

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4729702号
(P4729702)

(45) 発行日 平成23年7月20日(2011.7.20)

(24) 登録日 平成23年4月28日(2011.4.28)

(51) Int.Cl. F I
F 1 6 C 32/04 (2006.01) F 1 6 C 32/04 Z A A Z

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2005-52353 (P2005-52353)
(22) 出願日 平成17年2月28日(2005.2.28)
(65) 公開番号 特開2006-234124 (P2006-234124A)
(43) 公開日 平成18年9月7日(2006.9.7)
審査請求日 平成19年10月23日(2007.10.23)(73) 特許権者 504174135
国立大学法人九州工業大学
福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
(74) 代理人 100108660
弁理士 大川 譲
(72) 発明者 小森 望充
福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立
立大学法人九州工業大学内
審査官 瀬川 裕

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導軸受を用いた非接触軸受装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ハウジング側に取り付けられたモータステータと協働して発電電動機を構成するモータロータを固定する回転主軸のための非接触軸受装置において、

回転主軸の下端部において、該下端部を非接触支持する1つのみの超電導軸受を備え、かつ、この1つのみの超電導軸受は、対向する回転主軸の下端側とハウジング側のいずれか一方に永久磁石を固定すると共に、他方において該永久磁石に対向する超電導体を配置し、かつ、回転主軸をアキシアル方向に非接触支持する浮上用の永久磁石を回転主軸の下端側とハウジング側において互いに対向して配置し、

回転主軸の上端部において、該上端部をラジアル方向に非接触支持して補助的に位置決めする永久磁石反発形磁気軸受を備え、

超電導軸受自身で回転軸の位置を決めさせて、回転主軸の支点を中心とした回転動作を行うことから成る超電導軸受を用いた非接触軸受装置。

【請求項2】

前記超電導体は、回転主軸の下端をラジアル方向に位置決めするために、回転主軸の下端外周面に固定された永久磁石に対向してハウジング側に取り付けられる請求項1に記載の超電導軸受を用いた非接触軸受装置。

【請求項3】

前記超電導体はハウジング側に取り付けられて、この超電導体に設けた凹み内に前記浮上用のハウジング側の永久磁石が取り付けられ、かつ、この超電導体と前記浮上用のハウジ

10

20

ング側の永久磁石が、前記浮上用の回転主軸下端の永久磁石に対向している請求項 1 に記載の超電導軸受を用いた非接触軸受装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超電導軸受を用いた非接触軸受装置に関するものであり、例えば、病院での瞬時停電防止のための電力貯蔵用フライホイールや精密機器の軸受装置として利用されるものである。

【背景技術】

【0002】

電力の負荷平準化や電力の安定供給は、電力業界のみならず医療分野、精密機器分野等にとって重要である。そこで、現在、国家プロジェクトとして、超電導軸受を用いた電力貯蔵用フライホイールの開発が進められている。

【0003】

超電導体は、臨界温度以下において、マイスナー効果およびピン止め効果を有する。マイスナー効果とは、超電導体の示す完全反磁性のことを称し、ピン止め効果とは、超電導体内の磁界を固定する力を言う。この2つの効果を有する超電導体と永久磁石を対向させることにより、回転主軸を非接触保持する超電導軸受装置が開発されている。これによって、浮上体が平衡状態からずれた場合、磁力線がピン止めされているため復元力が働き元の位置に戻ろうとする。このように、超電導を利用した非接触浮上装置は、構造が簡単で安価な非接触浮上装置を実現させることができる。

【0004】

しかし、回転主軸を回転させたときには、超電導軸受のラジアル剛性が小さいため、回転主軸の持つアンバランスまたはモータ等の外部から加わる外乱により、回転主軸は大きく振れ回る。そこで、超電導軸受のラジアル剛性を高めるために、ラジアル方向にも超電導体と永久磁石によるラジアル軸受を持つ超電導軸受装置が提案されている。

【0005】

図11は、上記のようなラジアル軸受のラジアル剛性を高めることができるように提案された従来技術を説明する図である（特許文献1参照）。図示の超電導軸受装置は、回転主軸の軸方向両端部にはそれぞれ、第1の永久磁石が取付けられる。この取付けられた第1の永久磁石に対向するようにハウジングには、それぞれ第1の超電導体が取付けられる。また、回転主軸の外径側面には、モータロータが取付けられ、モータロータと対向するようにハウジング内面に、モータステータが取付けられる。さらに、図示の超電導軸受装置は、回転主軸の軸端部には、それぞれ円筒状の第2の永久磁石が取付けられる。これらの第2の永久磁石に対向するようにハウジングには、ブロック形状の第2の超電導体が配向性の方向と回転主軸の径方向を一致させて、取付けられる。

【0006】

これによって、超電導体を冷媒等を用いて臨界温度以下に冷却することで、超電導体のマイスナー効果およびピン止め効果により、回転主軸は非接触保持される。さらに、ハウジングに取付けられたモータステータを駆動することにより、回転主軸に取付けられたモータロータが回転駆動するため、回転主軸を回転させることができる。さらに、この超電導軸受装置は、回転主軸の上下両軸端部においてそれぞれ、超電導体の持つ配向性の方向とラジアル方向を一致させることにより、超電導体と永久磁石により形成されるラジアル軸受のラジアル剛性を高めることができ、回転部材のラジアル方向の振れを抑えることができる。

【0007】

しかしながら、このような超電導軸受装置は、超電導体の持つ配向性の方向とラジアル方向の一致を、回転主軸の上下両軸端部のそれぞれにおいて達成する必要があるが、上下両軸端部の回転中心を一致させることは困難であり、回転中心がずれることによりエネル

10

20

30

40

50

ギーロスが生じていた。

【0008】

図12は、従来技術による超電導軸受装置の別の例を示す図である。図11と同様に、発電電動機を構成するモータロータ、及び上下2つのフライホイールが固定された回転軸は、非接触磁気軸受装置によって支持されている。この例において、非接触磁気軸受装置は、1個の超電導軸受と、2個のラジアル方向磁気軸受及び1個のアキシャル方向磁気軸受により構成されている。臨界温度以下に冷却する必要のある超電導軸受を、回転軸下部に配置した1個のみにしている。ラジアル軸受のラジアル剛性を高めて、回転部材のラジアル方向の振れを抑えるために、2つのラジアル方向磁気軸受を用いると共に、回転軸上部をアキシャル方向に支持するためのアキシャル方向磁気軸受を備えている。例示

10

【0009】

しかしながら、回転軸下部でアキシャル方向に支持しているアキシャル型超電導磁気軸受は、アキシャル方向に非接触保持するだけでなく、超電導体の臨界温度以下におけるピン止め効果により、回転軸をラジアル方向にも保持しようとする力が作用する。図示の例は、このような超電導軸受による保持力に加えて、電磁石に流す電流を制御して、ラジアル方向磁気軸受の作用により、回転部材のラジアル方向の振れを抑えようとするために、両軸受の回転中心が一致せずに、エネルギーロスが生じていた。

【0010】

20

これらの例に見られるように、従来の超電導軸受装置は、非接触軸受を用いた回転軸の浮上のために、永久磁石軸受、超電導軸受、電磁石を用いる制御軸受を併用して用いるが、いずれも回転損失、振動抑制などの問題を抱えている。また、超電導体を回転軸の上下両軸端部のそれぞれに備えることは、冷却が困難となる。

【特許文献1】特開平7-42737号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従来の超電導軸受装置は、併用して用いる複数の軸受のそれぞれの回転中心が異なるために、エネルギーロスが生じているという知見に基づき、本発明は、基本的には1点で支持することにより、回転損失、振動抑制などの問題を解決する簡単な構成の超電導軸受装置を提供することを目的としている。

30

【0012】

また、本発明は、超電導体の冷却を容易にすることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の超電導軸受を用いた非接触軸受装置は、ハウジング側に取り付けられたモータステータと協働して発電電動機を構成するモータロータを固定する回転軸を支持するために、回転軸の上端部をラジアル方向に支持する位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受と、ラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図る1つのみの超電導軸受とを備える。この超電導軸受は、回転軸の下端部を支持する。

40

【0014】

また、超電導軸受は、回転軸の下端をラジアル方向に位置決めするために、回転軸の下端外周面に固定された永久磁石と、これに対向してハウジング側に取り付けられた超電導体によって構成され、さらに、回転軸をアキシャル方向に支持する浮上用の永久磁石磁気軸受を備える。

【0015】

また、超電導軸受は、回転軸を浮上させるように、回転軸の下端に取り付けられた永久磁石と、これに対向して取り付けられるハウジング側の永久磁石及び超電導体によって構成され、かつ、ハウジング側の永久磁石は、ハウジングに取り付けられている超電導

50

体に対して取り付けられている。このように配置した超電導体によって、回転軸のラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図ることが可能となる。また、回転軸下端に、位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受を備えることができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、永久磁石の助けを借りて位置決めしつつ、ラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図る1つのみの超電導軸受を用いて、超電導軸受自身で回転軸の位置（ピン止め位置）を決めさせ、コマのように軸の支点を中心とした回転動作を行うものであるから、回転軸を安定に浮上させることができると共に、冷却が容易となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、例示に基づき、本発明を説明する。図1は、本発明に基づき構成した非接触軸受装置の構成の第1の例を示す図である。図示の非接触軸受装置は、通常のように、回転軸に固定されたモータロータと、ハウジング側に取り付けられたモータステータからなる発電電動機、及び回転軸に固定されたフライホイールを備えている。このような、回転軸は、回転軸の軸方向下側端部において、回転軸をアキシャル方向に支持する浮上用の永久磁石磁気軸受装置が取り付けられている。さらに、回転軸の下端には、回転軸の下端部をラジアル方向に支持する位置決め用超電導軸受装置が備えられている。回転軸の上端部には、回転軸の上端部をラジアル方向に支持する位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受が備えられている。

【0018】

図2は、図1に示した各軸受装置の動作を説明するための概念図である。回転軸の軸方向下側端部に取り付けられる浮上用の永久磁石磁気軸受装置は、回転軸の下端とハウジング側にそれぞれ永久磁石が相対向して取り付けられている。さらに、回転軸の下端に取り付けられる位置決め用の超電導軸受装置は、回転軸の下端外周面に固定された永久磁石と、これに対向してハウジングに取り付けられた超電導体によって構成されて、ラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図る。回転軸の上端部に取り付けられる位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受は、回転軸の上端外周面に固定された永久磁石と、該永久磁石に対向するようにハウジングに取り付けられる別の永久磁石とから構成される。

【0019】

このような構成により、ハウジングに取り付けられたモータステータを駆動することにより、回転軸に取り付けられたモータロータが回転駆動するため、回転軸を通常に回転させることができる。

【0020】

このとき、超電導体を冷媒等を用いて臨界温度以下に冷却することで、超電導体のマイスナー効果およびピン止め効果により、回転軸は非接触保持される。本発明は、超電導軸受自身で回転軸の位置（ピン止め位置）を決めさせて、コマのように軸の支点を中心とした回転動作を行う。また、永久磁石軸受を用いて回転軸の位置決めをさせると共に、永久磁石を用いてラジアル（半径）、スラスト（軸）各方向の剛性を最適化する。

【0021】

このように、本発明によれば、ラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図るように配置した1つのみの超電導軸受を用い、かつ永久磁石の助けを借りて位置決めすることにより、冷却を容易にすると共に、回転軸を安定に浮上させることが可能となる。

【0022】

図3は、本発明を具体化する非接触軸受装置の構成の第2の例を説明する図である。回転軸の上端部に取り付けられる位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受は、図2に示した例と同じく、回転軸の上端外周面に固定された永久磁石と、該永久磁石に対向するように取り付けられる別の永久磁石とから構成される。回転軸の軸方向下側端部に取り付けられる浮上用の超電導軸受装置は、回転軸の下端の永久磁石と、これに対向して取り付けられるハウジング側の永久磁石によって構成される。これら両永久磁石によって、回転

10

20

30

40

50

主軸を浮上させることはできるが、回転主軸がラジアル方向に振れようとする力に抗して保持することはできない。回転主軸をラジアル方向の振れに対して保持するのは、ハウジング側の円筒形状永久磁石の周囲に配置した超電導体である。このハウジング側の超電導体は、安定ダンピング用のために取り付けられていて、それを臨界温度以下に冷却した際に生じるピン止め効果により、回転主軸を安定に保持する。

【 0 0 2 3 】

このように、回転主軸に取り付けられた永久磁石に対向して設けられるハウジング側の永久磁石及びその周囲に配置した超電導体のマイスナー効果およびピン止め効果により、超電導体を冷媒等を用いて臨界温度以下に冷却することで、回転主軸は安定に非接触保持される。超電導軸受自身で回転軸の位置（ピン止め位置）を決めさせて、コマのように軸の支点を中心とした回転動作を行う。

10

【 0 0 2 4 】

このように、ラジアル方向及びアキシャル方向の安定化を図るように永久磁石の周囲に超電導体を配置した1つのみの超電導軸受を用い、回転主軸上部で永久磁石磁気軸受装置を補助的に用いることにより、冷却を容易にすると共に、回転主軸を安定に浮上させることが可能となる。

【 0 0 2 5 】

図4は、本発明を具体化する非接触軸受装置の構成の第3の例を説明する図である。回転主軸下端に、位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受を備える点でのみ、上記の第2の例とは異なっている。超電導軸受自身で回転軸の位置（ピン止め位置）を決めさせることが可能となるが、さらに、位置決め用の永久磁石反発形磁気軸受を備えることにより、回転主軸をその下端部でより安定に位置決めすることができる。但し、回転主軸の位置（ピン止め位置）を決めるのは、超電導軸受である。

20

【 0 0 2 6 】

図3或いは図4において例示した超電導軸受について、さらに図5～図7を参照して説明する。図5は、ハウジング側には、回転主軸に設けた永久磁石に対向して備えられる円筒形状の永久磁石と、それに対応する形状の凹みを設けてそこに永久磁石を収容した超電導体とから構成される。この構成は、図3或いは図4を参照して先に説明したものと同一である。

【 0 0 2 7 】

図6は、超電導軸受の別の例を示す図である。ハウジング側には、回転主軸に設けた永久磁石に対向して備えられる円筒形状の永久磁石と、この永久磁石よりも高さ方向にも径方向にも大きくした凹みを設けてその凹みの底部中央に収容した超電導体とから構成される。

30

【 0 0 2 8 】

図7は、超電導軸受のさらに別の例を示す図である。ハウジング側に設けられる永久磁石は、中央の円筒形状永久磁石と、それと同心に配置されるリング状永久磁石とから構成される。超電導体には、これら永久磁石に対応した形状の凹みを設けて、そこに永久磁石を収容することにより、超電導軸受を構成している。

【 0 0 2 9 】

これら図5～図7に例示したような構成の超電導体を冷媒等を用いて臨界温度以下に冷却することで、超電導軸受自身で回転軸の位置（ピン止め位置）を決めさせて、コマのように軸の支点を中心とした回転動作を行い、回転主軸は安定に非接触保持される。

40

【 実施例 】

【 0 0 3 0 】

図8は、図1～図4の非接触軸受装置に用いることのできる永久磁石反発形磁気軸受をさらに説明する図である。永久磁石反発形磁気軸受では、ロータ部永久磁石及びステータ部永久磁石から構成され、半径方向並進及びピッチング、ヨーイングは永久磁石の反発力により受動的に支持される。ここでは、ステータ部永久磁石を2段に構成して、その間に非磁性スペーサを挿入した例を示しているが、ステータ部永久磁石は1段に構成すること

50

も、より多段に形成することも可能である。

【0031】

図9及び図10は、それぞれアキシャル方向反発力、及びラジアル方向反発力を測定したグラフである。ロータ部永久磁石として、Nb-Fe-B(18×6×8)を1個と、ステータ部永久磁石としてNb-Fe-B(37×28×4.5)を2段にして、磁気軸受を構成した。ステータ部永久磁石間に非磁性スペーサを0～3mmまで厚みを変えて挿入し、その時々のアキシャル方向反発力を測定した。また、1mmのスペーサを挿入して、軸方向に相対的に変位させて(=0, 0.5, 1)、その時々ラジアル方向反発力を測定した。

【0032】

これら結果から、ステータ部の永久磁石間に非磁性スペーサを挿入することで、平衡点付近の反発力を積極的に調整することが可能であることが分かる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明に基づき構成した非接触軸受装置の構成の第1の例を示す図である。

【図2】図1に示した各軸受装置の動作を説明するための概念図である。

【図3】本発明を具体化する非接触軸受装置の構成の第2の例を説明する図である。

【図4】本発明を具体化する非接触軸受装置の構成の第3の例を説明する図である。

【図5】超電導軸受の一例を示す図である。

【図6】超電導軸受の別の例を示す図である。

【図7】超電導軸受のさらに別の例を示す図である。

【図8】図1～図4の非接触軸受装置に用いることのできる永久磁石反発形磁気軸受をさらに説明する図である。

【図9】アキシャル方向反発力を測定したグラフである。

【図10】ラジアル方向反発力を測定したグラフである。

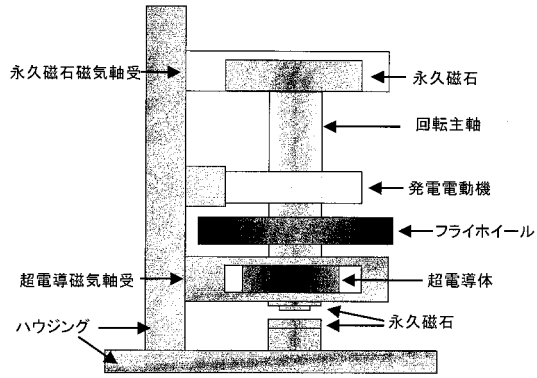
【図11】ラジアル軸受のラジアル剛性を高めることができるように提案された従来技術を説明する図である。

【図12】従来技術による超電導軸受装置の別の例を示す図である。

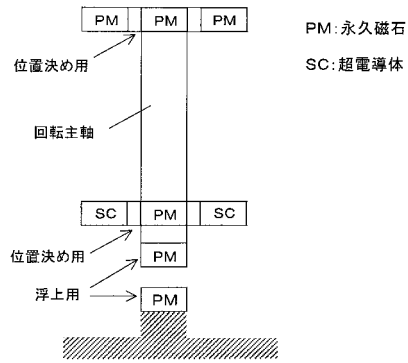
10

20

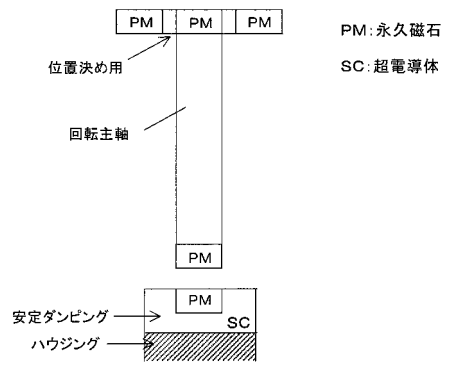
【図1】



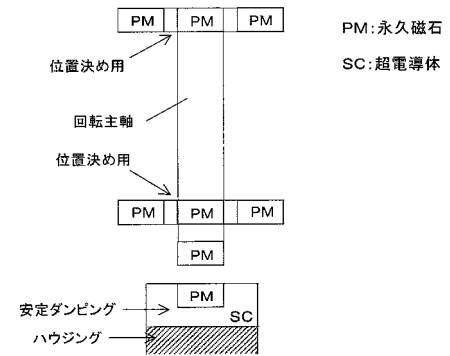
【図2】



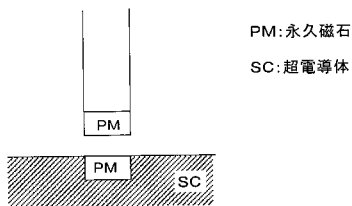
【図3】



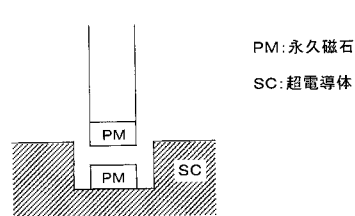
【図4】



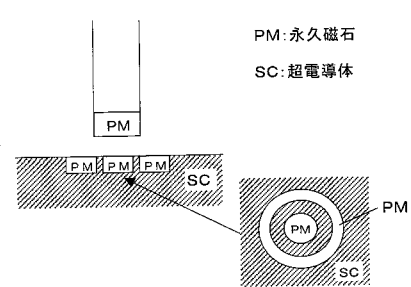
【図5】



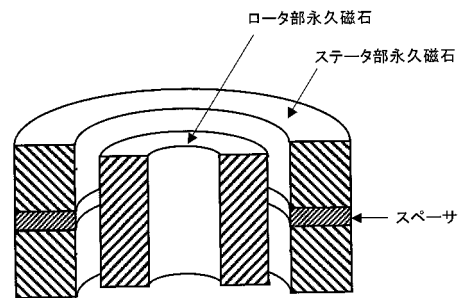
【図6】



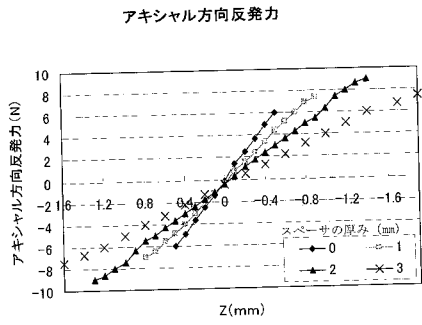
【図7】



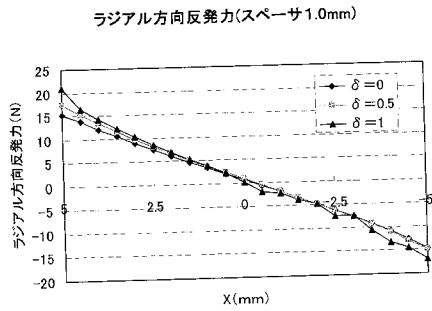
【図8】



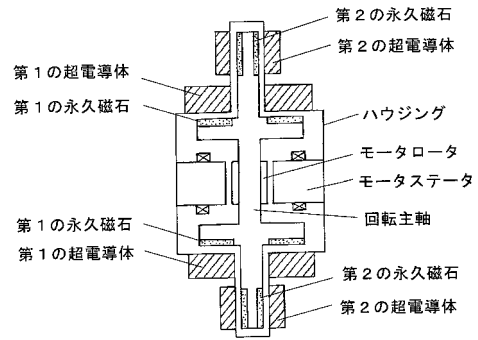
【図9】



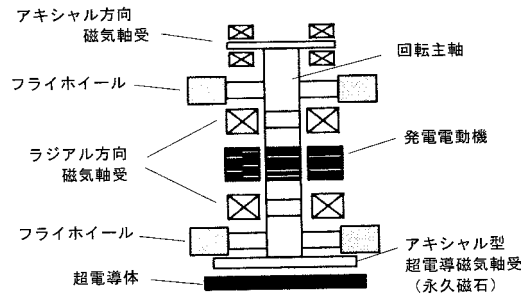
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 091447 (JP, A)
特開平07 - 042737 (JP, A)
特開平08 - 284956 (JP, A)
特開平08 - 226444 (JP, A)
特開2001 - 343020 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F16C 32/04