

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-37936

(P2005-37936A)

(43) 公開日 平成17年2月10日(2005.2.10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G02B 6/44

F I

G02B 6/44 3 7 1

G02B 6/44 3 3 6

テーマコード (参考)

2H001

2H050

審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2004-191199 (P2004-191199)  
 (22) 出願日 平成16年6月29日 (2004.6.29)  
 (31) 優先権主張番号 特願2003-189779 (P2003-189779)  
 (32) 優先日 平成15年7月1日 (2003.7.1)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000002130  
 住友電気工業株式会社  
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
 (74) 代理人 100116182  
 弁理士 内藤 照雄  
 (74) 代理人 100099195  
 弁理士 宮越 典明  
 (72) 発明者 石川 弘樹  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内  
 (72) 発明者 丹治 久  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

最終頁に続く

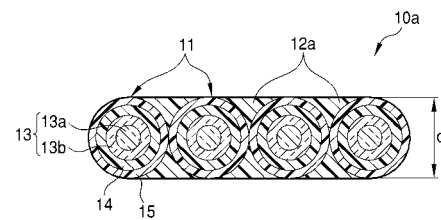
(54) 【発明の名称】 光ファイバケーブル

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバケーブルに収容された光ファイバテープ心線の間後分岐を容易に行うことができる光ファイバケーブルを提供する。

【解決手段】 本発明の光ファイバケーブル1は、長尺状のスペーサ3に形成された溝4の内側に複数の光ファイバテープ心線10が積層されて収容されており、その光ファイバテープ心線10は、光ファイバ11が4本並列され、これらの4本の光ファイバ11の全長及び並列した状態の全周が樹脂の外被12により覆われて一体化されており、光ファイバテープ心線10の厚さの最大値をT (μm)、光ファイバ11の外径をd (μm) としたときに、 $T \leq d + 40$  (μm) である。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

中心に抗張力体を有する略円柱状のプラスチック製長尺体の外周面上に略螺旋状の溝が施されたスペーサの、前記溝の内側に、1枚または複数枚の光ファイバテープ心線が積層されて収容された光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、光ファイバが複数本並列され、これらの複数本の前記光ファイバの全長が樹脂により一体化されており、前記光ファイバテープ心線の厚さの最大値を  $T$  ( $\mu\text{m}$ )、前記光ファイバの外径を  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) としたときに、 $T \leq d + 40$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2】

10

中心に抗張力体を有する略円柱状のプラスチック製長尺体の外周面上に略螺旋状の溝が施されたスペーサの、前記溝の内側に、1枚または複数枚の光ファイバテープ心線が積層されて収容された光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、光ファイバが複数本並列され、これらの複数本の前記光ファイバの全長及び並列した状態の全周が樹脂により覆われて一体化されており、前記光ファイバテープ心線の厚さの最大値を  $T$  ( $\mu\text{m}$ )、前記光ファイバの外径を  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) としたときに、 $T \leq d + 40$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、隣接した前記光ファイバ同士が互いに接触して配置されていることを特徴とする光ファイバケーブル。 20

## 【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、隣接した少なくとも 2 本の前記光ファイバ同士が、互いに接触しておらず、かつ、 $10$  ( $\mu\text{m}$ ) 以下の間隔を有して配置されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、 $T \geq d + 1$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。 30

## 【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線の前記樹脂には、隣接する前記光ファイバの間の窪みに応じた凹部が形成されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、 $T \leq d + 30$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 8】

請求項 6 または請求項 7 に記載の光ファイバケーブルであって、 40

前記光ファイバテープ心線は、前記凹部の深さを  $Y$  ( $\mu\text{m}$ ) としたときに、 $(T - d) / 2Y \leq 4.0$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 9】

請求項 8 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、前記凹部における前記光ファイバテープ心線の厚さを  $g$  ( $\mu\text{m}$ ) としたときに、 $g \leq d$  であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 10】

請求項 9 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、 $g \leq 0.8d$  であることを特徴とする光ファイバケーブル。 50

## 【請求項 1 1】

請求項 6 から請求項 1 0 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線に含まれる前記光ファイバの並列ピッチを  $P$  ( $\mu\text{m}$ )、前記光ファイバテープ心線に含まれる前記光ファイバの数の  $1/2$  以下である 0 を含む自然数を  $m$  としたときに、複数枚の前記光ファイバテープ心線が、隣接した光ファイバテープ心線に対して、前記光ファイバテープ心線の幅方向に  $mP + P/2$  ( $\mu\text{m}$ ) だけずれて積層されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記  $m$  が 0 であることを特徴とする光ファイバケーブル。

10

## 【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の光ファイバケーブルであって、

複数枚の前記光ファイバテープ心線が、隣接した前記光ファイバテープ心線に対して幅方向に順次交互にずれて積層されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 1 4】

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、 $T \leq d + 25$  ( $\mu\text{m}$ ) であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 1 5】

請求項 1 から請求項 1 4 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、その横断面内における、隣接する 2 本の前記光ファイバの各中心を結ぶ直線に垂直で、かつ前記 2 本の光ファイバの各中心をそれぞれ通る 2 本の直線で区画される内側の領域で、ヤング率を  $E$ 、断面積を  $S$  としたときに、前記光ファイバの  $ES$  積の和に対する、前記樹脂の  $ES$  積の比が、0.026 以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

20

## 【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、その横断面内における、隣接する 2 本の前記光ファイバの各中心を結ぶ直線に垂直で、かつ前記 2 本の光ファイバの各中心をそれぞれ通る 2 本の直線で区画される内側の領域で、前記光ファイバの  $ES$  積の和に対する、前記樹脂の  $ES$  積の比が、0.020 以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

30

## 【請求項 1 7】

請求項 1 から請求項 1 6 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、前記光ファイバ 1 本あたりの前記光ファイバと前記樹脂との密着力が 0.025 (gf) から 0.25 (gf) の範囲内であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 1 8】

請求項 1 から請求項 1 7 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、前記樹脂の降伏点応力が 20 (MPa) から 45 (MPa) の範囲内であることを特徴とする光ファイバケーブル。

40

## 【請求項 1 9】

請求項 1 から請求項 1 8 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、

前記溝は、前記スペーサの長尺方向に沿って一方向の螺旋状に形成されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の光ファイバケーブルであって、

収容された全ての前記光ファイバにおける、波長 1.26 ( $\mu\text{m}$ ) から 1.65 ( $\mu\text{m}$ ) の範囲内の何れかの波長のリンク偏波モード分散が、0.05 ( $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ ) 以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

50

## 【請求項 2 1】

請求項 1 から請求項 1 8 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記溝は、前記スペーサの長尺方向に沿って交互に反転した螺旋状に形成されていることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の光ファイバケーブルであって、  
収容された全ての前記光ファイバにおける、波長  $1.26 (\mu\text{m})$  から  $1.65 (\mu\text{m})$  の範囲内の何れかの波長のリンク偏波モード分散が、 $0.2 (\text{ps}/\text{km}^{1/2})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 3】

請求項 2 1 に記載の光ファイバケーブルであって、  
収容された全ての前記光ファイバにおける、波長  $1.26 (\mu\text{m})$  から  $1.65 (\mu\text{m})$  の範囲内の何れかの波長のリンク偏波モード分散が、 $0.1 (\text{ps}/\text{km}^{1/2})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 4】

請求項 2 1 に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記溝の内側に、複数枚の前記光ファイバテープ心線が、隣接した前記光ファイバテープ心線に対して幅方向に前記光ファイバの並列ピッチの半分の長さだけ順次交互にずれて積層されており、

前記光ファイバテープ心線の前記樹脂には、隣接する前記光ファイバの間の窪みに応じた凹部が形成されており、

前記溝は、断面視において、積層された前記光ファイバテープ心線からなるテープ心線積層体の外接円を内包する大きさであることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 5】

請求項 2 4 に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記溝の断面が略台形であり、溝の底部における溝幅が、収容した前記光ファイバテープ心線の幅以上であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 6】

請求項 2 4 に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記溝の断面において、溝の底部が円弧形状をなし、当該円弧の半径が前記外接円の半径以上であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 7】

請求項 1 から請求項 2 6 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記光ファイバは、波長  $1.55 (\mu\text{m})$  におけるピーターマン—I (Petermann—I) の定義によるモードフィールド径が  $10 (\mu\text{m})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 8】

請求項 1 から請求項 2 7 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記光ファイバは、波長  $1.55 (\mu\text{m})$  におけるピーターマン—I (Petermann—I) の定義によるモードフィールド径が  $8 (\mu\text{m})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 2 9】

請求項 1 から請求項 2 8 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記光ファイバテープ心線は、前記光ファイバを分岐するときの損失増加が  $1.0 (\text{dB})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【請求項 3 0】

請求項 1 から請求項 2 9 の何れか 1 項に記載の光ファイバケーブルであって、  
前記光ファイバテープ心線は、前記光ファイバを分岐するときの損失増加が  $0.5 (\text{dB})$  以下であることを特徴とする光ファイバケーブル。

## 【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、長尺状のスペーサに形成された溝の内側に複数の光ファイバテープ心線が積層されて収容された光ファイバケーブルに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、光通信システムの需要が増加するにつれ、光伝送路である光ファイバケーブルを管路や電柱等に敷設することが多くなっている。

一般に、管路や電柱等の通信用基幹ルートに敷設される光ファイバケーブルには、テープスロット型の光ファイバケーブルが広く用いられている（例えば、非特許文献1参照）。 10

## 【0003】

図22に、従来のテープスロット型の光ファイバケーブルの一例を示す。

この図22に示すように、従来のテープスロット型の光ファイバケーブル100は、中心に抗張力体101を有するスペーサ102の溝103に、複数の光ファイバテープ心線110が収容されている。この光ファイバケーブル100は100心型の光ケーブルであり、5つの溝103のそれぞれに、4心の光ファイバテープ心線110が5枚ずつ積層され、収容されている。また、各溝103は、長尺方向に沿って互いに平行な状態で、一方向の螺旋状に形成されている。もしくは、各溝103が長尺方向に沿って互いに平行な状態を保ちながら円周方向には交互に反転した螺旋状に形成されているものもある。一般に 20、溝が一方向の螺旋状に形成されたスペーサは、一方向撚りスペーサと呼ばれ、溝が交互に反転する螺旋状に形成されたスペーサは、S Zスペーサと呼ばれている。

## 【0004】

また、光ファイバテープ心線110が溝103から外れるのを防ぐために、スペーサ102の周囲には押さえ巻き104が巻かれている。さらに、押さえ巻き104の外側にはプラスチック製のシース105が被覆されている。

## 【0005】

抗張力体101は、光ファイバケーブル100に張力が付加された場合に、その張力が光ファイバテープ心線110に直接伝わらないようにするために設けられた抗張力体であり、例えば鋼線が用いられている。 30

## 【0006】

光ファイバテープ心線110は、例えば外径が250 $\mu$ mの光ファイバ心線を4本平行に接触させて配置し、その全体を紫外線硬化樹脂にて被覆してテープ状に形成したものである。その外形は、例えば厚さが0.3mmから0.4mm程度であり、幅が1.1mm程度である。1つの溝103内に収容された5枚の光ファイバテープ心線110は、互いに厚さ方向に密着した状態で積層されている。

## 【0007】

【非特許文献1】光ケーブルネットワーク配線システム総合カタログ，住友電気工業株式会社，2002年8月，p9

## 【発明の開示】 40

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

ところで、通信用基幹ルートに敷設された上記のような光ファイバケーブルは、例えば、光ファイバを収容局から加入者側のビル等に配線するために、収容された光ファイバテープ心線を引き出して、その中の任意の光ファイバを加入者側の光ファイバと接続することがある。

その際には、まず、敷設されている光ファイバケーブルの任意の箇所からシース及び押さえ巻きを所定の長さだけ剥ぎ取って、所望の光ファイバテープ心線をスペーサの溝から引き出す。そして、引き出した光ファイバテープ心線から所望の光ファイバを分岐させて加入者側の光ファイバと接続する。 50

## 【0009】

既に敷設された光ファイバケーブルは、光信号が伝送されている光ファイバが多く含まれているため、その伝送品質の低下を抑えつつ、活線状態での分岐、いわゆる活線分岐作業を行うことが求められている。そのため、所望の光ファイバを分岐するにあたり、光ファイバテープ心線を切断せずに、溝から引き出した光ファイバテープ心線の間部分から所望の光ファイバを分岐する、いわゆる中間後分岐と呼ばれる分岐の方法を行う要求が高まってきている。

## 【0010】

しかしながら、従来の光ファイバケーブルに収容された光ファイバテープ心線は、複数の光ファイバを覆った樹脂を除去することが困難であり、その中から1本の光ファイバを選び出して中間後分岐させることは難しい状況にあった。 10

例えば、紙やすりやカンナ状の工具で樹脂を削り取ろうとすると、光ファイバを傷付けたり切断したりしてしまうおそれがある。

## 【0011】

このような実情により、従来は中間後分岐ができず、所望の光ファイバを分岐するには、光ファイバテープ心線として一体化された複数の光ファイバの全てを切断し、その切断箇所から単心の光ファイバに分岐させていた。そのため、伝送路として使用中の（すなわち活線の）状態にある光ファイバを含む光ファイバテープ心線の活線分岐作業を行うことができなかった。

また、光ファイバテープ心線を切断してしまうと、その箇所で接続させた光ファイバ以外の、残りの光ファイバを伝送路として用いることができなくなってしまうため、光通信網を構築する際のコストが高くなってしまう。 20

## 【0012】

本発明は、光ファイバケーブルに収容された光ファイバテープ心線の間後分岐を容易に行うことができる光ファイバケーブルを提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0013】

上記目的を達成することができる本発明に係る光ファイバケーブルは、中心に抗張力体を有する略円柱状のプラスチック製長尺体の外周面上に略螺旋状の溝が施されたスペーサの、溝の内側に、1枚または複数枚の光ファイバテープ心線が積層されて収容された光ファイバケーブルであって、光ファイバテープ心線は、光ファイバが複数本並列され、これらの複数本の光ファイバの全長が樹脂により一体化されており、光ファイバテープ心線の厚さの最大値を $T$  ( $\mu\text{m}$ )、光ファイバの外径を $d$  ( $\mu\text{m}$ )としたときに、 $T \leq d + 40$  ( $\mu\text{m}$ )であることを特徴としている。 30

## 【0014】

また、上記目的を達成することができる本発明に係る光ファイバケーブルは、中心に抗張力体を有する略円柱状のプラスチック製長尺体の外周面上に略螺旋状の溝が施されたスペーサの、溝の内側に、1枚または複数枚の光ファイバテープ心線が積層されて収容された光ファイバケーブルであって、光ファイバテープ心線は、光ファイバが複数本並列され、これらの複数本の光ファイバの全長及び並列した状態の全周が樹脂により覆われて一体化されており、光ファイバテープ心線の厚さの最大値を $T$  ( $\mu\text{m}$ )、光ファイバの外径を $d$  ( $\mu\text{m}$ )としたときに、 $T \leq d + 40$  ( $\mu\text{m}$ )であることを特徴としている。 40

## 【0015】

このような構成の光ファイバケーブルによれば、複数本の光ファイバを一体化している樹脂の厚さが従来に比べて薄いため、中間後分岐作業を容易に行うことができる。

そのため、光ファイバテープ心線に含まれる、中間後分岐させた以外の光ファイバを、さらに他の箇所で光ファイバケーブルから引き出して接続することが可能となり、光ファイバケーブルに収容された多数の光ファイバを有効に活用することができる。

## 【0016】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、隣接した 50

少なくとも2本の光ファイバ同士が互いに接触して配置されていることが好ましい。もしくは、光ファイバテープ心線は、隣接した光ファイバ同士が、互いに接触しておらず、かつ、 $10\text{ (}\mu\text{m)}$ 以下の間隔を有して配置されていることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、 $T \geq d + 1\text{ (}\mu\text{m)}$ であることが好ましい。

【0018】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線の樹脂には、隣接する光ファイバの間の窪みに応じた凹部が形成されていることが好ましい。

【0019】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、 $T \leq d + 30\text{ (}\mu\text{m)}$ であることが好ましい。

【0020】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、凹部の深さを $Y\text{ (}\mu\text{m)}$ としたときに、 $(T - d) / 2Y \leq 4.0$ であることが好ましい。

【0021】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、凹部における光ファイバテープ心線の厚さを $g\text{ (}\mu\text{m)}$ としたときに、 $g \leq d$ であることが好ましい。もしくは、 $g \leq 0.8d$ であることが好ましい。

【0022】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線の樹脂に隣接する光ファイバの間の窪みに応じた凹部が形成されている場合には、光ファイバテープ心線に含まれる光ファイバの並列ピッチを $P\text{ (}\mu\text{m)}$ 、光ファイバテープ心線に含まれる光ファイバの数の $1/2$ 以下である0を含む自然数を $m$ としたときに、複数枚の光ファイバテープ心線が、隣接した光ファイバテープ心線に対して、光ファイバテープ心線の幅方向に $mP + P/2\text{ (}\mu\text{m)}$ だけずれて積層されていることが好ましい。その際、前記 $m$ が0であることが好ましく、さらに、複数枚の光ファイバテープ心線が、隣接した光ファイバテープ心線に対して幅方向に順次交互にずれて積層されていることがより好ましい。

【0023】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、 $T \leq d + 25\text{ (}\mu\text{m)}$ であることが好ましい。

【0024】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、その横断面内における、隣接する2本の光ファイバの各中心を結ぶ直線に垂直で、かつ2本の光ファイバの各中心をそれぞれ通る2本の直線で区画される内側の領域で、ヤング率を $E$ 、断面積を $S$ としたときに、光ファイバの $ES$ 積の和に対する、樹脂の $ES$ 積の比が、 $0.026$ 以下であることが好ましい。もしくは、この $ES$ 積の比が、 $0.020$ 以下であることが好ましい。

【0025】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、光ファイバ1本あたりの光ファイバと樹脂との密着力が $0.025\text{ (gf)}$ から $0.25\text{ (gf)}$ の範囲内であることが好ましい。

【0026】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、樹脂の降伏点応力が $20\text{ (MPa)}$ から $45\text{ (MPa)}$ の範囲内であることが好ましい。

【0027】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、溝は、スペーサの長尺方向に沿って一方向の螺旋状に形成されていることが好ましい。

【0028】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、収容された全ての光ファイバにおけ

10

20

30

40

50

る、波長  $1.26 (\mu\text{m})$  から  $1.65 (\mu\text{m})$  の範囲内の何れかの波長のリンク偏波モード分散が、 $0.05 (\text{ps}/\text{km}^{1/2})$  以下であることが好ましい。

【0029】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、溝は、スペーサの長尺方向に沿って交互に反転した螺旋状に形成されていることが好ましい。

【0030】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、収容された全ての光ファイバにおける、波長  $1.26 (\mu\text{m})$  から  $1.65 (\mu\text{m})$  の範囲内の何れかの波長のリンク偏波モード分散が、 $0.2 (\text{ps}/\text{km}^{1/2})$  以下であることが好ましい。もしくは、このリンク偏波モード分散が、 $0.1 (\text{ps}/\text{km}^{1/2})$  以下であることが好ましい。

10

【0031】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、溝がスペーサの長尺方向に沿って交互に反転した螺旋状に形成されている場合には、溝の内側に、複数枚の光ファイバテープ心線が、隣接した光ファイバテープ心線に対して幅方向に光ファイバの並列ピッチの半分の長さだけ順次交互にずれて積層されており、光ファイバテープ心線の樹脂には、隣接する光ファイバの間の窪みに応じた凹部が形成されており、溝は、断面視において、積層された光ファイバテープ心線からなるテープ心線積層体の外接円を内包する大きさであることが好ましい。その際、溝の断面が略台形であり、溝の底部における溝幅が、収容した光ファイバテープ心線の幅以上であることが好ましい。もしくは、溝の断面において、溝の底部が円弧形状をなし、当該円弧の半径が前記外接円の半径以上であることが好ましい。

20

【0032】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバは、波長  $1.55 (\mu\text{m})$  におけるピーターマン—I (Petermann—I) の定義によるモードフィールド径が  $10 (\mu\text{m})$  以下であることが好ましい。もしくは、このモードフィールド径が  $8 (\mu\text{m})$  以下であることが好ましい。

【0033】

また、本発明に係る光ファイバケーブルにおいて、光ファイバテープ心線は、光ファイバを分岐するときの損失増加が  $1.0 (\text{dB})$  以下であることが好ましい。もしくは、光ファイバを分岐するときの損失増加が  $0.5 (\text{dB})$  以下であることが好ましい。

【発明の効果】

30

【0034】

本発明の光ファイバケーブルによれば、収容された光ファイバテープ心線の間後分岐を容易に行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、本発明に係る光ファイバケーブルの実施の形態の例を図1から図21に基づいて説明する。

図1に示すように、本実施形態の光ファイバケーブル1は、中心に抗張力体2を有するスペーサ3の溝4に、複数の光ファイバテープ心線10が収容されている。この光ファイバケーブル1は200心型の光ファイバケーブルであり、10本の溝4のそれぞれに、4心の光ファイバテープ心線10が5枚ずつ積層されて収容されている。また、10本の溝4は、長尺方向に沿って互いに平行な状態を保ちながら円周方向には交互に反転した螺旋状に形成されている。すなわち、スペーサ3はSZスペーサである。また、溝4の撚りピッチは、500mmである。なお、スペーサ3の外径は、例えば12mmである。

40

【0036】

また、光ファイバテープ心線10が溝4から外れるのを防ぐために、スペーサ3の周囲には押さえ巻き5が巻かれている。さらに、押さえ巻き5の外側にはプラスチック製（例えばポリエチレン）のシース6が形成されている。このシース6の外径は、例えば16mmである。

また、抗張力体2は、光ファイバケーブル1に張力が付加された場合に、その張力が光

50



ファイバテープ心線 10 に直接伝わらないようにするために設けられた抗張力体である。この抗張力体 2 としては、鋼線が好適に用いられる。

#### 【0037】

光ファイバケーブル 1 は、溝 4 が撚られている方向が周期的に反転しているため、シース 6 や押さえ巻き 5 を任意の箇所 で除去して、溝 4 の反転部から光ファイバテープ心線 10 を容易に取り出すことができる。そのため、S Z スペーサを用いた光ファイバケーブル 1 は、中間後分岐に適した構造である。

#### 【0038】

ここで、溝 4 に収容されている光ファイバテープ心線 10 の態様について説明する。

図 2 は、光ファイバテープ心線 10 を示す断面図である。この光ファイバテープ心線 10 は、複数本（ここでは一例として 4 本用いている）の光ファイバ 11 を並列し、これら並列している光ファイバ 11 の外周の全体にわたり、かつ、光ファイバ 11 の全長にわたって樹脂である外被 12 により一体的に覆ったものである。

#### 【0039】

また、図 2 には、隣接する光ファイバ同士が全て接触した光ファイバテープ心線を示したが、光ファイバ同士が接触せず離れているものであってもよい。ここで、接触していないとは光ファイバテープ心線に含まれる少なくとも 2 本の光ファイバが接触していないことをいう。光ファイバテープ心線に含まれる光ファイバ同士が接触している場合と接触していない場合とを比較すると、接触している方が光ファイバテープ心線を分岐することが容易である。光ファイバ同士が接触していると、外被を形成する光ファイバ間の樹脂が連続していない箇所をきっかけとして、例えば樹脂をブラシで擦るだけで光ファイバ間の樹脂を破壊させることができ、複数の光ファイバを一体化している樹脂を光ファイバから除去することができる。

#### 【0040】

光ファイバ心線同士が接触しない場合には、光ファイバ心線の間隔が  $10\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。間隔が  $10\ \mu\text{m}$  以下であれば、外被を形成する樹脂が光ファイバの間に入る量が多くないので、樹脂の破壊が起こりやすく、樹脂が光ファイバ間で連続していない場合とほぼ同程度の外被の除去性が得られ、分岐が容易である。

#### 【0041】

また、この光ファイバテープ心線 10 は、光ファイバ 11 が全長にわたって樹脂の外被 12 によって覆われているため、任意の箇所 で外被 12 を破壊または除去して、どの箇所からでも容易に単心に分岐できる構造である。

#### 【0042】

また、光ファイバ 11 は、コア 13 a とクラッド 13 b からなるガラスファイバ 13 と、このガラスファイバ 13 の外周を一次保護被覆 14 で覆い、さらに、保護被覆 14 の外周を二次保護被覆 15 により被覆した構成となっている。また、二次保護被覆 15 の外周に厚さ  $1\ \mu\text{m}$  から  $10\ \mu\text{m}$  程度の着色層が形成されていても良い。また、ガラスファイバ 13 の周囲に薄膜状のカーボン層がコーティングされていても良い。なお、光ファイバ 11 は、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) により定められた G 652 に準拠するものであることが好ましい。

本発明に適用可能なガラスファイバ 13 としては、コアと複数層のクラッドからなるガラスファイバ等、いかなる屈折率分布を有するガラスファイバも適用可能である。

#### 【0043】

また、ガラスファイバ 13 としては、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における Petermann-I の定義によるモードフィールド径 (MFD: Mode Field Diameter) が  $10\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。さらに、モードフィールド径が  $8\ \mu\text{m}$  以下であるとより好ましい。

モードフィールド径を小さくすると、マイクロベンド損失や曲げ損失 (マクロベンド損失) を小さくすることができる。したがって、溝内で光ファイバテープ心線 10 が受ける外力による、伝送損失の増加を抑えることができる。また、小さい曲げ半径で光ファイバ

11を曲げてても伝送損失の増加が少ないため、活線分岐しやすい。

#### 【0044】

この光ファイバテープ心線10では、並列した4本の光ファイバ11の外周に形成された外被12として、紫外線硬化樹脂を用いている。紫外線硬化型樹脂以外の外被12としては、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂等も使用することができる。

本実施形態の光ファイバテープ心線10は、外被12の厚さが従来用いられていた光ファイバテープ心線より薄く形成されている。なお、外被12の厚さ $t$ は、光ファイバテープ心線10の厚さの最大値を $T$  ( $\mu\text{m}$ )、光ファイバ11の外径を $d$  ( $\mu\text{m}$ )としたときに、 $t = (T - d) / 2$ で求めることができ、光ファイバテープ心線10は、 $T \leq d + 40$  ( $\mu\text{m}$ )となるように、すなわち、外被12の厚さ $t$ が $20 \mu\text{m}$ 以下となるように外被12の厚さが設定されている。 10

外被12が薄い光ファイバテープ心線10を用いると、従来のSZスペーサの光ファイバケーブルが有していた高い収納密度と機械特性を確保しつつ、中間部からの光ファイバテープ心線の取り出しが極めて容易な光ファイバケーブル1を低コストで得ることができる。

#### 【0045】

このように、光ファイバテープ心線10は、外被12の厚さ $t$ が薄いため、作業者による手作業、あるいは、分岐工具により、外被12に亀裂や剥がれを発生させて外被12を容易に剥がし始めることができる。そのため、光ファイバテープ心線10から外被12を剥がして光ファイバ11を分岐させやすい。すなわち、光ファイバテープ心線10は、中間後分岐作業がしやすい構造となっている。 20

#### 【0046】

上述の中間後分岐について、分岐方法の一例を説明する。図3(A)に示すように、光ファイバテープ心線10を、分岐工具60の上ベース61および下ベース62で挟み、これらの上下ベース61、62に立設した線材63を光ファイバテープ心線10の外被12に近づけていく。図3(B)はそのときの断面図を示している。さらに、分岐工具60を光ファイバテープ心線10に押し付けると、図3(C)に示すように、線材63は撓み、この撓んだ線材63の先端の角が光ファイバテープ心線10の外被12と強く接触する。

#### 【0047】

分岐工具60を押し付けた状態で、分岐工具60を光ファイバテープ心線10の長手方向(図3(C)でみて左右方向)へ相対的に移動させ、つまり、分岐工具60で光ファイバテープ心線10をこすると、線材63の先端で外被12に傷を付けたり剥いだりして光ファイバ11を分岐する。その際、分岐工具60、光ファイバテープ心線10のいずれか、或いは、両方を移動させてもよい。 30

#### 【0048】

線材63は、可撓性を有するため、光ファイバテープ心線10の外被12に押し当てたときに、線材63が反って、線材63の先端の角が外被12にあたる。この状態で、分岐工具60または光ファイバテープ心線10を動かすと線材63(可撓性部材)が外被12に傷を与えたり、あるいは、外被12を剥がしたりする。分岐工具60で光ファイバテープ心線10をこすことを繰り返していくと、光ファイバ11と外被12との界面に剥離が発生する。さらにこの作業を繰り返すと、光ファイバ11の中心軸の上部あるいは下部の外被12が削れ、亀裂が発生し、その後、外被12に亀裂が進展して、外被12が剥がれる。 40

このようにして光ファイバテープ心線10の外被12が破壊され、各光ファイバに分岐される。

#### 【0049】

可撓性の線材63を光ファイバテープ心線に押し付ける力を調整すれば、分岐時の光信号の伝送損失変動量が1.0以下、分岐作業の仕方によっては0.5 dB以下となり、活線を含む光ファイバテープ心線であっても、当該活線の光伝送を遮断させることなく分岐することができる。

## 【0050】

ここで、外被12の厚さ $t$ の違いによる中間後分岐の作業性とそのときの活線ロス増の関係を表1に示す。また、表1には、光ファイバケーブル1中に、すなわちSZスペーサに収容された状態での偏波モード分散（SZケーブルPMD）と、光ファイバの一体化の強度を示す分離試験の結果を示している。なお、表1に示す光ファイバテープ心線の光ファイバの外径 $d$ は $250\text{ }\mu\text{m}$ である。また、外被12を構成する樹脂のヤング率は $900\text{ MPa}$ である。

## 【0051】

【表1】

| テープ厚さ $T$ ( $\mu\text{m}$ ) | 250 | 251 | 260 | 270 | 275  | 280 | 290 | 300 | 310 | 320 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 外被厚さ $t$ ( $\mu\text{m}$ )  | 0.0 | 0.5 | 5   | 10  | 12.5 | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  |
| 中間後分岐性                      | ◎   | ◎   | ○   | ○   | ○    | ○   | △   | ×   | ×   | ×   |
| 活線ロス増                       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○    | △   | △   | ×   | ×   | ×   |
| SZケーブルPMD                   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○    | △   | △   | △   | △   | △   |
| ファイバ分離の有無                   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○    | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   |

10

## 【0052】

なお、表1に示す外被の厚さ $t = 0.0$ の光ファイバテープ心線とは、樹脂が全ての光ファイバの全体を覆っていないものである。そのような光ファイバテープ心線の一例を図4に示す。

図4に示す光ファイバテープ心線10aは、隣接する光ファイバ11が、全長にわたって樹脂12aによって一体化されている。この樹脂12aは、光ファイバ11の間の窪みを埋めるように形成されており、隣接する光ファイバ11同士を接着している。また、光ファイバテープ心線10aの厚さが、光ファイバ11の外径 $d$ より大きくならないように図られている。そのため、この場合の光ファイバテープ心線10aの厚さ $T$ は、光ファイバ11の外径 $d$ と等しくなっている。

20

## 【0053】

表1に示す中間後分岐性とは、光ファイバテープ心線の中間部分を各光ファイバに分岐するときに、伝送損失の増加が $1.0\text{ dB}$ 以下として分岐することの容易さを示している。本明細書中における評価基準としては、◎は平均2分以内に分岐できることを示し、○は平均2分を超え3分以内に分岐できることを示し、△は平均3分を超え5分以内に分岐できることを示す。また、×は平均5分を超える分岐作業時間がかかってしまうことを示す。

なお、分岐時の伝送損失の増加が $1.0\text{ dB}$ 以下ということは活線分岐できるということである。

30

## 【0054】

ここで、中間後分岐性の試験について説明する。

まず、図5(A)に示すように、光ファイバテープ心線10を例えば $1\text{ m}$ 程度の長さだけ外被を残し、その一方側で1番心の光ファイバ11aに波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ の光を入射するための光源20を接続し、他方側の光ファイバ11aに受光器21とストレージオシロスコープ22を接続する。この状態で、光源20から1番心の光ファイバ11aに波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ の光を入射する。入射された光は、光ファイバ11aの他方側へ伝わり、受光器21により受光される。受光された光は、ストレージオシロスコープ22によりその受光量が適時観察される。

40

## 【0055】

そして、光源20からの光の入射を行っている状態で、図5(B)に示すように、光ファイバテープ心線10を中間後分岐する。すなわち、1番心の光ファイバ11aが活線の

50

状態で光ファイバテープ心線 10 を単心に分岐する（活線分岐）。このとき、中間後分岐による伝送損失の増加量がストレージオシロスコープ 22 により計測される。

なお、中間後分岐する長さは、50 cm とした。また、中間後分岐する方法は、図 3 を参照して説明した上記の手順によるものである。

#### 【0056】

表 1 に示す光ファイバテープ心線のうち、中間後分岐性が◎、○または△となっているものは、テープ厚さ  $T$  が  $290 \mu\text{m}$  以下のもの、すなわち  $T \leq d + 40 (\mu\text{m})$  のものである。これらは、いずれも分岐時の伝送損失の増加を  $1.0 \text{ dB}$  以下として 5 分間以内に中間後分岐可能である。つまり、5 分以内に活線分岐可能である。

これに対して、テープ厚さ  $T$  が光ファイバの外径  $d$  より  $40 \mu\text{m}$  を超える、従来用いられていた外被の厚い光ファイバテープ心線は、中間後分岐性が×であり、分岐時の伝送損失の増加分が  $1.0 \text{ dB}$  を超えるか、分岐できたとしても 5 分を超える所要時間を必要とするものであり、現実的に活線分岐できなかった。

#### 【0057】

表 1 に示す活線ロス増は、中間後分岐の作業中に発生する伝送損失の増加量である。本明細書中における評価基準としては、◎は分岐作業中に伝送損失が  $0.1 \text{ dB}$  を超えて増加しないことを示し、○は分岐作業中に伝送損失が  $0.5 \text{ dB}$  を超えて増加しないことを示し、△は分岐作業中に伝送損失が  $1.0 \text{ dB}$  を超えて増加しないことを示す。また、×は分岐作業中に伝送損失の増加値が  $1.0 \text{ dB}$  を超えてしまうことを示す。

#### 【0058】

表 1 に示す光ファイバテープ心線のうち、活線ロス増が○または△となっているものは、テープ厚さ  $T$  が  $290 \mu\text{m}$  以下のもの、すなわち  $T \leq d + 40 (\mu\text{m})$  のものである。これらは、いずれも分岐時の伝送損失の増加を  $1.0 \text{ dB}$  以下として活線の光ファイバテープ心線を中間後分岐することが可能である。このうち、テープ厚さ  $T$  が  $275 \mu\text{m}$  以下のもの、すなわち  $T \leq d + 25 (\mu\text{m})$  のものは、活線ロス増が○となっており、伝送損失の増加がさらに低く抑えられ、より好ましい。

これに対して、テープ厚さ  $T$  が光ファイバの外径  $d$  より  $40 \mu\text{m}$  を超える、従来用いられていた外被の厚い光ファイバテープ心線は、活線ロス増が×であり、分岐作業中に伝送損失の増加値が  $1.0 \text{ dB}$  を超えてしまう。

#### 【0059】

表 1 に示す S Z ケーブル PMD は、図 1 に示したように、光ファイバテープ心線 10 が溝 4 に収容された状態でのリンク偏波モード分散である。ここで、リンク偏波モード分散とは、光ファイバケーブル 1 に収容された全ての光ファイバ 11 の偏波モード分散 (PMD) の値を統計的に処理して、同等の光ファイバケーブルを多数条直列に接続した時に発生し得る PMD の最大値を示したものである。ここでは、その統計的な処理を、中心極限定理に基づいて行っている。なお、PMD の測定は、光ファイバケーブル 1 の長さが  $1000 \text{ m}$  以上の条件で行い、干渉法による測定器 (サンテック製 6000B) を用いた。

#### 【0060】

本明細書中における評価基準としては、◎はリンク偏波モード分散 (リンク PMD) が  $0.05 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  以下であり、○は  $0.05 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  を超えて  $0.1 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  以下であり、△は  $0.1 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  を超えて  $0.2 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  以下である場合を示す。また、×は、リンク偏波モード分散が  $0.2 (\text{ps} / \text{km}^{1/2})$  を超えてしまう場合を示す。

#### 【0061】

テープスロット型の光ファイバケーブルでは、溝に光ファイバテープ心線が積層されて配置されているため、一定方向からの応力が発生して光ファイバに複屈折が生じる上に、光ファイバテープ心線の外被の硬化収縮によっても複屈折が生じやすい。光ファイバテープ心線の外被 (樹脂) は、その製造時の硬化により、5 % 程度収縮する。この硬化収縮によって光ファイバに外力がかかり、光ファイバ内に応力が発生するが、その応力は、光ファイバテープ心線の断面形状が幅方向に広いために、幅方向と厚さ方向とで異なってしまう

う。特に、光ファイバに対して光ファイバテープ心線の厚さ方向の外被は、光ファイバテープ心線の幅方向に連続しているために、この部分の外被が厚くなっていると、幅方向に発生する応力が大きくなり、幅方向と厚さ方向とで発生する応力差が大きくなってしまいう。

#### 【0062】

このように、テープスロット型の光ファイバケーブルではPMDが高くなりやすい。特に、SZスペーサの光ファイバケーブルの場合には、その反転する溝形状により、光ファイバが複雑に曲げられてしまうため、PMDが高くなりやすい傾向がある。

#### 【0063】

本実施形態では、従来よりも外被の薄い光ファイバテープ心線を用いているため、硬化収縮に起因して発生する複屈折は極めて小さく抑えられる。したがって、本実施形態の光ファイバケーブルは、PMDを低く抑えることが可能となっている。

表1に示す光ファイバテープ心線のうち、 $T \leq d + 25$  ( $\mu\text{m}$ ) の場合に、SZケーブルPMDが○となり、特に良好であることがわかる。

#### 【0064】

表1に示すファイバ分離の有無は、光ファイバの一体化の強度を示す分離試験による結果を示すものである。

この分離試験は、図6に示すように、試験対象である光ファイバテープ心線10が巻かれた繰り出しボビン24から、巻き取りボビン25に巻き替えを行い、そのパスラインの途中で光ファイバテープ心線10に外力を与えるようになっている。光ファイバテープ心線10に与える外力は、ダンサローラと重りから構成される荷重負荷部26によって、光ファイバテープ心線10に一定の張力を与えるとともに、直径3mmの丸棒27を2本用いて小径の曲げを逆向きに与えることにより発生させる。

#### 【0065】

本明細書中におけるファイバ分離の評価基準としては、○は光ファイバと外被（樹脂）との分離がなく、光ファイバテープ心線が長手方向にわたって一体化されたままであった場合を示し、×は光ファイバと外被（樹脂）との分離箇所が発生した場合を示す。

#### 【0066】

表1に示す光ファイバテープ心線のうち、 $T \geq d + 1$  ( $\mu\text{m}$ ) である場合に、光ファイバテープ心線の分離が発生せず、良好であった。すなわち、外被の厚さ $t$ が $0.5 \mu\text{m}$ 以上であれば、各光ファイバを一体化させておくのに十分な強度が得られることがわかった。

表1に示す光ファイバテープ心線のうち、 $T = d$ のもの（図4参照）は、この分離試験において分離箇所が発生しているが、光ファイバケーブルを製造する際のライン中で光ファイバテープ心線にかかるしごき等の外力が軽減されるように配慮することで、そのケーブル化の製造工程で心線の分離が発生してしまうような不具合を防止することができる。そして、この $T = d$ である光ファイバテープ心線は、各光ファイバの中心を通る光ファイバテープ心線の厚さ方向の箇所で実質的に外被が途切れているため、各光ファイバが光ファイバテープ心線の幅方向に分離しやすく、各光ファイバの全体を外被が覆う形状の光ファイバテープ心線に比べて、中間後分岐性が良好である。

#### 【0067】

なお、図4に示したような樹脂12aが各光ファイバ11の全体を覆っていない光ファイバテープ心線10aは、樹脂12と光ファイバとの接着力だけで各光ファイバ11が一体化されている。これに対して、図2に示したような光ファイバテープ心線10は、樹脂が外被12として各光ファイバ11の全体を一体的に覆っているため、樹脂と光ファイバとの接着力だけでなく、外被12自身がその形状を保持しようとする力によって、光ファイバテープ心線10の全体が一体化された状態を保ちやすい。

#### 【0068】

また、上述したような光ファイバテープ心線（図2参照）は、外被（樹脂）12と、光ファイバ11のそれぞれのヤング率 $E$ と断面積 $S$ との積の和（ $ES$ 積和）の比を、適切な

10

20

30

40

50

値となるように設定することで、PMDを低減させることができる。外被12が硬化収縮を起こす際に光ファイバ11に作用する応力の大きさは、外被12を構成する樹脂のヤング率が大きいほど、また外被12の厚さが厚いほど、大きくなる。ここで、PMDが増大する原因となるのは、光ファイバ11のガラスファイバ13に発生する歪みである。この歪みの大きさは、一次保護被覆14と、二次保護被覆15と、着色層とを含む被覆層を通してガラスファイバ13まで到達する力の大きさ、及びガラスファイバ13のヤング率によって決まる。

#### 【0069】

そこで、外被12のヤング率が、700MPa、900MPa、1200MPa、1500MPaである各条件において、光ファイバテープ心線10の厚さTが異なる場合、すなわち外被12の厚さが異なる場合の、光ファイバ11に対する外被12のES積比と、SZケーブルPMDとの関係を調べた。

#### 【0070】

なお、ガラスファイバ13は、ヤング率が73000MPaであり、外径が125μmである。一次保護被覆14は、ヤング率が1MPaであり、外径が200μmである。二次保護被覆15は、ヤング率が700MPaであり、外径は240μmである。着色層は、ヤング率が1500MPaであり、外径は250μmである。

#### 【0071】

本明細書中では、ES積の比は、1心の光ファイバあたりに関するES積を正確に求めるために、光ファイバテープ心線10の厚さが一定である領域において計算している。すなわち、光ファイバテープ心線10の横断面内における、隣接する2本の光ファイバ11の各中心を結ぶ直線に垂直であって、かつその2本の光ファイバ11の各中心をそれぞれ通る2本の直線（例えば図2に示す破線X、Y）で区画される内側の領域で、光ファイバ11のES積の和及び外被12のES積を算出し、各条件において比較している。

#### 【0072】

外被12のヤング率が700MPaである場合のES積比とSZケーブルPMDとの関係を表2に示す。

【表2】

| テープ厚さT (μm)  | 255    | 258    | 265    | 270    | 274    | 280    | 290    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ファイバES積和 (N) | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  |
| 樹脂ES積 (N)    | 10.264 | 10.789 | 12.014 | 12.889 | 13.764 | 14.639 | 16.389 |
| ES積比         | 0.0113 | 0.0118 | 0.0132 | 0.0141 | 0.0151 | 0.160  | 0.0180 |
| SZケーブルPMD    | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | △      | △      |

#### 【0073】

外被12のヤング率が900MPaである場合のES積比とSZケーブルPMDとの関係を表3に示す。

【表3】

| テープ厚さT (μm)  | 255    | 258    | 265    | 270    | 274    | 280    | 290    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ファイバES積和 (N) | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  |
| 樹脂ES積 (N)    | 13.196 | 13.871 | 15.446 | 16.571 | 17.696 | 18.821 | 21.071 |
| ES積比         | 0.0145 | 0.0152 | 0.0169 | 0.0182 | 0.0194 | 0.0206 | 0.0231 |
| SZケーブルPMD    | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | △      | △      |

10

20

30

40

50

## 【0074】

外被12のヤング率が1200MPaである場合のES積比とSZケーブルPMDとの関係を表4に示す。

【表4】

| テープ厚さT (μm)  | 255    | 258    | 265    | 270    | 274    | 280    | 290    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ファイバES積和 (N) | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  |
| 樹脂ES積 (N)    | 17.595 | 18.495 | 20.595 | 22.095 | 23.595 | 25.095 | 28.095 |
| ES積比         | 0.0193 | 0.0203 | 0.0226 | 0.0242 | 0.0259 | 0.0275 | 0.0308 |
| SZケーブルPMD    | ○      | △      | △      | △      | △      | ×      | ×      |

10

## 【0075】

外被12のヤング率が1500MPaである場合のES積比とSZケーブルPMDとの関係を表5に示す。

【表5】

| テープ厚さT (μm)  | 255    | 258    | 265    | 270    | 274    | 280    | 290    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ファイバES積和 (N) | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  | 912.2  |
| 樹脂ES積 (N)    | 21.994 | 23.119 | 25.744 | 27.619 | 29.494 | 31.369 | 35.119 |
| ES積比         | 0.0241 | 0.0253 | 0.0282 | 0.0303 | 0.0323 | 0.0344 | 0.0385 |
| SZケーブルPMD    | △      | △      | ×      | ×      | ×      | ×      | ×      |

20

## 【0076】

ここで、表2から表5に示すファイバES積は、ガラスファイバ13と、一次保護被覆14と、二次保護被覆15と、着色層とから構成される領域のそれぞれのES積の和であり、樹脂ES積は、外被12のES積である。ES積比は、「樹脂ES積／ファイバES積和」により表される。

30

## 【0077】

表2から表5に示すように、SZケーブルPMDが○あるいは△となる条件、すなわち、SZスペーサの光ファイバケーブルに収容された光ファイバ全心のリンクPMDが0.2 (ps/km<sup>1/2</sup>)以下となる条件は、ES積比が0.026以下となる場合である。また、SZケーブルPMDが○となる条件、すなわちリンクPMDが0.1 (ps/km<sup>1/2</sup>)以下となる条件は、ES積比が0.020以下となる場合である。

このように、光ファイバ11に対する外被12のES積比を所望の値となるように設定することにより、光ファイバ11のPMDを低く抑えることができる。

## 【0078】

次に、本実施形態の光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線の他の好適な態様について説明する。

40

図7(A)は、その光ファイバテープ心線の断面図であり、(B)は斜視図である。

図7に示すように、光ファイバテープ心線10bは、光ファイバ11を覆っている外被12bにおいて、隣り合う光ファイバ11、11の間に形成された窪みに応じて、外被の凹部16が形成されている。この凹部16は、その窪みが最も大きい部分として底部17が形成されている。

## 【0079】

上述したように、光ファイバ11の周囲に形成される外被の厚さは、PMDを低減させる観点によると薄いほうが好ましく、0.5μm程度の厚さがあれば良い。しかし、実際

50

にそのような光ファイバテープ心線を製造する場合には、ある程度の厚さがあつたほうが好ましい。その理由としては、外被となる樹脂の厚さを薄く形成しようとする、部分的に樹脂が塗布されない（これを樹脂切れと呼ぶ）おそれが生じる。そのため、光ファイバ 11 に対して  $2.5\ \mu\text{m}$  以上の厚さで外被を形成することが望ましい。その場合、所望の外被の厚さを保ちながら光ファイバテープ心線の厚さ方向の樹脂の量を減らすには、隣接する光ファイバ間の窪みに形成される外被を少なくすれば良い。樹脂切れが発生しやすい箇所は、光ファイバの外径が光ファイバテープ心線の厚さ方向に最も大きくなる箇所であるため、隣接する光ファイバ間の樹脂の量を減らすことは、樹脂を確実に塗布することを妨げない。

そのため、図 7 に示すような凹部 16 を形成することは、樹脂切れを防止しつつ P M D の増大を抑制することができる。

#### 【0080】

また、外被 12b の凹部 16 は、光ファイバテープ心線 10b から外被 12b を剥がして光ファイバ 11 を分岐するとき有効となる。外被 12b の厚さが薄い部分が多いほど、外被 12b の破壊が起こりやすいため、分岐作業が容易となる。また、分岐作業が容易化するため、分岐作業中に光ファイバに与える外力も小さくて済む。そのため、活線分岐のロス増を小さく抑えることができる。

#### 【0081】

図 7 に示した光ファイバテープ心線 10b は、凹部 16 の深さ Y が、外被 12b の共通接線 S1 と各光ファイバ 11 の共通接線 S2 との間の距離より短く形成されている。つまり、底部 17 の位置が各光ファイバ 11 の共通接線 S2 よりも外側に位置するように凹部 16 が形成されている。

#### 【0082】

また、本実施形態の光ファイバケーブルに收容される光ファイバテープ心線としては、図 7 に示した光ファイバテープ心線 10b の構成を一部変更した他の態様である、図 8 に示す光ファイバテープ心線 10c が挙げられる。

図 8 (A) は、光ファイバテープ心線 10c の断面図であり、(B) は斜視図である。光ファイバテープ心線 10c の基本的な構成は図 7 に示した光ファイバテープ心線 10b と同様であり、共通する構成については説明を省略する。

光ファイバ 11 の外周を覆っている外被 12c では、隣り合う光ファイバ 11c 間に形成される窪みに応じて、凹部形状となっている。この外被の凹部 16c は、図 7 の場合よりも凹部形状が深くなっている。光ファイバテープ心線 10c は、凹部 16c の底部 17c が、光ファイバ 11 の共通接線 S2c よりも内側に位置するように形成されている。

#### 【0083】

なお、光ファイバテープ心線を図 1 に示したような溝に收容する場合、光ファイバテープ心線の幅方向の端部に位置する光ファイバとその内側に位置する光ファイバとでは、スペーサの中心からの距離が異なる。そのため、螺旋状に形成された溝内に收容された状態では、端部の光ファイバと内側の光ファイバとの間に溝内での長さの差が生じ、光ファイバに応力が発生する。この応力は、溝内での曲げによる応力とともにガラスファイバに異方性の応力を生じさせるため、複屈折が起こり、P M Dが増加する原因となる。

#### 【0084】

これに対して、図 8 に示すような光ファイバテープ心線 10c は、外被に凹部が形成されているため、図 9 に示すように、幅方向に撓み易くなっており、光ファイバテープ心線 10c を溝に收容した時に、光ファイバテープ心線 10c に無理な力がかからず、端部の光ファイバと内側の光ファイバとの間に発生する溝内での長さの差が解消されて、そのケーブル P M D が改善できるものと考えられる。また、光ファイバテープ心線 10c の外被 12c が光ファイバ 11 の外周に沿って円形状に近づくため、光ファイバテープ心線 11c を製造する際の外被 12c の硬化収縮応力の異方性が小さくなり、光ファイバテープ心線 10c のケーブル状態での P M D を改善できるものと考えられる。なお、この効果は、図 7 に示す光ファイバテープ心線 10b においても得られるが、凹部がより深く形成され



た光ファイバテープ心線 10 c の方がより顕著に得られる。

【0085】

ここで、図 7 及び図 8 に示すような外被に形成された凹部の深さに関して、複数の光ファイバを並べ、外被により一体化し光ファイバテープ心線として製造する際の光ファイバのぼらけの防止や、光ファイバテープ心線の敷設作業時の外被の剥離防止（光ファイバのぼらけの原因となる）あるいは良好な分岐作業、活線分岐時の伝送損失の増減等について検討した。その結果、凹部は、隣り合う光ファイバにより形成される共通接線を超えないように、言い換えると共通接線よりも内側に入り込んで形成されるのが好ましいことがわかった。

【0086】

その具体的な検討結果について、次に説明する。

光ファイバテープ心線の厚さ  $T$  ( $\mu\text{m}$ ) が  $270\mu\text{m}$ 、 $280\mu\text{m}$ 、 $290\mu\text{m}$  である場合において、凹部の深さが異なるときの、凹部の深さ  $Y$  ( $\mu\text{m}$ ) に対する外被の厚さ  $t$  ( $\mu\text{m}$ ) の比  $t/Y$  と、光ファイバの外径  $d$  ( $\mu\text{m}$ ) に対する凹部での光ファイバテープ心線の厚さ  $g$  ( $\mu\text{m}$ ) の比  $g/d$  とを算出し、それぞれの場合の中間後分岐性、活線ロス増、S Z ケーブル PMD について調べた。

【0087】

光ファイバテープ心線の厚さ  $T$  が  $270\mu\text{m}$  である場合の中間後分岐性、活線ロス増、S Z ケーブル PMD の関係を表 6 に示す。なお、表中の比率  $(T-d)/2Y$  は、 $t/Y$  と同じ値である。

【表 6】

| テープ厚さ $T$ ( $\mu\text{m}$ ) | 270   | 270   | 270  | 270 | 270  | 270   | 270  | 270  | 270  |
|-----------------------------|-------|-------|------|-----|------|-------|------|------|------|
| 外被厚さ $t$ ( $\mu\text{m}$ )  | 10    | 10    | 10   | 10  | 10   | 10    | 10   | 10   | 10   |
| 凹部深さ $Y$ ( $\mu\text{m}$ )  | 1     | 2     | 5    | 10  | 20   | 30    | 40   | 50   | 100  |
| 比率 $(T-d)/2Y$               | 10    | 5     | 2    | 1   | 0.5  | 0.333 | 0.25 | 0.2  | 0.1  |
| 比率 $g/d$                    | 1.072 | 1.064 | 1.04 | 1   | 0.92 | 0.84  | 0.76 | 0.68 | 0.28 |
| 中間後分岐性                      | ○     | ○     | ◎    | ◎   | ◎    | ◎     | ◎    | ◎    | ◎    |
| 活線ロス増                       | ○     | ○     | ○    | ◎   | ◎    | ◎     | ◎    | ◎    | ◎    |
| S Z ケーブル PMD                | ○     | ○     | ○    | ○   | ○    | ○     | ◎    | ◎    | ◎    |

【0088】

光ファイバテープ心線の厚さ  $T$  が  $280\mu\text{m}$  である場合の中間後分岐性、活線ロス増、S Z ケーブル PMD の関係を表 7 に示す。

10

20

30

【表 7】

|                             |       |       |      |      |      |      |       |      |      |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|
| テープ厚さ $T$ ( $\mu\text{m}$ ) | 280   | 280   | 280  | 280  | 280  | 280  | 280   | 280  | 280  |
| 外被厚さ $t$ ( $\mu\text{m}$ )  | 15    | 15    | 15   | 15   | 15   | 15   | 15    | 15   | 15   |
| 凹部深さ $Y$ ( $\mu\text{m}$ )  | 1     | 2     | 5    | 10   | 20   | 30   | 40    | 50   | 100  |
| 比率 $(T-d)/2Y$               | 15    | 7.5   | 3    | 1.5  | 0.75 | 0.5  | 0.375 | 0.3  | 0.15 |
| 比率 $g/d$                    | 1.112 | 1.104 | 1.08 | 1.04 | 0.96 | 0.88 | 0.8   | 0.72 | 0.32 |
| 中間後分岐性                      | ○     | ○     | ◎    | ◎    | ◎    | ◎    | ◎     | ◎    | ◎    |
| 活線ロス増                       | △     | △     | △    | ○    | ◎    | ◎    | ◎     | ◎    | ◎    |
| SZケーブルPMD                   | △     | △     | △    | △    | ○    | ○    | ◎     | ◎    | ◎    |

10

## 【0089】

光ファイバテープ心線の厚さ  $T$  が  $290\mu\text{m}$  である場合の中間後分岐性、活線ロス増、SZケーブルPMDの関係を表8に示す。

【表 8】

|                             |       |       |      |      |     |       |      |      |      |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|-----|-------|------|------|------|
| テープ厚さ $T$ ( $\mu\text{m}$ ) | 290   | 290   | 290  | 290  | 290 | 290   | 290  | 290  | 290  |
| 外被厚さ $t$ ( $\mu\text{m}$ )  | 20    | 20    | 20   | 20   | 20  | 20    | 20   | 20   | 20   |
| 凹部深さ $Y$ ( $\mu\text{m}$ )  | 1     | 2     | 5    | 10   | 20  | 30    | 40   | 50   | 100  |
| 比率 $(T-d)/2Y$               | 20    | 10    | 4    | 2    | 1   | 0.667 | 0.5  | 0.4  | 0.2  |
| 比率 $g/d$                    | 1.152 | 1.144 | 1.12 | 1.08 | 1   | 0.92  | 0.84 | 0.76 | 0.36 |
| 中間後分岐性                      | △     | △     | ○    | ○    | ◎   | ◎     | ◎    | ◎    | ◎    |
| 活線ロス増                       | △     | △     | △    | △    | △   | △     | △    | △    | △    |
| SZケーブルPMD                   | △     | △     | △    | △    | ○   | ○     | ○    | ◎    | ◎    |

20

30

## 【0090】

表6から表8に示すように、中間後分岐性、活線ロス増、SZケーブルPMDのいずれにおいても、凹部の深さ  $Y$  が大きくなるほど良好な結果が得られた。

また、光ファイバテープ心線の厚さ  $T$  が  $270\mu\text{m}$  または  $280\mu\text{m}$  である場合、すなわち  $T \leq d + 30$  ( $\mu\text{m}$ ) である場合には、中間後分岐性及び活線ロス増の結果が特に良好であった。これは、図3に示すような分岐工具を用いた場合に、凹部の効果により、単に外被を薄肉化した光ファイバテープ心線よりも分岐性が良くなることが理由であると考えられる。例えば、表1に示したテープ厚さ  $T = 270\mu\text{m}$  の場合に、中間後分岐性が○であることに對して、表7に示したテープ厚さ  $T = 280\mu\text{m}$  で凹部深さ  $Y = 5\mu\text{m}$  の場合に、中間後分岐性が◎であり、凹部の効果を確認できる。

40

## 【0091】

また、中間後分岐性に着目すると、比率  $(T-d)/2Y$  の値に特に関係付けられることがわかる。例えば、比率  $(T-d)/2Y$  が 4.0 以下である場合に、中間後分岐性が良好である。

また、SZケーブルPMDに着目すると、比率  $g/d$  の値に特に関係付けられることがわかる。例えば、比率  $g/d$  が 1.0 以下である場合、すなわち、底部が光ファイバの共通接線より内側にある場合に、樹脂の量が十分に減少して、PMDの顕著な抑制効果が得られる。

比率  $g/d$  が 1.0 以下であれば、底部が共通接線より外側とならないように外被が薄

50

いため、長さ方向に曲がり易くなっていたり、凹部が深くなっているので、図9に示すような撓みが起こりやすく、ケーブルPMDが効果的に改善できるものと考えられる。

#### 【0092】

さらに、比率  $g/d$  が0.8以下である場合、特にスペーサに収容された状態でのPMDがさらに効果的に抑制される。

一般的な光ファイバの被覆は、ヤング率の低い一次保護被覆がガラスファイバの周囲を覆い、その外周が、ヤング率の高い二次保護被覆と着色層が覆っている。また、その一次保護被覆の外径は、光ファイバの外径  $d$  の0.8倍程度である。そこで、凹部の樹脂がこの一次保護被覆を超えない範囲にあると、外被が変形しやすくなって図9に示すような撓みが起こりやすい。したがって、PMDをさらに抑制しやすくなる。

10

#### 【0093】

図7や図8に示すような、凹部が形成された光ファイバテープ心線において、その凹部は、なめらかな曲線形状  $R$  であることが望ましい。例えば、凹部が光ファイバ心線の形状に沿って底部がとがった形状であると、応力が底部に集中して、割れや亀裂等が発生しやすくなるからである。

#### 【0094】

また、図2、図4、図7、図8に示すような、本発明の光ファイバケーブルに用いられる光ファイバテープ心線においては、光ファイバと外被との密着力は、活線分岐時の伝送損失の増大や分岐作業効率に影響を及ぼすときがある。光ファイバと外被（樹脂）との密着力は、伝送損失の増大防止や分岐作業性を考慮すると、光ファイバ1本あたりの密着力が0.025 (gf) ~ 0.25 (gf) の範囲内であることが望ましい。前記密着力が前記範囲よりも小さいとケーブル化時に外被が破壊されて各光ファイバがばらばらになることがある。また、前記密着力が前記範囲より大きいと分岐性が悪くなる。

20

#### 【0095】

光ファイバと外被との密着力は、例えば以下の方法で測定することができる。

図10に示すように光ファイバテープ心線10にカッターナイフの刃Cを当ててガラスまで切り込む。刃を長さ方向にテープ心線の端部へ移動させてテープ心線の片面の樹脂を剥ぎ取る。光ファイバテープ心線10の端部の外被12を約30mm手で剥いで折り返す。

そして、図11に示すように、外被12が剥がれた光ファイバ11を下チャック50Lで掴み、折り返した外被12の先端を上チャック50Uで掴む。上下チャック50L、50U間の距離は約40mmとする。上チャック50Uと下チャック50Lを相対的に180度をなす方向に200mm/分の速度で約50mm移動させ、外被12を剥離させる。

30

測定値の極大値および極小値をそれぞれ最大値とその次点の値、最小値とその次点の値、合計4点取り、その平均値を求め、さらに光ファイバテープ心線に含まれる光ファイバの心数で割った値を心線あたりの密着力とする。

#### 【0096】

本発明において用いられる光ファイバテープ心線では、光ファイバがばらけずに一体性を維持することを主たる目的とした場合は、外被の厚みは0.5  $\mu\text{m}$ 以上が好ましく、この場合の光ファイバテープ心線の最大厚さ  $T$  は、 $T \geq \text{光ファイバの外径 } d + 1 (\mu\text{m})$  となる。

40

#### 【0097】

また、光ファイバテープ心線の外被の物性によっても、活線分岐時の伝送損失の増大や分岐作業効率に影響を及ぼすときがある。外被の材料の特性として、降伏点応力が20 MPa ~ 45 MPaの範囲内が望ましく、容易に分岐作業を行うことができたり、活線分岐時の伝送損失を抑制することができる。降伏点応力はJIS K7113に従い、2号試験片について引っ張り速度を50mm/分として測定する。降伏点応力が20 MPa未満であると光ファイバテープ心線を集合してケーブル化する工程で加わる外力によって各光ファイバが分離してしまい、ケーブル化できないことがある。降伏点応力が45 MPaを超えると、外被が破壊されにくく光ファイバテープ心線の間後分岐がしづらい。

50

## 【0098】

また、ここで、図1に示した光ファイバケーブル1について、波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失値と偏波モード分散(PMD)値を測定した。また、中間後分岐時の伝送損失の増加量を測定した。

なお、ここで用いた光ファイバテープ心線は、図8に示した光ファイバテープ心線10cであり、その厚さ $T$ は $260\mu\text{m}$ である。光ファイバ11の外径 $d$ は $250\mu\text{m}$ である。また、外被の厚さ $t$ は $5\mu\text{m}$ であり、凹部の深さ $Y$ は $30\mu\text{m}$ であり、凹部での光ファイバテープ心線の厚さ $g$ は $200\mu\text{m}$ である。ただし、光ファイバテープ心線として一体化された光ファイバのうち、100心をG652に準拠するものを用いて、残りの100心をモードフィールド径が $10\mu\text{m}$ 以下のものを用いた。

10

## 【0099】

光ファイバケーブル1に収容された状態での光ファイバの伝送損失値は、G652の光ファイバで、最大値が $0.23\text{dB/km}$ であり、平均値が $0.21\text{dB/km}$ であった。モードフィールド径が $10\mu\text{m}$ 以下の光ファイバでは、最大値が $0.21\text{dB/km}$ であり、平均値が $0.20\text{dB/km}$ であった。

また、偏波モード分散値は、G652の光ファイバで、平均値が $0.025(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であり、標準偏差が $0.020(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であり、リンクPMDは $0.046(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であった。モードフィールド径が $10\mu\text{m}$ 以下の光ファイバでは、平均値が $0.022(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であり、標準偏差が $0.018(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であり、リンクPMDは $0.042(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ であった。

20

このように、ケーブル化した後の光ファイバの伝送損失及びPMDは、モードフィールド径が $10\mu\text{m}$ 以下のものが、特に特性が良好であった。

## 【0100】

また、上述したように、SZスペーサを用いた光ファイバケーブルは、中間後分岐性が良好である。そのため、局から一般の加入者までを繋ぐ、加入者系の通信路に用いられることが多い。そのため、SZスペーサの光ファイバケーブルの長さは局同士を繋ぐ中継系のものに比べて短い場合が多く、長くても数十 $\text{km}$ である。ただし、1つの加入者に対して局から加入者までの1本の光ファイバを割り当てると、加入者数が多い場合に収容心数の多い光ファイバケーブルが必要となり、太径化してしまうため、例えば管路へ敷設する際に好ましくない。このため、1本の光ファイバに多数の加入者の信号を重複させる波長多重伝送(WDM)技術が有効であり、高速伝送可能な光ファイバケーブルが望まれる。

30

本発明に係る光ファイバケーブルのように、リンクPMDが $0.2(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ 以下であると、伝送可能距離は、伝送速度が $40\text{Gbps}$ の場合に $156\text{km}$ となり、加入者系への十分な通信量を得ることが可能となる。

また、リンクPMDが $0.1(\text{ps}/\text{km}^{1/2})$ 以下であると、伝送可能距離は、伝送速度が $40\text{Gbps}$ の場合に $625\text{km}$ 、伝送速度が $80\text{Gbps}$ の場合に $156\text{km}$ となり、より好ましい。

## 【0101】

ここで、光ファイバケーブルから中間後分岐して伝送損失を測定する方法について、図12を参照して説明する。

40

まず、図12に示すように、光ファイバケーブル1の一方側で、任意の光ファイバテープ心線のうち、1番心の光ファイバ11aに波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を入射するための光源20を接続し、他方側の光ファイバ11aに受光器21とストレージオシロスコープ22を接続する。この状態で、光源20から1番心の光ファイバ11aに波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を入射する。入射された光は、光ファイバ11aの他方側へ伝わり、受光器21により受光される。受光された光は、ストレージオシロスコープ22によりその受光量が適時観察される。

## 【0102】

そして、光源20からの光の入射を行っている状態で、光ファイバケーブル1の中間部で $500\text{mm}$ 程度の長さでシースと押さえ巻きを除去し、スペーサ3を捻りながら曲げて

50

、溝から、光源 20 の光を入射した光ファイバ 11 a を含む光ファイバテープ心線 10 c を取り出す。そして、その光ファイバテープ心線 10 c を単心に分岐して、4 番心 11 b を切断した。なお、光ファイバテープ心線 10 c を分岐する方法は、図 3 を参照して説明した上記の手順によるものである。

#### 【0103】

伝送損失の測定は、光ファイバケーブル 1 のシースを除去する時から作業終了時まで、ストレージオシロスコープ 22 によって観察して行った。

その結果、作業中の伝送損失の増加量は、G 652 の光ファイバで 1.0 dB 以上の値は認められず、モードフィールド径が 10  $\mu\text{m}$  以下の光ファイバで 0.5 dB 以上の値は認められなかった。

10

#### 【0104】

また、本発明に係る他の態様の光ファイバケーブルについても、上記の光ファイバケーブル 1 と同様の試験を行った。

図 1 に示した光ファイバケーブル 1 は、S Z スペースを有する光ファイバケーブルであったが、一方向撚りのスペースを有する 200 心型の光ファイバケーブル（図示せず）について、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における伝送損失値と偏波モード分散（PMD）値を測定した。また、中間後分岐時の伝送損失の増加量を測定した。

本試験対象の光ファイバケーブルは、断面が図 1 に示した光ファイバケーブル 1 とほぼ同様であり、スペースの直径は 12 mm、シースの外径は 16 mm である。中心に配置された抗張力体は鋼線であり、10 本の溝は、長尺方向に沿って互いに平行な状態で、一方向の螺旋状に形成されている。この溝の撚り方向は、左撚りであり、その撚りピッチは、500 mm である。

20

#### 【0105】

なお、ここで用いた光ファイバテープ心線は、上記の光ファイバケーブル 1 の場合と同じものである。ただし、200 心全てに G 652 に準拠した光ファイバを使用した。

光ファイバケーブルに収容された状態での光ファイバの伝送損失値は、最大値が 0.22 dB/km であり、平均値が 0.20 dB/km であった。また、偏波モード分散値は、平均値が 0.027 ( $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ ) であり、標準偏差が 0.021 ( $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ ) であり、リンク PMD は 0.048 ( $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ ) であった。

また、上記の光ファイバケーブル 1 と同様の中間後分岐試験では、1.0 dB 以上の伝送損失の増加は認められなかった。

30

#### 【0106】

また、図 13 に示す、本発明に係る他の態様の光ファイバケーブルについても、上記の光ファイバケーブル 1 と同様の試験を行った。

図 1 に示した光ファイバケーブル 1 は、S Z スペースを有する 200 心型の光ファイバケーブルであったが、図 13 に示す光ファイバケーブルは、一方向撚りのスロットを有する 1000 心型の光ファイバケーブル 1 a である。この光ファイバケーブル 1 a について、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における伝送損失値と偏波モード分散（PMD）値を測定した。また、中間後分岐時の伝送損失の増加量を測定した。

#### 【0107】

本試験対象の光ファイバケーブル 1 a は、スペース 3 a の直径が 23 mm、シース 6 d の外径が 28 mm である。中心に配置された抗張力体は 7 本の鋼線 2 a が螺旋状に撚られた構成であり、13 本の溝 4 a は、長尺方向に沿って互いに平行な状態で、一方向の螺旋状に形成されている。13 本の溝 4 a のうち、12 本の溝 4 a に、光ファイバテープ心線 10 d が 10 枚積層されて収容されており、浅く形成された残りの 1 本の溝 4 a には、光ファイバテープ心線 10 d が 5 枚積層されて収容されている。溝 4 a の撚り方向は、左撚りであり、その撚りピッチは、500 mm である。

40

#### 【0108】

なお、この光ファイバケーブル 1 a に収容されている光ファイバテープ心線 10 d は、図 14 に示す 8 心型の光ファイバテープ心線 10 d である。この光ファイバテープ心線 1

50

0 d は、図 8 に示した 4 心型の光ファイバテープ心線 1 0 c を、8 心型としたものである。また、収容された 1 0 0 0 心の光ファイバのうち、5 0 0 心を G 6 5 2 に準拠するものを用いて、残りの 5 0 0 心をモードフィールド径が 1 0  $\mu$ m 以下のものを用いた。

#### 【0 1 0 9】

光ファイバケーブル 1 a に収容された状態での光ファイバの伝送損失値は、G 6 5 2 の光ファイバで、最大値が 0 . 2 2 d B / k m であり、平均値が 0 . 2 0 d B / k m であった。モードフィールド径が 1 0  $\mu$ m 以下の光ファイバでは、最大値が 0 . 2 1 d B / k m であり、平均値が 0 . 1 9 d B / k m であった。

また、偏波モード分散値は、G 6 5 2 の光ファイバで、平均値が 0 . 0 2 0 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であり、標準偏差が 0 . 0 1 5 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であり、リンク P M D は 0 . 0 4 2 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であった。モードフィールド径が 1 0  $\mu$ m 以下の光ファイバでは、平均値が 0 . 0 2 6 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であり、標準偏差が 0 . 0 1 8 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であり、リンク P M D は 0 . 0 4 4 ( p s / k m<sup>1 / 2</sup> ) であった。

#### 【0 1 1 0】

また、上記の光ファイバケーブル 1 と同様の中間後分岐試験（ただし、シース 6 d の除去長さは 7 5 0 m m）では、G 6 5 2 の光ファイバで 1 . 0 d B 以上の伝送損失の増加は認められず、モードフィールド径が 1 0  $\mu$ m 以下の光ファイバで 0 . 5 d B 以上の伝送損失の増加は認められなかった。

#### 【0 1 1 1】

このように、中間後分岐時の損失増加が 1 . 0 d B 以下である光ファイバケーブルは、活線状態での中間後分岐を良好に行うことができるため、所望の光ファイバのみを適宜分岐させて取り出し、他の光ファイバは、下流側で用いることができる。したがって、光ファイバケーブルに収容された全ての光ファイバを有効に活用することができる。したがって、通信線路の構築コストを低く抑えることができる。

また、中間後分岐時の損失増加が 0 . 5 d B 以下である光ファイバケーブルは、分岐しない光ファイバで高速通信を行っていても、あるいはダイナミックレンジの小さい領域で通信を行っていても、所望の光ファイバを分岐させて取り出すことができる。したがって、光通信網の設計自由度が優れて向上する。

#### 【0 1 1 2】

次に、スペーサの溝内における光ファイバテープ心線の好ましい配置について説明する。

図 7 及び図 8 に示した光ファイバテープ心線 1 0 b , 1 0 c のように、外被を構成する樹脂 1 2 b , 1 2 c に、隣接する光ファイバ 1 1 の間の窪みに応じた凹部 1 6 , 1 6 c が形成されている場合には、隣接して積層する光ファイバテープ心線 1 0 b , 1 0 c に対して、互いに光ファイバ 1 1 の並列ピッチの半分の距離の奇数倍だけ幅方向にずれて積層されていると良い。すなわち、図 1 5 に示すように、光ファイバテープ心線 1 0 c に含まれる光ファイバ 1 1 の並列ピッチを P (  $\mu$ m ) 、光ファイバテープ心線 1 0 c に含まれる光ファイバ 1 1 の心数の 1 / 2 以下である 0 を含む自然数を m としたときに、各光ファイバテープ心線 1 0 c が、隣接した光ファイバテープ心線 1 0 c に対して、光ファイバテープ心線 1 0 c の幅方向に m P + P / 2 (  $\mu$ m ) だけずれて積層されていると良い。

#### 【0 1 1 3】

この場合、光ファイバテープ心線 1 0 c は光ファイバ 1 1 の外周に沿って幅方向に凹凸を有する外形を有するため、隣接した光ファイバテープ心線 1 0 c 同士が、互いの凹凸を相補うように接触する。そのため、溝 4 内に積層された複数枚の光ファイバテープ心線 1 0 c により構成されるテープ心線積層体 ( スタック ) 3 0 の厚さが小さくなる。したがって、溝 4 の深さを小さくすることができ、光ファイバケーブルの細径化を図ることができる。また、隣接した光ファイバテープ心線 1 0 c 同士の凹凸が嵌り合って、テープ心線積層体 3 0 としての一体化作用が発生し、積層状態が安定しやすくなる。

#### 【0 1 1 4】

また、光ファイバテープ心線 1 0 c が積層してなるテープ心線積層体 3 0 の幅方向長さ

を小さくするためには、前記  $m$  の値を 0 として、隣接する光ファイバテープ心線 10c 同士が  $P/2$  ( $\mu m$ ) だけずれて積層されていると良い。この場合、溝 4 の幅方向の長さを短くすることができ、光ファイバケーブルの細径化を図ることができる。

#### 【0115】

また、図 16 に示すように、隣接した光ファイバテープ心線 10c に対して、幅方向へのずれ方向を順次交互にして並列ピッチ  $P$  の半分の距離だけずらして積層すれば、テープ心線積層体 30 の幅方向長さをさらに小さくすることができる。また、テープ心線積層体 30 の安定した積層状態をさらに保持し易くなる。

#### 【0116】

なお、光ファイバテープ心線 10c に含まれる隣接した光ファイバ 11 同士が互いに接触して配置されている場合、並列ピッチ  $P$  と光ファイバ 11 の外径  $d$  は等しくなり、幅方向へのずれ量  $mP + P/2$  は  $md + d/2$  によっても算出可能である。これに対して、隣接する光ファイバ 11 同士が接触していない場合には、光ファイバ 11 間の間隔と外径  $d$  の和が並列ピッチ  $P$  の値となる。

#### 【0117】

また、光ファイバケーブルのスペーサが S Z スペーサである場合には、溝 4 の撚り方向が周期的に反転しているため、そこに収容されている光ファイバテープ心線 10c のテープ心線積層体 30 も溝 4 の内側で、長手方向に沿って溝 4 に対してその姿勢が相対的に回転し、なおかつ周期的に反転する。その際、上記のように光ファイバテープ心線 10c を幅方向に光ファイバ 11 の並列ピッチ  $P$  の半分の長さだけ順次交互にずらして積層しておくことで、光ファイバテープ心線 10c が積層状態を保ちやすく、積層状態が崩れることによる光ファイバ 11 の歪みの発生を防いで伝送損失の増加を抑えることができる。

#### 【0118】

また、図 17 に、テープ心線積層体に対する溝の好ましい大きさを模式的に表した図を示す。

上述したように、S Z スペーサの場合には溝 4 に対してテープ心線積層体 30 が長手方向に沿って回転する。そのため、溝 4 の断面視における大きさを、テープ心線積層体 30 の外接円 33 を内包できる大きさにすると良い。これにより、溝 4 内でテープ心線積層体 30 がその積層状態を保ったまま無理なく回転できるようになり、光ファイバ 11 に無理な歪みが加わることを防いで伝送損失の増加を抑制できる。また、テープ心線積層体 30 における光ファイバテープ心線 10c の積層ずれを交互にすることで、外接円 33 の半径が小さくなり、それに伴い溝 4 の大きさも小さくできる。

#### 【0119】

また、ほぼ長方形断面の溝 4 の代わりに、略台形の溝 4b としても良い。その場合、溝 4b の底部における溝幅  $Wsb$  を、収容した光ファイバテープ心線 10c の幅  $W$  以上とすることで、溝 4b の底に配置された光ファイバテープ心線 10c に対する側圧の付加を防止できる。

#### 【0120】

また、テープ心線積層体 30 の外接円 33 の直径  $2R$  は、テープ心線積層体 30 の最下部と最上部に位置する光ファイバテープ心線 10c に外接する四角形 31 の対角線 32 の長さから、四角形 31 の頂点とテープ心線積層体 30 との距離を除いた長さを算出して求めることができる。すなわち、図 17 における四角形 31 の左上部分を拡大した図 18 に示されるそれぞれの長さを用いて、次式 (1) ~ (3) により外接円 33 の直径  $2R$  が求められる。

$$2R = \{ (nT - (n-1)z)^2 + (W + P/2)^2 \}^{1/2} - 2C \quad \dots (1)$$

$$z = T - (T^2 - (P/2)^2)^{1/2} \quad \dots (2)$$

$$C = \{ (T/2)^2 + (d/2 + t_2)^2 \}^{1/2} - \{ d/2 + (t + t_2)/2 \} \quad \dots (3)$$

なお、この式 (1) ~ (3) において、 $W$  は光ファイバテープ心線 10c の幅、 $n$  は光ファイバテープ心線 10c の積層枚数、 $T$  は光ファイバテープ心線 10c の厚さ、 $d$  は光

ファイバ 11 の外径、 $f$  は光ファイバテープ心線 10 c に含まれる光ファイバ 11 の数、 $z$  は隣接する光ファイバテープ心線 10 c 同士のオーバーラップ長さ、 $C$  は四角形 31 の頂点とテープ心線積層体 30 との距離、 $t_2$  は光ファイバテープ心線 10 c 縁辺における外被 12 c の厚さである。

#### 【0121】

また、図 17 に示した形態ではテープ心線積層体 30 を構成する光ファイバテープ心線 10 c が偶数枚であり、四角形 31 の対角線長さは式 (1) 中の  $\{(nT - (n-1)z)^2 + (W + P/2)^2\}^{1/2}$  の項により算出されるが、図 19 に示す形態のようにテープ心線積層体 30 a を構成する光ファイバテープ心線 10 c が奇数である場合には、テープ心線積層体 30 a に外接する四角形 31 a の対角線長さは  $\{(nT - (n-1)z)^2 + W^2\}^{1/2}$  により算出される。そのため、テープ心線積層体 30 a が奇数の光ファイバテープ心線 10 c により構成される場合には、外接円 33 a を求めるにあたって上記式 (1) の代わりに次式 (4) を用いると良い。

$$2R = \{(nT - (n-1)z)^2 + W^2\}^{1/2} - 2C \quad \dots (4)$$

#### 【0122】

また、図 20 及び図 21 に示すように、溝 4 c、4 e の底部の断面形状を円弧形状として、その円弧部分 4 d、4 f の半径を外接円 33、33 a の半径以上とすることで、溝 4 c、4 e 内でテープ心線積層体 30、30 a がスムーズに回転できるようになる。これにより、伝送損失の増加をより効果的に防ぐことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0123】

【図 1】本発明に係る光ファイバケーブルの一実施形態を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示す光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線の断面図である。

【図 3】光ファイバテープ心線の分岐方法を示す模式図である。

【図 4】図 1 に示す光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線の断面図である。

【図 5】光ファイバテープ心線の間後分岐試験の様子を示す模式図である。

【図 6】光ファイバテープ心線の分離試験の様子を示す模式図である。

【図 7】図 1 に示す光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線を示す図であり、(A) は断面図、(B) は斜視図である。

【図 8】図 1 に示す光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線を示す図であり、(A) は断面図、(B) は斜視図である。

【図 9】図 8 に示す光ファイバテープ心線が撓んでいる状態を示す断面図である。

【図 10】光ファイバと外被との密着力を測定する際の様子を示す斜視図である。

【図 11】光ファイバと外被との密着力を測定する際の様子を示す模式図である。

【図 12】光ファイバケーブルから光ファイバテープ心線を中間後分岐する試験の様子を示す模式図である。

【図 13】本発明に係る光ファイバケーブルの他の実施形態を示す断面図である。

【図 14】図 13 に示す光ファイバケーブルに収容される光ファイバテープ心線を示す断面図である。

【図 15】光ファイバテープ心線の好ましい配置の一例を示す模式的な断面図である。

【図 16】光ファイバテープ心線の好ましい配置の他の例を示す模式的な断面図である。

【図 17】スペーサの溝の好ましい大きさの一例を示す模式的な断面図である。

【図 18】図 17 における外接円の直径を算出する際に用いられる長さを示す模式図である。

【図 19】スペーサの溝の好ましい大きさの他の例を示す模式的な断面図である。

【図 20】底部が円弧形状を有する溝の好ましい大きさの一例を示す模式的な断面図である。

【図 21】底部が円弧形状を有する溝の好ましい大きさの他の例を示す模式的な断面図で



ある。

【図 2 2】従来の光ファイバケーブルの一例を示す断面図である。

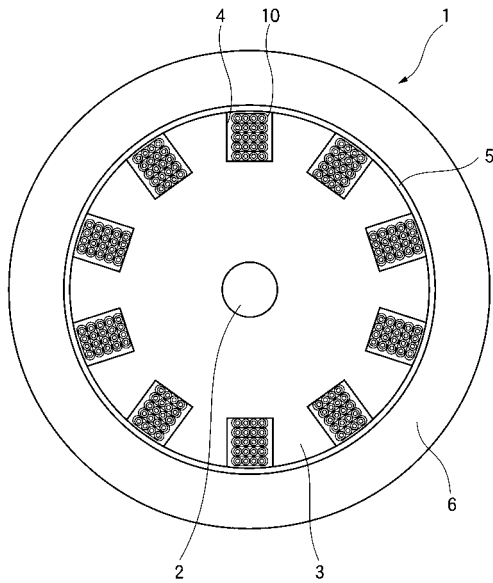
【符号の説明】

【0 1 2 4】

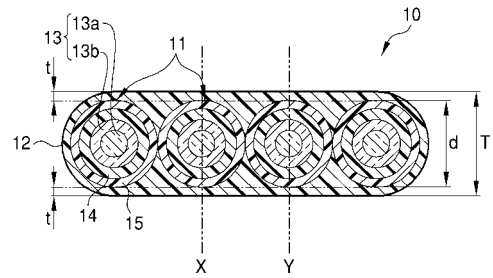
- 1 光ファイバケーブル
- 2 抗張力体
- 3 スペーサ
- 4 溝
- 5 押さえ巻き
- 6 シース
- 1 0 光ファイバテープ心線
- 1 1 光ファイバ
- 1 2 外被（樹脂）
- 1 3 ガラスファイバ
- 1 4 一次保護被覆
- 1 5 二次保護被覆
- 1 6 凹部
- 1 7 底部

10

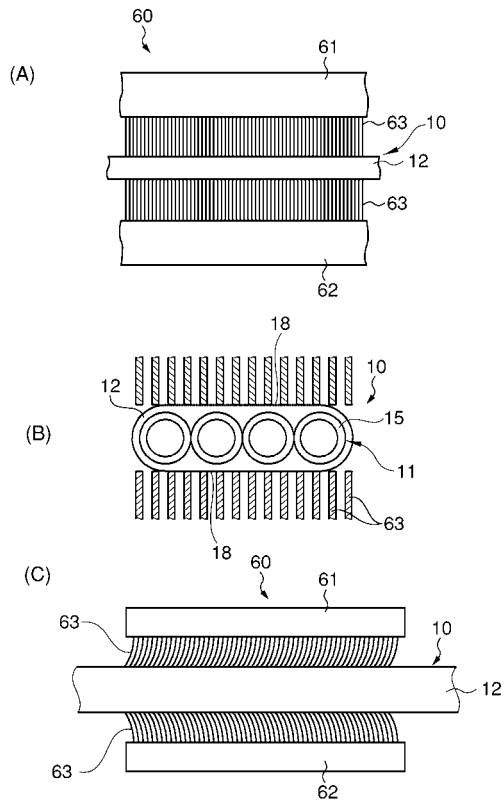
【図 1】



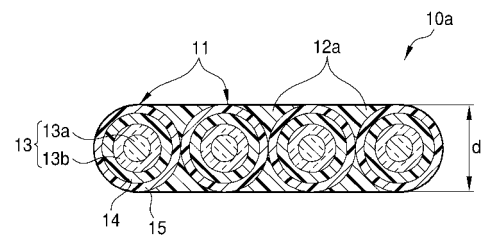
【図 2】



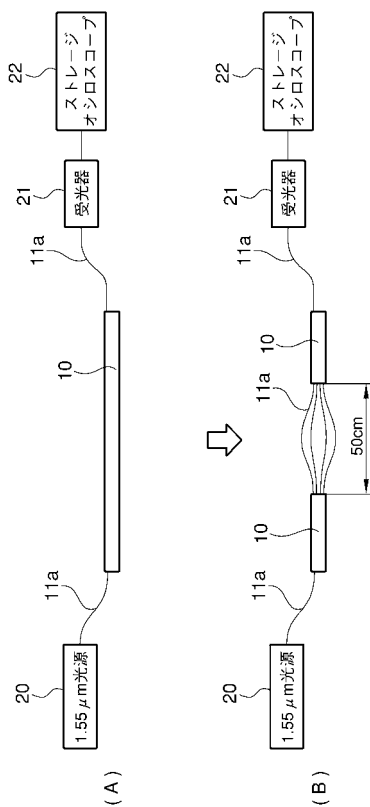
【図 3】



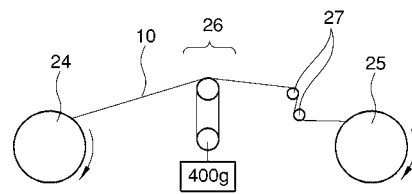
【図 4】



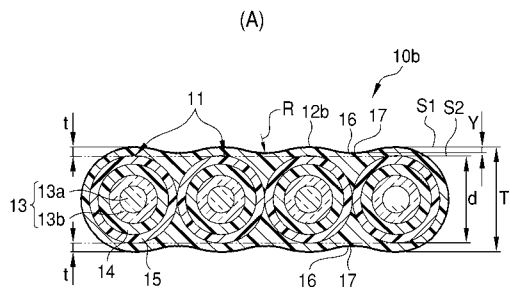
【図 5】



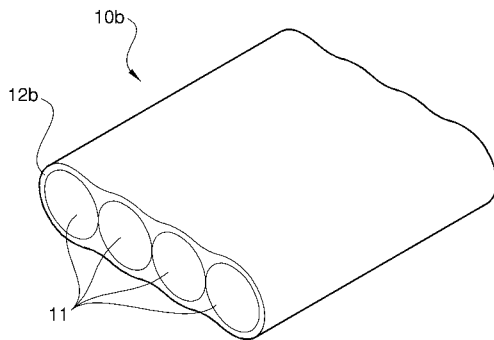
【図 6】



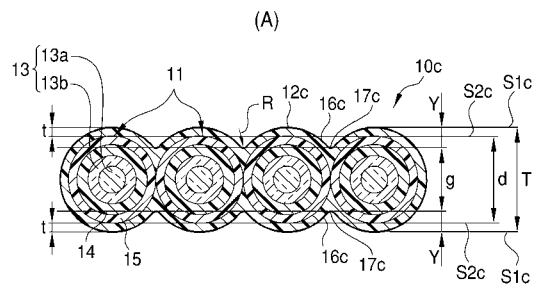
【図 7】



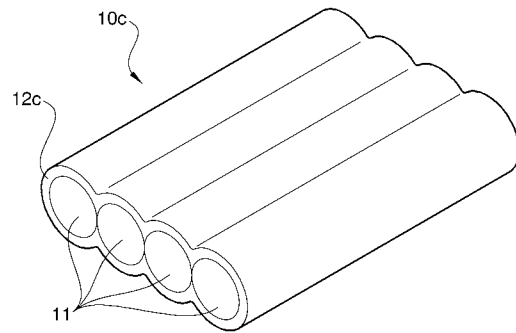
(B)



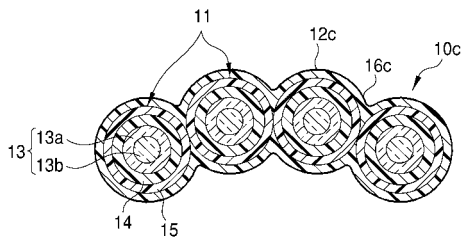
【図 8】



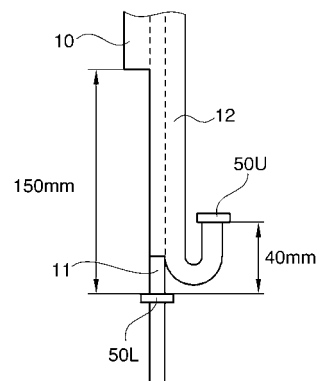
(B)



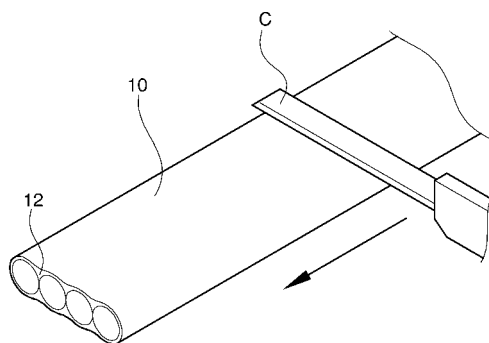
【図 9】



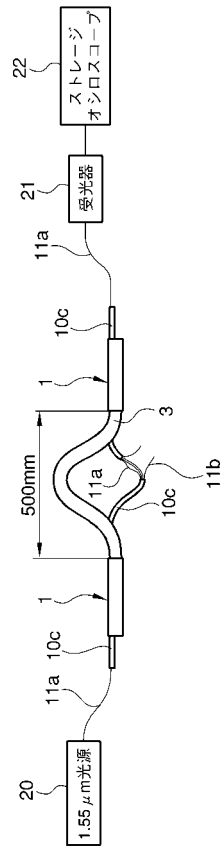
【図 11】



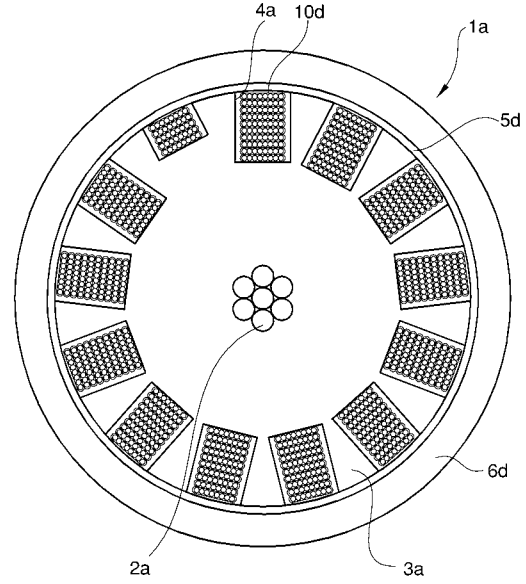
【図 10】



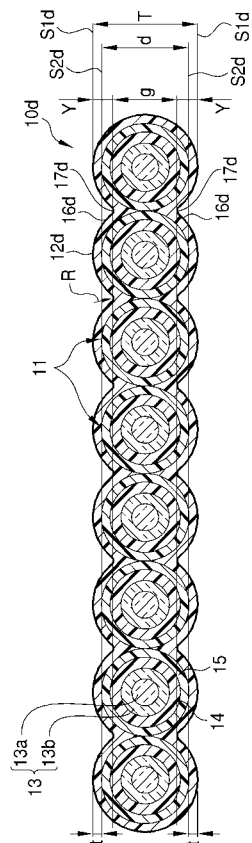
【図 1 2】



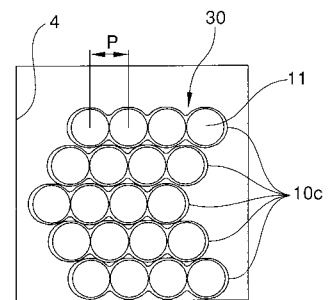
【図 1 3】



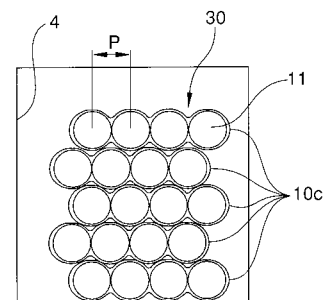
【図 1 4】



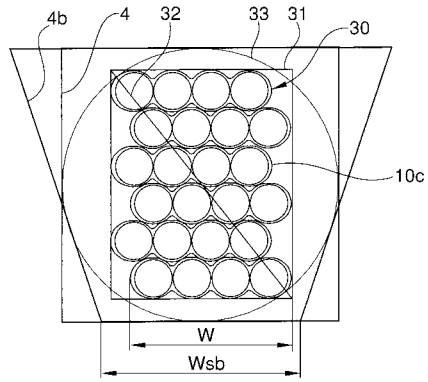
【図 1 5】



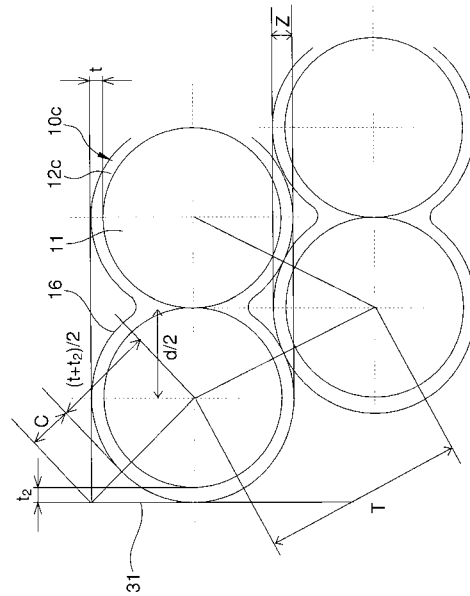
【図 1 6】



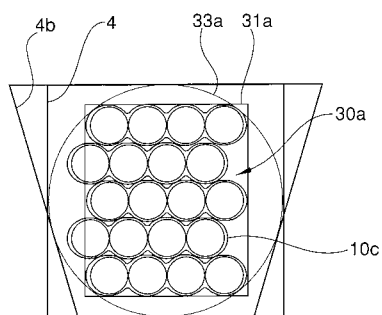
【図 17】



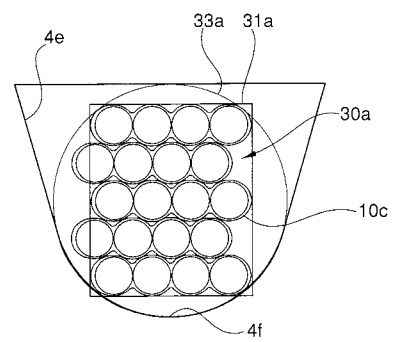
【図 18】



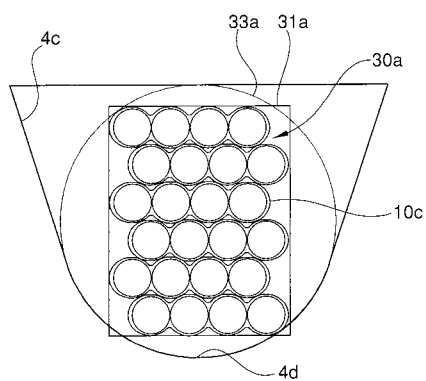
【図 19】



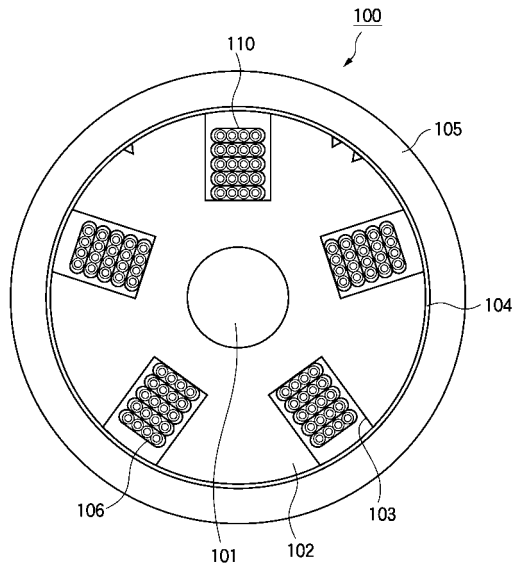
【図 21】



【図 20】



【図 22】



## 【手続補正書】

【提出日】平成16年6月29日(2004.6.29)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項8

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【請求項8】

請求項6または請求項7に記載の光ファイバケーブルであって、

前記光ファイバテープ心線は、前記凹部の深さを $Y$  ( $\mu\text{m}$ )としたときに、 $(T-d)/2Y \leq 4.0$ であることを特徴とする光ファイバケーブル。

---

フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 厚

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 奥野 薫

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 2H001 BB10 BB16 BB22 BB27 DD04 DD09 KK02 KK06 KK17 KK22

PP01

2H050 BB02W BB32S BB33S BB35S BC04 BD02