プラスチック光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた歪・温度分布測定の実証 Distributed strain/temperature sensing based on Brillouin scattering in plastic optical fibers

東京工業大学 精密工学研究所 ○林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎 P. & I. Lab., Tokyo Tech ○Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura E-mail: hayashi@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

光ファイバ中のブリルアン散乱には、歪・温度の分布測定 をはじめ様々な応用が知られている。近年、分布測定に用い る光ファイバとして、シリカガラス製の単一モード光ファイ バ (SMF) にはない高い柔軟性・メモリ効果などの利点を有 するプラスチック光ファイバ (POF)の利用が注目を集めて いる。これまでに我々は、POF 中のブリルアン散乱を観測、 特性評価を行い、歪依存性が小さい高感度温度センサ[1]や大 歪センサ[2]への応用可能性があることを明らかにした。一方、 2014年、Minardo氏ら[3]により、ブリルアン光周波数領域解析 法 (BOFDA)を用いて POF を用いた温度の分布測定が試みら れた。全長 20 mの POF 中の 4.0 mの高温区間を検出したが、 高温区間は入射端付近に限定され、信号対雑音比 (SNR)や 空間分解能は実用には不十分であった。さらに、BOFDAの測 定系の構築には、ネットワークアナライザ等の高価な光学機 器が必要となる。

そこで本発表では、ブリルアン光相関領域反射計 (BOCDR)を用いて cm オーダの高空間分解能での歪・温度 分布測定を実証し、その性能について議論を行う。

2. 実験系

長さ 1.3 m および 2.0 m の全フッ素化屈折率傾斜型(PFGI-) POF を測定ファイバとして用いた。コア径は 50 µm、クラッド 径は 100 µm、1.55 µm帯での伝搬損失は約 250 dB/km であった。 POF を用いた BOCDR の測定系を図 1 に示す。線幅 1 MHz の半導体レーザの出力光をカプラで二つに分け、一方に 1 km の遅延を加えた後、4 dBm に増幅し参照光とした。もう一方 は27 dBmに増幅し、ポンプ光として POF に入射した。ブリル

アン散乱光(ストークス光)を参照光と合波し、フォトダイ オードで電気信号に変換した後、電気スペクトルアナライザ (ESA)でブリルアン利得スペクトル(BGS)として観測し た。ストークス光と参照光の相対的な偏波状態は最適化した。 位置分解を行うために、レーザの駆動電流に正弦波変調を印 加し、POF 中に「相関ピーク」を形成した[4]。この相関ピー クを POF に沿って掃引することで分布測定を実現した。

3. 実験結果

まず、空間分解能を抑え、高い SNR で歪・温度分布測定を 実証した。変調周波数を11.654 – 11.698 MHz、変調振幅を0.9 GHz とし、測定レンジは9.5 m、理論空間分解能は340 mm と した。また、サンプリングレートは3.3 Hz とした。以下の実 験では室温は18℃に保った。全長2.0 mの POF中の入射端か ら0.8 mから1.3 mにかけての0.5 mの区間に歪(≤1.2%)を 印加したときのブリルアン周波数シフト(BFS)の分布を図2 (a)に示す。測定点を200としたので、測定時間は約1分であ った。歪印加区間において BFS が低周波側にシフトし、その 歪係数 –115.3 MHz/%は従来の報告[1]とほぼ一致した。また、 同様の区間の温度を変化させた場合の BFS の分布を図2(b)に 示す。高温印加区間において BFS が低周波側にシフトし、そ の温度係数–3.27 MHz/K は従来の報告[1]と同等であった。

次に、cmオーダの高い空間分解能での温度分布測定を実証 した。変調周波数を53.321-53.451 MHz、変調振幅を0.9 GHz とし、測定レンジは1.2m、理論空間分解能は74 mmとした。 全長1.3 mの POF 中の入射端から1.0 mから1.1 mにかけての 0.1 mの区間を40℃に昇温したときの BGS および BFS の分布 を図 3(a)、図 3(b)にそれぞれ示す。測定時間は約40秒であっ た。高温印加区間において BFS が低周波側にシフトした。 BFS のシフト量は約26 MHz であり、40℃が正しく検出され た。なお、0.9 m付近と1.15 m付近において緩やかに BFS が変 化する原因は、高温区間とそれ以外の区間の BGS(線幅約100 MHz)がオーバーラップしているためと考えられる。

4. POF を用いた BOCDR の性能限界

POF を用いた BOCDR (POF-BOCDR) の性能とシリカ SMF を用いた BOCDR (SMF-BOCDR)の性能を空間分解能、測定 レンジ、 実効的な測定点数(分解能と測定レンジの比) 、測 定速度について比較する。まず、POF-BOCDR の理論的な最 高分解能は 23 mm と計算され、一般的な SMF-BOCDR での値 [4]の約 1/4 である。また、POF-BOCDR の理論的な最高測定点 数は 44 と計算され、SMF-BOCDR の約 1/13 であるが、時間ゲ ート法や多重変調法の適用により解決できる可能性がある。 更に、測定レンジは空間分解能とのトレードオフおよび POF の伝搬損失によって制限されるが、伝搬損失が比較的低くな る短波長帯の利用等により1km程度までは延伸できると考え られる。最後に、本実験ではサンプリングレートを 3.3 Hz と したが、ESA からのデータ取得機構の最適化により更なる高 速化が可能である。











参考文献

- [1] Y. Mizuno et al., Appl. Phys. Lett. 97, 021103 (2010); Opt. Lett. 35, 3985 (2010).
- [2] N. Hayashi et al., Opt. Express 20, 21101 (2012).
- [3] A. Minardo et al., IEEE Photon. Technol. Lett. 24, 387 (2014).

[4] Y. Mizuno et al., Opt. Express 16, 12148 (2008); Opt. Commun. 283, 2438 (2012).