

令和 3 年 5 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04930

研究課題名(和文)ブリルアン散乱スペクトルの形状解析に基づく光ファイバ型高速分布センサの機能進化

研究課題名(英文)Development of Fiber-Optic High-Speed Distributed Sensors Based on Brillouin Spectral Analysis

研究代表者

水野 洋輔(Mizuno, Yosuke)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30630818

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,300,000円

研究成果の概要(和文)：安心・安全な社会に寄与するため、長尺の光ファイバに沿った任意の位置で歪(ひずみ)や温度を測定できる「分布型光ファイバセンサ」、特にブリルアン散乱を用いた光相関領域反射計の高性能化に取り組んだ。大きな成果として、(1) ガラス光ファイバを用いた高速分布測定における歪ダイナミックレンジの劇的拡大、(2) 精緻な偏波状態の制御に基づくシステムの感度と安定性の向上、(3) 種々の最適化によるシステムの小型化と低コスト化、(4) プラスチック光ファイバ(POF)中のブリルアン散乱の物性解明と世界最速の分布測定の実現、などの成果を得た。また、POFのヒューズ現象に基づき、高感度磁場センサも実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブリルアン散乱を用いた分布型光ファイバセンサは、世界中で多種多様な研究が進められている。その中で、本研究により我々が性能向上を進めた技術は、手法を問わず、片端光入射での動作とリアルタイム動作および高空間分解能を同時に実現した世界で唯一の技術であり、学術的意義は大きい。また、本成果は、学术界だけではなく、構造物の健全性診断に興味をもつ環境・建築・土木分野の企業や、防災・減災を大きな課題と目する政府にもインパクトを与え得る。人類の生活の安全性向上への寄与につながるものと考えられ、社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：To develop smart materials and structures, we have drastically improved the performance of distributed optical fiber sensors based on Brillouin scattering, called Brillouin optical correlation-domain reflectometry (BOCDR). Our achievements include (1) extended strain dynamic range of high-speed BOCDR, (2) enhanced sensitivity and stability by polarization manipulation, (3) system miniaturization and cost reduction by various optimizations, and (4) clarification of Brillouin scattering properties in plastic optical fibers (POFs) and POF-based BOCDR operation with the world-highest sampling rate. We have also demonstrated high-sensitivity magnetic field sensing using "fused" POFs.

研究分野：光ファイバセンシング

キーワード：光ファイバセンサ ブリルアン散乱 非線形光学 防災技術 分布計測 プラスチック 相関領域反射計 高速化

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、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 高度経済成長期に集中的に建設されたインフラ（ビルやトンネルの内壁、ダムやパイプライン、橋梁など。飛行機の翼や風車の羽根も含む）の経年劣化や地震等の自然災害による損傷が社会問題となっており、これらの構造物に光ファイバを埋め込み状態を監視するシステムの重要性が高まっている。そのため、光ファイバに沿った任意の位置で歪（ひずみ）の大きさや温度を測定できる「分布型光ファイバセンサ」を実現しようと種々の取り組みが行われている[1]。

(2) 我々は、分布センシング原理となりうる光ファイバ中の散乱現象として、超音波と光の相互作用である「ブリルアン散乱」に着目している。ブリルアン散乱による反射光は、光ファイバ中の超音波によってドップラ効果を受け、周波数が「ブリルアン周波数シフト(BFS)」と呼ばれる量だけ下がる。この BFS は光ファイバに印加された歪の大きさや温度に比例して変化するため、BFS を測定することでそれらを決定することが可能となる[2]。

(3) 歪や温度の位置情報は、光パルスを入射して反射光が届く時間差から位置を分解する時間領域法が一般的である。一方、これまでに我々は連続光の相関を制御することで位置分解を行う相関領域法「ブリルアン光相関領域反射計」(BOCDR) を提案した。この手法は、① 光ファイバの片端から光を入射するだけの動作（光ファイバが破断しても動作が継続・構造物に敷設する際の自由度が高い）、② 6 mm の高空間分解能、③ 他の分布センサと比較して低コスト、④ ブリルアン散乱スペクトル (BGS) の形状解析によりリアルタイム動作が可能、などの利点を併せもつことから、精力的に研究が推進されてきた[3]。

(4) しかし、リアルタイム動作の代償として、歪ダイナミックレンジ（測定可能な歪範囲）が約 0.2% までに制限されてしまう、測定感度および安定性が十分でない、大型装置の使用がシステムの小型化・低コスト化を阻む、という問題があった。そこで、これらを解決し、本システムの性能を向上させることが急務であった。

2. 研究の目的

本研究では、BOCDR 技術の性能向上を目的とする。具体的には、高速動作時の歪ダイナミックレンジの上限の緩和、測定感度と安定性の向上、大型装置の撤廃によるシステムの小型化・低コスト化を実現する。また、プラスチック光ファイバ (POF) の利用やその他の新たな発想に基づき、BOCDR の各種性能を向上させる。

3. 研究の方法

(1) 歪ダイナミックレンジの上限の撤廃：高速測定を実現するために、本来周波数領域である BGS を時間領域に変換する。その際、BGS とミキシングするマイクロ波発生器の出力周波数の掃引範囲を、印加が想定される歪範囲を十分に含むよう動的に制御する。図 1 に実験系を示す[4]。従来 0.2% に制限されていた歪ダイナミックレンジを 10 倍以上向上させることを目指す。

(2) 測定感度と安定性の向上：偏波保持光ファイバ (PMF) を用いた上で偏波状態を最適化することで、傾斜利用高速測定方式の測定感度と安定性を向上させる。

(3) システムの小型化と低コスト化：実験系に含まれている光増幅器を最小限に抑える、および、相関領域法のキーとなる光源周辺の装置を最小化する、という 2 つの方向性から実現する。

(4) POF の利用など：POF 中のブリルアン散乱の特性について、巨大歪に対する応答や、歪と温度の相互依存性、圧力に対する応答などを調査する。また、POF を用いて BOCDR による分布測定を実証する。他にも、新たな発想に基づく性能向上・新機能実現として、従来のブリルアン散乱とは異なる導波音響波型ブリルアン散乱 (GAWBS) の特性評価と相関領域分布センシングへの応用を行う。また、現時点では BOCDR に直接関連はしないが、ヒューズ後の POF を用いた磁界センシングも実現する。

4. 研究成果

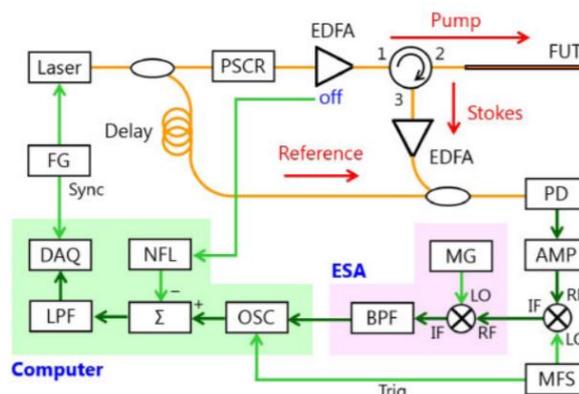


図 1. 歪ダイナミックレンジを拡大した高速 BOCDR の実験系。詳細は[4]を参照。

(1) ガラス光ファイバの破断歪に近い 2%までの大きな歪に対する BGS の依存性を調査した結果を図 2(a)である。2%までの歪に対して明瞭に BGS がシフトした。そのピークを与える周波数である BFS の歪に対する依存性を図 2(b)に示す。おおよそ線形となった。従来 0.2%までの歪までしか測定できなかったが、本システムによって歪ダイナミックレンジが 10 倍以上となったことが示された。次に、本システムを用いて、7 m の測定ファイバの 0.4 m の区間に 0, 0.3, 0.6%の歪を印加したときの分布測定結果を図 3(a)-(d)に示す。歪印加区間と歪の大きさが正しく検出できた。他にも、空間分解能約 5 cm での歪分布検出や振動測定も実証し、歪ダイナミックレンジの上限の大幅緩和に成功した[4]。

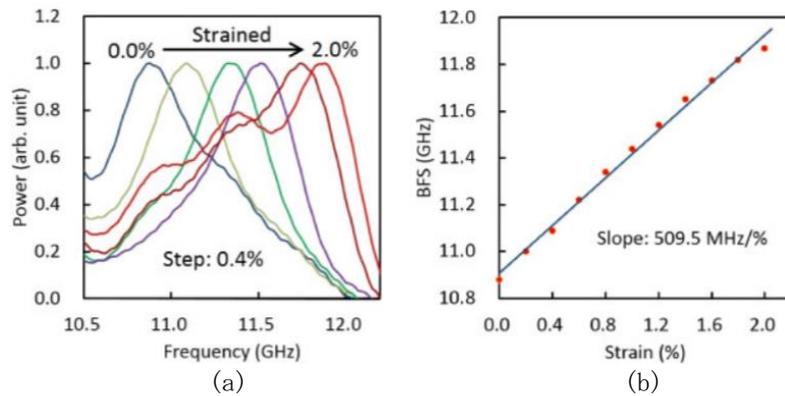


図 2. ガラス光ファイバに対して 2%までの大きな歪を印加したときの (a) BGS、および、(b) BFS の応答。

(2) 測定ファイバに PMF を用いて、偏波状態を制御したときの BGS の測定結果を図 4(a)に示す。偏波を最適化することで信号対雑音比が向上できることが明らかになった。また、スペクトルの傾斜パワーと印加歪の関係を図 4(b)に示す。この依存性の傾きがシステムの感度であり、偏波を最適化することで感度が従来の 1.4 倍に向上することが明らかになった。以上により、PMF を用いることでシステムの感度と安定性を向上させることに成功した[5]。

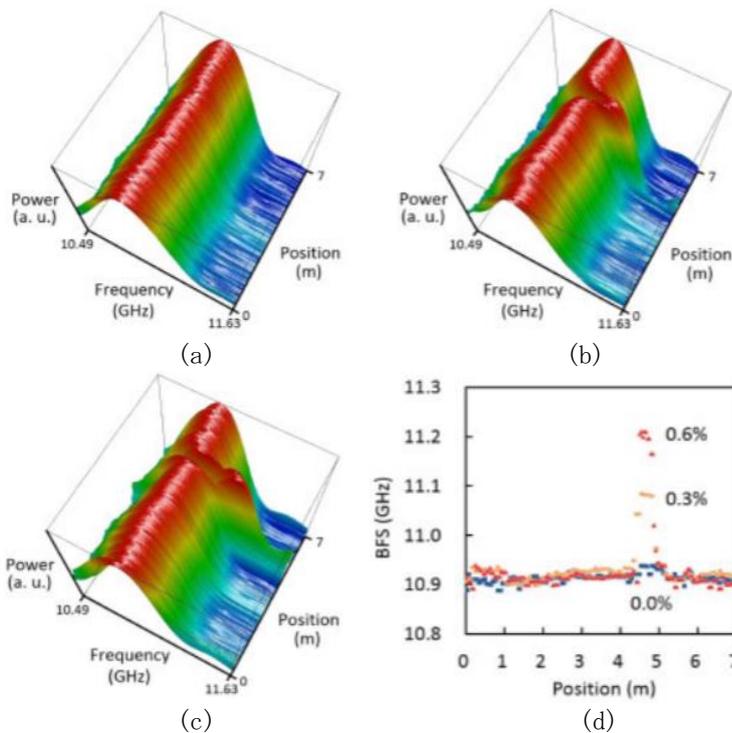


図 3. 7 m の光ファイバの 0.4 m の区間に 3 種類の歪を印加したときの (a) (b) (c) BGS 分布、および、(d) BFS 分布。

(3) 一般的な BOCDR の実験系には、参照光・入射光・散乱光を増幅するため、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) が 3 台含まれることが多い。今回、これらの増幅器が測定結果に与える影響を精査し、散乱光を増幅する EDFA が最も重要な役割を果たしてい

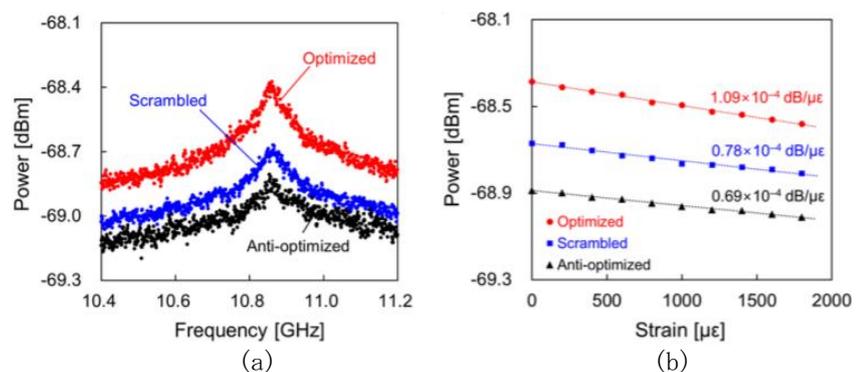


図 4. 測定ファイバに PMF を用いたときの、各偏波状態に対する (a) BGS、および、(b) 傾斜パワーの歪依存性。

ることを明らかにした。逆に、それ以外の2台のEDFAを撤廃しても、信号対雑音比は多少低下するものの、基礎的な分布測定動作には問題がないことが明らかになった。また、BOCDRの光源として用いられている半導体レーザーの環境温度の揺らぎが測定結果に与える影響も精査した。その結果、BOCDRの自己ヘテロダイン検波の特性として、レーザーの温度調整機構を撤廃しても、現状のBOCDRで達成し得る測定精度よりも小さい影響しかないことが明らかになった。つまり、温度調整機構をもたないレーザーを用いてBOCDRを構成することが可能であるといえる。以上により、システムの小型化および低コストを推進することに成功した。今後は、電気スペクトラムアナライザを撤廃し、本方向性を更に促進したい。

(4) POFは、その高い柔軟性やガラスとは全く異なる物性から、光ファイバセンサ分野に新しい潮流をもたらす可能性があると思われる。本研究では、従来知られていなかったPOF中のブリルアン散乱のセンシング特性を解明した。まず、120%を超える極めて巨大な歪印加に対するPOF中のBGSおよびBFSの依存性を調査した。その結果、ポリマー材料特有の複雑な挙動を示した。センサ応用の観点からは、感度は低いものの、ブリルアン散乱を用いて巨大歪を検出できる可能性を示す結果と解釈できた。次に、BFSの歪感度が温度依存性を有することを発見し、補正法を提案した。加えて、圧力に対するBFSの感度がガラスファイバに比べてけた違いに大きいこと、そして、圧力の変化に対してヒステリシスを示すことを明らかにした。さらに、POFを用いたBOCDRにおけるノイズ低減手法を開発した。これを用いて、POFに沿った温度分布を測定した結果を図5(a)(b)(c)に示す。従来よりも遥かに高い信号対雑音比で温度分布を測定することができた。また、POFに局所的に印加された2 Hzの振動を検出した結果を図6(a)(b)(c)に示す。高い信号対雑音比で振動を検出することができた。ほかにも、高い空間分解能での分布測定も実証した。以上から、POF独自の機能を有する分布計測の可能性を世に示すことができた[6]。ほかにも、GAWBSの特性を評価し、相関領域法による温度分布測定を実証した。また、ヒューズ後のPOF中のモード間干渉を利用した高感度な磁界センシングにも成功した。

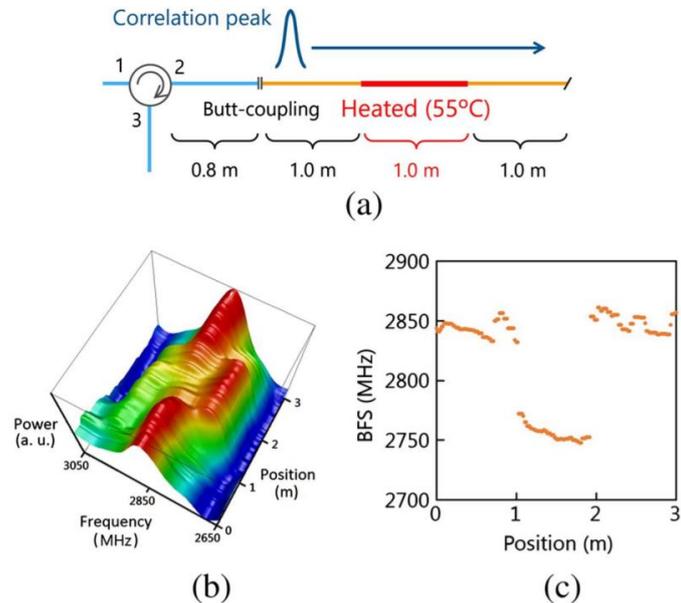


図5. POFを用いた分布測定結果。(a) 測定ファイバの構成、(b) BGS分布、(c) BFS分布。

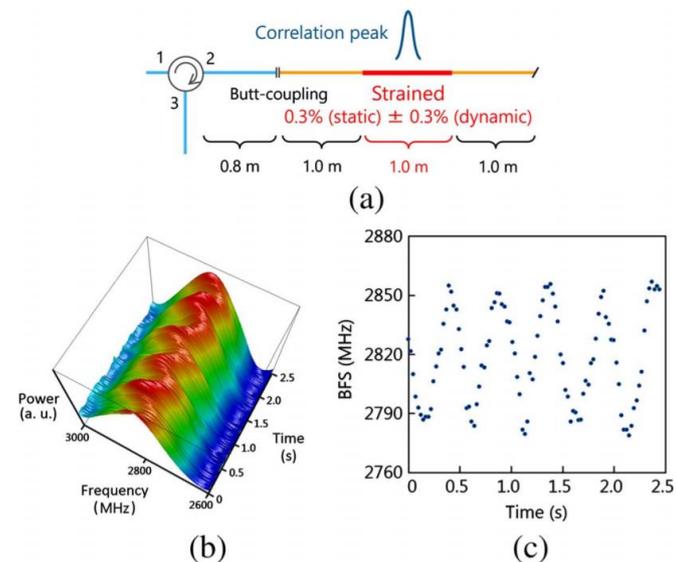


図6. POFを用いた振動検出結果。(a) 測定ファイバの構成、(b) BGSの時間変動、(c) BFSの時間変動。

<引用文献>

- ① K. Hotate, Appl. Sci. **9**, 187 (2019).
- ② G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* (Academic Press, Boca Raton, 2001).
- ③ Y. Mizuno, et al., Opt. Express **16**, 12148 (2008).
- ④ Y. Mizuno, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 072501 (2017).
- ⑤ H. Lee, et al., OSA Contin. **2**, 874 (2019).
- ⑥ Y. Mizuno, et al., Opt. Lett. **44**, 2097 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計45件（うち査読付論文 45件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 K. Shikinaka, W. Qiu, N. Hayashi, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 23
2. 論文標題 Ultrasonic velocity measurement in imogolite-based colloidal solution and thixotropic hydrogel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clay Science	6. 最初と最後の頁 15-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11362/jcssjclayscience.23.1_15	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 Y. Mizuno, H. Lee, N. Hayashi, and K. Nakamura	4. 巻 44
2. 論文標題 Noise suppression technique for distributed Brillouin sensing with polymer optical fibers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Lett.	6. 最初と最後の頁 2097-2100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.44.002097	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 Y. Mizuno, S. Hagiwara, N. Matsutani, K. Noda, H. Lee, and K. Nakamura	4. 巻 16
2. 論文標題 Observation of multimodal interference in millimeter-long polymer optical fibers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Electron. Express	6. 最初と最後の頁 20190135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/elex.16.20190135	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 Y. Mizuno, R. Ishikawa, H. Lee, A. Theodosiou, K. Kalli, and K. Nakamura	4. 巻 19
2. 論文標題 Potential of discriminative sensing of strain and temperature using perfluorinated polymer FBG	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Sens. J.	6. 最初と最後の頁 4458-4462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2019.2900464	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 Y. Mizuno, S. Hagiwara, H. Lee, Y. Ochi, T. Matsui, Y. Matsumoto, Y. Tanaka, H. Nakamura, and K. Nakamura	4. 巻 12
2. 論文標題 Infrared thermometry for breakage detection of optical fibers embedded in structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 62007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab1e92	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 K. Noda, H. Lee, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 58
2. 論文標題 First demonstration of Brillouin optical correlation-domain reflectometry based on external modulation scheme	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 68004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0784	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 H. Lee, K. Noda, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 30
2. 論文標題 Trade-off relation between strain dynamic range and spatial resolution in slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meas. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 75204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/ab22ec	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 Y. Mizuno, G. Han, K. Noda, H. Lee, and K. Nakamura	4. 巻 55
2. 論文標題 Low-cost Brillouin optical correlation-domain reflectometry involving merely one fibre amplifier	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electron. Lett.	6. 最初と最後の頁 754-756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el.2019.0572	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 Y. Mizuno, T. Ma, R. Ishikawa, H. Lee, A. Theodosiou, K. Kalli, and K. Nakamura	4. 巻 12
2. 論文標題 Twist dependencies of strain and temperature sensitivities of perfluorinated graded-index polymer optical fiber Bragg gratings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 82007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab3013	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 J. Wu, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 28
2. 論文標題 A traveling-wave ultrasonic motor utilizing a ring-shaped alumina/PZT vibrator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Smart Mater. Struct.	6. 最初と最後の頁 125017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-665X/ab4d5d	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 H. Lee, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 2
2. 論文標題 Enhanced stability and sensitivity of slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry using polarization-maintaining fibers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OSA Contin.	6. 最初と最後の頁 874-880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.2.000874	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 Y. Mizuno, T. Ma, R. Ishikawa, H. Lee, A. Theodosiou, K. Kalli, and K. Nakamura	4. 巻 58
2. 論文標題 Lorentzian demodulation algorithm for multimode polymer optical fiber Bragg gratings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 28003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aaf897	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 H. Lee, K. Noda, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 55
2. 論文標題 Distributed temperature sensing based on slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry with over 10 km measurement range	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electron. Lett.	6. 最初と最後の頁 276-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el.2018.7998	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 K. Noda, G. Han, H. Lee, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 12
2. 論文標題 Proposal of external modulation scheme for fiber-optic correlation-domain distributed sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 22005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaf416	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 J. Wu, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 91
2. 論文標題 Enhancement in mechanical quality factors of poly phenylene sulfide under high-amplitude ultrasonic vibration through thermal annealing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 52-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2018.07.003	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 Y. Mizuno, N. Matsutani, N. Hayashi, H. Lee, M. Tahara, H. Hosoda, and K. Nakamura	4. 巻 26
2. 論文標題 Brillouin characterization of slimmed polymer optical fibers for strain sensing with extremely wide dynamic range	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 28030-28037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.028030	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 Y. Mizuno, H. Lee, and K. Nakamura	4. 巻 8
2. 論文標題 Recent advances in Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Sci.	6. 最初と最後の頁 1845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8101845	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 J. Wu, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 284
2. 論文標題 Ultrasonic motors with poly phenylene sulfide/alumina/PZT triple-layered vibrators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sens. Actuat. A: Phys.	6. 最初と最後の頁 158-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2018.09.069	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 -

1. 著者名 W. Qiu, Y. Mizuno, K. Adachi, and K. Nakamura	4. 巻 282
2. 論文標題 Ultrasonic motor performance influenced by lubricant properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sens. Actuat. A: Phys.	6. 最初と最後の頁 183-191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2018.09.022	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 J. Wu, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 27
2. 論文標題 Vibration characteristics of polymer-based Langevin transducers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Smart Mater. Struct.	6. 最初と最後の頁 95013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-665X/aad530	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 Y. Mizuno, G. Numata, T. Kawa, H. Lee, N. Hayashi, and K. Nakamura	4. 巻 E101-C
2. 論文標題 Multimodal interference in perfluorinated polymer optical fibers: Application to ultrasensitive strain and temperature sensing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Electron.	6. 最初と最後の頁 602-610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.E101.C.602	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 H. Lee, Y. Ochi, T. Matsui, Y. Matsumoto, Y. Tanaka, H. Nakamura, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 11
2. 論文標題 Distributed strain measurement and possible breakage detection of optical-fiber-embedded composite structure using slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 72501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.072501	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 N. Hayashi, Y. Mizuno, K. Nakamura, S. Y. Set, and S. Yamashita	4. 巻 11
2. 論文標題 Experimental observation of spontaneous depolarized guided acoustic-wave Brillouin scattering in side cores of a multi-core fiber	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 62502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.062502	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 H. Lee, T. Ma, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 8
2. 論文標題 Bending-loss-independent operation of slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 7844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-26153-6	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 A. G. Leal-Junior, A. Frizera, H. Lee, Y. Mizuno, K. Nakamura, C. Leitao, M. F. Domingues, N. Alberto, P. Antunes, P. Andre, C. A. F. Marques, and M. J. Pontes	4. 巻 43
2. 論文標題 Design and characterization of curvature sensor using fused polymer optical fibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Lett.	6. 最初と最後の頁 2539-2542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.002539	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 Y. Mizuno, N. Hayashi, H. Fukuda, and K. Nakamura	4. 巻 25
2. 論文標題 Phase-detected Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Rev.	6. 最初と最後の頁 473-485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-018-0436-1	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 A. G. Leal-Junior, A. Frizera, H. Lee, Y. Mizuno, K. Nakamura, T. Paixao, C. Leitao, M. F. Domingues, N. Alberto, P. Antunes, P. Andre, C. A. F. Marques, and M. J. Pontes	4. 巻 26
2. 論文標題 Strain, temperature, moisture, and transverse force sensing using fused polymer optical fibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 12939-12947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.012939	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 X. Zeng, Y. Mizuno, K. Nakamura, S. Fuse, and H. Nakamura	4. 巻 39
2. 論文標題 Compact test set for sensitivity evaluation of photoacoustic contrast agent	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acoust. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 259-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.39.259	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 A. G. Leal-Junior, A. Frizera, M. J. Pontes, P. Antunes, N. Alberto, M. F. Domingues, H. Lee, R. Ishikawa, Y. Mizuno, K. Nakamura, P. Andre, and C. A. F. Marques	4. 巻 43
2. 論文標題 Dynamic mechanical analysis on fused polymer optical fibers: towards sensor applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Lett.	6. 最初と最後の頁 1754-1757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.001754	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 K. Hasebe, Y. Mizuno, and K. Nakamura	4. 巻 38
2. 論文標題 Non-contact alignment-free soundness evaluation of adhesive anchors by exciting/detecting longitudinal bolt vibrations using electromagnetic acoustic waves	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Acoustical Science Technology	6. 最初と最後の頁 225-228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.38.225	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 Lee Heeyoung, Hayashi Neisei, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 35
2. 論文標題 Slope-Assisted Brillouin Optical Correlation-Domain Reflectometry Using Polymer Optical Fibers With High Propagation Loss	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 2306 ~ 2310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2017.2663440	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 Minakawa Kazunari, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 35
2. 論文標題 Cross Effect of Strain and Temperature on Brillouin Frequency Shift in Polymer Optical Fibers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 2481 ~ 2486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2017.2689331	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 Mizuno Yosuke, Ujihara Hiroki, Lee Heeyoung, Hayashi Neisei, Nakamura Kentaro	4. 巻 10
2. 論文標題 Polymer optical fiber tapering using hot water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 62502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.062502	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 Kawa Tomohito, Numata Goki, Lee Heeyoung, Hayashi Neisei, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 56
2. 論文標題 Temperature sensing based on multimodal interference in polymer optical fibers: Room-temperature sensitivity enhancement by annealing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 78002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.078002	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 Mizuno Yosuke, Hayashi Neisei, Fukuda Hideyuki, Nakamura Kentaro	4. 巻 56
2. 論文標題 Single-end-access distributed strain sensing with wide dynamic range using higher-speed Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 72501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.072501	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 Tanaka Hiroki, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 56
2. 論文標題 Ejection of small droplet from microplate using focused ultrasound	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 87202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.087202	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 Zeng Xi, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 56
2. 論文標題 Sound intensity probe for ultrasonic field in water using light-emitting diodes and piezoelectric elements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 127301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.127301	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 Wu Jiang, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 26
2. 論文標題 Structural parameter study on polymer-based ultrasonic motor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Smart Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 115022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-665X/aa8f71	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 Y. Mizuno, H. Lee, S. Shimada, Y. Matsumoto, Y. Tanaka, H. Nakamura, and K. Nakamura	4. 巻 14
2. 論文標題 Pilot demonstration of refractive index sensing using polymer optical fiber crushed with slotted screwdriver	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 20170962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/elex.14.20170962	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 Ishikawa Ryo, Lee Heeyoung, Lacraz Amedee, Theodosiou Antreas, Kalli Kyriacos, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 29
2. 論文標題 Pressure Dependence of Fiber Bragg Grating Inscribed in Perfluorinated Polymer Fiber	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 2167 ~ 2170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2017.2767082	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 Lee Heeyoung, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 268
2. 論文標題 Measurement sensitivity dependencies on incident power and spatial resolution in slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 68 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2017.10.063	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 Matsutani Natsuki, Lee Heeyoung, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 57
2. 論文標題 Long-term stability enhancement of Brillouin measurement in polymer optical fibers using amorphous fluoropolymer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 18001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.018001	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 Lee Heeyoung, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 57
2. 論文標題 Detection of 2-mm-long strained section in silica fiber using slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 20303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.020303	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 Mizuno Yosuke, Lee Heeyoung, Hayashi Neisei, Nakamura Kentaro	4. 巻 11
2. 論文標題 Hydrostatic pressure dependence of Brillouin frequency shift in polymer optical fibers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 12502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.012502	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 Ishikawa Ryo, Lee Heeyoung, Lacraz Amedee, Theodosiou Antreas, Kalli Kyriacos, Mizuno Yosuke, Nakamura Kentaro	4. 巻 57
2. 論文標題 Strain dependence of perfluorinated polymer optical fiber Bragg grating measured at different wavelengths	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 38002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.038002	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106件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 63件)

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Y. Mizuno as Section Editor	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 2412
3. 書名 Handbook of Optical Fibers (Part IX “Distributed Optical Fiber Sensing”)	

1. 著者名 Y. Mizuno, N. Hayashi, and K. Nakamura	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 39
3. 書名 [Book Chapter] Distributed Brillouin Sensing Using Polymer Optical Fibers	

〔産業財産権〕

〔その他〕

横浜国立大学 水野研究室
<https://mizuno.ynu.ac.jp/>

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

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