

プラスチック光ファイバーの不均一性ならびに 受光器の配置が測定特性に及ぼす影響

橋爪 信郎*・石浦 朋広**・伊吹 健児**・中島 文徳**・西垣内 順**
本田 幸生**・齋藤 千晴**・石田 亮介**

(平成19年10月31日受理)

Inhomogeneity of Plastic Optical Fiber and Effects of Photodiode Position on Measured Characteristics

Nobuo Hashizume, Tomohiro Ishiura, Kenji Ibuki, Fuminori Nakajima, Jun Nishigauchi
Yukio Honda, Chiharu Saito and Ryosuke Ishida

(Received Oct. 31, 2007)

Abstract

Near field patterns(NFPs) of a plastic optical fiber (POF) are studied in this paper. NFPs are found to be inhomogeneous across the cross section of the POF and vary irregularly over short POF distances. They also vary when light incident angles are varied. The irregularity and inhomogeneity are found to come not from the irregularity of the POF end surfaces but from the POF bulk property. They are also found to affect the far field pattern(FFP), which in turn affects the impulse response waveform and frequency transfer characteristics of the POF.

The use of a photodiode in combination with a POF of a large diameter and large numerical aperture is also studied in this paper. Frequency transfer function of a POF can be measured precisely only when all of the exiting lights from the POF are received at a photodiode(PD). Such a condition is not met for the POF under consideration. POFs of 35m and 10m in length and with light incident at zero degree both show the best frequency characteristics when the distance between the POF end surface and the APD is the largest as we have expected. However, POF of 10m in length and light incident at 25 degrees shows the best frequency characteristics when the distance is small. Both characteristics are discussed in terms of varying angle distributions of the light that the APD can accept with the varying distances.

Key Words: Plastic optical fiber, Inhomogeneity, Near field pattern, Far field pattern, Photodiode position

1. 本研究の背景・目的

前回報告¹⁾において我々はプラスチック光ファイバー

(POF: Plastic Optical Fiber) のインパルス応答波形および周波数伝達関数を様々な条件で測定し、それら特性の精密測定の一助とした。本報告においては POF 中の近視野

* 広島工業大学工学部電子情報工学科

** 広島工業大学工学部電子・光システム工学科学部生

パターン (NFP: Near Field Pattern) が不均一でかつ不規則に変化することを見出したので報告する。それらはPOFの不均一性に由来するものと推測される。また、それらはモード結合を通して遠視野パターン (FFP: Far Field Pattern) へ影響を与え、延いてはパルス伝送波形、周波数特性に影響を与えらる。

また同じく前回報告において、POF出射光を検出するアバランシェフォトダイオード (APD: Avalanche Photo Diode) の使用法とインパルス応答観測波形の間には密接な関係があることを示した。POF出射光をAPDがすべて受光してはじめて正確に波形測定できるのであるが、高開口数 (NA: Numerical Aperture) で大口径のPOFと市販APDの組合せでは全量受光の条件が満たされない。本報告においては、周波数伝達関数の測定におけるAPDの使用法を検討する。POF長あるいは入射光の角度分布によってPOF出射光の角度分布が変わり、APDの配置位置によって測定値が影響を受けることが予測される。

2. 実験装置

測定対象のPOF (三菱レイヨン Super ESKA SH-4001) の直径は1.0mm, NAは0.5である。POF入射端への入射光線は平行で、断面内ではほぼ均一である。また、回転ステージを用いてPOF軸に対して傾斜させることができる。出射端におけるNFP測定は高NA拡大光学系 (浜松ホトニクスA 6501-02/LEPAS-11) で行った。装置の入射NAは0.75, 有効視野は約2mmである。周波数伝達特性の測定はアナログ変調LDヘッド (旭データシステム ALP-7033 CA/ALTH-103 RS, 1MHz~1.7GHz), レーザダイオード (シャープGH06510B2A, 654nm), 高周波ネットワークアナライザ (アジレント E5061A, 300KHz~1.5GHz), APDモジュールを用いた。測定装置の全体像を図1の写真に示す。

APDモジュール (特注, 浜松ホトニクス C5658-SPL

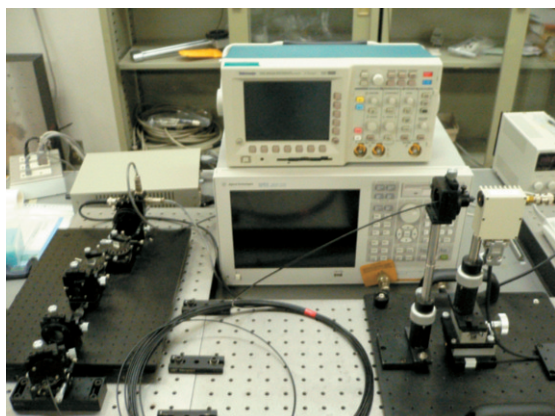


図1 周波数伝達特性測定装置

-S2383)にはAPD (S2383) が内蔵されている。APDは図2に示すように、パッケージ (TO-18) に収納され、半導体受光面の前にガラス板および窒素が封入されたスペースがあり、直径1.0mmの受光面はガラス窓表面から0.9mm離れている。モジュールのカットオフ周波数は高域が600MHz, 低域が1MHzである。

出射端に於けるFFPの測定はFFP測定装置 (浜松ホトニクス A3267-12/LEPAS-11) で行った。装置の最大計測角度は±45度, 許容ファイバーコア径は1.5mmΦ以内である。実測したFFPの光強度は中心に対して非対称であり, 中心とPOF軸とは必ずしも一致しない。本報告では中心の位置を視覚的に選びそれをPOF軸であるとした。光強度はPOF軸の周り一周分を平均化した。POF端面はいずれの場合においても最終仕上げを粒度0.5μmの研磨シートで行い, 鏡面である。

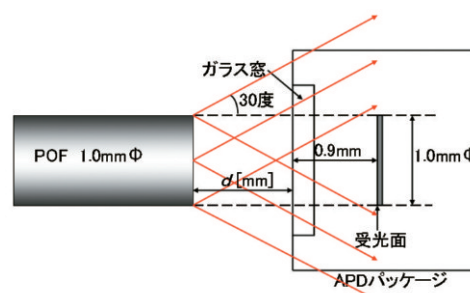
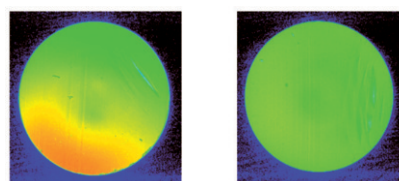


図2 POF出射光はAPD受光面にすべて届かない

3. NFPの不均一性

3.1 POF入射端面からの距離および入射端面における光入射角の影響

POF出射端面において測定したNFPの代表例を図3に示す。POF長は9.0m (図左) とそれをカットバックした4.0m (図右) である。POF入射端面にはPOF軸に対して20度傾けた平行光線を入射した。POF長9.0mのNFPではファイバー断面内7時の方向の縁に近い部分 (橙色の部分) の光強度が強く, 1時の方向の縁に近い部分 (緑の部分) が弱い。光強度の比は約9:5である。さらに, 2時の方向にはすじ状の不均一部分が明らかに見える。これは研磨のときについた傷ではない。POF長4.0mのNFPで



POF入射端からの距離9m POF入射端からの距離4m

図3 NFPは不均一でありPOF入射端からの距離によって不規則に変化する

は光強度は比較的均一であるが、3時の方向にすじ状の不均一部分が見える。光強度は本来は出射端面内で均一であるはずである。測定条件は双方同じであるにもかかわらず、5.0mカットバックしただけでNFPに大きな変化が現れた。このようなNFPの偏りはカットバックの位置に関係なく、不規則に頻繁に見られた。

図4にPOF長10m、入射角を0度、10度、20度と変えた場合のNFPの例を示す。NFPは10度におけるほぼ均一の状態を経過して、ほぼ180度回転するように変化した。入射角によるNFPの変化はPOFサンプルごとに異なって現れる。

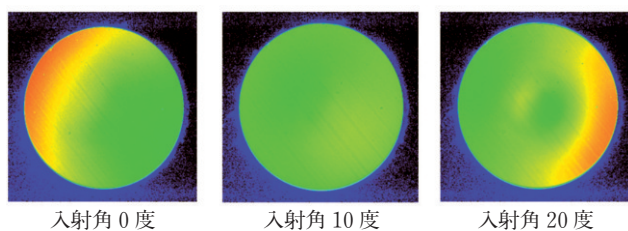


図4 NFPはPOF入射端における入射角によって変化する

3.2 POF入射・出射端面の傾斜の影響

図5はPOF長10m、入射角0度の条件で、POF入射端面を故意に傾斜させた(傾斜角 θ はおよそ10度)場合と、同じPOFを研磨し直して傾斜を逆にした場合のそれぞれのNFPを示す。2つのNFPにはほとんど差がない。

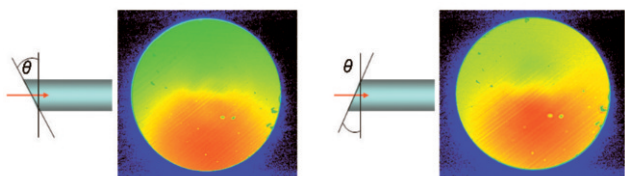


図5 NFPはPOF入射端面を傾斜させても変化しない

図6はPOF出射端面を故意に傾斜させた場合と、同じPOFを研磨し直して傾斜を逆にした場合のそれぞれのNFPを示す。2つのNFPにはほとんど差がない。

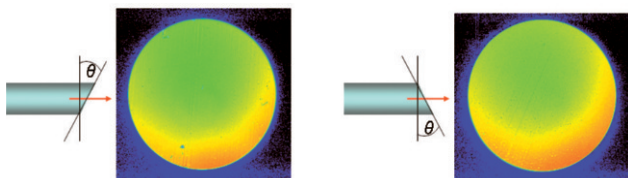


図6 NFPはPOF出射端面を傾斜させても変化しない

これらの結果より、POF端面の傾斜は入射端・出射端を問わずNFPに影響を与えないことから、問題となるNFPの偏りは、POFの端面ではなく、内部で発生していると言える。また、入射角度すなわち伝送する光の角度の変化が出射NFPの偏りを変化させることから、POF内に不均一

部分が存在し、そこにおいて光が屈折もしくは反射をしていることが考えられる。このような不均一部分はモード結合を通してモード分布に影響を与えるため、出射光角度分布に影響が及ぼすと考えられる。

3.3 NFPの不均一性がFFPの不均一性へ及ぼす影響

図7はNFPに偏りの見られる1mのPOFとおおよそ偏りの無い1mのPOFの二本の試料を用意し、それぞれ入射角20度という同一条件のもとでのFFPを比較したものである。このように、NFPに偏りが確認されたPOFすなわち、内部に不均一性をもつ可能性のあるPOFのFFPは若干の崩れが生じていることが分かる。長いPOFでは全長に亘って局所的な不均一が存在し積み重なると、FFPの崩れは大きくなることが予想される。

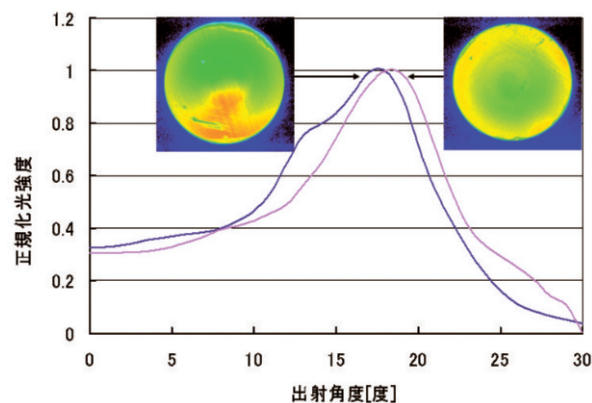


図7 NFPが均一な場合(右上挿入図)と不均一な場合(左上挿入図)ではFFPが異なる

4. APD受光面がPOF出射端面から離れていることの周波数特性測定へ及ぼす影響

POFのNAは0.5であり、出射角の最大値は約30度である。図2に示すように、出射光の一部は受光面で受け止められない。POFをAPDパッケージのガラス窓に密着させたとしても同様である。したがって、POF端面における出射角分布とAPD受光面における受光角分布は相似ではない。一方、出射角によってPOF中の光路長および光線の通過時間が異なる。したがって、(ガラス窓を破って)POF出射端面を受光面と密着させない限り周波数特性は正確には測定できない。以下の実験ではPOF出射端面とAPDガラス面の距離 d を変化させると、周波数特性測定にどのように影響を与えるか調べた。POF長は36mおよび11mとカットバックした1mであり、それらから35mおよび10mの測定値を算出した。実際の周波数測定においては、POF長およびPOF入射光角度分布のさまざまな組合せが想定される。本報告では3つの極端な例を取り上げ、その中間を推測する資料を提供する。

4.1 POF 出射光の角度分布が平衡モード分布に近い場合

図 8 に POF 長 35 m, POF への入射光が平行光で POF 軸と成す角が 0 度の場合の周波数特性の測定結果を示す。入射当初の FFP は 0 度付近に集中 (δ 分布) していたはずである。POF 中を 35 m 伝搬する間に、モード結合などの影響を受け分布幅を広げ、平衡モード分布 (EMD: Equilibrium Mode Distribution) に近い状態にあると考えられる。

POF 出射端面と APD ガラス面の距離 d を 5 mm から 0 mm まで変化させた。図中、リレーレンズとあるのは POF 出射端面と APD の間に独自設計の等倍リレーレンズを配置した場合を示す。レンズの NA は 0.8 である。このレンズを使うと POF 出射光の角度分布を変えず全量を離れた位置にある APD 受光面に集光することが出来る。測定結果は低周波での減衰量を 0 dB に合わせた。図から分かるように、POF 出射端面と APD ガラス面との距離 d が小さくなるに従い周波数特性は悪くなる (低周波と 600 MHz の減衰量の差が大きくなる)。リレーレンズを入れるとさらに悪くなる。距離 d が小さくなるに従い、あるいはリレーレンズを入れると、APD 受光面に入射する光の大角度成分が小角度成分にくらべて相対的に増加する。対象の実験条件では大角度成分の増加はインパルス応答波形を広げる方向に働き、結果として周波数特性を悪化させる。逆に距離 d が大きくなると周波数特性が良くなるのは小角度成分のみが APD に入射するからである。

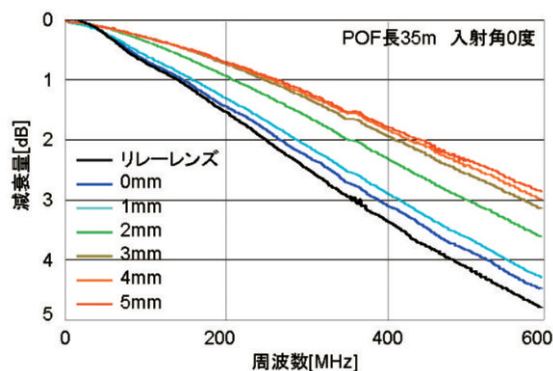


図 8 POF 長 35 m, 入射角 0 度の周波数特性

4.2 POF 出射光角度分布のピークが大角度の場合

図 9 に POF 長が 10 m, POF 入射光が平行光で POF 軸と成す角が 0 度および 25 度の場合の POF 出射光の FFP を示す。図では FFP の各出射角の光強度に $\sin(\text{出射角})$ を乗じた値を積分光強度と称して縦軸にとってある。すなわち、縦軸の値は各角度における光線総本数に比例する。また、グラフでは各測定曲線と横軸が囲む面積が等しくなるように規格化してある。

入射角 0 度の場合の積分光強度分布は出射角が約 13 度にピークをもち、角度が大きい方にも小さい方にも分布が

拡がる。入射角が 25 度の場合の積分光強度分布は約 24 度にピークを持つ。低角度においても値は小さいながらも分布が拡がる。モード結合がなければ中心が 25 度にある δ 分布であるはずである。

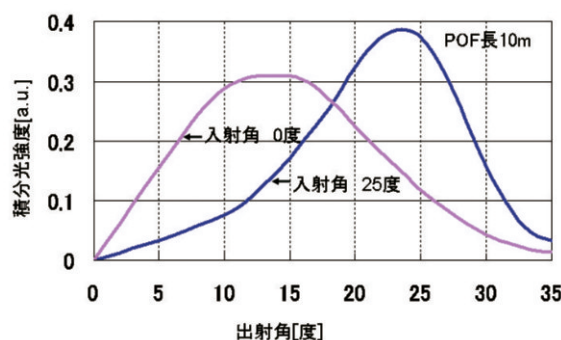


図 9 POF 長 10 m, 入射角 0 度の出射光 FFP

図 10 に POF 長 10 m, 入射角 0 度の場合の周波数特性の測定結果を示す。図から分かるように、POF 長 35 m, 入射角 0 度の場合と同様、POF 出射端面と APD モジュールガラス面との距離 d が小さくなるに従い周波数特性は悪くなる (低周波と 600 MHz の減衰量の差が大きくなる)。距離 d が小さくなるに従い、APD 受光面に入射する光の大角度成分が小角度成分にくらべて相対的に増加するのと同様であるので周波数特性を悪化させる。減衰量は POF 長 35 m の方が大きい。POF 長が大きい方がインパルス応答波形の幅が大きく、結果として周波数特性を悪化させる。

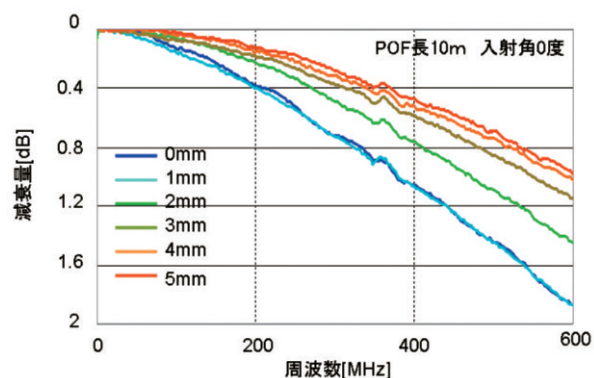


図 10 POF 長 10 m, 入射角 0 度の周波数特性

図 11 に POF 長 10 m, 入射角 25 度の場合の周波数特性の測定結果を示す。図から分かるように、POF 長 10 m, 入射角 0 度の場合とは逆に、POF 出射端面と APD ガラス面との距離 d が小さくなるに従い、周波数特性は良くなる (低周波と 600 MHz の減衰量の差が小さくなる)。距離 d が小さくなるに従い、APD 受光面に入射する光の大角度成分が小角度成分にくらべて相対的に増加するのは他と同様である。異なるのはこの実験条件の場合、APD 受光面に入射する光は距離 d が 4 ~ 5 mm のときは大角度と小角度の光の両方が拮抗して混合しているが、距離 d が 0 ~ 2 mm 付近では大角度成分が主になると考えられる。したがって、距

距離 d が小さくなるに従い、インパルス応答波形の幅は小さくなり、結果として周波数特性は良くなると考えられる。逆に、距離 d が大きくなるに従い、少ない小角度成分が主になり、周波数特性は良くなる予測される。その兆しが 4 mm と 5 mm の周波数特性を比べた場合に 5 mm の方が良いことに現れている。減衰量は入射角 25 度の方が入射角 0 度の方よりかなり大きい。入射角 25 度の方がインパルス応答波形の幅が大きく、それが原因で減衰量を増加させると考えられる。

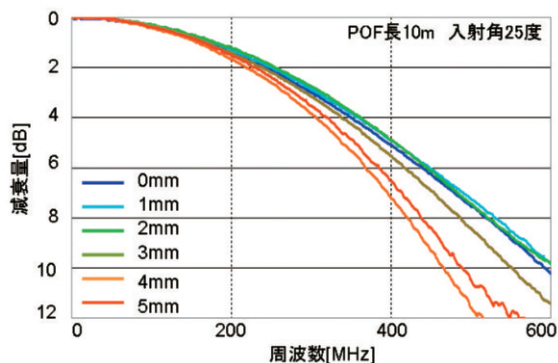


図 11 POF 長 10m, 入射角 25 度の周波数特性

5. まとめ

POF 長 35m および POF 長 10m, 入射角 0 度の場合、POF 出射端面と APD ガラス面との距離 d が小さくなる

に従い周波数特性は悪くなる。一番良い周波数特性は距離 d が 5 mm のときに得られた。POF 長 10m, 入射角 25 度の場合、距離 d が小さくなるに従い周波数特性は良くなる。一番良い周波数特性は距離 d が 0 mm 付近のときに得られた。

実用的には POF 長および POF 入射光角度分布のさまざまな組合せが想定される。また、距離 d が大きくなるに従って APD 出力信号そのものが小さくなる。これらを考慮して APD の配置を決めることが求められる。

謝 辞

本研究の一部は平成 17 年度、18 年度および 19 年度私立大学等経常費補助金「私立大学教育研究高度化推進特別補助」(教育・学習方法等改善支援経費)“光情報技術の体験・対話型教育研究支援”のもとで行われたものであることを記して、それを可能にするに当ってご理解を賜り多大のご支援をいただいた関係の皆様へ深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 橋爪信郎, 齋藤千晴, 清水貴弘, 橋本陽介, 前本浩史, 仁田直貴, 西田晃「プラスチック光ファイバーのインパルス応答波形および周波数伝達関数測定における諸問題」広島工業大学紀要 研究編 第 41 巻(平成 19 年 2 月)pp.1-6