

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7293859号  
(P7293859)

(45)発行日 令和5年6月20日(2023.6.20)

(24)登録日 令和5年6月12日(2023.6.12)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 2 K 1/276(2022.01) H 0 2 K 1/276  
H 0 2 K 15/02 (2006.01) H 0 2 K 15/02 K

請求項の数 4 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-94795(P2019-94795)	(73)特許権者	000001247 株式会社ジェイテクト 愛知県刈谷市朝日町一丁目1番地
(22)出願日	令和1年5月20日(2019.5.20)	(74)代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(65)公開番号	特開2020-191710(P2020-191710 A)	(74)代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(43)公開日	令和2年11月26日(2020.11.26)	(72)発明者	竹内 太規 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
審査請求日	令和4年4月14日(2022.4.14)	(72)発明者	南田 尚武 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
		(72)発明者	吉川 浩 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 埋込磁石型ロータおよび埋込磁石型ロータの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

円筒状のステータに対して相対回転可能に挿入される円柱状のコアと、前記コアに設けられた複数の磁石孔にそれぞれ埋め込まれる永久磁石とを備え、前記コアの軸方向からみて、前記磁石孔は前記コアの中心側から周面側へ向けて延びる延設部分を有している埋込磁石型ロータであって、

前記コアの軸方向からみて、前記延設部分の幅は前記コアの周面側へ向けて狭くならないように設定されるものであって、前記コアにおける前記磁石孔の延設部分と前記コアの周面との間の部分である壁の厚みは、前記コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて薄くなるように設定されており、

前記延設部分における前記コアの周面に対応する内側面は、前記他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に前記コアの周面に近接するように設けられている埋込磁石型ロータ。

【請求項2】

前記延設部分における前記コアの周面に対応する内側面は、前記他の磁石孔との境界部分の中間を通して前記コアの半径方向に沿って延びる極間線上に設定される中心点を中心とした円弧面である請求項1に記載の埋込磁石型ロータ。

【請求項3】

円筒状のステータに対して相対回転可能に挿入される円柱状のコアと、前記コアに設けられた複数の磁石孔にそれぞれ埋め込まれる永久磁石とを備え、前記コアの軸方向からみて、前記磁石孔は前記コアの中心側から周面側へ向けて延びる延設部分を有している埋込

磁石型ロータの製造方法であって、

前記コアの軸方向からみて、前記延設部分の幅は前記コアの周面側へ向けて狭くならないように設定する一方、前記コアにおける前記磁石孔の延設部分と前記コアの周面との間の部分である壁の厚みは、モータトルクとトルク変動とを考慮して、前記コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて薄くなるように設定し、

前記延設部分における前記コアの周面に対応する内側面は、前記他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に前記コアの周面に近接するように設ける埋込磁石型ロータの製造方法。

【請求項 4】

前記コアは電磁鋼板が積層されてなるものであって、

前記壁における最も薄い部分である最薄部の厚みは、前記電磁鋼板を打ち抜き加工することができる最小限の厚み、および前記電磁鋼板の製造公差に基づき設定する請求項 3 に記載の埋込磁石型ロータの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、埋込磁石型ロータおよび埋込磁石型ロータの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、界磁源となる永久磁石が埋め込まれてなる埋込磁石型のロータが存在する。たとえば特許文献 1 に記載されるように、円筒状のロータには、その外周側へ向けて開く U 字状をなす複数の磁石孔が周方向に並べて設けられている。これら磁石孔には、その内形形状に対応する U 字状の磁石が埋め込まれている。磁石の U 字先端の角部には、所定の半径を有する曲面が設けられている。ロータからステータへ向けた磁束の流れがより滑らかになることにより、モータのトルク変動が抑制される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2005 - 57951 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

特許文献 1 のロータによれば、磁石の U 字先端の角部に曲面を設けることによって、たしかにトルク変動を抑制することができるのかもしれない。しかし、特許文献 1 のロータにおいては、磁石の U 字先端の角部に曲面が設けられないロータと比べて、当該曲面が設けられる分だけ磁石量が減少する。このため、磁石量の減少に応じてモータトルクが低下するおそれがある。

【0005】

本発明の目的は、モータトルクを確保しつつトルク変動を低減することができる埋込磁石型ロータを提供することにある。また、モータトルクを確保しつつトルク変動を低減することができる埋込磁石型ロータが得られる埋込磁石型ロータの製造方法を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成し得る埋込磁石型ロータは、円筒状のステータに対して相対回転可能に挿入される円柱状のコアと、前記コアに設けられた複数の磁石孔にそれぞれ埋め込まれる永久磁石とを備え、前記コアの軸方向からみて、前記磁石孔は前記コアの中心側から周面側へ向けて延びる延設部分を有している。前記コアの軸方向からみて、前記延設部分の幅は前記コアの周面側へ向けて狭くならないように設定されるものであって、前記コアにおける前記磁石孔の延設部分と前記コアの周面との間の部分である壁の厚みは、前記コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定

50

されている。

【 0 0 0 7 】

この構成によれば、壁の磁気抵抗は、コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に大きくなる。このため、永久磁石から発せられる磁束が壁における前述した他の磁石孔と反対側の部分を通りやすくなる。したがって、コアとステータとの間の隙間内における磁束密度分布の高次成分が低減し、コギングトルク、ひいてはトルク変動が抑制される。また、壁の磁気抵抗がコアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に大きくなることにより、永久磁石から発せられる磁束のうち壁を通して前述した他の磁石孔に埋め込まれた永久磁石へ至る無駄な磁束である漏れ磁束が減少する。これにより、モータトルクを確保することができる。また、コアの軸方向からみて、延設部分の幅はコアの周面側へ向けて狭くならないように設定されるため、磁石孔に埋め込まれる永久磁石の延設部分に対応する部位の厚みも一定となる。永久磁石のパーミアンス係数が確保されるため、永久磁石は減磁しにくい。

10

【 0 0 0 8 】

上記の埋込磁石型ロータにおいて、前記延設部分における前記コアの周面に対応する内側面は、前記他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に前記コアの周面に近接するように設けられていることが好ましい。

【 0 0 0 9 】

この構成によれば、コアの軸方向からみて、壁の厚みをコアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に薄くすることができる。また、たとえば壁の厚みを一定とする場合に比べて、永久磁石の量を増大させることができる。永久磁石の量が増大する分だけ、モータトルクをより増大させることができる。

20

【 0 0 1 0 】

上記の埋込磁石型ロータにおいて、前記延設部分における前記コアの周面に対応する内側面は、前記他の磁石孔との境界部分の中間を通して前記コアの半径方向に沿って延びる極間線上に設定される中心点を中心とした円弧面であることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

この構成によれば、壁の厚みを効果的かつ簡単に変化させることができる。また、たとえば壁の厚みを一定とする場合に比べて、永久磁石の量をより増大させることができる。永久磁石の量が増大する分だけ、モータトルクをより増大させることができる。

30

【 0 0 1 2 】

上記目的を達成し得る埋込磁石型ロータの製造方法は、円筒状のステータに対して相対回転可能に挿入される円柱状のコアと、前記コアに設けられた複数の磁石孔にそれぞれ埋め込まれる永久磁石とを備え、前記コアの軸方向からみて、前記磁石孔は前記コアの中心側から周面側へ向けて延びる延設部分を有している埋込磁石型ロータの製造方法である。前記コアの軸方向からみて、前記延設部分の幅は前記コアの周面側へ向けて狭くならないように設定する。また、前記コアの軸方向からみて、前記コアにおける前記磁石孔の延設部分と前記コアの周面との間の部分である壁の厚みは、モータトルクとトルク変動とを考慮して、前記コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて薄くなるように設定する。

40

【 0 0 1 3 】

上記の製造方法によれば、壁の厚みを、モータトルクおよびトルク変動を考慮した適切な厚みに設定することができる。そして上記の製造方法により得られる埋込磁石型ロータによれば、つぎの作用が得られる。すなわち、壁の磁気抵抗は、コアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に大きくなる。このため、永久磁石から発せられる磁束が壁における前述した他の磁石孔と反対側の部分を通りやすくなる。したがって、コアとステータとの間の隙間内における磁束密度分布の高次成分が低減し、コギングトルク、ひいてはトルク変動が抑制される。また、壁の磁気抵抗がコアの周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔へ向かうにつれて徐々に大きくなることにより、永久磁石から発せられる磁束のうち壁を通して前述した他の磁石孔に埋め込まれた永久磁石へ至

50

る無駄な磁束である漏れ磁束が減少する。これにより、モータトルクを確保することができる。また、コアの軸方向からみて、延設部分の幅はコアの周面側へ向けて狭くならないように設定されるため、磁石孔に埋め込まれる永久磁石の延設部分に対応する部位の厚みも一定となる。永久磁石のパーミアンス係数が確保されるため、永久磁石は減磁しにくい。

【0014】

上記の埋込磁石型ロータの製造方法において、前記コアは電磁鋼板が積層されてなるものであって、前記壁における最も薄い部分である最薄部の厚みは、前記電磁鋼板を打ち抜き加工することができる最小限の厚み、および前記電磁鋼板の製造公差に基づき設定することが好ましい。

【0015】

この製造方法によれば、壁の厚みをコアの製造工程を考慮した適切な厚みに設定することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明の埋込磁石型ロータによれば、モータトルクを確保しつつトルク変動を低減することができる。また、本発明の埋込磁石型ロータの製造方法によれば、モータトルクを確保しつつトルク変動を低減することができる埋込磁石型ロータが得られる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】埋込磁石型ロータの一実施の形態が使用されるモータの一部分を破断した正面図。

【図2】埋込磁石型ロータの一実施の形態を示す斜視図。

【図3】一実施の形態のロータをその軸方向からみた要部を示す平面図。

【図4】(a)は一実施の形態および比較例のロータが使用されたモータの定格トルクを示すグラフ、(b)は一実施の形態および比較例のロータが使用されたモータのコギングトルク割合を示すグラフ、(c)は一実施の形態および比較例のロータの要部を示す平面図。

【図5】一実施の形態および比較例のロータが使用されたモータにおけるエアギャップ内の磁束密度の分布を示すグラフ。

【図6】一実施の形態および比較例のロータが使用されたモータにおけるモータトルクの変化を示すグラフ。

【図7】一実施の形態および比較例のロータが使用されたモータにおけるコギングトルクの変化を示すグラフ。

【図8】一実施の形態のロータが使用されたモータにおけるエアギャップ内の磁束密度の変化を示すグラフ。

【図9】他の実施の形態のロータをその軸方向からみた要部を示す平面図。

【図10】(a)、(b)は、他の実施の形態のロータをその軸方向からみた要部を示す平面図。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、埋込磁石型ロータの一実施の形態を説明する。まず埋込磁石型ロータが使用されるIPMモータ(Interior Permanent Magnet Motor)の構造を説明する。

図1に示すように、IPMモータ10は円筒状のケース11、円筒状のステータ12、出力軸13および円柱状のロータ14を有している。ステータ12はケース11の内周面に圧入された状態で固定されている。ステータ12の内周面には図示しない複数のティースが形成されている。これらティースには、それぞれ導線が巻回されることにより3相(U相、V相、W相)に対応するコイル12aが設けられている。出力軸13は図示しない軸受を介してケース11に対して回転可能に支持されている。ロータ14は出力軸13の外周に固定されている。ロータ14の外周面とステータ12の内周面との間には全周にわたってエアギャップGp(隙間)が形成されている。

【0019】

10

20

30

40

50

つぎに、ロータ 14 の構成を詳細に説明する。

図 2 に示すように、ロータ 14 は、複数枚の電磁鋼板 20 が積層されてなる円柱状のロータコア 21、およびロータコア 21 の内部に埋め込まれた 10 個の永久磁石 22 を有している。

【0020】

ロータコア 21 の中心には、出力軸 13 が挿入される挿入孔 23 が設けられている。挿入孔 23 はロータコア 21 の軸方向に沿って貫通している。また、ロータコア 21 における挿入孔 23 の周囲には永久磁石 22 と同数の 10 個の磁石孔 24 が設けられている。各磁石孔 24 はロータコア 21 の軸方向に沿って貫通している。ロータコア 21 を軸方向からみて、各磁石孔 24 はロータコア 21 の円周方向に沿って一定間隔をあけて設けられている。また、ロータコア 21 の軸方向からみて、各磁石孔 24 はロータコア 21 の内周面から外周面へ向かうにつれて開く U 字状をなしている。

10

【0021】

各磁石孔 24 には、永久磁石 22 が埋め込まれている。永久磁石 22 としては、たとえば樹脂結合型のボンド磁石が採用される。ボンド磁石は、磁性粉末とバインダ（結着剤）としての合成樹脂とを混合したものを所定の形状（ここでは、U 字柱状）に成形して着磁することにより製造される。永久磁石 22 は、たとえば U 字の内側部分が N 極、U 字の外側部分が S 極となるように着磁される。

【0022】

図 3 に示すように、磁石孔 24 は第 1 の孔部 31、第 2 の孔部 32 および第 3 の孔部 33 が互いに連結されてなる。第 1 の孔部 31 および第 2 の孔部 32 は、U 字の 2 つの腕部に相当する部分であって、ロータコア 21 の半径方向に沿った外周側に向かうにつれてロータコア 21 の円周方向における対向距離が徐々に長くなるように設けられている。第 3 の孔部 33 は、U 字の底部に相当する部分であって、第 1 の孔部 31 および第 2 の孔部 32 におけるロータコア 21 の半径方向における内周側の端部を連結するように設けられている。なお、第 1 の孔部 31 および第 2 の孔部 32 は、磁石孔 24 におけるロータコア 21 の中心側から周面側へ向けて延びる延設部分に相当する。

20

【0023】

ロータコア 21 の軸方向からみて、第 1 の孔部 31 における外周側の内側面 31a とロータコア 21 の外周面 21a との間の部分である壁 34 の厚みは、ロータコア 21 の円周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔 24（図 3 中の右隣の磁石孔 24）へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定されている。換言すれば、ロータコア 21 の軸方向からみて、壁 34 の厚みは、ロータコア 21 の周方向において、磁石孔 24 の U 字内側である極中心線 L1 側から磁石孔 24 の U 字外側である極間線 L2 側へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定されている。

30

【0024】

極中心線 L1 とは、ロータコア 21 の軸方向からみて、ロータコア 21 の半径方向に沿って延び、かつロータコア 21 の中心を通る直線であって、磁石孔 24 あるいは永久磁石 22 の対称軸に一致する直線をいう。また、極間線 L2 とは、ロータコア 21 の軸方向からみて、ロータコア 21 の半径方向に沿って延び、かつロータコア 21 の中心を通る直線であって、ロータコア 21 の円周方向において隣り合う 2 つの磁石孔 24、24 の境界部分の中間を通る直線をいう。

40

【0025】

ロータコア 21 の軸方向からみて、壁 34 の内側面でもある、第 1 の孔部 31 における外周側の内側面 31a は、極間線 L2 上に設定される中心点 P01 を中心とする円弧面である。第 1 の孔部 31 における外周側の内側面 31a は、ロータコア 21 の円周方向において、極中心線 L1 側から極間線 L2 側へ向かうにつれて、換言すれば磁石孔 24 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれて、ロータコア 21 の外周面に対して徐々に近接する。

【0026】

中心点 P01 は、つぎのようにして設定される。すなわち、まず壁 34 の最も厚い部分

50

である最厚部 3 4 a の厚み  $t_1$  と、壁 3 4 の最も薄い部分である最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  とを設定する。次いで、第 1 の孔部 3 1 における外周側の内側面 3 1 a と、ロータコア 2 1 の円周方向において互いに対向する 2 つの内側面とが交わる 2 つの点  $P_1$  ,  $P_2$  を通る円弧の中心を中心点  $P_0 1$  として極間線  $L_2$  上に設定する。

【 0 0 2 7 】

最厚部 3 4 a の厚み  $t_1$  は、たとえば電磁鋼板 2 0 の厚みと同程度の厚みに設定される。最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  は、電磁鋼板 2 0 の磁石孔 2 4 に対応する孔の部分を打ち抜き加工することができる最小限の厚みに基づき設定される。

【 0 0 2 8 】

最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  は、次式 ( A ) で表される。

$$t_2 = t_{\min} \pm \dots (A)$$

ただし、「 $t_{\min}$ 」は壁 3 4 の取り得る最小厚みである。最小厚み  $t_{\min}$  は、電磁鋼板 2 0 の磁石孔 2 4 に対応する孔の部分を打ち抜き加工することができる最小限の厚みの理論値であって、電磁鋼板 2 0 の厚みによって決まる値である。最小厚み  $t_{\min}$  は、たとえば電磁鋼板 2 0 の厚みから、その 3 0 % ~ 5 0 % 程度の値を減算した値に設定される。「 $\pm$ 」は製造公差であって、電磁鋼板 2 0 をたとえばプレスによって打ち抜き加工する際に使用する金型の精度などによって決まる値である。

【 0 0 2 9 】

たとえば電磁鋼板 2 0 の厚みが「 0 . 5 mm 」である場合、最小厚み  $t_{\min}$  は「 0 . 3 5 mm 」、製造公差は「 0 . 1 4 mm 」となる。この場合、最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  の取り得る範囲は「 0 . 2 1 mm ~ 0 . 4 9 mm 」、望ましい範囲は「 0 . 2 8 mm ~ 0 . 4 2 mm 」、最適な範囲は「 0 . 3 2 mm ~ 0 . 3 8 mm 」である。

【 0 0 3 0 】

なお、ロータコア 2 1 の軸方向からみて、第 2 の孔部 3 2 における外周側の内側面 3 2 a とロータコア 2 1 の外周面 2 1 a との間の部分である壁 3 5 の厚みについても、先の壁 3 4 と同様の観点に基づき設定される。すなわち、壁 3 5 は、ロータコア 2 1 の円周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔 2 4 ( 図 3 中の左隣の磁石孔 2 4 ) へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定されている。ロータコア 2 1 の軸方向からみて、第 2 の孔部 3 2 における外周側の内側面 3 2 a は、ロータコア 2 1 の円周方向において最も近く隣り合う他の磁石孔 2 4 ( 図 3 中の左隣の磁石孔 2 4 ) との間の極間線  $L_3$  上に設定される中心点  $P_0 2$  を中心とする円弧面である。また、第 2 の孔部 3 2 における外周側の内側面 3 2 a は、ロータコア 2 1 の円周方向において、極中心線  $L_1$  側から極間線  $L_3$  側へ向かうにつれて、換言すれば磁石孔 2 4 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれて、ロータコア 2 1 の外周面に対して徐々に近接する。壁 3 5 も、その最も厚い部分である最厚部 3 5 a 、および最も薄い部分である最薄部 3 5 b を有している。

【 0 0 3 1 】

< 実施の形態の作用 >

つぎに、ロータ 1 4 の実施例と比較例 1 ~ 比較例 4 との比較を通じて、本実施の形態の作用を説明する。実施例および比較例 1 ~ 比較例 4 において、電磁鋼板 2 0 の厚みは同じであって、ここでは「 0 . 5 mm 」に設定されている。また、ロータコア 2 1 の壁 3 4 , 3 5 は同様の作用を奏するため、ここではロータコア 2 1 の壁 3 4 による作用を主として説明し、壁 3 5 による作用についてはその詳細な説明を割愛する。

【 0 0 3 2 】

図 4 ( c ) に示すように、実施例では、ロータコア 2 1 における壁 3 4 の厚みは、ロータコア 2 1 の円周方向において磁石孔 2 4 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定されている。実施例では、壁 3 4 の最厚部 3 4 a の厚み  $t_1$  が「 0 . 5 mm 」、最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  が「 0 . 3 5 mm 」に設定されている。

【 0 0 3 3 】

比較例 1 では、ロータコア 2 1 における壁 3 4 の厚みはその円周方向の全長にわたって一定の値に設定されている。壁 3 4 の厚みは、実施例の最厚部 3 4 a と同じ「 0 . 5 mm

10

20

30

40

50

」で一定である。

【 0 0 3 4 】

比較例 2 ~ 比較例 4 では、磁石孔 2 4 における第 1 の孔部 3 1 の外周側かつ U 字内側の角部 ( 図 4 ( c ) 中の左上の角部 ) に曲面 S 2 , S 3 , S 4 が設けられている。これら曲面 S 2 ~ S 4 の半径 R 2 , R 3 , R 4 の大小関係は次式 ( B ) に示すとおりである。

【 0 0 3 5 】

$$R 2 < R 3 < R 4 \dots ( B )$$

ここでは、曲面 S 2 の半径 R 2 は「 1 . 0 mm 」、曲面 S 3 の半径 R 3 は「 2 . 0 mm 」、曲面 S 4 の半径 R 4 は「 2 . 9 mm 」に設定されている。

【 0 0 3 6 】

図 4 ( a ) のグラフに示すように、実施例および比較例 1 ~ 4 のロータを有する I P M モータの定格トルクを解析したところ、実施例のロータを使用した I P M モータの定格トルクが最も大きい値となった。比較例 1 ~ 4 のロータを有する I P M モータの定格トルクは、比較例 1 , 2、比較例 3、比較例 4 の順に小さい値となった。すなわち、曲面 S 2 , S 3 , S 4 の半径 R 2 , R 3 , R 4 が大きくなるほど、I P M モータの定格トルクの値が小さくなる。

【 0 0 3 7 】

これは、つぎの理由による。すなわち、実施例では、第 1 の孔部 3 1 における外周側の内側面 3 1 a が磁石孔 2 4 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれてロータコア 2 1 の外周面に対して徐々に近接する円弧面状に設けられる。このため、壁 3 4 の厚みは一定ではなくロータコア 2 1 の円周方向において磁石孔 2 4 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれて徐々に薄くなる。しかも、壁 3 4 の最薄部 3 4 b の厚み t 2 は、打ち抜き加工することができる最小限の厚みである最小厚み t<sub>min</sub> を基準として設定される。したがって、壁 3 4 の厚みが最厚部 3 4 a の厚み t 1 から最薄部 3 4 b の厚み t 2 へ向けて徐々に薄くされる分だけ磁石孔 2 4 の容積が増加する。すなわち、実施例のロータによれば、比較例 1 ~ 比較例 4 のロータに比べて磁石孔 2 4 に埋め込まれる永久磁石 2 2 の量を増やすことが可能である。永久磁石 2 2 の量が増大する分だけ、I P M モータの定格トルクの値も大きくなる。また、壁 3 4 の厚みが最厚部 3 4 a の厚み t 1 から最薄部 3 4 b の厚み t 2 へ向けて徐々に薄くされる所、壁 3 4 の厚みが薄くなるほど磁気抵抗が増大する。このため、特定の永久磁石 2 2 から発せられる磁束のうち壁 3 4 を通って隣接する永久磁石 2 2 へ至る無駄な磁束である漏れ磁束が減少する。この漏れ磁束が減少する分だけ、I P M モータの定格トルクを確保することができる。

【 0 0 3 8 】

これに対して、比較例 2 ~ 比較例 4 のロータにおいては、第 1 の孔部 3 1 の曲面 S 2 , S 3 , S 4 の半径が大きくなるほど磁石孔 2 4 の容積、ひいては磁石孔 2 4 に埋め込まれる永久磁石 2 2 の量が減少し、その永久磁石 2 2 の量が減少する分だけ I P M モータの定格トルクが減少する。ちなみに、比較例 1 および比較例 2 のロータを使用した I P M モータの定格トルクは、ほぼ同じ値である。すなわち、比較例 2 の曲面 S 2 の半径 R 2 が極小さい値に設定されているため、磁石量に対する曲面 S 2 の影響はほとんどないと考えられる。

【 0 0 3 9 】

図 4 ( b ) のグラフに示すように、実施例および比較例 1 ~ 4 のロータを有する I P M モータの定格トルクに対するコギングトルクの割合を解析したところ、実施例および比較例 4 のロータを使用した I P M モータのコギングトルク割合が比較例 1 ~ 比較例 3 のロータを使用した I P M モータに比べて特に小さい値となった。

【 0 0 4 0 】

これは、つぎの理由による。比較例 4 のロータを使用した I P M モータについては、磁石孔 2 4 における第 1 の孔部 3 1 の外周側かつ U 字内側の角部に曲面 S 4 が設けられている。この曲面 S 4 は比較例 1 ~ 比較例 4 の中で最も大きい半径 R 4 を有していて、第 1 の孔部 3 1 の U 字内側の内側面 ( 図 4 ( c ) 中の左内側面 ) から U 字外側の内側面 ( 図 4 (

10

20

30

40

50

c) 中の右内側面)に達するかたちで設けられている。この構成により、I P MモータのエアギャップG p内の磁束密度の分布、具体的にはロータからステータへ向けた磁束の流れがより滑らかになるため、コギングトルクが減少する。

#### 【0041】

実施例のロータを使用したI P Mモータについては、第1の孔部31における外周側の内側面31aとロータコア21の外周面21aとの間の部分である壁34の厚みが、磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれて徐々に薄くなる。換言すれば、第1の孔部31における外周側の内側面31aは、磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれてロータコア21の外周面に対して徐々に近接する円弧面状をなしている。この構成により、比較例4の曲面S4と同様の作用が得られるため、コギングトルクが減少したと

10

#### 【0042】

実施例のロータを使用したI P Mモータにおいて、ロータの回転角とI P Mモータにおけるエアギャップ内の磁束密度との関係は、つぎの通りである。

図8のグラフに示すように、ロータ14が1つの永久磁石22に対応する角度だけ回転したとき、I P Mモータ10のエアギャップG p内の磁束密度は、ロータの回転角の変化に対して頂部が凹んだ滑らかな台形状に変化する。すなわち、ロータの回転角が0°を基準として増大するにつれて磁束密度は急激に増大する。その後、ロータの回転角が増大するにつれて、磁束密度は下に凸となる滑らかな凹状の曲線を描くかたちで減少から増大へ転じ、やがて急激に減少する。図8のグラフから、ロータ14の回転に対して、I P Mモータ10のエアギャップG p内の磁束密度の分布が滑らかに変化することが見てとれる。

20

#### 【0043】

ここで、I P Mモータ10におけるエアギャップG p内の磁束密度分布には、多くのひずみ(高調波成分)が含まれる。磁束密度分布のひずみは、I P Mモータのコギングトルク、ひいてはトルク変動を増加させる要因にもなる。

#### 【0044】

図5のグラフに示すように、実施例および比較例1のロータを使用したI P Mモータのエアギャップ内の磁束密度分布を解析したところ、おおよその傾向として、実施例のロータを使用したI P Mモータのエアギャップ内の磁束密度分布における高次成分は、比較例1のロータを使用したI P Mモータに比べて小さな値となる。特に、実施例のロータを使用したI P Mモータのエアギャップ内の磁束密度分布における5次成分は、比較例1のロータを使用したI P Mモータに比べて大幅に減少している。このため、実施例のロータを使用したI P Mモータのコギングトルクは、比較例1のロータを使用したI P Mモータのコギングトルクよりも小さくなる。

30

#### 【0045】

図6のグラフに示すように、実施例および比較例1のロータを使用したI P Mモータにおけるロータの回転角に対するトルクの変化を実測したところ、実施例のロータを使用したI P Mモータが発生するトルクの平均値T0は、比較例1のロータを使用したI P Mモータが発生するトルクの平均値T1よりも大きい値となった。I P Mモータの発生トルクについて、先の図4(a)に示される解析結果に近似した実測結果が得られた。

40

#### 【0046】

図7のグラフに示すように、実施例および比較例1のロータを使用したI P Mモータにおけるロータの回転角に対するコギングトルクの変化を実測したところ、実施例のロータを使用したI P MモータのコギングトルクA0は、比較例1のロータを使用したI P MモータのコギングトルクA1よりも小さい値となった。ちなみに、コギングトルクはロータとステータとの位置関係によって変動するところ、その変動の振幅として評価する。I P Mモータのコギングトルクについて、先の図4(b)に示される解析結果に対応した実測結果が得られた。

#### 【0047】

図4(b)に示されるように、比較例4のロータを使用したI P Mモータのコギングト

50



ルク割合は、実施例のロータを使用したIPMモータのコギングトルク割合に比べてわずかに小さい値となる。しかし、先の図4(a)のグラフに示されるように、IPMモータの定格トルクの点では、比較例4のロータを使用したIPMモータは実施例のロータを使用したIPMモータに大きく劣る。したがって、実施例のロータを使用したIPMモータによれば、定格トルクを確保しつつ、トルク変動を低減することが可能である。

【0048】

<実施の形態の効果>

したがって、本実施の形態によれば、以下の効果を得ることができる。

(1)ロータコア21の軸方向からみて、磁石孔24の第1の孔部31における外周側の内側面31aとロータコア21の外周面21aとの間の部分である壁34の厚みは、磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれて徐々に薄くなるように設定されている。このため、壁34における磁気抵抗は、磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれて徐々に大きくなる。永久磁石22から発せられる磁束が壁34におけるU字内側の部分を通りやすくなることにより、IPMモータ10におけるエアギャップGp内の磁束密度分布の高次成分、特に5次成分が低減する。したがって、IPMモータ10のコギングトルク、ひいてはトルク変動が抑制される。壁35によっても壁34と同様の作用および効果が得られる。

10

【0049】

(2)また、壁34の磁気抵抗が磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれて徐々に増大することにより、特定の永久磁石22から発せられる磁束のうち壁34を通過して最も近く隣接する永久磁石22へ至る無駄な磁束である漏れ磁束が減少する。この漏れ磁束が減少する分だけ、IPMモータが発生するトルクを確保することができる。すなわち、IPMモータ10のトルクを確保しつつトルク変動を低減することができる。壁35によっても壁34と同様の作用および効果が得られる。

20

【0050】

(3)また、第1の孔部31における外周側の内側面31aは、磁石孔24のU字内側からU字外側へ向かうにつれてロータコア21の外周面21aに対して徐々に近接している。このため、たとえば壁34の厚みを一定とする場合に比べて、永久磁石22の量を増大させることができる。この永久磁石22の量が増大する分だけ、IPMモータ10が発生するトルクをより増大させることができる。第2の孔部32における外周側の内側面32aによっても、第1の孔部31における外周側の内側面31aと同様の作用および効果が得られる。

30

【0051】

(4)しかも、第1の孔部31における外周側の内側面31aは、極間線L2上に設定される中心点P01を中心とする円弧面である。また、第2の孔部32における外周側の内側面32aは、極間線L3上に設定される中心点P02を中心とする円弧面である。このため、効果的に、かつ簡単に壁34の厚みを変化させることができる。

【0052】

(5)磁石孔24における第1の孔部31、第2の孔部32および第3の孔部33の幅は、すべて同じ値に設定されている。すなわち、永久磁石22の厚み(すなわち、永久磁石22の磁化方向における長さ)は、U字の全長にわたって一定である。永久磁石22のパーミアンス係数の値がU字の全長にわたって同じ値となるため、永久磁石22は減磁しにくい。これに対し、先の図4(c)に示される比較例2~比較例4では、永久磁石のU字先端の厚みが他の部分の厚みよりも薄いためパーミアンス係数が低下する。したがって、比較例2~比較例4のロータに使用される永久磁石は、実施例のロータに使用される永久磁石に比べて減磁しやすい。

40

【0053】

ちなみに、パーミアンス係数とは、減磁界(磁界強度)と磁束密度との比をいう。パーミアンス係数は、自己減磁の影響を表す値でもあって、永久磁石22の形状に依存する。また、減磁界とは、磁化された永久磁石の表面に生じる磁界はN極からS極へ向かうとこ

50

る、永久磁石の内部で働く磁化の方向とは逆向きの磁界をいう。この減磁界は、永久磁石の寸法比によって異なり、磁化方向に細長い永久磁石ほど小さくなる。減磁界の影響は、実用的には減磁界と磁束密度の比の傾きで表わされる。

【 0 0 5 4 】

( 6 ) ロータコア 2 1 の軸方向からみて、壁 3 4 , 3 5 の厚みは、モータトルクとトルク変動とを考慮して設定される。このため、壁 3 4 , 3 5 の厚みを、モータトルクおよびトルク変動を考慮した適切な厚みに設定することができる。

【 0 0 5 5 】

( 7 ) 壁 3 4 , 3 5 における最も薄い部分である最薄部 3 4 b , 3 5 b の厚みは、電磁鋼板 2 0 を打ち抜き加工することができる最小限の厚み、および電磁鋼板 2 0 の製造公差に基づき設定される。このため、壁 3 4 , 3 5 の厚みをロータコア 2 1 の製造工程を考慮した適切な厚みに設定することができる。

10

【 0 0 5 6 】

< 他の実施の形態 >

なお、本実施の形態は、つぎのように変更して実施してもよい。

・永久磁石 2 2 として、ポンド磁石に代えて、焼結磁石を採用してもよい。焼結磁石は、磁性粉末が高温で焼き固められてなる。

【 0 0 5 7 】

・ロータコア 2 1 として、複数枚の電磁鋼板 2 0 が積層されてなる積層鉄心に代えて、磁性粉末が圧縮成形されてなる圧粉磁心を採用してもよい。この場合、圧粉磁心の強度によっては、壁 3 4 の取り得る最小厚み  $t_{min}$  に基づく最薄部 3 4 b の厚み  $t_2$  を上記実施例よりも小さい値に設定することができる。

20

【 0 0 5 8 】

・本実施の形態では、10個の永久磁石 2 2 を有する 10 極構造のロータ 1 4 を一例として挙げたが、ロータ 1 4 の磁極数は特に限定されるものではなく適宜変更してもよい。

・図 1 0 ( a ) に示すように、ロータコア 2 1 に対して直方体状の永久磁石 2 2 をロータ 1 4 の軸方向からみて V 字状をなすように埋め込んでもよい。この場合、永久磁石 2 2 が埋め込まれる磁石孔 2 4 は各々独立して設けてもよい。この場合、磁石孔 2 4 は、ロータコア 2 1 の中心側から周面側へ向けて延びる延設部分に相当する。また、図 1 0 ( b ) に示すように、永久磁石 2 2 はロータコア 2 1 の軸方向に直交する断面形状が角型の U 字状をなしていてもよい。また、図示は割愛するが、永久磁石 2 2 はロータコア 2 1 の軸方向に直交する断面形状が V 字状をなしていてもよい。

30

【 0 0 5 9 】

・図 9 に示すように、ロータコア 2 1 の軸方向からみて、磁石孔 2 4 の第 1 の孔部 3 1 における外周側の内側面 3 1 a を円弧面状ではなく平面状に設けてもよい。磁石孔 2 4 の第 2 の孔部 3 2 における外周側の内側面 3 2 a についても同様である。このようにしても、壁 3 4 , 3 5 の厚みは、磁石孔 2 4 の U 字内側から U 字外側へ向かうにつれて徐々に薄くなる。このため、前記実施の形態の ( 1 ) ~ ( 5 ) と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 6 0 】

・本実施の形態では、磁石孔 2 4 における第 1 の孔部 3 1、第 2 の孔部 3 2 および第 3 の孔部 3 3 の幅をすべて同じ値 (一定幅) に設定したが、ロータコア 2 1 の軸方向からみて、少なくとも第 1 の孔部 3 1 および第 2 の孔部 3 2 の幅がロータコア 2 1 の外周面側へ向けて狭くならないように設定すればよい。たとえばロータコア 2 1 の軸方向からみて、第 1 の孔部 3 1 および第 2 の孔部 3 2 の幅をロータコア 2 1 の外周面側へ向けて徐々に広くなるように設定してもよい。

40

【 0 0 6 1 】

・IPMモータ 1 0 は、たとえば電動パワーステアリング装置における操舵アシスト力の発生源、ステアバイワイヤ式の操舵装置における操舵反力の発生源あるいは車両の転舵輪を転舵させるための転舵力の発生源、または電気自動車あるいはハイブリッド自動車の走行用駆動源としての用に供してもよい。また、IPMモータ 1 0 は、電動オイルポンプ

50

( E O P ) の駆動源としての用に供してもよい。

【符号の説明】

【 0 0 6 2 】

1 2 ...ステータ、1 4 ...埋込磁石型のロータ、2 0 ...電磁鋼板、2 1 ...ロータコア、2 1 a ...ロータコアの外周面、2 2 ...永久磁石、2 4 ...磁石孔、3 1 ...第1の孔部(延設部分)、3 1 a ...内側面、3 2 ...第2の孔部(延設部分)、3 2 a ...内側面、3 3 ...第3の孔部、3 4 , 3 5 ...壁、3 4 a , 3 5 a ...最厚部、3 4 b , 3 5 b ...最薄部、L 2 ...極間線、P 0 1 , P 0 2 ...中心点。

10

20

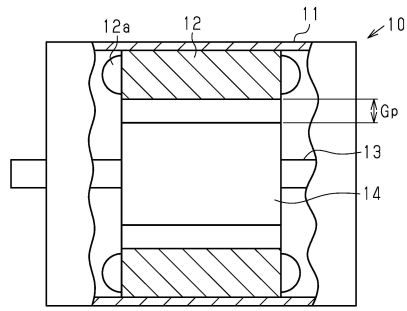
30

40

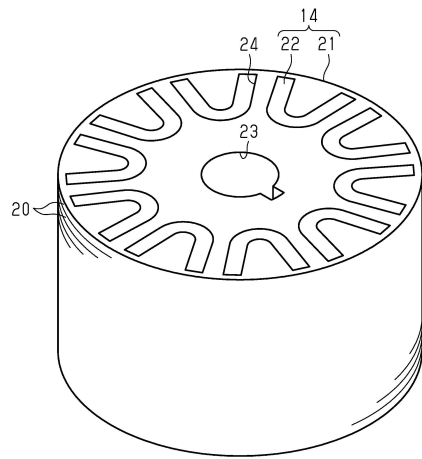
50

【図面】

【図 1】

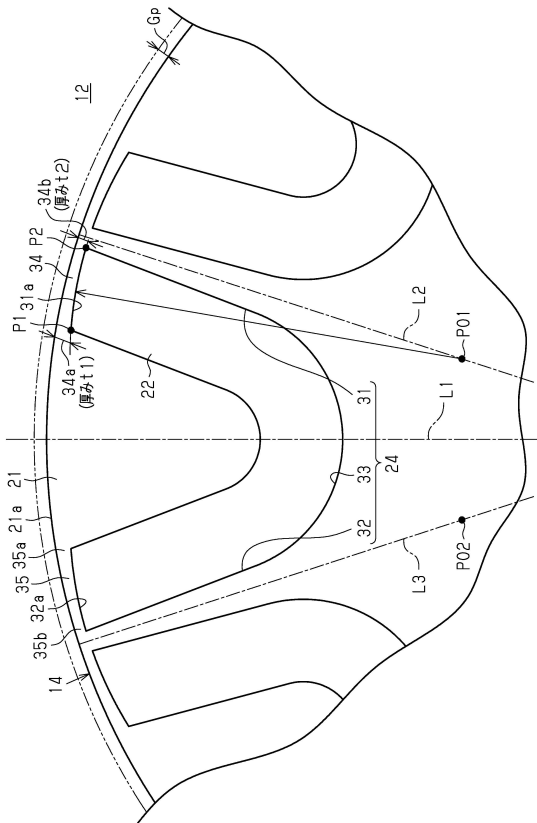


【図 2】

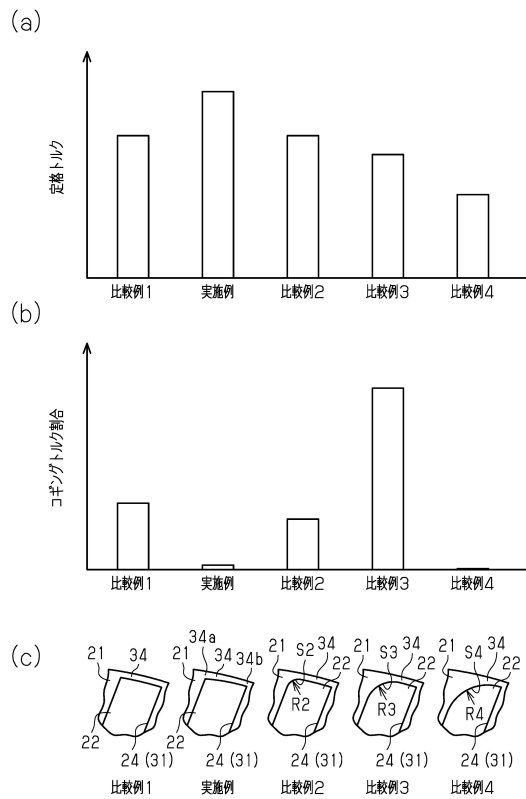


10

【図 3】



【図 4】

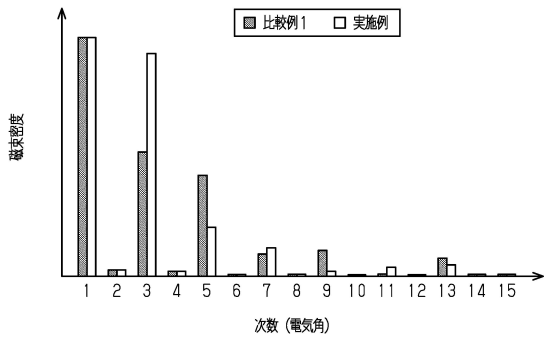


20

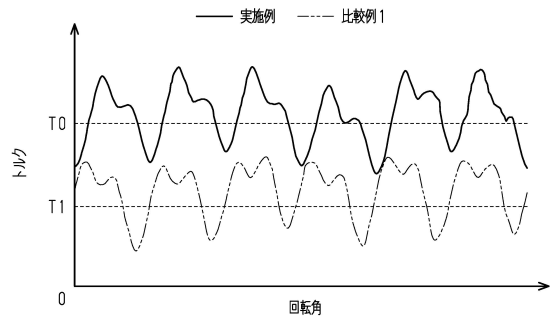
30

40

【図 5】

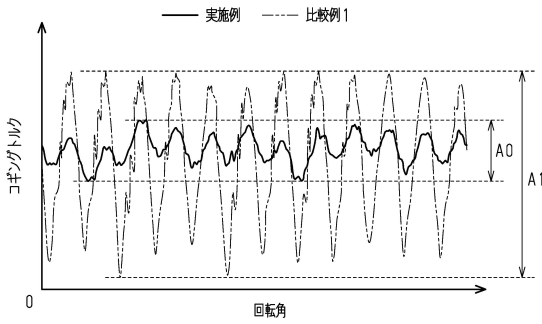


【図 6】

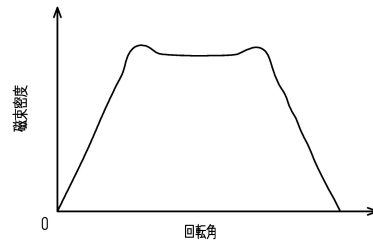


10

【図 7】

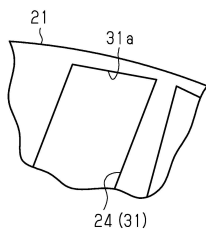


【図 8】

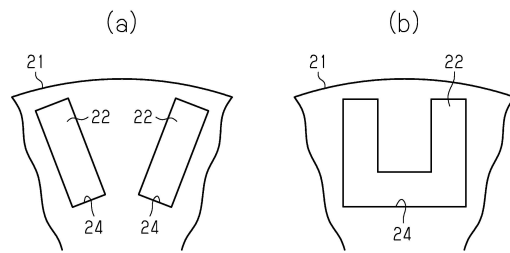


20

【図 9】



【図 10】



30

40

50

## フロントページの続き

- 号 株式会社ジェイテクト内  
(72)発明者 館 洸史  
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
- 審査官 池田 貴俊
- (56)参考文献 特開2016-073139(JP,A)  
国際公開第2016/152978(WO,A1)  
特開2014-241705(JP,A)  
特開平11-285185(JP,A)  
国際公開第2017/051522(WO,A1)
- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
H02K 1/27  
H02K 15/02