

(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
2022年6月16日(16.06.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/123791 A1

(51) 国際特許分類:

G01M 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/046406

(22) 国際出願日: 2020年12月11日(11.12.2020)

(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: 半澤 信智 (HANZAWA, Nobutomo); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番1号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 松

井 隆 (MATSUI, Takashi); 〒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). 寒河江 悠途 (SAGAE, Yuto); 〒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). 中島 和秀 (NAKAJIMA, Kazuhide); 〒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).

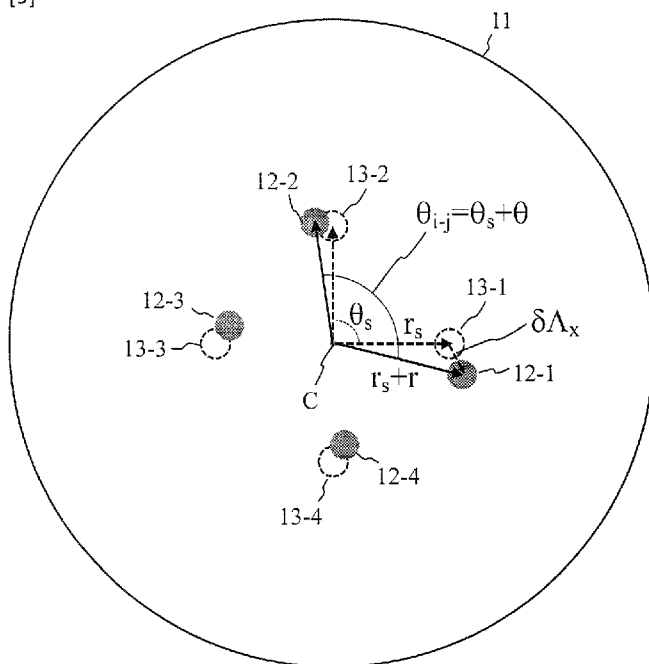
(74) 代理人: 岡田 賢治, 外 (OKADA, Kenji et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋二丁目12番5号 瀬戸口ビル3階アイル知財事務所 Tokyo (JP).

(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,

(54) Title: MULTICORE FIBER EVALUATION METHOD AND EVALUATION DEVICE

(54) 発明の名称: マルチコアファイバの評価方法及び評価装置

[9]



(57) Abstract: The purpose of this invention is to provide an evaluation method and evaluation device for simply determining whether structural parameters of a multicore fiber satisfy a desired connection loss value (specification). In an evaluation method according to this invention, the coordinates, in an observed cross sectional structure of a multicore fiber, of the centers of each core are measured with the origin being the coordinates of the center of a circle approximating the cladding. The lengths of the line segments connecting the origin and the centers of each core and the angles between pairs of line segments connecting the origin and pairs of adjacent cores are determined, and on the basis of whether these

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

values satisfy a prescribed determination formula, a determination is made as to whether the multicore fiber satisfies a desired connection loss characteristic.

(57) 要約: 本発明は、マルチコアファイバの構造パラメータが所望の接続損失値(仕様)を満たすか否かを簡易的に判定する評価方法及び評価装置を提供することを目的とする。本発明に係る評価方法は、対象とするマルチコアファイバの観察された断面構造において、クラッドを円で近似したときの中心座標を原点とした各コアの中心座標を計測し、原点と各コアの中心を結ぶ線分の長さ、および原点と隣接する2つのコアとを結ぶ2本の線分がなす角度を求め、それらの値が所定の判定式を満たすか否かに基づいて、所望の接続損失特性を満たすか否かを判定する。

明 細 書

発明の名称：マルチコアファイバの評価方法及び評価装置

技術分野

[0001] 本開示は、マルチコアファイバの構造を評価する評価方法及び評価装置に関する。

背景技術

[0002] 現在のシングルモードファイバやマルチモードファイバにおいて、相互接続性を担保するために光学特性および幾何学構造パラメータが標準化されている（例えば、非特許文献1、2を参照。）。これらに開示される光ファイバは、クラッド中心にコアがあるシングルコアファイバである。このような光ファイバについて、クラッド中心とコア中心とのずれ量を評価する試験方法も開示されている（例えば、非特許文献3、4を参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：ITU-T G. 652, “Characteristic
s of a single-mode fibre and cable
, ” 2016.

非特許文献2：ITU-T G. 651. 1, “Characteristic
s of a 50/125 μ m multimode graded
index optical fibre cable for the
optical access network, ” 2018.

非特許文献3：ITU-T G. 650. 1, “Definitions
and test methods for linear, deter
ministic attributes of single-mode
fibre and cable, ” 2018.

非特許文献4：JIS-C 6822, “光ファイバ構造パラメータ試験方法
一寸法特性, ” 2009.

非特許文献5: T. Matsui et. al., 「118.5 Tbit/s Transmission over 316 km-Long Multi-Core Fiber with Standard Cladding Diameter」, OECC2017, 2-s2892, 2017.

非特許文献6: ITU-T L. 12, “Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant,” 2008.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] クラッド内に複数のコアを有するマルチコアファイバ(MCF: Multi Core Fiber)の光学特性については、非特許文献3に示される方法でコアごとに評価することができる。一方、非特許文献3、4に示される方法は、クラッドに対してコアが1つでありコアがクラッド中心に配置されることが前提であり、構造パラメータについてはクラッド中心とコア中心とのずれ量の評価に限定される。このため、非特許文献3、4に示される方法は、非特許文献5に開示されるようなMCFに適用することはできない。このため、クラッド中心にコアを持たないMCFの相互接続を実現するには、MCFの構造パラメータの評価方法が必要になる。

[0005] 光ファイバは、クラッド直径に公差を持っている。例えば直径が $125\mu\text{m}$ のクラッドに隣接コアの間隔が $40\mu\text{m}$ で4つのコアが形成された4コアファイバを考える。コアの配置が理想的であっても、クラッド直径の変化に応じ、断面ごとに計測されるコア間隔は $40\mu\text{m}$ から相似形で変化する。そのため、MCFの接続時において、ファイバの設計値から算出される各コアの中心座標をもとにコア間隔を算出し、コアの中心座標をクラッド直径に合わせて相似形で変化させ、接続損失が所望値(仕様)を満たすか否かを判断する必要がある。

[0006] そこで、本発明は、MCFの構造パラメータが所望の接続損失値（仕様）を満たすか否かを簡易的に判定する評価方法及び評価装置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

[0007] 上記目的を達成するために、本発明に係る評価方法は、MCFの断面においてコア中心座標が所望の接続損失から得られた所定領域内にあるか否かで判断することとした。

[0008] 具体的には、本発明に係る第1の評価方法は、断面においてN個（Nは3以上の整数）のコアが間隔ΛでN角形状に配置されるマルチコアファイバの評価方法であって、

カメラで前記マルチコアファイバの断面観察を行うこと、

前記断面観察したときの前記マルチコアファイバのクラッドを円で近似すること、

前記円の中心座標を原点とし、前記クラッド内にある前記コアそれぞれの中心座標を計測すること、及び

前記原点と前記コアの前記中心座標とを結ぶそれぞれの線分の長さ R_i （ i は前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$r_s - r_d \leq R_i \leq r_s + r_d$$

の範囲にあり、且つ

隣接する前記コアの前記線分がなす角 θ_{i-j} （ j は、番号 i の前記コアに隣接する前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$\theta_s - \theta_d \leq \theta_{i-j} \leq \theta_s + \theta_d$$

の範囲にあるときに、所望の接続損失特性を得られると判定すること、を特徴とする。

ただし、

[数1]

$$\theta_s[\text{deg}] = \frac{360}{N}, \quad (1)$$

[数2]

$$r_s = \frac{\Lambda}{2\cos\left(90 - \frac{\theta_s}{2}\right)}, \quad (2)$$

[数3]

$$\eta = \left\{ \frac{2W_1W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right\}^2 \exp \left[-\frac{2d^2}{W_1^2 + W_2^2} \right], \quad (3)$$

[数4]

$$r_d = \sqrt{-\frac{w_i^2 + w_j^2}{2} \ln \left[\frac{\eta}{\left\{ \frac{2w_iw_j}{w_i^2 + w_j^2} \right\}^2} \right]}, \quad (4)$$

[数5]

$$\theta_d = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{r_d}{r_s} \right), \quad (5)$$

W_i は所望の波長での番号 i の前記コアのモードフィールド直径 (MFD) である。

[0009] また、本発明に係る第2の評価方法は、断面において N 個 (N は3以上の整数) のコアが間隔 Λ で N 角形状に配置されるマルチコアファイバの評価方法であって、

カメラで前記マルチコアファイバの断面観察を行うこと、

前記断面観察したときの前記マルチコアファイバのクラッドを円で近似すること、

前記円の中心座標を原点とし、前記クラッド内にある前記コアそれぞれの中心座標を計測すること、及び

数6で計算される、設計上の前記コアの中心座標である設計中心座標と計測した前記中心座標とのずれ量 $\delta \Lambda_x$ が

$$\delta \Lambda_x \leq r_d$$

を満たすとき、所望の接続損失特性を得られると判定すること、
を特徴とする。

[数6]

$$\delta\Lambda_x = \sqrt{2r_s\{r_s + r - (r_s + r)\cos\theta\} + r^2} \quad (6)$$

ただし、

$$r = R_i - r_s,$$

$$\theta = \theta_{i-j} - \theta_s$$

R_i は、前記原点と前記コアの前記中心座標とを結ぶそれぞれの線分の長さ（ i は前記コアの番号であり、 N 以下の自然数である。）

θ_{i-j} は、隣接する前記コアの前記線分がなす角（ j は、番号 i の前記コアに隣接する前記コアの番号であり、 N 以下の自然数である。）である。

[0010] さらに、本発明に係る評価装置は、

前記マルチコアファイバの断面観察を行う前記カメラと、

前述のマルチコアファイバの評価方法を行うプロセッサと、

を備え、前記マルチコアファイバが所望の接続損失特性を有するか否かを判定する。

[0011] 本発明に係るMCFの評価方法は、クラッドの外径を円で近似し、そのクラッド中心座標を原点とし、クラッド内にある複数のコアそれぞれの中心座標が、設計されたコア間隔の座標から所望の範囲にあるかどうかで判定する。このため、MCFの断面からMCF同士の接続時に所望の接続損失に抑えられるか否かを簡易的に判断できる。

[0012] 従って、本発明は、MCFの構造パラメータが所望の接続損失値（仕様）を満たすか否かを簡易的に判定する評価方法及び評価装置を提供することができる。

[0013] 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

[0014] 本発明は、MCFの構造パラメータが所望の接続損失値（仕様）を満たす

か否かを簡易的に判定する評価方法及び評価装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]光ファイバの断面を説明する図である。(a)はシングルコアファイバ、(b)はマルチコアファイバである。

[図2]光ファイバの断面を説明する図である。(a)は4コアファイバのコア配置を説明し、(b)はコア位置のずれ $\delta \wedge x$ を説明する。

[図3]4コアファイバの接続損失の分布(接続損失特性)を説明する図である。

[図4]4コアファイバにおいて、コアのずれに対する平均損失と最大損失0.2 dB以下の発生確率を計算した結果である。

[図5]本発明に係るマルチコアファイバの評価方法を説明するフローチャートである。

[図6]光ファイバの断面を説明する図である。(a)は周方向のコアの位置ずれを説明し、(b)は半径方向のコアの位置ずれを説明する。

[図7]4コアファイバの接続損失の分布(接続損失特性)を説明する図である。

[図8]本発明に係るマルチコアファイバの評価方法を説明するフローチャートである。

[図9]光ファイバの断面においてコア位置のずれ $\delta \wedge x$ を説明する図である。

[図10]本発明に係るマルチコアファイバの評価装置を説明する図である。

[図11]本発明に係るマルチコアファイバの評価装置の光ファイバ把持部を説明する図である。(a)は上面図、(b)は側面図である。

発明を実施するための形態

[0016] 添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施例であり、本発明は、以下の実施形態に制限されるものではない。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。

[0017] 各実施形態を説明する前に、MCFの構造について説明する。コア間隔 Λ

でN個のコアを有するMCFでは、クラッド中心と隣接する2つのコアによりなされる角度 θ_s [度] は式(1)で決定される。

[数1]

$$\theta_s[\text{deg}] = \frac{360}{N}, \quad (1)$$

また、クラッド中心から外周コアのコア中心までの距離 r_s は式(2)で決定される。

[数2]

$$r_s = \frac{\Lambda}{2\cos\left(90 - \frac{\theta_s}{2}\right)}, \quad (2)$$

[0018] 図1(a)は、現在用いられているシングルコアファイバ(SCF)の断面図である。図1(a)に示すように、SCFはクラッド11内にコア12が1つだけ存在し、且つクラッド11の中心Cにコア12が配置される構造である。一方、MCFは図1(b)に示すようにクラッド11内に複数のコア12が配置されている。クラッド11の中心Cにコア12が配置される場合もあるが、本実施形態では中心Cにはコア12が配置されないMCFを説明する。また、MCFにおけるコアの光学特性は非特許文献1に記載されているG. 652.Dに準拠していると仮定する。

[0019] 図2(a)は、クラッド11内に4つのコア(12-1~12-4)が間隔 Λ で配置されている4CF(4 Core Fiber)を説明する図である。低接続損失で4CF同士を接続するためには、4つのコア(12-1~12-4)が互いの4CF間で概ね一致する位置にあることが必要である。しかしながら、図2(b)に示すように、製造上のばらつきなどにより各コア(12-1~12-4)の位置は設計位置(13-1~13-4)との位置ずれ量 $\delta\Lambda_x$; x は1から4のいずれか)を持つようになる。

[0020] ここで、コア間隔 Λ を $40\mu\text{m}$ として設計した4CFにおいてコアの位置ずれ量から生じる接続損失を算出する。接続損失の算出においては、式(3)により軸ずれ量 d (μm)に対する結合効率 η を算出し、損失を計算した

。また、各コアには、位置ずれ量 $\delta \Lambda_x$ (μm) として、設計上のコア位置からの最大位置ずれ量 δmax を設定し、 δmax 以内の値をランダムに与えることとした。

[数3]

$$\eta = \left\{ \frac{2W_1W_2}{W_1^2+W_2^2} \right\}^2 \exp \left[-\frac{2d^2}{W_1^2+W_2^2} \right], \quad (3)$$

ここで、 W_1 及び W_2 は接続する 4CF それぞれのモードフィールド半径である。つまり、接続する 4CF を光ファイバ 1 と光ファイバ 2 としたとき、光ファイバ 1 の各コア (12-1 から 12-4) のモードフィールド径が W_1 、光ファイバ 2 の各コア (12-1 から 12-4) のモードフィールド径が W_2 である。

[0021] 図 3 は、計算した接続損失の分布 (接続損失特性) を説明する図である。計算に使用したパラメータは次の通りである。両光ファイバのクラッド径がともに $125 \mu\text{m}$ の場合 (公差なしの場合) と、一方の光ファイバのクラッド径が $125 \mu\text{m}$ 、他方が $125 \mu\text{m} \pm 1.0 \mu\text{m}$ の場合 (クラッド径が相違する場合) において、 δmax を $1.0 \mu\text{m}$ とし、10,000 回のランダムな位置ずれを与えて計算を行った。横軸に示した大きさの接続損失 (最大損失) (dB) の発生確率 (%) で接続損失特性を示している。

公差なしの場合、各コアの位置ずれ $\delta \Lambda_x$ の差に応じた損失特性である。クラッド径が相違する場合、各コアの位置ずれ $\delta \Lambda_x$ の差に加え、クラッド直径のランダムなずれを含んだ損失特性である。

[0022] ここで、非特許文献 1 に準拠している標準的な SMF の融着接続においては、平均損失 0.1 dB 以下、且つ最大損失 0.2 dB 以下となる発生確率が 97% という規格が非特許文献 6 に示されている。図 3 のように、クラッド径が相違する場合も公差なしの場合も、平均損失と最大損失のいずれも上記規格を満たしていない。

[0023] 図 4 は、 δmax に対する平均損失と最大損失 0.2 dB 以下の発生確率の計算結果を説明する図である。横軸は δmax (μm)、第 1 縦軸は平均

損失（dB）、第2縦軸は最大損失0.2dB以下の発生確率（%）である。実線は公差なしの場合の結果であり、破線はクラッド径が相違する場合の結果である。図4より、公差がない場合には δ_{max} が0.7 μm 以下で平均損失と最大損失のいずれの規格も満たし、クラッド径が相違する場合（相違量1.0 μm ）であれば δ_{max} が0.65 μm 以下で平均損失と最大損失のいずれの規格も満たすことが確認できる。

[0024] 以上から、MCF同士を非特許文献6に示されるような損失規格で接続するためには、各コアの中心座標からの偏差を評価することが有効であることがわかる。

[0025] （実施形態1）

図5は、本実施形態のMCFの評価方法を説明するフローチャートである。本評価方法は、断面においてN個（Nは3以上の整数）のコアが間隔 Λ でN角形状に配置されるマルチコアファイバの評価方法であって、

カメラで前記マルチコアファイバの断面観察を行うこと（ステップS01～S03）、

前記断面観察したときの前記マルチコアファイバのクラッドを円で近似すること（ステップS04）、

前記円の中心座標を原点とし、前記クラッド内にある前記コアそれぞれの中心座標を計測すること（ステップS05）、及び

前記原点と前記コアの前記中心座標とを結ぶそれぞれの線分の長さ R_i （ i は前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$r_s - r_d \leq R_i \leq r_s + r_d$$

の範囲にあり、且つ

隣接する前記コアの前記線分がなす角 θ_{i-j} （ j は、番号*i*の前記コアに隣接する前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$\theta_s - \theta_d \leq \theta_{i-j} \leq \theta_s + \theta_d$$

の範囲にあるときに、所望の接続損失特性を得られると判定すること（ステップS06～S11）、

を特徴とする。

[0026] 本実施形態の方法は、クラッド直径の変化によらず基準の接続損失特性を実現できるコア間隔であるか否かを判定する方法である。

本方法は、まず、MCFの構造パラメータを計測する工程を行う。MCFをファイバカッタなどで切断し、断面を研磨して水平面（長手方向に対しての垂直面）を形成する（ステップS01）。続いてカメラで前記水平面全体の画像（クラッドの画像）を取得し（ステップS02）、さらにクラッド内のコア画像を取得する（ステップS03）。次に、クラッドの画像からクラッド外周を円で近似し、その中心座標とクラッド直径を算出する（ステップS04）。また、各コアも円で近似し、それぞれの中心座標を算出する（ステップS05）。なお、クラッド中心および各コアの中心位置は、例えば、非特許文献3や4に示されるような測定方法で得ることが可能である。

計測工程はステップS05で終了する。

[0027] 本方法は、続いて、計測したMCFの構造パラメータが基準内であるか否かを判定する工程を行う。まず、クラッド直径が基準内であるか判定する（ステップS06）。クラッド直径が基準外（ステップS06で“N o”）であれば不良判定とする（ステップS11）。クラッド直径が基準内（ステップS06で“Y e s”）であれば、クラッド中心座標を原点（0，0）として、計測した各コアの端面画像上の中心座標をクラッド中心を原点とした座標に変換する（ステップS07）。本ステップは次の理由による。ステップS02で取得したMCFの端面画像が画像全体の中心、あるいは当該画面の4隅のいずれかを原点としている場合があるため、本判定工程のためにクラッド中心を原点とするように各コアの座標位置をシフトさせる。

[0028] 次に、画像から取得したクラッド中心と各コアの中心との線分の長さ R_i （ μm ）が、設計上のクラッド中心と各コアの中心との線分の長さ r_s （ μm ）に対し、所定の範囲 r_d （ μm ）以内であるか否かを判定する（ステップS08、 r_s と r_d については図6（b）参照。）。長さ R_i が範囲外（ステップS08で“N o”）であれば不良判定とする（ステップS11）。

[0029] 長さ R_i が範囲内（ステップ S 0 8 で “Y e s”）であれば次の判定を行う（ステップ S 0 9）。コア i と原点とを結ぶ線分を第 1 線分、前記コア i に隣接するコア j と原点とを結ぶ線分を第 2 線分とする。画像から取得した第 1 線分と第 2 線分とが成す角度を θ_{i-j} [度] とする。角度 θ_{i-j} が、設計上の第 1 線分と第 2 線分とが成す角度 θ_s [度] に対し、所定の範囲 θ_d [度] 以内にあるか否かを判定する（ステップ S 0 9、 θ_s と θ_d については図 6（a）を参照。）。角度 θ_{i-j} が範囲内（ステップ S 0 9 で “Y e s”）であれば良好な構造と判定して終了する（ステップ S 1 0）。一方、角度 θ_{i-j} が範囲外（ステップ S 0 9 で “N o”）であれば不良判定とする（ステップ S 1 1）。

判定工程はステップ S 1 0 又は S 1 1 で終了する。

[0030] ステップ S 0 8 及び S 0 9 で用いる公差 r_d と角度の公差 θ_d は、式（4）と（5）で決定する。

[数4]

$$r_d = \sqrt{-\frac{w_i^2 + w_j^2}{2} \ln \left[\frac{\eta}{\left\{ \frac{2w_i w_j}{w_i^2 + w_j^2} \right\}^2} \right]}, \quad (4)$$

[数5]

$$\theta_d = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{r_d}{r_s} \right), \quad (5)$$

W_i は所望の波長での番号 i のコアのモードフィールド直径（M F D）である。 η は式（3）に記載した結合効率と同じであり、所望の接続損失値（線形値）を代入する。

[0031] 図 7 は、上述した評価方法で良好と選別した M C F 同士を接続した時の接続損失の分布（接続損失特性）を説明する図である。

本接続損失特性は、M C F が $\Lambda = 40 \mu m$ の 4 コアファイバであり、各コ

アのMFDを $W_1=W_2=8.6\mu\text{m}$ 、 $r_s=28.3\mu\text{m}$ 、 $\theta_s=90^\circ$ 、 $r_d=0.6\mu\text{m}$ 、 $\theta_d=2.0^\circ$ 、 $\delta_{\text{max}}=0.8\mu\text{m}$ とし、10,000回のランダムな位置ずれをコアに与えるという条件の下、計算した結果である。横軸と縦軸の意味は図3と同じである。

[0032] 図7の結果から、図5の判定フローを用いてMCFを選別すれば、非特許文献6に示される損失規格を満たすことがわかる。つまり、本発明の判定方法を用いることで良好な接続特性を満たすMCFを選別できる。

なお、ここでは非特許文献3、4に記載される接続損失条件を満足するよう端面構造の判定を行う例を示したが、他の接続損失条件に対しても、図4のように必要なコア偏心量を求めることで同じ手順で判定できる。

[0033] (実施形態2)

図8は、本実施形態のMCFの評価方法を説明するフローチャートである。本評価方法は、ステップS07まで図5で説明した手順と同じである。従って、本実施形態では実施形態1と異なる部分のみ説明する。

本評価方法は、ステップS07の後に、数6で計算される、設計上の前記コアの中心座標である設計中心座標と計測した前記中心座標とのずれ量 $\delta\Lambda_x$ が

$$\delta\Lambda_x \leq r_d$$

を満たすとき、所望の接続損失特性を得られると判定すること（ステップS18～S21、S10、S11）、を特徴とする。

[0034] 本実施形態の方法は、所望の接続損失特性を満たすMCFであるか否かを、測定したコア中心位置が設計上のコア中心位置に対して許容位置ずれ量以内であるかで判定する方法である。

図9は、MCFの設計上のコア中心位置と測定したコア中心位置とのずれ量 $\delta\Lambda_x$ を説明する図である。ずれ量 $\delta\Lambda_x$ は次式で表現できる。

[数6]

$$\delta\Lambda_x = \sqrt{2r_s\{r_s + r - (r_s + r)\cos\theta\} + r^2} \quad (6)$$

ただし、 $r = R_i - r_s$ 、 $\theta = \theta_{i-j} - \theta_s$ であり、それぞれ半径方向、周方向における測定結果の設計位置に対するずれ量を表す。

[0035] 本方法の判定工程は、まず、画像から取得したクラッド中心と各コアの中心との線分の長さ R_i (μm) から設計上のクラッド中心と各コアの中心との線分の長さ r_s (μm) を減算し、各コアについて半径方向のずれ量 r を計算する(ステップS18)。続いて、画像から取得した第1線分と第2線分とが成す角度を θ_{i-j} [度] から設計上の第1線分と第2線分とが成す角度 θ_s [度] を減算し、各コアについて周方向のずれ量 θ [度] を計算する(ステップS19)。さらに、式(6)で各コア毎にずれ量 $\delta\Lambda_x$ を計算する(ステップS20)。

[0036] 続いて、ずれ量 $\delta\Lambda_x$ が許容損失から求まる r_d (式(4)参照。)以内であるか否かを判定する(ステップS21)。ずれ量 $\delta\Lambda_x$ が r_d 以内(ステップS21で“Y e s”)であれば良好な構造と判定して終了する(ステップS10)。一方、ずれ量 $\delta\Lambda_x$ が r_d より大きい場合(ステップS21で“N o”)であれば不良判定とする(ステップS11)。

判定工程はステップS10又はS11で終了する。

[0037] 本実施形態の評価方法は、半径方向および周方向の2つのずれ量を同時に考慮して判定でき、好ましい。

[0038] (実施形態3)

図10は、本実施形態の評価装置301を説明する図である。評価装置301は、

マルチコアファイバ50の断面観察を行うカメラ31と、

実施形態1又は2で説明した評価方法を行うプロセッサ32と、

を備え、マルチコアファイバ50が所望の接続損失特性を有するか否かを判定する。

[0039] 図10を用いて、さらに評価装置301を説明する。評価装置301は、光源30、光ファイバ把持部32、及び対物レンズ33をさらに備える。カメラ31は、画像撮影器31a、光画像撮影器31b、および光軸 L_{ax} に

対してこれらの撮影器を移動させる切替部34を備える。光源30は、ハロゲンランプ等の白色光源であり、MCF50のクラッド全体を照射可能であれば、レンズ等により集光しても良い。光ファイバ把持部32は、MCF50を水平に設置し、MCF50が動かないように抑える。例えば、光ファイバ把持部32は、図11に示すようにV溝32aを有しており、V溝32aにMCF50を水平に設置し、MCF50が動かないように、上からMCF50を抑えるクランプ（不図示）を有する。

[0040] 対物レンズ33は、MCF50のクラッド全体が撮影できる倍率、あるいは、1部しか撮影できない倍率であっても切替部34で画像撮影器31a又は光画像撮影器31bを同時に動かし、MCF50のクラッド全体を撮影できる構成であっても良い。

[0041] 画像撮影器31aと光画像撮影器31bは、対物レンズ33の視野を十分に満たす範囲を撮影できるものである。画像撮影器31aは、MCF50の端面全体を撮影できる。光画像撮影器31bは、MCF50のコア部から出射される近赤外光の強度分布を撮影できる。

[0042] 画像撮影器31aと光画像撮影器31bは、切替器34で移動可能であり、それぞれ、光源31、MCF50、及び対物レンズ33と光軸が揃うように直線状に配置可能である。切替器34は、例えば、レールやレボルバである。つまり、切替器34で画像撮影器31aと光画像撮影器31bとを切り替えることで2種類の端面画像（MCF50の端面全体の画像とコア部から出射される近赤外光の強度分布の画像）を撮影できる。カメラ31とプロセッサ32とが接続されており、カメラ31が取得した2種類の端面画像はプロセッサ32へ送られる。

[0043] プロセッサ32は、前記2種類の端面画像を合成して、光ファイバのクラッド直径および各コアの中心座標を計測し、図5または図8に記載の判定フローに基づいて評価を行う。従って、評価装置301は、検査するMCF50が所望の接続損失特性を有するか否かを容易に判断することができる。

[0044] なお、プロセッサ32の動作はコンピュータとプログラムによっても実現

でき、プログラムを記録媒体に記録することも、ネットワークを通して提供することも可能である。

[0045] (他の実施形態)

上述した実施形態では、4 C Fで説明したが、評価できるM C Fのコア数は4に限らない。コア数が3以上のM C Fであれば評価可能である。また、上述した実施形態では、光ファイバの中心にコアがないM C Fで説明したが、光ファイバの中心にコアがあるM C Fの評価も可能である。さらに、コアが多角形でなく、円環状に配列されているM C Fも評価可能である。

コアが六方最密状に配置されているM C Fも、最外周のコアを利用して評価可能である。

符号の説明

[0046] 1 1 : クラッド

1 2、1 2 - 1、1 2 - 2、1 2 - 3、1 2 - 4 : コア

1 3、1 3 - 1、1 3 - 2、1 3 - 3、1 3 - 4 : 設計上のコア位置

3 0 : 光源

3 1 : カメラ

3 1 a : 画像撮影器

3 1 b : 光画像撮影器

3 2 : 光ファイバ把持部

3 2 a : V溝

3 3 : 対物レンズ

3 4 : 切替部

3 5 : プロセッサ

5 0 : マルチコアファイバ

3 0 1 : 評価装置

請求の範囲

[請求項1] 断面においてN個（Nは3以上の整数）のコアが間隔 Λ でN角形状に配置されるマルチコアファイバの評価方法であって、

カメラで前記マルチコアファイバの断面観察を行うこと、

前記断面観察したときの前記マルチコアファイバのクラッドを円で近似すること、

前記円の中心座標を原点とし、前記クラッド内にある前記コアそれぞれの中心座標を計測すること、及び

前記原点と前記コアの前記中心座標とを結ぶそれぞれの線分の長さ R_i （ i は前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$r_s - r_d \leq R_i \leq r_s + r_d$$

の範囲にあり、且つ

隣接する前記コアの前記線分がなす角 θ_{i-j} （ j は、番号 i の前記コアに隣接する前記コアの番号であり、N以下の自然数である。）が

$$\theta_s - \theta_d \leq \theta_{i-j} \leq \theta_s + \theta_d$$

の範囲にあるときに、所望の接続損失特性を得られると判定すること、

を特徴とするマルチコアファイバの評価方法。

ただし、

[数1]

$$\theta_s [\text{deg}] = \frac{360}{N}, \quad (1)$$

[数2]

$$r_s = \frac{\Lambda}{2 \cos\left(90 - \frac{\theta_s}{2}\right)}, \quad (2)$$

[数3]

$$\eta = \left\{ \frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right\}^2 \exp \left[-\frac{2d^2}{w_1^2 + w_2^2} \right], \quad (3)$$

[数4]

$$r_d = \sqrt{-\frac{w_i^2 + w_j^2}{2} \ln \left[\frac{\eta}{\left\{ \frac{2w_i w_j}{w_i^2 + w_j^2} \right\}^2} \right]}, \quad (4)$$

[数5]

$$\theta_d = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{r_d}{r_s} \right), \quad (5)$$

W_i は所望の波長での番号 i の前記コアのモードフィールド直径 (MFD) である。

[請求項2]

断面において N 個 (N は 3 以上の整数) のコアが間隔 Λ で N 角形状に配置されるマルチコアファイバの評価方法であって、

カメラで前記マルチコアファイバの断面観察を行うこと、

前記断面観察したときの前記マルチコアファイバのクラッドを円で近似すること、

前記円の中心座標を原点とし、前記クラッド内にある前記コアそれぞれの中心座標を計測すること、及び

数 6 で計算される、設計上の前記コアの中心座標である設計中心座標と計測した前記中心座標とのずれ量 $\delta \Lambda_x$ が

$$\delta \Lambda_x \leq r_d$$

を満たすとき、所望の接続損失特性を得られると判定すること、

を特徴とするマルチコアファイバの評価方法。

[数6]

$$\delta \Lambda_x = \sqrt{2r_s \{r_s + r - (r_s + r) \cos \theta\} + r^2} \quad (6)$$

ただし、

$$r = R_i - r_s,$$

$$\theta = \theta_{i-j} - \theta_s$$

R_i は、前記原点と前記コアの前記中心座標とを結ぶそれぞれの線分の長さ（ i は前記コアの番号であり、 N 以下の自然数である。）、
 θ_{i-j} は、隣接する前記コアの前記線分がなす角（ j は、番号 i の前記コアに隣接する前記コアの番号であり、 N 以下の自然数である。）である。

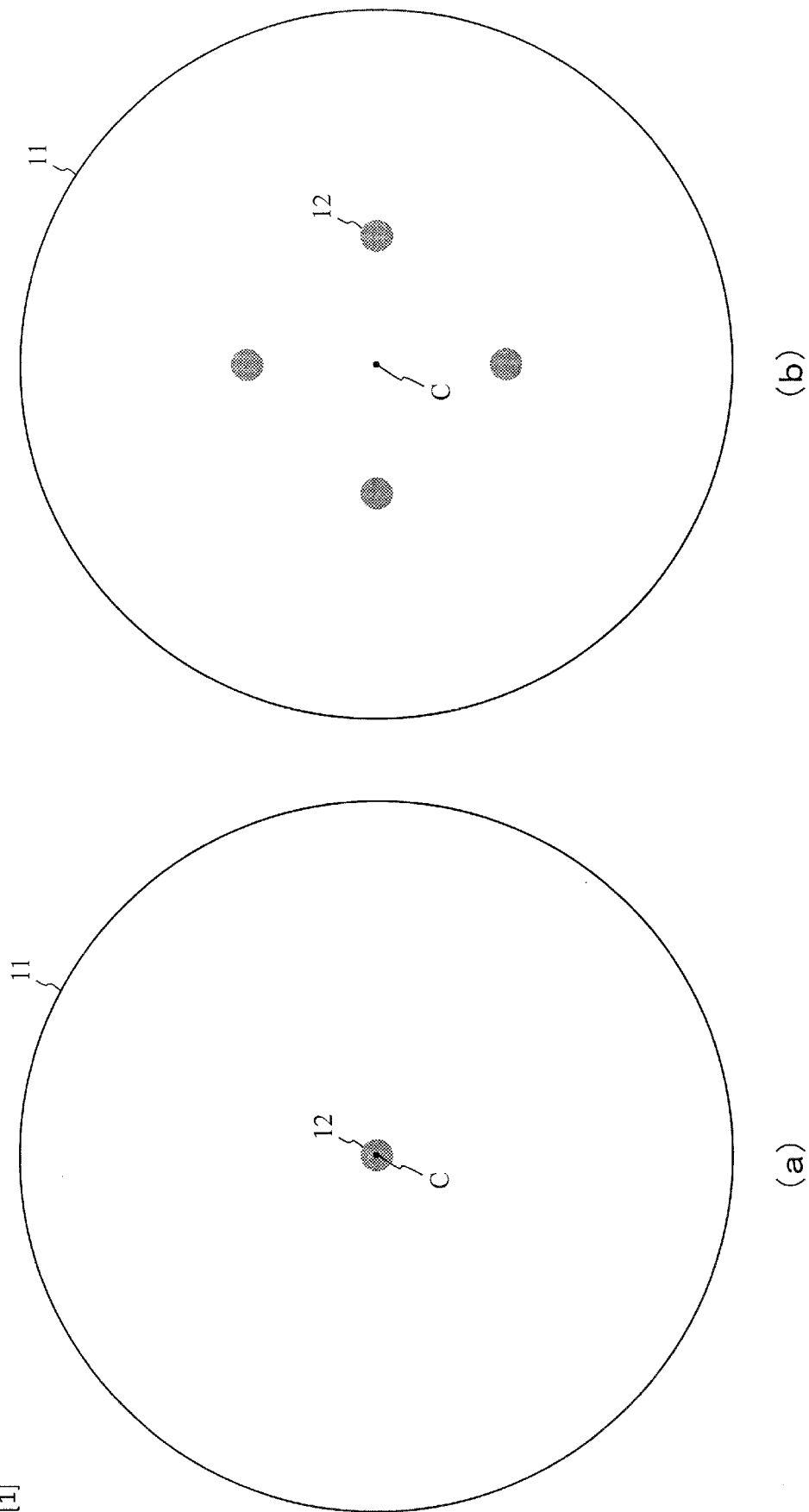
[請求項3]

前記マルチコアファイバの断面観察を行う前記カメラと、

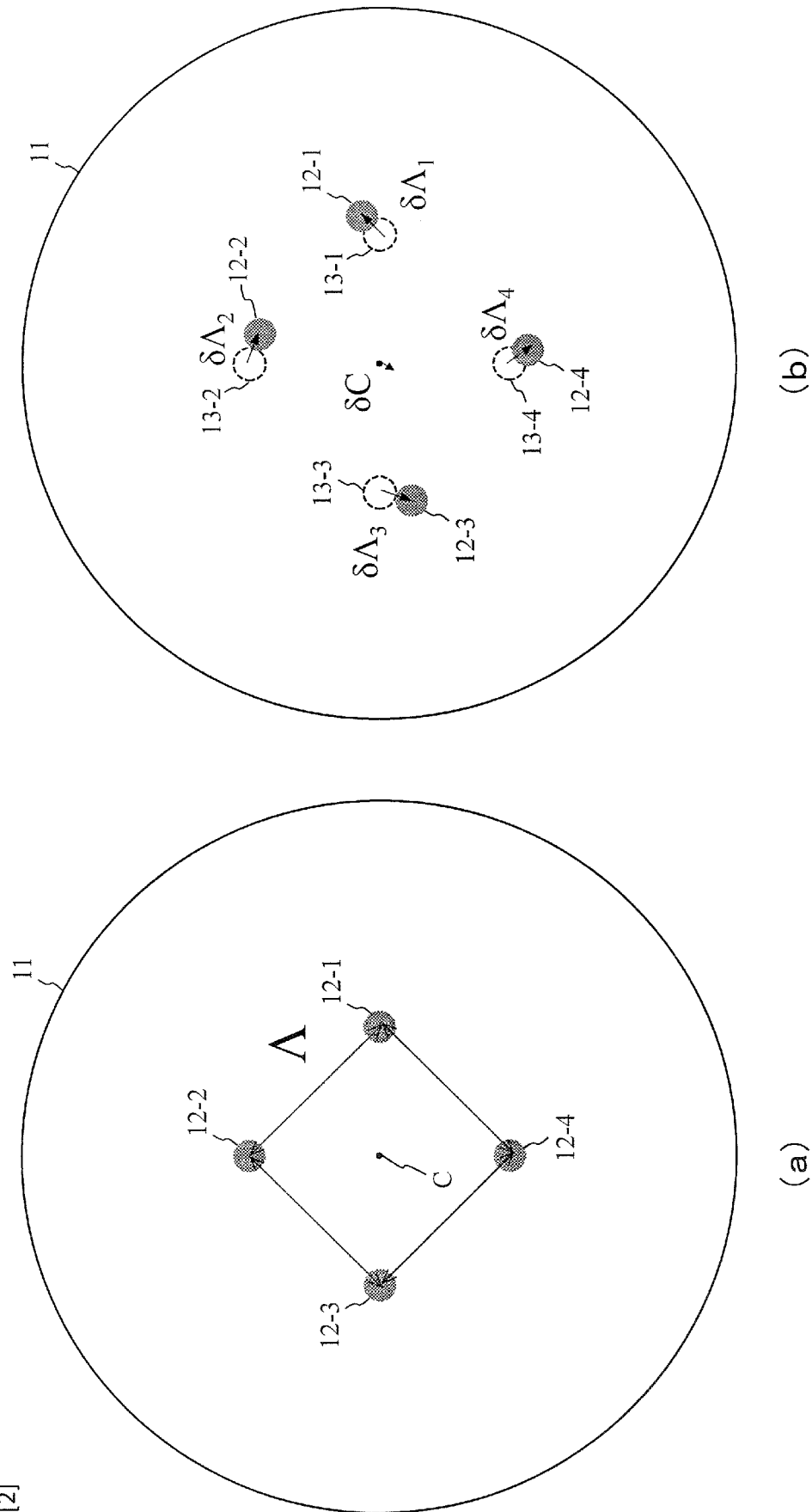
請求項 1 又は 2 に記載のマルチコアファイバの評価方法を行うプロセッサと、

を備え、前記マルチコアファイバが所望の接続損失特性を有するか否かを判定する評価装置。

[図1]



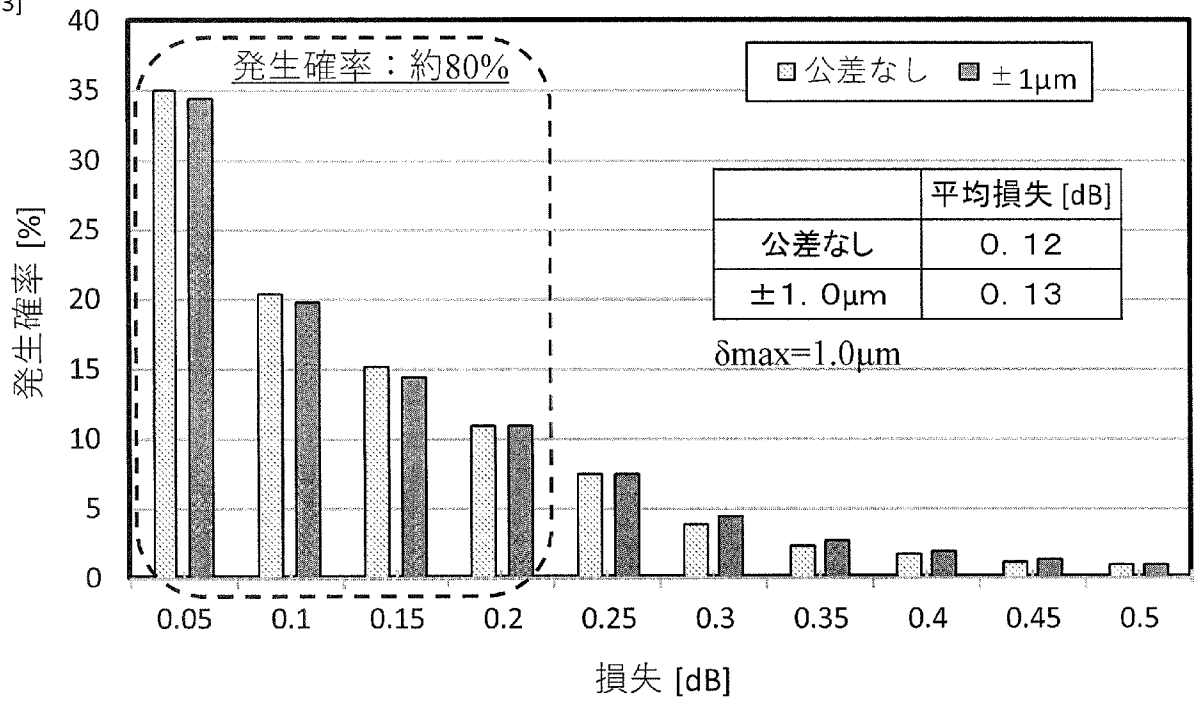
[図2]



[2]

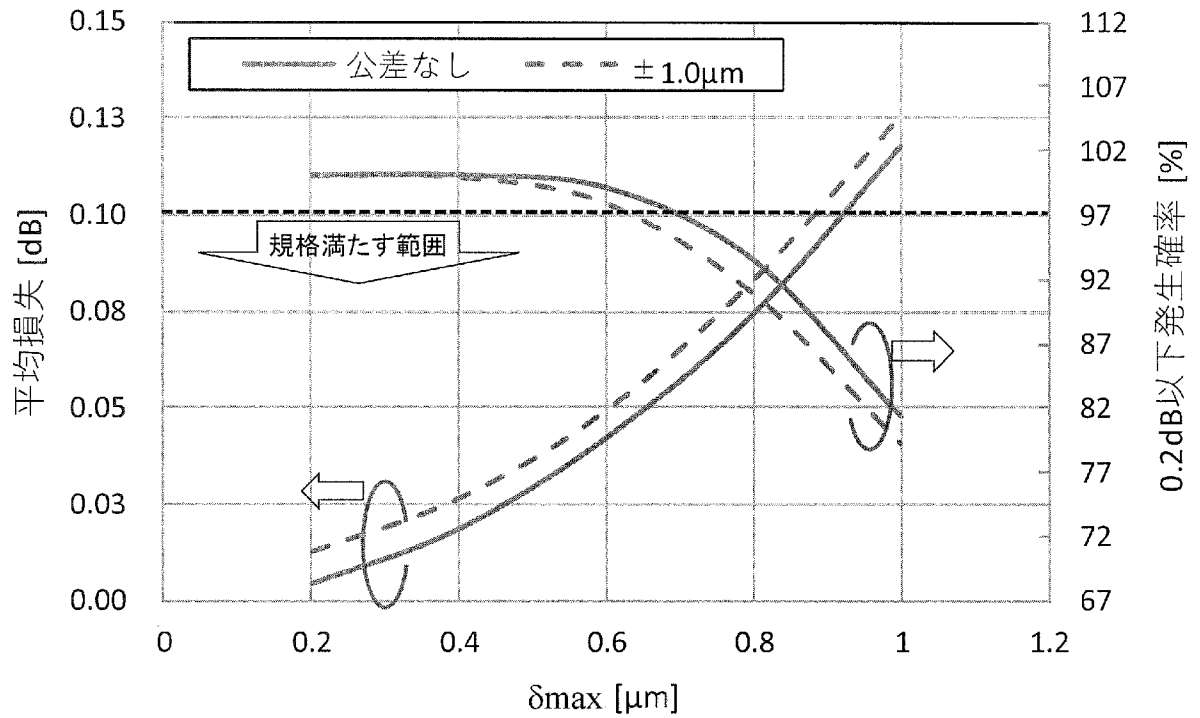
[図3]

[3]



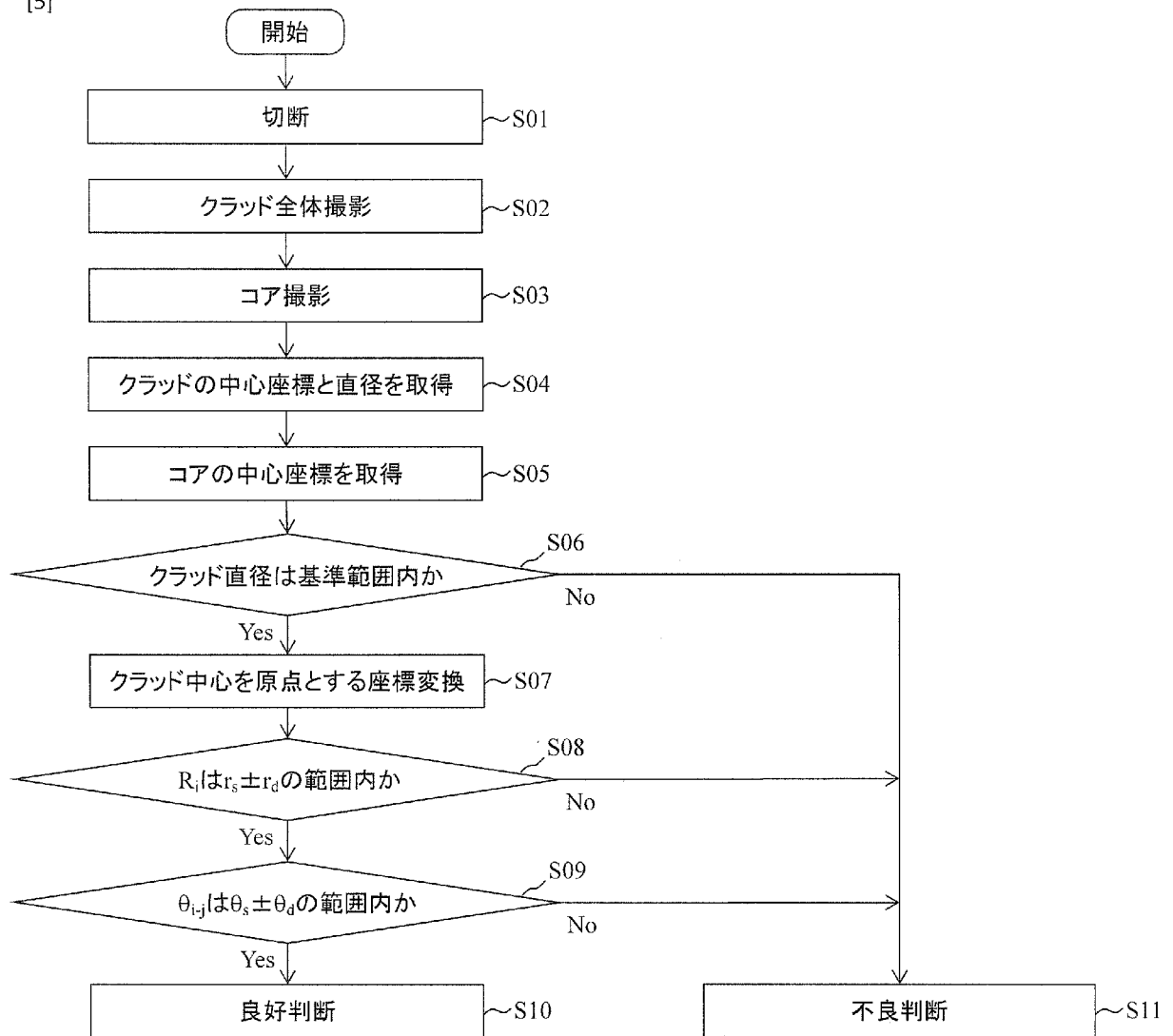
[図4]

[4]

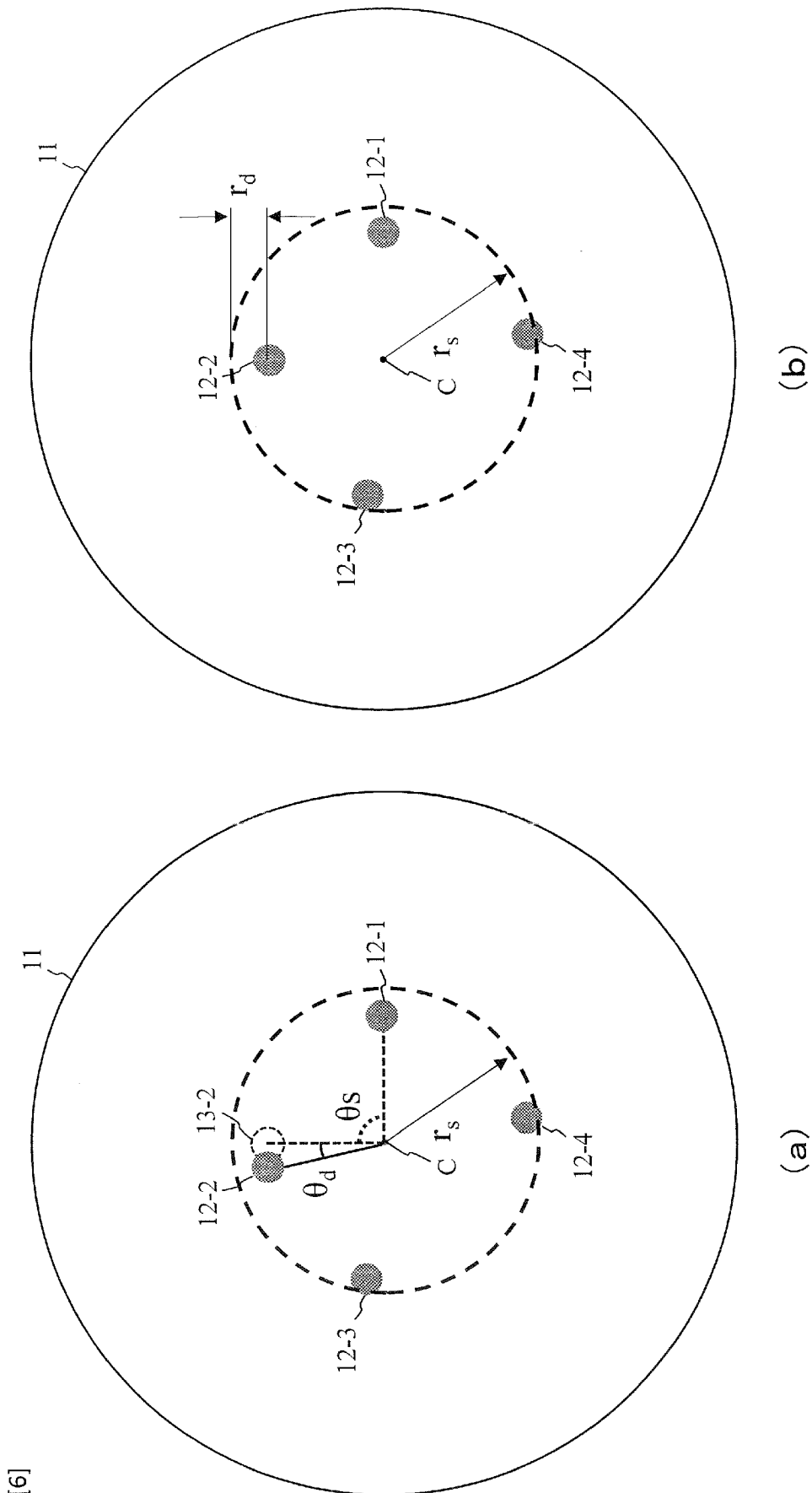


[図5]

[5]



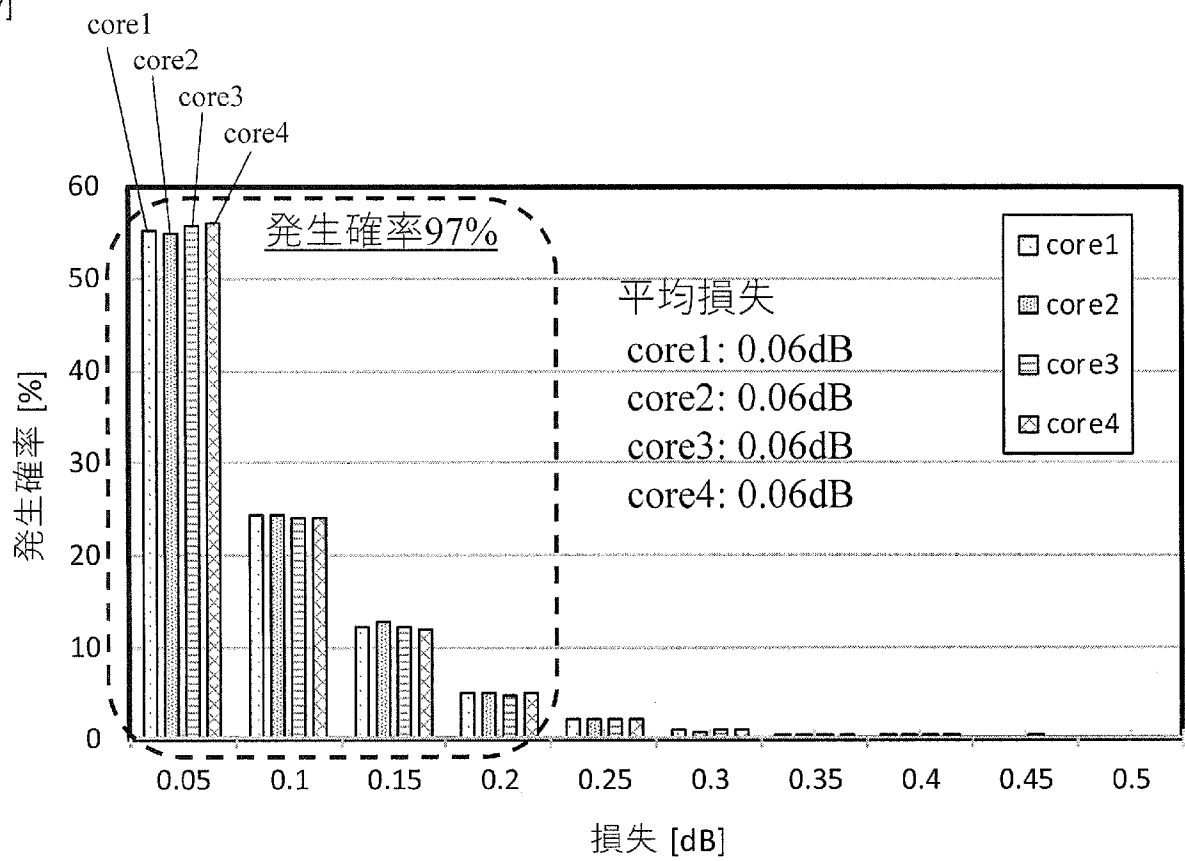
[図6]



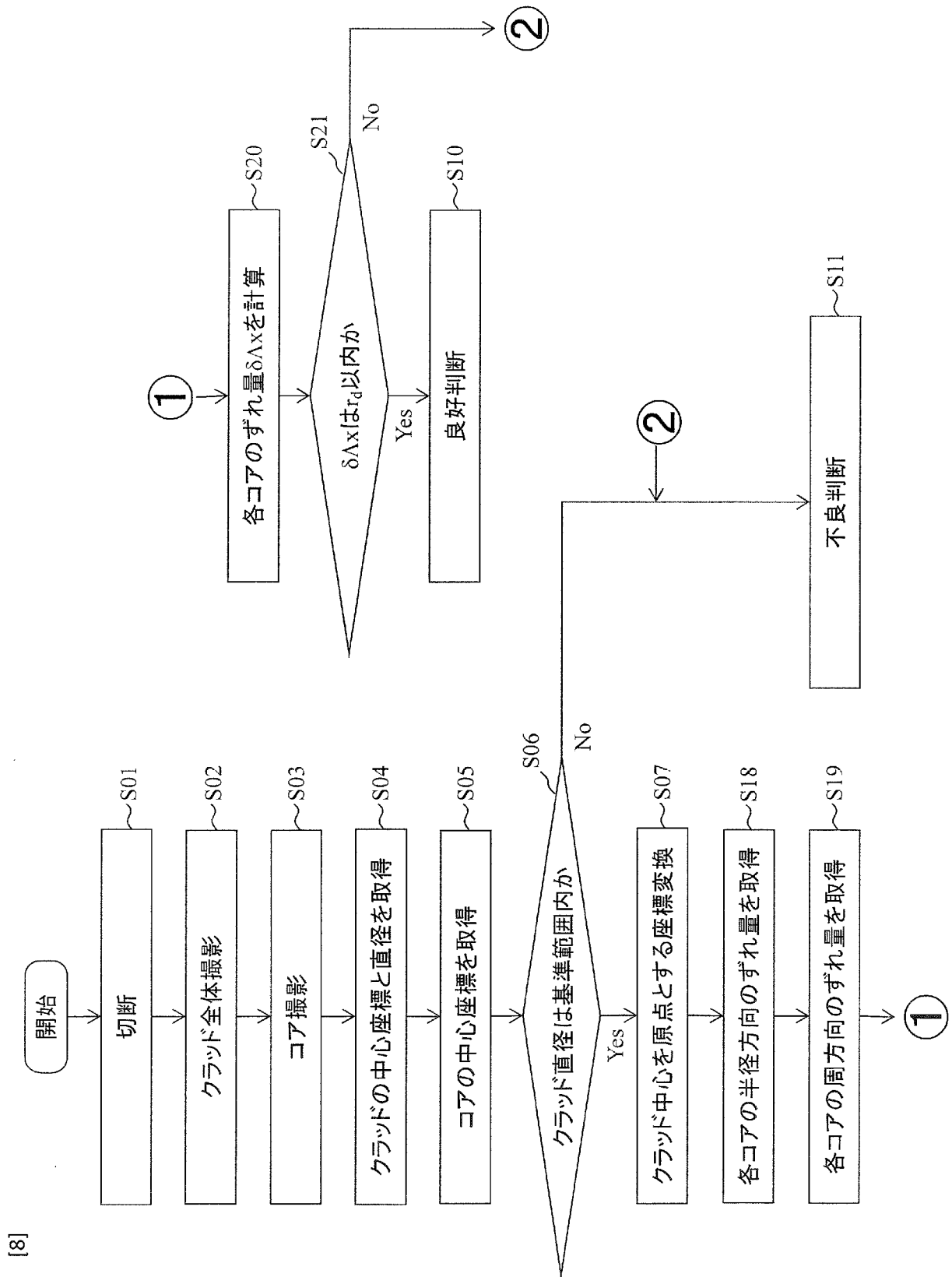
[6]

[図7]

[7]

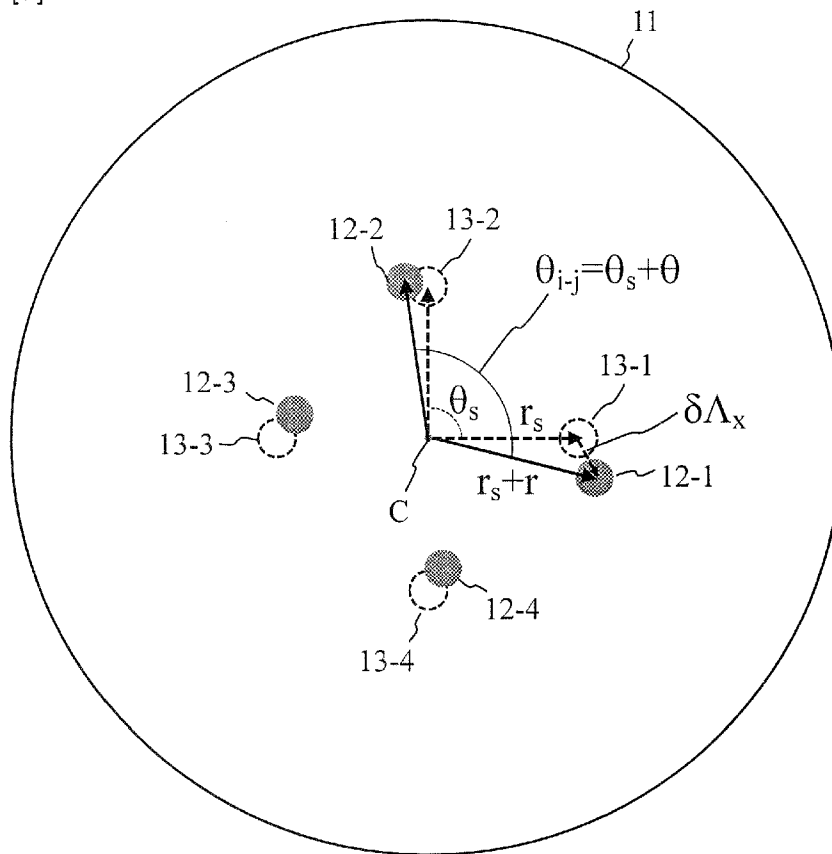


[図8]

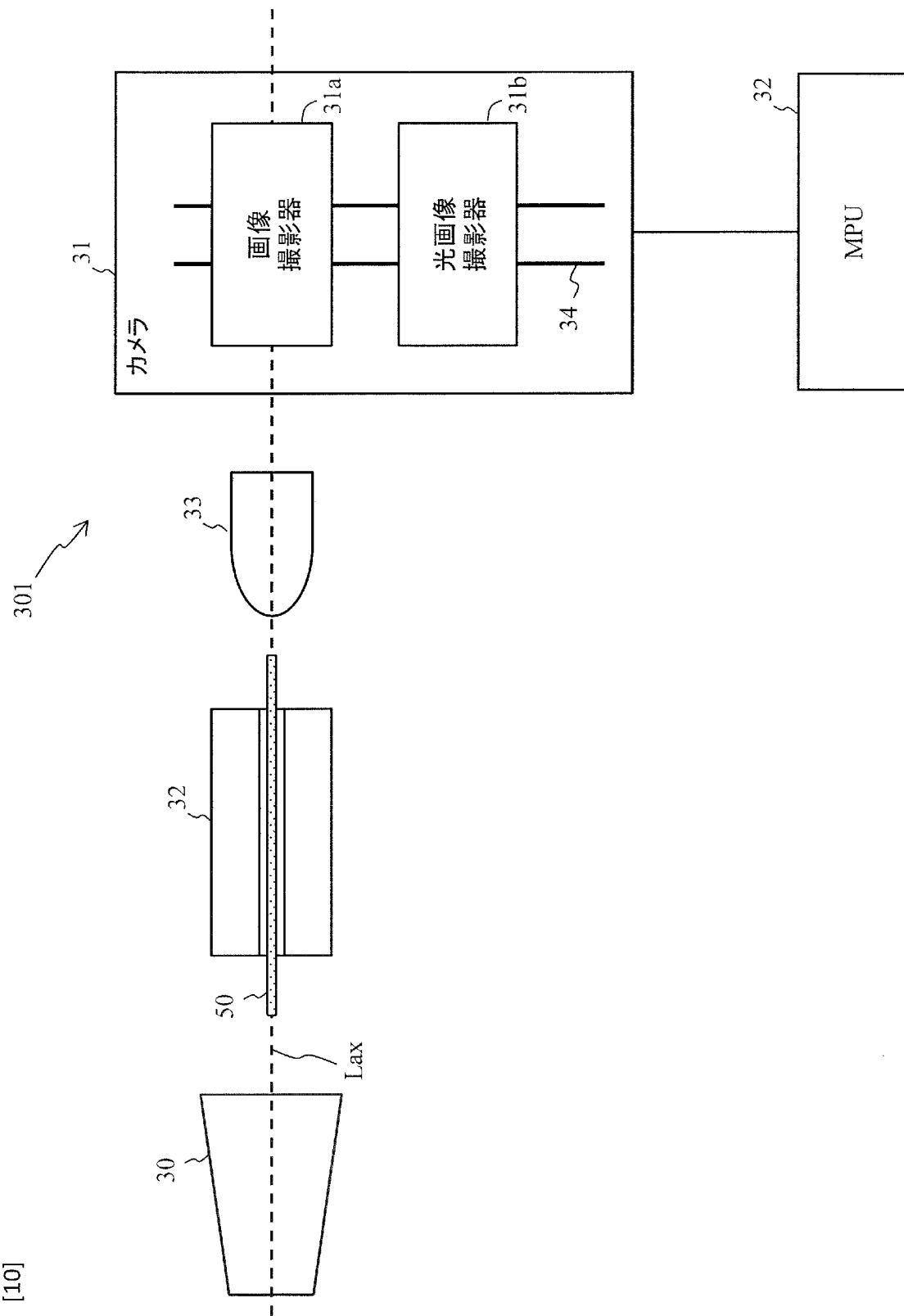


[図9]

[9]

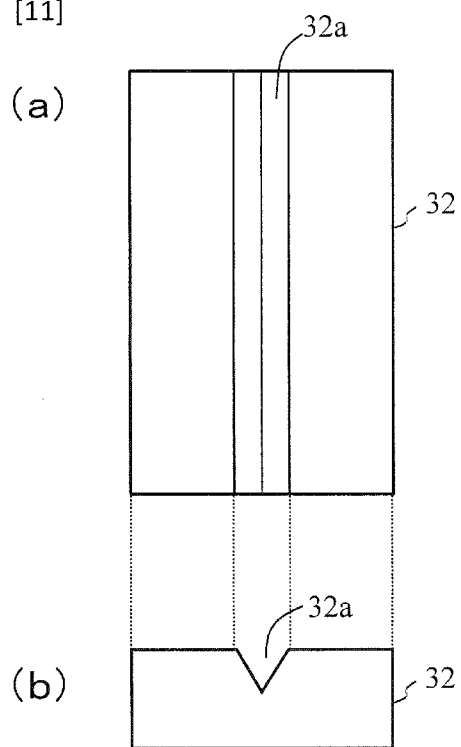


[図10]



[図11]

[11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/046406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 11/00 (2006.01) i

FI: G01M11/00 G

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)

G01M11/00-11/08; G02B6/00-6/54; G01B11/00-11/30; G01N21/84-21/958

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-41078 A (FUJIKURA LTD.) 02 March 2015 (2015-03-02) entire text, all drawings	1-3
A	JP 2013-29758 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 07 February 2013 (2013-02-07) entire text, all drawings	1-3
A	半澤 信智, 4 コアファイバの接続特性に関する検討, 電子情報通信学会 2020 年総合大会 講演論文集 通信講演論文集 2, 17 March 2020, p. 322 (B-13-22) entire text, all drawings, non-official translation (HANZAWA, Nobutomo, "Examination on connection characteristics of 4-core fiber", Lecture proceedings of the 2020 IEICE general conference, Communication lecture proceedings 2)	1-3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

"I" 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

04 March 2021 (04.03.2021)

Date of mailing of the international search report

23 March 2021 (23.03.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/046406

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	半澤 信智, 4 コアファイバの軸ずれに対する損失特性に関する検討, 電子情報通信学会 2019 年総合大会 講演論文集 通信講演論文集 2, 19 March 2019, p. 319 (B-13-27), entire text, all drawings, non-official translation (HANZAWA, Nobutomo, "Examination on loss characteristics against axis misalignment of 4-core fiber", Lecture proceedings of the 2019 IEICE general conference, Communication lecture proceedings 2)	1-3
A	境目 賢義, 4 コアマルチコアファイバ用光コネクタの接続損失要因検討, 電子情報通信学会技術研究報告, August 2018, vol. 118, no. 201, pp. 43-46, entire text, all drawings, (SAKAIME, Katsuyoshi, "Study on attenuation factor of 4-core MCF connector", IEICE technical report)	1-3
A	CN 111023991 A (BEIJING INSTITUTE OF AEROSPACE CONTROL DEVICES) 17 April 2020 (2020-04-17) entire text, all drawings	1-3
A	US 6011616 A (LUCENT TECHNOLOGIES, INC.) 04 January 2000 (2000-01-04) entire text, all drawings	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/046406

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2015-41078 A	02 Mar. 2015	US 2016/0161673 A1 WO 2015/025629 A1	
JP 2013-29758 A	07 Feb. 2013	(Family: none)	
CN 111023991 A	17 Apr. 2020	(Family: none)	
US 6011616 A	04 Jan. 2000	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01M 11/00(2006.01)i FI: G01M11/00 G														
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）） G01M11/00-11/08; G02B6/00-6/54; G01B11/00-11/30; G01N21/84-21/958 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus (JDreamIII)			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021年													
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												
A	JP 2015-41078 A (株式会社フジクラ) 02.03.2015 (2015-03-02) 全文、全図	1-3												
A	JP 2013-29758 A (住友電気工業株式会社) 07.02.2013 (2013-02-07) 全文、全図	1-3												
A	半澤 信智, 4コアファイバの接続特性に関する検討, 電子情報通信学会 2020年 総合大会 講演論文集 通信講演論文集 2, 2020.03.17, p.322 (B-13-22) 全文、全図	1-3												
A	半澤 信智, 4コアファイバの軸ずれに対する損失特性に関する検討, 電子情報通 信学会 2019年総合大会 講演論文集 通信講演論文集 2, 2019.03.19, p.319 (B-13-27) 全文、全図	1-3												
A	境目 賢義, 4コアマルチコアファイバ用光コネクタの接続損失要因検討, 電子情報 通信学会技術研究報告, 2018.08, Vol.118 No.201, pp.43-46 全文、全図	1-3												
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	"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	"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	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"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	
* 引用文献のカテゴリー	"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													
"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	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"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														
国際調査を完了した日 04.03.2021	国際調査報告の発送日 23.03.2021													
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） 田中 洋介 2W 3009 電話番号 03-3581-1101 内線 3258													

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
A	CN 111023991 A (BEIJING INSTITUTE OF AEROSPACE CONTROL DEVICES) 17.04.2020 (2020 - 04 - 17) 全文、全図	1-3
A	US 6011616 A (LUCENT TECHNOLOGIES, INC.) 04.01.2000 (2000 - 01 - 04) 全文、全図	1-3

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/JP2020/046406

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2015-41078	A	02.03.2015	US	2016/0161673	A1	
				WO	2015/025629	A1	
JP	2013-29758	A	07.02.2013	(ファミリーなし)			
CN	111023991	A	17.04.2020	(ファミリーなし)			
US	6011616	A	04.01.2000	(ファミリーなし)			