

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02976

研究課題名(和文) 近赤外SPRを利用した電気化学-光ファイバーセンサーの開発と環境分析への応用

研究課題名(英文) Development of a Voltammetric-Localized Surface Plasmon Resonance Fiber Optic Sensor

研究代表者

倉光 英樹 (Kuramitz, Hideki)

富山大学・学術研究部理学系・教授

研究者番号：70397165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：電気化学-局在表面プラズモン共鳴(EC-LSPR)法は電気化学測定とLSPR測定を組み合わせることで、二元の検出特性を同時に発現させ、高い選択性を実現する分析法である。本研究では、システムの簡略化とリモートセンシングへの応用が期待できる光ファイバーをセンサーの母体とし、金ナノ粒子による局在表面プラズモン共鳴(LSPR)を利用した新規電気化学-光ファイバーセンサーの開発を試みた。センサー応答は、分析対象物質の電気化学反応に起因したLSPR波長のシフトから得られる。さらに、屈折率変化に対してより鋭敏なLSPR光学特性を示す金ナノロッド粒子を用いて、本センサーの高感度化についても成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い選択性を有するセンサーデバイスの開発は、簡便な環境分析法の提案やシンプルな環境分析システムの構築を実現するために極めて重要である。本研究では、電気化学-LSPR(局在表面プラズモン共鳴)法という2元の選択性を同時に発現する分析法を世界で初めての光ファイバーセンサーに展開することに成功した。このセンサーは分析対象物質の電気化学的な酸化還元反応に伴って可逆的に変化する金ナノ粒子のLSPRシグナルの変調を利用するものである。

研究成果の概要(英文)：A voltammetric-localized surface plasmon resonance (V-LSPR) fiber optic sensor was developed. This sensor is constituted by indium tin oxide (ITO)-coated multimode fiber optic and gold nanoparticles. We demonstrated two types of sensing method which are based on a shift of LSPR peak wavelength accompanying the electrochemical oxidation & reduction of an analyte, and potential-scanning for detection of refractive index changing. For the first technique, Ru(NH₃)₆²⁺/₃⁺, methylene blue and Fe(CN)₆³⁻/₄⁻ were used as model analytes. The optical responses caused by the electrochemical reaction of the analytes showed linear relationship between LSPR peak shift and these concentrations. The second sensing was based on the detection of the LSPR peak potential during the potential-scanning, which shifts with refractive index changing in the solution. The developed sensor was successfully applied to the bio-detection of neutravidin by using a avidin-biotin interaction on the sensor surface.

研究分野：環境化学、分析化学

キーワード：分光電気化学 光ファイバーセンサー 局在表面プラズモン共鳴 金ナノ粒子 金ナノロッド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

分光電気化学法は二種類の分析法を組み合わせることで、二元の検出特性を同時に発現させ、高い選択性を得る分析法である。ゆえに分光電気化学法の利用は、共存成分による妨害を受けにくい、実用性の高い環境センサーを開発する上で有効な戦略であると考えられるが、一般的な分光電気化学測定には薄層セルが用いられており、その光吸収応答は極端に短い光路長から得られ、このことに起因する感度不足が分光電気化学法のセンサーへの応用を妨げている主要な要因となっている。申請者らは、全反射減衰分光法を利用することで分光電気化学法の高感度化に成功し、免疫センサーへの応用などを実現した (*Anal. Chem.*, 2008, 80, 9642)。さらには、これらの研究を基盤として、光ファイバーに金網を被覆した電気化学 - 光ファイバーセンサーを開発し、米国ハンフォード核施設における放射性物質廃棄タンクの水质をモデルとした試料水中のフェロシアン化物イオンの定量にも成功した (基盤研究 (C) H24 ~ H26; *Anal. Chem.*, 2015, 87, 2375)。しかしながら、光吸収の弱い物質の高感度検出に課題を残していた。

2. 研究の目的

電気化学 - SPR 法は、分光電気化学法と同じ戦略で、高い選択性を実現する分析法である。電気化学的な酸化還元反応を表面プラズモン共鳴波長のシフトとして高感度かつリアルタイム、ノンラベルに計測することが可能であり、これまでに優れた電気化学 - SPR センサーの開発に関する研究がいくつか報告されている。本研究で、申請者らは、バレルスパッタリング法で透明導電性材料である酸化インジウムスズ (Indium Tin Oxide: ITO) を被覆した光ファイバーに金ナノ粒子を修飾し、この金ナノ粒子に由来する LSPR シグナルの変化から間接的に分析対象物質を検出するセンサーを考案した (*Anal. Chem.*, 2018, 90, 2440 など)。すなわち、電気化学 - LSPR 法の光ファイバーセンサーへの展開 (図 1) を試みた。

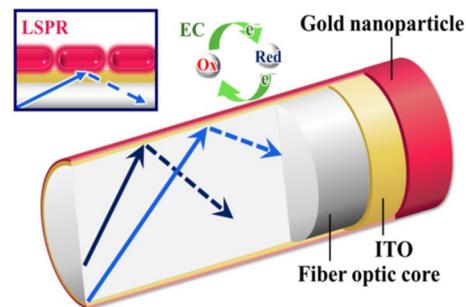


図 1. 電気化学 LSPR - 光ファイバーセンサーの概略

3. 研究の方法

多角バレルスパッタリング法によって、コアを露出させた光ファイバー表面に酸化インジウムスズ (ITO) を均一に蒸着することで、ITO - 光ファイバー電極を作製した。その後、球状の金ナノ粒子を高分子電解質から成る自己組織化膜によって ITO 表面に修飾し、センサーを作製した。モデル分析対象物質として $\text{Ru}(\text{NH}_3)_{2+/3+}$ 、メチレンブルー (MB) と $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$ を選択した。作製したセンサーを用いて、電位の三角波掃引に伴う分析対象物質の電気化学反応、及び、金ナノ粒子の自由電子密度変化に起因した LSPR 波長シフトを測定した。さらに、異なる屈折率の溶液を用いた単一波長測定に基づく屈折率変化の検出を試みた。測定対象物質にはエタノールとスクロースを用いた。

4. 研究成果

(1) 酸化還元物質の電気化学 - LSPR センシング

作製したセンサーを用いて、 $\text{Ru}(\text{NH}_3)_{2+/3+}$ の EC - LSPR 測定を行ったところ、電位の三角波掃引に伴って可逆性のある LSPR 波長シフトが得られた (図 2 上)。各電位における波長シフト量をプロットし、これにサイクリックボルタモグラムを重ね合わせた結果、急激な LSPR 波長シフトが起こる電位と $\text{Ru}(\text{NH}_3)_{2+/3+}$ の酸化還元電位がほぼ一致していた (図 2 下)。また、 $\text{Ru}(\text{NH}_3)_{2+/3+}$ とは酸化還元電位の異なる MB、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$ を用いて同様の測定を行った結果、LSPR 波長シフトは同様に、MB、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$ それぞれの酸化還元電位でみられた。これらの結果から、EC - LSPR 測定によって得られる LSPR 波長のシフトは分析対象物質の酸化還元反応に起因するものであることが明らかとなった。また、LSPR 波長シフトと分析対象物質の濃度との関係を調査した結果、いずれの分析対象物質に対しても濃度の増加に伴う波長シフト量の増加がみられ、対数濃度に対して高い直線性を示した ($R^2 > 0.993$)。

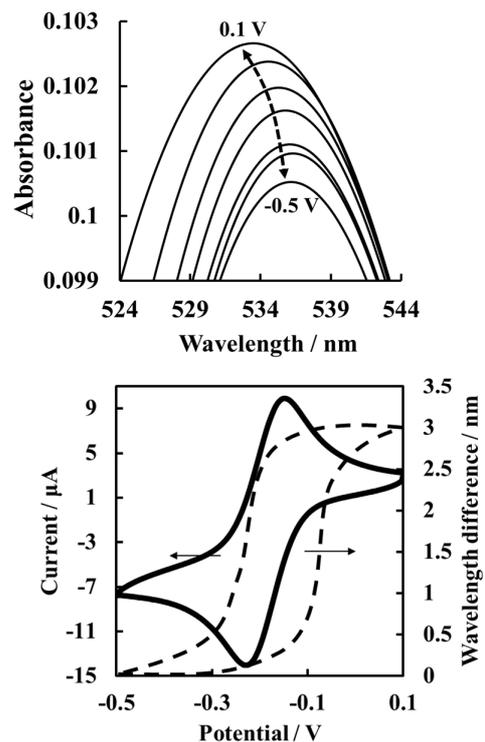


図 2. $\text{Ru}(\text{NH}_3)_{2+/3+}$ の電位の三角波掃引に伴う LSPR 波長シフト (上) と EC - LSPR 応答 (下)。

さらに、センサーの高性能化の試みとして、金ナノロッド粒子(GNRs)に着目した。GNRsは球状のナノ粒子と比べて数倍から数十倍の屈折率感度を持ち、粒子の縦横比によって屈折率感度が変化する。そこで、縦横比の異なるGNRsを修飾したセンサーを作製し、感度の制御を試みた。縦横比が2.0、2.4、3.1のGNRsをそれぞれ修飾したセンサーで測定を行ったところ、縦横比の増加に伴ってRu(NH₃)^{2+/3+}の検量線の傾きが上昇し、縦横比3.1のGNRsを用いた時に最大で約10倍の感度向上を達成した。

(2) 電位掃引法による屈折率の短波長計測

酸化還元物質の電気化学 - LSPR センシング単一波長測定では球状金ナノ粒子(直径約40nm)、金ナノロッド粒子(縦横比3.2)を修飾してセンサーを作製し、電位走査による電気化学-LSPR 応答を測定した。その結果、特定の波長において吸光度が極大となる電位(ピーク電位)が得られ、屈折率に対して良好な直線性を示した(図3)。エタノールおよびスクロース溶液の屈折率変化に対するセンサー感度は球状金ナノ粒子を修飾したセンサーにおいて検量線の傾きから、それぞれ43V/RIU、13V/RIUであり、金ナノロッド粒子を修飾したセンサーにおいては、それぞれ30V/RIU、22V/RIUであった。スクロースの測定では金ナノロッド粒子をセンサーに用いることで約1.6倍の感度上昇が得られた。また、酸化還元に基づく屈折率変化の検出においても、金ナノロッド粒子(縦横比6.8)を用いることで、球状金ナノ粒子を修飾したセンサーと比較して約8倍の感度の向上が得られた。

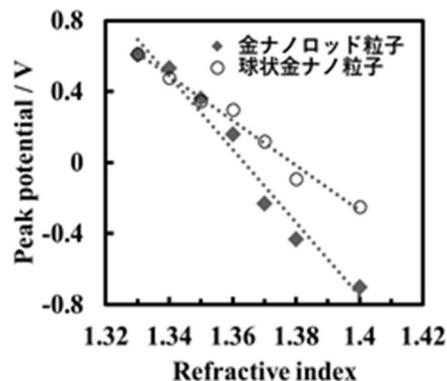


図3. スクロース溶液の測定におけるピーク電位シフト

(3) ニードル型電気化学 - LSPR 光ファイバーセンサーの開発

既存の測定法では、光源と分光器を光ファイバーの末端にそれぞれ接続し、疎水性基板に置いた液滴を試料として測定している。このため、非水系の溶媒の測定ができないなどの制限がある。ここでは、本センサーの利便性の向上と上記の点を克服するために、センシング部位の先端を反射面としたプローブ型センサーへの改良を試みた。光ファイバー先端に銀鏡を修飾したものと鏡やアルミホイルを垂直に押し当てた場合の反射光量を測定したところ、銀鏡を用いた際に最も良好な結果が得られた。MBをモデル分析対象物質として、センシング部位の長さが等しい本センサーと既存のセンサーから得られる応答を比較した結果、約2倍の高感度化に成功した。これは、反射面の構築により正味の光路長が2倍になったためである。金ナノ粒子を修飾した本センサーをPBS溶液中で、0.8Vから-0.8Vの電位を走引したところ、約18.1nm/VのLSPRピークのブルーシフトが確認できた。本センサーは既存の測定法では測定できなかった非水系溶媒の適用など、より幅広い分野への展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Okazaki Takuya, Shiokawa Eri, Orii Tatsuya, Yamamoto Takamichi, Hata Noriko, Taguchi Akira, Sugawara Kazuharu, Kuramitz Hideki	4. 巻 90
2. 論文標題 Simultaneous Multiselective Spectroelectrochemical Fiber-Optic Sensor: Sensing with an Optically Transparent Electrode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 2440 ~ 2445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b03957	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 Tan Shin-Yinn, Lee Sheng-Chyan, Okazaki Takuya, Kuramitz Hideki, Abd-Rahman Faiz	4. 巻 419
2. 論文標題 Detection of mercury (II) ions in water by polyelectrolyte?gold nanoparticles coated long period fiber grating sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Communications	6. 最初と最後の頁 18 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optcom.2018.02.069	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 該当する
1. 著者名 Sultana Ayesha, Sazawa Kazuto, Okazaki Takuya, Islam Md. Saiful, Hata Noriko, Sugawara Kazuharu, Kuramitz Hideki	4. 巻 30
2. 論文標題 Adsorptive Voltammetry for the Determination of Ochratoxin A Using Enrichment Effect by Cationic Surfactants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electroanalysis	6. 最初と最後の頁 2265 ~ 2272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/elan.201800226	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 Sugawara Kazuharu, Kuramitz Hideki, Kadoya Toshihiko	4. 巻 1040
2. 論文標題 Label-free cytosensing of cancer cells based on the interaction between protein and an electron-transfer carbohydrate-mimetic peptide	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 166 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2018.08.025	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 Islam Md Saiful、Sazawa Kazuto、Sugawara Kazuharu、Kuramitz Hideki	4. 巻 17
2. 論文標題 Micro-droplet Hydrodynamic Voltammetry for the Determination of Microcystin-LR Based on Protein Phosphatase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 18~26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2965/jwet.18-040	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 Sultana Ayesha、Sazawa Kazuto、Islam Md. Saiful、Sugawara Kazuharu、Kuramitz Hideki	4. 巻 52
2. 論文標題 Determination of Tetracycline by Microdroplet Hydrodynamic Adsorptive Voltammetry Using a Multiwalled Carbon Nanotube Paste Rotating Disk Electrode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Letters	6. 最初と最後の頁 1153~1164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00032719.2018.1523911	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 Tatsuya Orie、Takuya Okazaki、Noriko Hata、Kazuharu Sugawara、Faidz A Rahman、and Hideki Kuramitz	4. 巻 33
2. 論文標題 Development of an attenuated total reflection based fiber optic sensor for real-time sensing of biofilm formation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 883-887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.33.883	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 Takuya Okazaki、Tatsuya Orie、Akira Ueda、Akiko Ozawa、and Hideki Kuramitz	4. 巻 7
2. 論文標題 Fiber optic sensor for real-time sensing of silica scale formation in geothermal water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-03530-1	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 Kazuharu Sugawara, Toshihiko Kadoya, Hideki Kuramitz, and Yoshihiro Mihara	4. 巻 983
2. 論文標題 Design of carbohydrate/electron-transfer peptides for human histocytic lymphoma cell sensing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 198-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.aca.2017.06.028	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 Takuya Okazaki, Takamichi Yamamoto, Akira Taguchi, Akira Ueda, and Hideki Kuramitz	4. 巻 1
2. 論文標題 Fiber optic sensor with an optically transparent electrode for monitoring CaCO ₃ scale formation in geothermal water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Letters	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LSENS.2017.2739806	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 Md. Saiful Islam, Kazuto Sazawa, Noriko Hata, Kazuharu Sugawara, and Hideki Kuramitz	4. 巻 188
2. 論文標題 Determination of heavy metal toxicity by using a micro-droplet hydrodynamic voltammetry for microalgal bioassay based on alkaline phosphatase	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 337-344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.008	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 Sugawara, K., Kuramitz, H., and Shinohara, H.	4. 巻 958
2. 論文標題 3.Fabrication of micromagnetic beads with molecular recognition/electron-transfer peptides for the sensing of ovalbumin	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 30-37
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 Okazaki, T., Orii, T., Ueda, A., and Kuramitz, H.	4. 巻 17
2. 論文標題 4.A reusable fiber optic sensor for the real-time sensing of CaCO ₃ scale formation in geothermal water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 1207-1208
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 Inaba, I., Kuramitz, H., and Sugawara, K.	4. 巻 32
2. 論文標題 5.Electrochemical sensing of casein based on the interaction between its phosphate groups and a ruthenium(III) complex	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 853-860
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugawara, K., Shinohara, H., Kadoya, T., and Kuramitz, H.	4. 巻 924
2. 論文標題 6.Sensing lymphoma cells based on a cell-penetrating/apoptosis-inducing/electron-transfer peptide probe	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Analytical Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 106-116
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 Jiang, H., Islam, Md S., Sazawa, K., Hata, N., Taguchi, S., Nakamura, S., Sugawara, K., and Kuramitz, H.	4. 巻 11
2. 論文標題 7.Development of an electrochemical bioassay based on the alkaline phosphatase activity of Chlamydomonas reinhardtii to assess the toxicity of heavy metals	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Electrochemical Science	6. 最初と最後の頁 5090-5101
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 倉光英樹
2. 発表標題 分光電気化学 - 光ファイバーセンサの開発
3. 学会等名 電気化学会北陸支部春季（富山）大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名李沙・岡崎琢也・佐澤和人・波多 宣子・田口明・菅原一晴・倉光 英樹
2. 発表標題 有機染料の分光電気化学的応答評価と光ファイバーセンシングへの応用
3. 学会等名 電気化学化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 花森慎之介・佐澤和人・波多宣子・田口明・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 局在表面プラズモン共鳴を利用した電気化学 - 光ファイバーセンサーの開発 金ナノ粒子の形状によるセンサー応答の比較
3. 学会等名 日本化学会北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 50.Takuya Okazaki, Eri Shiokawa, Noriko Hata, Akira Taguchi, Kazuharu Sugawara, Hideki Kuramitz
2. 発表標題 Simultaneous multiselective spectroelectrochemical fiber-optic sensor with an optically transparent electrode
3. 学会等名 PITTCON 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本高一路・岡崎琢也・織井達也・波多宣子・田口茂・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 電気化学 - 光ファイバーセンサーから得られる酸化還元活性染料の応答特性と界面活性剤添加による効果
3. 学会等名 日本分析化学会第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原一晴・倉光英樹・門屋利彦
2. 発表標題 タンパク質センシングのための疑似糖鎖電子伝達性ペプチド修飾マイクロビーズの作製
3. 学会等名 日本分析化学会第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原一晴・倉光英樹・門屋利彦
2. 発表標題 糖タンパク質 - ガラクトース認識タンパク質 - 電子伝達性ペプチド間相互作用のモニタリング
3. 学会等名 日本分析化学会第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤千央・岡崎琢也・山本高一路・佐澤和人・波多宣子・倉光英樹
2. 発表標題 対流/蛍光分光電気化学法による薬物代謝酵素活性評価法の開発
3. 学会等名 平成29年度日本化学会北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桑名李沙・岡崎琢也・山本高一路・佐澤和人・波多宣子・田口明・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 酸化インジウムスズを被覆した光ファイバーによる酸化還元活性染料のセンシング
3. 学会等名 平成29年度日本化学会北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Okazaki, Tatsuya Orie, Akira Ueda, and Hideki Kuramitz
2. 発表標題 Fiber Optic Sensor for Real-Time Sensing of Silica Scale Formation in Geothermal Water
3. 学会等名 RSC Tokyo International Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Kuramitz, Tatsuya Orie, Takuya Okazaki, Noriko Hata, Akira Taguchi, and Kazuharu Sugawara
2. 発表標題 Fiber Optic Sensor Based on Electrochemical-Localized Surface Plasmon Resonance
3. 学会等名 RSC Tokyo International Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 織井達也・岡崎琢也・波多宣子・田口茂・田口明・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 金ナノ粒子に由来する局在表面プラズモン共鳴を利用した電気化学 - 光ファイバーセンサーの開発
3. 学会等名 日本分析化学会第76回分析化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本高一路・織井達也・岡崎琢也・波多宣子・田口茂・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 電気化学 - 光ファイバーセンサーから得られる酸化還元活性染料の応答特性
3. 学会等名 日本分析化学会第76回分析化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 織井達也・岡崎琢也・波多宣子・田口茂・田口明・菅原一晴・倉光英樹
2. 発表標題 電気化学 - 局在表面プラズモン共鳴光ファイバーセンサーの開発
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岡崎琢也・織井達也・田口明・波多宣子・田口茂・倉光 英樹
2. 発表標題 電気化学 - 長周期ファイバーグレーティングセンサーの開発
3. 学会等名 日本分析化学会第65年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 塩川恵理, 織井達也, 岡崎琢也, 波多宣子, 田口茂, 田口明, 菅原一晴, 倉光英樹
2. 発表標題 ITO被覆光ファイバーを用いた分光電気化学センサーの開発
3. 学会等名 平成28年度日本化学会北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 倉光英樹（共著）	4. 発行年 2016年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 249
3. 書名 基礎から学ぶ機器分析化学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

倉光英樹のホームページ http://www.sci.u-toyama.ac.jp/env/kuramitz/indexJP.html
--

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	菅原 一晴 (Sugawara Kazuharu) (30271753)	前橋工科大学・工学部・教授 (22303)	
研究分担者	田口 明 (Taguchi Akira) (40401799)	富山大学・研究推進機構 水素同位体科学研究センター・講師 (13201)	