

電気スペクトラムアナライザを撤廃した簡素化 OCDR Simplified configuration of OCDR without electrical spectrum analyzer

○宮前 知弥¹、清住 空樹¹、野田 康平^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎²、水野 洋輔¹

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

OTomoya Miyamae¹, Takaki Kiyozumi¹, Kohei Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², Yosuke Mizuno¹

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

Emails: miyamae-tomoya-my@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

近年、光ファイバ通信が急激に広まると同時に、光ファイバ通信ネットワークの健全性を診断する技術が求められている。中でも、光リフレクトメトリは、被測定光ファイバ (FUT) に沿った反射率の分布を計測する技術であり、ファイバ間の接続不良箇所や破断点の検出に用いられている。広く知られている光リフレクトメトリとして、光時間領域リフレクトメトリ (OTDR) [1] と光周波数領域リフレクトメトリ (OFDR) [2] が挙げられる。それぞれ、測定レンジが長い、空間分解能が高いなどの利点を有する一方、どちらもリアルタイム動作は困難であった。そこで、この欠点を克服するための手法として、光波コヒーレンス関数の合成法 (SOCF) に基づく光相関領域リフレクトメトリ (OCODR) が開発された[3]。OCODR は、ランダムアクセス性 (FUT の任意の位置で高速測定が可能) やリアルタイム動作性などのユニークな特長を有している[3]。

標準的な OCODR では、FUT からの反射光あるいは参照光に対して音響光学変調器 (AOM) を用いて周波数を数 10 MHz シフトさせ、光ヘテロダイン検波を行う。これにより、低周波ノイズの影響を低減していた[3]。一方、システムの簡素化を図るため、有限の線幅を有する FUT からの反射スペクトルの裾野を活用することで、AOM を撤廃した OCODR が開発された[4]。

AOM を撤廃した OCODR を含めた従来の OCODR では、電気信号を処理する際に、電気スペクトラムアナライザ (ESA) が使用されていた。しかし、ESA は大型かつ高コストのデバイスであるため、システムの更なる簡素化を阻む要因となっていた。また、ESA のフィルタ性能に限界があったため、高速測定における空間分解能の向上が困難であった。そこで本研究では、AOM に加えて ESA も撤廃した極めて簡素な OCODR を実装し、更なる小型化・低コスト化を実現した。さらに、繰り返しレート 100 Hz の高速測定の場合に、ESA の撤廃によって、空間分解能が約 3 倍に向上することも実証した。

2. 原理と実験系

SOCF-OCODR では、レーザ光に正弦波変調を施し、FUT 中に測定点となる相関ピークを形成する。変調周波数を制御して相関ピークを FUT に沿って掃引することで、反射率の分布測定が可能となる[3]。

今回提案する、AOM に加えて ESA を撤廃した簡素化 OCODR の実験系を Fig. 1 に示す。光学系は、従来の AOM を含まない OCODR と同等である。光信号をバンドパスフィルタ機能付きのフォトダイオード (PD) で電気信号に変換した後、ESA を介さずに、直接オシロスコープに入力し時間波形を観測した。なお、本手法により OCODR としての正しい動作が期待できることは、詳細な理論検討により解明した (紙面の都合でここでは省略する)。

変調周波数は 2.017 MHz から 2.119 MHz まで掃引し、変調振幅は 1.9 GHz とした。このときの理論空間分解能は、25.5 mm であった。実験に用いた FUT の構成を Fig. 2 に示す。本実験では、コネクタ A から開放端に向かって距離が 0-33.5 m の区間の反射率分布測定を行った。繰り返しレート (反射率分布を得る速度) は、ESA を用いた場合に報告されている最高速度[4]と同等の 100 Hz とした。

3. 実験結果

まず、ESA を撤廃した OCODR で測定された反射光パワーの分布を Fig. 3 に示す (平均なし)。比較のため、同じ条件下で ESA を使用した場合の結果 (平均 16 回) も示した。それぞれのノイズフロアの平均値を 0、最大ピーク値を 1 として規格化した (両者は 1.5 だけ縦にシフトさせて表示)。ESA の有無に関わらず、PC コネクタ B、D、F、および開放端 G での反射による明瞭なピークが観測された。また、ESA を撤廃することによって、各ピークの裾野の広がりが抑制されていることが明らかになった。

次に、コネクタ B 付近における規格化した反射光パワー分布の拡大図を Fig. 4 に示す。ESA を使用した場合のみ、16 回平均を行った。ESA を撤廃した場合の方がピークの幅が狭くなっている。最後に、線幅を定量評価するため、両者

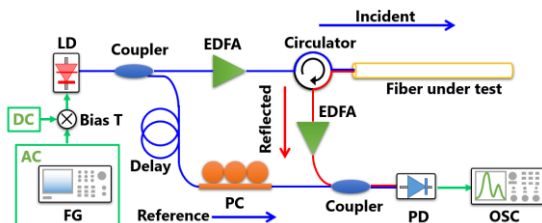


Fig. 1. Experimental setup of simplified OCODR without ESA. EDFA: erbium-doped fiber amplifier, FG: function generator, LD: laser diode, OSC: oscilloscope, PC: polarization controller, PD: photo diode.

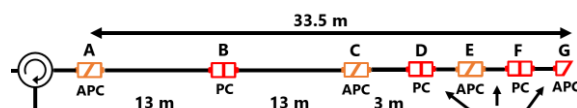


Fig. 2. Structure of fiber under test (FUT).

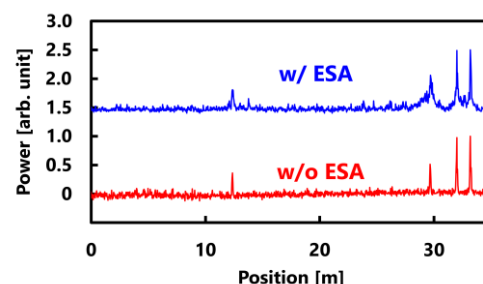


Fig. 3. Normalized reflected power distributions with and without ESA. The data with ESA are vertically shifted by 1.5.

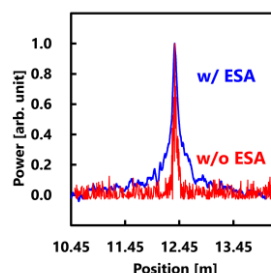


Fig. 4. Normalized reflected power distributions magnified around Connector B.

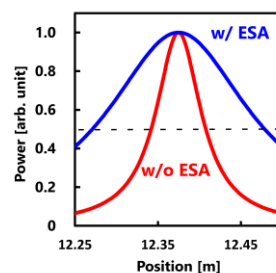


Fig. 5. Lorentzian-fitted curves of reflected power distributions around Connector B.

に対してローレンツ曲線でフィッティングしたグラフを Fig. 5 に示す。半値全幅 (空間分解能に相当) は ESA を使用した場合が 104 mm、ESA を撤廃した場合が 33 mm であった。よって、ESA を撤廃することで、この条件では空間分解能が 3 倍以上向上した (理論値に近い) ことが示された。また、ESA を撤廃した場合は、平均をせずとも従来法で 16 回平均を施した場合と同等の安定性が得られたことから、今後の研究により、信号対雑音比や測定速度の向上も期待される。

参考文献

- [1] M. K. Barnoski, et al., Appl. Opt. **15**, 2112 (1976).
- [2] W. Eickhoff, et al., Appl. Phys. Lett. **39**, 693 (1981).
- [3] K. Hotate, et al., Meas. Sci. Technol. **15**, 148 (2004).
- [4] M. Shizuka, et al., Appl. Phys. Express **9**, 032702 (2016).