

プラスチック光ファイバー

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科教授
独立行政法人科学技術振興機構 ERATO-SORST 小池フォトンクスポリマープロジェクト 研究総括

小池 康博

Plastic Optical Fiber

Yasuhiro Koike

Professor, Department of Applied Physics and Physico Informatics, Faculty of Science and Technology, Keio University
Research Director, Japan Science and Technology Agency ERATO-SORST Koike Photonics Polymer Project

1 はじめに

無機ガラスにはない固有の特性を有する光学ポリマーは、フォトンクス分野の材料としての地位を占めつつある。しかしながら光学ポリマーには無機ガラスと比較して「透明性が低い」、「屈折率が大きい」、「屈折率の波長分散が大きい」、「光学的均一性が低い」という問題点があり、これらが光学ポリマーデバイスの性能向上と用途拡大の課題となっている。これらの問題点は、巨大分子鎖の集合体である高分子固体の複雑系に起因するものとして、光学ポリマーに避けられない固有な特性と考えられてきた。科学技術振興機構 ERATO-SORST 小池フォトンクスポリマープロジェクトでは、ポリマーの分子構造はもとよりポリマー鎖のコンフォメーション、コンフィギュレーションに至る

高次構造制御まで遡り、ガラスや無機結晶にはない高次構造を持つ光学ポリマーとそこから発現される光物性との関係の究明を目的とした研究を進めている。

「フォトンクスポリマー」とは、ポリマーの構造と機能の本質を考慮し、従来のガラスの代用品という発想からは達しえない新しい機能を有する光学ポリマーを創造することを念頭に考えられた名称である。このフォトンクスポリマーの最初の研究成果として当研究室が世界に先駆け開発したものが、屈折率分布型プラスチック光ファイバー (Graded Index Plastic Optical Fiber: GI型POF) である。

2 プラスチック光ファイバーの概要

POFは、コアとクラッドとがいずれもポリマーを材料とする光ファイバーである¹⁾。POFの最大の特徴は、その直径が石英光ファイバーと比較して非常に大きいことである。各種の代表的な光ファイバーの断面の比較を図1に示す。

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
慶應義塾大学理工学部矢上キャンパス
TEL 045-566-1598
FAX 045-562-7373
E-mail: koike@appi.keio.ac.jp

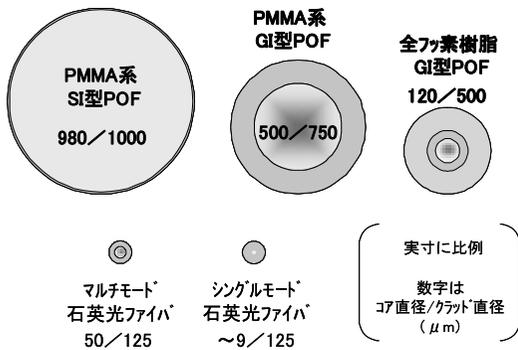


図1 各種の光ファイバーの断面比較

POFは素線の直径が0.5 mmから1 mmと大きいにもかかわらず柔軟性に富み、曲げや引っ張りによる破断も起こりにくい。コアの直径も石英光ファイバー(数 μm ~62.5 μm)と比較してPOFは120 μm から980 μm と非常に大きい。そのためPOF同士の結合やPOFと光素子との結合に高い合軸精度が要求されず、コネクタ等の端末部材や端末処理が安価で簡単となる。また、代表的なケーブル構造はPOF素線に樹脂の被覆を施しただけという単純なものであり、コネクタ等の部材構造やそれを用いた施工も簡単で且つ低コストある。近年ではPOFケーブルを切断するだけで接続でき、プラグを必要としないトランシーバも実用化されている。さらに、装飾用途でPOFの素線を露出させて使用している例もあるように人体に突き刺さる危険性がなく、家庭内やオフィス等で気軽に取り扱える光ファイバーである。但し伝送損失は石英光ファイバーのそれよりも大きいため、例えばポリメタクリル酸メチル(Poly-methyl methacrylate: PMMA)をコア材料とするPOFの場合、最大伝送距離は50 mから100 m程度に限られる。従ってPOFは、端末加工がコストに占める割合の大きい短距離データ伝送用途や、一般ユーザが光ファイバーを直接接触する可能性がある民生用途に適した光ファイバーである。

POFの製品化は、Corningによる石英光ファイバーの世界初の商品化の数年後、1970年

代半ばの三菱レイヨンによるPMMAをコア材料としたステップインデックス(Step Index: SI)型POFの上梓が最初である。その後1980年代前半の日本電信電話公社(当時、現東北大学名誉教授)の戒能氏らによる一連の基礎研究^{2),3)}や製造技術の改良により、現在製品の大半を占めるPMMAコアのSI型POF製品の損失は理論限界に近い値まで下がっている。1980年代半ばには東レと旭化成(当時、現旭化成イーマテリアルズ)もPMMAコアPOFの事業に参入し、景観照明や工業用ライトガイド、センサ、デジタルオーディオインタフェース、NC加工機の制御、自動車内の情報伝送等の短距離データ伝送用途で使用実績を重ねてきた。また1990年代半ばには全フッ素化ポリマーによる低損失GI型POFが当研究室との共同研究の成果として旭硝子により商品化され、病院やオフィスビル等に導入されている。さらに近年、結んだり二つ折りにしたりしても伝送不良や破断が起らない全フッ素化ポリマーGI型POFも同社により開発されている(図2)。

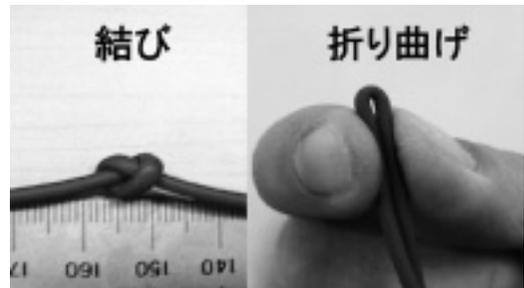


図2 曲げに強いGI型POF

3 プラスチック光ファイバーの広帯域化と低損失化

1990年代前半まではPOFの光伝送用途に要求される伝送速度が数メガから数十メガビット毎秒と低くS I型で充分であったが、1990年代中頃からPOFでも100メガビット毎秒から1ギガビット毎秒を超える高速伝送を求める用途が現れ、実用に耐え得る低損失なG I型POFが求められるようになった。当研究室ではその

ような情勢に先立ち、GI型POFの研究を手がけていた。当初は屈折率の異なるポリマーの共重合によりGI型の屈折率分布を付与しており、光の波長と同程度のサイズの屈折率揺らぎが存在したため光散乱による損失を下げ切れなかったが、屈折率不均一構造のサイズを波長よりも充分小さくする界面ゲル重合法を開発し、ドーパントに起因する光散乱損失の問題を解決しGI型POFの伝送損失をほぼ理論限界にまで下げることに成功している^{4),5)}。

POFの用途を広げるためには、伝送速度の向上とともに、低損失化による伝送距離の延長も重要となる。POFの本質的な損失要因としては、電子遷移吸収による損失と散乱による損失、さらに構成材料であるポリマーの分子振動による吸収が挙げられる。電子遷移吸収と散乱は、波長が長くなるにつれ急激に減少する。例えばPMMAの場合、650 nmの波長では電子遷移吸収の損失への寄与はほぼ0であり、レイリー散乱による損失は約10 dB/kmである。他方分子の基本振動の倍音による吸収は、反対に波長が赤外領域に近づくほど大きくなる。PMMAの場合炭素原子-水素原子(C-H)の伸縮振動の倍音による吸収と短波長側から裾を引く電子遷移吸収及び散乱との重ね合せにより、525 nm、570 nm及び650 nmの波長に低損失の“窓”が形成され、波長650 nmにおける損失の理論限界は約100 dB/kmとなる。この損失の大半は、PMMA分子のC-Hの伸縮振動の倍音による吸収損失である。従ってこの損失値を下げるには、水素原子をより質量の大きい重水素原子やフッ素原子等に置き換えて振動吸収を長波長側へシフトさせればよい⁶⁾。アモルファス全フッ素化ポリマーをコアとしたPOFの場合、850 nm及び1,310 nmの波長での損失が約10 dB/kmと、可視領域でのPMMAコアPOFの損失の約十分の一にまで下がる(図3)。

また全フッ素化ポリマーは屈折率の波長依存性がPMMAや石英よりも小さいため、帯域の

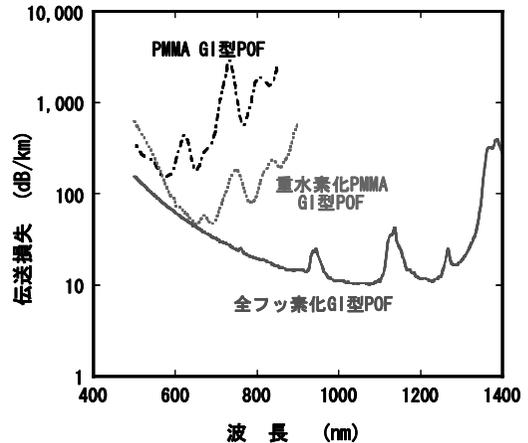


図3 コア材料の異なるGI形POFの損失スペクトル

制限要因となる材料分散が小さいという利点もある⁷⁾。

4 GI型POFの屈折率分布形成技術

SI型POFは、一般的な化学繊維の製造法と基本的に同じで大量生産に適した連続複合溶融紡糸法により製造されている。他方、最初に低損失化に成功したGI型POFは、界面ゲル重合法により作製したプリフォームを熱延伸するバッチ方式により製造されていた。より量産性を向上させる方式として、コア材とクラッド材とを別々に溶融させて同心円状に押し出し、加熱・拡散工程を経てGI型の屈折率分布形状を得るドーパント拡散溶融押出法⁸⁾が近年開発された(図4)。この作製法では、コアポリマーにそれよりも屈折率の高いドーパントを添加したコアロッドと、コアポリマーより低い屈折率を持つホモポリマーから成るクラッドロッドとを、それぞれ別個に加熱溶融して複合ノズルにより同心円状に押し出し、特定の温度条件下でドーパントをクラッド部へ拡散させることによりGI型の屈折率分布を形成させながら、延伸により所定の寸法を持つ光ファイバーを得る。使用するポリマーの溶融粘度やドーパント拡散の温度及び時間等を制御することにより、屈折率分布形状を精度良くコントロールすることが可能である。

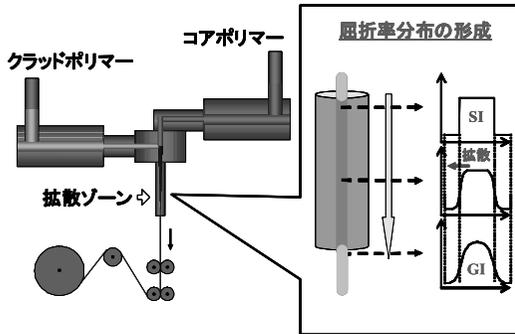


図4 ドーパント拡散溶融押出法の概要

5 終わりに

POF が実用化されて以来 30 年以上経っているが、ここ 10 年間で環境条件の厳しい自動車内配線への SI 型 POF の採用、大規模マンションや総合病院での全フッ素化 GI 型 POF によるギガビットネットワーク敷設事例など、新たな用途展開が始まっている。また配線長が 50 m 以下で充分である戸建住宅や小規模アパートへの光配線は、敷設や端末加工が非常に簡易

である PMMA 系 GI 型 POF が適している用途である。さらに急激に高速化しつつある機器内や機器間の信号伝送も、POF の柔軟性や端末加工容易性を活かすことが出来る分野であり、今後の普及が期待される。

参考文献

- 1) POF コンソーシアム編, “ブロードバンド時代の光ファイバー The POF”, NTS, 第 1 章 及び 第 2 章 (2004)
- 2) T. Kaino et al., Appl. Opt., 20, No. 17, 2886 (1981)
- 3) T. Kaino et al., Rev. Electr. Commun. Lab., 32, No. 3, 478 (1984)
- 4) Y. Koike, Polymer, 32, No. 10, 1737 (1991)
- 5) Y. Koike et al., J. Lightw. Technol., 13, No. 7, 1475 (1995)
- 6) W. Groh, Makromol. Chem., 189, 2861 (1988)
- 7) T. Ishigure et al., J. Lightw. Technol., 18, No. 2, 178 (2000)
- 8) Y. Koike et al., J. Lightw. Technol., 24, No. 12, 4541 (2006)
- 9) M. Asai et al., J. Lightw. Technol., 25, No. 10, 3062 (2007)