

全フッ素化プラスチック光ファイバ中の光伝搬損失の巨大歪依存性

Giant-strain dependence of propagation loss in perfluorinated plastic optical fibers

東京工業大学 精密工学研究所 ○氏原 大希 林 寧生 田原 麻梨江 水野 洋輔 中村 健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech ○Hiroki Ujihara, Neisei Hayashi, Marie Tabaru, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura
E-mail: hujihara@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

近年、構造物の地震による損傷や経年劣化を診断するため、光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた分布型歪・温度センシング技術の研究が精力的に推進されている。従来は、そのセンシングヘッドにガラス光ファイバが用いられていたが、数%の歪で破断してしまうという問題があった。これに対し、プラスチック光ファイバ (POF) は数 10 % 以上の巨大な歪にも耐えることができるため、POF 中のブリルアン散乱[1]を用いることで、測定できる歪の範囲を大幅に拡大することができると期待される。

装置上の制約から、ブリルアン散乱の観測は専ら通信波長帯で行われる。一般的なアクリルで構成された POF [2] は通信波長帯での伝搬損失が極めて高いため、同帯域で比較的低い損失を有する全フッ素化屈折率傾斜型プラスチック光ファイバ (PFGI-POF) [3]においてのみ、ブリルアン散乱が実測されている。しかし、その損失は約 250 dB/km でありシリカ単一モード光ファイバ (SMF) と比較すると遥かに高く、測定レンジの延伸や信号対雑音比の向上のためには、サブワットオーダーの高パワーの光を POF に入射する必要がある。これまでに、そのような高パワー光を入射したときの POF の伝搬損失の巨大歪に対する依存性は報告がなかった。また、実際の地震、例えば東日本大震災では、数 Hz の周波数成分が構造物に甚大な被害をもたらしたとされている[4]が、POF センサがそのような周波数 (約 200 %/s の速度に相当) で印加される歪を検出できることを確認するには、歪印加速度に対する挙動も明らかにしなければならない。

そこで本発表では、約 100 % の巨大歪の印加に伴う伝搬損失の変化が、入射光パワーにどのように依存するかを調査した。また、一定の光入射パワーの場合に、歪印加速度にはどのように依存するかも明らかにした。

2. 実験系

コア径 50 μm 、クラッド径 70 μm 、外径 500 μm 、長さ 15 cm の PFGI-POF を被測定ファイバとして用いた。実験系を図 1 に示す。波長 1552 nm のレーザーダイオード (LD) の出力光をエルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) により増幅し、POF に入射した。POF を透過した光のパワーはパワーメータで測定した。POF とシリカ SMF との結合は突合せ接続により実現した[1]。また、POF の両端を可動ステージに固定し、歪を任意の速度で印加した。

3. 実験結果

まず、歪印加速度を 0.33 %/s に固定し、入射パワーを 1.5, 15, 27 dBm と変化させたときの POF の伝搬損失の歪依存性を図 2(a) に示す。入射パワーに関わらず、約 90 % の歪で損失が急激に増加し、POF が破断した。歪 80 % 以下の範囲の拡大図 (図 2(b)) から、損失の歪依存性に対する入射パワーの影響は見られなかった。

次に、入射パワーを 27 dBm に固定し、歪印加速度を 0.33, 13.3, 42.6, 200, 420, 500 %/s と変化させたときの POF の伝搬損失の歪依存性、およびその一部の拡大図を図 3(a)(b) に示す。この範囲では、損失の歪依存性に対する歪印加速度の影響は見られなかったため、約 200 %/s に相当する地震の揺れにも対応できることが明らかになった。

また、歪印加前および 1.8 %/s で 100 % の歪を印加した後の POF 側面の顕微鏡写真を図 4 に示す。歪の印加に伴って

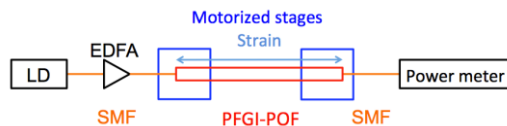


図 1. Schematic of experimental setup. EDFA, erbium-doped fiber amplifier; LD, laser diode; PFGI-POF, perfluorinated graded-index plastic optical fiber; SMF, single-mode fiber.

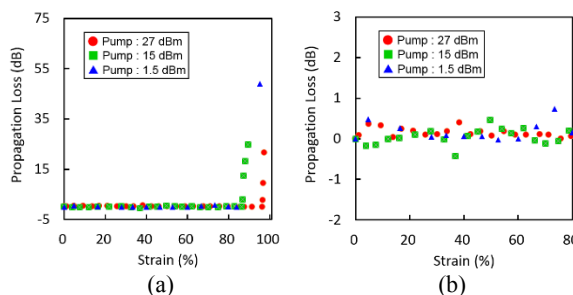


図 2. (a) Propagation loss vs applied strain at three different pump powers, and (b) its magnified view in the strain range below 80 %.

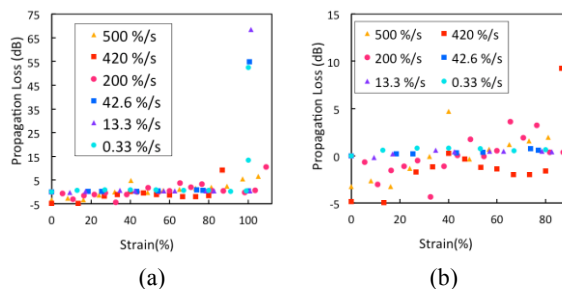


図 3. (a) Propagation loss vs applied strain at six different strain rates, and (b) its magnified view in the strain range below 90 %.

外径は減少し、100 %の歪では約 400 μm となった。同程度の比率でコア径も変化していると考えられるが、伝搬損失に大きな影響が見られないのは比較的核心径が大きい POF の特徴といえる。

以上より、入射パワーおよび歪印加速度が POF 中の伝搬損失に与える影響は小さいことが明らかになった。これは、高パワー入射を要する POF を用いたブリルアンセンサによって比較的高速で印加される巨大な歪 (大地震による損傷を想定) を検出できることを示唆する。

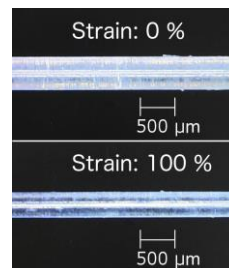


図 4. POF micrographs with different strains applied.

参考文献

- [1] Y. Mizuno *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 021103 (2010).
- [2] M. G. Kuzyk, *Polymer Fiber Optics: Materials, Physics, and Applications* (CRC Press, 2006).
- [3] Y. Koike and M. Asai, *NPG Asia Mater.* **1**, 22 (2009).
- [4] K. Goda *et al.*, *Bull. Earthq. Eng.* **11**, 141 (2013).