

電気スペクトルアナライザのビデオ帯域幅の調整による 傾斜利用 BOCDR の歪ダイナミックレンジの向上 Enhancement of strain dynamic range of slope-assisted BOCDR by controlling video bandwidth of electrical spectrum analyzer

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 ○李 熙永、水野 洋輔、中村 健太郎

FIRST, IIR, Tokyo Tech ○Heeyoung Lee, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura

E-mail: hylee@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

近年、高度経済成長期に集中的に建造された構造物の地震による損傷や経年劣化が問題となっており、構造物の健全性を診断する技術として光ファイバセンシングが注目を集めている。特に、光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた計測技術は、比較的安定な周波数情報（ブリルアン周波数シフト（BFS））に基づいて歪や温度の分布を取得できることから、世界中で精力的に研究が推進されている。

これまでにさまざまな手法が提案されているが [1]、我々は、片端光入射での動作と高空間分解能を有する唯一の技術である「ブリルアン光相関領域反射計（BOCDR）」[2]に着目している。BOCDR は動作速度が比較的遅いのが課題であったが、最近、我々はブリルアン利得スペクトル（BGS）の傾斜を利用した新技術「傾斜利用 BOCDR」[3]を提案し、リアルタイムな歪・温度の分布測定の実証に成功した。また、傾斜利用 BOCDR には、従来の BOCDR では検出困難であった、理論空間分解能を超える極めて短いホットスポット（歪印加区間・高温区間）も検出できることを明らかにした [4]。しかし、BGS の傾斜の線形範囲は比較的狭く、歪・温度のダイナミックレンジは、約 0.2%・約 88℃に制限されていた [3,4]。これ以上の歪等を印加しても、出力には変化がなく検出は困難であった。

そこで、本発表では、BGS を観測する電気スペクトルアナライザ（ESA）のビデオ帯域幅（VBW; 低域通過フィルタ）を調整することで、歪ダイナミックレンジを向上させる手法を提案する。実験により、シリカ光ファイバの破断歪に近い、従来の 3 倍となる 0.6%以上まで歪ダイナミックレンジを向上できることを示す。

2. 原理

一般に、ESA を用いて BGS を観測する際は、BGS の本来の形状が保たれる範囲で VBW を設定する。その場合、BGS の線幅は数 10 MHz 程度であり、傾斜の線形範囲は数 98 MHz に限定される。そのため、従来の傾斜利用 BOCDR では、歪ダイナミックレンジは約 0.2%に制限されていた [3,4]。

これを解決するために、VBW を意図的に低い値に設定することで BGS の波形に低域フィルタを施すことを提案する。これにより、BGS の波形は平坦な形状となり、線幅が広がるとともに、傾斜の範囲も増大する。また、傾斜の線形範囲だけではなく、一対一対応する限り、傾斜の非線形範囲を活用することも可能である。これらの方策により、歪ダイナミックレンジが向上できる。一方、BGS の傾斜部分の傾きは低下するので、歪測定感度は劣化する。すなわち、ダイナミックレンジと感度はトレードオフの関係にあるといえる。

3. 実験系

実験系を Fig. 1(a) に示す。ESA による信号処理以外は、従来の傾斜利用 BOCDR [3]と同等である。光源の駆動電流を正弦波変調することで、光出力に周波数変調を印加し、測定光ファイバ中に相関ピーク（ブリルアン信号を選択的に抽出することができる領域）を形成する [2,3]。傾斜利用 BOCDR では、変調振幅 Δf と変調周波数 f_m により、測定レンジ d_m と理論空間分解能 Δz が決定される。本実験では、 $\Delta f = 0.85$ Hz、 $f_m = 12.54$ Hz とし、 $d_m = 8.2$ m、 $\Delta z = 92$ mm に設定した。用いた測定光ファイバの構造を Fig. 1(b) に示す。全長 5.4 m のシリカ単一モード光ファイバの 0.5 m の区間を移動ステージに固定し、均一に歪を印加した。相関ピークの位置は歪印加区間の中央に設定した（ f_m に依存）。

4. 実験結果

ESA の VBW を 10 kHz（従来値 [4]）および 30 Hz に設定

した場合に、規格化した出力電圧（光パワーの変化に相当）を歪に対してプロットしたのが、Fig. 2 である。VBW が 10 kHz のときは、小さい歪に対する出力変動が急峻である一方、0.2%程度以上の歪に対しては、出力がほぼ飽和している。これに対し、VBW が 30 Hz のときは、小さい歪に対する出力変動の急峻性は失われる一方で、約 0.6%以下の歪に対しても（非線形ではあるものの）出力が一対一対応している。歪測定感度を犠牲にすれば、1.0%程度の歪も検出可能であると考えられる。以上より、VBW の値を低く設定することで、歪ダイナミックレンジを向上できることが明らかになった。

5. 結論

BGS 観測のための ESA の VBW を調整することで、傾斜利用 BOCDR の歪ダイナミックレンジを従来の 0.2%から 3 倍以上にまで向上させることに成功した。当日は、BGS の形状変化や Fig. 2 の微分解析による感度の定量評価、分布測定の結果、その他の VBW 値に設定した場合の挙動についても報告する予定である。

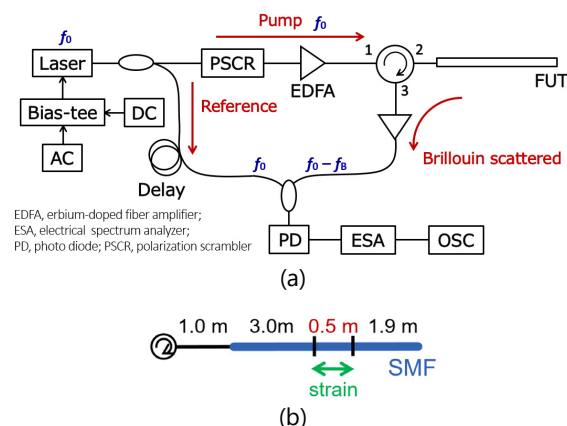


Fig. 1. (a) Experimental setup of slope-assisted BOCDR. (b) Structure of fiber under test.

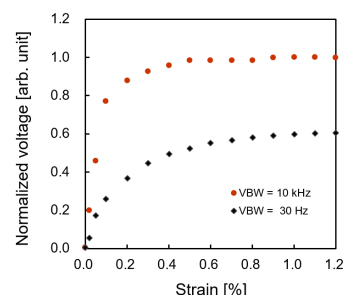


Fig. 2. Output voltages plotted as functions of applied strain at VBWs of 10 kHz and 30 Hz.

参考文献

- [1] X. Bao and L. Chen, *Sensors* **12**, 8601 (2012).
- [2] Y. Mizuno et al., *Opt. Express* **16**, 12148 (2008).
- [3] H. Lee et al., *Photon. J.* **8**, 6802807 (2016).
- [4] H. Lee et al., *Opt. Express* **24**, 29190 (2016).