新たなウルトラファインバブル計測に関する研究

研究課題名（英文）Study on the new ultrafine bubble measurement using sonoluminescence

研究代表者

秦 隆志（Hata, Takashi）

高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・教授

研究者番号：00342577

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ウルトラファインバブルの定性的・定量的、特にウルトラファインバブルの数密度の計測についてウルトラファインバブルに超音波を印加して生じるソノルミネッセンス挙動に注目し検討をおこなった。結果、油分や溶存イオン類が混在した系においても、ソノルミネッセンス強度を指標とすることでウルトラファインバブルの計測が可能な点を、さらに当該計測技術の要素把握から小型で汎用性の高い計測システムの知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1 μ m未満で定義されるウルトラファインバブルの存在評価に関してはその微小性から評価が容易ではなく、社会実装の達成を遅らせている。現在、ウルトラファインバブルの粒度分布や数密度の計測にはレーザー回折・散乱法やナノ粒子トラッキング解析法などが用いられているが、計測結果として得られるものは、1 μ m未満の粒子とした評価である。さらに学術的には不純物が極めて少ない超純水や純水が用いられているが、産業的には水道水などを用いることが一般的である。本研究成果は水道水等でもウルトラファインバブルを評価することが可能であり、これまで成し得なかった知見を得ることから学術的・社会的意義は極めて高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, qualitative and quantitative measurements of ultrafine bubbles, especially the number density of ultrafine bubbles, were examined using sonoluminescence behavior generated by applying ultrasonic sound to ultrafine bubbles as an indicator. As a result, it was found that ultrafine bubbles can be measured by using sonoluminescence intensity as an indicator, even in systems containing oil and dissolved ions, and that a compact and versatile measurement system is available based on an elemental knowledge of this measurement technology.

研究分野：混相流

キーワード：ウルトラファインバブル ナノバブル コンタミネーション ソノルミネッセンス 超音波

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

国際標準化 (ISO) においてファインバブルの基本規格「ファインバブルの使用と計測に関する一般原則」が日本提案の元、国際規格第 1 号として発行されている。これに基づく、「ファインバブル」とは気泡径 100 μm 未満の気泡を指し、その内訳として 1~100 μm の直径を持つ「マイクロバブル」、1 μm 未満の「ウルトラファインバブル」と定義している。このファインバブルは目視が容易な 100 μm (= 0.1 mm) 以上の気泡とは著しく異なる物理的・化学的性質を顕在化させるため、気液反応等の工学分野のみならず、洗浄や殺菌、廃水処理、バイオプロセス、製薬・製剤、食品、農産業、水産業等の幅広い産業分野への応用が可能であり、学術的な基礎現象の解析はもちろん社会実装への展開も重要になっている。

しかしながら、ファインバブルの中でも 1 μm 未満で定義されるウルトラファインバブルの存在評価に関してはその微細性から評価が容易ではなく、社会実装の達成を遅らせているといった現状課題がある。現在、ウルトラファインバブルの粒度分布や数密度の計測にはレーザー回折・散乱法や、粒子のブラウン運動を観測するナノ粒子トラッキング解析法などが用いられているが、計測結果として得られるものは、現状、1 μm 未満の粒子とした評価である。実際には、クリーンルーム内で超純水や純水を用い、さらに内包気体は中空糸フィルターを介した空気やボンベから純気体を導入することによって、不純物の混在を可能な限り避けるといった手法が取られているが、実際の多くの産業において超純水や純水のみ使用するといったことはなく、ある程度、不純物を含んだ水が使用されていることから、不純物混在下でのウルトラファインバブルの評価は産業的、かつそこに繋がる学術的事項において急務な要求項目に位置する。この要求に応えるべく、物質の固有振動数を用い、正の浮力を持つ粒子 (水よりも軽いとしてウルトラファインバブルと判断する) と負の浮力を持つ粒子 (水よりも重いとして不純物と判断する) の区別が可能な共振式質量測定法も提唱されているが、不純物の重さが一様ではないことから正の浮力を持つ粒子全てがウルトラファインバブルとは言い切れない。また、凍結溶解や超遠心分離などの手法を用いてウルトラファインバブルを除去し、その前後の測定結果の差異からウルトラファインバブルを見積もるといった評価が (独) 製品評価技術基盤機構を中心に検討されているものの、今度は逆に全てのウルトラファインバブルを除去できないといった課題がある。つまり、不純物混在下でもウルトラファインバブルの存在を定性的・定量的に評価するといった技術開発が急務といった背景がある。

なお、ウルトラファインバブルの存在の賛否については、実験系では 6 日間程度の安定性が認められているものの、シミュレーションの結果では長期間存在することができない (半径 10~100 nm のバブルでの存在は 1~100 μs) とする報告がある。しかしながら、近年、シミュレーション結果からも疎水性物質の混在によりウルトラファインバブルの安定性向上が説明された。つまり、現実的にも不純物存在を加味した評価が必要である。

2. 研究の目的

前述の通り、不純物混在下においてウルトラファインバブルの存在を定性的・定量的に評価する計測法の構築が急ぎ求められている。その課題に対し、本研究では気泡 (バブル) に超音波を照射することで生じる発光現象 (ソノルミネッセンス) を指標とした検討をおこなう。ソノルミネッセンス、例えば、単一気泡ソノルミネッセンス (Single-Bubble Sonoluminescence : SBSL) とは液体を入れた容器を超音波振動子によって共振させ、定在波の圧力の腹に一つのバブルをトラップした際に、そのバブルが安定的に膨張と収縮を繰り返して収縮の度に発光する現象である。この発光現象の理由は、SBSL が断熱圧縮によって高温になり、そこで生成されるプラズマから制動放射が起こるとする説 (ホットスポット) や、収縮する際にバブル壁速度が音速を超えるとバブル内で衝撃波が生じるとする説などがあり、まだ決着は付いていない。さらに、多数気泡ソノルミネッセンス (Multi-Bubble Sonoluminescence : MBSL) では OH ラジカルが関係した化学発光説なども提唱されている。ここで、MBSL では超音波のキャビテーションによってバブルの発生と収縮が起こり、発光現象が生じる。ではここで、この溶液中に元々、バブル、例えば、本研究のテーマであるウルトラファインバブルが存在した場合はどうであろうか？ キャビテーションによって生じるバブルに元々存在するウルトラファインバブルが加算されて、発光強度が上がると推測される。

そこで本研究では、不純物混在下、ソノルミネッセンス挙動を指標としたウルトラファインバブルの定性的・定量的評価計測法の構築を目的とする。その目的の概略を図 1 に示す。

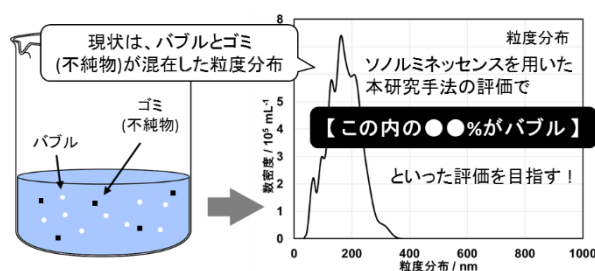


図 1 本研究が目指す具体的な研究目標

3. 研究の方法

(1) ウルトラファインバブルの作製

ウルトラファインバブルは液体の旋回流から気体のせん断場が得られる気液せん断方式を用い、マイクロバブルを含んだファインバブル作製後、マイクロバブルの浮上分離を充分に待ってウルトラファインバブルのみとした。なお、内包する気体はソノルミネッセンス現象が強く表れるアルゴンガスを用い、経路上に中空糸フィルター（孔径 $0.04\ \mu\text{m}$ ）を設置することで不純物の混入を防止し、水は超純水（チューブを用いてアルゴンをバブリングし、ウルトラファインバブル水と溶存酸素量は合わせている）とした。他方、ウルトラファインバブルの粒度分布および数密度測定にはナノ粒子トラッキング解析法による ZetaView（Particle Metrix）を用いた。

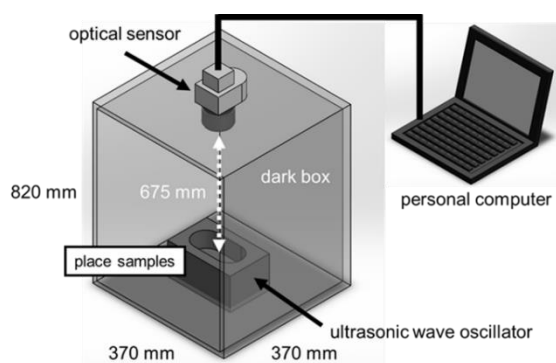


図2 ソノルミネッセンス挙動の観測機

(2) ウルトラファインバブルの消泡の検討

今回、ウルトラファインバブルの評価として（ウルトラファインバブルの）ソノルミネッセンス挙動を指標としているが、ウルトラファインバブルの数密度の評価にはウルトラファインバブルの消泡手法が重要であり、凍結溶解、超遠心分離、フィルターろ過、真空脱気等の物理的・化学的な消泡を検討した。

(3) 純水中でのウルトラファインバブルの評価：定量評価の可能性について

純水中で種々の数密度に調整したウルトラファインバブルに対してソノルミネッセンス挙動を観測し、観測された強度（光電子量）とウルトラファインバブルの数密度の相関性を調査した。なお、ソノルミネッセンス挙動はその現象に起因すると考えられている OH ラジカルの発光波長である $310\ \text{nm}$ 付近のみを透過する UV フィルターを取り付けた光電子増倍管により暗箱内で観察した（図 2）。より具体的には、ソノルミネッセンス挙動の動画撮影をおこない、フレーム毎に切り分け、個々の画像解析から明度を 256 分割して明度 150 以上の画素数をフレーム数に対しプロットした^[1]。

(4) 不純物の影響

当該手法に対する不純物の影響について、産業利用（アプリケーション）先で使用する水として海水を対象とした NaCl 水溶液、および人由来の不純物として油分を添加した水溶液を用い、それぞれのウルトラファインバブルのソノルミネッセンス挙動を観測し、それら不純物が与える影響について調査した。

4. 研究成果

(1) ウルトラファインバブルの消泡の検討

超純水系においてウルトラファインバブルの消泡効果を検討した結果、沸騰処理、緩慢凍結溶解処理、および超音波処理によってウルトラファインバブルの消泡現象を確認した。それらの結果として、沸騰処理、および緩慢凍結溶解処理においては図 3・4 にそれぞれの粒度分布を、また超音波処理では周波数 $1.6\ \text{MHz}$ を用いてウルトラファインバブルを崩壊させ、その後、残存したウルトラファインバブルの数密度を計測、その値を照射時間に対し図 5 にプロットした。図 3・4 から、沸騰よりも緩慢凍結の方でウルトラファインバブルの消泡効果は大きい。緩慢凍結

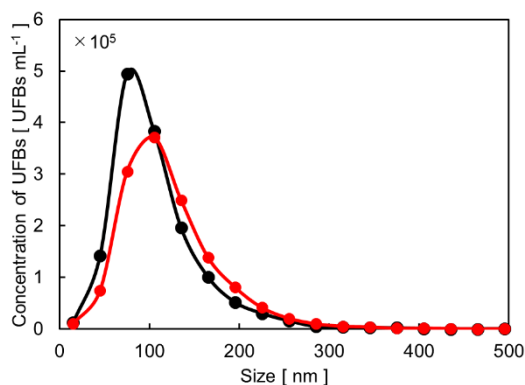


図 3 沸騰前後のウルトラファインバブルの粒度分布（—：沸騰前、—：沸騰後）

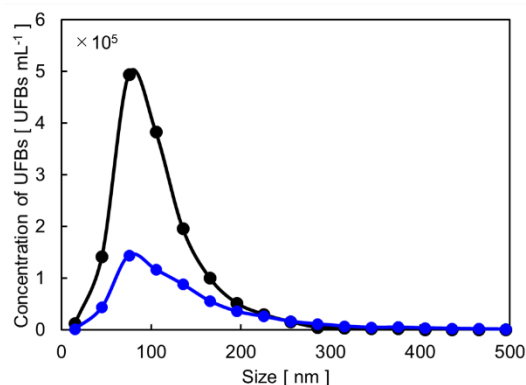


図 4 緩速凍結融解前後のウルトラファインバブルの粒度分布（—：凍結前、—：凍結後）

とはウルトラファインバブル水を封入した瓶を断熱材で囲み、冷凍庫で緩やかに凍結させることで(ウルトラファインバブル以外の)バルクの水のみを凍結させ、結果、ウルトラファインバブルの濃縮から合一化が起こり浮上除去(消泡)されると考えられる手法である。このようにウルトラファインバブルの消泡には温度による状態変化が一つの要因と考えられる一方、1.6 MHzの超音波を15分間程度照射させることで9割程度のウルトラファインバブルの消泡効果が得られた(図5)。つまり、化学的な状態変化に比べ物理的要因による消泡効果の方が作用は強い。以上から、以降のウルトラファインバブルの数密度においては、上記の超音波処理条件での減衰した差分量をウルトラファインバブルの数密度とした。

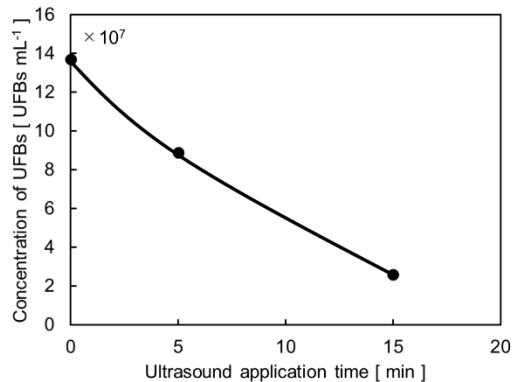


図5 超音波照射によるウルトラファインバブルの数密度の変化

(2) 純水中でのウルトラファインバブルの評価：定量評価の可能性について^[2]

原水となる超純水、および(原水は超純水)ウルトラファインバブル水のそれぞれに超音波を照射しソノルミネッセンス挙動を観察したところ、超音波照射時に強いソノルミネッセンス強度(ピーク強度)が見られ、その程度はウルトラファインバブル水の方が高いことを確認した(図6)。つまり超音波によって溶液中に含まれるウルトラファインバブルが崩壊し、その割合分、ソノルミネッセンス強度が加算されたと考えられる。さらにこのピーク強度はウルトラファインバブルの数密度に依存する傾向(図7)を示しており、本手法を用いることで純水中でのウルトラファインバブルの定量評価が可能であるといった知見を得た。

(3) 不純物の影響^[3]

① 溶存イオン NaCl 下でのウルトラファインバブルの評価

NaClの添加によりNa⁺やCl⁻のイオンの励起などに寄与した全波長領域でのソノルミネッセン

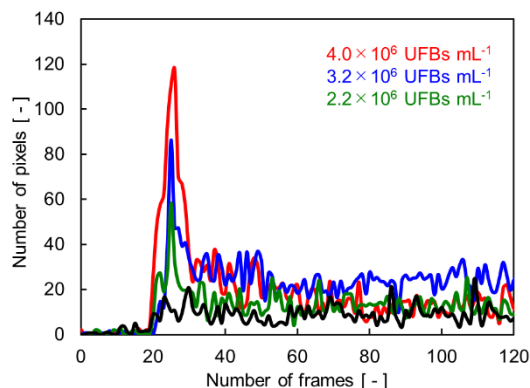


図6 種々のウルトラファインバブルの数密度におけるソノルミネッセンス挙動(—:超純水(原水))

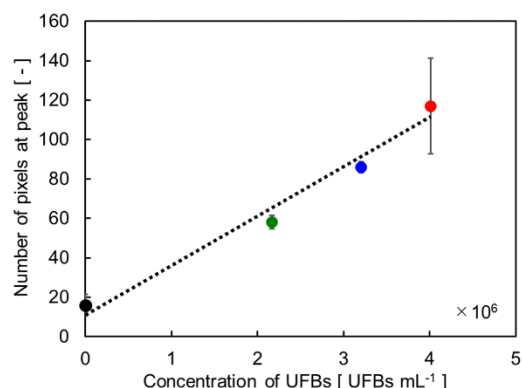


図7 ウルトラファインバブルの数密度に対するソノルミネッセンスのピーク値

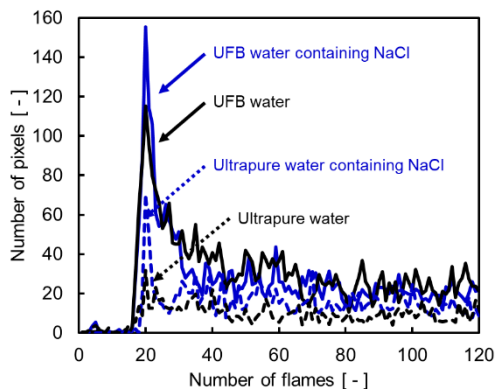


図8 NaCl水溶液中のウルトラファインバブルのソノルミネッセンス挙動

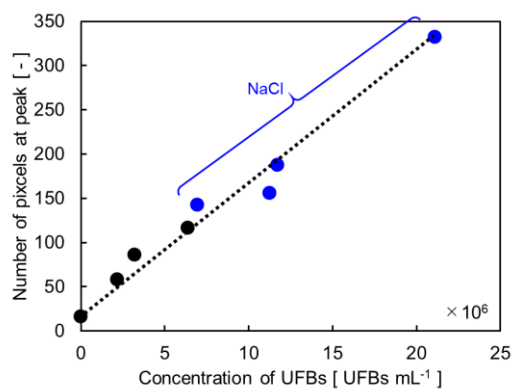


図9 ウルトラファインバブルの数密度に対するソノルミネッセンスのピーク値(超純水、NaCl水溶液中)

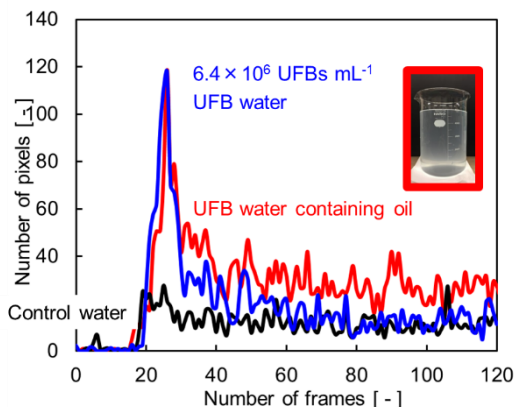


図 10 油分添加液中のウルトラファインバブルのソノルミネッセンス挙動

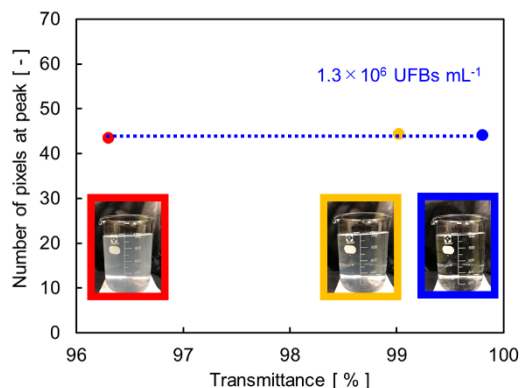


図 11 油分添加液中のウルトラファインバブルのソノルミネッセンスのピーク値に与える透過率の影響

強度は増加するものの、OH ラジカルの発光波長である 310 nm 付近のみを透過する UV フィルターを具備することでそれらの影響は比較的低減され、主としてウルトラファインバブルのソノルミネッセンス挙動のみを観測することができた (図 8)。NaCl を添加した超純水において超音波照射直後のソノルミネッセンス挙動に若干のピークが見られるが、NaCl を添加したウルトラファインバブル水とウルトラファインバブル水のみとのピーク強度はほぼ同じである)。先と同様にウルトラファインバブルの数密度に対しピーク強度をプロットすると純水系と同じ直線上で相関性を示す結果 (図 9) を得ることができ、NaCl といった溶存イオン存在下でもウルトラファインバブルの定量評価が可能であるといった知見を得た。

② 油分が混在したウルトラファインバブルの評価

油分としてオレイン酸を用い、超純水に濃度 10 ppm になるように添加して超音波によって分散させたオレイン酸含有水溶液と、その水溶液をもとに作製したウルトラファインバブル水のソノルミネッセンス挙動を観察した。得られたソノルミネッセンス挙動を図 10 に示す (図の右上にオレイン酸含有水溶液を用い作製したウルトラファインバブル水の写真を示す。油分の分散により懸濁している状況が分かる)。黒線はオレイン酸含有水溶液の系であり、青線が超純水を用いて作製したウルトラファインバブル水、赤線がオレイン酸含有水溶液を原水として作製したウルトラファインバブル水のソノルミネッセンス挙動である。油分-ウルトラファインバブル (赤線) がウルトラファインバブルのみ (青線) とほぼ近似していることから、油分がサンプル中に混入した場合であってもソノルミネッセンス挙動を指標とすることで油分とウルトラファインバブルを区別した評価が可能である。なお、当該傾向は透過率 96 % までの懸濁状態にて確認できている (図 11)。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

「1. 研究開始当初の背景」で記載した通り、不純物混在下でもウルトラファインバブルの存在を定性的・定量的に評価するといった技術開発が急務であるものの、国内外共にいまだ解決手法は提示されていない。本研究成果は当該課題に対し、一つの解決策を提示しており、学術的・社会的インパクトは極めて高い。

(5) 今後の展望

本手法の社会実装が達成されれば、前述までの課題は「不純物混在下でもウルトラファインバブルの存在を定性的・定量的に評価する技術」の創成から克服され、ウルトラファインバブルのエビデンス獲得が加速的に進む。他方、実装のためには、高額な光電子増倍管を他に置き換えることや汎用性を高めたシステムとしての構築が重要であり、本研究成果の社会的還元として引き続き研究を進める。

< 引用文献 >

- [1] 秦 隆志、山脇直也、西内悠祐、奥村勇人、赤松重則、ソノルミネッセンス増強効果を用いるウルトラファインバブルと固体ナノ粒子の識別、分析化学、68 (11)、847-852 (2019)
- [2] 森下海都、西内悠祐、奥村勇人、赤松重則、秦 隆志、ソノルミネッセンスを指標としたウルトラファインバブルの評価に関する研究、化学工学会 第 52 回秋季大会 (岡山) 講演論文集 (2021)
- [3] 森下海都、西内悠祐、奥村勇人、赤松重則、秦 隆志、ソノルミネッセンス挙動を用いた不純物混在下のウルトラファインバブル計測に関する研究、日本混相流学会 混相流シンポジウム 2022 講演論文集 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1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 秦 隆志	4. 巻 34
2. 論文標題 ソノルミネッセンスを用いた新たなウルトラファインバブル計測に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 超音波Techno	6. 最初と最後の頁 52-56
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 秦 隆志, 山脇直也, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則	4. 巻 68
2. 論文標題 ソノルミネッセンス増強効果を用いるウルトラファインバブルと固体ナノ粒子との識別	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 分析化学（BUNSEKI KAGAKU）	6. 最初と最後の頁 847-852
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/bunseki.kagaku.68.847	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 秦隆志, 西内悠祐, 田中克也, 坂本正興	4. 巻 69
2. 論文標題 ファインバブルを用いた洗浄技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 表面技術	6. 最初と最後の頁 430-434
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 秦隆志, 西内悠祐, 坂本正興	4. 巻 47
2. 論文標題 ファインバブルを用いた洗浄の効率化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊ファインケミカル	6. 最初と最後の頁 32-40
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 -

〔学会発表〕 計36件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 寺村優奈, 森下海都, 西内悠佑, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ウルトラファインバブル水のソノルミネッセンス挙動と生成されるラジカルの関係性
3. 学会等名 第29回高専シンポジウム in Nagaoka
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 寺村優奈, 森下海都, 西内悠佑, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ウルトラファインバブル水のソノルミネッセンス挙動に与える超音波周波数の影響
3. 学会等名 第32回ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森下海都, 西内悠佑, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ソノルミネッセンス挙動を指標としたウルトラファインバブル計測に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaito Morishita, Yusuke Nishiuchi, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Takashi Hata
2. 発表標題 Measurement of Ultrafine Bubbles with Impurities Using Sonoluminescence Behavior
3. 学会等名 11th International Conference on Multiphase Flow (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森下海都, 多田佳織, 西内悠祐, 秦 隆志
2. 発表標題 オゾン-ファインバブル水に与えるUVCの影響に関する研究
3. 学会等名 日本オゾン協会第31回年次研究講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ソノルミネッセンス挙動を用いた不純物混在下のウルトラファインバブル計測に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kaito Morishita, Yusuke Nishiuchi, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Takashi Hata
2. 発表標題 Evaluation of Ultrafine Bubble Indexed by Sonoluminescence
3. 学会等名 第18回ファインバブル国際シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡秀太, 森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ソノルミネッセンス挙動を指標としたイオン溶解下でのウルトラファインバブルの計測に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 ソノルミネッセンスを指標としたウルトラファインバブルの評価に関する研究
3. 学会等名 化学工学会 第52回秋季大会(岡山)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森下海都, 片岡秀太, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 オゾンウルトラファインバブルと不純物の識別手法に関する研究
3. 学会等名 日本オゾン協会 第30回年次研究講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天久海希, 三笠祐嗣, 小川逸芳, 片岡秀太, 中平航大, 多田佳織, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 共存イオン存在下のウルトラファインバブルのソノルミネッセンスに関する研究
3. 学会等名 第29回ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三笠祐嗣, 天久海希, 片岡秀太, 中平航大, 多田佳織, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志
2. 発表標題 オゾンファインバブルと超音波の併用によるラジカルの効率的生成に関する研究
3. 学会等名 第29回ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三笠祐嗣, 天久海希, 多田佳織, 西内悠祐, 秦 隆志
2. 発表標題 オゾン-ファインバブルを用いた促進酸化技術に関する研究
3. 学会等名 日本オゾン協会第29回年次研究講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山脇直也, 西内悠祐, 秦 隆志
2. 発表標題 オゾンを用いたウルトラファインバブルの存在評価
3. 学会等名 日本オゾン協会 第28回 年次研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山脇直也, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦 隆志
2. 発表標題 超音波を用いたウルトラファインバブルの測定手法に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Yamawaki, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Yusuke Nishiuchi, Takashi Hata
2. 発表標題 Study on the method of identifying ultrafine bubbles using ultrasound under the presence of solid nanoparticles
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Yamawaki , Hayato Saeki , Hayato Okumura , Shigenori Akamatsu , Yusuke Nishiuchi , Takashi Hata
2. 発表標題 Study on an Evaluation Method of Ultrafine Bubbles under the Mixture of Impurities - Influences of Oil and Ionic Substance -
3. 学会等名 An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of Division of Colloid and Surface Chemistry, The Chemical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hayato Saeki , Naoya Yamawaki , Hayato Okumura , Shigenori Akamatsu , Yusuke Nishiuchi , Takashi Hata
2. 発表標題 Study on an Evaluation Method of Ultrafine Bubbles under the Mixture of Impurities - Influence of Solid Nanoparticles -
3. 学会等名 An International Conference on Colloid & Surface Science Celebrating the 70th Anniversary of the Divisional Meeting of Division of Colloid and Surface Chemistry, The Chemical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐伯颯斗 , 山脇直也 , 奥村勇人 , 赤松重則 , 西内悠祐 , 秦 隆志
2. 発表標題 不純物存在下におけるウルトラファインバブルの評価手法に関する研究
3. 学会等名 2019年 日本化学会 中国四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山脇直也 , 西内悠祐 , 奥村勇人 , 赤松重則 , 秦 隆志
2. 発表標題 ソノルミネッセンス挙動を指標としたウルトラファインバブルの評価手法に関する研究
3. 学会等名 第28回 ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 刈谷未来, 山脇直也, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 超音波を用いたウルトラファインバブルの存在評価に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山脇直也, 西内悠祐, 秦隆志, 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブルを用いた洗浄促進に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miki Kariya, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Yusuke Nishiuchi, Takashi Hata
2. 発表標題 An Ultrasound-Based Method for Measuring Ultrafine Bubbles
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications for Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Yamawaki, Yusuke Nishiuchi, Takashi Hata
2. 発表標題 A Study on Promoting Washing by Using Fine Bubbles
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications for Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 刈谷未来, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 ウルトラファインバブルと不純物を如何にして区別するか？
3. 学会等名 西日本ファインバブル研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山脇直也, 岡嶋里歩, 刈谷未来, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 固着塩除去に与えるファインバブルの効果
3. 学会等名 西日本ファインバブル研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 刈谷未来, 山脇直也, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 OHラジカルを指標とするウルトラファインバブルの存在評価手法に関する研究
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西内悠祐, 秦隆志, 寺坂宏一
2. 発表標題 固着塩除去に与えるファインバブルの効果
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦隆志, 西内悠祐, 氷室昭三, 寺坂宏一
2. 発表標題 物理的・化学的な効果を有するファインバブル洗浄
3. 学会等名 第4回ファインバブル学会連合シンポジウム「ファインバブルの漁業、医療、洗浄、ソノケミストリーへの応用」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小栗涼雅, 刈谷未来, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 超音波を用いた微細気泡の評価手法に関する研究
3. 学会等名 2018年 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三笠祐嗣, 山脇直也, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 微細気泡が引き起こす固着塩除去効果に関する研究
3. 学会等名 2018年 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 刈谷未来, 山脇直也, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 超音波を用いたウルトラファインバブルの評価手法に関する研究
3. 学会等名 第27回ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山脇直也, 三笠祐嗣, 多田佳織, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 ファインバブルを用いた洗浄の効率化に関する研究
3. 学会等名 JIP環境技術研究会第3回シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 刈谷未来, 山脇直也, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 ファインバブル水の基礎物性に関する研究
3. 学会等名 第24回高専シンポジウム in Oyama
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山脇直也, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 オゾンを用いたウルトラファインバブルの存在評価
3. 学会等名 日本オゾン協会 第28回年次研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山脇直也, 奥村勇人, 赤松重則, 西内悠祐, 秦隆志
2. 発表標題 超音波を用いたウルトラファインバブルの測定手法に関する研究
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

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

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