

(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
2022年10月20日(20.10.2022)



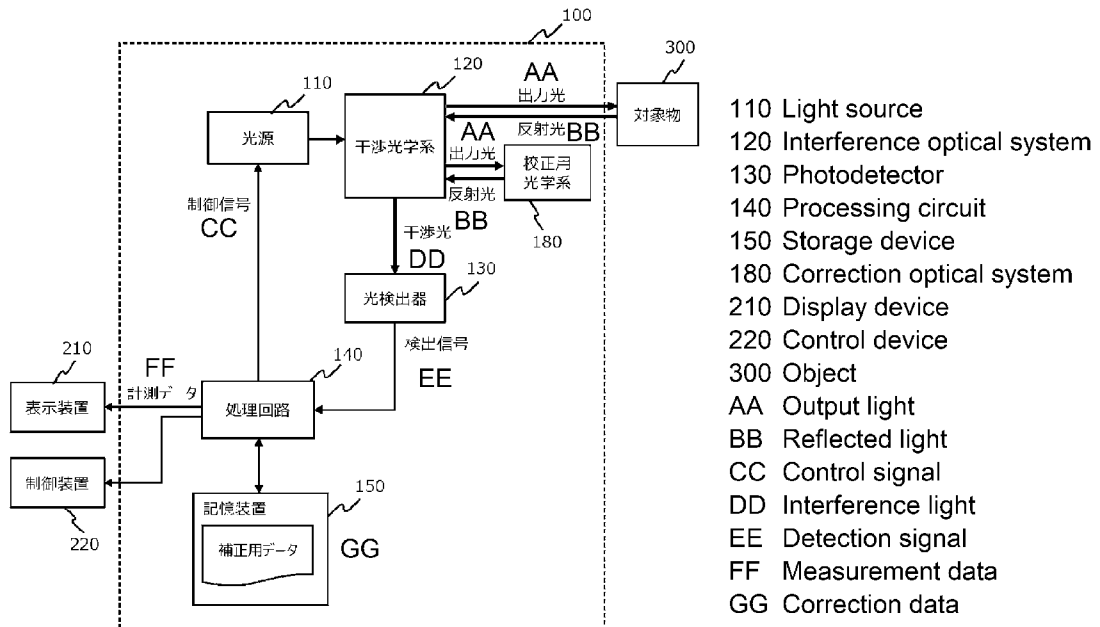
(10) 国際公開番号

WO 2022/219911 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 7/481 (2006.01) G01C 3/00 (2006.01)
G01S 7/497 (2006.01) G01C 3/06 (2006.01)
G01S 17/34 (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/005825
- (22) 国際出願日: 2022年2月15日(15.02.2022)
- (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 2021-069037 2021年4月15日(15.04.2021) 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]; 〒5406207
- (72) 発明者: 橋谷 享(HASHIYA Akira). 加藤 弓子(KATO Yumiko). 久田 和也(HISADA Kazuya). 稲田 安寿(INADA Yasuhisa).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外(KAMATA Kenji et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR MEASURING DISTANCE AND/OR SPEED OF OBJECT

(54) 発明の名称: 対象物の距離および／または速度を計測する装置および方法



(57) Abstract: This measurement device comprises a light source, correction optical system, interference optical system, light reception device, storage device, and processing circuit. The interference optical system separates the light emitted from the light source into reference light and output light and generates first interference light that is interference light between the reference light and reflected light that is produced by the reflection of the output light by an object and second interference light that is interference light between the reference light and reflected light that is produced by the reflection

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

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

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

of the output light by the correction optical system. The light reception device outputs a first detection signal corresponding to the intensity of the first interference light and a second detection signal corresponding to the intensity of the second interference light. The processing device transmits, to the light source, a control signal for sweeping the frequency of the light emitted from the light source, updates correction data stored in the storage device on the basis of the second detection signal, and generates measurement data on the basis of the updated correction data and the first detection signal.

(57) 要約: 計測装置は、光源と、校正用光学系と、干渉光学系と、受光装置と、記憶装置と、処理回路とを備える。干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する。前記受光装置は、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する。前記処理装置は、前記光源から出射される光の周波数を掃引する制御信号を前記光源に送出し、前記第2検出信号に基づいて記憶装置に格納された補正用データを更新し、更新された前記補正用データと、前記第1検出信号とに基づいて計測データを生成する。

明 細 書

発明の名称：

対象物の距離および／または速度を計測する装置および方法

技術分野

[0001] 本開示は、対象物の距離および／または速度を計測する装置および方法に関する。

背景技術

[0002] FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式による測距装置は、周波数変調された電磁波を送出し、送信波と反射波との周波数の差に基づいて距離を計測する。使用される電磁波がミリ波等の電波である場合、FMCW方式の測距装置はFMCWレーダーと呼ばれる。FMCWレーダーでは、電波の発振源として、例えば電圧制御発振器 (VCO) が用いられる。電磁波が可視光または赤外光などの光である場合、FMCW方式の測距装置はFMCWライダー (LIDAR) と呼ばれる。FMCWライダーでは、光源として、例えばレーザ光源が用いられる。

[0003] FMCWライダーは、周波数が周期的に変調された光を光源から対象物に向けて出射し、対象物からの反射光と、光源からの参照光とを干渉させて干渉光を得る。干渉光は、光検出器によって検出され、電気信号に変換される。この電気信号には、反射光の周波数と参照光の周波数との差に相当する周波数の信号成分が含まれる。この信号成分は「ビート信号」と呼ばれる。ビート信号の周波数は「ビート周波数」と呼ばれる。ビート周波数と対象物までの距離との間には相関がある。したがって、ビート周波数に基づいて対象物までの距離を算出することができる。さらに、移動する対象物からの反射光のドップラーシフトを利用して対象物の速度を算出することもできる。例えば、光源から出射される光の周波数が増加するアップチャープ期間、および周波数が減少するダウンチャープ期間におけるビート信号の周波数の差に

基づいて、対象物の速度を算出することができる。

[0004] FMCWライダーは、ToF (Time of Flight) 方式のライダーとは異なり、光検出器から出力された電気信号の周波数を検出するので、測距結果が外乱光の影響を受けにくいという特徴がある。その一方で、FMCWライダーの距離計測の精度は、光の周波数を時間に対して如何に線形的に変調できるかに依存すると考えられてきた。

[0005] 特許文献1は、FMCWレーダーの電圧制御発信器が電圧を時間に対して線形的に掃引した場合でも、周波数が非線形的に変化してしまうことから測距性能が低下することを記載している。これを解決するために、特許文献1は、人工ターゲットから得られる掃引信号に基づいて、干渉信号のサンプリングのタイミングを動的に変化させる方法を開示している。これにより、周波数掃引の非線形性を補償できることが記載されている。

[0006] 特許文献2は、複数の距離および複数の周囲温度に対応する補正データを用いて、干渉信号の周波数を補正するFMCWレーダー装置を開示している。これにより、検出精度を向上させることが記載されている。

[0007] 特許文献3は、ビート信号の周波数を連続的に計測し、計測された周波数の平均値に基づいて対象物までの距離を算出するFMCWライダー装置の例を開示している。これにより、レーザの非線形チャープの影響を除去して、正確な距離測定が可能になることが記載されている。

[0008] 特許文献4は、人の眼の内部の測定対象部位の位置を特定するために使用される眼科装置を開示している。この眼科装置は、測定光学系と、参照光学系と、較正光学系と、受光素子と、演算装置とを備える。測定光学系は、光源からの光を被検眼の内部に照射すると共にその反射光を導く。参照光学系は、光源からの光を案内して参照光とする。較正光学系は、光源からの光を案内する。受光素子は、測定光学系により導かれた反射光と参照光学系により案内された参照光とが合成された測定用干渉光と、較正光学系により案内された較正光と参照光学系により案内された参照光とが合成された較正用干渉光とを受光する。演算装置は、受光素子で受光された測定用干渉光と較正

用干渉光から、被検眼内部の測定対象部位の位置を特定する。このような構成により、時間の経過に伴って干渉光の特性が変化しても、被検眼内部の測定対象部位の位置を正確に特定できることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開第2006／035199号

特許文献2：特開2014－185973号公報

特許文献3：特開2019－45200号公報

特許文献4：特開2013－180111号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 本開示は、FMCW技術を利用する計測装置において、時間の経過、使用環境の変化、または光源の動作状態の変化などに起因して光源の出力特性が変化したとしても、距離および／または速度の計測精度の低下を抑制することが可能な技術を提供する。

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、光源と、校正用光学系と、干渉光学系と、受光装置と、記憶装置と、処理回路とを備える。前記光源は、周波数が変調された光を出射する。前記校正用光学系は、少なくとも1つの反射面を有する。前記干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する。前記受光装置は、少なくとも1つの光検出器を備え、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する。前記記憶装置は、前記第1検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する。前記処理回路は、前記光源から出射される前記光の周波

数を掃引する制御信号を前記光源に送出し、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新し、更新された前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正し、補正された前記第1検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する。

[0012] 本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体によって実現されてもよく、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の組み合わせによって実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、揮発性の記録媒体を含んでいてもよいし、CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) 等の不揮発性の記録媒体を含んでいてもよい。装置は、1つ以上の装置で構成されてもよい。装置が2つ以上の装置で構成される場合、当該2つ以上の装置は、1つの機器内に配置されてもよく、分離した2つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、1つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。

発明の効果

[0013] 本開示の実施形態によれば、時間の経過、使用環境の変化、または光源の動作状態の変化などに起因して光源の出力特性が変化したとしても、距離および／または速度の計測精度の低下を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、本発明者らが行った実験によって得られたデータを示す図である。

[図2]図2は、例示的な実施形態による計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、光源および干渉光学系の構成例を示すブロック図である。

[図4]図4は、処理回路から出力される制御信号と、駆動回路から出力される駆動電流信号の例を示す図である。

[図5A]図5 Aは、校正用光学系の一例を示す図である。

[図5B]図5 Bは、校正用光学系の他の例を示す図である。

[図5C]図5 Cは、校正用光学系のさらに他の例を示す図である。

[図6]図6は、干渉光学系がファイバ光学系である計測装置の構成例を示すブロック図である。

[図7]図7は、光偏向器を備える計測装置の一例を示すブロック図である。

[図8A]図8 Aは、対象物が静止している場合における参照光および反射光の周波数の時間変化の例を模式的に示す図である。

[図8B]図8 Bは、対象物が計測装置100に近づく場合における参照光および反射光の周波数の時間変化を模式的に示す図である。

[図9]図9は、キャリブレーションの動作の一例を示すフローチャートである。

[図10A]図10 Aは、検出信号の周期の分析結果の例を示すグラフである。

[図10B]図10 Bは、制御信号電圧と周期との関係の一例を示す図である。

[図11A]図11 Aは、光源の第1の動作状態に関連付けられた補正テーブルの例を示している。

[図11B]図11 Bは、光源の第2の動作状態に関連付けられた補正テーブルの例を示している。

[図12]図12は、補正前後の検出信号の波形の例を示す図である。

[図13]図13は、ビート信号の周波数と距離との関係を規定する変換テーブルの例を示す図である。

[図14A]図14 Aは、第1の動作状態に対応するビート信号の周波数と距離との関係を規定する変換テーブルの例を示す図である。

[図14B]図14 Bは、第2の動作状態に対応するビート信号の周波数と距離との関係を規定する変換テーブルの例を示す図である。

[図15]図15は、距離の計測動作の例を示すフローチャートである。

[図16]図16は、他の実施形態における計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図17]図 1 7 は、さらに他の実施形態における計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図18]図 1 8 は、さらに他の実施形態における計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図19A]図 1 9 A は、制御信号の電圧とサンプリング間隔との関係を規定する補正テーブルの例を示す図である。

[図19B]図 1 9 B は、周波数変調の位相と周期比率との関係を規定する補正テーブルの例を示す図である。

[図19C]図 1 9 C は、周波数変調の位相とサンプリング間隔との関係を規定する補正テーブルの例を示す図である。

[図20]図 2 0 は、他の実施形態による計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図21]図 2 1 は、本開示の実施形態の第 1 の変形例による計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図22]図 2 2 は、本開示の実施形態の第 2 の変形例による計測装置の概略構成を示すブロック図である。

[図23]図 2 3 は、本開示の実施形態の第 3 の変形例による計測装置のキャリブレーション動作を示すフローチャートである。

[図24]図 2 4 は、本開示の実施形態の第 4 の変形例による計測装置のキャリブレーション動作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

[0015] (本開示の基礎となった知見)

発明者らは、FMCWライダーにおいて、干渉光を検出することによって得られる検出信号の波形について、以下の現象を発見した。光の周波数を線形的に変調するために光源の制御電圧を線形的に掃引したとしても、周波数は非線形的に変化するが、その非線形性は、光源の動作状態の変化、使用環境の変化、および時間の経過などの種々の要因によって変化し得る。以下、図 1 を参照しながら、この現象を説明する。

- [0016] 図1は、本発明者らが行った実験によって得られたデータの例を示している。この実験では、静止点に置かれた半導体レーザ光源から、静止した対象物である反射板に向けてレーザ光を出射した。光源に入力される制御信号の電圧（以下、「制御電圧」とも呼ぶ）を所定の電圧範囲 V_m （以下、「変調電圧振幅」とも呼ぶ）かつ所定の周期で線形的に掃引することにより、光源から、周波数が周期的に変調されたレーザ光を出射させた。干渉光学系を用いて、反射板からの反射光と光源からの出射光とを干渉させ、干渉光を光検出器で検出し、取得された信号を記録した。
- [0017] 図1におけるグラフ（a）は、光源に入力される制御信号の電圧の時間変化の例を示している。この例では、制御信号は、電圧範囲 V_{m1} で時間に対して線形的に掃引されている。電圧範囲の中央値（以下、「バイアス電圧」とも呼ぶ）は V_b である。図1のグラフ（b）は、同一のレーザ光源を同一の温度条件かつ異なる制御信号で制御したときの制御電圧の時間変化の例を示している。この例では、バイアス電圧は（a）の例と同じく V_b であるが、変調電圧振幅は V_{m2} である。 V_{m2} は V_{m1} の1.5倍である。
- [0018] 図1におけるグラフ（c）および（d）は、静止した反射板に向けて光源からレーザ光を出射した場合に生じる反射光と、光源から光学系を介して光検出器に向かう参照光との干渉光を検出することによって得られた電気信号（以下、「検出信号」とも呼ぶ）の波形の例を示している。グラフ（c）および（d）は、それぞれ、変調電圧振幅が V_{m1} および V_{m2} の場合の検出信号の波形を示している。これらのグラフにおける時間軸は、グラフ（a）および（b）における時間軸と同一である。グラフ（a）から（d）は、制御電圧の1周期分の信号の変化を表している。以下、制御電圧の周期を「変調周期」と称することがある。
- [0019] 図1におけるグラフ（e）および（f）は、それぞれ、グラフ（c）および（d）の信号波形を周波数分析することによって得られた、ビート信号の瞬時周波数の時間変化を示している。グラフ（e）および（f）の波形は、それぞれ、（c）および（d）のグラフにおける時刻 t_1 から t_2 までの範囲

の信号電圧に基づいて得られた。

[0020] 図1におけるグラフ(g)は、上記2つの変調電圧振幅 V_{m1} および V_{m2} に対応する瞬時周波数を制御信号の電圧に対応させてプロットしたものである。

[0021] 本実験では、静止した対象物に光を照射したので、制御電圧の線形的な掃引に対応して光の周波数も線形的に掃引されたのであれば、ビート信号の周波数は時間にかかわらず一定になるはずである。しかしながら、図1のグラフ(e)および(f)に示すように、ビート信号の周波数は時間的に変動している。また、変調電圧振幅が V_{m1} の場合と V_{m2} の場合とで、ビート信号の周波数の時間に対する非線形性が異なっている。このことは、光の周波数変化の時間に対する非線形性が、変調電圧振幅の大きさによって異なることを示している。

[0022] さらに、図1のグラフ(g)からわかるように、制御信号の電圧に対応させてビート信号の周波数をプロットした場合でも、ビート信号の周波数の変動の非線形性が、変調電流振幅が V_{m1} の場合と V_{m2} の場合とで異なっている。例えば、変調電流振幅が V_{m1} の例では、高電圧側で制御電圧の増加に対してビート信号の周波数が比較的増加傾向にあるのに対して、変調電流振幅が V_{m2} の例では、同じ高電圧側の制御電圧で飽和傾向がみられる。このことは、ある瞬間にレーザ光源に特定の制御電圧を与えても、レーザ光源から出射される光の周波数は必ずしも一定にはならず、制御信号の変調電圧振幅に依存して変動することを示している。このような現象が生じるのは、以下の理由によるものと考えられる。変調電圧振幅の大きさによって、レーザ素子を駆動する電流がレーザ素子に与える熱の時間的な変化の仕方が異なる。この変化の仕方の違いは、レーザ素子の共振器長、利得曲線、および発振モードの時間的な変化に影響し、レーザの発振周波数の変動に違いをもたらしていると考えられる。

[0023] このように制御電圧または時間に対してビート周波数が変動すると、対象物までの距離が一意に定まらない。同様の現象は、例えば温度または湿度等

の使用環境の変化、時間の経過、または振動などの種々の要因によって光源の特性が変化した場合にも生じ得る。光源の特性が変化したとしても、計測精度の低下を抑制することが求められる。

[0024] 本発明者らは、上記の課題を解決するために、以下に説明する本開示の実施形態の構成に想到した。以下、本開示の例示的な実施形態を説明する。

[0025] 本開示の一実施形態による計測装置は、光源と、校正用光学系と、干渉光学系と、受光装置と、記憶装置と、処理回路とを備える。前記光源は、周波数が変調された光を出射する。前記校正用光学系は、少なくとも1つの反射面を有する。前記干渉光学系は、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する。前記受光装置は、少なくとも1つの光検出器を備え、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する。前記記憶装置は、前記第1検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する。前記処理回路は、前記光源から出射される前記光の周波数を掃引する制御信号を前記光源に送出し、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新し、更新された前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正し、補正された前記第1検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する。

[0026] 上記の構成によれば、処理回路は、校正用光学系を用いた第2干渉光の計測の結果に基づいて補正用データを更新し、更新された補正用データに基づいて第1検出信号を適切に補正することができる。これにより、例えば経年劣化、使用環境の変化、または光源の動作状態の変化などに起因して光源の出力特性が変化したとしても、距離および／または速度を高い精度で計測することができる。

[0027] 補正用データは、例えば計測装置の製造メーカーが、出荷前に行うキャリブレーションによって作成され、記憶装置に記録され得る。補正用データを更

新する動作は、計測装置のユーザによって行われる。ユーザは、計測を行う前、または計測中の任意のタイミングで補正用データの更新のための動作を計測装置に実行させることができる。補正用データの更新は、既存の補正用データを修正して上書きする動作であってもよいし、既存の補正用データを新たな補正用データに書き変える動作であってもよいし、既存の補正用データを残しながら新たな補正用データを記録する動作であってもよい。また、記憶装置内に既存の補正用データが存在しない場合は、新たに補正用データを作成することによって補正用データを更新してもよい。新たに補正用データを作成する動作は、計測装置の製造メーカーが出荷前に行うキャリブレーションの際に実行されても良い。本開示においては、便宜上、このように補正用データを新たに作成する動作のことも補正用データの「更新」と呼ぶ。

[0028] 前記干渉光学系は、前記出力光を前記対象物に出射する第1状態と、前記出力光を前記校正用光学系に出射する第2状態とを切り替える光スイッチを含んでいてもよい。前記処理回路は、前記対象物の距離および／または速度を計測する計測モードと、前記補正用データを更新するキャリブレーションモードとで動作してもよい。前記処理回路は、前記計測モードにおいて、前記光スイッチを前記第1状態にし、前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正し、補正された前記第1検出信号に基づいて前記計測データを生成してもよい。前記処理回路は、前記キャリブレーションモードにおいて、前記光スイッチを前記第2状態にし、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新してもよい。

[0029] 上記の構成によれば、計測モードとキャリブレーションモードとを切り替えることにより、共通の光学系および共通の光検出器で、補正用データの更新と、距離および／または速度の計測とを行うことができる。このため、計測装置の小型化および製造コストの削減が可能である。

[0030] 前記計測装置は、前記光源の使用時間を計測するタイムカウンタをさらに備えていてもよい。前記処理回路は、前記光源の使用時間に基づいて、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替えてもよい。例えば

、補正用データが前回更新された時点からの光源の使用時間がある閾値を超えた場合に、処理回路は、計測モードからキャリブレーションモードに切り替えてもよい。これにより、光源の使用時間が長くなった場合に、適切なタイミングで自動でキャリブレーションモードに切り替え、補正用データを更新することができる。その結果、光源の使用時間が長くなることによる計測精度の低下を抑制することができる。

[0031] 前記計測装置は、前記光源の温度を計測する温度センサをさらに備えていてもよい。前記処理回路は、前記光源の温度に基づいて、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替えてもよい。例えば、計測された光源の温度が、所定の範囲から外れている場合、処理回路は、計測モードからキャリブレーションモードに切り替えてもよい。所定の範囲は、例えば、補正用データが作成または前回更新されたときの温度を含む範囲に設定され得る。処理回路は、計測された光源の温度が、閾値を下回る場合、または閾値を超える場合に、計測モードからキャリブレーションモードに切り替えてもよい。このような構成により、光源の温度の変化によって光源の特性が変化した場合でも、補正用データを適切に修正して計測精度の低下を抑制することができる。

[0032] 前記処理回路は、ユーザからの入力に応答して、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替えてもよい。例えば、計測装置に内蔵または接続された入力装置を用いてユーザがキャリブレーションモードの開始を指示する操作を行った場合に、処理回路は、計測モードからキャリブレーションモードに切り替えてもよい。これにより、ユーザが任意のタイミングで補正用データを更新することができる。

[0033] 前記処理回路は、前記計測モードにおいて、前記制御信号を変化させることによって前記光源の動作状態を変化させたとき、前記キャリブレーションモードに切り替えてもよい。例えば、処理回路は、測距可能な距離の範囲を変更するために光源に印加する制御電圧の振幅を変化させた場合に、キャリブレーションモードに切り替えてもよい。これにより、光源の動作状態に応

じて生じ方が異なる非線形的な周波数変調の影響を緩和することができ、距離および／または速度をより精密に計測することが可能になる。

[0034] 前記記憶装置は、前記校正用光学系の光路長に応じた基準距離をさらに記憶していてもよい。前記処理回路は、前記第2検出信号と、前記基準距離とに基づいて、前記補正用データを更新してもよい。基準距離は、例えば、光源から校正用光学系の特定の反射面までの光学的距離であり得る。処理回路は、例えば、第2検出信号の周波数から理論的に導出される距離が、基準距離に一致するように第2検出信号を補正するための補正用データを更新後の補正用データとして生成することができる。

[0035] 前記計測装置には、計測可能な距離範囲が設定され得る。前記基準距離は、前記距離範囲に含まれていてもよい。例えば、計測可能な距離範囲が、0 mから100 mである場合、基準距離は、その範囲内、例えば50 mなどの距離に設定され得る。このように、実際に計測される距離に近い距離を基準距離にすることにより、補正用データをより適切に修正することができる。

[0036] 前記干渉光学系は、光ファイバ、ミラー、またはマルチパスセルを含んでもよい。これらの光学素子を含む干渉光学系を用いることにより、比較的長い光路長を確保しやすくなり、キャリブレーションの品質を向上させることができる。

[0037] 前記補正用データは、前記制御信号における複数の電圧値または複数の電流値の各々に対応する補正值の情報を含んでもよい。補正值は、例えば、検出信号の周期を補正するための係数であり得る。処理回路は、検出信号から周期を決定し、その周期に補正值を掛けることにより、検出信号を補正することができる。

[0038] 前記補正用データは、前記制御信号による周波数変調における複数の位相または複数のタイミングの各々に対応する補正值の情報を含んでもよい。そのような補正值の情報を含む補正用データに基づいて、処理回路は検出信号を適切に補正することができる。

[0039] 前記補正用データは、前記処理回路が前記検出信号をサンプリングすると

きのサンプリングタイミングを変更するための補正值の情報を含んでいてもよい。処理回路は、検出信号のサンプリングタイミングを補正值に従って決定することにより、検出信号を補正することができる。

[0040] 前記補正用データは、前記検出信号の補正に用いられる補正值を決定するための補正テーブルまたは補正関数を示すデータであり得る。処理回路は、補正テーブルまたは補正関数に基づいて決定した補正值に基づいて、検出信号を適切に補正することができる。

[0041] 本開示の他の実施形態による方法は、計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される。前記計測装置は、周波数が周期的に変調された光を出射する光源と、少なくとも1つの反射面を有する校正用光学系と、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する干渉光学系と、少なくとも1つの光検出器を備え、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する受光装置と、前記第1検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する記憶装置と、を備える。前記方法は、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新することと、更新された前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正することと、補正された前記第1検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、を含む。

[0042] 本開示のさらに他の実施形態によるコンピュータプログラムは、計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される。前記コンピュータプログラムは、コンピュータによって読み取り可能な非一時的な記録媒体に格納される。前記計測装置は、周波数が周期的に変調された光を出射する光源と、少なくとも1つの反射面を有する校正用光学系と、前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出

力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する干渉光学系と、少なくとも1つの光検出器を備え、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する受光装置と、前記第1検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する記憶装置と、を備える。前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新することと、更新された前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正することと、補正された前記第1検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、を実行させる。

[0043] 本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路（IC）、またはLSI（large scale integration）を含む1つまたは複数の電子回路によって実行され得る。LSIまたはICは、1つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、1つのチップに集積されてもよい。ここでは、LSIまたはIC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）、もしくはULSI（ultra large scale integration）と呼ばれるものであってもよい。LSIの製造後にプログラムされる、Field Programmable Gate Array（FPGA）、またはLSI内部の接合関係の再構成またはLSI内部の回路区画のセットアップができるreconfigurable logic deviceも同じ目的で使うことができる。

[0044] さらに、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部の機能または操作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは1つまたは複数のROM、光学ディスク、ハードディス

クドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置（processor）によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置（processor）および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている1つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置（processor）、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインタフェースを備えていてもよい。

[0045] 以下、本開示の実施形態を、より詳細に説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、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、本開示を限定する趣旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す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。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。さらに、各図において、実質的に同一または類似の構成要素に対しては同一または類似の符号を付しており、重複する説明は省略または簡略化されることがある。

[0046] （実施形態）

本開示の例示的な実施形態による計測装置を説明する。本実施形態の計測装置は、FMCW-LiDAR技術を利用して対象物までの距離を計測する測距装置である。計測装置は、距離に加えて、または距離に代えて、対象物の速度を計測してもよい。計測装置は、例えば自動運転車、無人搬送車（AGV）、無人航空機（UAV）、または移動ロボットなどの移動体に搭載され得る。計測装置は、移動体に限らず、任意の機器に搭載されて使用され得る。

[0047] ＜構成＞

図2は、本実施形態による計測装置100の概略構成を示すブロック図である。図2において、太い矢印は光の流れを表し、細い矢印は信号またはデータの流れを表す。図2には、距離および／または速度の計測対象である対

象物 300 と、計測装置 100 に接続される表示装置 210 および制御装置 220 も示されている。対象物 300 は、例えば、障害物、人、または移動体（例えば自動車、二輪車、移動ロボット、またはドローン）などの任意の物体である。

[0048] 図 2 に示す計測装置 100 は、光源 110 と、干渉光学系 120 と、光検出器 130 と、処理回路 140 と、記憶装置 150 と、校正用光学系 180 とを備える。光源 110 は、処理回路 140 から出力された制御信号に応答して、出射する光の周波数を変化させることができる。干渉光学系 120 は、光源 110 からの出射光を参照光と出力光とに分離し、出力光が対象物 300 または校正用光学系 180 によって反射されて生じた反射光と参照光とを干渉させて干渉光を生成する。対象物 300 によって反射されて生じた反射光と参照光との干渉光を「第 1 干渉光」と称する。校正用光学系 180 によって反射された生じた反射光と参照光との干渉光を「第 2 干渉光」と称する。これらの干渉光は、光検出器 130 に入射する。校正用光学系 180 は、記憶装置 150 に格納されている補正用データを更新するキャリブレーション動作において用いられる。校正用光学系 180 は、少なくとも 1 つの反射面を有する 1 つまたは複数の光学素子を含む。光源 110、干渉光学系 120、および校正用光学系 180 の詳細な構成については後述する。

[0049] 光検出器 130 は、干渉光を受け、干渉光の強度に応じた電気信号を生成して出力する。この電気信号を「検出信号」と称する。第 1 干渉光に基づく検出信号を「第 1 検出信号」と称し、第 2 干渉光に基づく検出信号を「第 2 検出信号」と称する。光検出器 130 は、1 つ以上の受光素子を備える。受光素子は、例えばフォトダイオードなどの光電変換素子を含む。光検出器 130 は、例えばイメージセンサのような、複数の受光素子を備えるセンサであってもよい。本実施形態では、1 つの光検出器 130 が、第 1 干渉光および第 2 干渉光の両方を検出する。後述する他の実施形態のように、第 1 干渉光を検出する光検出器と第 2 干渉光を検出する光検出器とを別々に設けてもよい。その場合、第 1 干渉光を生成する干渉光学系と第 2 干渉光を生成する

干渉光学系とが別々に設けられ得る。本明細書において、少なくとも1つの光検出器を備える装置を受光装置と呼ぶ。受光装置は、第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を生成して出力する。

[0050] 処理回路140は、光源110を制御し、光検出器130から出力された検出信号に基づく処理を行う電子回路である。処理回路140は、光源110を制御する制御回路と、検出信号に基づく信号処理を行う信号処理回路とを含み得る。処理回路140は、1つの回路として構成されていてもよいし、分離した複数の回路の集合体であってもよい。処理回路140は、光源110に制御信号を送出する。制御信号は、光源110に出射光の周波数を所定の範囲内で周期的に変化させる。言い換えれば、制御信号は、光源110から出射される光の周波数を掃引する信号である。制御信号は、ある振幅で周期的に変動する電圧または電流を光源110に入力する信号である。

[0051] 本実施形態における処理回路140は、対象物300の距離および／または速度を計測する計測モードと、補正用データを更新するキャリブレーションモードとを切り替えて動作する。計測モードにおいて、処理回路140は、光源110が周波数変調された光を出射している状態で光検出器130から出力された第1検出信号を取得し、第1検出信号を、記憶装置150に格納されている補正用データに基づいて補正する。補正用データは、例えば、制御信号の電圧と、検出信号の周期または周波数を補正するための補正值との対応関係を規定するデータであり得る。補正用データの詳細については後述する。処理回路140は、補正用データを用いて補正した第1検出信号に基づいて、対象物300までの距離および／または対象物300の速度を決定する。処理回路140は、当該距離および／または速度を示すデータを生成して出力する。このデータを以下、「計測データ」と呼ぶ。一方、キャリブレーションモードにおいて、処理回路140は、光源110が周波数変調された光を出射している状態で光検出器130から出力された第2検出信号を取得し、第2検出信号と、校正用光学系180の光路長に応じて設定され

た基準距離とに基づいて、補正用データを修正する。処理回路 140 は、修正した補正用データで既存の補正用データを更新する。以降の計測では、処理回路 140 は、更新された補正用データを用いて第 1 検出信号を補正して計測データを生成する。

[0052] 記憶装置 150 は、例えば半導体メモリ、磁気ディスク、光学ディスクなどの、任意の記憶媒体を含む。記憶装置 150 は、処理回路 140 によって実行される補正処理に用いられる補正用データと、校正用光学系 180 の光路長に応じた基準距離のデータとを記憶する。補正用データは、例えば 1 つ以上の補正テーブルを含み得る。補正用データは複数の補正テーブルを含んでもよい。複数の補正テーブルの各々は、光源 110 の異なる複数の動作状態のうちの対応する 1 つに関連付けられて記録されていてもよい。ここで光源 110 の動作状態とは、例えば、前述の変調電圧振幅、バイアス電圧、または光源 110 の温度などによって特徴付けられる状態であり得る。補正用データは、補正テーブルに限らず、関数などの任意の形式のデータであってよい。記憶装置 150 は、処理回路 140 によって実行されるコンピュータプログラムも記憶する。

[0053] 処理回路 140 および記憶装置 150 は、1 つの回路基板に集積されていてもよいし、別々の回路基板に設けられていてもよい。処理回路 140 の機能が複数の回路に分散していてもよい。処理回路 140 の機能の少なくとも一部は、他の構成要素から離れた場所に設置された外部のコンピュータによって実現されていてもよい。そのような外部のコンピュータは、有線または無線の通信ネットワークを介して、光源 110 および光検出器 130 の動作の制御、および／または光検出器 130 から出力された検出信号に基づく信号処理を実行してもよい。

[0054] 次に、光源 110、干渉光学系 120、および校正用光学系 180 の構成例を説明する。

[0055] 図 3 は、光源 110 および干渉光学系 120 の構成例を示すブロック図である。この例における光源 110 は、駆動回路 111 と、発光素子 112 と

を備える。駆動回路 111 は、処理回路 140 から出力される制御信号を受け、制御信号に応じた駆動電流信号を生成して発光素子 112 に入力する。発光素子 112 は、例えば半導体レーザ素子などの、高いコヒーレント性を持つレーザ光を出射する素子であり得る。発光素子 112 は、駆動電流信号に応答して周波数が変調されたレーザ光を出射する。

[0056] 発光素子 112 から出射されるレーザ光の周波数は、一定の周期で変調される。周波数の変調周期は、例えば 1 マイクロ秒 (μs) 以上 10 ミリ秒 (ms) 以下であり得る。周波数の変調振幅は、例えば 100 MHz 以上 1 THz 以下であり得る。レーザ光の波長は、例えば 700 nm 以上 2000 nm 以下の近赤外の波長域に含まれ得る。太陽光において、近赤外光の光量は可視光の光量よりも少ない。このため、レーザ光として近赤外光を使用することにより、太陽光の影響を低減することができる。用途によっては、レーザ光の波長は、400 nm 以上 700 nm 以下の可視光の波長域、または紫外光の波長域に含まれていてもよい。

[0057] 図 4 は、処理回路 140 から出力される制御信号と、駆動回路 111 から出力される駆動電流信号の例を示す図である。図 4 の部分 (a) および (b) は、それぞれ、制御信号および駆動電流信号の波形の例を示している。制御信号は、所定の周期および所定の振幅で変動する電圧を光源 110 の駆動回路 111 に印加する。例えば図 4 の部分 (a) に示すように、制御信号の電圧はノコギリ波状に変調され得る。制御信号の電圧は、ノコギリ波状に限らず、三角波状に変調されてもよい。ノコギリ波または三角波のように、電圧が線形的な変化を繰り返す制御信号により、発光素子 112 から出射される光の周波数を線形に近い形態で掃引することができる。ただし、前述のとおり、周波数の掃引は完全に線形的にはならない。このような制御信号の変調波形の振幅を変調電圧振幅、変調範囲の中央の電圧をバイアス電圧と呼ぶ。制御信号は、光源 110 の駆動回路 111 に、バイアス電圧を中心に変動する電圧を印加する。

[0058] 駆動回路 111 は、制御信号を駆動電流信号に変換し、駆動電流信号で発

光素子 112 を駆動する。図 4 の部分 (b) に示すように、駆動電流信号は、制御信号に対応する波形で変化する。駆動電流信号の変調範囲すなわち振幅を変調電流振幅、変調範囲の中央の電流をバイアス電流と呼ぶ。制御信号の電圧が増加すると、駆動電流信号が増加し、発光素子 112 から出射されるレーザ光の周波数が高くなる（すなわち波長が短くなる）。反対に、制御信号の電圧が減少すると、駆動電流信号が減少し、発光素子 112 から出射されるレーザ光の周波数が低くなる（すなわち波長が長くなる）。

[0059] 図 3 に示す例における干渉光学系 120 は、分岐器 121、ミラー 122、光スイッチ 128、およびコリメータ 123 を含む。分岐器 121 は、光源 110 の発光素子 112 から出射されたレーザ光を参照光と出力光とに分け、対象物 300 または校正用光学系 180 からの反射光と参照光とを結合させて干渉光を生成する。ミラー 122 は、参照光を反射して分岐器 121 に戻す。光スイッチ 128 は、出力光の出力先を、コリメータ 123 と校正用光学系 180 との間で切り替える。すなわち、光スイッチ 128 は、出力光を対象物 300 に出射する第 1 状態と、出力光を校正用光学系 180 に出射する第 2 状態とを切り替えることができる。光スイッチ 128 の動作は、処理回路 140 によって制御される。計測モードにおいて、処理回路 140 は、光スイッチ 128 を第 1 状態にし、出力光 22 をコリメータ 123 に入射させる。キャリブレーションモードにおいて、処理回路 140 は、光スイッチ 128 を第 2 状態にし、出力光 22 を校正用光学系 180 に入射させる。コリメータ 123 は、コリメートレンズを含み、光スイッチ 128 から出力された出力光を平行に近い広がり角にして対象物 300 に照射する。校正用光学系 180 は、少なくとも 1 つの反射面を有する。校正用光学系 180 は、光スイッチ 128 から出力された出力光を反射面で反射し、その反射光を光スイッチ 128 に戻す。

[0060] 図 5 A から図 5 C は、校正用光学系 180 の例を模式的に示す図である。図 5 A は、光ファイバ 180 A を含む校正用光学系 180 の例を示している。この例では、光スイッチ 128 からの出力光は、光ファイバ 180 A の端

部にある反射面 181 で反射され、光スイッチ 128 に戻る。図 5 B は、ミラー 180 B を含む校正用光学系 180 の例を示している。この例では、光スイッチ 128 からの出力光は、ミラー 180 B の反射面で反射され、光スイッチ 128 に戻る。図 5 C は、マルチパスセル 180 C を含む校正用光学系 180 の例を示している。この例では、光スイッチ 128 からの出力光は、マルチパスセルに含まれる複数のミラーの反射面で多重反射され、光スイッチ 128 に戻る。

[0061] 計測装置 100 には計測可能な距離範囲（例えば、0 m から 50 m など）が設定されている。また、校正用光学系 180 には、その光路長に応じて定まる基準距離が設定され、記憶装置 150 に記録されている。校正用光学系 180 は、その基準距離が計測装置 100 の計測可能な距離範囲に含まれるように設計され得る。例えば、図 5 A の例では、光スイッチ 128 から光ファイバ 180 A の端部にある反射面 181 までの光路長が基準距離として設定され得る。図 5 B の例では、光スイッチ 128 からミラー 180 B の反射面までの光路長が基準距離として設定され得る。図 5 C の例においては、光スイッチ 128 からマルチパスセル 180 C を経て光スイッチ 128 に戻るまでの光路長の半分が基準距離として設定され得る。これらの基準距離が、計測装置 100 が計測可能な距離の範囲内になるように、校正用光学系 180 は設計され得る。そのような構成により、光スイッチ 128 から校正用光学系 180 を経て再び光スイッチ 128 に戻るまでの光の光路長が、計測時に想定される光路長に近くなる。これにより、装置内部の短い距離での反射ノイズの影響を小さくし、距離が短すぎることによってビート周波数が低すぎて計測できなくなるなどの問題を回避することができる。一例として、計測装置 100 が計測可能な距離の範囲が 0 m から 20 m である場合を考える。その場合、図 5 A の例における光ファイバ 180 A の長さ、図 5 B の例における光スイッチ 128 からミラー 180 B までの光路長、図 5 C の例における光スイッチ 128 からマルチパスセル 180 C を経て光スイッチ 128 に戻るまでの光路長の半分は、例えば、数十 cm から数十 m の範囲内の値に

設計され得る。図5Aの例においては、光ファイバ180Aを曲げたり巻いたりすることによって光路長を長くしてもよい。図5Bの例においては、図示されているミラー180Bだけでなく、他のミラーまたはその他の光学素子を組み合わせて光路長を長くしてもよい。

[0062] 干渉光学系120は、図3に示す構成に限定されず、例えばファイバ光学系を含んでいてもよい。その場合、分岐器121としてファイバカップラが用いられ得る。参照光は必ずしもミラー122で反射される必要はなく、例えば光ファイバの引き回しで参照光を分岐器121に戻してもよい。

[0063] 図6は、干渉光学系120がファイバ光学系を含む計測装置100の構成例を示すブロック図である。図6に示す例では、干渉光学系120は、コリメータ123および光スイッチ128に加えて、第1ファイバスプリッタ125と、第2ファイバスプリッタ126と、光サーキュレータ127とを含む。第1ファイバスプリッタ125は、光源110から出射されたレーザ光20を参照光21と出力光22とに分離する。第1ファイバスプリッタ125は、参照光21を第2ファイバスプリッタ126に入射し、出力光22を光サーキュレータ127に入射させる。光サーキュレータ127は、出力光22を光スイッチ128に入射させ、光スイッチ128からの反射光23を第2ファイバスプリッタ126に入射させる。第2ファイバスプリッタ126は、参照光21と反射光23との干渉光24を光検出器130に入射させる。光スイッチ128は、処理回路140からの指令に従って、出力光22をコリメータ123および校正用光学系180の一方に入射させる。コリメータ123は、出力光22のビーム形状を整形し、出力光22を対象物300に向けて出射する。

[0064] 計測装置100は、出射光の方向を変化させる光偏向器をさらに備えていてもよい。図7は、光偏向器170を備える計測装置100の一例を示すブロック図である。光偏向器170は、例えばMEMS (Micromechanical Electrosystem) ミラーまたはガルバノミラーを含み得る。光偏向器170は、処理回路140からの指令に従ってミラー

の角度を変化させることにより、出力光 22 の出射方向を変化させることができる。これにより、ビームスキャンを実現することができる。光偏向器 170 は、上記の構成に限定されない。光偏向器 170 は、例えば、国際公開第 2019/130720 号に記載されているような、光フェーズドアレイおよびスローライト導波路を用いたビームスキャンデバイスであってもよい。

[0065] 次に、図 8 A および図 8 B を参照して、本実施形態において使用される FMCW-LIDAR 技術を簡単に説明する。

[0066] 図 8 A は、対象物 300 が静止している場合における参照光および反射光の周波数の時間変化の例を模式的に示す図である。ここでは、周波数が三角波状に変化する場合の例を説明する。図 8 A において、実線は参照光を表し、破線は反射光を表す。図 8 A に示す参照光の周波数は、変調周期の間に線形的に増加し、その後増加した分だけ線形的に減少する。反射光の周波数は、参照光の周波数と比較して、光が計測装置 100 から出射されて対象物 300 によって反射されて戻ってくる時間の分だけ、時間軸に沿ってシフトする。このため、参照光と反射光との干渉光は、反射光の周波数と参照光の周波数との差に相当する周波数を有する。図 8 A に示す両矢印は、両者の周波数の差を表す。光検出器 130 は、干渉光の強度を示す信号を出力する。当該信号はビート信号と呼ばれる。ビート信号の周波数、すなわちビート周波数は、上記の周波数の差に等しい。処理回路 140 は、ビート周波数に基づき、計測装置 100 から対象物 300 までの距離を算出することができる。

[0067] 図 8 B は、対象物 300 が計測装置 100 に近づく場合における参照光および反射光の周波数の時間変化の例を模式的に示す図である。対象物 300 が近づく場合、ドップラーシフトにより、反射光の周波数は、対象物 300 が静止している場合と比較して、周波数軸に沿って増加する方向にシフトする。反射光の周波数がシフトする量は、対象物 300 のある部分における速度ベクトルを反射光の方向に射影した成分の大きさに依存する。ビート周波数は、参照光および反射光の周波数が線形的に増加する場合と線形的に減少

する場合とで異なる。図8Bに示す例において、両者の周波数が線形的に減少する場合のビート周波数は、両者の周波数が線形的に増加する場合のビート周波数よりも高い。処理回路140は、これらのビート周波数の差に基づいて対象物300の速度を算出することができる。対象物300が計測装置100から遠ざかる場合においては、反射光の周波数は、対象物300が静止している場合と比較して、周波数軸に沿って減少する方向にシフトする。この場合も、参照光および反射光の周波数が線形的に増加する場合と線形的に減少する場合におけるビート周波数の差に基づいて対象物300の速度を算出することができる。

[0068] <動作>

以下、本実施形態の計測装置100の動作を説明する。

[0069] 本実施形態の計測装置100の動作は、(1)キャリブレーション、および(2)計測の2つの工程に大きく分けることができる。キャリブレーションは、計測装置100のユーザが、補正テーブルを更新するために行う動作である。なお、補正テーブルは、計測装置100の出荷前に製造メーカによってあらかじめ生成され、記憶装置150に記録される。計測は、計測装置100のユーザが、対象物300までの距離および／または速度を計測する動作である。

[0070] <キャリブレーションの動作>

図9は、キャリブレーションの動作の一例を示すフローチャートである。キャリブレーションの動作は、図9に示すステップS310からS350の動作を含む。以下、各ステップの動作を説明する。キャリブレーションの動作は、例えばユーザからの指示に従って開始され得る。

[0071] (ステップS310)

処理回路140は、校正用光学系180に出力光が入射するように光スイッチ128の出力先を切り替えた上で、制御信号を光源110に送出する。制御信号の変調電圧振幅、バイアス電圧、および変調周期は、あらかじめ定められた値、またはユーザによって指定された値に設定され得る。光源11

0は、制御信号に応答して、周波数変調された光の出射を開始する。

[0072] (ステップS320)

処理回路140は、光検出器130から検出信号を取得する。光検出器130は、光源110から光が出射されている間、干渉光の強度に応じた検出信号を出力する。処理回路140が取得する検出信号の時間的長さは、例えば変調周期の1倍から50倍程度であり得る。処理回路140は、検出信号のS/N比を向上させるために検出信号を平均化してもよい。その場合、処理回路140は、検出信号を比較的長い時間取得し、変調周期よりも十分に短い所定の時間にわたって検出信号を平均化する処理を繰り返す。処理回路140は、例えばアナログ/デジタル(A/D)変換器と、メモリとを備える。処理回路140は、例えばA/D変換器で検出信号波形をデジタル化し、メモリに格納する。

[0073] (ステップS330)

処理回路140は、制御信号の送出を停止することにより、光源110からの光の照射を停止させる。このステップは、操作者からの指示に従って行われ得る。あるいは、予め定められたプログラムに従って、処理回路140が自動で照射を停止してもよい。なお、異なる複数の動作条件についてキャリブレーションの動作を繰り返す場合、または補正テーブルの更新後、続けて測距を行う場合には、光を出射させたままでもあってもよい。

[0074] (ステップS340)

処理回路140は、検出信号の周期を分析する。周期の分析方法には、例えば、検出信号の波形における上に凸の部分の最大値をとる点または下に凸の部分の最小値をとる点を特定し、最大値をとる点から次に最大値をとる点までの期間、または最小値をとる点から次に最小値を取る点までの期間を1周期とする方法がある。あるいは、検出信号の値が正と負に一様に分布する場合、ゼロクロス点に基づいて周期を決定してもよい。ゼロクロス点は、信号の値が正から負へ、または負から正へ変化する点である。処理回路140は、検出信号からゼロクロス点を抽出し、正から負のゼロクロス点から次の

正から負のゼロクロス点までの期間、または負から正のゼロクロス点から次の負から正のゼロクロス点までの期間を1周期としてもよい。

[0075] 図10Aは、検出信号の周期の分析結果の例を示すグラフである。このグラフでは、制御信号の電圧と検出信号の電圧との関係を示す波形がプロットされている。検出信号の電圧が上に凸の部分の頂点（すなわち最大値）となる、制御信号電圧が V_i 、 V_{i+1} 、 V_{i+2} 、 $\dots$ のときの周期を、 P_i 、 P_{i+1} 、 P_{i+2} 、 $\dots$ と定義する。この例では、制御信号電圧が V_i の時点から V_{i+1} の時点までの時間長が、周期 P_i と定義される。

[0076] 次に、処理回路140は、図10Bに示すように、制御信号の電圧 V_i 、 V_{i+1} 、 V_{i+2} 、 $\dots$ と、その電圧のときの周期 P_i 、 P_{i+1} 、 P_{i+2} 、 $\dots$ との関係をプロットし、プロットされた点に対する近似式を求める。近似式は、例えば2次以上の多項式であり、例えば最小二乗法を用いて求められ得る。

[0077] (ステップS350)

処理回路140は、生成した近似式に基づいて、制御信号の電圧と周期比率との関係を示す補正テーブルを作成し、その補正テーブルの内容で記憶装置150に記録されている既存の補正テーブルを上書きして更新する。なお、上書きする代わりに、既存の補正テーブルを残した上で新たな補正テーブルを記録してもよい。このとき、補正テーブルにタイムスタンプまたはその時の動作状態を示す情報を関連付けて記録してもよい。

[0078] 図11Aおよび図11Bは、補正テーブルの例を示す図である。補正テーブルは、光源の異なる動作状態（この例では変調電圧振幅）ごとに、制御信号と周期比率との関係を示す形式で記録され得る。図11Aおよび図11Bは、それぞれ、光源の異なる第1の動作状態および第2の動作状態に関連付けられた補正テーブルの例を示している。この例では2つの補正テーブルが記録されるが、1つ、または3つ以上の補正テーブルが記録されてもよい。また、補正テーブルの形式に限らず、例えば関数などの他の形式で制御信号と周期比率などの補正值との関係を示す補正用データが記録されてもよい。

[0079] 周期比率は、補正後の検出信号の波形から計算されるビート周波数が、校正用光学系 180 の光路長、変調周期、変調周波数範囲、および光速から理論的に導かれる値になるように、周期を所定の定数で正規化した値であり得る。図 12 は、補正前後の検出信号の波形の例を示す図である。定数は、補正後の検出信号の波形のビート周波数が一定値 $1/P_m$ となるような値に設定され得る。

[0080] ビート周波数と距離との関係は、例えば図 13 に示すような変換テーブルの形式で処理回路 140 内のメモリまたは記憶装置 150 に格納され得る。このような変換テーブルは、測距動作の工程で処理回路 140 が距離値を算出するときに用いられる。

[0081] なお、動作状態ごとに適当な定数で正規化して周期比率を決定してもよい。その場合には、例えば図 14 A および図 14 B に示すように、各々の動作状態におけるビート周波数と距離との関係が変換テーブルまたは関数などの補正用データとして記録され得る。

[0082] 以上のようなキャリブレーション動作を行うことにより、処理回路 140 は、補正テーブルをそのときの状態に応じて適切に更新することができる。なお、製品出荷前に最初に補正テーブルが作成されるときも、図 9 に示す方法と同様の方法で補正テーブルを作成することができる。

[0083] <測距動作>

次に、計測装置 100 による計測動作の例を説明する。

[0084] 図 15 は、計測動作の例を示すフローチャートである。この例における処理回路 140 は、計測動作を行うとき、図 15 に示すステップ S900 から S990 の動作を実行する。以下、各ステップの動作を説明する。計測動作は、ユーザからの指示に従って開始される。

[0085] (ステップ S900)

処理回路 140 は、まず、補正テーブルを更新するためのキャリブレーション動作を実行するか否かを判断する。キャリブレーション動作を実行する場合、ステップ S910 に進む。キャリブレーション動作を実行しない場合

、ステップS 9 2 0に進む。

[0086] キャリブレーション動作は、例えば、光源 1 1 0 の特性に変化が生じた可能性が高い場合に実行され得る。光源 1 1 0 の特性は、例えば時間の経過または温度に依存して変化し得る。このため、処理回路 1 4 0 は、光源 1 1 0 の使用時間または光源 1 1 0 の温度に基づいてキャリブレーション動作を実行するか否かを判断してもよい。あるいは、処理回路 1 4 0 は、ユーザからの指示に従ってキャリブレーション動作を実行するか否かを判断してもよい。

[0087] 図 1 6 は、光源 1 1 0 の使用時間に基づいてキャリブレーション動作を実行する計測装置 1 0 0 の構成例を示す図である。この例では、計測装置 1 0 0 は、光源 1 1 0 の使用時間を計測するタイムカウンタ 1 9 0 を備える。使用時間は、光源 1 1 0 の使用が開始されたときから現在までの時間、または前回計時がリセットされてから現在までの時間であり得る。タイムカウンタ 1 9 0 は、計測した時間を処理回路 1 4 0 に出力する。処理回路 1 4 0 は、計測された時間がある閾値（例えば、1 0 日、3 ヶ月、1 年など）を超えている場合に、キャリブレーションを実行すると判断してもよい。このように、処理回路 1 4 0 は、光源 1 1 0 の使用時間に基づいて、計測モードとキャリブレーションモードとを切り替えることができる。

[0088] 図 1 7 は、光源 1 1 0 の温度に基づいてキャリブレーション動作を実行する計測装置 1 0 0 の構成例を示す図である。この例では、計測装置 1 0 0 は、光源 1 1 0 の温度を計測する温度センサ 1 6 0 を備える。温度センサ 1 6 0 は、発光素子 1 1 2 の温度をできるだけ直接的に計測できるように配置され得る。例えば、温度センサ 1 6 0 は、発光素子 1 1 2 そのもの、または発光素子 1 1 2 が固定されているヒートシンクに固着するように配置され得る。温度センサ 1 6 0 は、計測した温度を処理回路 1 4 0 に出力する。処理回路 1 4 0 は、計測された温度がある閾値を超えている場合、または、計測された温度がある閾値を下回っている場合に、キャリブレーションを実行すると判断してもよい。このように、処理回路 1 4 0 は、光源 1 1 0 の温度に基

づいて、計測モードとキャリブレーションモードとを切り替えることができる。

[0089] 図18は、ユーザからの指示に従ってキャリブレーション動作を実行する計測装置100の構成例を示す図である。この例では、計測装置100は、ユーザからの入力を受け付ける入力装置200に接続されている。入力装置200は、例えばボタン、キーボード、またはタッチスクリーンなどの、任意の入力手段であり得る。入力装置200と表示装置210とが1つの装置として構成されていてもよい。この例では、処理回路140は、入力装置200を用いたユーザからの入力をトリガーとして、キャリブレーション動作を実行する。このように、処理回路140は、ユーザからの入力に応答して、計測モードとキャリブレーションモードとを切り替えることができる。

[0090] 上記の他にも、光源110の特性は、様々な要因によって変化する。例えば、衝撃によって光源110の特性が変化し得る。このため、計測装置100は、衝撃の大きさを計測するジャイロ스코プなどのセンサを備えていてもよい。処理回路140は、計測された衝撃の大きさ、またはその累積値が閾値を超える場合に、キャリブレーション動作を実行すると判断してもよい。

[0091] 光源110の特性は、他にも、制御信号の変調電圧振幅、変調電流振幅、バイアス電圧、バイアス電流、または入力電力にも依存する。このため、処理回路140は、制御信号の変調電圧振幅、変調電流振幅、バイアス電圧、バイアス電流、または入力電力が閾値以上変化した場合に、キャリブレーション動作を実行すると判断してもよい。なお、変調電圧振幅、変調電流振幅、バイアス電圧、バイアス電流、および入力電力は、ユーザの操作によって変更され得る。このように、処理回路140は、計測モードにおいて、制御信号を変化させることによって光源110の動作状態を変化させたとき、キャリブレーションモードに切り替えてもよい。

[0092] (ステップS910)

処理回路140は、キャリブレーション動作を実行し、補正テーブルを補

正する。このキャリブレーション動作は、図9に示す動作と同じである。処理回路140は、図9に示すステップS310からS350の動作を実行することにより、補正テーブルをそのときの状態に応じて更新する。ステップS910の後、ステップS920に進む。

[0093] (ステップS920)

処理回路140は、光スイッチ128からの光の出力先をコリメータ123にした状態で、制御信号を光源110に送出し、周波数変調された光を光源110から出射させる。これにより、対象物300がレーザ光で照射される。

[0094] (ステップS930)

処理回路140は、光検出器130から出力された検出信号を取得する。光検出器130は、光源110から光が出射されている間、干渉光の強度に応じた検出信号を出力する。処理回路140が取得する検出信号の時間的長さは、例えば変調周期の1倍から50倍程度であり得る。処理回路140は、検出信号のS/N比を向上させるために検出信号を平均化してもよい。その場合、処理回路140は、検出信号を比較的長時間取得し、変調周期よりも十分に短い所定の時間にわたって検出信号を平均化する処理を繰り返す。

[0095] (ステップS940)

処理回路140は、制御信号の送出を停止することにより、光源110からの光の照射を停止させる。このステップは、ユーザからの指示に従って行われ得る。あるいは、予め定められたプログラムに従って、処理回路140が自動で照射を停止してもよい。なお測距を連続的に繰り返す場合には、光を照射させたままでもあってもよい。

[0096] (ステップS950)

処理回路140は、補正テーブルを記憶装置150から取得する。ステップS910において補正テーブルが更新された場合には、処理回路140は、更新後の補正テーブルを取得する。補正テーブルは、例えば図11Aに示すような、制御信号電圧と周期比率（すなわち補正值）との関係を規定する

データであり得る。

[0097] (ステップS 9 6 0)

処理回路 1 4 0 は、補正テーブルに基づいて、検出信号の周期を補正する。この補正により、例えば図 1 2 に示されるように、ビート信号の周期の変動が抑制される。

[0098] (ステップS 9 7 0)

処理回路 1 4 0 は、補正後の検出信号の波形の周波数分析を行う。このステップでは、例えば、処理回路 1 4 0 は、検出信号の波形をフーリエ変換して周波数スペクトルを生成する。その後、周波数スペクトルの最大ピークが得られる周波数を求め、その周波数をビート周波数とする。

[0099] (ステップS 9 8 0)

処理回路 1 4 0 は、ビート周波数を距離値に変換して算出する。この変換処理では、処理回路 1 4 0 は、図 1 3、図 1 4 A、または図 1 4 B に例示されるような変換テーブルを処理回路 1 4 0 内のメモリから読み出して使用する。

[0100] (ステップS 9 9 0)

処理回路 1 4 0 は、算出した距離値の情報を含む計測データを、例えば表示装置 2 1 0 などの外部の装置に出力する。

[0101] 以上の動作により、処理回路 1 4 0 は、対象物 3 0 0 の距離データを生成することができる。なお、測距を連続的に行う場合には、図 1 5 に示す動作を連続的に繰り返してもよい。また、距離に加えて対象物 3 0 0 の速度を計測する場合は、図 4 に示すようなノコギリ波状の制御信号に代えて、三角波状の制御信号が用いられ得る。処理回路 1 4 0 は、図 8 A および図 8 B を参照して説明した方法で速度を算出することができる。

[0102] 以上のように、本実施形態では、経年劣化または動作環境の変化などによって光源 1 1 0 の特性が変化した場合でも、補正テーブルを適切に更新することができる。処理回路 1 4 0 は、更新後の補正テーブルに基づいて検出信号を補正し、補正後の検出信号に基づいて周波数分析を行う。このため、検

出信号に含まれるビート信号の周波数の誤差を低減して距離を求めることができ、対象物の距離をより精密に計測することが可能となる。

[0103] なお、記憶装置 150 が動作状態または使用環境に応じて複数の補正テーブルを記憶している場合は、それぞれの補正テーブルについて、上記のキャリブレーション動作が行われてもよい。

[0104] 補正テーブルは、制御電圧を周期比率との関係を規定する形式には限定されない。例えば、図 19 A に示すように、制御電圧に対してサンプリングの時間間隔を指定する補正テーブルが用いられてもよい。この場合、本来ならば等時間間隔である A/D 変換のサンプリングタイミングが変更される。処理回路 140 は、このようにサンプリングのタイミングを変更して再構成された検出信号を補正後の検出信号としてもよい。また、図 19 B に示すように、周波数変調の位相に対して周期比率を指定する補正テーブルが用いられてもよい。あるいは、図 19 C に示すように、周波数変調の位相に対してサンプリングの時間間隔を指定する補正テーブルが用いられてもよい。図 19 B および図 19 C の各例において、位相に代えて、周波数変調のタイミング（すなわち時間）とサンプリング間隔または周期比率などの補正值との関係を規定する補正テーブルが用いられてもよい。さらに、上記の各例において、制御電圧の代わりに駆動電流と、周期比率またはサンプリング間隔との関係が規定された補正テーブルが用いられてもよい。補正テーブルの代わりに、近似式そのものを補正関数としてメモリなどの記憶装置に記憶させ、処理回路 140 が、そのときの動作状態に対応する補正関数に基づいて検出信号を補正するように構成されていてもよい。

[0105] 以上の実施形態では、計測モードとキャリブレーションモードとで、共通の光学系および光検出器が用いられるが、モードごとに光学系と光検出器とを個別に設けてもよい。図 20 は、そのような構成の例を示す図である。図 20 に示す計測装置 100 は、計測用の第 1 光検出器 130 A と、キャリブレーション用の第 2 光検出器 130 B を備えている。第 1 光検出器 130 A と第 2 光検出器 130 B とによって受光装置が構成されている。干渉光学系

120は、光スイッチ129と、計測用の第1光学系120aと、キャリブレーション用の第2光学系120bとを含む。光スイッチ129は、処理回路140からの指令に従って、光源110から出力された光の出力先を第1光学系120aと第2光学系120bとの間で切り替える。第1光学系120aは、光スイッチ129から入力された光を出力光と参照光とに分離し、出力光を対象物300に入射させ、対象物300からの反射光と参照光との干渉光である第1干渉光を第1光検出器130Aに入射させる。第2光学系120bは、光スイッチ129から入力された光を出力光と参照光とに分離し、出力光を校正用光学系180に入射させ、校正用光学系180からの反射光と参照光との干渉光である第2干渉光を第2光検出器130Bに入射させる。

[0106] 図20に示す実施形態では、計測モードにおいて、処理回路140は、光スイッチ129の光の出力先を第1光学系120aにし、補正用データに基づいて第1光検出器130Aから出力された第1検出信号を補正し、補正された第1検出信号に基づいて計測データを生成する。一方、キャリブレーションモードにおいて、処理回路140は、光スイッチ129の光の出力先を第2光学系120bにし、第2光検出器130Bから出力された第2検出信号に基づいて補正用データを更新する。このような構成および動作により、前述の実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0107] 図20に示す実施形態では、計測モードとキャリブレーションモードとで、使用される光検出器が異なるので、光スイッチ129に代えて、ハーフミラーまたはビームスプリッタなどの光分岐器を用いてもよい。その場合、処理回路140は、計測モードによる動作を行いながら、第2光検出器130Bから出力される検出信号に基づく補正用データの更新を並行して行ってもよい。そのような動作によれば、距離または速度の計測を連続的に行いながら、補正用データを更新することができるので、計測の精度をより向上させることができる。

[0108] (第1の変形例)

本開示の実施形態の第1の変形例による計測装置について説明する。図21は、本変形例による計測装置1001の構成を示すブロック図である。以下、本変形例の計測装置1001が図7に示す計測装置100と異なる点を説明する。

[0109] 図7に示す計測装置100では、校正用光学系180で反射される反射光23を利用して、検出信号の補正用データの生成または更新を行っていた。一方、本変形例の計測装置1001では、干渉光学系120とは別の校正用光学系180を設けずに、干渉光学系120の一部で発生する内部反射光231を利用して補正用データの生成または更新を実行する。

[0110] 内部反射は、干渉光学系120における出力光22の経路上で発生する。内部反射は、例えば、干渉光学系120の一部を構成する光学素子、光学素子と光ファイバーとの接続部、および光ファイバー同士の接続部において発生し得る。例えば図21に示すように、コリメータ123に入射する出力光22の一部が、対象物300に向けて出力されず、内部反射光231として戻る場合がある。本変形例では、このコリメータ123における内部反射光231を利用し、上述した検出信号の補正を実行する。この場合、コリメータ123が、校正用光学系180の役割を兼ねていると言える。コリメータ123による内部反射光231が通る経路の光路長は既知であるため、内部反射光231と参照光21との干渉光を検出して得られる検出信号（即ち第2検出信号）を用いて、上述した実施形態と同様の処理を実行することができる。

[0111] （第2の変形例）

本開示の実施形態の第2の変形例による計測装置について説明する。図22は、本変形例による計測装置1002の構成を示すブロック図である。

[0112] 本変形例による計測装置1002では、出力光22の一部を干渉光学系120の一部で分岐させて、反射光23の経路に入力している。例えば図22に示すように、光サーキュレータ127に入射する出力光22の一部が、コリメータ123に向けて出力されず、反射光23の経路に漏れる場合がある。

このような光サーキュレータ 127 の漏れ光 221 を利用して、上述した実施形態および変形例と同様の処理を実行することができる。本変形例では、光サーキュレータ 127 が校正用光学系 180 の役割を兼ねていると言える。

[0113] (第3の変形例)

本開示の実施形態の第3の変形例による計測装置について説明する。本変形例の計測装置の構成は、上述した実施形態の計測装置 100 と同じである。一方、本変形例の計測装置では、キャリブレーション動作が上述した実施形態とは異なる。

[0114] 図23は、本変形例による計測装置のキャリブレーション動作を示すフローチャートである。本変形例のキャリブレーション動作が図9に示す動作と異なる点は、周期分析を行うステップS340の後に、周期分析の成否を判定するステップS360が実行されることである。ステップS360において周期分析が成功したと判定された場合（S360で「Yes」の場合）はステップS350に進み、補正テーブルが更新される。

[0115] 一方、ステップS360において周期分析が失敗したと判定される場合（S360で「No」の場合）は、ステップS370に進む。ステップS360において周期分析が失敗したと判定される場合の具体例としては、例えば、（1）ステップS340で実行される周期分析の際、検出される周期 P_i 、 P_{i+1} 、 P_{i+2} 、... の分散が規定値を超える場合、あるいは（2）ステップS340において複数の検出信号の周期分析を実行した際、各検出信号の分析により得られる周期と検出信号との相関が規定値を下回る場合、などが挙げられる。（1）および（2）のような場合は、検出信号の周期（すなわちピーク間隔）のばらつきが大きく、周期変化の傾向を分析することが困難な状態である。ステップS370では、エラー内容を示す信号を表示装置210などの外部の装置に出力する。表示装置210は、例えば、「キャリブレーションエラー」または「分析エラー」などの表示を行う。

[0116] 本変形例のキャリブレーション動作によれば、補正テーブルが誤った内容

に更新されることを防止できるため、計測装置の測定精度が低下すること防止できる。

[0117] (第4の変形例)

本開示の実施形態の第4の変形例による計測装置について説明する。本変形例の計測装置の構成は、上述した実施形態の計測装置100と同じである。一方、本変形例の計測装置では、キャリブレーション動作が上述した実施形態とは異なる。

[0118] 図24は、本変形例による計測装置のキャリブレーション動作を示すフローチャートである。本変形例のキャリブレーション動作が図9に示す動作と異なる点は、周期分析を行うステップS340の後に、前回の周期分析の結果を基に作成された旧補正テーブルと、今回の周期分析の結果を基に作成された新補正テーブルを比較するステップS380が入る事である。その後、ステップS390では、ステップS380における新旧補正テーブルの比較結果を基に、新補正テーブルを選択するかどうかの判定が行われる。新補正テーブルが選択される場合（S390で「Yes」の場合）はステップS350へと進み、旧補正テーブルが新補正テーブルへと更新される。新補正テーブルが選択されなかった場合（S390で「No」の場合）は、補正テーブルを更新せずに終了へ進む。

[0119] ステップS380における新旧補正テーブルの比較は、例えば、検出信号に対し新旧補正テーブルの各々を用いて補正処理を行い得られた周波数スペクトルの半値全幅を比較することにより実行される。

[0120] ステップS390においては、例えば、ステップS380における比較の結果、新補正テーブルにより補正処理した検出信号の周波数スペクトルの半値全幅の方が旧補正テーブルにより補正処理した検出信号の周波数スペクトルの半値全幅よりも小さい場合に、新補正テーブルが選択される。または、ステップS380の比較結果を表示装置210に表示し、ユーザがインターフェイス入力により選択しても良い。

[0121] 上述した本開示の実施形態および変形例においては、周波数分析の前の検

出信号に対して補正を行うことにより、レーザ光の周波数変調における非線形性に起因する計測精度の低下を抑制することができる。同様の課題に対しては、レーザ光を周波数変調するための制御信号そのものを補正して非線形性を解消する手法もあり得る。しかしながら、そのような手法では、光源への制御信号を非線形に補正する必要がある。非線形な制御信号の生成と、当該制御信号による電流または電圧の制御は困難であるのに比べ、周波数分析の前の検出信号に対する補正は信号処理のレベルで実行されるため、簡易であり且つ精度が高い。従って、本開示の実施形態によれば、従来に比べて簡易で且つ精度の高い計測を行うことが可能となる。

産業上の利用可能性

[0122] 本開示における計測装置は、例えば無人搬送車（ＡＧＶ）、自動車、無人航空機、もしくは産業ロボットなどの移動体、または監視装置に搭載されるＦＭＣＷライダーシステムなどの用途に利用できる。

符号の説明

- [0123] １００ 測距装置
 １１０ 光源
 １１１ 駆動回路
 １１２ 発光素子
 １２０ 干渉光学系
 １２１ 分岐器
 １２２ ミラー
 １２３ コリメータ
 １２４ コリメートレンズ
 １２５ 第１ファイバスプリッタ
 １２６ 第２ファイバスプリッタ
 １２７ 光サーキュレータ
 １２８ 光スイッチ
 １２９ 分岐器

- 1 3 0 光検出器
- 1 4 0 処理回路
- 1 5 0 記憶装置
- 1 6 0 温度センサ
- 1 7 0 光偏向器
- 1 8 0 校正用光学系
- 1 8 0 A 光ファイバ
- 1 8 0 B ミラー
- 1 8 0 C マルチパスセル
- 1 9 0 タイムカウンタ
- 2 0 0 入力装置
- 2 1 0 表示装置
- 2 2 0 制御装置
- 3 0 0 対象物

請求の範囲

[請求項1]

周波数が変調された光を出射する光源と、

少なくとも1つの反射面を有する校正用光学系と、

前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第1干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第2干渉光を生成する干渉光学系と、

少なくとも1つの光検出器を備え、前記第1干渉光の強度に応じた第1検出信号、および前記第2干渉光の強度に応じた第2検出信号を出力する受光装置と、

前記第1検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する記憶装置と、

前記光源から出射される前記光の周波数を掃引する制御信号を前記光源に送出し、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新し、更新された前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正し、補正された前記第1検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力する処理回路と、を備える計測装置。

[請求項2]

前記干渉光学系は、前記出力光を前記対象物に出射する第1状態と、前記出力光を前記校正用光学系に出射する第2状態とを切り替える光スイッチを含み、

前記処理回路は、

前記対象物の距離および／または速度を計測する計測モードと、前記補正用データを更新するキャリブレーションモードとで動作し、

前記計測モードにおいて、前記光スイッチを前記第1状態にし、前記補正用データに基づいて前記第1検出信号を補正し、補正された前記第1検出信号に基づいて前記計測データを生成し、

前記キャリブレーションモードにおいて、前記光スイッチを前記第2状態にし、前記第2検出信号に基づいて前記補正用データを更新する、

請求項1に記載の計測装置。

[請求項3] 前記光源の使用時間を計測するタイムカウンタをさらに備え、
前記処理回路は、前記光源の使用時間に基づいて、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替える、
請求項2に記載の計測装置。

[請求項4] 前記光源の温度を計測する温度センサをさらに備え、
前記処理回路は、前記光源の温度に基づいて、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替える、請求項2または3に記載の計測装置。

[請求項5] 前記処理回路は、ユーザからの入力に応答して、前記計測モードと前記キャリブレーションモードとを切り替える、請求項2から4のいずれかに記載の計測装置。

[請求項6] 前記処理回路は、前記計測モードにおいて、前記制御信号を変化させることによって前記光源の動作状態を変化させたとき、前記キャリブレーションモードに切り替える、請求項2から5のいずれかに記載の計測装置。

[請求項7] 前記記憶装置は、前記校正用光学系の光路長に応じた基準距離をさらに記憶し、
前記処理回路は、前記第2検出信号と、前記基準距離とに基づいて、前記補正用データを更新する、
請求項1から6のいずれかに記載の計測装置。

[請求項8] 前記計測装置には、計測可能な距離範囲が設定されており、
前記基準距離は、前記距離範囲に含まれる、
請求項7に記載の計測装置。

[請求項9] 前記干渉光学系は、光ファイバ、ミラー、またはマルチパスセルを

含む、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の計測装置。

[請求項10] 前記補正用データは、前記制御信号における複数の電圧値または複数の電流値の各々に対応する補正值の情報を含む、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の計測装置。

[請求項11] 前記補正用データは、前記制御信号による周波数変調における複数の位相または複数のタイミングの各々に対応する補正值の情報を含む、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の計測装置。

[請求項12] 前記補正用データは、前記処理回路が前記検出信号をサンプリングするときのサンプリングタイミングを変更するための補正值の情報を含む、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の計測装置。

[請求項13] 前記補正用データは、前記検出信号の補正に用いられる補正值を決定するための補正テーブルまたは補正関数を示す、請求項 1 から 12 のいずれかに記載の計測装置。

[請求項14] 前記校正用光学系は、前記干渉光学系の一部である、請求項 1 に記載の計測装置。

[請求項15] 計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行される方法であって、

前記計測装置は、

周波数が周期的に変調された光を出射する光源と、

少なくとも 1 つの反射面を有する校正用光学系と、

前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第 1 干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第 2 干渉光を生成する干渉光学系と、

少なくとも 1 つの光検出器を備え、前記第 1 干渉光の強度に応じた第 1 検出信号、および前記第 2 干渉光の強度に応じた第 2 検出信号を出力する受光装置と、

前記第 1 検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する記憶装置と、

を備え、

前記方法は、

前記第 2 検出信号に基づいて前記補正用データを更新することと、

更新された前記補正用データに基づいて前記第 1 検出信号を補正することと、

補正された前記第 1 検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、

を含む方法。

[請求項16]

計測装置を含むシステムにおけるコンピュータによって実行されるコンピュータプログラムであって、

前記計測装置は、

周波数が周期的に変調された光を出射する光源と、

少なくとも 1 つの反射面を有する校正用光学系と、

前記光源から出射された前記光を参照光と出力光とに分離し、前記出力光が対象物で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第 1 干渉光、および前記出力光が前記校正用光学系で反射されて生じた反射光と前記参照光との干渉光である第 2 干渉光を生成する干渉光学系と、

少なくとも 1 つの光検出器を備え、前記第 1 干渉光の強度に応じた第 1 検出信号、および前記第 2 干渉光の強度に応じた第 2 検出信号を出力する受光装置と、

前記第 1 検出信号の補正に用いられる補正用データを記憶する記憶装置と、

を備え、

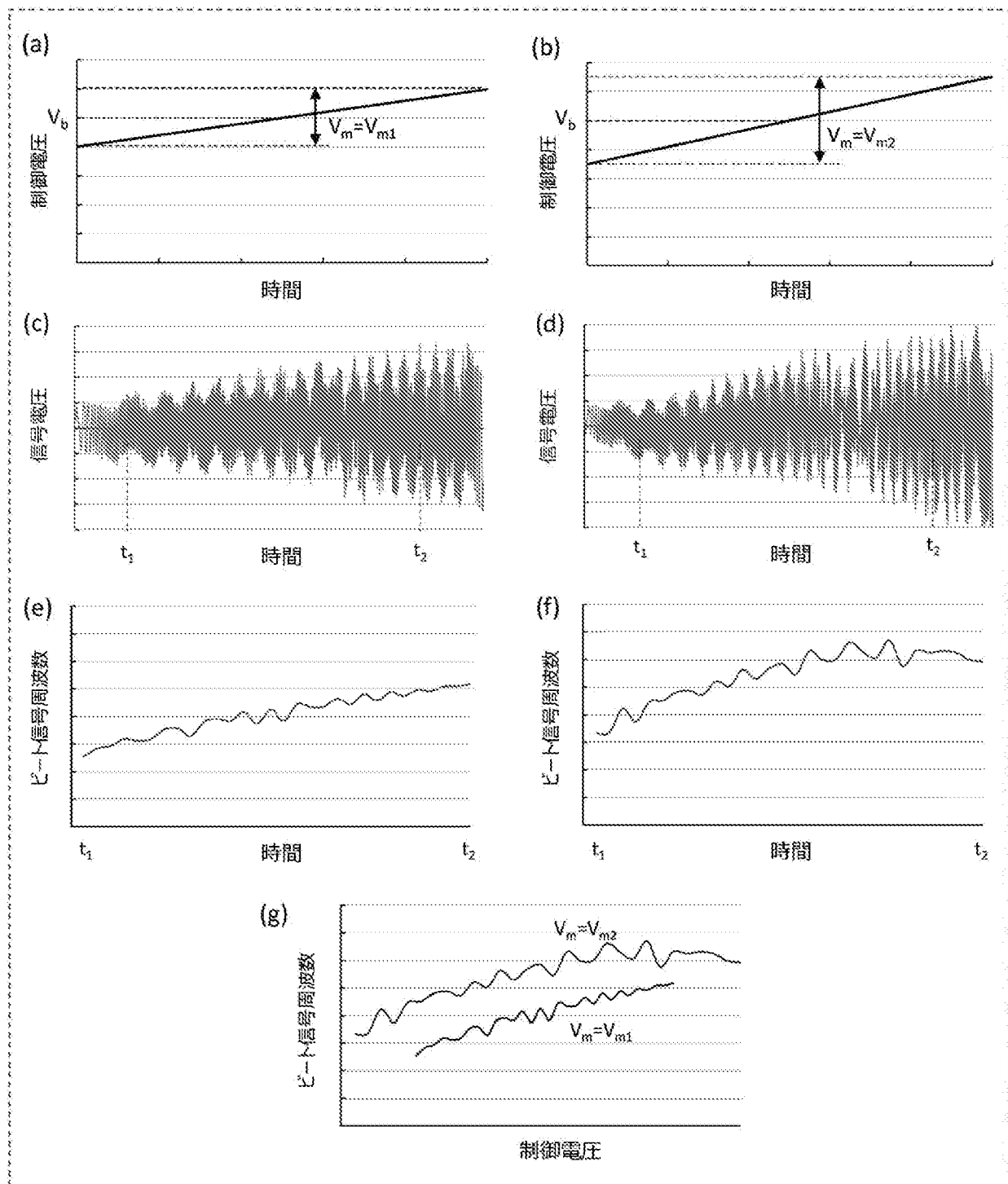
前記コンピュータプログラムは、前記コンピュータに、

前記第 2 検出信号に基づいて前記補正用データを更新することと、

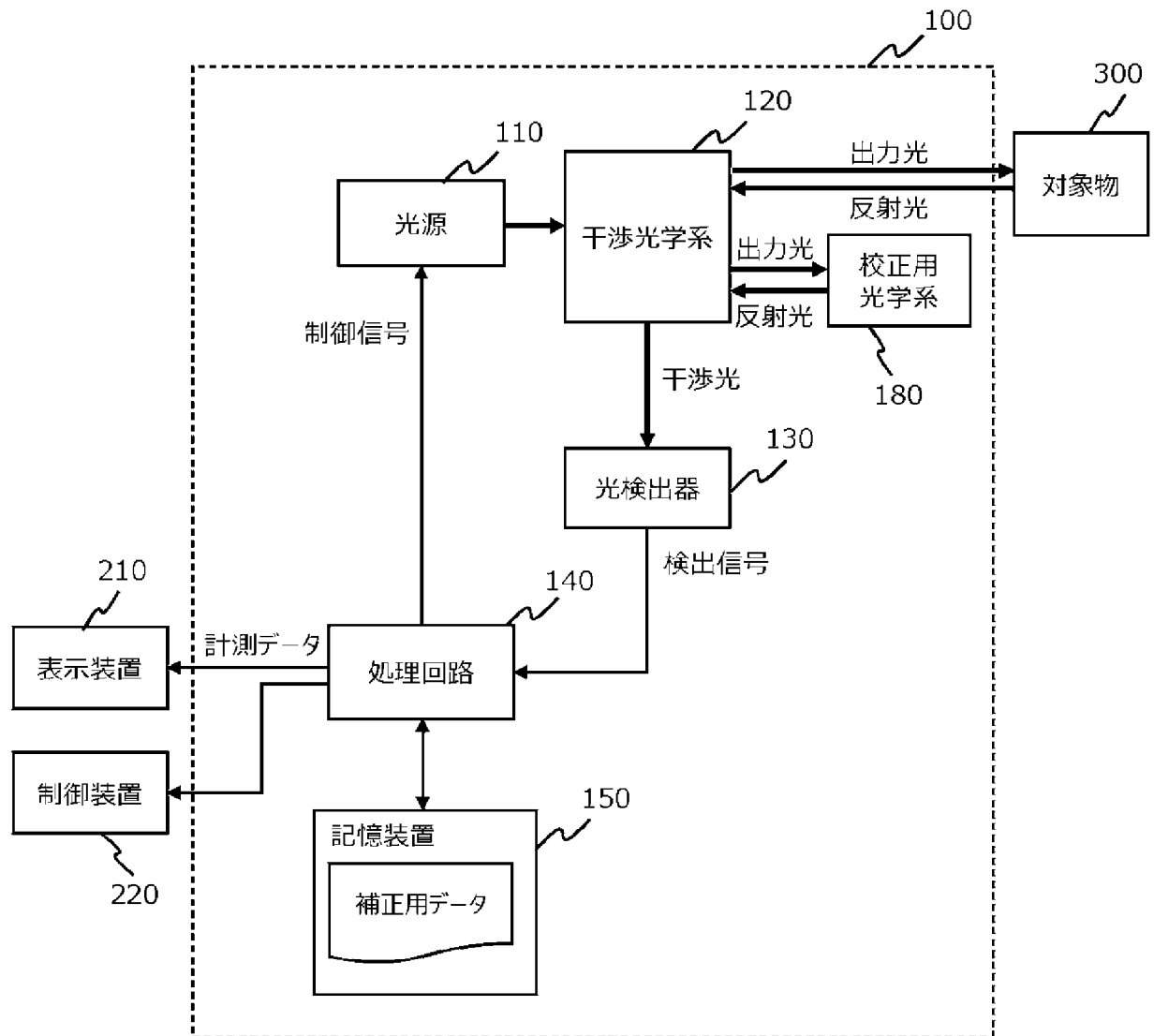
更新された前記補正用データに基づいて前記第 1 検出信号を補正することと、

補正された前記第 1 検出信号に基づいて前記対象物の距離および／または速度に関する計測データを生成して出力することと、
を実行させる、コンピュータプログラム。

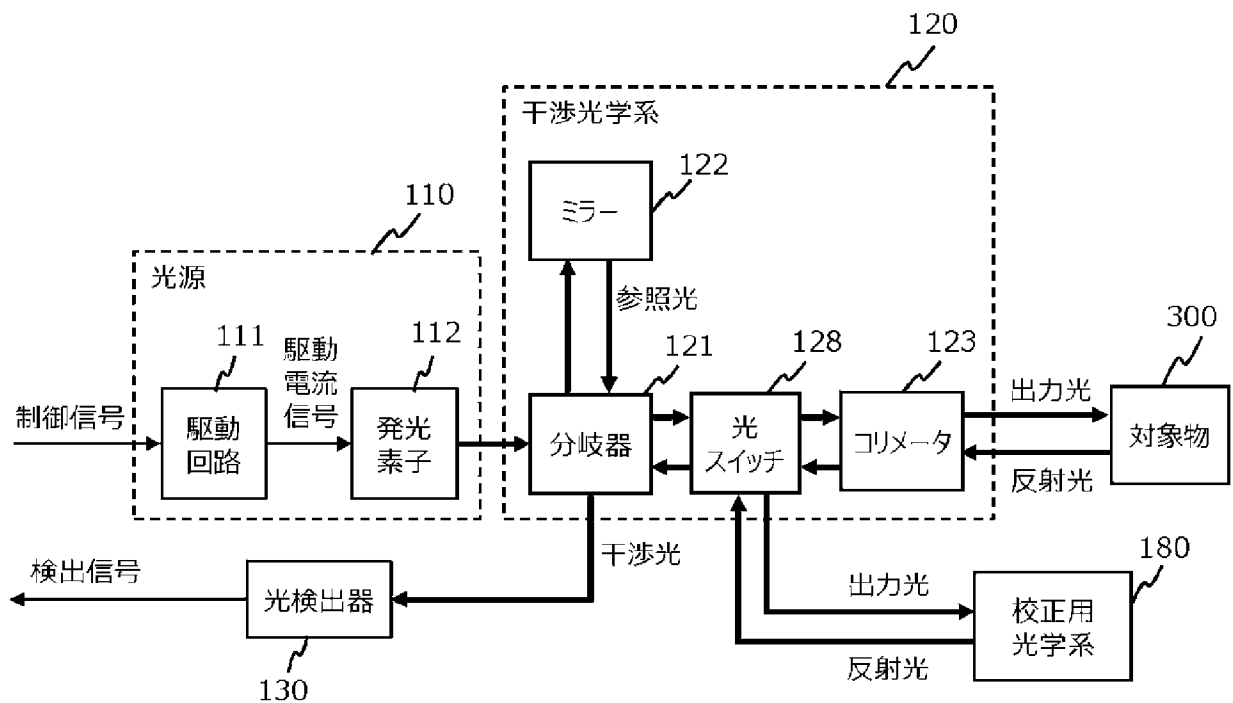
[図1]



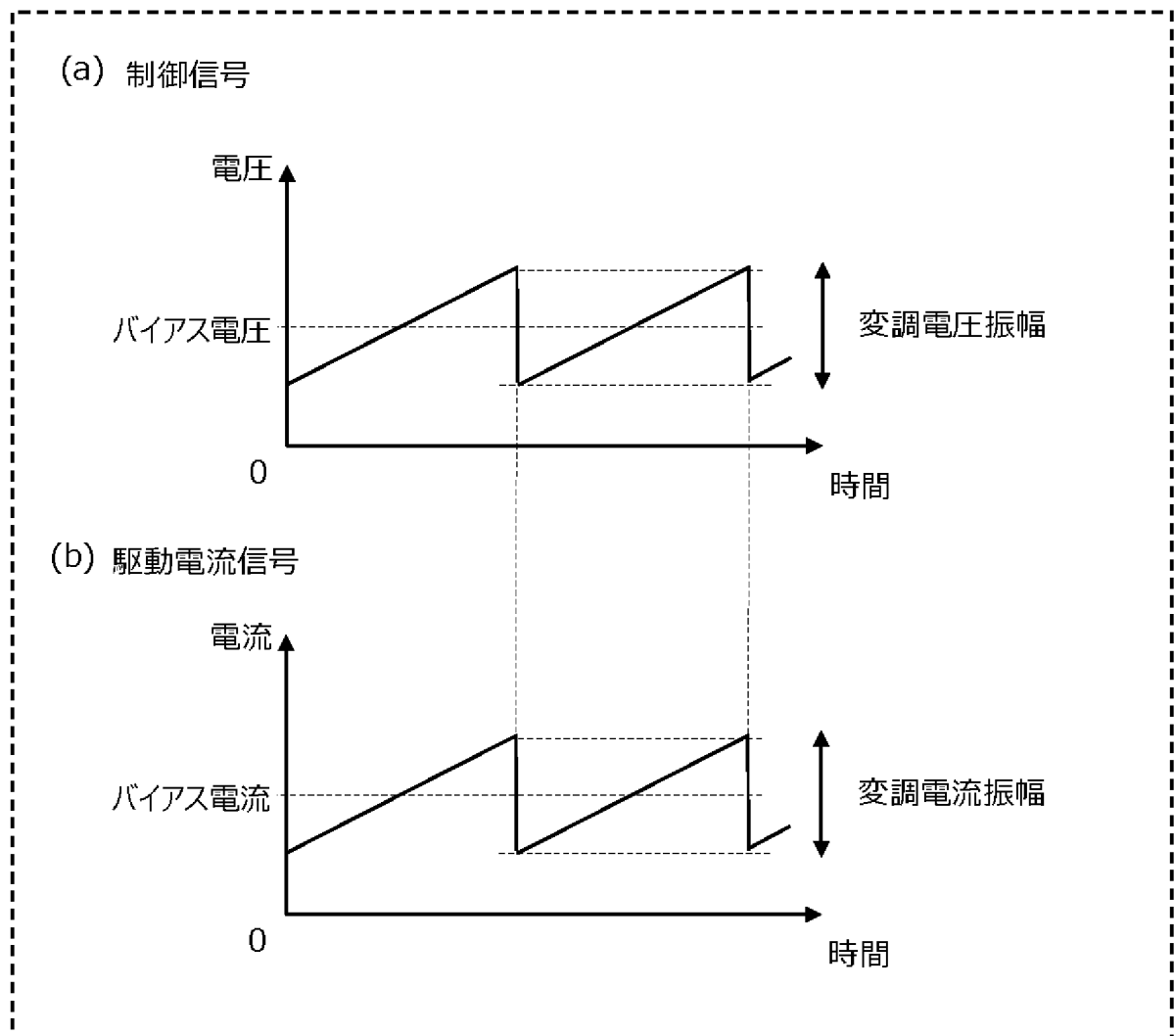
[図2]



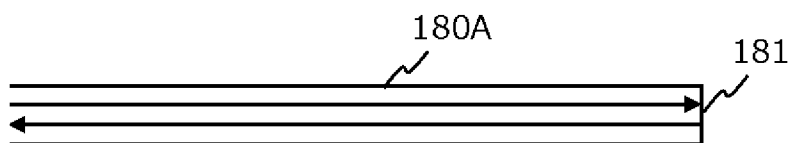
[図3]



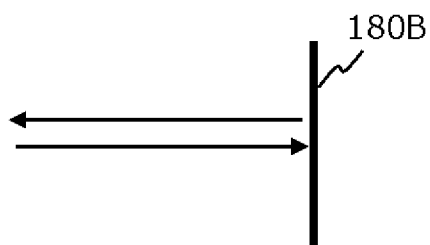
[図4]



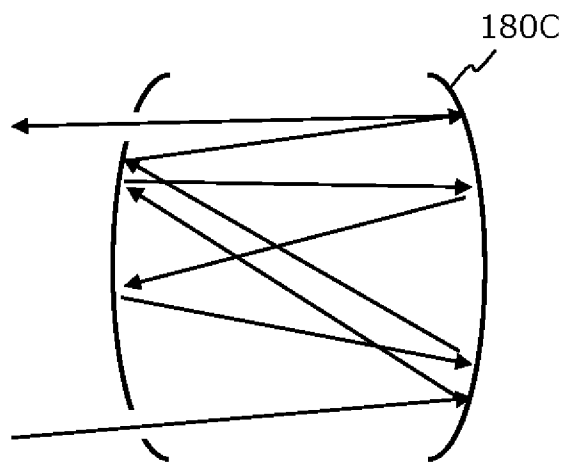
[図5A]



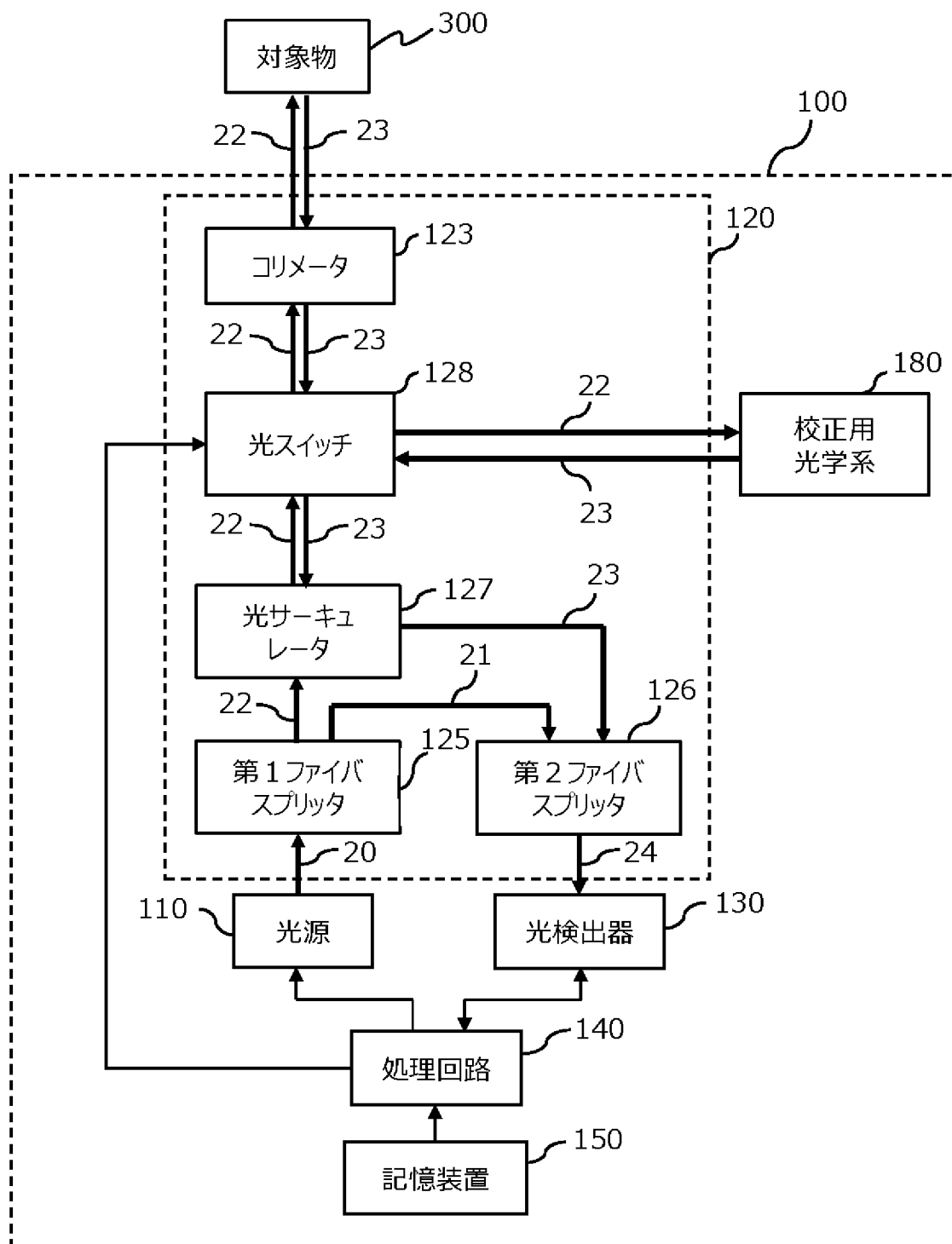
[図5B]



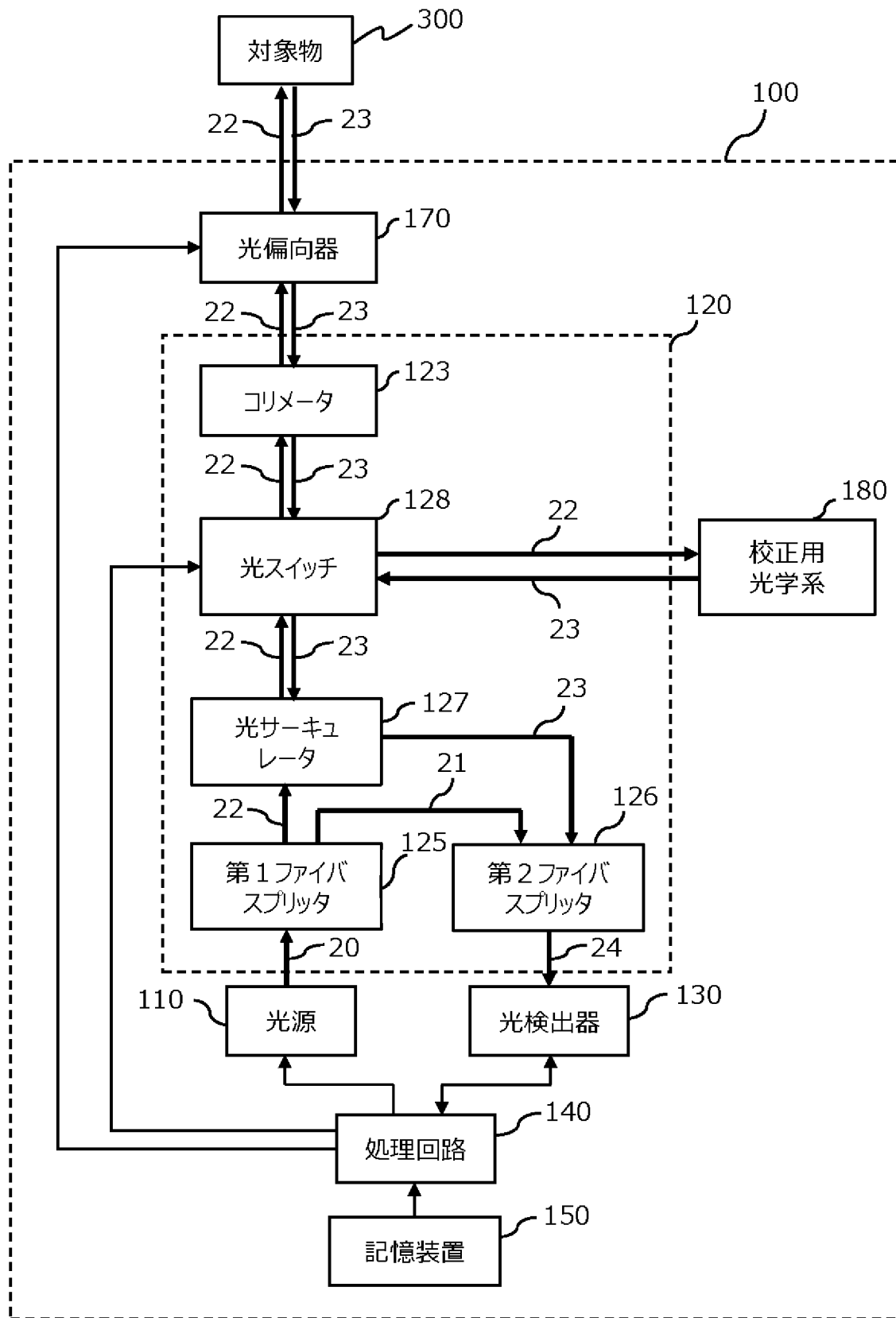
[図5C]



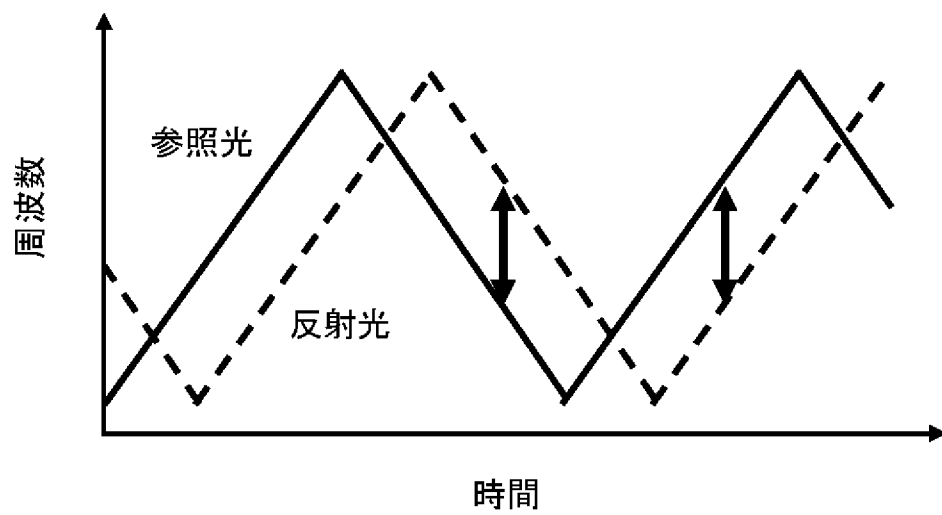
[図6]



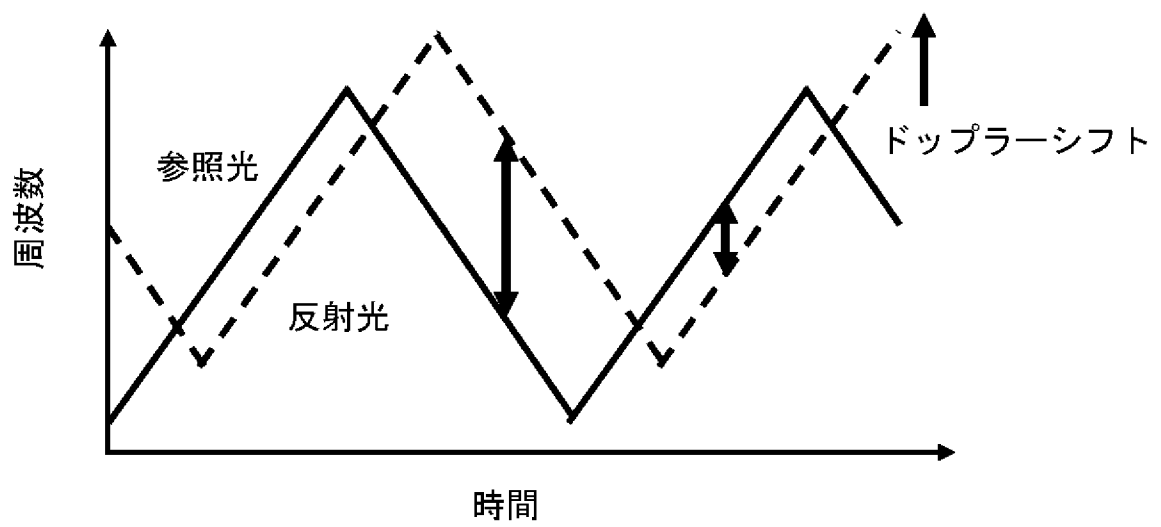
[図7]



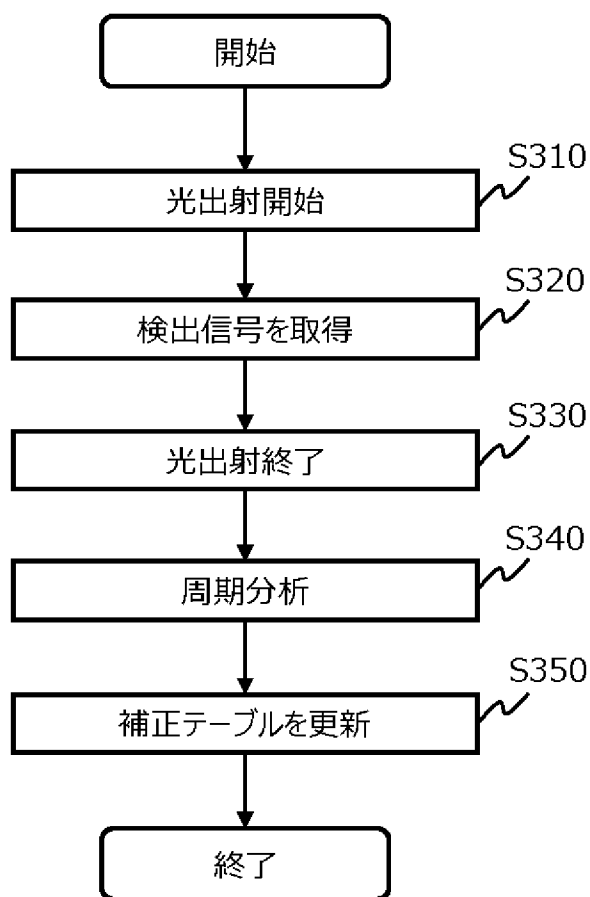
[図8A]



[図8B]

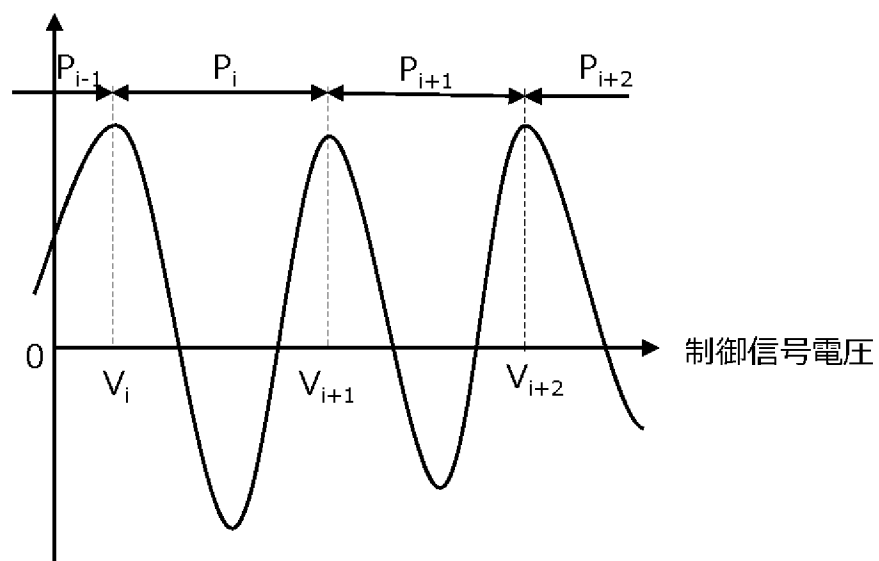


[図9]

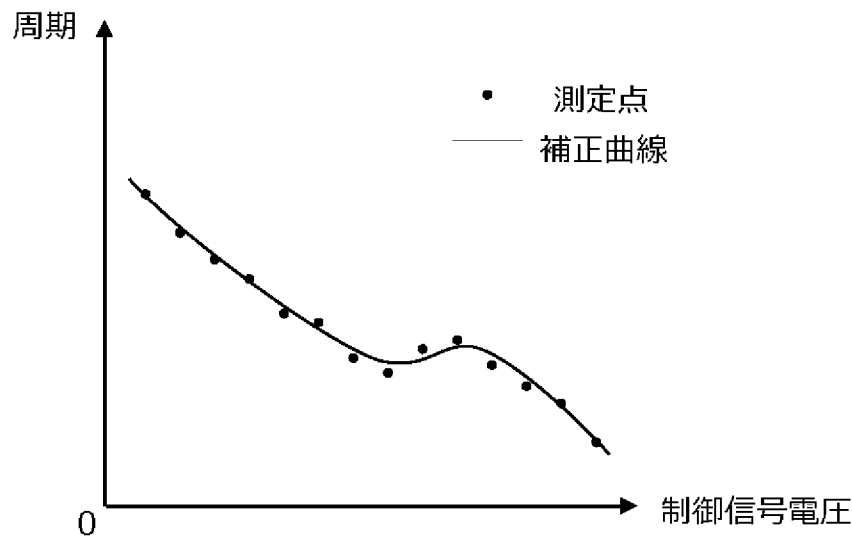


[図10A]

検出信号電圧



[図10B]



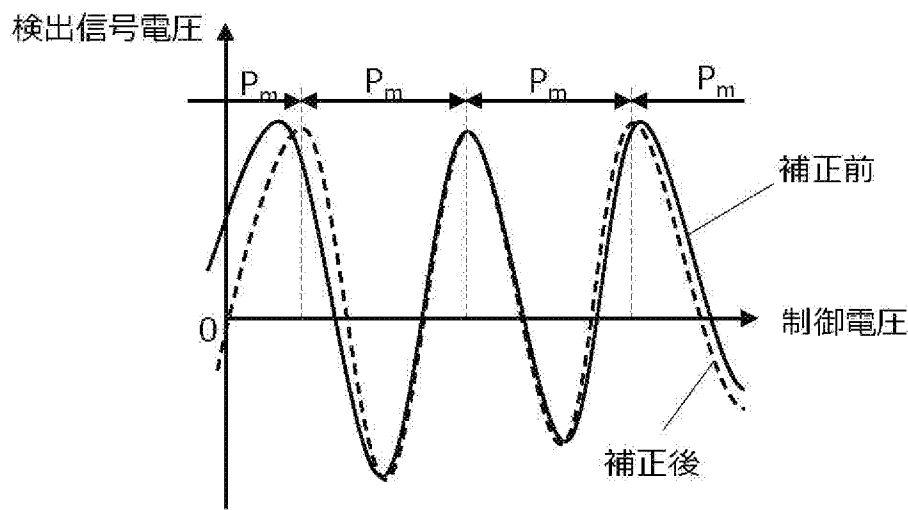
[図11A]

動作状態1	
電圧 [V]	周期比率
⋮	⋮
V_i	$R1_i$
V_{i+1}	$R1_{i+1}$
⋮	⋮

[図11B]

動作状態2	
電圧 [V]	周期比率
⋮	⋮
V_i	$R2_i$
V_{i+1}	$R2_{i+1}$
⋮	⋮

[図12]



[図13]

周波数[Hz]	距離[m]
⋮	⋮
f_i	d_i
f_{i+1}	d_{i+1}
⋮	⋮

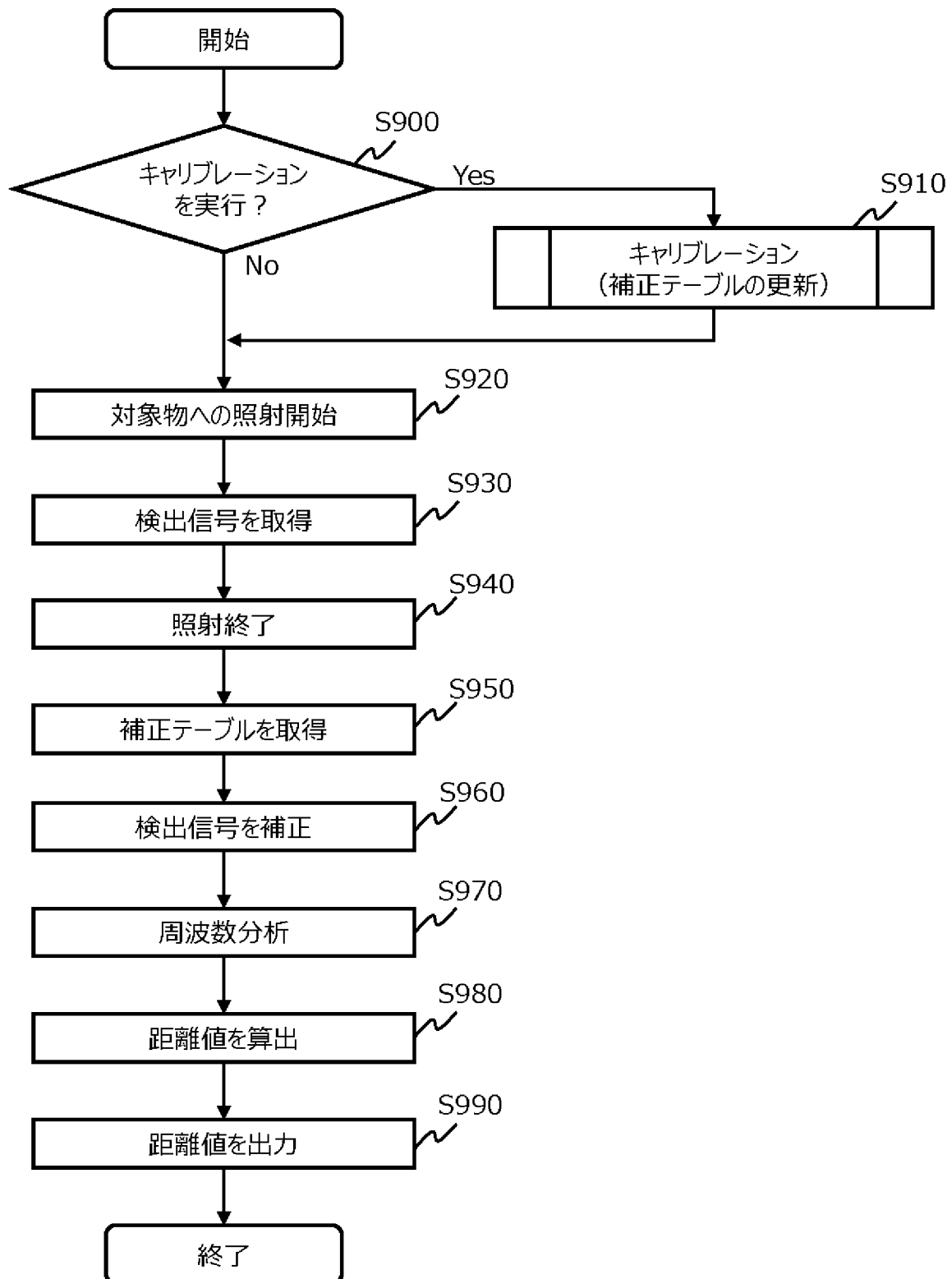
[図14A]

動作状態1	
周波数[Hz]	距離[m]
⋮	⋮
f_i	$d1_i$
f_{i+1}	$d1_{i+1}$
⋮	⋮

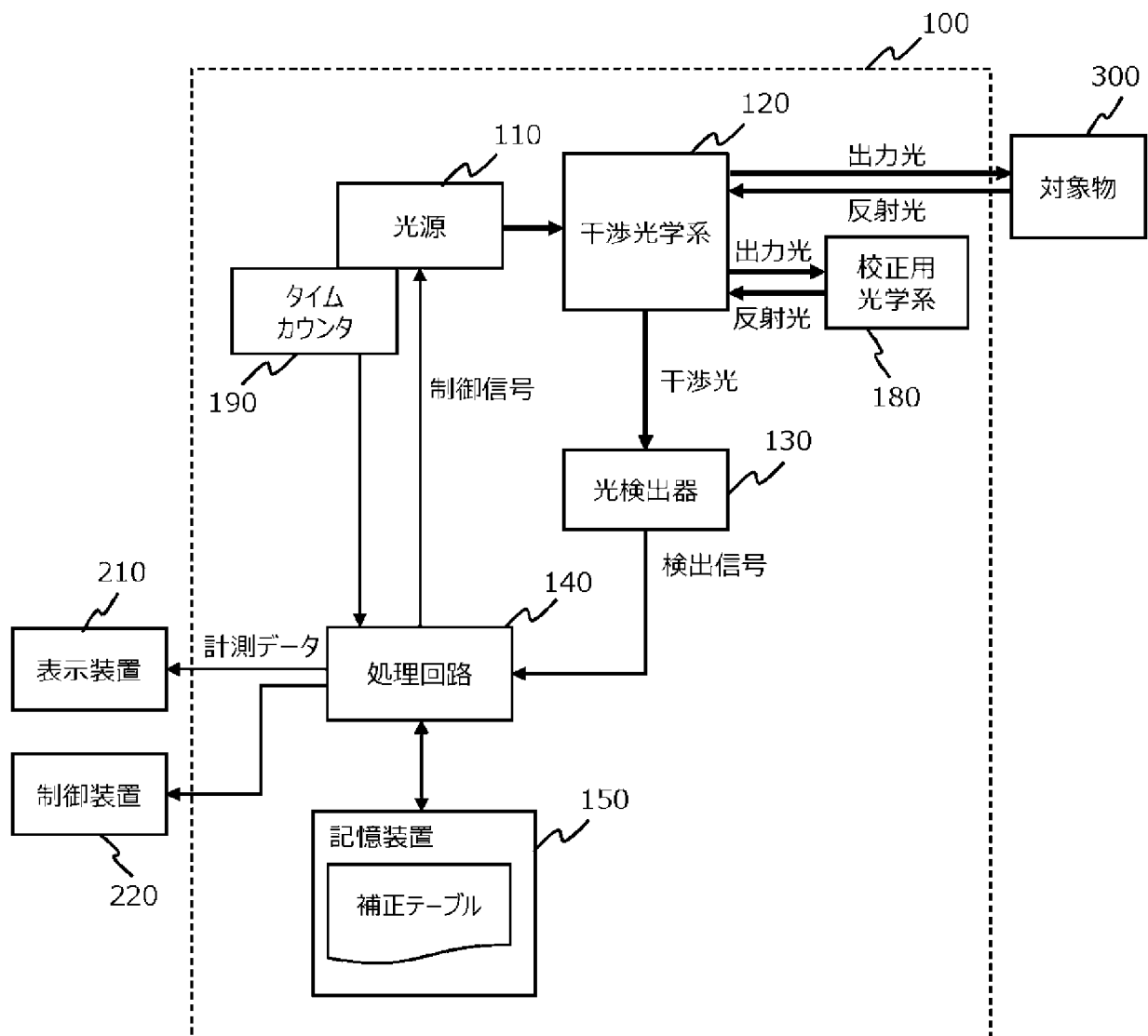
[図14B]

動作状態2	
周波数[Hz]	距離[m]
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
f_i	$d2_i$
f_{i+1}	$d2_{i+1}$
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

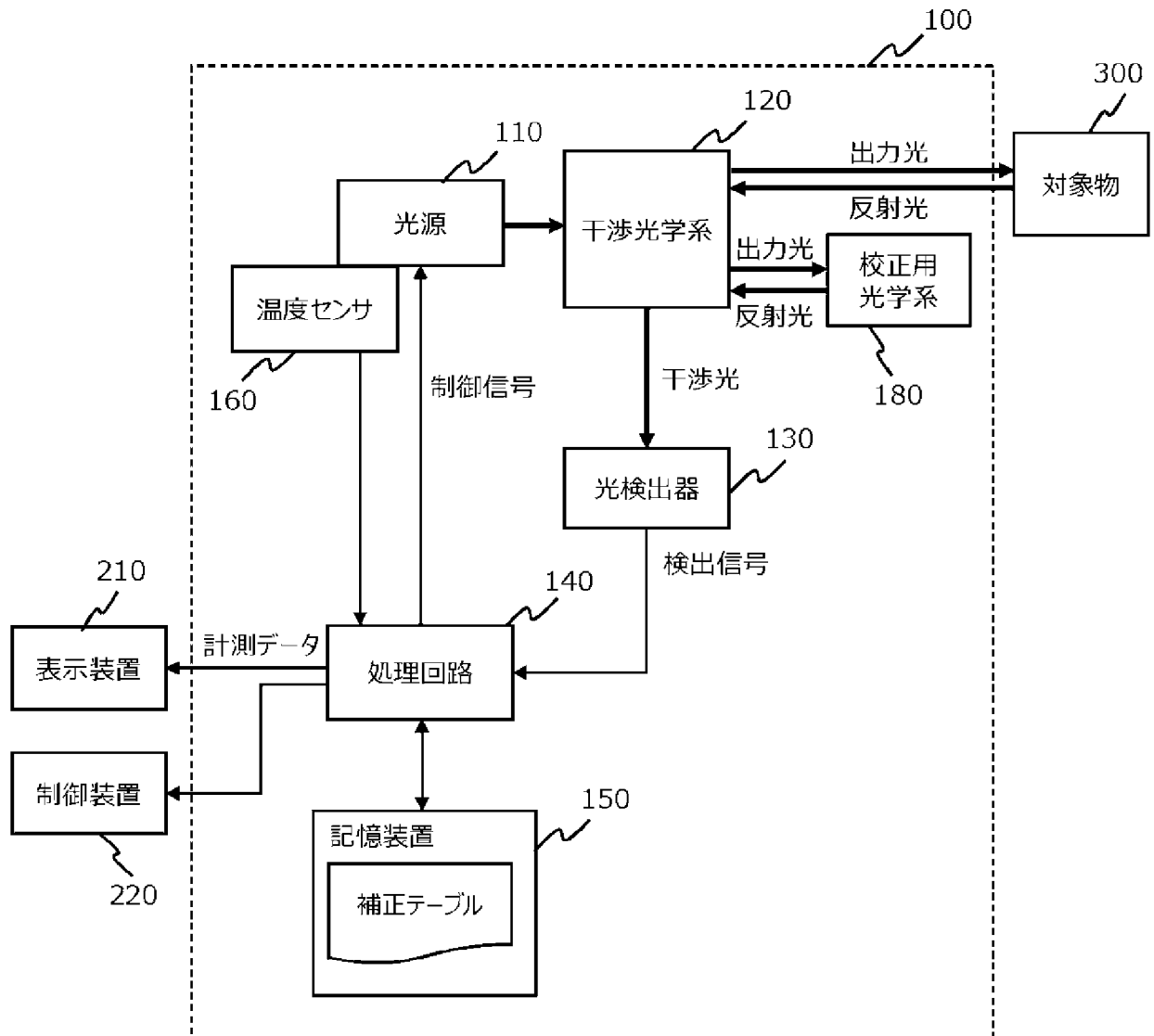
[図15]



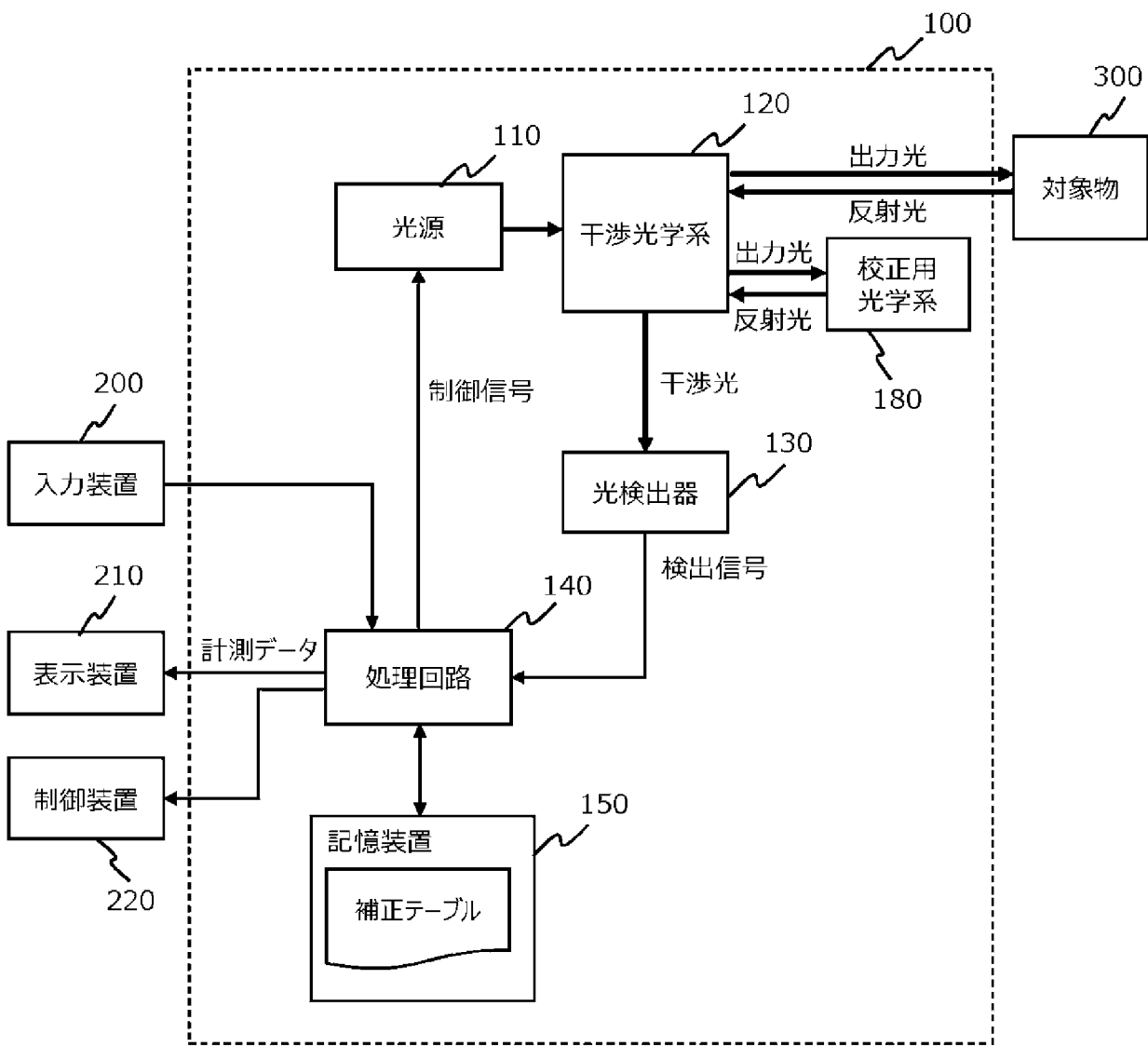
[図16]



[図17]



[図18]



[図19A]

動作状態 s	
電圧 [V]	サンプリング 間隔[s]
⋮	⋮
⋮	⋮
V_i	$s1_i$
V_{i+1}	$s1_{i+1}$
⋮	⋮
⋮	⋮

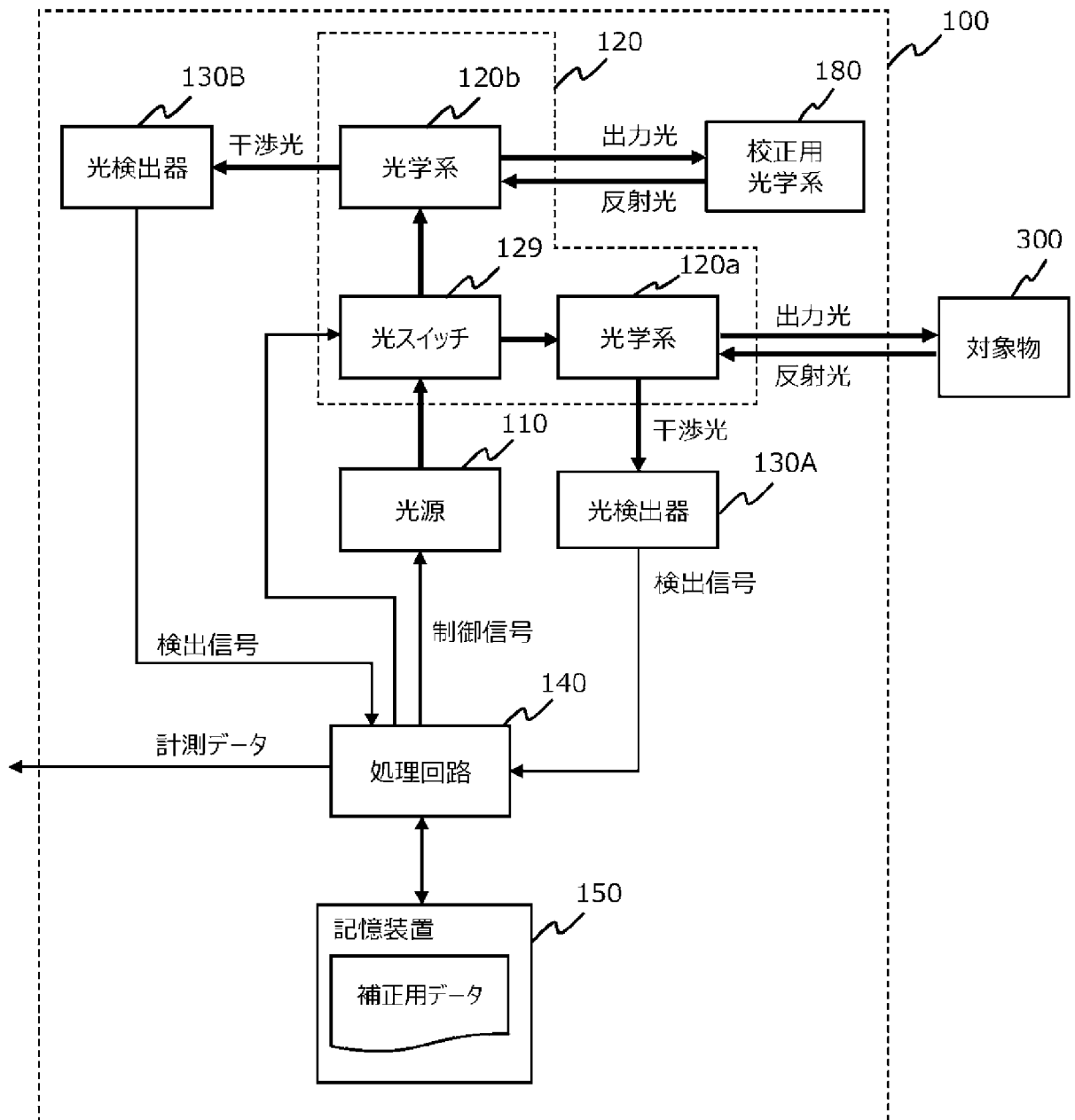
[図19B]

動作状態 s	
位相[rad]	周期比率
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
p_i	$R1_i$
p_{i+1}	$R1_{i+1}$
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

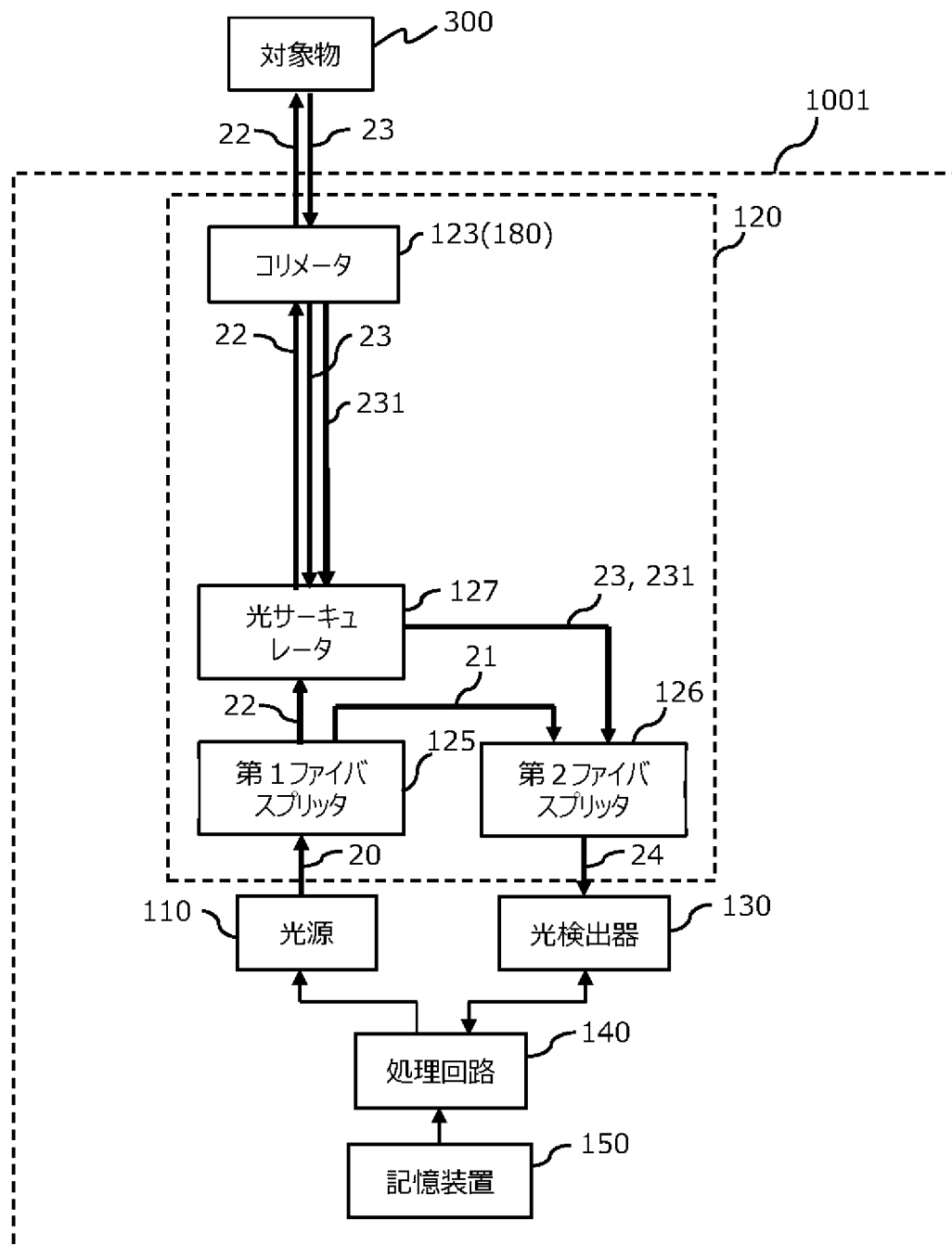
[図19C]

動作状態 s	
位相 [rad]	サンプリング 間隔[s]
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
p_i	$s1_i$
p_{i+1}	$s1_{i+1}$
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮

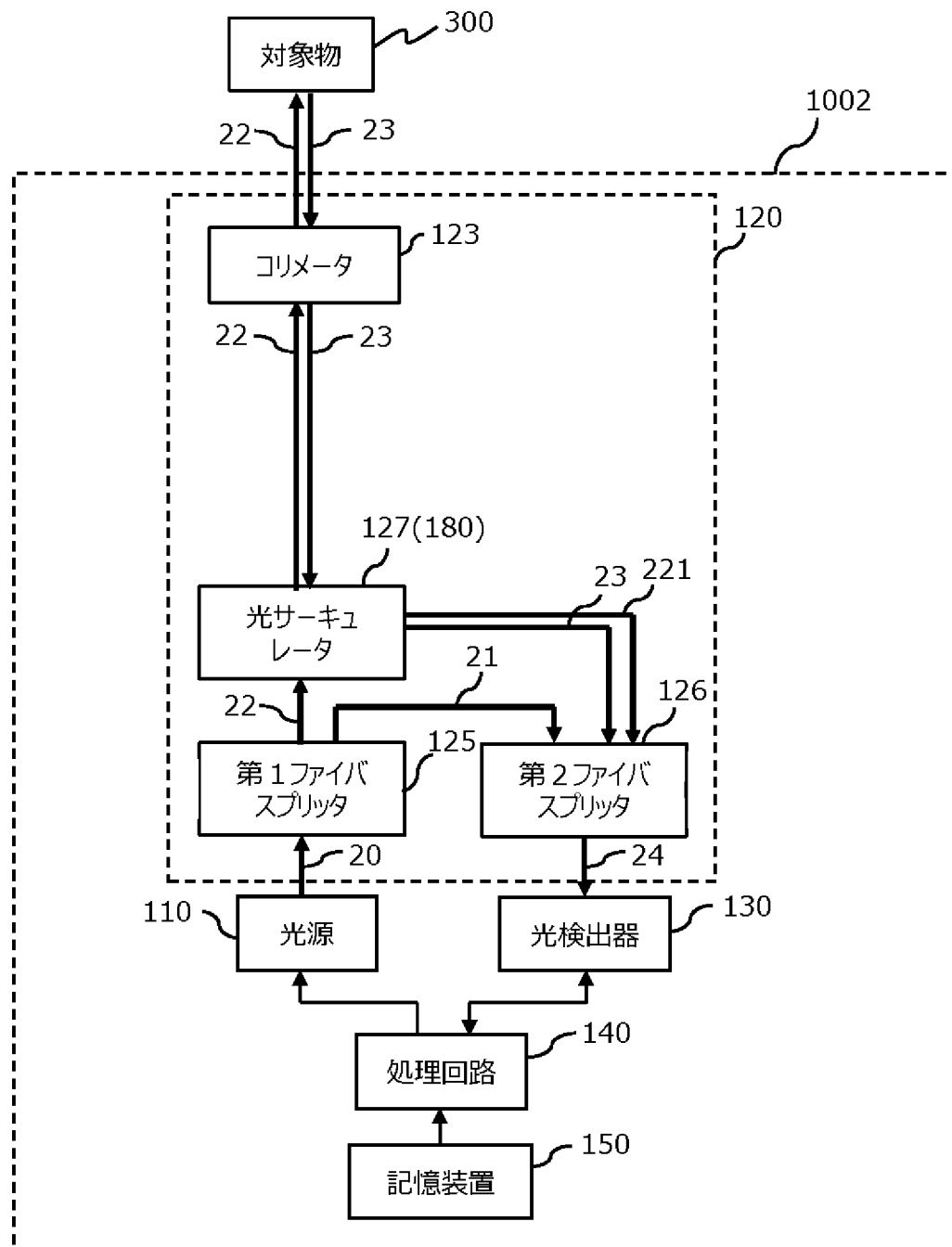
[図20]



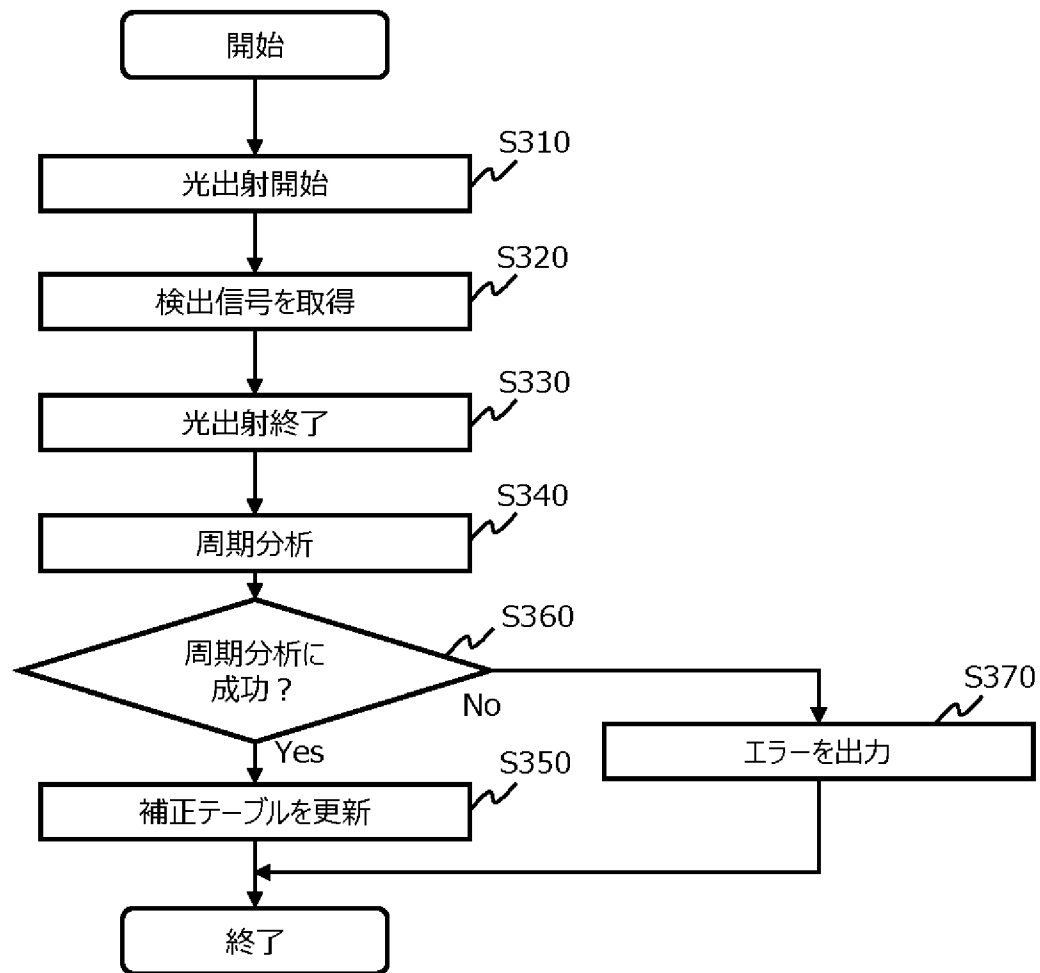
[図21]



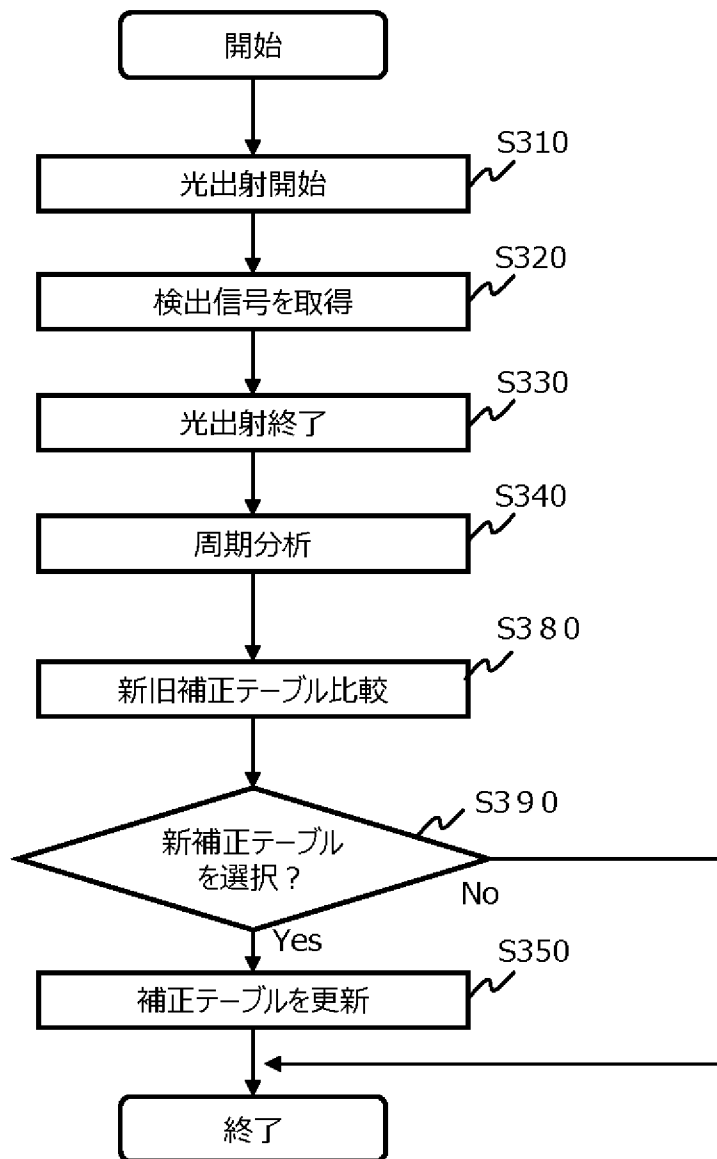
[図22]



[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/005825

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 7/481(2006.01)i; **G01S 7/497**(2006.01)i; **G01S 17/34**(2020.01)i; **G01C 3/00**(2006.01)n; **G01C 3/06**(2006.01)n
 FI: G01S7/481 A; G01S7/497; G01S17/34; G01C3/00 120; G01C3/06 120Q

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)

G01S7/48 - G01S7/51; G01S17/00 - G01S17/95; G01C3/00 - G01C3/32; G01B11/00 - G01B11/30

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 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2017/081808 A1 (HITACHI LTD) 18 May 2017 (2017-05-18) paragraphs [0005]-[0017], [0024]-[0041], fig. 1-11	1-2, 5, 7-9, 13, 15-16
Y		14
A		3-4, 6, 10-12
Y	JP 2007-537426 A (CARL ZEISS SMT AG) 20 December 2007 (2007-12-20) paragraphs [0054]-[0055], fig. 8	14
A	JP 2021-25952 A (HITACHI LTD) 22 February 2021 (2021-02-22) paragraphs [0012]-[0075], fig. 1-8	1-16
A	US 2016/0178733 A1 (ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG) 23 June 2016 (2016-06-23) paragraphs [0024]-[0046], fig. 1-6	1-16

☐ 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

13 April 2022

Date of mailing of the international search report

10 May 2022

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/JP2022/005825

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2017/081808	A1	18 May 2017	JP	6303026	B2	
JP	2007-537426	A	20 December 2007	US	2008/0043247	A1	
				paragraphs [0069]-[0070], fig. 8			
				WO	2005/114101	A1	
JP	2021-25952	A	22 February 2021	CA	3146353	A1	
				paragraphs [0012]-[0075], fig. 1-8			
				WO	2021/024614	A1	
US	2016/0178733	A1	23 June 2016	DE	102014118862	A1	
				CN	105717497	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01S 7/481(2006.01)i; G01S 7/497(2006.01)i; G01S 17/34(2020.01)i; G01C 3/00(2006.01)n; G01C 3/06(2006.01)n FI: G01S7/481 A; G01S7/497; G01S17/34; G01C3/00 120; G01C3/06 120Q		
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）） G01S7/48 - G01S7/51; G01S17/00 - G01S17/95; G01C3/00 - G01C3/32; G01B11/00 - G01B11/30		
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 - 2022年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2022年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	W0 2017/081808 A1（株式会社日立製作所）18.05.2017（2017 - 05 - 18） 段落 [0005]-[0017], [0024]-[0041], 図 1-11	1-2, 5, 7- 9, 13, 15-16 14 3-4, 6, 10-12
Y	JP 2007-537426 A（カール・ツァイス・エスエムティー・アーゲー）20.12.2007 （2007 - 12 - 20） 段落 [0054]-[0055], 図 8	14
A	JP 2021-25952 A（株式会社日立製作所）22.02.2021（2021 - 02 - 22） 段落 [0012]-[0075], 図 1-8	1-16
A	US 2016/0178733 A1（ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG）23.06.2016（2016 - 06 - 23） 段落 [0024]-[0046], 図 1-6	1-16
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 13.04.2022		国際調査報告の発送日 10.05.2022
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） 藤田 都志行 2M 3014 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/JP2022/005825

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2017/081808	A1	18.05.2017	JP	6303026	B2	
JP	2007-537426	A	20.12.2007	US	2008/0043247	A1	
				段落 [0069]-[0070], 図 8			
				WO	2005/114101	A1	
JP	2021-25952	A	22.02.2021	CA	3146353	A1	
				段落 [0012]-[0075], 図 1-8			
				WO	2021/024614	A1	
US	2016/0178733	A1	23.06.2016	DE	102014118862	A1	
				CN	105717497	A	