

令和 4 年 9 月 13 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02722

研究課題名（和文）ギャップモード誘起新規光捕捉現象と光触媒反応の機構解明と制御

研究課題名（英文）Gap mode induced optical trapping and photocatalytic reactions

研究代表者

二又 政之（Futamata, Masayuki）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20344161

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：表面プラズモンが関与する4つの新規光現象を見出し、詳細な知見が得られた：(1)局所電場を利用した高感度ラマンによるDNA塩基や芳香族チオールなどの化学種の吸着状態、(2)プラズモンの緩和で生じるホットキャリアが介在するp-アルキルチオフェノール、p-ハロゲン化チオフェノールの光反応、(3)ギャップモード電場による高効率光捕捉と光排除現象、(4)水溶液中での金属ナノ構造のエッチング現象。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでにない新しい表面プラズモン誘起光現象の発見とそのメカニズムの解明は、基礎科学として重要であるだけでなく、ナノ構造の制御を通して、高効率新規光触媒の実用化にもつながる。

研究成果の概要（英文）：We found and elucidated new phenomena induced by surface plasmon such as adsorbed states of DNA bases and aromatic thiols, photoreactions of p-alkylthiophenols and p-halogenothiophenols, optical trapping and exclusive pressure using gap mode resonances, and opticaletching of metal nanostructures in aqueous solutions.

研究分野：表面科学

キーワード：表面プラズモン 光酸化 光エッチング 光捕捉と光排除 吸着状態分析

## 1. 研究開始当初の背景

### 1-1. 国内・国外の研究動向及び本研究の位置づけ

①光捕捉: 従来法では、強いパルスレーザーを鋭く集光し(パワー密度 $1\text{W}/\mu\text{m}^2$ )、その大きな電場勾配を用いて、溶液中で高分子や誘電体粒子が捕捉される(Ashkin, PNAS1997)。最近、金ナノ粒子(AuNP)の局在表面プラズモン(LSP)の増強電場を利用して、CW レーザで生体分子の捕捉(Tsuboi, JPCL2014)や金ロッドの回転(Käll, ACS Nano2015)、AuNP の短距離・長距離配列形成(Maraga, NatureNanotech2015)等が実現された。これまでの光捕捉では、レーザーを切ると光電場勾配が消失し、捕捉粒子がブラウン運動で散逸するため、定常的構造形成ができず、用途が限定されていた。本研究は、非可逆光捕捉法でこれを解決する。

②光触媒:  $\text{TiO}_2$  等への紫外光照射による光触媒反応(Fujishima, Nature1972)に加えて、 $\text{TiO}_2$  に担持したAuNP のLSP が可視光で励起され、 $\text{TiO}_2$  に注入された高エネルギー電子(hot e-)が助触媒として働き、水分解により水素発生する(Tatsuma, JACS2005)。他方、触媒ではない酸化物 $\text{SiO}_2$  上のAuNPでも、光照射下で $\text{H}_2$ 分子の結合を解裂すること(Halas, JACS 2014)や、Ag ナノキューブが光触媒としてエチレンの酸化を促進することが報告された(Linic, Nature Chem. 2014)。後者2例は、金属ナノ粒子(MNP)で励起されたプラズモンや高エネルギーの電子-ホール対が、吸着分子の光反応の触媒として働くことを示すが、吸着電子状態を含め、詳細な反応機構は不明である。そのため適用系が限定されていた。すなわち、これまでに表面プラズモン誘起光現象(光圧効果、光触媒、光エッチング)は、基礎科学として重要であるだけでなく、ナノ構造の制御を通して、高効率新規光触媒の実用化にもつながるにも拘らず、まだ未開拓の分野であり、十分な実験結果が提出されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が発見した特異なプラズモン誘起光酸化反応の機構を解明することで、幅広い系への拡張と実用化を行うことを目的とする。加えて、研究遂行の過程で見出した表面プラズモン誘起新規光現象(金属ナノ粒子の金属及び半導体基板への光捕捉現象とともに、溶液組成に依存して観察される金属ナノ粒子の光照射領域から周辺への光排除現象、及び光誘起金属ナノ形状変化)の詳細を明らかにすることである。合わせて、これらの新規光現象が、金属ナノ粒子や金属薄膜を用いた、吸着種の表面増強ラマン散乱(SERS)スペクトルの測定に、どのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1)光捕捉・光排除: ①励起光、②基板とナノ粒子の材質・形状の効果、③溶液組成、④光捕捉力・光排除力測定、⑤光捕捉力・光排除力・表面力等の理論計算を行い、光捕捉・光排除機構を解明する。条件の最適化により、短時間(数秒)・高効率金属ナノ構造形成法を確立し、2D-3D 配列形成と、分光・光触媒への応用について検討を進める。①光捕捉と光排除が与えるSERS測定への影響をDNA塩基(アデニン、グアニン、シトシン)を用いて調べる。

(2)光触媒: PAITP 系分子の光酸化に対する①分子種(チオフェノールのp位の置換基として、これまでのアルキル基、アルコール基、アルデヒド基、カルボキシ基に加えて、水酸基やハロゲン基を含め、どのような置換基が光触媒反応を示すかを調べる)、②励起光、基板・粒子の材質・形状、③酸素濃度(室素雰囲気、湿度)等の影響をラマン分光で、④金属ナノ粒子と吸着種の表面電子状態をUPS・逆光電子分光で実験的に測定するとともに、TDDFT法により、理論計算し、プラズモンエネルギーの緩和で生成されるホットキャリア(高エネルギーの電子とホール)の電子及びエネルギーの吸着種であるPAITP 分子や酸素への移動機構について検討する。それに基づき、幅広い反応系への光触媒としての展開を試みる。

(3)光誘起形状変化: 金属蒸着膜及び金属ナノ粒子を固定した基板への微弱レーザー光(パワー密度  $1-10 \mu\text{W}/\mu\text{m}^2$ )を照射したとき、溶液組成によっては溶解析出のような大きなナノ形状変化が起きることを、研究の過程で見出した。この新しい現象の発現メカニズムを明らかにするために、ナノ構造を持つ金属の種類(金、銀、銅など)や、溶液の組成(ハロゲン化物、pH、還元剤等の添加効

果)、及びレーザー光波長・レーザーパワーに、どのように依存するかを、光弾性散乱イメージ観察及びエネルギー分散型 X 走査型線分析(EDX)を有する電子顕微鏡観察により調べる。

#### 4. 研究成果

- (1)金属ナノ粒子の表面プラズモンを光励起することで、3つの新規光現象(光捕捉、光触媒反応、光エッチング現象)を見出した。
- (2)これらが、熱反応ではなく、表面プラズモン励起後の緩和過程で生成するホットキャリアによることが、光触媒反応中の試料温度の Stokes/anti-Stokes 光強度比の測定により、明らかにした。
- (3)光捕捉と光排除の光圧現象は、プラズモン励起で生じる双極子-鏡像双極子間相互作用と、DLVO 理論に基づく金属ナノ粒子と基板表面間の静電的相互作用(試料系や溶液 pH 等に依存して、例えば基板の等電点より低い pH(酸性条件)では、静電引力が支配的であるが、塩基性側では斥力が働くなどのように変化する)と van der Waals 相互作用の総和によって、説明できることを理論計算及び弾性散乱、SEM 観察および SERS(表面増強ラマン散乱)の実測により明らかにした。特に、DNA 塩基系で、pH に依存して、酸性側で照射領域に金ナノ粒子(AuNP)が捕捉される(光引力)のに対して、塩基性側で照射領域から AuNP が非照射領域に押し出される(光斥力)ことが判明した。SERS 測定においては、光捕捉現象では、MNP 表面の吸着種であるアデニンやグアニン、チオールなどのラマンスペクトル強度が増大し、逆に光排除現象の時は、予想通り減少した。
- (4)光触媒反応として、p-アルキルチオフェノールの p-メルカプト安息香酸(p-MBA)への酸化、p-MBA の脱炭酸反応、p-ハロゲン化チオフェノールのチオフェノールへの置換反応を見出した。これらはいずれも、p(パラ)-位に特異的な反応であり、o(オルト)-位や m(メタ)-位のアルキル基はほぼ反応しないことが判明した。この反応の特異性が現れる理由は、ホットキャリアの MNP への移動しやすさに係わるものと思われるが、詳細は今後の課題である。表面電子状態の UPS, IPS による測定で、AgNP で特異的な表面電子状態の形成が示唆された。
- (5)光誘起ナノ形状変化(エッチング現象)として、銀ナノ粒子(AgNP)/吸着種/Ag 基板系及び Ag 蒸着膜を水溶液に浸漬した系への微弱レーザー照射により、照射領域の銀ナノ構造が溶解し、周辺の非照射領域で再析出する現象が見出された。また、塩基性水溶液中で、通常の水溶液条件下で形成される熱力学的に安定な  $\text{Ag}_2\text{O}$  (Ag の酸化数は+1)ではなく酸化銀  $\text{AgO}$  (同じく+2)が形成されることを見出した。これは、表面プラズモンの緩和で生じるホットキャリアの余剰エネルギーにより、酸素雰囲気中で  $\text{AgO}$  が生成できるようになったためと考えられる。光形状変化を抑制し、安定な SERS スペクトルを得るために、還元剤であるアスコルビン酸ナトリウムやクエン酸ナトリウムを城湯溶液中に添加し、その効果を調べた結果、アスコルビン酸は形状変化を抑制しつつ、光酸化反応を引き起こすことが判明した。クエン酸は効果が無かった。これらの結果は、適切な還元剤の添加で、形状変化を抑制し、定常的な SERS スペクトル測定が可能になることを示す。これらの光エッチング現象は、Ag ナノ構造の光酸化によるホットホールと電子の形成の後、それらが溶液内及び Ag 薄膜中を拡散した後、周辺部で再結合するためであることを明らかにした。
- (6) DNA 塩基であるアデニン、グアニン、シトシンについて、pH に依存する3つの吸着状態を、立体障害を持つ置換基を有する関連分子や重水素置換体、DFT 法による理論ラマンスペクトルと実測値の比較等により、初めて見出した。これらは、pH に依存して、プロトン付加/解離するとともに、AuNP 表面に対して垂直配向でありながら、配向性を反転するものである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>M. Futamata, K. Tabei, K. Akai, T. Yoshimoto, H. Tominaga   | 4. 巻<br>727          |
| 2. 論文標題<br>Gap mode induced photo-oxidation of p-methyl thiophenol and relating phenomena                       | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Molecular Crystals and Liquid Crystals  | 6. 最初と最後の頁<br>77-95  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1080/15421406.2021.1946968  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |
| 1. 著者名<br>T. Yoshimoto, M. Seki, H. Okabe b, N. Matsuda, De-yin Wu, M. Futamata                                 | 4. 巻<br>786          |
| 2. 論文標題<br>Three distinct adsorbed states of adenine on gold nanoparticles depending on pH in aqueous solutions | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>139202 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.cplett.2021.139202   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |
| 1. 著者名<br>二又政之、田部井香苗、赤井啓太郎  | 4. 巻<br>50           |
| 2. 論文標題<br>プラスモン誘起p-メチルチオフェノール系分子の光酸化反応と関連する新規光現象   | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>光学  | 6. 最初と最後の頁<br>1-7    |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |
| 1. 著者名<br>Masayuki Futamata*, Kanae Tabei, Keitaro Akai, Takahiro Yoshimoto, Hiroki Tominaga                    | 4. 巻<br>714          |
| 2. 論文標題<br>Gap mode induced photo-oxidation of p-methyl thiophenol and relating phenomena                       | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Mol. Cryst. Liq. Cryst.   | 6. 最初と最後の頁<br>1-20   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |

|  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 著者名<br>Masayuki Futamata , Kanae Tabei, Keitaro Akai  | 4. 巻<br>11468      |
| 2. 論文標題<br>Dynamics of gap mode induced photocatalytic oxidations of p-alkyl thiophenol and relating molecules | 5. 発行年<br>2020年    |
| 3. 雑誌名<br>Proc. SPIE   | 6. 最初と最後の頁<br>1-15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する       |

|  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 著者名<br>Masayuki Futamata , Kanae Tabei and Keitaro Akai   | 4. 巻<br>11194      |
| 2. 論文標題<br>Gap mode induced photocatalytic reactions of p-methyl thiophenol and relating molecules | 5. 発行年<br>2019年    |
| 3. 雑誌名<br>Proc SPIE  | 6. 最初と最後の頁<br>1-16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する       |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Kanae Tabei, Keitaro Akai, and Masayuki Futamata  | 4. 巻<br>730           |
| 2. 論文標題<br>Specific phototcatalytic reaction of p-alkyl thiophenol and related molecules under a gap mode resonance | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Chem. Phys. Lett.   | 6. 最初と最後の頁<br>568-574 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cpllett.2019.06.052   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Ryunosuke Kuwana, Saori Handa and Masayuki Futamata                                      | 4. 巻<br>693         |
| 2. 論文標題<br>Elucidation of hydrated metal ions using flocculation-surface enhanced Raman scattering | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Physics Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>79-83 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

〔学会発表〕 計46件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 18件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>中島陸, 飯岡美優, 金森良介, 二又 政之           |
| 2. 発表標題<br>表面プラズモンが誘起する光反応, 光圧効果 及び金属ナノ構造変化 |
| 3. 学会等名<br>2022年プラズモニクス討論会                  |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年                     |

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉本 貴洸 ・ 関 雅子 ・ 二又 政之 |
| 2. 発表標題<br>アデニンの金ナノ粒子表面の吸着状態分析  |
| 3. 学会等名<br>2021年分析化学討論会         |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又 政之, 能重 晴妃                    |
| 2. 発表標題<br>表面プラズモンが誘起する銀ナノ構造のエッチングと吸着種の光酸化 |
| 3. 学会等名<br>2021年分析化学討論会                    |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, H. Noju, K. Tabei, K. Akai   |
| 2. 発表標題<br>Plasmon-induced oxidation of p-methyl thiophenol and optical etching of silver nanostructures |
| 3. 学会等名<br>ISSS-9 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masayuki Futamata, Kanae Tabei, Keitaro Akai   |
| 2. 発表標題<br>Gap mode-induced photocatalytic reaction of various substituted thiophenol molecules on silver |
| 3. 学会等名<br>PACIFICHEM2022 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takahiro Yoshimoto, Masako Seki, Masayuki Futamata   |
| 2. 発表標題<br>Distinct adsorbed states of adenine on gold nanoparticles at various pH solutions using flocculation-surface enhanced Raman scattering |
| 3. 学会等名<br>PACIFICHEM2022 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年 ~ 2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, K. Tabei, K. Akai  |
| 2. 発表標題<br>Gap mode induced photocatalytic reactions of p-alkyl thiophenol and related molecules |
| 3. 学会等名<br>iSPN 2019 (International Symposium on Plasmonics and Nano-photonics) (招待講演) (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2019年 ~ 2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, K. Tabei, K. Akai  |
| 2. 発表標題<br>Gap mode induced photocatalytic reactions of p-methyl thiophenol and relating molecules |
| 3. 学会等名<br>SPIE Asia, 2019-111940A (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年 ~ 2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, K. Tabei, K. Akai  |
| 2. 発表標題<br>Gap mode induced photocatalytic reactions of p-methyl thiophenol and relating molecules |
| 3. 学会等名<br>International Seminar on SERS (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, K. Tabei, K. Akai  |
| 2. 発表標題<br>Specific photocatalytic reaction of p-methyl thiophenol and related molecules induced by a gap mode plasmon |
| 3. 学会等名<br>Okinawa Colloid (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Tabei, M. Futamata, K. Akai  |
| 2. 発表標題<br>Gap mode induced photocatalytic reaction of p-methyl thiophenol and related molecules |
| 3. 学会等名<br>Okinawa Colloid (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又政之                              |
| 2. 発表標題<br>ギャップモードが誘起する表面増強ラマン散乱, 光捕捉及び光触媒反応 |
| 3. 学会等名<br>ノオプティクス研究会 (招待講演)                 |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二又政之, 田部井香苗, 赤井啓太郎                 |
| 2. 発表標題<br>銀ナノ粒子系ギャップモード条件でのp-チオフェノール置換体の酸化反応 |
| 3. 学会等名<br>第16回プラズモニクス研究会                     |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田部井香苗, 二又政之                            |
| 2. 発表標題<br>銀ナノ粒子系ギャップモードプラズモンによるアルキルチオフェノールの光酸化反応 |
| 3. 学会等名<br>第38回光がかかわる触媒シンポジウム                     |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>松井瑞希, 二又政之                    |
| 2. 発表標題<br>金表面のp-メルカプト安息香酸の表面増強赤外吸収スペクトル |
| 3. 学会等名<br>第101回日本化学会春季年会                |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>須藤茜, 二又政之                             |
| 2. 発表標題<br>銀薄膜表面に吸着したp-メルカプト安息香酸のSERSスペクトルのpH依存性 |
| 3. 学会等名<br>第101回日本化学会春季年会                        |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                            |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉本貴洸, 関雅子, 二又政之           |
| 2. 発表標題<br>pHに依存したアデニンの金ナノ粒子表面への吸着状態 |
| 3. 学会等名<br>第101回日本化学会春季年会            |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二又政之, 田部井香苗, 赤井啓太郎                   |
| 2. 発表標題<br>金属表面のチオール系単分子膜が示すギャップモードプラズモン誘起光酸化反応 |
| 3. 学会等名<br>2019年表面真空学会学術講演会                     |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二又政之, 吉本貴洸, 関雅子                          |
| 2. 発表標題<br>金ナノ粒子のflocculation-SERS法を用いたDNA塩基の吸着状態解析 |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第68年会                             |
| 4. 発表年<br>2019年～2020年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Seki, H. Okabe, N. Matsuda, M. Futamata*   |
| 2. 発表標題<br>Elucidation of DNA and RNA base molecules adsorbed on gold nanoparticles using a flocculation-SERS method |
| 3. 学会等名<br>ICORS2018 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata*, R. Kuwana, N. Akiba, K. Tabei, and K. Akai   |
| 2. 発表標題<br>Critical importance of nanogap in SERS, irreversible laser trapping of silver nanoparticles and photocatalytic reactions |
| 3. 学会等名<br>ICORS2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Seki, H. Okabe, N. Matsuda, M. Futamata*  |
| 2. 発表標題<br>"Elucidation of DNA and RNA base molecules adsorbed on gold nanoparticles using a flocculation-SERS method |
| 3. 学会等名<br>ISOME2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>関雅子, 岡部浩隆, 松田直樹, 二又政之*                  |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法によるDNA及びRNA塩基の吸着状態の分析 |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第67回年会                           |
| 4. 発表年<br>2018年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二又政之、桑名竜太郎                         |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法による水和金属イオンの高感度分析 |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第67回年会                      |
| 4. 発表年<br>2018年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又政之*, 桑名竜太郎, 半田沙織                |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法による水和金属イオンの状態分析 |
| 3. 学会等名<br>第69回コロイド及び界面化学討論会                 |
| 4. 発表年<br>2018年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋葉ナツミ, 飯田千晶, 二又政之*          |
| 2. 発表標題<br>ギャップモードが誘起する銀ナノ粒子の非可逆的光捕捉現象 |
| 3. 学会等名<br>第69回コロイド及び界面化学討論会           |
| 4. 発表年<br>2018年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田部井香苗, 赤井啓太郎, 二又政之*         |
| 2. 発表標題<br>ギャップモードが誘起するp-アルキルチオール光触媒反応 |
| 3. 学会等名<br>第69回コロイド及び界面化学討論会           |
| 4. 発表年<br>2018年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>関雅子, 岡部浩隆, 松田直樹, 二又政之*                  |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法によるDNA及びRNA塩基の吸着状態の分析 |
| 3. 学会等名<br>2018日本表面真空学会学術講演会                       |
| 4. 発表年<br>2018年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryunosuke Kuwana, Saori Handa and Masayuki Futamata*  |
| 2. 発表標題<br>Elucidation of water molecules associating to metal ions using flocculation-surface enhanced Raman scattering |
| 3. 学会等名<br>WMS 2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又政之                                |
| 2. 発表標題<br>海水成分及び微量不純物の効率的捕捉・除去(回収)及び超高感度状態分析- |
| 3. 学会等名<br>ソルトサイエンス研究財団研究発表会                   |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata*, N. Akiba, K. Akai, C. Iida, M. Ishikura   |
| 2. 発表標題<br>Gap mode Raman spectroscopy elucidating irreversible laser trapping of silver nanoparticles and a new photocatalytic reaction |
| 3. 学会等名<br>ISSS-8 (6pA1), Tsukuba (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>F. Watanabe, M. Nakazato, M. Futamata*   |
| 2. 発表標題<br>Cation and water molecules adsorbed on gold film electrode investigated by attenuated total reflection surface enhanced infrared absorption spectroscopy |
| 3. 学会等名<br>ISSS-8 (6PN86), Tsukuba (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Seki, M. Futamata*  |
| 2. 発表標題<br>Elucidation of adsorbed states of DNA and RNA bases on gold nanoparticles using flocculation-surface enhanced Raman scattering |
| 3. 学会等名<br>ISSS-8 (3PN24) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata*, R. Kuwana, Natsumi Akiba, Keitaro Akai  |
| 2. 発表標題<br>Critical importance of nanogap in SERS, irreversible laser trapping of silver nanoparticles and a new photocatalytic reaction |
| 3. 学会等名<br>SERS-2017, Xiamen (China) (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>関雅子*, 二又政之                                      |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法によるDNA, RNA塩基の金ナノ粒子表面への吸着状態解析 |
| 3. 学会等名<br>第68回コロナイド及び界面化学討論会口頭発表 (神戸大学)                   |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>桑名竜之介*・半田紗織・二又政之                          |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS法による水溶液中の金属イオン及び水分子の状態分析 |
| 3. 学会等名<br>第68回コロナイド及び界面化学討論会口頭発表 (神戸大学)             |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又政之*, 秋葉ナツミ, 飯田千晶            |
| 2. 発表標題<br>ギャップモードにおける金属ナノ粒子の光応答性        |
| 3. 学会等名<br>第68回コロナイド及び界面化学討論会口頭発表 (神戸大学) |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>二又政之*, 桑名竜太郎, 秋葉ナツミ, 田部井香苗, 赤井啓太郎 |
| 2. 発表標題<br>表面増強ラマン, 光捕捉及び光触媒反応におけるナノギャップの重要性 |
| 3. 学会等名<br>第15回プラズモニクスシンポジウム口頭発表 (大分).       |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>関 雅子*1・岡部 浩隆2・松田 直樹2・二又 政之1           |
| 2. 発表標題<br>Flocculation法による金ナノ粒子へのDNA塩基の吸着状態の解析  |
| 3. 学会等名<br>日本化学会第98春季年会(口頭発表, 4E4-11) (日大理工、船橋). |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田部井香苗*, 赤井啓太郎, 二又政之                    |
| 2. 発表標題<br>ギャップモードが誘起するp-アルキルチオール光酸化反応            |
| 3. 学会等名<br>日本化学会第98春季年会(口頭発表, 1PB-057) (日大理工、船橋). |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋葉ナツミ、飯田千晶、二又政之                       |
| 2. 発表標題<br>ギャップモード誘起光捕捉現象                        |
| 3. 学会等名<br>日本化学会第98春季年会(口頭発表, 1E4-50) (日大理工、船橋). |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋葉ナツミ、飯田千晶、二又政之                         |
| 2. 発表標題<br>金属ナノ粒子の光捕捉を利用した高感度ラマン分光                 |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第66年会(ポスター発表, P3028) (東京理科大、葛飾). |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>中永早紀, 吉川英、二又政之,                       |
| 2. 発表標題<br>非金属ナノ粒子増強ラマン散乱                        |
| 3. 学会等名<br>日本分析化学会第66年会(口頭発表, B4010) (東京理科大、葛飾). |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>二又政之、桑名竜太郎                       |
| 2. 発表標題<br>Flocculation-SERS 法による水和金属イオンの検出 |
| 3. 学会等名<br>第40回溶液化学シンポジウム(口頭発表0-12)(姫路).    |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, N. Akiba, K. Akai, C. Iida, M. Ishikura  |
| 2. 発表標題<br>Gap mode Raman spectroscopy elucidating irreversible laser trapping of silver nanoparticles and a new photocatalytic reaction |
| 3. 学会等名<br>ICAVS-9 (Poster, 1-N-28) (Victoria, Canada) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Futamata, F. Watanabe   |
| 2. 発表標題<br>Cation and water molecules adsorbed on gold film electrode investigated by attenuated total reflection surface enhanced infrared absorption spectroscopy |
| 3. 学会等名<br>ICAVS-9 (Oral, 19.5) (Victoria, Canada) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年～2018年   |

〔図書〕 計1件

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>二又 政之(分担執筆)      | 4. 発行年<br>2019年 |
| 2. 出版社<br>シーエムシー出版         | 5. 総ページ数<br>227 |
| 3. 書名<br>ナノ・マイクロ微粒子の分散評価技術 |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)              | 備考 |
|-----------|--|------------------------------------|----|
| 研究<br>分担者 | 石川 満<br><br>(Ishikawa Mitsuru)<br><br>(70356434) | 城西大学・理学部・教授<br><br><br><br>(32403) |    |

6. 研究組織（つづき）

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                   | 備考 |
|-------------------|---|---|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 村上 純一<br><br>(Murakami Junichi)<br><br>(00157752) | 埼玉大学・理工学研究科・客員教授<br><br><br><br>(12401) |    |

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