## 音速測定による部分塩素化ポリマー光ファイバ中のブリルアン周波数シフトの推定 Estimation of Brillouin Frequency Shift in Partially Chlorinated Polymer Optical Fiber Based on Acoustic Velocity Measurement

# 東京工業大学 精密工学研究所 〇皆川 和成 林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎 Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology <sup>°</sup>Kazunari Minakawa, Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura E-mail: kminakawa@sonic.pi.titech.ac.jp

### 1. はじめに

光ファイバ中のブリルアン散乱は、分布型温度・歪センサの原理として幅広く応用されている[1]。従来のセンサには専らガラス光ファイバ用いられていたが、数%の歪で破断してしまうという問題があった。そこで我々は、ポリマー光ファイバ(POF)を用いたブリルアンセンサに着目している。POFは50%以上の歪にも耐える高い柔軟性に加え、低コスト、高い安全性、接続の容易性などの利点をもつ。最も広く使われているPOFとしては、ポリメチルメタクリレートで構成された屈折率ステップ型POF(PMMA-POF)と全フッ素化屈折率傾斜型POF(PFGI-POF)の2種類がある。これらのブリルアン散乱特性は、通信波長帯の光伝搬損失が極めて高いPMMA-POFでは音速測定に基づく推定がなされ[2]、損失が比較的低いPFGI-POFでは実測がなされている[3]。

近年、上記 2 種類の POF に加え、部分塩素化屈折率傾 斜型 POF (PCGI-POF)が注目を集めている[4]。PCGI-POF は、650-700 nm および 750-800 nm の光伝搬損失が PMMA-POF に比べ極めて低い。また、耐熱性にも優れ、PFGI-POF の耐熱温度が 70℃ であるのに対し、PCGI-POF では 100℃ である。これらの特性から、PCGI-POF は、高温下 での分布型温度・歪センサへの応用可能性を秘めている といえる。しかし、PCGI-POF は PMMA-POF 同様、通信 波長帯では伝搬損失が高く光増幅器や光サーキュレータ 等のデバイスの準備が困難であり、ブリルアン散乱は実 測されていない。

そこで本研究では、PCGI-POFのコア中の音速を測定し、 ブリルアン周波数シフト(BFS)の推定を行った。

#### 2. 原理

レーザ光が光ファイバ内に入射したとき、ファイバを 構成する原子の振動により、その光が周波数変調を伴い 進行方向とは逆向きに散乱する現象がブリルアン散乱で ある。その散乱光スペクトルの中心周波数と入射光の周 波数の差を BFS と呼び、

$$BFS = 2nv_A / \lambda_p \tag{1}$$

により算出することができる。ここで、n はコアの屈折率、 ν<sub>A</sub>はファイバ中の音速、λ<sub>p</sub>はレーザ光の波長を表す。

#### 3. 実験方法

PCGI-POF のコア中の音速を測定するために用いた実験 系を図1に示す。基本原理は PMMA-POF の場合[2]と同様 である。パルサ/レシーバからの信号によりトランスデュ ーサから超音波パルスを発生させ、水槽内に直立させた PCGI-POF からの反射波を同素子で検出し、オシロスコー プで電圧波形として表示した。POF 上端面と下端面それ ぞれからの反射波が検出されるまでの時間差とサンプル の長さから音速を決定した。

測定に使用した PCGI-POF サンプルは、外径 750 μm、 コア径 120 μm、長さ 1.07 mm であり、コアの屈折率は 1.52 であった。水温は 22℃とした。

#### 4. 実験結果

オシロスコープで得られた波形を図2に示す。赤線は台上に POF を置いた場合の波形、青線は台上に POF を置か なかった場合の波形である。これら2つの比較から、相対

時間 1.5  $\mu$ s 付近の大きな揺らぎは POF を置いた台からの 反射波を示すといえる。よって、その反射波よりも早い 時点で検出された 2 つの反射波が、POF 上端面および下 端面からの反射波を示すといえる。これら 2 つの反射波の 検出時間の差は 948 ns であり、サンプルの長さ(1.07 mm) を用いて計算した結果、PCGI-POF のコア中の音速は 2257 m/s となった。さらに、波長によらず屈折率を一定として 式(1)から BFS を算出したところ、波長 650 nm では 10.58 GHz、1550 nm では 4.43 GHz となった。この値は、 PMMA-POF 中[2]の BFS の約 0.82 倍であることから、水 素原子を塩素原子で置換することにより BFS が低下する ことが明らかになった。また、PCGI-POF 中の BFS は PFGI-POF 中[3]の約 1.6 倍であることから、PCGI-POF で は PFGI-POF よりもレイリー雑音の影響[5]が低減されるこ とも期待される。

これらの情報は、将来 PCGI-POF 中のブリルアン散乱を 実測する際に有用な指標となる。今後は、センサ応用を 見据え、BFS の温度・歪依存性の解明を進める。

本研究を行うにあたり、PCGI-POF サンプルを提供頂いた積水化学工業株式会社の方々に深く感謝申し上げます。



**2.** Reflected waveforms with and without PCGI-POF.

### 参考文献

- [1] G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics (AP, CA, 1995).
- [2] N. Hayashi et al., Appl Phys. Express 4, 102501 (2011).
- [3] Y. Mizuno et al., Appl. Phys. Lett. 97, 021103 (2010).
- [4] H. Yoshida and Y. Koike, Proc. POF2012, p. 266.
- [5] Y. Mizuno et al., Electron. Lett., in press.