

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5656900号
(P5656900)

(45) 発行日 平成27年1月21日(2015.1.21)

(24) 登録日 平成26年12月5日(2014.12.5)

(51) Int.Cl.

F 1

G 0 1 D 5/18 (2006.01)

G 0 1 D 5/18

E

G 0 1 L 3/10 (2006.01)

G 0 1 L 3/10

3 0 5

G 0 1 B 7/30 (2006.01)

G 0 1 B 7/30

H

請求項の数 25 (全 35 頁)

(21) 出願番号

特願2012-70729 (P2012-70729)

(22) 出願日

平成24年3月27日 (2012.3.27)

(65) 公開番号

特開2013-205032 (P2013-205032A)

(43) 公開日

平成25年10月7日 (2013.10.7)

審査請求日

平成25年9月4日 (2013.9.4)

(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2520番地

(74) 代理人 110000350

ポレール特許業務法人

(72) 発明者 鈴木 瞳三

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

(72) 発明者 松村 隆史

茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

(72) 発明者 小野塚 準二

群馬県伊勢崎市柏川町1671番地1 日立オートモティブシステムズ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】回転角計測装置及びこの回転角計測装置を備えた回転機械

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転中心線に沿って回転可能な磁束発生体と、磁界方向に応じた信号を出力する磁気センサとを有する回転角計測装置であって、

前記磁束発生体は、前記回転中心線の方向に沿ってN極とS極に着磁された磁石と、前記磁石のN極側に設けられたN極側ヨーク、およびS極側に設けられたS極側ヨークとを有し、

前記N極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状のN極ヨーク突起を有し、

前記S極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状のS極ヨーク突起を有し、前記N極ヨーク突起と前記S極ヨーク突起とは交互に噛み合うように配置されており、

前記回転角計測装置は、前記N極側ヨークと前記S極側ヨークに対向して配置された、磁性体よりなるバイパス磁路形成体を有し、

前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体によって形成されるバイパス磁路作用空間に配置されており、

前記磁気センサは、磁界角を計測する磁界方向計測センサであり、

前記磁気センサの磁界感受面は、前記回転中心線を法線とする平面と平行になるように配置されおり、

前記バイパス磁路形成体は、前記磁石の前記N極から前記S極に向かう磁力線をバイパスして流すことで前記磁力線が前記磁気センサに与える影響を低減する

回転角計測装置。

10

20

【請求項 2】

請求項 1 に記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体は、前記 N 極側ヨークと対向する第 1 面と、前記 S 極側ヨークと対向する第 2 面と、前記磁束発生体に対向する開口部とを有し、
 前記第 1 面と前記第 2 面とは直接または磁性体を介して接続されており、
 前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体のバイパス磁路内包空間、及び前記開口部と前記磁束発生体との間の空間とを結合した空間の中に配置されていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体を複数個有し、前記複数のバイパス磁路形成体の間に前記磁気センサを配置したことを特徴とする回転角計測装置。

【請求項 4】

回転中心線に沿って回転可能な磁束発生体と、磁界方向に応じた信号を出力する磁気センサとを有する回転角計測装置であって、

前記磁束発生体は、前記回転中心線の方向に沿って N 極と S 極に着磁された磁石と、前記磁石の N 極側に設けられた N 極側ヨーク、および S 極側に設けられた S 極側ヨークとを有し、

前記 N 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の N 極ヨーク突起を有し、

前記 S 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の S 極ヨーク突起を有し、前記 N 極ヨーク突起と前記 S 極ヨーク突起とは交互に噛み合うように配置されており、

前記回転角計測装置は、前記 N 極側ヨークと前記 S 極側ヨークに対向して配置された、磁性体よりなるバイパス磁路形成体を有し、

前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体によって形成されるバイパス磁路囲繞空間に配置されており、

前記磁気センサは、磁界角を計測する磁界方向計測センサであり、

前記磁気センサの磁界感受面は、前記回転中心線を法線とする平面と平行になるように配置されており、

前記バイパス磁路形成体は、前記磁石の前記 N 極から前記 S 極に向かう磁力線をバイパスして流すことで前記磁力線が前記磁気センサに与える影響を低減する回転角計測装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体は、前記 N 極側ヨークと対向する第 1 面と、前記 S 極側ヨークと対向する第 2 面と、前記前記磁束発生体に対向する開口部とを有し、

前記第 1 面と前記第 2 面とは直接または磁性体を介して接続されており、

前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体のバイパス磁路内包空間、及び前記開口部と前記磁束発生体との間の空間とを結合した空間の中に配置されていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体は磁性体から形成され、その磁化率が 100 以上であることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体は鉄、珪素鋼、パーマロイ、ミューメタルのいずれか一つからなることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項 8】

請求項 2、または請求項 5 に記載の回転角計測装置において、
 前記バイパス磁路形成体の前記 N 極側ヨークと対向する第 1 面、及び前記 S 極側ヨーク

10

20

30

40

50

と対向する第2面の先端部側の辺は直線状に形成されていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項9】

請求項2、または請求項5に記載の回転角計測装置において、

前記バイパス磁路形成体の前記N極側ヨークと対向する第1面、及び前記S極側ヨークと対向する第2面の先端部側の辺は凹状に形成されていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項10】

請求項1または請求項4に記載の回転角計測装置において、

前記バイパス磁路形成体は、前記N極側ヨークと前記回転中心線の方向に隙間を有して重なるように対向する第1面と、前記S極側ヨークと前記回転中心線の方向に隙間を有して重なるように対向する第2面とを有し、前記第1面と前記第2面とは直接または磁性体を介して接続されており、前記磁気センサは前記バイパス磁路形成体のバイパス磁路内包空間の中に配置されていることを特徴とする回転角計測装置。 10

【請求項11】

請求項1または請求項4に記載の回転角計測装置において、

前記N極側ヨーク突起及び前記S極側ヨーク突起の形状は矩形状であることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項12】

請求項1または請求項4に記載の回転角計測装置において、

前記N極側ヨーク突起及び前記S極側ヨーク突起の形状は3角形状、或いは円弧形状のいずれか一つであるであることを特徴とする回転角計測装置。 20

【請求項13】

請求項1、または請求項4に記載の回転角計測装置において、

前記バイパス磁路形成体によって形成される磁路囲繞空間の中に、前記磁気センサが前記回転中心線の方向に間隔を有して複数個配置されていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項14】

請求項2、または請求項5に記載の回転角計測装置において、

前記バイパス磁路形成体には、前記第1面、前記第2面、および前記第1面と前記第2面とを接続する磁性体とで形成される両側面が開放された開口が形成されていることを特徴とする回転角計測装置。 30

【請求項15】

請求項2または請求項5に記載の回転角計測装置において、

前記バイパス磁路形成体は、前記第1面、前記第2面、または前記第1面と前記第2面とを接続する磁性体の少なくともいずれか一つの面に開口を備えていることを特徴とする回転角計測装置。

【請求項16】

請求項1、または請求項4に記載の回転角計測装置において、

前記磁気センサは磁気抵抗素子、またはホール素子のいずれか一つよりなることを特徴とする回転角計測装置。 40

【請求項17】

少なくとも、回転軸に固定された回転磁極を備えたロータと、前記ロータを囲む固定磁極と、前記回転磁極と前記固定磁極を収納するフレームと、前記フレームの両端に固定され前記フレームと協働して前記回転磁極と前記固定磁極を収納するプラケットよりなる回転機械であって、

前記回転機械は、前記回転軸の回転に連動して、回転中心線に沿って回転可能な磁束発生体と、磁界方向に応じた信号を出力する磁気センサとを有する回転角計測装置を備え、

前記磁束発生体は、前記回転中心線の方向に沿ってN極とS極に着磁された磁石と、前記磁石のN極側に設けられたN極側ヨーク、およびS極側に設けられたS極側ヨークとを 50

有し、

前記 N 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の N 極ヨーク突起を有し、

前記 S 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の S 極ヨーク突起を有し、前記 N 極ヨーク突起と前記 S 極ヨーク突起とは交互に噛み合うように配置されており、

前記回転角計測装置は、前記 N 極側ヨークと前記 S 極側ヨークに対向して配置された、磁性体よりなるバイパス磁路形成体を有し、

前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体によって形成されるバイパス磁路囲繞空間に配置されており、

前記磁気センサは、磁界角を計測する磁界方向計測センサであり、

前記磁気センサの磁界感受面は、前記回転中心線を法線とする平面と平行になるように配置されており、

前記バイパス磁路形成体は、前記磁石の前記 N 極から前記 S 極に向かう磁力線をバイパスして流すことで前記磁力線が前記磁気センサに与える影響を低減する回転機械。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の回転機械において、

前記ブラケットを前記バイパス磁路形成体の一部として供用することを特徴とする回転機械。

【請求項 1 9】

請求項 1 7 に記載の回転機械において、

前記回転機械の極数を ($2 \times p$) とし、前記ヨークのヨーク突起の個数を N_p としたとき、 p と N_p とが等しいことを特徴とする回転機械。

【請求項 2 0】

請求項 1 7 に記載の回転機械において、

前記回転機械は自動車に使用される車両駆動装置に用いられる電動機または発電機として使用されることを特徴とする回転機械。

【請求項 2 1】

入力軸と出力軸とがトーションバーにより接続され、前記入力軸と前記出力軸との回転角によってトルクを測定するトルク計測のための回転機械であって、

前記回転機械は、前記入力軸または前記出力軸の回転中心線に沿って回転可能な磁束発生体と、磁界方向に応じた信号を出力する磁気センサとを有する回転角計測装置を備え、

前記磁束発生体は、前記回転中心線の方向に沿って N 極と S 極に着磁された磁石と、前記磁石の N 極側に設けられた N 極側ヨーク、および S 極側に設けられた S 極側ヨークとを有し、

前記 N 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の N 極ヨーク突起を有し、

前記 S 極側ヨークは前記磁石の側面に延びる櫛歯状の S 極ヨーク突起を有し、前記 N 極ヨーク突起と前記 S 極ヨーク突起とは交互に噛み合うように配置されており、

前記回転角計測装置は、前記 N 極側ヨークと前記 S 極側ヨークに対向して配置された、磁性体よりなるバイパス磁路形成体を有し、

前記磁気センサは、前記バイパス磁路形成体によって形成されるバイパス磁路囲繞空間に配置されており、

前記磁気センサは、磁界角を計測する磁界方向計測センサであり、

前記磁気センサの磁界感受面は、前記回転中心線を法線とする平面と平行になるように配置されており、

前記バイパス磁路形成体は、前記磁石の前記 N 極から前記 S 極に向かう磁力線をバイパスして流すことで前記磁力線が前記磁気センサに与える影響を低減する回転機械。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の回転機械において、

前記 N 極側ヨーク突起、及び前記 S 極側ヨーク突起の個数は 10 以上であることを特徴

10

20

30

40

50

する回転機械。

【請求項 2 3】

請求項 2 1 に記載の回転機械において、

前記回転機械は電動パワーステアリング装置に設けられているトルクセンサに使用されることを特徴とする回転機械。

【請求項 2 4】

請求項 1 7 に記載の回転機械を電動機として用いた車両駆動装置。

【請求項 2 5】

請求項 2 1 に記載の回転機械を用いた電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は磁気センサを用いた回転角計測装置及びこの回転角計測装置を備えた回転機械に係り、特に磁気センサの取り付け誤差を吸収して正確な回転角を得ることができる回転角計測装置及びこの回転角計測装置を備えた回転機械に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

回転体に磁石等で代表されるような磁束発生体を設置し、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。具体的には、回転体が回転すると磁束発生体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）が計測できるもので、これは回転角計測装置として多くの産業分野で使用されている。

20

【0 0 0 3】

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。

【0 0 0 4】

磁界方向計測センサには、磁界感応素子として（1）ホール効果素子(Hall-effect element)を用いたものや、（2）磁気抵抗効果素子 (Magneto-resistance element)を用いたものがある。以下その詳細を説明する。

30

【0 0 0 5】

まず、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、複数個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。このように磁界方向に応じた信号を出力するので、これは磁界方向計測センサであるといえる。

【0 0 0 6】

また、適切な形状の磁性体と複数個のホール効果素子を用いることで、磁界方向を計測するセンサもある。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、それを複数個のホール効果素子で計測する。これも磁界方向に応じた信号を出力するので、磁界方向計測センサであるといえる。

40

【0 0 0 7】

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。

【0 0 0 8】

次に、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」という)、巨大磁気抵抗素子 (Giant Magneto-resistance、以下「GMR素子」と

50

いう)、トンネル磁気抵抗効果素子(Tunneling Magneto-resistance、以下「TMR素子」という)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、回転位置を検出する検出器であるセンサと回転体とが機械的に接触していないことを指しており、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】

磁束発生体として多極着磁した磁石を用いた回転角センサが知られている。 $(2 \times p)$ 極着磁磁石を用いると、磁石が1回転すると磁石の回転面内の磁界の方向はp回だけ回転する。例えば $p = 4$ の場合、すなわち8極磁石を用いた場合を考える。磁石が 90° 回転すると磁界方向は1回転する。したがって、磁界方向を計測して回転角を求めるとき、4倍の精度で回転角を計測できる。このように、多極着磁磁石を用いると、高精度の回転角計測装置が実現できる可能性があるという利点がある。

【0012】

しかしながら、多極磁石を用いた回転角計測装置では磁石の着磁誤差の影響を受けるという課題があった。磁石の着磁工程では、着磁した特性、すなわち磁石が生成する磁界分布に誤差が発生しやすい。

【0013】

ここで誤差には系統誤差と個体誤差がある。系統誤差とは使用した着磁装置に固有の誤差で、理想的な磁界分布からのずれである。これは、同一の着磁工程(着磁ロット)では再現性のある誤差である。これに対し、個体誤差とは同一の着磁工程(着磁ロット)で製作しても個体ごとにばらつく誤差である。一般に、磁石の着磁誤差には系統誤差と個体誤差の両方が含まれる。

【0014】

磁気センサを用いた回転角計測装置では、磁束発生体の回転角と磁界角との間の関係に基づき、測定された磁界角を回転角に変換する。したがって、着磁誤差があるとき、回転角に計測誤差が生じるという問題がある。

【0015】

この問題を除くため、着磁誤差を補正する回転角計測装置が特開2011-002311号公報(特許文献1)に開示されている。しかしながら、多極磁石の場合ではこの補正方法の適用に課題があった。この点を以下に説明する。

【0016】

$(2 \times p)$ 極磁石では、磁石の1回転の間に磁界方向はp回だけ回転する。尚、以下では磁石の回転角を「機械角」と称し、また、磁界の方向の角度を「磁界角」と称する。今、磁界角の1周期を「セクタ」と呼ぶことにする。すなわち、 $(2 \times p)$ 極磁石が1回転した際の磁界角分布(プロファイル、磁界角と機械角との相互関係)は、p個のセクタがあり、理想的に着磁された磁石では各々のセクタ内の磁界角分布(磁界角と機械角との相互関係)は同一である。したがって、理想的に着磁された磁石の場合には、測定された磁界角から回転角を求めることができる。

【0017】

しかしながら、着磁誤差があるときセクタ毎に磁界角分布が変化する。そのため、着磁誤差の補正関数はセクタ毎に変化する。このため、p個のセクタのうち、どのセクタに位置

10

20

30

40

50

するかの情報がないと正しい補正関数が適用できないので、着磁誤差を正確に補正することができない。セクタ位置を判別するために別途、ホールセンサなどのセンサを設けることで正確な補正関数を選択することも可能である。しかし、別途センサを設けるとコストが増加するなどの問題がある。

【0018】

これに対して、回転軸の方向に着磁された2極磁石と、一対の櫛歯状の磁性体ヨークとを組み合わせて多極磁石と同様の磁界分布を発生させる方法が特開平7-103790号公報（特許文献2）に述べられている。この方法では、一方の櫛歯ヨークがN極に帯磁し、他方の櫛歯がS極に帯磁するため、その2極磁石の側面では、N極とS極とが相互に入れ替わる磁界分布となり、多極着磁した磁石と似た磁界プロファイルとなる。この方式では、セクタの間隔およびセクタ内の磁界プロファイルは、櫛歯ヨークの機械的加工精度で決まるため、高精度な磁界プロファイルを実現できるという利点がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0019】

【特許文献1】特開2011-002311号公報

【特許文献2】特開平7-103790号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

20

しかしながら、回転軸の方向に着磁された2極磁石と、一対の櫛歯状の磁性体ヨークとを組み合わせて多極磁石と同様の磁界分布を発生させる回転角計測装置を構成する方式では、後述するように、磁気センサの位置が軸方向に少しずれると計測される回転角の精度が大幅に劣化するという現象が新たに判明した。

【0021】

本発明の目的は、特許文献2に記載のような構成の回転角計測装置を対象に、磁気センサの設置位置の取り付け誤差による回転角の計測精度の劣化を吸収することができる回転角計測装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0022】

30

本発明の特徴は、N極側ヨークとS極側ヨークに対向し、磁石によって生じているN極からS極に向かう磁力線をバイパスして流すバイパス磁路形成体を設け、このバイパス磁路形成体の働きによって磁気センサに不要な磁界が影響するのを抑制するようにした、ところにある。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、バイパス磁路形成体によって回転軸方向の磁界成分をバイパスすることで回転角情報を含む磁界成分を選択的に磁気センサで検知できるようになり、磁気センサの設置位置の取り付け誤差による回転角の計測精度の劣化を少なくすることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】一般的な回転角計測装置の構成と磁石による磁界の発生状況を説明するための構成図である。

【図2】図1に示す磁界の水平方向成分と垂直方向成分を説明するための説明図である。

【図3】本発明の一実施例による回転角計測装置の構成と磁界の流れを説明するための構成図である。

【図4】図3に示す回転角計測装置で、(a)はZ軸(軸線)方向から見た上面図であり、(b)はその断面を示す断面図である。

【図5】本発明の一実施例による回転角計測装置による磁界角と回転角の相互関係を示す

50

特性図である。

【図6】本発明の一実施例による回転角計測装置と従来の回転角計測装置での磁界歪み誤差と設置位置のずれ量との関係を示す特性図である。

【図7】本発明の一実施例による回転角計測装置と従来の回転角計測装置での磁界強度と設置位置のずれ量との関係を示す特性図である。

【図8】本発明の他の実施例(第2の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図9】本発明の他の実施例(第3の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図10】本発明の他の実施例(第4の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。 10

【図11】本発明の他の実施例(第5の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図12】本発明の他の実施例(第6の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図13】本発明の他の実施例(第6の実施形態の変形例)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図14】本発明の他の実施例(第7の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図15】図14に示す実施例におけるバイパス磁路形成体と磁気センサの配置位置による磁界の関係を測定する地点を説明するための説明図である。 20

【図16】図15に示すバイパス磁路形成体と磁気センサの配置位置による磁界の関係を示す特性図である。

【図17】本発明の他の実施例(第8の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図18】本発明の他の実施例(第9の実施形態)による回転角計測装置の構成を説明するための構成図である。

【図19】本発明による回転角計測装置を電動機に組み付けた構成を説明するための構成図である。

【図20】図19に示す電動機に組み付けた回転角計測装置の変形例を説明するための構成図である。 30

【図21】本発明による回転角計測装置をトルク計測装置に組み付けた構成を説明するための構成図である。

【図22】本発明による回転角計測装置を自動車の電動パワーステアリング装置に適用した構成を示す構成図である。

【図23】本発明による回転角計測装置を電動車両駆動装置に組み付けた構成を説明するための構成図である。

【図24】一般に知られた回転角計測装置の構成を示し、(a)は全体構成図、及び(b)はその分解図である。

【図25】図24に示す回転角計測装置を構成する磁束発生体のヨーク突起の磁化状態を示す説明図である。 40

【図26】図24に示す回転角計測装置の磁気センサの取り付け位置の違いによる磁界角と回転角の相互関係を示す特性図である。

【図27】バイパス磁路形成体の構成例の断面形状を示す図である。

【図28】バイパス磁路形成体と磁束発生体との配置関係の例を示す図である。

【図29】バイパス磁路形成体のバイパス磁路内包空間を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施例を図面に基づいて詳細に説明するが、本発明では複数の実施例を提案している。したがって、参照番号が同一のものは同一の構成要素、或いは同様の機能

を有する構成要素を表しているものである。

【0026】

先ず、発明者らが見出した、センサ位置がずれると計測誤差が増大するという問題を図面にしたがい説明する。その後、発明者らが見出した、誤差が増大するメカニズムを図面にしたがい説明する。

【0027】

図24は回転角計測装置80の構成を示している。図24の(a)において磁束発生体202は円環状の磁石211とこれも円環状の2個のヨーク215A、215Bとを有する。磁束発生体202は回軸121に固定されている。尚、回軸121の回転中心線226をZ軸とする。また、磁石211の厚み方向の中点位置をZ=0mm(基準点)と定義する。

10

【0028】

磁石211は図24(b)にあるように回軸121に沿った方向に着磁された2極着磁磁石である。ヨーク215A及びヨーク215Bは櫛歯状に形成された形状の磁性体である。図24の(b)のように、磁石211の上下からそれぞれヨーク215A、215Bをかぶせて磁束発生体202を構成する。磁石211の着磁の向きを上側をN極、下側をS極とすると、上側のヨーク215AはN極に磁化し、下側のヨーク215BはS極に磁化される。したがって、磁束発生体202の側面からみると、N極に磁化したヨーク突起216AとS極に磁化したヨーク突起216Bとが交互に配置される。このため、磁束発生体202の側面位置での磁界の水平方向成分(Z方向に直交するXY面内成分)は、多極着磁磁石と同様な磁界分布になる。

20

【0029】

具体的には、一方のヨーク215Aに形成されたヨーク突起216Aの個数をNpとすると、磁束発生体202が1回転すると磁界の水平成分はNp回だけ回転する。すなわち、Np個のセクタを有する。これは、(Np×2)極に着磁した多極磁石に対応することになる。

【0030】

図25に、Np=8の場合について、各ヨーク突起216A、216Bの磁化の様子を図示した。図25はZ軸線(回転中心線226)の方向からヨーク突起216を見た断面図である。ヨーク215Aの円環部分や磁石211などは図示を省略した。図25においてX軸線上に磁気センサを配置し、磁束発生体202を1回転させると磁気センサ70の配置位置で磁界の水平方向成分が8回だけ回転することがわかる。

30

【0031】

有限要素法による磁界計算を行い、磁束発生体202が回転した時の磁気センサ70の場所での水平方向(XY面内)磁界の方向を定量的に求めた。その結果を図26に示しており、実線は磁気センサ位置が磁石の厚み方向の中点位置であるZ=0mm(基準点)としての計算結果を示している。

【0032】

図26では横軸が磁束発生体202の回転角(機械角)で、縦軸が磁気センサ位置での磁界の角度(磁界角)である。磁束発生体202を0~180°の範囲で回転させると、磁界角は回転角(機械角)45°の周期で0~360°の範囲を4回だけ回転する。すなわち、1セクタは45°周期であり、0~180°の回転範囲で4セクタある。180~360°の範囲も同じ形なので、磁束発生体202の1回転で8セクタの磁界角回転があることがわかる。

40

【0033】

回転角(機械角)0~45°の1セクタ内での磁界角分布を考える。ここで、「磁界角分布」とは、磁束発生体の回転角(機械角)と、磁気センサ位置での磁界角度(磁界角)との相互関係を示している。

【0034】

理想的な磁界角分布は、1セクタ内では磁界角が0~360°の範囲で直線的に変化す

50

るものである。つまり、図26の破線で示したように回転角0°から回転角45°の間で磁界角0°と磁界角360°を結んだ直線が理想直線である。回転角45°乃至回転角180°までも同様である。

【0035】

図26を見るとZ=0mmの場合は実線で表しているが理想直線から少しずれていることが分かる。この理想直線からのずれが磁界分布の誤差である。ここで、この理想直線からのずれを「磁界歪み誤差」と定義する。先に述べたように磁界歪み誤差には系統誤差と個体誤差とが含まれ、図26では磁界歪み誤差は±20°の範囲にある。±20°のずれは多極着磁磁石での磁界歪み誤差と同程度の大きさであり、適切な補正方法により補正することが可能である。

10

【0036】

次に、磁気センサ70をZ軸線上でZ=-0.5mmの位置に配置した場合の磁界角を調べた。その結果を図26に印の点線で示した。磁界角は180°を中心に約±60°の範囲で変化しており、理想直線から大きくずれている。理想直線からのずれ（磁界歪み誤差）は最大180°に達する場合があり補正が困難な誤差量である。

【0037】

すなわち、磁気センサ70の設置位置が基準点（Z=0mm）から軸方向に0.5mmずれただけで磁界角の測定値から磁束発生体202の回転角を正確に計測することが出来ないようになる。

20

【0038】

このように、櫛歯状のヨークと磁石とを組み合わせた磁束発生体を用いた回転角計測装置では、磁気センサの設置位置がわずかにずれると回転角の計測精度が大幅に劣化するという現象が生じるようになる。実際の回転機械等に用いる応用では設置誤差、つまり取り付け誤差が必ず生じるので、高精度の回転角計測が困難であるという課題が新たに生じるようになった。

【0039】

上述したように、櫛歯状のヨークと磁石とを組み合わせた磁束発生体を用いた回転角計測装置では、磁気センサの設置位置が軸方向にわずかにずれると回転角の計測精度が大幅に劣化するという現象が生じるようになる。

【0040】

30

発明者等は磁気センサの設置位置が軸方向にわずかにずれると回転角の計測精度が大幅に劣化する原因を鋭意検討、調査した。その結果、以下の原因で設置位置によって回転角の検出精度が低下することを解明した。

【0041】

図1は回転角計測装置80のXZ断面での磁界方向の空間分布を模式的に示したものである。磁石211はZ軸方向（回転軸の中心軸線226の方向）に着磁した2極磁石なので、N極からS極に向かう磁力線250を放出している。図で示す矢印はその磁力線250の向きを示している。磁石211の対称性から、Z=0mmの位置ではこの磁力線250の方向は紙面において垂直方向、つまりZ軸方向とほぼ平行である。

【0042】

40

磁石211はZ軸方向に関して回転対称形なので、この磁力線250の空間分布は大局部的に見るとどの方位角(azimuth)でも概ね等方的（Z軸方向から見て放射状にN極からS極に向かって）に出ていると見て良い（以下この磁界を大局部的な磁界、或いは大局部的な磁力線という）。これに対して、ヨーク突起216A、216Bによる磁界のXY面内成分は、回転角を検出するために利用される局所的な変調磁界としてこの大局部的な磁界に重畠されている。この局所的な変調磁界のXY面内成分が回転角を検出するのに必要な情報であり、このXY面内成分の変化を磁気センサ70によって検出することで回転角を計測するものである。

【0043】

図2は、磁気センサの設置位置での磁界ベクトルを図示したものである。磁界Bを、X

50

Y面内成分(in-plane成分) B_{ip} と、Z方向成分 B_z とに分けて考える。後でデータを示すように、図26の条件では、Z方向成分の大きさ $|B_z|$ は、面内成分 $|B_{ip}|$ の6倍以上である。但し、磁気センサが面内成分のみ感受するセンサであれば、Z方向成分 $|B_z|$ の影響は受けずに、面内成分 B_{ip} の方向を検出する。Z = 0では、磁石から直接発生する磁力線(全局的な磁界)はZ = 0では垂直方向を向いているので、面内成分 B_{ip} はヨーク突起による局所的な変調磁界のみである。しがたって、図26の実線のように磁界角は回転角(機械角)に対応した形になる。

【0044】

一方、磁気センサ70の軸方向位置がZ = -0.5 mmだけずれていた場合を考える。図1からわかるように、Z = 0 mm(基準点)でない場所においては、磁石211から放出する全局的な磁力線250は上述したように水平方向成分 B_{ip} を持つ。このため、磁気センサ70は水平方向成分 B_{ip} を持つ全局的な磁力線の成分も検出する。前述の通り、磁石から出る全局的な磁力線は概ね等方的なので、その水平成分は回転角によらず180°である。図26の点線に示したように磁界角が180°を中心に変化するのはこのためである。

【0045】

以上のように、磁石から発生する全局的な磁力線が存在するために磁気センサの設置位置による検出精度の低下が生じることが解明された。

【0046】

本発明ではこのような知見に基づいて、磁石211が発生する全局的な磁力線が磁気センサ70の設置位置によって生じる悪影響をできるだけ抑える技術を提供するものである。

【0047】

以下に説明する実施例では、磁気センサ70として磁気抵抗素子のひとつであるGMR素子で構成された磁界方向計測センサ(GMRセンサ)を用いた例である。しかしながら本発明が対象とする磁気センサはGMRセンサに限られるものではなく、磁界方向計測センサであれば他の形式のものであっても良い。

【0048】

磁界方向計測センサとは、磁界の方向に応じた信号を出力するセンサである。磁界方向計測センサには、GMRセンサの他に、異方性磁気抵抗素子を用いたAMRセンサ(Anisotropic Magneto-Resistance sensor)や、複数のホール素子を用いて磁界方向に対応した信号を出力するように構成したセンサなどがある。以下、本発明の実施例を図面にしたがい詳細に説明する。

【実施例1】

【0049】

本発明の第1の実施形態を図3乃至図7を参照しながら説明する。図3は本発明の一実施例になる回転角計測装置80の全体構成を示す。回転角計測装置80は、磁束発生体202、磁気センサ70及びバイパス磁路形成体240とより構成されている。磁束発生体202は、回転中心線226に沿って回転する回転軸121に固定されており、回転軸121の回転と連動して回転する。また、回転中心線226をZ軸とする。

【0050】

磁束発生体202は、磁石211と、2つのヨーク215A、215Bとで構成される。磁石211は、図24(b)に示したものと同様に、回転中心線226の方向に沿ってN極とS極との2極に着磁されている。磁石211は円環状(リング状)の形状で回転軸121の回転と連動して回転する。

【0051】

2つのヨーク215Aと215Bは、それぞれヨーク突起216A、216Bを有する。ヨーク突起216A、216Bも磁性体で構成される。ヨーク突起216A、216Bは、磁石211の側面に延びた櫛歯状の形状である。

【0052】

2つのヨークの区別をわかりやすくする目的で、磁石211のN極側に設けられたヨー

10

20

30

40

50

ク 2 1 5 A を N 極側ヨーク、 S 極側に設けられたヨーク 2 1 5 B を S 極側ヨークと呼ぶ場合もある。同様にして、 N 極側ヨーク 2 1 5 A のヨーク突起 2 1 6 A を N 極ヨーク突起、 S 極側ヨーク 2 1 5 B のヨーク突起 2 1 6 B を S 極ヨーク突起と呼ぶ場合もある。

【 0 0 5 3 】

N 極ヨーク突起 2 1 6 A と S 極ヨーク突起 2 1 6 B とは、図 3 に示したように、交互に噛み合うように配置されている。

【 0 0 5 4 】

ヨーク 2 1 5 A とヨーク 2 1 5 B は、磁性体から作られている。本明細書において、磁性体とは磁化率が 10 以上の材料である。磁化率が高い材料は、磁束を通しやすい性質を持つ。ヨーク突起 2 1 6 A 、 2 1 6 B も、磁性体から作られている。

10

【 0 0 5 5 】

ヨーク 2 1 5 A は、磁石 2 1 1 の上面の一部を覆っていればよく、上面全体を覆う必要はない。また、磁石 2 1 1 とヨーク 2 1 5 A とは接触している部分を有することが好ましいが、必ずしも必須ではない。接触していることが好ましい理由は、接触させることで磁気リラクタンスが低くなるので、磁石 2 1 1 からヨーク 2 1 5 A に効果的に磁束が供給されるためである。ヨーク 2 1 5 B についても同様である。

【 0 0 5 6 】

尚、ここで「櫛歯状」とは図面にあるような矩形状の突起に限定されるものではなく、三角形や半円状の突起なども含むものである。N 極に磁化したヨーク突起 2 1 6 A と S 極に磁化したヨーク突起 2 1 6 B とが交互に配置されれば良く、その突起の形状は問わ 20 るものである。

20

【 0 0 5 7 】

磁気センサ 7 0 は、回転中心線 2 2 6 を法線とする平面と、磁気センサ 7 0 の磁気感受面とが平行になるように配置する。すなわち、磁気センサ 7 0 の磁気感受面は、 X Y 平面と平行に配置する。このように配置することで、磁気センサ 7 0 は、 X Y 面に平行な磁界成分（面内磁界成分）の磁界方向を計測することができる。

【 0 0 5 8 】

本発明の特徴的な構成であるバイパス磁路形成体 2 4 0 は、ヨーク 2 1 5 A (N 極側ヨーク) およびヨーク 2 1 5 B (S 極側ヨーク) と対向するように所定隙間 g の間隔を 30 おいて配置されている。より細かく記述すると、バイパス磁路形成体 2 4 0 は、磁石 2 1 1 の側面、およびヨーク突起 2 1 6 A とヨーク突起 2 1 6 B の面に対向するように、所定の間隔 g をおいて配置されている。

30

【 0 0 5 9 】

バイパス磁路形成体 2 4 0 は、磁束通路を形成するようになっている。このバイパス磁路形成体 2 4 0 も磁束を通す材料から構成され、例えは鋼板（鉄）やパーマロイ、ミュー メタルなどの磁性体で構成されている。バイパス磁路形成体 2 4 0 は、磁石 2 1 1 の N 極から S 極に向かう大局的な磁力線 2 5 0 が磁気センサ 7 0 に与える影響を無くす、あるいは低減するためのバイパス磁路の働きを有している。

【 0 0 6 0 】

図 3 にあるように、磁石 2 1 1 の N 極から出た大局的な磁力線 2 5 0 は磁石 2 1 1 の S 極に向かって流れるが、バイパス磁路形成体 2 4 0 の付近ではバイパス磁路形成体 2 4 0 を通って磁石 2 1 1 の S 極に向かって流れるように振る舞う。したがって、バイパス磁路形成体 2 4 0 の内部空間には大局的な磁力線 2 5 0 は影響を与えない、もしくはその影響は大きく抑制されるようになっている。

40

【 0 0 6 1 】

バイパス磁路形成体 2 4 0 は図 3 にあるように、ヨーク (N 極側ヨーク) 2 1 5 A と対向して外側に延びる第 1 面 2 4 0 A と、ヨーク (S 極側ヨーク) 2 1 5 B と対向して外側に延びる第 2 面 2 4 0 B とを有する。図 3 に示した構成の場合は、第 1 面 2 4 0 A と第 2 面 2 4 0 B とを接続する磁性体の第 3 面 2 4 0 C を有する。なお、後述する通り、本発明のバイパス磁路形成体 2 4 0 は、第 1 面 2 4 0 A と第 2 面 2 4 0 B とを直接接続した構成

50

であってもよく、その場合は第3面を有しない。

【0062】

そして、図3にあるようにバイパス磁路形成体240の断面は磁束発生体202に向けて開口した開口部240Dを有した形状を持ち、例えばカタカナ文字の「コ状」を呈している。この開口部240Dはヨーク突起216A、216Bによって生成される局所的な変調磁界を導入して磁気センサ70が変調磁界を検出するための役割を有している。また、バイパス磁路形成体240の両側面も開口されており、バイパス磁路形成体240は第1面240Aを上面、第2面240Bを下面、及び第3面240Cを外周側面とした3方で構成され、他の3方が開放した構成とされている。

【0063】

尚、このバイパス磁路形成体240は必ずしも「コ状」でなくても良く、後で述べるがZ軸線方向及びZ軸線方向の磁束に含まれるZ方向に直交する、或いは所定の角度をもつて交差する磁束成分を流す機能を有していれば良いものである。

【0064】

例えば、図27の(a)に示したように、第1面240Aと第2面240Bとを直接つなないだ構成でもよい。ギリシャ文字のラムダ(λ)を横向きにしたような断面形状である。また、図27の(b)に示したように、第1面240Aと第2面240Bとを曲面形の磁性体(第3面)で接続した構成でもよい。また、図示はしないが、第1面240Aと第2面240Bが曲面形の構成でもあってもよい。

【0065】

いずれの場合でも、第1面240Aはヨーク(N極側ヨーク)215Aに対向し、第2面240Bはヨーク(S極側ヨーク)215Bに対向して配置されている。

【0066】

ここで、「対向して配置」とは、その1辺が向かい合って配置、あるいはその1辺が近接して配置されるという広義の意味で用いている。

【0067】

「対向して配置」された構成の例をいくつか挙げると、図28(a)、(b)、(c)の構成が挙げられる。まず、図28の(a)に示したように、磁束発生体202の厚さDmを1対のヨーク215A、215Bの端から端までの長さと定義する。また、バイパス磁路形成体240の高さHbを、バイパス磁路形成体240の、磁束発生体側の高さ(図28(a)に図示の通り)と定義する。図28の(a)の構成では、磁束発生体202の(Z方向)厚さDmとバイパス磁路形成体240の高さHbとが概ね等しい。図28の(b)の構成ではDm>Hbである。図28の(c)の構成ではDm<Hbである。

【0068】

図27の構成や図28の構成、あるいは、図27と図28に図示した各々の構成の組み合わせにおいては、磁石211のN極から出た大局的な磁力線250は、バイパス磁路形成体240の付近ではバイパス磁路形成体240を通って、磁石211のS極に向かう。このため、バイパス磁路形成体240の内部空間(磁路内包空間)には大局的な磁力250は影響を与えない、もしくはその影響が大きく抑制される。

【0069】

次に、このバイパス磁路形成体240と磁気センサ70の配置関係について説明する。図3に模式的に示したように、N極から出た磁力線250はバイパス磁路形成体240を経由してS極に向かう。このため、バイパス磁路形成体240で囲まれた空間、及びその周辺(以下「バイパス磁路作用空間」と呼ぶ)では大局的な磁力線250の影響が小さくなる。そのため、ヨーク突起216A、216Bによって生成される局所的な変調磁界が磁気センサ70により検出されるものである。

【0070】

尚、本明細書において「バイパス磁路作用空間」とは、バイパス磁路形成体240の磁界バイパス効果によりZ方向の大局的な磁力線250の強度が十分弱まった空間と定義される。したがって、この空間の全ての面をバイパス磁路形成体240で覆われている必要

10

20

30

40

50

はない。バイパス磁路形成体 240 がない場合に比べてバイパス磁路形成体 240 を設置したことで大局的な磁力線 250 の影響が弱まつていれば良く、実際としては 50% に強度が弱まれば実用に供する。

【0071】

本明細書において、「バイパス磁路内包空間」とは、バイパス磁路形成体 240 で囲まれた空間と定義され、バイパス磁路形成体の「内部空間」とも呼ぶ。バイパス磁路内包空間は全ての面をバイパス磁路形成体 240 で覆われている必要はない。例えば、図 3 に示されるようにコの字型のバイパス磁路形成体 240 に対しては、バイパス磁路内包空間は次のように定義される。

【0072】

図 29 を用いてバイパス磁路内包空間を詳しく説明する。図 29 の (a) は、図 3 のバイパス磁路形成体 240 の斜視図であり、図 29 の (b) はその上面図である。図 29 のバイパス磁路形成体 240 は、3 つの面、すなわち第 1 面 240A、第 2 面 240B、第 3 面 240C が磁性体で構成されている。また、前述のとおり、バイパス磁路形成体は、磁束発生体 202 に対向して、開口部 240D を有する。ここで、第 1 面側部 242A と第 2 面側部 242B とをつないだ仮想的な面を側面開口面 240E と呼ぶ。側面開口面 240E の反対側には側面開口面 240F がある。図 29 (a) では、側面開口面 240E を規定する仮想的な 1 辺を点線で示した。このバイパス磁路形成体 240 の場合、バイパス磁路内包空間は、次の 6 個の面で囲まれた空間と定義される：すなわち、第 1 面 240A、第 2 面 240B、第 3 面 240C、および、開口部 240D、側面開口面 240E、240F の 6 個の面である。

【0073】

前述した図 27 (a) のように、第 3 面を有しないバイパス磁路形成体 240 に対しては、第 3 面を除いた 5 つの面によりバイパス磁路内包空間が定義される。この他の形状のバイパス磁路形成体 240 に対しても、同様にしてバイパス磁路内包空間が定義されるることは明らかである。

【0074】

また、本明細書において「バイパス磁路囲繞空間」とは、バイパス磁路内包空間と、バイパス磁路内包空間と磁束発生体 202 との間の空間との和空間 (union space) と定義する。言い換えれば、バイパス磁路囲繞空間とは、バイパス磁路形成体 240 の内部空間と、その内部空間と磁束発生体 202 との間の空間との和空間 (union space) である。

【0075】

ここで、2 つの空間 A と B の「空間の和(union)」、あるいは「和空間(union space)」とは、集合の和(union set)と同じ意味であり、いずれかの空間または両方の空間に属する空間を意味する。言い換えれば、空間 A と空間 B の和空間とは、空間 A と空間 B とを結合した空間である。

【0076】

後述するが、「バイパス磁路囲繞空間」の周辺部の空間にもバイパス磁路形成体 240 による Z 方向の磁界低減効果は作用する。したがって、「バイパス磁路作用空間」は「バイパス磁路囲繞空間」とその周辺部とを含むことになる。

【0077】

以上に説明した各定義を図 4 にしたがい更に詳細に説明する。図 4 の (a) は磁束発生体 202 とバイパス磁路形成体 240 とを上面から見た図であり、図 4 の (b) は XZ 面での断面を示した図である。この実施例ではバイパス磁路形成体 240 は上述したように断面形状がコの字型であり、バイパス磁路形成体 240 のヨーク突起 216A、216B との対向する側面には磁性体を設けていない構成となっている。

【0078】

また、バイパス磁路形成体 240 は上方から見ると図 4 の (a) からわかるように、円環を所定の角度で切り取った形状をしており、この内部空間に磁気センサ 70 が配置されている。

10

20

30

40

50

【0079】

図4において、領域Aはバイパス磁路形成体240で空間的に囲まれた領域である。領域Aを「バイパス磁路内包空間」と呼ぶ。領域Aは、バイパス磁路形成体の内部空間とも呼ぶ。

【0080】

領域Bは磁束発生体202と領域Aとの間の領域である。ここで注意すべきことは、図4の(b)の断面図に示したように、バイパス磁路形成体240の第1面240Aと第2面240Bの板厚と磁束発生体202の外周側面との間の空間領域D1と空間領域D2は領域Bには含まれないことである。「バイパス磁路囲繞空間」は領域Aと領域Bとの和の空間(union space)と定義される。言い換えれば、バイパス磁路囲繞空間は、領域A(バイパス磁路内包空間)と領域Bとを結合した空間である。10

【0081】

換言すれば、「バイパス磁路囲繞空間」とは、バイパス磁路内包空間(領域A)と、これにつながりバイパス磁路形成体の開口部240Dと磁束発生体240との間の空間(領域B)とを結合した空間である。あるいは、言い換えれば、バイパス磁路囲繞空間とは、バイパス磁路内包空間(領域A)と領域Bとの和空間である。

【0082】

「バイパス磁路囲繞空間」が領域Bを含む理由は、領域Bの磁界方向を磁界解析で調べると、バイパス磁路形成体240の存在により磁界のZ方向成分が減少しているからである。一方、領域D1及びD2には、各ヨーク215A、215Bから第1面及び第2面を通って磁石211のN極からS極に至る強い磁力線が通っており、領域D1またはD2に磁気センサ70を配置してもヨーク突起216A、216Bが形成する局所的な変調磁界を検出すること出来ない。そのため、領域D1およびD2は「バイパス磁路囲繞空間」には含まれないわけである。20

【0083】

また、バイパス磁路形成体240の両側面側の開口面に隣接する領域C1及びC2では、後述の通りバイパス磁路形成体240の存在により磁界のZ方向成分が低減するので、これらの領域は「バイパス磁路作用空間」に含まれる。

【0084】

すなわち、「バイパス磁路作用空間」は、領域A、領域B、領域C1、及び領域C2の各領域を結合した空間と定義される。尚、この実施例ではバイパス磁路形成体240の両側面が開放されているが、これらの両側面を磁性体で閉じられた構成にすれば、領域C1、及び領域C2にはZ方向磁界低減効果が作用しないので、「バイパス磁路作用空間」は領域Aと領域Bとを加えた空間になる。30

【0085】

これらの定義からわかるように、「バイパス磁路作用空間」内に磁気センサ70を配置すると、大局的な磁力線250による磁界のZ方向成分が低減されるため、回転角計測精度が向上するという効果が得られるようになる。

【0086】

図3及び図4に示す構成の回転角計測装置80において、磁気センサ70の配置位置での磁界角を磁界計算により計算した結果を図5に示した。図5は図26に対応するもので、有限要素法による磁界計算を行い、磁束発生体202が回転した時の磁気センサ70の場所での水平方向(XY面内)磁界の方向を定量的に求めた。40

【0087】

磁気センサをZ=0mm(基準点)の位置に設置した場合の磁界角を図5に実線で示した。Z=0mmの基準点に磁気センサ70を設置した場合は、図26の実線とほぼ同じ磁界角分布になっている。理想的な理想直線からのずれ(磁界歪み誤差)は±30°程度であり、図26の場合(バイパス磁路形成体240が無い構成)とほぼ同じ特性である。

【0088】

一方、図5において、印の点線で示したのは、Z=-0.5mmの位置に磁気センサ50

70を設置した場合を示している。図5(バイパス磁路形成体240を設置した構成)の場合には、Z=0mmの基準点に置いた場合とほぼ同じ磁界角分布が得られており、誤差は±30°程度である。

【0089】

このように、磁気センサ70の設置位置が軸方向に0.5mmずれてもほぼ同じ特性が得られており、バイパス磁路形成体240がない構成と比べて設置位置の許容度が大幅に改善されたことがわかる。

【0090】

なお、前述の通り、±30°の誤差は、多極着磁磁石の磁界歪みと同程度の誤差であり、適切な補正方法により補正が可能である。このため、高精度に回転角を計測することが可能である。

【0091】

図6は磁気センサ70の設置位置と磁界歪み誤差との関係をプロットしたものである。磁界歪み誤差の大きさは回転角により異なるが、図6の縦軸には磁界歪み誤差の最大値をプロットしている。横軸は磁気センサ設置位置のZ=0mm(基準点)からのずれ量(mm)である。

【0092】

図6において、印で示したのはバイパス磁路形成体240がない従来の構成での磁界歪み誤差である。磁気センサ70の設置位置がZ=0mm(基準点)から軸方向に0.4mmずれると、誤差は90°に達し、軸方向に0.5mmずれると誤差は180°にまで達する。このように軸方向へのずれが大きくなるほど磁界歪み誤差は飛躍的に大きくなる。

【0093】

一方、印で示したのはバイパス磁路形成体240を設けた本実施例での磁界歪み誤差である。この場合、磁気センサ70の設置位置が軸方向で0.5mmずれても磁界歪み誤差は殆ど増加しないことがわかる。このように、本実施例のようにバイパス磁路形成体240を設けることにより、磁気センサ70の設置位置の許容度を大幅に改善できることがわかる。

【0094】

次に、バイパス磁路形成体240を設けることにより磁界のZ方向成分が低減することを説明する。図7は、磁気センサ70の設置位置での磁界強度を示すグラフである。図7では図2のように磁界BをXY面内成分の磁界強度の絶対値|B_{ip}|とZ方向成分の磁界強度の絶対値|B_z|とに分解してそれぞれの強度を示した。尚、XY面内成分|B_{ip}|は磁束発生体202の回転角により異なるので、最小の磁界強度をプロットした。図7の横軸は磁気センサ70の設置位置を示し、Z=0mm(基準点)からのずれ量(mm)である。

【0095】

まず、バイパス磁路形成体240を設けない場合の結果を見ると、Z=0mm(基準点)において、XY面内成分|B_{ip}|(印でプロット)が20mTであるのに対し、Z方向成分|B_z|(印でプロット)は約120mTであり、Z方向成分の方が6倍強いことが判る。これが比較の基になる基準点での磁界BのXY面内成分とZ方向成分の強度である。

【0096】

一方、磁気センサ70の設置位置が軸方向に0.4mmずれると、XY面内成分(印でプロット)は3mTに減少し、Z方向成分(印でプロット)は113mTとなってZ方向成分が38倍も強くなっている。

【0097】

前述の通り、Z方向成分は磁石211が発生する大局的な分布の磁力線250によるものであり、回転角に対応した磁界変化成分をほとんど持たない。このように、回転角の情報有するXY面内成分の磁界が小さいために回転角度の計測誤差が大きくなってしまう

10

20

30

40

50

。更に、もう一つの課題は、軸方向のずれ量 $Z=0.4\text{ mm}$ になると、XY面内成分（印でプロット）が $Z=0\text{ mm}$ （基準点）の時よりも小さくなることである。磁気センサ70の計測精度は通常 10 mT 以下になると、その計測精度が劣化するのでこの点でも、従来構成では回転角の計測精度が劣化することが理解できる。

【0098】

次に、本実施例になるバイパス磁路形成体240を設けた場合の結果を見ると、 $Z=0\text{ mm}$ （基準点）においては、XY面内成分（印でプロット）が 17 mT であり、バイパス磁路形成体240を設けていない従来の場合と概ね同じXY面内成分（磁界強度）を持つことがわかる。このことはバイパス磁路形成体240が基準状態では実質的に悪影響を与えていないことが理解できる。

10

【0099】

更に、磁界のZ方向成分（印でプロット）は 8 mT であり、バイパス磁路形成体240を有しない場合に比べて大幅にZ方向成分が減少し、加えてXY面内成分の磁界強度よりも小さくなっている。このように、回転角情報を含むXY面内成分 $|B_{ip}|$ がZ方向成分 $|B_z|$ よりも大きくなっているので回転角の計測精度が向上する。

【0100】

また、軸方向のずれ量 $Z=0.4\text{ mm}$ の場合を見ると、XY面内成分（印でプロット）は 15 mT であり、Z方向成分（印でプロット）は 6.3 mT である。このように、磁気センサの設置位置が多少ずれても、磁界のXY面内成分強度 $|B_{ip}|$ がほとんど低下しないので、高精度に回転角を計測できることが理解できる。

20

【0101】

磁気センサ70に用いるセンサの種類によっては、磁界のZ方向成分が強いと計測精度に悪影響を及ぼす場合がある。本実施例では磁気センサ70として磁界方向計測センサを用い、磁界感受面をZ方向と垂直に配置している。したがって、磁界のZ方向成分の影響は受けにくいが、センサの種類によっては影響を受けるものがある。

【0102】

磁界方向計測センサには、磁界感応素子としてホール効果素子や磁気抵抗効果素子を用いたものがあるが、特にホール効果素子を用いたものでは磁界のZ方向成分の影響を受け易い。例えば、複数個のホール効果素子を用いて、磁界強度の空間的差分を測定して磁界方向を検出するタイプの磁界方向計測センサでは、センサ感受面に垂直な磁界成分が強い場合には、計測精度に悪影響を受けやすい。

30

【0103】

上述したように、本実施例ではバイパス磁路形成体240を用いて大局的な磁界、或いは磁力線250の影響を弱めるので、複数のホール素子を用いた磁界方向計測センサを用いた場合に特にその効果が大きいものである。

【0104】

ここで、バイパス磁路形成体240の材料としては基本的には磁力線を流すことができる磁性体（磁化率が10以上）であれば良いが、実際的には磁化率が100以上の材料を用いるのが望ましく、具体的には鉄、珪素鋼、パーマロイ、ミューメタルなどがある。本実施例では板状の鉄を図3及び図4に示した形状に加工してバイパス磁路形成体240を製作した。

40

【0105】

前述の通り、本実施例になるバイパス磁路形成体240はZ方向の磁界、或いはZ方向と水平方向のベクトル成分を持つ大局的な磁界を磁気センサ70に流すのを少なく、或いは流さないように、バイパス磁路形成体240を介してバイパスして流す働きをするので、磁化率が高いほどその効果が高い。磁化率が高い材料としては、例えば鉄（ $=5000$ ）、珪素鋼（ $=7000$ ）、パーマロイ（ $=40000 \sim 100000$ ）、ミューメタル（ $=100000$ ）等がある。本実施例では、厚さが 1 mm の鉄板を用いて十分な効果が得られたので、価格が安く製作が容易な鉄を用いた。

【0106】

50

このように、本実施例においては磁化率 γ が 100 以上の磁性体材料を用いると特に好ましい。その理由は、磁化率 γ が 100 以上の材料でバイパス磁路形成体 240 を構成すると、磁束の通りやすさが、空気の $(\gamma + 1)$ 倍 = 101 倍以上になるため、Z 方向の磁界、或いは Z 方向と水平方向のベクトル成分を持つ磁界が効果的にバイパスされるからである。

【0107】

具体的には、磁性体材料として鉄や珪素鋼を用いると特に好ましく、パーマロイ、ミューーメタル等の磁化率 γ が 7000 を超える材料を用いると、バイパス磁路形成体 240 の板厚を薄くしても同等の効果が得られるので更に好ましいものである。

【0108】

また、本実施例の副次的な効果として、外乱磁界の影響を受けにくいことがあげられる。つまり、磁気センサ 70 の位置に外部からの磁界が入りこむと回転角の計測精度が劣化することが考えられるが、本実施例のように磁気センサ 70 をバイパス磁路形成体 240 で覆っているために、外部からの外乱磁界がバイパス磁路形成体で遮蔽されて回転角の計測精度が劣化することを抑制できることが期待できる。

【実施例 2】

【0109】

次に本発明の第 2 の実施形態について図 8 を参照しながら説明する。本実施例 2 においては磁束発生体 202 のヨーク突起 216A 及び 216B の形状が 3 角形の形状に構成されている点で実施例 1 と異なっている。

【0110】

実施例 1 ではヨーク突起 216A 及び 216B の形状を矩形状にしていたが、本実施例 2 のようにヨーク突起 216A 及び 216B を 3 角形にすると、磁気センサ 70 の位置に形成される X Y 面内成分（磁界）の強度が大きくなるという効果がある。

【0111】

面内成分の磁界強度が大きくなる理由は、ヨーク 215A とヨーク 215B の間隔を同じとした場合において、矩形状のヨーク突起 216A 及び 216B の対向する長さに対して、三角形のヨーク突起 216A 及び 216B の対向する長さが長くなるので、X Y 面内成分（磁界）の強度が大きくなると考えられる。

【0112】

すなわち、同一の強さの磁石 211 を用いたとすると、三角形のヨーク突起 216A 及び 216B を使用すると磁気センサ 70 の設置位置に形成される X Y 面内成分の磁界強度が強くなるという作用があり、この三角形状のヨーク突起 216A 及び 216B を用いると計測精度が向上する効果がある。

【0113】

尚、実施例 1 及び実施例 2 においては、ヨーク突起 216A の及び 216B の形状として、矩形状のものと 3 角形状のものを開示したが、本発明においてはこれら 2 つの形状に限定されるものではない。

【0114】

本発明が対象とする磁束発生体 202 は、図 25 に模式的に示したように N 極に磁化したヨーク突起 216A と S 極に磁化したヨーク突起 216B とが隣接して配置された構成にある。このような構成を用いると、磁束発生体 202 が回転することにより磁気センサ 70 の配置位置の磁界の X Y 面内成分 |B_{ip}| の方向が変化する。したがって、磁界角を計測することにより磁束発生体 202 の回転角を計測することができる。

【0115】

このように、本発明が対象とする磁束発生体 202 は隣接するヨーク突起 216A、216B が N 極と S 極とに交互に磁化される構成であれば、ヨーク突起 216A、216B の形状は問わないものである。いずれの形状であっても、磁石 211 が形成する大局的な磁力線 250 が Z 方向に形成されるので、バイパス磁路形成体 240 を設ける構成によってその大局的な磁力線 250 の影響を大幅に低減することができるものである。

10

20

30

40

50

【実施例3】

【0116】

次に本発明の第3の実施形態について図9を参照しながら説明する。本実施例3においてはバイパス磁路形成体240が実施例1のように円環を所定角度で切り取った形状ではなく、上面から見た形状が矩形である点で実施例1と異なっている。

【0117】

図9は回転角計測装置80をZ軸上から見た図であり、本実施例3では、バイパス磁路形成体240が四角形の矩形となっており、磁束発生体202に対向、近接する対向側面240Eが直線的な形状になっている。

このように構成すると、実施例1及び実施例2に示すものと同様に磁石211が形成する大局的な磁力線250がZ方向に形成されるが、バイパス磁路形成体240を設ける構成によってその大局的な磁力線250の影響を大幅に低減することができるものである。この実施例3によればバイパス磁路形成体240を製作する場合、全体が四角形の矩形となっており、バイパス磁路形成体240の加工や製作が容易になるという効果がある。

【実施例4】

【0118】

次に本発明の第4の実施形態について図10を参照しながら説明する。本実施例4においてはバイパス磁路形成体240が実施例1のように円環を所定角度で切り取った形状ではなく、上面から見た形状が略矩形であり、磁束発生体202に対向、近接する対向側面が凹状に形成されている点で実施例1と異なっている。

【0119】

図10の(a)及び(b)は回転角計測装置80をZ軸上から見た図であり、本実施例4では、バイパス磁路形成体240が略四角形の矩形となっており、磁束発生体202に対向、近接する対向側面が凹状の輪郭を有する形状になっている。図10の(a)は磁束発生体202に対向、近接する対向側面240Fが磁束発生体202の側面形状に合わせた円弧上の輪郭を有している。

【0120】

また、図10の(b)は磁束発生体202に対向、近接する対向側面240Gが磁束発生体202の側面形状に合わせた多角形上の輪郭を有している。このようにすると、磁束発生体202とバイパス磁路形成体240との距離(Air Gap長さ)が短くなるので、磁束発生体202の磁石211が発生する大局的な磁力線をより効果的にバイパス磁路形成体240に流すことが出来るという効果がある。

【実施例5】

【0121】

次に本発明の第5の実施形態について図11を参照しながら説明する。本実施例5においてはバイパス磁路形成体240の一部と磁束発生体202の一部が回転軸の軸線方向に隙間を有して夫々重なる(オーバーラップ)ように配置した点で実施例1と異なっている。尚、バイパス磁路形成体240は図9に示す実施例3のバイパス磁路形成体240を使用している。

【0122】

図11の(a)は回転角計測装置80をZ軸上から見た図であり、図11の(b)はX-Z断面を示した図である。本実施例5では、バイパス磁路形成体240の「バイパス磁路囲繞空間」の磁束発生体202に面する部分の空間厚みを磁束発生体202の厚みよりも大きくしている点に特徴がある。

【0123】

つまり、図11(b)の断面図からわかるように、バイパス磁路形成体240の第1面240Aが回転軸の軸線方向で磁束発生体202のヨーク215Aの上方に位置するように、また第2面240Bが回転軸の軸線方向でヨーク215Bの下面に位置するように構成することで、磁束発生体202とバイパス磁路形成体240とを互いに重なる形で配置したものである。

10

20

30

40

50

【0124】

これにより、バイパス磁路形成体240の形状は加工が容易な形状に保ちつつ、磁束発生体202からの大局的な磁力線を効果的にバイパス磁路形成体240にバイパスすることが可能となる。また、磁束発生体202とバイパス磁路形成体240とを互いに重なる形で配置されているため、大局的な磁力線205がZ軸方向から侵入する度合いが実施例1に比べて少なくなり、より計測精度を向上できる構成となっている。

【0125】

ここで、バイパス磁路形成体240とヨーク215A、215Bの重なり度合いであるが、少なくともバイパス磁路形成体240の両先端角部がヨーク215A、215Bの外周縁と重なる位置まで延びるようにすることが望ましく、本実施例5ではバイパス磁路形成体240の両先端角部がヨーク215A、215Bの外周縁を超えて延びるように構成されている。

10

【実施例6】

【0126】

次に本発明の第6の実施形態について図12を参照しながら説明する。本実施例6においてはバイパス磁路形成体240の構成を提案している。本実施例6では、バイパス磁路形成体240は図9に示す実施例3のバイパス磁路形成体240を使用している。そして、バイパス磁路形成体240はその第3面240Cに開口部246を形成することが特徴となっている。このような構成にすることで、磁気センサ70の設置が容易になるという効果がある。

20

【0127】

具体的には、開口部246を通して磁気センサ70をバイパス磁路形成体240の「バイパス磁路囲繞空間」に導入したり、逆に開口部246の反対側の開口部240Dから磁気センサ70を「バイパス磁路囲繞空間」に導入したりすることができる。この場合、開口部246が磁気センサ70の信号配線の引き出し口となる。このように、開口部246を設けたことにより磁気センサ70の導入が容易になる、或いは磁気センサ70の信号配線の引き出し口として用いることができる。

【0128】

ここで、バイパス磁路形成体240は磁性体なのでリラクタンス（磁気リラクタンス）が小さく、空気中と比べて磁束が通りやすい。そのため、バイパス磁路形成体240の一部が開口部246となっていると、バイパス磁路形成体240内の磁束は開口部246を避けて流れようになる。したがって、バイパス磁路形成体240の一部に開口部が設けられていても磁束をバイパスする効果が得られる。

30

【0129】

図12ではバイパス磁路形成体240の構成面のひとつ、ここでは第3面240Cに開口部246を設けた例を示したが、複数の構成面に開口部246を設けてももちろん良い。

【0130】

実施例6の変形例を図13に示しており、この変形例ではバイパス磁路形成体240の第2面240B（下面）に開口部246を形成している。この変形例では磁気センサ70はバイパス磁路形成体240の開口部240Dから挿入されて「バイパス磁路囲繞空間」、或いは「バイパス磁路内包空間」に設置されるが、信号配線208は引き出し口となる開口部246から引き出されるようになっている。

40

【0131】

このように信号線208をバイパス磁路形成体240の第2面240B（下面）に設けると、例えばバイパス磁路形成体240の第3面240Cに引き出し開口を設けられない場合とか、この回転角計測装置を取り付ける場所が制約され、例えば図19にあるような電動機に設ける場合に軸方向に引き出し線を出す必要がある場合に有効な構成である。

【0132】

尚、上記した種々のバイパス磁路形成体240は磁性体がむき出しだあるが、インサー

50

ト成型のような手法を用いて合成樹脂で全体を覆うようにするのとさらに望ましい。この場合は磁気センサ70も合成樹脂によって液密に囲繞してバイパス磁路形成体の「バイパス磁路内包空間」或いは「バイパス磁路内包空間」と図4に示す領域Bの接続部分等に設置するが、バイパス磁路形成体240に強固に固定することが必要である。また、この磁気センサ70とバイパス磁路形成体240は一体的に制作して寸法関係を正確に出すことが重要である。このために、両者を一体として管理するとさらに望ましい構成となる。

【実施例7】

【0133】

次に本発明の第7の実施形態について図14を参照しながら説明する。本実施例7においてはバイパス磁路形成体240が磁気センサ70の設置位置を境に分割されているという点が実施例1と異なっている。 10

【0134】

分割された2つのバイパス磁路形成体240-1、240-2の間の空間を「磁路分離空間」と定義し、2つのバイパス磁路の間の距離を「磁路分離長さ」と定義する。更に、磁路分離長さを回転中心線226から見た見込角を「磁路分離角」と定義する。言い換えれば、「磁路分離角」は、回転中心線226と「磁路分離空間」の両端とを結んでできる2本の直線のなす角度である。

【0135】

本実施例7において、磁路分離空間は概ねZ方向(軸線方向)に沿って形成されるもので、分割されたそれぞれのバイパス磁路形成体240-1、240-2は磁石211のN極からS極へつながる磁路を形成するように分割されている。 20

【0136】

尚、本実施例7とは逆にN極からS極へつながる磁路を分割してしまうと、磁路のリラクタンス(磁気抵抗)、すなわち磁束の通りにくさが増大してしまうため、N極からS極に向かう不要な磁束をバイパスするという機能を果たさなくなってしまうようになる。本実施例7ではN極からS極に至る磁路は維持されているので、磁束をバイパスする効果は保持されるものである。

【0137】

以上のように、「磁路分離空間」は概ねZ方向(軸方向)に沿っていればよく、Z方向に対して少し斜めの方向に形成されていても良いが、あまり大きく傾斜されると好ましくなく、傾斜の度合いはそのシステムが組まれる仕様に合わせて許容できる範囲を策定すればよいものである。 30

【0138】

この本実施例7で定義した「磁路分離空間」は、上述した「バイパス磁路作用空間」の定義に含まれるものであり、その理由は、後述の通り「磁路分離空間」内ではバイパス磁路形成体240-1、240-2の作用により、磁界のZ方向成分が充分低減しているからである。そのため、「磁路分離空間」に磁気センサ70を配置すると、本発明の効果である、磁気センサ70の設置位置の許容度が大きくとれると共に、計測精度が向上できるという効果が期待できる。

【0139】

次に、本実施例7にある「磁路分離空間」によって磁路が分離されている場合の磁束のバイパス効果について説明する。前述の通り、本発明の課題は回転角の情報を含まないZ方向の磁界成分を低減させることである。したがって、磁気センサ70を設置する位置での磁界のZ方向成分の大きさ|Bz|を調べれば効果の度合いを知ることができる。すなわち、磁気センサ70を設置する位置での磁界のZ方向成分の大きさ|Bz|が小さいほど効果が得られていることがわかる。 40

【0140】

そこで、図15にあるようにバイパス磁路形成体240-1、240-2を配置した構成において点線上の測定位置P()でのZ方向成分の大きさ|Bz|を磁界計算により求めた。測定位置P()はX軸から角度だけ離れた場所であり、今回はこの角度をX

軸基準に - 30° から + 30° まで振った時の Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ について磁界計算した。また、2 個のバイパス磁路形成体 240-1、240-2 を磁路分離角だけ離して配置してあるので、この磁路分離角を 5°、10°、20°、30° とした場合のそれについて磁界計算を行った。

【0141】

図 16 に各測定位置測定位置 P()における Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ の値を示した。図 16 からわかるように、磁路分離角を 5°、10°、20°、30° とした場合であってもバイパス磁路形成体 240-1、240-2 で囲まれた空間内では Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ は 10 mT 程度である。

【0142】

そして、磁路分離角 = 5° の構成では Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ はバイパス磁路形成体 240-1、240-2 の内部空間内とほぼ同じ程度の低いレベルである。また、磁路分離角 = 10° でも Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ は十分に小さいことが判る。一方、この磁路分離角が大きくなるにつれて Z 方向成分の大きさ $|B_z|$ が大きくなっている、磁路分離角 = 30° だと、測定位置 P() = 0 (X 軸上)においては 80 mT であり、バイパス磁路形成体 240-1、240-2 (240) が無い場合の強度である約 100 mT と同等レベルになり、その効果が著しく低減していることが判る。

【0143】

このように、図 16 の結果からわかる通りバイパス磁路形成体 240 をバイパス磁路形成体 240-1、240-2 のように 2 個に分割して配置した場合でも、「磁路分離空間」にはバイパス磁路形成体 240-1、240-2 による磁束の低減効果があることが理解できる。また、図 16 からわかるように、磁路分離角を 10 度以下に設定するとより高い効果が得られるのでさらに好ましい結果が得られるようになる。

【0144】

本実施例 7 の構成による効果は、磁気センサ 70 の設置許容度が向上すると共に、回転角の計測精度が向上するという共通の効果に加えて、磁気センサ 70 を設置しやすいという効果がある。

【0145】

この効果は、磁気センサ 70 の設置位置が磁路分離空間で良いため、磁気センサ 70 をバイパス磁路形成体 240-1、240-2 の内部に設置したり、磁気センサ 70 の信号配線の引き出しが容易になるということに起因している。

【実施例 8】

【0146】

次に本発明の第 8 の実施形態について図 17 を参照しながら説明する。本実施例 8 においては磁気センサ 70 を複数個、ここでは 2 個設置した点で実施例 1 と異なっている。本実施例 8 においては 2 個の磁気センサ 70-1、70-2 による冗長系の構成にすることで、回転角計測装置 80 の信頼性を向上させることが出来る。この信頼性とは磁気センサ 70 自身が有する計測精度に関する信頼性ではなく、故障や異常に対する信頼性を意味している。

【0147】

従来のような設置方法では磁気センサ 70 の設置位置の許容度が狭かったため、基本的には磁気センサ 70 は Z = 0 mm (基準位置) の位置にしか設置することが許されていなかった。このため、2 個の磁気センサ 70 を用いる等の冗長系を考慮した構成は採用できず、また採用しても例えばプリント基板の厚さ等の影響によって軸方向の設置位置のずれが生じて計測精度が悪くなっていた。この計測精度が悪くなる理由は既に説明した通りである。

【0148】

これに対して、今まで説明してきたようにバイパス磁路形成体 240 を設ける構成によって、磁気センサ 70 の設置位置の許容度が大幅に増大したので図 17 に示す構成を採用することが可能になった。図 17 において、磁気センサ 70-1、70-2 はプリント基

10

20

30

40

50

板 161 の両側に間隔をおいて設置されており、この実施例では磁気センサ 70-1、70-2 はプリント基板 161 に接着等の手法によって固定されている。図 6 の特性図に示してあるように、バイパス磁路形成体 240 を設けることによって $Z = 0.5 \text{ mm}$ でも精度よく回転角を計測できる。よって、例えば、厚さ 1 mm のプリント基板 161 の両面側に磁気センサ 70-1、70-2 を設置したとしても、夫々の磁気センサ 70-1、70-2 は $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) に対して $Z = \pm 0.5 \text{ mm}$ のずれを伴って位置するので、十分な計測精度が得られるようになる。

【0149】

このように、磁気センサ 70 を複数個 (ここでは 2 個) 用いた冗長系の構成を用いることにより、磁気センサ 70 の異常 (fault) や故障 (failure) を検出することができる。また、どちらかの磁気センサ 70 で異常や故障が発生した場合に、正常動作している磁気センサの信号を用いたバックアップ動作に切り替えることで正しい回転角情報を出力し続けることが可能になるといった効果が期待できる。

【実施例 9】

【0150】

次に本発明の第 9 の実施形態について図 18 を参照しながら説明する。本実施例 9 においては 3 角形のヨーク突起 216A、216B を有する磁束発生体 202 と、2 個の磁気センサ 70-1、70-2 とを用いた点で実施例 1 と異なっている。

【0151】

この実施例 9 では実施例 8 に示す冗長系の構成を採用できることはもちろんであるが、本実施例 9 では三角形のヨーク突起 216A、216B の特性を利用して以下に述べるような別の作用効果を得ることができる。

【0152】

図 18 にあるような 3 角形のヨーク突起 216A、216B を用いると、磁束が効率的に取り出せるという利点がある。しかしながら、磁気センサ 70 の設置位置である磁界計測位置が $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) からずれると図 26 で説明したように磁界角分布が変化するという現象がある。

【0153】

本実施例 9 では、第 1 磁気センサ 70-1、及び第 2 磁気センサ 70-2 の設置位置をそれぞれ $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) から所定長さ $+Z_1$ 、 $-Z_1$ とすると、プリント基板 161 の設置位置が $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) から $+Z_1$ 側に d にずれた場合、第 1 磁気センサ 70-1、及び第 2 磁気センサ 70-2 の位置は $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) からそれぞれ ($Z_1 + d$)、($-Z_1 + d$) に変化する。

【0154】

したがって、第 1 磁気センサ 70-1 は $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) から離れる方向に位置が変化し、第 2 磁気センサ 70-2 は $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) に近づく方向に位置が変化することになる。よって、第 1 磁気センサ 70-1 の磁界角の発生位相と第 2 磁気センサ 70-2 の磁界角の発生位相の両者の平均値を求めるとき、プリント基板 161 の設置位置の変動 d の影響を相殺できるようになる。この場合、各磁気センサ 70-1、70-2 から出力される磁界角は別に設けた演算機能を備えた制御装置で求めることができる。

【0155】

このように、3 角形のヨーク突起 216A、216B を有する磁束発生体 202 と、2 個の磁気センサ 70-1、70-2 とを組み合わせることにより、プリント基板 161 の位置変動の影響を受けにくい回転角計測装置 80 を得ることができる。

【実施例 10】

【0156】

次に本発明の更なる実施形態として、上述した回転角計測装置 80 を利用した回転機械について図面に基づいて説明する。尚、ここでいう回転機械とは、電動機や発電機はいうに及ばず、要は回転軸等の回転要素を含む機械を含む概念である。

【0157】

10

20

30

40

50

図19は本実施例10になる回転機械の断面を示すもので、本実施例10は電動機であり電動機部100と回転角検出部200とで構成される。

【0158】

電動機部100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110及び複数の回転磁極を構成するロータ120から構成されている。ステータ110はステータコア111と、ステータコア111に装着されたステータコイル112から構成されている。ロータ120はステータ110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10では電動機として三相交流式の永久磁石型同期電動機を用いている。

10

【0159】

電動機本体を囲む筐体は円筒状のフレーム101と、フレーム101の軸方向両端部に設けられた第1ブラケット102および第2ブラケット103から構成されている。第1ブラケット101の中央部には軸受106が、第2ブラケット103の中央部には軸受107がそれぞれ設けられており、これらの軸受106, 107は回転軸121を回転可能なように支持している。

【0160】

フレーム101と第1ブラケット102との間にはシール部材（図示せず）が設けられており、このシール部材は環状に設けられたOリングでフレーム101と第1ブラケット102によって軸方向及び径方向から挟み込まれて圧縮されている。これにより、フレーム101と第1ブラケット102との間を液密的に封止できてフロント側を防水できる。また、フレーム101と第2ブラケット103との間も同様にシール部材（図示せず）により防水されている。

20

【0161】

ステータ110はステータコア111と、ステータコア111に装着されたステータコイル112から構成され、フレーム101の内周面に設置されている。ステータコア111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から構成されている。

【0162】

30

複数のティースの夫々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気的に接続され、さらには3相巻線として電気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。

【0163】

ロータ120は、回転軸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。

40

【0164】

次に、回転角検出部200の構成を説明する。回転角検出部200は磁気センサ70と磁束発生体202、およびバイパス磁路形成体240とで構成されている。

【0165】

磁束発生体202は、回転機械の回転軸121の回転に連動して、回転中心線226に沿って回転する。図19の構成では、回転機械の回転軸121に磁束発生体202を取り付けている。但し、本発明はこの構成に限定されるものではなく、回転機械の回転軸121と磁束発生体202を設置する回転軸とを別の軸とし、両者の軸をギアなどで接続して連動して回転するようにしてもよい。同様にして、ギアなどによる回転方向変換により、

50

回転機械の回転軸 121 の回転中心線と磁束発生体の回転中心線とを別物にしてもよい。

【0166】

磁束発生体 202 の構成は図 1 に示したものと同様の構成である。すなわち、回転中心線 226 の方向に着磁された 2 極磁石 211 と 2 つのヨーク 215A、215B とで構成される。ヨーク 215A、215B は、それぞれ櫛歯状のヨーク突起 216A、216B を有する。尚、図 19 では、磁束発生体 202 を構成するヨーク 215A、215B とヨーク突起 216A、216B の図示は省略してある。

【0167】

バイパス磁路形成体 240 は磁化率が 10 以上の磁性体材料を用いることにし、本実施例では板厚 1 mm の珪素鋼板を用いた。バイパス磁路形成体 240 の構造は図 4 に示したものと同様である。バイパス磁路形成体 240 は固定具 132 を用いて第 2 ブラケット 103 に固定した。

【0168】

磁気センサ 70 はバイパス磁路形成体 240 の「バイパス磁路作用空間」内に設置したが、更に詳しくいえば特に「バイパス磁路囲繞空間」内に磁気センサ 70 を設置した。磁気センサ 70 には磁界方向計測センサを用い、磁界感受面が回転中心線 226 を法線とする平面と平行になるように配置した。

【0169】

図 3 に示したものと同様に、回転中心線 226 を Z 軸と定義し、Z 軸の原点は磁束発生体 202 の厚み方向の中点に設定する。つまり、上述した $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) を表しており、この基準点に合わせて磁気センサ 70 が設置されるように構成されている。これによって、設計上は最も計測精度が良い位置で磁気センサ 70 がヨーク突起 216A、216B による変調磁界を検出するようになっている。ただ、繰り返して述べるが実際には設計通りに磁気センサ 70 を $Z = 0 \text{ mm}$ (基準点) に設置することが難しく、わずか軸方向に 0.5 mm ずれただけでも計測精度が大きく低下するようになる。このため本発明になるバイパス磁路形成体 240 によってこのずれによる計測精度の低下を抑制するようにしたのである。

【0170】

このような構成にすることで、磁束発生体 202 のヨーク突起 216A、216B が生成する局所的な変調磁界を検出して、回転軸 121 の回転角に連動した磁界角を磁気センサ 70 で計測できるようになる。

【0171】

そして、磁界角分布 (磁界角プロファイル) のセクタ間の再現性は、ヨーク突起 216A、216B の機械的精度で支配されるのでセクタ間の再現性が高い。そのため、測定された磁界角から回転軸 121 の回転角を精度良く計測することが可能となる。

【0172】

このようにして計測した回転角の信号は、制御装置 (電子制御装置、Electronic Control Unit) に入力される。制御装置は回転角の情報を用いて電動機の駆動電圧波形を出力し、電動機を適切に制御することができる。

【0173】

尚、電動機の極数 (number of poles) と磁束発生体 202 の極数 ($N_p \times 2$) とを一致させると、電動機の制御が容易になるので特に好ましい構成といえる。すなわち、電動機の極数が ($p \times 2$) 極の場合、($p \times 2$) = ($N_p \times 2$) となるように、磁束発生体 202 のヨーク突起の個数を定めると良い。電動機の極数は、回転磁極の極数に等しい。

【実施例 11】

【0174】

次に本発明の第 11 の実施形態について図 20 を参照しながら説明する。本実施例 11 においては電動機を構成するブラケットの一部をバイパス磁路形成体 240 の構成要素の一部に利用した点で実施例 10 と異なっている。

【0175】

10

20

30

40

50

本実施例11では、電動機の構成要素の一部をバイパス磁路形成体240の構成要素として共用することを特徴としている。具体的には、電動機の第2ブラケット103にバイパス磁路形成体240を設置しているが、図3にあるバイパス磁路形成体240の第2面240Bを第2ブラケット103で共用するようにしている。このように構成すると、バイパス磁路形成体240の構成が簡素化され、磁気センサ70の組み込み易さ等から製作が容易となる効果がある。尚、第2ブラケット103は通常は鉄系材料が使用されているため、磁性体としては十分な磁化率を備えているので問題はないものである。

【0176】

なお、「第2面240Bを第2ブラケット103と共に用する」と記載したが、この記載は、磁束発生体202の磁石の着磁の向きを規定するものではない。第1面240Aまたは第2面240Bのうちのいずれか一方の面を回転機械の筐体の構成要素と共に用する、という意味に解釈されるべきである。

10

【0177】

このように、本実施例11ではバイパス磁路形成体240の第2面240Bを第2ブラケット103での表面を利用して構成しているものである。この構成では、Z方向の磁力線は一方のヨークからバイパス磁路形成体240、第2ブラケット103を通って他方のヨークに流れようになるので、磁気センサ70にZ方向の磁力線が悪影響を及ぼすのを抑制できる。尚、バイパス磁路形成体240と第2ブラケット103の間の接触面に隙間があると、磁気リラクタンスが増加してZ方向の磁力線のバイパス低減効果が減少する恐れがあるので、バイパス磁路形成体240と第2ブラケット103とは十分に密着するよう構成することが必要である。本実施例においては両者をぴったり密着させて固定したが、この他に磁束を通す軟質樹脂等を介して両者を密着することで磁気リラクタンスの増加を対策することができる。

20

【実施例12】

【0178】

次に本発明の第12の実施形態を図21に基づき説明する。本実施例12はトルク計測装置（トルクセンサ）の構成を示している。

【0179】

本実施例12のトルク計測装置は、トーションバー135により接続された入力軸131と出力軸132、およびその入力軸131と出力軸132のそれぞれに設置された回転角計測装置80とを有する構成である。

30

【0180】

本実施例12のトルク計測装置は、入力軸131と出力軸132とがトーションバー135により接続されている。入力軸131の回転角1と出力軸132の回転角2を計測し、両者の差 $=2-1$ から、軸に加わっているトルクMを計測する。トルクMが角度差に比例することを利用して、からトルクMを計測するわけである。このようなトルク計測装置は自動車のハンドルの動きを車輪に伝える操舵装置等に用いられている。

【0181】

そして、入力軸131には第1の磁束発生体202-1が設けられており、出力軸132に第2の磁束発生体202-2が設けられている。2つの磁束発生体202-1、202-2は、それぞれ磁石211と2つのヨーク215A、215Bとで構成されている。

40

【0182】

また、磁束発生体202-1、202-2のそれぞれの側面にはバイパス磁路形成体240-1、240-2と磁気センサ70-1、70-2が配置されている。磁気センサ70-1、70-2は、それぞれバイパス磁路形成体240-1、240-2の「バイパス磁路作用空間」中に配置されており、更に詳しくいえば特に対応するバイパス磁路形成体240の「バイパス磁路囲繞空間」中に磁気センサ70-1、70-2が配置されている。バイパス磁路形成体240-1、240-2は図示していない取り付けハウジングに固定されている。この取り付けハウジングはバイパス磁路形成体240を専用に取り付けるものでもよく

50

、また他の操舵装置を構成する構成部品にバイパス磁路形成体 240を取り付けるようにしても良い。

【0183】

本実施例 12 では、磁気センサ 70-1、70-2 がバイパス磁路形成体 240 の「バイパス磁路作用空間」中に配置されているので、磁束発生体 202-1、202-2 で生じる Z 方向の磁界成分がバイパス磁路形成体 240 によってバイパスされるため、それぞれでの回転角 θ_1 、 θ_2 を高精度に計測できる。この理由は先に述べた通りである。

【0184】

トルク計測装置では角度差 $\Delta\theta$ は、最大トルク時に 4° 程度になるように設計されるので、回転角度が $-4^\circ \sim +4^\circ$ の角度差を高精度に計測する必要がある。

10

【0185】

そこで、本実施例 12 では磁束発生体 202-1 のヨーク突起数 N_p1 と、磁束発生体 202-2 のヨーク突起数 N_p2 の数を多くすることで、微小な回転角変化でも大きな磁界角変化になるように設計した。具体的には、 N_p1 と N_p2 をそれぞれ 10 以上に設定すると回転角度が $-4^\circ \sim +4^\circ$ の角度差を高精度に計測することができるようになる。

【0186】

また、好ましくは、2つの磁束発生体 202-1、202-2 のヨーク突起 $216A$ 、 $216B$ の個数を等しくする、すなわち、 $N_p1 = N_p2$ になるように設計すると角度差の計算がし易くなる。つまり、図 5 にあるような磁界角の変化と機械角の変化との対応関係が 2 つの回転角計測装置 80 で等しくなるので、回転角の差 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ の計算が単純になるという効果がある。

20

【0187】

本実施例 12 においては、 $N_p1 = N_p2 = 18$ に設定すると磁界角 1 回転に対応する回転角変化量は、 $360^\circ / N_p = 20^\circ$ になるので、 $\pm 4^\circ$ の回転角変化が概ね $(\pm 4 \times N_p) = \pm 80^\circ$ の磁界角変化として計測される。このようにして回転角差 $\Delta\theta$ を高精度に計測することが可能になる。そして、回転角差 $\Delta\theta$ に適切な比例係数を乗ずることでトルク M が計測できるようになる。尚、このような計算は別に設けた演算機能を備える制御装置によって実行される。

【0188】

トルク計測装置には必要に応じて回転角計測部を設けても良い。例えば、電動パワーステアリング装置に用いる場合に、トルク計測に加えて、入力軸 131 の回転角も計測したい場合がある。電動パワーステアリング装置の場合、入力軸 131 の回転角はハンドルの角度に対応した操舵角に相当する。

30

【0189】

これは図 21 に示すようなセンサ磁石 143 と磁気センサ 142 とが回転角計測部を構成することになる。尚、この回転角計測部はトルク計測装置において必須の構成物ではないが、電動パワーステアリング装置においては必要となる。

【0190】

センサ磁石 143 は入力軸 131 に設置されており、センサ磁石 143 は径方向に着磁された 2 極磁石である。センサ磁石 143 の側面には磁気センサ 142 が配置されている。磁気センサ 142 は磁界方向計測センサであり、ハウジング（図示せず）に対して固定されている。センサ磁石 143 は 2 極磁石なので入力軸の 1 回転に対応して磁気センサ 142 が計測する磁界角も 1 回転する。磁気センサ 142 で計測した磁界角に適切な補正を施すこと、入力軸 131 の回転角を計測することができる。

40

【実施例 13】

【0191】

次に本発明の第 13 の実施形態を図 22 に基づき説明するが、本実施例 13 は電動パワーステアリングシステム（Electric Power-Assisted Steering system）の構成を示している。

【0192】

50

図22において、ハンドル501に機械的に連結したステアリングシャフト503はトルクセンサ502を経由して連結部504に接続されている。減速ギアなどで構成された連結部504には電動機100の回転軸121が接続され、更に連結部504には連結シャフト505が接続されている。

【0193】

連結シャフト505はギアボックス506に接続され、ギアボックス506にはタイロッド507が接続される。ギヤボックス506は、連結シャフト505の回転運動をタイロッド507の直線運動に変換するもので、タイロッド507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更されるようになる。このような電動式のステアリングシステムは良く知られた構造である。

10

【0194】

回転体121は電動機100の回転軸であり、一方の端に磁束発生体202が設置されている。磁束発生体202の近傍には磁気センサ70とバイパス磁路形成体240が設置されており、回転体121の回転角を計測してECU411に回転角情報を送信するようになっている。そして、磁束発生体202、磁気センサ70、およびバイパス磁路形成体240とで回転角計測装置80を構成している。この回転角計測装置80の構成と作用は既に述べた通りである。

【0195】

磁束発生体202の構成は図3、図4に示した磁束発生体202と同様であり、ヨーク突起216A、216bを有するヨーク215A、215bと、磁石211とで構成されている。また、バイパス磁路形成体240も図3、図4に示した構成としている。

20

【0196】

運転者がハンドル501を回すと、その回転動作はトルクセンサ502で検出されてECU411に電気信号として伝達される。ECU411はトルクセンサ502からの信号と、回転角計測装置80からの回転角信号、及び車速信号などから適切な電動機駆動量を算出し、電動機駆動部412に信号を送信する。これにより電動機100は回転体121を回転駆動し、連結シャフト505の回転を補助(アシスト)する。このようにしてタイヤの向きを変更する運動をアシストする。

【0197】

本実施例13において、回転角計測装置80内の磁気センサ70はバイパス磁路形成体240の「バイパス磁路作用空間」内に配置されているため、Z方向の磁界がバイパスされて高精度に回転角を計測できるようになる。

30

【実施例14】

【0198】

次に本発明の第14の実施形態を図23に基づき説明するが、本実施例14は電動車両駆動装置の構成を示している。

【0199】

図23においては、自動車の動力として内燃機関と電動機とを組み合わせたハイブリッド自動車用の電動車両駆動装置を示している。

【0200】

内燃機関553の出力回転軸と発電機552、駆動用電動機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。

40

【0201】

駆動用電動機551には図19で説明した電動機を用いており、この駆動用電動機551は図19に記載したように、電動機部100と回転角検出部200とで構成されている。回転角計測部200は磁束発生体202-1と磁気センサ70-1、およびバイパス磁路形成体240-1とで構成される。

50

【0202】

磁束発生体 202-1 の構成は、図3、図4に示した磁束発生体と同様であり、ヨーク突起 216A、216B を有するヨーク 215A、215B と、磁石 211 とで構成されている。また、バイパス磁路形成体 240 も図3、図4に示した構成としている。

【0203】

発電機 552 にも回転角検出部が設けられており、この回転角計測部は、磁束発生体 202-2 と磁気センサ 70-2、およびバイパス磁路形成体 240-2 とで構成されており、その構成は磁束発生体 202-1 と同様の構成とされている。

【0204】

このような構成の電動車両駆動装置においては、駆動用電動機 551 や発電機 552 の回転角計測装置 8080 内の磁気センサ 70 はバイパス磁路形成体 240 の「バイパス磁路作用空間」内に配置されているため、Z 方向の磁界がバイパスされて高精度に回転角を計測できるようになる。

【0205】

尚、磁束発生体の 202-1 のヨーク突起 216A、216B の磁極の個数 N_p 1 は、駆動電動機 551 の磁極数 ($p \times 2$) と対応させると好ましく、例えば駆動電動機の磁極数を ($p \times 2$) とすると、ヨーク突起 216A、216B の磁極の個数 $N_p = p$ とするといい。このようにすると、磁気センサ 70-1、70-2 が出力する磁界角信号が、駆動電動機 551 の電気角と対応した周期になるので、駆動電動機の制御が容易になるという効果がある。当然のことながら、磁束発生体の 202-2 のヨーク突起 216A、216B の磁極の個数 N_p と発電機 552 の磁極数との関係も同様である。

【0206】

このような電動車両駆動装置では、高い出力トルクを得るために電動機の極数を多くする場合があり、本発明で説明した回転計測装置に使用する磁束発生体 202 によればヨーク突起 216A、216B の個数を増やすことで磁束発生体の極数を容易に増やすことが可能となり、このような電動車両駆動装置に用いることとに適している。

【符号の説明】

【0207】

70...磁気センサ、80...回転角計測装置、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...回転軸、131...入力軸、132...出力軸、135...トーションバー、142...磁気センサ、143...センサ磁石、200...回転角検出部、202...磁束発生体、211...磁石、215...ヨーク、216...ヨーク突起、226...回転中心線、240...バイパス磁路形成体、240A...バイパス磁路形成体の第1面、240B...バイパス磁路形成体の第2面、240C...バイパス磁路形成体の第3面、240D...バイパス磁路形成体の開口部、246...開口部、250...磁力線、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...内燃機関、554...動力分配機構、557...動力結合機構、558...動力シャフト。

10

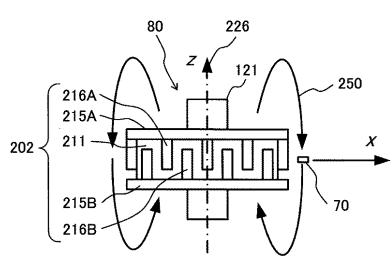
20

30

40

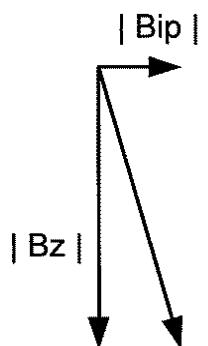
【図1】

図1



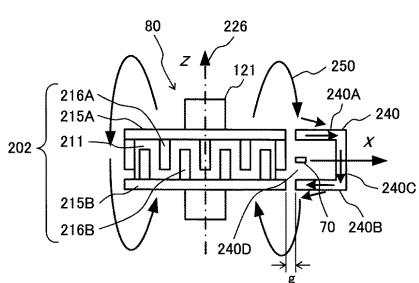
【図2】

図2



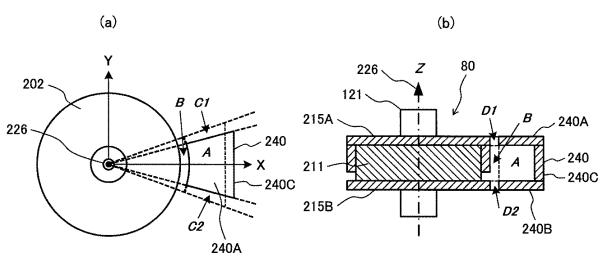
【図3】

図3



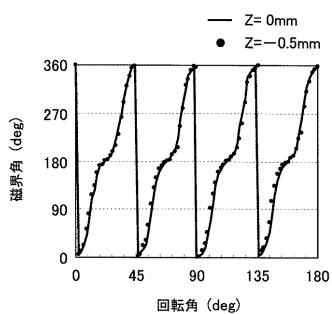
【図4】

図4



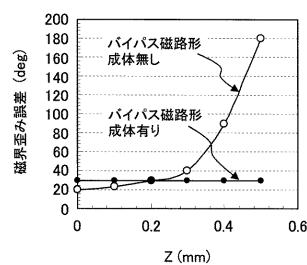
【図5】

図5



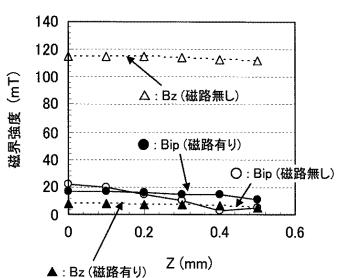
【図6】

図6



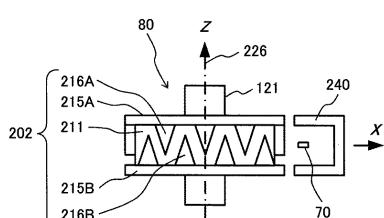
【図7】

図7



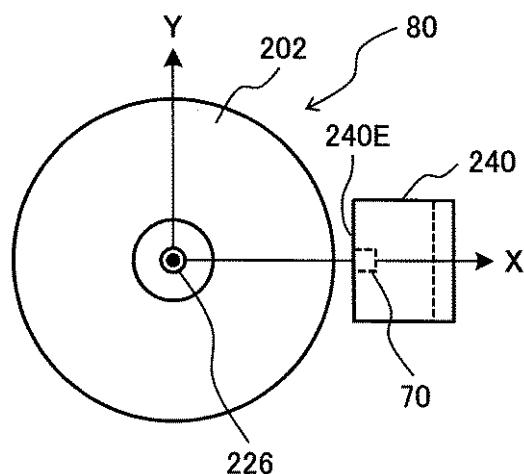
【図8】

図8



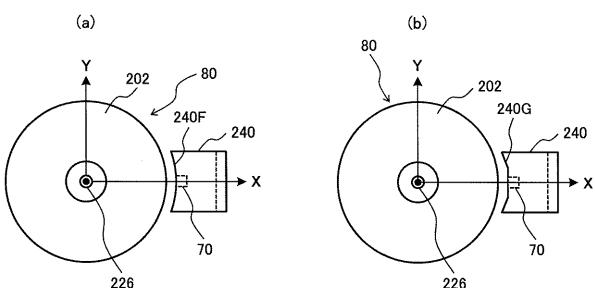
【図 9】

図 9



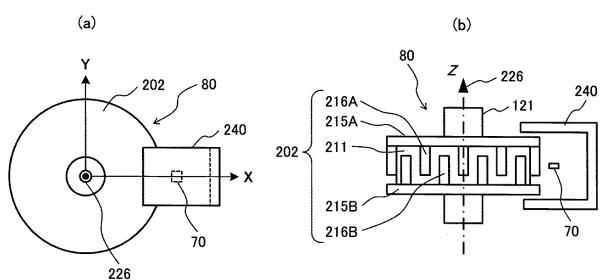
【図 10】

図 10



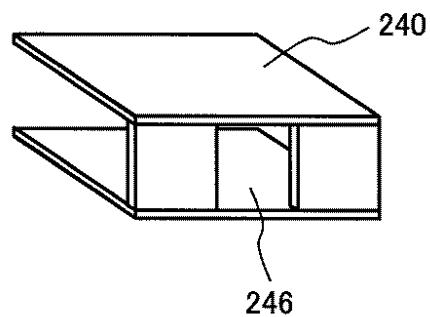
【図 11】

図 11



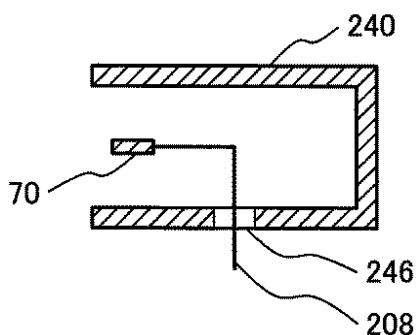
【図 12】

図 12



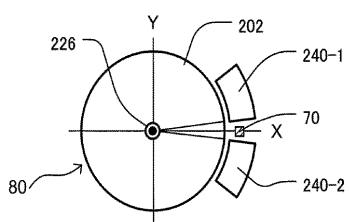
【図 13】

図 13



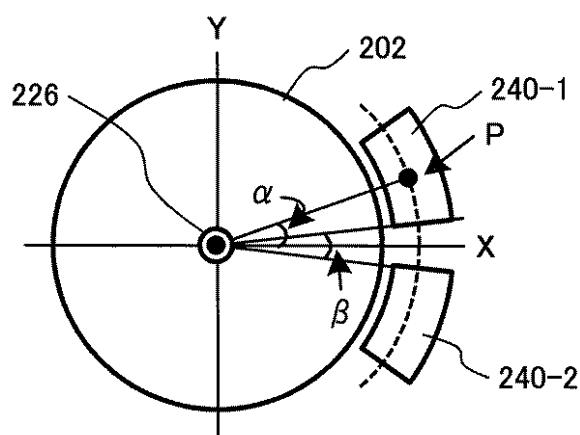
【図 14】

図 14



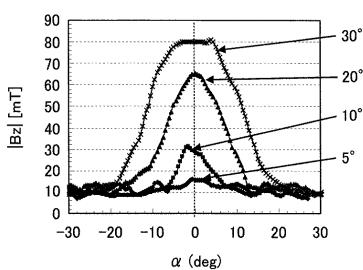
【図15】

図15



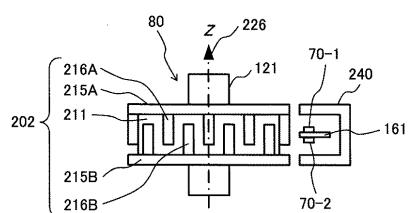
【図16】

図16



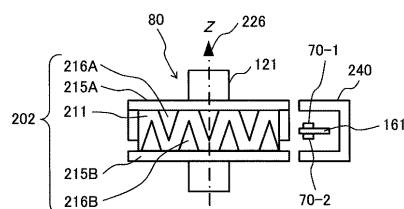
【図17】

図17



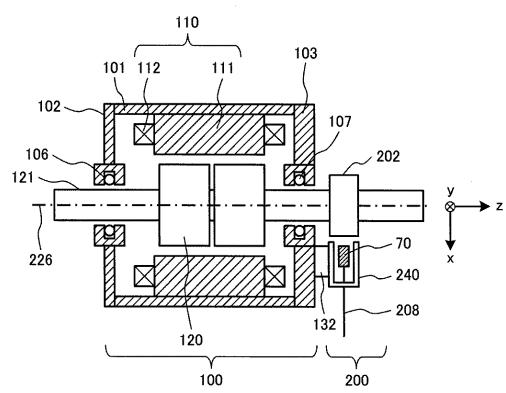
【図18】

図18



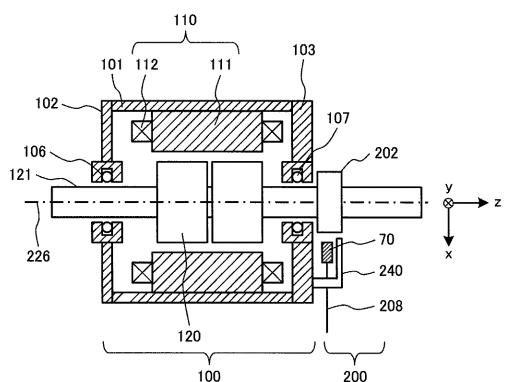
【図19】

図19



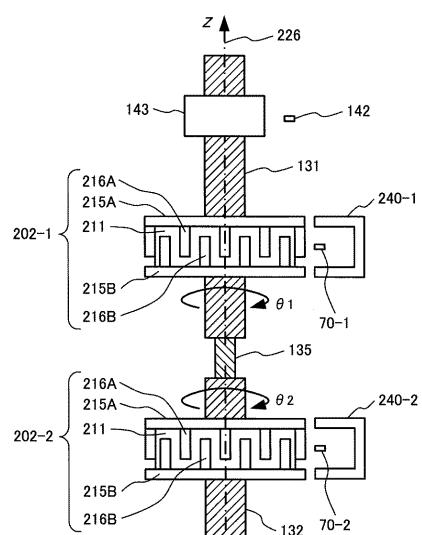
【図20】

図20



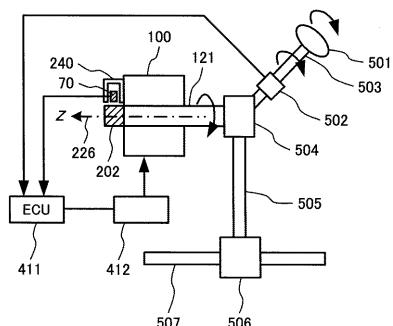
【図21】

図21



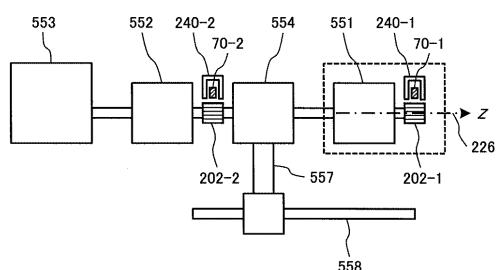
【図22】

図22



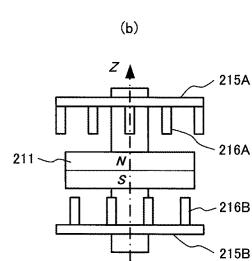
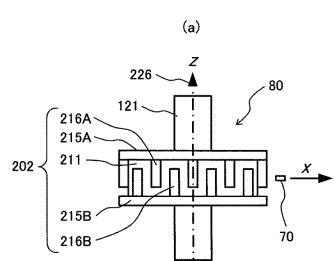
【図23】

図23



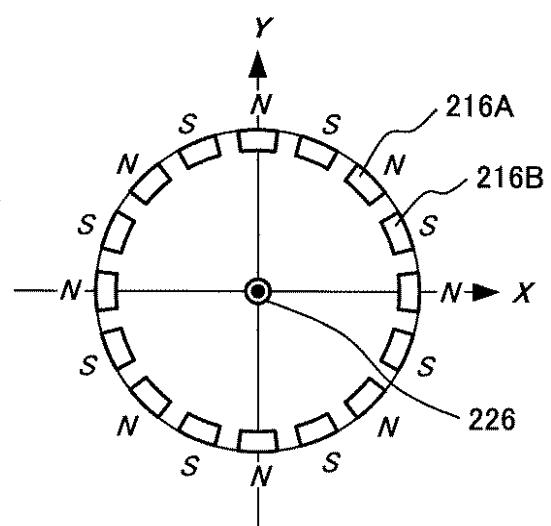
【図24】

図24



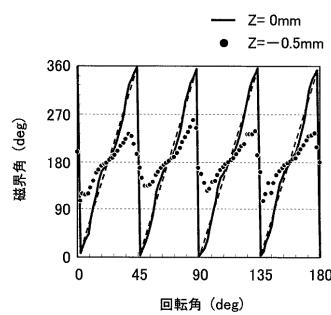
【図25】

図25



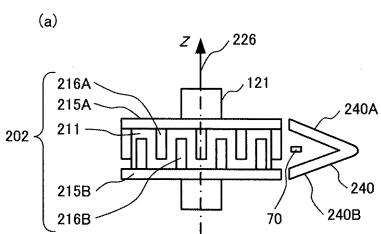
【図26】

図26

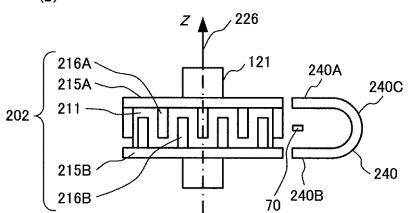


【図27】

図27

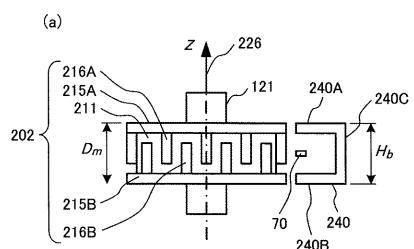


(b)

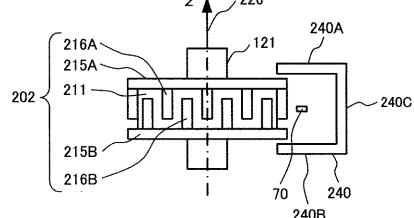


【図28】

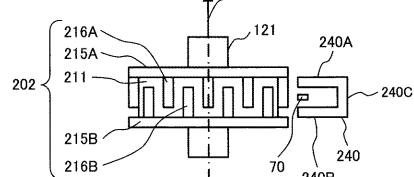
図28



(b)

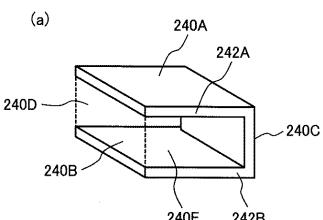


(c)

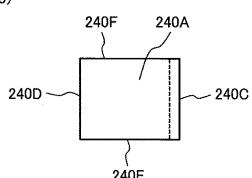


【図29】

図29



(b)



フロントページの続き

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 特表2012-506034(JP,A)

特開2011-185747(JP,A)

特開2004-271235(JP,A)

特表2012-506553(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 D 5 / 00 - 5 / 252

G 01 D 5 / 39 - 5 / 62

G 01 B 7 / 30

G 01 L 3 / 10