

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5705705号  
(P5705705)

(45) 発行日 平成27年4月22日 (2015. 4. 22)

(24) 登録日 平成27年3月6日 (2015. 3. 6)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 B 7/30 (2006. 01)

G O 1 B 7/30 H

G O 1 D 5/244 (2006. 01)

G O 1 D 5/244 F

B 6 2 D 5/04 (2006. 01)

B 6 2 D 5/04

請求項の数 31 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2011-247015 (P2011-247015)  
 (22) 出願日 平成23年11月11日 (2011. 11. 11)  
 (65) 公開番号 特開2013-104698 (P2013-104698A)  
 (43) 公開日 平成25年5月30日 (2013. 5. 30)  
 審査請求日 平成25年9月6日 (2013. 9. 6)

(73) 特許権者 509186579  
 日立オートモティブシステムズ株式会社  
 茨城県ひたちなか市高場2 5 2 0 番地  
 (74) 代理人 100091096  
 弁理士 平木 祐輔  
 (74) 代理人 100105463  
 弁理士 関谷 三男  
 (74) 代理人 100102576  
 弁理士 渡辺 敏章  
 (72) 発明者 鈴木 睦三  
 茨城県日立市大みか町七丁目1 番 1 号 株  
 式会社日立製作所 日立研究所内  
 審査官 岸 智史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁界角計測装置およびそれを用いた回転機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非磁性の第 1 の導体、非磁性の第 2 の導体、及び前記第 1 の導体と前記第 2 の導体の間に配置された、磁界方向に感応する磁気センサを備えた磁界角計測装置であって、

前記磁界角計測装置はセンサ磁石とともに用いられ、前記磁界角計測装置が、前記センサ磁石に対して所定の位置に配置された際に、

前記第 1 の導体中に流れる渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界、及び前記第 2 の導体中の渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界が、互いに打ち消し合う磁界角計測装置。

【請求項 2】

磁界方向に感応する磁気センサと、

非磁性の第 1 の導体と、非磁性の第 2 の導体とを備えた磁界角計測装置であって、

前記磁気センサは、前記第 1 の導体と前記第 2 の導体との間に配置され、

前記第 1 の導体のシート抵抗が、前記第 2 の導体のシート抵抗よりも大きいことを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、

前記磁気センサはセンサ磁石とともに用いられ、前記磁気センサが、前記センサ磁石に対して所定の位置に配置された際に、前記第 1 の導体を前記磁気センサの前面側に配置し、前記第 2 の導体を前記磁気センサの背面側に配置した磁界角計測装置。

【請求項 4】

10

20

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体の厚さは、前記第 2 の導体の厚さよりも薄いことを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 5】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体の比抵抗は、前記第 2 の導体の比抵抗よりも大きいことを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 6】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体と前記第 2 の導体とのなす角が 45 度以下であることを特徴とする磁界角計測装置。 10

【請求項 7】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体及び前記第 2 の導体は、互いに平行であることを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 8】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体及び前記第 2 の導体並びに前記磁気センサを、パッケージ内に収めたことを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載された磁界角計測装置において、  
前記パッケージの信号端子は、前記磁気センサから前記第 2 の導体側に出ていることを特徴とする磁界角計測装置。 20

【請求項 10】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体若しくは前記第 2 の導体の少なくとも一方は、開口部を有することを特徴とする磁界角計測装置。

【請求項 11】

請求項 2 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 2 の導体は、複数の導体から構成されることを特徴とする磁界角計測装置。 30

【請求項 12】

回転体と、  
前記回転体と連動して回転するセンサ磁石と、  
前記センサ磁石が発生する磁界の方向を計測する磁界角計測装置と、を備えた回転機であって、  
前記磁界角計測装置は請求項 2 に記載の磁界角計測装置であり、  
前記センサ磁石、前記第 1 の導体、前記磁気センサ、前記第 2 の導体の順序で配置される回転機。

【請求項 13】

請求項 12 に記載された回転機において、  
前記磁気センサを前記回転体の回転中心線上に配置したことを特徴とする回転機。 40

【請求項 14】

請求項 12 に記載された回転機において、  
前記磁気センサを前記センサ磁石の外周の外方に配置したことを特徴とする回転機。

【請求項 15】

請求項 12 に記載された回転機において、  
前記磁気センサの磁界感应面及び前記センサ磁石の回転面を、互いに平行に配置したことを特徴とする回転機。

【請求項 16】

請求項 12 に記載された回転機において、 50

前記回転機を構成する部品を、前記第 1 の導体若しくは前記第 2 の導体に兼用することを特徴とする回転機。

【請求項 17】

請求項 12 に記載された回転機において、

前記回転機の筐体の一部を、前記第 1 の導体又は前記第 2 の導体とすることを特徴とする回転機。

【請求項 18】

請求項 12 に記載された回転機において、

前記第 2 の導体は、複数の導体で構成されることを特徴とする回転機。

【請求項 19】

回転体と、

前記回転体と連動して回転するセンサ磁石と、

前記センサ磁石が発生する磁界の方向を計測する磁界角計測装置と、を備えた回転機であって、

前記磁界角計測装置は、請求項 1 に記載された磁界角計測装置であり、前記センサ磁石の外周の外方に、前記磁気センサの磁界感應面が前記センサ磁石の回転面と平行となる位置に配置されたことを特徴とする回転機。

【請求項 20】

請求項 19 に記載された回転機において、

前記第 1 の導体と前記第 2 の導体は、前記磁気センサの磁界感應面と平行に配置されたことを特徴とする回転機。

【請求項 21】

請求項 19 に記載された回転機において、

前記センサ磁石と前記第 1 の導体との間の直線距離と、前記センサ磁石と前記第 2 の導体との間の直線距離とが等しいことを特徴とする回転機。

【請求項 22】

請求項 19 に記載の回転機において、

前記第 1 の導体のシート抵抗と前記第 2 の導体のシート抵抗とが等しいことを特徴とする回転機。

【請求項 23】

請求項 19 に記載の回転機において、

前記磁気センサは、前記第 1 の導体と前記第 2 の導体から挟まれた領域外にあることを特徴とする回転機。

【請求項 24】

請求項 1 又は 2 に記載された磁界角計測装置を備えた電動パワー・ステアリング・システム。

【請求項 25】

請求項 19 に記載された回転機を備えた電動パワー・ステアリング・システム。

【請求項 26】

請求項 1 又は 2 に記載された磁界角計測装置を備えた電動車両駆動装置。

【請求項 27】

請求項 3 に記載された磁界角計測装置において、

前記第 1 の導体中に流れる渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界、及び前記第 2 の導体中の渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界が、互いに打ち消し合う磁界角計測装置。

【請求項 28】

請求項 1 に記載された磁界角計測装置において、

前記第 1 の導体が前記磁気センサの前面側に配置され、前記第 2 の導体が前記磁気センサの背面側に配置され、

前記第 1 の導体のシート抵抗が、前記第 2 の導体のシート抵抗よりも大きいことを特徴とする磁界角計測装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 29】

請求項 1 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 1 の導体及び前記第 2 の導体並びに前記磁気センサを、パッケージ内に収めたことを特徴とする磁界角計測装置。

## 【請求項 30】

請求項 28 に記載された磁界角計測装置において、  
前記第 2 の導体は、複数の導体から構成されることを特徴とする磁界角計測装置。

## 【請求項 31】

回転体と、  
前記回転体と連動して回転するセンサ磁石と、  
前記センサ磁石が発生する磁界の方向を計測する磁界角計測装置と、を備えた回転機であって、  
前記磁界角計測装置は請求項 1 に記載の磁界角計測装置であり、  
前記センサ磁石、前記第 1 の導体、前記磁気センサ、前記第 2 の導体の順序で配置される回転機。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、磁気センサを用いた磁界角計測装置、回転角計測装置、回転機、および回転機システムに関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

回転体に磁束発生体（以下「センサ磁石」と呼ぶ）を設置し、その磁束発生体が生成する磁束が届く範囲の位置に磁気センサを設置する。回転体が回転するとセンサ磁石が生成する磁束の方向も回転するので、その磁束の方向を磁気センサで検出することで回転体の回転位置（回転角）が計測できることが知られている。

## 【0003】

ここで、磁気センサを大別すると、磁界の強度に応じた信号を出力する磁界強度計測センサと、磁界の方向に応じた信号を出力する磁界方向計測センサとに分けられる。磁界方向計測センサは、ベクトルとしての磁界方向を計測することから、ベクトル型磁気センサとも呼ばれる。

30

## 【0004】

磁界方向計測センサには、磁界感应素子としてホール効果素子(Hall-effect element)を用いたものや、磁気抵抗効果素子(Magneto-resistance element)を用いたものなどがある。

## 【0005】

ホール効果素子自体は磁界強度に応じた信号を出力する素子である。しかし、複数のホール効果素子を用いて、磁界強度の空間的な差分を測定し、磁界方向の余弦成分(COS成分)と正弦成分(SIN成分)とを検出することで磁界の方向に応じた信号が出力できる。

## 【0006】

また、適切な形状の磁性体と複数のホール効果素子を用いることで、磁界方向を計測する磁気センサがある。この型の磁気センサは、磁性体により磁界を集束させることにより磁界方向を磁界強度差に変換し、それを複数のホール効果素子で計測する。

40

## 【0007】

このように、ホール効果素子で構成された、磁界方向に応じた信号を出力する磁界方向計測センサ型の磁気センサが各種知られている。

## 【0008】

磁気抵抗素子は磁界の強度や磁界の方向に応じて電気抵抗が変化する素子である。磁気抵抗素子には、異方性磁気抵抗素子(Anisotropic Magneto-resistance、以下「AMR素子」と呼ぶ)、巨大磁気抵抗素子(Giant Magneto-resistance、以下「GMR素子」と呼ぶ)

50

、トンネル磁気抵抗効果素子(Tunneling Magneto-resistance、以下「TMR素子」と呼ぶ)などがある。

【0009】

AMR素子は磁界の方向と電流の方向とがなす角度に応じて電気抵抗が変化する。電流方向を変えた素子を適切に組み合わせることで、磁界角度に応じた信号を出力する。GMR素子は、固定磁化層と自由磁化層とをスペーサ層を介して積層した構成である。固定磁化層のスピンの方向(磁化方向)を変えた素子を適切に組み合わせることで、磁界角度に応じた信号を出力する。なお、固定磁化層を有するGMR素子は、スピン・バルブ(Spin-valve)型GMR素子とも呼ばれる。

【0010】

磁気センサを用いた回転角センサの利点のひとつは、非接触型であることである。非接触型とは、回転体と回転位置を検出する検出器であるセンサとが、機械的に接触していないことを指す。すなわち、機械的に接触していないので、回転体が高速回転しても、長期間にわたって使用しても、機械的摩耗が発生せず、信頼性が高いセンサが得られる。

【0011】

また、磁気センサを用いた回転角センサの別の利点は、回転体とセンサとの間の距離を長くできることである。これは、磁界が比較的遠距離にまで作用が及ぶことに起因する。例えば、GMR素子を用いた磁気センサとネオジム磁石のセンサ磁石(磁束発生体)とを組み合わせた場合、両者の距離は5～15mm程度まで長くすることができる。これに対し、リラクタンスの変化により回転角を計測するレゾルバでは、回転体と検出器(センサ)との距離は数100μm程度に近接させる必要がある。回転体とセンサとの間の距離が長くできることは、回転体を構成要素とする回転機(例えばモータなど)の設計自由度を高めたり、製作公差を緩和したりするなどの利点がある。

【0012】

また、磁気センサを用いた回転角センサの別の利点は、回転体とセンサとの間に非磁性の物体があってもよいことである。非磁性体の磁化率はほぼゼロ( $\chi < 0.1$ )であるから、比透磁率 $\mu_r$ はほぼ1であり、空気中の比透磁率とほぼ等しい。そのため、非磁性体があっても磁界の方向は無視できる程度にしか変化しないからである。このことは、回転体を構成要素とする回転機(例えばモータなど)の設計自由度を高める利点がある。

【0013】

従来の回転角センサでは、回転体に設置された磁束発生体(センサ磁石)と磁気センサとの間に非磁性の導体(導電体)を配置した場合、回転体が高速で回転したり移動したりする場合には、渦電流の発生により磁界角度を正しく計測できないという課題があった。すなわち、磁束発生体が高速で回転すると、導体位置での磁界が時間変化するため導体内に渦電流(eddy current)が発生する。渦電流の発生により、渦電流による磁界が発生するため、本来の元の磁束発生体が生成する磁界分布とは異なった磁界分布になってしまう。このため、磁気センサは磁束発生体自体が発生する磁界の方向を正しく検出できなくなる。

【0014】

この問題に対して、特許文献1では、磁束発生体(センサ磁石)が回転して渦電流の影響が出る場合には、回転体と磁気センサとの間に配置する非磁性体としてセラミックなどの非導体材料(非導電性材料)を用いることで、渦電流の発生を防止している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特表2008-533497号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

上記特許文献 1 は、ハウジング内に密閉したアクチュエータを含む実施の形態（特許文献 1 の図 6）において、ハウジングの非磁性の窓部を挟んで磁石と磁気センサを設けた例を示している。ところが、この窓部として非磁性の導電体を配置すると、渦電流が発生して反作用場による磁場減衰が起こるので、この影響を低減するために非導電性の素材を用いている。このように、使用材料が非導電性材料に限定されてしまうので、磁束発生体と磁気センサとの間に金属などの導電体を配置できない、という制限があった。

【0017】

また、渦電流は導電体が回転体と磁気センサとの間に配置された構成以外でも発生する。例えば、磁束発生体、磁気センサ、非磁性の導電体の順で配置された場合であっても、磁束発生体の回転に伴って導電体に渦電流が発生した場合に、磁気センサ地点での磁界方向に渦電流発生磁界が影響を与える場合がある。すなわち、渦電流によって発生する磁界は、磁束発生体または磁気センサの近傍に非磁性の導電体が配置された構成で磁束発生体が高速で回転・移動する場合に発生し、これにより、磁気センサで磁束発生体自体が発生する磁界の方向について検出する際にその検出精度が悪いといった課題がある。

【0018】

本発明の目的は、磁束発生体または磁気センサの近傍に非磁性の導体（導電体）を配置した構成において、磁束発生体が高速に回転する場合であっても、磁束発生体または磁気センサの近傍に非磁性の導体（導電体）を配置した構成を用いて精度良く磁界角または回転角を計測することである。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記の課題は、下記の構成により解決することができる。

非磁性の第 1 の導体、非磁性の第 2 の導体、及び前記第 1 の導体と前記第 2 の導体の間に配置された、磁界方向に感応する磁気センサを備えた磁界角計測装置であって、前記磁界角計測装置はセンサ磁石とともに用いられ、前記磁界角計測装置が、前記センサ磁石に対して所定の位置に配置された際に、前記第 1 の導体中に流れる渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界、及び前記第 2 の導体中の渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界が、互いに打ち消し合う磁界角計測装置。

【0020】

磁界方向に感応する磁気センサと、非磁性の第 1 の導体と、非磁性の第 2 の導体とを備えた磁界角計測装置であって、前記磁気センサは、前記第 1 の導体と前記第 2 の導体との間に配置され、前記第 1 の導体のシート抵抗が、前記第 2 の導体のシート抵抗よりも大きいことを特徴とする磁界角計測装置。

【0021】

回転体と、前記回転体と連動して回転するセンサ磁石と、前記センサ磁石が発生する磁界の方向を計測する磁界角計測装置とを備えた回転機であって、前記磁界角計測装置は非磁性の第 1 の導体と、非磁性の第 2 の導体とを備えた磁界角計測装置であって、前記磁界角計測装置は、前記第 1 の導体中の渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界と、前記第 2 の導体中の渦電流が前記磁気センサに及ぼす磁界とが、互いに打ち消しあう磁界角計測装置であって、前記センサ磁石、前記第 1 の導体、前記磁気センサ、前記第 2 の導体の順序で配置される回転機。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、磁気センサを用いているので、非接触型であり、機械的磨耗が発生しないこと、回転体とセンサとの間の距離を長くできることから、製作公差を緩和して設計自由度を高めること、の利点に加えて、非磁性体であれば導電体を配置することにより、磁束発生体（センサ磁石）を備えた回転体が高速に回転する場合であっても、発生する渦電流の影響を相殺して、高精度に磁界角または回転角を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明による実施例 1 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 2】GMR 素子の構成を示す図である。

【図 3】GMR 素子を用いた磁気センサの構成を示す図である。

【図 4】磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 5】磁界角計測装置の特性評価装置の構成を示す模式図である。

【図 6】角度ズレと回転速度の関係の実験結果を示す図である。

【図 7】導体の異なる位置について、回転体の回転速度に対する位相角の関係の実験結果を示す。

【図 8】高速回転時の計測誤差発生の原因を説明するためのモデルで、非磁性の導体を前面導体として配置したモデルを示し、(A) が側面図を、(B) は平面図を示す。

10

【図 9】高速回転時の計測誤差発生の原因を説明するためのモデルで、非磁性の導体を前面導体および背面導体とした場合のモデルを示す。

【図 10】角度ズレと回転速度の関係の実験結果を示す図である。

【図 11】前面導体としてアルミニウム板とステンレス板 (SUS304) とを用いた各場合について、比抵抗の逆数  $1/\rho$  に対する位相角 (角度ズレ量)  $\phi$  の関係についての実験結果を示す。

【図 12】本発明の実施例 1 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 13】本発明の実施例 2 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 14】本発明の実施例 3 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 15】本発明の実施例 4 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

20

【図 16】本発明の実施例 5 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 17】本発明の実施例 6 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 18】本発明の実施例 7 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 19】本発明の実施例 8 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 20】本発明の実施例 9 の回転角計測装置の構成を示す図である。

【図 21】本発明の実施例 10 の回転角計測装置の構成を示す図である。

【図 22】本発明の実施例 11 の磁界角計測装置の構成を示す図である。

【図 23】本発明の実施例 12 の回転機の構成を示す図である。

【図 24】本発明の実施例 13 の回転機の構成を示す図である。

【図 25】本発明の実施例 14 の回転機の構成を示す図である。

30

【図 26】本発明の実施例 15 の回転機の構成を示す図である。

【図 27】本発明の実施例 16 の回転機の構成を示す図である。

【図 28】本発明の実施例 17 の回転機の構成を示す図である。

【図 29】本発明の実施例 18 の回転機の構成を示す図である。

【図 30】本発明の実施例 19 の回転機の構成を示す図である。

【図 31】本発明の実施例 20 の回転機の構成を示す図である。

【図 32】本発明の実施例 21 の電動パワー・ステアリング・システムの構成を示す図である。

【図 33】本発明の実施例 22 の電動車両駆動装置の構成を示す図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の実施形態について、実施例の図面を参照して詳細に説明する。

【0025】

[実施例 1]

磁界方向計測型の磁気センサとして、ここでは GMR 素子を用いた磁気センサを例に述べる。

GMR 素子の基本構成を図 2 に示す。GMR 素子は、第 1 の磁性層 (固定磁性層、あるいはピン磁性層) 13 と第 2 の磁性層 (自由磁性層) 11 とを有し、両者の磁性層の間に非磁性層 (スペーサ層) 12 を挟み込んだ構成をとる。GMR 素子に外部磁界を印加すると、固定磁性層 13 の磁化方向 22 は変化せず固定されたままであるのに対し、自由磁性

50

層 1 1 の磁化方向 2 0 は外部磁界の方向 3 0 に応じて変化する。

【 0 0 2 6 】

本明細書では、固定磁性層 1 3 の磁化方向 2 2 の角度をピン角(pin angle)と呼び、 $\theta_p$  で表す。

【 0 0 2 7 】

GMR素子の両端に電圧を印加すると素子抵抗に応じた電流が流れるが、その素子抵抗の大きさはピン角 $\theta_p$ と自由磁性層 1 1 の磁化方向角度 $\theta_f$  (2 0)との差 $\Delta\theta = \theta_f - \theta_p$ に依存して変化する。したがって、ピン角 $\theta_p$ が既知であれば、この性質を利用してGMR素子の抵抗値を測ることで自由磁性層 1 1 の磁化方向角度 $\theta_f$  (2 0)、すなわち外部磁界の方向 3 0を検出することができる。

10

【 0 0 2 8 】

なお、GMR素子の抵抗値と $\Delta\theta$ との関係は(数1)で表されることが知られている。なお、GはGMR係数である。

$$R = R_0' + \frac{G}{2}(1 - \cos \Delta\theta) = R_0 - \frac{G}{2}\cos \Delta\theta \quad (\text{数1})$$

【 0 0 2 9 】

次に、図3にGMR素子を用いた磁気センサ(GMR型磁気センサ)の構成例を示す。GMR型磁気センサはCOSブリッジ60とSINブリッジ61とで構成される。COSブリッジ60は、4個のGMR素子 $R_1$ (51-1)~ $R_4$ (51-4)を使ってホイートストン・ブリッジを構成する。ここで、 $R_1$ (51-1)、 $R_3$ (51-3)の固定磁性層13の磁化方向を $\theta_p=0$ とし、 $R_2$ (51-2)、 $R_4$ (51-4)の固定磁性層13の磁化方向を $\theta_p=180^\circ$ と設定する。ここで、GMR素子 $R_1$ (51-1)、 $R_3$ (51-3)の $\theta_f$  (2 0) (= $\theta_f - \theta_p$ )とピン角 $\theta_p$ をそれぞれ $\theta_1$ 、 $\theta_{p1}$ とし、GMR素子 $R_2$ (51-2)、 $R_4$ (51-4)の $\theta_f$  (2 0)とピン角をそれぞれ $\theta_2$ 、 $\theta_{p2}$ とする。自由磁性層11の磁化方向 $\theta_f$ は外部磁界で決まるので4個のGMR素子で同一となるため、 $\theta_2 = \theta_f - \theta_{p2} = \theta_f - \theta_{p1} - \theta_p = \theta_1 + \theta_p$ の関係が成り立つ。ここで、GMR素子 $R_1$ (51-1)のピン角 $\theta_p$ を $\theta_p=0$ として角度基準としているので、 $\theta_1 = \theta_f$ となる。そこで、 $\theta_1 = \theta_f$ と置き換える。すると、(数1)式からわかるように、 $R_1$ 、 $R_3$ では( $n=1$ 、3)、

20

30

$$R_n = R_{n0} - \frac{G}{2}\cos \theta \quad (\text{数2})$$

となり、 $R_2$ 、 $R_4$ では( $n=2$ 、4)：

$$R_n = R_{n0} + \frac{G}{2}\cos \theta \quad (\text{数3})$$

となる。

【 0 0 3 0 】

したがって、接地端子(図ではGNDと表記)を0Vとして励起端子75に励起電圧 $e_0$ を印加すると、信号端子 $V_{c1}$ (71-1)と $V_{c2}$ (71-2)との電圧差は(数4)の通りになる。

40

$$\Delta V_c = V_{c2} - V_{c1} = \frac{-e_0 G}{2R_0}\cos \theta \quad (\text{数4})$$

【 0 0 3 1 】

このように、信号電圧 $V_c$ は $\cos \theta$ に比例するので、このブリッジ回路をCOSブリッジと呼ぶ。

なお、本実施例では、励起電圧 $e_0$ は5Vにした。

【 0 0 3 2 】

50

次にSINブリッジ61の構成を述べる。SINブリッジ61は、4個のGMR素子 $R_1$  (52-1) ~  $R_4$  (52-4)を使ってホイートストン・ブリッジを構成する。ここでSINブリッジ61は、固定磁化層13の方向について、COSブリッジと互いに90度変えた構成とする。すなわち、 $R_1$  (52-1)、 $R_3$  (52-3)の固定磁性層13の磁化方向を $p = 90^\circ$ 、 $R_2$  (52-2)、 $R_4$  (52-4)の固定磁化層13の磁化方向を $p = 270^\circ$ と設定し、2種類のGMR素子でブリッジを構成する。このとき、上記と同様に、接地端子(図ではGNDと表記)を0Vとして励起端子75に励起電圧 $e_0$ を印加すると、信号端子 $V_{s1}$  (72-1)と $V_{s2}$  (72-2)との電圧差は(数5)の通りになる。

$$\Delta V_s = V_{s2} - V_{s1} = \frac{e_0 G}{2R_0} \sin \theta \quad (\text{数5})$$

10

#### 【0033】

このように信号電圧 $V_s$ は $\sin$ に比例するので、このブリッジ61をSINブリッジと呼ぶ。COSブリッジ60とSINブリッジ61の2つの出力信号の比の逆正接を計算することで、磁界ベクトルの方向(磁界角度)が求まる。

#### 【0034】

$$\text{ArcTan} \left( \frac{\Delta V_s}{-\Delta V_c} \right) = \text{ArcTan} \left( \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right) = \theta \quad (\text{数6})$$

20

(数6)の代わりに(数7)を用いると、 $0 \sim 360^\circ$ (または、 $-180^\circ \sim +180^\circ$ )の角度範囲が求まる。

#### 【0035】

$= \text{atan2}(V_s, -V_c)$  (数7)

ここで、 $= \text{atan2}(y, x)$ は、引数 $x$ 、 $y$ が正か負かに応じて、 $= 0 \sim 360^\circ$ (または $-180 \sim 180^\circ$ )の値を適切に出力する関数である。例えば、 $x$ 、 $y$ ともに正の場合は、 $\text{atan2}(y, x) = \text{ArcTan}(y/x)$ であり、 $x$ 、 $y$ ともに負の場合は、 $\text{atan2}(y, x) = \text{ArcTan}(y/x) + 180^\circ$ である。

#### 【0036】

このようにGMR素子で構成した磁気センサは、磁界方向を直接検出するという特徴がある。すなわち、磁界方向計測センサとなる。

30

#### 【0037】

次に、回転角計測装置の基本構成を図4に示す。

磁界角計測装置80は、磁気センサ70と検出部302を有する。磁気センサ70は、GMR素子で構成されたCOSブリッジ60とSINブリッジ61を有する。各ブリッジの接地端子と励起端子75は図示を省略した。

#### 【0038】

各ブリッジの信号端子の電圧信号( $V_{c1}$ ,  $V_{c2}$ )、( $V_{s1}$ ,  $V_{s2}$ )は、検出部302に入力される。COSブリッジから出力される電圧信号対( $V_{c1}$ ,  $V_{c2}$ )は、差動増幅器351Aに入力され、信号 $V_x = V_{c2} - V_{c1}$ を出力する。SINブリッジから出力される電圧信号対( $V_{s1}$ ,  $V_{s2}$ )は、差動増幅器351Bに入力され、信号 $V_y = V_{s2} - V_{s1}$ を出力する。

40

#### 【0039】

信号( $V_x$ ,  $V_y$ )は、信号処理部303に入力され、atan処理部383において(数7)に従う処理を行う。このようにして、角度信号が出力される。

これが、回転角計測装置の基本構成である。

#### 【0040】

図4に示した、回転角計測装置の基本構成を用いて、高速回転する回転角を計測した実験結果を次に示す。

#### 【0041】

図5は、磁界角計測装置の特性評価装置の構成を示す。センサ磁石202が設置された

50

回転体 121 を、回転中心線 226 を中心に回転させる構成である。センサ磁石 202 は磁束発生体としての機能を果たす。ここでは、2 極に着磁した磁石を用いた。なお、回転により図 5 の矢印で記載したように磁界 250 が発生する。そして、センサ磁石 202 の近傍に図 4 の構成の磁界角計測装置 80 を配置した。磁界角計測装置 80 の設置場所は、回転中心線 226 上に配置し、センサ磁石 202 との距離は 10 mm とした。回転体 121 が  $\theta$  だけ回転すると、センサ磁石 202 が発生する磁界の方向も  $\theta$  だけ回転する。

#### 【0042】

図示しないモータによって回転体 121 を回転させながら、磁界角計測装置 80 から出力される角度信号を測定した。回転体 121 には Z 相信号発生器 230 を設置した。Z 相信号発生器 230 は、光を透過させるスリットを設けた円盤と、発光ダイオードと光検出器とを有するもので、回転体 121 の原点に位置する時に信号を発生する。すなわち、Z 相信号発生器 230 から信号が発生した時点が、回転体 121 は原点位置に位置している時点である。

#### 【0043】

このような実験構成において、Z 相信号発生器 230 が信号を発生した時点、すなわち、回転体 121 が原点位置に位置する時点での、磁界角計測装置 80 の出力角度を読み取り、その角度を位相角  $z$  とする。

#### 【0044】

すなわち、位相角  $z$  は、回転体の基準角度位置と、回転角計測装置の出力角度の基準角度とのズレ角である。位相角  $z$  は回転体の静止時に  $z = 0$  とする。すなわち、回転に伴う基準角のズレが位相角である。位相角  $z$  を「ズレ角」とも呼ぶ。

#### 【0045】

後述の通り、本明細書において位相角  $z$  がゼロにならない要因は、センサ磁石 202 が発生する磁界の方向と、磁気センサ 70 の地点での磁界の方向とにズレが生じるためである。

#### 【0046】

図 6 は回転体 121 の回転速度  $f$  [Hz] を変えたときの位相角  $z$  [deg] (deg は degree (度) の略) の変化を測定した結果である。図中で  $\square$  は、磁気センサ 202 の近傍に導体が無い場合の結果である。回転速度を 0 ~ 250 [Hz] の範囲で変化させても位相角  $z$  は一定である。すなわち、250 [Hz]、すなわち、15000 [rpm] (毎分当たりの回転数) の高速回転時においても、磁界角計測装置 80 は正しい回転角を出力している。

#### 【0047】

次に、図 5 において、センサ磁石 202 と磁界角計測装置 80 との間に、非磁性の導体であるアルミニウム板 (板厚 1 mm) を配置して同じ測定を行った。その結果を図 6 中の  $\triangle$  で示す。

#### 【0048】

回転体 121 が静止している場合、すなわち、0 Hz においては、アルミニウムは非磁性体なので磁界分布には影響しないので、正しい回転角を出力する。しかし、回転速度  $f$  が速くなるにつれて位相角  $z$  はゼロからずれていき、 $f = 250$  [Hz] (15000 [rpm]) においては、 $z < -5^\circ$  になる。すなわち、 $5^\circ$  以上の角度ズレが発生している。この結果は、導体 (導電体) を配置したことで、磁界角計測装置 80 が正しい回転角度を計測できなくなることを示している。

#### 【0049】

ここで、非磁性とは常磁性体または反磁性体と定義する。また、非磁性の材料とは、磁化率  $\chi$  の絶対値が 0.1 以下の材料と定義する。

#### 【0050】

非磁性の導体の材料は例えば、アルミニウム、銅、真鍮、ステンレスの一種である SUS304 などがある。

#### 【0051】

非磁性の導体では、磁化率  $\chi$  の絶対値が 0.1 以下であるから、比透磁率  $\mu_r (= 1 +$

10

20

30

40

50

）は0.9～1.1である。したがって、これらの材料の透磁率は大気中や真空中の透磁率と概ね等しい。このため、静止磁界の場合には、非磁性の導体が配置されても静磁界の分布はほとんど変化しない。

【0052】

なお、非磁性の導体として、磁化率の絶対値が0.01以下の材料を用いると、導体の有無による静磁界の分布の差が1%以下になるので、さらに好ましい。

【0053】

導体とは、電子やイオン、ホールなどの電荷キャリアをその物質内に有し、電圧が印加されると電荷キャリアの移動により電流が流れる物質である。導体の比抵抗（抵抗率）は概ね1 m以下である。後述の通り、渦電流の影響は比抵抗が低いほど大きくなる。導体の形状にもよるが、特に、比抵抗が $1 \times 10^{-4}$  m以下になると渦電流の影響が顕著に現れる。比抵抗が $1 \times 10^{-5}$  m以下になると、その影響はさらに顕著になる。

10

【0054】

後述の通り、渦電流の影響は形状や配置、磁石の回転速度にも依存する。その材料内に発生した渦電流が生成する誘起磁界が、磁気センサの計測値に影響を与える場合には、上記の抵抗値範囲を超える材料であっても、本発明の「導体」に含まれる。

【0055】

また、図6に示したような、角度ズレ  $\alpha$  と回転速度  $f$  との関係は、導体の材料、形状、配置される位置によって変化することを発明者は見出した。例えば、非磁性の導体の材料としてSUS304（板厚1 mm）を用いた場合には、回転速度250 Hzでの角度ズレは0.3°であった。また、アルミニウムの板厚を3 mmにした場合には、角度ズレは1 mm厚のアルミニウム板の場合よりも、さらに角度ズレが大きくなった。

20

【0056】

図7は、導体の位置を磁気センサ70の背面に配置して角度ズレ  $\alpha$  を測定した結果である。すなわち、この配置では、センサ磁石202、磁気センサ70、導体の順序で配置した。

【0057】

本明細書では、磁気センサ70から見てセンサ磁石202側を「前面」と呼び、センサ磁石と反対側を「背面」と呼ぶと定義する。そして、前面に配置された導体を「前面導体」、背面に配置された導体を「背面導体」と呼ぶ。

30

【0058】

図7に示した中空の三角形（ ）のデータは、非磁性の導体の材料としてアルミニウム板（板厚1 mm）を背面導体として用いた場合、すなわち、センサ磁石202、磁気センサ70、導体の順に配置した場合の回転速度に対する位相角（角度ズレ）  $\alpha$  を示す。ここでは、回転速度が高速になると、角度ズレ  $\alpha$  が正の方向に大きくなることが示されている。例えば、回転速度250 Hzでの角度ズレは1.5°であった。また、背面に配置する導体板の厚さを3 mm厚に厚くすると、角度ズレ  $\alpha$  の大きさ（誤差量）は1 mm厚の場合よりも大きくなることも、図7からわかる。

【0059】

次に、この角度ズレの原因について、図8を用いて説明する。

40

図8(A)は、センサ磁石202と磁気センサ70との間に非磁性の導体240を配置した構成の側面図である。非磁性の導体240は、上記の実験ではアルミニウム板である。図8(B)は、同図(A)の配置を上から見た図である。センサ磁石202の回転方向は矢印260で示してある。

【0060】

図8(A)の側面図において、磁束発生体であるセンサ磁石202が矢印260の方向に移動すると、非磁性の導体240と鎖交する磁束が変化するため、非磁性の導体240中にはその磁束変化を打ち消す方向の渦電流が流れる。この渦電流は誘起磁界251を誘起する。誘起磁界251の方向は図8(A)に示した通り、導体に鎖交する磁束の変化を打ち消す方向である。

50

## 【 0 0 6 1 】

渦電流の誘起磁界 2 5 1 が磁気センサ 7 0 の地点に及ぼす磁界の方向は図 8 (B) に図示したようになる。したがって、磁気センサ 7 0 は、センサ磁石 2 0 2 が生成する磁界 2 5 0 と渦電流の誘起磁界 2 5 1 との合成磁界 2 5 2 を検出することになる。図 8 (B) に図示したように、合成磁界 2 5 2 の向きは磁石の磁界 2 5 0 の向きからずれる。このために、回転体 1 2 1 の角度と磁気センサ 7 0 が検出する測定角度との間で角度ズレが生じる。

## 【 0 0 6 2 】

合成磁界 2 5 2 の方向を検出するので、測定角度の位相は正しい磁界角度よりも遅れる。正しい磁界角度とは、センサ磁石 2 0 2 が生成する磁界 2 5 0 の角度を意味する。

## 【 0 0 6 3 】

次に、導体を背面に配置した際に、測定角度の位相が進むメカニズムを図 9 を用いて述べる。図 9 において、背面にのみ導体を配置した場合を考える。センサ磁石の動きにより背面導体に渦電流が生じる。この渦電流が生成する誘起磁界は図に示した通りである。図 9 からわかるように、磁気センサ 7 0 の地点での誘起磁界の方向は、前面に配置した場合と背面に配置した場合とは逆向きになる。このために、背面に導体を配置すると測定角度の位相が進むわけである。

## 【 0 0 6 4 】

次に、渦電流による誘起磁界に起因する測定角度の角度ズレ（位相ズレ）を定量的に考察する。

導体板に鎖交する磁束を  $\Phi$  とする。磁束変化により導体板には誘導起電力  $E_e$  が誘起される。

## 【 0 0 6 5 】

$$E_e = \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{数 } 8)$$

導体板のシート抵抗を  $R$  とすると、渦電流 (eddy current)  $J_e$  は次式で表される。シート抵抗  $R$  とは、単位面積当たりの抵抗値であり、 $\Omega/\text{square}$  (Ohm per square) の単位を持つ。シート抵抗  $R$  は、比抵抗  $\rho$  と板厚  $t$  との間に  $R = \rho / t$  の関係がある。

## 【 0 0 6 6 】

$$J_e = \frac{E_e}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{t_e}{\rho} \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{数 } 9)$$

ここでシート抵抗  $R$  を、比抵抗（抵抗率） $\rho$  と有効板厚  $t_e$  の比で表した（ $R = \rho / t_e$ ）。有効板厚とは、表皮効果を考慮した板厚であり、高速回転ほど実際の板厚より薄くなる。

## 【 0 0 6 7 】

センサ磁石 2 0 2 が発生する磁界（磁界強度  $H_0$ ）の方向と合成磁界の方向とのズレ角が位相角  $\theta_z$  になる。したがって、位相角  $\theta_z$  は、図 8 (B) より

$$\frac{H_{ed}}{H_0} = \tan \theta_z \approx \theta_z \quad (\text{数 } 10)$$

で表される。また、誘起磁界  $H_{ed}$  2 5 1 は渦電流の大きさ  $J_e$  に比例する。以上より、次式を得る。

## 【 0 0 6 8 】

$$\theta_z \propto \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{t_e}{\rho} \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{数 } 11)$$

（数 11）は、渦電流による測定角度の角度ズレ（位相角） $\theta_z$  が導体のシート抵抗に反比例することを示す。したがって、角度ズレは、導体の比抵抗（抵抗率） $\rho$  に反比例し、有効板厚  $t_e$  に比例する。

## 【 0 0 6 9 】

次に、この点を実験データにより検証する。図 1 1 は、前面導体としてアルミニウムとステンレス（SUS304）とを用いた場合の、回転速度200Hzでの角度ズレ量  $\theta_z$  を比較したものである。横軸は、それぞれの材料の比抵抗の逆数を用いている。角度ズレ量は材料の比抵抗の逆数  $1/\rho$  に比例している。すなわち、比抵抗  $\rho$  に反比例している。これは、（数 1 1）の妥当性を示す。

## 【 0 0 7 0 】

磁束の時間変化  $d\Phi/dt$  は、磁束発生体であるセンサ磁石が動くことによる空間的な変化により発生するので、センサ磁石の回転速度  $\omega$  が大きいほど磁束の時間変化  $d\Phi/dt$  も大きくなる。このため、（数 1 1）により、測定角度の時間ズレ量もセンサ磁石の回転速度  $\omega$  が大きいほど大きくなる。これは、図 7 に示した実験結果と一致している。

10

## 【 0 0 7 1 】

次に、磁気センサ 7 0 の前面と背面とに導体を配置した場合を考える。この場合、図 9 に示したように、前面に配置した導体（前面導体、第 1 の導体）2 4 0 で生じる渦電流の誘起磁界 2 5 1 A と、背面に配置した導体（背面導体、第 2 の導体）2 4 2 で生じる渦電流の誘起磁界 2 5 1 B とは、磁気センサ 7 0 の地点では、図 9 に示したように互いに逆向きである。したがって、誘起磁界の影響が互いに相殺し、角度ズレが小さくなると予想される。

## 【 0 0 7 2 】

図 1 0 は、実験の結果である。前面導体 2 4 0 として 1 mm 厚のアルミニウム板、背面導体 2 4 2 として 3 mm 厚のアルミニウム導体を用いた。前面導体 2 4 0 のみを配置した場合には、2 5 0 Hz で - 6 ° の角度ズレが生じていたが、背面導体 2 4 2 も合わせて設置すると、角度ズレは 2 5 0 Hz で - 3 ° であり、角度ズレが半減している。

20

## 【 0 0 7 3 】

さらに、前面導体 2 4 0 のみを配置したときの角度ズレ量を  $\theta_z(\text{Front})$  とし、背面導体 2 4 2 のみを配置した時の角度ズレ量を  $\theta_z(\text{Rear})$  とすると、2 つの導体を配置した場合の角度ズレ量  $\theta_z(\text{Front} + \text{Rear})$  は、次式のようにになっていることが図 1 0 からわかる。

## 【 0 0 7 4 】

$\theta_z(\text{Front} + \text{Rear}) = \theta_z(\text{Front}) + \theta_z(\text{Rear})$  （数 1 2）  
すなわち、角度ズレ量の加法性が概ねなりたつ。

30

## 【 0 0 7 5 】

図 1 0 を詳細に見ると、 $\theta_z(\text{Front} + \text{Rear})$  の実測値は、計算値（ $\theta_z(\text{Front}) + \theta_z(\text{Rear})$ ）よりもわずかに角度ズレが大きい。これは、前面導体 2 4 0 中での渦電流により、背面導体 2 4 2 に達する磁界強度が弱まるために、背面導体中での磁束変化量、すなわち（数 1 1）での  $d\Phi/dt$  が減少するためである。このように、多少のずれはあるが、概ね（数 1 2）の加法性が成り立つ。

## 【 0 0 7 6 】

次に、前面導体 2 4 0 と背面導体 2 4 2 とを配置することで、渦電流による角度ズレを打ち消すための条件を述べる。前面導体 2 4 0 のシート抵抗を  $R_1$ 、前面導体 2 4 0 を鎖交する磁束を  $\Phi_1$  とし、背面導体 2 4 2 のシート抵抗を  $R_2$ 、背面導体 2 4 2 を鎖交する磁束を  $\Phi_2$  とする。

40

## 【 0 0 7 7 】

$$\theta_z(\text{Front}) + \theta_z(\text{Rear}) \propto \frac{1}{R_1} \frac{d\Phi_1}{dt} - \frac{1}{R_2} \frac{d\Phi_2}{dt} \quad (\text{数 } 1 \text{ } 3)$$

（数 1 3）において、背面導体 2 4 2 での渦電流が誘起する磁界は逆向きなので、マイナス符号を付けた。

## 【 0 0 7 8 】

磁束発生体であるセンサ磁石 2 0 2 からの距離は、前面導体 2 4 0 の方が近いので、

50

$\omega_1 > \omega_2$  である。磁束の時間変化を発生せしめる回転速度は、前面導体 240 と背面導体 242 とで同じであるから、 $d\phi_1/dt > d\phi_2/dt$  となる。したがって、(数 13) がゼロとなるためには、 $R_1 > R_2$  である必要がある。すなわち、渦電流による角度ズレを打ち消すには、前面導体 240 のシート抵抗  $R_1$  を背面導体 242 のシート抵抗  $R_2$  よりも大きくする必要がある。

#### 【0079】

したがって、渦電流による計測角度の角度ズレを除去する、または低減するためには、以下が条件になる。(1) 前面導体(第1の導体) 240 と背面導体(第2の導体) 242 とを配置する。(2) 前面導体(第1の導体) 240 のシート抵抗を背面導体(第2の導体) 242 のシート抵抗よりも大きくする。

10

#### 【0080】

後述するように、ある特殊な配置においては、センサ磁石 202 - 前面導体(第1の導体) 240 間距離と、センサ磁石 202 - 背面導体(第2の導体) 242 間距離とが等しくなる構成(例えば、図 30 に示した実施例参照)がある。この場合には、 $\omega_1 = \omega_2$  である。また、回転速度は、前面導体(第1の導体) 240 と背面導体(第2の導体) 242 とで同じであるから、 $d\phi_1/dt = d\phi_2/dt$  となる。したがって、(数 13) をゼロにするためには、 $R_1 = R_2$  とすれば良い。

#### 【0081】

図 1 は、本発明の実施例 1 の構成を示す図である。

本発明の実施例 1 は、磁気センサ 70 と前面導体(第1の導体) 240 と背面導体(第2の導体) 242 とを備える。そして、前面導体(第1の導体) 240 は磁気センサの前面側、すなわち磁束発生体(センサ磁石) 202 が設置される側に配置し、背面導体(第2の導体) 242 は背面側に配置される。さらに、そして、前面導体(第1の導体) 240 のシート抵抗  $R_1$  は背面導体(第2の導体) 242 のシート抵抗  $R_2$  よりも大きくしている。

20

#### 【0082】

上述の通り、この構成により、前面導体中の渦電流が磁気センサ 70 の位置に誘起する磁界と、背面導体中の渦電流が磁気センサ 70 の位置に誘起する磁界とが打ち消し合う。これにより、磁界角計測装置 80 による計測角度は角度誤差が減少し、正確な角度を計測できるようになった。

30

#### 【0083】

なお、本明細書において、「打ち消しあう」とは、渦電流に起因する磁界を正確にゼロに相殺する状態のみではなく、角度計測誤差が実用的に許容できる範囲に収まるように、渦電流起因の磁界を弱めることを意味する。ここで、「実用的に許容できる範囲」は、磁界角計測装置が使用される応用機器や、磁界角計測装置に要求される計測精度、他の誤差補償手段の有無などに依存する。

#### 【0084】

前面導体 240 のシート抵抗を背面導体 242 のシート抵抗より大きくする実現手段は複数ある。

#### 【0085】

本実施例では、前面導体 240、背面導体 242 とともにアルミニウムを用い、前面導体 240 の板厚を背面導体 242 よりも薄くした。このようにして、前面導体のシート抵抗  $R_1$  を背面導体のシート抵抗  $R_2$  より大きくした。

40

#### 【0086】

また、前面導体 240 の材料として、比抵抗(抵抗率)が背面導体 242 の材料の比抵抗よりも大きいものを用いてもよい。例えば、前面導体 240 をステンレスの一種である SUS304 ( $\rho = 72 \times 10^{-8} \text{ m}$ )を用いて、背面導体 242 にアルミニウム( $\rho = 2.65 \times 10^{-8} \text{ m}$ )を用いればよい。

#### 【0087】

また、別の材料の組みあわせでは、前面導体 240 にアルミニウムを用い、背面導体 2

50

42に銅 ( $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \text{ m}$ ) を用いても良い。銅は比抵抗が低いため、電気的ノイズを低減するためのシールド板として有効である。この場合、銅板を背面導体242とし、比抵抗がより大きいアルミニウムを前面導体240とすればよい。

【0088】

本発明の実施例1の回転角計測装置80は、磁束発生体であるセンサ磁石202とともに用いられるものであるが、本発明の回転角計測装置80の構成にはセンサ磁石202は含まない。

【0089】

本発明のひとつのポイントは、磁気センサの両側の非磁性の導体のシート抵抗値を非対称にする(すなわち、異なる値にする)ことである。磁界角計測装置80をこのような構成にすることで、センサ磁石202と組み合わせて用いられる際、シート抵抗値が高い方の側にセンサ磁石を配置すると、上記の通り、渦電流による誘起磁界の影響を除去または低減することができる。

【0090】

すなわち、図12に示すように、第1の導体240と第2の導体242の間に磁気センサ70を配置し、第1の導体240のシート抵抗を第2の導体242のシート抵抗よりも高くした磁界角計測装置80を構成する。このような磁界角計測装置80では、第1の導体240の側をセンサ磁石202が配置された方向に向けて使用すると、センサ磁石202 - 第1の導体240 - 磁気センサ70 - 第2の導体242の順序で配置される。したがって、第1の導体240が前面導体に対応し、第2の導体242が背面導体に対応する。このため、上記の通り、渦電流による誘起磁界による計測誤差を除去または低減することができる。

【0091】

このメカニズムからわかるように、渦電流の誘起磁界251による計測角度ズレは、非磁性の導体を磁気センサ70の近傍に配置した場合に汎用的に発生する課題である。例えば、センサ磁石202、磁気センサ70、非磁性の導体の順番で配置した場合でも、非磁性の導体中に渦電流が誘起される条件であれば、角度ズレが発生する。この配置は、背面に導体を配置した場合に対応し、図7の実験結果にも示されている。

【0092】

発明者は、回転角計測装置80で計測された角度信号と回転体121の角度との関係を詳細に測定した結果、計測された角度の誤差は、角度原点のズレのみ、すなわち位相ズレのみであることを見出した。

【0093】

以上の発明者による実験結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 磁気センサの近傍に非磁性の導体(導電体)があると、高速回転時に計測誤差を生じる。
- (2) 計測誤差は、角度原点のズレ、すなわち角度ズレである。
- (3) 導体を前面に配置した場合と、背面に配置した場合とでは、計測誤差の正負が互いに逆向きであり、前面と背面とに導体を配置した場合は、計測誤差を打ち消しあう。

【0094】

本明細書において「磁気センサの近傍」とは、その導体の存在により回転角度の計測値に誤差が生じる範囲と定義し、具体的には、 $0.1^\circ$ 以上の計測誤差が生じる範囲とする。これは、通常の用途では、 $0.1^\circ$ 以上の誤差は有意な誤差であるためである。

【0095】

[実施例2]

本発明による実施例2の磁界角計測装置を図13に示す。本実施例では、前面導体240と背面導体242とがなす角( $273^\circ$ )を $45^\circ$ 以下に設定するものである。

【0096】

前面導体240中の渦電流による誘起磁界に $\cos$  を乗じたものと、背面導体242中の渦電流による誘起磁界とが互いに打ち消しあう。したがって、 $90^\circ$ に近づくに

つれて、 $\cos$  が小さくなるので、それぞれの誘起磁界が互いに打ち消しあう効率が悪くなってしまう。本実施例では、 $\theta$  を  $45^\circ$  以下にすることで、誘起磁界が互いに効果的に打ち消しあうようにした。

【0097】

図13において、 $\theta$  を0、すなわち、前面導体240と背面導体242とを平行にすると、 $\cos \theta = 1$  となるので、より効果的に誘起磁界が打ち消し合い、さらに好ましい構成となる。

【0098】

[実施例3]

図14は、本発明の実施例3を示す図である。

10

説明を明確にするために、図中に  $x y z$  座標の方向を示す図を記した。座標系を表す図において、「 $x$ 」を「 $\rightarrow$ 」で囲んだ記号は、紙面から奥側に伸びる矢印を示す。したがって、図14において、 $y$  軸は紙面から奥に向かって伸びる方向である。なお、この  $x y z$  座標軸は、方向を示すために図示したものであり、座標系の原点を示すものではない。

【0099】

本実施例では、センサ磁石202の外周の外方に配置する磁界角計測装置80の実施例である。この配置において、2極着磁のセンサ磁石を用いると、センサ磁石202が1回転すると、磁気センサ70の地点の  $xy$  面内方向磁界も1回転する。したがって、磁気センサ70で  $xy$  面内の磁界方向を計測することにより、センサ磁石202の回転角を計測することができる。

20

【0100】

なお、 $(2 \times p)$  極着磁のセンサ磁石を用いると、センサ磁石202が1回転すると、磁気センサ70の地点の  $xy$  面内方向磁界は  $p$  回転する。ここで、 $p$  は1以上の整数である。したがって、磁界角計測装置を設置する回転機の極数に合わせてセンサ磁石の着磁極数を選ぶと、電気角での回転角度を得ることができる。電気角での回転角度の情報があると回転機の制御が容易になるという効果がある。

【0101】

図14の配置において背面導体242を除いた場合を想定する。この場合、センサ磁石202の回転速度が高くなると、前面導体240を鎖交する磁束の変化も大きくなるので、渦電流が発生する。この誘起磁界により磁気センサ70での磁界が歪み、センサ磁石の正しい回転角が計測できなくなる。これに対し、本実施例では図14に示したように、板厚が前面導体240より厚い背面導体242を配置することで、渦電流が生成する誘起磁界を打ち消す。これにより、センサ磁石が高速に回転する場合でも、センサ磁石の回転角を精度良く計測できる。

30

【0102】

[実施例4]

図15は、本発明の実施例4を示す図である。

本実施例は、磁気センサ70と検出部302とをパッケージ218内に収めて一体化したものである。パッケージ218は樹脂などを用いてモールドしたり、セラミックス中に封止したりする。本実施例では、前面導体240と背面導体242とを合わせてパッケージ218に収めている。そして、背面導体242のシート抵抗を前面導体240のシート抵抗よりも小さくすることで、これらの導体中に発生する渦電流の誘起磁界を打ち消すようにしている。このため、センサ磁石が高速で回転する場合でも、センサ磁石の回転角を高精度で計測できる。

40

【0103】

本実施例では、背面導体242は電氣的ノイズによる悪影響を除く役割もしている。このため、背面導体242を、検出部302を覆うように延ばして形成している。背面導体242の材料は、銅（比抵抗  $= 1.68 \times 10^{-8} \text{ m}$ ）を用いている。銅は比抵抗が小さいため、電氣的ノイズ対策のシールド板に好適な材料である。

【0104】

50

一方、前面導体 240 は、背面導体 242 中の渦電流による誘起磁界を打ち消すために導入されたものである。本実施例では、銅よりも比抵抗が高いアルミニウム（比抵抗 =  $2.65 \times 10^{-8}$  m）を用いた。このように、前面導体 240 と背面導体 242 とで、比抵抗が異なる材料を用いることで、シート抵抗の大小を適切に設定している。

【0105】

[実施例 5]

図 16 を用いて本発明の実施例 5 を説明する。

本実施例は、磁気センサ 70 と前面導体 240 および背面導体 242 とを一体化してパッケージ 218 に収めた磁界角計測装置 80 である。図 16 には検出部 302 も含めてパッケージ化した構成を示した。検出部 302 をパッケージ 218 に含めない構成でも良い。

10

【0106】

本実施例の特徴は、磁界角計測装置 80 からの信号端子 90 を背面導体 242 の方向に向けていることである。このような構成にすることで、回転角計測装置 80 をプリント基板などに実装して使用する際、前面導体 240 側にセンサ磁石 202 を配置することが容易になるという効果がある。

【0107】

なお、信号端子 90 には、磁界角度信号を出力する他、アース端子や検出回路部へ電源を供給する電源端子などが含まれる。

【0108】

20

[実施例 6]

図 17 は、本実施例の実施例 6 を示すものである。図 17 (A) は横から見た断面図、図 17 (B) は平面図である。図 17 (B) は、パッケージ中を透視した形で描いた。

【0109】

本実施例は、磁気センサ 70 と前面導体 240 および背面導体 242 とを備えた磁界角計測装置 80 である。

【0110】

本実施例では、センサ磁石 202 の外周の外方に配置する磁界角計測装置 80 の実施例である。

本実施例の磁界角計測装置 80 は、磁気センサ 70 と前面導体 240 および背面導体 242 をパッケージ化したセンサ・パッケージ 218 A と、検出部 302 をパッケージ化した検出部パッケージ 218 B との 2 つのパッケージを有する。センサ・パッケージ 218 A と検出部パッケージ 218 B との間は中間信号端子 92 により信号の受け渡しが行われる。検出部パッケージ 218 B からは信号端子 90 が出ている。信号端子には、磁界角度信号を出力する他、アース端子や検出部へ電源を供給する電源端子などが含まれる。

30

【0111】

本実施例の特徴は、信号端子 90 を検出部パッケージ 218 B から取り出す方向が、磁気センサ 70 から見て背面導体 242 の方向にあることである。このようにすることで、前面導体 240 側にセンサ磁石 202 を配置することが容易になるという効果がある。

【0112】

40

なお、図 17 では、センサ・パッケージ 218 A と検出部パッケージ 218 B との 2 つのパッケージで構成された例を示したが、1 つのパッケージの中に磁気センサ 70 と検出部 302 とを含めても良い。この場合でも、磁気センサ 70 から見て背面導体 242 側から信号端子を取り出す構成にすることにより、本実施例の効果が得られる。

【0113】

[実施例 7]

図 18 は、本発明の実施例 7 を示す図である。

本実施例では、背面導体 242 または前面導体 240 に開口部 272 を有する。

この構成にすると、磁気センサ 70 から、または検出部 302（図示せず）から取り出した信号線を、背面導体 242 を横切って配線するのが容易になるという効果がある。

50

図 18 では開口部 272 を背面導体 242 に設けた例を示したが、前面導体 240 に開口部を設けても良い。また、前面導体 240 と背面導体 242 の両方に開口部を設けても良い。

【0114】

[ 実施例 8 ]

図 19 は、本発明の実施例 8 である。

本実施例は、図 18 に示した、実施例 7 と同様の構成である。

ただし、本実施例では、開口部 272 の位置を磁気センサ 70 の中心と同軸線上に配置してある。このようにすると、磁気センサ 70 から見て背面導体 242 の対称性が図 18 の構成と比べて良くなるため、より効果的に渦電流の影響を除去できるという効果がある。

10

【0115】

[ 実施例 9 ]

本発明の実施例 9 である回転角計測装置 80 を、図 20 を用いて述べる。

本実施例は、回転体 121 の回転に連動して回転するセンサ磁石 202 と、磁界角計測装置と備えた回転角計測装置 80 である。センサ磁石 202 が発生する磁界の方向を磁界角計測装置で計測することで、回転体の回転角度を計測する。

【0116】

磁界角計測装置は、磁気センサ 70、前面導体 240 および背面導体 242 を有する。図 20 には図示しないが、検出部 302 を備えるようにしてもよい。

20

【0117】

本実施例の特徴は、センサ磁石 202、前面導体 240、磁気センサ 70、背面導体 242 の順で配置されていること、および、前面導体 240 のシート抵抗を背面導体 242 のシート抵抗よりも大きくしていることということである。シート抵抗値の大小関係は、背面導体 242 として比抵抗が前面導体 240 よりも小さい材料を用いること、または板厚を前面導体よりも厚くすることで実現した。

【0118】

このように構成することで、前面導体 240 および背面導体 242 中に生成する渦電流の誘起磁界が互いに打ち消し合い、センサ磁石を高速で回転させた場合も、正確な回転速度を計測できる回転角計測装置 80 を実現できる。

30

【0119】

[ 実施例 10 ]

本発明の実施例 10 である回転角計測装置を、図 21 を用いて述べる。

本実施例は、図 20 に記載の実施例 9 と同様の構成の回転角計測装置であるが、磁気センサ 70 を回転体の回転中心線上に配置している点に特徴がある。

このようにすると、回転体の回転角度、すなわちセンサ磁石の回転角度と、磁気センサ 70 の地点での磁界方向角度とのズレが小さくなる。このため、回転体の回転角度を精度良く計測できるという効果がある。

【0120】

[ 実施例 11 ]

本発明の実施例 11 である磁界角計測装置を、図 22 を用いて述べる。

本実施例の磁界角計測装置 80 は、背面導体 242 を複数の非磁性の導体で構成したことを特徴とする。

40

【0121】

磁界角計測装置 80 は、前面導体 240、磁気センサ 70、第 1 の背面導体 242-1、および第 2 の背面導体 242-2 と、を有する。この磁界角計測装置 80 は、センサ磁石 202 を前面導体 240 側に配置して用いるもので、センサ磁石が発生する磁界の方向を磁気センサ 70 で検出する。実施例 11 の磁界角計測装置 80 は、背面導体 242 を 2 枚の非磁性導体で構成しているが、3 枚以上としてもよい。

【0122】

50

図 2 2 に示した本実施例では、検出部 3 0 2 も含めている。但し、検出部 3 0 2 を分離して構成してもよい。磁界に感応する磁気センサ 7 0 が前面導体 2 4 0 と背面導体 2 4 2 に挟まれていれば本発明の効果は得られるからである。検出部の設置位置は、その応用用途に適した設置方法を選択すれば良い。

#### 【 0 1 2 3 】

本実施例の効果を図 2 2 を用いて述べる。前面導体 2 4 0 中の渦電流による誘起磁界の影響を相殺するためには、背面導体 2 4 2 のシート抵抗を低くする必要がある。背面導体の配置位置や材料などによっては、1 枚の背面導体（第 1 の背面導体）242-1のみでは誘起磁界を相殺できない場合がある。そのような場合に、第 2 の背面導体 242-2 を設置することで、2 枚の背面導体全体でのシート抵抗値を下げて、誘起磁界を相殺することができる。これにより、センサ磁石 202 が高速で回転する場合でも、その回転角度を高精度に計測できる。

10

#### 【 0 1 2 4 】

また、本実施例の第 2 の効果は、前面導体 2 4 0、磁気センサ 7 0、第 1 の背面導体 242-1 とをパッケージに一体化した磁界角計測装置にておいて特に顕著に現れる。すなわち、パッケージ 2 1 8 内に一体化された第 1 の背面導体 242-1 のみでは誘起磁界が十分に相殺されない場合、パッケージ 2 1 8 の外側に第 2 の背面導体 242-2 を設置することで、渦電流による誘起磁界を相殺できる。このように、ある 1 つの仕様のパッケージを用いて、第 2 の背面導体 242-2 で微調整することにより、いろいろな条件の場所に適應させることが可能になる。

20

#### 【 0 1 2 5 】

#### [ 実施例 1 2 ]

本発明の実施例 1 2 の回転機を、図 2 3 を用いて説明する。

なお、本明細書では、「回転機」とはモータのみでなく、「発電機」、すなわち機械的エネルギーを電気エネルギーに変換する機械も含む。

#### 【 0 1 2 6 】

図 2 3 は本実施例における回転機の断面図を示す。本実施例はモータ部 1 0 0 と回転角検出部 2 0 0 とで構成される。

#### 【 0 1 2 7 】

モータ部 1 0 0 は、複数の固定磁極と複数の回転磁極との磁気的作用により複数の回転磁極が回転することにより回転トルクを発生するものであって、複数の固定磁極を構成するステータ 1 1 0 及び複数の回転磁極を構成するロータ 1 2 0 を有する。ステータ 1 1 0 は、ステータコア 1 1 1 と、ステータコア 1 1 1 に装着されたステータコイル 1 1 2 から構成されている。ロータ 1 2 0 は、ステータ 1 1 0 の内周側に空隙を介して対向配置され、回転可能に支持されている。本実施例では、モータの構成として三相交流式の表面磁石型同期モータを用いている。

30

#### 【 0 1 2 8 】

筐体は、円筒状のフレーム 1 0 1 と、フレーム 1 0 1 の軸方向両端部に設けられた第 1 ブラケット 1 0 2 および第 2 ブラケット 1 0 3 を有する。第 1 ブラケット 1 0 2 の中空部には軸受 1 0 6 が、第 2 ブラケット 1 0 3 の中空部には軸受 1 0 7 がそれぞれ設けられている。これらの軸受は回転体 1 2 1 を回転可能なように支持している。

40

#### 【 0 1 2 9 】

フレーム 1 0 1 と第 1 ブラケット 1 0 2 との間にはシール部材（図示せず）が設けられている。シール部材は、環状に設けられたリングであり、フレーム 1 0 1 と第 1 ブラケット 1 0 2 によって軸方向及び径方向から挟み込まれて圧縮する。これにより、フレーム 1 0 1 と第 1 ブラケット 1 0 2 との間を封止でき、フロント側を防水できる。また、フレーム 1 0 1 と第 2 ブラケット 1 0 3 との間もシール部材（図示せず）により防水されている。

#### 【 0 1 3 0 】

ステータ 1 1 0 は、ステータコア 1 1 1 と、ステータコア 1 1 1 に装着されたステータコイル 1 1 2 とを有し、フレーム 1 0 1 の内周面に設置されている。ステータコア 1 1 1

50

は、複数の珪素鋼板を軸方向に積層して形成した磁性体（磁路形成体）であり、円環状のバックコアと、バックコアの内周部から径方向内側に突出して、周方向に等間隔に配置された複数のティースを有している。

#### 【0131】

複数のティースのそれぞれには、ステータコイル112を構成する巻線導体が集中的に巻回されている。複数の巻線導体は、ステータコイル112の一方のコイルエンド部（第2ブラケット103側）の軸方向端部に並置された結線部材によって相毎に電氣的に接続され、さらには3相巻線として電氣的に接続されている。3相巻線の結線方式には（デルタ）結線方式とY（スター）結線方式がある。本実施例では、（デルタ）結線方式を採用している。

10

#### 【0132】

ロータ120は、回転体121の外周面上に固定されたロータコアと、マグネットとで構成される（ロータコアとマグネットは図示せず）。表面磁石型永久磁石モータでは、複数のマグネットをロータコアの表面に配置する。埋込磁石型永久磁石モータではマグネットをロータコアの内部に埋め込む。本実施例では、埋込磁石型永久磁石モータを用いた。

#### 【0133】

次に、回転角検出部200の構成を説明する。

回転角検出部200は、磁界角計測装置80（以下、「回転角センサ・モジュール」と呼ぶ。）とセンサ磁石202とを有している。なお、回転角センサ・モジュールは、例えば図15に示した磁界角計測装置80を用いる。回転角検出部200はハウジング203と第2ブラケット103とで囲まれた空間に設置されている。センサ磁石202は回転体121と連動して回転する軸に設置されており、回転体121が回転位置を変えると、それに応じて発生する磁界方向が変化する。この磁界方向を回転角センサ・モジュール80で検出することにより回転体121の回転角（回転位置）を計測できる。

20

#### 【0134】

回転角センサ・モジュール80は、回転体121の回転中心線226上に回転角センサ・モジュール80の磁気センサ70が配置されるように設置すると、センサ磁石202が発生する磁界の空間分布に誤差が少なくなるので好ましい配置である。

#### 【0135】

センサ磁石202は、2極着磁された2極磁石でよい。あるいは4極以上に着磁された多極磁石であってもよい。

30

#### 【0136】

回転角センサ・モジュール80は、ハウジング203に設置されている。ハウジング203は樹脂で構成されており、磁束の変化があっても渦電流が生じない。

#### 【0137】

回転角センサ・モジュール80は図15の構成であり、その内部に磁気センサ70と前面導体240と背面導体242とを備える。前面導体240と背面導体242のシート抵抗が適切に設定されており、それぞれの導体中の渦電流による誘起磁界が、磁気センサ70の地点で打ち消し合うように配置されている。このため、センサ磁石202が高速で回転して導体中の鎖交磁束の時間変化が大きくなっても、渦電流による計測誤差は軽微にとどまり、高精度に回転体121の回転角度を計測できる。

40

#### 【0138】

なお、回転角センサ・モジュール80中に背面導体242を設けている主な目的は、電氣的ノイズの除去である。低抵抗の導体板をシールド板として配置することで、磁気センサ70および検出部302の電気ノイズを除去する効果がある。

#### 【0139】

一方、磁気センサ70の近傍に背面導体242を配置すると、前述の通り、渦電流による誘起磁界により磁界角の計測角度に誤差が生じる。この渦電流による誘起磁界を相殺するために、前面導体240を設けている。

#### 【0140】

50

なお、回転角センサ・モジュール 80 はモータ部に対して固定されていればよく、ハウジング 203 以外の構成要素に固定してもよい。その理由は、モータ部 100 に対して固定されていれば、回転体 121 の回転角が変化してセンサ磁石 202 の方向が変化した場合、回転角センサ・モジュール 80 において磁界方向変化を検出し、回転体 121 の回転角を検出することができるからである。

【0141】

回転角センサ・モジュール 80 には信号出力配線 208 が接続されている。信号出力配線 208 により回転センサ・モジュール 80 の出力信号を伝送する。

【0142】

[ 実施例 13 ]

本発明による実施例 13 の回転機を、図 24 を用いて説明する。

本実施例の回転機のモータ部 100 は、図 23 に示した回転機と同様な構成である。

【0143】

本実施例での回転角検出部 200 の構成は、センサ磁石 202 の外周の外方に磁界角計測装置 80 を配置したことに特徴がある。このような構成にすることで、回転体 121 は、図の左側と右側の両方を機械的負荷に接続可能になるため、回転機として設計の自由度が高まるという効果がある。

【0144】

磁界角計測装置 80 は、磁界角計測装置設置部 132 に固定する。磁界角計測装置設置部 132 は樹脂で構成し、渦電流が発生しないようにした。

【0145】

磁界角計測装置 80 は、図 17 の構成のものを用いた。図 17 に記載の通り、前面導体 240 と背面導体 242 とのシート抵抗が適切に設定されているため、磁気センサ 70 の地点では渦電流に起因する計測誤差が十分に小さくなっている。このため、回転体 121 が高速に回転する場合でも、高精度に回転角を計測できる。

【0146】

この配置において、2 極着磁のセンサ磁石を用いると、センサ磁石 202 が 1 回転すると、磁気センサ 70 の地点の xy 面内方向磁界も 1 回転する。したがって、磁気センサ 70 の磁界感應面はセンサ磁石 202 の回転面と平行にするのが好ましい。すなわち、磁気センサ 70 の磁界感應面を x y 面と平行に設置するのが好ましい。このようにすると、磁気センサ 70 で xy 面内の磁界方向を計測することにより、センサ磁石 202 の回転角を計測することができる。

【0147】

なお、(2 × p) 極着磁のセンサ磁石を用いると、センサ磁石 202 が 1 回転すると、磁気センサ 70 の地点の xy 面内方向磁界は p 回転する。ここで、p は 1 以上の整数である。したがって、磁界角計測装置を設置する回転機の極数に合わせてセンサ磁石の着磁極数を選ぶと、電気角での回転角度を得ることができる。電気角での回転角度の情報があると回転機の制御が容易になるという効果がある。

【0148】

なお、センサ磁石 202 の回転面とは、センサ磁石の回転中心線に垂直な平面で、センサ磁石 202 の設置点を通る平面を指す。

【0149】

[ 実施例 14 ]

本発明による実施例 14 の回転機を、図 25 を用いて説明する。

本実施例では、回転機の構成物、例えば筐体などを前面導体 240 や背面導体 242 として利用する。

【0150】

ここで、回転機の「構成物」とは、回転機を構成する構成部品や構成体を指す。構成物の例としては、筐体や第 2 ブラケット 103 などがある。また、「筐体」とは、回転機の外周を構成する構成物であり、ハウジング 203 やフレーム 101 などを含む。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 5 1 】

本実施例の回転機のモータ部 1 0 0 は、図 2 3 に示した回転機と同様な構成である。

本実施例においては、ハウジング 2 0 3 を樹脂ではなく、アルミニウムや真鍮などの非磁性の導体を用いる。本実施例ではアルミニウムを用いた。

## 【 0 1 5 2 】

磁気センサ 7 0 をハウジング 2 0 3 に設置した。このように磁気センサ 7 0 に近接して非磁性の導体がハウジング 2 0 3 として設置されているため、回転体 1 2 1 が高速で回転すると、渦電流による誘導磁界が発生する。すなわち、ハウジング 2 0 3 に渦電流が誘起され、それによる誘起磁界が発生する。このため、回転体 1 2 1 が高速回転すると、誘起磁界の影響で、回転角の計測精度が劣化するという問題が生じる。

10

## 【 0 1 5 3 】

本実施例では、磁気センサ 7 0 とセンサ磁石 2 0 2 との間に前面導体 2 4 0 を設置することで、渦電流による誘起磁界を相殺し、高速回転時にも高精度で回転角を測定できる。

## 【 0 1 5 4 】

すなわち、本実施例では、ハウジング 2 0 3 が背面導体 2 4 2 として機能しており、前面導体 2 4 0 と合わせて、互いに渦電流による誘起磁界を相殺するという作用がある。

## 【 0 1 5 5 】

なお、本発明では、ハウジング 2 0 3 は、3 mm 厚のアルミニウム板を用い、前面板には 0 . 5 mm 厚のアルミニウム板を用いた。このように、アルミニウム板の厚さを変えることにより、前面導体 2 4 0 のシート抵抗を背面導体 2 4 2 ( 本実施例ではハウジング 2 0 3 ) のシート抵抗よりも大きくした。

20

## 【 0 1 5 6 】

従来は、回転体 1 2 1 を高速で回転させる場合、渦電流の影響を避けるため、磁気センサ 7 0 を金属製の構成物の近傍に設置することを避けるか、またはハウジング 2 0 3 を樹脂やセラミクスなどの高抵抗材料で構成する必要があった。本発明により、磁気センサ 7 0 を設置するハウジング 2 0 3 を非磁性の導体材料で構成しても、回転体 1 2 1 を高速で回転させる場合でも、回転角を高精度に計測することができる。

## 【 0 1 5 7 】

## [ 実施例 1 5 ]

本発明による実施例 1 5 の回転機を、図 2 6 を用いて説明する。

30

本実施例では、磁気センサ 7 0 をセンサ磁石 2 0 2 の外周の外方に配置している。

## 【 0 1 5 8 】

磁気センサ 7 0 は、円筒状の形状のハウジング 2 0 3 の内側に設置してある。ハウジング 2 0 3 はアルミニウム板で構成してあるため、センサ磁石 2 0 2 が高速で回転すると、ハウジング 2 0 3 内に渦電流が生成し、磁気センサ 7 0 地点での磁界の方向に影響を与えてしまう。

## 【 0 1 5 9 】

そこで実施例では、センサ磁石 2 0 2 と磁気センサ 7 0 との間に、円筒状の形状の前面導体 2 4 0 を設置した。前面導体は 0 . 5 mm 厚のアルミニウム板で構成されており、背面導体 2 4 2 ( ハウジング 2 0 3 ) は 3 mm 厚のアルミニウムで構成されている。このように前面導体 2 4 0 のシート抵抗の方が背面導体 2 4 2 のシート抵抗よりも高いので、磁気センサ 7 0 の地点では渦電流による誘起磁界が相殺される。このため、センサ磁石 2 0 2 が高速に回転する場合でも、精度良く回転角を計測できる。

40

## 【 0 1 6 0 】

## [ 実施例 1 6 ]

本発明による実施例 1 6 の回転機を、図 2 7 を用いて説明する。

本実施例では磁気センサ 7 0 を回転機の筐体の外側に設置してある。具体的には、ハウジング 2 0 3 の外側に磁気センサ 7 0 を設置してある。

## 【 0 1 6 1 】

本実施例では、ハウジング 2 0 3 は加工性、耐熱性に優れたアルミニウム ( 板厚 1 mm

50

）を用いた。アルミニウムは非磁性の導体なので、回転体 121 が低速度で回転する場合には、正しい回転角を計測できる。しかし、回転速度が高くなると、ハウジング中に生じた渦電流による誘起磁界で、磁気センサ 70 の地点での磁界が乱れる。

#### 【0162】

そこで、本実施例では、磁気センサ 70 の背面側に背面導体 242 を設置した。背面導体 242 は、厚さ 2 mm の銅板を用いた。このように、本実施例での背面導体 242 は、前面導体 240 と比較して、厚さが薄く、かつ比抵抗が高い。したがって、前面導体 240 のシート抵抗が背面導体 242 のシート抵抗よりも高い。このようにして、ハウジング 203（前面導体）の中での渦電流の誘起磁界と、背面導体 242 中の渦電流の誘起磁界とが、磁気センサ 70 の地点では相殺される。このため、高速回転時でも精度良く、回転角度を計測できる。

10

#### 【0163】

本実施例では、回転機の筐体の外側に磁気センサ 70 が設置されている。そのため、回転機を組立てた後に磁気センサを設置すればよいので、製作しやすいという利点がある。さらに、万一磁気センサが故障した場合などに、磁気センサの交換も容易である。

#### 【0164】

また、磁気センサ 70 が回転機筐体の外側に設置されていることから、信号配線 208 の取り出し孔の加工が不要となる。これは、特に防水仕様の回転機を製作する際に、信号配線の取り出し処理が容易になるという利点がある。

#### 【0165】

20

#### [実施例 17]

本発明による実施例 17 の回転機を、図 28 を用いて説明する。

本実施例は複数の背面導体を用いたことを特徴とする。

#### 【0166】

回転機の回転角検出部 200 にハウジング 203 が取り付けられている。ハウジング 203 はアルミニウムを用いた。ハウジング 203 の外側に、磁界角計測装置 80 が取り付けられている。したがって、本実施例では、ハウジング 203 が前面導体 240 の機能をしている。

#### 【0167】

磁界角計測装置 80 は、磁気センサ 70 と検出部 302、さらに第 1 の背面導体 242-1 を備えている。これらを一体化してモールドされたパッケージになっている。第 1 の背面導体 242-1 の材料には銅を用いた。本実施例において、第 1 の背面導体 242-1 の役割は 2 つある。第 1 に、磁気センサ 70 および検出部 302 から電氣的ノイズを除去・低減するためのシールド板の役割である。第 2 は、前面導体（ハウジング 203）で生じる渦電流の誘起磁界を打ち消すために、逆向きの誘起磁界を発生させることである。

30

#### 【0168】

本実施例では、パッケージ 218 内に設置された第 1 の背面導体 242-1 だけでは前面導体 240 による誘起磁界を打ち消すのに不十分であったため、第 2 の背面導体 242-2 を設けることで、磁気センサ 70 の地点で渦電流による誘起磁界が十分に小さな値にまで相殺されるように調節した。

40

#### 【0169】

このように、背面導体 242 を複数の導体で構成すると、いずれか一方の背面導体（本実施例の場合は、第 2 の背面導体 242-2）の材料、形状、設置位置などを調整することで、回転機の仕様に合わせて微調整することが可能になる。この特徴は、第 1 の背面導体 242-1 を磁界角計測装置としてパッケージ化した構成の場合、特に有用な効果を生む。

#### 【0170】

#### [実施例 18]

本発明による実施例 18 の回転機を、図 29 を用いて説明する。図 29（A）が、実施例 18 の縦断面図を、図 29（B）は、実施例 18 の側面部を、磁界角計測装置 80 内については透視して示す。

50

## 【 0 1 7 1 】

本実施例では、磁界角計測装置 8 0 を、センサ磁石 2 0 2 の外周の外方であって回転機筐体の外側に設置した形態である。

## 【 0 1 7 2 】

回転機の回転角検出部 2 0 0 はセンサ磁石 2 0 2 とそれを覆うハウジング 2 0 3、磁界角計測装置 8 0 を有する。

## 【 0 1 7 3 】

ハウジング 2 0 3 は非磁性の導体であるアルミニウムで構成されている。このため、センサ磁石 2 0 2 が高速で回転すると、ハウジング 2 0 3 中に渦電流が発生し、その誘起磁界が発生し、ハウジング 2 0 3 近傍の磁界分布に影響する。

10

## 【 0 1 7 4 】

本実施例では、磁界角計測装置 8 0 に背面導体 2 4 2 を設置することで、ハウジング 2 0 3 中の渦電流による誘起磁界を打ち消す。これにより、磁気センサ 7 0 の地点では渦電流による誘起磁界が相殺され、正しい回転角を計測できる。すなわち、ハウジング 2 0 3 が前面導体 2 4 0 として機能している。磁気センサ 7 0 から見て前面の位置にハウジング 2 0 3 (本実施例では前面導体として機能している)があり、背面の位置に背面導体 2 4 2 が配置されている。背面導体 2 4 2 は銅で形成されており、シート抵抗がハウジング 2 0 3 よりも小さくなっている。また、磁気センサ 7 0 と検出部 3 0 2 とは結線されており、磁気センサ 7 0 に励起電圧を給電したり、磁気センサ 7 0 からの信号電圧を検出する。検出部 3 0 2 からは信号端子 2 0 8 が引き出されている。

20

## 【 0 1 7 5 】

## [ 実施例 1 9 ]

本発明による実施例 1 9 の回転機を、図 3 0 を用いて説明する。

本実施例は、磁界角計測装置 8 0 をセンサ磁石 2 0 2 の外周の外方に配置した構成 (周外配置) である。この周外配置構成の場合には、図 3 0 に示したように、センサ磁石 2 0 2 - 前面導体 2 4 0 間距離とセンサ磁石 2 0 2 - 背面導体 2 4 2 間距離が概ね等しくなるような配置が可能である。これを「2 導体等距離配置」と呼ぶことにする。

## 【 0 1 7 6 】

図 3 0 に示したように、本実施例では、磁界角計測装置 8 0 は磁気センサ 7 0 と検出部 3 0 2、および、第 1 の導体 (前面導体) 2 4 0 と第 2 の導体 (背面導体) 2 4 2 を有する。これらは一体化してパッケージ化されている。磁気センサ 7 0 と検出部 3 0 2 は互いに結線されている。検出部 3 0 2 からは信号端子 2 0 8 が取り出されている。

30

## 【 0 1 7 7 】

図 3 0 に示したように、磁気センサ 7 0 と検出部 3 0 2 は、第 1 の導体 (前面導体) 2 4 0 と第 2 の導体 (背面導体) 2 4 2 とで挟まれた形で配置されている。

## 【 0 1 7 8 】

周外配置では、先に述べたように、センサ磁石 2 0 2 が (  $p \times 2$  ) 極着磁の場合、センサ磁石が 1 回転すると磁気センサ 7 0 の地点での磁界方向は図中の  $x-y$  面に平行な面内で  $p$  回回転する。したがって、前面導体 2 4 0 と背面導体 2 4 2 とに生じる渦電流の向き、および渦電流による誘起磁界の向きは、図 9 に示したものと同様な分布になる。このため、図 9 を参照してわかるように、磁気センサ 7 0 を 2 枚の非磁性の導体で挟み込むことにより、前面導体 (第 1 の導体) 2 4 0 中の渦電流が磁気センサ 7 0 位置に及ぼす磁界と、背面導体 (第 2 の導体) 2 4 2 中の渦電流が磁気センサ 7 0 の位置に及ぼす磁界とが、互いに打ち消しあう方向になる。このため、回転角の計測誤差が減少する。

40

## 【 0 1 7 9 】

なお、本明細書において、「互いに打ち消しあう」とは、渦電流に起因する磁界を正確にゼロに相殺する状態のみではなく、角度計測誤差が実用的に許容できる範囲に収まるように、渦電流起因の磁界を弱めることを意味する。ここで、「実用的に許容できる範囲」は、磁界角計測装置が使用される応用機器や、磁界角計測装置に要求される計測精度、他の誤差補償手段の有無などに依存する。

50

## 【0180】

このように、周外配置において、非磁性の2枚の導体（第1の導体と第2の導体）との間に磁気センサ70を挟み込むことにより、渦電流による計測誤差を低減することができる。

## 【0181】

より好ましくは、周外配置において、磁気センサ70の磁界感应面をセンサ磁石202の回転面と平行に配置する。磁気センサの磁界感应面とは、磁界のうち、その面への射影成分を検知する面のことを意味する。図30の場合は、 $xy$ 面に平行な面が磁気センサ70の磁界感应面である。

## 【0182】

また、周外配置において、より好ましくは、第1の導体（前面導体）240と第2の導体（背面導体）242は、磁気センサ70の磁界感应面と概ね平行な向きに配置する。図9からわかるように、この配置の時に最も有効に、渦電流による誘起磁界を互いに相殺するからである。また、「概ね平行」と記した意味は、図13のように平行から角度 だけずれていても、 $\cos$  成分が打ち消しあうので、一定の効果はあるという意味である。

## 【0183】

図30では、センサ磁石202と磁気センサ70とを結ぶ仮想的直線の上に、導体が配置されていない。このようにすると、磁気センサ70の地点での磁界分布のさらなる歪みが防げるので、一層好ましい構成である。

## 【0184】

次に、2導体等距離配置の構成において、渦電流による誘起磁界を相殺する条件を、さらに定量的に述べる。各導体とセンサ磁石202までの距離は等しいので、各導体位置での磁束 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ の大きさも等しい。したがって、（数13）において磁束 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ の時間微分量は互いに等しい。したがって、（数13）がゼロになる条件は、 $R_1 = R_2$ である。すなわち、第1の導体（前面導体）240と第2の導体（背面導体）242とでシート抵抗を等しくすると、第1の導体（前面導体）240中の渦電流が磁気センサ70の位置に及ぼす磁界と、第2の導体（背面導体）242中の渦電流が磁気センサ70の位置に及ぼす磁界とが、互いに相殺する。このようにして、渦電流の影響を相殺できる。

## 【0185】

前述の通り、本実施例は2導体等距離配置の構成なので、第1の導体（前面導体）240と第2の導体（背面導体）242のシート抵抗を等しくした。本実施例では、それぞれ0.5mm厚の銅板を用いた。このようにすることにより、一層、計測誤差を低減し、高精度な回転角計測が可能になる。

## 【0186】

本実施例において、磁気センサ70の近傍に導体を配置する目的のひとつは、磁気センサ70と検出部302における電氣的ノイズの除去のためである。従来のように、第1の導体240のみを設置した構成においては、センサ磁石202を高速に回転させると、渦電流による誘起磁界により、回転角の計測値に誤差が生じた。一方、本実施例のように、第1の導体240と第2の導体242とを配置することにより、渦電流による誘起磁界が互いに相殺し、高精度に回転角を計測できる。

## 【0187】

## [実施例20]

本発明による実施例20である磁界角計測装置を、図31を用いて説明する。

本実施例の磁界角計測装置80は、磁気センサ70、検出部302、第1の導体240、第2の導体242を備える。検出部302から信号出力208が取り出される。

## 【0188】

この磁界角計測装置80は、回転体121と連動して回転するセンサ磁石202とともに用いられる。センサ磁石202が回転すると、磁気センサ70の地点での磁界の回転面と平行な面の成分（ $xy$ 面内成分）も回転する。したがって、磁気センサ70で磁界の角度を測ることにより、回転体121の回転角度を計測することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 8 9 】

このように、本実施例の磁界角計測装置 8 0 は、センサ磁石 2 0 2 の周の外側に配置されて用いられる。また、センサ磁石 2 0 2 の回転面 ( x y 平面 ) と平行に磁気センサ 7 0 の磁界感应面を配置して用いられる。

## 【 0 1 9 0 】

図 3 1 に示したように、本実施例では、第 1 の導体 2 4 0 と第 2 の導体 2 4 2 とは検出部 3 0 2 を挟むように配置されている。第 1 の導体 2 4 0 と第 2 の導体 2 4 2 とは、磁気センサ 7 0 は挟み込んでいない。しかし、第 1 の導体および第 2 の導体は、磁気センサ 7 0 の近傍に配置されているため、その導体中に生成した渦電流が発生する誘起磁界は、磁気センサ 7 0 の地点での磁界に影響を与える。例えば、第 2 の導体を設けず、第 1 の導体のみを設置した場合には、第 1 の導体中の渦電流が発生する誘起磁界により磁気センサ 7 0 の地点での磁界方向が乱れる。

10

## 【 0 1 9 1 】

本実施例では、図 3 1 に記載の通り、センサ磁石 2 0 2 ~ 第 1 の導体 2 4 0 間距離とセンサ磁石 2 0 2 ~ 第 2 の導体 2 4 2 間距離とが互いに概ね等しい 2 導体等距離配置である。そして、第 2 の導体 2 4 2 の誘起磁界がセンサ 7 0 の地点に及ぼす磁界と、第 1 の導体 2 4 0 の誘起磁界がセンサ 7 0 の地点に及ぼす磁界の方向が逆向きなので、両者の影響は互いに打ち消しあう。このため、磁界角計測装置 8 0 は回転体 1 2 1 が高速回転する時も、回転角を精度よく計測できる。

## 【 0 1 9 2 】

20

なお、本実施例において、第 1 の導体および第 2 の導体を検出部 3 0 2 の近傍に配置した理由は、検出部 3 0 2 は電氣的ノイズの影響を受けやすいので、そのノイズの影響を防ぐためである。

## 【 0 1 9 3 】

## [ 実施例 2 1 ]

本発明による実施例 2 1 として電動パワー・ステアリング・システム ( Electric Power - Assisted Steering system ) の例を、図 3 2 に示した。

## 【 0 1 9 4 】

ハンドル 5 0 1 に機械的に連結したステアリング・シャフト 5 0 3 は、トルクセンサ 5 0 2 を経由して連結部 5 0 4 に接続される。減速ギアなどで構成された連結部 5 0 4 には、モータ 1 0 0 の回転体 1 2 1 が接続される。さらに、連結部 5 0 4 には連結シャフト 5 0 5 が接続される。連結シャフト 5 0 5 は、ギアボックス 5 0 6 に接続される。ギアボックス 5 0 6 にはタイロッド 5 0 7 が接続される。ギアボックス 5 0 6 は、連結シャフト 5 0 5 の回転運動をタイロッド 5 0 7 の直線運動に変換する。タイロッド 5 0 7 の両端にはタイヤ ( 図示せず ) が配置されており、タイロッドの直線運動に応じてタイヤの向きが変化する。

30

## 【 0 1 9 5 】

回転体 1 2 1 はモータ 1 0 0 の回転軸であり、一方の端にセンサ磁石 2 0 2 が設置されている。センサ磁石 2 0 2 の近傍には磁界角計測装置 8 0 が設置されており、回転体 1 2 1 の回転角を計測して E C U 4 1 1 に送信する。

40

## 【 0 1 9 6 】

本実施例において、モータ 1 0 0 と磁界角計測装置 8 0 との位置関係は、図 2 8 のようにした。

## 【 0 1 9 7 】

運転者がハンドル 5 0 1 を回すと、その回転状態はトルクセンサ 5 0 2 で検出され、E C U 4 1 1 に電気信号として伝達される。E C U 4 1 1 は、トルクセンサ 5 0 2 からの信号と、磁界角計測装置 8 0 からの回転角信号、および車速信号などから、適切なモータ駆動量を算出し、モータ駆動部 4 1 2 に信号を送信する。これによりモータ 1 0 0 は回転体 1 2 1 を回転駆動し、連結シャフト 5 0 5 の回転をアシストする。このようにして、タイヤの向きを動かす運動をアシストする。

50

## 【0198】

本実施例において、磁界角計測装置80内の磁気センサ70は、前面導体（ハウジング203）と背面導体とで挟まる構成にし、それぞれの導体のシート抵抗値を適切に設定したので、回転体121が高速に回転しても精度良く回転角を計測できる。

## 【0199】

磁界角計測装置80をモータ100のハウジングの外側に設置すると、特に防水構造のモータ100を製作する際に、簡単な構成とすることができるという作用効果がある。

## 【0200】

## [実施例22]

本発明の実施例22について図33を用いて説明する。本実施例は磁界角計測装置を用いたハイブリッド自動車駆動装置（電動車両駆動装置）の動力機構の基本構成を示すものである。

10

## 【0201】

図33は自動車の動力として内燃機関エンジンと電気モータとを組み合わせたハイブリッド自動車駆動装置（電動車両駆動装置）の模式図である。エンジン553の出力回転軸と発電機552、駆動モータ551とは同軸線上に配置されており、それぞれは動力分配機構554の働きで適切に動力が伝達される。動力分配の仕方は、車両の走行状態、加速指令状態、バッテリーの充電状態などの情報に基づいて適切に設定される。また、動力分配機構554から動力シャフト558に動力を伝達する動力結合機構557が設けられている。

20

## 【0202】

駆動モータ551には、図28に記載の回転機を用いた。駆動モータ551は図28に記載したように、モータ部100と回転角検出部200とで構成される。回転角検出部200はセンサ磁石202（磁束発生体）と磁界角計測装置80を有する。なお、磁界角計測装置80の構成は図28に示した構成である。

## 【0203】

センサ磁石202は、駆動モータ551の筐体の一部を形成するハウジング203の外側に設置されている。ハウジング203は、非磁性の導体を用いた。本実施例ではアルミニウムを用いる。

## 【0204】

30

発電機552には発電機回転角センサ562が設置されている。発電機の回転シャフトにはセンサ磁石563が設置されており、センサ磁石563が発生する磁界の方向を発電機回転角センサ562で計測する。発電機回転角センサ562には、図29に記載の磁界角計測装置80を用いた。

## 【0205】

電動車両駆動装置で用いられる回転機（駆動モータ551と発電機552）は、1500rpm(250Hz)程度的高速回転でも使用する。そのため、従来では、磁界角計測装置80の近傍に非磁性の導体を配置すると、高速回転時に回転角の計測精度が劣化するという問題があった。本実施例では、非磁性の導体中の渦電流の影響を除去することで、高速回転時でも回転角を精度良く計測できる。このように、本実施例は、250Hzという高速回転動作要求のある電動車両駆動装置においても、高速回転時でも精度良く回転角が計測できるという作用効果がある。

40

## 【0206】

本実施例では、図28に示したように、回転角計測装置80を、回転機筐体を構成するハウジング203の外側に設置した。回転機筐体の外側に配置すると、以下の2つの利点がある。

## 【0207】

第1に、電動車両駆動装置などのような高出力回転機においては、冷却などの目的で回転機筐体内にはオイル（油）を入れる。このため、筐体内部に磁界角計測装置80を入れる構成では、磁界角計測装置80として、オイルに耐えられる材料を用いなければならな

50

い、という制約がある。筐体の外側に設置すれば、このような制約が無くなるという効果がある。

【 0 2 0 8 】

第 2 に、電動車両駆動装置などのような高出力回転機では、動作中に、銅損や鉄損などの要因で、回転機のステータやロータが発熱し回転機が高温になる。但し、発熱要因は主に回転機内部にあるので、回転機筐体の内側に比べて外側は温度が低い。この温度差は回転機の設計にもよるが、10 ～ 50 くらいの差がある。このため、回転角計測装置 80 を回転機筐体の外側に設置すると、内側に設置した場合に比べて低い温度で動作させることができるという効果がある。

【 0 2 0 9 】

以上では、GMR 素子を用いた磁気センサを使用した例を述べた。

本発明は、GMR 素子の磁気センサに限定されるものではなく、他の磁界角計測型の磁気センサにも適用可能である。

【符号の説明】

【 0 2 1 0 】

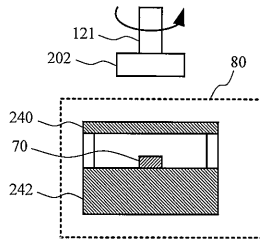
51, 52・・・GMR 素子、70・・・磁気センサ、60・・・COSブリッジ、61・・・SINブリッジ、80・・・磁界角計測装置又は回転角計測装置、90・・・信号端子、  
100・・・モータ部、110・・・ステータ、111・・・ステータコア、112・・・ステータコイル、120・・・ロータ、121・・・回転体、132・・・磁界角計測装置設置部、  
200・・・回転角検出部、202・・・センサ磁石（磁束発生体）、218・・・パッケージ、218A・・・センサ・パッケージ、218B・・・検出部パッケージ、226・・・回転中心線、  
240・・・前面導体（第 1 の導体）、242・・・背面導体（第 2 の導体）、242-1・・・第 1 の背面導体、242-2・・・第 2 の背面導体、240・・・第 1 の導体（前面導体）、242・・・第 2 の導体（背面導体）、250・・・センサ磁石の磁界、251・・・誘起磁界、252・・・合成磁界、272・・・開口部、  
302・・・検出部、303・・・信号処理部、351・・・差動増幅器、383・・・atan処理部、411・・・電子制御コントロールユニット、412・・・駆動部、  
501・・・ハンドル、502・・・トルクセンサ、503・・・ステアリング・シャフト、504・・・連結部、505・・・連結シャフト、506・・・ギアボックス、507・・・タイロッド、  
551・・・駆動モータ、552・・・発電機、553・・・エンジン、554・・・動力分配機構、557・・・動力結合機構、558・・・動力シャフト、562・・・発電機磁界角センサ、563・・・センサ磁石

10

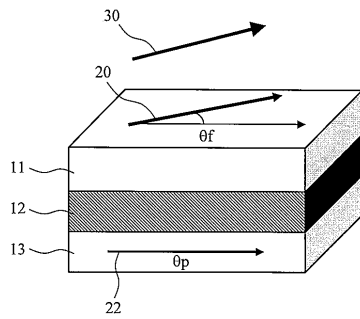
20

30

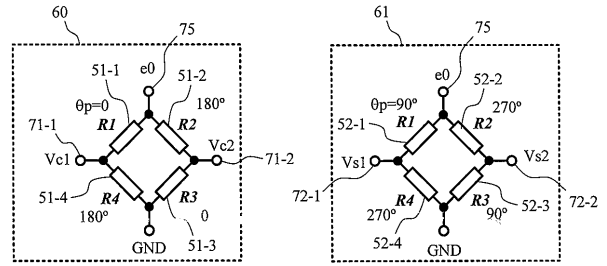
【図 1】



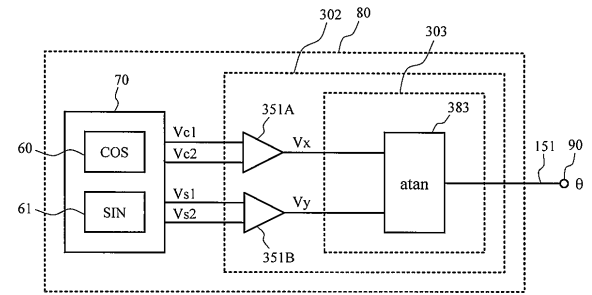
【図 2】



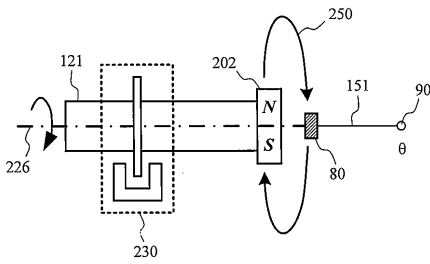
【図 3】



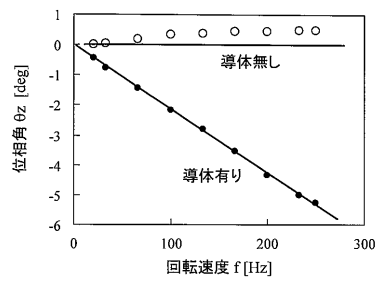
【図 4】



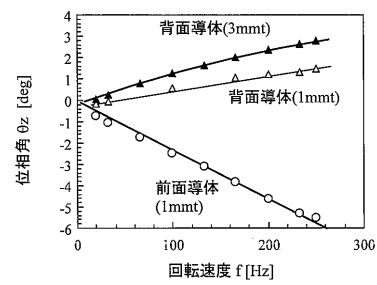
【図 5】



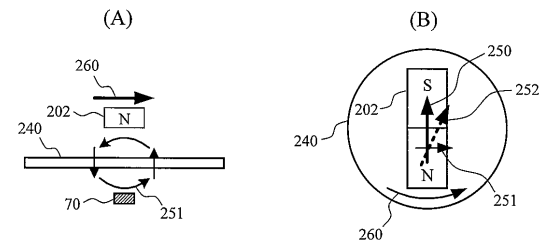
【図 6】



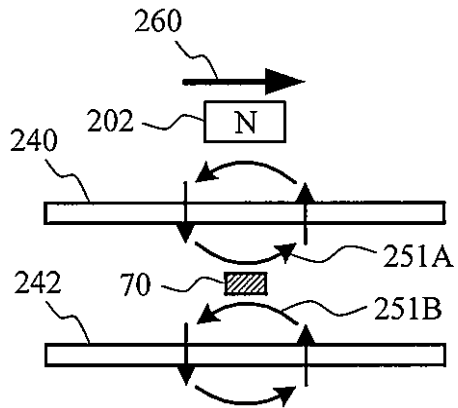
【図 7】



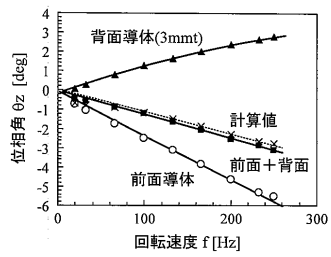
【図 8】



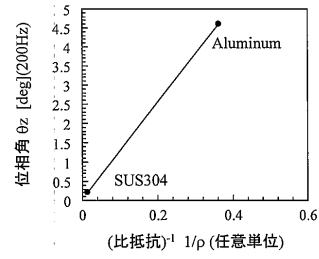
【図 9】



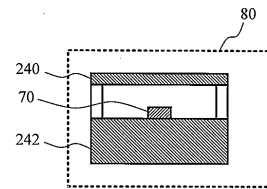
【図 10】



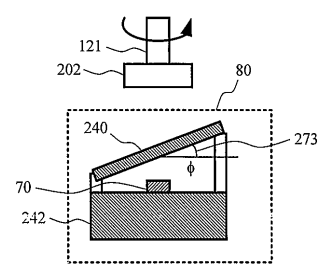
【図 11】



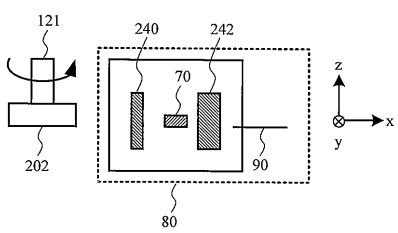
【図 12】



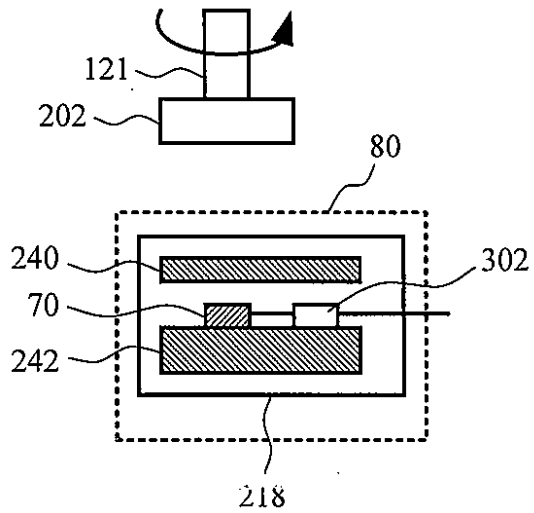
【図 13】



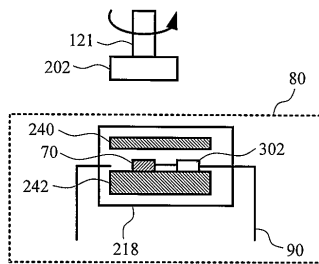
【図 14】



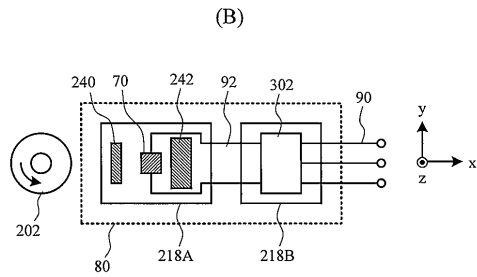
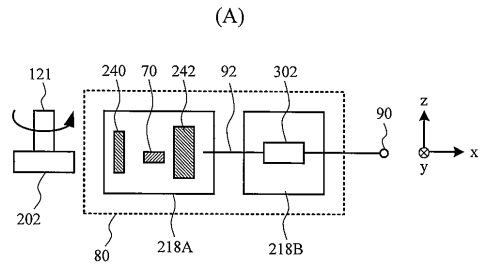
【図 15】



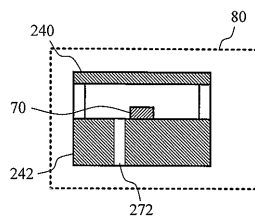
【図 16】



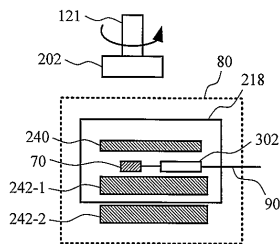
【図 17】



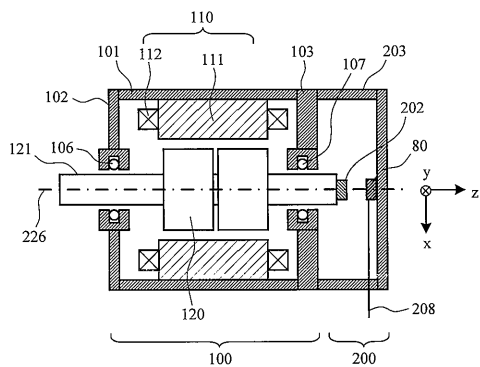
【図 18】



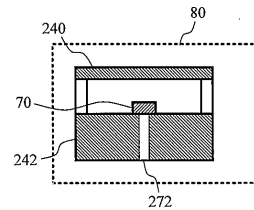
【図 22】



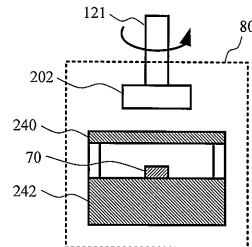
【図 23】



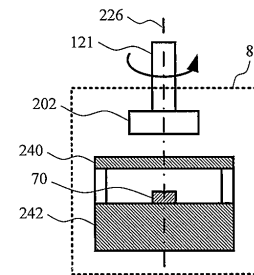
【図 19】



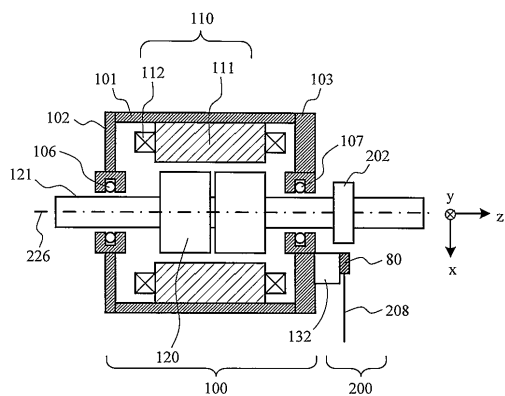
【図 20】



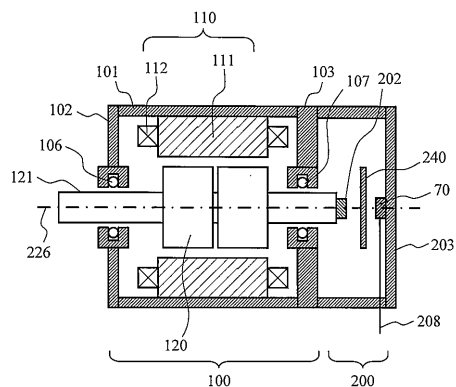
【図 21】



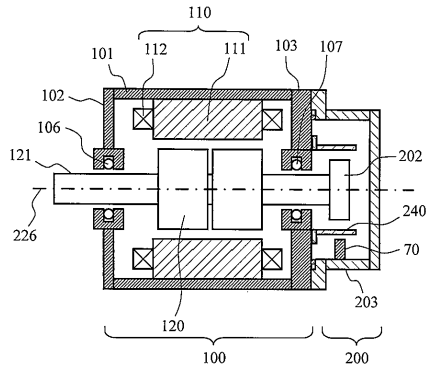
【図 24】



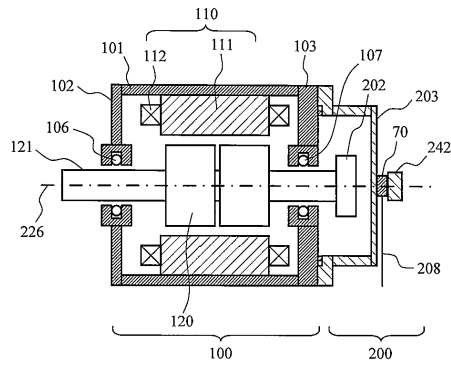
【図 25】



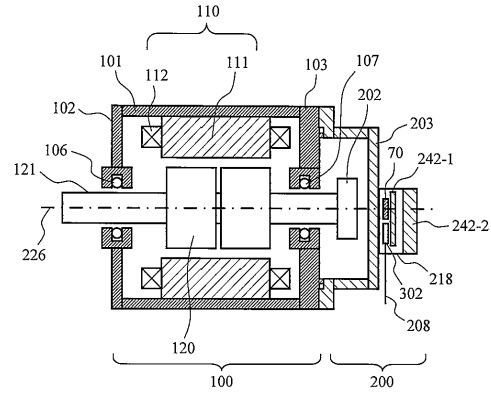
【図 26】



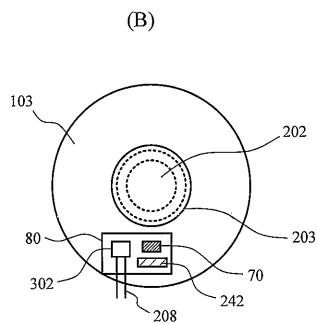
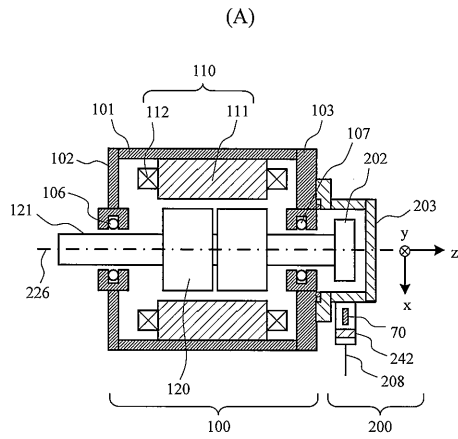
【図 27】



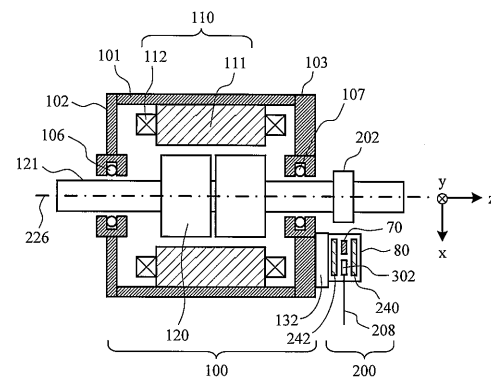
【図 28】



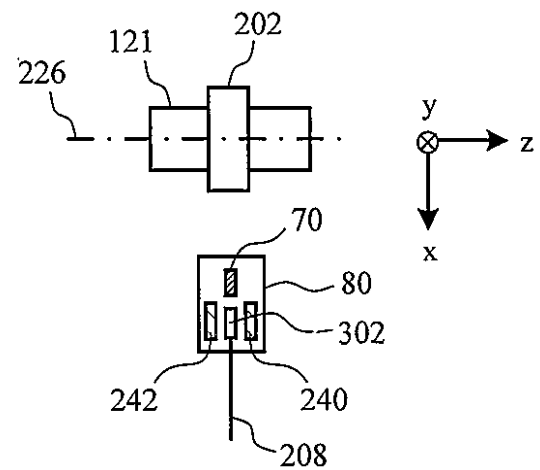
【図 29】



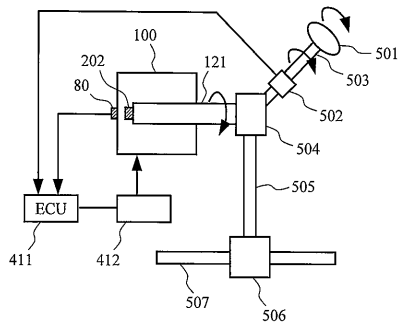
【図 30】



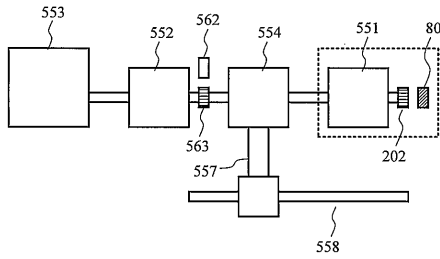
【図 31】



【図 3 2】



【図 3 3】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-356027(JP,A)  
特開平02-122205(JP,A)  
特開2001-155605(JP,A)  
特開2007-298364(JP,A)  
特開2011-002311(JP,A)  
特開昭59-211876(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B	7/00 - 7/34
G01D	5/00 - 5/252
G01P	1/00 - 3/80
G01R	33/00 - 33/26