

偏光渦を用いたファイバセンシングの理論的検討Ⅱ

Theoretical study of fiber sensing using polarization vortex II

○(M2)比嘉 悠介¹, 坂本 盛嗣^{1,3}, 野田 浩平^{1,3}, 佐々木 友之^{1,3}, 田中 雅之², 小野 浩司^{1,3}

○Yusuke Higa¹, Moritsugu Sakamoto^{1,3}, Kohei Noda^{1,3}, Tomoyuki Sasaki^{1,3}, Masayuki Tanaka², and Hiroshi Ono^{1,3}

長岡技術科学大学¹, (株)オプトゲート², CREST, JST³

Nagaoka Univ. of Tech.¹, OPT Gate Co., LTD², CREST, JST³

E-mail : sakamoto@vos.nagaokaut.ac.jp

ファイバセンシングはロボットの動作検出から建造物の老朽化検査まで幅広い分野で利用されており幅広い分野に応用されている。ファイバセンシングで検出できる情報の一つとして、歪みの有無があるが、その向きを検出するのは難しい。我々は先の研究で、プローブ光に偏光渦を用いたファイバセンシングの手法を提案した^[1]。前回の発表では、歪み印加時に導波路内に生じる内部複屈折を仮定した計算モデルを用い、歪み方向と大きさを偏光渦のモードスペクトル変化から検出可能であることを示した。しかし、先の解析では導波路形状の変化は考慮しておらず、より実態に即した解析が必要と考えられる。そこで今回我々は、歪み印加時にファイバ内部を伝搬する偏光渦に生じるモードスペクトル変化を FDTD 法で計算し、導波路形状の変化が偏光渦モードスペクトルに及ぼす影響を解析した。

シミュレーション空間上に曲げ歪みを有したファイバの屈折率分布を与える。曲げ歪みが生じるとファイバ中には以下の式^[2]で表される複屈折が生じる。

$$\delta n = \frac{n^3}{2} (\rho_{12}(1 - \nu) - \nu \rho_{11}) \frac{x}{R}$$

n はコアまたはクラッドの屈折率、 ρ_{11} , ρ_{12} は光弾性係数、 ν はポアソン比、 R は曲げ歪みの曲率半径、 x はファイバ中心からの位置であり $-r \leq x \leq r$ の値をとる。 r はクラッドの半径である。本研究では 1313 nm の SMF を想定しておりコアの屈折率を 1.45094、クラッドの屈折率を 1.44680、コア径 8.2 μm 、クラッド径 125 μm とした。

モードスペクトルは次の式^[3]で計算した。

$$\iint \mathbf{E}_{out} \cdot \mathbf{E}_{VB}^* dS$$

$\mathbf{E}_{out}$ はプローブ光の電場でファイバ透過光もしくは、ファイバ内部からの反射光である。 $\mathbf{E}_{VB}^*$ は各偏光渦モードの複素共役である。1313 nm 用 SMF 中を偏光渦が伝搬できるよ

うに、プローブ光の波長は 1064 nm とした。プローブ光は TM_{01} モードを仮定した。

Fig.1 に曲率半径 $R = 3.0 \text{ mm}$ で曲げられたファイバを 300 μm 伝搬した時のモードスペクトル変化を、Fig.2 にビームプロファイルを示す。なお、伝搬光全体の強度を 1 として規格化している。形状変化がある場合とない場合ではモードスペクトルが異なる。したがって、偏光渦モードスペクトルの解析において、ファイバの形状変化を含む解析が必要である。

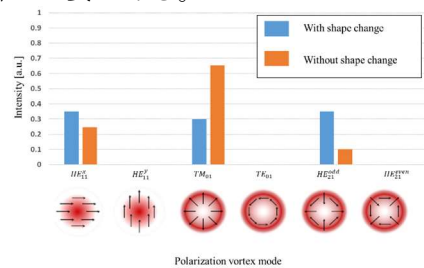


Fig.1 Mode spectrum of probe beam output from distorted fiber

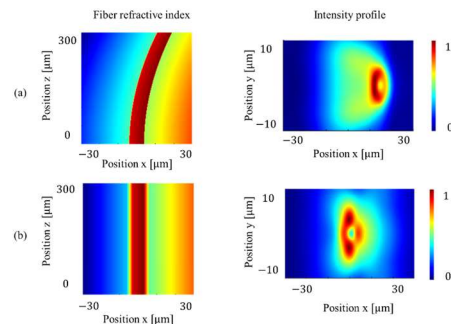


Fig.2 Numerically simulated intensity distribution of probe beam propagation within 300um distorted fiber whose curvature are both 3mm. (a)with shape change (b)without shape change.

[1]比嘉悠介 他 “偏光渦を用いたファイバセンシングの理論的検討”，第 68 回応用物理学会春季学術講演会 (2021).

[2] F.El-Diasty, Appl. Opt. 39, 3197 (2000).

[3] M.Suzuki et al., Sci Rep 9, 9979 (2019).