

プラスチック光ファイバ・ブラッグ・グレーティングによる任意波長帯での振動測定の実証 Demonstration of vibration sensing using plastic optical fiber Bragg gratings at arbitrary wavelengths

○元石直樹^{1,2}、野田康平^{1,2}、李ひよん³、Antreas Theodosiou⁴、Kyriacos Kalli⁴、中村健太郎¹、水野洋輔²

¹東工大 未来研 ²横浜国大 工学研究院 ³芝浦工大 工学部 ⁴キプロス工大 フォトニクス研

ON. Motoishi^{1,2}, K. Noda^{1,2}, H. Lee³, A. Theodosiou⁴, K. Kalli⁴, K. Nakamura¹, and Y. Mizuno²

¹Tokyo Inst. Technol. ²Yokohama National Univ. ³Shibaura Inst. Technol. ⁴Cyprus Univ. Technol.

E-mails: {nmotoishi, knakamur}@sonic.pi.titech.ac.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

ビルや橋梁、ダム、トンネルなどの社会インフラ構造物の実時間的な健全性の監視を目的とした、光ファイバセンサの研究開発が世界中で展開されている。特に、光ファイバのコアの部分に周期的な屈折率変調（回折格子）を形成した光ファイバ・ブラッグ・グレーティング（FBG）による歪センシングは、すでに実用が進んでいる技術の一つである。FBG が描画された光ファイバに光を入射すると、ある特定の波長（ブラッグ波長）の光のみが強く反射される。このブラッグ波長は FBG に印加された歪に依存するため、測定したブラッグ波長から歪の大きさを推定することができる[1]。

近年では、静的な歪だけでなく、動的な歪（振動）の計測に対する需要も高まっている。振動の測定法として、FBG の反射スペクトルのスロープの光パワーの変化を測定する手法が知られている。これは例えば、スロープの中心に比較的小さい線幅のレーザの発振波長を合わせ、その反射パワーの時間変化を観測することで実現できる。この手法では、波長掃引機構が不要となり高速動作が可能となるため、振動測定が実現できる。

しかし、この振動測定法を一般的なシリカ単一モード光ファイバ（SMF）に描画した FBG を用いて実装するためには、レーザの発振波長に合わせたブラッグ波長の綿密な事前設計、あるいは、高価な波長可変光源の利用が必要となり、システムコスト増大の要因となっていた。これに対し、我々は最近、プラスチック光ファイバ（POF）に描画した FBG において、高次伝搬モードの光の励起を促進することで、動作波長帯を任意の帯域まで拡大できることを明らかにした[2]。また、各波長帯の歪感度についても計測し、任意の波長帯で静的な歪の測定が可能であることを示した[2]。

そこで本研究では、動作波長帯を拡大した POF-FBG において、反射スペクトルのスロープを用いることで、任意の波長帯で振動測定が可能であることを実証した。

2. 実験方法

全長 0.7 m の全フッ素化 POF に描画した FBG を用いた。この POF は三層構造（全フッ素化ポリマー（CYTOP®）からなるコアとクラッド、および、ポリカーボネートからなる補強層）であり、コア径は 50 μm 、クラッド径は 70 μm 、補強層の外径は 490 μm であった。その POF の 2 mm の区間に、フェムト秒レーザの照射によって FBG を描画した[3]。

この POF-FBG の反射スペクトルのスロープを用いた振動測定の動作実証を行うための実験系を Fig. 1 に示す。まず、スーパーコンティニューム光源の出力を、SMF により構成された光サーキュレータを介して POF-FBG に入射し、反射光のスペクトルを光スペクトラムアナライザ（OSA）で観測した。その際、高次伝搬モードが極力励振されるよう調整した。その後、1563 nm、1246 nm 付近（それぞれ回折次数 $m = 4, 5$ に対応）と、1478 nm、1413 nm、1335 nm 付近（ $m = 4$ と 5 の間を 4 分割する波長）の反射スペクトルにおいて、振動測定に用いるスロープを選択し、その傾きを測定した（紙面の都合上省略）。その際、スロープの線形範囲、微分値の絶対値が最大値の 40% 減となるまでの範囲として定義した。次に、OSA のゼロスパン機能を用いて、各波長帯のスロープにおいて振動測定が可能であることを調査した。振動は、POF-FBG の一端を固定し、振動発生器を用いてもう片端に高速歪を印加した。本実験では、10 Hz（振動振幅 150 μe ）、20 Hz、50 Hz の 3 通りの周波数の振動を測定した。

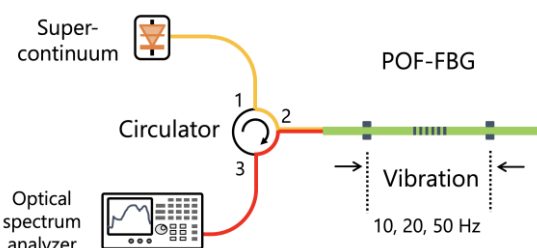


Fig. 1. Experimental setup.

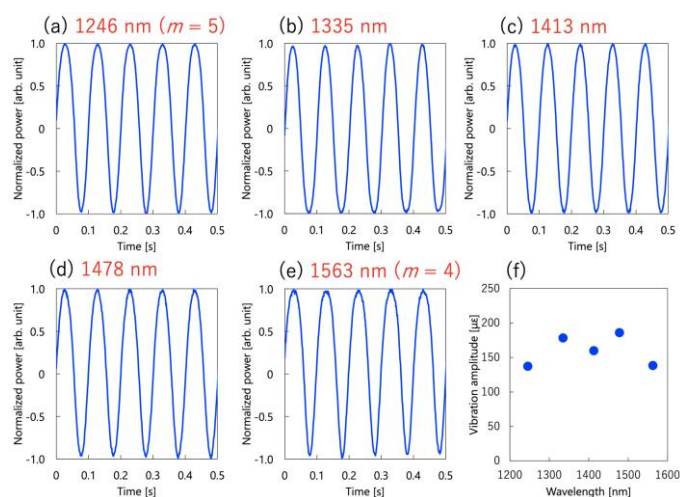


Fig. 2. Results of 10-Hz vibration detection. Temporal power variations measured at (a) 1246 nm, (b) 1335 nm, (c) 1413 nm, (d) 1478 nm, and (e) 1563 nm. (f) Vibration amplitudes measured at different wavelengths.

3. 実験結果

まず、各波長帯において、振動測定に用いるスロープの傾きを測定した結果、1246 nm から順に、18.5 dB/nm、12.1 dB/nm、13.7 dB/nm、15.1 dB/nm、22.6 dB/nm となった。

次に、各波長帯での 10 Hz の振動測定の結果を Fig. 2(a)-(e) に示す（紙面の都合上 20 Hz、50 Hz の結果は省略）。動作波長帯を拡大した POF-FBG において、任意の波長帯での振動測定が可能であることが実証された。

最後に、検出された振動の大きさについて議論する。歪感度の波長依存係数は 0.0089 /% であることから[2]、測定された光パワーの大きさを歪の大きさに換算した結果を Fig. 2(f) に示す。波長に関わらず、印加した振動振幅 150 μe とおおよそ一致した。誤差が生じているのは、同一波長帯においても各ピーク（各光伝搬モード）によって歪依存性がある程度異なるためと考えられる[2]。

以上より、高次モードを励起した POF-FBG を用いて、任意の波長帯で振動測定を実証できた。

参考文献

- [1] R. Kasyap, *Fiber Bragg Gratings* (Academic, SD, CA, 1999).
- [2] 元石ほか, 2020 年春応物, 12p-B406-8.
- [3] A. Lacraz, et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.* **27**, 693 (2015).