片端光入射によるプラスチック光ファイバ中のモード間干渉を用いた歪センシング Reflectometric strain sensing based on modal interference in plastic optical fibers

東京工業大学 精密工学研究所 ○河 智仁 沼田 剛毅 林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech OTomohito Kawa, Goki Numata, Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura E-mail: {tkawa, ymizuno, knakamur}@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建造されたインフラの地震による損 傷や経年劣化が社会問題となっている。そのため、光ファイバ を用いた構造物のヘルスモニタリングが重要視されており、これ までに種々の光ファイバ型歪センサが開発されてきた。

そのうちの 1 つが、多モード光ファイバ (MMF) 中のモード間 干渉を用いた歪センサである。特に、MMF を単モード光ファイ バ (SMF) で両端から挟み込んだ "SMS 構造" を用いた歪センサ は構成が容易であるため、精力的に研究が推進されてきた [1,2]。Liuら [1] は、1.8 mの屈折率傾斜型(GI)のシリカ MMF を用いて、1550 nm 帯で-18.6 pm/μεの歪感度(1300 nm 帯 での-15.6 pm/με に相当)を得た。また、Tripathiら [2] は、歪感 度の絶対値および符号がシリカ MMF の構造や材料に大きく依 存することを明らかにした。

一般に、ガラス光ファイバセンサは数%の歪で破断してしまい 構造物の大変形を検出することはできず、敷設の際の取り扱い にも注意を要する。これに対し、プラスチック光ファイバ(POF) [3] は数10%の歪に耐えうるほど柔軟性に富み、扱い易いことか らセンシングヘッドとして注目を集めている。我々は長さ1.0 m、 コア径 62.5 µm の全フッ素化(PF)GI-POF を MMF として用い て SMS 構造を構成し、1300 nm 帯で-112 pm/µをという高い歪 感度(絶対値はシリカファイバの7.2 倍)を得た[4]。しかし、SMS 構造は「透過型」の構成であり、実際にセンサとして構造物に埋 め込む際に光の取り出し口が2箇所必要となるため、敷設時の 利便性に欠ける。

そこで本研究では、PFGI-POFの片端のみをシリカ SMF と結 合させ、もう片端は開放とする「反射型」の構成で、モード間干 渉を用いた歪センサを実装し、特性評価を行った。

2. 実験系

モード間干渉による歪センサの透過型・反射型での構成をそ れぞれ 図1(a) および (b) に示す。PFGI-POF は透過型・反射 型ともにコア径 62.5 µm、クラッド径 70 µm、外径 750 µm、長さ 0.7 m のサンプルを使用した。PFGI-POF とシリカ SMF との結合 は突合せ接合 [5] で実現した。中心波長 1310 nm、帯域幅 110 nm の波長走査光源(SSL)を光源として用い、出力光の偏波状 態は偏波スクランブラ(PSCR)により平均化した。透過型では、 光源の出力光を PFGI-POF に入射し、透過光スペクトルを光ス ペクトルアナライザ(OSA)で観測した。一方、反射型では、サー キュレータを介して光源の出力光を PFGI-POF に入射した。 PFGI-POF のもう一方の端面は研磨して開放端とし、フレネル反 射光のスペクトルを OSA で観測した。また、透過型・反射型とも に PFGI-POF の両端のコネクタ部分を側圧によりステージに固 定し、任意の歪を印加した。OSA ではモード間干渉特有のスペ クトル上のディップの変動を測定し、歪依存係数を算出した。

3. 実験結果

まず、透過型・反射型でのディップ付近のスペクトルの歪依存 性をそれぞれ 図 2(a) および (c) に示す。両者とも、比較的広 帯域のディップが1本観測され、歪の印加に伴い短波長側にシ フトした。また、反射型の方が透過型に比べてスペクトル全体の パワーおよび信号対雑音比が低かった。これは PFGI-POF の開 放端におけるフレネル反射率が低いことが原因であり、端面をミ ラー加工することで改善できると考えられる。

次に、透過型・反射型でのディップの中心波長の歪依存性を それぞれ 図 2(b) および (d) に示す。両者ともにほぼ線形の依 存性を示し、係数は透過型・反射型でそれぞれ-127.7 pm/με、



☑ 1. Schematics of experimental setups. (a) Transmissive and (b) reflectometric configuration. OSA, optical spectrum analyzer; PFGI-POF, perfluorinated gradedindex plastic optical fiber; PSCR, polarization scrambler; SSL, swept-source laser.



☑ 2. Experimental results for 0.7-m-long PFGI-POF with 62.5- μ m core diameter. (a) Spectral dependence on strain, transmissive; (b) dip wavelength vs strain, transmissive; (c) spectral dependence on strain, reflectometric; and (d) dip wavelength vs strain, reflectometric.

-125.1 pm/με となった。単純に考えれば、同一 PFGI-POF 内を 往復するために主要モード間の経路差が2倍となるので、歪依 存係数も2倍になると思われるが、実験では両者の感度はほぼ 同等であった。以上から、歪感度は PFGI-POF の長さに依存し ないと考えられる。実際に、長さ0.2mから2.0mまでの7種類 の PFGI-POF を用いて透過型で歪感度を測定したところ、値に 大きな差は見られなかった。この理由について、現在理論検討 を行っている。

参考文献

- [1] Y. Liu, et al., Appl. Opt. 46, 2516 (2007).
- [2] S. M. Tripathi, et al., J. Lightw. Technol. 27, 2348 (2009).
- [3] Y. Koike, et al., NPG Asia Mater. 1, 22 (2009).
- [4] G. Numata, et al., IEEE Photon. J. 6, 6802306 (2014).
- [5] Y. Mizuno, et al., Appl. Phys. Lett. 97, 021103 (2010).