

遠方での歪分布測定のための差分スペクトル法に基づく BOCDR の提案

Differential spectrum method for BOCDR-based distributed strain sensing at a distance

○ 棒 治紀¹、野田 康平^{2,3}、中村 健太郎²、水野 洋輔³、李 ひよん¹

¹ 芝浦工業大学 理工学研究科 ² 東京工業大学 未来産業技術研 ³ 横浜国立大学 工学研究院

○ Haruki Sasage¹, Kohei Noda^{2,3}, Kentaro Nakamura², Yosuke Mizuno³, and Heeyoung Lee¹

¹ Shibaura Institute of Technology ² Tokyo Institute of Technology ³ Yokohama National University

E-mails: ma22068@shibaura-it.ac.jp, hylee@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

光ファイバを用いたセンシング技術の研究開発が急速に進んでいる。特に、光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた歪・温度センサは、周波数情報に基づいて比較的高精度に歪・温度の分布を測定できるため、構造物の健全性診断への応用が期待されている。これまでに、自然ブリルアン散乱を用いた「ブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR)」など、種々のブリルアンセンサが提案されている[1]。

BOCDR は測定ファイバ (FUT) の片端への光入射で動作し、mm オーダの高空間分解能、ランダムアクセス性、低廉性を兼ね備える唯一の技術である。BOCDR では、光波コヒーレンス関数の合成法[2]に基づき、周波数変調された信号光と参照光を干渉させ、FUT 中に「相関ピーク」と呼ばれる測定位置を生成する。その後、相関ピークを FUT に沿って掃引することで、ブリルアン利得スペクトル (BGS) の分布を取得する。なお、測定レンジの空間分解能に対する比は一定であることが知られている。

一般に相関ピークは、FUT に沿って複数生成される。標準的なシステムでは、FUT 中に存在する相関ピークが 1 つだけとなるように、FUT の長さを制限していた (測定レンジの制約)。一方、空間分解能を保ったまま測定レンジを延伸する手法として、時間ゲート法[3]や二重変調法[4]、チャープ変調法が提案されているが、デバイスや設計コストが高かった。

そこで本研究では、温度は一定でかつ FUT の手前には歪印加区間がないことが予めわかっている場合に、理論的な測定レンジを超えた範囲にある FUT 開放端付近の歪分布を計測する「差分スペクトル法」を提案する。本手法では、FUT に複数の相関ピークを生成させ、測定点以外からの相関ピークにおける散乱の影響を信号処理によって除去する。遠方での歪分布測定を可能にする低コストかつ簡便な手法である。

2. 原理

一般的な BOCDR の実験系を図 1 に示す。特に光学系への変更はないが、レーザ出力への変調周波数がある程度高く維持したまま、長距離の FUT を使い、複数の相関ピークを生成する。また、本提案で想定する実験条件を図 2 に示す。FUT の手前には歪印加区間がないことと全体の温度は一定であることを仮定している。この条件下で、理論的な測定レンジを超えた位置にある歪分布を検出する手法を提案する。

提案の概要を図 3 に示す。本システムの単純な出力は、FUT 中に生成した複数の相関ピークで生じた BGS が積算されたスペクトルである。しかし、測定位置の手前に大きな光損失を加えることで (あるいは、測定位置に十分大きい歪を印加してその寄与を観測スパン外に出すことで)、測定位置以外からの BGS の積算スペクトルのみを取得することができる。よって、これを単純な出力から差し引けば、測定したい位置で生じた BGS のみを検出することが可能となる。

3. 基礎実験

変調振幅は約 1.27 GHz とし、変調周波数は 7.7–8.16 MHz の範囲で掃引した。理論空間分解能は約 9.5 cm、測定レンジは約 12.5 m であった。全長 22.5 m のシリカ単一モード光ファイバを FUT として使い、開放端から 1.5–2.0 m 離れた区間を (歪の代替として) 70°C に加熱した。FUT 内には相関ピークが 2 つ存在しており、差分スペクトル法を用いなければ、手前の相関ピークにおける強い BGS に埋もれ、奥の相関ピークにおける BGS は正しく観測できない状況である。差分スペクトル法を用いて取得した開放端付近の BGS 分布を図 4 に示

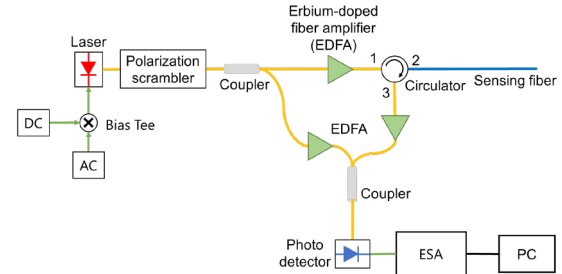


Fig. 1. Standard setup of BOCDR.

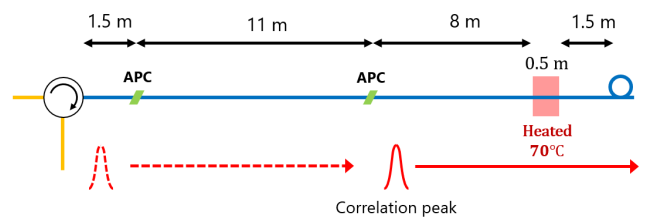


Fig. 2. Assumed measurement conditions.

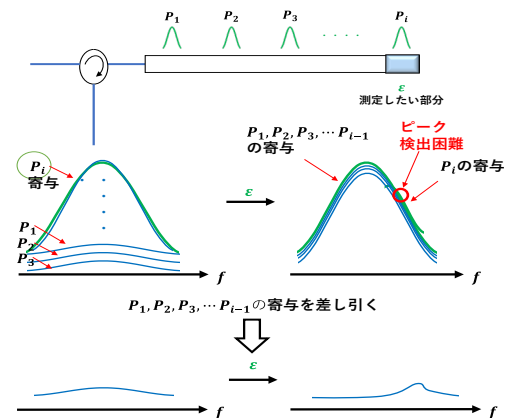


Fig. 3. Schematic explanation of new method.

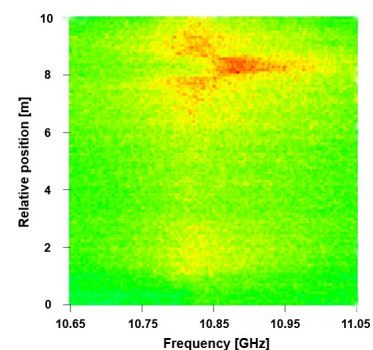


Fig. 4. Preliminary experimental result (BGS distribution).

す。加熱した箇所が正しく検出された。

目下、基礎実験段階であるため、今後詳細を検討していく。

参考文献

- [1] Y. Mizuno, et al., *Opt. Express* **16**, 12148 (2008).
- [2] K. Hotate, et al., *J. Lightw. Technol.* **24**, 2541 (2006).
- [3] Y. Mizuno, et al., *Opt. Express* **17**, 9040 (2009).
- [4] Y. Mizuno, et al., *Opt. Express* **18**, 5926 (2010).