

マルチコア FBG と Si-APD 二光子吸収応答を用いた多点曲げ計測

Multi-point bending measurement using multicore FBG and two-photon absorption response of Si-APD

農工大工, °高木 伶菜, 園田 直弘, 阿部 哲也, 趙 世華, 田中 洋介

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., °Reina Takagi, Naohiro Sonoda, Tetsuya Abe, Shihua Zho, Yosuke Tanaka

E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

光ファイバを用いた曲げセンサは、曲げ機構をもつロボットや医療用カテーテルの形状計測、構造ヘルスマニタリング等への応用が期待されている。様々な手法が検討されている中、マルチコア FBG を用いた曲げセンシングは、1本の光ファイバで曲げの向きと大きさが同時に測定できる利点がある。一方、マルチコア光ファイバ(MCF)への光の入出力や、異なるコアの FBG からの反射光の識別や信号処理には課題があった。これに対し、我々は Si-APD 二光子吸収応答を利用した FBG の位置・スペクトル測定技術[1-2]により、マルチコア FBG 3次元曲げ計測の原理を実証している[3-7]。

今回、長手方向3ヶ所に FBG を加工した MCF を用い、多点曲げ計測に成功したので報告する。

2. 測定原理

Fig.1 に測定系を示す。1.5 μm 帯で異なる波長の2台の単一モードレーザに対し、各出射光を同じ周波数 f_m で変調し、プローブ光、参照光とする。プローブ光はファンアウトデバイスを介して MCF に入射する。使用した MCF は中心1コア、その周囲を等間隔に6コアが配置された7コア MCF で、長手方向3ヶ所に Bragg 波長の等しい低反射率 FBG が加工されている。FBG 加工箇所には曲げが付与されると、各コア FBG の Bragg 波長が、曲げ半径及び中心コアからの距離に応じて

$$\epsilon_j = \kappa r \sin \theta_j \quad (1)$$

で与えられる変化を示す。但し、 κ は曲げ半径の逆数(曲率)、 r は中心コアと外周コア間の距離、 θ_j はファイバ断面内での j 番目のコアの回転角で、使用した MCF では隣り合うコア間で60度の差がある。式(1)から曲げの大きさと向きを測定できる。一般に断面方向に同じ位置にある FBG は曲げが付与されたときは Bragg 波長が等しく、曲げが付与された際にも Bragg 波長が重なるため、反射光スペクトルの分離が難しい。そこで、提案する測定では、ファンアウトデバイスと MCF の7コア間に互いに長さの異なる光ファイバを挿入する。この構成では、各コアの FBG で反射されたプローブ光と参照光の強度相関に違いが出るため、反射スペクトルの分離ができる。

強度相関測定には Si-APD の二光子吸収応答を利用する。通常 Si-APD は波長1.5 μm 帯の光に対して感度が無いが、集光した高強度の入射光に対しては強度の二乗平均に比例した光電流を出力する。これにより、複雑な回路を用いることなく広い周波数範囲にわたって強度相関測定ができる。Fig.1の実験系で、Si-APD からの二光子吸収電流は

$$i(f_m, \lambda) \propto \text{const.} + \sum_{j=1}^{21} I_j(\lambda) \cos 2\pi f_m \frac{n\Delta L_j}{c} \quad (2)$$

で与えられる。但し、 λ は波長、 I_j は j 番目の FBG からの反

射戻り光強度、 n は光ファイバの屈折率、 ΔL_j は j 番目の FBG で反射したプローブ光の参照光に対する伝搬光路長差である。変調周波数 f_m を掃引して得られる $i(f_m)$ のデータに対し、そのフーリエスペクトルから各 FBG の位置が分かる。また、異なる λ に対してフーリエスペクトルを求めると、各 FBG の反射スペクトルが得られる。

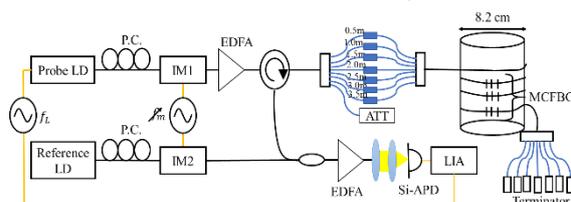


Fig.1 Experimental setup for multi-point bending measurement using multi-core FBG.

3. 実験結果

Fig.2 に MCF 長手方向3ヶ所のマルチコア FBG について、外周コア番号(順に1-6)と FBG の Bragg 波長シフトの関係を示す。外周コアの FBG 全18点の Bragg 波長シフトは、曲げの影響を受けない中心コア FBG の Bragg 波長を基準に測定した。データは理論式(1)に対応して同一の正弦波上に乗っており、同じ大きさの曲げが加わったことを示している。初期位相の違いはファイバのねじれに起因する。

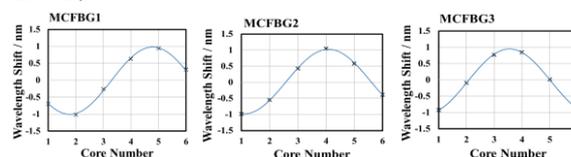


Fig.2 Bragg wavelength shift of FBGs at each point of MCF.

4. まとめ

マルチコア FBG と Si-APD 二光子吸収応答を用いた多点曲げ計測の実証実験を行った。Bragg 波長の等しい FBG を曲げた実験系で3ヶ所の曲げ計測を行い、21点の FBG 反射スペクトルの分離測定により、曲げを測定することに成功した。今後、測定精度向上の検討を進める。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(JP20H02158)の支援を受けた。

参考文献

- [1] Y. Tanaka, M. Nemoto, Y. Yamada, *J. Lightwave Technology*, vol. 36, issue.4, pp. 1192-1196, 2018.
- [2] Y. Tanaka, H. Miyazawa, *J. Lightwave Technology*, vol. 36, issue.4, pp. 1032-1038, 2018.
- [3] Y. Tanaka, T. Abe, H. Miyazawa, CLEO 2019, SF3L.1, 2019
- [4] T. Abe, Y. Tanaka, MOC2019, P-51, 2019.
- [5] 阿部、園田、田中、光波センシング技術研究会 LST64-18, 2019年12月.
- [6] 園田、阿部、田中、第67回応物春季学術講演会、12p-B406-4、2020年3月.
- [7] N. Sonoda, T. Abe, Y. Tanaka, OPTM2020, PTMp-21, 2020.