

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04743

研究課題名（和文）レーザー誘起還元凝集貴金属ナノ粒子の回収過程における光捕捉効果

研究課題名（英文）Light trapping effect in the recovery process of laser-induced reduced aggregated precious metal nanoparticles

研究代表者

大場 弘則（Ohba, Hironori）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター・副ディレクション長

研究者番号：60354817

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、還元凝集プロセスで生成する貴金属ナノ粒子を効率的に回収する手法を提案するために、フロー式への展開を考慮し、その場での残存濃度分析へのレーザー誘起ブレイクダウン分光（LIBS）法適用によるAu及びPtの検出下限を評価するとともに、非接触での微粒子の光捕捉操作系についての製作および動作確認を実施した。特に、貴金属の溶存元素濃度その場分析としてLIBS計測を行い、Au及びPtともにNd:YAGパルスレーザー波長532nmが最も計測に適していることを見出した。その結果、これらの元素について分析定量下限値が10ppm以下となることが判明し、回収方法及び装置に関しての特許を取得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

貴金属リサイクルにおいてレーザー誘起還元凝集を利用した新しい金属回収技術の開発が進められている。本技術は、パルスレーザー光による光還元凝集を利用しているが、最も大きな特長はレーザー光を集光することなく短時間で凝集が可能であり、平行光を拡大することで、より大きな反応領域を確保して微粒子を分散できることにある。このバルク液中で微粒子を光捕捉操作により空間制御できれば、レーザーその場分析技術と組み合わせることで大量のフロー式貴金属回収系の構築につながると考える。また空間を利用してレーザー誘起ボトムアップ型3次元ナノ構造体の創製も可能であり、新たな基礎的研究領域の開拓だけでなく産業応用への展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, in order to propose a method for efficiently recovering precious metal nanoparticles generated in the reduction-aggregation process, we considered the development of a flow system, evaluated the detection limit of Au and Pt by applying laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) to in-situ residual concentration analysis, and fabricated and confirmed the operation of a non-contact optical capture and manipulation system for fine particles. In particular, we performed LIBS measurements for in-situ analysis of the dissolved elemental concentration of precious metals, and found that a Nd:YAG pulsed laser wavelength of 532 nm was most suitable for measurement of both Au and Pt. As a result, it was found that the analytical quantification limit for these elements was 10 ppm or less, and we obtained a patent for the recovery method and device.

研究分野：レーザー分光学

キーワード：レーザー光還元 レーザー誘起絶縁破壊分光 貴金属ナノ粒子

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

パルスレーザー光で溶液中の金属イオンが還元されると凝集微粒子化が起きる。これを利用して希少金属元素を分離回収する技術開発が進められている (Saeki *et al.*, *J. Photochem. Photobiol. A*, 299, 189-193 (2015).他)。溶液中の貴金属イオン  $A^{n+}$  ( $A=Pd, Au$  など) は共存負イオン  $X^{n-}$  と錯形成しており、紫外波長領域に負イオン  $X^{n-}$  から貴金属イオン  $A^{n+}$  への電荷移動を伴う電子励起状態 (電荷移動 (CT) 吸収帯) を有する。この CT 吸収域を利用して、還元助剤のアルコールを添加した貴金属イオン水溶液に紫外光を照射すると、光励起された貴金属イオン錯体はアルコールと反応して電子を受け取り、0 価の金属原子  $A^0$  に還元される (アルコールはアルデヒドに酸化)。一方、金属イオン  $B^{m+}$  (ランタノイド金属や遷移金属など) は、紫外波長域に電荷移動吸収帯が存在しないことや、電荷移動反応が起きても 0 価まで還元されないことから、溶液中でイオンのまま存在し続ける。その後、 $A^0$  は溶液中で不安定化し、自発的に凝集して微粒子化するので、ろ過や沈殿、遠心分離等の方法により分離回収する。

上述については高出力紫外ランプ光照射でも可能と思われる。しかしながら、ランプ光の波長は広範囲に亘っており、反応に熱の影響が加わることも考えられる。また、特定の波長を選択した場合では光強度には限界があるため、還元に時間を要し、形成される微粒子も小径にとどまり回収が困難である。これに対して、レーザー光には高単色性、高指向性、そして高強度という 3 つの特長がある。その結果、特定波長の電子励起により貴金属選択性を高め、遠隔で効率的に廃液に光を照射し、高強度の光により反応を短時間で効率的に誘起することができるので、レーザー光照射は連続 (フロー式) 処理に適している。

フロー式処理プロセスにおいては、回収率等の低下は反応生成物が要因となることがしばしばある (Ohba *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* 47, 8379-8381 (2008).)。レーザー誘起還元凝集においても反応容器の内壁等への微粒子の付着が確認される。申請者らは最近、図 2 に示すような光還元・微粒子成長過程を考察した (Saeki *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, 123(1), 817-824 (2019).)。金属イオン還元過程はパルスエネルギー依存性があり、ほぼ 1 光子反応で起きる。続いて起きる微粒子成長ではパルスエネルギー依存性はないものの、微粒子がある程度大きくなると多光子過程が寄与する自己触媒的微粒子成長を伴ってサブミクロンオーダーの大径微粒子が出現する。大径微粒子は分離回収を容易にするが、反応容器の内壁等に付着すると収率が低下する。よって微粒子の付着を物理的に抑制する必要がある、その手段の一つとしての光捕捉の有効性検証が重要となる。

### 2. 研究の目的

レーザー誘起還元凝集による貴金属回収において、ナノメートル～サブミクロンメートルオーダーの微粒子が光捕捉により操作が可能かどうか、光捕捉によって微粒子がどのような挙動を示すのかを調べる。特に還元パルスレーザー光と光捕捉操作を同期させた時間発展的な光捕捉操作について、新規な実験体系を構築する。

申請者らの考案した貴金属回収法は、パルスレーザー光による光還元凝集を利用しているが、最も大きな特長はレーザー光を集光することなく短時間で凝集が可能であり、平行光を拡大することで、より大きな反応領域を確保して微粒子を分散できることにある。このバルク液中で微粒子を光捕捉操作により空間制御できれば、大量のフロー式貴金属回収系の構築につながると思う。

本研究課題では、金属微粒子回収の効率向上に向けた基礎データ取得のために、金 (Au) 及び白金 (Pt) を対象としてレーザー誘起還元粒成長過程の再現性を観測するとともに、フロー式処理プロセスへの展開を考慮したその場溶存元素濃度計測について基礎データを取得し、プロセス概念設計に繋げる。

### 3. 研究の方法

ナノ粒子が形成されると局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) に起因する吸収が可視波長域に現れる。Au と Pt を対象にこの現象を利用して簡易的に微粒子形成の観測が可能か調べる。また、還元微粒子化用パルス紫外線レーザー光路と光捕捉操作領域が交差する配置となるよう実験体系を整備する。光捕捉には、高出力かつ集光特性の高い TEM<sub>00</sub> cw 近赤外波長レーザー (1064 nm) と水浸対応高開口数対物レンズ (N.A.>1) を用いる。微粒子形成は LSPR 吸収ピークモニターにて確認し、光捕捉用光路に cw 可視波長レーザー光 (532 nm) を通して集光位置からの散乱光スペクトルを分光できるようにする。また、観察用として CMOS カメラも整備する。さらに、フロー式への展開を考慮し、その場での残存濃度分析への適用可能性としてレーザー誘起ブレイクダウン分光 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: 以下「LIBS」という) 法による Au 及び Pt の検出下限および定量下限を評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) レーザー誘起還元微粒子の形成

Au 微粒子化の再現性を確認するため、1M 硝酸水溶液に高濃度 (1100 mg/L) Au イオンが溶存するサンプルの還元を試験した。還元助剤としてエタノールをサンプル原液に対して 1 : 4 として 2 mL を調製して石英セルに用意した。レーザー照射条件として、355 nm、繰返し 50 Hz、エネルギー 1.2 W に設定し、レーザー照射時間：0 ~ 60 分、ろ過条件：0.1  $\mu\text{m}$  フィルターで 30 秒遠心ろ過とした。ICP-AES にてろ液中の Au 濃度分析し、レーザー照射 30 分で溶存 Au イオンが消失してほぼ 100% の回収率で微粒子が形成できることを確認した。続いて吸収スペクトル時間変化として、同様のサンプル原液に 10% のエタノールを混合させて 20 mJ/pulse、10Hz で照射観測した。図 1 は吸収スペクトルの時間変化で黒線はレーザー照射前の吸収スペクトル、赤線は時間経過した吸収スペクトルを示す。横軸は波長である。時間経過とともに Au の LSPR に起因する吸収ピークが 550 nm 近傍に出現し大きくなっているのがわかる。図 2 は初期吸収ピーク (CT 吸収帯裾) 波長および LSPR の特定波長の照射時間依存を示した図である。照射時間が 30 分で LSPR ピークはほぼ飽和しており、この時間では微粒子化がほぼ完了していることを示している。

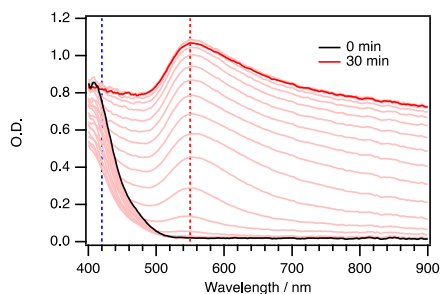


図 1 溶存 Au の吸収スペクトル時間変化

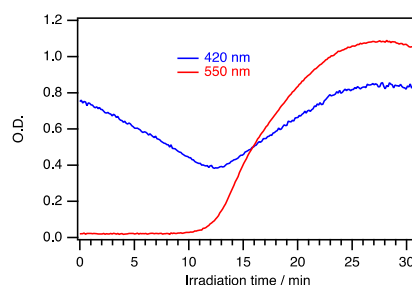


図 2 特定波長時間変化

Pt については、1M 硝酸水溶液に 460 mg/L 溶存した Pt イオンを対象に微粒子化形成を試験した。なお、予備試験により還元助剤としてアルコール (エタノール EtOH など) とヘテロポリ酸 (リンタングステン酸ナトリウム  $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{WO}_3$  など) の両方を添加すると、Pt を回収できることを確認していたため、エタノール濃度とリンタングステン酸の濃度を変化させて、Au と同様のレーザー照射条件、回収条件で実験を行い、ICP-AES にてろ液中の Pt 濃度を分析して回収率を評価した。その結果、エタノール濃度 30%、リンタングステン酸の濃度が 125 mg/L 以上で 90% 以上の回収率が得られることを確認した。一方で、レーザー照射時の吸収スペクトルの時間変化を測定したところ、明確な Pt の LSPR ピークは確認されず、ブロードなスペクトル形状を示し、LSPR に起因する特定波長は見出すことはできなかった。これについては、今後、照射時間、還元助剤の種類を変更した実験を行って解決したいと考える。

### (2) 分光情報から光捕捉操作・空間位置情報を取得する方法の検討

図 3 に示すように還元微粒子化用パルス紫外線レーザー光路と光捕捉操作領域が交差する配置となるよう実験体系を整備した。3 次元精密ステージ付き対物レンズを整備することで cw 近赤外波長レーザー光捕捉操作のトライアルが可能となる。可視 cw レーザー光を同軸で入射させてナノ粒子が集光点に形成されると、レーザー光が散乱される。微粒子化レーザー光強度を変化させ、その後方散乱強度の時間変化からナノ粒子の形成、成長をモニターすることができる。同時に、試料からの蛍光またはラマン分光情報を取得する。これら分光情報は共焦点光学配置となるように設置したピンホール (図 3) を通過させてから、分光器・検出器に導入することで高い空間分解能でスペクトルを取得できる。このようにして分光情報から形成ナノ粒子の空間位置情報が把握できる装置の構築を行った。

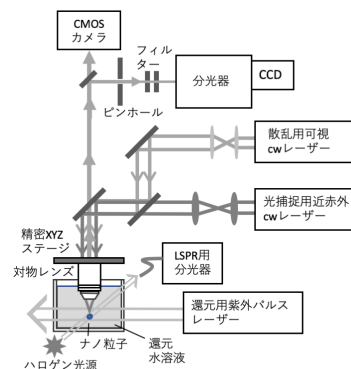


図 3 光捕捉実験装置の概略

### (3) 溶存元素濃度その場分析と概念設計への展開

廃液中の溶存貴金属を遠隔その場で高感度に分析する手法として、液膜ジェットを用いた LIBS による遠隔その場 (オンサイト) 分析装置を開発した。特に液体薄膜を形成させるジェットノズルについては、強塩酸系酸性溶液に適用するために従来適用されていたステンレス製ノズルに替わる耐薬品性に優れた石英ガラスあるいはポリテトラフルオロエチレン製ノズルを設計試作して溶存濃度定量性分析に供した。

ノズルを XYZ 並進・回転ステージに固定し、試料溶液をチューブポンプで循環させて液膜ジェットを生成させた。励起光源として Nd:YAG レーザー (Continuum, Powerlite8000) からの出力をレンズ (f=100 mm) で集光して、液膜上に発光プラズマを生成させた。発光をレンズペア

と光ファイバーを用いてツェルニー・ターナー型分光器 (Princeton Instruments, SP-2300i) に導入し、回折格子 (1200 本/mm) で分散してイメージインテンシファイア付き CCD (ICCD) カメラ (Andor, iStar) で検出した。また分光計測のトリガーとして、レーザー光の反射光を Si フォトダイオードで検出した信号を用いた。レーザー照射からマイクロ秒オーダーの適当な遅延時間において ICCD にゲートをかけ、限られた時間幅の発光スペクトルを取得した。

Au および Pt を対象に、溶存貴金属の LIBS 測定にあたって、定量分析に用いる発光線の選定とレーザー照射条件 (照射位置・波長・レーザーエネルギー・繰り返し周波数)、発光観測条件 (ICCD ゲート遅延時間・ゲート幅時間) の最適化を行った。発光線については各溶存元素の LIBS スペクトルを測定し、背景信号や水、大気由来の信号となるべく重ならず強度の高いものを選定した。

レーザー照射条件に関しては、Pt の発光線 (図 4) について最適化し、Au についてもその照射条件を適用した。これは、Pt 発光が貴金属元素のなかで最も高い励起エネルギーが必要で、スペクトル強度が弱いためである。レーザー波長は、Nd:YAG レーザーの基本波 (1064 nm) と高調波 (532, 355 nm) を用いて比較した。同じパルスエネルギー (50 mJ) で比較したところ、発光線の信号強度とベースライン強度の比 (S/B 比) は、532 nm のときが最も高かった。繰り返し周波数 1–10 Hz の範囲では、1 ショットごとのスペクトルに変化は見られなかった。これらのことから、532

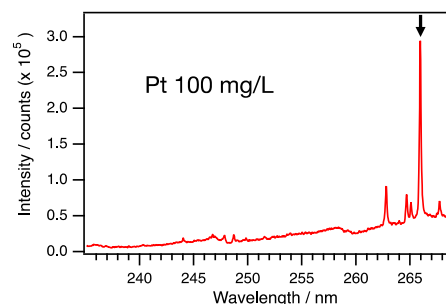


図 4 溶存 Pt の LIBS スペクトル

nm、10 Hz のレーザー光を用いることとした。さらに液膜上のレーザー照射位置を変えて測定を行い、ノズル射出口から約 11 mm で信号が最大となることがわかった。これは約 15  $\mu\text{m}$  の膜厚に相当する。次に、レーザーのパルスエネルギー (30–100 mJ/pulse) と ICCD ゲート遅延時間 (2–13  $\mu\text{s}$ ) を掃引して LIBS 測定を行い、S/B 比が最大となる条件を探索した。ICCD ゲート幅は 25  $\mu\text{s}$  と十分長く取った。Pt では、パルスエネルギー 60 mJ/pulse、ゲート遅延時間 7  $\mu\text{s}$  で S/B 比が最大となることがわかった。さらにゲート幅も掃引して S/B 比を算出した。S/B 比はゲート幅時間には大きく依存しないが、8  $\mu\text{s}$  を超えるとゆるやか減少していくため、8  $\mu\text{s}$  を最適条件とした。なお Au では、同様の最適化を行い、波長 267.6 nm、ゲート遅延時間 6  $\mu\text{s}$ 、ゲート幅 6  $\mu\text{s}$  を選定した。

上記で得られた測定条件で液膜 LIBS 測定を行い、濃度検量線を作成して検出限界と定量下限を見積もった。検量線用試料は ICP 分析標準液 (1000 mg/L) を希釈して調整した。希釈には各原液と同じ溶媒 (塩酸) を用い、Au, Pt は 1M 塩酸溶液とした。1 つのスペクトル測定は 400 ショット分の信号を積算した。図 13 に例として Au の塩酸溶液から得られた Au-I (中性原子) LIBS スペクトルを示す。各濃度試料についてスペクトル測定を 5 回繰り返し、発光線のピーク高さの平均値を求めた。ブランク試料については 10 回測定を行って標準偏差を求めた。検量線はピーク高さの単回帰分析で求めた。図 14 に溶存 Au の検量線を示す。各データは直線上にのっており、決定係数はほぼ 1 となった。また、各濃度試料 5 回測定の相対標準偏差 (RSD) は 1 mg/L の試料 (13%) 以外は 5% 以下に抑えられていた。得られた検量線の傾きを  $b$ 、ブランク信号の標準偏差を  $\sigma$  として、検出限界は  $3\sigma/b$ 、定量下限は  $10\sigma/b$  として計算した。Au について検出限界は 0.619 mg/L、定量下限 2.06 mg/L となった。一方で、Pt については、検出限界は 0.936 mg/L、定量下限 3.12 mg/L となり、これらの元素で 1 mg/L を下回る検出限界、 $<10$  mg/L の定量限界が得られた。なお、検量線での回帰分析式の決定係数はいずれも 1 に近いことが示され、定量分析に適用可能なことがわかった。

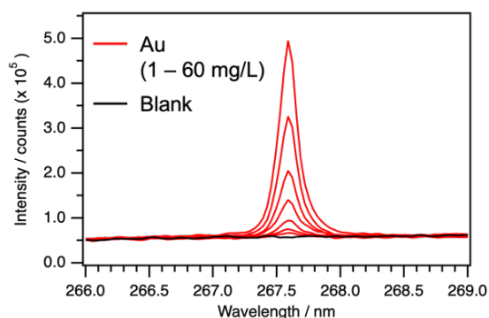


図 5 溶存 Au (1, 2, 5, 10, 20, 40, 60 mg/L) の LIBS スペクトル

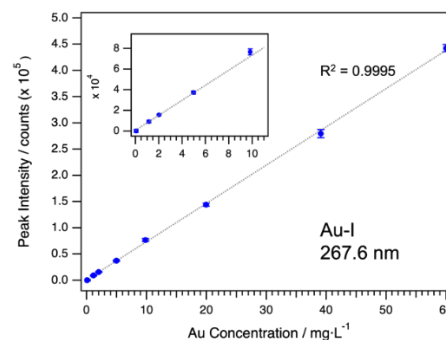


図 6 溶存 Au の検量線

## 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 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ikeda Yuji, Soriano Joey Kim, Ohba Hironori, Wakaida Ikuo	4. 巻 13
2. 論文標題 Analysis of gadolinium oxide using microwave-enhanced fiber-coupled micro-laser-induced breakdown spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-32146-x	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 Kurosaki Yuzuru, Nakanishi Ryuzo, Saeki Morihisa, Ohba Hironori	4. 巻 569
2. 論文標題 Reaction pathways for palladium(I) reduction in laser-induced particle formation of Pd: An ab initio molecular orbital study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 111857 ~ 111857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemphys.2023.111857	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 SHIZUME Yuki, TAKATA Atsushi, NABAE Hiroyuki, SUZUMORI Koichi, OHBA Hironori, AKAOKA Katsuaki, WAKAIDA Ikuo, KIKURA Hiroshige, TAKAHASHI Hideharu, ENDO Gen	4. 巻 2022
2. 論文標題 Development of an End-effector for Coupled Tendon-driven Manipulator for On-site Elemental Analysis in Decommissioning Work	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)	6. 最初と最後の頁 2P2 ~ S01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmermd.2022.2P2-S01	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 Tamura Koji, Nakanishi Ryuzo, Ohba Hironori, Taira Takunori, Wakaida Ikuo	4. 巻 60
2. 論文標題 Recovery of the laser-induced breakdown spectroscopy system using a ceramic microchip deteriorated by radiation for the remote elemental analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 175 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2022.2091056	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 OHBA Hironori, WAKAIDA Ikuo, TAIRA Takunori	4. 巻 142
2. 論文標題 Remote Laser Analysis Technique for Decommissioning of Nuclear Power Station	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of The Institute of Electrical Engineers of Japan	6. 最初と最後の頁 77 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjournal.142.77	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 Saeki Morihisa, Matsumura Daiju, Nakanishi Ryuzo, Yomogida Takumi, Tsuji Takuya, Saitoh Hiroyuki, Ohba Hironori	4. 巻 126
2. 論文標題 Dispersive XAFS Study on the Laser-Induced Reduction of a Rh3+ Ion Complex: Presence of a Rh+ Intermediate in Direct Photoreduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5607 ~ 5616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c10160	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 Tamura Koji, Nakanishi Ryuzo, Ohba Hironori, Karino Takahiro, Shibata Takuya, Taira Takunori, Wakaida Ikuo	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of a radiation tolerant laser-induced breakdown spectroscopy system using a single crystal micro-chip laser for remote elemental analysis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2023.2298485	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 Batsaikhan Munkhbat, Ohba Hironori, Karino Takahiro, Akaoka Katsuaki, Wakaida Ikuo	4. 巻 39
2. 論文標題 Simultaneous analysis of gadolinium and surface imaging using a fiber-coupled acoustic wave-assisted microchip LIBS system	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	6. 最初と最後の頁 423 ~ 432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3JA00347G	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 Ikeda Yuji, Soriano Joey Kim, Ohba Hironori, Wakaida Ikuo	4. 巻 62
2. 論文標題 Laser air plasma expansion by microwaves	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 8434 ~ 8434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.503682	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 Batsaikhan Munkhbat, Akaoka Katsuaki, Saeki Morihisa, Karino Takahiro, Ohba Hironori, Wakaida Ikuo	4. 巻 61
2. 論文標題 Two-dimensional elemental mapping of simulated fuel debris using laser-induced breakdown spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 658 ~ 670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2023.2255186	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 大場弘則、若井田育夫、平等拓範	4. 巻 13
2. 論文標題 原子炉廃炉措置に向けたマイクロチップレーザーによる遠隔分析技術の開発	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 スマートプロセス学会誌	6. 最初と最後の頁 51, 58
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8件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Hironori Ohba, Katsuaki Akaoka, Ikuo Wakaida
2. 発表標題 Analysis of Simulated Fuel Debris by Fiber-Optic Probe LIBS
3. 学会等名 Symposium on Applications of Advanced Measurement Technologies 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年



1 . 発表者名 Ryuzo Nakanishi, Morihisa Saeki <sup>1</sup> , and Hironori Ohba
2 . 発表標題 Sensitive Detection of Alkali and Precious Metals in Aqueous Solutions Using LIBS with Liquid Sheet Jets
3 . 学会等名 Symposium on Applications of Advanced Measurement Technologies 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Munkhbat Batsaikhan, Hironori Ohba
2 . 発表標題 Laser-produced plasmas on metal Fe, Cu, and Zr in air, nitrogen, and argon at atmospheric pressure
3 . 学会等名 Symposium on Applications of Advanced Measurement Technologies 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Koji Tamura, Ryuzo Nakanishi, Hironori Ohba, and Ikuo Wakaida
2 . 発表標題 Comparison of Radiation Effects for a Ceramics and a Single Crystal Microchip of a Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) System for Remote Analysis
3 . 学会等名 Symposium on Applications of Advanced Measurement Technologies 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Hironori Ohba
2 . 発表標題 Fiber-coupled LIBS analysis using a microchip laser in a harsh environment
3 . 学会等名 Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI) XLIII, The 5th Asian Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy (ASLIBS) (招待講演)
4 . 発表年 2023年



1. 発表者名 大場弘則
2. 発表標題 福島廃炉加速に向けたマイクロチップレーザーによる過酷環境LIBS
3. 学会等名 第8回レーザー学会「小型集積レーザー」専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大場弘則、田村浩司、中西隆造
2. 発表標題 マイクロチップレーザーLIBSの高線量放射線環境への適用
3. 学会等名 第7回 先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大場弘則、赤岡克昭、若井田育夫
2. 発表標題 Analysis of simulated fuel debris by fiber-optic probe LIBS
3. 学会等名 第8回 先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金属回収装置、金属回収方法、元素分析装置、及び元素分析方法	発明者 大場弘則、中西隆造、佐伯盛久	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-188449	出願年 2022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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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