

OCDR と BOCDR のハイブリッド実装

Hybrid implementation of OCDR and BOCDR

○久保田 晴之¹、越智 星河¹、石丸 貴大²、高橋 央²、古敷谷 優介²、水野 洋輔¹

¹横浜国立大学 工学研究院 ²NTT アクセスサービスシステム研究所

OHaruyuki Kubota¹, Seiga Ochi¹, Takahiro Ishimaru², Hiroshi Takahashi², Yusuke Koshikiya², and Yosuke Mizuno¹

¹Yokohama National University, ²NTT Access Network Service Systems Laboratories

E-mails: kubota-haruyuki-bc@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

社会インフラの経年劣化や損傷が社会問題となっており、電気センサにはないメリットを有する光ファイバセンサに注目が集まっている。中でも、光ファイバに沿った種々の物理量の分布を測定できる分布型センサは研究の進展が著しい。分布型の光ファイバセンサは、その位置分解の原理から時間領域法・周波数領域法・相関領域法の3種類に大別される。それらのうち、我々は相関領域法の研究に携わっている。

相関領域法は、測定ファイバ (FUT) の両端から光を入射する方式と、片端のみから光を入射する方式に分けられるが、後者の方が敷設時の自由度が高く、利便性が高い。片端光入射型の相関領域法に基づく技術として、反射率分布を測定する「光相関領域反射計 (OCDR)」[1]、および、歪・温度分布を測定する「ブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR)」[2]が知られている。すなわち、反射率分布あるいは歪・温度分布をそれぞれ独立に測定するシステムは実現されている。

一方で、これらの量を同時に測定できるシステムはまだ報告されていない。歪・温度分布に加えて反射率分布を同時に計測できれば、歪や温度変化を伴わない反射率の変化の検出が可能となり、構造物の健全性診断の質が向上すると考えられる。

そこで本研究では、OCDR と BOCDR のハイブリッド実装を実現する。具体的には、従来の BOCDR の実験系で、歪分布測定のみならず、反射率分布測定をも実現できることを実証する。

2. 原理と実験系

OCDR および BOCDR では、レーザ出力に周波数変調を施すことで、FUT に「相関ピーク」を生成し、その位置からの反射光 (散乱光) のみを選択的に検出する。ここで、変調周波数を制御し相関ピークを掃引することで、分布測定を実現する。OCDR では、反射パワーを位置に対してプロットすることで反射パワーの分布情報を得る。一方、BOCDR では、各位置におけるブリルアン利得スペクトル (BGS) を取得し、それから算出したブリルアン周波数シフト (BFS) の分布を歪や温度の分布情報に読み替える。

今回用いた OCDR-BOCDR ハイブリッド系を Fig. 1 に示す。ハードウェアは、標準的な BOCDR の実験系と同等である。波長 1550 nm、線幅 3 MHz のレーザを用いた。参照光路には 2 km の遅延ファイバを挿入した。変調周波数は 2089.5–2138.9 kHz と変化させ、変調振幅は 2.15 GHz とした。また、FUT への入射パワーは 19 dBm で固定した。

この実験系は、OCDR としては、音響光学変調器を撤廃した簡素化 OCDR [3]の実験系とみなすことができる。参照光と反射光の干渉信号を電気信号に変換し (BGS の検出が可能で高速フォトディテクタであっても低周波帯で感度を有するため、同一の PD が使用可能)、電気スペクトラムアナライザ (ESA) のゼロスパン機能を用いて 100 MHz における反射パワーの時間変化を観測した。OCDR としての理論空間分解能は 2.9 cm、測定レンジは 49 m であった。

一方、BOCDR としての動作も可能である。参照光と反射光の干渉信号を電気信号に変換した後、中心周波数を約 11 GHz に設定した ESA で BGS を観測し、BFS を算出した。ESA での BGS の平均回数は 10 回、測定点は 125 点、1 つの測定点における BGS のサンプリングレートは 19 Hz とした。BOCDR としての理論空間分解能は 21.8 cm であり、測定レンジは OCDR と同様に 49 m であった。

ハイブリッド動作を実証するための FUT の構成を Fig. 2 に示す。PC コネクタと開放端で比較強い反射が生じる (曲げ損失の印加により、開放端でのフレネル反射は減衰さ

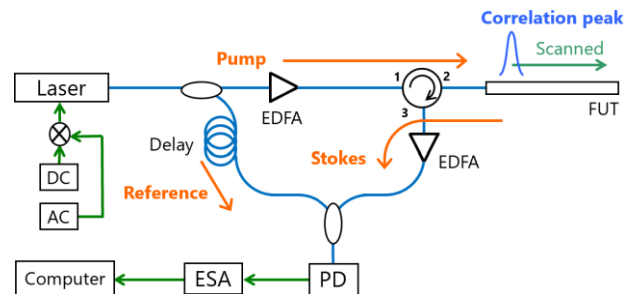


Fig. 1. Experimental setup of OCDR-BOCDR hybrid system. EDFA: erbium-doped fiber amplifier, ESA: electrical spectrum analyzer, FUT: fiber under test, PD: photodetector.

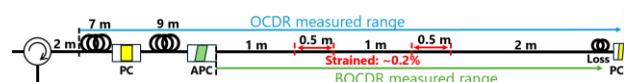


Fig. 2. Structure of FUT, where strains and bending loss were applied.

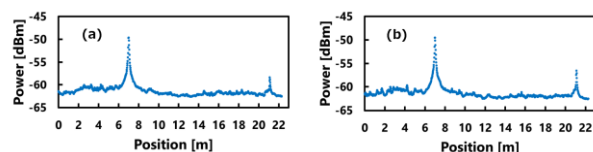


Fig. 3. Reflected power distributions (a) without and (b) with strain applied.

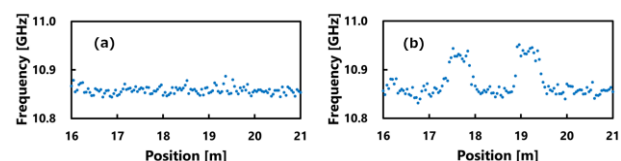


Fig. 4. Measured BFS distributions (a) without and (b) with strain applied.

せた)。また、約 0.2%の歪を 2 箇所の区間に印加した。

3. 実験結果

まず、歪を印加していない場合と歪を印加した場合の反射率分布測定の結果を Fig. 3(a) と 3(b)にそれぞれ示す。歪の有無に関係なく、PC コネクタと開放端の反射ピークが正しい位置に検出された。次に、歪を印加していない場合と歪を印加した場合の BFS 分布測定の結果を Fig. 4(a) と 4(b)にそれぞれ示す。歪印加により、2 箇所の約 0.5 m の区間で BFS がシフトしており、これは実際の歪印加区間に一致している。また、BFS のシフト量は 100 MHz 程度であり、0.2%の歪の大きさにも良い一致を示している。以上より、BOCDR の実験系において信号処理のみを変更することにより、歪分布だけでなく反射パワー分布をも測定できることを実証した。

参考文献

- [1] K. Hotate, et al., J. Lightwave Technol. **11**, 1701 (1993).
- [2] Y. Mizuno, et al., Opt. Express **16**, 12148 (2008).
- [3] M. Shizuka, et al., Appl Phys. Express **9**, 032702 (2016).