放射温度計測によるプラスチック光ファイバ中の欠陥の高速検出 Infrared thermometry for fast detection of flaws in plastic optical fiber

東京工業大学 精密工学研究所 〇林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech **O**Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura

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

1. はじめに

シリカ単一モードファイバ (SMF)の製造技術は成熟して おり、数 km でもその光伝搬損失は 1.55 μm 帯で 0.2 dB/km 一方、プラスチック光ファイバ (POF)の製造技 である[1]。 術は比較的新しい。最も一般的なアクリル (PMMA) ベース の POF は、コア径が 980 μm と大きいため長距離でも安定 した伝搬損失が実現されている[2]。しかし、最近市販され 始めた広帯域で低損失な全フッ素化屈折率傾斜型(PFGI)-POFは、コア径が 50-120 µm と小さいため、製造過程でコ ア中に生じる欠陥に伝搬損失が大きく影響を受ける。その 結果、長距離にわたって低損失な PFGI-POF を製造することは困難である[3]。数 100 m の PFGI-POF は、大容量通信 [3]のみならず次世代計測[4]でも求められており、その欠 陥を検出する手法の開発は極めて重要である。

POF 中の欠陥を検出する手法の一つとして、光時間領域 反射計(OTDR)が知られている[5]。POF に沿った損失の分 布を数 cm の空間分解能で高精度で測定できるが、高コス ト、長い信号処理時間、一目では欠陥位置を確定できない、 という問題点があった。そこで本発表では、上記の問題点 を解決すべく、放射温度計(IRT)を用いた POF 中の欠陥検 出法を提案し、その有用性を実証する。

2. 原理

均一な温度に保たれた黒体は、その温度のみによって決 まる黒体放射を生じる。物体の全放射量 W は Stefan-Boltzman の法則により次式で表される[6]。

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \tag{1}$$

ここで、ε は放射率 (黒体は 1)、σ は比例定数、T は物体の 表面温度である。POF 中の欠陥による損失は POF 周辺の 温度上昇を伴うため、POF に沿った損失の分布は IRT で温 度分布として検出できる。本手法は、低コスト、実時間測 定可能、欠陥の位置の可視表示、という利点を有する。

3. 実験系

被測定ファイバ(FUT)として、2本の PFGI-POF を用いた。 両者とも、開口数は 0.185、コア径は 50 µm、クラッド径 は 100 µm、コア屈折率は 1.35、1.55 µm 帯における伝搬損 失は約 250 dB/km であった。ひとつ目の FUT (FUT-1) は、 直径 0.75/2.8 mm の内/外ジャケットが付いており、製造過 程で生じた欠陥を 1 つ有していた。両ジャケットの材料は、 軟塩化ビニル(PVC)であった。もう一つの FUT (FUT-2) は、 長さ約 60 cm のベアの PFGI-POF であり、中央付近に曲げ とこの 60 cm の くりの Fron-For とあり、 中央内近に曲り とその解放を繰りかえすことにより人工的な欠陥を付与し た。その欠陥での損失は、2.5-20 dB の範囲で可変であっ た。欠陥の検出には、対応波長 7.5-13 μm、画像取込周波 数9 HzのIRT (i7; FLIR System 社製)を用いた。放射率 ε は、 FUT-1 では 0.98 (PVC の値 [7])、FUT-2 では 0.95 (PMMA の 値 [8]) に設定した。室温は 24°C であった。欠陥における 入射光パワーや損失の算出には、POF の一端から欠陥まで の光伝搬の間に生じる光損失も考慮した。

4. 実験結果

はじめに、直径 20 cm のリールに巻かれた FUT-1 中の欠 陥を検出した。入力光パワーは 24.5 dBm (282 mW)とした。 図 1(a)に示した画像からは欠陥に関する情報は得られなか った。一方、図 1(b)に示すその IR 画像では、欠陥の大よ その位置がジャケットがあるにも関わらず明確に検出でき た。最高温度は 24.4℃ であり、高温度領域は左方向に尾を 引いている。この尾の効果を解明するために、21.3 dBm (135 mW)のパワーの光を左側および右側から入射した画像 を図 2(a)-(c)に示す。この測定において FUT-2 の中央部の

欠陥の光損失は 4.9 dB に固定した。図 2(b)に示すように右 方向から光を入射した場合、高温領域は左方向に 5 cm 程 度の尾を引いた。逆方向伝搬時も同様に図 2(c)に示す。この現象は、POF 中の光伝搬方向の決定に利用できる。測定 した最高温度が両条件下で同じ約 28℃ であったことから、 欠陥での光損失の大よその推定のためには、POFの片端の みからの光入射で十分であると考えられる。 次に、入射光パワーを 24.5 dBm (282 mW) に固定し、温

度の欠陥での光損失への依存性を測定した。図3における エラーバーは、5分間の測定値の変動から+/-0.8℃と見積 もった。損失の増加により、温度は傾き約 0.74 °C/dB で線 形に上昇した。これは、測定した温度を用いて損失を推定 する際に実用的な特性である。さらに、欠陥での損失を20 dBに固定し、温度の伝搬光の光パワー依存性について測 定した結果を図4に示す。入射パワーの増加に対し、温度 はほぼ線形に上昇した。つまり、高パワーの入射光を用い ることで同一の損失に対する現在地でも入れた これは温度と損失間の比例係数(図 3 における傾き)の Ζ. 増大につながるため、結果としてより高精度な損失推定が 可能となる。なお、図 4 で高パワー入射時の傾きの微かな 減少は、放熱効果によるものと考えられる。

以上のように、本発表では、IRTを用いた POF 中の欠陥 の高速検出法を提案するとともに、温度が損失に線形に依 存することおよびその依存係数(損失推定の精度)は高パワ の光入射により増強できることを示した。



参考文献

ŝ

ature

empe

ured

MP

- [1] K. C. Kao et al., IEE Proc. 113, 1151 (1966). [2] M. G. Kuzyk, Polymer Fiber Optics: Materials, Physics, and
- Applications (CRC, FL, 2006).
- [3] C. Lethien et al., Polymers 3, 1006 (2011).
- [4] N. Hayashi et al., Opt. Express 20, 21101 (2012).
- [5] I. R. Husdi et al., Meas. Sci. Technol. 15, 1553 (2004).
- [6] S.-Y. Ye et al., J. Micromech. Microeng. 15, 2011 (2005).
- [7] G. S. Weaving et al., J. Agric. Eng. Res. 22, 113 (1977).
- [8] X. Wang et al., J. Macromol. Sci. Part B Phys. 46, 475 (2007).