

## プラスチック光ファイバのメリットと今後の動向

三菱レイヨン(株)中央研究所 島田 勝彦

### Trend and merits of plastic optical fiber

Katsuhiko Shimada

Central Research Laboratory,  
Mitsubishi Rayon Co., Ltd.

#### 1. はじめに

1970年代に1kmあたり20dBという低損失光ファイバが開発され、また同時期に半導体レーザーの常温連続発振が可能となって以来、全世界で光通信に関する開発が活発に行われてきた。光ファイバは、従来の銅線同軸ケーブルに比較して、細径で軽量、かつ低伝送損失、広帯域であるため、大容量の信号伝送媒体として着実に実用化されつつある。

その中で、プラスチック光ファイバ(Plastic Optical Fiber, POF)は、伝送損失は大きいものの、石英系・ガラス系光ファイバにない大きな特徴を持っている。まず、大口径・高開口数で端面研磨が不要であることから取扱いが非常に容易であり、コネクタ等を含めたシステム価格が非常に安い、またファイバ径が太いにもかかわらず、曲げや衝撃に強く、軽量であるという特徴を有する。これらの特徴から、その応用は多岐にわたり、光計測、各種センサー及び自動車、船舶、鉄道などの移動体内通信、ライトガイド、イメージガイド、各種の表示機器などに使用され、ますます新しい用途が広がりつつある。

#### 2. 光ファイバの構造

一般に光ファイバは、内部の屈折率分布構造に応じて次の二つのタイプに分類できる。

(1)ステップインデックス型(SI型)

(2)グレーデッドインデックス型(GI型)

SI型光ファイバはコア成分の外周をコア成分よりも低い屈折率のクラッド成分で覆った二層構造からなり、入射光はその界面で全反射を繰り返しながら光を伝搬する。また、SI型光ファイバの中でコアの直径を数 $\mu\text{m}$ としたものは、光の伝搬モードが1つしか存在せず、シングルモード光ファイバと称され、大容量の光信号伝送を可能とする。SI型光ファイバの中でコアの直径が大きいものは、マルチモード光ファイバと称され、比較的小容量の信号伝送及び単純な導光体として使用される。

GI型光ファイバは屈折率が光ファイバの中から外側に向かって放物線状に低下する分布を有するものであり、その伝送容量がSI型MM光ファイバよりも大幅に大きいため、シングルモード光ファイバを補完して光通信用途に広く用いられている。

#### 3. POFの構造

現在、市販されているPOFは、すべてSI型マルチモード光ファイバであり非晶性で透明なコア材プラスチックの外周にコアより低屈折率なクラッド材プラスチックを被覆した構造となっている。

Table 1 Dimension of Bare Fiber

Name of Bare Fiber	Core Diameter( $\mu\text{m}$ )	Cladding Diameter( $\mu\text{m}$ )
PSI-485/500	485	500 $\pm$ 30
PSI-735/750	735	750 $\pm$ 45
PSI-980/1000	980	1000 $\pm$ 60

JISで規格された正式名称は「全プラスチックマルチモード光ファイバ」であり、コア/クラッド構造の製品を「光ファイバ素線」、光ファイバ素線に保護のためのプラスチック被覆を施したものは、「心線」ではなく「光ファイバコード」と定義されている。三菱レイヨン社「エスカ」を例に挙げると素線の寸法種類は直径0.1mm(品種CK-4)から3mm(品種CK-120)まであり、標準構造寸法はTable1となっている。また、コードについては被覆材料として一般的にはポリエチレン、難燃用途にはポリ塩化ビニルが使用され、単心、双心、バンドルなど用途に応じ多品種取り揃えられている。POFは石英系光ファイバと異なり、素線状態での断線などが無いため、素線での利用が広く行われている。

#### 4. POFの特徴

POFはその材料が柔軟であるため、口径を大きくすることが可能である。標準光ファイバの直径は1000 $\mu\text{m}$ (コア直径980 $\mu\text{m}$ )と石英系光ファイバの5~50 $\mu\text{m}$ に比較して格段に大きい。また、許容入射角の指標となる開口数も約0.5と石英系光ファイバの0.2~0.3に比較して大きい。これらの特性よりファイバ/光源LED間の結合効率をFig.1に示す如く圧倒的に高めると共に、光源LEDとして汎用タイプが使用できる。また、石英系光ファイバ用LEDのようなレンズ内蔵型のLEDを使用する必要がないため、光源コストを大幅に低減化できる。という特徴を有する。

また、LEDと光ファイバの軸合わせ精度を石英光ファイバで要求されるような高いレベル(数 $\mu$ )に保持する必要がないため、LEDと光ファイバ嵌

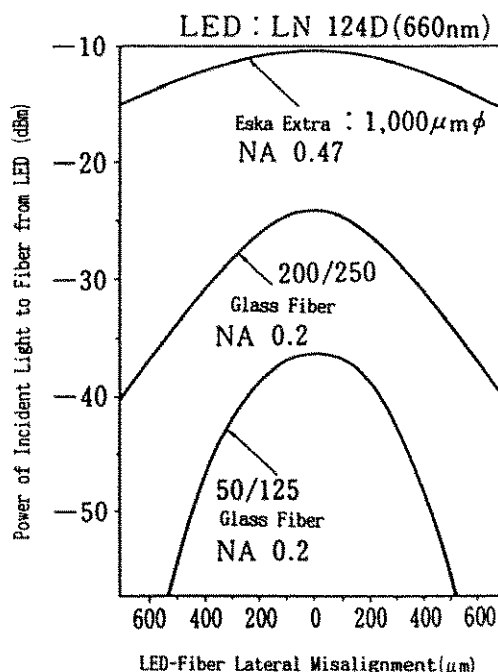


Fig. 1 Power of Incident Light to Fiber from LED

合用コネクタのコストを低価格化することができる。

また、POFはその材料がプラスチックであるため、石英光ファイバの端面処理法として実施されている研磨法は必要ではなく、160 $^{\circ}\text{C}$ 程度の鏡面状の加熱板に押圧するという簡便な方法で端面処理が可能である。さらに、曲げ衝撃に強いことから、圧着タイプコネクタが使用できるため、接着剤塗布、硬化処理が必要でなく、処理時間が大幅に短縮可能である。

総じて、POFは伝送可能距離は100m以内と短

Table 2 List of PMMAcorePOF

	PMMAcorePOF				
	Mitsubishi Rayon			Asahi Kasei*	Toray*
	Eska	Super Eska	Eska Extra	TC -grade	PF -grade
Transmission Loss(dB/km) <650nm>	>200	140~220	120~200	125	140~180
Acceptable Angle(°)	60	60	56	56	56
Max.Operating Temp.(°C)	70	70	85	85	85

\* : Catalogue Data

いものの、取扱いが非常に容易であり光ファイバ、光源、施工を含めたトータル・コストが安価で信頼性の高いデータリンクが可能という特徴を有する。

## 5. POFの種類と特性

Table 2にPMMAをコアとする市販POFとその特性を示す。

### ① PMMA (ポリメチルメタクリレート) コア POF

PMMAをコアとするPOFはその伝送性能はPOFの中では最も優れており、POFの中心的位置を占めるものである。

コア材の伝送損失限界は戒能らにより106 dB/kmと推察されており<sup>2)</sup>、市販POFはそれより10~20 dB/km大きなものとなっているが、工業的なレベルではもはや限界に近いと考えられる。POFの主たる伝送損失要因はその化学構造内のC-H結合の基準振動の高調波吸収が可視光領域に存在することと、短波長領域に現れるC=Oの電子遷移吸収、レイリー散乱である。また、光ファイバ製造方法に起因する伝送損失要因として、金属・ゴミ等の異物の混入、芯鞘界面の不均一性に基づく光の散乱、吸収が主なものとして挙げられる。これらは製造プロセス、条件を考え直すことにより、大幅に減少させ得ることが可能であ

る<sup>2)</sup>。

PMMAをコアとするPOFのクラッド材としては、通信用、工業用として各々使い分けられている。通信用としてはフッ素化アルキルメタクリレート共重合体が用いられており、工業用にはフッ化ビニリデン系重合体が用いられている。フッ素化アルキルメタクリレート共重合体は、完全非晶性であり、優れた透明性を示すため、コア材の透明性を最大限発揮し、低損失なPOFを得ることが可能となる。逆に、フッ化ビニリデン系重合体は微結晶性であり透明性には若干劣るものの、コア材PMMAと相溶するため、コアとクラッドの密着性に優れ、繰り返し屈曲性などの機械的強度に優れるものである。

繰り返し屈曲性に関してもPOFは大きな長所がある。PMMAをコアとするPOFは極端に小さい曲げRに沿って屈曲させても断線することはない。屈曲耐久性を見るため、Fig. 2に引っ張り応力と伸度の関係を示す。石英系光ファイバは引っ張り応力に対して伸度は小さく、4~5%伸ばすと断線するため、曲げた時に破断し易い。それに対して、PMMAをコアとするPOFは、伸度は大きく、破断伸度で数10%から100%となる。すなわち、石英系光ファイバと比較し、破断し難いという特性に結び付いている。一定屈曲半径条件下で100万回の繰り返し屈曲を行った時の伝送光量変

化を Fig. 3 に示す。これらから、PMMA をコアとする POF が、産業ロボット等の可動部への装着に対し十分な信頼性があることがわかる。

## ②プラスチック・イメージ・ファイバ

従来より、多数本の極細光ファイバを束ねた像伝送体（イメージ・ファイバ）が開発され、内視鏡等に使用されているが、その材料は多成分ガラス、石英系のものであり、折れ易い、柔軟性が不十分である等の問題点が指摘されており、プラスチック・イメージ・ファイバ（PIF）の開発が望ま

れていた。三菱レイヨンでは、コア材に PMMA、クラッド材に特殊フッ素系樹脂を用い、最近、直径  $10\mu\text{m}$  以下の極細 POF を約 3000 本重ねた構造の PIF を開発した<sup>3)</sup>。その断面写真を Fig. 4 に示す。PIF の特徴はガラス系 IF に比べて、その優れた柔軟性、耐屈曲性、明るい画像、解像力にある。PIF は石英系 IF に比べ、弾性率が  $1/10$  以下であり、極めて柔軟性に富んでいる。また、画像の明るさ  $E$  は、

$$E \propto F \times Kc$$

で表される。ここで、 $F$  は PIF を構成する POF の性能指数、 $Kc$  はファイバ断面中の芯の面積占有率である。 $Kc$  が同じ場合には、PIF の明るさは  $F$  に比例する。性能指数  $F$  は

$$F = (NA)^2 \times 10^{(-\alpha l/10)}$$

で表される。ここで、 $NA$  は開口数、 $\alpha$  は伝送損失、 $l$  はファイバ長さである。

PIF は伝送損失が  $600\text{ dB/km}$  と大きいものの、開口数が  $0.5$  と大きいため、Fig. 5 に示すように、長さが数 m 以下の単尺の場合には他の素材の IF より  $F$  が大きく明るい画像となる。医療用の内視鏡の長さが通常  $2\sim 3\text{ m}$  以内であることを考慮すると、PIF はその画像伝送体として十分な明るさを有していることがわかる。

また、 $65^\circ\text{C}$  で 8 時間、EOG 滅菌してもほとんど物性変化がなく耐滅菌性にも優れている。

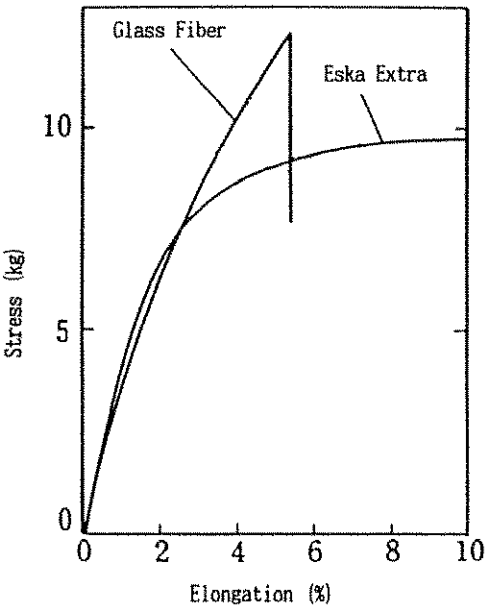


Fig. 2 Tensile Stress, Elongation of Optical Fiber

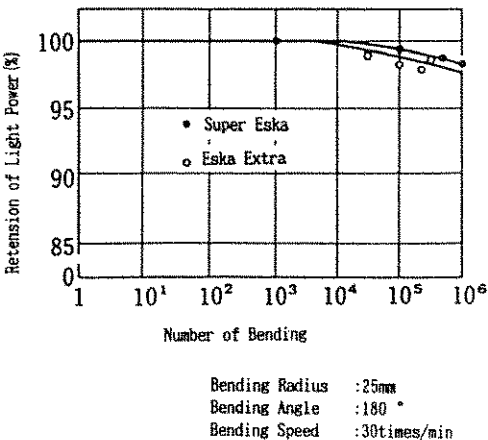


Fig. 3 Repeat Bending Toughness

## 6. 今後の動向

POF は開発当初、 $1000\text{ dB/km}$  程度の伝送損失であり、その用途はほとんど装飾品であった。し

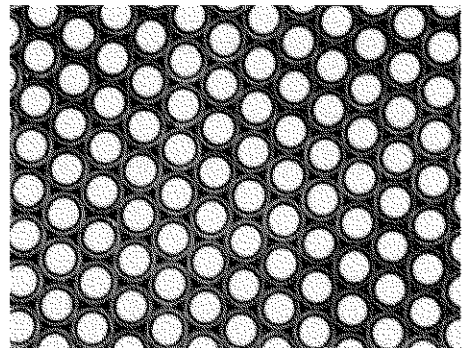


Fig. 4 Cross Section of PIF

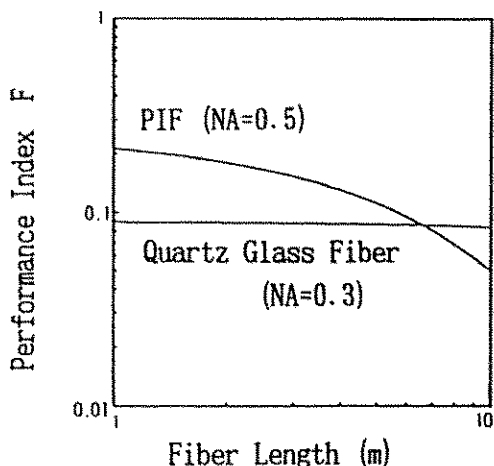


Fig. 5 Relationship of Fiber Length vs. Performance Index

かし、1983年に150 dB/kmの低伝送損失のPOF（エスカ・エクストラ：三菱レイヨン）が開発されて以来、光通信、光センサーの主要部品として、その用途は急速に拡大している。特に、自動車内ナビゲーション・システムの信号伝送系、CD機器内・機器間の信号伝送系、パソコン用プリンターケーブルなど10m以下の長さで、かつ電磁ノズルの影響を受ける分野で光ファイバならではの用途を拡大しつつある。

今後は、伝送距離の延長を目指したコア材料の開発、伝送容量の増大を目指したGI型POFの開発が成され、来るべきFibr-to-Home時代にプラスチック光ファイバが大いに活用されることを期待する。

#### 参考文献

- 1) 戒能俊邦：高分子論文集, 46, 257 (1985)
- 2) 井手文雄・寺田 拓：光ファイバ-光学材料 (共立出版)
- 3) 鈴木文男：繊維と工業, 47, 62 (1991)

#### [筆者紹介]



島田 勝彦 (しまだ かつひこ)  
 昭和57年 大阪市立大学理学部化学科修士課程修了 専攻：有機化学  
 同年 三菱レイヨン(株)入社  
 プラスチック光ファイバの生産技術、研究開発に従事し、現在に到る

#### [連絡先]

〒739-06 広島県大竹市御幸町20-1  
 三菱レイヨン(株)中央研究所  
 TEL 08275-3-6159

#### Abstract

Plastic optical fibers are already in wide use in a large number of fields and both the range of applications and the market are expected to continue to expand steadily.

Mitsubishi Rayon introduced the low transmission loss type of ESKA EXTRA in 1983.

This paper gives an overview of the field including the performance and advantages of plastic optical fibers, the structure and materials for plastic optical fibers, and advantages of plastics image fiber.