(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 7 月 28 日(28.07.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/117227 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01) *H02K 1/22* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/083843

(22) 国際出願日: 2015 年 12 月 2 日(02.12.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2015-010497 2015 年 1 月 22 日(22.01.2015) JP

(71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.)**) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 笠井 信吾(**KASAI, Shingo**). 下田 敏章(**SHIMODA, Toshiaki**).

(74) 代理人: 小谷 悦司, 外(**KOTANI, Etsuji** et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島２丁目２番２号大阪中之島ビル２階 Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

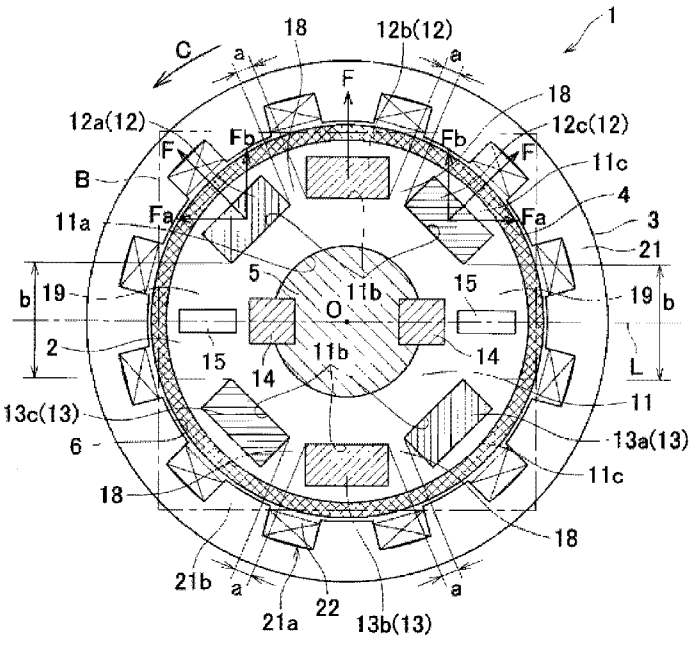
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

WO 2016/117227 A1

(54) **Title**: INTERIOR PERMANENT MAGNET ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称 : 磁石埋込型回転電機



(57) **Abstract**: An interior permanent magnet rotary electric machine (1) comprising: a rotor (2) having a rotor core (11) with two sets of permanent magnets (12, 13) embedded in the interior thereof; a stator (3) that is disposed opposing the rotor (2); and an output shaft (5) comprising a magnetic material that is passed through the center of the rotor core (11). Each of the two sets of permanent magnets (12, 13) comprise three or more homopolar magnets (12a, 12b, 12c, 13a, 13b, 13c) that are adjacently arranged along the circumferential direction of the rotor (2). Magnet fitting holes (11b) for housing the homopolar magnets are formed for each homopolar magnet in the rotor core (11). The thickness (a) of the inter-homopolar portion (18) of the rotor core (11) in the circumferential direction of the rotor (2) is thinner than the thickness (b) of the inter-heteropolar portion (19) of the rotor core (11).

(57) 要約: 磁石埋込型回転電機（１）は、２組の永久磁石（１２、１３）が内部に埋め込まれたロータコア（１１）を有する回転子（２）と、回転子（２）対して対向配置される固定子（３）と、ロータコア（１１）の中心に挿通された、磁性体からなる出力軸（５）とを備える。２組の永久磁石（１２、１３）の各々は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された３個以上の同極の磁石（１２ａ、１２ｂ、１２ｃ、１３ａ、１３ｂ、１３ｃ）からなる。ロータコア（１１）には、前記同極の磁石を収容する磁石嵌め込み穴（１１ｂ）が同極の磁石毎に形成されている。回転子（２）の周方向において、ロータコア（１１）の同極間部分（１８）の厚み（ａ）は、ロータコア（１１）の異極間部分（１９）の厚み（ｂ）よりも薄い。

明　細　書

発明の名称 ： 磁石埋込型回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、永久磁石が内部に埋め込まれたロータコアを有する回転子と、当該回転子に対して対向配置される固定子とを備える磁石埋込型回転電機に関する。

背景技術

[0002] 回転電機とは、電動機、発電機、電動機兼発電機の総称のことである。本発明の磁石埋込型回転電機を電動機として利用した場合、その電動機はＩＰＭ（Ｉｎｔｅｒｉｏｒ　Ｐｅｒｍａｎｅｎｔ　Ｍａｇｎｅｔ）モータと呼ばれる。これに対して、永久磁石がロータコアの表面に貼り付けられた回転子を有する電動機は、ＳＰＭ（Ｓｕｒｆａｃｅ　Ｐｅｒｍａｎｅｎｔ　Ｍａｇｎｅｔ）モータと呼ばれる。また、ＩＰＭモータとＳＰＭモータとを合わせてＰＭモータと呼ばれる。

[0003] ＩＰＭモータではなくＳＰＭモータに関する回転電機ではあるが、特許文献１には、永久磁石の表面側に保持環を配置した回転電機が開示されている。

[0004] 回転子が回転すると、ロータコアの表面に貼り付けられた永久磁石に遠心力が作用する。遠心力は角速度の２乗に比例するため、回転子が高速で回転する回転電機においては、永久磁石が飛散するという問題が生じる。そこで、特許文献１では、永久磁石の表面側に保持環を配置することで、永久磁石をロータコアに強固に固定している。

[0005] ところで、磁極数が２極の回転電機の場合、ＩＰＭ構造ではロータコアへの永久磁石の配置が難しいという問題がある。即ち、ＩＰＭ構造では、ロータコアの中心に位置する出力軸に永久磁石が干渉しないようにする必要がある。また、永久磁石の体積とトルクとがほぼ比例することから、極数が少ないほど１つ当たりの磁石量を増やす必要がある。そのため、２極の場合には

、１極当たりの永久磁石のサイズが大きくなり、ロータコアへの配置が困難になる。特に、回転電機が高出力化されて、回転電機が大型化するほど、永久磁石のサイズが大きくなるので、ロータコアへの配置は一層困難になる。また、永久磁石のサイズが大きくなると、永久磁石に作用する遠心力が大きくなるという問題もある。

[0006] また、ＩＰＭ構造では、遠心力に耐える強度をロータコアに持たせるために、ロータコアの外周面と永久磁石との間の部分である磁束短絡路におけるロータコアの半径方向の幅を広くする必要がある。しかし、磁束短絡路の幅を広くすると、ロータコア内を流れる短絡磁束が増加するので、固定子と回転子との間の空隙部において磁束が減少し、トルクが低下する。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平９－１４９５７２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明の目的は、ロータコアへの永久磁石の配置が容易で、且つ、トルクの低下を最小限に抑えることが可能な磁石埋込型回転電機を提供することにある。

[0009] 本発明の一局面に係る磁石埋込型回転電機は、２組の永久磁石が内部に埋め込まれたロータコアを有する回転子と、前記回転子に対して対向配置される固定子と、前記ロータコアの中心に挿通された、磁性体からなる出力軸と、を有し、前記２組の永久磁石の各々は、前記回転子の周方向に沿って隣接配置された３個以上の同極の磁石からなり、前記ロータコアには、前記同極の磁石を収容する磁石嵌め込み穴が前記同極の磁石毎に形成されており、前記ロータコアにおいて、互いに同じ組の前記同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する前記磁石嵌め込み穴同士の間の部分を同極間部分、互いに異なる組の前記同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する前記磁石嵌め込み穴同士の間

の部分を異極間部分とすると、前記回転子の周方向において、前記同極間部分の厚みは、前記異極間部分の厚みよりも薄いことを特徴とする

[0010] 本発明の目的、特徴及び利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、磁石埋込型回転電機の断面図である。

[図2]図２は、図１のＩＩ－ＩＩ線断面図であって、第１実施形態に係る磁石埋込型回転電機の断面図である。

[図3]図３は、図２の要部Ｂの拡大図である。

[図4]図４は、機械角度とトルクとの関係を解析した結果を示す図である。

[図5]図５は、第２実施形態に係る磁石埋込型回転電機の断面図である。

[図6]図６は、第３実施形態に係る磁石埋込型回転電機の断面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。なお、本発明の磁石埋込型回転電機は、車載用の電動機、航空機に搭載される発電機など、様々な機械の電動機、発電機、電動機兼発電機として利用することができる。

[0013] ［第１実施形態］

（ＩＰＭモータの構成）

本発明の第１実施形態による磁石埋込型回転電機は、ＩＰＭモータである。ＩＰＭモータ１は、断面図である図１、および、図１のＩＩ－ＩＩ線断面図である図２に示すように、回転子（ロータ）２と、回転子２の径方向外側において回転子２に対して対向配置される筒状の固定子（ステータ）３と、回転子２の中心に挿通された出力軸５と、回転子２の外周面に取り付けられた保護管４と、を有している。回転子２は、その軸心が固定子３の軸心に一致するように（同軸になるように）、固定子３内に配置される。また、回転子２と固定子３とは、図示しないケーシング内に収納されている。

[0014] （回転子）

回転子２は、筒状のロータコア１１と、ロータコア１１の内部に埋め込まれた２組の永久磁石１２，１３と、ロータコア１１に設けられた空隙１５と、を有している。即ち、本実施形態のＩＰＭモータ１は２極である。回転子２は、図２に示すＣ方向、および、その逆方向に回転可能である。

[0015] ロータコア１１は、例えば、リング板状の電磁鋼板が軸心方向に積層されることによって形成されている。ロータコア１１の中心には、軸心（回転軸）方向に貫通する穴１１ａが形成されている。この穴１１ａには、回転子２の回転を外部に取り出す出力軸（シャフト）５が挿通される。ロータコア１１は、平行キー１４で出力軸５に固定される。出力軸５は軸受（図示せず）によって回転可能に支持される。なお、ロータコア１１の一部を凸状とし、出力軸５の一部を凹状にして、これらを係合させることで、ロータコア１１を出力軸５に固定してもよい。

[0016] 図２に示すように、永久磁石１２は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃからなる。また、永久磁石１３は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ、１３ｃからなる。

[0017] ロータコア１１には、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃ，１３ａ，１３ｂ，１３ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂが、同極の磁石毎に形成されている。具体的には、ロータコア１１の外周部には、永久磁石１２を構成する３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃの各々を収容する３つの磁石嵌め込み穴１１ｂと、永久磁石１３を構成する３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃの各々を収容する３つの磁石嵌め込み穴１１ｂとがそれぞれ形成されている。各磁石嵌め込み穴１１ｂは、ロータコア１１を軸心方向に貫通している。６つの磁石嵌め込み穴１１ｂには、３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃ、および、３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃがそれぞれ嵌め込まれている。

[0018] ２組の永久磁石１２，１３は、ネオジム磁石等であって、ロータコア１１の磁石嵌め込み穴１１ｂに嵌め込まれることによって、回転子２（ロータコ

ア１１）の磁極を形成する。永久磁石１２と永久磁石１３とは、回転子２の周方向に隣り合う磁極が互いに反対の磁極となるように、即ち、ロータコア１１の外周面においてＳ極とＮ極とが周方向に交互に並ぶように、各磁石嵌め込み穴１１ｂに嵌め込まれる。

[0019] 同じ組の３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃにおけるロータコア１１の中心に対向する面は、それぞれＳ極であって、その形状は平面である。また、同じ組の３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃにおける固定子３に対向する面は、それぞれＮ極であって、その形状は平面である。よって、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂにおける、ロータコア１１の中心に対向する面、および、固定子３に対向する面は、それぞれ平面にされている。なお、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃの面の形状は平面に限定されず、曲面であってもよい。

[0020] また、同じ組の３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃにおけるロータコア１１の中心に対向する面は、それぞれＮ極であって、その形状は平面である。また、同じ組の３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃにおける固定子３に対向する面は、それぞれＳ極であって、その形状は平面である。よって、同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂにおける、ロータコア１１の中心に対向する面、および、固定子３に対向する面は、それぞれ平面にされている。なお、同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃの面の形状は平面に限定されず、曲面であってもよい。

[0021] ロータコア１１における、ロータコア１１の外周面と磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分は、ロータコア１１内で磁束が短絡する磁束短絡路１１ｃである。なお、磁束の短絡とは、Ｎ極から出た磁束が固定子３と回転子２との間の空隙部６に到達することなく、そのままロータコア１１を通ってＳ極に入ることを意味する。

[0022] 永久磁石１２を構成する３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃを、回転子２の周方向に沿って隣接配置することで、これら同極の磁石を出力軸５に干渉しないようにすることができる。また、永久磁石１２を３個の同極の

磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃに分割することで、１個当たりの同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃのサイズが小さくなり、ロータコア１１への配置が容易になる。よって、ロータコア１１に永久磁石１２を容易に配置することができる。この効果は、ＩＰＭモータ１が大型化するほど一層顕著となる。永久磁石１３を構成する３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃについても同様である。

[0023] また、永久磁石１２を３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃに分割することで、回転子２の回転時において、１個当たりの同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃに作用する遠心力を低減させることができる。よって、ロータコア１１における磁石嵌め込み穴１１ｂの周囲の部分で、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃの遠心力を受け止めた際に、磁束短絡路１１ｃに作用する応力を低減させることができる。その結果、ロータコア１１の半径方向における磁束短絡路１１ｃの厚みを薄くすることができるので、磁束短絡路１１ｃに流れる短絡磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下を抑えることができる。永久磁石１３を構成する３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃについても同様である。

[0024] 出力軸５は、磁性体からなる。ここで、磁性体とは、鉄などの強磁性体を指す。図２の要部Ｂの拡大図である図３に示すように、出力軸５が磁性体からなるので、ロータコア１１内において、２組の永久磁石１２，１３間に流れる磁束が出力軸５を通過する。その結果、ロータコア１１内において２組の永久磁石１２，１３間に磁束が流れやすくなる。これに伴い、ロータコア１１内において２組の永久磁石１２，１３間に流れる磁束が増加するので、ロータコア１１内で短絡する磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下を抑えることができる。

[0025] なお、磁石嵌め込み穴１１ｂの各々は、回転子２の周方向において同極の磁石の両側に空隙が形成されるように、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃ

，１３ａ，１３ｂ，１３ｃを収容していてもよい。これら空隙を設けた場合には、ロータコア１１内で短絡する磁束を減少させることができる。

[0026] 空隙１５は、ロータコア１１における、互いに異なる組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間に設けられている。具体的には、空隙１５は、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間、および、同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間にそれぞれ設けられている。空隙１５内は、空気で満たされている。

[0027] 図３に示すように、空隙１５を設けることで、ロータコア１１内において、回転子２の周方向に沿って２組の永久磁石１２，１３間に流れる短絡磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下をさらに抑制することができる。

[0028] 図１に示すように、回転子２の軸心方向の両端には、エンドプレート１６をそれぞれ設けられている。一対のエンドプレート１６は、ロータコア１１を軸心方向に貫通するボルト１７によって、回転子２に固定されている。この場合、ボルト１７を挿通させるために、ロータコア１１に貫通して設けられるボルト穴を、空隙１５として好適に使用することができる。エンドプレート１６を介してロータコア１１の熱を外気に放出することで、ロータコア１１の放熱特性が向上する。また、エンドプレート１６を加工することで、回転子２のバランスを調整することができる。

[0029] なお、空隙１５を設ける代わりに、互いに異なる組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間に、非磁性体を埋め込んでもよい。非磁性体としては、アルミニウム、ＳＵＳ、黄銅などの金属や、接着剤を挙げることができる。

[0030] （固定子）

図１および図２に示すように、固定子３は、筒状のステータコア２１と、

ステータコア２１の内周面に巻回された巻線２２とを有している。

[0031] ステータコア２１は、例えば、複数の電磁鋼板（ケイ素鋼板など）が軸心方向に積層されることによって形成されている。ステータコア２１の内周面には、周方向に沿ってスロット２１ａと歯２１ｂとが交互に連続して形成されている。歯２１ｂには、巻線２２が巻回されている。複数の歯２１ｂにそれぞれ巻回された巻線２２に対して所定の位相差の電流が供給されることにより、回転磁界が形成される。これにより、回転子２にマグネットトルクとリラクタンストルクとが発生して、回転子２が回転する。ここで、リラクタンストルクとは、磁気抵抗が小さくなろうとする箇所に発生するトルク、即ち、磁気が流れ難いところに磁束を流そうとして、回転子２が固定子３に対して回転することにより発生するトルクである。

[0032] （保護管）

保護管４は、絶縁体からなる。このような保護管４をロータコア１１の外周面に焼き嵌め等によって装着することで、ロータコア１１の強度が向上するとともに、永久磁石の飛散が防止される。なお、保護管４は、金属、磁性材、低透磁率の磁性材等からなるものであってもよい。

[0033] （同極間部分および異極間部分の厚み）

図２に示すように、ロータコア１１において、互いに同じ組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間の部分を同極間部分１８、互いに異なる組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間の部分を異極間部分１９とする。本実施形態では、回転子２の周方向において、同極間部分１８の厚みａは、異極間部分１９の厚みｂよりも薄く設定されている。

[0034] 具体的には、永久磁石１２についての厚みａは、回転子２の周方向において、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚み、および、同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８

の厚みである。厚みｂは、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚み、および、同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚みである。そして、厚みａは、厚みｂよりも薄く設定されている。３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃの各々を収容する磁石嵌め込み穴１１ｂについても同様である。即ち、ロータコア１１には、異極間部分１９の厚みｂよりも、同極間部分１８の厚みａの方が薄くなるように、６つの磁石嵌め込み穴１１ｂがそれぞれ形成されている。

[0035] 以下、永久磁石１２を構成する３個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃについて説明するが、永久磁石１３を構成する３個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃについても同様である。

[0036] 図２に示しているように、同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃに作用する遠心力Ｆを、ロータコア１１の中心Ｏから異極間部分１９を通る方向に平行な成分Ｆａと、これに直交する成分Ｆｂとに分解する。この場合、同じ組の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃの各々の直交する成分Ｆｂの合計は、同じ組の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃの各々の平行な成分Ｆａの合計よりも大きい。よって、ロータコア１１における磁石嵌め込み穴１１ｂの周囲の部分で同極の磁石の遠心力を受け止めた際に、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に作用する曲げ応力が大きくなる。

[0037] 従って、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側において、曲げ応力と引張応力とを合わせた応力が大きくなる。これにより、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に応力が集中するが、異極間部分１９は厚みが厚いので、この応力を吸収することができる。また、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に応力が集中した結果、磁石嵌め込み穴１１ｂの同極間部分１８側に作用する曲げ応力が小さくなるので、厚みが薄い同極間部分１８でこの応力を吸収することができる。これにより、ロータコア１１の強度を維持することができる。

[0038] そして、同極間部分１８の厚みａを薄くすることで、同じ組の同極の磁石１２ａ，１２ｂの間を流れる短絡磁束を減少させることができる。これにより、トルクの低下を抑えることができる。

[0039] また、同極間部分１８の厚みａを薄くするほど、異極間部分１９の厚みｂを厚くすることができる。従って、異極間部分１９を構成する鉄に作用する吸引力が、同極間部分１８を構成する鉄に作用する吸引力よりも強くなる。これにより、マグネットトルクとは異なるトルクを得ることができる。さらに、異極間部分１９の厚みｂを厚くすることによって、２組の永久磁石１２，１３同士の間隔が広くなるので、大きなリラクタンストルクを得ることができる。

[0040] 以上のように、同極間部分１８の厚みａを、異極間部分１９の厚みｂよりも薄くすることで、トルクの低下を最小限に抑えることができる。

[0041] 同極間部分１８の厚みａを異ならせたときの機械角度とトルクとの関係を解析した結果を図４に示す。機械角度は、図２において、直線Ｌを０°としてＣ方向に１８０度変化させている。なお、直線Ｌは、ロータコア１１（回転子２）の中心Ｏを通り、永久磁石１２と永久磁石１３との中間に位置する仮想線である。同極間部分１８の厚みａを狭くすることで、トルクが向上することがわかる。

[0042] （効果）

以上に述べたように、本実施形態に係るＩＰＭモータ（磁石埋込型回転電機）１によると、永久磁石を構成する３個の同極の磁石を回転子２の周方向に沿って隣接配置することで、同極の磁石を出力軸５に干渉しないようにすることができる。また、永久磁石を３個の同極の磁石に分割することで、１個当たりの同極の磁石のサイズが小さくなり、ロータコア１１への配置が容易になる。よって、ロータコア１１に永久磁石を容易に配置することができる。この効果は、ＩＰＭモータ１が大型化するほど一層顕著となる。

[0043] 永久磁石を３個の同極の磁石に分割することで、１個当たりの同極の磁石に作用する遠心力を低減させることができる。よって、ロータコア１１にお

ける磁石嵌め込み穴１１ｂの周囲の部分で同極の磁石の遠心力を受け止めた際に、ロータコア１１の外周面と同極の磁石との間の部分である磁束短絡路１１ｃに作用する応力を低減させることができる。その結果、ロータコア１１の半径方向における磁束短絡路１１ｃの厚みを薄くすることができるので、磁束短絡路１１ｃに流れる短絡磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下を抑えることができる。

[0044] 出力軸５が磁性体からなるので、ロータコア１１内において、２組の永久磁石１２，１３間に流れる磁束が出力軸５を通過する。その結果、ロータコア１１内において２組の永久磁石１２，１３間に磁束が流れやすくなる。そして、ロータコア１１内において２組の永久磁石１２，１３間に流れる磁束が増加するので、ロータコア１１内で短絡する磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下を抑えることができる。

[0045] また、ロータコア１１において、互いに同じ組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間の部分を同極間部分１８、互いに異なる組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間の部分を異極間部分１９とするとき、回転子２の周方向において、同極間部分１８の厚みａを、異極間部分１９の厚みｂよりも薄く設定している。

[0046] この構成において、同極の磁石に作用する遠心力Ｆを、ロータコア１１の中心Ｏから異極間部分１９を通る方向に平行な成分Ｆａと、これに直交する成分Ｆｂとに分解する。この場合、同じ組の同極の磁石の各々の直交する成分Ｆｂの合計は、同じ組の同極の磁石の各々の平行な成分Ｆａの合計よりも大きい。よって、ロータコア１１における磁石嵌め込み穴１１ｂの周囲の部分で同極の磁石の遠心力を受け止めた際に、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に作用する曲げ応力が大きくなる。このため、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側において、曲げ応力と引張応力とを合わせた応力が

大きくなる。これにより、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に応力が集中するが、異極間部分１９は厚みが厚いので、この応力を吸収することができる。また、磁石嵌め込み穴１１ｂの異極間部分１９側に応力が集中した結果、磁石嵌め込み穴１１ｂの同極間部分１８側に作用する曲げ応力が小さくなるので、厚みが薄い同極間部分１８でこの応力を吸収することができる。これにより、ロータコア１１の強度を維持することができる。

[0047] そして、同極間部分１８の厚みａを薄くすることで、同じ組の同極の磁石の間を流れる短絡磁束を減少させることができる。また、同極間部分１８の厚みａを薄くするほど、異極間部分１９の厚みｂを厚くすることができるので、異極間部分１９を構成する鉄に作用する吸引力が、同極間部分１８を構成する鉄に作用する吸引力よりも強くなる。これにより、マグネットトルクとは異なるトルクを得ることができる。また、異極間部分１９の厚みｂを厚くすることにより、２組の永久磁石１２，１３同士の間隔が広くなるので、大きなリタクタンストルクを得ることができる。その結果、トルクの低下を最小限に抑えることができる。

[0048] よって、本発明のＩＰＭモータ１は、ロータコア１１への永久磁石１２，１３の配置が容易で、且つ、トルクの低下を最小限に抑えることができる。

[0049] また、ロータコア１１における、互いに異なる組の同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する磁石嵌め込み穴１１ｂ，１１ｂ同士の間に、空隙１５または非磁性体を設けている。このため、ロータコア１１内において、回転子２の周方向に沿って２組の永久磁石１２，１３間に流れる短絡磁束を減少させることができる。これにより、固定子３と回転子２との間の空隙部６を流れる磁束が多くなるので、トルクの低下をさらに抑制することができる。

[0050] ［第２実施形態］

（回転子）

次に、本発明の第２実施形態に係るＩＰＭモータ（磁石埋込型回転電機）２０１について説明する。なお、上述した構成要素と同じ構成要素については、同じ参照番号を付してその説明を省略する。本実施形態のＩＰＭモータ

２０１が第１実施形態のＩＰＭモータ１と異なる点は、図１のＩＩ－ＩＩ線断面図に相当する図５に示すように、２組の永久磁石１２，１３の各々が、回転子２の周方向に沿って隣接配置された４個の同極の磁石からなる点である。

[0051] 具体的には、永久磁石１２は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された４個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃ，１２ｄからなる。また、永久磁石１３は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された４個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ、１３ｃ，１３ｄからなる。

[0052] 回転子２の周方向において、同極間部分１８の厚みａは、異極間部分１９の厚みｂよりも薄くされている。具体的には、永久磁石１２についての厚みａは、回転子２の周方向において、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａ、同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａ、および、同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｄを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａである。これらの厚みａは、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ｄを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚みｂ、および、同極の磁石１２ｄを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚みｂよりも薄く設定されている。永久磁石１３を構成する４個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃ，１３ｄの各々を収容する磁石嵌め込み穴１１ｂについても同様である。このような構成であっても、第１実施形態と同様の効果を奏する。

[0053] ［第３実施形態］

（回転子）

次に、本発明の第３実施形態に係るＩＰＭモータ（磁石埋込型回転電機）

３０１について説明する。なお、上述した構成要素と同じ構成要素については、同じ参照番号を付してその説明を省略する。本実施形態のＩＰＭモータ３０１が第１実施形態のＩＰＭモータ１と異なる点は、図１のＩＩ－ＩＩ線断面図に相当する図６に示すように、２組の永久磁石１２，１３の各々が、回転子２の周方向に沿って隣接配置された５個の同極の磁石からなる点である。

[0054] 具体的には、永久磁石１２は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された５個の同極の磁石１２ａ，１２ｂ，１２ｃ，１２ｄ，１２ｅからなる。また、永久磁石１３は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された４個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ、１３ｃ，１３ｄ，１３ｅからなる。

[0055] 回転子２の周方向において、同極間部分１８の厚みａは、異極間部分１９の厚みｂよりも薄くされている。具体的には、永久磁石１２についての厚みａは、回転子２の周方向において、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａ、同極の磁石１２ｂを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａ、同極の磁石１２ｃを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｄを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａ、および、同極の磁石１２ｄを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１２ｅを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である同極間部分１８の厚みａである。これらの厚みａは、同極の磁石１２ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ｅを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚みｂ、および、同極の磁石１２ｅを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂと同極の磁石１３ａを収容する磁石嵌め込み穴１１ｂとの間の部分である異極間部分１９の厚みｂよりも薄く設定されている。永久磁石１３を構成する５個の同極の磁石１３ａ，１３ｂ，１３ｃ，１３ｄ，１３ｅの各々を収容する磁石嵌め込み穴１１ｂについても同様である。このような構成であっても、第１実施形態と同

様の効果を奏する。

[0056] 以上、本発明の実施形態を説明したが、具体例を例示したに過ぎず、特に本発明を限定するものではなく、具体的構成などは、適宜設計変更可能である。また、発明の実施の形態に記載された、作用及び効果は、本発明から生じる最も好適な作用及び効果を列挙したに過ぎず、本発明による作用及び効果は、本発明の実施の形態に記載されたものに限定されるものではない。

[0057] 例えば、２組の永久磁石の各々は、回転子２の周方向に沿って隣接配置された６個以上の同極の磁石からなっていてもよい。

[0058] 以上説明した、本発明に係る磁石埋込型回転電機によれば、ロータコア１１への永久磁石の配置が容易で、且つ、トルクの低下を最小限に抑えることができる。

請求の範囲

[請求項1] ２組の永久磁石が内部に埋め込まれたロータコアを有する回転子と、

前記回転子に対して対向配置される固定子と、

前記ロータコアの中心に挿通された、磁性体からなる出力軸と、を有し、

前記２組の永久磁石の各々は、前記回転子の周方向に沿って隣接配置された３個以上の同極の磁石からなり、

前記ロータコアには、前記同極の磁石を収容する磁石嵌め込み穴が前記同極の磁石毎に形成されており、

前記ロータコアにおいて、互いに同じ組の前記同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する前記磁石嵌め込み穴同士の間の部分を同極間部分、互いに異なる組の前記同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する前記磁石嵌め込み穴同士の間の部分を異極間部分とすると、前記回転子の周方向において、前記同極間部分の厚みは、前記異極間部分の厚みよりも薄いことを特徴とする磁石埋込型回転電機。

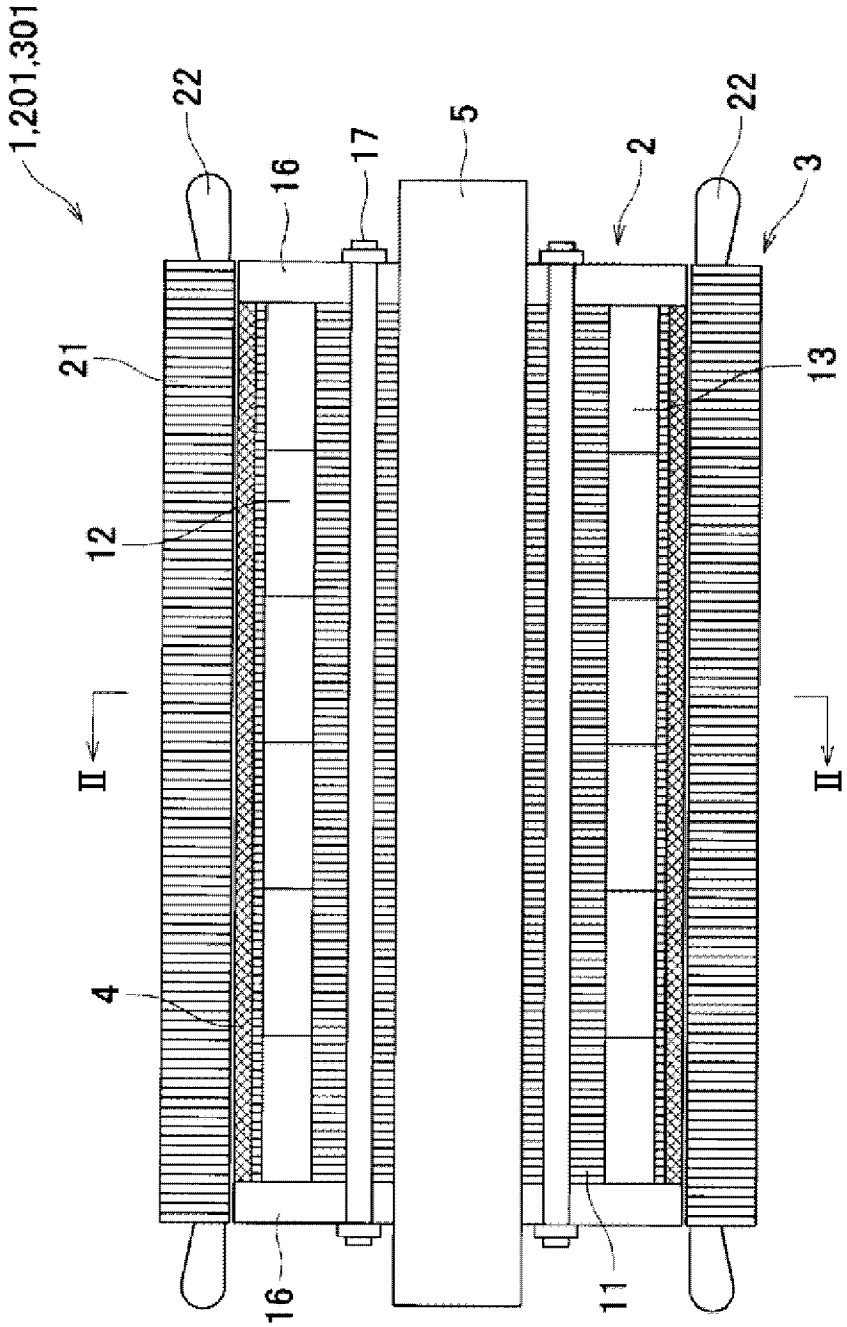
[請求項2] 前記ロータコアにおける、互いに異なる組の前記同極の磁石をそれぞれ収容して隣接する前記磁石嵌め込み穴同士の間には、空隙または非磁性体が設けられていることを特徴とする請求項１に記載の磁石埋込型回転電機。

[請求項3] 前記回転子の軸心方向の両端に配置されるエンドプレートと、

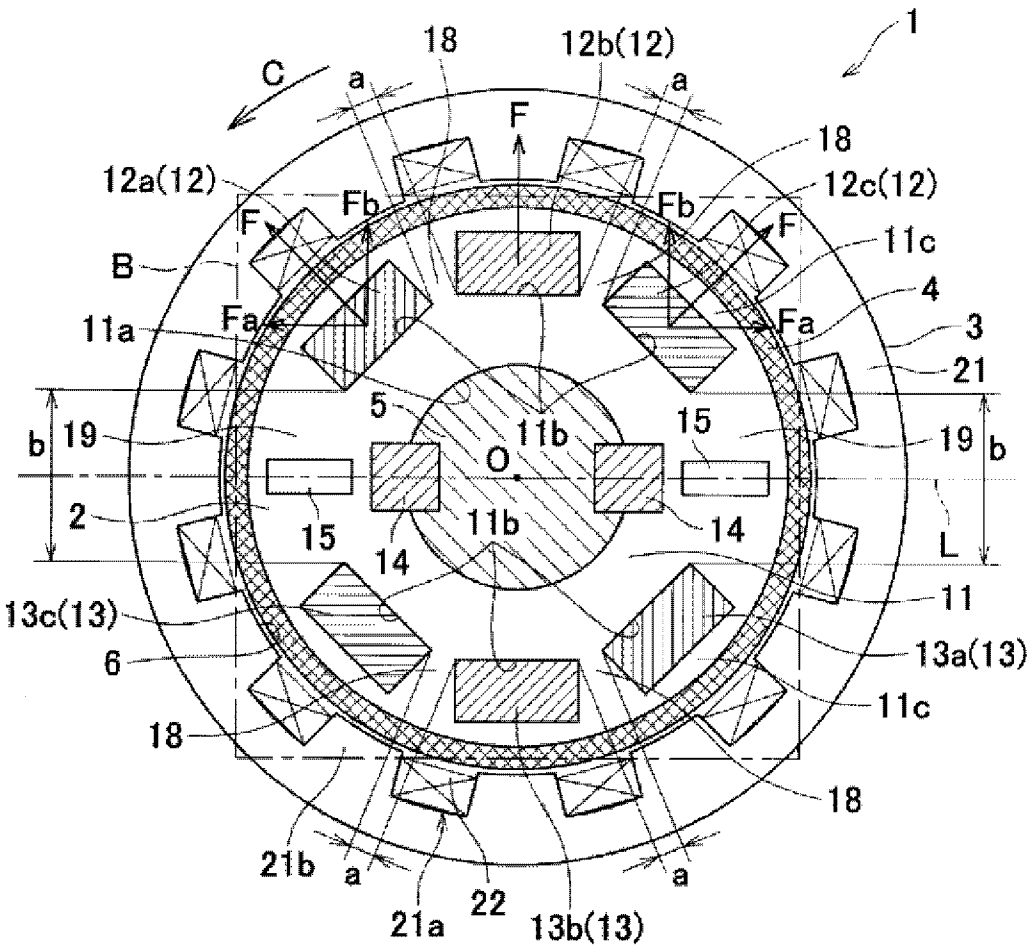
前記ロータコアを軸心方向に貫通し、前記エンドプレートを前記回転子に固定するためのボルトと、をさらに備え、

前記空隙が、前記ボルトを挿通させるために、前記ロータコアを軸心方向に貫通して設けられるボルト穴であることを特徴とする請求項２に記載の磁石埋込型回転電機。

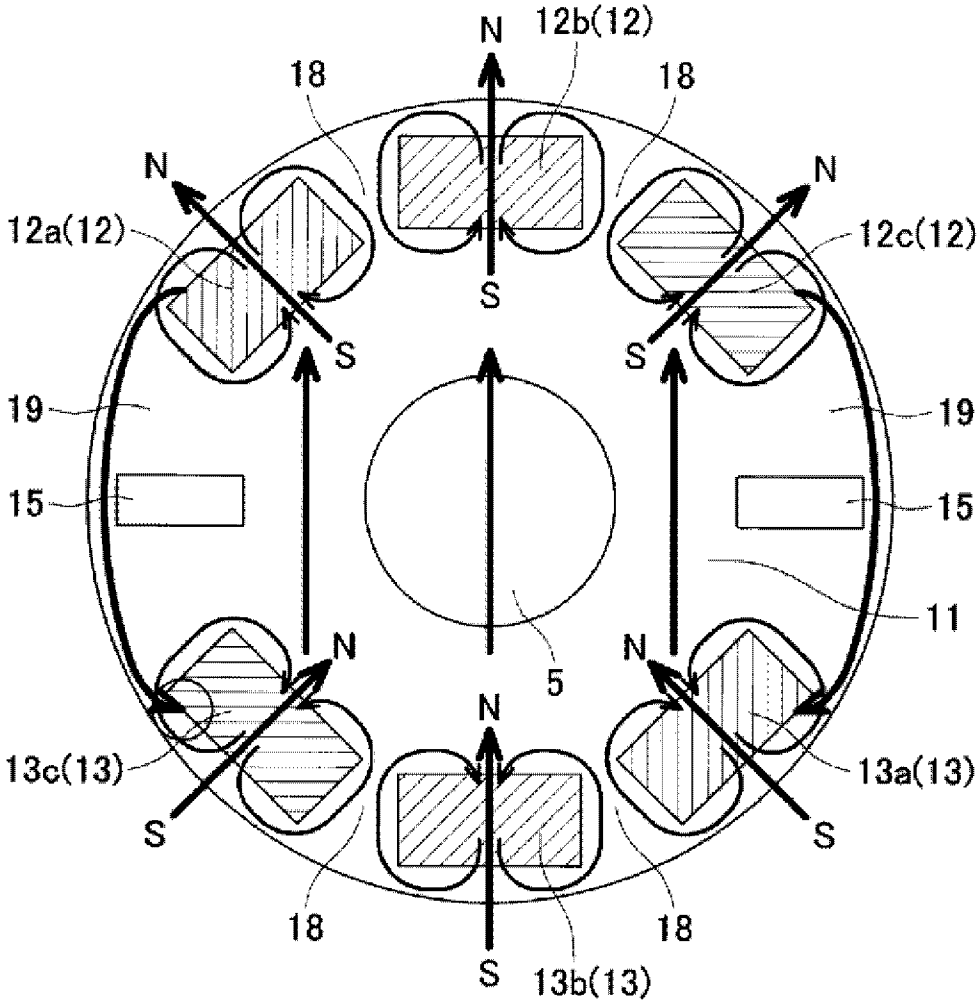
[図1]



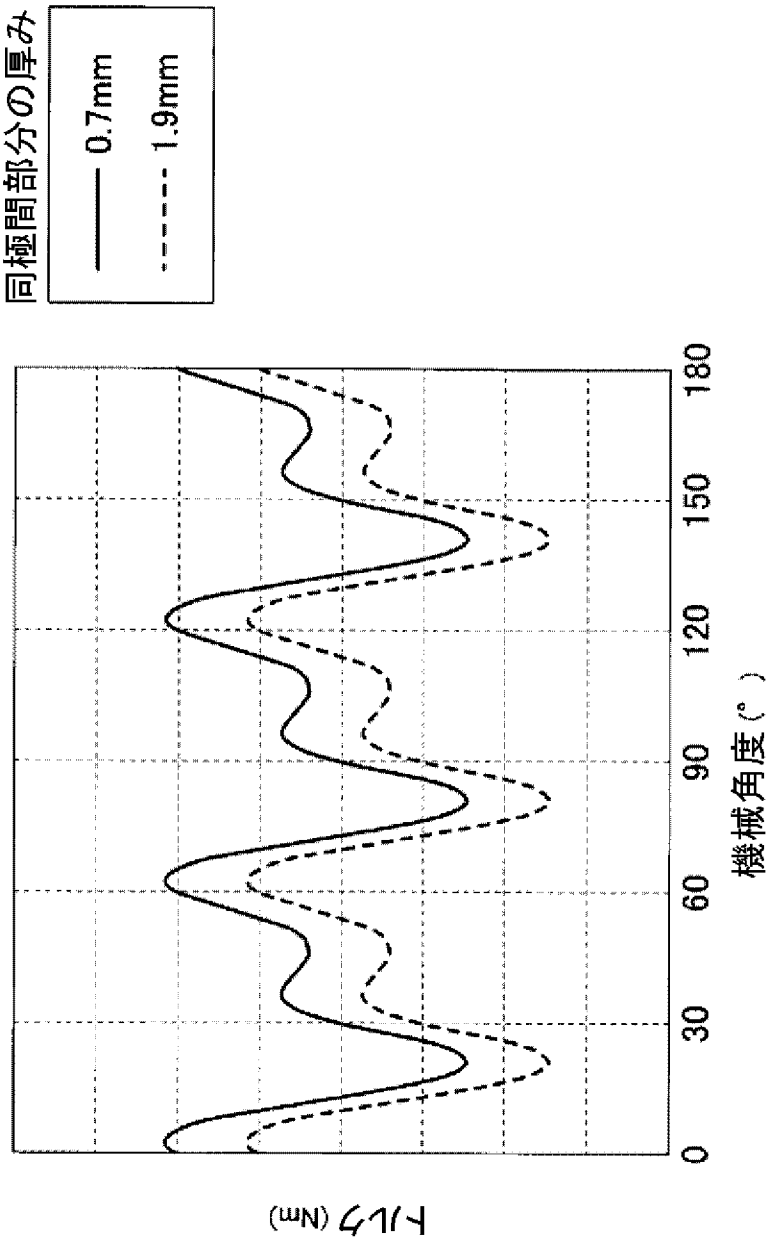
[図2]


1
18
12b(12)
C
a
a
F
18
12a(12)
12c(12)
Fb
Fb
F
F
11c
B
4
Fa
Fa
11a
3
21
5
11b
15
19
b
19
b
O
2
15
14
11b
14
L
11
13c(13)
13a(13)
6
11c
18
18
21b
a
a
22
21a
13b(13)

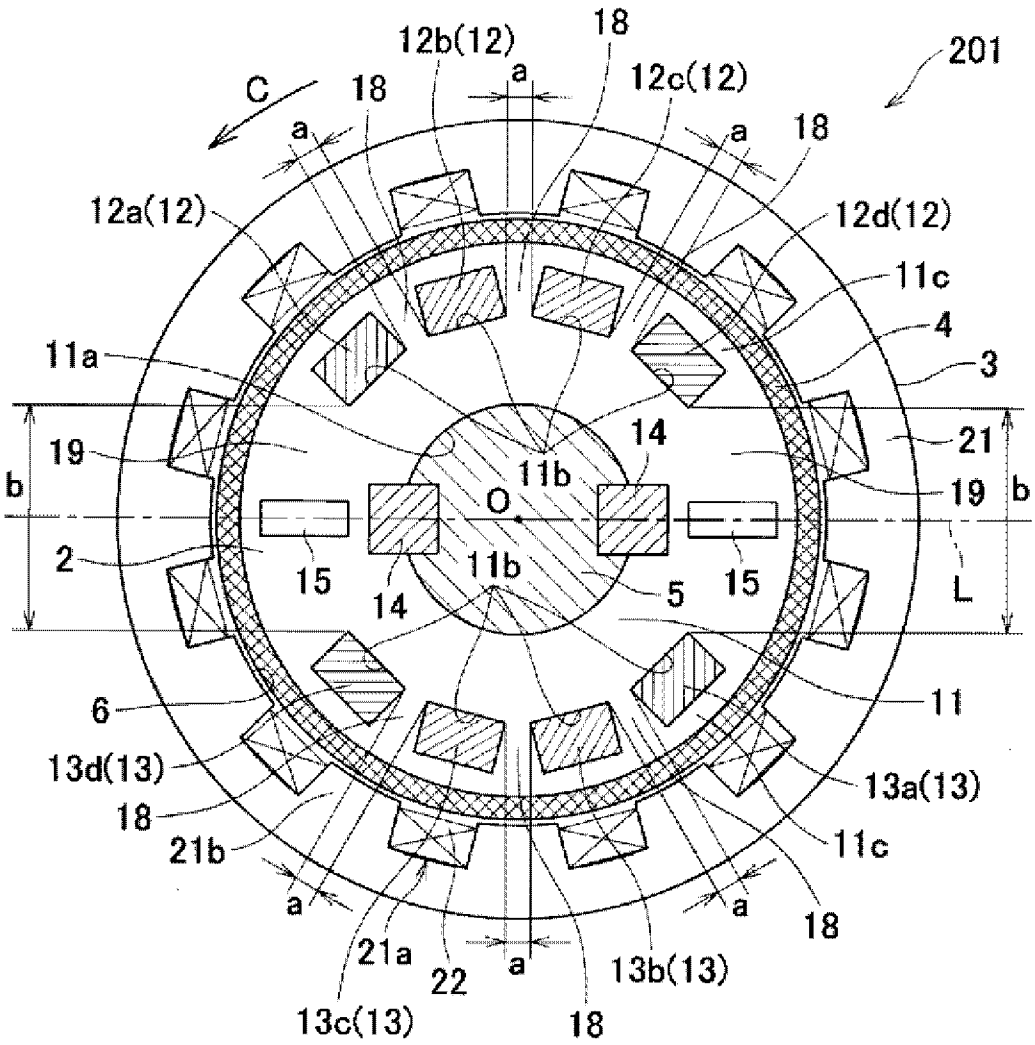
[図3]


N
12b(12)
18
18
N
N
12a(12)
12c(12)
S
S
19
19
15
15
11
N
N
5
N
13c(13)
13a(13)
S
S
18
18
S
13b(13)

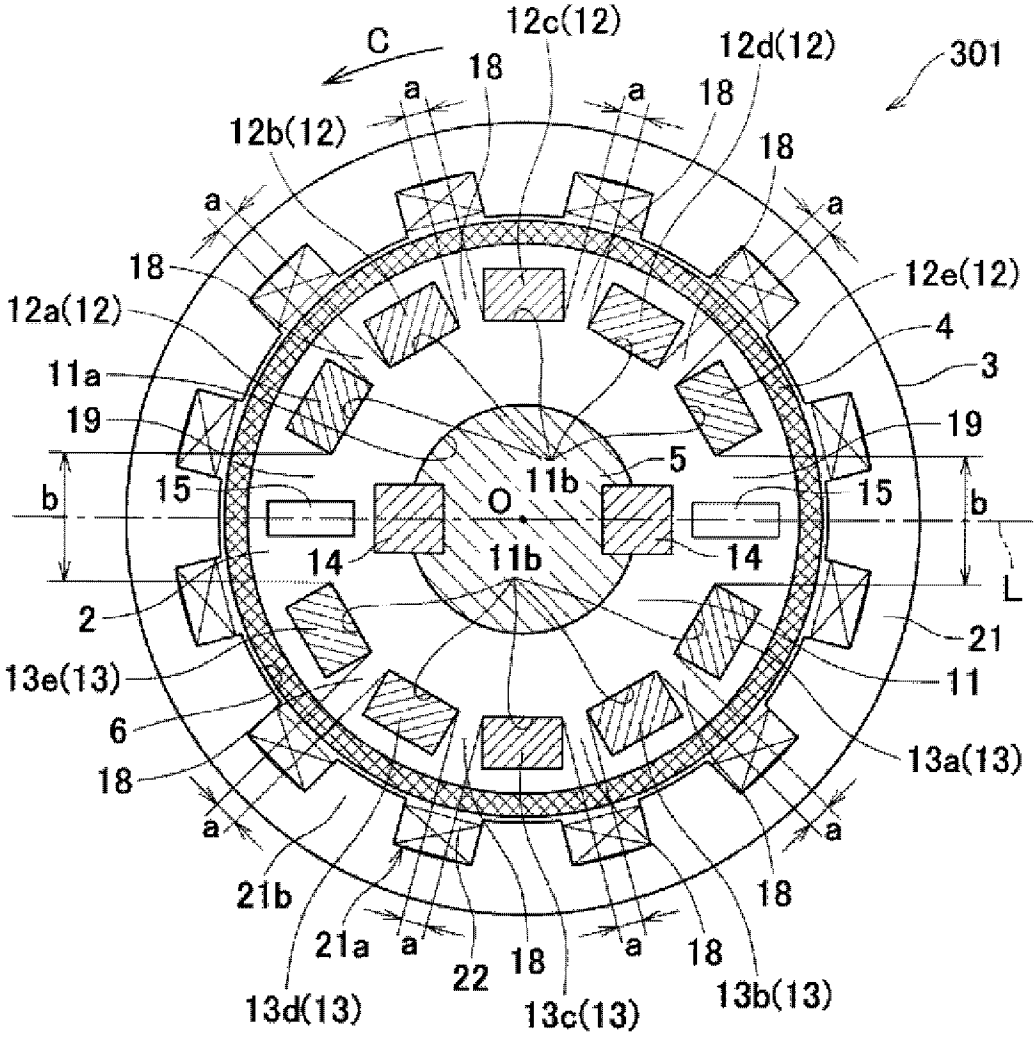
[図4]



[図5]


201
C
12b(12)
18
12c(12)
18
12a(12)
12d(12)
11c
4
3
11a
21
19
14
11b
19
b
b
O
2
15
14
11b
5
15
L
6
11
13d(13)
13a(13)
18
21b
11c
18
21a
22
13b(13)
13c(13)
18

[図6]


C
12c(12)
12d(12)
301
18
a
12b(12)
12e(12)
12a(12)
4
3
11a
19
5
11b
15
O
b
14
2
13e(13)
6
21
11
13a(13)
21b
21a
22
13d(13)
13c(13)
13b(13)
L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/083843

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02K1/27(2006.01)i, *H02K1/22*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02K1/27, H02K1/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2010-45932 A (IHI Corp.), 25 February 2010 (25.02.2010), paragraphs [0019], [0037]; fig. 7 (Family: none)	1 2-3
X Y	JP 2004-72957 A (Hitachi Home & Life Solution, Inc.), 04 March 2004 (04.03.2004), paragraphs [0009] to [0019]; fig. 1 to 6 & US 2006/0103251 A1 paragraphs [0018] to [0027], [0032]; fig. 1 to 6 & US 2008/0278017 A1 & US 2010/0231078 A1 & WO 2004/015841 A1 & CN 1675812 A	1 2-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 February 2016 (12.02.16)	23 February 2016 (23.02.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/083843

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 11-332144 A (Toyo Electric Mfg. Co., Ltd.), 30 November 1999 (30.11.1999), paragraphs [0013] to [0018]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-2 3
X Y	JP 2005-117771 A (Hitachi, Ltd.), 28 April 2005 (28.04.2005), paragraphs [0013] to [0042]; fig. 1 to 12 & WO 2005/046022 A1 & CN 1856923 A	1-2 3
Y	JP 6-323292 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 22 November 1994 (22.11.1994), paragraph [0006]; fig. 3 & US 5666015 A column 12, lines 50 to 60; fig. 33 & EP 0622885 A2 & DE 69425921 T2 & KR 10-0137417 B1 & CN 1098826 A & TW 299521 B	2-3
Y	JP 2005-39909 A (Sankyo Seiki Mfg. Co., Ltd.), 10 February 2005 (10.02.2005), paragraphs [0013] to [0019]; fig. 1 to 3 & US 2004/0256940 A1 paragraphs [0071] to [0078]; fig. 12 to 14 & CN 1538589 A	2-3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０８３８４３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02K1/27(2006.01)i, H02K1/22(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02K1/27, H02K1/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2010-45932 A (株式会社ＩＨＩ) 2010.02.25, 段落[0019],[0037], 図７（ファミリーなし）	1 2-3
X Y	JP 2004-72957 A (日立ホーム・アンド・ライフ・ソリューション株式会社) 2004.03.04, 段落[0009]-[0019], 図 1-6 & US 2006/0103251 A1, 段落[0018]-[0027],[0032], 図 1-6 & US 2008/0278017 A1 & US 2010/0231078 A1 & WO 2004/015841 A1 & CN 1675812 A	1 2-3

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１２．０２．２０１６	２３．０２．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｖ　３９２４
森山　拓哉
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 11-332144 A (東洋電機製造株式会社) 1999.11.30, 段落[0013]-[0018], 図 1-5 (ファミリーなし)	1-2 3
X Y	JP 2005-117771 A (株式会社日立製作所) 2005.04.28, 段落[0013]-[0042], 図 1-12 & WO 2005/046022 A1 & CN 1856923 A	1-2 3
Y	JP 6-323292 A (三洋電機株式会社) 1994.11.22, 段落[0006], 図 3 & US 5666015 A, 第 12 欄第 50-60 行, 図 33 & EP 0622885 A2 & DE 69425921 T2 & KR 10-0137417 B1 & CN 1098826 A & TW 299521 B	2-3
Y	JP 2005-39909 A (株式会社三協精機製作所) 2005.02.10, 段落[0013]-[0019], 図 1-3 & US 2004/0256940 A1, 段落[0071]-[0078], 図 12-14 & CN 1538589 A	2-3