(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)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/070443 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 9/02004 (2022.01) *G01B 11/00* (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/031450

(22) 国際出願日： 2023年8月30日(30.08.2023)

(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 2022-154628 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).

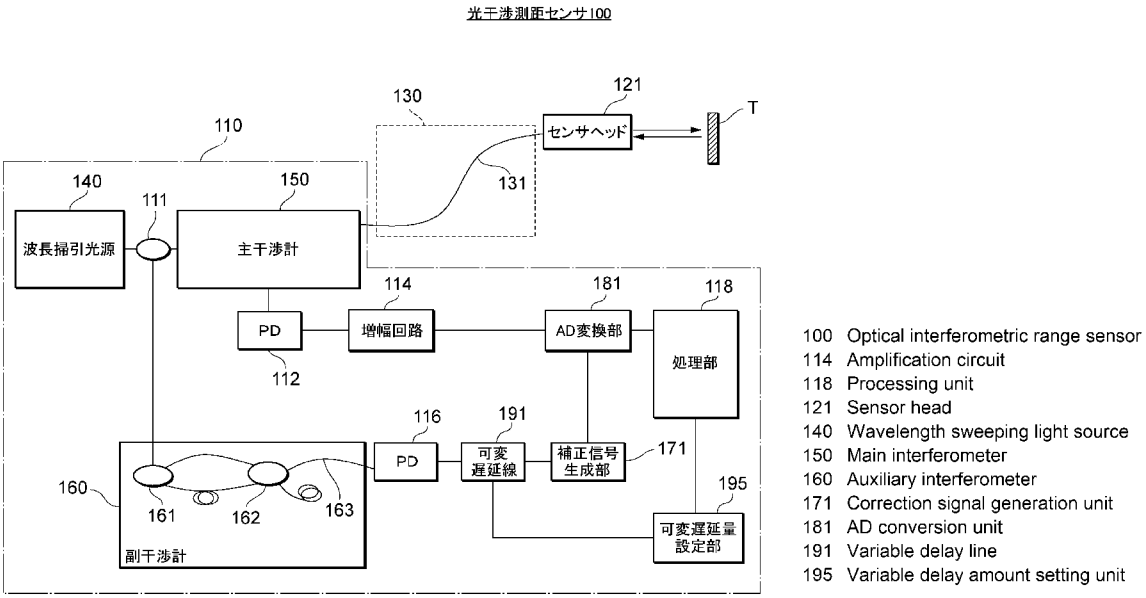
(72) 発明者: 木村 和哉 (**KIMURA, Kazuya**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 稲葉 良幸, 外(**INABA, Yoshiyuki** et al.); 〒1066123 東京都港区六本木６－１０－１ 六本木ヒルズ森タワー２３階 ＴＭＩ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,

(54) **Title:** CONTROLLER AND OPTICAL INTERFEROMETRIC RANGE SENSOR

(54) 発明の名称： コントローラ及び光干渉測距センサ



100 Optical interferometric range sensor
114 Amplification circuit
118 Processing unit
121 Sensor head
140 Wavelength sweeping light source
150 Main interferometer
160 Auxiliary interferometer
171 Correction signal generation unit
181 AD conversion unit
191 Variable delay line
195 Variable delay amount setting unit

(57) **Abstract:** In the present invention, a signal generated by a main interferometer is sampled at a suitable timing. This controller (110) comprises: a light source (140); a main interferometer (150) that generates a main interference signal; an auxiliary interferometer (160) that generates an auxiliary interference signal; a variable delay amount generation unit that generates a variable delay amount; a correction signal generation unit (171) that, on the basis of the auxiliary interference signal and the variable delay amount, generates a correction signal for correcting the sampling period of the main interference signal; a processing unit (118) that measures the distance to a measurement target (T) on the basis of the main interference signal and the correction signal; and a variable delay amount setting unit (195) that sets a variable delay

WO 2024/070443 A1

[続葉有]

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))

amount on the basis of at least one peak from among a peak in a signal based on a digital signal that pertains to the main interference signal sampled on the basis of the correction signal, and a peak in a signal based on a digital signal that pertains to a reflected signal generated by the main interferometer (150) and that is sampled on the basis of the correction signal.

(57) 要約:主干渉計で生成される信号を適切なタイミングでサンプリングする。コントローラ(１１０)は、光源(１４０)と、主干渉信号を生成する主干渉計(１５０)と、副干渉信号を生成する副干渉計(１６０)と、可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部(１７１)と、主干渉信号と補正信号とに基づいて計測対象物(T)までの距離を計測する処理部(１１８)と、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計(１５０)で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する可変遅延量設定部(１９５)と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ： コントローラ及び光干渉測距センサ

技術分野

[0001]　本発明は、コントローラ及び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]　従来、この種の光周波数領域反射測定装置として、掃引光源と、掃引光源の出力光の一部に所定の遅延時間差を与えて干渉させ補助干渉信号として出力する補助干渉計と、掃引光源の出力光の一部を被測定光ファイバに入力すると共に被測定光ファイバからの反射光と掃引光源の出力光の一部を干渉させ測定干渉信号として出力する測定干渉計と、補助干渉信号を用いて測定干渉信号に対して掃引光源の波長掃引の非線形を補正する線形化部と、線形化部の出力信号をフーリエ変換して周波数領域の信号を出力するフーリエ変換部と、を有する光周波数領域反射測定装置において、線形化部は各々異なる遅延時間を持つ複数の線形化部を有し、フーリエ変換部は複数の線形化部の出力信号に対してそれぞれ異なる重みをつけて加算しフーリエ変換された結果を出力する重み付き加算・フーリエ変換部を有するものが知られている（特許文献１参照）。この光周波数領域反射測定装置では、被測定光ファイバの広い範囲にわたり波長掃引の非線形を補正する。

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] 一方、コントローラと、当該コントローラとセンサヘッドとを接続する光ファイバを含む光ファイバケーブルとを備える光干渉測距センサにおいて、光ファイバの長さを変更する場合、光ファイバ介して主干渉計からセンサヘッドに伝搬し、センサヘッドから主干渉計に伝搬する光の光路長も長くなるので、主干渉計が生成する信号と、サンプリング周期を補正するために副干渉計が生成する信号との間に、タイミングのずれが発生することがあった。

[0006] また、センサヘッドから計測対象物までの距離が光ファイバの長さと比較して長い場合、センサヘッドから計測対象物に照射し、計測対象物に反射されてセンサヘッドに戻る光のラウンドトリップ時間が長くなるので、この場合も、主干渉計が生成する信号と、サンプリング周期を補正するために副干渉計が生成する信号との間に、タイミングのずれが発生することがあった。その結果、主干渉計の信号を正確にサンプリングすることができず、計測対象物までの距離に誤差が生じることがあった。

[0007] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、主干渉計で生成される信号を適切なタイミングでサンプリングすることのできるコントローラ及び光干渉測距センサを提供することを目的の１つとする。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示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、光ファイバケーブルに含まれる光ファイバを介してセンサヘッドに接続される主干渉計であって、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主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、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計と、可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部と、主干渉信号と補正信号とに基づいて、計測対象物までの距離を計測

する処理部と、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する可変遅延量設定部と、を備える。

[0009] この態様によれば、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を設定することが可能となる。ここで、補正信号に基づいてサンプリングされた反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、計測対象物がない状態でも可変遅延量を設定することが可能となる。また、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、センサヘッドから計測対象物までの距離が光ファイバの長さと比較して長いときに、当該距離を光が往復するラウンドトリップ時間によって発生し得るタイミングのずれも低減する可変遅延量を設定することが可能となる。従って、主干渉計で生成される信号を、副干渉信号と可変遅延量とに基づく補正信号によって適切なタイミングでサンプリングすることができ、計測対象物までの距離を高精度に計測することができる。

[0010] 上記態様において、可変遅延量設定部は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定してもよい。

[0011] この態様によれば、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度とのう

ち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、容易に設定することができる。

[0012] 上記態様において、可変遅延量設定部は、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定してもよい。

[0013] この態様によれば、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、複数のピーク強度のうちの最大値に基づいて可変遅延量が設定されるので、１つの主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度、又は、１つの反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度に基づいて可変遅延量を設定する場合と比較して、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれをさらに低減する可変遅延量を設定することができる。

[0014] 上記態様において、可変遅延量設定部は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定してもよい。

[0015] この態様によれば、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、容易に設定することができる。

[0016] 上記態様において、可変遅延量設定部は、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値とのうち、少なくと

も一方に基づいて、可変遅延量を設定してもよい。

[0017] この態様によれば、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅の最小値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅の最小値とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、複数のピーク所定値幅のうちの最小値に基づいて可変遅延量が設定されるので、１つの主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅、又は、１つの反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に基づいて可変遅延量を設定する場合と比較して、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれをさらに低減する可変遅延量を設定することができる。

[0018] 上記態様において、可変遅延量設定部は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数とのうち、少なくとも一方が所定数未満となるように、可変遅延量を設定してもよい。

[0019] この態様によれば、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数とのうち、少なくとも一方が所定数未満となるように、可変遅延量が設定される。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、簡易に設定することができる。

[0020] 上記態様において、反射信号は、光源から投光されて主干渉計に供給される光の一部が当該主干渉計において形成される反射面を有する部材によって反射されることにより生成されてもよい。

[0021] この態様によれば、反射信号は、光源から投光されて主干渉計に供給される光の一部が当該主干渉計において形成される反射面を有する部材によって反射されることにより生成される。これにより、計測対象物が存在せずに主干渉信号を得られない場合でも、主干渉計の反射面から反射信号を得ることが可能となるので、計測対象物を用意（準備）することなく、可変遅延量を

設定することができる。

[0022] 上記態様において、可変遅延量生成部は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させて補正信号生成部に出力する可変遅延線を含んでいてもよい。

[0023] この態様によれば、可変遅延量生成部は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させて補正信号生成部に出力する可変遅延線を含む。これにより、電気的に遅延を発生させた副干渉計信号を出力することで、補正信号生成部は、電気信号である補正信号を容易に生成することができる。

[0024] 上記態様において、補正信号生成部は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させた信号に基づいて、補正信号であるパルス信号を生成してもよい。

[0025] この態様によれば、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させた信号に基づいて、補正信号であるパルス信号が生成される。これにより、主干渉信号のサンプリングのタイミングを容易に合わせる（同期をとる）ことができる。

[0026] 上記態様において、主干渉信号を電気信号に変換させた主干渉計信号を、補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換するＡＤ変換部をさらに備えていてもよい。

[0027] この態様によれば、主干渉信号を電気信号に変換させた主干渉計信号を、補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換するＡＤ変換部をさらに備える。これにより、主干渉計信号をサンプリング周期が補正されたデジタル信号に変換する構成を容易に実現することができる。

[0028] 本開示の一態様に係る光干渉測距センサは、コントローラと、該コントローラに接続される光ファイバケーブルとを含む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、光ファイバケーブルに含まれる光ファイバを介してセンサヘッドに接続される主干渉計であって、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主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、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計と、可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部と、主干渉信号と補正信号とに基づいて、計測対象物までの距離を計測する処理部と、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する可変遅延量設定部と、を備える。

[0029] この態様によれば、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量が設定される。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を設定することが可能となる。ここで、補正信号に基づいてサンプリングされた反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、計測対象物がない状態でも可変遅延量を設定することが可能となる。また、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、センサヘッドから計測対象物までの距離が光ファイバの長さと比較して長いときに、当該距離を光が往復するラウンドトリップ時間によって発生し得るタイミングのずれも低減する可変遅延量を設定することが可能となる。従って、主干渉計で生成される信号を、副干渉信号と可変遅延量とに基づく補正信号によって適切なタイミングでサンプリングすることができ、計測対象物までの距離を高精度に計測することができる。

発明の効果

[0030] 本発明によれば、主干渉計で生成される信号を適切なタイミングでサンプリングすることができる。

図面の簡単な説明

[0031] [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ｖｓ時間）がスペクトル（電圧ｖｓ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ｖｓ周波数）がスペクトル（電圧ｖｓ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ｖｓ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]主干渉計１５０において反射波を生成する構成の一具体例を示す模式図である。

[図12]主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク及び反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと可変遅延量との関係を説明するための図である。

[図13]主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅及び反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅とＦＦＴの条件との関係を説明するための図である。

[図14]一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[図15]一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順の他の例を説明するためのフローチャートである。

[図16]一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順のさらに他の例を説明するためのフローチャートである。

[図17]本発明の一実施形態に係る他の光干渉測距センサ１０１の構成概要を示す模式図である。

[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

[0032] 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。

[0033] ［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１０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１０は、センサヘッド２０とコントローラ３０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。

[0034] センサヘッド２０とコントローラ３０とは、光ファイバ４０で接続されており、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。また、コントローラ３０は、表示部３１と、設定部３２と、外部インタフェース（Ｉ／Ｆ）部３３と、光ファイバ接続部３４と、外部記憶部３５とを含み、さらに、内部には、計測処理部３６を有する。

[0035] センサヘッド２０は、コントローラ３０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２０は、コントローラ３０から出力されて光ファイバ４０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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] ここで、外部Ｉ／Ｆ部３３は、例えば、Ｅｔｈｅｒｎｅｔ（登録商標）、ＲＳ２３２Ｃ、及びアナログ出力等で構成される。外部Ｉ／Ｆ部３３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１０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。

[0042] また、コントローラ３０が外部記憶部３５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３５は、例えば、ＵＳＢ（Ｕｎｉｖｅｒｓａｌ Ｓｅｒｉａｌ Ｂｕｓ）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。

[0043] コントローラ３０における計測処理部３６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２０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３６では、センサヘッド２０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。

[0044] 図２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Ｓ１１～Ｓ１４を含む。

[0045] ステップＳ１１では、センサヘッド２０を設置する。例えば、センサヘッド２０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２０を適切な位置に設置する。

[0046] 具体的には、コントローラ３０における表示部３１に、センサヘッド２０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２０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２０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２０からの戻り光の受光量も大きくなる。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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Ｓ１３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。

[0055] また、ステップＳ１３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Ｓ１２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Ｓ１２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。

[0056] ［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。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] ステップＳ２１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。

[0070] ステップＳ２２では、センサシステム１は、ステップＳ２１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Ｓ２１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。

[0071] ステップＳ２３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Ｓ２２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。

[0072] ステップＳ２４では、センサシステム１は、ステップＳ２３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等に出力したりする。

[0073] 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Ｓ２１及びＳ２２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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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 ａ

ｍｐｌｉｆｉｅｒ）を適用し、例えば、１５５０ｎｍ専用の光増幅器であってもよい。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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５４ｃに戻り、当該光カプラ５４ｃによってアイソレータ５３ｂ及び受光素子５６ｃそれぞれの方向へ分岐される。光カプラ５４ｃから受光素子５６ｃの方向へ分岐された光は、受光素子５６ｃで受光されて電気信号に変換される。一方、アイソレータ５３ｂは、前段の光カプラ５４ｂから後段の光カプラ５４ｃへ光を透過し、後段の光カプラ５４ｃから前段の光カプラ５４ｂへの光を遮断するため、光カプラ５４ｃからアイソレータ５３ｂの方向へ分岐された光は、遮断される。

[0083] なお、３段目の光カプラ５４ｃによってセンサヘッド２０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５５によって減衰されるとよい。

[0084] 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２０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。

[0085] 受光素子５６ａ～５６ｃ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。

[0086] 増幅回路５７ａ～５７ｃは、それぞれ受光素子５６ａ～５６ｃから出力される電気信号を増幅する。

[0087] ＡＤ変換部５８ａ～５８ｃは、それぞれ増幅回路５７ａ～５７ｃ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（ＡＤ変換）。ここで、ＡＤ変換部５８ａ～５８ｃは、副干渉計における補正信号生成部６１からの補正信号に基づいて、ＡＤ変換する。

[0088] 副干渉計では、波長掃引光源５１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。

[0089] 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。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 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。

[0093] 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で周波数を逓倍（例えば、８倍等）して高周波化してもよい。

[0094] 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。

[0095] 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。

[0096] 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。

[0097] 図５Ｂ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５Ｂ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～５４ｊ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。図５Ｂに示された変位センサ１０は、主に、光カプラ５４ｆ～５４ｊを備えている点で、図５Ａ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５Ａと比較しながら詳しく説明する。

[0098] 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５４ｆによって測定光と参照光とに分岐される。

[0099] 測定光は、図５Ａで説明したように、１段目の光カプラ５４ａによってコリメートレンズ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、当該計測対象物Ｔで反射する。ここで、図５Ａ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５Ｂでは、光が反射する参照面を設けていない。すなわち、図５Ｂでは、図５Ａ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５４ａに戻ることなる。

[0100] 同様に、１段目の光カプラ５４ａから２段目の光カプラ５４ｂの方向に分岐された光は、当該２段目の光カプラ５４ｂによってコリメートレンズ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、当該計測対象物

Ｔで反射して２段目の光カプラ５４ｂに戻る。２段目の光カプラ５４ｂから３段目の光カプラ５４ｃの方向に分岐された光は、当該３段目の光カプラ５４ｃによってコリメートレンズ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、当該計測対象物Ｔで反射して３段目の光カプラ５４ｃに戻る。

[0101] 一方、光カプラ５４ｆによって分岐された参照光は、さらに、光カプラ５４ｇによって光カプラ５４ｈ、５４ｉ及び５４ｊに分岐される。

[0102] 光カプラ５４ｈでは、光カプラ５４ａ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５４ｇ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５６ａ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５４ｆ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５４ｆから、光カプラ５４ａ、コリメートレンズ２２ａ、対物レンズ２１を介して計測対象物Ｔで反射し、光カプラ５４ｈ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。

[0103] 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。

[0104] 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、バランスフォトディテクタであってもよい。

[0105] 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。

[0106] なお、測定光と参照光との光路長差は、３チャ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。

[0107] 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（マルチチャネル）。

[0108] ［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６Ａは、センサヘッド２０の概略構成を示す斜視図であり、図６Ｂは、センサヘッドの内部構造を示す模式図である。

[0109] 図６Ａ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２０ｍｍ程度であり、光軸方向への長さが４０ｍｍ程度である。

[0110] 図６Ｂ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２２ａ～２２ｃ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２２ａ～２２ｃ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２２ａ～２２ｃ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。

[0111] このように、これらの光ファイバ、コリメートレンズ２２ａ～２２ｃ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。

[0112] 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、Ａ２０１７）で作製されていてもよい。

[0113] 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７１ａ～７１ｅと、複数の増幅回路７２ａ～７２ｃと、複数のＡＤ変換部７４ａ～７４ｃ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。

[0114] コントローラ３０では、図５Ａ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。

[0115] 複数の受光素子７１ａ～７１ｃは、図５Ａに示された受光素子５６ａ～５６ｃ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７２ａ～７２ｃに出力する。

[0116] 複数の増幅回路７２ａ～７２ｃは、電流信号を電圧信号に変換（Ｉ－Ｖ変換）して増幅する。

[0117] 複数のＡＤ変換部７４ａ～７４ｃは、図５Ａに示されたＡＤ変換部５８ａ～５８ｃに相当し、後述する補正信号生成部７７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）。

[0118] 処理部７５は、図５Ａに示された処理部５９に相当し、ＡＤ変換部７４ａ～７４ｃ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。

[0119] 複数の受光素子７１ｄ～７１ｅ及び差動増幅回路７６は、図５Ａに示されたバランスディテクタ６０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。

[0120] 補正信号生成部７７は、図５Ａに示された補正信号生成部６１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７４ａ～７４ｃ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７７で周波数を逓倍（例えば、８倍等）して高周波化してもよい。

[0121] 図８は、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８に示されるように、当該方法は、ステップＳ３１～Ｓ３４を含む。

[0122] ステップＳ３１では、処理部５９は、下記ＦＦＴを用いて、波形信号（電圧ｖｓ時間）をスペクトル（電圧ｖｓ周波数）に周波数変換する。図９Ａは、波形信号（電圧ｖｓ時間）がスペクトル（電圧ｖｓ周波数）に周波数変換される様子を示す図である。

[数1]

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

Ｎ：データ点数

[0123] ステップＳ３２では、処理部５９は、スペクトル（電圧ｖｓ周波数）をスペクトル（電圧ｖｓ距離）に距離変換する。図９Ｂは、スペクトル（電圧ｖｓ周波数）がスペクトル（電圧ｖｓ距離）に距離変換される様子を示す図である。

[0124] ステップＳ３３では、処理部５９は、スペクトル（電圧ｖｓ距離）に基づいてピークに対応する距離値を算出する。図９Ｃは、スペクトル（電圧ｖｓ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９Ｃに示されるように、ここでは、３チャネルにおいて、それぞれスペクトル（電圧ｖｓ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。

[0125] ステップＳ３４では、処理部５９は、ステップＳ３３で算出された距離値を平均化する。具体的には、処理部５９は、ステップＳ３３で３チャネルにおいてそれぞれスペクトル（電圧ｖｓ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。

[0126] なお、ステップＳ３４では、処理部５９は、ステップＳ３３で算出された距離値を平均化する際に、ＳＮＲ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ｖｓ距離）に基づいてピークが検出されたものの、ＳＮＲ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。

[0127] 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。

[0128] ＜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、コントローラ１１０とセンサヘッド１２１とを接続する光ファイバケーブル１３０と、を含んで構成されている。光干渉測距センサ１００は、さらに、センサヘッド１２１を含んで構成されていてもよい。

[0129] コントローラ１１０は、波長掃引光源１４０と、光分岐部１１１と、主干渉計１５０と副干渉計１６０と、第１フォトダイオード（ＰＤ）１１２と、増幅回路１１４，と、第２フォトダイオード（ＰＤ）１１６と、可変遅延線

１９１と、補正信号生成部１７１と、ＡＤ変換部１８１と、処理部１１８と、可変遅延量設定部１９５と、を備える。

[0130] 光ファイバケーブル１３０は、１つ又は複数の光ファイバから構成される光ファイバ群である。光ファイバケーブル１３０は、コントローラ１１０及びセンサヘッド１２１のそれぞれに、着脱自在、つまり、取り付け及び取り外しが可能に構成されている。光ファイバケーブル１３０は、例えば、光ファイバ１３１を含んで構成される。光ファイバ１３１は、長さに比例する光路長を有しており、光ファイバ１３１の長さは、計測対象物Ｔまでの距離に基づいて設定されている。

[0131] 波長掃引光源１４０は、波長を連続的に変化させながら光を投光する。すなわち、波長掃引光源１４０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１４０から投光された光は、例えば光カプラ等で構成される光分岐部１１１を介して、主干渉計１５０と副干渉計１６０とに供給される。波長掃引光源１４０では、入力する電流の大きさを変化させることで波長を連続的に制御する。入力電流波形には主に三角波やのこぎり波が用いられる。

[0132] 主干渉計１５０は、光ファイバケーブル１３０の光ファイバ１３１に接続されており、波長掃引光源１４０から投光された光を、光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２１に供給し、さらに、センサヘッド１２１からの戻り光を第１フォトダイオード１１２に導く。

[0133] 具体的には、主干渉計１５０からセンサヘッド１２１に導かれた光は、測定光として、例えば、センサヘッド１２１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１２１に戻る。

[0134] また、主干渉計１５０からセンサヘッド１２１に導かれた光の一部は、参照光として、例えば、光ファイバ１３１の先端等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（「主干渉信号」ともいう）が生

成される。

[0135] このように、主干渉計１５０は、波長掃引光源１４０から投光された光が供給され、センサヘッド１２１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主干渉信号を生成する。なお、波長掃引光源から投光された光が供給され、主干渉信号を生成するということから、主干渉計１５０にセンサヘッド１２１を含めて主干渉計と言うこともできる。

[0136] 第１フォトダイオード１１２は、主干渉計１５０によって生成された主干渉信号を受光して電気信号に変換する。第１フォトダイオード１１２によって変換された電気信号は、例えば電流信号である。

[0137] 増幅回路１１４は、第１フォトダイオード１１２から入力された電気信号を、所定の利得（「ゲイン」ともいう）で増幅する。第１フォトダイオード１１２から電流信号が入力される場合、増幅回路１１４は、当該電流信号を電圧信号に変換（「Ｉ－Ｖ変換」ともいう）して増幅する。増幅された電気信号は、ＡＤ変換部１８１に出力される。

[0138] 副干渉計１６０は、波長掃引光源１４０から投光された光が光分岐部１１１によって分岐されて供給され、異なる光路長の光路を辿る２つの光に基づいて副干渉信号を生成する。具体的には、第１光カプラ１６１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１６２によって合成して干渉させることで、その光路長差に基づく副干渉信号が生成される。当該副干渉信号は、光ファイバ１６３を伝搬して第２フォトダイオード１１６に導かれる。一方、第２光カプラ１６２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。

[0139] 第２フォトダイオード１１６は、副干渉計１６０の光ファイバ１６３を伝搬した副干渉信号を受光して電気信号（以下、「副干渉計信号」ともいう）に変換する。第２フォトダイオード１１６によって変換された電気信号は、例えば電流信号である。

[0140] なお、第２フォトダイオード１１６から出力される電気信号は、それぞれ、図示を省略した増幅回路によって、所定のゲインで増幅してもよい。この場合、増幅回路は、増幅した電気信号を、可変遅延線１９１に出力する。

[0141] 可変遅延線１９１は、可変遅延量を生成するように構成されている。本実施形態の可変遅延線１９１は、本発明における「可変遅延量生成部」の一例に相当する。

[0142] より詳細には、可変遅延線１９１は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させて補正信号生成部１７１に出力するように構成されている。可変遅延線１９１の可変遅延量は、後述する可変遅延量設定部から入力される制御信号に従って生成される。

[0143] 可変遅延線１９１は、電気信号の伝搬を遅らせる電子部品であり、当該遅れが変更可能であるもの、例えばプログラマブルディレイラインを含んで構成される。なお、可変遅延線１９１の電子部品は、プログラマブルディレイラインに限定されるものではなく、可変遅延量に応じた変更可能な遅延（遅れ）を電気信号に発生させるものであれば、他の電子部品であってもよい。また、可変遅延線１９１は、その構造、種類、数等は問わない。

[0144] このように、可変遅延線１９１は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させて補正信号生成部１７１に出力する。これにより、電気的に遅延を発生させた副干渉計信号を出力することで、補正信号生成部１７１は、電気信号である補正信号を容易に生成することができる。

[0145] 補正信号生成部１７１は、副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、補正信号（「Ｋクロック信号」、又は単に「Ｋクロック」ともいう）を生成するように構成されている。補正信号は、主干渉計１５０が生成する主干渉信号のサンプリング周期を補正する信号である。副干渉信号は、掃引時における波長の非線形性から、主干渉信号と同様に非線形であるため、補正信号生成部１７１は、当該副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

することで、主干渉信号のアナログ信号を適切にサンプリングしてＡＤ変換するための補正信号、つまり、Ｋクロック信号を生成することができる。

[0146] なお、補正信号生成部１７１において適切な補正信号を生成するためには、第１フォトダイオード１１２で受光する主干渉信号の非線形性を、補正信号生成部１７１で適切に把握される必要がある。このためには、主干渉信号と副干渉信号との特性（非線形性）を整合させておく、言い換えれば、主干渉信号と副干渉信号とを時間的に合わせておくことが好ましい。

[0147] より詳細には、補正信号生成部１７１は、遅延副干渉計信号に基づいて、補正信号を生成するように構成されている。すなわち、補正信号は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に遅延を発生させた信号に基づいて、生成される。当該遅延は、上述した可変遅延量に応じた時間である。

[0148] また、補正信号生成部１７１は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に上述した可変遅延量に応じた遅延を発生させた信号に基づいて、補正信号であるパルス信号を生成してもよい。これにより、主干渉信号のサンプリングのタイミングを容易に合わせる（同期をとる）ことができる。

[0149] ＡＤ変換部１８１は、主干渉信号を電気信号に変換させた主干渉計信号を、補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換するように構成されている。ＡＤ変換部１８１に入力される主干渉信号は、アナログ信号の波の間隔が等間隔ではない。ＡＤ変換部１８１は、当該主干渉信号における波の間隔が等間隔になるように、上述した補正信号、つまり、Ｋクロック信号に基づいたサンプリング周期（サンプリング間隔）で、主干渉信号のアナログ信号をサンプリングしてＡＤ変換する。

[0150] このように、ＡＤ変換部１８１が主干渉信号を電気信号に変換させた主干渉計信号を、補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換することにより、主干渉計信号をサンプリング周期が補正されたデジタル信号に変換する構成を容易に実現することができる。

[0151] 処理部１１８は、主干渉計１５０によって生成された主干渉信号と、副干渉計１６０によって生成された副干渉信号とに基づいて、計測対象物Ｔまでの距離を算出するように構成されている。

[0152] より詳細には、処理部１１８は、第１フォトダイオード１１２で受光され、増幅回路１１４で増幅された主干渉信号と、第２フォトダイオード１１６で受光された副干渉信号及び可変遅延線１９１で生成された可変遅延量とに基づいて生成された補正信号とに基づいて、計測対象物Ｔまでの距離を算出するように構成されている。

[0153] 具体的には、ＡＤ変換部１８１において、主干渉信号に基づく非線形なアナログ信号が、副干渉信号と可変遅延量とに基づく補正信号によって補正されたサンプリング周期でデジタル信号に変換されるので、処理部１１８は、当該デジタル信号を、ＦＦＴ等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。

[0154] 可変遅延量設定部１９５は、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定するように構成されている。

[0155] より詳細には、ＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換した信号が可変遅延量設定部１９５に入力される。可変遅延量設定部１９５は、この信号に基づいて、可変遅延量を設定するように構成されている。可変遅延量設定部１９５に入力される信号は、例えば、主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで周波数に変換した信号、及び、反射信号のデジタル信号をＦＦＴで周波数に変換した信号である。あるいは、可変遅延量設定部１９５に入力される信号は、主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号、及び、反射信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号でも

よい。また、可変遅延量設定部１９５が設定する可変遅延量は、上述した可変遅延線１９１が生成する可変遅延量である。

[0156] ここで、主干渉計１５０が生成する反射信号について説明する。

[0157] 図１１は、主干渉計１５０において反射波を生成する構成の一具体例を示す模式図である。図１１に示すように、主干渉計１５０には、光を反射する反射面１２６ａが形成されている。具体的には、センサヘッド１２１は、計測対象物Ｔに光を照射する対物レンズ１２６と、光ファイバ１３１の先端と対物レンズ１２６との間に配置されるコリメートレンズ１２７と、を有する。反射面１２６ａは、センサヘッド１２１内の対物レンズ１２６の裏面（センサヘッド１２１における光ファイバ１３１側の面）に形成されている。

[0158] なお、センサヘッド１２１には、光ファイバ１３１の先端と対物レンズ１２６との間のコリメートレンズ１２７を有していなくてもよいし、対物レンズ１２６を配置せずにコリメートレンズ１２７のみを配置してもよい。この場合、反射面は、コリメートレンズ１２７に形成されてもよい。

[0159] 光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２１に入力された光の一部は、上述したように、測定光として計測対象物Ｔに照射され、計測対象物で反射される。そして、センサヘッド１２１に入力された光の他の一部は参照光として光ファイバ１３１の先端に設けられた参照面１３１ａで反射される。当該測定光及び参照光に基づいて主干渉信号（干渉光）が生成され、センサヘッド１２１から計測対象物Ｔまでの距離が、ＦＦＴで周波数変換した信号におけるピークとして検出される。

[0160] また、光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２１に入力された光の他の一部は、対物レンズ１２６に形成された反射面１２６ａで反射される。そして、当該反射面１２６ａで反射された反射光及び上述した参照光に基づいて反射信号（干渉光）が生成され、センサヘッド１２１内における対物レンズ１２６の位置、具体的には反射面１２６ａの位置が、ＦＦＴで周波数変換した信号におけるピークとして検出される。

[0161] このように、反射信号は、波長掃引光源１４０から投光されて主干渉計１

５０に供給される光の一部が主干渉計１５０において形成される反射面１２６ａを有する部材によって反射されることにより生成される。これにより、計測対象物Ｔが存在せずに主干渉信号を得られない場合でも、主干渉計の反射面から反射信号を得ることが可能となるので、計測対象物を用意（準備）することなく、可変遅延量を設定することができる。

[0162] なお、対物レンズ１２６に形成される反射面１２６ａは、対物レンズ１２６の表面に形成されてもよい。また、反射面１２６ａは、対物レンズ１２６に部分反射コーティングを施すことで形成されてもよいし、例えば、反射率が微小な（５％以下程度の）フレネル反射を利用することで形成されてもよい。

[0163] また、反射面は、センサヘッド１２１内部の部品に形成されていてもよい。当該部品は、センサヘッド１２１を構成する部品の一部を利用してもよいし、反射信号を生成するためのものとして、筐体内部に別途配置された部品であってもよい。

[0164] ［主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク及び反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと可変遅延量との関係］

図１２は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク及び反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと可変遅延量との関係を説明するための図である。図１３は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅及び反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク半値幅とＦＦＴの条件との関係を説明するための図である。なお、以下において、明示する場合を除き、反射信号のデジタル信号を用いて説明し、主干渉信号のデジタル信号を用いる場合の説明を省略する。

[0165] 従来の光干渉測距センサでは、コントローラとセンサヘッドとを接続する光ファイバケーブルの光ファイバの長さを変更する場合、光ファイバ介して主干渉計からセンサヘッドに伝搬し、センサヘッドから主干渉計に伝搬する光の光路長も長くなるので、主干渉計が生成する主干渉信号及び反射信号と、サンプリング周期を補正するために副干渉計が生成する補正信号との間に

、タイミングのずれが発生し得る。

[0166] また、従来の光干渉測距センサにおいて、センサヘッドから計測対象物までの距離が光ファイバの長さと比較して長い場合、センサヘッドから計測対象物に照射し、計測対象物に反射されてセンサヘッドに戻る光のラウンドトリップ時間が長くなるので、この場合も、主干渉計が生成する主干渉信号及び反射信号と、サンプリング周期を補正するために副干渉計が生成する補正信号との間に、タイミングのずれが発生し得る。

[0167] ここで、ＦＦＴを用いてデジタル信号を周波数に変換した信号（以下、「周波数信号」ともいう）において、上述したタイミングのずれのない理想的な周波数信号は、図１２に示すように、所定のピーク、例えば、所定値ＰＩのピーク強度（ピーク信号強度）と所定値ＰＨＷのピーク半値幅とを有している。

[0168] 上述したように、本実施形態の光干渉測距センサ１００は、主干渉計１５０によって生成された反射信号及び主干渉信号は、それぞれ、ＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換した信号になり、この周波数信号が、それぞれ、可変遅延量設定部１９５に入力される。

[0169] また、上述したように、本実施形態の光干渉測距センサ１００は、ＡＤ変換部１８１において、反射信号又は主干渉信号に基づくアナログ信号を、副干渉信号と可変遅延量とに基づく補正信号によってサンプリング周期を補正してデジタル信号に変換している。よって、適切な可変遅延量を設定することで、タイミングのずれを低減（解消）することができ、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号の周波数信号は、図１２に示す理想的な周波数信号における所定のピークと同様のピークを有することになる。

[0170] より詳細には、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号の周波数変換信号におけるピーク強度が高い、例えば、ピーク強度が所定値ＰＩ以上である、又は同程度である場合、設定されている可変遅延量は適切であると判断し得る。すなわち、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号の周波数変換信号に

おけるピーク強度は、適切な可変遅延量の指標となる。

[0171] また、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号の周波数変換信号におけるピーク半値幅が小さい（狭い）、例えば、ピーク半値幅が所定値ＰＨＷ未満である、又は同程度である場合、設定されている可変遅延量は適切であると判断し得る。すなわち、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号の周波数変換信号におけるピーク半値幅は、適切な可変遅延量の指標となる。なお、適切な可変遅延量の指標として、ピーク半値幅を一般化し、ピークの値に対して所定値の幅（以下、「ピーク所定値幅」ともいう）を用いてもよい。この場合、所定値は、ピーク値の半分の値である他、例えば、１／ｅ、１／ｅ２等の値であってもよい。ピーク半値幅を用いるときについても、同様に、ピーク所定値幅が小さい（狭い）、例えば、ピーク所定値幅が所定値未満である、又は同程度である場合、設定されている可変遅延量は適切であると判断し得る。

[0172] 上述したように、本実施形態の光干渉測距センサ１００は、可変遅延量設定部１９５が、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定している。

[0173] このように、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づくことにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を設定することが可能となる。ここで、補正信号に基づいてサンプリングされた反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、計測対象物Ｔがない状態でも可変遅延量を設定することが可能となる。また、補正信号に基づいてサンプリングされた主干

渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークに基づくことにより、センサヘッド１２１から計測対象物Ｔまでの距離が光ファイバ１３１の長さと比較して長いときに、当該距離を光が往復するラウンドトリップ時間によって発生し得るタイミングのずれも低減する可変遅延量を設定することが可能となる。従って、主干渉計で生成される信号を、副干渉信号と可変遅延量とに基づく補正信号によって適切なタイミングでサンプリングすることができ、計測対象物Ｔまでの距離を高精度に計測することができる。

[0174] また、可変遅延量設定部１９５は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、容易に設定することができる。

[0175] さらに、可変遅延量設定部１９５は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、容易に設定することができる。

[0176] また、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号では、当該信号におけるピーク所定値幅は、その範囲に含まれるサンプリング数（「計測点数」又は「データ点数」ともいう）が、ＦＦＴの条件、例えばゼロ埋めの有無、窓関数の有無、窓関数の種類に依存する。言い換えれば、ＦＦＴの条件を決めれば、理想的には、計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号におけるピーク所定値幅の範囲に含まれる計測点数が所定の数（以下、「所定数」ともいう）になる。なお、ゼロ埋めは、計測データにゼロを追加して周波数分解能を向上させる一般的な手法である。例えば、計測点数が２倍のデータ点数になるように、計測点数と同数のゼロを追加してゼロ埋めすると、周波数分

解能が２倍になる。本出願では、ゼロ埋めによって実測の計測点数に対して何倍にするかを決める係数として「Ｎｐａｄ」（Ｎｐａｄは正の整数）を用いる。具体的には、Ｎｐａｄ＝２である場合、５０００点の計測点数に対して５０００点のゼロデータを追加して１００００点となる。また、Ｎｐａｄ＝３である場合、５０００点の計測点数に対して１００００点のゼロデータを追加して１５０００点となる。よって、実測の計測点数Ｎに対してゼロ埋めしたときの計測点数は、Ｎ×Ｎｐａｄになる。

[0177] 例えば、図１３に一点鎖線で示すように、窓関数なし、つまり、矩形窓でゼロ埋め無しの条件のＦＦＴで、ノイズのない理想的な状態の正弦波を計測点数ごとのパワースペクトルに変換した場合、当該信号におけるピーク所定値、例えばピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は、１点となる。また、図１３に実線で示すように、一般的な窓関数、例えばハミング窓でゼロ埋め無しの条件のＦＦＴで、上述の正弦波を計測点数ごとのパワースペクトルに変換した場合、当該信号におけるピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は、窓関数自体の特定により２点となる。なお、ＦＦＴにおいて、例えばハン窓、ガウス窓等のハミング窓以外の窓関数を用いる場合も、一部の例外を除き、窓関数自体の特定により２点となる。さらに、図１３に破線で示すように、ハミング窓でゼロ埋め有り（Ｎｐａｄ＝２）の条件のＦＦＴで、上述の正弦波を計測点数ごとのパワースペクトルに変換した場合、当該信号におけるピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は、窓関数自体の特定により２点、ゼロ埋めによりデータ点数が倍になるので、４点となる。なお、図１３のグラフにおいて、縦軸の強度値は正規化して描画している。

[0178] このように、理想的な反射信号及び主干渉信号のデジタル信号において、一部の例外を除いたハミング窓等の窓関数を想定したＦＦＴを用いて計測点数ごとのパワースペクトルに変換する場合、当該信号のピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は２点となり、さらにゼロ埋めを行うＦＦＴを用いて計測点数ごとのパワースペクトルに変換する場合、当該信号のピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は、２×Ｎｐａｄと表すことができる。

[0179] 実際には、データ取得の際にジッターやノイズ等の影響により、計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号におけるピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数は、左右の１点程度広がる可能性がある。これを考慮し、計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号におけるピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２未満である場合、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号は、理想的、すなわち、タイミングのずれが小さいと見なすことができる。また、このことをピーク所定幅にまで拡張し、計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号におけるピーク所定値幅の範囲に含まれる計測点数が所定数未満である場合、反射信号及び主干渉信号のデジタル信号は、タイミングのずれが小さい理想的な状態であると見なすことができる。

[0180] 本実施形態では、図１２及び図１３において、ピーク半値幅が半値全幅である例を示したが、これに限定されるものではない。ピーク半値幅は、半値半幅であってもよい。同様に、ピーク所定値幅は、所定値全幅であってもよいし、所定値半幅であってもよい。

[0181] ［可変遅延量の設定手順］

図１４は、一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順の一例を説明するためのフローチャートである。図１５は、一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順の他の例を説明するためのフローチャートである。図１６は、一実施形態におけるコントローラ１１０が行う処理手順のさらに他の例を説明するためのフローチャートである。

[0182] 以下の説明では、最大数ｍａｘ（ｍａｘは２以上の整数）とｍａｘ個の遅延量Ｄｎ（ｎ＝１、２、…、ｍａｘ）とに値が格納されており、メモリ等の記憶手段にあらかじめ記憶されているものとする。

[0183] （具体例１：可変遅延量設定処理Ｓ２１０の処理手順）

可変遅延量設定処理Ｓ２１０では、複数のピーク強度における最大値に基づいて、可変遅延量が設定される。

[0184] 図１４に示すように、最初に、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎに“１

”を設定する（Ｓ２１１）。添字ｎは、ｍａｘ個の遅延量のうちの１つを指し示す添字である。各遅延量Ｄｎには、異なる遅延時間を表す値が格納されており、各値は、例えば昇順又は降順に、並べられている。

[0185] 次に、可変遅延量設定部１９５は、あらかじめ記憶されたｍａｘ個の遅延量のうち、添字ｎに対応する遅延量Ｄｎを読み出し、読み出した遅延量Ｄｎを可変遅延量に設定する（Ｓ２１２）。具体的には、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２１２で読みだした遅延量Ｄｎに基づいて制御信号を生成し、当該制御信号を可変遅延線１９１に出力する。これにより、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量が設定される。

[0186] 次に、波長掃引光源１４０は光を投光し、主干渉計１５０で生成された反射信号がＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて変換された周波数信号を得る（Ｓ２１３）。ステップＳ２１３における反射信号は、デジタル信号に変換される際に、ステップＳ２１２で設定された可変遅延量に基づく補正信号でサンプリング周期が補正されている。また、説明を省略する主干渉信号の場合についても、同様に、ステップＳ２１２で設定された可変遅延量に基づく補正信号でサンプリング周期が補正される。

[0187] 次に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２１３で得られた周波数信号を解析してピーク強度を検出し、検出したピーク強度の値を添字ｎに対応する強度Ｉｎに格納する（Ｓ２１４）。値が格納された強度Ｉｎは、メモリ等の記憶手段に記憶される。これにより、遅延量Ｄｎを設定したときのピーク強度の値が取得される。

[0188] 次に、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎが最大数ｍａｘに等しいか否かを判定する（Ｓ２１５）。

[0189] ステップＳ２１５の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくない場合、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎに“１”を加算し（ステップＳ２１６）、ステップＳ２１２に戻る。そして、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくなるまで、ステップＳ２１２からステップＳ２１５までが繰り返される。

[0190] 一方、ステップＳ２１５の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しい場合、ｍａｘ個全ての遅延量について、反射信号のデジタル信号がＦＦＴを用いて周波数信号に変換され、当該周波数信号のピーク強度を検出し終えたことになる。この場合、Ｓ２１４で検出し、格納されたｍａｘ個の強度Ｉｎのうちの最大値を示すものが、タイミングのずれが最も小さい反射信号のデジタル信号について、ＦＦＴを用いて変換した周波数信号のピーク強度であると考えられる。よって、可変遅延量設定部１９５は、記憶されたｍａｘ個の強度Ｉｎの中から最大値を示す強度Ｉｎを検索する（Ｓ２１７）。

[0191] そして、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２１７で検索した強度Ｉｎの添字ｎに対応する遅延量Ｄｎを読み出し、読み出した遅延量Ｄｎを可変遅延量に設定する（Ｓ２１８）。具体的には、ステップＳ２１２と同様に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２１７で読み出した遅延量Ｄｎに基づいて制御信号を生成し、当該制御信号を可変遅延線１９１に出力する。これにより、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量に、反射信号のデジタル信号が変換された周波数信号において、ピーク強度が最大値となる遅延量が設定される。

[0192] このように、可変遅延量設定部１９５は、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する。これにより、複数のピーク強度のうちの最大値に基づいて可変遅延量が設定されるので、１つの主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度、又は、１つの反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度に基づいて可変遅延量を設定する場合と比較して、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれをさらに低減する可変遅延量を設定することができる。

[0193] （具体例２：可変遅延量設定処理Ｓ２３０の処理手順）

可変遅延量設定処理Ｓ２３０では、複数のピーク所定値幅における最小値に基づいて、可変遅延量が設定される。なお、図１５に示す例では、ピーク

所定値幅として、ピーク半値幅を用いる場合について説明する。

[0194] なお、可変遅延量設定処理Ｓ２３０のステップＳ２３１からステップＳ２３３までの各ステップは、上述した可変遅延量設定処理Ｓ２１０のステップＳ２１１からステップＳ２１３までの各ステップと同一又は略同一であるため、それぞれの説明を省略する。

[0195] 図１５に示すように、ステップＳ２３３の後、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２３３で得られた周波数信号を解析してピークを検出する（Ｓ２３４）。検出されるピークは、周波数信号において、ピーク強度が最大値を示すピークである。

[0196] 次に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２３４で検出したピークに対するピーク半値幅を算出し、算出したピーク半値幅の値を添字ｎに対応する半値幅ＦＷＨＭｎに格納する（Ｓ２３５）。算出されるピーク半値幅は、例えば半値全幅（ＦＷＨＭ）である。値が格納された半値幅ＦＷＨＭｎは、メモリ等の記憶手段に記憶される。これにより、遅延量Ｄｎを設定したときのピーク半値幅の値が取得される。

[0197] 次に、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎが最大数ｍａｘに等しいか否かを判定する（Ｓ２３６）。

[0198] ステップＳ２３６の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくない場合、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎに“１”を加算し（ステップＳ２３７）、ステップＳ２３２に戻る。そして、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくなるまで、ステップＳ２３２からステップＳ２３６までが繰り返される。

[0199] 一方、ステップＳ２３６の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しい場合、ｍａｘ個全ての遅延量について、反射信号のデジタル信号がＦＦＴを用いて周波数信号に変換され、当該周波数信号のピークを検出してピーク半値幅が算出し終えたことになる。この場合、ステップＳ２３５で算出し、格納されたｍａｘ個の半値幅ＦＷＨＭｎのうちの最小値を示すものが、タイミングのずれが最も小さい反射信号のデジタル信号について、ＦＦＴを用いて変換した周波数信号のピーク半値幅であると考えられる。よって、可変遅延量

設定部１９５は、記憶されたｍａｘ個の半値幅ＦＷＨＭｎの中から最小値を示す半値幅ＦＷＨＭｎを検索する（Ｓ２３８）。

[0200] そして、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２３８で検索した半値幅ＦＷＨＭｎの添字ｎに対応する遅延量Ｄｎを読み出し、読み出した遅延量Ｄｎを可変遅延量に設定する（Ｓ２３９）。具体的には、ステップＳ２３２と同様に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２３８で読み出した遅延量Ｄｎに基づいて制御信号を生成し、当該制御信号を可変遅延線１９１に出力する。これにより、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量に、反射信号のデジタル信号が変換された周波数信号において、ピーク半値幅が最小値となる遅延量が設定される。

[0201] このように、可変遅延量設定部１９５は、複数の主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値と、複数の反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値とのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する。これにより、複数のピーク所定値幅のうちの最小値に基づいて可変遅延量が設定されるので、１つの主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅、又は、１つの反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に基づいて可変遅延量を設定する場合と比較して、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれをさらに低減する可変遅延量を設定することができる。

[0202] （具体例３：可変遅延量設定処理Ｓ２５０の処理手順）

可変遅延量設定処理Ｓ２５０では、周波数信号のピーク所定値幅に含まれる計測点数が所定数未満となるように、可変遅延量が設定される。なお、図１６に示す例では、ピーク所定値幅としてピーク半値幅を用い、所定数として２×Ｎｐａｄ＋２を用いる場合について、説明する。

[0203] なお、可変遅延量設定処理Ｓ２５０のステップＳ２５１からステップＳ２５２までの各ステップは、上述した可変遅延量設定処理Ｓ２３０のステップＳ２３１からステップＳ２３２までの各ステップと同一又は略同一であるた

め、それぞれの説明を省略する。

[0204] 図１６に示すように、ステップＳ２５２の後、波長掃引光源１４０は光を投光し、主干渉計１５０で生成された反射信号がＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換された信号を得る（Ｓ２５３）。ステップＳ２５３における反射信号は、デジタル信号に変換される際に、ステップＳ２５２で設定された可変遅延量に基づく補正信号でサンプリング周期が補正されている。また、説明を省略する主干渉信号の場合についても、同様に、ステップＳ２５２で設定された可変遅延量に基づく補正信号でサンプリング周期が補正される。

[0205] 次に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２５２で得られた、計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号を解析してピークを検出する（Ｓ２５４）。検出されるピークは、当該信号において、ピーク強度が最大値を示すピークである。

[0206] 次に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２５４で検出したピークに対するピーク半値幅を算出し、算出したピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数を添字ｎに対応する半値幅ＦＷＨＭｎに格納する（Ｓ２５５）。算出されるピーク半値幅は、例えば半値全幅（ＦＷＨＭ）である。計測点数が格納された半値幅ＦＷＨＭｎは、メモリ等の記憶手段に記憶される。これにより、遅延量Ｄｎを設定したときのピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が取得される。

[0207] 次に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２５５で半値幅ＦＷＨＭｎに格納した、算出したピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が、２×Ｎｐａｄ＋２未満（半値幅ＦＷＨＭｎ＜２×Ｎｐａｄ＋２）であるか否かを判定する（Ｓ２５６）。

[0208] ステップＳ２５６の判定の結果、半値幅ＦＷＨＭｎに格納されたピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２未満でない、つまり、半値幅ＦＷＨＭｎの計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２以上（半値幅ＦＷＨＭｎ≧２

×Ｎｐａｄ＋２）である場合、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎが最大数ｍａｘに等しいか否かを判定する（Ｓ２５７）。

[0209] ステップＳ２５７の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくない場合、可変遅延量設定部１９５は、添字ｎに“１”を加算し（ステップＳ２５８）、ステップＳ２５２に戻る。そして、半値幅ＦＷＨＭｎに格納されたピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２未満になるまで、あるいは、添字ｎが最大数ｍａｘに等しくなるまで、ステップＳ２５２からステップＳ２５７又はステップＳ２５８までが繰り返される。

[0210] 一方、ステップＳ２５７の判定の結果、添字ｎが最大数ｍａｘに等しい場合、ｍａｘ個全ての遅延量について、半値幅ＦＷＨＭｎに格納されたピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２未満となるものがないことになる。この場合、可変遅延量設定処理Ｓ２５０を終了する。そして、例えば、ファイバが長すぎるか、あるいは、計測対象物Ｔが遠くに置かれている等のハードウェアに何らかの原因があると考えられるので、コントローラ１１０は、エラーを表示又は出力する。

[0211] また一方、ステップＳ２５６の判定の結果、半値幅ＦＷＨＭｎに格納されたピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数が２×Ｎｐａｄ＋２未満である場合、直近のステップＳ２５５で格納された半値幅ＦＷＨＭｎの計測点数が、タイミングのずれが所定値未満である反射信号のデジタル信号について、ＦＦＴを用いて計測点数ごとのパワースペクトルに変換した信号のピーク半値幅の範囲に含まれる計測点数であると考えられる。よって、可変遅延量設定部１９５は、直近のステップＳ２５５で算出し、格納された半値幅ＦＷＨＭｎの添字ｎに対応する遅延量Ｄｎを読み出し、読み出した遅延量Ｄｎを可変遅延量に設定する（Ｓ２５９）。具体的には、ステップＳ２５２と同様に、可変遅延量設定部１９５は、ステップＳ２５９で読み出した遅延量Ｄｎに基づいて制御信号を生成し、当該制御信号を可変遅延線１９１に出力する。これにより、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量に、反射信号のデジタル信号が変換された周波数信号において、ピーク半値幅が所定値未満となる遅

延量が設定される。

[0212] このように、可変遅延量設定部１９５は、主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数と、反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数とのうち、少なくとも一方が所定数未満となるように、可変遅延量を設定する。これにより、主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延量を、簡易に設定することができる。

[0213] なお、本実施形態で説明したシーケンス及びフローチャートは、処理に矛盾が生じない限り、順序を入れ替えてもよい。

[0214] また、本実施形態で説明した処理は、例えば、コントローラの電源オン時の初期設定で実行されてもよいし、計測対象物Ｔの距離を計測するごとに、毎回実行してもよい。

[0215] さらに、可変遅延量は、本実施形態で説明した手順で設定される場合に限定されるものではない。可変遅延量の設定手順は、上述したものの他に、以下のものが考えられる。例えば、反射信号のデジタル信号を、ＦＦＴを用いて距離変換された信号において、センサヘッド１２１に形成された反射面の位置に応じたピークが検出される。そして、光ファイバ１３１の長さが変化すると、反射信号のデジタル信号におけるピークの位置も変化するので、このピークの位置と光ファイバ１３１の長さとをあらかじめ紐付けしておき、反射信号のデジタル信号におけるピークの位置によって、光ファイバ１３１の長さを判定し、判定された光ファイバ１３１の長さに基づく可変遅延量を設定してもよい。また、光ファイバ１３１の長さによって、ユーザが規定の複数の可変遅延量の中からいずれか一つを選択し、選択された可変遅延量を設定してもよい。また、光ファイバ１３１の長さ及びセンサヘッド１２１から計測対象物Ｔまでの距離と可変遅延量とをあらかじめ紐付けしておき、ユーザが光ファイバ１３１の長さと計測対象物Ｔまでのおおよその距離とを入力し、当該入力された光ファイバ１３１の長さ及び計測対象物Ｔまでのおおよその距離に基づいて可変遅延量を設定してもい。また、コントローラ１１

０に光ファイバ１３１の長さに固有の専用ＲＯＭ（Ｒｅａｄ　Ｏｎｌｙ　Ｍｅｍｏｒｙ）を挿入し、当該専用ＲＯＭから読み出した値を可変遅延量に設定してもよい。さらに、反射信号のデジタル信号に周波数信号をディスプレイ等の表示手段で表示し、ユーザが、それぞれの可変遅延量が異なるいくつかの周波数信号におけるピークを見て、可変遅延量を選択若しくは入力し、設定してもよい。

[0216] 本実施形態では、光干渉測距センサ１００が、コントローラ１１０と、１つのセンサヘッドをコントローラ１１０に接続する１つの光ファイバを含む光ファイバケーブルとを備える例を示したが、これに限定されるものではない。光干渉測距センサは、コントローラと、２つ以上のセンサヘッドに接続する、センサヘッドと同数の光ファイバを含む光ファイバケーブルとを備えていてもよい。以下、説明の簡略化のため、光干渉測距センサが、コントローラと、２つのセンサヘッドのそれぞれに接続する２つの光ファイバを含む光ファイバケーブルとを備える場合の構成について説明する。

[0217] ［２つのセンサヘッドに接続する場合の光干渉測距センサの構成］

図１７は、２つのセンサヘッドに接続する場合の光干渉測距センサの構成概要を示す模式図である。なお、図１７では、図１０に示す光干渉測距センサ１００と同一又は類似の構成について同一又は類似の符号を付し、その説明を適宜省略する。また、図１０に示す光干渉測距センサ１００と同様の構成による同様の作用効果については、逐次言及しない。

[0218] 図１７に示すように、光干渉測距センサ１０１は、コントローラ１１０と、コントローラ１１０とセンサヘッド１２１及びセンサヘッド１２２とを接続する光ファイバケーブル１３０とを備える。図１７に示す光ファイバケーブル１３０は、図１０に示す光ファイバケーブル１３０と比較して、光ファイバ１３２をさらに含む点で相違する。また、図１７に示すコントローラ１１０は、図１０に示すコントローラ１１０と比較して、主干渉計１５０が第１主干渉計１５１及び第２主干渉計１５２を含み、第１フォトダイオード１１３、増幅回路１１５、可変遅延線１９２、補正信号生成部１７２、及びＡ

Ｄ変換部１８２をさらに備える点で相違する。

[0219] 光ファイバケーブル１３０は、光ファイバ１３１と光ファイバ１３２とを含んで構成される。光ファイバケーブル１３０は、コントローラ１１０並びにセンサヘッド１２１及びセンサヘッド１２２のそれぞれに、着脱自在、つまり、取り付け及び取り外しが可能に構成されている。光ファイバ１３１は長さＬ１を有し、光ファイバ１３２は長さＬ２を有する。光ファイバ１３１の長さＬ１は、計測対象物Ｔ１までの距離に基づいて設定されており、光ファイバ１３２の長さＬ２は、計測対象物Ｔ２までの距離に基づいて設定されている。計測対象物Ｔ２は、計測対象物Ｔ１とは異なる距離、図１７に示す例では遠い距離、に存在する対象物を想定している。そのため、光ファイバ１３２の長さＬ２は、光ファイバ１３１の長さＬ１よりも長くなっている（長さＬ２＞長さＬ１）。

[0220] 主干渉計１５０は、２つの光路（２チャネル）を有しており、第１主干渉計１５１と第２主干渉計とを含んで構成される。

[0221] 第１主干渉計１５１は、光ファイバケーブル１３０の光ファイバ１３１に接続されており、波長掃引光源１４０から投光された光を、光ファイバ１３１を介してセンサヘッド１２１に供給し、さらに、センサヘッド１２１からの戻り光を第１フォトダイオード１１２に導く。

[0222] 具体的には、第１主干渉計１５１からセンサヘッド１２１に導かれた光は、測定光として、例えば、センサヘッド１２１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１２１に戻る。

[0223] また、第１主干渉計１５１からセンサヘッド１２１に導かれた光の一部は、参照光として、例えば、光ファイバ１３１の先端等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（「主干渉信号」ともいう）が生成される。

[0224] このように、第１主干渉計１５１は、波長掃引光源１４０から投光された

光が供給され、センサヘッド１２１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第１参照光とに基づく主干渉信号を生成する。なお、波長掃引光源から投光された光が供給され、主干渉信号を生成するということから、第１主干渉計１５１にセンサヘッド１２１を含めて第１主干渉計と言うこともできる。第１主干渉計は、図１０に示す主干渉計１５０と同様に、反射面による反射光と参照光とに基づく反射信号も生成する。

[0225] 第２主干渉計１５２は、光ファイバケーブル１３０の光ファイバ１３２に接続されており、波長掃引光源１４０から投光された光を、光ファイバ１３２を介してセンサヘッド１２２に供給し、さらに、センサヘッド１２２からの戻り光を第１フォトダイオード１１３に導く。

[0226] 具体的には、第２主干渉計１５２からセンサヘッド１２２に導かれた光は、測定光として、例えば、センサヘッド１２２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１２２に戻る。

[0227] また、第２主干渉計１５２からセンサヘッド１２２に導かれた光の一部は、参照光として、例えば、光ファイバ１３２の先端等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第２参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（「主干渉信号」ともいう）が生成される。

[0228] このように、第２主干渉計１５２は、波長掃引光源１４０から投光された光が供給され、第２センサヘッド１２２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主干渉信号を生成する。なお、波長掃引光源から投光された光が供給され、主干渉信号を生成するということから、第２主干渉計１５２にセンサヘッド１２２を含めて第２主干渉計と言うこともできる。第２主干渉計は、図１０に示す主干渉計１５０と同様に、反射面による反射光と参照光とに基づく反射信号も生成する。

[0229] 第１フォトダイオード１１２は、第１主干渉計１５１によって生成された主干渉信号を受光して電気信号に変換する。第１フォトダイオード１１３は、第２主干渉計１５２によって生成された主干渉信号を受光して電気信号に変換する。

[0230] 増幅回路１１５は、第１フォトダイオード１１３から入力された電気信号を、所定の利得で増幅する。第１フォトダイオード１１３から電流信号が入力される場合、増幅回路１１５は、当該電流信号を電圧信号に変換して増幅する。増幅された電気信号は、ＡＤ変換部１８２に出力される。

[0231] 第２フォトダイオード１１６は、副干渉計１６０の光ファイバ１６３を伝搬した副干渉信号を受光して電気信号である副干渉計信号に変換する。第２フォトダイオード１１６は、変換した電気信号を可変遅延線１９１と可変遅延線１９２とに出力する。なお、第２フォトダイオード１１６から出力される電気信号を、可変遅延線１９１と可変遅延線１９２とに分岐する場合、反射を防ぐように、第２フォトダイオード１１６と可変遅延線１９１及び可変遅延線１９２との間でインピーダンスマッチング（インピーダンス整合）がされてもよい、

[0232] 可変遅延線１９２は、可変遅延量を生成するように構成されている。本実施形態の可変遅延線１９２は、本発明における「可変遅延量生成部」の一例に相当する。

[0233] より詳細には、可変遅延線１９２は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延量に応じた遅延を発生させて補正信号生成部１７１に出力するように構成されている。可変遅延線１９２の可変遅延量は、可変遅延量設定部１９５から入力される制御信号に従って生成される。よって、可変遅延線１９２が生成する可変遅延量は、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量と同じである場合もあれば、異なる場合もある。

[0234] 可変遅延線１９２は、電気信号の伝搬を遅らせる電子部品であり、当該遅れが変更可能であるもの、例えばプログラマブルディレイラインを含んで構

成される。なお、可変遅延線１９１の電子部品は、プログラマブルディレイラインに限定されるものではなく、可変遅延量に応じた変更可能な遅延（遅れ）を電気信号に発生させるものであれば、他の電子部品であってもよい。また、可変遅延線１９２は、その構造、種類、数等は問わない。

[0235] 補正信号生成部１７２は、副干渉信号と可変遅延線１９２の可変遅延量とに基づいて、補正信号（「Ｋクロック信号」、又は単に「Ｋクロック」ともいう）を生成するように構成されている。補正信号は、第２主干渉計１５２が生成する主干渉信号のサンプリング周期を補正する信号である。副干渉信号は、掃引時における波長の非線形性から、第２主干渉計１５２の主干渉信号と同様に非線形であるため、補正信号生成部１７２は、当該副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することで、第２主干渉計１５２の主干渉信号のアナログ信号を適切にサンプリングしてＡＤ変換するための補正信号、つまり、Ｋクロック信号を生成することができる。

[0236] なお、補正信号生成部１７２において適切な補正信号を生成するためには、第１フォトダイオード１１３で受光する第２主干渉計１５２の主干渉信号の非線形性を、補正信号生成部１７２で適切に把握される必要がある。このためには、第２主干渉計１５２の主干渉信号と副干渉信号との特性（非線形性）を整合させておくことが好ましい。

[0237] より詳細には、補正信号生成部１７２は、遅延副干渉計信号に基づいて、補正信号を生成するように構成されている。すなわち、補正信号は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に遅延を発生させた信号に基づいて、生成される。当該遅延は、上述した可変遅延線１９２の可変遅延量に応じた時間である。

[0238] また、補正信号生成部１７２は、副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に可変遅延線１９２の可変遅延量に応じた遅延を発生させた信号に基づいて、補正信号であるパルス信号を生成してもよい。

[0239] ＡＤ変換部１８２は、第２主干渉計１５２の主干渉信号を電気信号に変換

させた主干渉計信号を、補正信号生成部１７２の補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換するように構成されている。ＡＤ変換部１８２に入力される第２主干渉計１５２の主干渉信号は、アナログ信号の波の間隔が等間隔ではない。ＡＤ変換部１８２は、当該主干渉信号における波の間隔が等間隔になるように、補正信号生成部１７２の補正信号、つまり、Ｋクロック信号に基づいて補正したサンプリング周期（サンプリング間隔）で、主干渉信号のアナログ信号をサンプリングしてＡＤ変換する。

[0240] 可変遅延量設定部１９５は、補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定するように構成されている。

[0241] 可変遅延量設定部１９５には、ＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換された信号と、ＡＤ変換部１８２によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換された信号とが入力される。可変遅延量設定部１９５は、ＡＤ変換部１８１によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換された信号に基づいて、可変遅延線１９１の可変遅延量を設定するように構成されている。また、可変遅延量設定部１９５は、ＡＤ変換部１８２によってデジタル信号に変換され、処理部１１８によってＦＦＴを用いて当該デジタル信号を周波数に変換された信号に基づいて、可変遅延線１９２の可変遅延量を設定するように構成されている。

[0242] 可変遅延量設定部１９５に入力される信号は、第１主干渉計１５１の主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで周波数に変換した信号、及び、第１主干渉計１５１の反射信号のデジタル信号をＦＦＴで周波数に変換した信号、並びに、第２主干渉計１５２の主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで周波数に変換した信号、及び、第２主干渉計１５２の反射信号のデジタル信号をＦＦＴ

で周波数に変換した信号、である。あるいは、可変遅延量設定部１９５に入力される信号は、第１主干渉計１５１の主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号、及び、第１主干渉計１５１の反射信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号、並びに、第２主干渉計１５２の主干渉信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号、及び、第２主干渉計１５２の反射信号のデジタル信号をＦＦＴで計測点数（データ点数）ごとのパワースペクトルに変換した信号でもよい。また、可変遅延量設定部１９５が設定する可変遅延量は、可変遅延線１９１が生成する可変遅延量と、可変遅延線１９２が生成する可変遅延量との２つの可変遅延量である。

[0243] 可変遅延線１９１の可変遅延量と可変遅延線１９２の可変遅延量とは、それぞれ、上述の図１４から図１６に示す可変遅延量設定処理のうちの１つを実行することで設定してもよい。また、可変遅延線１９１の可変遅延量と可変遅延線１９２の可変遅延量との設定は、並列（パラレル）に行ってもよいし、所定の順序で直列（シリアル）に行ってもよい。

[0244] このように、主干渉計１５０が２つの光路（２チャネル）を有し、２つの光ファイバ１３１及び光ファイバ１３２を含む光ファイバケーブル１３０でセンサヘッド１２１及びセンサヘッド１２１に接続する場合でも、第１主干渉計１５１の主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延線１９１の可変遅延量、及び、第２主干渉計１５２の主干渉信号及び反射信号と副干渉信号との間に発生し得るタイミングのずれを低減する可変遅延線１９２の可変遅延量を、それぞれ、設定することができる。

[0245] ［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１００，１０１は、主干渉計１５０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。

[0246] 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１５０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１００，１０１の主干渉計１５０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。

[0247] 図１８（ｂ）では、主干渉計１５０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Ｌｍと、参照光を導く参照光路Ｌｒとを形成し、参照光路Ｌｒ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Ｌｍの光路長と参照光路Ｌｒ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。

[0248] 図１８（ｃ）では、主干渉計１５０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Ｌｍと、参照光を導く参照光路Ｌｒとを形成し、参照光路Ｌｒ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Ｌｍと参照光路Ｌｒ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。

[0249] このように、主干渉計は、実施形態で説明したフィゾー型干渉計に限定されるものではなく、例えば、マイケルソン型干渉計やマッハツェンダ型干渉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渉光を発生させることができれば、どのような干渉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。また、図示しない副干渉計についても、同様に、フィゾー型干渉計、マイケルソン型干渉計

、及びマッハツェンダ型干渉計のいずれであってもよいし、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渉光を発生させることができれば、どのような干渉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。

[0250] なお、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。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。すなわち、実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、実施形態が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、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、実施形態は例示であり、異なる実施形態で示した構成の部分的な置換又は組み合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

[0251] ［付記１］

計測対象物（Ｔ）に光を照射するセンサヘッド（１２１）に、光ファイバケーブル（１３０）を介して接続されるコントローラ（１１０）であって、

波長を変化させながら光を投光する光源（１４０）と、

光ファイバケーブル（１３０）に含まれる光ファイバ（１３１）を介してセンサヘッド（１２１）に接続される主干渉計（１５０）であって、光源（１４０）から投光された光が供給され、センサヘッド（１２１）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主干渉信号を生成する主干渉計（１５０）と、

光源（１４０）から投光された光が供給され、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計（１６０）と、

可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、

副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、主干渉信号のサンプリング周期を

補正する補正信号を生成する補正信号生成部（１７１）と、

主干渉信号と補正信号とに基づいて、計測対象物（Ｔ）までの距離を計測する処理部（１１８）と、

補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、主干渉計（１５０）で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する可変遅延量設定部（１９５）と、を備える、

コントローラ（１１０）。

［付記１１］

コントローラ（１１０）と、該コントローラ（１１０）に接続される光ファイバケーブル（１３０）とを含む光干渉測距センサ（１００）であって、

コントローラ（１１０）は、

波長を変化させながら光を投光する光源（１４０）と、

光ファイバケーブル（１３０）に含まれる光ファイバ（１３１）を介してセンサヘッド（１２１）に接続される主干渉計（１５０）であって、光源（１４０）から投光された光が供給され、センサヘッド（１２１）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主干渉信号を生成する主干渉計（１５０）と、

光源（１４０）から投光された光が供給され、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計（１６０）と、

可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、

副干渉信号と可変遅延量とに基づいて、主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部（１７１）と、

主干渉信号と補正信号とに基づいて、計測対象物（Ｔ）までの距離を計測する処理部（１１８）と、

補正信号に基づいてサンプリングされた主干渉信号のデジタル信号に基づ

く信号におけるピークと、主干渉計（１５０）で生成される反射信号のデジタル信号であって、補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、可変遅延量を設定する可変遅延量設定部（１９５）と、を備える、

光干渉測距センサ（１００）。

符号の説明

[0252] 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…コリメートレンズ、２２ｂ…コリメートレンズ、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，５４ｂ，５４ｃ，５３ｄ，５４ｅ，５４ｆ，５４ｇ，５４ｈ，５４ｉ，５４ｊ…光カプラ、５５…減衰器、５６ａ，５６ｂ，５６ｃ…受光素子、５７ａ，５７ｂ，５７ｃ…増幅回路、５８ａ，５８ｂ，５８ｃ…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，７１ｂ，７１ｃ，７１ｄ，７１ｅ…受光素子、７２ａ，７２ｂ，７２ｃ…増幅回路，７４ａ，７４ｂ，７４ｃ…ＡＤ変換部、７５…処理部、７６…差動増幅回路、７７…補正信号生成部、１００，１０１…光干渉測距センサ、１１０…コントローラ、１１１…光分岐部、１１２，１１３…第１フォトダイオード、１１４，１１５…増幅回路、１１６…第２フォトダイオード、１１８…処理部、１２１，１２２…センサヘッド、１３０…光ファイバケーブル、１３１，１３２…光ファイバ、１４０…波長掃引光源、１５０…主干渉計、１５１…第１主干渉計、１５２…第２主干渉計、１６０…副干渉計、１６１…第１光カプラ、１６２…第２光カプラ、１６３…光ファイバ、１７１，１７２…補正信号生成部、１８１，１８２…ＡＤ変換部、１９１，１９２…可変遅延線、１９５…可変遅延量設定部、Ｌｍ…測定光

路、Ｌｒ…参照光路、Ｔ，Ｔ１，Ｔ２…計測対象物。

請求の範囲

[請求項1] 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、

前記光ファイバケーブルに含まれる光ファイバを介して前記センサヘッドに接続される主干渉計であって、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主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、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計と、

可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、

前記副干渉信号と前記可変遅延量とに基づいて、前記主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部と、

前記主干渉信号と前記補正信号とに基づいて、前記計測対象物までの距離を計測する処理部と、

前記補正信号に基づいてサンプリングされた前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、前記主干渉計で生成される反射信号のデジタル信号であって、前記補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する可変遅延量設定部と、を備える、

コントローラ。

[請求項2] 前記可変遅延量設定部は、前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度と、前記反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度とのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項3] 前記可変遅延量設定部は、複数の前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値と、複数の前記反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク強度の最大値とのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する、

請求項２に記載のコントローラ。

[請求項4] 前記可変遅延量設定部は、前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅と、前記反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅とのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項5] 前記可変遅延量設定部は、複数の前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値と、複数の前記反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅の最小値とのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する、

請求項４に記載のコントローラ。

[請求項6] 前記可変遅延量設定部は、前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数と、前記反射信号のデジタル信号に基づく信号におけるピーク所定値幅に含まれる計測点数とのうち、少なくとも一方が所定数未満となるように、前記可変遅延量を設定する、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項7] 前記反射信号は、前記光源から投光されて前記主干渉計に供給される光の一部が当該主干渉計において形成される反射面を有する部材によって反射されることにより生成される、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項8] 前記可変遅延量生成部は、前記副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に前記可変遅延量に応じた遅延を発生させて前記補正信号生成部に出力する可変遅延線を含む、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項9] 前記補正信号生成部は、前記副干渉信号を電気信号に変換させた副干渉計信号において、時間軸方向に前記可変遅延量に応じた遅延を発生させた信号に基づいて、前記補正信号であるパルス信号を生成する、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項10] 前記主干渉信号を電気信号に変換させた主干渉計信号を、前記補正信号に基づいてサンプリングしてデジタル信号に変換するＡＤ変換部をさらに備える、

請求項１に記載のコントローラ。

[請求項11] コントローラと、該コントローラに接続される光ファイバケーブルとを含む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、

前記光ファイバケーブルに含まれる光ファイバを介してセンサヘッドに接続される主干渉計であって、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主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、異なる光路を辿る２つの光に基づく副干渉信号を生成する副干渉計と、

可変遅延量を生成する可変遅延量生成部と、

前記副干渉信号と前記可変遅延量とに基づいて、前記主干渉信号のサンプリング周期を補正する補正信号を生成する補正信号生成部と、

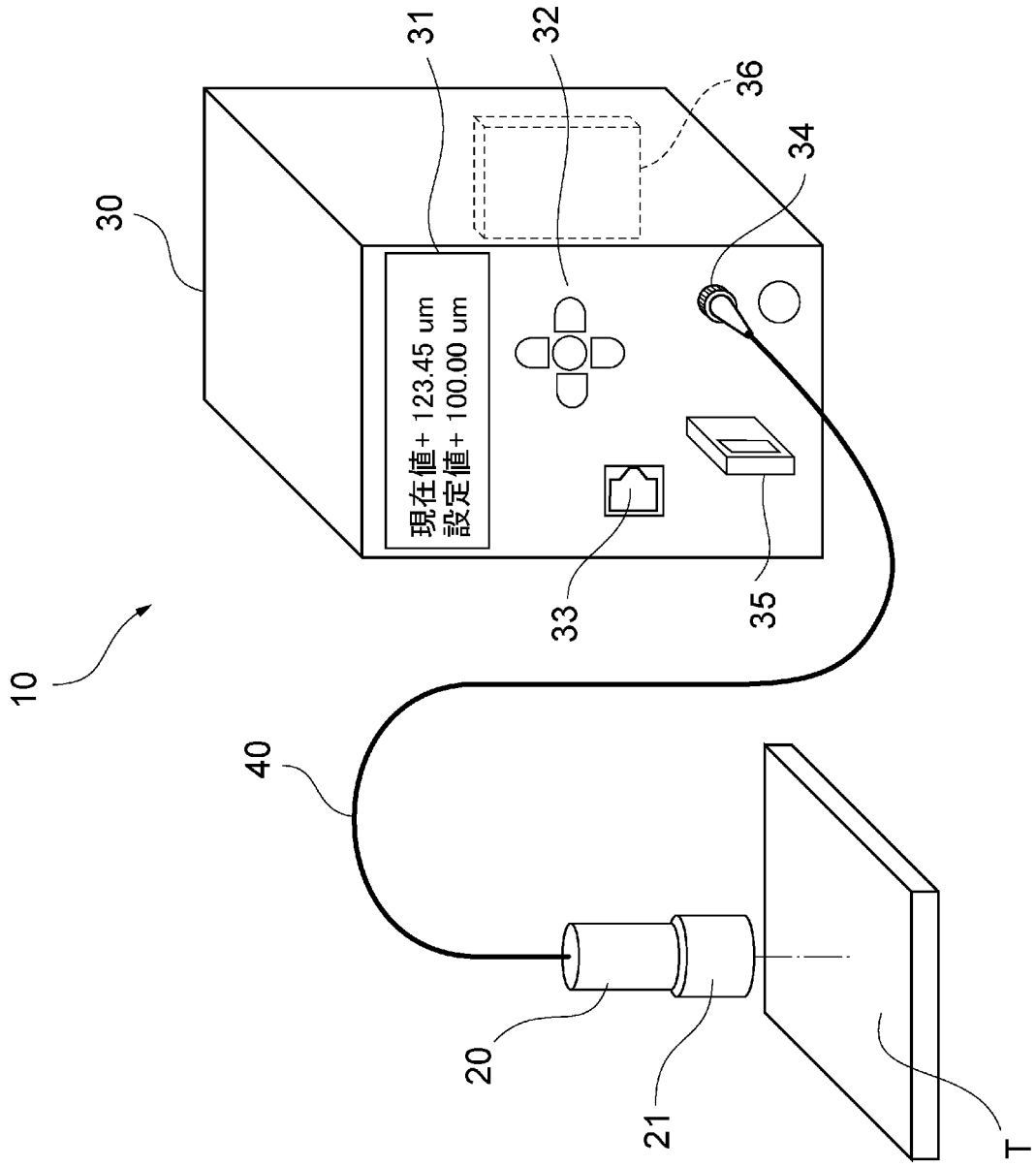
前記主干渉信号と前記補正信号とに基づいて、前記計測対象物までの距離を計測する処理部と、

前記補正信号に基づいてサンプリングされた前記主干渉信号のデジタル信号に基づく信号におけるピークと、前記主干渉計で生成される

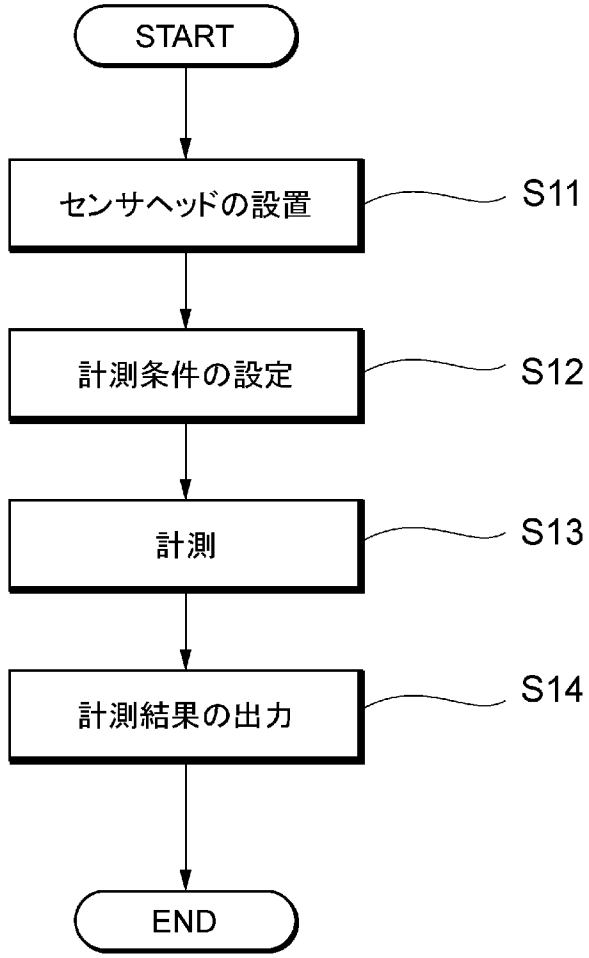
反射信号のデジタル信号であって、前記補正信号に基づいてサンプリングされたデジタル信号に基づく信号におけるピークとのうち、少なくとも一方に基づいて、前記可変遅延量を設定する可変遅延量設定部と、を備える、

光干渉測距センサ。

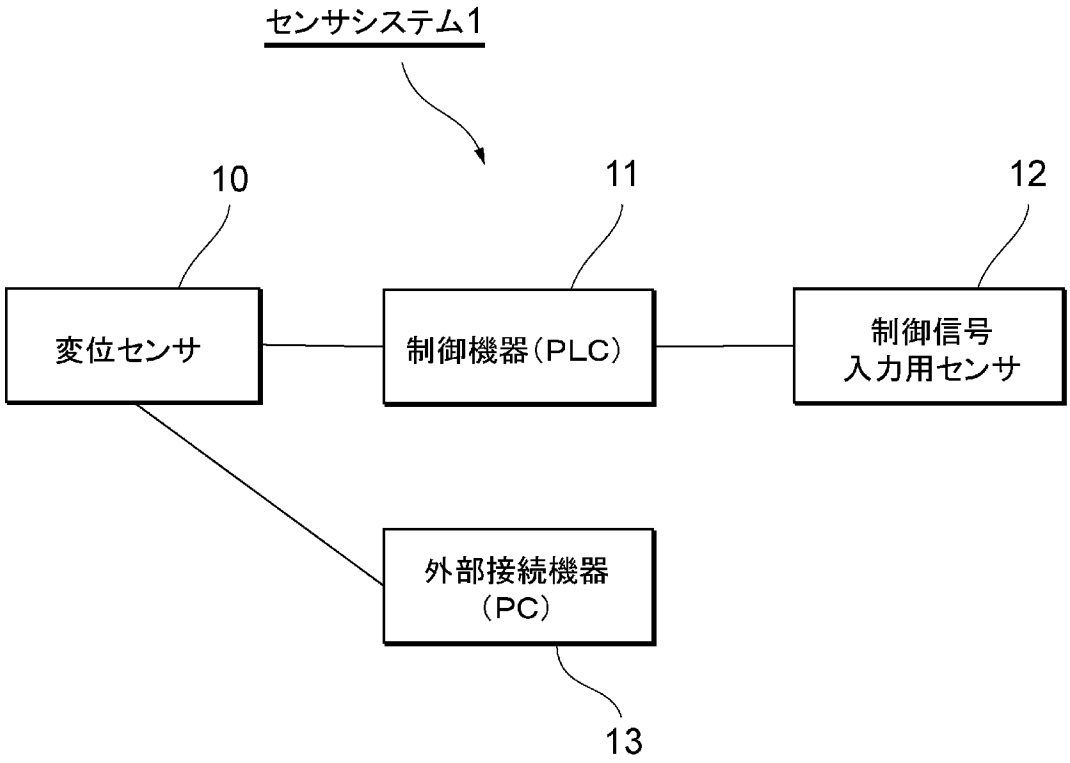
[図1]



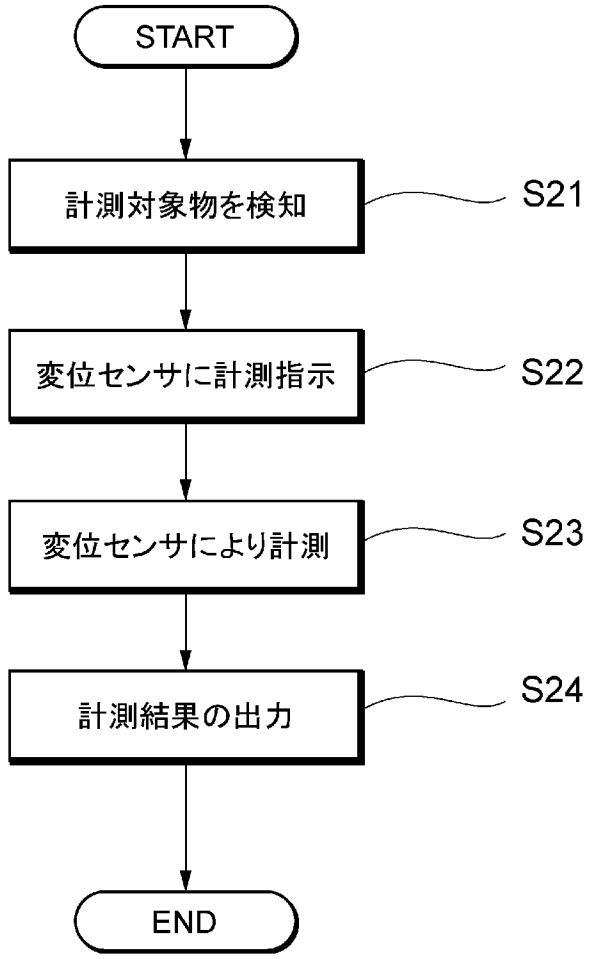
[図2]



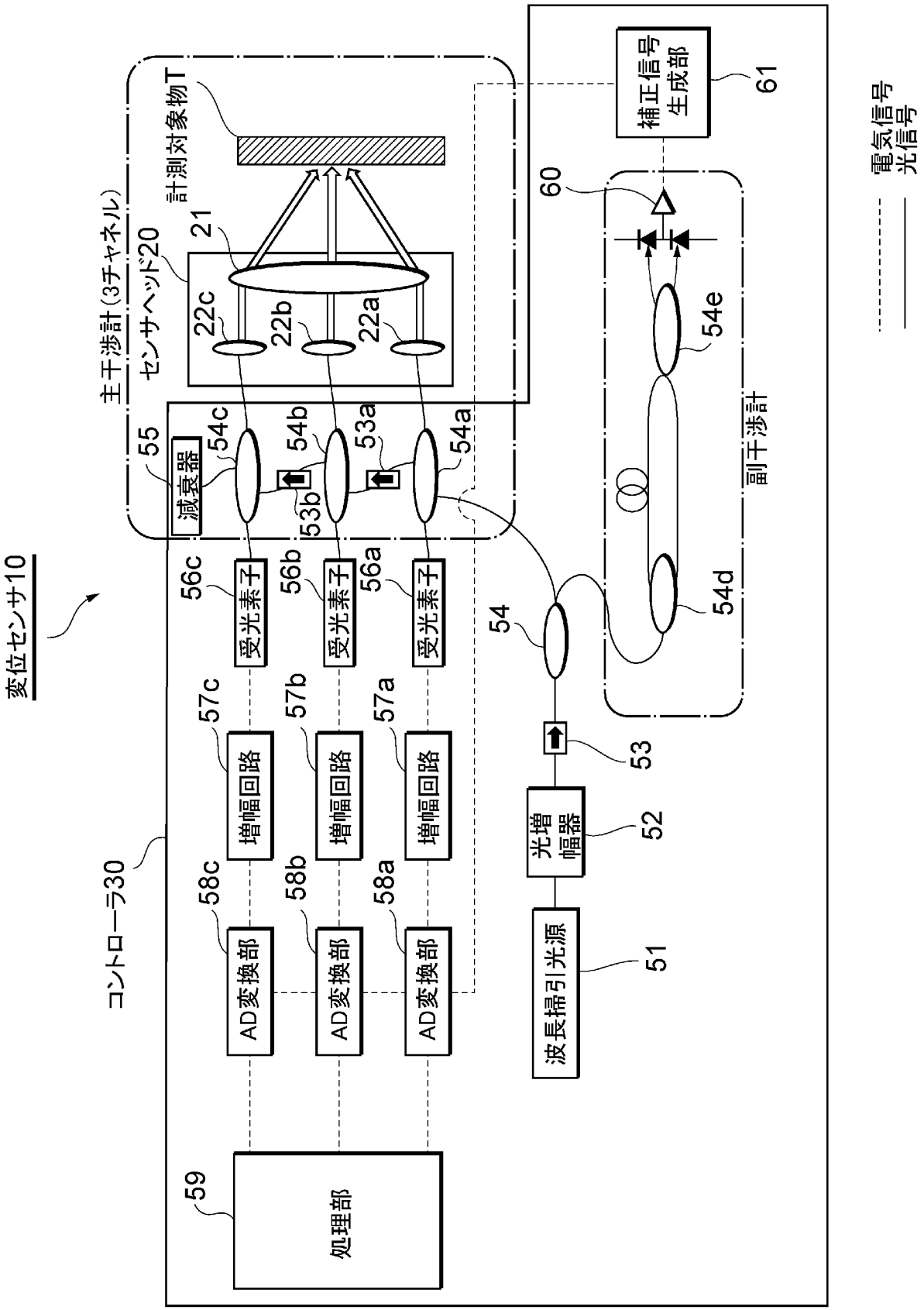
[図3]



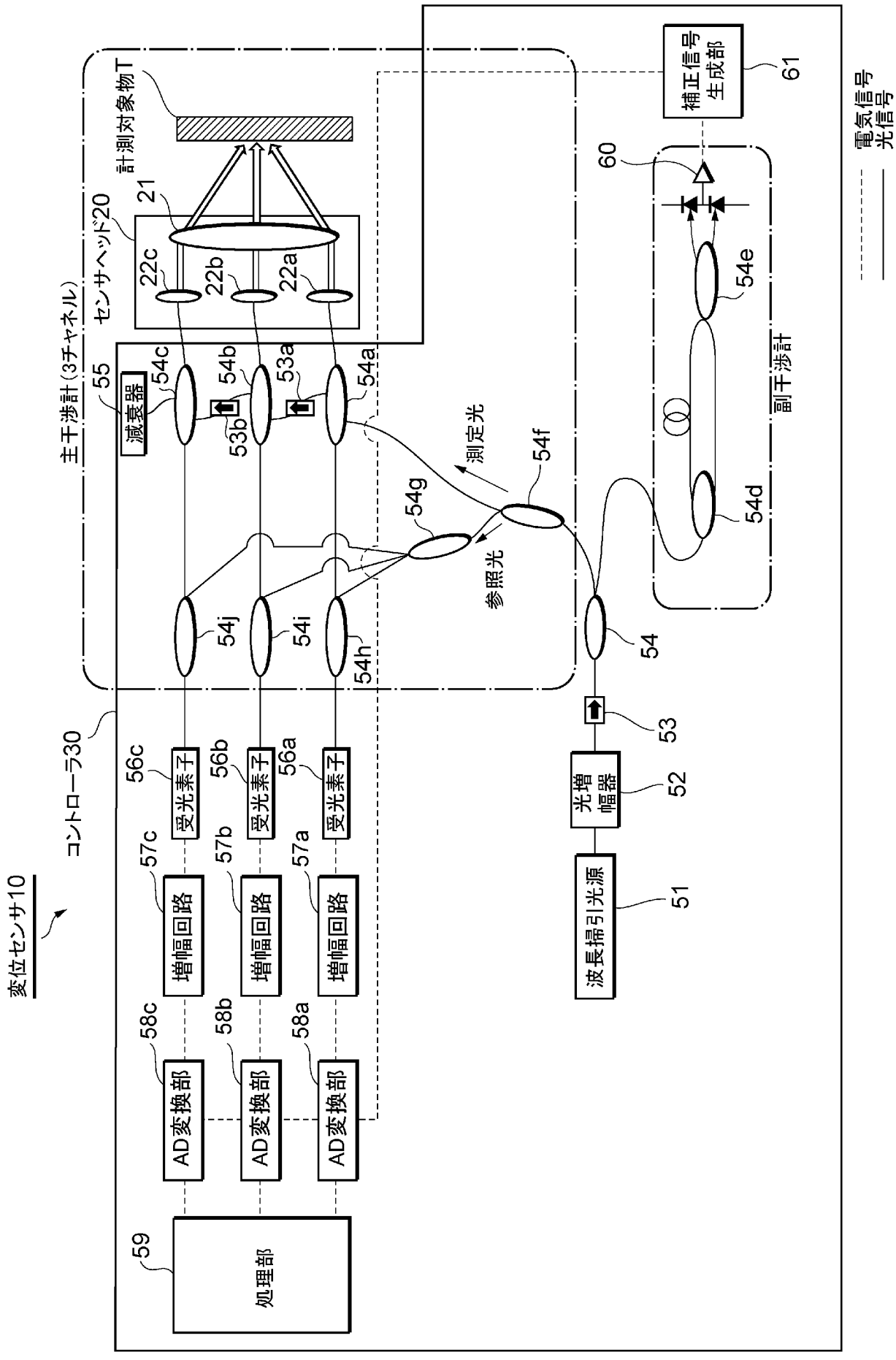
[図4]


START
計測対象物を検知
S21
変位センサに計測指示
S22
変位センサにより計測
S23
計測結果の出力
S24
END

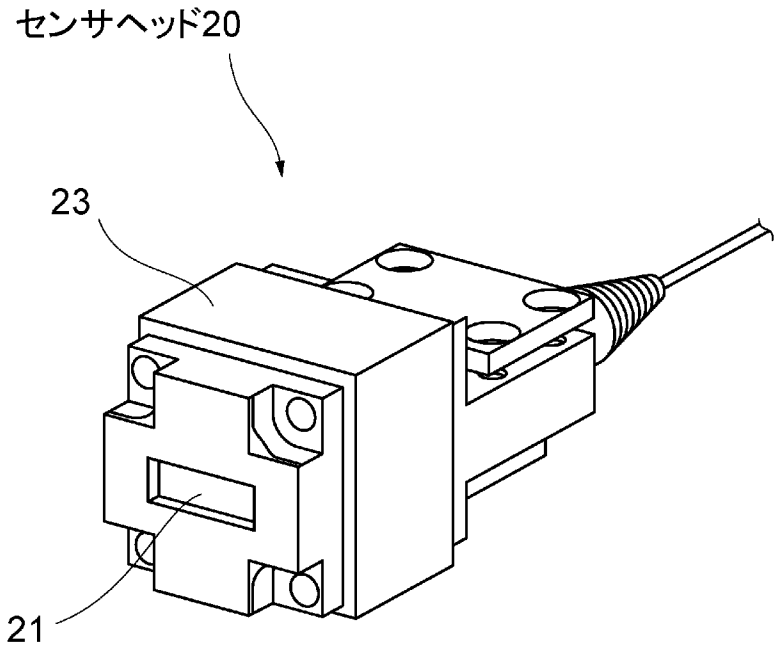
[図5A]


変位センサ10
コントローラ30
主干渉計(3チャネル)
センサヘッド20
計測対象物T
21
22c
22b
22a
54c
54b
54a
53a
53b
55
減衰器
56c
56b
56a
受光素子
57c
57b
57a
増幅回路
58c
58b
58a
AD変換部
59
処理部
54
53
光増幅器
52
波長掃引光源
51
60
補正信号生成部
61
54e
54d
副干渉計
電気信号
光信号

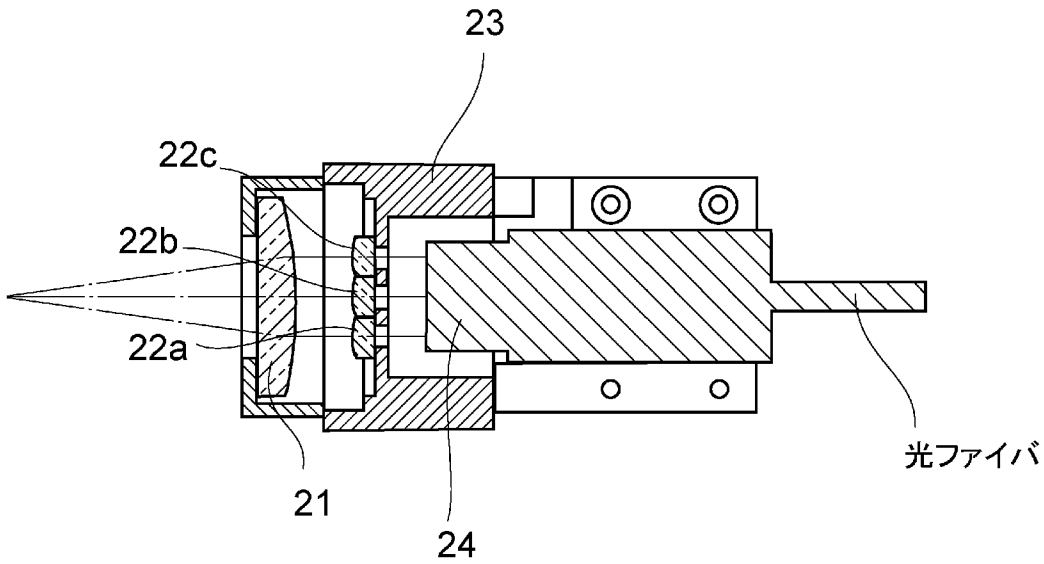
[図5B]


変位センサ10
コントローラ30
主干渉計(3チャネル)
センサヘッド20
計測対象物T
21
22c
22b
22a
減衰器
55
54c
54b
53b
53a
54a
測定光
参照光
54f
54g
54j
54i
54h
54
副干渉計
54e
54d
60
補正信号生成部
61
受光素子
56c
56b
56a
増幅回路
57c
57b
57a
AD変換部
58c
58b
58a
処理部
59
光増幅器
52
波長掃引光源
51
53
電気信号
光信号

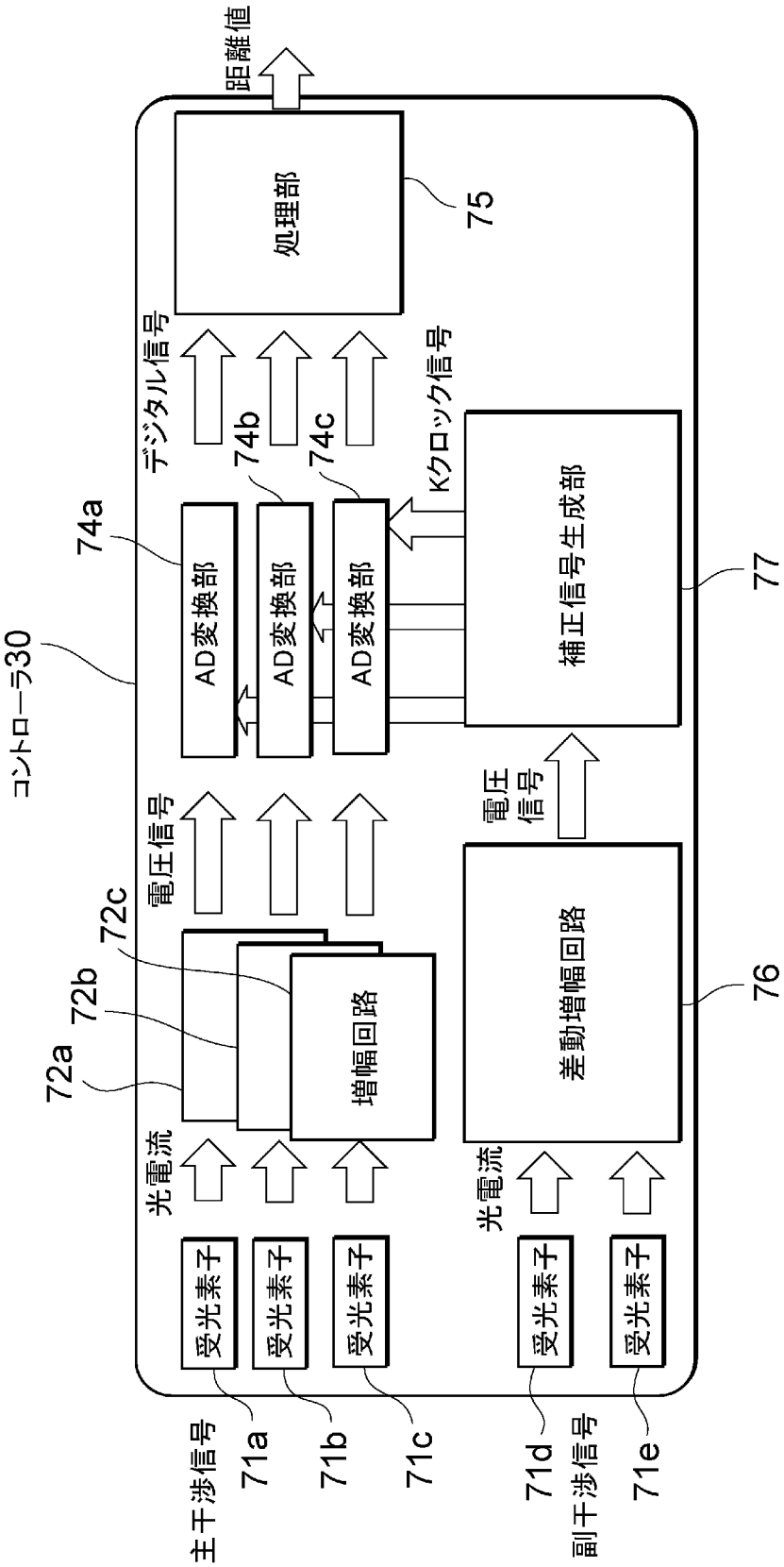
[図6A]



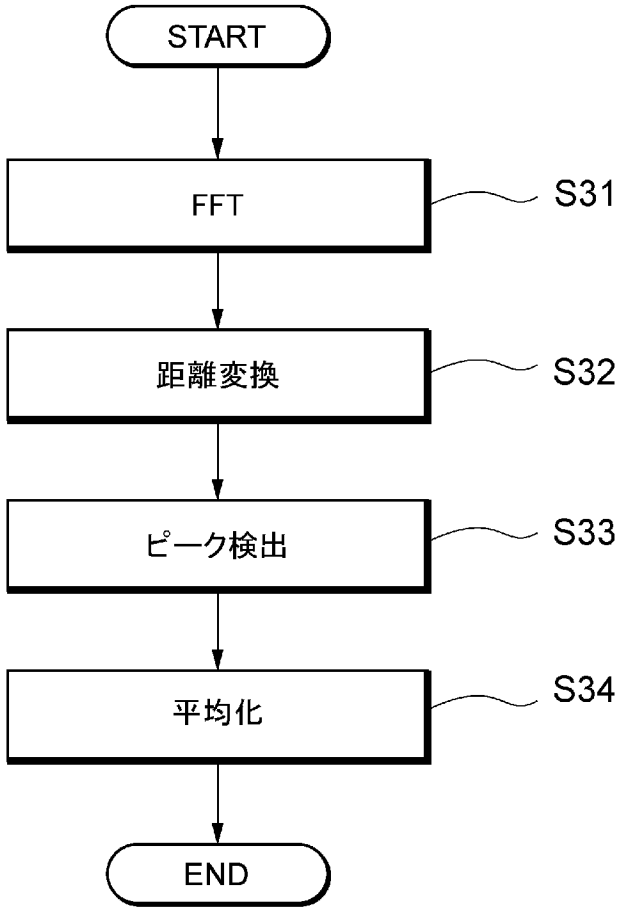
[図6B]



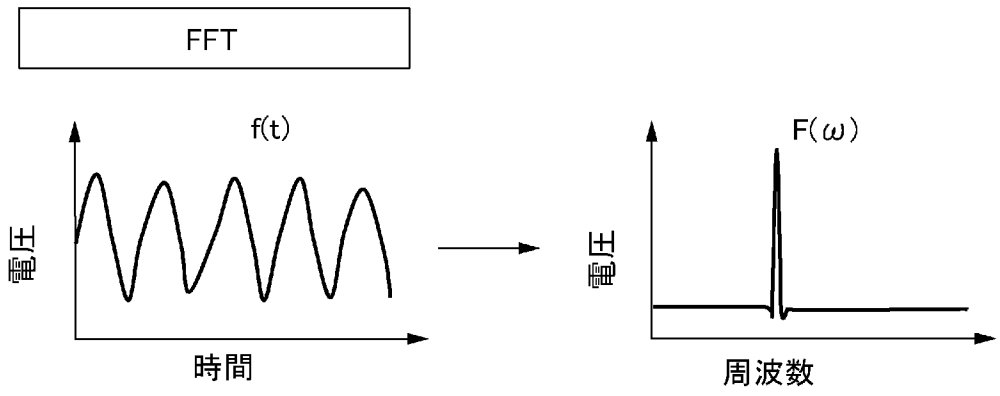
[図7]


距離値
処理部
75
デジタル信号
74b
74c
Kクロック信号
74a
AD変換部
AD変換部
AD変換部
補正信号生成部
77
コントローラ30
電圧信号
電圧信号
72c
72b
72a
増幅回路
差動増幅回路
76
光電流
光電流
受光素子
受光素子
受光素子
受光素子
受光素子
主干渉信号
71a
71b
71c
71d
副干渉信号
71e

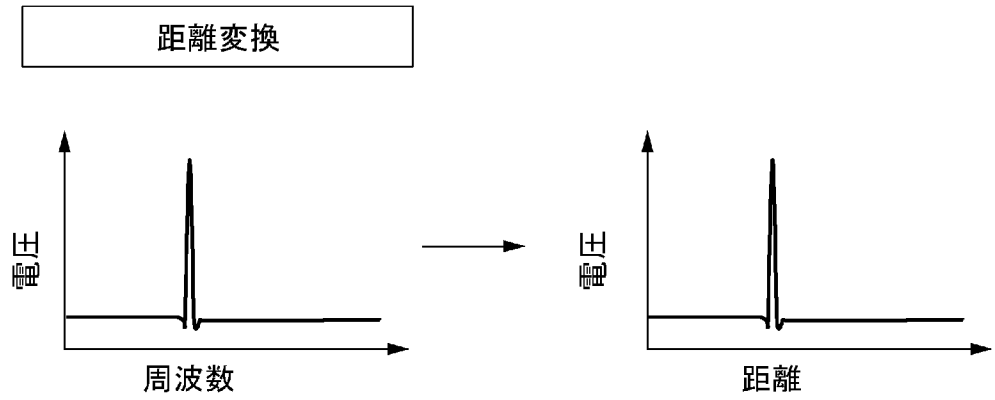
[図8]


START
FFT
S31
距離変換
S32
ピーク検出
S33
平均化
S34
END

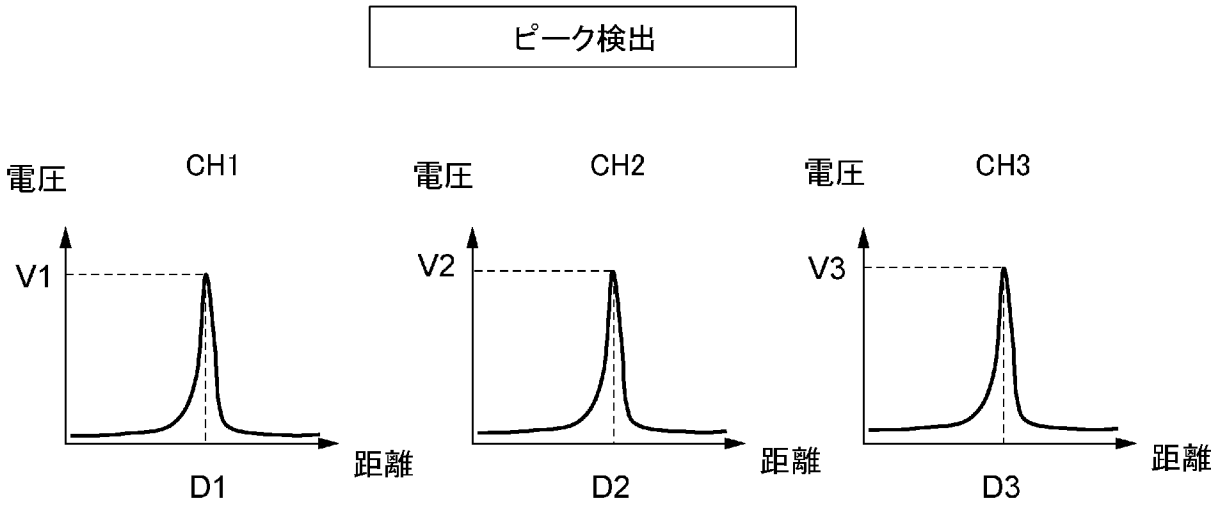
[図9A]


FFT
f(t)
電圧
時間
F(ω)
電圧
周波数

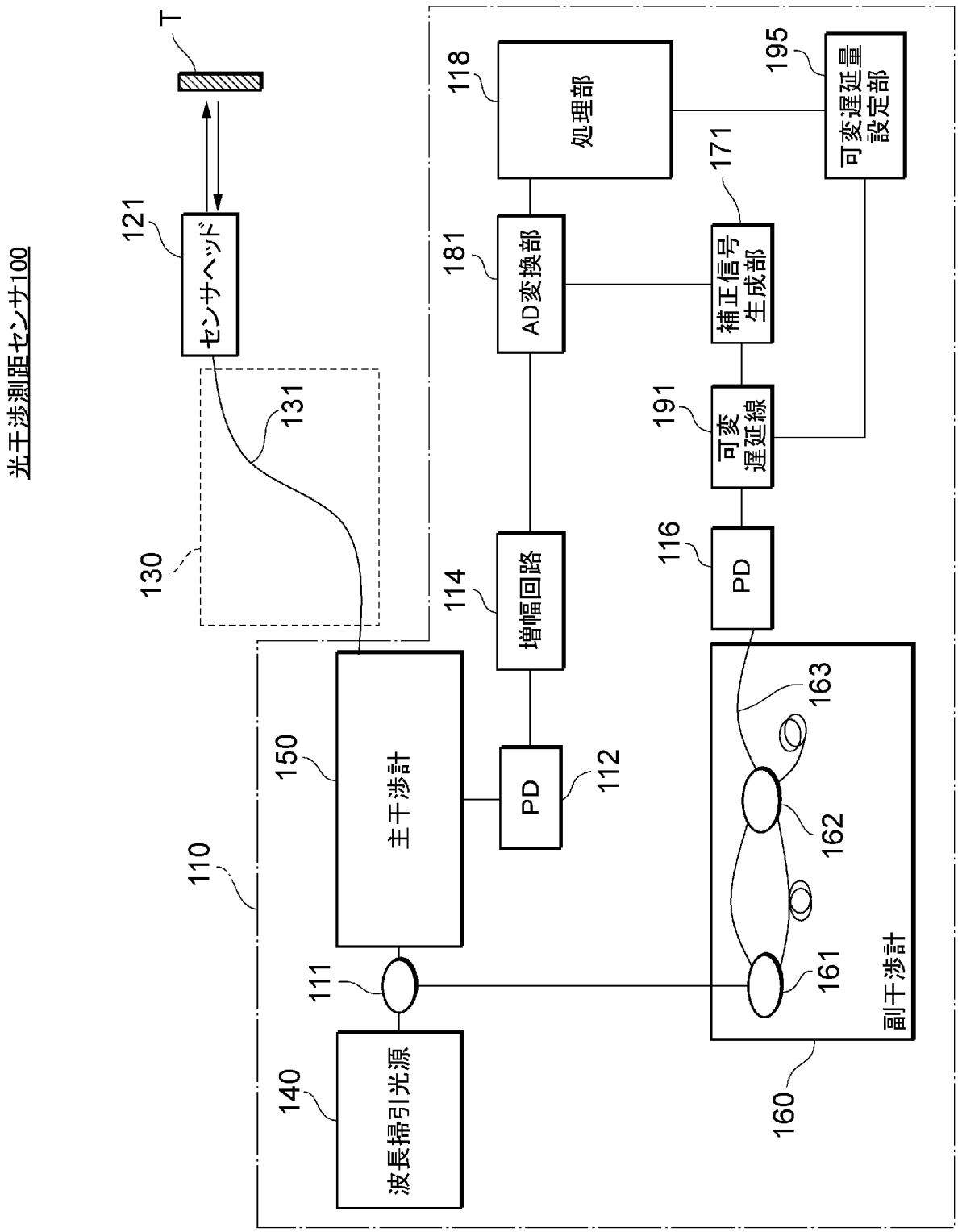
[図9B]


距離変換
電圧
周波数
電圧
距離

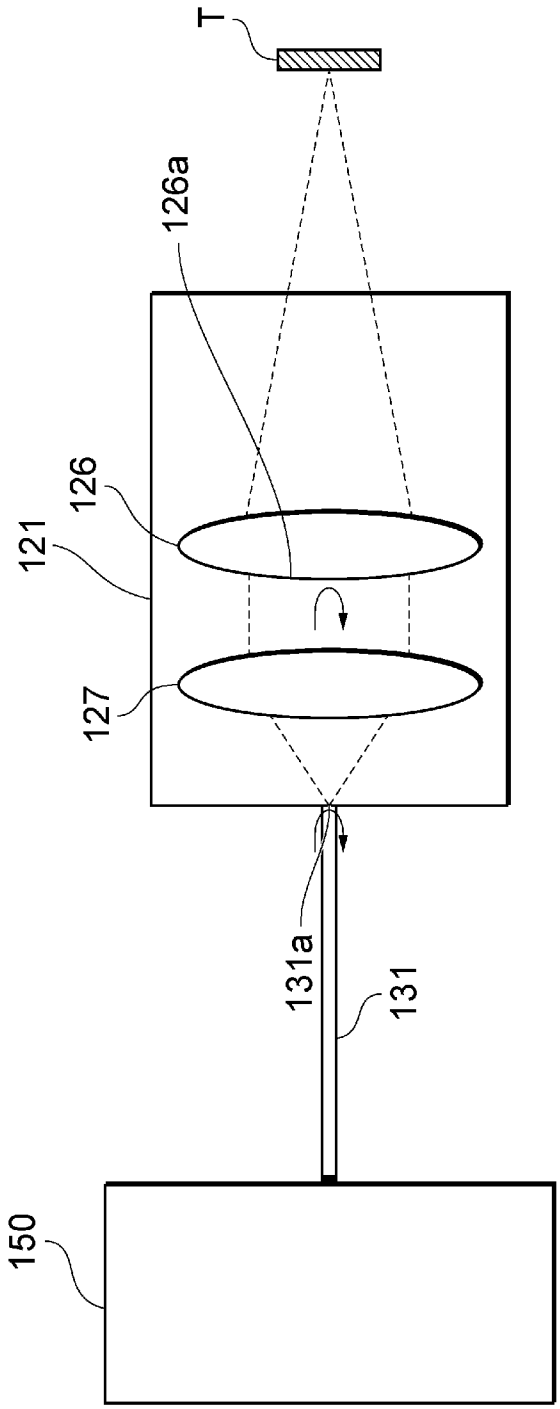
[図9C]


ピーク検出
電圧
CH1
V1
D1
距離
電圧
CH2
V2
D2
距離
電圧
CH3
V3
D3
距離

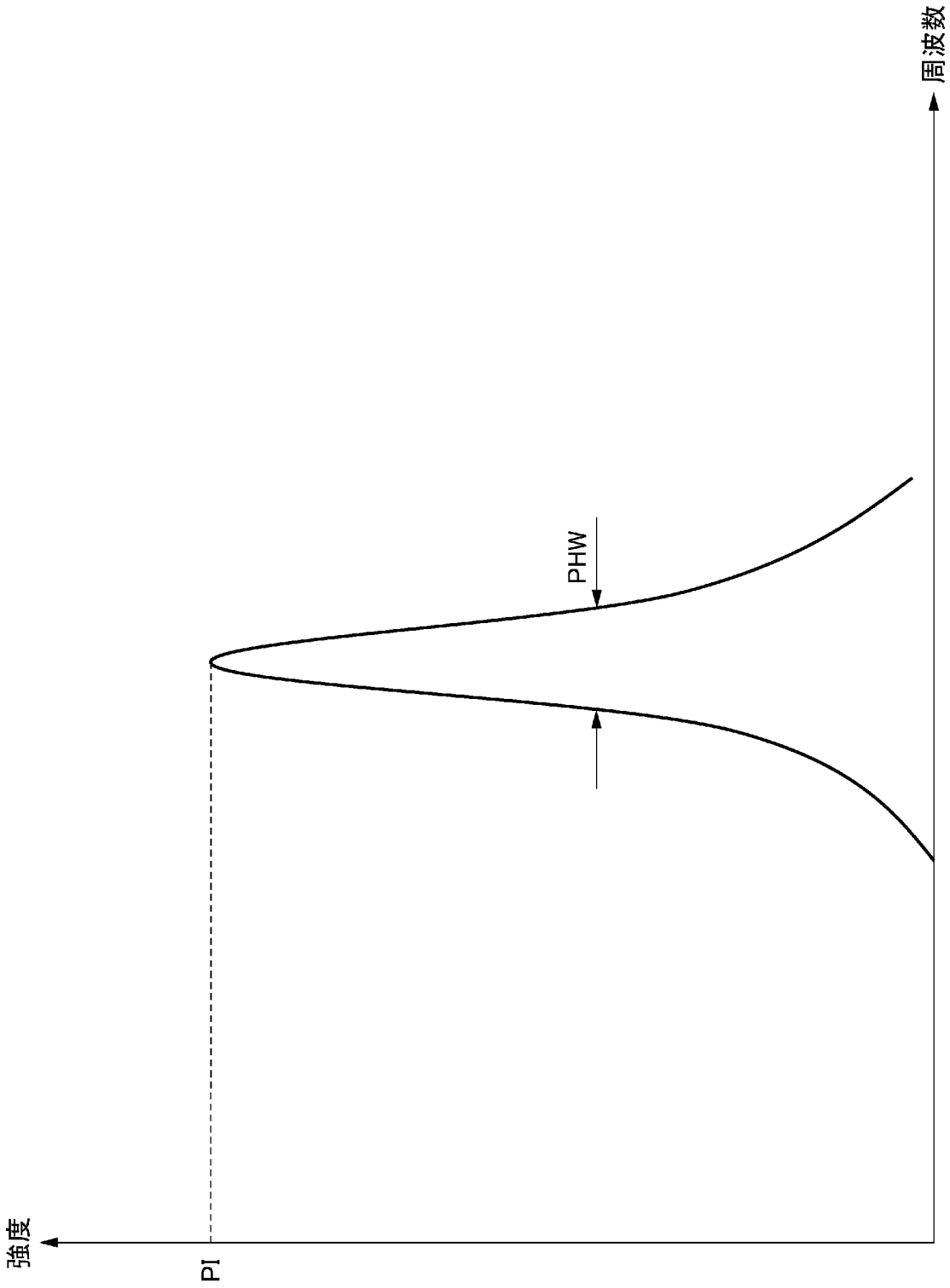
[図10]


光干渉測距センサ100
T
121
センサヘッド
131
130
110
150
主干渉計
111
140
波長掃引光源
114
増幅回路
112
PD
118
処理部
181
AD変換部
171
補正信号生成部
195
可変遅延量設定部
191
可変遅延線
116
PD
163
162
161
副干渉計
160

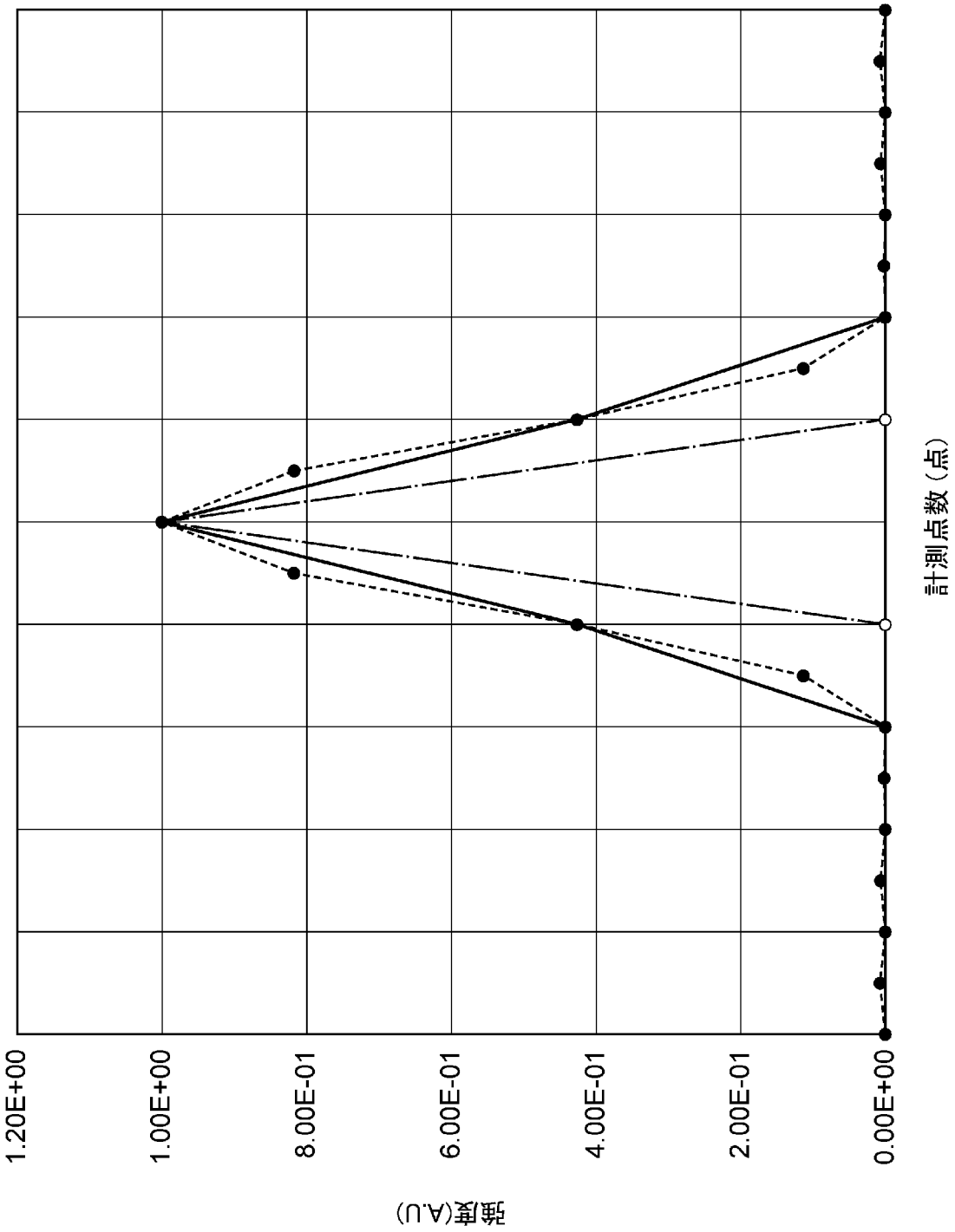
[図11]



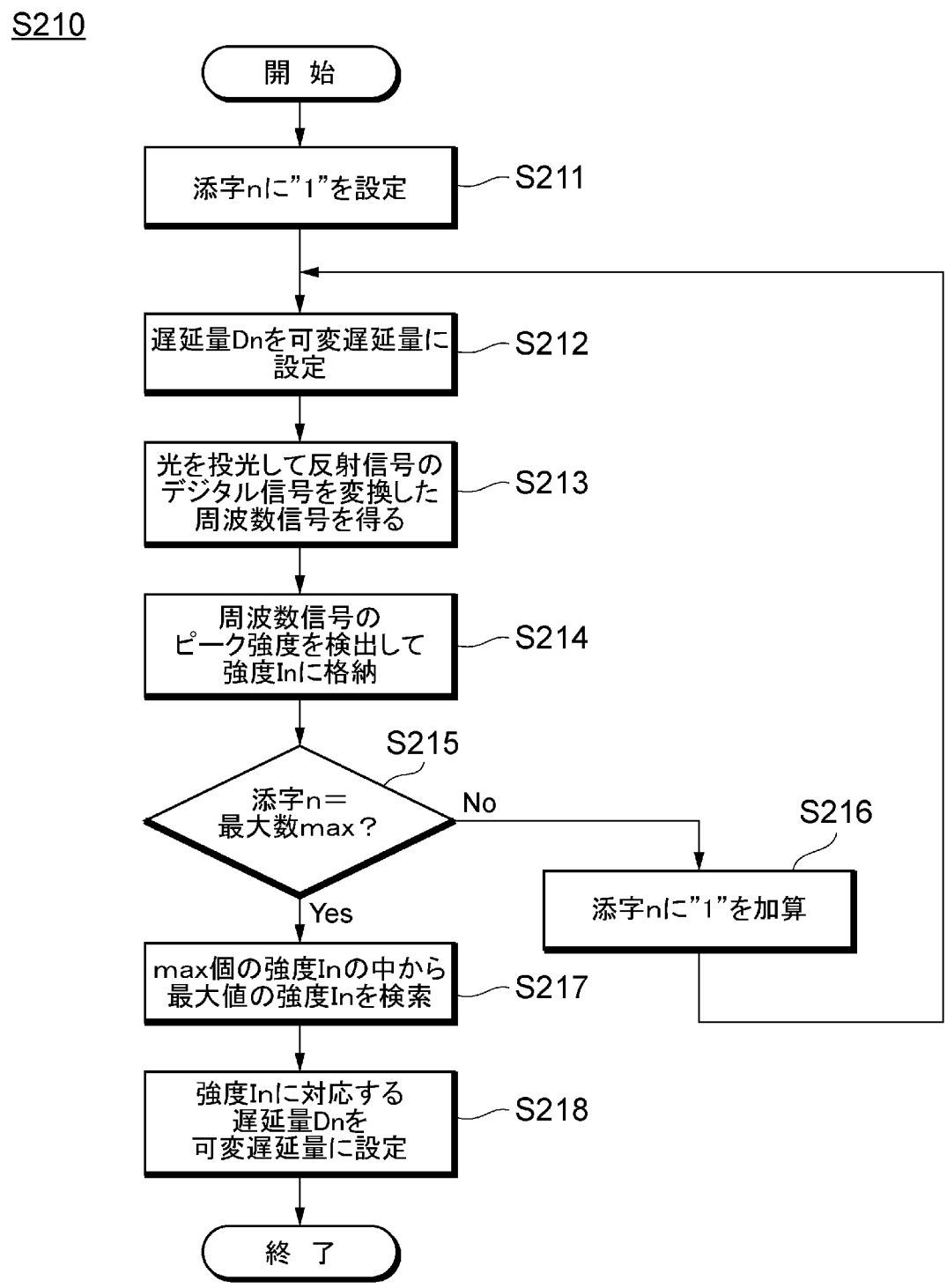
[図12]



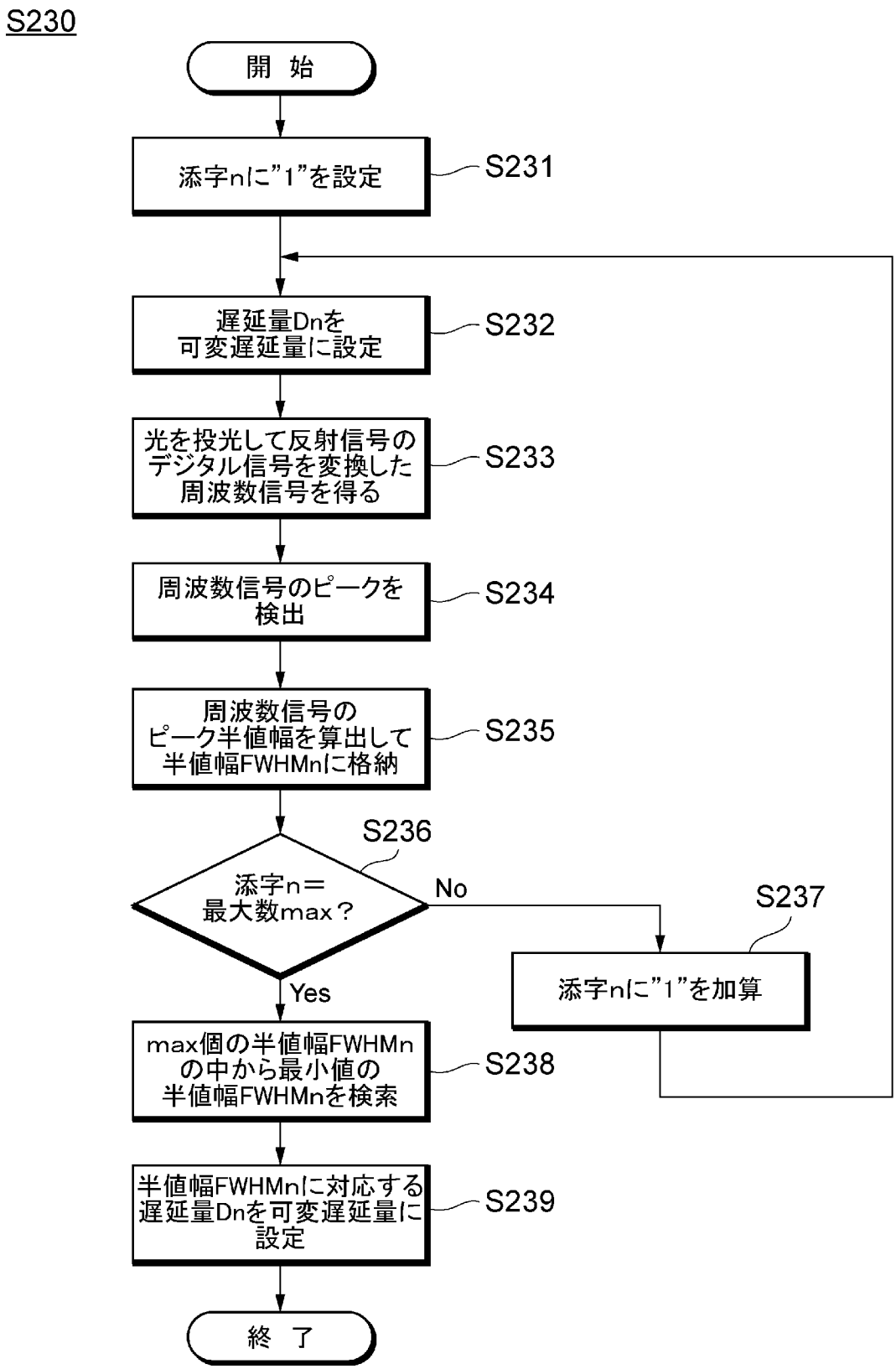
[図13]


1.20E+00
1.00E+00
8.00E-01
6.00E-01
4.00E-01
2.00E-01
0.00E+00
強度(A.U)
計測点数（点）

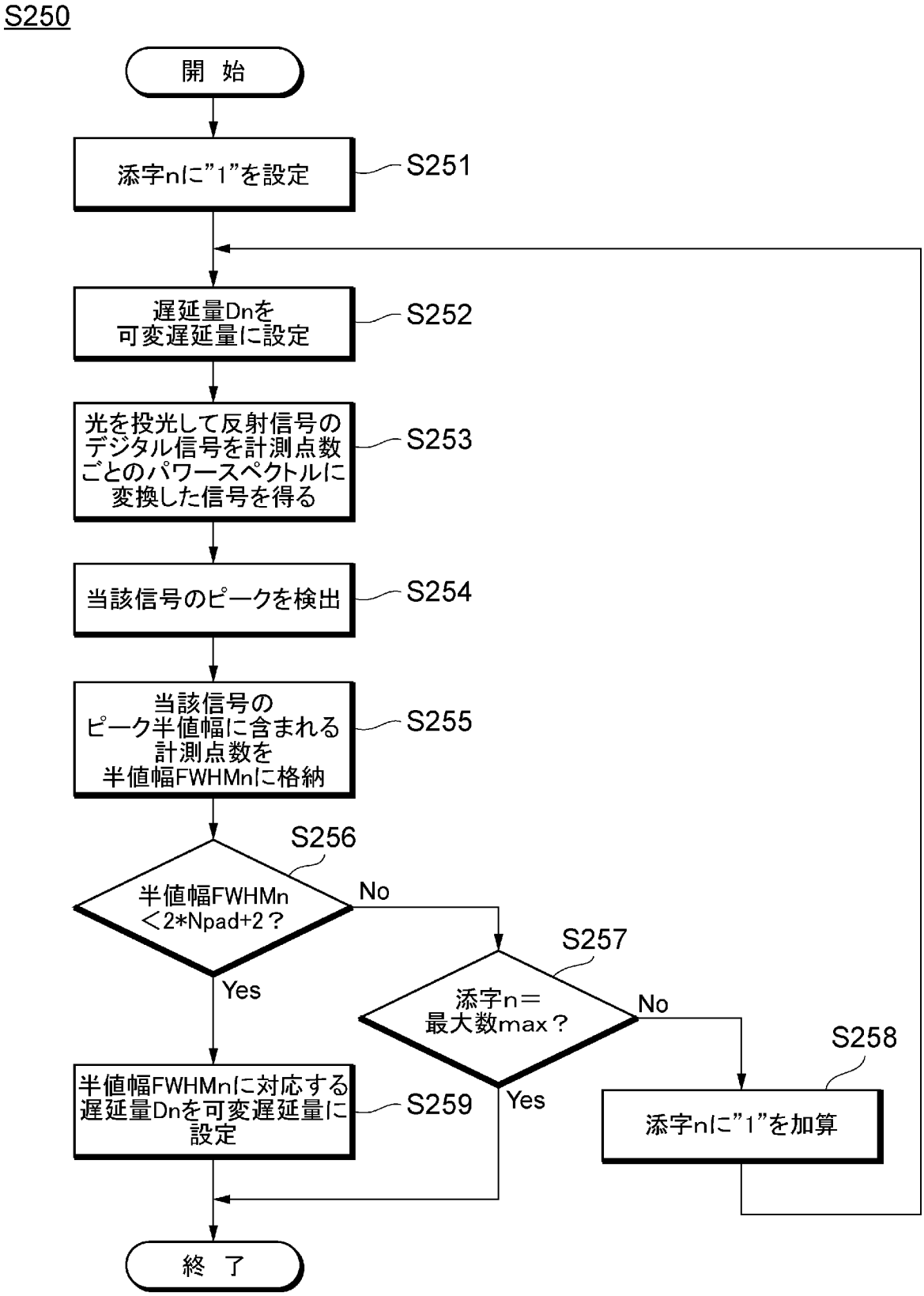
[図14]


S210
開 始
添字nに"1"を設定
S211
遅延量Dnを可変遅延量に設定
S212
光を投光して反射信号のデジタル信号を変換した周波数信号を得る
S213
周波数信号のピーク強度を検出して強度Inに格納
S214
S215
添字n＝最大数max？
No
S216
添字nに"1"を加算
Yes
max個の強度Inの中から最大値の強度Inを検索
S217
強度Inに対応する遅延量Dnを可変遅延量に設定
S218
終 了

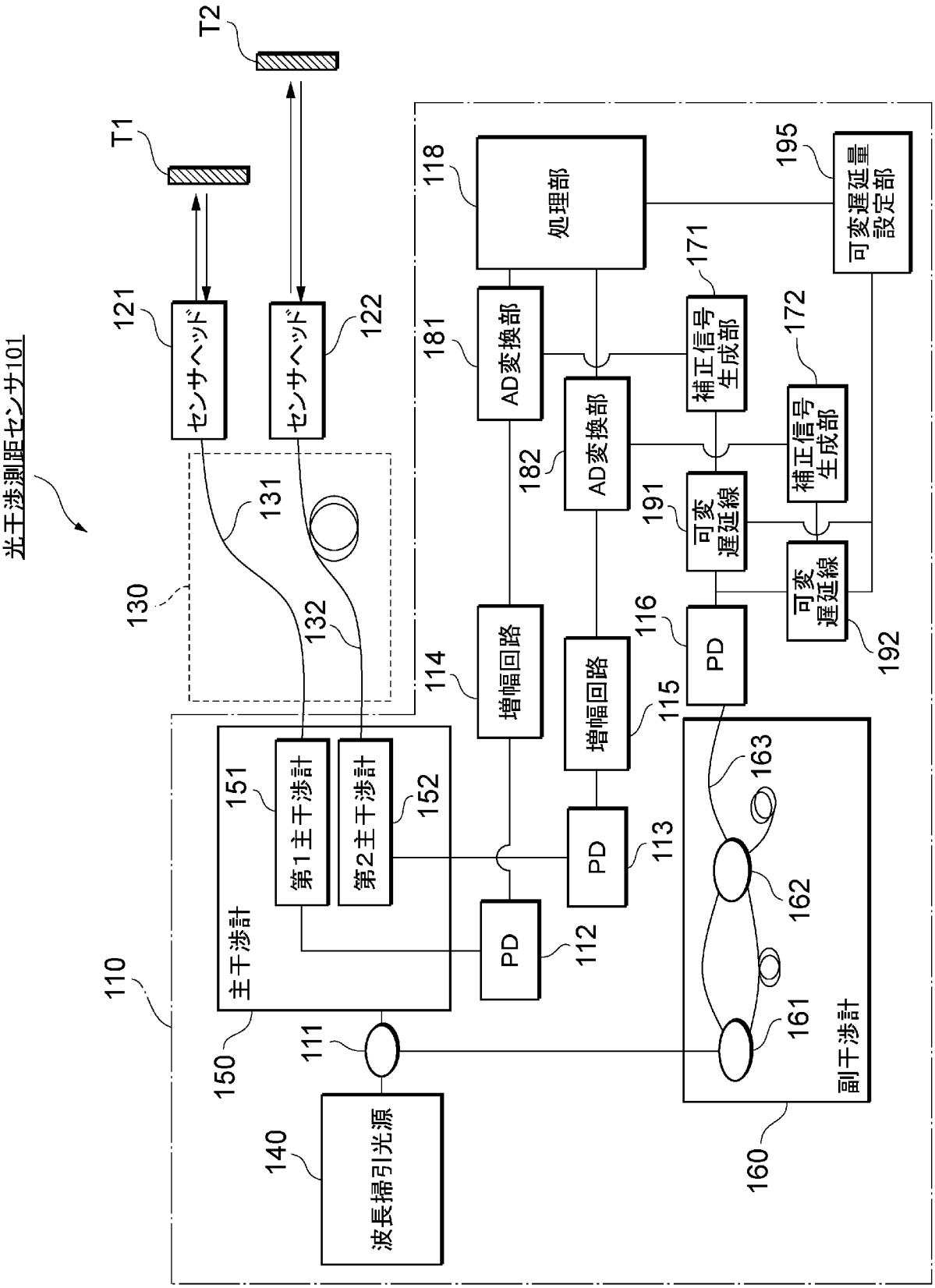
[図15]


S230
開 始
添字nに"1"を設定
S231
遅延量Dnを
可変遅延量に設定
S232
光を投光して反射信号の
デジタル信号を変換した
周波数信号を得る
S233
周波数信号のピークを
検出
S234
周波数信号の
ピーク半値幅を算出して
半値幅FWHMnに格納
S235
S236
添字n＝
最大数max？
No
S237
添字nに"1"を加算
Yes
max個の半値幅FWHMn
の中から最小値の
半値幅FWHMnを検索
S238
半値幅FWHMnに対応する
遅延量Dnを可変遅延量に
設定
S239
終 了

[図16]

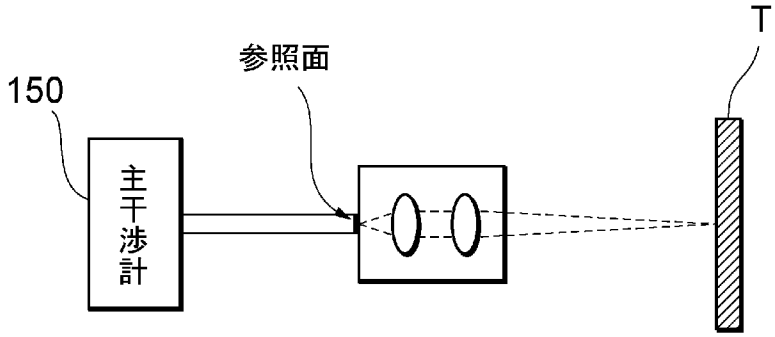

S250
開 始
添字nに"1"を設定
S251
遅延量Dnを
可変遅延量に設定
S252
光を投光して反射信号の
デジタル信号を計測点数
ごとのパワースペクトルに
変換した信号を得る
S253
当該信号のピークを検出
S254
当該信号の
ピーク半値幅に含まれる
計測点数を
半値幅FWHMnに格納
S255
S256
半値幅FWHMn
＜2*Npad+2？
No
Yes
S257
添字n＝
最大数max？
No
Yes
S258
添字nに"1"を加算
半値幅FWHMnに対応する
遅延量Dnを可変遅延量に
設定
S259
終 了

[図17]

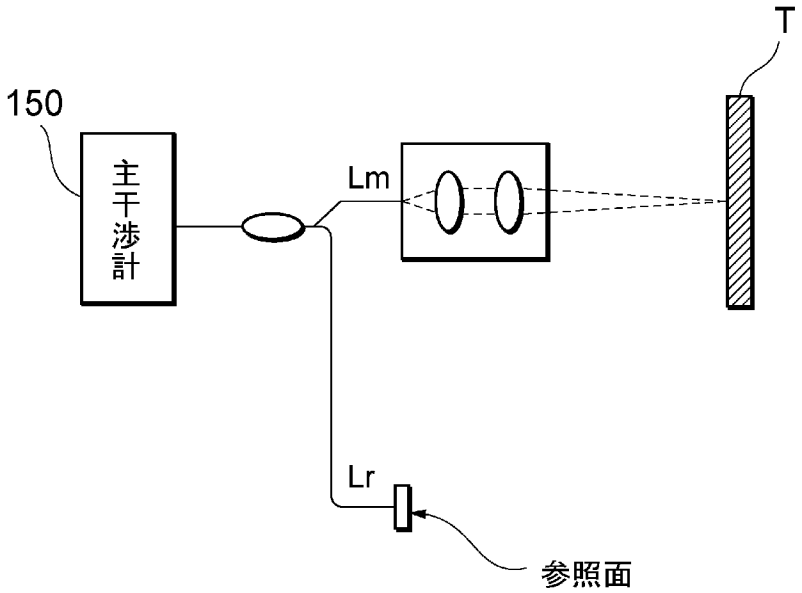

光干渉測距センサ101
T1
T2
121
センサヘッド
122
センサヘッド
130
131
132
110
主干渉計
150
151
第1主干渉計
152
第2主干渉計
111
140
波長掃引光源
112
PD
113
PD
114
増幅回路
115
増幅回路
116
PD
118
処理部
160
副干渉計
161
162
163
171
補正信号生成部
172
補正信号生成部
181
AD変換部
182
AD変換部
191
可変遅延線
192
可変遅延線
195
可変遅延量設定部

[図18]

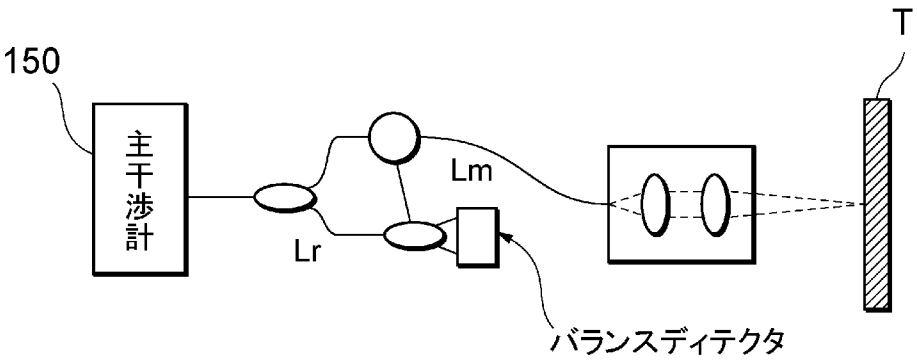
(a)



(b)



(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/031450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 9/02004(2022.01)i; *G01B 9/02055*(2022.01)n; *G01B 11/00*(2006.01)n
FI: G01B9/02004; 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)

G01B9/02-9/029; G01B11/00-11/30

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.
A	JP 2017-096884 A (CANON KK) 01 June 2017 (2017-06-01) paragraphs [0069]-[0107], fig. 5-9	1-11
A	JP 2021-143995 A (OMRON CORPORATION) 24 September 2021 (2021-09-24) entire text, all drawings	1-11
A	US 2021/0356249 A1 (SWANSON, Eric) 18 November 2021 (2021-11-18) whole document	1-11
A	JP 2017-181115 A (ANRITSU CORP) 05 October 2017 (2017-10-05) entire text, all drawings	1-11

☐ 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	Date of mailing of the international search report
26 October 2023	**07 November 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/JP2023/031450

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2017-096884 A	01 June 2017	(Family: none)	
JP 2021-143995 A	24 September 2021	US 2021/0285755 A1 whole document EP 3879222 A1 CN 113390333 A	
US 2021/0356249 A1	18 November 2021	(Family: none)	
JP 2017-181115 A	05 October 2017	US 2017/0276470 A1 whole document	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/031450

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)n; G01B 11/00(2006.01)n
FI: G01B9/02004; 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））

G01B9/02-9/029; G01B11/00-11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2017-096884 A (キヤノン株式会社) 01.06.2017 (2017-06-01) 段落６９－１０７，図５－９	1-11
A	JP 2021-143995 A (オムロン株式会社) 24.09.2021 (2021-09-24) 全文全図	1-11
A	US 2021/0356249 A1 (ERIC SWANSON) 18.11.2021 (2021-11-18) WHOLE DOCUMENT	1-11
A	JP 2017-181115 A (アンリツ株式会社) 05.10.2017 (2017-10-05) 全文全図	1-11

☐ 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	国際調査報告の発送日
26.10.2023	07.11.2023

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）
櫻井　仁 2S 9008

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/JP2023/031450

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-096884 A	01.06.2017	（ファミリーなし）	
JP 2021-143995 A	24.09.2021	US 2021/0285755 A1 WHOLE DOCUMENT EP 3879222 A1 CN 113390333 A	
US 2021/0356249 A1	18.11.2021	（ファミリーなし）	
JP 2017-181115 A	05.10.2017	US 2017/0276470 A1 WHOLE DOCUMENT	