

(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
2014年10月2日(02.10.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/156436 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 17/36 (2006.01) G01C 7/04 (2006.01)
G01C 3/06 (2006.01) G01S 17/89 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/054536
- (22) 国際出願日: 2014年2月25日(25.02.2014)
- (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 2013-072053 2013年3月29日(29.03.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉武 康裕(YOSHITAKE, Yasuhiro); 〒3690395 埼玉県児玉郡上里町嘉美1600番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 埼玉事業所内 Saitama (JP). 笹澤 秀明(SASAZAWA, Hideaki); 〒3690395 埼玉県児玉郡上里町嘉美1600番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 埼玉事業所内 Saitama (JP). 斎藤 佳大(SAITO, Yoshihiro); 〒3690395 埼玉県児玉郡上里町嘉美1600番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 埼玉事業所内 Saitama (JP). 針山 達雄(HARIYAMA, Tat-

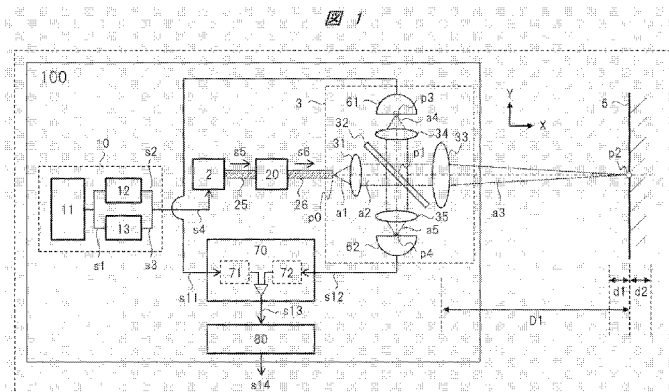
su); 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内 Kanagawa (JP). 渡辺 正浩(WATANABE, Masahiro); 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 筒井 大和(TSUTSUI, Yamato); 〒1600022 東京都新宿区新宿2丁目3番10号 新宿御苑ビル3階 筒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: DISPLACEMENT MEASUREMENT DEVICE AND DISPLACEMENT MEASUREMENT SYSTEM

(54) 発明の名称: 変位計測装置及び変位計測システム



100:変位計測装置 2:光源 3:光学系 5:計測対象面 10:強度変調部 20:光アンプ
61:計測光検出部 70:位相比較部 80:変位算出部

2... LIGHT SOURCE
3... OPTICAL SYSTEM
5... SURFACE OF OBJECT TO BE MEASURED
10... INTENSITY MODULATION UNIT
20... OPTICAL AMPLIFIER
61... MEASUREMENT-LIGHT DETECTION UNIT
70... PHASE COMPARISON UNIT
80... DISPLACEMENT CALCULATION UNIT
100... DISPLACEMENT MEASUREMENT DEVICE

(57) Abstract: A displacement measurement device capable of enhancing precision for measuring distance and displacement is provided. A displacement measurement device (100) has: an intensity modulation unit (10) for generating a periodic signal; a light source (2) for outputting light on the basis of the periodic signal; an optical amplifier (20) for amplifying light from the light source (2); an optical system (3) for irradiating light from the optical amplifier (20) to a surface (5) of an object to be measured, and receiving the reflected light as incident light; a measurement-light detection unit (61) for detecting reflected light from the surface (5) of the object to be measured as measurement light; a phase comparison unit (70) for comparing the phase of the signal of the measurement light and the phase of the signal of a reference light; and a displacement calculation unit (80) for calculating the distance to the surface (5) of the object to be measured and the displacement thereof on the basis of the result of the phase comparison.

(57) 要約: 変位計測装置に関して、距離及び変位の計測の精度を向上できる技術を提供する。変位計測装置100は、周期信号を発生する強度変調部10と、周期信号に基づき光を出力する光源2と、光源2から

の光を増幅する光アンプ20と、光アンプ20からの光を計測対象面5に対して照射しその反射光を入射する光学系3と、計測対象面5からの反射光を計測光として検出する計測光検出部61と、計測光の信号の位相と参照光の信号の位相とを比較する位相比較部70と、位相の比較の結果に基づいて計測対象面5までの距離及びその変位を算出する変位算出部80とを有する。



WO 2014/156436 A1



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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：変位計測装置及び変位計測システム

技術分野

[0001] 本発明は、距離及び変位を計測する計測装置の技術に関する。また、本発明は、道路、トンネル、及び橋梁等の社会インフラの検査用の好適な計測装置に関する。

背景技術

[0002] 道路、トンネル、及び橋梁等の社会インフラの検査用に好適な計測装置として、半導体レーザ等の光源を用いて被計測物との距離及びその変位を計測する計測装置がある。

[0003] 上記計測装置に関する先行技術例として、特開平３－２６４８８６号公報（特許文献１）、特開２００４－３４７５８５号公報（特許文献２）が挙げられる。

[0004] 特許文献１は、光学式変位センサとして、発光部からの出力光を特定の周波数で輝度変調（強度変調とも呼ばれる）し、計測物体からの反射光の位相と参照光の位相との位相差から、計測物体までの距離及び変位を計測する装置について記載されている。

[0005] 特許文献２は、建築および土木構造物計測・解析システムとして、計測車に搭載し、移動距離、レーザ測距装置の方位角、俯仰角および被計測点までの距離を関連付けて記憶する、トンネル内壁面を計測するシステムについて記載されている。

[0006] また可変焦点レンズに関して、液体レンズ等の公知技術が挙げられる。液体レンズの例を記載している文献として、日本ロボット学会誌Vol.27 No.7, pp.739～748, 2009, [東大；光学系と画像処理系の速度を整合した高速フォーカスビジョン]（非特許文献１）がある。非特許文献１は、互いに混ざらない２液を開口部で接触させ、一方の液体の圧力を制御することで２液界面の曲率を変化させることにより、焦点の距離を可変とする液体レンズが記載さ

れている。この液体レンズの応答性は1 ms以下と高速である。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平3－264886号公報

特許文献2：特開2004－347585号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：日本ロボット学会誌Vol.27 No.7, pp.739～748, 2009, [東大；
光学系と画像処理系の速度を整合した高速フォーカスビジョン]

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 従来の変位計測装置は、距離及び変位の計測の精度に関する以下のような課題がある。特許文献1のレーザ測距装置である光学式変位センサは、被計測物からの反射光を計測する。そのため、被計測物がトンネル壁面である場合のように、被計測物からの反射光が散乱する場合は、検出光量が低下する。これにより、輝度変調の波形のSNR (Signal to noise ratio) が悪くなり、被計測物の距離及び変位に関する十分な精度が得られない。一般に、上記変位の計測の精度は、SNRに比例し、SNRは、光強度の平方根に比例する。特許文献1の例を含む、一般的な方式である輝度変調によるレーザ測距装置は、変位の計測の精度として、現状、最高でも2 mm程度である。

[0010] 被計測物が例えばトンネル壁面である場合、その変位として5～10 mm程度の変位を計測するための精度としては、0.5 mm程度が必要である。即ち、上記変位の計測の精度は、変位の1／10程度が必要である。例えば5 mmの変位の計測のためには、0.5 mmの精度が必要である。現状のレーザ測距装置等の変位計測装置は、上記5～10 mm程度の変位を計測するためには、精度的に不足する。

[0011] また、従来の変位計測装置は、変位計測装置のセンサ面と被計測物との距離の遠近に応じて測定の精度に影響するという課題がある。例えば被計測物

がトンネル壁面である場合、特許文献2の例のように、レーザ測距装置等の変位計測装置を搭載した移動車により走行しながらトンネル壁面の変位を計測する方式が挙げられる。特に、移動車は、トンネル内の片側の車線を走行しながら、移動車の進行方向に対して垂直な方向へレーザによる計測光を照射し、その反射光により、トンネル壁面までの距離及びその変位を計測する方式が挙げられる。上記方式の場合、計測にあたり、変位計測装置のセンサ面から、自車線側の壁面は近いが、反対車線側の壁面は遠い。これらの両壁面からの散乱角が一定だとすると、当該センサ面と壁面との距離が遠いほど、センサ面での反射散乱光の拡がりが大きくなる。これにより、センサ面で検出される光量が減少するため、距離及び変位の計測の精度が低下する。

[0012] また、従来の変位計測装置は、変位計測装置の振動等によるノイズの影響により計測の精度が低下するという課題がある。上記の方式の場合、移動車に変位計測装置を搭載して走行しながら計測する。そのため、移動車の振動により、計測データにノイズが重畳される。そのため、このノイズが重畳された計測データのままだでは、トンネル壁面などの変位量、特に小さな傷などを検出することは困難である。

[0013] 本発明の目的は、変位計測装置に関して、距離及び変位の計測の精度を向上できる技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明のうち代表的な実施の形態は、変位計測装置、及び変位計測システム、等であって、以下に示す構成を有することを特徴とする。

[0015] (1) 一実施の形態の変位計測装置は、周期信号に基づき強度変調された光を出力する光源部と、前記光源部からの光を増幅して出力する光アンプと、前記光アンプからの光を被計測物に対して照射しその反射光を入射する光学系と、前記被計測物からの反射光を計測光として検出する計測光検出部と、前記計測光の信号の位相と前記光アンプからの光に基づく参照光の信号の位相とを比較する位相比較部と、前記位相の比較の結果に基づいて前記被計測物までの距離及び前記被計測物の変位を算出する変位算出部と、を有する

。

[0016] (2) 前記光アンプは、前記光源部からの光を増幅するための光を出力する励起部と、前記光源部からの光と前記励起部からの光とを合波する合波部と、前記合波部からの光を増幅する光導波路と、を有する。例えば、前記光アンプは、2段以上の光アンプが直列に接続されている。

[0017] (3) 一実施の形態の変位計測装置において、前記光学系は、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して集光する集光レンズと、前記被計測物を前記計測光検出部に結像する、計測光検出レンズと、を含み、前記集光レンズまたは計測光検出レンズは、可変焦点レンズにより構成され、前記可変焦点レンズの焦点距離を制御する焦点制御部を有する。

[0018] (4) 前記光源部の出力する光の波長は、例えば、1000～1100 nmの範囲内にある第1波長、または、1500～1650 nmの範囲内にある第2波長であり、前記光アンプの前記励起部から出力する光の波長は、前記第1波長に対応させた980 nm付近の第1励起波長、または、前記第2波長に対応させた前記980 nm付近の第1励起波長もしくは1480 nm付近の第2励起波長である。

[0019] (5) 一実施の形態の変位計測システムは、被計測物までの距離及び当該被計測物の変位を計測する変位計測装置と、前記変位計測装置を搭載し、前記被計測物に対して移動する移動車と、前記移動車の位置または移動距離を計測する位置計測部と、を有する。前記変位計測装置は、周期信号に基づき強度変調された光を出力する光源部と、前記光源部からの光を増幅して出力する光アンプと、前記光アンプからの光を被計測物に対して照射しその反射光を入射する光学系と、前記光学系の後段に配置され、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して照射しその反射光を前記光学系へ入射する回転ミラー、及び前記回転ミラーの回転角度を検出する回転角度検出部と、前記被計測物からの反射光を計測光として検出する計測光検出部と、前記計測光の信号の位相と前記光アンプからの光に基づく参照光の信号の位相とを比較する位相比較部と、前記位相の比較の結果に基づいて前記被計測物までの距離

及び当該被計測物の変位を算出する変位算出部と、前記回転角度の情報、前記被計測物までの距離及び変位の情報、及び前記移動車の位置または移動距離の情報をを用いて、前記被計測物の３次元のプロファイルデータを作成するプロファイル作成部と、を有する。

[0020] (６) 前記変位計測システムは、前記移動車の加速度を計測する加速度計測部を有し、前記プロファイル作成部は、前記移動車の加速度の情報をを用いて、前記プロファイルデータにおける回転角度ごとの前記距離及び変位のデータを補正する。

[0021] (７) 前記変位計測装置は、計測日時ごとの前記被計測物の３次元のプロファイルデータを記憶する記憶部と、前記計測日時ごとのプロファイルデータを用いて、異なる計測日時のプロファイルデータの差分を演算し、当該差分と管理値とを比較し、当該比較の結果を出力する、差分演算部と、を有する。

[0022] (８) 前記光学系は、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して集光する集光レンズと、前記被計測物を前記計測光検出部に結像する、計測光検出レンズと、を含み、前記計測光検出レンズまたは集光レンズは、可変焦点レンズにより構成され、前記変位計測装置は、前記回転角度の情報をを用いて前記可変焦点レンズの焦点距離を制御する焦点制御部を有する。

発明の効果

[0023] 本発明のうち代表的な実施の形態によれば、変位計測装置に関して、距離及び変位の計測の精度を向上できる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]実施の形態１の変位計測装置を含む構成を示す図である。

[図2]実施の形態１の変位計測装置における、光アンプの構成を示す図である。

[図3]実施の形態１の変形例の変位計測装置の構成を示す図である。

[図4]実施の形態１の変位計測装置における、周期信号の例を示す図である。

[図5]実施の形態１の変位計測装置における、周期信号の周波数、光源の波長

、及び光アンプの波長などの設計例を示す図である。

[図6]実施の形態1の変位計測装置における、計測光の低周波信号及び高周波信号を示す図である。

[図7]実施の形態1の変位計測装置における、参照光の低周波信号及び高周波信号を示す図である。

[図8]実施の形態1の変位計測装置における、計測光の低周波信号と参照光の低周波信号との位相比較の例を示す図である。

[図9]従来の変位計測装置における、計測対象面の反射光が少ない場合の計測光の信号の例を示す図である。

[図10]実施の形態1の変位計測装置における、光アンプで20倍に増幅した場合の計測光の信号の例を示す図である。

[図11]実施の形態2の変位計測装置の構成を示す図である。

[図12]実施の形態3の変位計測装置の構成を示す図である。

[図13]実施の形態4の変位計測システムの構成を示す図である。

[図14]実施の形態4の変位計測システムの変位計測装置の構成を示す図である。

[図15]実施の形態4におけるトンネル壁面などの構成を示す図である。

[図16]実施の形態4における移動車とトンネル壁面との配置関係及び回転角度などの構成を示す図である。

[図17]実施の形態4における計測プロファイルの例を示す図である。

[図18]実施の形態4における3次元プロファイルのアライメントの例を示す図である。

[図19]実施の形態4における3次元プロファイルの差分演算の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお実施の形態を説明するための全図において同一部には原則として同一符号を付しその繰り返しの説明は省略する。

[0026] <実施の形態 1>

図 1 ～図 10 等を用いて、実施の形態 1 の変位計測装置 100 について説明する。実施の形態 1 の変位計測装置 100 は、光源 2 としてレーザダイオードを用いた、強度変調の方式による、レーザ測距装置に適用した形態を示す。実施の形態 1 の変位計測装置 100 は、光アンプ 20 を有するレーザ測距装置である。実施の形態 1 の変位計測装置 100 は、被計測物との距離及び被計測物の変位を計測可能であり、例えば道路、トンネル、及び橋梁等の社会インフラの検査用に好適に使用可能である。

[0027] [変位計測装置]

図 1 は、実施の形態 1 の変位計測装置 100 を含む構成を示す。図 1 は、被計測物である計測対象面 5 を含めて図示し、また実際の距離やサイズ等は捨象して図示している。なお説明上の方向及び座標系として、図 1 では X、Y を有する。X 方向において、変位計測装置 100 と計測対象面 5 との距離 D1、及び距離 D1 の差分である計測対象面 5 の変位 d1 ないし d2 を計測する例を示す。

[0028] 変位計測装置 100 は、強度変調部 10、光源 2、光ファイバ 25、光アンプ 20、光ファイバ 26、光学系 3、位相比較部 70、及び変位算出部 80 を有し、これらの各部がその順序で接続されている。

[0029] 強度変調部 10 は、強度変調の方式による周期信号を発生する部分であり、基本周波数発振器 11 と、低通倍変換器 12 と、高通倍変換器 13 と、を含む。基本周波数発振器 11 は、基本周波数の信号 s1 を発振し、当該信号 s1 は、低通倍変換器 12 及び高通倍変換器 13 に送られる。低通倍変換器 12 は、信号 s1 の周波数を低通倍に変換した、低周波数の周期信号である信号 s2 を出力する。高通倍変換器 13 は、信号 s1 の周波数を高通倍に変換した、高周波数の周期信号である信号 s3 を出力する。そして信号 s2 と信号 s3 とが合成された信号 s4 が光源 2 に入力される。

[0030] 光源 2 は、強度変調部 10 からの周期信号である信号 s4 を入力して、当該信号 s4 に基づく強度変調された光を光ファイバ 25 へ出力する。光ファ

イバ25は、光源2からの出力光の信号s5を伝播し、光アンプ20へ入力する。実施の形態1では、光源2は、レーザダイオードによる直接変調方式を用いる。レーザダイオードは、変調信号を入力し、変調光を出力する。なお光源2は、レーザダイオードに限らず、他の手段及び方式も適用可能である。

[0031] 光アンプ20は、光源2からの出力光を光ファイバ25から入力し、光アンプ20の内部で増幅した光を光ファイバ26へ出力する。光ファイバ26は、光アンプ20からの出力光である増幅光の信号s6を伝播する。光ファイバ25及び光ファイバ26は、コア、クラッド、及び保護被膜等から構成される。

[0032] 光アンプ20による増幅光の信号s6は、光ファイバ26を介して、光学系3に入射される。光学系3は、光アンプ20からの増幅光を、被計測物である計測対象面5に対して照射し、その反射光を入射する。光学系3は、コリメートレンズ31と、ビームスプリッタ32と、集光レンズ33と、計測光検出レンズ34と、参照光検出レンズ35と、計測光検出部61と、参照光検出部62と、を含む。

[0033] コリメートレンズ31は、光ファイバ26からの光a1を、平行状態に調整された光であるコリメート光a2にする。ビームスプリッタ32は、計測光と参照光とを分離する。集光レンズ33は、光学系3の出力光を計測対象面5に集光する。集光レンズ33は、コリメート光を、計測対象面5に集光する光a3にする。

[0034] 計測光検出レンズ34は、コリメート光を入射して計測光検出部61の点p3に集光する。計測光検出レンズ34は、被計測物である計測対象面5の点p2を、計測光検出部61の受光部である点p3に結像する。参照光検出レンズ35は、コリメート光を入射して参照光検出部62の受光部である点p4に集光する。参照光検出レンズ35は、光ファイバ26の出射点p0を参照光検出部62の点p4に結像する。計測光検出部61は、計測対象面5からの反射光を、計測光として受光及び検出する。参照光検出部62は、光

アンプ 20 からの光に基づく参照光を受光及び検出する。

[0035] なお変位計測装置 100 及び光学系 3 における光を出射して反射光を入射する部分を、説明上、センサ面ともいう。実施の形態 1 の場合、センサ面は、光学系 3 の集光レンズ 33 が相当する。なお被計測物との距離及び変位の計測及び算出にあたっては、その基準となる位置として、センサ面となる集光レンズ 33 の位置に限らず、補正の計算により、計測光検出部 61 等の位置とすることができる。

[0036] 光学系 3 における光の流れは以下である。光アンプ 20 からの増幅光の信号 s_6 は、光ファイバ 26 の端面の出射点 p_0 から X 方向への光 a_1 として拡散し、コリメートレンズ 31 に入射される。光 a_1 は、コリメートレンズ 31 により、コリメート光 a_2 となる。コリメート光 a_2 は、ビームスプリッタ 32 の点 p_1 付近に入射される。コリメート光 a_2 は、一部を除く成分が、ビームスプリッタ 32 を通過する。ビームスプリッタ 32 を通過したコリメート光は、集光レンズ 33 に入射され、集光レンズ 33 により集光されて出射される。集光レンズ 33 から出射された光 a_3 は、X 方向に存在する計測対象面 5 の点 p_2 に入射する。

[0037] 計測対象面 5 で反射された光は、再び集光レンズ 33 から光学系 3 に入射される。集光レンズ 33 に入射された光は、コリメート光になり、再びビームスプリッタ 32 の点 p_1 付近に入射され、Y 方向上側へ反射される。当該反射光は、計測光検出レンズ 34 で集光された後、計測光検出部 61 の点 p_3 に入射され、計測光として検出される。

[0038] 一方、光 a_1 に基づくコリメート光 a_2 の一部の成分は、ビームスプリッタ 32 で Y 方向下側へ反射されることにより分離される。当該反射光は、参照光検出レンズ 35 で集光された後、参照光検出部 62 の点 p_4 に入射され、参照光として検出される。

[0039] 位相比較部 70 は、計測光検出部 61 から出力された計測光の信号 s_{11} と、参照光検出部 62 から出力された参照光の信号 s_{12} とを入力する。位相比較部 70 は、計測光検出部 61 からの信号 s_{11} 、及び参照光検出部 6

2からの信号s 1 2を周波数分離する。即ち、これらの信号は、比較のため、高周波の信号と低周波の信号とに分離される。位相比較部7 0は、計測光検出部6 1からの信号s 1 1を周波数分離する分離部7 1と、参照光検出部6 2からの信号s 1 2を周波数分離する分離部7 2と、各分離後の信号を入力して位相比較する位相比較器と、を含む。位相比較部7 0は、計測光の信号s 1 1の位相と、参照光の信号s 1 2の位相とを比較して当該比較結果の信号s 1 3を出力する。

[0040] 変位算出部8 0は、位相比較部7 0からの信号s 1 3を入力し、この位相比較結果に基づいて、計測対象面5までの距離D 1及び計測対象面5の変位d 1ないしd 2を算出し、当該算出結果を信号s 1 4として出力する。

[0041] [光アンプ]

図2は、光アンプ2 0の構成例を示す。光アンプ2 0は、光ファイバ2 5、励起レーザダイオード2 1、光ファイバ2 2、合波器2 3、ドープファイバ2 4、及び光ファイバ2 6を有する。合波器2 3は、光ファイバ2 5と、励起レーザダイオード2 1に接続される光ファイバ2 2とが入力側に接続され、出力側にドープファイバ2 4が接続されている。ドープファイバ2 4の出力側に光ファイバ2 6が接続されている。

[0042] 光源2であるレーザダイオードからの出射光の信号s 5は、光ファイバ2 5を介して伝搬され、光アンプ2 0に入射する。光ファイバ2 5からの信号は、合波器2 3に入射する。また励起レーザダイオード2 1から出射する光は、光ファイバ2 2を介して伝搬され、合波器2 3に入射する。合波器2 3は、光源2であるレーザダイオードからの光と、励起レーザダイオード2 1からの光とを合波した光を、ドープファイバ2 4へ入射する。

[0043] ドープファイバ2 4は、希土類の成分がドープされた光ファイバであり、光の増幅のための光導波路を構成する。実施の形態1では、ドープファイバ2 4は、イッテルビウム(Y b)がドープされた光ファイバ、または、エルビウム(E r)がドープされた光ファイバを用いる。

[0044] 光アンプ2 0は、所定の増幅率を得るために、光源2からの光をドープ

ファイバ 24 に通し、増幅用の励起レーザダイオード 21 によって励起する。励起レーザダイオード 21 は、ドープファイバ 24 におけるドープされた元素のイオンを励起することにより、光源 2 であるレーザダイオードからの光を増幅する。

[0045] この結果、図 2 の構成の光アンプ 20 で得られる増幅率は、10 倍程度である。また、光アンプ 20 を 2 段直列に繋ぐ構成により、20 倍の増幅率を得ることができる。同様に、光アンプ 20 を 3 段以上接続する構成により、30 倍以上の大きな増幅率を得る構成が可能である。

[0046] 図 3 は、実施の形態 1 の変形例の変位計測装置 100 において、2 つの光アンプ 20 である光アンプ 20A と光アンプ 20B とを光ファイバ 27 で接続した構成を示す。これにより、光源 2 からの光を 20 倍の増幅率で光学系 3 へ出射することができる。なお図 3 の構成に限らず、光源 2 と光学系 3 との間に 2 段以上の光アンプ 20 を直列に接続した構成が可能である。

[0047] [精度等の設計]

実施の形態 1 の変位計測装置 100 における、変位の計測の精度、強度変調の信号の周波数、光源 2 の光量、波長、及び光アンプ 20 の増幅率、等の設計について説明する。

[0048] 図 4 は、実施の形態 1 における、強度変調部 10 により発生する周期信号の例を示す。横軸は時間、縦軸は信号強度ないし位相を示す。上側に示す信号 401 は、低通倍変換器 12 で発生する信号 s2 に対応した低周波数の低周波信号を示す。下側に示す周期信号 402 は、高通倍変換器 13 で発生する信号 s3 に対応した高周波信号を示す。

[0049] 本実施の形態では、周波数の設計として、低周波信号である信号 401 は 15 MHz、高周波信号である信号 402 は 300 MHz である。低周波信号である信号 401 と、高周波信号である信号 402 とは合波される。当該合波された信号 s4 は、光源 2 であるレーザダイオードに電流または電圧信号として入力される。

[0050] 図 5 は、実施の形態 1 における、光源 2 の波長、及び光アンプ 20 の励起

レーザダイオード21の波長の設計を示す。強度変調部10の周期信号の周波数や、光源2であるレーザダイオードの出力光の波長などは、光アンプ20の励起レーザダイオード21の出力光の波長、及びドープファイバ24による増幅の特性などに合わせて設計される。

[0051] 光源2であるレーザダイオードは、連続波として、第1波長が例えば1060nm、または第2波長が1550nmである、連続波を出射する。その連続波の強度は、図4の低周波の信号401および高周波の信号402に応じて変化する。

[0052] 実施の形態1の変位計測装置100は、光アンプ20により10倍～20倍の増幅率を得る。実施の形態1は、10倍の増幅率とする場合は図1の構成とし、20倍の増幅率とする場合は図3の構成とする。光アンプ20において、10倍～20倍の増幅率を得るために、ドープファイバ24として、YbドープファイバやErドープファイバを用いる。

[0053] Ybドープファイバを用いる場合、それに対応させた光源2の出力光の波長は、第1波長である1000～1100nm、例えば1060nmに設計される。Erドープファイバを用いる場合、それに対応させた光源2の出力光の波長は、第2波長である1500～1650nm、例えば1550nmに設計される。

[0054] 光アンプ20において、光源2であるレーザダイオードの波長が、第1波長である1000～1100nmである場合、励起レーザダイオード21の光の波長は、第1励起波長として980nm付近（980±5nm程度）が選択される。また、光源2であるレーザダイオードの波長が、第2波長である1500～1650nmである場合、励起レーザダイオード21の光の波長は、第2励起波長として980nm付近または1480nm付近（1480±5nm程度）が選択される。

[0055] [計測光の信号及び参照光の信号]

図6は、計測光検出部61で検出した計測光の信号s11における、位相比較部70内での周波数分離後の低周波信号601及び高周波信号602を

図4と同様に示す。計測日時に対応したある時間 t_1 において、低周波信号 601 における信号強度ないし位相を示す点 601 a と、高周波信号 602 における信号強度ないし位相を示す点 602 a と、を示す。

[0056] 図7は、参照光検出部62で検出した参照光の信号 s_{12} における、位相比較部70内での周波数分離後の低周波信号701及び高周波信号702を図4と同様に示す。図6と同じ計測日時に対応したある時間 t_1 において、低周波信号701における信号強度ないし位相を示す点701 a と、高周波信号702における信号強度ないし位相を示す点702 a と、を示す。

[0057] [位相比較]

位相比較部70は、図6の計測光の信号と図7の参照光の信号とにおける同じ時間での位相を比較し、当該位相差を検出する。この際、位相比較部70は、低周波信号同士、及び高周波信号同士で位相を比較する。

[0058] 図8は、位相比較例を示す。位相比較部70は、例えば時間 t_1 において、図6の計測光の低周波信号601の点601 a と、図7の参照光の低周波信号701の点701 a との位相差を検出する。

[0059] [変位算出]

変位算出部80は、上記位相差に基づき、計測対象面5までの距離 D_1 及び変位 d_1 、 d_2 を算出する。ここで、変位計測装置100のセンサ面から計測対象面5までの距離を L とし、強度変調の信号の波長を λ 、波数を n とする。一般に、 $n = 2L / \lambda$ (式1) の関係がある。また、計測の精度に相当する距離誤差を ΔL 、位相比較の精度に相当する位相検出誤差を Δn とする。式1、距離誤差 ΔL 、及び位相検出誤差 Δn から、必要な波長 λ は、 $\lambda = 2\Delta L / \Delta n$ (式2) で決まる。

[0060] 位相比較部70の位相比較の精度は、一般的に $1 / 1000$ 程度である。即ち $\Delta n = 1 / 1000$ とする。実施の形態1の変位計測装置100において計測に必要な精度を、例えばトンネル壁面の変位の計測に必要な精度に合わせて、 0.5 mm とする。即ち $\Delta L = 0.5\text{ mm}$ とする。 0.5 mm の精度を得るための波長 λ は、式2から、 $\lambda = 2 \times 0.5\text{ mm} / (1 / 1000)$

) = 1 0 0 0 m m = 1 m となる。波長 λ を周波数 f に換算するには、光速 c として $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ を用いると、 $f = c / \lambda$ (式 3) である。式 3 から、 $f = 300 \text{ MHz}$ となる。この周波数 $f = 300 \text{ MHz}$ を、前述の強度変調部 10 の高周波の信号 s_3 の周波数とする。

[0061] 一方、計測対象面 5 までの距離 L を、例えばトンネル壁面の計測時の距離を想定して、最大 20 m とする。すると、強度変調の信号の波長 λ は、 $\lambda = 20 \text{ m}$ となる。この波長 λ に対応する周波数 f は、式 3 から、 $f = 15 \text{ MHz}$ となる。この周波数 $f = 15 \text{ MHz}$ を、前述の強度変調部 10 の低周波の信号 s_2 の周波数とする。

[0062] [計測光のノイズ]

図 9 は、従来例の変位計測装置における、計測対象面の反射光が少ない場合の計測光の信号 901 を示す。この計測光の信号 901 は、図示するようにショットノイズが大きく重畳されている。そのため、従来例の変位計測装置は、この計測光の信号 901 を用いた場合、高精度の位相検出は困難である。

[0063] 一方、図 10 は、実施の形態 1 の変位計測装置 100 における、特に図 3 の 2 段の光アンプ 20 の構成による、増幅率が 20 倍の場合の、計測光検出部 61 による計測光の信号 1001 を示す。この計測光の信号 1001 は、図示するように、図 9 の計測光の信号 901 に比べて、ノイズが減っている。即ち、実施の形態 1 によれば、位相検出の精度が向上することが分かる。

[0064] [効果等]

以上のように、実施の形態 1 及びその変形例によれば、光アンプ 20 を導入する構成により、高精度なレーザ距離計測が実現できる。対象物の高頻度の検査及び高精度の計測のためには、変位計測の方式として、上述のレーザダイオード等の光源を用いた、強度変調及び位相比較による方式が有効な候補となる。従来のこの方式の変位計測装置は、例えばトンネル壁面等の変位計測のために必要な精度である 0.5 mm の精度は得られなかった。一方、実施の形態 1 によれば、光アンプ 20 による光量の増加の結果、検出される

強度変調の信号の波形のS N Rが向上し、例えば従来の4倍の精度である0.5mmの精度が達成できる。

[0065] なお実施の形態1では、強度変調部10からの低周波信号401(s2)及び高周波信号402(s3)を光源2であるレーザダイオードに加えることにより、光源2の出射光を強度変調させた。強度変調の方式は、上記に限らず可能である。例えば、光源2であるレーザダイオードの出射光を、公知技術である音響光学変調器(Acoust Optical Modulators)や電気光学変調器(Electro-Optic Modulators)に入射させ、これらの変調器に低周波信号401及び高周波信号402を加えることにより強度変調させてもよい。即ち、実施の形態1の変形例として、光源2と光アンプ20との間に上記変調器を含む強度変調部を設ける形態が可能である。

[0066] <実施の形態2>

図11を用いて、実施の形態2の変位計測装置について説明する。実施の形態2の変位計測装置は、可変焦点レンズを導入したレーザ距離計測装置を示す。特に実施の形態2では、前述の図1の計測光検出レンズ34の箇所を、可変焦点レンズ37で置き換えた構成を有する。

[0067] 図11は、実施の形態2の変位計測装置100を含む構成を示す。実施の形態2の変位計測装置100は、実施の形態1に対して異なる要素として、光学系3内の可変焦点レンズ37、焦点制御部170、焦点制御量記憶部171等を有する。

[0068] 実施の形態2では、被計測物である計測対象面5までの距離の変化に柔軟に対応できるようにするために、変位計測装置100のセンサ面と計測対象面5とを結像関係におくと共に、光学系3の構成要素として、可変焦点レンズ37を用いる。可変焦点レンズ37は、計測対象面5からの反射光を、計測光検出部61の点p3に結像する。

[0069] 可変焦点レンズ37は、焦点制御部170からの制御に基づき、焦点の距離を高速に変えられるレンズである。可変焦点レンズ37として、例えば液体レンズを用いる。液体レンズの詳細については前述の非特許文献1等に記

載されている。

[0070] 変位計測装置 100 は、例えば被計測物の移動あるいは変位計測装置 100 自体の移動による、計測対象面 5 までの距離 D_1 の変化に対応させて、上記可変焦点レンズ 37 の焦点距離を可変させる。

[0071] 図 11 では、X 方向における計測対象面 5 の位置の変動を、距離 D_2 、 D_3 で示している。なおこの距離 D_2 、 D_3 は図 1 の変位 d_1 、 d_2 とは異なる。図 1 と同様の計測対象面 5 までの距離 D_1 を基準とする。計測対象面 5 1 は、基準の距離 D_1 の位置から、X 方向の手前側に距離 D_2 の分近い位置に移動した場合を示す。同様に、計測対象面 5 2 は、基準の距離 D_1 の位置から、X 方向の奥側に距離 D_3 の分遠い位置に移動した場合を示す。例えば、計測対象面 5 がトンネル壁面である場合、トンネル内での変位計測装置 100 の位置に応じて、トンネル壁面までの距離は変化する。

[0072] 焦点制御部 170 は、可変焦点レンズ 37、計測光検出部 61、及び焦点制御量記憶部 171 に接続される。焦点制御部 170 は、可変焦点レンズ 37 に電圧または電流による信号を印加する。これにより可変焦点レンズ 37 の焦点距離が制御される。a51 は、計測対象面 5 1 の点 p2a に焦点が結像されたときの光を示す。a52 は、計測対象面 5 2 の点 p2b に焦点が結像されたときの光を示す。

[0073] 焦点制御量記憶部 171 は、上記焦点制御のための制御量を記憶する。この制御量は、例えば、変位計測装置 100 のセンサ面と計測対象面 5 との距離と、上記焦点制御のための制御量としての電圧または電流値との対応関係の情報を含む。

[0074] なお上記焦点制御量は、予め変位計測装置 100 の焦点制御量記憶部 171 に設定されていてもよいし、焦点制御部 170 及び焦点制御量記憶部 171 に対するユーザによる設定を可能としてもよい。またユーザの必要に応じてユーザの手動操作により焦点制御部 170 を通じて可変焦点レンズ 37 の焦点距離を調整できる。

[0075] 変位計測装置 100 は、計測対象面 5 の位置が図 11 の例のように変動す

る場合、それに対応させて、焦点制御部 170 により可変焦点レンズ 37 の焦点距離を変更させる。この可変焦点レンズ 37 の焦点距離により、計測光検出部 61 の点 p 3 に計測対象面が結像されるようにする。こうして可変焦点レンズ 37 の焦点距離を制御することにより、計測光検出部 61 において常に十分な反射光による計測光を受光することができる。これにより当該計測光を用いた距離及び変位の計測の精度を高くできる。

[0076] 上記のように、実施の形態 2 によれば、可変焦点レンズ 37 を含む構成により、計測の状況として、変位計測装置 100 のセンサ面と計測対象面 5 との距離がある程度変化する場合にも、前述の反射散乱光等によるセンサ面の検出光量の変動を低減できる。よって、実施の形態 2 によれば、上記のように距離がある程度変化する場合にも、柔軟に対応でき、計測の精度を安定に保つことができる。

[0077] <実施の形態 3>

図 12 を用いて、実施の形態 3 の変位計測装置について説明する。実施の形態 3 の変位計測装置は、実施の形態 2 と同様に、可変焦点レンズを導入したレーザ距離計測装置を示す。特に実施の形態 3 では、前述の図 1 の集光レンズ 33 の箇所を、可変焦点レンズ 38 で置き換えた構成を有する。

[0078] 図 12 は、実施の形態 3 の変位計測装置 100 を含む構成を示す。実施の形態 3 の変位計測装置 100 は、実施の形態 1 に対して異なる要素として、光学系 3 内の可変焦点レンズ 38、焦点制御部 170、焦点制御量記憶部 171 等を有する。

[0079] 実施の形態 3 の変位計測装置 100 は、集光レンズ 33 を可変焦点レンズ 38 にした構成により、計測対象面 5 からの反射光を計測光検出部 61 の点 p 3 に結像するだけでなく、計測対象面 5 への照射光についても、計測対象面 5 の位置の変化に応じて集光させることができる。よって、実施の形態 3 は、計測光検出部 61 における計測光の検出量を更に増加させることができる。従って、実施の形態 3 は、レーザ距離計測の精度を更に向上させることができる。

[0080] <実施の形態４＞

図１３～図１９等を用いて、実施の形態４の変位計測システム３００について説明する。実施の形態４の変位計測システム３００は、移動車２００に変位計測装置１００であるレーザ測距装置を搭載することにより構成される、プロファイル計測システムの構成を示す。実施の形態４の変位計測システム３００を構成する変位計測装置１００は、前述の実施の形態２の変位計測装置１００のすべての構成要素及び機能と、実施の形態４に特有の構成要素及び機能とを備える。即ち、実施の形態４は、前述の光アンプ２０、可変焦点レンズ３７、及び変位算出部８０などを備えている。

[0081] また実施の形態４は、被計測物である計測対象面５の例としてトンネル壁面５０とし、移動車２００により走行しながらこのトンネル壁面５０の変位を計測する例を説明する。実施の形態４の変位計測システム３００は、プロファイル計測システムとして、トンネル壁面５０のプロファイルを計測する機能を有する。このプロファイルは、３次元空間内での距離及び変位の計測によるトンネル壁面５０の形状を示すプロファイルである。また、このプロファイルは、計測日時に応じた時間軸上のトンネル壁面５０の形状の変化を含むプロファイルである。

[0082] [変位計測システム]

図１３は、実施の形態４の変位計測システム３００の概要構成を示す。実施の形態４の変位計測システム３００は、移動車２００と、移動車２００に搭載される変位計測装置１００とを有する。移動車２００は、位置計測部２０１、加速度センサ２０２を有する。移動車２００は地面９上を例えばＺ方向に走行する。図１３は、被計測物である計測対象面としてトンネル壁面５０を有し、移動車２００及び変位計測装置１００のＹ方向上側に図示している。なお説明上の方向及び座標系として、Ｘ、Ｙ、Ｚを示す。移動車２００の進行方向をＺ方向とし、Ｚ方向に対して垂直な面を構成する方向をＸ方向及びＹ方向とする。Ｘ方向は地面９に対して水平方向、Ｙ方向は地面９に対して垂直方向とする。

[0083] 移動車 200 は、被計測物であるトンネル壁面 50 に対して Z 方向で移動する。移動車 200 は、例えば車体上面に変位計測装置 100 を搭載する。位置計測部 201 は、移動車 200 の位置または走行距離を計測する部分であり、例えば移動車 200 の車輪の回転数をもとに走行距離を算出する走行距離センサ等である。位置計測部 201 は、少なくとも、移動車 200 の Z 方向の位置または走行距離を計測する。位置計測部 201 で計測した位置または走行距離の情報は、信号 s 31 として、プロファイル算出部 130 に送られる。加速度センサ 202 は、移動車 200 の加速度 (α とする) を、時間軸及び X, Y, Z の 3 次元空間内の加速度 α として計測する。加速度センサ 202 で計測した加速度 α の情報は、信号 s 32 として、補正演算部 120 に送られる。

[0084] 変位計測装置 100 は、前述の実施の形態 2 と同様の要素に加え、回転ミラー 36、駆動系 41、ロータリエンコーダ 42、制御部 110、補正演算部 120、プロファイル算出部 130、差分演算部 140、出力部 150、及び記憶部 160 等を有する。

[0085] 回転ミラー 36 は、光学系 3 と計測対象面であるトンネル壁面 50 との間の位置、特に光学系 3 の集光レンズ 33 の後段である Z 方向前方の位置に配置されている。回転ミラー 36 は、光学系 3 の集光レンズ 33 から出射された光 a 3 を点 p 6 付近に入射し、YZ 平面における点 p 6 を含む 45 度のミラーの面において、Y 方向へ反射する。図 13 の状態では、回転ミラー 36 に入射された光 a 3 は、Y 方向上側へ反射され、当該反射された光 a 6 は、トンネル壁面 50 の点 p 7 に照射される。トンネル壁面 50 の点 p 7 で反射された光は、再び回転ミラー 36 で反射され、Z 方向の光となり、光学系 3 の集光レンズ 33 に入射される。

[0086] 駆動系 41 は、回転ミラー 36 を Z 軸の周りに回転させる駆動を行う。この回転の角度を θ とする。この回転は、 360° の回転を一定の角速度で継続する。回転ミラー 36 の 360° の回転により、計測対象面であるトンネル壁面 50 への集光光である光 a 6 は、XY 平面内で 360° 度回転される。

回転ミラー 36 の回転により、トンネル壁面 50 に光が照射される点の軌跡は、XY 平面内での軌跡となる。更に移動車 200 の Z 方向への移動により、上記被計測物への照射光の点の軌跡は、X、Y、Z の 3 次元空間内の軌跡となる。なお上記の回転は、回転ミラー 36 及び駆動系 41 の構成に応じて、Z 方向に垂直な XY 平面内での角度 θ の回転に限らずに同様に可能である。

[0087] 駆動系 41 は、ロータリエンコーダ 42 が設置されている。ロータリエンコーダ 42 は、回転角度検出部であり、回転ミラー 36 の回転角度 θ を計測及び検出し、その回転角度 θ の信号 s 41 及び信号 s 42 を出力する。一方の信号 s 41 は、前述の焦点制御部 170 に入力される。他方の信号 s 42 は、補正演算部 120 に入力される。

[0088] 焦点制御部 170 は、信号 s 41 の回転角度 θ の情報、及び焦点制御量記憶部 171 の情報を用いて、光学系 3 内の可変焦点レンズ 37 の焦点距離を前述のように制御する。焦点制御部 170 は、焦点制御量記憶部 171 から読み出す情報における、その時の回転角度 θ の状態に関係付けられた焦点制御量を用いて、焦点可変レンズ 37 の焦点距離を制御する。実施の形態 4 の場合、焦点制御量として、回転ミラー 36 の回転角度 θ と焦点制御量との対応関係の情報を用いることができる。これにより、回転ミラー 36 の回転角度 θ の状態に応じて自動的に可変焦点レンズ 37 の焦点距離が制御され、計測対象面であるトンネル壁面 50 に焦点が追従できる。

[0089] [変位計測装置]

図 14 は、図 13 の実施の形態 4 の変位計測システム 300 に備える変位計測装置 100 の内部の構成を主に示す。まず前述の変位算出部 80 は、変位計測装置 100 と計測対象面であるトンネル壁面 50 との距離及びその変位を算出し、その結果の信号 s 14 を補正演算部 120 に出力する。また、変位算出部 80 で得られた距離及び変位の情報は、変位データ 91 として、記憶部 160 内に保存される。

[0090] 制御部 110 は、変位計測システム 300 の全体を制御する部分であり、

例えば公知のCPU、RAM、ROM、入力デバイス、出力デバイス、通信インタフェース、バス、及び電源部、等を含む構成を有する。また、制御部110は、ユーザの操作による設定入力を受け付ける。例えば、制御部110は、ユーザの操作に基づき、記憶部160に保存されている各データを出力する機能を有する。

[0091] 記憶部160は、変位データ91、補正值データ92、3次元プロファイルデータ93、差分データ94、等の各データを記憶する。またこれらの各データは、異なる計測日時に対応した、時間軸上の計測日時ごとのデータである時系列データとして整理されて保存される。

[0092] 補正演算部120及びプロファイル算出部130は、回転角度 θ の情報、被計測物までの距離及び変位の情報、及び移動車200の位置または移動距離の情報をを用いて、被計測物の3次元のプロファイルデータを作成する。

[0093] 補正演算部120は、変位算出部80による距離及び変位の情報を含む信号s14または記憶部160の変位データ91を入力する。ここでは補正演算部120は、変位データ91を用いて処理を行うとする。補正演算部120は、変位データ91と、信号s42による回転角度 θ の情報と、信号s32による加速度 α の情報とを用いて、被計測物であるトンネル壁面50に関する計測データの補正值を算出する。補正演算部120は、この結果である補正後の計測データの情報を含む信号s21を、プロファイル算出部130へ出力する。また、補正演算部120は、この結果である補正值データ92を、記憶部160に保存する。補正值データ92は、回転角度 θ の情報と、その回転角度 θ のときの被計測物であるトンネル壁面50までの距離及び変位の情報とを含む。

[0094] 補正演算部120は、特に、移動車200の加速度 α の情報を用いて、各計測時点のトンネル壁面50との距離及び変位のデータを補正する。これにより、移動車200の走行時の振動によるノイズないし誤差の影響を低減する。この結果、得られる補正值データ92は、各計測時点の変位のずれが少ないデータとなる。この補正の例については後述する。なお上記加速度 α の

情報を用いた距離及び変位の計測データの補正の処理を、プロファイル算出部 130 でまとめて行うようにしてもよい。

[0095] プロファイル算出部 130 は、位置計測部 201 からの移動車 200 の位置の情報を含む信号 s 31 を用いて、補正演算部 120 による上記補正後の計測データの情報を含む信号 s 21、または記憶部 160 の補正值データ 92 を補正する処理を行う。ここでは補正值データ 92 を用いて処理を行うとする。補正值データ 92 は、XY 平面内の回転角度 θ と被計測物までの距離及び変位の情報は含まれているが、Z 方向の位置の情報は反映されていない。プロファイル算出部 130 は、補正值データ 92 に Z 方向の位置の情報を反映するように補正する処理を行う。プロファイル算出部 130 は、この補正の結果を、3次元プロファイルの情報を含む信号 s 22 として、差分演算部 140 へ出力する。また、プロファイル算出部 130 は、この補正の結果を、3次元プロファイルデータ 93 として、記憶部 160 に保存する。上記補正後のデータは、X、Y、Z の 3次元空間内での被計測物の照射光の点の軌跡を示す 3次元プロファイルデータとなる。

[0096] 差分演算部 140 は、プロファイル算出部 130 からの 3次元プロファイルの情報を含む信号 s 22、または記憶部 160 に記憶されている各計測日時の 3次元プロファイルデータ 93 等を読み出し、差分演算による比較判定処理を行う。差分演算部 140 は、時間軸上の異なる計測日時の 3次元プロファイルデータ 93 における、同じ 3次元空間の位置に関する差分を算出する。差分演算部 140 は、例えば、現在の計測時点の 3次元プロファイルデータ 93 のうちのある位置での距離及び変位のデータと、過去の 3次元プロファイルデータ 93 のうちの同じ位置での距離及び変位のデータとを比較し、差分を算出する。

[0097] 差分演算部 140 は、上記差分を、所定の管理値と比較する。これにより、差分演算部 140 は、3次元空間内の同じ位置における計測データの変動を判定する。差分演算部 140 は、差分と管理値との比較の結果を含む信号 s 23 を出力部 150 へ出力する。また、差分演算部 140 は、差分と管理

値との比較の結果を差分データ 94 として記憶部 160 に保存する。

[0098] 出力部 150 は、上記差分演算部 140 による信号 s 23 または差分データ 94 を用いて、上記差分が管理値以上である場合、当該情報またはアラームを外部及びユーザに対して出力する。管理値は、例えば予め変位計測装置 100 の差分演算部 140 等に設定されている。あるいは、制御部 110 に対するユーザの設定操作により、被計測物などに応じて管理値が設定可能となっている。

[0099] なお実施の形態 4 の各部の構成は、上記構成に限らず、補正演算部 120 とプロファイル算出部 130 とを 1 つに統合した構成や、差分演算部 140 と出力部 150 とを 1 つに統合した構成なども可能である。

[0100] [トンネル壁面]

図 15 は、X、Y、Z の 3 次元空間における被計測物及び計測対象面であるトンネル壁面 50 の形状、及びトンネル壁面 50 への照射光の軌跡などの例を示す。このトンネル壁面 50 の XY 断面の形状は、半円弧形状である。X、Y、Z の 3 次元空間における、XY 平面での回転ミラー 36 の回転角度 θ の 360° の回転、及び移動車 200 の Z 方向への移動による、トンネル壁面 50 への照射光の軌跡は、Z 方向への螺旋形状となる。

[0101] 図 15 の例では、上記回転に基づく計測の際、まずトンネル右側壁の下端の点 Q0 から光の照射が開始される。1501 は、トンネルの半円弧形状の照射光の軌跡、及び当該軌跡に対応した 3 次元プロファイルを示す。軌跡 1501 において、点 Q0 から、トンネル上部の点 Q1 を経て、図示しないトンネル左側壁の下端の点まで光の照射がされる。これにより、軌跡 1501 に対応した 3 次元プロファイルが 3 次元プロファイルデータ 93 として得られる。この 3 次元プロファイルは、計測時点に対応した回転角度 θ の情報と、その計測時点の回転角度 θ に対応したトンネル壁面 50 までの距離及び変位の情報と、それに関係付けられた移動車 200 の Z 方向の位置の情報とを有する。

[0102] 続いて、トンネル左側壁の下端の点から回転角度 θ の回転が継続し、図 1

5では省略しているが地面9の部分についても光の照射及び計測がされる。そして光の照射は、Z方向に1単位分進んだ、トンネル右側壁の下端の点Q3へ至る。続いて、トンネル右側壁の下端の点Q3から、同様に軌跡1502で示す光の照射がされ、対応する3次元プロファイルが得られる。以後同様に、軌跡1503のように、Z方向へ繰り返して計測がされる。

[0103] [配置関係及び回転角度]

図16は、上記トンネル壁面50のプロファイルを計測する際の、トンネル壁面50と移動車200及び変位計測装置100との配置の関係や、回転角度 θ の構成例などを示す。トンネル壁面50は、地面9上におけるXY断面において半円弧形状である。点P0は半円弧の中心点を示す。点T0は、図15の点Q0と対応するトンネル右側壁の下端を示し、点T1は、図15の点Q1と対応するトンネル上部を示し、点T2は、トンネル左側壁の下端を示す。

[0104] 図16では、トンネル内部における移動車200の位置として、点P0で示す道路の中央線から左側の車線内のXaの位置に、移動車200及びそれに搭載された変位計測装置100が配置されている。移動車200は、図示の奥方向であるZ方向へ走行する。C1は、変位計測装置100の計測及び照射の起点である回転ミラー36の位置を示す。位置C1は、地面9上のXY平面内の位置として、(Xa, Ya)で示される。

[0105] 位置C1における回転ミラー36の回転角度 θ は、例えばXY平面においてZ軸左回りに360°の回転を一定の角速度で繰り返す。回転角度 θ における回転の開始の角度及び位置を、例えば位置C1に水平なY方向の位置Yaに対応した、1611で示す角度 θ_1 、及び角度 θ_1 に対応したトンネル壁面50の点Taとする。回転ミラー36は、角度 θ_1 の点Taから光の照射を開始し、Z軸左回りに回転する。トンネル右側壁の面が照射される。例えば1612で示す角度 θ_2 の位置では、トンネル右側壁の点Tbに光が照射されている。更に、回転ミラー36は、回転を続け、トンネル上部の点T1を経由し、トンネル左側壁の面が照射され、1613で示す角度 θ_3 の位

置に対応したトンネル左側壁の下端の点T2まで照射される。

[0106] 続いて、回転ミラー36は、角度 θ_3 からの回転により、地面9上が照射され、1610で示す角度 θ_0 の位置に対応するトンネル右側壁の下端の点T0へ至る。続いて、回転ミラー36は、角度 θ_0 からの回転により、トンネル右側壁が照射され、上記1611で示す角度 θ_1 、及び点Taへ至る。以後同様に、回転角度 θ の 360° の回転が継続される。

[0107] 上記のように、回転角度 θ の 360° の回転による光の照射の範囲は、角度 θ_0 から角度 θ_3 までの、地面9上のトンネル壁面50が照射される範囲1601を含む。実施の形態4の変位計測システム300は、上記の地面9上の範囲1601を、少なくとも、計測の対象とする。変位計測システム300は、当該範囲1601のトンネル壁面50との距離及び変位を計測した結果による、変位データ91、補正值データ92、3次元プロファイルデータ93、及び差分データ94を活用する。

[0108] また、回転角度 θ の回転の範囲は、角度 θ_3 から角度 θ_0 までの、地面9が照射される範囲1602を有する。変位計測システム300は、この範囲1602を、計測及びデータ活用の対象としてもよいし、しなくてもよい。

[0109] [プロファイル]

図17は、図16に対応した、実施の形態4の変位計測装置システム300により計測された補正值データ92の例を示す。まずプロファイル1700は、図16のトンネル壁面50に対応した実際のプロファイル、即ちXY平面での半円弧の形状を示す。計測プロファイル1701は、図16のトンネル壁面50を対象として変位計測装置100の変位算出部80及び補正演算部120により計測したプロファイルであり、前述の補正を行う前の補正值データ92に相当する。

[0110] 計測プロファイル1701は、各計測時点及び回転角度 θ に対応した、計測起点の位置C1と計測対象面との距離を示す点の集まりで示される。なお図17の計測プロファイル1701は、Z方向の情報は省略したXY平面での2次元のプロファイルとして示している。またこの補正前の計測プロファ

イル 1701 は、移動車 200 の振動や位相比較部 70 の位相比較誤差などの影響によって、実際のプロファイル 1700 に対して誤差ないしノイズを含んだ形状となっている。

[0111] そこで、前述のように、補正演算部 120 により変位データ 91 を用いて補正值データ 92 を算出する際に、移動車 200 の加速度 α の情報を用いて、計測プロファイル 1701 の個々の計測時点のデータを補正する処理を行う。1711 は、計測プロファイル 1701 における個々の計測時点及び回転角度 θ における距離及び変位の計測データの例として、点 T0 に対応した計測データの例を示す。これらの各点の計測データは、移動車 200 の振動等に起因する図示する誤差 ΔX , ΔY , ΔZ を有する。なお以下の説明では、点 T0 を、計測の起点の位置及び時点として説明する。

[0112] 前述の移動車 200 の加速度センサ 202 により、計測プロファイル 1701 の各計測時点の計測データに対応した、X, Y, Z の各方向の加速度 α である、 $\alpha X(t)$, $\alpha Y(t)$, $\alpha Z(t)$ を信号 s32 として検出する。t は、計測プロファイル 1701 の各計測時点を示し、起点の点 T0 からの経過時間を示す。

[0113] 補正演算部 120 は、上記計測プロファイル 1701 の各計測時点の加速度 α である $\alpha X(t)$, $\alpha Y(t)$, $\alpha Z(t)$ の情報を用いて、下記の式により、移動車 200 の振動等に起因する誤差である ΔX , ΔY , ΔZ を算出する。なお下記の式では、X, Y, Z の各方向の加速度である $\alpha X(t)$, $\alpha Y(t)$, $\alpha Z(t)$ ごとに、時間の積分を 2 回行うことにより、誤差 ΔX , ΔY , ΔZ が得られることを示している。

[0114]

[数1]

$$\Delta X = \int \alpha X(t) dt$$

$$\Delta Y = \int \alpha Y(t) dt$$

$$\Delta Z = \int \alpha Z(t) dt$$

[0115] そして、補正演算部120は、上記の誤差 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ を用いて、計測プロファイル1701の各計測時点の計測データを補正する。これにより、移動車200の振動等の影響による誤差が取り除かれた計測データが、前述の補正值データ92として得られる。

[0116] [3次元プロファイル]

移動車200の位置計測部201は、上記計測及びプロファイルの算出時に、前述のように移動車200のZ方向の位置または走行距離の情報を含む信号s31を出力する。プロファイル算出部130は、上記Z方向の位置または走行距離の情報を用いて、上記計測プロファイル1701である補正值データ92を補正処理する。これにより、プロファイル算出部130は、Z方向の情報を反映した3次元プロファイルデータを前述の3次元プロファイルデータ93として得る。前述の図15の軌跡1501等は、3次元プロファイルデータの例である。

[0117] [差分演算]

図18は、差分演算部140による差分演算のための、3次元プロファイルデータのX、Y、Z方向の位置のアライメントの例を示す。1801、1802は、3次元プロファイルデータ93である3次元プロファイルデータの例を示す。なお図18は、図15～図17に対応したトンネル壁面50に関するX、Y、Zの3次元プロファイルデータのうち、あるZ方向の位置に

おけるXY断面の部分の形状を示す。1802は、現在の計測により得られた3次元プロファイルデータを示し、1801は、過去の計測における1802と対応する位置の3次元プロファイルデータを示す。計測日時ごとに、移動車200の走行位置などの状況が異なるので、現在と過去の3次元プロファイルデータの内容は、図18の例のように、位置の違いがある。

[0118] 差分演算部140は、比較判定の差分演算のために、まず上記計測日時ごとの3次元プロファイルデータの位置の違いを補正する。差分演算部140は、現在の3次元プロファイルデータ1802を差分演算する際、記憶部160に記憶されている3次元プロファイルデータ93にアクセスし、Z方向の位置が対応する、過去の3次元プロファイルデータ1801を検索して読み出す。そして、差分演算部140は、対応するZ方向の位置の3次元プロファイルデータである1801と1802とを比較する。

[0119] 差分演算部140は、上記比較において、3次元プロファイルデータである1801と1802との形状の一致度が最も高くなるように、X、Y、Zの3次元空間での位置をアライメントする。図18では、差分演算部140は、過去の3次元プロファイルデータ1801の点に対し、現在の3次元プロファイルデータ1802の点を合わせる。差分演算部140は、例えば、点1811に点1812を合わせ、点1821に点1822を合わせる。

[0120] 図19は、差分演算部140による差分演算の例として、図18のアライメントの後の3次元プロファイルデータを示す。1803は、1801と1802とがほぼ一致するように重ね合わされた部分を示す。1804の横線は、1802のアライメント後のデータであり、1802のうち1801とは一致しない部分を示す。斜線の領域として示す1805は、1801と1802との差分である不一致部を示す。なお3次元プロファイルデータ93は3次元プロファイルデータであるため、不一致部1805は実際には3次元の領域である。

[0121] 差分演算部140は、上記3次元プロファイルデータである1801と1802とのアライメント後の差分である不一致部1805を算出する。差分

演算部 140 は、差分演算として、3次元の領域である不一致部 1805 の体積を演算する。この3次元プロファイルの差分である不一致部 1805 の体積を V とする。なお本実施の形態では差分として体積を算出するが、これに限らず、2次元の面積や1次元の距離を算出する形態も同様に可能である。

[0122] 差分演算部 140 は、上記差分演算により得た不一致部 1805 の体積 V と、予め設定された管理値 m とを比較する。管理値 m は、当該3次元プロファイルの差分である体積 V に関する比較判定用の閾値である。差分演算部 140 は、差分である体積 V と管理値 m との比較の結果を差分データ 94 として出力部 150 に出力し、記憶部 160 に保存する。

[0123] 出力部 150 は、上記差分データ 94 の内容として、不一致部 1805 の体積 V が管理値 m よりも大きい場合、所定のアラームを外部またはユーザに対して出力する。このアラームは、被計測物における距離及び変位の変動が大きいことを示す。被計測物がトンネル壁面 50 である場合、出力部 150 は、トンネル崩落の予兆として危険性有りを示すアラームを出力する。

[0124] なお上記管理値 m は、被計測物の特性などに応じて予め設定可能である。例えば、変位計測装置 100 は、制御部 110 においてユーザの操作により管理値 m を設定可能である。例えば、トンネル壁面 50 の Y 方向上側の面において、土砂の圧力などがかかることにより、図 19 の例のように、不一致部 1805 で示す変位が発生すると考えられる。そこで、当該想定に基づき、上記管理値 m が予め設定される。

[0125] 例えばトンネル崩落前の変位はトンネル施工時の変位と同等程度存在する、と仮定し、当該仮定における変位を例えば 5 ~ 10 mm とする。これに対応させて、上記管理値 m として、当該 5 ~ 10 mm に対応させた体積の値が設定される。これに基づき、変位計測システム 300 は、差分演算部 140 及び出力部 150 により、上記変位に対応する体積 V が管理値 m を超える場合に、検出及びアラーム出力が可能である。

[0126] [効果等]

以上のように、実施の形態４の変位計測システム３００によれば、移動車２００で走行しながら計測を行う簡便な方式によって、トンネル壁面５０等の被計測物のプロファイルを高精度に計測することができ、被計測物の高頻度の検査が実現できる。また、実施の形態４によれば、補正演算部１２０による加速度情報を用いた計測データの補正の処理により、高精度の計測が実現できる。また、実施の形態４によれば、プロファイル算出部１３０及び差分演算部１４０による現在と過去のプロファイルの差分から高精度な変位の検出ができ、差分が大きい場合にはアラーム出力が可能である。例えば、実施の形態４は、トンネルの検査に適用した場合、トンネル壁面５０の微小な変位を高精度に検出でき、トンネル崩落の予兆を検知する精度が向上できる。この結果、重大な事故が回避でき、また適切な時期に改修工事を行うことができる。

[0127] また特に、実施の形態２の可変焦点レンズ３７を含む変位計測装置１００を搭載する変位計測システム３００により、移動車２００と被計測物であるトンネル壁面５０との距離の遠近に柔軟に対応した計測が可能である。図１６のようにトンネル内を移動車２００が片側車線を走行しながらトンネル壁面５０までの距離及び変位を計測する際、自車線側のトンネル壁面５０は近いが、反対車線側のトンネル壁面５０は遠い。実施の形態４は、当該遠近に対応した回転角度 θ に応じて、可変焦点レンズ３７の焦点距離を調整する。これにより、実施の形態４は、変位計測装置１００のセンサ面の入射光量を安定化させる。これにより計測の精度を向上できる。

[0128] なお実施の形態４は、実施の形態２の変位計測装置１００を搭載した例を説明したが、これに限らず、実施の形態１や実施の形態３の変位計測装置１００等を搭載した形態も可能である。また、実施の形態４の変位計測システム３００の構成要素のうちの一部、例えば出力部１５０、差分演算部１４０、加速度情報を用いた補正処理、等を省略した形態も可能である。また、実施の形態４の変形例として、変位計測装置１００に位置計測部２０１や加速度センサ２０２を搭載した形態も可能である。実施の形態４は、トンネルの

計測を例に説明したが、他の各種の被計測物である、道路、橋梁、及び大型構造物などにおいても同様に適用可能である。

[0129] 以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

産業上の利用可能性

[0130] 本発明は、道路、トンネル、及び橋梁等の社会インフラを含む各種の被計測物の距離及び変位の計測技術として利用可能である。

符号の説明

[0131] 2…光源、3…光学系、5, 51, 52…計測対象面、9…地面、10…強度変調部、11…基本周波数発振器、12…低通倍変換器、13…高通倍変換器、20…光アンプ、21…励起レーザダイオード、22, 25, 26, 27…光ファイバ、23…合波器、24…ドープファイバ、31…コリメートレンズ、32…ビームスプリッタ、33…集光レンズ、34…計測光検出レンズ、35…参照光検出レンズ、36…回転ミラー、37, 38…可変焦点レンズ、41…駆動系、42…ロータリエンコーダ、50…トンネル壁面、61…計測光検出部、62…参照光検出部、70…位相比較部、71, 72…分離部、80…変位算出部、91…変位データ、92…補正值データ、93…3次元プロファイルデータ、94…差分データ、100…変位計測装置、110…制御部、120…補正演算部、130…プロファイル算出部、140…差分演算部、150…出力部、160…記憶部、170…焦点制御部、171…焦点制御量記憶部、200…移動車、201…位置計測部、202…加速度センサ、300…変位計測システム。

請求の範囲

- [請求項1] 周期信号に基づき強度変調された光を出力する光源部と、
前記光源部からの光を増幅して出力する光アンプと、
前記光アンプからの光を被計測物に対して照射しその反射光を入射する光学系と、
前記被計測物からの反射光を計測光として検出する計測光検出部と、
、
前記計測光の信号の位相と前記光アンプからの光に基づく参照光の信号の位相とを比較する位相比較部と、
前記位相の比較の結果に基づいて前記被計測物までの距離及び前記被計測物の変位を算出する変位算出部と、を有する、変位計測装置。
- [請求項2] 請求項1記載の変位計測装置において、
前記光アンプは、
前記光源部からの光を増幅するための光を出力する励起部と、
前記光源部からの光と前記励起部からの光とを合波する合波部と、
前記合波部からの光を増幅する光導波路と、を有する、変位計測装置。
- [請求項3] 請求項1記載の変位計測装置において、
前記光アンプは、2段以上の光アンプが直列に接続されている、変位計測装置。
- [請求項4] 請求項1記載の変位計測装置において、
前記光学系は、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して集光する集光レンズと、前記被計測物を前記計測光検出部に結像する、可変焦点レンズにより構成される計測光検出レンズと、を含み、
前記可変焦点レンズの焦点距離を制御する焦点制御部を有する、変位計測装置。
- [請求項5] 請求項1記載の変位計測装置において、
前記光学系は、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して集光

する、可変焦点レンズにより構成される集光レンズと、前記被計測物を前記計測光検出部に結像する計測光検出レンズと、を含み、

前記可変焦点レンズの焦点距離を制御する焦点制御部を有する、変位計測装置。

[請求項6] 請求項2記載の変位計測装置において、

前記光源部の出力する光の波長は、 $1000 \sim 1100 \text{ nm}$ の範囲内にある第1波長、または、 $1500 \sim 1650 \text{ nm}$ の範囲内にある第2波長であり、

前記光アンプの前記励起部から出力する光の波長は、前記第1波長に対応させた 980 nm 付近の第1励起波長、または、前記第2波長に対応させた前記 980 nm 付近の第1励起波長もしくは 1480 nm 付近の第2励起波長である、変位計測装置。

[請求項7] 被計測物までの距離及び当該被計測物の変位を計測する変位計測装置と、

前記変位計測装置を搭載し、前記被計測物に対して移動する移動車と、

前記移動車の位置または移動距離を計測する位置計測部と、を備え、

前記変位計測装置は、

周期信号に基づき強度変調された光を出力する光源部と、

前記光源部からの光を増幅して出力する光アンプと、

前記光アンプからの光を被計測物に対して照射しその反射光を入射する光学系と、

前記光学系の後段に配置され、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して照射しその反射光を前記光学系へ入射する回転ミラー、及び前記回転ミラーの回転角度を検出する回転角度検出部と、

前記被計測物からの反射光を計測光として検出する計測光検出部と、

前記計測光の信号の位相と前記光アンプからの光に基づく参照光の信号の位相とを比較する位相比較部と、

前記位相の比較の結果に基づいて前記被計測物までの距離及び当該被計測物の変位を算出する変位算出部と、

前記回転角度の情報、前記被計測物までの距離及び変位の情報、及び前記移動車の位置または移動距離の情報を用いて、前記被計測物の3次元のプロファイルデータを作成するプロファイル作成部と、を有する、変位計測システム。

[請求項8]

請求項7記載の変位計測システムにおいて、

前記移動車の加速度を計測する加速度計測部を有し、

前記プロファイル作成部は、前記移動車の加速度の情報を用いて、前記プロファイルデータにおける回転角度ごとの前記距離及び変位のデータを補正する、変位計測システム。

[請求項9]

請求項7記載の変位計測システムにおいて、

前記変位計測装置は、

計測日時ごとの前記被計測物の3次元のプロファイルデータを記憶する記憶部と、

前記計測日時ごとのプロファイルデータを用いて、異なる計測日時のプロファイルデータの差分を演算し、当該差分と管理値とを比較し、当該比較の結果を出力する、差分演算部と、を有する、変位計測システム。

[請求項10]

請求項7記載の変位計測システムにおいて、

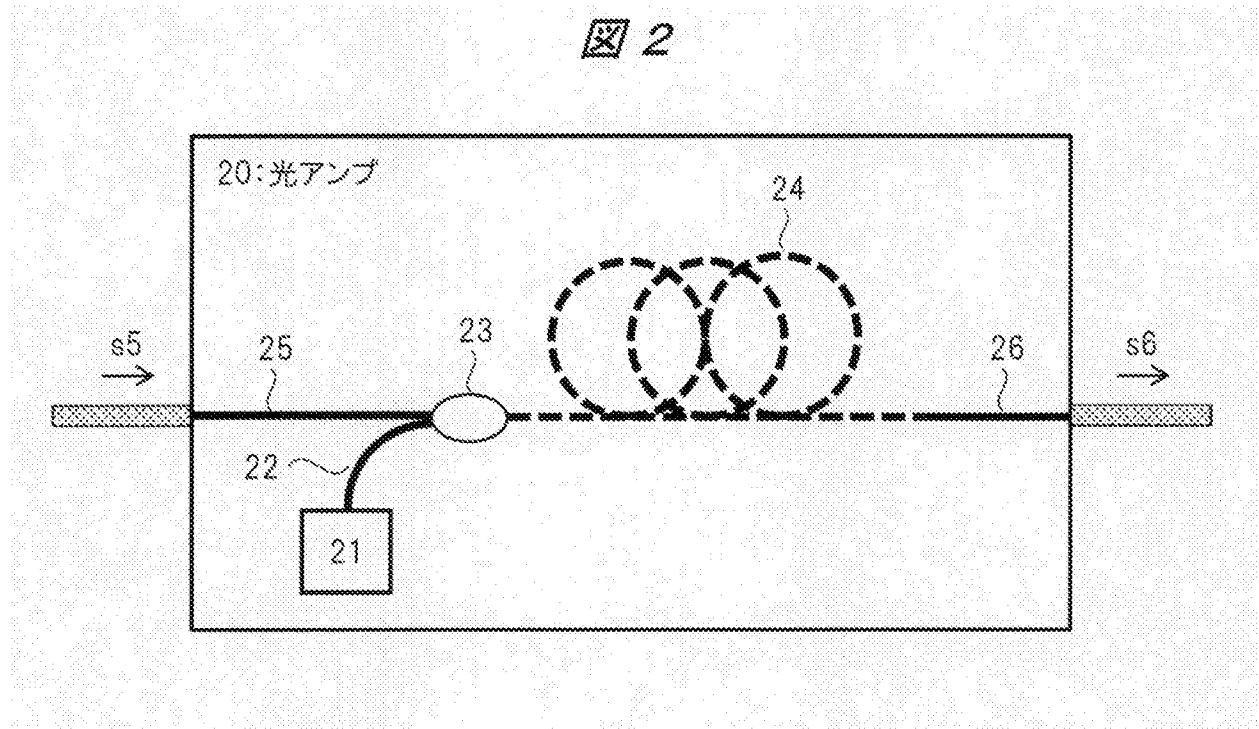
前記光学系は、前記光アンプからの光を前記被計測物に対して集光する集光レンズと、前記被計測物を前記計測光検出部に結像する、計測光検出レンズと、を含み、

前記計測光検出レンズまたは集光レンズは、可変焦点レンズにより構成され、

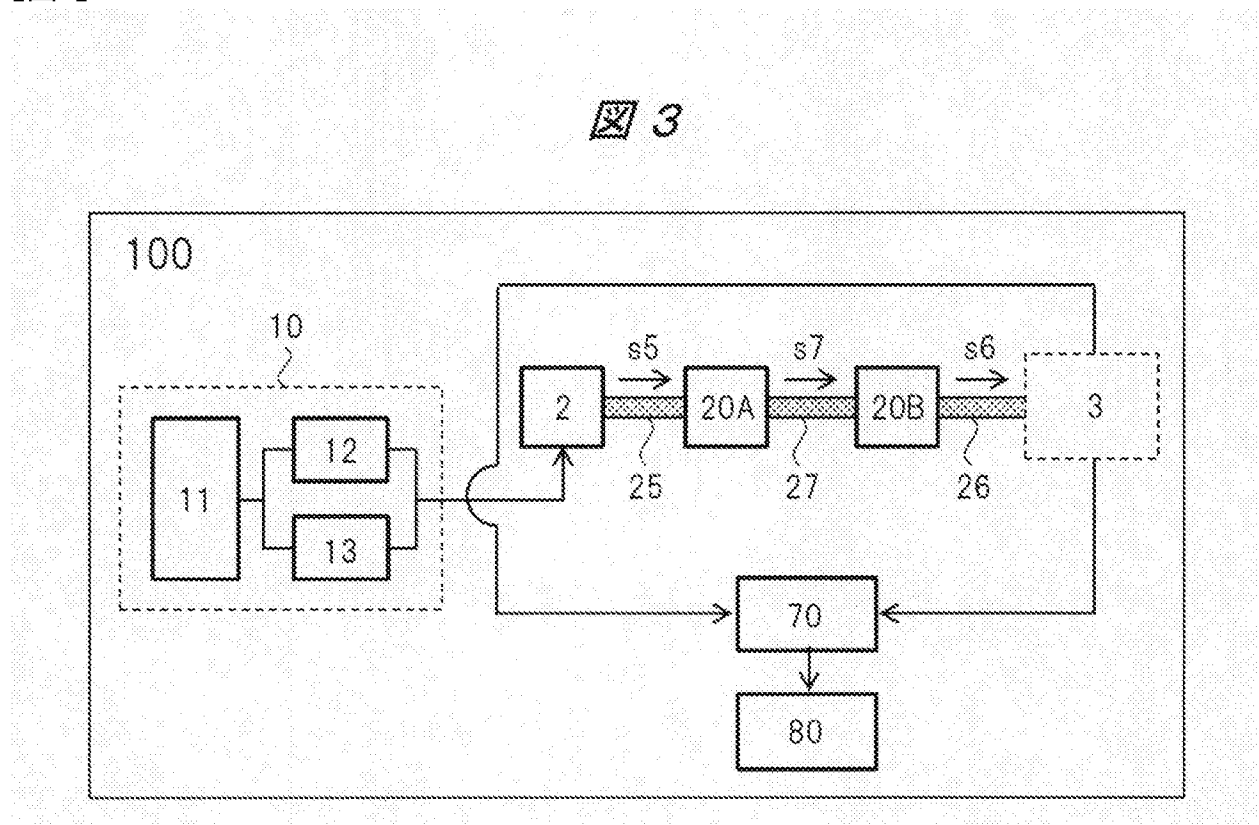
前記変位計測装置は、前記回転角度の情報を用いて前記可変焦点レ

レンズの焦点距離を制御する焦点制御部を有する、変位計測システム。

[図2]

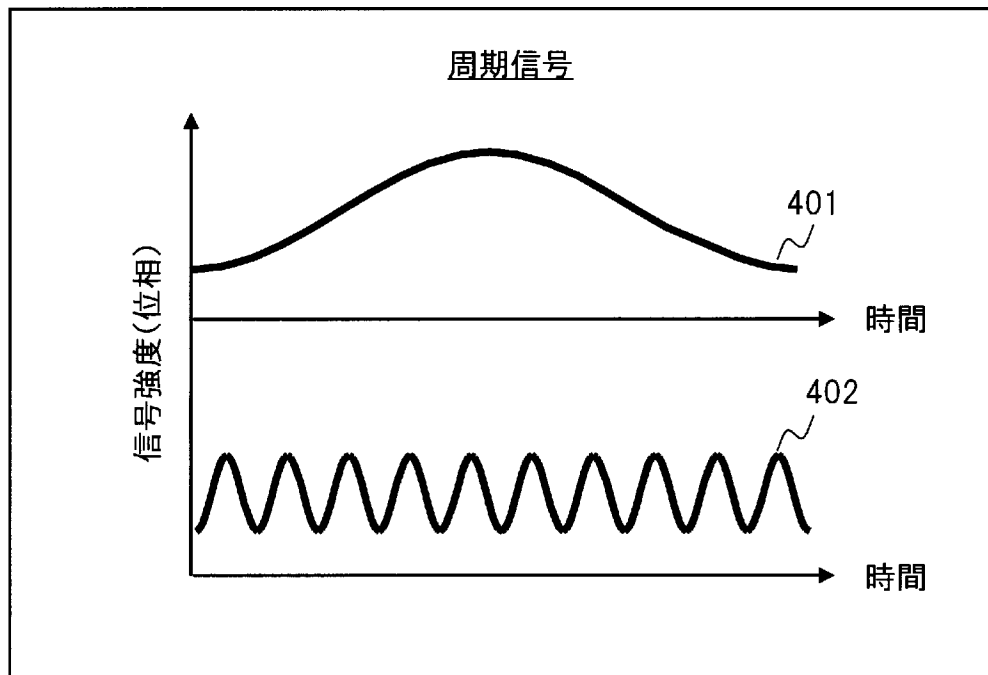


[図3]



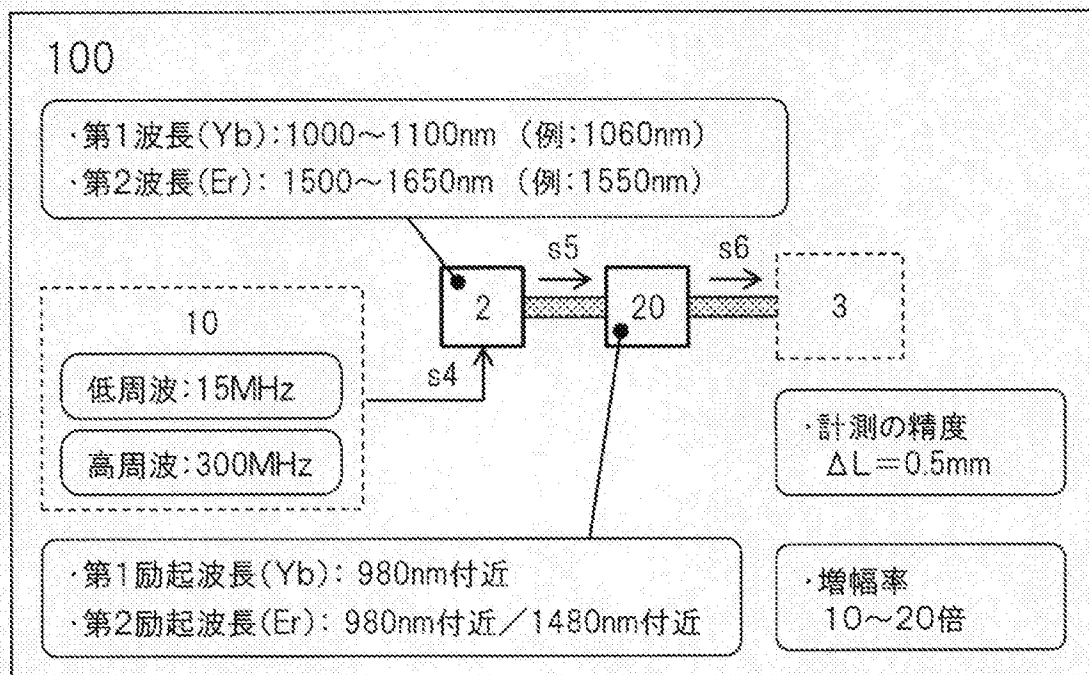
[図4]

図 4



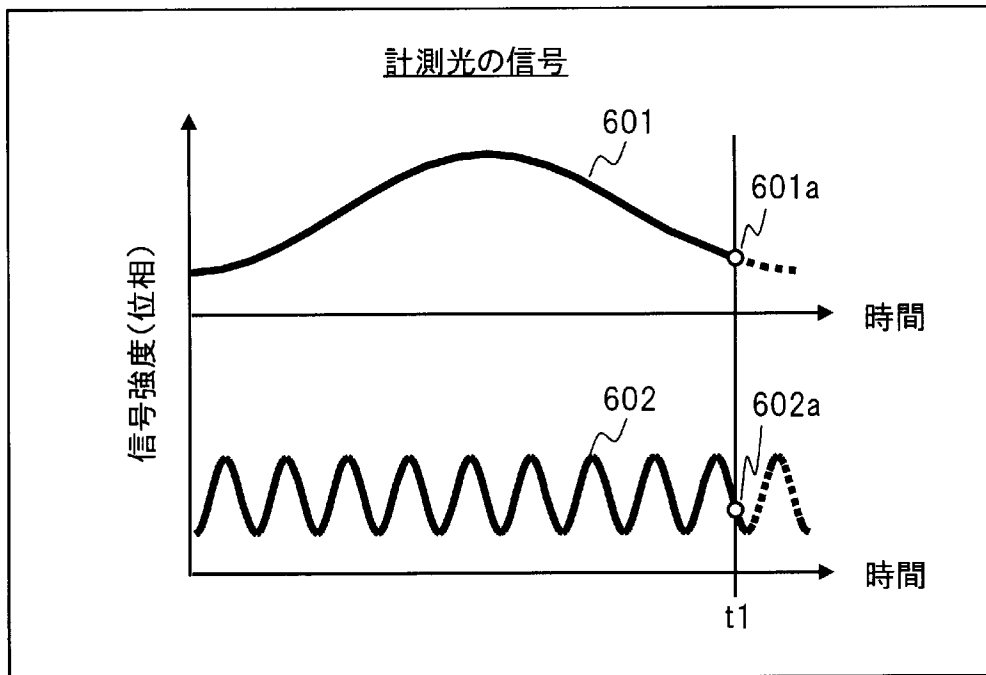
[図5]

図 5



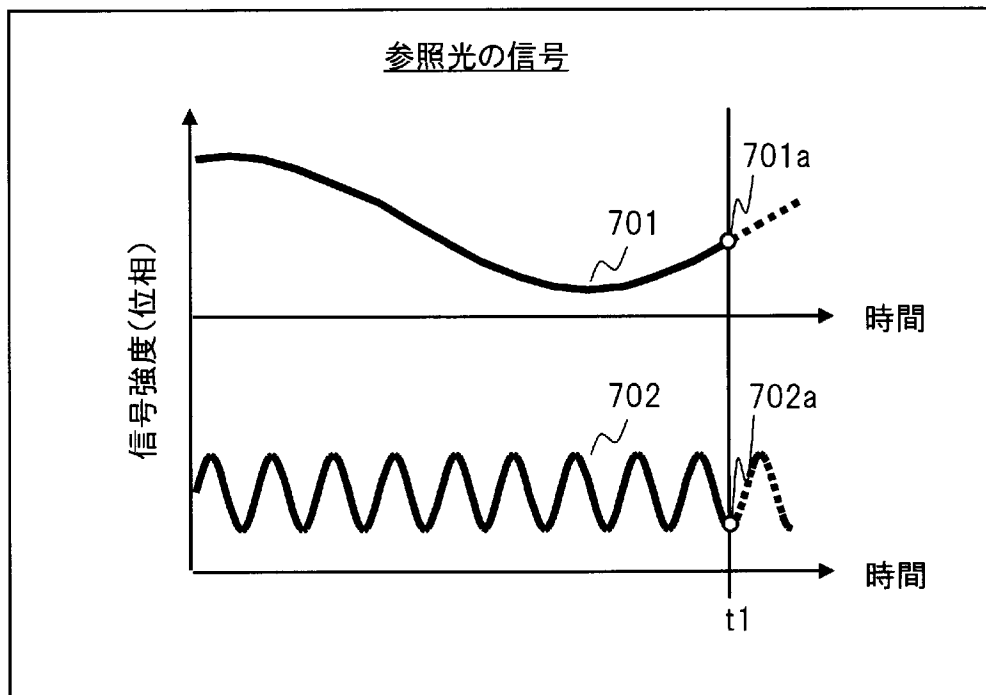
[図6]

図 6



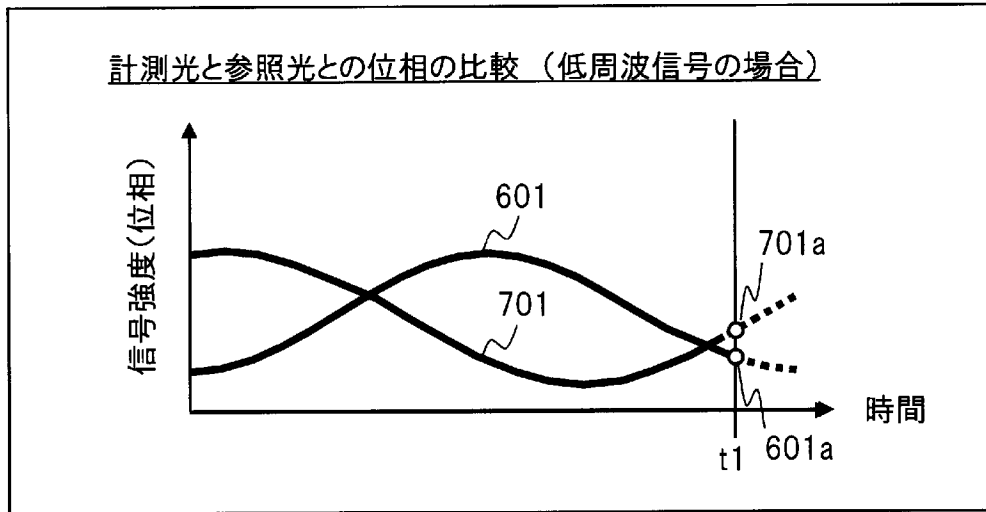
[図7]

図 7



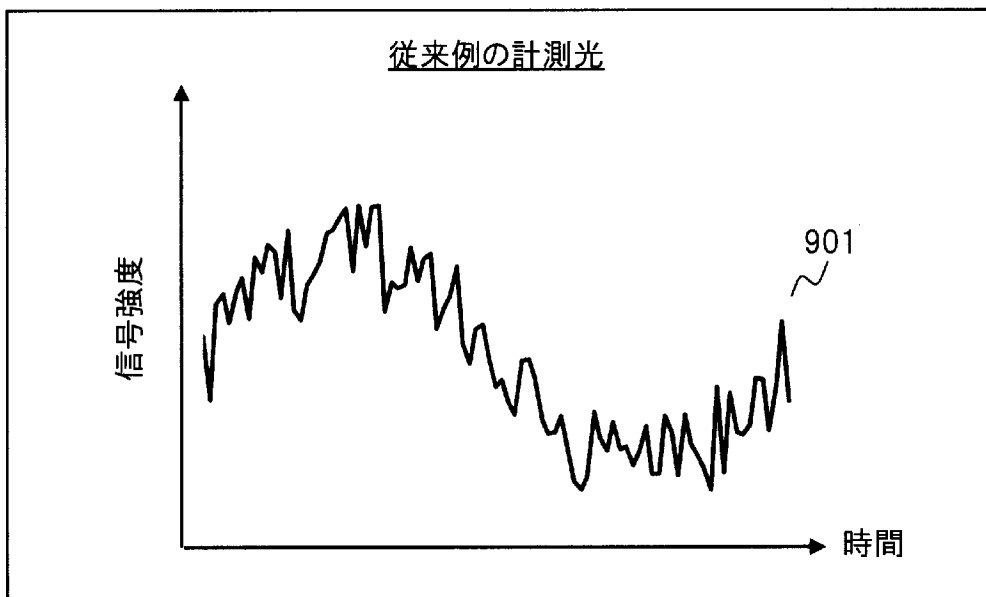
[図8]

図 8



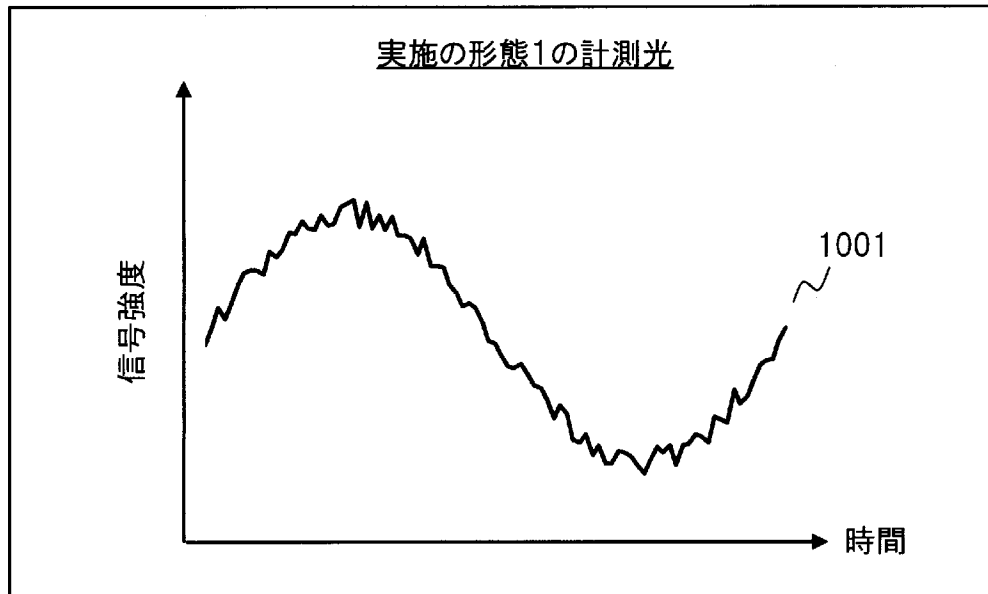
[図9]

図 9



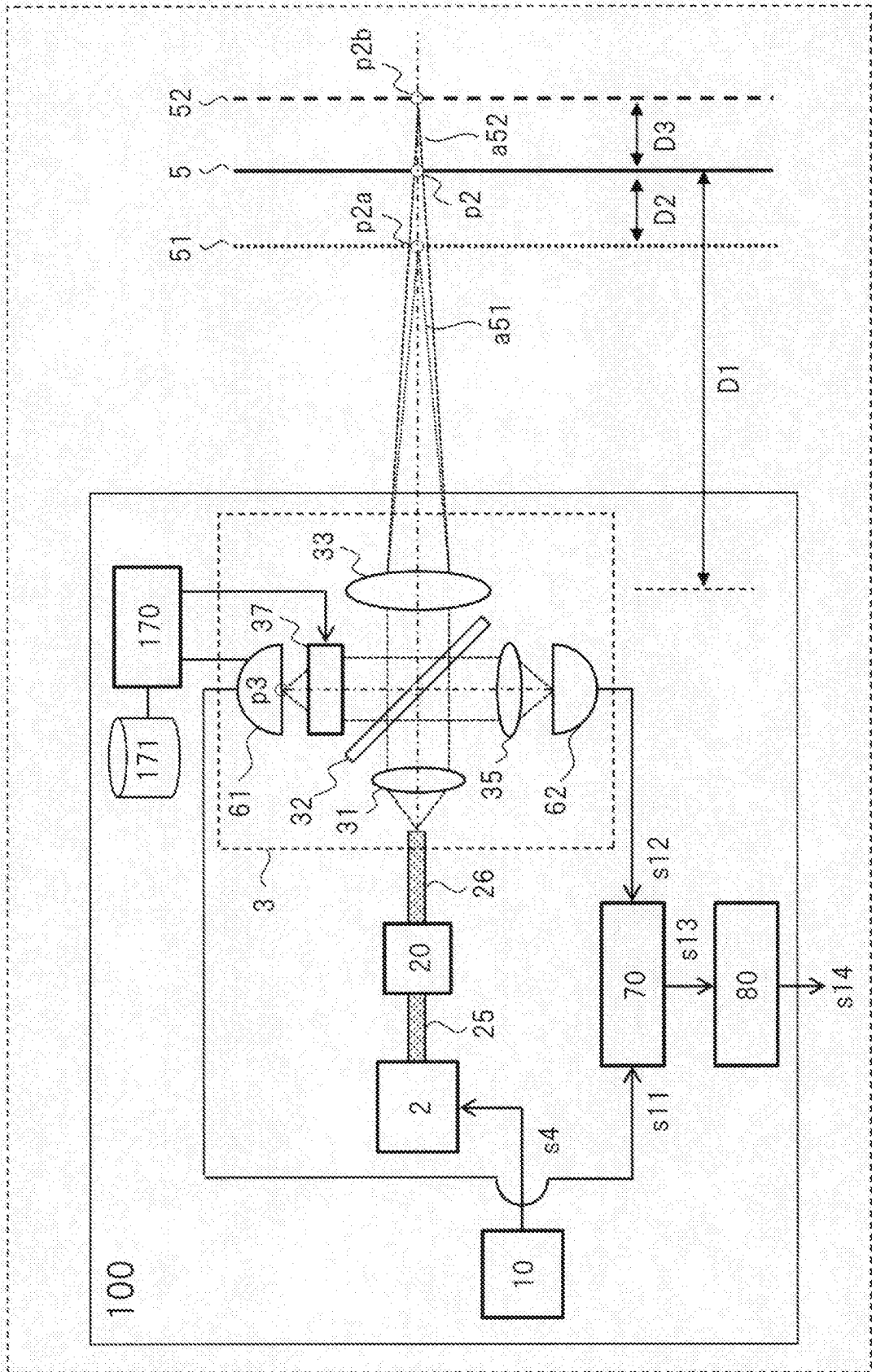
[図10]

図 10



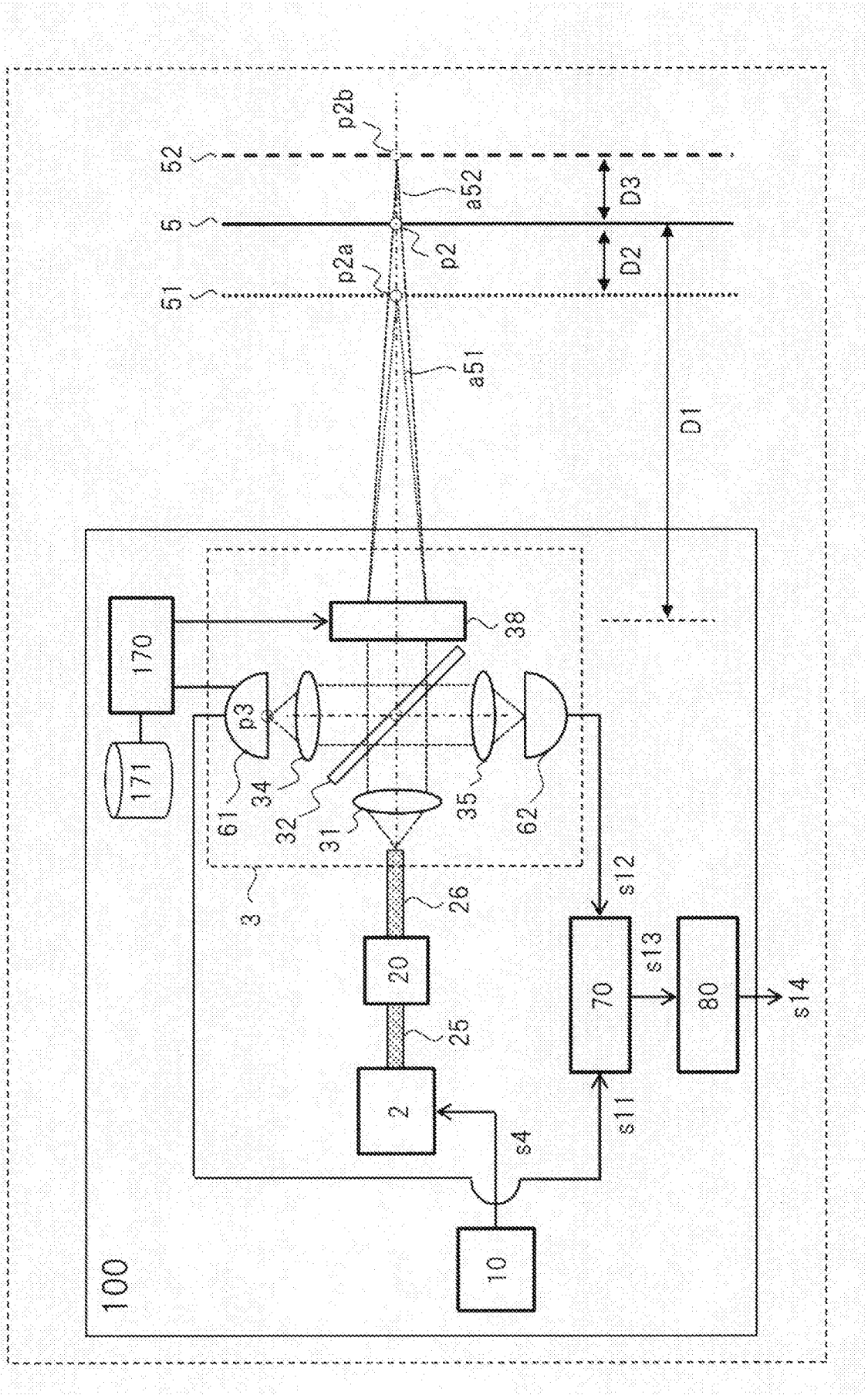
[図11]

図 11

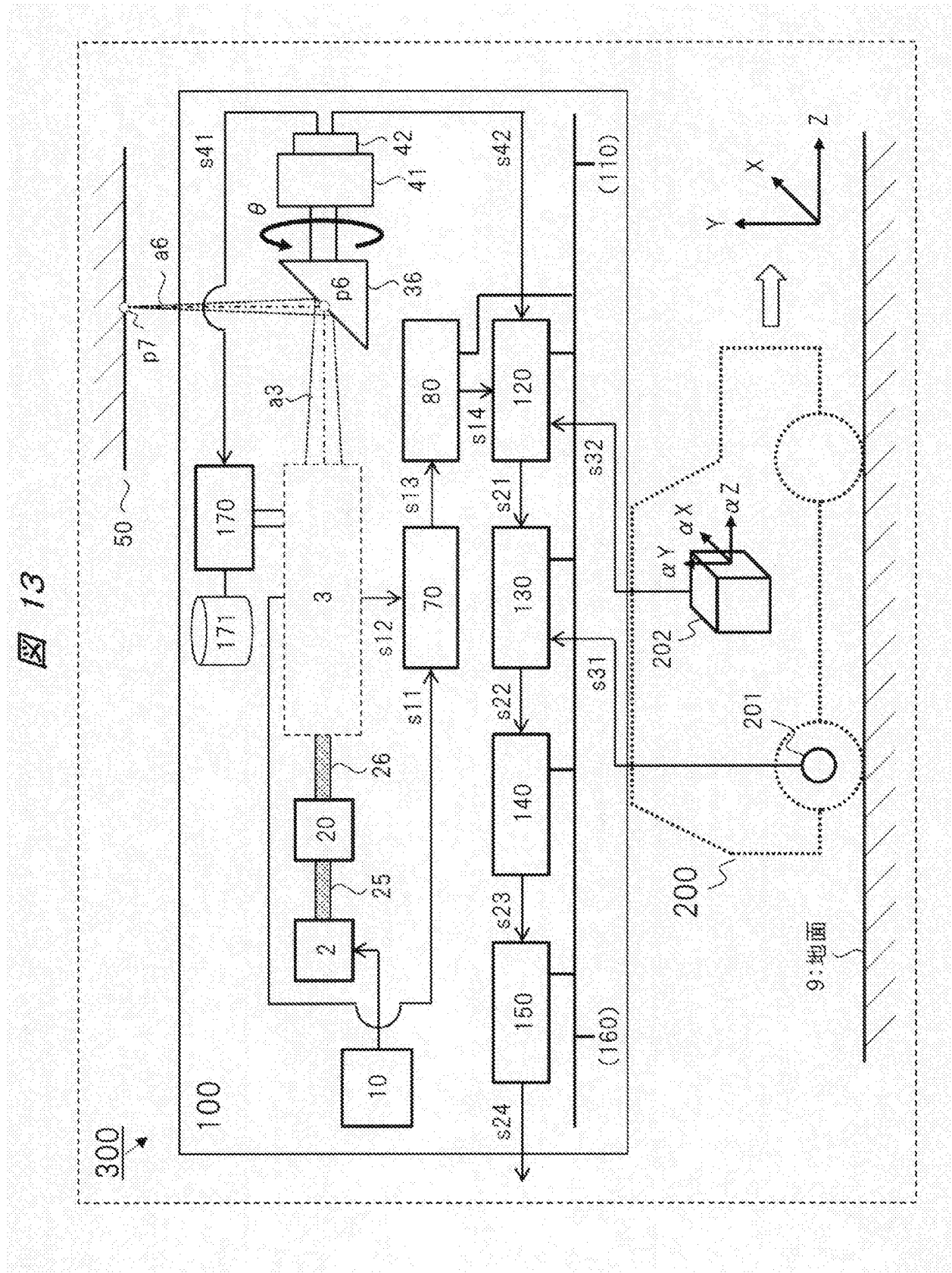


[図12]

図 12

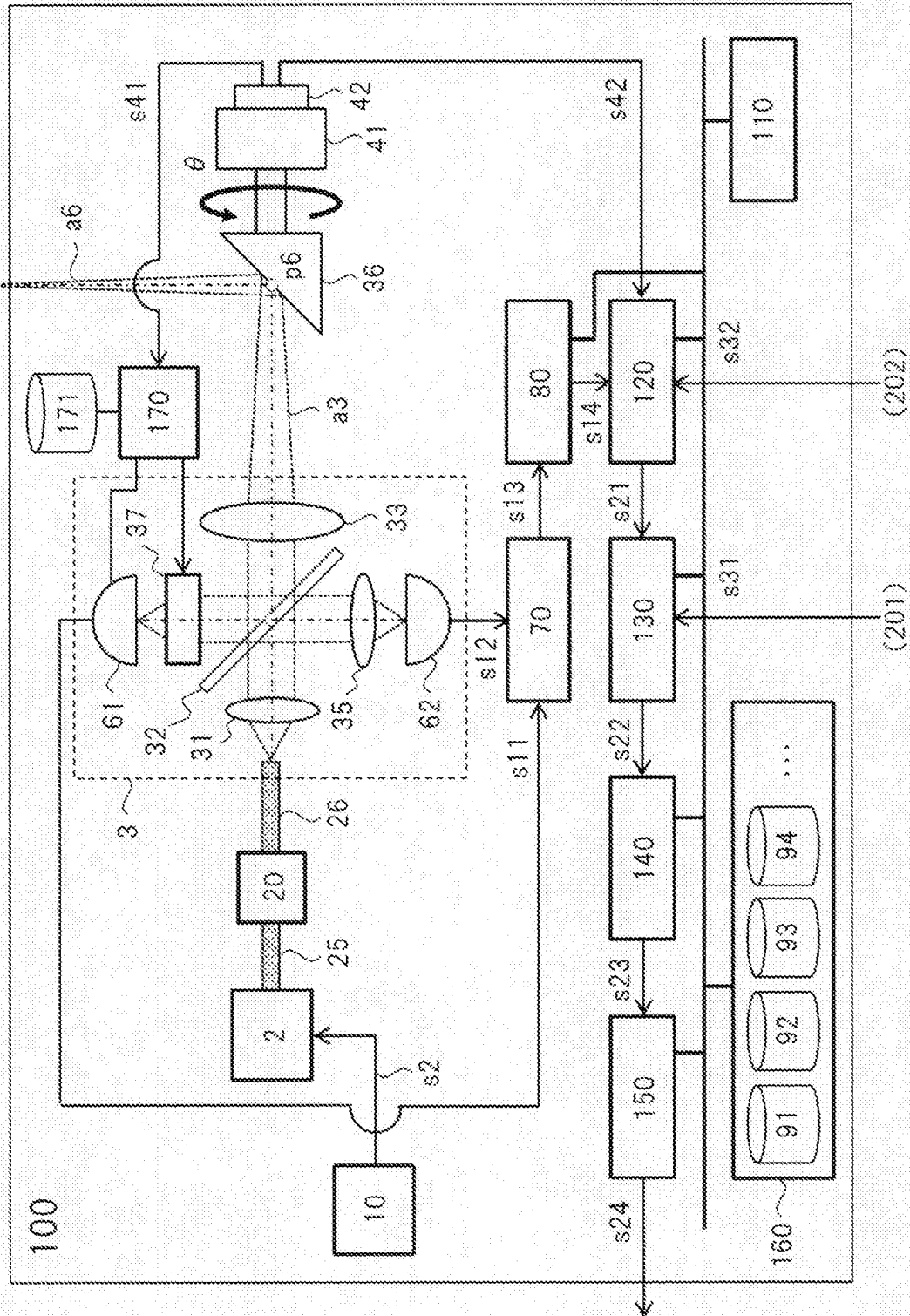


[図13]



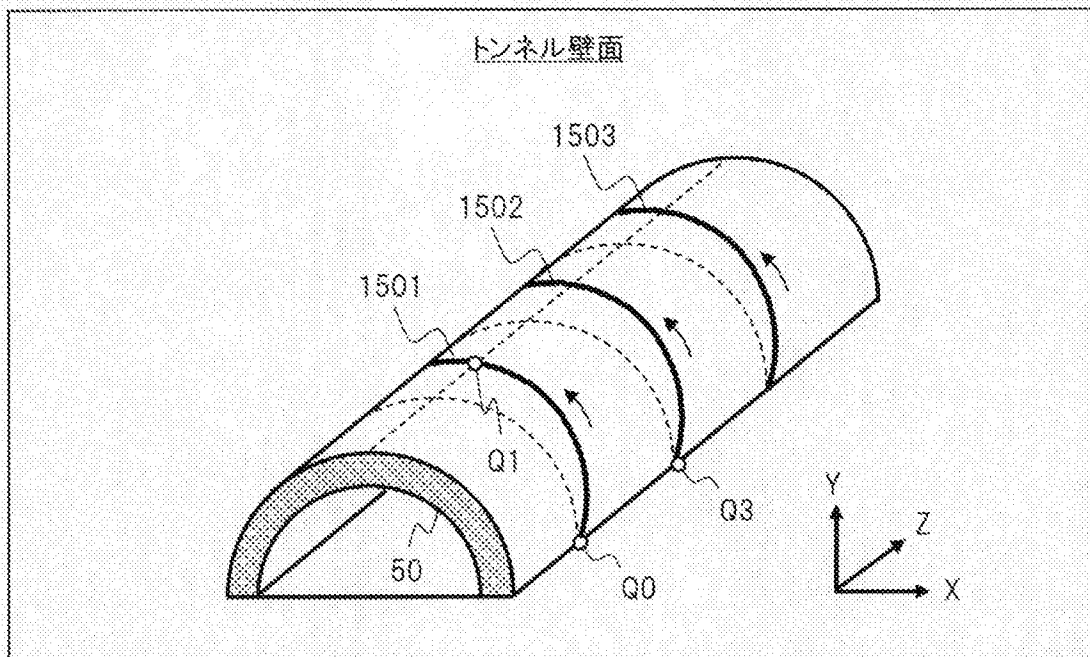
[図14]

図 14



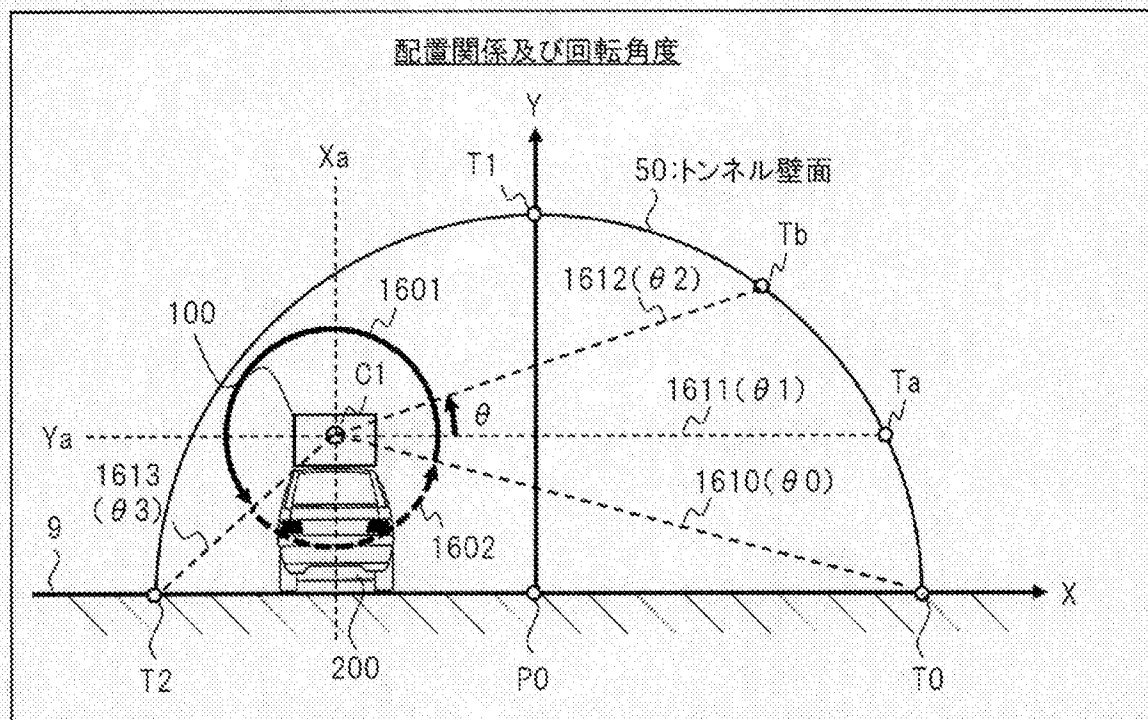
[図15]

図 15

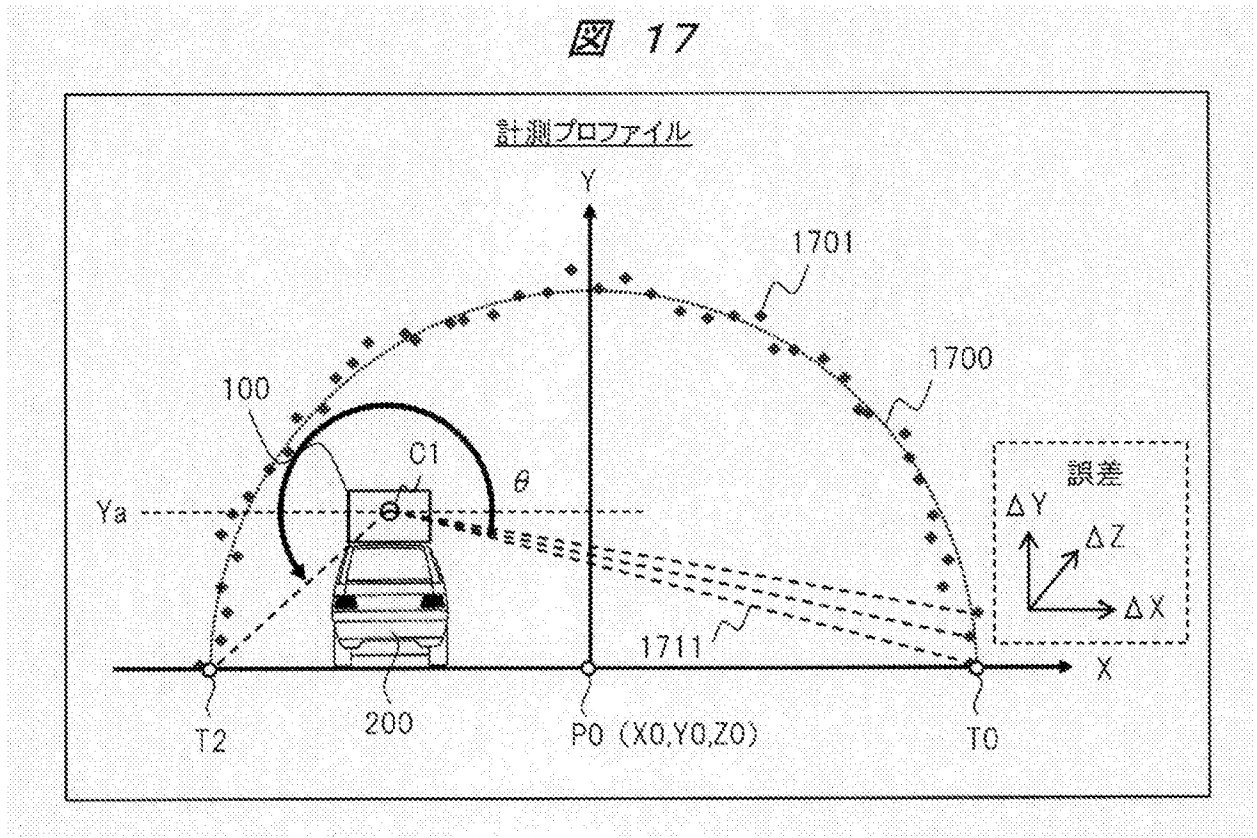


[図16]

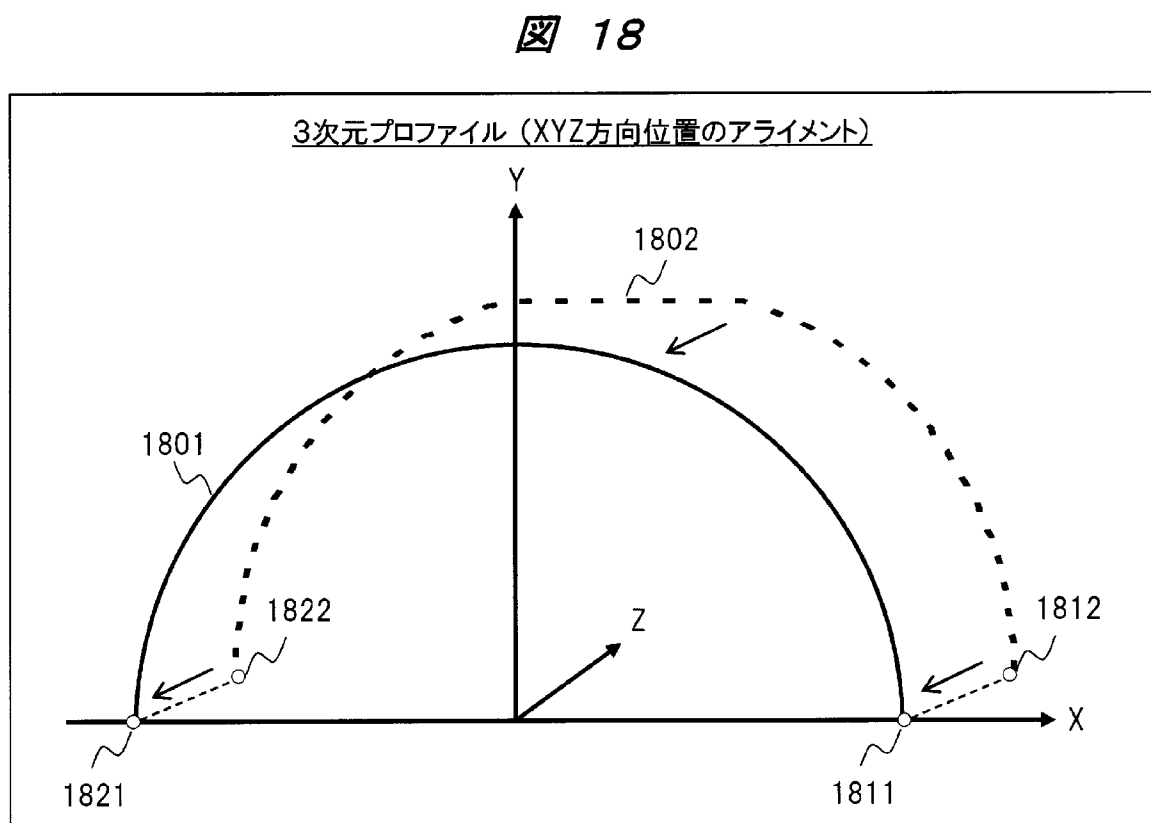
図 16



[図17]

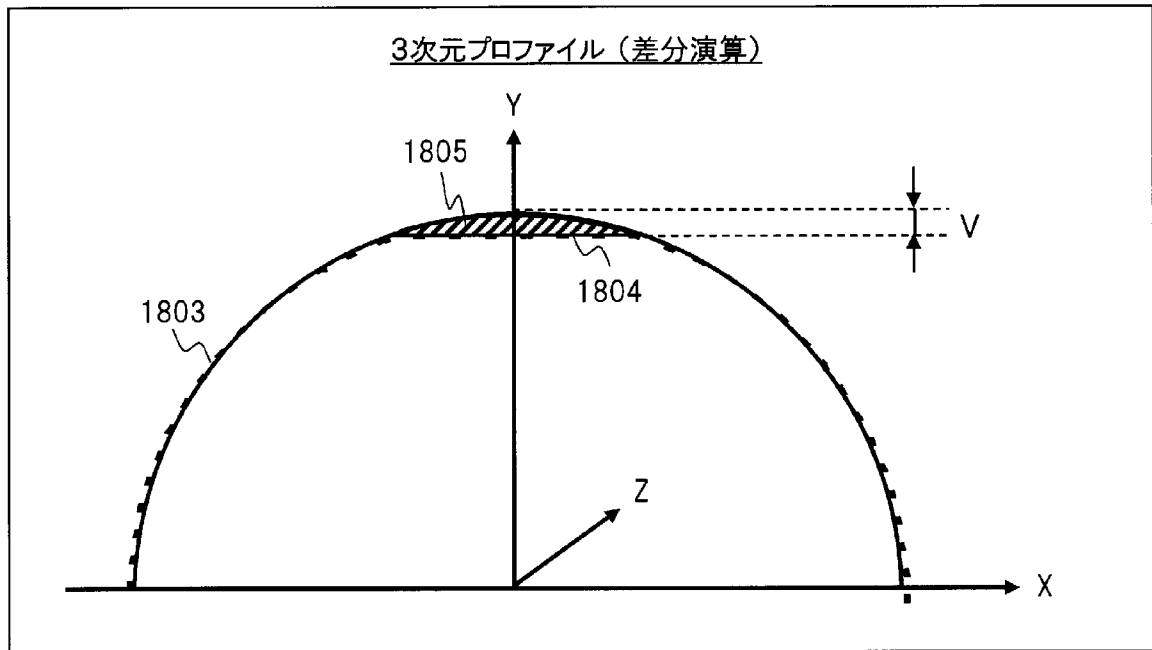


[図18]



[図19]

図 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/054536

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S17/36(2006.01)i, G01C3/06(2006.01)i, G01C7/04(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i

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)

G01S7/48-51, G01S17/00-95, G01B11/00-30, G01C3/00-32, G01C7/00-06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 Y	JP 8-122057 A (Kubota Corp.), 17 May 1996 (17.05.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-3, 6 4, 5, 7-10
Y	JP 2010-271312 A (General Electric Co.), 02 December 2010 (02.12.2010), entire text; all drawings & US 2010/0296104 A1 & GB 2470470 A & GB 201008075 D0 & DE 102010016997 A & CA 2703360 A	4, 10

☒ 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
14 March, 2014 (14.03.14)

Date of mailing of the international search report
25 March, 2014 (25.03.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/054536

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/019181 A1 (Tokyo University of Agriculture and Technology), 23 February 2006 (23.02.2006), entire text; all drawings & JP 4543180 B & US 2008/0018906 A1 & US 7440112 B2 & DE 112005001980 T	5, 10
Y	JP 2004-347585 A (First Co., Ltd.), 09 December 2004 (09.12.2004), entire text; all drawings (Family: none)	7-10
Y	JP 61-159105 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 18 July 1986 (18.07.1986), entire text; all drawings (Family: none)	8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01S17/36(2006.01)i, G01C3/06(2006.01)i, G01C7/04(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G01S7/48-51, G01S17/00-95, G01B11/00-30, G01C3/00-32, G01C7/00-06

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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	JP 8-122057 A（株式会社クボタ）1996.05.17, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-3, 6 4, 5, 7-10
Y	JP 2010-271312 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ） 2010.12.02, 全文, 全図 & US 2010/0296104 A1 & GB 2470470 A & GB 201008075 D0 & DE 102010016997 A & CA 2703360 A	4, 10

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、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

1 4 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

堀 圭史

2 S

3 0 0 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 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
Y	WO 2006/019181 A1 (国立大学法人東京農工大学) 2006. 02. 23, 全文, 全図 & JP 4543180 B & US 2008/0018906 A1 & US 7440112 B2 & DE 112005001980 T	5, 10
Y	JP 2004-347585 A (株式会社ファースト) 2004. 12. 09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	7-10
Y	JP 61-159105 A (株式会社豊田中央研究所) 1986. 07. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	8