

熱湯を用いたプラスチック光ファイバの長距離テーパ加工の検討

Toward long-distance plastic optical fiber tapering using hot water

○川合 航平¹、捧 治紀¹、中村 健太郎²、水野 洋輔³、李 ひよん¹

¹ 芝浦工業大学 理工学研究科 ² 東京工業大学 未来産業技術研 ³ 横浜国立大学 工学研究院

OKohei Kawai¹, Haruki Sasage¹, Kentaro Nakamura², Yosuke Mizuno³, and Heeyoung Lee¹

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

E-mails: af19046@shibaura-it.ac.jp, hylee@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

社会において通信および計測用途で使用されている光ファイバの大半は、シリカガラスで構成されている。しかし、ガラス光ファイバは2%程度の歪で切断されてしまうため、それよりも大きい歪の測定は困難であった。そこで、柔軟性に富むプラスチック光ファイバ(POF)を用いることで、歪の測定を向上させる研究が盛んである。POFは大きい歪が印加されても切断されないという利点はあるものの、一般に外径・コア径が大きい多モードファイバであるため、モード間干渉により信号が安定しない、あるいは、ブリルアン散乱などの非線形光学散乱が弱い、などのセンサ構成上の欠点がある。これを克服する手法の一つが、POFの外径・コア径を小さくするテーパ加工である。POFの長距離にわたるテーパ加工が実現すれば、信号が安定し、非線形光学散乱の増強が期待される[1]。

従来のテーパ加工法として、加熱しながら引張る手法と化学エッチングが知られている。前者はヒータなどの外部熱源を用いるため等方的な加熱が難しく、ウエスト部の均一性に問題があった。また、後者は耐薬品性である POF には適応が難しく薬品を扱うのは危険であるという問題があった。伝搬光を熱変換する手法も提案されたが、人工的な初期損失を加える必要があるために最終的な伝搬損失が大きくなるという問題があった[2]。これらの問題を克服するため、比較的低いガラス転移温度に着目し、熱湯を用いて自動ステージで POF を両端から引張る手法が提案された[3]。本手法は、温度の制御が容易で安価、比較的安定で等方的な加熱が可能である。しかし、ウエスト部の長さが熱湯の容器の大きさに制限されるという課題が残っていた。

そこで本研究では、熱湯に浸漬した POF に対して、両側に設置した2台の自動ステージで引張る・押し込むという動作を同時に行うことにより、テーパ加工の長距離化を試みた。

2. 実験方法

テーパ加工する POF には、通信波長帯での光伝搬損失が比較的小さい全フッ素化屈折率傾斜型 POF を用いた[4]。コア径 50 μm 、クラッド径 70 μm 、補強層径 490 μm 、全長 1.3 m のサンプルを用いた。熱湯による POF のテーパ加工のための実験系を図 1 に示す。POF の中心付近の 180 mm (実験 1) および 475 mm (実験 2) の区間を 97°C の熱湯に浸し、両側に自動ステージを配置して一方からは引張り、もう一方からは押し込んだ。適宜、蒸発分に相当する量の熱湯を補給した。1550 nm のレーザ出力をシリカ単一モードファイバ (SMF) 経由で POF に入射した。POF と SMF 間の結合は突合せ接続により実現した。テーパ加工中、POF の透過光パワーをパワーメータで測定した。

3. 実験結果

まず、2 軸の自動ステージで一方から引張り、もう一方から押し込んだときの POF 外径分布がどのように変化するかを測定した。POF の 180 mm の区間を 5 分間熱湯に浸した後、自動ステージ 1 は 0.1 mm/s で 300 mm 引張り、自動ステージ 2 は 0.01 mm/s で 30 mm 押し込んだ。このときの POF テーパの外径分布を図 2 に示す。約 405 mm のテーパウエスト部が得られ、初めに 5 分間浸けた 180 mm の区間を含む約 200 mm の区間で POF の白濁化が観測された。このことから、本手法によってテーパ加工できる範囲を増加させることに成功した。

図 3 は白濁化した POF である。白濁化はファイバに歪が

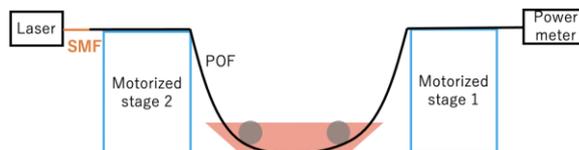


Fig. 1. POF tapering setup using hot water.

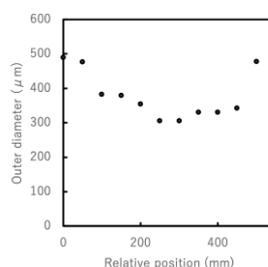


Fig. 2. Measured outer diameter distribution 1.



Fig. 3. White turbidity of POF.

加わったことにより亀裂が生じ、ファイバ内に小さな気泡が沢山できたことにより生じたと考えられる。白濁した POF に光を入射すると約 60 dB 以上の損失が生じたため、センサとして適応するのは難しく、白濁が生じないようにテーパ加工する必要がある。新たに熱湯に浸かった区間の外径は最初に加熱した区間よりも 60 μm 程太くなった。初めに 5 分間熱湯に浸けた区間の径が細くなったのに対し、時間経過とともに熱湯に浸漬した範囲は、加熱時間が不十分であったためと考えられる。すなわち、区間によって加熱される時間が異なるため、本手法ではテーパ径の均一化が難しいことが明らかになった。

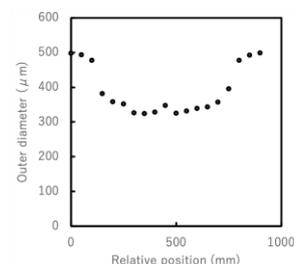


Fig. 4. Measured outer diameter distribution 2.

次に、POF の 475 mm の区間を 5 分間熱湯に浸した後、どちらの自動ステージも 0.5 mm/s で 300 mm 引張した。この POF テーパの外径分布を図 4 に示す。約 600 mm のテーパウエスト部が得られた。図の中心付近の外径が太くなっている点は、大きい鍋でお湯を加熱するために IH を 2 つ並べていてその間に位置する場所で POF が十分に加熱されなかったためと考えられ、実験系の最適化で改善可能である。また、熱湯内で気泡が発生している箇所において、POF の白濁化が観測された。以上の結果から、熱湯内の温度が一様分布するように留意する必要があること、および、気泡が発生しない比較的低い温度でガラス転移温度に近づける方が好ましいことを明らかにした。

参考文献

- [1] N. Hayashi, et al., *J. Appl. Phys.* **115**, 173108 (2014).
- [2] H. Ujihara, et al., *Appl. Phys. Express* **8**, 072501 (2015).
- [3] Y. Mizuno, et al., *Appl. Phys. Express* **10**, 062502 (2017).
- [4] Y. Koike et al., *NPG Asia Mater.* **1**, 22 (2009).