

(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4月4日(04.04.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/070336 A1

(51) 国際特許分類:

G01B 9/02004 (2022.01) G01C 3/06 (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01) G01B 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/030097

(22) 国際出願日: 2023年8月22日(22.08.2023)

(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 2022-154626 2022年9月28日(28.09.2022) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京

都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 Kyoto (JP).

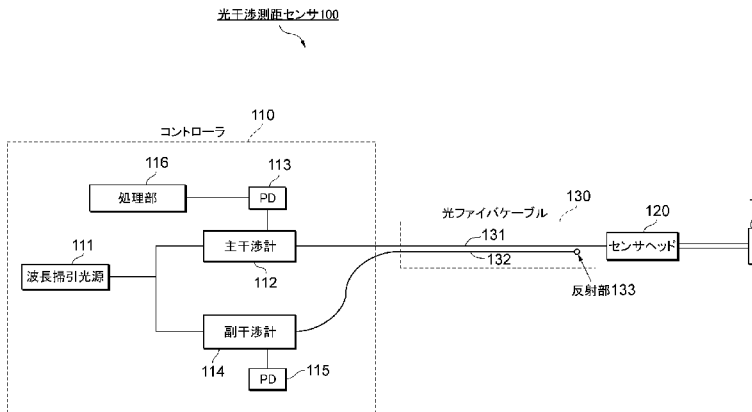
(72) 発明者: 長崎 裕介 (NAGASAKI, Yusuke); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 早川 雅之 (HAYAKAWA, Masayuki); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 木村 和哉 (KIMURA, Kazuya); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 稲葉 良幸, 外 (INABA, Yoshiyuki et al.); 〒1066123 東京都港区六本木6-10-

(54) Title: OPTICAL FIBER CABLE, CONTROLLER CONNECTED TO SAME, AND OPTICAL INTERFEROMETRIC RANGE SENSOR IN WHICH OPTICAL FIBER CABLE AND CONTROLLER ARE USED

(54) 発明の名称: 光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた光干渉測距センサ

【図10】



100 Optical interferometric range sensor
110 Controller
111 Wavelength sweep light source
112 Main interferometer
114 Sub-interferometer
116 Processing unit
120 Sensor head
130 Optical fiber cable
133 Reflection unit

(57) Abstract: Provided are an optical fiber cable, a controller connected to same, and an optical interferometric range sensor in which the optical fiber cable and the controller are used, the optical fiber cable making it possible to connect, to a sub-interferometer, an appropriate second optical fiber in correspondence with a first optical fiber connected to a main interferometer. This optical fiber cable 130 is provided with a first optical fiber 131 that guides light inputted from a main interferometer 112 to a sensor head 120 and outputs light from the sensor head 120 to the main interferometer 112, and a second optical fiber 132 that propagates light inputted from a sub-interferometer 114 and outputs the light to the sub-interferometer 114, the optical path length of the first optical fiber 131 and the optical path length of the second optical fiber 132 being set such that a first optical path length routed via the main interferometer 112 and a second optical

1 六本木ヒルズ森タワー 23階 T M I
総合法律事務所 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, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, 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))

path length routed via the sub-interferometer 114 are substantially identical.

(57) 要約: 主干渉計に接続される第1光ファイバに対応して、適切な第2光ファイバを副干渉計に接続可能な光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた光干渉測距センサを提供する。光ファイバケーブル130は、主干渉計112から入力された光をセンサヘッド120に導くとともに、当該センサヘッド120からの光を当該主干渉計112に出力する第1光ファイバ131と、副干渉計114から入力された光を伝搬させて当該副干渉計114に出力する第2光ファイバ132と、を備え、第1光ファイバ131の光路長及び第2光ファイバ132の光路長は、主干渉計112を経由する第1光路長と、副干渉計114を経由する第2光路長とが略同一となるように設定される。

明 細 書

発明の名称：

光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた
光干渉測距センサ

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた光干渉測距センサに関する。

背景技術

[0002] 近年、非接触で計測対象物までの距離を計測する光測距センサが普及している。例えば、光測距センサとして、波長掃引光源から投光される光から、参照光と測定光とに基づく干渉光を生成し、当該干渉光に基づいて計測対象物までの距離を計測する光干渉測距センサが知られている。

[0003] このような光干渉測距センサでは、干渉計の出力信号に対して波長掃引の非線形を補正する線形化処理が行われる。例えば、特許文献1に記載されている光周波数領域反射測定装置では、遅延時間差を与えて干渉させ補助干渉信号を出力する補助干渉計、及び異なる遅延時間を持つ複数の線形化部を有し、補助干渉信号を用いて測定干渉信号に対して、波長掃引の非線形を補正している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2017-181115号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、波長掃引光源を用いて計測対象物を計測する光干渉測距センサにおいて、センサヘッドに繋がる光ファイバには、様々な長さや種類のものがあり、使用状況に応じてユーザがその長さや種類を選択し、付け替えたり

する場合がある。この場合、特許文献 1 に記載されている光周波数領域反射測定装置では、測定干渉信号を生成する主干渉計での光路長（ユーザによって付け替えられた光ファイバ）に応じて、補助干渉信号を生成する補助干渉計での光路長を調整しなければ、波長掃引の非線形を適切に補正できない。

[0006] すなわち、例えば、ユーザによって主干渉計での光路長が変更された場合、それに応じて補助干渉計での光路長も調整しなければならず、特許文献 1 では、このような状況への対策に関して考慮されていない。

[0007] そこで、本発明は、主干渉計に接続される第 1 光ファイバに対応して、適切な第 2 光ファイバを副干渉計に接続可能な光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた光干渉測距センサ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

[0008] 本発明の一態様に係る光ファイバケーブルは、波長掃引光源を用いて計測対象物を計測するための第 1 干渉信号を生成する主干渉計と、第 1 干渉信号の非線形性を補正するための第 2 干渉信号を生成する副干渉計とを有する光干渉測距センサに用いられる光ファイバケーブルであって、主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光をセンサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該主干渉計に出力する第 1 光ファイバと、副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を伝搬させて当該副干渉計に出力する第 2 光ファイバと、を備え、第 1 光ファイバの光路長及び第 2 光ファイバの光路長は、波長掃引光源から投光されてから主干渉計における受光部で受光されるまでの第 1 光路長と、波長掃引光源から投光されてから副干渉計における受光部で受光されるまでの第 2 光路長とが略同一となるように設定される。

[0009] この態様によれば、主干渉計に接続される第 1 光ファイバと、副干渉計に接続される第 2 光ファイバとを備え、第 1 光ファイバの光路長及び第 2 光ファイバの光路長は、主干渉計を経由する第 1 光路長と副干渉計を経由する第 2 光路長とが略同一となるように設定されているため、主干渉計に接続され

る第1光ファイバに対応して、副干渉計に適切な第2光ファイバを接続することができる。その結果、波長掃引の非線形を適切に補正して、高精度に計測対象物を計測することができる。

[0010] 上記態様において、第2光ファイバには、当該第2光ファイバを伝搬する光を反射させる反射部が構成されてもよい。

[0011] この態様によれば、反射部で反射する光の光路長を具体的に考慮して、第1光ファイバに対応する適切な第2光ファイバを設定することができる。

[0012] 上記態様において、反射部は、当該光ファイバケーブルの内部に配置されてもよい。

[0013] この態様によれば、光ファイバケーブルの内部に反射部が形成されるため、当該反射部は破損し難く適切に保護される。

[0014] 上記態様において、反射部は、当該光ファイバケーブルの外部に配置されてもよい。

[0015] この態様によれば、光ファイバケーブルの外部に反射部が形成されるため、第2光ファイバの光路長を調整し易く、第1光ファイバに対応する適切な第2光ファイバを設定することができる。

[0016] 本発明の一態様に係るコントローラは、計測対象物に光を照射するセンサヘッドに、光ファイバケーブルを介して接続されるコントローラであって、波長を変化させながら光を投光する光源と、光源から投光された光が供給され、センサヘッドにより計測対象物に照射して反射される測定光と、測定光とは少なくとも一部異なる光路を辿る参照光とに基づく第1干渉信号を生成する主干渉計と、光源から投光された光が供給され、異なる光路長の光路を辿る2つの光に基づいて第2干渉信号を生成する副干渉計と、第2干渉信号に基づいて第1干渉信号を補正しつつ、センサヘッドから計測対象物までの距離を算出する処理部と、を備え、光ファイバケーブルは、主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光をセンサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該主干渉計に出力する第1光ファイバと、副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を伝搬させて当

該副干渉計に出力する第2光ファイバと、を備え、第1光ファイバの光路長及び第2光ファイバの光路長は、光源から投光されてから主干渉計における受光部で受光されるまでの第1光路長と、光源から投光されてから副干渉計における受光部で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように設定される。

[0017] この態様によれば、主干渉計に接続される第1光ファイバと、副干渉計に接続される第2光ファイバとを備え、第1光ファイバの第1光路長と、第2光ファイバの第2光路長とが略同一となるように設定されているため、主干渉計に接続される第1光ファイバに対応して、副干渉計に適切な第2光ファイバを接続することができる。その結果、コントローラは、第1光ファイバ及び第2光ファイバを備えた光ファイバケーブルに接続することができ、波長掃引の非線形を適切に補正して、高精度に計測対象物を計測することができる。

[0018] 本発明の一態様に係る光干渉測距センサは、波長掃引光源を用いて計測対象物を計測するコントローラ、及びコントローラと計測対象物に光を照射するセンサヘッドとを接続する光ファイバケーブルを有する光干渉測距センサであって、コントローラは、波長を変化させながら光を投光する光源と、光源から投光された光が供給され、センサヘッドにより計測対象物に照射して反射される測定光と、測定光とは少なくとも一部異なる光路を辿る参照光とに基づく第1干渉信号を生成する主干渉計と、光源から投光された光が供給され、異なる光路長の光路を辿る2つの光に基づいて第2干渉信号を生成する副干渉計と、第2干渉信号に基づいて第1干渉信号を補正しつつ、センサヘッドから計測対象物までの距離を算出する処理部と、を備え、光ファイバケーブルは、主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光をセンサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該主干渉計に出力する第1光ファイバと、副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を伝搬させて当該副干渉計に出力する第2光ファイバと、を備え、第1光ファイバの光路長及び第2光ファイバの光路長は、光源から投光

されてから主干渉計における受光部で受光されるまでの第1光路長と、光源から投光されてから副干渉計における受光部で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように設定される。

[0019] この態様によれば、主干渉計に接続される第1光ファイバと、副干渉計に接続される第2光ファイバとを備え、第1光ファイバの第1光路長と、第2光ファイバの第2光路長とが略同一となるように設定されているため、主干渉計に接続される第1光ファイバに対応して、副干渉計に適切な第2光ファイバを接続することができる。その結果、第1光ファイバ及び第2光ファイバを備えた光ファイバケーブルを用いて、波長掃引の非線形を適切に補正して、高精度に計測対象物を計測する光干渉測距センサを実現することができる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、主干渉計に接続される第1光ファイバに対応して、適切な第2光ファイバを副干渉計に接続可能な光ファイバケーブル、それに接続されるコントローラ及びそれらを用いた光干渉測距センサを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本開示に係る変位センサ10の概要を示す外観模式図である。

[図2]本開示に係る変位センサ10によって計測対象物Tが計測される手順を示すフローチャートである。

[図3]本開示に係る変位センサ10が用いられるセンサシステム1の概要を示す機能ブロック図である。

[図4]本開示に係る変位センサ10が用いられるセンサシステム1によって計測対象物Tが計測される手順を示すフローチャートである。

[図5A]本開示に係る変位センサ10によって計測対象物Tが計測される原理を説明するための図である。

[図5B]本開示に係る変位センサ10によって計測対象物Tが計測される別の原理を説明するための図である。

[図6A]センサヘッド20の概略構成を示す斜視図である。

[図6B]センサヘッド20の内部構造を示す模式図である。

[図7]コントローラ30における信号処理について説明するためのブロック図である。

[図8]コントローラ30における処理部59によって実行される、計測対象物Tまでの距離を算出する方法を示すフローチャートである。

[図9A]波形信号（電圧 v s 時間）がスペクトル（電圧 v s 周波数）に周波数変換される様子を示す図である。

[図9B]スペクトル（電圧 v s 周波数）がスペクトル（電圧 v s 距離）に距離変換される様子を示す図である。

[図9C]スペクトル（電圧 v s 距離）に基づいてピークを検出し、それに対応する距離値が算出される様子を示す図である。

[図10]本発明の一実施形態に係る光干渉測距センサ100の構成概要を示す模式図である。

[図11]光ファイバケーブル130がコントローラ110に着脱可能である様子を示す図である。

[図12]主干渉計112及び副干渉計114の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ101の構成概要図である。

[図13]主干渉計112及び副干渉計114の他の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ101の構成概要図である。

[図14]光ファイバケーブル130における反射部133の具体的な構成を示す模式図である。

[図15]第2光ファイバ132に折り返し部134が形成された光ファイバケーブル130を用いた場合における、主干渉計112及び副干渉計114の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ103の構成概要図である。

[図16]副干渉計114と接続される第2光ファイバを複数備えた光ファイバケーブル130を用いた場合における、主干渉計112及び副干渉計114の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ104の構成概要図である。

。

[図17]多段式の光路が設けられた主干渉計 1 1 2 を用いた場合における、主干渉計 1 1 2 及び副干渉計 1 1 4 の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ 1 0 5 の構成概要図である。

[図18]測定光と参照光とを用いて干渉光を発生させる干渉計のバリエーションを示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の好適な各実施形態について、添付図面を参照しながら具体的に説明する。なお、以下で説明する各実施形態は、あくまで、本発明を実施するための具体的な一例を挙げるものであって、本発明を限定的に解釈させるものではない。また、説明の理解を容易にするため、各図面において同一の構成要素に対しては可能な限り同一の符号を付して、重複する説明は省略する場合がある。

[0023] [変位センサの概要]

先ず、本開示に係る変位センサの概要について説明する。

図 1 は、本開示に係る変位センサ 1 0 の概要を示す外観模式図である。図 1 に示されるように、変位センサ 1 0 は、センサヘッド 2 0 とコントローラ 3 0 とを備え、計測対象物 T の変位（計測対象物 T までの距離）を計測する。

[0024] センサヘッド 2 0 とコントローラ 3 0 とは、光ファイバ 4 0 で接続されており、センサヘッド 2 0 には対物レンズ 2 1 が取り付けられている。また、コントローラ 3 0 は、表示部 3 1 と、設定部 3 2 と、外部インタフェース（I/F）部 3 3 と、光ファイバ接続部 3 4 と、外部記憶部 3 5 とを含み、さらに、内部には、計測処理部 3 6 を有する。

[0025] センサヘッド 2 0 は、コントローラ 3 0 から出力される光を計測対象物 T に照射し、当該計測対象物 T からの反射光を受光する。センサヘッド 2 0 は、コントローラ 3 0 から出力されて光ファイバ 4 0 を介して受光した光を反射させ、上述した計測対象物 T からの反射光と干渉させるための参照面を、

内部に有している。

[0026] なお、センサヘッド20には対物レンズ21が取り付けられているが、当該対物レンズ21は着脱可能な構成となっている。対物レンズ21は、センサヘッド20と計測対象物Tとの距離に応じて、適切な焦点距離を有する対物レンズに交換可能であって、又は可変焦点の対物レンズを適用してもよい。

[0027] さらに、センサヘッド20を設置する際には、ガイド光（可視光）を計測対象物Tに照射して、当該変位センサ10の計測領域内に計測対象物Tが適切に位置するようにセンサヘッド20及び／又は計測対象物Tを設置してもよい。

[0028] 光ファイバ40は、コントローラ30に配置される光ファイバ接続部34に接続されて延伸し、当該コントローラ30とセンサヘッド20とを接続する。これにより、光ファイバ40は、コントローラ30から投光される光をセンサヘッド20に導き、さらに、センサヘッド20からの戻り光をコントローラ30へ導くように構成されている。なお、光ファイバ40は、センサヘッド20及びコントローラ30に着脱可能であって、長さ、太さ及び特性等において種々の光ファイバを適用することができる。

[0029] 表示部31は、例えば、液晶ディスプレイ又は有機ELディスプレイ等で構成される。表示部31には、変位センサ10の設定値、センサヘッド20からの戻り光の受光量、及び変位センサ10によって計測された計測対象物Tの変位（計測対象物Tまでの距離）等の計測結果が表示される。

[0030] 設定部32は、例えば、機械式ボタンやタッチパネル等をユーザが操作することによって、計測対象物Tを計測するために必要な設定が行われる。これらの必要な設定の全部又は一部は、予め設定されていてもよいし、外部I／F部33に接続された外部接続機器（図示せず）から設定されてもよい。また、外部接続機器は、ネットワークを介して有線又は無線で接続されていてもよい。

[0031] ここで、外部I／F部33は、例えば、Ethernet（登録商標）、

R S 2 3 2 C、及びアナログ出力等で構成される。外部 I / F 部 3 3 には、他の接続機器に接続されて当該外部接続機器から必要な設定が行われたり、変位センサ 1 0 によって計測された計測結果等を外部接続機器に出力したりしてもよい。

[0032] また、コントローラ 3 0 が外部記憶部 3 5 に記憶されたデータを取り込むことにより、計測対象物 T を計測するために必要な設定が行われてもよい。外部記憶部 3 5 は、例えば、U S B (U n i v e r s a l S e r i a l B u s) メモリ等の補助記憶装置であって、計測対象物 T を計測するために必要な設定等が予め記憶されている。

[0033] コントローラ 3 0 における計測処理部 3 6 は、例えば、連続的に波長を変化させながら光を投光する波長掃引光源、センサヘッド 2 0 からの戻り光を受光して電気信号に変換する受光素子、及び電気信号を処理する信号処理回路等を含む。計測処理部 3 6 では、センサヘッド 2 0 からの戻り光に基づいて、最終的には、計測対象物 T の変位（計測対象物 T までの距離）が算出されるように制御部及び記憶部等を用いて様々な処理がなされている。これらの処理についての詳細は後述する。

[0034] 図 2 は、本開示に係る変位センサ 1 0 によって計測対象物 T が計測される手順を示すフローチャートである。図 2 に示されるように、当該手順は、ステップ S 1 1 ~ S 1 4 を含む。

[0035] ステップ S 1 1 では、センサヘッド 2 0 を設置する。例えば、センサヘッド 2 0 から計測対象物 T にガイド光を照射して、それを参考にして、センサヘッド 2 0 を適切な位置に設置する。

[0036] 具体的には、コントローラ 3 0 における表示部 3 1 に、センサヘッド 2 0 からの戻り光の受光量を表示し、ユーザは、当該受光量を確認しながら、センサヘッド 2 0 の向き及び計測対象物 T との距離（高さ位置）等を調整してもよい。基本的には、センサヘッド 2 0 からの光を計測対象物 T に対して垂直に（より垂直に近い角度で）照射できれば、当該計測対象物 T からの反射光の光量が大きく、センサヘッド 2 0 からの戻り光の受光量も大きくなる。

- [0037] また、センサヘッド20と計測対象物Tとの距離に応じて、適切な焦点距離を有する対物レンズ21に交換してもよい。
- [0038] さらに、計測対象物Tを計測するに際して適切な設定ができない場合（例えば、計測に必要な受光量を得られない、又は対物レンズ21の焦点距離が不適切である等）には、エラー又は設定未完了等を、表示部31に表示したり、外部接続機器に出力したりして、ユーザに通知するようにしてもよい。
- [0039] ステップS12では、計測対象物Tを計測するに際して種々の計測条件を設定する。例えば、センサヘッド20が有する固有の校正データ（線形性を補正する関数等）を、ユーザがコントローラ30における設定部32を操作することによって設定する。
- [0040] また、各種パラメータを設定してもよい。例えば、サンプリング時間、計測範囲、及び計測結果を正常とするか異常とするかの閾値等が設定される。さらに、計測対象物Tの反射率及び材質等の計測対象物Tの特性に応じて測定周期が設定され、及び計測対象物Tの材質に応じた測定モード等が設定されるようにしてもよい。
- [0041] なお、これらの計測条件及び各種パラメータの設定は、コントローラ30における設定部32を操作することによって設定されるが、外部接続機器から設定されてもよいし、外部記憶部35からデータを取り込むことによって設定されてもよい。
- [0042] ステップS13では、ステップS11で設置されたセンサヘッド20で、ステップS12で設定された計測条件及び各種パラメータに従って、計測対象物Tを計測する。
- [0043] 具体的には、コントローラ30の計測処理部36において、波長掃引光源から光が投光され、センサヘッド20からの戻り光を受光素子で受光し、信号処理回路によって周波数解析、距離変換及びピーク検出等がなされて、計測対象物Tの変位（計測対象物Tまでの距離）が算出される。具体的な計測処理についての詳細は、後述する。
- [0044] ステップS14では、ステップS13で計測された計測結果を出力する。

例えば、ステップS 1 3で計測された計測対象物Tの変位（計測対象物Tまでの距離）等を、コントローラ30における表示部31に表示したり、外部接続機器に出力したりする。

[0045] また、ステップS 1 3で計測された計測対象物Tの変位（計測対象物Tまでの距離）が、ステップS 1 2で設定された閾値に基づいて、正常の範囲内であるか異常かについても計測結果として表示又は出力されてもよい。さらに、ステップS 1 2で設定された計測条件、各種パラメータ及び測定モード等も共に表示又は出力されてもよい。

[0046] [変位センサを含むシステムの概要]

図3は、本開示に係る変位センサ10が用いられるセンサシステム1の概要を示す機能ブロック図である。図3に示されるように、センサシステム1は、変位センサ10と、制御機器11と、制御信号入力用センサ12と、外部接続機器13とを備える。なお、変位センサ10は、制御機器11及び外部接続機器13とは、例えば、通信ケーブル又は外部接続コード（例えば、外部入力線、外部出力線及び電源線等を含む）で接続され、制御機器11と制御信号入力用センサ12とは信号線で接続される。

[0047] 変位センサ10は、図1及び図2を用いて説明したように、計測対象物Tの変位（計測対象物Tまでの距離）を計測する。そして、変位センサ10は、その計測結果等を制御機器11及び外部接続機器13に出力してもよい。

[0048] 制御機器11は、例えば、PLC（Programmable Logic Controller）であって、変位センサ10が計測対象物Tを計測するに際して、当該変位センサ10に対して各種の指示を与える。

[0049] 例えば、制御機器11は、制御機器11に接続された制御信号入力用センサ12からの入力信号に基づいて、測定タイミング信号を変位センサ10に出力してもよいし、ゼロリセット命令信号（現在の計測値を0に設定するための信号）等を変位センサ10に出力してもよい。

[0050] 制御信号入力用センサ12は、変位センサ10が計測対象物Tを計測するタイミングを指示するオン／オフ信号を、制御機器11に出力する。例えば

、制御信号入力用センサ１２は、計測対象物Ｔが移動する生産ラインの近傍に設置され、計測対象物Ｔが所定の位置に移動してきたことを検知して、制御機器１１にオン／オフ信号を出力すればよい。

[0051] 外部接続機器１３は、例えば、ＰＣ（Personal Computer）であって、ユーザが操作することによって、変位センサ１０に対して様々な設定を行うことができる。

[0052] 具体例としては、測定モード、動作モード、測定周期、及び計測対象物Ｔの材質等が設定される。

[0053] 測定モードの設定として、制御機器１１内部で周期的に計測開始する「内部同期計測モード」、又は制御機器１１外部からの入力信号に応じて計測開始する「外部同期計測モード」等が選択される。

[0054] 動作モードの設定として、実際に計測対象物Ｔを計測する「運転モード」、又は計測対象物Ｔを計測するための計測条件を設定する「調整モード」等が選択される。

[0055] 測定周期は、計測対象物Ｔを測定する周期であり、計測対象物Ｔの反射率に応じて設定すればよいが、仮に、計測対象物Ｔの反射率が低い場合であっても、測定周期を長くして適切に測定周期を設定すれば、計測対象物Ｔを適切に測定することができる。

[0056] 計測対象物Ｔについて、反射光の成分として拡散反射が比較的多い場合に適した「粗面モード」、反射光の成分として鏡面反射が比較的多い場合に適した「鏡面モード」、又はこれらの中間的な「標準モード」等が選択される。

[0057] このように、計測対象物Ｔの反射率及び材質に応じて、適切な設定を行うことによって、より高精度に計測対象物Ｔを計測することができる。

[0058] 図４は、本開示に係る変位センサ１０が用いられるセンサシステム１によって計測対象物Ｔが計測される手順を示すフローチャートである。図４に示されるように、当該手順は、上述した外部同期計測モードの場合の手順であって、ステップＳ２１～Ｓ２４を含む。

- [0059] ステップS 2 1では、センサシステム1は、計測される対象である計測対象物Tを検知する。具体的には、制御信号入力用センサ12は、生産ライン上において、計測対象物Tが所定の位置に移動してきたことを検知する。
- [0060] ステップS 2 2では、センサシステム1は、ステップS 2 1で検知された計測対象物Tを変位センサ10によって計測するように計測指示する。具体的には、制御信号入力用センサ12は、制御機器11にオン／オフ信号を出力することにより、ステップS 2 1で検知された計測対象物Tを測定するタイミングを指示し、制御機器11は、当該オン／オフ信号に基づいて、変位センサ10に測定タイミング信号を出力して、計測対象物Tを計測するように計測指示する。
- [0061] ステップS 2 3では、変位センサ10によって計測対象物Tが計測される。具体的には、変位センサ10は、ステップS 2 2で受け取った計測指示に基づいて、計測対象物Tを計測する。
- [0062] ステップS 2 4では、センサシステム1は、ステップS 2 3で計測された計測結果を出力する。具体的には、変位センサ10は、計測処理の結果を、表示部31に表示したり、外部I／F部33を経由して制御機器11又は外部接続機器13等へ出力したりする。
- [0063] なお、ここでは、図4を用いて、制御信号入力用センサ12によって計測対象物Tが検知されることにより計測対象物Tを計測する外部同期計測モードの場合についての手順を説明したが、これに限定されるものではない。例えば、内部同期計測モードの場合は、ステップS 2 1及びS 2 2に代わって、予め設定された周期に基づいて測定タイミング信号が生成されることにより、計測対象物Tを計測するように変位センサ10に指示する。
- [0064] 次に、本開示に係る変位センサ10によって計測対象物Tが計測される原理を説明する。

図5Aは、本開示に係る変位センサ10によって計測対象物Tが計測される原理を説明するための図である。図5Aに示されるように、変位センサ10は、センサヘッド20及びコントローラ30を備える。センサヘッド20

は、対物レンズ21と、複数のコリメートレンズ22a~22cとを含み、コントローラ30は、波長掃引光源51と、光増幅器52と、複数のアイソレータ53及び53a~53bと、複数の光カプラ54及び54a~54eと、減衰器55と、複数の受光素子（例えば、フォトディテクタ（PD））56a~56cと、複数の増幅回路57a~57cと、複数のアナログデジタル（AD）変換部（例えば、アナログデジタルコンバータ）58a~58cと、処理部（例えば、プロセッサ）59と、バランスディテクタ60と、補正信号生成部61とを含む。

[0065] 波長掃引光源51は、波長を掃引したレーザ光を投光する。波長掃引光源51としては、例えば、VCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting Laser）を電流で変調する方式を適用すれば、共振器長が短いためにモードホップを起こしにくく、波長を変化させることが容易であり、低コストで実現することができる。

[0066] 光増幅器52は、波長掃引光源51から投光される光を増幅する。光増幅器52は、例えば、EDFA（erbium-doped fiber amplifier）を適用し、例えば、1550nm専用の光増幅器であってもよい。

[0067] アイソレータ53は、入射した光を一方向に透過させる光学素子であって、戻り光によって発生するノイズの影響を防ぐために、波長掃引光源51の直後に配置されてもよい。

[0068] このように、波長掃引光源51から投光された光は、光増幅器52によって増幅され、アイソレータ53を介して、光カプラ54によって主干渉計と副干渉計とに分岐される。例えば、光カプラ54では、主干渉計と副干渉計とに分岐する光の割合は、主干渉計側に90%以上分岐させるようにしてもよい。

[0069] 主干渉計に分岐された光は、さらに、1段目の光カプラ54aによって、センサヘッド20の方向と2段目の光カプラ54bの方向とに分岐される。

[0070] 1段目の光カプラ54aによってセンサヘッド20の方向に分岐された光

は、センサヘッド20において、光ファイバの先端からコリメートレンズ22a及び対物レンズ21を通過して計測対象物Tに照射される。そして、当該光ファイバの先端（端面）が参照面となり、当該参照面で反射した光と、計測対象物Tで反射した光とが干渉し、干渉光が生成されて、1段目の光カプラ54aに戻り、その後、受光素子56aで受光されて電気信号に変換される。

[0071] 1段目の光カプラ54aによって2段目の光カプラ54bの方向に分岐された光は、アイソレータ53aを介して2段目の光カプラ54bに向かい、当該2段目の光カプラ54bによって、さらにセンサヘッド20の方向と3段目の光カプラ54cの方向とに分岐される。光カプラ54bからセンサヘッド20の方向に分岐された光は、1段目と同様に、センサヘッド20において、光ファイバの先端からコリメートレンズ22b及び対物レンズ21を通過して計測対象物Tに照射される。そして、当該光ファイバの先端（端面）が参照面となり、当該参照面で反射した光と、計測対象物Tで反射した光とが干渉し、干渉光が生成されて、2段目の光カプラ54bに戻り、当該光カプラ54bによってアイソレータ53a及び受光素子56bそれぞれの方向へ分岐される。光カプラ54bから受光素子56bの方向へ分岐された光は、受光素子56bで受光されて電気信号に変換される。一方、アイソレータ53aは、前段の光カプラ54aから後段の光カプラ54bへ光を透過し、後段の光カプラ54bから前段の光カプラ54aへの光を遮断するため、光カプラ54bからアイソレータ53aの方向へ分岐された光は、遮断される。

[0072] 2段目の光カプラ54bによって3段目の光カプラ54cの方向に分岐された光は、アイソレータ53bを介して3段目の光カプラ54cに向かい、当該3段目の光カプラ54cによって、さらにセンサヘッド20の方向と減衰器55の方向とに分岐される。光カプラ54cからセンサヘッド20の方向に分岐された光は、1段目及び2段目と同様に、センサヘッド20において、光ファイバの先端からコリメートレンズ22c及び対物レンズ21を通

過して計測対象物 T に照射される。そして、当該光ファイバの先端（端面）が参照面となり、当該参照面で反射した光と、計測対象物 T で反射した光とが干渉し、干渉光が生成されて、3 段目の光カプラ 5 4 c に戻り、当該光カプラ 5 4 c によってアイソレータ 5 3 b 及び受光素子 5 6 c それぞれの方向へ分岐される。光カプラ 5 4 c から受光素子 5 6 c の方向へ分岐された光は、受光素子 5 6 c で受光されて電気信号に変換される。一方、アイソレータ 5 3 b は、前段の光カプラ 5 4 b から後段の光カプラ 5 4 c へ光を透過し、後段の光カプラ 5 4 c から前段の光カプラ 5 4 b への光を遮断するため、光カプラ 5 4 c からアイソレータ 5 3 b の方向へ分岐された光は、遮断される。

[0073] なお、3 段目の光カプラ 5 4 c によってセンサヘッド 2 0 でない方向に分岐された光は、計測対象物 T の計測に用いられないため、反射して戻ってこないように、例えば、ターミネータ等の減衰器 5 5 によって減衰されるとよい。

[0074] このように、主干渉計では、3 段の光路（3 チャネル）を有し、それぞれセンサヘッド 2 0 の光ファイバの先端（端面）から計測対象物 T までの距離の 2 倍（往復）を光路長差とした干渉計であり、それぞれ光路長差に応じた 3 つの干渉光を生成している。

[0075] 受光素子 5 6 a ～ 5 6 c は、上述したように主干渉計からの干渉光を受光し、当該受光した受光量に応じた電気信号を生成する。

[0076] 増幅回路 5 7 a ～ 5 7 c は、それぞれ受光素子 5 6 a ～ 5 6 c から出力される電気信号を増幅する。

[0077] A/D 変換部 5 8 a ～ 5 8 c は、それぞれ増幅回路 5 7 a ～ 5 7 c によって増幅された電気信号を受信して、当該電気信号に関してアナログ信号からデジタル信号に変換する（A/D 変換）。ここで、A/D 変換部 5 8 a ～ 5 8 c は、副干渉計における補正信号生成部 6 1 からの補正信号に基づいて、A/D 変換する。

[0078] 副干渉計では、波長掃引光源 5 1 の掃引時における波長の非線形性を補正

するために、副干渉計にて干渉信号を取得し、Kクロックと呼ばれる補正信号を生成する。

[0079] 具体的には、光カプラ54によって副干渉計に分岐された光は、光カプラ54dによって、さらに分岐される。ここで、分岐された各光の光路は、例えば、光カプラ54dと光カプラ54eとの間において異なる長さの光ファイバを用いて光路長差を有するように構成されて、当該光路長差に応じた干渉光が光カプラ54eから出力される。そして、バランスディテクタ60は、光カプラ54eからの干渉光を受光し、その逆位相の信号との差分を取ることによってノイズを除去しつつ、光信号を増幅して電気信号に変換する。

[0080] なお、光カプラ54d及び光カプラ54eは、いずれも50:50の割合で光を分岐すればよい。

[0081] 補正信号生成部61は、バランスディテクタ60からの電気信号に基づいて、波長掃引光源51の掃引時における波長の非線形性を把握し、当該非線形に応じたKクロックを生成し、AD変換部58a~58cに出力する。

[0082] 波長掃引光源51の掃引時における波長の非線形性から、主干渉計においてそれぞれAD変換部58a~58cに入力されるアナログ信号の波の間隔は等間隔ではない。AD変換部58a~58cでは、波の間隔が等間隔になるように、上述したKクロックに基づいてサンプリング時間を補正してAD変換（サンプリング）される。

[0083] なお、Kクロックは、上述したように、主干渉計のアナログ信号をサンプリングするために用いられる補正信号であるため、主干渉計のアナログ信号よりも高周波に生成される必要がある。具体的には、副干渉計における光カプラ54dと光カプラ54eとの間で設けられた光路長差を、主干渉計における光ファイバの先端（端面）と計測対象物Tとの間で設けられた光路長差よりも長くしてもよいし、補正信号生成部61で周波数を通倍（例えば、8倍等）して高周波化してもよい。

[0084] 処理部59は、それぞれAD変換部58a~58cによって非線形性が補正されつつAD変換されたデジタル信号を取得し、当該デジタル信号に基づ

いて、計測対象物 T の変位（計測対象物 T までの距離）を算出する。具体的には、処理部 59 では、高速フーリエ変換（FFT: fast Fourier transform）を用いてデジタル信号を周波数変換し、それらを解析することによって距離が算出される。処理部 59 における詳細な処理については後述する。

[0085] なお、処理部 59 では、高速処理が要求されることから、FPGA (field-programmable gate array) 等の集積回路で実現される場合が多い。

[0086] また、ここでは、主干渉計において 3 段の光路を設けて、センサヘッド 20 によってそれぞれの光路から計測対象物 T に対して測定光が照射され、それぞれから得られる干渉光（戻り光）に基づいて、計測対象物 T までの距離等が計測される（マルチチャネル）。主干渉計におけるチャネルは、3 段に限定されるものではなく、1 段又は 2 段であってもよいし、4 段以上であってもよい。

[0087] 図 5 B は、本開示に係る変位センサ 10 によって計測対象物 T が計測される別の原理を説明するための図である。図 5 B に示されるように、変位センサ 10 は、センサヘッド 20 及びコントローラ 30 を備える。センサヘッド 20 は、対物レンズ 21 と、複数のコリメートレンズ 22 a ~ 22 c とを含み、コントローラ 30 は、波長掃引光源 51 と、光増幅器 52 と、複数のアイソレータ 53 及び 53 a ~ 53 b と、複数の光カプラ 54 及び 54 a ~ 54 j と、減衰器 55 と、複数の受光素子（例えば、フォトディテクタ (PD)）56 a ~ 56 c と、複数の増幅回路 57 a ~ 57 c と、複数のアナログデジタル (AD) 変換部（例えば、アナログデジタルコンバータ）58 a ~ 58 c と、処理部（例えば、プロセッサ）59 と、バランスディテクタ 60 と、補正信号生成部 61 とを含む。図 5 B に示された変位センサ 10 は、主に、光カプラ 54 f ~ 54 j を備えている点で、図 5 A に示された変位センサ 10 の構成とは異なり、当該異なる構成による原理について、図 5 A と比較しながら詳しく説明する。

- [0088] 波長掃引光源 5 1 から投光された光は、光増幅器 5 2 によって増幅され、アイソレータ 5 3 を介して、光カプラ 5 4 によって主干渉計側と副干渉計側とに分岐されるが、主干渉計側に分岐された光は、さらに、光カプラ 5 4 f によって測定光と参照光とに分岐される。
- [0089] 測定光は、図 5 A で説明したように、1 段目の光カプラ 5 4 a によってコリメートレンズ 2 2 a 及び対物レンズ 2 1 を通過して計測対象物 T に照射され、当該計測対象物 T で反射する。ここで、図 5 A では、光ファイバの先端（端面）を参照面として、当該参照面で反射した光と計測対象物 T で反射した光とが干渉し、干渉光が生成されていたが、図 5 B では、光が反射する参照面を設けていない。すなわち、図 5 B では、図 5 A のように参照面で反射する光が発生しないため、計測対象物 T で反射された測定光が 1 段目の光カプラ 5 4 a に戻ることとなる。
- [0090] 同様に、1 段目の光カプラ 5 4 a から 2 段目の光カプラ 5 4 b の方向に分岐された光は、当該 2 段目の光カプラ 5 4 b によってコリメートレンズ 2 2 b 及び対物レンズ 2 1 を通過して計測対象物 T に照射され、当該計測対象物 T で反射して 2 段目の光カプラ 5 4 b に戻る。2 段目の光カプラ 5 4 b から 3 段目の光カプラ 5 4 c の方向に分岐された光は、当該 3 段目の光カプラ 5 4 c によってコリメートレンズ 2 2 c 及び対物レンズ 2 1 を通過して計測対象物 T に照射され、当該計測対象物 T で反射して 3 段目の光カプラ 5 4 c に戻る。
- [0091] 一方、光カプラ 5 4 f によって分岐された参照光は、さらに、光カプラ 5 4 g によって光カプラ 5 4 h、5 4 i 及び 5 4 j に分岐される。
- [0092] 光カプラ 5 4 h では、光カプラ 5 4 a から出力される計測対象物 T で反射された測定光と、光カプラ 5 4 g から出力される参照光とが干渉し、干渉光が生成されて、受光素子 5 6 a で受光されて電気信号に変換される。換言すれば、光カプラ 5 4 f によって測定光と参照光とに分岐され、当該測定光の光路（光カプラ 5 4 f から、光カプラ 5 4 a、コリメートレンズ 2 2 a、対物レンズ 2 1 を介して計測対象物 T で反射し、光カプラ 5 4 h まで到達する

光路)と、当該参照光の光路(光カプラ54fから、光カプラ54gを介して光カプラ54hまで到達する光路)との光路長差に応じた干渉光が生成されて、当該干渉光が受光素子56aで受光されて電気信号に変換される。

[0093] 同様に、光カプラ54iでは、測定光の光路(光カプラ54fから、光カプラ54a、54b、コリメートレンズ22b、対物レンズ21を介して計測対象物Tで反射し、光カプラ54iまで到達する光路)と、参照光の光路(光カプラ54fから、光カプラ54gを介して光カプラ54iまで到達する光路)との光路長差に応じた干渉光が生成されて、当該干渉光が受光素子56bで受光されて電気信号に変換される。

[0094] 光カプラ54jでは、測定光の光路(光カプラ54fから、光カプラ54a、54b、54c、コリメートレンズ22c、対物レンズ21を介して計測対象物Tで反射し、光カプラ54jまで到達する光路)と、参照光の光路(光カプラ54fから、光カプラ54gを介して光カプラ54jまで到達する光路)との光路長差に応じた干渉光が生成されて、当該干渉光が受光素子56cで受光されて電気信号に変換される。なお、受光素子56a～56cは、例えば、バランスフォトリセプタであってもよい。

[0095] このように、主干渉計では、3段の光路(3チャンネル)を有し、それぞれ計測対象物Tで反射されて光カプラ54h、54i及び54jに入力される測定光と、光カプラ54f及び54gを介してそれぞれ光カプラ54h、54i及び54jに入力される参照光との光路長差に応じた3つの干渉光を生成している。

[0096] なお、測定光と参照光との光路長差は、3チャンネルにおいてそれぞれ異なるように、例えば、光カプラ54gと、各光カプラ54h、54i及び54jとの光路長を異なるように設定してもよい。

[0097] そして、それぞれから得られる干渉光に基づいて、計測対象物Tまでの距離等が計測される(マルチチャンネル)。

[0098] [センサヘッドの構造]

ここで、変位センサ10に用いられるセンサヘッドの構造について説明す

る。

図 6 A は、センサヘッド 20 の概略構成を示す斜視図であり、図 6 B は、センサヘッドの内部構造を示す模式図である。

[0099] 図 6 A に示されるように、センサヘッド 20 は、レンズホルダ 23 に対物レンズ 21 及びコリメートレンズが格納されている。例えば、レンズホルダ 23 のサイズは、対物レンズ 21 を囲う一辺の長さが 20 mm 程度であり、光軸方向への長さが 40 mm 程度である。

[0100] 図 6 B に示されるように、レンズホルダ 23 には、1 つの対物レンズ 21 及び 3 つのコリメートレンズ 22 a ~ 22 c が格納されている。光ファイバからの光は、光ファイバアレイ 24 を介して 3 つのコリメートレンズ 22 a ~ 22 c に導かれるように構成されており、さらに、3 つのコリメートレンズ 22 a ~ 22 c を通過した光は、対物レンズ 21 を介して計測対象物 T に照射される。

[0101] このように、これらの光ファイバ、コリメートレンズ 22 a ~ 22 c 及び光ファイバアレイ 24 は、対物レンズ 21 とともに、レンズホルダ 23 によって保持されて、センサヘッド 20 を構成している。

[0102] また、センサヘッド 20 を構成するレンズホルダ 23 は、高強度で、また高精度に加工できる金属（例えば、A 2017）で作製されていてもよい。

[0103] 図 7 は、コントローラ 30 における信号処理について説明するためのブロック図である。図 7 に示されるように、コントローラ 30 は、複数の受光素子 71 a ~ 71 e と、複数の増幅回路 72 a ~ 72 c と、複数の A/D 変換部 74 a ~ 74 c と、処理部 75 と、差動増幅回路 76 と、補正信号生成部 77 とを備える。

[0104] コントローラ 30 では、図 5 A で示されたように、波長掃引光源 51 から投光された光を光カプラ 54 によって主干渉計と副干渉計とに分岐し、それぞれより得られる主干渉信号及び副干渉信号を処理することによって、計測対象物 T までの距離値を算出している。

[0105] 複数の受光素子 71 a ~ 71 c は、図 5 A に示された受光素子 56 a ~ 5

6 cに相当し、主干渉計からの主干渉信号をそれぞれ受光して、電流信号としてそれぞれ増幅回路7 2 a～7 2 cに出力する。

[0106] 複数の増幅回路7 2 a～7 2 cは、電流信号を電圧信号に変換（I－V変換）して増幅する。

[0107] 複数のAD変換部7 4 a～7 4 cは、図5 Aに示されたAD変換部5 8 a～5 8 cに相当し、後述する補正信号生成部7 7からのKクロックに基づいて、電圧信号をデジタル信号に変換する（AD変換）。

[0108] 処理部7 5は、図5 Aに示された処理部5 9に相当し、AD変換部7 4 a～7 4 cからのデジタル信号をFFTを用いて周波数に変換し、それらを解析して、計測対象物Tまでの距離値を算出する。

[0109] 複数の受光素子7 1 d～7 1 e及び差動増幅回路7 6は、図5 Aに示されたバランスディテクタ6 0に相当し、副干渉計における干渉光をそれぞれ受光して、一方は位相の反転した干渉信号を出力し、2つの信号の差分を取ることによってノイズを除去しつつ、干渉信号を増幅して電圧信号に変換する。

[0110] 補正信号生成部7 7は、図5 Aに示された補正信号生成部6 1に相当し、電圧信号をコンパレータで2値化し、Kクロックを生成し、AD変換部7 4 a～7 4 cに出力する。Kクロックは、主干渉計のアナログ信号よりも高周波に生成される必要があるため、補正信号生成部7 7で周波数を通倍（例えば、8倍等）して高周波化してもよい。

[0111] 図8は、コントローラ3 0における処理部5 9によって実行される、計測対象物Tまでの距離を算出する方法を示すフローチャートである。図8に示されるように、当該方法は、ステップS 3 1～S 3 4を含む。

[0112] ステップS 3 1では、処理部5 9は、下記FFTを用いて、波形信号（電圧v s時間）をスペクトル（電圧v s周波数）に周波数変換する。図9 Aは、波形信号（電圧v s時間）がスペクトル（電圧v s周波数）に周波数変換される様子を示す図である。

[数1]

$$\sum_{t=0}^{N-1} f(t) \exp \left(-i \frac{2\pi \omega t}{N} \right) = F(\omega)$$

N：データ点数

- [0113] ステップS 3 2では、処理部5 9は、スペクトル（電圧v s 周波数）をスペクトル（電圧v s 距離）に距離変換する。図9 Bは、スペクトル（電圧v s 周波数）がスペクトル（電圧v s 距離）に距離変換される様子を示す図である。
- [0114] ステップS 3 3では、処理部5 9は、スペクトル（電圧v s 距離）に基づいてピークに対応する距離値を算出する。図9 Cは、スペクトル（電圧v s 距離）に基づいてピークを検出し、それに対応する距離値が算出される様子を示す図である。図9 Cに示されるように、ここでは、3チャンネルにおいて、それぞれスペクトル（電圧v s 距離）に基づいてピークが検出され、それぞれピークに対応する距離値が算出される。
- [0115] ステップS 3 4では、処理部5 9は、ステップS 3 3で算出された距離値を平均化する。具体的には、処理部5 9は、ステップS 3 3で3チャンネルにおいてそれぞれスペクトル（電圧v s 距離）に基づいてピークが検出され、それに対応する距離値が算出されているため、それらを平均化して、当該平均化した算出結果を計測対象物Tまでの距離として出力する。
- [0116] なお、ステップS 3 4では、処理部5 9は、ステップS 3 3で算出された距離値を平均化する際に、S N Rが閾値以上である距離値平均化することが好ましい。例えば、3チャンネルのうち、いずれかのチャンネルにおいて、そのスペクトル（電圧v s 距離）に基づいてピークが検出されたものの、S N Rが閾値未満の場合には、当該スペクトルに基づいて算出される距離値は、信頼性が低いと判断し、採用しない。
- [0117] 次に、本開示に関して、より特徴的な構成、機能及び性質を中心に、具体

的な実施形態として詳細に説明する。なお、以下に示される光干渉測距センサは、図１～図９を用いて説明した変位センサ１０に相当し、当該光干渉測距センサに含まれる基本的な構成、機能及び性質の全部又は一部は、図１～図９を用いて説明した変位センサ１０に含まれる構成、機能及び性質と共通している。

[0118] <一実施形態>

[光干渉測距センサの構成]

図１０は、本発明の一実施形態に係る光干渉測距センサ１００の構成概要を示す模式図である。図１０に示されるように、光干渉測距センサ１００は、コントローラ１１０とセンサヘッド１２０とを有し、さらに、これらを接続する光ファイバケーブル１３０を含み、干渉光に基づいて計測対象物Ｔまでの距離を計測する。

[0119] コントローラ１１０は、波長掃引光源１１１と、主干涉計１１２と、第１フォトディテクタ（受光部）１１３と、副干涉計１１４と、第２フォトディテクタ（受光部）１１５と、処理部１１６とを備える。光ファイバケーブル１３０は、複数の光ファイバから構成される光ファイバ群であって、ここでは、第１光ファイバ１３１と第２光ファイバ１３２から構成されており、第２光ファイバ１３２の端部には、反射部１３３が形成されている。

[0120] 波長掃引光源１１１は、連続的に波長を変化させながら光を投光する。すなわち、波長掃引光源１１１から投光される光は、継続して波長が変化している。そして、波長掃引光源１１１から投光された光は、例えば、光カップラ等の光分岐部を介して、主干涉計１１２と副干涉計１１４とに供給される。

[0121] 主干涉計１１２は、光ファイバケーブル１３０の第１光ファイバ１３１に接続されており、波長掃引光源１１１から投光された光を、第１光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２０に供給し、さらに、センサヘッド１２０からの戻り光を第１フォトディテクタ１１３に導く。

[0122] 具体的には、主干涉計１１２から第１光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２０に導かれた光は、測定光として、例えば、センサヘッド１２０に

配置されたコリメートレンズや対物レンズを介して、計測対象物 T に照射される。そして、当該計測対象物 T での反射光がセンサヘッド 120 に戻る。

[0123] また、主干涉計 112 から第 1 光ファイバ 131 を介してセンサヘッド 120 に導かれた光の一部は、参照光として、例えば、第 1 光ファイバ 131 の先端に設けられた参照面で反射される。そして、上述した測定光と当該参照光とが干渉することにより、測定光及び参照光の光路長差に応じた干渉光が生成される（第 1 干渉信号）。

[0124] このように、主干涉計 112 は、波長掃引光源 111 から投光された光が供給され、センサヘッド 120 により計測対象物 T に照射して反射される測定光と、測定光とは少なくとも一部異なる光路を辿る参照光とに基づく第 1 干渉信号を生成する。なお、波長掃引光源 111 から投光された光が供給され、第 1 干渉信号を生成するということから、主干涉計 112 に第 1 光ファイバ 131 及びセンサヘッド 120 を含めて主干涉計と言うこともできる。

[0125] 第 1 フォトディテクタ 113 は、主干涉計 112 によって生成された第 1 干渉信号を受光し、処理部 116 は、後述する第 2 干渉信号に基づいて当該第 1 干渉信号を補正しつつ、計測対象物 T までの距離を算出する。

[0126] 副干涉計 114 は、波長掃引光源 111 から投光された光が供給され、異なる光路長の光路を辿る 2 つの光に基づいて第 2 干渉信号を生成する。例えば、副干涉計 114 は、光カプラ等の光分岐部を備え、波長掃引光源 111 から投光された光を異なる光路長の光路に分岐させ、さらに、それらを合成させて干渉させることにより第 2 干渉信号を生成すればよい。

[0127] そして、副干涉計 114 は、光ファイバケーブル 130 の第 2 光ファイバ 132 に接続されており、第 2 干渉信号を第 2 光ファイバ 132 に伝搬させた後、第 2 フォトディテクタ 115 に導く。具体的には、第 2 干渉信号は、第 2 光ファイバ 132 を伝搬し、反射部 133 で反射され、再び第 2 光ファイバ 132 を介して第 2 フォトディテクタ 115 によって受光される。なお、波長掃引光源 111 から投光された光が供給され、第 2 干渉信号を生成するということから、副干涉計 114 に第 2 光ファイバ 132 及び反射部 13

3を含めて副干渉計と言うこともできる。

[0128] 処理部116は、主干渉計112によって生成されて第1フォトディテクタ113で受光した第1干渉信号を、副干渉計114によって生成されて第2フォトディテクタ115で受光した第2干渉信号に基づいて補正しつつ、計測対象物Tまでの距離を算出する。

[0129] 具体的には、波長掃引光源111の掃引時における波長の非線形性から、第1フォトディテクタ113で受光する第1干渉信号は、アナログ信号の波の間隔は等間隔ではない。このため、当該アナログ信号をAD変換する際に、例えば、補正信号(Kクロック)を用いて、波の間隔が等間隔になるようにリニアライズ補正するとよい。

[0130] ここで、補正信号(Kクロック)は、補正信号生成部(図5A、図5B及び図7等)によって、第2干渉信号に基づいて生成される。第2干渉信号は、掃引時における波長の非線形性から、第1干渉信号と同様に非線形であるため、補正信号生成部は、当該第2干渉信号に基づいて掃引時における波長の非線形性を把握し、第1干渉信号のアナログ信号を適切にAD変換(サンプリング)する補正信号(Kクロック)を生成することができる。

[0131] なお、補正信号生成部において適切な補正信号(Kクロック)を生成するためには、第1フォトディテクタ113で受光する第1干渉信号の非線形性を、補正信号生成部で適切に把握される必要がある。このためには、第1干渉信号と第2干渉信号との特性(非線形性)を整合させておくことが好ましい。

[0132] 具体的には、光ファイバケーブル130において、第1光ファイバ131の光路長及び第2光ファイバ132の光路長を適切に設定する。波長掃引光源111から投光されてから第1干渉信号が第1フォトディテクタ113で受光されるまでの第1光路長と、波長掃引光源111から投光されてから第2フォトディテクタ115で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように、光ファイバケーブル130に配置される第1光ファイバ131及び第2光ファイバ132の長さが設定されるとよい。

[0133] このように、主干涉計 112 を経由する第 1 光路長と副干涉計 114 を経由する第 2 光路長とが略同一となるように、光ファイバケーブル 130 において第 1 光ファイバ 131 及び第 2 光ファイバ 132 が配置されている。このため、例えば、主干涉計 112 に繋がるセンサヘッド 120（光ファイバを含む）を付け替えたり、主干涉計 112 とセンサヘッド 120 とを接続する光ファイバを付け替えたりした場合であっても、副干涉計 114 に接続される光ファイバも適切に付け替えることができる。その結果、波長掃引光源 111 の掃引時における波長の非線形性を適切に補正して、高精度に計測対象物 T を計測することができる。

[0134] [コントローラと光ファイバケーブルとの接続]

図 11 は、光ファイバケーブル 130 がコントローラ 110 に着脱可能である様子を示す図である。図 11 に示されるように、コントローラ 110 側には、第 1 光コネクタ C11 及び第 2 光コネクタ C12 が備えられ、光ファイバケーブル 130 側には、第 1 光コネクタ C31 及び第 2 光コネクタ C32 が備えられている。

[0135] コントローラ 110 側において、第 1 光コネクタ C11 は、主干涉計 112 に接続される光ファイバの端部であり、第 2 光コネクタ C12 は、副干涉計 114 に接続される光ファイバの端部である。

[0136] 光ファイバケーブル 130 側の第 1 光コネクタ C31 は、コントローラ 110 側の第 1 光コネクタ C11 と接続されることによって、主干涉計 112 と第 1 光ファイバ 131 とを接続する。

[0137] 光ファイバケーブル 130 側の第 2 光コネクタ C32 は、コントローラ 110 側の第 2 光コネクタ C12 と接続されることによって、副干涉計 114 と第 2 光ファイバ 132 とを接続する。

[0138] このように、コントローラ 110 側の第 1 光コネクタ C11 及び第 2 光コネクタ C12 と、光ファイバケーブル 130 側の第 1 光コネクタ C31 及び第 2 光コネクタ C32 とによって、容易に、センサヘッド 120 に繋がる光ファイバを付け替えるとともに、副干涉計 114 に接続される光ファイバも

適切に付け替えることができる。

[0139] [主干涉計及び副干涉計の具体的構成]

図12は、主干涉計112及び副干涉計114の具体的な構成を模式的に示す光干涉測距センサ101の構成概要図である。図12に示されるように、主干涉計112は、光カプラ112aを備え、副干涉計114は、第1光カプラ114aと、第2光カプラ114bと、サーキュレータ114cとを備える。

[0140] 主干涉計112では、波長掃引光源111から投光された光が供給され、光カプラ112aを介して光ファイバケーブル130の第1光ファイバ131を伝搬し、センサヘッド120に供給される。そして、センサヘッド120からの戻り光（測定光と参照光との第1干涉信号）は、第1光ファイバ131を伝搬し、光カプラ112aを介して第1フォトディテクタ113に導かれる。なお、光カプラ112aの残りのポートは、コアレスファイバ終端を備えた光ファイバに接続され、又は減衰器に接続されるとよい。

[0141] 副干涉計114では、波長掃引光源111から投光された光が供給され、第1光カプラ114aによって異なる光路長の光路を辿る2つの光に分岐され、その後、第2光カプラ114bによって合成されて、その光路長差に基づく第2干涉信号が生成される。当該第2干涉信号は、サーキュレータ114cを介して光ファイバケーブル130の第2光ファイバ132を伝搬し、反射部133で反射され、再び、第2光ファイバ132を伝搬し、サーキュレータ114cを介して第2フォトディテクタ115に導かれる。

[0142] 図13は、主干涉計112及び副干涉計114の他の具体的な構成を模式的に示す光干涉測距センサ102の構成概要図である。図13に示されるように、主干涉計112は、光カプラ112aを備え、副干涉計114は、第1光カプラ114aと、第2光カプラ114bと、第3光カプラ114dとを備える。

[0143] 図13に示された光干涉測距センサ102は、図12に示された光干涉測距センサ101と比べて、副干涉計114において、サーキュレータ114

cに替えて第3光カプラ114dが配置されている点で異なる。

[0144] 副干渉計114では、波長掃引光源111から投光された光が供給され、第1光カプラ114aによって異なる光路長の光路を辿る2つの光に分岐され、その後、第2光カプラ114bによって合成されて、その光路長差に基づく第2干渉信号が生成される。当該第2干渉信号は、第3光カプラ114dを介して光ファイバケーブル130の第2光ファイバ132を伝搬し、反射部133で反射され、再び、第2光ファイバ132を伝搬し、第3光カプラ114dを介して第2フォトディテクタ115に導かれる。なお、第3光カプラ114dの残りのポートは、コアレスファイバ終端を備えた光ファイバに接続され、又は減衰器に接続されるとよい。

[0145] [光ファイバケーブルにおける反射部の具体的構成]

図14は、光ファイバケーブル130における反射部133の具体的な構成を示す模式図である。図14に示されるように、第2光ファイバ132の端部には、反射部133が形成されているが、当該反射部133を光ファイバケーブル130の内部に形成する(A)非貫通型、又は当該反射部133を光ファイバケーブル130の外部に形成する(B)貫通型とすることができる。

[0146] (A)非貫通型の場合、光ファイバケーブル130の内部に反射部133が形成されるため、当該反射部133は破損し難く適切に保護されるというメリットがある。一方、(B)貫通型の場合、光ファイバケーブル130の外部に反射部133が形成されるため、第1光ファイバ131の光路長に合わせて第2光ファイバ132の光路長を調整し易いというメリットがある。

[0147] なお、第1光ファイバ131は、センサヘッド120に繋がるため、その接続部は、光ファイバケーブル130の外部に形成され、例えば、1%程度の反射コートとして構成されて、伝搬される光の反射を抑制することが好ましい。

[0148] 以上のように、本発明の一実施形態に係る光干渉測距センサ100（光干渉測距センサ101及び102を含む）によれば、光ファイバケーブル13

0は、主干涉計112に接続される第1光ファイバ131と、副干涉計114に接続される第2光ファイバ132とを備え、第1光ファイバ131の光路長及び第2光ファイバ132の光路長は、主干涉計112を経由する第1光路長と副干涉計114を経由する第2光路長とが略同一となるように設定されている。これにより、主干涉計112に接続される第1光ファイバ131に対応して、副干涉計114に適切な第2光ファイバ132を接続することができる。その結果、波長掃引の非線形を適切に補正して、高精度に計測対象物を計測することができる。

[0149] なお、本実施形態では、光ファイバケーブル130において、第2光ファイバ132の端部に反射部133を形成していたが、第2光ファイバ132の構成は、これに限定されるものではなく、例えば、反射部133に替えて折り返し部を形成するようにしてもよい。

[0150] 図15は、第2光ファイバ132に折り返し部134が形成された光ファイバケーブル130を用いた場合における、主干涉計112及び副干涉計114の具体的な構成を模式的に示す光干涉測距センサ103の構成概要図である。図15に示されるように、主干涉計112は、光カプラ112aを備え、副干涉計114は、第1光カプラ114aと、第2光カプラ114bとを備える。

[0151] 図15に示された光干涉測距センサ103は、図12に示された光干涉測距センサ101及び図13に示された光干涉測距センサ102と比べて、副干涉計114において、サーキュレータ114c及び第3光カプラ114dが配置されていない点で異なっている。

[0152] 副干涉計114では、波長掃引光源111から投光された光が供給され、第1光カプラ114aによって異なる光路長の光路を辿る2つの光に分岐され、その後、第2光カプラ114bによって合成されて、その光路長差に基づく第2干涉信号が生成される。当該第2干涉信号は、光ファイバケーブル130の第2光ファイバ132を伝搬し、折り返し部134を経由して、副干涉計114に戻って第2フォトディテクタ115に導かれる。

- [0153] 光干渉測距センサ 103 では、副干渉計 114 から光ファイバケーブル 130 に出力される光路を形成するために、コントローラ 110 側と光ファイバケーブル 130 側とを接続する光コネクタ、及び光ファイバケーブル 130 から副干渉計 114 に戻る光路を形成するために、コントローラ 110 側と光ファイバケーブル 130 側とを接続する光コネクタを備えるとよい。これにより、副干渉計 114 において、図 12 に示されたサーキュレータ 114c や図 13 に示された第 3 光カプラ 114d を配置する必要がなく、簡易な構成とすることができ、コストの軽減にも繋がる。
- [0154] なお、ここでは、第 2 光ファイバ 132 に折り返し部 134 が形成される構成としたが、主干渉計 112 を経由する第 1 光路長と副干渉計 114 を経由する第 2 光路長とが略同一となるように設定されるように、第 2 光ファイバ 132 を形成して配置すれば、これに限定されるものではない。例えば、第 2 光ファイバ 132 を渦巻き状にしたり、蛇腹状にしたり、光ファイバケーブル 130 内を周回させるように配置したりしてもよい。
- [0155] さらに、光ファイバケーブル 130 の他の実施形態として、副干渉計 114 と接続される第 2 光ファイバを複数備えてもよい。
- [0156] 図 16 は、副干渉計 114 と接続される第 2 光ファイバを複数備えた光ファイバケーブル 130 を用いた場合における、主干渉計 112 及び副干渉計 114 の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ 104 の構成概要図である。図 16 に示されるように、主干渉計 112 は、光カプラ 112a を備え、副干渉計 114 は、第 1 光カプラ 114a と、第 2 光カプラ 114b と、第 3 光カプラ 114d とを備える。さらに、光ファイバケーブル 130 は、主干渉計 112 と接続される第 1 光ファイバ 131、副干渉計 114 と接続される第 2 光ファイバ 132a 及び 132b を備え、当該第 2 光ファイバ 132a 及び 132b それぞれの端部には、反射部 133a 及び 133b が形成されている。
- [0157] 図 16 に示された光干渉測距センサ 104 は、副干渉計 114 における第 3 光カプラ 114d の 2 つのポートは、それぞれ光ファイバケーブル 130

の第2光ファイバ132a及び132bに接続されている。

[0158] 副干渉計114では、波長掃引光源111から投光された光が供給され、第1光カプラ114aによって異なる光路長の光路を辿る2つの光に分岐され、その後、第2光カプラ114bによって合成されて、その光路長差に基づく第2干渉信号が生成される。

[0159] 当該第2干渉信号は、第3光カプラ114dで分岐されて、それぞれ光ファイバケーブル130の第2光ファイバ132a及び132bを伝搬し、反射部133a及び133bで反射される。反射部133a及び133bで反射された第2干渉信号は、再び、それぞれ第2光ファイバ132a及び132bを伝搬し、第3光カプラ114dを介して第2フォトディテクタ115に導かれる。

[0160] ここで、第2光ファイバ132a又は132bのうちいずれかの光路を伝搬した第2干渉信号を選択し、主干渉計112によって生成されて第1フォトディテクタ113で受光された第1干渉信号を適切にリニアライズ補正すればよい。

[0161] このように、副干渉計114と接続される第2光ファイバを複数備えていれば、例えば、主干渉計112を経由する第1光路長に変更がある場合でも、副干渉計114を経由する第2光路長を適切に選択して対応することができる。

[0162] なお、上述した光干渉測距センサ100～104は、シングルチャネルとして説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、波長掃引光源111から投光された光を、主干渉計112において複数の光カプラ等を用いて分岐させて、多段式の光干渉測距センサとして構成してもよい。本発明は、多段式の光干渉測距センサに適用することも可能である。

[0163] 図17は、多段式の光路が設けられた主干渉計112を用いた場合における、主干渉計112及び副干渉計114の具体的な構成を模式的に示す光干渉測距センサ105の構成概要図である。図17に示されるように、主干渉計112は、第1段目の光カプラ112a～第3段目の光カプラ112cを

備えることによって3つの光路を構成するとともに、第1段目のフォトディテクタ113a～第3段目のフォトディテクタ113cを備えている。さらに、主干涉計112は、当該3つの光路について、それぞれ光ファイバケーブル130に接続するために第1段目の光コネクタC11a～第3段目の光コネクタC11cを備えている。

[0164] 副干涉計114は、図12に示された光干涉測距センサ101の構成と同様であってもよく、光ファイバケーブル130に接続するための第2光コネクタC12を備えている。

[0165] 光ファイバケーブル130は、3つの第1光ファイバ131a～131c、及び1つの第2光ファイバ132を備え、さらに、それぞれコントローラ110に接続するために3つの第1光コネクタC31a～C31c、及び1つの第2光コネクタC32を備えている。

[0166] なお、コントローラ110側の3つの第1光コネクタC11a～C11cと、光ファイバケーブル130側の3つの第1光コネクタC31a～C31cとがそれぞれ接続され、コントローラ110側の第2光コネクタC12と、光ファイバケーブル130側の第2光コネクタC32とが接続される。

[0167] 主干涉計112における3つの光路それぞれにおいて生成された第1干涉信号は、第1段目のフォトディテクタ113a～第3段目のフォトディテクタ113cで受光され、処理部116は、副干涉計114によって生成される第2干涉信号に基づいて当該第1干涉信号を補正しつつ、計測対象物Tまでの距離を算出する。

[0168] なお、本実施形態では、主干涉計112によって生成された第1干涉信号を、副干涉計114によって生成された第2干涉信号に基づくKクロック（補正信号生成部）を用いてリニアライズ補正する例を示したが、これに限定されるものではない。例えば、主干涉計112によって生成された第1干涉信号から、副干涉計114によって生成された第2干涉信号のゼロクロス点に対応するのデータを抽出したり、第2干涉信号の連続位相の等分割点の対応するデータを抽出したりする等、ソフトウェア処理を用いて、第1干涉信

号をリニアライズ補正してもよい。

[0169] [干渉計の変形例]

上述した実施形態では、光干渉測距センサ 100～105 は、主干渉計 112（光ファイバケーブル 130 及びセンサヘッド 120 を含む）において光ファイバの先端を参照面とすることで参照光を発生させるフィゾー型干渉計を用いていたが、干渉計は、これに限定されるものではない。

[0170] 図 18 は、測定光と参照光とを用いて干渉光を発生させる干渉計のバリエーションを示す図である。図 18（a）では、主干渉計 112 を経由する光路において、光ファイバの先端（端面）を参照面とする参照光と、センサヘッドから照射され計測対象物 T で反射される測定光との光路長差に基づいて干渉光が生成される。上述した実施形態に係る光干渉測距センサ 100～105 の主干渉計 112 の構成であり（フィゾー型干渉計）、当該参照面は、光ファイバと空気との屈折率の違いによって光が反射するように構成されていてもよい（フレネル反射）。また、光ファイバの先端に反射膜をコーティングしてもよいし、光ファイバの先端に無反射コーティングを施して、別途、レンズ面等の反射面を配置してもよい。

[0171] 図 18（b）では、主干渉計 112 を経由する光路において、計測対象物 T に測定光を導く測定光路 L_m と、参照光を導く参照光路 L_r とを形成し、参照光路 L_r の先には参照面が配置されている（マイケルソン型干渉計）。参照面は、光ファイバの先端に反射膜をコーティングしてもよいし、光ファイバの先端に無反射コーティングを施して、別途、ミラー等を配置してもよい。当該構成では、測定光路 L_m の光路長と参照光路 L_r の光路長とで光路長差を設けることによって干渉光が生成される。

[0172] 図 18（c）では、主干渉計 112 を経由する光路において、計測対象物 T に測定光を導く測定光路 L_m と、参照光を導く参照光路 L_r とを形成し、参照光路 L_r には、バランスディテクタが配置されている（マッハツェンダ型干渉計）。当該構成では、測定光路 L_m と参照光路 L_r の光路長とで光路長差を設けることによって、干渉光が生成される。

[0173] このように、主干涉計は、実施形態で説明したフィゾー型干涉計に限定されるものではなく、例えば、マイケルソン型干涉計やマッハツェンダ型干涉計であってもよいし、測定光と参照光との光路長差を設定することによって干涉光を発生させることができれば、どのような干涉計を適用してもよいし、これらの組み合わせ等やその他の構成を適用してもよい。

[0174] 以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。実施形態が備える各要素並びにその配置、材料、条件、形状及びサイズ等は、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、異なる実施形態で示した構成同士を部分的に置換し又は組み合わせることが可能である。

[0175] [附記]

波長掃引光源（１１１）を用いて計測対象物を計測するための第１干涉信号を生成する主干涉計（１１２）と、前記第１干涉信号の非線形性を補正するための第２干涉信号を生成する副干涉計（１１４）とを有する光干涉測距センサ（１００）に用いられる光ファイバケーブル（１３０）であって、

前記主干涉計（１１２）に接続されることで当該主干涉計（１１２）から入力された光をセンサヘッド（１２０）に導くとともに、当該センサヘッド（１２０）からの光を当該主干涉計（１１２）に出力する第１光ファイバ（１３１）と、

前記副干涉計（１１４）に接続されることで当該副干涉計（１１４）から入力された光を伝搬させて当該副干涉計（１１４）に出力する第２光ファイバ（１３２）と、を備え、

前記第１光ファイバ（１３１）の光路長及び前記第２光ファイバ（１３２）の光路長は、前記波長掃引光源（１１１）から投光されてから前記主干涉計（１１２）における受光部（１１３）で受光されるまでの第１光路長と、前記波長掃引光源（１１１）から投光されてから前記副干涉計（１１４）における受光部（１１５）で受光されるまでの第２光路長とが略同一となるように設定される、

光ファイバケーブル（１３０）。

符号の説明

[0176] １…センサシステム、１０…変位センサ、１１…制御機器、１２…制御信号入力用センサ、１３…外部接続機器、２０…センサヘッド、２１…対物レンズ、２２ａ～２２ｃ…コリメートレンズ、２３…レンズホルダ、２４…光ファイバアレイ、３０…コントローラ、３１…表示部、３２…設定部、３３…外部インタフェース（Ｉ／Ｆ）部、３４…光ファイバ接続部、３５…外部記憶部、３６…計測処理部、４０…光ファイバ、５１…波長掃引光源、５２…光増幅器、５３、５３ａ～５３ｂ…アイソレータ、５４、５４ａ～５４ｅ…光カプラ、５５…減衰器、５６ａ～５６ｃ…受光素子、５８…ＡＤ変換部、５９…処理部、６０…バランスディテクタ、６１…補正信号生成部、７１ａ～７１ｅ…受光素子、７２ａ～７２ｃ…増幅回路、７４ａ～７４ｃ…ＡＤ変換部、７５…処理部、７６…差動増幅回路、７７…補正信号生成部、１００～１０５…光干渉測距センサ、１１０…コントローラ、１１１…波長掃引光源、１１２…主干渉計、１１２ａ～１１２ｃ…光カプラ、１１３、１１３ａ～１１３ｃ…第１フォトディテクタ（受光部）、１１４…副干渉計、１１４ａ、１１４ｂ、１１４ｄ…光カプラ、１１４ｃ…サーキュレータ、１１５…第２フォトディテクタ（受光部）、１１６…処理部、１２０、１２０ａ～１２０ｃ…センサヘッド、１３０…光ファイバケーブル、１３１、１３１ａ～１３１ｃ…第１光ファイバ、１３２、１３２ａ、１３２ｂ…第２光ファイバ、１３３、１３３ａ、１３３ｂ…反射部、１３４…折り返し部、Ｃ１１、Ｃ１１ａ～Ｃ１１ｃ…第１光コネクタ、Ｃ１２…第２光コネクタ、Ｃ３１、Ｃ３１ａ～Ｃ３１ｃ…第１光コネクタ、Ｃ３２…第２光コネクタ、Ｌｍ…測定光路、Ｌｒ…参照光路、Ｔ…計測対象物

請求の範囲

- [請求項1] 波長掃引光源を用いて計測対象物を計測するための第1干渉信号を生成する主干渉計と、前記第1干渉信号の非線形性を補正するための第2干渉信号を生成する副干渉計とを有する光干渉測距センサに用いられる光ファイバケーブルであって、
- 前記主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光をセンサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該主干渉計に出力する第1光ファイバと、
- 前記副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を伝搬させて当該副干渉計に出力する第2光ファイバと、を備え、
- 前記第1光ファイバの光路長及び前記第2光ファイバの光路長は、前記波長掃引光源から投光されてから前記主干渉計における受光部で受光されるまでの第1光路長と、前記波長掃引光源から投光されてから前記副干渉計における受光部で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように設定される、
- 光ファイバケーブル。
- [請求項2] 前記第2光ファイバには、当該第2光ファイバを伝搬する光を反射させる反射部が構成されている、
- 請求項1に記載の光ファイバケーブル。
- [請求項3] 前記反射部は、当該光ファイバケーブルの内部に配置される、
- 請求項2に記載の光ファイバケーブル。
- [請求項4] 前記反射部は、当該光ファイバケーブルの外部に配置される、
- 請求項2に記載の光ファイバケーブル。
- [請求項5] 計測対象物に光を照射するセンサヘッドに、光ファイバケーブルを介して接続されるコントローラであって、
- 波長を変化させながら光を投光する光源と、
- 前記光源から投光された光が供給され、前記センサヘッドにより前記計測対象物に照射して反射される測定光と、前記測定光とは少なく

とも一部異なる光路を辿る参照光とに基づく第1干渉信号を生成する
主干渉計と、

前記光源から投光された光が供給され、異なる光路長の光路を辿る
2つの光に基づいて第2干渉信号を生成する副干渉計と、

前記第2干渉信号に基づいて前記第1干渉信号を補正しつつ、前記
センサヘッドから前記計測対象物までの距離を算出する処理部と、を
備え、

前記光ファイバケーブルは、

前記主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光を
前記センサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該
主干渉計に出力する第1光ファイバと、

前記副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を
伝搬させて当該副干渉計に出力する第2光ファイバと、を備え、

前記第1光ファイバの光路長及び前記第2光ファイバの光路長は、
前記光源から投光されてから前記主干渉計における受光部で受光され
るまでの第1光路長と、前記光源から投光されてから前記副干渉計に
おける受光部で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように
設定される、

コントローラ。

[請求項6] 波長掃引光源を用いて計測対象物を計測するコントローラ、及び前
記コントローラと前記計測対象物に光を照射するセンサヘッドとを接
続する光ファイバケーブルを有する光干渉測距センサであって、

前記コントローラは、

波長を変化させながら光を投光する光源と、

前記光源から投光された光が供給され、前記センサヘッドにより前
記計測対象物に照射して反射される測定光と、前記測定光とは少なく
とも一部異なる光路を辿る参照光とに基づく第1干渉信号を生成する
主干渉計と、

前記光源から投光された光が供給され、異なる光路長の光路を辿る2つの光に基づいて第2干渉信号を生成する副干渉計と、

前記第2干渉信号に基づいて前記第1干渉信号を補正しつつ、前記センサヘッドから前記計測対象物までの距離を算出する処理部と、を備え、

前記光ファイバケーブルは、

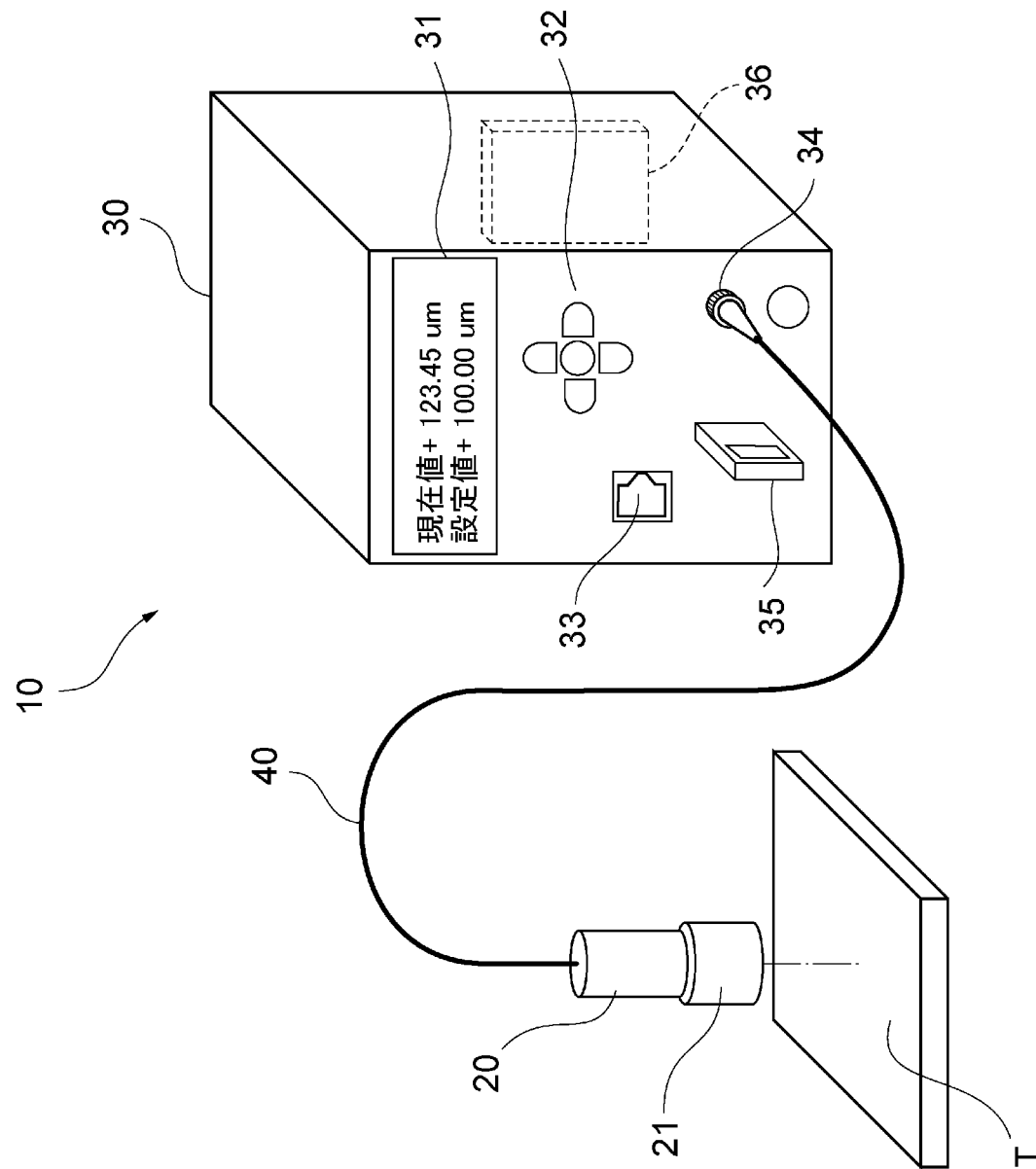
前記主干渉計に接続されることで当該主干渉計から入力された光をセンサヘッドに導くとともに、当該センサヘッドからの光を当該主干渉計に出力する第1光ファイバと、

前記副干渉計に接続されることで当該副干渉計から入力された光を伝搬させて当該副干渉計に出力する第2光ファイバと、を備え、

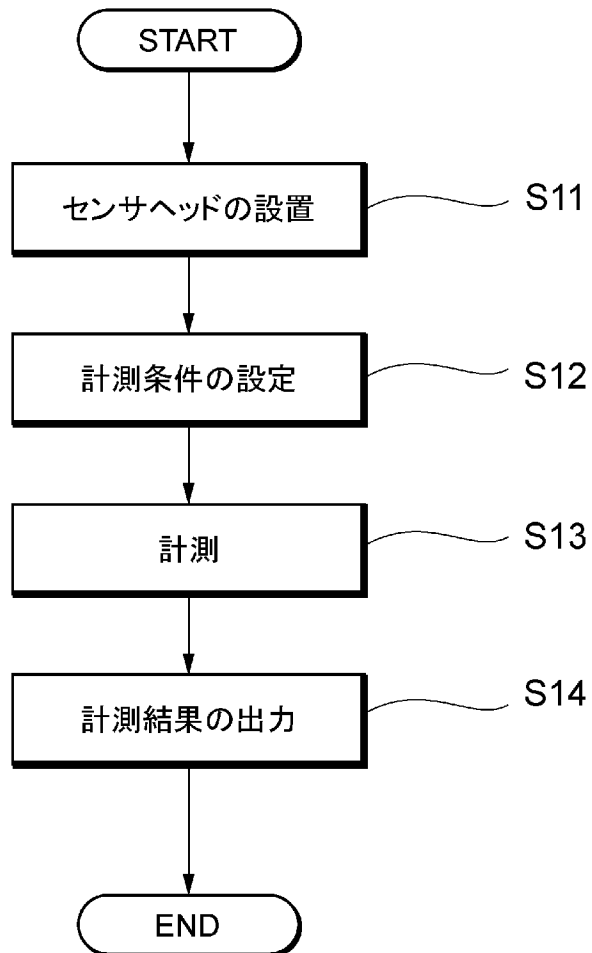
前記第1光ファイバの光路長及び前記第2光ファイバの光路長は、前記光源から投光されてから前記主干渉計における受光部で受光されるまでの第1光路長と、前記光源から投光されてから前記副干渉計における受光部で受光されるまでの第2光路長とが略同一となるように設定される、

光干渉測距センサ。

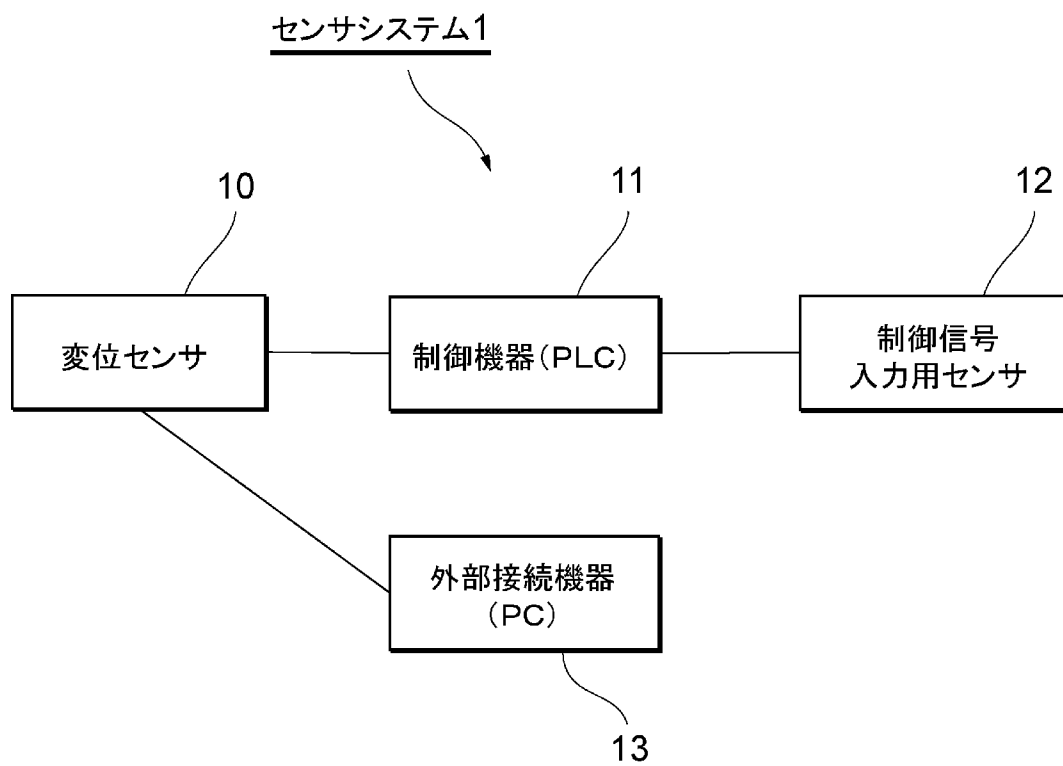
[図1]



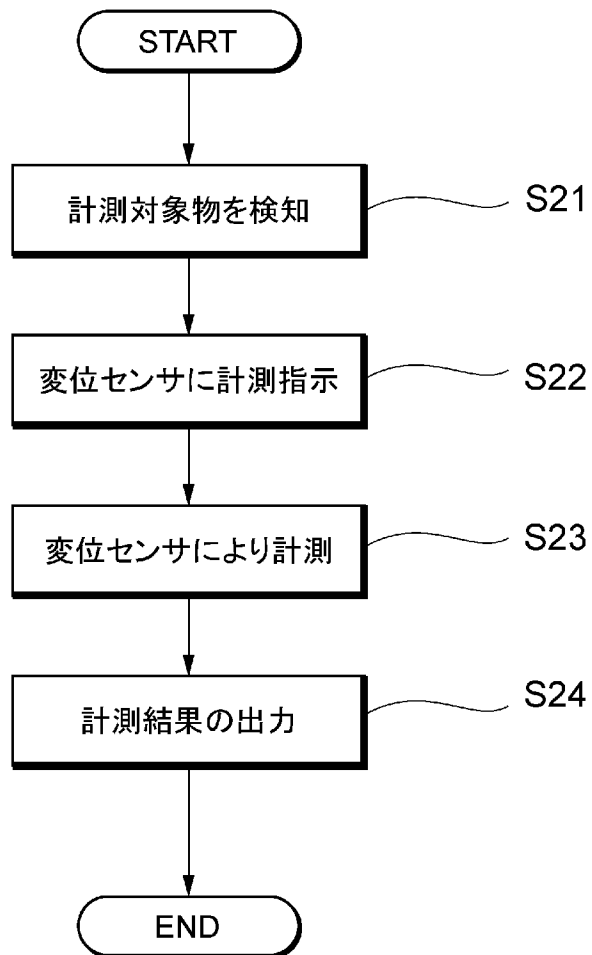
[図2]



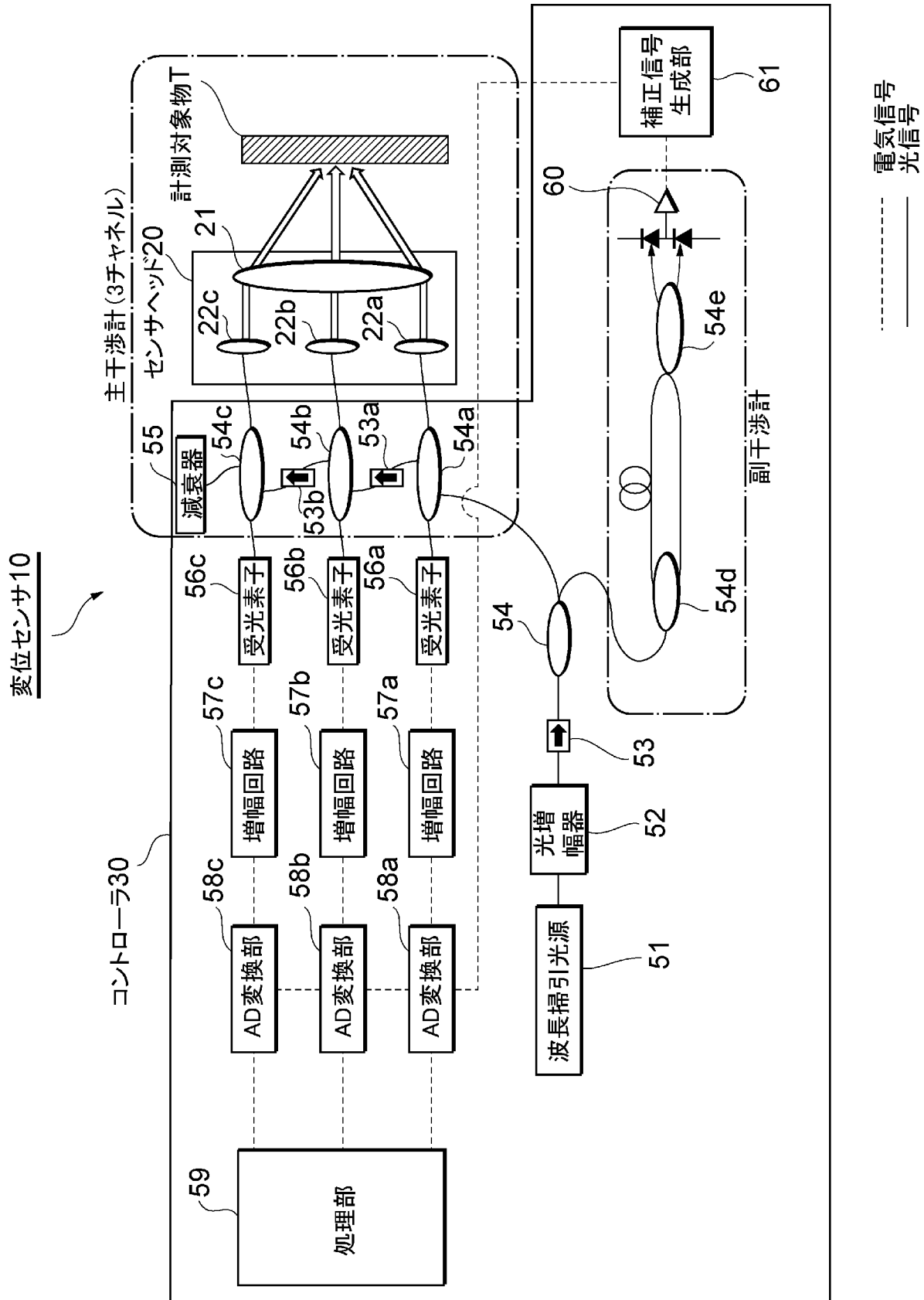
[図3]



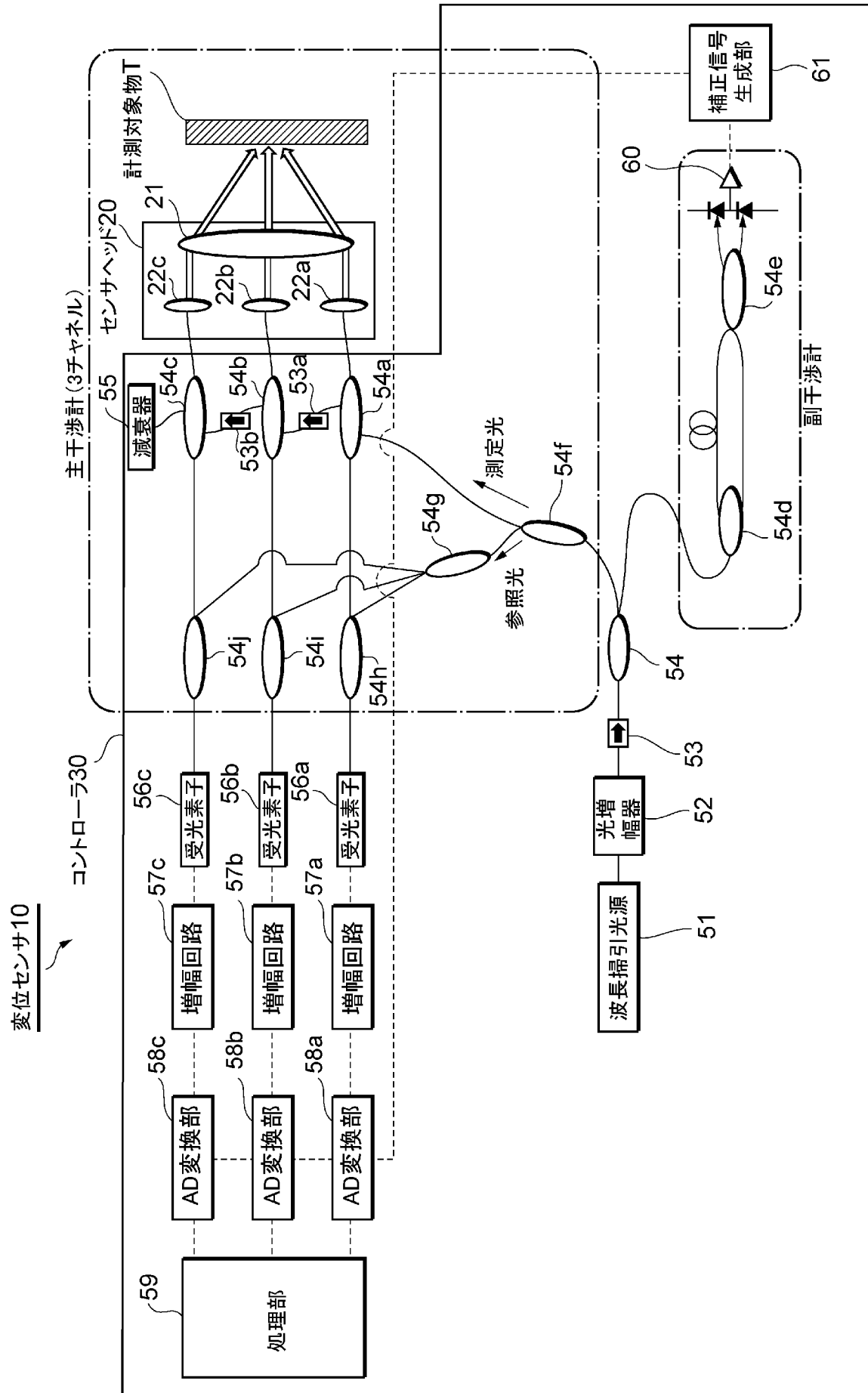
[図4]



[図5A]

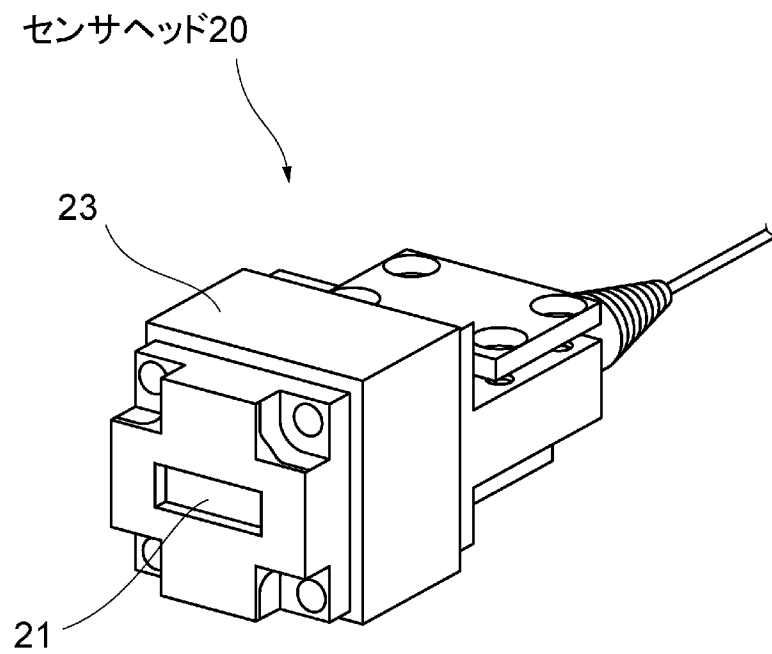


[図5B]

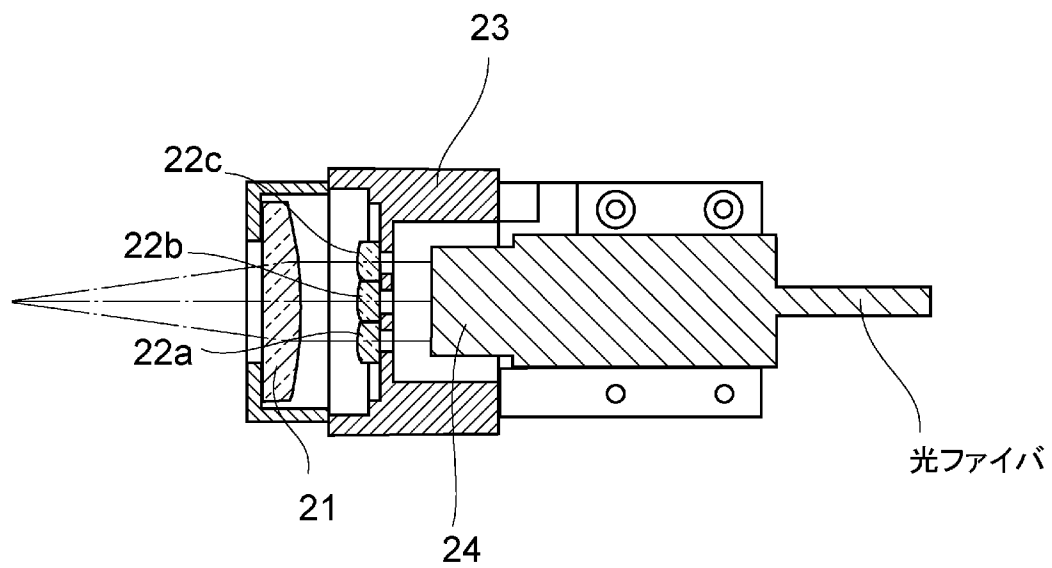


電気信号
光信号

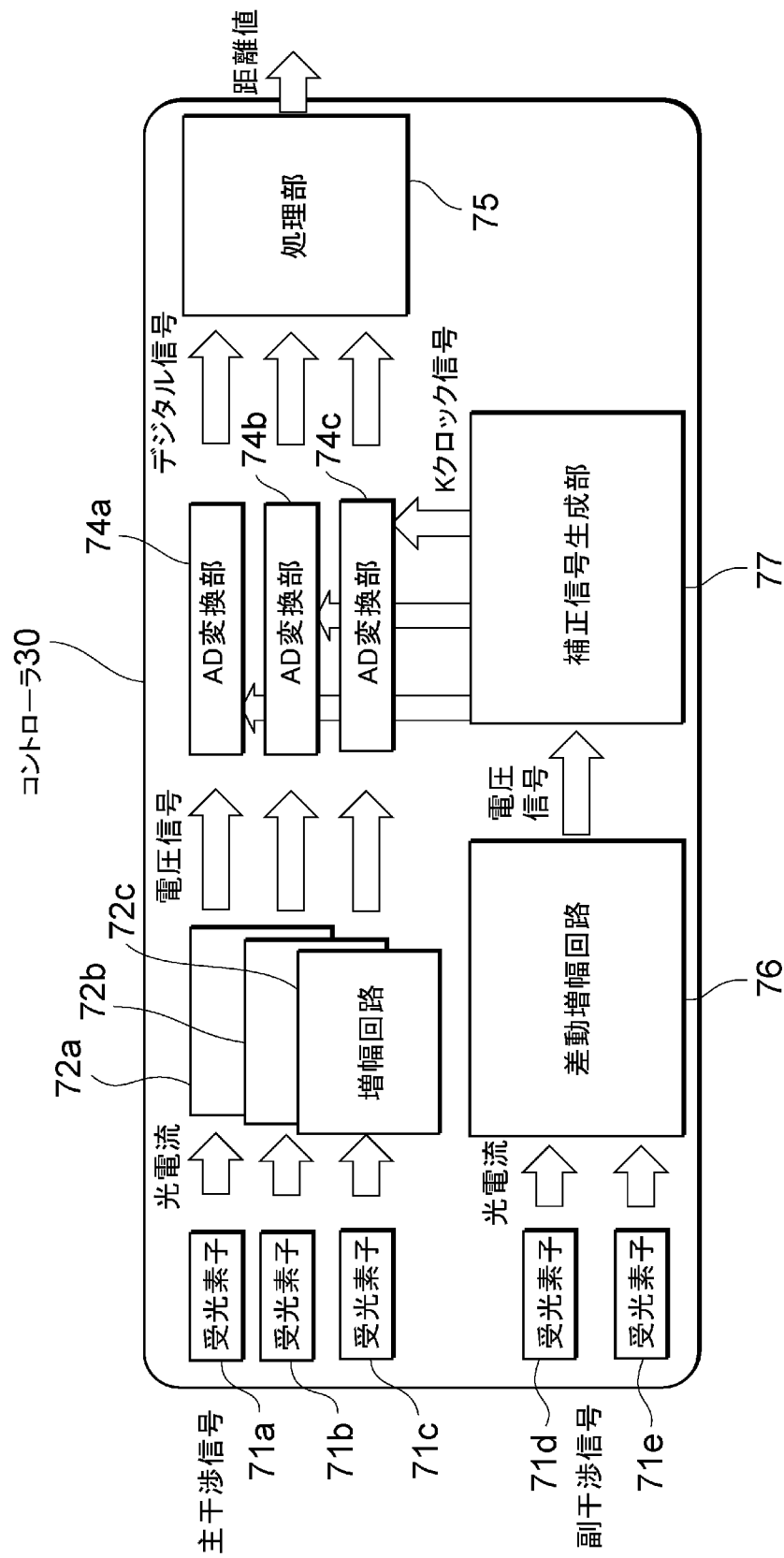
[図6A]



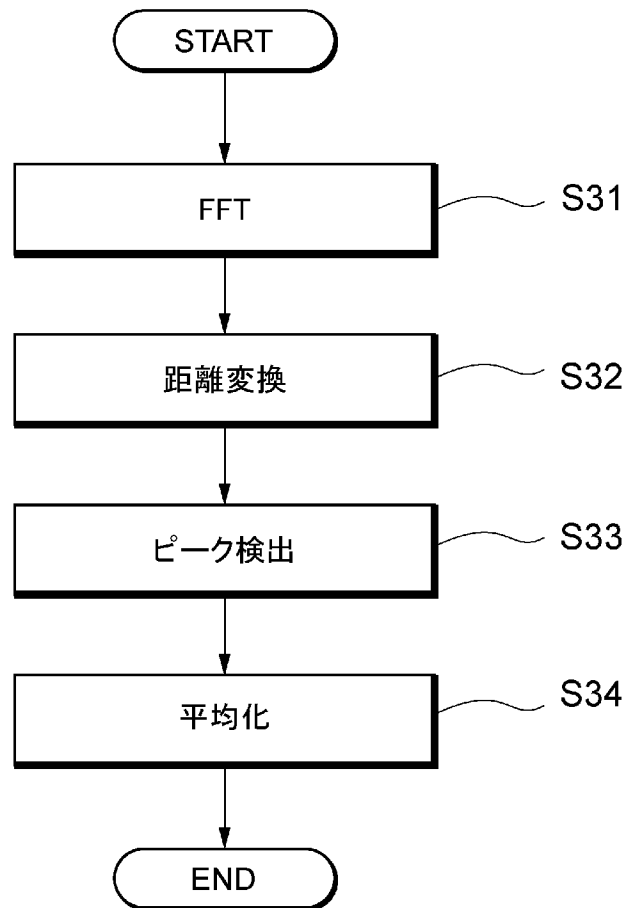
[図6B]



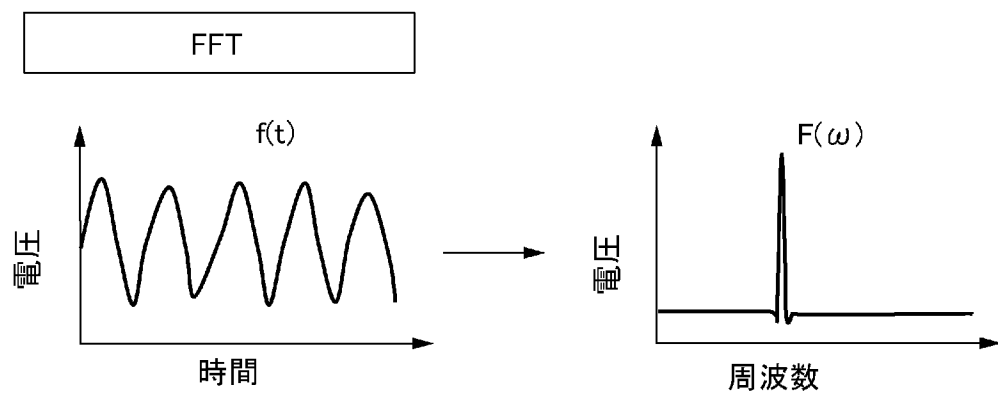
[図7]



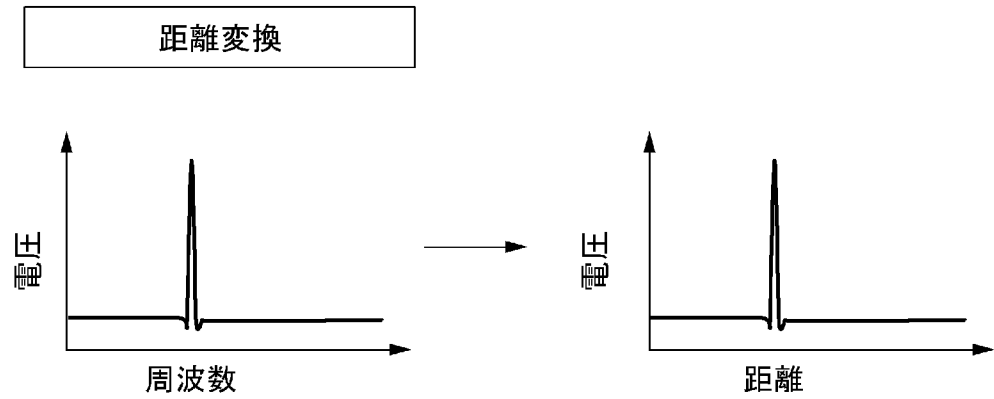
[図8]



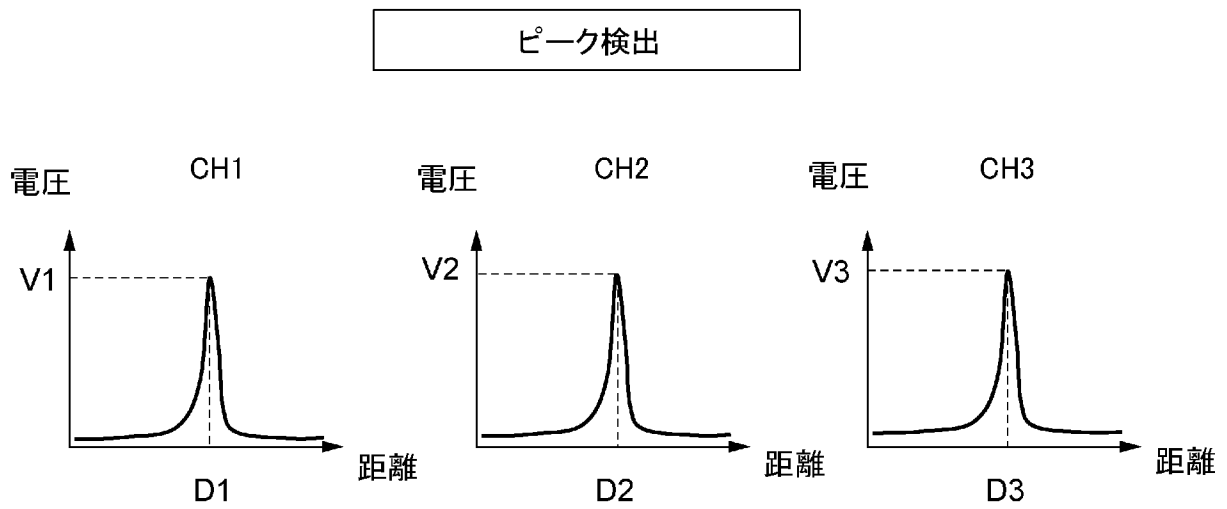
[図9A]



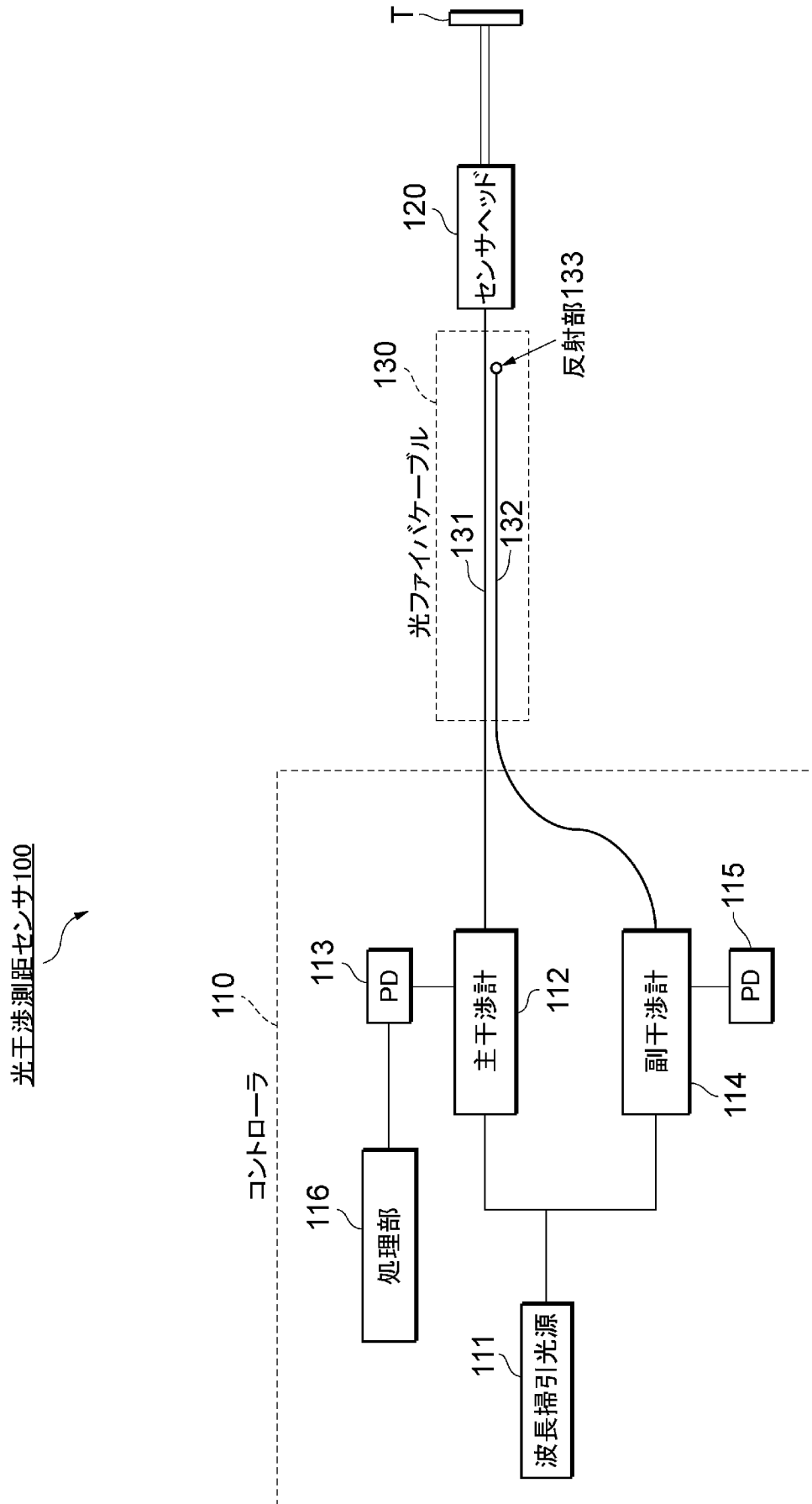
[図9B]



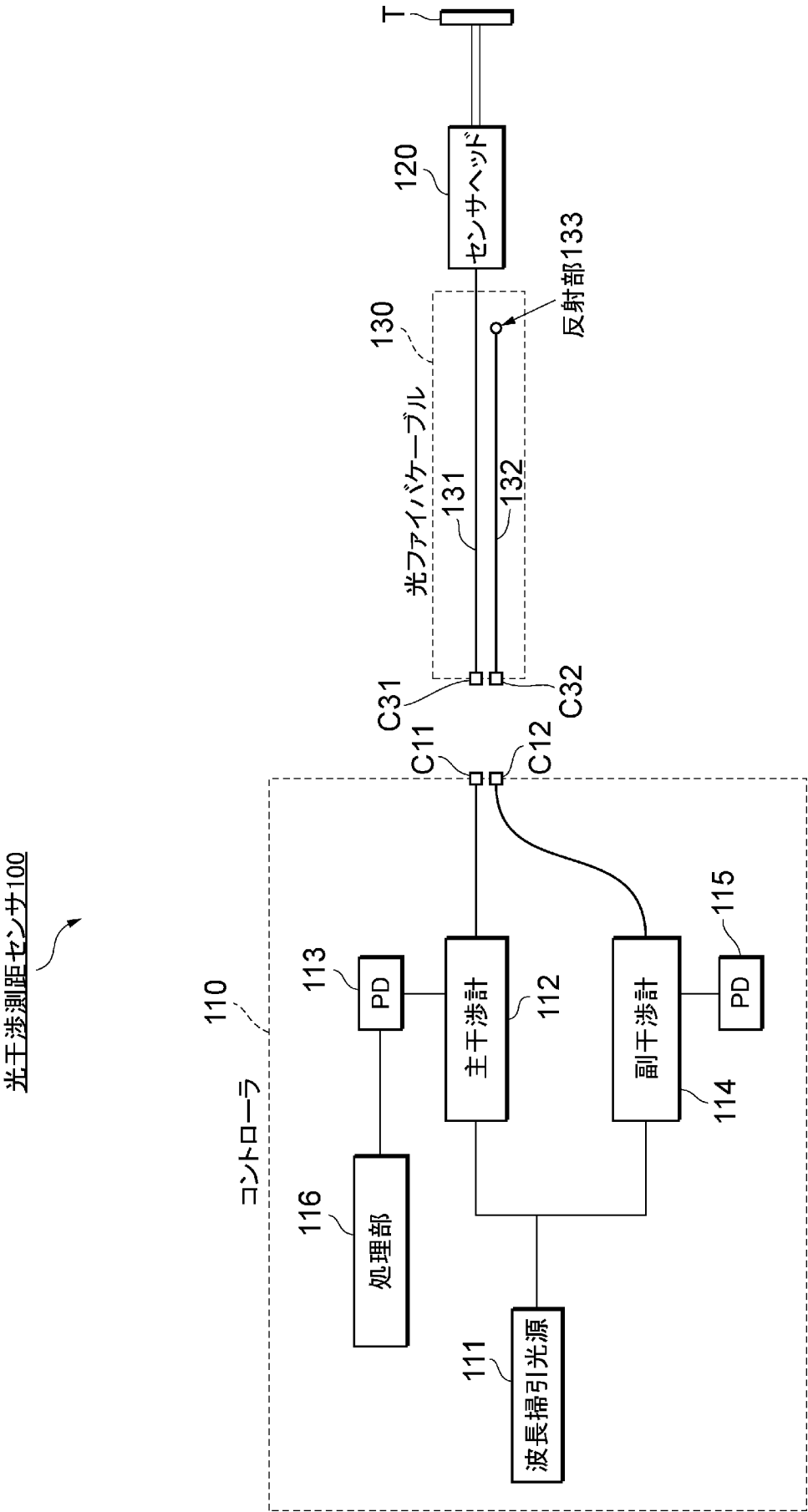
[図9C]



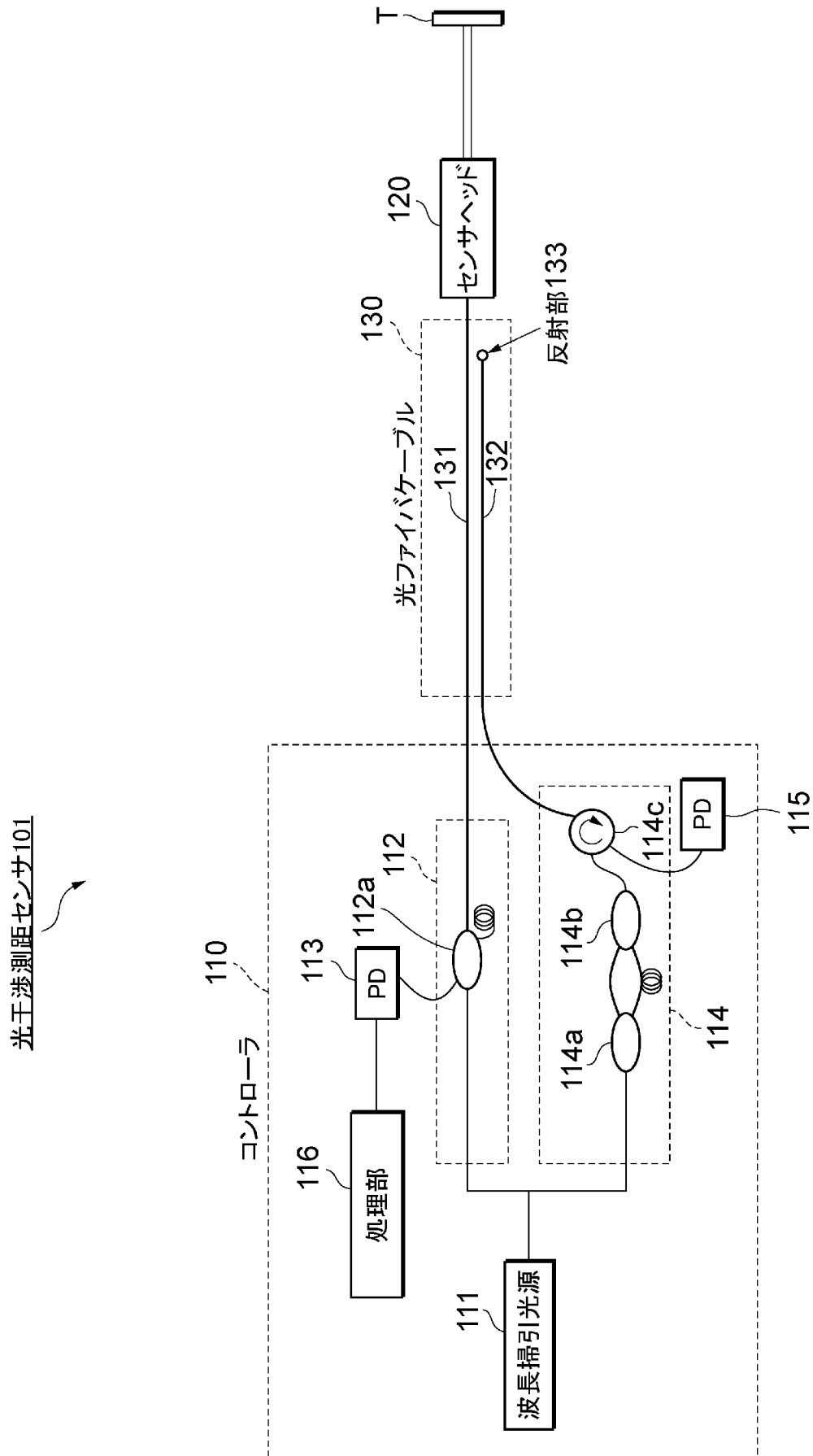
[図10]



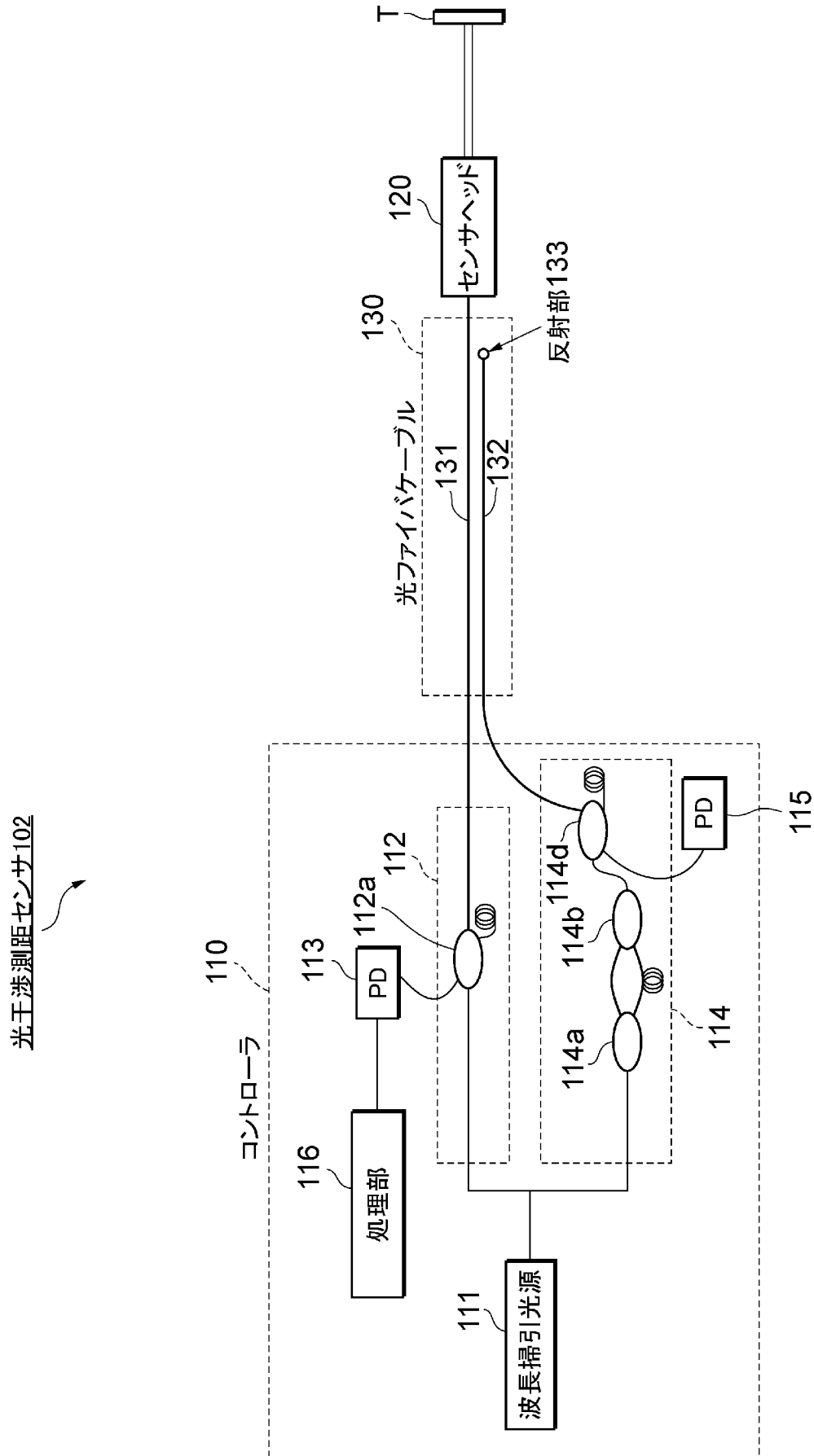
[図11]



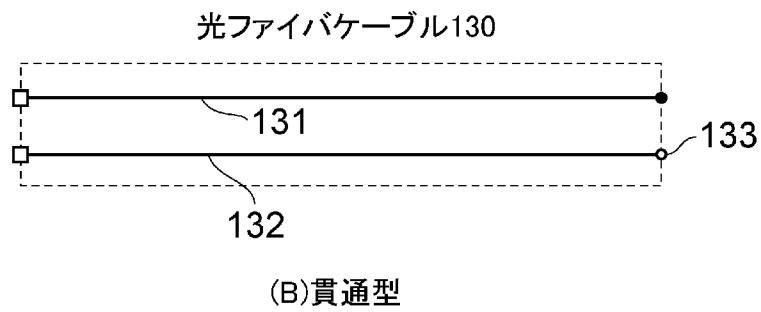
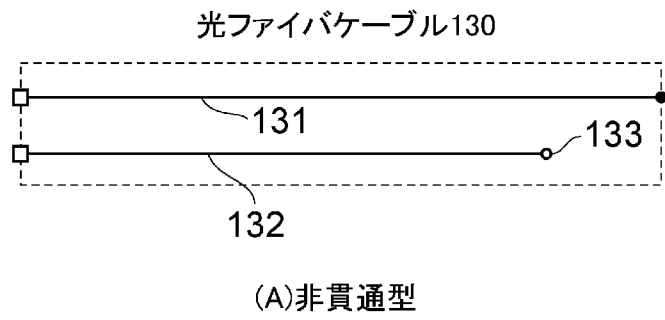
[図12]



[図13]

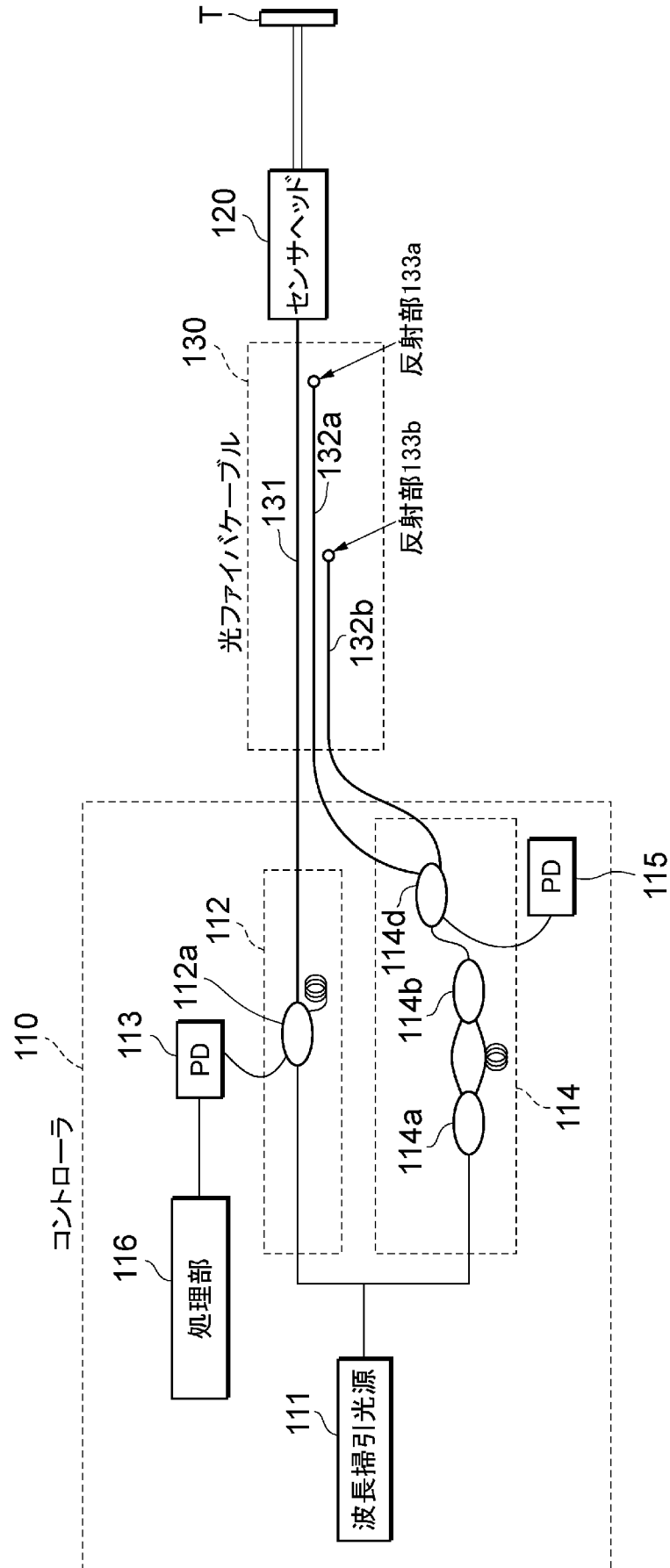


[図14]

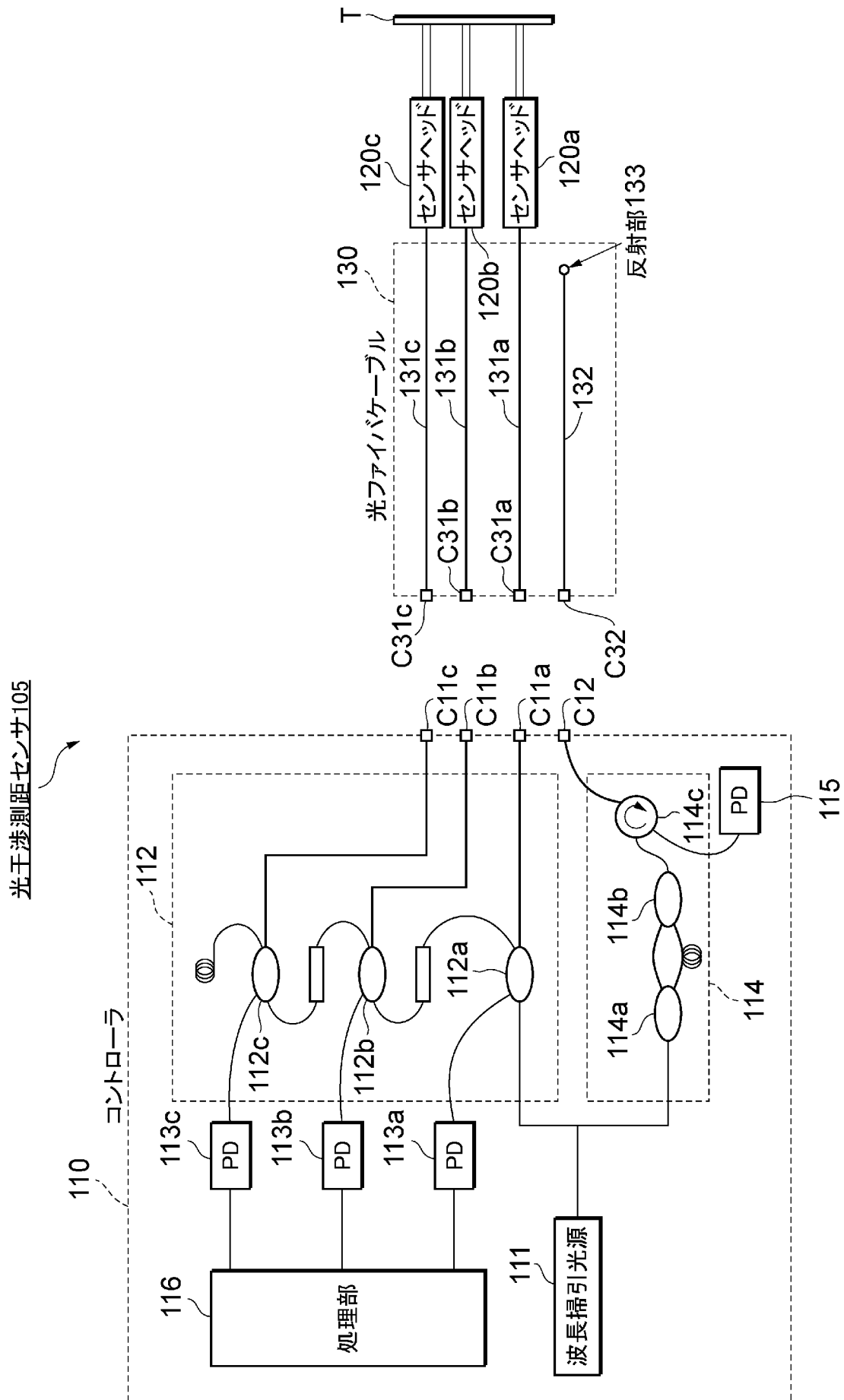


[図16]

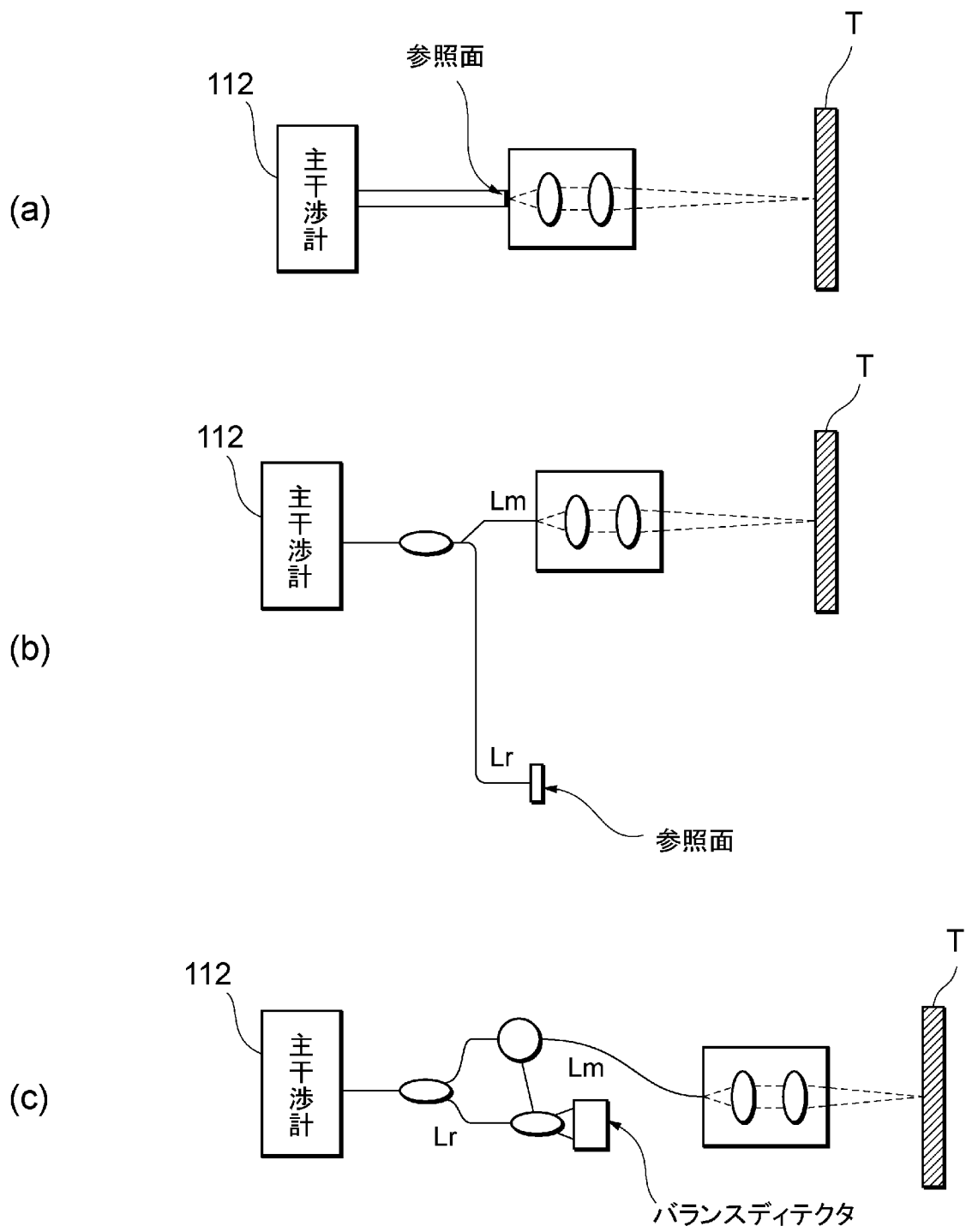
光干渉測距センサ104



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/030097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01B 9/02004**(2022.01)i; **G01B 9/02055**(2022.01)i; **G01C 3/06**(2006.01)i; **G01B 11/00**(2006.01)n

FI: G01B9/02004; G01C3/06 120Z; G01B9/02055; G01B11/00 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)

G01B9/02004; G01B9/02055; G01C3/06; G01B11/00

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.
X	WO 2017/081808 A1 (HITACHI, LTD.) 18 May 2017 (2017-05-18)	5
A	paragraphs [0040], [0058]-[0059], fig. 20	1-4, 6
X	JP 2021-143995 A (OMRON CORP.) 24 September 2021 (2021-09-24)	5
A	paragraphs [0025]-[0043], fig. 3	1-4, 6
A	paragraphs [0025]-[0043], fig. 3	1-6
A	JP 60-233581 A (DIGITAL SIGNAL CORP.) 20 November 1985 (1985-11-20)	1-6
	entire text, all drawings	



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

12 October 2023

Date of mailing of the international search report

31 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/JP2023/030097

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2017/081808	A1	18 May 2017	(Family: none)	
JP	2021-143995	A	24 September 2021	US 2021/0285755 A1 paragraphs [0035]-[0053], fig. 3	
				EP 3879222 A1	
				CN 113390333 A	
JP	60-233581	A	20 November 1985	US 4830486 A entire text, all drawings	
				EP 164181 A2	
				DE 3587492 A	
				AT 92640 T	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01B 9/02004(2022.01)i; G01B 9/02055(2022.01)i; G01C 3/06(2006.01)i; G01B 11/00(2006.01)n FI: G01B9/02004; G01C3/06 120Z; G01B9/02055; G01B11/00 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）） G01B9/02004; G01B9/02055; G01C3/06; G01B11/00										
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 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			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
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								
X	WO 2017/081808 A1（株式会社日立製作所）18.05.2017（2017 - 05 - 18） [0040]、[0058]-[0059]、図20	5								
A	[0040]、[0058]-[0059]、図20	1-4, 6								
X	JP 2021-143995 A（オムロン株式会社）24.09.2021（2021 - 09 - 24） [0025]-[0043]、図3	5								
A	[0025]-[0043]、図3	1-4, 6								
A	JP 60-233581 A（デジタル・シグナル・コーポレーション）20.11.1985（1985 - 11 - 20） 全文全図	1-6								
☐ 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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 </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 “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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 12.10.2023		国際調査報告の発送日 31.10.2023								
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） 山▲崎▼ 和子 2S 6005 電話番号 03-3581-1101 内線 3216								

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/JP2023/030097

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2017/081808	A1	18.05.2017	(ファミリーなし)	
JP	2021-143995	A	24.09.2021	US 2021/0285755 A1	
				[0035]-[0053]、図3	
				EP 3879222 A1	
				CN 113390333 A	
JP	60-233581	A	20.11.1985	US 4830486 A	
				全文全図	
				EP 164181 A2	
				DE 3587492 A	
				AT 92640 T	