

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02741

研究課題名(和文) ナノ光ファイバを用いた液中での高効率蛍光集光の実現

研究課題名(英文) Efficient fluorescence detection of single molecules in liquid by using optical nanofibers

研究代表者

藤原 正澄 (Fujiwara, Masazumi)

大阪市立大学・大学院理学研究科・講師

研究者番号：30540190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：ナノテクノロジーを駆使して作製したナノ光デバイスでは、非常に高い電場増強が実現され、強い光物質相互作用が可能となる。本研究では代表者らが開発してきた高効率蛍光集光デバイスである「ナノ光ファイバ」を水溶液中でも高い蛍光集光効率で利用可能とし、化学分析デバイスへの応用を目指した。主要成果として、片端ナノ光ファイバを作製し、線虫*C. elegans*へ応用を行った。ナノファイバと複合化する金ナノ粒子やダイヤモンドナノ粒子の表面状態と光スピン特性の評価を行った。また液中でのpHによる依存性を定量評価した。蛍光ナノダイヤモンドを用いて細胞や線虫の温度センシングを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、量子エレクトロニクス分野で開発してきたナノ光ファイバデバイス在水溶液中での利用に耐えうるものとしようとするものである。このナノ光ファイバは空気中などでは超高効率蛍光検出が可能であり、その詳細な動作特性も明らかとなっていたが、本研究により、ナノ光ファイバの溶液中利用における動作特性の理解が進んだ。また、細胞や線虫と言った実際の生体試料に適用した際の利用例を、細胞温度測定という観点から部分的に示すことができた。将来的には、生体内での温度モニタリングなどの技術にもつながると期待される。

研究成果の概要(英文)：In nanophotonic devices, substantial enhancement of optical field is realized by confining photons in a small area, which enables strong light-matter interaction. In this research, we study optical nanofibers that provide efficient optical coupling between the fluorescent two level systems (molecules, nanoparticles, etc) and optical fiber mode for the use in aqueous media. The main results are as follows: (1) A single-ended optical nanofibers were fabricated and applied to the nematode *C. elegans*. (2) The surface state and optical (and spin) properties of gold or diamond nanoparticles were quantified for their better integration with nanofibers. In addition, pH dependence of nanodiamond spin properties was determined. (3) Temperature sensing of cells and nematodes was realized using fluorescent nanodiamonds.

研究分野：ナノフォトニクス、ナノバイオ

キーワード：ナノデバイス 光ファイバ ナノ粒子 化学分析

1. 研究開始当初の背景

ナノテクノロジーを駆使して作製したナノ光デバイスでは、微小領域での光の伝播や干渉、エバネッセント光を巧みに利用することで、従来は実現できなかった電場増強が実現され、強い光物質相互作用が可能となる。これにより、単一量子ドットの巨大光吸収や高効率蛍光集光が可能となり、単一光子発生器や量子メモリなどの量子情報デバイスとして利用可能である。また、細胞中や環境試料の微量センシングデバイスとしての利用可能性も示されている。この中で、特にセンシング応用におけるボトルネックとなっているのが、液中などでも電場増強が維持できるナノ光デバイスの開発である。ナノ光ファイバの場合、液中でも形状を制御する事でほぼ無損失で極細部に光を注入する事は可能である。しかしながら、ガラスとの屈折率差が空気に比べて減少し、ナノ光ファイバ表面のエバネッセント光が広がる。そのため、表面での電場増強効果が低下し、センシングの光検出感度が低下してしまう。ナノファイバ表面にナノ材料やナノ構造をどのように配置し、利用するのが効果的か？という点を解明することが重要となる。

ナノ光ファイバを液中で利用する上で鍵となるのが、ナノ光ファイバの光入出力効率を自在に制御するデバイス作成技術と蛍光検出利用によって可能となるセンシングアプリケーション開拓である。代表者らはナノ光ファイバによる蛍光ナノ粒子の超高感度検出技術をこれまでに開拓してきた。特に、導波路理論に基づいて精密にファイバ形状を制御する事でナノ粒子の総発光量の 20%もの信号を検出する技術を確立しており、このナノフォトニクス基盤技術をベースに液中での高効率蛍光検出とその応用開拓を目指した。

2. 研究の目的

本研究課題では、ナノ光ファイバに金属ナノ粒子や蛍光ナノダイヤモンドなどの機能性無機ナノ粒子を組み込むナノフォトニクス効果により水溶液中でも高い蛍光集光効率を実現することと、それらナノ構造から検出される蛍光を利用した化学・生物分野における利用例開拓を目指した。

3. 研究の方法

本研究では大きく分けて次の3項目に関する研究を実施した。

(1) ナノ光ファイバの片端形状化と生体試料への応用

代表者がこれまで開発してきたナノ光ファイバ作製法は、電気加熱セラミックヒータを利用しているため、光ファイバ延伸中に加熱領域の幅や温度を迅速に制御して所望のニードル形状を実現する事が不可能であった。そのため、可動型酸水素マイクロバーナーシステムを開発し、ナノ光ファイバの作製を行う事とした。また、片端化にはナノ光ファイバ作製後、急激に延伸する手法を採用した。また、作製したデバイスで実際の生体分析としてモデル生物である線虫への応用を行った。

(2) ファイバ表面上に複合化するナノ粒子の特性解析

ナノ光ファイバ上に複合化する金ナノ粒子や蛍光mナノダイヤモンドの物性、および、ナノ粒子に表面修飾を加えた際の物性を正確に把握することが、複合化の際の結果解析に必須である。そのため、これらナノ粒子の光特性や電子スピン特性を評価し、ファイバへの集積化への知見を得る事とした。

(3) 機能性無機ナノ粒子の蛍光検出によるセンシング応用の開拓

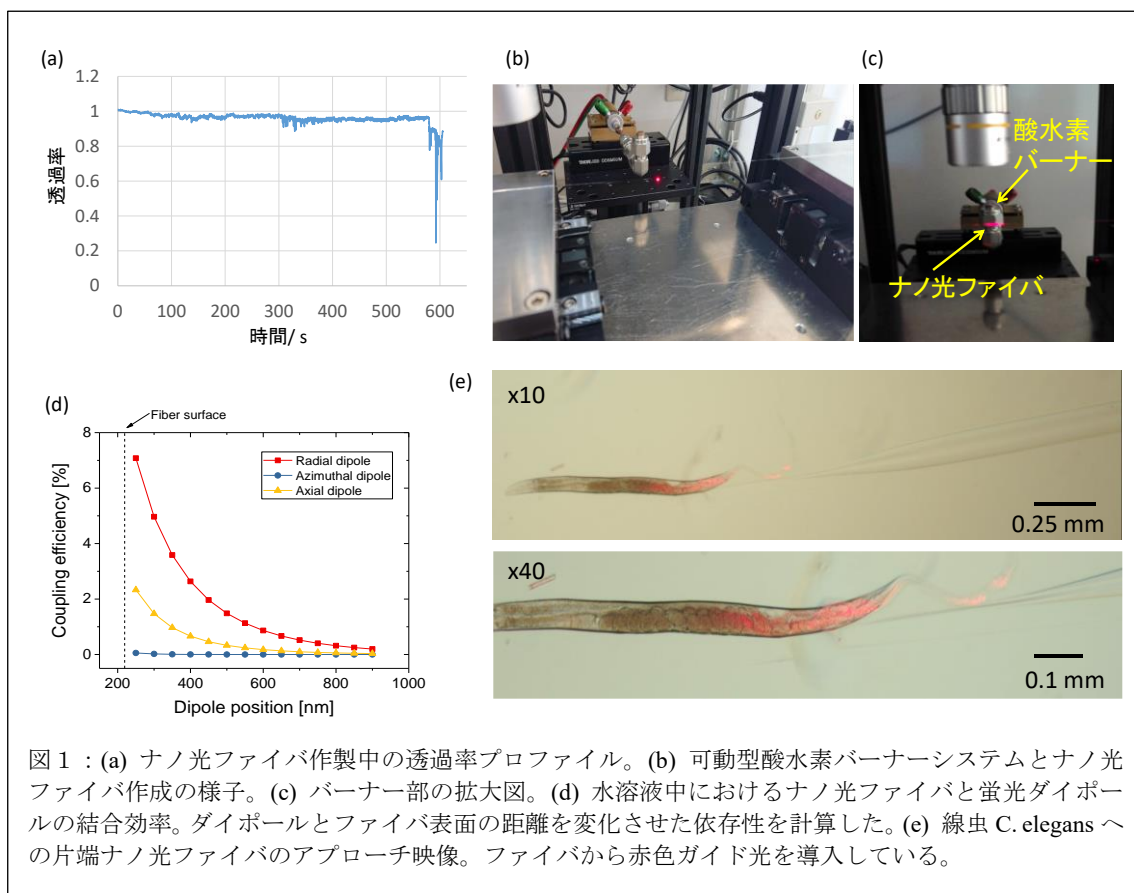
ナノ光ファイバにより超高感度で蛍光検出が実現できたとしても、それを効果的に利用できるセンシング応用が必要となる。なぜなら、このような応用例から逆算して、必要なレベルの超高感度化に対する定量的な指針が得られるからである。そのために、本研究では、細胞や線虫といったモデル生物に上記の機能性無機ナノ粒子を導入して蛍光検出する利用例（特に温度計測）の開発を行った。

4. 研究成果

(1) ナノ光ファイバの片端形状化・集積化と生体試料への応用

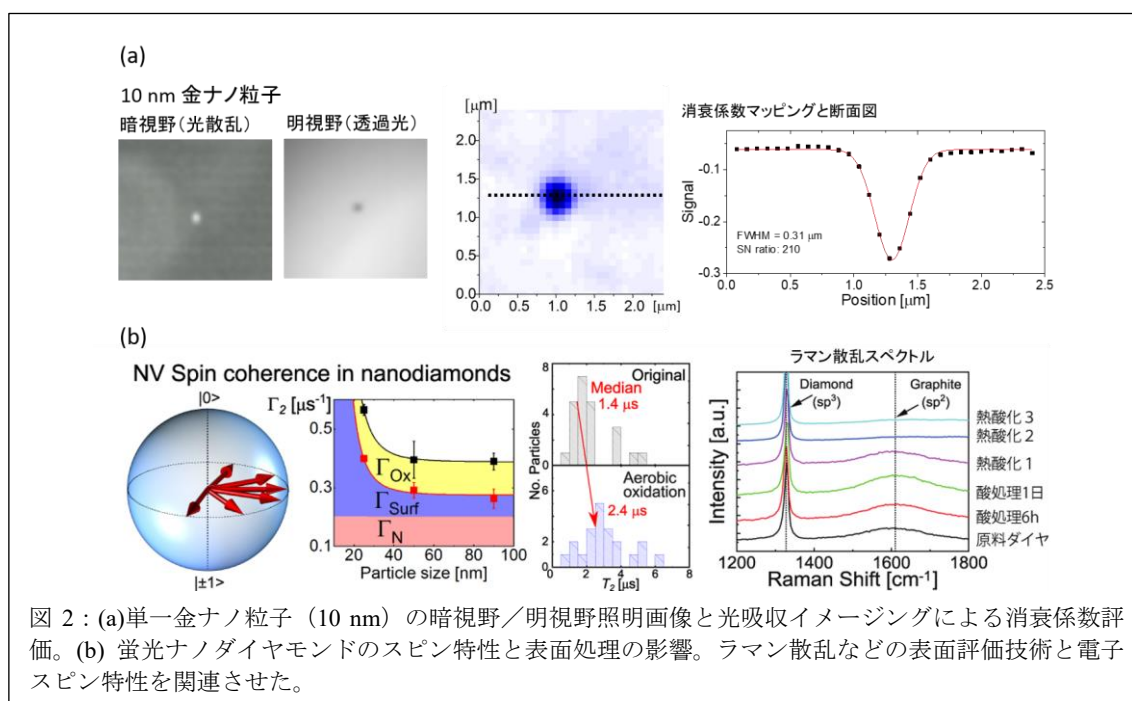
デバイスの作製精度を向上させるため、電気加熱セラミックヒータを利用する方法に代わって、可動型酸水素マイクロバーナーシステムを開発した。これを用いてナノ光ファイバの作製を行い、直径 700 nm 程度のナノ光ファイバの作製に成功した。酸水素バーナーシステムを用いて実現した事で、生体内への挿入が可能な片端ナノ光ファイバを作製する基盤技術が確立した。片端化にはナノ光ファイバ作製後、急激に延伸する手法を採用する事で片端化ファイバの試作を行った。また、生体内や水中でのラマン散乱集光効率を数値計算によって詳細に解析した。図 1d に示すように、水溶液中のナノファイバ表面において蛍光ダイポールモーメントの向きに応じてファイバ光結合効率を計算した。最も高い効率の場合、約 7%の結合効率を実現されることを数値的に示した。これまでに、トップダウンのナノ加工で製作した蛍光性ダイヤモンドナノロッド構造とナノ光ファイバの集積化に成功しており（藤原ら、ACS Omega 2, 7194 (2017).）、この

集積化技術とナノロッド構造内の結晶欠陥量子センサを利用すれば、液中での高効率センシングに拡張できると期待される。また、上述の方法で作製した片端ナノファイバを寒天培地上で飼育されている線虫 *C. elegans* に適用する実験を行った。ファイバ側からガイド光として赤色レーザーを導入しており、*C. elegans* に光が到達していることが分かる。現在、*C. elegans* 内に導入した蛍光ナノダイヤモンドからの蛍光を検出できるように実験を継続している。



(2) ファイバ表面上に複合化するナノ粒子の特性解析

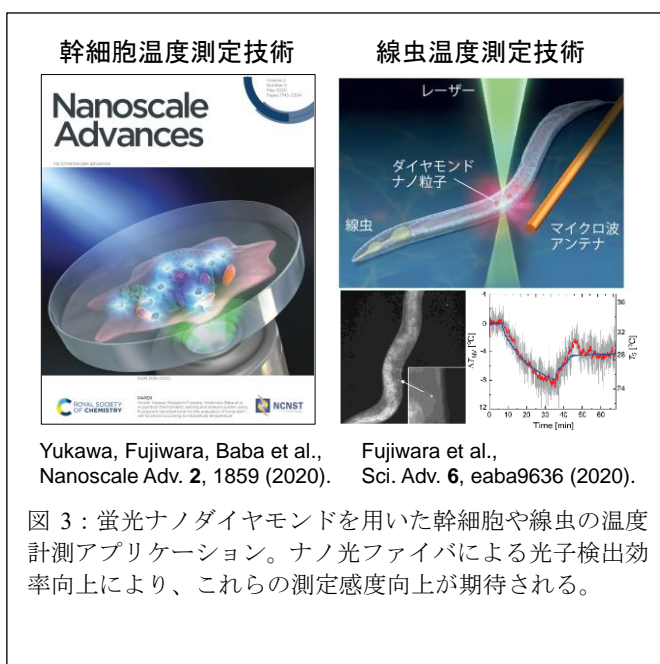
単一金ナノ粒子がナノファイバ上で、ファイバからのレーザー光を消費させる量を評価するために光吸収検出型の顕微鏡で材料評価を行った。この方法は試料を顕微鏡イメージングオイルで浸潤させるため、ナノ光ファイバ表面のような光学的に複雑な環境でも、金ナノ粒子の観察が可能となると期待される。その結果、10 nm サイズの単一金ナノ粒子の光消費を十分な SN 比



で検出する事に成功した。現在、ナノファイバ上の金ナノ粒子観察実験を遂行中である。金ナノ粒子以外には、蛍光ナノダイヤモンド粒子を利用したセンシングを目的としているため、蛍光ナノダイヤモンドの表面光学特性やセンシングの際に重要となるスピン特性の基礎物性評価を行った。蛍光ナノダイヤモンドの表面を酸化処理して、ラマン特性と電子スピニコヒーレンスの相関を調査した結果、ナノ粒子サイズに依存しないスピンドコヒーレンス成分が存在することを発見した (塚原ら, *ACS Appl. Nano Mat.* **2**, 3701-3710 (2019).)。また、水溶液中の pH が大幅に変化しても、我々が使用している蛍光ナノダイヤモンドのスピン特性や光学特性が大きく影響を受けないことも定量的に明らかにした (藤原ら, *RSC Adv.* **9**, 12606 (2019).)。

(3) 機能性無機ナノ粒子の蛍光検出によるセンシング応用の開拓

ナノ光ファイバにより超高感度蛍光検出が効果を発揮するセンシング応用を開拓することを目的に、細胞や線虫の特性を蛍光検出によって計測した。特に、蛍光ナノダイヤモンドを量子センサとして利用して、温度計測という観点で研究を行った。蛍光ナノダイヤモンドを細胞や線虫内に導入し、蛍光観察を行いながらマイクロ波照射を行うと光検出スピン共鳴が観測できる。この共鳴周波数が温度によってシフトするため、逆に周波数シフトを読み解くことでナノ粒子周辺のローカルな環境温度を計測できる。代表者らの実験では、この蛍光検出温度計測が細胞内や線虫においても実現できた (湯川ら, *Nanoscale Adv.* **2**, 1859 (2020) ; 藤原ら, *Sci. Adv.* **6**, eaba9636 (2020). *Phys. Rev. Research* **2**, 043415 (2020).)。また、温度測定感度には光子検出レートが決定的に重要な働きをしていることが明らかとなった。これまでは検出器として利用される光デバイスの特性が考慮されていなかったが、それをも含めた定量解析を行ったことによる成果である (西村ら, *Sci. Rep.* **11**, 4248 (2021).)。これらの研究は、ナノ光ファイバに蛍光ダイヤモンドや上述のダイヤモンドナノロッドを集積化して、プローバーとして利用するアプリケーションの有用性を支持する結果である。ナノ光ファイバにより光検出効率が 10%程度にまで高まれば、温度測定感度の数倍向上が期待できる結果である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Ryo Miyasato, Masazumi Fujiwara, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, Hideki Hashimoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Particle size effects of tetrahedron-shaped Ag3PO4 photocatalyst on water-oxidation activity and carrier recombination dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters: X	6. 最初と最後の頁 100023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpletx.2019.100023	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 Masazumi Fujiwara, Ryuta Tsukahara, Yoshihiko Sera, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Shinichi Shikata and Hideki Hashimoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Monitoring spin coherence of single nitrogen-vacancy centers in nanodiamonds during pH changes in aqueous buffer solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 12606-12614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA02282A	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 Ryuta Tsukahara, Masazumi Fujiwara*, Yoshihiko Sera, Yushi Nishimura, Yuko Sugai, Christian Jentgens, Yoshio Teki, Hideki Hashimoto and Shinichi Shikata	4. 巻 2
2. 論文標題 Removing Non-Size-Dependent Electron Spin Decoherence of Nanodiamond Quantum Sensors by Aerobic Oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 3701-3710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b00614	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 Ryo Miyasato, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, Masazumi Fujiwara, Hideki Hashimoto	4. 巻 358
2. 論文標題 Surface and bulk carrier recombination dynamics of rutile type TiO2 powder as revealed by subns time-resolved diffuse reflection spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 452-458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2017.10.054	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 Masazumi Fujiwara, Yutaka Shikano, Ryuta Tsukahara, Shinichi Shikata, and Hideki Hashimoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Observation of the linewidth broadening of single spins in diamond nanoparticles in aqueous fluid and its relation to the rotational Brownian motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-33041-6	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 Ryo Miyasato, Masazumi Fujiwara, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, and Hideki Hashimoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Particle size effects of tetrahedron-shaped Ag3PO4 photocatalyst on water-oxidation activity and carrier recombination dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett. X	6. 最初と最後の頁 100023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpletx.2019.100023	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 Masazumi Fujiwara, Ryuta Tsukahara, Yoshihiko Sera, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Shinichi Shikata, and Hideki Hashimoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Monitoring spin coherence of single nitrogen-vacancy centers in nanodiamonds during pH changes in aqueous buffer solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 12606-12614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA02282A	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 Masazumi Fujiwara, Oliver Neitzke, Tim Schroder, Andreas W. Schell, Janik Wolters, Jiabao Zheng, Sara Mouradian, Mohamed Almkhtar, Shigeki Takeuchi, Dirk Englund, and Oliver Benson	4. 巻 2
2. 論文標題 Fiber-Coupled Diamond Micro-Waveguides toward an Efficient Quantum Interface for Spin Defect Centers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS OMEGA	6. 最初と最後の頁 7194 - 7202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.7b01223	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

1. 著者名 Ryo Miyasato, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, Masazumi Fujiwara, Hideki Hashimoto	4. 巻 358
2. 論文標題 Surface and bulk carrier recombination dynamics of rutile type TiO ₂ powder as revealed by sub-nanosecond time-resolved diffuse reflection spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 452-458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2017.10.054	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 Ryo Miyasato, Masazumi Fujiwara, Chiasa Uragami, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, Hideki Hashimoto	4. 巻 395
2. 論文標題 Operando time-resolved diffuse reflection spectroscopy: The origins of photocatalytic water-oxidation activity of bismuth vanadate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112493	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 Yukawa Hiroshi, Fujiwara Masazumi, Kobayashi Kaori, Kumon Yuka, Miyaji Kazu, Nishimura Yushi, Oshimi Keisuke, Umehara Yumi, Teki Yoshio, Iwasaki Takayuki, Hatano Mutsuko, Hashimoto Hideki, Baba Yoshinobu	4. 巻 2
2. 論文標題 A quantum thermometric sensing and analysis system using fluorescent nanodiamonds for the evaluation of living stem cell functions according to intracellular temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 1859 ~ 1868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NA00146E	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 Uragami Chiasa, Sato Hiroki, Yukihiro Nao, Fujiwara Masazumi, Kosumi Daisuke, Gardiner Alastair T., Cogdell Richard J., Hashimoto Hideki	4. 巻 400
2. 論文標題 Photoprotective mechanisms in the core LH1 antenna pigment-protein complex from the purple photosynthetic bacterium, Rhodospirillum rubrum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112628 ~ 112628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112628	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 Fujiwara Masazumi, Sun Simo, Dohms Alexander, Nishimura Yushi, Suto Ken, Takezawa Yuka, Oshimi Keisuke, Zhao Li, Sadzak Nikola, Umehara Yumi, Teki Yoshio, Komatsu Naoki, Benson Oliver, Shikano Yutaka, Kage-Nakadai Eriko	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-time nanodiamond thermometry probing in vivo thermogenic responses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaba9636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aba9636	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

1. 著者名 Fujiwara Masazumi, Dohms Alexander, Suto Ken, Nishimura Yushi, Oshimi Keisuke, Teki Yoshio, Cai Kai, Benson Oliver, Shikano Yutaka	4. 巻 2
2. 論文標題 Real-time estimation of the optically detected magnetic resonance shift in diamond quantum thermometry toward biological applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043415	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

1. 著者名 Nishimura Yushi, Oshimi Keisuke, Umehara Yumi, Kumon Yuka, Miyaji Kazu, Yukawa Hiroshi, Shikano Yutaka, Matsubara Tsutomu, Fujiwara Masazumi, Baba Yoshinobu, Teki Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 Wide-field fluorescent nanodiamond spin measurements toward real-time large-area intracellular thermometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-83285-y	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 -

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara, Ryuta Tsukahara, Yoshihiko Sera, Yushi Nishimura, Yuko Sugai, Christian Jentgens, Yoshio Teki, Hideki Hashimoto, Shinichi Shikata
2. 発表標題 Surface oxidation and electron-spin coherence of nitrogen-vacancy centres in nanodiamonds
3. 学会等名 13th New Diamond and Nano Carbon Conference (NDNC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M.Fujiwara, K. Kobayashi, Y. Kumon, K. Miyaji, H. Yukawa, Y. Baba, T. Iwasaki, M. Hatano, H. Hashimoto
2 . 発表標題 Quantum thermometry of nanodiamonds for characterizing stem-cell differentiation
3 . 学会等名 Gordon Research Conference: Quantum Sensing Applications in Metrology and Imaging (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masazumi Fujiwara
2 . 発表標題 Nanodiamond quantum thermometry for biological applications
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryuta Tsukahara, Masazumi Fujiwara, Yoshihiko Sera, Hideki Hashimoto, Shinichi Shikata
2 . 発表標題 Influence of the surface oxidation to the spin coherence of properties of single NV centers in nanodiamonds
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hiroki Kuromatsu, Ryuta Tsukahara, Tokuyuki Teraji, Masazumi Fujiwara, Shinichi Shikata
2 . 発表標題 Spatial correlation between NV centers and nonfluorescent defects in N-doped bulk diamond
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Fujiwara, S. Sun, A. Dohms, Y. Nishimura, K. Suto, Y. Takezawa, K. Oshimi, L. Zhao, N. Sadzak, Y. Umehara, Y. Teki, N. Komatsu, O. Benson, Y. Shikano, E. Kage-Nakadai
2 . 発表標題 Realttime nanodiamond thermometry probing in-vivo thermogenic responses
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yushi Nishimura, Yuka Kumon, Kazu Miyaji, Tsutomu Matsubara, Kazuo Ikeda, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Yoshio Teki, Masazumi Fujiwara
2 . 発表標題 Construction of wide-field optically detected magnetic resonance method for intracellular temperature imaging
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Oshimi, Y. Nishimura, T. Matsubara, M. Tanaka, E. Shikoh, M. Fujiwara, Y. Teki
2 . 発表標題 Microwave-antenna-integrated cell dishes for nanodiamond quantum thermometry
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kazu Miyaji, Hiroshi Yukawa, Masazumi Fujiwara, Yushi Nishimura, Daisuke Onoshima, Yoshinobu Baba
2 . 発表標題 Temperature sensing of stem cell regenerative function with fluorescent nanodiamond
3 . 学会等名 International Workshop on Quantum Sensing & Biophotonics 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara
2. 発表標題 Fluorescent Nanodiamonds for Quantum Applications
3. 学会等名 The 13th Japanese Russian Workshop on “Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yushi Nishimura, Yuka Kumon, Kazu Miyaji, Tsutomu Matsubara, Kazuo Ikeda, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Yoshio Teki, Masazumi Fujiwara
2. 発表標題 Construction of wide-field optically detected magnetic resonance method for intracellular temperature imaging
3. 学会等名 3rd QST International Symposium “Quantum Life Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 正澄, 湯川 博, 小林 香央里, 梅原 有美, 公文 優花, 宮地 冬, 岩崎 孝之, 波多野 睦子, 橋本 秀樹, 馬場 嘉信
2. 発表標題 ナノダイヤモンド量子温度センシングとその汎用計測システムの開発
3. 学会等名 量子生命科学会第1回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 正澄, Dohms Alexander, 西村 勇姿, 手木 芳男, Benson Oliver, 鹿野 豊
2. 発表標題 蛍光ナノダイヤモンドを用いたリアルタイム温度計測
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押味 佳裕, 西村 勇姿, 田中 益明, 仕幸 英治, 藤原 正澄, 手木 芳男
2. 発表標題 広い空間領域で光検出磁気共鳴が検出可能なアンテナ集積化培養ディッシュの開発
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村 勇姿, 宮地 冬, 公文 優花, 湯川 博, 馬場 嘉信, 藤原 正澄, 手木 芳男
2. 発表標題 量子ドットによる細胞内温度計測
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Oshimi, Yushi Nishimura, Masuaki Tanaka, Eiji Shikoh, Masazumi Fujiwara, Yoshio Teki
2. 発表標題 Microwave-antenna-integrated cell dishes for nanodiamond quantum thermometry
3. 学会等名 第28回日本バイオイメーシング学会学術集会 / 第6回国際バイオイメーシングシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇姿, 公文優花, 宮地 冬, 松原 勤, 湯川 博, 馬場嘉信, 藤原正澄, 手木芳男
2. 発表標題 細胞内温度イメージングに向けたワイドフィールド光検出電子スピン共鳴測定法の構築
3. 学会等名 OCU先端光科学シンポジウム ナノフォトニクスが切り拓く分子運動・化学反応制御の探求
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押味佳裕, 西村勇姿, 田中益明, 仕幸英治, 藤原正澄, 手木芳男
2. 発表標題 Split-ring-resonator-based microwave antenna for electron spin excitation of diamond NV centers in cultured cells
3. 学会等名 OCU先端光科学シンポジウム ナノフォトニクスが切り拓く分子運動・化学反応制御の探求
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原正澄
2. 発表標題 光・スピン量子計測が可能とする生体熱計測
3. 学会等名 LAC-SYS研究所 第2回シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 正澄, 塚原 隆太, 世良 佳彦, 西村 勇姿, 須貝 祐子, Jentgens Christian, 手木 芳男, 鹿田 真一, 橋本 秀樹
2. 発表標題 ナノダイヤモンドNV中心のスピン特性と表面酸化
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 正澄, 湯川 博, 小林 香央里, 梅原 有美, 公文 優花, 宮地 冬, 岩崎 孝之, 波多野 睦子, 橋本 秀樹, 馬場 嘉信
2. 発表標題 アンテナ集積化細胞培養ディッシュの開発と幹細胞ナノダイヤモンド量子温度センシング
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村 勇姿, 公文 優花, 宮地 冬, 松原 勤, 湯川 博, 馬場 嘉信, 藤原 正澄, 手木 芳男
2. 発表標題 細胞内温度イメージングに向けたワイドフィールド光検出電子スピン共鳴測定法の構築
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 FUJIWARA, Masazumi; YUKAWA, Hiroshi; KOBAYASHI, Kaori; UMEHARA, Yumi; BABA, Yoshinobu
2. 発表標題 Fluorescent nanodiamond quantum thermometers for intracellular temperature measurement
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara, Hiroshi Yukawa, Kaori Kobayashi, Yumi Umehara, Yoshinobu Baba
2. 発表標題 Fluorescent-nanodiamond quantum thermometers probing adipose tissue-derived stem cells taken from mice
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原正澄, 鹿野豊, 塚原隆太, 鹿田真一, 橋本秀樹
2. 発表標題 単一電子スピンの回転ブラウン運動計測
3. 学会等名 量子情報技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Miyasato, Ryo Miyasato, Masazumi Fujiwara, Haruyuki Sato, Toshihiro Yano, Hideki Hashimoto
2. 発表標題 Photocatalytic activity and surface carrier recombination dynamics of rutile-type TiO ₂ powders for water splitting
3. 学会等名 SPACC25シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原正澄, 塚原隆太, 世良佳彦, 鹿田真一, 橋本秀樹
2. 発表標題 pH変化に対するナノダイヤモンドNV中心の電子スピン特性安定性
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮里 遼, 藤原 正澄, 佐藤 治之, 矢野 聡宏, 橋本 秀樹
2. 発表標題 ルチル酸化チタン粉末における水酸化反応の光触媒活性と表面キャリアダイナミクス
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原正澄
2. 発表標題 蛍光ナノダイヤモンドは温度量子センサなのか？温度感受性蛍光プローブなのか？
3. 学会等名 第8回光科学異分野横断萌芽研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原 正澄
2. 発表標題 光と磁気共鳴の融合による新しい計測技術への取り組み = 有機エレクトロニクスからバイオ分析にむけて
3. 学会等名 第63回化合物新磁性材料専門研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Fujiwara, O. Neitzke, T. Schroder, S. Takeuchi, D. Englund, and O. Benson
2. 発表標題 Spin defect centers in nanostructured diamonds for applications in quantum optics and quantum sensing
3. 学会等名 Spin TECH IX International school and conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nao Yukihiro, Yuko Sugai, Masazumi Fujiwara, Daisuke Kosumi, Kazuhiko Sakaguchi, Shigeo Katsumura, Alastair T. Gardiner, Richard J. Cogdell and Hideki Hashimoto
2. 発表標題 Reconstruction of an algal carotenoid fucoxanthin into the LH1 complex from a purple photosynthetic bacterium
3. 学会等名 The 18th Symposium on Carotenoids
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 行平奈央、須貝祐子、藤原正澄、Alastair T. Gardiner、Richard J. Cogdell、橋本秀樹
2. 発表標題 紅色光合成細菌 の LH1 複合体と カロテノイド を用いた再構成
3. 学会等名 2017年度先端錯体工学研究会(SPACC) 年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara, Ryuta Tsukahara, Yoshihiko Sera, Shinichi Shikata and Hideki Hashimoto
2. 発表標題 Nanodiamond nitrogen vacancy centres for quantum sensing applications
3. 学会等名 28th International Conference on Diamond and Carbon Materials (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池肖子、藤原正澄、浦上千藍紗、橋本秀樹、吉澤雅幸
2. 発表標題 フェムト秒誘導ラマン分光によるカロテノイドS*状態の起源の検証
3. 学会等名 第31回カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 行平奈央、佐藤大樹、藤原正澄、伊波匡彦、Alastair T. Gardiner、Richard J. Cogdell、橋本秀樹
2. 発表標題 紅色光合成細菌Rsp. rubrum G9+とフコキサンチンを用いた再構成LH1複合体のポリマーによる安定化
3. 学会等名 第31回カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原正澄、Oliver Neitzke、Tim Schroder、竹内繁樹、Dirk Englund、and Oilver Benson
2. 発表標題 ファイバ結合マイクロダイヤモンド導波路の極低温冷却とNV 中心からの発光検出
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水章皓、行平奈央、佐藤大樹、藤原正澄、橋本秀樹、手木芳男
2. 発表標題 光耐久性の高いペンタセン - ピラジカル誘導体の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会秋季事業 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塚原隆太、藤原正澄、世良佳彦、橋本秀樹、鹿田真一
2. 発表標題 ナノダイヤモンドNV中心のスピンコヒーレンス時間への表面酸化処理の影響
3. 学会等名 第31回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原正澄、塚原隆太、鹿田真一、橋本秀樹
2. 発表標題 pH変化に対するナノダイヤモンドNV中心の電子スピン特性変化
3. 学会等名 第31回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nao Yukihiro, Hiroki Sato, Masazumi Fujiwara, Alastair T. Gardiner, Richard J. Cogdell, Hideki Hashimoto
2. 発表標題 Stabilization of the fucoxanthin Reconstituted into the light-harvesting 1 complex from a purple photosynthetic bacterium Rhodospirillum rubrum G9+
3. 学会等名 The 24th International SPACC Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 行平奈央、佐藤大樹、藤原正澄、伊波匡彦、 Alastair T. Gardiner、Richard J. Cogdell、橋本秀樹
2. 発表標題 紅色光合成細菌Rsp. rubrum G9+とフコキサンチンを用いた 再構成LH1複合体のポリマーによる安定化
3. 学会等名 第1回公開シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原 正澄、鹿野 豊、塚原隆太、鹿田真一、橋本 秀樹
2. 発表標題 窒素欠陥中心を用いたナノダイヤモンドのブラウン運動計測
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nao Yukihiro, Masazumi Fujiwara , Alastair T. Gardiner, Richard J. Cogdell and Hideki Hashimoto
2. 発表標題 Reconstruction of various carotenoids into the LH1 complex from a purple photosynthetic bacterium Rsp. rubrum
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 藤原正澄、中台枝里子、湯川博、馬場嘉信	4. 発行年 2021年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 6
3. 書名 量子センシングハンドブック ~量子科学が切り拓く新たな領域~	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 容器、及び光学顕微鏡の温度調整装置	発明者 藤原正澄、湯川博、 馬場嘉信	権利者 大阪市立大学・ 名古屋大学
産業財産権の種類、番号 特許、2018-085225	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 拡散反射スペクトル測定装置	発明者 宮里遼，橋本秀樹， 藤原正澄	権利者 花王株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、2017-073456	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光触媒活性の評価方法	発明者 宮里遼，橋本秀樹， 藤原正澄	権利者 花王株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、2017-073457	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ODMR温度測定方法	発明者 藤原正澄	権利者 大阪市立大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/024945	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

研究室ホームページ https://www.nanochem-okayama-u.net/
--

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
研究協力者	中台(鹿毛) 枝里子 (Kage-Nakadai Eriko)		

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

ドイツ	Humboldt University of Berlin	Institute of Physics	Prof. Oliver Benson	
米国	Massachusetts Institute of Technology	RLE	Prof. Dirk Englund	
デンマーク	University of Copenhagen	Niels Bohr Institute	Prof. Tim Schroeder	