





---

【課題】非希土類磁石を用いたアキシヤルギャップモータであって、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能なアキシヤルギャップモータを提供する。【解決手段】アキシヤルギャップモータ10は、ロータ11と、ロータ11の回転軸11aの方向からギャップGを介してロータ11を挟むように、ロータ11と対向して設けられた一対のステータ21とを備え、ロータ11は、回転軸11aの周方向に沿って互いに離間して設けられた複数の非希土類磁石13と、複数の非希土類磁石13の間に非磁性体部17c等を介して設けられた複数の磁性体部15とを有し、複数の磁性体部15の透磁率は、複数の非希土類磁石13の透磁率よりも大きく、複数の非希土類磁石13及び複数の磁性体部15は、ロータ11の一対のステータ21との対向面11Sを規定する。

## 明 細 書

**発明の名称**：アキシシャルギャップモータ

### 技術分野

[0001] 本発明は、アキシシャルギャップモータに関する。

### 背景技術

[0002] ロータと、ロータの回転軸の方向からギャップを介してロータと対向するステータとを有するアキシシャルギャップモータとして、例えば下記特許文献1～4に記載されたものが知られている。

[0003] 下記特許文献1～4に記載のアキシシャルギャップモータのロータは、回転軸の周方向に互いに離間して設けられた永久磁石と、これらの永久磁石の間に設けられた軟磁性体部（永久磁石間軟磁性体部）とを有している。このように設けられた軟磁性体部に起因して、リラクタンストルクが増大し、モータトルクが増大することが記載されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2006-50706号公報

特許文献2：特開2008-278649号公報

特許文献3：特開2008-199895号公報

特許文献4：特開2005-94955号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 上述のようなアキシシャルギャップモータのロータに使用される永久磁石としては、一般に残留磁束密度の大きい希土類磁石が用いられる。しかし、希土類磁石の原材料となるネオジウム（Nd）やジスプロシウム（Dy）等のレアアースは、産出地が特定の地域に偏在し、また、近年使用量が急激に増加している。そのため、レアアースは、安定供給及び価格の点において難点がある。

- [0006] そのため、アキシシャルギャップモータのロータに使用される永久磁石として、希土類磁石に替えてフェライト磁石等の非希土類磁石を用いることが考えられる。しかしながら、従来のアキシシャルギャップモータにおいて希土類磁石を非希土類磁石に替えることには、以下のような問題がある。
- [0007] 即ち、非希土類磁石の残留磁束密度は希土類磁石の残留磁束密度よりも小さいため、その分マグネットトルクが減少する。そのため、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能な構成を有するアキシシャルギャップモータを採用することが好ましい。しかしながら、従来のアキシシャルギャップモータにおいて希土類磁石を非希土類磁石に替えた場合、これらを両立させることが困難であった。
- [0008] 例えば、上記特許文献1に記載のアキシシャルギャップモータのロータにおいては、永久磁石のステータ側の面には軟磁性材料からなるロータバックコアが設けられている。また、上記特許文献2に記載のアキシシャルギャップモータのロータにおいては、永久磁石は軟磁性材料からなる一対の磁性体によって回転軸方向から挟まれている。即ち、永久磁石の一対のステータ側の両面には軟磁性材料からなる一対の磁性体が設けられている。
- [0009] そのため、上記特許文献1及び2に記載のアキシシャルギャップモータにおいては、永久磁石のステータ側の面に設けられた部材が原因で、非希土類磁石が薄くなってしまい、ロータ全体の体積のうち非希土類磁石の体積が占める割合を大きくすることができなかった。その結果、ロータ全体の体積のうち非希土類磁石の体積が占める割合を大きくすることが困難であるため、マグネットトルクの減少を抑制することが困難であった。
- [0010] さらに、永久磁石のステータ側の面には軟磁性材料からなる部材が設けられているため、ステータから発生した磁束は、永久磁石のステータ側の面にある磁性体に引き寄せられる。そのため、一方のステータから他方のステータまで至る磁束は、永久磁石間軟磁性体部内だけでなく、永久磁石内もある程度通過する。その結果、永久磁石間軟磁性体部内を通過する磁束が減少す

ることに起因してリラクタンストルクが減少してしまうと共に、永久磁石内を通過する磁束、特に弱め界磁磁束に起因して非希土類磁石に不可逆減磁が生じてしまい、マグネットトルクが減少してしまうという問題があった。

[0011] また、図 1 は、上記特許文献 3 に記載のアキシシャルギャップモータにおけるロータ近傍の、回転軸の周方向に沿った模式的な断面を示す図である。上記特許文献 3 に記載のアキシシャルギャップモータにおいては、図 1 に示すように、ロータ 3 の永久磁石 8 は、ロータ 3 の回転軸と直交する方向（図 1 の左右方向）に着磁している。即ち、永久磁石 8 の磁極面 8 m S は、ステータ 4 のロータ 3 との対向面 4 S と直交している。そのため、永久磁石 8 から発生する磁束 8 m は、永久磁石 8 から永久磁石間軟磁性体部 9 に向かい、さらに、永久磁石間軟磁性体部 9 から一対のステータ 4 の方向に向かう。そのため、永久磁石 8 によって磁化される永久磁石間軟磁性体部 9 の一対のステータ 4 側の一対の面は、同極となってしまう。その結果、一対のステータ 4 から生じる磁束 4 m の多くは一方のステータ 4 から永久磁石間軟磁性体部 9 を経由して他方のステータ 4 へ向かうことができず、ステータ 4 から発生した磁束は再び同一のステータ 4 へ戻ってしまう。そのため、ステータ 4 から発生し永久磁石間軟磁性体部 9 内を通過する磁束が減少するため、リラクタンストルクが減少してしまうという問題があった。

[0012] また、上記特許文献 4 に記載のアキシシャルギャップモータにおいては、上記特許文献 4 の図 4 に記載されているように、永久磁石と永久磁石間軟磁性体部が直接接している。そのため、永久磁石として非希土類磁石を用いると、その非希土類磁石と永久磁石間軟磁性体部は磁氣的に結合してしまう。非希土類磁石の残留磁束密度は希土類磁石の残留磁束密度よりも小さいため、ステータからの磁束、特に弱め界磁磁束が永久磁石間軟磁性体部を通過して永久磁石間軟磁性体部の磁化の向きが変化すると、その変化に引きずられるように非希土類磁石の磁化もある程度変化してしまう。その結果、非希土類磁石に不可逆減磁が生じてしまい、マグネットトルクが減少してしまうという問題があった。

[0013] 本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、永久磁石として非希土類磁石を用いたアキシヤルギャップモータであって、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能なアキシヤルギャップモータ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

[0014] 上述の課題を解決するため、本発明に係るアキシヤルギャップモータは、ロータと、ロータの回転軸の方向からギャップを介してロータを挟むように、ロータと対向して設けられた一対のステータとを備え、ロータは、回転軸の周方向に沿って互いに離間して設けられた複数の非希土類磁石と、複数の非希土類磁石の間に非磁性体部又は空間ギャップを介して設けられた複数の磁性体部とを有し、複数の非希土類磁石の着磁方向は、それぞれ回転軸の方向に沿っており、複数の磁性体部の透磁率は、複数の非希土類磁石の透磁率よりも大きく、複数の非希土類磁石及び複数の磁性体部は、ロータの一対のステータとの対向面を規定することを特徴とする。

[0015] 本発明に係るアキシヤルギャップモータでは、複数の非希土類磁石及び複数の磁性体部は、ロータの一対のステータとの対向面を規定するため、複数の非希土類磁石の一対のステータ側の面には、ロータバックコア等の部材は何も存在しない。そのため、そのような部材のために非希土類磁石が薄くなってしまうことはないため、ロータ全体の体積のうち非希土類磁石の体積が占める割合を大きくすることができる。その結果、ロータ全体の体積のうち非希土類磁石の体積が占める割合が小さいことに起因するマグネットトルクの減少を抑制することが可能となる。

[0016] また、複数の磁性体部の透磁率は、複数の非希土類磁石の透磁率よりも大きい上に、複数の非希土類磁石の一対のステータ側の面には軟磁性材料からなる部材は存在しないため、ステータから発生した磁束が非希土類磁石のステータ側の面の方向に引き寄せられることは抑制される。そのため、一方のステータから発生し他方のステータへ向かう磁束の大部分は非希土類磁石を経由することなく、複数の非希土類磁石間に設けられた磁性体部内を経由す

る。その結果、ステータから発生した磁束の大部分は磁性体部内に導かれるため、リラクタンストルクを増加させることが可能である。また、非希土類磁石内を通過する磁束による非希土類磁石の不可逆減磁は抑制される。その結果、非希土類磁石内を通過する磁束による非希土類磁石の不可逆減磁に起因するマグネットトルクの減少を抑制することが可能である。

[0017] また、非希土類磁石の着磁方向は回転軸の方向に沿っているため、非希土類磁石が発生する磁束によって磁性体部の一对のステータ側の面が同極に磁化されることはない。そのため、一方のステータから他方のステータへ向かう磁束が磁性体部内を経由することは妨げられないため、磁性体部の一对のステータ側の面が同極に磁化された場合に生じるようなリラクタンストルクの減少の問題は生じない。

[0018] また、複数の磁性体部は、非磁性体部又は空間ギャップを介して複数の非希土類磁石の間に設けられているため、非希土類磁石と磁性体部との磁気的な結合を抑制することができる。そのため、ステータからの磁束、特に弱め界磁磁束が磁性体部を通過して磁性体部の磁化の向きが変化しても、その変化に引きずられるように非希土類磁石の磁化が変化することは抑制される。その結果、非希土類磁石の不可逆減磁は抑制されるため、マグネットトルクの減少を抑制することができる。

[0019] 以上のように、本発明に係るアキシシャルギャップモータによれば、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能となる。

[0020] さらに、本発明に係るアキシシャルギャップモータにおいて、複数の非希土類磁石の残留磁束密度は、200mT以上、600mT以下であることが好ましい。

[0021] さらに、本発明に係るアキシシャルギャップモータにおいて、複数の非希土類磁石のリコイル透磁率は、1.0以上、2.0以下であることが好ましい。

[0022] さらに、本発明に係るアキシシャルギャップモータにおいて、複数の非希土

類磁石の着磁方向は、回転軸の周方向に沿って交互に反転することが好ましい。これにより、一对のステータから発生する回転磁束によって、ロータを効率よく回転させることが可能となる。

[0023] さらに、本発明に係るアキシシャルギャップモータにおいて、複数の非希土類磁石のそれぞれの体積は、複数の磁性体部のそれぞれの体積よりも大きいことが好ましい。これにより、マグネットトルクの減少を十分に抑制することが可能となる。

[0024] さらに、本発明に係るアキシシャルギャップモータにおいて、非希土類磁石は、フェライト磁石であることができる。

### 発明の効果

[0025] 本発明によれば、永久磁石として非希土類磁石を用いたアキシシャルギャップモータであって、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能なアキシシャルギャップモータが提供される。

### 図面の簡単な説明

[0026] [図1]従来のアキシシャルギャップモータにおけるロータ近傍の、回転軸の周方向に沿った模式的な断面を示す図である。

[図2]実施形態に係るアキシシャルギャップモータの断面構成を模式的に示す図である。

[図3]ロータ及び一对のステータを互いに回転軸の方向に離間させた状態を示す斜視図である。

[図4]ロータを示す斜視図である。

[図5]非希土類磁石の要素、枠部材、及び、ロータ軸の構成を示す図である。

[図6]ロータを示す斜視図である。

[図7]実施形態のアキシシャルギャップモータのロータ近傍の、回転軸の周方向に沿った模式的な断面を示す図である。

[図8]解析で用いた実施例の諸条件を示す図である。

[図9]平均トルクの推移の解析結果を示す図である。



[図10]ロータのフェライト磁石の減磁体積比の電流密度依存性の解析結果を示す図である。

[図11]スロット数とU相鎖交磁束の減少率の関係を示す図である。

[図12]ターン数と、平均トルク及びU相鎖交磁束の減少率との関係を示す図である。

[図13]非希土類磁石の幅と平均トルク及びトルクリプルとの関係を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0027] 以下、実施の形態に係るアキシシャルギャップモータについて、添付図面を参照しながら詳細に説明する。なお、各図面において、可能な場合には同一要素には同一符号を用いる。また、図面中の構成要素内及び構成要素間の寸法比は、図面の見易さのため、それぞれ任意となっている。

[0028] 図2は、本実施形態に係るアキシシャルギャップモータの断面構成を模式的に示す図である。図2に示すように、本実施形態のアキシシャルギャップモータ10は、ロータ11と、一对のステータ21と、ロータ軸19と、ケース29とを備えている。

[0029] ロータ11は円筒状の部材であり、その円筒形状の中心線に沿った回転軸11aの周りに回転する部材である。ロータ軸19は、ロータ11を貫通し、ロータ11は、その内周面においてロータ軸19と固定されている。ロータ軸19は回転軸11aに沿った方向、即ち、ロータ11の高さ（厚さ）方向に延びる部材であり、回転軸11aを規定する。

[0030] 一对のステータ21は、それぞれ円筒状の部材である。一对のステータ21は、ロータ11の回転軸11aの方向からギャップG（空間ギャップ）を介してロータ11を挟むように、ロータ11と対向して設けられている。即ち、一对のステータ21の対向面21Sは、ロータ11の対向面11Sと対向する。ロータ軸19は、一对のステータ21を貫通し、一对のステータ21の内周面は、ロータ軸19と固定されていない。

[0031] ケース29は、ロータ11及び一对のステータ21を内部に收容する部材

である。ケース 29 は、ベアリング等を介してロータ軸 19 を回転可能に支持している。一对のステータ 21 は、ケース 29 に固定されている。

- [0032] 続いて、ロータ 11 及びステータ 21 について、より詳細に説明する。
- [0033] 図 3 は、ロータ及び一对のステータを互いに回転軸の方向に離間させた状態を示す斜視図であり、図 4 は、ロータを示す斜視図である。
- [0034] 図 3 及び図 4 に示すように、ロータ 11 は、回転軸 11a の周方向に沿って互いに離間して設けられた複数の非希土類磁石 13 と、複数の非希土類磁石 13 の間に設けられた複数の磁性体部 15 と、非希土類磁石 13、磁性体部 15、及び、ロータ軸 19 を互いに固定するための枠部材 17 とを有している。
- [0035] 複数の非希土類磁石 13 は、それぞれ例えばフェライト磁石やアルニコ磁石等の希土類磁石以外の永久磁石である。非希土類磁石 13 の数は、本実施形態では 8 個であるが、特に制限されない。複数の非希土類磁石 13 の着磁方向は、それぞれ回転軸 11a に沿っている。本実施形態においては、複数の非希土類磁石 13 の着磁方向は、回転軸 11a の周方向に沿って交互に反転している。また、本実施形態においては複数の非希土類磁石 13 はそれぞれ、回転軸 11a に沿った方向を厚さ方向とし、回転軸 11a と垂直な方向に延びると共に回転軸 11a 中に中心点を有する円弧帯状をなしている。
- [0036] 複数の磁性体部 15 は、非希土類磁石 13 同様に、回転軸 11a に沿った方向を厚さ方向とし、回転軸 11a と垂直な方向に延びると共に回転軸 11a 中に中心点を有する円弧帯状をなしている。磁性体部 15 の数は、本実施形態では 8 個であるが、特に制限されない。磁性体部 15 の透磁率は、非希土類磁石 13 の透磁率よりも大きい。磁性体部 15 は、例えば圧粉鉄心や S45C 等の鉄や電気機器用磁性材料等の磁性材料で構成されている。
- [0037] また、複数の非希土類磁石 13 及び複数の磁性体部 15 は、ロータ 11 の一对のステータ 21 との対向面 11S (図 2 参照) を規定する。
- [0038] また、図 3 に示すように、一对ステータ 21 は、それぞれ軟磁性材料からなるステータコア 23 と、コイル部 25 とを有する。ステータコア 23 は、

円筒状部材と、円筒状部材からロータ 11 の方向に突出した複数のティースとを有する。ティースの回転軸 11 a と垂直な面に沿っての断面は、例えば円弧帯状である。複数のティースの周りには、コイル部 25 が捲回されている。コイル部 25 は、通電されることにより一方のステータ 21 と他方のステータ 21 との間の領域において、回転軸 11 a に沿った方向に回転磁束を発生させる。この回転磁束によって生じるトルクによって、ロータ 11 は回転軸 11 a の周りに回転する。

[0039] 図 5 は、非希土類磁石の要素、枠部材、及び、ロータ軸の構成を示す図である。図 5 では、枠部材 17 及びロータ軸 19 と、その他の部材とを、回転軸 11 a に沿った方向に離間させた状態を示している。

[0040] 枠部材 17 は、ステンレス鋼等の非磁性材料で構成されている。図 5 に示すように、枠部材 17 は、ロータ 11 の外形を規定するリング状部材 17 a と、ロータ軸 19 を固定するロータ軸固定部材 17 b と、リング状部材からロータ軸固定部材に延びると共に、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 とを離間させるようにこれらの中に介在する複数の離間部材 17 c とを有している。また、本実施形態においては、図 5 に示すように、複数の非希土類磁石 13 のそれぞれは、回転軸 11 a の上方と下方にそれぞれに設けられた一対の非希土類磁石要素 13 a からなる。同様に、複数の磁性体部 15 のそれぞれは、回転軸 11 a の上方と下方にそれぞれに設けられた一対の磁性体部要素 15 a からなる。そして、回転軸 11 a の上方の複数の非希土類磁石要素 13 a 及び磁性体部要素 15 a は、リング状部材 17 a、ロータ軸固定部材 17 b、及び離間部材 17 c で規定される領域に、枠部材 17 の上方からはめ込まれる。同様に、回転軸 11 a の下方の複数の非希土類磁石要素 13 a 及び磁性体部要素 15 a は、リング状部材 17 a、ロータ軸固定部材 17 b、及び離間部材 17 c で規定される領域に、枠部材 17 の下方からはめ込まれる。

[0041] なお、非希土類磁石 13 は、必ずしも一対の非希土類磁石要素 13 a で構成される必要はなく、一つの部材で構成されてもよい。磁性体部 15 は、必

ずしも一对の磁性体部要素 15 a で構成される必要はなく、一つの部材で構成されてもよい。

[0042] 図 6 は、ロータを示す斜視図である。図 6 においては、非希土類磁石 13 の着磁方向を示す符号 (N 及び S) を付しており、また、非希土類磁石 13、磁性体部 15、及び、枠部材 17 の一部を、回転軸 11 a と平行な平面で切断した状態を示している。

[0043] 図 6 に示すように、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 は、互いに離間している。より具体的には、複数の非希土類磁石 13 の間には、非磁性体部としての離間部材 17 c 及び空間ギャップ 17 g を介して複数の磁性体部 15 が設けられている。即ち、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 の間には、離間部材 17 c 及び空間ギャップ 17 g が介在している。

[0044] なお、本実施形態では、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 の間において、回転軸 11 a に沿った方向の上部及び下部に空間ギャップ 17 g が存在し、これらの中に離間部材 17 c が存在するが、例えば、回転軸 11 a に沿った方向の上部及び下部に離間部材 17 c が存在し、これらの中に空間ギャップ 17 g が存在してもよい。また、本実施形態では、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 の間には、離間部材 17 c 及び空間ギャップ 17 g の両方が介在しているが、離間部材 17 c のみが介在してもよく、空間ギャップ 17 g のみが介在してもよい。また、非希土類磁石 13 と磁性体部 15 の回転軸 11 a の周方向に沿った離間距離 (即ち、離間部材 17 c 及び/又は空間ギャップ 17 g の回転軸 11 a の周方向に沿った幅) は、ロータ 11 とステータ 21 間のギャップ G (図 2 参照) の回転軸 11 a に沿った方向の幅よりも大きいことが好ましい。何故なら、この条件を満たす場合、非希土類磁石 13 の磁束が回転軸 11 a に沿って直線的にステータ 21 へ向かう効果が特に大きくなるためである。

[0045] また、図 6 に示すように、複数の非希土類磁石 13 の着磁方向は、回転軸 11 a の周方向に沿って交互に反転することが好ましい。これにより、一对のステータ 21 から発生する回転磁束によって、ロータ 11 を効率よく回転

させることが可能となる。

- [0046] 上述のような本実施形態に係るアキシシャルギャップモータ 10 によれば、以下のような理由により、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能となる。
- [0047] 図 7 は、本実施形態のアキシシャルギャップモータのロータ近傍の、回転軸の周方向に沿った模式的な断面を示す図である。
- [0048] 図 7 に示すように、本実施形態のアキシシャルギャップモータ 10 では、複数の非希土類磁石 13 及び複数の磁性体部 15 は、ロータ 11 の一对のステータ 21 との対向面 11 S を規定するため、複数の非希土類磁石 13 の一对の磁性体部 15 側の面（対向面 11 S の一部）には、ロータバックコア等の部材は何も存在しない。そのため、そのような部材のために非希土類磁石 13 が薄くなってしまふことはないため、ロータ 11 全体の体積のうち磁性体部 15 の体積が占める割合を大きくすることができる。その結果、ロータ 11 全体の体積のうち非希土類磁石 13 の体積が占める割合が小さいことに起因するマグネットトルクの減少を抑制することが可能となる。
- [0049] また、非希土類磁石 13 の着磁方向は回転軸 11 a の方向に沿っているため、非希土類磁石 13 が発生する磁束 11 m によって磁性体部 15 の一对のステータ 21 側の面（対向面 11 S の一部）が同極に磁化されることはない。そのため、一方のステータ 21 から他方のステータ 21 へ向かう磁束 21 m が磁性体部 15 内を経由することは妨げられないため、磁性体部 15 の一对のステータ 21 側の面が同極に磁化された場合に生じるようなリラクタンストルクの減少の問題は生じない。
- [0050] また、複数の磁性体部 15 の透磁率は、複数の非希土類磁石 13 の透磁率よりも大きい上に、複数の非希土類磁石 13 の一对のステータ 21 側の面（対向面 11 S の一部）には軟磁性材料からなる部材は存在しないため、ステータ 21 から発生した磁束 21 m が非希土類磁石 13 のステータ 21 側の面の方向に引き寄せられることは抑制される。（仮に、複数の非希土類磁石 13 の一对のステータ 21 側の面において、d 軸及び q 軸に交差する領域に口

一タバックコア等の軟磁性材料からなる部材が存在すると、ステータ 21 から発生した磁束 21 m は非希土類磁石 13 のステータ 21 側の面の方向、即ち d 軸の方向に引き寄せられる。) )

[0051] そのため、一方のステータ 21 から発生し他方のステータ 21 へ向かう磁束 21 m の大部分は非希土類磁石 13 を経由することなく、複数の非希土類磁石 13 間に設けられた磁性体部 15 内を經由する。その結果、ステータ 21 から発生した磁束 21 m の大部分は磁性体部 15 内に導かれるため、リラクタンストルクを増加させることが可能である。また、非希土類磁石 13 内を通過する磁束による非希土類磁石 13 の不可逆減磁は抑制される。その結果、非希土類磁石 13 内を通過する磁束による非希土類磁石 13 の不可逆減磁に起因するマグネットトルクの減少を抑制することが可能である。

[0052] 以上のように、本実施形態に係るアキシシャルギャップモータ 10 によれば、マグネットトルクの減少を抑制することが可能であると共に、リラクタンストルクを増加させることが可能となる。

[0053] また、本実施形態に係るアキシシャルギャップモータ 10 において、複数の非希土類磁石 13 の残留磁束密度は、200 mT 以上、600 mT 以下であることが好ましい。ただし、複数の非希土類磁石 13 の残留磁束密度が上記範囲外であっても、アキシシャルギャップモータ 10 は上述の効果を発揮する。

[0054] また、本実施形態に係るアキシシャルギャップモータ 10 において、複数の非希土類磁石 13 のリコイル透磁率は、1.0 以上、2.0 以下であることが好ましい。ただし、複数の非希土類磁石 13 のリコイル透磁率が上記範囲外であっても、アキシシャルギャップモータ 10 は上述の効果を発揮する。

[0055] さらに、本実施形態に係るアキシシャルギャップモータ 10 において、複数の非希土類磁石 13 のそれぞれの体積は、複数の磁性体部 15 のそれぞれの体積よりも大きいことが好ましい (図 3 ~ 図 7 参照)。これにより、マグネットトルクの減少を十分に抑制することが可能となる。

[0056] なお、上述の実施形態においては、ロータ 11 は、マグネットトルクを発

生させるための永久磁石として非希土類磁石 13 のような非希土類磁石のみを有しているが（図 3～図 6 参照）、このような態様に限られない。例えば、ロータ 11 は、マグネットトルクを発生させるための永久磁石として、非希土類磁石に加えて、希土類磁石を有していてもよい。

[0057] 本実施形態のアキシシャルギャップモータ 10 は、例えばハイブリッド自動車、電気自動車等の自動車や、エアコン、冷蔵庫、洗濯機等の家電製品に利用することができる。

[0058] 次に、実施例のアキシシャルギャップモータについて、磁石温度は  $75^{\circ}\text{C}$  で一定、定格電流密度は  $22\text{ A rms/mm}^2$  で一定の条件で、電流位相を  $0^{\circ}$  ( $0\text{ deg}$ ) から  $90^{\circ}$  ( $90\text{ deg}$ ) まで変化させて 3D-FEA 解析を行った場合の平均トルクの推移について調査した。図 8 は、本解析で用いた実施例の諸条件を示す図である。図 9 は、上記解析に基づく、実施例の平均トルク及びマグネットトルクの電流位相角依存である。図 9 に示すように、平均トルクの最大値は、プロット A における値、即ち、電流位相角が  $50^{\circ}$  ( $50\text{ deg}$ ) における  $355.0\text{ Nm}$  であった。このときのトルク密度は  $40.3\text{ Nm/L}$  であり、実用レベルに十分に満たしていた。これにより、例えば出力密度  $5.68\text{ kW/L}$ 、即ち、出力  $50.2\text{ kW}$  を達成するのに、規定速度を  $1350\text{ rpm}$  程度まで下げられることがわかった。

[0059] また、図 9 においては、電流位相角度が  $0^{\circ}$  ( $0\text{ deg}$ ) の場合の平均トルクと基準としたマグネットトルクの大まかな推移も示している。図 9 に示すように、平均トルクが最大となる電流位相角  $50^{\circ}$  において、平均トルク中のマグネットトルクの割合は約  $36\%$  であり、平均トルク中のリラクタンストルクの割合は約  $64\%$  であることがわかった。これにより、実施例のアキシシャルギャップモータの平均トルクにおいて、リラクタンストルクが支配的であり、リラクタンストルクを有効に利用できていることがわかった。

[0060] 図 10 は、上記解析に基づく、ロータのフェライト磁石の減磁体積比の電流密度依存性の解析結果を示す図である。減磁体積比とは、磁石全体に対する不可逆減磁が発生した部分の割合を示す値である。この解析は、回転角度

を $0^{\circ}$ で一定、電流位相角を $90^{\circ}$ で一定という不可逆減磁が最も発生しやすい条件において、電流密度を変化させながら行った。また、フェライト磁石は低温状態であると不可逆減磁が生じやすいため、フェライト磁石の温度は、 $-20^{\circ}\text{C}$ で一定とした。

[0061] 図10に示すように、電流密度が低いときには、不可逆減磁は殆ど発生しなかった。定格電流密度である $22\text{Arms}/\text{mm}^2$ において減磁体積比は約5.6%であった。実施例においては、コアの永久磁石として不可逆減磁の生じやすいフェライト磁石を用い、さらに低温状態で $22\text{Arms}/\text{mm}^2$ という大きな電流を流した場合であっても、不可逆減磁は僅かにしか生じないことがわかった。

[0062] 次に、実施例のアキシシャルギャップモータについて、スロット数（ステータ21が有するコイル部25の数）と、非希土類磁石13の不可逆減磁に起因するU相鎖交磁束の減少率について調べた。

[0063] 具体的には、スロット数が、15、18、24の3個の実施例に係るアキシシャルギャップモータを準備した。これらの実施例のコイルの巻線の総量がそれぞれ同一となるように、ステータ21のステータコア23とコイル部25の形状を決定した。その結果、スロット数が15、18、24の実施例に係るアキシシャルギャップモータのターン数（コイルの巻数）は、それぞれ順に20、17、13となった。極数（ロータ11が有する非希土類磁石13の数）は、3個の実施例全てにおいて10とした。

[0064] これらの実施例について、回転角度 $0\text{deg}$ 一定、定格電流密度 $22\text{Arms}/\text{mm}^2$ 一定、磁石温度 $-20^{\circ}\text{C}$ 、又は、 $75^{\circ}\text{C}$ 、電流位相角 $90\text{deg}$ 一定、の条件で、減磁に関する解析を行い、U相鎖交磁束の減少率を求めた。

[0065] 図11は、スロット数とU相鎖交磁束の減少率の関係を示す図である。図11に示すように、スロット数が15~24の範囲の実施例においては、スロット数が増加する程、U相鎖交磁束の減少率が小さくなった。磁石温度が $-20^{\circ}\text{C}$ の場合、スロット数が18の実施例のU相鎖交磁束の減少率は約4.9%となり、スロット数が25の実施例のU相鎖交磁束の減少率は約1.



7%となった。これにより、スロット数が15~24の範囲の実施例においては、スロット数が増加する程、不可逆減磁に対する耐性が高くなることが分かった。

[0066] 次に、実施例のアキシシャルギャップモータについて、スロット数を24に固定した場合のターン数と平均トルクとの関係を調べた。

[0067] 具体的には、ターン数が13、14、15、16、17、18の6個の実施例に係るアキシシャルギャップモータを準備した。スロット数は6個の実施例全てにおいて、24とした。極数は、6個の実施例全てにおいて10とした。

[0068] これらの実施例について、磁石温度75°C一定、定格電流密度22Arms/mm<sup>2</sup>一定、電流位相角40deg一定の条件で、平均トルクに関する解析を行った。

[0069] 図12は、実施例のアキシシャルギャップモータについて、ターン数と、平均トルク及びU相鎖交磁束の減少率との関係を示す図である。図12に示すように、ターン数が16場合に、平均トルクは最大値(330.3Nm)となった。U相鎖交磁束の減少率は、ターン数の増加と共に、増加した。ターン数が15である場合、平均トルクも十分に大きく、U相鎖交磁束の減少率は2.7%と非常に小さい値となった。これらの結果より、平均トルクとU相鎖交磁束の減少率とを両方考慮した場合、最適なターン数は15であることがわかった。

[0070] 次に、実施例のアキシシャルギャップモータについて、非希土類磁石13の回転軸11aの周方向に沿った方向の幅と、トルクの大きさ及びトルクリプルとの関係を調べた。

[0071] 具体的には、非希土類磁石13の幅(非希土類磁石13の回転軸11aの周方向に沿った方向の幅)を、18degから26.4degまで、1.2deg刻みで変更した8個の実施例に係るアキシシャルギャップモータを準備した。スロット数は8個全ての実施例において24とした。ターン数は8個全ての実施例において15とした。極数は8個の実施例全てにおいて10とした。

[0072] これらの実施例について、磁石温度  $75^{\circ}\text{C}$ 一定、定格電流密度  $22\text{ A rms/mm}^2$ 一定、電流位相角  $40\text{ deg}$ 一定の条件で、平均トルクに関する解析を行った。

[0073] 図13は、実施例のアキシシャルギャップモータについて、非希土類磁石の幅と平均トルク及びトルクリプルとの関係を示す図である。図12に示すように、トルクリプルは、非希土類磁石の幅が  $18\text{ deg}$ から  $26.4\text{ deg}$ までの範囲において、9%未満の非常に小さい値となった。また、平均トルクは、非希土類磁石の幅が  $24\text{ deg}$ である場合に最大値となった。これらの結果より、最適な非希土類磁石の幅が  $24\text{ deg}$ であることがわかった。

### 符号の説明

[0074] 10・・・アキシシャルギャップモータ、11・・・ロータ、11S・・・ロータのステータとの対向面、13・・・非希土類磁石、15・・・磁性体部、17c・・・非磁性体部（離間部材）、17g・・・空間ギャップ、21・・・ステータ、G・・・ギャップ。

## 請求の範囲

[請求項1]

ロータと、

前記ロータの回転軸の方向からギャップを介して前記ロータを挟むように、前記ロータと対向して設けられた一対のステータと、  
を備え、

前記ロータは、

前記回転軸の周方向に沿って互いに離間して設けられた複数の非希土類磁石と、

前記複数の非希土類磁石の間に非磁性体部又は空間ギャップを介して設けられた複数の磁性体部と、

を有し、

前記複数の非希土類磁石の着磁方向は、それぞれ前記回転軸の方向に沿っており、

前記複数の磁性体部の透磁率は、前記複数の非希土類磁石の透磁率よりも大きく、

前記複数の非希土類磁石及び前記複数の磁性体部は、前記ロータの前記一対のステータとの対向面を規定することを特徴とするアクシヤルギャップモータ。

[請求項2]

前記複数の非希土類磁石の残留磁束密度は、200mT以上、600mT以下であることを特徴とする請求項1に記載のアクシヤルギャップモータ。

[請求項3]

前記複数の非希土類磁石のリコイル透磁率は、1.0以上、2.0以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載のアクシヤルギャップモータ。

[請求項4]

前記複数の非希土類磁石の着磁方向は、前記回転軸の周方向に沿って交互に反転することを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載のアクシヤルギャップモータ。

[請求項5]

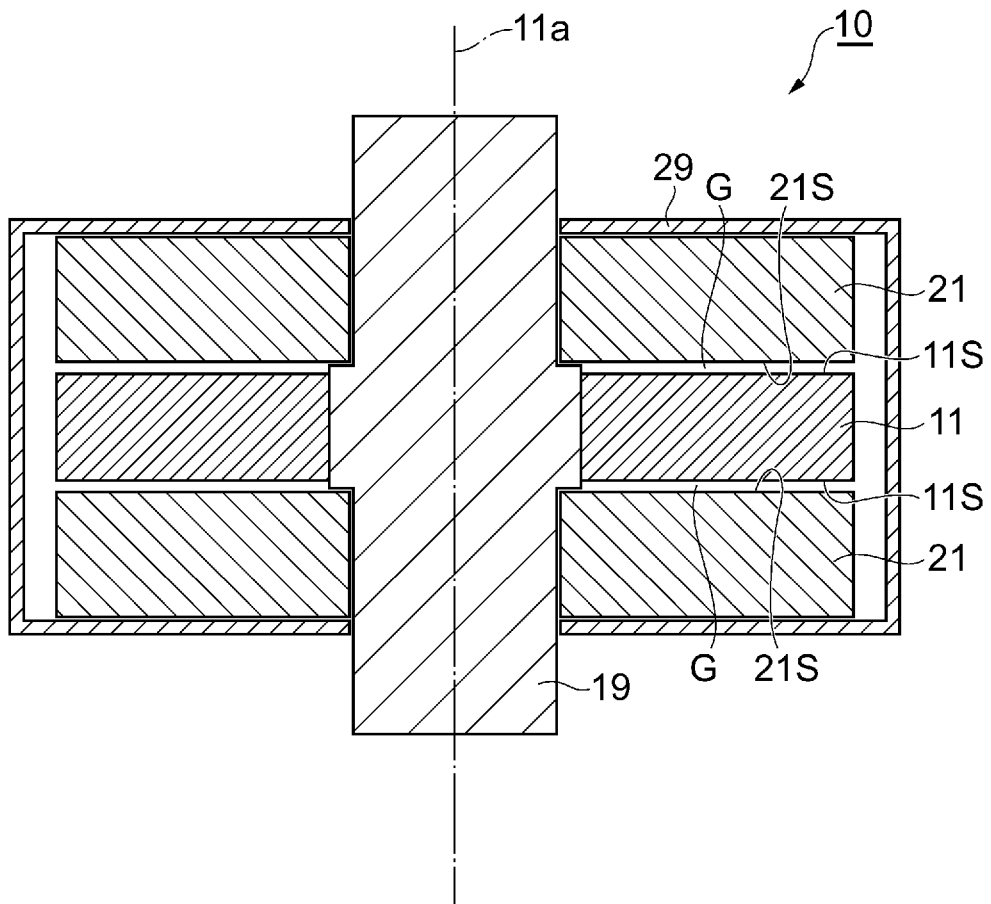
前記複数の非希土類磁石のそれぞれの体積は、前記複数の磁性体部

のそれぞれの体積よりも大きいことを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載のアキシシャルギャップモータ。

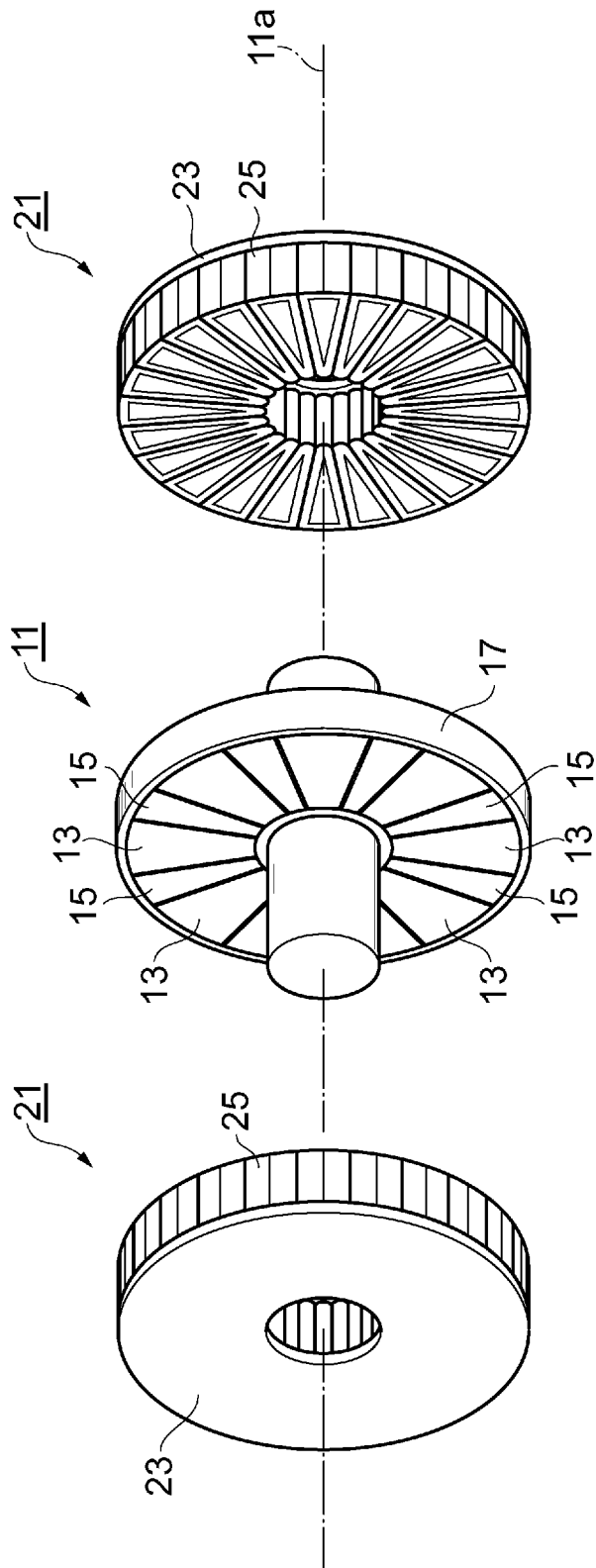
[請求項6] 前記非希土類磁石は、フェライト磁石であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載のアキシシャルギャップモータ。



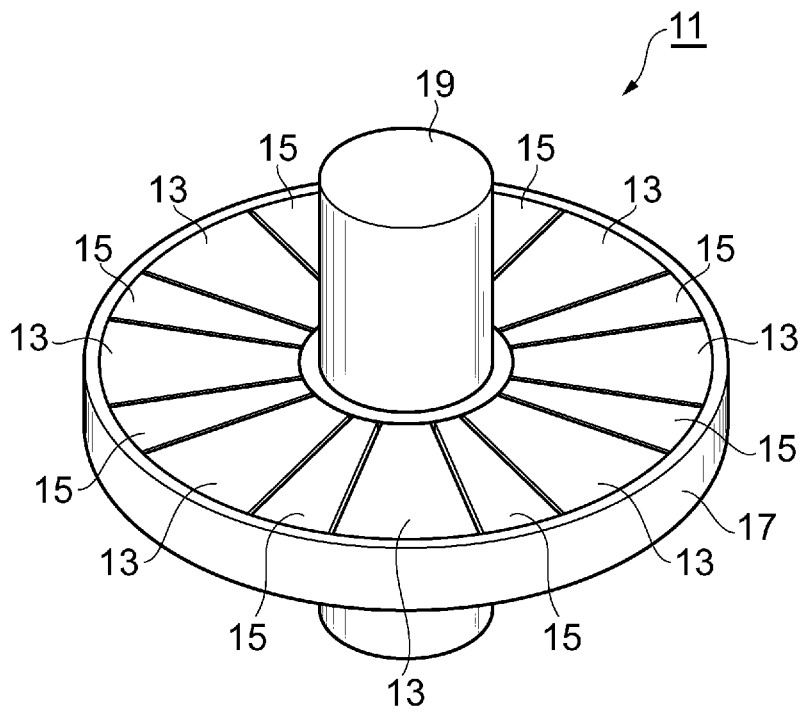
[図2]



[3]

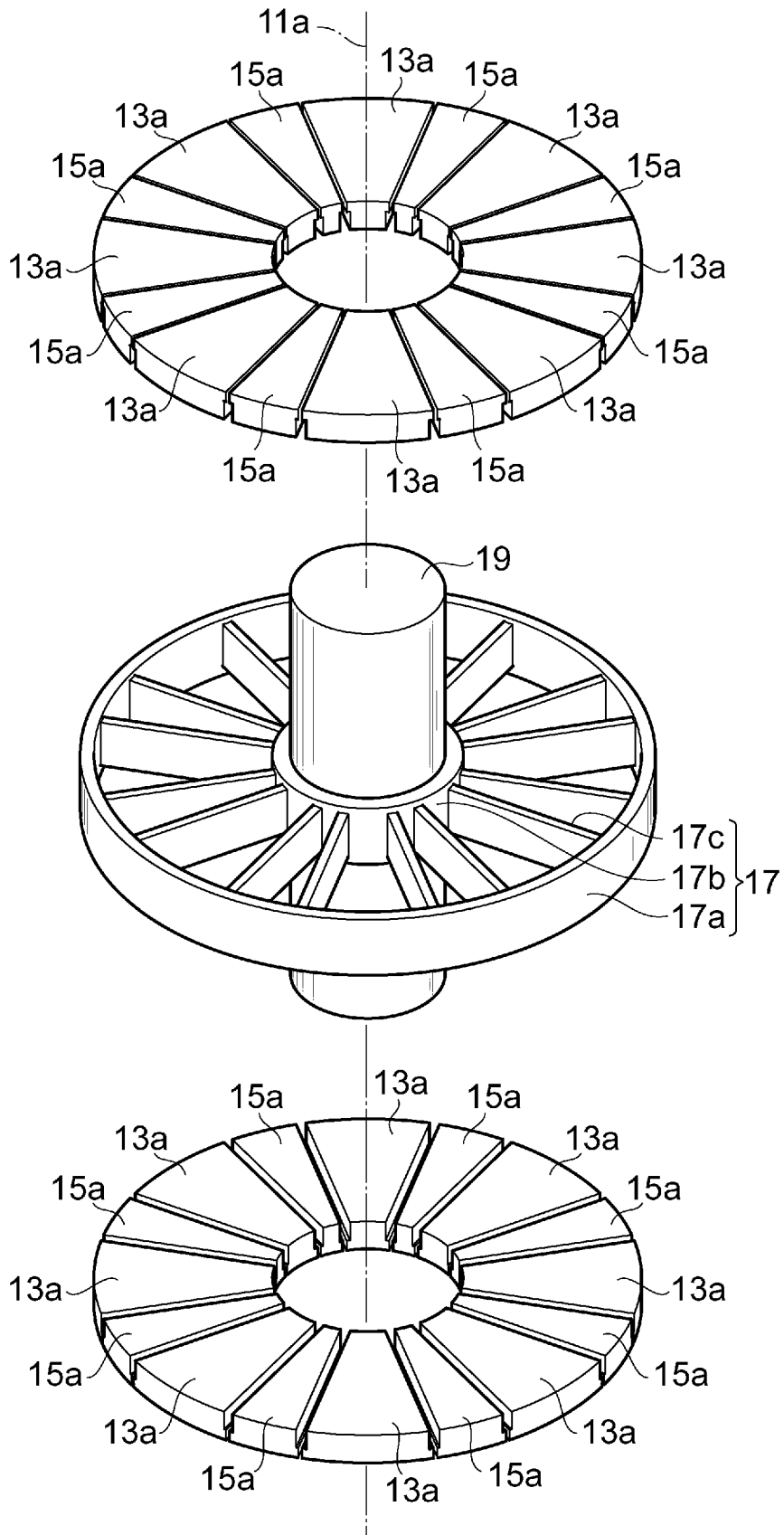


[図4]

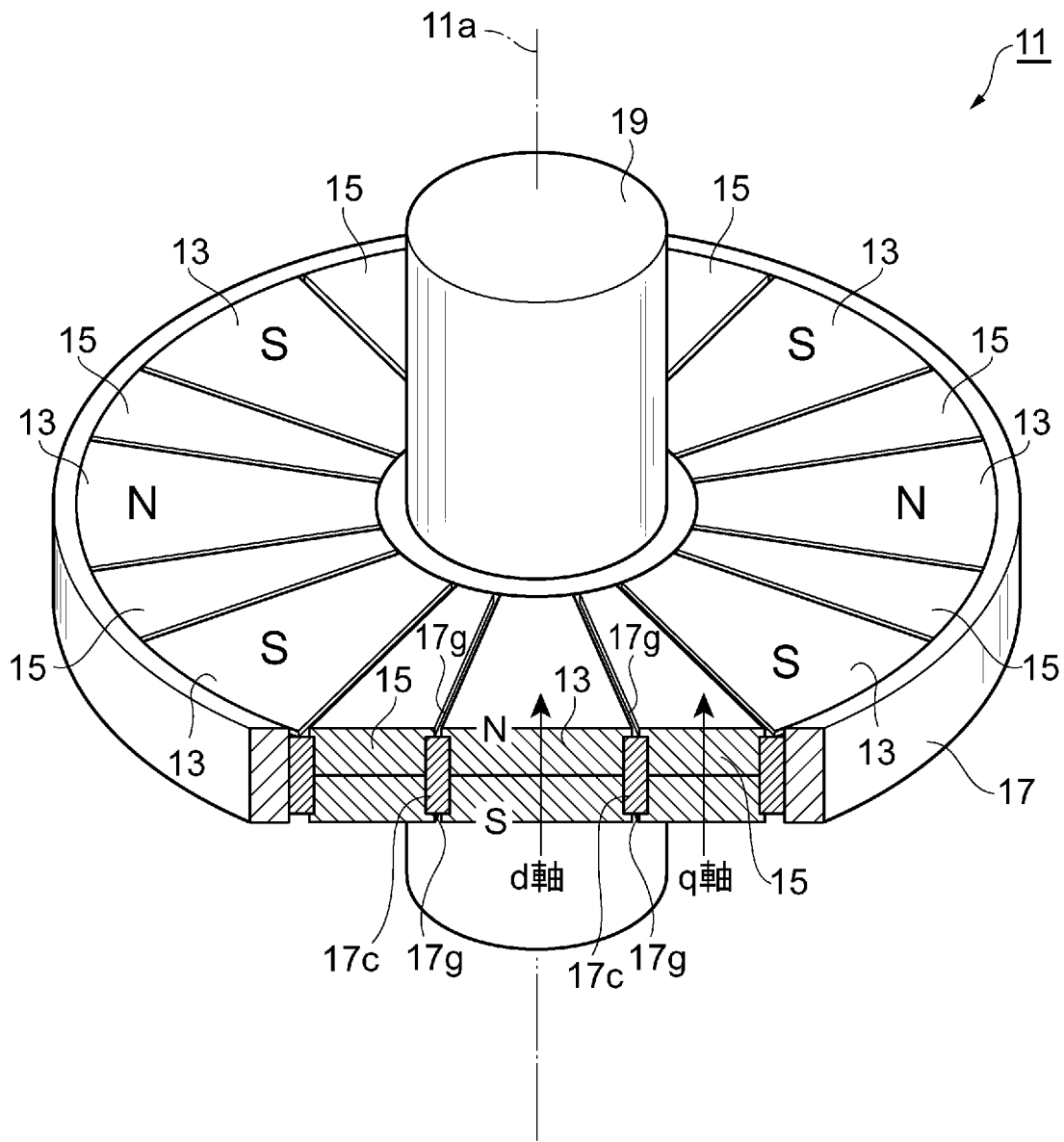




[図5]



[図6]

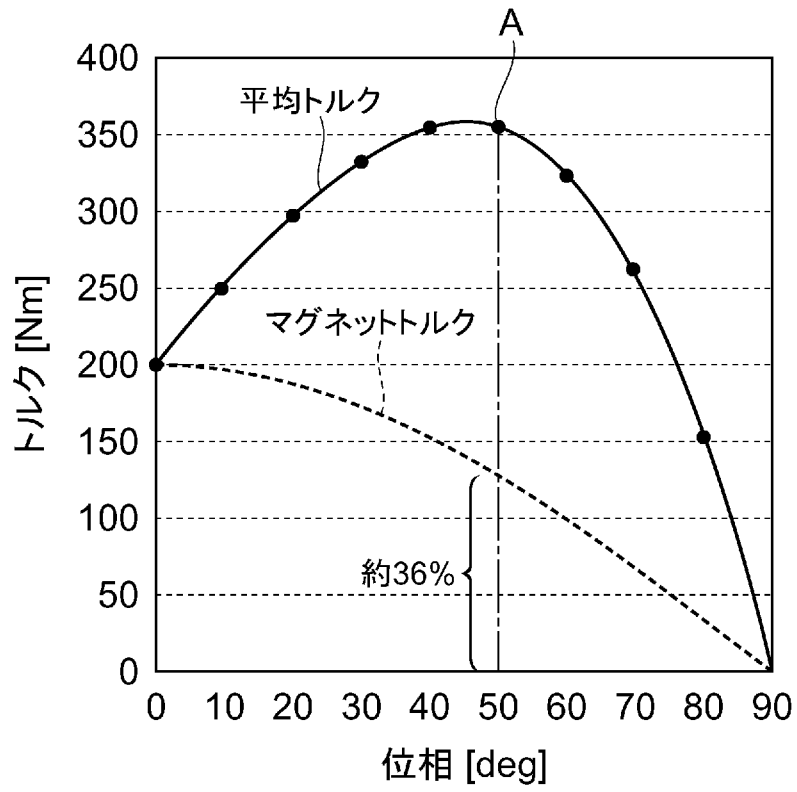




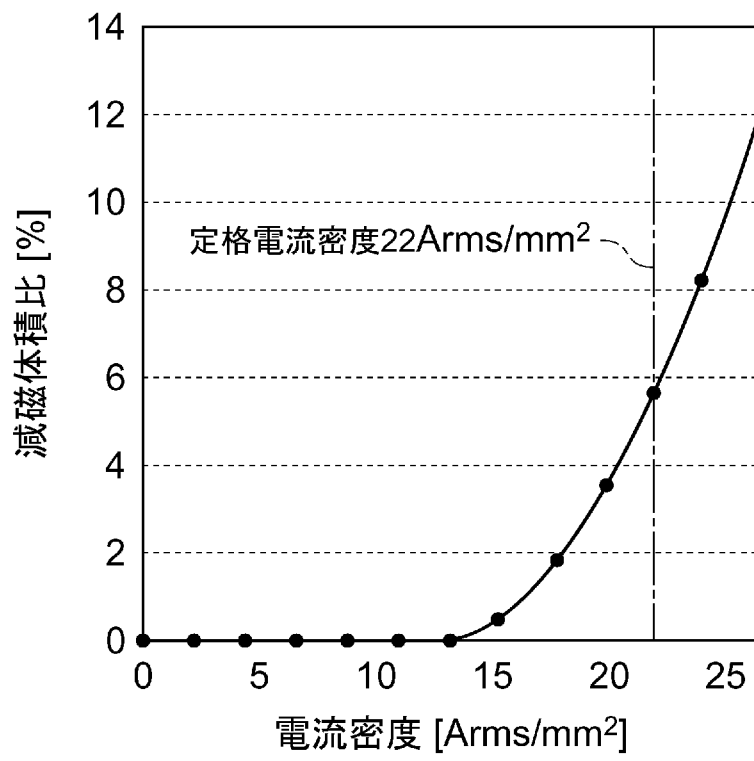
[図8]

磁極数	8
ステータの外径	269mm
ステータの内径	74mm
コイルの巻数	16
ロータの外径	264mm
ロータの内径	90mm
回転軸の長さ	155mm
回転軸の直径	66mm
エアギャップ	1mm

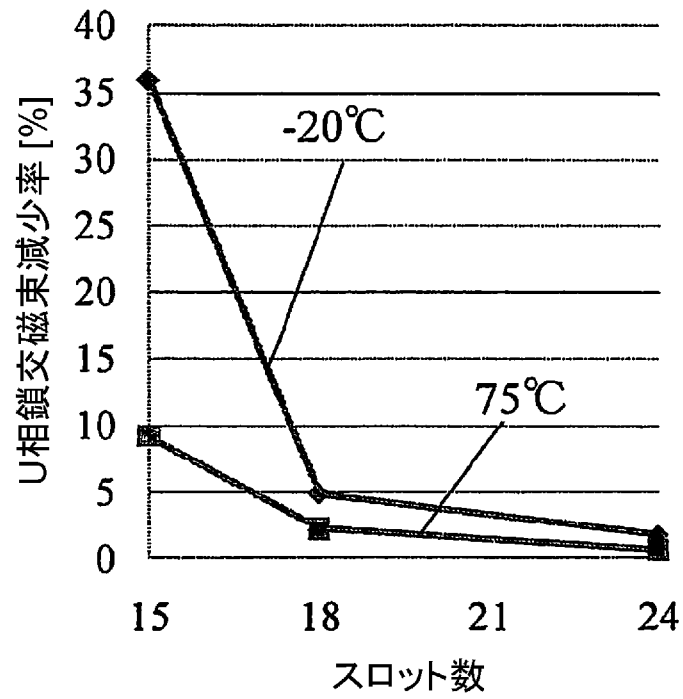
[図9]



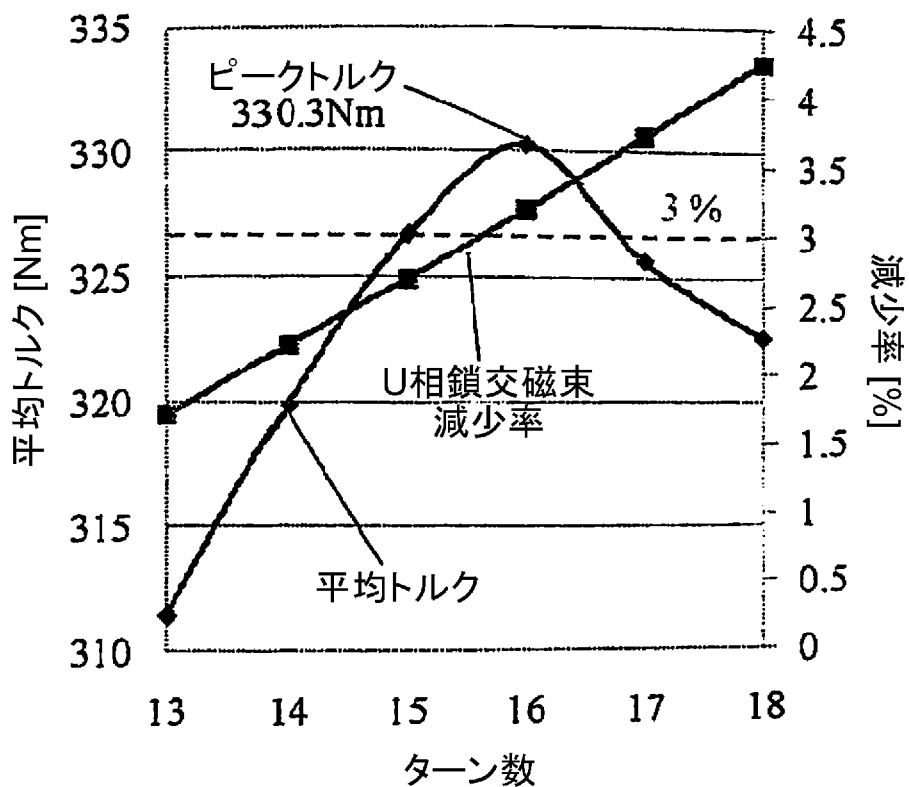
[図10]



[図11]

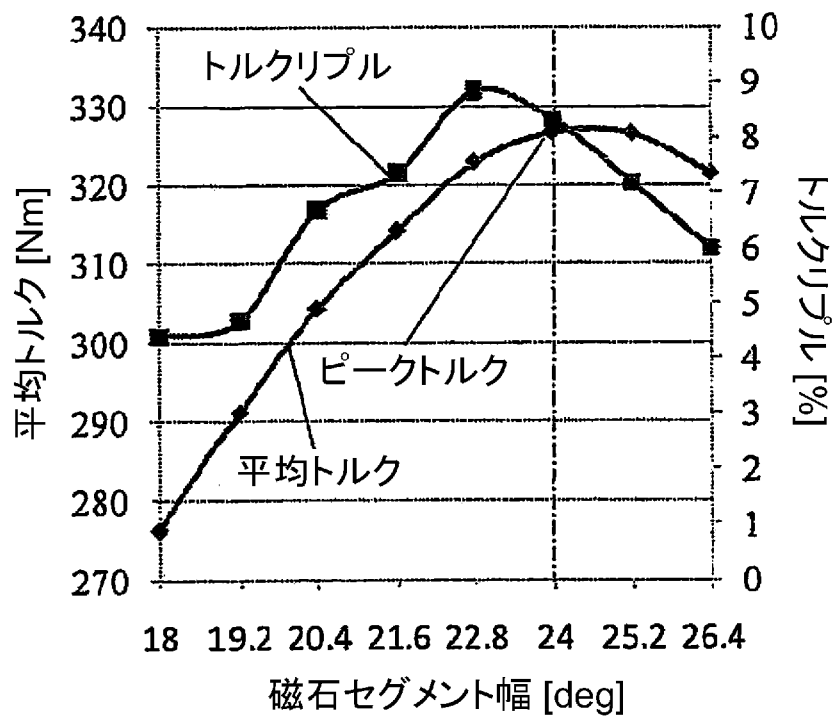


[図12]





[図13]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/067860

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
*H02K1/27(2006.01) i, H02K21/24(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, H02K21/24*

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 1996-2011*  
*Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011*

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	<i>JP 2001-136721 A (Toyota Motor Corp.), 18 May 2001 (18.05.2001), (Family: none)</i>	1-6
A	<i>JP 2005-151725 A (Equos Research Co., Ltd.), 09 June 2005 (09.06.2005), &amp; US 2005/0179336 A1</i>	1-6
A	<i>JP 2006-304562 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 02 November 2006 (02.11.2006), (Family: none)</i>	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search  
*06 January, 2011 (06.01.11)*

Date of mailing of the international search report  
*18 January, 2011 (18.01.11)*

Name and mailing address of the ISA/  
*Japanese Patent Office*

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# 特許協力条約

PCT

国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 FP10-0545-00	今後の手続きについては、様式PCT/ISA/220 及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 0 / 0 6 7 8 6 0	国際出願日 (日.月.年) 1 2 . 1 0 . 2 0 1 0	優先日 (日.月.年) 1 6 . 1 0 . 2 0 0 9
出願人 (氏名又は名称) 国立大学法人北海道大学		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条 (PCT18条) の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語に関し、この国際調査は以下のものに基づき行った。

出願時の言語による国際出願

出願時の言語から国際調査のための言語である \_\_\_\_\_ 語に翻訳された、  
この国際出願の翻訳文 (PCT規則12.3(a)及び23.1(b))

b.  この国際調査報告は、PCT規則91の規定により国際調査機関が認めた又は国際調査機関に通知された明らかな誤りの訂正を考慮して作成した (PCT規則43.6の2(a))。

c.  この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでいる (第I欄参照)。

2.  請求の範囲の一部の調査ができない (第II欄参照)。

3.  発明の単一性が欠如している (第III欄参照)。

4. 発明の名称は  出願人が提出したものを承認する。

次に示すように国際調査機関が作成した。  
\_\_\_\_\_

5. 要約は  出願人が提出したものを承認する。

第IV欄に示されているように、法施行規則第47条第1項 (PCT規則38.2) の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

## 6. 図面に関して

a. 要約書とともに公表される図は、

第 7 図とする。  出願人が示したとおりである。

出願人は図を示さなかったため、国際調査機関が選択した。

本図は発明の特徴を一層よく表しているため、国際調査機関が選択した。

b.  要約とともに公表される図はない。

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, H02K21/24(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, H02K21/24

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	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011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	JP 2001-136721 A (トヨタ自動車株式会社) 2001.05.18, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2005-151725 A (株式会社エクス・リサーチ) 2005.06.09, & US 2005/0179336 A1	1-6
A	JP 2006-304562 A (日産自動車株式会社) 2006.11.02, (ファミリーなし)	1-6

☐ 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

06.01.2011

国際調査報告の発送日

18.01.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 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)

尾家 英樹

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

3V

9335