

(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
2017年9月14日(14.09.2017)



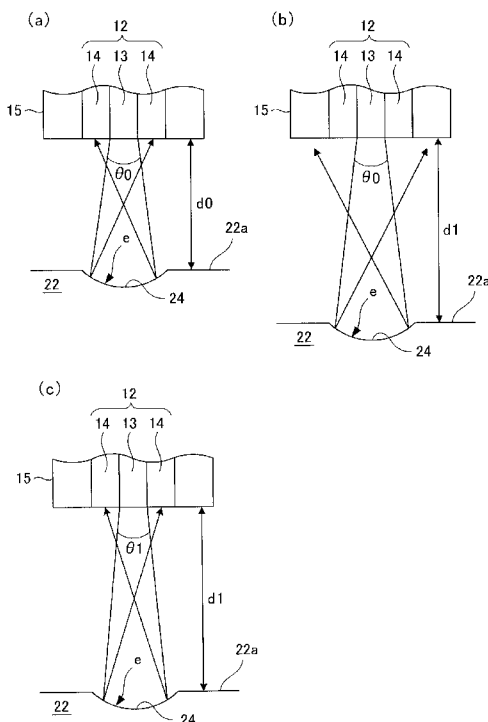
(10) 国際公開番号
WO 2017/155077 A1

- (51) 国際特許分類:
G01H 9/00 (2006.01) *G01B 11/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/009637
- (22) 国際出願日: 2017年3月10日(10.03.2017)
- (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 2016-047845 2016年3月11日(11.03.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大西 智之 (ONISHI, Tomoyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 近藤 明生 (KONDOU, Akio); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 光石 俊郎, 外 (MITSUISHI, Toshiro et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂四丁目9番6号 タク・赤坂ビル4階 光石法律特許事務所 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, DJ, 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, 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, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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),

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL MEASUREMENT DEVICE, OPTICAL MEASUREMENT METHOD AND ROTARY MACHINE

(54) 発明の名称: 光計測装置、光計測方法及び回転機械



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide an optical measurement device, an optical measurement method and a rotary machine that can maintain a reflection intensity. Accordingly, the present invention includes: a laser (11) that can change the emission wavelength of light; a light-emitting fiber (13) that emits light output from the laser (11) onto a rotor (22); a concave surface (24) that is provided in a recessed manner in the rotor (22) and reflects the light emitted from the light-emitting fiber (13); a light-receiving fiber (14) that receives the light reflected by the concave surface (24); a photodetector (16) that detects the intensity of the light received by the light-receiving fiber (14); and a control device (10) that controls the laser (11) and performs optical measurement on the basis of the intensity detected by the photo-detector (16). The intensity is detected by the photodetector (16) while changing the emission wavelength of the laser (11); the emission wavelength at which the intensity is largest is selected; and optical measurement is performed by detecting the intensity of light reflected by the concave surface (24) by using light having an emission angle determined by the selected emission wavelength.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/155077 A1



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))

反射強度を維持することができる光計測装置、光計測方法及び回転機械を提供する。そのため、光の発光波長を変更可能なレーザ（１１）と、レーザ（１１）から出力された光をロータ（２２）に照射する発光ファイバ（１３）と、ロータ（２２）に凹設され、発光ファイバ（１３）から照射された光を反射する凹面（２４）と、凹面（２４）により反射された光を受光する受光ファイバ（１４）と、受光ファイバ（１４）で受光した光の強度を検出するフォトディテクタ（１６）と、レーザ（１１）を制御すると共に、フォトディテクタ（１６）で検出した強度に基づいて、光計測を行う制御装置（１０）とを有し、レーザ（１１）の発光波長を変更させながら、フォトディテクタ（１６）により強度を検出して、強度が最大となる発光波長を選択し、選択した発光波長による出射角度の光を用いて、凹面（２４）により反射された光の強度を検出して、光計測を行う。

明 細 書

発明の名称：光計測装置、光計測方法及び回転機械

技術分野

[0001] 本発明は、光計測装置、光計測方法及び回転機械に関する。

背景技術

[0002] タービンなどの回転機械においては、非接触での計測が行われており、例えば、特許文献1においては、ロータに貼りつけた反射シールにレーザ光を照射し、その反射光を光センサで検出し、検出値を信号処理することにより、トルク計測を行っている。また、タービンにおける翼振動計測やクリアランス計測においても、レーザ光を翼や反射ターゲットに照射し、その反射光を光センサで検出して、翼や反射ターゲットの通過時間を検知し、その時間差情報を演算することにより、所望の計測値を得ている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-333376号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したように、レーザ光を静止側から回転側に照射し、その反射光の変化により計測を行う場合、汚れ等により反射強度が経時的に減少していく問題がある。例えば、図11のグラフに示すように、反射光の変化により通過時間を検知する場合、最初は、反射強度の変化が大きく、通過時間の検知が明瞭であっても、経時的に反射強度が減少して、計測誤差が大きくなっていき、最終的には、計測不可となる。

[0005] 本発明は上記課題に鑑みなされたもので、反射強度を維持することができる光計測装置、光計測方法及び回転機械を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決する第1の発明に係る光計測装置は、

光を出力すると共に当該光の発光波長を変更可能な波長可変光源と、
前記波長可変光源から出力された前記光を回転体に照射する第 1 の光ファイバと、
前記回転体に凹設された楕円面又は放物面からなり、前記第 1 の光ファイバから照射された前記光を反射する凹面と、
前記凹面により反射された前記光を受光する第 2 の光ファイバと、
前記第 2 の光ファイバで受光した前記光の強度を検出する強度検出手段と、
前記波長可変光源を制御すると共に、前記強度検出手段で検出した前記強度に基づいて、光計測を行う制御手段とを有し、
前記制御手段は、
前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、
選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行う
ことを特徴とする。

[0007] 上記課題を解決する第 2 の発明に係る光計測装置は、
上記第 1 の発明に記載の光計測装置において、
前記凹面は、着色面、鏡面、拡散反射面及び珙瑯加工面のいずれか 1 つである
ことを特徴とする。

[0008] 上記課題を解決する第 3 の発明に係る光計測装置は、
上記第 1 又は第 2 の発明に記載の光計測装置において、
更に、前記回転体の温度を検出する温度検出手段と、前記回転体の回転数を検出する回転数検出手段とを有し、
前記制御手段は、
前記温度検出手段で検出した前記温度と前記回転数検出手段で検出した前記回転数に基づいて、前記第 1 の光ファイバの先端から前記回転体の表面ま

での距離を予測し、

予測された前記距離に対応する出射角度を有する前記発光波長を設定し、
設定した前記発光波長による前記出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行う
ことを特徴とする。

[0009] 上記課題を解決する第4の発明に係る光計測装置は、

上記第3の発明に記載の光計測装置において、

前記制御手段は、

前記温度検出手段で検出した前記温度と前記回転数検出手段で検出した前記回転数に基づいて、前記第1の光ファイバの先端から前記回転体の表面までの距離を予測し、

予測された前記距離に対応する出射角度を有する前記発光波長を設定し、
設定した前記発光波長を中心波長とする波長領域において、前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、

選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行う
ことを特徴とする。

[0010] 上記課題を解決する第5の発明に係る回転機械は、

上記第1～第4のいずれか1つの発明に記載の光計測装置を備えた
ことを特徴とする。

[0011] 上記課題を解決する第6の発明に係る光計測方法は、

光の発光波長を変更可能な波長可変光源から前記光を出力し、

第1の光ファイバを用いて前記波長可変光源から出力された前記光を回転体に照射し、

前記回転体に凹設された楕円面又は放物面からなる凹面により、前記第1の光ファイバから照射された前記光を反射し、

第2の光ファイバを用いて前記凹面により反射された前記光を受光し、

強度検出手段を用いて前記第2の光ファイバで受光した前記光の強度を検出し、

前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、光計測を行うことを特徴とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、回転体に設けた凹面が当該凹面で反射する光の集光を行うことになり、更に、回転体との距離が変化しても、反射強度が最大となる出射角度を有する発光波長の光を選択して、又は、距離に対応する出射角度を有する発光波長の光を設定して、凹面での受光幅が同じになるようにしているので、凹面による集光効果を維持することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明に係る光計測装置及び回転機械の実施形態の一例（実施例1）を示す概略図である。

[図2]図1に示した光計測装置におけるセンサヘッドの一例を示す図であり、（a）は概略図、（b）はA-A線矢視断面図である。

[図3]図1に示した光計測装置における反射ターゲットとなる凹面の一例を示す図であり、（a）は概略図、（b）はB-B線矢視断面図である。

[図4]図1に示した光計測装置における光計測方法の一例を説明するフローチャートである。

[図5]出射角度の変更を説明する図であり、（a）は発光ファイバと凹面との関係を示す図、（b）はクリアランス変化前の出射角度を説明する図、（c）はクリアランス変化後であって、波長変化前の出射角度を説明する図、（d）はクリアランス変化後であって、波長変化後の出射角度を説明する図である。

[図6]発光ファイバにおける光学パラメータを説明する図である。

[図7]凹面における光の反射を説明する図であり、（a）はクリアランス変化前の光の反射を説明する図、（b）はクリアランス変化後であって、波長変化前の光の反射を説明する図、（c）はクリアランス変化後であって、波長変化後の光の反射を説明する図である。

[図8]本発明に係る光計測装置及び回転機械の実施形態の他の一例（実施例2）を示す概略図である。

[図9]図8に示した光計測装置における光計測方法の一例を説明するフローチャートである。

[図10]図8に示した光計測装置における光計測方法の他の一例（実施例3）を説明するフローチャートである。

[図11]反射強度の経時的な減少を説明するグラフである。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、図1～図10を参照して、本発明に係る光計測装置、光計測方法及び回転機械の実施形態を説明する。なお、ここでは、回転機械の回転体として、ロータを例示しているが、本発明は、回転体として、シャフトやタービンなども使用可能である。

[0015] [実施例1]

本実施例の光計測装置は、図1に示すように、制御装置10、レーザ11、光ファイバ群12、センサヘッド15、フォトディテクタ16を有している。そして、そのセンサヘッド15が回転機械20のケーシング21に取り付けられている。静止部であるケーシング21の内部には、回転部（回転体）であるロータ22と、ロータ22を回転可能に支持するシャフト23が設けられており、ケーシング21に取り付けられたセンサヘッド15は、ロータ22の円筒面22a（外周面）を望むように配置されている。

[0016] レーザ11は、レーザ光を出力すると共に、レーザ光の発光波長の変更が可能な波長可変光源であり、例えば、波長可変な半導体レーザが好適である。なお、このような半導体レーザに代えて、波長可変な気体レーザ、液体レーザ、固体レーザなども使用可能である。また、波長変換素子を用いること

により、波長が固定されたレーザも使用可能である。

[0017] また、光ファイバ群 1 2 は、図 2 (a)、(b) に示すように、1 つの発光ファイバ 1 3 (第 1 の光ファイバ) と複数の受光ファイバ 1 4 (第 2 の光ファイバ) からなる。発光ファイバ 1 3 は、レーザ 1 1 から出力されたレーザ光をロータ 2 2 の円筒面 2 2 a に照射するものであり、また、受光ファイバ 1 4 は、後述する凹面 2 4 により反射されたレーザ光を受光するものである。

[0018] そして、光ファイバ群 1 2 は、センサヘッド 1 5 においては、1 つの発光ファイバ 1 3 を中央とし、その周囲に複数の受光ファイバ 1 4 を配置した構成としている。発光ファイバ 1 3 から照射されたレーザ光は、後述する凹面 2 4 で反射された後、複数の受光ファイバ 1 4 で受光されることになる。なお、ここでは、1 つの発光ファイバ 1 3 の周囲に複数の受光ファイバ 1 4 が一重に配置されているが、複数の受光ファイバ 1 4 を二重、三重又はそれ以上にしたり、中央の発光ファイバ 1 3 の数を増やしたりなど、配置は適宜変更しても良い。

[0019] また、フォトディテクタ 1 6 (強度検出手段) は、複数の受光ファイバ 1 4 で受光されたレーザ光の反射強度を測定するものであり、レーザ 1 1 の可変の波長範囲において、レーザ光の反射強度を測定可能なものである。

[0020] また、制御装置 1 0 (制御手段) は、レーザ 1 1 の制御を行うものであり、また、フォトディテクタ 1 6 で検出した反射強度に基づいて、後述する制御や光計測の演算を行うものである。

[0021] そして、図 3 (a)、(b) に示すように、回転側のロータ 2 2 の円筒面 2 2 a には、反射ターゲットとなる凹面 2 4 が凹設されている。この凹面 2 4 は、発光ファイバ 1 3 から照射されたレーザ光を反射して、複数の受光ファイバ 1 4 に集光するものであり、楕円面や放物面などの凹形状の曲面に形成されている。なお、回転体がシャフトやタービン翼である場合には、シャフトの円筒面やタービンの翼先端やタービンシュラウドの円筒面に、凹面 2 4 を設ければ良い。

[0022] ここで、凹面 24 の離心率 e について説明する。凹面 24 が放物面 ($e = 1$) である場合、凹面 24 から平行光線が反射され、平面での反射に比べて、反射光量が増加する。一方、凹面 24 が円筒面 ($e = 0$) である場合、中央の発光ファイバ 13 に反射光が返り、周囲の受光ファイバ 14 に光が入りにくくなる。従って、周囲の受光ファイバ 14 に向けて幅を持った光を反射させる必要がある。そのため、凹面 24 の離心率 e は $0 < e \leq 1$ とするが、つまり、凹面 24 は楕円面や放物面とするが、離心率 e は、発光ファイバ 13 (センサヘッド 15) の先端から測定対象であるロータ 22 の円筒面 22a までの距離 (以降、クリアランス d) と、センサヘッド 15 における光ファイバ群 12 の径に基づいて設定する。

[0023] また、凹面 24 は、レーザ光に対する反射率を高くするため、ペイントや溶射による着色面 (例えば、白色着色面) にしたり、鏡面にしたり、拡散反射面にしたり、珪瑯 (ホーロー) 加工面にしたりしても良い。

[0024] このように、ロータ 22 の円筒面 22a に凹面 24 を設けることにより、発光ファイバ 13 から照射されたレーザ光の反射光を複数の受光ファイバ 14 に集光することができ、経時的な反射強度の減少による影響を抑えるようにしている。しかしながら、このような構成の場合、クリアランス d が変化すると、その変化に伴い、凹面 24 での受光幅も変化し、その結果、集光効果が低下するおそれがある。

[0025] そこで、本実施例においては、図 4 に示す光計測方法を行うことにより、凹面 24 による集光効果を維持するようにしている。図 4 と共に、図 1 や図 5 及び図 6 も参照して、本実施例の光計測方法を説明する。なお、ここでは、後述する初期クリアランス d_0 より運転中のクリアランス d_1 が大きくなる場合 ($d_0 < d_1$) を例示して説明するが、逆になる場合、即ち、 $d_0 > d_1$ の場合も同様の方法で良い。

[0026] (ステップ S1)

制御装置 10 は、クリアランス d の初期値である初期クリアランス d_0 に合わせて、レーザ 11 の発光波長 $\lambda = \lambda_0$ を選択する。図 5 (a) に示すよ

うに、初期クリアランス d_0 は、回転機械 20 の運転前において、発光ファイバ 13（センサヘッド 15）の先端とロータ 22 の円筒面 22a との間の距離である。また、発光波長 λ_0 のときの発光ファイバ 13 からの出射角度 $\theta = \theta_0$ とする。

[0027] ここで、図 5（b）～（d）における計算の前提として、図 6 を参照して、出射角度 θ の計算について説明する。図 6 において、出射角度 $\theta = 2\theta_a$ であり、 n_f は、発光ファイバ 13 のコア 13a の屈折率、 n_c は、発光ファイバ 13 のクラッド 13b の屈折率である。なお、 n_i は、空気の屈折率であり、 θ_c は、臨界角である。角度 θ_a と屈折率 n_f 及び n_c は、以下の式の関係となり、開口数 NA を求めることができる。

[0028] [数1]

$$\sin\theta_a = \sqrt{n_f^2 - n_c^2} = NA$$

[0029] 上記式において、屈折率 n_f 及び n_c に基づいて、角度 θ_a 、即ち、出射角度 θ を求めることができる。コア 13a の屈折率 n_f は、光の波長に依存して変化するので（プリズムの原理）、発光波長 λ_0 のときの屈折率 n_f に基づいて、出射角度 θ_0 が求まることになる。

[0030] そして、本実施例では、発光波長 λ を変更しており、これにより、発光ファイバ 13 のコア 13a の屈折率 n_f を変化させ、発光ファイバ 13 からの光の出射角度 θ （開口数 NA）を変化させており、このような変化を利用して、後述するように、クリアランス d に対応した出射角度 θ としている。

[0031] 例えば、図 5（a）、（b）に示すように、凹面 24 の幅を 2.5 mm とし、初期クリアランス $d_0 = 4$ mm とし、発光波長 $\lambda_0 = 486$ nm（水色）とする。また、発光波長 $\lambda_0 = 486$ nm のとき、屈折率 $n_f = 1.5224$ 、屈折率 $n_c = 1.4982$ とする。これらの数値に基づいて、上記式を用いて計算すると、 $NA = 0.27$ 、 $\theta_a = 15.7^\circ$ 、 $\theta = \theta_0 = 31.4^\circ$ となる。そして、出射角度 $\theta = \theta_0 = 31.4^\circ$ のとき、初期クリアランス $d_0 = 4$ mm における凹面 24 での受光幅は、2.24 mm となる。

[0032] つまり、回転機械 20 の運転前においては、初期クリアランス d_0 に合わせて、即ち、凹面 24 での受光幅に合わせて、発光波長 $\lambda = \lambda_0 (= 486 \text{ nm})$ としているので、図 5 (a)、(b) に示すように、発光ファイバ 13 から照射されたレーザ光は、出射角度 $\theta = \theta_0 = 31.4^\circ$ で出射され、その結果、凹面 24 の幅の範囲内で受光して反射することができ、その反射光を複数の受光ファイバ 14 に集光することができる状態となっている。

[0033] (ステップ S2)

発光波長 λ_0 の選択後、回転機械 20 の運転を行う。回転機械 20 の運転に伴い、ロータ 22 の回転数の変化や温度変化により、クリアランス d が初期クリアランス d_0 から d_1 へ変化する。

[0034] 例えば、初期クリアランス $d_0 = 4 \text{ mm}$ から 1 mm 変動して、クリアランス $d_1 = 5 \text{ mm}$ となったとする。すると、図 5 (c) に示すように、発光ファイバ 13 から照射されたレーザ光が、出射角度 $\theta = \theta_0 = 31.4^\circ$ で出射されたままであれば、クリアランス $d_1 = 5 \text{ mm}$ における凹面 24 での受光幅は、 2.82 mm となり、初期状態より、受光幅が 0.6 mm 大きくなる。つまり、発光ファイバ 13 から出射角度 $\theta = \theta_0 = 31.4^\circ$ で出射されたレーザ光は、凹面 24 の幅を超えた受光幅となり、その結果、照射されたレーザ光の全てを凹面 24 が受光して反射することができず、その集光効果が低下することになる。

[0035] (ステップ S3～S4)

そこで、本実施例において、制御装置 10 は、レーザ 11 の発光波長を変更(スキャン)しながら、フォトディテクタ 16 で反射強度を検出し、反射強度が最も大きい発光波長を計測における発光波長 $\lambda = \lambda_1$ として選択している。

[0036] 例えば、フォトディテクタ 16 で検出した反射強度が最も大きい発光波長 $\lambda = \lambda_1 = 656 \text{ nm}$ (赤色) とすると、このときの屈折率 $n_f = 1.5143$ である。これらの数値に基づいて、上記式を用いて計算すると、 $NA = 0.22$ 、 $\theta_a = 12.7^\circ$ 、 $\theta = \theta_1 = 25.4^\circ$ となる。そして、図 5 (d

）に示すように、出射角度 $\theta = \theta_1 = 25.4^\circ$ のとき、クリアランス $d_0 = 5 \text{ mm}$ における凹面 24 での受光幅は、 2.24 mm となる。

[0037] つまり、回転機械 20 の運転中においては、反射強度が最も大きい発光波長 $\lambda = \lambda_1 (= 656 \text{ nm})$ を選択しているので、図 5 (d) に示すように、発光ファイバ 13 から照射されたレーザ光は、出射角度 $\theta = \theta_1 = 25.4^\circ$ で出射され、その結果、凹面 24 の幅の範囲内で受光して反射することができ、その反射光を複数の受光ファイバ 14 に集光することができる状態となっている。このように、クリアランス d の変化に応じて、出射角度 θ を絞りたい場合には、レーザ 11 のレーザ光の色を水色から赤にして、発光波長を長くすれば良い。

[0038] (ステップ S5)

制御装置 10 は、ステップ S4 で選択した発光波長 λ_1 を用いて、凹面 24 により反射された反射強度を検出し、検出した反射強度に基づいて、所望の計測を行う。

[0039] 以上説明したように、レーザ 11 の発光波長 λ を変更しながら、フォトディテクタ 16 で反射強度を検出し、反射強度が最も大きい発光波長 λ を選択して、レーザ光の出射角度 θ を変化させている。これにより、クリアランス d に応じて、凹面 24 での受光幅も適切に変化させることになり、クリアランス d が変化しても、凹面 24 での受光幅が同じになる発光波長を選択することができ、この結果、凹面 24 による集光効果を維持することができる。

[0040] 従って、発光ファイバ 13 から照射されたレーザ光が凹面 24 を通過する際に、その反射光は集光効果により受光ファイバ 14 に集光することになる。そのため、凹面 24 による反射強度のピークを明瞭化でき、信号の立ち上がり立ち下がりが鋭敏となる。その結果、経時的な変化があっても、その影響を抑制することになり、所望の計測を適切な状態で行うことができる。

[0041] また、クリアランス d の変化に伴い、凹面 24 での受光幅が変化すると、離心率 e の凹面 24 からの反射光の方向が変化し、その結果、集光効果が低下するおそれがある。しかしながら、本実施例では、上述したように、発光

波長 λ の変更、即ち、レーザ光の出射角度 θ の変更により、凹面24での受光幅が同じになるようにして、凹面24からの反射光の方向も変わらないようにしている。この点について、図7(a)～(c)を参照して説明する。なお、図7(a)～(c)においては、理解し易くするため、発光ファイバ13からのレーザ光の最も外側の光線（以降、最外光線）を例示して説明を行う。

[0042] 図7(a)に示す回転機械20の運転前（初期状態）においては、発光ファイバ13と凹面24が正対するとき、最外光線が受光ファイバ14に向かって反射するように、初期クリアランス d_0 及び光ファイバ群12の径や出射角度 θ_0 に基づいて、凹面24の離心率 e が設定されている。

[0043] そして、上述したように、回転機械20の運転を行うと、運転に伴う回転数の変化や温度変化により、クリアランス d が初期クリアランス d_0 から d_1 へ変化する。ここでも、 $d_0 < d_1$ とする。

[0044] すると、図7(b)に示す回転機械20の運転中においては、クリアランス d_1 へ変化し、凹面24での受光幅が変化したため、発光ファイバ13と凹面24が正対するとき、最外光線が受光ファイバ14より外側に向かって反射してしまい、凹面24による集光効果が低下することになる。

[0045] しかしながら、上述したように、回転機械20の運転中においては、反射強度が最も大きい発光波長 λ_1 を選択し、凹面24での受光幅が同じになるようにして、凹面24からの反射光の向きも同じになるようにしている。すると、図7(c)に示すように、クリアランス d_1 へ変化した状態においても、発光ファイバ13と凹面24が正対するとき、最外光線が受光ファイバ14に向かって反射することになり、凹面24による集光効果を維持することができる。

[0046] このようにして、クリアランス d に応じて、凹面24からの反射光の向きも適切に変化させることになり、クリアランス d が変化しても、凹面24による集光効果を維持することができる。その結果、経時的な変化があっても、その影響を抑制することになり、所望の計測を適切な状態で行うことがで

きる。

[0047] [実施例 2]

本実施例の光計測装置は、上記実施例 1 に示した光計測装置を前提としている。そのため、ここでは、図 1 ～図 3 に示した実施例 1 の光計測装置と同様の構成には、同じ符号を付し、重複する構成については、その説明を省略する。

[0048] 本実施例の光計測装置は、図 8 に示すように、更に、温度センサ 17（温度検出手段）と回転数計 18（回転数検出手段）とを有している。温度センサ 17 は、ケーシング 21 に設けられ、ロータ 22 の温度を計測している。また、回転数計 18 は、シャフト 23 に設けられ、シャフト 23、即ち、ロータ 22 の回転数を計測している。

[0049] そして、本実施例でも、実施例 1 と同様に、レーザ 11 の発光波長を変更することにより、クリアランス d に応じて、発光ファイバ 13 からのレーザ光の出射角度 θ を変化させている。しかしながら、実施例 1 では、レーザ 11 の発光波長をスキャンした後、反射強度が最も大きい発光波長を選択しているのに対して、本実施例では、上述した温度センサ 17 及び回転数計 18 による温度及び回転数に基づいて、クリアランス d の変化を予測し、予測したクリアランス d に基づいて、対応する発光波長を設定するようにしている。このような光計測方法について、図 9 と共に、図 8 も参照して説明を行う。

[0050] （ステップ S 11）

実施例 1 におけるステップ S 1 と同様に、制御装置 10 は、初期クリアランス d_0 に合わせて、レーザ 11 の発光波長 $\lambda = \lambda_0$ を選択する。

[0051] （ステップ S 12）

実施例 1 におけるステップ S 2 と同様に、発光波長 λ_0 の選択後、回転機械 20 の運転を行う。回転機械 20 の運転に伴い、回転数の変化や温度変化により、クリアランス d が初期クリアランス d_0 から d_1 へ変化する。

[0052] （ステップ S 13）

制御装置 10 は、温度センサ 17 及び回転数計 18 を用いて、温度及び回転数を計測する。

[0053] (ステップ S 14)

制御装置 10 は、温度センサ 17 及び回転数計 18 で計測した温度及び回転数に基づく解析により、変化後のクリアランス d_1 を予測する。例えば、熱力学的、運動力学的にロータ 22 の変位を解析し、当該解析に基づいて、クリアランス d_1 を予測する。

[0054] (ステップ S 15)

制御装置 10 は、予測したクリアランス d_1 に基づいて、予測したクリアランス d_1 に対応する出射角度を有する発光波長 $\lambda = \lambda_1$ を設定する。例えば、クリアランス d_1 における凹面 24 での受光幅がクリアランス d_0 における凹面 24 での受光幅と同じになる出射角度を求め、当該出射角度となる発光波長 λ_1 を求めれば良い。

[0055] (ステップ S 16)

制御装置 10 は、ステップ S 15 で設定した発光波長 λ_1 を用いて、凹面 24 により反射された反射強度を検出し、検出した反射強度に基づいて、所望の計測を行う。

[0056] 本実施例においては、クリアランス d が変化しても、クリアランス d に対応する出射角度を有する発光波長の光を設定して、凹面 24 での受光幅が同じになるようにしているので、凹面 24 による集光効果を維持することができる。

[0057] [実施例 3]

本実施例の光計測装置は、上記実施例 2 に示した光計測装置と同じ装置で良く、その光計測方法に相違があるものである。そのため、本実施例の光計測装置の図示や説明は省略し、その光計測方法を図 10 に示し、図 8 も参照して説明を行う。

[0058] (ステップ S 21)

実施例 1 におけるステップ S 1 及び実施例 2 におけるステップ S 11 と同

様に、制御装置 10 は、初期クリアランス d_0 に合わせて、レーザ 11 の発光波長 $\lambda = \lambda_0$ を選択する。

[0059] (ステップ S 2 2)

実施例 1 におけるステップ S 2 及び実施例 2 におけるステップ S 1 2 と同様に、発光波長 λ_0 の選択後、回転機械 20 の運転を行う。回転機械 20 の運転に伴い、回転数の変化や温度変化により、クリアランス d が初期クリアランス d_0 から d_1 へ変化する。

[0060] (ステップ S 2 3)

実施例 2 におけるステップ S 1 3 と同様に、制御装置 10 は、温度センサ 17 及び回転数計 18 を用いて、温度及び回転数を計測する。

[0061] (ステップ S 2 4)

実施例 2 におけるステップ S 1 4 と同様に、制御装置 10 は、温度センサ 17 及び回転数計 18 で計測した温度及び回転数に基づく解析により、変化後のクリアランス d_1 を予測する。

[0062] (ステップ S 2 5)

実施例 2 におけるステップ S 1 5 と同様に、制御装置 10 は、予測したクリアランス d_1 に基づいて、予測したクリアランス d_1 に対応する出射角度を有する発光波長 $\lambda = \lambda_1$ を求めるが、これに加えて、制御装置 10 は、更に、この発光波長 λ_1 を中心波長とする波長領域を設定する。

[0063] (ステップ S 2 6 ~ S 2 7)

制御装置 10 は、設定した波長領域において、レーザ 11 の発光波長を変更（スキャン）しながら、フォトディテクタ 16 で反射強度を検出し、反射強度が最も大きい発光波長を最終的な発光波長 $\lambda = \lambda_1$ として選択する。

[0064] (ステップ S 2 8)

制御装置 10 は、ステップ S 2 7 で設定した発光波長 λ_1 を用いて、凹面 24 により反射された反射強度を検出し、検出した反射強度に基づいて、所望の計測を行う。

[0065] 本実施例においても、クリアランス d が変化しても、反射強度が最大とな

る出射角度を有する発光波長の光を選択して、凹面 2 4 での受光幅が同じになるようにしているので、凹面 2 4 による集光効果を維持することができる。

産業上の利用可能性

[0066] 本発明は、回転機械（例えば、タービン、圧縮機などのターボ機械など）の回転体を対象とする計測に好適なものである。例えば、タービンにおいては、内部リーク低減やラビング回避のための翼振動計測やクリアランス計測などに適用可能である。

符号の説明

- [0067]
- 1 0 制御装置
 - 1 1 レーザ
 - 1 2 光ファイバ群
 - 1 3 発光ファイバ
 - 1 4 受光ファイバ
 - 1 5 センサヘッド
 - 1 6 フォトディテクタ
 - 1 7 温度センサ
 - 1 8 回転数計
 - 2 0 回転機械
 - 2 2 ロータ
 - 2 2 a 円筒面
 - 2 4 凹面

請求の範囲

- [請求項1] 光を出力すると共に当該光の発光波長を変更可能な波長可変光源と、
、
前記波長可変光源から出力された前記光を回転体に照射する第1の光ファイバと、
前記回転体に凹設された楕円面又は放物面からなり、前記第1の光ファイバから照射された前記光を反射する凹面と、
前記凹面により反射された前記光を受光する第2の光ファイバと、
前記第2の光ファイバで受光した前記光の強度を検出する強度検出手段と、
前記波長可変光源を制御すると共に、前記強度検出手段で検出した前記強度に基づいて、光計測を行う制御手段とを有し、
前記制御手段は、
前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、
選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行うことを特徴とする光計測装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の光計測装置において、
前記凹面は、着色面、鏡面、拡散反射面及び珙瑯加工面のいずれか1つである
ことを特徴とする光計測装置。
- [請求項3] 請求項1又は請求項2に記載の光計測装置において、
更に、前記回転体の温度を検出する温度検出手段と、前記回転体の回転数を検出する回転数検出手段とを有し、
前記制御手段は、
前記温度検出手段で検出した前記温度と前記回転数検出手段で検出

した前記回転数に基づいて、前記第1の光ファイバの先端から前記回転体の表面までの距離を予測し、

予測された前記距離に対応する出射角度を有する前記発光波長を設定し、

設定した前記発光波長による前記出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行う

ことを特徴とする光計測装置。

[請求項4] 請求項3に記載の光計測装置において、

前記制御手段は、

前記温度検出手段で検出した前記温度と前記回転数検出手段で検出した前記回転数に基づいて、前記第1の光ファイバの先端から前記回転体の表面までの距離を予測し、

予測された前記距離に対応する出射角度を有する前記発光波長を設定し、

設定した前記発光波長を中心波長とする波長領域において、前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、

選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、前記光計測を行うことを特徴とする光計測装置。

[請求項5] 請求項1から請求項4のいずれか1つに記載の光計測装置を備えたことを特徴とする回転機械。

[請求項6] 光の発光波長を変更可能な波長可変光源から前記光を出力し、
第1の光ファイバを用いて前記波長可変光源から出力された前記光を回転体に照射し、

前記回転体に凹設された楕円面又は放物面からなる凹面により、前

記第 1 の光ファイバから照射された前記光を反射し、

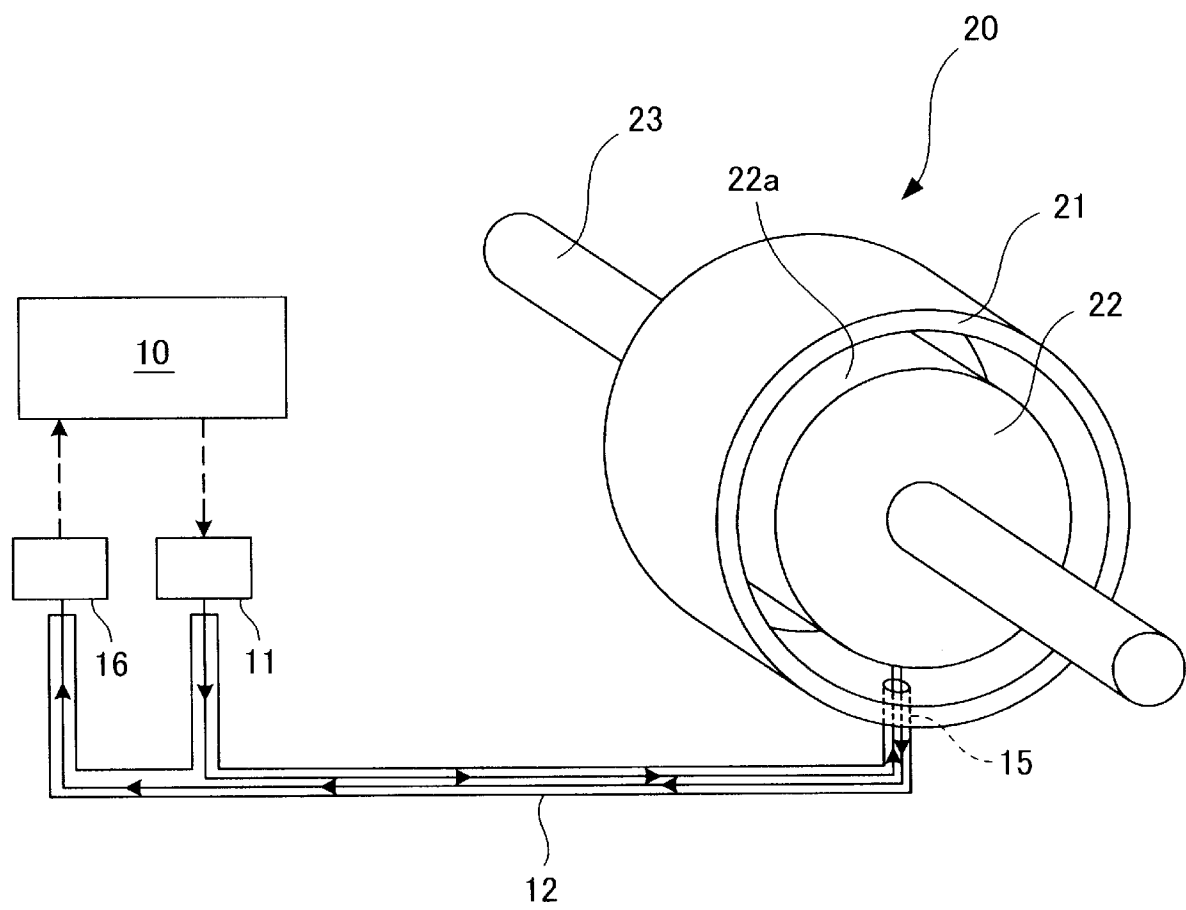
第 2 の光ファイバを用いて前記凹面により反射された前記光を受光し、

強度検出手段を用いて前記第 2 の光ファイバで受光した前記光の強度を検出し、

前記波長可変光源の前記発光波長を変更させながら、前記強度検出手段により前記強度を検出して、前記強度が最大となる前記発光波長を選択し、選択した前記発光波長による出射角度の前記光を用いて、前記凹面により反射された前記光の前記強度を検出して、光計測を行う

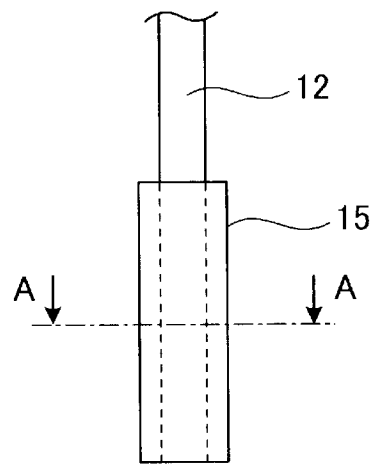
ことを特徴とする光計測方法。

[図1]

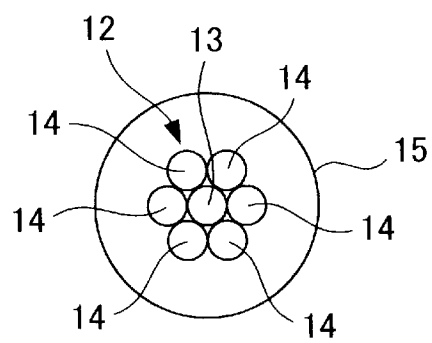


[図2]

(a)

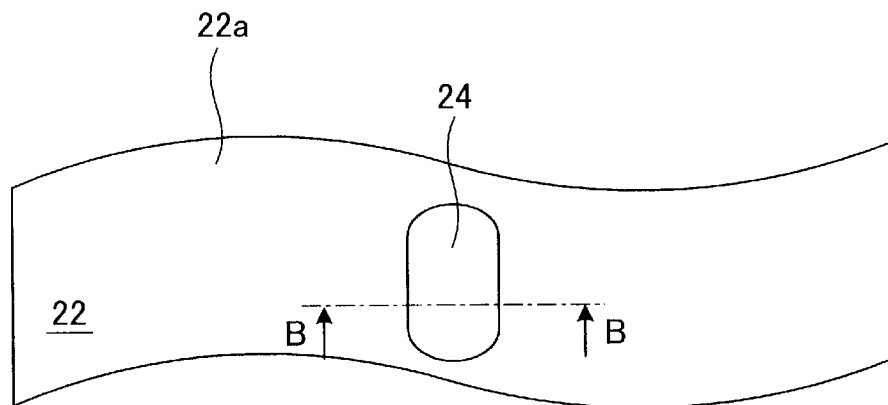


(b)

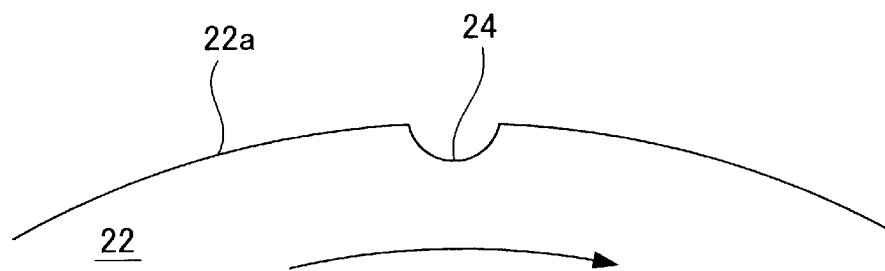


[図3]

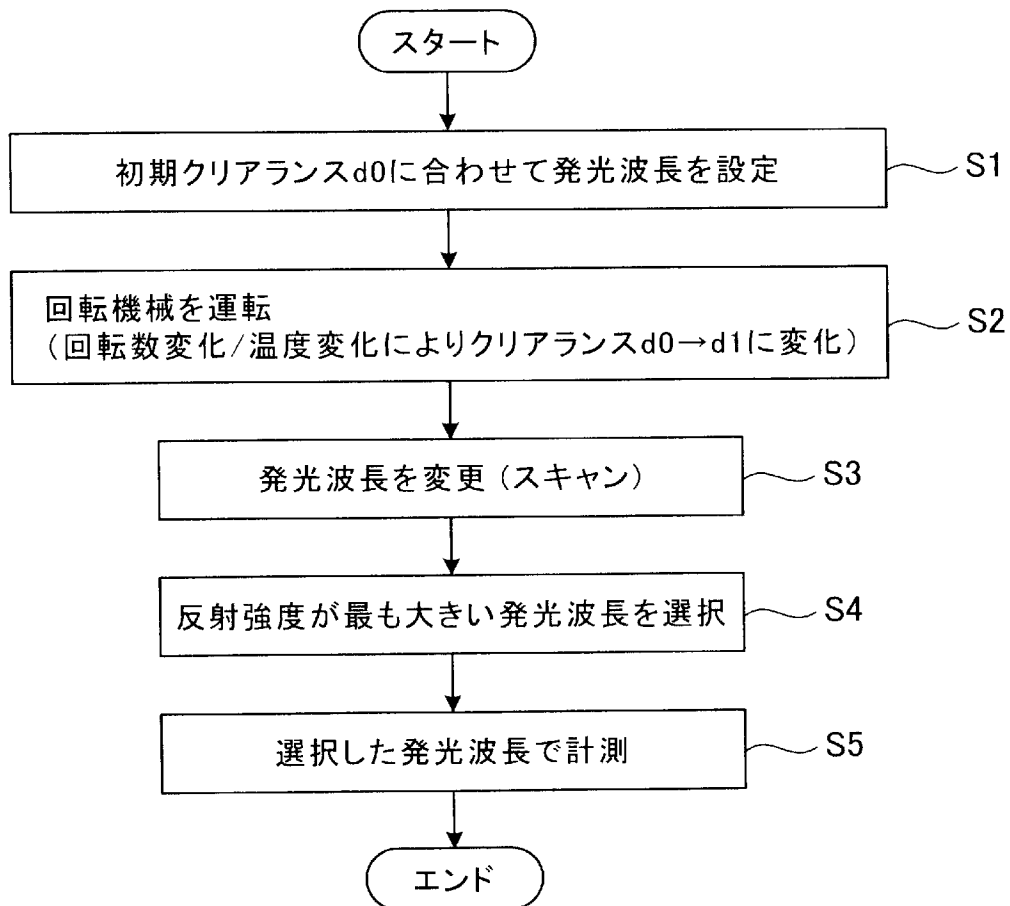
(a)



(b)

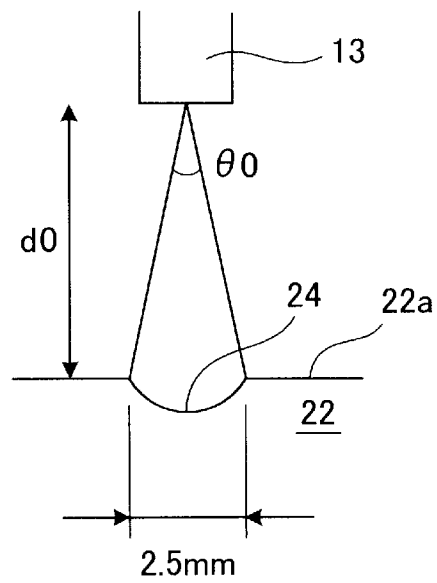


[図4]

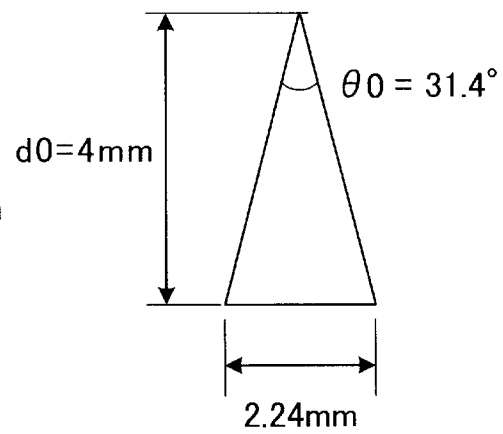


[図5]

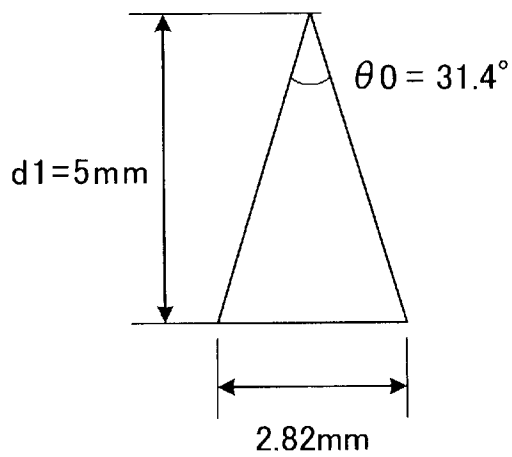
(a)



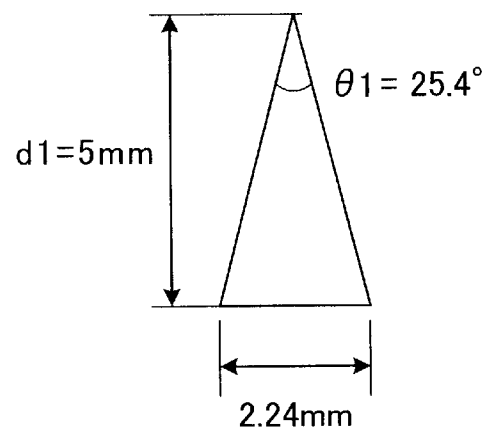
(b)



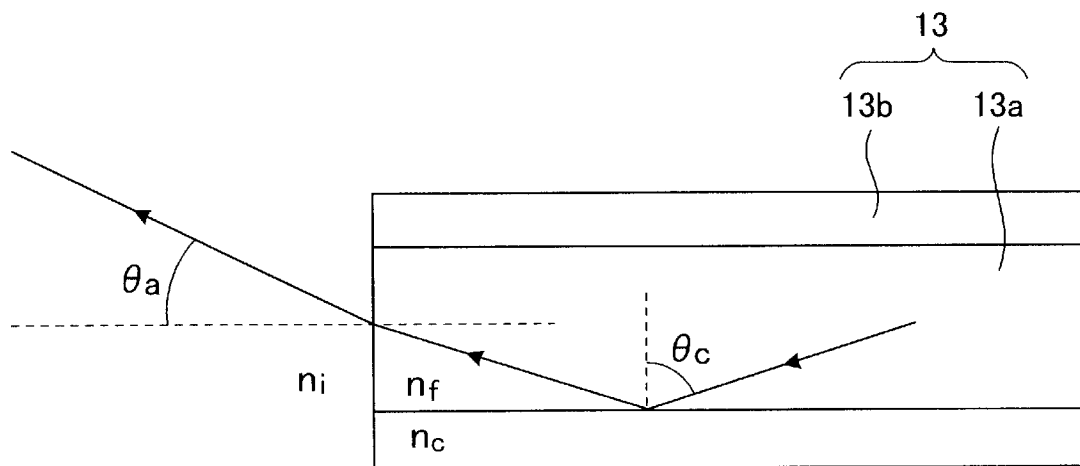
(c)



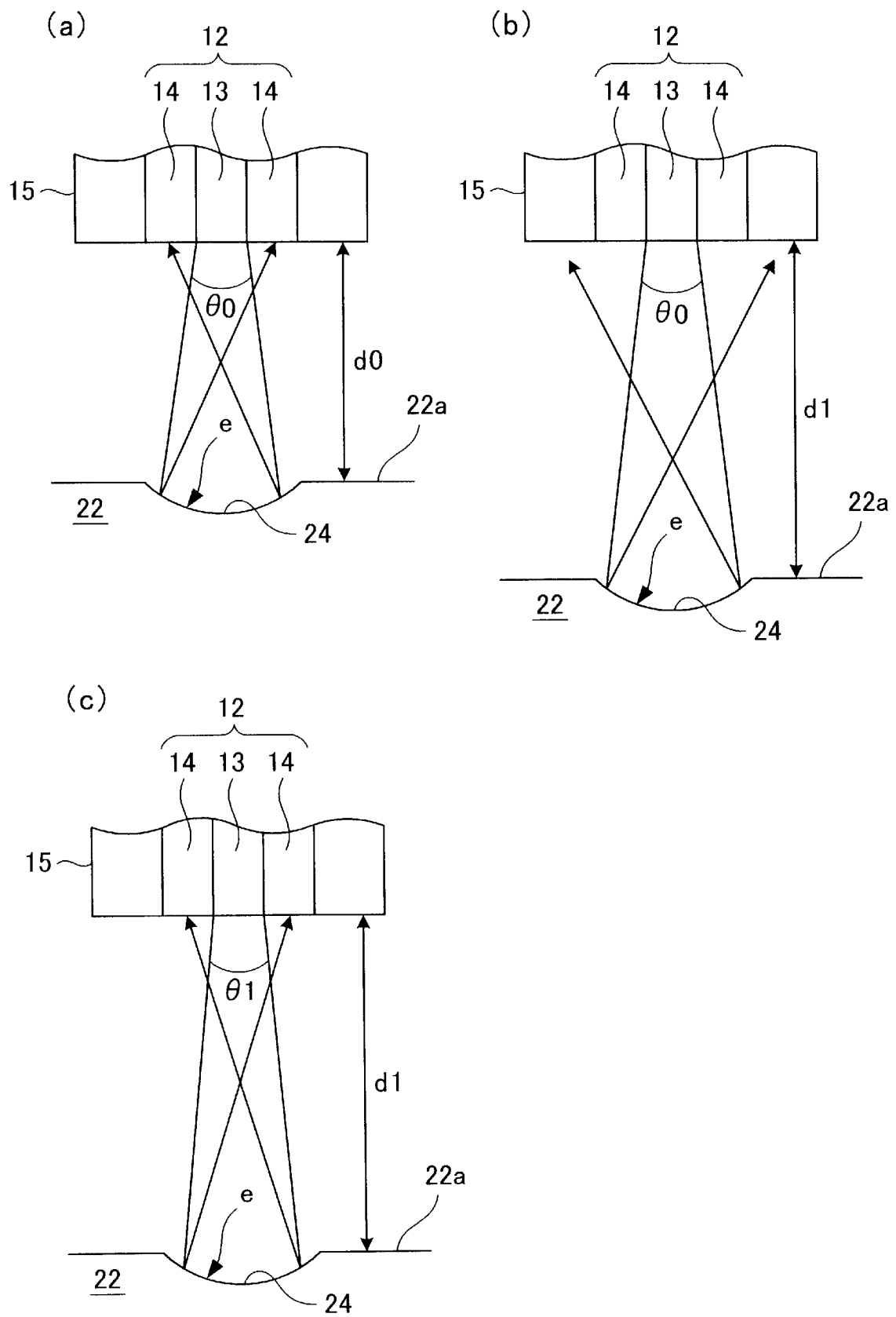
(d)



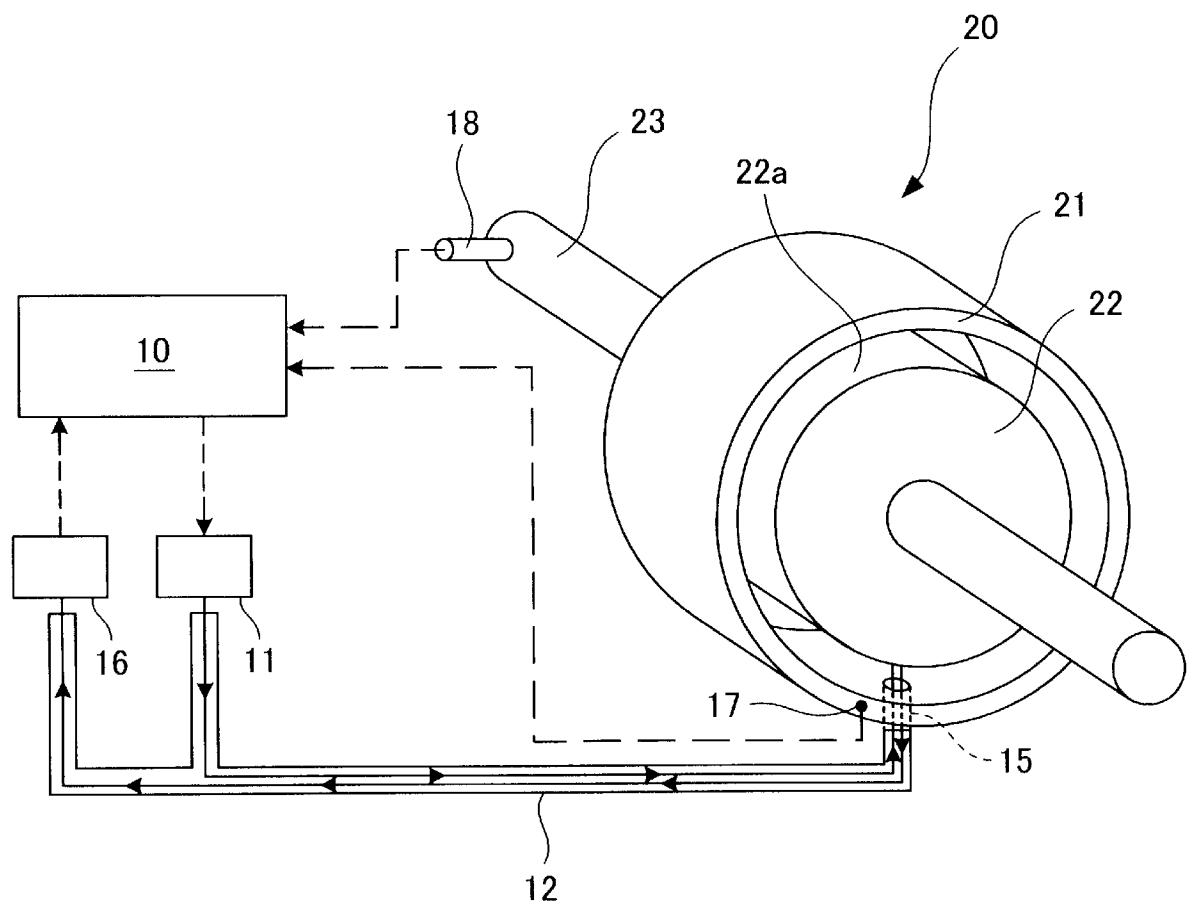
[図6]



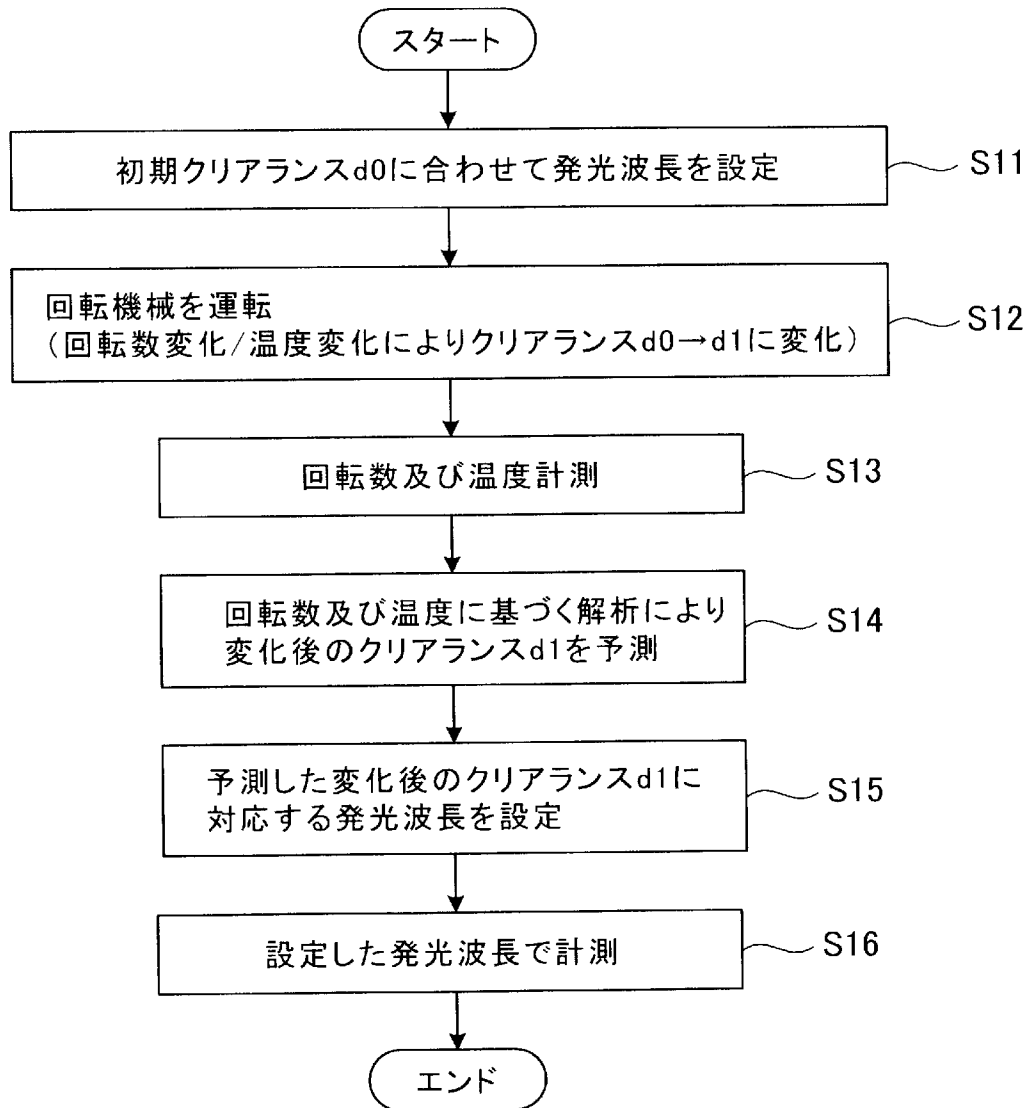
[図7]



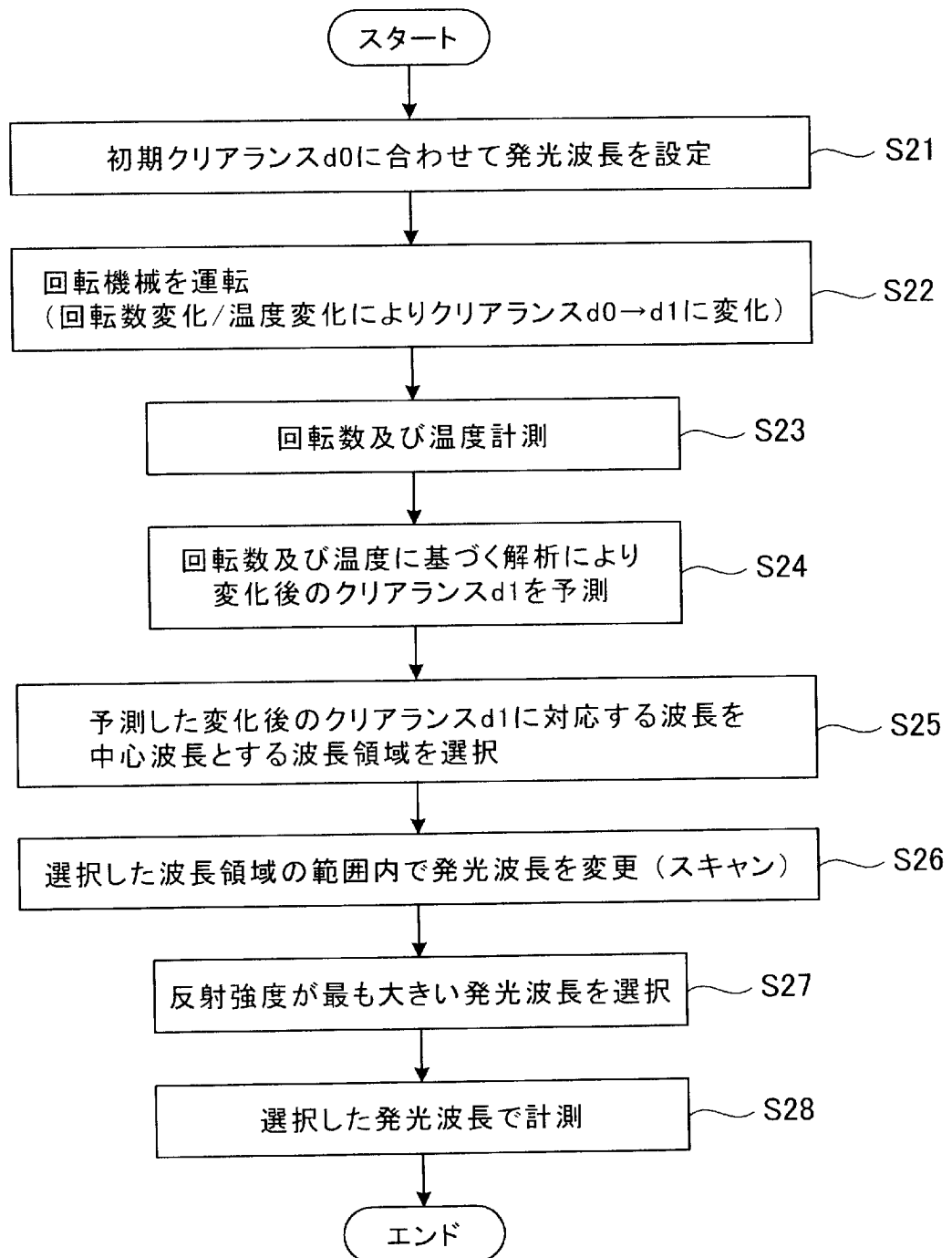
[図8]



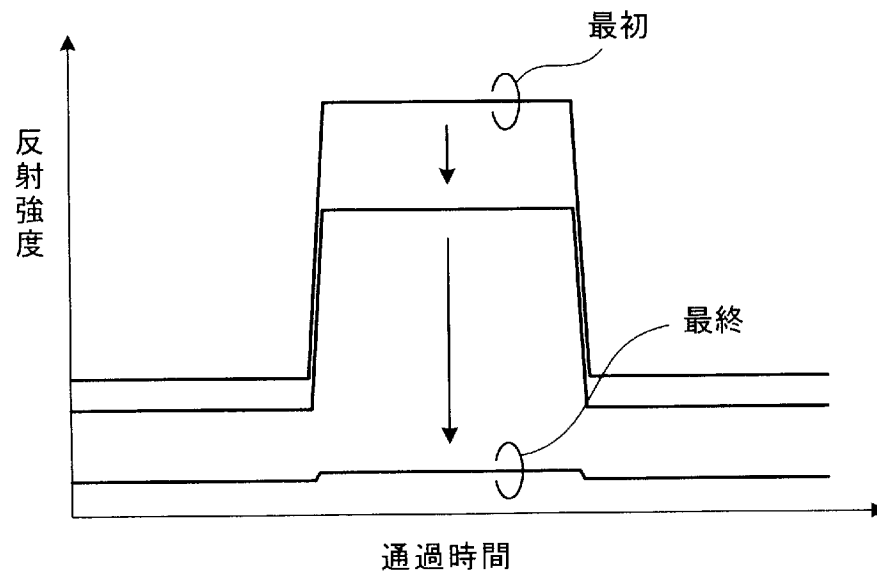
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/009637

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01H9/00(2006.01)i, G01B11/00(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)

G01H9/00, G01B11/00, G01M13/00, G01M99/00, G01L3/00, G01L5/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-270255 A (Toshiba Corp.), 25 September 2003 (25.09.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2011-7678 A (IHI Corp.), 13 January 2011 (13.01.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2005-43150 A (Toshiba Corp.), 17 February 2005 (17.02.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

☒ 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
22 May 2017 (22.05.17)

Date of mailing of the international search report
30 May 2017 (30.05.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/009637

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-169022 A (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.), 14 June 2002 (14.06.2002), entire text; all drawings & US 2002/0122613 A1 & EP 1211531 A2 & CN 1357772 A	1-6
A	JP 1-237618 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 22 September 1989 (22.09.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	US 2008/0204707 A1 (HWANG Yoha), 28 August 2008 (28.08.2008), entire text; all drawings & GB 2445697 A & WO 2007/139262 A1	1-6
A	US 2010/0158434 A1 (BECKER Edwin), 24 June 2010 (24.06.2010), entire text; all drawings & DE 102008061553 A1	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01H9/00(2006.01)i, G01B11/00(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（IPC））

Int.Cl. G01H9/00, G01B11/00, G01M13/00, G01M99/00, G01L3/00, G01L5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2003-270255 A（株式会社東芝） 2003.09.25 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2011-7678 A（株式会社IHI） 2011.01.13 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 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

22.05.2017

国際調査報告の発送日

30.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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）

山口 剛

2 J

9806

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

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
A	JP 2005-43150 A (株式会社東芝) 2005.02.17 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 2002-169022 A (日本板硝子株式会社) 2002.06.14 全文、全図 & US 2002/0122613 A1 & EP 1211531 A2 & CN 1357772 A	1 - 6
A	JP 1-237618 A (日本電信電話株式会社) 1989.09.22 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	US 2008/0204707 A1 (HWANG Yoha) 2008.08.28 全文、全図 & GB 2445697 A & WO 2007/139262 A1	1 - 6
A	US 2010/0158434 A1 (BECKER Edwin) 2010.06.24 全文、全図 & DE 102008061553 A1	1 - 6