# プラスチック光ファイバを用いた光相関領域リフレクトメトリの簡素化

Simplified configuration of optical correlation-domain reflectometry using plastic fibers

東京工業大学 精密工学研究所 〇林 寧生 閑 誠 皆川 和成 水野 洋輔 中村 健太郎

Tokyo Tech ONeisei Hayashi, Makoto Shizuka, Kazunari Minakawa, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura E-mails: {hayashi, ymizuno, knakamur}@sonic.pi.titech.ac.jp

## 1. はじめに

近年、光ファイバ通信網の普及に伴い、光ファイバ間の接 続点の精密な検査が要求されている。測定光ファイバ(FUT) としては、シリカ単一モード光ファイバ(SMF)のみならず、 次世代ホームネットワーク用の大容量通信線の候補であるプ ラスチック光ファイバ(POF)も挙げられる。これまでシリ カ SMF 中の反射分布を測定する手法として、光時間領域リフ レクトメトリ(OTDR)[1]、光周波数領域リフレクトメトリ (OFDR)[2]、および、光相関領域リフレクトメトリ(OCDR) [3]が提案されてきた。特にOCDRは、OTDRよりも空間分解 能が高く、OFDRよりも信号処理の負荷が小さい、という利 点を有する。最近、我々はOCDRの利便性を高めるべく、光 ヘテロダイン検波を用いない構成(簡素化OCDR)を提案し た[4]。これは、フレネル反射スペクトルの裾野を利用する手 法であり、音響光学変調器(AOM)などを用いて信号光と参 照光の間に周波数差を設ける必要がなくなった。一方、POF 中の反射分布の測定はOTDR [5]とOFDR [6]を用いて既に実証 されているが、POF に対してOCDRを適用した報告はない。

そこで本発表では、簡素化 OCDR を POF に対して適用した。 POF の場合は、シリカ SMF との接続点におけるフレネル反射 光を参照光として用いることができる。これを用いて従来の 参照光路を省略し、更に簡素な実験系により OCDR の動作が 可能であることを示した。

## 2. 実験系

POF を FUT とする簡素化 OCDR の実験系を図1 に示す。シ リカ SMF を FUT とした従来の構成では信号光路と参照光路が 独立に必要であった [4]。一方、FUT として POF を用いると、 シリカ SMF との接続点においてコアの屈折率差に起因するフ レネル反射が必ず生じる。このフレネル反射光を参照光とし て利用することで、本構成では参照光路が省略され、システ ムが一層簡素化されている。なお、この構成はプリルアン散 乱を用いた分布測定において初めて提案されたものである[7]。

基本的な動作原理は、簡素化 OCDR と同等である。すなわ ち、光源の駆動電流に正弦波変調を印加することで FUT 中に 「相関ビーク」を形成し、これを FUT に沿って掃引すること で反射パワー(あるいは反射率)の分布測定を行う。電気ス ペクトラムアナライザ(ESA)のゼロスパンモードにより、 フレネル反射スペクトルの裾野における光パワーを時間領域 で取得し、オシロスコープ(OSC)上で信号を観測する[4]。

実験では、FUT として全長 20.0 m の全フッ素化屈折率傾斜 コア径は50 µm、クラッド径は70 µm、1.55 型 POF を用いた。 μm 帯での伝搬損失は約 250 dB/km であった。FUT の構成を図 2 に示す。FUT の一端はシリカ SMF と突合せ接続し、もう-端はフレネル反射を抑制するために斜めに切断した。FUT 端 から 2.1 m, 4.2 m, 7.1 m, 10.0 m の各点に、POF 用のコネクタと アダプタを用いて接続点を設けた。入射パワーは16dBmとし 反射光と参照光の相対的な偏波状態は偏波スクランブラ た (PSCR)を用いて平均化した。分布測定のため、変調周波数 を 5.52 MHz から 11.05 MHz まで、100 ms の時間をかけて掃 引した。これは、測定レンジは 10.1 m に対応する(本手法では、FUT 中に複数の相関ピークが存在する状況を回避するた め、FUT の開放端側の半分のみ分布測定可能なレンジとなる また、変調振幅は 0.75 GHz としたので、 理論空間分解 [7]) 能は 7.15 cm [3] であった。ブリルアン散乱を用いた場合より も信号対雑音比 (SNR) が高いため、POF と SMF との接続点 で生じる 0 次相関ピークは測定に大きな影響を与えなかった。 ESAの分解能帯域(RBW)は300 kHz、ビデオ帯域幅(VBW) は1kHzとした。また、変調ノイズ[4]を避けるため、ESAの ゼロスパンモードの中心周波数は、変調周波数よりも十分小 さい値(3 MHz)に設定した。室温は24℃に保った。

### 3. 実験結果

まず、分布測定の実証を行った。OSC を用いて FUT に沿っ て取得した反射パワーの分布を図3 に示す。POF 中の各接続 点および開放端に対応した位置に 5 つの明瞭なピークが観測 された。

次に、光源の変調周波数の掃引時間に対する空間分解能お よび SNR の依存性を調査した。測定結果をそれぞれ図4(a) お よび (b) に示す。この実験では、空間分解能は、FUT の開放端 から4 m の位置に観測されるピークの半値全幅と定義した。 また、SNR はノイズフロアに対するそのピークの最大パワー とした。図4(a) に示すように、空間分解能は掃引時間の増加 に対し高くなるが、30 ms 以上ではほぼ一定となった。また、 図4(b) に示すように、SNR も掃引時間の増加に対し高くな り、30 ms 以上ではほぼ一定となった(±1 dB 程度値は変動 した)。以上の結果から、この条件下(ESAの RBWや VBW の設定などに影響を受ける)では、掃引時間は 30 ms(サン プリングレート 33 Hz 程度)が実験条件として最適であると いえる。



**1.** Experimental setup of simplified OCDR using POF.



図 4. Sweep-time dependences of (a) spatial resolution and (b) SNR.

### 参考文献

- [1] P. Healey et al., J. Lightwave Technol. 3, 876 (1985).
- [2] W. Eickhoff et al., Appl. Phys. Lett. **39**, 693 (1981).
- 3] K. Hotate *et al.*, *Opt. lett.* **12**, 158 (1987).
- [4] M. Shizuka et al., 秋応物 2015, 発表予定
- [5] I. R. Husdi et al., Meas. Sci. Technol. 15 1553 (2004).
- [6] S. Liehr et al., Meas. Sci. Technol. 21 094023 (2010).
- [7] N. Hayashi et al., IEEE Photon. J. 7, 6800407 (2015).