

(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
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/252658 A1

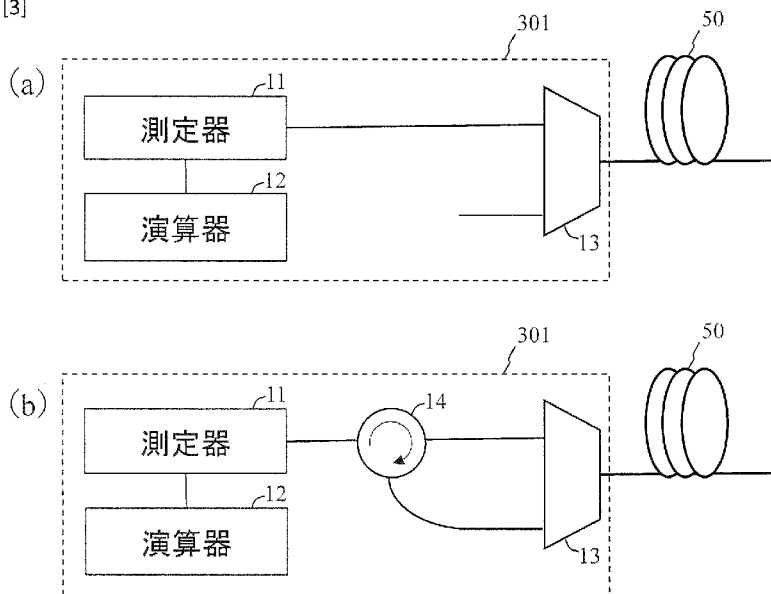
- (51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/021500
- (22) 国際出願日: 2023年6月9日(09.06.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中森 真輝 (NAKAMORI, Masaki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- 中村 篤志 (NAKAMURA, Atsushi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 古敷谷 優介 (KOSHIKIYA, Yusuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 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: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING POWER COUPLING COEFFICIENT OF MULTI-CORE OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: マルチコア光ファイバの電力結合係数を測定する方法及び装置

[図3]

[3]



11... Measurement apparatus

12... Calculator

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide: a method for measuring a power coupling coefficient in consideration of asymmetry between cores; and a device therefor. The device according to the present invention comprises: a measurement apparatus 11 that causes, at one end of a multi-core optical fiber, test light to be incident on an incident core that is one of the cores, and measures, at the one end of the multi-core optical fiber, the back-scattered light intensity of back-scattered light output from the incident core and an adjacent core adjacent thereto; and a calculation unit 12 that calculates a ratio between the back-scattered light intensity of the incident core and the back-scattered light intensity of the

WO 2024/252658 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))

adjacent core from a distant position at which the back-scattered light intensity ratio becomes stationary in the longitudinal direction from the one end of the multi-core optical fiber, and calculates a power coupling coefficient between the cores by substituting, to a calculation formula, the ratio and the back-scattered light intensities of the incident core and the adjacent core at an arbitrary point in the longitudinal direction from the one end of the multi-core optical fiber.

(57) 要約: 本発明は、コア間の非対称性を考慮した電力結合係数測定法及びその装置を提供することを目的とする。本発明に係る装置は、マルチコア光ファイバの一端において、コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、及び前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよびそれに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度を測定すること、を行う測定器11と、前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比を計算すること、及び前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式に代入し、コア相互間の前記電力結合係数を計算することを行う演算器12と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

マルチコア光ファイバの電力結合係数を測定する方法及び装置

技術分野

[0001] 本開示は、マルチコア光ファイバの電力結合係数を測定する方法及び装置に関する。

背景技術

[0002] 光ファイバ1本あたりの伝送容量を拡大する手段として空間分割多重 (SDM) 伝送技術の研究開発が行われており、マルチコア光ファイバ (MCF) が注目されている。非結合型および結合型MCFではいずれも結合の強さを表す電力結合係数が重要なパラメータである。SDM伝送の実現に向けて、MCFの特性評価は重要であり電力結合係数を測定する技術が必要である。非特許文献1では、コアの特性が均一な同種コアのMCFの電力結合係数を測定する方法が開示されている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：M. Ohashi, K. Kawazu, A. Nakamura and Y. Miyoshi, "Simple back scattered power technique for measuring crosstalk of multi-core fibers," Proc. 17th Opto-Electron. Commun. Conf., pp. 357-358, 2012.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、MCFの各コアの特性が異なる (異種コアMCF) 場合は、コア間の電力結合係数が対称でないため非特許文献1の方法を適用することはできない。つまり、異種コアMCFのコア間の電力結合係数を測定することが

困難という課題がある。

本発明は、前記課題を解決するために、コア間の非対称性を考慮した電力結合係数測定法及びその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

[0005] 上記目的を達成するために、本発明に係る電力結合係数測定方法は、後方散乱光強度比が一定になる遠方での強度比を用いることで、近似的に電力結合係数を求めることとした。

[0006] 具体的には、本発明に係る電力結合係数測定方法は、コア間の電力結合係数が非対象であるマルチコア光ファイバの前記電力結合係数を測定する方法であって、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよび前記入射コアに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度を測定すること、

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比を計算すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式に代入し、コア相互間の前記電力結合係数を計算すること
を特徴とする。

[0007] また、本発明に係る電力結合係数測定装置は、コア間の電力結合係数が非対象であるマルチコア光ファイバの前記電力結合係数を測定する装置であって、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよび前記入射

コアに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度を測定すること、

を行う測定器と、

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比を計算すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式に代入し、コア相互間の前記電力結合係数を計算すること

を行う演算器と、

を備える。

[0008] 異種コアMCFの場合、注目する2つのコア間の電力結合係数は非対称であり、理論的には後方散乱光強度の比からこれらの電力結合係数を求めることはできない。しかし、本発明の電力結合係数測定方法は、遠方において、入射コアの後方散乱光強度 P_{bs1} に対する隣接コアの後方散乱光強度 P_{bs2} の比が、入射コアから隣接コアへの電力結合係数 h_{12} に対する隣接コアから入射コアへの電力結合係数 h_{21} の比に等しくなること（次式）を利用することで電力結合係数を近似的に求める。

[0009] 従って、本発明は、コア間の非対称性を考慮した電力結合係数測定法及びその装置を提供することができる。

[0010] なお、前記計算式が数C1である。

[数C1]

$$h_{21} = -\frac{1}{2z} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$

$$h_{12} = -\frac{1}{2rz} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$

(C1)

ただし、

h_{21} は前記隣接コアから前記入射コアへの前記電力結合係数、

h_{12} は前記入射コアから前記隣接コアへの前記電力結合係数、

r は前記比、

z は前記一端から前記任意点までの距離 (m)、

$P_{bs1}(z)$ は前記入射コアにて測定される前記任意点からの前記後方散乱光強度 (dB)、

$P_{bs2}(z)$ は前記隣接コアにて測定される前記任意点からの前記後方散乱光強度 (dB)

である。

[0011] 前記演算器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。

[0012] 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

[0013] 本発明は、コア間の非対称性を考慮した電力結合係数測定法及びその装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]電力結合係数を説明する図である。

[図2]本発明に係る電力結合係数測定方法を説明する図である。

[図3]本発明に係る電力結合係数測定装置を説明する図である。

[図4]本発明に係る電力結合係数測定装置の測定器11が取得した被測定光ファイバ50の各コアからの後方散乱光強度を説明する図である。

[図5]本発明に係る電力結合係数測定装置が測定した異種コアMCF(2コア)の電力結合係数を説明する図である。

[図6]後方散乱光強度についての注意点を説明する図である。

[図7]本発明に係る電力結合係数測定装置が測定した電力結合係数を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0015] 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。

[0016] (比較例)

比較例として同種コアのMCFにおける電力結合係数を測定する方法を説明する。図1は、比較例を説明する図である。

MCFとして2コアファイバで説明する。入射コア(core1)に光強度 P_0 の試験光を入射したとき、入射端から長手方向の位置 z における各コアの光強度の関係を式(1)の電力結合方程式で記述する。同種コアであるため、各コアの電力結合係数は等しく h とすることができる。

[数1]

$$\frac{dP_1(z)}{dz} = -\alpha_1 P_1(z) - hP_1(z) + hP_2(z)$$

$$\frac{dP_2(z)}{dz} = -\alpha_2 P_2(z) - hP_2(z) + hP_1(z)$$

(1)

ここで、

$P_1(z)$ は入射コア(core1)の位置 z における光強度、

$P_2(z)$ は隣接コア(core2)の位置 z における光強度、

α_1 は入射コア(core1)の単位長あたりの損失、

α_2 は隣接コア(core2)の単位長あたりの損失、

である。

[0017] 電力方程式の解は式(2)のように表せる。ただし、 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ としている。

[数2]

$$P_1(z) = \frac{P_0}{2} \exp(-az) \{1 + \exp[-2hz]\}$$

$$P_2(z) = \frac{P_0}{2} \exp(-az) \{1 - \exp[-2hz]\}$$
(2)

そして、各コアの位置 z における後方散乱光強度 ($P_{bs1}(z)$ 、 $P_{bs2}(z)$) は以下のように表せる。ただし、 $\alpha_s(z)$ は位置 z における散乱係数、 $B(z)$ は位置 z における捕獲率である。

[数3]

$$P_{bs1}(z) = \frac{P_0}{2} \alpha_s(z) B(z) \exp(-2az) \{1 + \exp[-4hz]\}$$

$$P_{bs2}(z) = \frac{P_0}{2} \alpha_s(z) B(z) \exp(-2az) \{1 - \exp[-4hz]\}$$
(3)

従って、後方散乱光強度の比から電力結合係数 h を求めることができる。

[数4]

$$\frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)} = \frac{1 - \exp[-4hz]}{1 + \exp[-4hz]}$$
(4)

[0018] (実施例)

次に異種コアのMCFにおける電力結合係数を測定する方法を説明する。

図2は、本実施例を説明する図である。

MCFとして2コアファイバで説明する。入射コア(core1)に光強度 P_0 の試験光を入射したとき、入射端から長手方向の位置 z における各コアの光強度の関係を式(5)の電力結合方程式で記述する。異種コアの場合、各コアの電力結合係数が異なる (h_{12} 、 h_{21})。

[数5]

$$\frac{dP_1(z)}{dz} = -\alpha_1 P_1(z) - h_{21} P_1(z) + h_{12} P_2(z) \quad (5)$$

$$\frac{dP_2(z)}{dz} = -\alpha_2 P_2(z) - h_{12} P_2(z) + h_{21} P_1(z)$$

[0019] 電力方程式の解は式(6)のように表せる。ただし、 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ としている。なお、式(6)の導出の委細は付記1に記載する。

[数6]

$$P_1(z) = \frac{P_0}{h_{12} + h_{21}} \exp(-\alpha z) \{h_{12} + h_{21} \exp[-(h_{12} + h_{21})z]\} \quad (6)$$

$$P_2(z) = \frac{h_{21} P_0}{h_{12} + h_{21}} \exp(-\alpha z) \{1 - \exp[-(h_{12} + h_{21})z]\}$$

そして、各コアの位置 z における後方散乱光強度 ($P_{bs1}(z)$ 、 $P_{bs2}(z)$) は以下のように表せる。ただし、 $\alpha_s(z)$ は位置 z における散乱係数、 $B(z)$ は位置 z における捕獲率である。

[数7]

$$P_{bs1}(z) = \frac{P_0}{h_{12} + h_{21}} \alpha_s B(z) \exp(-2\alpha z) \{h_{12} + h_{21} \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]\} \quad (7)$$

$$P_{bs2}(z) = \frac{h_{21} P_0}{h_{12} + h_{21}} \alpha_s B(z) \exp(-2\alpha z) \{1 - \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]\}$$

[0020] 式(7)より後方散乱光強度の比と電力結合係数の関係は以下のようになる。

[数8]

$$\frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)} = \frac{h_{21} - h_{21} \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]}{h_{12} + h_{21} \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]} = \frac{1 - \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]}{\frac{h_{12}}{h_{21}} + \exp[-2(h_{12} + h_{21})z]} \quad (8)$$

ここで、通常であれば h について2変数あるので解けないが、 z が十分大きい $z = z_0$ 場合、各コアの後方散乱光の強度比が一定になることを利用すれ

ば、電力結合係数 h を近似的に求めることができる。

[数9]

$$\frac{P_{bs2}(z_0)}{P_{bs1}(z_0)} = \frac{h_{21}}{h_{12}} = r \quad (9)$$

つまり、式 (9) のように近似することで、式 (8) は次式で表現できる

。

[数10]

$$\frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)} = \frac{1 - \exp[-2(1+r)h_{21}z]}{\frac{1}{r} + \exp[-2(1+r)h_{21}z]} \quad (10)$$

以上から異種コアの結合型MCFの各コアの電力結合係数は以下のように求められる。

[数11]

$$h_{21} = -\frac{1}{2z} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)} \quad (11)$$

$$h_{12} = -\frac{1}{2rz} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$

[0021] (実施例2)

図3は、被測定光ファイバ50であるMCFの電力結合係数を測定する装置301を説明する図である。装置301は、測定器11、演算器12、及び光分岐部品13を備える。光分岐部品13は、測定器11からの光をMCFの任意のコアに入射し、MCFの任意のコアからの光を測定器11に入力することができる。光分岐部品13は、例えば、ファンイン／ファンアウトである。

[0022] 被測定光ファイバ50のMCFは、コア間の電力結合係数が非対象である

。

測定器 11 は、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよび前記入射コアに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度 ($P_{bs1}(z)$ 、 $P_{bs2}(z)$) を測定すること、
を行う。

測定器 11 は、例えば、周波数領域反射測定器 (OFDR) である。

[0023] 演算器 12 は、

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比 r を計算すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点 z における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式 (11) に代入し、コア相互間の前記電力結合係数 (h_{21} 、 h_{12}) を計算すること
を行う。

なお、「遠方」とは、後方散乱光強度比が一定になる領域を意味する。例えば、図 4 の光ファイバであれば $z \geq 50 \text{ m}$ の領域である。なお、「遠方」の領域は光ファイバによって異なるので常に 50 m 以上が遠方という意味ではない。

[0024] 装置 301 は、図 3 (a) のような回路で入射コアからの後方散乱光強度 $P_{bs1}(z)$ を測定する。続いて、装置 301 は、図 3 (b) のような回路で隣接コアからの後方散乱光強度 $P_{bs2}(z)$ を測定する。なお、符号 14 は光サーキュレータである。

[0025] 図 4 は、測定器 11 が取得した被測定光ファイバ 50 の各コアからの後方散乱光強度を説明する図である。横軸は位置 z (m)、縦軸は後方散乱光の強度 (dB) である。例えば、 $z = z_0 = 100 \text{ m}$ においては、 $P_{bs1}(z_0)$

$= -109.062 \text{ dB}$ 、 $P_{bs2}(z_0) = -110.609 \text{ dB}$ である。この数値を使えば、式(9)の比 r は、次のように計算される。

[数12]

$$r = \frac{P_{bs2}(z_0)}{P_{bs1}(z_0)} = \frac{10^{-109.062/10}}{10^{-110.609/10}} = 0.70 \quad (12)$$

[0026] 式(12)の比 r を式(11)に適用することで位置 z における電力結合係数 h_{12} と h_{21} を求めることができる。図5は、式(12)の比 r を適用した式(11)で算出した異種コアMCF(2コア)の電力結合係数を説明する図である。横軸は位置 z 、縦軸は各位置における電力結合係数である。白線は h_{12} 、黒線は h_{21} である。

[0027] (発明の効果)

装置301は、MCFの第1コアに試験光を入射したときの第1コアおよび第2コアそれぞれからの後方散乱光強度を測定し、第1コアの後方散乱光強度 P_{bs1} に対する第2コアの後方散乱光強度 P_{bs2} の比が、遠方では、第1コアから第2コアへの電力結合係数 h_{12} に対する第2コアから第1コアへの電力結合係数 h_{21} の比に等しくなることを利用して、電力結合係数 h_{12} および h_{21} を計算する。

装置301は、従来測定ができなかった各コアの特性が異なるMCFのコア間の電力結合係数を測定することができる。

[0028] [付記1]

電力結合方程式の一般解の導出を説明する。

式(5)を整理すると式(A1)となる。

[数A1]

$$\frac{dP_1(z)}{dz} = -(\alpha_1 + h_{21})P_1(z) + h_{12}P_2(z) \quad (A1)$$

$$\frac{dP_2(z)}{dz} = -(\alpha_2 + h_{12})P_2(z) + h_{21}P_1(z)$$

ここで、 $a = \alpha_1 + h_{21}$ 、 $b = h_{12}$ 、 $c = \alpha_2 + h_{12}$ 、 $d = h_{21}$ とすると、

式 (A 1) は次のようになる。

[数A2]

$$\frac{dP_1(z)}{dz} = -aP_1(z) + bP_2(z) \quad (\Lambda 2)$$

$$\frac{dP_2(z)}{dz} = -cP_2(z) + dP_1(z)$$

式 (A 2) の一段目の式を $P_2(z)$ について整理し、式 (A 2) の二段目の式に代入すると次式が得られる。

[数A3]

$$\frac{d^2P_1(z)}{dz^2} + (a+c)\frac{dP_1(z)}{dz} + (ac-bd)P_1(z) = 0 \quad (\Lambda 3)$$

式 (A 3) の特性方程式の解は次式となる。

[数A4]

$$\begin{aligned} -\frac{a+c}{2} \pm \sqrt{\frac{(a-c)^2}{4} + bd} \\ = -\frac{\alpha_1 + \alpha_2 + h_{12} + h_{21}}{2} \\ \pm \frac{\sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + 2(\alpha_1 - \alpha_2)(h_{21} - h_{12}) + (h_{12} + h_{21})^2}}{2} \end{aligned} \quad (\Lambda 4)$$

ここで、

[数A5]

$$\begin{aligned} A &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + h_{12} + h_{21}}{2} \\ B &= \frac{\sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + 2(\alpha_1 - \alpha_2)(h_{21} - h_{12}) + (h_{12} + h_{21})^2}}{2} \end{aligned} \quad (\Lambda 5)$$

とおくと、式 (A 4) は以下で書ける。

[数A6]

$$-\frac{a+c}{2} \pm \sqrt{\frac{(a-c)^2}{4} + bd} = -A \pm B \quad (\text{A6})$$

[0029] 初期条件である $P_1(0) = P_0$ 、 $P_2(0) = 0$ から式 (A3) の電力結合方程式の解は以下ようになる。

[数A7]

$$P_1(z) = -\frac{a-(A+B)}{2B} P_0 \exp(-(A-B)z) + \frac{a-(A-B)}{2B} P_0 \exp(-(A+B)z) \quad (\text{A7})$$

$$P_2(z) = -\frac{\{a-(A+B)\}\{a-(A-B)\}}{2Bb} P_0 \exp(-(A-B)z) + \frac{\{a-(A+B)\}\{a-(A-B)\}}{2Bb} P_0 \exp(-(A+B)z)$$

ここで損失係数は各コアで等しい ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$) と仮定すると、

[数A8]

$$A = \alpha + \frac{h_{12} + h_{21}}{2} \quad (\text{A8})$$

$$B = \frac{h_{12} - h_{21}}{2}$$

となる。

以上から式 (A5) の電力結合方程式の解が式 (A6) のように求まる。

[0030] [付記2]

図4の後方散乱光強度の測定結果における注意点を説明する。

図5及び図6のように、横軸の位置 z は装置301内のファイバデバイス部分も含んでおり、 $z = 0$ mはMCFの原点ではない。このため、図5においてこの実施例では $z = 2$ m以降の領域がMCFに対する結果を示している

。

[0031] [付記3]

演算器12が計算した電力結合係数についての注意点を説明する。

電力結合係数は、光ファイバの状態によって変化するため、実際には図7の実線のように長手方向に変化する。一方、任意の位置 z からの後方散乱光強度（図7の点線）に寄与するのは、位置0から z までの電力結合係数の積分（図7のハッチング部分）である。装置301は電力結合係数を後方散乱光強度比から求めているため、その値は位置0から z までの電力結合係数の積分値である。つまり、式(11)で求められるのは、位置0から z までの平均化された電力結合係数である。

なお、装置301が測定する平均した電力結合係数は z に反比例するので $z=0$ で発散する。しかし、 $z=0$ では結合が起こらないので、 $z=0$ での値に物理的な意義がない。

符号の説明

- [0032] 11：測定器
12：演算器
13：光分岐部品
14：光サーキュレータ
15：被測定光ファイバ（MCF）
301：装置

請求の範囲

[請求項1] コア間の電力結合係数が非対象であるマルチコア光ファイバの前記電力結合係数を測定する方法であって、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、

前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよび前記入射コアに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度を測定すること、

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比を計算すること、及び

前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式に代入し、コア相互間の前記電力結合係数を計算することを特徴とする電力結合係数測定方法。

[請求項2] 前記計算式が数C1であることを特徴とする請求項1に記載の電力結合係数測定方法。

[数C1]

$$h_{21} = -\frac{1}{2z} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)} \quad (C1)$$

$$h_{12} = -\frac{1}{2rz} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$

ただし、

h_{21} は前記隣接コアから前記入射コアへの前記電力結合係数、

h_{12} は前記入射コアから前記隣接コアへの前記電力結合係数、

r は前記比、

z は前記一端から前記任意点までの距離 (m)、
 $P_{bs1}(z)$ は前記入射コアにて測定される前記任意点からの前記後
方散乱光強度 (dB)、
 $P_{bs2}(z)$ は前記隣接コアにて測定される前記任意点からの前記後
方散乱光強度 (dB)
である。

- [請求項3] コア間の電力結合係数が非対象であるマルチコア光ファイバの前記電力結合係数を測定する装置であって、
前記マルチコア光ファイバの一端において、前記コアの一つである入射コアに試験光を入射すること、及び
前記マルチコア光ファイバの一端において、前記入射コアおよび前記入射コアに隣接する隣接コアから出力する後方散乱光の後方散乱光強度を測定すること、
を行う測定器と、
前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向に後方散乱光強度比が定常的になる遠方からの、前記入射コアの前記後方散乱光強度と前記隣接コアの前記後方散乱光強度との比を計算すること、及び
前記マルチコア光ファイバの一端から長手方向にある任意点における前記入射コアと前記隣接コアの前記後方散乱光強度、及び前記比を計算式に代入し、コア相互間の前記電力結合係数を計算すること
を行う演算器と、
を備える電力結合係数測定装置。
- [請求項4] 前記計算式が数C1であることを特徴とする請求項3に記載の電力結合係数測定装置。

[数C1]

$$h_{21} = -\frac{1}{2z} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$

$$h_{12} = -\frac{1}{2rz} \frac{1}{1+r} \log \frac{r - \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}}{r \left(1 + \frac{P_{bs2}(z)}{P_{bs1}(z)}\right)}$$
(C1)

ただし、

h_{21} は前記隣接コアから前記入射コアへの前記電力結合係数、

h_{12} は前記入射コアから前記隣接コアへの前記電力結合係数、

r は前記比、

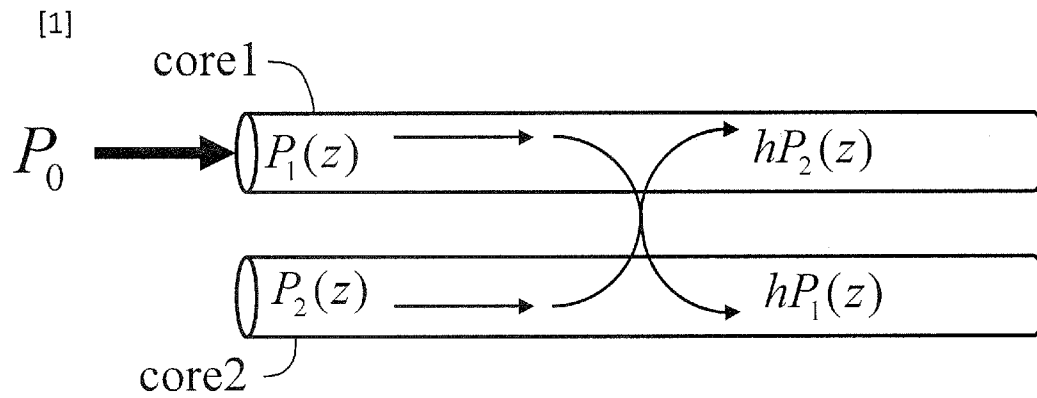
z は前記一端から前記任意点までの距離 (m)、

$P_{bs1}(z)$ は前記入射コアにて測定される前記任意点からの前記後
方散乱光強度 (dB)、

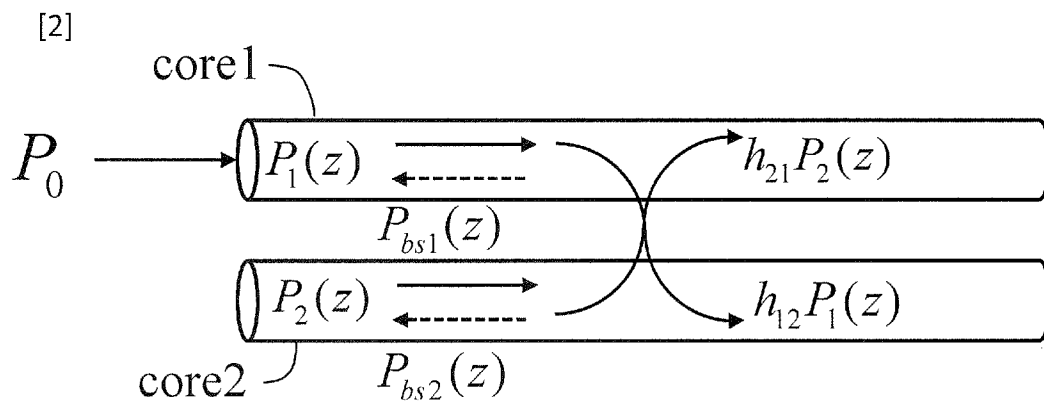
$P_{bs2}(z)$ は前記隣接コアにて測定される前記任意点からの前記後
方散乱光強度 (dB)

である。

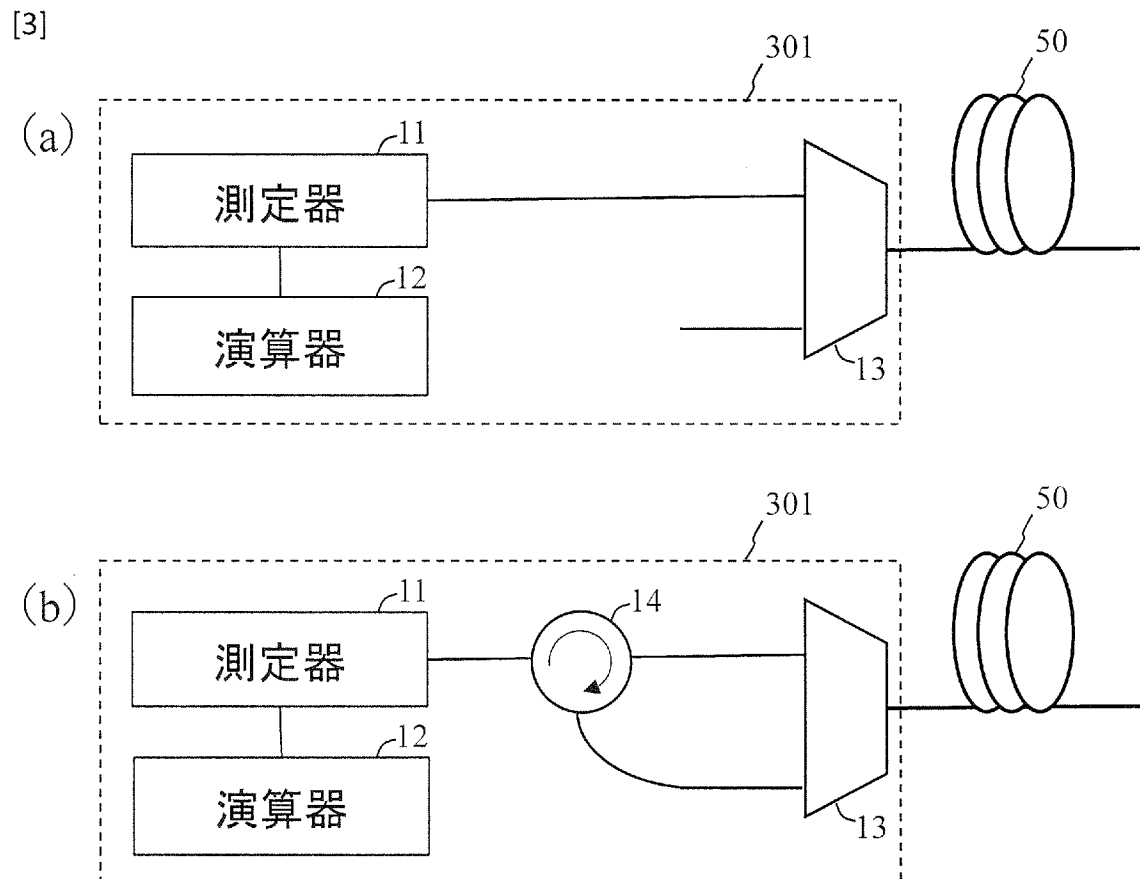
[図1]



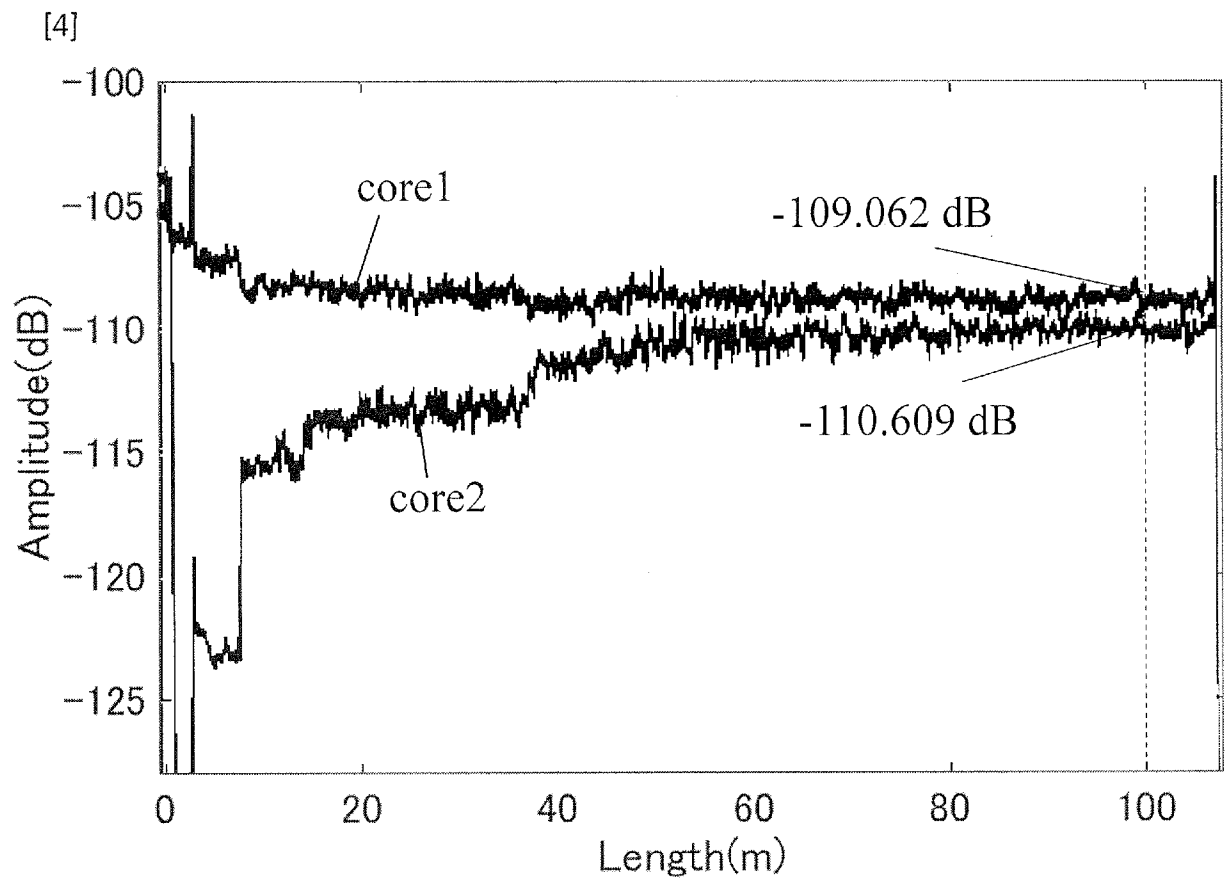
[図2]



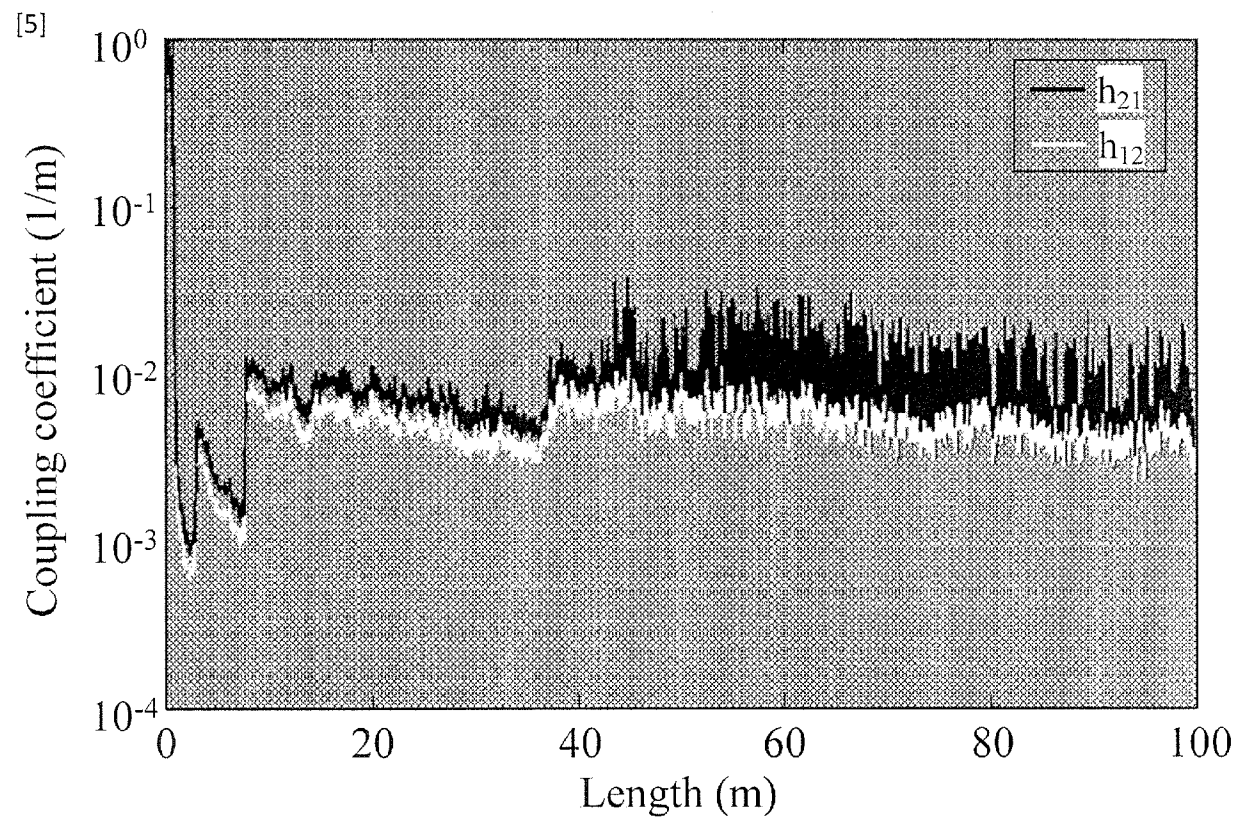
[図3]



[図4]

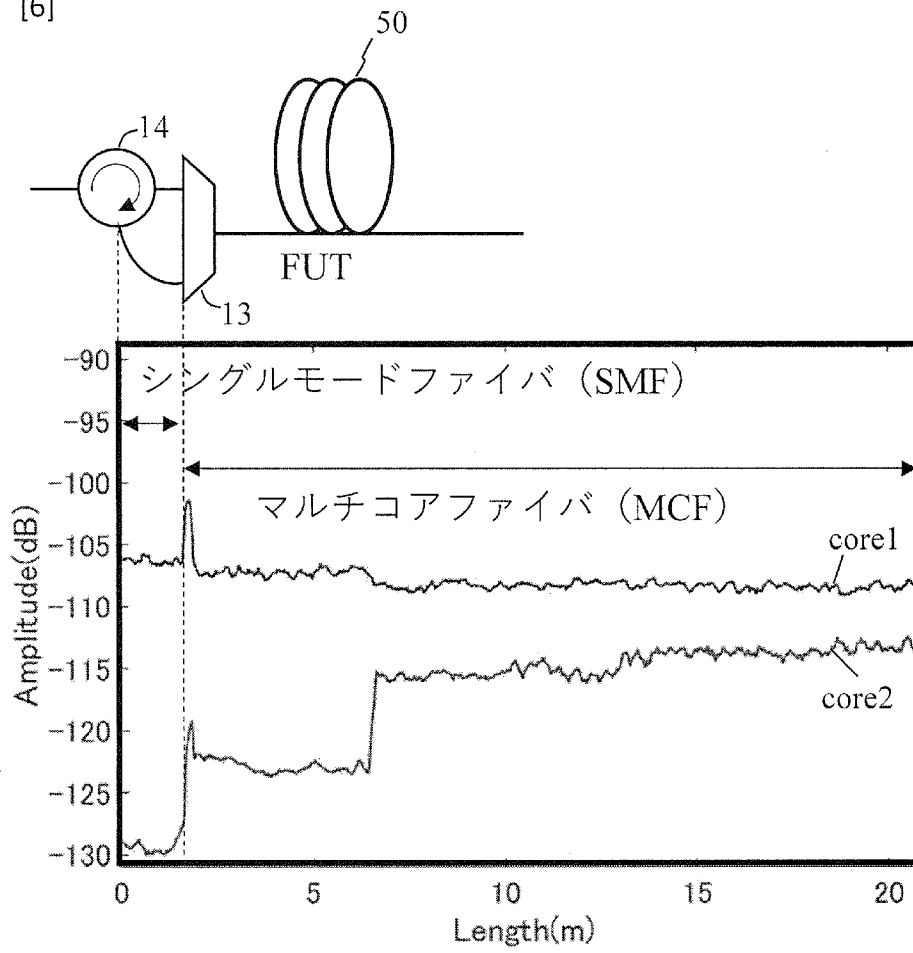


[図5]

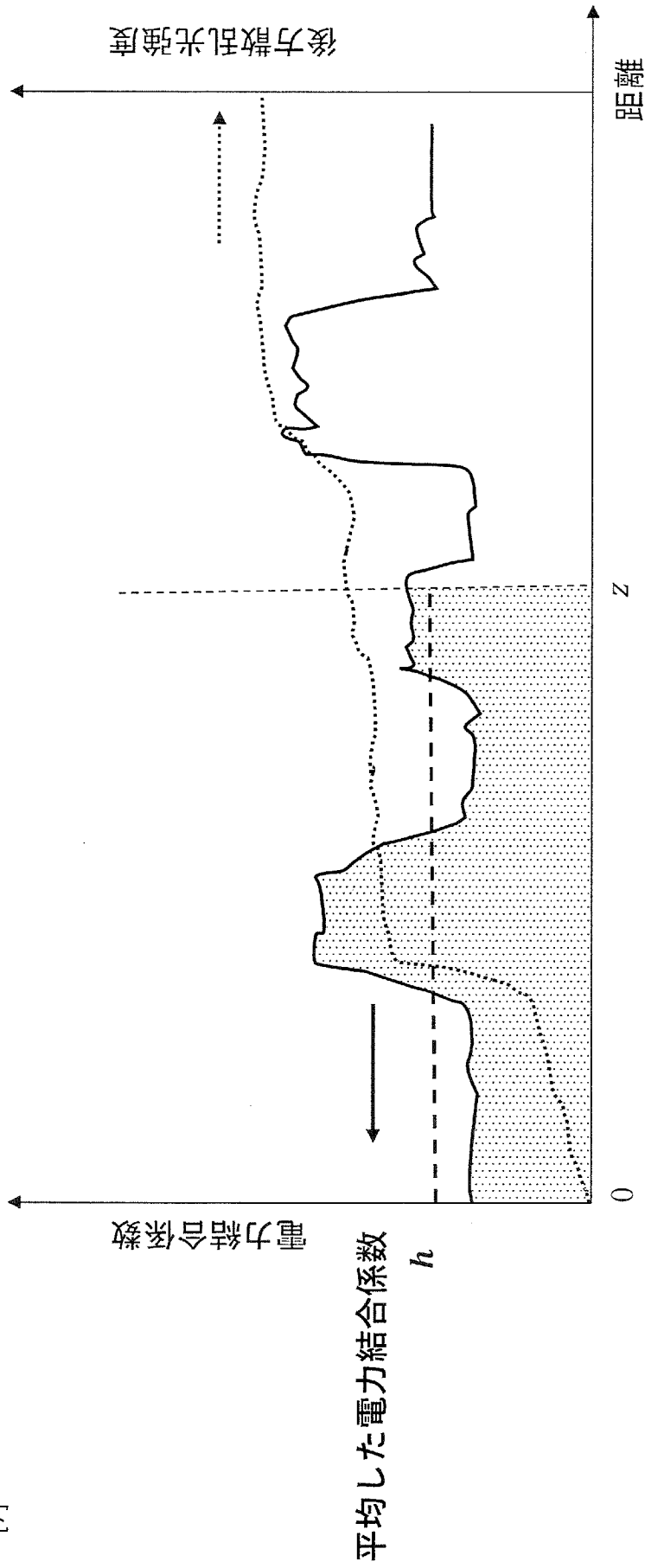


[図6]

[6]



[図7]



[7]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/021500

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<p>G01M 11/02(2006.01)i FI: G01M11/02 N</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01M11/00-G01M11/08; G02B6/02-G02B6/10; G02B6/44; H04B10/00-H04B10/90; H04J14/00-H04J14/08		
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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (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 2012-202827 A (TOHOKU UNIVERSITY) 22 October 2012 (2012-10-22) entire text, all drawings	1-4
A	NAKAZAWA M., et al., Nondestructive measurement of mode couplings along a multi-core fiber using a synchronous multi-channel OTDR, OPTICS EXPRESS, 2012.05.18, vol. 20, no. 11, pp. 12530-12540 entire text, all drawings	1-4
A	JP 2021-12226 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 04 February 2021 (2021-02-04) entire text, all drawings	1-4
A	WO 2013/027776 A1 (NAT. UNIV. CORP. YOKOHAMA NAT. UNI.) 28 February 2013 (2013-02-28) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2022-111486 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 01 August 2022 (2022-08-01) entire text, all drawings	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 25 July 2023		Date of mailing of the international search report 08 August 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/JP2023/021500

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2012-202827 A	22 October 2012	(Family: none)	
JP 2021-12226 A	04 February 2021	US 2021/0003773 A1 entire text, all drawings EP 3761088 A1 CN 112180498 A	
WO 2013/027776 A1	28 February 2013	US 2014/0199039 A1 entire text, all drawings EP 2749919 A1 CN 103765264 A	
JP 2022-111486 A	01 August 2022	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01M 11/02(2006.01)i FI: G01M11/02 N		
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-G01M11/08; G02B6/02-G02B6/10; G02B6/44; H04B10/00-H04B10/90; H04J14/00-H04J14/08 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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
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 2012-202827 A (国立大学法人東北大学) 22.10.2012 (2012 - 10 - 22) 全文、全図	1-4
A	NAKAZAWA M, et al., Nondestructive measurement of mode couplings along a multi-core fiber using a synchronous multi-channel OTDR, OPTICS EXPRESS, 2012.05.18, Vol. 20, No. 11, pp.12530-12540 全文、全図	1-4
A	JP 2021-12226 A (住友電気工業株式会社) 04.02.2021 (2021 - 02 - 04) 全文、全図	1-4
A	WO 2013/027776 A1 (国立大学法人横浜国立大学) 28.02.2013 (2013 - 02 - 28) 全文、全図	1-4
A	JP 2022-111486 A (日本電信電話株式会社) 01.08.2022 (2022 - 08 - 01) 全文、全図	1-4
<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、一般的な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	25.07.2023	国際調査報告の発送日 08.08.2023
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） 横尾 雅一 2W 3716 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	

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/JP2023/021500

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2012-202827 A	22.10.2012	(ファミリーなし)	
JP 2021-12226 A	04.02.2021	US 2021/0003773 A1 全文、全図 EP 3761088 A1 CN 112180498 A	
WO 2013/027776 A1	28.02.2013	US 2014/0199039 A1 全文、全図 EP 2749919 A1 CN 103765264 A	
JP 2022-111486 A	01.08.2022	(ファミリーなし)	