

(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8月2日(02.08.2024)



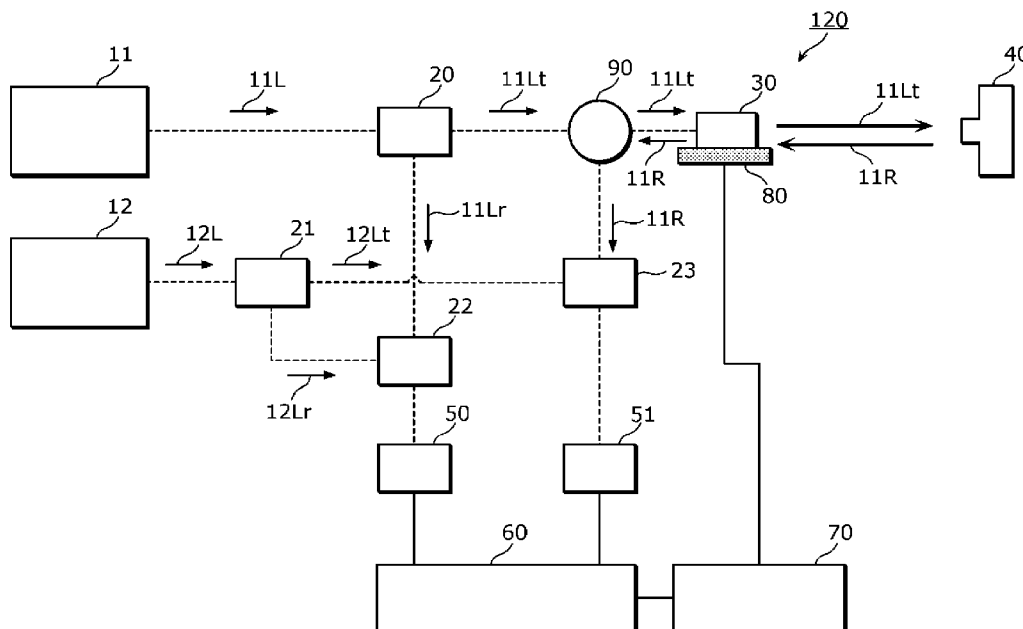
(10) 国際公開番号

WO 2024/157700 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 3/06 (2006.01) G01B 11/00 (2006.01)
G01B 9/02002 (2022.01) G01B 11/24 (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046352
- (22) 国際出願日: 2023年12月25日(25.12.2023)
- (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 2023-010992 2023年1月27日(27.01.2023) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 中村 将 (NAKAMURA Tasuku), 岡本 慎也 (OKAMOTO Shinya), 能澤 克弥 (NOZAWA Katsuya), 稲田 安寿 (INADA Yasuhisa), 久田 和也 (HISADA Kazuya).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外 (KAMATA Kenji et al.); 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 パナソニックIPマネジメント株式会社内 Osaka (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: MEASUREMENT DEVICE AND MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 計測装置および計測方法



(57) Abstract: This measurement device comprises: a first light source that repeatedly emits first pulse light; a first photodetector that detects reflected pulse light generated by the first pulse light being reflected by a target object, and that outputs a first electrical signal corresponding to detection results of the reflected pulse light; a signal processing circuit that calculates a distance from the measurement device to the target object on the basis of the first electrical signal within a sampling period; and a control circuit that controls a driving unit which varies the optical path length from the first light



WO 2024/157700 A1

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

source to the first photodetector via the target object. The control circuit controls the driving unit to thereby change a position of a peak of the reflected pulse light in the first electrical signal within the sampling period. The sampling period is synchronized with a timing at which the first light source emits the first pulse light.

(57) 要約: 計測装置は、第1パルス光を繰り返し発する第1光源と、第1パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、反射パルス光の検出結果に応じた第1電気信号を出力する第1光検出器と、サンプリング期間内における第1電気信号に基づいて、計測装置から対象物までの距離を算出する信号処理回路と、第1光源から対象物を經由して第1光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御する制御回路と、を備える。制御回路は、駆動部を制御することにより、サンプリング期間内の第1電気信号における反射パルス光のピークの位置を変化させる。サンプリング期間は、第1光源が第1パルス光を発するタイミングに同期している。

明 細 書

発明の名称：計測装置および計測方法

技術分野

[0001] 本開示は、計測装置および計測方法に関する。

背景技術

[0002] 光周波数コムレーザとは、時間軸上ではパルス波形が等間隔に並び、周波数軸上ではスペクトルが等間隔に並んだレーザ光を発するレーザ光源を指す。以降、光周波数コムレーザを光コムレーザと表記する。

[0003] 光コムレーザでは、2つのパラメータが重要である。1つは、スペクトル間隔を表す「繰り返し周波数」(f_{rep})である。もう1つは、スペクトルを0まで外挿していった際の余りを表す「キャリアエンベロープオフセット周波数」(f_{CEO})である。これらのパラメータは、振動及び温度などの外乱によってわずかに変化してしまう。これに対して、ペルチェ素子及びピエゾ素子などの変調機器を光コムレーザに組み込むことで、パラメータを安定化させることができる。これにより、精密測定を実現することができる。

[0004] この光コムレーザを2つ用意し、それぞれの繰り返し周波数を僅かにずらしたものを干渉させて計測する手法をデュアルコムと呼ぶ。

[0005] デュアルコムでは、繰り返し周波数がそれぞれ f_{rep} 、 $f_{rep} + \delta f_{rep}$ である2つのレーザ光が干渉することで、ビート（うなり）が発生する。結果として、間隔が δf_{rep} のスペクトルを取得することができる。ここで重要なのは、干渉前のレーザ光のスペクトルは、光の周波数である THz 領域である一方で、干渉後のレーザ光のスペクトルは、ラジオ周波数の MHz 領域になることである。

[0006] 従来の検出器は、応答周波数が GHz 以下のため、物理的に THz 領域の光の信号を検出できない。そのため、従来では、光の波長を調べる際には直接に検出器を用いることができず、代わりに分光器を使って光を波長ごとに分けた後に検出器を用いる。これにより、波長の掃引に時間がかかってしま

い、短時間にスペクトル測定をすることができないという欠点があった。

[0007] しかし、デュアルコムの場合、光をMHz領域にダウンコンバージョンすることができる。このため、分光器を介す必要がなく、従来に比べて高速にスペクトル測定ができるという長所がある。加えて、光の情報を直接測定できることから、高感度かつ高精度の測定を実現できる。これにより、分光測定、距離測定、周波数測定など多種多様な測定においてデュアルコムが用いられるようになってきた（例えば、非特許文献1を参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Zebin Zhu, Wu Guanhao, "Dual-comb ranging" Engineering, Vol. 4, Issue 6, Dec. 2018, pp. 772-778

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] デュアルコムに限らず、TOF (Time Of Flight) のようなパルス光を利用した距離計測においては、精度の向上が求められている。

[0010] そこで、本開示は、高い精度で距離を計測することができる計測装置および計測方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0011] 本開示の一態様に係る計測装置は、第1パルス光を繰り返し発する第1光源と、前記第1パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた第1電気信号を出力する第1光検出器と、サンプリング期間内における前記第1電気信号に基づいて、前記計測装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理回路と、前記第1光源から前記対象物を經由して前記第1光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御する制御回路と、を備える。前記制御回路は、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記第1電気信号における前記反射パルス光のピークの位置を変化させる。前記サンプリング期間は

、前記第1光源が前記第1パルス光を発するタイミングに同期している。

[0012] 本開示の一態様に係る計測方法は、光源によって、パルス光を繰り返し発することと、光検出器によって、前記パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた電気信号を出力することと、信号処理回路によって、サンプリング期間内における前記電気信号に基づいて、前記光源から前記対象物までの距離を算出することと、前記光源から前記対象物を經由して前記光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御することと、を含む。前記制御することでは、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記電気信号における前記反射パルス光のピークの位置を変化させる。前記サンプリング期間は、前記第1光源が前記第1パルス光を発するタイミングに同期している。

[0013] また、本開示の一態様は、上記計測方法をコンピュータに実行させるプログラムとして実現することができる。あるいは、本開示の一態様は、当該プログラムを格納したコンピュータ読み取り可能な非一時的な記録媒体として実現することもできる。

発明の効果

[0014] 本開示によれば、高い精度で距離を計測することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1A]図1 Aは、光コムレーザ光の電界の時間変化の例を模式的に示す図である。

[図1B]図1 Bは、光コムレーザ光の周波数スペクトルの例を模式的に示す図である。

[図2]図2は、デュアルコムにおける第1光コムレーザ光の周波数スペクトルと第2光コムレーザ光の周波数スペクトルの例を模式的に示す図である。

[図3]図3は、デュアルコムにおける参照側の光および対象側の光の各々について、光コムレーザ光の干渉結果として取得される時間波形を模式的に示す図である。

[図4]図4は、デュアルコムにおける干渉後の位相スペクトルを模式的に示す

図である。

[図5]図5は、サンプリング期間における干渉後のパルス波形の位置と計測結果との関係を模式的に示す図である。

[図6A]図6Aは、実施の形態1に係る計測装置を模式的に示す図である。

[図6B]図6Bは、実施の形態2に係る計測装置を模式的に示す図である。

[図6C]図6Cは、実施の形態3に係る計測装置を模式的に示す図である。

[図7]図7は、各実施の形態に係る計測装置の動作の第1例を示すフローチャートである。

[図8]図8は、各実施の形態に係る計測装置の動作の第2例を示すフローチャートである。

[図9A]図9Aは、各実施の形態に係る計測装置の第3例におけるプレ計測の一例を示すフローチャートである。

[図9B]図9Bは、各実施の形態に係る計測装置の第3例における本計測の一例を示すフローチャートである。

[図10]図10は、各実施の形態に係る計測装置の第4例における一点計測の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0016] (本開示の基礎となった知見)

本発明者らは、「背景技術」の欄において記載した従来技術に関し、以下の問題が生じることを見出した。

[0017] パルス光を用いた計測の場合、信号を処理するためのサンプリング期間は、パルス光の周期に合わせられる。そのため、パルス光の検出タイミング、すなわち、サンプリング期間におけるパルス光の位置によっては、取得したパルス光に対応する信号の時間波形が歪んでしまう。この場合、結果的に、計測結果の精度が低下する。

[0018] また、非特許文献1には、時間波形の代わりに、位相スペクトルを利用する技術が開示されている。しかしながら、位相スペクトルを用いた計測を行ったとしても、同様にサンプリング期間内のパルス光の位置によっては、計

測結果の精度が低下する。

[0019] そこで、本開示は、高い精度で距離を計測することができる計測装置および計測方法を提供することを目的とする。

[0020] 本開示の第1態様に係る計測装置は、第1パルス光を繰り返し発する第1光源と、前記第1パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた第1電気信号を出力する第1光検出器と、サンプリング期間内における前記第1電気信号に基づいて、前記計測装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理回路と、前記第1光源から前記対象物を經由して前記第1光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御する制御回路と、を備える。前記制御回路は、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記第1電気信号における前記反射パルス光のピークの位置を変化させる。前記サンプリング期間は、前記第1光源が前記第1パルス光を発するタイミングに同期している。

[0021] これにより、駆動部を制御することにより、サンプリング期間内における反射パルス光のピークの位置を変化させることができるので、サンプリング期間内における計測精度を低下させうる範囲から反射パルス光を検出するタイミングを外すことができる。このため、本態様に係る計測装置によれば、高い精度で距離を計測することができる。

[0022] また、本開示の第2態様に係る計測装置は、例えば、第1態様に係る計測装置において、前記第1光源は、光コムレーザであってもよい。

[0023] これにより、距離の計測の精度の向上、および、計測に要する時間の短縮化を実現することができる。

[0024] また、本開示の第3態様に係る計測装置は、例えば、第2態様に係る計測装置において、光コムレーザであり、第2パルス光を繰り返し発する第2光源と、前記第1パルス光の一部を前記第2パルス光の第1部分と干渉させて検出し、前記前記第1パルス光の前記一部の検出結果に応じた第2電気信号を出力する第2光検出器と、をさらに備えてもよく、前記第2光源の繰り返し周波数は、前記第1光源の繰り返し周波数と異なっていてもよく、前記第

1 光検出器は、前記反射パルス光を前記第 2 パルス光の前記第 1 部分と異なる第 2 部分と干渉させて検出してもよく、前記信号処理回路は、前記第 1 電気信号と前記第 2 電気信号とに基づいて前記距離を算出してもよい。

[0025] これにより、デュアルコムを用いた計測ができるので、汎用の光検出器で反射パルス光の検出が可能になる。計測装置の低コスト化、および、構成の簡略化を実現することができる。

[0026] また、本開示の第 4 態様に係る計測装置は、例えば、第 1 態様から第 3 態様のいずれか 1 つに係る計測装置において、前記信号処理回路は、前記サンプリング期間内における前記反射パルス光に対応する時間波形に基づいて前記距離を算出してもよく、前記制御回路は、前記ピークの前記位置が前記サンプリング期間の中心に近づくように前記駆動部を制御してもよい。

[0027] 時間情報を利用した計測ではサンプリング期間の始期および終期の各々の近傍で計測精度が低下しやすい。本態様によれば、反射パルスのピーク的位置がサンプリング期間の中心に近づくようにするので、計測精度の低下を抑制することができる。

[0028] また、本開示の第 5 態様に係る計測装置は、例えば、第 1 態様から第 3 態様のいずれか 1 つに係る計測装置において、前記信号処理回路は、前記サンプリング期間内における前記反射パルス光に対応する位相スペクトルに基づいて前記距離を算出してもよく、前記制御回路は、前記ピークの前記位置が前記サンプリング期間の中心から離れるように前記駆動部を制御してもよい。

[0029] 位相情報を利用した計測ではサンプリング期間の中心近傍で計測精度が低下しやすい。本態様によれば、反射パルスのピーク的位置がサンプリング期間の中心から離れるようにするので、計測精度の低下を抑制することができる。

[0030] また、本開示の第 6 態様に係る計測装置は、例えば、第 1 態様から第 5 態様のいずれか 1 つに係る計測装置において、前記制御回路は、前記対象物において前記第 1 パルス光が照射された位置である照射点が移動する度に、前

記光路長の変更の要否を判定してもよく、前記変更が必要と判定した場合に、前記制御回路は、前記駆動部を制御して前記光路長を変動させてもよい。

[0031] これにより、照射点毎に光路長の変動が可能になるので、計測精度の低下を抑制することができる。

[0032] また、本開示の第7態様に係る計測装置は、例えば、第1態様から第6態様のいずれか1つに係る計測装置において、前記信号処理回路は、前記駆動部が前記光路長を変動させた場合に、前記光路長の変動量に基づいて前記距離を補正してもよい。

[0033] これにより、例えば、光路長を変動させたことによって計測結果に乘るオフセット分を小さくするように補正することができるので、計測精度を高めることができる。

[0034] また、本開示の第8態様に係る計測装置は、例えば、第7態様に係る計測装置において、前記信号処理回路は、前記対象物において前記第1パルス光が照射された位置である複数の照射点の各々について、前記駆動部が前記光路長を変動させた場合の前記光路長の変動量を記録してもよく、前記信号処理回路は、前記信号処理回路によって記録された前記変動量に基づき前記複数の照射点の各々について前記距離を補正してもよい。

[0035] これにより、照射点毎に変動量を記録しておくことで、各照射点の距離を補正することができる。

[0036] また、本開示の第9態様に係る計測装置は、例えば、第1態様から第8態様のいずれか1つに係る計測装置において、前記計測装置は、プレ計測を行った後、前記距離を計測する本計測を行うように構成されてもよく、前記制御回路は、前記プレ計測において、前記対象物において前記第1パルス光が照射された位置である複数の照射点の各々について得られる前記第1電気信号に基づいて、前記複数の照射点の各々における前記光路長の変動量を決定してもよく、前記本計測において、前記複数の照射点の各々における前記変動量に従って前記駆動部を制御してもよい。

[0037] これにより、例えば、プレ計測で、計測予定の全点の光路長の変動量に関

する情報を予め取得することができる。このため、例えば、複数の照射点で順に計測する場合において、変動量が大きく変化するのを抑制することができるので、計測精度を高めることができる。

[0038] また、本開示の第10態様に係る計測装置は、例えば、第1態様から第9態様のいずれか1つに係る計測装置において、前記制御回路は、前記対象物において前記第1パルス光が照射された位置である少なくとも1つの照射点について得られた前記第1電気信号と、前記対象物の形状に関する情報と、に基づき、前記少なくとも1つの照射点を含む複数の照射点の各々における前記光路長の変動量を決定してもよく、前記複数の照射点の各々における前記変動量に従って前記駆動部を制御してもよい。

[0039] これにより、設計データを利用することにより、短期間および少ない演算量で、計測予定の全点の光路長の変動量に関する情報を予め取得することができる。

[0040] また、本開示の第11態様に係る計測装置は、例えば、第1態様から第10態様のいずれか1つに係る計測装置において、前記駆動部をさらに備えてもよい。

[0041] これにより、駆動部を備えた一体的な計測装置を実現することができる。光路長の変動量を精度良く制御することができるので、計測精度を高めることができる。

[0042] また、本開示の第12態様に係る計測方法は、例えば、光源によって、パルス光を繰り返し発することと、光検出器によって、前記パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた電気信号を出力することと、信号処理回路によって、サンプリング期間内における前記電気信号に基づいて、前記光源から前記対象物までの距離を算出することと、前記光源から前記対象物を經由して前記光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御することと、を含む。前記制御することでは、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記電気信号における前記反射パルス光のピークの位置を変化させる。前

記サンプリング期間は、前記第1光源が前記第1パルス光を発するタイミングに同期している。

[0043] これにより、上述した計測装置と同様に、高い精度で距離を計測することができる。

[0044] 以下では、実施の形態について、図面を参照しながら具体的に説明する。

[0045] なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

[0046] また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、例えば、各図において縮尺などは必ずしも一致しない。また、各図において、実質的に同一の構成については同一の符号を付しており、重複する説明は省略または簡略化する。

[0047] また、本明細書において、数値範囲は、厳格な意味のみを表す表現ではなく、実質的に同等な範囲、例えば数%程度の差異を含むことを意味する表現である。

[0048] また、本明細書において、「第1」、「第2」などの序数詞は、特に断りの無い限り、構成要素の数または順序を意味するものではなく、同種の構成要素の混同を避け、区別する目的で用いられている。

[0049] [光コムレーザ]

本開示の実施の形態を説明する前に、光コムレーザの基本原理を簡単に説明する。

[0050] まず、図1Aおよび図1Bを参照して、光コムレーザ光の電界の時間変化および周波数スペクトルを説明する。

[0051] 図1Aは、光コムレーザ光の電界の時間変化の例を模式的に示す図である。図1Aにおいて、横軸は時間を表し、縦軸は光コムレーザ光の電界を表し

ている。なお、光コムレーザ光は、光周波数コムレーザ光とも呼ばれる。また、本明細書では、単にレーザ光と記載する場合もある。

[0052] 図1Aに示すように、光コムレーザ光は、繰り返し周期 T_{rep} で発生する光パルス列から形成されている。繰り返し周期 T_{rep} は、例えば100ps以上100ns以下である。各光パルスの半値全幅は Δt によって表される。各光パルスの半値全幅 Δt は、例えば10fs以上100ps以下である。

[0053] レーザ共振器では、光パルスの包絡線が伝搬する群速度 v_g と、光パルス内の波が伝搬する位相速度 v_p とが、共振器内の分散などにより異なる値をとる。群速度 v_g と位相速度 v_p との違いに起因して、隣接する2つの光パルスを包絡線が一致するように重ねると、これらの光パルス内の波の位相は $\Delta\phi$ だけシフトする。 $\Delta\phi$ は0から 2π の間の値をとる。光パルス列の繰り返し周期は、レーザ共振器の周回長 (round-trip length) を L として、 $T_{rep} = L / v_g$ によって表される。

[0054] 図1Bは、光コムレーザ光の周波数スペクトルの例を模式的に示す図である。図1Bにおいて、横軸は周波数を表し、縦軸は光コムレーザ光の強度を表している。

[0055] 図1Bに示すように、光コムレーザ光は、複数の離散的な等間隔線から形成された櫛状の周波数スペクトルを有する。複数の離散的な等間隔線の周波数は、レーザ共振器における縦モードの共振周波数に相当する。光コムレーザ光における隣接する2つの等間隔線の間隔に相当する繰り返し周波数 f_{rep} は、 $f_{rep} = 1 / T_{rep}$ によって表される。繰り返し周波数 f_{rep} は、例えば10MHz以上1THz以下である。レーザ共振器の周回長 L は30cmであり、かつ、群速度 v_g が真空中の光速 ($= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) にほぼ等しい場合、繰り返し周期 T_{rep} は1nsになり、繰り返し周波数 f_{rep} は1GHzになる。

[0056] 光コムレーザ光の半値全幅を Δf とした場合、 $\Delta f = 1 / \Delta t$ である。光コムレーザ光の半値全幅 Δf は、例えば10GHz以上100THz以下である。等間隔線がゼロ周波数付近まで存在すると仮定した場合における、ゼ

口周波数に最も近い等間隔線の周波数は、キャリアエンベロープオフセット周波数と呼ばれる。キャリアエンベロープオフセット周波数 f_{CEO} は、 $f_{CEO} = (\Delta\phi / (2\pi)) f_{rep}$ によって表される。キャリアエンベロープオフセット周波数 f_{CEO} は、0 から繰り返し周波数 f_{rep} の間の値をとる。キャリアエンベロープオフセット周波数 f_{CEO} を 0 番目のモードとすると、光コムレーザ光における n 番目のモード周波数 f_n は、 $f_n = f_{CEO} + n f_{rep}$ によって表される。図 1 A に示す光コムレーザ光の電界 $E(t)$ は、 n 番目のモード周波数 f_n での電界の振幅 E_n および位相 ϕ_n を用いて、 $E(t) = \sum_n E_n \exp[-i(2\pi f_n t + \phi_n)]$ によって表される。

[0057] [デュアルコム]

次に、図 2 を参照して、デュアルコムの原理を簡単に説明する。

[0058] 図 2 は、デュアルコムにおける第 1 光コムレーザ光の周波数スペクトルと第 2 光コムレーザ光の周波数スペクトルの例を示す図である。図 2 において、横軸は周波数を表し、縦軸は光コムレーザ光の強度を表している。

[0059] 第 1 光コムレーザ光では、 n 番目のモード周波数 f_{1n} は、 $f_{1n} = f_{CEO1} + n f_{rep1}$ によって表される。また、第 2 光コムレーザ光では、 n 番目のモード周波数 f_{2n} は、 $f_{2n} = f_{CEO2} + n f_{rep2}$ によって表される。 f_{CEO1} および f_{CEO2} はそれぞれ、第 1 光コムレーザ光および第 2 光コムレーザ光のキャリアエンベロープオフセット周波数である。 f_{rep1} および f_{rep2} はそれぞれ、第 1 光コムレーザ光および第 2 光コムレーザ光の繰り返し周波数である。 f_{rep1} および f_{rep2} は、互いにわずかに異なっている。具体的には、 $f_{rep2} = f_{rep1} + \delta f_{rep}$ の関係が成り立つ。ここで、 δf_{rep} は、0 より大きく、 f_{rep1} よりもはるかに小さい。 δf_{rep} は、例えば 1 Hz 以上 10 MHz 以下である。

[0060] ここで、第 1 光コムレーザ光の i 番目のモードを f_{1i} とした場合、 $f_{1i} = f_{CEO1} + i f_{rep1}$ が成立する。これに対して、周波数軸上でモード f_{1i} の最も近傍にあるのが第 2 光コムレーザ光の i 番目のモード f_{2i} と仮定する。このとき、 $f_{2i} = f_{CEO2} + i f_{rep2}$ が成立する。これらの 2 つのモード f_{1i}

および f_{2i} が干渉すると、 f_{3i} で表される差周波が発生する。ここで、 $f_{3i} = f_{2i} - f_{1i} = (f_{\text{CEO2}} - f_{\text{CEO1}}) + (i f_{\text{rep2}} - i f_{\text{rep1}}) = \delta f_{\text{CEO}} + i \delta f_{\text{rep}}$ が成立する。なお、 $\delta f_{\text{CEO}} = f_{\text{CEO2}} - f_{\text{CEO1}}$ とみなした。これは、1つの光コムレーザ光と同様の式で記述されるので、第1光コムレーザ光と第2光コムレーザ光との干渉で得られる波形は、1つの光コムレーザの時と同様のパルス波形である。 $\delta T_{\text{rep}} = 1 / \delta f_{\text{rep}}$ とすると、時間軸上でのパルス周期は δT_{rep} となる。

[0061] [測距の原理]

次に、図3および図4を用いて、デュアルコムを用いた距離の計測、すなわち、測距の原理について説明する。

[0062] 図3は、デュアルコムにおける参照側の光および対象側の光の各々について、光コムレーザ光の干渉結果として取得される時間波形を模式的に示す図である。図3において、横軸は時間を表し、縦軸は光コムレーザ光の電界を表している。

[0063] 測距を行う場合、例えば、光源から出射される光を2つに分けて、片方を対象物に照射せず、もう片方を対象物に照射する。対象物に照射しない光と、対象物によって反射された光とをそれぞれ、個別に検出器で受光する。以降、対象物に照射していない光を参照側の光、対象物に照射した光を対象側の光と呼ぶことにする。

[0064] この場合、図3に示すように、得られる信号波形は、参照側の光と対象側の光とで同様のパルス波形になる。しかしながら、対象物を経由したか否かで光路長が異なるので、結果としてパルス光の検出されるタイミング、すなわち、時間軸上でのパルス光のピークの位置がずれることになる。そして、信号処理部は、所定のサンプリング期間で信号を取得し、上記のパルス光のピークの位置のずれ量を算出し、距離に換算することで、光源から対象物までの距離を計測する。

[0065] なお、サンプリング期間は、光源がパルス光を発するタイミングに同期した期間である。例えば、サンプリング期間の長さは、一般的には、パルス周

期と同じである。デュアルコムの場合は、干渉後の信号に含まれるパルス周期 $\delta T_{r.p}$ をサンプリング期間の長さとして設定することができる。

[0066] 測距では、時間軸上のパルス光のピークの位置を利用する以外に、位相スペクトルを利用する方法もある。すなわち、パルス光の時間情報だけでなく、位相情報を利用した測距も可能である。

[0067] 図4は、デュアルコムにおける干渉後の位相スペクトルを模式的に示す図である。図4において、横軸は周波数を表し、縦軸は位相を表している。

[0068] 位相スペクトルは、干渉後のパルス波形をフーリエ変換することで得られる。図4に示しているように、位相スペクトルは、ある傾きを持った直線でフィッティングすることができる。そして、この傾きは、光路長に比例して変わる。このため、参照側の光コムレーザ光と対象側の光コムレーザ光との傾きの違いから、光源から対象物までの距離を計測することができる。このように、パルス光のピークの位置のずれ量だけでなく位相情報からも距離を計測することができる。

[0069] ここで、サンプリング期間とパルス波形との位置関係に基づく課題について、図5を用いて説明する。

[0070] 図5は、サンプリング期間における干渉後のパルス波形の位置と計測結果との関係を模式的に示す図である。ここではサンプリング期間の始めを0、終わりをTとしている。また、それに伴う測距距離をLとしている。ここでLは、上述したレーザ共振器のパルスの周回長に対応している。このため、Lは、対象物までの往復距離に相当するので、計測装置から出力される計測値としては、 $L/2$ に相当する値が出力される。

[0071] 時間波形におけるパルス光のピークの位置から距離計測をする場合、サンプリング期間の始めまたは終わりにパルスが存在すると、光源のタイミングジッター及び計測器の分解能などにより、距離の計測値が、測定毎に、0に近い値となる場合またはLに近い値となる場合がある。このため、結果として計測値の精度が低下してしまう。

[0072] 一方、位相スペクトルから距離計測をする場合、サンプリング期間の中心

にパルスが存在すると、同様の理由により、パルス毎の距離の計測結果が0.5Lに近い値または0.5Lに近い値となる。このため、結果として計測値の精度が低下してしまう。

[0073] 以上のことから、サンプリング期間内のパルス光のピーク的位置によっては、計測結果の精度低下が起きてしまう。本発明者らは、以上の課題を見出し、この課題を解決するための新規な計測装置および計測方法を想到した。以下では、本開示の実施の形態を説明する。

[0074] [実施の形態]

(実施の形態1)

まず、図6Aを参照して、実施の形態1に係る計測装置の基本的な構成例を説明する。本実施の形態に係る計測装置は、別軸測距を行う装置である。具体的には、対象物に対する光の照射軸と、対象物からの反射光の受光軸とが異なっている。

[0075] 図6Aは、本実施の形態に係る計測装置100を模式的に示す図である。図6Aに示される計測装置100は、計測装置100から対象物40までの距離を計測する。例えば、計測装置100は、対象物40の表面の計測点毎に、計測装置100から計測点までの距離を計測する。これにより、計測装置100は、対象物40の表面形状を得ることができる。なお、計測点は、パルス光の照射点である。

[0076] 対象物40は、例えば、設計データに基づいて生産されたネジ等の生産物であるが、これに限定されない。対象物40は、工業製品または農産物などであってもよい。計測装置100によって表面形状を計測することにより、対象物40の検品が可能になる。あるいは、計測装置100は、人等の動物などであってもよい。また、対象物40は、固体には限定されず、パルス光の反射ができれば液体であってもよい。

[0077] 図6Aに示すように、計測装置100は、パルス光源10と、カメラ20と、光学ヘッド30および31と、検出器50および51と、信号処理回路60と、制御回路70と、駆動部80と、を備える。計測装置100が備え

る各構成要素は、破線で図示される光ファイバー、または、実線で図示されるケーブルによってつながっている。例えば、光ファイバーの経路上に、カップラ20、光学ヘッド30および31ならびに検出器50および51などの光学素子が配置されている。パルス光源10は、光ファイバーの端部に接続されている。また、ケーブルの経路上に、検出器50および51、信号処理回路60、制御回路70ならびに駆動部80が配置されている。

[0078] パルス光源10は、パルス光を繰り返し発する光源の一例である。パルス光源10は、例えば、レーザ共振器を含む光コムレーザである。パルス光源10は、光10Lを出力光として出力する。光10Lは、例えば、繰り返し周波数が f_{rep} で、キャリアエンベロープオフセット周波数が f_{CEO} の光コムレーザ光である。図1Aに示したように、光コムレーザ光は、複数のパルス光を等しい時間間隔で含んでいる。すなわち、パルス光源10は、光コムレーザ光を出力することによって、パルス光を繰り返し発する。

[0079] カプラ20は、光を分波する光学素子である。具体的には、カプラ20は、光10Lを信号光10Ltと参照光10Lrとに分波する。

[0080] 光学ヘッド30は、光を平行光にして出射するコリメータ等の光学素子である。具体的には、光学ヘッド30は、光ファイバーを伝送された信号光10Ltを、平行光に変換して対象物40に向けて出射する。光学ヘッド30は、コリメータの直後に、レンズなどの集光する光学素子を含んでもよい。

[0081] 光学ヘッド31は、光を受光し、光ファイバーへと導く光学素子である。具体的には、光学ヘッド31は、出射された信号光10Ltが対象物40に反射されることで生成される反射光10Rを受光し、光ファイバーへ導く。反射光10Rは、信号光10Ltと同様に、複数のパルス光を含んでいる。反射光10Rに含まれる複数のパルス光は、信号光10Ltに含まれるパルス光が対象物40に反射されることで生成される反射パルス光である。

[0082] 検出器50および51はそれぞれ、入射する光に対して光電変換を行うことで、電気信号を生成して出力する光学素子である。電気信号の信号レベルは、入射する光の強度に対応している。検出器50および51は、例えば、

フォトダイオード、フォトトランジスタなどの光電変換素子である。

[0083] 検出器50は、第1光検出器の一例であり、複数の反射パルス光を検出し、検出結果に応じた第1電気信号を出力する。具体的には、検出器50は、光学ヘッド31および光ファイバーを介して入射する反射光10Rに対して光電変換を行うことで、第1電気信号を出力する。

[0084] 検出器51は、第2光検出器の一例であり、パルス光源10が発したパルス光の一部を検出し、検出結果に応じた第2電気信号を出力する。具体的には、検出器51は、カップラ20で分波された参照光10Lrに対して光電変換を行うことで、第2電気信号を出力する。

[0085] 信号処理回路60は、第1電気信号に基づいて、計測装置100から対象物40までの距離を算出する。具体的には、信号処理回路60は、第1電気信号と第2電気信号とに基づいて距離を算出する。具体的な算出方法としては、時間情報を利用する方法と、位相情報を利用する方法とがある。例えば、信号処理回路60は、サンプリング期間内における反射パルス光に対応する時間波形に基づいて距離を算出する。あるいは、信号処理回路60は、サンプリング期間内における反射パルス光に対応する位相スペクトルに基づいて距離を算出してもよい。時間情報および位相情報のいずれを利用するかは、予め設定されていてもよく、ユーザ等の指示に基づいて切り替え可能であってもよい。

[0086] 制御回路70は、駆動部80を制御する。具体的には、制御回路70は、サンプリング期間内において反射パルス光が検出されたタイミングに応じて、駆動部80を制御する。反射パルス光が検出されたタイミングは、時間軸上における反射パルス光のピークの位置である。以下では、反射パルス光が検出されたタイミングを「パルス位置」と記載する場合がある。

[0087] 本実施の形態では、制御回路70は、信号処理回路60による距離算出の方法に応じて、駆動部80の制御内容を変更する。例えば、信号処理回路60が時間情報を利用する場合、制御回路70は、パルス光のピークの位置であるパルス位置がサンプリング期間の中心に近づくように駆動部80を制御

する。具体的には、時間情報を利用する場合、制御回路70は、パルス位置がサンプリング期間の端にならないように、例えば、 0 以上 $0.05T$ 未満の範囲、および、 $0.95T$ より大きく、 T 以下の範囲のいずれにもならないように、駆動部80を制御する。言い換えると、制御回路70は、パルス位置が $0.05T$ 以上 $0.95T$ 以下の範囲内に入るように、駆動部80を制御する。ここで、 T は、図5で示したように、サンプリング期間の長さである。

[0088] また、信号処理回路60が位相情報を利用する場合、制御回路70は、パルス位置がサンプリング期間の中心から離れるように駆動部80を制御する。具体的には、位相情報を利用する場合、制御回路70は、パルス位置がサンプリング期間の中心範囲にならないように、例えば、 $0.45T$ より大きく、 $0.55T$ 未満の範囲にならないように、駆動部80を制御する。言い換えると、制御回路70は、パルス位置が 0 以上 $0.45T$ 以下の範囲内、または、 $0.55T$ 以上 T 以下の範囲内に入るように、駆動部80を制御する。

[0089] 信号処理回路60および制御回路70はそれぞれ、例えば、集積回路 (IC: Integrated Circuit) であるLSI (Large Scale Integration) によって実現される。なお、集積回路は、LSIに限られず、専用回路または汎用プロセッサであってもよい。例えば、信号処理回路60および制御回路70は、マイクロコントローラであってもよい。マイクロコントローラは、例えば、プログラムが格納された不揮発性メモリ、プログラムを実行するための一時的な記憶領域である揮発性メモリ、入出力ポート、および、プログラムを実行するプロセッサなどを含んでいる。また、信号処理回路60および制御回路70は、プログラム可能なFPGA (Field Programmable Gate Array)、または、LSI内の回路セルの接続および設定が再構成可能なリコンフィギュラブルプロセッサであってもよい。信号処理回路60および制御回路70が実行する機能は、ソフトウェアで実現されてもよく、ハードウェア

アで実現されてもよい。信号処理回路60および制御回路70は、共通のハードウェア構成で実現されてもよい。

[0090] 駆動部80は、対象側の光路長を変化させる素子である。対象側の光路長とは、パルス光源10から対象物40を経由して検出器50に至る光路長である。本実施の形態では、駆動部80は、対象物40の位置を物理的に変化させる。例えば、駆動部80は、対象物40を支持する可動式の移動ステージであるが、これに限定されない。駆動部80は、ベルトコンベアまたはロボットアームなどであってもよい。対象物40の物理的な位置、姿勢、傾きなどを変更することができれば、駆動部80の種類は特に限定されない。

[0091] 以上のように構成された計測装置100では、対象物40の測距を行う場合には、パルス光源10が光10Lを出力する。出力された光10Lは、カメラ20によって信号光10Ltと参照光10Lrとの2つに分けられる。信号光10Ltは、光学ヘッド30から出射されて対象物40に入射し、対象物40で反射される。反射光10Rは、光学ヘッド31に入射した後に検出器50に向かう。また、参照光10Lrは、検出器51に向かう。

[0092] 反射光10Rおよび参照光10Lrはそれぞれ、検出器50および51によって、電気信号に変換される。検出器50の信号を対象側の信号とし、検出器51の信号を参照側の信号として、信号処理回路60は、時間情報または位相情報を用いて演算処理を行うことにより、計測装置100から対象物40の計測点までの距離を算出する。

[0093] ある計測点における計測において、制御回路70は、検出器50から出力される電気信号に基づいて、駆動部80を動かすことで対象側の光路長を調整する。具体的には、計測精度の低下を起こしうる範囲にパルス位置が存在する場合に、制御回路70は、パルス位置が当該範囲から外れるように、駆動部80を制御することで、対象物40の位置を変動させる。対象物40の位置を変動させた後、同じ計測点に対する計測を行う。これにより、計測装置100は、計測精度の低下を抑制することができ、高い精度で距離を計測することができる。なお、具体的な動作例については、後で説明する。

[0094] 後述する実施の形態2のように、駆動部80は、対象物40の代わりに、光学ヘッド30または31を移動させてもよい。この場合も、対象物40を移動させる場合と同様に、対象側の光路長を変更することができるので、高い精度で距離を計測することができる。

[0095] (実施の形態2)

次に、図6Bを参照して、実施の形態2に係る計測装置の基本的な構成例を説明する。

[0096] 実施の形態2では、実施の形態1と比較して、対象物に対する光の照射軸と、対象物からの反射光の受光軸とが一致している点が相違する。すなわち、実施の形態2に係る計測装置は、同軸測距を行う装置である。また、実施の形態1と比較して、光路長を調整する駆動部が光学ヘッドに設けられている点が相違する。以下では、実施の形態1との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0097] 図6Bは、本実施の形態に係る計測装置110を模式的に示す図である。図6Bに示すように、計測装置110は、実施の形態1に係る計測装置100と比較して、光学ヘッド31の代わりに、サーキュレータ90を備える点が相違する。また、計測装置110では、駆動部80は、光学ヘッド30の位置を変動させる。

[0098] サーキュレータ90は、光の進行方向を制御する光学素子である。光の進行方向を制御できれば、サーキュレータ90の代わりに、例えばビームスプリッタなどの素子が用いられてもよい。

[0099] 本実施の形態に係る計測装置110では、対象物40の測距を行う場合に、パルス光源10が光10Lを出力する。出力された光10Lは、カップラ20によって信号光10Ltと参照光10Lrとの2つに分けられる。信号光10Ltは、サーキュレータ90を通過し、光学ヘッド30から出射されて対象物40に入射し、対象物40で反射される。反射光10Rは、光学ヘッド30に入射した後に、サーキュレータ90によって検出器50に向かう。また、参照光10Lrは、検出器51に向かう。

[0100] 反射光10Rおよび参照光10Lrはそれぞれ、検出器50および51によって、電気信号に変換される。距離の算出方法は、実施の形態1と同じ方法を利用することができる。

[0101] このように、信号光10Ltと反射光10Rとは、同じ光学ヘッド30を介して入出力が行われる。すなわち、対象物40に対する信号光10Ltの照射軸と、対象物40からの反射光10Rの受光軸とが一致している。これにより、対象物40が複雑な形状を有する場合であっても、距離の計測を精度良く行うことができる。例えば、対象物40が深い穴のような構造を持つ場合、計測装置100は、照射軸と受光軸とが一致していることにより、穴の底面での反射を受光することができる。

[0102] また、本実施の形態では、駆動部80は、光学ヘッド30の位置を移動させる。光学ヘッド30の位置を移動させる場合も、対象物40の位置を移動させる場合と同様に、対象側の光路長を変動させることができる。また、本実施の形態では、照射軸と受光軸とが一致しているので、光学ヘッド30の位置を移動させた場合の光路長の変動量の制御が容易になる。

[0103] なお、実施の形態1と同様に、駆動部80は、光学ヘッド30の代わりに、対象物40を移動させてもよい。この場合も、光学ヘッド30を移動させる場合と同様に、対象側の光路長を変更することができるので、高い精度で距離を計測することができる。

[0104] (実施の形態3)

次に、図6Cを参照して、実施の形態3に係る計測装置の基本的な構成例を説明する。

[0105] 実施の形態3では、実施の形態2と比較して、デュアルコムを利用して測距を行う点が相違する。以下では、実施の形態1および2との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0106] なお、デュアルコムのように複数のパルス光源を用いる場合、図6Cに示すように、1つのパルス光源について、参照側および対象側の両方とも対象物40に照射しない経路にする。これにより、より感度の高い計測を行うこ

とができる。

[0107] 図6Cは、本実施の形態に係る計測装置120を模式的に示す図である。図6Cに示すように、計測装置120は、実施の形態2に係る計測装置110と比較して、パルス光源10の代わりに、光コムレーザ11および12を備える。また、計測装置120は、カップラ21、22および23をさらに備える。

[0108] 図6Cに示すように、計測装置120が備える各構成要素は、破線で図示される光ファイバー、または、実線で図示されるケーブルによってつながっている。例えば、光ファイバーの経路上に、カップラ20、21、22および23、サーキュレータ90、光学ヘッド30ならびに検出器50および51などの光学素子が配置されている。光コムレーザ11および12は、光ファイバーの端部に接続されている。

[0109] 光コムレーザ11は、第1パルス光を繰り返し発する第1光源の一例である。光コムレーザ11は、レーザ共振器を含む光コムレーザである。光コムレーザ11は、光11Lを出力光として出力する。光11Lは、例えば、図2の上段に示したように、繰り返し周波数が f_{rep1} で、キャリアエンベロープオフセット周波数が f_{CEO1} の光コムレーザ光である。

[0110] 光コムレーザ12は、第2パルス光を繰り返し発する第2光源の一例である。光コムレーザ12は、光コムレーザ11とは繰り返し周波数が異なる光コムレーザである。光コムレーザ12は、光12Lを出力光として出力する。光12Lは、例えば、図2の下段に示したように、繰り返し周波数が f_{rep2} で、キャリアエンベロープオフセット周波数が f_{CEO2} の光コムレーザ光である。

[0111] カップラ20、21、22および23はそれぞれ、光を分波または合波する光学素子である。カップラ20は、光11Lを信号光11Ltと参照光11Lrとに分波する。カップラ21は、光12Lを信号光12Ltと参照光12Lrとに分波する。カップラ22は、参照光11Lrと参照光12Lrとを合波する。カップラ23は、反射光11Rと信号光12Ltとを合波する。

- [0112] 本実施の形態に係る計測装置120では、対象物40の測距を行う場合に、光コムレーザ11および12がそれぞれ、光11Lおよび12Lを出力する。光11Lは、カプラ20によって信号光11Ltと参照光11Lrとの2つに分けられる。信号光11Ltは、サーキュレータ90を通過し、光学ヘッド30から出射されて対象物40に入射し、対象物40で反射される。反射光11Rは、光学ヘッド30に入射した後にサーキュレータ90によってカプラ23に向かう。また、参照光11Lrは、カプラ20からカプラ22に向かう。
- [0113] 光12Lは、カプラ21によって信号光12Ltと参照光12Lrとの2つに分けられる。参照光12Lrは、カプラ22で参照光11Lrと合わさって検出器50に向かう。また、信号光12Ltは、カプラ23で反射光11Rと合わさって検出器51に向かう。
- [0114] 本実施の形態では、検出器50および51の各々で、2つの光コムレーザ光が互いに干渉する。具体的には、検出器51は、反射光11Rを信号光12Ltと干渉させて検出し、検出結果に応じた第1電気信号を出力する。第1電気信号は、例えば、図3の下段に示した信号である。また、検出器50は、参照光11Lrを参照光12Lrと干渉させて検出し、検出結果に応じた第2電気信号を出力する。第2電気信号は、例えば、図3の上段に示した信号である。第1電気信号および第2電気信号に基づいて、信号処理回路60は、計測装置120から対象物40の計測点までの距離を算出する。
- [0115] 本実施の形態では、駆動部80は、光学ヘッド30の位置を移動させる。実施の形態2と同様に、光学ヘッド30の位置を移動させることで、対象側の光路長を変更させることができる。なお、実施の形態1と同様に、駆動部80は、光学ヘッド30の代わりに、対象物40を移動させてもよい。いずれの場合であっても、対象側の光路長を変更することができるので、高い精度で距離を計測することができる。
- [0116] [計測装置の動作（計測方法）]
続いて、上述した各実施の形態に係る計測装置100、110および12

0の動作について説明する。なお、以下では、デュアルコムを利用する計測装置120の動作を代表して説明するが、計測装置100および110の動作も同様である。

[0117] [第1例]

まず、図7を参照して、計測装置120の動作の第1例を説明する。

[0118] 図7は、各実施の形態に係る計測装置の動作の第1例を示すフローチャートである。図7に示す例は、1回の計測毎に光路長の変更の要否を判定し、変更が必要であると判定した場合に、光路長を変化させて計測精度が低下しないようにするための動作例である。なお、計測装置120は、図示しない入力手段などからの開始信号により動作を開始する。

[0119] (ステップS101)

図7に示すように、まず、信号処理回路60は、検出器50および51の各々で検出した電気信号を取得する。信号処理回路60が取得する電気信号は、例えば、図3に示す複数のパルス光の信号を含んでいる。言い換えると、信号処理回路60は、パルス列の時間情報を取得する。

[0120] (ステップS102)

次に、信号処理回路60または制御回路70は、パルス列の時間情報に基づいて最大のピークを検出する。ここでのピークとは、得られた電気信号の中でのピークでもよいし、パルス波形の包絡線におけるピークでもよい。

[0121] (ステップS103)

次に、制御回路70は、サンプリング期間内における最大ピークの位置 (T_{Peak}) を取得する。ここではサンプリング期間の始めを0、終わりをTとしているので、 $0 \leq T_{Peak} \leq T$ を満たす。

[0122] (ステップS104)

次に、制御回路70は、距離換算の演算方法の判定を行う。具体的には、制御回路70は、位相情報を利用するか、時間情報を利用するかを判定する。いずれの情報を利用するかは、予め設定されている。あるいは、いずれの情報を利用するかは、ユーザからの指示に基づいて切り替えられてもよい。

なお、ステップS104の判定は、計測装置120の動作の最初、すなわち、ステップS101の前に実行されてもよい。

[0123] 位相情報を利用する場合（S104で“位相”）、計測装置120は、ステップS105からステップS107、ならびに、ステップS111およびS112に示す処理を実行する。時間情報を利用する場合（S104で“時間”）、計測装置120は、ステップS108からステップS111に示す処理を実行する。

[0124] （ステップS105）

位相情報を利用する場合（S104で“位相”）、制御回路70は、最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の中心近傍にあるか否かを判定する。具体的には、制御回路70は、 $T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たすか否かを判定する。

[0125] （ステップS106）

$T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たす場合（S105でYes）、信号処理回路60は、位相情報を用いて距離を算出する。具体的には、信号処理回路60は、取得した参照側の第2電気信号と対象側の第1電気信号とをそれぞれ、フーリエ変換する。信号処理回路60は、フーリエ変換で得られるそれぞれの位相スペクトルについて、その傾きから距離を換算し、これらの差分から、計測装置120から照射点までの距離を算出する。

[0126] （ステップS107）

$T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たさない場合（S105でNo）、制御回路70は、最大ピークの位置 T_{Peak} が $0.45T$ より大きく $0.55T$ 未満の範囲外になるように、すなわち $T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たすように駆動部80を制御する。駆動部80を制御することで、対象側の光路長が変更されるので、最大ピークの位置 T_{Peak} が変化する。この状態で、再びステップS101に戻り、同じ照射点での電気信号の取得を行う。その後、計測装置120は、ステップS1

02以降の処理を実行する。

[0127] (ステップS108)

時間情報を利用する場合(S104で“時間”)、制御回路70は、最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の端近傍にあるか否かを判定する。具体的には、制御回路70は、 $0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たすか否かを判定する。

[0128] (ステップS109)

$0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たす場合(S108でYes)、信号処理回路60は、時間情報を用いて距離を算出する。具体的には、信号処理回路60は、取得した参照側の第2電気信号と対象側の第1電気信号とについて、それぞれの最大ピークの位置から距離を換算し、これらの差分から、計測装置120から照射点までの距離を算出する。

[0129] (ステップS110)

$0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たさない場合(S108でNo)、制御回路70は、最大ピークの位置 T_{Peak} が $0.05T$ 未満の範囲、および、 $0.95T$ より大きい範囲のいずれからも外れるように、すなわち $0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たすように駆動部80を制御する。駆動部80を制御することで、対象側の光路長が変更されるので、最大ピークの位置 T_{Peak} が変化する。この状態で、再びステップS101に戻り、同じ計測点での電気信号の取得を行う。その後、計測装置120は、ステップS102以降の処理を実行する。

[0130] (ステップS111)

ステップS106またはS109において、計測装置120から照射点までの距離が算出された後、制御回路70は、全点での計測を終了したか否かを判定する。ここで、全点とは、例えば、対象物40の表面のうち、計測を予定している全ての計測点、すなわち、信号光11Ltを照射する予定の全ての照射点である。全点の計測が終了したならば(S111でYes)、計測装置120による距離計測の動作は終了する。一方、全点の計測が終了し

てなければ（S 1 1 1でN o）、計測装置 1 2 0は、ステップS 1 1 2に示す処理を実行する。

[0131] （ステップS 1 1 2）

全点の計測が終了していない場合、計測装置 1 2 0は、対象物 4 0における照射点を移動させる。対象物 4 0における照射点の移動には、例えば、対象物 4 0を支持する移動ステージ（不図示）を用いる。なお、照射点を変更することができれば、他の方法が用いられてもよい。照射点の移動後は、ステップS 1 0 1に戻り、新たな照射点での電気信号の取得を行う。その後、計測装置 1 2 0は、ステップS 1 0 2以降の処理を実行する。

[0132] 以上のように、図 7 に示す例では、制御回路 7 0は、1回の計測毎に、すなわち、信号光 1 1 L t の照射点毎に、光路長の変更の要否を判定する（ステップS 1 0 5またはS 1 0 8）。制御回路 7 0は、変更が必要と判定した場合に駆動部 8 0を制御して光路長を変動させる（ステップS 1 0 7またはS 1 1 0）。これにより、各照射点での計測精度を高めることができる。

[0133] [第 2 例]

次に、図 8 を参照して、計測装置 1 2 0の動作の第 2 例を説明する。

[0134] 図 8 は、各実施の形態に係る計測装置の動作の第 2 例を示すフローチャートである。図 8 に示す例は、第 1 例と比較して、光路長の変動量に基づいて、距離を補正する処理を行う点が相違する。以下では、第 1 例との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0135] 図 8 に示すように、ステップS 1 0 1、S 1 0 2、S 1 0 3、S 1 0 4、S 1 0 5、S 1 0 6、S 1 0 7、S 1 0 8、S 1 0 9、S 1 1 0、S 1 1 1、およびS 1 1 2の各処理はいずれも、図 7 に示した第 1 例に係る各処理と同様のため、説明を省略する。

[0136] （ステップS 2 0 7）

ステップS 2 0 7に示す処理は、ステップS 1 0 7に示す処理の後に実行される。具体的には、制御回路 7 0は、光路長の変動量を記録する。変動量は、対象側の光路長の変動量そのものであってもよく、駆動部 8 0の移動量

、または、光学ヘッド30もしくは対象物40の物理的な移動量であってもよい。

[0137] 制御回路70は、制御回路70または信号処理回路60に内蔵されているメモリに変動量を保存する。なお、変動量を記録することができれば、計測装置120が備える他のメモリに記録されてもよく、計測装置120とは異なる装置が備えるメモリに記録されてもよい。

[0138] (ステップS210)

ステップS210に示す処理は、ステップS110に示す処理の後に実行される。具体的には、制御回路70は、光路長の変動量を記録する。具体的な処理は、ステップS207と同じである。

[0139] (ステップS211)

図8に示す例では、全点の計測が終了した後(S111でYes)、信号処理回路60は、メモリに保存した変動量を読み出し、ステップS106またはS109で算出した距離を補正する。距離の補正は、ステップS107またはS110で駆動部80を制御した1ヶ所以上の照射点を対象として行われる。

[0140] 計測装置120では、駆動部80を制御することにより光路長を変動させるので、算出した距離には、光路長の変動分がオフセットとして乗ってしまう。例えば、対象物40の表面形状を計測する場合、所々にオフセットが重畳された結果が得られるため、正確な表面形状の特定ができないおそれがある。

[0141] これに対して、図8に示したように、信号処理回路60は、駆動部80が光路長を変動させた場合に、光路長の変動量に基づいて距離を補正する。これにより、対象物40の全点の計測結果が適切に補正され、例えば、対象物40の表面形状の計測を高い精度で行うことができる。

[0142] なお、図8に示す例では、全点の計測後に補正を行う例を示したが、これに限定されない。信号処理回路60は、距離を算出する度に、すなわち、ステップS106またはS109の直後のタイミングで、算出した距離を補正

してもよい。

[0143] [第3例]

次に、図9Aおよび図9Bを参照して、計測装置120の動作の第3例を説明する。

[0144] 図9Aは、各実施の形態に係る計測装置の第3例におけるプレ計測の一例を示すフローチャートである。図9Bは、各実施の形態に係る計測装置の第3例における本計測の一例を示すフローチャートである。第3例では、計測装置120は、図9Aに示すプレ計測を行った後、図9Bに示す本計測を行う。

[0145] まず、図9Aを参照して、プレ計測に関わる動作について説明する。以下では、第1例との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。図9Aに示すように、ステップS101、S102およびS103の各処理はいずれも、図7に示した第1例に係る各処理と同様のため、説明を省略する。

[0146] (ステップS303)

ステップS303に示す処理は、ステップS103に示す処理の後に実行される。具体的には、信号処理回路60は、取得した最大ピークの位置(T_{peak})をメモリに記録する。

[0147] (ステップS304)

次に、制御回路70は、プレ計測を終了するか否かを判定する。プレ計測は、例えば、対象物40の全点に対して行われる。全点とは、例えば、対象物40の表面のうち、計測を予定している全ての計測点、すなわち、信号光11Ltを照射する予定の全ての照射点である。なお、プレ計測では、全点のうちの一部のみを計測の対象としてもよい。

[0148] (ステップS305)

プレ計測を終了しない場合(S304でNo)、すなわち、全点に対する計測が終了していない場合、計測装置120は、対象物40における照射点を移動させる。対象物40における照射点の移動には、例えば、対象物40

を支持する移動ステージ（不図示）を用いる。なお、照射点を変更することができれば、他の方法が用いられてもよい。照射点の移動後は、ステップS 101に戻り、新たな照射点での電気信号の取得を行う。その後、計測装置120は、ステップS 102以降の処理を実行する。

[0149] (ステップS 306)

プレ計測を終了した場合（S 304でYes）、制御回路70は、距離換算の演算方法の判定を行う。具体的には、制御回路70は、位相情報を利用するか、時間情報を利用するかを判定する。ステップS 306の判定は、図7または図8に示したステップS 104の判定と同じである。ステップS 306の判定は、計測装置120の動作の最初、すなわち、ステップS 101の前に実行されてもよい。

[0150] (ステップS 307)

位相情報を利用する場合（S 306で“位相”）、制御回路70は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} に基づいて、全点での光路長の変動量を決定する。具体的には、制御回路70は、 $T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たすように、全点での光路長の変動量を決定する。すなわち、制御回路70は、各照射点における最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の中心から離れるように光路長の変動量を決定する。例えば、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} が $0.45T$ より大きく、 $0.55T$ 未満の範囲である場合に、制御回路70は、当該範囲から T_{Peak} が外れるための変動量を決定する。制御回路70は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} が $T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たしている場合には、制御回路70は、変動量を0とみなす。

[0151] (ステップS 308)

時間情報を利用する場合（S 306で“時間”）、制御回路70は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} に基づいて、全点での光路長の変動量を決定する。具体的には、制御回路70は、 $0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たすように、全点での光路長の変動量を決定する。すなわち、制御回路70は

、各照射点における最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の中心に近づくように光路長の変動量を決定する。例えば、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} が $0.05T$ 未満、または、 $0.95T$ より大きい範囲である場合に、制御回路 70 は、これらのいずれの範囲からも T_{Peak} が外れるための変動量を決定する。制御回路 70 は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} が $0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たしている場合には、制御回路 70 は、変動量を 0 とみなす。

[0152] (ステップ S 309)

ステップ S 307 または S 308 で変動量を決定した後、制御回路 70 は、決定した変動量をメモリに記録する。このとき、制御回路 70 は、変動量として、駆動部 80 の駆動量、具体的には、光学ヘッド 30 または対象物 40 の物理的な移動量を記録してもよい。駆動部 80 の駆動量を記録することにより、対応する照射点での駆動部 80 の制御を短時間で速やかに行うことができる。

[0153] 以上のように、本例によれば、プレ計測によって、各照射点を計測する際の光路長の変動量が決定される。このため、本計測では、制御回路 70 は、決定した変動量に基づいて、駆動部 80 を制御することができる。

[0154] 以下では、図 9 B を参照して、本計測に関わる動作について説明する。以下では、第 1 例との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。図 9 B に示すように、ステップ S 101、S 102、S 103、および S 112 の各処理はいずれも、図 7 に示した第 1 例に係る各処理と同様のため、説明を省略する。

[0155] (ステップ S 310)

本計測が開始されると、まず、制御回路 70 は、照射点に対応する変動量を取得する。具体的には、制御回路 70 は、プレ計測で記録した変動量をメモリから読み出す。

[0156] (ステップ S 311)

次に、制御回路 70 は、光路長を変動させる必要があるか否かを判定する

。具体的には、制御回路70は、読み出した変動量が0であれば、変動させる必要はないと判定する。あるいは、照射点に対応する変動量がメモリに記録されていない場合も、制御回路70は、変動させる必要はないと判定する。光路長を変動させる必要がない場合（S311でNo）、計測装置120は、ステップS101以降の処理を実行する。

[0157] (ステップS312)

光路長を変動させる必要がある場合（S311でYes）、制御回路70は、読み出した変動量に基づいて駆動部80を制御する。変動量は、計測精度が低下しにくい範囲に最大ピークの位置 T_{Peak} が位置するようにプレ計測に基づいて決定された量である。このため、変動量に基づいて駆動部80を制御することにより、本計測では、最大ピークの位置 T_{Peak} が適切な範囲内で現れるので、精度良い計測が可能になる。駆動部80を制御した後、計測装置120は、ステップS101以降の処理を実行する。

[0158] (ステップS313)

ステップS313に示す処理は、ステップS103に示す処理の後に実行される。具体的には、信号処理回路60は、位相情報または時間情報を用いて、計測装置120から照射点までの距離を算出する。このとき、信号処理回路60は、プレ計測で用いた情報を利用する。すなわち、信号処理回路60は、プレ計測で位相情報を用いた場合には、本計測でも位相情報を用いる。信号処理回路60は、プレ計測で時間情報を用いた場合には、本計測でも時間情報を用いる。具体的な距離の算出方法は、図7に示したステップS106またはS109に示す処理と同じである。

[0159] (ステップS314)

ステップS313において計測装置120から照射点までの距離が算出された後、制御回路70は、全点での計測を終了したか否かを判定する。ここで、全点とは、例えば、対象物40の表面のうち、計測を予定している全ての計測点、すなわち、信号光11Ltを照射する予定の全ての照射点である。全点の計測が終了したならば（S314でYes）、計測装置120によ

る距離計測の動作は終了する。一方、全点の計測が終了してなければ（S 313でNo）、計測装置120は、ステップS 112に示す処理を実行する。

[0160] 以上のように、図9Aおよび図9Bに示す例では、制御回路70は、対象物40の全ての照射点を一度計測するプレ測定を行った後、その計測結果に基づいて、光路長の変動量を決定する。制御回路70は、決定した変動量に基づいて光路長を変化させながら、計測精度が低下しないようにしつつ、対象物40の全点を再度測定する本測定を行う。

[0161] これにより、全点の光路長の変動量に関する情報を予め取得しておくことで、変動量の大きな変化の発生を抑制することができる。例えば、ある計測点で光路長を変動させた場合に、その変動量が大きかったり、逆に少なかったりすることで、次の計測点でも再度、光路長を変動させなければならなくなるような状況を回避することができる。これにより、光路長の変動量を抑制しながら、距離計測の精度を高めることができる。

[0162] [第4例]

次に、図10を参照して、計測装置120の動作の第4例を説明する。

[0163] 図10は、各実施の形態に係る計測装置の第4例における一点計測の一例を示すフローチャートである。図10に示す一点計測は、第3例のプレ計測に相当する。計測装置120は、図10に示す一点計測を行った後、図9Bに示す本計測を行う。第4例では、図10に示す一点計測によって、第4例では、照射点毎の光路長の変動量を決定する。

[0164] 以下では、一点計測に関わる動作について説明する。第1例との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。図10に示すように、ステップS 101、S 102およびS 103の各処理はいずれも、図7に示した第1例に係る各処理と同様のため、説明を省略する。

[0165] (ステップS 403)

ステップS 403に示す処理は、ステップS 103に示す処理の後に実行される。具体的には、信号処理回路60は、取得した最大ピークの位置（ T_p

Peak) をメモリに記録する。

[0166] (ステップS404)

次に、制御回路70は、対象物40の設計データを読み込む。対象物40の設計データは、例えば、測距の場合であれば3D-CAD (Computer Aided Design) データなどである。例えば、対象物40が工業製品であり、計測装置120が対象物40の検品に用いられる場合には、対象物40を製造するのに用いた設計データがメモリに保存されている。制御回路70は、メモリから設計データを読み出すことにより、設計データを取得する。

[0167] (ステップS405)

次に、制御回路70は、距離換算の演算方法の判定を行う。具体的には、制御回路70は、位相情報を利用するか、時間情報を利用するかを判定する。ステップS405の判定は、図7または図8に示したステップS104の判定と同じである。ステップS405の判定は、計測装置120の動作の最初、すなわち、ステップS101の前に実行されてもよい。

[0168] (ステップS406)

位相情報を利用する場合 (S406で“位相”)、制御回路70は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} と設計データとに基づいて、全点での光路長の変動量を決定する。具体的には、制御回路70は、 $T_{Peak} \leq 0.45T$ 、または、 $0.55T \leq T_{Peak}$ を満たすように、全点での光路長の変動量を決定する。すなわち、制御回路70は、各照射点における最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の中心から離れるように光路長の変動量を決定する。制御回路70は、設計データを参照することにより、計測した一点の最大ピークの位置 T_{Peak} から、計測していない残りの全点の最大ピークの位置 T_{Peak} を推定することができる。このため、制御回路70は、推定結果を利用することで、全点での光路長の変動量を決定することができる。具体的な決定方法は、図9Aに示すステップS307と同様である。

[0169] (ステップS407)

時間情報を利用する場合（S405で“時間”）、制御回路70は、記録した最大ピークの位置 T_{Peak} と設計データとに基づいて、全点での光路長の変動量を決定する。具体的には、制御回路70は、 $0.05T \leq T_{Peak} \leq 0.95T$ を満たすように、全点での光路長の変動量を決定する。すなわち、制御回路70は、各照射点における最大ピークの位置 T_{Peak} がサンプリング期間内の中心に近づくように光路長の変動量を決定する。ステップS406と同様に、制御回路70は、設計データを参照することにより、計測した一点の最大ピークの位置 T_{Peak} から、計測していない残りの全点の最大ピークの位置 T_{Peak} を推定することができる。このため、制御回路70は、推定結果を利用することで、全点での光路長の変動量を決定することができる。具体的な決定方法は、図9Aに示すステップS308と同様である。

[0170] （ステップS408）

ステップS406またはS407で変動量を決定した後、制御回路70は、決定した変動量をメモリに記録する。このとき、制御回路70は、変動量として、駆動部80の駆動量、具体的には、光学ヘッド30または対象物40の物理的な移動量を記録してもよい。駆動部80の駆動量を記録することにより、対応する照射点での駆動部80の制御を短時間で速やかに行うことができる。

[0171] 以上のように、第4例によれば、対象物40の一点を計測する測定を行い、その計測結果と対象物40の設計データとに基づいて各照射点を計測する際の光路長の変動量が決定される。このため、本計測では、制御回路70は、決定した変動量に基づいて、駆動部80を制御することができる。プレ計測を行う場合に比べて、計測に要する時間を短縮化することができる。

[0172] （他の実施の形態）

以上、1つまたは複数の態様に係るレーザ装置について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、これらの実施の形態に限定されるものではない。本開示の主旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したものの、および、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせ

せて構築される形態も、本開示の範囲内に含まれる。

- [0173] 例えば、パルス光源10は、光コムレーザでなくてもよい。すなわち、パルス光源10は、共振器を含まなくてもよく、例えば、パルス光を繰り返し発するLD (Laser Diode) またはLED (Light Emitting Diode) であってもよい。
- [0174] また、例えば、光路長を変動させる駆動部80の例として、対象物40または光学ヘッド30を移動させる例を示したが、これに限定されない。例えば、駆動部80は、光ファイバーの膨張および収縮を利用することにより、光路長を変動させてもよい。例えば、駆動部80は、光ファイバーを加熱または冷却する温度調整素子であってもよい。温度調整素子としては、ペルチエ素子、送風器、ヒータ等を利用することができる。
- [0175] また、例えば、サンプリング期間の端として、0.05T未満、または、0.95Tより大きい範囲を挙げたが、これに限定されない。例えば、サンプリング期間の始期側の上限値としては、0より大きく0.10T以下の範囲の値であってもよい。また、サンプリング期間の終期側の下限値としては、0.90T以上T未満の範囲の値であってもよい。
- [0176] また、例えば、サンプリング期間の中心範囲として、0.45Tより大きく、0.55T未満の範囲を挙げたが、これに限定されない。例えば、中心範囲の下限値は、0.40T以上0.50T未満の値であってもよい。中心範囲の上限値は、0.50Tより大きく、0.60T以下の値であってもよい。例えば、サンプリング期間の長さに応じて、上限値および下限値が変更されてもよい。
- [0177] また、例えば、上記実施の形態において、特定の処理部が実行する処理を別の処理部が実行してもよい。また、複数の処理の順序が変更されてもよく、あるいは、複数の処理が並行して実行されてもよい。
- [0178] また、例えば、上記実施の形態において説明した処理は、単一の装置（システム）を用いて集中処理することによって実現してもよく、または、複数の装置を用いて分散処理することによって実現してもよい。また、上記プロ

グラムを実行するプロセッサは、単数であってもよく、複数であってもよい。すなわち、集中処理を行ってもよく、または、分散処理を行ってもよい。

[0179] また、上記実施の形態において、信号処理回路60および制御回路70などの構成要素の全部または一部は、専用のハードウェアで構成されてもよく、あるいは、各構成要素に適したソフトウェアプログラムを実行することによって実現されてもよい。各構成要素は、CPU (Central Processing Unit) またはプロセッサなどのプログラム実行部が、HDD (Hard Disk Drive) または半導体メモリなどの記録媒体に記録されたソフトウェアプログラムを読み出して実行することによって実現されてもよい。

[0180] また、信号処理回路60および制御回路70などの構成要素は、1つまたは複数の電子回路で構成されてもよい。1つまたは複数の電子回路は、それぞれ、汎用的な回路でもよいし、専用の回路でもよい。

[0181] 1つまたは複数の電子回路には、例えば、半導体装置、ICまたはLSIなどが含まれてもよい。ICまたはLSIは、1つのチップに集積されてもよく、複数のチップに集積されてもよい。ここでは、ICまたはLSIと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムLSI、VLSI (Very Large Scale Integration)、または、ULSI (Ultra Large Scale Integration) と呼ばれるかもしれない。また、LSIの製造後にプログラムされるFPGAも同じ目的で使うことができる。

[0182] また、本開示の全般的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路またはコンピュータプログラムで実現されてもよい。あるいは、当該コンピュータプログラムが記憶された光学ディスク、HDDもしくは半導体メモリなどのコンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体で実現されてもよい。また、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

[0183] また、上記の各実施の形態は、請求の範囲またはその均等の範囲において

種々の変更、置き換え、付加、省略などを行うことができる。

産業上の利用可能性

[0184] 本開示は、例えば、測距、変位測量の用途に利用され得る。例えば、本開示に係る計測装置および計測方法は、変位計、および形状検査装置などに利用され得る。

符号の説明

[0185] 10 パルス光源
10L、11L、12L 光
10Lr、11Lr、12Lr 参照光
10Lt、11Lt、12Lt 信号光
10R、11R 反射光
11、12 光コムレーザ
20、21、22、23 カプラ
30、31 光学ヘッド
40 対象物
50、51 検出器
60 信号処理回路
70 制御回路
80 駆動部
90 サーキュレータ
100、110、120 計測装置

請求の範囲

[請求項1]

計測装置であって、

第1パルス光を繰り返し発する第1光源と、

前記第1パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた第1電気信号を出力する第1光検出器と、

サンプリング期間内における前記第1電気信号に基づいて、前記計測装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理回路と、

前記第1光源から前記対象物を經由して前記第1光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御する制御回路と、を備え、

前記制御回路は、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記第1電気信号における前記反射パルス光のピーク的位置を変化させ、

前記サンプリング期間は、前記第1光源が前記第1パルス光を発するタイミングに同期している、

計測装置。

[請求項2]

前記第1光源は、光コムレーザである、

請求項1に記載の計測装置。

[請求項3]

光コムレーザであり、第2パルス光を繰り返し発する第2光源と、

前記第1パルス光の一部を前記第2パルス光の第1部分と干渉させて検出し、前記前記第1パルス光の前記一部の検出結果に応じた第2電気信号を出力する第2光検出器と、をさらに備え、

前記第2光源の繰り返し周波数は、前記第1光源の繰り返し周波数と異なり、

前記第1光検出器は、前記反射パルス光を前記第2パルス光の前記第1部分と異なる第2部分と干渉させて検出し、

前記信号処理回路は、前記第1電気信号と前記第2電気信号とに基づいて前記距離を算出する、

請求項 2 に記載の計測装置。

[請求項4] 前記信号処理回路は、前記サンプリング期間内における前記反射パルス光に対応する時間波形に基づいて前記距離を算出し、

前記制御回路は、前記ピークの前記位置が前記サンプリング期間の中心に近づくように前記駆動部を制御する、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項5] 前記信号処理回路は、前記サンプリング期間内における前記反射パルス光に対応する位相スペクトルに基づいて前記距離を算出し、

前記制御回路は、前記ピークの前記位置が前記サンプリング期間の中心から離れるように前記駆動部を制御する、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項6] 前記制御回路は、前記対象物において前記第 1 パルス光が照射された位置である照射点が移動する度に、前記光路長の変更の要否を判定し、

前記変更が必要と判定した場合に、前記制御回路は、前記駆動部を制御して前記光路長を変動させる、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項7] 前記信号処理回路は、前記駆動部が前記光路長を変動させた場合に、前記光路長の変動量に基づいて前記距離を補正する、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項8] 前記信号処理回路は、前記対象物において前記第 1 パルス光が照射された位置である複数の照射点の各々について、前記駆動部が前記光路長を変動させた場合の前記光路長の変動量を記録し、

前記信号処理回路は、前記信号処理回路によって記録された前記変動量に基づき前記複数の照射点の各々について前記距離を補正する、

請求項 7 に記載の計測装置。

[請求項9] 前記計測装置は、プレ計測を行った後、前記距離を計測する本計測を行うように構成され、

前記制御回路は、

前記プレ計測において、前記対象物において前記第1パルス光が照射された位置である複数の照射点の各々について得られる前記第1電気信号に基づいて、前記複数の照射点の各々における前記光路長の変動量を決定し、

前記本計測において、前記複数の照射点の各々における前記変動量に従って前記駆動部を制御する、

請求項1から3のいずれか1項に記載の計測装置。

[請求項10]

前記制御回路は、

前記対象物において前記第1パルス光が照射された位置である少なくとも1つの照射点について得られた前記第1電気信号と、前記対象物の形状に関する情報と、に基づき、前記少なくとも1つの照射点を含む複数の照射点の各々における前記光路長の変動量を決定し、

前記複数の照射点の各々における前記変動量に従って前記駆動部を制御する、

請求項1から3のいずれか1項に記載の計測装置。

[請求項11]

前記駆動部をさらに備える、

請求項1から3のいずれか1項に記載の計測装置。

[請求項12]

光源によって、パルス光を繰り返し発することと、

光検出器によって、前記パルス光が対象物に反射されることで生成される反射パルス光を検出し、前記反射パルス光の検出結果に応じた電気信号を出力することと、

信号処理回路によって、サンプリング期間内における前記電気信号に基づいて、前記光源から前記対象物までの距離を算出することと、

前記光源から前記対象物を經由して前記光検出器に至る光路長を変動させる駆動部を制御することと、を含み、

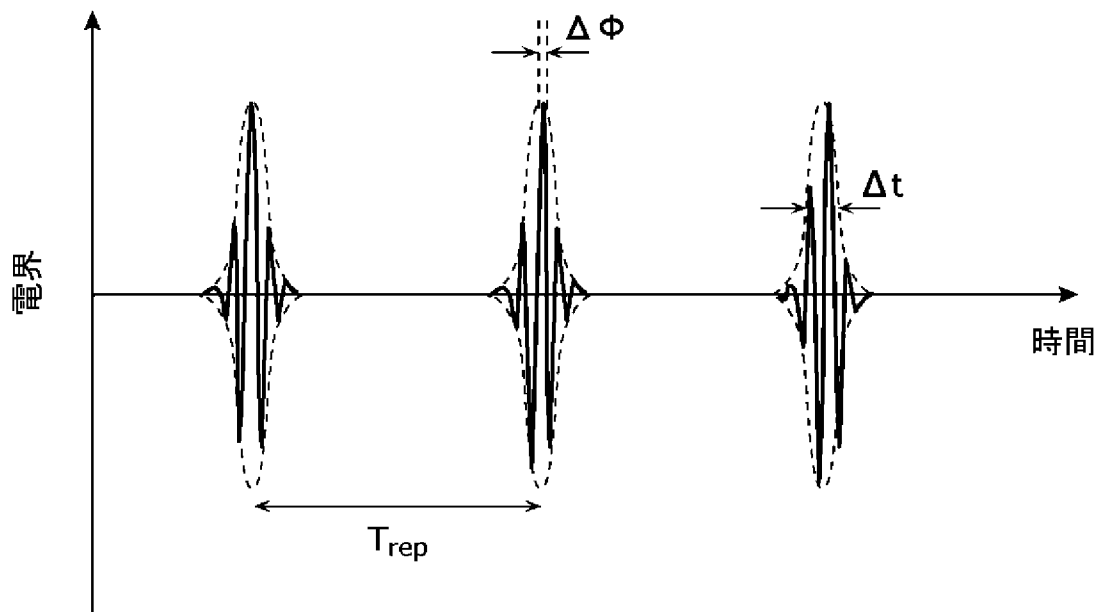
前記制御することでは、前記駆動部を制御することにより、前記サンプリング期間内の前記電気信号における前記反射パルス光のピーク

の位置を変化させ、

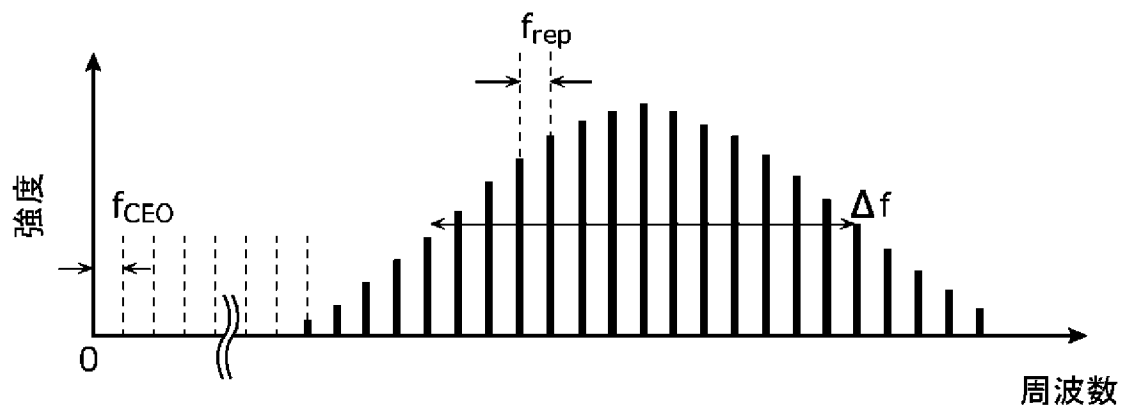
前記サンプリング期間は、前記第 1 光源が前記第 1 パルス光を発するタイミングに同期している、

計測方法。

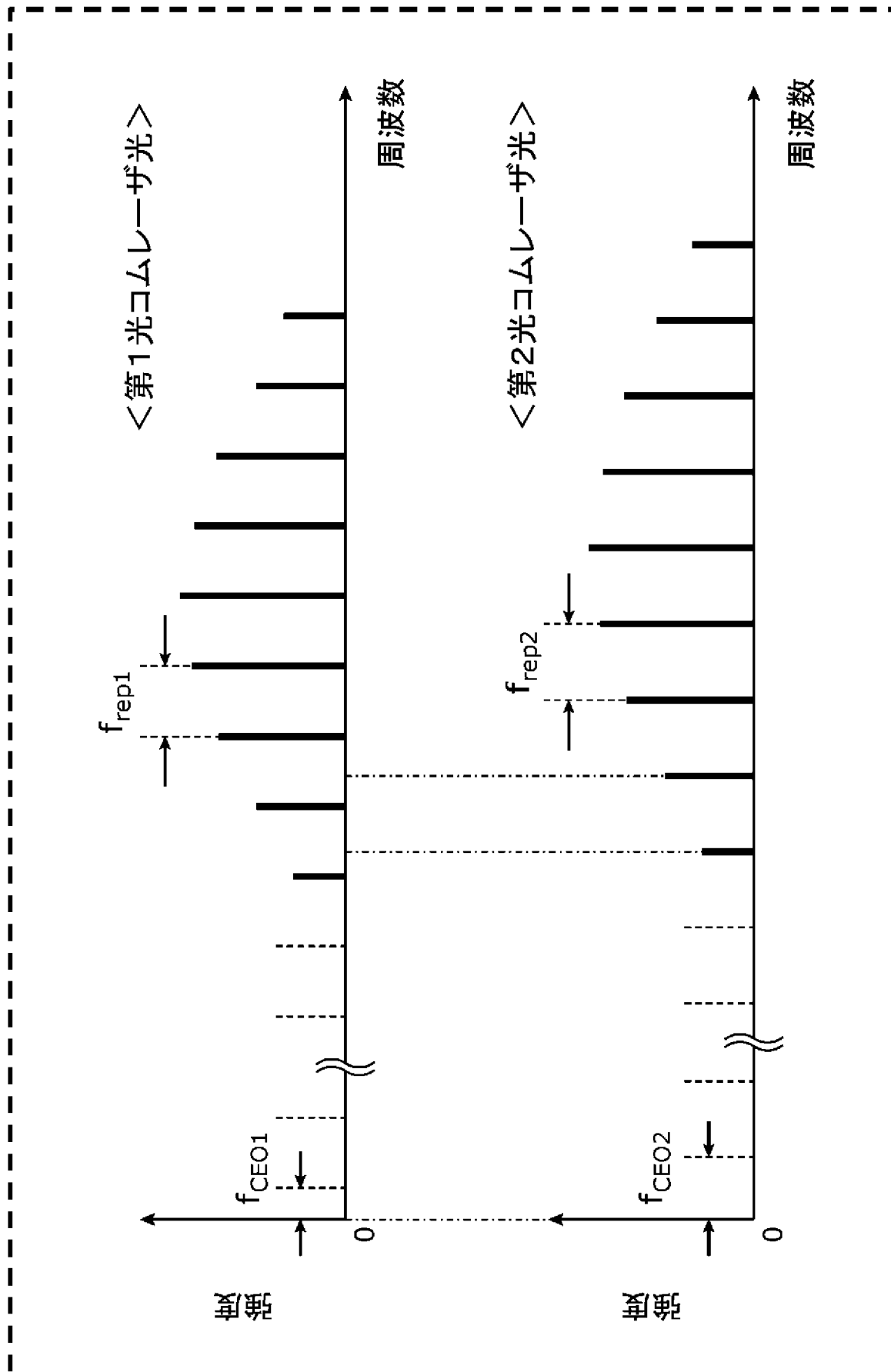
[図1A]



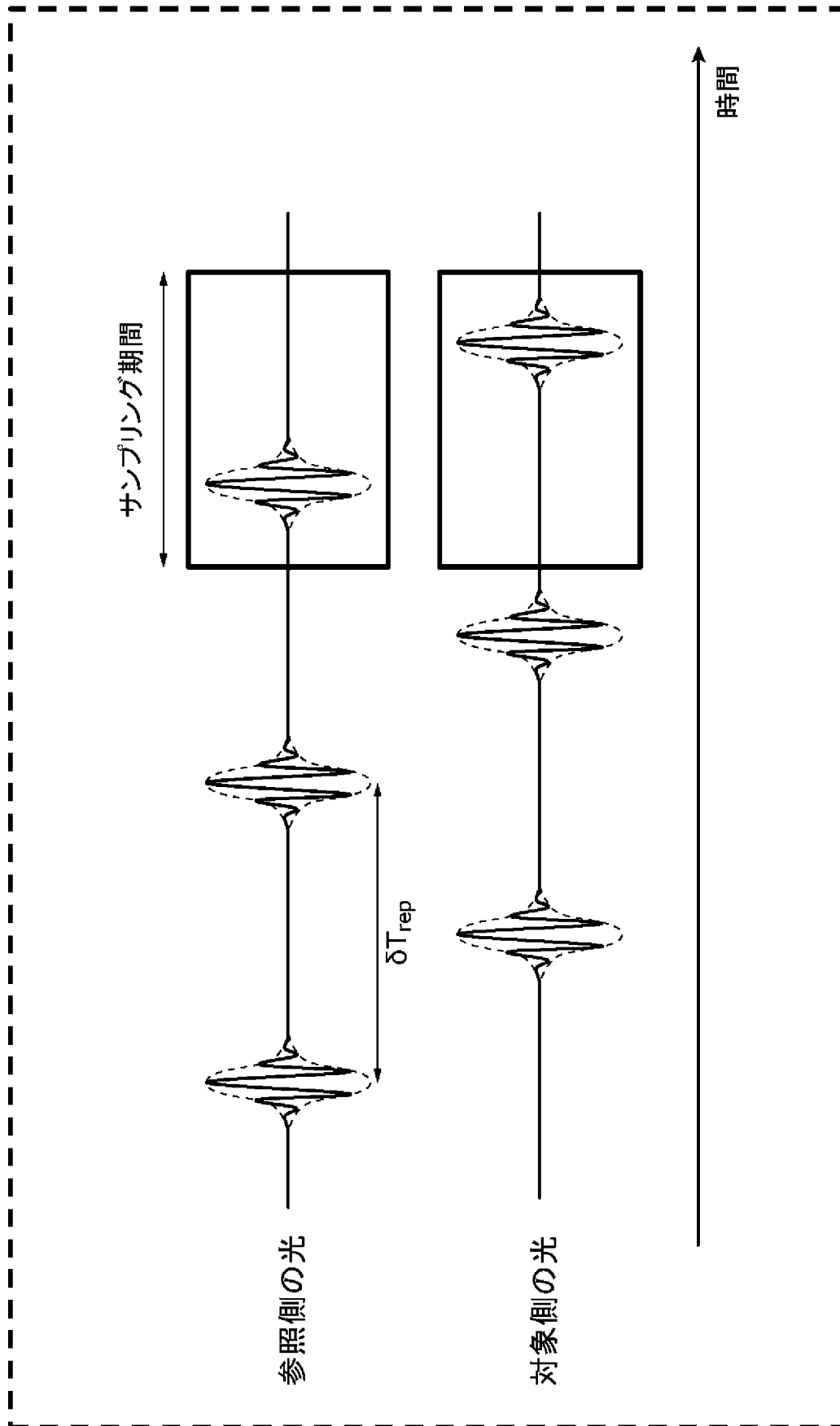
[図1B]



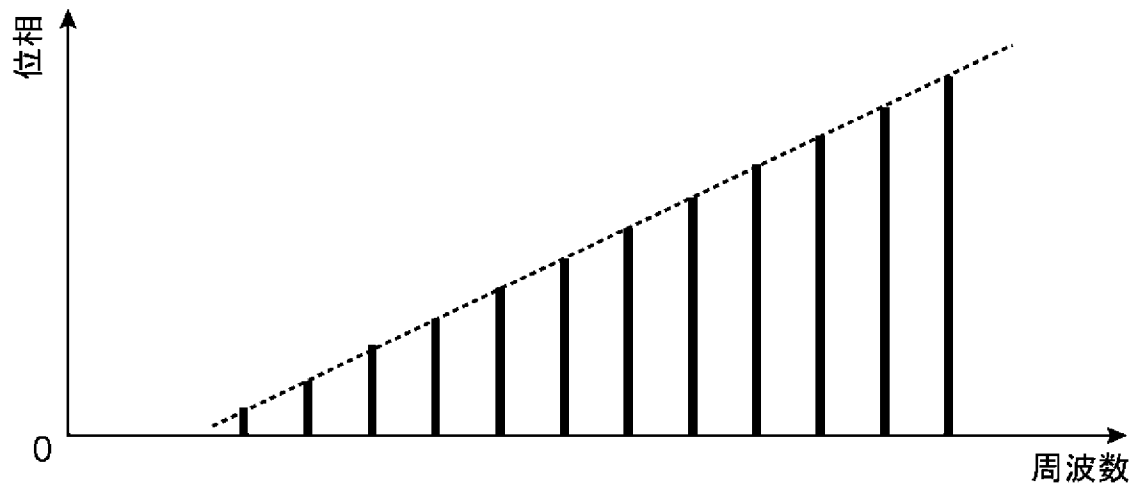
[図2]



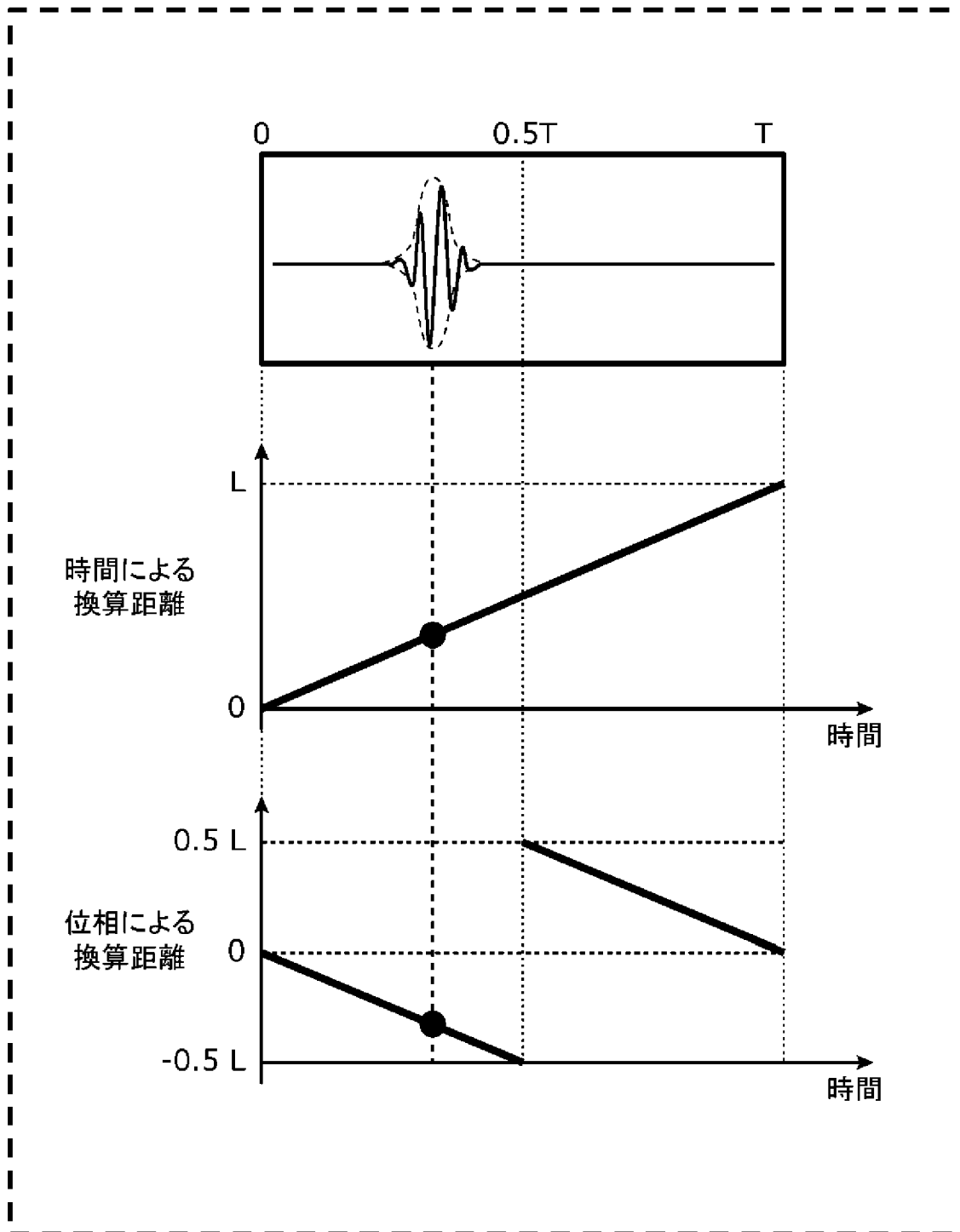
[図3]



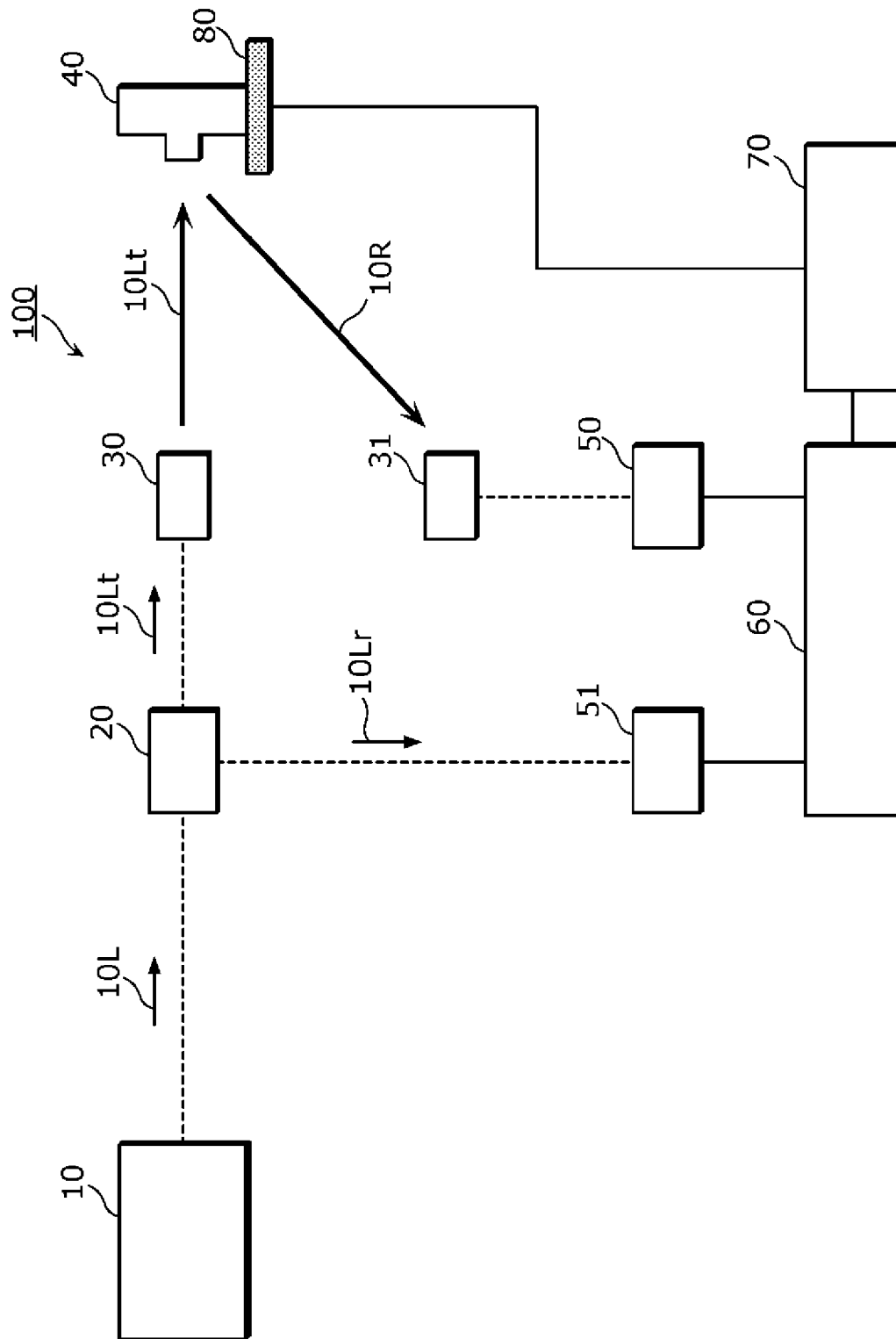
[図4]



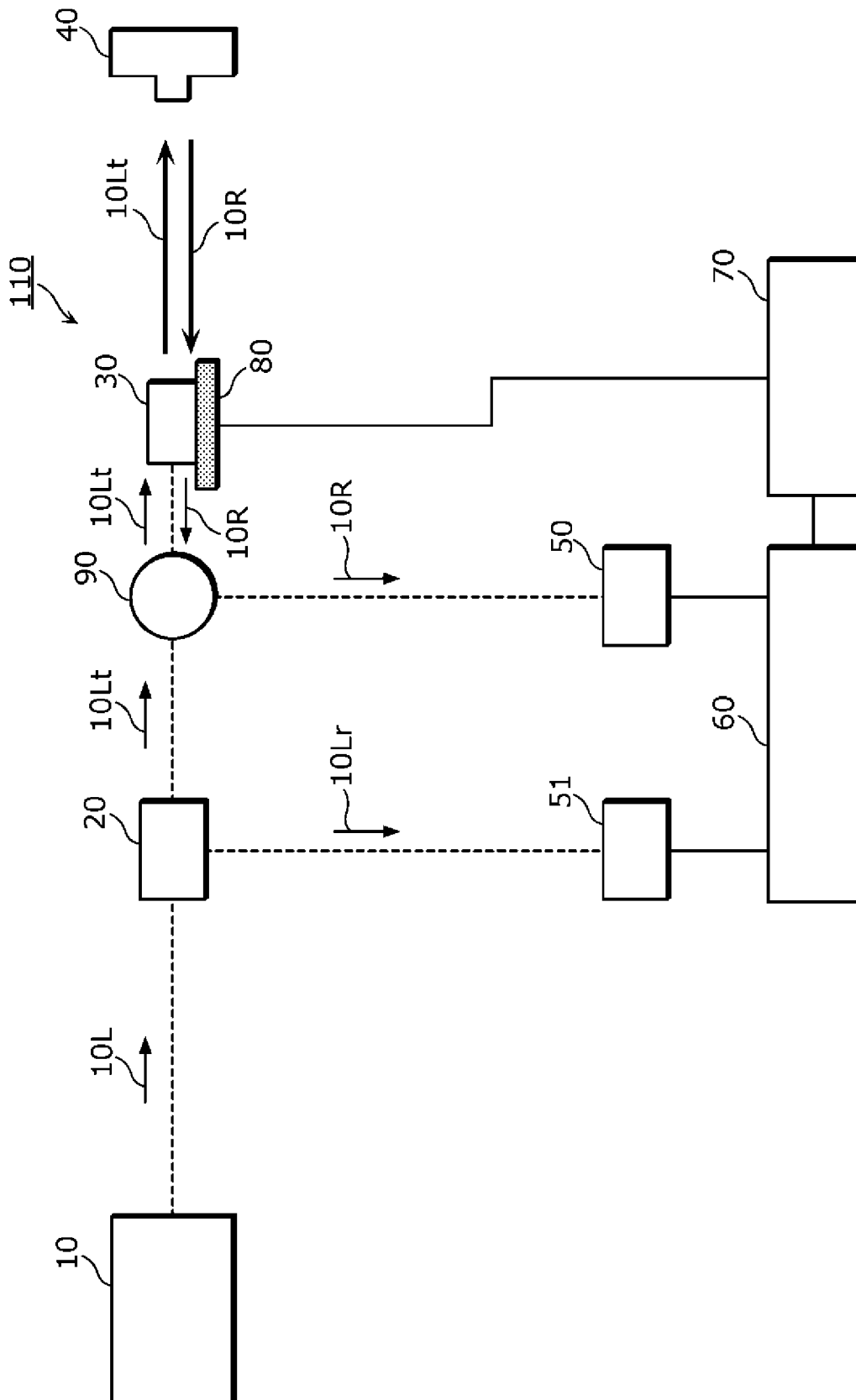
[図5]



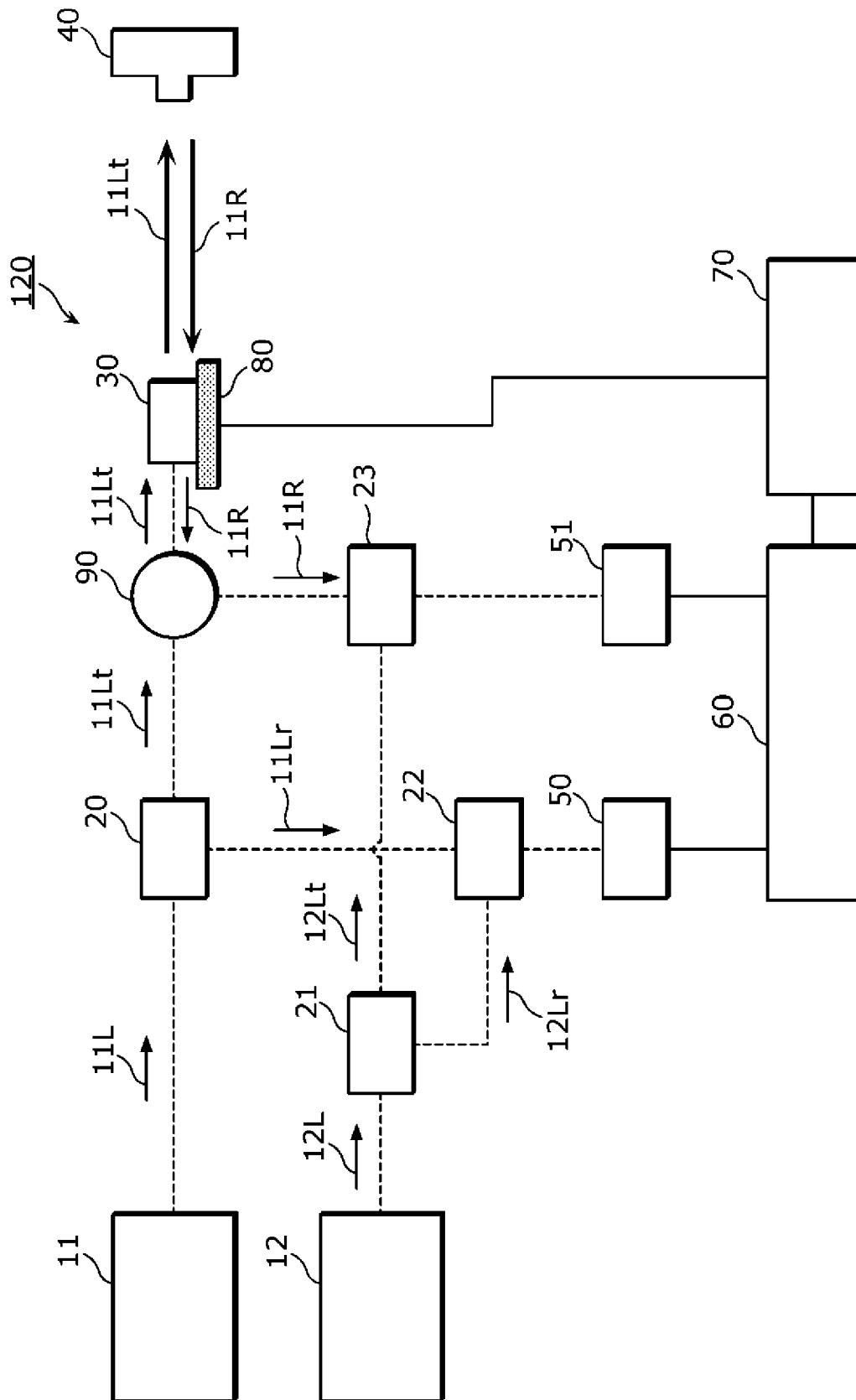
[図6A]



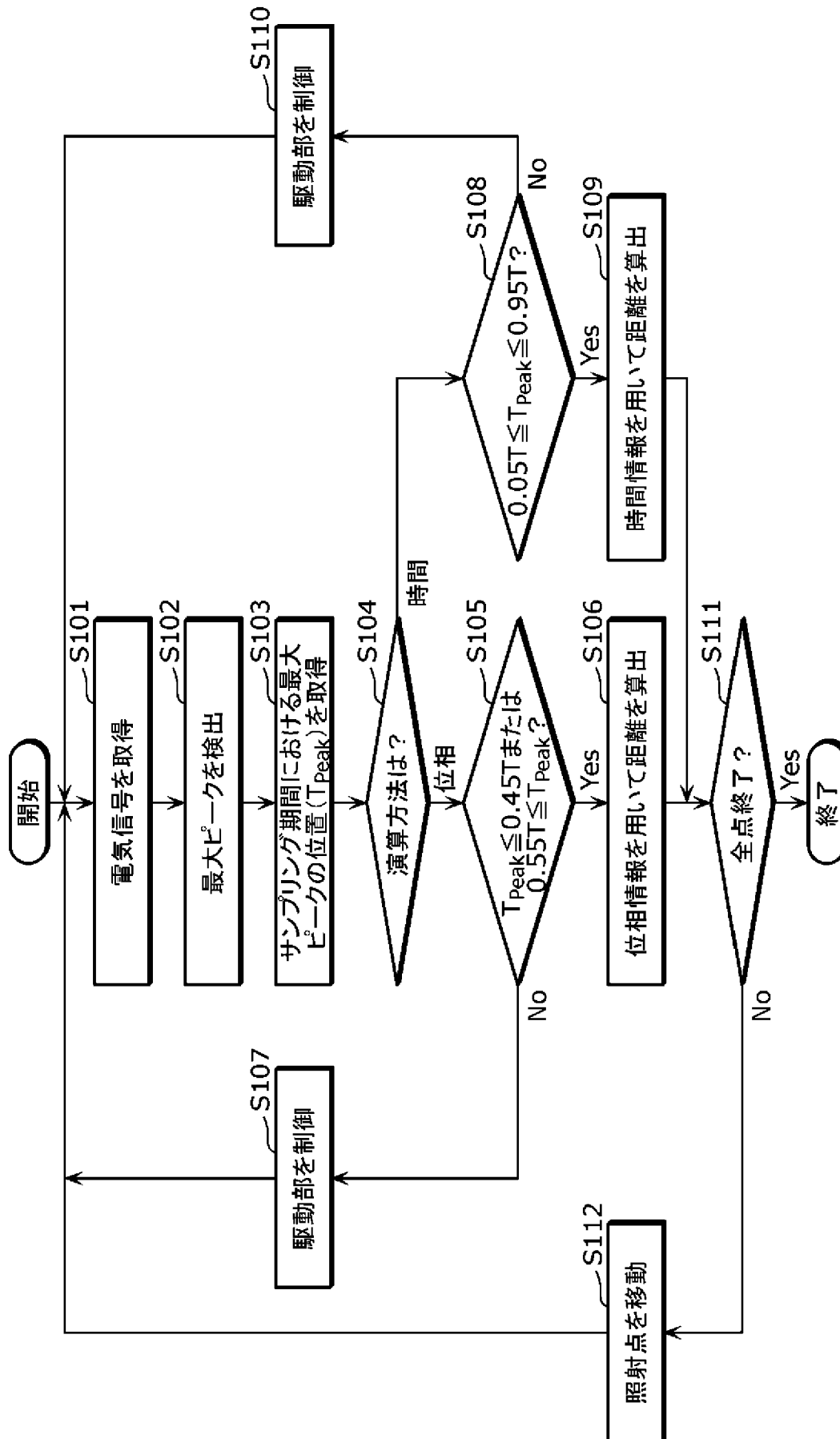
[図6B]



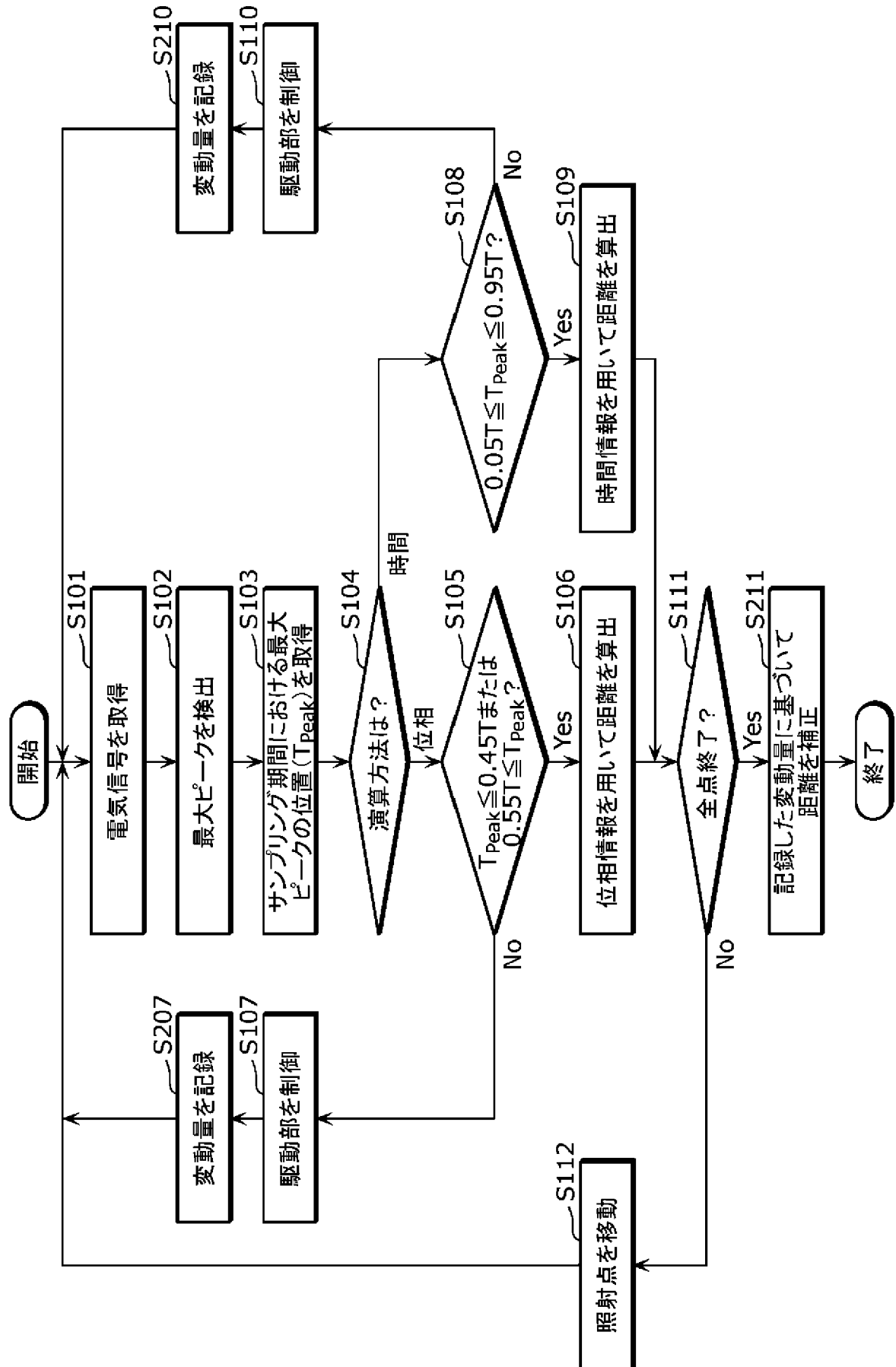
[図6C]



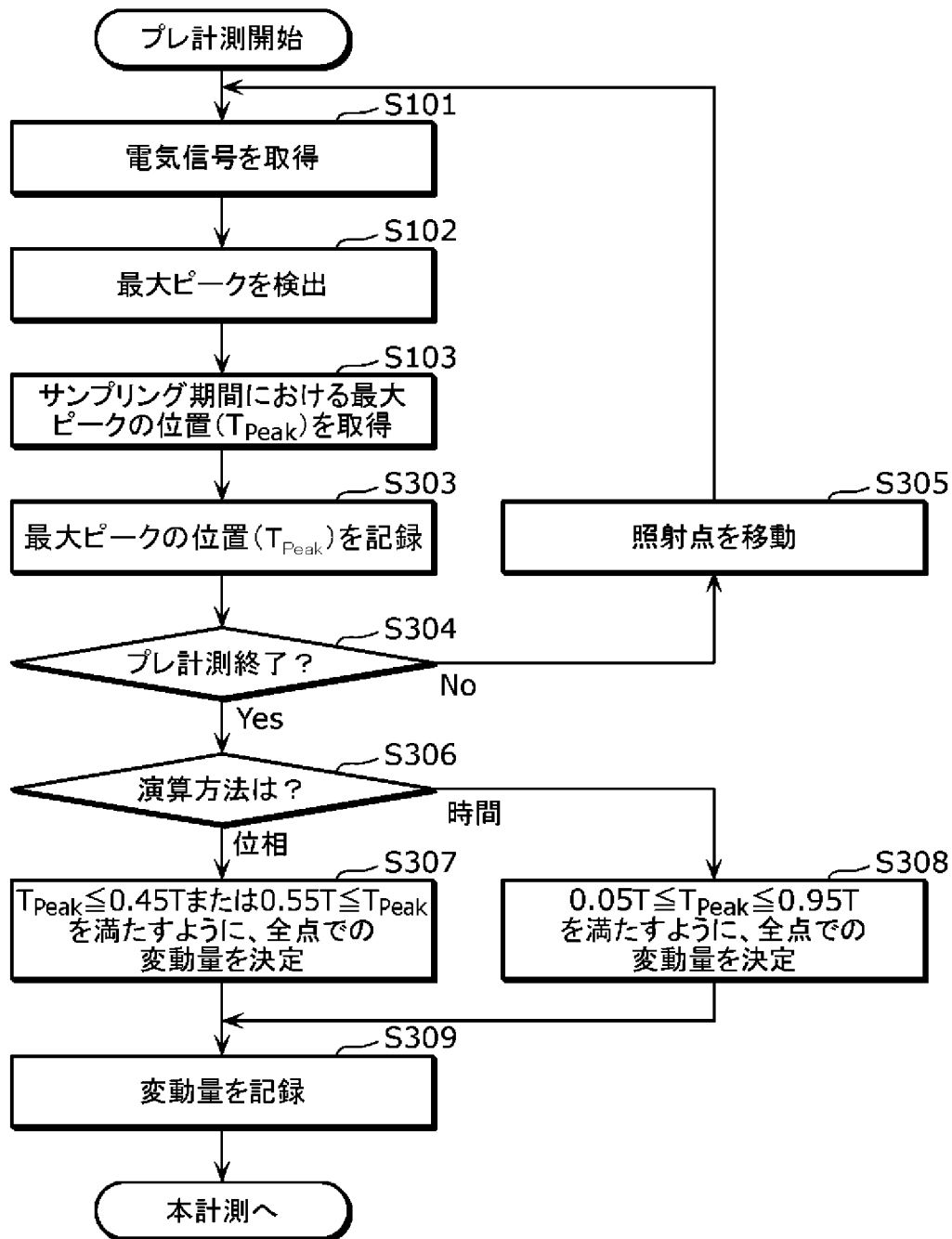
[図7]



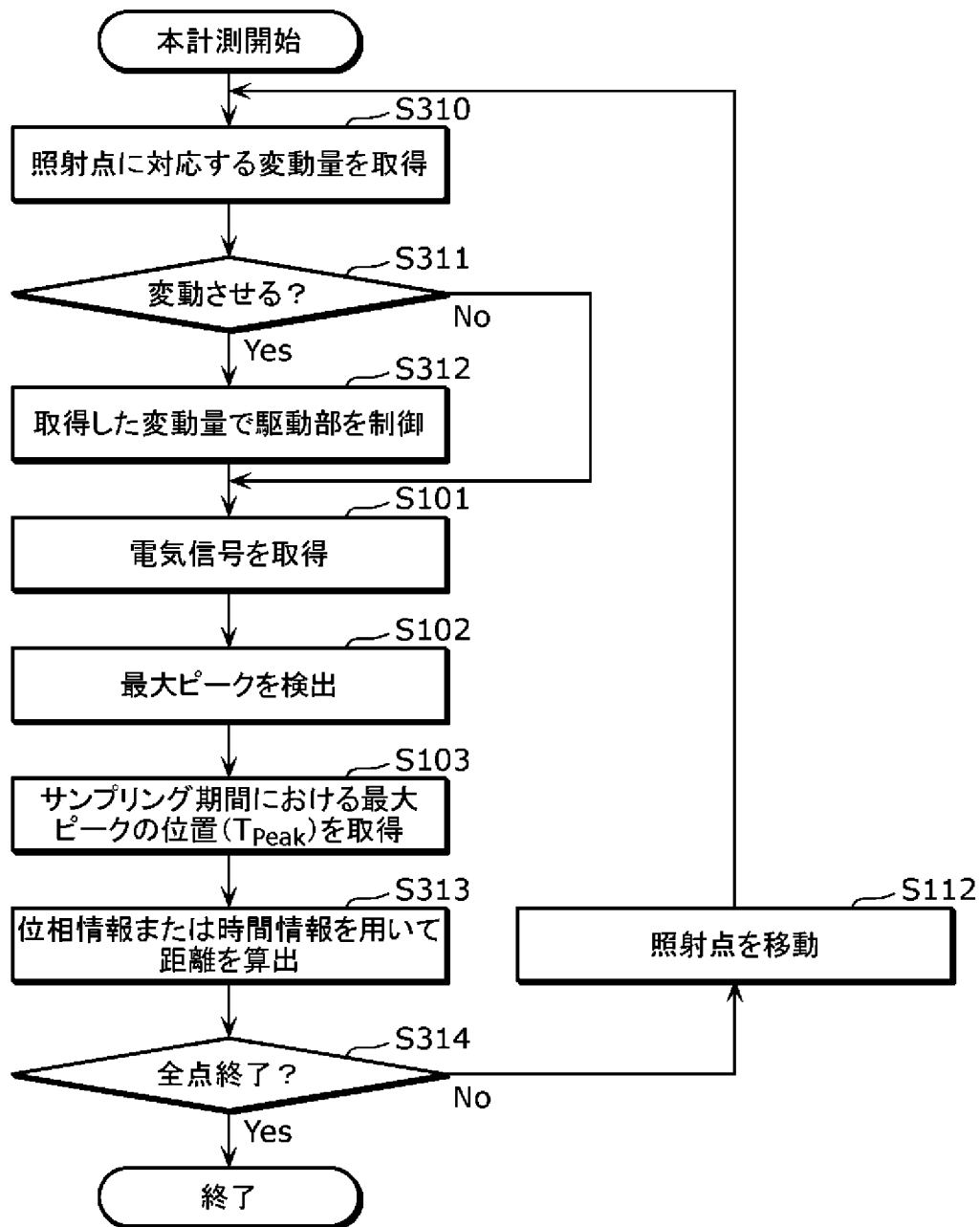
[図8]



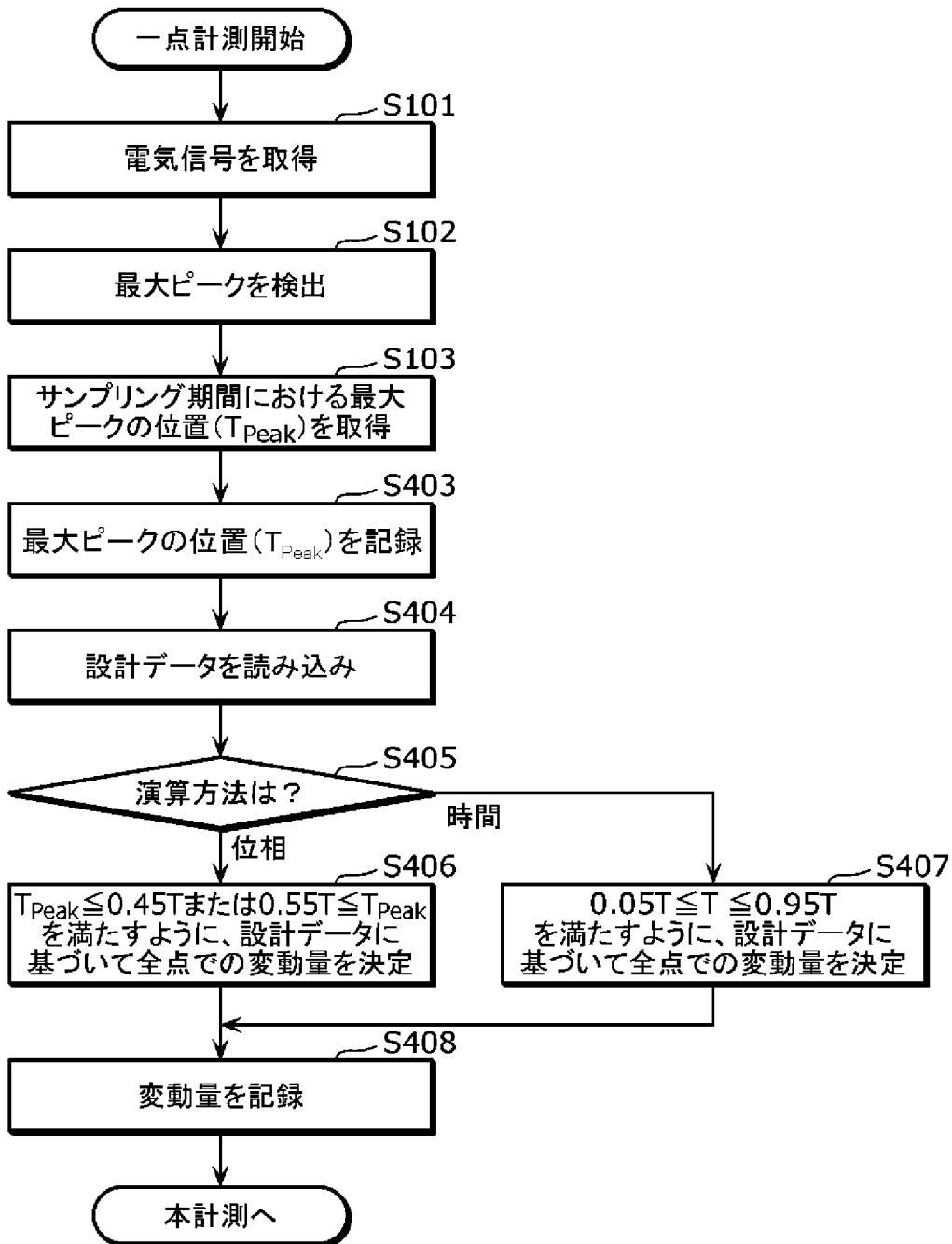
[図9A]



[図9B]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C 3/06(2006.01)i; **G01B 9/02002**(2022.01)i; **G01B 9/02055**(2022.01)i; **G01B 11/00**(2006.01)i; **G01B 11/24**(2006.01)i
 FI: G01C3/06 120Z; G01B9/02002; G01B9/02055; G01B11/00 B; G01B11/24 D

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)

G01C3/06; G01B9/02002; G01B9/02055; G01B11/00; G01B11/24

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 1971-2024
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2014-185956 A (AISIN SEIKI KABUSHIKI KAISHA) 02 October 2014 (2014-10-02) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2016-048188 A (THE UNIVERSITY OF ELECTRO-COMMUNICATIONS) 07 April 2016 (2016-04-07) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2021/261240 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 30 December 2021 (2021-12-30) entire text, all drawings	1-12

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
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “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

17 January 2024

Date of mailing of the international search report

30 January 2024

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/JP2023/046352

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2014-185956 A	02 October 2014	(Family: none)	
JP 2016-048188 A	07 April 2016	(Family: none)	
WO 2021/261240 A1	30 December 2021	US 2023/0087964 A1	
		EP 4174569 A1	
		CN 115698834 A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01C 3/06(2006.01)i; G01B 9/02002(2022.01)i; G01B 9/02055(2022.01)i; G01B 11/00(2006.01)i; G01B 11/24(2006.01)i FI: G01C3/06 120Z; G01B9/02002; G01B9/02055; G01B11/00 B; G01B11/24 D</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01C3/06; G01B9/02002; G01B9/02055; G01B11/00; G01B11/24</p>										
<p>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</p> <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 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2024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 - 2024年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2024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 - 2024年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年									
<p>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）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
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 2014-185956 A（アイシン精機株式会社）02.10.2014（2014 - 10 - 02） 全文、全図	1-12								
A	JP 2016-048188 A（国立大学法人電気通信大学）07.04.2016（2016 - 04 - 07） 全文、全図	1-12								
A	WO 2021/261240 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社）30.12.2021（2021 - 12 - 30） 全文、全図	1-12								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
<p>* 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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</p>										
国際調査を完了した日	17.01.2024	国際調査報告の発送日 30.01.2024								
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） 續山 浩二 2S 4454 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/JP2023/046352

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2014-185956 A	02.10.2014	(ファミリーなし)	
JP 2016-048188 A	07.04.2016	(ファミリーなし)	
WO 2021/261240 A1	30.12.2021	US 2023/0087964 A1	
		EP 4174569 A1	
		CN 115698834 A	