

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14506

研究課題名(和文) レーザーアブレーション放出種の酸化過程の解明：分子発光を利用した新規分析法の確立

研究課題名(英文) Understanding of oxidation process of laser-ablated species: establishment of a new analytical method using molecular emission

研究代表者

松本 歩 (Matsumoto, Ayumu)

兵庫県立大学・工学研究科・助教

研究者番号：30781322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：福島原発の廃炉現場における遠隔分析技術として、ファイバー伝送レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)が注目されている。LIBSでは、レーザーアブレーションで生成するプラズマの発光により試料の元素を同定できる。本研究では、プラズマ中の化学反応により一時的に形成する二原子分子の発光を効率良く検出することを目的として、アブレーション放出種の酸化過程を調べた。その結果、従来よりもパルス幅が長いロングパルスレーザー(100 ns)を用いると、プラズマの上昇に伴い周囲の気体はその底部に流入し、アブレーション放出種の酸化反応が促進されることで、分子の発光が著しく増大することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LIBSでは通常、原子の発光を観測して試料の元素を同定する。これに対し、分子の発光は同位体シフトが大きいため、同位体分析に有効である。ロングパルスによる分子発光の増大効果を活用すれば、福島原発の廃炉現場において、核燃料デブリの成分とその同位体比を遠隔で分析できる可能性がある。また、分子の発光は広い波長域で観測されるため、原子の発光の観測が困難な元素の検出に有効である。一方で、レーザープラズマ中の化学反応については、未解明な点が多い。本研究により、アブレーション放出種の酸化過程に関する新たな知見が得られたと考えている。

研究成果の概要(英文)：Fiber-optic laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) has attracted attention as a remote analytical technique at the decommissioning site of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. In LIBS, we can identify elements of samples by measuring emission spectra of laser ablation plasma. In this study, we investigated the oxidation process of laser-ablated species aiming at the efficient detection of the emission from diatomic molecules which form temporarily in the plasma. We found that the oxidation reaction is accelerated by the irradiation of a long-pulse laser (100 ns) due to the rise of plasma and the inflow of ambient gas, resulting in the molecular signal enhancement.

研究分野：レーザー分光

キーワード：レーザー誘起ブレイクダウン分光法 ロングパルスレーザー 分子発光分光 レーザーアブレーション
レーザープラズマ 廃止措置 その場分析 微量分析

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

福島原発の廃炉では、損傷した原子炉内部から核燃料デブリを取り出すという極めて困難な作業に立ち向かう必要がある。この作業を安全かつ円滑に進めるためには、デブリの組成を廃炉現場で調べることが望ましい。その手法のひとつとして、レーザー誘起ブレークダウン分光法 (LIBS) が注目されている。LIBSとは、レーザーアブレーションで生成するプラズマの原子発光分光により試料の元素を同定する手法である (図1)。近年、光ファイバーを通してレーザー光の照射とプラズマ光の検出を行うファイバー伝送 LIBS 装置が開発された¹⁾。この装置では、安全な領域から遠隔でデブリを分析することができるため、作業者の被ばくを最小限に抑えることができる。我々は最近、従来のナノ秒レーザーよりもパルス幅の長いロングパルスレーザー²⁾ (100 ns) を使用すると (図2)、分子の発光が著しく増大することを発見した (図3)。分子の発光は広い波長域で観測されるため、原子の発光の観測が困難な元素を検出できる可能性がある (放射線量が高いとファイバーで検出できる波長域が可視光の一部と近赤外域に制限される¹⁾)。また、分子の発光は同位体シフトが大きいため³⁾、デブリの臨界管理で重要となる同位体分析が実現し得る。これらのことから、ロングパルスレーザーによる分子発光の増大効果を利用すれば、廃炉現場におけるデブリの分析能力が飛躍的に向上すると考えた。

レーザーアブレーション 発光スペクトル

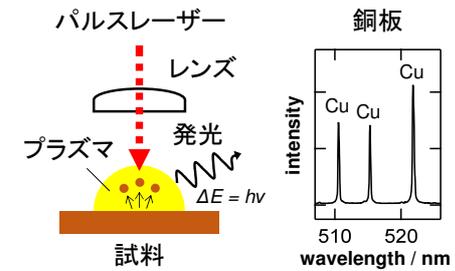


図1 LIBS の概要

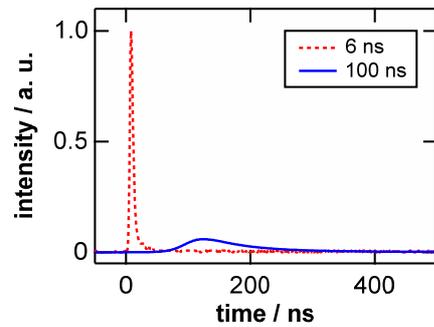


図2 ノーマルパルス (6 ns) とロングパルス (100 ns) の時間波形

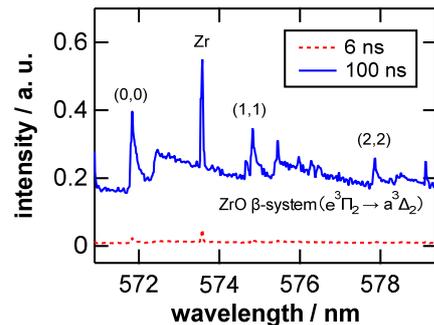


図3 大気中のジルコニウム板から得られた ZrO 分子の発光スペクトル

2. 研究の目的

レーザー誘起プラズマの分子発光分光を確立するためには、プラズマ中の複雑な化学反応により一時的に形成する二原子分子の発光を効率良く検出する必要がある。本研究では、発光スペクトルの時間分解測定やプラズマ発光領域の高速イメージングを行い、アブレーション放出種の酸化過程を解明することを目的とした。また、レーザー光のパルス幅を長くすると、パルスの尖頭値が低くなるため (図2)、ファイバーの損傷が抑制され、より高いエネルギーのレーザー光を伝送することができる。そこで、レーザー光の照射エネルギーに対する発光スペクトルの変化を調べた。

3. 研究の方法

図4に LIBS の実験装置を示す。波長 1064 nm、パルス幅 6 ns のノーマルパルスもしくは 100 ns のロングパルスを石英ファイバーに注入し、集光光学系を用いて大気中の試料に集光照射した (スポット径: 0.35 mm)。試料表面に到達するパルスのエネルギーを 12.5 mJ/pulse に統一した。試料にはジルコニウム (Zr) もしくはアルミニウム (Al) の金属板を用いた。プラズマの発光を電子倍増 CCD (EMCCD) カメラを装着したエシェール分光器に入射し、発光スペクトルを測定した。露光時間を 1 μs とし、レーザー照射からの遅延時間を変化させることで時間分解測定を行った。また、イメージインテンシファイア付き CCD (ICCD) カメラを用いて、プラズマ発光領域の高速イメージングを行った。発光領域は試料表面に対して平行方向から観察した。

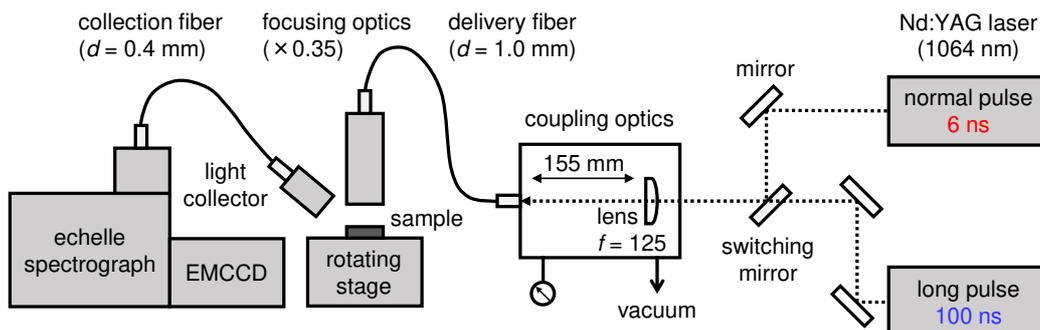


図4 LIBS の実験装置

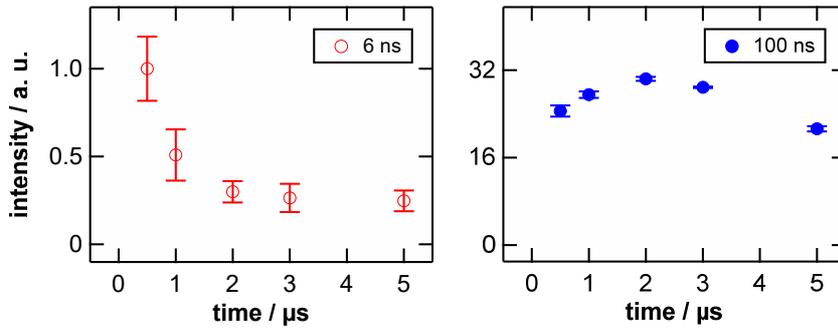


図5 ZrO分子のバンドヘッド強度の時間変化

4. 研究成果

(1) 発光スペクトルの時間変化

図5にZrO分子のバンドヘッド強度の時間変化を示す。ノーマルパルスの場合、時間とともにバンドヘッド強度が減少した。ロングパルスを用いると、遅延時間が2 μs のときに最大値を示すという特徴的な挙動が得られた。この結果は、プラズマの膨張過程において、アブレーション放出種の酸化反応を促進するプロセスが存在することを示唆している。次に、Zr原子の励起温度を求めた(図6)。ロングパルスを用いると、スペクトル測定時のプラズマ温度が高くなることがわかった。プラズマ温度の上昇は発光強度を増大させる因子となる一方で、ZrO分子の形成にとっては不利となる。図7にZrO分子の形成に関与する反応の平衡定数を示す。温度が高いほど平衡定数が小さくなり、ZrO分子の割合が低下することがわかる。次に、プラズマ中の反応種の密度について考えた。ロングパルスを用いると、Zr原子の密度が高くなることがわかった(遅延時間0.5, 1, 2 μs のときに10倍以上)。しかし、O原子の発光線をほとんど観測することができなかった。この結果は、プラズマ中のO原子の密度が極めて低いことを示唆している。ロングパルスの場合、Zr原子とO₂分子の反応が促進されることでZrO分子の発光が増大した可能性がある。

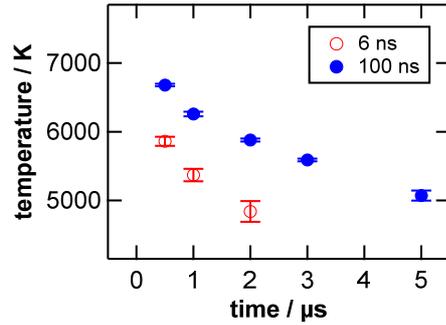


図6 プラズマ温度の時間変化

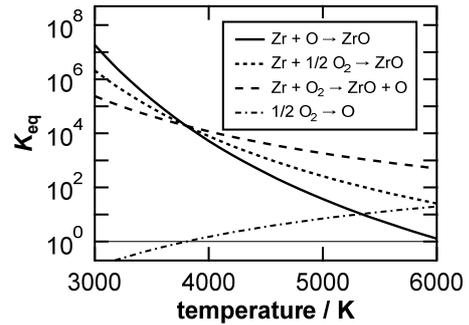


図7 平衡定数と温度の関係

(2) 発光領域の時間変化

図8にZr板上で生成したプラズマの発光領域を示す。ノーマルパルスの場合、試料表面近傍

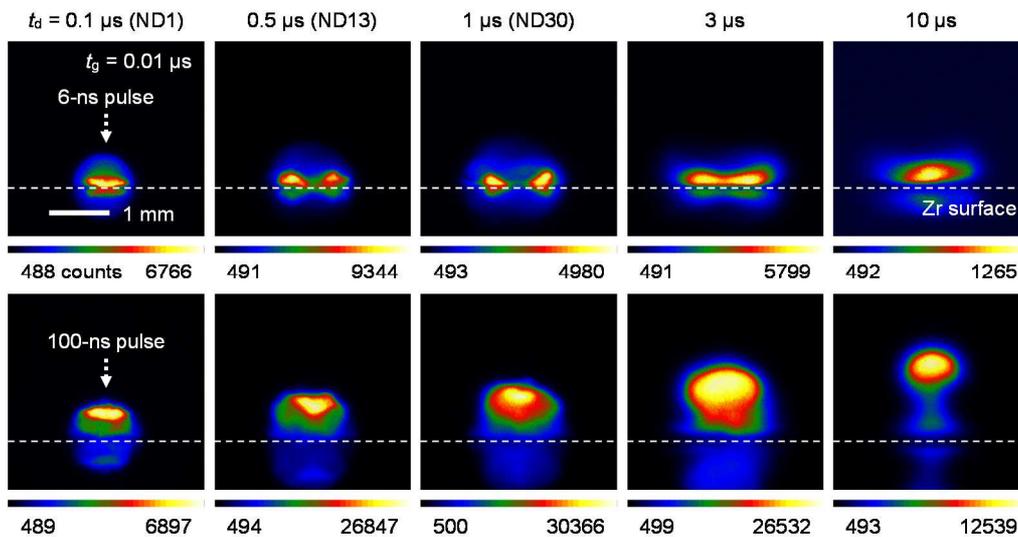


図8 プラズマ発光領域の時間変化 (t_d : 遅延時間、 t_g : ゲート幅)
 $t_d = 0.1, 0.5, 1 \mu\text{s}$ のとき ND1, ND13, ND30 フィルターを使用

でフラットな形状の発光領域が観測された。ロングパルスの場合、試料表面から離れた位置で強い発光が観測された。また、時間とともに発光領域が上昇した。このプラズマの上昇により、周囲の気体が流入する流れが生じ、アブレーション放出種の酸化反応が促進された可能性がある。

プラズマ中の化学反応をより詳細に調べるために、Al 板を試料とし、Al 原子、O 原子、AlO 分子の発光のみを透過するバンドパスフィルターを通してプラズマ発光領域の高速イメージング（波長分解イメージング）を行った（図 9、図 10）。ノーマルパルス照射時は、Al 原子の発光

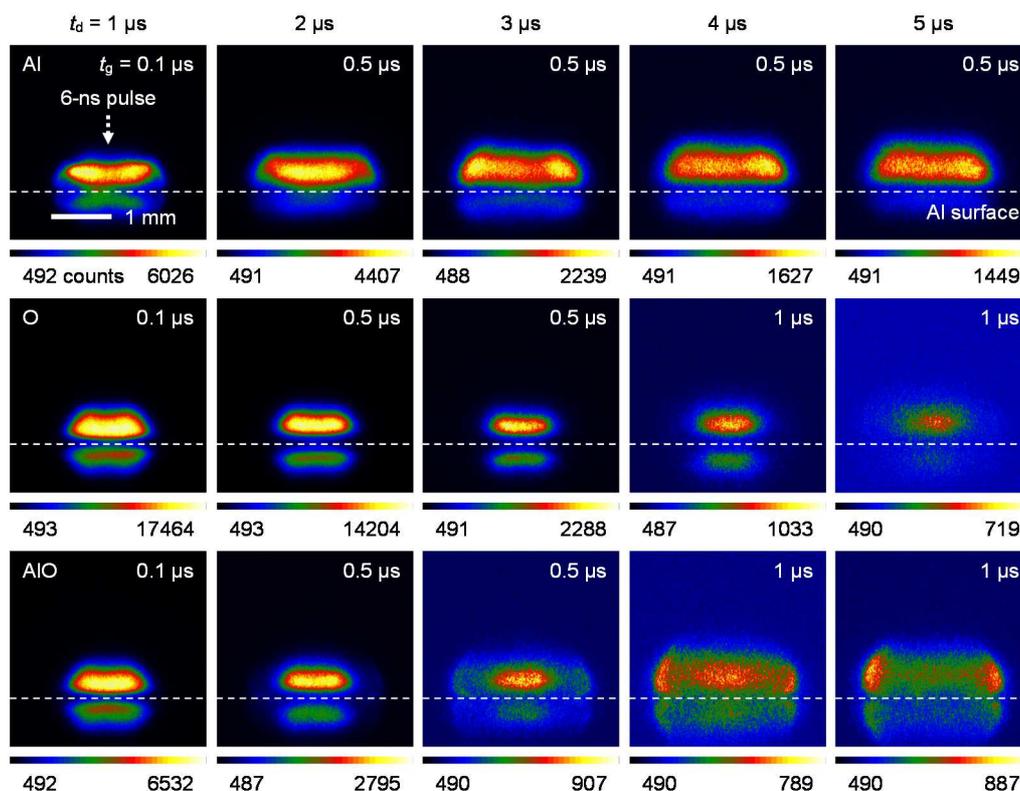


図 9 ノーマルパルス照射時の波長分解イメージング像 (t_d : 遅延時間、 t_g : ゲート幅)

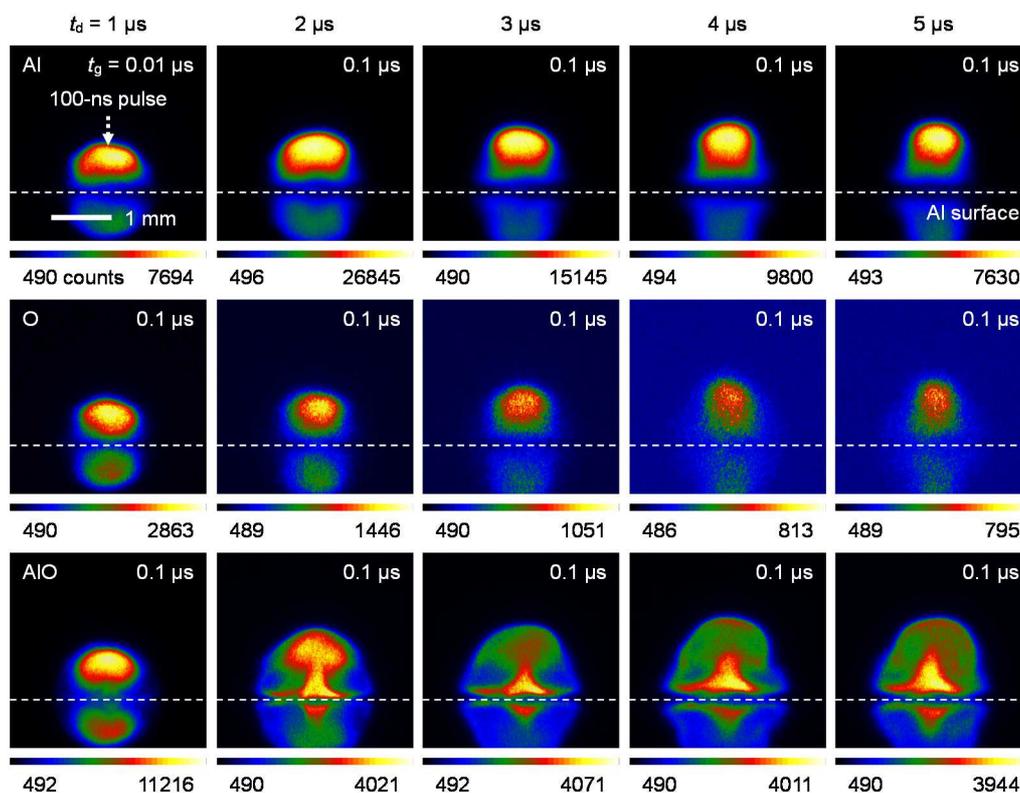


図 10 ロングパルス照射時の波長分解イメージング像 (t_d : 遅延時間、 t_g : ゲート幅)

は水平方向に膨張した。O 原子の発光も水平方向に膨張する傾向にあったが、遅延時間が長くなるとプラズマ中央部に発光が残存した。AIO 分子の発光は遅延時間が短いときにプラズマ中央部で、遅延時間が長いときにプラズマ周縁部で観測された。これらのことから、プラズマ中央部で Al 原子と O 原子が、周縁部で Al 原子と O₂ 分子が反応することで AIO 分子が形成したと考えられる。ロングパルス照射時は、Al 原子と O 原子の発光は試料表面から離れた位置で観測された。遅延時間が 2 μs 以降になると、試料表面近傍で AIO 分子の強い発光が観測された。これらのことから、プラズマの上昇に伴い、その底部に周囲の O₂ 分子が流入することで、Al 原子の酸化反応が促進されたと考えられる。これまでにファイバー伝送 LIBS により生成するプラズマの波長分解イメージングを行った例はなく、アブレーション放出種の酸化過程に関する新たな知見が得られたと考えている。今後、三原子以上の分子の形成も考慮し、定量的な解析を行うことで詳細な化学反応の過程を明らかにする必要がある。

(3) 照射エネルギーに対する発光スペクトルの変化

図 11 に照射エネルギーを変化させて得られた ZrO 分子のバンドヘッド強度を示す。ここでは、遅延時間を 1 μs、露光時間を 50 μs として Zr 板の発光スペクトルを測定した。ノーマルパルスの場合、照射エネルギーを変化させてもバンドヘッド強度はほとんど変化しなかった。ロングパルスの場合、照射エネルギーとともにバンドヘッド強度が増加した。プラズマ発光領域の高速イメージングを行うと、ロングパルスの場合、照射エネルギーが高いほど発光領域が上昇することがわかった。ロングパルスの照射エネルギーを高くすることで、さらなる分子発光の増大が期待できる。

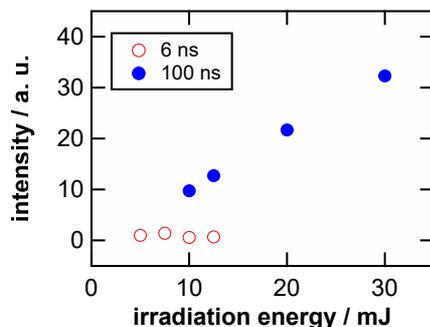


図 11 照射エネルギーに対する ZrO 分子のバンドヘッド強度の変化

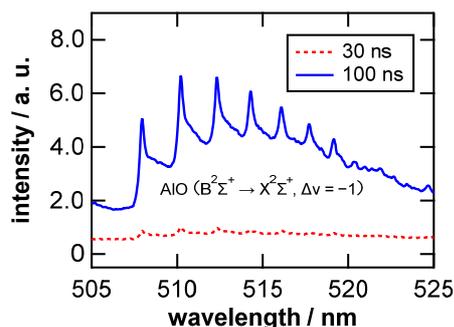


図 12 水中のアルミニウム板から得られた AIO 分子の発光スペクトル

(4) 水中浸漬試料の分析

核燃料デブリを水中に閉じ込めた状態で分析することができれば、放射線の漏えいや放射性物質の飛散を抑制することができる。そこで、水中に浸漬した Al 板の LIBS 分析を行い、AIO 分子の発光スペクトルを測定した(図 12)。ここでは、レーザー光の伝送にファイバーを使用せず、パルス幅 30 ns のノーマルパルスおよび 100 ns のロングパルスを直接レンズで集光照射した。その結果、ロングパルスを用いると、AIO 分子の発光が著しく増大することがわかった。このとき、AIO 分子の信号強度は、大気中でノーマルパルスを照射したときに得られたものと同程度であった。これらの結果は、デブリを水中に閉じ込めた状態でも同位体分析が実現する可能性を示唆している。

(5) 液体の微量分析

福島原発の廃炉現場では、原子炉内部に滞留する汚染水の成分を調べる必要がある。しかし、廃炉現場に適した液体のその場分析技術は確立していない。現在、液体を固体基板上で蒸発させて、蒸発後の残留物にレーザー光を照射する蒸発乾固法⁴⁾が検討されているものの、放射性物質を含む汚染水を扱うため、液量を最小限に抑える必要があり、検出感度に課題がある。そこで、無電解置換析出⁵⁾により金ナノ粒子を析出させたシリコン (Si) 基板を蒸発乾固法に適用した。5 μL の塩化ストロンチウム水溶液を基板上に滴下し、蒸発乾固後にパルス幅 6 ns のノーマルパルスを照射した。その結果、平滑 Si 基板を使用した場合に比べて、ストロンチウム (Sr) の信号強度が増大することがわかった。また、金属援用エッチング⁶⁾により作製したポーラス Si 基板の適用を試みた。金、銀、白金粒子によるエッチングで形成されるポーラス構造の特徴を明らかにするとともに、Sr の信号強度を 40 倍以上増大させることに成功した。本手法は、原子炉内部の現状調査をはじめ、デブリ取り出し時の滞留水成分のモニタリングや放射性廃液の管理、周辺環境の汚染状況の把握など、廃炉工程の広範囲にわたって長期的な活躍が期待できる。

<引用文献>

- 1) M. Saeki, et al.; *J. Nucl. Sci. Technol.* **51**, 930 (2014).
- 2) T. Sakka, et al.; *Appl. Phys. Lett.* **88**, 061120 (2006).
- 3) A. A. Bol'shakov, et al.; *J. Anal. At. Spectrom.* **31**, 119 (2016).
- 4) M. A. Aguirre, et al.; *Spectrochim. Acta B.* **79-80**, 88 (2013).
- 5) S. Yae, et al.; *Electrochim. Acta* **53**, 35 (2007).
- 6) S. Yae, et al.; *Electrochem. Commun.* **5**, 632 (2003).

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 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ayumu Matsumoto, Hikoyoshi Son, Makiho Eguchi, Keishi Iwamoto, Yuki Shimada, Kyohei Furukawa, Shinji Yae	4. 巻 10
2. 論文標題 General corrosion during metal-assisted etching of n-type silicon using different metal catalysts of silver, gold, and platinum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 253 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1039/C9RA08728A	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 松本 歩, 八重真治	4. 巻 57
2. 論文標題 レーザー誘起プラズマを利用したその場元素分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料の科学と工学	6. 最初と最後の頁 14 ~ 17
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 Ayumu Matsumoto, Hironori Ohba, Masaaki Toshimitsu, Katsuaki Akaoka, Alexandre Ruas, Ikuo Wakaïda, Tetsuo Sakka, Shinji Yae	4. 巻 155
2. 論文標題 Enhancement of molecular formation in fiber-optic laser ablation with a long nanosecond pulsed laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part B	6. 最初と最後の頁 56 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sab.2019.03.009	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 Ayumu Matsumoto, Hironori Ohba, Masaaki Toshimitsu, Katsuaki Akaoka, Alexandre Ruas, Tetsuo Sakka, Ikuo Wakaïda	4. 巻 142
2. 論文標題 Fiber-optic laser-induced breakdown spectroscopy of zirconium metal in air: Special features of the plasma produced by a long-pulse laser	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part B	6. 最初と最後の頁 37 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sab.2018.01.012	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32件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Keishi Iwamoto, Yuki Shimada, Hikoyoshi Son, Makiho Eguchi, Shinji Yae
2. 発表標題 Metal-assisted etching of silicon using silver, gold, and platinum particles
3. 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Shimazu, Sakiko Yoshizumi, Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Laser-induced breakdown spectroscopy using anodized substrates
3. 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keishi Iwamoto, Yuki Shimada, Hikoyoshi Son, Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Electrochemical evaluation of metal-assisted etching of silicon
3. 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Shimada, Keishi Iwamoto, Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Porous Structures Produced by Metal-Assisted Etching of Silicon Effects of Doping Type of Substrates
3. 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Sakiko Yoshizumi, Haruka Nakano, Shinji Yae
2. 発表標題 Surface-Enhanced LIBS Using Porous Silicon Substrate
3. 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Porous Si Assisted LIBS for Liquid Analysis Effect of Pore Depth
3. 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Nakano, Yusuke Shimazu, Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Porous Si Assisted LIBS for Liquid Analysis Effect of Pulse Energy on Signal Intensity
3. 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Laser-induced breakdown spectroscopy using surface microstructures
3. 学会等名 International Seminar, Recent Development of LIBS (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島津佑輔, 仲野春香, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 ナノ粒子を利用した液体の高感度レーザー誘起ブレイクダウン分光分析
3. 学会等名 表面技術協会第140回講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 表面微細構造を利用した高感度レーザー分析技術の開発
3. 学会等名 第33回STクラブ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 レーザー誘起ブレイクダウン分光による液体の微量分析 ~ポラスシリコンを用いた検出感度の向上~
3. 学会等名 兵庫県立大学知の交流シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本圭史, 島田祐暉, 古川恭平, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 電気化学測定に基づくシリコンの金属援用エッチング機構の検討
3. 学会等名 第36回ARS富山コンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 ポーラスシリコンを利用したレーザー誘起ブレイクダウン分光分析の高感度化
3. 学会等名 第36回ARS富山コンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Shinji Yae
2. 発表標題 Laser-induced breakdown spectroscopy in extreme environments
3. 学会等名 International Lecture Meeting on Advanced Measurement Technology (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 歩, 島津佑輔, 善積紗紀子, 仲野春香, 八重真治
2. 発表標題 金属援用エッチングによるポーラスシリコンの形成とレーザー誘起ブレイクダウン分光への応用
3. 学会等名 第6回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島津佑輔, 仲野春香, 善積紗紀子, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 ポーラスシリコンを利用した液体の高感度LIBS分析 孔深さに対する信号強度の変化
3. 学会等名 第6回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 善積沙紀子, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 ポーラスシリコンを利用した液体の高感度LIBS分析 レーザーの強度と感度の孔深さ依存性
3. 学会等名 第6回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本圭史, 島田祐暉, 古川恭平, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 電気化学測定によるシリコンの金属援用エッチング機構の検討 浸漬電位と多孔質構造の関係
3. 学会等名 2019年度第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八重真治, 松本 歩
2. 発表標題 金属援用エッチングにより形成される多孔質シリコンの構造とその応用
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 ポーラスシリコンを基板とするレーザー誘起ブレイクダウン分光による液体の微量分析 孔深さとレーザー強度の検討による検出感度の向上
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川恭平, 岩本圭史, 島田祐暉, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 シリコンの金属援用エッチングにより形成される多孔質構造の決定因子
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 レーザー光を利用した極限環境におけるその場元素分析
3. 学会等名 第19回播磨産業懇話会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 レーザープラズマの生成機構とその場元素分析への応用
3. 学会等名 次世代分散型エネルギー研究センター講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 ファイバー伝送ロングパルスLIBSの基礎特性と分子発光の増大効果
3. 学会等名 高温反応場における計測・モデリングに関するワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto
2. 発表標題 Fundamental aspects of fiber-optic long-pulse laser-induced breakdown spectroscopy in air
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島津佑輔, 善積沙紀子, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 貴金属ナノ粒子とレーザー誘起ブレイクダウン分光を組み合わせた液体の高感度微量分析
3. 学会等名 第20回関西表面技術フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 レーザー誘起プラズマにおける分子発光の増大と表面微細構造を利用した液体の微量分析
3. 学会等名 日本化学会第99回春季年会(2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Hironori Ohba, Katsuaki Akaoka, Ikuo Wakaida
2. 発表標題 Expansion dynamics of laser-produced plasma in long-pulse fiber-optic LIBS of metal target in air
3. 学会等名 2nd Asian Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy (ASLIBS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本 歩, 大場弘則, 赤岡克昭, 若井田育夫
2. 発表標題 過酷事故炉を対象とした迅速遠隔分析技術開発-4 (2)ロングパルスレーザー適用ファイバー伝送LIBS特性(4)
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本 歩, 八重 真治
2. 発表標題 レーザー光を利用したその場元素分析法の開発と高感度分析への挑戦
3. 学会等名 21世紀播磨科学技術フォーラム第54回セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 原子炉内部調査におけるロングパルスLIBSの応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 レーザー誘起プラズマの特性と現場化学分析への応用
3. 学会等名 徳島大学研究クラスター「工業応用展開を可能とする最先端レーザー応用計測技術/装置の開発」講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 測定用基材及びその製造方法，並びに発光分光分析装置及び発光分光分析方法	発明者 松本 歩，八重真治	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-099115	出願年 2019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
---------------------------	-----------------------	----