

(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
2020年8月27日(27.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/170862 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/004858

(22) 国際出願日: 2020年2月7日(07.02.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2019-030267 2019年2月22日(22.02.2019) JP

(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).

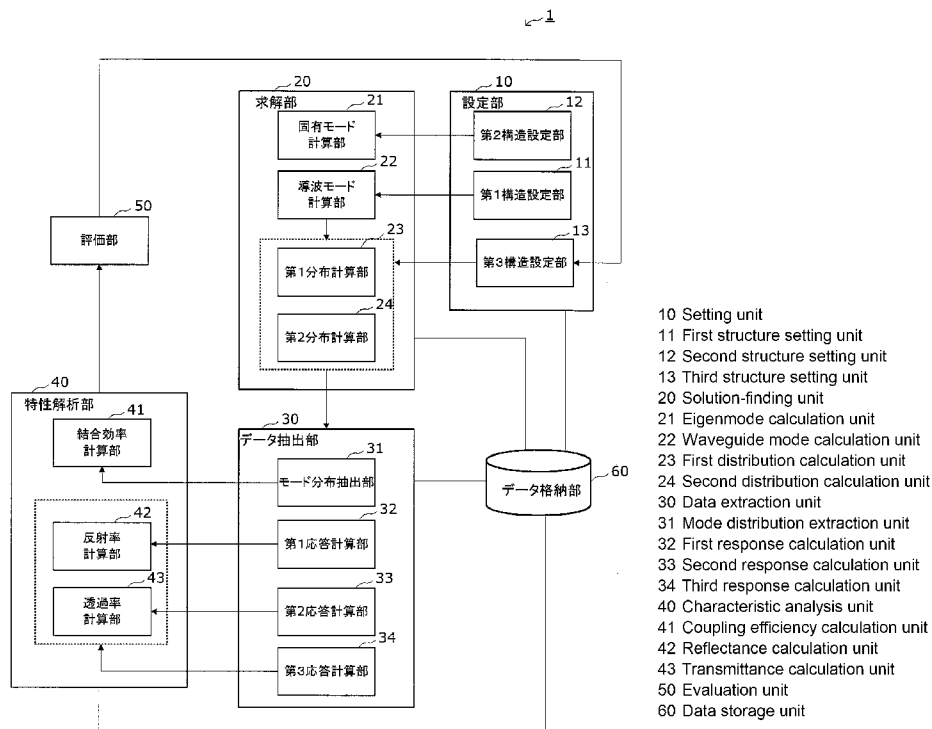
(72) 発明者: 遠藤 潤(ENDO, Jun); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 荒武 淳(ARATAKE, Atsushi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: ANALYSIS DEVICE AND ANALYSIS METHOD

(54) 発明の名称: 解析装置および解析方法



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide an analysis method capable of analyzing an optical connection structure even when the optical connection structure has an electromagnetic field distribution in which various modes are combined. An analysis device 1 comprises: a setting unit 10 that sets information about the structure of an optical connection structure 110; a solution calculating unit 20 that calculates the electromagnetic field distribution by solving a partial differential equation in which electromagnetic fields distributed in the optical connection structure 110

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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))

are set as an unknown quantity on the basis of the information about the optical connection structure 110; a data extraction unit 30 that extracts, from the electromagnetic field distribution obtained by the solution-finding unit 20, the in-plane mode distribution at a prescribed position of the optical connection structure 110 and a time response of the electromagnetic field at the prescribed position of the optical connection structure 110; and a characteristic analysis unit 40 that analyzes an optical characteristic related to the optical connection structure 110 on the basis of the mode distribution and the time response of the electromagnetic field extracted by the data extraction unit 30.

(57) 要約: 光接続構造が、多数のモードが複合された電磁界の分布となっている場合であっても、光接続構造を解析することができる解析技術を提供することを目的とする。解析装置1は、光接続構造110の構造に関する情報を設定する設定部10と、光接続構造110に関する情報に基づいて、光接続構造110に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して電磁界の分布を求める求解部20と、求解部20が求解した電磁界の分布から、光接続構造110の所定の位置における面内でのモード分布、および光接続構造110の所定の位置での電磁界の時間応答を抽出するデータ抽出部30と、データ抽出部30が抽出したモード分布および電磁界の時間応答に基づいて、光接続構造110に関する光学的な特性を解析する特性解析部40とを備える。

明 細 書

発明の名称： 解析装置および解析方法

技術分野

[0001] 本発明は、解析装置および解析方法に関し、特に、光接続構造を解析する技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、通信の大容量化に伴い光通信機器の小型化および高密度化が要求されている。光通信機器の構成要素である導波路間の光接続構造を解析する技術は一層重要となっている。従来から、領域サイズが比較的大きい光接続構造の結合特性を解析する場合には、光線追跡法がよく用いられている。また、導波路単体に対してであれば、ビーム伝搬法のような波動光学をベースにした結合特性の解析方法が採られる。

[0003] 例えば、特許文献1では、ビーム伝搬法を用いて導波路を伝搬する光電界を近似して、光透過特性を模擬する導波路の解析装置を開示している。また、図25は、従来の導波路の解析装置に適用される光電界計算方法のフローを示している。従来の光電界計算方法では、まず、導波路の断面の屈折率分布、電磁界成分などの構造データが入力される（ステップS500）。次に、ビーム伝搬法により、光電界が計算される（ステップS501）。その後、計算した光電界に基づいて、導波路の結合効率が計算される（ステップS502）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-264556号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 例えば、Si導波路と光ファイバなど、2つ以上の高い屈折率差を有する導波路間を結合する場合、テーパ、グレーディング、微小レンズ等、多様な

光接続構造が介在する。このような光接続構造における接続間の微小領域では、多数のモードが複合された電磁界の分布となっている。そのため、従来のビーム伝搬近似を用いた解析技術では、光接続構造の透過特性の予測など、光接続構造の解析が困難であった。

[0006] 本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、光接続構造が、多数のモードが複合された電磁界の分布となっている場合であっても、光接続構造を解析することができる解析技術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] 上述した課題を解決するために、本発明に係る解析装置は、光接続構造の構造に関する情報を設定する設定部と、前記光接続構造の前記構造に関する情報に基づいて、前記光接続構造に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して前記電磁界の分布を求める求解部と、前記求解部が求解した前記電磁界の分布から、前記光接続構造の所定の位置における面内でのモード分布、および前記光接続構造の所定の位置での電磁界の時間応答を抽出するデータ抽出部と、前記データ抽出部が抽出した前記モード分布および前記電磁界の時間応答に基づいて、前記光接続構造に関する光学的な特性を解析する特性解析部とを備える。

[0008] また、本発明に係る解析装置において、前記光接続構造は、第1導波路および第2導波路と、前記第1導波路と前記第2導波路とを互いに光学的に接続する光学素子とを含み、前記求解部は、前記第1導波路に対し、前記光学素子側の端面での反射が発生しない場合において、0次以上の固有モードが複合した電磁界を示す導波モードを計算する導波モード計算部と、前記導波モードに基づいて、前記光接続構造に含まれる領域の電磁界の分布を計算する第1分布計算部と、前記第1導波路から前記第2導波路に向かって電磁波が伝搬したときの前記第1導波路および前記光学素子に含まれる領域の電磁界の分布を示す基準電界の分布を計算する第2分布計算部とを有していてもよい。

- [0009] また、本発明に係る解析装置において、前記求解部は、前記第2導波路の固有モードを計算する固有モード計算部を有し、前記データ抽出部は、前記第2導波路の光軸と交差する任意の断面内におけるモード分布を抽出するモード分布抽出部を有し、前記特性解析部は、前記固有モード計算部によって計算された前記固有モードと、前記モード分布抽出部によって抽出された前記モード分布とに基づいて、前記固有モードと前記モード分布との結合効率を計算する結合効率計算部を有していてもよい。
- [0010] また、本発明に係る解析装置において、前記データ抽出部は、前記第1分布計算部が計算した前記電磁界の分布から、前記光学素子の光軸と交差する位置に設定された第1参照座標での電界の時間変化を求める第1応答計算部と、前記第1分布計算部が計算した前記電磁界の分布から、前記第2導波路の光軸と交差する位置に設定された第2参照座標での電界の時間変化を求める第2応答計算部と、前記第2分布計算部が計算した前記基準電界の分布から、前記第1参照座標での基準電界の時間変化を求める第3応答計算部とを有していてもよい。
- [0011] また、本発明に係る解析装置において、前記特性解析部は、前記第1応答計算部が求めた前記第1参照座標での電界の時間変化と、前記第3応答計算部が求めた前記基準電界の時間変化とに基づいて、前記第1参照座標での反射率を計算する反射率計算部を有していてもよい。
- [0012] また、本発明に係る解析装置において、前記特性解析部は、前記第2応答計算部が求めた前記第2参照座標での電界の時間変化と、前記第3応答計算部が求めた前記基準電界の時間変化とに基づいて、前記第2参照座標での透過率を計算する透過率計算部を有していてもよい。
- [0013] また、本発明に係る解析装置において、前記特性解析部が解析した前記光接続構造に関する光学的な特性から、予め設定された光学的な特性に基づいて、前記設定部が設定した前記光接続構造の構造を評価する評価部をさらに備えていてもよい。
- [0014] 上述した課題を解決するために、本発明に係る解析方法は、光接続構造の

構造に関する情報を設定する第1ステップと、前記光接続構造の前記構造に関する情報に基づいて、前記光接続構造に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して前記電磁界の分布を求める第2ステップと、前記第2ステップで求解された前記電磁界の分布から、前記光接続構造の所定の位置における面内でのモード分布、および前記光接続構造の所定の位置での電磁界の時間応答を求める第3ステップと、前記第3ステップで求められた前記モード分布および前記電磁界の時間応答に基づいて、前記光接続構造に関する光学的な特性を解析する第4ステップとを備える。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、光接続構造に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解し、求解した電磁波の分布から、光接続構造の所定の位置における面内のモード分布と電磁界の時間応答を抽出するので、多数の電磁界のモードが複合されている場合であっても、光接続構造を解析することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る解析装置の構造を示すブロック図である。

[図2]図2は、本実施の形態に係る光接続構造の平面模式図である。

[図3]図3は、本実施の形態に係る基準電界分布を計算するための構造模式図である。

[図4]図4は、本実施の形態に係る解析装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図5]図5は、本実施の形態に係る光接続構造の解析方法を説明するフローチャートである。

[図6]図6は、固有モードの計算処理を説明するフローチャートである。

[図7]図7は、導波モードの計算処理を説明するフローチャートである。

[図8]図8は、電磁界分布の計算処理を説明するフローチャートである。

[図9]図9は、結合効率の計算処理を説明するフローチャートである。

[図10]図10は、反射率の計算処理を説明するフローチャートである。

[図11]図 1 1 は、透過率の計算処理を説明するフローチャートである。

[図12A]図 1 2 A は、第 1 導波路の構造を示す図である。

[図12B]図 1 2 B は、第 1 導波路の電界分布の一例を示す図である。

[図13]図 1 3 は、第 1 導波路の導波モードの一例を示す図である。

[図14]図 1 4 は、第 1 導波路の結合効率の参照面の位置への依存性を説明する図である。

[図15]図 1 5 は、本実施の形態の具体例に係る光接続構造の平面模式図である。

[図16A]図 1 6 A は、具体例に係る基準電界分布を計算するための構造模式図である。

[図16B]図 1 6 B は、具体例に係る基準電界分布を示す図である。

[図17]図 1 7 は、基準電界の過渡応答を示す図である。

[図18A]図 1 8 A は、光接続構造を示す図である。

[図18B]図 1 8 B は、光接続構造の電界分布を示す図である。

[図19]図 1 9 は、第 1 参照座標での電界の過渡応答を示す図である。

[図20]図 2 0 は、第 1 参照座標での反射電界の過渡応答を示す図である。

[図21]図 2 1 は、第 2 参照座標での電界の過渡応答を示す図である。

[図22]図 2 2 は、第 2 導波路の固有モードを示す図である。

[図23]図 2 3 は、第 2 導波路のモード分布を示す図である。

[図24]図 2 4 は、第 2 導波路の結合効率の参照面位置の依存性を説明する図である。

[図25]図 2 5 は、従来の光接続構造の解析技術を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図 1 から図 2 4 を参照して詳細に説明する。

[0018] 本実施の形態に係る解析装置 1 は、微小な光学素子を含む光接続構造の特性を解析する。特に、本実施の形態に係る解析装置 1 は、モードフィールド

が異なる導波路を結合する光接続領域における電磁界分布を解析し、光接続構造に含まれる２つの導波路を接続する光学素子の形状や物性値を決定する。

[0019] まず、解析装置１が解析を行う対象である光接続構造１１０について図２を参照して説明する。図２の平面模式図に示すように、光接続構造１１０は、第１導波路１２０、第２導波路、および第１導波路１２０と第２導波路１３０とを接続する光学素子１４０を備える。

[0020] 光接続構造１１０は、第１導波路１２０に入力される光（電磁波）のモードフィールドを変換して第２導波路１３０に結合させる。以下において、図２を含む各図に示す x 、 y 、 z 軸は互いに直交し、鉛直方向を y 軸、水平方向を x 軸、光の伝搬方向、すなわち光軸に沿った方向を z 軸とする。また、本実施の形態では、第１導波路１２０から光が入力されて第２導波路１３０に伝搬される場合について説明する。

[0021] 第１導波路１２０は、コア１２１と、コア１２１を覆うクラッド１２２とを備える。コア１２１の一端は、光学素子１４０を介して第２導波路１３０のコア１３１と対向している。コア１２１は、例えば、光の伝搬方向（ z 軸）に沿って、 x 軸方向の断面形状が一定に維持される。例えば、コア１２１の端部は、直方体形状に形成される。なお、コア１２１の光の伝搬方向（ z 軸）に垂直な方向の断面積は、後述する第２導波路１３０が有するコア１３１の光伝搬方向（ z 軸）に垂直な方向の断面積よりも小さい。

[0022] クラッド１２２は、コア１２１を覆うように形成されている。クラッド１２２は、例えば、酸化シリコン材料から形成される。また、コア１２１は、例えば、 Si 材料によって形成される。

[0023] 第２導波路１３０は、コア１３１と、コア１３１を覆うクラッド１３２とを備える。第２導波路１３０は、例えば、光ファイバを構成する。コア１３１は、第２導波路１３０の中心部に設けられ、第１導波路１２０によってモードフィールドが変換された光を伝搬する。コア１３１は、例えば、円形断面を有する。クラッド１３２は、コア１３１の外周面を覆うように形成され

ている。

[0024] 光学素子 140 は、第 1 導波路 120 と第 2 導波路 130 とを光学的に接続する。光学素子 140 は、第 1 導波路 120 の端面と対向する第 2 導波路 130 の端面との間隙に配設される。本実施の形態では、解析装置 1 によって光接続構造 110 の解析を行い、光学素子 140 の形状や物性値の修正が必要であるか否かを判断する。

[0025] [解析装置の機能ブロック]

次に、本実施の形態に係る光接続構造 110 の解析装置 1 の機能構成について、図 1 を参照して説明する。

図 1 に示すように、解析装置 1 は、設定部 10、求解部 20、データ抽出部 30、特性解析部 40、評価部 50、およびデータ格納部 60 を備える。

[0026] 設定部 10 は、第 1 構造設定部 11、第 2 構造設定部 12、および第 3 構造設定部 13 を備える。設定部 10 は、例えば、外部から入力装置 107 へ入力される入力信号に応じて、第 1 導波路 120、第 2 導波路 130、および光学素子 140 の形状および物性値の分布など光接続構造 110 の構造に関する情報を設定する。また、設定部 10 は、求解部 20 が光接続構造 110 の特性を計算する際に用いる光接続構造 110 の分割領域であるメッシュ間隔を設定する。

[0027] 第 1 構造設定部 11 は、第 1 導波路 120 の形状の寸法および物性値の分布を設定する。第 2 構造設定部 12 は、第 2 導波路 130 の形状の寸法および物性値の分布を設定する。第 3 構造設定部 13 は、光学素子 140 の形状の寸法および物性値の分布を設定する。設定された光接続構造 110 の形状および物性値を示すパラメータは、データ格納部 60 に記憶される。

[0028] 求解部 20 は、固有モード計算部 21、導波モード計算部 22、第 1 分布計算部 23、および第 2 分布計算部 24 を備える。求解部 20 は、光接続構造 110 に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して電磁界の分布を求める。具体的には、求解部 20 は、第 1 導波路 120 の導波モードと第 2 導波路 130 の固有モード、および第 1 導波路 120 から第 2 導波路

130に向かって伝搬する電磁界の分布を、後述する支配式に基づいて求解する。また、求解部20は、電磁界分布から、進行波と反射波とを分離するために、第1導波路120に向かって伝搬する電磁界が存在しないと仮定した場合の電界分布（「基準電界分布」という。）を求解する。

[0029] 固有モード計算部21は、第2構造設定部12によって設定された第2導波路130の形状、物性値の分布に基づいて、第2導波路130の固有モードを計算する。より詳細には、固有モード計算部21は、有限要素法を用いて固有モードを計算する。固有モードは、系の状態を表す関数であり、この系において、第2導波路130のコア131内に局在する電磁界のエネルギー分布を決める。

[0030] 固有モード計算部21は、コア131内に局在する電磁界のエネルギー分布を決める支配式として、ヘルムホルツ方程式を用いて、一定の境界条件の下で系の状態を表す関数、すなわち固有モードを求める。伝搬定数 β 、屈折率 n 、波数 k_a （ $k_a = 2\pi/\lambda$ ）、非斉次項 f に依存して定義された状態関数 ϕ を未知数とするヘルムホルツ方程式は次式（1）で表される。

[0031] [数1]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + (k_a^2 n^2 - \beta^2) \phi = f \quad \dots (1)$$

[0032] 固有モード計算部21は、上式（1）のヘルムホルツ方程式を有限要素法によって求解する。なお、上式（1）において、伝搬定数 β を含む項の係数を分離係数と呼ぶ。

[0033] より詳細には、固有モード計算部21は、第2導波路130の屈折率分布と伝搬定数と、伝搬する光の波数とにより定められる分離係数を設定する。また、固有モード計算部21は、離散化された有限要素式を設定し、かつ境界条件を設定する。具体的には、固有モード計算部21は、有限要素式を、離散化された状態関数の数を元とする連立方程式にアセンブリして、行列演算を行って状態関数を求める。固有モード計算部21によって求められた第

2導波路130の固有モードは、後述の特性解析部40による結合効率の計算に用いられる。

[0034] 導波モード計算部22は、第1構造設定部11によって設定された第1導波路120の形状や物性値の分布を用いて、第1導波路120の導波モードを計算する。第1導波路120の導波モードとは、端面反射が発生しない場合における0次以上の固有モードが複合した電磁界を意味する。

[0035] 第1分布計算部23および第2分布計算部24は、光接続構造110の境界領域の電磁界分布を計算する。第1分布計算部23は、光接続構造110の電界分布を計算する。第2分布計算部24は、第1導波路120に向かって伝搬する電磁界が、光学素子140を含みつつも存在しない電界分布である基準電界分布を計算する。すなわち、基準電界分布は、光学素子140に、第1導波路120から第2導波路130側に向かって伝搬する進行波を遮る構造などが含まれない場合の電界分布である。

[0036] 具体的には、第2分布計算部24は、図3に示す第1導波路120と光学素子140とで構成される光接続構造110aの基準電界分布を計算する。本実施の形態では、光接続構造110aが有する光学素子140は、一様な媒質であり、波数変化を発生させない構造を有する。

[0037] データ抽出部30は、求解部20が求解した電磁界の分布から、光接続構造110の所定の位置における面内におけるモード分布、および電磁界の時間応答を含むデータを抽出する。データ抽出部30は、モード分布抽出部31、第1応答計算部32、第2応答計算部33、および第3応答計算部34を備える。

[0038] モード分布抽出部31は、第1分布計算部23によって計算された光接続構造110の電界分布に基づいて、図2に示す、光接続構造110の指定された参照区間Iのモード分布を抽出する。参照区間Iとしては、第2導波路130における光軸と交差する任意の断面を用いればよい。

[0039] 第1応答計算部32は、図2に示す、光接続構造110の第1参照座標p1における電界の過渡応答を求める。第1参照座標p1は、光学素子140

を含む光接続構造 110 の領域内に設定されている。例えば、第 1 参照座標 p1 は、光軸と光学素子 140 とが交差する光学素子 140 の位置に設定されている。

[0040] 第 2 応答計算部 33 は、図 2 に示す、光接続構造 110 の第 2 参照座標 p2 における電界の過渡応答を求める。第 2 参照座標 p2 は、第 2 導波路 130 の領域内に設定されている。また、第 2 参照座標 p2 は第 2 導波路 130 における光軸と交差する位置に設定されている。

[0041] 第 3 応答計算部 34 は、第 2 分布計算部 24 によって計算された基準電界分布に基づいて、第 1 参照座標 p1 における基準電界の過渡応答を求める。

[0042] 特性解析部 40 は、データ抽出部 30 が抽出したモード分布および電磁界の時間応答に基づいて、光学素子 140 に関する光学的な特性を解析する。具体的には、特性解析部 40 はデータ抽出部 30 が抽出した電界分布と、固有モード計算部 21 によって計算された第 2 導波路 130 の固有モードとに基づいて、任意の参照区間 I における結合効率、任意の参照座標における反射率および透過率を計算する。

[0043] 特性解析部 40 は、結合効率計算部 41、反射率計算部 42、および透過率計算部 43 を備える。

結合効率計算部 41 は、光接続構造 110 の任意の参照区間 I における、第 2 導波路 130 の固有モードとモード分布との結合効率 CE を計算する。結合効率 CE は、光接続構造 110 の任意の参照面の電界分布 E が第 1 導波路 120 あるいは第 2 導波路 130 の固有モード ϕ_m とどの程度一致しているかを示し、次式 (2) で定義される重なり積分を計算することにより得られる。次式 (2) において、導波路の光軸と z 軸方向は平行とし、参照面と光軸とが交差する点の z 座標を Z_{ref} とする。

[0044] [数 2]

$$CE = \frac{|\iint E(x, y, z_{ref}) \cdot \phi_m dx dy|^2}{\iint |E(x, y, z_{ref})|^2 dx dy \cdot \iint |\phi_m|^2 dx dy} \dots (2)$$

[0045] 反射率計算部42は、第3応答計算部34によって求められた基準電界の過渡応答と、第1応答計算部32によって求められた光接続構造110における第1参照座標p1での電界の過渡応答とに基づいて、第1参照座標p1での反射率を計算する。

[0046] 透過率計算部43は、第3応答計算部34によって求められた基準電界の過渡応答と、第2応答計算部33によって求められた光接続構造110における第2参照座標p2での電界の過渡応答とに基づいて、透過率を計算する。

[0047] 評価部50は、特性解析部40が解析した光学素子140に関する光学的な特性から、予め設定された光学的な特性に基づいて、設定部10が設定した光学素子140の構造を評価する。より詳細には、評価部50は、特性解析部40が出力した光接続構造110の結合効率、反射率、および透過率を含む光学的な特性から、光接続構造110が有する光学素子140の形状や物性値の修正が必要であるか否かを判断する。

[0048] データ格納部60は、設定部10によって設定される光接続構造110の構造データを記憶する。また、データ格納部60は、求解部20によって計算された固有モード、導波モード、および電磁界分布を記憶する。また、データ格納部60は、データ抽出部30によって抽出されたモード分布、電界の過渡応答などを記憶する。また、データ格納部60は、特性解析部40が計算した結合効率、反射率、および透過率を記憶する。

[0049] [解析装置のハードウェア構成]

次に上述した機能を有する解析装置1のハードウェア構成の一例について図4を参照して説明する。

[0050] 図4に示すように、解析装置1は、例えば、バス101を介して接続されるプロセッサ102、主記憶装置103、通信インターフェース104、補助記憶装置105、I/O装置106、入力装置107を備えるコンピュータと、これらのハードウェア資源を制御するプログラムによって実現することができる。解析装置1は、例えば、表示装置108がバス101を介して

接続され、表示画面に光接続構造 110 の構造データ、結合効率、反射率、および透過率など、解析装置 1 による解析結果や計算過程を表示してもよい。

[0051] 主記憶装置 103 は、例えば、SRAM、DRAM、およびROMなどの半導体メモリによって実現される。主記憶装置 103 には、プロセッサ 102 が各種制御や演算を行うためのプログラムが予め格納されている。プロセッサ 102 と主記憶装置 103 とによって、図 1 に示した設定部 10、求解部 20、データ抽出部 30、特性解析部 40、および評価部 50 を含む解析装置 1 の各機能が実現される。

[0052] 通信インターフェース 104 は、通信ネットワーク NW を介して各種外部電子機器との通信を行うためのインターフェース回路である。解析装置 1 は、通信インターフェース 104 を介して外部に解析結果を送出してもよい。

[0053] 通信インターフェース 104 としては、例えば、LTE、3G、無線 LAN、Bluetooth（登録商標）などの無線データ通信規格に対応したインターフェースおよびアンテナが用いられる。通信ネットワーク NW は、例えば、WAN (Wide Area Network) や LAN (Local Area Network)、インターネット、専用回線、無線基地局、プロバイダなどを含む。

[0054] 補助記憶装置 105 は、読み書き可能な記憶媒体と、その記憶媒体に対してプログラムやデータなどの各種情報を読み書きするための駆動装置とで構成されている。補助記憶装置 105 には、記憶媒体としてハードディスクやフラッシュメモリなどの半導体メモリを使用することができる。

[0055] 補助記憶装置 105 は、解析装置 1 が光接続構造 110 の解析処理を行うためのプログラムを格納するプログラム格納領域を有する。さらには、補助記憶装置 105 は、例えば、上述したデータやプログラムなどをバックアップするためのバックアップ領域などを有していてもよい。

[0056] 補助記憶装置 105 は、例えば、構造設定プログラム 105a、求解プログラム 105b、データ抽出プログラム 105c、特性解析プログラム 10

5 d、評価プログラム 105 e をプログラム格納領域に格納している。また、補助記憶装置 105 は、データ格納領域 105 f を有する。データ格納領域 105 f は、図 1 で説明したデータ格納部 60 を実現する。

[0057] I/O 装置 106 は、表示装置 108 など外部機器からの信号を入力したり、外部機器へ信号を出力したりする I/O 端子により構成される。

入力装置 107 は、キーボード、タッチパネルなどによって構成され、キーの押下やタッチ操作などに応じた入力信号を生成する。入力装置 107 が生成する入力信号により、図 1 で説明した設定部 10 が光接続構造 110 の構造データを設定する。

[0058] なお、解析装置 1 は、1 つのコンピュータによって実現される場合だけでなく、互いに通信ネットワーク NW で接続された複数のコンピュータによって分散されていてもよい。

[0059] [光接続構造の解析方法]

次に、上述した構成を有する解析装置 1 の動作について、図 5 のフローチャートを参照して説明する。

[0060] まず、設定部 10 は、求解部 20 が計算に用いる、光接続構造 110 のメッシュ間隔を設定する（ステップ S1）。次に、設定部 10 は、光接続構造 110 の形状および物性値の分布を設定する（ステップ S2）。より詳細には、第 1 構造設定部 11 は、第 1 導波路 120 の形状および物性値の分布を設定する。第 2 構造設定部 12 は、第 2 導波路 130 の形状および物性値の分布を設定する。また、第 3 構造設定部 13 は、光学素子 140 の形状および物性値の分布を設定する。ステップ S1 およびステップ S2 で設定されたメッシュ間隔および光接続構造 110 の形状および物性値の分布は、データ格納部 60 に記憶される。

[0061] 次に、固有モード計算部 21 は、第 2 導波路 130 の固有モードを計算する（ステップ S3）。ここで、第 2 導波路 130 の固有モードの計算処理について、図 6 を参照して説明する。

[0062] 図 6 に示すように、まず、固有モード計算部 21 は、第 2 導波路 130 の

屈折率分布と伝搬定数と、伝搬する光の波数とにより定められる、上述した式（１）の分離係数を設定する（ステップＳ３）。次に、固有モード計算部２１は、式（１）に基づいて、離散化された有限要素式を設定する（ステップＳ３１）。次に、固有モード計算部２１は、境界条件を設定する（ステップＳ３２）。その後、固有モード計算部２１は、設定した有限要素式を、離散化された状態関数の数を元とする連立方程式にアセンブリして、行列演算を行う（ステップＳ３３）。

[0063] 固有モード計算部２１は、行列演算によって状態関数を求めて出力する（ステップＳ３４）。出力された状態関数はデータ格納部６０に記憶される。その後、固有モード計算部２１は、式（１）における伝搬定数 β のステップを加算する（ステップＳ３５）。その後、伝搬定数 β の上限の値に到達するまで（ステップＳ３６：ＮＯ）、ステップＳ３０からステップＳ３５までの処理を繰り返す。伝搬定数 β の値が上限に到達した場合（ステップＳ３６：ＹＥＳ）、固有モード計算部２１は固有モードを出力する（ステップＳ３７）。

[0064] より詳細には、固有モード計算部２１は、状態関数と伝搬定数との関係を示すスペクトルを求め、そのスペクトルから所定のピークを少なくとも１つ選択し、それらのピークを固有モード ϕ_m （ m は０以上の整数）として出力する。なお、固有モードは、伝搬定数が高い固有モードから順に、０次モード（ $m=0$ ）、１次モード（ $m=1$ ）、・・・と呼ぶ。なお、固有モード計算部２１は、ステップＳ３５で、伝搬定数の値を加算する代わりに、伝搬定数の値を減算し、下限値に到達するまでステップＳ３０からステップＳ３４の処理を繰り返してもよい。その後、処理は図５のステップＳ９に移行する。

[0065] 図５に示すように、導波モード計算部２２は、ステップＳ２の後に、第１導波路１２０の導波モードを計算する（ステップＳ４）。ここで、導波モードの計算処理について、図７を参照して説明する。

[0066] 図７に示すように、導波モード計算部２２は、データ格納部６０に格納されている第１導波路１２０の形状や物性値の分布を読み出す（ステップＳ４

0)。次に、導波モード計算部22は、有限要素法により第1導波路120の固有モードを計算する（ステップS41）。

[0067] より詳細には、導波モード計算部22は、図12Aに示す第1導波路120の構造に基づいて、上述した有限要素法によって、図13の破線に示す第1導波路120の固有モードE1G1を計算する。導波モード計算部22は、図6で説明した固有モードの計算処理と同様の手順により固有モードE1G1を計算する。なお、図13では、0次の固有モードが求められる例を示している。

[0068] 次に、導波モード計算部22は、電磁界解析法である時間領域差分（Finite-difference Time-domain: FDTD）法により、第1導波路120の電界分布EH1を計算する（ステップS42）。FDTD法とは、マクスウェルの方程式を時間と空間とで差分化して時間領域で電界分布を求解する方法である。

[0069] 具体的には、導波モード計算部22は、有限要素法によって求めた第1導波路120の固有モードE1G1を光源に適用し、FDTD法により図12Bに示す電界分布EH1を求める。なお、ステップS42で用いられるFDTD法による電磁界分布の算出処理の詳細は後述する。

[0070] 導波モード計算部22は、FDTD法によって算出した第1導波路120の電界分布EH1から、第1導波路120の光軸に垂直な方向に沿った、予め設定されている指定区間の導波モード分布 M_k を求める（ステップS43）。ここで、 k は、導波モード分布が抽出される区間における座標の識別番号を示す。導波モード計算部22は、第1導波路120の光軸に垂直な面内に沿った予め設定された指定区間における導波モード分布 M_k を求めてもよい。図13の実線は、導波モード計算部22によって抽出された第1導波路120の導波モード分布 M_k の一例を示している。

[0071] 例えば、特許文献1に記載されている従来例による固有モードの計算では、導波路のコアとクラッドの屈折率差が大きい場合に発生するモードの段差がみられない。本実施の形態に係る導波モード計算部22では、FDTD法

を用いて第1導波路120の導波モード分布を求めることで、屈折率差を反映したモードが計算される。

[0072] 導波モード計算部22は、より安定な導波モードの解を選択するために、第1導波路120の固有モード E_{1G1} と導波モード M_k との結合効率を計算する（ステップS44）。導波モード計算部22は、図14に示すように、結合効率と第1導波路120の z 軸方向の位置との関係を求める。また、導波モード計算部22は、予め設定されている目標偏差（図14の矢印）の範囲内の結合効率に対応する導波モード M_s を選択して出力する。導波モード計算部22による結合効率の計算処理の詳細は後述する。

[0073] 次に、導波モード計算部22は、第1導波路120の導波モードを出力する（ステップS45）。その後、処理は図5のステップS5およびステップS7に移行する。

[0074] 次に、図5に示すように、第2分布計算部24は、第1導波路120に向かって伝搬する電磁界が存在しないと仮定した場合の光接続構造110aの基準電界分布を計算する（ステップS5）。一方で、第1分布計算部23は、光接続構造110の電界分布を計算する（ステップS7）。

[0075] ここで、ステップS5、ステップS7、およびステップS42（図7）における電磁界分布の計算処理について、図8を参照して説明する。

[0076] 図8に示す電磁界分布の計算処理では、ステップS7で第1分布計算部23が光接続構造110の電磁界分布を計算する処理を例に挙げて説明する。まず、第1分布計算部23は、光接続構造110の電界と磁界とを初期化する（ステップS70）。

[0077] 第1導波路120の導波モードの計算で適用されるメッシュ間隔と、FDTD法に適用されるメッシュ間隔とが整合していることを前提とし、第1分布計算部23は、第1導波路120の導波モード M_s をデータ格納部60から読み出す（ステップS71）。

[0078] 次に、第1分布計算部23は、光源を定義する（ステップS72）。具体的には、第1導波路120の光軸と z 軸方向は平行とし、 x 軸方向に偏光し

た光源が設定される座標の電界分布は、次式（３）で定義される。

[0079] [数3]

$$E_x^{n+1}(i, j, k_s) = E_x^n(i, j, k_s) + Ms \cdot \sin(\omega \cdot n \Delta t) \quad \dots (3)$$

[0080] 上式（３）において、 E_x は x 軸方向の電界ベクトル成分、 n （ $n=0, 1, 2, \dots$ ）は離散化された時間ステップ、 i, j は、それぞれ離散化された x, y 軸方向の座標成分を示す。 k_s は、第１導波路１２０の光軸上の任意の z 軸座標を示す。上式（３）右辺第二項は、時刻 $n \Delta t$ に対して正弦波または余弦波で振動する励振源で、その係数 ω は角振動周波数、 Δt は時間間隔である。

[0081] このような形式の光源はソフトソース（soft source）と呼ばれ、一方、励振源のみの項から成る光源をハードソース（hard source）と呼ばれる。Hard sourceについては、その光源自体の座標で他波の透過を許容せず、実現象に照らし合せると不都合な解を与えるため、通常光源として採用しない。Soft sourceは、他波の透過を許容し、干渉であるから、通常光源として望ましい。

[0082] その後、第１分布計算部２３は、ステップＳ５２で定義された光源の中心軸と、第１導波路１２０のコア１２１の中心軸とが一致するように、光接続構造１１０の誘電率、透磁率、および導電率の分布を設定する（ステップＳ７３）。

[0083] 次に、第１分布計算部２３は、Yeeアルゴリズムに従って電界分布を計算する（ステップＳ７４）。Yeeアルゴリズムでは、解析領域をYee格子と呼ばれる電界と磁界とを互いに半格子ずらした計算グリッドに分割してマクスウェル方程式が計算される。

[0084] その後、第１分布計算部２３は、領域の外周にPML吸収境界条件あるいはMur吸収境界条件を適用し、境界領域の電界を計算する（ステップＳ７５）。次に、第１分布計算部２３は、光源が設定される座標（ i, j, k_s ）における電界を上式（３）に従って更新する（ステップＳ７６）。

- [0085] その後、磁界について求める場合には、以下のステップS 7 7 およびステップS 7 8 を実行すればよい。具体的には、磁界分布についても電界と同様にY e e アルゴリズムに従って計算する（ステップS 7 7）。次に、領域の外周にP M L 吸収境界条件あるいはM u r 吸収境界条件を適用して境界領域の磁界を計算する（ステップS 7 8）。
- [0086] その後、第1分布計算部2 3 は、計算した電界を出力する（ステップS 7 9）。なお、磁界を計算した場合には、ステップS 7 9 で磁界を出力する。
- [0087] 次に、第2分布計算部2 4 は、時間ステップを加算する（ステップS 8 0）。その後、時間の上限に達するまで（ステップS 8 1 : N O）、ステップS 7 4 からステップS 7 9 の処理を繰り返す。時間の上限に達した場合には（ステップS 8 1 : Y E S）、図5の処理に戻る。
- [0088] ここで、図5に示すように、上記の電磁界分布の計算処理に基づいて、第2分布計算部2 4 が基準電界分布を計算した後（ステップS 5）、第3応答計算部3 4 は、基準電界分布から基準電界の過渡応答を抽出する（ステップS 6）。その後、処理は、ステップS 1 1に移行する。
- [0089] 一方、ステップS 7 で第1分布計算部2 3 が光接続構造1 1 0の電界分布を計算した後に、モード分布抽出部3 1 は、図2に示す参照区間Iのモード分布を抽出する（ステップS 8）。その後、結合効率計算部4 1 は、光接続構造1 1 0の結合効率を計算する（ステップS 9）。
- [0090] 図9は、結合効率の計算処理（ステップS 9）を示すフローチャートである。なお、導波モード計算処理（図7）においても同様の手順で結合効率が計算される（図7のステップS 4 4）。
- [0091] 図9に示すように、まず、結合効率計算部4 1 は、第2導波路1 3 0の固有モード ϕ_m をデータ格納部6 0から読み出す（ステップS 9 0）。一方、結合効率計算部4 1 は、データ格納部6 0から光接続構造1 1 0における任意の参照面の電界分布を読み出す（ステップS 9 1）。なお、光接続構造1 1 0における電界分布は、第1分布計算部2 3 がステップS 7 で計算した値である。

[0092] 次に、結合効率計算部41は、上述した式(2)で定義される重なり積分を計算する(ステップS92)。その後、結合効率計算部41は、計算した結合効率を出力する(ステップS93)。その後、処理は、図5のステップS13に移行する。

[0093] 図5に示すように、ステップS7で光接続構造の電界分布が計算された後、第1参照座標p1、および第2参照座標p2における電界の過渡応答を求める(ステップS10)。次に、反射率計算部42は、ステップS6で算出された基準電界の過渡応答と、第1参照座標p1における電界の過渡応答とに基づいて、反射率を計算する(ステップS11)。その後、透過率計算部43は、第2参照座標p2の電界の過渡応答に基づいて、光接続構造110の透過率を計算する(ステップS12)。

[0094] ここで、反射率計算部42によって実行される光接続構造110の反射率の計算処理について図10を参照して説明する。

反射率計算部42は、基準電界の過渡応答をデータ格納部60から読み出す(ステップS110)。また、反射率計算部42は、第1参照座標p1の電界の過渡応答をデータ格納部60から読み出す(ステップS111)。

[0095] その後、反射率計算部42は、反射電界の時間変化 $E_{ref}(t)$ を計算する(ステップS112)。より詳細には、反射率計算部42は、第1参照座標p1における電界の過渡応答 $E_{1tot}(t)$ と、基準電界の過渡応答 $E_{inc}(t)$ の差分である $E_{ref}(t) = E_{1tot}(t) - E_{inc}(t)$ を求める。

[0096] 次に、反射率計算部42は、周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ を計算する(ステップS113)。具体的には、反射率計算部42は、基準電界の過渡応答 $E_{inc}(t)$ に対して、所定の時間区間($t_{ref1} < t < t_{ref2}$)において、フーリエ変換を実行し、周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ を求める。

[0097] 次に、反射率計算部42は、周波数領域の反射電界を計算する(ステップS114)。より詳細には、反射率計算部42は、ステップS113と同様の時間区間を計算区間とし、反射電界の時間変化 $E_{ref}(t)$ に対し、フーリエ変換を実行し、周波数領域の電界 $F_{ref}(\omega)$ を求める。その後、反射率計

算部42は、周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ のピーク値 F_{inc_p} と、周波数領域の電界 $F_{ref}(\omega)$ のピーク値 F_{ref_p} との比、すなわち反射率 $R = F_{ref\_p} / F_{inc\_p}$ を出力する(ステップS115)。その後、処理は図5のステップS12に移行する。なお、各ステップで算出された周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ 、電界 $F_{ref}(\omega)$ 、および反射率 R は、データ格納部60に記憶される。

[0098] 次に、透過率計算部43によって実行される透過率の計算処理(図5のステップS12)の詳細について、図11を参照して説明する。

まず、透過率計算部43は、反射率の計算処理で計算した周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ (図10のステップS113)をデータ格納部60から読み出す(ステップS120)。また、透過率計算部43は、第2参照座標p2の電界の過渡応答 $E_{tot}(t)$ をデータ格納部60から読み出す(ステップS121)。

[0099] その後、透過率計算部43は、周波数領域の透過電界 $F_{trn}(\omega)$ を計算する(ステップS122)。具体的には、透過率計算部43は、透過電界の時間変化 $E_{trn}(t)$ を第2参照座標p2の電界の過渡応答 $E_{tot}(t)$ に対し、所定の時間区間($t_{trn1} < t < t_{trn2}$)において、フーリエ変換を実行して周波数領域の透過電界 $F_{trn}(\omega)$ を得る。

[0100] その後、透過率計算部43は、透過率を出力する(ステップS123)。より詳細には、透過率計算部43は、周波数領域の基準電界 $F_{inc}(\omega)$ のピーク値 F_{inc_p} と周波数領域の透過電界 $F_{trn}(\omega)$ のピーク値 F_{trn_p} との比、すなわち透過率 $T = F_{trn\_p} / F_{inc\_p}$ を出力する。その後、処理は図5のステップS13に移行する。

[0101] 図5に示すように、評価部50は、予め設定されている光学素子140の特性に関する要件に基づいて、光接続構造110の光学素子140の形状や物性値の修正が必要であると判断した場合(ステップS13:NO)、ステップS2からステップS12の処理を繰り返す。一方、評価部50は、光学素子140の形状や物性値の修正が必要ないと判断した場合(ステップS1

3 : Y E S)、処理は終了する。

[0102] より詳細には、評価部50は、ステップS9で計算された結合効率、ステップS11で計算された反射率、およびステップS12で計算された透過率から、所望の光接続構造110の結合効率、反射率、および透過率を満たすか否かにより光学素子140の形状や物性値の修正が必要であるか否かを判断する。以上の処理により、解析装置1は光接続構造110の解析を行う。

[0103] [具体例]

次に、本実施の形態に係る解析装置1が、図15に示す光接続構造110bを解析する具体例について説明する。

[0104] まず、解析装置1が解析を行う対象である光接続構造110bの構成について説明する。図15に示すように、光接続構造110bは、第1導波路120および第2導波路130と、これらの導波路を接続する光学素子である接着層140bとを有する。

[0105] 第1導波路120は、例えば、埋め込み型のSi導波路で形成される。第1導波路120は、コア121と、コア121を覆って形成されるクラッド122とを有する。

第2導波路130は、石英系の材料で形成された光ファイバが用いられる。第2導波路130は、光ファイバのコア131、およびコア131を覆って形成されるクラッド132を有する。

[0106] 接着層140bは、例えば、エポキシ系、アクリル系などの樹脂材料で形成される接着剤を第1導波路120および第2導波路130が互いに対向する端面を充填するように形成される。接着層140bは、第1導波路120および第2導波路130の光軸上に形成されたレンズ141bを有する。レンズ141bは、光軸に沿って凸な球面レンズで形成されている。レンズ141bについては、樹脂材料で形成される。なお、接着層140bの屈折率は、レンズ141bの屈折率よりも小さくなるよう形成される。

[0107] 光接続構造110bの領域は、x軸方向の屈折率変化がないスラブ導波路を仮定する。また、第1参照座標p1は、接着層140bの領域内の光軸上

に設定されている。第2参照座標 p_2 は、第2導波路 130 の領域内の光軸上に設定されている。

[0108] 図16Aは、光接続構造 110b の基準電界の分布を計算するための領域構造を示している。また、図16Bは、第2分布計算部 24 が計算した、光接続構造 110b の基準電界分布を示している。なお、図16Bは、電界の二乗分布を示している。基準電界については、第1導波路 120、およびレンズ 141b を含まない接着層 140b のみの構造で計算されている。すなわち、光学素子である接着層 140b に、第1導波路 120 から第2導波路 130 側に向かって伝搬する進行波を遮る構造などが含まれない場合の電界分布が基準電界分布として計算される。

[0109] 第3応答計算部 34 が求めた、光接続構造 110b の接着層 140b に設定された第1参照座標 p_1 の基準電界の過渡応答を図17に示す。図17において、横軸は時間、縦軸は振幅を示している。

[0110] 次に、図18Aに光接続構造 110b の領域構造を示す。図18Bは、第1分布計算部 23 が計算した図18Aの光接続構造 110b の電界分布を示している。なお、図18Bは、電界の二乗分布を示している。

[0111] 次に、第1分布計算部 23 が出力した電界分布に基づいて、第1応答計算部 32 が求めた光接続構造 110b の第1参照座標 p_1 における電界の過渡応答を図19に示す。図19の横軸は時間、縦軸は振幅を示している。

[0112] 図20は、反射率計算部 42 が、第1参照座標 p_1 における電界の過渡応答に基づいて計算した反射電界の時間変化を示している。図20の横軸は時間、縦軸は振幅を示している。反射率計算部 42 が、図20の矢印に示す計算区間の反射電界に対してフーリエ変換を実行して出力した反射率 R は、 $R = -29 \text{ dB}$ となった。

[0113] 一方、図21は、第2応答計算部 33 が光接続構造 110b の電界分布から求めた第2参照座標 p_2 における電界の過渡応答を示している。図21の横軸は時間、縦軸は振幅を示している。透過率計算部 43 が、図21の矢印で示す計算区間に対してフーリエ変換を実行して出力された透過率 T は、 T

= -7.9 dBとなった。

[0114] 図22は、固有モード計算部21が計算した第2導波路130の固有モード(0次)を示している。また、図23は、モード分布抽出部31が、図15に示す第2導波路130の参照区間Iにおいて定義された参照面aでのモード分布を計算した結果を示している。図23に示すモード分布は、y軸方向のモード分布の代表値を示している。

[0115] さらに、図24は、第2導波路130に設定されている参照面aの位置を振って、結合効率計算部41がモード分布に基づいて計算した結合効率と、第2導波路130の距離との関係をプロットした結果を示している。図24の横軸は、z軸に沿った、参照区間Iの右端からの距離D(図14)を示している。また、縦軸は結合効率[dB]を示している。

[0116] 以上説明したように、本実施の形態に係る解析装置1によれば、0次以上の固有モードが複合した導波路の導波モードを計算し、計算された導波モードを光源として、FDTD法によって、光接続構造の電磁界分布を計算するので、多数の電磁界のモードが複合されている場合であっても、光接続構造を解析することができる。

[0117] 以上、本発明の解析装置および解析方法における実施の形態について説明したが、本発明は説明した実施の形態に限定されるものではなく、請求項に記載した発明の範囲において当業者が想定し得る各種の変形を行うことが可能である。

符号の説明

[0118] 1…解析装置、10…設定部、20…求解部、30…データ抽出部、40…特性解析部、50…評価部、11…第1構造設定部、12…第2構造設定部、13…第3構造設定部、21…固有モード計算部、22…導波モード計算部、23…第1分布計算部、24…第2分布計算部、31…モード分布抽出部、32…第1応答計算部、33…第2応答計算部、34…第3応答計算部、41…結合効率計算部、42…反射率計算部、43…透過率計算部、110、110a、110b…光接続構造、120…第1導波路、130…第

2 導波路、140…光学素子、140b…接着層、141b…レンズ、121, 131…コア、122, 132…クラッド、101…バス、102…プロセッサ、103…主記憶装置、104…通信インターフェース、105…補助記憶装置、106…I/O装置、107…入力装置、108…表示装置。

請求の範囲

[請求項1]

光接続構造の構造に関する情報を設定する設定部と、
前記光接続構造の前記構造に関する情報に基づいて、前記光接続構造に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して前記電磁界の分布を求める求解部と、
前記求解部が求解した前記電磁界の分布から、前記光接続構造の所定の位置における面内でのモード分布、および前記光接続構造の所定の位置での電磁界の時間応答を抽出するデータ抽出部と、
前記データ抽出部が抽出した前記モード分布および前記電磁界の時間応答に基づいて、前記光接続構造に関する光学的な特性を解析する特性解析部と
を備える解析装置。

[請求項2]

請求項1に記載の解析装置において、
前記光接続構造は、第1導波路および第2導波路と、前記第1導波路と前記第2導波路とを互いに光学的に接続する光学素子とを含み、
前記求解部は、
前記第1導波路に対し、前記光学素子側の端面での反射が発生しない場合において、0次以上の固有モードが複合した電磁界を示す導波モードを計算する導波モード計算部と、
前記導波モードに基づいて、前記光接続構造に含まれる領域の電磁界の分布を計算する第1分布計算部と、
前記第1導波路から前記第2導波路に向かって電磁波が伝搬したときの前記第1導波路および前記光学素子に含まれる領域の電磁界の分布を示す基準電界の分布を計算する第2分布計算部と
を有することを特徴とする解析装置。

[請求項3]

請求項2に記載の解析装置において、
前記求解部は、
前記第2導波路の固有モードを計算する固有モード計算部を有し、

前記データ抽出部は、

前記第2導波路の光軸と交差する任意の断面内におけるモード分布を抽出するモード分布抽出部を有し、

前記特性解析部は、

前記固有モード計算部によって計算された前記固有モードと、前記モード分布抽出部によって抽出された前記モード分布とに基づいて、前記固有モードと前記モード分布との結合効率を計算する結合効率計算部を有する

ことを特徴とする解析装置。

[請求項4]

請求項3に記載の解析装置において、

前記データ抽出部は、

前記第1分布計算部が計算した前記電磁界の分布から、前記光学素子の光軸と交差する位置に設定された第1参照座標での電界の時間変化を求める第1応答計算部と、

前記第1分布計算部が計算した前記電磁界の分布から、前記第2導波路の光軸と交差する位置に設定された第2参照座標での電界の時間変化を求める第2応答計算部と、

前記第2分布計算部が計算した前記基準電界の分布から、前記第1参照座標での基準電界の時間変化を求める第3応答計算部と

を有することを特徴とする解析装置。

[請求項5]

請求項4に記載の解析装置において、

前記特性解析部は、

前記第1応答計算部が求めた前記第1参照座標での電界の時間変化と、前記第3応答計算部が求めた前記基準電界の時間変化とに基づいて、前記第1参照座標での反射率を計算する反射率計算部を有する

ことを特徴とする解析装置。

[請求項6]

請求項4または請求項5に記載の解析装置において、

前記特性解析部は、

前記第2応答計算部が求めた前記第2参照座標での電界の時間変化と、前記第3応答計算部が求めた前記基準電界の時間変化とに基づいて、前記第2参照座標での透過率を計算する透過率計算部を有することを特徴とする解析装置。

[請求項7]

請求項1から6のいずれか1項に記載の解析装置において、

前記特性解析部が解析した前記光接続構造に関する光学的な特性から、予め設定された光学的な特性に基づいて、前記設定部が設定した前記光接続構造の構造を評価する評価部をさらに備えることを特徴とする解析装置。

[請求項8]

光接続構造の構造に関する情報を設定する第1ステップと、

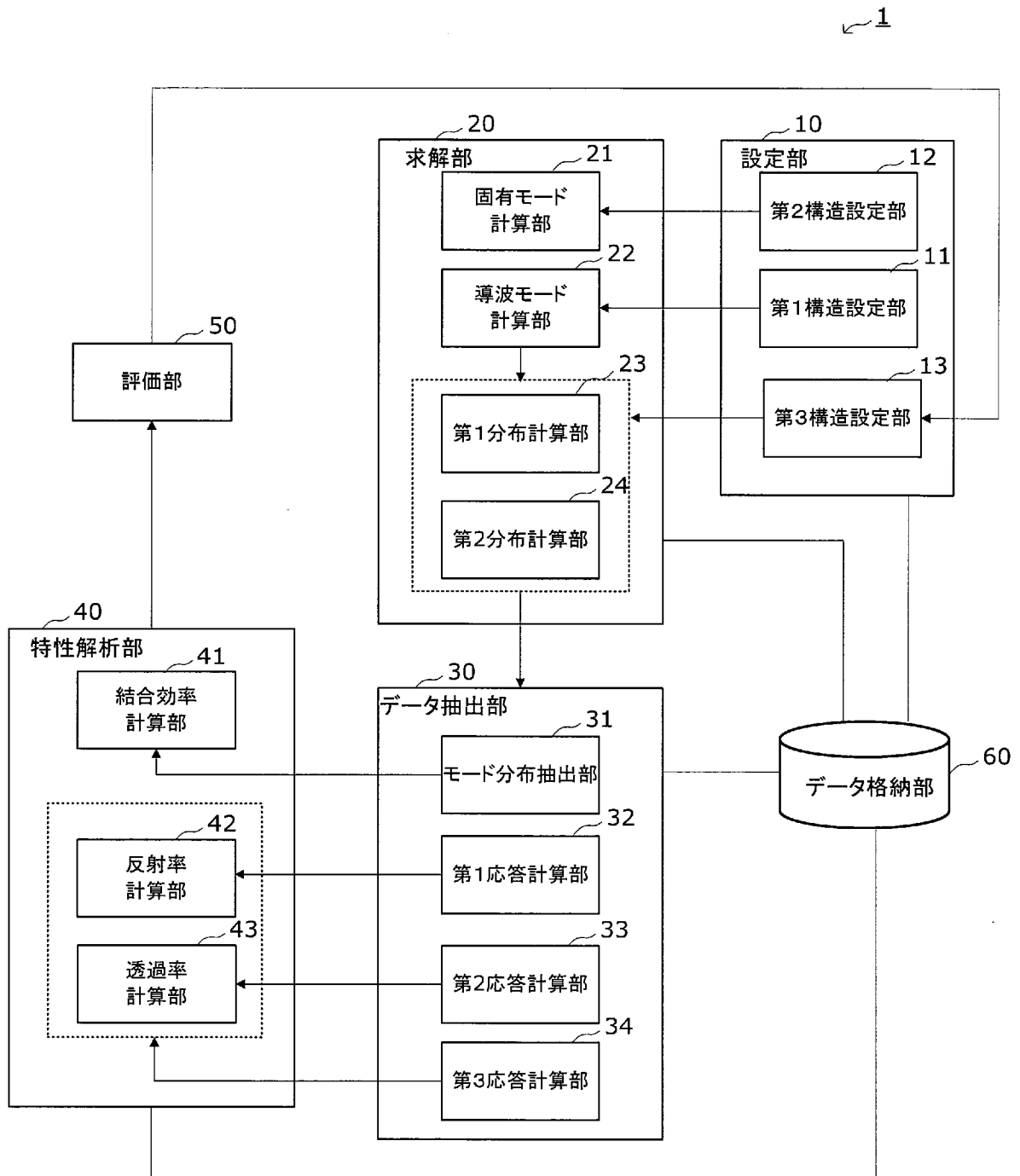
前記光接続構造の前記構造に関する情報に基づいて、前記光接続構造に分布する電磁界を未知数とした偏微分方程式を求解して前記電磁界の分布を求める第2ステップと、

前記第2ステップで求解された前記電磁界の分布から、前記光接続構造の所定の位置における面内でのモード分布、および前記光接続構造の所定の位置での電磁界の時間応答を求める第3ステップと、

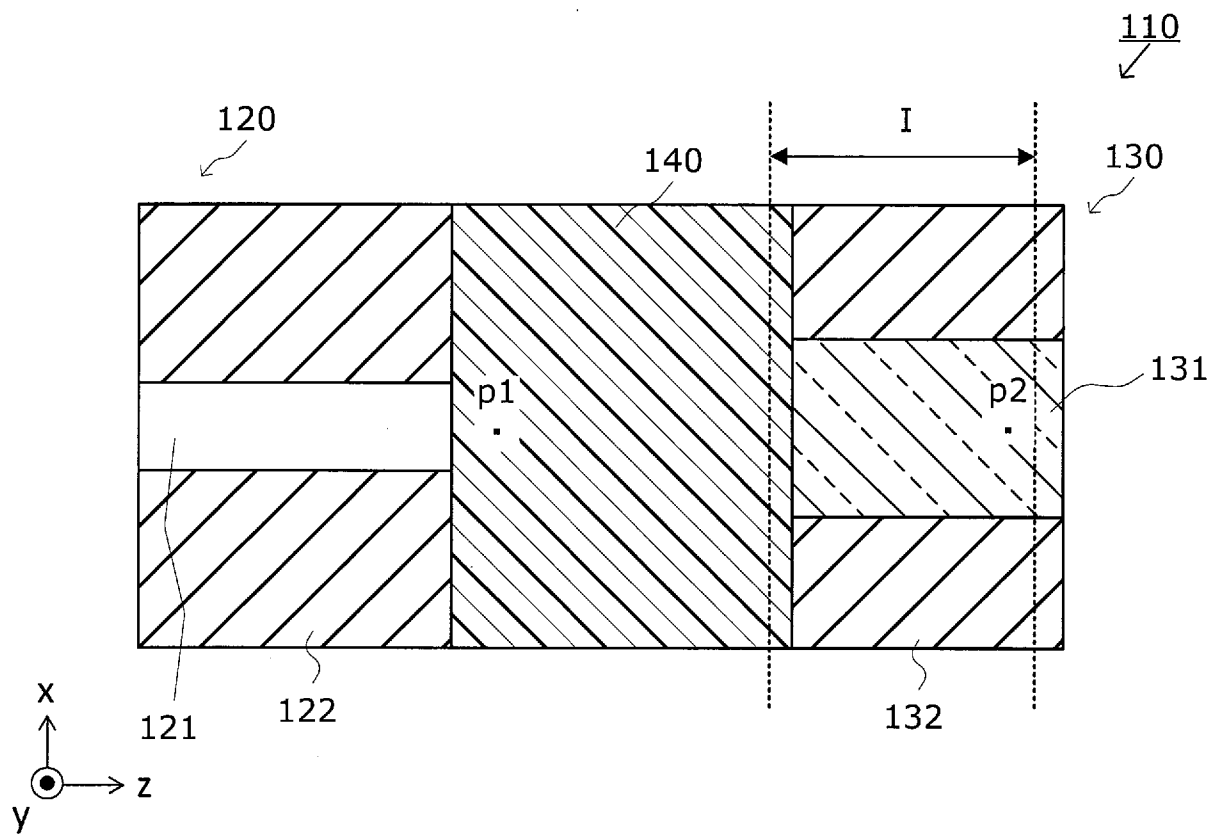
前記第3ステップで求められた前記モード分布および前記電磁界の時間応答に基づいて、前記光接続構造に関する光学的な特性を解析する第4ステップと

を備える解析方法。

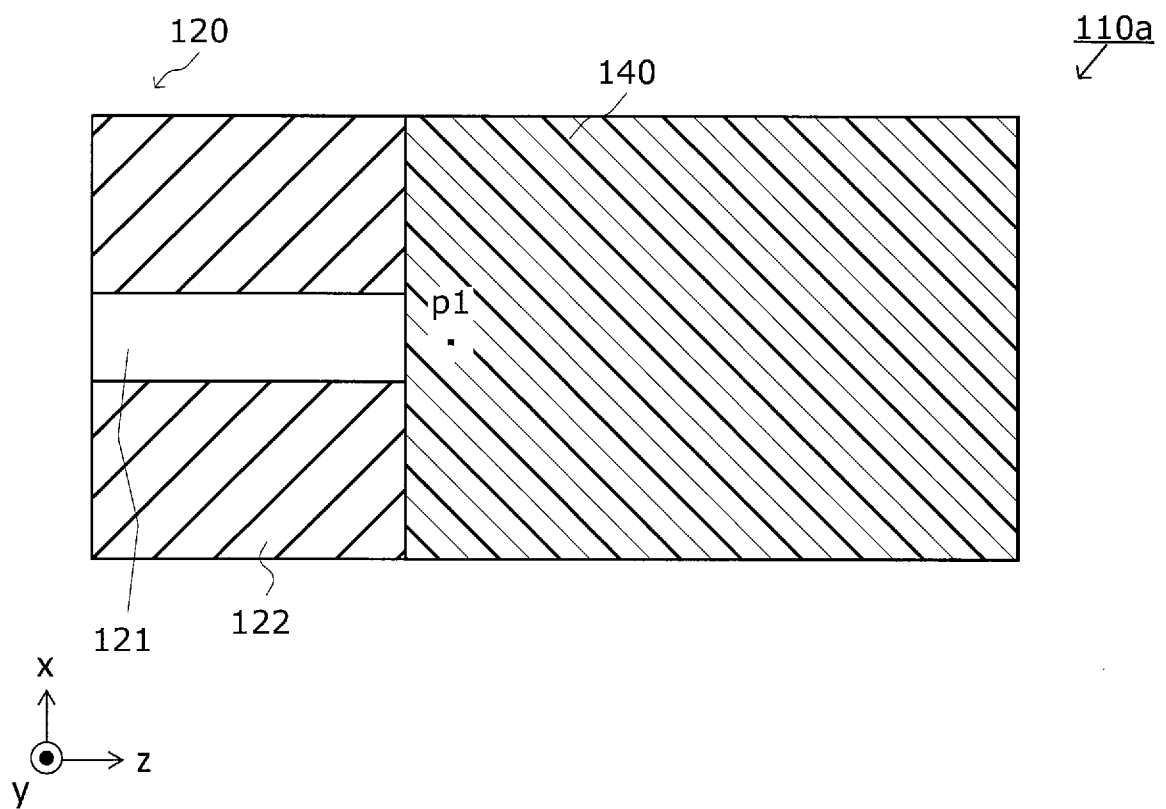
[図1]



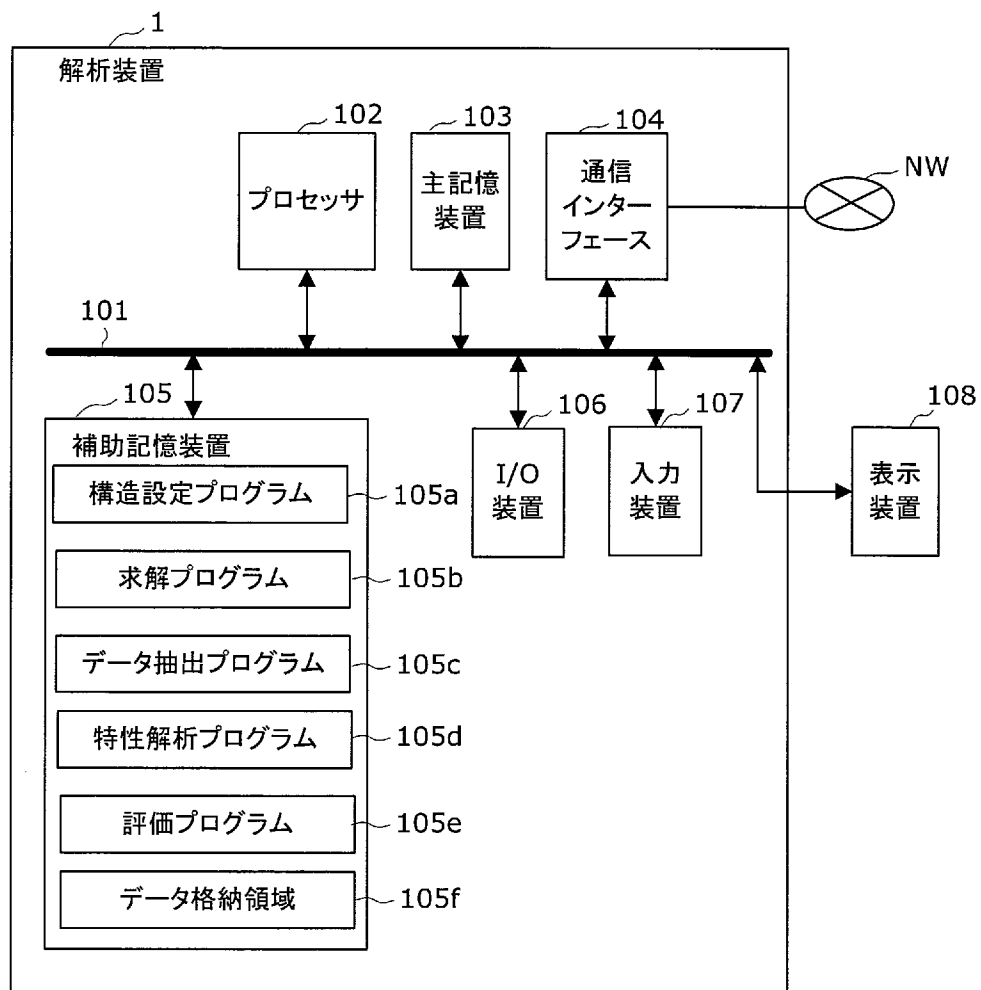
[図2]



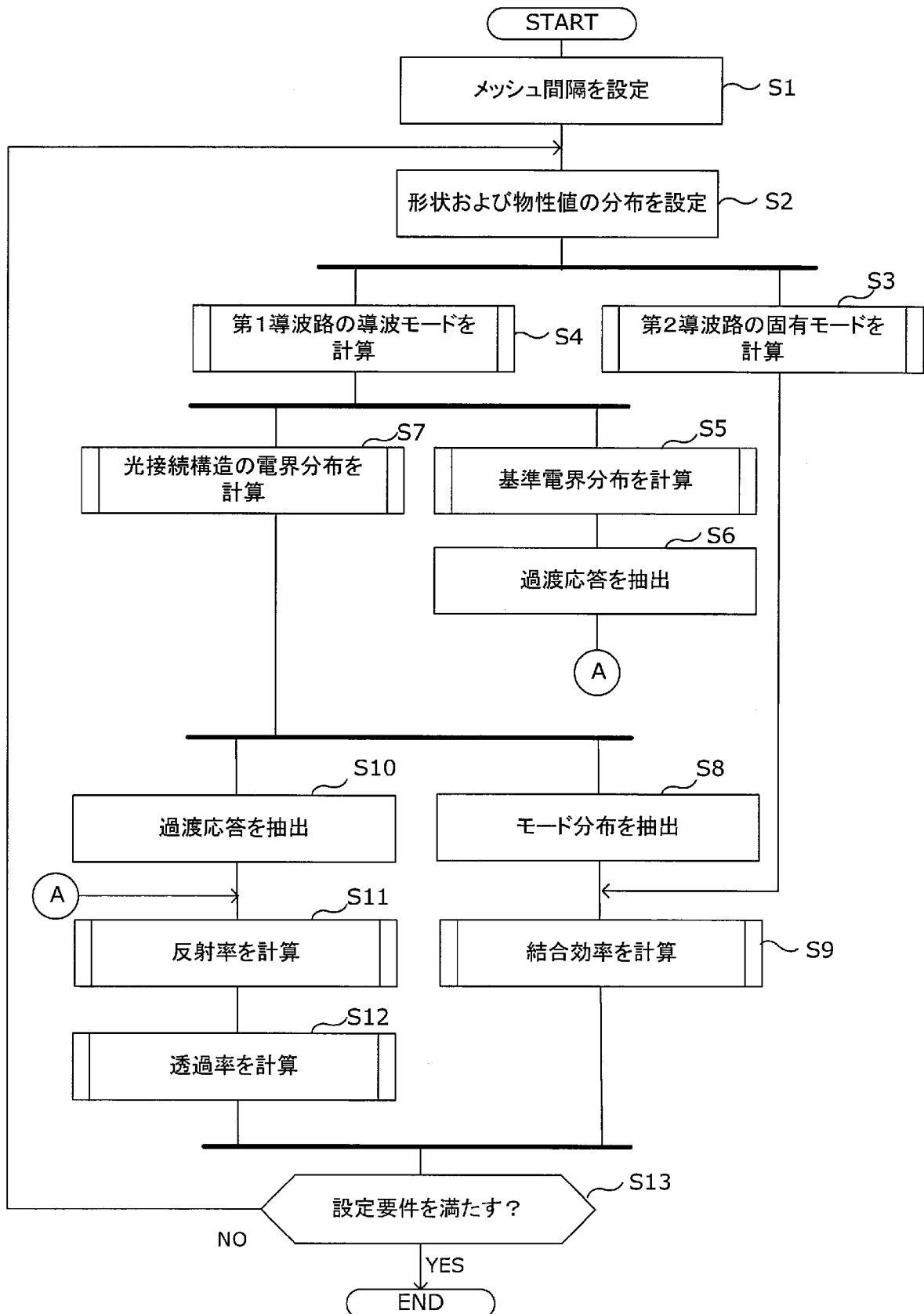
[図3]



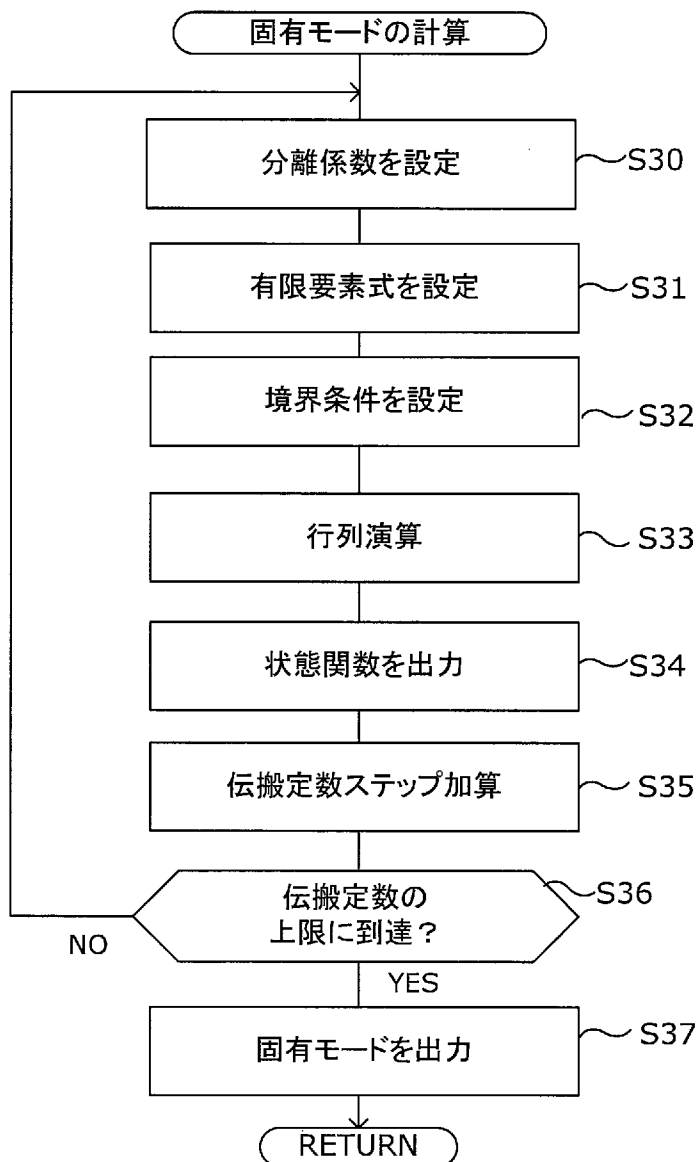
[図4]



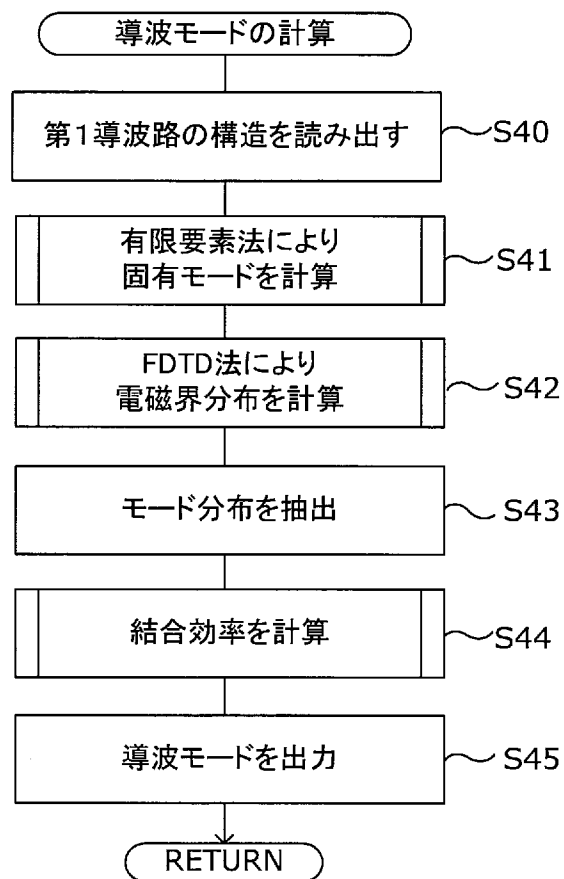
[図5]



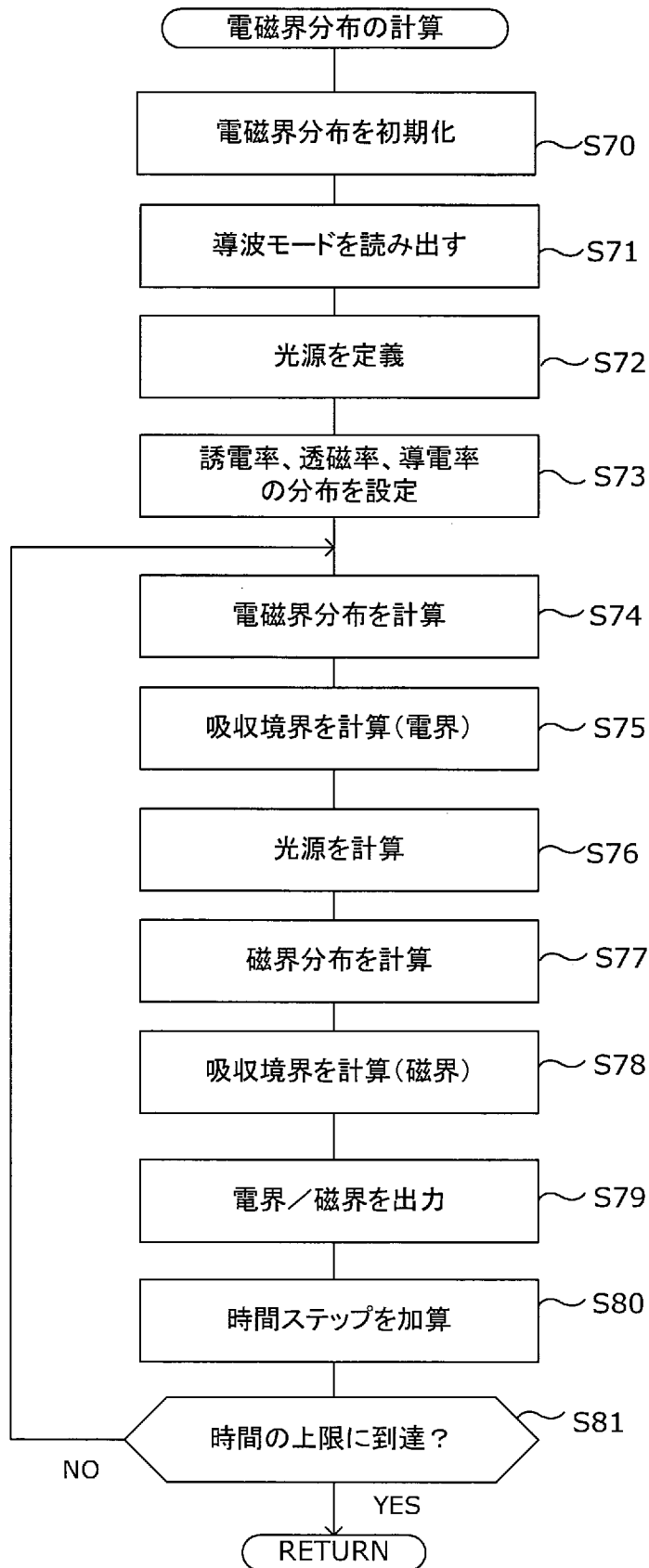
[図6]



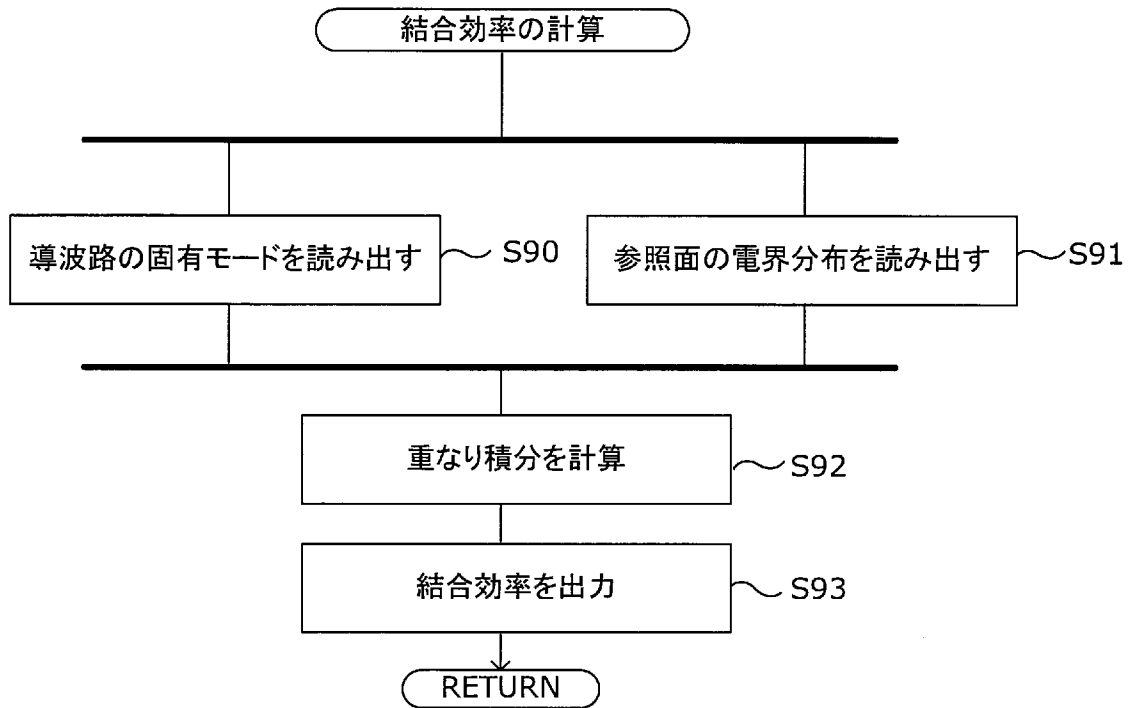
[図7]



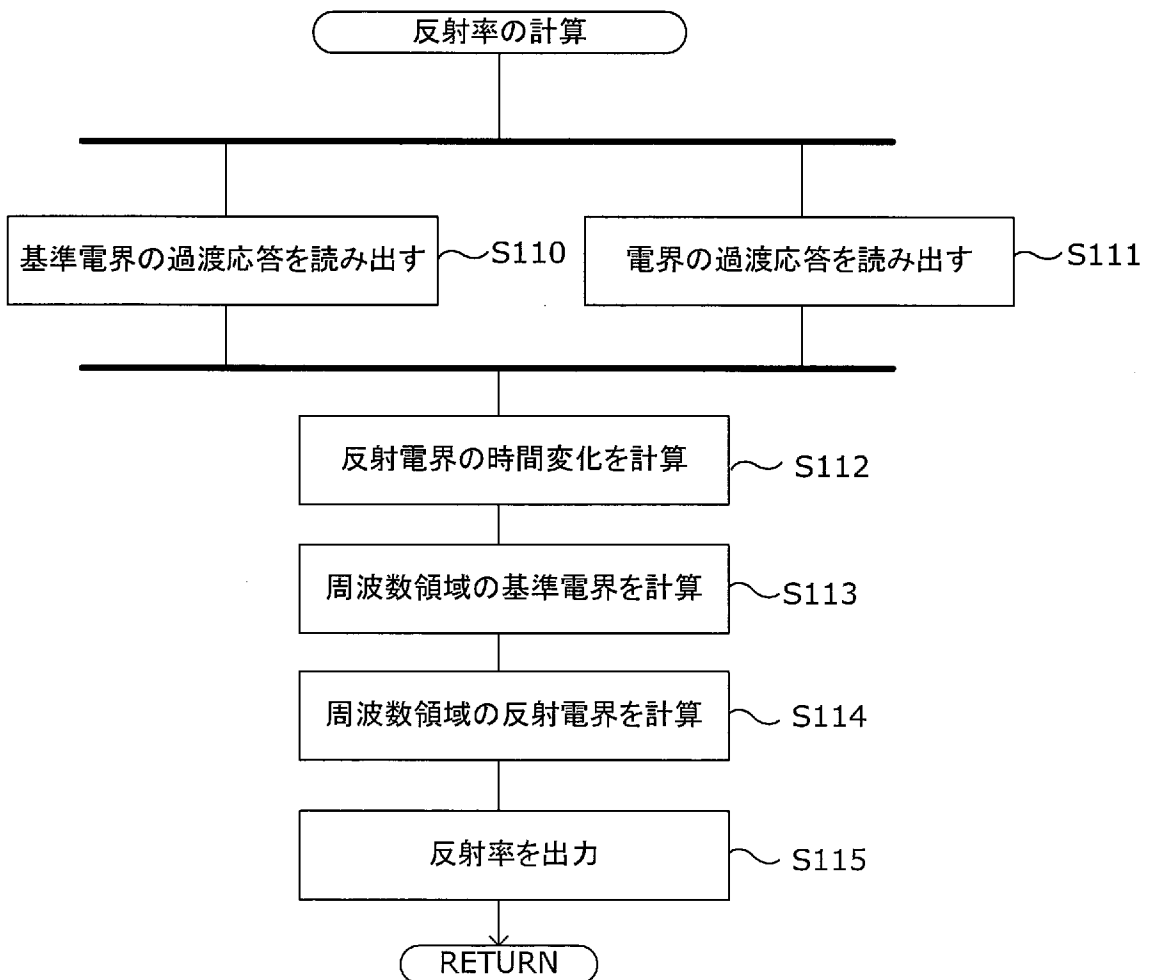
[図8]



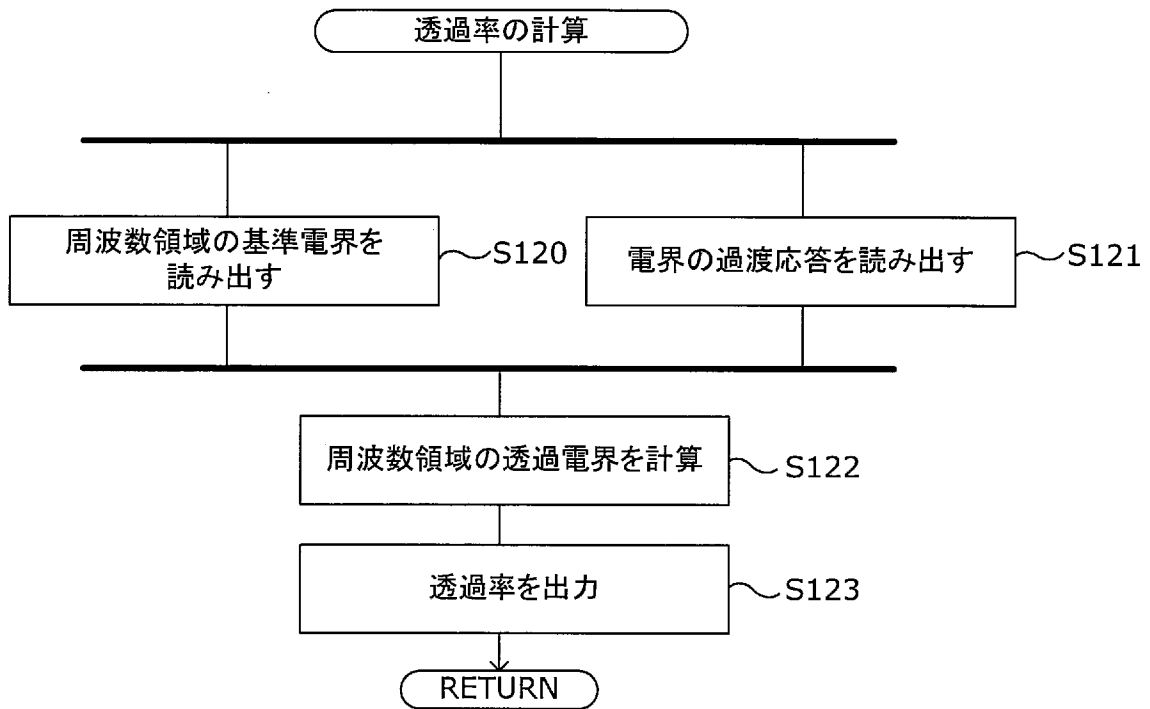
[図9]



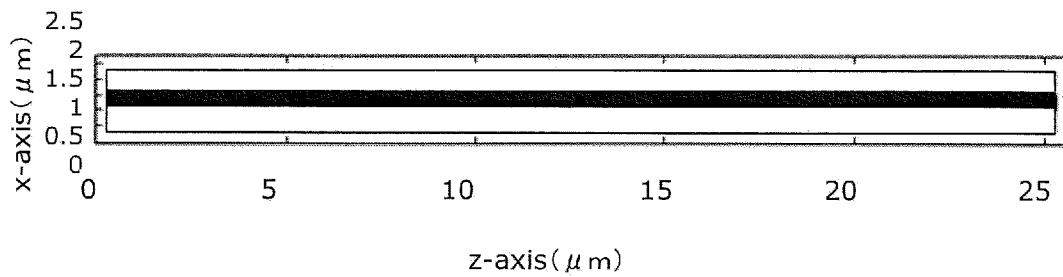
[図10]



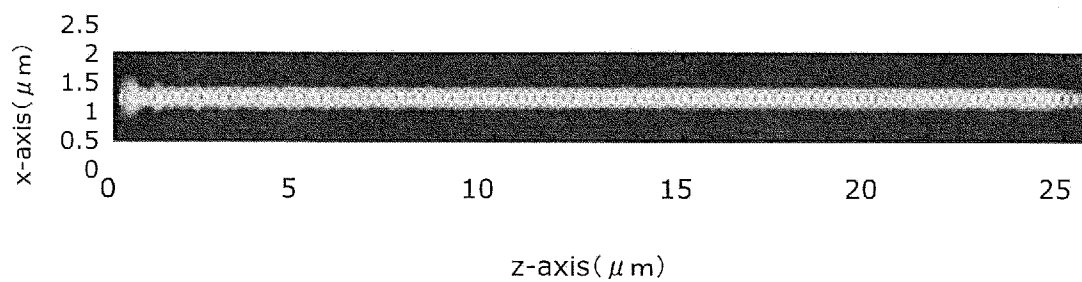
[図11]



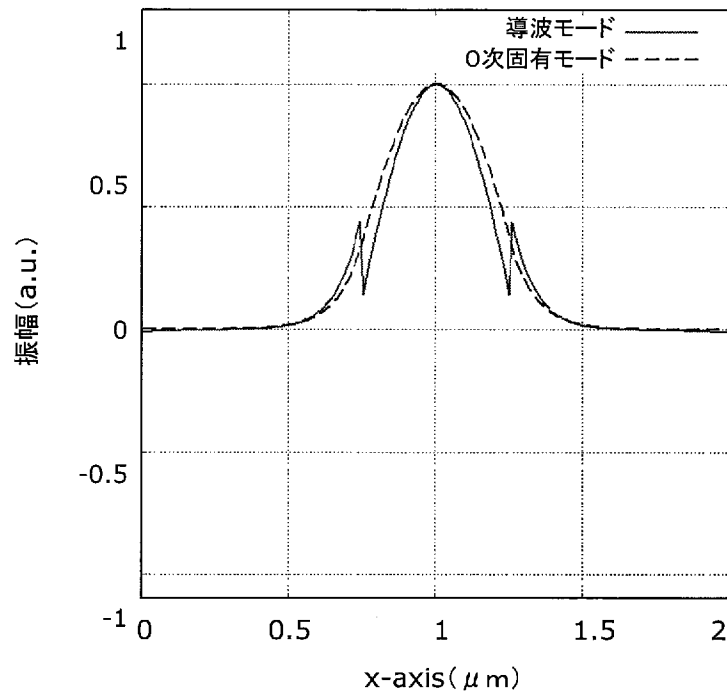
[図12A]



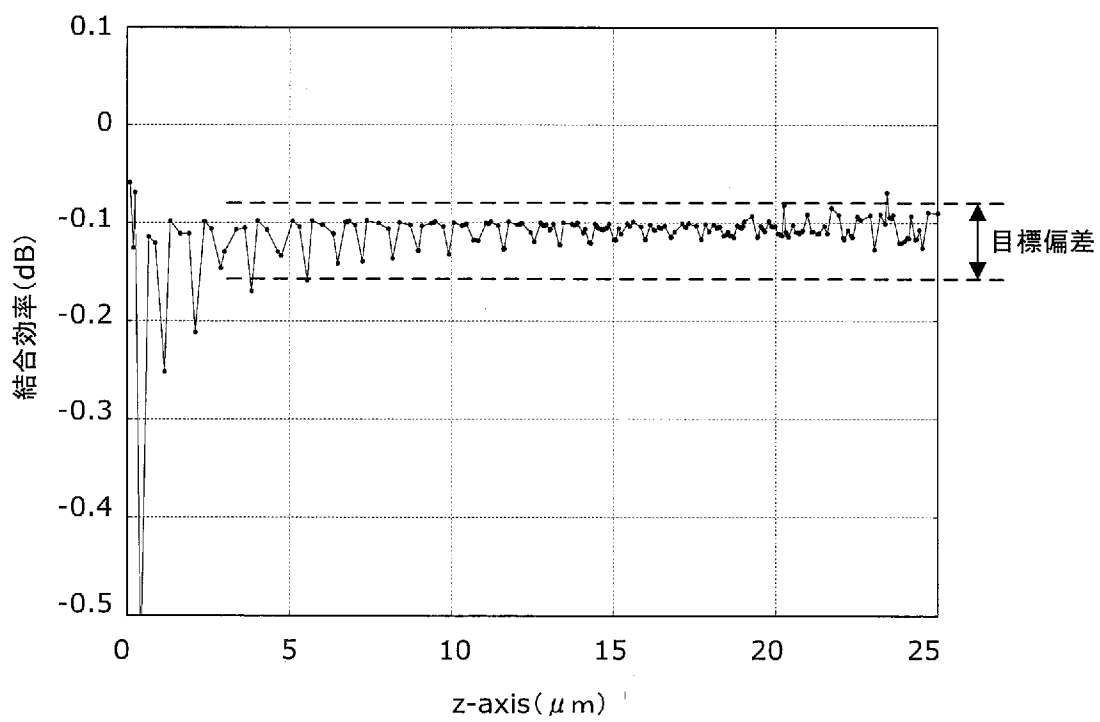
[図12B]



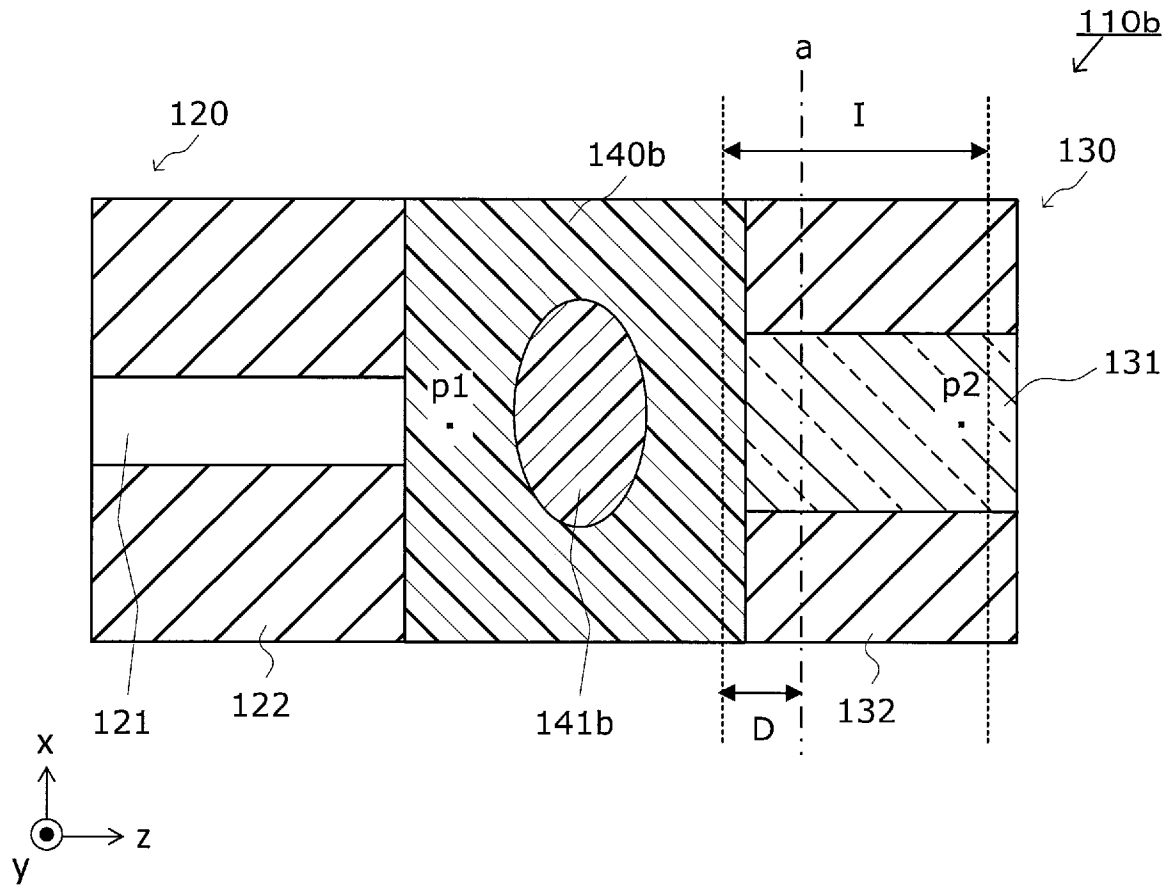
[図13]



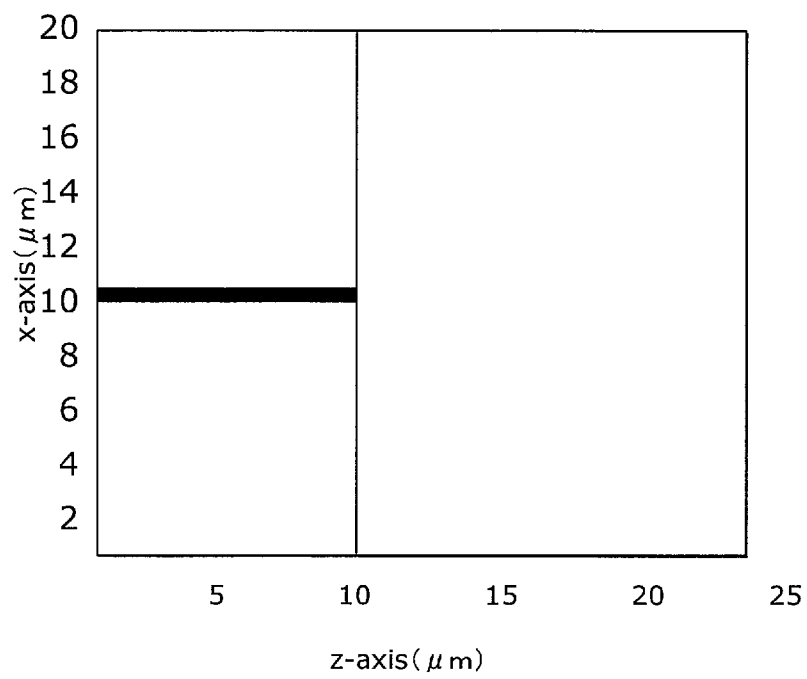
[図14]



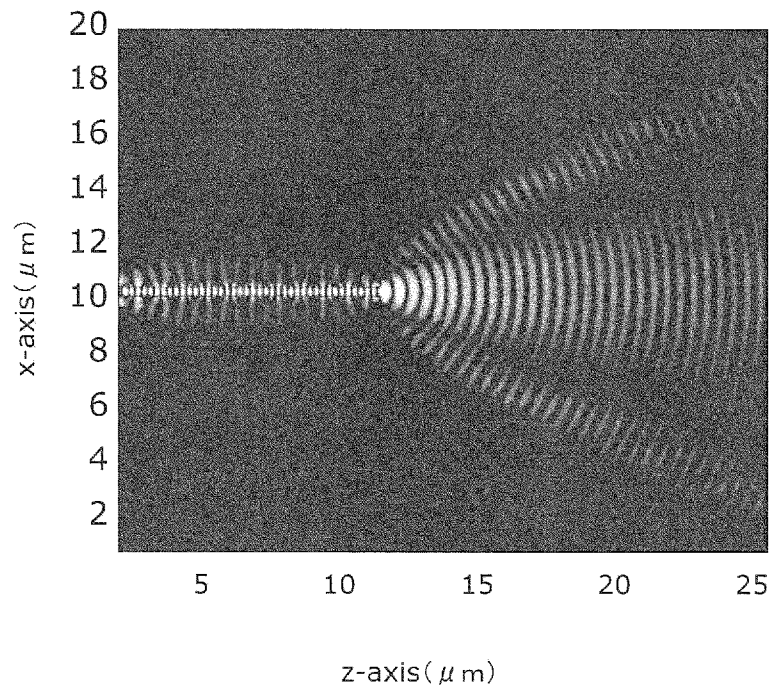
[図15]



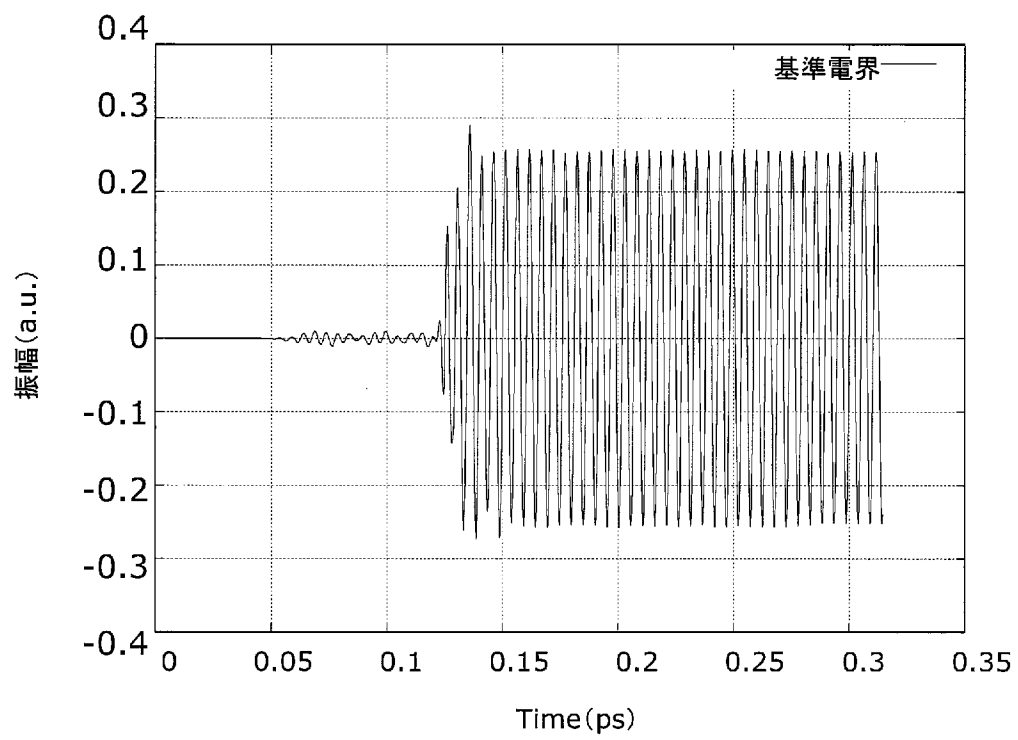
[図16A]



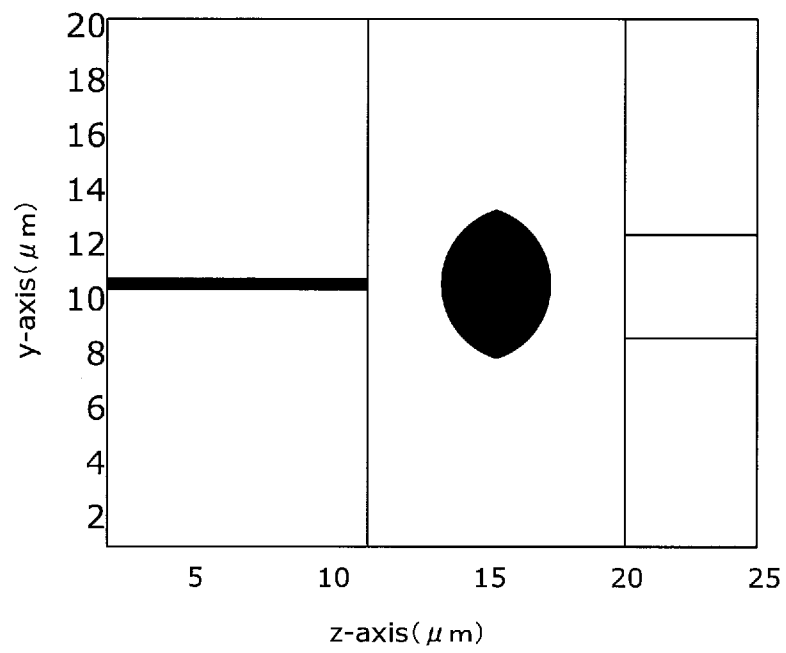
[図16B]



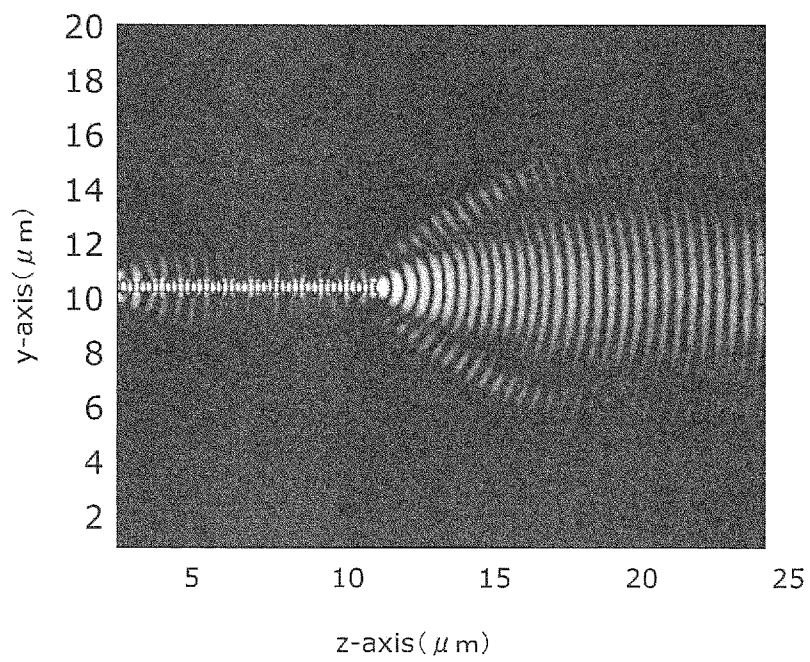
[図17]



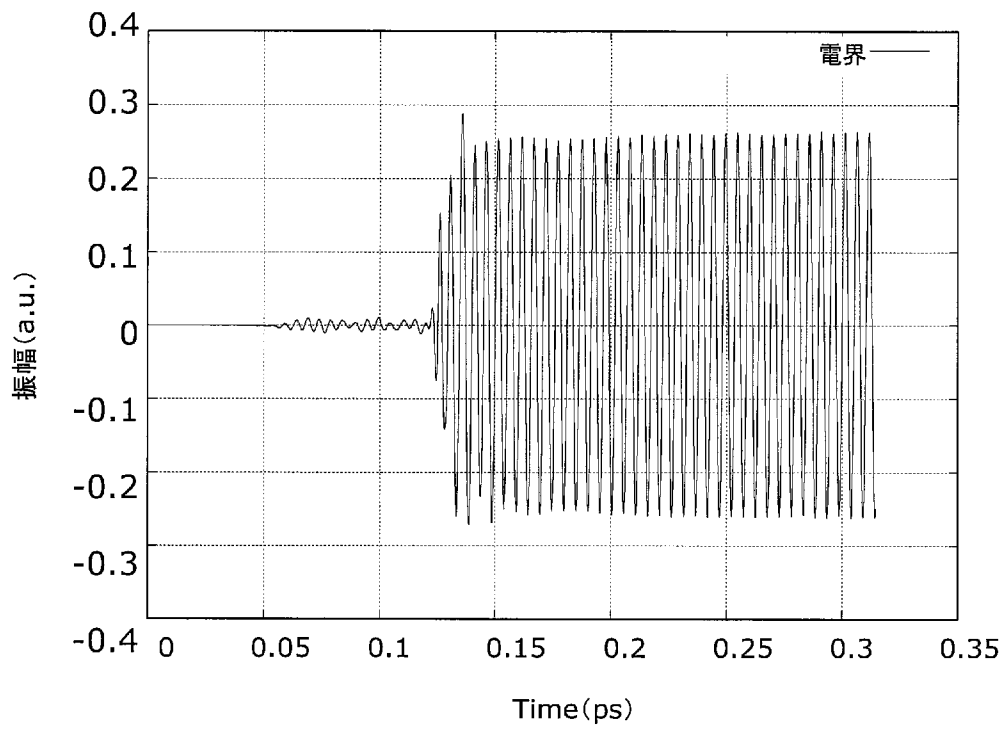
[図18A]



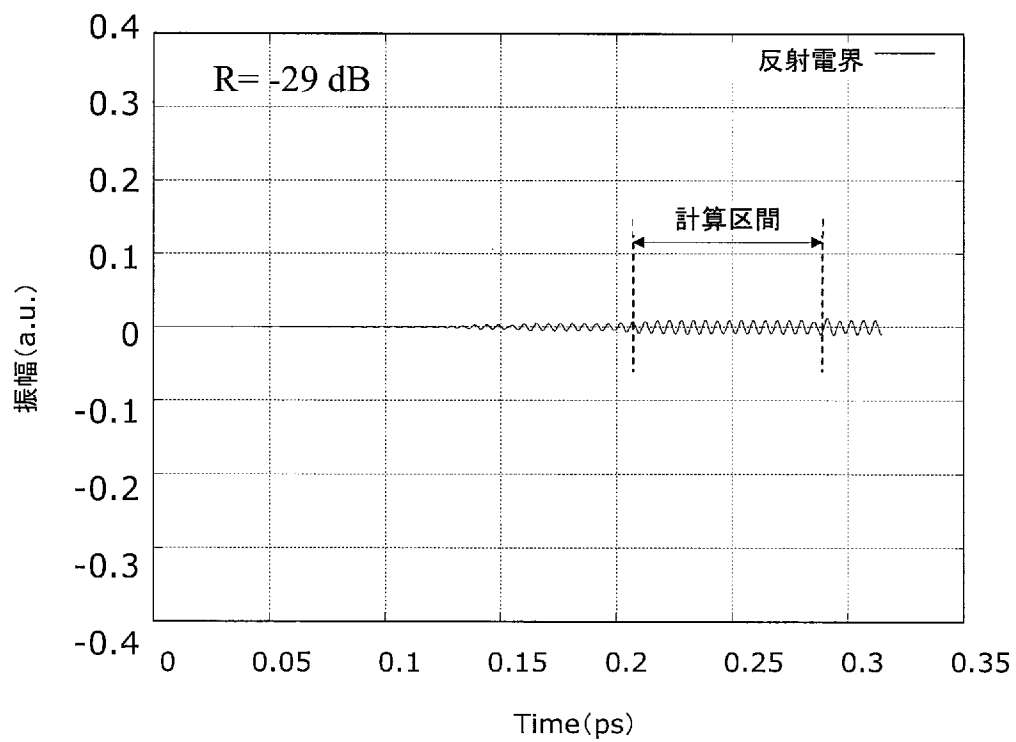
[図18B]



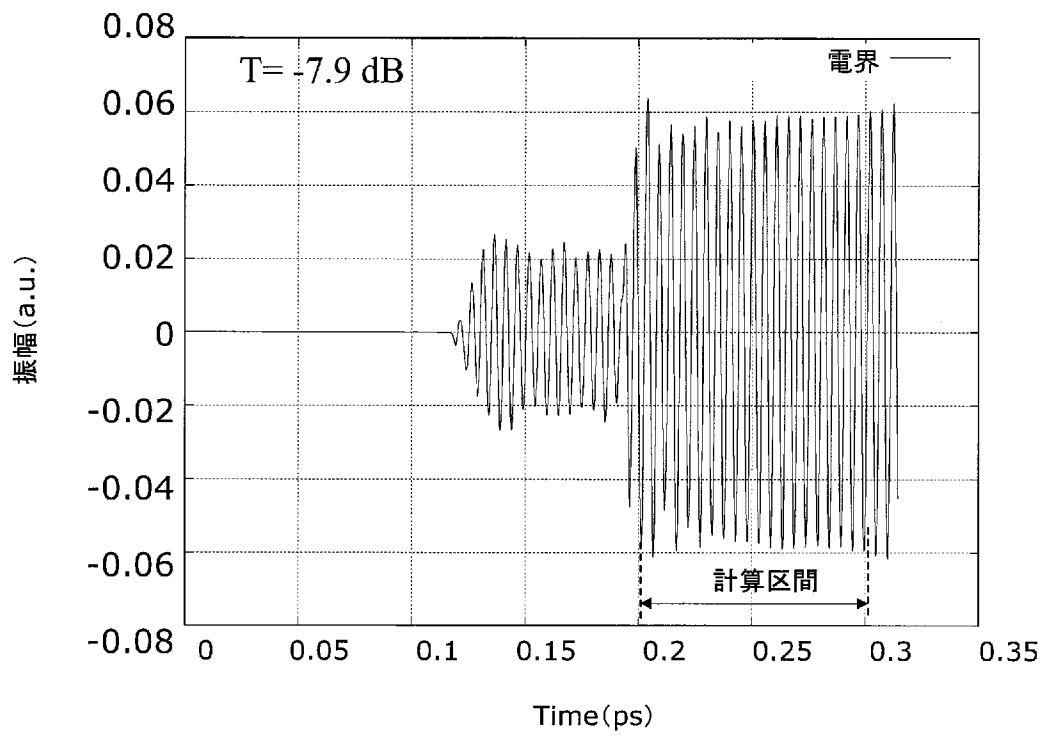
[図19]



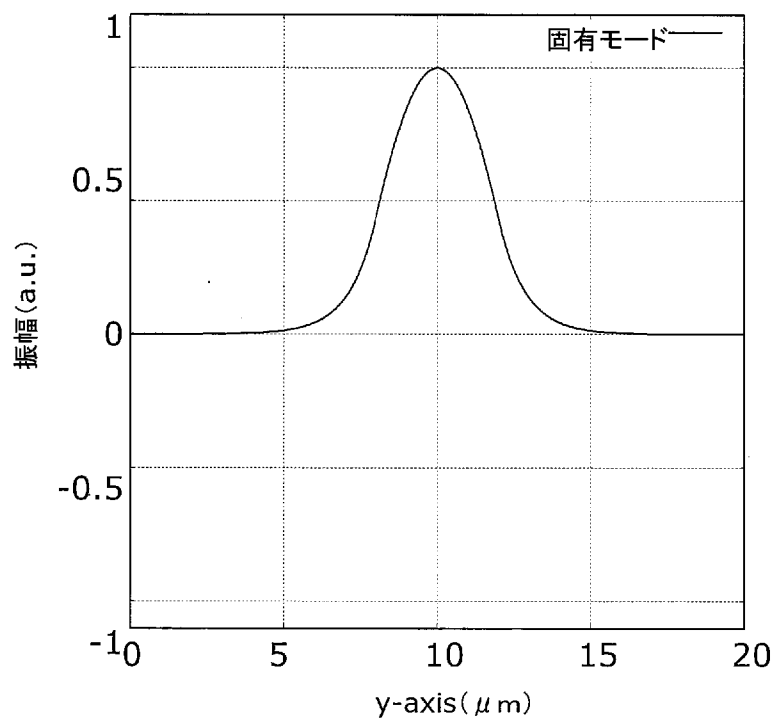
[図20]



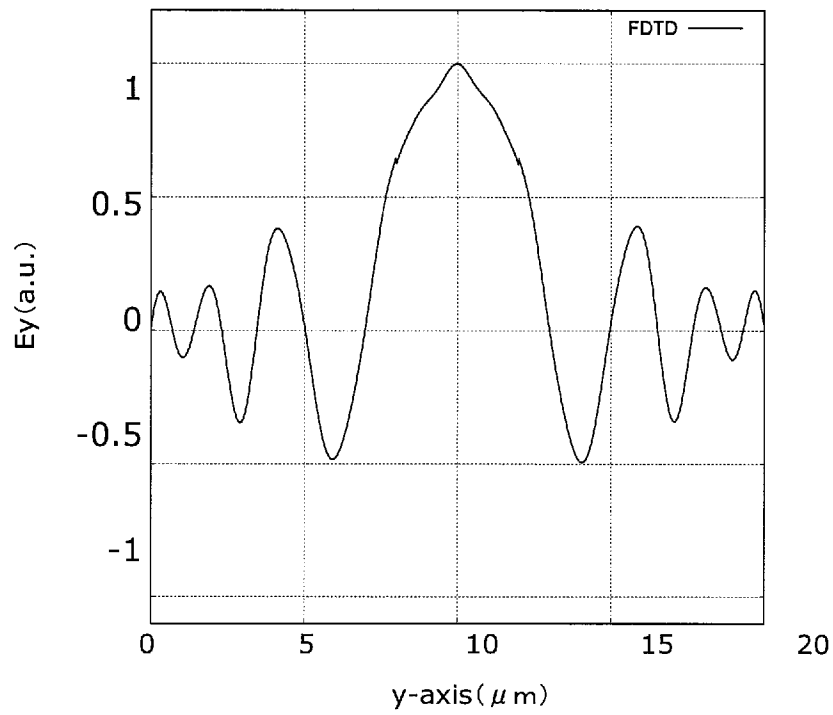
[図21]



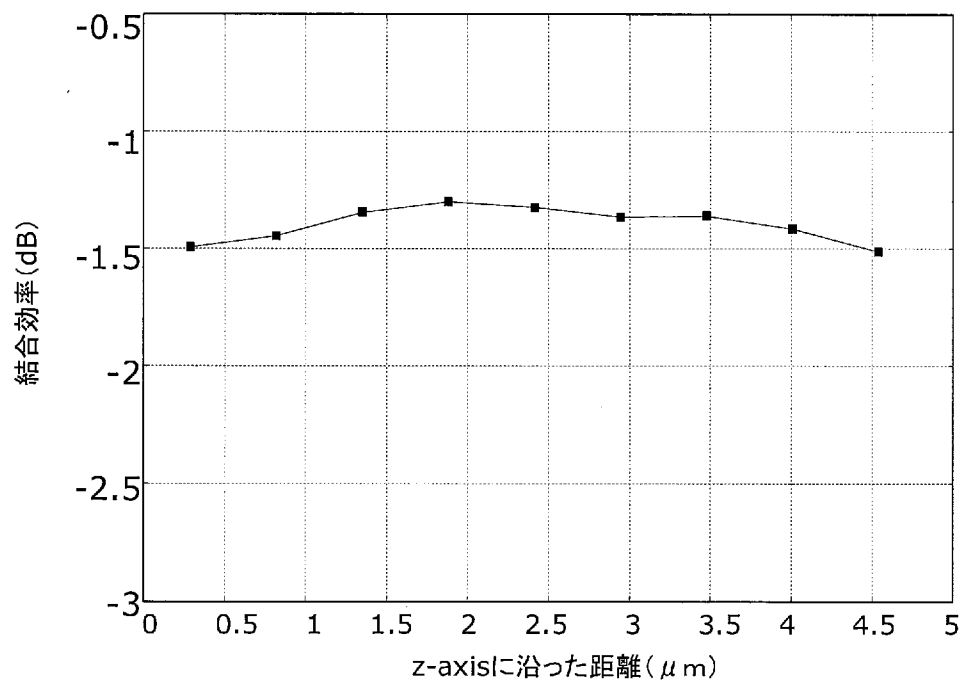
[図22]



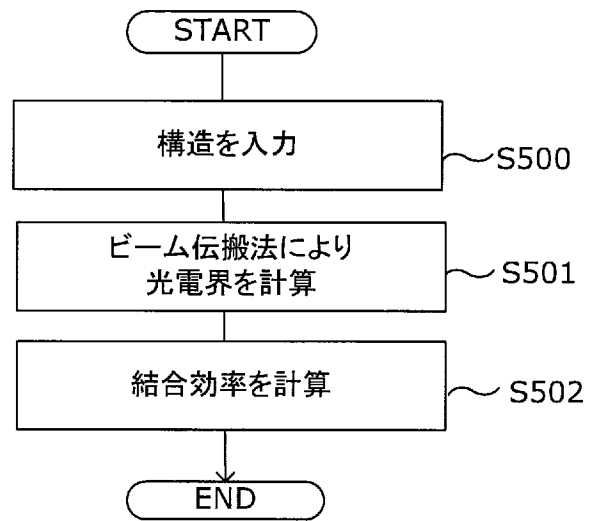
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/004858

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01M11/02 (2006.01) i
FI: G01M11/02 J, G01M11/02 N

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)

Int. Cl. G01M11/00-11/08, G02B6/10-6/43, G02B6/46-6/54

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	SHIRAISHI, K., TSAI C S, A Micro Light-Beam Spot-Size Converter Using a Hemicylindrical GRIN-Slab Tip With High-Index Contrast, JOURNAL OF LICHTWAVE TECHNOLOGY, November 2005, vol. 23, no. 11, pp. 3821-3826, Digital Object Identifier 10.1109/JLT.2005.857741, p. 3822, fig. 2-10	1-8
A	FEND N N, et al., "A Hybrid Time-Domain Technique for Simulation of High-Density Integrated Optical Circuits", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, April 2005, vol. 11, no. 2, pp. 452-456, 452-454, fig. 1-7	1-8
A	JP 2013-7746 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 10 January 2013	1-5



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

"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
19.03.2020

Date of mailing of the international search report
07.04.2020

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/JP2020/004858

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-264556 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 26 September 2001	1-8
A	CN 104166182 A (BEIJING UNIVERSITY) 26 November 2014	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/004858

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2013-7746 A	10.01.2013	US 2012/0330630 A1	
		KR 10-2013-0000966 A	
		TW 201300791 A	
JP 2001-264556 A	26.09.2001	(Family: none)	
CN 104166182 A	26.11.2014	CN 105093410 A	

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 J; 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）） G01M11/00-11/08; G02B6/10-6/43; G02B6/46-6/54		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 (JDreamIII)		
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	SHIRAIISHI K, TSAI C S, A Micro Light-Beam Spot-Size Converter Using a Hemicylindrical GRIN-Slab Tip With High-Index Contrast, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2005.11, Vol.23, No.11, pp.3821-3826, Digital Object Identifier 10.1109/JLT.2005.857741 p.3822, Fig.2-Fig.10	1-8
A	FENG N N, et al., "A Hybrid Time-Domain Technique for Simulation of High-Density Integrated Optical Circuits", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, 2005.04, Vol.11, No.2, pp.452-456 pp.452-454, Fig.1-Fig.7	1-8
A	JP 2013-7746 A (三星電子株式会社) 10.01.2013 (2013-01-10)	1-8
A	JP 2001-264556 A (日本電信電話株式会社) 26.09.2001 (2001-09-26)	1-8
A	CN 104166182 A (北京大学) 26.11.2014 (2014-11-26)	1-8
☐ 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。		
* 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 19.03.2020		国際調査報告の発送日 07.04.2020
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/JP2020/004858

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2013-7746	A	10.01.2013	US	2012/0330630	A1	
				KR	10-2013-0000966	A	
				TW	201300791	A	
JP	2001-264556	A	26.09.2001	(ファミリーなし)			
CN	104166182	A	26.11.2014	CN	105093410	A	