

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6331949号
(P6331949)

(45) 発行日 平成30年5月30日 (2018.5.30)

(24) 登録日 平成30年5月11日 (2018.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

H O 2 K 19/12 (2006.01)

H O 2 K 19/12 Z H V

H O 2 K 1/26 (2006.01)

H O 2 K 1/26 A

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-209866 (P2014-209866)
 (22) 出願日 平成26年10月14日 (2014.10.14)
 (65) 公開番号 特開2016-82640 (P2016-82640A)
 (43) 公開日 平成28年5月16日 (2016.5.16)
 審査請求日 平成29年6月5日 (2017.6.5)

(73) 特許権者 000002082
 スズキ株式会社
 静岡県浜松市南区高塚町300番地
 (74) 代理人 110001520
 特許業務法人日誠国際特許事務所
 (72) 発明者 青山 真大
 静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズ
 キ株式会社内

審査官 池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

通電により磁束を発生させる複数の電機子極コイルを有するステータと、前記ステータからの前記磁束により回転するロータと、を備えるモータであって、

前記ロータは、前記ステータに向かって延伸する突極形状に形成されて並列されている複数の主突極部と、前記主突極部の並列方向の側面間で前記ステータに向かって延伸する突極形状に形成されて並列されている複数の補助突極部と、が形成されており、

前記主突極部および前記補助突極部は、前記電機子極コイルで発生する前記磁束に含まれる空間高調波成分が鎖交することにより誘導電流を発生させる誘導コイルと、前記誘導コイルで発生した前記誘導電流を通電させて電磁力を発生させる電磁石コイルと、を有する、モータ。

10

【請求項 2】

前記主突極部は、d 軸磁路で発生する磁束に重畳する空間高調波成分が前記ステータに対向する端面から鎖交するように形成され、

前記補助突極部は、q 軸磁路で発生する磁束に重畳する空間高調波成分が前記ステータに対向する端面から鎖交するように形成されている、請求項 1 に記載のモータ。

【請求項 3】

前記誘導コイルは、前記主突極部および前記補助突極部の前記端面側に配置され、

前記電磁石コイルは、前記主突極部および前記補助突極部の前記端面から離隔する回転軸側に配置されている、請求項 1 または請求項 2 に記載のモータ。

20

【請求項 4】

前記主突極部に配置される前記誘導コイルと、前記補助突極部に配置される前記電磁石コイルとを第 1 の整流回路に接続し、

前記補助突極部に配置される前記誘導コイルと、前記主突極部に配置される前記電磁石コイルとを第 2 の整流回路に接続し、

前記第 1 の整流回路および前記第 2 の整流回路は、前記誘導コイルで発生する前記誘導電流を整流して直流界磁電流として前記電磁石コイルに通電する、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のモータ。

【請求項 5】

前記第 1 の整流回路および前記第 2 の整流回路は、個々に電氣的に独立する回路構成になっている、請求項 4 に記載のモータ。

10

【請求項 6】

前記第 1 の整流回路および前記第 2 の整流回路は、それぞれ前記誘導コイルで発生する前記誘導電流を全波整流する回路構成になっている、請求項 4 または請求項 5 に記載のモータ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、自励式巻線界磁機能を有する電磁石をロータ側に備えるモータに関する。

20

【背景技術】**【0002】**

例えば、ハイブリッド自動車 (Hybrid Electric Vehicle) や電気自動車 (Electric Vehicle) に搭載するモータとしては、リラクタンストルクと共に、マグネットトルクを効果的に利用するのが効率がよい。このようなモータとしては、磁力の強いネオジム磁石 (Neodymium magnet) などの永久磁石をロータ (回転子) 内に埋め込む、IPM (1413245483198_0

) 構造が多用されている。

【0003】

この種のモータとしては、高磁力の永久磁石は高価かつ安定供給が難しいことから、ロータ側に自励式巻線界磁機能を有する電磁石を備えさせることが提案されている (特許文献 1)。この特許文献 1 に記載のモータでは、ステータの電機子極コイルで発生させる磁束を鎖交させるロータの突極部に、誘導コイルと電磁石コイルとを個別に形成して、誘導コイルで発生させる誘導電流を整流した後に電磁石コイルに界磁電流として供給することで電磁石としても機能させている。

30

【0004】

この特許文献 1 に記載のモータは、ステータ側の電機子極コイルで発生させる磁束をロータの突極部に鎖交させることによるリラクタンストルクと、その突極部を電磁石として機能させることによるマグネットトルクとを利用して、ロータを回転させるトルクを向上させている。

40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】**

【特許文献 1】特開 2013 - 38918 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、特許文献 1 に記載のモータにあっては、誘導コイルと電磁石コイルとを形成するロータの突極部において自己励磁する巻線界磁機能を有する電磁石を実現しているが、トルク発生面が誘導コイルと電磁石コイルを共通に巻き付ける突極部の外周面のみ

50

である。

【0007】

このことから、このモータでは、ロータの外周面においてトルク密度の小さくなる領域ができて回転効率を低下させているとともに、このトルク密度の小さな領域が周方向に繰り返り出現して回転品質を低下させている。

【0008】

また、この特許文献1に記載のモータでは、誘導コイルで発生する交流の誘導電流を突極毎に半波整流して合成することで直流の界磁電流としており、誘導電流を有効利用することができていない。

【0009】

そこで、本発明は、損失エネルギーをより効率よく界磁エネルギーとして回収して、効果的に高トルクで駆動させることのできる、自励式巻線界磁機能を有する電磁石を備えるモータを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するモータの発明の一態様は、通電により磁束を発生させる複数の電機子極コイルを有するステータと、前記ステータからの前記磁束により回転するロータと、を備えるモータであって、前記ロータは、前記ステータに向かって延伸する突極形状に形成されて並列されている複数の主突極部と、前記主突極部の並列方向の側面間で前記ステータに向かって延伸する突極形状に形成されて並列されている複数の補助突極部と、が形成されており、前記主突極部および前記補助突極部は、前記電機子極コイルで発生する前記磁束に含まれる空間高調波成分が鎖交することにより誘導電流を発生させる誘導コイルと、前記誘導コイルで発生した前記誘導電流を通電させて電磁力を発生させる電磁石コイルと、を有するものである。

【発明の効果】

【0011】

この本発明の一態様によれば、損失エネルギーを効率よく界磁エネルギーとして回収して、効果的に高トルクで駆動させることのできる、自励式巻線界磁機能を有する電磁石を備えるモータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本発明に係るモータの一実施形態を示す図であり、その概略構成を示す一部拡大径方向断面図である。

【図2】図2は、補助突極部の誘導コイルとロータティースの電磁石コイルとをダイオードを介して接続する簡易な回路構成図である。

【図3】図3は、ロータティースの誘導コイルと補助突極部の電磁石コイルとをダイオードを介して接続する簡易な回路構成図である。

【図4】図4は、通電時に発生する磁束の磁化方向に応じた磁束ベクトルの形成状態を示す状態図である。

【図5】図5は、通電時に発生する磁束線の形成状態を示す状態図である。

【図6】図6は、通電時に発生する磁束の形成状態を磁束線および磁束ベクトルで示す状態図である。

【図7】図7は、本実施形態と比較する補助突極部のない構造のモータの概略構成を示す一部拡大径方向断面図である。

【図8】図8は、通電時に発生する誘導電流量を補助突極部の有無で比較するグラフである。

【図9】図9は、通電時に得られるトルクを補助突極部の有無で比較するグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について詳細に説明する。図1～図9は本発

10

20

30

40

50

明の一実施形態に係るモータを示す図である。ここで、図 1 は、リラクタンスモータの径方向断面図であり、軸心を中心とする機械角 60 度分を図示しており、当該機械角 60 度分が周方向に周期的に繰り返される構造を示している。

【0014】

(モータの基本構造)

図 1 において、モータ 10 は、例えば、ハイブリッド自動車や電気自動車において、内燃機関と共に、あるいは単独で駆動源として搭載するのに好適な性能を有している。このモータ 10 は、後述するように、外部からロータにエネルギー入力する必要のない構造に作製されている。

【0015】

モータ 10 は、概略円筒形状に形成されたステータ（固定子）11 と、このステータ 11 内に回転自在に収納されて軸心に一致する回転軸が固定されるロータ（回転子）21 と、を備えている。ステータ 11 およびロータ 21 は、電磁鋼板（磁性体）を積層して巻線を巻き付け可能にそれぞれ一体に形成することにより、それぞれの内部での透磁率を高めて高密度に磁束を通すことのできる磁路として機能している。このステータ 11 およびロータ 21 は、ラジアル方向で対面する後述の極力小さなエアギャップ G を介して対面する端面間で効率よく磁束を鎖交させることができるように形成されている。

【0016】

ステータ 11 には、径方向の回転軸側に延伸されて突極形状に形成されている複数本のステータティース 12 が周方向に均等配置されている。ステータティース 12 は、ロータ 21 の後述するロータティース 22 の外周面 22a にエアギャップ G を介して内周面 12a 側を対面させている。このステータティース 12 には、隣接する側面間に形成される空間のステータスロット 13 を利用して、3 相電源の相毎の 3 相巻線をそれぞれ個々に集中巻きすることにより電機子極コイル 14 が形成されている。また、ステータティース 12 は、電機子極コイル 14 に交流駆動電流を入力することにより、内部に対面収納されているロータ 21 を回転させる磁束を発生する電磁石として機能する。

【0017】

ロータ 21 には、径方向の回転軸から離隔する側に延伸される突極形状に形成されている複数本のロータティース（主突極部）22 が周方向に均等配置されている。ロータティース 22 は、ステータティース 12 と全周方向の本数を異ならせて、相対回転時に外周面（端面）22a がステータティース 12 の内周面 12a に適宜近接対面するように形成されている。

【0018】

これにより、モータ 10 は、ステータ 11 の電機子極コイル 14 に通電することにより発生する磁束を、ステータティース 12 の内周面 12a から対面するロータティース 22 の外周面 22a に鎖交させることができる。これにより、モータ 10 は、磁束が通過する磁路（磁気結合）を最短にしようとするリラクタンストルク（主回転力）によりロータ 21 を相対回転させることができる。この結果、モータ 10 は、ステータ 11 内で相対回転するロータ 21 と一体回転する回転軸から通電入力する電氣的エネルギーを機械的エネルギーとして出力することができる。

【0019】

(自励式巻線界磁モータの基本構造)

このモータ 10 では、ステータティース 12 の内周面 12a からロータティース 22 の外周面 22a に鎖交する磁束に空間高調波成分が重畳している。このため、ロータ 21 側でも、ステータ 11 側から鎖交する磁束の空間高調波成分の磁束密度の変化を利用して、内蔵するコイルに誘導電流を発生させ電磁力を得ることもできる。

【0020】

具体的には、このとき、ステータ 11 の電機子極コイル 14 に基本周波数の交流駆動電力を供給してロータ 21（ロータティース 22）をその基本周波数で変動する主磁束で回転させることから、ロータ 21 側にコイルを単に配置しても鎖交する磁束に変化はなく誘

10

20

30

40

50

導電流が生じることはない。

【 0 0 2 1 】

その一方で、磁束に重畳する空間高調波成分は基本周波数と異なる周期で時間的に変化しつつロータティース 22 に外周面 22 a 側から鎖交する。このことから、別途入力することなく、基本周波数の磁束に重畳する空間高調波成分はロータティース 22 の外周面 22 a の近傍に設置するコイルに効率よく誘導電流を発生させることができる。この結果、鉄損の原因となる空間高調波磁束は自己励磁するためのエネルギーとして回収することができる。

【 0 0 2 2 】

このことから、モータ 10 は、ロータティース 22 の隣接する側面間に形成される空間をロータスロット 23 として利用して、そのロータティース 22 に巻線を巻き付けて集中巻を形成することにより誘導コイル 27 と電磁石コイル 28 とを配置している。また、モータ 10 は、ロータスロット 23 内に後述する補助突極部 32 を形成して同様に巻線を巻き付けて誘導コイル 37 と電磁石コイル 38 とを配置している。

【 0 0 2 3 】

誘導コイル 27、37 は、ステータティース 12 の内周面 12 a からロータティース 22 と補助突極部 32 の外周面 22 a、32 a に鎖交する磁束の空間高調波成分（磁束密度の変化）により誘導電流を発生して電磁石コイル 28、38 に供給する。電磁石コイル 28、38 は、その誘導コイル 27、37 から供給される誘導電流を界磁電流として自己励磁することにより磁束（電磁力）を発生する。

【 0 0 2 4 】

これにより、モータ 10 は、誘導コイル 27、37 の誘導電流で電磁石コイル 28、38 に発生させた磁束を、ロータティース 22 や補助突極部 32 の外周面 22 a、32 a からステータティース 12 の内周面 12 a に鎖交させることができる。このため、主回転力を発生する電機子極コイル 14 の磁束とは別に鎖交する磁束が通過磁路を最短にしようとするマグネットトルク（補助回転力）を得ることができ、ロータ 21 の相対回転を補助することができる。

【 0 0 2 5 】

この結果、モータ 10 は、ロータティース 22 のみの場合には利用することができずに、損失要因となっていた磁束の空間高調波成分を補助突極部 32 においてもエネルギーとして回収して出力することができ、ロータスロット 23 の形成領域においても駆動力を発生させてトルクリプルを低減することができる。

【 0 0 2 6 】

具体的には、ロータ 21 には、ロータティース 22 と磁氣的に結合されている複数の補助突極部 32 が一体回転するように形成されており、補助突極部 32 は、ロータティース 22 と同様に、径方向の回転軸から離隔する方向に延伸される突極形状に形成されて、ロータスロット 23 内に位置するように周方向に均等配置されている。すなわち、補助突極部 32 はロータティース 22 と同数を備えて、相対回転時に外周面 32 a がステータティース 12 の内周面 12 a に適宜近接対面するように形成されている。

【 0 0 2 7 】

（自励式巻線界磁モータの詳細構造 1）

このモータ 10 は、ロータティース 22 を電磁石として機能させるように電磁石コイル 28 を配置するとともに、その電磁石コイル 28 への界磁電流の電力供給源としてロータティース 22 とは別個の補助突極部 32 に誘導コイル 37 を配置している。電磁石コイル 28 は、ロータティース 22 の外周面 22 a から離隔する回転軸側に集中巻して形成されており、誘導コイル 37 は、補助突極部 32 の外周面 32 a に近接する側に集中巻されて形成されている。

【 0 0 2 8 】

これにより、モータ 10 は、小さなエアギャップ G を介してステータティース 12 の内周面 12 a から補助突極部 32 の外周面 32 a に磁束を高密度に鎖交させることができ、

10

20

30

40

50

その鎖交する磁束に含まれる空間高調波成分（磁束密度の変化）により誘導コイル 37 に誘導電流を発生させて、ロータティース 22 の電磁石コイル 28 に供給することができる。このロータティース 22 の電磁石コイル 28 は、補助突極部 32 の誘導コイル 37 から受け取った誘導電流を界磁電流として自己励磁することにより、磁束（電磁力）を発生させることができる。

【0029】

したがって、モータ 10 は、補助突極部 32 の誘導コイル 37 の誘導電流で別個のロータティース 22 の電磁石コイル 28 に磁束を発生させて、そのロータティース 22 の外周面 22a からステータティース 12 の内周面 12a に鎖交させることができる。

【0030】

すなわち、モータ 10 は、ロータティース 22 の電磁石コイル 28 に、ロータスロット 23 内に位置する補助突極部 32 の誘導コイル 37 から電力供給して電磁石として機能させてロータ 21 の回転を補助することができ、このロータティース 22 を d 軸とし、また、そのロータティース 22 間の補助突極部 32 を q 軸として回転駆動させている。

【0031】

（自励式巻線界磁モータの詳細構造 2）

さらに、このモータ 10 は、補助突極部 32 を電磁石として機能させるように電磁石コイル 38 を配置するとともに、その電磁石コイル 38 への界磁電流の電力供給源として補助突極部 32 とは別個のロータティース 22 に誘導コイル 27 を配置している。電磁石コイル 38 は、補助突極部 32 の外周面 32a から離隔する回転軸側に集中巻して形成されており、誘導コイル 27 は、ロータティース 22 の外周面 22a に近接する側に集中巻して形成されている。

【0032】

これにより、モータ 10 は、小さなエアギャップ G を介してステータティース 12 の内周面 12a からロータティース 22 の外周面 22a に磁束を高密度に鎖交させることができ、その鎖交する磁束に含まれる空間高調波成分により誘導コイル 27 に誘導電流を発生させて、補助突極部 32 の電磁石コイル 38 に供給することができる。この補助突極部 32 の電磁石コイル 38 は、ロータティース 22 の誘導コイル 27 から受け取った誘導電流を界磁電流として自己励磁することにより、磁束（電磁力）を発生させることができる。

【0033】

したがって、モータ 10 は、ロータティース 22 の誘導コイル 27 の誘導電流で別個の補助突極部 32 の電磁石コイル 38 に磁束を発生させて、その補助突極部 32 の外周面 32a からステータティース 12 の内周面 12a に鎖交させることができる。

【0034】

すなわち、モータ 10 は、ロータスロット 23 内に位置する補助突極部 32 の電磁石コイル 38 に、ロータティース 22 の誘導コイル 27 から電力供給して電磁石として機能させてロータ 21 の回転を補助することができる。

【0035】

（自励式巻線界磁モータの回路構成 1）

ここで、これら誘導コイル 27、37 および電磁石コイル 28、38 は、ステータティース 12 の内周面 12a からロータティース 22 や補助突極部 32 の外周面 22a、32a に鎖交する磁束の 3 次の空間高調波成分を有効利用するように磁界解析を行って厳密に空間高調波磁路を確認することにより、効率よく誘導電流を発生させることができるように設置されている。

【0036】

また、誘導コイル 27、37 や電磁石コイル 28、38 では、集中巻構造を採用することにより、複数スロットに亘って周方向に巻線をする必要がなく、全体的に小型化することができる。また、誘導コイル 27、37 では、1 次側での銅損損失を低減しつつ、低次である 3 次の空間高調波磁束の鎖交による誘導電流を効率よく発生させて、回収可能な損失エネルギーを増加させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

さらに、誘導コイル 27、37 には、3 次の空間高調波磁束を利用することにより、2 次の空間高調波磁束を利用する場合よりも、効果的に誘導電流を発生させることができる。詳細には、誘導電流は 2 次よりも 3 次の空間高調波磁束を利用する方が磁束の時間変化を大きくして大電流にすることができ、効率よく回収することができる。

【 0 0 3 8 】

これら誘導コイル 27、37 および電磁石コイル 28、38 は、電機子極コイル 14 が交流電源から電力供給を受けて鎖交させる磁束に重畳する空間高調波成分で誘導電流を発生させて直流の界磁電流とすることにより、ロータティース 22 や補助突極部 32 を電磁石として機能させて電磁力を発生させており、その交流の誘導電流を有効利用するために、図 2、図 3 に示す整流回路 30、40 内にそれぞれ組み込まれている。

10

【 0 0 3 9 】

詳細には、誘導コイル 27 は、ロータティース 22 に巻線を同一の巻付方向になるように形成して設けられている。同様に、誘導コイル 37 は、補助突極部 32 に巻線を同一の巻付方向になるように形成して設けられている。これら誘導コイル 27、37 は、共通の巻付方向になるように形成されている。

【 0 0 4 0 】

電磁石コイル 28 は、ロータティース 22 に巻線を周方向の 1 極置きに巻付方向が反対になるように形成して設けられている。同様に、電磁石コイル 38 は、補助突極部 32 に巻線を周方向の 1 極置きに巻付方向が反対になるように形成して設けられている。これら電磁石コイル 28、38 は、それぞれのロータティース 22 または補助突極部 32 において、周方向の 1 極置きに巻付方向が誘導コイル 27、37 と同一または反対になるように形成されている。

20

【 0 0 4 1 】

そして、ロータティース 22 の電磁石コイル 28 は、図 2 に示すように、全直列接続されている両端部が、並列接続されている補助突極部 32 の誘導コイル 37 の両端部にそれぞれダイオード（整流素子）29A、29B を介して接続されている。すなわち、電磁石コイル 28 は、巻線の巻き方向毎のコイル 28A1 ~ 28An (n : 極数 / 2) とコイル 28B1 ~ 28Bn が全直列接続されており、その電磁石コイル 28A1 ~ 28An、28B1 ~ 28Bn に対応するように直列接続されている誘導コイル 37A1 ~ 37An、37B1 ~ 37Bn の両端部に並列接続されている。

30

【 0 0 4 2 】

同様に、補助突極部 32 の電磁石コイル 38 は、図 3 に示すように、全直列接続されている両端部が、並列接続されているロータティース 22 の誘導コイル 27 の両端部にそれぞれダイオード 39A、39B を介して接続されている。すなわち、電磁石コイル 38 は、巻線の巻き方向毎のコイル 38A1 ~ 38An (n : 極数 / 2) とコイル 38B1 ~ 38Bn が全直列接続されており、その電磁石コイル 38A1 ~ 38An、38B1 ~ 38Bn に対応するように直列接続されている誘導コイル 27A1 ~ 27An、27B1 ~ 27Bn の両端部に並列接続されている。

40

【 0 0 4 3 】

ダイオード 29A、29B、39A、39B は、ロータティース 22 や補助突極部 32 のそれぞれにおいて、誘導コイル 27、37 や電磁石コイル 28、38 を多極化させる場合でも、そのうちの電磁石コイル 28、38 を全直列させることで使用数を抑えている。このダイオード 29A、29B、39A、39B は、大量使用を回避するために、一般的な Hブリッジ型の全波整流回路を形成するのではなく、それぞれ 180 度位相差になるように結線して、一方の誘導電流を反転させて半波整流出力することにより全波整流して出力する中性点クランプ型の半波整流回路 30、40 を形成している。

【 0 0 4 4 】

すなわち、ダイオード 29A、29B は、複数の誘導コイル 37 および電磁石コイル 28 を結線して整流する整流回路（第 1 の整流回路）30 に組み込まれている。ダイオード

50

３９Ａ、３９Ｂは、複数の誘導コイル２７および電磁石コイル３８を結線して整流する整流回路（第２の整流回路）４０に組み込まれている。このダイオード２９Ａ、２９Ｂとダイオード３９Ａ、３９Ｂは、個々に電氣的に独立する別個の整流回路３０、４０に組み込まれて、それぞれで誘導電流を全波整流している。

【００４５】

これにより、モータ１０は、誘導コイル２７、３７の個々に発生させる交流の誘導電流を、別個の整流回路３０、４０のダイオード２９Ａ、２９Ｂ、３９Ａ、３９Ｂを介して全波整流させて直流界磁電流に調整した後に合流させて、それぞれで直列接続させている電磁石コイル２８、３８に供給している。このため、このモータ１０では、電磁石コイル２８、３８毎に合流させた直流界磁電流により効果的に自己励磁させて大きな磁束（電磁力）を発生させることができる。

10

【００４６】

このように、モータ１０は、ロータティース２２の誘導コイル２７で発生する誘導電流を整流回路４０で全波整流して補助突極部３２の電磁石コイル３８に直流界磁電流として供給することにより、電磁石として機能させることができる。すなわち、このモータ１０では、ロータティース２２に誘導コイルと電磁石コイルとを形成する場合に損失となっていた電機子反作用トルクを利用して、補助突極部３２を電磁石として機能させることができる。

【００４７】

また、後述する図７のモータ１００のコア部材１３２では磁氣的に遮蔽されている誘導コイル１３７において誘導電流を発生するに留まり、トルクを発生させることはできない。しかし、このモータ１０は、誘導コイル３７だけでなく誘導コイル２７と電磁石コイル３８を配置している。このため、モータ１０では、誘導コイル３７に電磁石コイル２８、３８を直列接続する場合のように抵抗値増加による銅損を増加させてしまうことなく、また、誘導コイル３７に電磁石コイル２８、３８を並列接続する場合のように循環電流を発生させて界磁電流を減少させてしまうことなく、トルク発生面として、ロータティース２２の外周面２２ａに補助突極部３２の外周面３２ａを加えることができる。

20

【００４８】

この結果、モータ１０は、ロータティース２２に加えて補助突極部３２をロータスロット２３に形成することによって、誘導コイル２７、３７および電磁石コイル２８、３８を励磁用と電磁石用とで分割して独立させるようにそれぞれ配置することができる。これにより、互いに干渉して弱め合ってしまうことを回避しつつ、トルク発生面（外周面２２ａ、３２ａ）を拡大して、誘導電流を全波整流した界磁電流により時間的変動を抑えたトルクとして出力することができる。

30

【００４９】

また、誘導コイル２７、３７および電磁石コイル２８、３８は、ロータ２１の周方向に複数配置して多極化している。このため、ロータティース２２および補助突極部３２の双方において１歯当たりの鎖交する磁束量を周方向に分散化させることができ、個々のロータティース２２や補助突極部３２に作用する電磁力も周方向に分散化させて電磁振動を抑えて静寂化させることができる。

40

【００５０】

（自励式巻線界磁モータの回路構成２）

そして、このロータ２１においては、補助突極部３２の誘導コイル３７で発生させる誘導電流をダイオード２９Ａ、２９Ｂで整流して直流界磁電流として、ロータティース２２の電磁石コイル２８に供給して電磁力を発生させている。この電磁石コイル２８は、ロータティース２２の１極毎に巻き付け方向が反対向きにされている。このことから、ロータ２１は、図４に磁束ベクトルＶで示すように、電磁石コイル２８がロータティース２２の磁化方向を周方向に向かって交互になる電磁石として機能させており、また、図５に磁束線ＦＬで示すように、そのロータティース２２の磁化方向によりロータスロット２３を迂回してスムーズに磁束を通過させる磁路を形成することができる。

50

【 0 0 5 1 】

また、ロータティース 2 2 の誘導コイル 2 7 で発生させる誘導電流は、同様に、ダイオード 3 9 A、3 9 B で整流して直流界磁電流として、補助突極部 3 2 の電磁石コイル 3 8 に供給して電磁力を発生させている。この電磁石コイル 3 8 は、補助突極部 3 2 の 1 極毎に巻き付け方向が反対向きにされている。このことから、ロータ 2 1 は、図 4 に磁束ベクトル V で示すように、電磁石コイル 3 8 が補助突極部 3 2 の磁化方向を周方向に向かって交互になる電磁石として機能させており、また、図 5 に磁束線 F L で示すように、その補助突極部 3 2 の磁化方向によりロータスロット 2 3 を迂回してスムーズに磁束を通過させる磁路を形成することができる。

【 0 0 5 2 】

この電磁石コイル 3 8 は、ロータティース 2 2 の電磁石コイル 2 8 に隣接して、その磁化方向をロータ 2 1 の半径方向に一致させるように形成されているとともに、その巻線の巻付方向を周方向に向かって交互に切り替わるように設置されている。

【 0 0 5 3 】

このため、補助突極部 3 2 の電磁石コイル 3 8 は、磁化方向が回転軸側に向いている場合には、補助突極部 3 2 内への磁束の進入を制限する磁気遮蔽として機能することができ、電磁石コイル 2 8 で発生する磁束がロータティース 2 2 内の磁路を優先的に選択するように機能する。

なお、電磁石コイル 3 8 がつくる磁束は、電機子磁束の向きと対向する向きになり、電機子反作用トルクを発生させる。一方、電磁石トルク 2 8 がつくる磁束は、電機子磁束の向きと同じ向きになり、マグネットトルク（電磁石トルク）として作用する。

【 0 0 5 4 】

また、ロータティース 2 2 の電磁石コイル 2 8 は、磁化方向が回転軸側に向いている場合には、ロータティース 2 2 内から回転軸側に向かう磁路を積極的に形成する。この電磁石コイル 2 8 は、磁化方向がステータ 1 1 側に向いている場合には、ロータティース 2 2 内からステータティース 1 2 側に向かう磁路を積極的に形成する。

同様に、補助突極部 3 2 の電磁石コイル 3 8 も、磁化方向が回転軸側に向いている場合には、補助突極部 3 2 内から回転軸側に向かう磁路を積極的に形成する。また、電磁石コイル 3 8 も、磁化方向がステータ 1 1 側に向いている場合には、補助突極部 3 2 内からステータティース 1 2 側に向かう磁路を積極的に形成する。

このため、電磁石コイル 2 8、3 8 は、エアギャップ G を介してステータ 1 1 とロータ 2 1 との間を周回する磁気回路を形成することができる。

【 0 0 5 5 】

このことから、電磁石コイル 2 8、3 8 の磁束がロータティース 2 2 や補助突極部 3 2 の外周面 2 2 a、3 2 a 側に向かう場合には、ステータティース 1 2 を含む磁路における直流成分の磁束がステータ 1 1 側から鎖交してロータ 2 1 の回転軸側に進行しようとするのをそのステータ 1 1 側に戻す磁気回路を形成することができ、ロータ 2 1 の接線方向に向かう磁束に合成して回転を有効に補助するリラクタンストルクとして利用することができる。なお、この場合の電磁石コイル 2 8、3 8 の直流成分の磁束は、ロータ 2 1 側からステータ 1 1 側に鎖交してステータスロット 1 3 を迂回する磁気回路を形成することになり、後述の磁気回路によるマグネットトルクとして機能する。

【 0 0 5 6 】

また、電磁石コイル 2 8、3 8 の磁束がロータティース 2 2 や補助突極部 3 2 から回転軸側に向かう場合には、ステータティース 1 2 を含む磁路における直流成分の磁束がステータ 1 1 側からロータ 2 1 の回転軸側に積極的に向かう磁気回路を形成することができ、ロータ 2 1 の回転を有効に補助するマグネットトルクとして利用することができる。

【 0 0 5 7 】

このとき、誘導コイル 2 7、3 7 と電磁石コイル 2 8、3 8 は、誘導電流を発生させるための配置箇所と、その誘導電流を界磁電流として供給されて電磁石として機能するための配置箇所との組み合わせがロータティース 2 2 と補助突極部 3 2 とで別々に配置される

10

20

30

40

50

ように振り分けられている。言い換えると、誘導コイル 37 と電磁石コイル 28 の組と、誘導コイル 27 と電磁石コイル 38 の組とは、それぞれで、ロータティース 22 と補助突極部 32 との双方に配置されている。このため、ロータティース 22 と補助突極部 32 は、磁氣的干渉を低減されて、また、磁氣的飽和が回避されており、効率よく誘導電流を発生させることができるとともに、効果的に電磁石として機能させて磁束を発生させることができる。

【0058】

また、誘導コイル 27、37 では交流の誘導電流を発生させる磁束がロータティース 22 および補助突極部 32 の内部を通過し、また、電磁石コイル 28、38 では直流の界磁電流で発生する磁束がロータティース 22 および補助突極部 32 の内部を通過する。この交流の磁束と直流の磁束とでは特性が異なっていて互いに干渉することは少なく、磁気飽和しない限り、電磁石コイル 28、38 で発生する磁束が誘導コイル 27、37 で発生する磁束により制限されることない。このため、電磁石コイル 28、38 で発生する磁束は、ロータティース 22 や補助突極部 32 の外周面 22a、32a と、ステータティース 12 の内周面 12a との間を制限なく鎖交してマグネットトルクとして機能することができる。ロータ 21 の回転を効果的に補助することができる。

【0059】

このため、モータ 10 は、図 6 に 3 次の空間高調波成分の磁束ベクトルとその磁束線図で示すように、ロータティース 22 および補助突極部 32 の外周面 22a、32a を有効利用して、ステータ 11 とロータ 21 との間で磁束を効果的に鎖交させることができている。このように、モータ 10 は、トルクの発生面をロータティース 22 および補助突極部 32 の外周面 22a、32a として大面積化かつ分散化させることができ、脈動を少なくして、滑らかに、かつ、効率よくロータ 21 を回転させることができる。

【0060】

(補助突極部等の有無に応じた特性比較)

ところで、リラクタンスモータでは、トルクや回転品質の向上を目的として自己励磁する電磁石を設けることが考えられる。

【0061】

例えば、図 7 に示すモータ 100 は、ステータ 111 のステータティース 112 に、ステータスロット 113 を利用して電機子極コイル 114 を巻き付けて形成するとともに、ロータ 121 のロータティース 122 に、ロータスロット 123 を利用して電磁石コイル 128 を巻き付けて形成する。

【0062】

これに加えて、モータ 100 では、ロータ 121 側のロータスロット 123 内に磁氣的に遮蔽する状態で配置するコア部材 132 に、誘導コイル 137 を巻き付けて形成し、この誘導コイル 137 と電磁石コイル 128 をモータ 10 と同様に不図示のダイオードで結線して全波整流回路内に組み込む。

【0063】

この構造により、モータ 100 では、マグネットトルクを利用することのない単なるリラクタンスモータの構成に加えて、外部電源の必要なく誘導コイル 137 で発生させた誘導電流を整流して電磁石コイル 128 に直流の界磁電流として供給することにより、自己励磁可能な電磁石として機能させ、マグネットトルクによりトルクや回転品質の向上を図ることができる。

【0064】

これに対して、モータ 10 では、ロータスロット 23 内に補助突極部 32 を設けることにより、モータ 100 における誘導コイル 137 と同様に、誘導コイル 37 を備えるのに加えて、誘導コイル 27 と電磁石コイル 38 とを備えることができ、トルクや回転品質をより向上させることができている。

【0065】

例えば、定常回転に達した状態では、図 8 に示すように、空間高調波成分の磁束により

10

20

30

40

50

発生する順方向の誘導電流を一例にして比較すると、モータ 10の方が通過する磁束量が増加していることから、モータ 100よりも数倍の電流量の誘導電流を発生させていることが分かる。

【0066】

また、同様に、定常回転に達した状態では、例えば、図 9 に示すように、平均トルクにおいては、モータ 10の方がモータ 100よりも約 70%以上向上させていることが分かる。

【0067】

(モータ 10 の突極構造)

また、モータ 10 は、 $3f$ 次の空間高調波磁束 ($f = 1, 2, 3 \dots$) を主に利用する構造として、ロータ 21 側の突極 (ロータティース 22) の数 P : ステータ 11 側のステータスロット 13 の数 S が $2 : 3$ になる構造に作製されている。例えば、3 次の空間高調波磁束は、電機子極コイル 14 に入力する基本周波数よりも周波数が高いために短周期で脈動する。

このため、ロータ 21 は、ロータティース 22 間の誘導コイル 37 に鎖交する磁束強度が変化することにより、効果的に誘導電流を発生させて、基本周波数の磁束に重畳する空間高調波成分の損失エネルギーを効率よく回収して回転することができる。同様に、補助突極部 32 間の誘導コイル 27 でも鎖交する磁束強度が変化することにより、効果的に誘導電流を発生させて、基本周波数の磁束に重畳する空間高調波成分の損失エネルギーを効率よく回収して回転することができる。

【0068】

また、このように、モータ 10 は、ロータ 21 側とステータ 11 側の間での相対的な磁気的作用の品質を決定する構造として、ロータティース突極数 P とステータスロット数 S の比として $P/S = 2/3$ を採用するのは、電磁振動を低減して電磁騒音の小さな回転を実現するためである。

【0069】

詳細には、上記と同様に磁束密度分布の磁界解析をすると、ロータティース突極数 P とステータスロット数 S の比に応じて、機械角 360 度内の周方向に磁束密度分布も分散化されるため、ステータ 11 に働く電磁力分布にも偏在が認められることになる。

【0070】

これに対して、モータ 10 では、ロータティース突極数 8 とステータスロット数 12 を組み合わせる $8P12S$ ($P/S = 2/3$) 構造を採用することにより、機械角 360 度の全周に亘って均等な密度分布となる磁束を鎖交させることができ、ロータ 21 をステータ 11 内で高品質に回転させることができる。

【0071】

これにより、モータ 10 では、空間高調波磁束を損失とすることなく利用して、回転動作させることができ、損失エネルギーを効率よく回収して、電磁振動を大幅に低減し静寂性高く回転させることができる。

【0072】

このように、本実施形態においては、ステータ 11 の内周面 12a に外周面 22a、32a を対面させるロータティース 22 と補助突極部 32 を備えて、そのロータティース 22 と補助突極部 32 の双方の外周面 22a、32a 側に誘導コイル 27、37 をそれぞれ配置するとともに、その双方の回転軸側に電磁石コイル 38、28 をそれぞれ配置する構造になっている。

【0073】

このモータ構造により、モータ 10 は、ステータ 11 の電機子極コイル 14 で発生させた磁束に重畳する空間高調波成分が、 d 軸に位置するロータティース 22 だけでなく q 軸に位置する補助突極部 32 も加えた外周面 22a、32a に鎖交することになる。このため、このモータ 10 では、誘導コイル 27、37 のそれぞれに誘導電流を発生させて、それぞれの電磁石コイル 38、28 に界磁電流として供給することができ、ロータティース

２２と補助突極部３２とをそれぞれ電磁石として機能させてマグネットトルクを働かせることができる。

【００７４】

また、このモータ１０では、ダイオード２９Ａ、２９Ｂを備える整流回路３０と、ダイオード３９Ａ、３９Ｂを備える整流回路４０と、をそれぞれ別個に独立する回路構成として、誘導コイル２７、３７で発生する誘導電流を整流回路３０、４０のそれぞれで全波整流して電磁石コイル３８、２８毎に供給して電磁石として機能させている。

【００７５】

この回路構成により、モータ１０は、誘導コイル２７および電磁石コイル３８と、誘導コイル３７および電磁石コイル２８とでそれぞれ別個の整流回路３０、４０とすることができる。このため、このモータ１０では、誘導電流を全波整流して直流界磁電流とし電磁力を発生させる処理を、互いに干渉し合うことなく、個別に効率よく行うことができ、かつ、直流界磁電流とすることで、時間的変動を少なくして、高品質回転可能なトルクを発生させることができる。

【００７６】

したがって、モータ１０は、ロータティース２２だけでなく、補助突極部３２でも、誘導電流を発生させるとともに、電磁石としても効果的に機能させることができ、誘導電流を大電流化して電磁力を増強し、ロータ２１を高トルクに回転させることができる。このとき、ロータ２１を回転させるトルクは、ロータティース２２と補助突極部３２の双方の外周面２２ａ、３２ａをトルク発生面として分散化させて、それぞれの接線方向に作用させることができ、ロータ２１を脈動等させることなく、安定状態で回転させることができる。

【００７７】

この結果、損失エネルギーを効率よく界磁エネルギーとして回収して、効果的に高トルクで駆動させることのできる、自励式巻線界磁機能を有する電磁石を備えるモータ１０を提供することができる。

【００７８】

本実施形態の第１の他の態様としては、図示することが省略するが、モータ１０のようなラジアルギャップ構造に限らずに、軸方向に向かってステータとロータとが対面するアキシアルギャップ構造に作製してもよい。

【００７９】

また、本実施形態の第２の他の態様としては、図示することが省略するが、ステータ１１とロータ２１との間に、それぞれに対してエアギャップを介して対面する、同軸で相対回転可能なアウトロータを配置してもよい。このアウトロータには、ステータ１１とロータ２１との間で鎖交する磁束を中継する磁性体と、その磁束の通過を遮断する非磁性体とを周方向に並列させている、ダブルロータ構造とすればよい。

【００８０】

本発明の実施形態を開示したが、当業者によっては本発明の範囲を逸脱することなく変更が加えられうることは明白である。すべてのこのような修正及び等価物が次の請求項に含まれることが意図されている。

【符号の説明】

【００８１】

- １０ モータ
- １１ ステータ
- １２ ステータティース
- １２ａ 内周面
- １３ ステータスロット
- １４ 電機子極コイル
- ２１ ロータ
- ２２ ロータティース

10

20

30

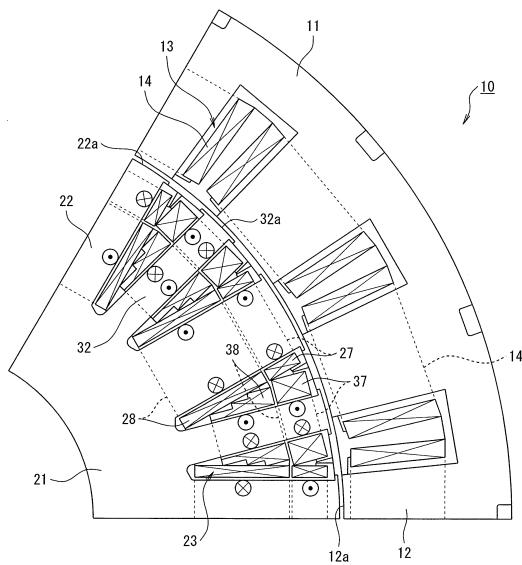
40

50

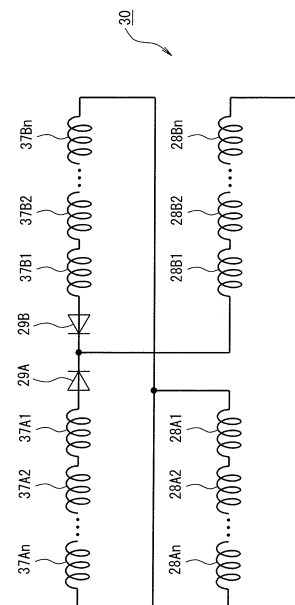
- 22a、32a 外周面（端面）
 23 ロータスロット
 27、27A1～27An、27B1～27Bn、37、37A1～37An、37B1～37Bn 誘導コイル
 28、28A1～28An、28B1～28Bn、38、38A1～38An、38B1～38Bn 電磁石コイル
 29A、29B、39A、39B ダイオード
 30 整流回路（第1の整流回路）
 32 補助突極部
 40 整流回路（第2の整流回路）
 FL 磁束線
 G エアギャップ
 V 磁束ベクトル

10

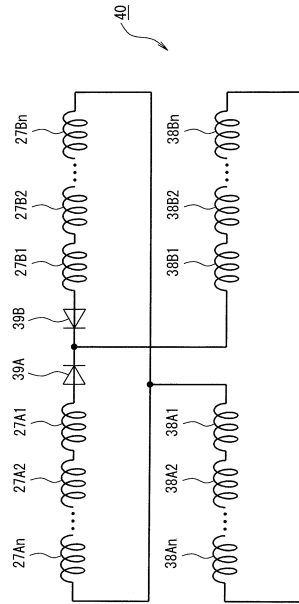
【図1】



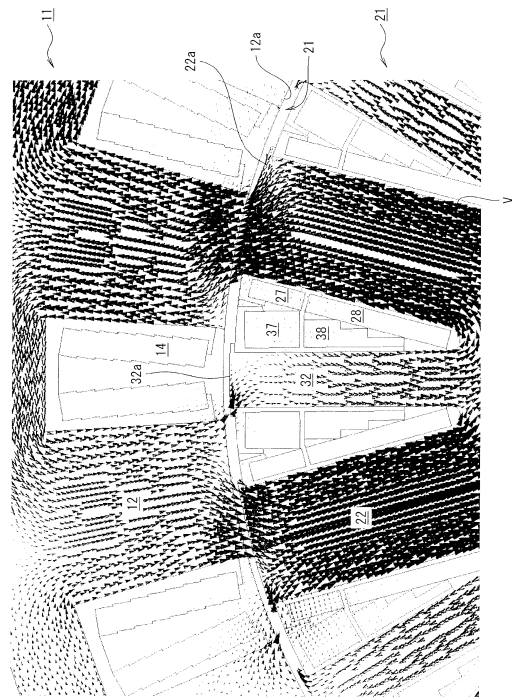
【図2】



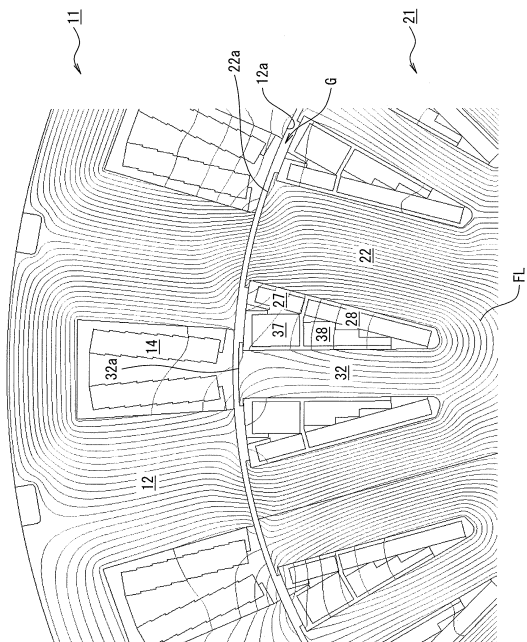
【図 3】



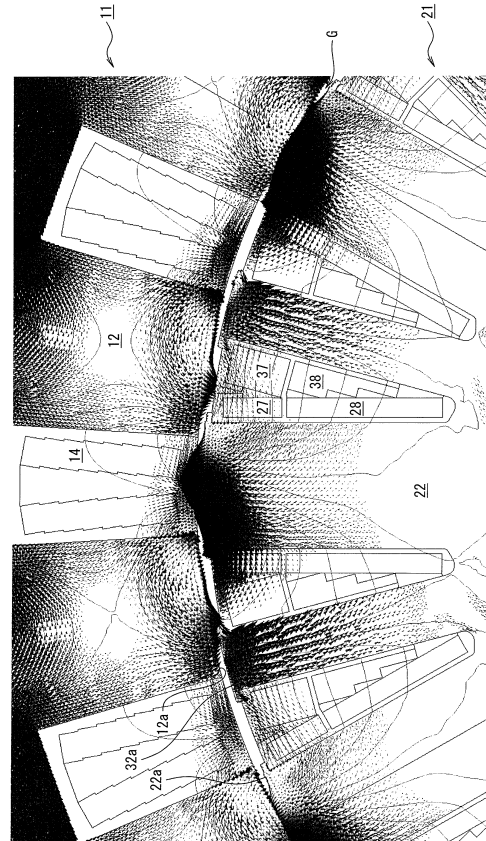
【図 4】



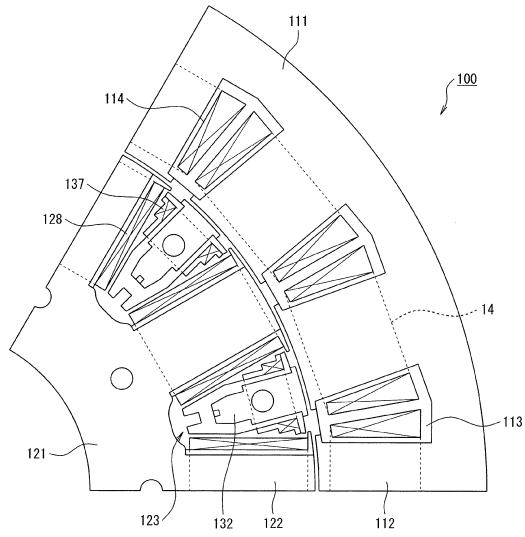
【図 5】



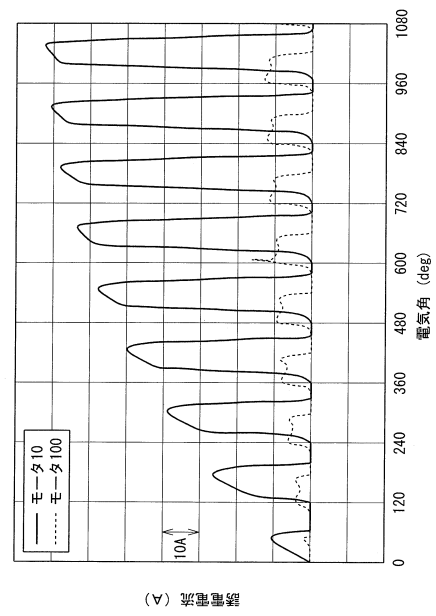
【図 6】



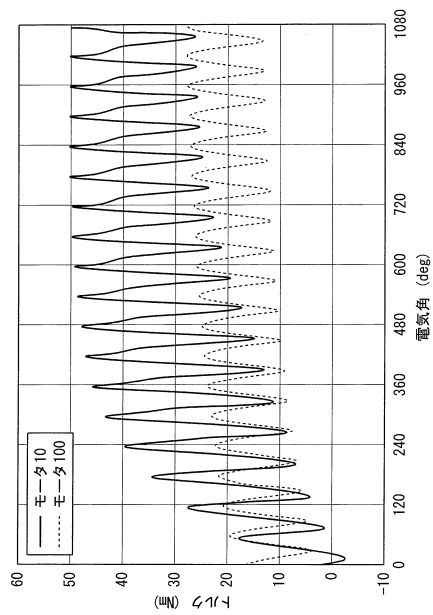
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2010 - 279165 (JP, A)
特開 2010 - 22185 (JP, A)
国際公開第 2013 / 080361 (WO, A1)
米国特許出願公開第 2014 / 0300223 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 19 / 12
H02K 1 / 26