

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/043547 A1

(51) 国際特許分類:

G01B 11/14 (2006.01) F02C 7/00 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)

[JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目
1 6 番 5 号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/031118

(22) 国際出願日: 2017年8月30日(30.08.2017)

(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 2016-167844 2016年8月30日(30.08.2016) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社
(MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)

(72) 発明者: 福山 美咲 (FUKUYAMA, Misaki);
〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号
三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 近藤 明生
(KONDO, Akio); 〒1088215 東京都港区港南二
丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo
(JP). 大西 智之(ONISHI, Tomoyuki); 〒1088215
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株
式会社内 Tokyo (JP). 宮本 貴洋(MIYAMOTO,
Takahiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1
6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許
事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT

(54) Title: CLEARANCE MEASUREMENT DEVICE AND CLEARANCE CONTROL SYSTEM

(54) 発明の名称: クリアランス計測装置およびクリアランス制御システム

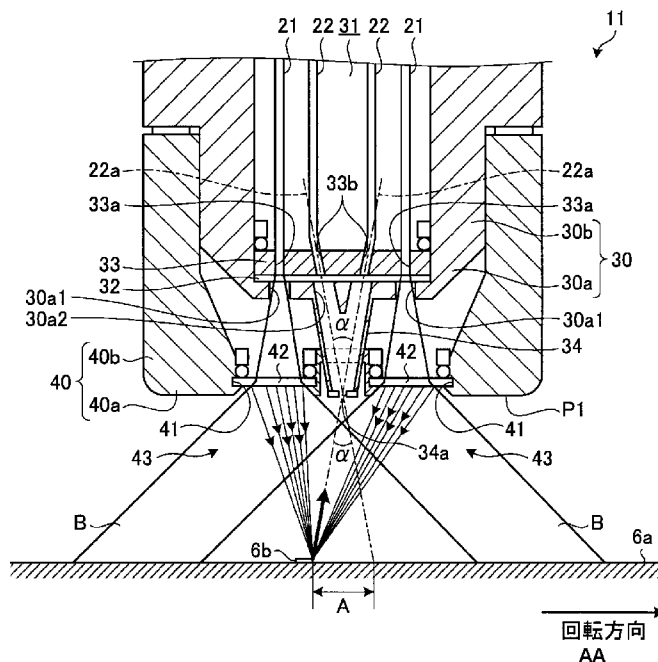


FIG. 6:
AA Rotation direction

(57) Abstract: The present invention is provided with: a marker 6b that is provided in the rotation direction on the outer circumferential surface 6a of a rotor blade and has a different reflectance than the outer circumferential surface 6a; an optical sensor 11 that emits light toward the outer circumferential surface 6a, receives the light reflected by the outer circumferential surface 6a, and detects the marker 6b according to variation in the amount of received reflected light; and a measurement control unit that subjects the light emission signal emitted by the optical sensor 11 and the light reception



OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が
関 3 丁目 8 番 1 号 虎の門三井ビル
ディング 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, JO, 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))

signal received by the optical sensor 11 to signal processing. The optical sensor 11 is provided with light reception optical fibers 22, 22 that are disposed such that the optical axes 22a, 22a thereof intersect at a prescribed angle α and form a measurement area A on the outer circumferential surface 6a, and planar light sources 43, 43 that are disposed side-by-side in the rotation direction of the rotor blade and alternately and repeatedly irradiate the measurement area A.

(57) 要約: 動翼の外周面 6 a に回転方向に設けられ、外周面 6 a と異なる反射率を有するマーカ 6 b と、外周面 6 a に向けて光を出射して外周面 6 a から反射する反射光を受光し、受光した反射光量の変化によりマーカ 6 b を検出する光センサ 1 1 と、光センサ 1 1 が出射する発光信号と受光した受光信号とを信号処理する計測制御部とを備え、光センサ 1 1 は、光軸 2 2 a、2 2 a が所定角度 α で交差するよう配置されて外周面 6 a 上に計測領域 A を有する受光用ファイバ 2 2、2 2 と、動翼の回転方向に沿って並設されて計測領域 A に相互に重ねて照射する面光源 4 3、4 3 とを備える。

明 細 書

発明の名称：

クリアランス計測装置およびクリアランス制御システム

技術分野

[0001] 本発明は、円筒状に形成されたケーシングと、ケーシング内を回転する回転体とのクリアランスを計測するクリアランス計測装置およびクリアランス制御システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、円筒状に形成されたケーシング内を回転する複数の動翼（回転体）を有する軸流圧縮機などの回転機械が知られている（例えば、特許文献1参照）。この種の回転機械では、ケーシングと動翼とのチップクリアランスを計測するチップクリアランスセンサを設け、計測したチップクリアランスの値が適正となるように保っている。このチップクリアランスセンサには、例えば、光センサなどの非接触型のセンサが用いられている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-254091号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、軸流圧縮機、蒸気タービンまたはガスタービンなどの回転機械において、ケーシングと動翼（回転体）とのクリアランス管理は、適正な効率を得るために非常に重要であり、上記したクリアランスを正確に測定することが要求される。このため、例えば、動翼の外周面（先端面）に、該外周面と反射率の異なる所定のマーカを設け、光センサの光ファイバから照射されたレーザ光を動翼の外周面に照射し、その反射光量の変化に基づきマーカが所定位置を通過したことを検出する。そして、この検出結果からマーカが異なる2つの所定位置間を通過する通過時間を求め、この通過時間、動翼の

回転時間などに基づいて、ケーシングと動翼とのクリアランスが算出されている。

[0005] しかし、従来の構成では、光ファイバ（点光源）から照射されたレーザ光がマーカ表面の凹凸による鏡面反射の影響を受けて、マーカをうまく検出できない場合があり、マーカの通過時間に誤差が生じ、ひいては、クリアランスを正確に計測することができないといった問題があった。

[0006] そこで、本発明の目的は、マーカ表面での鏡面反射を抑え、クリアランスの計測誤差を軽減することができるクリアランス計測装置およびクリアランス制御システムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、円筒状に形成されたケーシングの内周面と、ケーシング内を回転する回転体の外周面とのクリアランスを計測するクリアランス計測装置であって、回転体の外周面に設けられたマーカと、ケーシングに固定され、回転体の外周面に向けて光を出射して該回転体から反射する反射光を受光し、受光した反射光量の変化によりマーカを検出する光センサと、光センサが出射する発光信号と受光した受光信号とを信号処理する計測制御部とを備え、光センサは、光軸が所定角度で交差するよう配置されて外周面上に計測領域を有する受光用ファイバと、回転体の回転方向に沿って並設されて計測領域に相互に重ねて照射する面光源と、を備えたことを特徴とする。

[0008] この構成によれば、面光源から計測領域に向けて光が照射されるため、配光特性のばらつきを低減することができ、計測領域を通過するマーカ表面の鏡面反射を抑え、クリアランスを正確に計測することができる。

[0009] この構成において、光センサは、面光源の間に受光用開口を有し、受光用ファイバの各光軸は、受光用開口の内側で交差することが好ましい。この構成によれば、受光用ファイバの間隔を縮小することができるため、熱伸びによる誤差を低減することができる。

[0010] また、面光源は、所定波長の励起光を出射する送光用ファイバと、送光用

ファイバから出射された励起光により蛍光を発する蛍光板とを備えてもよい。この構成によれば、蛍光板の全面から蛍光が発せられるため、計測領域を含む領域に容易に照射することができる。

[0011] 更に、励起光を遮断し、蛍光を透過させるフィルタを備えてもよい。この構成によれば、フィルタが励起光を遮断するため、励起光を受光することに伴う誤動作を防止できる。

[0012] また、面光源は、光を出射する送光用ファイバと、送光用ファイバから出射された光を散乱させる散乱板とを備えてもよい。この構成によれば、散乱板が光を拡散させるため、計測領域を含む領域に容易に照射することができる。

[0013] また、面光源は、光を出射する送光用ファイバを束ねて形成されてもよい。この構成によれば、各送光用ファイバから出射される光の照射面積を拡大することができ、計測領域を含む領域に容易に照射することができる。

[0014] また、本発明に係るクリアランス制御システムは、上記したクリアランス計測装置と、このクリアランス計測装置により計測されたクリアランスに基づいて、クリアランスを調整するためのクリアランス調整制御を実行する制御部とを備えてもよい。この構成によれば、クリアランスを正確に計測することができるため、制御部によるクリアランス調整制御を精度よく実行することができる。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、各面光源から計測領域に向けて光が照射されるため、配光特性のばらつきを低減することができ、計測領域を通過するマーカ表面の鏡面反射を抑え、クリアランスを正確に計測することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、第1実施形態に係るクリアランス制御システムに関する概略構成図である。

[図2]図2は、クリアランスの算出方法に関する説明図である。

[図3]図3は、光センサを用いて検出した受光信号の信号強度に関するグラフ

である。

[図4]図4は、マーカの表面形状が反射光に影響を及ぼす状態を説明するための図である。

[図5]図5は、マーカの表面形状が反射光に影響を及ぼす状態を説明するための図である。

[図6]図6は、光センサが外周面に光を照射した状態を示す部分断面図である。

[図7]図7は、光センサの検出面を示す平面図である。

[図8]図8は、光センサから照射された光が反射する状態を説明するための図である。

[図9]図9は、光センサにおける反射光のなす角度とクリアランスとの関係を示す図である。

[図10]図10は、第2実施形態に係る光センサが外周面に光を照射した状態を示す部分断面図である。

[図11]図11は、光センサの検出面を示す平面図である。

[図12]図12は、第3実施形態に係る光センサが外周面に光を照射した状態を示す部分断面図である。

[図13]図13は、光センサの検出面を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下に、本発明に係る実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能であり、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせることも可能である。

[0018] [第1実施形態]

図1は、第1実施形態に係るクリアランス制御システムに関する概略構成図である。図1に示すように、第1実施形態に係るクリアランス制御システ

ム 1 は、タービン 3 のケーシング 5 と動翼（回転体） 6 との間に形成されるクリアランス d を計測し、計測結果に基づいて、クリアランス d を調整するシステムである。まず、クリアランス制御システム 1 の説明に先立ち、タービン 3 について説明する。

[0019] タービン 3 は、蒸気タービンまたはガスタービンを含むターボ機械である。タービン 3 は、回転軸となる図示しないロータに設けられる複数の動翼 6 と、複数の動翼 6 の周囲に設けられるケーシング 5 とを有している。複数の動翼 6 は、ロータに取り付けられると共に、ロータの周方向に所定の間隔を空けて並べて設けられている。ケーシング 5 は、周方向に並べて設けられる動翼 6 に対向して設けられ、円筒形状に形成されている。ケーシング 5 は、このケーシング 5 の内周面 5 a と動翼 6 の外周面（先端面） 6 a との間に所定のクリアランス d を空けて複数の動翼 6 に対向して設けられる。ケーシング 5 は、例えば、内車室と、内車室の外側に設けられる外車室とを含む構成である。

[0020] 次に、図 1 を参照して、クリアランス制御システム 1 について説明する。クリアランス制御システム 1 は、タービン制御部 8 と、クリアランス計測装置 10 とを備えており、クリアランス計測装置 10 は、ケーシング 5 の内周面 5 a と動翼 6 の外周面 6 a との間のクリアランス d を計測する。

[0021] タービン制御部 8 は、クリアランス計測装置 10 により計測されたクリアランス d に基づいて、クリアランス d を調整するためのクリアランス調整制御を実行している。ここで、クリアランス d としては、ロータの径方向におけるクリアランス（いわゆる、チップクリアランス）と、ロータの軸方向におけるクリアランスとがあり、図 1 では、ロータの径方向におけるクリアランス d を示している。

[0022] タービン制御部 8 は、ロータの径方向におけるクリアランス調整制御として、例えば、内車室及び外車室を含むケーシング 5 を上下移動させるアクチュエータを制御することにより、クリアランス d を調整している。また、タービン制御部 8 は、例えば、ロータを上下移動させるアクチュエータを制御

することにより、クリアランス d を調整してもよい。また、タービン制御部 8 は、例えば、ケーシング 5 の温度を制御して、ケーシング 5 の熱伸びを調整することで、クリアランス d を調整してもよい。

[0023] クリアランス計測装置 10 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間のクリアランス d を計測しており、光センサ 11 と、発光部 12 と、受光部 13 と、計測制御部 14 と、を備えている。図 1 に示すように、光センサ 11 は、ケーシング 5 に取り付けられ、その検出面 P1 が、ロータの径方向において動翼 6 と対向するように配置される。このため、光センサ 11 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間の高温・高圧の外部環境下に曝される。光センサ 11 は、発光部 12 に接続される複数の送光用ファイバ 21 と、受光部 13 に接続される複数の受光用ファイバ 22 と、を備えて構成される。

[0024] 発光部 12 は、計測制御部 14 の発光信号に基づき、送光用ファイバ 21 を通じて動翼 6 の外周面 6a に向けて光を照射する。動翼 6 の外周面 6a には、この外周面 6a よりも反射率が高いマーカ 6b が設けられている。このマーカ 6b は、例えば、耐熱ペイントなどを用いて、動翼 6 の外周面 6a に、回転方向に間隔を空けて配置されている。このため、外周面 6a に照射された光は、マーカ 6b で反射され、光センサ 11 の検出面 P1 に入射する。受光部 13 は、検出面 P1 から入射した反射光を受光し、計測制御部 14 へ向けて受光信号を出力する。

[0025] 計測制御部 14 は、発光部 12 及び受光部 13 にそれぞれ接続され、発光部 12 に向けて発光信号を出力すると共に、受光部 13 から出力された受光信号が入力される。また、計測制御部 14 は、タービン制御部 8 に接続され、発光信号と受光信号とを信号処理して、クリアランス d を計測し、計測したクリアランス d を、タービン制御部 8 へ向けて出力する。

[0026] 次に、一般的なクリアランス d の算出方法について説明する。図 2 は、クリアランスの算出方法に関する説明図であり。図 3 は、光センサを用いて検出した受光信号の信号強度に関するグラフである。計測制御部 14 は、例えば、下記の (1) 式に示す算出式に基づいて、クリアランス d を算出するこ

とができる。

[0027] [数1]

$$d = \frac{\frac{1}{2} \overline{CD}}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \overline{AB}}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{1}{2} \times 2\pi R \times \frac{\Delta t}{T}}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \ell}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad \dots (1)$$

[0028] ここで、角度 α は、2本の受光用ファイバ22に入射される2本の光（光軸）の導光方向がなす角度である。この角度 α は、既知の角度となっている。距離 l は、A－B間の長さ、つまり、2本の受光用ファイバ22の間の距離であり、既知の距離となっている。また、周長 $2\pi R$ は、複数の動翼6の外周における周長であり、既知の周長となっている。時間 T は、1周（一回転）にかかる時間であり、ロータの回転速度に基づいて得られる時間となっている。つまり、「 $2\pi R / T$ 」が、複数の動翼6の外周における周速となっている。時間 Δt は、動翼6の外周面6aに設けられたマーカ6bを検出してから次にマーカ6bを検出するまでの時間となっており、受光信号に基づいて得られる。この場合、マーカ6bは同一のものであっても別のものであってもよい。

[0029] ここで、計測制御部14は、受光信号として、図3に示す受光信号を取得する。図3は、その横軸が時間となっており、その縦軸が信号強度となっている。図3に示すとおり、受光信号は、2つの信号ピークが検出されている。2つの信号ピークは、例えば、光がマーカ6bに照射された際の反射光量の変化によって得られる。そして、計測制御部14は、一方の信号ピークから他方の信号ピークまでの時間を、時間 Δt として取得する。計測制御部14は、受光信号に基づいて時間 Δt を取得すると、上記の（1）式に示す算出式に基づいて、クリアランス d を算出することができる。

[0030] このように、動翼6の外周面6aにマーカ6bを設け、このマーカ6bを検出することにより、先のマーカ6bを検出してから次のマーカ6bを検出するまでの時間 Δt を取得することができ、この時間 Δt に基づきクリアラ

ンス d を算出できる。このため、クリアランス d を正確に算出するためには、時間 Δt を正確に検出することが要求される。発明者の鋭意研究によると、光ファイバ（点光源）から照射される光は、マーカ 6 b の表面の凹凸における鏡面反射の影響を受けて、マーカ 6 b の位置をうまく捉えられない場合があり、時間 Δt に誤差が生じるおそれがあることが分かった。図 4 および図 5 は、マーカの表面形状が反射光に影響を及ぼす状態を説明するための図である。

[0031] 図 4 および図 5 に示した例では、一对の送光用ファイバおよび一对の受光用ファイバの光軸がそれぞれ角度 α で交差するように配置されており、一方の送光用ファイバから出射された光（レーザ光線）がマーカ 6 b で反射され、受光用ファイバを通じて受光される。図 4 に示すように、マーカ 6 b の先端 6 b s に光が照射されると、この光はマーカ 6 b で反射して受光用ファイバで受光される。このため、時刻 t_0 において、反射光強度（図 3 における信号強度）が大きくなる。マーカ 6 b の表面は、凹凸が形成されているため、マーカ 6 b に対して、レーザ光線のような指向性の高い光を一方向から照射する場合には、照射された光が表面の凹凸で鏡面反射する。このため、マーカ 6 b の範囲内においても反射光強度が急激に変化する場合があり、マーカ 6 b の終端 6 b e が、本来の時刻 t_1 ではなくマーカ 6 b の途中の時刻 $t_{1'}$ として検出されることがある。

[0032] 同様に、図 5 に示すように、もう一方の送光用ファイバから光が照射された場合には、マーカ 6 b の形状によっては、先端 6 b s で鏡面反射せずに受光用ファイバで受光することができない。このため、マーカ 6 b の先端 6 b s が、本来の時刻 t_2 ではなくマーカ 6 b の途中の時刻 $t_{2'}$ として検出されることがある。このように、レーザ光線のような指向性の高い光を一方向から照射する構成では、マーカ 6 b の表面の凹凸によって、時刻を誤って検出する事態が生じ、計測値である時間 Δt は、本来の時間よりも長い時間 $\Delta t'$ となり誤差が生じるおそれがあった。発明者は、このような問題に鑑み、マーカ 6 b の表面での鏡面反射を抑え、時間 Δt を正確に検出できる光セ

ンサ１１を考案した。

[0033] 次に、光センサ１１について説明する。図６は、光センサが外周面に光を照射した状態を示す部分断面図であり、図７は、光センサの検出面を示す平面図である。光センサ１１は、図６に示すように、センサ本体３０と、検出面Ｐ１を有し、センサ本体３０に取り付けられるヘッドカバー４０とを備える。センサ本体３０は、底板部３０ａと円筒部３０ｂとを備えた有底円筒状を呈し、内側に内部空間３１が形成される。この内部空間３１には、一对の送光用ファイバ２１と一对の受光用ファイバ２２とが収容される。一对の受光用ファイバ２２は、内部空間３１を中心側に配置され、一对の送光用ファイバ２１は、受光用ファイバ２２を挟んで、内部空間３１の側壁側に配置される。これら送光用ファイバ２１および受光用ファイバ２２は、図７に示すように、動翼６（図１）の回転方向に沿って配置されている。

[0034] また、内部空間３１には、図６に示すように、底板部３０ａ上に耐圧ガラスなどの透明部材３２と、この透明部材３２に積層されるファイバ保持部材３３とが配置される。ファイバ保持部材３３には、送光用貫通孔３３ａと、受光用貫通孔３３ｂとが形成され、これら送光用貫通孔３３ａ、受光用貫通孔３３ｂにそれぞれ送光用ファイバ２１、受光用ファイバ２２が挿入される。センサ本体３０の底板部３０ａには、透明部材３２を介して送光用貫通孔３３ａに連通する送光用窓部３０ａ１と、透明部材３２を介して受光用貫通孔３３ｂに連通する受光用窓部３０ａ２とが設けられている。本構成では、透明部材３２およびファイバ保持部材３３は、高耐圧にシールされて保持される。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても、送光用ファイバ２１、受光用ファイバ２２が配置さえる内部空間３１は大気圧環境とすることができ、外部環境を要因とする送光用ファイバ２１、受光用ファイバ２２の変化を抑制できることから、検出精度の低下を抑制することができる。なお、内部空間３１は、外部環境から遮断されるため、内部空間３１に、別途、冷却した空気を循環して導入することもできる。

[0035] 受光用貫通孔３３ｂ、３３ｂは、挿入される一对の受光用ファイバ２２、

22の光軸22a, 22aが上記した角度 α で交差するように形成されている。受光用窓部30a2, 30a2の周囲には、受光用ファイバ22, 22に光を導く導光路を形成する円錐状カバー34が設けられ、この円錐状カバー34の底部には、円錐状カバー34内に光を取り込む受光用開口34aが設けられる。このため、円錐状カバー34内には、受光用開口34a以外から光が進入することが防止される。また、受光用ファイバ22, 22の光軸22a, 22aは、受光用開口34aの内側で交差する。これにより、受光用開口34aの開口面積を小さくすることができる。受光用ファイバ22, 22の光軸22a, 22aは、受光用開口34aで上記した回転に広がり、動翼6（図1）の外周面6aに当接する。このため、本構成では、外周面6aには、回転方向に沿って、光軸22a, 22aで区画された計測領域Aが形成される。

[0036] 一方、ヘッドカバー40は、図6に示すように、底板部40aと円筒部40bとを備えた有底円筒状に形成され、センサ本体30の円筒部30bに取り付けられている。底板部40aの底面が検出面P1となっており、底板部40aには、図7に示すように、各送光用ファイバ21とほぼ同心状にそれぞれ開口41が形成され、この開口41には蛍光板42が取り付けられている。蛍光板42は、所定波長の励起光が照射されると、蛍光を発する蛍光材料を含んで形成された板材である。本構成では、発光部12から出射された励起光は、送光用ファイバ21を通じて蛍光板42に照射される。蛍光板42は、励起光を吸収することで蛍光板42の全面から蛍光を発する。このため、図6に示すように、蛍光板42から発せられた蛍光は、大きく広がった照射領域B, Bを形成し、これら照射領域B, Bは、計測領域Aに相互に重ねて形成される。本実施形態では、送光用ファイバ21と蛍光板42とを備えて面光源43を構成する。

[0037] この構成によれば、図8に示すように、蛍光板42から照射された照射光Laは、多方向に広がって、マーカ6bに照射される。このため、配光特性のばらつきを低減することができ、上記した計測領域A（図6）内でマーカ

6 b に照射されたいずれかの方向の照射光 L a がマーカ 6 b の先端 6 b s、
 終端 6 b e で確実に反射し、この反射光 L b が受光用開口 3 4 a に入射され
 る。このため、計測値としての時間 Δt を正確に計測することができる。特
 に、蛍光は、励起光と波長が異なるため、受光部 1 3 は、励起光の波長を遮
 断して、蛍光の波長を透過するフィルタ（不図示）を備えることにより、励
 起光を受光することによる誤動作を防止できる。

[0038] また、本実施形態では、反射光 L b、L b の角度 α とクリアランス d との
 関係は図 9 に示すようになる。このため、計測制御部 1 4 は、受光信号に基
 づいて時間 ΔT を取得すると、下記の（２）式に示す算出式に基づいて、ク
 リアランス d を正確に計測することができる。計測制御部 1 4 は、計測した
 クリアランス d を、タービン制御部 8 へ向けて出力する。なお、（２）式に
 おける「 $2\pi R/T$ 」は、上述の（１）式と同様に、複数の動翼 6 の外周に
 おける周速である。また、（２）式における時間「 ΔT 」は、（１）式の時
 間「 Δt 」に相当する。

[0039] [数2]

$$d = \frac{\frac{1}{2} \times 2\pi R \times \frac{\Delta T}{T}}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad \dots (2)$$

[0040] 以上のように、第 1 実施形態によれば、各面光源 4 3 から計測領域 A に向
 けて光が照射されるため、配光特性のばらつきを低減することができ、計測
 領域 A を通過するマーカ 6 b の表面の鏡面反射を抑え、クリアランス d を正
 確に計測することができる。また、光センサ 1 1 は、複数の面光源 4 3、4
 3 の間に受光用開口 3 4 a を有し、受光用ファイバ 2 2 の各光軸 2 2 a、2
 2 a は、受光用開口 3 4 a の内側で交差するため、受光用ファイバ 2 2、2
 2 の間隔を縮小することができるため、該受光用ファイバ 2 2、2 2 が熱伸
 びすることに伴う誤差を低減することができる。

[0041] また、面光源 4 3 は、所定波長の励起光を出射する送光用ファイバ 2 1 と

、送光用ファイバ21から出射された励起光により蛍光を発する蛍光板42とを備えるため、蛍光板42の全面から蛍光を発することができ、計測領域Aに容易に照射することができる。

[0042] 更に、受光部13は、励起光の波長を遮断して、蛍光の波長を透過するフィルタ（不図示）を備えることにより、励起光を受光することによる誤動作を防止できる。

[0043] [第2実施形態]

図10は、第2実施形態に係る光センサが外周面に光を照射した状態を示す部分断面図であり、図11は、光センサの検出面を示す平面図である。上記した実施形態では、送光用ファイバ21と蛍光板42とを有する面光源43を備えた光センサ11について説明したが、この第2実施形態では面光源の構成が異なる。第1実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。

[0044] 光センサ51は、図10及び図11に示すように、面光源46を備え、この面光源46は、送光用ファイバ21と散乱板45とを備えて構成される。散乱板45は、例えば、耐圧ガラスなどの透光性を有する板材の表面に、特定の粒子径の砂などを用いて形成された拡散層を有する。この構成では、透過する際に光の向きをランダムに反射させることで光を拡散させるため、光の波長を変換する必要がなく、装置構成が簡素となる。

[0045] この実施形態によっても、各面光源46から計測領域Aに向けて光が照射されるため、配光特性のばらつきを低減することができ、計測領域Aを通過するマーカ6bの表面の鏡面反射を抑え、クリアランスdを正確に計測することができる。また、面光源46は、光を出射する送光用ファイバ21と、送光用ファイバから出射された光を散乱させる散乱板45とを備えるため、簡素な構成で光を拡散することができ、計測領域Aに容易に照射することができる。

[0046] [第3実施形態]

図12は、第3実施形態に係る光センサが外周面に光を照射した状態を示

す部分断面図であり、図 13 は、光センサの検出面を示す平面図である。上記した実施形態では、送光用ファイバ 21 と蛍光板 42 とを有する面光源 43 を備えた光センサ 11 について説明したが、この第 3 実施形態では面光源の構成が異なる。第 1 実施形態と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。

[0047] 光センサ 61 は、図 12 及び図 13 に示すように、面光源 48 を備え、この面光源 48 は、多数（20～40 本）の送光用ファイバ 21 を束ねて形成された送光用ファイバ群 62 を備えて構成される。本実施形態では、ファイバ保持部材 33 には、送光用ファイバ群 62 が挿入される貫通孔 33c が形成されている。送光用ファイバ 21 から出射されるレーザ光線は、指向性が高いものの、送光用ファイバ 21 を束ねて送光面積を拡大することにより、面光源として機能し、光を拡散することができる。

[0048] ヘッドカバー 40 の底板部 40a には、徐々に拡径する導光開口 47 が設けられ、光が拡散するようになっている。この実施形態によっても、各面光源 48 から計測領域 A に向けて光が照射されるため、配光特性のばらつきを低減することができ、計測領域 A を通過するマーカ 6b の表面の鏡面反射を抑え、クリアランス d を正確に計測することができる。また、面光源 48 は、光を出射する複数の送光用ファイバ 21 を束ねた送光用ファイバ群として形成されてもよい。この構成によれば、送光用ファイバ群 62 から出射される光の照射面積を拡大することができ、計測領域 A に容易に照射することができる。

[0049] 以上、本発明の一実施形態について説明したが、上記実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。例えば、上記実施形態では、クリアランス d を計測する対象として、タービン 3 のケーシング 5 と動翼 6 とのクリアランスを説明したが、ケーシング内を回転体が回転する構成であれば、タービンに限るものではない。

符号の説明

[0050] 1 クリアランス制御システム

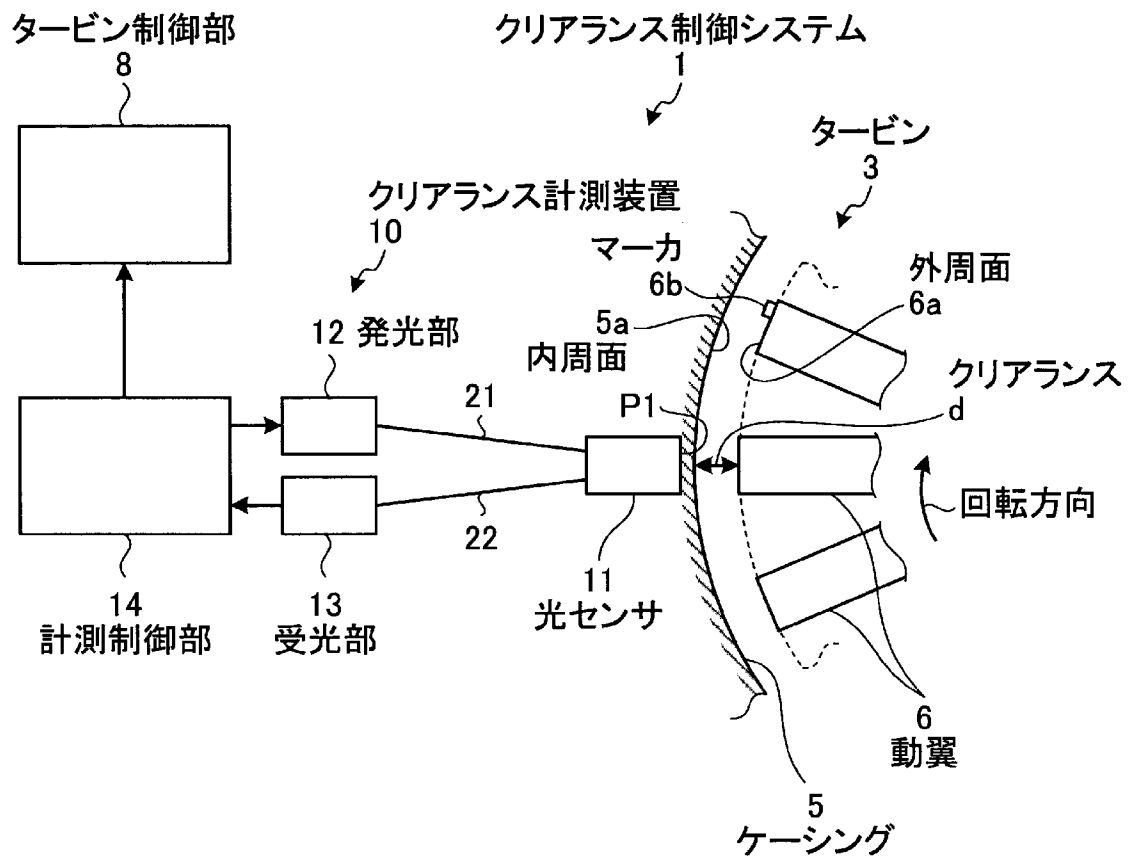
- 3 タービン
- 5 ケーシング
 - 5 a 内周面
- 6 動翼（回転体）
 - 6 a 外周面
 - 6 b マーカ
 - 6 b e 終端
 - 6 b s 先端
- 8 タービン制御部
- 10 クリアランス計測装置
 - 11、51、61 光センサ
 - 12 発光部
 - 13 受光部
 - 14 計測制御部
 - 21 送光用ファイバ
 - 22 受光用ファイバ
 - 22 a 光軸
- 30 センサ本体
 - 34 a 受光用開口
- 40 ヘッドカバー
 - 42 蛍光板
 - 43、46、48 面光源
 - 45 散乱板
- 62 送光用ファイバ群
- A 計測領域
- B 照射領域
- d クリアランス
- Δt 時間

請求の範囲

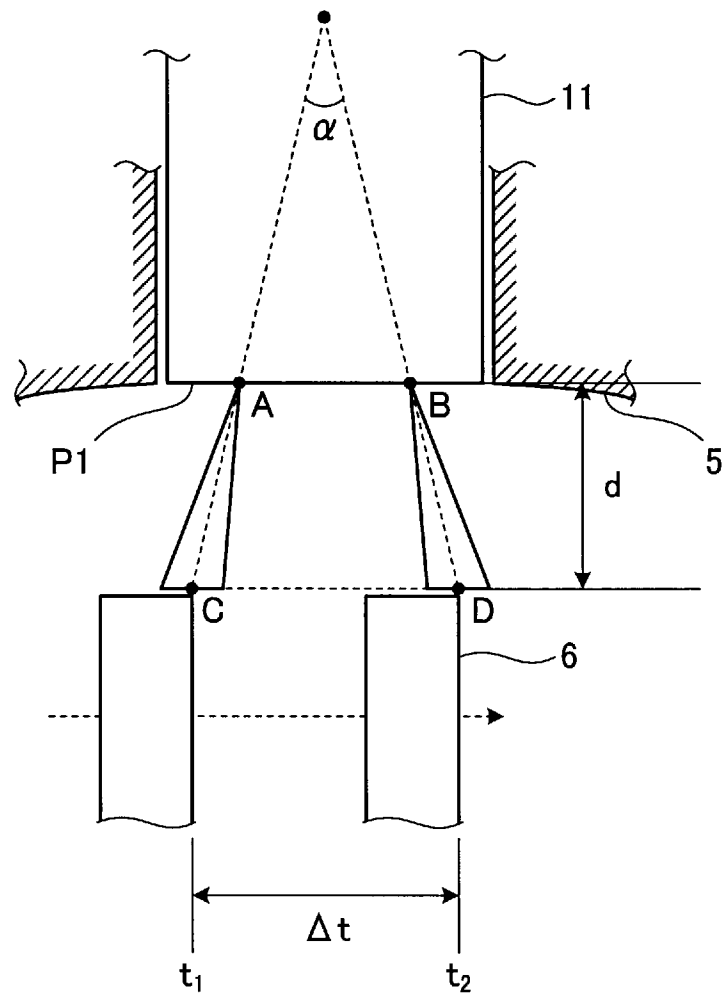
- [請求項1] 円筒状に形成されたケーシングの内周面と、前記ケーシング内を回転する回転体の外周面とのクリアランスを計測するクリアランス計測装置であって、
- 前記回転体の外周面に設けられたマーカと、
- 前記ケーシングに固定され、前記回転体の外周面に向けて光を出射して該回転体から反射する反射光を受光し、受光した反射光量の変化により前記マーカを検出する光センサと、
- 前記光センサが出射する発光信号と受光した受光信号とを信号処理する計測制御部とを備え、
- 前記光センサは、光軸が所定角度で交差するよう配置されて前記外周面上に計測領域を有する受光用ファイバと、前記回転体の回転方向に沿って並設されて前記計測領域に相互に重ねて照射する面光源と、を備えたことを特徴とするクリアランス計測装置。
- [請求項2] 前記光センサは、前記面光源の間に受光用開口を有し、前記受光用ファイバの各光軸は、前記受光用開口の内側で交差することを特徴とする請求項1に記載のクリアランス計測装置。
- [請求項3] 前記面光源は、所定波長の励起光を出射する送光用ファイバと、前記送光用ファイバから出射された前記励起光により蛍光を発する蛍光板とを備えることを特徴とする請求項1または2に記載のクリアランス計測装置。
- [請求項4] 前記励起光を遮断し、前記蛍光を透過させるフィルタを備えることを特徴とする請求項3に記載のクリアランス計測装置。
- [請求項5] 前記面光源は、光を出射する送光用ファイバと、前記送光用ファイバから出射された前記光を散乱させる散乱板とを備えることを特徴とする請求項1または2に記載のクリアランス計測装置。
- [請求項6] 前記面光源は、光を出射する送光用ファイバを束ねて形成されたことを特徴とする請求項1または2に記載のクリアランス計測装置。

[請求項7] 請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のクリアランス計測装置と、
前記クリアランス計測装置により計測された前記クリアランスに基づいて、前記クリアランスを調整するためのクリアランス調整制御を実行する制御部と、を備えることを特徴とするクリアランス制御システム。

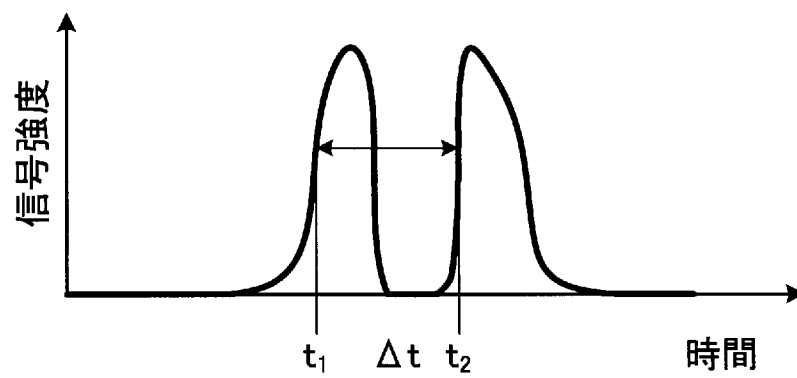
[図1]



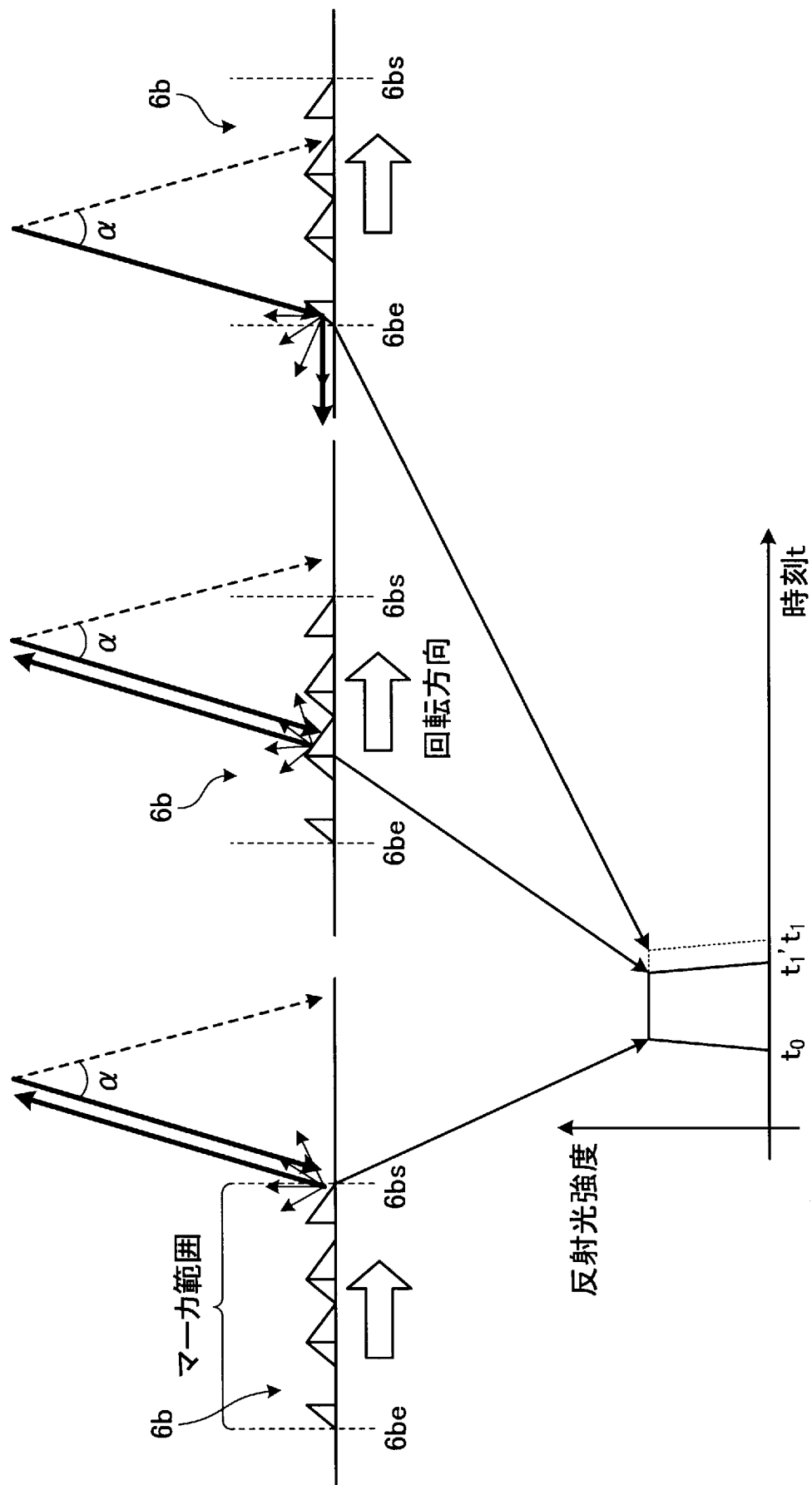
[図2]



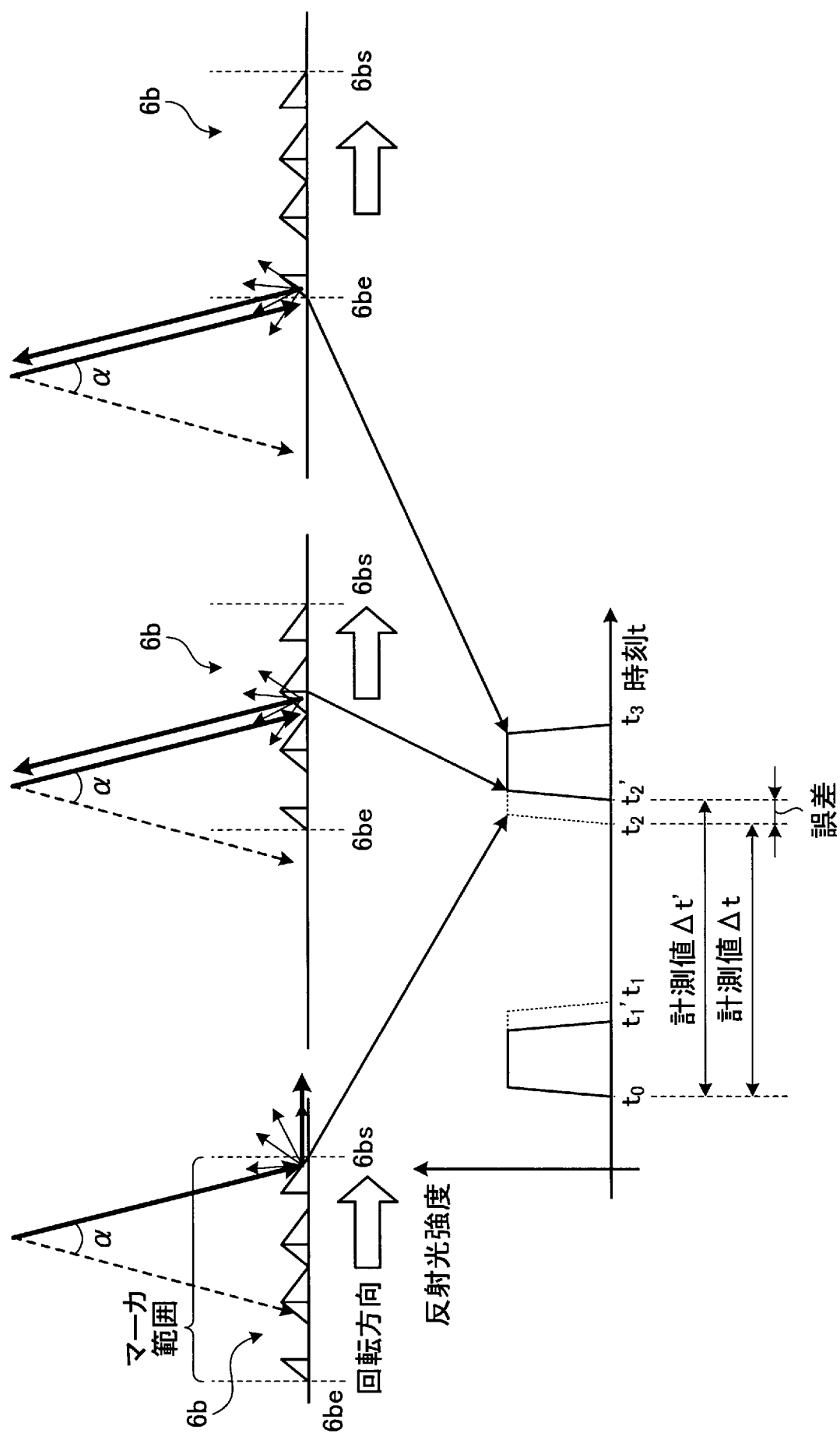
[図3]



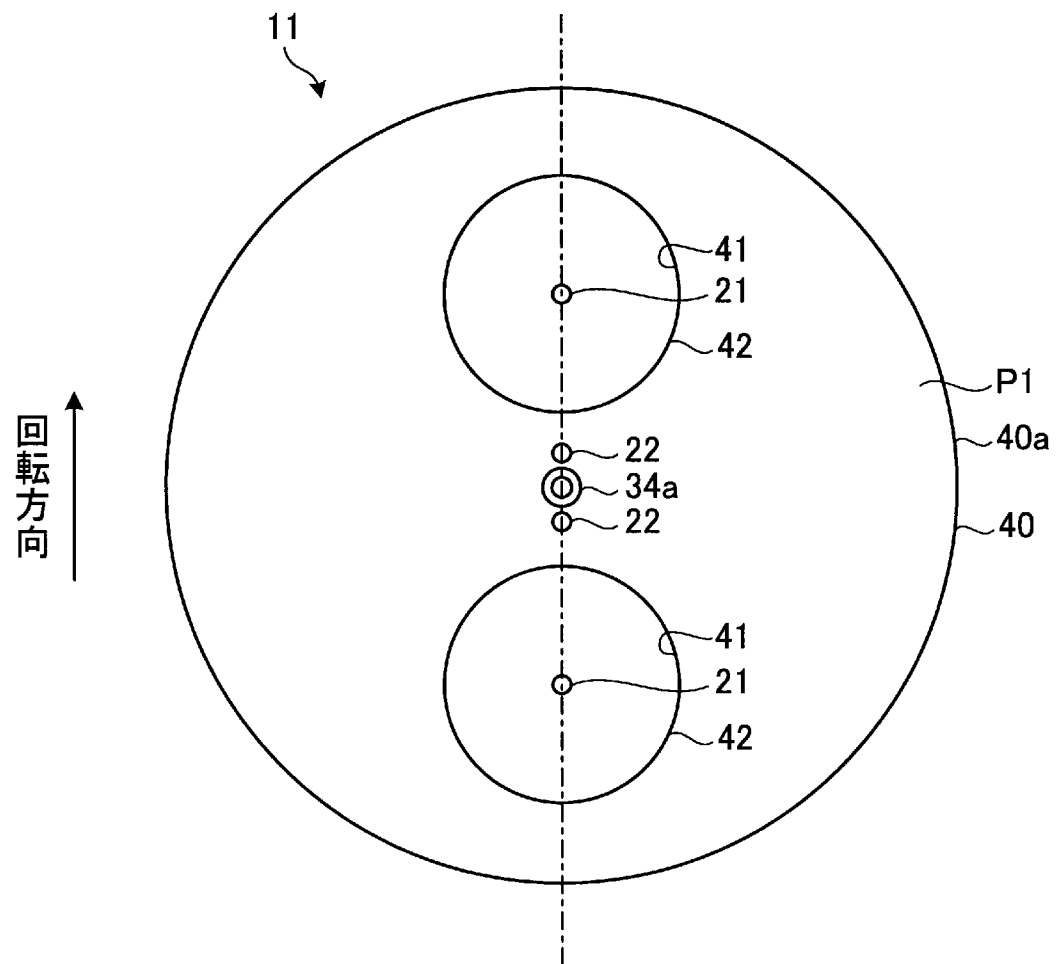
[図4]



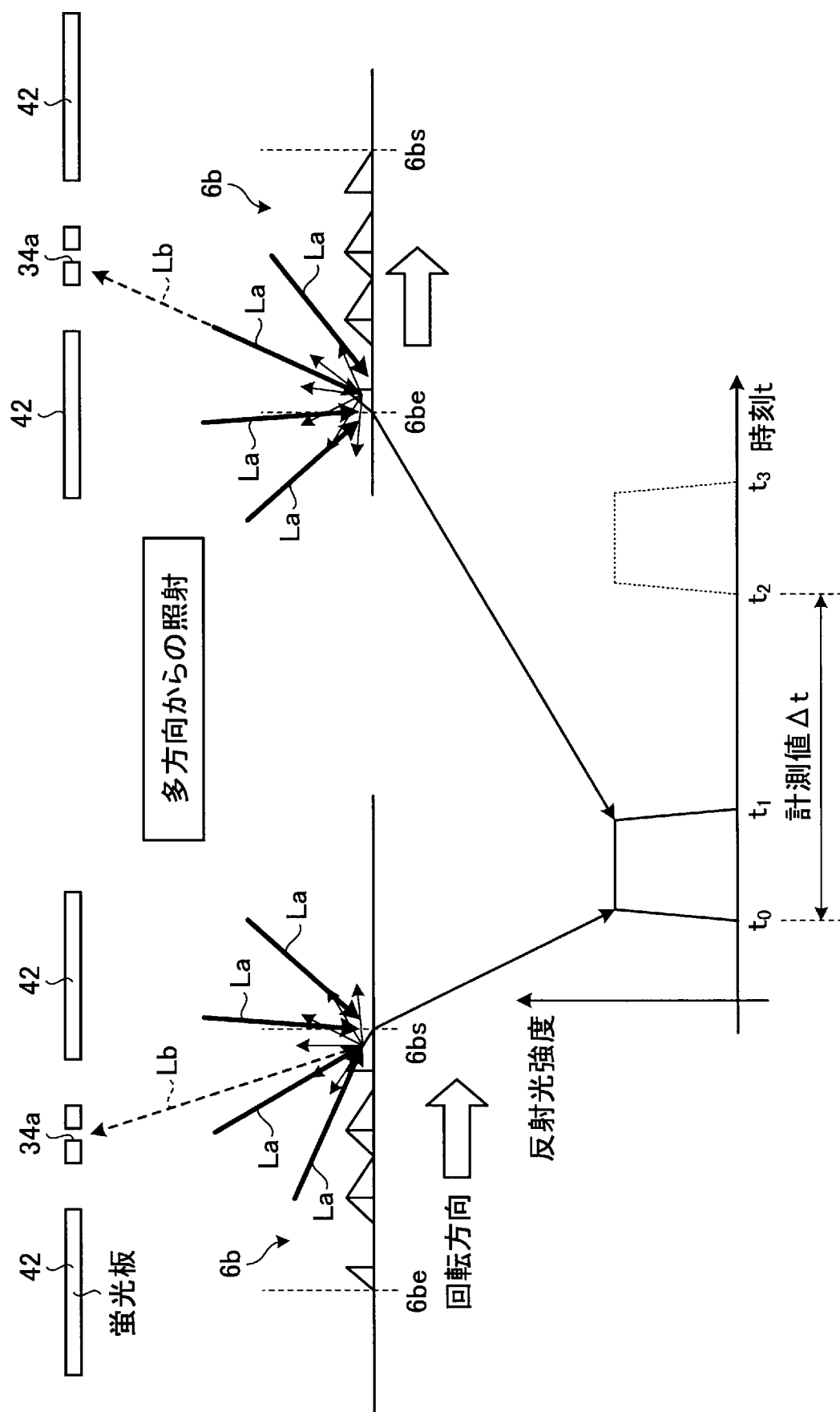
[図5]



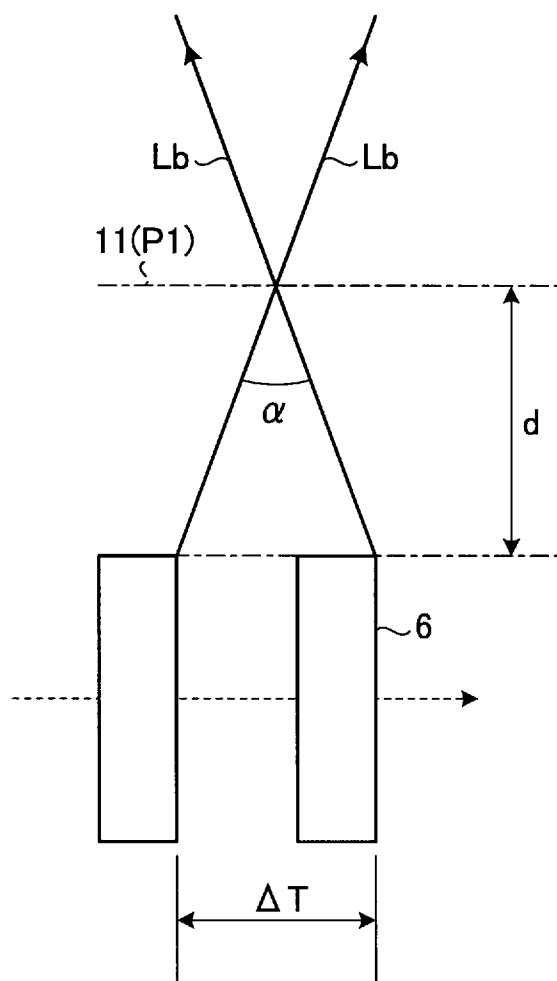
[図7]



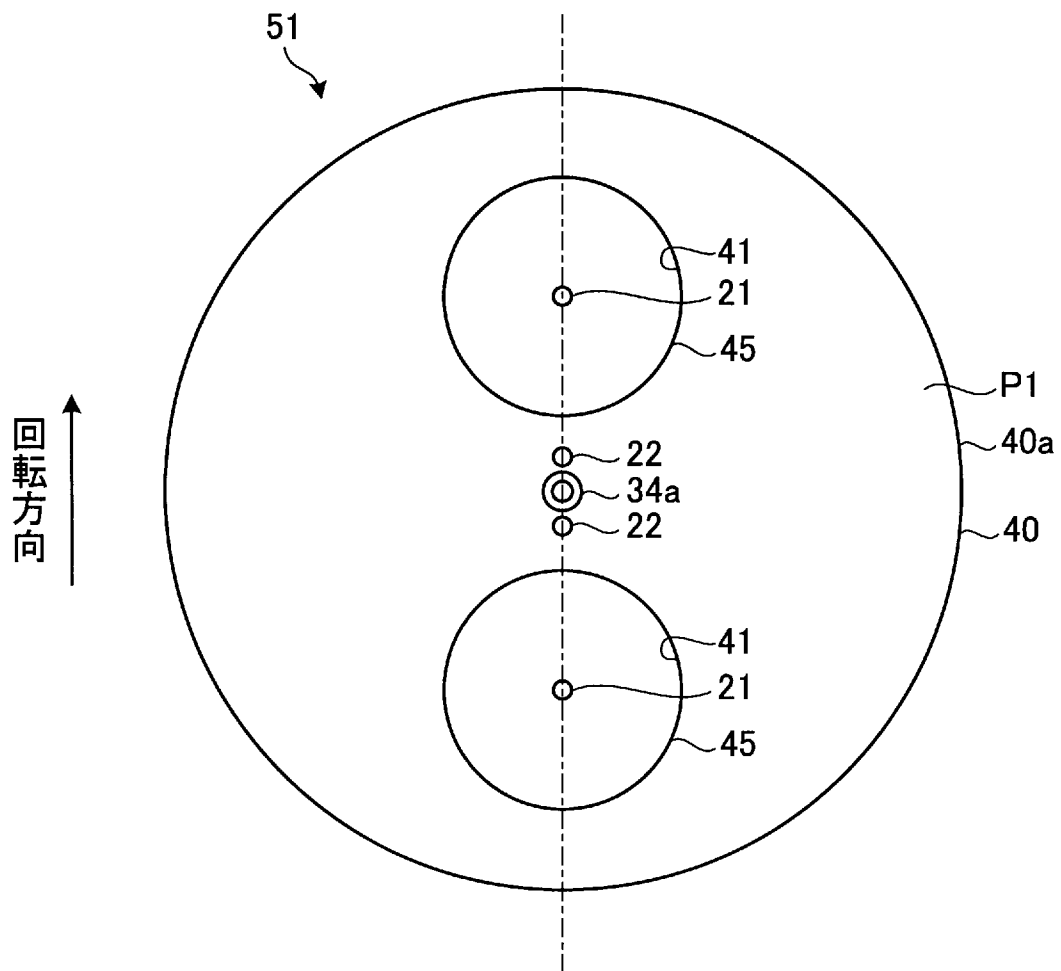
[図8]



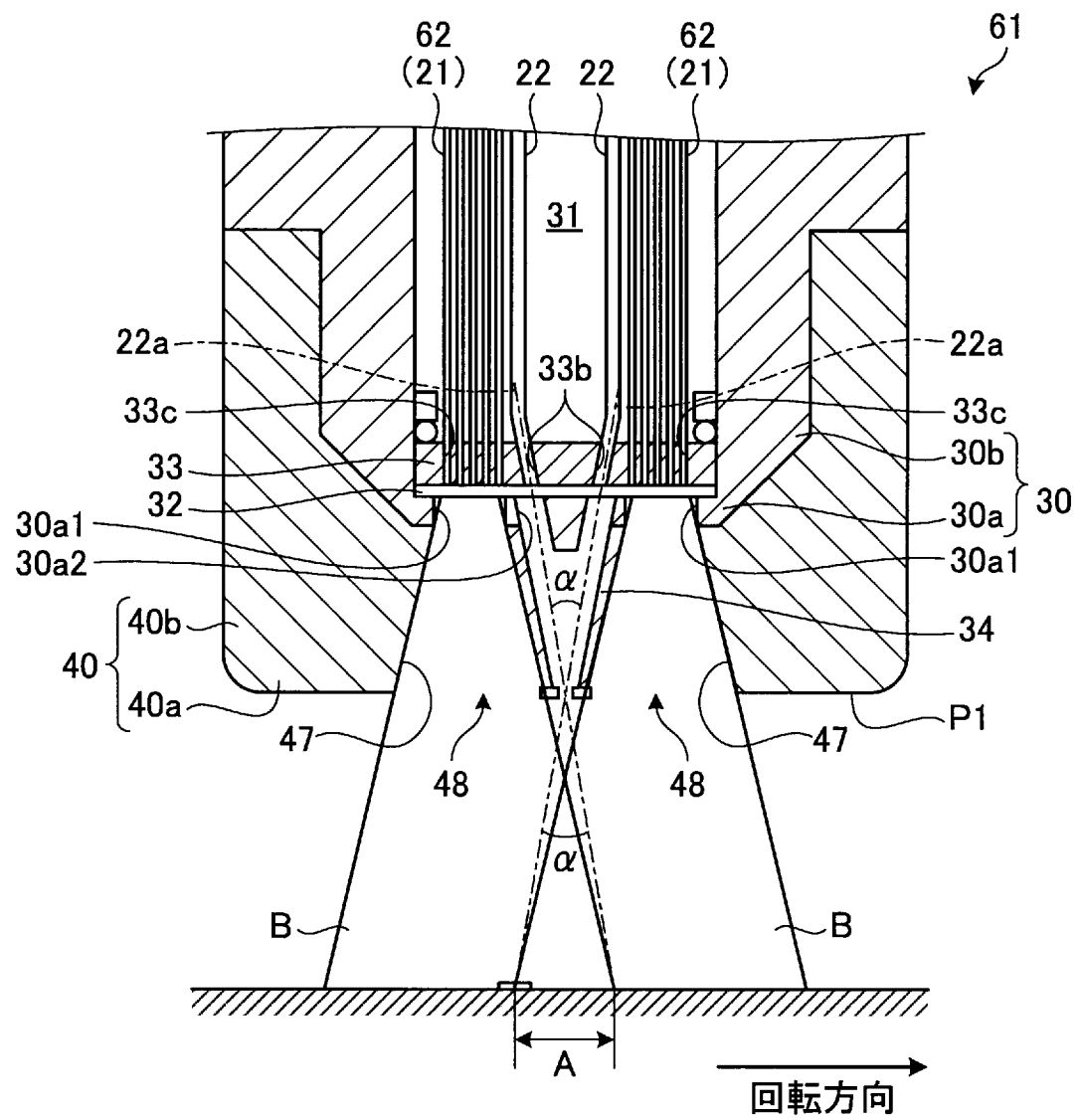
[図9]



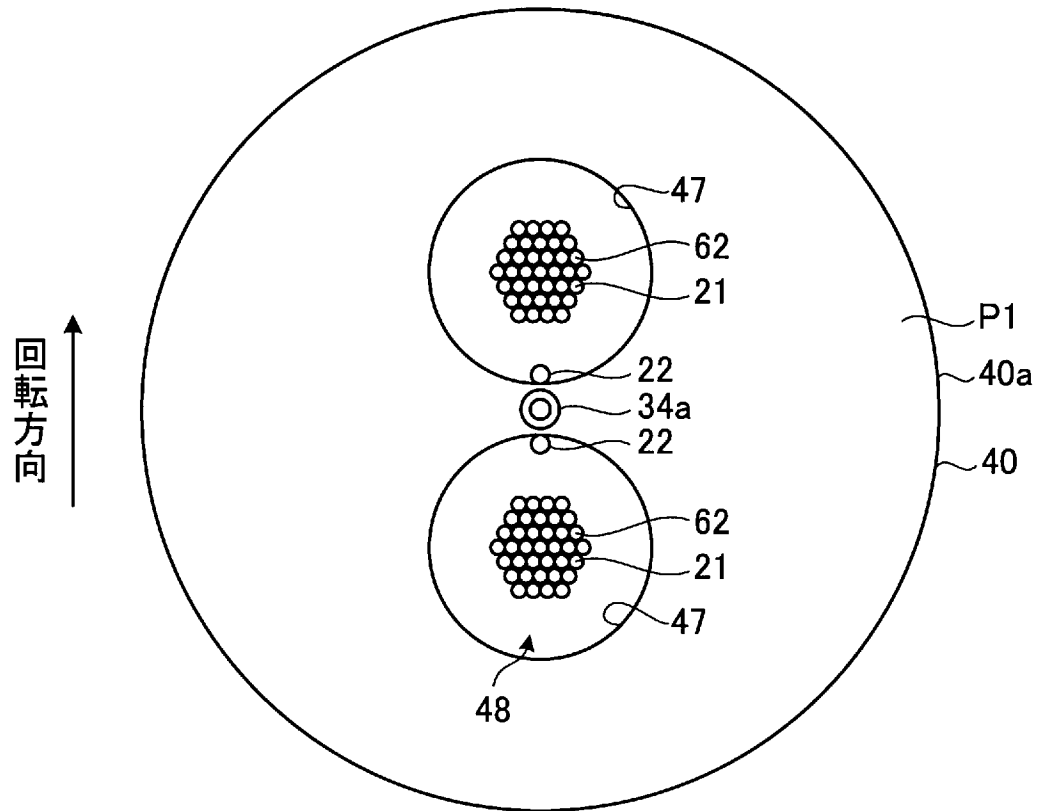
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/031118

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/14(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)n, F02C7/00(2006.01)n

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)

G01B11/00-11/30, F01D13/00-15/12, 23/00-25/36, F02C1/00-9/58

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

Japanese Published Examined Utility Model Applications 1922-1996

Japanese Published Unexamined Utility Model Applications 1971-2017

Japanese Examined Utility Model Registrations 1996-2017

Japanese Registered Utility Model Specifications 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	US 4766323 A (B. C. HYDRO) 23 August 1988, column 1, lines 5-12, column 2, line 64 to column 6, line 64, fig. 1 (Family: none)	1-7
A	US 2016/0084637 A1 (HOOD TECHNOLOGY CORPORATION) 24 March 2016, paragraphs [0023]-[0049], fig. 1-3 (Family: none)	1-7
A	JP 2004-191374 A (SIEMENS AG) 08 July 2004, paragraphs [0022]-[0038], fig. 1-4 & US 2004/0114154 A1, paragraphs [0028]-[0048], fig. 1-4 & EP 1429155 A1 & CN 1506654 A & ES 2330998 T3	1-7
A	JP 11-218406 A (TANI ELECTRONICS CORPORATION) 10 August 1999, paragraphs [0017]-[0032], fig. 1 (Family: none)	1-7



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 November 2017

Date of mailing of the international search report

28 November 2017

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/JP2017/031118

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 2015-001414 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 05 January 2015, paragraphs [0020]-[0087] (Family: none)	1-7
A	JP 2003-254091A (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.) 10 September 2003, paragraphs [0022]-[0035] (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01B11/14(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)n, F02C7/00(2006.01)n

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. G01B11/00-11/30
F01D13/00-15/12, 23/00-25/36
F02C 1/00- 9/58

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	US 4766323 A (B. C. HYDRO) 1988.08.23, 第1欄第5行-第12行, 第2欄第64行-第6欄第64行, 図1 (ファミリーなし)	1-7
A	US 2016/0084637 A1 (HOOD TECHNOLOGY CORPORATION) 2016.03.24, 段落[0023]-[0049], 図1-3 (ファミリーなし)	1-7

☒ 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

14.11.2017

国際調査報告の発送日

28.11.2017

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）

池田 剛志

2 S

5551

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 2004-191374 A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 2004.07.08, 段落[0022]-[0038], 図 1-4 & US 2004/0114154 A1, 段落[0028]-[0048], 図 1-4 & EP 1429155 A1 & CN 1506654 A & ES 2330998 T3	1-7
A	JP 11-218406 A (谷電機工業株式会社) 1999.08.10, 段落[0017]-[0032], 図 1 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2015-001414 A (三菱重工業株式会社) 2015.01.05, 段落[0020]-[0087] (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2003-254091 A (石川島播磨重工業株式会社) 2003.09.10, 段落[0022]-[0035] (ファミリーなし)	1-7