

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21935

研究課題名(和文) 超安定単一蛍光ナノ粒子in-situ観察によるナノスケール流体力学の新展開

研究課題名(英文) In-situ analysis of ultra-stable fluorescent nanoparticles confined in nanoscale structures

研究代表者

藤原 正澄 (Fujiwara, Masazumi)

岡山大学・学術研究院自然科学学域・研究教授

研究者番号：30540190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：100 nm程度以下のナノ空間やナノ流路における流体の挙動は、粘性抵抗が著しく増大することやサイズが流体のデバイ長と同程度になるため、マクロスケールとは大きく異なる挙動を示す。このナノスケール流体力学の実験研究のボトルネックとなるのが、微小空間での流体の流れを解析する技術である。本研究では、蛍光ナノダイヤモンド粒子をプローブとしてポリマーナノ構造中(ナノ細孔)に導入し、ナノ粒子の回転および並進ブラウン運動の変化を同時観察することを目的として研究を行った。蛍光ナノダイヤモンド粒子のスピン信号がpHや励起光強度変化にどのように応答するかを明らかとし、ナノ細孔にナノ粒子を導入することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ナノスケールの流体力学研究、および、それが密接に関連する生体微小構造などでの流体挙動に関する研究に新しい分析手法を提供しようとする試みである。この技術が実現できれば、現在中心的に利用される電気泳動などによるバルクスケールの観察や電子顕微鏡による静的な構造観察に加えて、光学顕微鏡という汎用性の高いシステムにおいて、その場ダイナミクス測定が可能となると期待される。これにより、流体力学のより深い理解が得られるだけでなく、蛋白質における分子輸送への応用など将来的には創薬や触媒開発研究を下支えする分析技術となることも期待される。

研究成果の概要(英文)：Fluid dynamics in nanometer-scale space is significantly deviated from that in macroscale bulk liquid because the strong viscosity arises from the walls and the approximation of the Debye length no longer holds. A bottleneck of the experimental study on this nanoscale fluidics is the lack of techniques that can analyze the nanoscale flow in situ. In this study, fluorescent nanodiamond particles were introduced into the polymer nanostructure (nanopores) as probes to simultaneously observe changes in the rotation and translational Brownian motion of the nanoparticles. We clarified how spin signals of the fluorescent nanodiamond particles respond to changes in pH and excitation light intensity. We have also succeeded in introducing nanoparticles inside polymer nanopores during the research term.

研究分野：ナノ科学

キーワード：蛍光ナノダイヤモンド ブラウン運動 流体力学

## 1. 研究開始当初の背景

100 nm 程度以下のナノ空間やナノ流路における流体の挙動は、粘性抵抗が著しく増大することやサイズが流体のデバイ長と同程度になるため、マクロスケールとは大きく異なる挙動を示す。このナノスケール流体力学の実験研究のボトルネックとなるのが、微小空間での流体の流れ（層流や乱流など）をその場で解析する技術である。流体の挙動をその場観察するためには、これまで蛍光色素の利用例があるが、容易に褪色し、微細構造中に導入可能な分子数が制限され、長時間での挙動観察は現実的に困難である。そこで粘性抵抗が大きいナノ空間中では、長時間安定して流体の動きを追跡可能な従来の性能を凌駕する手法が求められている。これに、代表者が実現した蛍光ナノダイヤモンド粒子（ND 粒子）の回転ブラウン運動測定が有効な解決を与えると考えられる（藤原ら, *Sci. Rep.* **8**, 14773, (2018).）。ND 粒子は褪色がなく、長時間安定した傾向を示すのみならず、蛍光検出電子スピン共鳴（ODMR）の線幅から回転ブラウン運動の回転拡散時間を推定可能である。これをナノ空間の流体挙動計測技術として発展させることを目指して研究を行った。このような技術が実現できれば、ナノスケールの流体力学研究、および、それが密接に関連する生体微小構造での流体挙動に関する実験的アプローチを提供することができる。これらの研究においては、電気泳動などによるバルクスケールの観察や電子顕微鏡による静的な構造観察が実験としては中心であり、その分子論的な本来の描像を得るためには数値計算による理解に負うところが大きい。ナノ空間で単一のナノ粒子が示す挙動を直接観察できれば、流体力学における新展開につながると期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、バルク流体力学が適用不可能なナノスケールでの流体挙動を、プローブナノ粒子を用いてその場でリアルタイムに観測する事で、これまで観測が困難であったナノ空間中の流体挙動を実験的に明らかにする事を目的とする。蛍光ダイヤモンドナノ粒子をポリマーナノ構造中（ナノ細孔）に導入する手法を開発し、ナノ粒子の回転および並進ブラウン運動の変化を同時観察することを目的とする。

## 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) ND 粒子の表面制御と ODMR 共鳴特性の研究

ND 粒子の ODMR 変化を利用したセンシング技術であるため、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。また、リアルタイムで ODMR スペクトル形状をモニタリングした際の ODMR スペクトルの安定性を評価した。

### (2) ワイドフィールド ODMR 顕微鏡の構築

回転ブラウン運動と並進ブラウン運動を同時に評価するために、ワイドフィールド顕微鏡（エピ蛍光測定）下での ODMR 測定をする必要があり、新規に装置を構築した。

### (3) ND ナノ粒子のナノ細孔への導入

ナノ細孔内での ND 粒子の流体挙動を解析する目的のために、ナノインプリント技術により形成したポリマーナノ細孔内に ND ナノ粒子を導入する手法を研究した。

## 4. 研究成果

### (1) ND 粒子の表面制御と ODMR 共鳴特性の研究

ND 粒子の表面を酸化処理して、ラマン特性と電子スピン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).）（図 1）。

また、ND 粒子の ODMR をリアルタイムで測定した場合の安定性や光励起強度が変化した場合の安定性を評価した。その結果、低い光励起強度の条件では、ODMR の  $m_s = +1, -1$  に対応する共鳴周波数がアンチクロス形状でシフトすることを明らかにした（藤原ら, *Phys. Rev. Research* **2**, 043415 (2020).）（図 1）。物性起源については明らかとはならないが、現時点では、光シユタルク効果などが関係していると考えられる。

### (2) ワイドフィールド ODMR 顕微鏡の構築

代表者の従来方法では、共焦点顕微鏡を用いていたために、並進ブラウン運動と ODMR による回転ブラウン運動を同時に測定することが困難であった。それを解決するために、カメラで撮像するタイプのワイドフィールド ODMR 蛍光顕微鏡を構築した。これにより、時間分解能 20 ms でナノ粒子の動きを連続撮像しつつ、マイクロ波 ON/OFF 照射による ODMR 測定が同時に可能となった（西村ら, *Sci. Rep.* **11**, 4248 (2021).）。この測定では、16 bit 画像のライブ動画がデータとして出力される。この動画データからナノ粒子の挙動を解析し、ODMR 信号を抽出する解析

プロトコルの構築に成功した (図 2).

この顕微鏡を用いて、後述のナノインプリント作製ナノ細孔を効率よく観察するために、フォトリソグラフィを用いて、ガラス基板内にマイクロ波照射アンテナを書込んだデバイス作製を行った。デバイス作製は設計に対する実現精度が高く、基板上的 ND 粒子が示す ODMR 信号の大きさを有限要素法による数値設計からほぼ正確に推定することが可能となった (図 2). ODMR 信号をデバイスチップ上で設計通りに測定するための有用な技術である (押味ら, Lab Chip (2022). DOI: 10.1039/D2LC00112H.)

### (3) ND ナノ粒子のナノ細孔への導入

ナノインプリント技術により形成したポリマーナノ細孔内に ND ナノ粒子を導入する手法を研究した。ナノ細孔構造は、直径・間隔 230 nm の構造を有し、ナノメートルサイズの構造をポリマー表面へ転写する技術であるナノインプリントリソグラフィを用いて作製した。本研究で作製したナノ細孔構造は、基材として Cyclo-olefin. Polymer を用い、熱転写方式にて構造を作製した。作製したナノ細孔ではプラズモニック共鳴なども観察でき、十分な光学特性を有していることが確認できた (山田ら, Micromachines 12, 1323 (2021).). 作製したポリマーナノ細孔に表面修飾を施した ND 粒子を浸潤させて静置すると、ナノ細孔内に ND 粒子が導入できることが確認できた (図 3). 現在、凝集した ND 粒子を除去した条件を探索しており、それができればナノ細孔内での ODMR 計測を行う予定である。

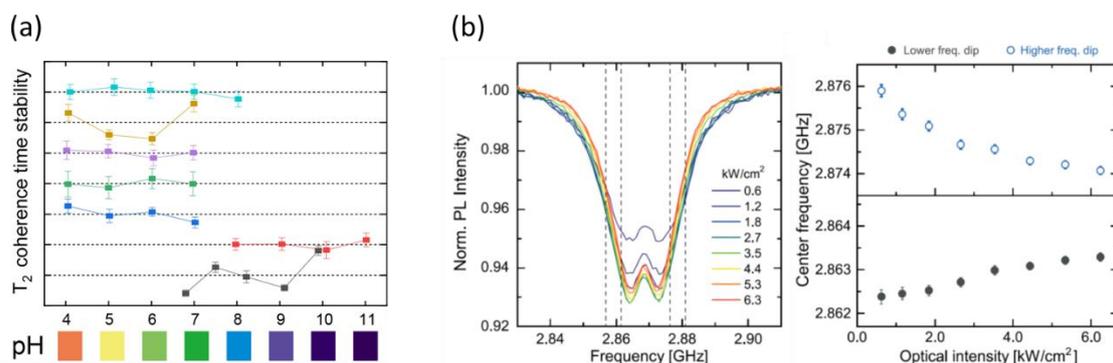


図 1 : (a) ND 粒子中の NV 中心が示すスピンコヒーレンス時間 ( $T_2$ ) の pH 依存性. (b) 励起光強度を変化させた時の、ND 粒子の ODMR スペクトル形状変化と 2 つのピーク周波数変化.

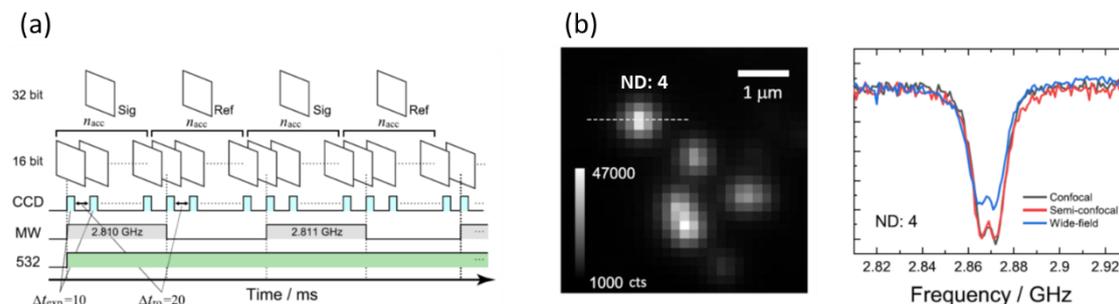


図 2 : (a) カメラによるワイドフィールド観察で ODMR スペクトルを測定する際の、測定スキーム. (b) ND 粒子の蛍光画像とその粒子が示す ODMR スペクトル.

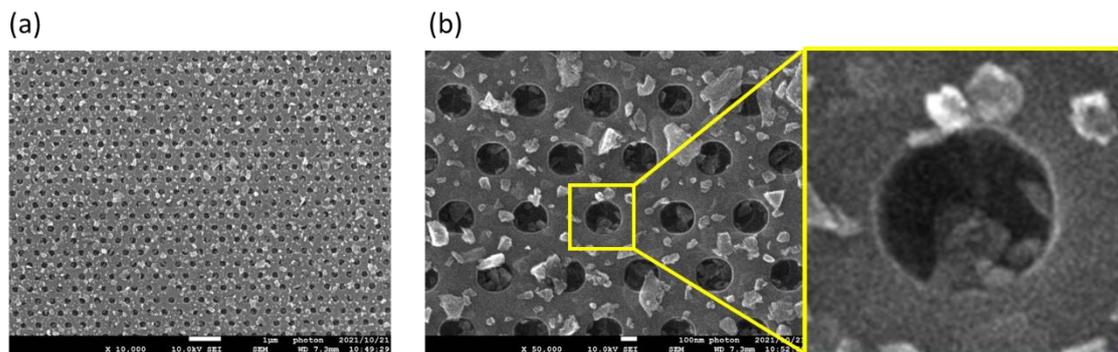


図 3 : ナノ細孔への ND 粒子の導入. (a) 広視野 SEM 画像 (左 : 長辺 12  $\mu$ m). (b) 拡大画像 (左 : 長辺 2.2  $\mu$ m, 右 : 一辺 0.35  $\mu$ m).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 18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 Oshimi Keisuke, Nishimura Yushi, Matsubara Tsutomu, Tanaka Masuaki, Shikoh Eiji, Zhao Li, Zou Yajuan, Komatsu Naoki, Ikado Yuta, Takezawa Yuka, Kage-Nakadai Eriko, Izutsu Yumi, Yoshizato Katsutoshi, Morita Saho, Tokunaga Masato, Yukawa Hiroshi, Baba Yoshinobu, Teki Yoshio, Fujiwara Masazumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Glass-patternable notch-shaped microwave architecture for on-chip spin detection in biological samples	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lab on a Chip	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2LC00112H	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 Kawasaki Daiki, Yamada Hirotaka, Sueyoshi Kenji, Hisamoto Hideaki, Endo Tatsuro	4. 巻 361
2. 論文標題 Au nanorods-TiO <sub>2</sub> photonic crystal plasmonic-photonic hybrid sensor for label-free detection and identification of DNA molecules with single nucleotide polymorphisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 131747
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.snb.2022.131747	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 Yamada Hirotaka, Kawasaki Daiki, Sueyoshi Kenji, Hisamoto Hideaki, Endo Tatsuro	4. 巻 13
2. 論文標題 Fabrication of Metal-Insulator-Metal Nanostructures Composed of Au-MgF <sub>2</sub> -Au and Its Potential in Responding to Two Different Factors in Sample Solutions Using Individual Plasmon Modes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi13020257	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 Yamada Hirotaka, Sueyoshi Kenji, Hisamoto Hideaki, Endo Tatsuro	4. 巻 12
2. 論文標題 Modulating Optical Characteristics of Nanoimprinted Plasmonic Device by Re-Shaping Process of Polymer Mold	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1323
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi12111323	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、Shikano Yutaka	4. 巻 32
2. 論文標題 Diamond quantum thermometry: from foundations to applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 482002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac1fb1	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 Yajuan Zou, Shinji Ito, Masazumi Fujiwara, Naoki Komatsu	4. 巻 na
2. 論文標題 Probing the role of charged functional groups on nanoparticles grafted with polyglycerol in protein adsorption and cellular uptake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2111077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202111077	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 Hiroshi Yukawa, Masazumi Fujiwara, Kaori Kobayashi, Yuka Kumon, Kazu Miyaji, Yushi Nishimura, Keisuke Oshimi, Yumi Umehara, Yoshio Teki, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, Hideki Hashimoto and Yoshinobu Baba	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 Chiasa Uragami, Hiroki Sato, NaoYukihira, MasazumiFujiwara, Daisuke Kosumi, Alastair T.Gardiner, Richard J.Cogdell, Hideki Hashimoto	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
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 該当する

1. 著者名 Masazumi Fujiwara, Simo Sun, Alexander Dohms, Yushi Nishimura, Ken Suto, Yuka Takezawa, Keisuke Oshimi, Li Zhao, Nikola Sadzak, Yumi Umehara, Yoshio Teki, Naoki Komatsu, Oliver Benson, Yutaka Shikano, Eriko Kage-Nakadai	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 Masazumi Fujiwara, Alexander Dohms, Ken Suto, Yushi Nishimura, Keisuke Oshimi, Yoshio Teki, Kai Cai, Oliver Benson, and Yutaka Shikano	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 Phys. Rev. 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 Yushi Nishimura, Keisuke Oshimi, Yumi Umehara, Yuka Kumon, Kazu Miyaji, Hiroshi Yukawa, Yutaka Shikano, Tsutomu Matsubara, Masazumi Fujiwara, Yoshinobu Baba, Yoshio Teki	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 -

1. 著者名 Tatsuro Endo, Hirotaka Yamada, Kenji Yamada	4. 巻 11
2. 論文標題 Template Stripping Method-Based Au Nanoarray for Surface-Enhanced Raman Scattering Detection of Antiepileptic Drug	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi111100936	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 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 Hiroataka Yamada, Daiki Kawasaki, Chigusa Inoue, Kenichi Maeno, Kenji Sueyoshi, Hideaki Hisamoto, Tatsuro Endo	4. 巻 32
2. 論文標題 Au "Edged Hole Array" for Sensor Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 101-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.101	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 Daiki Kawasaki, Hiroataka Yamada, Kenichi Maeno, Kenji Sueyoshi, Hideaki Hisamoto, Tatsuro Endo	4. 巻 2
2. 論文標題 Core?Shell-Structured Gold Nanocone Array for Label-Free DNA Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 4983-4990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b00930	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 Daiki Kawasaki, Kenichi Maeno, Hiroataka Yamada, Kenji Sueyoshi, Hideaki Hisamoto, Tatsuro Endo	4. 巻 299
2. 論文標題 TiN-contained polymer-metal core-shell structured nanocone array: Engineering of sensor performance by controlling plasmonic properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 126932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2019.126932	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42件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara, Simo Sun, Alexander Dohms, Yushi Nishimura, Ken Suto, Yuka Takezawa, Keisuke Oshimi, Li Zhao, Nikola Sadzak, Yumi Umehara, Yoshio Teki, Naoki Komatsu, Oliver Benson, Yutaka Shikano, and Eriko Kage-Nakadai
2. 発表標題 Real-time nanodiamond thermometry probing nematode worms
3. 学会等名 International Conference on New Diamond and Nano Carbons (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Oshimi, Yushi Nishimura, Eiji Shikoh, Yuka Takezawa, Eriko Kage-Nakadai, Masazumi Fujiwara, Yoshio Teki
2. 発表標題 Antenna-integrated culture dishes for 10-mm-scale large-area detection of optically detected magnetic resonance of nanodiamond NV centers
3. 学会等名 14th International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2020/2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Oshimi, Yushi Nishimura, Eiji Shikoh, Yuka Takezawa, Eriko Kage-Nakadai, Masazumi Fujiwara, Yoshio Teki
2. 発表標題 Antenna-integrated culture dishes for large-area detection of optically detected magnetic resonance of nanodiamond NV centers
3. 学会等名 ISMAR-APNMR 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原正澄
2. 発表標題 ダイヤモンド量子センサを用いた温度計測に関する考察
3. 学会等名 量子生命科学会第3回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原正澄
2. 発表標題 ダイヤモンド量子センシング温度計を用いたナノ温度計測
3. 学会等名 2021年日本化学会中国四国支部大会 高知大会 (招待講演)
4. 発表年 2021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量子センサの温度計測と生体計測応用
3. 学会等名 Biothermology Workshop 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021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の光スピン計測と生体分析への応用
3. 学会等名 光応用光学特別研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島悠佑, 小林奈緒, 植田渉太郎, 川崎大輝, 末吉健志, 久本秀明, 遠藤達郎
2. 発表標題 フォトリック結晶を用いたDNAメチル化の光検出
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第43回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤達郎, 井上千種, 川崎大輝, 山田大空, 末吉健志, 久本秀明
2. 発表標題 イオン選択性可塑化PVC複合型プラズモニクイオンセンサの開発
3. 学会等名 第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川ふう大, 山田大空, 川崎大輝, 西辻凌輔, 遠藤達郎, 末吉健志, 久本秀明
2. 発表標題 プラズモニク結晶を用いた非標識PCR法の開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤達郎
2. 発表標題 バイオセンシング応用を指向したプラズモニクデバイスの開発
3. 学会等名 第20回プラズモニク化学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara
2. 発表標題 Nanodiamond quantum sensing and its application to biological thermometry
3. 学会等名 2020 MRS Virtual Spring/Fall Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masazumi Fujiwara, Simo Sun, Alexander Dohms, Yushi Nishimura, Ken Suto, Yuka Takezawa, Keisuke Oshimi, Li Zhao, Nikola Sadzak, Yumi Umehara, Yoshio Teki, Naoki Komatsu, Oliver Benson, Yutaka Shikano, and Eriko Kage-Nakadai
2. 発表標題 Real-time nanodiamond thermometry probing in vivo thermogenic responses
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原正澄, S. Sun, A. Dohms, 西村勇姿, 首藤健, 竹澤有華, 押味佳裕, L. Zhao, N. Sadzak, 梅原有美, 手木芳男, 小松直樹, O. Benson, 鹿野豊, 中台(鹿毛)枝里子
2. 発表標題 電子スピン共鳴融合型蛍光顕微鏡による線虫のin-vivo温度計測
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原正澄, Simo Sun, Alexander Dohms, 西村勇姿, 首藤 健, 竹澤有華, 押見佳裕, Li Zhao, Nikola Sadzak, 梅原有美, 手木芳男, 小松直樹, Oliver Benson, 鹿野 豊, 中台枝里子
2. 発表標題 生体内リアルタイム蛍光ナノダイヤモンド温度計測
3. 学会等名 量子情報技術研究会(QIT)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原 正澄, Sun S, Dohms A, 西村 勇姿, 首藤 健, 竹澤 有華, 押味 佳裕, Zhao L, Sadzak N, 梅原 有美, 手木 芳男, 小松 直樹, Benson O, 鹿野 豊, 中台 枝里子
2. 発表標題 生体内リアルタイム蛍光ナノダイヤモンド温度計測
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020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による温度計測
3. 学会等名 量子生命科学会第2回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押味 佳裕、西村 勇姿、田中 益明、仕幸 英治、松原 勤、藤原 正澄、手木 芳男
2. 発表標題 広領域マイクロ波照射が可能な細胞培養ディッシュの開発
3. 学会等名 量子生命科学会第2回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原正澄, A. Doh ms, 首藤 健, 西村 勇 姿, 押味 佳裕, 手木芳男, 蔡 凱, O. Benson, 鹿野 豊
2. 発表標題 ダイヤモンドN V 中心の 電子 スピン 共鳴周波数が示す光強度 依存性とセンシングにおける アーティファクト
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 押味 佳裕, 西村 勇姿, 仕幸 英治, 竹澤 有華, 中台 枝里子, 藤原 正澄, 手木 芳男
2. 発表標題 広領域でナノダイヤモンドのNV 中心の光検出磁気共鳴が可能なアンテナ一体型ディッシュの開発
3. 学会等名 第68回春季応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

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 3 rd 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 Microwave-antenna-integrated cell dishes for nanodiamond quantum thermometry
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 山田大空, 志水友哉, 小林奈緒, 末吉健志, 久本秀明, 遠藤達郎
2. 発表標題 モールド形状制御によるナノインプリント製プラズモニック結晶のセンサ性能制御
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田大空, 川崎大輝, 井上千種, 前野権一, 末吉健志, 久本秀明, 遠藤達郎
2. 発表標題 広域プラズモン増強電場発生を示すMetal-Insulator-Metalドットアレイの開発
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 遠藤 達郎, 孫 佳儀, 前野 権一, 安藝 翔馬, 末吉 健志, 久本 秀明
2. 発表標題 ポリマー製フォトニック結晶ナノ共振器の設計・作製と高感度光センサへの応用
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019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 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1件

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 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/024945	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

代表者研究室ホームページ <a href="https://www.nanochem-okayama-u.net/">https://www.nanochem-okayama-u.net/</a> 代表者Research Map <a href="https://researchmap.jp/masazumifujiwara">https://researchmap.jp/masazumifujiwara</a> 分担者Research Map <a href="https://researchmap.jp/t_endo">https://researchmap.jp/t_endo</a>
---

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	遠藤 達郎  (Endo Tatsuro)  (40432017)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授    (24403)	

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	ベルリン・フンボルト大学			
中国	蘇州大学			