

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7613595号
(P7613595)

(45)発行日 令和7年1月15日(2025.1.15)

(24)登録日 令和7年1月6日(2025.1.6)

(51)国際特許分類		F I			
G 0 2 B	6/44 (2006.01)	G 0 2 B	6/44	3 6 6	
G 0 2 B	6/02 (2006.01)	G 0 2 B	6/02	4 6 1	

請求項の数 4 (全13頁)

(21)出願番号	特願2023-542128(P2023-542128)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年8月19日(2021.8.19)	(74)代理人	100119677 弁理士 岡田 賢治
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/030375	(74)代理人	100160495 弁理士 畑 雅明
(87)国際公開番号	WO2023/021657	(74)代理人	100115794 弁理士 今下 勝博
(87)国際公開日	令和5年2月23日(2023.2.23)	(72)発明者	山田 裕介 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和6年1月25日(2024.1.25)	(72)発明者	中島 和秀 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(出願人による申告) 2021年度、国立研究開発法人情報通信研究機構「マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発 副題：標準クラッド径マルチコアファイバ伝送路技術の確立」委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 光ファイバケーブル

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

非結合型である同一のマルチコア光ファイバを複数束ねて形成したユニットを複数撚り合わせて形成された光ファイバケーブルであって、

全ての前記ユニットは、同じ直径であること、

断面において前記ユニットが中心から複数の層状に配置されていること、

長手方向において前記層毎に前記ユニットがらせん形状に配置されていること、

前記層の1つに含まれる全ての前記ユニットは前記らせん形状の撚りピッチが同じであること、

最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_1 と前記最内層から数えて m 番目 (m は 2 以上の整数) の層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_m との関係が数 C 4 であること、及び

数 C 2 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の曲率 1 が当該マルチコア光ファイバにおいてクロストークが最も大きくなる曲率 R_{pk} と異なること

を特徴とする光ファイバケーブル。

【数 C 1】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi / n)\} \quad (C1)$$

10

【数 C 2】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C2)$$

【数 C 4】

$$P_m = 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C4)$$

10

ここで、 d は前記ユニットの直径、 n は前記最内層に配置された前記ユニットの数、 r_1 は数 C 1 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚り半径である。

【請求項 2】

非結合型である同一のマルチコア光ファイバを複数束ねて形成したユニットを複数撚り合わせて形成された光ファイバケーブルであって、

全ての前記ユニットは、同じ直径であること、

断面において前記ユニットが中心から複数の層状に配置されていること、

長手方向において前記層毎に前記ユニットがらせん形状に配置されていること、

前記層の 1 つに含まれる全ての前記ユニットは前記らせん形状の撚りピッチが同じであること、

20

最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_1 と前記最内層から数えて m 番目 (m は 2 以上の整数) の層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_m との関係が数 C 8 であること、及び

数 C 2 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の曲率 1 が当該マルチコア光ファイバにおいてクロストークが最も大きくなる曲率 R_{pk} より一桁小さいこと

を特徴とする光ファイバケーブル。

【数 C 1】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi/n)\} \quad (C1)$$

30

【数 C 2】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C2)$$

【数 C 8】

$$P_m \geq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C8)$$

40

ここで、 d は前記ユニットの直径、 n は前記最内層に配置された前記ユニットの数、 r_1 は数 C 1 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚り半径である。

【請求項 3】

非結合型である同一のマルチコア光ファイバを複数束ねて形成したユニットを複数撚り合わせて形成された光ファイバケーブルであって、

全ての前記ユニットは、同じ直径であること、

断面において前記ユニットが中心から複数の層状に配置されていること、

50

長手方向において前記層毎に前記ユニットがらせん形状に配置されていること、
 前記層の1つに含まれる全ての前記ユニットは前記らせん形状の撚りピッチが同じであること、
最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_1 と前記最内層から数えて m 番目 (m は 2 以上の整数) の層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚りピッチ P_m との関係が数 C_{12} であること、及び
数 C_2 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の曲率 ρ_1 が当該マルチコア光ファイバにおいてクロストークが最も大きくなる曲率 R_{pk} より一桁大きいこと
 を特徴とする光ファイバケーブル。

10

【数 C_1 】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi/n)\} \quad (C1)$$

【数 C_2 】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C2)$$

【数 C_{12} 】

$$P_m \leq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C12)$$

20

ここで、 d は前記ユニットの直径、 n は前記最内層に配置された前記ユニットの数、 r_1 は数 C_1 で計算される前記最内層に配置された前記ユニットの前記らせん形状の撚り半径である。

【請求項 4】

互いに隣接する層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚り方向が、互いに異なることを特徴とした請求項 1 から 3 のいずれかに記載の光ファイバケーブル。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ心線を束ねて細径高密度化した光ファイバケーブルに関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ心線を束ねて細径高密度化した光ファイバケーブルが提案されている（例えば特許文献 1）。この光ファイバケーブルは、シングルコア光ファイバ心線を束ねたユニットを複数形成し、それらのユニットを撚り合わせた構造をとる。このような構造にすることで、多心の光ファイバケーブルを細径かつ軽量で実現でき、取り扱い性が向上し、様々な場所に敷設することが可能となる。

40

【0003】

また、近年では、伝送容量の増加に伴い、光ファイバ自体の空間多重度を高めることが求められる。空間多重度を高める一つの技術として 1 本の光ファイバの中に複数の光を伝搬させることが可能な、複数のコアを有するマルチコア光ファイバが提案されている（例えば非特許文献 1 参照。）。

【0004】

マルチコア光ファイバ心線を束ねたユニットを複数形成し、これらのユニットを撚り合わせた構造の光ファイバケーブルにより、伝送容量の増加に対応しつつ、細径高密度な光ファイバケーブルを実現することができる。また、ユニットを撚り合わせたものの周囲に

50

さらにユニットを撚り合わせるといった複数の層からなる光ファイバケーブルの構造により、光ファイバケーブルの伝送容量をさらに増やすことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2007-41568

【非特許文献】

【0006】

【文献】“ Crosstalk suppressed hole-assisted 6-core fiber with cladding diameter of 125 μm ” 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013)

10

【文献】“ Analytical Expression of Average Power-Coupling Coefficients for Estimating Intercore Crosstalk in Multicore Fibers” IEEE Photonics Journal Year: 2012 | Volume: 4, Issue: 5

【文献】“ Design of High-Density Cable Parameters for Controlling Spatial-Mode Dispersion of Randomly Coupled Multi-Core Fibers” Journal of Lightwave Technology Year: 2021 | Volume: 39, Issue: 4

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

一方で、マルチコア光ファイバでは、それぞれのコアを伝搬する光同士のクロストークを抑制することが重要である。このクロストークはマルチコア光ファイバの曲げ、すなわち曲率の影響を受けることが知られている（例えば、非特許文献2参照。）。そのため、マルチコア光ファイバは、その曲率によりクロストークを抑制することができる。

【0008】

30

前述した複数の層からなる光ファイバケーブルでは、光ファイバケーブル内の層ごとに曲率が異なる。この場合、光ファイバケーブル内のいずれかの層の曲率においてクロストークを抑制できるマルチコア光ファイバを光ファイバケーブルに使用したとしても、曲率が異なる他の層ではクロストークの抑制を保證できない。そのため、複数の層からなる光ファイバケーブル内のすべてのマルチコア光ファイバに対してクロストークを抑制することが困難という課題がある。

【0009】

そこで、前記課題を解決するために、本発明は、非結合型である同一のマルチコア光ファイバを異なるらせん形状で複数有する光ファイバケーブル内のすべてのマルチコア光ファイバに対してクロストークを抑制することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、本開示の光ファイバケーブルは、マルチコア光ファイバを束ねたユニットを撚り合わせて形成された複数層からなる光ファイバケーブルにおいて、マルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制するためには、光ファイバケーブルの各層のユニットの撚りピッチを適切に設定することとした。

【0011】

具体的には、本開示に係る光ファイバケーブルは、非結合型である同一のマルチコア光ファイバを複数束ねて形成したユニットを複数撚り合わせて形成された光ファイバケーブルであって、

50

全ての前記ユニットは、同じ直径であること、
 断面において前記ユニットが中心から複数の層状に配置されていること、
 長手方向において前記層毎に前記ユニットがらせん形状に配置されていること、
 前記層の1つに含まれる全ての前記ユニットは前記らせん形状の撚りピッチが同じであること、及び

前記撚りピッチは層毎に異なり、クロストークが最も大きくなる前記マルチコア光ファイバの曲率 R_{pk} に基づいて設定されていることを特徴とする。

【0012】

例えば、本開示に係る光ファイバケーブルは、

最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚り半径 r_1 が数 C 1、前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_1 が数 C 2、前記最内層と異なる特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_m が数 C 3、かつ、前記特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ P_m が数 C 4 で設定されており、

前記曲率 R_{pk} が前記曲率 ρ_1 と一致しないことを特徴とする。

【数 C 1】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi / n)\} \quad (C1)$$

10

20

【数 C 2】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C2)$$

【数 C 3】

$$\rho_m = \{r_1 + d(m-1)\} / [\{r_1 + d(m-1)\}^2 + (P_m/2\pi)^2] \quad (C3)$$

【数 C 4】

$$P_m = 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C4)$$

30

ここで、 d は前記直径、 n は前記最内層内のユニット数、 P_1 は前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ、 m は前記最内層を1層目とした場合における前記特定の層の前記中心からの層数を表す。

【0013】

例えば、本開示に係る光ファイバケーブルは、

最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚り半径 r_1 が数 C 5、前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_1 が数 C 6、前記最内層と異なる特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_m が数 C 7、かつ、前記特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ P_m が数 C 8 で設定されており、

前記曲率 R_{pk} が前記曲率 ρ_1 よりも小さいことを特徴とする。

【数 C 5】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi / n)\} \quad (C5)$$

40

【数 C 6】

50

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C6)$$

【数 C 7】

$$\rho_m = \{r_1+d(m-1)\} / [\{r_1+d(m-1)\}^2 + (P_m/2\pi)^2] \quad (C7)$$

【数 C 8】

$$P_m \geq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C8) \quad 10$$

ここで、d は前記直径、n は前記最内層内のユニット数、P₁ は前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ、m は前記最内層を 1 層目とした場合における前記特定の層の前記中心からの層数を表す。

【0014】

例えば、本開示に係る光ファイバケーブルは、

最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚り半径 r₁ が数 C 9 で、前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_1 が数 C 10 で、前記最内層と異なる特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の曲率 ρ_m が数 C 11、かつ、前記特定の層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ P_m を数 C 12 で設定されており、前記曲率 R_{p k} が前記曲率 ρ_1 よりも大きいことを特徴とする。

20

【数 C 9】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi/n)\} \quad (C9)$$

【数 C 10】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (C10) \quad 30$$

【数 C 11】

$$\rho_m = \{r_1+d(m-1)\} / [\{r_1+d(m-1)\}^2 + (P_m/2\pi)^2] \quad (C11)$$

【数 C 12】

$$P_m \leq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (C12) \quad 40$$

ここで、d は前記直径、n は前記最内層内のユニット数、P₁ は前記最内層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚りピッチ、m は前記最内層を 1 層目とした場合における前記特定の層の前記中心からの層数を表す。

【0015】

本開示の光ファイバケーブルは、ユニットの撚りピッチを層毎に調整することにより、ユニットを形成するマルチコア光ファイバの曲率を、当該マルチコア光ファイバのクロストークが最大となる曲率 R_{p k} からずらすこととした。これにより、光ファイバケーブル内のすべてのマルチコア光ファイバのクロストークを抑制することができる。

50

【 0 0 1 6 】

また、本開示に係る光ファイバケーブルは、互いに隣接する層に配置された前記ユニットのらせん形状の撚り方向が、互いに異なってもよい。

【 0 0 1 7 】

これにより、隣接する層間で隣り合うユニット同士的位置が入れ替わることを抑制し、所望の撚りピッチで安定に製造することが可能となる。

【 0 0 1 8 】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【発明の効果】

10

【 0 0 1 9 】

本開示によれば、非結合型である同一のマルチコア光ファイバを異なるらせん形状で複数有する光ファイバケーブル内のすべてのマルチコア光ファイバに対して低いクロストークを確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】実施形態に係る光ファイバケーブルの概略構成の一例を示す。

【図 2】実施形態に係る光ファイバケーブルの設計方法の手順の一例を示す。

【図 3】実施形態に係るユニットの撚り方向を説明する図である。

【図 4】実施形態に係るユニットの撚り方向を説明する図である。

20

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本発明は、以下に示す実施形態に限定されるものではない。これらの実施の例は例示に過ぎず、本開示は当業者の知識に基づいて種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

【 0 0 2 2 】

(実施形態)

本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 の一例を図 1 に示す。

30

本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 は、非結合型である同一のマルチコア光ファイバを複数束ねて形成したユニット 11 を複数撚り合わせて形成された光ファイバケーブル 10 であって、

全てのユニット 11 は、同じ直径であること、

断面においてユニット 11 が中心 O から複数の層状に配置されていること、

長手方向において層毎にユニット 11 がらせん形状に配置されていること、

層の 1 つに含まれる全てのユニット 11 はらせん形状の撚りピッチが同じであること、及び

撚りピッチは層毎に異なり、クロストークが最も大きくなるマルチコア光ファイバの曲率 R_{pk} に基づいて設定されていること、

40

を特徴とする。

【 0 0 2 3 】

図 1 (a) の断面図は、光ファイバケーブル 10 の長手方向に垂直な断面図を表す。本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 では、図 1 (a) の断面図に示すように、光ファイバケーブル 10 の断面における中心 O から距離 r_1 を半径とする円周上に自身の中心があるユニット 11 により第 1 層を形成する。光ファイバケーブル 10 の断面における中心 O から距離 r_2 を半径とする円周上に自身の中心があるユニット 11 により第 2 層を形成する。光ファイバケーブル 10 の断面における中心 O から距離 r_3 を半径とする円周上に自身の中心があるユニット 11 により第 3 層を形成する。本実施形態では、3 層構造としたが、層数は任意である。また、本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 は、撚り合わ

50

されたユニット 11 の外周を外被 12 で覆う構造とする。

【0024】

本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 では、第 1 層を形成するユニット 11 は、距離 r_1 を撚り半径として、光ファイバケーブル 10 の長手方向に沿ったらせん形状とする。同様に、第 2 層を形成するユニット 11 は距離 r_2 を撚り半径として、第 3 層を形成するユニット 11 は距離 r_3 を撚り半径として、光ファイバケーブル 10 の長手方向に沿ったらせん形状とする。

【0025】

これらのらせん形状の側面からの様子を図 1 (b) の側面図に示す。図 1 (b) の側面図は、各層に含まれるユニット 11 をそれぞれ 1 つずつ抜き出して、それらの側面から見た形状を表す。図 1 (b) の側面図に示すように、各層のユニットは、側面からみると正弦波のような波形状である。この波形状の振幅が、撚り半径に相当する。また、この波形状の波長を撚りピッチといい、第 1 層目は P_1 、第 2 層目は P_2 、第 3 層目は P_3 とする。

10

【0026】

なお、各ユニット 11 に含まれるマルチコア光ファイバは、ユニット 11 に従って同様にらせん形状に曲げられ、マルチコア光ファイバの曲率は、自身が含まれているユニット 11 の曲率と同様とする。

【0027】

ここで、第 1 層に含まれるユニット 11 (以下「第 1 層ユニット 11」と略記する。) に注目すると、第 1 層ユニット 11 のらせん形状の曲率 ρ_1 は、次式で表せる。

20

【数 1】

$$\rho_1 = r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) \quad (1)$$

この式から曲率 ρ_1 は、ピッチ P_1 と撚り半径 r_1 によって決まる。曲率 ρ_1 が、後述する曲率 R_{pk} と一致しないようにピッチ P_1 と撚り半径 r_1 を設定する。

【0028】

撚り半径 r_1 は、第 1 層ユニット 11 の数 n とユニット 11 の直径 d より、次式で表せる。

【数 2】

$$r_1 = d / \{2 \times \sin(\pi/n)\} \quad (2)$$

30

【0029】

次に第 2 層に含まれるユニット 11 (以下「第 2 層ユニット 11」と略記する。) に注目する。第 2 層目は、第 1 層目の外周に撚り合わされるため、第 2 層ユニット 11 のらせん形状の曲率 ρ_2 は、次式で表せる。

【数 3】

$$\rho_2 = r_2 / (r_2^2 + (P_2/2\pi)^2) \quad (3)$$

40

【0030】

第 3 層に含まれるユニット 11 (以下「第 3 層ユニット 11」と略記する。) は、上式と同様に、次式で表せる。

【数 4】

$$\rho_3 = r_3 / (r_3^2 + (P_3/2\pi)^2) \quad (4)$$

【0031】

すなわち、第 m 層に含まれるユニット 11 (以下「第 m 層ユニット 11」と略記する。

50

)のらせん形状の曲率 m は、次式で表せる。ただし、 m は 2 以上の整数とする。

【数 5】

$$\rho_m = \{r_1 + d(m-1)\} / [\{r_1 + d(m-1)\}^2 + (P_m/2\pi)^2] \quad (5)$$

【0032】

ここで、第 1 層ユニット 11 内の光ファイバと、第 m 層ユニット 11 内の光ファイバのらせん形状の曲率を同じにするために、式 (1) の右辺及び式 (5) の右辺を等式で結んだ次式を満たすようにユニット 11 を撚り合わせる。

【数 6】

$$r_1 / (r_1^2 + (P_1/2\pi)^2) = \{r_1 + d(m-1)\} / [\{r_1 + d(m-1)\}^2 + (P_m/2\pi)^2] \quad (6)$$

各ユニット径やらせん半径はユニット内の光ファイバ心線数とユニット数によって決められる。このため、 P_m を調整することで、第 m 層ユニット 11、すなわち、マルチコア光ファイバの曲率を第 1 層ユニット 11 と同一にすることができる。この P_m は、上式より、以下の式で表される。

【数 7】

$$P_m = 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (7)$$

【0033】

このような構造とすることで、光ファイバケーブル 10 内の光ファイバの曲率を均一化することができる。ここで、本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 の製造方法の一例について図 2 に示す。マルチコア光ファイバの設計、すなわち、マルチコア光ファイバのクロストーク特性 (例えば、非特許文献 2 参照。) に応じて、クロストークを抑制できる曲率を算出し (ステップ S01)、当該曲率となるように第 1 層ユニット 11 のユニット数及び撚りピッチを設定し (ステップ S02)、さらに光ファイバケーブル内における各層のユニットの曲率が均一となるように式 (7) を用いて各層に配置するユニット 11 の撚りピッチを設定する (ステップ S03)。ここで、ステップ S01 では、後述する曲率 R_{pk} を避ける曲率を算出する。これらの手順により、本実施形態に係る光ファイバケーブル 10 を製造でき、光ファイバケーブル 10 内のすべてのマルチコア光ファイバ心線のクロストークを抑制することができる。

【0034】

次に、マルチコア光ファイバのクロストーク特性を考慮した撚りピッチの設定可能範囲について説明する。非特許文献 2 のように、マルチコア光ファイバのクロストークはある曲率 R_{pk} で最大値をとることが知られており、この R_{pk} を避けるようにケーブル化すればよい。

【0035】

例えば、 R_{pk} の曲率 $= 20 \text{ m}^{-1}$ (曲げ半径で表す場合は、 $1 / [m^{-1}] = 50 \text{ [mm]}$)、ユニット直径 $d = 1.5 \text{ mm}$ (直径 0.25 mm のファイバを 20 本束ねた場合のユニット直径の実測例)、ユニット数 $n = 3$ とした場合は、式 (2) より撚り半径 $r_1 = 0.86 \text{ mm}$ となり式 (1) に代入すると、 $P_1 = 41 \text{ mm}$ となり、このピッチを避けて製造すればよいことになる。

【0036】

ここで、 R_{pk} よりも 1 が十分に、例えば一桁程度小さくなるように離して P_1 を設定したとすると、光ファイバの曲率変化に対するクロストークの変化量は小さくなる (例えば非特許文献 2 参照。) このため、第 1 層ユニット 11 と第 m 層ユニット 11 の曲率が

10

20

30

40

50

全く同一である必要性はなく、クロストークが劣化しなければよい。この場合は、式(8)を満たすように、第m層ユニット11のピッチPmを設定することができる。

【数8】

$$P_m \geq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (8)$$

これにより厳密に撚りピッチを設定することが不要となり光ケーブルの製造性を高めることが可能となる。

10

【0037】

また、Rp kよりも1が十分に、例えば一桁程度大きくなるように離してP1を設定した場合にも、光ファイバの曲率変化に対するクロストークの変化量は小さくなる(例えば非特許文献2参照)。このため、第1層ユニット11と第m層ユニット11の曲率が全く同一である必要性はなく、クロストークが劣化しなければよい。この場合は、式(9)を満たすように、第m層ユニット11のピッチPmを設定することができる。

【数9】

$$P_m \leq 2\pi \sqrt{\frac{r_1 + d(m-1) \cdot r_1^2 + \left(\frac{P_1}{2\pi}\right)^2 - [r_1 + d(m-1)]^2}{r_1}} \quad (9)$$

20

これにより厳密に撚りピッチを設定することが不要となり光ケーブルの製造性を高めることが可能となる。

【0038】

なお、前述の光ファイバケーブル10の製造方法は、式(8)や式(9)を用いる場合にも適用できる。具体的には、ステップS01において及びS02は前述したとおりに行う。その後、ステップS03において、ステップS01で算出した曲率(1)がRp kよりも十分に小さくなる場合は式(8)に基づいて、ステップS01で算出した曲率(1)がRp kよりも十分に大きくなる場合は式(9)に基づいて、各層のユニット11の撚りピッチを設定する。

30

【0039】

ここまで示したユニットの撚り合わせ構造は、各層の各ユニットが互いに隣接する層のユニットと入れ替わることがないことを前提としている。ここで、各層のユニットを、光ファイバケーブル断面方向から見て同一回転方向に撚り合わせた場合、すなわち、光ファイバケーブル10の長手方向に対して同じ方向に巻いた場合について図3を用いて説明する。図3では、隣接する層として第1層及び第2層を例示し、それぞれの層を円柱で簡易的に表し、層ごとの撚り方向を示している。隣接する層のユニットが、図3に示すように、光ファイバケーブル10の長手方向に対して同じ方向に巻かれている場合、各ユニットはケーブル側面から見ると、およそ並行して撚り合わされる。このため、ある層のユニット間に隙間がある場合に、当該層に隣接する層のユニットが入り込んでしまう等、隣接する層間でユニットの位置が変わる可能性があり、あらかじめ設定した撚りピッチを維持できない懸念がある。そこで、互いに隣接する層に配置されたユニット11のらせん形状の撚り方向が、互いに異なるように撚り合わせてもよい。

40

【0040】

一例として第1層と第2層におけるらせん形状の撚り方向について図4を用いて説明する。図4では、隣接する層として第1層及び第2層を例示し、それぞれの層を円柱で簡易的に表し、層ごとの撚り方向を示している。本実施形態に係る光ファイバケーブル10は、図4に示すように、光ファイバケーブル10の長手方向に対し、第1層の撚り方向は右

50

巻き、第2の撚り方向を左巻きとしてもよい。このような構造とすることで、各ユニットは、光ファイバケーブルの側面から見ると、図4に示すように、クロスするように撚り合わされるため、隣接する層間で隣り合うユニット同士的位置が入れ替わることを抑制し、所望の撚りピッチで安定に製造することが可能となる。

【0041】

以上説明したように、本開示に係る光ファイバケーブルは、自身が有する全てのマルチコア光ファイバの曲率を、当該マルチコア光ファイバのクロストークが最大となる曲率 R_{pk} からずらすことによって、非結合型である同一のマルチコア光ファイバを異なるらせん形状で複数有する光ファイバケーブル内のすべてのマルチコア光ファイバに対して低いクロストークを確保することができる。

10

【0042】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【産業上の利用可能性】

【0043】

本開示に係る光ファイバケーブルは、情報通信産業に適用することができる。

【符号の説明】

【0044】

10：光ファイバケーブル

11：ユニット

12：外被

20

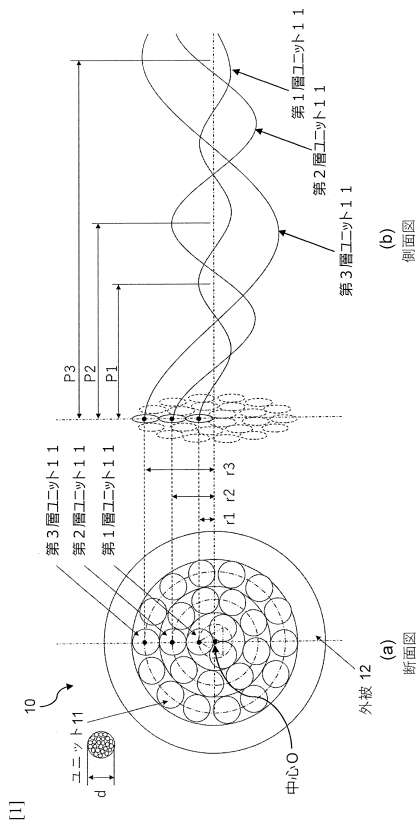
30

40

50

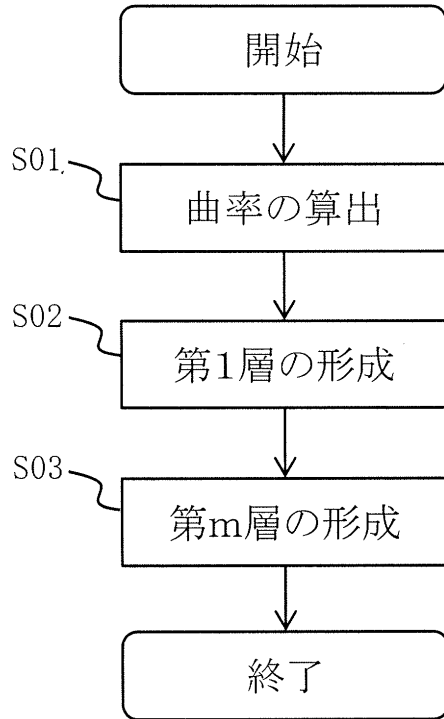
【図面】

【図 1】



【図 2】

[2]

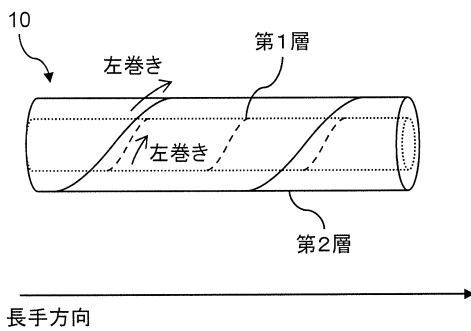


10

20

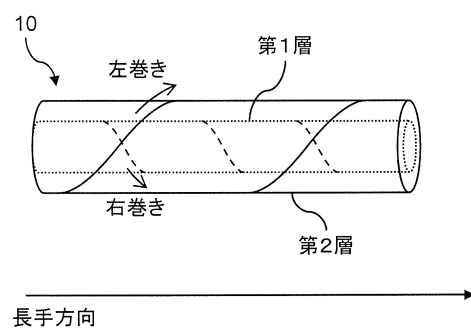
【図 3】

[3]



【図 4】

[4]



30

40

50

フロントページの続き

審査官 堀部 修平

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0041354 (US, A1)
米国特許出願公開第2016/0299306 (US, A1)
実開平04-085407 (JP, U)
特開昭53-093043 (JP, A)
特開2019-109400 (JP, A)
特開2012-211964 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 6/44
G02B 6/02