

(43) 国際公開日
2006年2月16日 (16.02.2006)

PCT

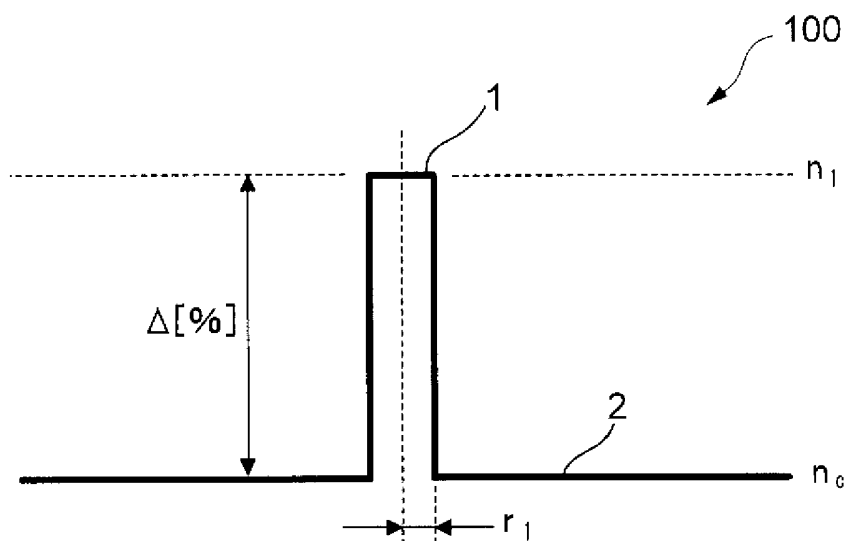
(10) 国際公開番号
WO 2006/016572 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/014560
- (22) 国際出願日: 2005年8月9日 (09.08.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-233111 2004年8月10日 (10.08.2004) JP
特願2005-120996 2005年4月19日 (19.04.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場1丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松尾 昌一郎 (MATSUO, Shoichiro) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 姫野 邦治 (HIMENO, Kuniharu) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1048453 東京都中央区八重洲2丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK,

/ 続葉有 /

(54) Title: SINGLE-MODE OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: シングルモード光ファイバ



(57) Abstract: A single-mode optical fiber which has a specified mode field diameter MFD_1 (μm) at a first wavelength λ_1 (μm), a bending loss per round of L_b (dB) measured at a second wavelength λ_2 (μm) when wound with a bending radius r (mm), a connection loss, with respect to an optical fiber having a specified mode field diameter MFD_2 (μm) at the first wavelength λ_1 (μm), of L_s (dB) per connection portion point at the second wavelength λ_2 (μm), and a minimum value of the dependency of a total loss factor L , calculated in the following expression (1), on mode field diameter within a range, $MFD_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$. $L = w_s \cdot L_s + w_b \cdot L_b$ (1) $w_s + w_b = 1$ (2) $w_s > 0$, $w_b > 0$ (3) (In expression (1), w_s and w_b are non-dimensional weighting factors and are set within a range satisfying the expression (2) and the expression (3).)

(57) 要約: シングルモード光ファイバは、第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフィールド径 MFD_1 (μm) を持ち、第2の波長 λ_2 (μm) で測定され、曲げ半径 r (mm) で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB) であり、第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフィールド径 MFD_2 (μm) を持つ光ファイバとの接続損失が前記第2の波長 λ_2 (μm) において接続箇所1点あたり L_s (dB) であり、次式 (1) で算出される全損失係数

/ 続葉有 /



WO 2006/016572 A1



LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

Lのモードフィールド径依存性が $MFD_1 \pm 0.5 \mu m$ の範囲内で極小値となる。 $L = w_s \cdot L_s + w_b \cdot L_b$
... (1) $w_s + w_b = 1$... (2) $w_s > 0, w_b > 0$... (3) (式(1)中、 w_s と w_b
は無次元の重み係数であり、前記式(2)及び式(3)を満たす範囲で設定される。)

明 細 書

シングルモード光ファイバ

技術分野

- [0001] 本発明は、光アクセスや小型部品用途など、特に曲げ損失の低いことが要求される光ファイバとして好適に用いることができる曲げ特性と接続特性に優れたシングルモード光ファイバ(以下、SMFと記す。)に関する。

本願は、2004年8月10日に出願された日本国特許出願第2004-233111号ならびに2005年4月19日に出願された日本国特許出願第2005-120996号に対し優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

- [0002] 従来、幹線、長距離系の伝送容量拡大を目的にWDM(Wavelength Division Multiplexing)を用いた伝送システム及び光ファイバの開発が活発に進められてきた。WDM伝送用の光ファイバには、非線形効果の抑制や分散制御といった特性が要求されてきた。近年では、メトロと呼ばれる数百km程度のスパンのシステム向けに分散スロープを低減した光ファイバやOHによるロス増がほとんどない光ファイバなどが提案されている。
- [0003] オフィスや家庭への光ファイバ導入(Fiber To The Home; FTTH)を考えた場合、これらの伝送用光ファイバとは異なった特性が要求される。ビルや住宅内にファイバを引き回す際には、直径30mm、20mmといった非常に小さな曲げが入る可能性がある。また、余長を収納する際、小さな曲げ径に巻いてもロス増が生じないことが非常に重要になる。つまり、小さな曲げ径に耐えることが、FTTH向けの光ファイバとして非常に重要な特性となる。また、基地局からビルや住宅までに用いられる光ファイバ(多くは、通常の1.3 μ m帯SMF)との接続性も重要なポイントとなる。

特許文献1: 米国特許出願公開第2004/0213531号明細書

特許文献2: 国際公開第WO01/27667号パンフレット

非特許文献1: I. Sakabe, et al., "Enhanced Bending Loss Insensitive Fiber and New Cables for CWDM Access Network," Proceedings of the 53rd IWCS, pp.112-118 (2

004)

非特許文献2: S. Matsuo et al, "Bend-insensitive and low-splice-loss optical fiber for indoor wiring in FTTH", OFC2004, ThI3

非特許文献3: 佐藤ら, "光アクセス用小径曲げ対応型光ファイバ", 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-30

非特許文献4: 池田ら, "接続損失低減型低曲げ損失光ファイバ", 電子情報通信学会研究報告, OCS2003-43

非特許文献5: 周ら, "フォトニック結晶ファイバの宅内、ビル内配線への適用に関する検討", 電子情報通信学会研究報告, OFT2002-81

非特許文献6: 姚ら, "ホーリーファイバの実用化に関する一検討", 電子情報通信学会研究報告, OFT2002-82

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] オフィスや家庭内には、従来通常の1.3 μ m帯SMFやマルチモード光ファイバが一般に用いられている。しかしながら、これら従来の光ファイバは、一般に直径60mm程度の曲げ径までしか許容されておらず、その引き回しの際には過剰な曲げが入らないように細心の注意が必要であった。

[0005] また、最近では、1.3 μ m帯用SMFの国際規格であるITU-T G.652に準拠する範囲で、モードフィールド径(以下、MFDと記す。)を小さくすることにより許容曲げ径を直径30mmまで許容したSMFが商品化されているが、ビル、宅内配線用にはさらに小さな曲げ径に対応したSMFが望ましい。

[0006] しかしながら、一般に曲げ特性を強化したSMFはMFDが小さく、接続特性を悪化させるという問題があった。

つまり、小径曲げが想定される環境における最適な光ファイバパラメータを決定する指標となるパラメータが知られていなかった。

[0007] 本発明は前記事情に鑑みてなされ、小径曲げが想定される線路において損失特性が最適になるSMFの提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 前記目的を達成するため、本発明は、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD (MFD_1 (μm))を持ち、第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回(1ターン)あたり L_b (dB)であり、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD $_2$ (μm)を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_s (dB)であり、次式(1)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるSMFを提供する。

$$L = w_s \cdot L_s + w_b \cdot L_b \quad \cdots (1)$$

$$w_s + w_b = 1 \quad \cdots (2)$$

$w_s > 0, w_b > 0 \quad \cdots (3)$ (式(1)中、 w_s と w_b は無次元の重み係数であり、前記式(2)及び式(3)を満たす範囲で設定される。)

[0009] また本発明は、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD (MFD_1 (μm))を持ち、第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB)、曲げ回数が t_b であり、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD (MFD_2 (μm))を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_s (dB)、接続箇所が n_s 箇所であり、次式(4)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるSMFを提供する。

$$L = n_s \cdot L_s + t_b \cdot L_b \quad \cdots (4) \text{ (但し、} n_s > 0, t_b > 0 \text{である。)}$$

[0010] 本発明のSMFにおいて、接続損失 L_s が0.5dB以下であることが好ましい。

[0011] 本発明のSMFにおいて、 MFD_1 が $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 変化したときの全損失係数 L の変化量が0.4dB以下であることが望ましい。変動量が0.2dB以下であれば、更に望ましい。

[0012] 本発明のSMFにおいて、曲げ半径 r が15mm未満であることが好ましい。

[0013] 本発明のSMFにおいて、曲げ半径 $r=10\text{mm}$ 、第2の波長 $\lambda_2=1550\text{nm}$ において曲げ損失 L_b が0.05dB以下であることが好ましい。

[0014] 本発明のSMFにおいて、曲げ半径 $r=7.5\text{mm}$ 、第2の波長 $\lambda_2=1550\text{nm}$ において曲げ損失 L_b が0.05dB以下であることが好ましい。

[0015] 本発明のSMFにおいて、半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コアと、該中心コアを取り囲むほぼ一定の屈折率 n_c を持つクラッドとを備え、 $n_1 > n_c$ であることが好ましい。

- [0016] 本発明のSMFにおいて、半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コアと、該中心コアの外周に設けられ、半径 r_2 、屈折率 n_2 を持つ内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、半径 r_3 、屈折率 n_3 を持つトレレンチと、該トレレンチの外周に設けられ、半径 r_c 、屈折率 n_c を持つ外側クラッドとを備え、 $n_1 > n_c > n_3$ 、 $n_1 > n_2 > n_3$ であることが好ましい。
- [0017] 本発明のSMFにおいて、第1の波長 $\lambda_1 = 1310\text{nm}$ であり、 MFD_2 が国際規格ITU-T G. 652の仕様を満足する範囲にあることが好ましい。
- [0018] 本発明のSMFにおいて、接続損失がそれぞれの光ファイバをメカニカルスプライス接続して測定された接続損失であることが好ましい。
- [0019] 本発明のSMFにおいて、接続損失がそれぞれの光ファイバを融着接続して測定された接続損失であることが好ましい。
- [0020] 本発明のSMFにおいて、接続損失がそれぞれの光ファイバをコネクタ接続して測定された接続損失であることが好ましい。
- [0021] 本発明のSMFにおいて、クラッドの直径が $125\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 以内であることが好ましい。
- [0022] 本発明のSMFにおいて、クラッドの直径の中心値が $60\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ の範囲であることが好ましい。
- [0023] また本発明は、第1の波長 $\lambda_1 (\mu\text{m})$ において所定のMFD($\text{MFD}_1 (\mu\text{m})$)を持ち、第2の波長 $\lambda_2 (\mu\text{m})$ で測定され、曲げ半径 $r(\text{mm})$ で巻いたときの曲げ損失が1回あたり $L_b (\text{dB})$ であり、第1の波長 $\lambda_1 (\mu\text{m})$ において所定のMFD($\text{MFD}_{2i} (\mu\text{m})$)を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 $\lambda_2 (\mu\text{m})$ において接続箇所1点あたり $L_{si} (\text{dB})$ であり、次式(A)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5\mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるSMFを提供する。
- [0024] [数1]

$$L = \sum_i^n w_{si} \cdot L_{si} + w_b \cdot L_b$$

$$\sum_{i=1}^n w_{si} + w_b = 1 \quad \dots (A)$$

$$w_{si} > 0, w_b > 0$$

- [0025] (式中、 n は本発明のSMFと接続される光ファイバの数、 w_{si} は無次元の重み係数、 L_{si} は本発明のSMFと i 番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)
- [0026] また本発明は、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_1 (μm))を持ち、第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB)、曲げ回数が t_b であり、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_{2i} (μm))を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_{si} (dB)、接続箇所が n_{si} 箇所であり、次式(B)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるSMFを提供する。
- [0027] [数2]

$$L = \sum_{i=1}^n n_{si} \cdot L_{si} + t_b \cdot L_b \quad \dots (B)$$

- [0028] (式中、 n は本発明のSMFと接続される光ファイバの数、 n_{si} は本発明のSMFと i 番目の光ファイバの接続回数、 L_{si} は本発明のSMFと i 番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)
- [0029] 前記SMFにおいて、接続損失 L_{si} は0.1dB以下であることが好ましい。
- [0030] 前記SMFにおいて、 MFD_1 が $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 変動したときの全損失係数 L の変動量が0.4dB以下であることが好ましい。
- [0031] 前記SMFにおいて、 MFD_1 が $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 変動したときの全損失係数 L の変動量が0.2dB以下であることが好ましい。

発明の効果

- [0032] 本発明のSMFは、小径曲げと通常のSMFとの接続による損失発生を考慮すべき使用条件下において、状態の変化に対する損失の変動量が少なく、安定した光伝送を実現することができる。

本発明のSMFは、小径曲げが想定される線路において損失特性が最適になる構成としたものなので、光アクセスや小型部品用途など、特に小径の曲げ損失が低いことが要求されるSMFとして好適に用いることができる。

図面の簡単な説明

- [0033] [図1]本発明のSMFの単峰型屈折率分布を示すグラフである。
- [図2]実施例1の結果を示す曲げ損失のMFD依存性(単峰型、 $r=10\text{mm}$)のグラフである。
- [図3A]宅内配線において想定される接続構造を示す概略構成図である。
- [図3B]宅内配線において想定される接続構造を示す概略構成図である。
- [図4]実施例1の結果を示す接続損失のMFD依存性のグラフである。
- [図5]実施例1の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図6]実施例1の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図7]実施例2の結果を示す曲げ損失のMFD依存性(単峰型、 $r=7.5\text{mm}$)のグラフである。
- [図8]実施例2の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図9]実施例2の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図10]本発明のSMFのトレンチ型屈折率分布を示すグラフである。
- [図11]実施例3の結果を示す曲げ損失のMFD依存性($r=10\text{mm}$)のグラフである。
- [図12]実施例3の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図13]実施例3の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図14]実施例4の結果を示す曲げ損失のMFD依存性($r=7.5\text{mm}$)のグラフである。
- 。
- [図15]実施例4の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図16]実施例4の結果を示す全損失係数のMFD依存性のグラフである。
- [図17A]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。
- [図17B]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。
- [図17C]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。
- [図17D]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。
- [図17E]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。
- [図17F]本発明のSMFの別な屈折率分布を例示するグラフである。

符号の説明

[0034] 1…コア、2…クラッド、3…内側クラッド、4…トレレンチ、5…外側クラッド、6…内側クラッド、7, 8…外側コア、9…第1トレレンチ、10…低屈折領域、11…電柱、12…クロージャ、13…支線ケーブル、14…ドロップケーブル、15…ONU、16…キャビネット、17…インドアケーブル、18…壁、19…コネクタ付コード、20…光コネクタ、100, 200, 300A, 300B, 300C, 300D, 300E, 300F…SMF。

発明を実施するための最良の形態

[0035] 以下、本発明のSMFの実施形態を説明する。

本発明のSMFの第1実施形態は、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_1 (μm))を持ち、第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB)であり、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_2 (μm))を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_s (dB)とした場合に、次式(1)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となることを特徴としている。

$$L = w_s \cdot L_s + w_b \cdot L_b \quad \cdots (1)$$

[0036] 前記式(1)中、 w_s と w_b は無次元の重み係数であり、想定する使用環境に応じて、前記式(2)及び式(3)を満たす範囲で設定される。

$$w_s + w_b = 1 \quad \cdots (2)$$

$$w_s > 0, w_b > 0 \quad \cdots (3)$$

[0037] 本発明のSMFの第2実施形態は、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_1 (μm))を持ち、第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB)、曲げ回数が t_b であり、第1の波長 λ_1 (μm)において所定のMFD(MFD_2 (μm))を持つ光ファイバとの接続損失が第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_s (dB)、接続箇所が n_s 箇所とした場合に、次式(4)で算出される全損失係数 L のMFD依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となることを特徴としている。

$$L = n_s \cdot L_s + t_b \cdot L_b \quad \cdots (4) \text{ (但し、} n_s > 0, t_b > 0 \text{である。)}$$

[0038] 前記式(1)又は式(4)により算出される全損失係数 L というパラメータを用いて設計された本発明のSMFは、小径曲げと通常のSMFとの接続による損失発生を考慮す

べき使用条件下において、状態の変化に対する損失の変動量が少なく、安定した光伝送を実現することができる。

[0039] 第1, 第2の実施形態において、本発明のSMFと接続される光ファイバの MFD_2 が複数の値からなることがある。例えば、光ファイバの通常の製造工程においては、MFDはある製造中心(製造された光ファイバのMFDの平均値)を $MFD_2(\mu)$ として評価することが可能である。また、本発明のSMFに異なる製造中心のMFDをとる光ファイバが接続される場合もある。例えば、図3Aにおいて、ドロップケーブル14に本発明のSMFが適用された場合においては、以下の2つのケースが考えられる。第1のケースは、支線ケーブル13、ONU(optical network unit) 15のいずれにも同じMFDの光ファイバが用いられているケースであり、これは第1, 第2の実施形態に相当する。一方、ONUの接続部に上記に例示したような通常のSMFよりもMFDが小さな曲げ強化形SMFが用いられている場合もある。通常SMFのMFDの製造中心が1310 nmにおいて $9.2 \mu m$ 程度であるのに対して、曲げ強化形SMFのMFDの製造中心は $8.6 \mu m$ 程度となっている。このような場合は、式(1)、式(4)を以下のように変更することで対応することが可能である。

式(1)は、以下の式(A)のように変更できる。

[0040] [数3]

$$\begin{aligned}
 L &= \sum_i^n w_{si} \cdot L_{si} + w_b \cdot L_b \\
 \sum_{i=1}^n w_{si} + w_b &= 1 \\
 w_{si} &> 0, w_b > 0
 \end{aligned}
 \quad \dots (A)$$

[0041] (式中、nは本発明のSMFと接続される光ファイバの数、 w_{si} は無次元の重み係数、 L_{si} は本発明のSMFとi番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)

[0042] また式(4)は、以下の式(B)のように変更できる。

[0043] [数4]

$$L = \sum_{i=1}^n n_{si} \cdot L_{si} + t_b \cdot L_b \quad \dots (B)$$

[0044] (式中、 n は本発明のSMFと接続される光ファイバの数、 n_{si} は本発明のSMFと i 番目の光ファイバの接続回数、 L_{si} は本発明のSMFと i 番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)

[0045] 前記第1の波長 λ_1 及び第2の波長 λ_2 は、SMFを用いた光伝送波長域から選択でき、例えば波長1260nm～1650nmの範囲から選択することができる。波長1260nm～1625nmの範囲はSMFの伝送用波長として用いられる。また、1625～1650nmの範囲は線路監視用の波長として用いられている。

前記曲げ半径 r は、本発明のSMFの実使用において想定される小径の曲げ半径とすることができ、この曲げ半径 r は15mm未満とすることが望ましい。

[0046] 本発明のSMFにおいて、曲げ半径 $r=7.5\text{mm}$ 又は 10mm 、曲げ損失の評価波長である第2の波長 $\lambda_2=1550\text{nm}$ で測定される1回当たりの曲げ損失 L_b は、 0.05dB 以下であることが望ましい。この曲げ損失 L_b が 0.05dB を超えると、複数回の小径曲げにより損失が増加してしまうので、好ましくない。

[0047] 前記接続損失は、本発明のSMFと、一般の光伝送路として使用されているSMF(以下、通常SMFと記す。)とをメカニカルスプライス接続、融着接続、或いはコネクタ接続して測定された接続損失である。本発明のSMFにおいて、第2の波長 $\lambda_2(\mu\text{m})$ で測定される接続箇所1点あたりの接続損失 L_s は、 0.5dB 以下であることが望ましい。この接続損失 L_s が 0.5dB を超えると、複数の接続部が存在する場合に損失が大きくなってしまうので、好ましくない。なお、本発明のSMFと接続される通常SMFは、国際規格ITU-T G.652に基づく $1.3\mu\text{m}$ 帯用のSMFであることが多い。

[0048] 本発明のSMFは、前記式(1)又は(4)によって算出される全損失係数 L のMFD依存性が、 $\text{MFD}_1 \pm 0.5\mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるように、コア径、MFD、コアークラッドの比屈折率差、径方向の屈折率分布などの各種パラメータが設定されていればよく、その材質、屈折率分布の形状等は適宜設定することができる。SMFの材質としては、通常のSMFと同じく、石英ガラスなどを用いることができる。また、本発明のSMFは、通常のSMFの製造方法とおなじく、従来公知の各種の製造方法によって製造することができる。

[0049] 図1は、本発明のSMFの一例として、単峰型(ステップ型)の屈折率分布を示すグラフである。

この単峰型の屈折率分布を有する本発明のSMF100は、半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コア1と、該中心コア1を取り囲むほぼ一定の屈折率 n_c を持つクラッド2とを備え、 $n_1 > n_c$ になっている。クラッド2の直径は、 $125 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ 以内であることが好ましい。また、クラッド径の中心値は $125 \mu\text{m}$ には限定されない。例えば、 $r=5\text{mm}$ といった非常に小さな曲げ半径が必要とされる光ファイバにおいて、破断確率を低減するためにクラッド径を細くすることが有効である。したがって、クラッド径の中心値は、光ファイバの使用条件に応じて、 $60 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ の範囲で適時設定することが可能である。

[0050] また図10は、本発明のSMFの別な例として、トレンチ型の屈折率分布を示すグラフである。

このトレンチ型の屈折率分布を有する本発明のSMF200は、半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コア1と、該中心コア1の外周に設けられ、半径 r_2 、屈折率 n_2 を持つ内側クラッド3と、該内側クラッド3の外周に設けられ、半径 r_3 、屈折率 n_3 を持つトレンチ4と、該トレンチ4の外周に設けられ、半径 r_c 、屈折率 n_c を持つ外側クラッド5とを備え、 $n_1 > n_c > n_3$ 、 $n_1 > n_2 > n_3$ になっている。外側クラッド5の直径は、 $125 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ 以内であることが好ましい。また、クラッド径の中心値は $125 \mu\text{m}$ には限定されず、 $60 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ の範囲で適時設定することが可能である。

[0051] さらに、本発明は、図17A～Fに示すような様々な屈折率分布を持つSMFについて適用可能である。

図17Aに示す屈折率分布を持つSMF300Aは、単峰型の中心コア1と2層のクラッドを備えており、内側クラッド6が外側クラッド5より屈折率が高くなっている。

図17Bに示す屈折率分布を持つSMF300Bは、台形の屈折率分布を持つ中心コア1の外側に外側クラッド5が設けられ、中心コア1から間隔をおいて屈折率の高い外側コア7を備えている。

図17Cに示す屈折率分布を持つSMF300Cは、三角形の屈折率分布を持つ中心コア1の外側に、低屈折率の内側クラッド6、高屈折率の外側コア8、屈折率が最も低

いトレチ4、低屈折率の外側クラッド5を順に設けた構成になっている。

図17Dに示す屈折率分布を持つSMF300Dは、逆U字状の屈折率分布を持つ中心コア1の外側に、低屈折率のトレチ4、外側クラッド5を順に設けた構成になっている。

図17Eに示す屈折率分布を持つSMF300Eは、台形又は三角形の屈折率分布を持つ中心コア1の外側に、屈折率の最も低い第1トレチ9、屈折率の高い外側コア8、低屈折率の第2トレチ4、外側クラッド5を順に設けた構成になっている。

図17Fに示す屈折率分布を持つSMF300Fは、中心コア1の中央部を低屈折率領域10とし、その外側に高屈折率領域を設けて中心コア1とした以外は、図17Eの構成と同じく、中心コア1の外側に、屈折率の最も低い第1トレチ9、屈折率の高い外側コア8、低屈折率の第2トレチ4、外側クラッド5を順に設けた構成になっている。

実施例

[0052] (実施例1)

本実施例は、図1に示す単峰型と呼ばれる屈折率分布を用いて、半径10mmまでの曲げがSMF100に印加されると想定したときの最適特性について設計した例である。

単峰型の屈折率分布を用いて、ケーブルカットオフ波長を1260nmとしたときの波長1310nmにおけるMFDと、波長1550nmにおける半径10mmにおいて10回の曲げを加えたときの曲げ損失の関係を図2に示す。

[0053] 図2に示すように、MFDが大きくなるにしたがって、曲げ損失は小さくなる。この図2からは、曲げに強いことが要求される環境に用いるSMFとしては、MFDを極力小さくした設計を行うことが好ましい印象をうける。

[0054] しかしながら、実使用環境においては、曲げ損失に加えて、接続損失を考慮に入れることが必要である。図3A, Bは宅内配線において想定される接続の構成を例示する図であり、図3A, Bにおいて、符号11は電柱、12はクロージャ、13は支線ケーブル、14はドロップケーブル、15はONU (Optical Network Unit)、16はキャビネット、17はインドアケーブル、18は壁、19はコネクタ付コード、20は光コネクタである。

[0055] 例えば、図3Aのようにクロージャ12内で支線ケーブル13と接続されたドロップケーブル14がONU15に直結するような形態では、クロージャ12内において、他の光ファイバとの接続が入る可能性がある。また、ONU15との接続においても、他の光ファイバと接続が入る可能性がある。また、図3Bに示すような配線形態を想定すると、両端にコネクタ20を持ったコネクタ付コード19の使用が想定される。この場合は、最悪2箇所での他の光ファイバとの接続が入る可能性がある。

[0056] 支線ケーブル13などにはITU-T. G. 652として規定されている通常SMFが広く用いられており、接続特性に関してはこの通常SMFとの接続を念頭に置いておくことが望ましい。

[0057] 図4は、単峰型(図1)の光ファイバ100と通常SMF(波長1310nmにおけるMFDが $9.2\mu\text{m}$)との接続損失について評価した結果である。光ファイバどうしの接続損失については、D. Marcuse, "Loss analysis of single-mode fiber splices", Bell syst. Tech. J. vol. 56, no5, pp703, May, 1977に示されているように、以下の式(5)を用いて2種の光ファイバのMFDから計算される接続効率から評価することができる。

$$T_g = (2 \cdot w_1 \cdot w_2 / (w_1^2 + w_2^2))^2 \cdot \exp(-2d^2 / (w_1^2 + w_2^2)) \cdots (5) \quad (\text{式中、} T_g \text{ は結合効率、} 2w_1, 2w_2 \text{ は光ファイバのMFD、} d \text{ は軸ずれ量を表す。})$$

[0058] 接続損失は、接続する2種の光ファイバのMFDの違いやフィールドの軸ずれなどにより生じる。このため、MFDのずれが大きくなるに従い(図4では、 $9.2\mu\text{m}$ からずれるに従って)、接続損失は大きくなる。このため、MFDが $6.5\mu\text{m}$ を下回るような設計は、曲げ損失は非常に安定しているが、接続の観点からは非常に不安定な設計となることが分かる。

[0059] 図5は、式(1)の本発明の手法に基づき評価した全損失係数のMFD依存性を示している。 $\lambda_1 = 1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 1550\text{nm}$ 、 $r = 10\text{mm}$ 、 $\text{MFD}_2 = 9.2\mu\text{m}$ 、 $w_s = w_b = 0.5$ とした。図5によると、全損失係数Lは、 $\text{MFD}_1 = 7.0\mu\text{m}$ で最小となることがわかる。

[0060] そこで、従来の曲げ損失を指標とした設計で好ましいとされる $\text{MFD} = 6.5\mu\text{m}$ のS

MF (サンプル2)と、本発明の手法により好ましいと評価されるMFD=7.0 μ mのSMF (サンプル1)について、種々の状況でのロス変動を評価した。評価結果を表1に示す。なお、表1～表4において、評価条件とは、接続箇所と曲げ回数との組み合わせを指す。

[0061] [表1]

評価条件番号	1	2	3	4	5	6	7	8	ロス 最大値	ロス 変化値
接続箇所	1	1	1	1	2	2	2	2	[dB]	[dB]
曲げ回数	0	5	10	20	0	5	10	20		
サンプル1	0.33	0.36	0.39	0.45	0.66	0.69	0.72	0.78	0.78	0.45
サンプル2	0.53	0.53	0.53	0.54	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	0.54

[0062] サンプル1は、図1に示す $\Delta=0.58\%$ 、 $r_1=3.26\mu\text{m}$ 、サンプル2は、 $\Delta=0.65\%$ 、 $r_1=3.07\mu\text{m}$ である。いずれも、クラッド直径は125 μ m、ケーブルカットオフ波長は1260nmであった。

[0063] 本発明の手法を用いて作製したサンプル1のロスの最大値は、従来手法によるサンプル2と比べ約73%に抑制されている。また、想定した使用条件下におけるロス変化量も約83%に抑制されることが分かる。

2点の接続と $r=10\text{mm}$ 、10回の曲げを想定したときの全損失のMFD依存性を図6に示す。本発明の手法により決定された7.0 μ mのMFD付近においてほぼ最低の全損失が得られることが分かる。

また、本発明の手法で決定される領域を用いれば、MFDのばらつきによる全損失の変化も小さく抑えることができる。例えば、本発明の手法により決定されるMFD=7.0 μ m付近では、 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 程度のMFDの変化に対して、全損失の変化量は0.2dB程度である。しかしながら、従来手法の例において、全損失変化量を同程度に抑制しようとした場合、MFDのばらつきはほとんど認められないことになる。逆に、同程度のMFD変動を許容した場合、全損失変化量は0.8dB程度になり、本発明の手法を用いた場合の4倍程度になってしまう。

[0064] 以上の例により、本発明の手法により設計したSMFは、曲げと接続による総合的な損失が小さく、さらに製造上不可避な光ファイバのMFDの変動を想定しても総合損

失変動が非常に小さいことがわかる。このことは、本光ファイバの適用により、線路設計において過剰なマージンを与える必要がないことを意味し、効率的な設計が可能となる。

[0065] (実施例2)

本実施例は、前記実施例1と同様に、図1に示す単峰型と呼ばれる屈折率分布を用いて、半径7.5mmまでの曲げがSMF100に印加されると想定したときの最適特性について設計した例である。

単峰型の屈折率分布を用いて、ケーブルカットオフ波長を1260nmとしたときの1310nmにおけるMFDと1550nmにおける半径7.5mmにおいて10回の曲げを加えたときの曲げ損失の関係を図7に示す。MFDが大きくなるにしたがって、曲げ損失は小さくなる。r=10mmの場合と同様に、曲げに強いことが要求される環境に用いるSMFとしては、MFDを極力小さくした設計を行うことが好ましい印象をうける。しかしながら、実施例1でも示したように、このような領域では、通常SMFとの接続損失が大きくなるという問題を持っている。

[0066] 図8は、式(1)の本発明の手法に基づき評価した全損失係数のMFD依存性を示している。 $\lambda_1 = 1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 1550\text{nm}$ 、曲げ半径 $r = 7.5\text{mm}$ 、 $\text{MFD}_2 = 9.2\mu\text{m}$ 、 $w_s = w_b = 0.5$ とした。図8によると、全損失係数Lは、 $\text{MFD}_1 = 6.8\mu\text{m}$ で最小となることがわかる。

[0067] そこで、従来の曲げ損失を指標とした設計で好ましいとされる $\text{MFD} = 6.3\mu\text{m}$ のSMF(サンプル4)と、本発明の手法により好ましいと評価される $\text{MFD} = 6.8\mu\text{m}$ のSMF(サンプル3)について、種々の状況でのロス変動を評価した。評価結果を表2に示す。

[0068] [表2]

評価条件番号	1	2	3	4	5	6	7	8	ロス 最大値 [dB]	ロス 変化値 [dB]
接続箇所	1	1	1	1	2	2	2	2		
曲げ回数	0	5	10	20	0	5	10	20		
サンプル3	0.40	0.45	0.50	0.60	0.80	0.85	0.90	1.00	1.00	0.60
サンプル4	0.75	0.75	0.75	0.75	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.75

[0069] サンプル3は、図1に示す $\Delta = 0.61\%$ 、 $r_1 = 3.17\mu\text{m}$ 、サンプル4は、 $\Delta = 0.71\%$ 、 $r_1 = 2.92\mu\text{m}$ である。いずれも、クラッド直径は $125\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長は 1260nm であった。

[0070] 本発明の手法を用いて作製したサンプル3のロスの上昇の最大値は、従来手法によるサンプル4と比べ約66%に抑制されている。また、想定した使用条件下におけるロス変化量も約80%に抑制されることが分かる。

2点の接続と曲げ半径 $r = 7.5\text{mm}$ 、10回の曲げを想定したときの全損失のMFD依存性を図9に示す。本発明の手法により決定された $6.8\mu\text{m}$ のMFD付近においてほぼ最低の全損失が得られることが分かる。

また、本発明の手法で決定される領域を用いれば、MFDのばらつきによる全損失の変化も小さく抑えることができる。例えば、本発明の手法により決定される $\text{MFD} = 6.8\mu\text{m}$ 付近では、MFDを $6.60 \sim 6.95\mu\text{m}$ の範囲に制御すれば、全損失の変化量を 0.2dB 程度に抑えることができる。しかしながら、従来手法の例において、全損失変化量を同程度に抑制しようとした場合、MFDのばらつきはほとんど認められないことになる。逆に、同程度のMFD変動を許容した場合、全損失変化量は 0.8dB 程度になり、本発明の手法を用いた場合の倍程度になってしまう。

[0071] 以上の例により、本発明の手法により設計したSMFは、曲げと接続による総合的な損失が小さく、さらに製造上不可避な光ファイバのMFDの変動を想定しても総合損失変動が非常に小さいことがわかる。このことは、本光ファイバの適用により、線路設計において過剰なマージンを与える必要がないことを意味し、効率的な設計が可能となる。

[0072] (実施例3)

本実施例は、図10に示す屈折率分布を用いて、半径 10mm までの曲げがSMF200に印加されると想定したときの最適特性について設計した例である。

図1、図10に示す屈折率分布を用いて、ケーブルカットオフ波長を 1260nm としたときの 1310nm におけるMFDと 1550nm における半径 10mm において10回の曲げを加えたときの曲げ損失の関係を図11に示す。図10の屈折率分布は、図1の屈折率分布に比べて、同一MFDにおける曲げ損失が小さくできることが分かる。しかしな

がら、MFDが大きくなるにしたがって、曲げ損失は小さくなる傾向は変わらない。従来の曲げ損失のみに着目した設計手法によると、MFDとしては、 $7.0\mu\text{m}$ が好ましい。

[0073] 図12は、式(1)の本発明の手法に基づき評価した全損失係数のMFD依存性を示している。 $\lambda_1=1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1550\text{nm}$ 、曲げ半径 $r=10\text{mm}$ 、 $\text{MFD}_2=9.2\mu\text{m}$ 、 $w_s=w_b=0.5$ とした。図12によると、全損失係数 L は、 $\text{MFD}_1=8.2\mu\text{m}$ で最小となることがわかる。

[0074] そこで、従来の曲げ損失を指標とした設計で好ましいとされる $\text{MFD}=7.0\mu\text{m}$ のS MF (サンプル6)と、本発明の手法により好ましいと評価される $\text{MFD}=8.2\mu\text{m}$ のS MF (サンプル5)について、種々の状況でのロス変動を評価した。評価結果を、実施例1で示した図1の屈折率分布におけるサンプル1, 2の評価結果も併せて、表3に示す。

[0075] [表3]

評価条件番号	1	2	3	4	5	6	7	8	ロス 最大値	ロス 変化値
接続箇所	1	1	1	1	2	2	2	2	[dB]	[dB]
曲げ回数	0	5	10	20	0	5	10	20		
サンプル5	0.07	0.13	0.18	0.30	0.14	0.20	0.25	0.37	0.37	0.30
サンプル6	0.33	0.33	0.34	0.34	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.34
サンプル1	0.33	0.36	0.39	0.45	0.66	0.69	0.72	0.78	0.78	0.45
サンプル2	0.53	0.53	0.53	0.54	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	0.54

[0076] サンプル5は、図10に示す $\Delta_1=0.40\%$ 、 $\Delta_2=0.0\%$ 、 $\Delta_3=-0.25\%$ 、 $r_1=3.56\mu\text{m}$ 、 $r_2=11.75\mu\text{m}$ 、 $r_3=17.80\mu\text{m}$ 、サンプル6は、 $\Delta_1=0.54\%$ 、 $\Delta_2=0.0\%$ 、 $\Delta_3=-0.25\%$ 、 $r_1=3.03\mu\text{m}$ 、 $r_2=10.00\mu\text{m}$ 、 $r_3=15.15\mu\text{m}$ である。いずれも、クラッド直径は $125\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長は 1260nm であった。

[0077] サンプル5のロス最大値、ロス変化量は、単峰屈折率分布に対して本発明の手法を適用した実施例1(サンプル1)よりも低い値を示している。これは、図12の全損失係数MFD依存性からも予想される結果であり、屈折率分布の改善によりもたらされた効果である。しかしながら、トレンチ型の屈折率分布に対して本発明の手法を適用して作製したサンプル5のロス最大値は、従来手法によるサンプル6と比べ約55%程

度に抑制されている。また、想定した使用条件下におけるロス変化量は10%以上改善されている。単峰型の従来設計手法(サンプル2)と比べると、33~65%程度改善されていることが分かる。

2点の接続と曲げ半径 $r=10\text{mm}$ 、10回の曲げを想定したときの全損失のMFD依存性を図13に示す。本発明の手法により決定された $8.2\mu\text{m}$ のMFD付近においてほぼ最低の全損失が得られることが分かる。

また、本実施例においても、本発明の手法で決定される領域を用いれば、MFDのばらつきによる全損失の変化も小さく抑えることができる。 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 程度のMFD変動を想定しても、全損失の変化量は 0.05dB 以下と非常に小さい。従来の設計手法のサンプル6において、同程度のMFD変動を想定した場合、 0.5dB 程度のロス変動が見込まれる。

[0078] 以上の例により、本発明の手法により設計したSMFは、曲げと接続による総合的な損失が小さく、さらに製造上不可避な光ファイバのMFDの変動を想定しても総合損失変動が非常に小さいことがわかる。このことは、本光ファイバの適用により、線路設計において過剰なマージンを与える必要がないことを意味し、効率的な設計が可能となる。

[0079] (実施例4)

本実施例は、図10に示す屈折率分布を用いて、半径 7.5mm までの曲げがSMF 200に印加されると想定したときの最適特性について設計した例である。

図1、図10に示す屈折率分布を用いて、ケーブルカットオフ波長を 1260nm としたときの 1310nm におけるMFDと 1550nm における半径 7.5mm において10回の曲げを加えたときの曲げ損失の関係を図14に示す。図10の屈折率分布は、図1の屈折率分布に比べて、同一MFDにおける曲げ損失が小さくできることが分かる。しかしながら、MFDが大きくなるにしたがって、曲げ損失は小さくなる傾向は変わらない。従来の曲げ損失のみに着目した設計手法によると、MFDとしては、 $6.8\mu\text{m}$ が好ましい。

[0080] 図15は、式(1)の本発明の手法に基づき評価した全損失係数のMFD依存性を示している。 $\lambda_1=1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1550\text{nm}$ 、曲げ半径 $r=7.5\text{mm}$ 、 $\text{MFD}_2=9.2\mu\text{m}$

$m, w_s = w_b = 0.5$ とした。図15によると、全損失係数 L は、 $MFD_1 = 8.2 \mu m$ で最小となることがわかる。

[0081] そこで、従来の曲げ損失を指標とした設計で好ましいとされる $MFD = 6.8 \mu m$ のS MF (サンプル8)と、本発明の手法により好ましいと評価される $MFD = 7.2 \mu m$ のS MF (サンプル7)について、種々の状況でのロス変動を評価した。評価結果を、実施例2で示した図1の屈折率分布におけるサンプル3, 4の評価結果も併せて、表4に示す。

[0082] [表4]

評価条件番号	1	2	3	4	5	6	7	8	ロス 最大値 [dB]	ロス 変化値 [dB]
接続箇所	1	1	1	1	2	2	2	2		
曲げ回数	0	5	10	20	0	5	10	20	0.72	0.46
サンプル7	0.26	0.31	0.36	0.46	0.52	0.57	0.62	0.72		
サンプル8	0.42	0.43	0.44	0.45	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.46
サンプル3	0.40	0.45	0.50	0.60	0.80	0.85	0.90	1.00	1.00	0.60
サンプル4	0.75	0.75	0.75	0.75	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.75

[0083] サンプル7は、図10に示す $\Delta_1 = 0.52\%$ 、 $\Delta_2 = 0.0\%$ 、 $\Delta_3 = -0.25\%$ 、 $r_1 = 3.10 \mu m$ 、 $r_2 = 10.23 \mu m$ 、 $r_3 = 15.50 \mu m$ 、サンプル8は、 $\Delta_1 = 0.57\%$ 、 $\Delta_2 = 0.0\%$ 、 $\Delta_3 = -0.25\%$ 、 $r_1 = 2.94 \mu m$ 、 $r_2 = 9.70 \mu m$ 、 $r_3 = 14.70 \mu m$ である。いずれも、クラッド直径は $125 \mu m$ 、ケーブルカットオフ波長は $1260 nm$ であった。

[0084] サンプル7のロス最大値、ロス変化量は、単峰屈折率分布に対して本発明の手法を適用した実施例2(サンプル3)よりも低い値を示している。これは、屈折率分布の改善によりもたらされた効果である。図10に示すトレンチ型の屈折率分布に対して本発明の手法を適用して作製したサンプル7は、想定した使用条件下におけるロス変化量は従来手法によるサンプル8と同等であるが、ロス最大値は約82%程度に抑制されている。図1の単峰型の従来設計手法(サンプル4)と比べると、ロスの最大値、変化量は半分程度に抑制されていることが分かる。

2点の接続と曲げ半径 $r = 7.5 mm$ 、10回の曲げを想定したときの全損失のMFD依存性を図16に示す。本発明の手法により決定された $7.2 \mu m$ のMFD付近においてほぼ最低の全損失が得られることが分かる。

また、本実施例においても、本発明の手法で決定される領域を用いれば、MFDのばらつきによる全損失の変化も小さく抑えることができる。 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 程度のMFD変動を想定すると、全損失の変化量は0.13dB程度である。従来の設計領域において、同程度のロス変動に抑えるためには、MFDの変化は $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 程度しか許容されない。 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ のMFD変動を想定した場合、0.6dB程度のロス変動が見込まれる。

[0085] 以上の例により、本発明の手法により設計したSMFは、曲げと接続による総合的な損失が小さく、さらに製造上不可避な光ファイバのMFDの変動を想定しても総合損失変動が非常に小さいことがわかる。このことは、本光ファイバの適用により、線路設計において過剰なマージンを与える必要がないことを意味し、効率的な設計が可能となる。

[0086] なお、前述した各実施例では、MFDの評価波長として1310nm、曲げ損失の評価波長として1550nmを用いたが、この波長についても特に実施例により限定されるものではない。前述した各実施例では、ITU-T G.652との対比を行うために、波長1310nmのMFDを用いた。また、波長1550nmは、現在一般に光通信に用いられる波長では長波長側に属する。光ファイバの曲げ損失は、長波長側ほど悪くなる傾向があるため、曲げ損失の評価波長として1550nmを用いた。

また、前述した各実施例では、接続損失の評価として、式(1)から算出される計算値を用いた。融着接続、メカニカルスプライス、コネクタ接続などによる接続損失の測定値を用いることにより、SMFの最適化を更に精度良く行うことができる。

さらに前述した各実施例では、クラッド直径を $125 \mu\text{m}$ としたが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、5mm以下の曲げを許容するには、信頼性確保の観点からクラッド直径を細径化することが望ましい。必要に応じて、60～100 μm のクラッド直径を選択することが望ましい。

請求の範囲

- [1] 第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフィールド径 MFD_1 (μm) を持ち、
 第2の波長 λ_2 (μm) で測定され、曲げ半径 r (mm) で巻いたときの曲げ損失が1回
 あたり L_b (dB) であり、
 第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフィールド径 MFD_2 (μm) を持つ光フ
 ァイバとの接続損失が前記第2の波長 λ_2 (μm) において接続箇所1点あたり L_s (dB
) であり、
 次式(1)で算出される全損失係数 L のモードフィールド径依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$
 の範囲内で極小値となるシングルモード光ファイバ。
- $$L = w_s \cdot L_s + w_b \cdot L_b \quad \cdots (1)$$
- $$w_s + w_b = 1 \quad \cdots (2)$$
- $$w_s > 0, w_b > 0 \quad \cdots (3) \text{ (式(1)中、} w_s \text{ と } w_b \text{ は無次元の重み係数であり、前記式(} \\ 2) \text{ 及び式(3)を満たす範囲で設定される。)}$$
- [2] 第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフィールド径 MFD_1 (μm) を持ち、
 第2の波長 λ_2 (μm) で測定され、曲げ半径 r (mm) で巻いたときの曲げ損失が1回
 あたり L_b (dB)、曲げ回数が t_b であり、第1の波長 λ_1 (μm) において所定のモードフ
 ィールド径 MFD_2 (μm) を持つ光ファイバとの接続損失が前記第2の波長 λ_2 (μm)
 において接続箇所1点あたり L_s (dB)、接続箇所が n_s 箇所であり、
 次式(4)で算出される全損失係数 L のモードフィールド径依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$
 の範囲内で極小値となるシングルモード光ファイバ。
- $$L = n_s \cdot L_s + t_b \cdot L_b \quad \cdots (4) \text{ (但し、} n_s > 0, t_b > 0 \text{ である。)}$$
- [3] 前記接続損失 L_s が0.5dB以下である請求項1又は2に記載のシングルモード光フ
 ァイバ。
- [4] 曲げ半径 r が15mm未満である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ
 。
- [5] 前記曲げ半径 $r = 10\text{mm}$ 、前記第2の波長 $\lambda_2 = 1550\text{nm}$ において前記曲げ損失
 L_b が0.05dB以下である請求項4に記載のシングルモード光ファイバ。
- [6] 前記曲げ半径 $r = 7.5\text{mm}$ 、前記第2の波長 $\lambda_2 = 1550\text{nm}$ において前記曲げ損

失 L_b が0.05dB以下である請求項4に記載のシングルモード光ファイバ。

- [7] 半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コアと、該中心コアを取り囲むほぼ一定の屈折率 n_c を持つクラッドとを備え、 $n_1 > n_c$ である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [8] 半径 r_1 、屈折率 n_1 を持つ中心コアと、該中心コアの外周に設けられ、半径 r_2 、屈折率 n_2 を持つ内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、半径 r_3 、屈折率 n_3 を持つトレレンチと、該トレレンチの外周に設けられ、半径 r_c 、屈折率 n_c を持つ外側クラッドとを備え、 $n_1 > n_c > n_3$ 、 $n_1 > n_2 > n_3$ である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [9] 前記第1の波長 $\lambda_1 = 1310\text{nm}$ であり、前記モードフィールド径 MFD_2 が国際規格ITU-T G. 652の仕様を満足する範囲にある請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [10] 前記接続損失がそれぞれの光ファイバをメカニカルスプライス接続して測定された接続損失である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [11] 前記接続損失がそれぞれの光ファイバを融着接続して測定された接続損失である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [12] 前記接続損失がそれぞれの光ファイバをコネクタ接続して測定された接続損失である請求項1又は2に記載のシングルモード光ファイバ。
- [13] 前記クラッドの直径が $125\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 以内である請求項7に記載のシングルモード光ファイバ。
- [14] 前記クラッドの直径の中心値が $60\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ の範囲である請求項7に記載のシングルモード光ファイバ。
- [15] 前記クラッドの直径が $125\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 以内である請求項8に記載のシングルモード光ファイバ。
- [16] 前記クラッドの直径の中心値が $60\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ の範囲である請求項8に記載のシングルモード光ファイバ。
- [17] 第1の波長 $\lambda_1 (\mu\text{m})$ において所定のモードフィールド径 $\text{MFD}_1 (\mu\text{m})$ を持ち、第2の波長 $\lambda_2 (\mu\text{m})$ で測定され、曲げ半径 $r(\text{mm})$ で巻いたときの曲げ損失が1回

あたり L_b (dB)であり、

第1の波長 λ_1 (μm)において所定のモードフィールド径 MFD_{2i} (μm)を持つ光ファイバとの接続損失が前記第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_{si} (dB)であり、

次式(A)で算出される全損失係数 L のモードフィールド径依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるシングルモード光ファイバ。

[数1]

$$\begin{aligned} L &= \sum_i^n w_{si} \cdot L_{si} + w_b \cdot L_b \\ \sum_{i=1}^n w_{si} + w_b &= 1 \\ w_{si} > 0, w_b > 0 \end{aligned} \quad \dots (A)$$

(式中、 n は前記シングルモード光ファイバと接続される光ファイバの数、 w_{si} は無次元の重み係数、 L_{si} は前記シングルモード光ファイバと i 番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)

- [18] 第1の波長 λ_1 (μm)において所定のモードフィールド径 MFD_1 (μm)を持ち、
第2の波長 λ_2 (μm)で測定され、曲げ半径 r (mm)で巻いたときの曲げ損失が1回あたり L_b (dB)、曲げ回数が t_b であり、第1の波長 λ_1 (μm)において前記所定のモードフィールド径 MFD_{2i} (μm)を持つ光ファイバとの接続損失が前記第2の波長 λ_2 (μm)において接続箇所1点あたり L_{si} (dB)、接続箇所が n_{si} 箇所であり、

次式(B)で算出される全損失係数 L のモードフィールド径依存性が $\text{MFD}_1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内で極小値となるシングルモード光ファイバ。

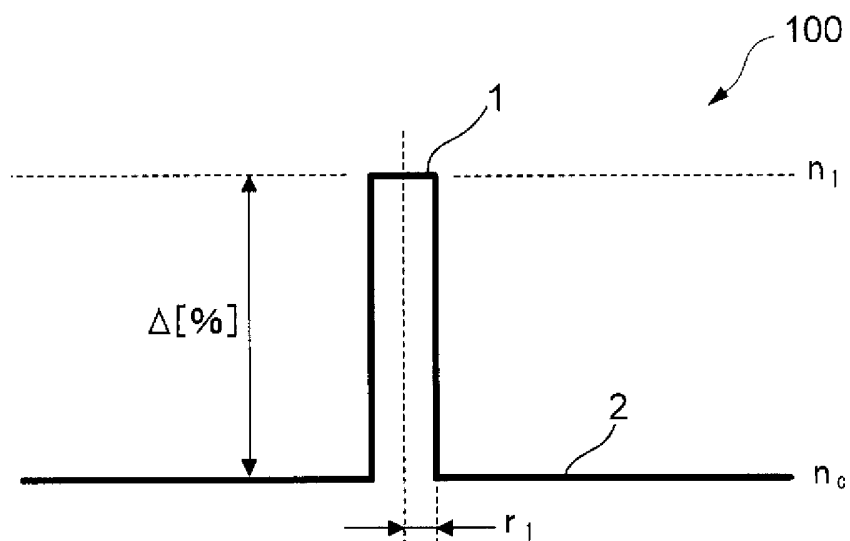
[数2]

$$L = \sum_{i=1}^n n_{si} \cdot L_{si} + t_b \cdot L_b \quad \dots (B)$$

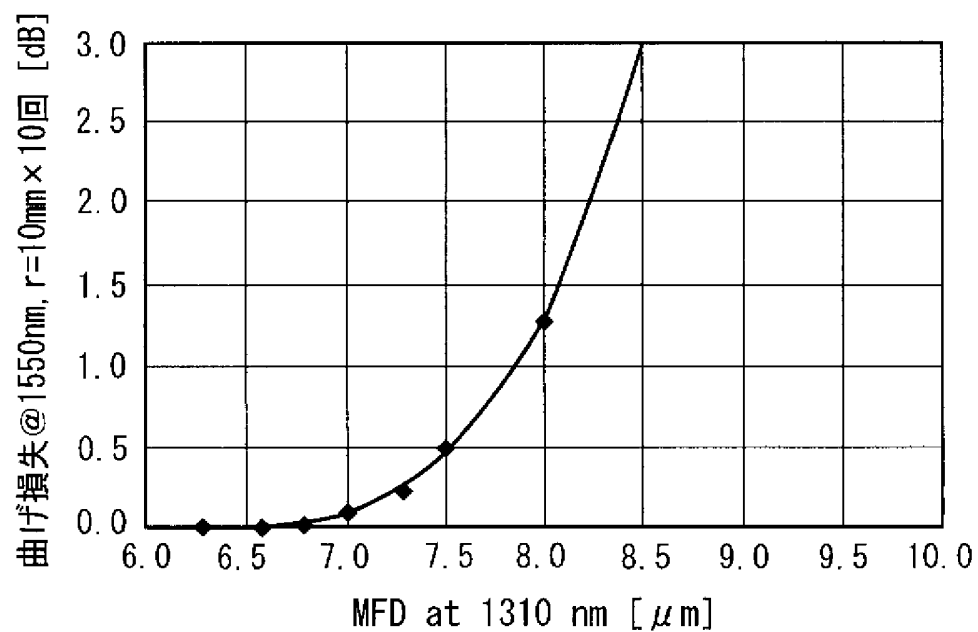
(式中、 n は前記シングルモード光ファイバと接続される光ファイバの数、 n_{si} は前記シングルモード光ファイバと i 番目の光ファイバの接続回数、 L_{si} は前記シングルモード光ファイバと i 番目の光ファイバの接続損失(dB)を表す。)

- [19] 前記接続損失 L_{si} が0.1dB以下である請求項17又は18に記載のシングルモード光ファイバ。
- [20] 前記 MFD_1 が $\pm 0.3\mu m$ 変動したときの前記全損失係数 L の変動量が0.4dB以下である請求項17又は18に記載のシングルモード光ファイバ。
- [21] MFD_1 が $\pm 0.3\mu m$ 変動したときの前記全損失係数 L の変動量が0.2dB以下である請求項20に記載のシングルモード光ファイバ。

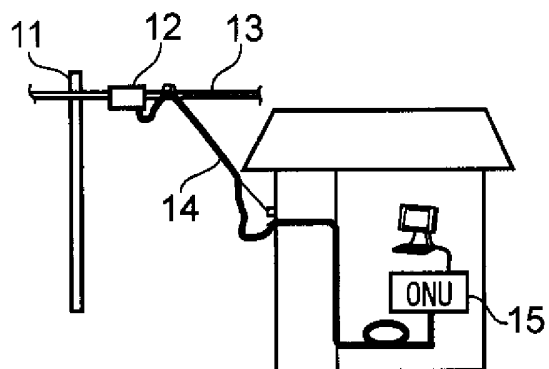
[図1]



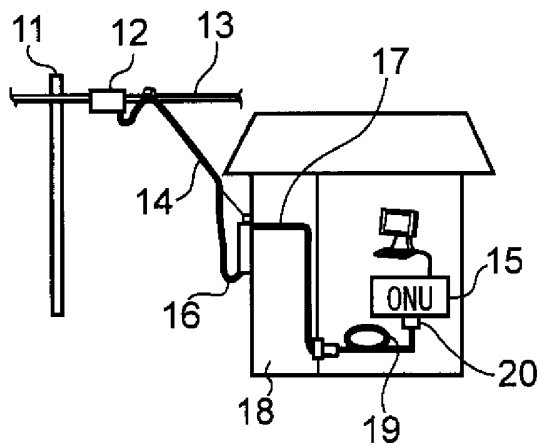
[図2]



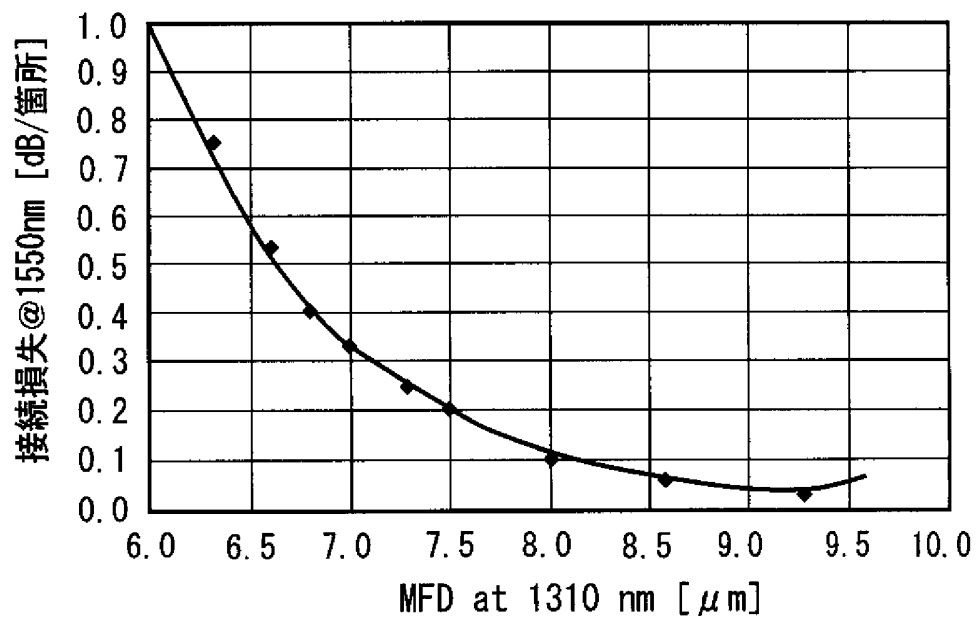
[図3A]



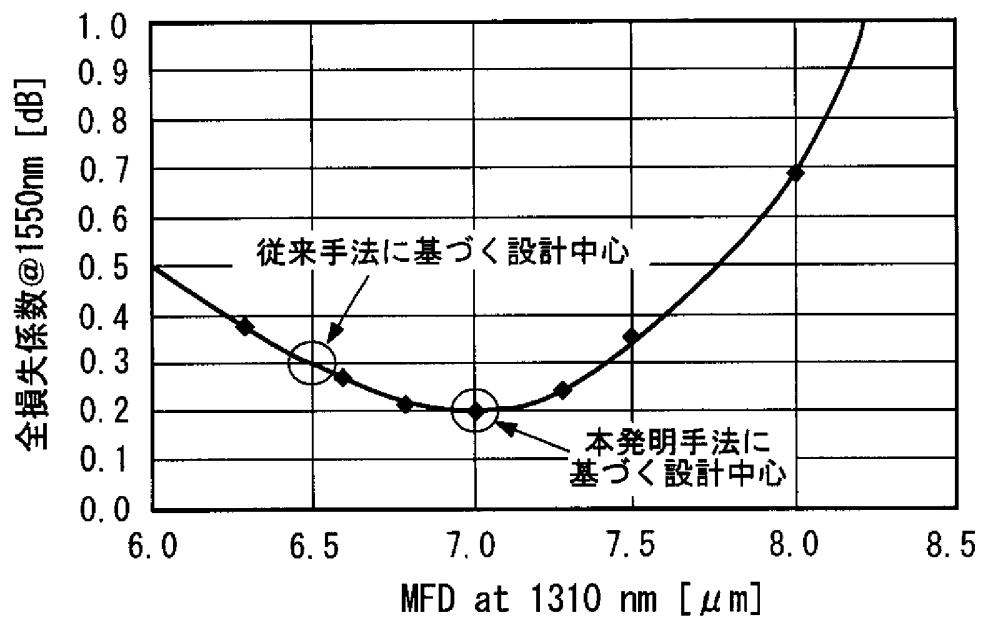
[図3B]



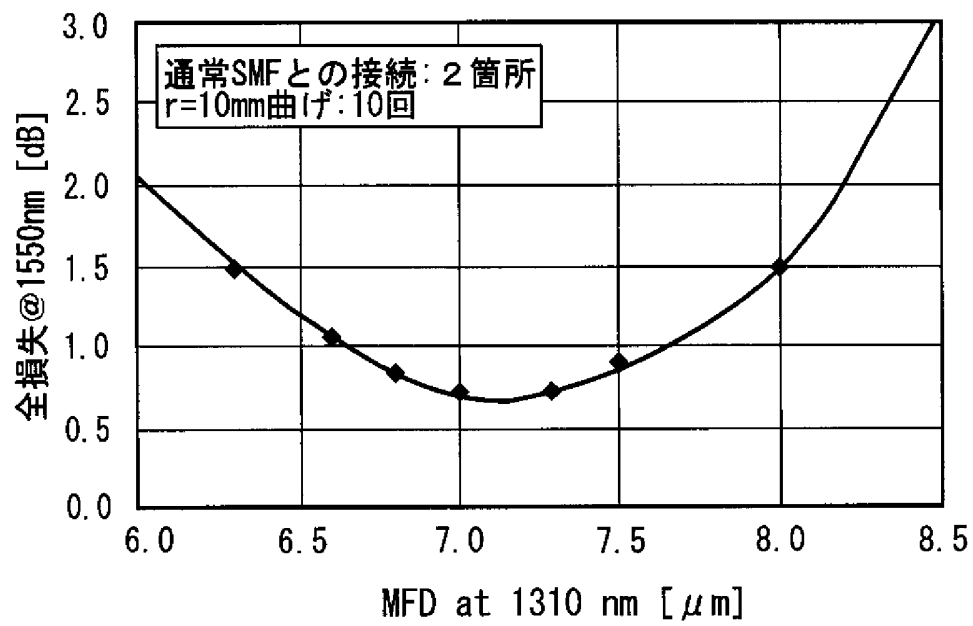
[図4]



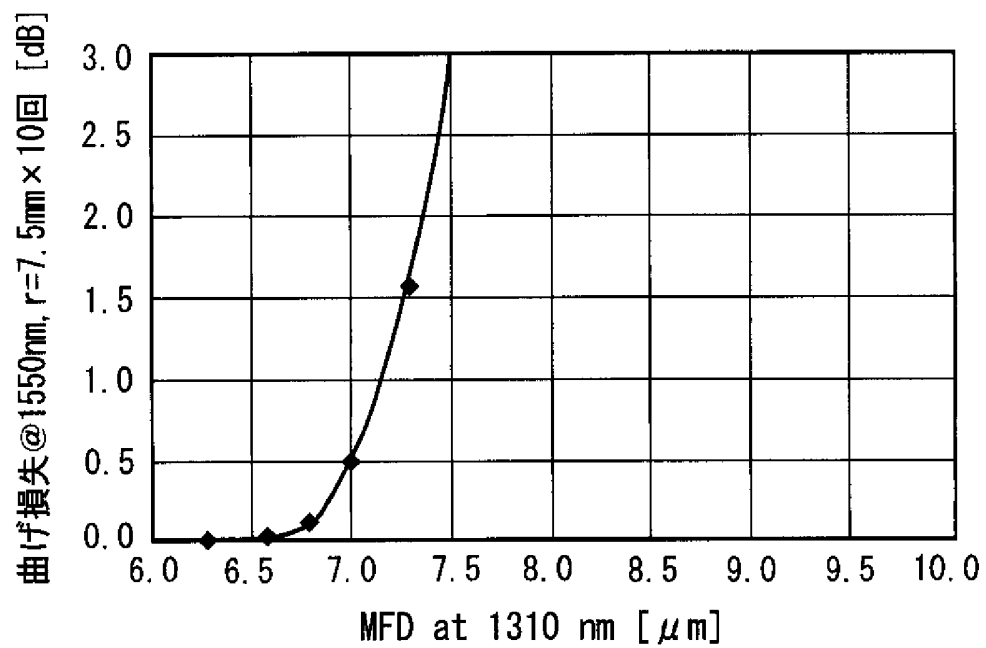
[図5]



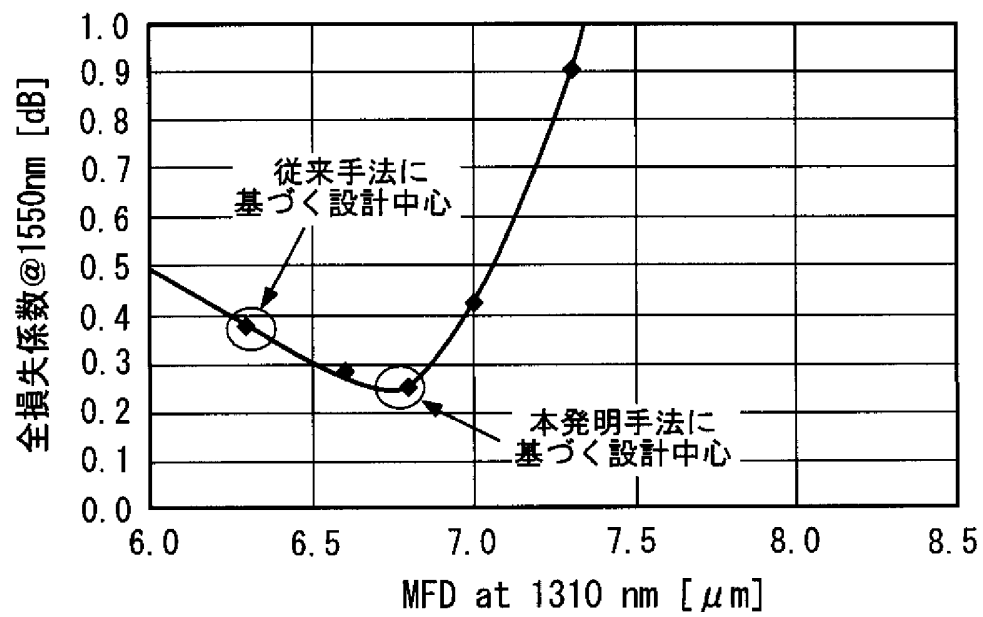
[図6]



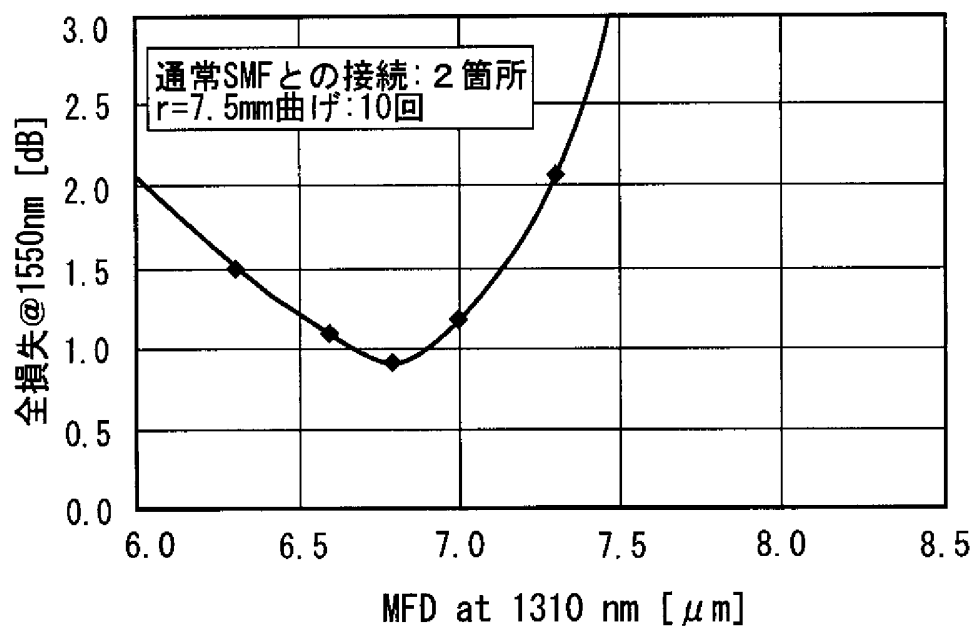
[図7]



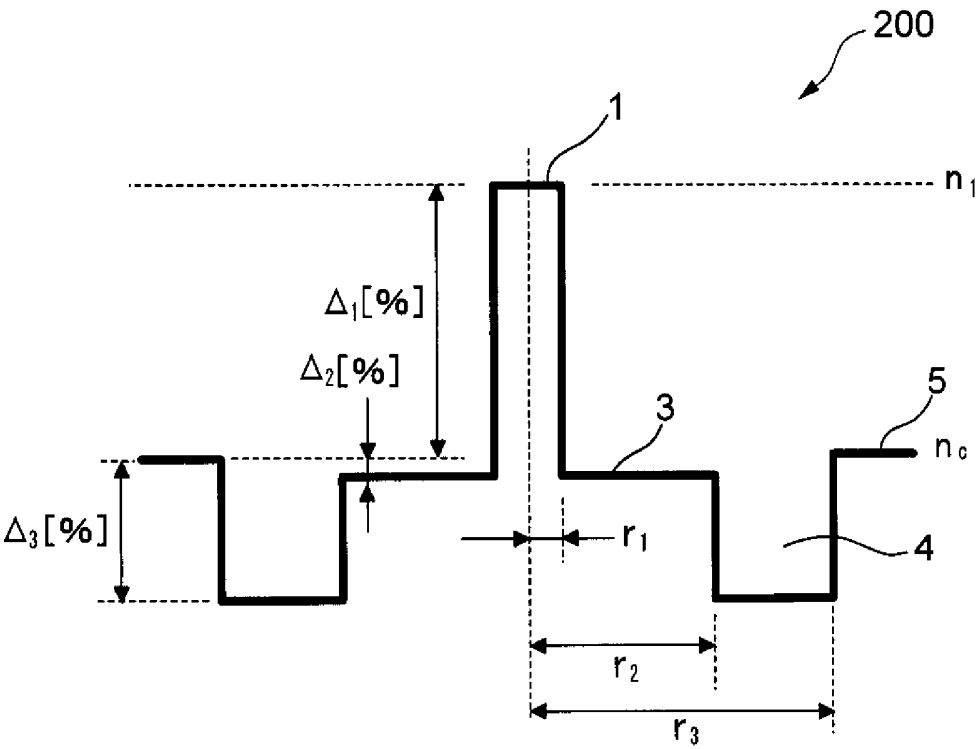
[図8]



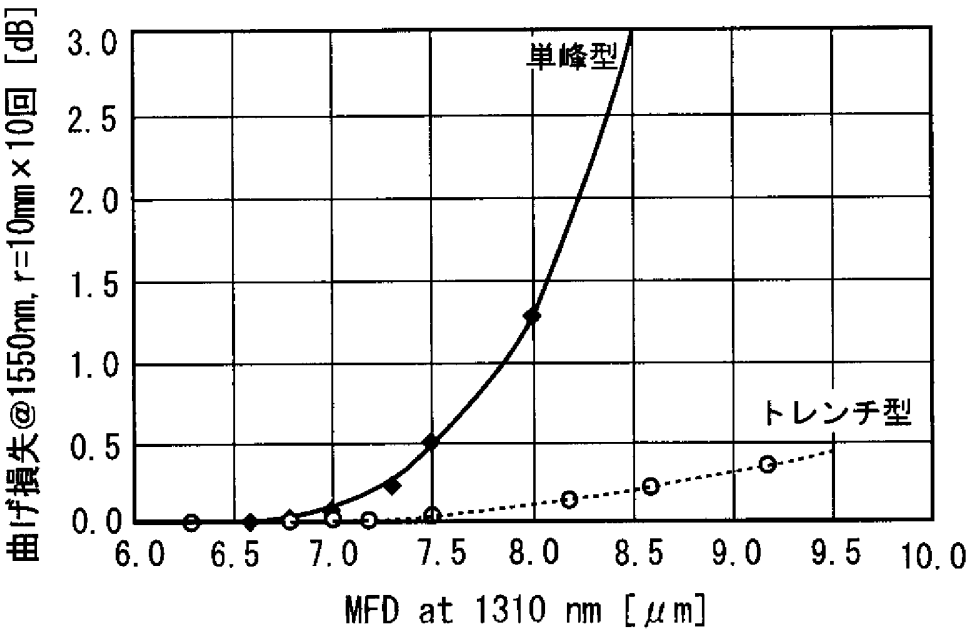
[図9]



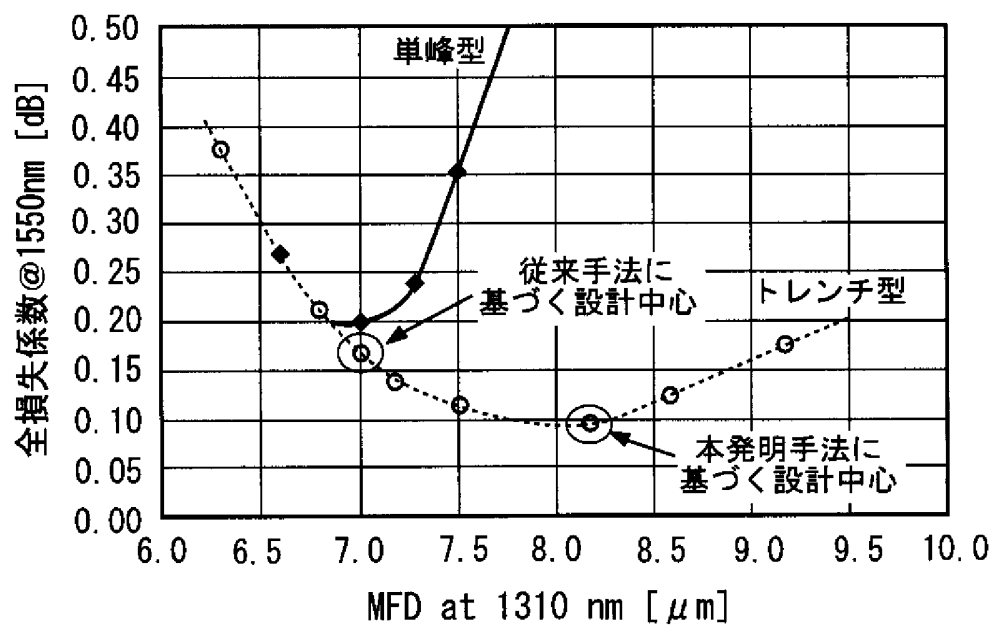
[図10]



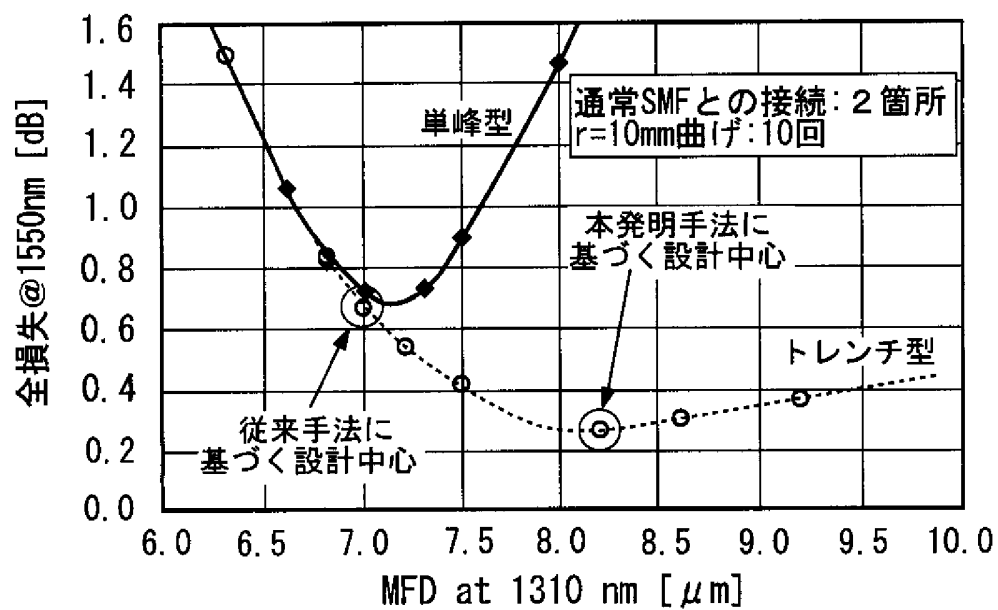
[図11]



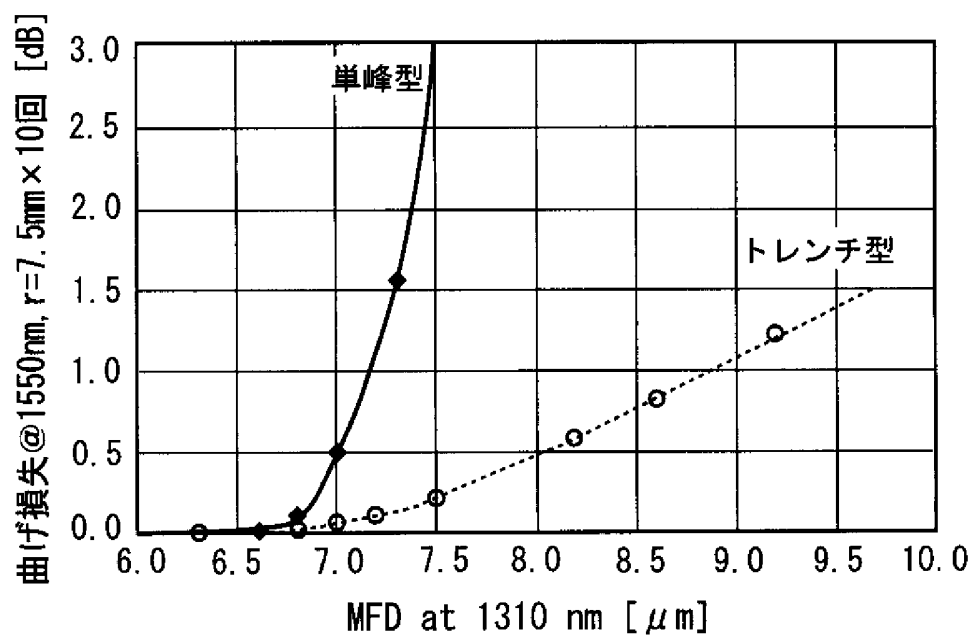
[図12]



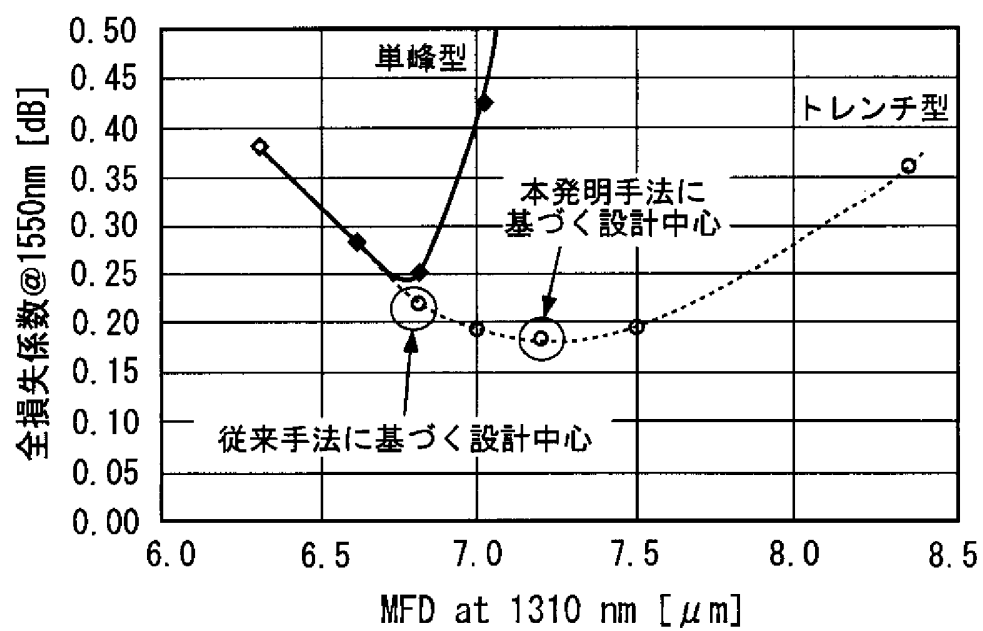
[図13]



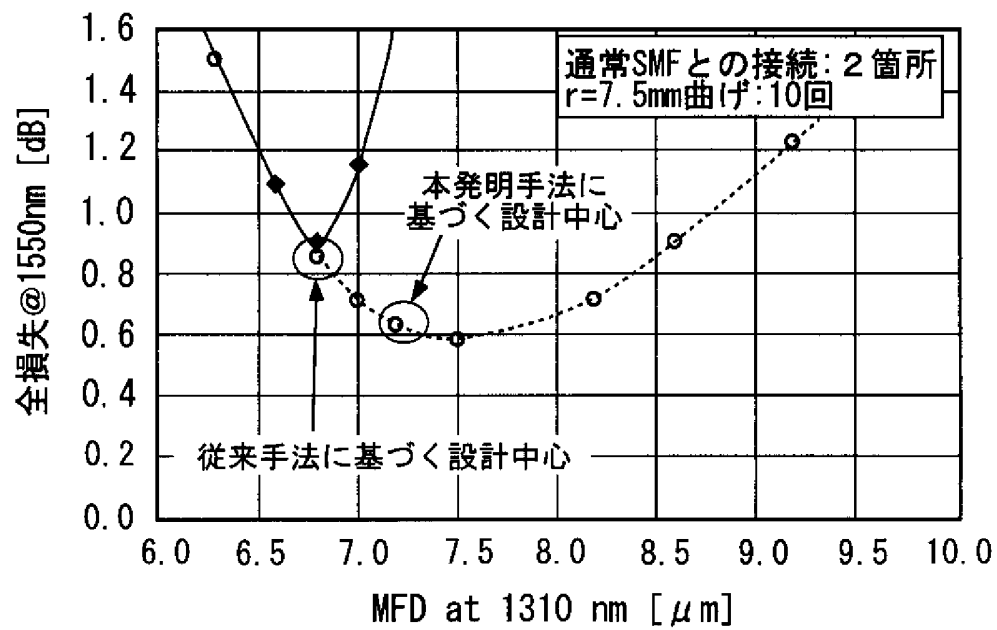
[図14]



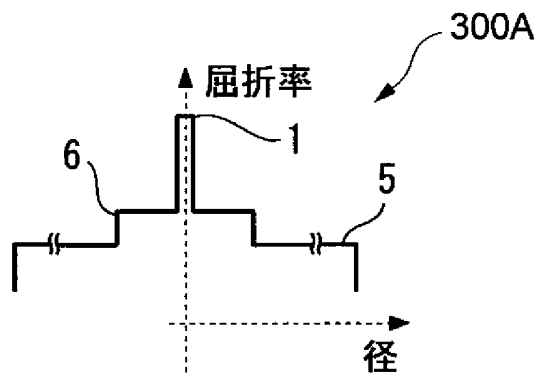
[図15]



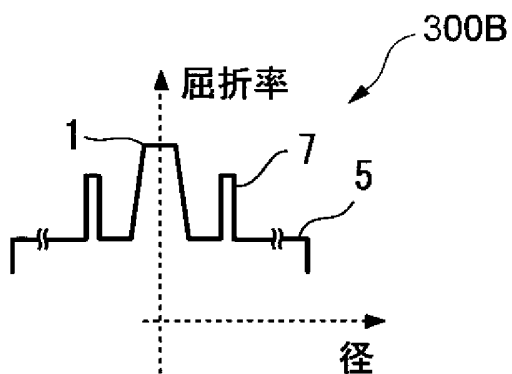
[図16]



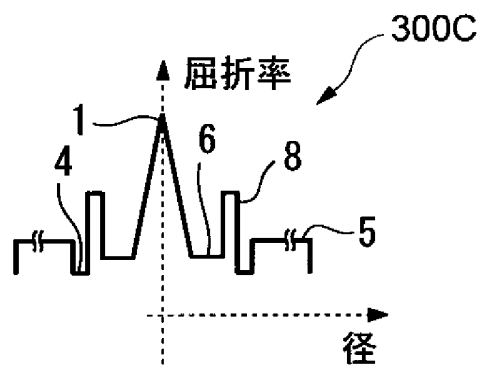
[図17A]



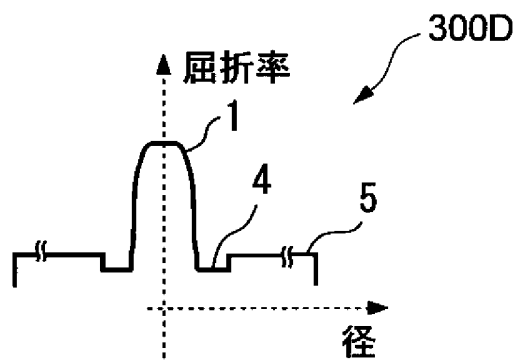
[図17B]



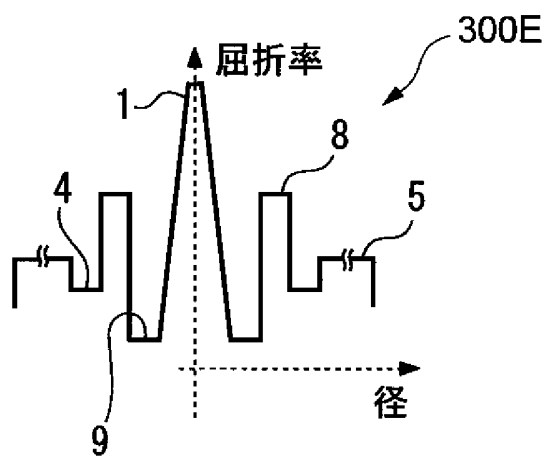
[図17C]



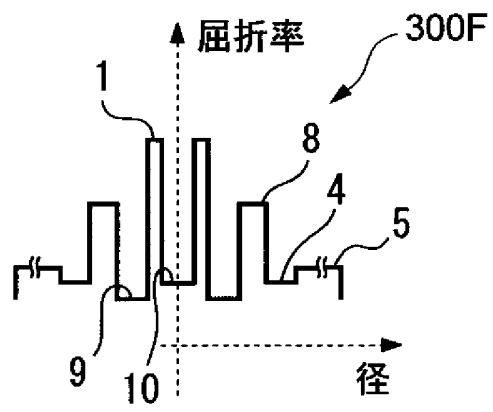
[図17D]



[図17E]



[図17F]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014560

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/02 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B6/02 (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MATSUO, S. et al., "Bend-insensitive and low-splice-loss optical fiber for indoor wiring in FTTH", Optical Fiber Communication Conference, 2004 (OFC 2004), 26 February, 2004 (26.02.04), ThI3	1-21
X	Masataka IKEDA et al., "Setsuzoku Sonshitsu o Teigen shita Teimage Sonshitsu Hikari Fiber", Fujikura Giho, 31 October, 2003 (31.10.03), No.105, pages 6 to 10	1-21
X	Masataka IKEDA et al., "Setsuzoku Sonshitsu Teigengata Teimage Sonshitsu Hikari Fiber", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 21 August, 2003 (21.08.03), Vol.103, No.257(OFT2003 19-36), pages 35 to 40	1-21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 November, 2005 (01.11.05)

Date of mailing of the international search report

15 November, 2005 (15.11.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014560

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Masataka IKEDA et al., "Setsuzoku Sonshitsu Teigengata Teimage Sonshitsu Hikari Fiber", Proceedings of the IEICE Conference, 08 March, 2004 (08.03.04), Tsushin 2, page 372 (B-10-1)	1-21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B6/02 (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B6/02 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus(JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	MATSUO, S. et al., "Bend-insensitive and low-splice-loss optical fiber for indoor wiring in FTTH", Optical Fiber Communication Conference, 2004 (OFC 2004), 2004.02.26, ThI3	1-21
X	池田真挙ほか、「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、2003.10.31、No.105、第6-10頁	1-21

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.11.2005

国際調査報告の発送日

15.11.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

後藤 昌夫

2X

3103

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	池田真挙ほか、「接続損失低減型低曲げ損失光ファイバ」、電子情報通信学会技術研究報告、2003.08.21、Vol.103、No.257 (OFT2003 19-36)、第 35-40 頁	1-21
X	池田真挙ほか、「接続損失低減型低曲げ損失光ファイバ」、電子情報通信学会大会講演論文集、2004.03.08、通信 2、第 372 頁 (B-10-1)	1-21