

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5908011号  
(P5908011)

(45) 発行日 平成28年4月26日(2016.4.26)

(24) 登録日 平成28年4月1日(2016.4.1)

(51) Int.Cl.		F I			
GO1B	7/15	(2006.01)	GO1B	7/15	
FO1D	11/08	(2006.01)	FO1D	11/08	
FO1D	25/00	(2006.01)	FO1D	25/00	V
FO2C	7/00	(2006.01)	FO2C	7/00	A

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-44291 (P2014-44291)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成26年3月6日(2014.3.6)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2015-169531 (P2015-169531A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成27年9月28日(2015.9.28)	(74) 代理人	100134544
審査請求日	平成26年12月12日(2014.12.12)		弁理士 森 隆一郎
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100126893
			弁理士 山崎 哲男
		(74) 代理人	100149548
			弁理士 松沼 泰史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クリアランス計測装置、回転機械、クリアランス計測方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部と、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定部と、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定部と、

を備え、

前記クリアランス特定部は、

前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、

前記ずれ幅特定部は、

少なくとも2つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定する

クリアランス計測装置。

【請求項2】

前記クリアランス特定部は、

前記動翼と前記センサとの前記回転軸方向の相対的位置と、前記動翼と前記センサとの

クリアランスに応じた静電容量と、の対応関係が記録された対応テーブルを有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】

請求項 1 または請求項 2 の何れか一項に記載のクリアランス計測装置と、前記ロータ及び前記ケーシングと、を備える回転機械。

【請求項 4】

ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部を用いたクリアランス計測方法であって、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定ステップと、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定ステップと、

を有し、

前記クリアランス特定ステップにおいて、

前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、

前記ずれ幅特定ステップにおいて、

少なくとも 2 つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定する

ことを特徴とするクリアランス計測方法。

【請求項 5】

ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部を備えるクリアランス計測装置のコンピュータを、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定手段、

複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定手段、

として機能させ、

前記クリアランス特定手段は、

前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、

前記ずれ幅特定手段は、

少なくとも 2 つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定する

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、クリアランス計測装置、回転機械、クリアランス計測方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

タービンロータの動翼とタービンケーシングとのクリアランスを、静電容量式のセンサを用いて計測するクリアランス計測方法及びこれを用いたガスタービンが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 2 - 0 8 2 7 3 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

ガスタービンの動翼は、回転の遠心方向の変化に加え、スラスト力、ロータ熱伸び等によって、回転軸方向にもその位置を変化させる場合がある。一方、動翼は、例えば、その延伸方向の中央付近から両端にかけて翼厚が薄くなるように形成される。したがって、センサの設置位置に対して回転軸方向に動翼の先端面の相対的位置が変化する場合、その翼厚の変化によって対向面積も変化する場合がある。すなわち、遠心方向のクリアランスの変化による静電容量の変化分に、対向面積が変化することによる静電容量の変化分が加算されることになり、クリアランスの測定精度が低下することになる。

10

【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、上記課題に鑑みてなされたものであって、クリアランスの測定精度を向上できるクリアランス計測装置、回転機械、クリアランス計測方法及びプログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一態様は、ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部と、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定部と、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定部と、を備え、前記クリアランス特定部は、前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、前記ずれ幅特定部は、少なくとも 2 つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定するクリアランス計測装置である。

20

【 0 0 0 9 】

また、本発明の一態様は、上述のクリアランス計測装置において、前記クリアランス特定部が、前記動翼と前記センサとの前記回転軸方向の相対的位置と、前記動翼と前記センサとのクリアランスに応じた静電容量と、の対応関係が記録された対応テーブルを有することを特徴とする。

30

【 0 0 1 0 】

また、本発明の一態様は、上述のクリアランス計測装置と、前記ロータ及び前記ケーシングと、を備える回転機械である。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の一態様は、ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部を用いたクリアランス計測方法であって、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定ステップと、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定ステップと、を有し、前記クリアランス特定ステップにおいて、前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、前記ずれ幅特定ステップにおいて、少なくとも 2 つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定することを特徴とするクリアランス計測方法である。

40

50

## 【 0 0 1 2 】

また、本発明の一態様は、ロータを覆うケーシングに固定設置され、前記ロータの回転軸回りに回転する動翼とのクリアランスに応じた静電容量を検出可能なセンサが、前記ロータの回転軸方向の異なる位置に複数配されてなるセンサ部を備えるクリアランス計測装置のコンピュータを、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定するクリアランス特定手段、複数の前記センサに検出された複数の静電容量に基づいて、前記動翼の前記回転軸方向のずれ幅を前記特定値として特定するずれ幅特定手段、として機能させ、前記クリアランス特定手段は、前記ずれ幅特定部が特定したずれ幅と、前記センサに検出された静電容量と、に基づいて、前記ケーシングと前記動翼とのクリアランスを特定し、前記ずれ幅特定手段は、少なくとも2つの前記静電容量の比又は差に基づいて前記ずれ幅を特定するプログラムである。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 1 3 】

上述のクリアランス計測装置、回転機械、クリアランス計測方法及びプログラムによれば、クリアランスの測定精度を向上させることができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 4 】

【図1】第1の実施形態に係るガスタービンの概要を示す図である。

【図2】第1の実施形態に係るガスタービンの構造の一部を詳細に示す図である。

20

【図3】第1の実施形態に係るセンサ部の構造を説明する図である。

【図4】第1の実施形態に係るクリアランス計測装置の機能構成を示す図である。

【図5】第1の実施形態に係るセンサ部の特性を説明する第1の図である。

【図6】第1の実施形態に係るセンサ部の特性を説明する第2の図である。

【図7】第1の実施形態に係る動翼の回転軸方向のずれ幅を説明する図である。

【図8】第1の実施形態に係るCPUの処理手順を示すフローチャート図である。

【図9】第1の実施形態に係るずれ幅特定部の機能を説明する図である。

【図10】第1の実施形態に係るクリアランス特定部の機能を説明する図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 5 】

30

< 第1の実施形態 >

以下、第1の実施形態に係るガスタービンについて説明する。

## 【 0 0 1 6 】

## [ ガスタービンの全体構成 ]

図1は、第1の実施形態に係るガスタービンの概要を示す図である。

図1に示すように、回転機械の一例であるガスタービン1は、外気を圧縮して圧縮空気を生成する空気圧縮機2と、燃料ガスに圧縮空気を混合して燃焼させ高温の燃焼ガスを生成する燃焼器3と、燃焼ガスにより駆動するタービン4と、を備えている。

## 【 0 0 1 7 】

空気圧縮機2は、圧縮機ロータ5と、これを回転可能に覆う圧縮機ケーシング6とを有している。

40

燃焼器3は、燃料ガス及び空気圧縮機2からの圧縮空気を受け入れてこれらを噴出する燃料供給器7と、燃料供給器7から燃料ガス及び圧縮空気が内部に噴射されて、燃料ガスの燃焼領域を形成する燃焼筒8とを有している。

タービン4は、燃焼ガスにより回転するロータ9（タービンロータ）と、このロータ9を回転可能に覆うケーシング10（タービンケーシング）とを有している。ロータ9の側面には、複数の動翼Y1、Y2、Y3、・・・が取り付けられている。各動翼Y1、Y2、Y3、・・・は、ロータ9とともにその回転軸回りに回転する。

一方、ケーシング10の内面には、複数の動翼Y1、Y2、Y3、・・・と交互に設けられる、複数の静翼11が取り付けられている。空気圧縮機2の圧縮機ロータ5は、回転

50

軸 9 a を介してロータ 9 と接続され、このロータ 9 と一体となって回転する。

また、ケーシング 10 には、ケーシング 10 の内面と、ロータ 9 に取り付けられた動翼 Y 1、Y 2、Y 3、・・・とのクリアランス（図 2 に示すクリアランス d）を計測するためのセンサ部 20 が取り付けられている。このセンサ部 20 は、ロータ 9 の動翼と対向する位置に設置されており、ケーシング 10 の内面に露出するように埋設されている。センサ部 20 は、後述するように、センサ面 S c（図 2）動翼の先端面 S w（図 2）間に生じる静電容量を検出可能としている。また、センサ部 20 は、後述するクリアランス計測装置 30（図 1 には図示せず）と電気的に接続されており、上記静電容量の検出信号（出力電圧）を、当該クリアランス計測装置 30 に出力する。

【0018】

図 2 は、第 1 の実施形態に係るガスタービンの構造の一部を詳細に示す図である。

図 2 は、ガスタービン 1 の断面 Z - Z'（図 1）の構造を模式的に表している。

図 2 に示すように、ロータ 9 は、当該ロータ 9 の回転方向に沿って複数の動翼 Y 1 が短冊形状に設けられている。これら動翼 Y 1 の基端は、全てロータ 9 の側面に固定されている。これにより、動翼 Y 1 の遠心方向先端の面（先端面 S w）は、ロータ 9 の回転により、センサ部 20 のセンサ面 S c と対向する位置を通過する。

【0019】

図 2 に示すように、センサ部 20 は、ロータ 9 を覆うケーシング 10 に固定設置されるとともに、ケーシング 10 の内面において、そのセンサ面 S c が露出して、ロータ 9 の回転に応じて通過する動翼 Y 1 の先端面 S w と対向する。また、センサ部 20 は、動翼 Y 1 の先端面 S w と対向する際に生じる静電容量 C を検出する。ここで、センサ部 20 が検出する静電容量 C は、式（1）のように表される。

【0020】

【数 1】

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad \dots (1)$$

【0021】

なお、式（1）において、“ $\epsilon_r$ ” はケーシング 10 の室内の空気の比誘電率、“ $\epsilon_0$ ” は、真空の誘電率である。また、“A” は、センサ面 S c に対する先端面 S w の投影面積（対向面積）である。したがって、投影面積 A を一定と仮定した場合、センサ部 20 により検出された静電容量 C に基づいて、クリアランス d を特定することができる。

なお、センサ部 20 は、検出した静電容量 C を、これに比例する出力電圧 V として出力する。後述するように、クリアランス計測装置 30 は、センサ部 20 から出力電圧 V の入力を受け付けて、ケーシング 10 と動翼 Y 1 のクリアランス d（図 2）を算出する。

【0022】

なお、図 2 は、動翼 Y 1 を含む断面 Z - Z'（図 1）のみについて説明したが、他の動翼 Y 2、Y 3、・・・を含む断面についても同様の構造をなしている。

【0023】

図 3 は、第 1 の実施形態に係るセンサ部の構造を説明する図である。

図 3 に示すように、センサ部 20 は、第 1 センサ 200 と、第 2 センサ 201 と、を備えている。第 1 センサ 200 及び第 2 センサ 201 は、いわゆる静電容量方式のセンサである。第 1 センサ 200 及び第 2 センサ 201 は、各々が、ロータ 9 の回転軸回りに回転する動翼 Y 1、Y 2、・・・の先端面 S w（図 2）に対向するセンサ面 S c を有するとともに、当該動翼 Y 1、Y 2、・・・の先端面 S w との間隔に応じた静電容量 C（図 2）を個別に検出可能とする。

【0024】

第 1 センサ 200 及び第 2 センサ 201 は、回転軸方向（±X 方向）の異なる位置に複数配されている。具体的には、図 3 に示すように、第 1 センサ 200 及び第 2 センサ 20

10

20

30

40

50

1 は、それぞれ、回転軸方向（±X方向）の所定の位置 X a、X b に、所定幅 h だけ離れて配されている。

なお、図 3 に示すように、センサ部 2 0 は、回転方向の複数箇所、例えば、4 か所に設置されてもよい。

#### 【 0 0 2 5 】

##### [ クリアランス計測装置の構成 ]

図 4 は、第 1 の実施形態に係るクリアランス計測装置の機能構成を示す図である。

図 4 に示すように、第 1 の実施形態に係るクリアランス計測装置 3 0 は、計測装置本体部 3 0 a にセンサ部 2 0（第 1 センサ 2 0 0、第 2 センサ 2 0 1）が電氣的に接続される。

10

#### 【 0 0 2 6 】

計測装置本体部 3 0 a は、CPU（Central Processing Unit）3 0 0 と、RAM（Random Access Memory）3 1 0 と、HDD（Hard Disk Drive）3 1 1 と、操作入力部 3 1 2 と、画像表示部 3 1 3 と、外部接続インターフェイス 3 1 4 と、を備えている。

#### 【 0 0 2 7 】

CPU 3 0 0 は、クリアランス計測装置 3 0 全体の制御を司る。CPU 3 0 0 は、所定の記憶領域（RAM 3 1 0 等）に読み込まれた測定用プログラムに基づいて動作することで、ずれ幅特定部 3 0 1、クリアランス特定部 3 0 2 としての機能を発揮する。

RAM 3 1 0 は、測定用プログラムに基づいて動作する CPU 3 0 0 のワークエリアとなる記憶領域である。

20

HDD 3 1 1 は、各種プログラムまたはクリアランス特定部 3 0 2 が取得したクリアランス計測結果等を記憶する記憶手段である。

操作入力部 3 1 2 は、例えばマウス、キーボード、タッチパネル等から構成され、オペレータによる各種操作の入力を受け付ける。

画像表示部 3 1 3 は、液晶ディスプレイ等であって、オペレータの操作において必要な情報や、クリアランスの計測結果等を表示する。

外部接続インターフェイス 3 1 4 は、外部装置との通信を行うための通信インターフェイスであり、特に本実施形態においては、専用の通信ケーブルを介して複数のセンサ部 2 0 に接続される。

図 4 に示すように、CPU 3 0 0、RAM 3 1 0、HDD 3 1 1、操作入力部 3 1 2、画像表示部 3 1 3、外部接続インターフェイス 3 1 4 は、システムバス 3 1 5 を介して相互に電氣的に接続されている。

30

#### 【 0 0 2 8 】

次に、測定用プログラムに基づく CPU 3 0 0 の動作によって実現されるずれ幅特定部 3 0 1、クリアランス特定部 3 0 2 について簡単に説明する。

ずれ幅特定部 3 0 1 は、複数のセンサ（第 1 センサ 2 0 0、第 2 センサ 2 0 1）が検出する複数の静電容量 C に基づいて、動翼 Y 1、Y 2、・・・の回転軸方向（±X方向）のずれ幅（ずれ幅 r（図 7、図 8 参照））を特定する。

また、クリアランス特定部 3 0 2 は、ずれ幅特定部 3 0 1 が特定したずれ幅 r と、第 1 センサ 2 0 0（または、第 2 センサ 2 0 1）に検出された静電容量 C と、に基づいて、ケーシング 1 0 と動翼 Y 1、Y 2、・・・とのクリアランス d を特定する。

40

ずれ幅特定部 3 0 1、クリアランス特定部 3 0 2 の各機能の詳細については後述する。

#### 【 0 0 2 9 】

##### [ 動作説明 ]

図 5 は、第 1 の実施形態に係るセンサ部の特性を説明する第 1 の図である。

第 1 センサ 2 0 0 及び第 2 センサ 2 0 1 は、それぞれのセンサ面 S c が動翼 Y 1 の先端面 S w と対向する面積（式（1）の投影面積 A）に比例する静電容量 C を検出する。

#### 【 0 0 3 0 】

回転軸方向（±X方向）の位置 X a に取り付けられた第 1 センサ 2 0 0 のセンサ面 S c は、動翼 Y 1 の先端面 S w のうち位置 X a に対応する部分に対向する。この場合において

50

、第1センサ200のセンサ面Scに対する先端面Swの投影面積Aが最大となるのは、動翼Y1の回転位置が位置Paとなったときである(図5参照)。このときの投影面積Aを最大投影面積 $A_{max\_a}$ と記載する。

一方、回転軸方向( $\pm X$ 方向)の位置Xbに取り付けられた第2センサ201のセンサ面Scは、動翼Y1の先端面Swのうち位置Xbに対応する部分に対向する。この場合において、第2センサ201のセンサ面Scに対する先端面Swの投影面積Aが最大となるのは、動翼Y1の回転位置が位置Pbとなったときである(図5参照)。このときの投影面積Aを最大投影面積 $A_{max\_b}$ と記載する。

#### 【0031】

ここで、本実施形態においては、動翼Y1の先端面Swの形状は、図5に示すように、回転軸方向における中央付近から両端にかけて翼厚が徐々に薄くなる形状を成している。また、第1センサ200は、動翼Y1が回転して図5に示す方向に移動することによって、動翼Y1の翼厚が比較的厚く形成された箇所と対向する位置(位置Xa)に配されている。一方、第2センサ201は、動翼Y1が回転して移動することによって、動翼Y1の翼厚が比較的薄く形成された箇所と対向する位置(位置Xb)に配されている。したがって、第2センサ201に対向する先端面Swの最大投影面積 $A_{max\_b}$ に比べて、第1センサ200に対向する先端面Swの最大投影面積 $A_{max\_a}$ の方が大きくなる。

#### 【0032】

図6は、第1の実施形態に係るセンサ部の特性を説明する第2の図である。

図5を用いて説明したように、動翼Y1は、回転軸方向( $\pm X$ 方向)に、その翼厚が変化するように形成されている。したがって、動翼Y1に対する第1センサ200(第2センサ201)の回転軸方向の位置に応じて、当該第1センサ200と対向する最大投影面積 $A_{max}$ が変化する。第1センサ200回転軸方向の位置と、最大投影面積 $A_{max}$ との関係を図6に示す。

なお、図6に示すグラフの縦軸は、第1センサ200(第2センサ201)から出力される最大出力電圧 $V_a$ ( $V_b$ )[V]を表している。ここで、第1センサ200(第2センサ201)から出力される最大出力電圧 $V_a$ ( $V_b$ )[V]は、最大静電容量 $C_{max}$ [C]に比例、すなわち、最大投影面積 $A_{max}$ [ $mm^2$ ]に比例する。

#### 【0033】

動翼Y1は、回転軸方向中央付近から両端にかけて翼厚が徐々に薄くなる形状のため、図6に示すグラフの通り、第1センサ200(第2センサ201)の回転軸方向の位置Xに対する最大出力電圧 $V_a$ ( $V_b$ )(すなわち最大投影面積 $A_{max}$ )の特性は、山なりの特性曲線Q1、Q2を描く。

なお、図6において、特性曲線Q1は、クリアランスdが“d1”であったときの最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ の特性であり、特性曲線Q2は、クリアランスdが“d2”(d1 < d2)であったときの最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ の特性である。クリアランスdが“d1”の場合、第1センサ200、第2センサ201それぞれの最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ は、 $V_a = V_{a1}$ 、 $V_b = V_{b1}$ となる。同様に、クリアランスdが“d2”の場合、第1センサ200、第2センサ201それぞれの最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ は、 $V_a = V_{a2}$ ( $V_{a1} > V_{a2}$ )、 $V_b = V_{b2}$ ( $V_{b1} > V_{b2}$ )となる。このように、第1センサ200、第2センサ201それぞれの最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ は、クリアランスdの変化に対して同比率で変化する。

#### 【0034】

[動翼の回転軸方向のずれについて]

図7は、第1の実施形態に係る動翼の回転軸方向のずれ幅を説明する図である。

一般に、ガスタービン1の運転開始後や運転終了後等においては、ロータ9とケーシング10との熱容量の差異等に起因して、センサ部20と動翼Y1との回転軸方向の相対的な位置関係が変化する。具体的に説明すると、例えば、ガスタービン1の運転終了直後では、体積が大きく熱容量が大きいロータ9よりも、壁厚が薄く熱容量が小さいケーシング10の方が早く冷却される。そうすると、ロータ9よりもケーシング10の方が、熱収縮

10

20

30

40

50

が早く進行することにより、相対的に、ロータ9は、ケーシング10に対して回転軸方向（±X方向）に伸びた状態となる（ロータロングの状態）。また、ガスタービン1の運転開始直後においては、ロータ9よりもケーシング10の方が早く熱せられて熱膨張するため、相対的に、ロータ9がケーシング10に対して回転軸方向（±X方向）に縮んだ状態となる（ロータショートの状態）。さらに、ロータ9の回転に応じたスラスト力が動翼Y1に加わることによって、センサ部20に対する動翼Y1の回転軸方向の相対的な位置関係が変化する。

#### 【0035】

図7は、センサ部20に対する動翼Y1の回転軸方向の位置が、ずれ幅 $r$ だけ+X方向に変化した様子を示している。ここで、運転開始前の冷却状態における動翼Y1の回転軸方向の位置 $P_a$ を基準（ずれ幅 $r=0$ ）とすると、ガスタービン1の運転時においては、動翼Y1は、例えば、回転軸方向（+X方向）にずれ幅 $r$ だけ移動した位置 $P_{a'}$ に配される。これにより、動翼Y1の先端面 $S_w$ のうち、第1センサ200及び第2センサ201のセンサ面 $S_c$ と対向する位置もずれ幅 $r$ だけずれるため、当該センサ面 $S_c$ に対向する最大投影面積 $A_{max\_a}$ 、 $A_{max\_b}$ の値も変化する。そうすると、式(1)において、投影面積 $A$ が不変であることを前提としてクリアランス $d$ を求めようとした場合、動翼Y1の回転軸方向のずれに応じた投影面積 $A$ の変化により、算出されたクリアランス $d$ に誤差を生じさせてしまう。したがって、本実施形態に係るクリアランス計測装置30は、以下に説明するように、ずれ幅 $r$ に応じて生じ得る誤差を補正しながらクリアランス $d$ を算出する処理を行う。

#### 【0036】

##### [CPUの処理手順]

図8は、第1の実施形態に係るCPUの処理手順を示すフローチャート図である。

次に、クリアランス $d$ の計測時におけるCPU300の処理手順を、図8を参照しながら順を追って説明する。

まず、ずれ幅特定部301は、第1センサ200、第2センサ201が出力する出力電圧の入力を受け付けて、各々についての最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ を取得する（ステップS01）。最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ は、上述したように、位置 $X_a$ 、 $X_b$ における先端面 $S_w$ の最大投影面積 $A_{max\_a}$ 、 $A_{max\_b}$ に対応している。

#### 【0037】

次に、ずれ幅特定部301は、ずれ幅算出テーブル（後述）を参照して、ステップS01で取得した最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ に基づいて、現時点におけるずれ幅 $r$ を特定する（ステップS02）。ここで、ずれ幅特定部301が、最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ に基づいてずれ幅 $r$ を特定する具体的な処理について、図9を参照しながら説明する。

#### 【0038】

##### [ずれ幅特定部の機能]

図9は、第1の実施形態に係るずれ幅特定部の機能を説明する図である。

図9(a)には、回転軸方向のずれ幅 $r$ が生じた場合においてセンサ部20が出力する最大出力電圧 $V_a$ （ $V_b$ ）の変化を説明するグラフ図を示している。また、図9(b)には、ずれ幅対応テーブルの例を示している。

#### 【0039】

回転軸方向の位置 $X$ と最大出力電圧 $V_a$ （ $V_b$ ）との関係を示す特性曲線 $Q_1$ は、動翼Y1の回転軸方向のずれ幅 $r$ に応じて、当該ずれ幅 $r$ だけ±X方向に平行移動する。例えば、図9(a)に示すように、ガスタービン1がロータロングの状態となって、動翼Y1が基準位置 $P_a$ からずれ幅 $r=r_1$ だけ+X方向側にずれた位置 $P_{a'}$ に移動したとき、特性曲線 $Q_1$ も、当該ずれ幅 $r=r_1$ だけ+X方向側に平行移動する（特性曲線 $Q_1'$ ）。

#### 【0040】

ここで、ずれ幅 $r=r_1$ が未知であったとして、ずれ幅特定部301が第1センサ200及び第2センサ201の各々から出力される最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ からずれ幅 $r=r$

10

20

30

40

50



1 を特定する処理について説明する。

【0041】

ずれ幅  $r = 0$  の状態において第1センサ200及び第2センサ201の各々から出力される最大出力電圧  $V_a$ 、 $V_b$  は、曲線  $Q_1$  に基づいて  $V_a = V_{a1}$ 、 $V_b = V_{b1}$  となる。一方、ずれ幅  $r = r_1$  の状態において第1センサ200及び第2センサ201の各々から出力される最大出力電圧  $V_a$ 、 $V_b$  は、 $V_a = V_{a1}'$ 、 $V_b = V_{b1}'$  となる(図9(a))。

【0042】

ずれ幅特定部301は、第1センサ200及び第2センサ201の最大出力電圧  $V_a$ 、 $V_b$  の比である最大出力電圧比  $V_b / V_a$  を算出する。例えば、ずれ幅  $r = 0$  のとき、ずれ幅特定部301が算出する最大出力電圧比  $V_b / V_a$  は、 $V_{b1} / V_{a1}$  となる。一方、ずれ幅  $r = r_1$  のとき、第1センサ200が出力する最大出力電圧  $V_a$  は、 $V_{a1}'$  ( $V_{a1}' < V_{a1}$ ) となるのに対し、第2センサ201が出力する最大出力電圧  $V_b$  は、 $V_{b1}'$  ( $V_{b1}' > V_{b1}$ ) となる。したがって、ずれ幅特定部301がずれ幅  $r = r_1$  のときに取得する最大出力電圧比  $V_{b1}' / V_{a1}'$  は、ずれ幅  $r = 0$  のときに取得する最大出力電圧比  $V_{b1} / V_{a1}$  に比べて大きい値となる。

【0043】

このように、動翼  $Y_1$  の回転軸方向の位置  $X$  と最大出力電圧  $V_a$  ( $V_b$ ) との関係が曲線(特性曲線  $Q_1$ ) を描くため、第1センサ200及び第2センサ201の最大出力電圧比  $V_b / V_a$  は、回転軸方向のずれ幅  $r$  に応じて変化する。なお、最大出力電圧  $V_a$ 、 $V_b$  は、クリアランス  $d$  の変化に対して同比率で変化する(図6参照)ため、最大出力電圧比  $V_b / V_a$  は、クリアランス  $d$  との相関性を有さない。したがって、最大出力電圧比  $V_b / V_a$  とずれ幅  $r$  とは、クリアランス  $d$  によらず、一対一に対応付けることができる。

本実施形態に係る HDD311 は、最大出力電圧比  $V_b / V_a$  とずれ幅  $r$  との対応関係が記録された「ずれ幅対応テーブル」(図9(b)) を予め記憶している。そして、ずれ幅特定部301は、ずれ幅対応テーブルを参照して、算出した最大出力電圧比  $V_b / V_a$  に対応するずれ幅  $r$  を特定する。

【0044】

次に、図8に示す処理手順において、クリアランス特定部302は、クリアランス対応テーブル(後述)を参照して、ステップ  $S_02$  で特定されたずれ幅  $r$  に基づくクリアランス  $d$  を特定する(ステップ  $S_03$ )。ここで、クリアランス特定部302が、ずれ幅  $r$ 、及び、センサ部20(第1センサ200)から取得する最大出力電圧  $V_a$  に基づいてクリアランス  $d$  を特定する具体的な処理について、図10を参照しながら説明する。

【0045】

[クリアランス特定部の機能]

図10は、第1の実施形態に係るクリアランス特定部の機能を説明する図である。

本実施形態に係る HDD311 には、さらに、第1センサ200の最大出力電圧  $V_a$  とクリアランス  $d$  との対応関係が記録された「クリアランス対応テーブル」(図10)が記憶されている。なお、図10は、最大出力電圧  $V_a$  とクリアランス  $d$  との対応関係をグラフで示しているが、実際には、HDD311には、図10に示すグラフと同等の対応関係が記述されたデータテーブルが記憶されている。

【0046】

図10に示すように、クリアランス対応テーブルには、動翼  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、・・・と第1センサ200との回転軸方向の相対的位置、すなわち、ずれ幅  $r$  ( $r = r_1$ 、 $r_2$ 、・・・)の各々に紐付けられた複数の特性曲線  $D_1$ 、 $D_2$ 、・・・が記録されている。各特性曲線  $D_1$ 、 $D_2$ 、・・・は、式(1)においてそれぞれ異なる投影面積  $A$  が代入された場合における、静電容量  $C$  とクリアランス  $d$  との相関性を表している。ここで、オペレータは、ずれ幅  $r$  を  $r_1$ 、 $r_2$ 、・・・と振りながら、第1センサ200の最大出力電圧  $V_a$  とクリアランス  $d$  との対応関係を計測することで、事前にクリアランス対応テーブルを作成しておく。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 7 】

本実施形態に係るクリアランス特定部 3 0 2 は、まず、ステップ S 0 2 でずれ幅特定部 3 0 1 が特定したずれ幅  $r = r_1$  を取得して、当該ずれ幅  $r = r_1$  に対応づけられた一つの特性曲線 D 1 を決定する。そして、クリアランス特定部 3 0 2 は、クリアランス対応テーブルのうち決定された特性曲線 D 1 を参照して、第 1 センサ 2 0 0 の最大出力電圧  $V_a$  ( $V_a = V_{a1}$ ) に対応するクリアランス  $d$  ( $d = d_1$ ) を特定する (図 1 0 参照)。

## 【 0 0 4 8 】

以上の処理をまとめると、本実施形態に係るクリアランス計測装置 3 0 は、まず、2 つのセンサ (第 1 センサ 2 0 0、第 2 センサ 2 0 1) を介して 2 つの最大出力電圧を取得する (ステップ S 0 1)。そして、クリアランス計測装置 3 0 は、最大出力電圧比  $V_b / V_a$  を算出するとともにずれ幅対応テーブル (図 9 (b)) を参照して、当該最大出力電圧比  $V_b / V_a$  に対応するずれ幅  $r$  を特定する (ステップ S 0 2)。さらに、クリアランス計測装置 3 0 は、最大出力電圧  $V_a$  とクリアランス  $d$  との相関性 (特性曲線 D 1、D 2、 $\dots$  (図 1 0)) のうち特定したずれ幅  $r$  に対応するものを参照して、センサが出力する最大出力電圧  $V_a$  (最大静電容量  $C_{max}$ ) に応じたクリアランス  $d$  を特定する (ステップ S 0 3)。

## 【 0 0 4 9 】

## [ 作用効果 ]

上述の処理により、クリアランス計測装置 3 0 は、回転軸方向のずれ幅  $r$  (すなわち最大投影面積  $A_{max}$ ) に応じた特性曲線 D 1、D 2、 $\dots$  を選択し、当該選択された特性曲線 D 1、D 2、 $\dots$  に基づいてクリアランス  $d$  を特定する。すなわち、センサが検出する最大静電容量  $C_{max}$  は、動翼 Y 1、Y 2、 $\dots$  の遠心方向の位置の変化及び回転軸方向の位置の変化の両方に起因して変化し得るところ、クリアランス計測装置 3 0 は、まず、2 つのセンサの出力電圧を用いてずれ幅  $r$  を特定した上で、動翼 Y 1、Y 2、 $\dots$  の遠心方向の位置の変化 (クリアランス  $d$ ) を特定する。このようにすることで、回転軸方向のずれ幅  $r$  に起因するクリアランス  $d$  の計測誤差要因が除去され、精度の高いクリアランス計測を行うことができる。

## 【 0 0 5 0 】

なお、動翼の遠心方向の変化 (すなわちクリアランス  $d$ ) を計測するセンサとは別に、動翼の回転軸方向の変化を計測する専用のセンサを設けて、これら 2 つの異なるセンサの検出結果を用いてクリアランスを算出する手法も考えられる。しかし、この場合、異なる 2 つのセンサのうちの一つをケーシング内面とは異なる位置に設置する必要があるため、ガスタービン 1 への設置の際に生じる負担が大きい。一方、本実施形態に係るクリアランス計測装置 3 0 は、同種の静電容量式センサを用いて、各々を同等の位置 (ケーシング 1 0 の内面) に設置するため、センサの設置の際に生じる負担を軽減することができる。

## 【 0 0 5 1 】

また、動翼の遠心方向の変化を計測するセンサと、回転軸方向の変化を計測するセンサの 2 つの検出結果を用いてクリアランスを計測する手法では、少なくとも動翼の遠心方向の変化を計測するセンサが故障した場合、クリアランス計測の実施が不可能となる。一方、本実施形態に係るクリアランス計測装置 3 0 は、2 つのセンサ (第 1 センサ 2 0 0、第 2 センサ 2 0 1) がともにクリアランス  $d$  を計測可能であるため、何れか一方が故障したとしても、クリアランス計測を継続することができる。したがって、クリアランス計測装置の信頼性を高めることができる。

## 【 0 0 5 2 】

以上、第 1 の実施形態に係るクリアランス計測装置によれば、動翼とケーシングとのクリアランスの計測精度を向上させることができる。

## 【 0 0 5 3 】

< 第 1 の実施形態の変形例 >

なお、第 1 の実施形態に係るクリアランス計測装置 3 0 は、以下のように変形可能である。

10

20

30

40

50

例えば、上述したクリアランス特定部302は、予めHDD311に記憶されたクリアランス対応テーブルのうちずれ幅 $r$ に対応する特性曲線 $D1$ 、 $D2$ 、 $\dots$ を選択してクリアランス $d$ を特定するものとして説明したが、他の実施形態においてはこの態様に限定されない。

例えば、他の実施形態に係るクリアランス特定部302は、ずれ幅 $r$ の関数である所定の補正関数 $h(r)$ を用いて、クリアランス $d$ を算出して特定してもよい。具体的には、クリアランス特定部302は、第1センサ200の最大出力電圧 $V_a$ （最大静電容量 $C_{max}$ ）に基づいて、式(1)より、仮クリアランス $d'$ を算出する。そして、クリアランス特定部302は、当該算出された仮クリアランス $d'$ に、ずれ幅 $r$ に応じた補正係数 $h(r)$ を乗算して、真のクリアランス $d$ を特定する処理を行う。なお、この場合、オペレータは、ずれ幅 $r$ を、 $r = r_1, r_2, \dots$ と振りながら、ずれ幅 $r$ ごとの最大出力電圧 $V_a$ （最大静電容量 $C_{max}$ ）を計測することで、当該ずれ幅 $r$ の関数である補正係数 $h(r)$ を事前に規定しておく。

10

#### 【0054】

また、クリアランス特定部302は、ずれ幅特定部301が特定したずれ幅 $r$ に基づいて、第1センサ200（または、第2センサ201）における先端面 $S_w$ の最大投影面積 $A_{max}$ を特定してもよい。この場合、HDD311には、ずれ幅 $r$ と最大投影面積 $A_{max}$ との対応関係が規定された投影面積対応テーブルが予め記憶されているものとする。また、クリアランス特定部302は、ずれ幅 $r$ に対応する最大投影面積 $A_{max}$ と、第1センサ200の最大出力電圧 $V_a$ に応じた最大静電容量 $C_{max}$ と、をそれぞれ式(1)

20

#### 【0055】

また、上述したクリアランス特定部302は、2つのセンサのうち、第1センサ200の最大出力電圧 $V_a$ に基づいてクリアランス $d$ を特定するものとして説明しているが、これに限定されず、第2センサ201の最大出力電圧 $V_b$ に基づいてクリアランス $d$ を特定してもよい。この場合、クリアランス対応テーブルには、第2センサ201の最大出力電圧 $V_b$ とクリアランス $d$ との対応関係が記録されているものとする。

さらに、他の実施形態においては、センサ部20は、各々が回転軸方向の異なる位置に配された3つ以上のセンサを備えていてもよい。これにより、各センサから出力される最大出力電圧の数が増すため、ずれ幅 $r$ を複数通りの最大出力電圧比（図9(b)）で特定

30

。

#### 【0056】

また、上述したずれ幅特定部301は、最大出力電圧比 $V_b/V_a$ を算出してずれ幅 $r$ を特定するものとして説明したが、他の実施形態においてはこの態様に限定されない。

例えば、他の実施形態に係るずれ幅特定部301は、第1センサ200及び第2センサ201の最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ の差 $V$ （ $V = V_a - V_b$ ）に基づいて、ずれ幅 $r$ を特定してもよい。この場合、HDD311には、差 $V$ とずれ幅 $r$ との対応関係を規定したずれ幅対応テーブルが予め記憶されているものとする。

このように、回転軸方向の位置 $X$ と最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ との相関性を示す特性曲線 $Q1$ （図6、図9）に基づいて、ずれ幅 $r$ と最大出力電圧 $V_a$ 、 $V_b$ との対応関係を一意に特定できる手法であれば、如何なる手法を用いてもよい。

40

#### 【0057】

さらに、上述の各実施形態に係るクリアランス計測装置30は、ずれ幅特定部301がずれ幅を特定する処理を行い、クリアランス特定部302が、当該特定されたずれ幅に基づいてクリアランスを特定する態様としている。しかし、他の実施形態に係るクリアランス計測装置30は、ずれ幅特定部301がずれ幅 $r$ を特定するのではなく、クリアランス特定部302が、複数のセンサに検出された複数の静電容量に基づいて特定される特定値と、当該センサに検出された静電容量と、に基づいて、クリアランス $d$ を特定する態様としてもよい。

50

例えば、クリアランス特定部 302 は、上記特定値として、第 1 センサ 200 及び第 2 センサ 201 の 2 つの静電容量に基づいて特定される最大出力電圧比  $V_b / V_a$  またはその差  $V$  を用いる。この場合、クリアランス対応テーブルには、上記特定値の各々に対応する、第 1 センサ 200 (または第 2 センサ 201) の最大出力電圧  $V_a$  ( $V_b$ ) とクリアランス  $d$  との対応関係が記録されているものとする。

【0058】

また、上述の各実施形態における CPU 300 の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより工程を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータシステム」は、ホームページ提供環境 (あるいは表示環境) を備えた WWW システムも含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ (RAM) のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。

10

【0059】

また、上記プログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク (通信網) や電話回線等の通信回線 (通信線) のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル (差分プログラム) であってもよい。

20

【0060】

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、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。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものとする。

30

【符号の説明】

【0061】

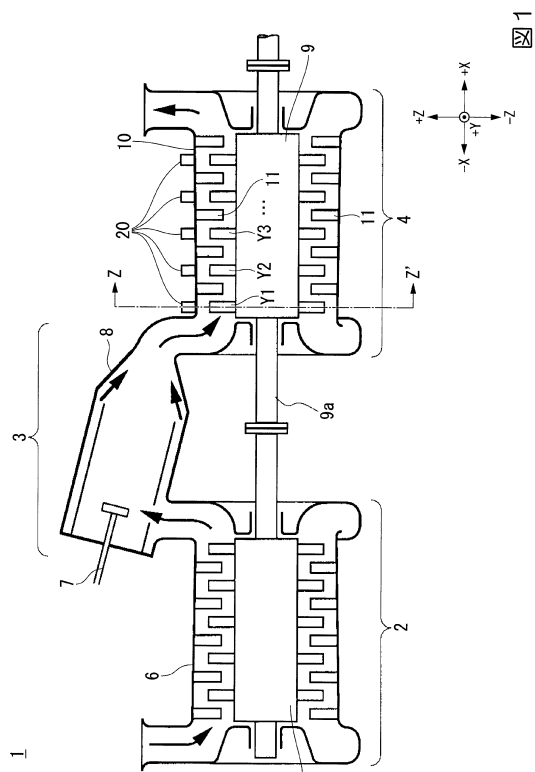
- 1 ガスタービン
- 2 空気圧縮機
- 3 燃焼器
- 4 タービン
- 5 圧縮機ロータ
- 6 圧縮機ケーシング
- 7 燃料供給器
- 8 燃焼筒
- 9 ロータ (タービンロータ)
- 10 ケーシング (タービンケーシング)
- 11 静翼
- 20 センサ部
- 200、201 センサ
- 30 クリアランス計測装置

40

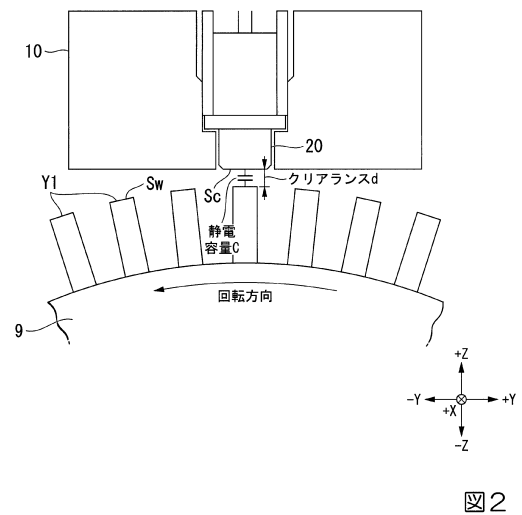
50

- 3 0 a 計測装置本体部
- 3 0 0 C P U
- 3 0 1 ずれ幅特定部
- 3 0 2 クリアランス特定部
- 3 1 0 R A M
- 3 1 1 H D D
- 3 1 2 操作入力部
- 3 1 3 画像表示部
- 3 1 4 外部接続インターフェイス
- 3 1 5 システムバス

【図 1】



【図 2】



【 図 3 】

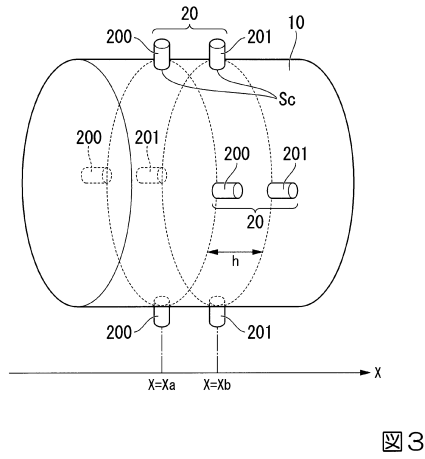


図 3

【 図 4 】

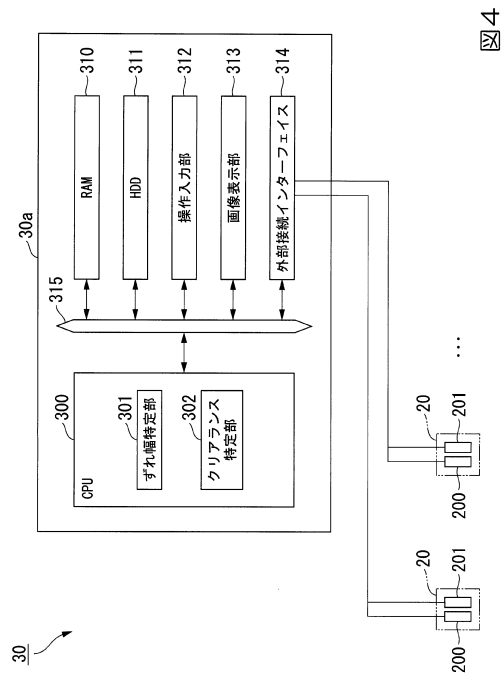


図 4

【 図 5 】

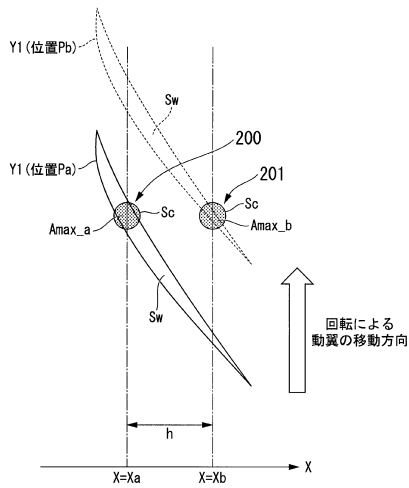
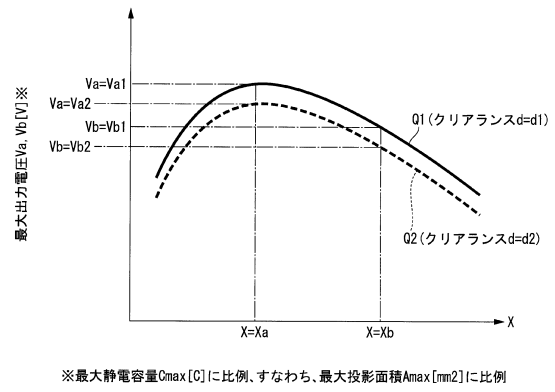


図 5

【 図 6 】



※最大静電容量Cmax[C]に比例、すなわち、最大投影面積Amax[mm<sup>2</sup>]に比例

図 6

【図7】

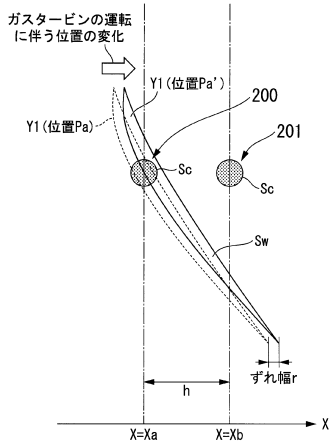


図7

【図8】

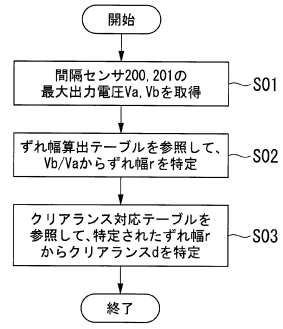
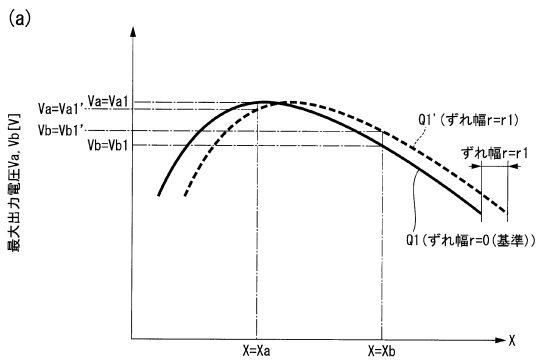


図8

【図9】



(b)

<ずれ幅対応テーブル>

Vb/Va	ずれ幅r
0.80	r1 mm
0.81	r2 mm
⋮	⋮
0.99	r3 mm
1.00	r4 mm
⋮	⋮
1.15	rn mm

図9

【図10】

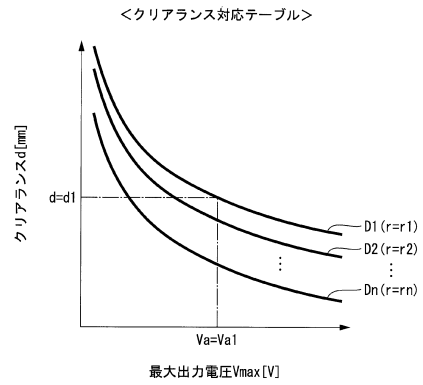


図10

---

フロントページの続き

(72)発明者 植田 元春  
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 岸 智史

(56)参考文献 特開2013-139793(JP,A)  
特開2012-082734(JP,A)  
特開2013-096989(JP,A)  
特開2015-102402(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B 7/00-7/34