

(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21日(21.09.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/159770 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/14 (2006.01) F02C 7/00 (2006.01)
F01D 11/14 (2006.01) F02C 7/28 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/010574
- (22) 国際出願日: 2017年3月16日(16.03.2017)
- (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 2016-054851 2016年3月18日(18.03.2016) 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). 宮本 貴洋 (MIYAMOTO, Takahiro); 〒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).

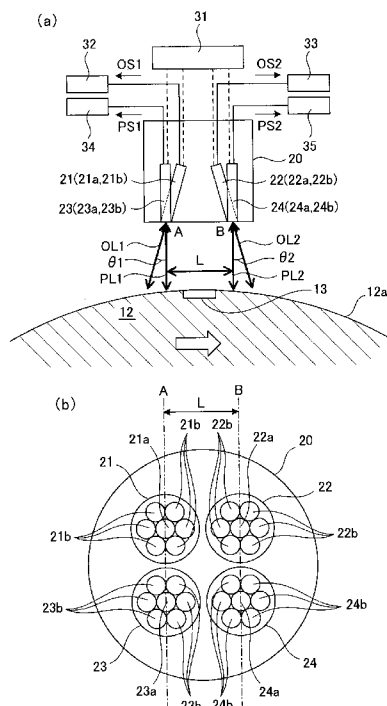
- (74) 代理人: 光石 俊郎, 外 (MITSUISHI, Toshiro et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂四丁目9番6号 タク・赤坂ビル4階 光石法律特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, 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,

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: 光計測装置、光計測方法及び回転機械

[図2]



(57) Abstract: The present invention provides an optical measurement device, an optical measurement method, and a rotating machine with which it is possible to eliminate errors caused by thermal elongation and centrifugal elongation. The present invention has: a pair of slanted fiber groups (21, 22); a pair of parallel fiber groups (23, 24); a light source (31) for emitting two slanted light beams from a pair of slanted light-emitting fibers (21a, 22a), and emitting two parallel light beams from a pair of parallel light-emitting fibers (23a, 24a); a target (13) provided to the outer peripheral surface (12a) of a rotor (12); a pair of light-receiving elements (32, 33) for detecting the intensity of light received by each of a pair of slanted light-receiving fibers (21b, 22b); a pair of light-receiving elements (34, 35) for detecting the intensity of light received by each of a pair of parallel light-receiving fibers (23b, 24b); and a computation unit for performing a computation that includes an interval (L) affected by thermal elongation on the basis of four waveforms indicating changes in the intensity detected by each of the light-receiving elements (32-35).

(57) 要約: 熱伸びや遠心伸びに起因する誤差を解消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、1対の斜めファイバ群(21、22)と、1対の平行ファイバ群(23、24)と、1対の斜め発光ファイバ(21a、22a)から2本の斜め光線を出射させ、1対の平行発光ファイバ(23a、24a)から2本の平行光線を出射させる光源(31)と、ロータ(12)の外周面(12a)に設けられたターゲット(13)と、1対の斜め受光ファイバ(21b、22b)の各々で受光した光の強度を検出する1対の受光素子(32、33)と、1対の平行受光ファイバ(23b、24b)の各々で受光した光の強度を検出する1対の受光素子(34、35)と、受光素子(32~35)で各々検出した強度の変化を示す4つ波形に基づいて、熱伸びの影響を受けた間隔(L)を含む演算を行う演算部とを有する。

て、熱伸びの影響を受けた間隔(L)を含む演算を行う演算部とを有する。



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

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の性能向上のためには、回転部（例えば、ブレード）と静止部（例えば、ケーシング）との間に設けられた隙間（チップクリアランス）を小さくする必要がある。そのクリアランスの計測として、光学式のクリアランス計測があり、光学式のクリアランス計測では、ブレード（翼）や反射ターゲットの通過タイミングを検知し、その時間差情報を三角測量の要領で計算している。

[0003] 光学式のクリアランス計測では、図5（a）に示すような光ファイバ式の光センサ60が使用されている。この光センサ60は、三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して配置された1対の光ファイバ群61、62を有している（後述の図6参照）。光ファイバ群61は、図5（b）に示すように、光を照射する1つの発光ファイバ61aと、光を受光する複数の受光ファイバ61bとからなり、1つの発光ファイバ61aを中央とし、その周囲に複数の受光ファイバ61bを配置した構成としている（特許文献1）。また、光ファイバ群62も、発光ファイバ62aと受光ファイバ62bとからなり、光ファイバ群61と同等の構成である。

[0004] 上記光センサ60の計測原理について、図6及び図7を参照して説明する。ここでは、反射ターゲットとなるブレード71の先端部分を計測するものとする。計測時においては、光ファイバ群61の発光ファイバ61a及び光ファイバ群62の発光ファイバ62aから各々光を照射している。そして、回転するブレード71が位置Cを通過すると、時間t1において、光ファイバ群61の受光ファイバ61bがブレード71から反射した光を受光することになる。その後、回転するブレード71が位置Dを通過すると、時間t2

において、光ファイバ群62の受光ファイバ62bがブレード71から反射した光を受光することになる。

[0005] このようにして、1対の発光ファイバ61a、62aからの2つの光線の間をブレード71が通過すると、図7のグラフに示すように、時間差 Δt ずれた2つの波形（反射光の強度の変化）が観測され、これにより、時間差 Δt を求めることができる。

[0006] ここで、図6において、光センサ60の先端からブレード71の先端までの距離、即ち、クリアランスを d とする。また、1対の発光ファイバ61a及び62aから出た2つの光線の成す角度を α とする。また、1対の発光ファイバ61a及び62a同士の先端での間隔、即ち、間隔ABを L とする。そして、ブレード71の周速を v 、ブレード71の回転半径を R 、ブレード71の回転数を N とすると、間隔CDは、 $v \times \Delta t = 2 \times R \times \pi \times N \times \Delta t$ であり、クリアランス d は、以下の式1により求めることができる。なお、回転数 N は、別途、パルス計等を用いて取得している。

[0007] [数1]

$$d = \frac{\frac{1}{2} \overline{CD}}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \overline{AB}}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{1}{2} \times v \times \Delta t}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \times L}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{1}{2} \times 2 \times R \times \pi \times N \times \Delta t}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \times L}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad (\text{式1})$$

[0008] つまり、「角度 α 」、「間隔AB」及び「間隔CD」は、三角測量に必要なパラメータであり、図8に示すように、各々、「小さい三角形の角度」、「小さい三角形の底辺」及び「大きい三角形の底辺」に該当する。そして、角度 α 及び間隔ABは既知のパラメータであるので、2つの波形の時間差 Δt により、間隔CDを求め、その結果、クリアランス d を求めることができる。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特許第4429705号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上述したクリアランス計測を高温雰囲気中で計測を行う場合、以下の（１）及び（２）の誤差要因が課題となる。

（１）光センサ６０の熱伸びにより間隔ＡＢが変化し、計測値に誤差が乗る。

（２）回転部の熱伸びや遠心伸びにより半径Ｒが変化して、計測値に誤差が乗る。

[0011] 上記（１）について、図８を参照して具体的に説明する。例えば、ステンレス製の筐体の光センサ６０が６００℃に加熱された場合、熱伸び前の間隔ＡＢに対して、６００℃での間隔 A_1B_1 は１％増加する。この場合、２つの光線を横切る時間差も１％増加することになる。つまり、熱伸び前の間隔ＣＤに対し、６００℃での間隔 C_1D_1 が１％増加していることになる。

[0012] このような状態において、熱伸び前の三角測量の三角形では、見かけ上、２つの光線（線分ＯＡの延長線と線分ＯＢの延長線）上の位置 C_2 と位置 D_2 をブレード７１が通過したことになる。これにより、クリアランスが本来の d ではなく、それより大きい d_1 で算定されてしまう。このように、光センサ６０側の熱伸びにより間隔ＡＢが変化すると、計測値に誤差が乗ることになる。

[0013] 上記（２）についても、図８を参照して具体的に説明する。上述したように、周速 $v = 2 \times R \times \pi \times N$ であり、周速 v は、パルス計等を用いて取得した回転数 N と半径 R に基づいて求めている。そして、この半径 R が、遠心伸びや熱伸びにより変化するため、誤差の原因となる。例えば、ブレード７１の素材の線膨張係数が 1.5×10^{-5} である場合、温度が６００℃上昇すると、熱伸び（熱ひずみ）は、 $1.5 \times 10^{-5} \times 600 \times 100 = 0.9\%$ となる。これは、同じ回転数 N であっても、熱伸びにより、周速 v が０．９％増加することを意味する。つまり、熱伸び前の間隔ＣＤに対し、６００℃上昇後の間隔 C_1D_1 が０．９％増加していることになる。

[0014] このような状態において、熱伸び前の三角測量の三角形では、見かけ上、

2つの光線（線分OAの延長線と線分OBの延長線）上の位置 C_2 と位置 D_2 をブレード71が通過したことになる。これにより、クリアランスが本来の d ではなく、それより大きい d_1 で算定されてしまう。このように、回転側の熱伸びや遠心伸びにより半径 R が変化すると、周速 v や距離 CD が変化し、計測値に誤差が乗ることになる。

[0015] 以上のように、本来のクリアランス d と上述した算定による d_1 との差は、計測誤差の要因として影響がある。従って、熱伸びや遠心伸びに起因する誤差を解消することが望まれている。

[0016] 本発明は上記課題に鑑みなされたもので、熱伸びや遠心伸びに起因する誤差を解消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

[0017] 上記課題を解決する第1の発明に係る光計測装置は、

光センサにおいて、先端が所定間隔で配置された1対の第1の発光ファイバと1対の第1の受光ファイバとを有し、対同士が三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して配置された1対の第1のファイバ群と、

前記光センサにおいて、先端が前記所定間隔で配置された1対の第2の発光ファイバと1対の第2の受光ファイバとを有し、対同士が平行に配置された1対の第2のファイバ群と、

前記1対の第1の発光ファイバ及び前記1対の第2の発光ファイバに光を出力して、前記1対の第1の発光ファイバから2本の斜め光線を出射させ、前記1対の第2の発光ファイバから2本の平行光線を出射させる光源と、

回転体の外周面に設けられ、前記2本の斜め光線を前記1対の第1の受光ファイバへ各々反射し、前記2本の平行光線を前記1対の第2の受光ファイバへ各々反射するターゲットと、

前記1対の第1の受光ファイバと各々接続され、各々で受光した前記光の強度を検出する1対の第1の受光素子と、

前記1対の第2の受光ファイバと各々接続され、各々で受光した前記光の

強度を検出する 1 対の第 2 の受光素子と、

前記 1 対の第 1 の受光素子及び前記 1 対の第 2 の受光素子で各々検出した前記強度の変化を示す 4 つの波形に基づいて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を含む演算を行う演算部とを有することを特徴とする。

[0018] 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、

前記演算部は、

4 つの前記波形における立ち上がりと立ち下がりとの 2 つの時間から第 1 の時間差を各々求め、4 つの前記第 1 の時間差の中の 1 つ又は複数の平均を用いて、前記ターゲットの周速を求め、

前記 1 対の第 2 の受光素子で検出した 2 つの前記波形に基づいて、前記 2 本の平行光線の各々を前記ターゲットが通過する 2 つの時間から第 2 の時間差を求め、当該第 2 の時間差を用いて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を求め、

前記 1 対の第 1 の受光素子で検出した 2 つの前記波形に基づいて、前記 2 本の斜め光線の各々を前記ターゲットが通過する 2 つの時間から第 3 の時間差を求め、当該第 3 の時間差を用いて、前記 1 対の第 1 の発光ファイバの先端から前記ターゲットまでの距離を求める

ことを特徴とする。

[0019] 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、

前記光源は、第 1 の光を前記 1 対の第 1 の発光ファイバに出力する第 1 の光源と、前記第 1 の光とは異なる波長の第 2 の光を前記 1 対の第 2 の発光ファイバに出力する第 2 の光源とを有し、

前記 1 対の第 1 の受光ファイバと前記 1 対の第 1 の受光素子との間に、前記第 1 の光のみを透過する第 1 のフィルタを設け、

前記 1 対の第 2 の受光ファイバと前記 1 対の第 2 の受光素子との間に、前

記第2の光のみを透過する第2のフィルタを設けたことを特徴とする。

[0020] 上記課題を解決する第4の発明に係る回転機械は、
上記第1～第3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。

[0021] 上記課題を解決する第5の発明に係る光計測方法は、
先端が所定間隔で配置された1対の第1の発光ファイバと1対の第1の受光ファイバとを有する1対の第1のファイバ群を、対同士が三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して光センサに配置し、
先端が前記所定間隔で配置された1対の第2の発光ファイバと1対の第2の受光ファイバとを有する1対の第2のファイバ群を、対同士が平行になるように前記光センサに配置し、
光源から前記1対の第1の発光ファイバ及び前記1対の第2の発光ファイバに光を出力して、前記1対の第1の発光ファイバから2本の斜め光線を出射させ、前記1対の第2の発光ファイバから2本の平行光線を出射させ、
回転体の外周面に設けられたターゲットを用いて、前記2本の斜め光線を前記1対の第1の受光ファイバへ各々反射し、前記2本の平行光線を前記1対の第2の受光ファイバへ各々反射し、
前記1対の第1の受光ファイバと各々接続された1対の第1の受光素子を用いて、各々で受光した前記光の強度を検出し、
前記1対の第2の受光ファイバと各々接続された1対の第2の受光素子を用いて、各々で受光した前記光の強度を検出し、
前記1対の第1の受光素子及び前記1対の第2の受光素子で各々検出した前記強度の変化を示す4つの波形に基づいて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を含む演算を行う
ことを特徴とする。

[0022] 上記課題を解決する第6の発明に係る光計測方法は、
上記第5の発明に記載の光計測方法において、

4つの前記波形における立ち上がりと立ち下りの2つの時間から第1の時間差を各々求め、4つの前記第1の時間差の中の1つ又は複数の平均を用いて、前記ターゲットの周速を求め、

前記1対の第2の受光素子で検出した2つの前記波形に基づいて、前記2本の平行光線の各々を前記ターゲットが通過する2つの時間から第2の時間差を求め、当該第2の時間差を用いて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を求め、

前記1対の第1の受光素子で検出した2つの前記波形に基づいて、前記2本の斜め光線の各々を前記ターゲットが通過する2つの時間から第3の時間差を求め、当該第3の時間差を用いて、前記1対の第1の発光ファイバの先端から前記ターゲットまでの距離を求めることを特徴とする。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、光センサにおいて、熱伸びの影響を受けた間隔を求めるので、光センサ側の熱伸びに起因する誤差を解消することができる。また、回転側の周速を求めて、回転側の半径を演算に使用しないようにするので、回転側の熱伸びや遠心伸びに起因する誤差を解消することもできる。

図面の簡単な説明

[0024] [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を示す図であり、（a）は装置構成を示す構成図、（b）は光ファイバ群の配置を示す図である。

[図3]図1に示した光計測装置で計測した反射光量を示すグラフであり、（a）は斜め2光線の反射光量、（b）は平行2光線の反射光量である。

[図4]本発明に係る光計測装置の実施形態の他の一例（実施例2）を示す図であり、装置構成を示す構成図である。

[図5]従来の光ファイバ式の光センサを示す図であり、（a）は、その先端部の斜視図、（b）は、その光ファイバ群の拡大図である。

[図6]図5に示した光センサの計測原理を説明する図である。

[図7]図5に示した光センサで計測した反射光の強度の変化を示すグラフである。

[図8]図5に示した光センサにおける計測の課題を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、図1～図4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。

[0026] [実施例1]

本実施例の光計測装置は、図1に示すように、ターゲット13、光センサ20、光信号処理部30、光信号演算部40を有している。また、回転機械10は、静止部であるケーシング11と、ケーシング11の内部に回転可能に支持された、回転部であるロータ12（回転体）とを有している。光センサ20は、ケーシング11に取り付けられ、ロータ12の外周面12aを望むように配置されている。

[0027] ターゲット13は、光センサ20から入射された光線を反射するように、ロータ12の外周面12a上に配置、固定されている。このターゲット13は、熱伸びが小さい（線膨張係数が小さい）素材、例えば、石英やセラミックの板材からなり、所定の幅wを有している。また、ターゲット13は、光センサ20から入射された光線に対する反射率が高いものが好ましく、例えば、石英やセラミックの板材を反射率が高い色のものにしたり、石英やセラミックの板材の表面に高反射材料をコーティングしたりしても良い。

[0028] 光センサ20は、図2(a)に示すように、1対の斜めファイバ群21及び22（第1のファイバ群）、1対の平行ファイバ群23及び24（第2のファイバ群）を有している。1対の斜めファイバ群21及び22は、三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して配置されており、1対の平行ファイバ群23及び24は、互いに平行に配置されている。

- [0029] 斜めファイバ群 2 1 は、図 2 (b) に示すように、1つの斜め発光ファイバ 2 1 a (第 1 の発光ファイバ) と複数の斜め受光ファイバ 2 1 b (第 1 の受光ファイバ) からなり、1つの斜め発光ファイバ 2 1 a を中央とし、その周囲に複数の斜め受光ファイバ 2 1 b を配置した構成としている。1つの斜め発光ファイバ 2 2 a (第 1 の発光ファイバ) と複数の斜め受光ファイバ 2 2 b (第 1 の受光ファイバ) からなる斜めファイバ群 2 2 も、図 2 (b) に示すように、斜めファイバ群 2 1 と同等の配置である。
- [0030] また、1つの平行発光ファイバ 2 3 a (第 2 の発光ファイバ) と複数の平行受光ファイバ 2 3 b (第 2 の受光ファイバ) からなる平行ファイバ群 2 3 、そして、1つの平行発光ファイバ 2 4 a (第 2 の発光ファイバ) と複数の平行受光ファイバ 2 4 b (第 2 の受光ファイバ) からなる平行ファイバ群 2 4 も、図 2 (b) に示すように、斜めファイバ群 2 1 と同等の配置である。
- [0031] なお、ここでは、1つの発光ファイバの周囲に、各々、複数の受光ファイバが一重に配置されているが、複数の受光ファイバを二重、三重又はそれ以上にして配置しても良いし、中央の発光ファイバの数を増やしても良い。
- [0032] また、光センサ 2 0 の先端における位置 (ロータ 1 2 の周方向に沿う位置) について、斜め発光ファイバ 2 1 a と平行発光ファイバ 2 3 a の先端の位置を同じ位置 A とし、斜め発光ファイバ 2 2 a と平行発光ファイバ 2 4 a の先端の位置を同じ位置 B としている。つまり、斜め発光ファイバ 2 1 a の先端と斜め発光ファイバ 2 2 a の先端との間隔 A B と、平行発光ファイバ 2 3 a の先端と平行発光ファイバ 2 4 a の先端との間隔 A B は、共に長さ L としている。
- [0033] また、光信号処理部 3 0 は、1つの光源 3 1 と複数の受光素子 3 2 ~ 3 5 を有している。光源 3 1 は、例えば、レーザなどであり、斜め発光ファイバ 2 1 a、斜め発光ファイバ 2 2 a、平行発光ファイバ 2 3 a 及び平行発光ファイバ 2 4 a の各々に接続されている。光源 3 1 から出力された光線は、斜め発光ファイバ 2 1 a、斜め発光ファイバ 2 2 a、平行発光ファイバ 2 3 a 及び平行発光ファイバ 2 4 a を各々介して、ロータ 1 2 の外周面 1 2 a に向

けて照射されている。なお、光源 3 1 は、1 つの光源から構成しても良いし、複数の同じ光源から構成しても良い。1 つの光源から構成した場合には、1 つの光源の光路を 4 つに分岐し、分岐した各々の光路から、斜め発光ファイバ 2 1 a、斜め発光ファイバ 2 2 a、平行発光ファイバ 2 3 a 及び平行発光ファイバ 2 4 a に出力すれば良い。複数の光源、例えば、4 つの光源から構成した場合には、4 つの光源の各々の光路から、斜め発光ファイバ 2 1 a、斜め発光ファイバ 2 2 a、平行発光ファイバ 2 3 a 及び平行発光ファイバ 2 4 a に出力すれば良い。

[0034] このとき、斜め発光ファイバ 2 1 a からの斜め光線 O L 1 と斜め発光ファイバ 2 2 a からの斜め光線 O L 2 は、上述した三角測量の三角形を形成している。つまり、2 本の斜め光線 O L 1 及び O L 2 は、従来と同様に、三角測量用の光線である。また、平行発光ファイバ 2 3 a からの平行光線 P L 1 と平行発光ファイバ 2 4 a からの平行光線 P L 2 は、長さ L の平行光線となっている。これらの 2 本の平行光線 P L 1 及び P L 2 は、後述するように、光センサ 2 0 の熱伸び計測用の光線となる。なお、斜め光線 O L 1 と平行光線 P L 1 とが成す角度 $\theta 1$ と、斜め光線 O L 2 と平行光線 P L 2 とが成す角度 $\theta 2$ とは同じでなくても良い。

[0035] そして、1 つの斜め発光ファイバ 2 1 a から照射された斜め光線 O L 1 がターゲット 1 3 で反射されると、複数の斜め受光ファイバ 2 1 b で受光されて、その光信号 O S 1 の強度が受光素子 3 2 で検出される。同様に、1 つの斜め発光ファイバ 2 2 a から照射された斜め光線 O L 2 がターゲット 1 3 で反射されると、複数の斜め受光ファイバ 2 2 b で受光されて、その光信号 O S 2 の強度が受光素子 3 3 で検出される。

[0036] また、1 つの平行発光ファイバ 2 3 a から照射された平行光線 P L 1 がターゲット 1 3 で反射されると、複数の平行受光ファイバ 2 3 b で受光されて、その光信号 P S 1 の強度が受光素子 3 4 で検出される。同様に、1 つの平行発光ファイバ 2 4 a から照射された平行光線 P L 2 がターゲット 1 3 で反射されると、複数の平行受光ファイバ 2 4 b で受光されて、その光信号 P S

2の強度が受光素子35で検出される。

[0037] すると、1対の受光素子32及び33（第1の受光素子）により、図3（a）のグラフに示すような2つの波形が観測され、また、1対の受光素子34及び35（第2の受光素子）により、図3（b）のグラフに示すような2つの波形が観測される。図3（a）にグラフにおいて、各々の波形が光信号OS1及びOS2に該当し、図3（b）にグラフにおいて、各々の波形が光信号PS1及びPS2に該当する。

[0038] そして、本実施例においては、光信号演算部40が、図3（a）及び（b）のグラフに示された4つの波形に基づいて、以下の手順により、下記（1）～（3）の演算を行って、クリアランスdを求めている。

[0039] （1）周速vの算出

図3（a）及び（b）のグラフに示された4つの波形のうちの1つを用いて、波形の立ち上がりと立ち下りの2つの時間から時間差 Δt_1 （第1の時間差）を求める。次に、ターゲット13の幅wを用いて、 $v = w / \Delta t_1$ から周速vを求める。このとき、平行光線PL1、PL2による光信号PS1、PS2の2つ波形のいずれかを用いることが望ましい。

[0040] なお、4つの波形のうちの2つ以上を用いて、複数の時間差 Δt_1 の平均値を求め、その平均値を最終的な時間差 Δt_1 として用いても良い。このとき、平行光線PL1、PL2による光信号PS1、PS2の2つの波形を用いることが望ましい。

[0041] （2）間隔ABの算出

図3（b）のグラフに示された2つの波形、つまり、平行光線PL1、PL2による光信号PS1、PS2の2つ波形に基づいて、2本の平行光線PL1、PL2の各々をターゲット13が通過する2つの時間から時間差 Δt_2 （第2の時間差）を求める。次に、算出した周速vを用いて、間隔 $AB = v \times \Delta t_2$ から間隔ABを求める。

[0042] 従来は、間隔ABとして、作製時の寸法を用いていたが、本実施例では、時間差 Δt_2 を求めることにより、熱伸びの影響を受けた間隔ABを求めて

おり、これにより、熱伸びによる誤差を低減することができる。

[0043] (3) クリアランス d の算出

図3 (a) のグラフに示された2つの波形、つまり、斜め光線 $OL1$ 、 $OL2$ による光信号 $OS1$ 、 $OS2$ の2つ波形に基づいて、2本の斜め光線 $OL1$ 、 $OL2$ の各々をターゲット13が通過する2つの時間から時間差 Δt_0 (第3の時間差) を求める。この時間差 Δt_0 は上述した式1における Δt である。従って、算出した周速 v 及び間隔 $AB (=L)$ を用いて、上述した式1からクリアランス d を求めることができる。そして、このとき、間隔 CD として、間隔 $CD = 2 \times R \times \pi \times N \times \Delta t$ ではなく、間隔 $CD = v \times \Delta t$ を用いてクリアランス d を求めており、熱伸びや遠心伸びにより変化する半径 R を使用していないので、回転側の熱伸びや遠心伸びによる誤差を低減することができることになる。

[0044] 本実施例は、以上説明した構成及び方法により、光センサ20の熱伸び (間隔 AB の熱伸び) を求めているので、光センサ20の熱伸びによる変化 (間隔 AB の変化) や回転側の熱伸びや遠心伸びによる変化 (半径 R の変化) に起因するクリアランス d の計測誤差を解消して、より正確なクリアランス d を求めることができる。

[0045] [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及び図2に示した実施例1の光計測装置と同等の構成には、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。

[0046] 本実施例の光計測装置は、図4に示すように、更に、2つの光源31a、31b、フィルタ36～39を有している。光源31a及び31b (第1の光源及び第2の光源) は、互いに異なる波長の光 (第1の光及び第2の光) を出力するものである。実施例1においては、1つの光源31が、斜め発光ファイバ21a、斜め発光ファイバ22a、平行発光ファイバ23a及び平行発光ファイバ24aの全てに接続されていたが、ここでは、光源31aが

斜め発光ファイバ21a及び斜め発光ファイバ22aに接続され、光源31bが平行発光ファイバ23a及び平行発光ファイバ24aに接続されている。つまり、斜め発光ファイバ21a及び斜め発光ファイバ22aから照射される斜め光線OL1及びOL2と、平行発光ファイバ23a及び平行発光ファイバ24aから照射される平行光線PL1及びPL2とで、照射される光の波長（色）を変えている。

[0047] また、フィルタ36及び37は（第1のフィルタ）、光源31aから出力された波長の光のみを透過するものであり、フィルタ38及び39（第2のフィルタ）は、光源31bから出力された波長の光のみを透過するものである。そして、光源31aが接続された斜め発光ファイバ21a及び斜め発光ファイバ22aに対応して、斜め受光ファイバ21bと受光素子32との間にフィルタ36を挟んで配置し、斜め受光ファイバ22bと受光素子33との間にフィルタ37を挟んで配置している。同様に、光源31bが接続された平行発光ファイバ23a及び平行発光ファイバ24aに対応して、平行受光ファイバ23bと受光素子34との間にフィルタ38を挟んで配置し、平行受光ファイバ24bと受光素子35との間にフィルタ39を挟んで配置している。

[0048] 以上説明した構成とすることにより、斜め光線OL1及びOL2による反射光と平行光線PL1及びPL2による反射光が混信した場合、外乱となる他方の反射光を排除することができる。

[0049] 例えば、光源31aから出力する第1の光を緑色の波長の光（以降、緑色光線）とし、光源31bから出力する第2の光を赤色の波長の光（赤色光線）とすると、斜め光線OL1及びOL2は緑色光線、平行光線PL1及びPL2は赤色光線となる。この場合、斜め受光ファイバ21b及び、斜め受光ファイバ22bへの反射光は緑色光線であるが、乱反射した赤色光線が混信する可能性がある。その場合でも、フィルタ36、37は、混信した赤色光線を排除し、緑色光線のみを受光素子32、33へ通すので、受光素子32、33は、緑色光線のみ強度を検出することができる。同様に、平行受光

ファイバ 2 3 b 及び平行受光ファイバ 2 4 b への反射光は赤色光線であるが、乱反射した緑色光線が混信する可能性がある。その場合でも、フィルタ 3 8、3 9 は、混信した緑色光線を排除し、赤色光線のみを受光素子 3 4、3 5 へ通すので、受光素子 3 4、3 5 は、赤色光線のみ強度を検出することができる。

[0050] この場合、受光素子 3 2、3 3 は、緑色光線の波長に対して受光感度が高いものが望ましく、また、受光素子 3 4、3 5 は、赤色光線の波長に対して受光感度が高いものが望ましい。

[0051] このように、光源として、互いに異なる波長の光を出力する光源 3 1 a、3 1 b を用い、斜め光線 O L 1 及び O L 2 による反射光と平行光線 P L 1 及び P L 2 による反射光が混信した場合でも、フィルタ 3 6 ~ 3 9 により、外乱となる他方の反射光を排除することができ、その結果、S N 比（信号雑音比）の低下を防止して、計測精度の低下を防止することができる。

産業上の利用可能性

[0052] 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クリアランス計測などに適用可能である。

符号の説明

- [0053] 1 0 回転機械
1 2 ロータ
1 3 ターゲット
2 0 光センサ
2 1、2 2 斜めファイバ群
2 1 a、2 2 a 斜め発光ファイバ
2 1 b、2 2 b 斜め受光ファイバ
2 3、2 4 平行ファイバ群
2 3 a、2 4 a 平行発光ファイバ

23 b、24 b 平行受光ファイバ

30 光信号処理部

31、31 a、31 b 光源

32、33、34、35 受光素子

36、37、38、39 フィルタ

40 光信号演算部

請求の範囲

[請求項1]

光センサにおいて、先端が所定間隔で配置された1対の第1の発光ファイバと1対の第1の受光ファイバとを有し、対同士が三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して配置された1対の第1のファイバ群と、

前記光センサにおいて、先端が前記所定間隔で配置された1対の第2の発光ファイバと1対の第2の受光ファイバとを有し、対同士が平行に配置された1対の第2のファイバ群と、

前記1対の第1の発光ファイバ及び前記1対の第2の発光ファイバに光を出力して、前記1対の第1の発光ファイバから2本の斜め光線を出射させ、前記1対の第2の発光ファイバから2本の平行光線を出射させる光源と、

回転体の外周面に設けられ、前記2本の斜め光線を前記1対の第1の受光ファイバへ各々反射し、前記2本の平行光線を前記1対の第2の受光ファイバへ各々反射するターゲットと、

前記1対の第1の受光ファイバと各々接続され、各々で受光した前記光の強度を検出する1対の第1の受光素子と、

前記1対の第2の受光ファイバと各々接続され、各々で受光した前記光の強度を検出する1対の第2の受光素子と、

前記1対の第1の受光素子及び前記1対の第2の受光素子で各々検出した前記強度の変化を示す4つの波形に基づいて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を含む演算を行う演算部とを有する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、

前記演算部は、

4つの前記波形における立ち上がりと立ち下がりの2つの時間から第1の時間差を各々求め、4つの前記第1の時間差の中の1つ又は複数の平均を用いて、前記ターゲットの周速を求め、

前記 1 対の第 2 の受光素子で検出した 2 つの前記波形に基づいて、前記 2 本の平行光線の各々を前記ターゲットが通過する 2 つの時間から第 2 の時間差を求め、当該第 2 の時間差を用いて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を求め、

前記 1 対の第 1 の受光素子で検出した 2 つの前記波形に基づいて、前記 2 本の斜め光線の各々を前記ターゲットが通過する 2 つの時間から第 3 の時間差を求め、当該第 3 の時間差を用いて、前記 1 対の第 1 の発光ファイバの先端から前記ターゲットまでの距離を求め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、

前記光源は、第 1 の光を前記 1 対の第 1 の発光ファイバに出力する第 1 の光源と、前記第 1 の光とは異なる波長の第 2 の光を前記 1 対の第 2 の発光ファイバに出力する第 2 の光源とを有し、

前記 1 対の第 1 の受光ファイバと前記 1 対の第 1 の受光素子との間に、前記第 1 の光のみを透過する第 1 のフィルタを設け、

前記 1 対の第 2 の受光ファイバと前記 1 対の第 2 の受光素子との間に、前記第 2 の光のみを透過する第 2 のフィルタを設けたことを特徴とする光計測装置。

[請求項4]

請求項 1 から請求項 3 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5]

先端が所定間隔で配置された 1 対の第 1 の発光ファイバと 1 対の第 1 の受光ファイバとを有する 1 対の第 1 のファイバ群を、対同士が三角測量における三角形の二辺を形成するように傾斜して光センサに配置し、

先端が前記所定間隔で配置された 1 対の第 2 の発光ファイバと 1 対の第 2 の受光ファイバとを有する 1 対の第 2 のファイバ群を、対同士が平行になるように前記光センサに配置し、

光源から前記 1 対の第 1 の発光ファイバ及び前記 1 対の第 2 の発光

ファイバに光を出力して、前記1対の第1の発光ファイバから2本の斜め光線を出射させ、前記1対の第2の発光ファイバから2本の平行光線を出射させ、

回転体の外周面に設けられたターゲットを用いて、前記2本の斜め光線を前記1対の第1の受光ファイバへ各々反射し、前記2本の平行光線を前記1対の第2の受光ファイバへ各々反射し、

前記1対の第1の受光ファイバと各々接続された1対の第1の受光素子を用いて、各々で受光した前記光の強度を検出し、

前記1対の第2の受光ファイバと各々接続された1対の第2の受光素子を用いて、各々で受光した前記光の強度を検出し、

前記1対の第1の受光素子及び前記1対の第2の受光素子で各々検出した前記強度の変化を示す4つの波形に基づいて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を含む演算を行う
ことを特徴とする光計測方法。

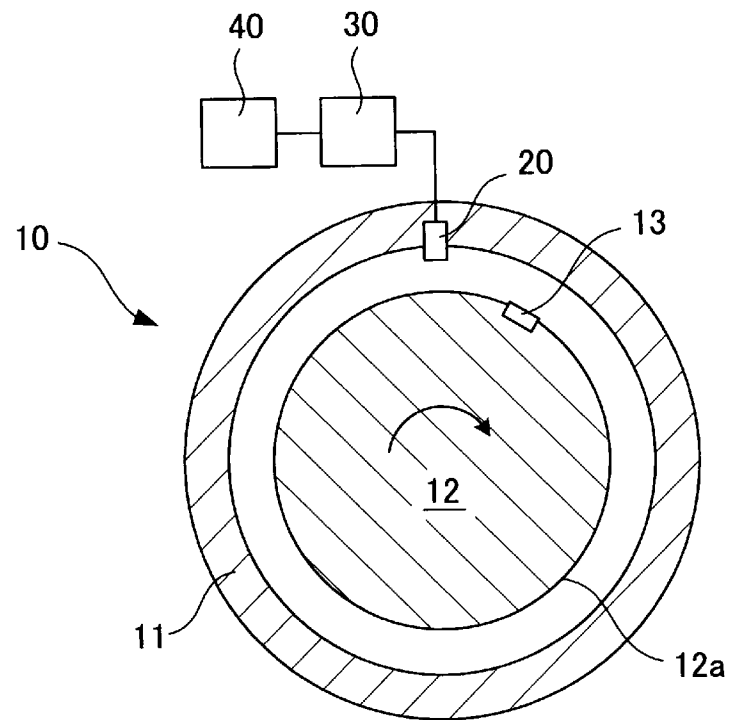
[請求項6] 請求項5に記載の光計測方法において、

4つの前記波形における立ち上がりと立ち下りの2つの時間から第1の時間差を各々求め、4つの前記第1の時間差の中の1つ又は複数の平均を用いて、前記ターゲットの周速を求め、

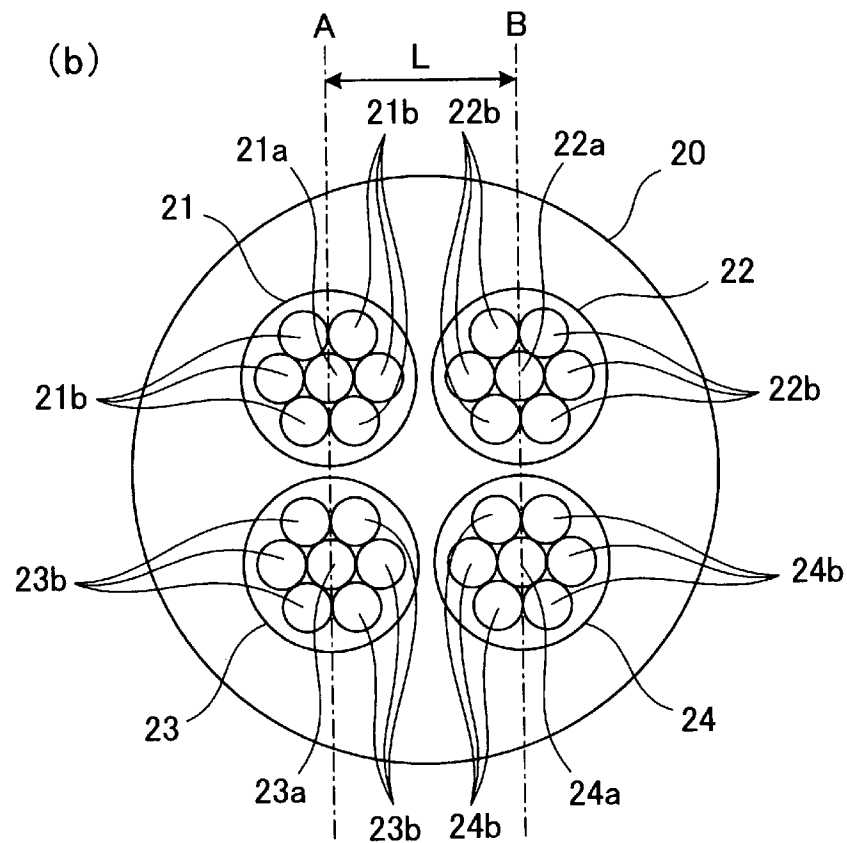
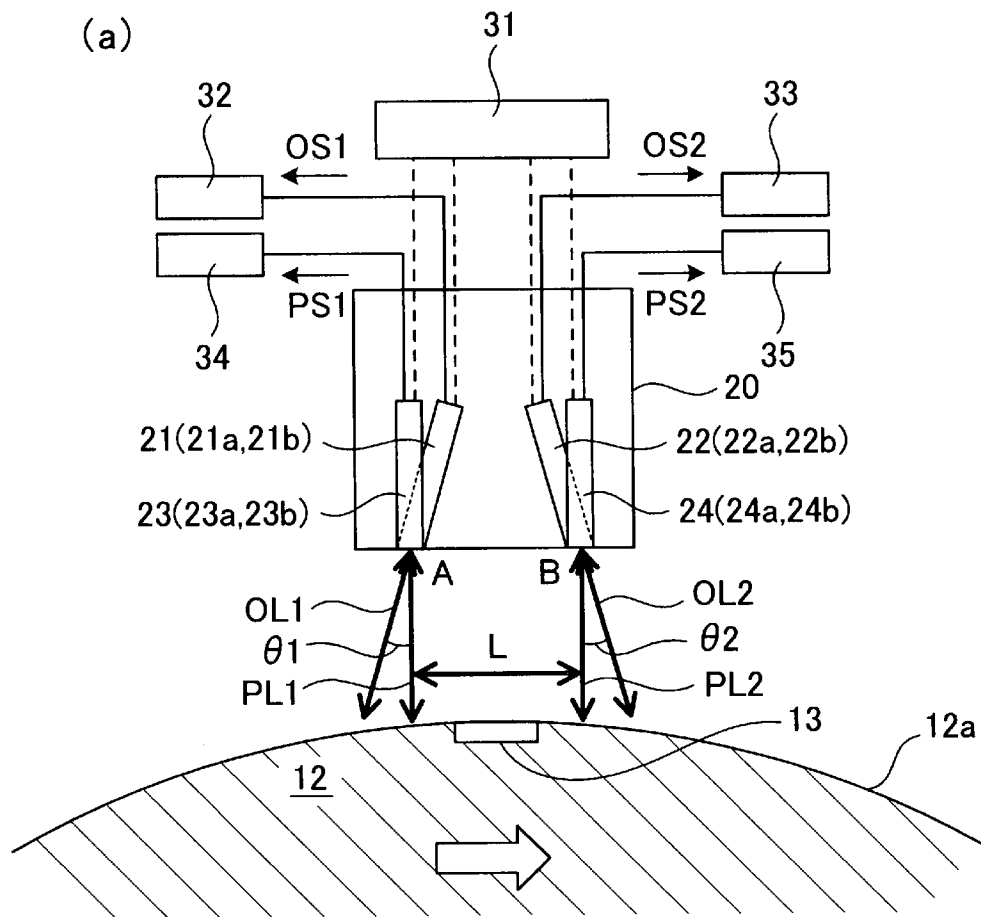
前記1対の第2の受光素子で検出した2つの前記波形に基づいて、前記2本の平行光線の各々を前記ターゲットが通過する2つの時間から第2の時間差を求め、当該第2の時間差を用いて、熱伸びの影響を受けた前記所定間隔を求め、

前記1対の第1の受光素子で検出した2つの前記波形に基づいて、前記2本の斜め光線の各々を前記ターゲットが通過する2つの時間から第3の時間差を求め、当該第3の時間差を用いて、前記1対の第1の発光ファイバの先端から前記ターゲットまでの距離を求める
ことを特徴とする光計測方法。

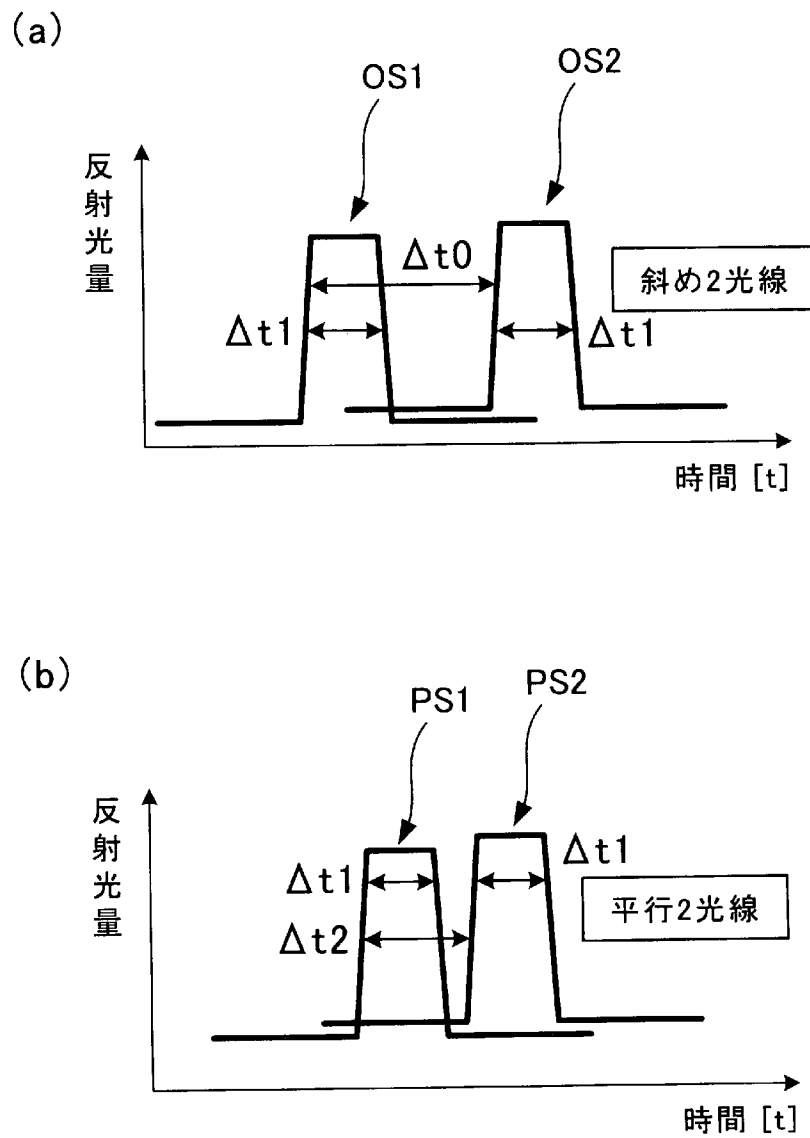
[図1]



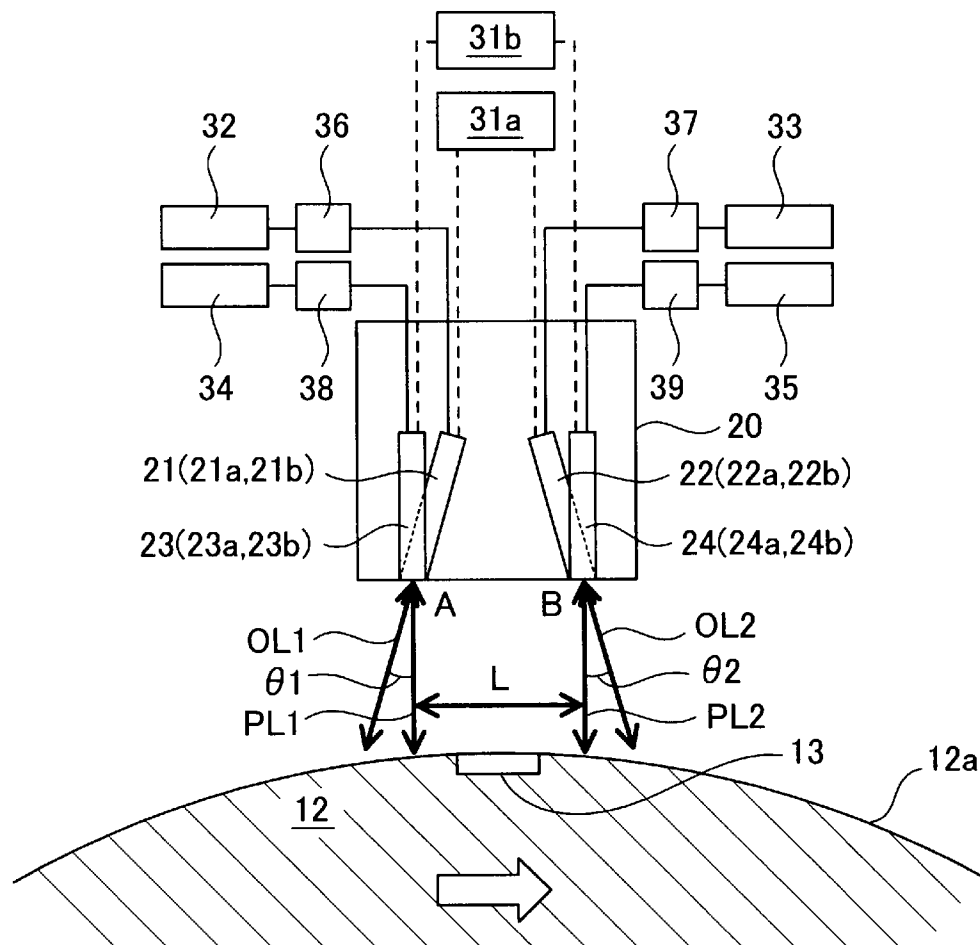
[図2]



[図3]

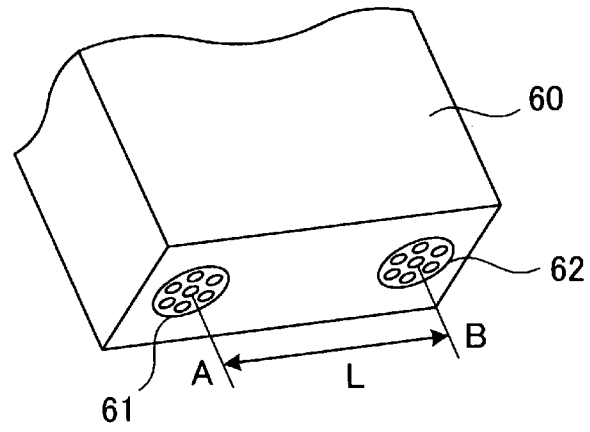


[図4]

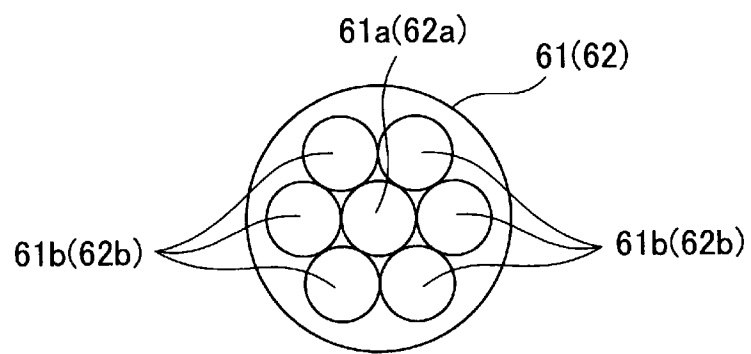


[図5]

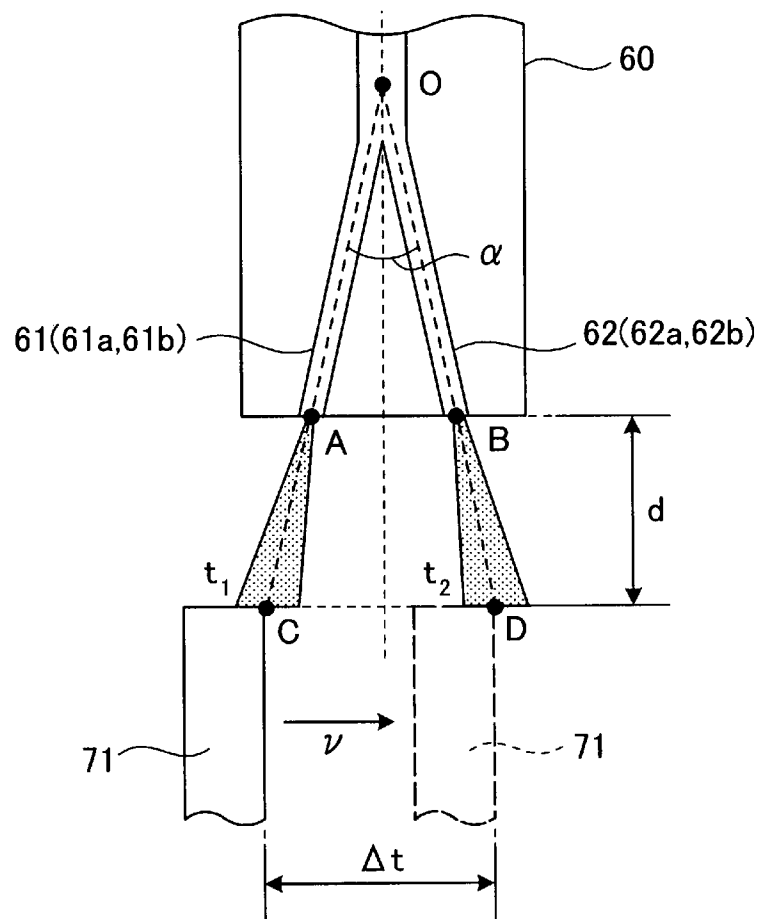
(a)



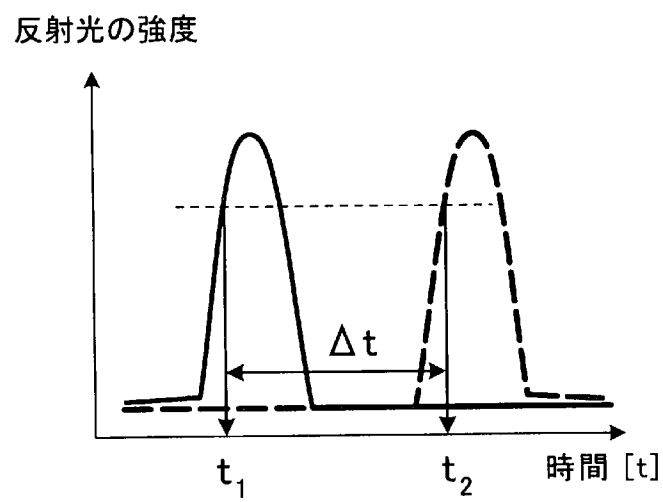
(b)



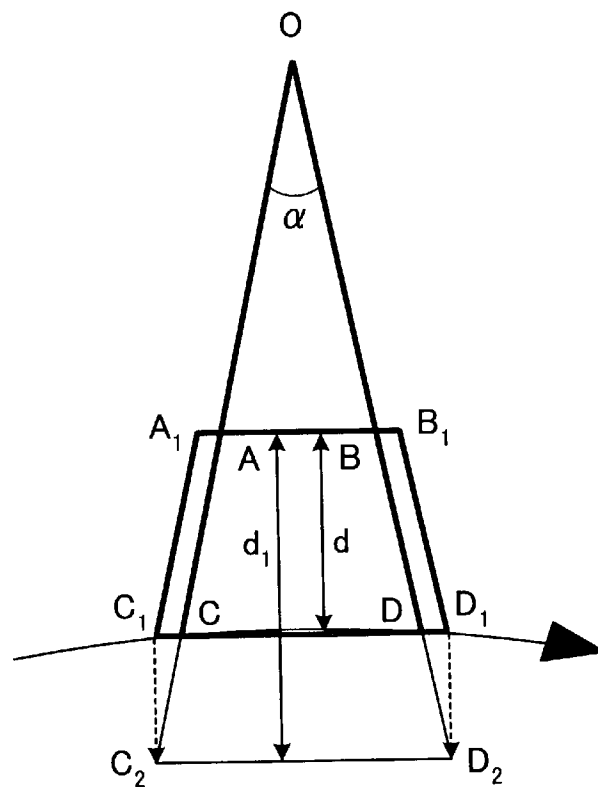
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/010574

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/14(2006.01)i, F01D11/14(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F02C7/28(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)

G01B11/00-11/30, F01D1/00-11/24, F01D13/00-15/12, F01D23/00-25/36, F02C1/00-9/58

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

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 2004-191374 A (Siemens AG.), 08 July 2004 (08.07.2004), entire text; all drawings & US 2004/0114154 A1 & EP 1429155 A1 & CN 1506654 A & ES 2330998 T3	1-6
A	JP 2015-001414 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 05 January 2015 (05.01.2015), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 59-142408 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 15 August 1984 (15.08.1984), 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
23 May 2017 (23.05.17)

Date of mailing of the international search report
06 June 2017 (06.06.17)

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/JP2017/010574

C (Continuation). 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 (23.08.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

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, F01D11/14(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F02C7/28(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. G01B11/00-11/30, F01D1/00-11/24, F01D13/00-15/12, F01D23/00-25/36, F02C1/00-9/58

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	JP 2004-191374 A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 2004.07.08, 全文, 全図 & US 2004/0114154 A1 & EP 1429155 A1 & CN 1506654 A & ES 2330998 T3	1-6
A	JP 2015-001414 A (三菱重工業株式会社) 2015.01.05, 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

23.05.2017

国際調査報告の発送日

06.06.2017

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)

三好 貴大

2S

6200

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 59-142408 A (石川島播磨重工業株式会社) 1984. 08. 15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
A	US 4766323 A (B. C. HYDRO) 1988. 08. 23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6