

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02752

研究課題名(和文) 気液界面修飾型薬物捕捉場の創成と持続可能な水系反応分離工学の構築

研究課題名(英文) Creation of air-water interface-modified region for drug separation and design of sustainable water-based reaction and separation engineering

研究代表者

齋藤 徹 (Saitoh, Tohru)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：40186945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：色素や薬物の迅速分離技術としての気泡浮選法を設計した。この方法は底部に焼結ガラスフィルターを備えた円筒形のガラス容器内の水に少量のアルコールを加え、続いて空気を供給して気泡を生成させることにより実施した。水中の塩基性色素および薬物は、水面に一時的に生成される泡に濃縮され、水から除去された。分離効率は、アルコール濃度と炭素数の増加につれて増加した。これは気泡のサイズの減少、すなわち、気液界面積の増加により説明された。気液界面への吸着の主要因は疎水相互作用であり、色素や薬物の疎水性が分離に影響することが分かった。環境水と合成染色廃水を用いて、本法の排水処理技術としての適用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

薬物の分離のために様々な吸着材が開発されているが、薬物に対する選択性の他、吸着材の製造や再生・廃棄に伴う環境負荷が課題となっている。本研究では、薬物や気液界面に吸着する現象に着目し、空気(気泡)を吸着材として用いる分離技術の可能性が明らかになった。さらに、いくつかの化合物の分解反応が促進される現象も発見され、極めて環境負荷の小さい水系分離工学の基礎を開拓した。

研究成果の概要(英文)：Alcohol-modified air bubble flotation was designed as a simple, efficient, and eco-friendly method for the rapid separation of dyes and pharmaceuticals. The method was conducted by adding a small amount of alcohol to water in a cylindrical glass vessel with a sintered glass filter at the bottom followed by feeding air to generate air bubbles. Basic dyes and pharmaceuticals in water were enriched to temporarily generated foam on the surface of water and therefore removed from water. The separation efficiency increased with increasing alcohol concentration and carbon number in the order: ethanol < 2-propanol < 1-butanol, being attributed to the decrease in the size of air bubble, which in turn increases the surface area of air-water interface for the adsorption of the dyes. Hydrophobic interactions are a predominant factor for the adsorption on the air-water interface. The applicability was successfully demonstrated by using environmental water and synthesized dyeing wastewater.

研究分野：分析化学、反応・分離工学

キーワード：気液界面 薬物 分離 疎水相互作用 低環境負荷 水溶液

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

薬物(農薬や色素を含む)の環境拡散防止は世界的な課題であり、様々な排水処理技術が国内外で研究・実用化される一方、多大な資源消費と廃棄物を産んでいる。薬物は生体や生態系に大きなダメージを与えかねないが、汚染水に含まれる化学物質の中では微量であり、薬物を選択的かつ高収率で捕捉する分離媒体を開発することが有効な解決策と考えた。

研究代表者が創案し、医療排水処理への適用性が示された微量(mg/L)の界面活性剤と高分子電解質を組み合わせるフローテーション分離技術は広範な薬物の除去に効果的であり、資源と廃棄物を最小化できる(*Sep. Purif. Technol.* 2014, 2017; *分析化学* 2017)。しかし、界面活性剤や高分子電解質の使用による廃棄物の発生や水環境への漏出のリスクを完全に避けることができなかった。これに対し、予備的な検討においては、界面活性剤を添加せずに、薬物や色素を気液界面に吸着させ、気泡の上昇とともに水面に濃縮させることができることを見出した(化学工学会 2018)。この現象を利用すれば、空気(気泡)を吸着材として用いる極めて低環境負荷型の薬物含有排水処理技術や薬物分離精製技術を設計することができると考えた。

一方、界面活性剤分子集合体のリン酸エステルの加水分解に対する触媒作用(Fendler, *J. Am. Chem. Soc.* 1968)は古くから知られていたが、研究代表者は固液界面における触媒作用の増強を見出した(*J. Hazard. Mater.* 2016, *Proceeding of CEST2017*, 化学工学会 2018)。このような現象は有機リン系農薬による環境汚染を修復する技術になりうる。さらに、気液界面における分子間相互作用は分子集合体の100~1000倍と予測されており、薬物捕捉能の付与により、極めて高効率な反応場創製の可能性が拓ける。

気液界面の分離媒体としての性質は未解明であるが、気液界面の物理的な性質を分光学的に解明する試み(*Sep. Purif. Technol.* 2017)や分子動力学シミュレーションによる計算科学的可視化による理解が進んでおり、研究分担者の北見工業大学近藤寛子助教の分子動力学計算(*Sci. Rep.* 2016; *J. Phys. Chem. B* 2018)手法により、アルコール等の溶媒が配向した気液界面の精密な可視化による薬物の挙動予測が可能となると考えた。さらに、研究分担者の名古屋大学安田啓司准教授のマイクロバブル技術(*J. Chem. Eng. Jpn.* 2012, 2015)を用いる気液界面の高密度化により、分離や反応の著しい高効率化の可能性が期待された。

2. 研究の目的

気液界面に薬物を捕捉し、反応や分離の場とする報告例はほとんどない。本研究では、人類の将来に大きな負担を与えることが予想される薬物の製造、分離精製、環境への拡散防止を高効率かつ低環境負荷で実現するための持続可能な水系反応分離工学を創始するとともに、具体的な課題の解決を試み、本学術領域を推進する。

研究目的は以下の4つに大別される。

- (1) 水中気泡の薬物捕捉機能の発現
- (2) 気液界面の溶媒特性の理解と薬物捕捉能や選択性の制御方法の確立
- (3) 薬物含有排水処理、薬物分離精製技術および分解無害化技術への適用
- (4) マイクロバブル技術を用いる気液界面の高密度化

以上の検討により、水溶液中においてバルクの水とは特性が異なる微視的領域を利用する新規反応分離工学の開拓に挑戦する。

3. 研究の方法

(1) 水中気泡の薬物捕捉機能の発現

焼結ガラスフィルター付きのオープンクロマト管をフローテーション槽として用いた。薬物(色素)を含む水をフローテーション槽に入れ、少量のアルコール添加後、槽下部からガラスフィルターを通して空気を送り込み、気泡を発生させることによりフローテーションを実施した(図1)。槽下部および水面から溶液を採取し、高速液体クロマトグラフィーを用いて薬物を分離・定量した。気液界面への配向が予測される低級アルコールや薬物の対イオンとなりうる塩を添加し、薬物の分離挙動への影響を調べた。

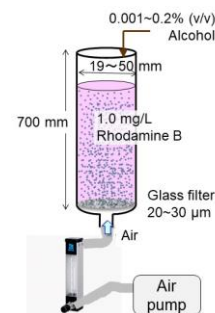


図1 操作図

(2) 気液界面の溶媒特性の理解と薬物捕捉能や選択性の制御方法の確立

微視的な環境(疎水性)により蛍光スペクトルが変化する微視的環境プローブを探索し、気液界面の疎水性や溶媒特性の評価を試みた。微視的環境プローブを添加した水を石英ビーカーに入れ、ホモジナイザーを用いて気泡を発生させた。光ファイバーを装着した蛍光分光分析装置を用いて蛍光強度の変化を追跡した。

(3) 薬物含有排水処理、薬物分離精製技術および分解無害化技術への適用

(1)の操作を最適化し、薬物含有排水処理および薬物分離精製に応用する。薬物含有排水として、薬物や色素を含む環境水や合成排水を用いる。薬物精製用試料として、薬物合成後の溶液や粗生成物を用いる。さらに、気泡発生時の色素脱色反応を追跡する。

(4) マイクロバブル技術を用いる気液界面の高密度化

ホモジナイザーおよびマイクロバブル発生装置を用いて微細気泡を発生させ、色素をモデルとして脱色反応を追跡した。

4. 研究成果

(1) 水中気泡の薬物捕捉機能の発現

塩基性色素ローダミン B の水溶液に 0.05% (v/v) の 1-ブタノールを添加し、フローテーション槽下部から気泡を送り込んだときの様子を図 2 に示す。気泡送り込みにより色素の色が水面付近に濃縮され、下部層は速やかに無色となった。気泡送り込みを停止すると、水面に濃縮された色素は水中にゆっくり拡散した。空気 (気泡) が色素の吸着材として働いたことを示す。

水溶液中の色素濃度の増加につれ、表面張力はギブズの吸着等温式に従って減少した。気泡が吸着材としての振る舞いは、色素の気液界面への吸着により説明することができる。また、分子間力に基づく分子動力学シミュレーションにおいても、水中色素の気液界面への吸着および継続的な吸着の維持が再現された。

図 3 にローダミン B の捕集に及ぼすアルコール添加の効果を示す。アルコール濃度 0.2% 以下では、アルコール添加量の増加につれて、捕集率 (下部層からの除去率) は増加した。アルコールの効果はエタノール < 2-プロパノール < 1-ブタノールと炭素数の増加につれて増大した。気泡を小さくする作用、すなわち、気液界面積を増大させる作用が大きくなるからである。したがって、色素の捕集率の増加は、色素の吸着の場である気液界面積の増加により説明できる。一方、さらにアルコール添加量を増加させると色素の捕集率は減少した。気泡径が減少すると、気泡の上昇速度は急激に低下し、溶液の混合・拡散の影響が大きくなるため、気泡は上昇せずに溶液中を滞留する。さらに、アルコール濃度が増加すると起泡が顕著になり、気泡が上昇するための液高さが減少した。以上より、気液界面積と気泡上昇による気泡/液分離効率が色素の分離に大きな影響を及ぼすことがわかった。

さらに、この考え方は他の塩基性色素や薬物の分離についても成立した。本法で分離される塩基性薬物は水-オクタノール分配係数 ($\log K_{ow}$) > 3.5 であり、疎水性が重要な因子であるが、分子の嵩高さも影響することが示唆された。

(2) 気液界面の溶媒特性の理解と薬物捕捉能や選択性の制御方法の確立

気液界面は界面活性剤分子の配向などから、バルク水中と比べて疎水的であるといわれている。しかし、薬物や色素の捕集媒体 (抽出溶媒) として検討されたことはほとんどなく、溶媒特性の評価に関する研究例も少ない。そこで、界面活性剤ミセルや温度感応性高分子により形成される疎水場の評価に用いた微視的環境プローブの蛍光スペクトル変化を追跡し、気液界面の溶媒としての性質の評価を試みた。気泡発生時に *N*-フェニル-1-ナフチルアミンの蛍光強度が増感し、疎水場の形成が示唆された。しかし、蛍光スペクトル測定には至らず、既存の抽出溶媒との比較には至らなかった。

(3) 薬物含有排水処理、薬物分離精製技術および分解無害化技術への適用

塩基性色素として、ローダミン B、クリスタルバイオレット、マラカイトグリーンを添加した環境水および合成染色排水を用いて最適条件において分離を試みたところ、いずれも良好 (>96%) な除去率が得られ、本法の排水処理技術としての適用性が示された。フミン酸をはじめ共存する溶存有機物はほとんど除去されず、本法はこれらの色素に対し、高い選択性を有していた。一方、疎水性が低いメチレンブルーはほとんど除去されず、気液界面への吸着性が選択性の鍵であることがわかった。

次に、ローダミン B の合成により得られた粗生成物からの高純度色素への分離精製を例に本法の分離精製技術への適用性を示す。ローダミン B の合成スキームを以下に示す。

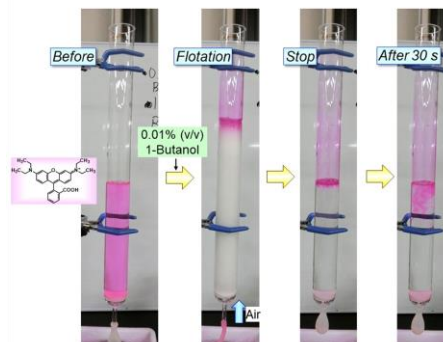


図 2 ローダミン B の分離挙動

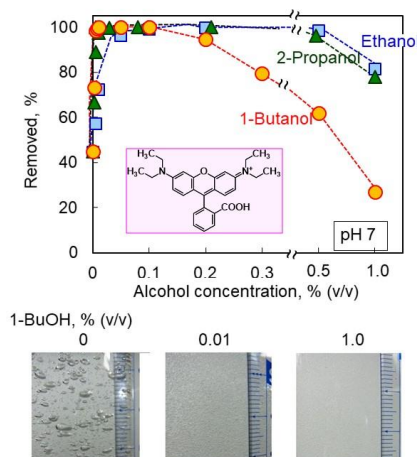
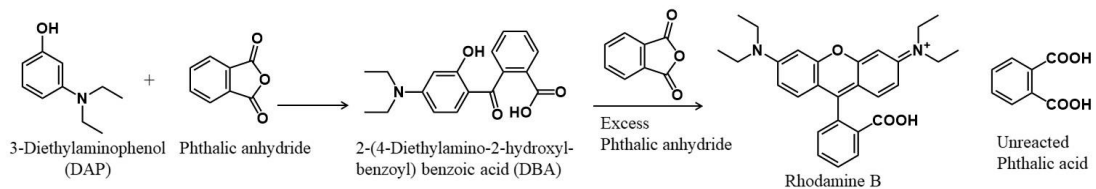


図 3 アルコール添加の効果



3-ジメチルアミノフェノール (DAP) と過剰量の無水フタル酸を縮合させ、中間体(DBA)を経てローダミン B を生成させる。粗製品にはローダミン B の他に、過剰のフタル酸と DBA が含まれるため、高純度品を得るためには再結晶や昇華を繰り返す必要がある。本法の適用により、フローテーション操作を3回繰り返し後に、ローダミン B の回収率 80%以上を確保しつつ、他成分を検出下限以下に抑えることができた (図4)。精製前、精製後、市販高純度品のクロマトグラムを図5に示す。本法の所要時間は分離と回収1回につき5分であり、著しく簡便・迅速かつ低環境負荷 (低資源・低エネルギー) に高純度試薬を得ることができた。

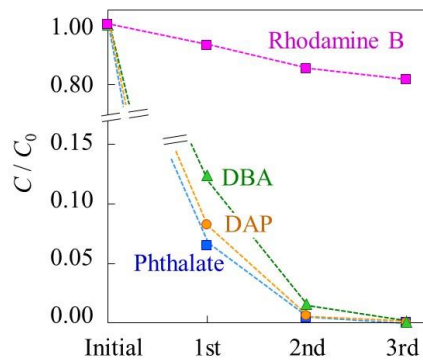


図4 各成分の回収率

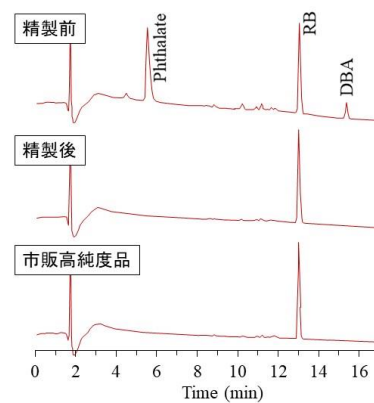


図5 クロマトグラム

抗マラリア薬や抗うつ薬をはじめとする複数の塩基性薬物について同様の操作を試みたところ、いずれも3回の分離操作により、高純度薬物を得ることができた。薬物の合成はビルディングブロックと呼ばれる単位構造の組み立てにより行われていることが多い。本法の適用性は薬物の構造と生体への作用という共通項および薬物の合成戦略に適合したためと考えられる。

また、有機リン系農薬やトリフェニルメタン系色素については、気液界面における分解反応や脱色反応が観測された。界面活性剤無添加条件において、ミセル触媒様のアルカリ加水分解促進効果が示され、気液界面自体の水系反応場としての可能性が見出された。分解機構の解明および応用技術の開拓が期待される。

(4) マイクロバブル技術を用いる気液界面の高密度化

複数のマイクロバブル発生器具を用いてフローテーション分離効率への影響を検討した。気泡径が小さくなるにつれて、気液界面積は増大するため、気液界面への吸着を促進できることが予想されたが、バルク水と気泡との分離が困難となり、全体の分離効率は低下した。気泡/水の効率的かつ実用的な分離技術の開発により、分離効率の格段の向上と大規模化・連続化に対応した分離技術が構築できると予想される。

以上の研究成果に基づき、気液界面を薬物選択的な分離媒体や反応場として用いる新規な水系反応分離工学の実用化に関する以下の研究提案に至った。

2021年度～2022年度 挑戦的研究(萌芽)

薬物選択捕捉気液界面形成機構の解明と超迅速薬物精製技術の開発

2022年度～2024年度 基盤研究(B)

高密度薬物選択捕捉気液界面の生成と持続可能な高効率水系分離システムの設計

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10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 Kondo Hiroko X., Kusaka Ayumi, Kitakawa Colin K., Onari Jinta, Yamanaka Shusuke, Nakamura Haruki, Takano Yu	4. 巻 40
2. 論文標題 Hydrogen bond donors and acceptors are generally depolarized in helices as revealed by a molecular tailoring approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Computational Chemistry	6. 最初と最後の頁 2043-2052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jcc.25859	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 Oiwa Mako, Koho Yamaguchi, Hideo Hayashi, Tohru Saitoh	4. 巻 8
2. 論文標題 Rapid sorption of fenitrothion on didodecyldimethylammonium bromide-montmorillonite organoclay followed by the degradation into less toxic 3-methyl-4-nitrophenolate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 104000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2020.104000	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 Mako Oiwa, Kaho Yamaguchi, Takayoshi Shibayama, Tai-Ying Chiou, Tohru Saitoh	4. 巻 53
2. 論文標題 Sorption of Antibiotics, Pharmaceuticals, and Personal Care Products in Water on Didodecyldimethylammonium Bromide-Montmorillonite Organoclay	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Engineering of Japan	6. 最初と最後の頁 608-615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.19we239	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 Keiji Yasuda, Yumi Nohara, Yoshiyuki Asakura	4. 巻 59
2. 論文標題 Effect of ultrafine bubbles on ethanol enrichment using ultrasonic atomization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SKKD0091-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab83d9	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 安田啓司	4. 巻 54
2. 論文標題 ウルトラファインバブルの安定性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学工学	6. 最初と最後の頁 644
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 Hiroko X. Kondo, Yusuke Kanematsu, Gen Masumoto, Yu Takano	4. 巻 2020
2. 論文標題 PyDISH: database and analysis tools for heme porphyrin distortion in heme proteins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Database	6. 最初と最後の頁 baaa066
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 -

1. 著者名 Yasuda Keiji	4. 巻 27
2. 論文標題 Sonochemical Green Technology Using Active Bubbles: Degradation of Organic Substances in Water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry	6. 最初と最後の頁 100411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cogsc.2020.100411	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 Koki Kodama, Mako Oiwa, Tohru Saitoh	4. 巻 94
2. 論文標題 Rapid purification of Rhodamine B by alcohol-modified air bubble flotation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1210-1214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200395	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 Tohru Saitoh	4. 巻 37
2. 論文標題 Spectrometric Analyses of Microplastics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 927-928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.highlights2107	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 Keiji Yasuda, Koji Hamada, Yoshiyuki Asakura	4. 巻 61
2. 論文標題 Enrichment of amino acids from its aqueous solution by ultrasonic atomization and ultrafine bubbles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG10091- 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac43e5	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 Yoshiyuki Asakura Keiji Yasuda	4. 巻 82
2. 論文標題 Frequency and power dependence of ultrasonic degassing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1058901-1058908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultsonch.2021.105890	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 安田 啓司, 朝倉 義幸	4. 巻 36
2. 論文標題 超音波照射によるウルトラファインバブルの発生と消滅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 混相流	6. 最初と最後の頁 12-19
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 -

[学会発表] 計33件(うち招待講演 4件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Organoclay sorption method for diffusion control of fenitrothion to aquatic environment
3. 学会等名 第28回環境化学討論会(国際発表部門)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Bifunctional property of organoclay for the sorption and degradation of fenitrothion in water
3. 学会等名 European Congress and Exhibition on Advanced Material and Processes EUROMAT2019(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru Saitoh, Lyu Xiaoye, Mako Oiwa
2. 発表標題 Modified air bubbles as highly selective and sustainable adsorbents for cationic dyes in water
3. 学会等名 European Congress and Exhibition on Advanced Material and Processes EUROMAT2019(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Kodama, Kota Tsutsui, Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Coagulation-flotation for the rapid removal of fluoroquinolone antibiotics from wastewater
3. 学会等名 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 Lyu Xiaoye, Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Alcohol-modified air bubble flotation for dye wastewater treatment
3. 学会等名 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 Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Rapid removal of basic dyes in water based on the sorption onto air- water interfaces
3. 学会等名 International Chemical Engineering Symposia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 児玉 康輝, Lyu Xiaoye, 澤井 亮佑, 木谷 優輝, 大岩 真子, 齋藤 徹
2. 発表標題 界面活性剤無添加フローテーションによる低環境負荷染色排水処理
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤寛子, 草鹿あゆみ, 中村春木, 鷹野優
2. 発表標題 Negative Fragmentation Approachを用いたタンパク質の二次構造における相互作用エネルギーの解析
3. 学会等名 日本コンピュータ化学会2019秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroko X. Kondo, Ayumi Kusaka, Haruki Nakamura, Yu Takano
2. 発表標題 Hydrogen bond donors and acceptors are generally depolarized in α -helices as revealed by a molecular tailoring approach
3. 学会等名 第19回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤 寛子, 兼松 佑典, 藤井 理則, 石井 学, 舩本 現, 今田 康博, 吉田 孝, 鷹野 優
2. 発表標題 ヘム構造歪みに着目した統計解析・電子状態計算による構造機能相関の解明とデータベースの構築
3. 学会等名 第46回生体分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田啓司
2. 発表標題 ウルトラファインバブルの発生と消滅に及ぼす超音波周波数の影響
3. 学会等名 分離技術会年会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiji Yasuda, Tomofumi Sato, Yoshiyuki Asakura
2. 発表標題 Size-controlled Synthesis of Gold Nanoparticles Using Pulsed Wave and Ultrafine Bubbles
3. 学会等名 4th Asia-Oceania Sonochemical Society Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiji Yasuda, Hodaka Matushima, Yoshiyuki Asakura
2. 発表標題 Ultrafine Bubble Generation and Elimination by Ultrasound
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiji Yasuda, Yumi Nohara, Yoshiyuki Asakura
2. 発表標題 Effect of Ultrafine Bubbles on Ethanol Enrichment from Aqueous Solution by Ultrasonic Atomization
3. 学会等名 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平手快斗, 佐藤智史, 朝倉義幸, 高橋史樹, 金継業, 安田啓司
2. 発表標題 金ナノ粒子の粒子径とコロイドの安定性に及ぼすウルトラファインバブルの影響
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 児玉 康輝, Lyu Xiaoye, 澤井 亮佑, 木谷 優輝, 大岩 真子, 齋藤 徹
2. 発表標題 界面活性剤無添加フローテーションによる低環境負荷染色排水処理
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤 徹, 大岩 真子, 児玉 康揮, 大谷 祐介
2. 発表標題 フローテーションによる水中塩基性薬物および色素の迅速分離
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大岩 真子, 金子 広樹, 澤井 亮佑 Lyu Xioye, 児玉 康輝, 齋藤 徹
2. 発表標題 塩基性色素分離の界面活性剤無添加フローテーションにおけるアルコール添加の効果
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤 徹, 児玉 康揮, 大岩 真子
2. 発表標題 オルガノクレーを用いる有機汚染物質の拡散防止技術
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大岩 真子, 児玉 康揮, 齋藤 徹
2. 発表標題 気泡を用いる染色排水の迅速処理と分子動力学シミュレーションによる機構解明の試み
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 濱田 幸治、朝倉 義幸、安田 啓司
2. 発表標題 超音波霧化による水溶液中のフェニルアラニンの濃縮
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 安田 啓司
2. 発表標題 ファインバブルの特徴と応用
3. 学会等名 日本油化学会東海支部令和2年度油化学講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤 徹, 児玉 康輝, 大岩真子
2. 発表標題 気液界面修飾型薬物捕捉場の創成と持続可能な排水処理技術および物質精製技術への適用
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 児玉 康輝, 山崎 広夢, 大岩 真子, 齋藤 徹
2. 発表標題 気泡を用いる薬物の迅速かつ選択的な分離技術の開発
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 児玉 康輝, 大岩 真子, 齋藤 徹
2. 発表標題 気泡を分離媒体とするクロロキンの迅速精製技術
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大岩 真子, NGO Thi Thu Thao, 齋藤 徹
2. 発表標題 オルガノクレーを用いる水中汚染物質の拡散防止法
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 広夢, 児玉 康輝, 大岩 真子, 齋藤 徹
2. 発表標題 アルコール修飾気泡分離によるキサントゲン色素の迅速分離
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ngo Thi Thu Thao, Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Sorption and degradation of pesticides using organoclay
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Kodama, Mako Oiwa, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Rapid purification of Rhodamine B by alcohol-modified air bubble flotation
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mako Oiwa, Koki Kodama, Tohru Saitoh
2. 発表標題 Organoclay sorption method for diffusion control of organic pollutants
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tohru Saitoh, Mako Oiwa, Koki Kodama
2. 発表標題 Use of air-water interfaces for efficient and sustainable separation of pharmaceuticals and dyes in water
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiji Yasuda, Koji Hamada and Yoshiyuki Asakura
2. 発表標題 Effect of ultrafine bubbles on enrichment of amino acid in aqueous solution by ultrasonic atomization
3. 学会等名 42th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田 啓司
2. 発表標題 ウルトラファインパブルの超音波プロセスへの応用
3. 学会等名 化学工学会関東支部 第70回最近の化学工学講習会（招待講演）
4. 発表年 2022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
研究分担者	安田 啓司 (Yasuda Keiji) (80293645)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	林 英男 (Hayashi Hideo) (10385536)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・事業化支援本部技術開発支援部先端材料開発セクター・上席研究員 (82670)	
研究分担者	近藤 寛子 (Kondo Hiroko) (60700028)	北見工業大学・工学部・助教 (10106)	

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