

マルチコアプラスチック光ファイバ中のモード間干渉を用いた温度センシング

Temperature sensing based on modal interference in multi-core plastic optical fibers

○戸田 歌音¹、野田 康平^{1,2}、元石 直樹^{1,2}、李 ひよん³、中村 健太郎²、水野 洋輔¹
¹横浜国立大学 工学研究院 ²東京工業大学 未来産業技術研究所 ³芝浦工業大学 工学部

OKanon Toda¹, Kohei Noda^{1,2}, Naoki Motoishi^{1,2}, Heeyoung Lee³, Kentaro Nakamura², and Yosuke Mizuno¹
¹Yokohama National University ²Tokyo Institute of Technology ³Shibaura Institute of Technology
 E-mails: toda-kanon-bw@ynu.jp, mizuno-yosuke-rg@ynu.ac.jp

1. はじめに

近年、多様な光ファイバ型温度センサの研究開発が推進されている。中でも、比較的構成が単純で低廉な手法として、光ファイバ中のモード間干渉を用いた温度センサが注目されている。モード間干渉を容易に観測するためには、1本の多モード光ファイバ (MMF) を2本の単一モードファイバ (SMF) で挟み込んだ「SMS構造」を用いることが多い[1-6]。この構造では、一方のSMFからの入射光のエネルギーがMMF中で複数の伝搬モードに分配され、もう一方のSMFに出力される際に各伝搬モードが干渉する。結果として、SMS構造に広帯域光を入射すると、透過光のスペクトルに特異な干渉パターンが生じる。ここで、MMFに温度変化を加えると干渉パターンがシフトするため、そのシフト量を測定することで温度を推定することができる。

Liuら[1]は、長さ1.8mの屈折率傾斜型(GI)のシリカMMFを用いて、1550nm帯で58.5 pm/°Cの温度感度を得た。また、Tripathiら[2]は、温度感度の絶対値および符号がMMFの構造や材料に大きく依存することを示した。これを受けて、Huangら[3]は、MMFとしてアクリル(PMMA)をベースとした標準的なプラスチック光ファイバ(POF)を導入し、1570nm帯で温度感度93.1 pm/°Cを得た。一方、我々はこれまでに、長さ1.0m、コア径62.5µmの全フッ素化(PF)GI-POFを用いて、1300nm帯で49.8 nm/°Cという高い温度感度(絶対値はシリカファイバの1800倍以上)を得た[4]。他にも、部分塩素化POFなど、材料面で特殊なPOF中のモード間干渉も温度センシングに有用であることが報告されているが[5]、構造面で特殊なPOF中のモード間干渉については報告がない。

そこで本研究では、画像伝送用に開発されたマルチコアPOFをSMS構造におけるMMFとして利用し、モード間干渉に基づく温度センシングを実現できる可能性があることを示した。

2. 原理と実験系

従来、モード間干渉を用いた温度センシングは、SMS構造を透過した広帯域光のスペクトルの干渉パターンのシフトを直接測定することで実現されていた。しかし、波長掃引を必要とするため、高速測定は困難であった。そこで、以下の実験では、最近開発された傾斜利用測定法を利用した[6]。この手法では、光スペクトルアナライザ(OSA)のゼロスパン機能を利用し、固定波長におけるスペクトルパワーの時間変化を観測する。波長掃引が不要であるため、高速測定が可能となる。

また、今回用いたマルチコアPOFは、多数の細径の単一モードコアを有するPMMAベースのPOFである(図1)。安価で柔軟性に富み、折れにくい。また、片端における像をもう片端まで伝送できるため、工業用スコープなどに利用されている。マルチコアPOF中を伝搬する光には、異なるコアあるいはクラッドを通るものもあり、モード間干渉が生じると期待される。

マルチコアPOF中のモード間干渉を観測するための実験系を図2に示す。コア数13,000、直径1.0mm、長さ10cmのマルチコアPOF(MCL-1000-1.25, 旭化成ご提供)を、長さ約1mの2本のシリカSMFで挟み込み、SMS構造を構成した。広帯域光源(ASE)の出力をこの構造に入射し、透過光のスペクトルをOSAで観測した。ホットプレートを用いてマルチコアPOFの全長を加熱し、透過スペクトルの温度依存性を調査した。

3. 実験結果

透過スペクトルの温度依存性を図3(a)に示す。温度の上昇に伴い、波長1550nm付近ではスペクトルパワーが増加した。モード間干渉の性質を踏まえれば、この結果は妥当である(多数のモードの干渉ではそれぞれのペアによる一定の周波数間隔をもつ干渉パターンが重なり合っただけで最終的な干渉パターンになる。温度変化により各干渉パターンは異なるシフトを示すので、最終的な干渉パターンの温度依存性は必ずしもピークやディップの変化として現れるとは限らない)。なお、温度を下げてスペクトル形状は元に戻ることも確認した。

また、各波長におけるスペクトルパワーの温度依存性は、一般には線形にならない。1550.0nmおよび1553.8nmにおけるパワーの温度依存性を図3(b),(c)にそれぞれ示す。1550.0nmでは単調増加であるため温度センシングの原理としては活用できるが、線形性は低かった(決定係数0.977)。一方、1553.8

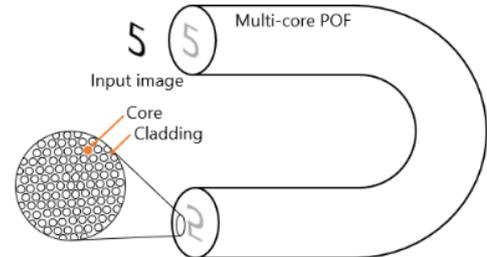


Fig. 1. Schematic of multi-core POF for imaging.

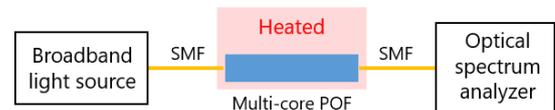


Fig. 2. Experimental setup.

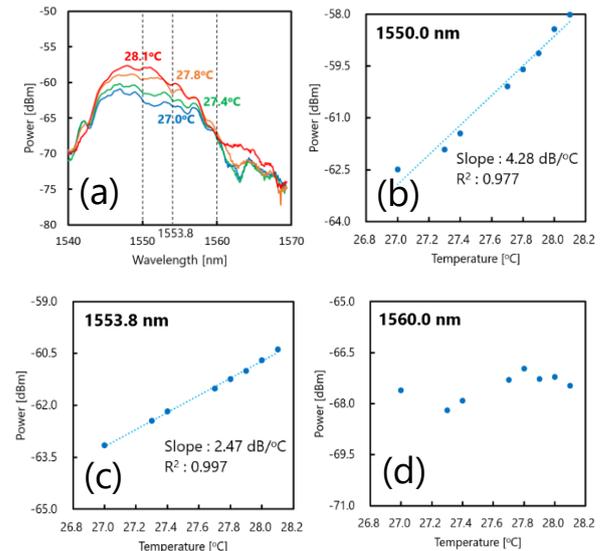


Fig. 3. (a) Temperature dependence of transmission spectra. (b,c,d) Temperature dependencies of spectral power at 1550.0, 1553.8, and 1560.0 nm, respectively.

nmの場合は、高い線形性を示したため(決定係数0.997)、温度センシングに利用する際の利便性が高いといえる。なお、波長1560.0nmにおけるパワーの温度依存性を図3(d)に示す。この波長では温度感度が極めて低く、温度センシングへの応用は困難であるといえる。しかし、温度変化の影響を抑制しつつ、歪などの別の物理量を測定する際に有用となる可能性がある。以上より、マルチコアPOF中のモード間干渉を初観測し、温度センシングに利用できる可能性があることを明らかにした。今後は、より詳細な特性を調査するほか、歪や屈折率、湿度センシングの可能性についても検討していく。

参考文献

- [1] Y. Liu, et al., Appl. Opt. **46**, 2516 (2007).
- [2] S. M. Tripathi, et al., J. Lightw. Technol. **27**, 2348 (2009).
- [3] J. Huang, et al., Opt. Lett. **37**, 4308 (2012).
- [4] G. Numata, et al., IEEE Photon. J. **6**, 6802306 (2014).
- [5] G. Numata, et al., IEICE Electron. Exp. **12**, 20141173 (2015).
- [6] 佐野 他, 2021 秋応物, 発表予定.