

令和 4 年 9 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02505

研究課題名(和文) 超微細気泡と超音波による超高純度金属ナノ粒子の合成と水分析センシング

研究課題名(英文) Synthesis of ultrapure metal nanoparticles by ultrafine bubbles and ultrasound, and sensing of water analysis

研究代表者

安田 啓司 (Yasuda, Keiji)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80293645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：表面保護剤の無い高純度な金属ナノ粒子を超音波法により合成した。さらに、合成時に直径が1 μ m以下の超微細気泡であるウルトラファインバブル(UFB)の添加濃度を変えることによって金ナノ粒子径の制御が可能となった。また、合成後の金やパラジウムナノ粒子コロイドにUFBを添加することによりナノ粒子の沈殿が抑制された。

超音波法により合成した金ナノ粒子を用いてタンパク固定化電気化学センサーを作製し、水中の活性酸素種を検出できた。

光触媒性能を持つ酸化タングステン粒子の表面に超音波法を用いてパラジウムまたは白金を析出させた複合粒子を合成した。どちらの粒子も複合化により脱色反応の光触媒性能が向上した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表面保護剤と還元剤を使用しなくてもウルトラファインバブル(UFB)と超音波を使用することにより、高純度な金ナノ粒子を粒子径を制御して合成することが可能となった。また、本研究で使用したUFBは空気の微細気泡なので環境負荷の低い沈殿防止剤としても利用できる。

金ナノ粒子を用いたタンパク固定化電気化学センサーは、電極と直接電子移動が可能であることから、第三世代バイオセンサーとして医療分野への展開が期待できる。

パラジウムまたは白金と酸化タングステンとの複合粒子は優れた脱色性能を持つことから排水処理での利用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：High-purity metal nanoparticles without capping agent were synthesized by ultrasonic method. We succeeded to control the diameter of gold nanoparticles by changing the addition concentration of ultrafine bubbles (UFB), which are fine bubbles with a diameter of less than 1 micrometer, during the synthesis. Furthermore, the precipitation of gold and palladium nanoparticles was suppressed by adding UFB to the nanoparticle colloids after synthesis. A protein-immobilized electrochemical sensor was fabricated using gold nanoparticles synthesized by ultrasonic method, and was able to detect reactive oxygen species in water. Composite particles of palladium or platinum precipitated on the surface of tungsten oxide particles with photocatalytic performance were synthesized by ultrasonic method. The photocatalytic performance of the decolorization reaction was improved by compositing the particles.

研究分野：化学工学

キーワード：超音波 ウルトラファインバブル 反応工学 金属ナノ粒子 センサー 光触媒

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ粒子は、形状・粒子径に依存して触媒、光学、電気特性が変化するので次世代機能材料として触媒、センサー、治療、エネルギー変換素子などに応用されつつある。しかし、合成時に使用される界面活性剤や高分子などの表面保護剤が粒子表面に吸着し、性能を低下させている。特に、粒子表面の純度が極めて重要なセンサーや触媒などの用途では、深刻な問題となる。超音波法では、超音波キャビテーションにより、水溶液中の金属イオンから表面保護剤を使用せずに高純度な金属ナノ粒子を合成できる。さらに、近年、申請者は金ナノ粒子の合成時にウルトラファインバブル(UFB)を添加すると微細な金ナノ粒子が合成できることを明らかにした。超音波法とUFBを使用することにより、粒子径を制御して金属ナノ粒子を合成し、高純度な金属ナノ粒子をセンサーや触媒などへ応用することが期待されている。

2. 研究の目的

本研究では超音波法により様々な超高純度金属ナノ粒子を合成し、粒子形状や分散安定性に及ぼすUFBの影響を明らかにする。さらに、超音波法で合成した金属ナノ粒子について、水中における微量成分検出用のセンサーや水処理用の触媒へ応用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 超音波とUFBによる金ナノ粒子の粒子径制御と分散安定性の向上

実験装置の概略を図1に示す。周波数488 kHz、印加電力50 Wで超音波を間接的に15 min照射した。試料には、HAuCl₄水溶液50 mLを使用した。溶媒には超純水または空気UFB水を用いた。UFB水は加圧溶解法によって超純水から製造し、個数濃度が $7 \times 10^9 \text{ mL}^{-1}$ 以上のUFB水はエバポレータで濃縮して製造した。製造したUFB水はブラウン運動追跡法によってUFBの濃度と気泡径を測定した。UFBの平均直径は濃度にかかわらず100 nm程度であった。得られた金ナノ粒子(AuNPs)は走査型電子顕微鏡(SEM)及び透過型電子顕微鏡(TEM)により観察し、その粒子径を測定した。さらに、AuNPsコロイドの分散安定性に及ぼすUFB添加の寄与を研究するために、まず、濃度1.0 mMのHAuCl₄溶液に還元剤として2-プロパノールを1.2 mMになるように添加し、超音波を15 min照射して平均粒子径35 nmの金ナノ粒子を含むコロイド溶液を合成した。その後、濃度の異なるUFB水を添加し、コロイドの分散安定性の経時変化を観察した。

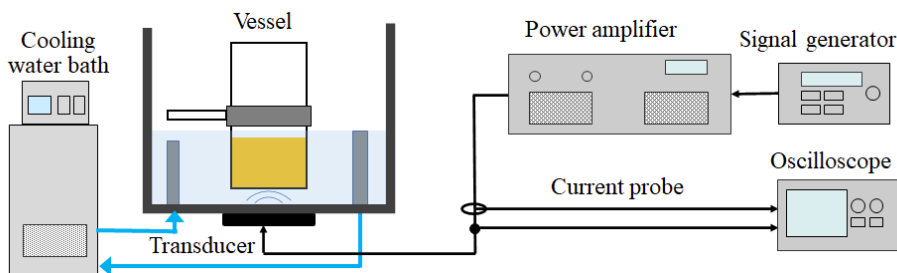


図1 超音波による金属ナノ粒子合成装置の概略

(2) 超音波による金ナノ粒子の調製と電気化学測定

金ナノ粒子の調製には、1 wt%の2-プロパノールを含んだ200 μM HAuCl₄水溶液を用いた。この水溶液にArを20分間通気した後、周波数490 kHzの超音波を用いて間接照射し、赤紫色の金コロイド(AuNPs)溶液を得た。電気化学センサーの電気化学的挙動の評価とスーパーオキシドラジカルアニオン(O₂^{•-})の電気化学的検出には、pH 7.4のリン酸緩衝溶液(PBS)中でのサイクリックボルタンメトリー(CV)とアンペロメトリーによって行った。

(3) 超音波還元法を応用したPd/WO₃、Pt/WO₃複合粒子の合成と光触媒活性評価

ガラス製円筒反応容器内にパラジウムイオン(Pd²⁺)または白金イオン(Pt²⁺)水溶液、酸化タングステン(WO₃)粉末および2-プロパノールをそれぞれ所定量加えて調製した懸濁液にArを通気させながら、500 kHzの超音波を照射した(超音波還元法)。所定時間超音波を照射した懸濁液を真空濾過し、分離した固体粒子を一晩乾燥させ、Pd/WO₃、Pt/WO₃の複合粒子を得た。超音波還元処理時のPt仕込み量は1.0 wt%で一定とし、一方、Pd仕込み量は0.5~1.5 wt%の範囲で変化させて複合粒子を合成し、仕込み量が触媒活性に及ぼす影響について調べた。また、超音波還元処理時の金属仕込み回数とそれに連動して照射処理回数を変化させた場合の検討を行った。その手順の一例として、1.0 wt%のPd/WO₃複合粒子を合成した際の二つの合成手順を以下(1)、(2)に示す。手順(1)は、1.0 wt%相当量のPdを一度にまとめて反応容器内に仕込んで30分間超音波を照射し合成した場合に相当し、この手順にしたがって合成した複合粒子をPd/WO₃-1と表記する。一方、手順(2)は、手順(1)とPdの総仕込み量(1.0 wt%)は同じではあるが、1/3(約0.33wt%相当)ずつ3回に分けてPd²⁺水溶液を注入し、それぞれに対して30分間の超音波還元処理を施して合成した場合に相当し、このとき得られた複合粒子をPd/WO₃-3と表記する。WO₃単体粒子および複合粒子の光触媒活性を可視光照射下でのメチレンブルー(MB)水溶液中のMBの分解速度から評価した。なお、MBの分解実験はすべて暗幕内で行った。

4. 研究成果

(1) 超音波とUFBによる金ナノ粒子の粒子径制御と分散安定性の向上

HAuCl₄濃度を変えた場合の初期UFB数濃度と平均粒径の関係を図2に示す。UFBが無いときは、HAuCl₄濃度0.10、0.15、0.20 mMの平均粒子径はそれぞれ102、138、181 nmであったが、UFB濃度が高くなるほど平均粒径が減少し、UFB濃度が $6.86 \times 10^{10} \text{ mL}^{-1}$ のときは0.10、0.20 mMでそれぞれ11、16 nmとなった。特に、UFB濃度が $2.0 \times 10^{10} \text{ mL}^{-1}$ 以上のときは直径が10 nm以下の粒子が多数合成できており、なかには単原子レベルの非常に小さい粒子やそのクラスターが存在していた。このことから、高濃度UFBを用いることにより、還元剤と表面保護剤を使用せずに粒子径が1 nmを下回るようなより小さいAuNPsの合成が可能であることが明らかとなった。AuNPsの生成は核生成プロセスと成長プロセスに分けられ、核生成プロセスが支配的なときは粒子が小さくなり、成長プロセスが支配的なときは粒子が大きくなる。以上のことからUFBによる粒子径減少の理由には以下の2つが考えられる。UFBが超音波キャビテーションの核となりキャビテーション生成が促進され、還元性を持つラジカルの生成量が増えて核生成プロセスが優位になったこと、静電的引力によってAuNPsがUFB表面に吸着し、UFB同士の反発力によって微細なAuNPs同士の接触が減り、凝集による成長プロセスが抑制されたことである。

図3にUFB濃度を変えて金ナノ粒子コロイドに添加したときのコロイド安定性の経時変化(合成直後、1日後、5日後)を示す。UFBの無いときは1日後に沈殿しているの、UFBの添加により、金ナノ粒子の沈殿が抑制され分散安定性が向上していることがわかる。これはUFB表面に金ナノ粒子が静電的に吸着して粒子同士の凝集が抑制され安定するためと考えられる。しかし、5日後を見るとUFB水を濃縮した $2.2 \times 10^{10} \text{ mL}^{-1}$ の方が、濃縮していない $2.2 \times 10^9 \text{ mL}^{-1}$ と比べて安定性が低下している。水中のUFB濃度の経時変化を測定したところ、濃縮したUFB水でUFB濃度の比較的速い低下がみられた。これらのことから、濃縮したUFB水ではUFBの合一や消失によってUFB表面に吸着していた金ナノ粒子が凝集して大きくなり、沈殿することによりコロイドの分散安定性が低下すると考えられる。

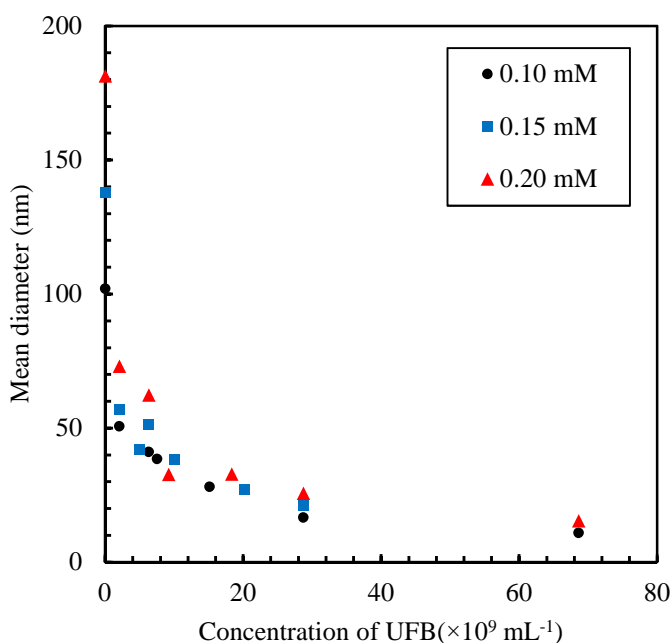


図2 AuNPsの平均粒子直径に及ぼすUFBの個数濃度の影響

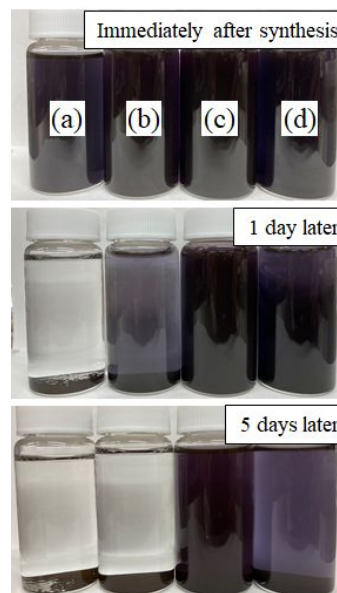


図3 AuNPsコロイドの安定性
(a)UFB無、(b)UFB濃度： $2.2 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ 、
(c) $2.2 \times 10^9 \text{ mL}^{-1}$ 、(d) $2.2 \times 10^{10} \text{ mL}^{-1}$

(2) タンパク固定化電気化学センサーの作製と活性酸素種の検出への応用

超音波法で調製したAuNPs溶液に疎水性のモノマーである3、4-エチレンジオキシチオフェン(EDOT)を加えると、赤色の溶液が紫または青色を呈し、EDOTの可溶化が認められた。この溶液でEDOTの表面増感ラマン散乱スペクトルが得られたことから、EDOTがAuNPs表面に吸着したため、溶解度の増加に寄与したと考察している。この溶液に20 mM EDOTを添加し、水溶液中に可溶化させた後に、ウマ心筋由来の10 μM チトクロームc (Cyt c)と支持電解質である0.1 M 過塩素酸リチウムを加えて電位多重掃引法によりポリ3、4-エチレンジオキシチオフェンハイブリット膜(Cyt c/AuNPs/PEDOT)を径0.5 mmの白金ディスク電極表面に修飾させた(図4)。

図5(A)に示すように、Cyt cは、通常の固体電極との間で可逆的な電子授受は行わないが、Cyt c/AuNPs/PEDOT修飾電極では、-0.15 V vs. Ag/AgCl付近にCyt c(FeII)/Cyt c(FeIII)の酸化還元由来するレドックス波が観測され、ピーク電流が電位掃引速度に比例したことから、Cyt cが安定

的に修飾電極表面に固定化されたことが分かった。AuNPs を含まない PEDOT 膜では明瞭なレドックス波が見られなかったことから、AuNPs は Cyt c を安定的な膜内への固定化や、電極 - Cyt c 間の電子移動反応を促進する役割も果たしていると考えている。

Cyt c/AuNPs/PEDOT 修飾電極を用いて、ヒポキサンチン(HX)/キサンチンオキシダーゼ(XOD)の系で発生した $O_2\cdot^-$ をアンペロメトリーによる検出を行った。HX を含む PBS 中に、XOD を逐次添加すると、XOD の濃度の平方根に比例した定常酸化電流が得られ、この系に、 $O_2\cdot^-$ の分解酵素であるスーパーオキシドディスムターゼを添加すると、酸化電流は見られなくなり、観測された電流応答は $O_2\cdot^-$ に由来するものと確認できた。

上のことから、超音波照射で調製された AuNPs を用いて、疎水性の EDOT を水溶液中に可溶化できることを見出し、電解重合により水溶性タンパク質の電極表面の固定化に成功した。固定化されたタンパク質は、電極と直接電子移動が可能であることから、第三世代バイオセンサーとして医療分野への展開が期待できる。

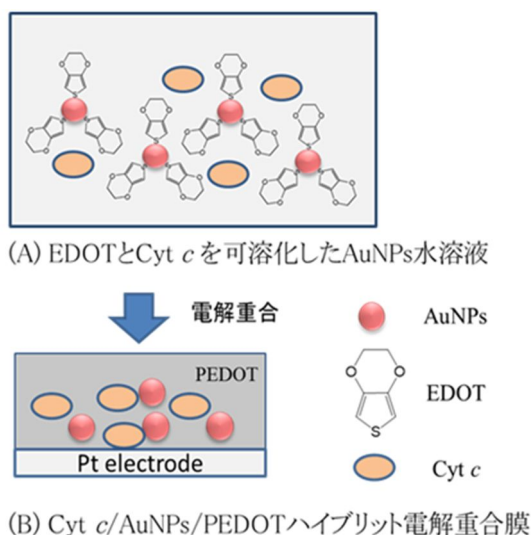


図4 AuNPsによるEDOTの可溶化と導電性高分子ハイブリット膜の電解重合

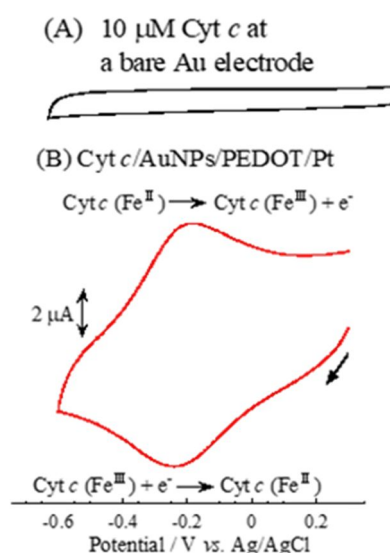


図5 0.1 M PBS (pH7.4)中で測定した Cyt c/AuNPs/PEDOT ハイブリット電解重合膜修飾電極の CV

(3) 超音波還元法を応用した Pd/WO₃、Pt/WO₃ 複合粒子の合成と光触媒活性評価

Pd²⁺/WO₃ 懸濁液に対して超音波還元法を適用し、合成して得られた複合粒子の TEM 像から、WO₃ 粒子表面上に Pd ナノ粒子が担持されていることを確認した。これら複合粒子および WO₃ 単体粒子の光触媒活性以外の触媒活性を評価するため、WO₃、Pd/WO₃、Pt/WO₃ の複合粒子を MB 水溶液に磁気攪拌により分散させ、可視光照射なしで実験を行った。常温にて 3 時間放置した結果、MB の分解反応は認められず、WO₃ および複合粒子は、常温かつ光照射なしでは触媒活性を示さないことを確認した。

WO₃ 単体粒子、異なる Pd 仕込み量(0.1、0.5、1.0、1.5 wt%)で合成した Pd/WO₃-1、および 1.0 wt% の条件で合成した Pt(1.0 wt%)/WO₃-1 を用い、可視光照射下での MB 分解実験を行った。その結果、WO₃ 単体粒子の場合、可視光照射下で MB の分解が認められたものの、照射時間に対する MB 濃度の減少率はかなり緩やかであった。一方、Pd/WO₃-1 複合粒子を用いた場合は、WO₃ 単体粒子の場合よりも MB の分解速度が速い、すなわち光触媒活性の向上が認められた。この触媒活性の向上は、光励起された電子が WO₃ 表面上にある Pd ナノ粒子でトラップされ、Pd が還元サイトとして作用したことによるものと考えられる。また、複合粒子合成時の Pd の仕込み量が 0.1、0.5、1.0 wt% と増加するにつれ MB の分解速度は増加した。しかしながら、Pd 仕込み量を 1.0 wt% から 1.5 wt% に増加させると触媒活性の低下がみられ、Pd の仕込み量には最適値が存在することがわかった。また、Pt(1.0 wt%)/WO₃-1 の結果から、Pd だけでなく Pt に関してもナノ粒子で複合させることにより、WO₃ の光触媒活性の向上が認められた。1.0wt% の条件では、光触媒活性に及ぼす Pd と Pt の仕込み量の効果は、ほぼ同等である結果を示した。

合成段階の Pd 水溶液の添加手順が光触媒活性に及ぼす影響を調べるために、Pd/WO₃-1 と Pd/WO₃-3 を用いた MB 分解実験を行い、それらの結果の比較を行った。Pd の仕込み総量が同じ場合、Pd/WO₃-1 に比べ Pd/WO₃-3 の方が高い触媒活性を示すことがわかった。これは、Pd/WO₃-3 のように Pd²⁺水溶液濃度を段階的に制御しながら超音波還元処理を実行することで、Pd の粒子成長に比べて Pd の核生成が活発になり、より高分散で WO₃ 粒子表面に Pd ナノ粒子が担持されたことによるものと推察される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名 Keiji Yasuda, Koji Hamada, and 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- 3 |
| 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 and 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 Ultrasonics Sonochemistry | 6. 最初と最後の頁 1058901-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultrsonch.2021.105890 | 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 Yoshiyuki Asakura and Keiji Yasuda | 4. 巻 81 |
| 2. 論文標題 Frequency and power dependence of the sonochemical reaction | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Ultrasonics Sonochemistry | 6. 最初と最後の頁 1058581-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultrsonch.2021.105858 | 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 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 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Masahiro Okada, Ikuma Nishio, Fumiki Takahashi, Hirosuke Tatsumi, and Jiye Jin | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 Cathodic electrochemiluminescence from rhodamine B in aqueous media using peroxydisulfate as co-reactant | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 1659-1661 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210289 | 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 72 |
| 2. 論文標題 超音波によるウルトラファインバブルの生成・消滅と高純度な金ナノ粒子の合成 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 化学工業 | 6. 最初と最後の頁 441-446 |
| 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 安田啓司 | 4. 巻 85 |
| 2. 論文標題 超音波とウルトラファインバブルを活用した金ナノ粒子合成 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 化学工学 | 6. 最初と最後の頁 232-235 |
| 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 Keiji Yasuda | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Sonochemical green technology using active bubbles: Degradation of organic substances in water | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry | 6. 最初と最後の頁 1004111-1004116 |
| 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 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 SKKD0091-0093 |
| 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 84 |
| 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 Fumiki Takahashi, Yuko Kazui, Hajime Miyaguchi, Takeshi Ohmori, Ryutarō Tanaka, Jiye Jin | 4. 巻 327 |
| 2. 論文標題 Simple colorimetric screening of the nerve agent VX using gold nanoparticles and a hand-powered extraction device | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical | 6. 最初と最後の頁 1289021-1289028 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2020.128902 | 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 Jiye Jin, Masanori Matsuoka, Yoshiyuki Asakura | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 Sonochemiluminescence of lucigenin using amines as coreactant: Reactivity and mechanism studies | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Ultrasonics Sonochemistry | 6. 最初と最後の頁 1052491-1052495 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultsonch.2020.105249 | 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 Keiji Yasuda, Tomofumi Sato, Yoshiyuki Asakura | 4. 巻 217 |
| 2. 論文標題 Size-controlled synthesis of gold nanoparticles by ultrafine bubbles and pulsed ultrasound | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Engineering Science | 6. 最初と最後の頁 1155271-1155277 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ces.2020.115527 | 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46件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 16件)

| |
|--|
| 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 |

| |
|---|
| 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による超音波合成した金ナノ粒子の粒子径制御と分散安定化 |
| 3. 学会等名 京都大学微細気泡研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jiye Jin |
| 2. 発表標題 Sonoanalytical chemistry: fundamentals and applications |
| 3. 学会等名 The 2nd event International Conference on Chemistry and Science Education (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Keiji Yasuda, Takuya Iwata and Yoshiyuki Asakura |
| 2. 発表標題 Sonochemical synthesis and colloid stability of gold nanoparticle by using concentrated ultrafine bubble water |
| 3. 学会等名 ESS-AOSS-JSS 1stJoint Sonochemistry Conference (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 Yoshiyuki Asakura and Keiji Yasuda |
| 2. 発表標題 Study on efficiency of transducers for sonochemistry by calorimetry |
| 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 Hironaga Yamashita, Keiji Yasuda, and Yoshihiro Kojima |
| 2. 発表標題 Photocatalytic decomposition of dye in wastewater by Pd/WO ₃ composite particles prepared under ultrasonication |
| 3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Quang Nguyen Duc and Jiye Jin |
| 2. 発表標題 Antibacterial activities of metallic nanoparticles supported TiO ₂ composites under visible light |
| 3. 学会等名 The 2nd event International Conference on Chemistry and Science Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ikuma Nishio, Masayuki Nakayama, and Jin Jiye |
| 2. 発表標題 Studies on cathodic electrochemiluminescence at a CdSe quantum dots modified electrode |
| 3. 学会等名 The 2nd event International Conference on Chemistry and Science Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Qiran Zhang, Yuji Yoda, and Jiye Jin |
| 2. 発表標題 Triple pulse amperometry for selective detection of urea with an Ag-immobilized zeolite carbon paste electrode |
| 3. 学会等名 The 2nd event International Conference on Chemistry and Science Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安田啓司, 岩田卓弥, 佐藤智史, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 超音波キャピテーションとウルトラファインバブルによる高純度な金ナノ粒子の合成 |
| 3. 学会等名 第20回キャピテーションに関するシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 朝倉義幸, 安田啓司 |
| 2. 発表標題 カロリメトリーによるソノケミストリー用振動子の効率に関する研究 |
| 3. 学会等名 第30回ソノケミストリー討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岩田卓弥, 安田啓司, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 超音波合成した金属ナノ粒子に及ぼすウルトラファインバブル濃度の影響 |
| 3. 学会等名 第30回ソノケミストリー討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山崎嵩, 安田啓司, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 間接照射型超音波反応器における超音波強度と容器形状の最適化 |
| 3. 学会等名 第30回ソノケミストリー討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山下紘永, 小島義弘 |
| 2. 発表標題 超音波噴霧熱分解法を用いたWO ₃ 粒子の合成 |
| 3. 学会等名 第30回ソノケミストリー討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 安田啓司, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 超音波によるウルトラファインバブルの濃度制御 |
| 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 山崎嵩, 安田啓司, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 間接照射型超音波反応器の性能に及ぼす容器条件の影響 |
| 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 岩田卓弥, 安田啓司, 朝倉義幸 |
| 2. 発表標題 金属ナノ粒子の超音波合成におけるウルトラファインバブルの影響 |
| 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 入澤颯, Quang Nguyen Duc, 安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波による金ナノ粒子担持酸化チタンの調製とその表面の活性酸素種生成機構の検討 |
| 3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 入平中穰, 田代広志, 櫻田理, Quang Nguyen Duc, 金継業 |
| 2. 発表標題 超音波による貴金属担持酸化チタンの作製とその抗菌作用の評価 |
| 3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波とウルトラファインバブルによる金ナノ粒子の合成 |
| 3. 学会等名 化学工学会反応工学部会ソノプロセス分科会 2020年度講演会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021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 安田啓司 |
| 2. 発表標題 反応と分離へのファインバブルの活用 |
| 3. 学会等名 ファインバブル技術産業活用研究会 設立記念講演会(招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 朝倉義幸、安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波脱気に対する超音波パワーと周波数の影響 |
| 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 山崎嵩、朝倉義幸、安田啓司 |
| 2. 発表標題 間接照射型超音波反応器の性能に及ぼす容器の位置の影響 |
| 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 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 平手快斗、柴田幹夫、朝倉義幸、高橋史樹、金継業、安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波による被覆材・還元剤フリーの金-銀複合ナノ粒子の合成 |
| 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 金継業、大日野創、高橋史樹、安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波による第三世代バイオセンサーの作製と微量スーパーオキシドラジカル検出への応用 |
| 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 近藤隆、安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波の生物効果に関するナノバブルおよびナノ粒子の影響 |
| 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 山下紘永、服部真子、小島義弘 |
| 2. 発表標題 超音波還元法を用いたPd, Pt/WO3複合粒子の合成と光触媒性能評価 |
| 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 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 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jiye Jin, Masanori Matsuoka, Yoshiyuki Asakura |
| 2. 発表標題 Sonochemiluminescence of lucigenin: Characterization and applications |
| 3. 学会等名 4th Asia-Oceania Sonochemical Society Conference (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiyuki Asakura, Hodaka Matsushima, Keiji Yasuda |
| 2. 発表標題 Dependence of sonochemical reaction rate on ultrasonic power and frequency |
| 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 Yoshiyuki Asakura, Keiji Yasuda |
| 2. 発表標題 Dependence of ultrasonic degassing on frequency |
| 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 Yoshiyuki Asakura, Keiji Yasuda |
| 2. 発表標題 Effect of frequency on ultrasonic degassing |
| 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 Yoshiyuki Asakura, Tomofumi Sato, Keiji Yasuda |
| 2. 発表標題 Size control on sonochemical synthesis of gold nanoparticles without surfactants and reducers |
| 3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (国際学会) |
| 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 安田啓司 |
| 2. 発表標題 ファインバブルのソノケミストリーへの応用 |
| 3. 学会等名 日本化学会 化学フェスタ2019 (招待講演) |
| 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 朝倉義幸, 松島穂高, 安田啓司 |
| 2. 発表標題 ソノケミカル効率に対する超音波パワーと周波数の影響 |
| 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 金継業, 高橋史樹, 安田啓司 |
| 2. 発表標題 超音波による合成した金ナノ粒子の分析化学への展開 |
| 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 等々力 深雪、高橋 史樹、安田 啓司、金 継業 |
| 2. 発表標題 超音波を用いて合成した金ナノ粒子によるセレンSe(IV)の化学センシング |
| 3. 学会等名 日本分析化学会第68回年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 等々力 深雪・高橋 史樹・安田 啓司・金 継業 |
| 2. 発表標題 超音波法を用いた金ナノ粒子合成におけるセレンSe(IV)の影響 |
| 3. 学会等名 第50回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 NGUYEN DUC QUANG・金 継業 |
| 2. 発表標題 金ナノ粒子担持した酸化チタン界面における活性酸素種の生成反応：蛍光プローブによる検討 |
| 3. 学会等名 第50回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会 |
| 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 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 金 継業 (Jin Jiye) (40252118) | 信州大学・学術研究院理学系・教授 (13601) | |

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 | 小島 義弘 (Kojima Yoshihiro) (80345933) | 名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授 (13901) | |

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 |
|---------|---------|
| | |