

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7530028号
(P7530028)

(45)発行日 令和6年8月7日(2024.8.7)

(24)登録日 令和6年7月30日(2024.7.30)

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

請求項の数 3 (全15頁)

(21)出願番号	特願2024-511888(P2024-511888)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和5年3月20日(2023.3.20)	(74)代理人	100149548 弁理士 松沼 泰史
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/010902	(74)代理人	100140774 弁理士 大浪 一徳
(87)国際公開番号	WO2023/189824	(74)代理人	100134359 弁理士 勝俣 智夫
(87)国際公開日	令和5年10月5日(2023.10.5)	(74)代理人	100188592 弁理士 山口 洋
審査請求日	令和6年5月31日(2024.5.31)	(74)代理人	100217249 弁理士 堀田 耕一郎
(31)優先権主張番号	特願2022-53600(P2022-53600)	(74)代理人	100221279 弁理士 山口 健吾
(32)優先日	令和4年3月29日(2022.3.29)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

環状のステータと、
前記ステータ内に配置されたロータと、を備え、
前記ロータは、
ロータコアと、
前記ロータコアに埋め込まれるとともに1組で1つの磁極を構成し、前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に複数組配置された永久磁石と、を備える回転電機であって、
前記ロータコアは、
各組の前記永久磁石に対して、前記ロータの回転方向の両側に設けられた第1フラックスバリアと、
前記第1フラックスバリアに対して、前記ロータコアの径方向の外側に設けられた第1ブリッジと、を備え、
前記第1ブリッジは、前記ロータの回転方向の前方に設けられた前方ブリッジと、前記ロータの回転方向の後方に設けられた後方ブリッジと、を含み、
前記前方ブリッジの基準位置である前方基準位置を、前記ロータを軸方向から見た平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の前端と、を通過する前方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点とし、かつ、前記後方ブリッジの基準位置である後方基準位置を、前記平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の後端と、を通過する後方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点としたときに、

10

20

複数組の前記永久磁石のうち、少なくとも1組の前記永久磁石において、

前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $a/24$ (ラジアン) 以上 $a/8$ (ラジアン) 以下、後方に離れた位置に配置され

前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で 0 (ラジアン) 以上 $a/12$ (ラジアン) 以下、前方に離れた位置に配置されている、回転電機。

ただし、 a は、以下の(1)式を満たす。

$$a = 2 / (N s l o t) \dots (1)$$

ここで、上記(1)式中の $N s l o t$ は、前記ステータのスロット数を意味する。

10

【請求項2】

前記少なくとも1組の前記永久磁石において、

前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $a/12$ (ラジアン) 分、後方に離れた位置に配置され、

前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に配置されている、請求項1に記載の回転電機。

【請求項3】

前記永久磁石は、2つで一組をなして1つの磁極を構成し、

各組の前記永久磁石は、前方に位置する前方磁石と、後方に位置する後方磁石と、を含むとともに、前記平面視において前記径方向の内側に向けて凸となるV字状に配置され、前記前方ブリッジは、前記前方磁石の前方に設けられ、

20

前記後方ブリッジは、前記後方磁石の後方に設けられ、

前記平面視において、前記前方仮想線は、前記中心軸と前記前方磁石の前端とを通過し、前記後方仮想線は、前記中心軸と前記後方磁石の後端とを通過する、請求項1または2に記載の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機に関する。

本願は、2022年3月29日に、日本に出願された特願2022-053600号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

30

【背景技術】

【0002】

従来から、例えば下記特許文献1に記載の回転電機が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2018-198534号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0004】

この種の埋め込み型永久磁石同期モータ(IPMSM)において、トルクの向上に改善の余地があることを本願発明者は見出した。

【0005】

本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、トルクを向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

<1>本発明の一態様に係る回転電機は、環状のステータと、前記ステータ内に配置されたロータと、を備え、前記ロータは、ロータコアと、前記ロータコアに埋め込まれると

50

ともに1組で1つの磁極を構成し、前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に複数組配置された永久磁石と、を備える回転電機であって、前記ロータコアは、各組の前記永久磁石に対して、前記ロータの回転方向の両側に設けられた第1フラックスバリアと、前記第1フラックスバリアに対して、前記ロータコアの径方向の外側に設けられた第1ブリッジと、を備え、前記第1ブリッジは、前記ロータの回転方向の前方に設けられた前方ブリッジと、前記ロータの回転方向の後方に設けられた後方ブリッジと、を含み、前記前方ブリッジの基準位置である前方基準位置を、前記ロータを軸方向から見た平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の前端と、を通過する前方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点とし、かつ、前記後方ブリッジの基準位置である後方基準位置を、前記平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の後端と、を通過する後方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点としたときに、複数組の前記永久磁石のうち、少なくとも1組の前記永久磁石において、前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $a/24$ (ラジアン) 以上 $a/8$ (ラジアン) 以下、後方に離れた位置に配置され前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で 0 (ラジアン) 以上 $a/12$ (ラジアン) 以下、前方に離れた位置に配置されている。

10

ただし、 a は、以下の(1)式を満たす。

$$a = 2 / (N s l o t) \dots (1)$$

ここで、上記(1)式中の $N s l o t$ は、前記ステータの-slot数を意味する。また、一組の永久磁石は、1つ以上の永久磁石を含む。さらに、前方ブリッジの後端や後方ブリッジの前端は、各ブリッジのうち、各組の永久磁石によって発生する磁束の磁気飽和が生じる部分である。言い換えると、前方ブリッジの後端や後方ブリッジの前端は、各ブリッジのうち、磁束がロータからステータに渡り始める部分である。

20

【0007】

<2>上記<1>に係る回転電機では、前記少なくとも1組の前記永久磁石において、前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $a/12$ (ラジアン) 分、後方に離れた位置に配置され、前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に配置されている構成を採用してもよい。

【0008】

<3>上記<1>または<2>に係る回転電機では、前記永久磁石は、2つで一組をなして1つの磁極を構成し、各組の前記永久磁石は、前方に位置する前方磁石と、後方に位置する後方磁石と、を含むとともに、前記平面視において前記径方向の内側に向けて凸となるV字状に配置され、前記前方ブリッジは、前記前方磁石の前方に設けられ、前記後方ブリッジは、前記後方磁石の後方に設けられ、前記平面視において、前記前方仮想線は、前記中心軸と前記前方磁石の前端とを通過し、前記後方仮想線は、前記中心軸と前記後方磁石の後端とを通過する構成を採用してもよい。

30

【0009】

本願発明者は、前方ブリッジの後端の周方向の位置や後方ブリッジの前端の周方向の位置、言い換えると、第1ブリッジの開始位置が、トルクに影響を与えることを見出した。特に、前方ブリッジの後端の周方向の位置を、前方基準位置に対して回転方向の後方に配置することで、トルクが大きくなることを、本願発明者は見出した。

40

この現象は以下の原理に基づくと考えられる。

すなわち、1組の永久磁石が構成する磁極において生じる磁束がロータコア内で伝達される過程で、第1ブリッジの開始位置において磁気飽和が生じる。すると磁束が、ロータコア内から外部に向かい、ステータのティースに伝達される。そのため、第1ブリッジの開始位置は、磁束がステータに伝達される起点となる。ここで、前方ブリッジの後端が、前方基準位置に対して回転方向の後方に位置するほど、前方ブリッジからステータのティースに伝達される磁束線の向き(方向)は、ロータの径方向、言い換えるとティースの長手方向に対して傾斜し、その結果、磁束線が長くなる。このとき、磁束線が短くなるように力が発生し、この力によってロータが回転する結果、トルクが高まると考えられる。

50

以上の知見に基づいて、本願発明者は、前方ブリッジの後端の周方向の位置や後方ブリッジの前端の周方向の位置を、ステータのティースのピッチに対応する中心角である a (ラジアン) を単位として鋭意検討したところ、前述のように設定することで、高いトルクを出力できることを見出した。

なお、1つの磁極を構成する2つの第1フラックスバリアの配置・形状や2つの第1ブリッジの配置・形状は、一般に対称であることが多く、この種の回転電機において、2つの第1ブリッジの配置・形状を非対称に変化させたものは、一般には見られない。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、トルクを向上させることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の一実施形態に係る回転電機を示す図であって、一部断面を含む平面図である。

【図2】図1に示す回転電機に含まれるステータおよびロータの拡大平面図である。

【図3】図1に示す回転電機に含まれるロータの拡大平面図である。

【図4】図3に示すIV部の拡大平面図である。

【図5】図3に示すV部の拡大平面図である。

【図6】図1に示す回転電機を説明するための図であって、ロータの前方ブリッジの後端および後方ブリッジの前端がそれぞれの基準位置に位置する状態を示す拡大平面図である。

20

【図7】図1に示す回転電機を説明するための図であって、ロータの前方ブリッジの後端が、図5に示す位置に比べて後方に移動し、かつ、後方ブリッジの前端が、図5に示す位置に比べて前方に移動している状態を示す拡大平面図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る回転電機において、磁束の流れるイメージを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図1から図8を参照し、本発明の一実施形態に係る回転電機を説明する。回転電機は、電動機、具体的には交流電動機、より具体的には同期電動機、より一層具体的には永久磁石界磁型電動機である。この種の電動機は、例えば、電気自動車などに好適に採用される。

30

【0013】

図1および図2に示すように、回転電機10は、ステータ20と、ロータ30と、ケース50と、回転軸60と、を備える。ステータ20およびロータ30は、ケース50に收容される。ステータ20は、ケース50に固定される。回転電機10は、ロータ30がステータ20の内側に位置するインナーロータ型である。

【0014】

なお本実施形態では、回転電機10が、8極24スロットの三相交流モータである。しかしながら、例えば極数やスロット数、相数などは適宜変更することができる。

また回転電機10において、ステータ20およびロータ30の軸線は共通軸上にある。以下では、この共通軸を中心軸線O(ロータ30の中心軸)という。中心軸線O方向(後述するロータコア31の軸方向)を軸方向といい、中心軸線Oに直交する方向(後述するロータコア31の径方向)を径方向といい、中心軸線O周りに周回する方向(後述するロータコア31の周方向)を周方向という。

40

【0015】

ステータ20は、ステータコア21と、図示しない巻線と、を備える。

ステータコア21は、筒状(円筒状)のコアバック22(ヨーク)と、複数のティース23と、を備える。

【0016】

コアバック22は、回転電機10を軸方向から見た平面視において円環状に形成されて

50

いる。

複数のティース 2 3 は、コアバック 2 2 から径方向の内側に向けて（径方向に沿ってコアバック 2 2 の中心軸線 O に向けて）突出する。複数のティース 2 3 は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線 O を中心とする中心角 1 5 度おきに 2 4 個のティース 2 3 が設けられている。複数のティース 2 3 は、互いに同等の形状で、かつ同等の大きさに形成されている。周方向に隣り合うティース 2 3 の間は、スロット 2 4 である。

前記巻線は、ティース 2 3 に巻き回されている。前記巻線は、集中巻きされていてよく、分布巻きされていてよい。

【 0 0 1 7 】

図 3 に示すように、ロータ 3 0 は、ステータ 2 0（ステータコア 2 1）に対して径方向の内側に配置されている。ロータ 3 0 は、ロータコア 3 1 と、複数の永久磁石 3 2 と、を備える。

ロータコア 3 1 は、ステータ 2 0 と同軸に配置される筒状（円筒状）に形成されている。ロータコア 3 1 内には、前記回転軸 6 0 が配置されている。回転軸 6 0 は、ロータコア 3 1 と一緒に回転するように、ロータコア 3 1 に固定されている。

複数の永久磁石 3 2 は、ロータコア 3 1 に固定されている。本実施形態では、2 つ 1 組の永久磁石 3 2 が 1 つの磁極 3 3 を形成している。複数組の永久磁石 3 2 は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線 O を中心とする中心角 4 5 度おきに 8 組（全体では 1 6 個）の永久磁石 3 2 が設けられている。

【 0 0 1 8 】

回転電機 1 0 は、埋込磁石型モータである。ロータコア 3 1 には、ロータコア 3 1 を軸方向に貫通する複数の貫通孔 3 4 が形成されている。複数の貫通孔 3 4 は、複数の永久磁石 3 2 に対応して設けられている。各永久磁石 3 2 は、対応する貫通孔 3 4 内に配置された状態でロータコア 3 1 に固定されている。各永久磁石 3 2 のロータコア 3 1 への固定は、例えば永久磁石 3 2 の外面と貫通孔 3 4 の内面とを接着剤により接着すること等により、実現することができる。

【 0 0 1 9 】

なお、ステータコア 2 1 およびロータコア 3 1 としては、積層コアを採用することが可能である。積層コアは、複数の電磁鋼板が積層されることで形成されている。積層された電磁鋼板同士は、例えば、かしめや接着、溶接などにより固定されている。

ステータコア 2 1 およびロータコア 3 1 を形成する各電磁鋼板は、例えば、母材となる電磁鋼板を打ち抜き加工すること等により形成される。電磁鋼板としては、公知の電磁鋼板を用いることができる。電磁鋼板の化学組成は特に限定されない。本実施形態では、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板を採用している。無方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2 5 5 2 : 2 0 1 4 の無方向性電磁鋼帯を採用することができる。しかしながら、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板に代えて方向性電磁鋼板を採用することも可能である。方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2 5 5 3 : 2 0 1 2 の方向性電磁鋼帯を採用することができる。

【 0 0 2 0 】

電磁鋼板の加工性や、積層コアの鉄損を改善するため、電磁鋼板の両面には、絶縁被膜が設けられている。絶縁被膜を構成する物質としては、例えば、（ 1 ）無機化合物、（ 2 ）有機樹脂、（ 3 ）無機化合物と有機樹脂との混合物、などが適用できる。無機化合物としては、例えば、（ 1 ）重クロム酸塩とホウ酸の複合物、（ 2 ）リン酸塩とシリカの複合物、などが挙げられる。有機樹脂としては、エポキシ樹脂、アクリル系樹脂、アクリルスチレン系樹脂、ポリエステル系樹脂、シリコン系樹脂、フッ素系樹脂などが挙げられる。

【 0 0 2 1 】

以下、ロータ 3 0 の詳細について説明する。

図 3 に示すように、永久磁石 3 2 は、前述したように、ロータコア 3 1 に埋め込まれるとともに 2 つで対をなして 1 つの磁極 3 3 を構成している。永久磁石 3 2 は、ロータコア

10

20

30

40

50

3 1 に、周方向に複数対（図示の例では 8 対）配置されている。図示の例では、永久磁石 3 2 は、直方体状である。永久磁石 3 2 は、平面視において矩形状である。

【 0 0 2 2 】

一对の永久磁石 3 2 は、前記平面視において、径方向の内側に向けて凸となる V 字状に配置されている。一对の永久磁石 3 2 は、前記平面視において、d 軸 A を基準として線対称に配置されている。d 軸 A は、前記平面視において、中心軸線 O と、各磁極 3 3 の周方向の中央と、を通過する。一对の永久磁石 3 2 が配置される貫通孔 3 4 も同様に、d 軸 A を基準として概ね線対称に配置されている。

【 0 0 2 3 】

貫通孔 3 4 は、前記平面視において、永久磁石 3 2 よりも q 軸 B 側、および、d 軸 A 側の両側に大きい。q 軸 B は、前記平面視において、中心軸線 O と、周方向に隣り合う 2 つの磁極 3 3 の間と、を通過する。q 軸 B は、前記平面視において、前記 2 つの磁極 3 3 の間における周方向の中央を通過する。q 軸 B と d 軸 A とは、磁氣的、電氣的に直交する。貫通孔 3 4 のうち、永久磁石 3 2 に対して q 軸 B 側、および、d 軸 A 側それぞれに位置する部分は、フラックスバリア 3 5、3 6 となっている。言い換えると、永久磁石 3 2 の q 軸 B 側、および、d 軸 A 側の両端には、フラックスバリア 3 5、3 6 が設けられている。フラックスバリア 3 5、3 6 は、ロータコア 3 1 を軸方向に貫通する磁氣的空隙部である。フラックスバリア 3 5、3 6 は、ロータ 3 0 内で還流する永久磁石 3 2 からの磁石磁束（以下、還流磁束ともいう）を低減したり、永久磁石 3 2 からステータ 2 0 へ向かう磁石磁束の流入経路を変化させたりする。これにより、永久磁石 3 2 の磁石磁束（以下、単に磁石磁束）がステータ 2 0 に効果的に伝達されて高いトルクが出力される。フラックスバリア 3 5、3 6 は、磁石磁束をステータ 2 0 に誘導するともいえる。

【 0 0 2 4 】

ロータ 3 0 は、フラックスバリア 3 5、3 6 として、第 1 フラックスバリア 3 5 と、第 2 フラックスバリア 3 6 と、を備えている。第 1 フラックスバリア 3 5 および第 2 フラックスバリア 3 6 は、永久磁石 3 2 を両端から挟む。これにより、磁石磁束がステータ 2 0 に効果的に伝達され易くなる。

第 1 フラックスバリア 3 5 は、一つの永久磁石 3 2 から最も近い q 軸 B 側に位置する。第 1 フラックスバリア 3 5 は、一对の永久磁石 3 2 の周方向（回転方向）の両外側に位置する。第 2 フラックスバリア 3 6 は、一つの永久磁石 3 2 から最も近い d 軸 A 側に位置する。一对の永久磁石 3 2 の周方向（回転方向）の中央に位置する。

【 0 0 2 5 】

第 1 フラックスバリア 3 5 は、一つの永久磁石 3 2 から最も近い q 軸 B 側の端面からロータコア 3 1 の径方向の外側に広がる。第 1 フラックスバリア 3 5 は、第 1 空間 3 7 と、第 2 空間 3 8 と、を備えている。第 1 空間 3 7 には、一つの永久磁石 3 2 から最も近い q 軸 B 側の端面が露出する。第 1 空間 3 7 は、前記平面視において、一つの永久磁石 3 2 から最も近い q 軸 B 側に延びる。第 1 空間 3 7 は、前記平面視において、q 軸 B 側に凸となる三角形状である。第 1 空間 3 7 の径方向の空間幅は、一つの永久磁石 3 2 から最も近い q 軸 B 側に離れるに従い小さくなっている。第 2 空間 3 8 は、第 1 空間 3 7 に連通する。第 2 空間 3 8 の少なくとも一部は、第 1 空間 3 7 に対して径方向の外側に位置する。前記平面視において、第 2 空間 3 8 は矩形状である。前記平面視において、第 2 空間 3 8 の面積は第 1 空間 3 7 の面積よりも狭い。

【 0 0 2 6 】

第 1 フラックスバリア 3 5 に対する径方向の外側には、第 1 ブリッジ 3 9 が設けられている。第 1 ブリッジ 3 9 は、ロータコア 3 1 の一部である。第 1 ブリッジ 3 9 は、ロータコア 3 1 のうち、第 1 フラックスバリア 3 5 に対して径方向の外側に位置する部分である。第 1 ブリッジ 3 9 があることで、第 1 ブリッジ 3 9 がない場合に比べて、ロータコア 3 1 に遠心耐力が向上する。第 1 ブリッジ 3 9 は、ロータコア 3 1 における外周に力学的な強度を担保する。第 1 ブリッジ 3 9 の径方向の幅が十分細いと、磁束が第 1 ブリッジ 3 9 を通過することが磁気飽和によって妨げられ、磁石磁束の還流が防がれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 7 】

第1ブリッジ39の幅（径方向の大きさ）は、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅よりも、局所的に小さくなっている。

なお第1ブリッジ39の長さ（周方向の大きさ）や幅は、回転電機10の回転速度や形により適切に設計される。例えば、第1ブリッジ39の幅が、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅に対して、小さくなっているものの、局所的に小さくなっていなくてもよい。例えば、第1ブリッジ39の幅が、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅に対して連続的に小さくなっているもよい。この場合、例えば、ロータコア31の外周部分において、径方向の大きさ（幅）が、ロータコア31の外径の1%以下となっている部分を、第1ブリッジ39としてもよい。また、第1フラックスバリア35の形状や大きさなども、本実施形態に示した態様に限られない。

10

【 0 0 2 8 】

第2フラックスバリア36は、第1空間37を備え、一つの永久磁石32から最も近いd軸A側の端面が露出する。第1空間37は、前記平面視において、一つの永久磁石32から最も近いd軸A側に延びる。各磁極33において対をなす2つの第2フラックスバリア36の間には、第2ブリッジ40が設けられている。第2ブリッジ40は、周方向よりも径方向に長い。第2ブリッジ40は、第2ブリッジ40において磁束飽和を起こさせ、磁気回路の形成を阻害させる。第2ブリッジ40は、d軸A上に位置する。

20

【 0 0 2 9 】

ここで、以下において回転電機10の回転方向（周方向）の前方を、単に前方Fとし、回転方向の後方を、単に後方Rとする。なお、中心軸線O回りの両方向に回転可能な回転電機10の場合、上記回転方向とは、回転電機10が主に回転する回転方向を意味する。また図示の例では、紙面を見たときにおける反時計回りを前方Fとし、時計回りを後方Rとする。

【 0 0 3 0 】

一对の永久磁石32は、前方磁石32fと、後方磁石32rと、を含む。前方磁石32fは、後方磁石32rに対して前方F側に位置する。

1つの磁極33に含まれる2つの第1ブリッジ39は、前方ブリッジ39fと、後方ブリッジ39rと、を含む。前方ブリッジ39fは、前方磁石32fに対して設けられている。前方ブリッジ39fは、前方磁石32fに対して前方F側（q軸B側）、かつ、径方向の外側に位置する。前方ブリッジ39fは、一对の第1フラックスバリア35のうち、前方F側に位置する第1フラックスバリア35に対する径方向の外側に位置する。後方ブリッジ39rは、後方磁石32rに対して設けられている。後方ブリッジ39rは、後方磁石32rに対して後方R側（q軸B側）、かつ、径方向の外側に位置する。後方ブリッジ39rは、一对の第1フラックスバリア35のうち、後方R側に位置する第1フラックスバリア35に対する径方向の外側に位置する。

30

【 0 0 3 1 】

前方ブリッジ39fに対する基準位置を前方基準位置Pfとし、後方ブリッジ39rに対する基準位置を後方基準位置Prとして、それぞれ以下のように定義する。前方基準位置Pfは、前記平面視において、中心軸線Oと、前方磁石32fの前方F側の周方向前端と、を通過する前方仮想線L1と前記ロータコア31の外周面との交点とする。後方基準位置Prは、前記平面視において、中心軸線Oと、後方磁石32rの後方R側の周方向後端と、を通過する後方仮想線L2とロータコア31の外周面との交点とする。

40

【 0 0 3 2 】

そして本実施形態では、図3および図4に示すように、最も後方R側に位置する前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $a/24$ （ラジアン）以上 $a/8$ （ラジアン）以下、後方R側に離れた位置に配置されている。最も前方F側に位置する後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で 0 （ラジアン）以上 $a/12$ （

50

ラジアン)以下、前方F側に離れた位置に配置されている。

ただし、 a は、以下の(1)式を満たす。

$$a = 2 / (N s l o t) \dots (1)$$

ここで、上記(1)式中の $N s l o t$ は、ステータ20の-slot数を意味する。

最も後方R側に位置する前方ブリッジ39fの後端39f1は、好ましくは、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $3 a / 48$ (ラジアン)以上 $5 a / 48$ (ラジアン)以下、後方R側に離れた位置に配置されている。

最も前方F側に位置する後方ブリッジ39rの前端39r1は、好ましくは、後方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で0(ラジアン)以上 $a / 48$ (ラジアン)以下、前方F側に離れた位置に配置されている。

【0033】

さらに本実施形態では、図4に示すように、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $a / 12$ (ラジアン)分、後方R側に離れた位置に配置されている。図5に示すように、後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに配置されている。

【0034】

ここで、前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39のうち、各組の永久磁石32によって発生する磁束の磁気飽和が生じる部分である。言い換えると、前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39のうち、磁束がロータ30からステータ20に渡り始める部分である。前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39における磁気飽和開始位置である。前方ブリッジ39fにおける磁気飽和開始位置は、後端39f1の磁気飽和開始位置のうちの後方R側の周方向端部位置である。後方ブリッジ39rにおける磁気飽和開始位置は、前端39r1の磁気飽和開始位置のうちの前方F側の周方向端部位置である。磁気飽和開始位置は、前方ブリッジ39f及び後方ブリッジ39rとロータコア31の外周面との距離が最短となる位置である。ブリッジ39の磁気飽和開始位置は、例えば、電磁界解析などにより得られた磁束密度の絶対値について、ロータコアに使用されている磁性材料の飽和磁束密度を超過する位置として求めてもよい。電磁界解析に代えて、実物を使用した実験を採用してもよい。磁気飽和開始位置は、上記したいずれか1つの方法または2つ以上の方法によって特定することができる。

前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、第1ブリッジ39において、第1ブリッジ39ではない部分との境界となる。前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、ロータコア31のうち、第1フラックスバリア35と、ロータコア31の外周面と、を径方向に最短距離で結ぶ領域として規定される。後方ブリッジ39rの前端39r1及び前方ブリッジ39fの後端39f1は、第1フラックスバリア35と中心軸線Oとを通過する仮想線上の一部の領域である。

図8に、本実施形態に係る回転電機において、磁束の流れのイメージを示す。図8中の矢印A1、A2は、磁束の流れを意味する。矢印A1は、磁束の大まかな流れを示す。矢印A2は、各位置における磁束密度ベクトルを示す。図8に示すように、前方ブリッジ39fにおいては、前方ブリッジ39fの後端39f1でステータ20に磁束が渡る。後方ブリッジ39rにおいては、後方ブリッジ39rの前端39r1の位置により磁極33側に侵入する磁束量が変化する

【0035】

例えば、ロータコア31のうち、前方F側の第1フラックスバリア35と、ロータコア31の外周面と、によって径方向に挟まれる部分(以下、第1部分という)における後方Rの端における幅(径方向の大きさ)が十分狭い場合、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前記後方Rの端とすることができる。この場合、第1部分が第1フラックスバリア35の全長(周方向の長さ)にわたって前方ブリッジ39fとなる。この場合において、前方ブリッジ39fにおける後端39f1よりも前方F側において、前方ブリッジ39f

10

20

30

40

50

の幅が後端 39f1 よりも狭くなっているとしてもよいし、広がっているとしてもよい。言い換えると、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 が磁気飽和開始位置であれば、前方ブリッジ 39f において後端 39f1 よりも前方に位置する部分は、後端 39f1 よりも径方向に大きくても小さくてもよい。

また、ロータコア 31 のうち、後方 R 側の第 1 フラックスバリア 35 と、ロータコア 31 の外周面と、によって径方向に挟まれる部分（以下、第 2 部分という）における前方 F 側の端の幅が十分狭い場合、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は、前記前方 F 側の端とすることができる。この場合、第 2 部分が第 1 フラックスバリア 35 の全長（周方向の長さ）にわたって後方ブリッジ 39r となる。この場合において、後方ブリッジ 39r における前端 39r1 よりも後方 R 側において、後方ブリッジ 39r の幅が前端 39r1 よりも狭くなっているとしてもよいし、広がっているとしてもよい。

10

【0036】

さらに例えば、第 1 部分の後方 R 側の端の幅が十分狭くない場合、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 は、第 1 部分において前記幅が十分に狭い領域のうち、最も後方 R 側に位置する領域とすることができる。この場合、第 1 部分の一部が前方ブリッジ 39f となり、第 1 部分における周方向の後方 R 側の端よりも前方 F 側に、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 が位置する。

また、第 2 部分の前方 F 側の端の幅が十分狭くない場合、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は、第 2 部分において前記幅が十分に狭い領域のうち、最も前方 F 側に位置する領域とすることができる。この場合、第 2 部分の一部が前方ブリッジ 39f となり、第 2 部分における周方向の前方 F 側の端よりも後方 R 側に、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 が位置する。

20

【0037】

なお、上記いずれの場合においても、第 1 部分や第 2 部分の幅が十分に狭いことは、例えば、幅が、ロータコア 31 の外径の 1% 以下であることを意味しているとしてもよい。また、第 1 部分や第 2 部分の幅が十分に狭いことは、例えば、幅が、0.3 mm 以下あることを意味しているとしてもよい。また、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 や後方ブリッジ 39r の前端 39r1 を特定するため、回転電機 10 をソフトウェア上で再現し、電磁場解析を実施してもよい。

【0038】

ここで、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 と前方基準位置 Pf についての中心角は、前方ブリッジ 39f に関する仮想線 L1a と、前方仮想線 L1 と、についての、中心軸線 O を中心とする中心角である。前記仮想線 L1a とは、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 と、中心軸線 O と、を通過する仮想線である。なお、前方仮想線 L1 と仮想線 L1a とのなす角を t とすると、 $(a/24) - t$ ($a/8$) となり、本実施形態では、 $t = (a/12)$ である。

30

【0039】

また、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 と後方基準位置 Pr についての中心角は、後方ブリッジ 39r に関する仮想線 L2a と、後方仮想線 L2 と、についての、中心軸線 O を中心とする中心角である。前記仮想線 L2a とは、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 と、中心軸線 O と、を通過する仮想線である。また、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 と後方基準位置 Pr についての中心角が 0 (ラジアン) であること、言い換えると、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 が、後方基準位置 Pr に配置されていることは、前述の仮想線 L2a と後方仮想線 L2 とが一致していることを意味する。なお、後方仮想線 L2 と仮想線 L2a とのなす角を s とすると、 $0 - s$ ($a/12$) となり、本実施形態では、 $s = 0$ である。

40

【0040】

本願発明者は、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 の周方向の位置や後方ブリッジ 39r の前端 39r1 の周方向の位置（以下、これらの位置を総称して、第 1 ブリッジ 39 の開始位置という）が、トルクに影響を与えることを見出した。特に、前方ブリッジ 39f

50

の後端 39f1 の周方向の位置を、前方基準位置 Pf に対して回転方向の後方 R に配置することで、トルクが大きくなることを、本願発明者は見出した。

【0041】

この知見は、以下の過程を経て得られた。

本願発明者は、ロータコア 31 の形状最適化の解析を実施した。この解析は、特開 2021-114099 号公報記載の内容に基づく。本願発明者は、解析を、異なる複数の進角を前提として複数回実施した。各解析の結果となるロータコア 31 の形状は、前提となった進角に応じて最適な形状であると言える。本願発明者は、複数種類の進角についての最適な形状を解析した結果のうち、最もトルクが高くなる結果（形状）について分析した。なおこのときの進角は 50 度であった。

10

【0042】

この結果に係るロータコア 31 では、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 は前方基準位置 Pf に対して後方 R 側、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は後方基準位置 Pr に対して前方 F 側に移動していた。

よって、この解析結果においてトルクが最大となる最適形状と同様の傾向で、前方ブリッジ 39f の位置を周方向に変化させることでトルクを向上できると考えた。

【0043】

なお、この現象は以下の原理に基づくと考えられる。

すなわち、一对の永久磁石 32 が構成する磁極 33 において生じる磁束がロータコア 31 内で伝達される過程で、第 1ブリッジ 39 の開始位置において磁気飽和が生じる。すると磁束が、ロータコア 31 内から外部に向かい、ステータ 20 のティースに伝達される。そのため、第 1ブリッジ 39 の開始位置は、磁束がステータ 20 に伝達される起点となる。ここで、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 が、前方基準位置 Pf に対して回転方向の後方 R に位置するほど、前方ブリッジ 39f からステータ 20 のティース 23 に伝達される磁束線の向き（方向）は、ロータ 30 の径方向、言い換えるとティース 23 の長手方向に対して傾斜し、その結果、磁束線が長くなる。このとき、磁束線が短くなるように力が発生してこの力によってロータ 30 が回転する結果、トルクが高まると考えられる。

20

【0044】

以上の知見に基づいて、本願発明者は、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 の周方向の位置や後方ブリッジ 39r の前端 39r1 の周方向の位置を、ステータ 20 のティースのピッチに対応する中心角である a （ラジアン）を単位として鋭意検討したところ、前述のように設定することで、高いトルクを出力できることを見出した。

30

【0045】

この知見は、以下の過程を経て得られた。

本願発明者は、新たな解析を実施した。対象とする回転電機 10 は、図 3、図 6 および図 7 に示すロータ 30、30A、30B を含む回転電機 10 である。この回転電機 10 では、前述したようにスロット数が 24 スロットであるため、 $a = 15$ 度である。この回転電機 10 において、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 の位置を 0.625 度ずつ（すなわち、 $(a/24)$ 度ずつ）、後方 R 側に移動させ、かつ、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 の位置を 0.625 度ずつ、前方 F 側に移動させた形状を前提として解析を実施し、トルクの値を評価した。なお図 3 に示すロータ 30 では、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 は、前方基準位置 Pf に対して後方 R 側に 1.25° 移動し、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は、後方基準位置 Pr に位置する。図 6 に示すロータ 30A では、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 は、前方基準位置 Pf に位置し、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は、後方基準位置 Pr に位置する。図 7 に示すロータ 30B では、前方ブリッジ 39f の後端 39f1 は、前方基準位置 Pf に対して後方 R に 0.625° 移動し、後方ブリッジ 39r の前端 39r1 は、後方基準位置 Pr に対して前方 F に 0.625° 移動している。なお図 7 において、仮想線 L1a、L2a は省略している。

40

【0046】

解析条件は表 1 の通りである。解析結果は、表 2 の通りである。なお表 2 では、前方ブ

50

リッジ39f、後方ブリッジ39rとも、移動角度が0度を基準の100として、結果を正規化している。

【0047】

【表1】

電流	20Apeak
進角	50°
周波数	50Hz
磁石残留磁束密度	0.4T
ロータ径	27mm

10

【0048】

【表2】

		回転前方ブリッジ				
		0°	-0.625°	-1.25°	-1.875°	-2.5°
回転後方ブリッジ	-0.625°	99.9	99.5	100.0	99.4	-
	0°	100.0	100.6	100.9	100.6	99.8
	+0.625°	99.9	100.6	100.6	100.6	99.9
	+1.25°	99.6	100.4	100.4	100.3	99.1
	+1.875°	-	99.2	99.2	99.3	-

20

【0049】

表2に太枠（ハッチング内）で示すように、前方ブリッジ39fの後端39f1を後方R側に0.625度以上1.875度以下（すなわち、 $(a/24)$ 度以上 $(a/8)$ 度以下）、後方ブリッジ39rの前端39r1を0度以上1.25度以下（すなわち、0度以上 $(a/12)$ 度以下）、前方F側の範囲で移動させることで、基準形状よりトルクが向上することが確認された。また、前方ブリッジ39fの後端39f1を後方R側に1.25度（すなわち、 $(a/12)$ 度以下）移動し、かつ、後方ブリッジ39rの前端39r1の移動角度が0度である場合、トルクが最大となることが確認できた。

30

なお、移動角度は、シミュレーションモデルで測定した。具体的には、シミュレーションモデル上のブリッジ部に含まれる節点の座標から測定した。

【0050】

なお、1つの磁極33を構成する2つの第1フラックスバリア35の配置・形状や2つの第1ブリッジ39の配置・形状は、一般に対称であることが多く、この種の回転電機10において、2つの第1ブリッジ39の配置・形状を非対称に変化させたものは、一般には見られない。

40

【0051】

なお、本発明の技術的範囲は前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

【0052】

ステータ20の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ステータコア21の外径および内径の寸法、積厚、スロット数、ティース23の周方向と径方向の寸法比率、ティース23とコアバック22との径方向の寸法比率、などは所望の回転電機10の特性に応じて任意に設計可能である。

【0053】

50

ロータ 30 の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ロータコア 31 の外径および内径の寸法、積厚、極数などは所望の回転電機 10 の特性に応じて任意に設計可能である。

【0054】

前記実施形態では、ステータコア 21 およびロータコア 31 がいずれも積層コアであるとしたが、積層コアでなくてもよい。

第 2 フラックスバリア 36 がなくてもよい。

【0055】

前記実施形態では、1つの磁極 33 が 2つの永久磁石 32 で構成されている。しかしながら、本発明はこれに限られない。例えば、1つの磁極 33 が、1つの永久磁石 32 や 3つの永久磁石 32、4つ以上の永久磁石 32 によって構成されていてもよい。1組の永久磁石 32 として、1つ以上の永久磁石 32 を含む他の形態が適宜採用される。

例えば、1組の永久磁石 32 が 1つの永久磁石 32 である場合、この 1つの永久磁石 32 が、前記平面視において、d 軸 A に直交する方向に長い長方形状であってもよい。

例えば、1組の永久磁石 32 が 3つの永久磁石 32 である場合であって、3つの永久磁石 32 が周方向に並んでいる場合には、以下のような配置であってもよい。この場合、周方向の中央に位置する永久磁石 32 が、前記平面視において、d 軸 A に直交する方向に長い長方形状であってもよい。さらにこの場合、周方向の両側に位置する 2つの永久磁石 32 が、前記平面視において、d 軸 A 側から q 軸 B 側に向かうに従い、径方向の外側に延びていてもよい。

【0056】

その他、本発明の趣旨に逸脱しない範囲で、前記実施形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能であり、また、前記した変形例を適宜組み合わせてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0057】

本発明によれば、トルクを向上させることができる。よって、産業上の利用可能性は大である。

【符号の説明】

【0058】

- 10 回転電機
- 20 ステータ
- 21 ステータコア
- 22 コアバック
- 23 ティース
- 24 スロット
- 30 ロータ
- 30A ロータ
- 30B ロータ
- 31 ロータコア
- 32 永久磁石
- 32f 前方磁石
- 32r 後方磁石
- 33 磁極
- 34 貫通孔
- 35 第 1 フラックスバリア
- 36 第 2 フラックスバリア
- 37 第 1 空間
- 38 第 2 空間
- 39 第 1 ブリッジ

10

20

30

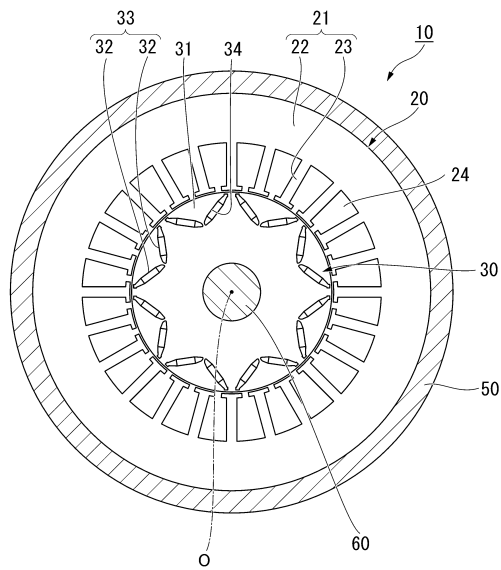
40

50

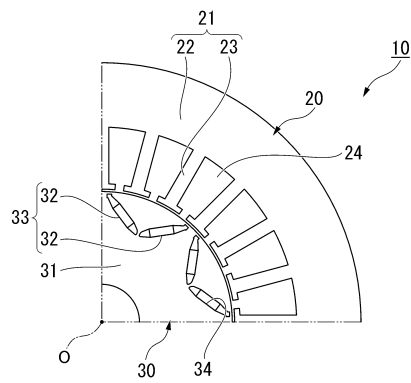
- 39f 前方ブリッジ
- 39f1 後端
- 39r 後方ブリッジ
- 39r1 前端
- 40 第2ブリッジ
- 45 中心角
- 50 ケース
- 60 回転軸
- F 前方
- L1 前方仮想線
- L1a 仮想線
- L2 後方仮想線
- L2a 仮想線
- O 中心軸線(中心軸)
- Pf 前方基準位置
- Pr 後方基準位置
- R 後方

【図面】

【図1】



【図2】



10

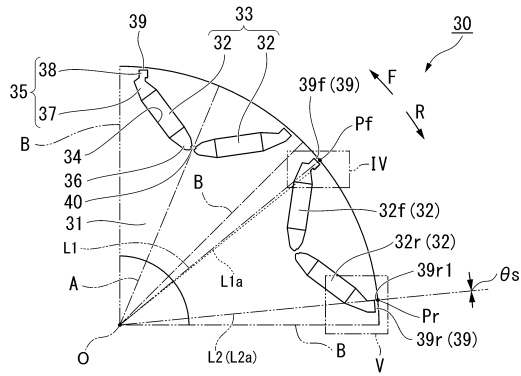
20

30

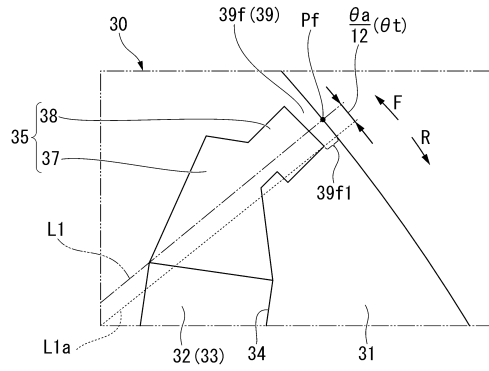
40

50

【 図 3 】

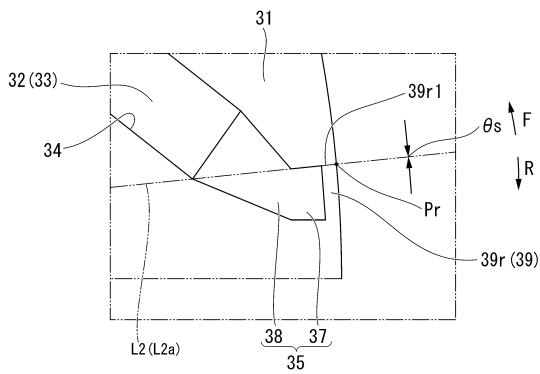


【 図 4 】

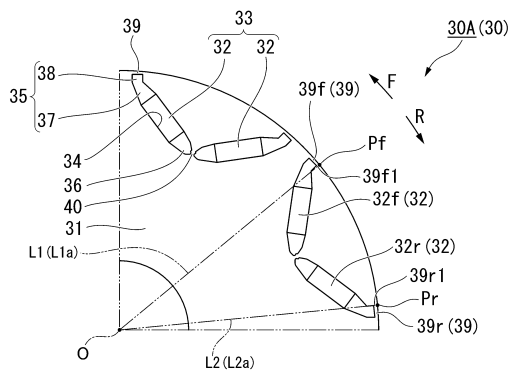


10

【 図 5 】

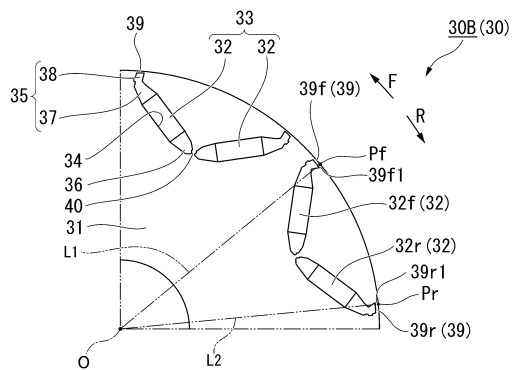


【 図 6 】

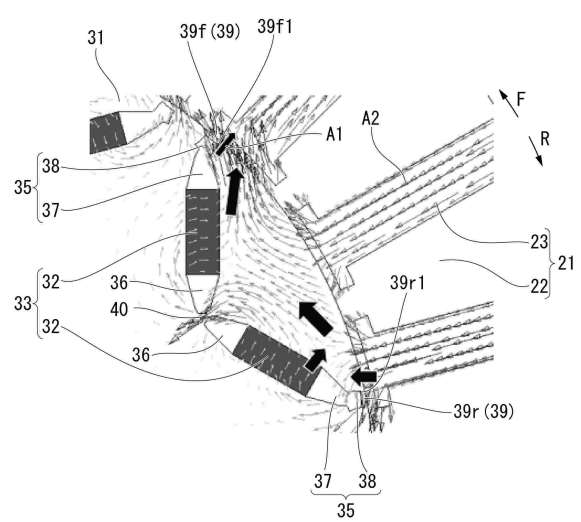


20

【 図 7 】



【 図 8 】



30

40

フロントページの続き

- (74)代理人 100207686
弁理士 飯田 恭宏
- (74)代理人 100224812
弁理士 井口 翔太
- (72)発明者 本間 励
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- 審査官 保田 亨介
- (56)参考文献 特開2019-161795(JP,A)
特開2017-093099(JP,A)
特開2014-093859(JP,A)
特開2017-050965(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02K1/00-1/34
15/03
21/00-21/48