

令和 2 年 5 月 10 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03447

研究課題名(和文) ファインバブルサイエンス構築にむけた革新的物性計測技術の国際研究開発

研究課題名(英文) International R & D on Innovative Measurement Technology to Build Fine Bubble Science

研究代表者

寺坂 宏一 (Terasaka, Koichi)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：00245606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：ウルトラファインバブル(以下UFB)の性質を評価するための新しい分析・計測技術を開発した。UFBの純度評価法として緩慢凍結融解法、サンプル調製法としてUFB水の希釈および濃縮技術を開発した。また大腸菌殺菌用オゾン水の製造法、マイクロバブル内ガスの溶解速度の推算法を導いた。マイクロ流路を利用した単一微細気泡生成、超音波付加による水中からのUFB生成にも成功した。さらにドイツ・カナダ・日本の国際ファインバブルコンソーシアムを設立し、2018、2019年にカナダでUFBに関する国際ワークショップを2回開催した。また2017年に日本で寺坂教授とSchlueter教授が議長を務め国際会議を開催した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ファインバブル技術発展のボトルネックとなっているファインバブル特性の分析・評価方法が開発された。これらの成果はファインバブル研究開発を後押しし、ファイバブルを新しい科学として構築し、学問として体系化を促す。また本研究で提案された評価方法は国際標準規格(ISO)となるので世界的なファインバブル産業の健全な育成と普及に貢献する。

研究成果の概要(英文)：A new analysis and measurement technology to evaluate the properties of ultrafine bubbles (UFB) was developed. We have developed a slow freeze-thaw method for evaluating the purity of UFB as well as UFB water dilution and concentration technology. The efficient production technology of ozone water for sterilization of *E. coli* were also obtained by using fast dissolution of gas by using microbubble aeration. We also succeeded in producing single microbubbles using a microchannel and UFB from water by irradiating ultrasonic waves.

In addition, we established the International Fine Bubble Consortium in Germany-Canada-Japan and we hosted two international workshops on UFB in Canada in 2018 and 2019. In 2017, Prof. Terasaka and Prof. Schlueter held an international conference in Japan as chairs.

研究分野：化学工学

キーワード：ファインバブル ウルトラファインバブル マイクロバブル 気泡物性計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1990年頃より日本で微細気泡の実用的な製造技術が誕生し、2000年頃より各種分野での応用が進められた。微細気泡の製造・分析・応用に関わる企業が結集して2012年に(一社)微細気泡産業会(翌年ファインバブル産業会に改称)が設立された。2013年には国際標準化機構(ISO)においてファインバブル技術専門委員会(TC281)が設立され国際標準化が開始された。2017年にはISO20489-1で図1に示すMicrobubble(直径約1~100 μm の気泡)とUltrafine Bubble(直径1 μm 以下の気泡)および両者の総称としてFine Bubbleが正式に定義された。また2015年4月に気泡に関わる日本の研究組織が参集しファインバブル学会連合が発足した。

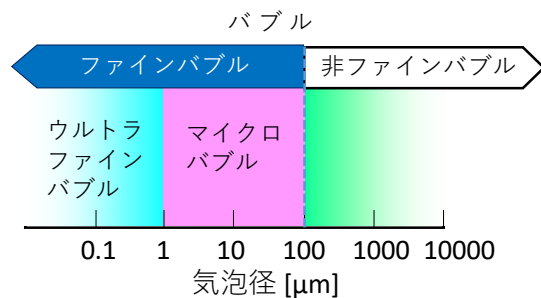


図1 ファインバブルの分類と定義

ファインバブル技術は日本発祥でアジアや欧米への普及が進んでいる。水中での長期安定性、生体組織や微細空隙への浸透性、植物の生育促進など、身近な気泡では見られない特殊な挙動や現象が観測されている。一方でファインバブルが示す特異な性質や興味深い現象を説明できる理論や仮説はまだなく、ファインバブルサイエンスの構築には革新的な実験や分析による知見の蓄積とファインバブルの持つ性質の計測技術の開発が待たれている。

2. 研究の目的

ファインバブルサイエンスの構築と体系化を進めるにはファインバブル特有のメカニズム解明が必要であり、そのためにファインバブルの物性評価を可能にする新しい計測技術が必要である。そこで本研究では、ウルトラファインバブルのサンプルの調製技術と保管技術の開発を行う。またオゾンガスのファインバブル化による殺菌性能評価、ファインバブルの高速溶解性能評価、マイクロシステムでのファインバブル生成法を検討する。

3. 研究の方法

(1) ウルトラファインバブルの分離、希釈および濃縮

水中のウルトラファインバブル(以下UFBと略)の評価のためには所定の数濃度のウルトラファインバブル懸濁水サンプルの調製やコンタミネーション分離が基本操作として必要である。ウルトラファインバブルは浮力がほぼ無いため水中から離脱せず安定に存在し^①、既往の研究では、ろ過、遠心分離、減圧脱泡など一般的な分離・濃縮技術ではUFBを水から分離や濃縮できない。そこで水中でのUFBの分離ならびに濃度調整技術の開発を行う。

①UFB凍結分離試験

UFB水は空気と超純水を原料に加圧溶解式UFB発生装置(Ultrafine GaLF FZ1N-02, IDEC)で製造した。UFB密閉容器に入れたUFB水サンプルをメディカルフリーザー(-20 $^{\circ}\text{C}$)内で静置し断熱材梱包によって凍結速度を変化させた。解凍時は容器を室内空気と接触、あるいは水浴・湯浴へ浸漬して解凍速度を変化させた。凍結・解凍前後でのサンプル水中のUFB数濃度と粒子径分布を粒子径分布測定装置(NanoSight LM-10, Malvern)で測定して比較した。

②UFB希釈試験

高数濃度のUFB水サンプルを超純水によって希釈し、粒子径分布測定装置を用いて希釈水のUFB数濃度を測定した。

③UFB減圧濃縮試験

ロータリーエバポレーター(冷却液温度-22 $^{\circ}\text{C}$ 、湯浴温度60 $^{\circ}\text{C}$ 、減圧時最低圧力70 hPa)を用いてUFB水サンプルを蒸発させ残存水中のUFB数濃度を計測し、濃縮率を計測した。

(2) オゾンファインバブルからのラジカル生成計測と殺菌性能評価

オゾンガスはラジカルによる酸化性によって殺菌力をもつが水に対して難溶性なため、殺菌効率が悪い。そこで水に対するオゾンの溶解を促進するためにオゾン曝気にマイクロバブルを適用した。分散されるマイクロバブルのサイズによる水中へのオゾン溶解速度を実験的に調べ、得られたオゾン溶解水による大腸菌の殺菌試験を実施した。

(3) 単一ファインバブルの高速溶解性能の最適計測技術と評価

マイクロバブル化は水中への高速ガス溶解を可能にする。透明アクリル樹脂製セル(厚さ1 \times 幅20 \times 高さ500mm)に空気飽和水、窒素飽和水または真空脱気水を仕込み、空気または純酸素のマイクロバブルを浮上させた。浮上中のマイクロバブルをズームレンズ付き高速度ビデオカメラで撮影し画像解析によってガス溶解量を計測した。得られた実測値をもとにマイクロバブル表面からの物質移動速度係数を求めた。

(4) マイクロチャネルを利用したファインバブル生成

マイクロバブルの性質を評価するには、サイズ制御された単一のマイクロバブルの製造技術が必要である。そこでマイクロチャネル流路内に気液スラグ流を作製し、水中に放出させること

でマイクロバブル生成を行った。

(5) 超音波刺激によるウルトラファインバブル核生成と気泡成長

空気を溶存させた超純水に超音波(周波数 24~131 kHz)を直接照射で付与し UFB を発生させた。UFB 生成に及ぼす超音波照射時間や水中溶存酸素濃度の影響を調べ、UFB 生成と数濃度の増加メカニズムの検討を行った。

(6) ファインバブル国際共同研究の推進

ドイツ・ハンブルク工科大学 Schlüter 教授、ブラウンシュヴァイク工科大学 Kruhl 教授およびカナダ・ダルハウジー大学 Al Taweel 教授と国際共同研究を行った。さらにカナダ(ハリファックス)ードイツ(ハンブルク)ー日本(横浜)間で UFB サンプル水の国際輸送による耐久試験を実施した。

4. 研究成果

(1) ウルトラファインバブルの分離、希釈および濃縮
従来法では分離できない水中の UFB を緩慢凍結融解法による分離に成功した。

① UFB 凍結分離試験

図 2 に示したように UFB 水の緩慢凍結融解により水中の UFB 数密度 N は著しく減少した。水相を緩慢に凍結させれば UFB を氷相から追い出すことができ、融解させると UFB を殆ど含まない水を得ることができた。

② UFB 希釈試験

図 3 に UFB 水(初数濃度 $11.1 \times 10^8 / \text{mL}$)を超純水添加によって希釈したときの、体積希釈率(倍率 D_v)と数密度希釈率(倍率 D_n)との関係を示した。UFB は超純水添加によって消滅も増加もせず希釈が可能であることが分かった。

③ UFB 減圧濃縮試験

図 4 に示したように UFB 水サンプルを減圧蒸発すると、濃縮液の体積濃縮率(V_0/V_c)と数密度濃縮率(N_c/N_0)はほぼ一致した。この結果より UFB 水から水を蒸発させると UFB は失われず維持されることが示された。

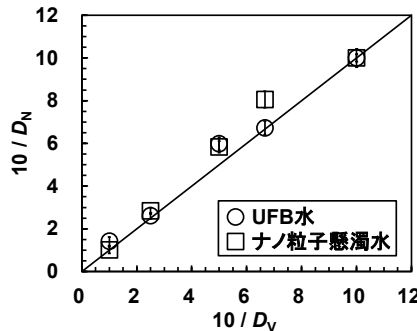


図 3 UFB 水とナノ粒子懸濁水の希釈

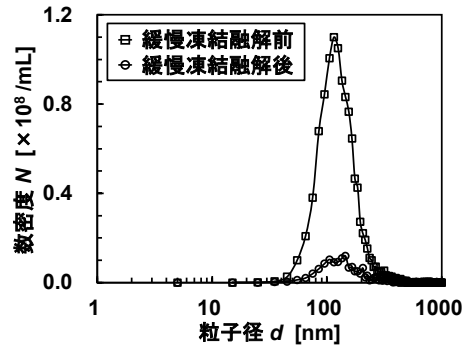


図 2 緩慢凍結融解前後の水中 UFB 分布

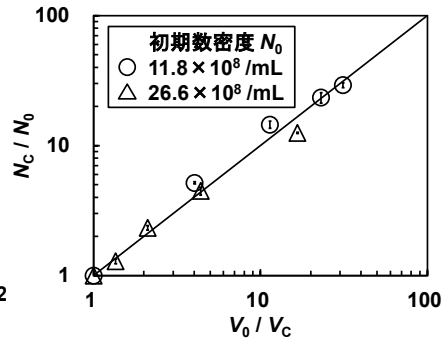


図 4 UFB 水の減圧蒸留による濃縮

(2) オゾンファインバブルによる殺菌性能評価

水へのオゾンガス曝気において水中オゾン濃度の変化は、オゾンと水の間物質移動だけでなく、水中でのオゾンの自己分解も影響する。そこで自己分解を考慮した物質移動速度式を提案した。最も微細化された気泡を分散させた条件で最も高いオゾン溶解速度を得た。また水中の大腸菌は低オゾン濃度では殺菌効果が得られず、致死溶存オゾン濃度の存在が得られた。これよりオゾンガスのファインバブル化により高濃度オゾン水を製造し菌の致死濃度にまで希釈すればオゾン利用効率向上が期待できる。

(3) ファインバブルの高速溶解性能の最適計測技術と評価

各種ガスー水系で単一マイクロバブルの上昇運動と溶解収縮挙動を高速ビデオで撮影して解析を行った。図 5 に示すように水中初期溶存ガス濃度が小さいほど収縮速度は増加した。この結果は理論モデルともよく一致した。

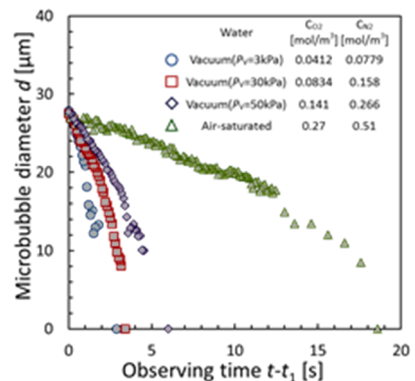


図 5 各種気液系におけるマイクロバブルの収縮挙動

(4) マイクロチャネルを利用したファインバブル生成

図 6 にマイクロチャネル内の気液スラグとマイクロ

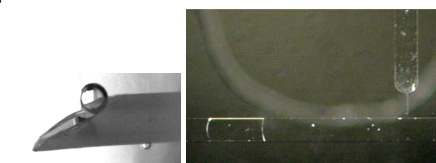


図 6 マイクロチャネル内スラグ(右)と水中への気泡放出(左)

チャンネルの排出部のノズル上で生成した微細気泡(直径 250 μ m)を示した。マイクロチャンネル内の気液スラグを利用して単一微細気泡生成に成功した。

(5) 超音波刺激によるウルトラファインバブル核生成と気泡成長

図 7 に示すように、超音波を付加した超純水中の溶存酸素濃度が大きいほどより大きな UFB 数濃度を得ることができた。これは古典的核生成理論で過飽和度が大きいほど核生成率が增大することと傾向が一致した。気泡成長が抑制された結果、他の気泡に比べて極めて小さい UFB が大きな数濃度で生成したと考えられる。

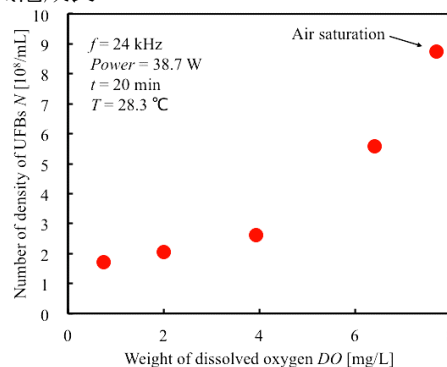


図 7 溶存酸素濃度と生成 UFB 数濃度との関係

(6) ファインバブル国際共同研究

ドイツ・ハンブルク工科大学 Schlüter 教授と単一ファインバブル高速溶解に関する研究、ブラウンシュヴァイク工科大学 Krull 教授とマイクロチャンネルを利用したファインバブルに関する研究、カナダ・ダルハウジー大学 Al Taweel 教授とオゾンマイクロバブルに関する研究を行い、上記(3)、(4)および(2)の成果を得た。さらにカナダ(ハリファックス)ードイツ(ハンブルク)ー日本(横浜)間で UFB サンプル水の国際輸送による耐久試験を行い、UFB 水が 10 時間を超える国際航空機輸送にも耐えられることを実証した。

さらに Schlüter 教授(ドイツ)、Al Taweel 教授(カナダ)および寺坂教授(日本)で国際ファインバブルコンソーシアムを設立した。2018 年 8 月に本コンソーシアムはカナダ・ハリファックス・ダルハウジー大学でウルトラファインバブルに関する世界初の国際ワークショップ(First International Workshop of the Applications on Fine and Ultrafine Bubbles)、翌 2019 年 9 月に Second International Workshop of the Applications on Fine and Ultrafine Bubbles を主催し、日本、ドイツ、カナダおよび他国から約 30 名の参加者を得た。

一方、2017 年 5 月に富山市で慶應義塾大学寺坂教授とドイツ・ハンブルク工科大学 Schlüter 教授とが議長として 3rd International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering を開催し、ブラウンシュヴァイク工科大学 Krull 教授やとダルハウジー大学 Al Taweel 教授と共に今後のファインバブル国際共同研究のプランニングを議論した。

<引用文献>

- ① Nirmalkar, N., Pacek, A. W., Barigou, M., On the Existence and Stability of Bulk Nanobubbles, Langmuir, Vol. 34(37), 10964–73(2018).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 村上大地郎, 寺坂宏一, 藤岡沙都子	4. 巻 31
2. 論文標題 水平摺動するノズルからの微細気泡生成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 混相流	6. 最初と最後の頁 422-426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3811/jjmf.31.422	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, 岡村祐里子, 榊原靖, 寺坂宏一	4. 巻 32
2. 論文標題 ファインバブルを用いた洗浄・浄化に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 混相流	6. 最初と最後の頁 4-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3811/jjmf.32.4	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. Iwakiri, K. Terasaka, S. Fujioka, M. Schlueter, S. Kastens, S. Tanaka	4. 巻 30
2. 論文標題 Mass Transfer from a Shrinking Single Microbubble Rising in Water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 529-535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3811/jjmf.30.529	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 D. Ohde, B. Thomas, S. Matthes, Z. Percin, C. Engelmann, P. Bubenheim, K. Terasaka, M. Schlueter, A. Liese	4. 巻 91
2. 論文標題 Fine Bubble based CO2 Capture Mediated by Triethanolamine Coupled to Whole Cell Biotransformation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemie Ingenieur Technik	6. 最初と最後の頁 1822-1826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/cite.201900113	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

〔学会発表〕 計46件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 30件）

1. 発表者名 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブル洗浄の進展
3. 学会等名 第15回ファインバブル国際シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Tanaka, S. Fujioka, K. Terasaka
2. 発表標題 Effect of storage temperature on the colloidal stability of ultrafine bubbles in pure water
3. 学会等名 Okinawa Colloids2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nagata, H. Matsuyama, T. Suzuki, H. Shakutsui., Y. Hayamizu, T. Fujii, T. Hata, Y. Nishiuchi., S. Himuro, K. Terasaka
2. 発表標題 Study on Floor Cleaning by Ultra Finebubbles
3. 学会等名 Second International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Harada, A. Donaldson, A. M. Al Taweel, K. Terasaka
2. 発表標題 Ultrafine Bubble Stability During Aquaculture Nutrient Distribution
3. 学会等名 Second International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Naruse, K. Terasaka, S. Fujioka
2. 発表標題 Separation, dilution and concentration of ultrafine bubbles in water
3. 学会等名 Second International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamazaki, S. Fujioka, K. Terasaka
2. 発表標題 Ultrafine bubble formation by spray injection from pressurized container
3. 学会等名 Second International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Terasaka
2. 発表標題 An Introduction to Fine Bubble Applications
3. 学会等名 Second International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブル技術の基礎と応用
3. 学会等名 化学フェスタ2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Matthes, B. Thomas, P. Bubenheim, A. Liese, K. Terasaka, M. Schlueter
2. 発表標題 Influence of Microbubble Aeration on Hydrodynamics and Mass Transfer in a Lab Scaled Stirred Tank Reactor
3. 学会等名 12th European Congress of Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 檜垣 雅貴, 寺坂 宏一, 藤岡 沙都子
2. 発表標題 マイクロバブル気泡塔による高速ガス吸収
3. 学会等名 化学工学会横浜大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Tanaka, S. Kastens, S. Fujioka, M. Schlueter, K. Terasaka
2. 発表標題 Mass Transfer from Freely Rising Microbubbles in Aqueous Solutions of Surfactant or Salt
3. 学会等名 14th International Conference on Gas-Liquid and Gas-Solid-Liquid Reactor Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡沙都子
2. 発表標題 マイクロバブルの溶解収縮と材料合成への応用
3. 学会等名 化学工学会第84年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Sekimizu, K. Terasaka, S. Kastens, M. Schlueter, S. Fujioka
2. 発表標題 Promotion of Barley Germination for German Beer Brewing with Ultrafine Bubble Water
3. 学会等名 3rd International symposium on Application of High-voltage, Plasma & Micro/Nano Bubble (Fine Bubble) to Agriculture and Aquaculture (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎京香、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 加圧容器からのスプレー噴射による ウルトラファインバブル生成
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澁谷愛理、清水健一郎、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 超音波刺激を付与したウルトラファインバブル 水流によるガラス面付着微粒子の除去
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田駿、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 マイクロバブル添加による粗油からの浮上分離式脱ガム
3. 学会等名 日本食品工学会第19回(2018年度)年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝村礼子、藤岡沙都子、寺坂宏一
2. 発表標題 微細孔ノズルの水平摺動によるマイクロバブル生成
3. 学会等名 化学工学会 3 支部合同大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Terasaka
2. 発表標題 Penetration and Standardization of Fine Bubble Technology and International Expansion
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Harada, K. Terasaka, S. Fujioka
2. 発表標題 Development of novel degumming process using microbubble flotation
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Shomura, K. Terasaka, S. Fujioka
2. 発表標題 Radical Generation by Ultrasonic Irradiation in Ultrafine Bubble Water
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Mizuno, S. Fujioka, K. Terasaka, T. Shigehisa
2 . 発表標題 Modeling of a Stationary Single Microbubble Dissolution
3 . 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Tanaka, S. Kastens, K. Terasaka, M. Schlueter, S. Fujioka
2 . 発表標題 Mass transfer from a microbubble rising in clean and contaminated water
3 . 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Fujioka
2 . 発表標題 Applications of Microbubbles in The Manufacture of Chemical Products
3 . 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Noguchi, S. Matthes, S. Kastens, M. Schlueter, K. Terasaka
2 . 発表標題 Experimental Investigation of the mass transfer from a shrinking microbubble using CLSM
3 . 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Hiroi, K. Terasaka, S. Fujioka, M. Schlueter, S. Kastens
2. 発表標題 Promoting Barley's Germination with Ultrafine Bubble Water
3. 学会等名 First International Workshop on the Applications of Fine and Ultrafine Bubbles (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小椋瑞華、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 炭酸ガスマイクロバブルによる 排水中アルブミンの 浮上分離
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 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブルテクノロジーへの化学工学の貢献
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会 (招待講演)
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 山脇 直也、西内 悠祐、秦 隆志、志田 裕昭、寺坂 宏一
2. 発表標題 金属隙間の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 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブル計測とアプリケーションの進展
3. 学会等名 第12回ファインバブル国際シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Mizuno, S. Fujioka, K. Terasaka
2. 発表標題 Dissolution Behavior of a Single Microbubble Accumulating Dissolved Gas Around Its Surface
3. 学会等名 6th International Workshop on Process Intensification (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakamura, K. Terasaka, S. Fujioka
2. 発表標題 Generation of Ultrafine Bubbles by Ultrasonic Irradiation into Water Dissolving Air
3. 学会等名 6th International Workshop on Process Intensification (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Baba, K. Terasaka, S. Fujioka
2 . 発表標題 Hydrogen Microbubble Generation by Fast Dissolution of Accompanying Ammonia Gas
3 . 学会等名 6th International Workshop on Process Intensification (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Tanaka, M. Iwakiri, K. Terasaka, S. Kastens, and M. Schlueter
2 . 発表標題 Fast Mass Transfer from a Single Shrinking Microbubble into Water
3 . 学会等名 2nd International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Shigehisa, S. Fujioka and K. Terasaka
2 . 発表標題 Mass Transfer during a Gas Dissolution Process around a Stationary Single Microbubble
3 . 学会等名 The 13th International Conference on Gas-Liquid & Gas-Liquid-Solid Reactor Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Tanaka, M. Iwakiri, K. Terasaka, S. Kastens, and M. Schlueter
2 . 発表標題 Mass Transfer from a Fast Shrinking Microbubble Containing N ₂ and/or O ₂ into water
3 . 学会等名 The 13th International Conference on Gas-Liquid & Gas-Liquid-Solid Reactor Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Yoda, K. Terasaka and S. Fujioka
2. 発表標題 Separation of Ultrafine Bubbles from Water by Slow Freezing-Melting
3. 学会等名 The 13th International Conference on Gas-Liquid & Gas-Liquid-Solid Reactor Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Terasaka
2. 発表標題 Japan-German-Canada Cross-Cross Consortium of Fine Bubble Science
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Fine Bubble Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Terasaka
2. 発表標題 Penetration and Standardization of Fine Bubble Technology and International Expansion
3. 学会等名 The 3rd Symposium on the Union of Fine Bubble Scientists and Engineers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水野香菜子、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 液液相分離によるエマルション生成に及ぼす ウルトラファインバブル添加の影響
3. 学会等名 分離技術会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川端雅大、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 水中加熱壁面付着微細気泡による熱伝達抑制
3. 学会等名 化学工学会支部大会（東京大会）2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村匡貴、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 超音波照射法による水中からのウルトラファインバブル生成
3. 学会等名 第26回ソノケミストリー討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブルサイエンスの日独加大学横断コンソーシアム
3. 学会等名 第10回ファインバブル国際シンポジウム（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブルテクノロジーの普及と標準化および国際展開
3. 学会等名 第3回ファインバブル学会連合シンポジウム（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺坂宏一
2. 発表標題 ファインバブルサイエンスのトレンド
3. 学会等名 第10回超音波とファインバブルの相互作用に関するシンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬場基、寺坂宏一、藤岡沙都子
2. 発表標題 水素マイクロバブルを用いた中空銀粒子の製造
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 洗浄対象部位の洗浄方法およびそのための洗浄装置	発明者 寺坂 宏一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2017 - 63728	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	藤岡 沙都子 (Fujioka Satoko) (50571361)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・講師 (32612)	
研究協力者	シュルーター ミハエル (Schlueter Michael)		

6. 研究組織（つづき）

	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	アルタウィール アデル (Al Taweel Adel)		
研究協力者	クルール ライナー (Krull Rainer)		
連携研究者	五島 崇 (Goshima Takashi) (90709560)	鹿児島大学・理工学研究科・助教 (17701)	
連携研究者	金井 由悟 (Kanai Yugo) (90734921)	福岡大学・工学部・助教 (37111)	
連携研究者	杉浦 壽彦 (Sugiura Toshihiko) (70265932)	慶應義塾大学・理工学部・教授 (32612)	
連携研究者	安藤 景太 (Ando Keita) (30639018)	慶應義塾大学・理工学部・准教授 (32612)	