

(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2019-49318

(P2019-49318A)

(43) 公開日 平成31年3月28日(2019.3.28)

| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| F 1 6 C 41/00 (2006.01) | F 1 6 C 41/00 | 3 J 2 1 7 |
| F 1 6 C 19/52 (2006.01) | F 1 6 C 19/52 | 3 J 7 0 1 |
| F 1 6 C 19/06 (2006.01) | F 1 6 C 19/06 | |
| F 1 6 C 33/58 (2006.01) | F 1 6 C 33/58 | |
| G O 1 P 3/44 (2006.01) | G O 1 P 3/44 | B |

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2017-173877 (P2017-173877)
 (22) 出願日 平成29年9月11日 (2017.9.11)

(出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人科学技術振興機構「ERATO齊藤スピン量子整流プロジェクト/スピンゼーベック効果応用に関する研究」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (71) 出願人 504157024
 国立大学法人東北大学
 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
 (71) 出願人 505374783
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1
 (74) 代理人 100077838
 弁理士 池田 憲保
 (74) 代理人 100129023
 弁理士 佐々木 敬

最終頁に続く

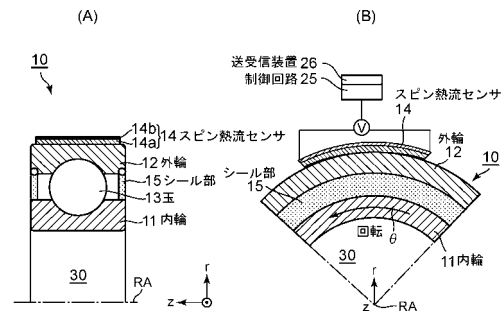
(54) 【発明の名称】 計測機能付き軸受

(57) 【要約】

【課題】 軸受における発熱の情報を、簡潔に把握すること。

【解決手段】 軸受は、固定部材に固定された外輪と、この外輪の内側に設けられて、固定部材に対して円周方向に回転する軸に固定された内輪と、を含む。熱流センサは、外輪を含む固定側の表面にコーティングされて、軸の回転に伴って生じる摩擦熱の情報を含む熱起電力を生成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定部材に固定された外輪と、

該外輪の内側に設けられて、前記固定部材に対して円周方向に回転する軸に固定された内輪と、

を含む軸受を備え、

前記外輪を含む固定側の表面にコーティングされて、前記軸の回転に伴って生じる摩擦熱の情報を含む熱起電力を生成する熱流センサを備える、計測機能付き軸受。

【請求項 2】

前記熱流センサは、前記外輪の表面上にコーティングされている、請求項 1 に記載の計測機能付き軸受。 10

【請求項 3】

前記軸受は、前記外輪と前記内輪との間に配置された複数の転動体と、前記外輪に固定されて前記複数の転動体を密封するシール部とを備えた、転がり軸受からなり、

前記熱流センサは、前記シール部の表面上にコーティングされている、請求項 1 に記載の計測機能付き軸受。

【請求項 4】

前記熱流センサは、熱磁気効果を発現する少なくとも一層の膜から成る、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の計測機能付き軸受。

【請求項 5】

前記熱流センサは、前記熱磁気効果としてスピンゼーベック効果を発現する磁性体膜と導電膜とから成る、請求項 4 に記載の計測機能付き軸受。 20

【請求項 6】

熱流計測と温度計測とを可能にする計測制御手段を更に有する、請求項 5 に記載の計測機能付き軸受。

【請求項 7】

前記計測制御手段は、前記熱流センサに直列に接続された、直流電流源とスイッチとから成る、請求項 6 に記載の計測機能付き軸受。

【請求項 8】

前記計測制御手段は、前記熱流センサに接続された交流電流源から成る、請求項 6 に記載の計測機能付き軸受。 30

【請求項 9】

前記熱流センサは、前記熱磁気効果として異常ネルンスト効果を発現する磁性と導電性とを兼ね備えた磁性導電膜から成る、請求項 4 に記載の計測機能付き軸受。

【請求項 10】

前記熱流センサと近接するように、前記内輪に取り付けられた磁気エンコーダを更に有する、請求項 3 に記載の計測機能付き軸受。

【請求項 11】

前記熱流センサが、前記シール部の表面上に、離間して複数個配置されている、請求項 9 に記載の計測機能付き軸受。 40

【請求項 12】

前記熱流センサに接続されて、無線で外部との通信を行う通信手段を更に備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 つに記載の計測機能付き軸受。

【請求項 13】

前記熱起電力を電力として蓄積するキャパシタを更に含む、請求項 12 に記載の計測機能付き軸受。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測機能付き軸受に関する。

【背景技術】

【0002】

軸受（ベアリング）は、風力発電や車両など、回転運動する機械システムに用いられる要素部材であり、回転運動時の摩擦を減らして高効率な機械運動を実現する上で極めて重要な役割を果たす。同時に、仮に軸受の性能劣化や破損が生じた場合、機械システムの駆動にも大きな悪影響をもたらす。このため、最近では軸受の異常発見や予防保全のために、軸受に様々なセンサを取り付けて、状態を監視する取り組みが広がっている。

【0003】

このうち、軸受の発熱計測は予防保全に極めて重要である。軸受での摩擦による発熱をリアルタイムで計測できれば、グリスの投入量制御や軸受の異常・性能劣化検知が可能となり、事業者にとって大きなメリットとなる。実際、熱電対型の温度センサを備えた軸受（特許文献1）や、回転センサを備えた軸受（特許文献2、特許文献3）などが報告されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-57659号公報

【特許文献2】特開2013-61030号公報

【特許文献3】特許第4639282号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、このような周知の軸受における発熱や回転数の検知技術には、以下の3つの課題がある。

【0006】

第一に、温度センサで本当に計測したいのは軸と軸受（または玉と保持輪）の接触部である。しかしながら、接触部に直接センサを取り付けることはできないため、摩擦部分の正確な温度を計測することはできない。

【0007】

第二に、温度センサの信号は外部温度や周囲の熱容量に依存する。このため、軸受部での発熱量をリアルタイムで計測することはできない。

30

【0008】

そして第三に、取り付けした温度センサが熱流を阻害したり機械的なバランスを崩したりして、軸受自体の性能に悪影響をもたらす可能性がある。

【0009】

本発明の目的は、上述した課題のいずれかを解決する、計測機能付き軸受を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一実施の形態に係る計測機能付き軸受は、固定部材に固定された外輪と、該外輪の内側に設けられて、前記固定部材に対して円周方向に回転する軸に固定された内輪と、を含む軸受を備え、前記外輪を含む固定側の表面にコーティングされて、前記軸の回転に伴って生じる摩擦熱の情報を含む熱起電力を生成する熱流センサを備える。

40

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、軸受における発熱の情報を簡潔に把握することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の第一の実施例に係る発熱計測機能付き転がり軸受を示す図であって、（A）は発熱計測機能付き転がり軸受の部分縦断面図であり、（B）は発熱計測機能付き転

50

がり軸受の部分横断面図である。

【図 2】本発明の第一の実施例の変形例に係る発熱計測機能付き転がり軸受を示す図であって、(A)は発熱計測機能付き転がり軸受の部分縦断面図であり、(B)は発熱計測機能付き転がり軸受の部分横断面図である。

【図 3】本発明の第二の実施例に係る軸受内部温度計測機能付き転がり軸受を示す図であって、(A)は熱流(温度勾配)測定モード時での軸受内部温度計測機能付き転がり軸受の状態を示す部分縦断面図であり、(B)は温度測定モード時での軸受内部温度計測機能付き転がり軸受の状態を示す部分縦断面図である。

【図 4】図 3 に示す軸受内部温度計測機能付き転がり軸受を用いて、内部温度を推定する方法を説明するための図である。

10

【図 5】本発明の第二の実施例の別のセンシング方式を説明するための図であって、(A)は軸受内部温度計測機能付き転がり軸受を示す部分縦断面図であり、(B)は出力電圧の変動を示す波形図である。

【図 6】本発明の第三の実施例に係る回転数・発熱計測機能付き転がり軸受を示す図であって、(A)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受の部分縦断面図であり、(B)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受の部分横断面図である。

【図 7】図 6 に示した回転数・発熱計測機能付き転がり軸受の動作原理を説明するための図である。

【図 8】第三の実施例の変形例に係る、複数の熱流センサを用いた場合の回転数・発熱計測機能付き軸受を示す図であって、(A)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受の部分縦断面図であり、(B)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受の部分横断面図である。

20

【図 9】図 8 の回転数・発熱計測機能付き軸受における第 1 および第 2 のスピン熱流センサの出力を示す波形図である。

【図 10】本発明の第四の実施例に係る自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受を示す図であって、(A)は自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受の部分縦断面図であり、(B)は自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受の部分横断面図である。

【図 11】本発明の変形例に係る発熱計測機能付き滑り軸受を示す図であって、(A)は発熱計測機能付き滑り軸受の概略斜視図であり、(B)は発熱計測機能付き滑り軸受に設けられるスピン熱電型熱流センサを拡大して示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0013】

以下、本発明の実施形態について説明する。

【0014】

本発明の実施形態に係る計測機能付き軸受は、軸受外部にスピンゼーベック熱電素子をコーティングし、軸の回転に伴って生じる摩擦熱の情報を熱起電力(電圧)信号によってモニタリングすることを特徴とする。

【0015】

本発明の第一の実施形態に係る計測機能付き軸受は、軸受外部に熱流センサをコーティングした構造を有している。軸受部の摩擦発熱によって生じる熱流を、熱流センサによって膜面方向の起電力(電圧)信号に変換して計測する。熱流センサは、例えば、磁性膜と金属膜との積層構造から成る。

40

【0016】

本発明の第二の実施形態に係る計測機能付き軸受は、上記金属膜を抵抗温度計として活用することで、熱流に加えて温度計測をも行う。熱流(温度勾配)と温度とを同時に把握することで、軸受外部にコーティングした熱流センサから、軸受内部の摩擦発熱部の温度をより正確に把握することができる。

【0017】

本発明の第三の実施形態に係る計測機能付き軸受は、回転する軸の側に、磁化方向が異なる永久磁石を回転方向に沿って交互に配置した磁気エンコーダを配置する。磁気エンコーダが発する磁場で、熱流センサを構成する磁性膜を磁化反転させる。これにより、発熱

50

情報に加えて、軸の回転数の情報をも取得する。

【実施例 1】

【0018】

図 1 は、本発明の第一の実施例に係る発熱計測機能付き転がり軸受 10 を示す図である。図 1 において、(A) は発熱計測機能付き転がり軸受 10 の部分縦断面図であり、(B) は発熱計測機能付き転がり軸受 10 の部分横断面図である。

【0019】

ここでは、図 1 に示されるように、円柱座標系 (r 、 θ 、 Z) を使用している。図 1 に示した状態では、円柱座標系 (r 、 θ 、 Z) において、 r は回転軸 RA を原点 (中心) とした半径方向であり、 θ は回転軸 RA を中心として回転する回転方向 (円周方向) であり、 Z は回転軸 RA が延在する軸方向である。

10

【0020】

本実施例の発熱計測機能付き転がり軸受 10 は、内輪 11、外輪 12、玉 (転動体) 13、スピン熱流センサ 14、および一対のシール部 15 とからなる。

【0021】

本実施例では外輪 12 は固定部材 (図示せず) に固定されており、内輪 11 が回転する仕組みとなっている。すなわち、内輪 11 は、固定部材に対して円周方向に回転する回転部材 (軸) 30 に固定されている。回転部材 (軸) 30 は、回転軸 RA の方向である軸方向 Z に延在する。

【0022】

玉 (転動体) 13 は、内輪 11 と外輪 12 との間に複数個配置される。

20

【0023】

一対のシール部 15 は合成ゴム材料などからなる。一対のシール部 15 は、玉 (転動体) 13 の外周側で内輪 11 と外輪 12 との間に配置されて、各々が環状をしている。各シール部 15 の片側 (外周端側) は外輪 12 に固定され、もう片側 (内周端側) は弾性力で内輪 11 に押し付けられるように密着されている。このような構造を採用することで、一対のシール部 15 は軸受内部を密封している。

【0024】

スピン熱流センサ 14 は、面内方向の磁化を有する磁性膜を有する層状デバイスである。スピン熱流センサ 14 は、磁性体における熱の流れをスピンの流れに変換する熱磁気効果に基づき、面直方向に流れる熱流量に比例して、面内方向の起電力を生成することを特徴とする。

30

【0025】

図 1 に示す実施例では、スピン熱流センサ 14 は磁性体膜 14a と導電膜 14b とからなる。スピン熱流センサ 14 は、これらが外輪 12 の表面に半径方向 r に積層されてコーティングされた配置となっている。詳述すると、磁性体膜 14a は外輪 12 の表面にコーティングされている。導電膜 14b は磁性体膜 14a の表面にコーティングされている。

【0026】

ここで、軸受内部 (具体的には玉 13 と外輪 12、および玉 13 と内輪 11 との間) の摩擦に起因して発熱が生じると、熱流が外輪 12 を通してスピン熱流センサ 14 へと流れる。この熱流から誘起されるスピントルク効果 (熱流をスピン流に変換する熱磁気効果の一つ) によって磁性体膜 14a においてスピン流が生じる。このスピン流が導電膜 14b に到達すると、導電膜 14b における逆スピホール効果 (スピン流を電流へと変換する効果) によって起電力へと変換される。こうして生じる起電力を導電膜 14b の両端間の出力電圧 V として計測することで、軸受 10 において生じる発熱を検知することができる。

40

【0027】

上記磁性体膜 14a としては、イットリウム鉄ガーネット (YIG, $Y_3Fe_5O_{12}$) や Bi 等の希土類元素をドーブしたイットリウム鉄ガーネット (Bi:YIG, $BiY_2Fe_5O_{12}$ 等)、Co フェライト ($CoFe_2O_4$)、マグネタイト (Fe_3O_4) などの酸化物磁性材料を用いることができる。また、

50

導電膜 14b としてはPtやW等の金属材料や、FePt、CoPt、NiPt、FeW、CoW、NiW合金、もしくはRuO₂等の導電性酸化物材料など、スピン軌道相互作用が大きい導電性材料を用いることが望ましい。

【0028】

磁性体膜 14a は、有機金属分解法 (MOD法) 等の塗布法やフェライトめっき法、スパッタ、液相エピタキシー法 (LPE)、化学気相堆積法 (CVD) 等で形成することができる。また、導電膜 14b は、スパッタ法、パルスレーザ堆積法 (PLD法)、電子ビーム蒸着法、めっき法等で形成することができる。

【0029】

さらに軸受 10 の外部には制御回路 25 および送受信装置 26 が備えられており、無線で外部との通信が可能となっている。制御回路 25 の動作モードは外部から無線で設定できるようになっている。したがって、制御回路 25 と送受信装置 26 との組み合わせは、スピン熱流センサ 14 に接続されて、無線で外部との通信を行う通信手段として働く。

10

【0030】

次に、通信手段の動作モードの一例について説明する。平時は熱流測定の結果 (観測した電圧Vのデータ) を制御回路 25 内に一時的に保存して、送受信装置 26 はその保存したデータを5分おきに外部に送信する。一方、熱流 (出力電圧) が一定の閾値を超えた場合には、制御回路 25 は異常発生とみなして、送受信装置 26 を介して即座に無線を飛ばして異常を管理者に伝える。なお、これら制御回路 25 と送受信装置 26、および動作方法については、以後の実施例でも同様のものを用いるものとする。

20

【0031】

なお、上記スピン熱流センサとしては、磁性体膜 14a と導電膜 14b とからなる構成の代わりに、磁性と導電性とを兼ね備えた磁性導電膜を用いてもよい。この磁性導電膜を用いる場合も、上記熱流が磁性導電膜に流れ込むことによる異常ネルンスト効果 (熱流をスピン偏極電流に変換する熱磁気効果の一つ) によって、同様に起電力が生じる。この磁性導電膜の両端間の出力電圧信号を計測することで、軸受 10 において生じる発熱を検知することができる。

【0032】

磁性導電膜の材料としては、Fe、Ni、Coのほか、FePt、CoPt、NiPt、FeW、CoW、NiW合金等を用いることができる。

30

【0033】

本第一の実施例によれば、出力電圧Vを計測することで、軸受内部の摩擦発熱をモニタリングできるという効果がある。

【0034】

尚、第一の実施例では、通信手段を使用して無線で外部と通信を行っているが、本発明では通信を必ずしも無線で行う必要はない。何故なら、スピン熱流センサ 14 を固定側 (本例では、外輪 12 の表面) に配置しているので、スピン熱流センサ 14 から有線を介して外部と通信することが可能だからである。

【0035】

図 2 は、本実施例の変形例に係る熱計測機能付き転がり軸受 10A を示す図である。図 2 において、(A) は発熱計測機能付き転がり軸受 10A の部分縦断面図であり、(B) は発熱計測機能付き転がり軸受 10A の部分横断面図である。

40

【0036】

図 2 においても、図 1 と同様に、円柱座標系 (r、 θ 、Z) を使用している。

【0037】

構成要素は図 1 の軸受 10 と同じだが、図 2 の軸受 10A ではスピン熱流センサ 14 を外輪 12 の表面ではなく、シール部 15 の表面に取り付けている点異なる。

【0038】

本変形例では、フェライトめっき法などを用いることで、磁性体膜 14a と導電膜 14b をシール部 15 の表面上に軸方向 Z に積層してコーティングしている。

50

【0039】

本変形例でも、出力電圧Vを計測することで、軸受内部の摩擦発熱をモニタリングできるという効果がある。

【実施例2】

【0040】

図3は、本発明の第二の実施例に係る軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bを示す図である。図3において、(A)は熱流(温度勾配)測定モード時での軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bの状態を示す部分縦断面図であり、(B)は温度測定モード時での軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bの状態を示す部分縦断面図である。

【0041】

図3においても、図1と同様に、円柱座標系(r 、 θ 、 Z)を使用している。

【0042】

本発明の第二の実施例では、前記導電膜14bを抵抗温度計として活用することで、熱流に加えて温度計測も行う。熱流(温度勾配)と温度を同時に把握することで、軸受内部の摩擦発熱部の温度をより正確に評価することができる。

【0043】

基本構成は図1に示す第一の実施例の発熱計測装置付き転がり軸受10と同じだが、この軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bでは新たに直流電流源21とスイッチ22とが導入されている。

【0044】

直流電流源21とスイッチ22とは、熱流センサ14に直列に接続されている。

【0045】

図3(A)に示されるように、スイッチ22がOFFの場合は第一の実施例と同様に、軸受10Bの摩擦発熱によって生じた熱流量を、スピン熱流センサ14を構成する導電膜14bの両端間の出力電圧を通して計測する(熱流測定モード)。

【0046】

一方、図3(B)に示されるように、スイッチ22がONの状態になると、直流電流源21からスピン熱流センサ14の導電膜14bに一定電流が流れ込むことから、前記出力電圧Vが変化する。この変化分は、前記一定電流と導電膜14bの抵抗との積に比例する。このことから、この変化分を観測することで導電膜14bの抵抗変化を評価することができる。多くの導電性材料では、抵抗率は温度に単調に依存することから、これによって導電膜14bの部分の温度を計測することができる(温度測定モード)。

【0047】

この熱流測定モードと温度測定モードとを交互に繰り返せば、摩擦発熱部の温度のより正確な評価が可能となる。

【0048】

一般的に、軸受では、主に外輪12と玉13の摩擦部などで発熱が生じるが、この箇所に温度センサを直接取り付けるとは機械設計上難しい。このことから、一般的な通常知られている方法では、摩擦発熱部の温度を直接評価することはできない。

【0049】

これに対して、図3に示す軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bによって、外輪12の表面の絶対温度とそこで流れている熱流量(温度勾配に比例)とを評価することができる。

【0050】

図4は、その2つのパラメータから内部温度を推定する方法を説明するための図である。図4において、横軸は軸受内部位置を示し、縦軸は温度を示す。図4は、外輪表面温度と温度勾配とから摩擦発熱部での内部温度を推定できることを示している。

【0051】

このように、第二の実施例によれば、軸受内部の摩擦発熱部(外輪12と玉13との接触部)の温度を評価することが可能となるという効果を奏する。

10

20

30

40

50

【0052】

図5は、第二の実施例の別のセンシング方式を説明するための図である。図5において、(A)は軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Cを示す部分縦断面図であり、(B)は出力電圧の変動を示す波形図である。

【0053】

本方式では、図5(A)に示されるように、図3の直流電流源21を用いる代わりに交流電流源23を用いて、スイッチ22を削除している。

【0054】

このような構成を採用すれば、図5(B)に示されるように、出力電圧Vは、熱流(温度勾配)に比例する直流電圧成分と、絶対温度から決まる抵抗に依存する交流電流成分との和として生成される。このことから、これらを分離して評価することで、熱流(温度勾配)計測と絶対温度計測とを同時に行うことができる。

10

【0055】

図5に示した別のセンシング方式によれば、上記第二の実施例の効果に加えて、図3に示す軸受内部温度計測機能付き転がり軸受10Bで測定モードを切り替えるために必要だったスイッチ22が不要となり、素子構成が簡素化されるという効果をも奏する。

【実施例3】

【0056】

図6は、本発明の第三の実施例に係る回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Dを示す図である。図6において、(A)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Dの部分縦断面図であり、(B)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Dの部分横断面図である。

20

【0057】

図6においても、図1と同様に、円柱座標系(r 、 θ 、 Z)を使用している。

【0058】

本発明の第三の実施例では、軸受10Dの内輪11側に、磁極が交互に異なる複数の永久磁石を回転方向に沿って配置し、それが発する磁場で軸受側のスピンゼーベック素子の磁性体膜を磁化反転させる。これにより、第三の実施例では、発熱情報に加えて軸の回転情報も取得する。

【0059】

30

図6に示す回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Dでは図2で示した軸受10Aと同様の構成に加えて、内輪11側に磁気エンコーダ16が固定されている。磁気エンコーダ16は、回転方向に沿って磁極(N極、S極)が互い違いになった永久磁石が配置された構造を有している。

【0060】

図7は、図6に示した回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Dの動作原理を説明するための図である。

【0061】

このような構成をとれば、内輪11と外輪12との間の相対的な回転運動に伴い、磁気エンコーダ16の永久磁石からの発せられる磁場によってスピン熱流センサ14の磁化方向が回転の度に反転する。このことから、結果としてその出力電圧信号Vも符号反転する(図7)。したがって、第三の実施例では、電圧Vの周波数から回転運動の回転周波数を評価することが可能となる。

40

【0062】

このように、第三の実施例によれば、発熱情報に加えて軸30の回転数の情報も取得することができるという効果を奏する。

【0063】

上記第三の実施例では、スピン熱流センサ14を1個配置するだけで周波数の計測を可能としている。一方、スピン熱流センサを適切な位置(例えば回転角方向に90度離れた位置)に2個配置することで、回転周波数だけでなく、回転の方向、およびある時間に

50

おける内輪と外輪の間の相対位置（回転角度）も評価することができる。

【0064】

図8は、第三の実施例の変形例に係る、複数の熱流センサを用いた場合の回転数・発熱計測機能付き軸受10Eを示す図である。図8において、(A)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Eの部分縦断面図であり、(B)は回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Eの部分横断面図である。

【0065】

図8においても、図1と同様に、円柱座標系（ r 、 θ 、 Z ）を使用している。

【0066】

図8(B)に示されるように、回転数・発熱計測機能付き転がり軸受10Eは、互いに回転方向に90度離れた位置に配置された、第1のスピンの熱流センサ14-1と第2のスピンの熱流センサ14-2とを有する。

【0067】

図9は、第1のスピンの熱流センサ14-1の出力と第2のスピンの熱流センサ14-2の出力とを示す波形図である。図9では、第1のスピンの熱流センサ14-1の出力を実線で「スピンの熱流センサ1出力」で示し、第2のスピンの熱流センサ14-2の出力を点線で「スピンの熱流センサ2出力」で示している。

【0068】

図9から明らかのように、複数のセンサ14-1、14-2の相対出力を見ることで、ある瞬間における回転の角度（位置）をより細かく検知することができる。

【0069】

本変形例では、図9から分かるように、複数のセンサ14-1、14-2の出力は、正弦波ではなく矩形波になる。（センサ1の符号、センサ2の符号）＝（+、+）、（+、-）、（-、+）、（-、-）の4通りを見分けることによって、その瞬間にどのエリアに位置しているかを見ることが可能となる。また、センサの数を増やすとより精度を高めることができる。

【0070】

図8に示した変形例によれば、上記第三の実施例の効果に加えて、回転の方向や相対位置（回転角度）をも検出できるという効果をも奏する。

【実施例4】

【0071】

図10は、本発明の第四の実施例に係る自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受10Fを示す図である。図10において、(A)は自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受10Fの部分縦断面図であり、(B)は自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受10Fの部分横断面図である。

【0072】

図10においても、図1と同様に、円柱座標系（ r 、 θ 、 Z ）を使用している。

【0073】

第四の実施例では、図1に示した第一の実施例の発熱計測機能付き転がり軸受10の上記構成に加えて、熱起電力を電力として蓄積するキャパシタ24を備える。すなわち、第四の実施例では、外部電池や外部からの給電無しに自立駆動し、センシングデータを無線で外部に送信することができる。

【0074】

このように、第四の実施例によれば、外部からの給電無しに、センシングデータを無線で外部に送信できるという効果を奏する。

【0075】

なお、上記の実施例では、様々な種類のある軸受の中でも、転がり軸受、特に玉軸受についての実装方法を記述したが、本発明は、他の軸受方式（滑り軸受やころ軸受）についても同様の実装が可能となる。

【0076】

10

20

30

40

50

[変形例]

図 1 1 は、本発明の変形例に係る発熱計測機能付き滑り軸受 4 0 を示す図である。図 1 1 において、(A) は発熱計測機能付き滑り軸受 4 0 の概略斜視図であり、(B) は発熱計測機能付き滑り軸受 4 0 に設けられるスピン熱流センサを拡大して示す斜視図である。

【 0 0 7 7 】

ここでは、図 1 1 に示されるように、円柱座標系 (r 、 θ 、 Z) を使用している。図 1 1 に示した状態では、円柱座標系 (r 、 θ 、 Z) において、 r は回転軸 R A を中心とした半径方向であり、 θ は回転軸 R A の回りに回転する回転方向であり、 Z は回転軸 R A が延在する軸方向である。

【 0 0 7 8 】

本変形例の軸受 4 0 は、内輪 4 1 と、外輪 4 2 と、スピン熱流センサ 4 4 とから成る。外輪 4 2 は、固定部材 (図示せず) に固定されている。内輪 4 1 は回転部材である軸 3 0 に固定されて、回転するようになっている。外輪 4 2 と内輪 4 1 とは滑り面 4 3 を介して相対回転するようになっている。

【 0 0 7 9 】

すなわち、内輪 4 1 と外輪 4 2 と滑り面 4 3 との組み合わせによって、滑り軸受 (4 1、4 2、4 3) が構成されている。

【 0 0 8 0 】

図 1 1 (A) に示されるように、発熱計測機能付き滑り軸受 4 0 は、その一例として、滑り軸受 (4 1、4 2、4 3) の外周部である外輪 4 2 の表面にスピン熱流センサ 4 4 を配置した構成をしている。

【 0 0 8 1 】

図 1 1 (B) に示されるように、スピン熱流センサ 4 4 は磁性膜 4 4 a と金属膜 4 4 b とからなり、これらを外輪 4 2 の表面上に半径方向 r に積層してコーティングされた配置となっている。磁性膜 4 4 a は、面内方向 (軸方向 Z と平行な方向) に磁化を有する。スピン熱流センサ 4 4 は、面直方向 (半径方向 r) に流れる熱流量に比例して、面内方向 (回転方向) の起電力を生成する。こうして生じる起電力を金属膜 4 4 b の両端間の出力電圧 V として計測することで、滑り軸受 (4 1、4 2、4 3) において生じる発熱を検知することができる。

【 0 0 8 2 】

このように、変形例によれば、出力電圧 V を計測することで、滑り軸受 (4 1、4 2、4 3) の内部の摩擦発熱をモニタリングできるという効果がある。

【 0 0 8 3 】

以上、実施形態および実施例などを参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施形態や実施例などに限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の Scope 内で当業者が理解しえる様々な変更をすることができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 4 】

- 1 0、1 0 A 発熱計測機能付き転がり軸受
- 1 0 B、1 0 C 軸受内部温度計測機能付き転がり軸受
- 1 0 D、1 0 E 回転数・発熱計測機能付き転がり軸受
- 1 0 F 自立駆動型発熱計測機能付き転がり軸受
- 1 1 内輪
- 1 2 外輪
- 1 3 玉 (転動体)
- 1 4 スピン熱流センサ
- 1 4 - 1 第 1 のスピン熱流センサ
- 1 4 - 2 第 2 のスピン熱流センサ
- 1 4 a 磁性体膜
- 1 4 b 導電膜

10

20

30

40

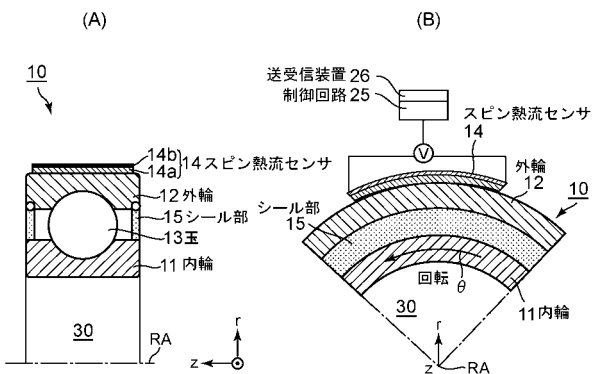
50

- 1 5 シール部
- 1 6 磁気エンコーダ
- 2 1 直流電流源
- 2 2 スイッチ
- 2 3 交流電流源
- 2 4 キャパシタ
- 2 5 制御回路
- 2 6 送受信装置
- 3 0 回転部材 (軸)
- 4 0 発熱計測機能付き滑り軸受 10
- 4 1 内輪
- 4 2 外輪
- 4 3 滑り面
- 4 4 スピン熱流センサ
- 4 4 a 磁性膜
- 4 4 b 金属膜
- R A 回転軸
- r 半径方向
- 回転方向 (円周方向)
- Z 軸方向
- V 出力電圧

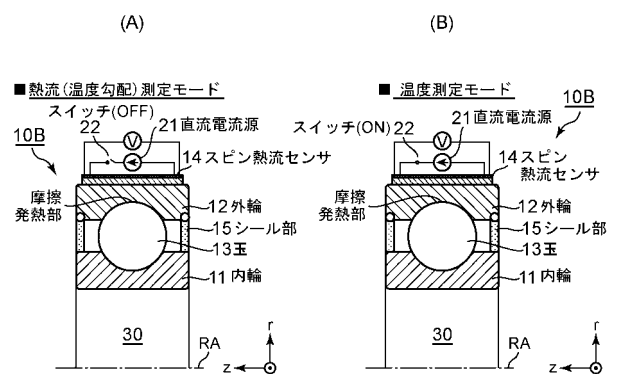
10

20

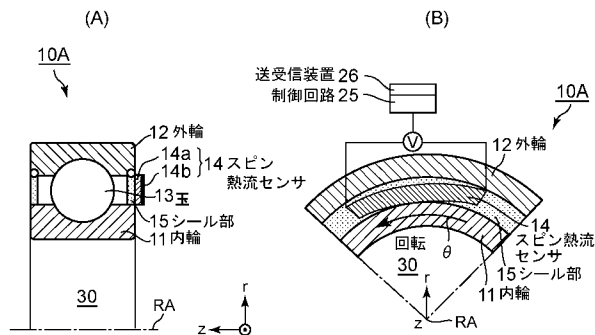
【図1】



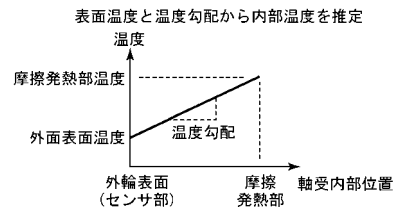
【図3】



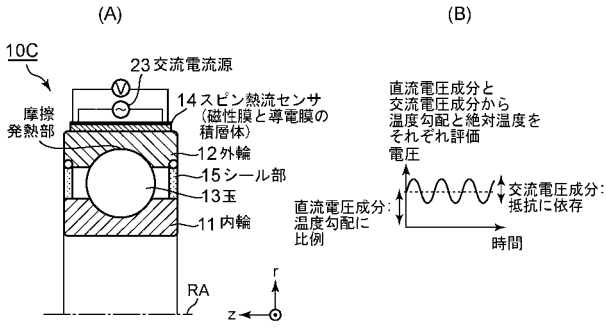
【図2】



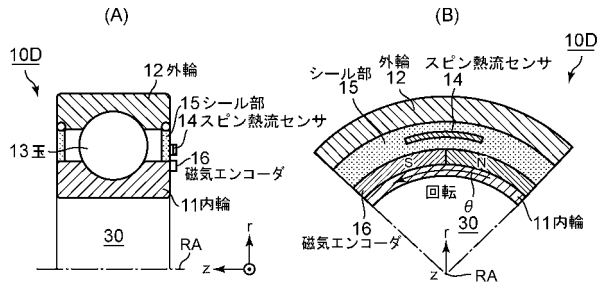
【図4】



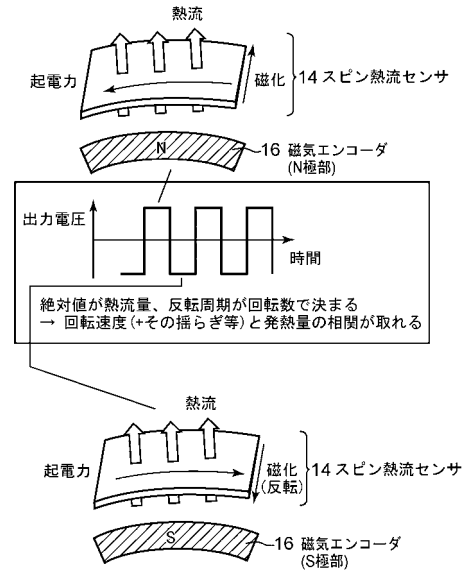
【図5】



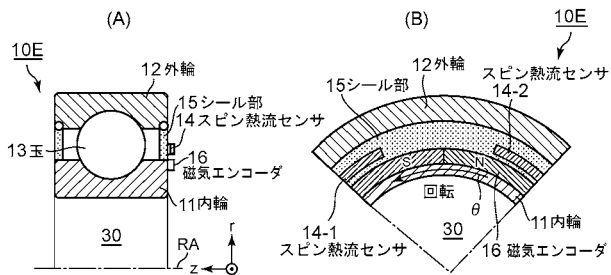
【図6】



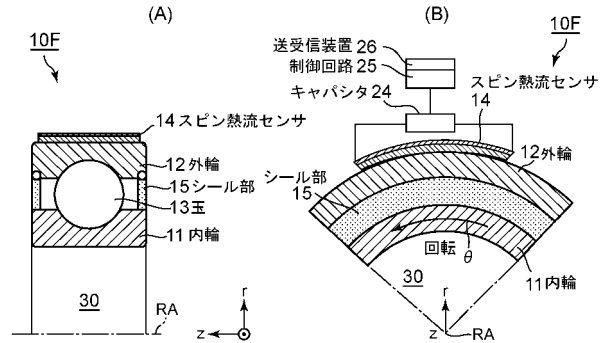
【図7】



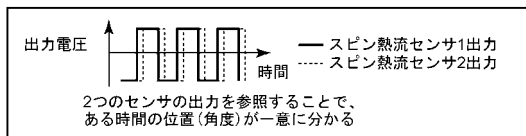
【図8】



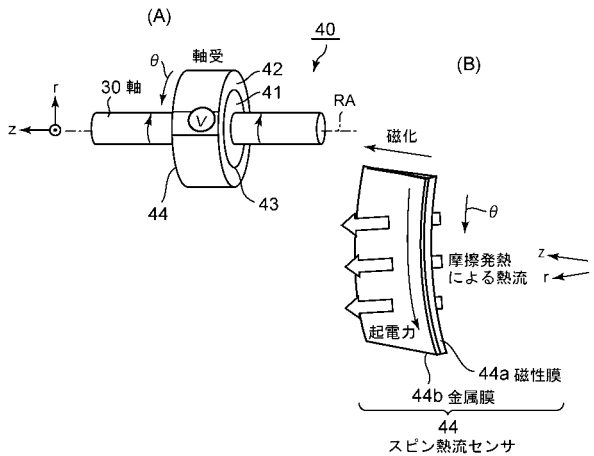
【図10】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

- (72)発明者 桐原 明宏
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 石田 真彦
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 寺島 浩一
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 澤田 亮人
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 齊藤 英治
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 追川 康之
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 井口 亮
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 小野 正雄
茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所内

Fターム(参考) 3J217 JA02 JA16 JA24 JA34 JA37 JA39 JB16 JB37 JB62 JB70
JB84
3J701 AA02 AA42 AA52 AA62 BA53 BA54 BA56 BA77 FA22 GA01
GA24