

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-105457
(P2018-105457A)

(43) 公開日 平成30年7月5日(2018.7.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
F16C 32/04 (2006.01)	F16C 32/04 A	3H130
F04D 29/058 (2006.01)	F04D 29/058	3J102
F04D 29/00 (2006.01)	F04D 29/00 B	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2016-254118 (P2016-254118)
(22) 出願日 平成28年12月27日 (2016.12.27)

(71) 出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(74) 代理人 100101454
弁理士 山田 卓二
(74) 代理人 100081422
弁理士 田中 光雄
(74) 代理人 100112911
弁理士 中野 晴夫
(72) 発明者 大熊 雅史
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 二村 政範
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
菱電機株式会社内

最終頁に続く

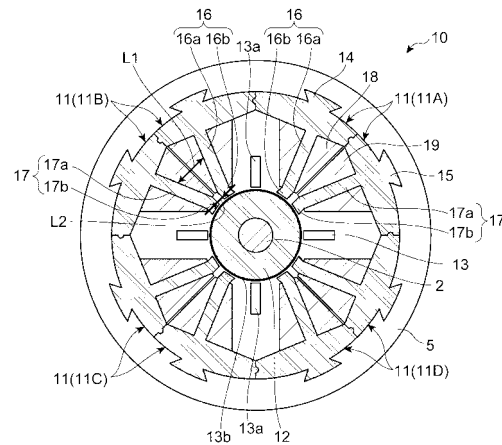
(54) 【発明の名称】 ラジアル磁気軸受およびプロア

(57) 【要約】

【課題】 吸引力を維持しつつラジアル磁気軸受を小型化する。

【解決手段】 回転体2を径方向外側から非接触で支持するためのラジアル磁気軸受10は、回転体2に対向して設けられ、回転体2を支持するための磁束を発生させる複数の電磁石11を備える。複数の電磁石11は、それぞれ、バックヨーク部14、15と、バックヨーク部14、15および回転体2と併せて磁路を構成する一対の磁極ティース部16、17と、一対の磁極ティース部16、17のそれぞれに巻回されたコイル18、19とを有する。一対の磁極ティース部16、17は、それぞれ、バックヨーク部14、15から回転体2に向かって一対の磁極ティース部16、17の間隔が狭まるように延びる基部16a、17aと、基部16a、17aから回転体2に向かって一対の磁極ティース部16、17の間隔が広がり、または維持されるように延びる先端部16b、17bとを有する。

【選択図】 図2



2 回転軸 5 ケーシング 10 ラジアル磁気軸受
11(11A, 11B, 11C, 11D) 電磁石 12 磁性部
13 変位センサ 13a 検出部 13b 被検出部
14, 15 バックヨーク部 16, 17 磁極ティース部
16a, 17a 基部 16b, 17b 先端部 18, 19 コイル

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転体を径方向外側から非接触で支持するためのラジアル磁気軸受であって、
前記回転体に対向して設けられ、前記回転体を支持するための磁束を発生させる複数の電磁石を備え、

前記複数の電磁石は、それぞれ、バックヨーク部と、前記バックヨーク部および前記回転体と併せて磁路を構成する一对の磁極ティース部と、前記一对の磁極ティース部のそれぞれに巻回されたコイルとを有し、

前記一对の磁極ティース部は、それぞれ、前記バックヨーク部から前記一对の磁極ティース部の間隔が狭まるように延びる基部と、前記基部から前記回転体に向かって前記一对の磁極ティース部の間隔が広がり、または維持されるように延びる先端部とを有する、
ラジアル磁気軸受。

10

【請求項 2】

前記一对の磁極ティース部の先端部は、前記基部から前記一对の磁極ティース部の間隔が広がり、または維持されるように、前記基部に対して屈曲している、
請求項 1 に記載のラジアル磁気軸受。

【請求項 3】

前記回転体の周方向に均一に配置され、前記回転体の径方向の変位を検出するための変位センサを複数個備え、

前記複数の電磁石は、前記回転体の周方向において互いに前記変位センサを挟んで配置された第 1 電磁石と第 2 電磁石を含む、

請求項 1 または 2 に記載のラジアル磁気軸受。

20

【請求項 4】

前記複数の電磁石は、前記第 1 電磁石に隣接して配置された第 3 電磁石を含み、

前記第 1 電磁石の第 1 磁極ティース部と前記第 3 電磁石の第 2 磁極ティース部とが隣接し、

前記第 1、第 2 磁極ティース部は、それぞれ、前記バックヨーク部から前記第 1、第 2 磁極ティース部の間隔が狭まるように延びる基部と、前記基部から前記回転体に向かって前記第 1、第 2 磁極ティース部の間隔が広がり、または維持されるように前記基部に対して屈曲している先端部とを有する、

請求項 3 に記載のラジアル磁気軸受。

30

【請求項 5】

各電磁石のバックヨーク部は、磁極ティース部ごとに分割されている、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のラジアル磁気軸受。

【請求項 6】

前記回転体としてのモータの回転軸と、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のラジアル磁気軸受と、

前記回転軸に固定された羽根と、

を備えたプロア。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転体を径方向外側から非接触で支持するためのラジアル磁気軸受、およびラジアル磁気軸受を備えたプロアに関する。

【背景技術】

【0002】

プロア（または送風機）などにおいて回転軸を支持する軸受として玉軸受などを用いた場合、フレットング疲労、摩擦による摩耗などが生じるため、回転軸を高速回転させることができず、少なくとも、頻りにメンテナンスを行う必要がある。一方、電磁石の吸引力により回転軸を浮上させ、回転軸を非接触で支持する磁気軸受装置（いわゆる能動型磁

50

気軸受)を用いた場合、フレット疲労、摩擦による摩耗が生じないことから、回転軸を高速回転させることができる。

【0003】

ここで、磁気軸受装置は、回転軸を軸方向(回転軸方向、スラスト方向)から非接触で支持するスラスト磁気軸受と、回転軸を径方向(ラジアル方向)外側から非接触で支持するラジアル磁気軸受とを有する。スラスト磁気軸受とラジアル磁気軸受はそれぞれ、回転軸を支持するための磁束を発生させるための電磁石と、回転軸の変位を検出するための変位センサとを有する。また、一般的な磁気軸受装置には、給電停止時など異常時に磁気軸受に代わって回転軸を支持するタッチダウン軸受、回転軸の回転数を検出するための回転数センサなどが設けられている。

10

【0004】

このように、スラスト磁気軸受とラジアル磁気軸受がそれぞれ有する電磁石と変位センサ、タッチダウン軸受、回転数センサなどを備えた磁気軸受装置では、玉軸受などと比べて多くの構成部品が存在し、これにより回転軸の軸方向の寸法が大きくなるという問題がある。回転軸の軸方向の寸法が大きくなると回転軸の固有振動数が低下するので、回転軸の共振を防止するためには回転軸を高速回転させることができない。

【0005】

こうした問題を解決するため、例えば特許文献1に開示されたラジアル磁気軸受では、変位センサの検知面と電磁石の吸引力の作用面とを、軸方向に沿って切った断面において回転軸の周方向に均一に配置し、軸方向では同一位置に配置することが開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-233385

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ここで、ラジアル磁気軸受の電磁石は、バックヨーク部と、バックヨーク部および回転体に設けられた磁性部と併せて磁路を構成する一对の磁極ティース部と、各磁極ティース部に巻回されたコイルとを有している。一对の磁極ティース部は、それぞれバックヨーク部から回転体の磁性部に向かって延びている。

30

【0008】

ラジアル磁気軸受では、軸方向の寸法に加えて径方向の寸法を低減させることが求められている。変位センサが回転軸の周方向に均一に配置されている場合において、ラジアル磁気軸受の径方向の寸法を低減させる1つの方法として、変位センサを挟まずに隣接している磁極ティース部同士を互いに近づけることが考えられる。これにより、コイルの巻き数を増やすことなく、ラジアル磁気軸受の径方向の寸法を低減させることができる。しかし、この場合、磁極ティース部同士が回転体側の位置で近接し、これにより回転体の磁性部を介することなく一对の磁極ティース部の間をバイパスする磁束(漏れ磁束)が増加し、吸引力が低下するおそれがある。吸引力を維持するためにはコイルの巻き数を増やす必要があるが、この場合、ラジアル磁気軸受がやはり径方向または軸方向に大型化してしまう。

40

【0009】

本発明は、上述のような問題を解決するためになされたものであり、吸引力を維持しつつラジアル磁気軸受を小型化することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、

回転体を径方向外側から非接触で支持するためのラジアル磁気軸受であって、

50

前記回転体に対向して設けられ、前記回転体を支持するための磁束を発生させる複数の電磁石を備え、

前記複数の電磁石は、それぞれ、バックヨーク部と、前記バックヨーク部および前記回転体と併せて磁路を構成する一对の磁極ティース部と、前記一对の磁極ティース部のそれぞれに巻回されたコイルとを有し、

前記一对の磁極ティース部は、それぞれ、前記バックヨーク部から前記一对の磁極ティース部の間隔が狭まるように延びる基部と、前記基部から前記回転体に向かって前記一对の磁極ティース部の間隔が広がり、または維持されるように延びる先端部とを有する、ラジアル磁気軸受に関する。

【発明の効果】

10

【0011】

本発明によれば、電磁石に設けられる一对の磁極ティース部の先端部が、基部から回転体に向かって、磁極ティース部の間隔が広がり、または維持されるように延びているので、吸引力を維持しつつラジアル磁気軸受を小型化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施形態1に係るラジアル磁気軸受を備えたプロアを示す断面図である。

【図2】本発明の実施形態1に係るラジアル磁気軸受を軸方向から見た断面図である。

【図3】本発明の実施形態1に係るラジアル磁気軸受の電磁石に形成される磁束の向きを示す図である。

20

【図4】本発明の比較例に係るラジアル磁気軸受の電磁石に形成される磁束の向きを示す図である。

【図5】本発明の実施形態2に係るラジアル磁気軸受を軸方向から見た断面図である。

【図6】本発明の他の実施形態に係るラジアル磁気軸受を軸方向から見た断面図である。

【図7】本発明の他の実施形態に係るラジアル磁気軸受を軸方向から見た断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して具体的に説明する。以下の説明では、必要に応じて特定の方向を表す用語を用いるが、これらの用語は本発明の理解を容易にするために用いているのであって、これらの用語により本発明の範囲が限定されると理解すべきでない。

30

【0014】

実施形態1

(1. プロアの全体構造)

図1に示すように、プロア1は、円筒形状の回転軸2を備える。以下の説明では、回転軸2の軸方向(スラスト方向)をZ方向といい、回転軸2の径方向(ラジアル方向)をR方向という。

【0015】

プロア1は、回転軸2を回転させるモータ3と、軸方向Zにおける回転軸2の両端部にそれぞれ固定された羽根4と、回転軸2を非接触で支持するための磁気軸受装置とをさらに備える。回転軸2と磁気軸受装置は、ケーシング5内に収容されている。モータ3は、ケーシング5に固定されたステータ6と、回転軸2に固定されたロータ7とを有する。

40

【0016】

(2. 磁気軸受装置)

磁気軸受装置は、軸方向Zにおける回転軸2の両端部にそれぞれ設けられたラジアル磁気軸受(以下、ラジアル軸受と称す)10、10と、1つのスラスト磁気軸受(以下、スラスト軸受と称す)20と、タッチダウン軸受30と、回転数センサ40とを有する。

【0017】

[2-1. ラジアル軸受]

50

ラジアル軸受 10 は、回転軸 2 を径方向 R の外側から非接触で支持する。本発明において、回転軸 2 は、ラジアル軸受 10 により支持される回転体の一例である。ラジアル軸受 10 は、回転軸 2 を支持するための磁束を発生させる複数の電磁石 11 と、回転軸 2 の周面に固定された磁性部 12 と、回転軸 2 の径方向 R の変位を検出するための変位センサ 13 とを有する。

【0018】

電磁石 11 は、ケーシング 5 に固定されている。図 2 に示すように、実施形態 1 では、4 つの電磁石 11 A, 11 B, 11 C, 11 D が、軸方向 Z に沿って切った断面において、それぞれ 90° の角度を隔てて周方向に均一に配置されている。例えば、電磁石 11 A と電磁石 11 B は、周方向 R において、変位センサ 13 (具体的には、後述する検出部 13 a) を挟んで配置されている。電磁石 11 A と電磁石 11 D は、互いに隣接して配置されている。4 つの電磁石は同じ形状を有する。電磁石 11 は、バックヨーク部 14, 15 と、一对の磁極ティース部 16, 17 と、磁極ティース部 16, 17 のそれぞれに巻回されたコイル 18, 19 とを有する。バックヨーク部 14, 15 と磁極ティース部 16, 17 は、積層鋼板で構成されていてもよい。バックヨーク部 14, 15 と磁極ティース部 16, 17 とを併せて電磁石 11 のコアと称してもよい。

10

【0019】

電磁石 11 の磁極ティース部 16, 17 は、バックヨーク部 14, 15 からそれぞれ、回転軸 2 に設けられた磁性部 12 に向かって延びている。電磁石 11 の磁極ティース部は、軸方向 Z に沿って切った断面において、それぞれ変位センサ 13 (具体的には、後述する検出部 13 a) を避けるように周方向に不均一に配置されている。電磁石 11 (11 A ~ 11 D) は、軸方向 Z に沿って切った断面において周方向に均一に配置されている。実施形態では、バックヨーク部 14, 15 は、磁極ティース部ごとに分割されている。

20

【0020】

磁極ティース部 16, 17 と磁性部 12 との間には、微少な隙間が設けられている。磁極ティース部 16 は、バックヨーク部 14 側の基部 16 a と、磁性部 12 側の先端部 16 b とを有する。同様に、磁極ティース部 17 は、バックヨーク部 15 側の基部 17 a と、回転軸 2 側の先端部 17 b とを有する。

【0021】

図示しているように、磁極ティース部 16, 17 の基部 16 a, 17 a の間隔 L1 は、バックヨーク部 14, 15 から先端部 16 b, 17 b に向かって小さくなる。このように、基部 16 a, 17 a は、バックヨーク部 14, 15 から先端部 16 b, 17 b に向かって、磁極ティース部 16, 17 の間隔が狭まるように延びている。

30

【0022】

実施形態 1 では、磁極ティース部 16, 17 の先端部 16 b, 17 b は、互いに遠ざかるように、つまり、両者の間隔 L2 が基部 16 a, 17 a から回転軸 2 の磁性部 12 に向かって大きくなるように基部 16 a, 17 a に対して屈曲している。このように、先端部 16 b, 17 b は、基部 16 a, 17 a から磁性部 12 に向かって磁極ティース部 16, 17 の間隔が広がるように延びている。

【0023】

実施形態では、コイル 18, 19 は、磁極ティース部 16, 17 の基部 16 a, 17 a にのみ巻回され、先端部 16 b, 17 b には巻回されていない。コイル 18, 19 の占有面積を大きくして電磁石 11 の吸引力を高めるため、隣接する電磁石 11, 11 において、コイル 18, 19 は互いに近接していることが好ましい。

40

【0024】

コイル 18, 19 に通電したときに電磁石 11 に形成される磁束の向きを、図 3 に矢印で示している。実施形態では、周方向に隣接する電磁石 11, 11 の磁極ティース部 16, 17 の磁極が同じになるように、コイル 18, 19 の巻回の向きと電流の向きが選定される。図示しているように、磁極ティース部 16, 17 は、バックヨーク部 14, 15 および磁性部 12 と併せて磁路を構成する。このようにして、回転軸 2 に設けられた磁性部

50

12と磁極ティース部16, 17との間で吸引力が発生する。実施形態1では、電磁石11(11A~11D)は、軸方向Zに沿って切った断面において周方向に均一に配置されているので、吸引力が周方向に均一に作用する。

【0025】

ここで、上述のとおり、磁極ティース部16, 17は、バックヨーク部14, 15および磁性部12と併せて磁路を構成するところ、磁極ティース部16, 17が互いに近接すると、磁性部12を介することなく磁極ティース部16, 17の間をバイパスする磁束(漏れ磁束)が増える(詳しくは後述する)。したがって、磁極ティース部16, 17の基部16a, 17aの間隔L1の最小値および先端部16a, 17aの間隔L2の最小値は、前記漏れ磁束を無視できる程度の大きさとすることが好ましい。

10

【0026】

上述のとおり、磁極ティース部16, 17の先端部16b, 17bは、基部16a, 17aから磁性部12に向かって磁極ティース部16, 17の間隔が広がるように延びているところ、前記間隔L2の最小値が前記漏れ磁束を無視できる程度の大きさであるならば、先端部16b, 17bは基部16a, 17aから磁性部12に向かって磁極ティース部16, 17の間隔が維持される(つまり、間隔が一定であるか略一定である)ように延びていてもよい。

【0027】

磁性部12は、円筒形状を有し、回転軸2に対して同軸に設けられている。磁性部12は、鉄損を抑えるために積層鋼板で構成されていてもよい。磁性部12の積層鋼板は、回転軸2に直接に焼きばめにより固着されていてもよい。上述のとおり、磁性部12は、磁極ティース部16, 17との間で吸引力を発生させる機能を有する。なお、回転軸2に磁性部12を設けるのではなく、回転軸2の少なくとも一部を磁性体で構成してもよい。

20

【0028】

変位センサ13は、互いに対向して配置された検出部13aと被検出部13bとを有する。実施形態では、変位センサ13として、検出対象の表面状態の影響を受けにくい渦電流式センサを用いる。検出部13aは、隣接する2つの電磁石11, 11の間の空間に配置されている。実施形態では、4つの検出部13aが、軸方向Zに沿って切った断面において、それぞれ90°の角度を隔てて周方向に均一に配置されている。

【0029】

図1に示すように、変位センサ13の検出部13aは、径方向で電磁石11と重なる位置に配置されている。実施形態では、変位センサ13の被検出部13bは、磁性部12の外周面に設けられている。被検出部13bは、回転軸2に設けられていてもよい。4つの検出部13aのうち、回転軸2を挟んで対向する2つの検出部13aと被検出部13bとにより、一对の変位センサ13, 13が構成される。4つの検出部13aと被検出部13bとにより、一对の変位センサ13, 13が2組構成される。

30

【0030】

変位センサ13により検出された回転軸2の径方向Rの変位は、図示しない制御装置により電磁石11における変位に座標変換される。座標変換された変位に基づいて、電磁石11のコイル18, 19に流れる電流がフィードバックされる。これにより、電磁石11と磁性部12との間に作用する磁気吸引力が制御され、回転軸2を非接触で支持するように、電磁石11と磁性部12との隙間の大きさが制御される。

40

【0031】

回転軸2を挟んで対向する一对の変位センサ13, 13の出力の差動を求めることにより、環境温度変化から生じるセンサコイル、ケーブル、アンプ(すべて図示せず)のドリフトによる計測誤差を低減している。

【0032】

上述のとおり、電磁石11のバックヨーク部14, 15は、1つの磁極ティース部ごとに分割されている。したがって、ラジアル軸受10は、磁極ティース部16, 17にそれぞれコイル18, 19を巻回した後に全体が組み立てられる。

50

【0033】

[2-2. スラスト軸受]

スラスト軸受20は、回転軸2を軸方向Zに支持する。スラスト軸受20は、円板状のスラストディスク21と、一对の円環状の電磁石22と、変位センサ23とを有する。スラストディスク21は、強磁性体からなる。スラストディスク21は、回転軸2に対して同軸にかつ垂直に取り付けられている。スラストディスク21は、円形の主面21a, 21bを有する。

【0034】

電磁石22は、スラストディスク21を軸方向Zから挟むようにして設けられた電磁石22a, 22bを含む。電磁石22a, 22bには、環状の溝が形成されている。当該溝には、円環状に巻回されたコイル24a, 24bが配置されている。電磁石22a, 22bは、スラストディスク21の主面21a, 21bとの間にそれぞれ微少な所定の間隙を設けて、かつ、コイル24a, 24bがスラストディスク21の主面21a, 21bにそれぞれ対向する位置において、ケーシング5に取り付けられている。コイル24a, 24bに通電することにより、電磁石22a, 22bとスラストディスク21の主面21a, 21bとの間に吸引力が発生する。

10

【0035】

実施形態では、変位センサ23として、検出対象の表面状態の影響を受けにくい渦電流式センサを用いる。変位センサ23により検出されたスラストディスク21の軸方向Rの変位に基づき、電磁石22a, 22bに流れる電流をフィードバック制御することにより、電磁石22とスラストディスク21の主面21a, 21bとの間に作用する磁気吸引力が制御され、スラストディスク21を電磁石22から軸方向Zに離隔して非接触で支持するように、スラストディスク21と電磁石22との軸方向の隙間が制御される。

20

【0036】

[2-3. タッチダウン軸受]

タッチダウン軸受30は、ラジアル軸受10の電磁石11、スラスト軸受20の電磁石22への給電停止時など異常時にラジアル軸受10とスラスト軸受20が停止して回転軸2を支持できなくなったときに、これらに代わって回転軸2を支持する。タッチダウン軸受30は、回転軸2の軸方向Zと径方向Rの可動範囲を規制して、回転軸2の可動範囲の極限位置において回転軸2を機械的に支持する。

30

【0037】

タッチダウン軸受30は、ケーシング5に取り付けられている。実施形態では、タッチダウン軸受30は、回転軸2を径方向Rの外側から支持する深溝玉軸受31と、回転軸2を径方向Rと軸方向Zの両方向で支持する2つのアンギュラ玉軸受32とを含む。2つのアンギュラ玉軸受32では、正面合わせが行われている。なお、図1に示すタッチダウン軸受30の断面は、概略を示したものに過ぎないと理解すべきである。

【0038】

[2-4. 回転数センサ]

回転数センサ40は、回転軸2の回転数または回転量を検出する光学エンコーダである。ただし、本発明はこれに限定されることなく、回転数センサ40は、例えば、検出部41としてホール素子を有し、被検出部42として永久磁石を有するセンサを用いてもよい。あるいは、検出部として投光部と受光部を有し、被検出部として反射部と非反射部を有する光学式センサ等であってもよい。回転数センサ40は、回転軸2の回転数に応じたパルスが発生させる検出部41と、回転軸2に取り付けられた被検出部42としての歯車とを有する。検出部41は、ケーシング5に取り付けられている。

40

【0039】

(3. 作用効果)

上述のとおり、電磁石11の磁極ティース部16, 17は、バックヨーク部14, 15からそれぞれ、回転軸2に設けられた磁性部12に向かって延びている。また、実施形態では、磁極ティース部16, 17の磁性部12側に先端部16b, 17bが設けられてい

50

る。ここで、比較例として、磁極ティース部 16, 17 の磁性部 12 側に先端部 16b, 17b を設けない構成を考える。比較例において、電磁石 11 に形成される磁束の向きを図 4 に示している。

【0040】

ラジアル軸受 10 の径方向 R における寸法を低減させるために磁極ティース部 16, 17 を互いに近接させることを考える。磁極ティース部 16, 17 に先端部 16b, 17b を設けない比較例では、磁極ティース部 16, 17 の磁性部 12 側の端部同士が近接する。このとき、バックヨーク部 14, 15、磁極ティース部 16, 17 および磁性部 12 により構成される磁路を通過する磁束 201 が減少する一方、磁性部 12 を介することなく 10 1 対の磁極ティース部 16, 17 の間をバイパスする磁束 (漏れ磁束) 202 が増加する。漏れ磁束が増加すると電磁石 11 の吸引力が低下するため、吸引力を維持するためには 10 18, 19 の巻き数を増やすなどの対策が必要となるが、径方向 R または軸方向 Z (コイル 18, 19 の形状に依存する) にラジアル軸受 10 が大型化する問題がある。

10

【0041】

実施形態 1 では、基部 16a, 17a から磁性部 12 に向かって、磁極ティース部 16, 17 の間隔が広がるように先端部 16b, 17b が延びているので、磁極ティース部 16, 17 の磁性部 12 側の端部同士が近接しない構成が実現される。これにより、漏れ磁束の発生は抑制され、磁極ティース部 16, 17、バックヨーク部 14, 15 および磁性部 12 により構成される磁路を通過する磁束 101 が維持され、電磁石 11 の吸引力の低下は抑制または防止される。このようにして、電磁石 11 の吸引力を維持しつつ、径方向 R においてラジアル軸受 10 を小型化することが可能となる。

20

【0042】

また、コイル 18, 19 の形状を変えれば (コイル 18, 19 の形状を軸方向 Z に小型化すれば)、ラジアル軸受 10 の径方向 R の寸法は維持しつつ、ラジアル軸受 10 を軸方向 Z に小型化することも可能である。これにより、回転軸 2 の固有振動数が高くなり、回転軸 2 をより高速で回転させることができる。

【0043】

また、実施形態 1 では、電磁石 11 のバックヨーク部 14, 15 は、1 つの磁極ティース部ごとに分割されている。これにより、例えばバックヨーク部が分割されていない場合に比べてコイル 18, 19 の巻回が容易になり、軸方向 Z に沿って切った断面におけるコイル 18, 19 の専有面積を大きくして電磁石 11 の吸引力を大きくすることができる。言い換えると、電磁石 11 の吸引力を維持しつつ、コイル 18, 19 の形状を軸方向 Z に小型化することができ、上述のとおり、回転軸 2 をより高速で回転させることができる。

30

【0044】

また、変位センサ 13 の被検出部 13b は磁性部 12 の外周面または回転軸 2 に設けられ、検出部 13a は、径方向 R において電磁石 11 と重なる位置に被検出部 8b と対向するようにして配置されているので、検出部 13a と電磁石 11 とが重なる分だけラジアル軸受 10 を軸方向 Z に小型化することができ、上述のとおり、回転軸 2 をより高速で回転させることができる。

【0045】

実施形態 2 .

図 5 は、本発明の実施形態 2 に係るラジアル軸受 10 を軸方向 Z から見た断面図である。実施形態 2 は、以下で説明する点を除き、実施形態 1 と同一または対応する構成を有している。実施形態 2 の説明では、実施形態 1 と同一または対応する構成には同一の符号を付している。

40

【0046】

実施形態 2 では、8 つの電磁石 11A, 11B, 11C, 11D, 11E, 11F, 11G, 11H が周方向に並べて配置されている。8 つの電磁石は同じ形状を有する。センサ 13 については、図 2 と同様に、4 つの検出部 13a が、それぞれ 90° の角度間隔を空けて周方向に均一に配置されている。実施形態 2 では、センサ 13 の検出部 13a に近

50

い側（以下、検出部側という）のバックヨーク部、磁極ティース部、コイルにそれぞれ符号 14, 16, 18 を付し、センサ 13 の検出部 13a から遠い側（以下、反検出部側という）のバックヨーク部、磁極ティース部にそれぞれ符号 15, 17, 19 を付す。

【0047】

実施形態 2 では、検出部側のバックヨーク部 14 の周方向の長さは、反検出部側のバックヨーク部 15 の周方向の長さに比べて大きい。また、実施形態 2 では、磁極ティース部 16, 17 の先端部 16b, 17b は、両者の間隔が基部 16a, 17a から回転軸 2 の磁性部 12 に向かって維持される（つまり、間隔が一定であるか略一定である）ように基部 16a, 17a に対して屈曲している。図 5 では、検出部側の磁極ティース部 16 の先端部 16b の基部 16a に対する屈曲角は、反検出部側の磁極ティース部 17 の先端部 17b の基部 17a に対する屈曲角よりも大きい。このように、先端部 16b, 17b は、基部 16a, 17a から回転軸 2 の磁性部 12 に向かって磁極ティース部 16, 17 の間隔が一定に維持されるように延びている。

10

【0048】

実施形態 2 で、ラジアル軸受 10 の軸方向 Z に沿って切った断面における配置が許容すれば、先端部 16b, 17b は、基部 16a, 17a から磁性部 12 に向かって磁極ティース部 16, 17 の間隔が維持される（つまり、両者の間隔が一定であるか略一定である）ように延びていてもよい。

【0049】

実施形態 2 によれば、ラジアル軸受 10 に 5 つ以上の電磁石 11 を設けた場合であっても、実施形態 1 で説明した作用効果を得ることができる。

20

【0050】

他の実施形態。

以上、実施形態を用いて本発明を説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されないと理解すべきである。また、各実施形態に記載された特徴は、自由に組み合わせられてよい。また、上述の実施形態には、さまざまな改良、設計上の変更および削除が加えられてよい。

【0051】

例えば、上述の実施形態では、1 つの電磁石 11 の磁極ティース部 16, 17 の先端部 16b, 17b は、基部 16a, 17a に対して屈曲することにより、両者の間隔が基部 16a, 17a から回転軸 2 の磁性部 12 に向かって広がり、または維持される例について説明した。本発明はこれに限定されることなく、1 つの電磁石 11 の磁極ティース部 16, 17 の先端部 16b, 17b は、例えば互いに対向する面部を切り欠くことにより、両者の間隔が基部 16a, 17a から磁性部 12 に向かって広がり、または維持されるようにしてもよい。

30

【0052】

また、上述の実施形態では、電磁石 11 のバックヨーク部 14, 15 が磁極ティース部 16, 17 ごとに分割される例について説明した。本発明はこれに限定されることなく、例えば、バックヨーク部は、図 6 に示すように電磁石 11 ごとに分割されてもよいし、図 7 に示すようにセンサ 13 の検出部 13a を挟む 2 つのバックヨーク部を 1 つの単位として分割されてもよい。また、バックヨーク部 14, 15 は分割されず、ラジアル軸受 10 の全周にわたって一体であってもよい。

40

【0053】

また、上述の実施形態では、回転軸 2 に対して垂直な平面内に磁路が形成されるタイプ（ヘテロポーラ型）のラジアル磁気軸受を用いた。本発明はこれに限定されることなく、例えば、回転軸 2 に対して平行な平面内に磁路が形成されるタイプ（ホモポーラ型）のラジアル磁気軸受であってもよい。

【0054】

また、上述の実施形態では、ラジアル軸受 10 の変位センサ 13、スラスト軸受 20 の変位センサ 23 として、渦電流式のセンサを用いた。本発明はこれに限定されることなく

50

、例えば静電容量式のセンサを用いてもよい。

【0055】

また、上述の実施形態では、ラジアル軸受10において、回転軸2を挟んで対向するように一对の変位センサ13、13を設け、両変位センサの出力の差動を求めた。本発明はこれに限定されることなく、一对の変位センサ13、13の一方だけが設けられていてもよい。

【0056】

また、上述の実施形態では、1つのラジアル軸受10について4個(実施形態1)または8個(実施形態2)の電磁石11を用いる例について説明した。本発明はこれに限定されることなく、1個から3個、5個から7個、または9個以上の電磁石11を用いてもよい。

10

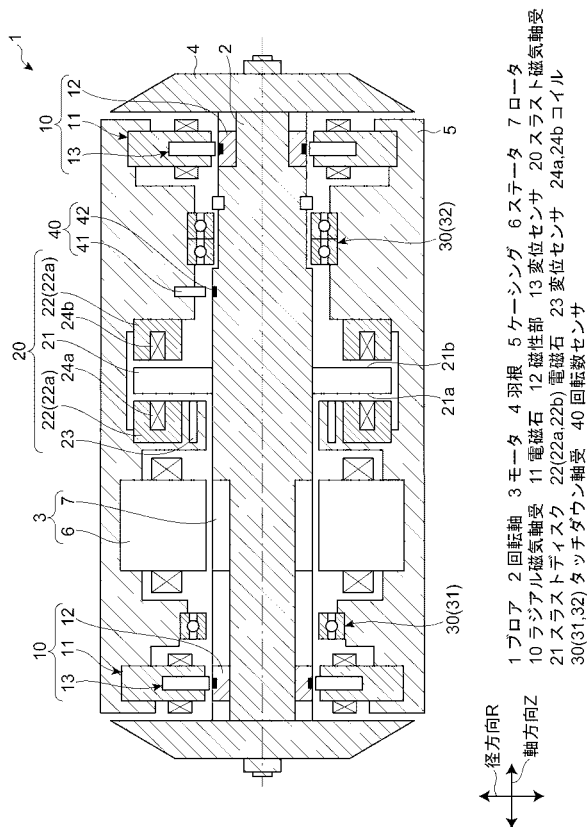
【符号の説明】

【0057】

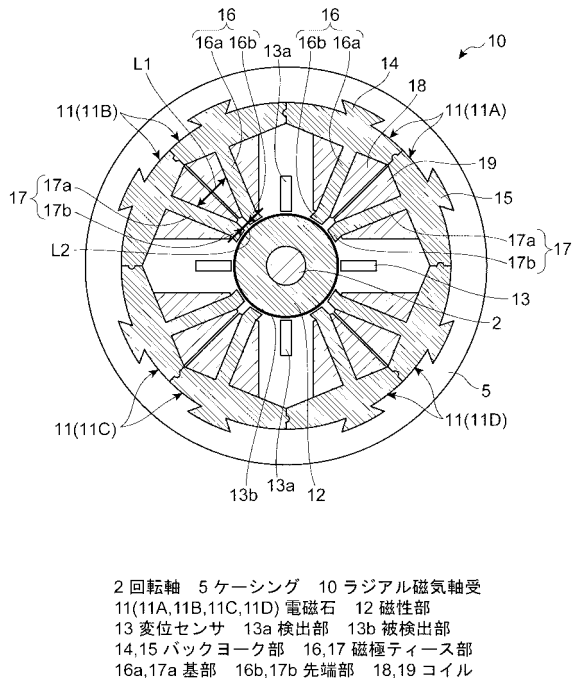
- 1 プロア、 2 回転軸、 3 モータ、 4 羽根、 5 ケーシング、 6 ステータ、 7 ロータ、 10 ラジアル磁気軸受、 11 電磁石、 12 磁性部、 13 変位センサ、 13a 検出部、 13b 被検出部、 14, 15 バックヨーク部、 16, 17 磁極ティース部、 16a, 17a 基部、 16b, 17b 先端部、 18, 19 コイル、 20 スラスト磁気軸受、 21 スラストディスク、 22(22a, 22b) 電磁石、 23 変位センサ、 24a, 24b コイル、 30(31, 32) タッチダウン軸受、 40 回転数センサ

20

【図1】

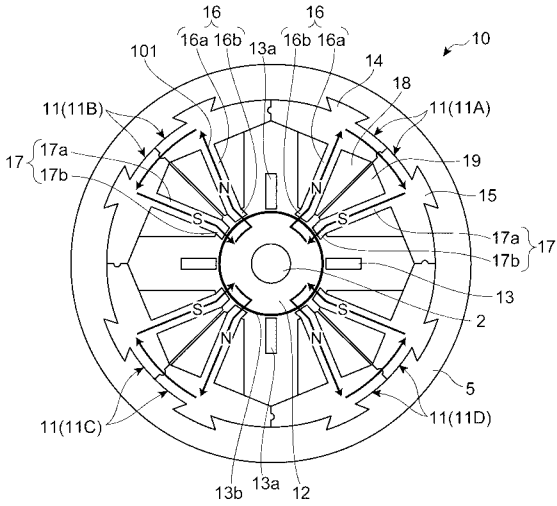


【図2】

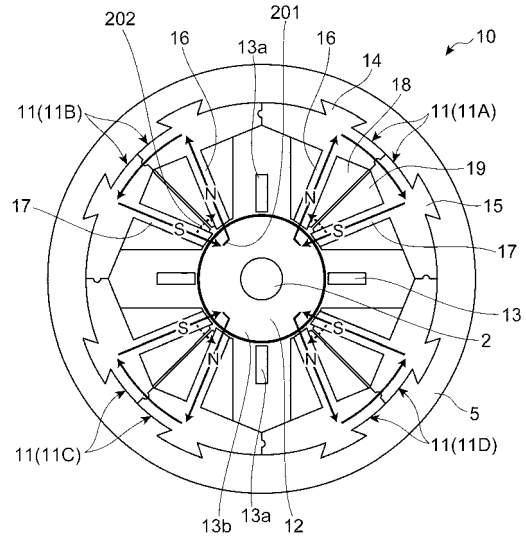


2 回転軸 5 ケーシング 10 ラジアル磁気軸受
 11(11A,11B,11C,11D) 電磁石 12 磁性部
 13 変位センサ 13a 検出部 13b 被検出部
 14,15 バックヨーク部 16,17 磁極ティース部
 16a,17a 基部 16b,17b 先端部 18,19 コイル

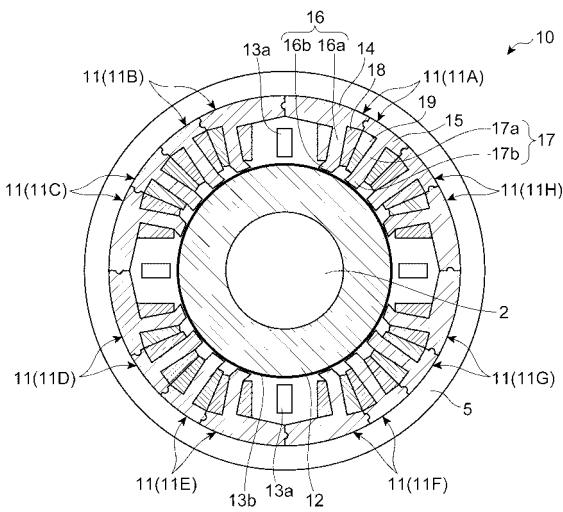
【 図 3 】



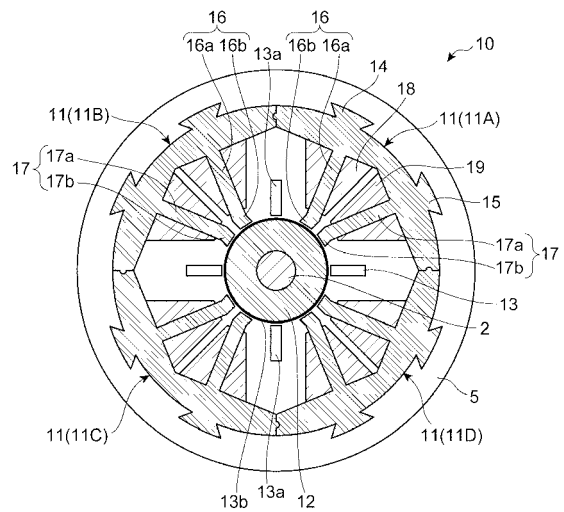
【 図 4 】



【 図 5 】

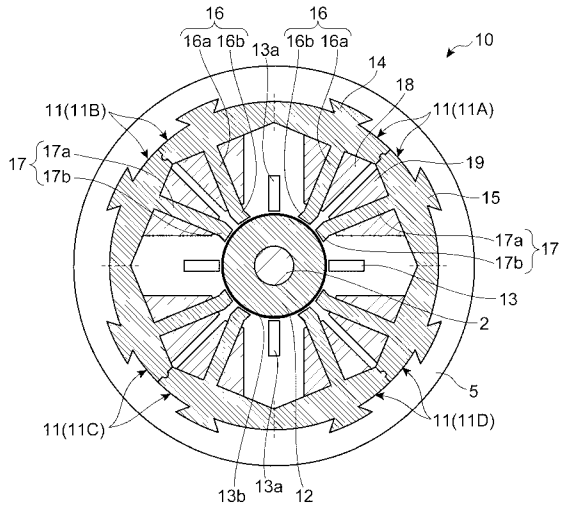


【 図 6 】



2 回転軸 5 ケーシング 10 ラジアル磁気軸受
 11(11A,11B,11C,11D,11E,11F,11G,11H) 電磁石
 12 磁性部 13 変位センサ 13a 検出部 13b 被検出部
 14,15 バックヨーク部 16,17 磁極ティース部
 16a,17a 基部 16b,17b 先端部 18,19 コイル

【 図 7 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3H130 AA13 AB26 AB60 AC30 BA97E DA02Z DB01Z DB02Z DB10X DD01Z
DF00Z DF01Z DF03Z EA07E EA07H
3J102 AA01 BA03 BA17 BA18 CA19 DA02 DA03 DA09 DA16 DA30
DB01 DB05 DB10 DB11 GA20