

低曲げ損失光ファイバ FutureGuide[®]-BIS-B

光電子技術研究所 布目智宏¹・遠藤 祥¹・平松和也¹
杉本泰子¹・松尾昌一郎²
光ファイバ・ケーブルシステム事業部 内山圭祐³・横田和宏³

Bend Insensitive Optical Fiber FutureGuide[®]-BIS-B

T. Nunome, S. Endo, K. Hiramatsu, Y. Sugimoto, S. Matsuo, K. Uchiyama, and K. Yokota

当社では、トレンチ型の屈折率分布を用いた低曲げ損失光ファイバ FutureGuide[®]-BIS-B を開発した。FutureGuide[®]-BIS-B の曲げ損失は G.657.B に準拠し、曲げ半径 7.5 mm における曲げ損失は、従来のステップ型のシングルモード光ファイバより約 1 桁小さい。また、G.652.D に準拠した光学特性を有するため、通常のシングルモードファイバとの接続損失も小さく、アクセス系ネットワークにおいて幅広く利用されることが期待できる。

We have developed a bend insensitive fiber with a trench index profile, which is called FutureGuide[®]-BIS-B. The bending losses of the fiber are compliant with ITU-T G.657.B and are one-tenth as large as those of a conventional single-mode fiber with a step index profile for bending radius of 7.5 mm. Because the fiber is also compliant with G.652.D, the splice loss between with the conventional single-mode fiber is low. We expect the fiber to be extensively used in access networks where the conventional single-mode fiber is used.

1. ま え が き

日本では、Fiber To The Home (FTTH) サービスが急速に進展し、2009年3月末現在、FTTH 契約数が 1500 万件を突破している¹⁾。最近では光ファイバを利用した多チャンネルのテレビ放送、高画質な Video on Demand (VOD) などの新たなサービスも登場し、今後も家庭への光ファイバの普及が進むものと思われる。海外においても、従来の電話回線を用いた高速デジタル伝送 (Digital Subscriber Line, DSL) から FTTH への転換が始まっている。特に近年では、中国や米国での FTTH サービスが成長を遂げており、引続き市場は拡大すると期待される。

現在普及している FTTH システムでは、国際電気通信連合・電気通信標準化部門 (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, ITU-T) の勧告 G.652 に準拠したシングルモード光ファイバ (Single Mode Optical Fiber, SMF) が広く用いられている。SMF の許容曲げ半径は、曲げ損失と機械的信頼性の観点から一般的には 30 mm とされている。SMF を許容曲げ半径より小さく曲げた場合、光がコアから漏れて損失が増加し、障害が発生する可能性が高くなる。そのため、光ファイバを取

り扱う際には、光ファイバに許容曲げ半径以下の曲げが印加されないように作業しなければならない。現在は専門知識をもつ施工業者が、過度の曲げが光ファイバに印加されないように注意を払いながら、屋外から一般家庭内にいたる敷設を行っている。

光ファイバの曲げ損失を小さくできると、いくつかのメリットがある。一つは、光ファイバの取り扱いが容易となり、家庭内における一般ユーザ自らによる光ファイバの敷設が現実味をおびてくる。また、小曲げ径での曲げ損失を低減できれば、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曲げてしまった場合の瞬断を防止できるというメリットもある。このように低曲げ損失光ファイバは、光ファイバの敷設、維持管理コストの低減に寄与し、FTTH のさらなる普及につながると期待される。

今回、主にアクセス系ネットワークでの使用を想定し、小曲げ径における曲げ損失を低減した FutureGuide[®]-BIS-B を開発した。本報告では FutureGuide[®]-BIS-B の代表的な特性について報告する。

2. ITU-T G.657 について

2006年12月にITU-Tにおいて、低曲げ損失光ファイバに関する新しい勧告 G.657 (Characteristics of a

1 光ファイバ技術研究部

2 光ファイバ技術研究部グループ長 (工学博士)

3 光製造技術部

省略語・専門用語リスト

省略語・専門用語	正式表記	説明
FTTH	Fiber To The Home	光ファイバーを一般ユーザ宅へ直接引き込む光通信の方式。
VOD	Video on Demand	視聴者が観たい時に様々な映像コンテンツを視聴することが出来るサービス。
DSL	Digital Subscriber Line	高速デジタル伝送。
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。
SMF	Single Mode Optical Fiber	伝播するモードが単一の光ファイバ。
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。
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議。

表 1 ITU-T G.652.D および G.657 の特性
Table 1. Attributes of ITU-T G.652.D and G.657.

項 目		G.652.D	G.657.A	G.657.B
伝 送 損 失 (dB/km)	1310 nm	0.4	0.4	0.5
	1383 nm			-
	1550 nm	0.3	0.3	0.3
	1625 nm	-	-	0.4
ケーブルカットオフ波長 (nm)		1260	1260	1260
モードフィールド径 at 1310 nm (μm)		8.6 - 9.5 (tolerance ±0.6)	8.6 - 9.5 (tolerance ±0.4)	6.3 - 9.5 (tolerance ±0.4)
クラッド径 (μm)		125 ±1	125 ±0.7	125 ±0.7
零分散波長 (nm)		1300 - 1324	1300 - 1324	TBD
零分散スロープ (ps/nm ² /km)		0.092	0.092	TBD
曲げ損失 (dB)	R=30 mm × 100 turn	1625 nm	0.01	-
	R=15 mm × 10 turn	1550 nm	-	0.25
		1625 nm	-	1
	R=10 mm × 1 turn	1550 nm	-	0.75
		1625 nm	-	1.5
	R=7.5 mm × 1 turn	1550 nm	-	-
1625 nm		-	-	1

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

bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network)が制定された。表 1 に G.652 および G.657 に規定された特性を示す。従来の G.652 では、曲げ損失は曲げ半径 30 mm での値のみが規定されているのに対し、G.657 では曲げ半径 15 mm 以下の曲げ損失が規定された点が特徴である。また、G.657 は曲げ半径と曲げ損失により、class A (以後、G.657.A) と class B (以後、G.657.B) の 2 つのカテゴリに大別される。G.657.A は、曲げ半径 10 mm までの曲げ損失

規定に加えて、波長分散やモードフィールド径 (Mode Field Diameter, MFD), OH 損失といった観点で、従来の G.652.D との互換性が求められている。一方、曲げ半径 7.5 mm での曲げ損失が規定された G.657.B では、G.652 との互換性は規定されていない。

G.657 の制定により、低曲げ損失光ファイバの普及が進むと考えられる。特に、光ファイバを曲げて配線・収納する可能性がある宅内や局内において、G.657 に準拠した低曲げ損失光ファイバが広く用いられると考え

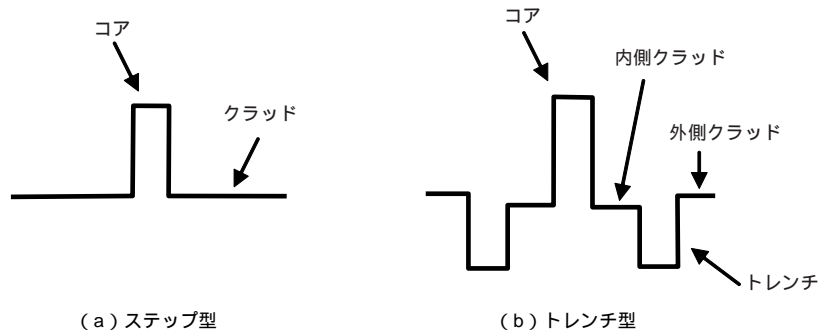


図1 屈折率分布の模式図

Fig. 1. Refractive index profiles of a step fiber and a trench fiber.

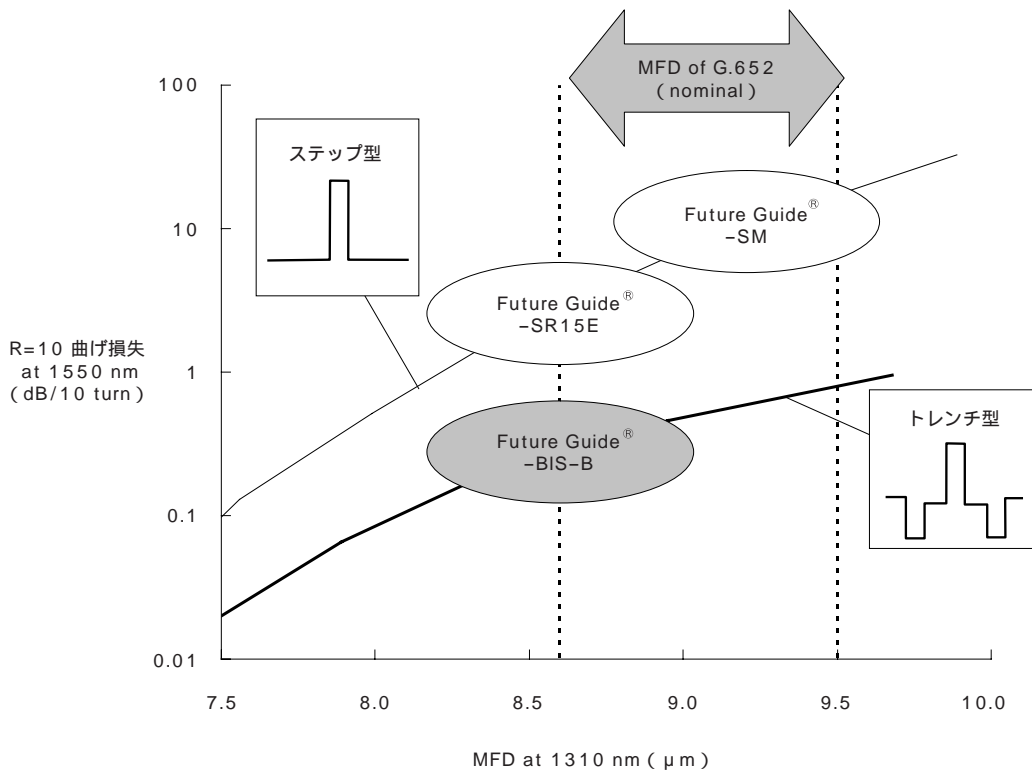


図2 MFD (波長 1310 nm) と曲げ損失 (波長 1550 nm, 曲げ半径 R=10 mm) の関係の計算結果
 Fig. 2. Simulated bending losses at wavelength of 1550 nm as a function of MFD at 1310 nm for a step index fiber (thin line) and a trench index fiber (bold line).

られる。当社では、G.652.DおよびG.657.Aに準拠したFutureGuide®-SR15Eをすでに商品化している²⁾。今回開発したFutureGuide®-BIS-Bは、G.657.Bに準拠したうえで、G.652.Dをも満足する特性を有することが特徴である。

3. 開発目標

従来のSMFは、図1(a)に示すようなステップ型の屈折率分布をもつ。図2は光ファイバの曲げ損失のMFD依存性の計算結果を示す。図2の細線は、ステップ型の屈折率分布を有する光ファイバの曲げ損失と

MFDの関係を示す。曲げ損失とMFDの間にトレードオフの関係があることがわかる。

光ファイバの電界分布をガウス分布と仮定した場合、光ファイバの接続損失は(1)式から計算できる³⁾。

$$T = \left(\frac{2w_1w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \cdot \exp \left(-\frac{2d^2}{w_1^2 + w_2^2} \right) \dots\dots(1)$$

T は接続効率、 $2w_1$ 、 $2w_2$ は各光ファイバのMFD、 d は光ファイバのコア間の軸ずれ量である。ここでSMF(MFD; 9.2 μm at 1310 nm)と、それと異なるMFD

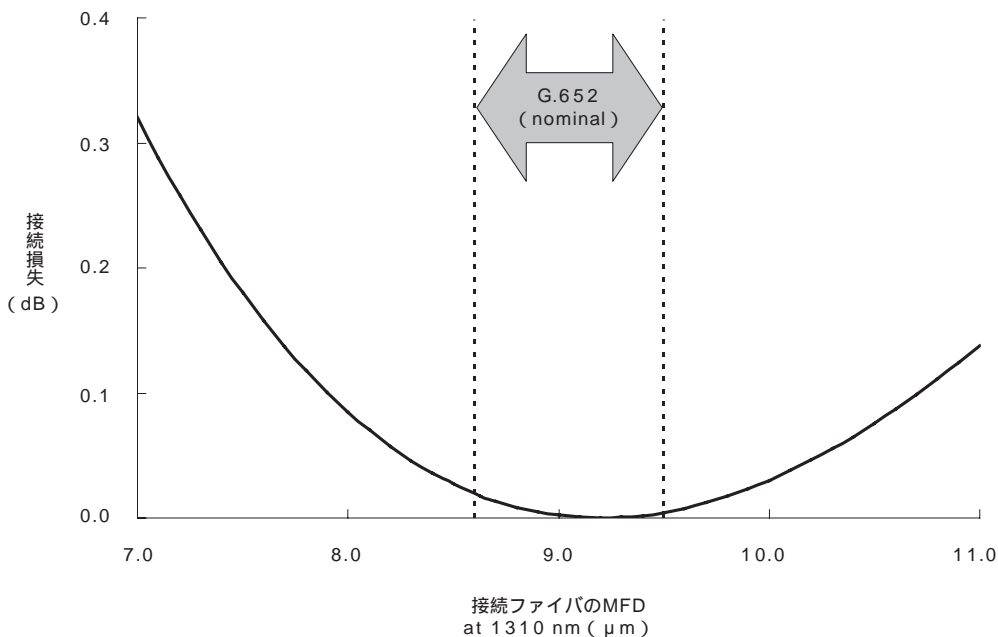


図 3 SMF と MFD の異なるファイバとの接続損失の計算値

Fig. 3. Calculated splice loss between a SMF and fibers having different MFDs as a function of MFD at 1310 nm.

表 2 FutureGuide®-BIS-B の光学特性例
Table 2. Typical characteristics of FutureGuide®-BIS-B.

項 目		測 定 値	G.652.D	G.657.B	
伝 送 損 失 (dB/km)	1310 nm	0.337	0.4	0.5	
	1383 nm	0.274	-	-	
	1550 nm	0.187	0.3	0.3	
	1625 nm	0.196	-	0.4	
ケーブルカットオフ波長 (nm)		1246	1260	1260	
モードフィールド径 at 1310 nm (μm)		8.60	8.6 - 9.5 (tolerance ± 0.7)	6.3 - 9.5 (tolerance ± 0.4)	
クラッド径 (μm)		125.1	125 ± 1	125 ± 0.7	
零分散波長 (nm)		1311	1300 - 1324	TBD	
零分散スロープ (ps/nm ² /km)		0.086	0.092	TBD	
曲げ損失 (dB)	R=30 mm × 100 turn	1625 nm	-	0.01	-
		1550 nm	0.01	-	0.03
	R=15 mm × 10 turn	1625 nm	0.04	-	0.1
		1550 nm	0.01	-	0.1
	R=10 mm × 1 turn	1625 nm	0.02	-	0.2
		1550 nm	0.04	-	0.5
	R=7.5 mm × 1 turn	1625 nm	0.09	-	1

をもつ光ファイバを接続する場合を考える．この場合の接続損失の計算値を図 3 に示す．ここでは，ファイバの軸ずれが無い場合 ($d = 0$) について求めた．接続する光ファイバの MFD が G.652 の範囲を外れた場合，接続損失が急速に悪化することがわかる．つまり，曲げ損失の低減のために小 MFD 化を採用する場合，接続損失の点で制限が生じる．そのためステップ型の光ファイバで，曲げ損失と接続損失の低減を両立させるには，G.652 に準拠する範囲で MFD を小さく設計することが必要であ

る．当社の FutureGuide®-SR15E はこのタイプに相当する．

これまで当社では，この MFD と曲げ損失のトレードオフ関係を打ち破り，低曲げ損失と低接続損失を両立する次世代の低曲げ損失光ファイバとして，図 1(b) に示すトレンチ型の屈折率分布を適用した光ファイバを提案してきた^{4, 11)}．図 2 の太線は，トレンチ型の光ファイバの曲げ損失と MFD の関係を示す．トレンチ型の光ファイバは同じ MFD を持つステップ型の光ファイバと

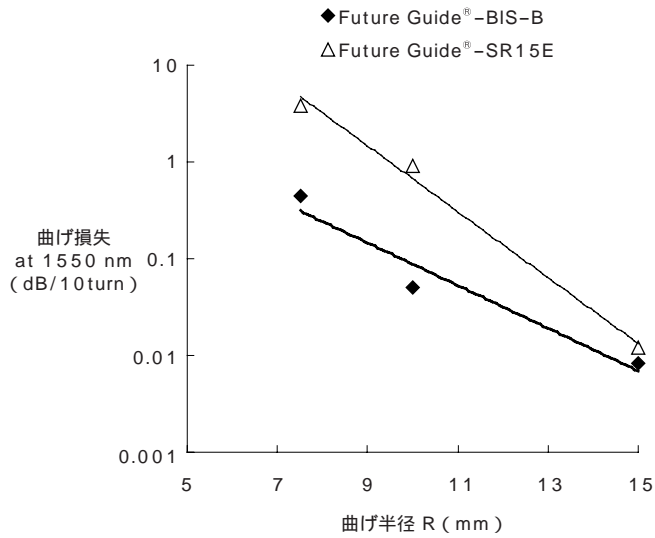


図4 曲げ損失の曲げ半径依存性

Fig. 4. Measured bending losses at 1550 nm as a function of bending diameter on FutureGuide®-BIS-B (solid symbols) and FutureGuide®-SR15E (open symbols).

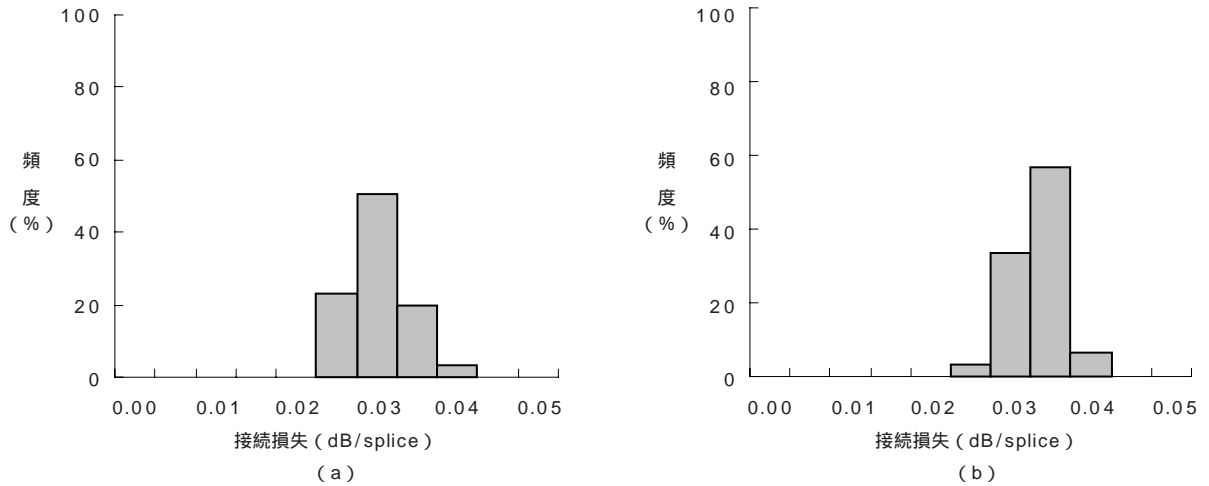


図5 FutureGuide®-BIS-B と SMF の融着接続損失 : (a) 測定波長 1310 nm , (b) 測定波長 1550 nm

Fig. 5. Fusion splice losses between FutureGuide®-BIS-B and SMF:

(a) measurement wavelength = 1310 nm (b) measurement wavelength = 1550 nm.

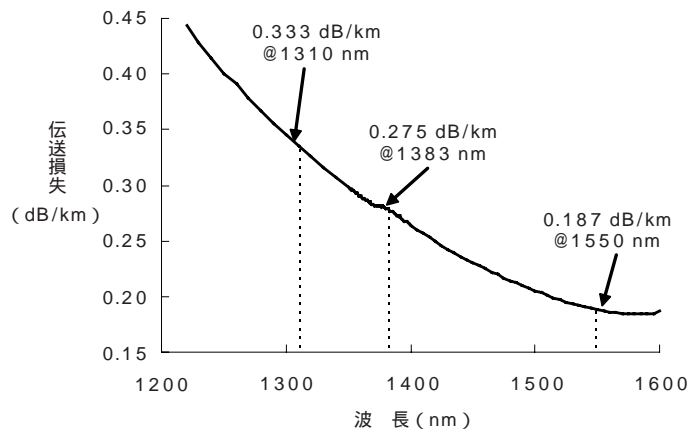


図6 FutureGuide®-BIS-B の水素試験後の損失波長特性例

Fig. 6. Typical attenuation spectrum of FutureGuide®-BIS-B after hydrogen aging test.

比較し、小曲げ半径における曲げ損失を 1 桁程度低減できることがわかる。つまり、SMF との接続損失を犠牲にすることなく、曲げ損失を小さくすることが可能である。

今回は、トレンチ型の屈折率分布を用いて、G.657.B を満足する低曲げ損失特性と、G.652.D に完全準拠した光学特性を有することを目標として開発をおこなった。G.652.D に準拠することで、接続特性やその他の光学特性で従来の SMF との高い親和性が確保でき、幅広い応用が期待できる。

4. 光 学 特 性

FutureGuide®-BIS-B の主な光学特性を表 2 に示す。伝送損失、MFD、波長分散特性などは G.652.D に準拠した値を有している。曲げ損失については、いずれの曲げ半径、測定波長においても G.657.B に準拠している。図 4 に曲げ損失の曲げ半径依存性を示す。曲げ半径が小さい領域において、ステップ型の光ファイバである FutureGuide®-SR15E より 1 桁小さい曲げ損失特性を示している。

FutureGuide®-BIS-B と従来の SMF (MFD at 1310 nm; 9.24 μm) との融着による接続損失を図 5 に示す。融着接続の際は当社製の光融着接続機 FSM-50S を使用した。装置に設定された SMF の接続条件を変更することなく接続を実施した。測定回数は 20 回とした。接続損失の最大値は波長 1310 nm および 1550 nm において、いずれも 0.04 dB と低い値を示した。これらは従来の SMF の同種接続損失と同程度であり、問題ないことがわかる。

5. 水 素 特 性

水素試験後における損失波長特性を図 6 に示す。水素試験は、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission, IEC) の規格 IEC60793-2-50 に準拠する方法で行った。水素試験後の 1383 nm 損失は 0.275 dB/km であり、G.652.D に準拠した伝送損失を維持していることを確認した。また水素試験前後における 1383 nm 損失の増加量は 0.01 dB/km 以下であり、耐水素特性が良好であることが確認できた。

6. む す び

当社で開発した FutureGuide®-BIS-B について、代表的な特性を紹介した。FutureGuide®-BIS-B は ITU-T G.652.D および G.657.B に完全準拠しており、従来の SMF との互換性と低曲げ損失を両立したファイバである。また SMF との接続損失も小さいので、今後アクセス系ネットワークにおいて幅広く適用されることが期待できる。

参 考 文 献

- 1) 総務省報道資料「ブロードバンドサービスの契約数等」,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/14885.html
- 2) 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
- 3) D.Marcuse, :“ Loss analysis of single-mode fiber splices ”,
Bell Syst.Tech.J., Vol.56, No.5, pp.703-718, 1977
- 4) 池田ほか:「接続損失を低減した低曲げ損失光ファイバ」,
フジクラ技報, 第 105 号, pp.6-10, 2003
- 5) S.Matsuo, et. al. :“ Bend-insensitive and low-splice-loss optical fiber for indoor wiring in FTTH ”, OFC2004, ThI3, 2004
- 6) S.Matsuo, et. al. :“ Low-bending-loss and low-splice-loss single-mode fibers employing a trench index profile ”,
IEICE TRANSACTIONS on electronics, Vol.E88-C, No.5, pp.889-895, 2005
- 7) K.Himeno, et. al. :“ Low-bending loss single-mode fibers for fiber-to-the home ”, J.Lightwave technology, Vol.23, No.11, pp.3494-3499, 2005
- 8) S.Matsuo, et. al. :“ Design optimization of trench index profile for the same dispersion characteristics with SMF ”, OFC2007, JWA2, 2007
- 9) 布目ほか:「トレンチ型低曲げ損失光ファイバの波長分散特性及び接続特性」,
信学技報, Vol.107 (52), pp.11-14, 2007
- 10) T.Nunome, et al. :“ Splice characteristics of trench-assisted bend-insensitive fiber having equivalent dispersion characteristics to SMF ”, OECC/IOOC2007, 12C1-4, 2007
- 11) S.Matsuo, et. al. :“ Dispersion and splice characteristics of bend-insensitive fibers with trench-index profile compliant with G.652 ”, IEICE TRANSACTIONS on electronics, Vol.E91-C, No.7, pp.1129-1135, 2008