

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月30日(30.01.2025)



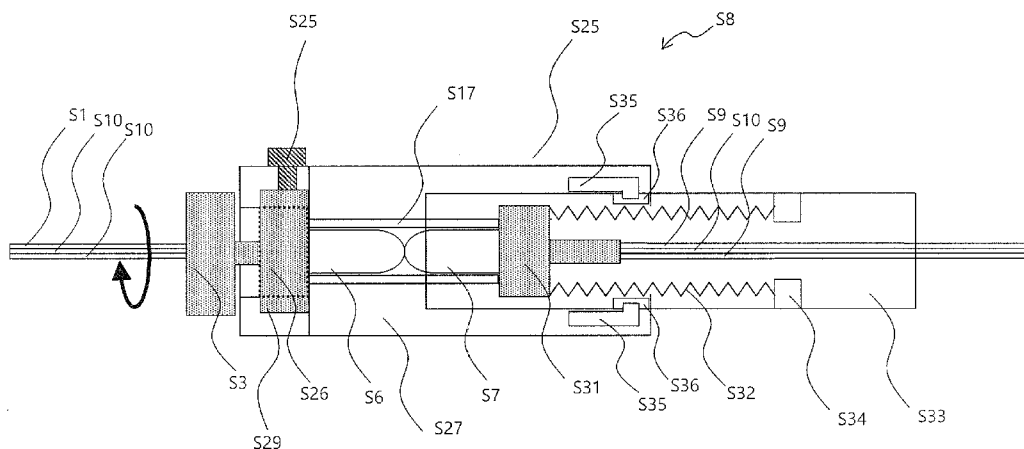
(10) 国際公開番号
WO 2025/022649 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/35 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/027583
- (22) 国際出願日: 2023年7月27日(27.07.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 深井 千里 (FUKAI, Chisato); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 大
- 串 幾太郎 (OGUSHI, Ikutaro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 片山 和典 (KATAYAMA, Kazunori); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 岡田 賢治, 外 (OKADA, Kenji et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂2-17-55 赤坂大野ビル2F アイル知財事務所 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: OPTICAL COUPLING UNIT AND OPTICAL SWITCH

(54) 発明の名称: 光結合部及び光スイッチ

[18]



(57) Abstract: The purpose of the present disclosure is to provide an optical coupling unit and an optical switch, which realize stable optical characteristics with respect to external factors with low power consumption and in a more economical manner. An optical coupling unit according to the present disclosure couples optical fibers of a single core disposed in two ferrules by using a sleeve in order to achieve the abovementioned purpose. In a first ferrule of the two ferrules, a plurality of optical fibers are disposed in a bundle shape, in a fiber hole, on the same circumference centered about the



WO 2025/022649 A1

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

ferrule center axis. At least one of the two ferrules is rotatable about the ferrule center axis. The rotation of at least the other of the two ferrules is regulated. One of the two ferrules is pressed in the direction in which end parts of the two ferrules butt to each other.

(57) 要約: 本開示では、外的要因に対して安定的な光学特性を低消費電力で、かつ、より経済的に実現できる光結合部及び光スイッチを提供することを目的とする。本開示に係る光結合部は、上記目的を達成するために、スリーブを用いて2つのフェルールに配置されているシングルコアの光ファイバを結合する光結合部であって、前記2つのフェルールのうちの第1のフェルールは、ファイバ孔内に複数の光ファイバがフェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置されており、前記2つのフェルールの少なくとも一方は、前記フェルール中心軸を中心に回転可能であり、前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転は、規制され、前記2つのフェルールのいずれかは、前記2つのフェルールの端部が突合する方向に押圧される、光結合部。

明 細 書

発明の名称：光結合部及び光スイッチ

技術分野

[0001] 本発明は、主に光ファイバネットワークにおいてシングルモード光ファイバを用いた光線路の経路を切り替えるために用いる光結合部及びこれを用いた光スイッチに関する。

背景技術

[0002] 光を光のまま経路切替を行う全光スイッチには、例えば非特許文献1に示すように様々な方式が提案されている。このうち、光ファイバあるいは光コネクタ同士の突合せをロボットアームやモータ等で制御する光ファイバ型機械式光スイッチは、切替速度が遅いという点では他方式に劣るものの、低損失、低波長依存性、多ポート性、電源消失時に切替状態を保持する自己保持機能の具備などの点で他方式よりも優れている点を多く有している。この代表的な構造として、例えば光ファイバV溝を用いたステージを並行移動させる方式や、ミラーやプリズムを並行移動または角度変化させて入射光ファイバから出射する複数の光ファイバに対して選択的に結合させる方式、ロボットアームを用いて光コネクタ付きのジャンパーケーブルを接続する方式などがある。

[0003] また、切替を行う光経路として、マルチコアファイバを用いる方法が提案されている。例えば、マルチコアファイバに3次元MEMS光スイッチを組み合わせる（例えば、非特許文献2参照）ことにより、多経路を一括に切り替えることが可能となる。また、マルチコアファイバが挿入された円筒フェルールを回転させることによって切り替えを行う（例えば、特許文献1参照）ことにより、レンズやプリズム等の光学部品を不要とし、構成の簡略化が可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平2－82212号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：M. Stepanovsky, "A Comparative Review of MEMS-Based Optical Cross-Connects for All-Optical Networks From the Past to the Present Day," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2928-2946, 2019.

非特許文献2：K. Hiruma, T. Sugawara, K. Tanaka, E. Nomoto, and Y. Lee, "Proposal of High-capacity and High-reliability Optical Switch Equipment with Multi-core Fibers," 18th OptoElectronics and Communications Conference held jointly with 2013 International Conference on Photonics in Switching (OECC/PS), ThT1-2, 2013.

非特許文献3：B. Jian, "The Non-Contact Connector: A New Category of Optical Fiber Connector," 2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), W2A. 1, 2015.

非特許文献4：荒生 肇、矢加部 祥、上原 史也、佐々木 大、島津 貴之、"低損失／低嵌合力を特徴とする耐ダスト光多心コネクタFlexAir Connect," 2018年7月・SEIテクニカルレビュー、第193号、pp. 26-31、2018.

非特許文献5：Chisato Fukai, Yoshiteru Abe,

and Kazunori Katayama, "Multi-Fiber Cylindrical Ferrule for Remote Rotary Optical Fiber Switching," 2022 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), Th2A.11, 2022.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、前述の非特許文献1に記載の従来技術においては、さらなる低電力化および小型化、経済化が困難であるという問題がある。具体的には、前述の光ファイバV溝ステージあるいはプリズムを並行移動させる方式では、一般に駆動源にモータが用いられるが、ステージ等の重量物を直動させる機構のため、一定以上のトルクがモータに必要となり、必要トルクを維持するために相応の出力を得るための消費電力を要する。また、シングルモード光ファイバを用いた光軸調心には、 $1\ \mu\text{m}$ 以下程度の精度が必要であることから、モータの回転運動を直動運動に変換させる機構（一般にはボールねじが用いられる）において、サブ μm ステップの直動運動に変換させる必要がある。通常用いられる出力側の光ファイバアレイの光ファイバピッチが光ファイバのクラッド外径 $125\ \mu\text{m}$ あるいは光ファイバの被覆外径 $250\ \mu\text{m}$ 程度であることを考えると、出力側の光ファイバアレイが大きくなる程モータの実駆動時間は長くせざるを得ず、消費電力の増大となるという問題があった。このため、一般にこのような光ファイバ型機械式光スイッチは数百mW以上の電力を要する。また、光コネクタを用いたロボットアーム方式は、光コネクタあるいはフェルールを挿抜制御するロボットアームそのものに数十W以上の大きな電力を要してしまうという問題があった。

[0007] また、非特許文献2に記載のマルチコアファイバを用いた光経路切替では、光スイッチを製作する過程において、出力側の光ファイバアレイに結合させるためのコリメート機構や、振動等の外的要因に対して安定的な光学特性

を得るための除振機構が別途必要となり、組立工程も複雑になるという問題があった。

[0008] 特許文献1に記載のマルチコアファイバが挿入された円筒フェルールを用いた光経路切替では、フェルールがスリーブに密着挿入することにより中心軸を合わせており、フェルールとスリーブ間の摩擦力により、回転の駆動に大きなエネルギーが必要であり大きな電力を要してしまうという問題があった。さらに、フェルールが回転する際に、向かい合うファイバ端面に傷をつけて接続損失などの光学特性の劣化を防ぐ目的で、フェルールが回転するたびにフェルール端面を引き離す機構が必要であり、回転の駆動に余計なエネルギーを要してしまうという問題があった。

[0009] 一方、光ファイバを挿入した円筒フェルールにおいて、あらかじめ間隙を設けてファイバ接触を行わない接続形態（例えば、非特許文献3）により接触によるファイバ端面の傷を防止する方法もある。しかし、間隙によりファイバ端面間に生じる空気層を原因とした反射による信号劣化を抑制するため、反射を防止するための特殊コーティングが必要となり、コストが増加するという問題があった。

[0010] また、反射を防止するための別の方法として、フェルール端面を斜めに研磨する方法（例えば、非特許文献4）もある。しかし、斜めに研磨したフェルールでは、回転による切替の際にフェルール端面の干渉が発生する、または、大きな間隙を要するために接続損失が大きくなってしまいう問題があった。

[0011] また、非特許文献5に記載の複数のファイバが挿入された円筒フェルールを用いた光経路切替では、フェルールを球面に研磨してファイバ端面が斜めに研磨され、かつ、フェルール中心部をフラットに研磨してファイバ端面に生じる間隙を最小限に抑えることができるため、接触によるファイバ端面の傷を防止しながら反射の防止と間隙による接続損失を低く抑えることが可能である。しかし、フェルール金型の製造過程において、ファイバ孔位置を高精度に制御することが困難であり、ファイバ孔位置ずれによる軸ずれ損失が

過剰損失として生じてしまうという問題があった。さらに、フェルール端面においてファイバ孔を中心に近づけることが困難であり、ファイバ孔がフェルール端面の中心から遠くなることにより、切替を行う際の回転角度ずれ損失が大きくなってしまいう問題があった。

[0012] 前記問題を解決するために、本発明は、外的要因に対して安定的な光学特性を低消費電力で、かつ、より経済的に実現できる光結合部及び光スイッチ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] 本開示に係る光結合部は、

スリーブを用いて2つのフェルールに配置されているシングルコアの光ファイバを結合する光結合部であって、

前記2つのフェルールのうちの第1のフェルールは、ファイバ孔内に複数の光ファイバがフェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置されており、

前記2つのフェルールの少なくとも一方は、前記フェルール中心軸を中心に回転可能であり、

前記2つのフェルールの突き合わされている端部が、前記フェルール中心軸上に中心点を有する凸球面形状を有する。

[0014] 本開示の光結合部および光スイッチは、フェルール中心軸に平行かつフェルール中心軸から同一距離にシングルコアのシングルモード光ファイバが配置された2つのフェルールを備えていてもよい。この場合、2つのフェルールの突き合わされている端部が凸球面形状であり、2つのフェルールの端部の先端を中心軸が一致するように突き合わせ、いずれか一方のフェルールを回転させる。

[0015] より具体的には、本開示に係る光結合部は、

フェルール断面において中心部に複数のシングルコアのシングルモード光ファイバのコア中心が同一円周上に並ぶようにバンドル状に配置された、凸球面の端面を有する第1のフェルールと、

フェルール断面において中心から、前記第1のフェルールにおける前記シングルモード光ファイバのコア中心が配置された前記円周と同じ直径の円周上に1つまたは複数のシングルコアのシングルモード光ファイバのコア中心が配置され、凸球面の端面を有する第2のフェルールと、

前記第1のフェルール及び前記第2のフェールの中心軸が一致するように前記第1のフェルール及び前記第2のフェルールが挿入される中空部を有し、前記第1のフェルール及び前記第2のフェルールが回転可能なように、前記第1のフェルール及び前記第2のフェールの各外径と前記中空部の内径との間に所定の間隙が設けられている円筒のスリーブと、を備える。

[0016] 本発明は、フェルール中心軸に平行かつフェルール中心軸から同一距離にシングルモード光ファイバが配置された2つのフェールの端部が凸球面形状であり、2つのフェールの端部の先端を中心軸が一致するように突き合わせ、いずれか一方のフェルール中心軸を中心として回転させることにより、対向する光ファイバの端面同士が接触せず、接触によって光ファイバの端面にキズがつくことによる接続損失などの光学特性の劣化を防ぐことができる。また、対向する光ファイバの端面同士が非平行となるため、光の反射量を減らすことができるので、反射コーティングを要せず、より経済的な光結合部および光スイッチを提供することができる。

[0017] さらに、本発明は、光スイッチングを行う光結合部の入力側および出力側の一方を軸回転可能な機構としているため、アクチュエータで必要となるエネルギー、すなわちトルク出力を限りなく小さくすることが可能であり、低消費電力化が可能である。また、入力側フェールの軸回転以外の方向における光軸ずれ量は、光結合部においてスリーブにより保証されているために、低損失化が可能となる。加えて、本発明にはコリメートや特別な防振機構を具備しておらず、フェルールやスリーブといった一般的に広く用いられている光接続部品から構成されているため小型かつ経済的である。

[0018] ここで、フェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置された前記複数の光ファイバの内側にダミーファイバを配置し、前記ダミー

ファイバの端面が前記凸球面形状の一部を構成してもよい。

[0019] また、前記凸球面形状での反射減衰量は所定値以上であってもよい。例えば、本開示に係る光結合部は、前記第1のフェルール及び前記第2のフェールのそれぞれにおいて、フェール中心軸に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度が4.5度以上であってもよい。これにより、前記凸球面形状での反射減衰量を40 dB以上にすることができる。

[0020] また、前記2つのフェールの突き合わされている端面の間隙による過剰損失 T_G を抑制してもよい。例えば、本開示に係る光結合部は、前記第1のフェールのシングルモード光ファイバの端面と、当該シングルモード光ファイバに光軸が一致する前記第2のフェールのシングルモード光ファイバの端面の間隙が $22\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。これにより、間隙による過剰損失 T_G を0.1 dB以下に抑制することができる。

[0021] また、前記2つのフェールの回転角度ずれによる過剰損失 T_R を抑制してもよい。例えば、本開示に係る光結合部は、前記第1のフェール及び前記第2のフェールにおける各シングルモード光ファイバのコア中心の、フェール中心軸からの距離が $250\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。これにより、回転角度ずれによる過剰損失 T_R を0.1 dB以下にすることができる。

[0022] 前記凸球面形状での反射減衰量及び前記2つのフェールの突き合わされている端面の間隙による過剰損失 T_G の条件を満たしてもよい。例えば、本開示に係る光結合部は、前記複数の光ファイバはシングルモード光ファイバであり、前記第1のフェール及び前記第2のフェールのそれぞれにおいて、前記凸球面形状における曲率半径が0.7 mm以上3.2 mm以下であってもよい。

[0023] 具体的には、本開示に係る光スイッチは、
前記光結合部と、
前記光結合部の前記2つのフェールのどちらか一方を、前記フェール中心軸を中心に回転させる回転機構と、を具備する。

[0024] 例えば、本開示に係る光スイッチは、

前記回転機構を一定の角度ステップで回転させ、任意の角度ステップで静止させるアクチュエータと、

前記回転機構を構成するベアリングと、
をさらに具備してもよい。

[0025] さらに、本開示に係る光結合部は、

スリーブを用いて2つのフェルールに配置されているシングルコアの光ファイバを結合する光結合部であって、

前記2つのフェルールのうちの第1のフェルールは、ファイバ孔内に複数の光ファイバがフェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置されており、

前記2つのフェルールの少なくとも一方は、前記フェルール中心軸を中心に回転可能であり、

前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転は、規制され、

前記2つのフェルールのいずれかは、前記2つのフェルールの端部が突合する方向に押圧される。

[0026] これによれば、2つのフェルールの少なくとも他方の回転が規制されるため、回転ずれに起因するフェルールの突き合わされている端部における光学特性の低下が抑制される。また、いずれかのフェルールが2つのフェルールの端部が突合する方向に押圧されるため、フェルールの中に配線された光ファイバの端面間の間隙を必要最小限に抑えることができる。よって、光学特性の低下を抑制することができる。このように、本開示によれば、振動が発生する屋外に光スイッチを接地する場合でも、光学特性の低下を抑制することができ、メンテナンスフリーとなり経済的である。

[0027] また、本開示に係る光結合部は、前記2つのフェルールの突き合わされている端部が、前記フェルール中心軸上に中心点を有する凸球面形状を有してもよい。

[0028] これによれば、いずれか一方のフェルール中心軸を中心として回転させることにより、対向する光ファイバの端面同士が接触せず、接触によって光フ

ファイバの端面にキズがつくことによる接続損失などの光学特性の劣化を防ぐことができる。また、対向する光ファイバの端面同士が非平行となるため、光の反射量を減らすことができるので、反射コーティングを要せず、より経済的な光結合部および光スイッチを提供することができる。

[0029] また、本開示に係る光スイッチは、前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転を規制するとともに、前記2つのフェールの端部が突合する方向に前記2つのフェールのいずれかを押圧する押圧器を備えていてもよい。

[0030] これによれば、押圧器を介して好適にフェールに押圧力を加えることができる。

[0031] 前記押圧器がストッパーを介してハウジングに固定されることにより、フェールの回転を規制することができるとともに、フェール端面に押圧力を加えることができ、低消費電力かつ経済的である。

[0032] また、本開示に係る光スイッチは、
前記2つのフェールの少なくとも他方、前記2つのフェールの少なくとも他方を押圧するフランジ、及び前記押圧器を、前記押圧器、前記フランジ、前記2つのフェールの少なくとも他方の順に収容するハウジングと、
前記押圧器を前記ハウジングに固定するストッパーと、をさらに備え、
前記押圧器は、ストッパーを介して前記ハウジングに対する前記2つのフェールの少なくとも他方の回転を規制するとともに、前記フランジを介して前記2つのフェールの少なくとも他方を押圧してもよい。

[0033] また、本開示に係る光スイッチは、
前記2つのフェールの少なくとも一方を収容するとともに、前記ハウジングとかん合可能な固定治具、をさらに備え、
前記固定治具は、前記ハウジングと係合する突起を、さらに備え、
前記突起が前記ハウジングの係止片とかん合することにより、前記固定治具に対して前記ハウジングが位置決めされていてもよい。

[0034] これによれば、簡易な方法で、固定治具に対してハウジングを位置決めすることができる。

- [0035] また、本開示に係る光スイッチは、
前記2つのフェルールの少なくとも一方を、前記フェール中心軸を中心に回転させる回転機構と、
前記回転機構を一定の角度ステップで回転させ、任意の角度ステップで静止させるアクチュエータと、
前記回転機構を構成するベアリングと、をさらに備えていてもよい。
- [0036] 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

- [0037] 本開示によれば、外的要因に対して安定的な光学特性を低消費電力で、かつ、より経済的に実現できる光結合部及び光スイッチを提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0038] [図1]本発明の使用形態の一例を示す。
[図2]本発明の概略構成の一例を示す。
[図3]出力側フェールの端部を正面から表した図である。
[図4]入力側フェールの端部を正面から表した図である。
[図5]光結合部を長手方向に沿った面で表した図である。
[図6]フェール外径とスリーブ内径のクリアランスに対する過剰損失の関係の一例を示す。
[図7]本発明の光結合部のフェールの端部近傍を示す。
[図8]フェール中心軸に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度と反射減衰量の関係の一例を示す。
[図9]光ファイバの間隙に対する過剰損失の関係の一例を示す。
[図10]凸球面形状のフェール端面の曲率半径に対する、中心軸に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度の関係の一例を示す。
[図11]凸球面形状のフェール端面の曲率半径に対する、フェール先端からシングルモード光ファイバ端面までの距離の関係の一例を示す。

[図12]コア配置半径に対する回転角度ずれによる過剰損失の関係の一例を示す。

[図13]実施形態1に係る本発明の光結合部のかん合形態を表す。

[図14]実施形態2に係る本発明の光結合部のかん合形態を表す。

[図15]実施形態2に係る本発明の光結合部の入力側フェルールの断面を表す。

[図16]実施形態2に係る本発明の光結合部の入力側フェルールの断面を表す。

[図17]実施形態1に係る本発明の出力側フランジの側面を表す。

[図18]実施形態3に係る本発明の光結合部のかん合形態を表す。

発明を実施するための形態

[0039] 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。

[0040] (実施形態1)

図1は本発明の実施形態の一例を示す図である。本実施形態は、光が入力側光ファイバS01から入射され、出力側光ファイバS04へ出射する形態を説明するが、光の方向は逆でもよい。本発明は、前段光スイッチ構成部S00に接続された入力側光ファイバS01を、前段光スイッチ構成部S00において光スイッチ間光ファイバS02の特定のポートに切り替えて、光スイッチ間光ファイバS02のポートを、後段光スイッチ構成部S03において所望の出力側光ファイバS04に切り替えることを可能とする。本発明は、前段光スイッチ構成部S00及び後段光スイッチ構成部S03に該当する光スイッチである。以下、前段光スイッチ構成部S00を光スイッチS00と、後段光スイッチ構成部S03を光スイッチS03と略記する。光スイッチS00と光スイッチS03は左右反転の関係にあり、構成が同一であるた

め、以下、光スイッチS00を用いて詳細な構成を示す。

[0041] 図2は本発明の実施形態に係るブロック構成図である。

本実施形態に係る光スイッチS00が有する光結合部S8は、

フェルール断面において中心から同一の円周上に複数のシングルモード光ファイバのコア中心が配置された第1のフェルールと、

フェルール断面において中心から、第1のフェルールにおけるシングルモード光ファイバのコア中心が配置された円周と同じ直径の円周上に1つまたは複数のシングルモード光ファイバのコア中心が配置された第2のフェルールと、

第1のフェルール及び第2のフェールの中心軸が一致するように第1のフェルール及び第2のフェルールが挿入される中空部を有し、第1のフェルール及び第2のフェルールが回転可能なように、第1のフェルール及び第2のフェールの各外径と中空部の内径との間に所定の隙間が設けられている円筒のスリーブS17と、を備える。

[0042] 図2において、入力側光ファイバS1を一のシングルコアのシングルモード光ファイバからなる構成とし、入力側フェルールS6を第2のフェルールとする。また、出力側光ファイバS9を複数のシングルコアのシングルモード光ファイバからなる構成とし、出力側フェルールS7を第1のフェルールとする。なお、入力側光ファイバS1は図1の入力側光ファイバS01に対応し、出力側光ファイバS9は図1の光スイッチ間光ファイバS02に対応する。

[0043] 図2に示す光スイッチS00は、入力側光ファイバS1が挿入された入力側フェルールS6と、出力側光ファイバS9が挿入された出力側フェルールS7とから構成される光結合部S8を有する。入力側光ファイバS1は、入力側フェルールS6に備わるファイバ孔の予め定められた位置で、接着剤などを用いて固定されている。出力側光ファイバS9は、出力側フェルールS7に備わるファイバ孔の予め定められた位置で、接着剤などを用いて固定されている。

[0044] 入力側光ファイバS 1から光を入射した場合、出力側フェルールS 7を固定し、入力側フェルールS 6を回転させることで入力側光ファイバS 1を出力側光ファイバS 9の任意の1本と接続させ、入射した光を出力側光ファイバS 9の1本から出力させることのできる光スイッチS 00であり、 $1 \times N$ のリレー型光スイッチとして使用できるものである。逆に、出力側光ファイバS 9から光を入射することも可能である。例えば、出力側光ファイバS 9のうちの複数のシングルモード光ファイバに光を入射し、出力側フェルールS 7を固定し、入力側フェルールS 6を回転させることで出力側光ファイバS 9の任意の1本を入力側光ファイバS 1と接続させ、入射した複数の光の中から選択した1つの光のみを入力側光ファイバS 1から出力することができる。また、図1のように、光スイッチを複数組み合わせることにより、 $N \times N$ の光スイッチを構成することが可能である。ここで、出力側フェルールS 7を固定して、入力側フェルールS 6を回転させることとしたが、入力側フェルールS 6又は出力側フェルールS 7のいずれかを固定し、対向する側を回転させることによって対向するファイバの切り替えを可能とする形態であればよいため、入力側フェルールS 6を固定し出力側フェルールS 7を回転させてもよい。また、入力側フェルールS 6を1本としたが、複数の光ファイバを配置することも可能である。

[0045] 以下では、出力側フェルールS 7を固定し、入力側フェルールS 6を回転させる光スイッチS 00について説明する。出力側フェルールS 7は回転止め機構（図示せず）により軸回転しないように固定される。アクチュエータS 3は制御回路S 4からの信号により任意の角度回転を行う。入力側フェルールS 6は、アクチュエータS 3の出力が回転機構S 5を介して伝達されることにより回転する。また、入力側フェルールS 6には入力側光ファイバS 1のねじれを許容するための一定の余長部S 2が設けられている。また、光結合部S 8は、軸ずれ調整機構（不図示）によってフェルール中心軸の軸ずれを抑制し、軸ずれによる過剰損失を回避する構成になっている。

[0046] 本実施形態に係る光スイッチS 00が有する光結合部S 8は、

入力側フェルールS 6及び出力側フェルールS 7はそれぞれ、
中心軸方向に凸球面形状の端部を備え、
入力側フェルールS 6の先端と出力側フェルールS 7の先端とが突き合わ
される。

[0047] 図3は本発明の実施形態に係る出力側フェルールS 7の端部を正面から表
した模式図である。図に示すように複数の光ファイバを束ねてバンドル状に
して出力側フェルールS 7の中心部に設けた直径S 21のファイバ孔S 11
の内部に配置し、出力側光ファイバS 9のそれぞれのコア中心が出力側フェ
ルールS 7の中心に対してコア配置半径R c o r eの円の円周上に配置され
ていることを特徴とする。図3では中心にダミーファイバS 10を配置し、
合計6つの出力側光ファイバS 9が配置された例を挙げているが、コア配置
半径R c o r eを有する円の円周上に複数の出力側光ファイバS 9のコア中
心配置されていればよく、これに限らない。ダミーファイバS 10は、出
力側光ファイバS 9と同じ強度、かつ同じ外径となる光ファイバであればよ
く、コアを有しないファイバ、つまり、通光しないファイバであってもよい
。

[0048] 図4は本発明の実施形態に係る入力側フェルールS 6の端部を正面から表
した模式図である。図4に示すように複数の光ファイバを束ねてバンドル状
にして入力側フェルールS 6の中心部に設けたファイバ孔S 11の内部に配
置し、入力側光ファイバS 1のコア中心が入力側フェルールS 6の中心に対
してコア配置半径R c o r eの円の円周上に配置されていることを特徴とす
る。図4では1本の入力側光ファイバS 1がy軸(x=0)上に配置され、
他の6つのダミーファイバS 10とともに入力側フェルールS 6の中心部に
配置された例を挙げているが、入力側光ファイバS 1のコア中心がコア配置
半径R c o r eを有する円の円周上に配置されていればよく、これに限らな
い。例えば、入力側フェルールS 6の中心軸に対してコア配置半径R c o r e
の円の円周上に1本の光ファイバを配置可能なファイバ孔を1つまたは複
数設けて、そのファイバ孔に入力側光ファイバS 1を配置してもよい。また

、ダミーファイバS10は、入力側光ファイバS1と同じ強度、かつ同じ外径となる光ファイバであればよく、コアを有しないファイバ、つまり、通光しないファイバであってもよい。

[0049] なお、出力側フェルールS7及び入力側フェルールS6の中心に配置されるダミーファイバS10の外径は、出力側光ファイバS9及び入力側光ファイバS1と異なってもよい。例えば、中心に配置されるダミーファイバS10の外径を $125\mu\text{m}$ よりも大きくすることで、6本以上の出力側光ファイバS9をコア配置半径 R_{core} の円の円周上に配置することが可能になる。

[0050] ただし、光結合部S8の透過損失をできるだけ小さくすることが重要であり、出力側光ファイバS9の各コアは、入力側光ファイバS1のコアと同程度のモードフィールド径を有する点で同じ光学特性である方が望ましい。また、軸ずれによる過剰損失をできるだけ小さくすることが重要であり、出力側フェルールS7のフェルール外径S15は、入力側フェルールS6のフェルール外径S15と同程度である方が望ましい。

[0051] 本実施形態では、入力側フェルールS6及び出力側フェルールS7はジルコニア、入力側光ファイバS1及び出力側光ファイバS9は石英ガラスで形成されることとするが、通信波長帯の信号光を通信可能な光ファイバであればよく、これに限らない。

[0052] 図5は本発明の実施形態に係る光結合部S8を長手方向に沿った面で表した模式図である。入力側光ファイバS1を挿入した入力側フェルールS6と、出力側光ファイバS9を挿入した出力側フェルールS7が、それらのフェルール外径S15に対してサブ μm 程度一回り大きい内径S16の中空部を有する円筒のスリーブS17で調心されており、軸ずれを一定許容範囲に制御し、入力側フェルールS6の軸回転を妨げないようにするためにサブ μm 程度の僅かなクリアランスCを入力側フェルールS6及び出力側フェルールS7に対して設けている。

[0053] 図6は入力側フェルールS6及び出力側フェルールS7のフェルール外径

S 1 5 とスリーブ内径 S 1 6 のクリアランス C に対する過剰損失 T_c の関係の一例を示す図である。光ファイバ間の光結合において、ファイバコアの軸ずれは過剰損失の要因となる。過剰損失の増大は光経路の全長を制限する要因となるため、ファイバコアの軸ずれを小さくすることが必要となる。ここで、フェルール外径 S 1 5 とスリーブ内径 S 1 6 のクリアランス C はファイバコアの軸ずれに相当するため、フェルール外径 S 1 5 とスリーブ内径 S 1 6 のクリアランス C (単位: μm) と過剰損失 T_c (単位: dB) の関係は数 1 に表すことができる。

[数1]

$$T_c = -10 \times \log \left\{ \left(\frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \right)^2 \exp \left[-1 \times \frac{2C^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \right] \right\} \quad (1)$$

ここで ω_1 及び ω_2 はそれぞれ入力側及び出力側光ファイバ S 9 コアのモードフィールド半径 (単位: μm) であり、図 6 は入力側光ファイバ S 1 及び出力側光ファイバ S 9 コアのモードフィールド径が、ともに $9 \mu\text{m}$ の時の損失を示す図である。例えば、クリアランス C が $0.7 \mu\text{m}$ 以下となるように、フェルール外径 S 1 5 及びスリーブ内径 S 1 6 を加工した場合、最大過剰損失を約 0.1 dB 以下に抑えることができる。また、最大過剰損失を 0.2 dB に設定するとクリアランス C が $1 \mu\text{m}$ 以下になるようにフェルール外径 S 1 5 とスリーブ内径 S 1 6 を加工する必要がある。

[0054] 図 7 は本発明の実施形態に係る光結合部 S 8 のフェールの端部近傍をより詳細に示した模式図である。入力側フェール S 6 及び出力側フェール S 7 の端部は、フェール中心軸 A_c 上に中心点を有する凸球面形状である。具体的には、本実施形態の出力側フェール S 7 は、図 3 に示すように、ファイバ孔 S 1 1 の中心にダミーファイバ S 1 0 が配置され、ダミーファイバ S 1 0 の周囲に出力側光ファイバ S 9 が配置されている。出力側フェール S 7 に配置されている出力側光ファイバ S 9 及びダミーファイバ S 1 0 の端面が、出力側フェール S 7 の端部の前記凸球面形状を構成する。また本実

施形態の出力側フェルールS6は、図4に示すように、ファイバ孔S11の中心にダミーファイバS10が配置され、ダミーファイバS10の周囲に入力側光ファイバS1及びダミーファイバS10が配置されている。出力側フェルールS6に配置されている入力側光ファイバS1及びダミーファイバS10の端面が、入力側フェルールS6の端部の前記凸球面形状を構成する。

[0055] 入力側フェルールS6及び出力側フェルールS7に配置されているダミーファイバS10は、それぞれの先端が突き合わされている。入力側ファイバS1及び出力側ファイバS9は、前述したように、フェルール断面においてフェルール中心軸 A_c からコア配置半径 R_{core} の位置に配置されている。入力側ファイバS1及び出力側ファイバS9は、回転による切り替えの際にそれぞれの端面が接触して傷つくことを防止するため、端面が先端より後退している。また、入力側ファイバS1及び出力側ファイバS9の端面では、反射による信号特性劣化を抑制するため、フェルール中心軸 A_c に対して垂直な断面とシングルコア光ファイバ端面とがなす角度 θ が制御されている。例えば、一般的な光コネクタの作製で用いられる研磨技術を使用することにより、凸球面形状を作製することができる。図7では、それぞれのフェルール中心軸に配置されたダミーファイバS10の端面同士が突き合わされているが、入力側ファイバS1と出力側ファイバS9のそれぞれの端面同士が接触しない配置になっていればよく、これに限らない。例えば、フェルール端面を研磨する際に、ファイバ引込量を多くすることによって、入力側フェルールS6と出力側フェルールS7を突合せた際に入力側ファイバS1と出力側ファイバS9の端面同士が接触しない構造としてもよい。

[0056] 図8はフェルール中心軸に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ と反射減衰量Rの関係の一例を示す図である。光結合部S8において、入力側光ファイバS1の端面と出力側光ファイバS9の端面との間に屈折率の異なる領域があると反射によって信号特性が劣化する。図7に示す本発明の構成において、入力側光ファイバS1の端面と出力側光フ

ファイバS 9の端面の間に間隙Gがあり、石英ガラスと空気は屈折率が異なるため、反射を低減する工夫が必要である。本発明では角度 θ を制御することにより、反射を低減することとしている。フェルール中心軸 A_c に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ （単位：度）と反射減衰量 R （単位：dB）の関係は数2に表すことができる。

[数2]

$$R = 10 \frac{(\pi \times n_1 \times \omega_1)^2}{\lambda^2} \times \log(e) \times \left(4\pi \frac{\theta}{360}\right)^2 + R_0 \quad (2)$$

ここで n_1 、 ω_1 、 λ はそれぞれ光ファイバの屈折率、光ファイバコアのモードフィールド半径（単位： μm ）、伝搬光の真空中での波長（単位： μm ）である。また、 R_0 はフラット端面での反射減衰量であり、数3に表すことができる。

[数3]

$$R_0 = -10 \times \log \left[\left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \right] \quad (3)$$

ここで n_2 は受光媒体の屈折率、つまり空気の屈折率である。本実施形態では、波長 λ が1310nmでモードフィールド半径 ω_1 が4.5 μm の場合に、フラット端面での反射減衰量 R_0 が14.7dBであり、例えば、フェルール中心軸 A_c に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ を4.5度以上にすることによって、40dB以上の反射減衰量 R を保持することができる。さらに、ファイバ端面に反射コーティングを加工することにより、反射特性をさらに改善することも可能である。

[0057] 図9は間隙Gに対する過剰損失 T_g の関係の一例を示す図である。入力側光ファイバS 1と出力側光ファイバS 9との間の光結合において、入力側光ファイバS 1の端面と出力側光ファイバS 9の端面との間に間隙Gが存在すると、入力側光ファイバS 1の出射光の分布が広がり、出力側光ファイバS 9のコアとの結合効率が減少するため、過剰損失の要因となる。間隙G（単位： μm ）と過剰損失 T_g （単位：dB）の関係は数4に表すことができる。

[数4]

$$T_G = -10 \times \log \left\{ \frac{4 \left[4 \left(\frac{G\lambda}{2\pi n_{clad} \omega_1 \omega_2} \right)^2 + \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \right]}{\left[4 \left(\frac{G\lambda}{2\pi n_{clad} \omega_1 \omega_2} \right)^2 + \frac{\omega_2^2 + \omega_1^2}{\omega_2^2} \right]^2 + 4 \left(\frac{G\lambda}{2\pi n_{clad} \omega_1 \omega_2} \right)^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}} \right\} \quad (4)$$

ここで λ 、 n_{clad} 、 ω_1 、 ω_2 はそれぞれ伝搬光の真空中での波長（単位： μm ）、光ファイバのクラッド、つまり純石英の屈折率、入力側光ファイバS1及び出力側光ファイバS9のコアのモードフィールド半径（単位： μm ）であり、図9は入力側光ファイバS1及び出力側光ファイバS9のコアのモードフィールド径が、ともに $9\mu\text{m}$ の時の損失を示す図である。例えば、入力側光ファイバS1の端面と出力側光ファイバS9の端面との間の間隙Gが $22\mu\text{m}$ 以下となるように調整することによって、過剰損失を 0.1dB 以下に抑えることができる。

[0058] 図10は凸球面形状のフェルール端面の曲率半径 R_{cur} に対する、フェルール中心軸 A_c に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ の関係の一例を示す図である。凸球面形状のフェルール端面の曲率半径 R_{cur} （単位： mm ）と、フェルール中心軸 A_c に対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ （単位：度）の関係は、コア配置半径 R_{core} （単位： μm ）を用いて、数5に表すことができる。

[数5]

$$R_{cur} = \frac{R_{core}}{\sin \theta} \quad (5)$$

図10はコア配置半径 R_{core} が 125 、 150 、 200 、 $250\mu\text{m}$ の時の角度 θ と曲率半径 R_{cur} の関係を示す図である。図8より、 40dB 以上の反射減衰量 R を保持可能な角度 θ は 4.5 度以上であり、 $250\mu\text{m}$ 以下のコア配置半径 R_{core} において角度 θ が 4.5 度以上となる曲率半径 R_{cur} が実現可能であることがわかる。例えば、コア配置半径 R_{core} が $125\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ のとき、曲率半径

R_{cur}をそれぞれ1.5mm以下、1.9mm以下、2.5mm以下、3.2mm以下、となるように調整することにより、角度θが4.5度以上となり、40dB以上の反射減衰量Rを保持することができる。一般的なシングルモード光ファイバのファイバ外径は125μmであり、前記シングルモード光ファイバを図3のようにバンドル状に配置する場合、1.5mm以下の曲率半径R_{cur}となるようにフェルール端面を研磨することによって、フェルール中心軸A_cに対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度θが4.5度以上となり、40dB以上の反射減衰量Rを実現することができる。

[0059] また、図11は凸球面形状のフェルール端面の曲率半径R_{cur}に対する、フェルール先端からシングルモード光ファイバ端面までの距離Dの関係の一例を示す図である。フェルール先端からシングルモード光ファイバ端面までの距離Dは、入力側光ファイバS1の端面と出力側光ファイバS9の端面との間の間隙Gの半分に相当し、凸球面形状のフェルール端面の曲率半径R_{cur}（単位：mm）と、フェルール中心軸A_cに対して垂直な断面とシングルモード光ファイバ端面とがなす角度θ（単位：度）を用いて、数6に表すことができる。

[数6]

$$D = \frac{G}{2} = R_{cur} - (R_{cur} \times \cos \theta) \quad (6)$$

[0060] 図11では、コア配置半径R_{core}が125、150、200、250μmの時の曲率半径R_{cur}とフェルール先端からファイバ端面までの距離Dの関係を示す。例えば、コア配置半径R_{core}が125μm、150μm、200μm、250μmのとき、曲率半径R_{cur}がそれぞれ0.7mm以上、1.0mm以上、1.8mm以上、2.8mm以上となるように調整することによって、フェルール先端からファイバ端面までの距離Dが11μm以下、つまり、間隙Gが22μm以下となり、図9に示したとおり間隙による過剰損失T_Gを0.1dB以下に抑制することができる。一般的なシン

グルモード光ファイバのファイバ外径は $125\mu\text{m}$ であり、前記シングルモード光ファイバを図3のようにバンドル状に配置する場合、曲率半径 R_{cur} を 0.7mm 以上 1.5mm 以下となるようにフェルール端面を研磨することによって、 40dB 以上の反射減衰量 R と 0.1dB 以下の過剰損失 T_G を実現することができる。

- [0061] 本実施形態に係る光スイッチ $S00$ が有する光結合部 $S8$ は、 40dB 以上の反射減衰量と 0.1dB 以下の間隙による過剰損失を得るために、
入力側フェルール $S6$ 及び出力側フェルール $S7$ のそれぞれにおいて、
凸球面形状における曲率半径が 0.7mm 以上 3.2mm 以下であってもよい。
- [0062] 次に、図2におけるアクチュエータ $S3$ と図3で述べた出力側フェルール $S7$ 、並びに図4で述べた入力側フェルール $S6$ に係る要件について説明する。アクチュエータ $S3$ には、制御回路 $S4$ からのパルス信号により任意の角度ステップで回転を行い、角度ステップ毎で一定の静止トルクを有する駆動機構となっており、例えば、ステッピングモータが用いられる。なお、アクチュエータ $S3$ は、制御回路 $S4$ からのパルス信号により任意の角度ステップで回転を行い、角度ステップ毎で一定の静止トルクを有する駆動機構となっていれば、これ以外の方法を用いてもよい。回転速度や回転角度は制御回路 $S4$ からのパルス信号の周期とパルス数で決定され、角度ステップや静止トルクは減速ギヤを介して調整されたものでもよい。なお、前述のとおり、光結合部 $S8$ における入力側フェルール $S6$ はフェルール中心軸 A_c を中心に回転するように設計されているため、入力側フェルール $S6$ の回転角度の保持に必要な静止トルクはアクチュエータ $S3$ によって付与されるものであるという特徴を有する。
- [0063] これにより、切り替え後の静止時において電力を必要としない自己保持機能を有し、かつ、光経路を切り替える際の駆動エネルギーを限りなく小さくすることが可能であり、低消費電力な光スイッチを提供することが可能である。

[0064] ここで、ステッピングモータにおいて、電源供給停止時に角度位置が保持される角度ステップ数を静止角度ステップ数と定義すると、静止角度ステップ数は出力側光ファイバS9の同じコア配置半径Rcoreを有するコア数の自然数倍であることを特徴とする。

[0065] また、光結合部S8における回転角度ずれによる過剰損失をTR（単位：dB）、ステッピングモータの静止角度精度に係る回転角度ずれをΦ（単位：°）、コア配置半径Rcore（単位：μm）とした場合、これらの関係は数7に表すことができる。

[数7]

$$T_R = -10 \log \left\{ \left(\frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \right)^2 \exp \left[-1 \times \frac{2 \left(2R_{core} \sin 2\pi \frac{\Phi}{360} \right)^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \right] \right\} \quad (7)$$

コア配置半径Rcoreに対する回転角度ずれによる過剰損失TRの関係の一例を図12に示す。図12では、回転角度ずれΦが0.1度、0.15度、0.2度、0.3度の時のコア配置半径Rcoreと回転角度ずれによる過剰損失TRの関係を示す図である。コア配置半径Rcoreが大きいほど過剰損失が大きくなるが、例えば、モードフィールド半径ω1及びω2が4.5μm（MFD=9μm）のとき、コア配置半径が250μm以下において、0.15度の回転角度ずれにおいても、回転角度ずれによる過剰損失TRは0.1dB以下を保持することが可能である。ファイバ外径125μmのシングルモード光ファイバを図3のようにバンドル状に配置する場合、コア配置半径Rcoreは125μmになるため、図12により、0.3度の回転角度ずれにおいても、回転角度ずれによる過剰損失TRは0.1dB以下を保持することが可能である。

[0066] 図13は本発明の第1の実施形態に係る光結合部S8のかん合形態の一例を表す模式図である。出力側フェルールS7は出力側フランジS19に取り付けられ、出力側フランジS19は固定ネジS25で固定治具S27に取り付けられ、軸方向および軸回転方向が固定されている。入力側フェルールS

6は回転フランジS 29に取り付けられ、回転フランジS 29にベアリングS 26が設けられており、これも同様に固定ネジS 25で固定治具S 27に取り付けられ、軸方向が固定されている。固定治具S 27の内側にスリーブS 17が内蔵されており、入力側フェルールS 6及び出力側フェルールS 7がスリーブS 17に挿入されることによってフェルール中心軸の軸合わせが行われる。出力側フェルールS 7が固定され、入力側フェルールS 6がスリーブS 17内でフェルール円筒の中心を軸としてベアリングS 26の回転機構S 5により回転する。これにより、入力側フェルールS 6に挿入された入力側光ファイバS 1のコアが回転し、入力側光ファイバS 1に対向する出力側光ファイバS 9のコアが切り替わる。なお、ベアリングS 26には、例えばジルコニアが用いられるが、高い寸法精度で作製することが可能であれば、これ以外の材質を用いることも可能である。また、固定治具S 27を、例えば剛性の低い、中空形状の金属で構成されたフレームにすることにより、アクチュエータS 3の回転時の軸ブレによる入力側フェルールS 6の軸ずれを低減することが可能である。

[0067] 出力側フェルールS 7に取り付けられた出力側フランジS 19の側面図を図17に示す。キャピラリS 23は、図17に示すように、出力側フランジS 19に取り付けられた出力側フェルールS 7のファイバ孔S 30とフェルール中心軸A₀が一致する位置に配置し、キャピラリS 23を長手方向にテーパ形状にして、その先端の直径を出力側フェルールS 7のファイバ孔S 30の直径に近づけることによって、出力側光ファイバS 9を出力側フェルールS 7へ挿入する際に段差による引っ掛かりを防ぎ、さらには光ファイバの折れを予防することが可能になる。入力側フェルールS 6に取り付けられた回転フランジS 29も同様である。本実施例ではフランジの内部に長手方向にテーパ形状であるキャピラリを挿入する例を示したが、フランジ内部の形状は、光ファイバをファイバ孔に挿入可能な形状であり、かつ、光結合部作製時に光ファイバを保護することが可能な形状であればよく、この限りではない。

[0068] 本発明は、中心軸に平行かつ中心軸から同一距離にシングルモード光ファイバが配置された2つのフェルールの端部が凸形状であり、2つのフェルールの端部の先端を中心軸が一致するように突き合わせ、いずれか一方のフェルールを中心軸を中心として回転させることにより、対向する光ファイバの端面同士が接触せず、接触によって光ファイバの端面にキズがつくことによる接続損失などの光学特性の劣化を防ぐことができる。また、対向する光ファイバの端面同士を非平行とすることで光の反射量を減らすことができるので、反射コーティングを要せず、より経済的な光結合部および光スイッチを提供することができる。

[0069] さらに、本発明は、光スイッチングを行う光結合部S8の入力側および出力側の一方を軸回転可能な機構としているため、アクチュエータS3で必要となるエネルギー、すなわちトルク出力を限りなく小さくすることが可能であり、低消費電力化が可能である。また、入力側フェルールS6の軸回転以外の方向における光軸ずれ量は、光結合部S8においてスリーブS17により保証されているために、低損失化が可能となる。加えて、本発明にはコリメートや特別な防振機構を具備しておらず、フェルールやスリーブといった一般的に広く用いられている光接続部品から構成されているため小型かつ経済的である。

[0070] 従って、本発明により、温度や振動等の外的要因に対して安定的な光学特性を低消費電力で、かつ、より経済的に実現できる光結合部及び光スイッチを提供することが可能である。その結果、光ファイバネットワークのシングルモード光ファイバを用いた光線路において、場所を問わず、あらゆる設備において、経路を切り替える光スイッチに利用することが可能である。

[0071] (実施形態2)

以下、本実施形態に係る光スイッチS00の構成と動作について図14及び図15を用いて具体的に示す。本実施形態の光スイッチS00は、光結合部S8の入力側フェルールS6が回転フランジS29ではなく、入力側フランジS18に取り付けられ、ベアリングS26の設けられる位置が実施形態

1の光スイッチS00と異なる。以下、入力側フェルールS6の回転機構について説明する。なお、以下に説明する内容以外は、実施形態1と同様とする。

[0072] 図14は、本実施形態に係る光結合部S8のかん合形態を表す模式図である。第1の実施形態と同様に、出力側フェルールS7は出力側フランジS19に取り付けられ、出力側フランジS19は固定ネジS25で固定治具S27に取り付けられ、軸方向および軸回転方向が固定されている。

[0073] 入力側フェルールS6は入力側フランジS18に取り付けられる。入力側フランジS18は取り外し可能な固定ネジS25で固定治具S27に取り付けられ、軸方向および軸回転方向が固定されており、固定ネジS25をゆるめることにより、入力側フランジS18が回転可能となり、それに伴い入力側フランジS18に取り付けられている入力側フェルールS6が回転できる。また、入力側フランジS18は後述するように、図15に示す構造であってもよい。この時、軸方向を固定する固定ネジ（不図示）を別途設けてもよい。入力側フェルールS6は出力側フェルールS7よりもフェルール外径S15を小さくし、ベアリングS26が取り付けられており、ベアリングS26の回転機構S5により回転する。つまり、出力側フェルールS7が固定され、入力側フランジS18が回転可能になることにより、入力側フェルールS6がスリーブS17内でフェルール円筒の中心を軸としてベアリングS26の回転機構S5により回転する。これにより、入力側フェルールS6に挿入された入力側光ファイバS1のコアが回転し、入力側光ファイバS1に対抗する出力側光ファイバS9のコアが切り替わる。

[0074] 図15は、本実施形態に係る光結合部S8の入力側フェルールS6の断面を表した模式図である。入力側フェルールS6の周囲にベアリングS26が取り付けられ、入力側フェルールS6がスリーブS17内で自由に回転できる構造となっている。また、図15では、入力側フランジS18の固定方法として、固定ばねS28を用いた例を示す。入力側フランジS18に図15に示すような溝をあらかじめ設けておき、その溝に固定ばねS28の先端を

挟むことによって入力側フランジS 18とそれに固定された入力側フェルールS 6が固定されている。固定ばねS 28は矢印の方向D_sに力を加えることにより入力側フェルールS 6の固定が解放されて回転可能となる。例えば、この固定ばねS 28の固定と解放をアクチュエータS 3を制御する制御回路S 4（不図示）と連動させることによって、光ファイバ切り替えの一括制御が可能となる。また、図16のように入力側フランジS 18の外周の形状を、入力側フェルールS 6の長手方向に沿って溝がずれるように複数の歯車を配置したような形状にすることによって、より細かい回転角度制御を行うことも可能である。また、入力側フランジS 18の固定と解放の方法として、固定ばねS 28以外に磁石やソレノイドを用いてもよい。

[0075] （実施形態3）

以下、本実施形態に係る光スイッチS 00の構成と動作について図18を用いて具体的に示す。本実施形態の光スイッチS 00は、光結合部S 8の出力側フェルールS 7が出力側フランジS 19ではなく、フェールの長手方向において、入力側フェルールS 6と出力側フェルールS 7の両方の端面が突合する方向に押圧力を加える押圧器S 32が取り付けられた押圧力付与フランジS 31を用いる。押圧器S 32は、押圧力付与フランジS 31を介して、出力側フェルールS 7を保持する。また、押圧器S 32は、ストッパーS 34によって、ハウジングS 33に取り付けられている。以下、出力側フェルールS 7の固定方法について説明する。なお、以下に説明する内容以外は、実施形態1と同様とする。

[0076] 具体的には、光結合部S 8は、

スリーブS 17を用いて2つのフェルールS 6、S 7に配置されているシングルコアの光ファイバS 1、S 9を結合する光結合部であって、

出力側フェルールS 7は、ファイバ孔内に複数の光ファイバがフェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置されており、

入力側フェルールS 6は、フェルール中心軸を中心に回転可能であり、

出力側フェルールS 7の回転は、規制され、

出力側フェルールS 7は、2つのフェールの端部が突合する方向に押圧される、ことを特徴とする。

[0077] また、光スイッチS 0 0は、
光結合部S 8において、

出力側フェルールS 7の回転を規制するとともに、出力側フェルールS 7を、2つのフェールの端部が突合する方向に押圧する押圧器S 3 2、を備えることを特徴とする。

[0078] 図1 8は、本実施形態に係る光結合部S 8のかん合形態を表す模式図である。第1の実施形態と同様に、入力側フェルールS 6は回転フランジS 2 9に取り付けられ、回転フランジS 2 9にベアリングS 2 6が設けられており、固定ネジS 2 5で固定治具S 2 7に取り付けられ、軸方向が固定されている。しかしながら、本実施形態に係る光結合部S 8の入力側の構成はこれに限定されない。第2の実施形態と同様に、入力側フェルールS 6は入力側フランジS 1 8に取り付けられ、入力側フランジS 1 8は取り外し可能な固定ネジS 2 5で固定治具S 2 7に取り付けられ、軸方向および軸回転方向が固定されており、固定ネジS 2 5をゆるめることにより、入力側フランジS 1 8が回転可能となり、それに伴い入力側フランジS 1 8に取り付けられている入力側フェルールS 6が回転できることとしてもよい。また、入力側フェルールS 6を出力側フェルールS 7よりもフェール外径S 1 5を小さくし、ベアリングS 2 6を取り付けて、ベアリングS 2 6の回転機構S 5により回転してもよい。

[0079] 出力側フェルールS 7には、押圧力付与フランジS 3 1が取り付けられている。当該押圧力付与フランジS 3 1には、入力側フェルールS 6及び出力側フェルールS 7の長手方向において、入力側フェルールS 6と出力側フェルールS 7の両方の端面が突合する方向に押圧力を加える押圧器S 3 2が取り付けられている。具体的には、押圧器S 3 2は、図1 8の左方に押圧力付与フランジS 3 1を押圧する。押圧力付与フランジS 3 1が左方へ押圧されることに伴い、押圧力付与フランジS 3 1が取り付けられた出力側フェール

ルS 7も左方へ押圧される。また、押圧器S 3 2はストッパーS 3 4に取り付けられて回転方向に固定される。ストッパーS 3 4はハウジングS 3 3に取り付けられ、よって押圧器S 3 2がハウジングS 3 3に対して回転方向に固定される。また、押圧器S 3 2の前端部は、押圧力付与フランジS 3 1の後端部に固定されている。これにより、押圧力付与フランジS 3 2に取り付けられた出力側フェルールS 7がハウジングS 3 3に対して回転方向に固定されている。

[0080] ここで押圧器S 3 2はベローズ形、スリット形、ディスク形などのカップリングを用いてもよい。また、押圧器S 3 2の材質はステンレスなどの金属やゴムなどの高分子化合物を用いることが可能であり、出力側フェルールS 7が回転しないように保持され、かつ、入力側フェルールと出力側フェルールの2つのフェルールのそれぞれの端面が突合する方向に押圧力が加えられる機構であればよく、これらに限らない。

[0081] ハウジングS 3 3は、出力側フェルールS 7、押圧力付与フランジS 3 1、及び押圧器S 3 2を、押圧器S 3 2、押圧力付与フランジS 3 1、出力側フェルールS 7の順に收容している。本実施形態では、固定治具S 2 7とハウジングS 3 3とは、一般的な光コネクタに用いられるかん合方法でかん合されてもよい。つまり、ハウジングS 3 3に光コネクタにおける光コネクタプラグのかん合機構を設け、固定治具S 2 7に光コネクタにおける光コネクタアダプタのかん合機構を設けることによって、ハウジングS 3 3は固定治具S 2 7に挿入されて固定される。すなわち、固定治具S 2 7の内側でハウジングS 3 3と接触する面に突起S 3 5を設け、ハウジングS 3 3に係止片S 3 6を設けることによって、当該突起S 3 5と係止片S 3 6がかん合することによってハウジングS 3 3が固定治具S 2 7に固定（位置決め）される。

[0082] しかしながら、本開示の範囲はこれに限られない。ストッパーS 3 4は、ハウジングS 3 3と一体に形成されていてもよい。

[0083] 上述のように、ストッパーS 3 4によって押圧器S 3 2がハウジングS 3

3に対して回転方向に固定されるとともに、ストッパーS34とハウジングS33を介して、押圧器S32は、固定治具S27に対して固定される。また、押圧器S32に固定された押圧力付与フランジS31に取り付けられた出力側フェルールS7も、ハウジングS32及び固定治具S27に対して固定される。ここで、固定ネジを用いてフランジを固定する方法による場合、固定ネジの止め方により回転方向に設計通りの固定ができないことがある。これに対し、本実施形態では、ストッパー34を用いて、出力側フェルールS7を押圧する押圧器S32をハウジングS33に対して正確に固定することができるため、光学特性の低下を抑制することが可能である。なお、本実施形態では、ストッパーS34が2つ設けられているが、本開示の範囲はこれに限られない。ストッパーS34の数は1つだけでもいいし、3つ以上でもよい。

[0084] この時、固定治具S27に対してハウジングS33が所定の位置で固定されることによって、適切な押圧力でフェルール端面に押圧力が加えられる。つまり、出力側フェルールS7、押圧力付与フランジS31、押圧器S32が、ハウジングS33および固定治具S27に対して回転方向に固定された状態で、押圧器S32が収縮することによってフェルールの長手方向に押圧力が加えられる。具体的には、押圧器S32が左方へ押圧されることに伴い、押圧力付与フランジS31が左方へ押圧される。押圧力付与フランジS31が左方へ押圧されることに伴い、押圧力付与フランジS31に取り付けられた出力側フェルールS7も左方へ押圧される。これにより、フェルールの中に配線された光ファイバの端面間の間隙を必要最小限に抑えることができる。よって、光学特性の低下を抑制することができる。なお、本実施の形態においては、押圧器S32によって出力側フェルールS7が押圧されることでフェルール端面に押圧力が加えられているが、本開示の範囲はこれに限られない。押圧器S32が入力側に設けられ、入力側フェルールS6が押圧器S32に押圧されることで、フェルール端面に押圧力が加えられてもよい。

[0085] 上述の通り、本実施形態によれば、振動が発生する屋外に光スイッチS0

0を接地する場合でも、光学特性の低下を抑制することができ、メンテナンスフリーとなり経済的である。また、本実施形態によれば、ストッパーS34に取り付け可能な押圧器S32という種類の部材を設けるだけで、出力側フェルールS7の回転を規制することができるとともに、フェルール端面に押圧力を加えることができ、低消費電力かつ経済的である。

[0086] 本実施形態において、出力側フェルールS7が、その端面が入力側フェールの端面に押し付けられた状態で回転方向に固定され、入力側フェールS6がスリーブS17内でフェール円筒の中心を軸として回転する。これにより、入力側フェールS6に挿入された入力側光ファイバS1のコアが回転し、入力側光ファイバS1に対向する出力側光ファイバS9のコアが切り替わる。

[0087] 以上説明したように、本発明によれば、外的要因に対して安定的な光学特性を低消費電力で、かつ、より経済的に実現できる光結合部及び光スイッチを提供することができる。

[0088] 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

[0089] 本開示に係る光結合部および光スイッチは、光通信産業に適用することができる。

符号の説明

- [0090] S00：前段光スイッチ構成部
S00：光スイッチ
S01：入力側光ファイバ
S02：光スイッチ間光ファイバ
S03：後段光スイッチ構成部
S03：光スイッチ
S04：出力側光ファイバ
S1：入力側光ファイバ
S2：余長部

- S 3 : アクチュエータ
- S 4 : 制御回路
- S 5 : 回転機構
- S 6 : 入力側フェルール
- S 7 : 出力側フェルール
- S 8 : 光結合部
- S 9 : 出力側光ファイバ
- S 10 : ダミーファイバ
- S 11 : ファイバ孔
- S 15 : フェルール外径
- S 16 : スリーブ内径
- S 17 : スリーブ
- S 18 : 入力側フランジ
- S 19 : 出力側フランジ
- S 21 : ファイバ孔直径
- S 23 : キャピラリ
- S 25 : 固定ネジ
- S 26 : ベアリング
- S 27 : 固定治具
- S 28 : 固定ばね
- S 29 : 回転フランジ
- S 30 : ファイバ孔
- S 31 : 押圧力付与フランジ
- S 32 : 押圧器
- S 33 :ハウジング
- S 34 : ストッパー
- S 35 : 突起
- S 36 : 係止片

請求の範囲

- [請求項1] スリーブを用いて2つのフェルールに配置されているシングルコアの光ファイバを結合する光結合部であって、
- 前記2つのフェルールのうちの第1のフェルールは、ファイバ孔内に複数の光ファイバがフェルール中心軸を中心とする同一の円周上にバンドル状に配置されており、
- 前記2つのフェルールの少なくとも一方は、前記フェルール中心軸を中心に回転可能であり、
- 前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転は、規制され、
- 前記2つのフェルールのいずれかは、前記2つのフェルールの端部が突合する方向に押圧される、
- 光結合部。
- [請求項2] 前記2つのフェルールの突き合わされている端部が、前記フェルール中心軸上に中心点を有する凸球面形状を有する、
- 請求項1に記載の光結合部。
- [請求項3] 請求項1に記載の光結合部において、
- 前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転を規制するとともに、前記2つのフェルールのいずれかを前記2つのフェルールの端部が突合する方向に押圧する押圧器、を備える、
- 光スイッチ。
- [請求項4] 前記2つのフェルールの少なくとも他方、前記2つのフェルールの少なくとも他方を押圧するフランジ、及び前記押圧器を、前記押圧器、前記フランジ、前記2つのフェルールの少なくとも他方の順に收容するハウジングと、
- 前記押圧器を前記ハウジングに固定するストッパーと、をさらに備え、
- 前記押圧器は、ストッパーを介して前記ハウジングに対する前記2つのフェルールの少なくとも他方の回転を規制するとともに、前記フ

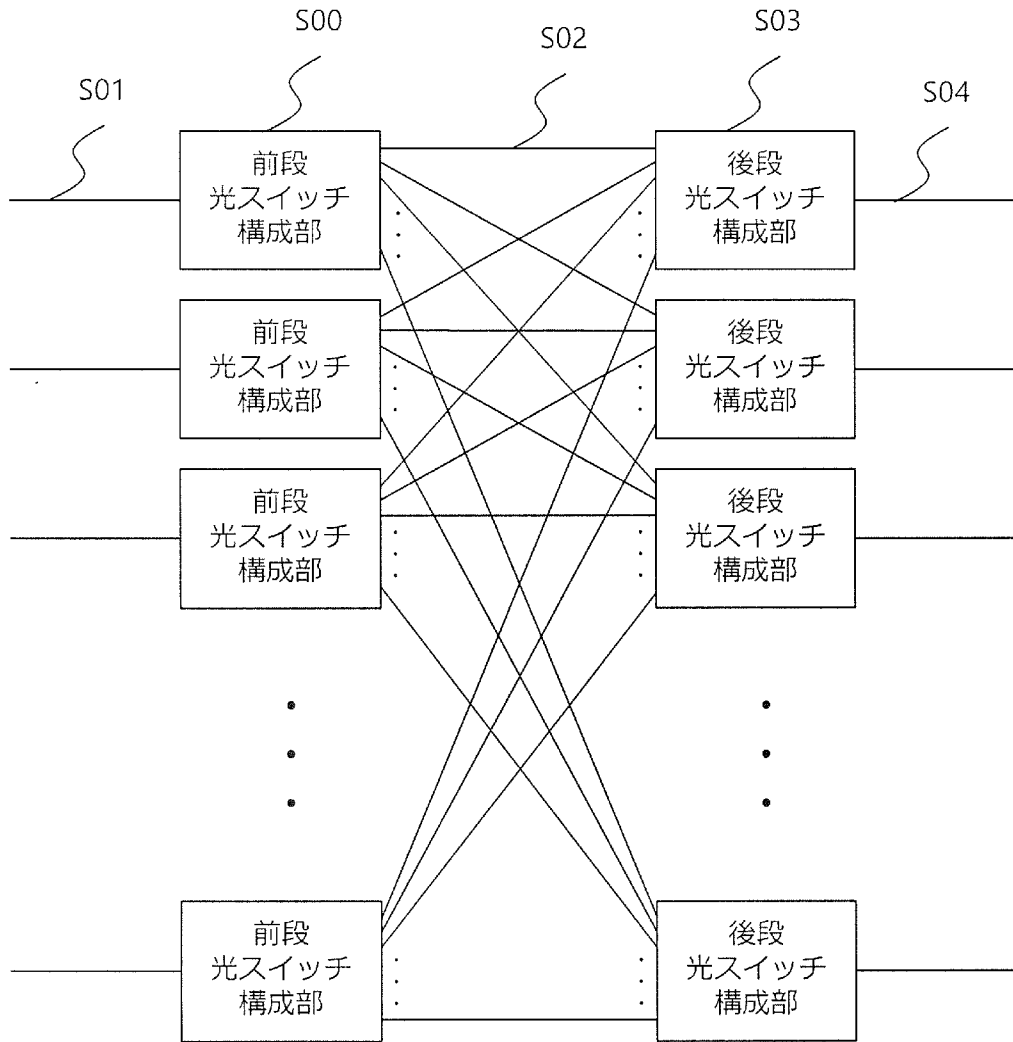
レンジを介して前記2つのフェルールの少なくとも他方を押圧する、
請求項3に記載の光スイッチ。

[請求項5] 前記2つのフェルールの少なくとも一方を収容するとともに、前記ハウジングとかん合可能な固定治具、をさらに備え、
前記固定治具は、前記ハウジングと係合する突起を、さらに備え、
前記突起が前記ハウジングの係止片とかん合することにより、前記固定治具に対して前記ハウジングが位置決めされている、
請求項4に記載の光スイッチ。

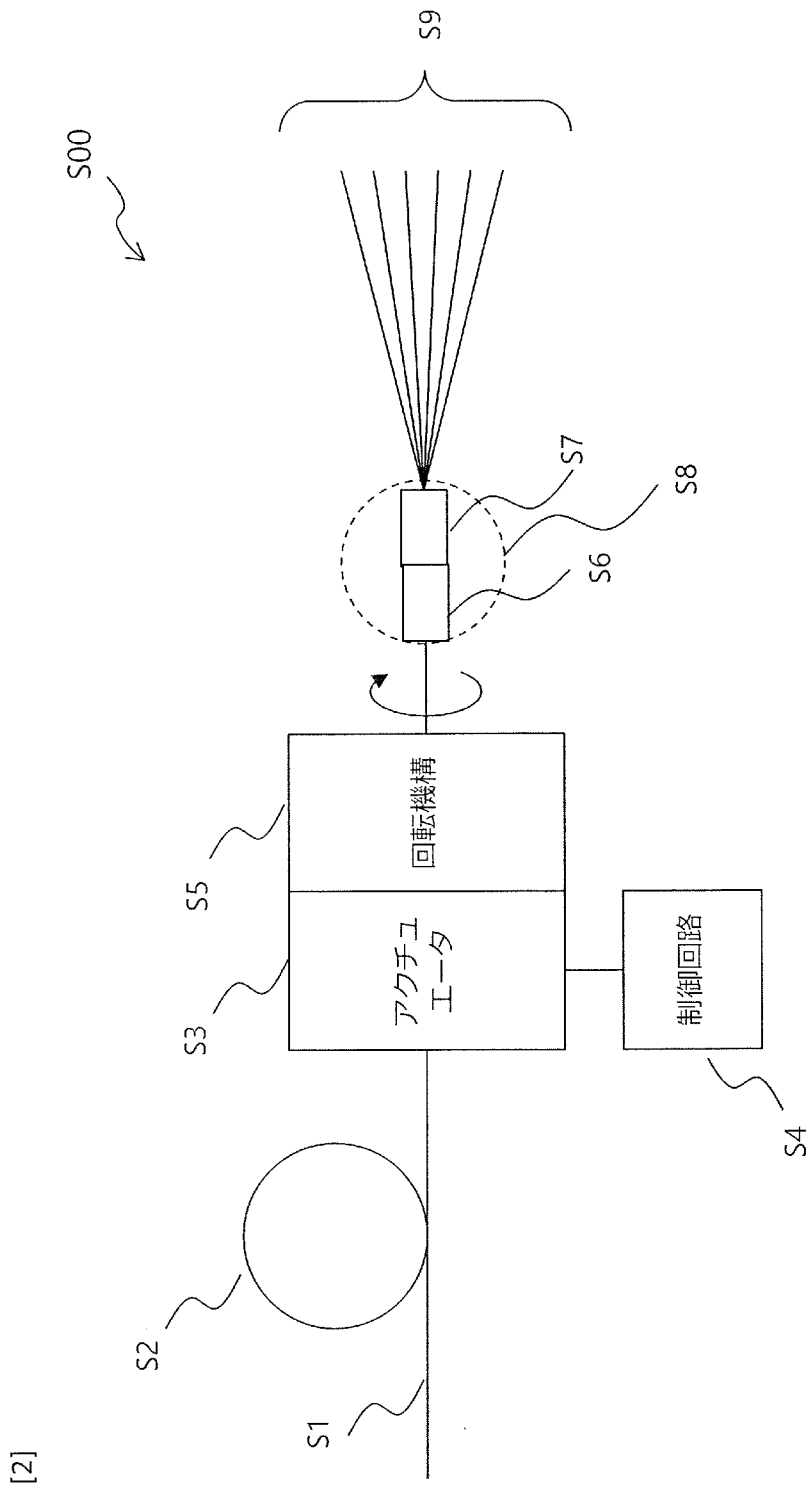
[請求項6] 前記2つのフェルールの少なくとも一方を、前記フェール中心軸を中心に回転させる回転機構と、
前記回転機構を一定の角度ステップで回転させ、任意の角度ステップで静止させるアクチュエータと、
前記回転機構を構成するベアリングと、をさらに備える、
請求項3～5のいずれか一項に記載の光スイッチ。

[図1]

[1]



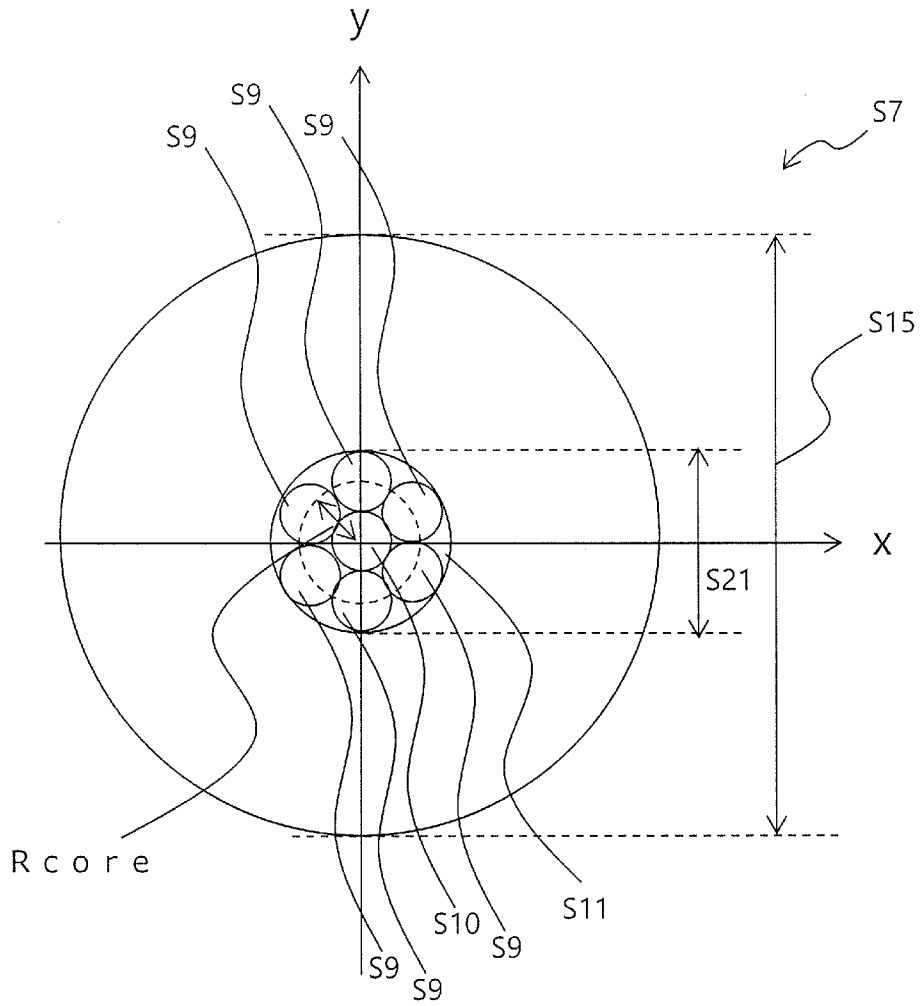
[図2]



[2]

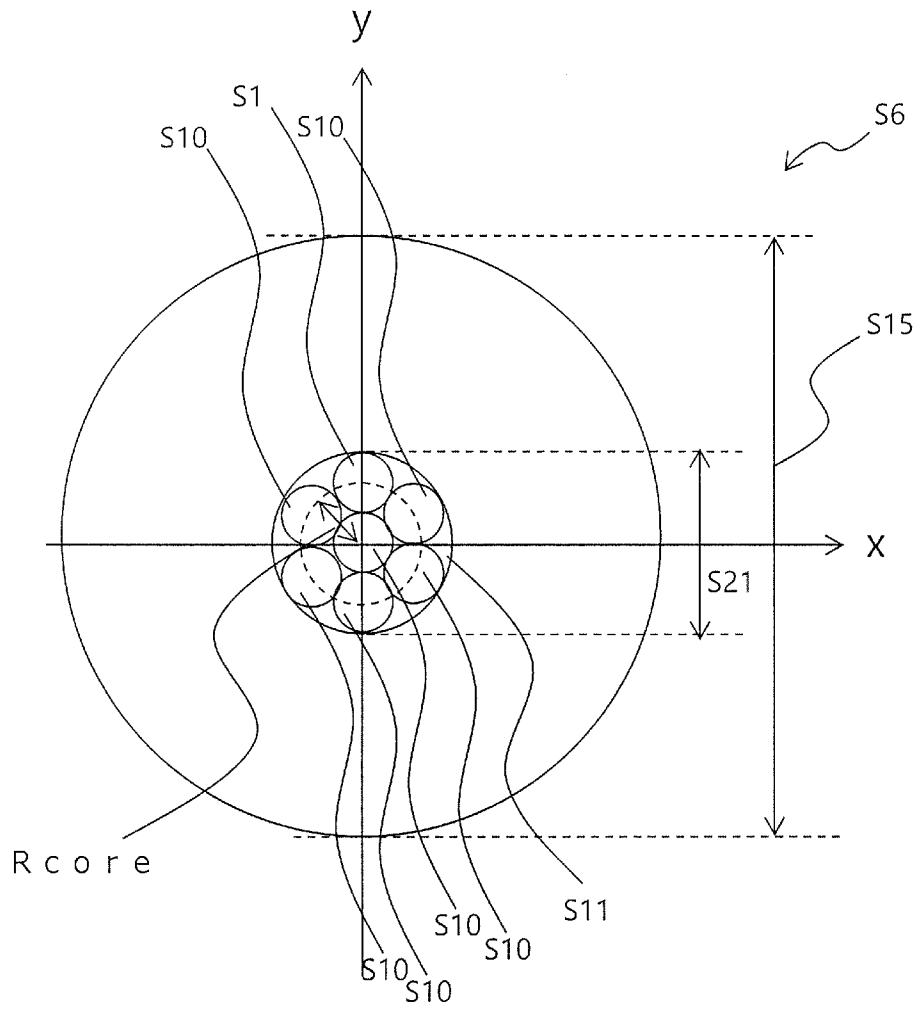
[図3]

[3]

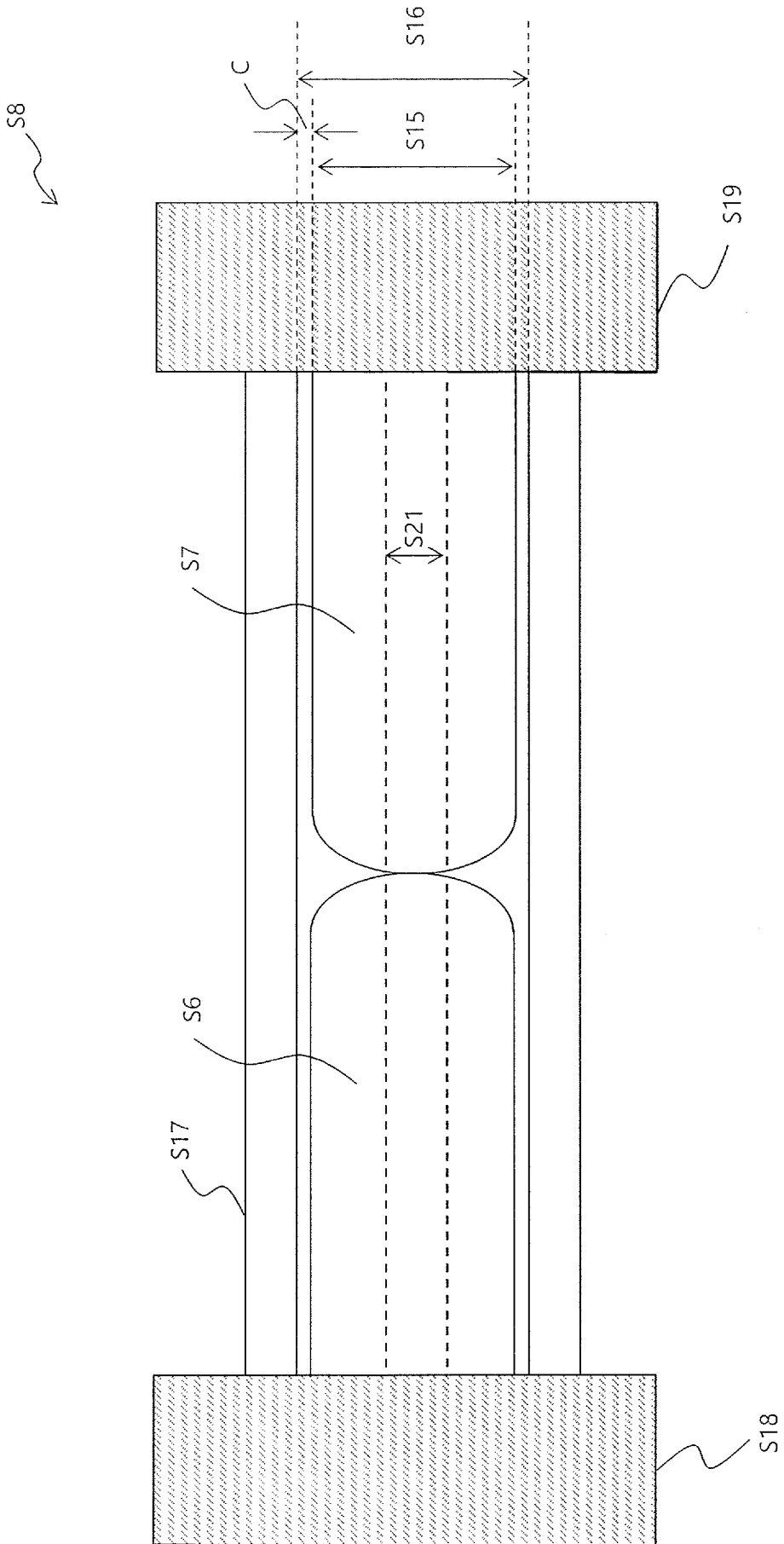


[図4]

[4]



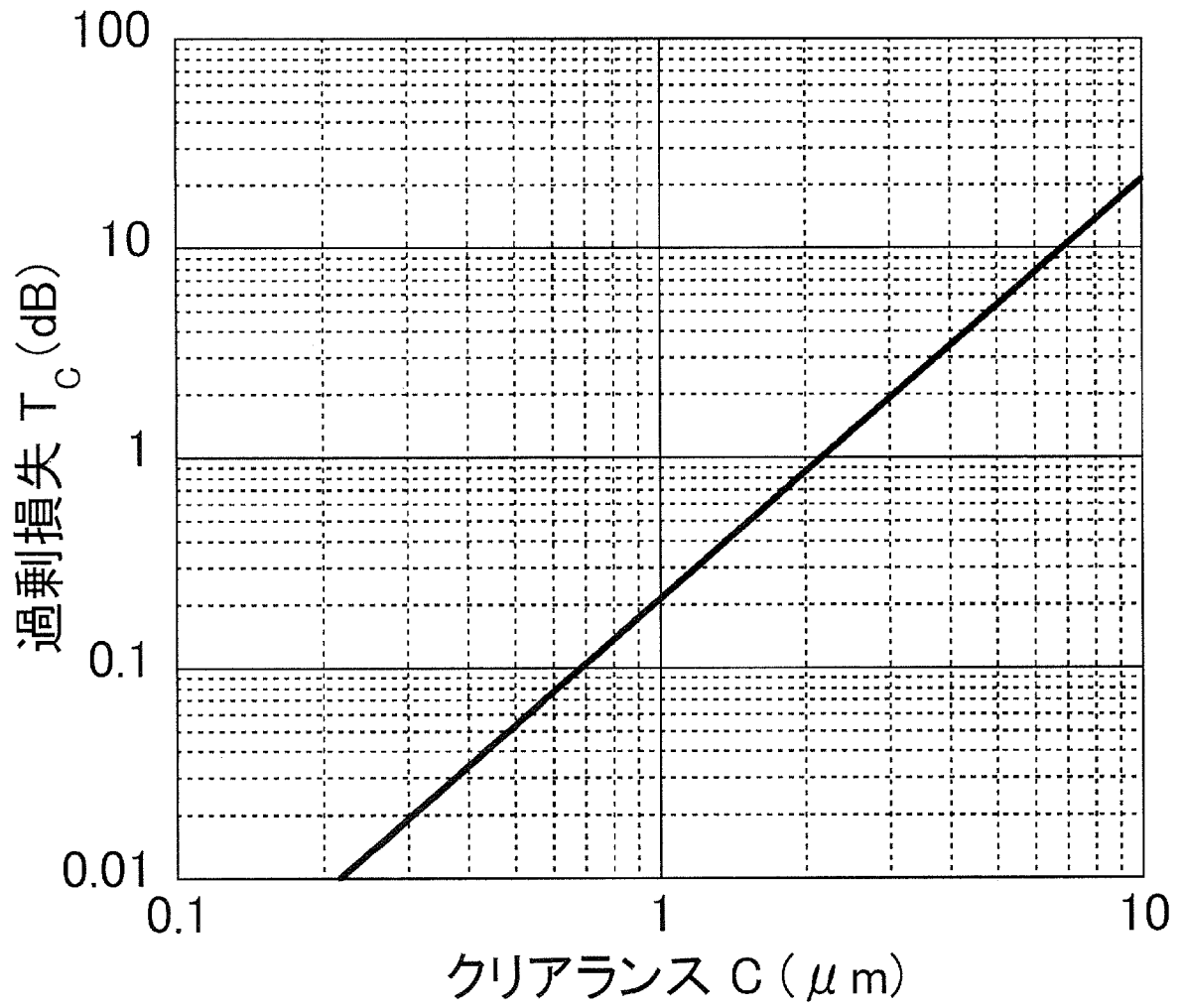
[5]



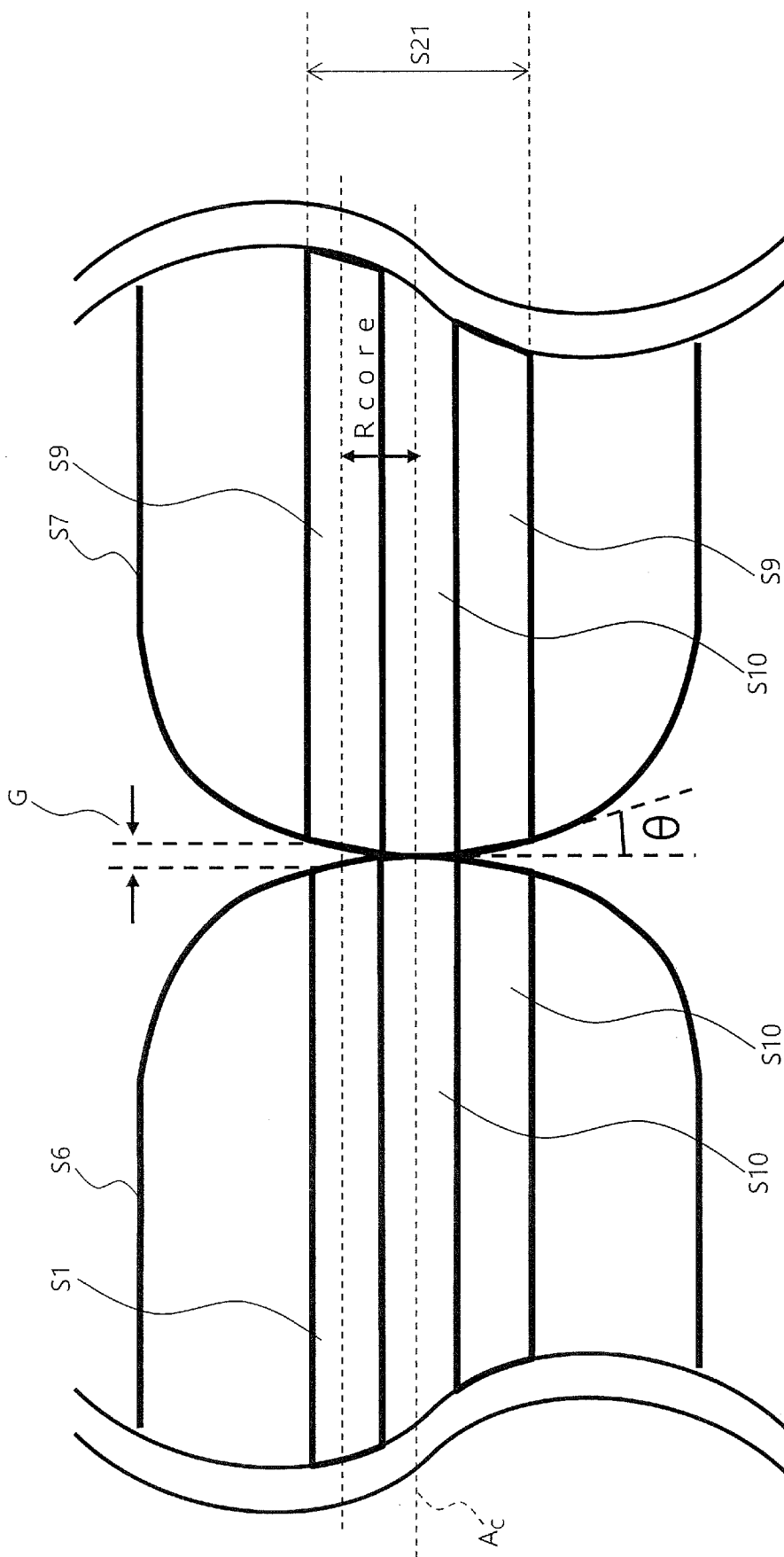
[5]

[図6]

[6]



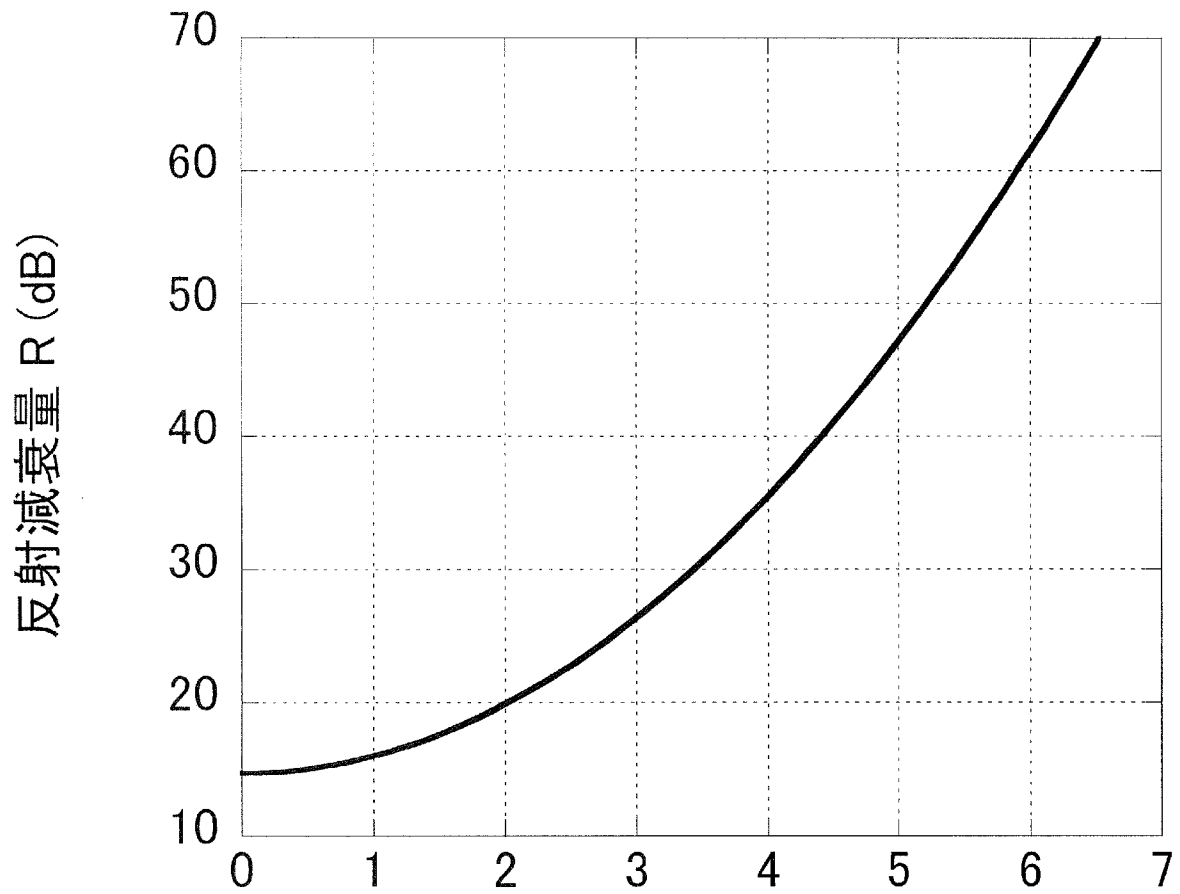
[7]



[7]

[図8]

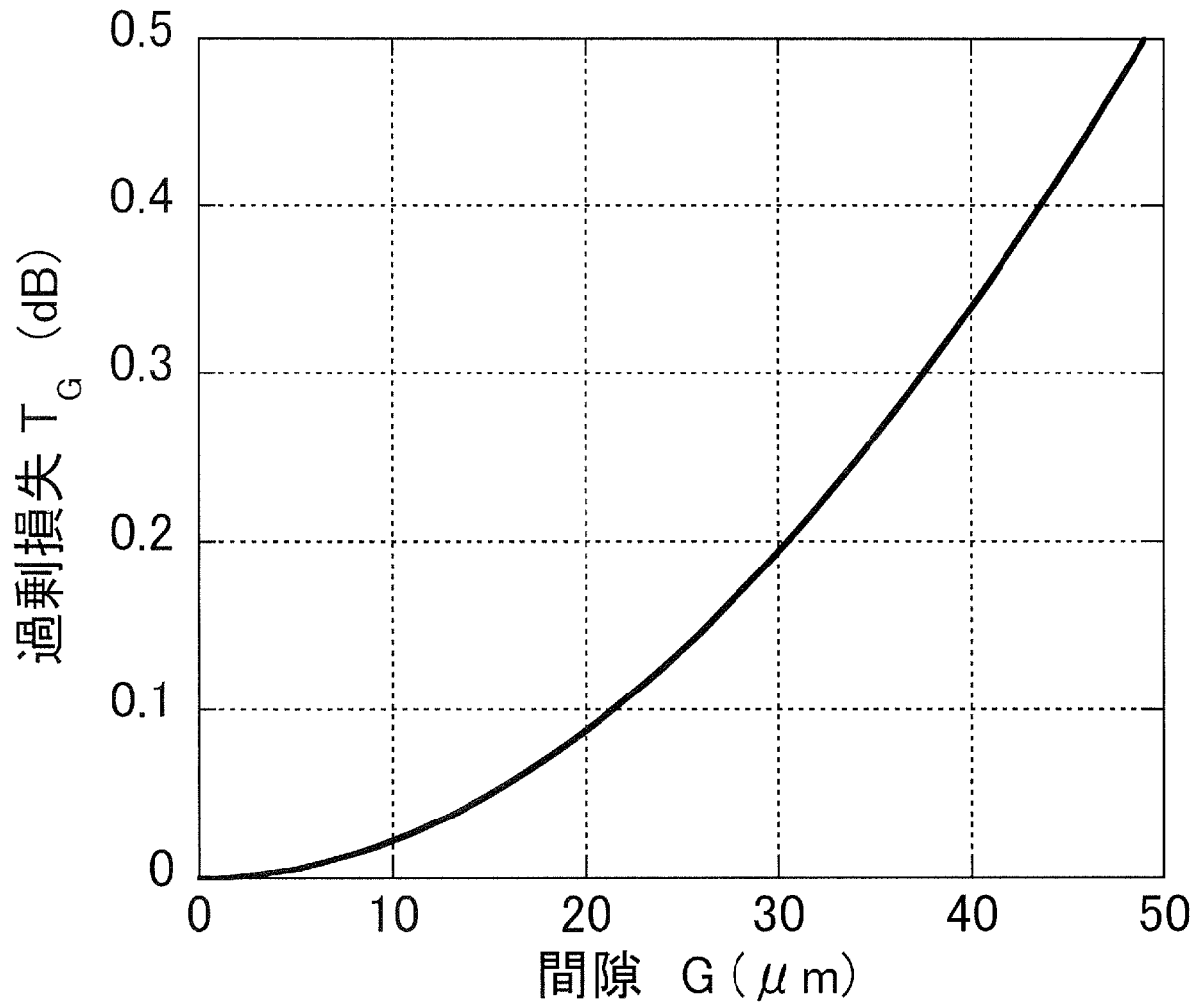
[8]



フェルール中心軸に対して垂直な断面と
シングルモード光ファイバ端面とがなす角度 θ (度)

[図9]

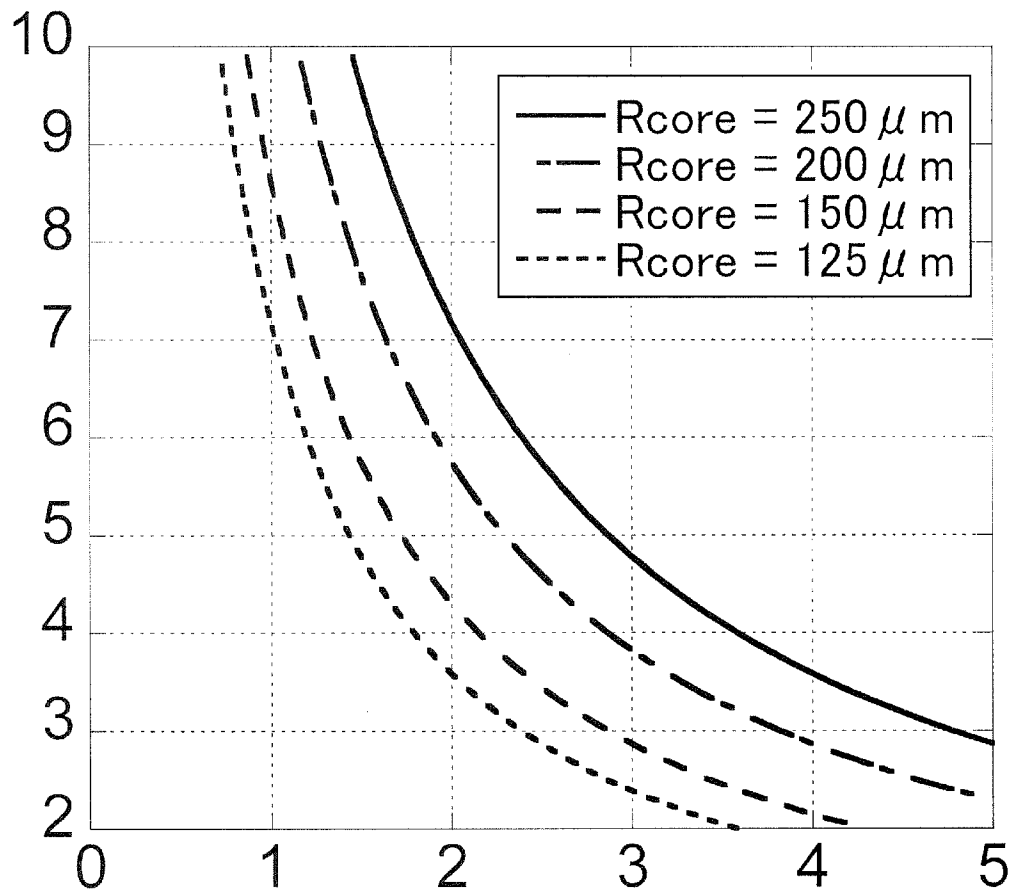
[9]



[図10]

[10]

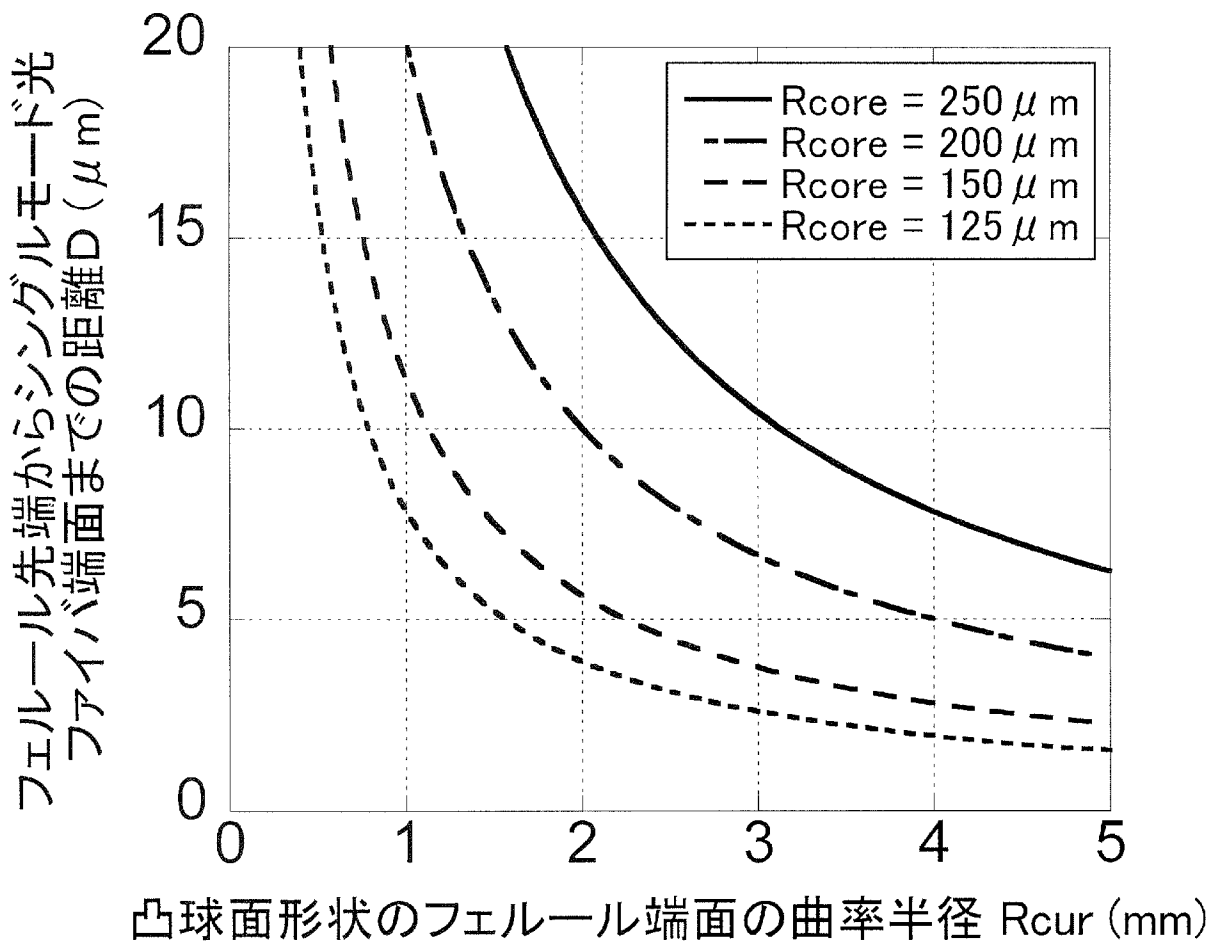
フェルール中心軸に対して垂直な断面と
シングルモードファイバ端面とがなす角度 θ (度)



凸球面形状のフェルール端面の曲率半径 Rcur (mm)

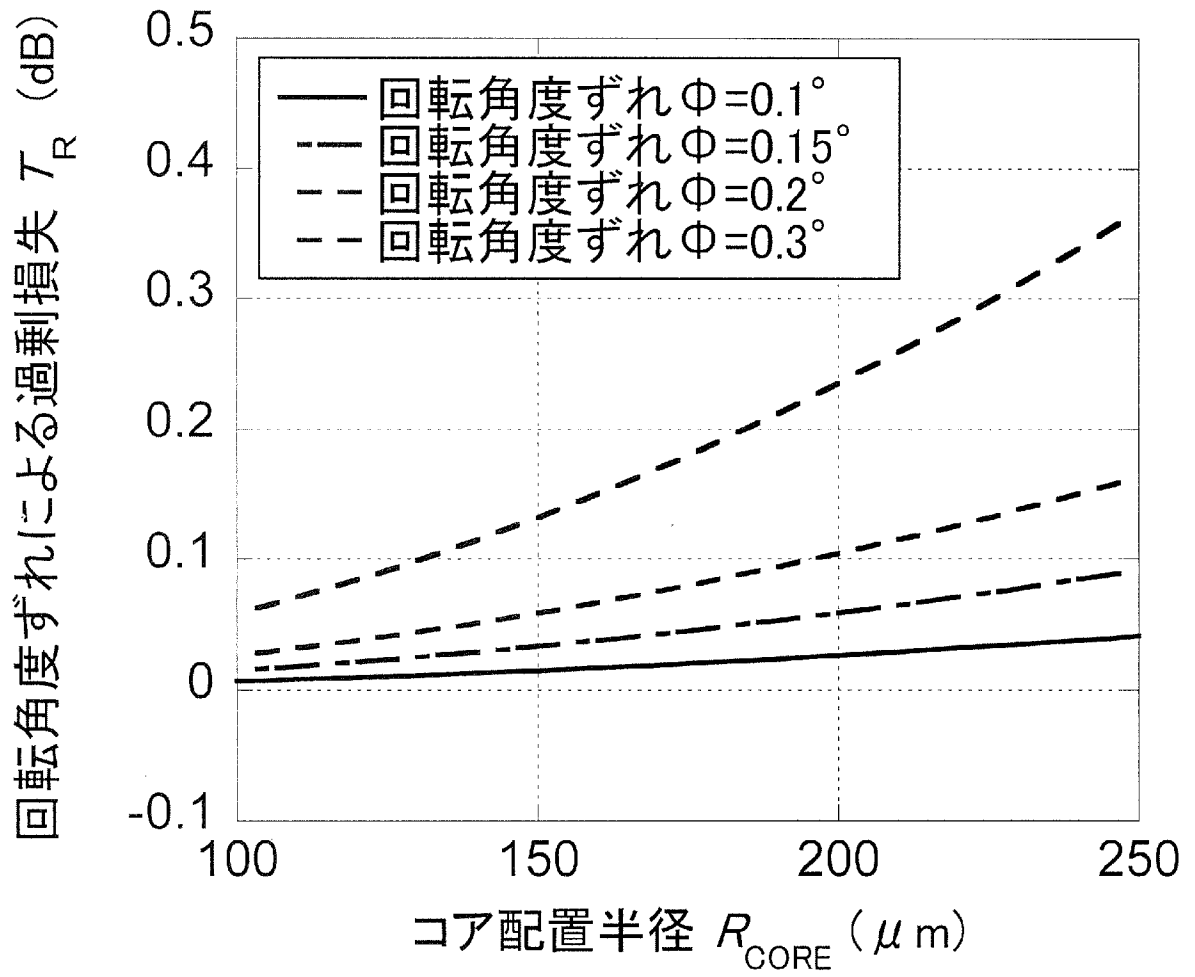
[図11]

[11]

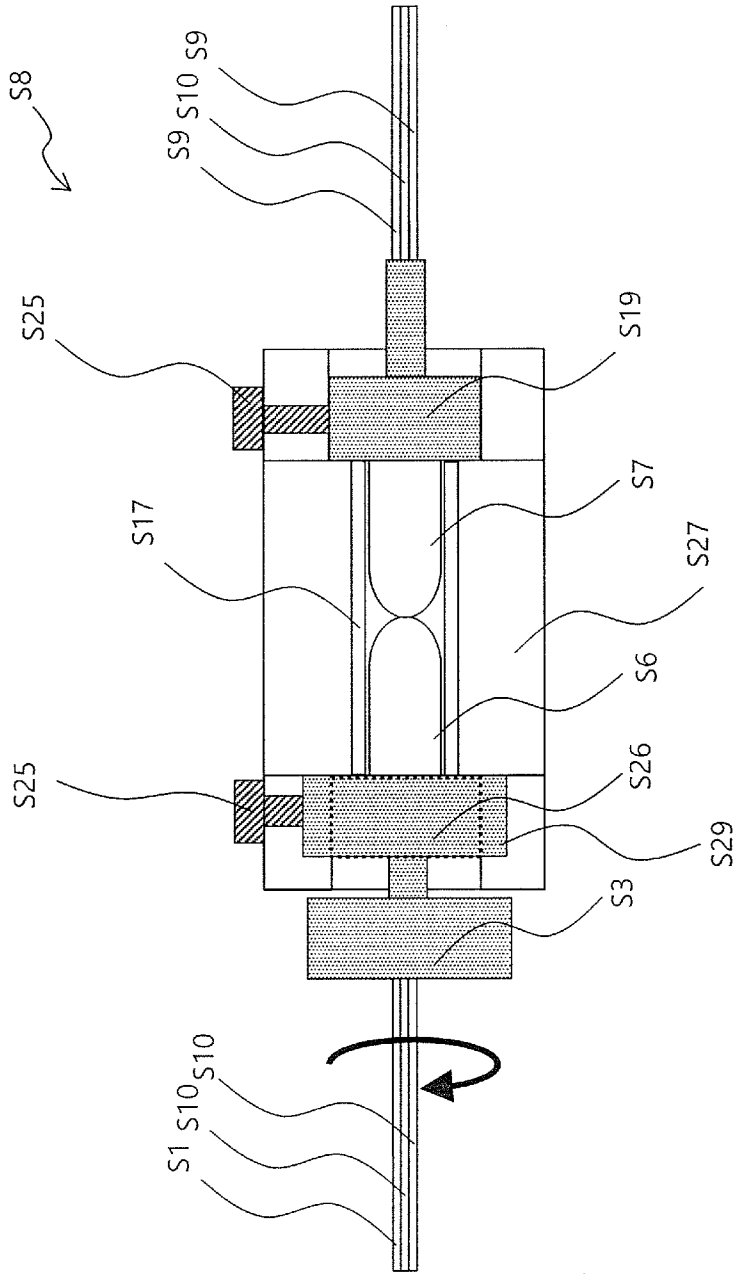


[図12]


[12]



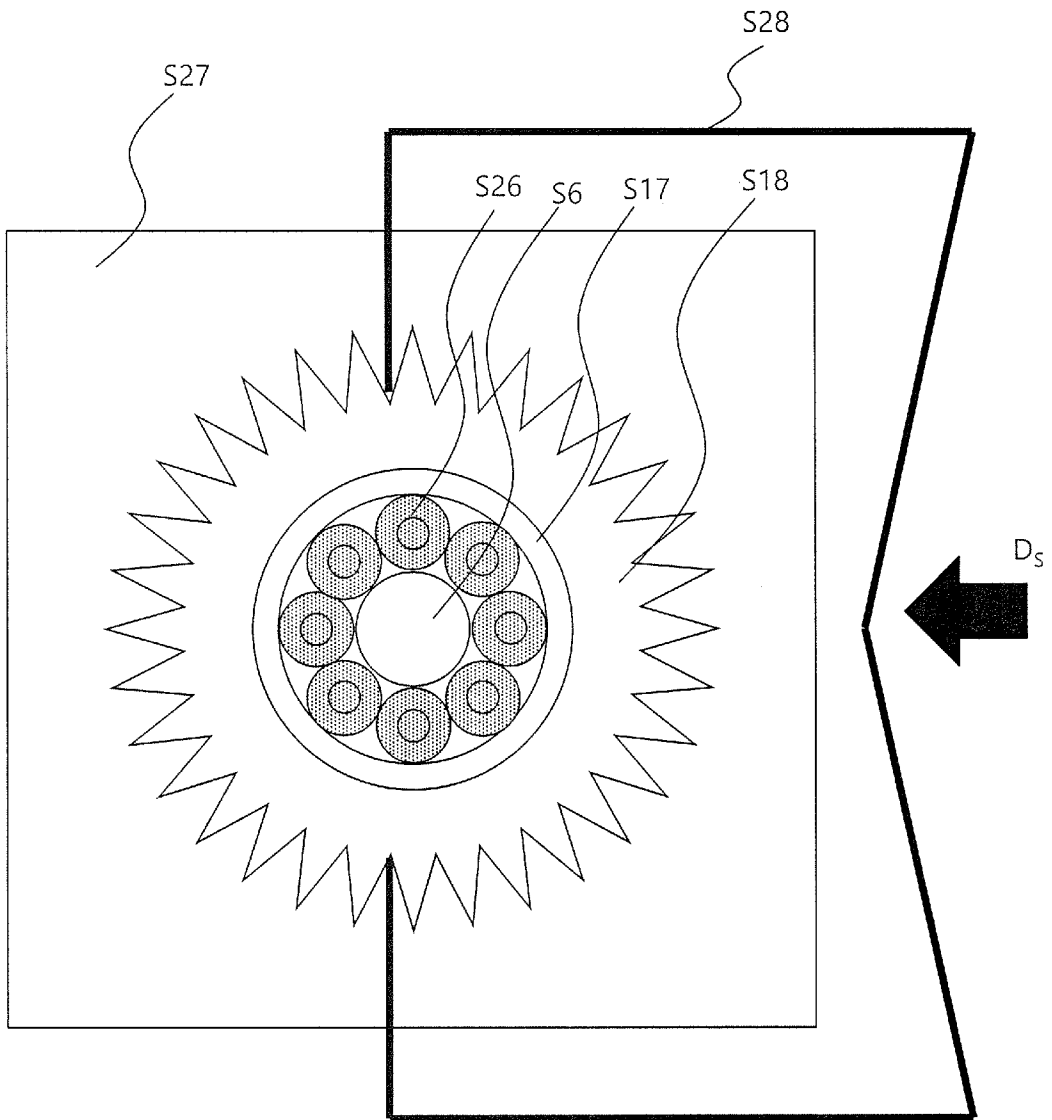
[13]



[13]

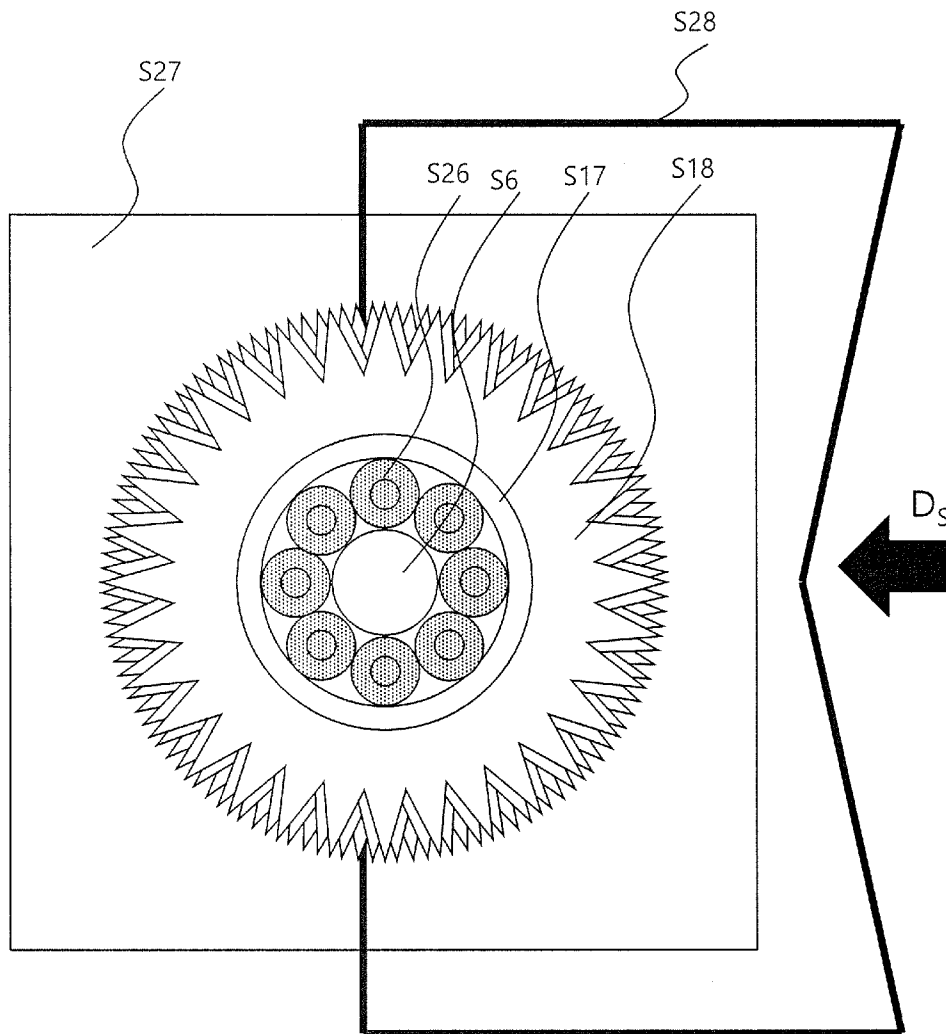
[15]

[15]

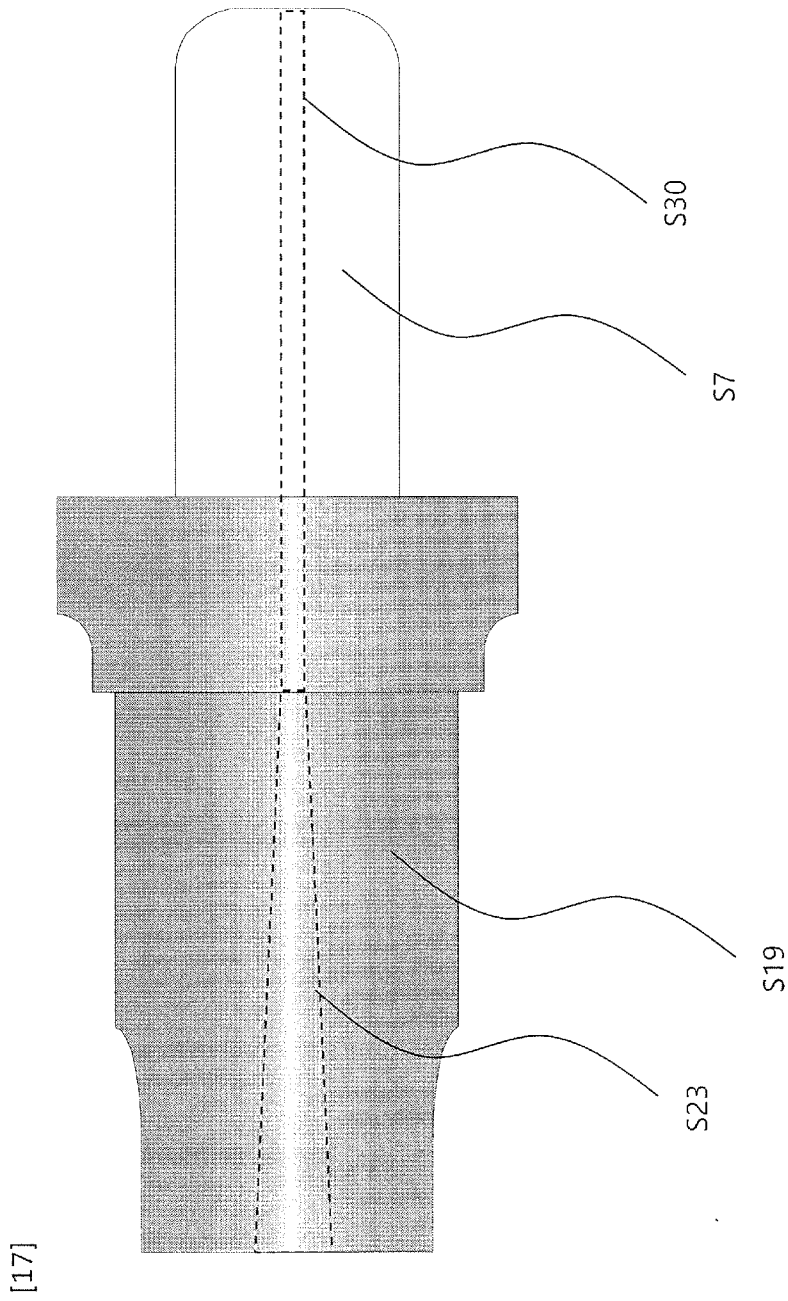


[16]

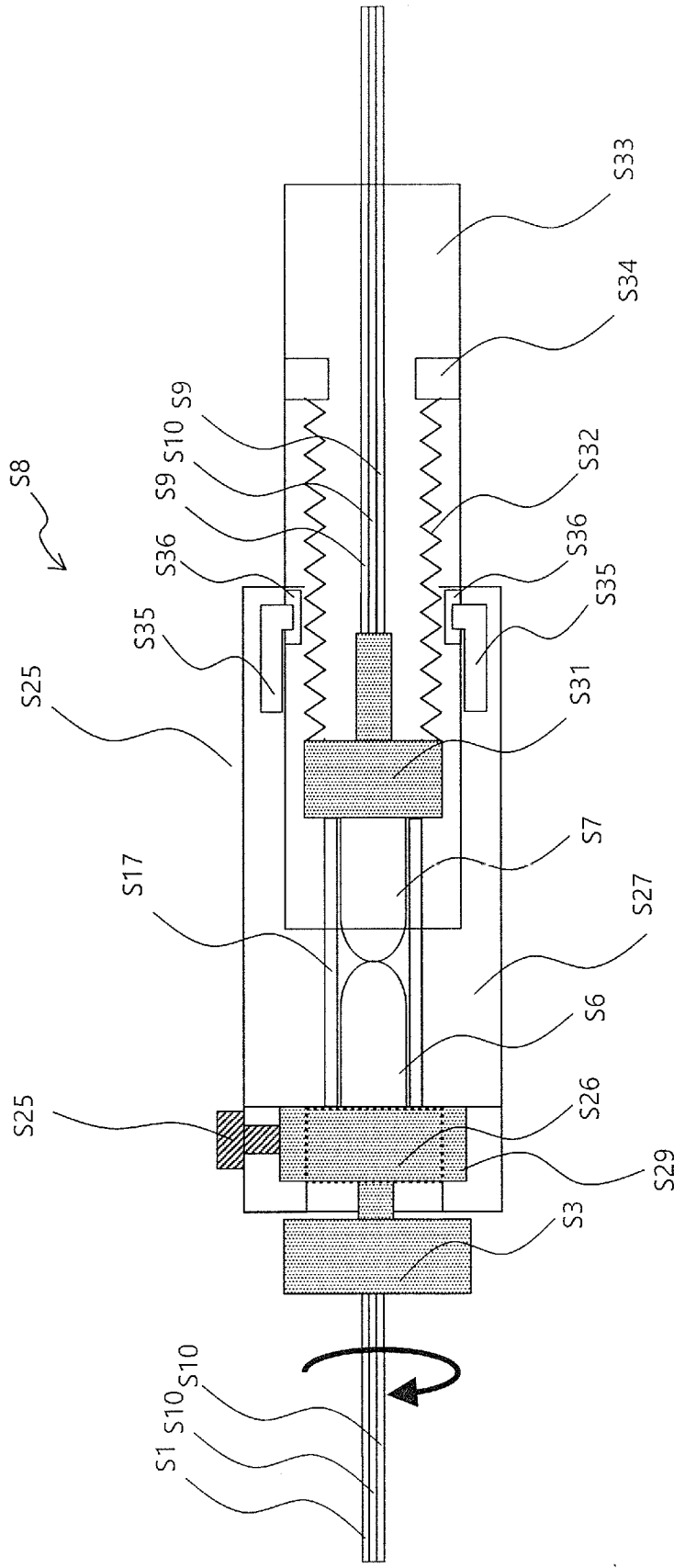
[16]



[17]



[18]



[18]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/027583

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B 6/35</i> (2006.01)i; <i>G02B 26/08</i> (2006.01)i FI: G02B6/35; G02B26/08 F 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) G02B6/35; G02B26/08		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-91609 A (FUJITSU LIMITED) 30 March 1990 (1990-03-30) page 3, upper right column, line 3 - page 4, lower left column, line 13	1-3, 6
A	page 3, upper right column, line 3 - page 4, lower left column, line 13	4, 5
Y	WO 2022/018783 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 27 January 2022 (2022-01-27) paragraphs [0024]-[0055], fig. 4-9	1-3, 6
Y	JP 3-28816 A (ALCATEL NEAMLOZE VENNOOTSHAP) 07 February 1991 (1991-02-07) page 4, upper left column, line 14 - page 5, upper right column, line 9	1-3, 6
A	JP 2-82212 A (FUJITSU LIMITED) 22 March 1990 (1990-03-22) entire text, all drawings	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 13 September 2023		Date of mailing of the international search report 03 October 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/027583

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2-91609 A	30 March 1990	(Family: none)	
WO 2022/018783 A1	27 January 2022	(Family: none)	
JP 3-28816 A	07 February 1991	US 4989946 A column 3, line 27 - column 4, line 50	
		EP 379192 A2	
JP 2-82212 A	22 March 1990	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/35(2006.01)i; G02B 26/08(2006.01)i FI: G02B6/35; G02B26/08 F		
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）） G02B6/35; G02B26/08 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 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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）		
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 請求項の番号
Y	JP 2-91609 A (富士通株式会社) 30.03.1990 (1990 - 03 - 30) 3 ページ右上欄 3 行 - 4 ページ左下欄 1 3 行	1-3, 6
A	3 ページ右上欄 3 行 - 4 ページ左下欄 1 3 行	4, 5
Y	WO 2022/018783 A1 (日本電信電話株式会社) 27.01.2022 (2022 - 01 - 27) 段落0024-0055, 図4-9	1-3, 6
Y	JP 3-28816 A (アルカテル・エヌ・ブイ) 07.02.1991 (1991 - 02 - 07) 4 ページ左上欄 1 4 行 - 5 ページ右上欄 9 行	1-3, 6
A	JP 2-82212 A (富士通株式会社) 22.03.1990 (1990 - 03 - 22) 全文全図	1-6
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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 13.09.2023	国際調査報告の発送日 03.10.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 近藤 幸浩 2L 8422 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/027583

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2-91609 A	30.03.1990	(ファミリーなし)	
WO 2022/018783 A1	27.01.2022	(ファミリーなし)	
JP 3-28816 A	07.02.1991	US 4989946 A 3 欄 2 7 行 - 4 欄 5 0 行 EP 379192 A2	
JP 2-82212 A	22.03.1990	(ファミリーなし)	