

偏波光相関領域反射計における参照光偏波状態制御の自動化

Automatic polarization state control of reference light in POCDR

○野田 康平^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎¹、水野 洋輔²

¹東京工業大学 未来研 ²横浜国立大学 工学研究院 ³芝浦工業大学 工学部

○Kohei Noda^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura¹, and Yosuke Mizuno²

¹Tokyo Institute of Technology ²Yokohama National University ³Shibaura Institute of Technology

E-mail: knoda@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

光ファイバ中の光学現象を用いて温度や歪など様々な物理量を計測する光ファイバセンシング技術が近年盛んに研究されている。中でも光ファイバの複屈折が外界の影響を受けることを利用したセンサは多岐にわたり、偏波モード分散や偏波ビート長の分布測定[1]、ファラデー効果を利用した磁気・電流センサ[2]、振動センサ[3]などが挙げられる。

単一モードファイバ (SMF) における散乱光の偏波状態を分布測定するために、これまでいくつかの手法が提案されている[4,5]。一方、我々は高空間分解能やランダムアクセス性、低廉性などの利点を有する光相関領域反射計 (OCDR) に基づく偏波分布測定法「POCDR」を提案し、その動作を実証した[6]。しかし、従来の実験系では、3パドル型偏波コントローラを用いて参照光の偏波状態を手動で制御していた。そのため、長い測定時間を要すること、測定中に偏波状態が揺らいでしまうため測定精度が劣化すること、測定パワーのオフセットに対して脆弱になることといった問題があった。

そこで本研究では、電圧制御型偏波コントローラを用いて参照光の偏波制御を容易にすることで、実験系全体を自動化・高速化した。

2. 原理と実験系

偏波状態は単位球 (ポアンカレ球) 面上の一点を指す単位ベクトルとみなすことができる。信号光の偏波状態 (未知) と i 番目の参照光の偏波状態 (既知) は、それぞれ $\mathbf{s} = (s_x, s_y, s_z)$ 、 $\mathbf{r}_i = (r_{x,i}, r_{y,i}, r_{z,i})$ 、 $(|\mathbf{s}| = |\mathbf{r}_i| = 1)$ と書け、これらの干渉光信号のパワーは $P_i = P_0 + k s_x r_{x,i} + k s_y r_{y,i} + k s_z r_{z,i}$ となる。ただし P_0 、 k は定数である。様々な $(r_{x,i}, r_{y,i}, r_{z,i})$ に対して P_i を計測することで、最小二乗法により (s_x, s_y, s_z) を推定することができる。偏波状態の位置分解は、通常の OCDR 同様、レーザに周波数変調を印加することで、測定ファイバ内の特定の位置の散乱光のみを選択的に観測することで実現する。なお、得られた偏波状態の分布から複屈折分布を復元するには、光の往復の影響を考慮する必要がある[7]。

通常の OCDR の実験系の参照光路に、電圧制御型偏波コントローラ (PolaRITE PCS-4X, General Photonics) を制御ボード (USB-3105, MC Measurement) とともに挿入した。また参照光の一部を偏波保持カップラで分岐させ、偏光計 (PAX1000, Thorlabs) によって参照光の偏波状態を計測した。また、任意波形発生器を用いてレーザ出力を変調周波数することで、測定ファイバに相関ピークを生成した。相関ピークを測定位置に固定した状態で参照光を 30 通りに変化させ、それぞれについて干渉光のパワーを測定した。このとき、参照光の偏波状態はポアンカレ球上に均一に分布するようにランダムに生成した。LabVIEW を用いて、これらの計測手順を自動制御した (Fig. 1)。

3. 実験結果

測定ファイバとして、2本の5mのSMFの間に2mのSMFからなる3パドル型偏波コントローラを融着したものを用いた (Fig. 2)。測定ファイバ中の偏波コントローラを様々な角度に変え、偏波状態の遷移の変化を計測した結果を Fig. 3 に示す。偏波

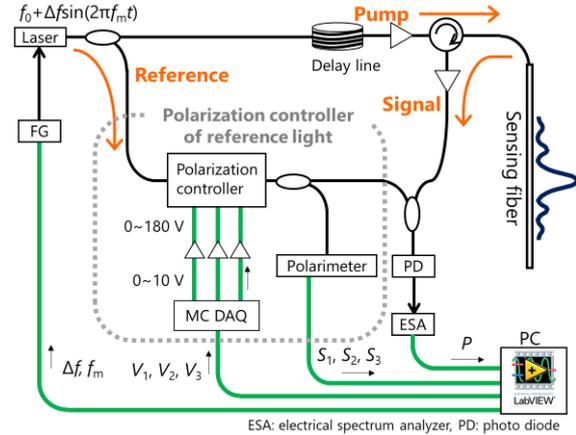


Fig. 1 Experimental setup of automated POCDR.

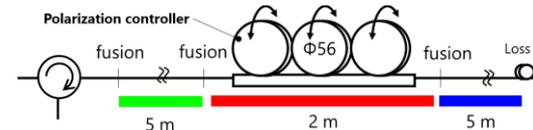


Fig. 2 Structure of sensina fiber.

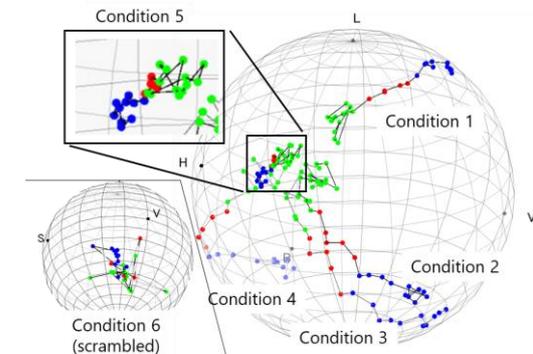


Fig. 3 Measured distributed polarization states.

コントローラ内部 (赤) で偏波状態が遷移していることがわかる (Conditions 1-5)。また信号光路に偏波スクランブラを挿入し偏波分布測定を行ったところ、偏波状態がかく乱されている様子が観測された (Condition 6)。以上の結果から、自動化した POCDR による偏波分布測定が達成できたといえる。今後は、実験結果の妥当性の評価方法の検討や測定精度の評価などを推進する予定である。

参考文献

- [1] Y. Mizuno, et al., *Appl. Phys. Express* **2**, 046502 (2009)
- [2] L. Sun, et al., *Opt. Express* **18**, 5407 (2010).
- [3] Z. Zhang, et al., *Opt. Express* **16**, 10240 (2008).
- [4] A. J. Rogers, *Appl. Opt.* **20**, 1060 (1981).
- [5] B. Hutter, et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.* **10**, 1458 (1998).
- [6] 野田 他, 秋応物 2020, 8p-Z16-16.
- [7] D. H. O. Bebbington, et al., *J. Opt. Soc. Am. A* **17**, 2260 (2000).