

# 半径 5 mm での曲げ損失を低減した光ファイバの光学特性

光電子技術研究所 荒井 智史<sup>1</sup>・市井 健太郎<sup>2</sup>・大関 伸男<sup>3</sup>・杉本 泰子<sup>2</sup>・松尾 昌一郎<sup>4</sup>

## Optical Characteristics of a Reduced Bending-Loss Fiber with a Bending Radius of 5 mm

T. Arai, K. Ichii, N. Oozeki, Y. Sugimoto, and S. Matsuo

Fiber To The Home (FTTH) サービスの世界的な普及にともない、光ファイバの取り扱い性と収納性の観点からより小さく曲げても伝送損失が増加しない光ファイバが求められている。そこで当社では、国際標準機関 (ITU-T) の勧告 G.657.B3 および G.652.D に準拠し、曲げ半径 5mm での曲げ損失を低減した光ファイバを開発した。開発した光ファイバは、従来のシングルモード光ファイバとの接続特性に優れ、宅内や局内をはじめとする FTTH システムにおける使用に適していることを確認した。

With the worldwide popularization of fiber-to-the-home (FTTH) service, extremely low-bending-loss optical fibers with a small bending radius are requested from the viewpoint of simple wiring operation and space-saving storage. To meet the demand, we have developed a reduced bending-loss fiber with a bending radius of 5 mm, which is compliant with both ITU-T G.657.B3 and G.652.D recommendations. The newly developed optical fiber shows a satisfactory connectivity to conventional single-mode fibers, and is suitable for use in FTTH system.

### 1. ま え が き

近年、FTTx サービスによる家庭への光ファイバの普及が、日本のみならず世界的に拡大している。2012 年には FTTx サービスの加入者数は、全世界で 1 億件を突破するとの予想もされている<sup>1)</sup>。特に、中国を含むアジア圏における FTTx サービスの普及が著しい伸びを示している。

FTTx システムのなかでも Fiber To The Home (FTTH) システムは、光ファイバケーブルを個人の家屋やビル内へ直接引き込むことにより、光通信による高速通信を実現する。光ファイバを屋内へ敷設する際には、作業性や収納性の観点から光ファイバの曲げ損失が小さいことが重要になる<sup>2)</sup>。しかし、現在普及している FTTH システムでは、ITU-T の勧告 G.652 に準拠したシングルモード光ファイバ (SMF) が広く使用されており、小さい曲げが加えられた場合、伝送損失の増加により通信障害が生じる可能性がある。また、施工の際の光ファイバの取り扱いに細心の注意を必要とする。

光ファイバの曲げ損失を小さくできると、光ファイバが小さい径に曲げられることで生じる不具合を低減する

ことができる。たとえば、局内配線やドロップケーブルの施工を行う際に、誤って活線の光ファイバを小さな曲げ径で曲げてしまうことで生じる通信障害を防止できる。また、光ファイバの余長収納装置が小型化でき、装置設置場所の自由度が増すという利点もある。さらに、光ファイバの取り扱いが容易になり、家庭内において一般ユーザ自らが光ファイバの敷設や配線を行えるようになることも期待される。このように低曲げ損失光ファイバは、FTTH システムにおける光ファイバの敷設や維持管理コストの削減に大きく寄与すると考えられる。

以上のような背景から、当社はこれまでに曲げ損失を低減した光ファイバとして FutureGuide®-SR15E および FutureGuide®-BIS-B を商品化している<sup>3) 4)</sup>。今回、さらに曲げ損失特性を向上させ、曲げ半径 5mm と極めて小さく曲げても損失増加の少ない光ファイバを開発したので報告する。

### 2. 開 発 目 標

2009 年 11 月に ITU-T において、低曲げ損失シングルモード光ファイバに関する勧告 G.657 のカテゴリ分類が変更された。新しいカテゴリ分類では表 I に示すように、低 OH 吸収ピークシングルモード光ファイバに関する勧告である G.652.D と互換性のあるカテゴリ A と、G.652.D との互換性は必須ではないカテゴリ B に大別さ

1 光ファイバ技術研究部 (博士 (理学))

2 光ファイバ技術研究部

3 光ファイバ技術研究部 (博士 (工学))

4 光ファイバ技術研究部グループ長 (博士 (工学))

## 略語・専門用語リスト

略語・専門用語	正式表記	説明
FTTx	Fiber To The x	FTTHを含む、利用者の端末近くまで光ファイバを引く光通信方式の総称
FTTH	Fiber To The Home	光ファイバを一般ユーザ宅へ直接引き込む光通信の方式
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector	国際電気通信連合 電気通信標準化部門
MFD	Mode Field Diameter	光ファイバ中を伝搬するモードの電界分布の広がりを直径として表現したもの
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	伝送路中に増幅器を必要としない比較的短距離向けの光波長多重通信技術。光信号に使用する光の波長間隔は20 nm程度で、波長多重度は最大16波長
AdPC 研磨	Advanced Physical Contact 研磨	光コネクタ端面研磨の種類の一つで、フェルールの先端を凸球面に研磨加工するPC研磨において、フェール先端の曲率半径や頂点ずれなどを規定したもの
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
MPI	Multi-Path Interference	光ファイバ中を伝搬する複数のモード間の干渉により、ファイバ出口での出力が経時的に変動する現象

れる。さらに、曲げ損失が規定されている曲げ半径の違いにより、3つのサブカテゴリ1, 2, 3が規定されている。現在の勧告G.657では、A1, A2, B2およびB3の4種類の光ファイバが規定されている。当社で商品化しているFutureGuide®-SR15EおよびFutureGuide®-BIS-Bは、それぞれG.657.A1およびG.657.A2に準拠した光ファイバである。

本開発では、5 mmという最も小さな曲げ半径での損失を規定し、かつ他の曲げ半径においても最も小さな曲げ損失を規定したG.657.B3を満したうえで、G.652.Dとの完全な互換性を有する光ファイバの開発を目標とした。従来の低曲げ損失光ファイバよりも取り扱い性と収納性に優れた目標とする光学特性を実現するために、FutureGuide®-BIS-Bと同様にクラッド部に低屈折率部を有するトレンチ型の屈折率分布（図1(a))を採用した<sup>5)</sup>。トレンチ型の屈折率分布は、SMFやFutureGuide®-SR15Eに用いられている単峰型の屈折率分布（図1(b))に対して、同じモードフィールド径（MFD）でも曲げ損失を低減できるという特徴を有している。

### 3. 光学特性

今回開発した低曲げ損失光ファイバの主な光学特性を表2に示す。参考のために、G.657.B3とG.652.Dの主な光学特性の規格値を併せて示す。開発した光ファイバは

G.652.Dの範囲内のMFDを実現しながら、曲げ半径5 mmを含むG.657.B3の曲げ損失規定を満たしている。

図2に開発した光ファイバの波長1550 nmにおける曲げ損失の曲げ半径依存性を示す。FutureGuide®-SR15Eおよびトレンチ型の屈折率分布を有するFutureGuide®-BIS-Bと比較して、特に曲げ半径の小さな領域での損失増加が抑制されていることがわかる。

図3に開発した光ファイバの典型的な損失波長特性を示す。波長1383 nmにおけるOH基吸収を低減することにより、Eバンドを含む広い光通信波長帯域で使用可能である。したがって、開発した光ファイバは、Eバンドを含めた伝送が想定されている低密度WDM（CWDM）システムにおける使用にも適している。

開発した光ファイバの有するこれらの優れた特長により、FTTHシステムにおける光ファイバの敷設や保守が容易になり、FTTHシステムの維持費用を大幅に低減することが可能になる。

### 4. 接続特性

既存のFTTHシステムに開発した光ファイバを汎用的に用いるためには、SMFとの接続特性が重要になる。そこで、開発した光ファイバとSMF（MFD = 9.2 μm at 1310 nm）、および開発した光ファイバ同士のSCコネクタを用いた接続損失を評価した。測定に用いた光

表 1 ITU-T G.657 のカテゴリ分類と FutureGuide® ラインアップ  
Table 1. Category classification of ITU-T G.657 and FutureGuide® lineup.

項目			曲げ損失が規定されている曲げ半径 (mm)		
			15, 10	15, 10, 7.5	10, 7.5, 5
カテゴリ		サブカテゴリ	1	2	3
G.652.D との 互換性	必須	A	A1 FutureGuide®-SR15E	A2 FutureGuide®-BIS-B	
	必須でない	B		B2	B3

表 2 開発した光ファイバの光学特性例  
Table 2. Typical optical characteristics of developed fiber.

項目		測定値	G.652.D	G.657.B3	
伝送損失 (dB/km)	1310 nm	0.35	≤ 0.4	≤ 0.5	
	1383 nm	0.31	※	-	
	1550 nm	0.20	≤ 0.3	≤ 0.3	
	1625 nm	0.21	-	≤ 0.4	
ケーブルカットオフ波長 (nm)		1243	≤ 1260	≤ 1260	
モードフィールド径 (μm)		8.7	8.6 - 9.5	6.3 - 9.5	
零分散波長 (nm)		1314	1300 - 1324	TBD	
零分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)		0.090	≤ 0.092	TBD	
曲げ損失 (dB/turn)	R = 10 mm	1550 nm	0.01	-	≤ 0.03
		1625 nm	0.02	-	≤ 0.1
	R = 7.5 mm	1550 nm	0.03	-	≤ 0.08
		1625 nm	0.05	-	≤ 0.25
	R = 5 mm	1550 nm	0.08	-	≤ 0.15
		1625 nm	0.12	-	≤ 0.45

※水素試験後の伝送損失が 1310 ~ 1625 nm の波長範囲における最大損失以下であること

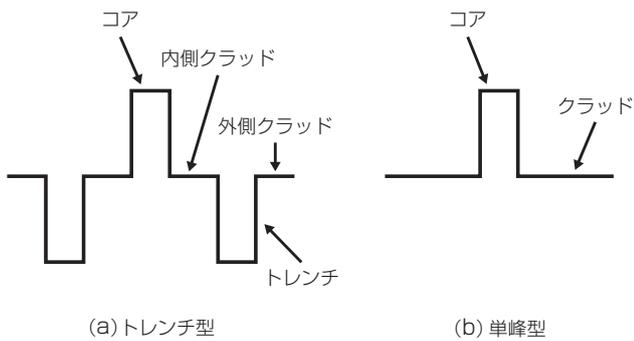


図 1 (a) トレンチ型と (b) 単峰型の屈折率分布の模式図  
Fig. 1. Schematic refractive index profiles of (a) trench and (b) step types.

ファイバの条長は 3 m, フェルル端面の研磨方法は AdPC 研磨とした。波長 1310 nm と 1550 nm での接続試験の結果をそれぞれ図 4 と図 5 に示す。開発した光ファイバと SMF の接続損失の平均は、波長 1310 nm と 1550 nm においてそれぞれ 0.17 dB と 0.18 dB であった。開発した光ファイバの同種接続の場合にも、ほぼ同じ接

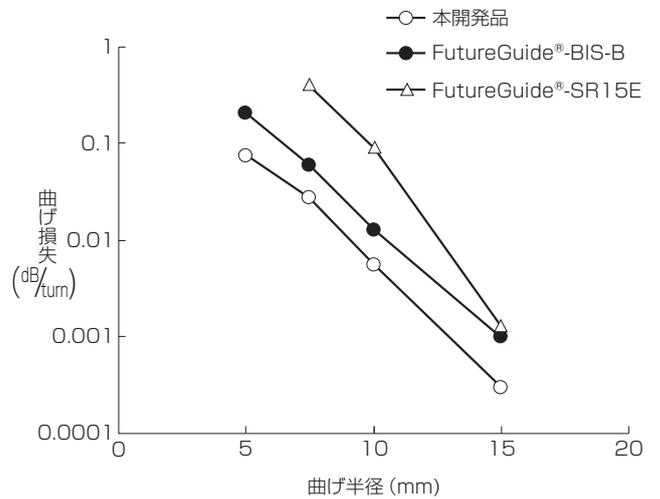


図 2 波長 1550 nm における曲げ損失の曲げ半径依存性  
Fig. 2. Measured bending losses at 1550 nm as a function of bending radius.

続損失を示した。これらの結果は、SMF を用いた同種接続での接続損失に比べて遜色ない結果である。以上の結果は、開発した光ファイバが、従来の SMF との違いを意識することなくコネクタ接続が可能であることを示している。

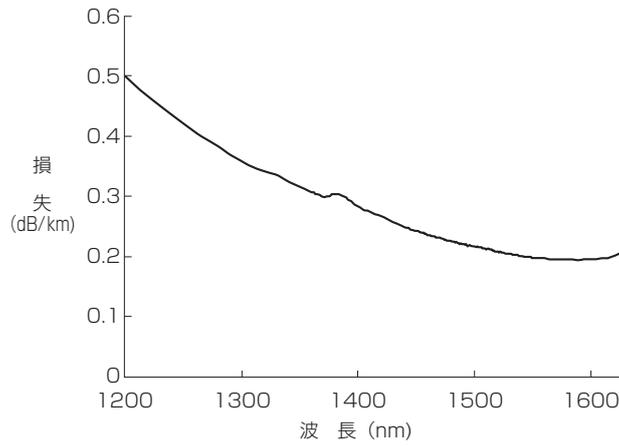


図3 開発した光ファイバの損失波長特性例  
Fig. 3. Typical attenuation spectrum of developed fiber.

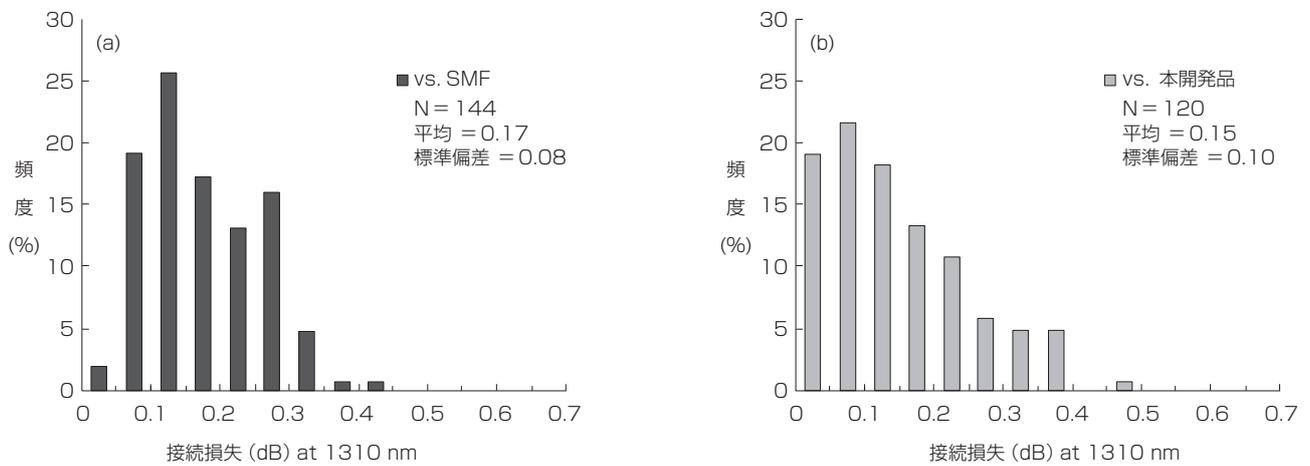


図4 波長1310 nmでのコネクタ接続損失：(a) SMFとの接続 (b) 開発品同士の接続  
Fig. 4. Connection losses at 1310 nm : (a) Developed fiber vs. SMF (b) Developed fiber vs. developed fiber.

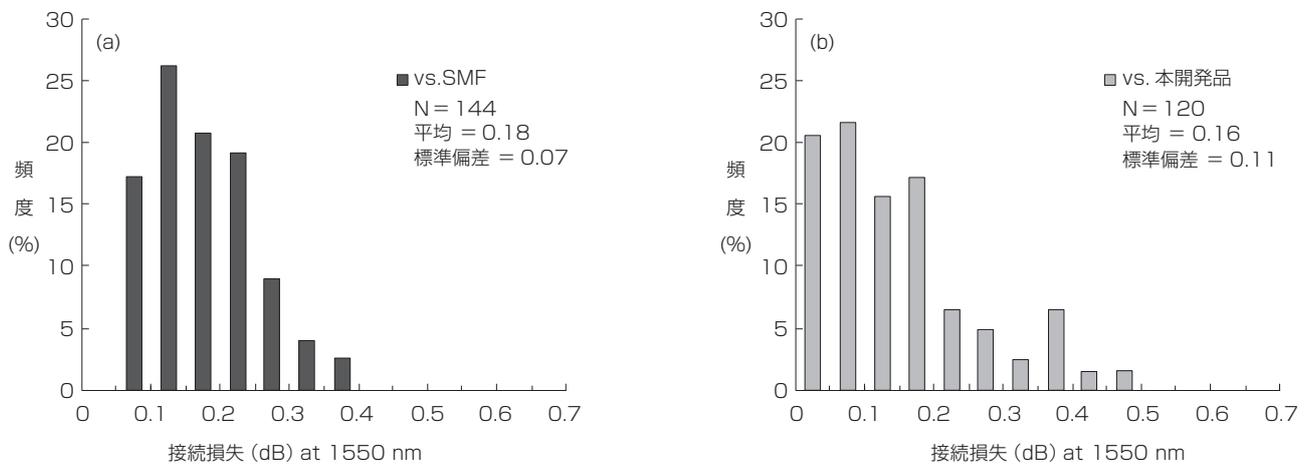


図5 波長1550 nmでのコネクタ接続損失：(a) SMFとの接続 (b) 開発品同士の接続  
Fig. 5. Connection losses at 1550 nm : (a) Developed fiber vs. SMF (b) Developed fiber vs. developed fiber.

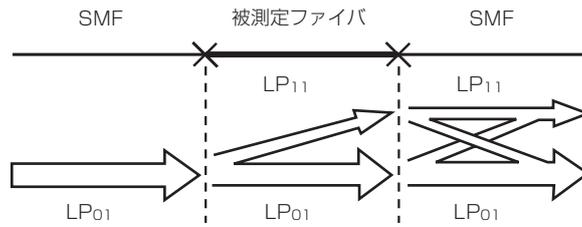


図 6 光ファイバ接続で生じる MPI 模式図  
Fig. 6. Schematic MPI induced at fiber splices.

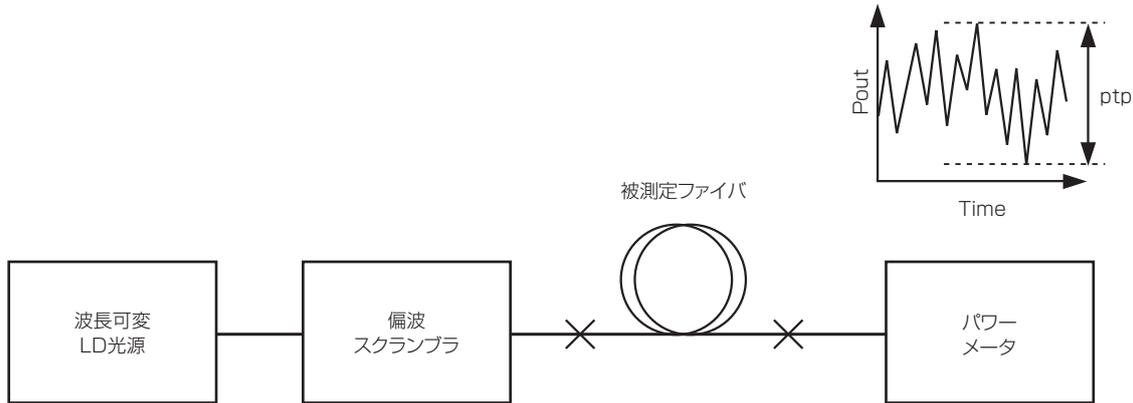


図 7 MPI 測定系模式図  
Fig. 7. Schematic figure of MPI experimental setup.

## 5. 耐水素特性

ケーブル構成材料から発生した水素が光ファイバ内部に拡散し、ガラス中の格子欠陥と結合して OH 基を形成すると、1380 nm 帯の伝送損失が増加することが知られている<sup>6)</sup>。このため、水素雰囲気下に光ファイバが長期間曝される場合、E バンドでの伝送が不可能になってしまう危険性がある。したがって、長期信頼性の観点から耐水素特性を評価することは重要である。開発した光ファイバの水素試験を、国際電気標準会議 (IEC) の規格 IEC60793-2-50 に準拠する方法で行った。水素試験前後における波長 1383 nm での損失増加量は、0.01 dB/km 以下と十分に小さい値であった。このことは、開発した光ファイバは一般の線路用ファイバと同様に、良好な耐水素特性を有することを示している。

## 6. MPI 評価

光ファイバ中を伝搬する複数のモード間の干渉により生じる多重経路干渉 (MPI) は、光通信における伝送特性の劣化要因の一つであり、MPI の値が -30 dB を超えると伝送に支障が出るとの報告もある<sup>7)</sup>。光ファイバの条長が短い場合、図 6 に模式的に示すように短い間隔で接続点が入る。このため、接続点で発生した高次モード

である LP<sub>11</sub> と基底モードである LP<sub>01</sub> との干渉が生じると、MPI 値が大きくなる可能性がある。また、小径の曲げが加えられた場合は、曲げにより励振された高次モードやウィスパーリングギャラリモードによる MPI が発生する可能性がある。今回開発した光ファイバは、宅内や局内において短尺や曲げた状態での使用が想定されるため、MPI の発生による伝送特性劣化がないことが重要である。

今回評価に用いた MPI 測定系を図 7 に示す。光源には出力安定性に優れた波長可変 LD 光源を用いて、被測定ファイバは両端を SMF と融着接続して測定を行った。MPI の発生しやすい条件で評価を行うため、1255 nm という規定上限に近いケーブルカットオフ波長を有する本開発光ファイバを被測定ファイバとして使用した。MPI はパワーメータの測定値のピーク間振幅 ptp (dB) を用いて次式で定義した。

$$MPI = 20 \log \left( \frac{10^{ptp/20} - 1}{10^{ptp/20} + 1} \right)$$

高次モードの残留に起因する MPI 劣化についての評価結果を図 8 に示す。測定は、条長 2 m の光ファイバに曲げを加えない状態で、O バンド (1260 ~ 1360 nm) において行った。開発した光ファイバおよびリファレンスの SMF の MPI は、ともに -70 dB 以下であった。こ

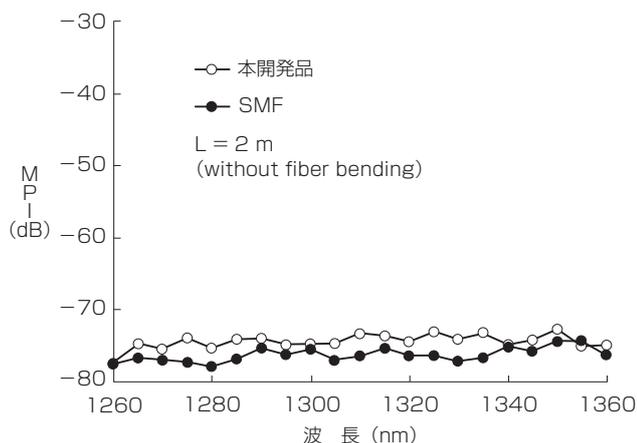


図8 OバンドにおけるMPI測定結果  
Fig. 8. MPI spectra in O-band.

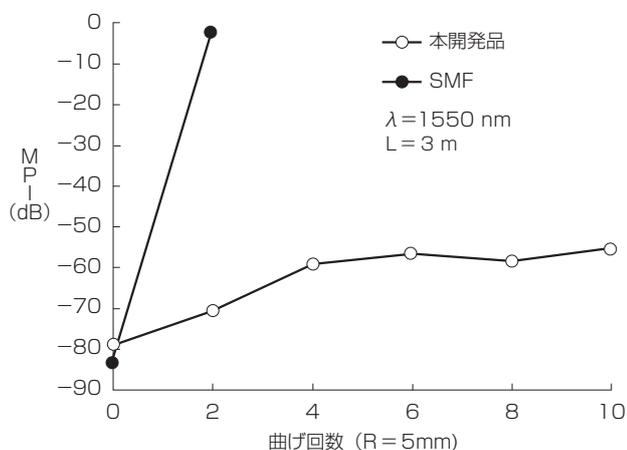


図9 波長1550 nmにおけるMPIの曲げ回数依存性 (R = 5 mm)  
Fig. 9. MPI as a function of number of turns at 1550 nm (R = 5 mm).

のことから、開発した光ファイバは、2 mという短い条長においても安定した伝送特性を示していることが分かる。

小径の曲げの印加に起因するMPI劣化評価結果を図9に示す。光ファイバの条長は3 mとし、波長1550 nmでのMPIの曲げ回数依存性を評価した。曲げ半径は、G657.B3に規定されている最小曲げ半径である5 mmとした。SMFでは2回の曲げによりMPIは約0 dBに急

増するのに対して、開発した光ファイバは10回の曲げを加えた状態においてもMPIは-50 dB以下という非常に小さな値を示している。

以上の結果からも、開発した光ファイバが短尺や曲げた状態での使用が想定されるFTTHシステムにおける使用に適していることが示される。

## 7. むすび

当社で開発した曲げ半径5 mmでの曲げ損失を低減した光ファイバの代表的な特性について報告した。開発した低曲げ損失光ファイバは、ITU-T G.657.B3に準拠する曲げ損失特性を有するとともに、G.652.Dに準拠する低OH吸収ピーク化を実現している。このため、従来のSMFとの高い親和性を有し、宅内や局内配線をはじめとするFTTHシステムにおける使用に適している。本光ファイバやこの優れた曲げ特性を活かした製品により、今後のFTTHシステムの普及に寄与できるものと期待している。

## 参考文献

- 1) L. Hutchison: "FTTx: Current Status and the Future", IEEE Communications Magazine, Vol.46, pp.90-95, 2008
- 2) 篠ほか:「曲げに強い屋内配線用光ファイバに関する検討」, 2000年電子情報通信学会総合大会, B-10-29, 2000
- 3) 山田ほか:「低OH吸収ピークシングルモード光ファイバ」, フジクラ技報, 第106号, pp.5-7, 2004
- 4) 布目ほか:「低曲げ損失光ファイバ FutureGuide®-BIS-B」, フジクラ技報, 第117号, pp.5-10, 2009
- 5) S. Matsuo, et. al.: "Bend-Insensitive and Low-Splice-Loss Optical Fiber for Indoor Wiring in FTTH", OFC 2004, ThI3, 2004
- 6) K. H. Chang, et. al.: "New Hydrogen Aging Loss Mechanism in the 1400 nm Window", OFC/IOOC '99, PD22-1-3, 1999
- 7) C. Fukai, et. al.: "Relationship between Optical Wiring Conditions and MPI Degradation", OFC/NFOEC 2010, OWA1, 2010