(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7147629号
(P7147629)

(45)発行日　令和4年10月5日(2022.10.5)

(24)登録日　令和4年9月27日(2022.9.27)

(51)国際特許分類

		FI		
H02K 3/47 (2006.01)		H02K	3/47	
H02K 3/04 (2006.01)		H02K	3/04	E
H02K 3/34 (2006.01)		H02K	3/34	C

請求項の数　10　（全147頁）

(21)出願番号　特願2019-32183(P2019-32183)
(22)出願日　平成31年2月25日(2019.2.25)
(65)公開番号　特開2020-137373(P2020-137373A)
(43)公開日　令和2年8月31日(2020.8.31)
審査請求日　令和3年1月25日(2021.1.25)

(73)特許権者　000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地
(74)代理人　100121821
弁理士　山田 強
(74)代理人　100139480
弁理士　日野 京子
(74)代理人　100125575
弁理士　松田 洋
(74)代理人　100175134
弁理士　北 裕介
(72)発明者　田村 暁斗
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内
審査官　服部 俊樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　電機子及び回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

相あたり複数の部分巻線（７４１，９１１）からなる相巻線を有する多相の電機子巻線（７３１，９０１）と、

コアシート（７３２ａ）が軸方向に積層されたコアシート積層体である円筒状のバックヨーク（７３２，９０２）を含むベース部材（７３６，９０４）と、

を有する電機子（７３０，９００）であって、

前記電機子巻線は、前記部分巻線と、当該部分巻線の前記バックヨーク側に設けられたバックヨーク側絶縁壁（７５１，８６１，９１２ａ）とを含む複数のコイルモジュール（７４０，８５０，９１０）を有し、

前記複数のコイルモジュールが、前記ベース部材の径方向内側又は径方向外側において周方向に並べて配置されることで、前記複数の部分巻線が、前記ベース部材の径方向内側又は径方向外側において周方向に並べて配置されており、

前記バックヨーク側絶縁壁には、径方向において前記バックヨーク側に突出し、かつ前記バックヨークにおいて軸方向に面する端面である軸方向端面に対向する突出部（７５６，８６６，９２５）が設けられている電機子。

【請求項２】

前記バックヨーク側絶縁壁には、前記バックヨークの軸方向両側に、当該バックヨークの軸方向端面に対向する前記突出部が設けられている請求項１に記載の電機子。

【請求項３】

前記バックヨークの軸方向一方側及び軸方向他方側において、各々異なる前記コイルモジュールの前記突出部により、当該バックヨークの軸方向端面が押圧される構成となっている請求項１又は２に記載の電機子。
【請求項４】
前記バックヨーク側絶縁壁には、前記バックヨークの軸方向両側のうち一方に前記突出部が設けられており、
前記バックヨークに対して、前記複数のコイルモジュールが軸方向の向きを互い違いにして組み付けられることで、前記バックヨークの軸方向端面が、当該バックヨークの軸方向両側から前記突出部により押圧される構成となっている請求項１に記載の電機子。
【請求項５】
周方向に隣り合う前記コイルモジュールどうしが軸方向に相対移動不可となるように前記各コイルモジュールが固定されている請求項１～４のいずれか１項に記載の電機子。
【請求項６】
前記バックヨークには、径方向内側及び径方向外側のうち前記バックヨーク側絶縁壁とは逆側となる位置に、前記突出部とは別に、前記コアシートの積層状態を保持するための積層保持構造が設けられている請求項１～５のいずれか１項に記載の電機子。
【請求項７】
前記バックヨーク側絶縁壁において前記バックヨークの軸方向端面よりも軸方向外側に延びるヨーク外部分に設けられた前記突出部と、前記バックヨークの軸方向端面との間に、前記軸方向端面に当接する板状のスペーサ（８８１）が設けられており、
前記スペーサは、前記バックヨークの軸方向端面に対する径方向の重複量が前記突出部よりも大きく、当該スペーサを介して、前記突出部により前記バックヨークの軸方向端面が押圧される構成となっている請求項１～６のいずれか１項に記載の電機子。
【請求項８】
前記スペーサにおいて前記突出部との対向面には、軸方向に延びる凹部（８８１ａ）が形成されており、その凹部に前記突出部の一部が入り込む構成となっている請求項７に記載の電機子。
【請求項９】
前記ベース部材は、前記バックヨークの軸方向端面に固定されたエンドリング（７３３，９０３）を有し、そのエンドリングに、前記バックヨークにおける前記部分巻線側の径方向表面よりも凹ませて凹部（７３５，９０５）が形成されており、
前記突出部は、前記凹部に対して径方向に対向するように設けられ、かつ前記凹部において前記ベース部材に対して周方向に係合している請求項１～８のいずれか１項に記載の電機子。
【請求項１０】
請求項１～９のいずれか１項に記載の電機子（７３０，９００）と、周方向に極性が交互となる複数の磁極を有する界磁子（７１０）とを備え、前記界磁子及び前記電機子のうちいずれかが回転軸（７０１）と共に回転する回転電機（７００）。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この明細書における開示は、電機子及び回転電機に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、周方向に極性が交互となる複数の磁極を有する磁石部を含む界磁子と、多相の電機子巻線を有する電機子と、を備える回転電機が知られている。電機子巻線は相ごとに相巻線を有している。各相の相巻線では、周方向に所定間隔で導線部が配置され、軸方向両端のコイルエンドで、同相の導線部どうしが接続される構成となっている。
【０００３】
電機子は一般に、電機子巻線と電機子コアとを有しており、電磁鋼板よりなるコアシー

トの積層体として構成される電機子コアに、電機子巻線が組み付けられるものとなっている。電機子コアに関して、例えば特許文献１には、帯状のコアシートを螺旋状（ヘリカル）に巻回積層した、いわゆるヘリカルコアに関する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【文献】特開２０１４－８７２４０号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

電機子コアでは、コアシート積層体において積層状態にあるコアシートどうしの空隙が拡がることに起因して、コア軸長が大きくなってしまうことが懸念される。例えばコアシートがスプリング特性を有していると、その弾性力によってコアシートどうしの空隙が拡がることが考えられる。この場合、電機子の体格の大型化に繋がることが懸念される。

【０００６】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、体格の小型化を実現することができる電機子及び回転電機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】

【０００７】

この明細書における開示された複数の態様は、それぞれの目的を達成するために、互いに異なる技術的手段を採用する。この明細書に開示される目的、特徴、および効果は、後続の詳細な説明、および添付の図面を参照することによってより明確になる。

【０００８】

手段１は、

相あたり複数の部分巻線からなる相巻線を有する多相の電機子巻線と、

コアシートが軸方向に積層されたコアシート積層体である円筒状のバックヨークを含むベース部材と、

を有する電機子であって、

前記複数の部分巻線が、前記ベース部材の径方向内側又は径方向外側において周方向に並べて配置されており、

前記部分巻線に一体的に設けられ、前記バックヨークの軸方向端面を軸方向外側から軸方向に押圧する押圧部を備える。

【０００９】

上記構成では、電機子巻線が、複数の部分巻線からなる各相の相巻線を有しており、複数の部分巻線が、ベース部材の径方向内側又は径方向外側において周方向に並べて配置されている。円筒状のバックヨークは、コアシートが軸方向に積層されたコアシート積層体として構成されており、コアシート間の微小隙間を極力小さくすることが望ましい。この点、部分巻線に、バックヨークの軸方向端面を軸方向外側から軸方向に押圧する押圧部を一体的に設けたことにより、電機子において、各コアシートに対する軸方向の押圧力、換言すればコアシートが軸方向に互いに離間しようとすることに抗する付勢力を付与できる。これにより、コアシート間の微小隙間を極力小さくし、ひいてはバックヨークの軸長寸法の縮小化を図ることができる。その結果、電機子における体格の小型化を実現することができる。

【００１０】

この場合、部分巻線に一体的に設けられた押圧部は、バックヨークを軸方向外側から押圧するものであるため、仮にバックヨークから径方向に延びるティースを具備しない構成の電機子、すなわちスロットレス構造を有する電機子にあっても、所望とするバックヨークの保持を適正に実施できる。

【００１１】

手段２では、手段１において、前記電機子巻線は、前記部分巻線と、当該部分巻線の前

記バックヨーク側に設けられたバックヨーク側絶縁壁とを含む複数のコイルモジュールを有し、前記複数のコイルモジュールが、前記ベース部材の径方向内側又は径方向外側において周方向に並べて配置されることで、前記複数の部分巻線の配置がなされており、前記バックヨーク側絶縁壁に前記押圧部が設けられている。

【００１２】

上記構成では、コイルモジュールに、バックヨークに対して部分巻線を絶縁状態で組み付ける機能と、バックヨーク側絶縁壁において押圧部によりバックヨークを軸方向外側から押圧する機能とが付与されている。この場合、複数のコイルモジュールを、ベース部材の径方向内側又は径方向外側に並べて配置することに伴い、バックヨークに対する押圧機能を発揮させることができる。

【００１３】

手段３では、手段２において、前記バックヨーク側絶縁壁には、前記バックヨークの軸方向両側に、当該バックヨークの軸方向端面を軸方向外側から押圧する前記押圧部が設けられている。

【００１４】

上記構成では、バックヨーク側絶縁壁においてバックヨークの軸方向両側に押圧部がそれぞれ設けられている。この場合、個々のコイルモジュールによりバックヨークを軸方向両側から押圧することができる。

【００１５】

手段４では、手段２又は３において、前記バックヨークの軸方向一方側及び軸方向他方側において、各々異なる前記コイルモジュールの前記押圧部により、当該バックヨークの軸方向端面が押圧されている。

【００１６】

上記構成では、バックヨークを軸方向両側から押圧する構成において、バックヨークの軸方向一方側及び軸方向他方側で、各々異なるコイルモジュールの押圧部によりバックヨークの軸方向端面を押圧するようにした。この場合、バックヨークの軸方向一方側から軸方向端面を押圧するコイルモジュールと、バックヨークの軸方向他方側から軸方向端面を押圧するコイルモジュールとの軸方向の相対位置を調整することで、バックヨークに対する軸方向の押圧力を適宜調整することが可能となる。例えば、バックヨークにおいてコアシートの厚み寸法の誤差や枚数ばらつき等に起因する積厚公差が生じていても、そのバックヨークに対して一定の押圧力を付加することができる。

【００１７】

手段５では、手段２において、前記バックヨーク側絶縁壁には、前記バックヨークの軸方向両側のうち一方に前記押圧部が設けられており、前記バックヨークに対して、前記複数のコイルモジュールが軸方向の向きを互い違いにして組み付けられることで、前記バックヨークの軸方向端面が、当該バックヨークの軸方向両側から前記押圧部により押圧されている。

【００１８】

上記構成では、複数のコイルモジュールが、軸方向の向きを互い違いにしてバックヨークに対して組み付けられている。すなわち、押圧部が軸方向一方側に設けられたコイルモジュールと、押圧部が軸方向他方側に設けられたコイルモジュールとが、周方向に交互に配置されている。そして、この状態において、バックヨークの軸方向両側で、押圧部によりバックヨーク端面が押圧されるようになっている。この場合、軸方向に互いに逆向きとなるコイルモジュールどうしの軸方向の相対位置を調整することで、バックヨークに対する軸方向の押圧力を適宜調整することが可能となる。例えば、バックヨークにおいてコアシートの厚み寸法の誤差や枚数ばらつき等に起因する積厚公差が生じていても、そのバックヨークに対して一定の押圧力を付加することができる。

【００１９】

手段６では、手段２～５のいずれか１つにおいて、周方向に隣り合う前記コイルモジュールどうしが軸方向に相対移動不可となるように前記各コイルモジュールが固定されてい

る。
【００２０】
上記構成では、周方向に隣り合うコイルモジュールどうしが軸方向に相対移動不可となっていることにより、コイルモジュールの位置が軸方向にずれることで生じるコアシートに対する軸方向の押圧力の低下を抑制できる。これにより、バックヨークの軸長寸法の縮小化をより一層適正に実現できる。
【００２１】
手段７では、手段２～６のいずれか１つにおいて、前記コイルモジュールにおいて、前記バックヨーク側絶縁壁は、前記バックヨークの軸方向端面よりも軸方向外側に延びるヨーク外部分を有しており、そのヨーク外部分に、前記バックヨークとの周方向の対向面よりも当該バックヨーク側に突出するようにして前記押圧部が一体成形されている。
【００２２】
上記構成では、コイルモジュールは、バックヨーク側絶縁壁のヨーク外部分に、バックヨークを軸方向に押圧する押圧部が一体成形された構成となっており、例えば樹脂材料の射出成形によりバックヨーク側絶縁壁と押圧部とを同時成形することができる。これにより、構成の簡素化を図ることができる。
【００２３】
手段８では、手段２～７のいずれか１つにおいて、前記バックヨークには、径方向内側及び径方向外側のうち前記バックヨーク側絶縁壁とは逆側となる位置に、前記押圧部とは別に、前記コアシートの積層状態を保持するための積層保持構造が設けられている。
【００２４】
上記構成では、バックヨークの径方向内外のいずれか一方側においてコイルモジュールによる軸方向の押圧が行われることに加えて、バックヨークの径方向内外の他方側において、積層保持構造によりコアシートの積層状態が保持される。積層保持構造としては、コアシートの溶接による接合、コアシートのカシメによる接合、接着剤による接合、バックヨークにおいてコイルモジュールとは逆側に組み付けられる筒状部材の摩擦力による積層保持などが考えられる。これにより、バックヨークの軸長寸法の縮小化をより一層適正に実現できる。
【００２５】
手段９では、手段２～８のいずれか１つにおいて、前記バックヨーク側絶縁壁において前記バックヨークの軸方向端面よりも軸方向外側に延びるヨーク外部分に設けられた前記押圧部と、前記バックヨークの軸方向端面との間に、前記軸方向端面に当接する板状のスペーサが設けられており、前記スペーサは、前記バックヨークの軸方向端面に対する径方向の重複量が前記押圧部よりも大きく、当該スペーサを介して、前記押圧部により前記バックヨークの軸方向端面が押圧されている。
【００２６】
上記構成では、バックヨーク側絶縁壁の押圧部とバックヨークの軸方向端面との間に設けられるスペーサとして、バックヨークの軸方向端面に対する径方向の重複量が押圧部よりも大きいスペーサを用い、そのスペーサを介して押圧部によりバックヨークの軸方向端面が押圧されている。この場合、バックヨークの広範囲を軸方向から均一に押圧できる。そのため、コアシートの縁部の反り返りを抑制できる。
【００２７】
手段１０では、手段９において、前記スペーサにおいて前記押圧部との対向面には、軸方向に延びる凹部が形成されており、その凹部に前記押圧部の一部が入り込む構成となっている。
【００２８】
上記構成では、コイルモジュールのバックヨーク側絶縁壁に一体成形された押圧部の一部が、スペーサにおいて軸方向に向けて形成された凹部が入り込むことで、バックヨークに対するコイルモジュールの径方向の移動が規制されている。これにより、コイルモジュールによるバックヨークの軸方向押圧機能を好適に維持することができる。

【００２９】
手段１１では、手段１～１０のいずれか１つにおいて、前記ベース部材は、前記バックヨークの軸方向端面に固定されたエンドリングを有し、そのエンドリングに、前記バックヨークにおける前記部分巻線側の径方向表面よりも凹ませて凹部が形成されており、前記押圧部は、前記凹部に対して径方向に対向するように設けられ、かつ前記凹部において前記ベース部材に対して周方向に係合している。
【００３０】
上記構成では、ベース部材のエンドリングに形成された凹部に対して、径方向に対向するように押圧部が設けられており、その状態において押圧部によりバックヨークが軸方向に押圧されている。また、押圧部が、凹部においてベース部材に対して周方向に係合していることにより、ベース部材に対する各部分巻線の周方向の位置精度を高めることができる。この場合、スロットレス構造を有する電機子にあっても、電機子巻線の組み付けを好適に実施できる。
【００３１】
手段１２では、手段１において、前記バックヨーク及び前記部分巻線が、前記バックヨークと前記部分巻線との軸方向両端部分、及び前記部分巻線の反バックヨーク側の側面部分を含む範囲で一体に樹脂モールドされており、前記樹脂モールドにより形成された被覆部のうち、軸方向両側において前記バックヨークの軸方向端面を覆う端面被覆部が前記押圧部として機能する。
【００３２】
上記構成では、バックヨーク及び部分巻線が樹脂モールドにより一体化されており、その状態で、樹脂モールドにより形成された被覆部のうち、軸方向両側においてバックヨークの軸方向端面を覆う端面被覆部が押圧部として機能する。この場合、樹脂モールドにより形成された被覆部は、バックヨークと部分巻線との軸方向両端部分、及び部分巻線の反バックヨーク側の側面部分を含む範囲で設けられており、被覆部の軸方向両端部分が、同じく被覆部の側面部分に繋がっていることにより、被覆部の軸方向両端部分どうしの距離が拡がることなく維持される。これにより、被覆部においてバックヨークに対する押圧機能を発揮させることができる。
【００３３】
なお、バックヨークは、積層状態のコアシートが軸方向に加圧圧縮された状態で樹脂モールドされた構成であるとよい。
【００３４】
手段１３としての回転電機は、手段１～１２のいずれか１つに記載の電機子と、周方向に極性が交互となる複数の磁極を有する界磁子とを備え、前記界磁子及び前記電機子のうちいずれかが回転軸と共に回転する。
【００３５】
上記構成によれば、バックヨークの軸長寸法の縮小化や性能確保が図られた電機子を用いることで、回転電機の小型化が可能になるとともに安全性を十分に確保できる。また、スロットレス構造の電機子を有する回転電機を好適に実現できる。
【図面の簡単な説明】
【００３６】
【図１】回転電機の縦断面斜視図。
【図２】回転電機の縦断面図。
【図３】図２のIII－III線断面図。
【図４】図３の一部を拡大して示す断面図。
【図５】回転電機の分解図。
【図６】インバータユニットの分解図。
【図７】固定子巻線のアンペアターンとトルク密度との関係を示すトルク線図。
【図８】回転子及び固定子の横断面図。
【図９】図８の一部を拡大して示す図。

【図１０】固定子の横断面図。
【図１１】固定子の縦断面図。
【図１２】固定子巻線の斜視図。
【図１３】導線の構成を示す斜視図。
【図１４】素線の構成を示す模式図。
【図１５】ｎ層目における各導線の形態を示す図。
【図１６】ｎ層目とｎ＋１層目の各導線を示す側面図。
【図１７】実施形態の磁石について電気角と磁束密度との関係を示す図。
【図１８】比較例の磁石について電気角と磁束密度との関係を示す図。
【図１９】回転電機の制御システムの電気回路図。
【図２０】制御装置による電流フィードバック制御処理を示す機能ブロック図。
【図２１】制御装置によるトルクフィードバック制御処理を示す機能ブロック図。
【図２２】第２実施形態における回転子及び固定子の横断面図。
【図２３】図２２の一部を拡大して示す図。
【図２４】磁石ユニットにおける磁束の流れを具体的に示す図。
【図２５】変形例１における固定子の断面図。
【図２６】変形例１における固定子の断面図。
【図２７】変形例２における固定子の断面図。
【図２８】変形例３における固定子の断面図。
【図２９】変形例４における固定子の断面図。
【図３０】変形例７における回転子及び固定子の横断面図。
【図３１】変形例８において操作信号生成部の処理の一部を示す機能ブロック図。
【図３２】キャリア周波数変更処理の手順を示すフローチャート。
【図３３】変形例９において導線群を構成する各導線の接続形態を示す図。
【図３４】変形例９において４対の導線が積層配置されている構成を示す図。
【図３５】変形例１０においてインナロータ型の回転子及び固定子の横断面図。
【図３６】図３５の一部を拡大して示す図。
【図３７】インナロータ型の回転電機の縦断面図。
【図３８】インナロータ型の回転電機の概略構成を示す縦断面図。
【図３９】変形例１１においてインナロータ構造の回転電機の構成を示す図。
【図４０】変形例１１においてインナロータ構造の回転電機の構成を示す図。
【図４１】変形例１２において回転電機子形の回転電機の構成を示す図。
【図４２】変形例１４における導線の構成を示す断面図。
【図４３】リラクタンストルク、磁石トルク及びＤＭの関係を示す図。
【図４４】ティースを示す図。
【図４５】インホイールモータ構造の車輪及びその周辺構造を示す斜視図。
【図４６】車輪及びその周辺構造の縦断面図。
【図４７】車輪の分解斜視図。
【図４８】回転電機を回転軸の突出側から見た側面図。
【図４９】図４８の４９－４９線断面図。
【図５０】図４９の５０－５０線断面図。
【図５１】回転電機の分解断面図。
【図５２】回転子の部分断面図。
【図５３】固定子巻線及び固定子コアの斜視図。
【図５４】固定子巻線を平面状に展開して示す正面図。
【図５５】導線のスキューを示す図。
【図５６】インバータユニットの分解断面図。
【図５７】インバータユニットの分解断面図。
【図５８】インバータハウジングでの各電気モジュールの配置の状態を示す図。
【図５９】電力変換器の電気的構成を示す回路図。

【図６０】スイッチモジュールの冷却構造例を示す図。
【図６１】スイッチモジュールの冷却構造例を示す図。
【図６２】スイッチモジュールの冷却構造例を示す図。
【図６３】スイッチモジュールの冷却構造例を示す図。
【図６４】スイッチモジュールの冷却構造例を示す図。
【図６５】冷却水通路に対する各電気モジュールの配列順序を示す図。
【図６６】図４９の６６－６６線断面図。
【図６７】図４９の６７－６７線断面図。
【図６８】バスバーモジュールを単体で示す斜視図。
【図６９】各電気モジュールとバスバーモジュールとの電気的な接続状態を示す図。
【図７０】各電気モジュールとバスバーモジュールとの電気的な接続状態を示す図。
【図７１】各電気モジュールとバスバーモジュールとの電気的な接続状態を示す図。
【図７２】インホイールモータにおける変形例１を説明するための構成図。
【図７３】インホイールモータにおける変形例２を説明するための構成図。
【図７４】インホイールモータにおける変形例３を説明するための構成図。
【図７５】インホイールモータにおける変形例４を説明するための構成図。
【図７６】変形例１５における回転電機の全体を示す斜視図。
【図７７】回転電機の縦断面図。
【図７８】回転電機の横断面図。
【図７９】回転子の断面図。
【図８０】磁石ユニットの断面構造を示す部分断面図。
【図８１】磁石ユニットの一部を拡大して示す部分断面図。
【図８２】固定子の構成を示す斜視図。
【図８３】固定子巻線と固定子コアとを分解して示す斜視図。
【図８４】各相の相巻線のうちＵ相巻線に相当する構成のみを示す斜視図。
【図８５】固定子の縦断面図。
【図８６】３相の各相巻線における部分巻線の接続状態を示す回路図。
【図８７】コイルモジュールの構成を示す図。
【図８８】コイルモジュールの構成を示す図。
【図８９】コイルモジュールの構成を示す図。
【図９０】コイルモジュールの構成を示す図。
【図９１】固定子の縦断面を示す断面図。
【図９２】固定子の横断面を示す断面図。
【図９３】固定子コア及びエンドリングとコイルモジュールとを互いに分離して示す断面図。
【図９４】インナユニットの縦断面図。
【図９５】インナユニットの縦断面図。
【図９６】バスバーモジュールの斜視図。
【図９７】バスバーモジュールの縦断面の一部を示す断面図。
【図９８】各バスバーに対する接続端子の接続位置を示す略図。
【図９９】部分巻線における導線の巻回順序を示す図。
【図１００】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１０１】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１０２】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１０３】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１０４】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１０５】固定子の横断面を示す断面図。
【図１０６】固定子の横断面を示す断面図。
【図１０７】固定子の横断面を示す断面図。
【図１０８】固定子の横断面と固定子コアのコアシートとを示す図。

【図１０９】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１１０】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１１】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１２】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１３】固定子コアの正面図。
【図１１４】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１５】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１６】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１７】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１１８】コイルモジュールの正面図。
【図１１９】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１２０】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１２１】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１２２】固定子コアに対するコイルモジュールの組み付けを示す図。
【図１２３】固定子の斜視図。
【図１２４】変形例１７における固定子の構成を示す斜視図。
【図１２５】固定子の正面図。
【図１２６】固定子の縦断面図。
【図１２７】固定子の横断面図。
【図１２８】固定子巻線と固定子コアとを分解して示す斜視図。
【図１２９】３相の各相巻線における部分巻線の接続状態を示す回路図。
【図１３０】コイルモジュールの斜視図。
【図１３１】コイルモジュールの構成を示す図。
【図１３２】複数のコイルモジュールを周方向に並べた状態を示す斜視図。
【図１３３】複数のコイルモジュールを周方向に並べた状態における横断面を示す図。
【図１３４】部分巻線の断面構造を示す断面図。
【図１３５】導線の構成を示す斜視図。
【発明を実施するための形態】
【００３７】
図面を参照しながら、複数の実施形態を説明する。複数の実施形態において、機能的におよび／または構造的に対応する部分および／または関連付けられる部分には同一の参照符号、または百以上の位が異なる参照符号が付される場合がある。対応する部分および／又は関連付けられる部分については、他の実施形態の説明を参照することができる。
【００３８】
本実施形態における回転電機は、例えば車両動力源として用いられるものとなっている。ただし、回転電機は、産業用、車両用、家電用、ＯＡ機器用、遊技機用などとして広く用いられることが可能となっている。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一又は均等である部分には、図中、同一符号を付しており、同一符号の部分についてはその説明を援用する。
【００３９】
（第１実施形態）
本実施形態に係る回転電機１０は、同期式多相交流モータであり、アウタロータ構造（外転構造）のものとなっている。回転電機１０の概要を図１乃至図５に示す。図１は、回転電機１０の縦断面斜視図であり、図２は、回転電機１０の回転軸１１に沿う方向での縦断面図であり、図３は、回転軸１１に直交する方向での回転電機１０の横断面図（図２のIII－III線断面図）であり、図４は、図３の一部を拡大して示す断面図であり、図５は、回転電機１０の分解図である。なお、図３では、図示の都合上、回転軸１１を除き、切断面を示すハッチングを省略している。以下の記載では、回転軸１１が延びる方向を軸方向とし、回転軸１１の中心から放射状に延びる方向を径方向とし、回転軸１１を中心として円周状に延びる方向を周方向としている。

【００４０】
回転電機１０は、大別して、軸受ユニット２０と、ハウジング３０と、回転子４０と、固定子５０と、インバータユニット６０とを備えている。これら各部材は、いずれも回転軸１１と共に同軸上に配置され、所定順序で軸方向に組み付けられることで回転電機１０が構成されている。本実施形態の回転電機１０は、「界磁子」としての回転子４０と、「電機子」としての固定子５０とを有する構成となっており、回転界磁形の回転電機として具体化されるものとなっている。
【００４１】
軸受ユニット２０は、軸方向に互いに離間して配置される２つの軸受２１，２２と、その軸受２１，２２を保持する保持部材２３とを有している。軸受２１，２２は、例えばラジアル玉軸受であり、それぞれ外輪２５と、内輪２６と、それら外輪２５及び内輪２６の間に配置された複数の玉２７とを有している。保持部材２３は円筒状をなしており、その径方向内側に軸受２１，２２が組み付けられている。そして、軸受２１，２２の径方向内側に、回転軸１１及び回転子４０が回転自在に支持されている。軸受２１，２２により、回転軸１１を回転可能に支持する一組の軸受が構成されている。
【００４２】
各軸受２１，２２では、不図示のリテーナにより玉２７が保持され、その状態で各玉同士のピッチが保たれている。軸受２１，２２は、リテーナの軸方向上下部に封止部材を有し、その内部に非導電性グリース（例えば非導電性のウレア系グリース）が充填されている。また、内輪２６の位置がスペーサにより機械的に保持され、内側から上下方向に凸となる定圧予圧が施されている。
【００４３】
ハウジング３０は、円筒状をなす周壁３１を有する。周壁３１は、その軸方向に対向する第１端と第２端を有する。周壁３１は、第１端に端面３２と有するとともに、第２端に開口３３を有する。開口３３は、第２端の全体において開放されている。端面３２には、その中央に円形の孔３４が形成されており、その孔３４に挿通させた状態で、ネジやリベット等の固定具により軸受ユニット２０が固定されている。また、ハウジング３０内、すなわち周壁３１及び端面３２により区画された内部スペースには、中空円筒状の回転子４０と中空円筒状の固定子５０とが収容されている。本実施形態では回転電機１０がアウタロータ式であり、ハウジング３０内には、筒状をなす回転子４０の径方向内側に固定子５０が配置されている。回転子４０は、軸方向において端面３２の側で回転軸１１に片持ち支持されている。
【００４４】
回転子４０は、中空筒状に形成された磁石ホルダ４１と、その磁石ホルダ４１の径方向内側に設けられた環状の磁石ユニット４２とを有している。磁石ホルダ４１は、略カップ状をなし、磁石保持部材としての機能を有する。磁石ホルダ４１は、円筒状をなす円筒部４３と、同じく円筒状をなしかつ円筒部４３よりも小径の固定部（attachment）４４と、それら円筒部４３及び固定部４４を繋ぐ部位となる中間部４５とを有している。円筒部４３の内周面に磁石ユニット４２が取り付けられている。
【００４５】
なお、磁石ホルダ４１は、機械強度が充分な冷間圧延鋼板（ＳＰＣＣ）や、鍛造用鋼、炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）等により構成されている。
【００４６】
固定部４４の貫通孔４４ａには回転軸１１が挿通される。貫通孔４４ａ内に配置された回転軸１１に対して固定部４４が固定されている。つまり、固定部４４により、回転軸１１に対して磁石ホルダ４１が固定されている。なお、固定部４４は、凹凸を利用したスプライン結合やキー結合、溶接、又はかしめ等により回転軸１１に対して固定されているとよい。これにより、回転子４０が回転軸１１と一体に回転する。
【００４７】
また、固定部４４の径方向外側には、軸受ユニット２０の軸受２１，２２が組み付けら

れている。上述のとおり軸受ユニット２０はハウジング３０の端面３２に固定されているため、回転軸１１及び回転子４０は、ハウジング３０に回転可能に支持されるものとなっている。これにより、ハウジング３０内において回転子４０が回転自在となっている。

【００４８】

回転子４０には、その軸方向に対向する二つの端部の一方にのみ固定部４４が設けられており、これにより、回転子４０が回転軸１１に片持ち支持されている。ここで、回転子４０の固定部４４は、軸受ユニット２０の軸受２１，２２により、軸方向に異なる２位置で回転可能に支持されている。すなわち、回転子４０は、磁石ホルダ４１の、その軸方向に対向する二つの端部の一方において、その軸方向に離間する二つの軸受２１，２２により回転可能に支持されている。そのため、回転子４０が回転軸１１に片持ち支持される構造であっても、回転子４０の安定回転が実現されるようになっている。この場合、回転子４０の軸方向中心位置に対して片側にずれた位置で、回転子４０が軸受２１，２２により支持されている。

【００４９】

また、軸受ユニット２０において回転子４０の中心寄り（図の下側）の軸受２２と、その逆側（図の上側）の軸受２１とは、外輪２５及び内輪２６と玉２７との間の隙間寸法が相違しており、例えば回転子４０の中心寄りの軸受２２の方が、その逆側の軸受２１よりも隙間寸法が大きいものとなっている。この場合、回転子４０の中心寄りの側において、回転子４０の振れや、部品公差に起因するインバランスによる振動が軸受ユニット２０に作用しても、その振れや振動の影響が良好に吸収される。具体的には、回転子４０の中心寄り（図の下側）の軸受２２において予圧により遊び寸法（隙間寸法）を大きくしていることで、片持ち構造において生じる振動がその遊び部分により吸収される。前記予圧は、定位置予圧、又は定圧予圧のいずれであっても良い。定位置予圧の場合、軸受２１と軸受２２の外輪２５はいずれも保持部材２３に対して、圧入、又は接着等の方法を用いて接合されている。また、軸受２１と軸受２２の内輪２６はいずれも回転軸１１に対して、圧入、又は接着等の方法を用いて接合されている。ここで軸受２１の外輪２５を軸受２１の内輪２６に対して軸方向に異なる位置に配置する事で予圧を発生させることができる。軸受２２の外輪２５を軸受２２の内輪２６に対して軸方向に異なる位置に配置する事でも予圧を発生させることができる。

【００５０】

また定圧予圧を採用する場合には、軸方向において、軸受２２と軸受２１に挟まれた領域から軸受２２の外輪２５に向けて予圧が発生する様に予圧用バネ、例えばウェーブワッシャ２４等を軸受２２と軸受２１に挟まれた同領域に配置する。この場合も、軸受２１と軸受２２の内輪２６はいずれも回転軸１１に対して、圧入、又は接着等の方法を用いて接合されている。軸受２１、又は軸受２２の外輪２５は、保持部材２３に対して所定のクリアランスを介して配置される。このような構成とすることで、軸受２２の外輪２５には軸受２１から離れる方向に予圧用バネのバネ力が作用する。そして、この力が回転軸１１を伝わることで、軸受２１の内輪２６を軸受２２の方向に押し付ける力が作用する。これにより、軸受２１，２２ともに、外輪２５と内輪２６の軸方向の位置がずれ、前述した定位置予圧と同様に２つのベアリングに予圧を掛けることができる。

【００５１】

なお、定圧予圧を発生させる際には、必ずしも図２に示す様に軸受２２の外輪２５にバネ力を印加する必要は無い。例えば、軸受２１の外輪２５にバネ力を印加しても良い。また軸受２１，２２のいずれかの内輪２６を回転軸１１に対して所定のクリアランスを介して配置し、軸受２１，２２の外輪２５を保持部材２３に対して圧入、又は接着等の方法を用いて接合することで、２つのベアリングに予圧を掛けても良い。

【００５２】

更には、軸受２１の内輪２６が軸受２２に対して離れるように力を作用させる場合には、軸受２２の内輪２６も軸受２１に対して離れるように力を作用させる方が良い。逆に、軸受２１の内輪２６が軸受２２に対して近づくように力を作用させる場合には、軸受２２

の内輪２６も軸受２１に対して近づくように力を作用させる方が良い。
【００５３】
なお、本回転電機１０を車両動力源等の目的で車両に適用する場合には、予圧を発生させる機構に対して予圧の発生方向の成分を持つ振動が加わる可能性や、予圧を印加する対象物に掛る重力の方向が変動してしまう可能性がある。その為、本回転電機１０を車両に適用する場合には、定位置予圧を採用することが望ましい。
【００５４】
また、中間部４５は、環状の内側肩部４９ａと環状の外側肩部４９ｂを有する。外側肩部４９ｂは、中間部４５の径方向において内側肩部４９ａの外側に位置している。内側肩部４９ａと外側肩部４９ｂは、中間部４５の軸方向において互いに離間している。これにより、中間部４５の径方向において、円筒部４３と固定部４４とは部分的に重複している。つまり、固定部４４の基端部（図の下側の奥側端部）よりも軸方向外側に、円筒部４３が突出するものとなっている。本構成では、中間部４５が段差無しで平板状に設けられる場合に比べて、回転子４０の重心近くの位置で、回転軸１１に対して回転子４０を支持させることが可能となり、回転子４０の安定動作が実現できるものとなっている。
【００５５】
上述した中間部４５の構成によれば、回転子４０には、径方向において固定部４４を囲みかつ中間部４５の内寄りとなる位置に、軸受ユニット２０の一部を収容する軸受収容凹部４６が環状に形成されるとともに、径方向において軸受収容凹部４６を囲みかつ中間部４５の外寄りとなる位置に、後述する固定子５０の固定子巻線５１のコイルエンド５４を収容するコイル収容凹部４７が形成されている。そして、これら各収容凹部４６，４７が、径方向の内外で隣り合うように配置されるようになっている。つまり、軸受ユニット２０の一部と、固定子巻線５１のコイルエンド５４とが径方向内外に重複するように配置されている。これにより、回転電機１０において軸方向の長さ寸法の短縮が可能となっている。
【００５６】
中間部４５は、回転軸１１側から径方向外側に張り出すように設けられている。そして、その中間部４５に、軸方向に延び、固定子５０の固定子巻線５１のコイルエンド５４に対する接触を回避する接触回避部が設けられている。中間部４５が張出部に相当する。
【００５７】
コイルエンド５４は、径方向の内側又は外側に曲げられることで、そのコイルエンド５４の軸方向寸法を小さくすることができ、固定子５０の軸長を短縮することが可能である。コイルエンド５４の曲げ方向は、回転子４０との組み付けを考慮したものであるとよい。回転子４０の径方向内側に固定子５０を組み付けることを想定すると、その回転子４０に対する挿入先端側では、コイルエンド５４が径方向内側に曲げられるとよい。コイルエンド５４の反対側のコイルエンドの曲げ方向は任意でよいが、空間的に余裕のある外側に曲げた形状が製造上好ましい。
【００５８】
また、磁石部としての磁石ユニット４２は、円筒部４３の径方向内側において、周方向に沿って極性が交互に変わるように配置された複数の永久磁石により構成されている。これにより、磁石ユニット４２は、周方向に複数の磁極を有する。ただし、磁石ユニット４２の詳細については後述する。
【００５９】
固定子５０は、回転子４０の径方向内側に設けられている。固定子５０は、略筒状（環状）に巻回形成された固定子巻線５１と、その径方向内側に配置されたベース部材としての固定子コア５２とを有しており、固定子巻線５１が、所定のエアギャップを挟んで円環状の磁石ユニット４２に対向するように配置されている。固定子巻線５１は複数の相巻線よりなる。それら各相巻線は、周方向に配列された複数の導線が所定ピッチで互いに接続されることで構成されている。本実施形態では、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の３相巻線と、Ｘ相、Ｙ相及びＺ相の３相巻線とを用い、それら３相の巻線を２つ用いることで、固定子巻線

５１が６相の相巻線として構成されている。

【００６０】

固定子コア５２は、軟磁性材である電磁鋼板が積層された積層鋼板により円環状に形成されており、固定子巻線５１の径方向内側に組み付けられている。電磁鋼板は、例えば鉄に数％程度（例えば３％）の珪素を添加した珪素鋼板である。固定子巻線５１が電機子巻線に相当し、固定子コア５２が電機子コアに相当する。

【００６１】

固定子巻線５１は、径方向において固定子コア５２に重複する部分であり、かつ固定子コア５２の径方向外側となるコイルサイド部５３と、軸方向において固定子コア５２の一端側及び他端側にそれぞれ張り出すコイルエンド５４，５５とを有している。コイルサイド部５３は、径方向において固定子コア５２と回転子４０の磁石ユニット４２にそれぞれ対向している。回転子４０の内側に固定子５０が配置された状態では、軸方向両側のコイルエンド５４，５５のうち軸受ユニット２０の側（図の上側）となるコイルエンド５４が、回転子４０の磁石ホルダ４１により形成されたコイル収容凹部４７に収容されている。ただし、固定子５０の詳細については後述する。

【００６２】

インバータユニット６０は、ハウジング３０に対してボルト等の締結具により固定されるユニットベース６１と、そのユニットベース６１に組み付けられる複数の電気コンポーネント６２とを有している。ユニットベース６１は、例えば炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）により構成されている。ユニットベース６１は、ハウジング３０の開口３３の縁に対して固定されるエンドプレート６３と、そのエンドプレート６３に一体に設けられ、軸方向に延びるケーシング６４とを有している。エンドプレート６３は、その中心部に円形の開口６５を有しており、開口６５の周縁部から起立するようにしてケーシング６４が形成されている。

【００６３】

ケーシング６４の外周面には固定子５０が組み付けられている。つまり、ケーシング６４の外径寸法は、固定子コア５２の内径寸法と同じか、又は固定子コア５２の内径寸法よりも僅かに小さい寸法になっている。ケーシング６４の外側に固定子コア５２が組み付けられることで、固定子５０とユニットベース６１とが一体化されている。また、ユニットベース６１がハウジング３０に固定されることからすると、ケーシング６４に固定子コア５２が組み付けられた状態では、固定子５０がハウジング３０に対して一体化された状態となっている。

【００６４】

なお、固定子コア５２は、ユニットベース６１に対して接着、焼きばめ、圧入等により組み付けられているとよい。これにより、ユニットベース６１側に対する固定子コア５２の周方向又は軸方向の位置ずれが抑制される。

【００６５】

また、ケーシング６４の径方向内側は、電気コンポーネント６２を収容する収容空間となっており、その収容空間には、回転軸１１を囲むようにして電気コンポーネント６２が配置されている。ケーシング６４は、収容空間形成部としての役目を有している。電気コンポーネント６２は、インバータ回路を構成する半導体モジュール６６や、制御基板６７、コンデンサモジュール６８を具備する構成となっている。

【００６６】

なお、ユニットベース６１が、固定子５０の径方向内側に設けられ、固定子５０を保持する固定子ホルダ（電機子ホルダ）に相当する。ハウジング３０及びユニットベース６１により、回転電機１０のモータハウジングが構成されている。このモータハウジングでは、回転子４０を挟んで軸方向の一方側においてハウジング３０に対して保持部材２３が固定されるとともに、他方側においてハウジング３０及びユニットベース６１が互いに結合されている。例えば電気自動車である電動車両等においては、その車両等の側にモータハウジングが取り付けられることで、回転電機１０が車両等に装着される。

【００６７】
ここで、上記図１～図５に加え、インバータユニット６０の分解図である図６を用いて、インバータユニット６０の構成をさらに説明する。
【００６８】
ユニットベース６１において、ケーシング６４は、筒状部７１と、その軸方向において対向する両端の一方（軸受ユニット２０側の端部）に設けられた端面７２とを有している。筒状部７１の軸方向両端部のうち端面７２の反対側は、エンドプレート６３の開口６５を通じて全面的に開放されている。端面７２には、その中央に円形の孔７３が形成されており、その孔７３に回転軸１１が挿通可能となっている。孔７３には、回転軸１１の外周面との間の空隙を封鎖するシール材１７１が設けられている。シール材１７１は、例えば樹脂材料よりなる摺動シールであるとよい。
【００６９】
ケーシング６４の筒状部７１は、その径方向外側に配置される回転子４０及び固定子５０と、その径方向内側に配置される電気コンポーネント６２との間を仕切る仕切り部となっており、筒状部７１を挟んで径方向内外に、回転子４０及び固定子５０と電気コンポーネント６２とが並ぶようにそれぞれ配置されている。
【００７０】
また、電気コンポーネント６２は、インバータ回路を構成する電気部品であり、固定子巻線５１の各相巻線に対して所定順序で電流を流して回転子４０を回転させる力行機能と、回転軸１１の回転に伴い固定子巻線５１に流れる３相交流電流を入力し、発電電力として外部に出力する発電機能とを有している。なお、電気コンポーネント６２は、力行機能と発電機能とのうちいずれか一方のみを有するものであってもよい。発電機能は、例えば回転電機１０が車両用動力源として用いられる場合、回生電力として外部に出力する回生機能である。
【００７１】
電気コンポーネント６２の具体的な構成として、図４に示すように、回転軸１１の周りには、中空円筒状をなすコンデンサモジュール６８が設けられており、そのコンデンサモジュール６８の外周面上に、複数の半導体モジュール６６が周方向に並べて配置されている。コンデンサモジュール６８は、互いに並列接続された平滑用のコンデンサ６８ａを複数備えている。具体的には、コンデンサ６８ａは、複数枚のフィルムコンデンサが積層されてなる積層型フィルムコンデンサであり、横断面が台形状をなしている。コンデンサモジュール６８は、１２個のコンデンサ６８ａが環状に並べて配置されることで構成されている。
【００７２】
なお、コンデンサ６８ａの製造過程においては、例えば、複数のフィルムが積層されてなる所定幅の長尺フィルムを用い、フィルム幅方向を台形高さ方向とし、かつ台形の上底と下底とが交互になるように長尺フィルムが等脚台形状に切断されることにより、コンデンサ素子が作られる。そして、そのコンデンサ素子に電極等を取り付けることでコンデンサ６８ａが作製される。
【００７３】
半導体モジュール６６は、例えばＭＯＳＦＥＴやＩＧＢＴ等の半導体スイッチング素子を有し、略板状に形成されている。本実施形態では、回転電機１０が２組の３相巻線を備えており、その３相巻線ごとにインバータ回路が設けられていることから、計１２個の半導体モジュール６６を環状に並べて形成された半導体モジュール群６６Ａが電気コンポーネント６２に設けられている。
【００７４】
半導体モジュール６６は、ケーシング６４の筒状部７１とコンデンサモジュール６８との間に挟まれた状態で配置されている。半導体モジュール群６６Ａの外周面は筒状部７１の内周面に当接し、半導体モジュール群６６Ａの内周面はコンデンサモジュール６８の外周面に当接している。この場合、半導体モジュール６６で生じた熱は、ケーシング６４を

介してエンドプレート６３に伝わり、エンドプレート６３から放出される。
【００７５】
半導体モジュール群６６Ａは、外周面側、すなわち径方向において半導体モジュール６６と筒状部７１との間にスペーサ６９を有しているとよい。この場合、コンデンサモジュール６８では軸方向に直交する横断面の断面形状が正１２角形である一方、筒状部７１の内周面の横断面形状が円形であるため、スペーサ６９は、内周面が平坦面、外周面が曲面となっている。スペーサ６９は、半導体モジュール群６６Ａの径方向外側において円環状に連なるように一体に設けられていてもよい。スペーサ６９は、良熱伝導体であり、例えばアルミニウム等の金属、又は放熱ゲルシート等であるとよい。なお、筒状部７１の内周面の横断面形状をコンデンサモジュール６８と同じ１２角形にすることも可能である。この場合、スペーサ６９の内周面及び外周面がいずれも平坦面であるとよい。
【００７６】
また、本実施形態では、ケーシング６４の筒状部７１に、冷却水を流通させる冷却水通路７４が形成されており、半導体モジュール６６で生じた熱は、冷却水通路７４を流れる冷却水に対しても放出される。つまり、ケーシング６４は水冷機構を備えている。図３や図４に示すように、冷却水通路７４は、電気コンポーネント６２（半導体モジュール６６及びコンデンサモジュール６８）を囲むように環状に形成されている。半導体モジュール６６は筒状部７１の内周面に沿って配置されており、その半導体モジュール６６に対して径方向内外に重なる位置に冷却水通路７４が設けられている。
【００７７】
筒状部７１の外側には固定子５０が配置され、内側には電気コンポーネント６２が配置されていることから、筒状部７１に対しては、その外側から固定子５０の熱が伝わるとともに、内側から電気コンポーネント６２の熱（例えば半導体モジュール６６の熱）が伝わることになる。この場合、固定子５０と半導体モジュール６６とを同時に冷やすことが可能となっており、回転電機１０における発熱部材の熱を効率良く放出することができる。
【００７８】
更に、固定子巻線５１への通電を行うことで回転電機を動作させるインバータ回路の一部、又は全部を構成する半導体モジュール６６の少なくとも一部が、ケーシング６４の筒状部７１の径方向外側に配置された固定子コア５２に囲まれた領域内に配置されている。望ましくは、１つの半導体モジュール６６の全体が固定子コア５２に囲まれた領域内に配置されている。更に、望ましくは、全ての半導体モジュール６６の全体が固定子コア５２に囲まれた領域内に配置されている。
【００７９】
また、半導体モジュール６６の少なくとも一部が、冷却水通路７４により囲まれた領域内に配置されている。望ましくは、全ての半導体モジュール６６の全体がヨーク１４１に囲まれた領域内に配置されている。
【００８０】
また、電気コンポーネント６２は、軸方向において、コンデンサモジュール６８の一方の端面に設けられた絶縁シート７５と、他方の端面に設けられた配線モジュール７６とを備えている。この場合、コンデンサモジュール６８は、その軸方向に対向した二つの端面、すなわち第１端面と第２端面を有している。コンデンサモジュール６８の軸受ユニット２０に近い第１端面は、ケーシング６４の端面７２に対向しており、絶縁シート７５を挟んだ状態で端面７２に重ね合わされている。また、コンデンサモジュール６８の開口６５に近い第２端面には、配線モジュール７６が組み付けられている。
【００８１】
配線モジュール７６は、合成樹脂材よりなり円形板状をなす本体部７６ａと、その内部に埋設された複数のバスバー７６ｂ，７６ｃを有しており、そのバスバー７６ｂ，７６ｃにより、半導体モジュール６６やコンデンサモジュール６８と電気的接続がなされている。具体的には、半導体モジュール６６は、その軸方向端面から延びる接続ピン６６ａを有しており、その接続ピン６６ａが、本体部７６ａの径方向外側においてバスバー７６ｂに

接続されている。また、バスバー７６ｃは、本体部７６ａの径方向外側においてコンデンサモジュール６８とは反対側に延びており、その先端部にて配線部材７９に接続されるようになっている（図２参照）。

【００８２】

上記のとおりコンデンサモジュール６８の軸方向に対向する第１端面に絶縁シート７５が設けられ、かつコンデンサモジュール６８の第２端面に配線モジュール７６が設けられた構成によれば、コンデンサモジュール６８の放熱経路として、コンデンサモジュール６８の第１端面および第２端面から端面７２及び筒状部７１に至る経路が形成される。すなわち、第１端面から端面７２への経路と、第２端面から筒状部７１へ至る経路が形成される。これにより、コンデンサモジュール６８において半導体モジュール６６が設けられた外周面以外の端面部からの放熱が可能になっている。つまり、径方向への放熱だけでなく、軸方向への放熱も可能となっている。

【００８３】

また、コンデンサモジュール６８は中空円筒状をなし、その内周部には所定の隙間を介在させて回転軸１１が配置されることから、コンデンサモジュール６８の熱はその中空部からも放出可能となっている。この場合、回転軸１１の回転により空気の流れが生じることにより、その冷却効果が高められるようになっている。

【００８４】

配線モジュール７６には、円板状の制御基板６７が取り付けられている。制御基板６７は、所定の配線パターンが形成されたプリントサーキットボード（ＰＣＢ）を有しており、そのボード上には各種ＩＣや、マイコン等からなる制御部に相当する制御装置７７が実装されている。制御基板６７は、ネジ等の固定具により配線モジュール７６に固定されている。制御基板６７は、その中央部に、回転軸１１を挿通させる挿通孔６７ａを有している。

【００８５】

なお、配線モジュール７６は、軸方向に互いに対向する、すなわち、その厚み方向において互いに対向する第１面と第２面を有する。第１面は、コンデンサモジュール６８に面する。配線モジュール７６は、その第２面に、制御基板６７を設けている。制御基板６７の両面の一方側から他方側に配線モジュール７６のバスバー７６ｃが延びる構成となっている。かかる構成において、制御基板６７には、バスバー７６ｃとの干渉を回避する切欠が設けられているとよい。例えば、円形状をなす制御基板６７の外縁部の一部が切り欠かれているとよい。

【００８６】

上述のとおり、ケーシング６４に囲まれた空間内に電気コンポーネント６２が収容され、その外側に、ハウジング３０、回転子４０及び固定子５０が層状に設けられている構成によれば、インバータ回路で生じる電磁ノイズが好適にシールドされるようになっている。すなわち、インバータ回路では、所定のキャリア周波数によるＰＷＭ制御を利用して各半導体モジュール６６でのスイッチング制御が行われ、そのスイッチング制御により電磁ノイズが生じることが考えられるが、その電磁ノイズを、電気コンポーネント６２の径方向外側のハウジング３０、回転子４０、固定子５０等により好適にシールドできる。

【００８７】

更に、半導体モジュール６６の少なくとも一部が、ケーシング６４の筒状部７１の径方向外側に配置された固定子コア５２に囲まれた領域内に配置することで、半導体モジュール６６と固定子巻線５１とが固定子コア５２を介さずに配置されている構成に比べて、半導体モジュール６６から磁束が発生したとしても、固定子巻線５１に影響を与えにくい。また、固定子巻線５１から磁束が発生したとしても、半導体モジュール６６に影響を与えにくい。なお、半導体モジュール６６の全体が、ケーシング６４の筒状部７１の径方向外側に配置された固定子コア５２に囲まれた領域内に配置されると更に効果的である。また、半導体モジュール６６の少なくとも一部が、冷却水通路７４により囲まれている場合、固定子巻線５１や磁石ユニット４２からの発熱が半導体モジュール６６に届きにくいとい

う効果を得ることができる。

【００８８】

筒状部７１においてエンドプレート６３の付近には、その外側の固定子５０と内側の電気コンポーネント６２とを電気的に接続する配線部材７９（図２参照）を挿通させる貫通孔７８が形成されている。図２に示すように、配線部材７９は、圧着、溶接などにより、固定子巻線５１の端部と配線モジュール７６のバスバー７６ｃとにそれぞれ接続されている。配線部材７９は、例えばバスバーであり、その接合面は平たく潰されていることが望ましい。貫通孔７８は、１カ所又は複数箇所に設けられているとよく、本実施形態では２カ所に貫通孔７８が設けられている。２カ所に貫通孔７８が設けられる構成では、２組の３相巻線から延びる巻線端子を、それぞれ配線部材７９により容易に結線することが可能となり、多相結線を行う上で好適なものとなっている。

【００８９】

上述のとおりハウジング３０内には、図４に示すように径方向外側から順に回転子４０、固定子５０が設けられ、固定子５０の径方向内側にインバータユニット６０が設けられている。ここで、ハウジング３０の内周面の半径をｄとした場合に、回転子４０の回転中心からｄ×０．７０５の距離よりも径方向外側に回転子４０と固定子５０とが配置されている。この場合、回転子４０及び固定子５０のうち径方向内側の固定子５０の内周面（すなわち固定子コア５２の内周面）から径方向内側となる領域を第１領域Ｘ１、径方向において固定子５０の内周面からハウジング３０までの間の領域を第２領域Ｘ２とすると、第１領域Ｘ１の横断面の面積は、第２領域Ｘ２の横断面の面積よりも大きい構成となっている。また、径方向において回転子４０の磁石ユニット４２及び固定子巻線５１が重複する範囲で見て、第１領域Ｘ１の容積が第２領域Ｘ２の容積よりも大きい構成となっている。

【００９０】

なお、回転子４０及び固定子５０を磁気回路コンポーネントアッセンブリとすると、ハウジング３０内において、その磁気回路コンポーネントアッセンブリの内周面から径方向内側となる第１領域Ｘ１が、径方向において磁気回路コンポーネントアッセンブリの内周面からハウジング３０までの間の第２領域Ｘ２よりも容積が大きい構成となっている。

【００９１】

次いで、回転子４０及び固定子５０の構成をより詳しく説明する。

【００９２】

一般に、回転電機における固定子の構成として、積層鋼板よりなりかつ円環状をなす固定子コアに周方向に複数のスロットを設け、そのスロット内に固定子巻線を巻装するものが知られている。具体的には、固定子コアは、ヨークから所定間隔で径方向に延びる複数のティースを有しており、周方向に隣り合うティース間にスロットが形成されている。そして、スロット内に、例えば径方向に複数層の導線が収容され、その導線により固定子巻線が構成されている。

【００９３】

ただし、上述した固定子構造では、固定子巻線の通電時において、固定子巻線の起磁力が増加するのに伴い固定子コアのティース部分で磁気飽和が生じ、それに起因して回転電機のトルク密度が制限されることが考えられる。つまり、固定子コアにおいて、固定子巻線の通電により生じた回転磁束がティースに集中することで、磁気飽和が生じると考えられる。

【００９４】

また、一般的に、回転電機におけるＩＰＭ（Interior Permanent Magnet）ロータの構成として、永久磁石がｄ－ｑ座標系におけるｄ軸に配置され、ｑ軸にロータコアが配置されたものが知られている。このような場合、ｄ軸近傍の固定子巻線が励磁されることで、フレミングの法則により固定子から回転子のｑ軸に励磁磁束が流入される。そしてこれにより、回転子のｑ軸コア部分に、広範囲の磁気飽和が生じると考えられる。

【００９５】

図７は、固定子巻線の起磁力を示すアンペアターン［ＡＴ］とトルク密度［Ｎｍ／Ｌ］

との関係を示すトルク線図である。破線が一般的なＩＰＭロータ型の回転電機における特性を示す。図７に示すように、一般的な回転電機では、固定子において起磁力を増加させていくことにより、スロット間のティース部分及びｑ軸コア部分の２カ所で磁気飽和が生じ、それが原因でトルクの増加が制限されてしまう。このように、当該一般的な回転電機では、アンペアターン設計値がＡ１で制限されることになる。

【００９６】

そこで本実施形態では、磁気飽和に起因する制限を解消すべく、回転電機１０において、以下に示す構成を付与するものとしている。すなわち、第１の工夫として、固定子において固定子コアのティースで生じる磁気飽和をなくすべく、固定子５０においてスロットレス構造を採用し、かつＩＰＭロータのｑ軸コア部分で生じる磁気飽和をなくすべく、ＳＰＭ（Surface Permanent Magnet）ロータを採用している。第１の工夫によれば、磁気飽和が生じる上記２カ所の部分をなくすことができるが、低電流域でのトルクが減少することが考えられる（図７の一点鎖線参照）。そのため、第２の工夫として、ＳＰＭロータの磁束増強を図ることでトルク減少を挽回すべく、回転子４０の磁石ユニット４２において磁石磁路を長くして磁力を高めた極異方構造を採用している。

【００９７】

また、第３の工夫として、固定子巻線５１のコイルサイド部５３において導線の固定子５０における径方向厚さを小さくした扁平導線構造を採用してトルク減少の挽回を図っている。ここで、上述の磁力を高めた極異方構造によって、磁石ユニット４２に対向する固定子巻線５１には、より大きな渦電流が発生することが考えられる。しかしながら、第３の工夫によれば、径方向に薄い扁平導線構造のため、固定子巻線５１における径方向の渦電流の発生を抑制することができる。このように、これら第１～第３の各構成によれば、図７に実線で示すように、磁力の高い磁石を採用してトルク特性の大幅な改善を見込みつつも、磁力の高い磁石ゆえに生じ得る大きい渦電流発生の懸念も改善できるものとなっている。

【００９８】

さらに、第４の工夫として、極異方構造を利用し正弦波に近い磁束密度分布を有する磁石ユニットを採用している。これによれば、後述するパルス制御等によって正弦波整合率を高めてトルク増強を図ることができるとともに、ラジアル磁石と比べ緩やかな磁束変化のため渦電流損（渦電流による銅損：eddy current loss）もまた更に抑制することができるのである。

【００９９】

以下、正弦波整合率について説明する。正弦波整合率は、磁石の表面を磁束プローブでなぞる等して計測した表面磁束密度分布の実測波形と周期及びピーク値が同じ正弦波との比較から求める事ができる。そして、回転電機の基本波である１次波形の振幅が、実測波形の振幅、即ち基本波に他の高調波成分を加えた振幅に対して、占める割合が正弦波整合率に相当する。正弦波整合率が高くなると、表面磁束密度分布の波形が正弦波形状に近づいていく。そして、正弦波整合率を向上させた磁石を備えた回転電機に対して、インバータから１次の正弦波の電流を供給すると、磁石の表面磁束密度分布の波形が正弦波形状に近い事と相まって、大きなトルクを発生させることができる。なお、表面磁束密度分布は実測以外の方法、例えばマクスウェルの方程式を用いた電磁界解析によって推定しても良い。

【０１００】

また、第５の工夫として、固定子巻線５１を複数の素線を寄せ集めて束ねた素線導体構造としている。これによれば、素線が並列結線されているため、大電流が流せるとともに、扁平導線構造で固定子５０の周方向に広がった導線で発生する渦電流の発生を、素線それぞれの断面積が小さくなるため、第３の工夫による径方向に薄くする以上に効果的に抑制することができる。そして、複数の素線を撚り合わせた構成にすることで、導体からの起磁力に対しては、電流通電方向に対して右ネジの法則で発生する磁束に対する渦電流を相殺することができる。

【０１０１】
このように、第４の工夫、第５の工夫をさらに加えると、第２の工夫である磁力の高い磁石を採用しながら、さらにその高い磁力に起因する渦電流損を抑制しながらトルク増強を図ることができる。
【０１０２】
以下に、上述した固定子５０のスロットレス構造、固定子巻線５１の扁平導線構造、及び磁石ユニット４２の極異方構造について個別に説明を加える。ここではまずは、固定子５０におけるスロットレス構造と固定子巻線５１の扁平導線構造とを説明する。図８は、回転子４０及び固定子５０の横断面図であり、図９は、図８に示す回転子４０及び固定子５０の一部を拡大して示す図である。図１０は、図１１のＸ‐Ｘ線に沿った固定子５０の横断面を示す断面図であり、図１１は、固定子５０の縦断面を示す断面図である。また、図１２は、固定子巻線５１の斜視図である。なお、図８及び図９には、磁石ユニット４２における磁石の磁化方向を矢印にて示している。
【０１０３】
図８乃至図１１に示すように、固定子コア５２は、軸方向に複数の電磁鋼板が積層され、かつ径方向に所定の厚さを有する円筒状をなしており、回転子４０側となる径方向外側に固定子巻線５１が組み付けられるものとなっている。固定子コア５２において、回転子４０側の外周面が導線設置部（導体エリア）となっている。固定子コア５２の外周面は凹凸のない曲面状をなしており、その外周面において周方向に所定間隔で複数の導線群８１が配置されている。固定子コア５２は、回転子４０を回転させるための磁気回路の一部となるバックヨークとして機能する。この場合、周方向に隣り合う各２つの導線群８１の間には軟磁性材からなるティース（つまり、鉄心）が設けられていない構成（つまり、スロットレス構造）となっている。本実施形態において、それら各導線群８１の間隙５６には、封止部材５７の樹脂材料が入り込む構造となっている。つまり、固定子５０において、周方向における各導線群８１の間に設けられる導線間部材が、非磁性材料である封止部材５７として構成されている。封止部材５７の封止前の状態で言えば、固定子コア５２の径方向外側には、それぞれ導線間領域である間隙５６を隔てて周方向に所定間隔で導線群８１が配置されており、これによりスロットレス構造の固定子５０が構築されている。言い換えれば、各導線群８１は、後述するように二つの導線（conductor）８２からなり、固定子５０の周方向に隣り合う各二つの導線群８１の間は、非磁性材のみが占有している。この非磁性材とは、封止部材５７以外に空気などの非磁性気体や非磁性液体などをも含む。なお、以下において、封止部材５７は導線間部材（conductor-to- conductor member）ともいう。
【０１０４】
なお、周方向に並ぶ各導線群８１の間においてティースが設けられている構成とは、ティースが、径方向に所定厚さを有し、かつ周方向に所定幅を有することで、各導線群８１の間に磁気回路の一部、すなわち磁石磁路を形成する構成であると言える。この点において、各導線群８１の間にティースが設けられていない構成とは、上記の磁気回路の形成がなされていない構成であると言える。
【０１０５】
図１０に示すように、固定子巻線（すなわち電機子巻線）５１は、所定の厚みＴ２（以下、第１寸法とも言う）と幅Ｗ２（以下、第２寸法とも言う）を有するように形成されている。厚みＴ２は、固定子巻線５１の径方向において互いに対向する外側面と内側面との間の最短距離である。幅Ｗ２は、固定子巻線５１の多相（実施例では３相：Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の３相あるいはＸ相、Ｙ相及びＺ相の３相）の一つとして機能する固定子巻線５１の一部分の固定子巻線５１の周方向の長さである。具体的には、図１０において、周方向に隣り合う２つの導線群８１が３相の内の一つである例えばＵ相として機能する場合、周方向において当該２つの導線群８１の端から端までの幅Ｗ２である。そして、厚みＴ２は幅Ｗ２より小さくなっている。
【０１０６】

なお、厚みＴ２は、幅Ｗ２内に存在する２つの導線群８１の合計幅寸法より小さいことが好ましい。また、仮に固定子巻線５１（より詳しくは導線８２）の断面形状が真円形状や楕円形状、又は多角形形状である場合、固定子５０の径方向に沿った導線８２の断面のうち、その断面において固定子５０の径方向の最大の長さをＷ１２、同断面のうち固定子５０の周方向の最大の長さをＷ１１としても良い。

【０１０７】

図１０及び図１１に示すように、固定子巻線５１は、封止材（モールド材）としての合成樹脂材からなる封止部材５７により封止されている。つまり、固定子巻線５１は、固定子コア５２と共にモールド材によりモールドされている。なお樹脂は、非磁性体、又は非磁性体の均等物としてＢｓ＝０と看做すことができる。

【０１０８】

図１０の横断面で見れば、封止部材５７は、各導線群８１の間、すなわち間隙５６に合成樹脂材が充填されて設けられており、封止部材５７により、各導線群８１の間に絶縁部材が介在する構成となっている。つまり、間隙５６において封止部材５７が絶縁部材として機能する。封止部材５７は、固定子コア５２の径方向外側において、各導線群８１を全て含む範囲、すなわち径方向の厚さ寸法が各導線群８１の径方向の厚さ寸法よりも大きくなる範囲で設けられている。

【０１０９】

また、図１１の縦断面で見れば、封止部材５７は、固定子巻線５１のターン部８４を含む範囲で設けられている。固定子巻線５１の径方向内側では、固定子コア５２の軸方向に対向する端面の少なくとも一部を含む範囲で封止部材５７が設けられている。この場合、固定子巻線５１は、各相の相巻線の端部、すなわちインバータ回路との接続端子を除く略全体で樹脂封止されている。

【０１１０】

封止部材５７が固定子コア５２の端面を含む範囲で設けられた構成では、封止部材５７により、固定子コア５２の積層鋼板を軸方向内側に押さえ付けることができる。これにより、封止部材５７を用いて、各鋼板の積層状態を保持することができる。なお、本実施形態では、固定子コア５２の内周面を樹脂封止していないが、これに代えて、固定子コア５２の内周面を含む固定子コア５２の全体を樹脂封止する構成であってもよい。

【０１１１】

回転電機１０が車両動力源として使用される場合には、封止部材５７が、高耐熱のフッ素樹脂や、エポキシ樹脂、ＰＰＳ樹脂、ＰＥＥＫ樹脂、ＬＣＰ樹脂、シリコン樹脂、ＰＡＩ樹脂、ＰＩ樹脂等により構成されていることが好ましい。また、膨張差による割れ抑制の観点から線膨張係数を考えると、固定子巻線５１の導線の外被膜と同じ材質であることが望ましい。すなわち、線膨張係数が、一般的に他樹脂の倍以上であるシリコン樹脂は望ましくは除外される。なお、電気車両の如く、燃焼を利用した機関を持たない電気製品においては、１８０℃程度の耐熱性を持つＰＰＯ樹脂やフェノール樹脂、ＦＲＰ樹脂も候補となる。回転電機の周囲温度が１００℃未満と見做せる分野においては、この限りではない。

【０１１２】

回転電機１０のトルクは磁束の大きさに比例する。ここで、固定子コアがティースを有している場合には、固定子での最大磁束量がティースでの飽和磁束密度に依存して制限されるが、固定子コアがティースを有していない場合には、固定子での最大磁束量が制限されない。そのため、固定子巻線５１に対する通電電流を増加して回転電機１０のトルク増加を図る上で、有利な構成となっている。

【０１１３】

本実施形態では、固定子５０においてティースを無くした構造（スロットレス構造）を用いたことにより、固定子５０のインダクタンスが低減される。具体的には、複数のティースにより仕切られた各スロットに導線が収容される一般的な回転電機の固定子ではインダクタンスが例えば１ｍＨ前後であるのに対し、本実施形態の固定子５０ではインダクタ

ンスが５～６０μＨ程度に低減される。本実施形態では、アウタロータ構造の回転電機１０としつつも、固定子５０のインダクタンス低減により機械的時定数Ｔｍを下げることが可能となっている。つまり、高トルク化を図りつつ、機械的時定数Ｔｍの低減が可能となっている。なお、イナーシャをＪ、インダクタンスをＬ、トルク定数をＫｔ、逆起電力定数をＫｅとすると、機械的時定数Ｔｍは、次式により算出される。

Ｔｍ＝（Ｊ×Ｌ）／（Ｋｔ×Ｋｅ）

この場合、インダクタンスＬの低減により機械的時定数Ｔｍが低減されることが確認できる。

【０１１４】

固定子コア５２の径方向外側における各導線群８１は、断面が扁平矩形状をなす複数の導線８２が固定子コア５２の径方向に並べて配置されて構成されている。各導線８２は、横断面において「径方向寸法＜周方向寸法」となる向きで配置されている。これにより、各導線群８１において径方向の薄肉化が図られている。また、径方向の薄肉化を図るとともに、導体領域が、ティースが従来あった領域まで平らに延び、扁平導線領域構造となっている。これにより、薄肉化により断面積が小さくなることで懸念される導線の発熱量の増加を、周方向に扁平化して導体の断面積を稼ぐことで抑えている。なお、複数の導線を周方向に並べ、かつそれらを並列結線とする構成であっても、導体被膜分の導体断面積低下は起こるものの、同じ理屈に依る効果が得られる。なお、以下において、導線群８１のそれぞれ、および導線８２のそれぞれを、伝導部材（conductive member）とも言う。

【０１１５】

スロットがないことから、本実施形態における固定子巻線５１では、その周方向の一周における固定子巻線５１が占める導体領域を、固定子巻線５１が存在しない導体非占有領域より大きく設計することができる。なお、従来の車両用回転電機は、固定子巻線の周方向の一周における導体領域／導体非占有領域は１以下であるのが当然であった。一方、本実施形態では、導体領域が導体非占有領域と同等又は導体領域が導体非占有領域よりも大きくなるようにして、各導線群８１が設けられている。ここで、図１０に示すように、周方向において導線８２（つまり、後述する直線部８３）が配置された導線領域をＷＡ、隣り合う導線８２の間となる導線間領域をＷＢとすると、導線領域ＷＡは、導線間領域ＷＢより周方向において大きいものとなっている。

【０１１６】

固定子巻線５１における導線群８１の構成として、その導線群８１の径方向の厚さ寸法は、１磁極内における１相分の周方向の幅寸法よりも小さいものとなっている。すなわち、導線群８１が径方向に２層の導線８２よりなり、かつ１磁極内に１相につき周方向に２つの導線群８１が設けられる構成では、各導線８２の径方向の厚さ寸法をＴｃ、各導線８２の周方向の幅寸法をＷｃとした場合に、「Ｔｃ×２＜Ｗｃ×２」となるように構成されている。なお、他の構成として、導線群８１が２層の導線８２よりなり、かつ１磁極内に１相につき周方向に１つの導線群８１が設けられる構成では、「Ｔｃ×２＜Ｗｃ」の関係となるように構成されるとよい。要するに、固定子巻線５１において周方向に所定間隔で配置される導線部（導線群８１）は、その径方向の厚さ寸法が、１磁極内における１相分の周方向の幅寸法よりも小さいものとなっている。

【０１１７】

言い換えると、１本１本の各導線８２は、径方向の厚さ寸法Ｔｃが周方向の幅寸法Ｗｃよりも小さいとよい。またさらに、径方向に２層の導線８２よりなる導線群８１の径方向の厚さ寸法（２Ｔｃ）、すなわち導線群８１の径方向の厚さ寸法（２Ｔｃ）が周方向の幅寸法Ｗｃよりも小さいとよい。

【０１１８】

回転電機１０のトルクは、導線群８１の固定子コア５２の径方向の厚さに略反比例する。この点、固定子コア５２の径方向外側において導線群８１の厚さを薄くしたことにより、回転電機１０のトルク増加を図る上で有利な構成となっている。その理由としては、回転子４０の磁石ユニット４２から固定子コア５２までの距離（つまり鉄の無い部分の距離

）を小さくして磁気抵抗を下げることができるためである。これによれば、永久磁石による固定子コア５２の鎖交磁束を大きくすることができ、トルクを増強することができる。

【０１１９】

また、導線群８１の厚さを薄くしたことにより、導線群８１から磁束が漏れても固定子コア５２に回収されやすくなり、磁束がトルク向上のために有効に利用されずに外部に漏れることを抑制することができる。つまり、磁束漏れにより磁力が低下することを抑制でき、永久磁石による固定子コア５２の鎖交磁束を大きくして、トルクを増強することができる。

【０１２０】

導線８２(conductor)は、導体(conductor body)８２ａの表面が絶縁被膜８２ｂにより被覆された被覆導線よりなり、径方向に互いに重なる導線８２同士の間、及び導線８２と固定子コア５２との間においてそれぞれ絶縁性が確保されている。この絶縁被膜８２ｂは、後述する素線８６が自己融着被覆線であるならその被膜、又は、素線８６の被膜とは別に重ねられた絶縁部材で構成されている。なお、導線８２により構成される各相巻線は、接続のための露出部分を除き、絶縁被膜８２ｂによる絶縁性が保持されるものとなっている。露出部分としては、例えば、入出力端子部や、星形結線とする場合の中性点部分である。導線群８１では、樹脂固着や自己融着被覆線を用いて、径方向に隣り合う各導線８２が相互に固着されている。これにより、導線８２同士が擦れ合うことによる絶縁破壊や、振動、音が抑制される。

【０１２１】

本実施形態では、導体８２ａが複数の素線(wire)８６の集合体として構成されている。具体的には、図１３に示すように、導体８２ａは、複数の素線８６を撚ることで撚糸状に形成されている。また、図１４に示すように、素線８６は、細い繊維状の導電材８７を束ねた複合体として構成されている。例えば、素線８６はＣＮＴ（カーボンナノチューブ）繊維の複合体であり、ＣＮＴ繊維として、炭素の少なくとも一部をホウ素で置換したホウ素含有微細繊維を含む繊維が用いられている。炭素系微細繊維としては、ＣＮＴ繊維以外に、気相成長法炭素繊維（ＶＧＣＦ）等を用いることができるが、ＣＮＴ繊維を用いることが好ましい。なお、素線８６の表面は、エナメルなどの高分子絶縁層で覆われている。また、素線８６の表面は、ポリイミドの被膜やアミドイミドの被膜からなる、いわゆるエナメル被膜で覆われていることが好ましい。

【０１２２】

導線８２は、固定子巻線５１においてｎ相の巻線を構成する。そして導線８２（すなわち、導体８２ａ）の各々の素線８６は、互いに接触状態で隣接している。導線８２は、巻線導体が、複数の素線８６が撚られて形成される部位を、相内の１か所以上に持つとともに、撚られた素線８６間の抵抗値が素線８６そのものの抵抗値よりも大きい素線集合体となっている。言い換えると、隣接する各２つの素線８６はその隣接する方向において第１電気抵抗率を有し、素線８６の各々はその長さ方向において第２電気抵抗率を有する場合、第１電気抵抗率は第２電気抵抗率より大きい値になっている。なお、導線８２が複数の素線８６により形成されるとともに、第１電気抵抗率が極めて高い絶縁部材により複数の素線８６を覆う素線集合体となっていても良い。また、導線８２の導体８２ａは、撚り合わされた複数の素線８６により構成されている。

【０１２３】

上記の導体８２ａでは、複数の素線８６が撚り合わされて構成されているため、各素線８６での渦電流の発生が抑えられ、導体８２ａにおける渦電流の低減を図ることができる。また、各素線８６が捻られていることで、１本の素線８６において磁界の印加方向が互いに逆になる部位が生じて逆起電圧が相殺される。そのため、やはり渦電流の低減を図ることができる。特に、素線８６を繊維状の導電材８７により構成することで、細線化することと捻り回数を格段に増やすこととが可能になり、渦電流をより好適に低減することができる。

【０１２４】

なお、ここでいう素線８６同士の絶縁方法は、前述の高分子絶縁膜に限定されず、接触抵抗を利用し撚られた素線８６間で電流を流れにくくする方法であってもよい。すなわち撚られた素線８６間の抵抗値が、素線８６そのものの抵抗値よりも大きい関係になっていれば、抵抗値の差に起因して発生する電位差により、上記効果を得ることができる。たとえば、素線８６を作成する製造設備と、回転電機１０の固定子５０（電機子）を作成する製造設備とを別の非連続の設備として用いることで、移動時間や作業間隔などから素線８６が酸化し、接触抵抗を増やすことができ、好適である。

【０１２５】

上述のとおり導線８２は、断面が扁平矩形状をなし、径方向に複数並べて配置されるものとなっており、例えば融着層と絶縁層とを備えた自己融着被覆線で被覆された複数の素線８６を撚った状態で集合させ、その融着層同士を融着させることで形状を維持している。なお、融着層を備えない素線や自己融着被覆線の素線を撚った状態で合成樹脂等により所望の形状に固めて成形してもよい。導線８２における絶縁被膜８２ｂの厚さを例えば８０μｍ～１００μｍとし、一般に使用される導線の被膜厚さ（５～４０μｍ）よりも厚肉とした場合、導線８２と固定子コア５２との間に絶縁紙等を介在させることをしなくても、これら両者の間の絶縁性が確保することができる。

【０１２６】

また、絶縁被膜８２ｂは、素線８６の絶縁層よりも高い絶縁性能を有し、相間を絶縁することができるように構成されていることが望ましい。例えば、素線８６の高分子絶縁層の厚さを例えば５μｍ程度にした場合、導線８２の絶縁被膜８２ｂの厚さを８０μｍ～１００μｍ程度にして、相間の絶縁を好適に実施できるようにすることが望ましい。

【０１２７】

また、導線８２は、複数の素線８６が撚られることなく束ねられている構成であってもよい。つまり、導線８２は、その全長において複数の素線８６が撚られている構成、全長のうち一部で複数の素線８６が撚られている構成、全長において複数の素線８６が撚られることなく束ねられている構成のいずれかであればよい。まとめると、導線部を構成する各導線８２は、複数の素線８６が束ねられているとともに、束ねられた素線間の抵抗値が素線８６そのものの抵抗値よりも大きい素線集合体となっている。

【０１２８】

各導線８２は、固定子巻線５１の周方向に所定の配置パターンで配置されるように折り曲げ形成されており、これにより、固定子巻線５１として相ごとの相巻線が形成されている。図１２に示すように、固定子巻線５１では、各導線８２のうち軸方向に直線状に延びる直線部８３によりコイルサイド部５３が形成され、軸方向においてコイルサイド部５３よりも両外側に突出するターン部８４によりコイルエンド５４，５５が形成されている。各導線８２は、直線部８３とターン部８４とが交互に繰り返されることにより、波巻状の一連の導線として構成されている。直線部８３は、磁石ユニット４２に対して径方向に対向する位置に配置されており、磁石ユニット４２の軸方向外側となる位置において所定間隔を隔てて配置される同相の直線部８３同士が、ターン部８４により互いに接続されている。なお、直線部８３が「磁石対向部」に相当する。

【０１２９】

本実施形態では、固定子巻線５１が分布巻きにより円環状に巻回形成されている。この場合、コイルサイド部５３では、相ごとに、磁石ユニット４２の１極対に対応する間隔で周方向に直線部８３が配置され、コイルエンド５４，５５では、相ごとの各直線部８３が、略Ｖ字状に形成されたターン部８４により互いに接続されている。１極対に対応して対となる各直線部８３は、それぞれ電流の向きが互いに逆になるものとなっている。また、一方のコイルエンド５４と他方のコイルエンド５５とでは、ターン部８４により接続される一対の直線部８３の組み合わせがそれぞれ相違しており、そのコイルエンド５４，５５での接続が周方向に繰り返されることにより、固定子巻線５１が略円筒状に形成されている。

【０１３０】

より具体的には、固定子巻線５１は、各相２対ずつの導線８２を用いて相ごとの巻線を構成しており、固定子巻線５１のうち一方の３相巻線（Ｕ相、Ｖ相、Ｗ相）と他方の３相巻線（Ｘ相、Ｙ相、Ｚ相）とが径方向内外の２層に設けられるものとなっている。この場合、固定子巻線５１の相数をＳ（実施例の場合は６）、導線８２の一相あたりの数をｍとすれば、極対ごとに２×Ｓ×ｍ＝２Ｓｍ個の導線８２が形成されることになる。本実施形態では、相数Ｓが６、数ｍが４であり、８極対（１６極）の回転電機であることから、６×４×８＝１９２の導線８２が固定子コア５２の周方向に配置されている。

【０１３１】

図１２に示す固定子巻線５１では、コイルサイド部５３において、径方向に隣接する２層で直線部８３が重ねて配置されるとともに、コイルエンド５４，５５において、径方向に重なる各直線部８３から、互いに周方向逆となる向きでターン部８４が周方向に延びる構成となっている。つまり、径方向に隣り合う各導線８２では、固定子巻線５１の端部を除き、ターン部８４の向きが互いに逆となっている。

【０１３２】

ここで、固定子巻線５１における導線８２の巻回構造を具体的に説明する。本実施形態では、波巻にて形成された複数の導線８２を、径方向に隣接する複数層（例えば２層）に重ねて設ける構成としている。図１５（ａ）、図１５（ｂ）は、ｎ層目における各導線８２の形態を示す図であり、図１５（ａ）には、固定子巻線５１の側方から見た導線８２の形状を示し、図１５（ｂ）には、固定子巻線５１の軸方向一側から見た導線８２の形状を示している。なお、図１５（ａ）、図１５（ｂ）では、導線群８１が配置される位置をそれぞれＤ１，Ｄ２，Ｄ３，…と示している。また、説明の便宜上、３本の導線８２のみを示しており、それを第１導線８２＿Ａ、第２導線８２＿Ｂ、第３導線８２＿Ｃとしている。

【０１３３】

各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃでは、直線部８３が、いずれもｎ層目の位置、すなわち径方向において同じ位置に配置され、周方向に６位置（３×ｍ対分）ずつ離れた直線部８３同士がターン部８４により互いに接続されている。換言すると、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃでは、いずれも回転子４０の軸心を中心とする同一の円上において、固定子巻線５１の周方向に隣接して並ぶ７個の直線部８３の両端の二つが一つのターン部８４により互いに接続されている。例えば第１導線８２＿Ａでは、一対の直線部８３がＤ１，Ｄ７にそれぞれ配置され、その一対の直線部８３同士が、逆Ｖ字状のターン部８４により接続されている。また、他の導線８２＿Ｂ，８２＿Ｃは、同じｎ層目において周方向の位置を１つずつずらしてそれぞれ配置されている。この場合、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃは、いずれも同じ層に配置されるため、ターン部８４が互いに干渉することが考えられる。そのため本実施形態では、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃのターン部８４に、その一部を径方向にオフセットした干渉回避部を形成することとしている。

【０１３４】

具体的には、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃのターン部８４は、同一の円（第１の円）上で周方向に延びる部分である１つの傾斜部８４ａと、傾斜部８４ａからその同一の円よりも径方向内側（図１５（ｂ）において上側）にシフトし、別の円（第２の円）に達する頂部８４ｂ、第２の円上で周方向に延びる傾斜部８４ｃ及び第１の円から第２の円に戻る戻り部８４ｄとを有している。頂部８４ｂ、傾斜部８４ｃ及び戻り部８４ｄが干渉回避部に相当する。なお、傾斜部８４ｃは、傾斜部８４ａに対して径方向外側にシフトする構成であってもよい。

【０１３５】

つまり、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃのターン部８４は、周方向の中央位置である頂部８４ｂを挟んでその両側に、一方側の傾斜部８４ａと他方側の傾斜部８４ｃとを有しており、それら各傾斜部８４ａ，８４ｃの径方向の位置（図１５（ａ）では紙面前後方向の位置、図１５（ｂ）では上下方向の位置）が互いに相違するものとなっている。例えば第１導線８２＿Ａのターン部８４は、ｎ層のＤ１位置を始点位置として周方向に沿って延び、周方向の中央位置である頂部８４ｂで径方向（例えば径方向内側）に曲がった後、周方向に

再度曲がることで、再び周方向に沿って延び、さらに戻り部８４ｄで再び径方向（例えば径方向外側）に曲がることで、終点位置であるｎ層のＤ７位置に達する構成となっている。

【０１３６】

上記構成によれば、導線８２＿Ａ～８２＿Ｃでは、一方の各傾斜部８４ａが、上から第１導線８２＿Ａ→第２導線８２＿Ｂ→第３導線８２＿Ｃの順に上下に並ぶとともに、頂部８４ｂで各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃの上下が入れ替わり、他方の各傾斜部８４ｃが、上から第３導線８２＿Ｃ→第２導線８２＿Ｂ→第１導線８２＿Ａの順に上下に並ぶ構成となっている。そのため、各導線８２＿Ａ～８２＿Ｃが互いに干渉することなく周方向に配置できるようになっている。

【０１３７】

ここで、複数の導線８２を径方向に重ねて導線群８１とする構成において、複数層の各直線部８３のうち径方向内側の直線部８３に接続されたターン部８４と、径方向外側の直線部８３に接続されたターン部８４とが、それら各直線部８３同士よりも径方向に離して配置されているとよい。また、ターン部８４の端部、すなわち直線部８３との境界部付近で、複数層の導線８２が径方向の同じ側に曲げられる場合に、その隣り合う層の導線８２同士の干渉により絶縁性が損なわれることが生じないようにするとよい。

【０１３８】

例えば図１５（ａ）、図１５（ｂ）のＤ７～Ｄ９では、径方向に重なる各導線８２が、ターン部８４の戻り部８４ｄでそれぞれ径方向に曲げられる。この場合、図１６に示すように、ｎ層目の導線８２とｎ＋１層目の導線８２とで、曲がり部の曲率半径を相違させるとよい。具体的には、径方向内側（ｎ層目）の導線８２の曲率半径Ｒ１を、径方向外側（ｎ＋１層目）の導線８２の曲率半径Ｒ２よりも小さくする。

【０１３９】

また、ｎ層目の導線８２とｎ＋１層目の導線８２とで、径方向のシフト量を相違させるとよい。具体的には、径方向内側（ｎ層目）の導線８２のシフト量Ｓ１を、径方向外側（ｎ＋１層目）の導線８２のシフト量Ｓ２よりも大きくする。

【０１４０】

上記構成により、径方向に重なる各導線８２が同じ向きに曲げられる場合であっても、各導線８２の相互干渉を好適に回避することができる。これにより、良好な絶縁性が得られることとなる。

【０１４１】

次に、回転子４０における磁石ユニット４２の構造について説明する。本実施形態では、磁石ユニット４２が永久磁石からなり、残留磁束密度Ｂｒ＝１．０［Ｔ］、固有保磁力Ｈｃｊ＝４００［ｋＡ／ｍ］以上のものを想定している。要は、本実施形態で用いる永久磁石は、粒状の磁性材料を焼結して成型固化した焼結磁石であり、Ｊ－Ｈ曲線上の固有保磁力Ｈｃｊは４００［ｋＡ／ｍ］以上であり、かつ残留磁束密度Ｂｒは１．０［Ｔ］以上である。５０００～１００００［ＡＴ］が相間励磁により掛かる場合、１極対、すなわちＮ極とＳ極の磁気的長さ、言い換えれば、Ｎ極とＳ極間の磁束が流れる経路のうち、磁石内を通る長さが２５［ｍｍ］の永久磁石を使えば、Ｈｃｊ＝１００００［Ａ］となり、減磁をしないことが伺える。

【０１４２】

また換言すれば、磁石ユニット４２は、飽和磁束密度Ｊｓが１．２［Ｔ］以上で、かつ結晶粒径が１０［μｍ］以下であり、配向率をαとした場合にＪｓ×αが１．０［Ｔ］以上であるものとなっている。

【０１４３】

以下に磁石ユニット４２について補足する。磁石ユニット４２（磁石）は、２．１５［Ｔ］≧Ｊｓ≧１．２［Ｔ］であることが特徴である。言い換えれば、磁石ユニット４２に用いられる磁石として、NdFe11TiN、Nd2Fe14B、Sm2Fe17N3、L10型結晶を有するFeNi磁石などが挙げられる。なお、通例サマコバと言われるSmCo5や、FePt、Dy2Fe14B、CoPtなどの構成は使うことができない。注意としては、同型の化合物、例えばDy2Fe1

4BとNd2Fe14Bのように、一般的に、重希土類であるディスプロシウムを利用して、ネオジウムの高いＪｓ特性を少しだけ失いながらも、Dyの持つ高い保磁力を持たせた磁石でも２．１５［Ｔ］≧Ｊｓ≧１．２［Ｔ］を満たす場合があり、この場合も採用可能である。このような場合は、例えば([Nd1-xDyx]2Fe14B)と呼ぶこととする。更に、異なる組成の２種類以上の磁石、例えば、FeNiプラスSm2Fe17N3というように２種類以上の材料からなる磁石でも、達成が可能であるし、例えば、Ｊｓ＝１．６［Ｔ］と、Ｊｓに余裕のあるNd2Fe14Bの磁石に、Ｊｓ＜１［Ｔ］の、例えばDy2Fe14Bを少量混ぜ、保磁力を増加させた混合磁石などでも達成が可能である。

【０１４４】

また、人間の活動範囲外の温度、例えば砂漠の温度を超える６０℃以上で動作されるような回転電機、例えば、夏においておけば車中温度が８０℃近くなる車両用モータ用途などにおいては、特に温度依存係数の小さい、FeNi、Sm2Fe17N3の成分を含むことが望ましい。これは、人間の活動範囲内である北欧の－４０℃近い温度状態から、先述の砂漠温度を超える６０℃以上、又はコイルエナメル被膜の耐熱温度１８０～２４０℃程度までのモータ動作において温度依存係数によって大きくモータ特性を異ならせるため、同一のモータドライバでの最適制御などが困難となるためである。前記L10型結晶を有するFeNi、又はSm2Fe17N3などを用いれば、Nd2Fe14Bと比べ、半分以下の温度依存係数を所持しているその特性から、モータドライバの負担を好適に減らすことができる。

【０１４５】

加えて、磁石ユニット４２は、前記磁石配合を用いて、配向以前の微粉体状態の粒子径の大きさが１０μｍ以下、単磁区粒子径以上としていることを特徴としている。磁石では、粉体の粒子を数百ｎｍオーダまで微細化することにより保磁力が大きくなるため、近年では、できるだけ微細化された粉体が使用されている。ただし、細かくしすぎると、酸化などにより磁石のＢＨ積が落ちてしまうため、単磁区粒子径以上が好ましい。単磁区粒子径までの粒子径であれば、微細化により保磁力が上昇することが知られている。なお、ここで述べてきた粒子径の大きさは、磁石の製造工程でいうところの配向工程の際の微粉体状態の粒子径の大きさである。

【０１４６】

更に、磁石ユニット４２の第１磁石９１と第２磁石９２の各々は、磁性粉末を高温で焼き固めた、いわゆる焼結により形成された焼結磁石である。この焼結は、磁石ユニット４２の飽和磁化Ｊｓが１．２Ｔ以上で、第１磁石９１および第２磁石９２の結晶粒径が１０μｍ以下であり、配向率をαとした場合、Ｊｓ×αが１．０Ｔ（テスラ）以上の条件を満足するよう行われる。また、第１磁石９１と第２磁石９２の各々は、以下の条件を満足するように焼結されている。そして、その製造過程において配向工程にて配向が行われることにより、等方性磁石の着磁工程による磁力方向の定義とは異なり、配向率（orientation ratio）を持つ。本実施形態の磁石ユニット４２の飽和磁化Ｊｓが１．２Ｔ以上で、第１磁石９１と第２磁石９２の配向率αが、Ｊｒ≧Ｊｓ×α≧１．０［Ｔ］となるように高い配向率を設定されている。なお、ここで言う配向率αとは、第１磁石９１又は第２磁石９２の各々において、例えば、磁化容易軸が６つあり、そのうちの５つが同じ方向である方向Ａ１０を向き、残りの一つが方向Ａ１０に対して９０度傾いた方向Ｂ１０を向いている場合、α＝５／６であり、残りの一つが方向Ａ１０に対して４５度傾いた方向Ｂ１０を向いている場合には、残りの一つの方向Ａ１０を向く成分はｃｏｓ４５°＝０．７０７であるため、α＝（５＋０．７０７）／６となる。本実施例では焼結により第１磁石９１と第２磁石９２を形成しているが、上記条件が満足されれば、第１磁石９１と第２磁石９２は他の方法により成形してもよい。例えば、ＭＱ３磁石などを形成する方法を採用することができる。

【０１４７】

本実施形態においては、配向により磁化容易軸をコントロールした永久磁石を利用しているから、その磁石内部の磁気回路長を、従来１．０［Ｔ］以上を出す直線配向磁石の磁気回路長と比べて、長くすることができる。すなわち、１極対あたりの磁気回路長を、少

ない磁石量で達成できる他、従来の直線配向磁石を利用した設計と比べ、過酷な高熱条件に曝されても、その可逆減磁範囲を保つことができる。また、本願発明者は、従来技術の磁石を用いても、極異方性磁石と近しい特性を得られる構成を見いだした。

【０１４８】

なお、磁化容易軸は、磁石において磁化されやすい結晶方位のことをいう。磁石における磁化容易軸の向きとは、磁化容易軸の方向が揃っている程度を示す配向率が５０％以上となる方向、又は、その磁石の配向の平均となる方向である。

【０１４９】

図８及び図９に示すように、磁石ユニット４２は、円環状をなしており、磁石ホルダ４１の内側（詳しくは円筒部４３の径方向内側）に設けられている。磁石ユニット４２は、それぞれ極異方性磁石でありかつ極性が互いに異なる第１磁石９１及び第２磁石９２を有している。第１磁石９１及び第２磁石９２は周方向に交互に配置されている。第１磁石９１は、固定子巻線５１に近い部分においてＮ極を形成する磁石であり、第２磁石９２は、固定子巻線５１に近い部分においてＳ極を形成する磁石である。第１磁石９１及び第２磁石９２は、例えばネオジム磁石等の希土類磁石からなる永久磁石である。

【０１５０】

各磁石９１，９２では、図９に示すように、公知のｄ－ｑ座標系において磁極中心であるｄ軸(direct-axis)とＮ極とＳ極の磁極境界である（言い換えれば、磁束密度が０テスラである）ｑ軸(quadrature-axis)との間において磁化方向が円弧状に延びている。各磁石９１，９２それぞれにおいて、ｄ軸側では磁化方向が円環状の磁石ユニット４２の径方向とされ、ｑ軸側では円環状の磁石ユニット４２の磁化方向が周方向とされている。以下、更に詳細に説明する。磁石９１，９２のそれぞれは、図９に示すように、第１部分２５０と、磁石ユニット４２の周方向において第１部分２５０の両側に位置する二つの第２部分２６０とを有する。言い換えれば、第１部分２５０は、第２部分２６０よりｄ軸に近く、第２部分２６０は、第１部分２５０よりｑ軸に近い。そして、第１部分２５０の磁化容易軸３００の方向は、第２部分２６０の磁化容易軸３１０の方向よりもｄ軸に対してより平行となるように磁石ユニット４２が構成されている。言い換えれば、第１部分２５０の磁化容易軸３００がｄ軸となす角度θ１１が、第２部分２６０の磁化容易軸３１０がｑ軸となす角度θ１２よりも小さくなるように磁石ユニット４２が構成されている。

【０１５１】

より詳細には、角度θ１１は、ｄ軸において固定子５０（電機子）から磁石ユニット４２に向かう方向を正とした時に、ｄ軸と磁化容易軸３００とがなす角度である。角度θ１２は、ｑ軸において固定子５０（電機子）から磁石ユニット４２に向かう方向を正とした時に、ｑ軸と磁化容易軸３１０とがなす角度である。なお角度θ１１及び角度θ１２共に、本実施形態では９０°以下である。ここでいう、磁化容易軸３００，３１０のそれぞれは、以下の定義による。磁石９１，９２のそれぞれの部分において、一つの磁化容易軸が方向Ａ１１を向き、もう一つの磁化容易軸が方向Ｂ１１を向いているとした場合、方向Ａ１１と方向Ｂ１１の成す角度θのコサインの絶対値（｜ｃｏｓθ｜）を磁化容易軸３００或いは磁化容易軸３１０とする。

【０１５２】

すなわち、各磁石９１，９２のそれぞれは、ｄ軸側（ｄ軸寄りの部分）とｑ軸側（ｑ軸寄りの部分）とで磁化容易軸の向きが相違しており、ｄ軸側では磁化容易軸の向きがｄ軸に平行な方向に近い向きとなり、ｑ軸側では磁化容易軸の向きがｑ軸に直交する方向に近い向きとなっている。そして、この磁化容易軸の向きに応じて円弧状の磁石磁路が形成されている。なお、各磁石９１，９２において、ｄ軸側では磁化容易軸をｄ軸に平行な向きとし、ｑ軸側では磁化容易軸をｑ軸に直交する向きとしてもよい。

【０１５３】

また、磁石９１，９２では、各磁石９１，９２の周面のうち固定子５０側（図９の下側）となる固定子側外面と、周方向においてｑ軸側の端面とが、磁束の流入流出面である磁束作用面となっており、それらの磁束作用面（固定子側外面及びｑ軸側の端面）を繋ぐよ

うに磁石磁路が形成されている。

【０１５４】

磁石ユニット４２では、各磁石９１，９２により、隣接するＮ，Ｓ極間を円弧状に磁束が流れるため、例えばラジアル異方性磁石に比べて磁石磁路が長くなっている。このため、図１７に示すように、磁束密度分布が正弦波に近いものとなる。その結果、図１８に比較例として示すラジアル異方性磁石の磁束密度分布とは異なり、磁極の中心側に磁束を集中させることができ、回転電機１０のトルクを高めることができる。また、本実施形態の磁石ユニット４２では、従来のハルバッハ配列の磁石と比べても、磁束密度分布の差異があることが確認できる。なお、図１７及び図１８において、横軸は電気角を示し、縦軸は磁束密度を示す。また、図１７及び図１８において、横軸の９０°はｄ軸（すなわち磁極中心）を示し、横軸の０°，１８０°はｑ軸を示す。

【０１５５】

つまり、上記構成の各磁石９１，９２によれば、ｄ軸での磁石磁束が強化され、かつｑ軸付近での磁束変化が抑えられる。これにより、各磁極においてｑ軸からｄ軸にかけての表面磁束変化がなだらかになる磁石９１，９２を好適に実現することができる。

【０１５６】

磁束密度分布の正弦波整合率は、例えば４０％以上の値とされていればよい。このようにすれば、正弦波整合率が３０％程度であるラジアル配向磁石、パラレル配向磁石を用いる場合に比べ、確実に波形中央部分の磁束量を向上させることができる。また、正弦波整合率を６０％以上とすれば、ハルバッハ配列のような磁束集中配列と比べ、確実に波形中央部分の磁束量を向上させることができる。

【０１５７】

図１８に示すラジアル異方性磁石では、ｑ軸付近において磁束密度が急峻に変化する。磁束密度の変化が急峻なほど、固定子巻線５１に発生する渦電流が増加してしまう。また、固定子巻線５１側での磁束変化も急峻となる。これに対し、本実施形態では、磁束密度分布が正弦波に近い磁束波形となる。このため、ｑ軸付近において、磁束密度の変化が、ラジアル異方性磁石の磁束密度の変化よりも小さい。これにより、渦電流の発生を抑制することができる。

【０１５８】

磁石ユニット４２では、各磁石９１，９２のｄ軸付近（すなわち磁極中心）において、固定子５０側の磁束作用面２８０に直交する向きで磁束が生じ、その磁束は、固定子５０側の磁束作用面２８０から離れるほど、ｄ軸から離れるような円弧状をなす。また、磁束作用面に直交する磁束であるほど、強い磁束となる。この点において、本実施形態の回転電機１０では、上述のとおり各導線群８１を径方向に薄くしたため、導線群８１の径方向の中心位置が磁石ユニット４２の磁束作用面に近づくことになり、固定子５０において回転子４０から強い磁石磁束を受けることができる。

【０１５９】

また、固定子５０には、固定子巻線５１の径方向内側、すなわち固定子巻線５１を挟んで回転子４０の逆側に円筒状の固定子コア５２が設けられている。そのため、各磁石９１，９２の磁束作用面から延びる磁束は、固定子コア５２に引きつけられ、固定子コア５２を磁路の一部として用いつつ周回する。この場合、磁石磁束の向き及び経路を適正化することができる。

【０１６０】

以下に、回転電機１０の製造方法として、図５に示す軸受ユニット２０、ハウジング３０、回転子４０、固定子５０及びインバータユニット６０についての組み付け手順について説明する。なお、インバータユニット６０は、図６に示すようにユニットベース６１と電気コンポーネント６２とを有しており、それらユニットベース６１及び電気コンポーネント６２の組み付け工程を含む各作業工程を説明する。以下の説明では、固定子５０及びインバータユニット６０よりなる組立品を第１ユニット、軸受ユニット２０、ハウジング３０及び回転子４０よりなる組立品を第２ユニットとしている。

【０１６１】
本製造工程は、
・ユニットベース６１の径方向内側に電気コンポーネント６２を装着する第１工程と、
・固定子５０の径方向内側にユニットベース６１を装着して第１ユニットを製作する第２工程と、
・ハウジング３０に組み付けられた軸受ユニット２０に、回転子４０の固定部４４を挿入して第２ユニットを製作する第３工程と、
・第２ユニットの径方向内側に第１ユニットを装着する第４工程と、
・ハウジング３０とユニットベース６１とを締結固定する第５工程と、
を有している。これら各工程の実施順序は、第１工程→第２工程→第３工程→第４工程→第５工程である。
【０１６２】
上記の製造方法によれば、軸受ユニット２０、ハウジング３０、回転子４０、固定子５０及びインバータユニット６０を複数の組立品（サブアセンブリ）として組み立てた後に、それら組立品同士を組み付けるようにしたため、ハンドリングのし易さやユニット毎の検査完結などを実現でき、合理的な組み立てラインの構築が可能となる。したがって、多品種生産にも容易に対応が可能となる。
【０１６３】
第１工程では、ユニットベース６１の径方向内側及び電気コンポーネント６２の径方向外部の少なくともいずれかに、熱伝導が良好な良熱伝導体を塗布や接着等により付着させておき、その状態で、ユニットベース６１に対して電気コンポーネント６２を装着するとよい。これにより、半導体モジュール６６の発熱をユニットベース６１に対して効果的に伝達させることが可能となる。
【０１６４】
第３工程では、ハウジング３０と回転子４０との同軸を維持しながら、回転子４０の挿入作業を実施するとよい。具体的には、例えばハウジング３０の内周面を基準として回転子４０の外周面（磁石ホルダ４１の外周面）又は回転子４０の内周面（磁石ユニット４２の内周面）の位置を定める治具を用い、その治具に沿ってハウジング３０及び回転子４０のいずれかをスライドさせながら、ハウジング３０と回転子４０との組み付けを実施する。これにより、軸受ユニット２０に偏荷重を掛けることなく重量部品を組み付けることが可能となり、軸受ユニット２０の信頼性が向上する。
【０１６５】
第４工程では、第１ユニットと第２ユニットとの同軸を維持しながら、それら両ユニットの組み付けを実施するとよい。具体的には、例えば回転子４０の固定部４４の内周面を基準としてユニットベース６１の内周面の位置を定める治具を用い、その治具に沿って第１ユニット及び第２ユニットのいずれかをスライドさせながら、これら各ユニットの組み付けを実施する。これにより、回転子４０と固定子５０との極少隙間間での互いの干渉を防止しながら組み付けることが可能となるため、固定子巻線５１へのダメージや永久磁石の欠け等、組み付け起因の不良品の撲滅が可能となる。
【０１６６】
上記各工程の順序を、第２工程→第３工程→第４工程→第５工程→第１工程とすることも可能である。この場合、デリケートな電気コンポーネント６２を最後に組み付けることになり、組み付け工程内での電気コンポーネント６２へのストレスを最小限にとどめることができる。
【０１６７】
次に、回転電機１０を制御する制御システムの構成について説明する。図１９は、回転電機１０の制御システムの電気回路図であり、図２０は、制御装置１１０による制御処理を示す機能ブロック図である。
【０１６８】
図１９では、固定子巻線５１として２組の３相巻線５１ａ，５１ｂが示されており、３

相巻線５１ａはＵ相巻線、Ｖ相巻線及びＷ相巻線よりなり、３相巻線５１ｂはＸ相巻線、Ｙ相巻線及びＺ相巻線よりなる。３相巻線５１ａ，５１ｂごとに、電力変換器に相当する第１インバータ１０１と第２インバータ１０２とがそれぞれ設けられている。インバータ１０１，１０２は、相巻線の相数と同数の上下アームを有するフルブリッジ回路により構成されており、各アームに設けられたスイッチ（半導体スイッチング素子）のオンオフにより、固定子巻線５１の各相巻線において通電電流が調整される。

【０１６９】

各インバータ１０１，１０２には、直流電源１０３と平滑用のコンデンサ１０４とが並列に接続されている。直流電源１０３は、例えば複数の単電池が直列接続された組電池により構成されている。なお、インバータ１０１，１０２の各スイッチが、図１等に示す半導体モジュール６６に相当し、コンデンサ１０４が、図１等に示すコンデンサモジュール６８に相当する。

【０１７０】

制御装置１１０は、ＣＰＵや各種メモリからなるマイコンを備えており、回転電機１０における各種の検出情報や、力行駆動及び発電の要求に基づいて、インバータ１０１，１０２における各スイッチのオンオフにより通電制御を実施する。制御装置１１０が、図６に示す制御装置７７に相当する。回転電機１０の検出情報には、例えば、レゾルバ等の角度検出器により検出される回転子４０の回転角度（電気角情報）や、電圧センサにより検出される電源電圧（インバータ入力電圧）、電流センサにより検出される各相の通電電流が含まれる。制御装置１１０は、インバータ１０１，１０２の各スイッチを操作する操作信号を生成して出力する。なお、発電の要求は、例えば回転電機１０が車両用動力源として用いられる場合、回生駆動の要求である。

【０１７１】

第１インバータ１０１は、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相からなる３相において上アームスイッチＳｐと下アームスイッチＳｎとの直列接続体をそれぞれ備えている。各相の上アームスイッチＳｐの高電位側端子は直流電源１０３の正極端子に接続され、各相の下アームスイッチＳｎの低電位側端子は直流電源１０３の負極端子（グランド）に接続されている。各相の上アームスイッチＳｐと下アームスイッチＳｎとの間の中間接続点には、それぞれＵ相巻線、Ｖ相巻線、Ｗ相巻線の一端が接続されている。これら各相巻線は星形結線（Ｙ結線）されており、各相巻線の他端は中性点にて互いに接続されている。

【０１７２】

第２インバータ１０２は、第１インバータ１０１と同様の構成を有しており、Ｘ相、Ｙ相及びＺ相からなる３相において上アームスイッチＳｐと下アームスイッチＳｎとの直列接続体をそれぞれ備えている。各相の上アームスイッチＳｐの高電位側端子は直流電源１０３の正極端子に接続され、各相の下アームスイッチＳｎの低電位側端子は直流電源１０３の負極端子（グランド）に接続されている。各相の上アームスイッチＳｐと下アームスイッチＳｎとの間の中間接続点には、それぞれＸ相巻線、Ｙ相巻線、Ｚ相巻線の一端が接続されている。これら各相巻線は星形結線（Ｙ結線）されており、各相巻線の他端は中性点で互いに接続されている。

【０１７３】

図２０には、Ｕ，Ｖ，Ｗ相の各相電流を制御する電流フィードバック制御処理と、Ｘ，Ｙ，Ｚ相の各相電流を制御する電流フィードバック制御処理とが示されている。ここではまず、Ｕ，Ｖ，Ｗ相側の制御処理について説明する。

【０１７４】

図２０において、電流指令値設定部１１１は、トルク－ｄｑマップを用い、回転電機１０に対する力行トルク指令値又は発電トルク指令値や、電気角θを時間微分して得られる電気角速度ωに基づいて、ｄ軸の電流指令値とｑ軸の電流指令値とを設定する。なお、電流指令値設定部１１１は、Ｕ，Ｖ，Ｗ相側及びＸ，Ｙ，Ｚ相側において共通に設けられている。なお、発電トルク指令値は、例えば回転電機１０が車両用動力源として用いられる場合、回生トルク指令値である。

【０１７５】
ｄｑ変換部１１２は、相ごとに設けられた電流センサによる電流検出値（３つの相電流）を、界磁方向(direction of an axis of a magnetic field,or field direction)をｄ軸とする直交２次元回転座標系の成分であるｄ軸電流とｑ軸電流とに変換する。
【０１７６】
ｄ軸電流フィードバック制御部１１３は、ｄ軸電流をｄ軸の電流指令値にフィードバック制御するための操作量としてｄ軸の指令電圧を算出する。また、ｑ軸電流フィードバック制御部１１４は、ｑ軸電流をｑ軸の電流指令値にフィードバック制御するための操作量としてｑ軸の指令電圧を算出する。これら各フィードバック制御部１１３，１１４では、ｄ軸電流及びｑ軸電流の電流指令値に対する偏差に基づき、ＰＩフィードバック手法を用いて指令電圧が算出される。
【０１７７】
３相変換部１１５は、ｄ軸及びｑ軸の指令電圧を、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の指令電圧に変換する。なお、上記の各部１１１～１１５が、ｄｑ変換理論による基本波電流のフィードバック制御を実施するフィードバック制御部であり、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の指令電圧がフィードバック制御値である。
【０１７８】
そして、操作信号生成部１１６は、周知の三角波キャリア比較方式を用い、３相の指令電圧に基づいて、第１インバータ１０１の操作信号を生成する。具体的には、操作信号生成部１１６は、３相の指令電圧を電源電圧で規格化した信号と、三角波信号等のキャリア信号との大小比較に基づくＰＷＭ制御により、各相における上下アームのスイッチ操作信号（デューティ信号）を生成する。
【０１７９】
また、Ｘ，Ｙ，Ｚ相側においても同様の構成を有しており、ｄｑ変換部１２２は、相ごとに設けられた電流センサによる電流検出値（３つの相電流）を、界磁方向をｄ軸とする直交２次元回転座標系の成分であるｄ軸電流とｑ軸電流とに変換する。
【０１８０】
ｄ軸電流フィードバック制御部１２３はｄ軸の指令電圧を算出し、ｑ軸電流フィードバック制御部１２４はｑ軸の指令電圧を算出する。３相変換部１２５は、ｄ軸及びｑ軸の指令電圧を、Ｘ相、Ｙ相及びＺ相の指令電圧に変換する。そして、操作信号生成部１２６は、３相の指令電圧に基づいて、第２インバータ１０２の操作信号を生成する。具体的には、操作信号生成部１２６は、３相の指令電圧を電源電圧で規格化した信号と、三角波信号等のキャリア信号との大小比較に基づくＰＷＭ制御により、各相における上下アームのスイッチ操作信号（デューティ信号）を生成する。
【０１８１】
ドライバ１１７は、操作信号生成部１１６，１２６にて生成されたスイッチ操作信号に基づいて、各インバータ１０１，１０２における各３相のスイッチＳｐ，Ｓｎをオンオフさせる。
【０１８２】
続いて、トルクフィードバック制御処理について説明する。この処理は、例えば高回転領域及び高出力領域等、各インバータ１０１，１０２の出力電圧が大きくなる運転条件において、主に回転電機１０の高出力化や損失低減の目的で用いられる。制御装置１１０は、回転電機１０の運転条件に基づいて、トルクフィードバック制御処理及び電流フィードバック制御処理のいずれか一方の処理を選択して実行する。
【０１８３】
図２１には、Ｕ，Ｖ，Ｗ相に対応するトルクフィードバック制御処理と、Ｘ，Ｙ，Ｚ相に対応するトルクフィードバック制御処理とが示されている。なお、図２１において、図２０と同じ構成については、同じ符号を付して説明を省略する。ここではまず、Ｕ，Ｖ，Ｗ相側の制御処理について説明する。
【０１８４】

電圧振幅算出部１２７は、回転電機１０に対する力行トルク指令値又は発電トルク指令値と、電気角θを時間微分して得られる電気角速度ωとに基づいて、電圧ベクトルの大きさの指令値である電圧振幅指令を算出する。

【０１８５】

トルク推定部１２８ａは、ｄｑ変換部１１２により変換されたｄ軸電流とｑ軸電流とに基づいて、Ｕ，Ｖ，Ｗ相に対応するトルク推定値を算出する。なお、トルク推定部１２８ａは、ｄ軸電流、ｑ軸電流及び電圧振幅指令が関係付けられたマップ情報に基づいて、電圧振幅指令を算出すればよい。

【０１８６】

トルクフィードバック制御部１２９ａは、力行トルク指令値又は発電トルク指令値にトルク推定値をフィードバック制御するための操作量として、電圧ベクトルの位相の指令値である電圧位相指令を算出する。トルクフィードバック制御部１２９ａでは、力行トルク指令値又は発電トルク指令値に対するトルク推定値の偏差に基づき、ＰＩフィードバック手法を用いて電圧位相指令が算出される。

【０１８７】

操作信号生成部１３０ａは、電圧振幅指令、電圧位相指令及び電気角θに基づいて、第１インバータ１０１の操作信号を生成する。具体的には、操作信号生成部１３０ａは、電圧振幅指令、電圧位相指令及び電気角θに基づいて３相の指令電圧を算出し、算出した３相の指令電圧を電源電圧で規格化した信号と、三角波信号等のキャリア信号との大小比較に基づくＰＷＭ制御により、各相における上下アームのスイッチ操作信号を生成する。

【０１８８】

ちなみに、操作信号生成部１３０ａは、電圧振幅指令、電圧位相指令、電気角θ及びスイッチ操作信号が関係付けられたマップ情報であるパルスパターン情報、電圧振幅指令、電圧位相指令並びに電気角θに基づいて、スイッチ操作信号を生成してもよい。

【０１８９】

また、Ｘ，Ｙ，Ｚ相側においても同様の構成を有しており、トルク推定部１２８ｂは、ｄｑ変換部１２２により変換されたｄ軸電流とｑ軸電流とに基づいて、Ｘ，Ｙ，Ｚ相に対応するトルク推定値を算出する。

【０１９０】

トルクフィードバック制御部１２９ｂは、力行トルク指令値又は発電トルク指令値にトルク推定値をフィードバック制御するための操作量として、電圧位相指令を算出する。トルクフィードバック制御部１２９ｂでは、力行トルク指令値又は発電トルク指令値に対するトルク推定値の偏差に基づき、ＰＩフィードバック手法を用いて電圧位相指令が算出される。

【０１９１】

操作信号生成部１３０ｂは、電圧振幅指令、電圧位相指令及び電気角θに基づいて、第２インバータ１０２の操作信号を生成する。具体的には、操作信号生成部１３０ｂは、電圧振幅指令、電圧位相指令及び電気角θに基づいて３相の指令電圧を算出し、算出した３相の指令電圧を電源電圧で規格化した信号と、三角波信号等のキャリア信号との大小比較に基づくＰＷＭ制御により、各相における上下アームのスイッチ操作信号を生成する。ドライバ１１７は、操作信号生成部１３０ａ，１３０ｂにて生成されたスイッチ操作信号に基づいて、各インバータ１０１，１０２における各３相のスイッチＳｐ，Ｓｎをオンオフさせる。

【０１９２】

ちなみに、操作信号生成部１３０ｂは、電圧振幅指令、電圧位相指令、電気角θ及びスイッチ操作信号が関係付けられたマップ情報であるパルスパターン情報、電圧振幅指令、電圧位相指令並びに電気角θに基づいて、スイッチ操作信号を生成してもよい。

【０１９３】

ところで、回転電機１０においては、軸電流の発生に伴い軸受２１，２２の電食が生じることが懸念されている。例えば固定子巻線５１の通電がスイッチングにより切り替えら

れる際に、スイッチングタイミングの微小なずれ（スイッチングの不均衡）により磁束の歪みが生じ、それに起因して、回転軸１１を支持する軸受２１，２２において電食が生じることが懸念される。磁束の歪みは固定子５０のインダクタンスに応じて生じ、その磁束の歪みにより生じる軸方向の起電圧によって、軸受２１，２２内での絶縁破壊が起こり電食が進行する。

【０１９４】

この点本実施形態では、電食対策として、以下に示す３つの対策を講じている。第１の電食対策は、固定子５０のコアレス化に伴いインダクタンスを低減したこと、及び磁石ユニット４２の磁石磁束をなだらかにしたことによる電食抑制対策である。第２の電食対策は、回転軸を軸受２１，２２による片持ち構造としたことによる電食抑制対策である。第３の電食対策は、円環状の固定子巻線５１を固定子コア５２と共にモールド材によりモールドしたことによる電食抑制対策である。以下には、これら各対策の詳細を個々に説明する。

【０１９５】

まず第１の電食対策では、固定子５０において、周方向における各導線群８１の間をティースレスとし、各導線群８１の間に、ティース（鉄心）の代わりに非磁性材料よりなる封止部材５７を設ける構成としている（図１０参照）。これにより、固定子５０のインダクタンス低減が可能となっている。固定子５０におけるインダクタンス低減を図ることで、仮に固定子巻線５１の通電時にスイッチングタイミングのずれが生じても、そのスイッチングタイミングのずれに起因する磁束歪みの発生を抑制し、ひいては軸受２１，２２の電食抑制が可能になっている。なお、ｄ軸のインダクタンスがｑ軸のインダクタンス以下になっているとよい。

【０１９６】

また、磁石９１，９２において、ｄ軸側においてｑ軸側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされた構成とした（図９参照）。これにより、ｄ軸での磁石磁束が強化され、各磁極においてｑ軸からｄ軸にかけての表面磁束変化（磁束の増減）がなだらかになる。そのため、スイッチング不均衡に起因する急激な電圧変化が抑制され、ひいては電食抑制に寄与できる構成となっている。

【０１９７】

第２の電食対策では、回転電機１０において、各軸受２１，２２を、回転子４０の軸方向中央に対して軸方向のいずれか一方側に偏って配置している（図２参照）。これにより、複数の軸受が軸方向において回転子を挟んで両側にそれぞれ設けられる構成と比べて、電食の影響を軽減できる。つまり、回転子を複数の軸受により両持ち支持する構成では、高周波磁束の発生に伴い回転子、固定子及び各軸受（すなわち、回転子を挟んで軸方向両側の各軸受）を通る閉回路が形成され、軸電流により軸受の電食が懸念される。これに対し、回転子４０を複数の軸受２１，２２により片持ち支持する構成では上記閉回路が形成されず、軸受の電食が抑制される。

【０１９８】

また、回転電機１０は、軸受２１，２２の片側配置のための構成に絡み、以下の構成を有する。磁石ホルダ４１において、回転子４０の径方向に張り出す中間部４５に、軸方向に延びて固定子５０に対する接触を回避する接触回避部が設けられている（図２参照）。この場合、磁石ホルダ４１を経由して軸電流の閉回路が形成される場合にあっては、閉回路長を長くしてその回路抵抗を大きくすることが可能となる。これにより、軸受２１，２２の電食の抑制を図ることができる。

【０１９９】

回転子４０を挟んで軸方向の一方側においてハウジング３０に対して軸受ユニット２０の保持部材２３が固定されるとともに、他方側においてハウジング３０及びユニットベース６１（固定子ホルダ）が互いに結合されている（図２参照）。本構成によれば、回転軸１１の軸方向においてその軸方向の片側に各軸受２１，２２を偏って配置する構成を好適に実現することができる。また本構成では、ユニットベース６１がハウジング３０を介し

て回転軸１１に繋がる構成となるため、ユニットベース６１を、回転軸１１から電気的に離れた位置に配置することができる。なお、ユニットベース６１とハウジング３０との間に樹脂等の絶縁部材を介在させれば、ユニットベース６１と回転軸１１とが電気的に一層離れた構成となる。これにより、軸受２１，２２の電食を適正に抑制することができる。

【０２００】

本実施形態の回転電機１０では、各軸受２１，２２の片側配置等により、軸受２１，２２に作用する軸電圧が低減されている。また、回転子４０と固定子５０との間の電位差が低減されている。そのため、軸受２１，２２において導電性グリースを用いなくても、軸受２１，２２に作用する電位差の低減が可能になっている。導電性グリースは、一般的にカーボンなどの細かい粒子を含むため音鳴りが生じることが考えられる。この点、本実施形態では、軸受２１，２２において非導電性グリースを用いる構成としている。そのため、軸受２１，２２において音鳴りが生じる不都合を抑制できる。例えば電気自動車などの電動車両への適用時には回転電機１０の音鳴り対策が必要になると考えられるが、その音鳴り対策を好適に実施することが可能となる。

【０２０１】

第３の電食対策では、固定子巻線５１を固定子コア５２と共にモールド材によりモールドすることで、固定子５０での固定子巻線５１の位置ずれを抑制する構成としている（図１１参照）。特に本実施形態の回転電機１０では、固定子巻線５１における周方向の各導線群８１の間に導線間部材（ティース）を有していないため、固定子巻線５１における位置ずれ生じる懸念が考えられるが、固定子巻線５１を固定子コア５２と共にモールドすることにより、固定子巻線５１の導線位置にずれが抑制される。したがって、固定子巻線５１の位置ずれによる磁束の歪みや、それに起因する軸受２１，２２の電食の発生を抑制することができる。

【０２０２】

なお、固定子コア５２を固定するハウジング部材としてのユニットベース６１を、炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）により構成したため、例えばアルミ等により構成する場合に比べて、ユニットベース６１への放電が抑制され、ひいては好適な電食対策が可能となっている。

【０２０３】

その他、軸受２１，２２の電食対策として、外輪２５及び内輪２６の少なくともいずれかをセラミックス材により構成する、又は、外輪２５の外側に絶縁スリーブを設ける等の構成を用いることも可能である。

【０２０４】

以下に、他の実施形態を第１実施形態との相違点を中心に説明する。

【０２０５】

（第２実施形態）

本実施形態では、回転子４０における磁石ユニット４２の極異方構造を変更しており、以下に詳しく説明する。

【０２０６】

図２２及び図２３に示すように、磁石ユニット４２は、ハルバッハ配列と称される磁石配列を用いて構成されている。すなわち、磁石ユニット４２は、磁化方向（磁化ベクトルの向き）を径方向とする第１磁石１３１と、磁化方向（磁化ベクトルの向き）を周方向とする第２磁石１３２とを有しており、周方向に所定間隔で第１磁石１３１が配置されるとともに、周方向において隣り合う第１磁石１３１の間となる位置に第２磁石１３２が配置されている。第１磁石１３１及び第２磁石１３２は、例えばネオジム磁石等の希土類磁石からなる永久磁石である。

【０２０７】

第１磁石１３１は、固定子５０に対向する側（径方向内側）の極が交互にＮ極、Ｓ極となるように周方向に互いに離間して配置されている。また、第２磁石１３２は、各第１磁石１３１の隣において周方向に極性が交互となるように配置されている。これら各磁石１

３１，１３２を囲うように設けられる円筒部４３は、軟磁性材料よりなる軟磁性体コアであるとよく、バックコアとして機能する。なお、この第２実施形態の磁石ユニット４２も、ｄ－ｑ座標系において、ｄ軸やｑ軸に対する磁化容易軸の関係は上記第１実施形態と同じである。

【０２０８】

また、第１磁石１３１の径方向外側、すなわち磁石ホルダ４１の円筒部４３の側には、軟磁性材料よりなる磁性体１３３が配置されている。例えば磁性体１３３は、電磁鋼板や軟鉄、圧粉鉄心材料により構成されているとよい。この場合、磁性体１３３の周方向の長さは第１磁石１３１の周方向の長さ（特に第１磁石１３１の外周部の周方向の長さ）と同じである。また、第１磁石１３１と磁性体１３３とを一体化した状態でのその一体物の径方向の厚さは、第２磁石１３２の径方向の厚さと同じである。換言すれば、第１磁石１３１は第２磁石１３２よりも磁性体１３３の分だけ径方向の厚さが薄くなっている。各磁石１３１，１３２と磁性体１３３とは、例えば接着剤により相互に固着されている。磁石ユニット４２において第１磁石１３１の径方向外側は、固定子５０とは反対側であり、磁性体１３３は、径方向における第１磁石１３１の両側のうち、固定子５０とは反対側（反固定子側）に設けられている。

【０２０９】

磁性体１３３の外周部には、径方向外側、すなわち磁石ホルダ４１の円筒部４３の側に突出する凸部としてのキー１３４が形成されている。また、円筒部４３の内周面には、磁性体１３３のキー１３４を収容する凹部としてのキー溝１３５が形成されている。キー１３４の突出形状とキー溝１３５の溝形状とは同じであり、各磁性体１３３に形成されたキー１３４に対応して、キー１３４と同数のキー溝１３５が形成されている。キー１３４及びキー溝１３５の係合により、第１磁石１３１及び第２磁石１３２と磁石ホルダ４１との周方向（回転方向）の位置ずれが抑制されている。なお、キー１３４及びキー溝１３５（凸部及び凹部）を、磁石ホルダ４１の円筒部４３及び磁性体１３３のいずれに設けるかは任意でよく、上記とは逆に、磁性体１３３の外周部にキー溝１３５を設けるとともに、磁石ホルダ４１の円筒部４３の内周部にキー１３４を設けることも可能である。

【０２１０】

ここで、磁石ユニット４２では、第１磁石１３１と第２磁石１３２とを交互に配列することにより、第１磁石１３１での磁束密度を大きくすることが可能となっている。そのため、磁石ユニット４２において、磁束の片面集中を生じさせ、固定子５０寄りの側での磁束強化を図ることができる。

【０２１１】

また、第１磁石１３１の径方向外側、すなわち反固定子側に磁性体１３３を配置したことにより、第１磁石１３１の径方向外側での部分的な磁気飽和を抑制でき、ひいては磁気飽和に起因して生じる第１磁石１３１の減磁を抑制できる。これにより、結果的に磁石ユニット４２の磁力を増加させることが可能となっている。本実施形態の磁石ユニット４２は、言うなれば、第１磁石１３１において減磁が生じ易い部分を磁性体１３３に置き換えた構成となっている。

【０２１２】

図２４（ａ）、図２４（ｂ）は、磁石ユニット４２における磁束の流れを具体的に示す図であり、図２４（ａ）は、磁石ユニット４２において磁性体１３３を有していない従来構成を用いた場合を示し、図２４（ｂ）は、磁石ユニット４２において磁性体１３３を有している本実施形態の構成を用いた場合を示している。なお、図２４（ａ）、図２４（ｂ）では、磁石ホルダ４１の円筒部４３及び磁石ユニット４２を直線状に展開して示しており、図の下側が固定子側、上側が反固定子側となっている。

【０２１３】

図２４（ａ）の構成では、第１磁石１３１の磁束作用面と第２磁石１３２の側面とが、それぞれ円筒部４３の内周面に接触している。また、第２磁石１３２の磁束作用面が第１磁石１３１の側面に接触している。この場合、円筒部４３には、第２磁石１３２の外側経

路を通って第１磁石１３１との接触面に入る磁束Ｆ１と、円筒部４３と略平行で、かつ第２磁石１３２の磁束Ｆ２を引きつける磁束との合成磁束が生じる。そのため、円筒部４３において第１磁石１３１と第２磁石１３２との接触面付近において、部分的に磁気飽和が生じることが懸念される。

【０２１４】

これに対し、図２４（ｂ）の構成では、第１磁石１３１の固定子５０とは反対側において第１磁石１３１の磁束作用面と円筒部４３の内周面との間に磁性体１３３が設けられているため、その磁性体１３３で磁束の通過が許容される。したがって、円筒部４３での磁気飽和を抑制でき、減磁に対する耐力が向上する。

【０２１５】

また、図２４（ｂ）の構成では、図２４（ａ）とは異なり、磁気飽和を促すＦ２を消すことができる。これにより、磁気回路全体のパーミアンスを効果的に向上させることができる。このように構成することで、その磁気回路特性を、過酷な高熱条件下でも保つことができる。

【０２１６】

また、従来のＳＰＭロータにおけるラジアル磁石と比べて、磁石内部を通る磁石磁路が長くなる。そのため、磁石パーミアンスが上昇し、磁力を上げ、トルクを増強することができる。さらに、磁束がｄ軸の中央に集まることにより、正弦波整合率を高くすることができる。特に、ＰＷＭ制御により、電流波形を正弦波や台形波とする、又は１２０度通電のスイッチングＩＣを利用すると、より効果的にトルクを増強することができる。

【０２１７】

なお、固定子コア５２が電磁鋼板により構成される場合において、固定子コア５２の径方向厚さは、磁石ユニット４２の径方向厚さの１／２、又は１／２よりも大きいとよい。例えば、固定子コア５２の径方向厚さは、磁石ユニット４２において磁極中心に設けられる第１磁石１３１の径方向厚さの１／２以上であるとよい。また、固定子コア５２の径方向厚さは、磁石ユニット４２の径方向厚さより小さいとよい。この場合、磁石磁束は約１［Ｔ］であり、固定子コア５２の飽和磁束密度は２［Ｔ］であるため、固定子コア５２の径方向厚さを、磁石ユニット４２の径方向厚さの１／２以上にすることで、固定子コア５２の内周側への磁束漏洩を防ぐことができる。

【０２１８】

ハルバッハ構造や極異方構造の磁石では、磁路が擬似円弧状になっているため、周方向の磁束を扱う磁石厚みに比例して、その磁束を上昇させることができる。こういった構成においては、固定子コア５２に流れる磁束は、周方向の磁束を超えることはないと考えられる。すなわち、磁石の磁束１［Ｔ］に対して飽和磁束密度２［Ｔ］の鉄系金属を利用した場合、固定子コア５２の厚みを磁石厚みの半分以上とすれば、磁気飽和せず好適に小型かつ軽量の回転電機を提供することができる。ここで、磁石磁束に対して固定子５０からの反磁界が作用するため、磁石磁束は一般的に０．９［Ｔ］以下となる。そのため、固定子コアは磁石の半分の厚みを持てば、その透磁率を好適に高く保つことができる。

【０２１９】

以下に、上述した構成の一部を変更した変形例について説明する。

【０２２０】

（変形例１）

上記実施形態では、固定子コア５２の外周面を凹凸のない曲面状とし、その外周面に所定間隔で複数の導線群８１を並べて配置する構成としたが、これを変更してもよい。例えば、図２５に示すように、固定子コア５２は、固定子巻線５１の径方向両側のうち回転子４０とは反対側（図の下側）に設けられた円環状のヨーク１４１と、そのヨーク１４１から、周方向に隣り合う直線部８３の間に向かって突出するように延びる突起部１４２とを有している。突起部１４２は、ヨーク１４１の径方向外側、すなわち回転子４０側に所定間隔で設けられている。固定子巻線５１の各導線群８１は、突起部１４２と周方向において係合しており、突起部１４２を導線群８１の位置決め部として用いつつ周方向に並べて

配置されている。なお、突起部１４２が「導線間部材」に相当する。

【０２２１】

突起部１４２は、ヨーク１４１からの径方向の厚さ寸法、言い換えれば、図２５に示すように、ヨーク１４１の径方向において、直線部８３のヨーク１４１に隣接する内側面３２０から突起部１４２の頂点までの距離Ｗが、径方向内外の複数層の直線部８３のうち、ヨーク１４１に径方向に隣接する直線部８３の径方向の厚さ寸法の１／２（図のＨ１）よりも小さい構成となっている。言い換えれば、固定子巻線５１（固定子コア５２）の径方向における導線群８１（伝導部材）の寸法（厚み）Ｔ１（導線８２の厚みの２倍、言い換えれば、導線群８１の固定子コア５２に接する面３２０と、導線群８１の回転子４０に向いた面３３０との最短距離）の４分の３の範囲は非磁性部材（封止部材５７）が占有していればよい。こうした突起部１４２の厚さ制限により、周方向に隣り合う導線群８１（すなわち直線部８３）の間において突起部１４２がティースとして機能せず、ティースによる磁路形成がなされないようになっている。突起部１４２は、周方向に並ぶ各導線群８１の間ごとに全て設けられていなくてもよく、周方向に隣り合う少なくとも１組の導線群８１の間に設けられていればよい。例えば、突起部１４２は、周方向において各導線群８１の間の所定数ごとに等間隔で設けられているとよい。突起部１４２の形状は、矩形状、円弧状など任意の形状でよい。

【０２２２】

また、固定子コア５２の外周面では、直線部８３が一層で設けられていてもよい。したがって、広義には、突起部１４２におけるヨーク１４１からの径方向の厚さ寸法は、直線部８３における径方向の厚さ寸法の１／２よりも小さいものであればよい。

【０２２３】

なお、回転軸１１の軸心を中心とし、かつヨーク１４１に径方向に隣接する直線部８３の径方向の中心位置を通る仮想円を想定すると、突起部１４２は、その仮想円の範囲内においてヨーク１４１から突出する形状、換言すれば仮想円よりも径方向外側（すなわち回転子４０側）に突出しない形状をなしているとよい。

【０２２４】

上記構成によれば、突起部１４２は、径方向の厚さ寸法が制限されており、周方向に隣り合う直線部８３の間においてティースとして機能するものでないため、各直線部８３の間にティースが設けられている場合に比べて、隣り合う各直線部８３を近づけることができる。これにより、導体８２ａの断面積を大きくすることができ、固定子巻線５１の通電に伴い生じる発熱を低減することができる。かかる構成では、ティースがないことで磁気飽和の解消が可能となり、固定子巻線５１への通電電流を増大させることが可能となる。この場合において、その通電電流の増大に伴い発熱量が増えることに好適に対処することができる。また、固定子巻線５１では、ターン部８４が、径方向にシフトされ、他のターン部８４との干渉を回避する干渉回避部を有することから、異なるターン部８４同士を径方向に離して配置することができる。これにより、ターン部８４においても放熱性の向上を図ることができる。以上により、固定子５０での放熱性能を適正化することが可能になっている。

【０２２５】

また、固定子コア５２のヨーク１４１と、回転子４０の磁石ユニット４２（すなわち各磁石９１，９２）とが所定距離以上離れていれば、突起部１４２の径方向の厚さ寸法は、図２５のＨ１に縛られるものではない。具体的には、ヨーク１４１と磁石ユニット４２とが２ｍｍ以上離れていれば、突起部１４２の径方向の厚さ寸法は、図２５のＨ１以上であってもよい。例えば、直線部８３の径方向厚み寸法が２ｍｍを越えており、かつ導線群８１が径方向内外の２層の導線８２により構成されている場合に、ヨーク１４１に隣接していない直線部８３、すなわちヨーク１４１から数えて２層目の導線８２の半分位置までの範囲で、突起部１４２が設けられていてもよい。この場合、突起部１４２の径方向厚さ寸法が「Ｈ１×３／２」までになっていれば、導線群８１における導体断面積を大きくすることで、前記効果を少なからず得ることはできる。

【０２２６】
　また、固定子コア５２は、図２６に示す構成であってもよい。なお、図２６では、封止部材５７を省略しているが、封止部材５７が設けられていてもよい。図２６では、便宜上、磁石ユニット４２及び固定子コア５２を直線状に展開して示している。
【０２２７】
　図２６の構成では、固定子５０は、周方向に隣接する導線８２（すなわち直線部８３）の間に、導線間部材としての突起部１４２を有している。固定子５０は、固定子巻線５１が通電されると、磁石ユニット４２の磁極の一つ（Ｎ極、またはＳ極）とともに磁気的に機能し、固定子５０の周方向に延びる一部分３５０を有する。この部分３５０の固定子５０の周方向への長さをＷｎとすると、この長さ範囲Ｗｎに存在する突起部１４２の合計の幅（すなわち、固定子５０の周方向への合計の寸法）をＷｔとし、突起部１４２の飽和磁束密度をＢｓ、磁石ユニット４２の１極分の周方向の幅寸法をＷｍ、磁石ユニット４２の残留磁束密度をＢｒとする場合、突起部１４２は、
Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒ　　…（１）
となる磁性材料により構成されている。
【０２２８】
　なお、範囲Ｗｎは、周方向に隣接する複数の導線群８１であって、励磁時期が重複する複数の導線群８１を含むように設定される。その際、範囲Ｗｎを設定する際の基準（境界）として、導線群８１の間隙５６の中心を設定することが好ましい。例えば、図２６に例示する構成の場合、周方向においてＮ極の磁極中心からの距離が最も短いものから順番に、４番目までの導線群８１が、当該複数の導線群８１に相当する。そして、当該４つの導線群８１を含むように範囲Ｗｎが設定される。その際、範囲Ｗｎの端（起点と終点）が間隙５６の中心とされている。
【０２２９】
　図２６において、範囲Ｗｎの両端には、それぞれ突起部１４２が半分ずつ含まれていることから、範囲Ｗｎには、合計４つ分の突起部１４２が含まれている。したがって、突起部１４２の幅（すなわち、固定子５０の周方向における突起部１４２の寸法、言い換えれば、隣接する導線群８１の間隔）をＡとすると、範囲Ｗｎに含まれる突起部１４２の合計の幅は、Ｗｔ＝１／２Ａ＋Ａ＋Ａ＋Ａ＋１／２Ａ＝４Ａとなる。
【０２３０】
　詳しくは、本実施形態では、固定子巻線５１の３相巻線が分布巻であり、その固定子巻線５１では、磁石ユニット４２の１極に対して、突起部１４２の数、すなわち各導線群８１の間となる間隙５６の数が「相数×Ｑ」個となっている。ここでＱとは、１相の導線８２のうち固定子コア５２と接する数である。なお、導線８２が回転子４０の径方向に積層された導線群８１である場合には、１相の導線群８１の内周側の導線８２の数であるともいえる。この場合、固定子巻線５１の３相巻線が各相所定順序で通電されると、１極内において２相分の突起部１４２が励磁される。したがって、磁石ユニット４２の１極分の範囲において固定子巻線５１の通電により励磁される突起部１４２の周方向の合計幅寸法Ｗｔは、突起部１４２（つまり、間隙５６）の周方向の幅寸法をＡとすると、「励磁される相数×Ｑ×Ａ＝２×２×Ａ」となる。
【０２３１】
　そして、こうして合計幅寸法Ｗｔが規定された上で、固定子コア５２において、突起部１４２が、上記（１）の関係を満たす磁性材料として構成されている。なお、合計幅寸法Ｗｔは、１極内において比透磁率が１よりも大きくなりえる部分の周方向寸法でもある。また、余裕を考えて、合計幅寸法Ｗｔを、１磁極における突起部１４２の周方向の幅寸法としてもよい。具体的には、磁石ユニット４２の１極に対する突起部１４２の数が「相数×Ｑ」であることから、１磁極における突起部１４２の周方向の幅寸法（合計幅寸法Ｗｔ）を、「相数×Ｑ×Ａ＝３×２×Ａ＝６Ａ」としてもよい。
【０２３２】
　なお、ここでいう分布巻とは、磁極の１極対周期（Ｎ極とＳ極）で、固定子巻線５１の

一極対があるものである。ここでいう固定子巻線５１の一極対は、電流が互いに逆方向に流れ、ターン部８４で電気的に接続された２つの直線部８３とターン部８４からなる。上記条件みたすものであれば、短節巻（Short Pitch Winding）であっても、全節巻（Full Pitch Winding）の分布巻の均等物とみなす。

【０２３３】

次に、集中巻の場合の例を示す。ここでいう集中巻とは、磁極の１極対の幅と、固定子巻線５１の一極対の幅とが異なるものである。集中巻の一例としては、１つの磁極対に対して導線群８１が３つ、２つの磁極対に対して導線群８１が３つ、４つの磁極対に対して導線群８１が９つ、５つの磁極対に対して導線群８１が９つのような関係であるものが挙げられる。

【０２３４】

ここで、固定子巻線５１を集中巻とする場合には、固定子巻線５１の３相巻線が所定順序で通電されると、２相分の固定子巻線５１が励磁される。その結果、２相分の突起部１４２が励磁される。したがって、磁石ユニット４２の１極分の範囲において固定子巻線５１の通電により励磁される突起部１４２の周方向の幅寸法Ｗｔは、「Ａ×２」となる。そして、こうして幅寸法Ｗｔが規定された上で、突起部１４２が、上記（１）の関係を満たす磁性材料として構成されている。なお、上記で示した集中巻の場合は、同一相の導線群８１に囲まれた領域において、固定子５０の周方向にある突起部１４２の幅の総和をＡとする。また、集中巻におけるＷｍは「磁石ユニット４２のエアギャップに対向する面の全周」×「相数」÷「導線群８１の分散数」に相当する。

【０２３５】

ちなみに、ネオジム磁石やサマリウムコバルト磁石、フェライト磁石といったＢＨ積が２０［ＭＧＯｅ（ｋＪ／ｍ^3）］以上の磁石ではＢｄ＝１．０強［Ｔ］、鉄ではＢｒ＝２．０強［Ｔ］である。そのため、高出力モータとしては、固定子コア５２において、突起部１４２が、Ｗｔ＜１／２×Ｗｍの関係を満たす磁性材料であればよい。

【０２３６】

また、後述するように導線８２が外層被膜１８２を備える場合には、導線８２同士の外層被膜１８２が接触するように、導線８２を固定子コア５２の周方向に配置しても良い。この場合は、Ｗｔは、０又は接触する両導線８２の外層被膜１８２の厚さ、と看做すことができる。

【０２３７】

図２５や図２６の構成では、回転子４０側の磁石磁束に対して不相応に小さい導線間部材（突起部１４２）を有する構成となっている。なお、回転子４０は、インダクタンスが低くかつ平坦な表面磁石型ロータであり、磁気抵抗的に突極性を有していないものとなっている。かかる構成では、固定子５０のインダクタンス低減が可能となっており、固定子巻線５１のスイッチングタイミングのずれに起因する磁束歪みの発生が抑制され、ひいては軸受２１，２２の電食が抑制される。

【０２３８】

（変形例２）

上記式（１）の関係を満たす導線間部材を用いる固定子５０として、以下の構成を採用することも可能である。図２７では、固定子コア５２の外周面側（図の上面側）に、導線間部材として歯状部１４３が設けられている。歯状部１４３は、ヨーク１４１から突出するようにして周方向に所定間隔で設けられており、径方向に導線群８１と同じ厚み寸法を有している。歯状部１４３の側面は導線群８１の各導線８２に接している。ただし、歯状部１４３と各導線８２との間に隙間があってもよい。

【０２３９】

歯状部１４３は、周方向における幅寸法に制限が付与されており、磁石量に対して不相応に細い極歯（ステータティース）を備えるものとなっている。かかる構成により、歯状部１４３は、１．８Ｔ以上で磁石磁束により確実に飽和し、パーミアンスの低下によりインダクタンスを下げることができる。

【０２４０】
ここで、磁石ユニット４２において、固定子側における磁束作用面の１極あたりの表面積をＳｍ、磁石ユニット４２の残留磁束密度をＢｒとすると、磁石ユニット側の磁束は、例えば「Ｓｍ×Ｂｒ」となる。また、各歯状部１４３における回転子側の表面積をＳｔ、導線８２の一相あたりの数をｍとし、固定子巻線５１の通電により１極内において２相分の歯状部１４３が励磁されるとすると、固定子側の磁束は、例えば「Ｓｔ×ｍ×２×Ｂｓ」となる。この場合、
Ｓｔ×ｍ×２×Ｂｓ＜Ｓｍ×Ｂｒ　　…（２）
の関係が成立するように歯状部１４３の寸法を制限することで、インダクタンスの低減が図られている。

【０２４１】
なお、磁石ユニット４２と歯状部１４３とで軸方向の寸法が同一である場合、磁石ユニット４２の１極分の周方向の幅寸法をＷｍ、歯状部１４３の周方向の幅寸法をＷｓｔとすると、上記式（２）は、式（３）のように置き換えられる。
Ｗｓｔ×ｍ×２×Ｂｓ＜Ｗｍ×Ｂｒ　　…（３）
より具体的には、例えばＢｓ＝２Ｔ、Ｂｒ＝１Ｔであり、ｍ＝２であると想定すると、上記式（３）は、「Ｗｓｔ＜Ｗｍ／８」の関係となる。この場合、歯状部１４３の幅寸法Ｗｓｔを、磁石ユニット４２の１極分の幅寸法Ｗｍの１／８よりも小さくすることで、インダクタンスの低減が図られている。なお、数ｍが１であれば、歯状部１４３の幅寸法Ｗｓｔを、磁石ユニット４２の１極分の幅寸法Ｗｍの１／４よりも小さくするとよい。

【０２４２】
なお、上記式（３）において、「Ｗｓｔ×ｍ×２」は、磁石ユニット４２の１極分の範囲において固定子巻線５１の通電により励磁される歯状部１４３の周方向の幅寸法に相当する。

【０２４３】
図２７の構成では、上述した図２５，図２６の構成と同様に、回転子４０側の磁石磁束に対して不相応に小さい導線間部材（歯状部１４３）を有する構成となっている。かかる構成では、固定子５０のインダクタンス低減が可能となっており、固定子巻線５１のスイッチングタイミングのずれに起因する磁束歪みの発生が抑制され、ひいては軸受２１，２２の電食が抑制される。

【０２４４】
（変形例３）
上記実施形態では、固定子巻線５１を覆う封止部材５７を、固定子コア５２の径方向外側において各導線群８１を全て含む範囲、すなわち径方向の厚さ寸法が各導線群８１の径方向の厚さ寸法よりも大きくなる範囲で設ける構成としたが、これを変更してもよい。例えば、図２８に示すように、封止部材５７を、導線８２の一部がはみ出すように設ける構成とする。より具体的には、封止部材５７を、導線群８１において最も径方向外側となる導線８２の一部を径方向外側、すなわち固定子５０側に露出させた状態で設ける構成とする。この場合、封止部材５７の径方向の厚さ寸法は、各導線群８１の径方向の厚さ寸法と同じ、又はその厚さ寸法よりも小さいとよい。

【０２４５】
（変形例４）
図２９に示すように、固定子５０において、各導線群８１が封止部材５７により封止されていない構成としてもよい。つまり、固定子巻線５１を覆う封止部材５７を用いない構成とする。この場合、周方向に並ぶ各導線群８１の間に導線間部材が設けられず空隙となっている。要するに、周方向に並ぶ各導線群８１の間に導線間部材が設けられていない構成となっている。なお、空気を非磁性体、又は非磁性体の均等物としてＢｓ＝０と看做し、この空隙に空気を配置しても良い。

【０２４６】
（変形例５）

固定子５０おける導線間部材を非磁性材料により構成する場合に、その非磁性材料として、樹脂以外の材料を用いることも可能である。例えば、オーステナイト系のステンレス鋼であるＳＵＳ３０４を用いる等、金属系の非磁性材料を用いてもよい。

【０２４７】

（変形例６）

固定子５０が固定子コア５２を具備していない構成としてもよい。この場合、固定子５０は、図１２に示す固定子巻線５１により構成されることになる。なお、固定子コア５２を具備していない固定子５０において、固定子巻線５１を封止材により封止する構成としてもよい。又は、固定子５０が、軟磁性材からなる固定子コア５２に代えて、合成樹脂等の非磁性材からなる円環状の巻線保持部を備える構成であってもよい。

【０２４８】

（変形例７）

上記第１実施形態では、回転子４０の磁石ユニット４２として周方向に並べた複数の磁石９１，９２を用いる構成としたが、これを変更し、磁石ユニット４２として円環状の永久磁石である環状磁石を用いる構成としてもよい。具体的には、図３０に示すように、磁石ホルダ４１の円筒部４３の径方向内側に、環状磁石９５が固定されている。環状磁石９５には、周方向に極性が交互となる複数の磁極が設けられており、ｄ軸及びｑ軸のいずれにおいても一体的に磁石が形成されている。環状磁石９５には、各磁極のｄ軸において配向の向きが径方向となり、各磁極間のｑ軸において配向の向きが周方向となるような円弧状の磁石磁路が形成されている。

【０２４９】

なお、環状磁石９５では、ｄ軸寄りの部分において磁化容易軸がｄ軸に平行又はｄ軸に平行に近い向きとなり、かつｑ軸寄りの部分において磁化容易軸がｑ軸に直交又はｑ軸に直交に近い向きとなる円弧状の磁石磁路が形成されるように配向がなされていればよい。

【０２５０】

（変形例８）

本変形例では、制御装置１１０の制御手法の一部を変更している。本変形例では、主に、第１実施形態で説明した構成に対する相違部分について説明する。

【０２５１】

まず、図３１を用いて、図２０に示した操作信号生成部１１６，１２６及び図２１に示した操作信号生成部１３０ａ，１３０ｂ内の処理について説明する。なお、各操作信号生成部１１６，１２６，１３０ａ，１３０ｂにおける処理は基本的には同様である。このため、以下では、操作信号生成部１１６の処理を例にして説明する。

【０２５２】

操作信号生成部１１６は、キャリア生成部１１６ａと、Ｕ，Ｖ，Ｗ相比較器１１６ｂＵ，１１６ｂＶ，１１６ｂＷとを備えている。本実施形態において、キャリア生成部１１６ａは、キャリア信号ＳｉｇＣとして三角波信号を生成して出力する。

【０２５３】

Ｕ，Ｖ，Ｗ相比較器１１６ｂＵ，１１６ｂＶ，１１６ｂＷには、キャリア生成部１１６ａより生成されたキャリア信号ＳｉｇＣと、３相変換部１１５により算出されたＵ，Ｖ，Ｗ相指令電圧とが入力される。Ｕ，Ｖ，Ｗ相指令電圧は、例えば正弦波状の波形であり、電気角で位相が１２０°ずつずれている。

【０２５４】

Ｕ，Ｖ，Ｗ相比較器１１６ｂＵ，１１６ｂＶ，１１６ｂＷは、Ｕ，Ｖ，Ｗ相指令電圧とキャリア信号ＳｉｇＣとの大小比較に基づくＰＷＭ（ＰＷＭ：pulse width modulation）制御により、第１インバータ１０１におけるＵ，Ｖ，Ｗ相の上アーム及び下アームの各スイッチＳｐ，Ｓｎの操作信号を生成する。具体的には、操作信号生成部１１６は、Ｕ，Ｖ，Ｗ相指令電圧を電源電圧で規格化した信号と、キャリア信号との大小比較に基づくＰＷＭ制御により、Ｕ，Ｖ，Ｗ相の各スイッチＳｐ，Ｓｎの操作信号を生成する。ドライバ１１７は、操作信号生成部１１６により生成された操作信号に基づいて、第１インバータ

１０１におけるＵ，Ｖ，Ｗ相の各スイッチＳｐ，Ｓｎをオンオフさせる。
【０２５５】
制御装置１１０は、キャリア信号ＳｉｇＣのキャリア周波数ｆｃ、すなわち各スイッチＳｐ，Ｓｎのスイッチング周波数を変更する処理を行う。キャリア周波数ｆｃは、回転電機１０の低トルク領域又は高回転領域において高く設定され、回転電機１０の高トルク領域において低く設定される。この設定は、各相巻線に流れる電流の制御性の低下を抑制するためになされる。
【０２５６】
つまり、固定子５０のコアレス化に伴い、固定子５０におけるインダクタンスの低減を図ることができる。ここで、インダクタンスが低くなると、回転電機１０の電気的時定数が小さくなる。その結果、各相巻線に流れる電流のリップルが増加して巻線に流れる電流の制御性が低下し、電流制御が発散する懸念がある。この制御性低下の影響は、巻線に流れる電流（例えば、電流の実効値）が高電流領域に含まれる場合よりも低電流領域に含まれる場合に顕著となり得る。この問題に対処すべく、本変形例において、制御装置１１０はキャリア周波数ｆｃを変更する。
【０２５７】
図３２を用いて、キャリア周波数ｆｃを変更する処理について説明する。この処理は、操作信号生成部１１６の処理として、制御装置１１０により、例えば所定の制御周期で繰り返し実行される。
【０２５８】
ステップＳ１０では、各相の巻線５１ａに流れる電流が低電流領域に含まれているか否かを判定する。この処理は、回転電機１０の現在のトルクが低トルク領域であることを判定するための処理である。低電流領域に含まれているか否かの判定手法としては、例えば、以下の第１，第２の方法が挙げられる。
【０２５９】
＜第１の方法＞
ｄｑ変換部１１２により変換されたｄ軸電流とｑ軸電流とに基づいて、回転電機１０のトルク推定値を算出する。そして、算出したトルク推定値がトルク閾値未満であると判定した場合、巻線５１ａに流れる電流が低電流領域に含まれていると判定し、トルク推定値がトルク閾値以上であると判定した場合、高電流領域に含まれていると判定する。ここで、トルク閾値は、例えば、回転電機１０の起動トルク（拘束トルクともいう）の１／２に設定されていればよい。
【０２６０】
＜第２の方法＞
角度検出器により検出された回転子４０の回転角度が速度閾値以上であると判定した場合、巻線５１ａに流れる電流が低電流領域に含まれている、すなわち高回転領域であると判定する。ここで、速度閾値は、例えば、回転電機１０の最大トルクがトルク閾値となる場合の回転速度に設定されていればよい。
【０２６１】
ステップＳ１０において否定判定した場合には、高電流領域であると判定し、ステップＳ１１に進む。ステップＳ１１では、キャリア周波数ｆｃを第１周波数ｆＬに設定する。
【０２６２】
ステップＳ１０において肯定判定した場合には、ステップＳ１２に進み、キャリア周波数ｆｃを、第１周波数ｆＬよりも高い第２周波数ｆＨに設定する。
【０２６３】
以上説明した本変形例によれば、各相巻線に流れる電流が高電流領域に含まれる場合よりも低電流領域に含まれる場合においてキャリア周波数ｆｃが高く設定される。このため、低電流領域において、スイッチＳｐ，Ｓｎのスイッチング周波数を高くすることができ、電流リップルの増加を抑制することができる。これにより、電流制御性の低下を抑制することができる。

【０２６４】
一方、各相巻線に流れる電流が高電流領域に含まれる場合、低電流領域に含まれる場合よりもキャリア周波数ｆｃが低く設定される。高電流領域においては、低電流領域よりも巻線に流れる電流の振幅が大きいため、インダクタンスが低くなったことに起因する電流リップルの増加が、電流制御性に及ぼす影響が小さい。このため、高電流領域においては、低電流領域よりもキャリア周波数ｆｃを低く設定することができ、各インバータ１０１，１０２のスイッチング損失を低減することができる。
【０２６５】
本変形例においては、以下に示す形態の実施が可能である。
【０２６６】
・キャリア周波数ｆｃが第１周波数ｆＬに設定されている場合において、図３２のステップＳ１０において肯定判定されたとき、キャリア周波数ｆｃを、第１周波数ｆＬから第２周波数ｆＨに向かって徐変させてもよい。
【０２６７】
また、キャリア周波数ｆｃが第２周波数ｆＨに設定されている場合において、ステップＳ１０において否定判定されたとき、キャリア周波数ｆｃを、第２周波数ｆＨから第１周波数ｆＬに向かって徐変させてもよい。
【０２６８】
・ＰＷＭ制御に代えて、空間ベクトル変調（ＳＶＭ：space vector modulation）制御によりスイッチの操作信号が生成されてもよい。この場合であっても、上述したスイッチング周波数の変更を適用することができる。
【０２６９】
（変形例９）
上記各実施形態では、導線群８１を構成する各相２対ずつの導線が、図３３（ａ）に示すように並列接続されていた。図３３（ａ）は、２対の導線である第１，第２導線８８ａ，８８ｂの電気的接続を示す図である。ここで、図３３（ａ）に示す構成に代えて、図３３（ｂ）に示すように、第１，第２導線８８ａ，８８ｂが直列接続されていてもよい。
【０２７０】
また、３対以上の多層導線が径方向に積層配置されていてもよい。図３４に、４対の導線である第１～第４導線８８ａ～８８ｄが積層配置されている構成を示す。第１～第４導線８８ａ～８８ｄは、固定子コア５２に近い方から、第１，第２，第３，第４導線８８ａ，８８ｂ，８８ｃ，８８ｄの順に径方向に並んで配置されている。
【０２７１】
ここで、図３３（ｃ）に示すように、第３，第４導線８８ｃ，８８ｄが並列接続されるとともに、この並列接続体の一端に第１導線８８ａが接続され、他端に第２導線８８ｂが接続されていてもよい。並列接続にすると、その並列接続された導線の電流密度を低下させることができ、通電時の発熱を抑制できる。そのため、冷却水通路７４が形成されたハウジング（ユニットベース６１）に筒状の固定子巻線を組み付ける構成において、並列接続されていない第１，第２導線８８ａ，８８ｂがユニットベース６１に当接する固定子コア５２側に配置され、並列接続された第３，第４導線８８ｃ，８８ｄが反固定子コア側に配置されている構成とする。これにより、多層導線構造における各導線８８ａ～８８ｄの冷却性能を均等化することができる。
【０２７２】
なお、第１～第４導線８８ａ～８８ｄからなる導線群８１の径方向の厚さ寸法は、１磁極内における１相分の周方向の幅寸法よりも小さいものとされていればよい。
【０２７３】
（変形例１０）
回転電機１０をインナロータ構造（内転構造）としてもよい。この場合、例えばハウジング３０内において、径方向外側に固定子５０が設けられ、その径方向内側に回転子４０が設けられるとよい。また、固定子５０及び回転子４０の軸方向両端のうちその一方の側

又はその両方の側にインバータユニット６０が設けられているとよい。図３５は、回転子４０及び固定子５０の横断面図であり、図３６は、図３５に示す回転子４０及び固定子５０の一部を拡大して示す図である。

【０２７４】

インナロータ構造を前提とする図３５及び図３６の構成は、アウタロータ構造を前提とする図８及び図９の構成に対して、回転子４０及び固定子５０が径方向内外で逆になっていることを除いて、同様の構成となっている。簡単に説明すると、固定子５０は、扁平導線構造の固定子巻線５１と、ティースを持たない固定子コア５２とを有している。固定子巻線５１は、固定子コア５２の径方向内側に組み付けられている。固定子コア５２は、アウタロータ構造の場合と同様に、以下のいずれかの構成を有する。

（Ａ）固定子５０において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、１磁極における導線間部材の周方向の幅寸法をＷｔ、導線間部材の飽和磁束密度をＢｓ、１磁極における磁石ユニットの周方向の幅寸法をＷｍ、磁石ユニットの残留磁束密度をＢｒとした場合に、Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒの関係となる磁性材料を用いている。

（Ｂ）固定子５０において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、非磁性材料を用いている。

（Ｃ）固定子５０において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設けていない構成となっている。

【０２７５】

また、磁石ユニット４２の各磁石９１，９２についても同様である。つまり、磁石ユニット４２は、磁極中心であるｄ軸の側において、磁極境界であるｑ軸の側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされた磁石９１，９２を用いて構成されている。各磁石９１，９２における磁化方向等の詳細は既述のとおりである。磁石ユニット４２において環状磁石９５（図３０参照）を用いることも可能である。

【０２７６】

図３７は、インナロータ型とした場合における回転電機１０の縦断面図であり、これは既述の図２に対応する図面である。図２の構成との相違点を簡単に説明する。図３７において、ハウジング３０の内側には、環状の固定子５０が固定され、その固定子５０の内側には、所定のエアギャップを挟んで回転子４０が回転可能に設けられている。図２と同様に、各軸受２１，２２は、回転子４０の軸方向中央に対して軸方向のいずれか一方側に偏って配置されており、これにより、回転子４０が片持ち支持されている。また、回転子４０の磁石ホルダ４１の内側に、インバータユニット６０が設けられている。

【０２７７】

図３８には、インナロータ構造の回転電機１０として別の構成を示す。図３８において、ハウジング３０には、軸受２１，２２により回転軸１１が回転可能に支持されており、その回転軸１１に対して回転子４０が固定されている。図２等に示す構成と同様に、各軸受２１，２２は、回転子４０の軸方向中央に対して軸方向のいずれか一方側に偏って配置されている。回転子４０は、磁石ホルダ４１と磁石ユニット４２とを有している。

【０２７８】

図３８の回転電機１０では、図３７の回転電機１０との相違点として、回転子４０の径方向内側にインバータユニット６０が設けられていない構成となっている。磁石ホルダ４１は、磁石ユニット４２の径方向内側となる位置で回転軸１１に連結されている。また、固定子５０は、固定子巻線５１と固定子コア５２とを有しており、ハウジング３０に対して取り付けられている。

【０２７９】

（変形例１１）

インナロータ構造の回転電機として別の構成を以下に説明する。図３９は、回転電機２００の分解斜視図であり、図４０は、回転電機２００の側面断面図である。なおここでは、図３９及び図４０の状態を基準に上下方向を示すこととしている。

【０２８０】
図３９及び図４０に示すように、回転電機２００は、環状の固定子コア２０１及び多相の固定子巻線２０２を有する固定子２０３と、固定子コア２０１の内側に回転自在に配設される回転子２０４とを備えている。固定子２０３が電機子に相当し、回転子２０４が界磁子に相当する。固定子コア２０１は、多数の珪素鋼板が積層されて構成されており、その固定子コア２０１に対して固定子巻線２０２が取り付けられている。図示は省略するが、回転子２０４は、回転子コアと、磁石ユニットとして複数の永久磁石とを有している。回転子コアには、円周方向に等間隔で複数の磁石挿入孔が設けられている。磁石挿入孔のそれぞれには、隣接する磁極毎に交互に磁化方向が変わるように磁化された永久磁石が装着されている。なお、磁石ユニットの永久磁石は、図２３で説明したようなハルバッハ配列又はそれに類する構成を有するものであるとよい。又は、磁石ユニットの永久磁石は、図９や図３０で説明したような磁極中心であるｄ軸と磁極境界であるｑ軸との間において配向方向（磁化方向）が円弧状に延びている極異方性の特性を備えるものであるとよい。
【０２８１】
ここで、固定子２０３は、以下のいずれかの構成であるとよい。
（Ａ）固定子２０３において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、１磁極における導線間部材の周方向の幅寸法をＷｔ、導線間部材の飽和磁束密度をＢｓ、１磁極における磁石ユニットの周方向の幅寸法をＷｍ、磁石ユニットの残留磁束密度をＢｒとした場合に、Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒの関係となる磁性材料を用いている。
（Ｂ）固定子２０３において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、非磁性材料を用いている。
（Ｃ）固定子２０３において、周方向における各導線部の間に導線間部材を設けていない構成となっている。
【０２８２】
また、回転子２０４において、磁石ユニットは、磁極中心であるｄ軸の側において、磁極境界であるｑ軸の側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされた複数の磁石を用いて構成されている。
【０２８３】
回転電機２００の軸方向の一端側には、環状のインバータケース２１１が設けられている。インバータケース２１１は、ケース下面が固定子コア２０１の上面に接するように配置されている。インバータケース２１１内には、インバータ回路を構成する複数のパワーモジュール２１２と、半導体スイッチング素子のスイッチング動作により生じる電圧・電流の脈動（リップル）を抑制する平滑コンデンサ２１３と、制御部を有する制御基板２１４と、相電流を検出する電流センサ２１５と、回転子２０４の回転数センサであるレゾルバステータ２１６とが設けられている。パワーモジュール２１２は、半導体スイッチング素子であるＩＧＢＴやダイオードを有している。
【０２８４】
インバータケース２１１の周縁には、車両に搭載されるバッテリの直流回路と接続されるパワーコネクタ２１７と、回転電機２００側と車両側制御装置との間で各種信号の受け渡しに用いられる信号コネクタ２１８とが設けられている。インバータケース２１１はトップカバー２１９で覆われている。車載バッテリからの直流電力は、パワーコネクタ２１７を介して入力され、パワーモジュール２１２のスイッチングにより交流に変換されて各相の固定子巻線２０２に送られる。
【０２８５】
固定子コア２０１の軸方向両側のうちインバータケース２１１の反対側には、回転子２０４の回転軸を回転可能に保持する軸受ユニット２２１と、その軸受ユニット２２１を収容する環状のリアケース２２２とが設けられている。軸受ユニット２２１は、例えば２つ一組の軸受を有しており、回転子２０４の軸方向中央に対して軸方向のいずれか一方側に偏って配置されている。ただし、軸受ユニット２２１における複数の軸受を固定子コア２

０１の軸方向両側に分散させて設け、それら各軸受により回転軸を両持ち支持する構成であってもよい。リアケース２２２が車両のギアケースや変速機などの取付部にボルト締結して固定されることで、回転電機２００が車両側に取り付けられるようになっている。

【０２８６】

インバータケース２１１内には、冷媒を流すための冷却流路２１１ａが形成されている。冷却流路２１１ａは、インバータケース２１１の下面から環状に凹設された空間を固定子コア２０１の上面で閉塞して形成されている。冷却流路２１１ａは、固定子巻線２０２のコイルエンドを囲むように形成されている。冷却流路２１１ａ内には、パワーモジュール２１２のモジュールケース２１２ａが挿入されている。リアケース２２２にも、固定子巻線２０２のコイルエンドを囲むように冷却流路２２２ａが形成されている。冷却流路２２２ａは、リアケース２２２の上面から環状に凹設された空間を固定子コア２０１の下面で閉塞して形成されている。

【０２８７】

（変形例１２）

これまでは、回転界磁形の回転電機にて具体化した構成を説明したが、これを変更し、回転電機子形の回転電機にて具体化することも可能である。図４１に、回転電機子形の回転電機２３０の構成を示す。

【０２８８】

図４１の回転電機２３０において、ハウジング２３１ａ，２３１ｂにはそれぞれ軸受２３２が固定され、その軸受２３２により回転軸２３３が回転自在に支持されている。軸受２３２は、例えば多孔質金属に油を含ませてなる含油軸受である。回転軸２３３には、電機子としての回転子２３４が固定されている。回転子２３４は、回転子コア２３５とその外周部に固定された多相の回転子巻線２３６とを有している。回転子２３４において、回転子コア２３５はスロットレス構造を有し、回転子巻線２３６は扁平導線構造を有している。つまり、回転子巻線２３６は、１相ごとの領域が径方向よりも周方向に長い扁平構造となっている。

【０２８９】

また、回転子２３４の径方向外側には、界磁子としての固定子２３７が設けられている。固定子２３７は、ハウジング２３１ａに固定された固定子コア２３８と、その固定子コア２３８の内周側に固定された磁石ユニット２３９とを有している。磁石ユニット２３９は、周方向に極性が交互となる複数の磁極を含む構成となっており、既述した磁石ユニット４２等と同様に、磁極中心であるｄ軸の側において、磁極境界であるｑ軸の側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされて構成されている。磁石ユニット２３９は、配向が行われた焼結ネオジム磁石を有しており、その固有保磁力は４００［ｋＡ／ｍ］以上、かつ残留磁束密度は１．０［Ｔ］以上となっている。

【０２９０】

本例の回転電機２３０は、２極３コイルのブラシ付コアレスモータであり、回転子巻線２３６は３つに分割され、磁石ユニット２３９は２極である。ブラシ付きモータの極数とコイル数は、２：３、４：１０、４：２１などその用途に応じて様々である。

【０２９１】

回転軸２３３にはコミュテータ２４１が固定されており、その径方向外側には複数のブラシ２４２が配置されている。コミュテータ２４１は、回転軸２３３に埋め込まれた導線２４３を介して回転子巻線２３６に電気接続されている。これらコミュテータ２４１、ブラシ２４２、導線２４３を通じて、回転子巻線２３６に対する直流電流の流入及び流出が行われる。コミュテータ２４１は、回転子巻線２３６の相数に応じて周方向に適宜分割されて構成されている。なお、ブラシ２４２は、そのまま電気配線を介して蓄電池などの直流電源に接続されていてもよいし、端子台などを介して直流電源に接続されていてもよい。

【０２９２】

回転軸２３３には、軸受２３２とコミュテータ２４１との間に、シール材としての樹脂ワッシャ２４４が設けられている。樹脂ワッシャ２４４により、含油軸受である軸受２３

２からしみ出た油がコミュテータ２４１側に流れ出ることが抑制される。

【０２９３】

（変形例１３）

回転電機１０の固定子巻線５１において、各導線８２を、内外に複数の絶縁被膜を有する構成としてもよい。例えば、絶縁被膜付きの複数の導線（素線）を１本に束ね、それを外層被膜により覆って導線８２を構成するとよい。この場合、素線の絶縁被膜が内側の絶縁被膜を構成し、外層被膜が外側の絶縁被膜を構成する。また特に、導線８２における複数の絶縁被膜のうち外側の絶縁被膜の絶縁能力を、内側の絶縁被膜の絶縁能力よりも高めておくとよい。具体的には、外側の絶縁被膜の厚さを、内側の絶縁被膜の厚さよりも厚くする。例えば、外側の絶縁被膜の厚さを１００μｍ、内側の絶縁被膜の厚さを４０μｍとする。又は、外側の絶縁被膜として、内側の絶縁被膜よりも誘電率の低い材料を用いるとよい。これらは少なくともいずれかが適用されればよい。なお、素線が、複数の導電材の集合体として構成されているとよい。

【０２９４】

上記のとおり導線８２における最外層の絶縁を強くすることにより、高電圧の車両用システムに用いる場合に好適なものとなる。また、気圧の低い高地などでも、回転電機１０の適正な駆動が可能となる。

【０２９５】

（変形例１４）

内外に複数の絶縁被膜を有する導線８２において、外側の絶縁被膜と内側の絶縁被膜とで、線膨張率（線膨張係数）及び接着強さの少なくともいずれかが異なる構成としてもよい。本変形例における導線８２の構成を図４２に示す。

【０２９６】

図４２において、導線８２は、複数（図では４本）の素線１８１と、その複数の素線１８１を囲む例えば樹脂製の外層被膜１８２（外側絶縁被膜）と、外層被膜１８２内において各素線１８１の周りに充填された中間層１８３（中間絶縁被膜）とを有している。素線１８１は、銅材よりなる導電部１８１ａと、絶縁材料よりなる導体被膜１８１ｂ（内側絶縁被膜）とを有している。固定子巻線として見れば、外層被膜１８２により相間が絶縁される。なお、素線１８１が、複数の導電材の集合体として構成されているとよい。

【０２９７】

中間層１８３は、素線１８１の導体被膜１８１ｂよりも高い線膨張率を有し、かつ外層被膜１８２よりも低い線膨張率を有している。つまり、導線８２では、外側ほど線膨張率が高くなっている。一般的に、外層被膜１８２では導体被膜１８１ｂよりも線膨張係数が高いが、それらの間にその中間の線膨張率を有する中間層１８３を設けることにより、その中間層１８３がクッション材として機能し、外層側及び内層側での同時割れを防ぐことができる。

【０２９８】

また、導線８２では、素線１８１において導電部１８１ａと導体被膜１８１ｂとが接着されるとともに、導体被膜１８１ｂと中間層１８３、中間層１８３と外層被膜１８２がそれぞれ接着されており、それら各接着部分では、導線８２の外側ほど、接着強さが弱くなっている。つまり、導電部１８１ａ及び導体被膜１８１ｂの接着強さは、導体被膜１８１ｂ及び中間層１８３の接着強さ、中間層１８３及び外層被膜１８２の接着強さよりも弱くなっている。また、導体被膜１８１ｂ及び中間層１８３の接着強さと、中間層１８３及び外層被膜１８２の接着強さとを比較すると、後者の方（外側の方）が弱いか、又は同等であるとよい。なお、各被膜同士の接着強さの大きさは、例えば２層の被膜を引き剥がす際に要する引っ張り強さ等により把握可能である。上記のごとく導線８２の接着強さが設定されていることで、発熱又は冷却による内外温度差が生じても、内層側及び外層側で共に割れが生じること（共割れ）を抑制することができる。

【０２９９】

ここで、回転電機の発熱、温度変化は、主に素線１８１の導電部１８１ａから発熱され

る銅損と、鉄心内から発せられる鉄損として生じるが、それら２種類の損失は、導線８２内の導電部１８１ａ、又は導線８２の外部より伝わるものであり、中間層１８３に発熱源があるわけではない。この場合、中間層１８３が両方に対してクッションとなり得る接着力を持つことで、その同時割れを防ぐことができる。したがって、車両用途など、高耐圧又は温度変化の大きい分野での使用に際しても、好適なる使用が可能となる。

【０３００】

以下に補足する。素線１８１は、例えばエナメル線であってもよく、かかる場合にはＰＡ、ＰＩ、ＰＡＩ等の樹脂被膜層（導体被膜１８１ｂ）を有する。また、素線１８１より外側の外層被膜１８２は、同様のＰＡ、ＰＩ、ＰＡＩ等よりなり、かつ厚みが厚いものであることが望ましい。これにより、線膨張率差による被膜の破壊が抑えられる。なお、外層被膜１８２としては、ＰＡ、ＰＩ、ＰＡＩ等の前記材料を厚くして対応するものとは別に、ＰＰＳ、ＰＥＥＫ、フッ素、ポリカーボネート、シリコン、エポキシ、ポリエチレンナフタレート、ＬＣＰといった、誘電率がＰＩ、ＰＡＩよりも小さいものを使うことも回転機の導体密度を高めるためには望ましい。これらの樹脂であれば、導体被膜１８１ｂ同等のＰＩ，ＰＡＩ被膜よりも薄いか、導体被膜１８１ｂと同等の厚みであっても、その絶縁能力を高くすることができ、これにより導電部の占有率を高めることが可能となる。一般的には、上記樹脂は、誘電率がエナメル線の絶縁被膜より良好な絶縁を有している。当然、成形状態や、混ぜ物によって、その誘電率を悪くする例も存在する。中でも、ＰＰＳ、ＰＥＥＫは、その線膨張係数がエナメル被膜より一般的には大きいが、他樹脂よりも小さいため、第２層の外層被膜として適するのである。

【０３０１】

また、素線１８１の外側における２種類の被膜（中間絶縁被膜、外側絶縁被膜）と素線１８１のエナメル被膜との接着強さは、素線１８１における銅線とエナメル被膜との間の接着強さよりも弱いことが望ましい。これにより、エナメル被膜と前記２種類の被膜とが一度に破壊される現象が抑制される。

【０３０２】

固定子に水冷構造、液冷構造、空冷構造が付加されている場合には、基本的に、外層被膜１８２から先に熱応力や衝撃応力が掛かると考えられる。しかし、素線１８１の絶縁層と、前記２種類の被膜とが違う樹脂の場合でも、その被膜を接着しない部位を設けることにより、前記熱応力や衝撃応力を低減することができる。すなわち、素線（エナメル線）と空隙を設け、フッ素、ポリカーボネート、シリコン、エポキシ、ポリエチレンナフタレート、ＬＣＰを配置することで前記絶縁構造がなされる。この場合、エポキシなどからなる低誘電率で、かつ低線膨張係数からなる接着材を用いて、外層被膜と内層被膜とを接着することが望ましい。こうすることで、機械的強度だけでなく、導電部の振動による揺れなどによる摩擦による被膜破壊、または線膨張係数差による外層被膜の破壊を抑えることができる。

【０３０３】

上記構成の導線８２に対しての、機械的強度、固定等を担う、一般的には固定子巻線周りの最終工程となる最外層固定としては、エポキシ、ＰＰＳ、ＰＥＥＫ、ＬＣＰなどの成形性が良く、誘電率、線膨張係数といった性質がエナメル被膜と近い性質をもった樹脂が好ましい。

【０３０４】

一般的には、ウレタン、シリコンによる樹脂ポッティングが通例なされるが、前記樹脂においてはその線膨張係数がその他の樹脂と比べて倍近い差があり、樹脂をせん断し得る熱応力を発生する。そのため、厳しい絶縁規定が国際的に用いられる６０Ｖ以上の用途には不適である。この点、エポキシ、ＰＰＳ、ＰＥＥＫ、ＬＣＰなどにより射出成型等により容易に作られる最終絶縁工程によれば、上述の各要件を達成することが可能である。

【０３０５】

上記以外の変形例を以下に列記する。

【０３０６】

・磁石ユニット４２のうち径方向において電機子側の面と、回転子の軸心との径方向における距離ＤＭが５０ｍｍ以上とされていてもよい。具体的には、例えば、図４に示す磁石ユニット４２（具体的には、第１，第２磁石９１，９２）のうち径方向内側の面と、回転子４０の軸心との径方向における距離ＤＭが５０ｍｍ以上とされていてもよい。

【０３０７】

スロットレス構造の回転電機としては、その出力が数十Ｗから数百Ｗ級の模型用などに使用される小規模なものが知られている。そして、一般的には１０ｋＷを超すような工業用の大型の回転電機でスロットレス構造が採用された事例を本願発明者は把握していない。その理由について本願発明者は検討した。

【０３０８】

近年主流の回転電機は、次の４種類に大別される。それら回転電機とは、ブラシ付きモータ、カゴ型誘導モータ、永久磁石式同期モータ及びリラクタンスモータである。

【０３０９】

ブラシ付きモータには、ブラシを介して励磁電流が供給される。このため、大型機のブラシ付きモータの場合、ブラシが大型化したり、メンテナンスが煩雑になったりしたりする。これにより、半導体技術の目覚ましい発達に伴い、誘導モータ等のブラシレスモータに置換されてきた経緯がある。一方、小型モータの世界では、低い慣性及び経済性の利点から、コアレスモータも多数世の中に供給されている。

【０３１０】

カゴ型誘導モータでは、１次側の固定子巻線で発生させる磁界を２次側の回転子の鉄心で受けてカゴ型導体に集中的に誘導電流を流して反作用磁界を形成することにより、トルクを発生させる原理である。このため、機器の小型高効率の観点からすれば、固定子側及び回転子側ともに鉄心をなくすことは必ずしも得策であるとは言えない。

【０３１１】

リラクタンスモータは、当に鉄心のリラクタンス変化を活用するモータであり、原理的に鉄心をなくすことは望ましくない。

【０３１２】

永久磁石式同期モータでは、近年ＩＰＭ（つまり埋め込み磁石型回転子）が主流であり、特に大型機においては、特殊事情がない限りＩＰＭである場合が多い。

【０３１３】

ＩＰＭは、磁石トルク及びリラクタンストルクを併せ持つ特性を有しており、インバータ制御により、それらトルクの割合が適時調整されながら運転される。このため、ＩＰＭは小型で制御性に優れるモータである。

【０３１４】

本願発明者の分析により、磁石トルク及びリラクタンストルクを発生する回転子表面のトルクを、磁石ユニットのうち径方向において電機子側の面と、回転子の軸心との径方向における距離ＤＭ、すなわち、一般的なインナロータの固定子鉄心の半径を横軸にとって描くと図４３に示すものとなる。

【０３１５】

磁石トルクは、下式（ｅｑ１）に示すように、永久磁石の発生する磁界強度によりそのポテンシャルが決定されるのに対し、リラクタンストルクは、下式（ｅｑ２）に示すように、インダクタンス、特にｑ軸インダクタンスの大きさがそのポテンシャルを決定する。

【０３１６】

磁石トルク＝ｋ・Ψ・Ｉｑ　　・・・・・・・（ｅｑ１）

リラクタンストルク＝ｋ・（Ｌｑ－Ｌｄ）・Ｉｑ・Ｉｄ　・・・・・（ｅｑ２）

ここで、永久磁石の磁界強度と巻線のインダクタンスの大きさとをＤＭで比較してみた。永久磁石の発する磁界強度、すなわち磁束量Ψは、固定子と対向する面の永久磁石の総面積に比例する。円筒型の回転子であれば円筒の表面積になる。厳密には、Ｎ極とＳ極とが存在するので、円筒表面の半分の専有面積に比例する。円筒の表面積は、円筒の半径と、円筒長さとに比例する。つまり、円筒長さが一定であれば、円筒の半径に比例する。

【０３１７】
一方、巻線のインダクタンスＬｑは、鉄心形状に依存はするものの感度は低く、むしろ固定子巻線の巻数の２乗に比例するため、巻数の依存性が高い。なお、μを磁気回路の透磁率、Ｎを巻数、Ｓを磁気回路の断面積、δを磁気回路の有効長さとする場合、インダクタンスＬ＝μ・Ｎ＾２×Ｓ／δである。巻線の巻数は、巻線スペースの大きさに依存するため、円筒型モータであれば、固定子の巻線スペース、すなわちスロット面積に依存することになる。図４４に示すように、スロット面積は、スロットの形状が略四角形であるため、周方向の長さ寸法ａ及び径方向の長さ寸法ｂとの積ａ×ｂに比例する。
【０３１８】
スロットの周方向の長さ寸法は、円筒の直径が大きいほど大きくなるため、円筒の直径に比例する。スロットの径方向の長さ寸法は、当に円筒の直径に比例する。つまり、スロット面積は、円筒の直径の２乗に比例する。また、上式（ｅｑ２）からも分かる通り、リラクタンストルクは、固定子電流の２乗に比例するため、いかに大電流を流せるかで回転電機の性能が決まり、その性能は固定子のスロット面積に依存する。以上より、円筒の長さが一定なら、リラクタンストルクは円筒の直径の２乗に比例する。このことを踏まえ、磁石トルク及びリラクタンストルクとＤＭとの関係性をプロットした図が図４３である。
【０３１９】
図４３に示すように、磁石トルクはＤＭに対して直線的に増加し、リラクタンストルクはＤＭに対して２次関数的に増加する。ＤＭが比較的小さい場合は磁石トルクが支配的であり、固定子鉄心半径が大きくなるに連れてリラクタンストルクが支配的であることがわかる。本願発明者は、図４３における磁石トルク及びリラクタンストルクの交点が、所定の条件下において、おおよそ固定子鉄心半径＝５０ｍｍの近傍であるとの結論に至った。つまり、固定子鉄心半径が５０ｍｍを十分に超えるような１０ｋＷ級のモータでは、リラクタンストルクを活用することが現在の主流であるため鉄心を無くすことは困難であり、このことが大型機の分野においてスロットレス構造が採用されない理由の１つであると推定される。
【０３２０】
固定子に鉄心が使用される回転電機の場合、鉄心の磁気飽和が常に課題となる。特にラジアルギャップ型の回転電機では、回転軸の縦断面形状は１磁極当たり扇型となり、機器内周側程磁路幅が狭くなりスロットを形成するティース部分の内周側寸法が回転電機の性能限界を決める。いかに高性能な永久磁石を使おうとも、この部分で磁気飽和が発生すると、永久磁石の性能を十分にひきだすことができない。この部分で磁気飽和を発生させないためには、内周径を大きく設計することになり結果的に機器の大型化に至ってしまうのである。
【０３２１】
例えば、分布巻の回転電機では、３相巻線であれば、１磁極あたり３つ乃至６つのティースで分担して磁束を流すのだが、周方向前方のティースに磁束が集中しがちであるため、３つ乃至６つのティースに均等に磁束が流れるわけではない。この場合、一部（例えば１つ又は２つ）のティースに集中的に磁束が流れながら、回転子の回転に伴って磁気飽和するティースも周方向に移動してゆく。これがスロットリップルを生む要因にもなる。
【０３２２】
以上から、ＤＭが５０ｍｍ以上となるスロットレス構造の回転電機において、磁気飽和を解消するために、ティースを廃止したい。しかし、ティースが廃止されると、回転子及び固定子における磁気回路の磁気抵抗が増加し、回転電機のトルクが低下してしまう。磁気抵抗増加の理由としては、例えば、回転子と固定子との間のエアギャップが大きくなることがある。このため、上述したＤＭが５０ｍｍ以上となるスロットレス構造の回転電機において、トルクを増強することについて改善の余地がある。したがって、上述したＤＭが５０ｍｍ以上となるスロットレス構造の回転電機に、上述したトルクを増強できる構成を適用するメリットが大きい。
【０３２３】

なお、アウタロータ構造の回転電機に限らず、インナロータ構造の回転電機についても、磁石ユニットのうち径方向において電機子側の面と、回転子の軸心との径方向における距離ＤＭが５０ｍｍ以上とされていてもよい。

【０３２４】

・回転電機１０の固定子巻線５１において、導線８２の直線部８３を径方向に単層で設ける構成としてもよい。また、径方向内外に複数層で直線部８３を配置する場合に、その層数は任意でよく、３層、４層、５層、６層等で設けてもよい。

【０３２５】

・例えば図２の構成では、回転軸１１を、軸方向で回転電機１０の一端側及び他端側の両方に突出するように設けたが、これを変更し、一端側にのみ突出する構成としてもよい。この場合、回転軸１１は、軸受ユニット２０により片持ち支持される部分を端部とし、その軸方向外側に延びるように設けられるとよい。本構成では、インバータユニット６０の内部に回転軸１１が突出しない構成となるため、インバータユニット６０の内部空間、詳しくは筒状部７１の内部空間をより広く用いることができることとなる。

【０３２６】

・上記構成の回転電機１０では、軸受２１，２２において非導電性グリースを用いる構成としたが、これを変更し、軸受２１，２２において導電性グリースを用いる構成としてもよい。例えば、金属粒子やカーボン粒子等が含まれた導電性グリースを用いる構成とする。

【０３２７】

・回転軸１１を回転自在に支持する構成として、回転子４０の軸方向一端側及び他端側の２カ所に軸受を設ける構成としてもよい。この場合、図１の構成で言えば、インバータユニット６０を挟んで一端側及び他端側の２カ所に軸受が設けられるとよい。

【０３２８】

・上記構成の回転電機１０では、回転子４０において磁石ホルダ４１の中間部４５が内側肩部４９ａと感情の外側肩部４９ｂを有する構成としたが、これらの肩部４９ａ，４９ｂを無くし、平坦な面を有する構成としてもよい。

【０３２９】

・上記構成の回転電機１０では、固定子巻線５１の導線８２において導体８２ａを複数の素線８６の集合体として構成したが、これを変更し、導線８２として断面矩形状の角形導線を用いる構成としてもよい。また、導線８２として断面円形状又は断面楕円状の丸形導線を用いる構成としてもよい。

【０３３０】

・上記構成の回転電機１０では、固定子５０の径方向内側にインバータユニット６０を設ける構成としたが、これに代えて、固定子５０の径方向内側にインバータユニット６０を設けない構成としてもよい。この場合、固定子５０の径方向内側となる内部領域を空間としておくことが可能である。また、その内部領域に、インバータユニット６０とは異なる部品を配することが可能である。

【０３３１】

・上記構成の回転電機１０において、ハウジング３０を具備しない構成としてもよい。この場合、例えばホイールや他の車両部品の一部において、回転子４０、固定子５０等が保持される構成であってもよい。

【０３３２】

（車両用インホイールモータとしての実施形態）

次に、回転電機を、車両の車輪に一体にインホイールモータとして設けた実施形態について説明する。図４５は、インホイールモータ構造の車輪４００及びその周辺構造を示す斜視図であり、図４６は、車輪４００及びその周辺構造の縦断面図であり、図４７は、車輪４００の分解斜視図である。これら各図は、いずれも車輪４００を車両内側から見た斜視図である。なお、車両においては、本実施形態のインホイールモータ構造を種々の形態で適用することが可能であり、例えば車両前後にそれぞれ２つの車輪を有する車両では、

車両前側の２輪、車両後側の２輪、又は車両前後の４輪に本実施形態のインホイールモータ構造を適用することが可能である。ただし、車両前後の少なくとも一方が１輪である車両への適用も可能である。なお、インホイールモータは、車両用駆動ユニットとしての適用例である。

【０３３３】

図４５～図４７に示すように、車輪４００は、例えば周知の空気入りタイヤであるタイヤ４０１と、タイヤ４０１の内周側に固定されたホイール４０２と、ホイール４０２の内周側に固定された回転電機５００とを備えている。回転電機５００は、固定子（ステータ）を含む部分である固定部と、回転子（ロータ）を含む部分である回転部とを有し、固定部が車体側に固定されるとともに、回転部がホイール４０２に固定されており、回転部の回転によりタイヤ４０１及びホイール４０２が回転する。なお、回転電機５００において固定部及び回転部を含む詳細な構成は後述する。

【０３３４】

また、車輪４００には、周辺装置として、不図示の車体に対して車輪４００を保持するサスペンション装置と、車輪４００の向きを可変とするステアリング装置と、車輪４００の制動を行うブレーキ装置とが取り付けられている。

【０３３５】

サスペンション装置は、独立懸架式サスペンションであり、例えばトレーリングアーム式、ストラット式、ウィッシュボーン式、マルチリンク式など任意の形式の適用が可能である。本実施形態では、サスペンション装置として、車体中央側に延びる向きでロアアーム４１１が設けられるとともに、上下方向に延びる向きでサスペンションアーム４１２及びスプリング４１３が設けられている。サスペンションアーム４１２は、例えばショックアブソーバとして構成されているとよい。ただしその詳細な図示は省略する。ロアアーム４１１及びサスペンションアーム４１２はそれぞれ、車体側に接続されるとともに、回転電機５００の固定部に固定された円板状のベースプレート４０５に接続されている。図４６に示すように、回転電機５００側（ベースプレート４０５側）には、ロアアーム４１１及びサスペンションアーム４１２が支持軸４１４，４１５により互いに同軸の状態で支持されている。

【０３３６】

また、ステアリング装置としては、例えばラック＆ピニオン式構造、ボール＆ナット式構造の適用や、油圧式パワーステアリングシステム、電動式パワーステアリングシステムの適用が可能である。本実施形態では、ステアリング装置として、ラック装置４２１とタイロッド４２２とが設けられており、ラック装置４２１がタイロッド４２２を介して回転電機５００側のベースプレート４０５に接続されている。この場合、不図示のステアリングシャフトの回転に伴いラック装置４２１が作動すると、タイロッド４２２が車両左右方向に移動する。これにより、車輪４００が、ロアアーム４１１及びサスペンションアーム４１２の支持軸４１４，４１５を中心として回転し、車輪方向が変更される。

【０３３７】

ブレーキ装置としては、ディスクブレーキやドラムブレーキの適用が好適である。本実施形態では、ブレーキ装置として、回転電機５００の回転軸５０１に固定されたディスクロータ４３１と、回転電機５００側のベースプレート４０５に固定されたブレーキキャリパ４３２とが設けられている。ブレーキキャリパ４３２ではブレーキパッドが油圧等により作動されるようになっており、ブレーキパッドがディスクロータ４３１に押し付けられることにより、摩擦による制動力を生じさせて車輪４００の回転が停止される。

【０３３８】

また、車輪４００には、回転電機５００から延びる電気配線Ｈ１や冷却用配管Ｈ２を収容する収容ダクト４４０が取り付けられている。収容ダクト４４０は、回転電機５００の固定部側の端部から回転電機５００の端面に沿って延び、かつサスペンションアーム４１２を避けるように設けられ、その状態でサスペンションアーム４１２に固定されている。これにより、サスペンションアーム４１２における収容ダクト４４０の接続部位は、ベー

スプレート４０５との位置関係が固定されたものとなる。そのため、電気配線Ｈ１や冷却用配管Ｈ２において車両の振動などに起因して生じるストレスを抑制できるようになっている。なお、電気配線Ｈ１は、不図示の車載電源部や車載ＥＣＵに接続され、冷却用配管Ｈ２は、不図示のラジエータに接続される。

【０３３９】

次に、インホイールモータとして用いられる回転電機５００の構成を詳細に説明する。本実施形態では、回転電機５００をインホイールモータに適用した事例を示している。回転電機５００は、従来技術のように減速機を擁した車両駆動ユニットのモータと比べて、優れた動作効率、出力を備える。すなわち、回転電機５００を従来技術に比べて、コストダウンにより実用的な価格を実現できるような用途に採用すれば、車両駆動ユニット以外の用途のモータとしても使ってもよい。そのような場合であっても、インホイールモータに適用した場合と同様に、優れた性能を発揮する。なお、動作効率とは、車両の燃費を導出する走行モードでの試験時の際に使われる指標を指す。

【０３４０】

回転電機５００の概要を図４８～図５１に示す。図４８は、回転電機５００を回転軸５０１の突出側（車両内側）から見た側面図であり、図４９は、回転電機５００の縦断面図（図４８の４９－４９線断面図）であり、図５０は、回転電機５００の横断面図（図４９の５０－５０線断面図）であり、図５１は、回転電機５００の構成要素を分解した分解断面図である。以下の記載では、回転軸５０１が、図５１においては車体の外側方向に延びる方向を軸方向とし、回転軸５０１から放射状に延びる方向を径方向とし、図４８においては回転軸５０１の中央、言い換えれば回転部分の回転中心、を通る断面４９を作るために引いた中心線上の、回転部分の回転中心以外の任意の点より、円周状に延びる２つの方向をいずれも周方向としている。言い換えると、周方向は、断面４９上の任意の点を起点とした時計回りの方向、又は反時計回りの方向のいずれの方向であってもよい。また、車両搭載状態からすれば、図４９において右側が車両外側であり、左側が車両内側である。言い換えると、同車両搭載状態からすれば、後述する回転子５１０は、回転子カバー６７０よりも車体の外側方向に配置される。

【０３４１】

本実施形態に係る回転電機５００は、アウタロータ式の表面磁石型回転電機である。回転電機５００は、大別して、回転子５１０と、固定子５２０と、インバータユニット５３０と、軸受５６０と、回転子カバー６７０とを備えている。これら各部材は、いずれも回転子５１０に一体に設けられた回転軸５０１に対して同軸に配置され、所定順序で軸方向に組み付けられることで回転電機５００が構成されている。

【０３４２】

回転電機５００において、回転子５１０及び固定子５２０はそれぞれ円筒状をなしており、エアギャップを挟んで互いに対向配置されている。回転子５１０が回転軸５０１と共に一体回転することにより、固定子５２０の径方向外側にて回転子５１０が回転する。回転子５１０が「界磁子」に相当し、固定子５２０が「電機子」に相当する。

【０３４３】

回転子５１０は、略円筒状の回転子キャリア５１１と、その回転子キャリア５１１に固定された環状の磁石ユニット５１２とを有している。回転子キャリア５１１に回転軸５０１が固定されている。

【０３４４】

回転子キャリア５１１は、円筒部５１３を有している。円筒部５１３の内周面には磁石ユニット５１２が固定されている。つまり、磁石ユニット５１２は、回転子キャリア５１１の円筒部５１３に径方向外側から包囲された状態で設けられている。また、円筒部５１３は、その軸方向に対向する第１端と第２端とを有している。第１端は、車体の外側の方向に位置し、第２端は、ベースプレート４０５が存在する方向に位置する。回転子キャリア５１１において、円筒部５１３の第１端には端板５１４が連続して設けられている。すなわち円筒部５１３と端板５１４とは一体の構造である。円筒部５１３の第２端は開放さ

れている。回転子キャリア５１１は、例えば機械強度が充分な冷間圧延鋼板（ＳＰＣＣやＳＰＣＣより板厚が厚いＳＰＨＣ）、鍛造用鋼、炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）などにより形成されている。

【０３４５】

回転軸５０１の軸長は、回転子キャリア５１１の軸方向の寸法よりも長い。言い換えると、回転軸５０１は、回転子キャリア５１１の開放端側（車両内側方向）に突出しており、その突出側の端部に、上述のブレーキ装置等が取り付けられるようになっている。

【０３４６】

回転子キャリア５１１の端板５１４にはその中央部に貫通孔５１４ａが形成されている。回転軸５０１は、端板５１４の貫通孔５１４ａに挿通された状態で、回転子キャリア５１１に固定されている。回転軸５０１は、回転子キャリア５１１が固定される部分に、軸方向に交差（直交）する向きに延びるフランジ５０２を有しており、そのフランジと端板５１４の車両外側の面とが面接合されている状態で、回転子キャリア５１１に対して回転軸５０１が固定されている。なお、車輪４００においては、回転軸５０１のフランジ５０２から車両外側方向に立設されたボルト等の締結具を用いてホイール４０２が固定されるようになっている。

【０３４７】

また、磁石ユニット５１２は、回転子５１０の周方向に沿って極性が交互に変わるように配置された複数の永久磁石により構成されている。これにより、磁石ユニット５１２は、周方向に複数の磁極を有する。永久磁石は、例えば接着により回転子キャリア５１１に固定されている。磁石ユニット５１２は、第１実施形態の図８，図９において磁石ユニット４２として説明した構成を有しており、永久磁石として、固有保磁力が４００［ｋＡ／ｍ］以上であり、かつ残留磁束密度Ｂｒが１．０［Ｔ］以上である焼結ネオジム磁石を用いて構成されている。

【０３４８】

磁石ユニット５１２は、図９等の磁石ユニット４２と同様に、それぞれ極異方性磁石でありかつ極性が互いに異なる第１磁石９１及び第２磁石９２を有している。図８及び図９で説明したように、各磁石９１，９２ではそれぞれ、ｄ軸側（ｄ軸寄りの部分）とｑ軸側（ｑ軸寄りの部分）とで磁化容易軸の向きが相違しており、ｄ軸側では磁化容易軸の向きがｄ軸に平行な方向に近い向きとなり、ｑ軸側では磁化容易軸の向きがｑ軸に直交する方向に近い向きとなっている。そして、この磁化容易軸の向きに応じた配向により円弧状の磁石磁路が形成されている。なお、各磁石９１，９２において、ｄ軸側では磁化容易軸をｄ軸に平行な向きとし、ｑ軸側では磁化容易軸をｑ軸に直交する向きとしてもよい。要するに、磁石ユニット５１２は、磁極中心であるｄ軸の側において、磁極境界であるｑ軸の側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされて構成されている。

【０３４９】

各磁石９１，９２によれば、ｄ軸での磁石磁束が強化され、かつｑ軸付近での磁束変化が抑えられる。これにより、各磁極においてｑ軸からｄ軸にかけての表面磁束変化がなだらかになる磁石９１，９２を好適に実現できるものとなっている。磁石ユニット５１２として、図２２及び図２３に示す磁石ユニット４２の構成や、図３０に示す磁石ユニット４２の構成を用いることも可能である。

【０３５０】

なお、磁石ユニット５１２は、回転子キャリア５１１の円筒部５１３の側、すなわち外周面側に、複数の電磁鋼板が軸方向に積層されて構成された回転子コア（バックヨーク）を有していてもよい。つまり、回転子キャリア５１１の円筒部５１３の径方向内側に回転子コアを設けるとともに、その回転子コアの径方向内側に永久磁石（磁石９１，９２）を設ける構成とすることも可能である。

【０３５１】

図４７に示すように、回転子キャリア５１１の円筒部５１３には、周方向の所定間隔にて、軸方向に延びる向きで凹部５１３ａが形成されている。この凹部５１３ａは例えばプ

レス加工により形成されており、図５２に示すように、円筒部５１３の内周面側には、凹部５１３ａの裏側となる位置に凸部５１３ｂが形成されている。一方、磁石ユニット５１２の外周面側には、円筒部５１３の凸部５１３ｂに合わせて凹部５１２ａが形成されており、その凹部５１２ａ内に円筒部５１３の凸部５１３ｂが入り込むことで、磁石ユニット５１２の周方向の位置ずれが抑制されるようになっている。つまり、回転子キャリア５１１側の凸部５１３ｂは、磁石ユニット５１２の回り止め部として機能する。なお、凸部５１３ｂの形成方法は、プレス加工以外であってもよく任意である。

【０３５２】

図５２には、磁石ユニット５１２における磁石磁路の方向が矢印により示されている。磁石磁路は、磁極境界であるｑ軸を跨ぐようにして円弧状に延び、かつ磁極中心であるｄ軸では、ｄ軸に平行又は平行に近い向きとなっている。磁石ユニット５１２には、その内周面側に、ｑ軸に相当する位置ごとに凹部５１２ｂが形成されている。この場合、磁石ユニット５１２では、固定子５２０に近い側（図の下側）と遠い側（図の上側）とで磁石磁路の長さが異なり、固定子５２０に近い側の方が磁石磁路長が短くなっており、その磁石磁路長が最短となる位置に凹部５１２ｂが形成されている。つまり、磁石ユニット５１２では磁石磁路長が短い場所において十分な磁石磁束を生じさせることが困難になることを考慮して、その磁石磁束の弱い場所で磁石を削除するようにしている。

【０３５３】

ここで、磁石の実効磁束密度Ｂｄは、磁石内部を通る磁気回路の長さが長いほど高くなる。また、パーミアンス係数Ｐｃと磁石の実効磁束密度Ｂｄとは、そのうち一方が高くなると他方が高くなる関係にある。上記図５２の構成によれば、磁石の実効磁束密度Ｂｄの高さの指標となるパーミアンス係数Ｐｃの低下を抑制しつつ、磁石量の削減を図ることができる。なお、Ｂ－Ｈ座標において、磁石の形状に応じたパーミアンス直線と減磁曲線との交点が動作点であり、その動作点の磁束密度が磁石の実効磁束密度Ｂｄである。本実施形態の回転電機５００では、固定子５２０の鉄量を少なくした構成としており、かかる構成においてｑ軸を跨いだ磁気回路を設定する手法は極めて有効である。

【０３５４】

また、磁石ユニット５１２の凹部５１２ｂは、軸方向に延びる空気通路として用いることができる。そのため、空冷性能を高めることも可能となる。

【０３５５】

次に、固定子５２０の構成を説明する。固定子５２０は、固定子巻線５２１と固定子コア５２２とを有している。図５３は、固定子巻線５２１と固定子コア５２２とを分解して示す斜視図である。

【０３５６】

固定子巻線５２１は、略筒状（環状）に巻回形成された複数の相巻線よりなり、その固定子巻線５２１の径方向内側にベース部材としての固定子コア５２２が組み付けられている。本実施形態では、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の相巻線を用いることで、固定子巻線５２１が３相の相巻線として構成されている。各相巻線は、径方向に内外２層の導線５２３により構成されている。固定子５２０は、既述の固定子５０と同様に、スロットレス構造と固定子巻線５２１の扁平導線構造とを有することを特徴としており、図８～図１６に示された固定子５０と同様又は類似の構成を有している。

【０３５７】

固定子コア５２２の構成について説明する。固定子コア５２２は、既述の固定子コア５２と同様に、軸方向に複数の電磁鋼板が積層され、かつ径方向に所定の厚さを有する円筒状をなしており、固定子コア５２２において回転子５１０側となる径方向外側に固定子巻線５２１が組み付けられている。固定子コア５２２の外周面は凹凸のない曲面状をなしており、固定子巻線５２１が組み付けられた状態では、固定子コア５２２の外周面に、固定子巻線５２１を構成する導線５２３が周方向に並べて配置されている。固定子コア５２２はバックコアとして機能する。

【０３５８】

固定子５２０は、以下の（Ａ）～（Ｃ）のいずれかを用いたものであるとよい。
（Ａ）固定子５２０において、周方向における各導線５２３の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、１磁極における導線間部材の周方向の幅寸法をＷｔ、導線間部材の飽和磁束密度をＢｓ、１磁極における磁石ユニット５１２の周方向の幅寸法をＷｍ、磁石ユニット５１２の残留磁束密度をＢｒとした場合に、Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒの関係となる磁性材料を用いている。
（Ｂ）固定子５２０において、周方向における各導線５２３の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、非磁性材料を用いている。
（Ｃ）固定子５２０において、周方向における各導線５２３の間に導線間部材を設けていない構成となっている。

【０３５９】
こうした固定子５２０の構成によれば、固定子巻線としての各導線部の間に磁気経路を確立するためのティース（鉄心）が設けられる一般的なティース構造の回転電機に比べて、インダクタンスが低減される。具体的には、インダクタンスを１／１０以下にすることが可能となっている。この場合、インダクタンスの低下に伴いインピーダンスが低下することから、回転電機５００において入力電力に対する出力電力を大きくし、ひいてはトルク増加に貢献できるものとなっている。また、インピーダンス成分の電圧を利用してトルク出力を行う（言い換えればリラクタンストルクを利用する）埋込み磁石型回転子を用いた回転電機に比べて、大出力の回転電機を提供することが可能となっている。

【０３６０】
本実施形態では、固定子巻線５２１が、固定子コア５２２と共に樹脂等からなるモールド材（絶縁部材）により一体にモールドされており、周方向に並ぶ各導線５２３の間には、モールド材が介在する構成となっている。かかる構成からすると、本実施形態の固定子５２０は、上記（Ａ）～（Ｃ）のうち（Ｂ）の構成に相当する。また、周方向に隣り合う各導線５２３は、周方向の端面同士が互いに当接するか、又は微小な間隔を隔てて近接配置されており、この構成から言えば上記（Ｃ）の構成であってもよい。なお、上記（Ａ）の構成を採用する場合には、軸方向における導線５２３の向きに合わせて、すなわち例えばスキュー構造の固定子巻線５２１であればスキュー角度に合わせて、固定子コア５２２の外周面に突部が設けられているとよい。

【０３６１】
次に、固定子巻線５２１の構成を、図５４を用いて説明する。図５４は、固定子巻線５２１を平面状に展開して示す正面図であり、図５４（ａ）には径方向において外層に位置する各導線５２３を示し、図５４（ｂ）には径方向において内層に位置する各導線５２３を示す。

【０３６２】
固定子巻線５２１は、分布巻きにより円環状に巻回形成されている。固定子巻線５２１では、径方向内外２層に導線材が巻回され、かつ内層側及び外層側の各導線５２３にて互いに異なる方向へのスキューが施されている（図５４（ａ）、図５４（ｂ）参照）。各導線５２３は、それぞれ相互に絶縁されている。導線５２３は、複数の素線８６の集合体として構成されているとよい（図１３参照）。また、同相でかつ通電方向を同じとする導線５２３が、周方向に例えば２本ずつ並べて設けられている。固定子巻線５２１では、径方向に２層かつ周方向に２本（すなわち計４本）の各導線５２３により同相の１つの導線部が構成され、その導線部が１磁極内で１つずつ設けられている。

【０３６３】
導線部では、その径方向の厚さ寸法を、１磁極内における１相分の周方向の幅寸法よりも小さいものとし、これにより固定子巻線５２１を扁平導線構造とすることが望ましい。具体的には,例えば、固定子巻線５２１において、径方向に２層かつ周方向に４本（すなわち計８本）の各導線５２３により同相の１つの導線部を構成するとよい。又は、図５０に示す固定子巻線５２１の導線断面において、周方向の幅寸法が径方向の厚さ寸法よりも大きくなっているとよい。固定子巻線５２１として、図１２に示す固定子巻線５１を用いる

ことも可能である。ただしこの場合には、回転子キャリア５１１内に固定子巻線のコイルエンドを収容するスペースを確保する必要がある。

【０３６４】

固定子巻線５２１では、固定子コア５２２に対して径方向内外に重なるコイルサイド５２５において所定角度で傾斜させて導線５２３が周方向に並べて配置されるとともに、固定子コア５２２よりも軸方向外側となる両側のコイルエンド５２６において軸方向内側への反転（折り返し）が行われて連続結線がなされている。図５４（ａ）には、コイルサイド５２５となる範囲とコイルエンド５２６となる範囲とがそれぞれ示されている。内層側の導線５２３と外層側の導線５２３とはコイルエンド５２６にて互いに接続されており、これにより、コイルエンド５２６で導線５２３が軸方向に反転される都度（折り返される都度）、導線５２３が内層側と外層側とで交互に切り替わるようになっている。要するに、固定子巻線５２１では、周方向に連続する各導線５２３において、電流の向きが反転するのに合わせて内外層の切り替えが行われる構成となっている。

【０３６５】

また、固定子巻線５２１では、軸方向の両端となる端部領域と、その端部領域に挟まれた中央領域とでスキュー角度が異なる２種類のスキューが施されている。すなわち、図５５に示すように、導線５２３において、中央領域のスキュー角度θｓ１と端部領域のスキュー角度θｓ２とが異なっており、スキュー角度θｓ１がスキュー角度θｓ２よりも小さくなる構成となっている。軸方向において、端部領域は、コイルサイド５２５を含む範囲で定められている。スキュー角度θｓ１，スキュー角度θｓ２は、軸方向に対して各導線５２３が傾斜している傾斜角度である。中央領域のスキュー角度θｓ１は、固定子巻線５２１の通電により生じる磁束の高調波成分を削減するのに適正な角度範囲で定められているとよい。

【０３６６】

固定子巻線５２１における各導線５２３のスキュー角度を中央領域と端部領域とで相違させ、中央領域のスキュー角度θｓ１を端部領域のスキュー角度θｓ２よりも小さくすることで、コイルエンド５２６の縮小を図りつつも、固定子巻線５２１の巻線係数を大きくすることができる。言い換えれば、所望の巻線係数を確保しつつも、コイルエンド５２６の長さ、すなわち固定子コア５２２から軸方向にはみ出た部分の導線長を短くすることができる。これにより、回転電機５００の小型化を図りつつ、トルク向上を実現することができる。

【０３６７】

ここで、中央領域のスキュー角度θｓ１としての適正範囲を説明する。固定子巻線５２１において１磁極内に導線５２３がＸ本配置されている場合には、固定子巻線５２１の通電によりＸ次の高調波成分が生じることが考えられる。相数をＳ、対数をｍとする場合、Ｘ＝２×Ｓ×ｍである。本願発明者は、Ｘ次の高調波成分が、Ｘ－１次の高調波成分とＸ＋１次の高調波成分との合成波を構成する成分であるため、Ｘ－１次の高調波成分又はＸ＋１次の高調波成分の少なくともいずれかを低減することにより、Ｘ次の高調波成分を低減できることに着目した。この着目を踏まえ、本願発明者は、電気角で「３６０°／（Ｘ＋１）～３６０°／（Ｘ－１）」の角度範囲内にスキュー角度θｓ１を設定することにより、Ｘ次の高調波成分を低減できることを見出した。

【０３６８】

例えばＳ＝３、ｍ＝２である場合、Ｘ＝１２次の高調波成分を低減すべく、「３６０°／１３～３６０°／１１」の角度範囲内にスキュー角度θｓ１を設定する。つまり、スキュー角度θｓ１は、２７．７°～３２．７°の範囲内の角度で設定されるとよい。

【０３６９】

中央領域のスキュー角度θｓ１が上記のように設定されることにより、その中央領域において、ＮＳ交互の磁石磁束を積極的に鎖交させることができ、固定子巻線５２１の巻線係数を高くすることができる。

【０３７０】

端部領域のスキュー角度θｓ２は、上述した中央領域のスキュー角度θｓ１よりも大きい角度である。この場合、スキュー角度θｓ２の角度範囲は、「θｓ１＜θｓ２＜９０°」である。

【０３７１】

また、固定子巻線５２１において、内層側の導線５２３と外層側の導線５２３とは、各導線５２３の端部どうしの溶接や接着により繋げられているか、又は折り曲げにより繋げられているとよい。固定子巻線５２１では、軸方向両側の各コイルエンド５２６のうち一方側（すなわち軸方向一端側）にて各相巻線の端部が電力変換器（インバータ）にバスバー等を介して電気的に接続される構成となっている。そのためここでは、バスバー接続側のコイルエンド５２６とその反対側のコイルエンド５２６とを区別しつつ、コイルエンド５２６において各導線同士が繋げられている構成を説明する。

【０３７２】

第１の構成としては、バスバー接続側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接にて繋げるとともに、その反対側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接以外の手段にて繋げる構成とする。溶接以外の手段とは、例えば導線材の折り曲げによる繋ぎが考えられる。バスバー接続側のコイルエンド５２６では、各相巻線の端部にバスバーが溶接にて接続されることが想定される。そのため、それと同じコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接にて繋げる構成とすることで、各溶接部を一連の工程で行わせることができ、作業効率の向上を図ることができる。

【０３７３】

第２の構成としては、バスバー接続側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接以外の手段にて繋げるとともに、その反対側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接にて繋げる構成とする。この場合、仮にバスバー接続側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接にて繋げる構成であると、その溶接部とバスバーとの接触を避けるべく、バスバーとコイルエンド５２６との間の離間距離を十分に取る必要が生じるが、本構成とすることで、バスバーとコイルエンド５２６との間の離間距離を小さくすることができる。これにより、軸方向における固定子巻線５２１の長さ又はバスバーに関する規制を緩めることができる。

【０３７４】

第３の構成としては、軸方向両側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接にて繋げる構成とする。この場合、溶接前に用意する導線材はいずれも短い線長のものでよく、曲げ工程の削減による作業効率の向上を図ることができる。

【０３７５】

第４の構成としては、軸方向両側のコイルエンド５２６において各導線５２３を溶接以外の手段にて繋げる構成とする。この場合、固定子巻線５２１において溶接が行われる部位を極力減らすことができ、溶接工程での絶縁剥離が生じることの懸念を低減できる。

【０３７６】

また、円環状の固定子巻線５２１を製作する工程において、平面状に整列された帯状巻線を製作し、その後にその帯状巻線を環状に成形するとよい。この場合、平面状の帯状巻線となっている状態で、必要に応じてコイルエンド５２６での導線同士の溶接を行うとよい。平面状の帯状巻線を環状に成形する際には、固定子コア５２２と同径の円柱治具を用いてその円柱治具に巻き付けるようにして帯状巻線を環状に成形するとよい。又は、帯状巻線を固定子コア５２２に直接巻き付けるようにしてよい。

【０３７７】

なお、固定子巻線５２１の構成を以下のように変更することも可能である。

【０３７８】

例えば、図５４（ａ），（ｂ）に示す固定子巻線５２１において、中央領域及び端部領域のスキュー角度を同一とする構成であってもよい。

【０３７９】

また、図５４（ａ），（ｂ）に示す固定子巻線５２１において、周方向に隣り合う同相

の導線５２３の端部同士を、軸方向に直交する向きに延びる渡り線部により接続する構成であってもよい。

【０３８０】

固定子巻線５２１の層数は、２×ｎ層（ｎは自然数）であればよく、固定子巻線５２１を、２層以外に４層、６層等にすることも可能である。

【０３８１】

次に、電力変換ユニットであるインバータユニット５３０について説明する。ここでは、インバータユニット５３０の分解断面図である図５６及び図５７を併せ用いて、インバータユニット５３０の構成を説明する。なお、図５７では、図５６に示す各部材を２つのサブアセンブリとして示している。

【０３８２】

インバータユニット５３０は、インバータハウジング５３１と、そのインバータハウジング５３１に組み付けられる複数の電気モジュール５３２と、それら各電気モジュール５３２を電気的に接続するバスバーモジュール５３３とを有している。

【０３８３】

インバータハウジング５３１は、円筒状をなす外壁部材５４１と、外周径が外壁部材５４１よりも小径の円筒状をなし、外壁部材５４１の径方向内側に配置される内壁部材５４２と、内壁部材５４２の軸方向一端側に固定されるボス形成部材５４３とを有している。これら各部材５４１～５４３は、導電性材料により構成されているとよく、例えば炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）により構成されている。インバータハウジング５３１は、外壁部材５４１と内壁部材５４２とが径方向内外に重ねて組み合わされ、かつ内壁部材５４２の軸方向一端側にボス形成部材５４３が組み付けられることで構成されている。その組み付け状態が図５７に示す状態である。

【０３８４】

インバータハウジング５３１の外壁部材５４１の径方向外側には固定子コア５２２が固定される。これにより、固定子５２０とインバータユニット５３０とが一体化されるようになっている。

【０３８５】

図５６に示すように、外壁部材５４１には、その内周面に複数の凹部５４１ａ，５４１ｂ，５４１ｃが形成されるとともに、内壁部材５４２には、その外周面に複数の凹部５４２ａ，５４２ｂ，５４２ｃが形成されている。そして、外壁部材５４１及び内壁部材５４２が互いに組み付けられることにより、これら両者の間には３つの中空部５４４ａ，５４４ｂ，５４４ｃが形成されている（図５７参照）。このうち、中央の中空部５４４ｂは、冷媒としての冷却水を流通させる冷却水通路５４５として用いられる。また、中空部５４４ｂ（冷却水通路５４５）を挟んで両側の中空部５４４ａ，５４４ｃにはシール材５４６が収容されている。このシール材５４６により、中空部５４４ｂ（冷却水通路５４５）が密閉化されている。冷却水通路５４５については後で詳しく説明する。

【０３８６】

また、ボス形成部材５４３には、円板リング状の端板５４７と、その端板５４７からハウジング内部に向けて突出するボス部５４８とが設けられている。ボス部５４８は、中空筒状に設けられている。例えば図５１に示すように、ボス形成部材５４３は、軸方向における内壁部材５４２の第１端とそれに対向する回転軸５０１の突出側（すなわち車両内側）の第２端とのうち、第２端に固定されている。なお、図４５～図４７に示す車輪４００においては、インバータハウジング５３１（より詳しくはボス形成部材５４３の端板５４７）にベースプレート４０５が固定されるようになっている。

【０３８７】

インバータハウジング５３１は、軸心を中心として径方向に二重の周壁を有する構成となっており、その二重の周壁のうち外側の周壁が外壁部材５４１及び内壁部材５４２により形成され、内側の周壁がボス部５４８により形成されている。なお、以下の説明では、外壁部材５４１及び内壁部材５４２により形成された外側の周壁を「外側周壁ＷＡ１」、

ボス部５４８により形成された内側の周壁を「内側周壁ＷＡ２」とも言う。
【０３８８】
インバータハウジング５３１には、外側周壁ＷＡ１と内側周壁ＷＡ２との間に環状空間が形成されており、その環状空間内に、周方向に並べて複数の電気モジュール５３２が配置されている。電気モジュール５３２は、接着やビス締め等により内壁部材５４２の内周面に固定されている。本実施形態では、インバータハウジング５３１が「ハウジング部材」に相当し、電気モジュール５３２が「電気部品」に相当する。
【０３８９】
内側周壁ＷＡ２（ボス部５４８）の内側には軸受５６０が収容されており、その軸受５６０により回転軸５０１が回転自在に支持されている。軸受５６０は、車輪中心部において車輪４００を回転可能に支えるハブベアリングである。軸受５６０は、回転子５１０や固定子５２０、インバータユニット５３０に対して軸方向に重複する位置に設けられている。本実施形態の回転電機５００では、回転子５１０において配向に伴い磁石ユニット５１２の薄型化が可能であること、固定子５２０においてスロットレス構造や扁平導線構造が採用されていることにより、磁気回路部の径方向の厚み寸法を縮小して、磁気回路部よりも径方向内側の中空空間を拡張することが可能となっている。これにより、径方向に積層された状態での磁気回路部やインバータユニット５３０、軸受５６０の配置が可能となっている。ボス部５４８は、その内側に軸受５６０を保持する軸受保持部となっている。
【０３９０】
軸受５６０は、例えばラジアル玉軸受であり、筒状をなす内輪５６１と、その内輪５６１よりも大径の筒状をなし内輪５６１の径方向外側に配置された外輪５６２と、それら内輪５６１及び外輪５６２の間に配置された複数の玉５６３とを有している。軸受５６０は、外輪５６２がボス形成部材５４３に組み付けられることでインバータハウジング５３１に固定されるとともに、内輪５６１が回転軸５０１に固定されている。これら内輪５６１、外輪５６２及び玉５６３は、いずれも炭素鋼等の金属材料よりなる。
【０３９１】
また、軸受５６０の内輪５６１は、回転軸５０１を収容する筒部５６１ａと、その筒部５６１ａの軸方向一端部から、軸方向に交差（直交）する向きに延びるフランジ５６１ｂとを有している。フランジ５６１ｂは、回転子キャリア５１１の端板５１４に内側から当接する部位であり、回転軸５０１に軸受５６０が組み付けられた状態では、回転軸５０１のフランジ５０２と内輪５６１のフランジ５６１ｂとにより挟まれた状態で、回転子キャリア５１１が保持されるようになっている。この場合、回転軸５０１のフランジ５０２及び内輪５６１のフランジ５６１ｂは、軸方向に対する交差の角度が互いに同じであり（本実施形態ではいずれも直角であり）、これら各フランジ５０２，５６１ｂの間に挟まれた状態で、回転子キャリア５１１が保持されている。
【０３９２】
軸受５６０の内輪５６１により回転子キャリア５１１を内側から支える構成によれば、回転軸５０１に対する回転子キャリア５１１の角度を適正角度に保持でき、ひいては回転軸５０１に対する磁石ユニット５１２の平行度を良好に保つことができる。これにより、回転子キャリア５１１を径方向に拡張した構成にあっても、振動等に対する耐性を高めることができる。
【０３９３】
次に、インバータハウジング５３１内に収容される電気モジュール５３２について説明する。
【０３９４】
複数の電気モジュール５３２は、電力変換器を構成する半導体スイッチング素子や平滑用コンデンサといった電気部品を、複数に分割して個々にモジュール化したものであり、その電気モジュール５３２には、パワー素子である半導体スイッチング素子を有するスイッチモジュール５３２Ａと、平滑用コンデンサを有するコンデンサモジュール５３２Ｂとが含まれている。

【０３９５】
図４９及び図５０に示すように、内壁部材５４２の内周面には、電気モジュール５３２を取り付けるための平坦面を有する複数のスペーサ５４９が固定され、そのスペーサ５４９に電気モジュール５３２が取り付けられている。つまり、内壁部材５４２の内周面が曲面であるのに対し、電気モジュール５３２の取付面が平坦面であることから、スペーサ５４９により内壁部材５４２の内周面側に平坦面を形成し、その平坦面に電気モジュール５３２を固定する構成としている。
【０３９６】
なお、内壁部材５４２と電気モジュール５３２との間にスペーサ５４９を介在させる構成は必須ではなく、内壁部材５４２の内周面を平坦面にする、又は電気モジュール５３２の取付面を曲面することにより内壁部材５４２に対して電気モジュール５３２を直接取り付けることも可能である。また、内壁部材５４２の内周面に対して非接触の状態で、電気モジュール５３２をインバータハウジング５３１に固定することも可能である。例えば、ボス形成部材５４３の端板５４７に対して電気モジュール５３２を固定する。スイッチモジュール５３２Ａを内壁部材５４２の内周面に接触状態で固定するとともに、コンデンサモジュール５３２Ｂを内壁部材５４２の内周面に非接触状態で固定することも可能である。
【０３９７】
なお、内壁部材５４２の内周面にスペーサ５４９が設けられる場合、外側周壁ＷＡ１及びスペーサ５４９が「筒状部」に相当する。また、スペーサ５４９が用いられない場合、外側周壁ＷＡ１が「筒状部」に相当する。
【０３９８】
上述したとおりインバータハウジング５３１の外側周壁ＷＡ１には、冷媒としての冷却水を流通させる冷却水通路５４５が形成されており、その冷却水通路５４５を流れる冷却水により各電気モジュール５３２が冷却されるようになっている。なお、冷媒として、冷却水に代えて冷却用オイルを用いることも可能である。冷却水通路５４５は、外側周壁ＷＡ１に沿って環状に設けられており、冷却水通路５４５内を流れる冷却水は、各電気モジュール５３２を経由しながら上流側から下流側に流通する。本実施形態では、冷却水通路５４５が、径方向内外に各電気モジュール５３２に重なり、かつこれら各電気モジュール５３２を囲むように環状に設けられている。
【０３９９】
内壁部材５４２には、冷却水通路５４５に冷却水を流入させる入口通路５７１と、冷却水通路５４５から冷却水を流出させる出口通路５７２とが設けられている。上述したように内壁部材５４２の内周面には複数の電気モジュール５３２が固定されており、かかる構成において、周方向に隣り合う電気モジュール間の間隔が１カ所だけ他よりも拡張され、その拡張された部分に、内壁部材５４２の一部が径方向内側に突出されて突出部５７３が形成されている。そして、その突出部５７３に、径方向に沿って横並びの状態で入口通路５７１及び出口通路５７２が設けられている。
【０４００】
インバータハウジング５３１での各電気モジュール５３２の配置の状態を図５８に示す。なお、図５８は、図５０と同一の縦断面図である。
【０４０１】
図５８に示すように、各電気モジュール５３２は、周方向における電気モジュール同士の間隔を、第１間隔ＩＮＴ１又は第２間隔ＩＮＴ２として周方向に並べて配置されている。第２間隔ＩＮＴ２は、第１間隔ＩＮＴ１よりも広い間隔である。各間隔ＩＮＴ１，ＩＮＴ２は、例えば周方向に隣り合う２つ電気モジュール５３２の中心位置同士の間の距離である。この場合、突出部５７３を挟まずに周方向に隣り合う電気モジュール同士の間隔は第１間隔ＩＮＴ１となり、突出部５７３を挟んで周方向に隣り合う電気モジュール同士の間隔は第２間隔ＩＮＴ２となっている。つまり、周方向に隣り合う電気モジュール同士の間隔が一部で拡げられており、その拡げられた間隔（第２間隔ＩＮＴ２）の例えば中央となる部分に突出部５７３が設けられている。

【０４０２】
各間隔ＩＮＴ１，ＩＮＴ２は、回転軸５０１を中心とする同一円上において、周方向に隣り合う２つ電気モジュール５３２の中心位置同士の間の円弧の距離であってもよい。又は、周方向における電気モジュール同士の間隔は、回転軸５０１を中心とする角度間隔θｉ１，θｉ２で定義されていてもよい（θｉ１＜θｉ２）。
【０４０３】
なお、図５８に示す構成では、第１間隔ＩＮＴ１で並ぶ各電気モジュール５３２が周方向に互いに離間する状態（非接触の状態）で配置されているが、この構成に代えて、それら各電気モジュール５３２が周方向に互いに接触する状態で配置されていてもよい。
【０４０４】
図４８に示すように、ボス形成部材５４３の端板５４７には、入口通路５７１及び出口通路５７２の通路端部が形成された水路ポート５７４が設けられている。入口通路５７１及び出口通路５７２には、冷却水を循環させる循環経路５７５が接続されるようになっている。循環経路５７５は冷却水配管よりなる。循環経路５７５にはポンプ５７６と放熱装置５７７とが設けられ、ポンプ５７６の駆動に伴い冷却水通路５４５と循環経路５７５とを通じて冷却水が循環する。ポンプ５７６は電動ポンプである。放熱装置５７７は、例えば冷却水の熱を大気放出するラジエータである。
【０４０５】
図５０に示すように、外側周壁ＷＡ１の外側には固定子５２０が配置され、内側には電気モジュール５３２が配置されていることから、外側周壁ＷＡ１に対しては、その外側から固定子５２０の熱が伝わるとともに、内側から電気モジュール５３２の熱が伝わることになる。この場合、冷却水通路５４５を流れる冷却水により固定子５２０と電気モジュール５３２とを同時に冷やすことが可能となっており、回転電機５００における発熱部品の熱を効率良く放出することができる。
【０４０６】
ここで、電力変換器の電気的構成を図５９を用いて説明する。
【０４０７】
図５９に示すように、固定子巻線５２１はＵ相巻線、Ｖ相巻線及びＷ相巻線よりなり、その固定子巻線５２１にインバータ６００が接続されている。インバータ６００は、相数と同じ数の上下アームを有するフルブリッジ回路により構成されており、相ごとに上アームスイッチ６０１及び下アームスイッチ６０２からなる直列接続体が設けられている。これら各スイッチ６０１，６０２は駆動回路６０３によりそれぞれオンオフされ、そのオンオフにより各相の巻線が通電される。各スイッチ６０１，６０２は、例えばＭＯＳＦＥＴやＩＧＢＴ等の半導体スイッチング素子により構成されている。また、各相の上下アームには、スイッチ６０１，６０２の直列接続体に並列に、スイッチング時に要する電荷を各スイッチ６０１，６０２に供給する電荷供給用のコンデンサ６０４が接続されている。
【０４０８】
制御装置６０７は、ＣＰＵや各種メモリからなるマイコンを備えており、回転電機５００における各種の検出情報や、力行駆動及び発電の要求に基づいて、各スイッチ６０１，６０２のオンオフにより通電制御を実施する。制御装置６０７は、例えば所定のスイッチング周波数（キャリア周波数）でのＰＷＭ制御や、矩形波制御により各スイッチ６０１，６０２のオンオフ制御を実施する。制御装置６０７は、回転電機５００に内蔵された内蔵制御装置であってもよいし、回転電機５００の外部に設けられた外部制御装置であってもよい。
【０４０９】
ちなみに、本実施形態の回転電機５００では、固定子５２０のインダクタンス低減が図られていることから電気的時定数が小さくなっており、その電気的時定数が小さい状況下では、スイッチング周波数（キャリア周波数）を高くし、かつスイッチング速度を速くすることが望ましい。この点において、各相のスイッチ６０１，６０２の直列接続体に並列に電荷供給用のコンデンサ６０４が接続されていることで配線インダクタンスが低くなり

、スイッチング速度を速くした構成であっても適正なサージ対策が可能となる。
【０４１０】
インバータ６００の高電位側端子は直流電源６０５の正極端子に接続され、低電位側端子は直流電源６０５の負極端子（グランド）に接続されている。また、インバータ６００の高電位側端子及び低電位側端子には、直流電源６０５に並列に平滑用のコンデンサ６０６が接続されている。
【０４１１】
スイッチモジュール５３２Ａは、発熱部品として各スイッチ６０１，６０２（半導体スイッチング素子）や、駆動回路６０３（具体的には駆動回路６０３を構成する電気素子）、電荷供給用のコンデンサ６０４を有している。また、コンデンサモジュール５３２Ｂは、発熱部品として平滑用のコンデンサ６０６を有している。スイッチモジュール５３２Ａの具体的な構成例を図６０に示す。
【０４１２】
図６０に示すように、スイッチモジュール５３２Ａは、収容ケースとしてのモジュールケース６１１を有するとともに、そのモジュールケース６１１内に収容された１相分のスイッチ６０１，６０２と、駆動回路６０３と、電荷供給用のコンデンサ６０４とを有している。なお、駆動回路６０３は、専用ＩＣ又は回路基板として構成されてスイッチモジュール５３２Ａに設けられている。
【０４１３】
モジュールケース６１１は、例えば樹脂等の絶縁材料よりなり、その側面がインバータユニット５３０の内壁部材５４２の内周面に当接した状態で、外側周壁ＷＡ１に固定されている。モジュールケース６１１内には樹脂等のモールド材が充填されている。モジュールケース６１１内において、スイッチ６０１，６０２と駆動回路６０３、スイッチ６０１，６０２とコンデンサ６０４は、それぞれ配線６１２により電気的に接続されている。なお詳しくは、スイッチモジュール５３２Ａは、スペーサ５４９を介して外側周壁ＷＡ１に取り付けられるが、スペーサ５４９の図示を省略している。
【０４１４】
スイッチモジュール５３２Ａが外側周壁ＷＡ１に固定された状態では、スイッチモジュール５３２Ａにおいて外側周壁ＷＡ１に近い側、すなわち冷却水通路５４５に近い側ほど冷却性が高いため、その冷却性に応じてスイッチ６０１，６０２、駆動回路６０３及びコンデンサ６０４の配列の順序が定められている。具体的には、発熱量を比べると、大きいものからスイッチ６０１，６０２、コンデンサ６０４、駆動回路６０３の順序となるため、その発熱量の大きさ順序に合わせて、外側周壁ＷＡ１に近い側からスイッチ６０１，６０２、コンデンサ６０４、駆動回路６０３の順序でこれらが配置されている。なお、スイッチモジュール５３２Ａの接触面は、内壁部材５４２の内周面における接触可能面より小さいとよい。
【０４１５】
なお、コンデンサモジュール５３２Ｂについては詳細な図示を省略するが、コンデンサモジュール５３２Ｂでは、スイッチモジュール５３２Ａと同じ形状及び大きさのモジュールケース内に、コンデンサ６０６が収容されて構成されている。コンデンサモジュール５３２Ｂは、スイッチモジュール５３２Ａと同様に、モジュールケース６１１の側面がインバータハウジング５３１の内壁部材５４２の内周面に当接した状態で、外側周壁ＷＡ１に固定されている。
【０４１６】
スイッチモジュール５３２Ａ及びコンデンサモジュール５３２Ｂは、インバータハウジング５３１の外側周壁ＷＡ１の径方向内側において必ずしも同心円上に並んでいなくてもよい。例えばスイッチモジュール５３２Ａがコンデンサモジュール５３２Ｂよりも径方向内側に配置される構成、又はその逆となるように配置される構成であってもよい。
【０４１７】
回転電機５００の駆動時には、スイッチモジュール５３２Ａ及びコンデンサモジュール

５３２Ｂと冷却水通路５４５との間で、外側周壁ＷＡ１の内壁部材５４２を介して熱交換が行われる。これにより、スイッチモジュール５３２Ａ及びコンデンサモジュール５３２Ｂにおける冷却が行われる。

【０４１８】

各電気モジュール５３２は、その内部に冷却水を引き込み、モジュール内部にて冷却水による冷却を行わせる構成であってもよい。ここでは、スイッチモジュール５３２Ａの水冷構造を、図６１（ａ），（ｂ）を用いて説明する。図６１（ａ）は、外側周壁ＷＡ１を横切る方向で、スイッチモジュール５３２Ａの断面構造を示す縦断面図であり、図６１（ｂ）は、図６１（ａ）の６１Ｂ－６１Ｂ線断面図である。

【０４１９】

図６１（ａ），（ｂ）に示すように、スイッチモジュール５３２Ａは、図６０と同様にモジュールケース６１１と、１相分のスイッチ６０１，６０２と、駆動回路６０３と、コンデンサ６０４とを有することに加え、一対の配管部６２１，６２２及び冷却器６２３からなる冷却装置を有している。冷却装置において、一対の配管部６２１，６２２は、外側周壁ＷＡ１の冷却水通路５４５から冷却器６２３へ冷却水を流入させる流入側の配管部６２１と、冷却器６２３から冷却水通路５４５へ冷却水を流出させる流出側の配管部６２２とからなる。冷却器６２３は、冷却対象物に応じて設けられ、冷却装置では１段又は複数段の冷却器６２３が用いられる。図６１（ａ），（ｂ）の構成では、冷却水通路５４５から離れる方向、すなわちインバータユニット５３０の径方向に、互いに離間した状態で２段の冷却器６２３が設けられており、一対の配管部６２１，６２２を介してそれら各冷却器６２３に対して冷却水が供給される。冷却器６２３は、例えば内部が空洞になっている。ただし、冷却器６２３の内部にインナフィンが設けられていてもよい。

【０４２０】

２段の冷却器６２３を備える構成では、（１）１段目の冷却器６２３の外側周壁ＷＡ１側、（２）１段目及び２段目の冷却器６２３の間、（３）２段目の冷却器６２３の反外側周壁側が、それぞれ冷却対象の電気部品を配置する場所であり、これら各場所は、冷却性能の高いものから順から（２）、（１）、（３）となっている。つまり、２つの冷却器６２３に挟まれた場所が最も冷却性能が高く、いずれか１つの冷却器６２３に隣接する場所では、外側周壁ＷＡ１（冷却水通路５４５）に近い方が冷却性能が高くなっている。これを加味し、図６１（ａ），（ｂ）に示す構成では、スイッチ６０１，６０２が、（２）１段目及び２段目の冷却器６２３の間に配置され、コンデンサ６０４が、（１）１段目の冷却器６２３の外側周壁ＷＡ１側に配置され、駆動回路６０３が、（３）２段目の冷却器６２３の反外側周壁側に配置されている。なお、図示しないが、駆動回路６０３とコンデンサ６０４とが逆の配置であってもよい。

【０４２１】

いずれの場合であってもモジュールケース６１１内において、スイッチ６０１，６０２と駆動回路６０３、スイッチ６０１，６０２とコンデンサ６０４は、それぞれ配線６１２により電気的に接続されている。また、スイッチ６０１，６０２が駆動回路６０３とコンデンサ６０４との間に位置するため、スイッチ６０１，６０２から駆動回路６０３に向かって延びる配線６１２と、スイッチ６０１，６０２からコンデンサ６０４に向かって延びる配線６１２は互いに逆方向に延びる関係である。

【０４２２】

図６１（ｂ）に示すように、一対の配管部６２１，６２２は、周方向、すなわち冷却水通路５４５の上流側及び下流側に並べて配置されており、上流側に位置する流入側の配管部６２１から冷却器６２３に冷却水が流入され、その後、下流側に位置する流出側の配管部６２２から冷却水が流出される。なお、冷却装置への冷却水の流入を促すべく、冷却水通路５４５には、周方向に見て、流入側の配管部６２１と流出側の配管部６２１との間となる位置に、冷却水の流れを規制する規制部６２４が設けられているとよい。規制部６２４は、冷却水通路５４５を遮断する遮断部、又は冷却水通路５４５の通路面積を小さくする絞り部であるとよい。

【０４２３】
図６２には、スイッチモジュール５３２Ａの別の冷却構造を示す。図６２（ａ）は、外側周壁ＷＡ１を横切る方向で、スイッチモジュール５３２Ａの断面構造を示す縦断面図であり、図６２（ｂ）は、図６２（ａ）の６２Ｂ－６２Ｂ線断面図である。
【０４２４】
図６２（ａ），（ｂ）の構成では、上述した図６１（ａ），（ｂ）の構成との相違点として、冷却装置における一対の配管部６２１，６２２の配置が異なっており、一対の配管部６２１，６２２が軸方向に並べて配置されている。また、図６２（ｃ）に示すように、冷却水通路５４５は、流入側の配管部６２１に連通される通路部分と、流出側の配管部６２２に連通される通路部分とが軸方向に分離して設けられ、それら各通路部分が各配管部６２１，６２２及び各冷却器６２３を通じて連通されている。
【０４２５】
その他に、スイッチモジュール５３２Ａとして、次の構成を用いることも可能である。
【０４２６】
図６３（ａ）に示す構成では、図６１（ａ）の構成と比べて、冷却器６２３が２段から１段に変更されている。この場合、モジュールケース６１１内において冷却性能の最も高い場所が図６１（ａ）とは異なっており、冷却器６２３の径方向両側（図の左右方向両側）のうち外側周壁ＷＡ１側の場所が最も冷却性能が高く、次いで、冷却器６２３の反外側周壁側の場所、冷却器６２３から離れた場所の順に冷却性能が低くなっている。これを加味し、図６３（ａ）に示す構成では、スイッチ６０１，６０２が、冷却器６２３の径方向両側（図の左右方向両側）のうち外側周壁ＷＡ１側の場所に配置され、コンデンサ６０４が、冷却器６２３の反外側周壁側の場所に配置され、駆動回路６０３が、冷却器６２３から離れた場所に配置されている。
【０４２７】
また、スイッチモジュール５３２Ａにおいて、モジュールケース６１１内に１相分のスイッチ６０１，６０２と、駆動回路６０３と、コンデンサ６０４とを収容する構成を変更することも可能である。例えば、モジュールケース６１１内に１相分のスイッチ６０１，６０２と、駆動回路６０３及びコンデンサ６０４のいずれ一方とを収容する構成としてもよい。
【０４２８】
図６３（ｂ）では、モジュールケース６１１内に、一対の配管部６２１，６２２と２段の冷却器６２３とを設けるとともに、スイッチ６０１，６０２を、１段目及び２段目の冷却器６２３の間に配置し、コンデンサ６０４又は駆動回路６０３を、１段目の冷却器６２３の外側周壁ＷＡ１側に配置する構成としている。また、スイッチ６０１，６０２と駆動回路６０３とを一体化して半導体モジュールとし、その半導体モジュールとコンデンサ６０４とを、モジュールケース６１１内に収容する構成とすることも可能である。
【０４２９】
なお、図６３（ｂ）では、スイッチモジュール５３２Ａにおいて、スイッチ６０１，６０２を挟んで両側に配置される冷却器６２３のうち少なくとも一方の冷却器６２３においてスイッチ６０１，６０２とは逆側にコンデンサが配置されているとよい。すなわち、１段目の冷却器６２３の外側周壁ＷＡ１側と、２段目の冷却器６２３の反周壁側とのうち一方にのみコンデンサ６０４を配置する構成、又は両方にコンデンサ６０４を配置する構成が可能である。
【０４３０】
本実施形態では、スイッチモジュール５３２Ａとコンデンサモジュール５３２Ｂとのうちスイッチモジュール５３２Ａのみについて、冷却水通路５４５からモジュール内部に冷却水を引き込む構成としている。ただし、その構成を変更し、両方のモジュール５３２Ａ，５３２Ｂに、冷却水通路５４５から冷却水を引き込む構成としてもよい。
【０４３１】
また、各電気モジュール５３２の外面に冷却水を直接当てる状態にして、各電気モジュ

ール５３２を冷却する構成とすることも可能である。例えば、図６４に示すように、外側周壁ＷＡ１に電気モジュール５３２を埋め込むことで、電気モジュール５３２の外面に冷却水を当てる構成とする。この場合、電気モジュール５３２の一部を冷却水通路５４５内に浸漬させる構成や、冷却水通路５４５を図５８等の構成よりも径方向に拡張して電気モジュール５３２の全てを冷却水通路５４５内に浸漬させる構成が考えられる。冷却水通路５４５内に電気モジュール５３２を浸漬させる場合、浸漬されるモジュールケース６１１（モジュールケース６１１の浸漬部分）にフィンを設けると、冷却性能を更に向上させることができる。

【０４３２】

また、電気モジュール５３２には、スイッチモジュール５３２Ａとコンデンサモジュール５３２Ｂとが含まれ、それら両者を比べた場合に発熱量に差異がある。この点を考慮して、インバータハウジング５３１における各電気モジュール５３２の配置を工夫することも可能である。

【０４３３】

例えば、図６５に示すように、複数個のスイッチモジュール５３２Ａを、分散させず周方向に並べ、かつ冷却水通路５４５の上流側、すなわち入口通路５７１に近い側に配置する。この場合、入口通路５７１から流入した冷却水は、先ずは３つのスイッチモジュール５３２Ａの冷却に用いられ、その後に各コンデンサモジュール５３２Ｂの冷却に用いられる。なお、図６５では、先の図６２（ａ），（ｂ）のように一対の配管部６２１，６２２が軸方向に並べて配置されているが、これに限らず、先の図６１（ａ），（ｂ）のように一対の配管部６２１，６２２が周方向に並べて配置されていてもよい。

【０４３４】

次に、各電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３における電気的な接続に関する構成を説明する。図６６は、図４９の６６－６６線断面図であり、図６７は、図４９の６７－６７線断面図である。図６８は、バスバーモジュール５３３を単体で示す斜視図である。ここではこれら各図を併せ用いて、各電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３の電気接続に関する構成を説明する。

【０４３５】

図６６に示すように、インバータハウジング５３１には、内壁部材５４２に設けられた突出部５７３（すなわち、冷却水通路５４５に通じる入口通路５７１及び出口通路５７２が設けられた突出部５７３）の周方向に隣となる位置に、３つのスイッチモジュール５３２Ａが周方向に並べて配置されるとともに、さらにその隣に、６つのコンデンサモジュール５３２Ｂが周方向に並べて配置されている。その概要として、インバータハウジング５３１では、外側周壁ＷＡ１の内側が周方向に１０個（すなわち、モジュール数＋１）の領域に等分に分けられ、そのうち９つの領域にそれぞれ電気モジュール５３２が１つずつ配置されるとともに、残り１つの領域に突出部５７３が設けられている。３つのスイッチモジュール５３２Ａは、Ｕ相用モジュール、Ｖ相用モジュール、Ｗ相用モジュールである。

【０４３６】

図６６や前述の図５６、図５７等に示すように、各電気モジュール５３２（スイッチモジュール５３２Ａ及びコンデンサモジュール５３２Ｂ）は、モジュールケース６１１から延びる複数のモジュール端子６１５を有している。モジュール端子６１５は、各電気モジュール５３２における電気的な入出力を行わせるモジュール入出力端子である。モジュール端子６１５は、軸方向に延びる向きで設けられており、より具体的には、モジュールケース６１１から回転子キャリア５１１の奥側（車両外側）に向けて延びるように設けられている（図５１参照）。

【０４３７】

各電気モジュール５３２のモジュール端子６１５は、それぞれバスバーモジュール５３３に接続されている。モジュール端子６１５の数は、スイッチモジュール５３２Ａとコンデンサモジュール５３２Ｂとで異なっており、スイッチモジュール５３２Ａには４つのモジュール端子６１５が設けられ、コンデンサモジュール５３２Ｂには２つのモジュール端

子６１５が設けられている。

【０４３８】

また、図６８に示すように、バスバーモジュール５３３は、円環状をなす環状部６３１と、その環状部６３１から延び、電源装置やＥＣＵ（電子制御装置）等の外部装置との接続を可能とする３本の外部接続端子６３２と、固定子巻線５２１における各相の巻線端部に接続される巻線接続端子６３３とを有している。バスバーモジュール５３３が「端子モジュール」に相当する。

【０４３９】

環状部６３１は、インバータハウジング５３１において外側周壁ＷＡ１の径方向内側であり、かつ各電気モジュール５３２の軸方向片側となる位置に配置されている。環状部６３１は、例えば樹脂等の絶縁部材により成形された円環状の本体部と、その内部に埋設された複数のバスバーとを有する。その複数のバスバーは、各電気モジュール５３２のモジュール端子６１５や、各外部接続端子６３２、固定子巻線５２１の各相巻線に接続されている。その詳細は後述する。

【０４４０】

外部接続端子６３２は、電源装置に接続される高電位側の電力端子６３２Ａ及び低電位側の電力端子６３２Ｂと、外部ＥＣＵに接続される１本の信号端子６３２Ｃとからなる。これら各外部接続端子６３２（６３２Ａ～６３２Ｃ）は、周方向に一列に並び、かつ環状部６３１の径方向内側において軸方向に延びるように設けられている。図５１に示すように、バスバーモジュール５３３が各電気モジュール５３２と共にインバータハウジング５３１に組み付けられた状態では、外部接続端子６３２の一端がボス形成部材５４３の端板５４７から突出するように構成されている。具体的には、図５６、図５７に示すように、ボス形成部材５４３の端板５４７には挿通孔５４７ａが設けられており、その挿通孔５４７ａに円筒状のグロメット６３５が取り付けられるとともに、グロメット６３５を挿通させた状態で外部接続端子６３２が設けられている。グロメット６３５は、密閉コネクタとしても機能する。

【０４４１】

巻線接続端子６３３は、固定子巻線５２１の各相の巻線端部に接続される端子であり、環状部６３１から径方向外側に延びるように設けられている。巻線接続端子６３３は、固定子巻線５２１におけるＵ相巻線の端部に接続される巻線接続端子６３３Ｕ、Ｖ相巻線の端部に接続される巻線接続端子６３３Ｖ、Ｗ相巻線の端部にそれぞれ接続に接続される巻線接続端子６３３Ｗを有する。これらの各巻線接続端子６３３、各相巻線に流れる電流（Ｕ相電流、Ｖ相電流、Ｗ相電流）を検出する電流センサ６３４が設けられているとよい（図７０参照）。

【０４４２】

なお、電流センサ６３４は、電気モジュール５３２の外部であって、各巻線接続端子６３３の周辺に配置されてもよいし、電気モジュール５３２の内部に配置されてもよい。

【０４４３】

ここで、各電気モジュール５３２とバスバーモジュール５３３との接続を、図６９及び図７０を用いてより具体的に説明する。図６９は、各電気モジュール５３２を平面状に展開して示すとともに、それら各電気モジュール５３２とバスバーモジュール５３３との電気的な接続状態を模式的に示す図である。図７０は、各電気モジュール５３２を円環状に配置した状態での各電気モジュール５３２とバスバーモジュール５３３との接続を模式的に示す図である。なお、図６９には、電力伝送用の経路を実線で示し、信号伝送系の経路を一点鎖線で示している。図７０には、電力伝送用の経路のみを示している。

【０４４４】

バスバーモジュール５３３は、電力伝送用のバスバーとして、第１バスバー６４１と第２バスバー６４２と第３バスバー６４３とを有している。このうち第１バスバー６４１が高電位側の電力端子６３２Ａに接続され、第２バスバー６４２が低電位側の電力端子６３２Ｂに接続されている。また、３つの第３バスバー６４３が、Ｕ相の巻線接続端子６３３

Ｕ、Ｖ相の巻線接続端子６３３Ｖ、Ｗ相の巻線接続端子６３３Ｗにそれぞれ接続されている。

【０４４５】

また、巻線接続端子６３３や第３バスバー６４３は、回転電機１０の動作により発熱しやすい部位である。このため、巻線接続端子６３３と第３バスバー６４３との間に図示しない端子台を介在させるとともに、この端子台を、冷却水通路５４５を有するインバータハウジング５３１に当接させてもよい。又は、巻線接続端子６３３や第３バスバー６４３をクランク状に曲げることで、巻線接続端子６３３や第３バスバー６４３を冷却水通路５４５を有するインバータハウジング５３１に当接させてもよい。

【０４４６】

このような構成であれば、巻線接続端子６３３や第３バスバー６４３で発生した熱を冷却水通路５４５内の冷却水に放熱することができる。

【０４４７】

なお、図７０では、第１バスバー６４１及び第２バスバー６４２を、円環形状をなすバスバーとして示すが、これら各バスバー６４１，６４２は必ずしも円環形状で繋がっていなくてもよく、周方向の一部が途切れた略Ｃ字状をなしていてもよい。また、各巻線接続端子６３３Ｕ，６３３Ｖ，６３３Ｗは、各相に対応するスイッチモジュール５３２Ａに個々に接続されればよいため、バスバーモジュール５３３を介することなく、直接的に各スイッチモジュール５３２Ａ（実際にはモジュール端子６１５）に接続される構成であってもよい。

【０４４８】

一方、各スイッチモジュール５３２Ａは、正極側端子、負極側端子、巻線用端子及び信号用端子からなる４つのモジュール端子６１５を有している。このうち正極側端子は第１バスバー６４１に接続され、負極側端子は第２バスバー６４２に接続され、巻線用端子は第３バスバー６４３に接続されている。

【０４４９】

また、バスバーモジュール５３３は、信号伝送系のバスバーとして第４バスバー６４４を有している。各スイッチモジュール５３２Ａの信号用端子が第４バスバー６４４に接続されるとともに、その第４バスバー６４４が信号端子６３２Ｃに接続されている。

【０４５０】

本実施形態では、各スイッチモジュール５３２Ａに対する制御信号を信号端子６３２Ｃを介して外部ＥＣＵから入力する構成としている。つまり、各スイッチモジュール５３２Ａ内の各スイッチ６０１，６０２は、信号端子６３２Ｃを介して入力される制御信号によりオンオフする。そのため、各スイッチモジュール５３２Ａが、途中で回転電機内蔵の制御装置を経由することなく信号端子６３２Ｃに対して接続される構成となっている。ただし、この構成を変更し、回転電機に制御装置を内蔵させ、その制御装置からの制御信号が各スイッチモジュール５３２Ａに入力される構成とすることも可能である。かかる構成を図７１に示す。

【０４５１】

図７１の構成では、制御装置６５２が実装された制御基板６５１を有し、その制御装置６５２が各スイッチモジュール５３２Ａに接続されている。また、制御装置６５２には信号端子６３２Ｃが接続されている。この場合、制御装置６５２は、例えば上位制御装置である外部ＥＣＵから力行又は発電に関する指令信号を入力し、その指令信号に基づいて各スイッチモジュール５３２Ａのスイッチ６０１，６０２を適宜オンオフさせる。

【０４５２】

インバータユニット５３０においては、バスバーモジュール５３３よりも車両外側（回転子キャリア５１１の奥側）に制御基板６５１が配置されるとよい。又は、各電気モジュール５３２とボス形成部材５４３の端板５４７との間に制御基板６５１が配置されるとよい。制御基板６５１は、各電気モジュール５３２に対して少なくとも一部が軸方向に重複するように配置されるとよい。

【０４５３】
　また、各コンデンサモジュール５３２Ｂは、正極側端子及び負極側端子からなる２つのモジュール端子６１５を有しており、正極側端子は第１バスバー６４１に接続され、負極側端子は第２バスバー６４２に接続されている。
【０４５４】
　図４９及び図５０に示すように、インバータハウジング５３１内には、周方向に各電気モジュール５３２と並ぶ位置に、冷却水の入口通路５７１及び出口通路５７２を有する突出部５７３が設けられるとともに、その突出部５７３に対して径方向に隣り合うようにして外部接続端子６３２が設けられている。換言すれば、突出部５７３と外部接続端子６３２とが、周方向に同じ角度位置に設けられている。本実施形態では、突出部５７３の径方向内側の位置に外部接続端子６３２が設けられている。また、インバータハウジング５３１の車両内側から見れば、ボス形成部材５４３の端板５４７に、径方向に並べて水路ポート５７４と外部接続端子６３２とが設けられている（図４８参照）。
【０４５５】
　この場合、複数の電気モジュール５３２と共に突出部５７３及び外部接続端子６３２を周方向に並べて配置したことにより、インバータユニット５３０としての小型化、ひいては回転電機５００としての小型化が可能となっている。
【０４５６】
　車輪４００の構造を示す図４５及び図４７で見ると、水路ポート５７４に冷却用配管Ｈ２が接続されるとともに、外部接続端子６３２に電気配線Ｈ１が接続され、その状態で、電気配線Ｈ１及び冷却用配管Ｈ２が収容ダクト４４０に収容されている。
【０４５７】
　なお、上記構成では、インバータハウジング５３１内において外部接続端子６３２の隣に、３つのスイッチモジュール５３２Ａを周方向に並べて配置するとととともに、さらにその隣に、６つのコンデンサモジュール５３２Ｂを周方向に並べて配置する構成としたが、これを変更してもよい。例えば、外部接続端子６３２から最も離れた位置、すなわち回転軸５０１を挟んで反対側となる位置に、３つのスイッチモジュール５３２Ａを並べて配置する構成としてもよい。また、各スイッチモジュール５３２Ａの両隣にコンデンサモジュール５３２Ｂが配置されるように、各スイッチモジュール５３２Ａを分散配置することも可能である。
【０４５８】
　外部接続端子６３２から最も離れた位置、すなわち回転軸５０１を挟んで反対側となる位置に各スイッチモジュール５３２Ａを配置する構成とすれば、外部接続端子６３２と各スイッチモジュール５３２Ａとの間における相互インダクタンスに起因する誤動作等を抑制できる。
【０４５９】
　次に、回転角度センサとして設けられるレゾルバ６６０に関する構成を説明する。
【０４６０】
　図４９～図５１に示すように、インバータハウジング５３１には、回転電機５００の電気角θを検出するレゾルバ６６０が設けられている。レゾルバ６６０は、電磁誘導式センサであり、回転軸５０１に固定されたレゾルバロータ６６１と、そのレゾルバロータ６６１の径方向外側に対向配置されたレゾルバステータ６６２とを備えている。レゾルバロータ６６１は、円板リング状をなしており、回転軸５０１を挿通させた状態で、回転軸５０１に同軸で設けられている。レゾルバステータ６６２は、円環状をなすステータコア６６３と、ステータコア６６３に形成された複数のティースに巻回されたステータコイル６６４とを備えている。ステータコイル６６４には、１相の励磁コイルと２相の出力コイルとが含まれている。
【０４６１】
　ステータコイル６６４の励磁コイルは、正弦波状の励磁信号によって励磁され、励磁信号によって励磁コイルに生じた磁束は、一対の出力コイルを鎖交する。この際、励磁コイ

ルと一対の出力コイルとの相対的な配置関係がレゾルバロータ６６１の回転角（すなわち回転軸５０１の回転角）に応じて周期的に変化するため、一対の出力コイルを鎖交する磁束数は周期的に変化する。本実施形態では、一対の出力コイルのそれぞれに生じる電圧の位相が互いにπ／２だけずれるように一対の出力コイルと励磁コイルとが配置されている。これにより、一対の出力コイルそれぞれの出力電圧は、励磁信号を変調波ｓｉｎθ、ｃｏｓθのそれぞれによって変調した被変調波となる。より具体的には、励磁信号を「ｓｉｎΩｔ」とすると、被変調波はそれぞれ「ｓｉｎθ×ｓｉｎΩｔ」，「ｃｏｓθ×ｓｉｎΩｔ」となる。

【０４６２】

レゾルバ６６０はレゾルバデジタルコンバータを有している。レゾルバデジタルコンバータは、生成された被変調波及び励磁信号に基づく検波によって電気角θを算出する。例えばレゾルバ６６０は信号端子６３２Ｃに接続されており、レゾルバデジタルコンバータの算出結果は、信号端子６３２Ｃを介して外部装置に出力される。また、回転電機５００に制御装置が内蔵されている場合には、その制御装置にレゾルバデジタルコンバータの算出結果が入力される。

【０４６３】

ここで、インバータハウジング５３１におけるレゾルバ６６０の組み付け構造について説明する。

【０４６４】

図４９及び図５１に示すように、インバータハウジング５３１を構成するボス形成部材５４３のボス部５４８は中空筒状をなしており、そのボス部５４８の内周側には、軸方向に直交する向きに延びる突出部５４８ａが形成されている。そして、この突出部５４８ａに軸方向に当接した状態で、ネジ等によりレゾルバステータ６６２が固定されている。ボス部５４８内には、突出部５４８ａを挟んで軸方向の一方側に軸受５６０が設けられるとともに、他方側にレゾルバ６６０が同軸で設けられている。

【０４６５】

また、ボス部５４８の中空部には、軸方向においてレゾルバ６６０の一方の側に突出部５４８ａが設けられるとともに、他方の側に、レゾルバ６６０の収容空間を閉鎖する円板リング状のハウジングカバー６６６が取り付けられている。ハウジングカバー６６６は、炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）等の導電性材料により構成されている。ハウジングカバー６６６の中央部には、回転軸５０１を挿通させる孔６６６ａが形成されている。孔６６６ａ内には、回転軸５０１の外周面との間の空隙を封鎖するシール材６６７が設けられている。シール材６６７により、レゾルバ収容空間が密閉されている。シール材６６７は、例えば樹脂材料よりなる摺動シールであるとよい。

【０４６６】

レゾルバ６６０が収容される空間は、ボス形成部材５４３において円環状をなすボス部５４８に囲まれ、かつ軸方向が軸受５６０とハウジングカバー６６６とにより挟まれた空間であり、レゾルバ６６０の周囲は導電材料により囲まれている。これにより、レゾルバ６６０に対する電磁ノイズの影響を抑制できるようになっている。

【０４６７】

また、上述したとおりインバータハウジング５３１は、二重となる外側周壁ＷＡ１と内側周壁ＷＡ２とを有しており（図５７参照）、その二重となる周壁の外側（外側周壁ＷＡ１の外側）には固定子５２０が配置され、二重の周壁の間（ＷＡ１，ＷＡ２の間）には電気モジュール５３２が配置され、二重の周壁の内側（内側周壁ＷＡ２の内側）にはレゾルバ６６０が配置されている。インバータハウジング５３１は導電性部材であるため、固定子５２０とレゾルバ６６０とは、導電性の隔壁（本実施形態では特に二重の導電性隔壁）を隔てて配置されるようになっており、固定子５２０側（磁気回路側）とレゾルバ６６０とについて相互の磁気干渉の発生を好適に抑制できるものとなっている。

【０４６８】

次に、回転子キャリア５１１の開放端部の側に設けられる回転子カバー６７０について

説明する。

【０４６９】

図４９及び図５１に示すように、回転子キャリア５１１は軸方向の一方側が開放されており、その開放端部に、略円板リング状の回転子カバー６７０が取り付けられている。回転子カバー６７０は、溶接や接着、ビス止め等の任意の接合手法により回転子キャリア５１１に対して固定されているとよい。回転子カバー６７０が、磁石ユニット５１２の軸方向への移動を抑制できるように回転子キャリア５１１の内周よりも小さめに寸法設定されている部位を持つとなおよい。回転子カバー６７０は、その外径寸法が、回転子キャリア５１１の外径寸法に一致し、内径寸法が、インバータハウジング５３１の外径寸法よりも僅かに大きい寸法となっている。なお、インバータハウジング５３１の外径寸法と固定子５２０の内径寸法とは同じである。

【０４７０】

上述したとおりインバータハウジング５３１の径方向外側には固定子５２０が固定されており、それら固定子５２０及びインバータハウジング５３１が互いに接合されている接合部分では、固定子５２０に対してインバータハウジング５３１が軸方向に突出している。そして、インバータハウジング５３１の突出部分を囲むように回転子カバー６７０が取り付けられている。この場合、回転子カバー６７０の内周側の端面とインバータハウジング５３１の外周面との間には、それらの間の隙間を封鎖するシール材６７１が設けられている。シール材６７１により、磁石ユニット５１２及び固定子５２０の収容空間が密閉されている。シール材６７１は、例えば樹脂材料よりなる摺動シールであるとよい。

【０４７１】

以上詳述した本実施形態によれば、以下の優れた効果が得られる。

【０４７２】

回転電機５００において、磁石ユニット５１２及び固定子巻線５２１よりなる磁気回路部の径方向内側に、インバータハウジング５３１の外側周壁ＷＡ１を配置し、その外側周壁ＷＡ１に冷却水通路５４５を形成した。また、外側周壁ＷＡ１の径方向内側に、その外側周壁ＷＡ１に沿って周方向に複数の電気モジュール５３２を配置する構成とした。これにより、回転電機５００の径方向に積層されるようにして磁気回路部、冷却水通路５４５、電力変換器を配置でき、軸方向における寸法の縮小化を図りつつ、効率の良い部品配置が可能となる。また、電力変換器を構成する複数の電気モジュール５３２について効率良く冷却を行わせることができる。その結果、回転電機５００において、高効率かつ小型化が実現可能となる。

【０４７３】

半導体スイッチング素子やコンデンサ等の発熱部品を有する電気モジュール５３２（スイッチモジュール５３２Ａ、コンデンサモジュール５３２Ｂ）を、外側周壁ＷＡ１の内周面に接した状態で設ける構成とした。これにより、各電気モジュール５３２における熱が外側周壁ＷＡ１に伝達され、その外側周壁ＷＡ１での熱交換により電気モジュール５３２が好適に冷却される。

【０４７４】

スイッチモジュール５３２Ａにおいて、スイッチ６０１，６０２を挟んで両側に冷却器６２３をそれぞれ配置するとともに、スイッチ６０１，６０２の両側の冷却器６２３のうち少なくとも一方の冷却器においてスイッチ６０１，６０２とは逆側にコンデンサ６０４を配置する構成とした。これにより、スイッチ６０１，６０２に対する冷却性能を高めることができるとともに、コンデンサ６０４の冷却性能も高めることができる。

【０４７５】

スイッチモジュール５３２Ａにおいて、スイッチ６０１，６０２を挟んで両側に冷却器６２３をそれぞれ配置するとともに、スイッチ６０１，６０２の両側の冷却器６２３のうち一方の冷却器においてスイッチ６０１，６０２とは逆側に駆動回路６０３を配置し、他方の冷却器６２３においてスイッチ６０１，６０２とは逆側にコンデンサ６０４を配置する構成とした。これにより、スイッチ６０１，６０２に対する冷却性能を高めることがで

きるとともに、駆動回路６０３とコンデンサ６０４についても冷却性能も高めることができる。

【０４７６】

例えばスイッチモジュール５３２Ａにおいて、冷却水通路５４５からモジュール内部に冷却水を流入させ、その冷却水により半導体スイッチング素子等を冷却する構成とした。この場合、スイッチモジュール５３２Ａは、外側周壁ＷＡ１での冷却水による熱交換に加えて、モジュール内部での冷却水による熱交換により冷却される。これにより、スイッチモジュール５３２Ａの冷却効果を高めることができる。

【０４７７】

冷却水通路５４５に対して外部の循環経路５７５から冷却水を流入させる冷却システムにおいて、スイッチモジュール５３２Ａを冷却水通路５４５の入口通路５７１に近い上流側に配置するとともに、コンデンサモジュール５３２Ｂをスイッチモジュール５３２Ａよりも下流側に配置する構成とした。この場合、冷却水通路５４５を流れる冷却水が上流側ほど低温であることを想定すれば、スイッチモジュール５３２Ａを優先的に冷却する構成を実現することが可能になる。

【０４７８】

周方向に隣り合う電気モジュール同士の間隔を一部で拡げ、その拡げた間隔（第２間隔ＩＮＴ２）となる部分に、入口通路５７１及び出口通路５７２を有する突出部５７３を設ける構成とした。これにより、外側周壁ＷＡ１の径方向内側となる部分に、冷却水通路５４５の入口通路５７１及び出口通路５７２を好適に形成することができる。つまり、冷却性能を高めるには冷媒の流通量を確保する必要があり、そのためには入口通路５７１及び出口通路５７２の開口面積を大きくすることが考えられる。この点、上記のとおり電気モジュール同士の間隔を一部で拡げて突出部５７３を設けることにより、所望とする大きさの入口通路５７１及び出口通路５７２を好適に形成することができる。

【０４７９】

バスバーモジュール５３３の外部接続端子６３２を、外側周壁ＷＡ１の径方向内側において突出部５７３に径方向に並ぶ位置に配置するようにした。つまり、外部接続端子６３２を、周方向に隣り合う電気モジュール同士の間隔が拡げられた部分（第２間隔ＩＮＴ２に相当する部分）に突出部５７３と共に配置するようにした。これにより、各電気モジュール５３２との干渉を避けつつ、外部接続端子６３２を好適に配置することができる。

【０４８０】

アウタロータ式の回転電機５００において、外側周壁ＷＡ１の径方向外側に固定子５２０を固定し、かつ径方向内側に複数の電気モジュール５３２を配置する構成とした。これにより、外側周壁ＷＡ１に対して、その径方向外側から固定子５２０の熱が伝わるとともに、径方向内側から電気モジュール５３２の熱が伝わることになる。この場合、固定子５２０と電気モジュール５３２とを，冷却水通路５４５を流れる冷却水により同時に冷やすことが可能となり、回転電機５００における発熱部材の熱を効率良く放出することができる。

【０４８１】

外側周壁ＷＡ１を挟んで径方向内側の電気モジュール５３２と径方向外側の固定子巻線５２１とを、バスバーモジュール５３３の巻線接続端子６３３により電気的に接続する構成とした。またこの場合、巻線接続端子６３３を、冷却水通路５４５に対して軸方向に離れた位置に設ける構成とした。これにより、外側周壁ＷＡ１において環状に冷却水通路５４５が形成される構成、すなわち外側周壁ＷＡ１の内外が冷却水通路５４５により分断されている構成であっても、電気モジュール５３２と固定子巻線５２１とを好適に接続することができる。

【０４８２】

本実施形態の回転電機５００では、固定子５２０において周方向に並ぶ各導線５２３の間のティース（鉄心）を小さくする又は無くすことで、それら各導線５２３の間で生じる磁気飽和に起因するトルク制限を抑制するとともに、導線５２３を扁平薄型にすることで

トルク低下を抑制するものとしている。この場合、仮に回転電機５００の外径寸法が同じであっても、固定子５２０の薄型化により磁気回路部の径方向内側の領域を拡張することが可能となり、その内側領域を用いて、冷却水通路５４５を有する外側周壁ＷＡ１や、外側周壁ＷＡ１の径方向内側に設けられた複数の電気モジュール５３２を好適に配置することができる。

【０４８３】

本実施形態の回転電機５００では、磁石ユニット５１２において磁石磁束がｄ軸側に集まることでｄ軸での磁石磁束が強化され、それに伴うトルク増強が可能となっている。この場合、磁石ユニット５１２において径方向の厚さ寸法の縮小化（薄型化）が可能になることに伴い、磁気回路部の径方向内側の領域を拡張することが可能となり、その内側領域を用いて、冷却水通路５４５を有する外側周壁ＷＡ１や、外側周壁ＷＡ１の径方向内側に設けられた複数の電気モジュール５３２を好適に配置することができる。

【０４８４】

また、磁気回路部、外側周壁ＷＡ１、複数の電気モジュール５３２だけでなく、軸受５６０やレゾルバ６６０についても同様に、径方向に好適に配置することができる。

【０４８５】

回転電機５００をインホイールモータとして用いた車輪４００は、インバータハウジング５３１に固定されたベースプレート４０５と、サスペンション装置等の装着機構とを介して車体に装着される。ここで、回転電機５００では小型化が実現されていることから、車体への組み付けを想定しても省スペース化が可能となる。そのため、車両においてバッテリ等の電源装置の設置領域を拡大したり、車室スペースを拡張したりする上で有利な構成を実現できる。

【０４８６】

以下に、インホイールモータに関する変形例を説明する。

【０４８７】

（インホイールモータにおける変形例１）

回転電機５００では、インバータユニット５３０の外側周壁ＷＡ１の径方向内側に、電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３が配置されるとともに、外側周壁ＷＡ１を隔てて径方向の内側及び外側に、電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３と、固定子５２０とがそれぞれ配置されている。かかる構成において、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置は任意に設定可能である。また、外側周壁ＷＡ１を径方向に横切って固定子巻線５２１の各相巻線とバスバーモジュール５３３とを接続する場合において、その接続に用いられる巻線接続線（例えば巻線接続端子６３３）を案内する位置は任意に設定可能である。

【０４８８】

すなわち、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置としては、
（α１）バスバーモジュール５３３を、軸方向において電気モジュール５３２よりも車両外側、すなわち回転子キャリア５１１側の奥側とする構成と、
（α２）バスバーモジュール５３３を、軸方向において電気モジュール５３２よりも車両内側、すなわち回転子キャリア５１１側の手前側とする構成と、
が考えられる。

【０４８９】

また、巻線接続線を案内する位置としては、
（β１）巻線接続線を、軸方向において車両外側、すなわち回転子キャリア５１１側の奥側で案内する構成と、
（β２）巻線接続線を、軸方向において車両内側、すなわち回転子キャリア５１１側の手前側で案内する構成と、
が考えられる。

【０４９０】

以下には、電気モジュール５３２、バスバーモジュール５３３及び巻線接続線の配置に

関する４つの構成例を、図７２（ａ）～（ｄ）を用いて説明する。図７２（ａ）～（ｄ）は、回転電機５００の構成を簡略化して示す縦断面図であり、同図には、既に説明した構成に同じ符号が付されている。巻線接続線６３７は、固定子巻線５２１の各相巻線とバスバーモジュール５３３とを接続する電気配線であり、例えば既述の巻線接続端子６３３がこれに相当する。

【０４９１】

図７２（ａ）の構成では、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置として上記（α１）を採用するとともに、巻線接続線６３７を案内する位置として上記（β１）を採用している。つまり、電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３、固定子巻線５２１及びバスバーモジュール５３３がいずれも車両外側（回転子キャリア５１１の奥側）で接続される構成となっている。なおこれは、図４９に示す構成に相当する。

【０４９２】

本構成によれば、外側周壁ＷＡ１において、巻線接続線６３７との干渉を懸念することなく冷却水通路５４５を設けることができる。また、固定子巻線５２１とバスバーモジュール５３３とを接続する巻線接続線６３７を簡易に実現できる。

【０４９３】

図７２（ｂ）の構成では、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置として上記（α１）を採用するとともに、巻線接続線６３７を案内する位置として上記（β２）を採用している。つまり、電気モジュール５３２とバスバーモジュール５３３とが車両外側（回転子キャリア５１１の奥側）で接続されるとともに、固定子巻線５２１とバスバーモジュール５３３とが車両内側（回転子キャリア５１１の手前側）で接続される構成となっている。

【０４９４】

本構成によれば、外側周壁ＷＡ１において、巻線接続線６３７との干渉を懸念することなく冷却水通路５４５を設けることができる。

【０４９５】

図７２（ｃ）の構成では、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置として上記（α２）を採用するとともに、巻線接続線６３７を案内する位置として上記（β１）を採用している。つまり、電気モジュール５３２とバスバーモジュール５３３とが車両内側（回転子キャリア５１１の手前側）で接続されるとともに、固定子巻線５２１とバスバーモジュール５３３とが車両外側（回転子キャリア５１１の奥側）で接続される構成となっている。

【０４９６】

図７２（ｄ）の構成では、電気モジュール５３２に対するバスバーモジュール５３３の位置として上記（α２）を採用するとともに、巻線接続線６３７を案内する位置として上記（β２）を採用している。つまり、電気モジュール５３２及びバスバーモジュール５３３、固定子巻線５２１及びバスバーモジュール５３３がいずれも車両内側（回転子キャリア５１１の手前側）で接続される構成となっている。

【０４９７】

図７２（ｃ）、図７２（ｄ）の構成によれば、バスバーモジュール５３３が車両内側（回転子キャリア５１１の手前側）に配置されることで、仮にファンモータなどの電気部品を追加しようとする場合に、その配線が容易となることが考えられる。また、軸受よりも車両内側に配置されるレゾルバ６６０に対してバスバーモジュール５３３を近づけることが可能になり、レゾルバ６６０に対する配線が容易になることも考えられる。

【０４９８】

（インホイールモータにおける変形例２）

以下に、レゾルバロータ６６１の取付構造の変形例を説明する。すなわち、回転軸５０１、回転子キャリア５１１及び軸受５６０の内輪５６１は一体的に回転する回転体であり、その回転体に対するレゾルバロータ６６１の取付構造の変形例について以下に説明する。

【０４９９】
図７３（ａ）～（ｃ）は、上記回転体に対するレゾルバロータ６６１の取付構造例を示す構成図である。いずれの構成においても、レゾルバ６６０は、回転子キャリア５１１及びインバータハウジング５３１等により囲まれ、外部からの被水や被泥等から防護された密閉空間に設けられている。図７３（ａ）～（ｃ）のうち図７３（ａ）では、軸受５６０を、図４９と同じ構成としている。また、図７３（ｂ）、図７３（ｃ）では、軸受５６０を、図４９とは異なる構成とし、かつ回転子キャリア５１１の端板５１４から離れた位置に配置している。これら各図には、レゾルバロータ６６１の取付場所としてそれぞれ２カ所を例示している。なお、レゾルバステータ６６２については図示されていないが、例えばボス形成部材５４３のボス部５４８をレゾルバロータ６６１の外周側又はその付近まで延ばし、そのボス部５４８にレゾルバステータ６６２が固定されていればよい。
【０５００】
図７３（ａ）の構成では、軸受５６０の内輪５６１にレゾルバロータ６６１が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ６６１が、内輪５６１のフランジ５６１ｂの軸方向端面に設けられているか、又は内輪５６１の筒部５６１ａの軸方向端面に設けられている。
【０５０１】
図７３（ｂ）の構成では、回転子キャリア５１１にレゾルバロータ６６１が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ６６１が、回転子キャリア５１１において端板５１４の内面に設けられている。又は、回転子キャリア５１１が、端板５１４の内周縁部から回転軸５０１に沿って延びる筒部５１５を有する構成において、レゾルバロータ６６１が、回転子キャリア５１１の筒部５１５の外周面に設けられている。後者の場合、レゾルバロータ６６１は、回転子キャリア５１１の端板５１４と軸受５６０との間に配置されている。
【０５０２】
図７３（ｃ）の構成では、回転軸５０１にレゾルバロータ６６１が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ６６１が、回転軸５０１において回転子キャリア５１１の端板５１４と軸受５６０との間に設けられているか、又は回転軸５０１において軸受５６０を挟んで回転子キャリア５１１の反対側に配置されている。
【０５０３】
（インホイールモータにおける変形例３）
以下に、インバータハウジング５３１及び回転子カバー６７０の変形例を図７４を用いて説明する。図７４（ａ）、図７４（ｂ）は、回転電機５００の構成を簡略化して示す縦断面図であり、同図には、既に説明した構成に同じ符号が付されている。なお、図７４（ａ）に示す構成は、実質的に図４９等で説明した構成に相当し、図７４（ｂ）に示す構成は、図７４（ａ）の構成の一部を変更した構成に相当する。
【０５０４】
図７４（ａ）に示す構成では、回転子キャリア５１１の開放端部に固定された回転子カバー６７０が、インバータハウジング５３１の外側周壁ＷＡ１を囲むように設けられている。つまり、回転子カバー６７０の内径側の端面が外側周壁ＷＡ１の外周面に対向しており、それら両者の間にシール材６７１が設けられている。また、インバータハウジング５３１のボス部５４８の中空部にはハウジングカバー６６６が取り付けられ、そのハウジングカバー６６６と回転軸５０１との間にシール材６６７が設けられている。バスバーモジュール５３３を構成する外部接続端子６３２は、インバータハウジング５３１を貫通して車両内側（図の下側）に延びている。
【０５０５】
また、インバータハウジング５３１には、冷却水通路５４５に連通する入口通路５７１及び出口通路５７２が形成されるとともに、それら入口通路５７１及び出口通路５７２の通路端部を含む水路ポート５７４が形成されている。
【０５０６】

これに対して、図７４（ｂ）に示す構成では、インバータハウジング５３１（詳しくはボス形成部材５４３）に、回転軸５０１の突出側（車両内側）に延びる環状の凸部６８１が形成されており、回転子カバー６７０が、インバータハウジング５３１の凸部６８１を囲むように設けられている。つまり、回転子カバー６７０の内径側の端面が凸部６８１の外周面に対向しており、それら両者の間にシール材６７１が設けられている。また、バスバーモジュール５３３を構成する外部接続端子６３２は、インバータハウジング５３１のボス部５４８を貫通してボス部５４８の中空領域に延びるとともに、ハウジングカバー６６６を貫通して車両内側（図の下側）に延びている。

【０５０７】

また、インバータハウジング５３１には、冷却水通路５４５に連通する入口通路５７１及び出口通路５７２が形成されており、それら入口通路５７１及び出口通路５７２は、ボス部５４８の中空領域に延び、かつ中継配管６８２を介してハウジングカバー６６６よりも車両内側（図の下側）に延びている。本構成では、ハウジングカバー６６６から車両内側に延びる配管部分が水路ポート５７４となっている。

【０５０８】

図７４（ａ）、図７４（ｂ）の各構成によれば、回転子キャリア５１１及び回転子カバー６７０の内部空間の密閉性を保持しつつ、これら回転子キャリア５１１及び回転子カバー６７０をインバータハウジング５３１に対して好適に回転させることができる。

【０５０９】

また特に、図７４（ｂ）の構成によれば、図７４（ａ）の構成に比べて、回転子カバー６７０の内径が小さくなっている。そのため、電気モジュール５３２よりも車両内側となる位置に、インバータハウジング５３１と回転子カバー６７０とが軸方向に二重に設けられるようになり、電気モジュール５３２にて懸念される電磁ノイズによる不都合を抑制することができる。また、回転子カバー６７０の内径を小さくすることによりシール材６７１の摺動径が小さくなり、回転摺動部分における機械的ロスを抑制することができる。

【０５１０】

（インホイールモータにおける変形例４）

以下に、固定子巻線５２１の変形例を説明する。図７５に、固定子巻線５２１に関する変形例を示す。

【０５１１】

図７５に示すように、固定子巻線５２１は、横断面が矩形状をなす導線材を用い、その導線材の長辺が周方向に延びる向きにして波巻により巻回されている。この場合、固定子巻線５２１においてコイルサイドとなる各相の導線５２３は、相ごとに所定ピッチ間隔で配置されるとともに、コイルエンドで互いに接続されている。コイルサイドにおいて周方向に隣り合う各導線５２３は、周方向の端面同士が互いに当接するか、又は微小な間隔を隔てて近接配置されている。

【０５１２】

また、固定子巻線５２１では、コイルエンドにおいて相ごとに導線材が径方向に折り曲げられている。より詳しくは、固定子巻線５２１（導線材）は、軸方向において相ごとに異なる位置にて径方向内側に折り曲げられており、これにより、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の各相巻線における互いの干渉が回避されている。図示の構成では、各相巻線で導線材の厚み分だけ異ならせて、相ごとに導線材が径方向内側に直角に折り曲げられている。周方向に並ぶ各導線５２３において軸方向の両端間の長さ寸法は各導線５２３で同じであるとよい。

【０５１３】

なお、固定子巻線５２１に固定子コア５２２を組み付けて固定子５２０を製作する際には、固定子巻線５２１において円環状の一部を非接続として切り離しておき（すなわち、固定子巻線５２１を略Ｃ字状にしておき）、固定子巻線５２１の内周側に固定子コア５２２を組み付けた後に、切り離し部分を互いに接続させて固定子巻線５２１を円環状にするとよい。

【０５１４】

上記以外に、固定子コア５２２を周方向にて複数（例えば３つ以上）に分割しておき、円環状に形成された固定子巻線５２１の内周側に、複数に分割されたコア片を組み付けるようにすることも可能である。

【０５１５】

（他の変形例）

・例えば図５０に示すように、回転電機５００では、冷却水通路５４５の入口通路５７１と出口通路５７２とが一カ所にまとめて設けられているが、この構成を変更し、入口通路５７１と出口通路５７２とが周方向に異なる位置にそれぞれ設けられていてもよい。例えば、入口通路５７１と出口通路５７２とを周方向に１８０度異なる位置に設ける構成や、入口通路５７１及び出口通路５７２の少なくともいずれかを複数設ける構成であってもよい。

【０５１６】

・上記実施形態の車輪４００では、回転電機５００の軸方向の片側に回転軸５０１を突出させる構成としたが、これを変更し、軸方向の両方に回転軸５０１を突出させる構成としてもよい。これにより、例えば車両前後の少なくとも一方が１輪となる車両において好適な構成を実現できる。

【０５１７】

・車輪４００に用いられる回転電機５００として、インナロータ式の回転電機を用いることも可能である。

【０５１８】

（変形例１５）

次に、本変形例における回転電機７００について説明する。回転電機７００は、車両の駆動用ユニットとして用いられる。回転電機７００の概要を図７６～図７８に示す。図７６は、回転電機７００の全体を示す斜視図であり、図７７は、回転電機７００の縦断面図であり、図７８は、回転電機７００の構成要素を分解した分解断面図である。

【０５１９】

回転電機７００は、アウタロータ式の表面磁石型回転電機である。回転電機７００は、大別して、回転子７１０、固定子７３０、インナユニット７７０及びバスバーモジュール８１０を有する回転電機本体と、その回転電機本体を囲むように設けられるハウジング８３１及びカバー８３２とを備えている。これら各部材はいずれも、回転子７１０に一体に設けられた回転軸７０１に対して同軸に配置されており、所定順序で軸方向に組み付けられることで回転電機７００が構成されている。回転子７１０は、インナユニット７７０の径方向内側に設けられた一対の軸受７９１，７９２に片持ち支持され、その状態で回転可能となっている。回転軸７０１には、車両の車軸や車輪等に固定される連結軸７０５が一体に設けられている。

【０５２０】

回転電機７００において、回転子７１０及び固定子７３０はそれぞれ円筒状をなしており、エアギャップを挟んで径方向に対向配置されている。回転子７１０が回転軸７０１と共に一体回転することにより、固定子７３０の径方向外側にて回転子７１０が回転する。回転子７１０が「界磁子」に相当し、固定子７３０が「電機子」に相当する。

【０５２１】

図７９に示すように、回転子７１０は、略円筒状の回転子キャリア７１１と、その回転子キャリア７１１に固定された環状の磁石ユニット７１２とを有している。回転子キャリア７１１は、端板部７１３と、その端板部７１３の外周部から軸方向に延びる筒部７１４とを有している。端板部７１３には貫通孔７１３ａが形成されており、その貫通孔７１３ａに挿通された状態で、ボルト等の締結具７１５により端板部７１３に回転軸７０１が固定されている。回転軸７０１は、回転子キャリア７１１が固定される部分に、軸方向に交差（直交）する向きに延びるフランジ７０２を有しており、そのフランジ７０２と端板部７１３とが面接合されている状態で、回転軸７０１に対して回転子キャリア７１１が固定されている。

【０５２２】
磁石ユニット７１２は、円筒状の磁石ホルダ７２１と、その磁石ホルダ７２１の内周面に固定された磁石７２２と、磁石７２２の軸方向両側において回転子キャリア７１１とは逆側に固定されたエンドプレート７２３とを有している。磁石ホルダ７２１は、軸方向において磁石７２２と同じ長さ寸法を有している。磁石７２２は、磁石ホルダ７２１に径方向外側から包囲された状態で設けられている。また、磁石ホルダ７２１及び磁石７２２は、軸方向両端のうち一端側が回転子キャリア７１１に当接した状態で固定され、他端側がエンドプレート７２３に当接した状態で固定されている。
【０５２３】
回転子キャリア７１１、磁石ホルダ７２１及びエンドプレート７２３はいずれも非磁性体であるアルミニウム又は非磁性ステンレス（例えばＳＵＳ３０４）により構成されている。これら各部材は、アルミニウム等の軽金属により構成されることが望ましいが、これに代えて、合成樹脂により構成されることも可能である。これら各部材は、接着又は溶接により接合されているとよい。
【０５２４】
図８０は、磁石ユニット７１２の断面構造を示す部分断面図である。図８０には、磁石７２２の磁化容易軸を矢印にて示している。
【０５２５】
磁石ユニット７１２において、磁石７２２は、回転子７１０の周方向に沿って極性が交互に変わるように並べて設けられている。これにより、磁石７２２は、周方向に複数の磁極を有する。磁石７２２は、極異方性の永久磁石であり、固有保磁力が４００［ｋＡ／ｍ］以上であり、かつ残留磁束密度Ｂｒが１．０［Ｔ］以上である焼結ネオジム磁石を用いて構成されている。
【０５２６】
磁石７２２は、周方向に隣り合う２磁極において各磁極の中心であるｄ軸間を１磁石として設けられている。つまり、磁石７２２は、１磁極分を１磁石とし、その周方向の中心がｑ軸となっている。磁石７２２において径方向内側の周面が、磁束の授受が行われる磁束授受面７２４である。磁石７２２では、ｄ軸側（ｄ軸寄りの部分）とｑ軸側（ｑ軸寄りの部分）とで磁化容易軸の向きが相違しており、ｄ軸側では磁化容易軸の向きがｄ軸に平行する向きとなり、ｑ軸側では磁化容易軸の向きがｑ軸に直交する向きとなっている。この場合、磁化容易軸の向きに沿って円弧状の磁石磁路が形成されている。要するに、磁石７２２は、磁極中心であるｄ軸の側において、磁極境界であるｑ軸の側に比べて磁化容易軸の向きがｄ軸に平行となるように配向がなされて構成されている。
【０５２７】
周方向に並べられた各磁石７２２によれば、ｄ軸での磁石磁束が強化され、かつｑ軸付近での磁束変化が抑えられる。これにより、各磁極においてｑ軸からｄ軸にかけての表面磁束変化がなだらかになる磁石７２２を好適に実現できるものとなっている。磁石７２２は、周方向の中心をｑ軸とする構成に代えて、周方向の中心をｄ軸とする構成であってもよい。また、磁石７２２として、磁極数と同じ数の磁石を用いる構成に代えて、円環状に繋がった磁石を用いる構成としてもよい。
【０５２８】
磁石７２２は以下の構成であることが望ましい。磁石７２２において、ｄ－ｑ軸間の磁束授受面７２４の円弧長さは、磁石７２２の径方向の厚みよりも長くなっている。また、図８１に示すように、磁石７２２においてｑ軸と磁束授受面７２４との交点を中心点ＣＰとし、かつ磁石７２２の径方向の厚み寸法を半径とする円を、磁石７２２の磁化容易軸を定める配向円Ｘとする場合に、磁石７２２が配向円Ｘの四半円分を包括する構成となっている。つまり、磁石７２２では、ｑ軸を横切るように円弧状の磁化容易軸が設けられており、その磁化容易軸のうち、径方向において磁束授受面７２４とは反対側の周面とｑ軸との交点を通る磁化容易軸、すなわち配向円Ｘを通る磁化容易軸により最も強い磁石磁束が生じる。この場合、磁石７２２が配向円Ｘの四半円分を包括する構成であることにより、

ｄ軸を通る磁石磁路の長さを、配向円Ｘで規定される長さとして確保した上で磁石磁束を生じさせることが可能となっている。

【０５２９】

ここで、磁石７２２においてｄ－ｑ軸間の磁束授受面７２４の円弧長さが磁石７２２の径方向の厚みよりも長くなっていると、磁石７２２よりも径方向外側、すなわち反固定子側への磁束漏れの懸念が生じる。しかしながら、本例の構成では、磁石ホルダ７２１を非磁性体にて構成していることにより、磁束漏れの影響を軽減できるものとなっている。

【０５３０】

また、磁石７２２には、径方向外側の外周面に、ｄ軸を含む所定範囲で凹部７２５が形成されているとともに、径方向内側の内周面に、ｑ軸を含む所定範囲で凹部７２６が形成されている。この場合、磁石７２２の磁化容易軸の向きによれば、磁石７２２の外周面においてｄ軸付近で磁石磁路が短くなるとともに、磁石７２２の内周面においてｑ軸付近で磁石磁路が短くなる。そこで、磁石７２２において磁石磁路長が短い場所で十分な磁石磁束を生じさせることが困難になることを考慮して、その磁石磁束の弱い場所で磁石が削除されている。

【０５３１】

磁石ホルダ７２１は、周方向に並ぶ各磁石７２２の径方向外側に設けられている。また、周方向における各磁石７２２の間と各磁石７２２の径方向内側とを含む範囲で磁石ホルダ７２１が設けられていてもよい。つまり、磁石７２２を囲むようにして磁石ホルダ７２１が設けられていてもよい。磁石ホルダ７２１において各磁石７２２の径方向外側の部分と径方向内側の部分とを有している場合、径方向外側の部分が径方向内側の部分よりも高強度であるとよい。

【０５３２】

磁石ホルダ７２１は、磁石７２２の凹部７２５内に入り込む凸部７２７を有している。この場合、磁石７２２の凹部７２５と磁石ホルダ７２１の凸部７２７との係合により、磁石７２２の周方向の位置ずれが抑制されるようになっている。つまり、磁石ホルダ７２１の凸部７２７は、磁石７２２の回り止め部として機能する。また、磁石ホルダ７２１が、磁石７２２よりも径方向内側（固定子７３０側）となる部分を有している場合には、当該部分に、磁石７２２の凹部７２６内に入り込む凸部が設けられていてもよい。

【０５３３】

次に、固定子７３０の構成を説明する。

【０５３４】

固定子７３０は、固定子巻線７３１と固定子コア７３２とを有している。図８２は、固定子７３０の構成を示す斜視図であり、図８３は、固定子巻線７３１と固定子コア７３２とを分解して示す斜視図であり、図８４は、各相の相巻線のうちＵ相巻線に相当する構成のみを示す斜視図であり、図８５は、固定子７３０の縦断面図である。

【０５３５】

固定子コア７３２は、磁性体である電磁鋼板からなる複数のコアシート７３２ａを用いその複数のコアシート７３２ａが軸方向に積層されたコアシート積層体として構成されており、径方向に所定の厚さを有する円筒状をなしている。固定子コア７３２において回転子７１０側となる径方向外側には固定子巻線７３１が組み付けられている。固定子コア７３２の外周面は凹凸のない曲面状をなしている。固定子コア７３２はバックヨークとして機能する。固定子コア７３２は、例えば円環板状に打ち抜き形成された複数枚のコアシート７３２ａが軸方向に積層されて構成されている。ただし、固定子コア７３２としてヘリカルコア構造を有するものを用いてもよい。ヘリカルコア構造の固定子コア７３２では、帯状のコアシートが用いられ、このコアシートが環状に巻回形成されるとともに軸方向に積層されることで、全体として円筒状の固定子コア７３２が構成されている。

【０５３６】

固定子コア７３２において、軸方向両側の端面にはエンドリング７３３が固定されている。エンドリング７３３は、固定子コア７３２に固定子巻線７３１を組み付けた状態で、

その固定子巻線７３１を周方向の所定位置に保持する機能を有する位置決め部材である。固定子コア７３２及びエンドリング７３３がベース部材７３６である。

【０５３７】

エンドリング７３３の外周面には、固定子コア７３２及びエンドリング７３３と同心となる同心円上の接線に対して傾斜する向きで係合面７３４が形成されている。係合面７３４は、エンドリング７３３の外周面を複数に等分して設けられている。本例では、固定子巻線７３１において周方向に並ぶコイルサイドの導線部（後述するコイルモジュール７４０の直線部７４４）と同数の係合面７３４が周方向に設けられている。また、本例では、当該接線に対する傾斜の向きが、周方向に隣り合う各係合面７３４で互いに逆向きとなっていることにより、エンドリング７３３の外周面にテーパ状の係合部が形成されている。この場合、テーパ状の凸部の間に凹部７３５が形成されている。

【０５３８】

軸方向両側の各エンドリング７３３では、軸方向一端側及び他端側で周方向における凹凸の位置が一致している。つまり、軸方向一端側のエンドリング７３３及び軸方向他端側のエンドリング７３３は、係合面７３４による凸頂部の位置が周方向で一致するようにして固定子コア７３２に対して固定されている。

【０５３９】

エンドリング７３３の内径は固定子コア７３２の内径と同じである。また、エンドリング７３３の外径は、最大径となる部分で固定子コア７３２の外径と同じであり、最小径となる部分で固定子コア７３２の外径よりも小さくなっている。

【０５４０】

エンドリング７３３は、例えばアルミニウムや銅等の非磁性材料により形成されている。エンドリング７３３は、固定子コア７３２に対して溶接により固定されている。これ以外に、エンドリング７３３が、ピン差しやキー圧入、ボルト締結により機械的に固定されていてもよい。こうした機械的な固定により、固定子コア７３２に対するエンドリング７３３の周方向の位置ずれが抑制されるものとなっている。

【０５４１】

図８５に示すように、固定子７３０は、軸方向において、回転子７１０における磁石７２２に径方向に対向するコイルサイドＣＳに相当する部分と、そのコイルサイドＣＳの軸方向外側であるコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２に相当する部分とを有している。この場合、固定子コア７３２は、軸方向においてコイルサイドＣＳに対応する範囲で設けられ、エンドリング７３３は、軸方向一端側のコイルエンドＣＥ１及び他端側のコイルエンドＣＥ２にそれぞれ設けられている。コイルエンドＣＥ１が第１コイルエンドに相当し、コイルエンドＣＥ２が第２コイルエンドに相当する。なお、エンドリング７３３が固定子巻線７３１と係合した状態の構成については後述する。

【０５４２】

固定子巻線７３１は、複数の相巻線を有し、各相の相巻線が周方向に所定順序で配置されることで円筒状（環状）に形成されている。固定子巻線７３１の径方向内側に固定子コア７３２が組み付けられている。本例では、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の相巻線を用いることで、固定子巻線７３１が３相の相巻線を有する構成となっている。

【０５４３】

固定子巻線７３１において各相の相巻線は各々複数の部分巻線７４１を有しており（図８６参照）、その部分巻線７４１が個別にコイルモジュール７４０として設けられている。つまり、コイルモジュール７４０は、各相の相巻線における部分巻線７４１が一体に設けられたものとなっている。各相のコイルモジュール７４０が周方向に所定順序で並べて配置されることで、固定子巻線７３１のコイルサイドにおいて各相の導線部が所定順序に並べて配置されるものとなっている。図８２には、コイルサイドにおけるＵ相、Ｖ相及びＷ相の導線部の並び順が示されている。また、図８４には、３相の相巻線のうちＵ相巻線を構成するコイルモジュール７４０のみが抽出されて示されている。本例では、磁極数を２４としているが、その数は任意である。

【０５４４】
固定子巻線７３１では、相ごとに各コイルモジュール７４０の部分巻線７４１が並列又は直列に接続されることにより、各相の相巻線が構成されている。図８６は、３相の各相巻線における部分巻線７４１の接続状態を示す回路図である。図８６では、各相の相巻線における部分巻線７４１がそれぞれ並列に接続された状態が示されている。
【０５４５】
図８５に示すように、コイルモジュール７４０は固定子コア７３２の径方向外側に組み付けられている。固定子巻線７３１は、コイルサイドＣＳに相当する部分と、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２に相当する部分とを有している。この場合、コイルモジュール７４０は、その軸方向両端部分が固定子コア７３２よりも軸方向外側（すなわちコイルエンド側）に突出した状態で組み付けられている。
【０５４６】
コイルモジュール７４０は、軸方向両端のうち一方が径方向に折れ曲がることで略Ｌ字状に形成されており、その折れ曲がりにより、周方向に隣り合うコイルモジュール７４０の干渉が抑制されるものとなっている。本例では、コイルモジュール７４０として、軸方向一端側の部分が径方向外側に向くように配置されるコイルモジュール７４０Ａと、軸方向一端側の部分が径方向内側に向くように配置されるコイルモジュール７４０Ｂとを用いる構成としている。つまり、固定子巻線７３１は、２種類のコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを用いて構成されている。これらコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂは、軸方向の向きを互いに逆向きにして固定子コア７３２に組み付けられている。
【０５４７】
図８２に示すように、固定子コア７３２に対して複数のコイルモジュール７４０が組み付けられた状態において、そのコイルモジュール７４０の径方向外側には軸方向の２箇所に拘束リング７６０が取り付けられている。拘束リング７６０は、各コイルモジュール７４０（固定子巻線７３１）を径方向に拘束する拘束部材である。拘束リング７６０は、例えば金属製の環状リングである。両端を自由端とするＣリング又は多重リングを拘束リング７６０として用い、その拘束リング７６０の端部どうしを溶接や接着等により連結する構成であってもよい。この場合、拘束リング７６０は、弾性を有し、自然状態で固定子巻線７３１よりも小径となっているものであるとよい。
【０５４８】
糸、紐、ワイヤ等の線状部材を拘束部材として用い、その拘束部材を、固定子巻線７３１の外周側に螺旋状に巻き付ける構成であってもよい。この場合、例えばワニスを染み込ませた紐を用い、ワニスにより紐固定の強化を図る構成としてもよい。
【０５４９】
次に、コイルモジュール７４０の構成を詳しく説明する。
【０５５０】
ここではまず、コイルモジュール７４０Ａとコイルモジュール７４０Ｂとのうちコイルモジュール７４０Ａについて説明する。なお、コイルモジュール７４０は、部分巻線７４１と巻線ホルダ７４２とを有するサブアセンブリである。以下の説明では、コイルモジュール７４０Ａの部分巻線７４１を「部分巻線７４１Ａ」、巻線ホルダ７４２を「巻線ホルダ７４２Ａ」とも称し、コイルモジュール７４０Ｂの部分巻線７４１を「部分巻線７４１Ｂ」、巻線ホルダ７４２を「巻線ホルダ７４２Ｂ」とも称する。部分巻線７４１Ａが第１部分巻線に相当し、部分巻線７４１Ｂが第２部分巻線に相当する。
【０５５１】
図８７（ａ）は、コイルモジュール７４０Ａの斜視図であり、図８７（ｂ）は、コイルモジュール７４０Ａにおける部分巻線７４１Ａのみを示す斜視図であり、図８７（ｃ）は、コイルモジュール７４０Ａにおける巻線ホルダ７４２Ａのみを示す斜視図であり、図８７（ｄ）は、コイルモジュール７４０Ａの側面図である。また、図８８（ａ），（ｂ）は、コイルモジュール７４０Ａの横断面を示す断面図であり、図８８（ａ）は、図８７（ｄ）の８８Ａ－８８Ａ線断面図、図８８（ｂ）は、図８７（ｄ）の８８Ｂ－８８Ｂ線断面図

である。なお、図８７（ｄ）では、コイルモジュール７４０Ａの左側が固定子コア７３２側であり、図８８（ａ），（ｂ）では、コイルモジュール７４０Ａの下側が固定子コア７３２側である。

【０５５２】

コイルモジュール７４０Ａは、導線７４３を多重巻にして構成された部分巻線７４１Ａと、その部分巻線７４１Ａに一体に設けられた絶縁性の巻線ホルダ７４２Ａとを有している。巻線ホルダ７４２Ａは、部分巻線７４１Ａを周囲から絶縁するために設けられており、特に部分巻線７４１Ａと固定子コア７３２との間を絶縁すべく設けられている。コイルモジュール７４０Ａは、軸方向が長手となる長尺環状に形成されている。コイルモジュール７４０Ａは、軸方向に互いに平行に延びる一対の直線部７４４を有するとともに、軸方向両側の一端側に、軸方向に対して直交する向きに延びる曲がり部７４５を有している。これにより、コイルモジュール７４０Ａは、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっている。

【０５５３】

部分巻線７４１Ａは、互いに平行でかつ直線状に設けられる一対の中間導線部７４６と、一対の中間導線部７４６を軸方向一端側で接続する第１渡り部７４７と、一対の中間導線部７４６を軸方向他端側で接続する第２渡り部７４８を有しており、これら一対の中間導線部７４６、第１渡り部７４７及び第２渡り部７４８により環状に形成されている。一対の中間導線部７４６は、所定のコイルピッチ分を離して設けられており、周方向において一対の中間導線部７４６の間に、他相の部分巻線７４１の中間導線部７４６が配置可能となっている。本例では、一対の中間導線部７４６は２コイルピッチ分を離して設けられ、一対の中間導線部７４６の間に、他２相の部分巻線７４１における中間導線部７４６が１つずつ配置される構成となっている。

【０５５４】

第１渡り部７４７及び第２渡り部７４８は、それぞれコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２（図８５参照）に相当する部分として設けられている。すなわち、これら各渡り部７４７，７４８は、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２において、周方向に異なる２位置の同相の中間導線部７４６どうしを接続するコイルエンド導線部として設けられている。部分巻線７４１Ａでは、第１渡り部７４７は、コイルモジュール７４０Ａにおける曲がり部７４５に対応する部分であり、中間導線部７４６に対して直交する向き、すなわち軸方向に対して直交する向きに折れ曲がるようにして設けられている。これに対して、第２渡り部７４８は、それよりも軸方向内側の中間導線部７４６と同じ向き、すなわち軸方向に直線状に延びるように設けられている。これにより、部分巻線７４１Ａは、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっている。なお、図８７（ｄ）には、コイルサイドＣＳとコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２との境界部ＢＤを破線にて示している。

【０５５５】

部分巻線７４１Ａでは、第１渡り部７４７（部分巻線７４１Ａにおいてコイルエンド ＣＥ１側の第１渡り部７４７）に、径方向外側に曲がっている外曲がり部Ｙ１が設けられている。部分巻線７４１Ａは、コイルエンドＣＥ１側に外曲がり部Ｙ１が設けられ、かつコイルエンドＣＥ２側では径方向に曲げられていない構成となっている。

【０５５６】

図８８（ａ）に示すように、部分巻線７４１Ａは、横断面が四角形になるように導線７４３が多重に巻回されて形成されている。図８８（ａ）は、中間導線部７４６でのコイルモジュール７４０Ａの横断面を示しており、その中間導線部７４６において周方向及び径方向に並ぶように導線７４３が多重に巻回されている。部分巻線７４１Ａは、その横断面において、外径側における周方向長さと内径側における周方向長さとが同じである。なお、渡り部７４７，７４８において部分巻線７４１Ａが周方向に沿う向きとなる部分では、導線７４３が軸方向及び径方向に並ぶように多重に巻回されている。本例では、導線７４３を同心巻により巻回することで部分巻線７４１Ａが構成されている。ただし、導線７４３の巻き方は任意であり、同心巻に代えて、アルファ巻により導線７４３が多重に巻回さ

れていてもよい。

【０５５７】

部分巻線７４１Ａの横断面において、外径側における周方向長さが内径側における周方向長さよりも大きい略台形状をしていてもよい。これにより、外径側と内径側とで円周長さが異なることを考慮しつつ、周方向に並ぶ中間導線部７４６どうしの離間距離を均等にすることが可能となる。

【０５５８】

図８７（ａ）に示すように、部分巻線７４１Ａでは、第１渡り部７４７の側から、詳しくは曲がり部７４５の先端から、導線７４３の端部が軸方向に引き出されており、その端部が巻線端部７４３ａ，７４３ｂとなっている。巻線端部７４３ａ，７４３ｂは、それぞれ導線７４３の巻き始め及び巻き終わりである。このうち巻線端部７４３ａが電流入出力端子に接続され、巻線端部７４３ｂが中性点に接続されるようになっている。

【０５５９】

部分巻線７４１Ａでは、径方向外側ほど高い電位が印加される構成であるとよい。つまり、部分巻線７４１Ａにおいて、径方向外側と径方向内側とを比べると、径方向外側ほど一対の中間導線部７４６の間の距離が長くなるため、その点を考慮して、径方向外側ほど高い電位が印加される構成であることが望ましい。図９９には、部分巻線７４１Ａにおける導線７４３の巻回順序を示している。なお、図９９では、同一の部分巻線７４１Ａにおける中間導線部７４６を実線で示し、異なる部分巻線７４１Ｂ（すなわち異相の部分巻線７４１Ｂ）における中間導線部７４６を破線で示している。

【０５６０】

部分巻線７４１Ａでは、径方向外側から径方向内側に移行するようにして導線７４３が巻回されており、径方向外側の巻き始めが巻線端部７４３ａとなっている。また、径方向内側の巻き終わりが巻線端部７４３ｂとなっている。この場合、巻線端部７４３ａが電流入出力端子に接続され、巻線端部７４３ｂが中性点に接続されることで、径方向外側ほど高い電位が印加されるようになっている。なお、導線７４３の巻回順序自体は、径方向外側及び径方向内側において巻き始めと巻き終わりとが逆であってもよい。

【０５６１】

また、図９９では、周方向に隣り合う異相どうしの各中間導線部７４６の離間距離が、径方向外側と径方向内側とで異なっている。この場合、径方向外側での離間距離をＫ１、径方向内側の離間距離をＫ２とすると、Ｋ１＞Ｋ２となっている。つまり、径方向外側になるほど、周方向に隣り合う異相どうしの各中間導線部７４６の離間距離が大きくなっている。これにより、周方向に隣り合う中間導線部７４６どうしの離間距離に関して、電位差に応じた適切な離間距離がそれぞれ確保されるようになっている。

【０５６２】

巻線ホルダ７４２Ａは、ボビン状をなし、合成樹脂等の絶縁材料により構成されている。巻線ホルダ７４２Ａは、部分巻線７４１Ａと同様に、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっており、部分巻線７４１Ａの中間導線部７４６に沿って設けられる部分と各渡り部７４７，７４８に沿って設けられる部分とを有している。

【０５６３】

図８８（ａ）に示すように、巻線ホルダ７４２Ａは、部分巻線７４１Ａの横断面において、部分巻線７４１Ａを三方から囲むように設けられており、固定子コア７３２側となる第１壁部７５１と、反固定子コア側となる第２壁部７５２と、それら第１壁部７５１及び第２壁部７５２を繋ぐ第３壁部７５３とを有している。第１壁部７５１がバックヨーク側絶縁壁に相当し、第２壁部７５２が反バックヨーク側絶縁壁に相当し、第３壁部７５３が周方向絶縁壁に相当する。第３壁部７５３は、周方向に並ぶ一対の直線部７４４において周方向内側に設けられている。第３壁部７５３は、固定子コア７３２の円中心に向かって延びる向きで設けられている。

【０５６４】

巻線ホルダ７４２Ａは、第１～第３壁部７５１～７５３により形成された収容部７５４

を有しており、その収容部７５４に収容された状態で部分巻線７４１Ａが設けられている。この場合、部分巻線７４１Ａは、固定子コア７３２側、反固定子コア側及び周方向片側の三方において各壁部７５１～７５３による絶縁がなされている。つまり、第１壁部７５１により、中間導線部７４６において固定子コア７３２との絶縁が図られている。第２壁部７５２により、中間導線部７４６が回転子７１０側（エアギャップ側）に露出しないように被覆されている。第３壁部７５３により周方向における中間導線部７４６どうしの絶縁が図られている。

【０５６５】

巻線ホルダ７４２Ａにおいて、第１壁部７５１の壁厚さ方向（径方向）の厚さ寸法をＴ１１、第２壁部７５２の壁厚さ方向（径方向）の厚さ寸法をＴ１２、第３壁部７５３の壁厚さ方向（周方向）の厚さ寸法をＴ１３とする場合、第２壁部７５２の厚さ寸法Ｔ１２が第１壁部７５１の厚さ寸法Ｔ１１よりも小さいことが望ましい（Ｔ１１＞Ｔ１２）。つまり、第２壁部７５２は磁石７２２側（エアギャップ側）の絶縁壁であり、その絶縁壁が薄いことにより磁石７２２と部分巻線７４１との距離、詳しくは磁気回路上の距離を縮めることができ、性能向上を期待できる。また、磁石７２２と部分巻線７４１との距離が同じものどうしで比べると、第２壁部７５２の厚さ寸法Ｔ１２を小さくした分、コイルモジュール７４０（ホルダ表面）と磁石７２２との間のエアギャップ（空隙の間隔）を大きくすることができ、回転子７１０の回転時における接触を抑制できる。なお、図１００には、図８８（ａ）の構成に比べて第１壁部７５１の厚さ寸法Ｔ１１を厚くし、かつ第２壁部７５２の厚さ寸法Ｔ１２を薄くすることでＴ１１＞Ｔ１２とした構成が示されている。

【０５６６】

また、第１壁部７５１の厚さ寸法Ｔ１１が第２壁部７５２の厚さ寸法Ｔ１２よりも大きいことで、固定子コア７３２との間の絶縁距離が確保され、その絶縁性能を高めることができる。ただし、Ｔ１１＝Ｔ１２であってもよい。

【０５６７】

第３壁部７５３の厚さ寸法Ｔ１３については、例えば第１壁部７５１の厚さ寸法Ｔ１１と同じであるとよい。ただし、Ｔ１３＞Ｔ１１であるか、又はＴ１３＜Ｔ１１であってもよい。

【０５６８】

図１００に示すように、第３壁部７５３において、径方向内側と径方向外側との各位置で厚さ寸法Ｔ１３を異ならせ、径方向外側の方が、厚さ寸法Ｔ１３が大きくなるように構成してもよい。つまり、第３壁部７５３を、径方向外側ほど幅広のテーパ状断面とする。この場合、第３壁部７５３の厚さ寸法Ｔ１３を、径方向内側よりも径方向外側の方が大きくなるようにしたことにより、径方向内側と径方向外側とで円周長さが異なることを加味しつつ、周方向に並ぶ各中間導線部７４６を適正に配置することができる。つまり、第３壁部７５３の厚さ寸法Ｔ１３を径方向で均一にしておくと、部分巻線７４１Ａの横断面を四角形状にする場合において、周方向に隣り合う２つの中間導線部７４６が、第３壁部７５３の側では寄りすぎてしまい、その反対側では離れすぎてしまう。そのため、周方向において回転磁束が不均等になることが懸念される。これに対して本例の構成では、周方向において回転磁束の均等化が可能となる。また、周方向における絶縁性能の均一化も可能となる。さらに、径方向外側（外周側）において中間導線部７４６と第３壁部７５３との間に余剰な隙間が形成されることが抑制されるため、中間導線部７４６（部分巻線７４１Ａ）の位置決めや固定を行う上でも好適である。

【０５６９】

コイルモジュール７４０Ａの曲がり部７４５との関係で言えば、一対の直線部７４４において、第１壁部７５１は、曲がり部７４５とは反対側の壁部（軸方向内側の壁部）であり、第２壁部７５２は、曲がり部７４５側の壁部（軸方向外側の壁部）である。

【０５７０】

部分巻線７４１Ａは、収容部７５４において三方の各壁部７５１～７５３に当接又は近接した状態で設けられ、かつ周方向において第３壁部７５３とは逆側で、第１壁部７５１

及び第２壁部７５２の端部よりも内側となる領域に配置されている。つまり、巻線ホルダ７４２Ａにおいて、第１壁部７５１及び第２壁部７５２における中間導線部７４６の周方向両側のうち一方の側には第３壁部７５３が設けられ、他方の側には、中間導線部７４６よりも周方向にはみ出したはみ出し部７５１ａ，７５２ａが設けられている。このはみ出し部７５１ａ，７５２ａは、部分巻線７４１Ａに対して周方向に余剰となる余剰部分である。これにより、収容部７５４内には、周方向の片側に、部分巻線７４１Ａが収容されていない空き領域ＳＺが設けられている。この場合、空き領域ＳＺにより、収容部７５４内の部分巻線７４１Ａが巻線ホルダ７４２よりも外側にはみ出ることが抑制されるものとなっている。

【０５７１】

要するに、第１壁部７５１及び第２壁部７５２は、部分巻線７４１Ａの中間導線部７４６の周方向両側に、その中間導線部７４６よりも周方向に延びる延長部を有しており、その周方向両側の延長部のうち一方の側に、第１壁部７５１及び第２壁部７５２から径方向に延びる第３壁部７５３が設けられている。また、周方向両側の延長部のうち一方の側に、はみ出し部７５１ａ，７５２ａが設けられている。

【０５７２】

収容部７５４内には、絶縁材料として樹脂材料が充填されており、その樹脂材料によりモールドされた状態で部分巻線７４１Ａが収容されている。これにより、収容部７５４において中間導線部７４６を挟んで第３壁部７５３の逆側には樹脂層７５５が形成されている。この場合、部分巻線７４１Ａの導線７４３間の隙間にも樹脂材料が入り込むことで、部分巻線７４１Ａにおいて、多重に巻回された導線７４３の近接するものどうしが、モールド樹脂を接合材として互いに接合されている。本構成では、部分巻線７４１Ａにおいて多重に巻回された導線７４３の近接するものどうしが接合材により互いに接合されていることにより、部分巻線７４１Ａにおける導線７４３どうしを所望の近接状態で維持できる。つまり、部分巻線７４１Ａにおける多重巻の状態を所望の状態で維持することができる。樹脂層７５５は、第３壁部７５３と同様に、径方向内側と径方向外側との各位置で厚さ寸法（周方向寸法）を異ならせ、径方向外側の方が、周方向寸法が大きくなるように構成されているとよい（図１００参照）。つまり、周方向に隣り合う異相どうしの各中間導線部７４６の離間距離が、径方向外側と径方向内側とで異なっている構成であるとよい。これにより、径方向内側と径方向外側とで円周長さが異なることを加味しつつ、周方向に並ぶ各中間導線部７４６を適正に配置することができる。なお、図１００において、第３壁部７５３及び樹脂層７５５が周方向の絶縁部に相当する。

【０５７３】

樹脂モールドに代えて、収容部７５４内においてワニスを含む接着剤が含浸されることで部分巻線７４１Ａが固められていてもよい。また、樹脂モールドとワニスの含浸との両方が行われていてもよい。また、導線７４３が、絶縁被膜により導体が覆われた被覆導線である場合に、その絶縁被膜の自己溶着により導線７４３どうしを互いに固着（接合）させる構成としてもよい。ただし、収容部７５４内に樹脂材料等が充填されていない構成、すなわち空き領域ＳＺが空間領域として設けられている構成であってもよい。

【０５７４】

コイルモジュール７４０Ａは、筒状の固定子コア７３２に対して径方向外側から組み付けられるものであり、固定子コア７３２側である第１壁部７５１は、固定子コア７３２の外周面と同じ曲率で円弧面に形成されている。これにより、固定子コア７３２に対するコイルモジュール７４０Ａの密着性が高められている。反固定子コア側である第２壁部７５２については、直線状、円弧状のいずれにすることも任意であるが、本例では、第１壁部７５１と同心の円弧状に形成されている。

【０５７５】

また、コイルモジュール７４０Ａは、曲がり部７４５を径方向外側にして固定子コア７３２に組み付けられるものであり、第２壁部７５２の側（すなわち第１壁部７５１の反対側）に曲がり部７４５を有している。またこの場合、一対の直線部７４４において２つの

第２壁部７５２を含む周方向距離は、２つの第１壁部７５１を含む周方向距離よりも長くなっており、その長い方の周方向距離と同じ寸法で、径方向外側となる曲がり部７４５が設けられている。

【０５７６】

また、図８７（ｄ）に示すように、コイルモジュール７４０Ａの一対の直線部７４４において、コイルサイドＣＳとコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２との境界部ＢＤ付近には、曲がり部７４５とは逆側、すなわち径方向内側（固定子コア７３２側）に突出する突出部７５６が上下２箇所に設けられている。巻線ホルダ７４２Ａでは、第１渡り部７４７側のコイルエンドＣＥ１であって、かつ境界部ＢＤの軸方向外側となる位置に突出部７５６が設けられるとともに、第２渡り部７４８側のコイルエンドＣＥ２であって、かつ境界部ＢＤの軸方向外側となる位置に突出部７５６が設けられている。

【０５７７】

換言すれば、コイルモジュール７４０Ａにおいて、第１壁部７５１は、固定子コア７３２の軸方向端面よりも軸方向外側に延びる部分（ヨーク外部分）を有しており、その部分に、固定子コア７３２との周方向の対向面よりも固定子コア７３２側に突出する突出部７５６が一体成形されている。突出部７５６は、例えば樹脂材料の射出成形により第１壁部７５１と同時に成形される。

【０５７８】

コイルモジュール７４０Ａの横断面で見ると、図８８（ｂ）に示すように、固定子コア７３２側である第１壁部７５１から突出するようにして突出部７５６が設けられている。突出部７５６は、第１壁部７５１の周方向一端から周方向他端までの範囲で片側に傾斜する傾斜面７５６ａを有する構成となっている。本例では、左右一対の直線部７４４において第１壁部７５１の内側端部（周方向内側）が高くなるようにして突出部７５６が形成されている。ただし、図８８（ｂ）に示す構成とは異なり、左右一対の直線部７４４において第１壁部７５１の外側端部（周方向外側）が高くなるようにして突出部７５６が形成されていてもよい。

【０５７９】

次に、コイルモジュール７４０Ｂについて説明する。

【０５８０】

コイルモジュール７４０Ｂは、曲がり部７４５の延びる径方向の向きがコイルモジュール７４０Ａとは異なっており、それによる構成の違いがあるものの、基本構成はコイルモジュール７４０Ａと同じであるため、ここでは、コイルモジュール７４０Ａとの相違点を中心に説明する。

【０５８１】

図８９（ａ）は、コイルモジュール７４０Ｂの斜視図であり、図８９（ｂ）は、コイルモジュール７４０Ｂの側面図である。また、図９０（ａ），（ｂ）は、コイルモジュール７４０Ｂの横断面を示す断面図であり、図９０（ａ）は、図８９（ｂ）の９０Ａ－９０Ａ線断面図、図９０（ｂ）は、図８９（ｂ）の９０Ｂ－９０Ｂ線断面図である。なお、図８９（ｂ）では、コイルモジュール７４０Ｂの左側が固定子コア７３２側であり、図９０（ａ），（ｂ）では、コイルモジュール７４０Ｂの下側が固定子コア７３２側である。

【０５８２】

コイルモジュール７４０Ｂは、導線７４３を多重巻にして構成された部分巻線７４１Ｂと、その部分巻線７４１Ｂに一体に設けられた絶縁性の巻線ホルダ７４２Ｂとを有している。また、コイルモジュール７４０Ｂは、軸方向に互いに平行に延びる一対の直線部７４４を有するとともに、軸方向両側の一端側に、軸方向に対して直交する向きに延びる曲がり部７４５を有し、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっている。

【０５８３】

部分巻線７４１Ｂの構成は、基本的に部分巻線７４１Ａと同じである。すなわち、部分巻線７４１Ｂは、部分巻線７４１Ａと同様に、互いに平行でかつ直線状に設けられる一対の中間導線部７４６と、一対の中間導線部７４６を軸方向一端側で接続する第１渡り部７

４７と、一対の中間導線部７４６を軸方向他端側で接続する第２渡り部７４８を有しており、これら一対の中間導線部７４６、第１渡り部７４７及び第２渡り部７４８により環状に形成されている。

【０５８４】

ただし、コイルモジュール７４０Ａとコイルモジュール７４０Ｂとでは、固定子コア７３２に組み付けられた状態での曲がり部７４５の延びる向きが異なり、かつ軸方向の向きが互いに逆向きとなっている。これにより、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂでは構成の相違が生じている。

【０５８５】

部分巻線７４１Ｂでは、第１渡り部７４７（部分巻線７４１ＢにおいてコイルエンドＣＥ２側の第１渡り部７４７）に、径方向内側に曲がっている内曲がり部Ｙ２が設けられている。部分巻線７４１Ｂは、コイルエンドＣＥ２側に内曲がり部Ｙ２が設けられ、かつコイルエンドＣＥ１側では径方向に曲げられていない構成となっている。

【０５８６】

部分巻線７４１Ｂでは、第２渡り部７４８の側から、詳しくは曲がり部７４５とは逆側の先端から巻線端部７４３ａ，７４３ｂが引き出されている。これにより、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが固定子コア７３２に組み付けられた状態において、軸方向の同じ側（コイルエンドＣＥ１側）に巻線端部７４３ａ，７４３ｂが引き出されるようになっている。

【０５８７】

また、図９０（ａ）に示すように、巻線ホルダ７４２Ｂは、巻線ホルダ７４２Ａの構成と同様に、固定子コア７３２側となる第１壁部７５１と、反固定子コア側となる第２壁部７５２と、それら第１壁部７５１及び第２壁部７５２を繋ぐ第３壁部７５３とを有している。また、巻線ホルダ７４２Ｂでは、巻線ホルダ７４２Ａの構成とは異なり、一対の直線部７４４において、第１壁部７５１が曲がり部７４５側の壁部（軸方向内側の壁部）となり、第２壁部７５２が曲がり部７４５とは反対側の壁部（軸方向外側の壁部）となっている。

【０５８８】

コイルモジュール７４０Ｂは、曲がり部７４５を径方向内側にして固定子コア７３２に組み付けられるものであり、第１壁部７５１の側に曲がり部７４５を有している。この場合、一対の直線部７４４において２つの第１壁部７５１を含む周方向距離は、２つの第２壁部７５２を含む周方向距離よりも短くなっており、その短い方の周方向距離と同じ寸法で、径方向内側となる曲がり部７４５が設けられている。

【０５８９】

また、図８９（ｂ）に示すように、コイルモジュール７４０Ｂの一対の直線部７４４において、コイルサイドＣＳとコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２との境界部ＢＤ付近には、曲がり部７４５側、すなわち径方向内側（固定子コア７３２側）に突出する突出部７５６が上下２箇所に設けられている。巻線ホルダ７４２では、突出部７５６が、第１渡り部７４７側のコイルエンドＣＥ２であって、かつ境界部ＢＤの軸方向外側となる位置に設けられるとともに、第２渡り部７４８側のコイルエンドＣＥ１であって、かつ境界部ＢＤの軸方向外側となる位置に設けられている。突出部７５６の構成も、巻線ホルダ７４２Ａと同様である（図９０（ｂ）参照）。

【０５９０】

コイルモジュール７４０の製造方法を説明する。ここではコイルモジュール７４０Ａの製造方法を説明するが、コイルモジュール７４０Ｂについても同様である。まず、部分巻線７４１Ａを空芯巻コイルとして作製する。具体的には、治具を用いて導線７４３を多重に巻回させ、空芯巻コイルとして、図８７（ｂ）に示す形状の部分巻線７４１Ａを作製する。そして、部分巻線７４１Ａの作製後、部分巻線７４１Ａに対して巻線ホルダ７４２Ａを組み付ける。このとき、巻線ホルダ７４２Ａは、複数に分割された状態で個々に部分巻線７４１Ａに対して組み付けられるとよい。巻線ホルダ７４２Ａは、径方向又は軸方向に

２つ又は３つに分割可能になっているとよい。
【０５９１】
なお、巻線ホルダ７４２Ａに対して導線７４３を多重に巻回することで、コイルモジュール７４０Ａを作製することも可能である。巻線ホルダ７４２Ａにおいて、部分巻線７４１Ａを収容する収容部７５４の内周面に、導線７４３を案内する突起又は溝を設けてもよい。部分巻線７４１Ａがほどけないように外側の導線７４３で縛る構成であってもよい。
【０５９２】
そして、部分巻線７４１Ａを一体化した巻線ホルダ７４２Ａにおいて、収容部７５４内に樹脂を充填する。これにより、収容部７５４内に樹脂層７５５が形成される。
【０５９３】
次に、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを組み付けた状態について説明する。
【０５９４】
図９１は、固定子７３０の縦断面を示す断面図であり、図９２は、固定子７３０の横断面を示す断面図であり、図９３は、固定子コア７３２及びエンドリング７３３とコイルモジュール７４０Ａとを互いに分離して示す断面図である。なお、図９２は、図９１の９２－９２線断面図である。
【０５９５】
図９１に示すように、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂは、それぞれの曲がり部７４５が軸方向に互いに逆となり、かつ曲がりの向きが径方向に互いに逆となるようにして、固定子コア７３２に組み付けられている。この場合、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおける曲がり部７４５の位置及び向きにより、周方向に隣り合うコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂどうしの干渉が回避されるようになっている。部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂで言えば、部分巻線７４１Ａに外曲がり部Ｙ１が設けられるとともに、部分巻線７４１Ｂに内曲がり部Ｙ２が設けられていることにより、周方向に隣り合う部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂどうしの干渉が回避されるようになっている。外曲がり部Ｙ１及び内曲がり部Ｙ２が干渉回避部に相当する。
【０５９６】
図８５を併せ用いて補足すると、コイルエンドＣＥ１側では、コイルモジュール７４０Ａ（部分巻線７４１Ａにおける第１渡り部７４７）の軸方向外側に、コイルモジュール７４０Ｂ（部分巻線７４１Ｂの第２渡り部７４８が位置する。また、コイルエンドＣＥ２側では、コイルモジュール７４０Ｂ（部分巻線７４１Ｂにおける第１渡り部７４７）の軸方向外側に、コイルモジュール７４０Ａ（部分巻線７４１Ａの第２渡り部７４８）が位置するようにしつつ、各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂが周方向に並べて配置されている。これにより、各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂが、互いの干渉を回避しつつ周方向に適正に配置され、体格の小型化が可能となっている。
【０５９７】
また、図９１に示すように、固定子コア７３２の軸方向両端にはエンドリング７３３が設けられており、そのエンドリング７３３に対して上下２箇所の突出部７５６がそれぞれ係合した状態で、固定子コア７３２にコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが組み付けられている。ここで、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６は、固定子コア７３２の軸方向端面（図の上側端面、下側端面）に軸方向に重なる状態で突出している。これにより、固定子コア７３２は、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおける一対の突出部７５６により軸方向に挟まれた状態（すなわち軸方向に押圧された状態）となっている。この場合、固定子コア７３２は複数のコアシート７３２ａが軸方向に積層されて構成されており、そのコアシート７３２ａの積層方向で、一対の突出部７５６により固定子コア７３２が挟まれた状態となっている。これにより、コアシート７３２ａどうしの間の隙間が拡がってしまい、固定子コア７３２の軸長寸法が意図せず大きくなるといった不都合が抑制されるようになっている。一対の突出部７５６は、固定子コア７３２の軸方向端面を軸方向外側から軸方向に押圧する押圧部として機能する。

【０５９８】
なお、固定子コア７３２には、径方向内側（すなわち径方向内外のうちコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂとは逆側）に、突出部７５６とは別に、複数のコアシート７３２ａの積層状態を保持するための積層保持構造が設けられているとよい。図９１では、太破線で示すＱ位置に積層保持構造が設けられている。積層保持構造としては、コアシート７３２ａの溶接による接合、コアシート７３２ａのカシメによる接合、接着剤（ワニスを含む）による接合、固定子コア７３２の径方向内側に圧入により組み付けられる外筒部材７７２（筒状部材）の摩擦力による積層保持などが考えられる。径方向内側に積層保持構造が設けられることにより、固定子コア７３２の軸長寸法の縮小化をより一層適正に実現できる。

【０５９９】
コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの外周側には拘束リング７６０が取り付けられている。この拘束リング７６０の拘束により、突出部７５６がエンドリング７３３に係合する向きにコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが押圧された状態となっている。特に、エンドリング７３３及び突出部７５６の係合部分に対して軸方向に重複する位置に拘束リング７６０が設けられていることで、エンドリング７３３及び突出部７５６の係合状態がより確実に保持されるものとなっている。

【０６００】
拘束リング７６０は、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの径方向外側、すなわち回転子７１０の磁石７２２との対向面側に設けられている。そのため、回転子７１０側との干渉を避けるには、拘束リング７６０は径方向の厚さが極力薄くなっていることが望ましい。また、軸方向においてコイルサイドＣＳとなる領域には設けず、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２となる領域に設ける構成としてもよい。この場合、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２となる範囲であり、かつコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの径方向外側となる位置に拘束リング７６０が設けられるとよい。ただし、拘束リング７６０が設けられる位置及び拘束リング７６０の数は任意である。

【０６０１】
拘束リング７６０は、巻線ホルダ７４２の第２壁部７５２の外側に取り付けられている。つまり、拘束リング７６０は、巻線ホルダ７４２には接触するが、部分巻線７４１には接触しない構成となっている。これにより、例えば固定強度を高めるべく金属製の拘束リング７６０を用いた構成にあっても、部分巻線７４１の絶縁性の低下を抑制できるものとなっている。

【０６０２】
また、図９２及び図９３に示すように、エンドリング７３３の係合面７３４には、突出部７５６の傾斜面７５６ａが当接している。なお、エンドリング７３３の係合面７３４が第１係合部に相当し、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６が第２係合部に相当する。また、傾斜面７５６ａが被係合面に相当する。この場合、エンドリング７３３には、傾斜方向が互い違いとなるようにして複数の係合面７３４が周方向に連続して設けられており、周方向に隣り合う２つの係合面７３４により凹部７３５が形成されている（図９３参照）。そして、この凹部７３５に、２つのコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの１つずつの突出部７５６が入り込むようになっている。１つの凹部７３５に入り込む２つの突出部７５６は、それぞれ突出部７５６の頂部が凹部７３５の底に到達している。これにより、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおける第３壁部７５３どうしが周方向に当接した状態となっている。また、周方向に隣り合う２つの係合面７３４により形成された頂部では、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの第１壁部７５１どうし及び第２壁部７５２どうしがそれぞれ周方向に当接又は近接した状態となっている。

【０６０３】
上記構成では、２つのコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの各突出部７５６は、凹部７３５を形成する２つの係合面７３４により周方向に互いに近づく方向に案内される。これにより、周方向に隣り合う２つの部分巻線７４１についてがたつきを抑制し、ひいては

振動や電磁力による固定子巻線７３１の位置ずれを好適に抑制できる。また、中間導線部７４６どうしの隙間を縮小化することが可能となるため、占積率の向上を期待できる。

【０６０４】

また、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂは、周方向に離れた２箇所の第１壁部７５１にそれぞれ突出部７５６を有し、その２箇所の突出部７５６は、エンドリング７３３において傾斜の向きが互いに逆となる２つの係合面７３４にそれぞれ当接している。この場合、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおいて、各々２つの突出部７５６がエンドリング７３３の係合面７３４側に係合することで、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの周方向の位置ずれを一層生じにくくすることができる。

【０６０５】

また、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの径方向外側に拘束リング７６０が取り付けられた構成では、エンドリング７３３の係合面７３４に対して、突出部７５６の傾斜面７５６ａが押圧状態で当接することになる。これにより、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂをより強固に固定できる。

【０６０６】

各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが周方向に並べて配置された状態では、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの直線部７４４において、収容部７５４に収容された部分巻線７４１が周方向に互いに所定間隔ずつ離れた位置に配置されている。より詳しくは、周方向に隣り合う各部分巻線７４１は、巻線ホルダ７４２の第３壁部７５３により互いに隔離されているか、又は巻線ホルダ７４２の収容部７５４内の空き領域ＳＺにより互いに隔離されている。これにより、周方向に隣り合う異相の部分巻線７４１どうしの絶縁性が確保されている。

【０６０７】

周方向に隣り合う異相の部分巻線７４１の間には、２つの第３壁部７５３が介在している。この場合、第３壁部７５３を２枚重ねとすることで、固定子巻線７３１での絶縁性が一層高められている。又は、周方向に隣り合う異相の部分巻線７４１の間には、２つの空き領域ＳＺが介在している。この場合、収容部７５４内の空き領域ＳＺが周方向に連続していること、さらに言えばそれら空き領域ＳＺが樹脂モールドされていることで、固定子巻線７３１での絶縁性が一層高められている。つまり、図示の構成では、周方向に隣り合う中間導線部７４６どうしの間に、異なる巻線ホルダ７４２の第３壁部７５３が周方向に連続して設けられるか、異なる巻線ホルダ７４２のはみ出し部７５１ａ，７５２ａが周方向に連続して設けられている。

【０６０８】

第３壁部７５３の厚さ寸法Ｔ１３（図８８（ａ）参照）に関して、第３壁部７５３の２枚分の厚さ寸法Ｔ１３（すなわち、２×Ｔ１３）が第１壁部７５１の厚さ寸法Ｔ１１よりも大きいとよい。すなわち、２×Ｔ１３＞Ｔ１１であるとよい。この場合、周方向に並ぶ中間導線部７４６どうしの間において、固定子コア７３２と中間導線部７４６との間よりも大きい電位差が生じても、適切な相間絶縁が実施となっている。

【０６０９】

各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおける径方向及び周方向の絶縁構造について補足する。コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおいて、第１壁部７５１及び第２壁部７５２は、部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの中間導線部７４６の周方向両側のうち一方側に第３壁部７５３を有するとともに、他方側にはみ出し部７５１ａ，７５２ａを有している。また、第１壁部７５１及び第２壁部７５２において、第３壁部７５３が接続される部分及びはみ出し部７５１ａ，７５２ａは、それぞれ中間導線部７４６よりも周方向に延びる延長部に相当し、周方向に隣り合う中間導線部７４６どうしの間において、異なるコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの延長部が周方向に対向して設けられている。この場合、周方向に隣り合う中間導線部７４６は、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおける第１壁部７５１の延長部により互いに離間されることで、相互の絶縁性が確保される。これにより、中間導線部７４６において径方向の固定子コア７３２との絶縁に加え、周方向

の相間絶縁も好適に実現できる。
【０６１０】
本例では特に、周方向に並ぶ各中間導線部７４６の周方向一方側において、異なるコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの第３壁部７５３が周方向に互いに対向させた状態で設けられるとともに、周方向に並ぶ各中間導線部７４６の周方向他方側において、第３壁部７５３が無くはみ出し部７５１ａ，７５２ａによる離間がなされている。この場合、径方向に並ぶ固定子コア７３２と中間導線部７４６との間には、１つの第１壁部７５１が設けられる一方、周方向に並ぶ中間導線部７４６の間には、２つの第３壁部７５３が設けられているため、周方向に並ぶ中間導線部７４６どうしの間に、固定子コア７３２と中間導線部７４６との間よりも大きい電位差が生じることを考慮しつつ適切な相間絶縁を実施できる。
【０６１１】
なお、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを組み付けた状態において、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６とエンドリング７３３とはワニス等の接着剤により互いに固定されているとよい。また、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６とエンドリング７３３との間に合成樹脂やワニスを充填することで、がたつきを抑制するようにしてもよい。
【０６１２】
複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂは、多重巻された状態の導体断面積と多重巻の巻回数が同じであるとよい。この場合、各相の相巻線において、並列回路を構成する各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの鎖交磁束を均一化することができる。これにより、各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂにおける相互の電位差を無くすことができ、並列回路内での循環電流の発生を抑制できる。また、循環電流の発生に伴うモータ効率の低下や熱定格性能の低下を抑制できる。
【０６１３】
また、複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂは、渡り部７４７，７４８を含めて同一の形状であるため、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２での漏れ磁束まで含めて鎖交磁束を均一化することができる。これにより、やはり各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂでの電位差を無くし、並列回路内の循環電流を抑制できる。
【０６１４】
固定子７３０は、以下の（Ａ）～（Ｃ）のいずれかを用いたものであるとよい。
（Ａ）固定子７３０において、周方向における各導線部（中間導線部７４６）の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、１磁極における導線間部材の周方向の幅寸法をＷｔ、導線間部材の飽和磁束密度をＢｓ、１磁極における磁石７２２の周方向の幅寸法をＷｍ、磁石７２２の残留磁束密度をＢｒとした場合に、Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒの関係となる磁性材料を用いている。
（Ｂ）固定子７３０において、周方向における各導線部（中間導線部７４６）の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、非磁性材料を用いている。
（Ｃ）固定子７３０において、周方向における各導線部（中間導線部７４６）の間に導線間部材を設けていない構成となっている。
【０６１５】
次に、インナユニット７７０について説明する。
【０６１６】
図９４及び図９５は、インナユニット７７０の縦断面図である。なお、図９５には、インナユニット７７０に、回転軸７０１を支持する軸受７９１，７９２を組み付けた状態を示している。便宜上、以下の説明では、軸受７９１を第１軸受７９１、軸受７９２を第２軸受７９２とも称する。第１軸受７９１は、回転軸７０１の軸方向において基端側、すなわち連結軸７０５側に設けられた軸受であり、第２軸受７９２は、回転軸７０１の先端側に設けられた軸受である。
【０６１７】

インナユニット７７０は、インナハウジング７７１を有している。インナハウジング７７１は、円筒状をなす外筒部材７７２と、外周径が外筒部材７７２よりも小径の円筒状をなし、外筒部材７７２の径方向内側に配置される内筒部材７７３と、これら外筒部材７７２及び内筒部材７７３の軸方向一端側に固定される略円板状の端板７７４とを有している。これら各部材７７２～７７４は、導電性材料により構成されているとよく、例えば炭素繊維強化プラスチック（ＣＦＲＰ）により構成されている。外筒部材７７２と端板７７４とは同一の外形寸法を有しており、これら外筒部材７７２及び端板７７４により形成された空間内に内筒部材７７３が設けられている。内筒部材７７３は、ボルト等の締結具７７５により外筒部材７７２及び端板７７４に対してそれぞれ固定されている。

【０６１８】

インナハウジング７７１の外筒部材７７２の径方向外側には固定子コア７３２が固定される。これにより、固定子７３０とインナユニット７７０とが一体化されるようになっている。

【０６１９】

外筒部材７７２及び内筒部材７７３の間には、冷却水等の冷媒を流通させる冷媒通路７７７が形成されている。冷媒通路７７７は、インナハウジング７７１の周方向に環状に設けられている。図示は省略するが、冷媒通路７７７には冷媒配管が接続されており、その冷媒配管から流入する冷媒が冷媒通路７７７内で熱交換した後、再び冷媒配管に流出するようになっている。

【０６２０】

内筒部材７７３の径方向内側には環状空間が形成されており、その環状空間に、例えば電力変換器としてのインバータを構成する電気部品が配置されるとよい。電気部品は、例えば半導体スイッチング素子やコンデンサをパッケージ化した電気モジュールである。内筒部材７７３に当接した状態で電気モジュールを配置することにより、冷媒通路７７７を流れる冷媒により電気モジュールが冷却されるようになっている。

【０６２１】

外筒部材７７２は、内筒部材７７３よりも径方向内側に円筒状のボス部７８０を有している。ボス部７８０は、中空筒状に設けられており、その中空部に回転軸７０１が挿通されるようになっている。ボス部７８０は、軸受７９１，７９２を保持する軸受保持部となっており、その中空部に軸受７９１，７９２が固定されている（図９５参照）。軸受７９１，７９２は、例えば、筒状の内輪と、内輪の径方向外側に配置された筒状の外輪と、それら内輪及び外輪の間に配置された複数の玉とを有するラジアル玉軸受であり、外輪がボス部７８０に固定されることで、インナユニット７７０に組み付けられている。

【０６２２】

ボス部７８０の中空部には、第１軸受７９１を固定する第１固定部７８１と、第２軸受７９２を固定する第２固定部７８２とが設けられている。第１軸受７９１及び第２軸受７９２は、回転子７１０の振動や遠心荷重を考慮して、回転軸７０１における支持位置に応じて体格が異なっており、回転軸７０１の基端側を支持する第１軸受７９１の方が大きいサイズの軸受、すなわち支持荷重の大きい軸受となっている。そのため、第１固定部７８１は、第２固定部７８２に比べて大径に形成されている。

【０６２３】

また、第１軸受７９１と第２軸受７９２とを比べると、第１軸受７９１は、第２軸受７９２に比べて径方向の内部隙間、すなわちラジアル隙間が大きいものとなっている。なお、ラジアル隙間は、軸受の内輪と外輪と玉との軸方向の遊び量である。ここで、第１軸受７９１は、第２軸受７９２に比べて回転子７１０の振動や遠心荷重を受けやすい軸受であり、その第１軸受７９１のラジアル隙間を大きくすることにより、荷重吸収の効果が高められる。これにより、回転軸７０１の基端部側においてボス部７８０に作用する荷重が低減され、回転軸７０１の先端側における振れが抑制されるようになっている。

【０６２４】

第１固定部７８１は、ボス部７８０において軸方向に平行な平行面７８１ａと、軸方向

に直交する直交面７８１ｂとにより形成されており、これら各面に当接した状態で第１軸受７９１が固定されている。また、第２固定部７８２は、ボス部７８０において軸方向に平行な平行面７８２ａと、軸方向に直交する直交面７８２ｂとにより形成されており、これら各面に当接した状態で第２軸受７９２が固定されている。

【０６２５】

また、ボス部７８０の中空部には、第１固定部７８１と第２固定部７８２とのうち第２固定部７８２の側に、回転センサとしてのレゾルバ８００を固定する第３固定部７８３が設けられている。第３固定部７８３は、第２固定部７８２を段差状に拡径させることで形成されている。

【０６２６】

図７７に示すように、レゾルバ８００は、回転軸７０１に固定されるレゾルバロータ８０１と、そのレゾルバロータ８０１の径方向外側に対向配置されたレゾルバステータ８０２とを備えている。レゾルバロータ８０１は、円板リング状をなしており、回転軸７０１を挿通させた状態で、回転軸７０１に同軸に設けられている。レゾルバステータ８０２は、不図示のステータコアとステータコイルとを有し、ボス部７８０の第３固定部７８３に固定されている。

【０６２７】

図９４に示すように、ボス部７８０の中空部には、軸方向において第１固定部７８１と第２固定部７８２との間となる位置に、これら各固定部７８１，７８２よりも小径の縮径部７８４，７８５が設けられている。縮径部７８４は第１固定部７８１よりも径の小さい孔であり、縮径部７８５は第２固定部７８２よりも径の小さい孔である。また、レゾルバ８００を固定する第３固定部７８３は、第２固定部７８２よりも軸方向外側となる位置、換言すれば回転軸７０１の先端側となる位置に、第２固定部７８２よりも拡径された部位として設けられている。第２固定部７８２と第３固定部７８３とは、軸方向に隣り合う位置に設けられている。

【０６２８】

この場合、外筒部材７７２において中ぐり加工等により孔加工を行う際に、第２固定部７８２と第３固定部７８３とを同一方向から同軸で連続加工することが可能となる。そのため、第２固定部７８２に固定される第２軸受７９２と第３固定部７８３に固定されるレゾルバステータ８０２との同軸度が高められ、ひいてはレゾルバロータ８０１とレゾルバステータ８０２との同軸度が高められることとなる。この場合、レゾルバロータ８０１に対するレゾルバステータ８０２の振れが低減され、ひいてはレゾルバ８００における角度検出誤差が低減される。

【０６２９】

次に、バスバーモジュール８１０について説明する。バスバーモジュール８１０は、固定子巻線７３１において各コイルモジュール７４０の部分巻線７４１に電気的に接続され、各相の部分巻線７４１の一端を相ごとに並列接続するとともに、それら各部分巻線７４１の他端を中性点で接続する巻線接続部材である。図９６は、バスバーモジュール８１０の斜視図であり、図９７は、バスバーモジュール８１０の縦断面の一部を示す断面図である。

【０６３０】

バスバーモジュール８１０は、円環状をなす環状部８１１と、その環状部８１１から延びる複数の接続端子８１２と、相巻線ごとに設けられる３つの入出力端子８１３と、各相の電流センサに接続される電流検出端子８１４とを有している。

【０６３１】

図９７に示すように、環状部８１１は、例えば樹脂等の絶縁部材により円環状に形成されており、その内部に埋設された状態で複数のバスバー８２１～８２４が設けられている。各バスバー８２１～８２４は、Ｕ相用のバスバー８２１と、Ｖ相用のバスバー８２２と、Ｗ相用のバスバー８２３と、中性点用のバスバー８２４とからなり、板面を対向させるようにして軸方向に並べて配置されている。そして、各バスバー８２１～８２４に、それ

ぞれ環状部８１１から径方向外側に突出させるようにして接続端子８１２が接続されている。図９６に示すように、各接続端子８１２は、環状部８１１の周方向に並び、かつ径方向外側において軸方向に延びるように設けられている。

【０６３２】

図９８には、各バスバー８２１～８２４に対する接続端子８１２の接続位置を略図として示している。図９８において、左右方向が環状部８１１の周方向に相当する。また、図９８において、ＵはＵ相巻線に接続される接続端子８１２を示し、ＶはＶ相巻線に接続される接続端子８１２を示し、ＷはＷ相巻線に接続される接続端子８１２を示し、ＮＥは中性点に接続される接続端子８１２を示す。

【０６３３】

図９８に示すように、中性点に接続される接続端子８１２（ＮＥ）は周方向に１つ置きに配置され、その間に、Ｕ相巻線に接続される接続端子８１２（Ｕ）、Ｖ相巻線に接続される接続端子８１２（Ｖ）、Ｗ相巻線に接続される接続端子８１２（Ｗ）が１つずつ配置されている。これらの接続端子８１２は、コイルモジュール７４０における各部分巻線７４１の巻線端部７４３ａ，７４３ｂと同数で設けられており、接続端子８１２と巻線端部７４３ａ，７４３ｂとが１つずつ接続されるようになっている。なお、接続端子８１２と巻線端部７４３ａ，７４３ｂとの少なくともいずれかが、必要に応じて径方向に折り曲げられるか又は湾曲されて互いに接触され、その接触状態で、溶接や接着等による接合が行われるとよい。

【０６３４】

また、環状部８１１は、内周側に複数の被固定部８１５を有しており、その被固定部８１５にボルト等の締結具が組み付けられることで、インナハウジング７７１の端板７７４にバスバーモジュール８１０が固定されるようになっている。

【０６３５】

入出力端子８１３は、Ｕ相用の入出力端子８１３Ｕ、Ｖ相用の入出力端子８１３Ｖ及びＷ相用の入出力端子８１３Ｗであり、これらは、環状部８１１内において相ごとにバスバー８２１～８２３にそれぞれ接続されている。これらの各入出力端子８１３を通じて、固定子巻線７３１の各相の相巻線に対して、不図示のインバータから電力の入出力が行われるようになっている。

【０６３６】

また、環状部８１１には、相ごとに電流センサ８１６が設けられており、電流検出端子８１４を通じて、電流センサ８１６の検出結果が不図示の制御装置に対して出力されるようになっている。

【０６３７】

上記構成の回転電機７００では、固定子７３０において、周方向に所定間隔で配置される導線部（中間導線部７４６）の間に導線間部材（いわゆるティース）が設けられていないか、又は導線間部材が設けられていても磁気的に脆弱な構成となっている。そのため、回転子７１０にて生じる磁石磁束が固定子巻線７３１の導線部に直接鎖交し、銅渦損の増加に伴うモータ効率の低下や熱定格性能の低下が懸念される。特に、上記のとおり配向による磁束密度の強化が図られている構成においては、銅渦損の影響がより顕著に生じることが懸念される。

【０６３８】

この点、上記構成では、固定子巻線７３１において、部分巻線７４１を、周方向に離して設けられた同相の導線部間で導線７４３を多重に巻回して構成した。また、各相の相巻線を、複数の部分巻線７４１どうしを並列接続することで構成した。これにより、固定子巻線７３１において導線１本あたりの断面積の細分化が可能となり、銅渦損の発生を抑制でき、ひいては、モータ効率の向上や熱定格性能の向上を図ることができる。

【０６３９】

また、磁極の極数をＰ、１相当たりの部分巻線７４１Ａの数及び部分巻線７４１Ｂの数を各々Ｎ個とした場合に、極数Ｐが４×Ｎであり、相巻線では、相ごとにＮ個の部分巻線

７４１ＡとＮ個の部分巻線７４１Ｂとが全て並列接続されている。本例において具体的には、１相当たりの部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの数（Ｎ）は、それぞれ６であり、極数Ｐは２４である。例えば図８４には、３相のうち１相のコイルモジュール７４０が示されており、部分巻線７４１Ａを備えるコイルモジュール７４０Ａとして６個のコイルモジュール７４０Ａと、部分巻線７４１Ｂを備えるコイルモジュール７４０Ｂとして６個のコイルモジュール７４０Ｂとが示されている。各相巻線では、相ごとに６個の部分巻線７４１Ａと６個の部分巻線７４１Ｂとが全て並列接続されている。

【０６４０】

図８６で言えば、Ｕ、Ｖ、Ｗの各相の相巻線において、部分巻線７４１の並列数がいずれも１２となっている。この場合、相ごとに全ての部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂを並列接続することにより、固定子巻線７３１での各導線の断面積の最小化が可能となり、銅渦損のより一層の低減を図ることができる。

【０６４１】

（変形例１６）

本変形例では、回転電機７００における固定子巻線７３１の構成を変更している。すなわち、本例では、固定子巻線７３１において、上述したコイルモジュール７４０に代えて、図１０１や図１０３に示すコイルモジュール８５０を用いる構成としている。以下においては、変形例１５との相違点を主に説明する。なお、変形例１５との共通の構成については同じ部材番号を付し、その説明を省略する。

【０６４２】

本例のコイルモジュール８５０は、部分巻線７４１が巻線ホルダ７４２に一体化される構成に代えて、部分巻線７４１が、絶縁材料である合成樹脂により被覆される構成となっている。つまり、コイルモジュール８５０は、空芯巻コイルである部分巻線７４１が樹脂モールドされることで成形されている。コイルモジュール８５０は、コイルモジュール７４０と同様、固定子コア７３２に対してその径方向外側に周方向に並べられるようにして組み付けられる。例えば図８２において、図中のコイルモジュール７４０をコイルモジュール８５０に置き換えたものが、コイルモジュール８５０を用いた固定子７３０の構成に相当する。

【０６４３】

本例のコイルモジュール８５０においても、コイルモジュール７４０と同様に、２種類のコイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂを有しており、ここではまず、コイルモジュール８５０Ａとコイルモジュール８５０Ｂとのうちコイルモジュール８５０Ａについて説明する。なお、コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂでは、部分巻線７４１として、コイルモジュール７４０Ａに用いられる部分巻線７４１Ａ、コイルモジュール７４０Ｂに用いられる部分巻線７４１Ｂをそれぞれ用いることとしており、ここでは、同じ符号を付すとともに説明を適宜割愛する。

【０６４４】

図１０１（ａ）は、コイルモジュール８５０Ａの斜視図であり、図１０１（ｂ）は、コイルモジュール８５０Ａの内部を示す縦断面図である。また、図１０２（ａ），（ｂ）は、コイルモジュール８５０Ａの横断面を示す断面図であり、図１０２（ａ）は、図１０１（ｂ）の１０２Ａ－１０２Ａ線断面図、図１０２（ｂ）は、図１０１（ｂ）の１０２Ｂ－１０２Ｂ線断面図である。なお、図１０１（ｂ）では、コイルモジュール８５０Ａの左側が固定子コア７３２側であり、図１０２（ａ），（ｂ）では、コイルモジュール８５０Ａの下側が固定子コア７３２側である。

【０６４５】

コイルモジュール８５０Ａは、コイルモジュール７４０Ａと略同じ形状を有しており、軸方向が長手となる長尺環状に形成されている。コイルモジュール８５０Ａは、軸方向に互いに平行に延びる一対の直線部８５１を有するとともに、軸方向両側の一端側に、軸方向に対して直交する向きに延びる曲がり部８５２を有している。これにより、コイルモジュール８５０Ａは、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっている。コイルモジュー

ル８５０Ａの一対の直線部８５１及び曲がり部８５２に、部分巻線７４１Ａが埋設されている。部分巻線７４１Ａの第１渡り部７４７及び第２渡り部７４８のうち第１渡り部７４７には、コイルモジュール８５０Ａの曲がり部８５２に対応する部分として、径方向外側に曲がっている外曲がり部Ｙ１が設けられている。

【０６４６】

図１０２（ａ）に示すように、コイルモジュール８５０Ａは、部分巻線７４１Ａの横断面において、部分巻線７４１Ａを四方から囲むように設けられており、固定子コア７３２側となる第１壁部８６１と、反固定子コア側となる第２壁部８６２と、それら第１壁部８６１及び第２壁部８６２を繋ぐ第３壁部８６３とを有している。第３壁部８６３は、周方向において部分巻線７４１Ａを両側から挟む２つの壁部よりなる。第１壁部８６１がバックヨーク側絶縁壁であり、第２壁部８６２が反バックヨーク側絶縁壁であり、第３壁部８６３が周方向絶縁壁である。第３壁部８６３は、固定子コア７３２の円中心に向かって延びる向きで設けられている。なお、第１壁部８６１及び第２壁部８６２は、部分巻線７４１Ａの中間導線部７４６よりも周方向に延びる部分（延長部に相当）を有しており、その部分から径方向に延びるように第３壁部８６３が形成されている。

【０６４７】

コイルモジュール８５０Ａにおいて部分巻線７４１Ａはその周囲が絶縁材料よりなる被覆部８５５にて覆われており、被覆部８５５において固定子コア７３２側の絶縁層が第１壁部８６１（バックヨーク側絶縁壁）となっている。

【０６４８】

コイルモジュール８５０Ａにおいて、第１壁部８６１の壁厚さ方向（径方向）の厚さ寸法をＴ１１、第２壁部８６２の壁厚さ方向（径方向）の厚さ寸法をＴ１２、第３壁部８６３の壁厚さ方向（周方向）の厚さ寸法をＴ１３とする場合、第２壁部８６２の厚さ寸法Ｔ１２が第１壁部８６１の厚さ寸法Ｔ１１よりも小さいことが望ましい（Ｔ１１＞Ｔ１２）。なお、本例の場合、厚さ寸法Ｔ１１～Ｔ１３は、部分巻線７４１Ａの外表面からモジュール外表面までの樹脂層の平均厚さであるとよい。つまり、第２壁部８６２は磁石７２２側（エアギャップ側）の絶縁壁であり、その絶縁壁が薄いことにより磁石７２２と部分巻線７４１との距離、詳しくは磁気回路上の距離を縮めることができ、性能向上を期待できる。また、磁石７２２と部分巻線７４１との距離が同じものどうしで比べると、第２壁部８６２の厚さ寸法Ｔ１２を小さくした分、コイルモジュール８５０と磁石７２２との間のエアギャップ（空隙の間隔）を大きくすることができ、回転子７１０の回転時における接触を抑制できる。

【０６４９】

また、第１壁部８６１の厚さ寸法Ｔ１１が第２壁部８６２の厚さ寸法Ｔ１２よりも大きいことで、固定子コア７３２との間の絶縁距離が確保され、その絶縁性能を高めることができる。ただし、Ｔ１１＝Ｔ１２であってもよい。

【０６５０】

第３壁部８６３の厚さ寸法Ｔ１３については、例えば第１壁部８６１の厚さ寸法Ｔ１１と同じであるとよい。ただし、Ｔ１３＞Ｔ１１であるか、又はＴ１３＜Ｔ１１であってもよい。

【０６５１】

第３壁部８６３において、径方向内側と径方向外側とで厚さ寸法Ｔ１３を異ならせ、径方向外側の方が、厚さ寸法Ｔ１３が大きくなるように構成してもよい。つまり、第３壁部８６３を、径方向外側ほど幅広のテーパ状断面とする。中間導線部７４６を挟む周方向に２つの第３壁部７５３のサイズが同一であるとよい。この場合、第３壁部８６３の厚さ寸法Ｔ１３を、径方向内側よりも径方向外側の方が大きくなるようにしたことにより、径方向内側と径方向外側とで円周長さが異なることを加味しつつ、周方向に並ぶ各中間導線部７４６を適正に配置することができる。つまり、第３壁部８６３の厚さ寸法Ｔ１３を径方向で均一にしておくと、部分巻線７４１Ａの横断面を四角形状にする場合において、周方向に隣り合う２つの中間導線部７４６が、第３壁部８６３の側では寄りすぎてしまい、そ

の反対側では離れすぎてしまう。そのため、周方向において回転磁束が不均等になることが懸念される。これに対して本例の構成では、周方向において回転磁束の均等化が可能となる。また、周方向における絶縁性能の均一化も可能となる。

【０６５２】

コイルモジュール８５０Ａの曲がり部８５２との関係で言えば、一対の直線部８５１において、第１壁部８６１は、曲がり部８５２とは反対側の壁部（軸方向内側の壁部）であり、第２壁部８６２は、曲がり部８５２側の壁部（軸方向外側の壁部）である。

【０６５３】

コイルモジュール８５０Ａは、筒状の固定子コア７３２に対して径方向外側から組み付けられるものであり、固定子コア７３２側である第１壁部８６１は、固定子コア７３２の外周面と同じ曲率で円弧面に形成されている。これにより、固定子コア７３２に対するコイルモジュール８５０Ａの密着性が高められている。反固定子コア側である第２壁部８６２については、直線状、円弧状のいずれにすることも任意であるが、本例では、第１壁部８６１と同心の円弧状に形成されている。

【０６５４】

また、コイルモジュール８５０Ａは、曲がり部８５２を径方向外側にして固定子コア７３２に組み付けられるものであり、第２壁部８６２の側（すなわち第１壁部８６１の反対側）に曲がり部８５２を有している。またこの場合、一対の直線部８５１において２つの第２壁部８６２を含む周方向距離は、２つの第１壁部８６１を含む周方向距離よりも長くなっており、その長い方の周方向距離と同じ寸法で、径方向外側となる曲がり部８５２が設けられている。

【０６５５】

また、図１０１（ｂ）に示すように、コイルモジュール８５０Ａの一対の直線部８５１において、コイルサイドＣＳとコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２との境界部ＢＤ付近には、曲がり部８５２とは逆側、すなわち径方向内側（固定子コア７３２側）に突出する突出部８６６が上下２箇所に設けられている。

【０６５６】

コイルモジュール８５０Ａの横断面で見ると、図１０２（ｂ）に示すように、固定子コア７３２側である第１壁部８６１から突出するようにして突出部８６６が設けられている。突出部８６６は、第１壁部８６１の周方向一端から周方向他端までの範囲で片側に傾斜する傾斜面８６６ａを有する構成となっている。本例では、左右一対の直線部８５１において第１壁部８６１の内側端部（周方向内側）が高くなるようにして突出部８６６が形成されている。ただし、図１０２（ｂ）に示す構成とは異なり、左右一対の直線部８５１において第１壁部８６１の外側端部（周方向外側）が高くなるようにして突出部８６６が形成されていてもよい。

【０６５７】

次に、コイルモジュール８５０Ｂについて説明する。

【０６５８】

コイルモジュール８５０Ｂは、曲がり部８５２の延びる径方向の向きがコイルモジュール８５０Ａとは異なっており、それによる構成の違いがあるものの、基本構成はコイルモジュール８５０Ａと同じであるため、ここでは、コイルモジュール８５０Ａとの相違点を中心に説明する。

【０６５９】

図１０３（ａ）は、コイルモジュール８５０Ｂの斜視図であり、図１０３（ｂ）は、コイルモジュール８５０Ｂの内部を示す縦断面図である。また、図１０４（ａ），（ｂ）は、コイルモジュール８５０Ｂの横断面を示す断面図であり、図１０４（ａ）は、図１０３（ｂ）の１０４Ａ－１０４Ａ線断面図、図１０４（ｂ）は、図１０３（ｂ）の１０４Ｂ－１０４Ｂ線断面図である。なお、図１０３（ｂ）では、コイルモジュール８５０Ｂの左側が固定子コア７３２側であり、図１０４（ａ），（ｂ）では、コイルモジュール８５０Ｂの下側が固定子コア７３２側である。

【０６６０】
コイルモジュール８５０Ｂは、コイルモジュール７４０Ｂと略同じ形状を有しており、軸方向が長手となる長尺環状に形成されている。コイルモジュール８５０Ｂは、軸方向に互いに平行に延びる一対の直線部８５１を有するとともに、軸方向両側の一端側に、軸方向に対して直交する向きに延びる曲がり部８５２を有している。これにより、コイルモジュール８５０Ｂは、全体として略Ｌ字状に形成された構成となっている。コイルモジュール８５０Ｂの一対の直線部８５１及び曲がり部８５２に、部分巻線７４１Ｂが埋設されている。部分巻線７４１Ｂの第１渡り部７４７及び第２渡り部７４８のうち第１渡り部７４７には、コイルモジュール８５０Ｂの曲がり部８５２に対応する部分として、径方向内側に曲がっている内曲がり部Ｙ２が設けられている。
【０６６１】
また、図１０４（ａ）に示すように、コイルモジュール８５０Ｂは、部分巻線７４１Ｂの横断面において、部分巻線７４１Ｂを四方から囲むように設けられており、コイルモジュール８５０Ａと同様に、固定子コア７３２側となる第１壁部８６１と、反固定子コア側となる第２壁部８６２と、それら第１壁部８６１及び第２壁部８６２を繋ぐ第３壁部８６３とを有している。第３壁部８６３は、周方向において部分巻線７４１Ｂを両側から挟む２つの壁部よりなる。
【０６６２】
コイルモジュール８５０Ｂは、曲がり部８５２を径方向内側にして固定子コア７３２に組み付けられるものであり、第１壁部８６１の側に曲がり部８５２を有している。この場合、一対の直線部８５１において２つの第１壁部８６１を含む周方向距離は、２つの第２壁部８６２を含む周方向距離よりも短くなっており、その短い方の周方向距離と同じ寸法で、径方向内側となる曲がり部８５２が設けられている。
【０６６３】
また、図１０３（ｂ）に示すように、コイルモジュール８５０Ｂの一対の直線部８５１において、コイルサイドＣＳとコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２との境界部ＢＤ付近には、曲がり部８５２側、すなわち径方向内側（固定子コア７３２側）に突出する突出部８６６が上下２箇所に設けられている。突出部８６６の構成も、コイルモジュール８５０Ａと同様である（図１０４（ｂ）参照）。
【０６６４】
次に、固定子コア７３２に対してコイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂを組み付けた状態について説明する。なお、その組み付け状態において、固定子７３０の縦断面の構成は、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを用いた構成に準ずるため、詳細は図９１を参照されたい。本例の構成においても、図９１と同様に、エンドリング７３３に対して上下２箇所の突出部８６６がそれぞれ係合した状態で、固定子コア７３２にコイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂが組み付けられている。また、固定子コア７３２は、各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂにおける一対の突出部８６６により軸方向に挟まれた状態となっている。以下には、図１０５を用いて、固定子７３０の横断面の構成を説明する。
【０６６５】
図１０５に示すように、エンドリング７３３の係合面７３４には、コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂの突出部８６６の傾斜面８６６ａが当接している。なお、傾斜面８６６ａが被係合面に相当する。そして、エンドリング７３３において周方向に隣り合う２つの係合面７３４により凹部７３５に、２つのコイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂの１つずつの突出部８６６が入り込むようになっている。これにより、各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂにおける第３壁部８６３どうしが周方向に当接した状態となっている。
【０６６６】
各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂが周方向に並べて配置された状態では、各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂの直線部８５４において部分巻線７４１が周方向に互いに所定間隔ずつ離れた位置に配置されている。より詳しくは、周方向に隣り合う各部分巻線７４１は、各コイルモジュール７８５Ａ，８５０Ｂの第３壁部８６３により互いに隔離

されている。これにより、周方向に隣り合う異相の部分巻線７４１どうしの絶縁性が確保されている。この場合特に、周方向に隣り合う異相の部分巻線７４１の間において第３壁部８６３が２枚重ねになっていることで、固定子巻線７３１での絶縁性が一層高められている。

【０６６７】

（変形例１５及び変形例１６の別例）

以下に、変形例１５及び変形例１６に示す回転電機７００の一部を変更した構成を説明する。

【０６６８】

・コイルモジュール７４０において突出部７５６の形状を変更してもよい。ここでは、図９２の構成との違いを説明する。例えば、図１０６（ａ）に示すように、各第１壁部７５１において、突出部７５６を、周方向に同じ向きに傾く１つずつの傾斜面を有する構成としてもよい。また、図１０６（ｂ）に示すように、各第１壁部７５１の突出部７５６を、周方向に傾く２つの傾斜面を有する構成としてもよい。また、図１０６（ｃ）に示すように、突出部７５６を台形状に形成してもよい。図１０６（ａ）～（ｃ）ではいずれも、突出部７５６の嵌め込みが可能となるように、その突出部７５６の形状に合わせてエンドリング７３３の係合面７３４が形成されている。なお、周方向に互いに係合する突出部７５６とエンドリング７３３との各面は、径方向に平行な角度で設けられているほど、保持強度が高められる。

【０６６９】

・図１０７に示すように、コイルモジュール７４０とエンドリング７３３とを直接的でなく間接的に係合させる構成としてもよい。図１０７（ａ）は、固定子コア７３２にコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを組み付けた状態での固定子７３０の横断面図、図１０７（ｂ）は、固定子コア７３２及びエンドリング７３３とコイルモジュール７４０Ａとを互いに分離して示す断面図である。この場合、エンドリング７３３とコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの第１壁部７５１とにはそれぞれ、凹部８４１，８４２が形成されており、それら凹部８４１，８４２が形成された面どうしが対向している。そして、それら対向面の間に、合成樹脂等の絶縁材料からなる絶縁層８４３が設けられている。エンドリング７３３側の凹部８４１が第１係合部に相当し、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂ側の凹部８４２が第２係合部に相当し、絶縁層８４３が中間部に相当する。なお、第１壁部７５１の凹部８４１とエンドリング７３３側の凹部８４２とは、互いに異なる位置又は形状で形成されていてもよい。

【０６７０】

要するに、エンドリング７３３側の凹部８４１と、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂ側の凹部８４２とは、径方向に離間状態で対向するように設けられ、それら凹部８４１，８４２の間に絶縁層８４３が設けられている。そして、各凹部８４１，８４２が絶縁層８４３に対して周方向に係合した状態で、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが固定されている。

【０６７１】

・固定子コア７３２において、コイルモジュール７４０に係合可能となる係合部（第１係合部）が、コアシート７３２ａのシート外縁に形成された凹凸形状により形成される構成であってもよい。具体的には、図１０８（ａ）に示すように、コアシート７３２ａは、幅方向の一方が波形状（凹凸形状）、他方が直線形状となっており、その波形状の側を径方向外側にして環状に巻回形成されながら軸方向に積層される。これにより、全体として円筒状の固定子コア７３２が形成されるようになっている。この場合、固定子コア７３２において、コアシート７３２ａは、径方向外側（すなわち固定子巻線７３１の組み付け側）が周方向に所定間隔で凹凸が繰り返される凹凸形状となっており、軸方向においてその凹凸の位置が少しずつずらされた状態で積層されている。軸方向において、コアシート７３２ａの凹凸位置が周方向に所定量ずつずらされているとよい。これにより、コギングトルクの発生が抑制されるようになっている。

【０６７２】
　また、図１０８（ｂ），（ｃ）に示すように、固定子コア７３２には、コアシート７３２ａの凹凸により第１係合部として凹部８４１が形成されている。また、コイルモジュール７４０の第１壁部７５１には第２係合部として凹部８４２が形成されている。そして、固定子コア７３２側の凹部８４１とコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂ側の凹部８４２との間に中間部としての絶縁層８４３を介在させた状態で、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが組み付けられている。この場合、固定子コア７３２におけるコアシート積層体の凹凸を第１係合部として利用して、コイルモジュール７４０側の第２係合部との係合を行わせる構成としたため、コギングトルクの抑制と共に、コイルモジュール７４０の周方向の位置決めを好適に実施できる。
【０６７３】
　なお、図１０８の構成において、固定子コア７３２は、ヘリカルコア構造のものでなくてもよく、円環板状に打ち抜き形成された複数枚のコアシート７３２ａが軸方向に積層されている構成であってもよい。この場合、各コアシート７３２ａは、その外周側で周方向に所定間隔で凹凸が繰り返される凹凸形状となっており、かつ軸方向においてその凹凸の位置が所定量ずつ周方向にずらされた状態で積層されているとよい。
【０６７４】
　・コイルモジュール７４０の巻線ホルダ７４２において、第１壁部７５１、第２壁部７５２及び第３壁部７５３のうち一部のみを有する構成としてもよい。具体的には、図１０９（ａ）に示すように、コイルモジュール７４０Ａの巻線ホルダ７４２Ａにおいて、第１壁部７５１、第２壁部７５２及び第３壁部７５３のうち、第２壁部７５２を削除し、第１壁部７５１及び第３壁部７５３のみを有する構成としてもよい。つまり、巻線ホルダ７４２Ａにおいて反固定子コア側の壁部（第２壁部７５２）を削除する構成としてもよい。なお、第１壁部７５１及び第３壁部７５３のみを有する構成において、第３壁部７５３を周方向に同じ側にそれぞれ設ける構成としてもよい。
【０６７５】
　図１０９（ｂ）に示すように、コイルモジュール７４０Ａの巻線ホルダ７４２Ａにおいて、第１壁部７５１、第２壁部７５２及び第３壁部７５３のうち、第２壁部７５２を削除するとともに、中間導線部７４６の周方向の両側に第３壁部７５３を設ける構成としてもよい。
【０６７６】
　また、図１０９（ｃ）に示すように、コイルモジュール７４０Ａの巻線ホルダ７４２Ａにおいて、第１壁部７５１、第２壁部７５２及び第３壁部７５３のうち、第２壁部７５２及び第３壁部７５３を削除し、第１壁部７５１のみを有する構成としてもよい。つまり、巻線ホルダ７４２Ａにおいて反固定子コア側の壁部（第２壁部７５２）と周方向の隔離壁（第３壁部７５３）とを削除する構成としてもよい。この場合、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを組み付けた状態において、周方向に隣り合う部分巻線７４１どうしを互いに絶縁状態とすべく、部分巻線７４１の周方向の幅寸法よりも第１壁部７５１の周方向の幅寸法を大きくし、かつ第１壁部７５１の周方向の延長部を部分巻線７４１の周方向両側に設けた構成とする。
【０６７７】
　図１０９（ａ）～（ｃ）の構成では、部分巻線７４１Ａが絶縁材料としての樹脂材料によりモールドされ、その樹脂モールドにより、巻線ホルダ７４２Ａの有する壁部と部分巻線７４１Ａとが一体化されているとよい。図１０９（ａ）～（ｃ）の構成を用いる場合、コイルモジュール７４０Ａとコイルモジュール７４０Ｂとをいずれも同じ構成にするとよい。ただし、コイルモジュール７４０Ａとコイルモジュール７４０Ｂとで異なる構成のものを組み合わせて用いることも可能である。
【０６７８】
　・コイルモジュール７４０をエンドリング７３３に係合させる構成として以下の構成を用いてもよい。図１１０に示す構成では、軸方向両側のエンドリング７３３に、第１係合

部として複数の係合孔８７１が形成される一方、コイルモジュール７４０の固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）において軸方向の２箇所に、第２係合部として係合ピン８７２が設けられている。係合孔８７１は、コイルモジュール７４０ごととなる所定間隔で、径方向外側に開口する向きで設けられている。係合ピン８７２は、一部がコイルモジュール７４０（巻線ホルダ７４２）に埋設された状態で、コイルモジュール７４０にインサート成形されたインサート部材である。本構成では、エンドリング７３３の係合孔８７１にコイルモジュール７４０の係合ピン８７２が挿し入れられた状態で、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられる。この状態では、エンドリング７３３の係合孔８７１に対する係合ピン８７２の係合により、固定子コア７３２に対する各コイルモジュール７４０の周方向の位置精度が高められるようになっている。なお、本構成はコイルモジュール８５０にも適用可能である。

【０６７９】

・図１１１（ａ）に示す構成では、固定子コア７３２の軸方向両端において径方向外側となる部位に、第１係合部として複数の凹部８７３が設けられている。図１１１（ｂ）には、固定子コア７３２の正面図において周方向に等間隔で設けられた複数の凹部８７３が示されている。凹部８７３は、コイルモジュール７４０ごとに設けられている。また、コイルモジュール７４０の固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）には、軸方向の２箇所に、第２係合部として係合キー８７４が設けられている。係合キー８７４は、一部がコイルモジュール７４０（巻線ホルダ７４２）に埋設された状態で、コイルモジュール７４０にインサート成形されたインサート部材である。本構成では、固定子コア７３２の凹部８７３にコイルモジュール７４０の係合キー８７４が係合された状態で、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられる。この状態では、固定子コア７３２の凹部８７３に対する係合キー８７４の係合により、固定子コア７３２に対する各コイルモジュール７４０の周方向の位置精度が高められるようになっている。

【０６８０】

係合キー８７４は磁性体であるとよい。係合キー８７４を磁性体とすることで、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられた状態では、固定子コア７３２の凹部８７３が磁性体で埋められることとなる。この場合、固定子コア７３２に凹部８７３を形成した構成にあっても、その凹部形成に起因するコギングトルクの発生を抑制できる。なお、本構成はコイルモジュール８５０にも適用可能である。

【０６８１】

・図１１２（ａ）に示す構成では、固定子コア７３２の径方向外側となる外周面に、第１係合部として、軸方向に延びる複数の凹部８７５が設けられている。図１１３（ａ）には、固定子コア７３２の正面図において周方向に等間隔で設けられた複数の凹部８７５が示されている。凹部８７５は、コイルモジュール７４０ごとに、軸方向に平行となる向きで直線状に設けられている。また、コイルモジュール７４０の固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）には、第２係合部として、軸方向に延びる凸状の係合凸部８７６が設けられている。係合凸部８７６は、例えば第１壁部７５１の一部を径方向内側に延ばすようにして形成されている。本構成では、図１１２（ｂ）に示すように、固定子コア７３２の凹部８７５にコイルモジュール７４０の係合凸部８７６が係合された状態で、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられる。この状態では、固定子コア７３２の凹部８７５に対する係合凸部８７６の係合により、固定子コア７３２に対する各コイルモジュール７４０の周方向の位置精度が高められるようになっている。

【０６８２】

図１１３（ｂ）に示すように、固定子コア７３２の凹部８７５を、軸方向に対して斜めとなる向きで設けてもよい。つまり、凹部８７５をスキューさせて設けた構成とする。コイルモジュール７４０側の係合凸部８７６も同様の向きとする。この場合、固定子コア７３２に凹部８７５を形成した構成にあっても、その凹部形成に起因するコギングトルクの発生を抑制できる。なお、本構成はコイルモジュール８５０にも適用可能である。

【０６８３】

・図１１４に示す構成では、コイルモジュール７４０の固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）において軸方向の２箇所に、押圧部として板状の押圧プレート８７７が設けられている。押圧プレート８７７は、一部がコイルモジュール７４０（巻線ホルダ７４２）に埋設された状態で、コイルモジュール７４０にインサート成形されている。本構成では、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられた状態において、固定子コア７３２の軸方向端面にコイルモジュール７４０の押圧プレート８７７が当接することで、固定子コア７３２におけるコアシート間の微小隙間を極力小さくし、ひいてはバックヨークの軸長寸法の縮小化を図ることができる。なお、本構成はコイルモジュール８５０にも適用可能である。

【０６８４】

・図１１５（ａ）に示す構成では、固定子コア７３２の軸方向端面に当接した状態で円環板状のスペーサ８８１が固定されている。また、コイルモジュール７４０には、固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）において固定子コア７３２の軸方向端面よりも軸方向外側に延びる部分（ヨーク外部分）に、押圧部としての突出部７５６が設けられている。突出部７５６は、固定子コア７３２の径方向幅（すなわちコアシートの径方向幅）よりも小さい突出寸法を有しているのに対し、スペーサ８８１は、固定子コア７３２と同じ径方向幅を有している。すなわち、スペーサ８８１は、固定子コア７３２の軸方向端面に対する径方向の重複量が突出部７５６よりも大きい構成となっている。スペーサ８８１は、その板厚がコアシートの厚みよりも大きいとよい。なお、図示は省略するが、固定子コア７３２の軸方向両端で同じ構成となっている。

【０６８５】

図１１５（ｂ）に示すように、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられた状態では、突出部７５６によりスペーサ８８１が軸方向に押圧される。この状態では、スペーサ８８１により、固定子コア７３２の軸方向端面の全体が軸方向に均一に押圧される。これにより、突出部７５６の突出量が比較的小さい構成であっても、固定子コア７３２でのコアシートの縁部の反り返りが抑制されるようになっている。スペーサ８８１は、必ずしも固定子コア７３２と同じ径方向幅を有していなくてもよく、固定子コア７３２の軸方向端面に対する径方向の重複量が突出部７５６よりも大きい構成であればよい。なお、本構成はコイルモジュール８５０にも適用可能である。

【０６８６】

・図１１５（ａ）の構成の一部を変更し、図１１６（ａ）の構成としてもよい。この場合、スペーサ８８１においてその軸方向端面、すなわち突出部７５６との対向面には、軸方向に延びる凹部８８１ａが形成されるとともに、径方向外側（コイルモジュール７４０側）の角部に傾斜面８８１ｂが形成されている。傾斜面８８１ｂは、直線状又は外側に凸の円弧状に形成されている。これに対して、コイルモジュール７４０の突出部７５６は鈎形状となっており、その先端部には、スペーサ８８１の凹部８８１ａに係合可能な係合部７５７ａが形成されている。また、突出部７５６にはスペーサ８８１の傾斜面８８１ｂに対向する対向傾斜面７５７ｂが形成されている。

【０６８７】

図１１５（ｂ）に示すように、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０が組み付けられた状態では、突出部７５６の係合部７５７ａがスペーサ８８１の凹部８８１ａに入り込んで係合状態となる。これにより、固定子コア７３２に対するコイルモジュール７４０の径方向の移動が規制され、コイルモジュール７４０による固定子コア７３２の軸方向押圧機能を好適に維持することができる。

【０６８８】

また、各コイルモジュール７４０の組み付け時に、突出部７５６の対向傾斜面７５７ｂによりスペーサ８８１の傾斜面８８１ｂが押圧されることで、スペーサ８８１に対する押圧力を適正に発揮させることができる。

【０６８９】

・固定子コア７３２に対する各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂ、又は各コイルモ

ジュール８５０Ａ，８５０Ｂの組み付け構造として以下の構成を用いてもよい。ここでは、固定子コア７３２の軸方向一方側及び軸方向他方側において、各々異なるコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６（押圧部）により、固定子コア７３２の軸方向端面を押圧する構成としている。

【０６９０】

具体的には、図１１７（ａ）に示すように、コイルモジュール７４０Ａにおいて、固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）には、固定子コア７３２の軸方向両側のうち図の上側にのみ突出部７５６が設けられている。また、図１１７（ｂ）に示すように、コイルモジュール７４０Ｂにおいて、固定子コア７３２側の壁部（第１壁部７５１）には、固定子コア７３２の軸方向両側のうち図の下側にのみ突出部７５６が設けられている。図１１７（ａ），（ｂ）ではいずれも、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂにおいて曲がり部７４５とは逆側に突出部７５６が設けられている。

【０６９１】

そして、図１１７（ａ），（ｂ）に示すように、突出部７５６の位置が逆になるように、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの軸方向の向き（曲がり部７４５の向き）を互い違いにして、固定子コア７３２に対して、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが組み付けられている。この構成においても、固定子コア７３２の軸方向端面が、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６により押圧されるようになっている。

【０６９２】

この場合、固定子コア７３２の軸方向一方側から軸方向端面を押圧するコイルモジュール７４０Ａと、固定子コア７３２の軸方向他方側から軸方向端面を押圧するコイルモジュール７４０Ｂとの軸方向の相対位置を調整することで、固定子コア７３２に対する軸方向の押圧力を適宜調整することが可能となる。例えば、固定子コア７３２においてコアシートの厚み寸法の誤差や枚数ばらつき等に起因する積厚公差が生じていても、その固定子コア７３２に対して一定の押圧力を付加することができる。

【０６９３】

なお、上記のごとく各々異なるコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの突出部７５６により、固定子コア７３２の両側の軸方向端面が押圧される構成として、軸方向に２つの突出部７５６を有するコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを用いることも可能である。この場合、軸方向に２つの突出部７５６のうち一方を固定子コア７３２の軸方向端面に当接させ、他方を固定子コア７３２の軸方向端面に当接させない構成とすればよい。

【０６９４】

・周方向に隣り合うコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂどうし、又は各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂどうしが軸方向に相対移動不可となるように、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂ、又は各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂどうしが固定される構成としてもよい。具体的には、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの正面図である図１１８に示すように、コイルモジュール７４０Ａの直線部７４４において、周方向の一方の側面に凹部８８３が形成されるとともに、周方向の他方の側面に凸部８８４が形成されている。これらの凹部８８３及び凸部８８４は、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの第３壁部７５３（又は各コイルモジュール８５０Ａ，８５０Ｂの第３壁部８６３）に設けられているとよい。そして、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが組み付けられた状態では、隣り合うコイルモジュールどうしにおいて凹部８８３及び凸部８８４による係合により軸方向の相対移動が規制される。

【０６９５】

上記構成では、コイルモジュール７４０，８５０の位置が軸方向にずれることで生じるコアシートに対する軸方向の押圧力の低下を抑制できる。これにより、固定子コア７３２の軸長寸法の縮小化をより一層適正に実現できる。

【０６９６】

・図１１９に示す構成では、固定子コア７３２に対して各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが組み付けられた状態において、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが固定

子コア７３２と共に絶縁材料により一体にモールドされている。つまり、固定子コア７３２及び各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂが被覆層８８６により一体的に被覆されている。

【０６９７】

この場合、複数のコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを固定子コア７３２に対して好適に組み付けることができる。また、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを、第１壁部７５１（バックヨーク側絶縁壁）と被覆層８８６との間に部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂを介在させた状態で配置することができ、部分巻線７４１における径方向の絶縁を好適に実現できる。

【０６９８】

また、図１１９の構成では、各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの外周側を覆うように被覆層８８６が設けられることで、その被覆層８８６により各コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの径方向への押圧が可能となる。これにより、固定子コア７３２に対して複数のコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを組み付けた状態を好適に保持することができる。

【０６９９】

また、図１１９の構成において、固定子コア７３２の軸方向端面（ベース部材において第２係合部に対向する軸方向対向面）と第１壁部７５１の突出部７５６（第２係合部）との間に充填材としての樹脂が充填されているとよい。この場合、固定子コア７３２の軸方向端面と第１壁部７５１の突出部７５６との間に隙間が生じていても、充填材の充填によりその隙間が埋められ、固定子コア７３２に対するコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂの軸方向の相対変位が抑制される。これにより、コイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂのがたつきを抑制し、固定子コア７３２に対してコイルモジュール７４０Ａ，７４０Ｂを適正に固定することができる。

【０７００】

・固定子コア７３２及びコイルモジュール７４０（部分巻線７４１）を、それらの軸方向両端部分、及びコイルモジュール７４０の反固定子コア側の側面部分を含む範囲で一体に樹脂モールドし、樹脂モールドにより形成された被覆部のうち、軸方向両側において固定子コア７３２の軸方向端面を覆う端面被覆部を、固定子コア７３２の軸方向端面を軸方向外側から軸方向に押圧する押圧部とする構成としてもよい。

【０７０１】

具体的には、図１２０（ａ）に示すように、コアシート積層体である固定子コア７３２の軸方向両端面を加圧治具Ｊにより圧縮加圧し、その加圧状態で固定子コア７３２の径方向外側に複数のコイルモジュール７４０を組み付ける。そして、図１２０（ｂ）に示すように、加圧状態のまま、固定子コア７３２及びコイルモジュール７４０を一体で樹脂モールドして、固定子コア７３２の軸方向両端部分、及びコイルモジュール７４０の外周側（反固定子コア側）の側面部分を含む範囲に被覆層８８８を形成する。モールド樹脂が硬化した後には、加圧治具Ｊが取り外されて加圧治具Ｊによる圧縮加圧が解除される。この場合、被覆層８８８のうち、軸方向両側において固定子コア７３２の軸方向端面を覆う端面被覆部８８９が押圧部として機能する。

【０７０２】

本構成では、樹脂モールドにより形成された被覆層８８８が、その軸方向両端部分である端面被覆部８８９を繋ぐように形成されており、端面被覆部８８９どうしの距離が拡がることなく維持される。これにより、端面被覆部８８９において固定子コア７３２に対する軸方向の押圧機能を発揮させることができる。

【０７０３】

・図１２１に示す固定子７３０では、固定子コア７３２の径方向内側（コイルモジュール７４０の反対側）に、固定子コア７３２の軸方向一方側から筒状部材８９１が固定されるようになっている。筒状部材８９１は、例えば上述したインナハウジング７７１の外筒部材７７２に相当する。筒状部材８９１には、固定子コア７３２が組み付けられる側の周

面（外周面）に、固定子コア７３２の側に突出させて、固定子コア７３２の軸方向端面に当接する段差状の当接部８９２が設けられている。この場合、軸方向において筒状部材８９１の当接部８９２が設けられている側で、コイルモジュール７４０の曲がり部７４５（部分巻線７４１の外曲がり部Ｙ１）が、径方向内外のうち筒状部材８９１とは逆側に曲げられている。

【０７０４】

上記構成では、固定子コア７３２の軸方向端面が筒状部材８９１の当接部８９２に対して当接しているため、筒状部材８９１に対する軸方向の位置決めがなされた状態で、その筒状部材８９１に対して固定子コア７３２を好適に固定できる。この場合、軸方向両側のうち筒状部材８９１の当接部８９２の側で、コイルモジュール７４０の曲がり部７４５が径方向において筒状部材８９１とは逆側に曲げられているため、その曲がり部７４５が筒状部材８９１に当たってしまい固定子コア７３２の軸方向端面と筒状部材８９１との当接に支障を来すといった不都合を回避できるものとなっている。

【０７０５】

・コイルモジュール７４０，８５０は、軸方向両端のうち一方が径方向に折れ曲がることで略Ｌ字状に形成される以外の構成であってもよい。具体的には、図１２２に示すように、２種類のコイルモジュール７４０Ｘ，７４０Ｙがいずれも、軸方向両端が径方向に折れ曲がることで略Ｚ字状に形成されるものであってもよい。この場合、各コイルモジュール７４０Ｘ，７４０Ｙの軸方向両端は互いに逆向きに曲げ形成されている。そして、コイルモジュール７４０Ｘ，７４０Ｙは、軸方向に相対位置をずらした状態で周方向に並べて配置される。各コイルモジュール７４０Ｘ，７４０Ｙの周方向の並び状態は既に説明したとおりである。コイルモジュール７４０Ｘ，７４０Ｙでは、同一構成の部分巻線を用いることが可能であるが、突出部７５６の軸方向の位置が互いに相違するものとなっている。

【０７０６】

・固定子巻線７３１において、コイルモジュール７４０やコイルモジュール８５０を用いない構成であってもよい。例えば、固定子コア７３２の径方向外側に、周方向に複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂを並べた状態で、その複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂを樹脂モールドする構成であってもよい。この場合、図１２３に示すように、固定子７３０は、全体が樹脂層で被覆された円筒状をなす構成となっている。その樹脂層内部では、コイルモジュール７４０やコイルモジュール８５０を用いた構成と同様に、固定子コア７３２と部分巻線７４１との絶縁がなされるとともに、各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの相間絶縁がなされた状態で、複数の部分巻線７４１が周方向に並べて配置されている。この場合、複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂを覆う樹脂被覆層により、部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの径方向に隣接する径方向絶縁壁が形成されるとともに、部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの周方向に隣接する周方向絶縁壁が形成されている。

【０７０７】

なお、周方向に隣り合う各部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂの間に、所定の厚みを有する絶縁性の絶縁プレートをそれぞれ配置する構成であってもよい。この場合、固定子コア７３２の径方向外側において、複数の部分巻線７４１Ａ，７４１Ｂと絶縁プレートとを周方向に交互に並べた状態で、それらを樹脂モールドして固定子７３０を成形する。本構成では、仮に樹脂モールド工程での射出圧で部分巻線７４１Ａ，７４ＡＢが意図せず動いたとしても、絶縁プレートの厚み分の絶縁距離が残るため、対地／相間の必要絶縁距離を確保できる。

【０７０８】

・上述した構成では、固定子巻線７３１において、相巻線ごとに全ての部分巻線７４１が並列接続される構成を説明したが、これを変更してもよい。例えば、相巻線ごとの全ての部分巻線７４１を複数の並列接続群に分け、その複数の並列接続群を直列接続する構成でもよい。つまり、各相巻線における全１２個の部分巻線７４１を、６個２組の並列接続群に分け、それらを直列接続する。又は、固定子巻線７３１において、相巻線ごとに複数の部分巻線７４１が全て直列接続される構成であってもよい。

【０７０９】
（変形例１７）
本変形例では、回転電機７００において、固定子７３０に代えて、図１２４に示す固定子９００を用いる構成としている。本例においても、回転電機７００の構成として既述の回転子７１０やインナユニット７７０、バスバーモジュール８１０を備えるが、ここでは説明を割愛する。
【０７１０】
固定子９００は、固定子巻線９０１と固定子コア９０２とを有している。図１２４は、固定子９００の構成を示す斜視図であり、図１２５は、固定子９００の正面図であり、図１２６は、固定子９００の縦断面図であり、図１２７は、固定子９００の横断面図（図１２５の１２７－１２７線断面図）であり、図１２８は、固定子巻線９０１と固定子コア９０２とを分解して示す斜視図である。
【０７１１】
固定子コア９０２は、磁性体である電磁鋼板からなる複数のコアシートが軸方向に積層され、かつ径方向に所定の厚さを有する円筒状をなしており、固定子コア９０２において回転子７１０側となる径方向外側に固定子巻線９０１が組み付けられている。固定子コア９０２の外周面は凹凸のない曲面状をなしている。固定子コア９０２はバックヨークとして機能する。固定子コア９０２は、例えば円環板状に打ち抜き形成された複数のコアシートが軸方向に積層されて構成されている。ただし、固定子コア９０２としてヘリカルコア構造を有するものを用いてもよい。
【０７１２】
固定子コア９０２において、軸方向両側の端面にはエンドリング９０３が固定されている。エンドリング９０３は、固定子コア９０２に固定子巻線９０１を組み付けた状態で、その固定子巻線９０１を周方向の所定位置に保持する機能を有する位置決め部材である。固定子コア９０２及びエンドリング９０３がベース部材９０４である。
【０７１３】
エンドリング９０３の外周面には、周方向に複数の凹部９０５が形成されている。本例では、固定子巻線９０１において周方向に並ぶコイルモジュール９１０と同数の凹部９０５が周方向に設けられている。軸方向両側の各エンドリング９０３では、軸方向一端側及び他端側で周方向における凹部９０５の位置が一致している。
【０７１４】
エンドリング９０３は、例えばアルミニウムや銅等の非磁性材料により形成されている。エンドリング９０３は、固定子コア９０２に対して溶接により固定されている。これ以外に、エンドリング９０３が、ピン差しやキー圧入、ボルト締結により機械的に固定されていてもよい。こうした機械的な固定により、固定子コア９０２に対するエンドリング９０３の周方向の位置ずれが抑制されるものとなっている。
【０７１５】
図１２５に示すように、固定子９００は、軸方向において、回転子７１０における磁石７２２に径方向に対向するコイルサイドＣＳに相当する部分と、そのコイルサイドＣＳの軸方向外側であるコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２に相当する部分とを有している。この場合、固定子コア９０２は、軸方向においてコイルサイドＣＳに対応する範囲で設けられ、エンドリング９０３は、軸方向一端側のコイルエンドＣＥ１及び他端側のコイルエンドＣＥ２にそれぞれ設けられている。
【０７１６】
固定子巻線９０１は、複数の相巻線を有し、各相の相巻線が周方向に所定順序で配置されることで円筒状（環状）に形成されている。固定子巻線９０１の径方向内側に固定子コア９０２が組み付けられている。本例では、Ｕ相、Ｖ相及びW相の相巻線を用いることで、固定子巻線９０１が３相の相巻線を有する構成となっている。また、図１２７に示すように、固定子巻線９０１では、周方向に並ぶ導線部が径方向に２層に並べて配置されており、固定子巻線９０１は径方向内外２層の巻線となっている。

【０７１７】
固定子巻線９０１において各相の相巻線は各々複数の部分巻線９１１を有しており、その部分巻線９１１が個別にコイルモジュール９１０として設けられている。つまり、コイルモジュール９１０は、各相の相巻線における部分巻線９１１が一体に設けられたものとなっている。各相のコイルモジュール９１０が周方向に所定順序で並べて配置されることで、固定子巻線９０１のコイルサイドにおいて各相の導線部が所定順序に並べて配置されるものとなっている。図１２５には、コイルサイドにおけるＵ相、Ｖ相及びＷ相の導線部の並び順が示されている。
【０７１８】
固定子巻線９０１では、相ごとに各コイルモジュール９１０の部分巻線９１１が並列に接続されることにより、各相の相巻線が構成されている。図１２９は、３相の各相巻線における部分巻線９１１の接続状態を示す回路図である。図１２９では、各相の相巻線における複数の部分巻線９１１がそれぞれ並列に接続された状態が示されている。
【０７１９】
固定子巻線９０１は、周方向に並べて配置された複数のコイルモジュール９１０により構成されている。図１３０は、コイルモジュール９１０の斜視図である。また、図１３１（ａ）は、正面視でのコイルモジュール９１０の縦断面図であり、図１３１（ｂ）は、コイルモジュール９１０の側面図である。なお、図１３１（ｂ）では、コイルモジュール９１０の左側が固定子コア９０２側（径方向内側）となっている。
【０７２０】
コイルモジュール９１０は、空芯巻コイルである部分巻線９１１と、その部分巻線９１１を覆う被覆層９１２とを有している。この場合、部分巻線９１１はその全体が被覆層９１２で覆われており、その被覆層９１２により、部分巻線９１１と固定子コア９０２との絶縁、及び互いに近接する部分巻線９１１どうしの絶縁が図られている。部分巻線９１１は、導線９１３を多重巻にして構成されている。被覆層９１２は、例えば絶縁材料である合成樹脂により形成されている。
【０７２１】
複数の部分巻線９１１は、多重巻された状態の導体断面積と多重巻の巻回数が同じであるとよい。この場合、各相の相巻線において、並列回路を構成する各部分巻線９１１の鎖交磁束を均一化することができる。これにより、各部分巻線９１１における相互の電位差を無くすことができ、並列回路内での循環電流の発生を抑制できる。また、循環電流の発生に伴うモータ効率の低下や熱定格性能の低下を抑制できる。
【０７２２】
コイルモジュール９１０は、平行でかつ直線状に延びる一対の直線部９２１と、その一対の直線部９２１を軸方向一端側及び軸方向他端側で接続する渡り部９２２，９２３とを有しており、これら一対の直線部９２１と軸方向両側の渡り部９２２，９２３とにより環状に形成されている。一対の直線部９２１は、所定のコイルピッチ分を離して設けられており、周方向において一対の直線部９２１の間に、他相のコイルモジュール９１０の直線部９２１が配置可能となっている。本例では、一対の直線部９２１は２コイルピッチ分を離して設けられ、一対の直線部９２１の間に、他２相のコイルモジュール９１０における中間導線部７４６が１つずつ配置される構成となっている。
【０７２３】
また本例では、一対の直線部９２１が、径方向に１層分オフセットされるように設けられており、そのうち一方は、径方向２層の固定子巻線９０１において内層側に配置され、他方は径方向２層の固定子巻線９０１において外層側に配置されるようになっている。そして、径方向内外の異なる層にそれぞれ設けられる一対の直線部９２１が、渡り部９２２，９２３により環状に接続されている。具体的には、一方の渡り部９２２は、軸方向に対して斜めとなる向きでかつ互いに近づく側に延びる一対の傾斜部９２２ａと、その一対の傾斜部９２２ａを径方向に繋ぐ繋ぎ部９２２ｂとを有している。また、他方の渡り部９２３は、軸方向に対して斜めとなる向きでかつ互いに近づく側に延びる一対の傾斜部９２３

ａと、その一対の傾斜部９２３ａを径方向に繋ぐ繋ぎ部９２３ｂとを有している。渡り部９２２，９２３は、内外層の切り替えを行わせる切替部でもある。

【０７２４】

渡り部９２２，９２３は、それぞれコイルエンドＣＥ１，ＣＥ２（図１２５参照）に相当する部分として設けられている。すなわち、これら各渡り部９２２，９２３は、コイルエンドＣＥ１，ＣＥ２において、周方向に異なる２位置の同相の導線部どうしを接続するコイルエンド接続部として設けられている。

【０７２５】

固定子コア９０２に対する固定子巻線９０１の組み付け状態では、一対の直線部９２１のうち一方の直線部９２１とその軸方向両側の各傾斜部９２２ａ，９２３ａとが径方向２層のうち外層側に配置され、他方の直線部９２１とその軸方向両側の各傾斜部９２２ａ，９２３ａとが径方向２層のうち内層側に配置される。

【０７２６】

図１３１（ｂ）に示すように、コイルモジュール９１０の一対の直線部９２１のうち内層側の直線部９２１（図の左側の直線部９２１）において、部分巻線９１１よりも固定子コア９０２側（図の左側）の被覆層９１２が、部分巻線９１１と固定子コア９０２との間の絶縁層９１２ａである。この絶縁層９１２ａがバックヨーク側絶縁壁に相当する。

【０７２７】

また、コイルモジュール９１０には、軸方向一端側及び他端側に、エンドリング９０３の凹部９０５に係合する突出部９２５が設けられている。突出部９２５は、渡り部９２２，９２３の繋ぎ部９２２ｂ，９２３ｂから径方向内側に延びるようにして設けられている。

【０７２８】

図１３１（ａ）に示すように、コイルモジュール９１０において、部分巻線９１１は、被覆層９１２に全体が覆われた状態で設けられている。部分巻線９１１は、コイルモジュール９１０の一対の直線部９２１に沿う部分として一対の中間導線部９１５を有するとともに、コイルモジュール９１０の渡り部９２２，９２３に沿う部分として渡り部９１６，９１７を有している。部分巻線９１１について補足すると、部分巻線９１１は、互いに平行でかつ直線状に設けられる一対の中間導線部９１５と、一対の中間導線部９１５を軸方向一端側及び軸方向他端側で接続する渡り部９１６，９１７を有しており、これら一対の中間導線部９１５と渡り部９１６，９１７とにより環状に形成されている。一対の中間導線部９１５は、所定のコイルピッチ分を離して設けられており、周方向において一対の中間導線部９１５の間に、他相の部分巻線９１１の中間導線部９１５が配置可能となっている。本例では、一対の中間導線部９１５は２コイルピッチ分を離して設けられ、一対の中間導線部９１５の間に、他２相の部分巻線９１１における中間導線部９１５が１つずつ配置される構成となっている。

【０７２９】

部分巻線９１１は、横断面が四角形になるように導線９１３が多重に巻回されて形成されており、その横断面の四方が、被覆層９１２よりなる絶縁壁で覆われている。本例では、導線９１３を同心巻により巻回することで部分巻線９１１が構成されている。ただし、導線９１３の巻き方は任意であり、同心巻に代えて、アルファ巻により導線９１３が多重に巻回されていてもよい。

【０７３０】

図１３０に示すように、各コイルモジュール９１０には、部分巻線９１１の導線９１３の端部が軸方向に引き出されており、その端部が巻線端部９１３ａ，９１３ｂとなっている。巻線端部９１３ａ，９１３ｂは、それぞれ導線９１３の巻き始め及び巻き終わりである。このうち巻線端部９１３ａが電流入出力端子に接続され、巻線端部９１３ｂが中性点に接続されるようになっている。

【０７３１】

次に、固定子コア９０２に対してコイルモジュール９１０を組み付けた状態について説明する。

【０７３２】
図１３２は、複数のコイルモジュール９１０を周方向に並べた状態を示す斜視図であり、図１３３は、複数のコイルモジュール９１０を周方向に並べた状態における横断面を示す図である。なお、図１３３では、同相（例えばＵ相）のコイルモジュール９１０についてドットを付している。
【０７３３】
図１３２に示すように、複数のコイルモジュール９１０はいずれも同一形状をしており、渡り部９２２，９２３の繋ぎ部９２２ｂ，９２３ｂが径方向に延びる向きにして、周方向に並べて配置されている。この場合、径方向に延びる渡り部９２２，９２３により、周方向に隣り合うコイルモジュール９１０どうしの干渉が回避されるようになっている。コイルモジュール９１０の渡り部９２２，９２３（部分巻線９１１の渡り部９１６，９１７）が干渉回避部に相当する。
【０７３４】
固定子コア９０２に対するコイルモジュール９１０の組み付けた状態では、固定子コア９０２の軸方向両端のエンドリング９０３に設けられた凹部９０５（図１２８参照）に対して、コイルモジュール９１０の突出部９２５が係合状態となっている。これにより、固定子コア９０２に対して、周方向の位置精度を高めつつコイルモジュール９１０を組み付けることが可能となっている。エンドリング９０３の凹部９０５とコイルモジュール９１０の突出部９２５とは、互いに対向する係合面どうしがそれぞれ傾斜面（固定子コア９０２と同心となる同心円上の接線に対して傾斜する傾斜面）となっていてもよい。なお、エンドリング９０３の凹部９０５が第１係合部に相当し、コイルモジュール９１０の突出部９２５が第２係合部に相当する。
【０７３５】
軸方向両側において、エンドリング９０３の凹部９０５に対してコイルモジュール９１０の突出部９２５が軸方向に対向し、突出部９２５によりエンドリング９０３が軸方向に押圧される構成であるとよい。この場合、突出部９２５によりエンドリング９０３が軸方向に押圧されることにより、固定子コア９０２において、各コアシートに対する軸方向の押圧力、換言すればコアシートが軸方向に互いに離間しようとすることに抗する付勢力を付与できる。これにより、コアシート間の微小隙間を極力小さくし、ひいては固定子コア９０２の軸長寸法の縮小化を図ることができる。突出部９２５が押圧部に相当する。
【０７３６】
複数のコイルモジュール９１０は、周方向に接触することなく互いに離間した状態で配置されている。この状態において、全てのコイルモジュール９１０を覆うように樹脂モールドが行われるとよい。これにより、各コイルモジュール９１０の脱落等の不都合が抑制できる。なお、コイルモジュール９１０の外周側に拘束リング等の拘束部材を設け、その拘束部材の拘束により径方向への押圧力を付与する構成としてもよい。
【０７３７】
図１３３に示すように、各相のコイルモジュール９１０は所定順序で周方向に並べて配置されている。各コイルモジュール９１０では、一対の直線部９２１が２コイルピッチ分を離して設けられ、その一対の直線部９２１の間に、他２相のコイルモジュール９１０の直線部９２１が１つずつ配置されているため、径方向内外で同相の直線部９２１が並ぶようになっている。
【０７３８】
部分巻線９１１は、要するに以下の構成となっている。部分巻線９１１は、一対の中間導線部９１５として、径方向２層のうち内側に位置する内側導線部と、径方向２層のうち外側に位置する外側導線部とを有し、内側導線部と外側導線部とが、軸方向一端側及び他端側において渡り部９１６，９１７によりそれぞれ接続されている。そして、各相の相巻線は、同一形状の部分巻線９１１を有しており、軸方向一端側及び他端側において渡り部９１６，９１７が周方向に同じ向きで並べられた状態で、各部分巻線９１１が周方向に並べて配置されている。この場合、周方向に隣り合う各部分巻線９１１が、互いの干渉を回

避しつつ周方向に適正に配置される。また、同一形状の部分巻線９１１を用いることで生産性が高められるものとなっている。

【０７３９】

固定子９００は、以下の（Ａ）～（Ｃ）のいずれかを用いたものであるとよい。

（Ａ）固定子９００において、周方向における各導線部（中間導線部９１５）の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、１磁極における導線間部材の周方向の幅寸法をＷｔ、導線間部材の飽和磁束密度をＢｓ、１磁極における磁石７２２の周方向の幅寸法をＷｍ、磁石７２２の残留磁束密度をＢｒとした場合に、Ｗｔ×Ｂｓ≦Ｗｍ×Ｂｒの関係となる磁性材料を用いている。

（Ｂ）固定子９００において、周方向における各導線部（中間導線部９１５）の間に導線間部材を設け、かつその導線間部材として、非磁性材料を用いている。

（Ｃ）固定子９００において、周方向における各導線部（中間導線部９１５）の間に導線間部材を設けていない構成となっている。

【０７４０】

本例の回転電機７００では、固定子９００において、周方向に所定間隔で配置される導線部（中間導線部９１５）の間に導線間部材（いわゆるティース）が設けられていないか、又は導線間部材が設けられていても磁気的に脆弱な構成となっている。そのため、回転子７１０にて生じる磁石磁束が固定子巻線９０１の導線部に直接鎖交し、銅渦損の増加に伴うモータ効率の低下や熱定格性能の低下が懸念される。特に、上記のとおり配向による磁束密度の強化が図られている構成においては、銅渦損の影響がより顕著に生じることが懸念される。

【０７４１】

この点、上記構成では、固定子巻線９０１において、部分巻線９１１を、周方向に離して設けられた同相の導線部間で導線９１３を多重に巻回して構成した。また、各相の相巻線を、複数の部分巻線９１１どうしを並列接続することで構成した。これにより、固定子巻線９０１において導線１本あたりの断面積の細分化が可能となり、銅渦損の発生を抑制でき、ひいては、モータ効率の向上や熱定格性能の向上を図ることができる。

【０７４２】

また、磁極の極数をＰ、１相当たりの部分巻線９１１の数をＮ個とした場合に、極数ＰがＮであり、相巻線では、相ごとにＮ個の部分巻線９１１が全て並列接続されている。本例において具体的には、１相当たりの部分巻線９１１の数（Ｎ）は、それぞれ４８であり、極数Ｐは４８である。図１２９で言えば、Ｕ、Ｖ、Ｗの各相の相巻線において、部分巻線９１１の並列数がいずれも４８となっている。この場合、相ごとに全ての部分巻線９１１を並列接続することにより、固定子巻線９０１での各導線の断面積の最小化が可能となり、銅渦損のより一層の低減を図ることができる。

【０７４３】

部分巻線９１１として、以下の構成を用いることも可能である。図１３４に示すように、部分巻線９１１は、複数本の細線９３１が並列接続されてなる複合導線９３０を用い、その複合導線９３０を多重に巻回することで構成されている。図１３４において、複合導線９３０は、例えば３本の細線９３１ａ，９３１ｂ，９３１ｃを有する束線として構成されている。説明の便宜上、図１３４では、同一となる細線９３１に同じ断面表記を付し、異なる細線９３１に異なる断面表記を付している。なお、複合導線９３０における細線９３１の数は２以上であればよく任意である。

【０７４４】

そして、部分巻線９１１の中間導線部９１５において、複合導線９３０は各細線９３１ａ～９３１ｃの並びが周方向に同じになるように配置されている。具体的には、図１３４に示すように、中間導線部９１５では、各細線９３１ａ～９３１ｃが径方向に一列に並んだ状態で、複合導線９３０が周方向に４列に、径方向に２段に巻回されている。この場合、周方向に見ていずれの列においても各細線９３１の並びが同じになっている。

【０７４５】

上記構成では、複数本の細線９３１が並列接続されてなる複合導線９３０を用いその複合導線９３０を多重巻にすることで、換言すれば１本の導線内において導体の更なる細分化を図ることで、固定子巻線９０１における導体断面積の更なる低減が可能となり、銅渦損の低減効果が高められる。また、部分巻線９１１の導線部において、複合導線９３０を複数本の細線９３１の並びが周方向に同じになるように配置すること（すなわち周方向に均等配置すること）で、その複合導線９３０での循環電流の発生を抑制し、銅渦損や循環電流損の低減を図ることができる。

【０７４６】

並列接続される各細線９３１は、互いに電気抵抗が略等しくなるように導線の長さ又は断面積が設定されている。これにより、並列回路内の電流の偏りとこれに伴う損失の悪化とを抑制することができる。

【０７４７】

なお、部分巻線９１１の導線部において、複数本の細線９３１の並びが周方向に同じになるように複合導線９３０が配置される構成としては、各細線９３１が径方向に１列に並ぶ構成以外であってもよい。要は、径方向に比べて、周方向において電流の偏りが生じないようにした構成であればよい。

【０７４８】

複合導線９３０は、複数本の細線９３１が互いに撚られて構成されているとよい。これにより、複合導線９３０における複数本の細線９３１での互いの電位差を無くし、複合導線９３０での循環電流の抑制を図ることができる。

【０７４９】

具体的には、図１３５（ａ）に示すように、複合導線９３０は、複数本の細線９３１を周方向に捩ることで形成される撚り線であるとよい。又は、図１３５（ｂ）に示すように、複合導線９３０は、複数本の細線９３１を互いに編み込むことで形成される撚り線であるとよい。なお、全ての細線９３１が互いに編み込まれる構成であるとよい。この場合、複数に並列化された各細線９３１間の電位差を無くし、複合導線９３０内の循環電流を抑制することができる。

【０７５０】

（変形例１７の別例）

・コイルモジュール９１０の構成として、部分巻線９１１をボビン状の巻線ホルダに一体的に設けた構成を採用してもよい。この場合、巻線ホルダは、部分巻線９１１を囲む四方のうち少なくとも固定子コア９０２側の絶縁壁を有するもの、又は、固定子コア９０２側の絶縁壁及び反固定子コア側の絶縁壁を有するものであればよい。この場合、部分巻線９１１を囲む四方において全てを絶縁壁で囲わなくても、その一部が露出していてもよい。

【０７５１】

・固定子コア９０２に固定されたエンドリング９０３の凹部９０５に対してコイルモジュール９１０の突出部９２５が係合する構成に代えて、固定子コア９０２に形成された凹部に対してコイルモジュール９１０の突出部９２５が係合する構成であってもよい。

【０７５２】

・コイルモジュール９１０の一対の直線部９２１（部分巻線９１１の一対の中間導線部９１５）が軸方向に平行でなく、軸方向に傾斜していてもよい。この場合、固定子巻線９０１のスキュー構造が実現できる。

【０７５３】

（変形例１５～１７における他の別例）

・回転電機７００における固定子巻線７３１や固定子巻線９０１は２相の相巻線（Ｕ相巻線及びＶ相巻線）を有する構成であってもよい。この場合、例えば部分巻線７４１では、一対の中間導線部７４６が１コイルピッチ分を離して設けられ、一対の中間導線部７４６の間に、他１相の部分巻線７４１における中間導線部７４６が１つ配置される構成となっていればよい。

【０７５４】

・ここまでは、変形例１５～１７の回転電機７００としてアウタロータ式の表面磁石型回転電機を説明してきたが、これに代えてインナロータ式の表面磁石型回転電機として具体化することも可能である。インナロータ式とする場合、固定子７３０において、固定子コア７３２の径方向内側に複数のコイルモジュール７４０やコイルモジュール８５０を並べて配置するとよい。又は、固定子９００において、固定子コア９０２の径方向内側に複数のコイルモジュール９１０を並べて配置するとよい。

【０７５５】

・回転電機７００に用いられる固定子７３０，９００は、バックヨークから延びる突起部（例えばティース）を有するものであってもよい。この場合にも、固定子コアに対するコイルモジュール７４０等の組み付けがバックヨークに対して行われるものであればよい。

【０７５６】

・回転電機としては、星形結線のものに限らず、Δ結線のものであってもよい。

【０７５７】

・回転電機７００として、界磁子を回転子とする回転界磁形の回転電機に代えて、電機子を回転子とする回転電機子形の回転電機を採用することも可能である。

【０７５８】

この明細書における開示は、例示された実施形態に制限されない。開示は、例示された実施形態と、それらに基づく当業者による変形態様を包含する。例えば、開示は、実施形態において示された部品および／または要素の組み合わせに限定されない。開示は、多様な組み合わせによって実施可能である。開示は、実施形態に追加可能な追加的な部分をもつことができる。開示は、実施形態の部品および／または要素が省略されたものを包含する。開示は、ひとつの実施形態と他の実施形態との間における部品および／または要素の置き換え、または組み合わせを包含する。開示される技術的範囲は、実施形態の記載に限定されない。開示されるいくつかの技術的範囲は、請求の範囲の記載によって示され、さらに請求の範囲の記載と均等の意味及び範囲内での全ての変更を含むものと解されるべきである。

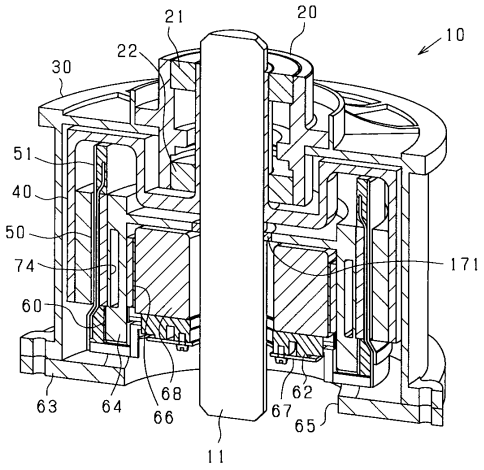
【符号の説明】

【０７５９】

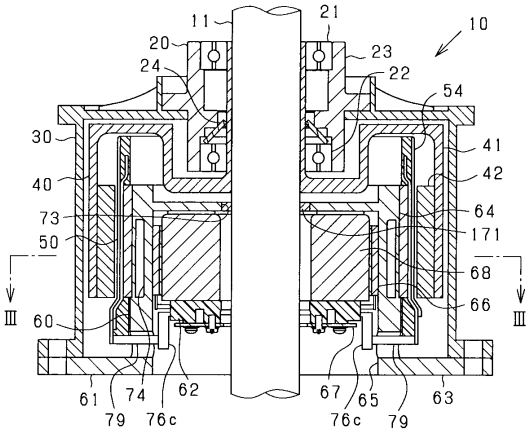
７００…回転電機、７１０…回転子（界磁子）、７２２…磁石（磁石部）、７３０…固定子（電機子）、７３１…固定子巻線（電機子巻線）、７３２…固定子コア（バックヨーク）。

【図面】

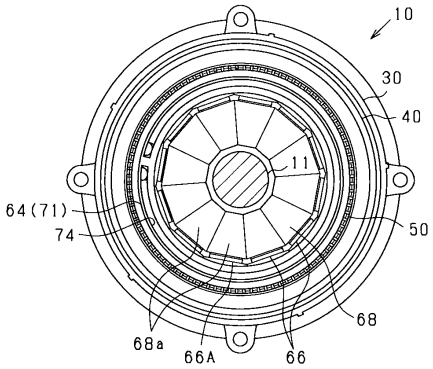
【図１】


10
11
20
21
22
30
40
50
51
60
63
64
66
67
68
74
171

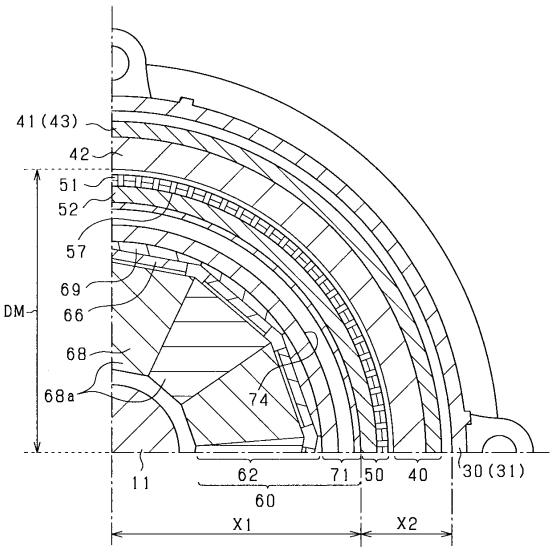
【図２】


10
11
20
21
22
23
24
30
40
41
42
50
51
52
54
57
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
73
74
76c
79
171
Ⅲ
Ⅲ

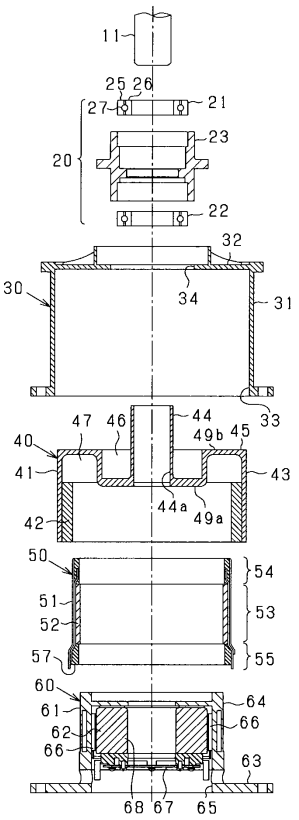
【図３】


10
11
30
40
50
64(71)
74
66
66A
68
68a

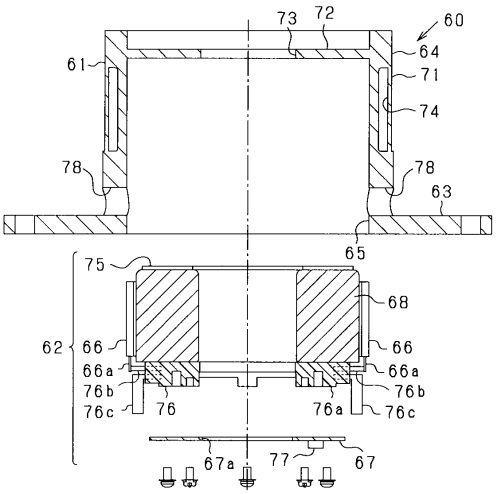
【図４】


41(43)
42
51
52
57
69
66
68
68a
74
DM
11
62
71
50
40
30(31)
60
X1
X2

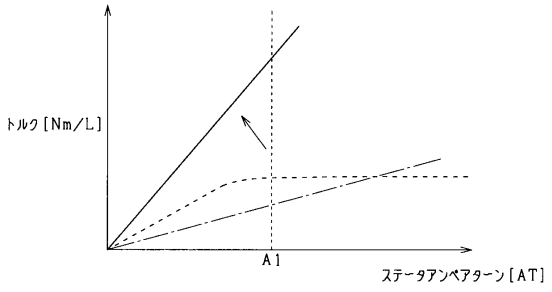
【図５】


11
25 26
27
21
23
20
22
32
30
34
31
33
47 46
44
49b 45
40
41
43
44a
49a
42
50
54
51
53
52
55
57
60
64
61
66
62
66
63
68 67 65

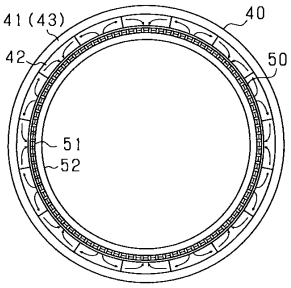
【図６】


73 72
60
64
61
71
74
78
78
63
65
75
68
62
66
66
66a
66a
76b
76b
76c
76
76a
76c
67a
77
67

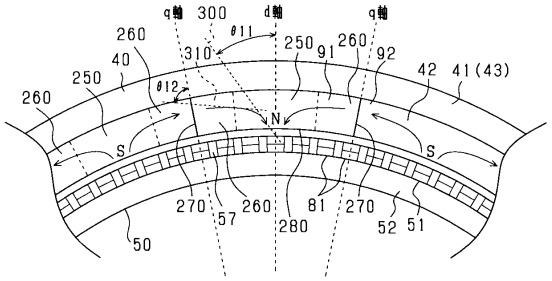
【図７】


トルク［Nm/L］
A1
ステータアンペアターン［AT］

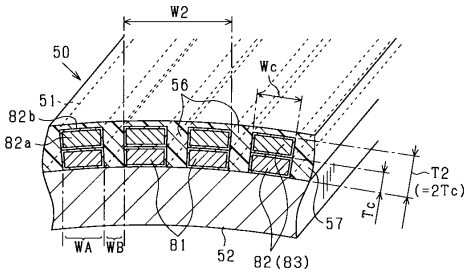
【図８】


41 (43)
40
42
50
51
52

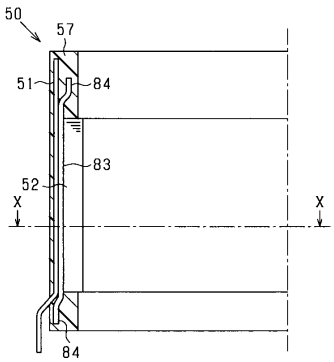
【図９】



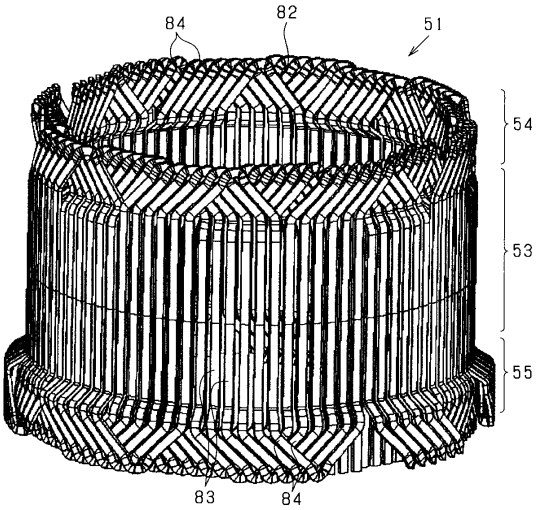
【図１０】



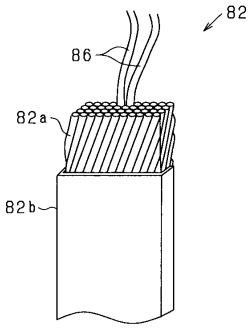
【図１１】



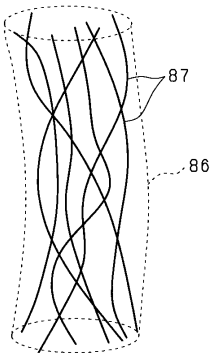
【図１２】



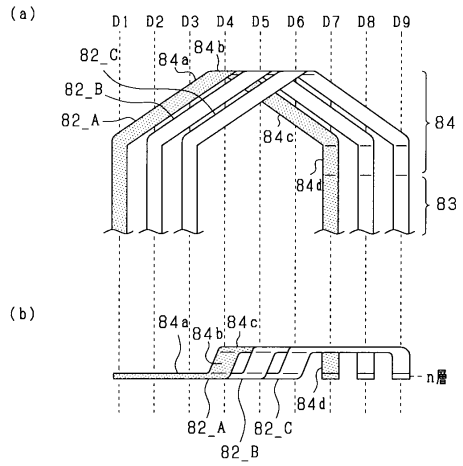
【図１３】



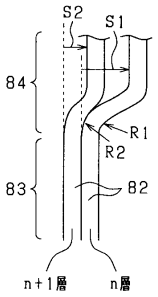
【図１４】



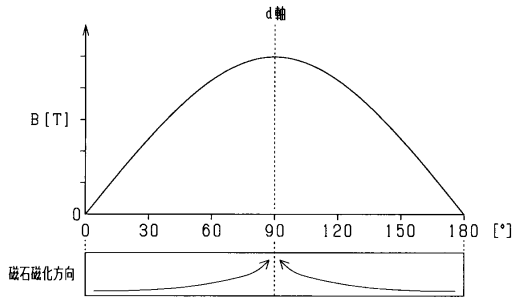
【図１５】



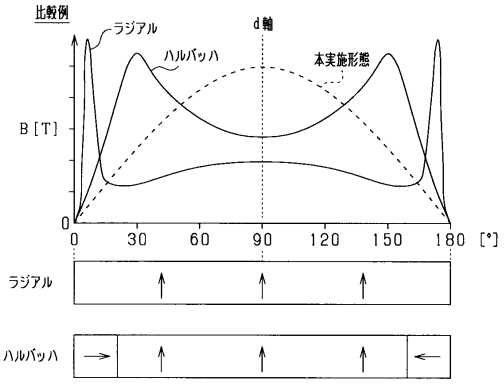
【図１６】



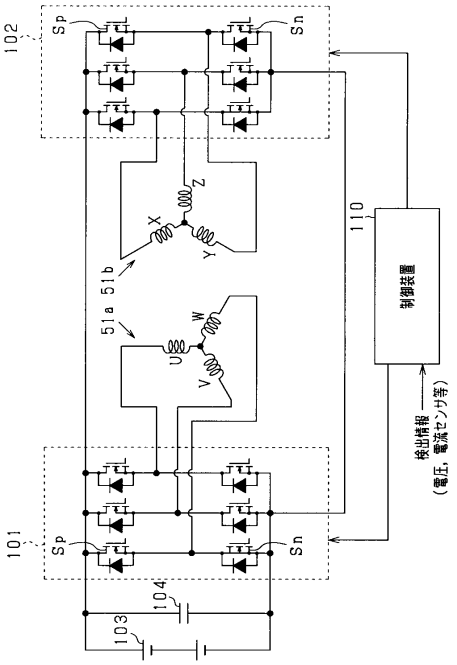
【図１７】



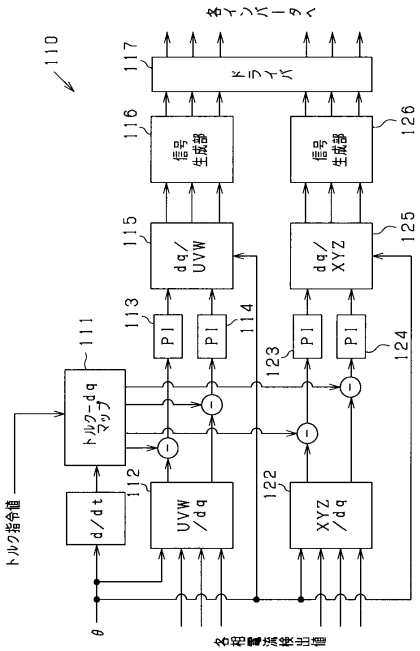
【図１８】



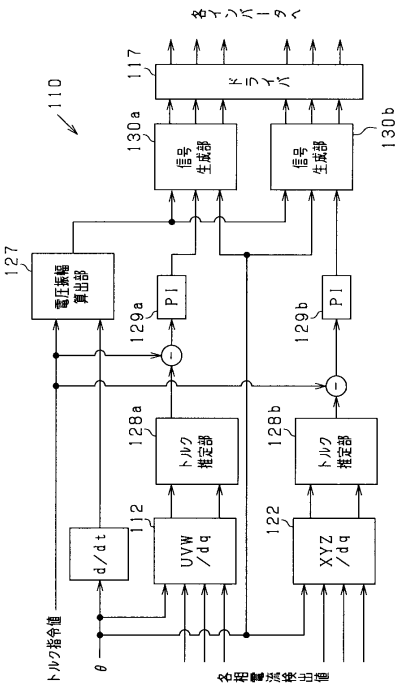
【図１９】



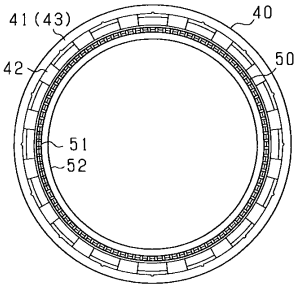
【図２０】



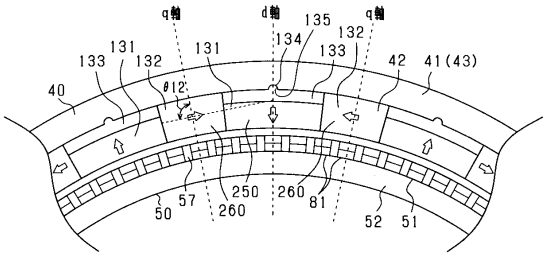
【図２１】



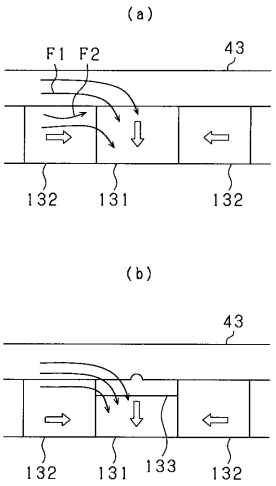
【図２２】



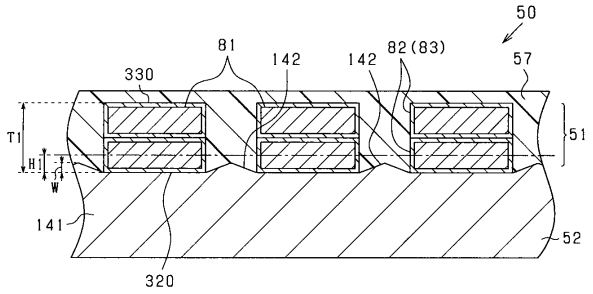
【図２３】



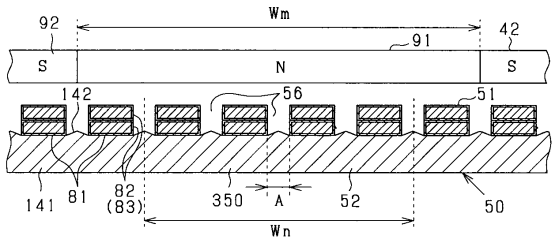
【図２４】



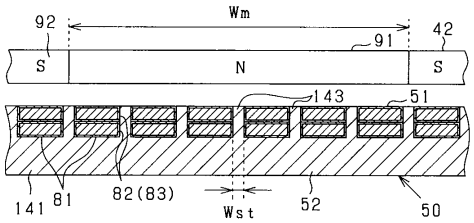
【図２５】



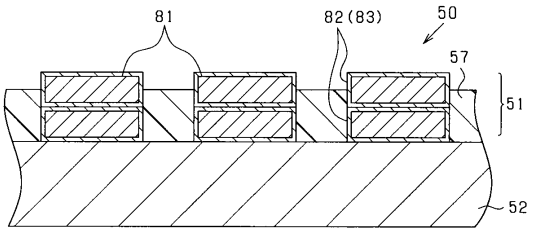
【図２６】



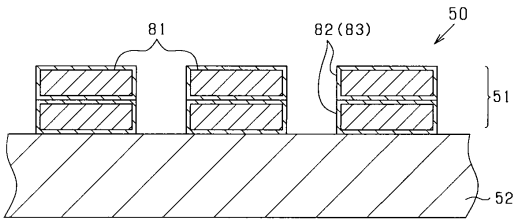
【図２７】



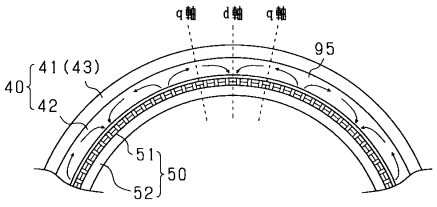
【図２８】



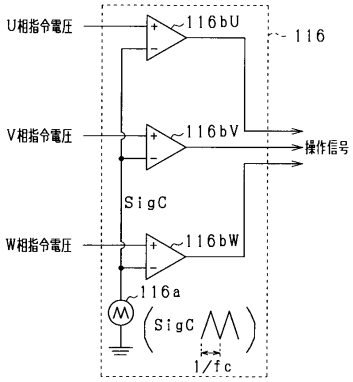
【図２９】



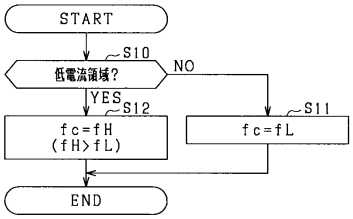
【図３０】



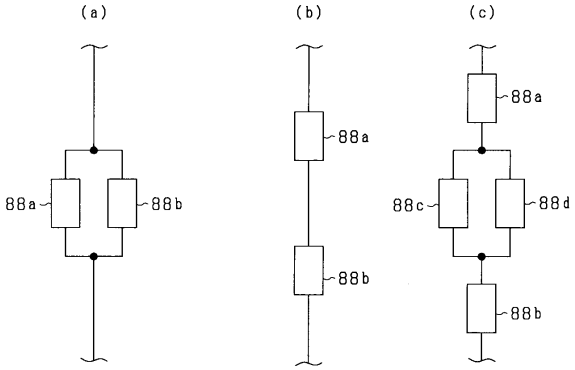
【図３１】



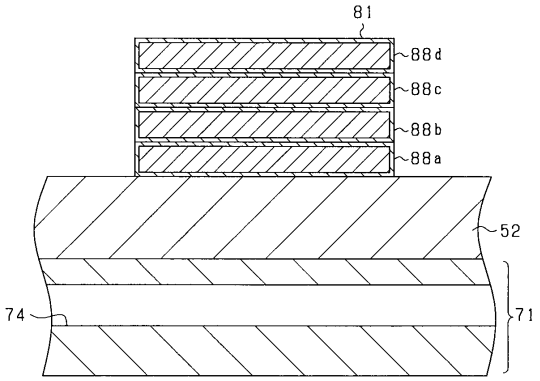
【図３２】



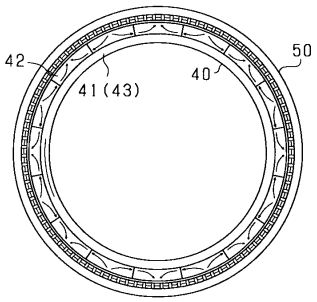
【図３３】



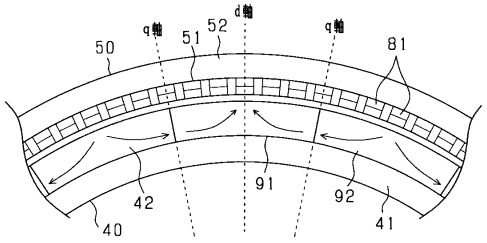
【図３４】



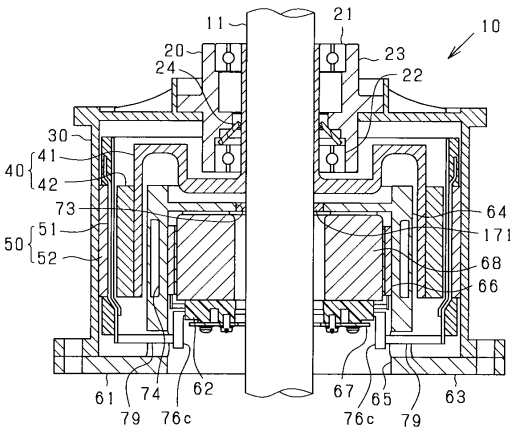
【図３５】



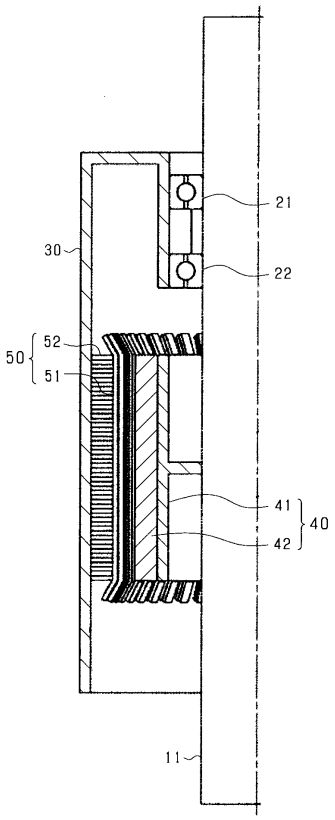
【図３６】



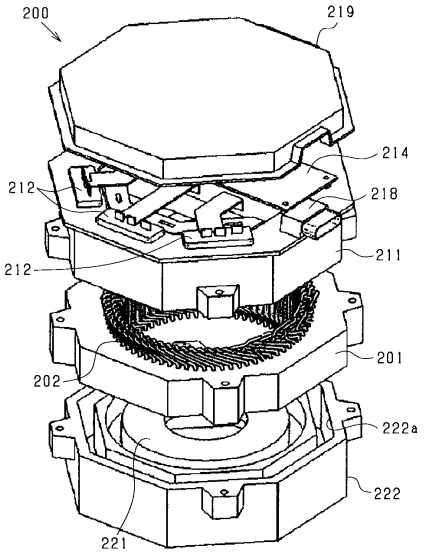
【図３７】



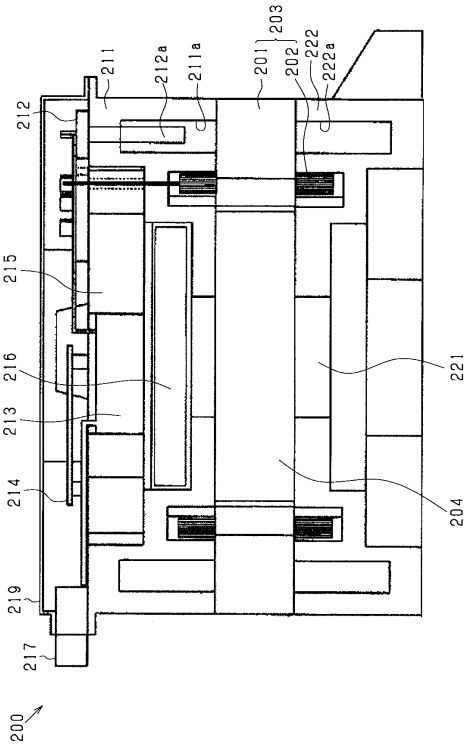
【図３８】



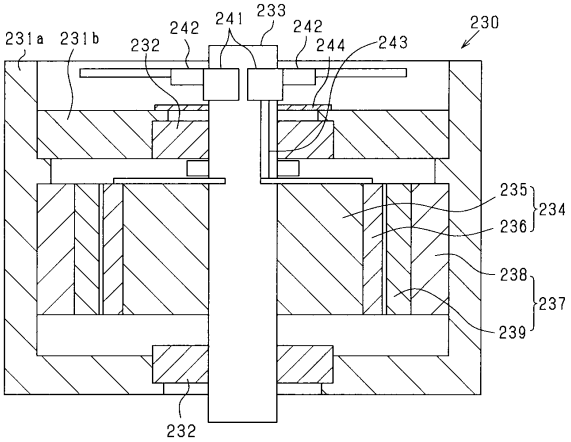
【図３９】



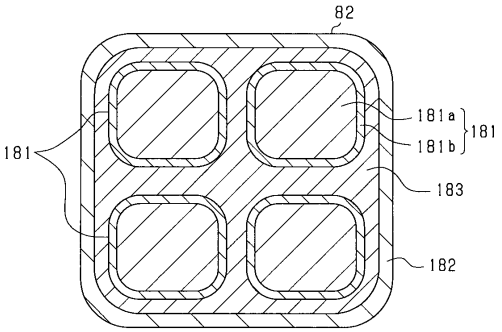
【図４０】



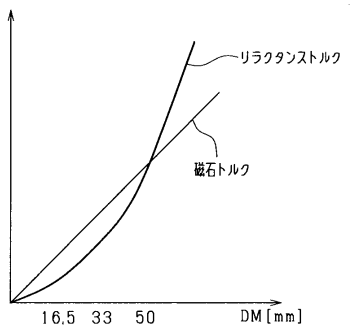
【図４１】



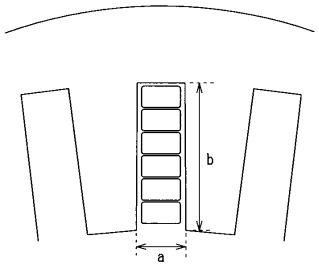
【図４２】



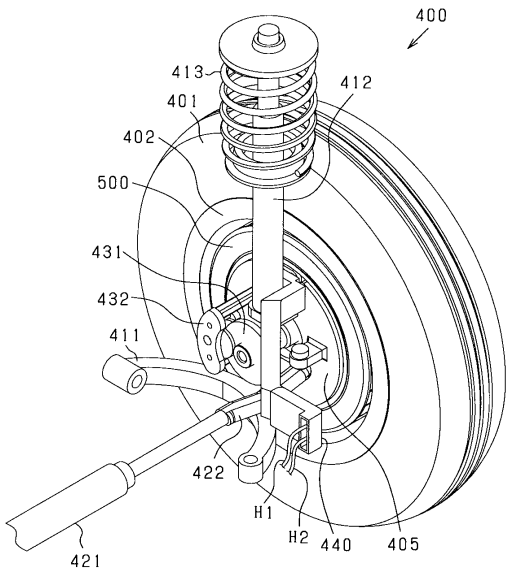
【図４３】



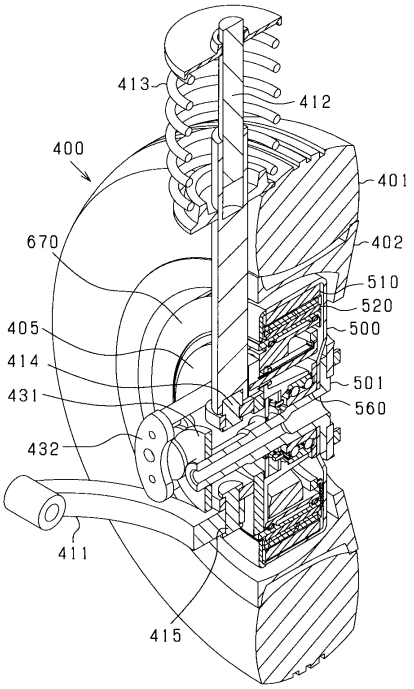
【図４４】



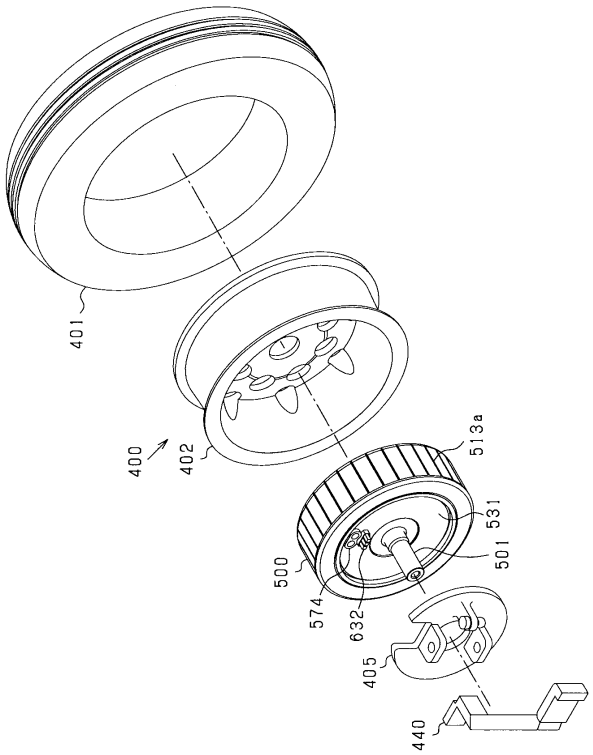
【図４５】



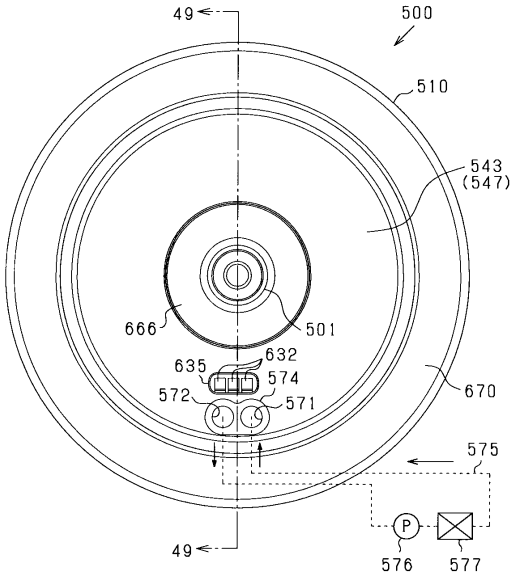
【図４６】



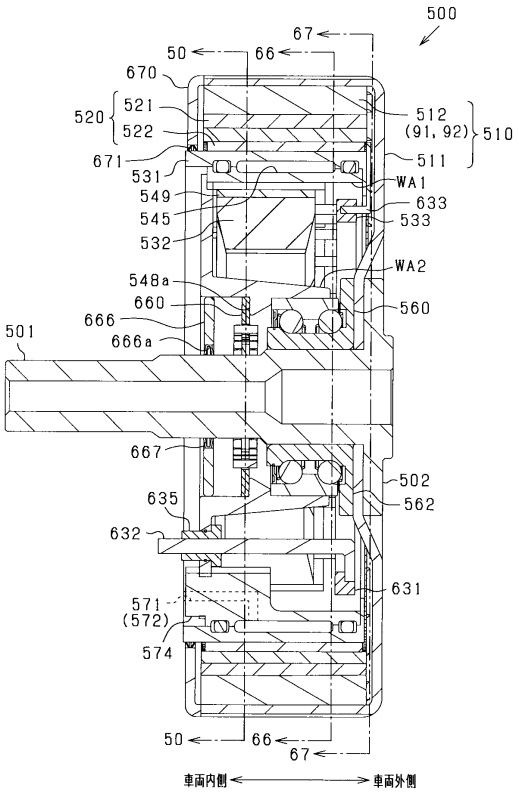
【図４７】



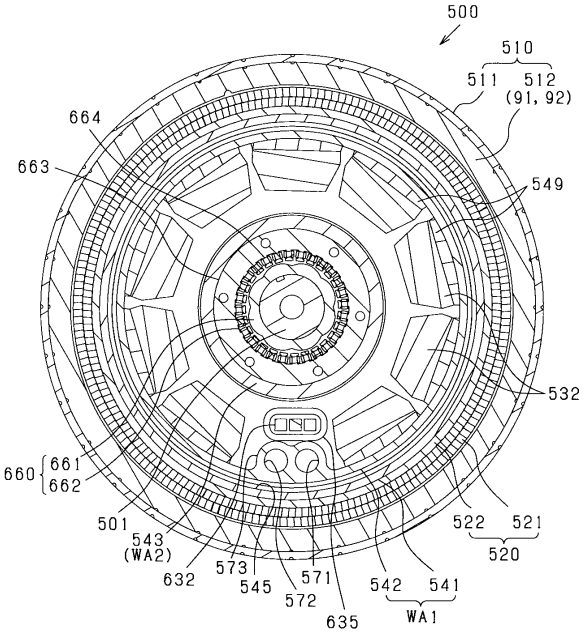
【図４８】



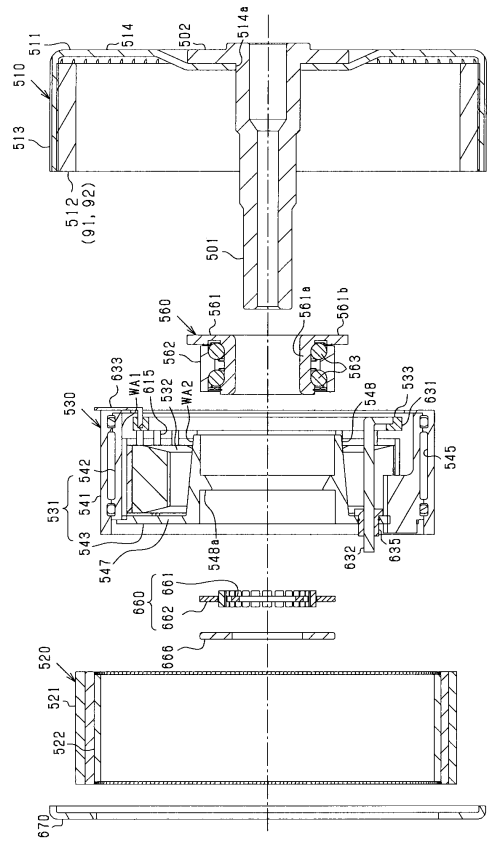
【図４９】



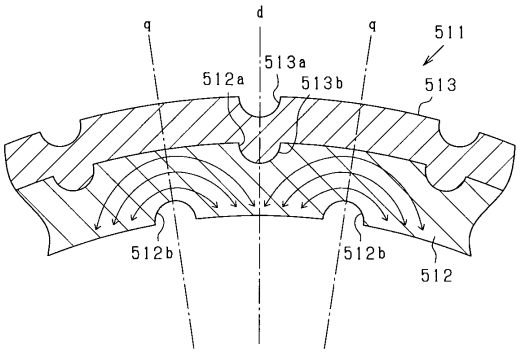
【図５０】



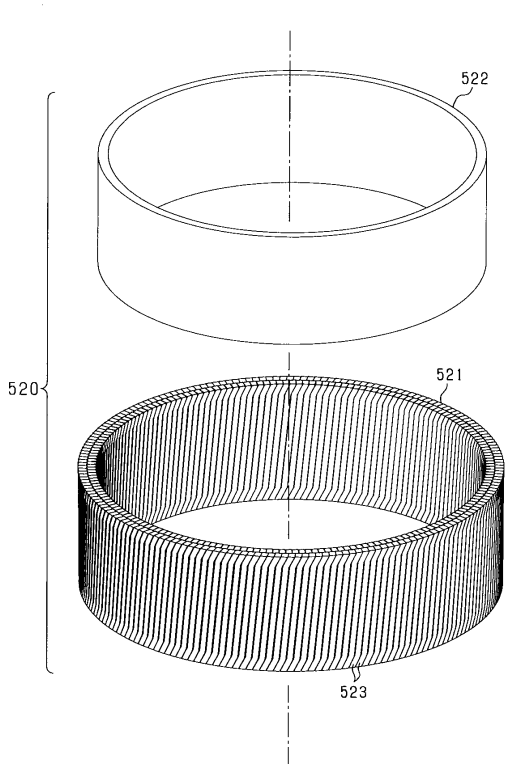
【図５１】



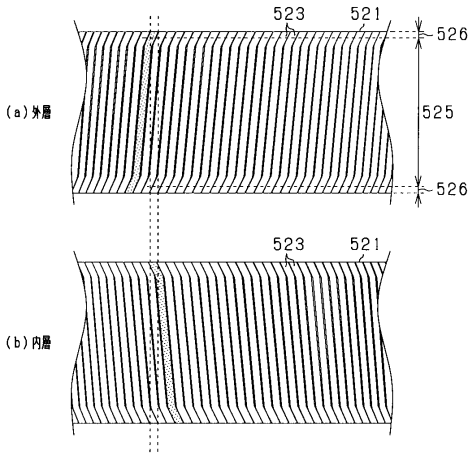
【図５２】



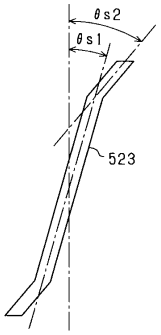
【図５３】



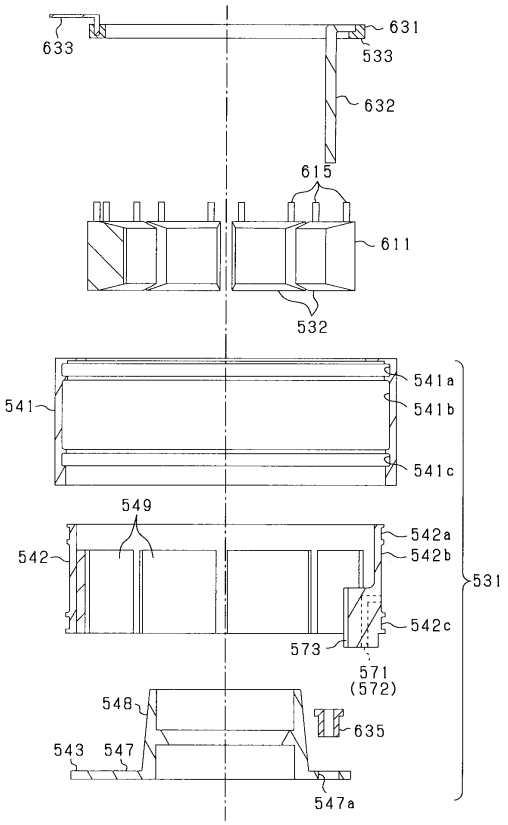
【図５４】



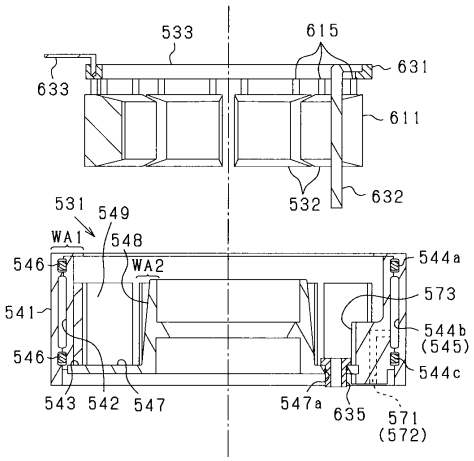
【図５５】



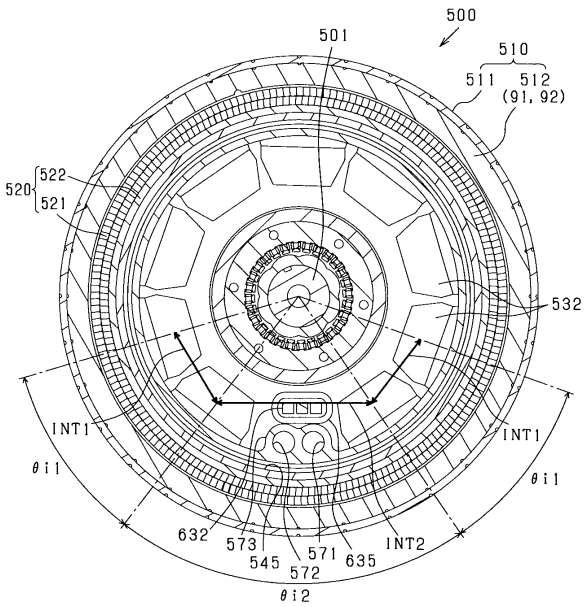
【図５６】



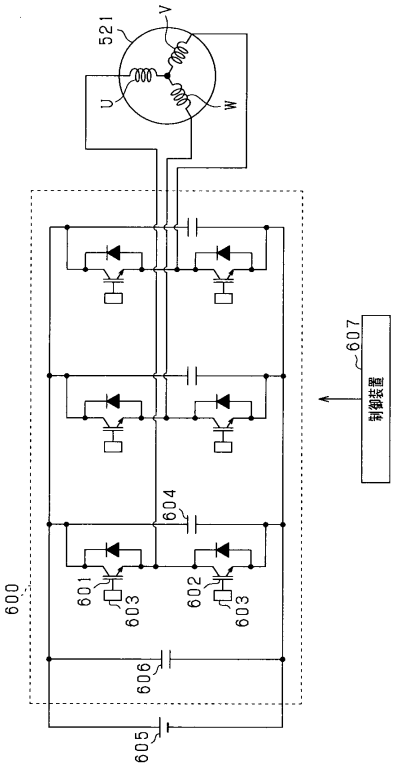
【図５７】



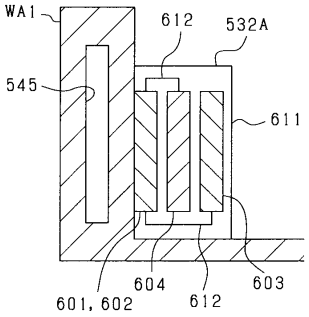
【図５８】



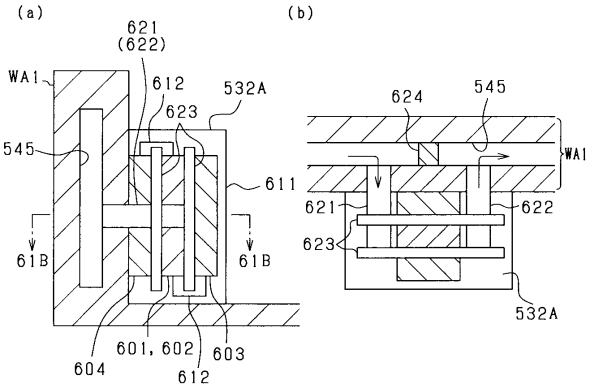
【図５９】



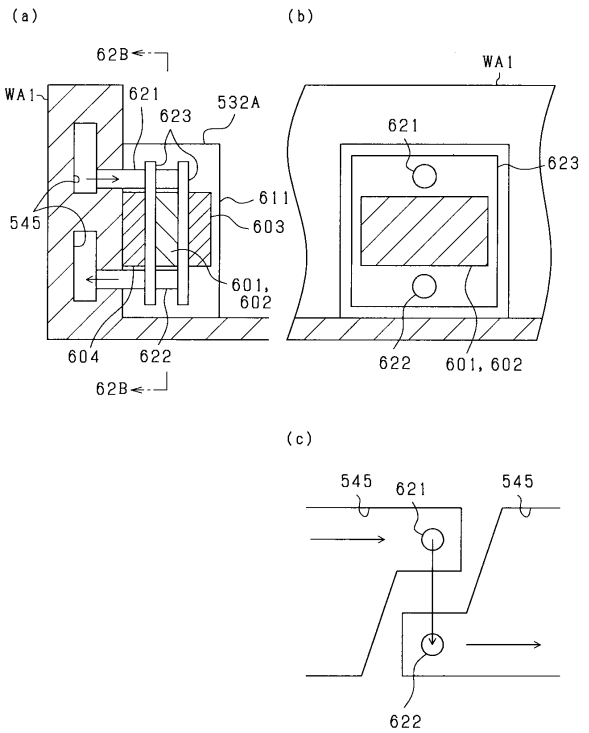
【図６０】



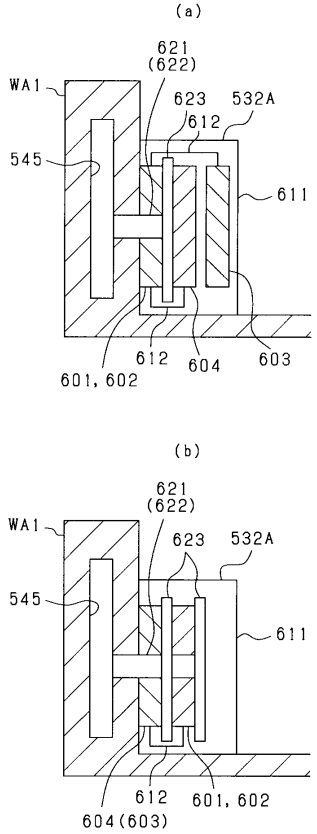
【図６１】



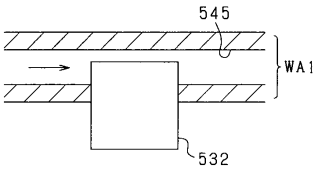
【図６２】



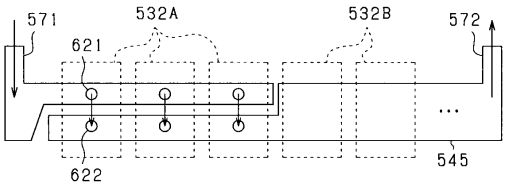
【図６３】



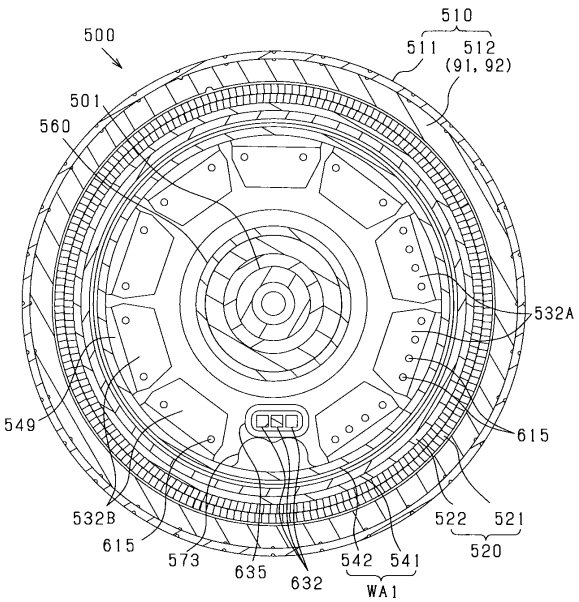
【図６４】



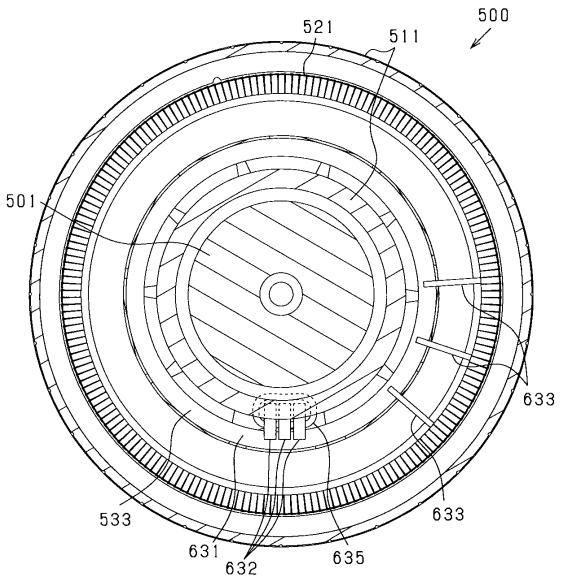
【図６５】



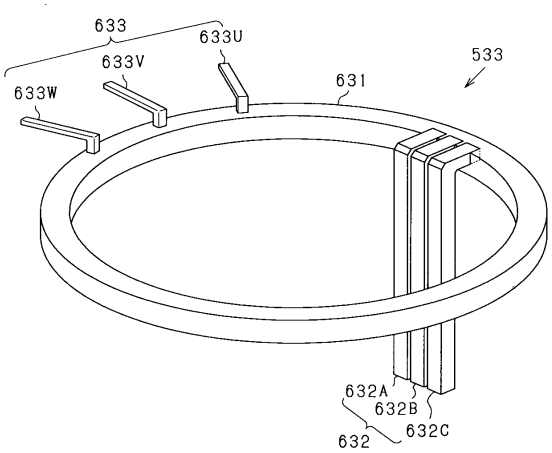
【図６６】



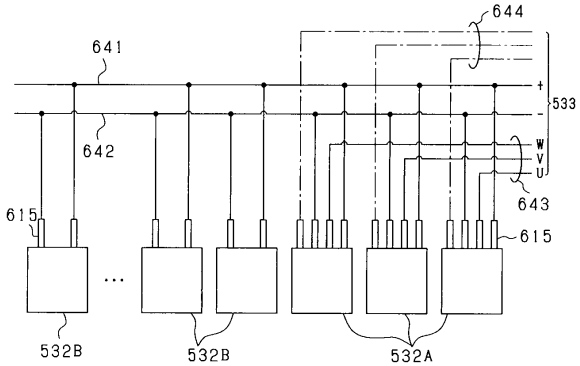
【図６７】



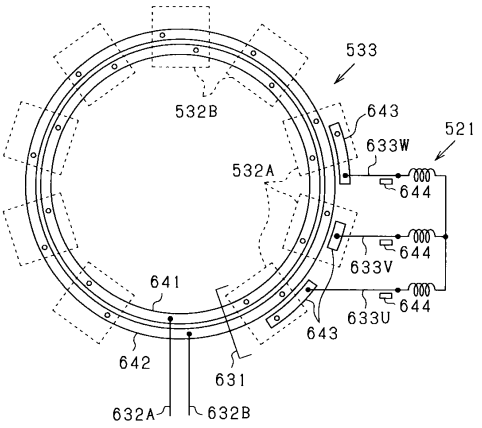
【図６８】



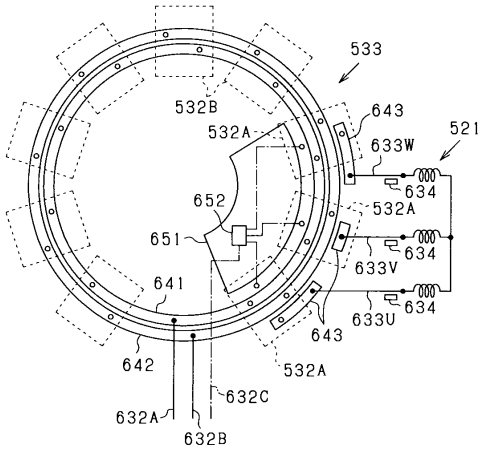
【図６９】



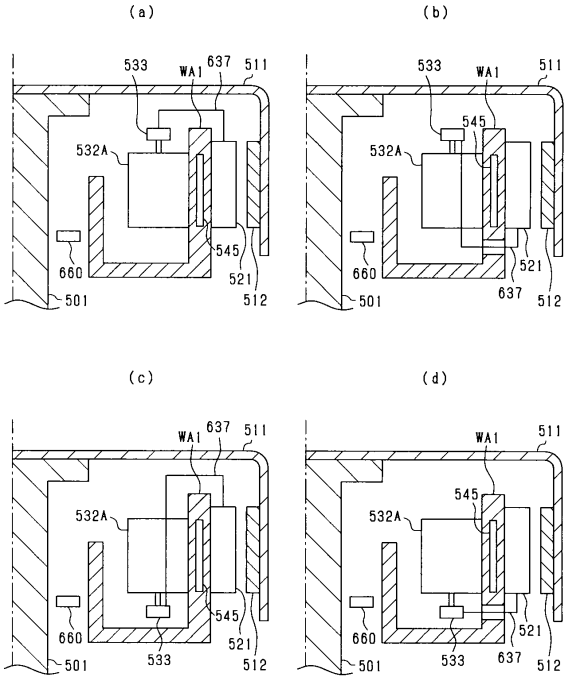
【図７０】



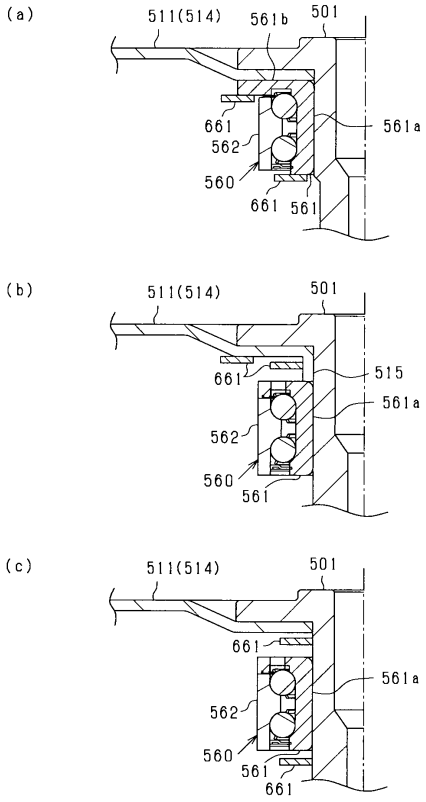
【図７１】



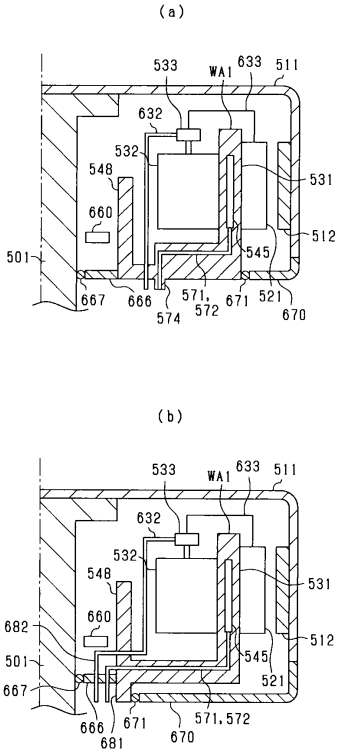
【図７２】



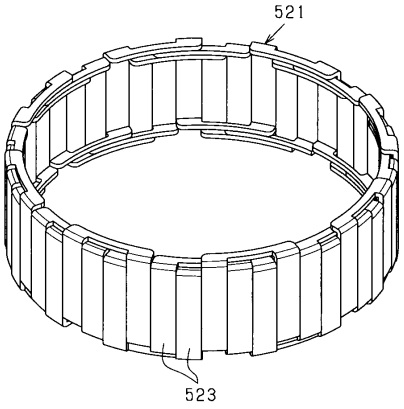
【図７３】



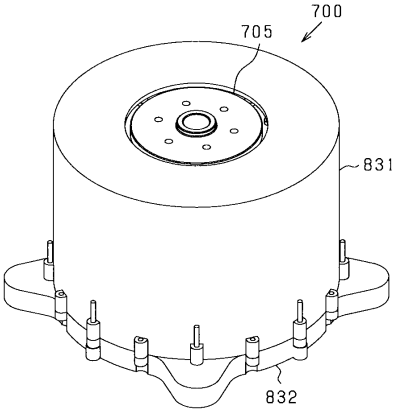
【図７４】



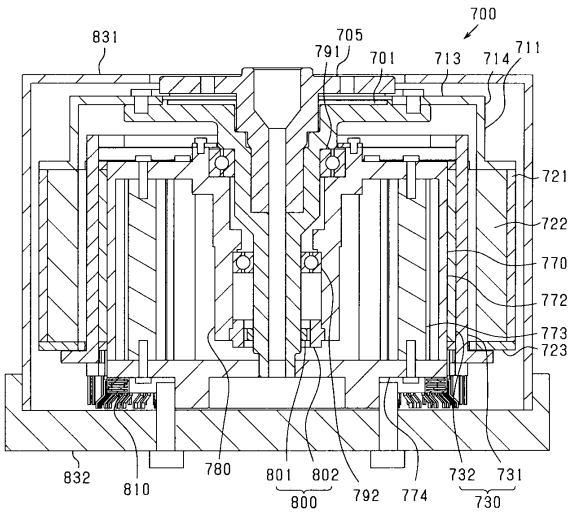
【図７５】



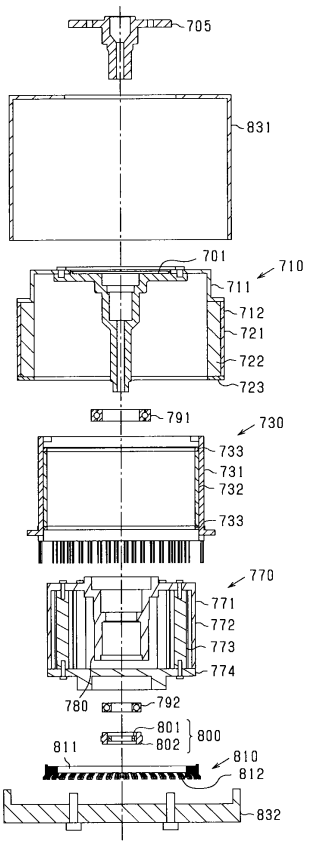
【図７６】



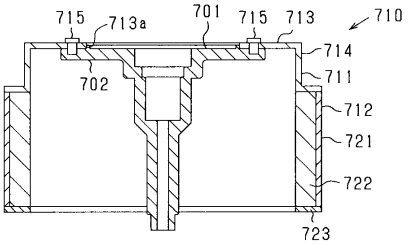
【図７７】



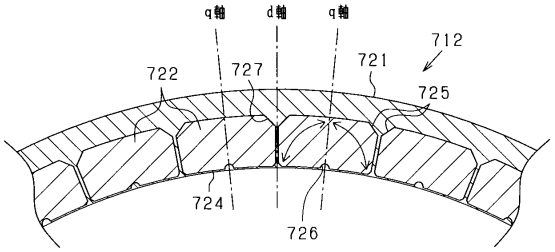
【図７８】



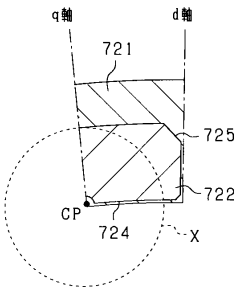
【図７９】



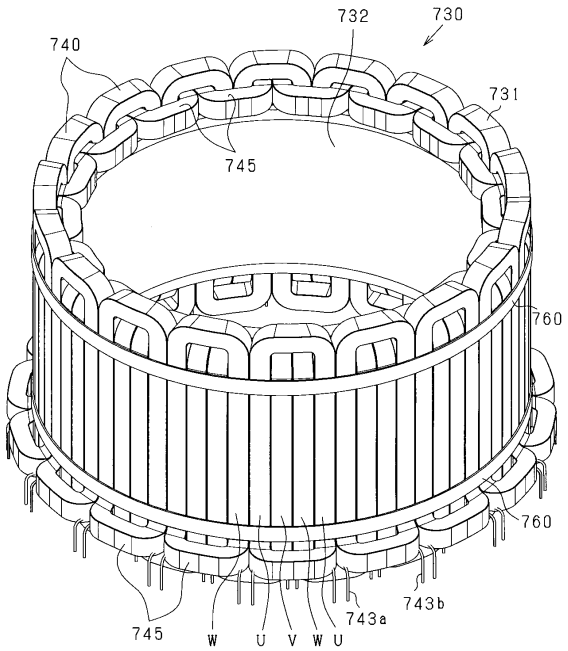
【図８０】



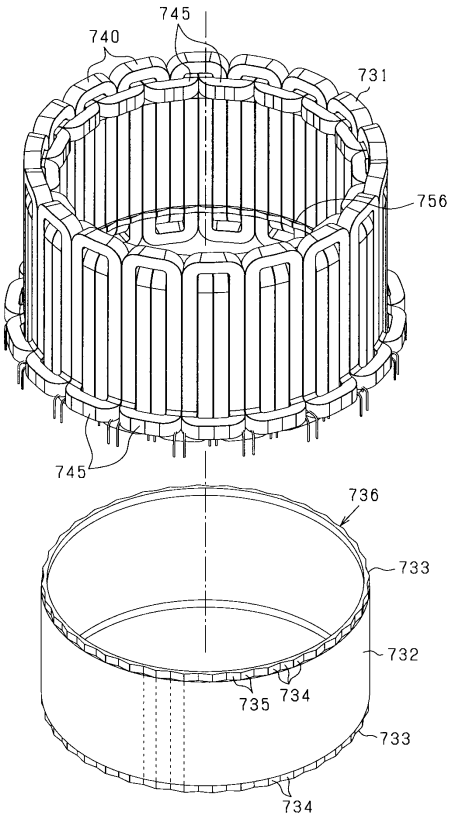
【図８１】



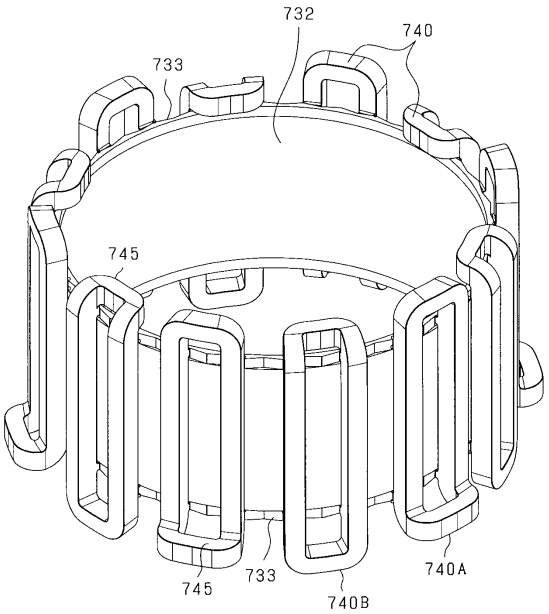
【図８２】



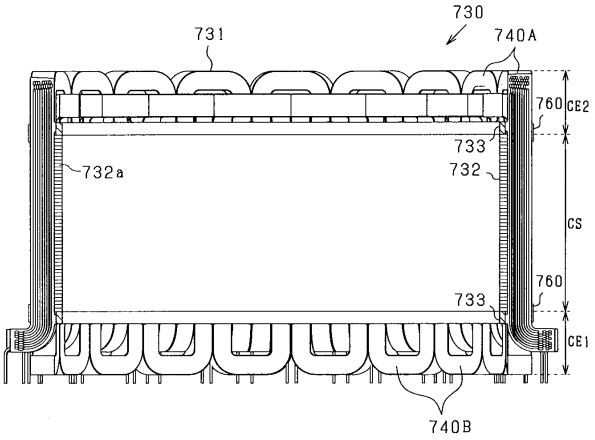
【図８３】



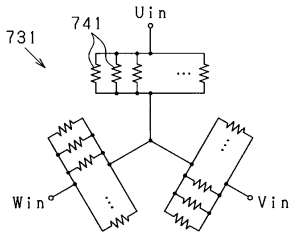
【図８４】



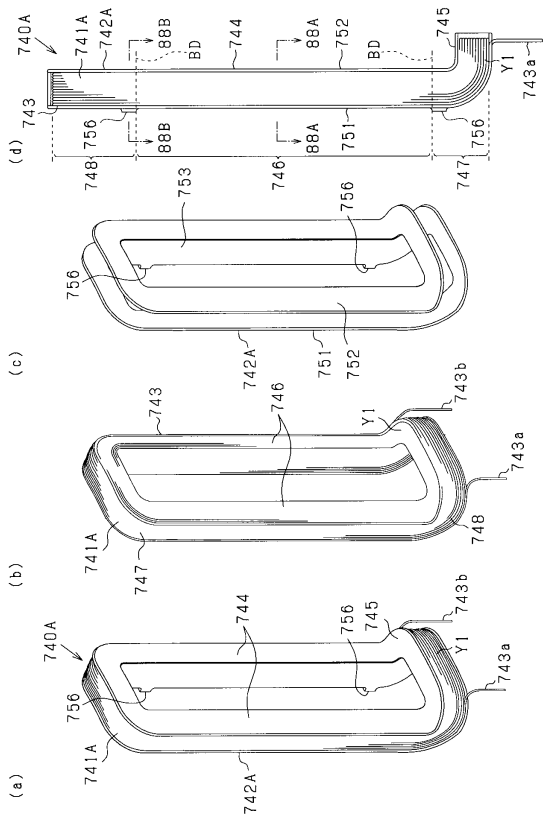
【図８５】



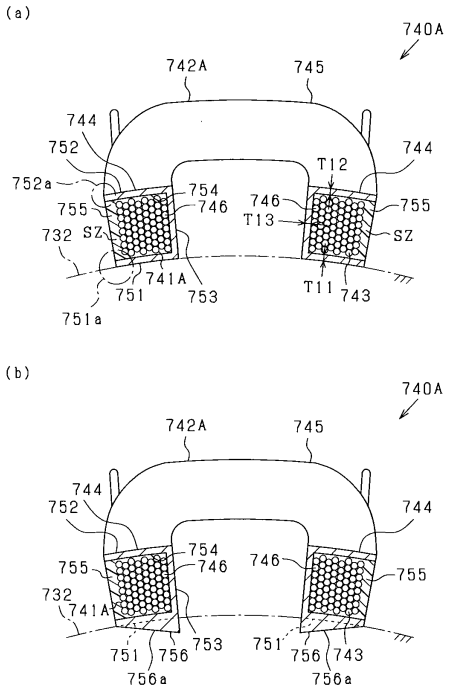
【図８６】



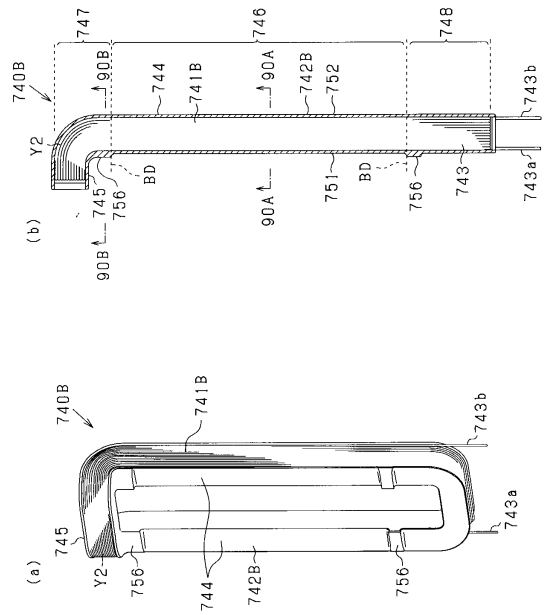
【図８７】



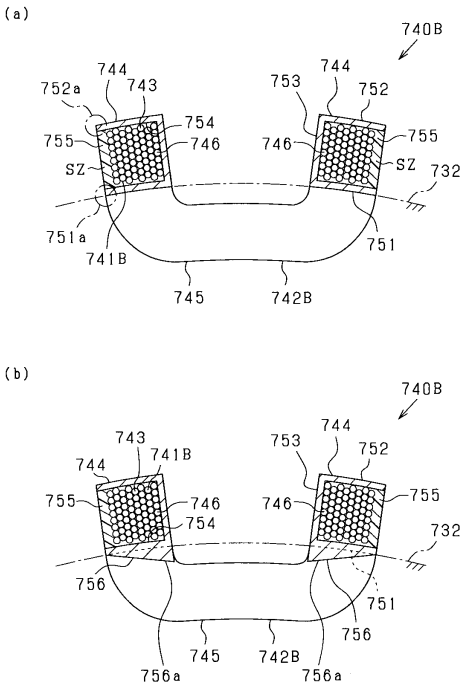
【図８８】



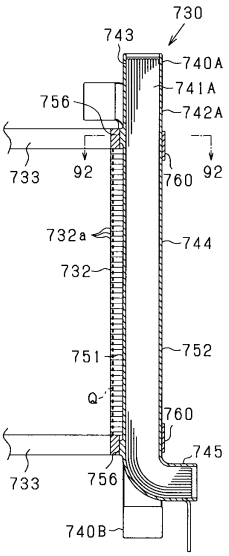
【図８９】



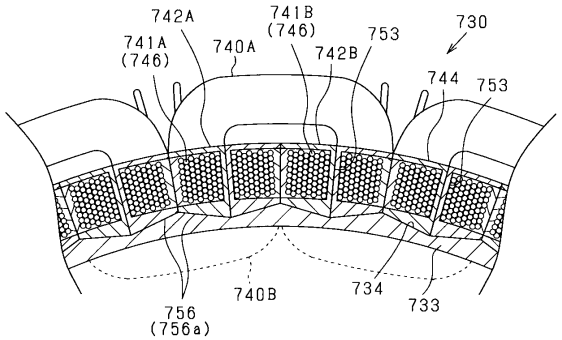
【図９０】



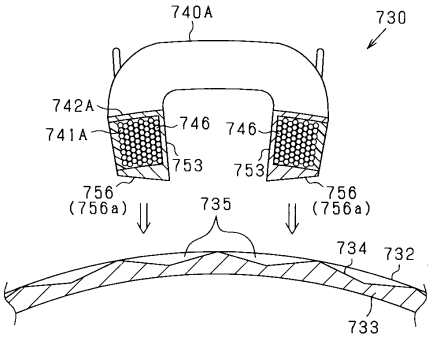
【図９１】



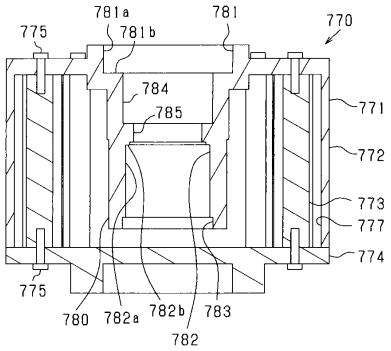
【図９２】



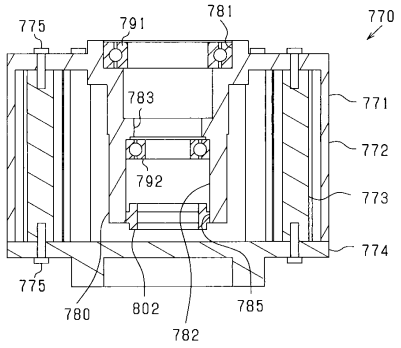
【図９３】



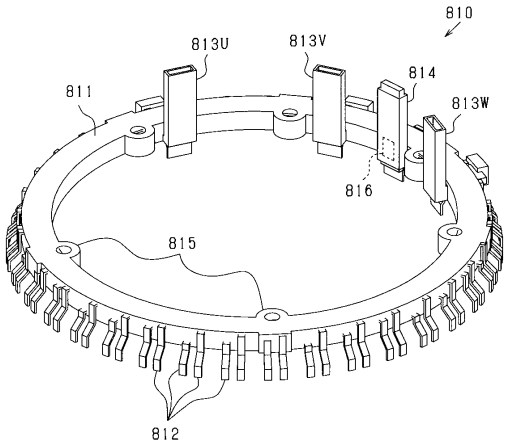
【図９４】



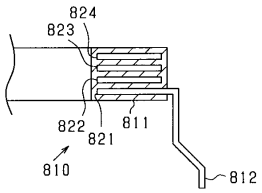
【図９５】



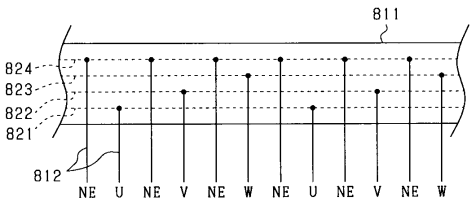
【図９６】



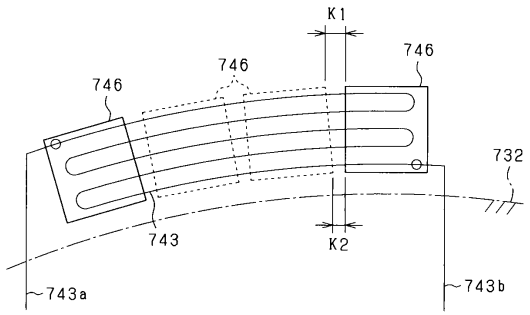
【図９７】



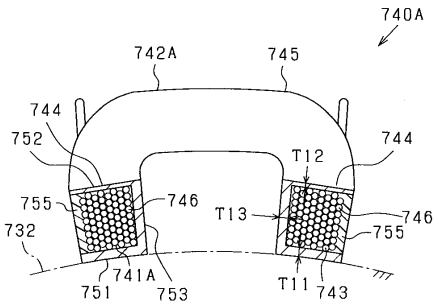
【図９８】



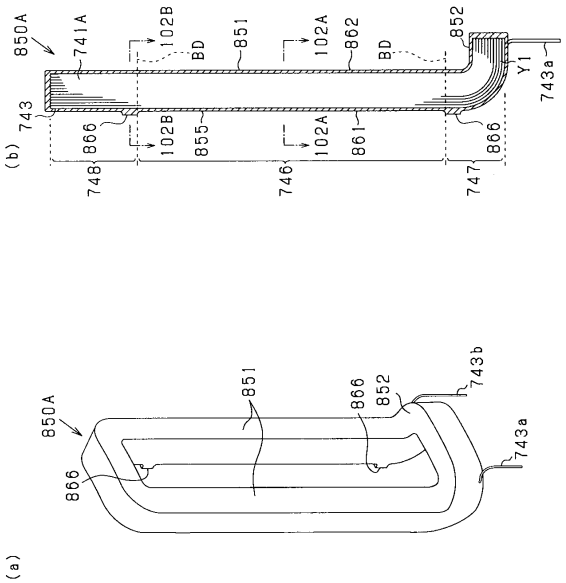
【図９９】



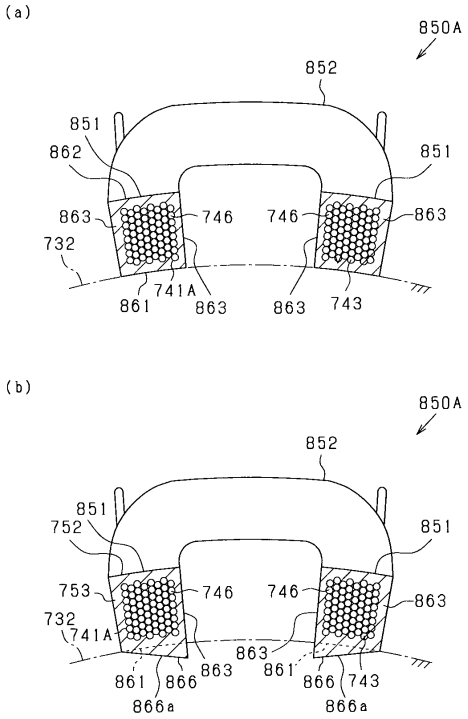
【図１００】



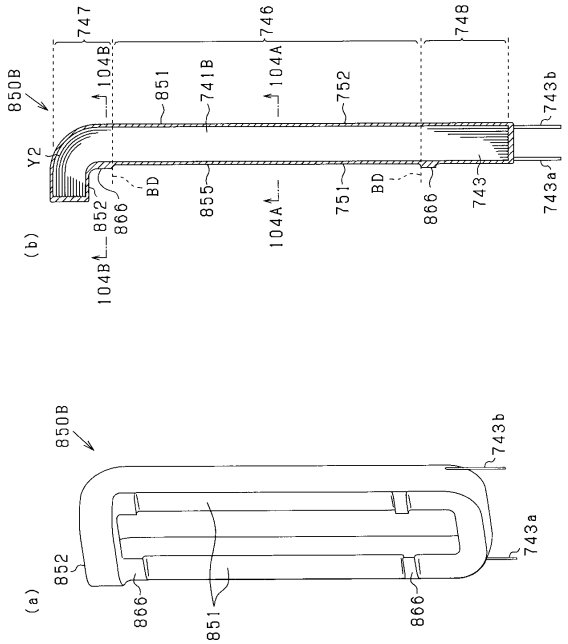
【図１０１】



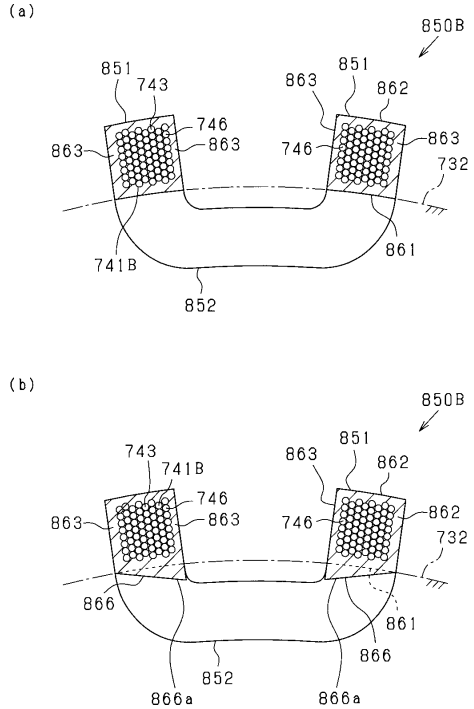
【図１０２】



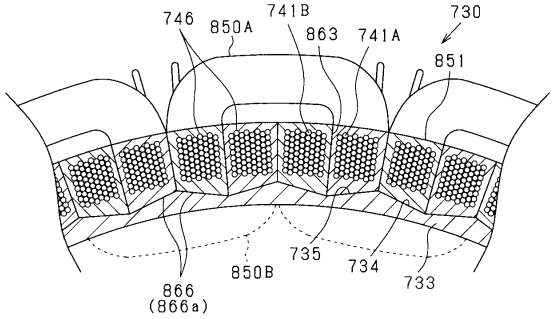
【図１０３】



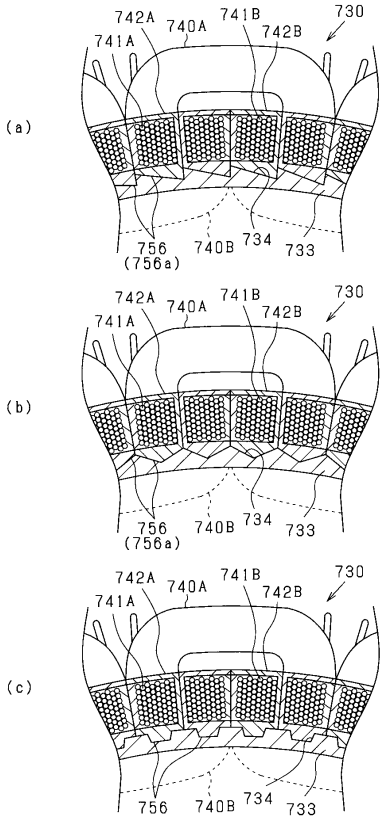
【図１０４】



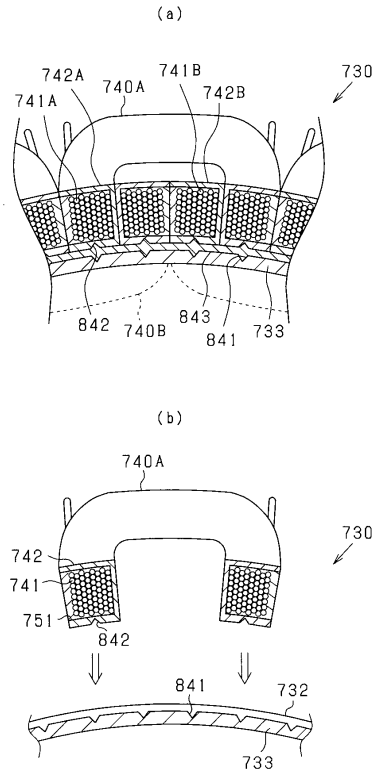
【図１０５】



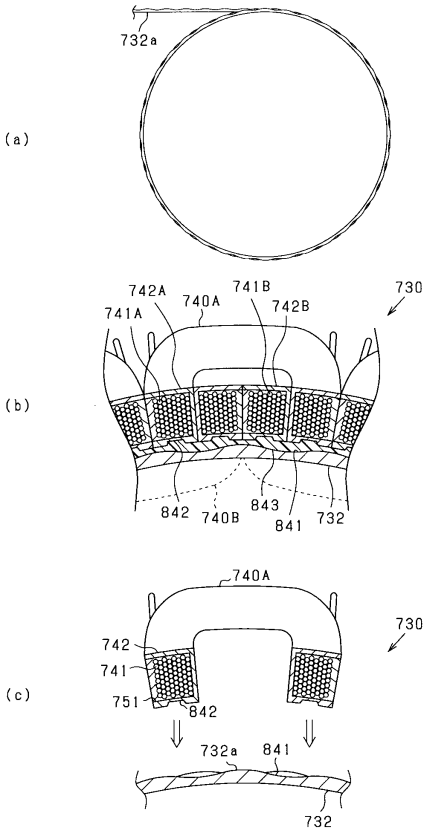
【図１０６】



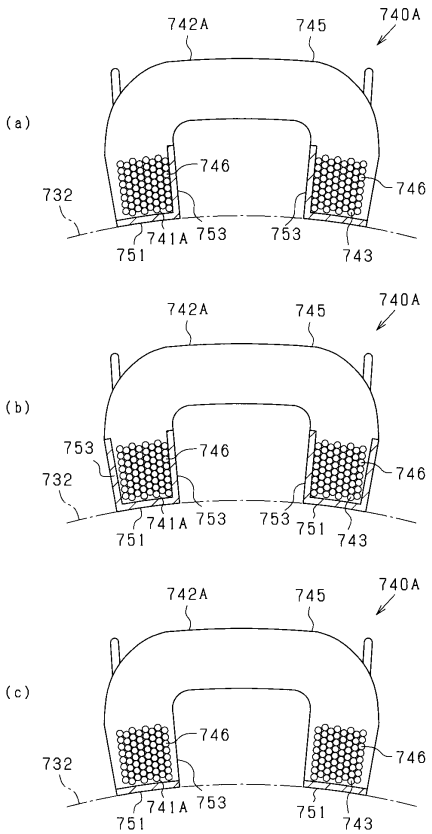
【図１０７】



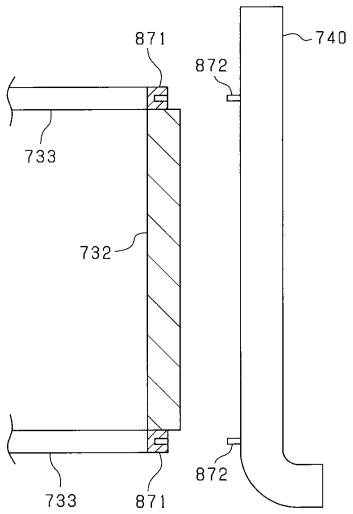
【図１０８】



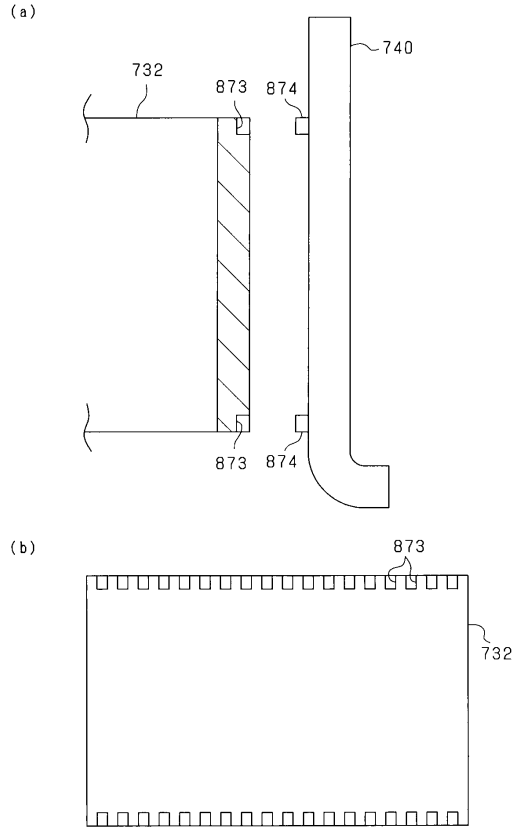
【図１０９】



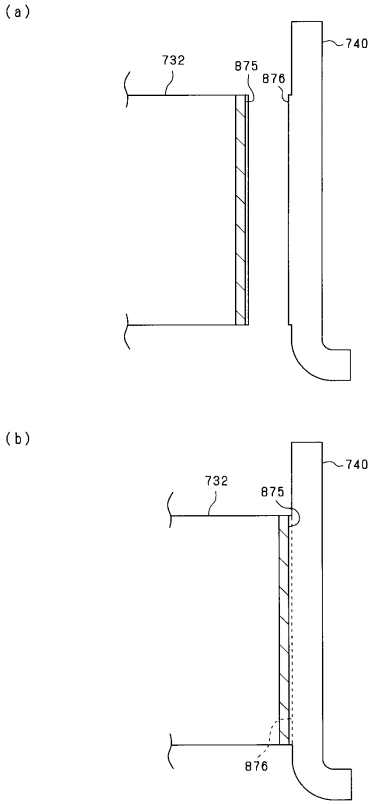
【図１１０】



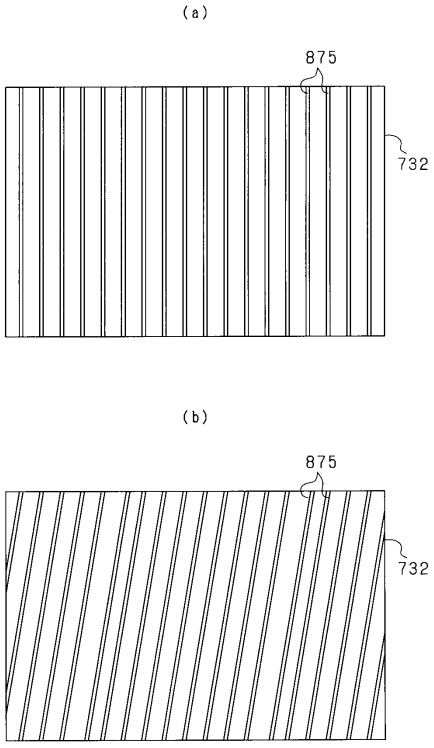
【図１１１】



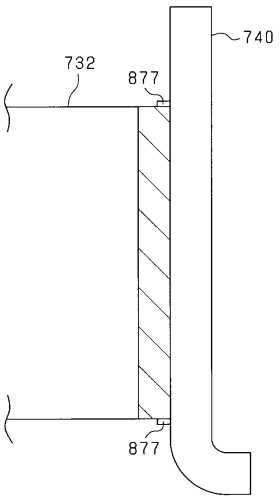
【図１１２】



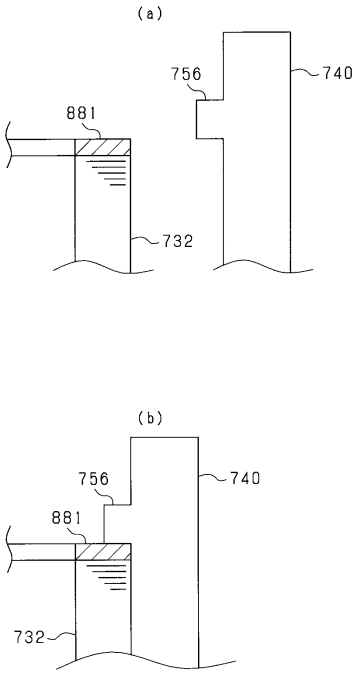
【図１１３】



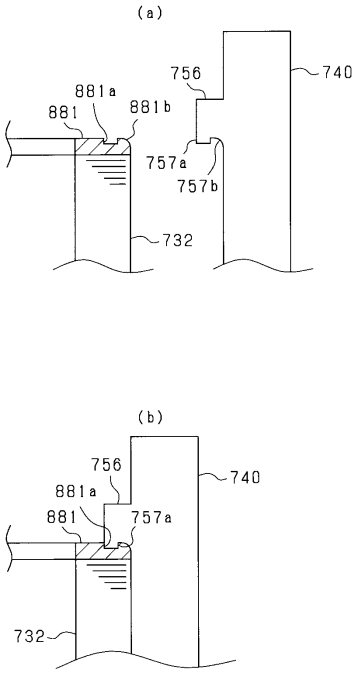
【図１１４】



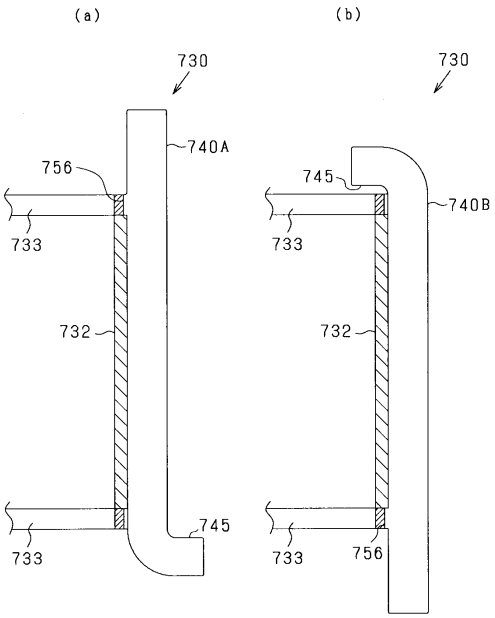
【図１１５】



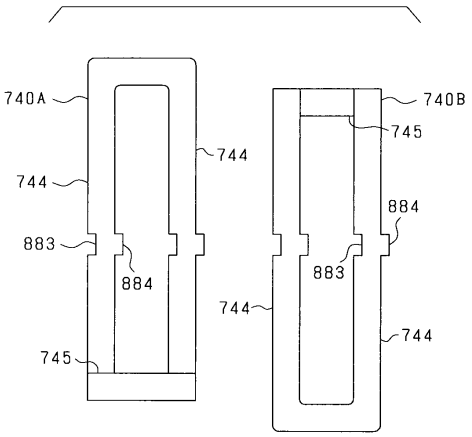
【図１１６】



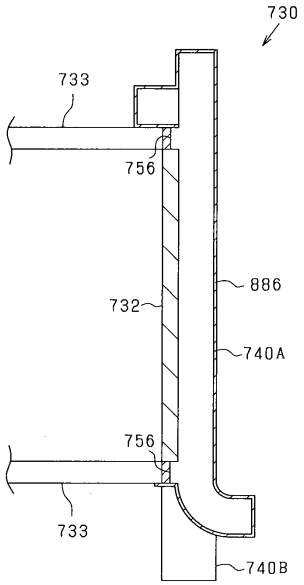
【図１１７】



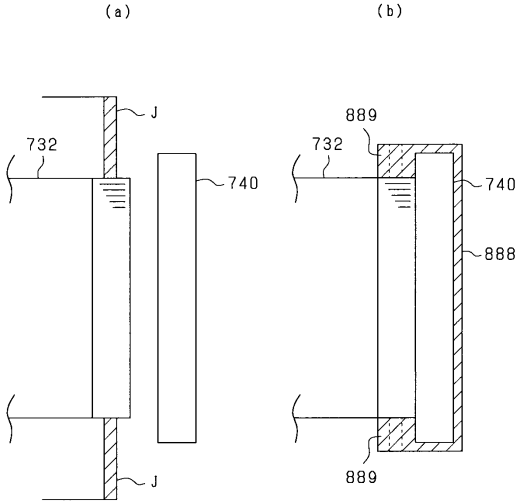
【図１１８】



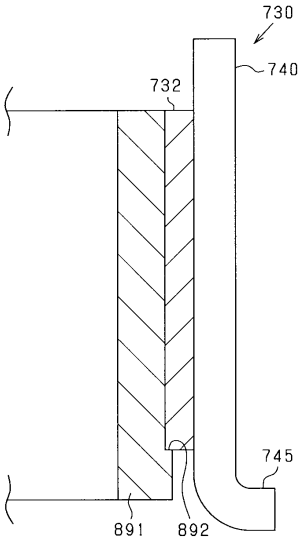
【図１１９】



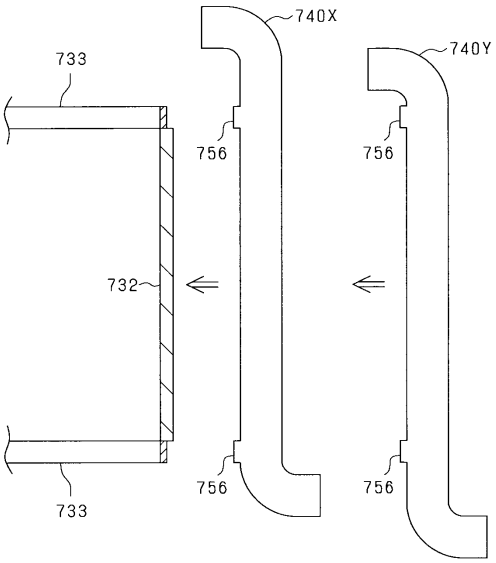
【図１２０】



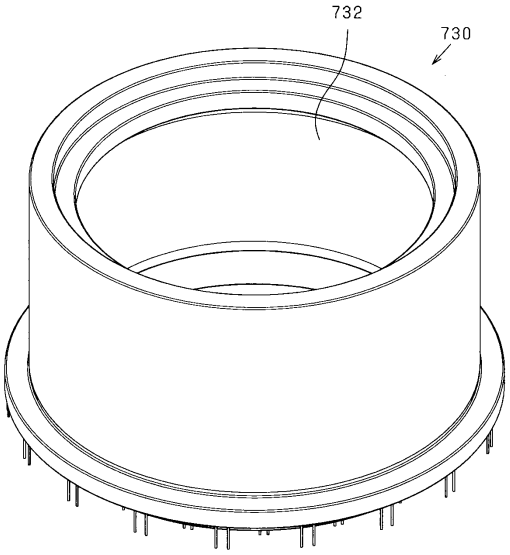
【図１２１】



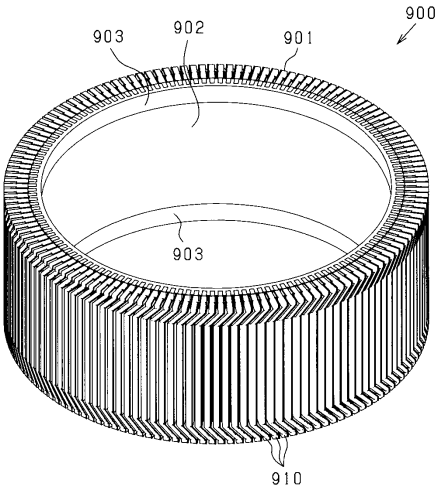
【図１２２】



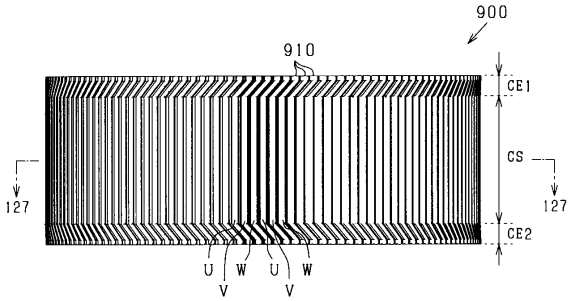
【図１２３】



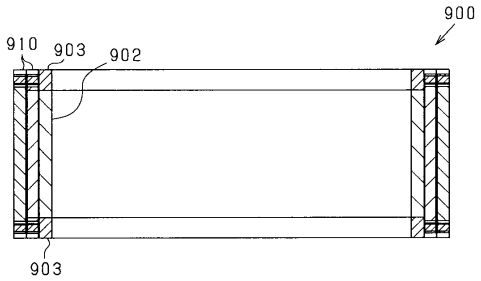
【図１２４】



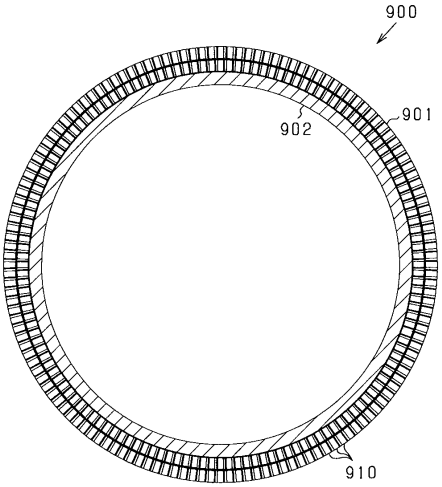
【図１２５】



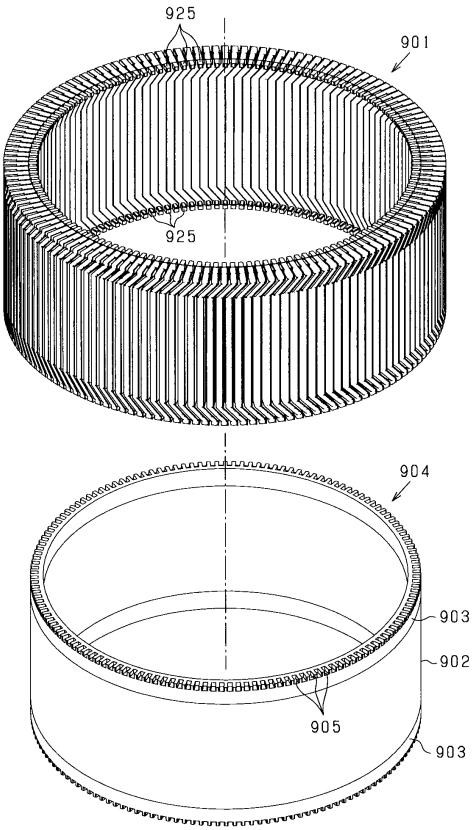
【図１２６】



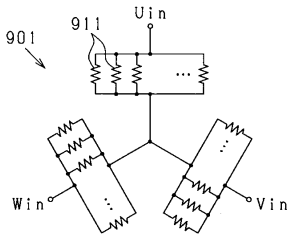
【図１２７】



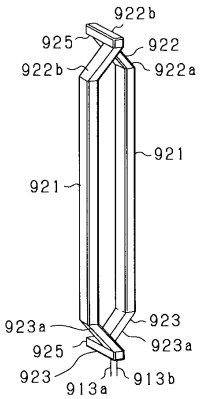
【図１２８】



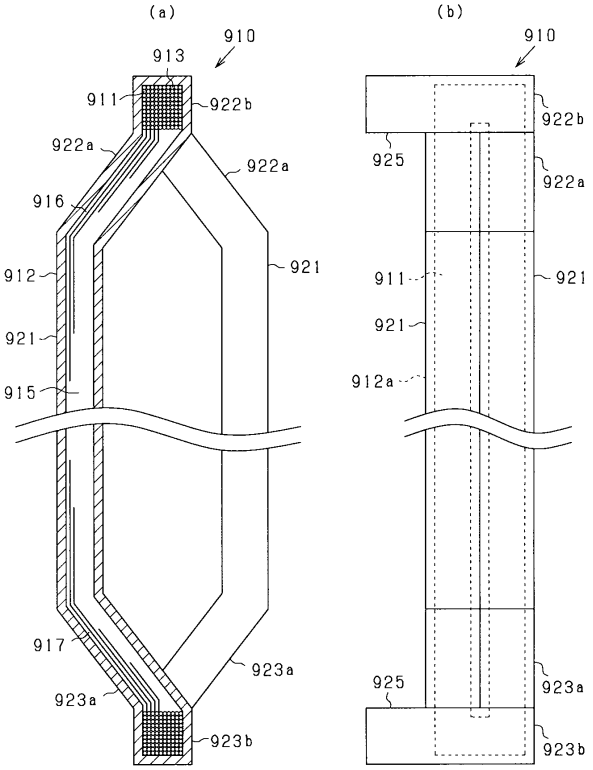
【図１２９】



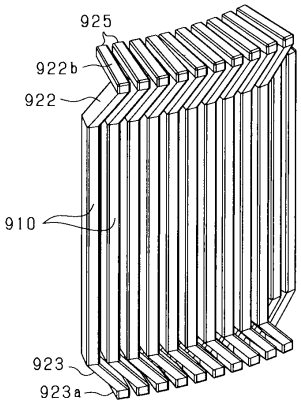
【図１３０】



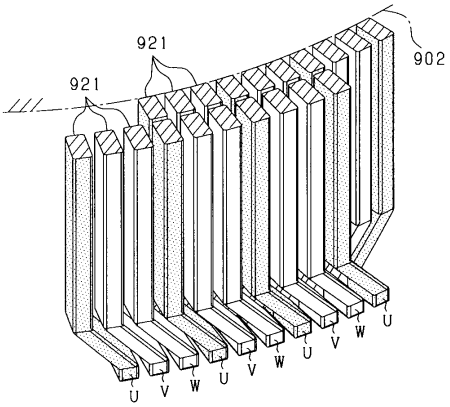
【図１３１】



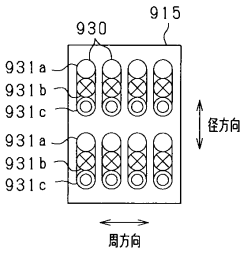
【図１３２】



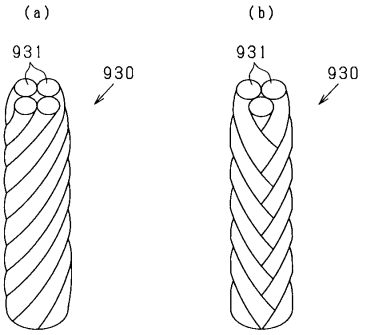
【図１３３】



【図１３４】



【図１３５】



フロントページの続き

(56)参考文献　実開昭５１－１２５５０３（ＪＰ，Ｕ）
特開２００３－１５３５０９（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０１４０５７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－０５８６５８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－０１０２７７（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１３／０９９０１２（ＷＯ，Ａ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｋ　３／４７
Ｈ０２Ｋ　３／０４
Ｈ０２Ｋ　３／３４