

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7179244号
(P7179244)

(45)発行日 令和4年11月28日(2022.11.28)

(24)登録日 令和4年11月17日(2022.11.17)

(51)国際特許分類

F I

F 1 6 H 49/00 (2006.01)

F 1 6 H 49/00

A

請求項の数 6 (全21頁)

(21)出願番号	特願2022-557103(P2022-557103)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和4年6月9日(2022.6.9)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/023312		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	令和4年9月21日(2022.9.21)	(74)代理人	110002941弁理士法人ばるも特許事務所
早期審査対象出願		(72)発明者	岡崎 広大
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		(72)発明者	北尾 純士
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		審査官	畔津 圭介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気ギヤ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

永久磁石による第一極数の磁極が周方向に沿って配置された多極機構と、永久磁石による前記第一極数よりも少ない第二極数の磁極が周方向に沿って配置された少極機構と、軟磁性体による第三極数の磁極が前記多極機構の磁極と前記少極機構の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピースとを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部、

前記第一回転子と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト、および

前記第二回転子と外部とのトルク伝達を担う第二シャフトを備え、

前記磁気歯車部は、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画の間で、前記第一極数と前記第二極数と前記第三極数が互いに同じであり、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピースのうちの少なくともひとつが位相差を有するように、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピース間での磁極の位置関係が異なっており、

かつ前記第一極数と前記第三極数との最大公約数、および前記第二極数と前記第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが1または2であることを特徴とする磁気ギヤ。

【請求項2】

前記多極機構および前記少極機構それぞれに用いる前記永久磁石の軸方向に延びる面は、軸方向に平行であることを特徴とする請求項1に記載の磁気ギヤ。

【請求項3】

永久磁石による第一極数の磁極が周方向に沿って配置された多極機構と、永久磁石による前記第一極数よりも少ない第二極数の磁極が周方向に沿って配置された少極機構と、軟磁性体による第三極数の磁極が前記多極機構の磁極と前記少極機構の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピースとを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部、

前記第一回転子と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト、および

前記第二回転子と外部とのトルク伝達を担う第二シャフトを備え、

前記磁気歯車部は、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画の間で、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピースのうちの少なくともひとつが位相差を有するように、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピース間での磁極の位置関係が異なっており、

10

前記第一極数と前記第三極数との最大公約数、および前記第二極数と前記第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが1であり、

かつ前記複数の区画を、前記磁極の位置関係として第一の位置関係で磁極が配置された第一配置パターンの区画と、前記第一配置パターンの区画に対して、前記位相差が、機械角基準で 120° より大きく 240° より小さい角度範囲となる第二の位置関係で磁極が配置された第二配置パターンの区画による2種類の区画で構成していることを特徴とする磁気ギヤ。

【請求項4】

20

永久磁石による第一極数の磁極が周方向に沿って配置された多極機構と、永久磁石による前記第一極数よりも少ない第二極数の磁極が周方向に沿って配置された少極機構と、軟磁性体による第三極数の磁極が前記多極機構の磁極と前記少極機構の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピースとを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部、

前記第一回転子と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト、および

前記第二回転子と外部とのトルク伝達を担う第二シャフトを備え、

前記磁気歯車部は、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画の間で、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピースのうちの少なくともひとつが位相差を有するように、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピース間での磁極の位置関係が異なっており、

30

前記第一極数と前記第三極数との最大公約数、および前記第二極数と前記第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが2であり、

かつ前記複数の区画として、前記磁極の位置関係として第一の位置関係で磁極が配置された第一配置パターンの区画と、前記第一配置パターンの区画に対して、前記位相差が、機械角基準で 60° より大きく 120° より小さい、あるいは 240° より大きく 300° より小さい角度範囲となる第二の位置関係で磁極が配置された第二配置パターンの区画による2種類の区画で構成していることを特徴とする磁気ギヤ。

【請求項5】

40

永久磁石による第一極数の磁極が周方向に沿って配置された多極機構と、永久磁石による前記第一極数よりも少ない第二極数の磁極が周方向に沿って配置された少極機構と、軟磁性体による第三極数の磁極が前記多極機構の磁極と前記少極機構の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピースとを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部、

前記第一回転子と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト、および

前記第二回転子と外部とのトルク伝達を担う第二シャフトを備え、

前記磁気歯車部は、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画の間で、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピースのうちの少なくともひとつが位相差を有する

50

ように、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピース間での磁極の位置関係が異なっており、

前記複数の区画として3つ以上の区画に分けられており、前記3つ以上の区画のうち少なくとも2つの区画は、前記磁極の位置関係が同じであることを特徴とする磁気ギヤ。

【請求項6】

前記複数の区画のうち、隣り合う区画との間には、磁気的空隙部が設けられていることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の磁気ギヤ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、磁気ギヤに関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石と軟磁性体から構成されている一般的な回転電機は、回転数が大きくなるにつれて誘起電圧が大きくなってトルク出力に使用できる入力電圧が小さくなる都合上、トルクの低下、および鉄損の増加による効率の低下が生じる。そこで、所望の出力および効率特性を得るため、回転電機の回転数が適正な範囲に収まるよう、回転電機とギヤを組み合わせた駆動ユニット構成とすることが一般的である。

【0003】

使用するギヤとして、機械的な歯車の噛み合わせ構造である機械式ギヤが広く用いられているが、近年、機械的な歯車を用いず、非接触での動力伝達を可能とする磁気ギヤを使用するケースが増えてきている。旧方式の磁気ギヤは、機械式ギヤの歯を単純に永久磁石に置き換えた構成となっているが、磁力の吸引力と反発力を用いた非接触での増減速が可能になるため、振動、および騒音が小さく、保守性の向上が期待される。

【0004】

しかしながら、永久磁石によるトルクの伝達では、トルク伝達に寄与するのは互いに対向した磁石同士のみとなるため、機械式ギヤと比較してトルクが小さい。これに対して、構造内においてトルクの伝達に寄与する磁束量を増加させ、トルクを大きくするよう構成した磁束変調型磁気ギヤと呼ばれる新方式の磁気ギヤが採用されている。磁束変調型磁気ギヤは、極性が交互逆向きとなるように永久磁石が配置され、配置面が隙間をあけて対向するよう同心配置された多極機構と少極機構、およびその隙間に等間隔に配置したポールピースと呼ばれる複数の軟磁性体などからなる磁極片とで構成したものである。

【0005】

磁束変調型磁気ギヤは伝達トルクを向上できる一方で、永久磁石と極めて近い位置に軟磁性体を周期的に配置しているため、回転電機と同様の原理で電磁加振力、あるいはコギングトルクによる周期振動が発生する。そのため、回転電機のステータおよびフレームを振動させることによる電磁騒音、および出力軸に伝達した振動による接続先の負荷への悪影響および制御性の悪化が懸念される。それに対し、磁気ギヤのロータに備えた永久磁石を、軸方向に連続的にスキューさせる構成とし、磁気ギヤの軸方向の各断面で発生するコギングトルクを位相関係により打ち消す構造が提案されている（例えば、特許文献1参照。）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】国際公開第2015/053005号（段落0020～0033、図1～図4）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、永久磁石を軸方向に連続的にスキューさせる構造は、製造にあたり永久磁石を特殊な形状となるよう作成し、かつそれをロータ鉄心に組み合わせるための専用の

10

20

30

40

50

製造設備が必要となるため、製造コストが増加するという課題があった。一方、スキュー構造を採用せずにコギングトルクを低減する場合、コギングトルクの次数が高くなるような磁気ギヤの極数構成とする方法が考えられる。しかし、実用的なギヤ比としながら磁気ギヤのポールピース数と多極機構の永久磁石の個数との最小公倍数を大きくする必要があり、そのような構成では次数の低下により電磁加振力による電磁騒音が増大するという課題があった。

【0008】

本願は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、製造コストを増大させることなく、コギングトルクの低減と電磁加振力の低減を両立した磁束変調型磁気ギヤを得ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本願に開示される磁気ギヤは、永久磁石による第一極数の磁極が周方向に沿って配置された多極機構と、永久磁石による前記第一極数よりも少ない第二極数の磁極が周方向に沿って配置された少極機構と、軟磁性体による第三極数の磁極が前記多極機構の磁極と前記少極機構の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピースとを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部、前記第一回転子と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト、および前記第二回転子と外部とのトルク伝達を担う第二シャフトを備え、前記磁気歯車部は、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画の間で、前記第一極数と前記第二極数と前記第三極数が互いに同じであり、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピースのうちの少なくともひとつが位相差を有するように、前記多極機構と前記少極機構と前記ポールピース間での磁極の位置関係が異なっており、かつ前記第一極数と前記第三極数との最大公約数、および前記第二極数と前記第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが1または2であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

本願に開示される磁気ギヤによれば、製造コストを増大させることなく、コギングトルクの低減と電磁加振力の低減を両立した磁束変調型磁気ギヤを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図2】図2Aと図2Bは、実施の形態1にかかる磁気ギヤを構成する2段構成の磁気歯車部のそれぞれ第一区画と第二区画の回転軸に垂直な断面図である。

【図3】図3Aと図3Bは、実施の形態1にかかる磁気ギヤの磁気歯車部における多極機構を基準とする回転角度に対するそれぞれ電磁加振力X成分と電磁加振力Y成分の関係を示す図である。

【図4】実施の形態1にかかる磁気ギヤの第一区画と第二区画における多極機構に発生する電磁加振力のベクトル図である。

【図5】図5Aと図5Bは、それぞれ実施の形態1の変形例にかかる磁気ギヤの第二区画の回転軸に垂直な断面図と多極機構に発生する電磁加振力のベクトル図である。

【図6】図6Aと図6Bは、それぞれ実施の形態1の変形例にかかる磁気ギヤの多極機構の周方向位置と電磁加振力1次成分の関係を示す図と、2つの区画の位相差と磁気歯車部全体の電磁加振力1次成分の振幅との関係を示す図である。

【図7】実施の形態2にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図8】実施の形態2にかかる磁気ギヤの第二区画の回転軸に垂直な断面図である。

【図9】図9Aと図9Bは、実施の形態2にかかる磁気ギヤの磁気歯車部における多極機構を基準とする回転角度に対するそれぞれ電磁加振力X成分と電磁加振力Y成分の関係を示す図である。

【図10】実施の形態3にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】実施の形態 4 にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図 1 2】実施の形態 5 にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図 1 3】実施の形態 6 にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図 1 4】図 1 4 A と図 1 4 B は、実施の形態 6 にかかる磁気ギヤを構成する 2 段構成の磁気歯車部のそれぞれ第一区画と第二区画の回転軸に垂直な断面図である。

【図 1 5】実施の形態 6 にかかる磁気ギヤの多極機構とポールピース間の磁気ギャップにおける周方向位置と電磁加振力 2 次成分の関係を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 A と図 1 6 B は、それぞれ実施の形態 6 の変形例にかかる磁気ギヤの多極機構とポールピース間の磁気ギャップにおける周方向位置と電磁加振力 2 次成分の関係を示す図と、2 つの区画の位相差と電磁加振力 2 次成分の振幅の関係を示す図である。

【図 1 7】実施の形態 7 にかかる磁気ギヤの構成を示す回転軸に沿った断面図である。

【図 1 8】図 1 8 A と図 1 8 B は、実施の形態 7 にかかる磁気ギヤを構成する 2 段構成の磁気歯車部のそれぞれ第一区画と第二区画の回転軸に垂直な断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態 1 .

図 1 ～図 4 は、実施の形態 1 にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するためのものであり、図 1 は磁気ギヤの構成を示す回転軸を含む回転軸に沿った断面図、図 2 A は軸方向で仕様が異なる 2 段構成の磁気歯車部の第一区画の図 1 の A - A 線に対応する回転軸に垂直な断面図、図 2 B は第二区画の図 1 の B - B 線に対応する回転軸に垂直な断面図である。なお、図 1 においては、磁気歯車部のギヤ作用を発生する磁性材料で構成された部分を強調するため、それ以外の要素については、断面でありながらハッチングを省略して描画しており、以降、回転軸に沿った断面図は同様に描画する。

【0013】

そして、図 3 A は磁気歯車部における多極機構を基準とする電気角での回転角度に対する第一区画、第二区画、および歯車部全体の電磁加振力 X 成分 (P . U . 単位) の関係を示す図、図 3 B は磁気歯車部における多極機構を基準とする電気角での回転角度に対する第一区画、第二区画、および歯車部全体の電磁加振力 Y 成分 (P . U . 単位) の関係を示す図、図 4 は第一区画と第二区画における多極機構に発生する電磁加振力のベクトル図である。

【0014】

実施の形態 1 を含め、本願の磁気ギヤは、磁束変調型磁気ギヤとして、2 つの回転子と 1 つの固定子を有し、それぞれが多極機構、少極機構、およびポールピースのいずれかに対応する。具体的には、図 1 に示すように、回転軸 X に近い側に第一回転子である少極機構 2 を、その外側に隙間をあけて第二回転子である多極機構 4 を、そして隙間に固定子であるポールピース 3 を同心配置して磁気歯車部 5 を構成する例について説明する。

【0015】

磁気歯車部 5 は、第一区画 5 a と第二区画 5 b との間では、多極機構 4、少極機構 2、およびポールピース 3 それぞれが回転軸 X 方向 (軸方向) において機械的に連なっている。一方、第一区画 5 a における 3 機構 (多極機構 4、少極機構 2、ポールピース 3) の配置と第二区画 5 b における 3 機構の配置は、3 機構のうちの 1 機構に対する少なくとも他の 1 機構の位相関係が第一区画 5 a と第二区画 5 b で異なるように設定している。これにより、磁気歯車部 5 は第一区画 5 a と第二区画 5 b との間で段スキューを形成することになるが、多極機構 4、少極機構 2、およびポールピース 3 の周方向配置を含む詳細構成については後述する。

【0016】

磁気ギヤ 1 の回転子 (多極機構 4 と少極機構 2) は、それぞれ複数個のベアリング 9 により支持されている。ギヤ作用を発生する磁性材料で構成された部分 (ハッチング) は、鉄、非磁性体等の構造部材からなるブラケット 8 b およびフレーム 8 f により保護している。これらの構造により、回転軸 X (軸方向) に沿った一端側の少極ロータシャフト 6 ま

10

20

30

40

50

たは他端側の多極ロータシャフト 7 に接続した図示しない回転電機で生成した駆動力を、磁気歯車部 5 で減速増トルク化または増速減トルク化し、反対側のシャフトから伝達する。

【0017】

<磁気歯車部>

磁気歯車部 5 の基本構成について第一区画 5 a の回転軸 X に垂直な断面を描画した図 2 A を用いて説明する。磁気ギヤ 1 は、永久磁石を備えた多極機構 4 と多極機構 4 よりも極数が少ない少極機構 2、およびそれらに対し磁気ギャップ部を介して配置される軟磁性体材料からなるポールピース 3 を、同心円状に配置することで構成されている。磁極を担う永久磁石 4 m、永久磁石 2 m は径方向に着磁されており、回転電機と同様に、周方向において互いに隣接する永久磁石の極性が反転する（N、S、N、S、・・・：図中矢印）よう配置されている。

10

【0018】

少極機構 2 での永久磁石 2 m の個数（極数 $N_p 2$ ）は 6 個、多極機構 4 での永久磁石 4 m の個数（極数 $N_p 4$ ）は 28 個であり、ポールピース 3 は 17 個の磁極片（極数 $N_p 3 = 17$ ）で構成されている。すなわち、本実施の形態 1 の磁気ギヤ 1 における磁気歯車部 5 のギヤ比は $(28 / 2) / (6 / 2) = 4.67$ であり、少極ロータシャフト 6 の回転力を $1 / 4.67$ 倍に減速、かつ 4.67 倍に増トルク化して多極ロータシャフト 7 に出力する。

【0019】

少極機構 2 での極数 $N_p 2$ とポールピース 3 での極数 $N_p 3$ の最大公約数、および多極機構 4 での極数 $N_p 4$ とポールピース 3 での極数 $N_p 3$ の最大公約数はともに 1 である。これにより、少極機構 2 での極数 $N_p 2$ とポールピース 3 での極数 $N_p 3$ の最小公倍数で決定する、少極機構 2 またはポールピース 3 におけるコギングトルクの次数を大きくすることができる。かつ、多極機構 4 での極数 $N_p 4$ とポールピース 3 での極数 $N_p 3$ の最小公倍数で決定する、多極機構 4 またはポールピース 3 におけるコギングトルクの次数も大きくすることができる。

20

【0020】

コギングトルクは一般的に次数が高いと振幅が小さくなることが知られているため、このような極数（極数 $N_p 2$ 、極数 $N_p 3$ 、極数 $N_p 4$ ）構成とすることで、磁気ギヤ 1 において発生するコギングトルクを小さくすることができる。その結果、磁気ギヤ 1 の入力軸および出力軸のトルク脈動を抑制し、磁気ギヤ 1 に接続する回転電機、および負荷の制御性を向上できる。

30

【0021】

一方で、最大公約数が 1 であるため、空間的な対称性が機械角で 1 周期（空間次数 1 次）となり、空間次数 1 次の電磁加振力が多極機構 4、少極機構 2 およびポールピース 3 それぞれに発生する。空間次数 1 次の電磁加振力はベアリング 9、あるいはフレーム 8 f を低周期で振動させるため騒音振動の増大要因となるが、位相が異なる複数の区画（第一区画 5 a と第二区画 5 b）を軸方向に接続して磁気歯車部 5 を形成することで低減可能である。これについての詳細は後述する。

【0022】

また、位相が異なる区画が軸方向に沿って連なるので、各区画（第一区画 5 a と第二区画 5 b）それぞれで使用する永久磁石 2 m、永久磁石 4 m は、軸方向に伸びる面がすべて軸方向に平行であり、形状が単純化される（本実施の形態では瓦形状となる）。そのため、連続スキューを形成する場合と異なり、量産しやすく製造コストを低減することができる。

40

【0023】

つぎに、第一区画 5 a と第二区画 5 b における配置（位相）の違いについて説明する。ここでは、図 2 A の第一区画 5 a における周方向での基準位置として線分 L a を定義している。線分 L a は、第一区画 5 a 内での多極機構 4、少極機構 2、ポールピース 3 が図 2 A に示す位置関係（位相関係）となる時刻における、周方向のある任意の位置 1 箇所の方

50

向を示す。同図では便宜的に、図面の直上方向を線分 $L a$ として定義した。

【0024】

第一区画 5 a が図 2 A で示す配置となったときと同じ時刻における第二区画 5 b における多極機構 4、少極機構 2、ポールピース 3 の配置は図 2 B のようになる。第二区画 5 b は、第一区画 5 a の配置を線分 $L a$ を基準に線分 $L b$ まで 180° 反転させた構成である。多極機構 4 と少極機構 2、およびポールピース 3 それぞれの位相について第一区画 5 a と比較したとき、多極機構 4 は位相が一致しており同一配置である。それに対し、少極機構 2 とポールピース 3 は位相が異なり、異なる断面形状となる構成である。つまり、多極機構 4 は、第一区画 5 a と第二区画 5 b との間で段スキューを形成していることになる。

【0025】

位相が第一区画 5 a と一致する機構は、位相をずらして軸方向に積層する必要がなく、第一区画 5 a と共有することができるため、位相をずらして積層するための製造設備が不要となり製造コストの増大を抑制できる。この効果はポールピース 3、少極機構 2 および多極機構 4 の少なくとも 1 つの位相が異なる区画が、軸方向に 2 つ以上配置されることで一般的に得られる。

【0026】

つぎに、上述した 2 段構成の磁気歯車部 5 を備える磁気ギヤ 1 の動作と特性について説明する。実施の形態 1 にかかる磁気ギヤ 1 の磁気歯車部 5 を構成する第一区画 5 a と第二区画 5 b それぞれの多極機構 4 に発生する電磁加振力の X 成分と Y 成分は図 3 A と図 3 B に示すようになる。多極機構 4 の磁極を基準として、電気角で 1 周期 (360°) 回転させたとき、X 軸方向と Y 軸方向にそれぞれ同じ周期で振動する成分を有することがわかる。

【0027】

すなわち、上述したように、多極機構 4 の周方向に対し機械角で 1 周期 (空間次数 1 次) の電磁加振力が、第一区画 5 a と第二区画 5 b のそれぞれで発生していることがわかる。第一区画 5 a と第二区画 5 b は機械角で 180° 回転させた関係であるため、空間次数 1 次の電磁加振力の位相も 180° 回転することとなり、同図に示すように X 成分と Y 成分のそれぞれで位相が反転する。その結果、第一区画 5 a と第二区画 5 b の電磁加振力を足し合わせた値、つまり磁気歯車部 5 全体の電磁加振力は、ほとんど発生しないことがわかる。

【0028】

図 3 A、図 3 B における回転角度 120° における X 成分と Y 成分の関係を、ベクトル図で表すと図 4 に示すようになる。図 4 では、第一区画 5 a と第二区画 5 b ベクトルの軌跡をそれぞれ実線と点線で示している。回転角度 120° における電磁加振力のベクトルは、第一区画 5 a と第二区画 5 b との間で 180° 反転した関係となる。そのため、足し合わせる (磁気歯車部 5) とほぼ 0 となり、同じ大きさでベクトルが反転する電磁力により、電磁加振力が打ち消されて発生しないことがわかる。

【0029】

第一区画 5 a と第二区画 5 b の電磁加振力のベクトルは、 180° の位相関係を維持したまま軌跡に沿って回転するため、電気角 1 周期の 1 回転の間で電磁加振力の抑制効果が維持されていることがわかる。すなわち、機械角 1 周期の 1 回転 (本実施の形態では極数 $N_p 4$ が 28 のため、電気角 14 周期分) の間でも電磁加振力の抑制効果が維持される。

【0030】

前述の極数関係を踏まえると、コギングトルクを抑制しながらも、電磁加振力の抑制効果を両立する構成を実現でき、磁気ギヤ 1 に接続する回転電機と負荷の制御性向上と、磁気ギヤ 1 の電磁加振力に起因する振動と騒音の低減を両立することができる。

【0031】

変形例。

図 5 A は実施の形態 1 の変形例にかかる磁気ギヤの第二区画の図 2 B に対応する回転軸に垂直な断面図、図 5 B は多極機構に発生する電磁加振力のベクトル図、図 6 A は磁気ギヤの多極機構の周方向位置と電磁加振力 1 次成分の関係を示す図、図 6 B は 2 つの区画の

10

20

30

40

50

位相差（位相ずれ）と磁気歯車部全体の電磁加振力 1 次成分の振幅との関係を示す図である。

【0032】

本変形例では、第二区画内での配置が異なること以外は、実施の形態 1 で説明したのと同様であり、第一区画については図 2 A で説明した配置となる。変形例にかかる磁気ギヤ 1 の第二区画 5 b は、図 5 A に示すように、第一区画 5 a より線分 L a を基準に線分 L b まで位相差 θ 分回転させたものである。すなわち $\theta = 180^\circ$ のときが実施の形態 1 で説明した図 2 B で示す配置に対応し、本変形例では、回転角度を一般化した構成を示している。

【0033】

電磁加振力のベクトルの関係は、図 5 B に示すように、第一区画 5 a と第二区画 5 b とは位相差 θ を有する関係となる。そして、足し合わせたベクトルで示される磁気歯車部 5 全体の電磁加振力は、第一区画 5 a と第二区画 5 b の位相差により変動することがわかる。

【0034】

ベクトルの足し合わせで示される電磁加振力 1 次成分の関係を、多極機構 4 の周方向位置における電磁力の分布で示したものを図 6 A に示す。ベクトル図の表記と同様に、電磁加振力の空間次数 1 次成分の足し合わせを示す波形（5：破線）の振幅が、第一区画 5 a と第二区画 5 b の位相差により変動することがわかる。

【0035】

第一区画 5 a に対して第二区画 5 b の位相を機械角基準で位相差 θ 分ずらす場合の、第一区画 5 a と第二区画 5 b を足し合わせた波形、つまり磁気歯車部 5 全体の電磁加振力 1 次成分の振幅と、位相差 θ の関係を図 6 B に示す。位相差 θ が 120° より大きく 240° より小さい範囲であれば、電磁加振力 1 次成分の振幅を、第一区画 5 a、第二区画 5 b それぞれ単独で発生するものより小さくすることができる。つまり、単一の区画でひとつの磁気歯車部を構成した場合よりも低騒音の磁気ギヤ 1 を得ることができる提供する効果が得られる。

【0036】

他の変形例。

実施の形態 1 およびその変形例（上記各例）では、第一区画 5 a と第二区画 5 b との間で、多極機構 4 の位相が 180° 回転した断面で一致する例を示したが、これに限ることはない。例えば、 180° 回転により少極機構 2 またはポールピース 3 の位相が一致する場合についても、第一区画 5 a 部分の配置に対して、位相をずらして第二区画 5 b 部分の各機構を積層する工程を少なくすることができ、製造コストを削減する同様の効果が得られる。

【0037】

また、上記各例ではポールピース 3 が固定されている例を示したが、ポールピース 3 が回転自由であり、位相を任意に調整できる構成であってもよい。また、多極機構 4 または少極機構 2 が固定されている構成であってもよい。また、上記各例では軸方向に 2 種類の区画（第一区画 5 a、第二区画 5 b）を連ねて構成する例を示したが、それより多種別の区画を組み合わせて電磁加振力をベクトルの足し合わせで打ち消す構成とすることでも、同様の効果が得られる。

【0038】

実施の形態 2。

本実施の形態 2 では、実施の形態 1 に対し、第二区画における機構間の配置を変更したものである。図 7、図 8、および図 9 A と図 9 B は、実施の形態 2 にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するためのものであり、図 8 は磁気ギヤの構成を示す回転軸を含む回転軸に沿った断面図、図 8 は図 7 の C-C 線に対応する第二区画の回転軸に垂直な断面図である。そして、図 9 A は磁気歯車部における多極機構を基準とする電気角での回転角度に対する第一区画、第二区画、および歯車部全体の電磁加振力 X 成分の関係を示す図、図 9 B は磁気歯車部における多極機構を基準とする電気角での回転角度に対する第一区画

10

20

30

40

50

、第二区画、および歯車部全体の電磁加振力 Y 成分の関係を示す図である。

【0039】

実施の形態 2 にかかる磁気ギヤ 1 は、実施の形態 1 で説明した第二区画 5 b 内での機構の配置構成を置き換える点を除き、実施の形態 1 と同様であり、実施の形態 1 の図 2 A を援用する。第二区画 5 b は、第一区画 5 a の電磁加振力 1 次成分との足し合わせにより打ち消すことができる位相関係となるよう、第一区画 5 a の時間経過で位相を進ませた配置とした。

【0040】

第二区画 5 b は、図 7、図 8 に示すように、図 2 A で説明した第一区画 5 a に対し、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で 30° 分回転したときの配置となるようにしている。多極機構 4 を基準とした場合の電気角で 30° 分回転する時間が経過したときの、多極機構 4 が線分 L a から回転した方向を L b 4、少極機構 2 が線分 L a から回転した方向を線分 L b 2 とする。すると、第一区画 5 a における線分 L a を基準として、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で 30° 分回転する時刻において、多極機構 4 は線分 L b 4、少極機構 2 は線分 L b 4 の位置まで回転する。

【0041】

具体的には、図 8 に示すように第一区画 5 a の線分 L a を基準に多極機構 4 と少極機構 2 をそれぞれ線分 L b 4、線分 L b 2 の位置になるように回転させる。そして、図 9 A、図 9 B に示すように、第一区画 5 a、第二区画 5 b の電磁加振力の X 成分と Y 成分がそれぞれ打ち消して、単独の区画の電磁加振力よりも小さくなるような構成とする。このように、第一区画 5 a での配置を時間経過で回転させた配置を有する第二区画 5 b を、軸方向に連ねる構成としても、実施の形態 1 と同様の効果が得られる。

【0042】

変形例。

実施の形態 2 では、ポールピース 3 が固定されているため、ポールピース 3 の位相が第一区画 5 a と第二区画 5 b で一致する例を示したが、多極機構 4 または少極機構 2 が固定され、その他の 2 つの機構が回転自由である場合についても、同様の効果が得られることは明らかである。

【0043】

また、図 8 では、第一区画 5 a の配置に対し、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で 30° 分回転する時刻における配置を有するように第二区画 5 b を構成したがこれに限ることはない。電磁加振力による振動を打ち消すことが可能となるような、その他の電気角度分回転する時刻における配置を有するように第二区画 5 b を構成しても、同様の効果が得られることは明らかである。

【0044】

例えば、このときの第二区画 5 b での各機構の配置を、第一区画 5 a に対して、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で α° ($0 \leq \alpha \leq 360$) 分回転する時刻における配置とした場合について例示する。つまり、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で α° 分回転する時間が経過したときの、多極機構 4 が線分 L a から回転した方向を L b 4、少極機構 2 が線分 L a から回転した方向を線分 L b 2 とする。すると、第一区画 5 a における線分 L a を基準として、多極機構 4 を基準とした場合の電気角で α° 分回転する時刻において、多極機構 4 は線分 L b 4、少極機構 2 は線分 L b 4 の位置まで回転するように構成することができる。

【0045】

また、変形例を含む実施の形態 2 では、ポールピース 3 が固定されている例を示したが、ポールピース 3 が回転自由であり、位相を任意に調整できる構成であってもよい。また、多極機構 4 または少極機構 2 が固定されている構成であってもよい。また、実施の形態 2 では軸方向に 2 種類の区画（第一区画 5 a、第二区画 5 b）を連ねて構成する例を示したが、それより多種類の区画を組み合わせる電磁加振力をベクトルの足し合わせで打ち消す構成とすることでも、同様の効果が得られる。

【0046】

実施の形態3.

実施の形態1、2においては、第一区画と第二区画が軸方向に連なる2段構成の磁気歯車部を有する例について説明した。本実施の形態3では、3段構成の磁気歯車部を有する例について説明する。図10は、実施の形態3にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するための、磁気ギヤの回転軸を含む回転軸に沿った断面図である。なお、第三磁気歯車部は第一区画と同じ配置（同位相）とし、第一区画と第二区画については、実施の形態1または実施の形態2で説明した配置と同様であり、説明を省略するとともに、図2A～図9Bを援用する。

【0047】

実施の形態3にかかる磁気ギヤ1は、第一区画5aに対し、実施の形態1または実施の形態2で例示したように、少極機構2、多極機構4、およびポールピース3のうち少なくとも1つの位相が異なる第二区画5bが、軸方向に互いに隣接している。そして、図10に示すように第二区画5bの軸方向における第一区画5aの反対側に、第一区画5aと同位相で各機構を配置した第三区画5cを連ねた三段構成とした。

【0048】

実施の形態1または実施の形態2では、位相の異なる区画の隣接部が1箇所であるのに対し、本実施の形態では2箇所になる点が異なり、その他の構成は実施の形態1または実施の形態2と同様である。位相が異なる区画（第一区画5a、第二区画5b、第三区画5c）を軸方向に分散して配置することにより、周方向の位相が異なる電磁加振力の組み合わせに起因して発生する曲げモーメントによる、軸方向に垂直な方向へのたわみを抑制することができる。

【0049】

位相の異なる配置を有する区画の軸方向における領域配分については、たわみの抑制効果が最適となる構成が、回転子とベアリング9の位置関係、あるいは負荷および回転電機との締結位置により異なる。図10では例として、第一区画5aと第二区画5bと第三区画5cの軸方向での積層厚みの比率が1:2:1となる構成を示している。電磁加振力を打ち消す観点では、第一区画5aと第三区画5cによる配置パターンAの軸方向の積層厚みと第二区画5bによる配置パターンBの軸方向の積層厚みが一致することが望ましい。

【0050】

本実施の形態3では、軸方向に3つの区画を連ねて磁気歯車部5を構成する例を示したが、4つ以上とした場合についても、軸方向に対し垂直方向へのたわみをより小さくすることができ、同様の効果が得られる。また、実施の形態3では軸方向に2種類の配置パターンの区画を連ねて構成する例を示したが、それより多種類の区画を組み合わせで電磁加振力をベクトルの足し合わせで打ち消す構成とすることでも、同様の効果が得られる。

【0051】

実施の形態4.

上記実施の形態1と実施の形態2では、第一区画と第二区画とを軸方向に密着させて連ねて磁気歯車部を構成する例について説明した。本実施の形態4では、第一区画と第二区画とを磁気的空隙部を介して連ねて磁気歯車部を構成する例について説明する。図11は、実施の形態4にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するための、磁気ギヤの回転軸を含む回転軸に沿った断面図である。なお、第一区画と第二区画それぞれでの機構の配置については、実施の形態1または実施の形態2で説明した配置と同様であり、説明を省略するとともに、図2A～図9Bを援用する。

【0052】

実施の形態4にかかる磁気ギヤ1は、図11に示すように、軸方向における第一区画5aと第二区画5bとの間に、空気または非磁性体などを介した磁気的空隙部5gを設けた点を除き、実施の形態1または実施の形態2と同様である。位相が異なる第一区画5aと第二区画5bとの間に磁気的空隙部5gを存在させることにより、磁気ギヤ1のトルク伝達に寄与しない軸方向への漏れ磁束を低減することができる。そのため、位相が異なる区

10

20

30

40

50

画（第一区画 5 a と第二区画 5 b）を連ねて磁気歯車部 5 を形成することによる伝達トルクの低下を抑制することができる。

【0053】

変形例。

図 10 では、磁気ギヤ 1 の体積を小さく抑えるために、軸方向に小さな磁気的空隙部 5 g を設ける例を示しているが、これに限ることはない。第一区画 5 a と第二区画 5 b の軸方向における距離がより離れていて、それらを構造部材で接続することで磁気的空隙部 5 g を確保する構成としても、同様の効果が得られる。また、第一区画 5 a と第二区画 5 b を別々の構造部材からなる区画とし、それぞれのロータ（本例では、多極機構 4、少極機構 2）を構造部材で接続する構成としてもよい。

10

【0054】

実施の形態 5。

本実施の形態 5 は、実施の形態 3 で説明した 3 つの区画を連ねた磁気歯車部に対し、実施の形態 4 のように区画間に磁気的空隙部を設けたものである。図 12 は、実施の形態 5 にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するための、磁気ギヤの回転軸を含む回転軸に沿った断面図である。なお、第一区画と第二区画と第三区画それぞれでの機構の配置については、実施の形態 3 で説明したのと同様であり、説明を省略するとともに、図 2 A ～図 9 B を援用する。

【0055】

実施の形態 5 にかかる磁気ギヤ 1 は、図 12 に示すように、軸方向における第一区画 5 a と第二区画 5 b と第三区画 5 c それぞれの間に、空気または非磁性体などを介した磁気的空隙部 5 g を設けた点を除き、実施の形態 3 と同様である。位相が異なる第一区画 5 a と第二区画 5 b と第三区画 5 c を軸方向に分散させて配置することで、軸方向の垂直方向へのたわみを抑制する。かつ、それぞれの間に磁気的空隙部 5 g を存在させることにより、磁気ギヤ 1 のトルク伝達に寄与しない軸方向への漏れ磁束を低減することができる。

20

【0056】

変形例。

図 12 では、磁気ギヤ 1 の体積を小さく抑えるために、軸方向に小さな磁気的空隙部 5 g を設ける例を示しているが、これに限ることはない。第一区画 5 a と第二区画 5 b と第三区画 5 c それぞれの軸方向における距離がより離れていて、それらを構造部材で接続することで磁気的空隙部 5 g を確保する構成としても、同様の効果が得られる。

30

【0057】

また、第一区画 5 a と第二区画 5 b と第三区画 5 c を別々の構造部材からなる区画とし、それぞれのロータ（本例では、多極機構 4、少極機構 2）を構造部材で接続する構成としてもよい。また、実施の形態 3 と同様に、軸方向に 2 種類の配置パターンの区画を連ねて構成する例を示したが、それより多種類の区画を組み合わせることで電磁加振力をベクトルの足し合わせで打ち消す構成とすることでも、同様の効果が得られる。

【0058】

実施の形態 6。

本実施の形態 6 にかかる磁気ギヤは、実施の形態 1 ～実施の形態 5 とは異なる極性数の組み合わせで磁気歯車部を構成した例について説明する。図 13 ～図 15 は、実施の形態 6 にかかる磁気ギヤの構成と動作について説明するためのものであり、図 13 は磁気ギヤの構成を示す回転軸を含む回転軸に沿った断面図、図 14 A は図 13 の D-D 線に対応する第一区画の回転軸に垂直な断面図、図 14 B は図 13 の E-E 線に対応する第二区画の回転軸に垂直な断面図である。そして、図 15 は磁気歯車部における多極機構とポールピース間の磁気ギャップにおける周方向位置に対する第一区画、第二区画、および歯車部全体の電磁加振力 1 次成分の関係を示す図である。

40

【0059】

本実施の形態 6 にかかる磁気ギヤ 1 は、図 13 と図 14 A に示すように、22 個（極数 $N_p 4$ ）の永久磁石 4 m を配置した多極機構 4、6 個（極数 $N_p 2$ ）の永久磁石 2 m を配

50

置した少極機構 2、および 14 個（極数 $N_p 3$ ）の磁極片で構成したポールピース 3 で区画を構成している。

【0060】

すなわち、ポールピース 3 を固定とした場合の磁気ギャ 1 のギャ比は $(22/2)/(6/2) = 3.67$ である。少極機構 2 の極数 $N_p 2$ とポールピース 3 の極数 $N_p 3$ の最大公約数、および多極機構 4 の極数 $N_p 4$ とポールピース 3 の極数 $N_p 3$ の最大公約数はともに 2 である。極数の最大公約数が 2 であることにより、実施の形態 1 と同様に極数の最小公倍数を十分大きくすることができ、コギングトルクの振幅を低減できる。

【0061】

第二区画 5b は、図 14B に示すように、第一区画 5a に対して線分 La を基準に機械角で 90° 回転した形状である。第一区画 5a を図 2A に示す配置から図 14A に示す配置へ、第二区画 5b を図 2B に示す配置から図 14B に示す配置に置き換える以外の点については、上記実施の形態 1～5 と同様である。

【0062】

本実施の形態 6 に示す極数構成では、空間的な対称性が 2 次となるため、周方向に空間 2 次のモードを有する電磁加振力が発生する。多極機構 4 に発生する電磁加振力 2 次成分の空間波形は図 15 に示すように、第一区画 5a と第二区画 5b が機械角で 90° の位相差を有することにより、電磁加振力 2 次成分の位相関係により、足し合わせた場合に打ち消されることがわかる。

【0063】

変形例。

図 16A は実施の形態 6 の変形例にかかる磁気ギャの多極機構とポールピース間の磁気ギャップにおける周方向位置と電磁加振力 2 次成分の関係を示す図、図 16B は 2 つの区画の位相差（位相ずれ）と磁気歯車部全体の電磁加振力 2 次成分の振幅との関係を示す図である。

【0064】

本変形例では、機械角の位相差が 90° 以外の場合においても同様の効果が得られることを説明する。第二区画 5b の配置が図 14B で示す線分 La に対する線分 Lb の角度を 90° から θ に置き換えたものである。すなわち $\theta = 90^\circ$ のときが実施の形態 6 で説明した図 14B で示す配置に対応し、本変形例では、回転角度を一般化した構成を示している。

【0065】

図 16A に示すように、位相差 θ が 90° でない場合でも、電磁加振力の空間 2 次成分の振幅が、足し合わせにより、各区画を単独で用いた場合の振幅よりも小さくすることができていることがわかる。位相差 θ を 0° から 360° で変化させたときの電磁加振力空間 2 次成分の振幅は、図 16B に示すように変化する。位相差 θ が 60° より大きく 120° より小さい範囲、および 240° より大きく 300° より小さい範囲であれば、電磁加振力空間 2 次成分を各区画を単独で用いた場合よりも振幅を小さくできる。

【0066】

他の変形例。

実施の形態 6 およびその変形例では、ポールピース 3 が固定されている例を示したが、ポールピース 3 が回転自由であり、位相を任意に調整できる構成であってもよい。また、磁気歯車部 5 の構成として、実施の形態 1 の図 1 に示す 2 種類の区画を軸方向に密着させて連ねる例を示したが、これに限ることはない。実施の形態 3 から 5 に準ずる構成としても、同様の効果が得られる。

【0067】

実施の形態 7。

本実施の形態 7 にかかる磁気ギャは、実施の形態 1～実施の形態 5、および実施の形態 6 とは異なる極性数の組み合わせで磁気歯車部を構成した例について説明する。図 17、および図 18A、図 18B は、実施の形態 7 にかかる磁気ギャの構成と動作について説明

10

20

30

40

50

するためのものであり、図 17 は磁気ギヤの構成を示す回転軸を含む回転軸に沿った断面図、図 18 A は図 17 の F - F 線に対応する第一区画の回転軸に垂直な断面図、図 18 B は図 17 の G - G 線に対応する第二区画の回転軸に垂直な断面図である。

【0068】

本実施の形態 6 にかかる磁気ギヤ 1 は、図 17 と図 18 A に示すように、20 個（極数 $N_p 4$ ）の永久磁石 4 m を配置した多極機構 4、8 個（極数 $N_p 2$ ）の永久磁石 2 m を配置した少極機構 2、および 14 個（極数 $N_p 3$ ）の磁極片で構成したポールピース 3 で区画を構成している。

【0069】

すなわち、ポールピース 3 を固定とした場合の磁気ギヤ 1 のギヤ比は $(20 / 2) / (8 / 2) = 2.5$ である。少極機構 2 の極数 $N_p 2$ とポールピース 3 の極数 $N_p 3$ の最大公約数、および多極機構 4 の極数 $N_p 4$ とポールピース 3 の極数 $N_p 3$ の最大公約数はともに 2 である。極数の最大公約数が 2 であることにより、実施の形態 6 と同様に極数の最小公倍数を十分大きくすることができ、コギングトルクの振幅を低減できる。

【0070】

第二区画 5 b は、図 18 B に示すように、第一区画 5 a に対して線分 L a を基準に機械角で 90° 回転した形状である。第一区画 5 a を図 2 A に示す配置から図 18 A に示す配置へ、第二区画 5 b を図 2 B に示す配置から図 18 B に示す配置に置き換える以外の点については、上記実施の形態 1 ~ 5 と同様である。

【0071】

第二区画の少極機構 2 の位相が第一区画 5 a と一致しており、実施の形態 1 と同様に、少極機構 2 の位相をずらして軸方向に積層する必要がない。そのため、第一区画 5 a と共有することができるため、位相をずらして積層するための製造設備が不要となり、製造コストの増大を抑制できる。本実施の形態では少極機構 2 の位相が第一区画 5 a と第二区画 5 b との間で一致する例を示したが、これに限ることはない。少極機構 2 および多極機構 4 の少なくとも 1 つの位相が異なるようにした配置パターンが、軸方向に 2 つ以上配置されるような極数および位相差 θ の組み合わせでも、同様の効果が得られる。

本実施の形態 6 に示す極数構成では、空間的な対称性が 2 次となるため、周方向に空間 2 次のモードを有する電磁加振力が発生する。多極機構 4 に発生する電磁加振力 2 次成分の空間波形は図 15 に示すように、第一区画 5 a と第二区画 5 b が機械角で 90° の位相差を有することにより、電磁加振力 2 次成分の位相関係により、足し合わせた場合に打ち消されることがわかる。

【0072】

変形例。

実施の形態 7 では、ポールピース 3 が固定されている例を示したが、ポールピース 3 が回転自由であり、位相を任意に調整できる構成であってもよい。また、磁気歯車部 5 の構成として、実施の形態 1 の図 1 に示す 2 種類の区画を軸方向に密着させて連ねる例を示したが、これに限ることはない。実施の形態 3 から 5 に準ずる構成としても、同様の効果が得られる。

【0073】

本願は、様々な例示的な実施の形態が記載されているが、1 つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、および機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。したがって、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも 1 つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも 1 つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

【0074】

例えば、磁気ギヤ 1 の各磁極の永久磁石（永久磁石 4 m、永久磁石 2 m）は極ごとに 1 個である例を示したが、永久磁石を磁化方向、磁化直交方向ならびに軸方向、およびその

10

20

30

40

50

他の方向に分割する場合についても同様の効果が得られる。また磁気ギャ1は回転軸Xに対し直交する方向に磁気ギャップ部を有するラジアル型である例を示したが、回転軸Xに対し平行な方向に磁気ギャップ部を有するアキシャル型においても同様の効果が得られる。

【0075】

また、上記各実施の形態では、極数 N_p2 と極数 N_p4 と極数 N_p3 の組み合わせとして、6と28と17の組み合わせ例と、6と22と14の組み合わせ例と、8と20と14の組み合わせ例の、計3通りの極数の組み合わせを示したが、これに限ることはない。そして、極数 N_p2 と極数 N_p3 との最大公約数、および極数 N_p4 と極数 N_p3 との最大公約数がともに1であるか2である場合を例に挙げたがこれに限ることはない。

【0076】

もちろん両方が1であれば、電磁加振力の空間1次成分を最大限に低減でき、両方が2であれば、電磁加振力の空間2次成分を最大限に低減できる。しかし、一方が1で他方が2の場合も、電磁加振力の空間1次成分と空間2次成分をそれぞれ低減することが可能である。さらには、一方が1か2であれば、他方が1でも2でもない場合でも、電磁加振力の空間1次成分か空間2次成分を低減することが可能である。

【0077】

これらを踏まえ、少なくとも以下の3条件を同時に満たす構成であれば、同様の効果が得られる。

条件1：ポールピース3、少極機構2および多極機構4の少なくとも1つの位相が異なる区画が、軸方向に2つ以上配置されている。条件2：少極機構2の極数 N_p2 とポールピース3の極数 N_p3 の最大公約数、および多極機構4の極数 N_p4 と極数 N_p3 の最大公約数のうち少なくともいずれかが1または2である。条件3：区画を構成する少極機構2の極対数($=N_p2/2$)を N_2 、多極機構4の極対数($=N_p4/2$)を N_4 、ポールピース3の数($=N_p3$)を N_3 とおいたとき、式(1)に示す関係が成立する。

【0078】

$$(2k-1)N_3 = N_4 \pm (2m-1)N_2 \quad (1)$$

ただし、 k 、 m はともに自然数である。

【0079】

また、磁気ギャ1のティース、ポールピース3、永久磁石(永久磁石2m、永久磁石4m)の形状はいずれも最も単純な形状で示しているが、これに限ることはない。ティースとポールピースの形状を磁気ギャップ部に向かって径方向に末広がりとする、または裾を絞る形状とする場合でもよい。さらには、永久磁石にボンド磁石を用いる場合、1磁極あたり2個以上の永久磁石を用いてV字状に埋め込む場合などでも、上述した3条件を満たしていれば、ティース、ポールピース3、永久磁石の形状に関わらず同様の効果が得られる。

【0080】

以上のように、本願の磁気ギャ1によれば、永久磁石4mによる第一極数(極数 N_p4)の磁極が周方向に沿って配置された多極機構4と、永久磁石2mによる第一極数(極数 N_p4)よりも少ない第二極数(極数 N_p2)の磁極が周方向に沿って配置された少極機構2と、軟磁性体による第三極数(極数 N_p3)の磁極が多極機構4の磁極と少極機構2の磁極それぞれに対して磁気ギャップを介して周方向に沿って配置されたポールピース3とを有し、それぞれが固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担するように構成した磁気歯車部5、第一回転子(例えば、多極機構4)と外部とのトルク伝達を担う第一シャフト(多極ロータシャフト7)、および第二回転子(例えば、少極機構2)と外部とのトルク伝達を担う第二シャフト(少極ロータシャフト6)を備え、磁気歯車部5は、軸方向(回転軸X方向)に沿って分けた複数の区画(例えば、第一区画5a、第二区画5b、第三区画5c)のうち隣り合う区画(例えば、第一区画5aと第二区画5b、第二区画5bと第三区画5c)の間で、多極機構4と少極機構2とポールピース3のうちの少なくともひとつが位相差 θ を有するように、多極機構4と少極機構2とポールピース3間での磁極の位置関係が異なっており、かつ第一極数(極数 N_p4)と第三極数(

10

20

30

40

50

極数 $N_p 3$) との最大公約数、および第二極数 (極数 $N_p 2$) と第三極数 (極数 $N_p 3$) との最大公約数のうち少なくともいずれかが 1 または 2 であるように構成した。これにより、製造コストを増大させることなく、コギングトルクの低減と電磁加振力の低減を両立することができる。

【0081】

とくに、多極機構 4 および少極機構 2 それぞれに用いる永久磁石 (永久磁石 4 m、永久磁石 2 m) の軸方向に延びる面は、軸方向に平行であるようにすれば、特殊な加工を施すことなく磁極を形成することができる。

【0082】

ここで、第一極数と第三極数との最大公約数、および第二極数と第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが 1 であり、かつ複数の区画を記磁極の位置関係として第一の位置関係で磁極が配置された第一配置パターンの区画 (例えば、第一区画 5 a) と、第一配置パターンの区画 (例えば、第一区画 5 a、第三区画 5 c) に対して、位相差 θ が、機械角基準で 120° より大きく 240° より小さい角度範囲となる第二の位置関係で磁極が配置された第二配置パターンの区画 (例えば、第二区画 5 a) による 2 種類の区画で構成すれば、電磁加振力の空間 1 次成分を効果的に低減することができる。

10

【0083】

あるいは、第一極数と第三極数との最大公約数、および第二極数と第三極数との最大公約数のうち少なくともいずれかが 1 であり、かつ複数の区画を記磁極の位置関係として第一の位置関係で磁極が配置された第一配置パターンの区画 (例えば、第一区画 5 a) と、第一配置パターンの区画 (例えば、第一区画 5 a、第三区画 5 c) に対して、位相差 θ が、機械角基準で 60° より大きく 120° より小さい、あるいは 240° より大きく 300° より小さい角度範囲となる第二の位置関係で磁極が配置された第二配置パターンの区画 (例えば、第二区画 5 a) による 2 種類の区画で構成すれば、電磁加振力の空間 2 次成分を効果的に低減することができる。

20

【0084】

また、複数の区画のうち、隣り合う区画 (例えば、第一区画 5 a と第二区画 5 b) との間には、磁気的空隙部 5 g が設けられているようにすれば、隣接する区画間での漏れ磁束を低減し、伝達トルクの低下を抑制できる。

【0085】

複数の区画として 3 つ以上の区画 (例えば、第一区画 5 a、第二区画 5 b、第三区画 5 c) に分けられていれば、軸方向での曲げ力の振動モードの次数を増加させ、曲げ力を低減できる。

30

【0086】

その際、3 つ以上の区画のうち少なくとも 2 つの区画 (例えば、第一区画 5 a と第三区画 5 c) は、多極機構 4 と少極機構 2 とポールピース 3 との間での磁極の位置関係が同じであれば、部品の種類の増加、および工程の複雑化を伴うことなく、軸方向での曲げ力の振動モードの次数を増加させ、曲げ力を低減できる。

【符号の説明】

【0087】

1 : 磁気ギヤ、 2 : 少極機構、 2 m : 永久磁石、 3 : ポールピース、 4 : 多極機構、 4 m : 永久磁石、 5 : 磁気歯車部、 5 a : 第一区画、 5 b : 第二区画、 5 c : 第三区画、 6 : 少極ロータシャフト (第一シャフトまたは第二シャフト)、 7 : 多極ロータシャフト (第二シャフトまたは第一シャフト)、 $N_p 2$: 極数 (第二極数)、 $N_p 3$: 極数 (第三極数)、 $N_p 4$: 極数 (第一極数)、 X : 回転軸、 θ : 位相差。

40

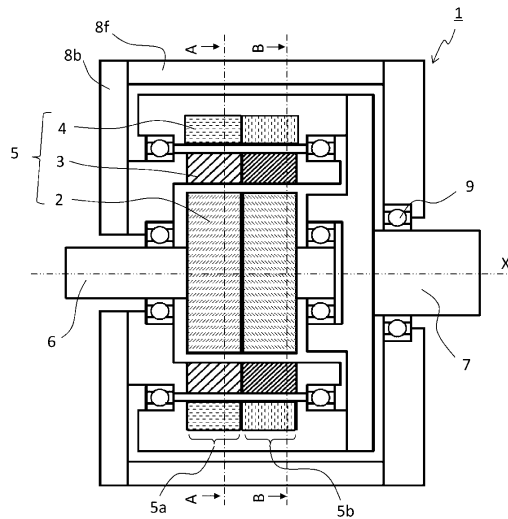
【要約】

多極機構 4 と、少極機構 (2) と、ポールピース (3) とが、それぞれ固定子、第一回転子、第二回転子のうちのいずれかの機能を分担する磁気歯車部 (5) を備え、軸方向に沿って分けた複数の区画のうち隣り合う区画 (5 a、5 b、5 c) の間で、多極機構 (4) と少極機構 (2) とポールピース (3) のうちの少なくともひとつが位相差 (θ) を有するように、磁極の位置関係が異なっており、かつ多極機構 (4) とポールピース (3) の極数の最大公約数、および少極機構 (2) とポールピース (3) の極数の最大公約数のうち少なくともいずれかが 1 または 2 である。

【図面】

【図 1】

図 1



【図 2】

図 2

図 2A

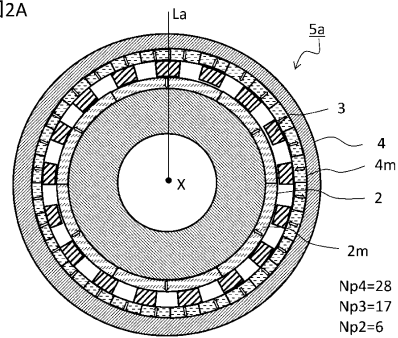
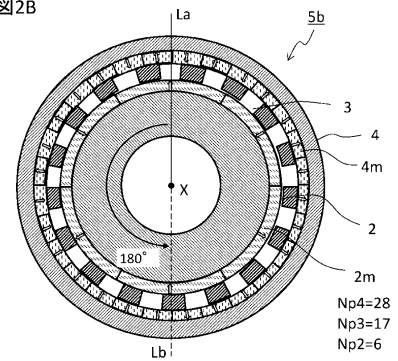


図 2B



10

20

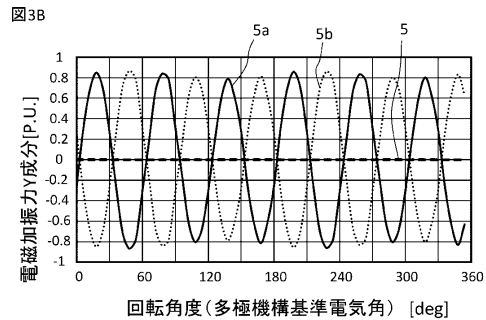
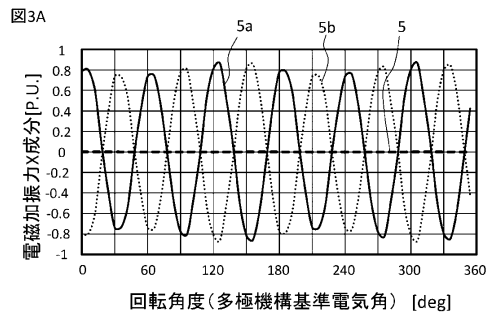
30

40

50

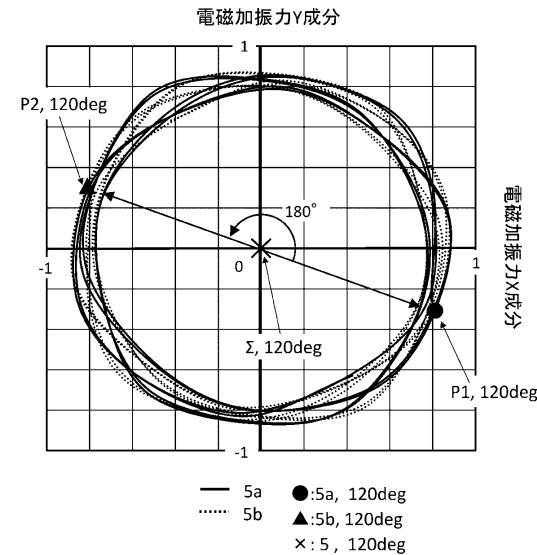
【図 3】

図3



【図 4】

図4

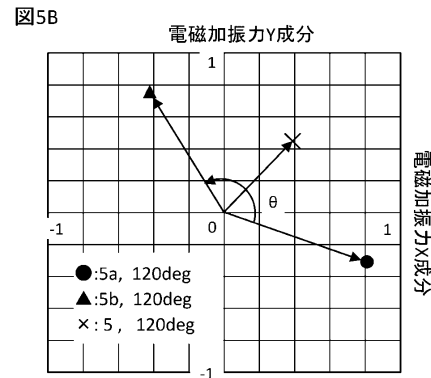
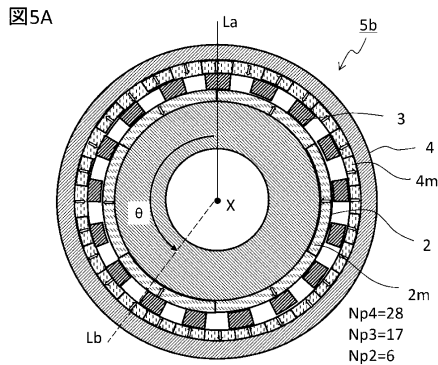


10

20

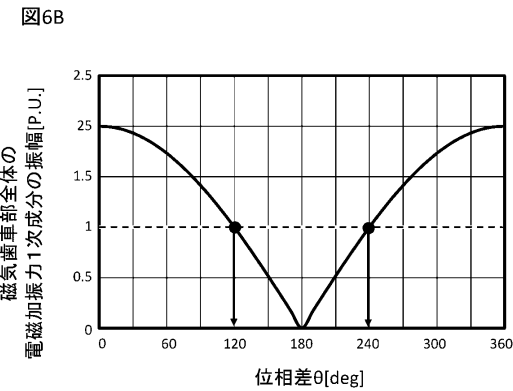
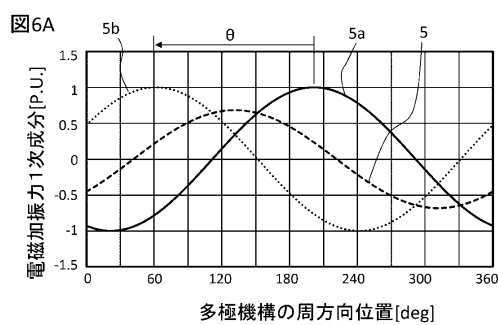
【図 5】

図5



【図 6】

図6

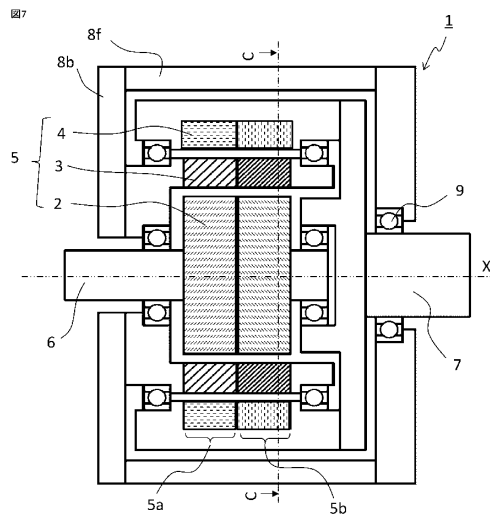


30

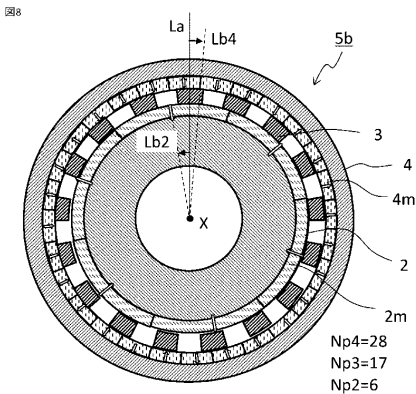
40

50

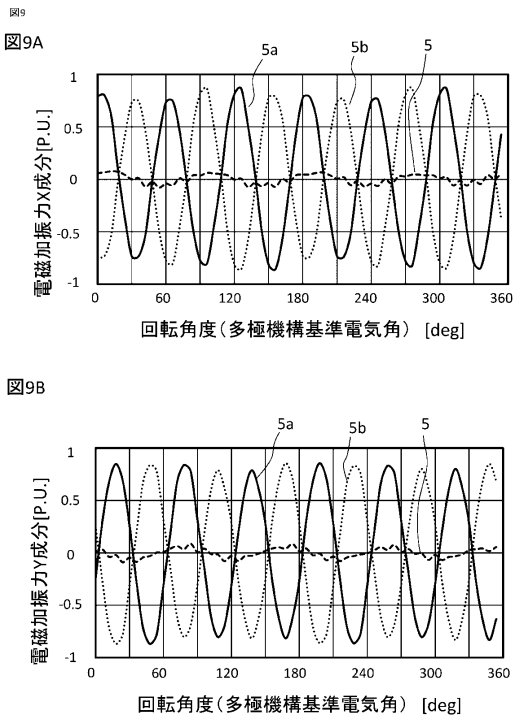
【図 7】



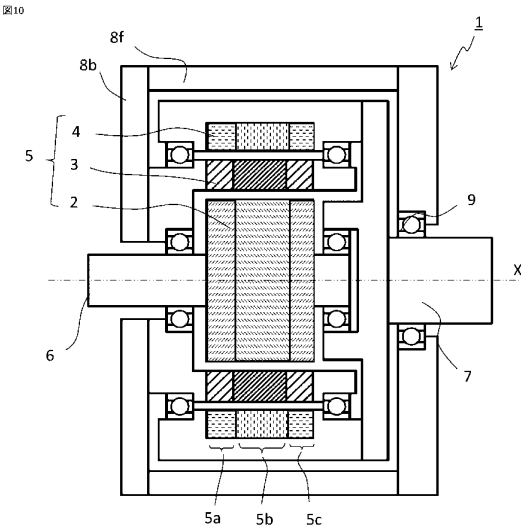
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

20

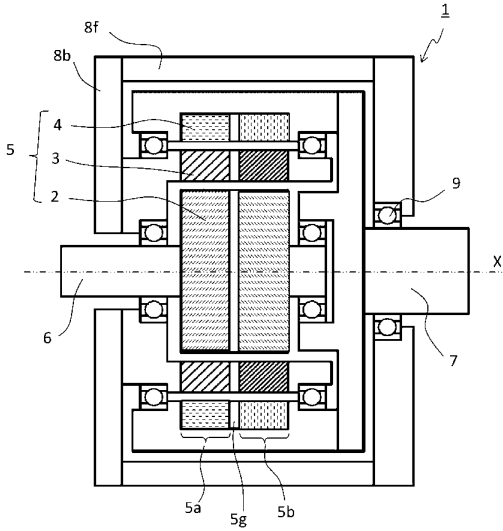
30

40

50

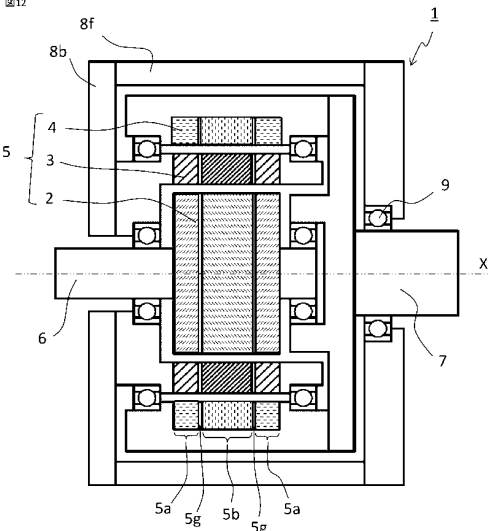
【図 1 1】

図11



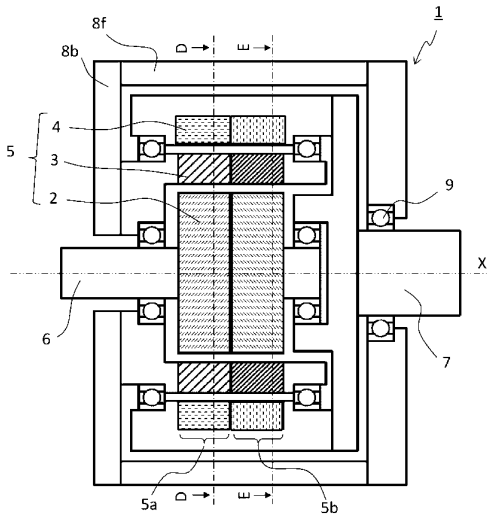
【図 1 2】

図12



【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14

図14A

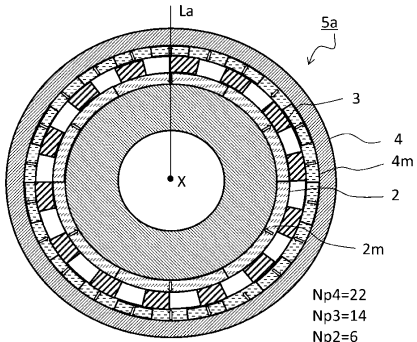
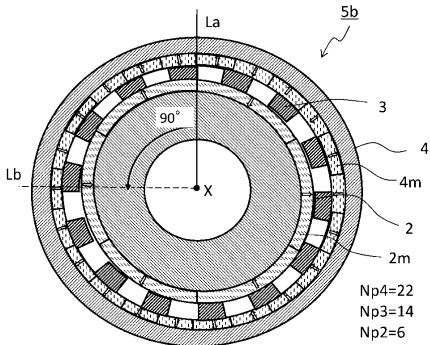


図14B



10

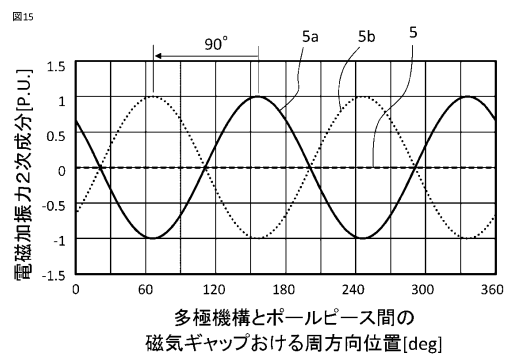
20

30

40

50

【図 15】



【図 16】

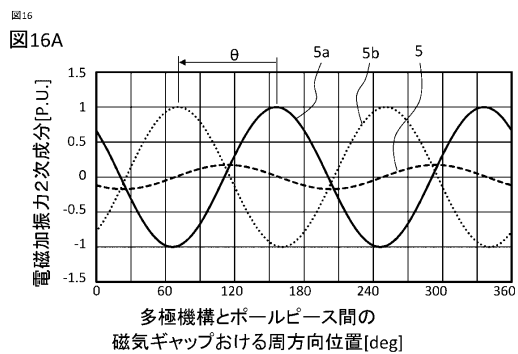
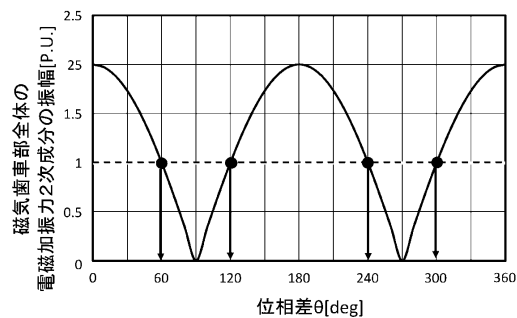
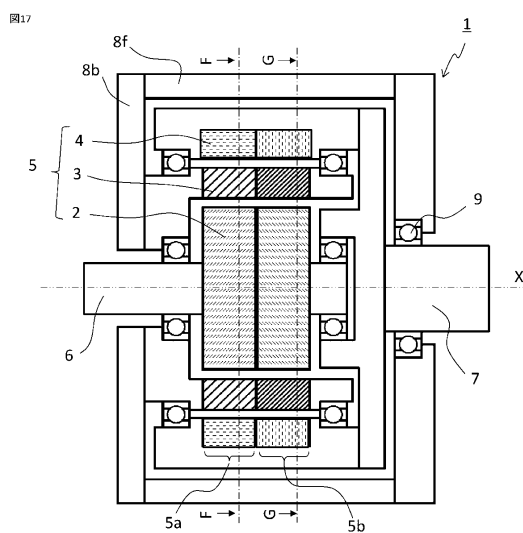


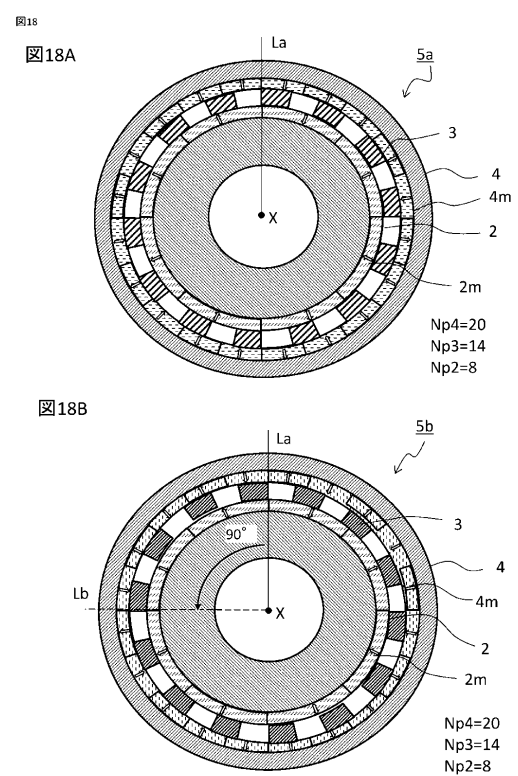
图 16B



【圖 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2017/104359 (WO, A1)
国際公開第2015/053005 (WO, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F16H49/00