

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：32619

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22417

研究課題名（和文）アクリルプラスチック光ファイバ中のブリルアン散乱の観測と特性解明および工学応用

研究課題名（英文）Observation of Brillouin scattering in acrylic plastic optical fibers and its engineering applications

研究代表者

李 ひよん（Lee, Heeyoung）

芝浦工業大学・工学部・助教

研究者番号：30870787

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：アクリルプラスチック光ファイバ（POF）中のブリルアン利得スペクトルの観測を可視光帯で試みたが、信号対雑音比（SNR）が低く、明瞭な観測には至らなかった。しかし、SNR向上のための様々な方策を施す過程で、別の切り口での多くの成果が得られた。まず、フレネルアシスト方式に基づくブリルアン散乱観測系の最適化に成功した。具体的には、独立した参照光路を撤廃し、測定ファイバの開放端に反射率可変ミラーを設置した簡素なブリルアン観測系を提案し、SNRの最大化を達成した。また、高価かつ大型の電気スペクトラムアナライザを使用せずに光ファイバ中のブリルアン周波数シフトを検出する手法を提案し、その基本動作を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブリルアン散乱に基づく歪や温度の分布型光ファイバセンシング技術は、社会インフラの健全性を診断するための手法として世界中で注目を集めている。実験室レベルでは、サブcmオーダの空間分解能でkmオーダの光ファイバに沿った分布測定が実証されるなど、その進展は著しい。しかし、光ファイバセンシング技術が広く社会に浸透し、安全な人類生活に貢献するために避けては通れない壁が、その高いコストおよび大型のデバイスの使用である。本研究で得られた成果は、ブリルアン散乱を観測するための実験系を低廉化し、かつ、大型装置の使用を撤廃し可搬性を向上するものであり、今後の技術普及を促進する重要な成果であると考えている。

研究成果の概要（英文）：We attempted to observe the Brillouin gain spectrum (BGS) in an acrylic plastic optical fiber (POF) at visible wavelength, but its low signal-to-noise ratio prevented us from observing the BGS clearly. However, during the process of various strategies for improving the SNR, we made some new achievements, one of which is the optimization of the Brillouin observation setup assisted by Fresnel reflection. Specifically, we removed the independent reference path and developed a simplified setup with a reflectivity-variable mirror at the sensing fiber end, which led to a maximal SNR. We also developed a cost-efficient detection technique for Brillouin frequency shift without the use of an electrical spectrum analyzer and demonstrated its fundamental operation.

研究分野：計測工学

キーワード：光ファイバセンサ ブリルアン散乱 プラスチック光ファイバ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会インフラの自然災害による損傷や経年劣化が問題となっており、構造物の健全性診断を行う手法の一つとして、長い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」が注目を集めている。特に、光ファイバ中で生じるブリルアン散乱の周波数シフトが歪や温度に依存する性質を用いた分布型センサは、高い安全性や高い空間分解能、低廉性などの長所を有することから、精力的に研究が推進されてきた[1,2]。

(2) ブリルアン散乱に基づく分布型光ファイバセンサでは、一般に測定ファイバとしてシリカガラス光ファイバが用いられることが多い。しかし、ガラスは数%の歪で破断されてしまうため、大きな歪を測定することは困難であった。そこで、2010年に東京工業大学の研究グループによって柔軟性の高いプラスチック(ポリマー)光ファイバ(POF)中のブリルアン散乱が初めて実験的に観測された以来、POF中のブリルアン散乱を分布測定に活用しようとする取り組みが行われてきた[3]。

(3) しかし、これまでのPOF中のブリルアン散乱に関する研究では、一般的なアクリルPOFではなく、現時点でブリルアン散乱が観測可能な唯一の特殊POF(全フッ素化POF)が用いられていた[4]。全フッ素化POFは、アクリルの水素原子をフッ素原子で置換した特殊なポリマーから構成されるPOFであるため、製造コストが高い、世の中に広く浸透していない、製造技術が未成熟で品質のばらつきが比較的大きい、という問題があった。そこで、これらの問題を解決し、低コストで、世間で使われているファイバとの整合性が高く、品質が保たれたセンシングシステムを実現することが急務であった。

2. 研究の目的

本研究では、安価で、すでに社会に普及されており、製造技術も成熟している一般的なアクリルPOF中のブリルアン散乱を観測し、それを用いた高性能分布型センシングシステムの実現に向けた特性評価を行うことを目的とする。また、将来的にはアクリルPOF中のブリルアン散乱を用いたセンシングシステムや各種デバイスを実現することも目的に含める。

3. 研究の方法

(1) 全フッ素化POFは、通信波長帯である1550 nmにおける光伝搬損失が比較的低く、通信用途で開発されてきた光デバイス(例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)など)を使用することができる。一方で、アクリルPOFは、通信波長帯での光伝搬損失が100 dB/m以上で極めて高く、ブリルアン散乱を観測することが容易ではない。しかし、可視光帯である650 nmでのアクリルPOFの伝搬損失は200 dB/km程度で、通信波長帯での全フッ素化POFの伝搬損失である250 dB/km程度と大差ない。そこで、アクリルPOF中の伝搬損失が最低となる可視光帯で、ブリルアン散乱を観測する実験系を構成する。その際、ブリルアン散乱観測に要する数MHz以下の線幅と高出力パワーを兼ね揃える光源を用いる。なお、1550 nm帯に特化したEDFAの代わりに、近年の発光ダイオード通信分野で進展が著しい可視光帯光ファイバ増幅器あるいは半導体増幅器を用いる。

(2) BFSは光波長に反比例することが知られており、光ファイバ中の微弱な音波が伝搬光に与えるドップラーシフトであると解釈することができる。よって、アクリルPOF中の音速を実測することで、BFSの大きさを推定することが可能である。超音波のパルス・エコー法によりアクリルPOF中の音速を測定したところ、約1700 m/sの値が得られたとの報告がある[5]。この値をBFSに変換すると、1550 nm帯では約2.9 GHz、650 nm帯では約7.0 GHzとなる。この推定は音速の周波数依存性を考慮していないことを踏まえると、可視光帯でのアクリルPOFのBFSは10 GHz程度以上である可能性がある。しかし、このような広帯域に対応可能な装置は高価なので、光ヘテロダイン検波によって周波数を数100 MHz以下にダウンシフトさせるなどの手法も視野に入れる。

4. 研究成果

(1) 可視光帯で構成したブリルアン散乱の観測系を用いて実験を行ったが、信号対雑音比(SNR)が低く、明瞭な観測には至らなかった。しかし、その過程でフレネルアシスト方式によるブリルアン散乱スペクトル(BGS)観測系の最適化に向けた成果が得られた。一般に、BGSは光スペクトラムアナライザの周波数分解能では高精度での観測は困難であるため、「自己ヘテロダイン検波」が用いられる。この手法では、測定ファイバからのブリルアン散乱光を参照光と干渉させ、差周波成分を電気信号に変換して電気スペクトラムアナライザ(ESA)で観測する。しかし、このブリルアン観測系を簡素化し、コストを低減する取り組みが進んでいる。その一つが独立した参照光路の撤廃である[6]。これまでに、FUTの開放端の空気との境界、および、光サーキュレータの第2ポートと測定ファイバとの境界で生じるフレネル反射光(屈折率の異なる媒質の境

界で生じる反射光)を、それぞれ参照光として利用する手法が提案されている。しかし、これらの手法ではフレネル反射光のパワーは一定であり、これを制御することでBGSの信号対雑音比(SNR)を最大化することは困難であった。そこで、参照光路を撤廃したブリルアン観測系において、測定ファイバの開放端に反射率可変ミラーを設置して反射パワーを制御することで、観測されるBGSのSNRの最大化を試みた。まず、一般に広く用いられている自然ブリルアン散乱観測のための実験系を図1(a)に示す。測定ファイバの開放端におけるフレネル反射を抑制し、独立した参照光路を設けて自己ヘテロダイン検波を行う。参照光路には、EDFAなどの光アンプを含むことも多い。一方、我々が新たに提案する実験系を図1(b)に示す。独立した参照光路を撤廃するとともに、測定ファイバの開放端に反射率可変ミラーを設置し、その反射光を参照光として利用する。このとき、従来の参照光路のEDFAと同様、反射光(=参照光)のパワーは可変となる。よって、散乱光と参照光の干渉の結果得られるBGSのSNRを最大化することが可能となる。今回は、長さ約5mの測定ファイバにパワー20dBmの光を入射して実験を行った。ミラーの反射率を変化させたときのBGSの変化を図2に示す。反射率は-7dBから-17dBまで変化させた。ミラーの反射率によって10.85GHz付近のBGSが明瞭に変化した。次に、反射率を-2dBから-20dBまで変化させながらSNR(BGSのピークパワーとノイズフロアの差と定義)の反射率依存性を調べた結果を図3に示す。SNRは反射率が-9dBのときに最大となった。以上のように、参照光路を撤廃し、測定ファイバの開放端に反射率可変ミラーを設置した簡素なブリルアン観測系を提案した。そして、この実験系を用いてミラーの反射率を制御することで、SNRの最大化に成功した。しかし、測定ファイバの長さや種類、入射パワー、偏波状態などの各種実験条件を変化させながら、本手法の特性を網羅的に解明するなどの課題も残されている。

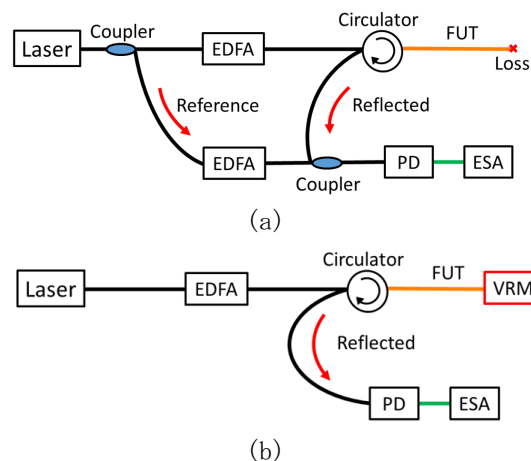


図1. (a) 一般的なブリルアン観測系、(b) 反射率可変ミラーを含む簡素なブリルアン観測系。

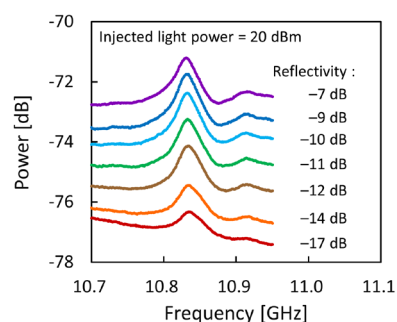


図2. ブリルアン散乱スペクトルの反射率依存性。

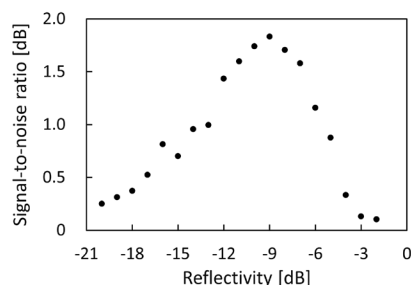


図3. 信号対雑音比の反射率依存性。

(2) 記述したとおり、可視光帯でのアクリルPOFのBFSは10GHz程度以上であると推定される。一般にBFSはESAで観測されたBGSのピーク周波数として検出されるため、アクリルPOF中のブリルアン散乱を観測するには10GHzを超える広帯域ESAが必要である。しかし、そのようなESAは比較的高価である。また、ESAの使用はシステムの動作速度と可搬性を阻む要因にもなっていた。そこで、ESAを用いないBFSの検出法を提案した(今回は、ブリルアン散乱信号が比較的強いシリカガラス光ファイバを用いて、提案手法の有効性を実証した)。まず、安価で急峻な低域通過フィルタ(LPF)が利用できる帯域までBGSをビートダウンさせる。次に、BGSが占める帯域のうち最も高い周波数をカットオフ周波数とするLPFに通した後、そのトータルパワーを観測する。このとき測定ファイバに歪が印加されると、BGSは高周波側にシフト(POFの場合は低周波側にシフト)し、LPFの通過帯域から徐々に逸脱していく(POFの場合は侵入してくる)。結果的に、LPF通過後の信号のトータルパワーと印加歪は1対1対応となる。この手法では、BGS全体が占める帯域により歪ダイナミックレンジが決まると考えられる。図4に実験系を示す。光学系は、ブリルアン散乱を観測する際に一般的に使用される自己ヘテロダイン系である。光源には、波長1550.2nm、線幅約1MHzの半導体レーザを用いた。また、測定ファイバには、長さ0.95mのシリカ単一モード光ファイバ(SMF; 無歪でのBFSは約10.85GHz)を用い、全長に歪を印加した。測定ファイバへの入射パワーは22.0dBmとした。測定ファイバ全長からのBGS、BFSの情報を含む電気信号が光検出器から出力される。これを電圧制御発振器(VCO)の出力(約10.72GHz)とミキシングし、BFSを約130MHzまでビートダウンさせる。続いて、これをオン

ロスコープ (OSC) 内蔵のカットオフ周波数 200 MHz の LPF に通し、OSC で観測される波形の平均的な振幅の 2 乗をパワーと考え、BFS (印加歪) と対応させた。まず、ビートダウンさせた BGS の歪依存性を調査した (図 5)。この実験では ESA を用いた。分解能帯域幅は 3 kHz、ビデオ帯域幅は 3 MHz に設定した。BFS は歪に対してプロットしたところ (図 6)、ほぼ線形に依存し、その依存係数は 494 MHz/%であった。次に、ESA のゼロスパン機能を用いて、散乱スペクトルの傾斜を用いる傾斜利用 BOCDR [7] と呼ばれる従来法による歪ダイナミックレンジを調査した。130.2 MHz (BGS の中心、BFS に相当) におけるパワーの歪依存性を図 7 (青) に示す。印加歪の増加に伴い、パワーは減少した。0.15% 程度以上の歪に対してはパワーがほぼ変化しなかったことから、傾斜利用法の歪ダイナミックレンジは約 0.15% であるといえる。この値は、先行研究で報告されている歪ダイナミックレンジである約 0.25% よりも小さいが、分布測定に比べて全長測定では BGS の線幅が狭くなるため、妥当な結果である。最後に、ESA を使わない提案手法による歪ダイナミックレンジを評価した。OSC で測定したパワーの歪依存性を図 7 (赤) に示す。歪の増加に伴い、パワーは減少した。0.3% 程度以上の歪に対してはパワーがほぼ変化しなかったため、提案手法の歪ダイナミックレンジは約 0.3% であるといえる。この値は、傾斜利用法の約 2 倍であった。既述の通り、本提案手法の歪ダイナミックレンジは BGS が占める帯域で決まるため、一方の傾斜帯域により歪ダイナミックレンジが決まる傾斜利用法と比べて、歪ダイナミックレンジが約 2 倍に拡大するという結果は理論通りである。以上より、ESA を使わずに測定ファイバ全長の BFS を取得する手法を提案することに成功した。とはいえ、あくまでも分布測定における提案手法の有用性の実証が目標であり、今後も検証を継続していく。また、POF はシリカガラス光ファイバより比較的広い帯域幅を持つため、本手法を POF に適用した場合、歪や温度変化に対して、より広い歪ダイナミックレンジが得られると期待される。

<引用文献>

- ① A. H. Hartog, An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors (CRC Press, 2017).
- ② A. Motil, A. Bergman, and M. Tur, "State of the art of Brillouin fiber-optic distributed sensing," *Opt. Laser Technol.* 78, 81-103 (2016).
- ③ Y. Mizuno, S. Liehr, A. Theodosiou, K. Kalli, H. Lee, and K. Nakamura, "Distributed polymer optical fiber sensors: a review and outlook," *Photon. Res.*, vol. 9, no. 9, pp. 1719-1733 (2021).
- ④ Y. Koike and M. Asai, "The future of plastic optical fiber," *NPG Asia Mater.* 1, 22-28 (2009).
- ⑤ N. Hayashi, Y. Mizuno, D. Koyama, and K. Nakamura, "Measurement of acoustic velocity in poly(methyl methacrylate)-based polymer optical fiber for Brillouin frequency shift estimation," *Appl. Phys. Express*, vol. 4, no. 10, 102501 (2011).
- ⑥ N. Hayashi, Y. Mizuno, and K. Nakamura, "Simplified configuration of Brillouin optical correlation-domain reflectometry," *IEEE Photon. J.*, vol. 6, no. 5, 6802807 (2014).
- ⑦ H. Lee, N. Hayashi, Y. Mizuno, and K. Nakamura, "Slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry: proof of concept," *IEEE Photon. J.*, vol. 8, no. 3, 6802807 (2016).

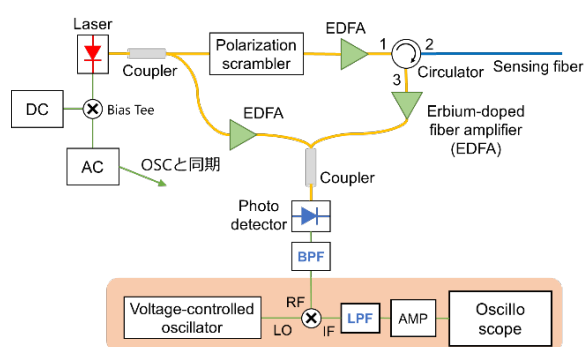


図 4. ESA を撤廃した BOCDR の実験系。

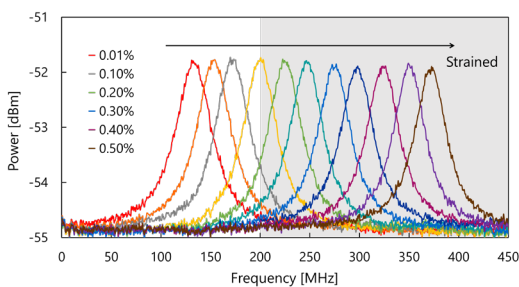


図 5. BGS の歪依存性。灰色は LPF のカットオフ領域を示す。

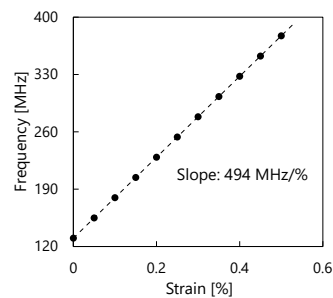


図 6. BFS の歪依存性。

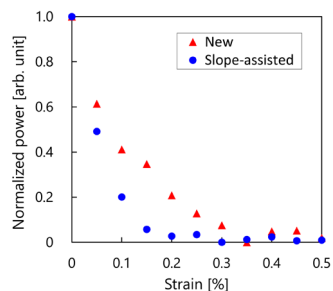


図 7. 従来法 (青) と提案法 (赤) におけるパワーに歪依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 H. Lee, C. Zhao, T. Kiyozumi, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 15
2. 論文標題 Fiber-optic temperature sensor based on inline core-cladding-mode Mach-Zehnder interferometry with dynamically controllable sensing length	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 022002 ~ 022002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac47a7	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 G. Zhu, K. Kishizawa, K. Noda, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 22
2. 論文標題 Wide-Dynamic-Range Brillouin Optical Correlation-Domain Reflectometry With 20-kHz Sampling Rate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 6644 ~ 6650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2022.3153169	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 T. Paixao, J. H. Belo, A. F. Carvalho, V. S. Amaral, J. P. Araujo, H. Lee, K. Nakamura, Y. Mizuno, P. Andre, and P. Antunes	4. 巻 -
2. 論文標題 Magneto-responsive Optical Fiber with Fuse Effect Induced Fluorinated Graphene Oxide Core	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Photonics Research	6. 最初と最後の頁 2100209 ~ 2100209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adpr.202100209	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 A. Leal-Junior, C. Marques, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 -
2. 論文標題 Sensing Applications of Polymer Optical Fiber Fuse	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Photonics Research	6. 最初と最後の頁 2100210 ~ 2100210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adpr.202100210	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 T. Kiyozumi, T. Miyamae, K. Noda, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 6
2. 論文標題 Pilot demonstration of correlation-domain LiDAR for high-speed vibration detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 101302 ~ 101302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0062303	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. N. Caceres, K. Noda, G. Zhu, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 9
2. 論文標題 Spatial Resolution Enhancement of Brillouin Optical Correlation-Domain Reflectometry Using Convolutional Neural Network: Proof of Concept	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 124701 ~ 124710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3110874	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 Y. Mizuno, S. Liehr, A. Theodosiou, K. Kalli, H. Lee, and K. Nakamura	4. 巻 9
2. 論文標題 Distributed polymer optical fiber sensors: a review and outlook	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photonics Research	6. 最初と最後の頁 1719 ~ 1719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/PRJ.435143	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 G. Zhu, K. Noda, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 14
2. 論文標題 Error compensation in Brillouin optical correlation-domain reflectometry by combining bidirectionally measured frequency shift distributions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 052006 ~ 052006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abfb40	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, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 29
2. 論文標題 Brillouin optical correlation-domain reflectometry based on arbitrary waveform modulation: a theoretical study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 13794 ~ 13794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.422873	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. K. Das, H. Lee, K. Noda, Y. Mizuno, C. K. Y. Leung, and K. Nakamura	4. 巻 20
2. 論文標題 Potential of mechanically induced cascaded long-period grating structure for reflectometric pressure, strain, and temperature sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 10539 ~ 10546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2020.2993011	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. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 59
2. 論文標題 Recent progress in slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Fiber Technology	6. 最初と最後の頁 102312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2020.102312	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 H. Lee, K. Noda, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 27
2. 論文標題 Fiber-optic distributed measurement of polarization beat length using slope-assisted Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 542 ~ 547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-020-00624-6	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 Y. Mizuno, S. Hagiwara, H. Lee, N. Hayashi, M. Nishiyama, K. Watanabe, and K. Nakamura	4. 巻 59
2. 論文標題 Strain and temperature dependencies of multimodal interference spectra in hetero-core-fiber structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 58002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8023	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, N. Motoishi, K. Noda, H. Lee, and K. Nakamura	4. 巻 13
2. 論文標題 Effect of laser temperature control on Brillouin optical correlation-domain reflectometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 052001 ~ 052001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab827b	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 N. Hayashi, Y. Mizuno, H. Lee, K. Nakamura, S. Y. Set, and S. Yamashita	4. 巻 17
2. 論文標題 Characterization of cascaded forward Brillouin scattering seeded by backward stimulated Brillouin scattering in optical fibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 20200139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/elex.17.20200139	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 K. Noda, H. Lee, K. Nakamura, and Y. Mizuno	4. 巻 13
2. 論文標題 Measurement range enlargement in Brillouin optical correlation-domain reflectometry based on chirp modulation scheme	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 82003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aba151	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. Leal-Junior, C. Diaz, A. Frizera, H. Lee, K. Nakamura, Y. Mizuno, C. Marques	4. 巻 2
2. 論文標題 Highly Sensitive Fiber Optic Intrinsic Electromagnetic Field Sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Photonics Research	6. 最初と最後の頁 2000078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adpr.202000078	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55件(うち招待講演 8件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 李ひよん
2. 発表標題 [第12回女性研究者研究業績・人材育成賞(小舘香椎子賞)受賞記念講演] 光ファイバを?いた分布型センシング技術に関する研究
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮前知弥、朱光韜、清住空樹、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 簡素化OCDRによるkmレンジの反射率分布測定
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光ファイバモード間干渉型高速温度センサにおける感度とダイナミックレンジのトレードオフの観測
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪謙太、清住空樹、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 低コヒーレンスブリルアン光相関領域反射計の提案
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀裕貴、李ひよん、水野洋輔、山根大輔
2. 発表標題 計測応用に向けたプラスチック光ファイバ表面の微細加工技術の検討”
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田歌音、岸澤知也、豊田悠真、野田康平、元石直樹、李ひよん、中村健太郎、市毛弘一、水野洋輔
2. 発表標題 マルチコアプラスチック光ファイバ中のモード間干渉スペクトルの特異な温度依存性の観測
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤克一郎、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光ファイバ中のラマン散乱に基づくリアルタイム温度センシングの実証
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 レンズ反射光を参照光として用いた相関領域LiDAR
3. 学会等名 2022年(令和4年)春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 高速振動の分布計測のための相関領域ライダーの提案
3. 学会等名 IEEE Tokyo/Japan Sections Joint Chapter 学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本真菜、捧治紀、野田康平、中村健太郎、水野洋輔、李ひよん
2. 発表標題 BOCDR中の遅延ファイバ長の最適化に向けた基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 捧治紀、坂本真菜、野田康平、中村健太郎、水野洋輔、李ひよん
2. 発表標題 ブリルアン周波数シフトのビートダウンによる傾斜利用BOCDRの歪ダイナミックレンジの拡大
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李ひよん、趙晨旭、清住空樹、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 アクティブ領域を制御できるモード間干渉センサの提案
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸澤知也、佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 歪ダイナミックレンジの制限を受けない高速BOCDRの実装と信号対雑音比の向上
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤克一郎、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 ラマン散乱に基づく高速温度計測のための最適観測周波数の解明
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮前知弥、Guangtao Zhu、清住空樹、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 OCDRの世界最速動作の実現と空間分解能劣化の抑制
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第4回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangtao Zhu、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 Operation of ESA-free OCCDR: simulation analysis and performance evaluation
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第5回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光ファイバ中のモード間干渉スペクトルの傾斜を利用したリアルタイム温度計測
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第6回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光相関制御型LiDARの提案と高速振動計測の実証
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第7回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田歌音、野田康平、元石直樹、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 イメージ伝送用マルチコアPOF中のモード間干渉を用いた温度センサ
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第8回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田康平、岸澤和也、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 パッチャルオシロスコープを用いたBOCDRにおけるブリルアン利得スペクトル分布のリアルタイム取得
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年度第9回光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野洋輔、李ひよん、中村健太郎
2. 発表標題 プラスチック光ファイバセンシングの最新展開
3. 学会等名 電子情報通信学会 2021年ソサイエティ大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 捧治紀、坂本真菜、野田康平、中村健太郎、水野洋輔、李ひよん
2. 発表標題 傾斜利用BOCDRの歪ダイナミックレンジ拡大と低コスト化に向けた基礎検討
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第82回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本真菜、捧治紀、野田康平、中村健太郎、水野洋輔、李ひよん
2. 発表標題 ブリルアン光相関領域反射計における最適な遅延ファイバ長の検討
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第83回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 趙晨旭、清住空樹、中村健太郎、水野洋輔、李ひよん
2. 発表標題 荷重印加により感度領域を制御できる光ファイバ型モード間干渉センサ
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第84回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田歌音、野田康平、元石直樹、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 マルチコアプラスチック光ファイバ中のモード間干渉を用いた温度センシング
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第85回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 元石直樹、野田康平、李ひよん、Antreas Theodosiou、Kyriacos Kalli、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 プラスチック光ファイバ・ブラッグ・グレーティングによる任意波長帯での振動測定の実証
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第86回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤克一郎、野田康平、元石直樹、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光ファイバ型ラマン温度センサの高速化に向けた最適観測周波数の解明
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第87回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 極めて簡素な光ファイバ型反射率分布計測法の提案
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第88回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 偏波OCDRを用いた磁場センシング
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第89回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangtao Zhu、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 Numerical simulation on simplified OCDR without electrical spectrum analyzer
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第90回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮前知弥、Guangtao Zhu、清住空樹、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 簡素化 OCDR における動作速度と空間分解能のトレードオフの解消
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第91回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸澤知也、佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 ノッチフィルタを用いた高速BOCDRの信号対雑音比の向上
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第92回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 モード間干渉スペクトルの傾斜を利用した光ファイバ型温度センシング
3. 学会等名 2021年(令和3年)秋季第93回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Lee, K. Noda, Y. Mizuno, and K. Nakamura
2. 発表標題 Recent progress in high-speed correlation-domain Brillouin sensing
3. 学会等名 19th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Mizuno, H. Lee, and K. Nakamura
2. 発表標題 Plastic optical fiber fuse effect and its sensing applications
3. 学会等名 12th International Conference on Information Optics and Photonics (CIOP 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光相関領域反射計の空間系への拡張
3. 学会等名 応用物理学会第65回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangtao Zhu、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 Bidirectional distributed strain measurement by Brillouin optical correlation-domain reflectometry for systematic error compensation
3. 学会等名 応用物理学会第66回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 光相関領域反射計によるストークスパラメータの分布測定法
3. 学会等名 応用物理学会第67回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Mizuno, H. Lee, and K. Nakamura
2. 発表標題 Plastic optical fiber fuse and its application to magnetic field sensing
3. 学会等名 26th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G. Zhu, K. Noda, H. Lee, K. Nakamura, Y. Mizuno
2. 発表標題 Two-end-access BOCDR for systematic error compensation
3. 学会等名 26th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野洋輔、李ひよん、中村健太郎
2. 発表標題 プラスチック光ファイバを用いた歪・温度分布センサおよび磁界センサ
3. 学会等名 第45回ポリマー光部品技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 相関領域法に基づくLiDARの提案と高速振動検出の実証
3. 学会等名 2021年第46回光学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李ひよん、野田康平、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 機械誘起長周期光ファイバグレーティングの反射型カスケード構造の特性評価
3. 学会等名 2020年(令和2年)秋季第81回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 傾斜利用BOCDRの最新展開
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年度第4回光ファイバ応用技術研究会(OFT) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元石直樹、野田康平、李ひよん、Antreas Theodosiou、Kyriacos Kalli、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 プラスチック光ファイバ・ブラッグ・グレーティングを用いた任意波長帯での振動測定
3. 学会等名 2020年(令和2年)秋季第81回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 偏波光相関領域反射計の提案
3. 学会等名 2020年(令和2年)秋季第81回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元石直樹、野田康平、李ひよん、Antreas Theodosiou、Kyriacos Kalli、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 プラスチック光ファイバに描画したFBGの動作波長帯の劇的拡大
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年度第3回光ファイバ応用技術研究会(OFT)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 OCDRを用いた偏波状態の分布測定
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年度第3回光ファイバ応用技術研究会(OFT)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野洋輔、野田康平、李ひよん、中村健太郎
2. 発表標題 ブリルアン散乱に基づく分布型光ファイバセンサの高性能化
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年度第6回フォトニックネットワーク研究会(PN) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清住空樹、宮前知弥、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 OCDR技術を用いた新たなLiDARの提案
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮前知弥、清住空樹、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 電気スペクトラムアナライザを撤廃した簡素化OCDR
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸澤知也、佐野元基、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 歪ダイナミックレンジの制限のない高速BOCDRの提案
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Guangtao Zhu、野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 Measurement error compensation in BOCDR by two-end light injection
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元石直樹、野田康平、李ひよん、Antreas Theodosiou、Kyriacos Kalli、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 ガラスおよびプラスチック光ファイバに描画した多モードFBGの動作波長帯の比較
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田康平、李ひよん、中村健太郎、水野洋輔
2. 発表標題 偏波光相関領域反射計における参照光偏波状態制御の自動化
3. 学会等名 2021年(令和3年)春季第68回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SIT Heeyoung-LEE Opto-Sensing Lab.
<https://www.hylee.ice.shibaura-it.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
---------	---------