

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6877218号
(P6877218)

(45) 発行日 令和3年5月26日 (2021.5.26)

(24) 登録日 令和3年4月30日 (2021.4.30)

(51) Int. Cl.	F I
G O 1 B 21/16 (2006.01)	G O 1 B 21/16
F O 1 D 25/00 (2006.01)	F O 1 D 25/00 V
F O 1 D 25/34 (2006.01)	F O 1 D 25/34
F O 2 C 7/00 (2006.01)	F O 2 C 7/00 A
F O 4 D 27/00 (2006.01)	F O 4 D 27/00 D

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-71921 (P2017-71921)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成29年3月31日 (2017.3.31)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2018-173355 (P2018-173355A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43) 公開日	平成30年11月8日 (2018.11.8)	(74) 代理人	110000785
審査請求日	令和2年1月21日 (2020.1.21)		誠真 I P 特許業務法人
		(72) 発明者	藤田 真治
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(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	仲野 一秀

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転機械、計測装置及び計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転機械における回転体と静止体との間隔を計測するための計測装置であって、
前記静止体から少なくとも部分的に出没可能に該静止体に保持された接触部と、
前記接触部を挟んで前記回転体とは反対側に配置され、前記接触部とともに前記接触部の出没方向に移動可能に構成され、前記接触部とは反対側に位置する計測基準面を有する押え部材と、

前記押え部材を前記接触部に向かって付勢する付勢部材と、
前記押え部材の前記計測基準面に対向して配置された非接触センサと、
を備え、

前記非接触センサは、前記付勢部材としてのコイルバネの径方向内側において前記計測基準面に向かって延在することを特徴とする計測装置。

【請求項2】

前記接触部は、前記回転体の回転中心軸に沿った軸周りに転動可能に構成されたことを特徴とする請求項1に記載の計測装置。

【請求項3】

前記計測装置は、前記回転体が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、前記非接触センサと前記計測基準面との距離を前記非接触センサにより計測可能に構成される

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の計測装置。

【請求項 4】

前記計測装置は、前記回転体の周速が 550 mm/sec 以下、又は、前記回転体の回転数が 5 rpm 以下である場合に、前記非接触センサと前記計測基準面との距離を前記非接触センサにより計測可能に構成される

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の計測装置。

【請求項 5】

前記非接触センサは、静電容量式センサ、レーザ変位計、又は、共焦点光学センサの少なくとも一つを含む

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の計測装置。

10

【請求項 6】

少なくとも前記接触部と前記押え部材とを収容する筐体と、

前記接触部の出沒方向において前記筐体と前記静止体との間に設けられる調整シムと、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の計測装置。

【請求項 7】

前記筐体の内面と前記押え部材とに当接し、前記押え部材を前記回転体の径方向に沿って案内する案内部材をさらに備える

ことを特徴とする請求項 6 に記載の計測装置。

【請求項 8】

回転機械における回転体と静止体との間隔を計測するための計測装置であって、
前記静止体から少なくとも部分的に出沒可能に該静止体に保持された接触部と、
前記接触部を挟んで前記回転体とは反対側に配置され、前記接触部とともに前記接触部の出沒方向に移動可能に構成され、前記接触部とは反対側に位置する計測基準面を有する押え部材と、

20

前記押え部材を前記接触部に向かって付勢する付勢部材と、
前記押え部材の前記計測基準面に対向して配置された非接触センサと、
を備え、

前記接触部が前記回転体によって押圧されていない前記接触部の非押圧状態における前記計測基準面と前記非接触センサとの間の距離を調整するための距離調整部をさらに備える

30

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 9】

前記距離調整部は、

前記非接触センサに設けられた被係止部と、

各々が前記静止体からの前記接触部の出沒方向に沿う異なる位置で前記被係止部を係止するための複数の係止部と、
を備え、

前記係止部と前記被係止部とは、少なくとも一方が前記出沒方向に沿う軸周りに回転されることで係合及び係合解除可能に構成される

ことを特徴とする請求項 8 に記載の計測装置。

40

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載の計測装置と、

前記回転体及び前記静止体と、

を備えたことを特徴とする回転機械。

【請求項 11】

回転機械における回転体と静止体との間隔を計測するための計測方法であって、

前記静止体から部分的に出沒可能に該静止体に保持された接触部を前記回転体に接触させるステップと、

前記回転体との接触時における前記接触部の変位を非接触センサにより検出するステップと、

50

前記検出された変位に基づき前記回転体と前記静止体との間隔を算出するステップと、
を備え、

前記接触部の変位を検出するステップでは、

前記接触部を挟んで前記回転体とは反対側に配置され、前記接触部とともに前記接触部の出没方向に移動可能に構成された押え部材の計測基準面と前記非接触センサとの間の距離の変化を前記接触部の変位として検出するとともに、

前記接触部が前記回転体によって押圧されていない前記接触部の非押圧状態における前記計測基準面と前記非接触センサとの間の距離を調整するステップを備えることを特徴とする計測方法。

【請求項 1 2】

10

前記押え部材を前記接触部に向かって付勢するステップをさらに備えることを特徴とする請求項 1 1 に記載の計測方法。

【請求項 1 3】

前記間隔を算出するステップでは、前記回転体が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、前記回転体と前記静止体との前記間隔を算出することを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の計測方法。

【請求項 1 4】

前記間隔を算出するステップでは、前記回転体の周速が 550 mm/s 以下、又は、前記回転体の回転数が 5 rpm 以下である場合に、前記回転体と前記静止体との前記間隔を算出することを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 3 の何れか一項に記載の計測方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転機械、計測装置及び計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ロータと該ロータを回転可能に収容するケーシングとを備えた回転機械（例えば、蒸気タービン、ガスタービン又は圧縮機等）においては、ロータの円滑な回転を確保するため、ロータとケーシングとの間に所定のクリアランスが設けられている。ロータとケーシングとの間のクリアランスは、回転機械の動作性能に影響を及ぼすため、適切に計測して適切な寸法に設定される必要があり、運転中にも監視されることが好ましい。

30

【0003】

ところで、回転機械の定格運転時には、蒸気やガス等の作動流体の温度に起因する熱伸びや遠心力の影響により、ロータ及びその外周に設けられた動翼が径方向に伸びるため、停止時よりも上記クリアランスが狭くなる場合がある。一般に、このようにロータとケーシングとの間隔が狭く、且つ、回転数が高い定格運転時におけるクリアランスの計測は、測定距離が短く応答速度の速い静電容量式等の非接触センサを用いて行われる。

【0004】

一方、作動流体の作用によらずに、モータ等で定格運転時よりも低速にロータを回転させる所謂ターニング運転の際は、熱の影響がなく回転数も低いため、上記クリアランスは定格運転時よりも広くなる傾向がある。このため、測定距離が短い場合に好適に使用される静電容量式の非接触センサでロータとケーシングとのクリアランスを直接的に計測すると計測精度が低いという問題がある。

40

【0005】

ターニング運転時のクリアランス（所謂初期クリアランス）を計測する技術として、例えば、特許文献 1 には変位計を備えた接触式の計測装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

50

【特許文献1】特開2014-109242号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記問題に鑑み、本発明の少なくとも幾つかの実施形態は、回転体と静止体との間隔が広い場合にも非接触センサを用いた計測を可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

(1) 本発明の少なくとも一実施形態に係る計測装置は、

回転機械における回転体と静止体との間隔を計測するための計測装置であって、

前記静止体から少なくとも部分的に出没可能に該静止体に保持された接触部と、

前記接触部を挟んで前記回転体とは反対側に配置され、前記接触部とともに前記接触部の出没方向に移動可能に構成され、前記接触部とは反対側に位置する計測基準面を有する押え部材と、

前記押え部材を前記接触部に向かって付勢する付勢部材と、

前記押え部材の前記計測基準面に対向して配置された非接触センサと、
を備える。

【0009】

上記(1)の構成によれば、押え部材を介して付勢部材により付勢された接触部が、静止体から回転体側に突出する方向に付勢された状態で静止体に保持される。この状態で、静止体から突出した接触部の一部に回転体が当接すると、回転体によって押圧された接触部が付勢部材の付勢力に抗して静止体側に没入する方向に移動し、接触部に当接する押え部材が接触部と共に移動する。そして、計測基準面と非接触センサとの距離に基づき、回転体と静止体との間隔を非接触センサで容易に計測することができる。

【0010】

(2) 幾つかの実施形態では、上記(1)に記載の計測装置において、

前記接触部は、前記回転体の回転中心軸に沿った軸周りに転動可能に構成される。

【0011】

上記(2)の構成によれば、回転体の回転に伴い該回転体が接触部に当接すると、接触部が回転体の回転中心軸に沿った軸周りに転動する。これにより、回転体の回転に対して接触部が抵抗となることを抑制することができるので、計測作業を円滑に行うことができる。また、回転体及び接触部の摩耗を抑制することができるので、回転体及び計測装置の長寿命化と信頼性の向上とを図りつつ、上記(1)で述べた効果を楽しむことができる。

【0012】

(3) 幾つかの実施形態では、上記(1)又は(2)に記載の計測装置において、

前記計測装置は、前記回転体が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、前記非接触センサと前記計測基準面との距離を前記非接触センサにより計測可能に構成される。

【0013】

作動流体によって回転体が回転される定格運転時には、作動流体の温度に起因する熱伸びや遠心力の影響により回転体の径方向の寸法が伸びるから、回転体と静止体との間隔が停止時よりも狭くなる。一方、定格運転時よりも低速で、作動流体の作用によらずに回転体を回転させる所謂ターニング運転の際は、熱伸びの影響がないため定格運転時に比べて回転体と静止体との間隔が広い。このため、典型的な計測方法に従い非接触センサを用いて回転体までの距離を直接計測する場合、回転体に対向する静止体の表面に非接触センサの先端面が揃うように静止体に取り付けられた非接触センサと回転体との間隔がターニング運転時に広がってしまい、計測精度が低くなる傾向がある。

この点、上記(3)の構成によれば、回転体に当接する接触部と共に移動する押え部材の計測基準面と非接触センサとの距離に基づき、回転体と静止体との間隔を非接触センサ

10

20

30

40

50

で間接的に計測するため、ターニング運転の際における回転体と静止体との所謂初期クリアランスを、非接触センサを用いて適切に計測することができる。

【0014】

(4) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(3)の何れか一つに記載の計測装置において、

前記計測装置は、前記回転体の周速が 550 mm/sec 以下、又は、前記回転数の回転数が 5 rpm 以下である場合に、前記非接触センサと前記計測基準面との距離を前記非接触センサにより計測可能に構成される。

【0015】

上記(4)の構成によれば、回転体の周速が 550 mm/sec 以下、又は、回転数が 5 rpm 以下の状態において、非接触センサを用いて回転体と静止体との間隔を適切に計測することができる。

【0016】

(5) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(4)の何れか一つに記載の計測装置において、

前記非接触センサは、静電容量式センサ、レーザ変位計、又は、共焦点光学センサの少なくとも一つを含む。

【0017】

上記(5)の構成によれば、静電容量センサ、レーザ変位計又は共焦点光学センサの少なくとも一つを含む非接触センサにより、種々の回転機械の静止体に適合する適切な計測装置を構成することができる。これにより、上記(1)で述べたように、回転体と静止体との間隔を容易に計測することができる。

【0018】

(6) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(5)の何れか一つに記載の計測装置において、

前記計測装置は、

少なくとも前記接触部と前記押え部材とを収容する筐体と、

前記接触部の出没方向において前記筐体と前記静止体との間に設けられる調整シムと、をさらに備える。

【0019】

上記(6)の構成によれば、調整シムの厚さを適切に調整することにより、筐体に収容された接触部の静止体からの最大突出量を調整することができる。したがって、調整シムの厚さを適切に調整することで、計測対象である回転機械の仕様(例えば、回転体の形状)に応じて、回転体と静止体との間隔を計測するための好適な位置に筐体を設置することができる。

【0020】

(7) 幾つかの実施形態では、上記(6)に記載の計測装置において、

前記計測装置は、

前記筐体の内面と前記押え部材とに当接し、前記押え部材を前記回転体の径方向に沿って案内する案内部材をさらに備える。

【0021】

上記(7)の構成によれば、案内部材により、押え部材の傾動を抑制しながら、押え部材を回転体の径方向に沿って案内することができる。これにより、非接触センサに対する計測基準面の配向を一定に維持することができるため、計測精度を向上させることができる。

【0022】

(8) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(7)の何れか一つに記載の計測装置において、

前記計測装置は、

前記接触部が前記回転体によって押圧されていない前記接触部の非押圧状態における前

10

20

30

40

50

計測基準面と前記非接触センサとの間の距離を調整するための距離調整部をさらに備える。

【0023】

上記(8)の構成によれば、距離調節部により、非接触センサと計測基準面との距離を増減させて調整することで、非接触センサを校正することができる。

なお、距離調整部による非接触センサの校正は、静止体に計測装置を取り付けた状態で行ってもよい。この場合、非接触センサの校正のために、計測装置を静止体から取り外す必要がなくなり、非接触センサの校正作業を効率的に行うことができる。

【0024】

(9) 幾つかの実施形態では、上記(8)に記載の計測装置において、

10

前記距離調整部は、

前記非接触センサに設けられた被係止部と、

各々が前記静止体からの前記接触部の出没方向に沿う異なる位置で前記非係止部を係止するための複数の係止部と、
を備え、

前記係止部と前記被係止部とは、少なくとも一方が前記出没方向に沿う軸周りに回転されることで係合及び係合解除可能に構成される。

【0025】

上記(9)の構成によれば、係止部と被係止部との少なくとも一方を、接触部の出没方向に沿う軸周りに回転させることで、係止部と被係止部との係合及び係合解除を切り替えることができる。そして、係合解除の状態では接触部の出没方向に沿う異なる位置に設けられた複数の係止部に選択的に被係止部を係止させることにより、計測基準面に対する非接触センサの配置を段階的に調整して位置決めすることができる。したがって、非接触センサの出力値の大まかな校正を短時間に行うことができる。

20

【0026】

(10) 本発明の少なくとも一実施形態に係る回転機械は、

上記(1)乃至(9)の何れか一つに記載の計測装置と、

前記回転体及び前記静止体と、

を備える。

【0027】

30

上記(10)の構成によれば、非接触センサにより、回転体と静止体との間隔を適切に計測可能な回転機械を得ることができる。

【0028】

(11) 本発明の少なくとも一実施形態に係る計測方法は、

回転機械における回転体と静止体との間隔を計測するための計測方法であって、

前記静止体から部分的に出没可能に該静止体に保持された接触部を前記回転体に接触させるステップと、

前記回転体との接触時における前記接触部の変位を非接触センサにより検出するステップと、

前記検出された変位に基づき前記回転体と前記静止体との間隔を算出するステップと、
を備える。

40

【0029】

上記(11)の方法によれば、接触部を回転体に当接させ、該回転体の径方向に沿う接触部の変位を、非接触センサで検出することにより、回転体と静止体との間隔を容易に計測することができる。

【0030】

(12) 幾つかの実施形態では、上記(11)に記載の方法において、

前記接触部の変位を検出するステップでは、

前記接触部を挟んで前記回転体とは反対側に配置され、前記接触部とともに前記接触部の出没方向に移動可能に構成された押え部材の計測基準面と前記非接触センサとの間の

50

距離の変化を前記接触部の変位として検出する。

【0031】

上記(12)に記載の方法によれば、接触部の変位が押え部材の計測基準面と非接触センサとの間の距離の変化として間接的に計測される。これにより、接触部の出没方向に沿う押え部材の長さを、計測対象である回転機械の仕様(例えば、回転体の形状)に応じて、回転体と静止体との間隔を計測するために好適で、且つ、非接触センサで該非接触センサと計測基準面との間の距離を計測するために好適な長さに設定して計測装置を構成することができる。したがって、計測装置の設計の自由度が向上するとともに、回転体と静止体との間隔を適切に計測することができる。

【0032】

(13)幾つかの実施形態では、上記(12)に記載の方法において、

前記押え部材を前記接触部に向かって付勢するステップをさらに備える。

【0033】

上記(13)に記載の方法によれば、押え部材が接触部に向かって付勢され、押え部材によって付勢された接触部が回転体側に突出する方向に付勢された状態で静止体に保持される。これにより、静止体から部分的に突出した接触部が回転体側に付勢された状態を維持することができ、この接触部に回転体が当接した際に該接触部と回転体との間に隙間が生じることを抑制することができる。つまり、回転体の形状に対する接触部の追従性を向上させることができるため、計測精度を向上させることができる。

【0034】

(14)幾つかの実施形態では、上記(11)乃至(13)の何れか一つに記載の方法において、

前記計測方法は、

前記間隔を算出するステップでは、前記回転体が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、前記回転体と前記静止体との前記間隔を算出する。

【0035】

上記(14)に記載の方法によれば、回転体に当接する接触部と共に移動する押え部材の計測基準面と非接触センサとの距離に基づき、回転体と静止体との間隔を非接触センサで間接的に計測するため、ターニング運転の際における回転体と静止体との所謂初期クリアランスを、非接触センサを用いて適切に計測することができる。

【0036】

(15)幾つかの実施形態では、上記(11)乃至(14)の何れか一つに記載の方法において、

前記計測方法は、

前記間隔を算出するステップでは、前記回転体の周速が 550 mm/sec 以下、又は、前記回転体の回転数が 5 rpm 以下である場合に、前記回転体と前記静止体との前記間隔を算出する。

【0037】

上記(15)に記載の方法によれば、回転体の周速が 550 mm/sec 以下、又は、回転数が 5 rpm 以下の状態において、非接触センサを用いて回転体と静止体との間隔を適切に計測することができる。

【発明の効果】

【0038】

本発明の幾つかの実施形態によれば、回転体と静止体との間隔を容易に計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】一実施形態に係る回転機械の構成を示す概略図である。

【図2】一実施形態に係る計測装置の配置例を示す図であり、図1のA-A断面図である。

【図 3】一実施形態に係る計測装置の構成例を示す図であり、図 2 の B 部の拡大図である。

【図 4】一実施形態に係る計測装置の構成例を示す図である。

【図 5】一実施形態における距離調整部を示す概略図である。

【図 6】一実施形態における距離調整部の係止部を示す平面図である。

【図 7】一実施形態における距離調整部の被係止部を示す平面図である。

【図 8】一実施形態における距離調整部の係止部を示す平面図である。

【図 9】一実施形態に係る計測方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0040】

10

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

20

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【0041】

以下に示す幾つかの実施形態では、回転機械 1 として蒸気タービンを適用した場合を例に説明する。但し、他の実施形態として、例えば、回転機械 1 にガスタービン、圧縮機又は過給機等を適用してもよい。

【0042】

30

図 1 は、本発明の幾つかの実施形態に係る回転機械の構成を示す概略図である。図 2 は、一実施形態における回転機械の構成を示す図であり、図 1 の A-A 断面図である。

図 1 及び図 2 に示すように、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る回転機械 1 は、回転体としてのロータ 10 と、該ロータ 10 を回転可能に収容する静止体としてのケーシング 2 と、回転機械 1 におけるロータ 10 とケーシング 2 との間隔を計測するための計測装置 30 と、を備えている。

【0043】

ロータ 10 は、ロータシャフト 12 と、該ロータシャフト 12 よりも大径でロータシャフト 12 と一体に回転可能に設けられたロータディスク 14 と、ロータディスク 14 の外周に設けられた複数の動翼 16 と、を備えていてもよい（図 2 参照）。ロータディスク 14 は略円板状であってもよい。動翼 16 は、ロータディスク 14 の周方向に沿って間隔を開けて放射状に配置されていてもよい。このようなロータ 10 は、ケーシング 2 内に収容され、該ケーシング 2 内で回転軸 O を中心として回転可能に支持される。

40

【0044】

図 1 に示すように、ケーシング 2 には、複数のノズル構造体 3 が支持されていてもよい。これらのノズル構造体 3 と動翼 16 とは、ロータ 10 の軸方向に交互に配置され、一のノズル構造体 3 と、当該一のノズル構造体 3 の下流側に隣り合って配置された一の動翼 16 とにより、一のタービン段落が構成されていてもよい。回転機械 1 は、このようなタービン段落をロータ 10 の軸方向に複数備えていてもよい。上記構成の回転機械 1 において、作動流体としての蒸気が複数のタービン段落を通過して動翼 16 に対して仕事を行い、

50

ロータ 10 が回転駆動される。

【0045】

図 3 は、一実施形態に係る計測装置の構成例を示す図であり、図 2 の B 部の拡大図である。図 3 に示すように、本発明の少なくとも一実施形態に係る計測装置 30 は、ケーシング 2 から少なくとも部分的に出没可能に該ケーシング 2 に保持された接触部 34 と、接触部 34 を挟んでロータ 10 とは反対側に配置され、接触部 34 とともに該接触部 34 の出没方向に移動可能に構成され、接触部 34 とは反対側に位置する計測基準面 36 B を有する押え部材 36 と、押え部材 36 を接触部 34 に向かって付勢する付勢部材 40 と、押え部材 36 の計測基準面 36 B に対向して配置された非接触センサ 50 と、を備えている。すなわち、幾つかの実施形態に係る計測装置 30 は、ロータ 10 に直接的に接触する接触部分と、該接触部分の変位を非接触方式で計測するセンサとの組み合わせにより、ロータ 10 とケーシング 2 との間の距離を間接的にセンサで計測するように構成されてもよい。

10

【0046】

上記の構成によれば、押え部材 36 を介して付勢部材 40 により付勢された接触部 34 が、ケーシング 2 からロータ 10 側に突出する方向に付勢された状態でケーシング 2 に保持される。この状態で、ケーシング 2 から突出した接触部 34 の一部にロータ 10 が当接すると、ロータ 10 によって押圧された接触部 34 が付勢部材 40 の付勢力に抗してケーシング 2 側に没入する方向に移動し、接触部 34 に当接する押え部材 36 が接触部 34 と共に移動する。そして、計測基準面 36 B と非接触センサ 50 との距離に基づき、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔を非接触センサ 50 で容易に計測することができる。このように、上記構成によれば、定格運転の際に用いて好適な非接触センサ 50 により、必要に応じてターニング運転の際の初期クリアランスを計測することができる。従って、ユーザは、主に非接触センサ 50 を用いて定格運転の際のクリアランス及び初期クリアランスを効率的に計測することができる。

20

【0047】

幾つかの実施形態において、接触部 34 は、ロータ 10 の回転軸 O に沿った軸周りに転動可能に構成されていてもよい。このように構成すれば、ロータ 10 の回転に伴い該ロータ 10 が接触部 34 に当接すると、接触部 34 がロータ 10 の回転軸 O に沿った軸周りに転動する。これにより、ロータ 10 の回転に対して接触部 34 が抵抗となることを抑制することができるので、計測作業を円滑に行うことができる。また、ロータ 10 及び接触部 34 の摩耗を抑制することができるので、ロータ 10 及び計測装置 30 の長寿命化と信頼性の向上とを図りつつ、本明細書の幾つかの実施形態に示す効果を楽しむことができる。

30

【0048】

幾つかの実施形態において、接触部 34 は、ロータ 10 の回転軸 O と略平行な回転軸周りを含むあらゆる方向に回転可能な球体すなわちボールであってもよい。但し、他の実施形態において、接触部 34 は、例えば、ロータ 10 の回転軸 O と略平行な回転軸を有する略円柱状のローラ（図示略）であってもよいし、ロータ 10 の回転軸 O に平行で、且つ、ロータ 10 の回転方向の下流側でロータ 10 に摺接する傾斜面を含む傾斜部（図示略）であってもよい。

40

【0049】

幾つかの実施形態において、押え部材 36 は、接触部 34 側に該接触部 34 と当接する当接面 36 A を含んでいてもよい。当接面 36 A は、接触部 34 の形状に応じて該接触部 34 と点接触、線接触又は面接触してもよい。押え部材 36 のうち当接面 36 A と逆側に位置する計測基準面 36 B は、例えば、ロータ 10 の径方向と略直交する平面を有していてもよい。

【0050】

幾つかの実施形態において、付勢部材 40 は、例えば、金属又は樹脂等の弾性体で形成されていてもよく、例えば、コイルバネであってもよい。

【0051】

50

幾つかの実施形態において、非接触センサ 50 は、静電容量式センサ、レーザ変位計、又は、共焦点光学センサの少なくとも一つを含んでもよい。このような非接触センサ 50 により、種々の回転機械 1 のケーシング 2 に適合する適切な計測装置 30 を構成することができ、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔を容易に計測することができる。

【0052】

一実施形態において、非接触センサ 50 は、例えば、静電容量式センサであってもよい。静電容量式センサは、該センサ及び測定対象物間の静電容量を測り、測定された静電容量からセンサ及び測定対象物間の距離を算出するものである。この静電容量式センサは、測定対象物である回転体が導体（例えば、金属等）の場合に、該センサと回転体とを電氣的に導通して対向配置することにより、両者の間に発生する静電容量から距離を算出する。

10

ここで、 C = センサ及び測定対象間の静電容量、 A = 電極への測定対象の投影面積、 d = センサ及び測定対象物間の距離（クリアランス）、 ϵ_r = 真空誘電率、 ϵ_0 = 作動流体の比誘電率として、静電容量とクリアランスとの関係は次式（1）で表される。

[数 1]

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A / d \quad (1)$$

【0053】

幾つかの実施形態では、測定対象としてロータ 10 の最外周をなす動翼 16 の翼端と静電容量式センサとの間の距離が計測される。非接触センサ 50 として静電容量式センサを用いる場合、他の非接触式のセンサと比較して小型であるため計測装置 30 への組み込み性に優れており、且つ、安価であるため好ましい。

20

【0054】

他の実施形態において、非接触センサ 50 は、例えば、レーザ変位計すなわちレーザフォーカス式の光学式変位センサ（図示略）であってもよい。レーザ変位計は、特に限定しないが、例えば、測定対象物に向けてレーザビームを照射するとともに該測定対象物の表面における反射光を受信し、該反射光の信号強度を特定することで測定対象物との距離を検出するように構成される。

なお、光学式変位センサ（非接触センサ 50）は、押え部材 36 の計測基準面 36B のうち中央領域に対してレーザビームを照射し、当該領域からの反射光を検出するように構成されていてもよい。この場合、接触部 34 の変位に応じて押え部材 36 が移動する際に生じ得る押え部材 36 の傾動が非接触センサ 50 の計測結果に与える影響を低減できる。

30

【0055】

他の実施形態において、非接触センサ 50 は、例えば、共焦点光学式センサであってもよい。共焦点光学式センサは、例えば、不図示のコントローラ、センサ部及び光ファイバケーブル等を含んで構成される。この共焦点光学式センサは、センサ部に設けられた複数のレンズ（マルチレンズ）を通して多色光源としての白色光を測定対象物の表面に合焦させる。白色光は各レンズの色偏差により単色光に分散される。上記共焦点光学式センサの工場出荷時には各波長の単色光に一定の距離が割り当てられており、測定対象物の表面に正確に焦点が合った波長の光（単色光）のみがピンホールを通過してスペクトルメータにより検出され、距離又は変位として出力される。

40

なお、共焦点光学式センサ（非接触センサ 50）は、押え部材 36 の計測基準面 36B のうち中央領域に対して光を照射し、当該領域からの反射光を検出するように構成されていてもよい。この場合、接触部 34 の変位に応じて押え部材 36 が移動する際に生じ得る押え部材 36 の傾動が非接触センサ 50 の計測結果に与える影響を低減できる。

【0056】

幾つかの実施形態において、計測装置 30 は、少なくとも接触部 34 と押え部材 36 とを収容する筐体 32 と、接触部 34 の出没方向において筐体 32 とケーシング 2 との間に設けられる調整シム 38 と、をさらに備えていてもよい（図 3 又は図 4 参照）。

上記のように構成すれば、調整シム 38 の厚さを適切に調整することにより、筐体 32 に収容された接触部 34 のケーシング 2 からの最大突出量を調整することができる。した

50

がって、調整シム 38 の厚さを適切に調整することで、計測対象である回転機械 1 の仕様（例えば、ロータ 10 の形状）に応じて、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔を計測するための好適な位置に筐体 32 を設置することができる。

幾つかの実施形態において、筐体 32 は、例えば、ロータ 10 の径方向に沿う中心軸を有するように略円筒状に構成されていてもよい。この筐体 32 におけるロータ 10 側の端部は、接触部 34 よりも小径の開口部 32A とされることで、接触部 34 を保持するように構成されていてもよい。その際、開口部 32A の口径は、該開口部 32A からの接触部 34 の突出量（寸法 D）が、回転体の外周（例えば、動翼 16 の端部）と接触可能な大きさに設定されることが好ましい。そして、上記の寸法 D が計測装置 30 による計測可能範囲となる。

10

調整シム 38 は、例えば、計測装置 30 の筐体 32 内に設けられる接触部 34 のケーシング 2 からの突出量を調整するためのスペーサとして機能する。

【0057】

幾つかの実施形態において、計測装置 30 は、ロータ 10 が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、非接触センサ 50 と計測基準面 36B との距離を非接触センサ 50 により計測可能に構成されていてもよい。

【0058】

ここで、作動流体によってロータ 10 が回転される定格運転時には、作動流体の温度に起因する熱伸びや遠心力の影響によりロータ 10 の径方向の寸法が伸びる。従って、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔が停止時よりも狭くなる。一方、定格運転時よりも低速で、作動流体の作用によらずにロータ 10 を回転させる所謂ターニング運転の際は、熱伸びの影響がないため定格運転時に比べてロータ 10 とケーシング 2 との間隔が広い。このため、典型的な計測方法に従い非接触センサ 50 を用いてロータ 10 までの距離を直接計測する場合、ロータ 10 に対向するケーシング 2 の表面に非接触センサ 50 の先端面が揃うようにケーシング 2 に取り付けられた非接触センサ 50 とロータ 10 との間隔がターニング運転時に広がってしまい、計測精度が低くなる傾向がある。

20

この点、上記の構成によれば、ロータ 10 に当接する接触部 34 と共に移動する押え部材 36 の計測基準面 36B と非接触センサ 50 との距離に基づき、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔を非接触センサ 50 で間接的に計測するため、ターニング運転の際におけるロータ 10 とケーシング 2 との所謂初期クリアランスを、非接触センサ 50 を用いて適切に計測することができる。

30

【0059】

幾つかの実施形態において、計測装置 30 は、ロータ 10 の周速が 550 mm/sec 以下、又は、ロータ 10 の回転数が 5 rpm 以下（好ましくは、ロータ 10 の周速が $380 \sim 510 \text{ mm/sec}$ 、又は、ロータ 10 の回転数が 4 rpm 以下）である場合に、非接触センサ 50 と計測基準面 36B との距離を非接触センサ 50 により計測可能に構成されてもよい。このようにすれば、ロータ 10 の周速が 550 mm/sec 以下、又は、回転数が 5 rpm 以下の状態において、非接触センサ 50 を用いてロータ 10 とケーシング 2 との間隔を適切に計測することができる。

幾つかの実施形態では、上記ターニング運転の際のロータ 10 の周速が 550 mm/sec 以下、又は、ロータ 10 の回転数が 5 rpm 以下（好ましくは、ロータ 10 の周速が $380 \sim 510 \text{ mm/sec}$ 、又は、ロータ 10 の回転数が 4 rpm 以下）であってもよい。

40

【0060】

図 4 に示すように、幾つかの実施形態において、計測装置 30 は、筐体 32 の内面と押え部材 36 とに当接し、押え部材 36 をロータ 10 の径方向に沿って案内する案内部材 60 をさらに備えていてもよい。案内部材 60 は、例えば、リニアボール軸受であってもよい。リニアボール軸受は、接触部 34 の出没方向（すなわち、ロータ 10 の径方向）における押え部材 36 の移動を円滑に行わせるためのものであり、例えば、無限軌道上に配置された複数のボールを備えた円筒状の軸受であってもよい。

50

他の実施形態において、案内部材 60 は、例えば、ブッシュ等であってもよく、ブッシュには上記出沒方向に沿う 1 以上のリニアガイドが設けられていてもよい。

上記のように構成すれば、案内部材 60 により、押え部材 36 の傾動を抑制しながら、押え部材 36 をロータ 10 の径方向に沿って案内することができる。これにより、非接触センサ 50 に対する計測基準面 36B の配向を略一定に維持することができるため、計測精度を向上させることができる。

【0061】

図 5 に示すように、幾つかの実施形態において、計測装置 30 は、接触部 34 がロータ 10 によって押圧されていない上記接触部 34 の非押圧状態における計測基準面 36B と非接触センサ 50 との間の距離を調整するための距離調整部 70 をさらに備えていてもよい。この構成によれば、距離調整部 70 により、非接触センサ 50 と計測基準面 36B との距離を増減させて調整することで、非接触センサ 50 を較正することができる。

なお、距離調整部 70 による非接触センサ 50 の較正は、ケーシング 2 に計測装置 30 を取り付けた状態で行ってもよい。この場合、非接触センサ 50 の較正のために、計測装置 30 をケーシング 2 から取り外す必要がなくなり、非接触センサ 50 の較正作業を効率的に行うことができる。

【0062】

幾つかの実施形態において、距離調整部 70 は、非接触センサ 50 に設けられた被係止部 74 と、各々がケーシング 2 からの接触部 34 の出沒方向に沿う異なる位置で被係止部 74 を係止するための複数の係止部 72 と、を備えていてもよい（図 5 参照）。そして、係止部 72 と被係止部 74 とは、少なくとも一方が出沒方向に沿う軸周りに回転されることで係合及び係合解除可能に構成されてもよい。このように構成すれば、係止部 72 と被係止部 74 との少なくとも一方を、接触部 34 の出沒方向に沿う軸周りに回転させることで、係止部 72 と被係止部 74 との係合及び係合解除を切り替えることができる。そして、係合解除の状態では接触部 34 の出沒方向に沿う異なる位置に設けられた複数の係止部 72 に選択的に被係止部 74 を係止させることにより、計測基準面 36B に対する非接触センサ 50 の配置を段階的に調整して位置決めすることができる。したがって、非接触センサ 50 の出力値の大まかな較正を短時間に行うことができる。

幾つかの実施形態では、上記接触部 34 の出沒方向においてロータ 10 から遠い側の係止部 72A が、筐体 32 の内周に沿って略環状に設けられていてもよい（例えば、図 6 参照）。

被係止部 74 は、非接触センサ 50 のうちロータ 10 とは反対側の端部に接続されたロッド 73 と一体に回転可能に設けられていてもよい。この被係止部 74 は、略円形の板状体を切り欠いて大径部 74A と小径部 74B とを有するように形成されてもよい（例えば、図 7 参照）。小径部 74B は、例えば、略円形の板状体の中心を挟んで径方向に対称な 2 箇所が切り欠かれていてもよい。大径部 74A の径は、筐体 32 の内周と略同径であってもよい。かかる被係止部 74 は、例えば、コイルバネ 75 等の付勢部材により、押え部材 36 の計測基準面 36B から非接触センサ 50 を離す方向に付勢されていてもよい。

接触部 34 の出沒方向においてロータ 10 に近い側の係止部 72B は、筐体 32 の内周に沿って設けられ、且つ、上記被係止部 74 の大径部 74A を上記出沒方向に通過可能とする形状を有していてもよい（例えば、図 8 参照）。

【0063】

図 9 は、一実施形態に係る計測方法を示すフローチャートである。

本発明の少なくとも一実施形態に係る計測方法は、回転機械 1 におけるロータ 10 とケーシング 2 との間隔を計測するための計測方法であって、ケーシング 2 から部分的に出沒可能に該ケーシング 2 に保持された接触部 34 をロータ 10 に接触させ（S1）、ロータ 10 との接触時における接触部 34 の変位を非接触センサ 50 により検出し（S2）、検出された変位に基づきロータ 10 とケーシング 2 との間隔を算出する（S3）。この方法によれば、接触部 34 をロータ 10 に当接させ、該ロータ 10 の径方向に沿う接触部 34 の変位を、非接触センサ 50 で検出することにより、ロータ 10 とケーシング 2 との間隔

を容易に計測することができる。

【0064】

幾つかの実施形態において、接触部34の変位を検出するステップ(S2)では、接触部34を挟んでロータ10とは反対側に配置され、接触部34とともに接触部34の出没方向に移動可能に構成された押え部材36の計測基準面36Bと非接触センサ50との間の距離の変化を接触部34の変位として検出してもよい。この方法によれば、接触部34の変位が押え部材36の計測基準面36Bと非接触センサ50との間の距離の変化として間接的に計測される。これにより、接触部34の出没方向に沿う押え部材36の長さを、計測対象である回転機械1の仕様(例えば、ロータ10の形状)に応じて、ロータ10とケーシング2との間隔を計測するために好適で、且つ、非接触センサ50で該非接触センサ50と計測基準面36Bとの間の距離を計測するために好適な長さに設定して計測装置30を構成することができる。したがって、計測装置30の設計の自由度が向上するとともに、ロータ10とケーシング2との間隔を適切に計測することができる。

10

【0065】

幾つかの実施形態において、上記方法は、押え部材36を接触部34に向かって付勢するステップをさらに備えていてもよい。この方法によれば、接触部34は、押え部材36を介してロータ10側に突出する方向に付勢された状態でケーシング2に保持される。これにより、ケーシング2から部分的に突出した接触部34がロータ10側に付勢された状態を維持することができ、この接触部34にロータ10が当接した際に該接触部34とロータ10との間に隙間が生じることを抑制することができる。つまり、ロータ10の形状に対する接触部34の追従性を向上させることができるため、計測精度を向上させることができる。

20

【0066】

幾つかの実施形態では、上記間隔を算出するステップにおいて、ロータ10が定格運転時よりも低速で回転するターニング運転の際における、ロータ10とケーシング2との間隔を算出してもよい。この方法によれば、ロータ10に当接する接触部34と共に移動する押え部材36の計測基準面36Bと非接触センサ50との距離に基づき、ロータ10とケーシング2との間隔を非接触センサ50で間接的に計測するため、ターニング運転の際におけるロータ10とケーシング2との所謂初期クリアランスを、非接触センサ50を用いて適切に計測することができる。

30

【0067】

幾つかの実施形態において、上記間隔を算出するステップでは、ロータ10の周速が 550 mm/sec 以下、又は、ロータ10の回転数が 5 rpm 以下(好ましくは、ロータ10の周速が $380\sim 510\text{ mm/sec}$ 、又は、ロータ10の回転数が 4 rpm 以下)である場合に、ロータ10とケーシング2との間隔を算出してもよい。この方法によれば、ロータ10の周速が 550 mm/sec 以下、又は、回転数が 5 rpm 以下の状態において、非接触センサ50を用いてロータ10とケーシング2との間隔を適切に計測することができる。

【0068】

以上述べた構成によれば、非接触センサ50により、ロータ10とケーシング2との間隔を適切に計測可能な回転機械1を得ることができる。

40

また、幾つかの実施形態における非接触センサ50は、接触部34を介してロータ10とケーシング2との間の距離を間接的に計測するように、ケーシング2の内部から離れた位置に設置されるため、使用温度範囲は高温タイプではなく汎用の常温タイプ(例えば、 100°C 以下)で足りる。従って、非接触センサ50として比較的、安価なものを用いることができる。

幾つかの実施形態では、例えば、計測装置30を用いて、翼形状が異なる、異形式の回転機械1のロータ10とケーシング2との間隔を計測する場合であっても、翼形状に合わせた演算式の変更やパラメータ値の補正を行う必要がなく、単一の同じ較正式を用いてロータ10とケーシング2との間隔を計測することができる。

50

幾つかの実施形態では、計測基準面 3 6 B との距離を非接触センサ 5 0 で計測し、ケーシング 2 に対する計測装置 3 0 の既知の据え付け寸法や公差等を考慮して演算することで、ロータ 1 0 とケーシング 2 との間隔を計測してもよい。

【0 0 6 9】

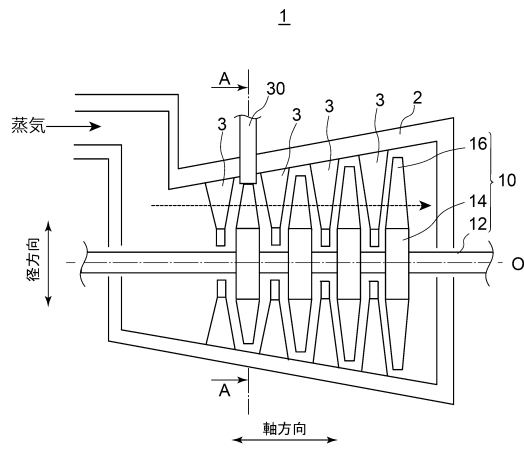
本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変更を加えた形態や、これらの形態を組み合わせた形態も含む。

【符号の説明】

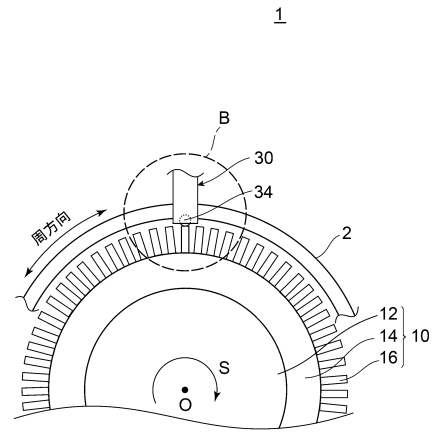
【0 0 7 0】

1	回転機械	
2	ケーシング（静止体）	10
3	ノズル構造体	
1 0	ロータ（回転体）	
1 2	ロータシャフト	
1 4	ロータディスク部	
1 6	動翼	
3 0	計測装置	
3 2	筐体	
3 2 A	開口部	
3 4	ボール（接触部）	
3 6	押え部材	20
3 6 A	当接面	
3 6 B	計測基準面	
3 8	調整シム	
4 0	付勢部材	
5 0	非接触センサ	
6 0	案内部材	
7 0	距離調整部	
7 2, 7 2 A, 7 2 B	係止部	
7 3	ロッド	
7 4	被係止部	30
7 5	コイルバネ	

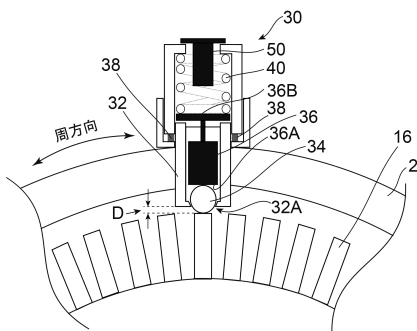
【図 1】



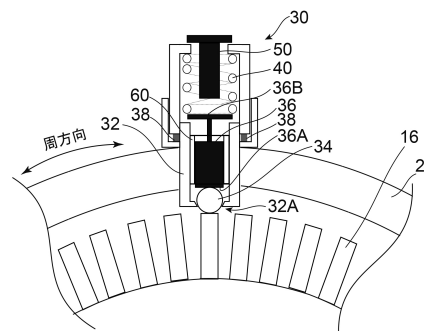
【図 2】



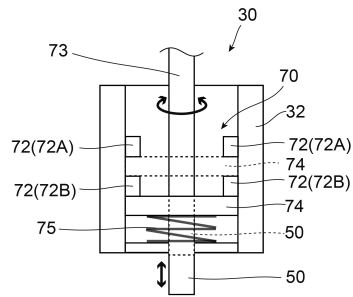
【図 3】



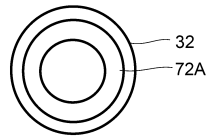
【図 4】



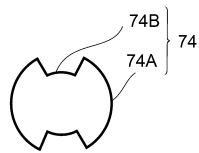
【図 5】



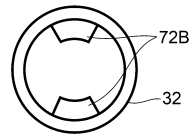
【図 6】



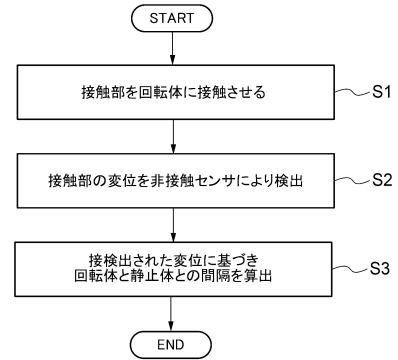
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-109242 (JP, A)
特開2001-317933 (JP, A)
実開昭61-110109 (JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 21/00-21/32
G01B 11/00-11/30
G01B 7/00-7/34