

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-78298
(P2011-78298A)

(43) 公開日 平成23年4月14日(2011.4.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02K 1/22 (2006.01)	H02K 1/22 A	5H601
H02K 1/27 (2006.01)	H02K 1/27 501M	5H622

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2010-142725 (P2010-142725)	(71) 出願人	000006622 株式会社安川電機
(22) 出願日	平成22年6月23日 (2010. 6. 23)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(31) 優先権主張番号	特願2009-206125 (P2009-206125)	(72) 発明者	村上 宗司
(32) 優先日	平成21年9月7日 (2009. 9. 7)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	大戸 基道
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72) 発明者	矢原 春樹
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72) 発明者	西 真一
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内

最終頁に続く

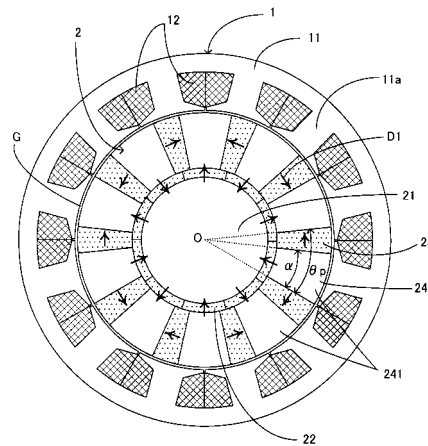
(54) 【発明の名称】 回転電機およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能な回転電機を提供する。

【解決手段】本発明の回転電機の回転子2は、回転子の周方向に並べられた偶数個の第1永久磁石22と、周方向に隣り合う第1永久磁石の端部の固定子側の位置それぞれに設けられた、第1永久磁石と同数個の第2永久磁石23と、周方向に隣り合う第2永久磁石の間に設けられた、第1永久磁石と同数個のコア片241と、を有している。各第1永久磁石の磁化方向は回転子の径方向と平行な方向であり、周方向に隣り合う第1永久磁石の磁化方向は互いに反対であり、各第2永久磁石の磁化方向は径方向に対し垂直な方向であり、周方向に隣り合う第2永久磁石の磁化方向は互いに反対であり、コア片に隣接する第1永久磁石と2つの第2永久磁石のそれぞれが有するコア片側の磁極は相互に同一極となっている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外周を有する回転子と、ギャップを介して当該回転子の外周を取り囲む固定子と、を備える回転電機であって、

前記回転子は、

前記回転子の周方向に並べられた偶数個の第 1 永久磁石と、

前記周方向に隣り合う前記第 1 永久磁石の端部の前記固定子側の位置それぞれに設けられた、前記第 1 永久磁石と同数個の第 2 永久磁石と、

前記周方向に隣り合う前記第 2 永久磁石の間に設けられた、前記第 1 永久磁石と同数個のコア片と、を有し、

各前記第 1 永久磁石の磁化方向は、前記回転子の径方向と平行な方向であり、

前記周方向に隣り合う前記第 1 永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、

各前記第 2 永久磁石の磁化方向は、前記径方向に対し垂直な方向であり、

前記周方向に隣り合う前記第 2 永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、

前記コア片に隣接する前記第 1 永久磁石と 2 つの前記第 2 永久磁石のそれぞれが有する前記コア片側の磁極は、相互に同一極となる、回転電機。

10

【請求項 2】

前記周方向に隣り合う前記コア片と前記第 2 永久磁石の両開角の合計角に対して前記コア片の開角の占める割合が 0.5 以上 0.7 以下である、請求項 1 に記載の回転電機。

【請求項 3】

前記周方向に隣り合う前記コア片と前記第 2 永久磁石の両開角の合計角に対して前記コア片の開角の占める割合が、略 0.6 である、請求項 1 または 2 に記載の回転電機。

20

【請求項 4】

前記周方向に隣り合う前記コア片と前記第 2 永久磁石の両開角の合計角に対して前記コア片の開角の占める第 1 割合と、前記回転子の半径に対して前記回転子の径方向における前記コア片の厚みの占める第 2 割合とが、前記ギャップ中の磁束密度の基本波振幅が最大となるようにそれぞれ設定される、請求項 1 に記載の回転電機。

【請求項 5】

前記第 1 割合を α とし、前記第 2 割合を β としたとき、前記第 1 割合 α と前記第 2 割合 β は、次の関係式、

$$\alpha = -3.5188 \times \beta^3 + 3.3628 \times \beta^2 + 0.8094 \times \beta - 0.3794$$

を満たすように設定される、請求項 4 に記載の回転電機。

30

【請求項 6】

前記回転子は、各前記第 1 永久磁石の反固定子側に設けられ、外周を有するシャフトを有しており、

前記シャフトの外周に設けられた溝に各前記第 1 永久磁石が設けられることにより、前記シャフトと各前記第 1 永久磁石は、一体化されており、

各前記コア片が各前記第 2 永久磁石の前記固定子側で互いに連結されることにより、各前記コア片と各前記第 2 永久磁石は、一体化されている、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機。

40

【請求項 7】

前記回転子は、

前記回転子の回転軸方向における前記シャフトの一方端部から挿入され、当該回転軸方向における各前記コア片の一方端部と各前記第 2 永久磁石の一方端部とに固定された第 1 ブラケットと、

前記回転軸方向における前記シャフトの他方端部から挿入され、前記回転軸方向における各前記コア片の他方端部と各前記第 2 永久磁石の他方端部とに固定された第 2 ブラケットと、を有する、請求項 6 に記載の回転電機。

【請求項 8】

前記第 1 および第 2 ブラケットには、前記シャフトの外周に設けられた溝と嵌合する第

50

1 嵌合部が設けられる、請求項 7 に記載の回転電機。

【請求項 9】

前記回転子は、

連結された各前記コア片それぞれに前記回転軸方向に貫通するように設けられた支持部材を有し、

前記第 1 および第 2 ブラケットには、前記支持部材と嵌合する第 2 嵌合部が設けられる、請求項 8 に記載の回転電機。

【請求項 10】

前記回転子は、

連結された各前記コア片それぞれに前記回転軸方向に貫通するように設けられた支持部材を有し、

前記第 1 および第 2 ブラケットには、前記支持部材と嵌合する嵌合部が設けられる、請求項 7 に記載の回転電機。

【請求項 11】

各前記コア片は、前記回転子の周方向に積層された方向性電磁鋼板で構成され、

前記方向性電磁鋼板の磁化容易方向は、前記回転子の径方向と平行な方向である、請求項 6 に記載の回転電機。

【請求項 12】

前記回転子は、各前記コア片の前記固定子側に設けられた円筒状部材を有する、請求項 11 に記載の回転電機。

【請求項 13】

前記円筒状部材は、鋼管で構成される、請求項 12 に記載の回転電機。

【請求項 14】

前記円筒状部材は、前記円筒状部材の径方向に積層されたアモルファス箔で構成される、請求項 12 に記載の回転電機。

【請求項 15】

外周を有する回転子と、ギャップを介して当該回転子の外周を取り囲む固定子と、を備える回転電機の製造方法であって、

シャフトの外周に設けられた偶数個の溝それぞれに第 1 永久磁石を設けることにより、前記シャフトと各前記第 1 永久磁石とを一体化して第 1 構造体を形成する工程と、

円周状に一定の間隔を置いて前記第 1 永久磁石と同数個並べられ、外周側が互いに連結されたコア片の当該間隔に第 2 永久磁石を設けることにより、各前記コア片と各前記第 2 永久磁石を一体化して第 2 構造体を形成する工程と、

前記シャフトの周方向に隣り合う前記第 1 永久磁石の端部の外周側の位置に前記第 2 永久磁石が設けられるように、前記第 1 構造体を前記第 2 構造体の内周側に嵌合することにより、前記回転子を形成する工程と、を含み、

各前記第 1 永久磁石の磁化方向は、前記シャフトの径方向と平行な方向であり、

前記周方向に隣り合う前記第 1 永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、

各前記第 2 永久磁石の磁化方向は、前記径方向に対し垂直な方向であり、

前記周方向に隣り合う前記第 2 永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、

前記コア片に隣接する前記第 1 永久磁石と 2 つの前記第 2 永久磁石のそれぞれが有する前記コア片側の磁極は、相互に同一極となる、回転電機の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来回転電機において、固定子と回転子の間に介在するギャップ中の磁束密度（以下、ギャップ磁束密度と称す）の最大値を増加させる技術が提案されている（例えば特許文

10

20

30

40

50

献1参照)。特許文献1では、回転子に用いる永久磁石を、MFCSPM (Magnetic Flux Concentrated Surface Permanent Magnet) 配列と称される配列方法で配列している。以下、この配列について詳述する。

【0003】

回転子は、シャフト、回転子コア、第1永久磁石、および第2永久磁石を備える。回転子コアは、シャフトの外周に設けられる。第1永久磁石は、回転子コアの外周に偶数個設けられる。第1永久磁石は、磁化方向を回転子コアの外周側と内周側に交互に向けて、回転子コアの周方向に並べられる。第2永久磁石は、第1永久磁石と同数個存在し、回転子コアの周方向に隣り合う第1永久磁石の端部の外周位置に配置される。第2永久磁石は、一定の間隔を置いて回転子コアの周方向に並べられている。このため、回転子コアの周方向に隣り合う第2永久磁石の間には、間隙部(つまり、空気の層)が形成される。第2永久磁石の磁化方向は、回転子コアの径方向とは垂直な方向である。回転子コアの周方向に隣り合う第2永久磁石の磁化方向は、互いに反対になっている。また、当該隣り合う第2永久磁石間の間隙部に面する当該隣り合う第2永久磁石の各極は、当該間隙部に面する第1永久磁石の極と同一極となっている。つまり、間隙部に隣接する第1永久磁石と2つの第2永久磁石のそれぞれが有する間隙部側の磁極は、相互に同一極となっている。

10

【0004】

このようなMFCSPM配列をもつ回転子を用いれば、第1永久磁石の残留磁束密度よりも大きなギャップ磁束密度を間隙部の外周側に発生させることが容易となる。その結果、第1永久磁石のみを用いるRSPM (Ring shaped Surface Permanent Magnet) 配列と比べ、ギャップ磁束密度の最大値を増加させることができる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-217771号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

回転電機では、近年、小形高出力化が望まれているが、回転電機を小形高出力化するには、ギャップ磁束密度の分布波形に含まれる基本波成分の振幅を増加させる必要がある。

30

【0007】

しかしながら、上述したMFCSPM配列をもつ従来の回転電機では、回転子コアの周方向に隣り合う第2永久磁石の間に間隙部が形成される。つまり、回転子コアの周方向に隣り合う第2永久磁石の間には、空気という透磁率の低い物質が存在する。このため、第2永久磁石の磁化力を大きくしたり、第1永久磁石および第2永久磁石の体積を増やしたりしても、ギャップ磁束密度の最大値は増加するものの、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅自体は増加し難いという問題があった。

【0008】

このように、MFCSPM配列をもつ従来の回転電機では、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を増加させ難く、小形高出力化の実現が困難であった。

40

【0009】

そこで、本発明は、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能な回転電機およびその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、本発明に係る回転電機は、外周を有する回転子と、ギャップを介して当該回転子の外周を取り囲む固定子と、を備え

50

る回転電機であって、回転子は、回転子の周方向に並べられた偶数個の第1永久磁石と、周方向に隣り合う第1永久磁石の端部の固定子側の位置それぞれに設けられた、第1永久磁石と同数個の第2永久磁石と、周方向に隣り合う第2永久磁石の間に設けられた、第1永久磁石と同数個のコア片と、を有し、各第1永久磁石の磁化方向は、回転子の径方向と平行な方向であり、周方向に隣り合う第1永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、各第2永久磁石の磁化方向は、径方向に対し垂直な方向であり、周方向に隣り合う第2永久磁石の磁化方向は、互いに反対となっており、コア片に隣接する第1永久磁石と2つの第2永久磁石のそれぞれが有するコア片側の磁極は、相互に同一極となるものである。

【0011】

好ましくは、周方向に隣り合うコア片と第2永久磁石の両開角の合計角に対してコア片の開角の占める割合が0.5以上0.7以下であるとよい。または、周方向に隣り合うコア片と第2永久磁石の両開角の合計角に対してコア片の開角の占める割合が、略0.6であってもよい。または、周方向に隣り合うコア片と第2永久磁石の両開角の合計角に対してコア片の開角の占める第1割合と、回転子の半径に対して回転子の径方向におけるコア片の厚みの占める第2割合とが、ギャップ中の磁束密度の基本波振幅が最大となるようにそれぞれ設定されてもよい。この場合においてさらに、第1割合を α とし、第2割合を β としたとき、第1割合 α と第2割合 β は、次の関係式、 $\alpha^3 - 3.5188 \times 10^{-3} \alpha^2 + 0.8094 \alpha - 0.3794 = 0$ を満たすように設定されてもよい。

【0012】

また好ましくは、回転子は、各第1永久磁石の反固定子側に設けられ、外周を有するシャフトを有しており、シャフトの外周に設けられた溝に各第1永久磁石が設けられることにより、シャフトと各第1永久磁石は、一体化されており、各コア片が各第2永久磁石の固定子側で互いに連結されることにより、各コア片と各第2永久磁石は、一体化されているとよい。

【0013】

この場合において、回転子は、回転子の回転軸方向におけるシャフトの一方端部から挿入され、当該回転軸方向における各コア片の一方端部と各第2永久磁石の一方端部とに固定された第1ブラケットと、回転軸方向におけるシャフトの他方端部から挿入され、回転軸方向における各コア片の他方端部と各第2永久磁石の他方端部とに固定された第2ブラケットと、を有してもよい。さらに、第1および第2ブラケットには、シャフトの外周に設けられた溝と嵌合する第1嵌合部が設けられてもよい。さらに、回転子は、連結された各コア片それぞれに回転軸方向に貫通するように設けられた支持部材を有し、第1および第2ブラケットには、支持部材と嵌合する第2嵌合部が設けられてもよい。または、回転子は、連結された各コア片それぞれに回転軸方向に貫通するように設けられた支持部材を有し、第1および第2ブラケットには、支持部材と嵌合する嵌合部が設けられてもよい。

【0014】

またこの場合において、各コア片は、回転子の周方向に積層された方向性電磁鋼板で構成され、方向性電磁鋼板の磁化容易方向は、回転子の径方向と平行な方向であってもよい。さらに、回転子は、各コア片の固定子側に設けられた円筒状部材を有していてもよい。なお、円筒状部材は、鋼管で構成されてもよいし、円筒状部材の径方向に積層されたアルファス箔で構成されてもよい。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力を容易に実現することが可能な回転電機およびその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第1実施形態に係る回転電機の断面図である。

【図2】従来のMFCSPM配列における磁気回路を示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図 3】磁界解析に考慮した各構成部品の寸法を示した図である。
- 【図 4 A】磁極数が 6 のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 4 B】磁極数が 8 のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 4 C】磁極数が 10 のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 4 D】磁極数が 12 のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 5 A】第 1 永久磁石 2 2 の厚み L が 3 mm のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 5 B】第 1 永久磁石 2 2 の厚み L が 6 mm のときの磁界解析結果を示す等高線図である。
- 【図 5 C】第 1 永久磁石 2 2 の厚み L が 9 mm のときの磁界解析結果を示す等高線図である。 10
- 【図 6】図 4 C に等高線グラフを通常の折れ線グラフに書き換えた図である。
- 【図 7】図 6 においてプロットしたそれぞれの折れ線の多項式による近似曲線、および、それらの近似曲線のピーク位置を結ぶ曲線を描いた図である。
- 【図 8】図 7 に示したそれぞれの近似曲線のピーク値を与える割合 α の値と、それぞれの近似曲線に対応する割合 β との関係を表す図である。
- 【図 9】第 2 実施形態に係る回転電機の断面図である。
- 【図 10】図 9 に示した回転子コアの断面図である。
- 【図 11 A】図 9 に示した回転子の断面図である。
- 【図 11 B】図 11 A に示した構造にブラケットを追加した図 20
- 【図 12】第 3 実施形態に係る回転電機の断面図である。
- 【図 13】図 12 に示した回転子コアの断面図である。
- 【図 14 A】図 12 に示した回転子の断面図である。
- 【図 14 B】図 14 A に示した構造にブラケットを追加した図である。
- 【図 15】ギャップ磁束密度の分布波形を示した図
- 【図 16】図 15 の分布波形に含まれる基本波成分の振幅の大きさを示す図
- 【発明を実施するための形態】
- 【0017】
- 以下、本発明の実施形態について図を参照して説明する。
- 【0018】 30
- < 第 1 実施形態 >
- 本発明の第 1 実施形態に係る回転電機では、回転子に用いる永久磁石を、MMASPM (Magnetic Material Attached Surface Permanent Magnet) 配列と称される配列方法で配列している。この配列について図 1 を用いて具体的に説明する。
- 【0019】
- 図 1 は、第 1 実施形態に係る回転電機の断面図である。図 1 に示す「O」は、回転子の回転軸を示している。図 1 では、回転電機を回転軸 O 方向に対し垂直に切断したときの当該回転電機の断面を示している。図 1 に示す「G」は、回転子と固定子の間に存在するギャップである。図 1 に示す一方向の矢印 D1 は、永久磁石の磁化方向を示す。 40
- 【0020】
- 図 1 において、第 1 実施形態に係る回転電機は、固定子 1 および回転子 2 を備える。固定子 1 は、ギャップ G を介して略円筒状の回転子 2 の外周を取り囲む。固定子 1 は、固定子コア 11 および固定子巻線 12 を備える。固定子巻線 12 は、固定子コア 11 のティース部 11a に設けられる。図 1 では、一例として、ティース部 11a の数を 12 個としている。
- 【0021】
- なお、ここでは一例として、回転電機が電動機として機能するものとする。この場合、固定子巻線 12 に電流等を流すことにより回転磁界が発生し、当該回転磁界により回転子 2 がその周方向に回転する。 50

【0022】

回転子2は、シャフト21、第1永久磁石22、第2永久磁石23、および回転子コア24を備える。第1永久磁石22は、略円柱状のシャフト21の外周に偶数個設けられる。図1では、一例として、第1永久磁石22の数を10個としている。

【0023】

第1永久磁石22は、磁化方向をシャフト21の外周側と内周側に交互に向けて、シャフト21の周方向（回転子2の周方向）に並べられている。これにより、各第1永久磁石22の磁化方向は、シャフト21の径方向と平行な方向となり、シャフト21の周方向に隣り合う第1永久磁石22の磁化方向は、互いに反対となる。第2永久磁石23は、第1永久磁石22の外周に第1永久磁石22と同数個設けられる。第2永久磁石23は、シャフト21の周方向に隣り合う第1永久磁石22の端部の外周位置に配置される。つまり、第2永久磁石23は、シャフト21の周方向において対向する第1永久磁石22の当該周方向に垂直な端面それぞれの固定子1側に配置される。第2永久磁石23の磁化方向は、シャフト21の径方向（回転子2の径方向）とは垂直な方向である。また、シャフト21の周方向に隣り合う第2永久磁石23の磁化方向は、互いに反対となる。

10

【0024】

第1永久磁石22の固定子1側であって、シャフト21の周方向に隣り合う第2永久磁石23の間には、回転子コア24を構成するコア片241が設けられている。シャフト21の周方向に隣り合う第2永久磁石23間のコア片241に面する当該隣り合う第2永久磁石23の各極は、当該コア片241に面する第1永久磁石22の極と同一極となっている。つまり、コア片241に隣接する第1永久磁石22と2つの第2永久磁石23のそれぞれが有するコア片241側の磁極は、相互に同一極となっている。

20

【0025】

回転子コア24を構成する各コア片241は、軟磁性体で構成される。コア片241の数は、第1永久磁石22と同数個となる。なお、図1において、 θ は、コア片241の開角を示している。 α は、回転子2の周方向に隣り合う第2永久磁石23とコア片241からなる1磁極分の開角を示している。つまり、 β は、回転子2の周方向に隣り合う第2永久磁石23とコア片241の両開角の合計角である。ここで述べる開角とは、回転子2の回転中心（回転軸O）に対して開いた角度である。

30

【0026】

次に、図2を参照して、第1実施形態で用いるMMASPM配列が、従来のMFCSPM配列よりもギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を増加させ易い原理について説明する。図2は、従来のMFCSPM配列における磁気回路を示す図である。図2では、第1永久磁石および第2永久磁石の起磁力を F_m 、ギャップの磁気抵抗を R_{m1} 、回転子の周方向に隣り合う第2永久磁石の間の磁気抵抗を R_{m2} としている。なお、MFCSPM配列における磁気回路を構成する要素には、上記要素以外に、各第1永久磁石の内周に設けられた回転子コアも含まれるが、その磁気抵抗は空気に比べて十分小さいので、ここでは無視する。

【0027】

図2に示した磁気回路において発生する磁束 Φ は、起磁力 F_m を磁気抵抗の総和（ $R_{m1} + R_{m2}$ ）で除算した値となる。したがって、ギャップの磁気抵抗 R_{m1} と、隣り合う第2永久磁石の間の磁気抵抗 R_{m2} との総和を小さくすることにより、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を増加させることができる。ここで、ギャップ長が一定ならギャップの磁気抵抗 R_{m1} は一定とみなせるから、隣り合う第2永久磁石の間の磁気抵抗 R_{m2} を小さくすれば、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を増加させることができる。

40

【0028】

しかしながら、従来のMFCSPM配列では、隣り合う第2永久磁石の間には、間隙部が形成される。つまり、隣り合う第2永久磁石の間には、空気という透磁率の低い物質が存在する。このため、隣り合う第2永久磁石の間の磁気抵抗 R_{m2} を小さくし難く、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を増加させ難い。

50

【 0 0 2 9 】

これに対し、第1実施形態で用いるMMASPM配列では、隣り合う第2永久磁石の間には、透磁率の高いコア片241を設けている。このため、隣り合う第2永久磁石の間の磁気抵抗 R_{m2} を従来のMFCSPM配列よりも容易に小さくすることができる。このため、磁気抵抗の総和($R_{m1} + R_{m2}$)を従来のMFCSPM配列よりも容易に小さくすることができるので、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させることができる。その結果、小型高出力化を容易に実現することができる。

【 0 0 3 0 】

以上のように、本実施形態では、回転子2の周方向に隣り合う第2永久磁石23の間にコア片241が設けられている。これにより、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能となる。

10

【 0 0 3 1 】

次に、第1実施形態で用いるMMASPM配列において、コア片241の開角 θ に対し、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅に最大値(ピーク値)が存在する理由について説明する。なお、説明を分かりやすくするために、以下では、コア片241の開角 θ を変えても、第1永久磁石22により発生する磁束の量は一定で、その大きさは第2永久磁石23により発生する磁束の量に比べて十分小さいとみなす。この場合、ギャップ中の磁束の総量は第2永久磁石23により発生する磁束の量とほぼ等しくなる。

【 0 0 3 2 】

第2永久磁石23により発生する磁束の量は、第2永久磁石23の形状が決まれば、次式に従い一意に定まる。式(1)は永久磁石のパーミアンス p を与える式、式(2)は第2永久磁石23の動作点における磁束密度 B_d を与える式、式(3)は第2永久磁石23により発生する磁束 Φ_2 を与える式である。なお、 μ_0 は空気の透磁率であり、 σ と f は漏れ係数、 L_{mag} は第2永久磁石23の磁路長、 A_{mag} は第2永久磁石23の磁路断面積、 L_{gap} はギャップ長、 A_{gap} はギャップの磁路断面積、 B_r は第2永久磁石23の残留磁束密度、 bH_c は第2永久磁石23の保磁力である。

20

【 0 0 3 3 】

【 数 1 】

$$p = \mu_0 \frac{\sigma L_{mag} A_{gap}}{f A_{mag} L_{gap}}$$

式(1)

30

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

$$B_d = \frac{1}{1 + \frac{1}{p} \frac{B_r}{bH_c}} B_r$$

式(2)

【 0 0 3 5 】

【 数 3 】

$$\Phi_2 = B_d A_{mag}$$

式(3)

40

【 0 0 3 6 】

ここで、ギャップ磁束密度の分布波形は一般に台形波であり、その最大値 B_{gm} は式(4)で与えられる。 A_{core} は、コア片241のギャップ側の表面積である。

【 0 0 3 7 】

【 数 4 】

$$B_{gm} = \frac{\Phi_2}{A_{core}}$$

式(4)

【 0 0 3 8 】

50

式(1)～式(4)からわかるように、第2永久磁石23が磁路方向に厚い形状になるほど、 $Lmag / Amag$ の値が大きくなり、パーミアンス p が大きくなる。パーミアンス p が大きくなると、動作点における磁束密度 Bd が増加し、ギャップ磁束密度の最大値 Bgm が増加し、ギャップ磁束密度の分布波形が台形波であるので、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅も増加する。

【0039】

しかしながら、第2永久磁石23が磁路方向に厚い形状になりすぎると、コア片241の開角 θ が小さくなりすぎ、ギャップ磁束密度の分布波形が鋭く尖ったピークをもつ三角波に変化する。その結果、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅 $Bg1$ が減少する。このことは、式(5)により表現される。

【0040】

【数5】

$$B_{g1} = \frac{4}{\pi^2} \frac{1}{1-\eta} \left[\cos\left(\frac{\pi}{2}\eta\right) - \cos\left(\pi\left(1-\frac{\eta}{2}\right)\right) \right] B_{gm}$$

式(5)

【0041】

ここで、割合 η は、コア片241の開角 θ と1磁極(隣り合う第2永久磁石23とコア片241)の開角 p を用いて式(6)で定義される。式(6)で定義されるように、割合 η は、回転子2の周方向に隣り合う第2永久磁石23とコア片241の両開角の合計角 α に対してコア片241の開角 θ の占める割合を示すものである。

【0042】

【数6】

$$\eta = \frac{\alpha}{\theta_p}$$

式(6)

【0043】

このように、コア片241の開角 θ に対し、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅にピーク値が存在することがわかる。

【0044】

次に、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値になるときのコア片241の開角 θ の値について磁界解析結果を用いて説明する。磁界解析では、図3に示すように、固定子1の固定子コア11を電磁鋼板から成る平滑円筒鉄心とした。また、ギャップ G 長を0.8mm、回転子2の外周半径 $R1$ を41.7mm、固定子1の内周半径 $R2$ を42.5mm、固定子1の外周半径 $R3$ を61mmとした。そして、式(6)により定義される割合 η と式(7)により定義される割合 ζ を変化させた場合のギャップ磁束密度の基本波成分の振幅の変化を調べた。図3は、磁界解析で考慮した各構成部品の寸法を示した図である。図3に示す一方向の矢印 $D1$ は、永久磁石の磁化方向を示す。 R は、シャフト21の外周に設けられた第1永久磁石22の外周半径を示す。 L は、回転子2の径方向における第1永久磁石22の厚みを示す。式(7)で定義されるように、割合 η は、回転子2の外周半径 $R1$ に対して回転子2の径方向におけるコア片241の厚みの占める割合を示すものである。

【0045】

【数7】

$$\zeta = \frac{R_1 - R}{R_1}$$

式(7)

【0046】

図4A～図4Dに、磁極数を異ならせた場合における、割合 η 、割合 ζ 、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅の関係を示した磁界解析結果を示す。図4Aは、磁極数が6のときの結果を示す等高線図であり、図4Bは、磁極数が8のときの結果を示す等高線図であ

10

20

30

40

50

り、図 4 C は、磁極数が 10 のときの結果を示す等高線図であり、図 4 D は、磁極数が 12 のときの結果を示す等高線図である。

【 0 0 4 7 】

図 5 A ~ 図 5 C に、回転子 2 の径方向における第 1 永久磁石 2 2 の厚み L を異ならせた場合における、割合 η 、割合 η 、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅の関係を示した磁界解析結果を示す。図 5 A は、L が 3 mm のときの結果を示す等高線図であり、図 5 B は、L が 6 mm のときの結果を示す等高線図であり、図 5 C は、L が 9 mm のときの結果を示す等高線図である。

【 0 0 4 8 】

図 4 A より、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値となるときの割合 η の値は、おおよそ 0.5 以上 0.7 以下の範囲に存在することがわかる。このことは、図 4 B ~ 図 4 D の結果からわかるように、磁極数が変化しても同じであり、図 5 A ~ 図 5 C の結果からわかるように、L が変化しても同じであり、図 4 A ~ 図 4 D、図 5 A ~ 図 5 C の結果からわかるように、割合 η が変化しても同じである。また、R1 ~ R3 が変化しても、相似形になるだけであり、結果は同じである。

10

【 0 0 4 9 】

以上のことより、割合 η を 0.5 以上 0.7 以下の範囲内の値に設定することで、任意の割合 η 、磁極数、R1 ~ R3、L に対し、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅をピーク値付近の値にすることができる。

【 0 0 5 0 】

また、図 4 A より、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値となるときの割合 η の値は、上記 0.5 以上 0.7 以下の範囲内で、割合 η の値に応じて変化することがわかる。一方、図 4 A ~ 図 4 D の結果より、磁極数が変化してもギャップ磁束密度の分布の様子はあまり変化しない。同様に、図 5 A ~ 図 5 C の結果より、L が変化してもギャップ磁束密度の分布の様子はあまり変化しない。つまり、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値となるときの割合 η の値は、磁極数や L にはあまり依存しないことがわかる。なお、R1 ~ R3 が変化しても、相似形になるだけであり、結果は同じである。

20

【 0 0 5 1 】

このように、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値となるときの割合 η の値は、上記 0.5 以上 0.7 以下の範囲内で、割合 η の値に応じて変化する。以下、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅がピーク値となるときの割合 η の値と、割合 η の値との関係について説明する。なお、以下では、説明を分かりやすくするために、磁極数が 10、L が 3 mm の場合の磁界解析結果に基づき説明するが、上述のように、以下の説明は、任意の磁極数、任意の L に対して適用される。

30

【 0 0 5 2 】

図 6 は、図 4 C の等高線グラフを通常の折れ線グラフに書き換えた図である。それぞれの折れ線は、割合 η の値が 0.6、0.64、0.68、0.71、0.75、0.78 であるときの、割合 η に対するギャップ磁束密度の基本波成分の振幅の変化を表している。

【 0 0 5 3 】

図 7 は、図 6 においてプロットしたそれぞれの折れ線の多項式（ここでは四次式）による近似曲線、および、それらの近似曲線のピーク位置（つまり、基本波成分の振幅の最大値）を結ぶ曲線を描いた図である。ピーク位置を結ぶ曲線の近似式は、グラフの縦軸であるギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を B_{g1} で表すと式 (8) で表現される。

40

【 0 0 5 4 】

【 数 8 】

$$B_{g1} = 3.8832 \times \eta - 0.373$$

式 (8)

【 0 0 5 5 】

図 8 は、図 7 に示したそれぞれの近似曲線のピーク値を与える割合 η の値と、それぞれ

50

の近似曲線に対応する割合 との関係を表す図である。この結果より、割合 が略 0.6 のとき、割合 に応じて変化する度合いが小さくなる。このため、割合 を略 0.6 に設定することで、任意の割合、磁極数、 $R_1 \sim R_3$ 、 L に対し、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅をピーク値にさらに近づけることができる。望ましくは、割合 を 0.6 に設定するとよい。

【0056】

なお、2つの割合 と割合 は、図 8 に示す曲線の近似式である式 (9) によって結ばれる。式 (9) に従って割合 および割合 を設定することで、任意の磁極数、 $R_1 \sim R_3$ 、 L に対し、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅をピーク値にすることができる。

【0057】

【数 9】

$$\eta = -3.5188 \times \zeta^3 + 3.3628 \times \zeta^2 + 0.8094 \times \zeta - 0.3794$$

式 (9)

【0058】

なお、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を最大にする (ピーク値にする) 2つの割合、割合 を決定する手順は次のとおりである。まず、第 1 永久磁石 22 の外周半径 R と回転子 2 の外周半径 R_1 より、式 (7) に従い割合 を計算する。次に、式 (9) に従い割合 を計算する。ここまでの結果から、ある割合 の値に対する最適な割合 の値が定まることになる。最後に、求めた割合 の値を式 (8) に代入すれば、ある割合 の値に対するギャップ磁束密度の基本波成分の振幅のピーク値を求めることができる。

【0059】

< 第 2 実施形態 >

図 9 ~ 図 11A、図 11B を参照して、製作可能性や機械強度を考慮した回転子を備える第 2 実施形態に係る回転電機について説明する。図 9 は、第 2 実施形態に係る回転電機の断面図である。図 10 は、図 9 に示した回転子コアの断面図である。図 11A は、図 9 に示した回転子の断面図である。図 11B は、図 11A に示した構造にブラケットを追加した図である。図 9 ~ 図 11A、図 11B に示す「O」は、回転子の回転軸を示している。図 9 では、回転電機を回転軸 O 方向に対し垂直に切断したときの当該回転電機の断面を示している。図 10 では、図 9 に示した回転子コアを回転軸 O 方向に対し垂直に切断したときの当該回転子コアの断面を示している。図 11A、図 11B では、図 9 に示した回転子を線 X O Y で切断したときの当該回転子の断面を示している。図 9 に示す「G」は、回転子と固定子の間に存在するギャップである。図 9 に示す一方向の矢印 D1 は、永久磁石の磁化方向を示す。第 1 実施形態と同じ構成部品については、図 9 ~ 図 11A、図 11B において同じ符号を付しており、適宜説明を省略する。

【0060】

図 9 において、第 2 実施形態に係る回転電機は、固定子 1 および回転子 3 を備える。固定子 1 は、ギャップ G を介して略円筒状の回転子 3 の外周を取り囲む。図 9 では、一例として、ティース部 11a の数を 12 個としている。

【0061】

なお、ここでは一例として、回転電機が電動機として機能するものとする。この場合、固定子巻線 12 に電流等を流すことにより回転磁界が発生し、当該回転磁界により回転子 3 がその周方向に回転する。

【0062】

回転子 3 は、シャフト 31、第 1 永久磁石 32、第 2 永久磁石 33、回転子コア 34、支持部材 35、ブラケット 36、ブラケット 37 を備える。回転子 3 は、第 2 永久磁石 33 を保持する外側構造体 51 と、第 1 永久磁石 32 を保持する内側構造体 52 に二分される。

【0063】

外側構造体 51 は、第 2 永久磁石 33、回転子コア 34、支持部材 (例えば丸棒) 35 より主に構成される。回転子コア 34 は、図 10 および図 11A に示すように、回転軸 O

10

20

30

40

50

方向に積層された電磁鋼板で構成される。回転子コア 3 4 の内周面には、第 2 永久磁石 3 3 を埋設するための溝 3 4 a が周方向に一定の間隔を置いて設けられる。溝 3 4 a は、回転軸 O 方向に沿って形成され、第 1 永久磁石 3 2 と同数個形成されている。溝 3 4 a の底部 3 4 2 (回転子コア 3 4 のギャップ側外周部であって後述する連結部) は、図 10 に示すように、回転子コア 3 4 の外周面の真円度および円筒度を確保するような形状にすることが望ましい。図 10 に示すように溝 3 4 a が設けられることで、回転子コア 3 4 は、一定の間隔を置いて周方向に並んだ複数のコア片 3 4 1 と、回転子コア 3 4 の外周で互いのコア片 3 4 1 を連結する連結部 (溝 3 4 a の底部 3 4 2) とにより構成されることになる。各コア片 3 4 1 には、支持部材 3 5 を挿入するための貫通孔 3 5 a が形成されている。

【0064】

第 2 永久磁石 3 3 は、略平板形状である。第 2 永久磁石 3 3 は、回転軸 O 方向に垂直な断面形状における短手方向に磁化方向が向くように着磁される。着磁された第 2 永久磁石 3 3 は、溝 3 4 a に挿入され、回転子コア 3 4 と接着される。これにより、第 2 永久磁石 3 3 と回転子コア 3 4 とが一体化する。このときの各第 2 永久磁石 3 3 の磁化方向は、図 9 に示すように、第 1 実施形態と同様である。

【0065】

なお、第 2 永久磁石 3 3 は、溝 3 4 a に挿入されて回転子コア 3 4 と接着された後、図 9 に示す磁化方向をもつように着磁されてもよい。

【0066】

支持部材 3 5 は、一般的な鉄系またはセラミック系の材料で構成される。支持部材 3 5 は、各コア片 3 4 1 の貫通孔 3 5 a に挿入される。支持部材 3 5 は、ブラケット 3 6 および 3 7 とともに、回転子コア 3 4 および第 2 永久磁石 3 3 を支持する。これにより、回転子コア 3 4 および第 2 永久磁石 3 3 にトルクや遠心力が作用しても、回転子コア 3 4 および第 2 永久磁石 3 3 が保持される。

【0067】

内側構造体 5 2 は、シャフト 3 1 と第 1 永久磁石 3 2 により主に構成される。シャフト 3 1 の外周面には、第 1 永久磁石 3 2 を埋設するための溝 3 1 a が周方向に一定の間隔を置いて設けられる。溝 3 1 a は、回転軸 O 方向に沿って形成され、第 1 永久磁石 3 2 と同数個形成されている。第 1 永久磁石 3 2 は、略平板形状である。図 9 では、一例として、第 1 永久磁石 3 2 の数を 10 個としている。第 1 永久磁石 3 2 は、回転軸 O 方向に垂直な断面形状における短手方向に磁化方向が向くように着磁される。着磁された第 1 永久磁石 3 2 は、溝 3 1 a に挿入され、シャフト 3 1 と接着される。これにより、第 1 永久磁石 3 2 とシャフト 3 1 とが一体化する。このときの各第 1 永久磁石 3 2 の磁化方向は、図 9 に示すように、第 1 実施形態と同様である。回転子 3 の周方向に隣り合う第 1 永久磁石 3 2 の間 3 2 a には、空間を設けるか、あるいは、樹脂などを充填する。

【0068】

なお、第 1 永久磁石 3 2 は、溝 3 1 a に挿入されてシャフト 3 1 と接着された後、図 9 に示す磁化方向をもつように着磁されてもよい。

【0069】

以上のように構成された内側構造体 5 2 は、外側構造体 5 1 の内周側に嵌合される。これにより、内側構造体 5 2 は、外側構造体 5 1 と一体化される。このとき、第 2 永久磁石 3 3 は、シャフト 3 1 の周方向に隣り合う第 1 永久磁石 3 2 の端部の外周位置に配置される。また、コア片 3 4 1 に隣接する第 1 永久磁石 3 2 と 2 つの第 2 永久磁石 3 3 のそれぞれが有するコア片 3 4 1 側の磁極は、相互に同一極となっている。互いに嵌合された内側構造体 5 2 および外側構造体 5 1 は、図 11 B に示すように、回転軸 O 方向の両端に固定された 2 つのブラケット 3 6 および 3 7 により連結される。

【0070】

図 11 A に示すように、シャフト 3 1 の外周面に形成された溝 3 1 a の回転軸 O 方向の長さは、第 1 永久磁石 3 2 の回転軸 O 方向の長さよりも長くなっている。第 1 永久磁石 3 2 が存在しない溝 3 1 a によって、シャフト 3 1 の回転軸 O 方向における両端部の形状は

10

20

30

40

50

、スプライン形状となる。

【0071】

図11Bに示すように、ブラケット36および37は、支持部材35が嵌合される嵌合部である丸穴36aおよび37aを有する。ブラケット36のシャフト31側かつ第1永久磁石32側には、スプライン形状を有するシャフト31の一方端部と嵌合可能な形状をもつ嵌合部36bが形成される。ブラケット37のシャフト31側かつ第1永久磁石32側には、スプライン形状を有するシャフト31の他方端部と嵌合可能な形状をもつ嵌合部37bが形成される。ブラケット36をシャフト31の一方端部から挿入し、シャフト31の一方端部と嵌合部36bを嵌合し、丸穴36aに支持部材35を圧入または接着する。同様に、ブラケット37をシャフト31の他方端部から挿入し、シャフト31の他方端部と嵌合部37bを嵌合し、丸穴37aに支持部材35を圧入または接着する。これにより、外側構造体51と内側構造体52とが一体化される。

10

【0072】

以上のように、本実施形態では、回転子3の周方向に隣り合う第2永久磁石33の間にコア片341が設けられている。これにより、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能となる。

【0073】

また本実施形態では、回転子3が内側構造体52と外側構造体51に二分されるので、それらを嵌合するだけで製作可能となるので、MMASPM配列をもつ回転子3の製作が容易になる。

20

【0074】

また本実施形態では、ブラケット36が、回転軸O方向におけるシャフト31の一方端部から挿入され、回転軸O方向における各コア片341の一方端部と各第2永久磁石33の一方端部とに固定される。同様に、ブラケット37が、回転軸O方向におけるシャフト31の他方端部から挿入され、回転軸O方向における各コア片341の他方端部と各第2永久磁石33の他方端部とに固定される。これにより、回転子3の機械強度を高めることができる。

【0075】

また本実施形態では、ブラケット36がシャフト31の一方端部と嵌合部36bで嵌合され、ブラケット37がシャフト31の他方端部と嵌合部37bで嵌合される。これにより、回転子3の回転方向（周方向）に対する機械強度を、さらに高めることができる。さらに、支持部材35によっても、回転子3の回転方向に対する機械強度を、さらに高めることができる。

30

【0076】

なお、本実施形態に係る回転電機を第1実施形態に従って最適化してもよい。この場合、図9に示すように、例えば、コア片341の周方向における一方端面であって径方向における中心点をZ1とし、コア片341の周方向における他方端面であって径方向における中心点をZ2とする。また、第2永久磁石33の周方向における他方端面であって径方向における中心点をZ3とする。なお、第2永久磁石33の周方向における一方端面であって径方向における中心点は、Z2となる。このとき、コア片341の開角 θ は、中心点Z1と回転軸Oとを結ぶ直線と、中心点Z2と回転軸Oとを結ぶ直線とがなす鋭角に等しい。また、1磁極（隣り合う第2永久磁石33とコア片341）の開角 p は、中心点Z1と回転軸Oとを結ぶ直線と、中心点Z3と回転軸Oとを結ぶ直線とがなす鋭角に等しい。このコア片341の開角 θ と1磁極の開角 p を式(6)に代入して求められる割合を、第1実施形態に従って最適化すればよい。また、シャフト31の外周に設けられた第1永久磁石32の外周半径をRとし、このRを式(7)に代入して求められる割合 ϕ を、第1実施形態に従って最適化すればよい。なお、本実施形態に係る回転電機を第1実施形態に従って最適化しなくても、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能となることはいうまでもない。

40

【0077】

50

< 第 3 実施形態 >

図 1 2 ~ 図 1 4 A、図 1 4 B を参照して、製作可能性や機械強度を考慮した回転子を備える第 3 実施形態に係る回転電機について説明する。図 1 2 は、第 3 実施形態に係る回転電機の断面図である。図 1 3 は、図 1 2 に示した回転子コアの断面図である。図 1 4 A は、図 1 2 に示した回転子の断面図である。図 1 4 B は、図 1 4 A に示した構造にブラケットを追加した図である。図 1 2 ~ 図 1 4 A、図 1 4 B に示す「O」は、回転子の回転軸を示している。図 1 2 では、回転電機を回転軸 O 方向に対し垂直に切断したときの当該回転電機の断面を示している。図 1 3 では、図 1 2 に示した回転子コアを回転軸 O 方向に対し垂直に切断したときの当該回転子コアの断面を示している。図 1 4 A、図 1 4 B では、図 1 2 に示した回転子を線 X O Y で切断したときの当該回転子の断面を示している。図 1 2 に示す「G」は、回転子と固定子の間に存在するギャップである。図 1 2 に示す一方向の矢印 D 1 は、永久磁石の磁化方向を示す。図 1 4 A、図 1 4 B に示す両方向の矢印 D 2 は、方向性電磁鋼板の磁化容易方向を示す。第 2 実施形態と同じ構成部品については、図 1 2 ~ 図 1 4 A、図 1 4 B において同じ符号を付しており、適宜説明を省略する。

10

【 0 0 7 8 】

本実施形態に係る回転電機は、第 2 実施形態に係る回転電機に対し、回転子 3 が回転子 4 に入れ代わり、回転子コア 3 4 が回転子コア 4 4 に入れ代わり、支持部材 3 5 が省略され、ブラケット 3 6 および 3 7 がブラケット 4 6 および 4 7 に入れ代わった点異なる。それ以外の構成部品については、第 2 実施形態と同様であり、同じ符号を付して、適宜説明を省略する。

20

【 0 0 7 9 】

図 1 2 において、第 3 実施形態に係る回転電機は、固定子 1 および回転子 4 を備える。固定子 1 は、ギャップ G を介して略円筒状の回転子 4 の外周を取り囲む。図 1 2 では、一例として、ティース部 1 1 a の数を 1 2 個としている。

【 0 0 8 0 】

なお、ここでは一例として、回転電機が電動機として機能するものとする。この場合、固定子巻線 1 2 に電流等を流すことにより回転磁界が発生し、当該回転磁界により回転子 4 がその周方向に回転する。

【 0 0 8 1 】

回転子 4 は、シャフト 3 1、第 1 永久磁石 3 2、第 2 永久磁石 3 3、回転子コア 4 4、ブラケット 4 6、ブラケット 4 7 を備える。回転子 4 は、第 2 永久磁石 3 3 を保持する外側構造体 6 1 と、第 1 永久磁石 3 2 を保持する内側構造体 5 2 に二分される。

30

【 0 0 8 2 】

外側構造体 6 1 は、第 2 永久磁石 3 3 および回転子コア 4 4 より主に構成される。回転子コア 4 4 は、図 1 3 および図 1 4 A に示すように、複数のコア片 4 4 1 と円筒状部材 4 4 2 により構成される。各コア片 4 4 1 は、積層された方向性電磁鋼板で構成される。各コア片 4 4 1 は、回転子 4 の周方向に一定の間隔を置いて並べられている。各コア片 4 4 1 の積層方向は、図 1 3 に示すように、回転子 4 の周方向である。各コア片 4 4 1 を構成する方向性電磁鋼板の磁化容易方向は、図 1 4 A、図 1 4 B に示すように、回転子 4 の径方向と平行な方向である。なお、図 1 3 における各コア片 4 4 1 の断面形状は、略台形状である。このような各コア片 4 4 1 を製造する方法としては、次のような方法が考えられる。まず、磁化容易方向を一致させながら複数枚の方向性電磁鋼板を積層する。その後、積層した方向性電磁鋼板を図 1 3 の略台形状となるようにワイヤカットやプレス機によって加工する。これにより、図 1 3 に示す各コア片 4 4 1 が成形される。

40

【 0 0 8 3 】

各コア片 4 4 1 の外周には、肉厚の薄い略円筒状の円筒状部材 4 4 2 が設けられる。これにより、各コア片 4 4 1 は、互いに連結され、一体となる。このように、回転子コア 4 4 は、一定の間隔を置いて周方向に並んだ複数のコア片 4 4 1 と、回転子コア 4 4 の外周で互いのコア片 4 4 1 を連結する連結部の役割を果たす円筒状部材 4 4 2 とにより構成されることになる。円筒状部材 4 4 2 は、例えば、ステンレス系の鋼管のように機械強度が

50

高い部材で構成される。あるいは、円筒状部材 4 4 2 は、アモルファス箔帯を円筒状に巻いて径方向に積層したもので構成されてもよい。このような円筒状部材 4 4 2 を用いることにより、各コア片 4 4 1 が遠心力またはトルクにより飛散する危険を低減することが可能となる。あるいは、円筒状部材 4 4 2 は、圧粉磁心により構成されてもよい。

【 0 0 8 4 】

第 2 永久磁石 3 3 は、略平板形状である。第 2 永久磁石 3 3 は、回転軸 O 方向に垂直な断面形状における短手方向に磁化方向が向くように着磁される。着磁された第 2 永久磁石 3 3 は、回転子 4 の周方向に隣り合うコア片 4 4 1 間の間隔 4 4 a に挿入され、回転子コア 4 4 と接着される。間隔 4 4 a は、第 1 永久磁石 3 2 と同数個形成されている。このときの各第 2 永久磁石 3 3 の磁化方向は、図 1 2 に示すように、第 1 実施形態と同様である。

10

【 0 0 8 5 】

なお、第 2 永久磁石 3 3 は、間隔 4 4 a に挿入されて回転子コア 4 4 と接着された後、図 1 2 に示す磁化方向をもつように着磁されてもよい。なお、内側構造体 5 2 については、第 2 実施形態と同様であるので、説明を省略する。

【 0 0 8 6 】

以上のように構成された内側構造体 5 2 は、外側構造体 6 1 の内周側に嵌合される。このとき、第 2 永久磁石 3 3 は、シャフト 3 1 の周方向に隣り合う第 1 永久磁石 3 2 の端部の外周位置に配置される。また、コア片 4 4 1 に隣接する第 1 永久磁石 3 2 と 2 つの第 2 永久磁石 3 3 のそれぞれが有するコア片 4 4 1 側の磁極は、相互に同一極となっている。互いに嵌合された内側構造体 5 2 および外側構造体 6 1 は、図 1 4 B に示すように、回転軸 O 方向の両端に固定された 2 つのブラケット 4 6 および 4 7 により連結される。

20

【 0 0 8 7 】

図 1 4 A に示すように、シャフト 3 1 の外周面に形成された溝 3 1 a の回転軸 O 方向の長さは、第 1 永久磁石 3 2 の回転軸 O 方向の長さよりも長くなっている。第 1 永久磁石 3 2 が存在しない溝 3 1 a によって、シャフト 3 1 の回転軸 O 方向における両端部の形状は、スプライン形状となる。

【 0 0 8 8 】

図 1 4 B に示すように、ブラケット 4 6 のシャフト 3 1 側かつ第 1 永久磁石 3 2 側には、スプライン形状を有するシャフト 3 1 の一方端部と嵌合可能な形状をもつ嵌合部 4 6 b が形成される。ブラケット 4 7 のシャフト 3 1 側かつ第 1 永久磁石 3 2 側には、スプライン形状を有するシャフト 3 1 の他方端部と嵌合可能な形状をもつ嵌合部 4 7 b が形成される。ブラケット 4 6 をシャフト 3 1 の一方端部から挿入し、シャフト 3 1 の一方端部と嵌合部 4 6 b を嵌合する。同様に、ブラケット 4 7 をシャフト 3 1 の他方端部から挿入し、シャフト 3 1 の他方端部と嵌合部 4 7 b を嵌合する。これにより、外側構造体 6 1 と内側構造体 5 2 とが一体化される。

30

【 0 0 8 9 】

以上のように、本実施形態では、回転子 4 の周方向に隣り合う第 2 永久磁石 3 3 の間にコア片 4 4 1 が設けられている。これにより、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能となる。

40

【 0 0 9 0 】

また本実施形態では、回転子 4 が内側構造体 5 2 と外側構造体 6 1 に二分されるので、それらを嵌合するだけで製作可能となるので、M M A S P M 配列をもつ回転子 4 の製作が容易になる。

【 0 0 9 1 】

また本実施形態では、ブラケット 4 6 が、回転軸 O 方向におけるシャフト 3 1 の一方端部から挿入され、回転軸 O 方向における各コア片 4 4 1 の一方端部と各第 2 永久磁石 3 3 の一方端部とに固定される。同様に、ブラケット 4 7 が、回転軸 O 方向におけるシャフト 3 1 の他方端部から挿入され、回転軸 O 方向における各コア片 4 4 1 の他方端部と各第 2 永久磁石 3 3 の他方端部とに固定される。これにより、回転子 3 の機械強度を高めること

50

ができる。

【0092】

また本実施形態では、ブラケット46がシャフト31の一方端部と嵌合部46bで嵌合され、ブラケット47がシャフト31の他方端部と嵌合部47bで嵌合される。これにより、回転子4の回転方向（周方向）に対する機械強度を、さらに高めることができる。

【0093】

また本実施形態では、各コア片441が方向性電磁鋼板で構成され、当該方向性電磁鋼板の磁化容易方向が回転子4の径方向を向いている。このため、第1永久磁石32および第2永久磁石33から発生する磁束が回転子4の径方向へは通りやすく、回転軸O方向へは通りにくくなる。このため、第2実施形態の回転子3に比べ、回転軸O方向（各コア片441の積層方向）へ漏れる漏れ磁束の割合が低下し、回転軸O方向に対して垂直な方向（各コア片441の径方向）へ進む磁束の割合が増加する。その結果、回転子4の外周から固定子1の内周へ進む磁束の割合が増加し、固定子巻線12と鎖交する磁束が増加するので、さらなる小型高出力化を実現することが可能となる。

【0094】

また本実施形態では、円筒状部材442がアモルファス箔帯を積層したもので構成される場合もあった。この場合、円筒状部材442がステンレス系の鋼管で構成される場合に比べ、円筒状部材442に発生する渦電流損を低く抑えることが可能となる。また、アモルファス箔帯の透磁率はステンレス系の鋼管よりも高い。このため、ギャップ磁束密度を高く設計することが可能となる。さらに、アモルファス箔帯の一枚一枚の厚さは、約0.025 μm と薄い。このため、積層枚数を微調節することにより、円筒状部材442の肉厚を可能な限り薄くしてギャップ磁束密度を最大化することができる。また、円筒状部材442に要求される必要十分な機械強度を確保する設計も容易となる。

【0095】

なお、本実施形態に係る回転電機を第1実施形態に従って最適化してもよい。この場合、図12に示すように、例えば、コア片441の周方向における一方端面であって径方向における中心点をZ4とし、コア片441の周方向における他方端面であって径方向における中心点をZ5とする。また、第2永久磁石33の周方向における他方端面であって径方向における中心点をZ6とする。なお、第2永久磁石33の周方向における一方端面であって径方向における中心点は、Z5となる。このとき、コア片441の開角 θ は、中心点Z4と回転軸Oとを結ぶ直線と、中心点Z5と回転軸Oとを結ぶ直線とがなす鋭角に等しい。また、1磁極（隣り合う第2永久磁石33とコア片441）の開角 p は、中心点Z4と回転軸Oとを結ぶ直線と、中心点Z6と回転軸Oとを結ぶ直線とがなす鋭角に等しい。このコア片441の開角 θ と1磁極の開角 p を上式(6)に代入して求められる割合 α を、第1実施形態に従って最適化すればよい。また、シャフト31の外周に設けられた第1永久磁石32の外周半径をRとし、このRを式(7)に代入して求められる割合 β を、第1実施形態に従って最適化すればよい。なお、本実施形態に係る回転電機を第1実施形態に従って最適化しなくても、ギャップ磁束密度の基本波成分の振幅を容易に増加させ、小型高出力化を容易に実現することが可能となることはいうまでもない。

【0096】

次に、以上に説明した第1および第2実施形態に係る効果について検証した結果を示す。図15は、磁界解析により計算したギャップ磁束密度の分布波形を示す図である。図15において、従来のRSPM配列の分布波形は、永久磁石の径方向厚さが5mmの場合の分布波形である。従来のMFCSPM配列の分布波形は、第1永久磁石、第2永久磁石とも径方向厚さが5mmの場合の分布波形である。MMASPM1配列（第1実施形態）の分布波形は、第1実施形態に係る第2永久磁石およびコア片を上述の最適寸法にした場合の分布波形である。MMASPM2配列（第2実施形態）は、第2実施形態に係る第2永久磁石およびコア片を上述の最適寸法にした場合の分布波形である。図15より、従来のMFCSPM配列、MMASPM1配列、MMASPM2配列におけるギャップ磁束密度は、全てRSPM配列のギャップ磁束密度よりも大きいことがわかる。

【 0 0 9 7 】

図 1 6 は、図 1 5 の分布波形に含まれる基本波成分の振幅の大きさを示す図である。従来の R S P M 配列と従来の M F C S P M 配列を比較すると、基本波成分の振幅は M F C S P M 配列の方が小さいことがわかる。これは、図 1 5 に示したように、従来の M F C S P M 配列におけるギャップ磁束密度の分布波形が三角波に近い形状になるためである。一方、M M A S P M 1 配列（第 1 実施形態）、M M A S P M 2 配列（第 2 実施形態）におけるギャップ磁束密度の基本波成分の振幅は、従来の R S P M 配列と従来の M F C S P M 配列よりも大きくなっている。M M A S P M 2 配列（第 2 実施形態）におけるギャップ磁束密度の基本波成分の振幅は、R S P M 配列や M F C S P M 配列よりも 1 . 3 倍以上大きくなっている。このように、第 1 および第 2 実施形態に係る回転電機によって得られる効果は十分に大きいとすることができる。なお、第 3 実施形態に係る効果については記載していないが、この効果も十分に大きいことは言うまでもない。

10

【 0 0 9 8 】

なお、以上に説明した各実施形態に係る回転電機は、電動機として機能するものとしたが、これに限定されない。各実施形態に係る回転電機は、発電機として機能するものであってもよい。

【 0 0 9 9 】

以上、本発明の各実施形態について説明した。ただし、いわゆる当業者であれば、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、上記各実施形態から適宜変更が可能であり、また、上記各実施形態と変更例による手法を適宜組み合わせることも可能である。すなわち、このような変更等が施された技術であっても、本発明の技術的範囲に含まれることは言うまでもない。

20

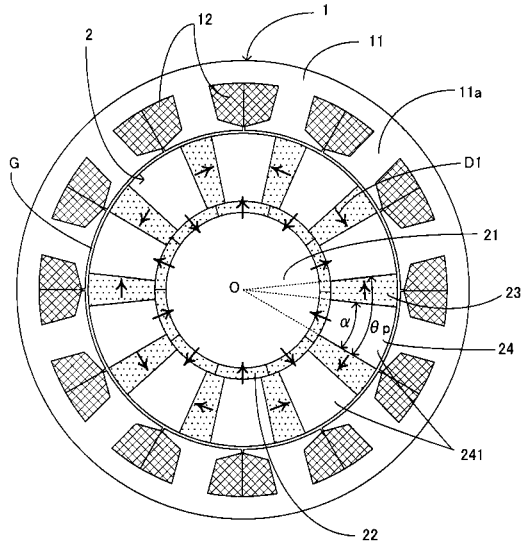
【 符号の説明 】

【 0 1 0 0 】

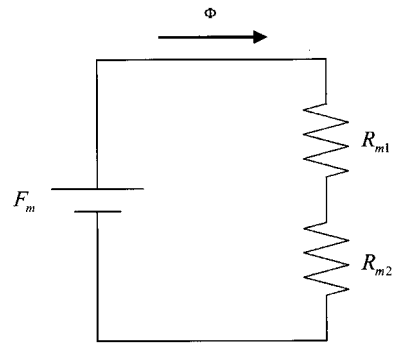
- 1 固定子
- 1 1 固定子コア
- 1 2 固定子巻線
- 2、3、4 回転子
- 2 1、3 1 シャフト
- 2 2、3 2 第 1 永久磁石
- 2 3、3 3 第 2 永久磁石
- 2 4、3 4、4 4 回転子コア
- 2 4 1、3 4 1、4 4 1 コア片
- 3 5 支持部材
- 3 6、3 7、4 6、4 7 ブラケット
- 4 4 2 円筒状部材
- 5 1、6 1 外側構造体
- 5 2 内側構造体

30

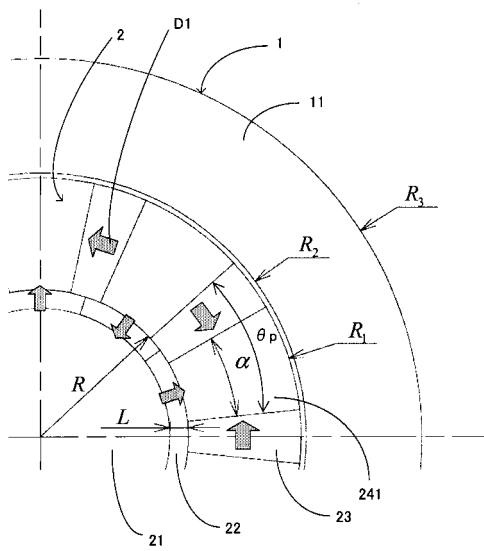
【 図 1 】



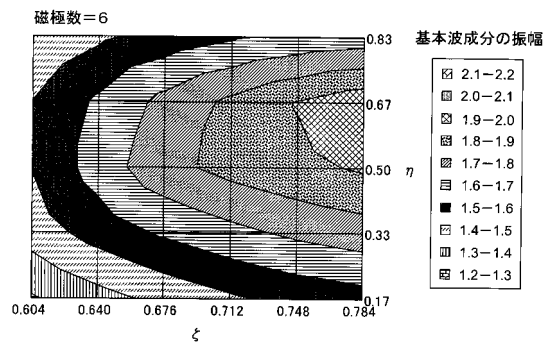
【 図 2 】



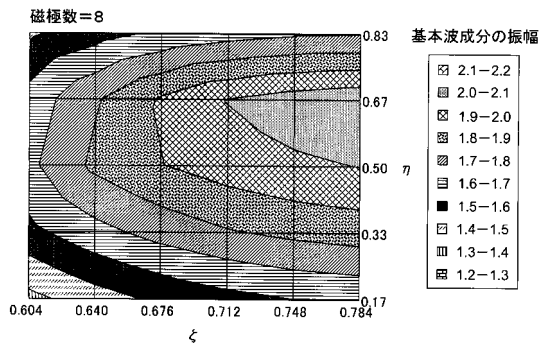
【 図 3 】



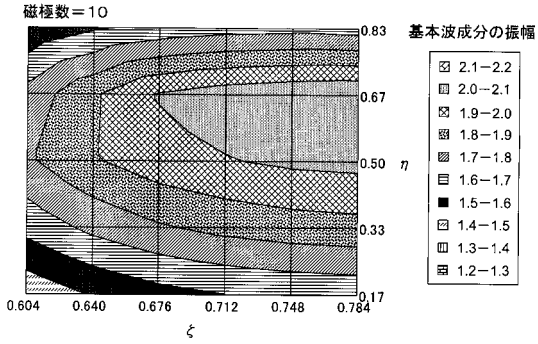
【 図 4 A 】



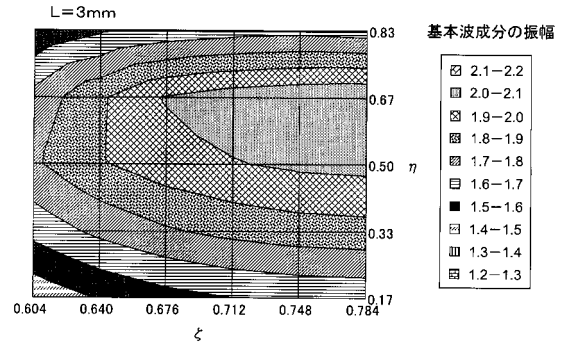
【 図 4 B 】



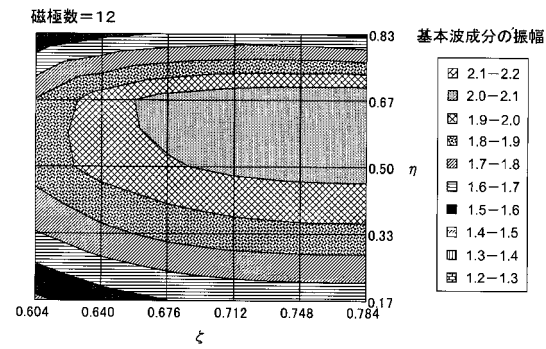
【 図 4 C 】



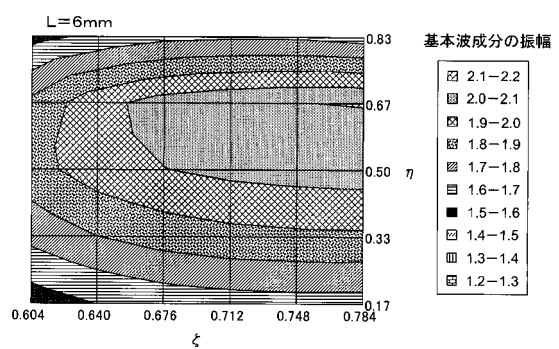
【 図 5 A 】



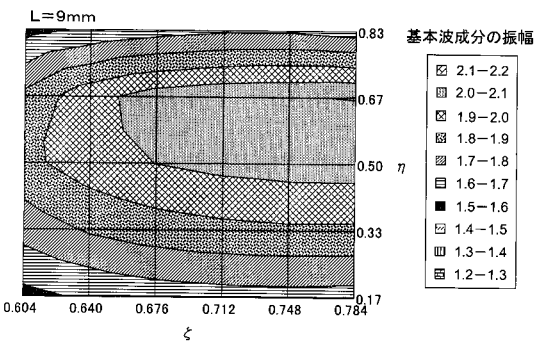
【 図 4 D 】



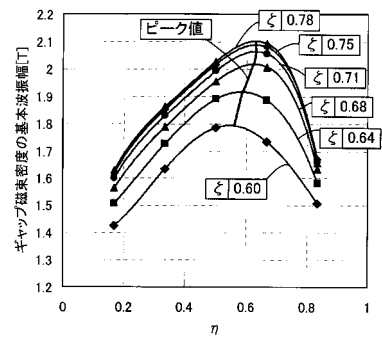
【 図 5 B 】



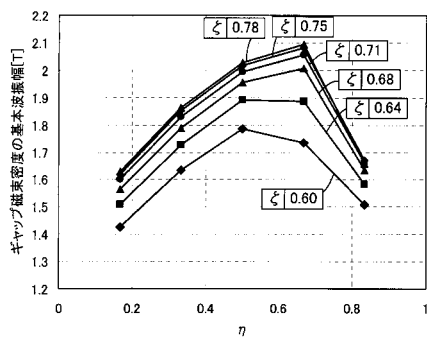
【 図 5 C 】



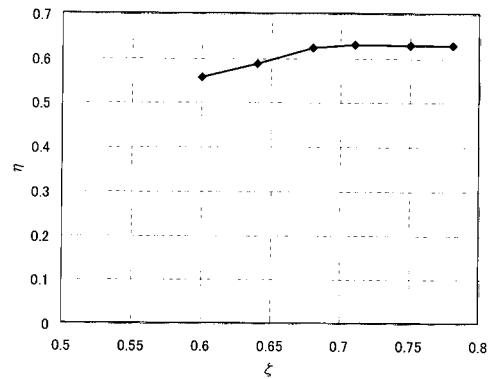
【 図 7 】



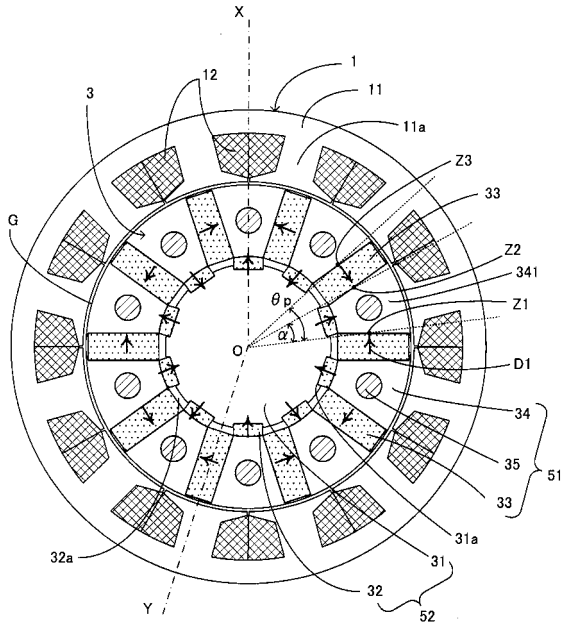
【 図 6 】



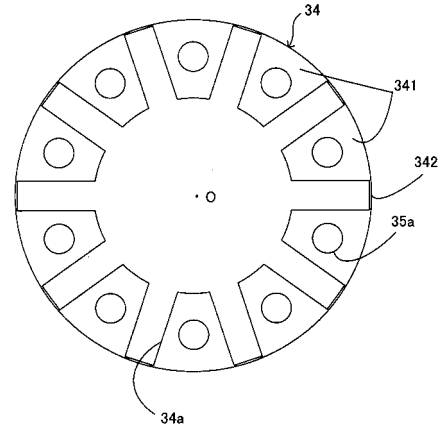
【 図 8 】



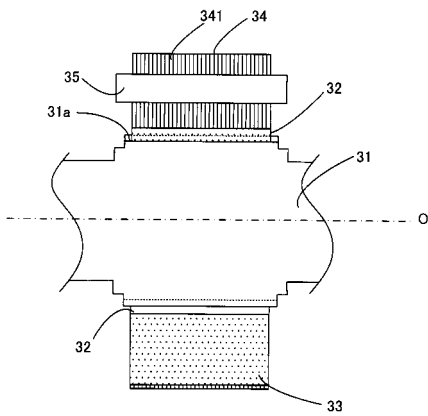
【図 9】



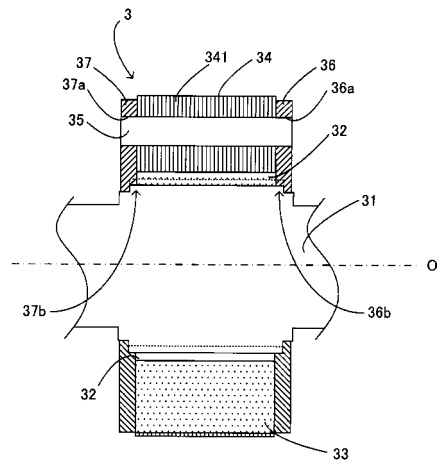
【図 10】



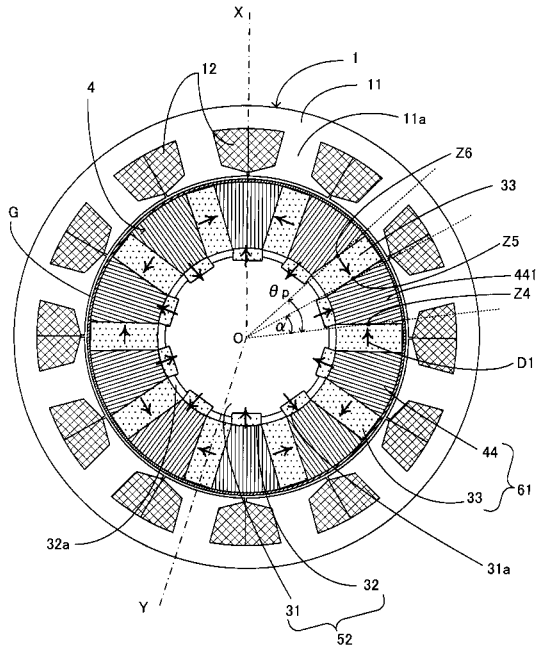
【図 11 A】



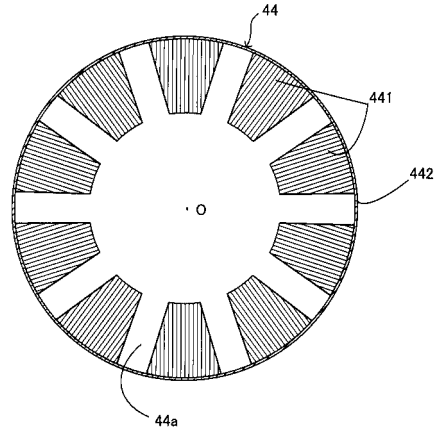
【図 11 B】



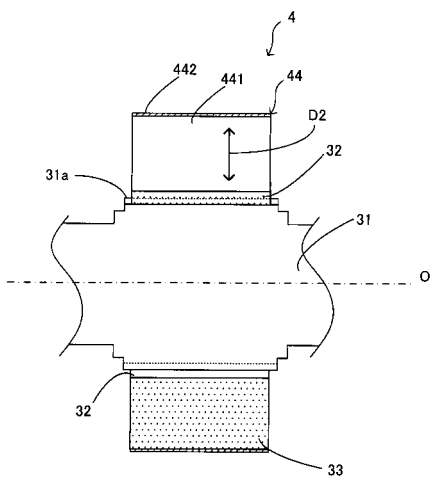
【 図 1 2 】



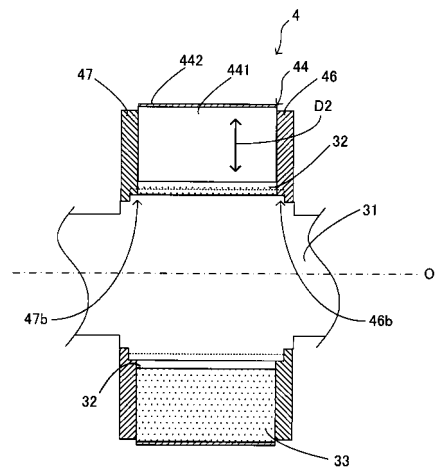
【 図 1 3 】



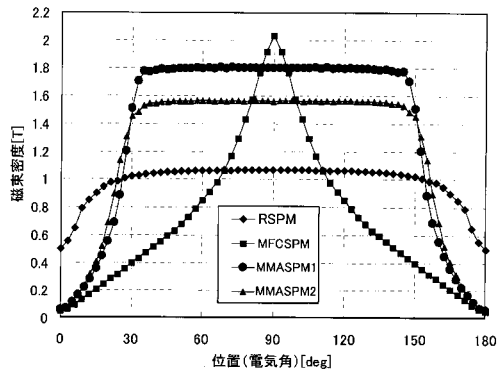
【 図 1 4 A 】



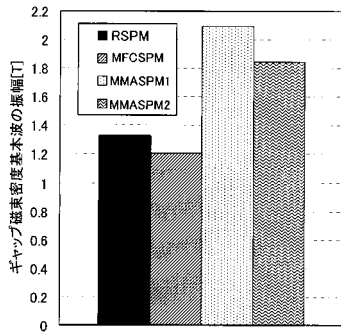
【 図 1 4 B 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H601 AA23 BB01 CC15 DD01 DD11 FF15 FF17 GD03 GD08
5H622 AA03 CA02 CB01