

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年8月13日(13.08.2020)



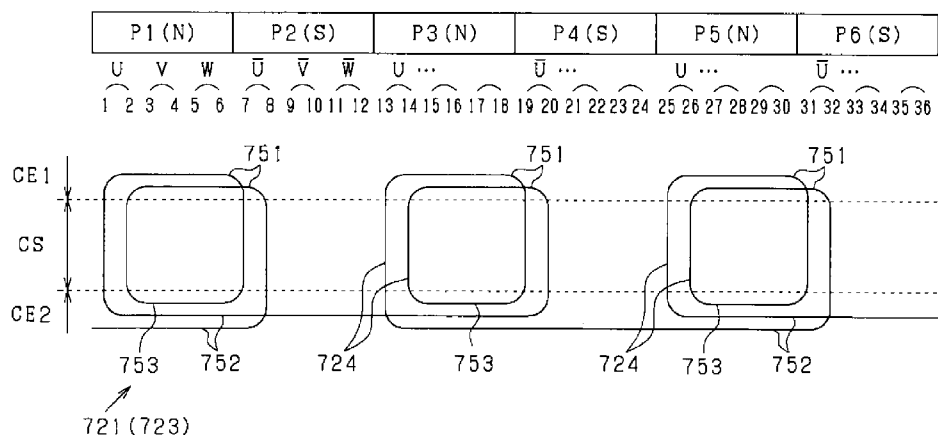
(10) 国際公開番号

WO 2020/162290 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 3/28 (2006.01) H02K 11/215 (2016.01)
H02K 3/04 (2006.01) H02K 21/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/003231
- (22) 国際出願日: 2020年1月29日(29.01.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-022099 2019年2月8日(08.02.2019) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー (DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 高橋 裕樹 (TAKAHASHI, Yuki); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 山田 強 (YAMADA, Tsuyoshi); 〒4500002 愛知県名古屋市中村区名駅三丁目13番24号 第一はせ川ビル6階 あいぎ特許事務所 Aichi (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: ARMATURE AND ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 電機子及び回転電機



(57) Abstract: According to the present invention, a stator winding (721) has a plurality of phase windings (723) provided for each phase. In the stator winding, an inter-wire member is not provided between coil-side wire parts (724) circumferentially arranged side by side. The phase winding of each phase has a predetermined number of coil-side wire parts for each magnetic pole, and at a first coil end (CE1) on one axial end, the same phase coil-side wire parts are connected by two magnetic poles circumferentially adjacent to each other via a first bridging part (751). In addition, at a second coil

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

end (CE2) on the other axial end, the same phase coil-side wire parts are connected by two magnetic poles, which are circumferentially separated while sandwiching the two magnetic poles via a second bridging part (752) that circumferentially extends in the same direction as the first bridging part.

(57) 要約：固定子巻線（721）は、相ごとに設けられた複数の相巻線（723）を有している。固定子巻線において周方向に並ぶコイルサイド導線部（724）の間には、導線間部材が設けられていない。各相の相巻線は、磁極ごとに所定数ずつのコイルサイド導線部を有し、軸方向一方の側の第1コイルエンド（CE1）では、第1渡り部（751）を介して、周方向に隣り合う2磁極で同相のコイルサイド導線部が接続されている。また、軸方向他方の側の第2コイルエンド（CE2）では、第1渡り部と周方向に同じ向きに延びる第2渡り部（752）を介して、周方向に2つの磁極を挟んで離れた2磁極で同相のコイルサイド導線部が接続されている。

明 細 書

発明の名称：電機子及び回転電機

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2019年2月8日に提出された日本出願番号2019-022099号に基づくもので、ここにその記載内容を援用する。

技術分野

[0002] 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

[0003] 従来、例えば特許文献1に記載されているように、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（コイルサイド導線部）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。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-93859号公報

発明の概要

[0005] ところで、電機子としては、周方向に並ぶコイルサイド導線部の間にティースが介在していない、いわゆるスロットレス構造の電機子が知られている。このスロットレス構造の電機子に用いられる電機子巻線では、相巻線のほつれや位置ずれが生じることが懸念される。ゆえに、未だ技術改善の余地があると考えられる。

[0006] 本開示は、上記事情に鑑みてなされたものであり、電機子巻線の構成の適正化を図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ものである。

[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、

周方向に極性が交互となる複数の磁極を有する界磁子を備える回転電機に適用され、多相の電機子巻線を有し、前記界磁子の径方向内側又は径方向外側に配置される電機子であって、

前記電機子巻線は、相ごとに設けられ、相ごとの所定の並び順序で周方向に巻回される複数の相巻線を有し、

前記電機子巻線において周方向に並ぶコイルサイド導線部の間に、当該電機子巻線よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材が設けられておらず、

前記各相の相巻線は、前記磁極ごとに所定数ずつの前記コイルサイド導線部を有し、軸方向一方の側の第 1 コイルエンドでは、第 1 渡り部を介して、周方向に隣り合う 2 磁極で同相の前記コイルサイド導線部が接続されているとともに、軸方向他方の側の第 2 コイルエンドでは、前記第 1 渡り部と周方向に同じ向きに延びる第 2 渡り部を介して、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた 2 磁極で同相の前記コイルサイド導線部が接続されている。

[0009] 上記の電機子では、各相の相巻線において、磁極ごとに所定数ずつ設けられた同相のコイルサイド導線部が、軸方向両側のコイルエンドで互いに連続的に接続される構成となっている。特に、第 1 コイルエンドでは、第 1 渡り部を介して、周方向に隣り合う 2 磁極で同相のコイルサイド導線部が接続されている。また、第 2 コイルエンドでは、第 1 渡り部と周方向に同じ向きに延びる第 2 渡り部を介して、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた 2 磁極で同相のコイルサイド導線部が接続されている。

[0010] この場合、コイルサイド導線部における軸方向両側の第 1 渡り部と第 2 渡り部とが、周方向において同じ向きに延びる構成となっていることで、第 1 渡り部と第 2 渡り部とが、周方向において異なる向きに延びる構成に比べて

、相巻線のほつれや位置ずれが生じにくくなっている。つまり、上記構成では、各相の相巻線が、1 磁極対ごと（すなわち 2 磁極ごと）に異相の相巻線を巻き込むように周回させて設けられており、隣の磁極対との間で接続を行う第 2 渡り部についても同様に磁極対内の異相の相巻線を巻き込むように設けられている。この場合、仮に軸方向のいずれかの側のコイルエンドが軸方向外側に引っ張られる状態になっても、コイルサイド導線部には各磁極対の内側にしまる方向に力が作用し、電機子巻線がばらけてしまうといった不都合は生じないものとなっている。そのため、周方向に並ぶコイルサイド導線部の間に、電機子巻線よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材（鉄心であるティース）が設けられていない電機子、いわゆるスロットレス構造の電機子であっても、相巻線のほつれや位置ずれが抑制される。その結果、電機子巻線の構成の適正化を図ることができるものとなっている。

[0011] また、スロットレス構造の電機子ではインダクタンスが低減され、場合によっては電氣的時定数や機械的時定数の低下が懸念されることがあり得る。この点、第 2 渡り部の導線長が第 1 渡り部よりも長くなっていることでインダクタンスを大きくすることができ、電氣的時定数や機械的時定数の低下にも好適に対処できると考えられる。

[0012] なお、電機子巻線において、コイルサイドは、界磁子における各磁極（具体的には各磁極の磁石部）に径方向に対向する部分である。また、コイルエンドは、コイルサイドよりも軸方向外側となる部分であり、相巻線を周方向に周回させる周回部分である。コイルサイド導線部は、各相の相巻線を構成する導線においてコイルサイドとなる部分、すなわちコイルエンドよりも軸方向内側となる部分のことであり、各相のコイルサイド導線部は周方向に所定間隔で配置されている。渡り部は、コイルエンドにおいて、周方向に異なる位置の 2 つのコイルサイド導線部を相互に接続する導線部（コイルエンド導線部）である。

[0013] 手段 2 では、手段 1 において、前記電機子巻線の相数は m ($m \geq 2$) であり、前記各相の相巻線は、前記磁極ごとに周方向に並ぶ n 個 ($n \geq 2$) ずつ

の前記コイルサイド導線部を有しており、前記第 1 コイルエンドでは、周方向に隣り合う 2 磁極において $m \times n$ 分のコイルピッチだけ離れた前記コイルサイド導線部が、前記第 1 渡り部を介して接続されているとともに、前記第 2 コイルエンドでは、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた 2 磁極において当該各磁極で周方向に最も離れた前記コイルサイド導線部が、前記第 2 渡り部を介して接続されている。

[0014] 上記構成では、仮に第 2 コイルエンドの第 2 渡り部に対して軸方向外側の引張応力が作用した場合に、その第 2 渡り部に繋がるコイルサイド導線部が、その隣位値でかつ同相の別のコイルサイド導線部の側に引き寄せられる。そのため、第 2 コイルエンドでの引張応力の作用に伴い異相のコイルサイド導線部の側に引き寄せられる場合とは異なり、相間の絶縁破壊（短絡）が生じる等の不都合が回避できる。また、同相のコイルサイド導線部について占積率を高めることが可能となる。

[0015] 手段 3 では、手段 1 又は 2 において、前記電機子巻線に一体に設けられる筒状のコア部材を有し、前記電機子巻線における前記コイルサイド導線部の軸方向の中心位置を基準として、軸方向一方側と他方側とで不均等に前記コア部材が設けられており、前記第 2 コイルエンドの側では、前記第 1 コイルエンドの側に比べて前記コイルサイド導線部よりも軸方向外側への前記コア部材のはみ出し量が大きくなっている。

[0016] 電機子巻線において、上記のとおり第 1 コイルエンド側と第 2 コイルエンド側とで渡り部の構成が異なっている場合には、各コイルエンドにおいて磁束漏れの度合いが異なることとなる。上記構成では、第 2 渡り部の導線長が第 1 渡り部の導線長よりも長いため、第 2 コイルエンド側において磁束漏れの度合いが大きくなる。この点、電機子巻線におけるコイルサイド導線部の軸方向の中心位置を基準として、軸方向一方側と他方側とで不均等にコア部材を設け、第 2 コイルエンドの側では、第 1 コイルエンドの側に比べてコイルサイド導線部よりも軸方向外側へのコア部材のはみ出し量が大きくなるようにした。これにより、第 1 コイルエンド側と第 2 コイルエンド側とで磁束

漏れの度合いが異なることを加味しつつ、好適な構成を実現できる。

[0017] 手段4では、手段1又は2において、前記電機子巻線は、多相の前記相巻線を各々有する第1巻線群と第2巻線群とを有し、前記第1巻線群における各相の前記コイルサイド導線部と前記第2巻線群における各相の前記コイルサイド導線部とが、周方向に1相ずつ交互に配置されており、前記第1巻線群では、各相の前記相巻線において、前記第1コイルエンドの側に前記第1渡り部が設けられるとともに、前記第2コイルエンドの側に前記第2渡り部が設けられており、前記第2巻線群では、各相の前記相巻線において、前記第1コイルエンドの側に前記第2渡り部が設けられるとともに、前記第2コイルエンドの側に前記第1渡り部が設けられている。

[0018] この場合、第1巻線群と第2巻線群とでは、各コイルエンドにおける第1渡り部と第2渡り部とが軸方向に逆になっている。そのため、第1渡り部と第2渡り部とで導線長が異なっても、両方のコイルエンドにおいて磁気環境を同じにすることができる。

[0019] 手段5の回転電機では、手段1～3のいずれか1つに記載の前記電機子と、前記界磁子と、を備える。

[0020] スロットレス構造の電機子を有する回転電機において電機子巻線の構成の適正化を図ることができる。

[0021] 手段6では、手段5において、前記電機子と前記界磁子とのいずれかを、回転軸と共に回転する回転子とする回転電機であって、前記回転軸の回転状態を検出する磁気検出式の回転センサを備え、軸方向において前記第1コイルエンドの側と前記第2コイルエンドの側とのうち前記第1コイルエンドの側に、前記回転センサが設けられている。

[0022] 電機子巻線の第1コイルエンドと第2コイルエンドとでは、第1渡り部と第2渡り部との導線長の違いにより電機子巻線からの磁束漏れの影響が互いに異なっている。この点、第1コイルエンドの側に回転センサが設けられていることにより、磁束漏れの影響を回転センサが受けることを抑制できる。

図面の簡単な説明

- [0023] 本開示についての上記目的およびその他の目的、特徴や利点は、添付の図面を参照しながら下記の詳細な記述により、より明確になる。その図面は、
- [図1]図1は、回転電機の縦断面斜視図であり、
 - [図2]図2は、回転電機の縦断面図であり、
 - [図3]図3は、図2のIII-III線断面図であり、
 - [図4]図4は、図3の一部を拡大して示す断面図であり、
 - [図5]図5は、回転電機の分解図であり、
 - [図6]図6は、インバータユニットの分解図であり、
 - [図7]図7は、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であり、
 - [図8]図8は、回転子及び固定子の横断面図であり、
 - [図9]図9は、図8の一部を拡大して示す図であり、
 - [図10]図10は、固定子の横断面図であり、
 - [図11]図11は、固定子の縦断面図であり、
 - [図12]図12は、固定子巻線の斜視図であり、
 - [図13]図13は、導線の構成を示す斜視図であり、
 - [図14]図14は、素線の構成を示す模式図であり、
 - [図15]図15は、 n 層目における各導線の形態を示す図であり、
 - [図16]図16は、 n 層目と $n+1$ 層目の各導線を示す側面図であり、
 - [図17]図17は、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であり、
 - [図18]図18は、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であり、
 - [図19]図19は、回転電機の制御システムの電気回路図であり、
 - [図20]図20は、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であり、
 - [図21]図21は、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であり、

[図22]図22は、第2実施形態における回転子及び固定子の横断面図であり、

[図23]図23は、図22の一部を拡大して示す図であり、

[図24]図24は、磁石ユニットにおける磁束の流れを具体的に示す図であり、

[図25]図25は、変形例1における固定子の断面図であり、

[図26]図26は、変形例1における固定子の断面図であり、

[図27]図27は、変形例2における固定子の断面図であり、

[図28]図28は、変形例3における固定子の断面図であり、

[図29]図29は、変形例4における固定子の断面図であり、

[図30]図30は、変形例7における回転子及び固定子の横断面図であり、

[図31]図31は、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であり、

[図32]図32は、キャリア周波数変更処理の手順を示すフローチャートであり、

[図33]図33は、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であり、

[図34]図34は、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であり、

[図35]図35は、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であり、

[図36]図36は、図35の一部を拡大して示す図であり、

[図37]図37は、インナロータ型の回転電機の縦断面図であり、

[図38]図38は、インナロータ型の回転電機の概略構成を示す縦断面図であり、

[図39]図39は、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であり、

[図40]図40は、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

示す図であり、

[図41]図41は、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であり、

[図42]図42は、変形例14における導線の構成を示す断面図であり、

[図43]図43は、リラクタンストルク、磁石トルク及びDMの関係を示す図であり、

[図44]図44は、ティースを示す図であり、

[図45]図45は、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であり、

[図46]図46は、車輪及びその周辺構造の縦断面図であり、

[図47]図47は、車輪の分解斜視図であり、

[図48]図48は、回転電機を回転軸の突出側から見た側面図であり、

[図49]図49は、図48の49-49線断面図であり、

[図50]図50は、図49の50-50線断面図であり、

[図51]図51は、回転電機の分解断面図であり、

[図52]図52は、回転子の部分断面図であり、

[図53]図53は、固定子巻線及び固定子コアの斜視図であり、

[図54]図54は、固定子巻線を平面状に展開して示す正面図であり、

[図55]図55は、導線のスキューを示す図であり、

[図56]図56は、インバータユニットの分解断面図であり、

[図57]図57は、インバータユニットの分解断面図であり、

[図58]図58は、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であり、

[図59]図59は、電力変換器の電氣的構成を示す回路図であり、

[図60]図60は、スイッチモジュールの冷却構造例を示す図であり、

[図61]図61は、スイッチモジュールの冷却構造例を示す図であり、

[図62]図62は、スイッチモジュールの冷却構造例を示す図であり、

[図63]図63は、スイッチモジュールの冷却構造例を示す図であり、

[図64]図64は、スイッチモジュールの冷却構造例を示す図であり、

[図65]図65は、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であり、

[図66]図66は、図49の66-66線断面図であり、

[図67]図67は、図49の67-67線断面図であり、

[図68]図68は、バスバーモジュールを単体で示す斜視図であり、

[図69]図69は、各電気モジュールとバスバーモジュールとの電氣的な接続状態を示す図であり、

[図70]図70は、各電気モジュールとバスバーモジュールとの電氣的な接続状態を示す図であり、

[図71]図71は、各電気モジュールとバスバーモジュールとの電氣的な接続状態を示す図であり、

[図72]図72は、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であり、

[図73]図73は、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であり、

[図74]図74は、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であり、

[図75]図75は、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であり、

[図76]図76は、変形例15における回転電機の構成を示す縦断面図であり、

[図77]図77は、固定子巻線の相巻線を示す図であり、

[図78]図78は、固定子巻線におけるU相巻線の巻順を示す平面展開図であり、

[図79]図79は、固定子巻線の第1巻線群と第2巻線群とを示す図であり、

[図80]図80は、固定子巻線におけるU1相巻線とU2相巻線との巻順を示す平面展開図である。

発明を実施するための形態

[0024] 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／また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。

[0025] 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。

[0026] (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、アウトロータ構造（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。

[0027] 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。

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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がアウトロータ式であり、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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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 2 6 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。

[0038] 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 2 2 の外輪 2 5 にバネ力を印加する必要は無い。例えば、軸受 2 1 の外輪 2 5 にバネ力を印加しても良い。また軸受 2 1, 2 2 のいずれかの内輪 2 6 を回転軸 1 1 に対して所定のクリアランスを介して配置し、軸受 2 1, 2 2 の外輪 2 5 を保持部材 2 3 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。

[0039] 更には、軸受 2 1 の内輪 2 6 が軸受 2 2 に対して離れるように力を作用させる場合には、軸受 2 2 の内輪 2 6 も軸受 2 1 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 2 1 の内輪 2 6 が軸受 2 2 に対して近づくように力を作用させる場合には、軸受 2 2 の内輪 2 6 も軸受 2 1 に対して近づくように力を作用させる方が良い。

[0040] なお、本回転電機 1 0 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 1 0 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。

[0041] また、中間部 4 5 は、環状の内側肩部 4 9 a と環状の外側肩部 4 9 b を有する。外側肩部 4 9 b は、中間部 4 5 の径方向において内側肩部 4 9 a の外側に位置している。内側肩部 4 9 a と外側肩部 4 9 b は、中間部 4 5 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 4 5 の径方向において、円筒部 4 3 と固定部 4 4 とは部分的に重複している。つまり、固定部 4 4 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 4 3 が突出するものとなっている。本構成では、中間部 4 5 が段差無しで平板状に設けられる場合に比べて、回転子 4 0 の重心近くの位置で、回転軸 1 1 に対して回転子 4 0 を支持させることが可能となり、回転子 4 0 の安定動作が実現できるものとなっている。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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 5 2 とを有しており、固定子巻線 5 1 が、所定のエアギャップを挟んで円環状の磁石ユニット 4 2 に対向するように配置されている。固定子巻線 5 1 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 5 1 が 6 相の相巻線として構成されている。

[0047] 固定子コア 5 2 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 5 1 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 5 1 が電機子巻線に相当し、固定子コア 5 2 が電機子コアに相当する。

[0048] 固定子巻線 5 1 は、径方向において固定子コア 5 2 に重複する部分であり、かつ固定子コア 5 2 の径方向外側となるコイルサイド部 5 3 と、軸方向において固定子コア 5 2 の一端側及び他端側にそれぞれ張り出すコイルエンド 5 4, 5 5 とを有している。コイルサイド部 5 3 は、径方向において固定子コア 5 2 と回転子 4 0 の磁石ユニット 4 2 にそれぞれ対向している。回転子 4 0 の内側に固定子 5 0 が配置された状態では、軸方向両側のコイルエンド 5 4, 5 5 のうち軸受ユニット 2 0 の側（図の上側）となるコイルエンド 5 4 が、回転子 4 0 の磁石ホルダ 4 1 により形成されたコイル収容凹部 4 7 に収容されている。ただし、固定子 5 0 の詳細については後述する。

[0049] インバータユニット 6 0 は、ハウジング 3 0 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 6 1 と、そのユニットベース 6 1 に組み付けられる複数の電気コンポーネント 6 2 とを有している。ユニットベース 6 1 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 6 1 は、ハウジング 3 0 の開口 3 3 の縁に対して固定されるエンドプレート 6 3 と、そのエンドプレート 6 3 に一体に設けられ、軸方向に延びるケーシング 6 4 とを有している。エンドプレート 6 3 は、その中心

部に円形の開口 6 5 を有しており、開口 6 5 の周縁部から起立するようにしてケーシング 6 4 が形成されている。

[0050] ケーシング 6 4 の外周面には固定子 5 0 が組み付けられている。つまり、ケーシング 6 4 の外径寸法は、固定子コア 5 2 の内径寸法と同じか、又は固定子コア 5 2 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 6 4 の外側に固定子コア 5 2 が組み付けられることで、固定子 5 0 とユニットベース 6 1 とが一体化されている。また、ユニットベース 6 1 がハウジング 3 0 に固定されることからすると、ケーシング 6 4 に固定子コア 5 2 が組み付けられた状態では、固定子 5 0 がハウジング 3 0 に対して一体化された状態となっている。

[0051] なお、固定子コア 5 2 は、ユニットベース 6 1 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 6 1 側に対する固定子コア 5 2 の周方向又は軸方向の位置ずれが抑制される。

[0052] また、ケーシング 6 4 の径方向内側は、電気コンポーネント 6 2 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 1 1 を囲むようにして電気コンポーネント 6 2 が配置されている。ケーシング 6 4 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 6 2 は、インバータ回路を構成する半導体モジュール 6 6 や、制御基板 6 7、コンデンサモジュール 6 8 を具備する構成となっている。

[0053] なお、ユニットベース 6 1 が、固定子 5 0 の径方向内側に設けられ、固定子 5 0 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 3 0 及びユニットベース 6 1 により、回転電機 1 0 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 4 0 を挟んで軸方向の一方側においてハウジング 3 0 に対して保持部材 2 3 が固定されるとともに、他方側においてハウジング 3 0 及びユニットベース 6 1 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 1 0 が車両等に装着される。

- [0054] 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。
- [0055] 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。
- [0056] 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。
- [0057] 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。
- [0058] 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 68 a 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 68 a が環状に並べて配置されることで構成されている。

[0059] なお、コンデンサ 68 a 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 68 a が作製される。

[0060] 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 66 A が電気コンポーネント 62 に設けられている。

[0061] 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 66 A 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 66 A 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。

[0062] 半導体モジュール群 66 A 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 66 A 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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 6

6の全体がヨーク141に囲まれた領域内に配置されている。

[0067] 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。

[0068] 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と電氣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）。

[0069] 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。

[0070] 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

定の間隙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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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 7 1 の径方向外側に配置された固定子コア 5 2 に囲まれた領域内に配置することで、半導体モジュール 6 6 と固定子巻線 5 1 とが固定子コア 5 2 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 6 6 から磁束が発生したとしても、固定子巻線 5 1 に影響を与えにくい。また、固定子巻線 5 1 から磁束が発生したとしても、半導体モジュール 6 6 に影響を与えにくい。なお、半導体モジュール 6 6 の全体が、ケーシング 6 4 の筒状部 7 1 の径方向外側に配置された固定子コア 5 2 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 6 6 の少なくとも一部が、冷却水通路 7 4 により囲まれている場合、固定子巻線 5 1 や磁石ユニット 4 2 からの発熱が半導体モジュール 6 6 に届きにくいという効果を得ることができる。

[0075] 筒状部 7 1 においてエンドプレート 6 3 の付近には、その外側の固定子 5 0 と内側の電気コンポーネント 6 2 とを電氣的に接続する配線部材 7 9 (図 2 参照) を挿通させる貫通孔 7 8 が形成されている。図 2 に示すように、配線部材 7 9 は、圧着、溶接などにより、固定子巻線 5 1 の端部と配線モジュール 7 6 のバスバー 7 6 c とにそれぞれ接続されている。配線部材 7 9 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 7 8 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 7 8 が設けられている。2 カ所に貫通孔 7 8 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 7 9 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。

[0076] 上述のとおりハウジング 3 0 内には、図 4 に示すように径方向外側から順に回転子 4 0、固定子 5 0 が設けられ、固定子 5 0 の径方向内側にインバータユニット 6 0 が設けられている。ここで、ハウジング 3 0 の内周面の半径を d とした場合に、回転子 4 0 の回転中心から $d \times 0.705$ の距離よりも径方向外側に回転子 4 0 と固定子 5 0 とが配置されている。この場合、回転子 4 0 及び固定子 5 0 のうち径方向内側の固定子 5 0 の内周面 (すなわち固定子コア 5 2 の内周面) から径方向内側となる領域を第 1 領域 X 1、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も、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。

[0077] 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。

[0078] 次に、回転子40及び固定子50の構成をより詳しく説明する。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 図7は、固定子巻線の起磁力を示すアンペアターン[A T]とトルク密度[N m/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。

[0083] 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ることができるが、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。

[0084] 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。

[0085] 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。

[0086] 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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 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。

[0090] 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の封止前の状態と言えば、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 5 7 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 5 7 は導線間部材 (conductor-to-conductor member) ともいう。

[0091] なお、周方向に並ぶ各導線群 8 1 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 8 1 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 8 1 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。

[0092] 図 10 に示すように、固定子巻線 (すなわち電機子巻線) 5 1 は、所定の厚み T_2 (以下、第 1 寸法とも言う) と幅 W_2 (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 T_2 は、固定子巻線 5 1 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 W_2 は、固定子巻線 5 1 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 5 1 の一部分の固定子巻線 5 1 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 8 1 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 8 1 の端から端までの幅 W_2 である。そして、厚み T_2 は幅 W_2 より小さくなっている。

[0093] なお、厚み T_2 は、幅 W_2 内に存在する 2 つの導線群 8 1 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 5 1 (より詳しくは導線 8 2) の断面形状が真円形状や楕円形状、又は多角形状である場合、固定子 5 0 の径方向に沿った導線 8 2 の断面のうち、その断面において固定子 5 0 の径方向の最大の長さを W_{12} 、同断面のうち固定子 5 0 の周方向の最大の長さを W_{11} としても良い。

[0094] 図 10 及び図 11 に示すように、固定子巻線 5 1 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 5 7 により封止されている。つまり、固定子巻線 5 1 は、固定子コア 5 2 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 $B_s = 0$ と看做することができる。

[0095] 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。

[0096] 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。

[0097] 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。

[0098] 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。

[0099] 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。

[0100] 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、アウト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 T_m を下げる事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 T_m 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 K_t 、逆起電力定数を K_e とすると、機械的時定数 T_m は、次式により算出される。

$$T_m = (J \times L) / (K_t \times K_e)$$

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

[0101] 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 8 1 のそれぞれ、および導線 8 2 のそれぞれを、伝導部材 (conductive member) とも言う。

[0102] 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 5 1 では、その周方向の一周における固定子巻線 5 1 が占める導体領域を、固定子巻線 5 1 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 8 1 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 8 2 (つまり、後述する直線部 8 3) が配置された導線領域を WA、隣り合う導線 8 2 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。

[0103] 固定子巻線 5 1 における導線群 8 1 の構成として、その導線群 8 1 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 8 1 が径方向に 2 層の導線 8 2 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 8 1 が設けられる構成では、各導線 8 2 の径方向の厚さ寸法を T_c 、各導線 8 2 の周方向の幅寸法を W_c とした場合に、「 $T_c \times 2 < W_c \times 2$ 」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 8 1 が 2 層の導線 8 2 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 8 1 が設けられる構成では、「 $T_c \times 2 < W_c$ 」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 5 1 において周方向に所定間隔で配置される導線部 (導線群 8 1) 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。

[0104] 言い換えると、1本1本の各導線82は、径方向の厚さ寸法 T_c が周方向の幅寸法 W_c 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($2T_c$)、すなわち導線群81の径方向の厚さ寸法($2T_c$)が周方向の幅寸法 W_c よりも小さいとよい。

[0105] 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。

[0106] 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。

[0107] 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 8 2 が相互に固着されている。これにより、導線 8 2 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。

[0108] 本実施形態では、導体 8 2 a が複数の素線(wire) 8 6 の集合体として構成されている。具体的には、図 1 3 に示すように、導体 8 2 a は、複数の素線 8 6 を撚ることで撚糸状に形成されている。また、図 1 4 に示すように、素線 8 6 は、細い繊維状の導電材 8 7 を束ねた複合体として構成されている。例えば、素線 8 6 は C N T (カーボンナノチューブ) 繊維の複合体であり、C N T 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、C N T 繊維以外に、気相成長法炭素繊維 (V G C F) 等を用いることができるが、C N T 繊維を用いることが好ましい。なお、素線 8 6 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 8 6 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。

[0109] 導線 8 2 は、固定子巻線 5 1 において n 相の巻線を構成する。そして導線 8 2 (すなわち、導体 8 2 a) の各々の素線 8 6 は、互いに接触状態で隣接している。導線 8 2 は、巻線導体が、複数の素線 8 6 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 8 6 間の抵抗値が素線 8 6 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 8 6 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 8 6 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 8 2 が複数の素線 8 6 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 8 6 を覆う素線集合体となっても良い。また、導線 8 2 の導体 8 2 a は、撚り合わされた複数の素線 8 6 により構成されている。

[0110] 上記の導体 8 2 a では、複数の素線 8 6 が撚り合わされて構成されているため、各素線 8 6 での渦電流の発生が抑えられ、導体 8 2 a における渦電流

の低減を図ることができる。また、各素線 8 6 が捻られていることで、1 本の素線 8 6 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 8 6 を繊維状の導電材 8 7 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。

[0111] なお、ここでいう素線 8 6 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 8 6 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 8 6 間の抵抗値が、素線 8 6 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 8 6 を作成する製造設備と、回転電機 1 0 の固定子 5 0 (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 8 6 が酸化し、接触抵抗を増やすことができ、好適である。

[0112] 上述のとおり導線 8 2 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 8 6 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 8 2 における絶縁被膜 8 2 b の厚さを例えば $80\ \mu\text{m}$ ~ $100\ \mu\text{m}$ とし、一般に使用される導線の被膜厚さ ($5\sim40\ \mu\text{m}$) よりも厚肉とした場合、導線 8 2 と固定子コア 5 2 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。

[0113] また、絶縁被膜 8 2 b は、素線 8 6 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 8 6 の高分子絶縁層の厚さを例えば $5\ \mu\text{m}$ 程度にした場合、導線 8 2 の絶縁被膜 8 2 b の厚さを $80\ \mu\text{m}$ ~ $100\ \mu\text{m}$ 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。

[0114] また、導線 8 2 は、複数の素線 8 6 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 8 2 は、その全長において複数の素線 8 6 が撚られている構成、全長のうち一部で複数の素線 8 6 が撚られている構成、全長において複数の素線 8 6 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 8 2 は、複数の素線 8 6 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 8 6 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。

[0115] 各導線 8 2 は、固定子巻線 5 1 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 5 1 として相ごとの相巻線が形成されている。図 1 2 に示すように、固定子巻線 5 1 では、各導線 8 2 のうち軸方向に直線状に延びる直線部 8 3 によりコイルサイド部 5 3 が形成され、軸方向においてコイルサイド部 5 3 よりも両外側に突出するターン部 8 4 によりコイルエンド 5 4, 5 5 が形成されている。各導線 8 2 は、直線部 8 3 とターン部 8 4 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 8 3 は、磁石ユニット 4 2 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 4 2 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 8 3 同士が、ターン部 8 4 により互いに接続されている。なお、直線部 8 3 が「磁石対向部」に相当する。

[0116] 本実施形態では、固定子巻線 5 1 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 5 3 では、相ごとに、磁石ユニット 4 2 の 1 極対に対応する間隔で周方向に直線部 8 3 が配置され、コイルエンド 5 4, 5 5 では、相ごとの各直線部 8 3 が、略 V 字状に形成されたターン部 8 4 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 8 3 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 5 4 と他方のコイルエンド 5 5 とでは、ターン部 8 4 により接続される一对の直線部 8 3 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 5 4, 5 5 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

5 1 が略円筒状に形成されている。

[0117] より具体的には、固定子巻線 5 1 は、各相 2 対ずつの導線 8 2 を用いて相ごとの巻線を構成しており、固定子巻線 5 1 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 5 1 の相数を S （実施例の場合は 6）、導線 8 2 の一相あたりの数を m とすれば、極対ごとに $2 \times S \times m = 2 S m$ 個の導線 8 2 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、 $6 \times 4 \times 8 = 192$ の導線 8 2 が固定子コア 5 2 の周方向に配置されている。

[0118] 図 1 2 に示す固定子巻線 5 1 では、コイルサイド部 5 3 において、径方向に隣接する 2 層で直線部 8 3 が重ねて配置されるとともに、コイルエンド 5 4、5 5 において、径方向に重なる各直線部 8 3 から、互いに周方向逆となる向きでターン部 8 4 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 8 2 では、固定子巻線 5 1 の端部を除き、ターン部 8 4 の向きが互いに逆となっている。

[0119] ここで、固定子巻線 5 1 における導線 8 2 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 8 2 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 1 5（a）、図 1 5（b）は、 n 層目における各導線 8 2 の形態を示す図であり、図 1 5（a）には、固定子巻線 5 1 の側方から見た導線 8 2 の形状を示し、図 1 5（b）には、固定子巻線 5 1 の軸方向一側から見た導線 8 2 の形状を示している。なお、図 1 5（a）、図 1 5（b）では、導線群 8 1 が配置される位置をそれぞれ $D 1$ 、 $D 2$ 、 $D 3$ 、…と示している。また、説明の便宜上、3 本の導線 8 2 のみを示しており、それを第 1 導線 8 2 __A、第 2 導線 8 2 __B、第 3 導線 8 2 __Cとしている。

[0120] 各導線 8 2 __A～8 2 __Cでは、直線部 8 3 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（ $3 \times m$ 対分

）ずつ離れた直線部 8 3 同士がターン部 8 4 により互いに接続されている。換言すると、各導線 8 2 __ A ～ 8 2 __ C では、いずれも回転子 4 0 の軸心を中心とする同一の円上において、固定子巻線 5 1 の周方向に隣接して並ぶ 7 個の直線部 8 3 の両端の二つが一つのターン部 8 4 により互いに接続されている。例えば第 1 導線 8 2 __ A では、一对の直線部 8 3 が D 1 , D 7 にそれぞれ配置され、その一对の直線部 8 3 同士が、逆 V 字状のターン部 8 4 により接続されている。また、他の導線 8 2 __ B , 8 2 __ 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 8 2 __ A ～ 8 2 __ C は、いずれも同じ層に配置されるため、ターン部 8 4 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 8 2 __ A ～ 8 2 __ C のターン部 8 4 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。

[0121] 具体的には、各導線 8 2 __ A ～ 8 2 __ C のターン部 8 4 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 8 4 a と、傾斜部 8 4 a からその同一の円よりも径方向内側（図 1 5 （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 8 4 b、第 2 の円上で周方向に延びる傾斜部 8 4 c 及び第 1 の円から第 2 の円に戻る戻り部 8 4 d とを有している。頂部 8 4 b、傾斜部 8 4 c 及び戻り部 8 4 d が干渉回避部に相当する。なお、傾斜部 8 4 c は、傾斜部 8 4 a に対して径方向外側にシフトする構成であってもよい。

[0122] つまり、各導線 8 2 __ A ～ 8 2 __ C のターン部 8 4 は、周方向の中央位置である頂部 8 4 b を挟んでその両側に、一方側の傾斜部 8 4 a と他方側の傾斜部 8 4 c とを有しており、それら各傾斜部 8 4 a , 8 4 c の径方向の位置（図 1 5 （a）では紙面前後方向の位置、図 1 5 （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 8 2 __ A のターン部 8 4 は、n 層の D 1 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 8 4 b 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 8 4 d 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。

[0123] 上記構成によれば、導線 $82_A \sim 82_C$ では、一方の各傾斜部 $84a$ が、上から第1導線 $82_A \rightarrow$ 第2導線 $82_B \rightarrow$ 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 $82_A \sim 82_C$ 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 $82_C \rightarrow$ 第2導線 $82_B \rightarrow$ 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 $82_A \sim 82_C$ 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。

[0124] 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。

[0125] 例えば図15(a)、図15(b)の $D7 \sim D9$ 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。

[0126] 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。

[0127] 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。

[0128] 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 $B_r = 1.0$ [T]、固有保磁力 $H_{c_j} = 400$ [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 H_{c_j} は 400 [kA/m]以上であり、かつ残留磁束密度 B_r は 1.0 [T]以上である。 $5000 \sim 10000$ [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極の磁氣的長さ、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、 $H_{c_j} = 10000$ [A]となり、減磁をしないことが伺える。

[0129] また換言すれば、磁石ユニット42は、飽和磁束密度 J_s が 1.2 [T]以上で、かつ結晶粒径が 10 [μ m]以下であり、配向率を α とした場合に $J_s \times \alpha$ が 1.0 [T]以上であるものとなっている。

[0130] 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] $\geq J_s \geq 1.2$ [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Dy2Fe14B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 J_s 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] $\geq J_s \geq 1.2$ [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([Nd $_{1-x}$ Dy $_x$]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、 $J_s = 1.6$ [T]と、 J_s に余裕のあるNd2Fe14Bの磁石に、 $J_s < 1$ [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。

[0131] 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°C 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°C 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、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ 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°C 近い温度状態から、先述の砂漠温度を超える 60°C 以上、又はコイルエナメル被膜の耐熱温度 $180\sim 240^{\circ}\text{C}$ 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 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ などを用いれば、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 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。

[0132] 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 $10\mu\text{m}$ 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を使用されている。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。

[0133] 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 J_s 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 $10\mu\text{m}$ 以下であり、配向率を α とした場合、 $J_s \times \alpha$ 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 J_s が 1.2 T 以上で、第 1 磁石 91 と第 2 磁石 92 の配向率 α が、 $J_r \geq J_s \times \alpha \geq 1.0$ [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、 $\alpha = 5/6$ 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 $\cos 45^\circ = 0.707$ であるため、 $\alpha = (5 + 0.707)/6$ 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。

[0134] 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、本願開示者は、従来技術の磁石を用いても、極異方性磁石と近い特性を得られる構成を見いだした。

[0135] 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。

[0136] 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。

[0137] 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 $\theta 11$ が、第2部分260の磁化容易軸310がq軸となす角度 $\theta 12$ 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。

[0138] より詳細には、角度 $\theta 11$ 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 $\theta 12$ 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 $\theta 11$ 及び角度 $\theta 12$ 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 9 1, 9 2 のそれぞれの部分において、一つの磁化容易軸が方向 A 1 1 を向き、もう一つの磁化容易軸が方向 B 1 1 を向いているとした場合、方向 A 1 1 と方向 B 1 1 の成す角度 θ のコサインの絶対値 ($|\cos \theta|$) を磁化容易軸 3 0 0 或いは磁化容易軸 3 1 0 とする。

[0139] すなわち、各磁石 9 1, 9 2 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 9 1, 9 2 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。

[0140] また、磁石 9 1, 9 2 では、各磁石 9 1, 9 2 の周面のうち固定子 5 0 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。

[0141] 磁石ユニット 4 2 では、各磁石 9 1, 9 2 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 1 7 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 1 8 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 1 0 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 4 2 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 1 7 及び図 1 8 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 1 7 及び図 1 8 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。

[0142] つまり、上記構成の各磁石 9 1, 9 2 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。

[0143] 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、平行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、ハルバツ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。

[0144] 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。

[0145] 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。

[0146] 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。

[0147] 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。

[0148] 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 ユニットの製作する第 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 ユニットの製作する第 3 工程と、
 - ・第 2 ユニットの径方向内側に第 1 ユニットの装着する第 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。

[0149] 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。

[0150] 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 6 2 を装着するとよい。これにより、半導体モジュール 6 6 の発熱をユニットベース 6 1 に対して効果的に伝達させることが可能となる。

[0151] 第 3 工程では、ハウジング 3 0 と回転子 4 0 との同軸を維持しながら、回転子 4 0 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 3 0 の内周面を基準として回転子 4 0 の外周面（磁石ホルダ 4 1 の外周面）又は回転子 4 0 の内周面（磁石ユニット 4 2 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 3 0 及び回転子 4 0 のいずれかをスライドさせながら、ハウジング 3 0 と回転子 4 0 との組み付けを実施する。これにより、軸受ユニット 2 0 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 2 0 の信頼性が向上する。

[0152] 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 4 0 の固定部 4 4 の内周面を基準としてユニットベース 6 1 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 4 0 と固定子 5 0 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 5 1 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。

[0153] 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 6 2 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 6 2 へのストレスを最小限にとどめることができる。

[0154] 次に、回転電機 1 0 を制御する制御システムの構成について説明する。図 1 9 は、回転電機 1 0 の制御システムの電気回路図であり、図 2 0 は、制御装置 1 1 0 による制御処理を示す機能ブロック図である。

[0155] 図 1 9 では、固定子巻線 5 1 として 2 組の 3 相巻線 5 1 a, 5 1 b が示されており、3 相巻線 5 1 a は U 相巻線、V 相巻線及び W 相巻線よりなり、3

相巻線 5 1 b は X 相巻線、Y 相巻線及び Z 相巻線よりなる。3 相巻線 5 1 a, 5 1 b ごとに、電力変換器に相当する第 1 インバータ 1 0 1 と第 2 インバータ 1 0 2 とがそれぞれ設けられている。インバータ 1 0 1, 1 0 2 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 5 1 の各相巻線において通電電流が調整される。

[0156] 各インバータ 1 0 1, 1 0 2 には、直流電源 1 0 3 と平滑用のコンデンサ 1 0 4 とが並列に接続されている。直流電源 1 0 3 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 1 0 1, 1 0 2 の各スイッチが、図 1 等を示す半導体モジュール 6 6 に相当し、コンデンサ 1 0 4 が、図 1 等を示すコンデンサモジュール 6 8 に相当する。

[0157] 制御装置 1 1 0 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 1 0 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 1 0 1, 1 0 2 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 1 1 0 が、図 6 に示す制御装置 7 7 に相当する。回転電機 1 0 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 4 0 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 1 1 0 は、インバータ 1 0 1, 1 0 2 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 1 0 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。

[0158] 第 1 インバータ 1 0 1 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 S_p と下アームスイッチ S_n 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 S_p の高電位側端子は直流電源 1 0 3 の正極端子に接続され、各相の下アームスイッチ S_n の低電位側端子は直流電源 1 0 3 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 S_p と下アームスイッチ S_n 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、各相巻線他端は中性点にて互いに接続されている。

[0159] 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 S_p と下アームスイッチ S_n 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 S_p 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 S_n 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 S_p と下アームスイッチ S_n 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、各相巻線他端は中性点で互いに接続されている。

[0160] 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。

[0161] 図20において、電流指令値設定部111は、トルクー 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。

[0162] 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。

[0163] 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。

[0164] 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、d q 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。

[0165] 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。

[0166] また、X, Y, Z 相側においても同様の構成を有しており、d q 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。

[0167] 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。

[0168] 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 相のスィ

ッチ S_p , S_n をオンオフさせる。

[0169] 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。

[0170] 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。

[0171] 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。

[0172] トルク推定部 128a は、d-q 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。

[0173] 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。

[0174] 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。

[0175] 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。

[0176] 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。

[0177] 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。

[0178] 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 S_p 、 S_n をオンオフさせる。

[0179] 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。

[0180] 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。

[0181] 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。

[0182] 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、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。

[0183] 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。

[0184] 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。

[0185] 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。

[0186] 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から電氣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 とが電氣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。

[0187] 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。

[0188] 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（テークス）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。

[0189] 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。

[0190] 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。

[0191] 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。

[0192] (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。

[0193] 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。

[0194] 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131、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してよく、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。

[0195] 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。

[0196] 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。

[0197] 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。

[0198] 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。

[0199] 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。

[0200] 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の外側経路を通して第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。

[0201] 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。

[0202] 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。

[0203] 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。

[0204] 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 $1/2$ 以上にする事で、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。

[0205] ハルバツ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。

[0206] 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。

[0207] (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。

[0208] 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。

[0209] 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。

[0210] 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。

[0211] 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はないため、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。

[0212] 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 2 mm 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 2 mm 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「 $H1 \times 3 / 2$ 」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。

[0213] 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。

[0214] 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）とともに磁氣的に機能し、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 W_n とすると、この長さ範囲 W_n 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 W_t とし、突起部 142 の飽和磁束密度を B_s 、磁石ユニット 42 の 1 極分の周方向の幅寸法を W_m 、磁石ユニット 42 の残留磁束密度を B_r とする場合、突起部 142 は、

$$W_t \times B_s \leq W_m \times B_r \quad \dots (1)$$

となる磁性材料により構成されている。

[0215] なお、範囲 W_n 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 W_n 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 W_n が設定される。その際、範囲 W_n の端（起点と終点）が間隙 56 の中心とされている。

[0216] 図 26 において、範囲 W_n 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 W_n 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W_nに含まれる突起部142の合計の幅は、 $W_t = 1/2 A + A + A + A + 1/2 A = 4 A$ となる。

[0217] 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W_t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。

[0218] そして、こうして合計幅寸法W_t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W_t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W_t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W_t）を、「相数×Q×A=3×2×A=6A」としてもよい。

[0219] 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で電氣的に接続された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。

[0220] 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 5 1 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 8 1 が 3 つ、2 つの磁極対に対して導線群 8 1 が 3 つ、4 つの磁極対に対して導線群 8 1 が 9 つ、5 つの磁極対に対して導線群 8 1 が 9 つのような関係であるものが挙げられる。

[0221] ここで、固定子巻線 5 1 を集中巻とする場合には、固定子巻線 5 1 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 5 1 が励磁される。その結果、2 相分の突起部 1 4 2 が励磁される。したがって、磁石ユニット 4 2 の 1 極分の範囲において固定子巻線 5 1 の通電により励磁される突起部 1 4 2 の周方向の幅寸法 W_t は、「 $A \times 2$ 」となる。そして、こうして幅寸法 W_t が規定された上で、突起部 1 4 2 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 8 1 に囲まれた領域において、固定子 5 0 の周方向にある突起部 1 4 2 の幅の総和を A とする。また、集中巻における W_m は「磁石ユニット 4 2 のエアギャップに対向する面の全周」 $\times$ 「相数」 $\div$ 「導線群 8 1 の分散数」に相当する。

[0222] 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 $20 [MG \cdot Oe (kJ/m^3)]$ 以上の磁石では $B_d = 1.0$ 強 $[T]$ 、鉄では $B_r = 2.0$ 強 $[T]$ である。そのため、高出力モータとしては、固定子コア 5 2 において、突起部 1 4 2 が、 $W_t < 1/2 \times W_m$ の関係を満たす磁性材料であればよい。

[0223] また、後述するように導線 8 2 が外層被膜 1 8 2 を備える場合には、導線 8 2 同士の外層被膜 1 8 2 が接触するように、導線 8 2 を固定子コア 5 2 の周方向に配置しても良い。この場合は、 W_t は、0 又は接触する両導線 8 2 の外層被膜 1 8 2 の厚さ、と看做することができる。

[0224] 図 2 5 や図 2 6 の構成では、回転子 4 0 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。

[0225] （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。

[0226] 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、1.8 T 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。

[0227] 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 S_m 、磁石ユニット 42 の残留磁束密度を B_r とすると、磁石ユニット側の磁束は、例えば「 $S_m \times B_r$ 」となる。また、各歯状部 143 における回転子側の表面積を S_t 、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「 $S_t \times m \times 2 \times B_s$ 」となる。この場合、

$$S_t \times m \times 2 \times B_s < S_m \times B_r \quad \cdots (2)$$

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。

[0228] 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 W_m 、歯状部143の周方向の幅寸法を W_{st} とすると、上記式(2)は、式(3)のように置き換えられる。

$$W_{st} \times m \times 2 \times B_s < W_m \times B_r \quad \dots (3)$$

より具体的には、例えば $B_s = 2\text{ T}$ 、 $B_r = 1\text{ T}$ であり、 $m = 2$ であると想定すると、上記式(3)は、「 $W_{st} < W_m / 8$ 」の関係となる。この場合、歯状部143の幅寸法 W_{st} を、磁石ユニット42の1極分の幅寸法 W_m 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 W_{st} を、磁石ユニット42の1極分の幅寸法 W_m の $1/4$ よりも小さくするとよい。

[0229] なお、上記式(3)において、「 $W_{st} \times m \times 2$ 」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。

[0230] 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应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。

[0231] (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。

[0232] (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 $B_s = 0$ と看做し、この空隙に空気を配置しても良い。

[0233] (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。

[0234] (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。

[0235] (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。

[0236] 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。

[0237] (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。

[0238] 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。

[0239] 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。

[0240] 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。

[0241] 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 S_{igC} 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 S_p, S_n 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 S_p, S_n 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 S_p, S_n をオンオフさせる。

[0242] 制御装置 110 は、キャリア信号 S_{igC} のキャリア周波数 f_c 、すなわち各スイッチ S_p, S_n 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 f_c 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。

[0243] 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 の電氣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 f_c を変更する。

[0244] 図 32 を用いて、キャリア周波数 f_c 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。

[0245] 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。

[0246] <第 1 の方法>

d q 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。

[0247] <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。

[0248] 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 f_c を第 1 周波数 f_L に設定する。

[0249] 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 f_c を、第 1 周波数 f_L よりも高い第 2 周波数 f_H に設定する。

[0250] 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 f_c 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 S_p , S_n 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。

[0251] 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 f_c 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 f_c 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。

[0252] 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。

[0253] ・キャリア周波数 f_c が第1周波数 f_L 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 f_c を、第1周波数 f_L から第2周波数 f_H に向かって徐変させてもよい。

[0254] また、キャリア周波数 f_c が第2周波数 f_H 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 f_c を、第2周波数 f_H から第1周波数 f_L に向かって徐変させてもよい。

[0255] ・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。

[0256] （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の電氣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。

[0257] 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。

[0258] 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。

[0259] 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けばよい。

[0260] （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。

[0261] インナロータ構造を前提とする図35及び図36の構成は、アウト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、アウト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 W_t 、導線間部材の飽和磁束密度を B_s 、1磁極における磁石ユニットの周方向の幅寸法を W_m 、磁石ユニットの残留磁束密度を B_r とした場合に、 $W_t \times B_s \leq W_m \times B_r$ 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。

[0262] 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。

[0263] 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。

[0264] 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等にも示す構成と同様に、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4

0は、磁石ホルダ41と磁石ユニット42とを有している。

[0265] 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。

[0266] (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。

[0267] 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。

[0268] 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 W_t 、導線間部材の飽和磁束密度を B_s 、1 磁極における磁石ユニットの周方向の幅寸法を W_m 、磁石ユニットの残留磁束密度を B_r とした場合に、 $W_t \times B_s \leq W_m \times B_r$ 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。

[0269] 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。

[0270] 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。

[0271] 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ー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。車載バッテリーからの直流電力は、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。

[0272] 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201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。

[0273] 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。

[0274] (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。

[0275] 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。

[0276] 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 231 a 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 [k A/m] 以上、かつ残留磁束密度は 1.0 [T] 以上となっている。

[0277] 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。

[0278] 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。

[0279] 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 232 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。

[0280] (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もよい。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 $100\ \mu\text{m}$ 、内側の絶縁被膜の厚さを $40\ \mu\text{m}$ 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もよい。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もよい。

[0281] 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。

[0282] (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。

[0283] 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 18

1 a と、絶縁材料よりなる導体被膜 1 8 1 b（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 1 8 2 により相間が絶縁される。なお、素線 1 8 1 が、複数の導電材の集合体として構成されているとよい。

[0284] 中間層 1 8 3 は、素線 1 8 1 の導体被膜 1 8 1 b よりも高い線膨張率を有し、かつ外層被膜 1 8 2 よりも低い線膨張率を有している。つまり、導線 8 2 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 1 8 2 では導体被膜 1 8 1 b 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 1 8 3 を設けることにより、その中間層 1 8 3 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。

[0285] また、導線 8 2 では、素線 1 8 1 において導電部 1 8 1 a と導体被膜 1 8 1 b とが接着されるとともに、導体被膜 1 8 1 b と中間層 1 8 3、中間層 1 8 3 と外層被膜 1 8 2 がそれぞれ接着されており、それら各接着部分では、導線 8 2 の外側ほど、接着強さが弱くなっている。つまり、導電部 1 8 1 a 及び導体被膜 1 8 1 b の接着強さは、導体被膜 1 8 1 b 及び中間層 1 8 3 の接着強さ、中間層 1 8 3 及び外層被膜 1 8 2 の接着強さよりも弱くなっている。また、導体被膜 1 8 1 b 及び中間層 1 8 3 の接着強さと、中間層 1 8 3 及び外層被膜 1 8 2 の接着強さとを比較すると、後者の方（外側の方）が弱い、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 8 2 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、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。

[0286] ここで、回転電機の発熱、温度変化は、主に素線 1 8 1 の導電部 1 8 1 a 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 8 2 内の導電部 1 8 1 a、又は導線 8 2 の外部より伝わるものであり、中間層 1 8 3 に発熱源があるわけではない。この場合、中間層 1 8 3 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。

[0287] 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、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。

[0288] 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。

[0289] 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。

[0290] 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。

[0291] 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。

[0292] 上記以外の変形例を以下に列記する。

[0293] ・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。

[0294] 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開示者は把握していない。その理由について本願開示者は検討した。

[0295] 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。

[0296] 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。

[0297] 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。

[0298] 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。

[0299] 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。

[0300] 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。

[0301] 本願開示者の分析により、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。

[0302] 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。

$$[0303] \quad \text{磁石トルク} = k \cdot \Psi \cdot I_q \quad \dots \dots \dots (e q 1)$$

$$\text{リラクタンストルク} = k \cdot (L_q - L_d) \cdot I_q \cdot I_d \quad \dots \dots \dots (e q 2)$$

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、円筒長さとの比例する。つまり、円筒長さが一定であれば、円筒の半径に比例する。

[0304] 一方、巻線のインダクタンス L_q 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 $L = \mu \cdot N^2 \times S / \delta$ 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 $a \times b$ に比例する。

[0305] 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(e q 2)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パフォーマンスが決まり、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。

[0306] 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。本願開示者は、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無くすことは困難であり、このことが大型機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。

[0307] 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が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。

[0308] 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。

[0309] 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。

[0310] なお、アウト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。

[0311] ・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。

[0312] ・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。

[0313] ・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。

[0314] ・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。

- [0315] ・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。
- [0316] ・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。
- [0317] ・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。
- [0318] ・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。
- [0319] (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。

[0320] 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。

[0321] 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。

[0322] 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。

[0323] 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。

[0324] 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。

[0325] 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。

[0326] 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。

[0327] 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。

[0328] 本実施形態に係る回転電機 500 は、アウト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。

[0329] 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。

[0330] 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。

[0331] 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。

[0332] 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。

[0333] 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。

[0334] 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 B_r 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。

[0335] 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。

[0336] 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。

[0337] 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。

[0338] 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。

[0339] 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。

[0340] ここで、磁石の実効磁束密度 B_d 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 P_c と磁石の実効磁束密度 B_d 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 5 2 の構成によれば、磁石の実効磁束密度 B_d の高さの指標となるパーミアンス係数 P_c 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 B_d である。本実施形態の回転電機 5 0 0 では、固定子 5 2 0 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。

[0341] また、磁石ユニット 5 1 2 の凹部 5 1 2 b 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。

[0342] 次に、固定子 5 2 0 の構成を説明する。固定子 5 2 0 は、固定子巻線 5 2 1 と固定子コア 5 2 2 とを有している。図 5 3 は、固定子巻線 5 2 1 と固定子コア 5 2 2 とを分解して示す斜視図である。

[0343] 固定子巻線 5 2 1 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 5 2 1 の径方向内側にベース部材としての固定子コア 5 2 2 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 5 2 1 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 5 2 3 により構成されている。固定子 5 2 0 は、既述の固定子 5 0 と同様に、スロットレス構造と固定子巻線 5 2 1 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 1 6 に示された固定子 5 0 と同様又は類似の構成を有している。

[0344] 固定子コア 5 2 2 の構成について説明する。固定子コア 5 2 2 は、既述の固定子コア 5 2 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 5 2 2 において回転子 5 1 0 側となる径方向外側に固定子巻線 5 2 1 が組み付けられている。固定子コア 5 2 2 の外周面は凹凸のない曲面状をなしており、固定子巻線 5 2

1 が組み付けられた状態では、固定子コア 5 2 2 の外周面に、固定子巻線 5 2 1 を構成する導線 5 2 3 が周方向に並べて配置されている。固定子コア 5 2 2 はバックコアとして機能する。

[0345] 固定子 5 2 0 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 5 2 0 において、周方向における各導線 5 2 3 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 W_t 、導線間部材の飽和磁束密度を B_s 、1 磁極における磁石ユニット 5 1 2 の周方向の幅寸法を W_m 、磁石ユニット 5 1 2 の残留磁束密度を B_r とした場合に、 $W_t \times B_s \leq W_m \times B_r$ の関係となる磁性材料を用いている。

(B) 固定子 5 2 0 において、周方向における各導線 5 2 3 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 5 2 0 において、周方向における各導線 5 2 3 の間に導線間部材を設けていない構成となっている。

[0346] こうした固定子 5 2 0 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 5 0 0 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。

[0347] 本実施形態では、固定子巻線 5 2 1 が、固定子コア 5 2 2 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 5 2 3 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。

[0348] 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。

[0349] 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。

[0350] 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 5 1 1 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。

[0351] 固定子巻線 5 2 1 では、固定子コア 5 2 2 に対して径方向内外に重なるコイルサイド 5 2 5 において所定角度で傾斜させて導線 5 2 3 が周方向に並べて配置されるとともに、固定子コア 5 2 2 よりも軸方向外側となる両側のコイルエンド 5 2 6 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 5 4（a）には、コイルサイド 5 2 5 となる範囲とコイルエンド 5 2 6 となる範囲とがそれぞれ示されている。内層側の導線 5 2 3 と外層側の導線 5 2 3 とはコイルエンド 5 2 6 にて互いに接続されており、これにより、コイルエンド 5 2 6 で導線 5 2 3 が軸方向に反転される都度（折り返される都度）、導線 5 2 3 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 5 2 1 では、周方向に連続する各導線 5 2 3 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。

[0352] また、固定子巻線 5 2 1 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 5 5 に示すように、導線 5 2 3 において、中央領域のスキュー角度 $\theta_s 1$ と端部領域のスキュー角度 $\theta_s 2$ とが異なっており、スキュー角度 $\theta_s 1$ がスキュー角度 $\theta_s 2$ 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 5 2 5 を含む範囲で定められている。スキュー角度 $\theta_s 1$ 、スキュー角度 $\theta_s 2$ は、軸方向に対して各導線 5 2 3 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 $\theta_s 1$ は、固定子巻線 5 2 1 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。

[0353] 固定子巻線 5 2 1 における各導線 5 2 3 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 $\theta_s 1$ を端部領域のスキュー角度 $\theta_s 2$ よりも小さくすることで、コイルエンド 5 2 6 の縮小を図りつつも、固定子巻線 5 2 1 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。

[0354] ここで、中央領域のスキュー角度 $\theta_s 1$ 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、 $X = 2 \times S \times m$ である。本願開示者は、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、本願開示者は、電気角で「 $360^\circ / (X + 1) \sim 360^\circ / (X - 1)$ 」の角度範囲内にスキュー角度 $\theta_s 1$ 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。

[0355] 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、「 $360^\circ / 13 \sim 360^\circ / 11$ 」の角度範囲内にスキュー角度 $\theta_s 1$ を設定する。つまり、スキュー角度 $\theta_s 1$ は、 $27.7^\circ \sim 32.7^\circ$ の範囲内の角度で設定されるとよい。

[0356] 中央領域のスキュー角度 $\theta_s 1$ 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。

[0357] 端部領域のスキュー角度 $\theta_s 2$ は、上述した中央領域のスキュー角度 $\theta_s 1$ よりも大きい角度である。この場合、スキュー角度 $\theta_s 2$ の角度範囲は、「 $\theta_s 1 < \theta_s 2 < 90^\circ$ 」である。

[0358] 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がられているか、又は折り曲げにより繋がれているとよい。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氣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がられている構成を説明する。

[0359] 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。

[0360] 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り必要が生じるが、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。

[0361] 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。

[0362] 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。

[0363] また、円環状の固定子巻線 5 2 1 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 5 2 6 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 5 2 2 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 5 2 2 に直接巻き付けるようにしてよい。

[0364] なお、固定子巻線 5 2 1 の構成を以下のように変更することも可能である。

[0365] 例えば、図 5 4 (a), (b) に示す固定子巻線 5 2 1 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。

[0366] また、図 5 4 (a), (b) に示す固定子巻線 5 2 1 において、周方向に隣り合う同相の導線 5 2 3 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。

[0367] 固定子巻線 5 2 1 の層数は、 $2 \times n$ 層 (n は自然数) であればよく、固定子巻線 5 2 1 を、2 層以外に 4 層、6 層等にすることも可能である。

[0368] 次に、電力変換ユニットであるインバータユニット 5 3 0 について説明する。ここでは、インバータユニット 5 3 0 の分解断面図である図 5 6 及び図 5 7 を併せ用いて、インバータユニット 5 3 0 の構成を説明する。なお、図 5 7 では、図 5 6 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。

[0369] インバータユニット 5 3 0 は、インバータハウジング 5 3 1 と、そのインバータハウジング 5 3 1 に組み付けられる複数の電気モジュール 5 3 2 と、それら各電気モジュール 5 3 2 を電氣的に接続するバスバーモジュール 5 3 3 とを有している。

[0370] インバータハウジング 5 3 1 は、円筒状をなす外壁部材 5 4 1 と、外周径が外壁部材 5 4 1 よりも小径の円筒状をなし、外壁部材 5 4 1 の径方向内側

に配置される内壁部材 5 4 2 と、内壁部材 5 4 2 の軸方向一端側に固定されるボス形成部材 5 4 3 とを有している。これら各部材 5 4 1 ～ 5 4 3 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 5 3 1 は、外壁部材 5 4 1 と内壁部材 5 4 2 とが径方向内外に重ねて組み合わせられ、かつ内壁部材 5 4 2 の軸方向一端側にボス形成部材 5 4 3 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 5 7 に示す状態である。

[0371] インバータハウジング 5 3 1 の外壁部材 5 4 1 の径方向外側には固定子コア 5 2 2 が固定される。これにより、固定子 5 2 0 とインバータユニット 5 3 0 とが一体化されるようになっている。

[0372] 図 5 6 に示すように、外壁部材 5 4 1 には、その内周面に複数の凹部 5 4 1 a, 5 4 1 b, 5 4 1 c が形成されるとともに、内壁部材 5 4 2 には、その外周面に複数の凹部 5 4 2 a, 5 4 2 b, 5 4 2 c が形成されている。そして、外壁部材 5 4 1 及び内壁部材 5 4 2 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 5 4 4 a, 5 4 4 b, 5 4 4 c が形成されている（図 5 7 参照）。このうち、中央の中空部 5 4 4 b は、冷媒としての冷却水を流通させる冷却水通路 5 4 5 として用いられる。また、中空部 5 4 4 b（冷却水通路 5 4 5）を挟んで両側の中空部 5 4 4 a, 5 4 4 c にはシール材 5 4 6 が収容されている。このシール材 5 4 6 により、中空部 5 4 4 b（冷却水通路 5 4 5）が密閉化されている。冷却水通路 5 4 5 については後で詳しく説明する。

[0373] また、ボス形成部材 5 4 3 には、円板リング状の端板 5 4 7 と、その端板 5 4 7 からハウジング内部に向けて突出するボス部 5 4 8 とが設けられている。ボス部 5 4 8 は、中空筒状に設けられている。例えば図 5 1 に示すように、ボス形成部材 5 4 3 は、軸方向における内壁部材 5 4 2 の第 1 端とそれに対向する回転軸 5 0 1 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 4 5 ～ 図 4 7 に示す車輪 4 0 0 においては、インバータハウジング 5 3 1（より詳しくはボス形成部材 5 4 3 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。

[0374] 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。

[0375] 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。

[0376] 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。

[0377] 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 5 6 3 とを有している。軸受 5 6 0 は、外輪 5 6 2 がボス形成部材 5 4 3 に組み付けられることでインバータハウジング 5 3 1 に固定されるとともに、内輪 5 6 1 が回転軸 5 0 1 に固定されている。これら内輪 5 6 1、外輪 5 6 2 及び玉 5 6 3 は、いずれも炭素鋼等の金属材料よりなる。

[0378] また、軸受 5 6 0 の内輪 5 6 1 は、回転軸 5 0 1 を収容する筒部 5 6 1 a と、その筒部 5 6 1 a 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 5 6 1 b とを有している。フランジ 5 6 1 b は、回転子キャリア 5 1 1 の端板 5 1 4 に内側から当接する部位であり、回転軸 5 0 1 に軸受 5 6 0 が組み付けられた状態では、回転軸 5 0 1 のフランジ 5 0 2 と内輪 5 6 1 のフランジ 5 6 1 b とにより挟まれた状態で、回転子キャリア 5 1 1 が保持されるようになっている。この場合、回転軸 5 0 1 のフランジ 5 0 2 及び内輪 5 6 1 のフランジ 5 6 1 b 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 5 0 2、5 6 1 b の間に挟まれた状態で、回転子キャリア 5 1 1 が保持されている。

[0379] 軸受 5 6 0 の内輪 5 6 1 により回転子キャリア 5 1 1 を内側から支える構成によれば、回転軸 5 0 1 に対する回転子キャリア 5 1 1 の角度を適正角度に保持でき、ひいては回転軸 5 0 1 に対する磁石ユニット 5 1 2 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 5 1 1 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。

[0380] 次に、インバータハウジング 5 3 1 内に収容される電気モジュール 5 3 2 について説明する。

[0381] 複数の電気モジュール 5 3 2 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、複数の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 5 3 2 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 5 3 2 A と、平滑用コンデンサを有するコンデンサモジュール 5 3 2 B とが含まれている。

[0382] 図 4 9 及び図 5 0 に示すように、内壁部材 5 4 2 の内周面には、電気モジ

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。

[0383] 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を直接取り付けす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。

[0384] 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。

[0385] 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。

[0386] 内壁部材 5 4 2 には、冷却水通路 5 4 5 に冷却水を流入させる入口通路 5 7 1 と、冷却水通路 5 4 5 から冷却水を流出させる出口通路 5 7 2 とが設けられている。上述したように内壁部材 5 4 2 の内周面には複数の電気モジュール 5 3 2 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 5 4 2 の一部が径方向内側に突出されて突出部 5 7 3 が形成されている。そして、その突出部 5 7 3 に、径方向に沿って横並びの状態で入口通路 5 7 1 及び出口通路 5 7 2 が設けられている。

[0387] インバータハウジング 5 3 1 での各電気モジュール 5 3 2 の配置の状態を図 5 8 に示す。なお、図 5 8 は、図 5 0 と同一の縦断面図である。

[0388] 図 5 8 に示すように、各電気モジュール 5 3 2 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 5 3 2 の中心位置同士の間隔である。この場合、突出部 5 7 3 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 5 7 3 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張されており、その拡張された間隔（第 2 間隔 $INT2$ ）の例えば中央となる部分に突出部 5 7 3 が設けられている。

[0389] 各間隔 $INT1$ 、 $INT2$ は、回転軸 5 0 1 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 5 3 2 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 5 0 1 を中心とする角度間隔 $\theta i1$ 、 $\theta i2$ で定義されていてもよい（ $\theta i1 < \theta i2$ ）。

[0390] なお、図 5 8 に示す構成では、第 1 間隔 $INT1$ で並ぶ各電気モジュール 5 3 2 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 5 3 2 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。

[0391] 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。

[0392] 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。

[0393] ここで、電力変換器の電氣的構成を図59を用いて説明する。

[0394] 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。

- [0395] 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。
- [0396] 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氣的時定数が小さくなっており、その電氣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。
- [0397] 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。
- [0398] 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。
- [0399] 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。

[0400] 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により電氣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。

[0401] スwitch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。

[0402] 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。

- [0403] 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。
- [0404] 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。
- [0405] 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。
- [0406] 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、一对の配管部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、一对の配管部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、一对の配管部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 6 2 3 の内部にインナフィンが設けられていてもよい。

[0407] 2 段の冷却器 6 2 3 を備える構成では、(1) 1 段目の冷却器 6 2 3 の外側周壁 W A 1 側、(2) 1 段目及び 2 段目の冷却器 6 2 3 の間、(3) 2 段目の冷却器 6 2 3 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 6 2 3 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 6 2 3 に隣接する場所では、外側周壁 W A 1 (冷却水通路 5 4 5) に近い方が冷却性能が高くなっている。これを加味し、図 6 1 (a), (b) に示す構成では、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 が、(2) 1 段目及び 2 段目の冷却器 6 2 3 の間に配置され、コンデンサ 6 0 4 が、(1) 1 段目の冷却器 6 2 3 の外側周壁 W A 1 側に配置され、駆動回路 6 0 3 が、(3) 2 段目の冷却器 6 2 3 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 6 0 3 とコンデンサ 6 0 4 とが逆の配置であってもよい。

[0408] いずれの場合であってもモジュールケース 6 1 1 内において、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 と駆動回路 6 0 3、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 とコンデンサ 6 0 4 は、それぞれ配線 6 1 2 により電氣的に接続されている。また、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 が駆動回路 6 0 3 とコンデンサ 6 0 4 との間に位置するため、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 から駆動回路 6 0 3 に向かって延びる配線 6 1 2 と、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 からコンデンサ 6 0 4 に向かって延びる配線 6 1 2 は互いに逆方向に延びる関係である。

[0409] 図 6 1 (b) に示すように、一对の配管部 6 2 1, 6 2 2 は、周方向、すなわち冷却水通路 5 4 5 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 6 2 1 から冷却器 6 2 3 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 6 2 2 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 5 4 5 には、周方向に見て、流入側の配管部 6 2 1 と流出側の配管部 6 2 1 との間となる位置に、冷却水の流れを規制する規制部 6 2 4 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。

[0410] 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。

[0411] 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对の配管部621, 622の配置が異なっており、一对の配管部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。

[0412] 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。

[0413] 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。

[0414] 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。

[0415] 図63(b)では、モジュールケース611内に、一对の配管部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。

[0416] 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。

[0417] 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。

[0418] 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。

[0419] 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。

[0420] 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）のように一对の配管部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）のように一对の配管部621、622が周方向に並べて配置されていてもよい。

[0421] 次に、各電気モジュール532及びバスバーモジュール533における電氣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。

[0422] 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。

[0423] 図66や前述の図56、図57等に応示するように、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における電氣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）。

[0424] 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。

[0425] 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。

[0426] 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 5 3 2 のモジュール端子 6 1 5 や、各外部接続端子 6 3 2、固定子巻線 5 2 1 の各相巻線に接続されている。その詳細は後述する。

[0427] 外部接続端子 6 3 2 は、電源装置に接続される高電位側の電力端子 6 3 2 A 及び低電位側の電力端子 6 3 2 B と、外部 E C U に接続される 1 本の信号端子 6 3 2 C とからなる。これら各外部接続端子 6 3 2 (6 3 2 A ~ 6 3 2 C) は、周方向に一行に並び、かつ環状部 6 3 1 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 5 1 に示すように、バスバーモジュール 5 3 3 が各電気モジュール 5 3 2 と共にインバータハウジング 5 3 1 に組み付けられた状態では、外部接続端子 6 3 2 の一端がボス形成部材 5 4 3 の端板 5 4 7 から突出するように構成されている。具体的には、図 5 6、図 5 7 に示すように、ボス形成部材 5 4 3 の端板 5 4 7 には挿通孔 5 4 7 a が設けられており、その挿通孔 5 4 7 a に円筒状のグロメット 6 3 5 が取り付けられるとともに、グロメット 6 3 5 を挿通させた状態で外部接続端子 6 3 2 が設けられている。グロメット 6 3 5 は、密閉コネクタとしても機能する。

[0428] 巻線接続端子 6 3 3 は、固定子巻線 5 2 1 の各相の巻線端部に接続される端子であり、環状部 6 3 1 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 6 3 3 は、固定子巻線 5 2 1 における U 相巻線の端部に接続される巻線接続端子 6 3 3 U、V 相巻線の端部に接続される巻線接続端子 6 3 3 V、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 6 3 3 W を有する。これらの各巻線接続端子 6 3 3、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 6 3 4 が設けられているとよい (図 7 0 参照)。

[0429] なお、電流センサ 6 3 4 は、電気モジュール 5 3 2 の外部であって、各巻線接続端子 6 3 3 の周辺に配置されてもよいし、電気モジュール 5 3 2 の内部に配置されてもよい。

[0430] ここで、各電気モジュール 5 3 2 とバスバーモジュール 5 3 3 との接続を、図 6 9 及び図 7 0 を用いてより具体的に説明する。図 6 9 は、各電気モジ

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。

[0431] 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633U、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。

[0432] 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。

[0433] 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。

[0434] 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字形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。

[0435] 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。

[0436] 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。

[0437] 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。

[0438] 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。

[0439] 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。

[0440] 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。

[0441] 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）。

[0442] 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。

[0443] 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。

[0444] 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 6 3 2 から最も離れた位置、すなわち回転軸 5 0 1 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 5 3 2 A 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 5 3 2 A の両隣にコンデンサモジュール 5 3 2 B が配置されるように、各スイッチモジュール 5 3 2 A を分散配置することも可能である。

[0445] 外部接続端子 6 3 2 から最も離れた位置、すなわち回転軸 5 0 1 を挟んで反対側となる位置に各スイッチモジュール 5 3 2 A を配置する構成とすれば、外部接続端子 6 3 2 と各スイッチモジュール 5 3 2 A 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。

[0446] 次に、回転角度センサとして設けられるレゾルバ 6 6 0 に関する構成を説明する。

[0447] 図 4 9 ～図 5 1 に示すように、インバータハウジング 5 3 1 には、回転電機 5 0 0 の電気角 θ を検出するレゾルバ 6 6 0 が設けられている。レゾルバ 6 6 0 は、電磁誘導式センサであり、回転軸 5 0 1 に固定されたレゾルバロータ 6 6 1 と、そのレゾルバロータ 6 6 1 の径方向外側に対向配置されたレゾルバステータ 6 6 2 とを備えている。レゾルバロータ 6 6 1 は、円板リング状をなしており、回転軸 5 0 1 を挿通させた状態で、回転軸 5 0 1 に同軸で設けられている。レゾルバステータ 6 6 2 は、円環状をなすステータコア 6 6 3 と、ステータコア 6 6 3 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 6 6 4 とを備えている。ステータコイル 6 6 4 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。

[0448] ステータコイル 6 6 4 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、一对の出力コイルを鎖交する。この際、励磁コイルと一对の出力コイルとの相対的な配置関係がレゾルバロータ 6 6 1 の回転角（すなわち回転軸 5 0 1 の回転角）に応じて周期的に変化するため、一对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、一对の出力コイルのそれぞれに生じる電圧の位相が互

いに $\pi/2$ だけずれるように一对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、一对の出力コイルそれぞれの出力電圧は、励磁信号を変調波 $\sin \theta$ 、 $\cos \theta$ 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「 $\sin \Omega t$ 」とすると、被変調波はそれぞれ「 $\sin \theta \times \sin \Omega t$ 」, 「 $\cos \theta \times \sin \Omega t$ 」となる。

[0449] 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。

[0450] 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。

[0451] 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。

[0452] 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。

[0453] 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。

[0454] 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。

[0455] 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。

[0456] 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。

[0457] 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。

[0458] 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。

[0459] 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。

[0460] 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。

[0461] スwitch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 6 2 3 をそれぞれ配置するとともに、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 の両側の冷却器 6 2 3 のうち少なくとも一方の冷却器においてスイッチ 6 0 1, 6 0 2 とは逆側にコンデンサ 6 0 4 を配置する構成とした。これにより、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 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 6 0 4 の冷却性能も高めることができる。

[0462] スイッチモジュール 5 3 2 A において、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 を挟んで両側に冷却器 6 2 3 をそれぞれ配置するとともに、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 の両側の冷却器 6 2 3 のうち一方の冷却器においてスイッチ 6 0 1, 6 0 2 とは逆側に駆動回路 6 0 3 を配置し、他方の冷却器 6 2 3 においてスイッチ 6 0 1, 6 0 2 とは逆側にコンデンサ 6 0 4 を配置する構成とした。これにより、スイッチ 6 0 1, 6 0 2 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 6 0 3 とコンデンサ 6 0 4 についても冷却性能も高めることができる。

[0463] 例えばスイッチモジュール 5 3 2 A において、冷却水通路 5 4 5 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 5 3 2 A は、外側周壁 W A 1 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 5 3 2 A の冷却効果を高めることができる。

[0464] 冷却水通路 5 4 5 に対して外部の循環経路 5 7 5 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 5 3 2 A を冷却水通路 5 4 5 の入口通路 5 7 1 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 5 3 2 B をスイッチモジュール 5 3 2 A 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 5 4 5 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 5 3 2 A を優先的に冷却する構成を実現することが可能になる。

[0465] 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 I N T 2）となる部分に、入口通路 5 7 1 及び出口通路 5 7 2

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る、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。

[0466] 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。

[0467] 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。

[0468] 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により電氣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。

[0469] 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。

[0470] 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。

[0471] 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。

[0472] 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ー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。

[0473] 以下に、インホイールモータに関する変形例を説明する。

[0474] (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。

[0475] 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、($\alpha 1$)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、

($\alpha 2$)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。

[0476] また、巻線接続線を案内する位置としては、

($\beta 1$)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、

($\beta 2$)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。

[0477] 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 6 3 7 は、固定子巻線 5 2 1 の各相巻線とバスバーモジュール 5 3 3 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 6 3 3 がこれに相当する。

[0478] 図 7 2 (a) の構成では、電気モジュール 5 3 2 に対するバスバーモジュール 5 3 3 の位置として上記 ($\alpha 1$) を採用するとともに、巻線接続線 6 3 7 を案内する位置として上記 ($\beta 1$) を採用している。つまり、電気モジュール 5 3 2 及びバスバーモジュール 5 3 3、固定子巻線 5 2 1 及びバスバーモジュール 5 3 3 がいずれも車両外側（回転子キャリア 5 1 1 の奥側）で接続される構成となっている。なおこれは、図 4 9 に示す構成に相当する。

[0479] 本構成によれば、外側周壁 WA 1 において、巻線接続線 6 3 7 との干渉を懸念することなく冷却水通路 5 4 5 を設けることができる。また、固定子巻線 5 2 1 とバスバーモジュール 5 3 3 とを接続する巻線接続線 6 3 7 を簡易に実現できる。

[0480] 図 7 2 (b) の構成では、電気モジュール 5 3 2 に対するバスバーモジュール 5 3 3 の位置として上記 ($\alpha 1$) を採用するとともに、巻線接続線 6 3 7 を案内する位置として上記 ($\beta 2$) を採用している。つまり、電気モジュール 5 3 2 とバスバーモジュール 5 3 3 とが車両外側（回転子キャリア 5 1 1 の奥側）で接続されるとともに、固定子巻線 5 2 1 とバスバーモジュール 5 3 3 とが車両内側（回転子キャリア 5 1 1 の手前側）で接続される構成となっている。

[0481] 本構成によれば、外側周壁 WA 1 において、巻線接続線 6 3 7 との干渉を懸念することなく冷却水通路 5 4 5 を設けることができる。

[0482] 図 7 2 (c) の構成では、電気モジュール 5 3 2 に対するバスバーモジュール 5 3 3 の位置として上記 ($\alpha 2$) を採用するとともに、巻線接続線 6 3 7 を案内する位置として上記 ($\beta 1$) を採用している。つまり、電気モジュール 5 3 2 とバスバーモジュール 5 3 3 とが車両内側（回転子キャリア 5 1 1 の手前側）で接続されるとともに、固定子巻線 5 2 1 とバスバーモジュール

ル 5 3 3 とが車両外側（回転子キャリア 5 1 1 の奥側）で接続される構成となっている。

[0483] 図 7 2 (d) の構成では、電気モジュール 5 3 2 に対するバスバーモジュール 5 3 3 の位置として上記 (α 2) を採用するとともに、巻線接続線 6 3 7 を案内する位置として上記 (β 2) を採用している。つまり、電気モジュール 5 3 2 及びバスバーモジュール 5 3 3、固定子巻線 5 2 1 及びバスバーモジュール 5 3 3 がいずれも車両内側（回転子キャリア 5 1 1 の手前側）で接続される構成となっている。

[0484] 図 7 2 (c)、図 7 2 (d) の構成によれば、バスバーモジュール 5 3 3 が車両内側（回転子キャリア 5 1 1 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 6 6 0 に対してバスバーモジュール 5 3 3 を近づけることが可能になり、レゾルバ 6 6 0 に対する配線が容易になることも考えられる。

[0485] (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 6 6 1 の取付構造の変形例を説明する。すなわち、回転軸 5 0 1、回転子キャリア 5 1 1 及び軸受 5 6 0 の内輪 5 6 1 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 6 6 1 の取付構造の変形例について以下に説明する。

[0486] 図 7 3 (a) ~ (c) は、上記回転体に対するレゾルバロータ 6 6 1 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 6 6 0 は、回転子キャリア 5 1 1 及びインバータハウジング 5 3 1 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 7 3 (a) ~ (c) のうち図 7 3 (a) では、軸受 5 6 0 を、図 4 9 と同じ構成としている。また、図 7 3 (b)、図 7 3 (c) では、軸受 5 6 0 を、図 4 9 とは異なる構成とし、かつ回転子キャリア 5 1 1 の端板 5 1 4 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 6 6 1 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 6 6 2 につい

ては図示されていないが、例えばボス形成部材 5 4 3 のボス部 5 4 8 をレゾルバロータ 6 6 1 の外周側又はその付近まで延ばし、そのボス部 5 4 8 にレゾルバステータ 6 6 2 が固定されていればよい。

[0487] 図 7 3 (a) の構成では、軸受 5 6 0 の内輪 5 6 1 にレゾルバロータ 6 6 1 が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ 6 6 1 が、内輪 5 6 1 のフランジ 5 6 1 b の軸方向端面に設けられているか、又は内輪 5 6 1 の筒部 5 6 1 a の軸方向端面に設けられている。

[0488] 図 7 3 (b) の構成では、回転子キャリア 5 1 1 にレゾルバロータ 6 6 1 が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ 6 6 1 が、回転子キャリア 5 1 1 において端板 5 1 4 の内面に設けられている。又は、回転子キャリア 5 1 1 が、端板 5 1 4 の内周縁部から回転軸 5 0 1 に沿って延びる筒部 5 1 5 を有する構成において、レゾルバロータ 6 6 1 が、回転子キャリア 5 1 1 の筒部 5 1 5 の外周面に設けられている。後者の場合、レゾルバロータ 6 6 1 は、回転子キャリア 5 1 1 の端板 5 1 4 と軸受 5 6 0 との間に配置されている。

[0489] 図 7 3 (c) の構成では、回転軸 5 0 1 にレゾルバロータ 6 6 1 が取り付けられている。具体的には、レゾルバロータ 6 6 1 が、回転軸 5 0 1 において回転子キャリア 5 1 1 の端板 5 1 4 と軸受 5 6 0 との間に設けられているか、又は回転軸 5 0 1 において軸受 5 6 0 を挟んで回転子キャリア 5 1 1 の反対側に配置されている。

[0490] (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 5 3 1 及び回転子カバー 6 7 0 の変形例を図 7 4 を用いて説明する。図 7 4 (a)、図 7 4 (b) は、回転電機 5 0 0 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 7 4 (a) に示す構成は、実質的に図 4 9 等で説明した構成に相当し、図 7 4 (b) に示す構成は、図 7 4 (a) の構成の一部を変更した構成に相当する。

[0491] 図 7 4 (a) に示す構成では、回転子キャリア 5 1 1 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。

[0492] 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。

[0493] 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。

[0494] 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。

[0495] 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。

[0496] 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。

[0497] (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。

[0498] 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。

[0499] 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。

[0500] なお、固定子巻線 5 2 1 に固定子コア 5 2 2 を組み付けて固定子 5 2 0 を製作する際には、固定子巻線 5 2 1 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 5 2 1 を略 C 字状にしておき）、固定子巻線 5 2 1 の内周側に固定子コア 5 2 2 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 5 2 1 を円環状にするとよい。

[0501] 上記以外に、固定子コア 5 2 2 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 5 2 1 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。

[0502] （回転電機 5 0 0 の他の変形例）

・例えば図 5 0 に示すように、回転電機 5 0 0 では、冷却水通路 5 4 5 の入口通路 5 7 1 と出口通路 5 7 2 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 5 7 1 と出口通路 5 7 2 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 5 7 1 と出口通路 5 7 2 とを周方向に 1 8 0 度異なる位置に設ける構成や、入口通路 5 7 1 及び出口通路 5 7 2 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。

[0503] ・上記実施形態の車輪 4 0 0 では、回転電機 5 0 0 の軸方向の片側に回転軸 5 0 1 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 5 0 1 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。

[0504] ・車輪 4 0 0 に用いられる回転電機 5 0 0 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。

[0505] ・回転電機としては、星形結線のものに限らず、△結線のものであってもよい。

[0506] （変形例 1 5）

以下に、本変形例における回転電機 7 0 0 を説明する。図 7 6 は、アウトロータ式の回転電機 7 0 0 の概略構成を示す縦断面図である。

[0507] 図 7 6 に示すように、回転電機 7 0 0 は、回転軸 7 0 1 に一体回転可能に

固定された回転子 710 と、回転子 710 の径方向内側に設けられた固定子 720 とを有している。回転軸 701 は、既述の構成と同様、不図示の軸受により回転可能に支持されている。回転子 710 が「界磁子」に相当し、固定子 720 が「電機子」に相当する。

[0508] 回転子 710 は、中空筒状に形成された磁石ホルダ 711 と、その磁石ホルダ 711 の径方向内側に固定された環状の磁石ユニット 712 とを有している。磁石ホルダ 711 は、回転軸 701 に固定されており、磁石保持部材としての機能を有する。磁石ユニット 712 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配置された複数の永久磁石により構成されている。磁石ユニット 712 が「磁石部」に相当する。これにより、磁石ユニット 712 は、周方向に複数の磁極を有する。磁石ユニット 712 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 [k A/m] 以上であり、かつ残留磁束密度 B_r 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。

[0509] 磁石ユニット 712 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 712 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。なお、磁石ユニット 712 として、図 22 及び図 23 に示す磁石ユニット 42 の構成や、図 3

0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。

[0510] また、固定子720は、電機子巻線としての固定子巻線721と、固定子コア722とを有している。固定子巻線721は、略筒状（環状）に巻回形成された複数の相巻線723よりなり、その固定子巻線721の径方向内側にコア部材としての固定子コア722が組み付けられている。各相の相巻線723は、相ごとの所定の並び順序で周方向に巻回されている。図77に示すように、固定子巻線721は、3相巻線として構成されており、U相巻線723U、V相巻線723V、W相巻線723Wを有している。各相の相巻線723は星形結線（Y結線）されている。ただし、各相巻線723が△結線される構成であってもよい。

[0511] 固定子巻線721は、磁石ユニット712に径方向に対向するコイルサイド部分において、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くなっている構成（すなわち扁平導線構造）を有しているとよい。また、固定子巻線721は、複数の素線（細線）を1本に束ねた導線により構成されているとよい。さらに、固定子巻線721は、複数の素線（細線）が撚られている撚り線であるとよい。

[0512] 固定子コア722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722において回転子710側となる径方向外側に固定子巻線721が組み付けられている。固定子コア722の外周面は凹凸のない曲面状をなしており、固定子巻線721が組み付けられた状態では、固定子コア722の外周面に沿って、固定子巻線721のコイルサイド導線部724が周方向に並べて配置されるようになっている。

[0513] コイルサイド導線部724は、各相の相巻線723を構成する導線においてコイルサイドに相当する部分、すなわちコイルエンドよりも軸方向内側となる部分のことである。図76では、固定子巻線721の軸方向一端から軸方向他端までの範囲において磁石ユニット712と重複する範囲（図のR1）がコイルサイド導線部724である。コイルサイドが軸方向両端のコイル

エンドの間の中間位置にあることからすれば、コイルサイド導線部 724 は中間導線部であるとも言える。固定子コア 722 はバックコアとして機能する。

[0514] この場合、固定子巻線 721 において周方向に並ぶコイルサイド導線部 724 の間には、固定子コア 722 から径方向に延びる導線間部材（鉄心であるティース）、すなわち固定子巻線 721 よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材が設けられておらず、いわゆるスロットレス構造となっている。

[0515] 固定子巻線 721 は、固定子コア 722 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いる。この場合、固定子巻線 721 においてコイルエンドに相当する部分がモールド材により覆われている。また、周方向に並ぶ各コイルサイド導線部 724 の間にもモールド材が介在する構成であってもよい。なお、コイルエンドにおいてワニスの含浸により固定子巻線 721 が固められていてもよい。

[0516] 固定子コア 722 の径方向内側には、固定子保持部材 730 が組み付けられており、その固定子保持部材 730 により固定子 720 が保持されている。固定子保持部材 730 は、固定子コア 722 の径方向内側に配置される筒状部 731 を有しており、その筒状部 731 には、冷却水等の冷媒を環状に流通させる冷媒通路 732 が形成されている。なお、筒状部 731 の径方向内側に、半導体スイッチング素子等を含む電気モジュールを配置し、冷媒通路 732 を流れる冷媒により電気モジュールを冷却する構成としてもよい。

[0517] また、固定子保持部材 730 は、筒状部 731 の軸方向一端側に、回転軸 701 に対して直交する方向に延びる板状の端板部 733 を有している。端板部 733 の中央部には、回転軸 701 を挿通させる貫通孔 734 が形成されており、その貫通孔 734 内には、回転軸 701（回転子 710）の回転状態を検出する回転センサ 740 が設けられている。回転センサ 740 は、例えばレゾルバにより構成される磁気検出式の回転角度センサであり、回転軸 701 に固定されたレゾルバロータ 741 と、そのレゾルバロータ 741

の径方向外側に対向配置されたレゾルバステータ 742 とを備えている。レゾルバロータ 741 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 に同軸で設けられている。レゾルバステータ 742 は、不図示のステータコアとステータコイルとを有し、固定子保持部材 730 の端板部 733 に固定されている。

[0518] なお、回転センサ 740 は、レゾルバ以外の磁気センサであってもよく、例えば磁気抵抗効果素子を用いた MR センサや、ホール素子を用いたホールセンサであってもよい。

[0519] 次に、固定子巻線 721 についてより詳細に説明する。本例では、スロットレス構造の固定子 720 において、各相の相巻線 723 のほつれや位置ずれを抑制すべく、導線の巻順を改善したものであり、以下にその詳細を説明する。図 78 は、固定子巻線 721 における 3 相の相巻線 723 のうち U 相巻線 723 U の巻順を示す平面展開図である。V 相巻線 723 V 及び W 相巻線 723 W の図示は略すが、3 相の各相巻線 723 U, 723 V, 723 W は、図の左から右に向けて U 相→V 相→W 相の順となるようにそれぞれ配置され、いずれも同様に巻回される構成となっている。

[0520] 図 78 では、回転子 710 の各磁極を、P1 (N 極)、P2 (S 極)、P3 (N 極)、P4 (S 極)、P5 (N 極)、P6 (S 極) として示し、6 磁極分、すなわち 3 磁極対分の U 相巻線 723 U を示している。各相の相巻線 723 U, 723 V, 723 W では、1 磁極につき周方向に 2 つずつ並べて同相のコイルサイド導線部 724 が配置されるようになっている。なお、図 78 には、回転子 710 の一部の磁極を示している。つまり、回転電機 700 の極数は任意であり、極数が 8 以上であってもよい。

[0521] 固定子巻線 721 において、軸方向一方の側（図の上側）が第 1 コイルエンド CE1、軸方向他方の側（図の下側）が第 2 コイルエンド CE2 であり、それらコイルエンド CE1, CE2 の間がコイルサイド CS である。

[0522] コイルサイド CS では、各磁極 2 つずつのコイルサイド導線部 724 が、他相のコイルサイド導線部 724 を飛ばしつつ周方向に所定間隔で配置され

ている。各相の相巻線 7 2 3 は、磁極ごとに周方向に並ぶ 2 ずつのコイルサイド導線部 7 2 4 を有している。この場合、U 相巻線 7 2 3 U における各コイルサイド導線部 7 2 4 の位置は、図の最も左の位置を 1 番目とすると、1 番目、2 番目、7 番目、8 番目、13 番目、14 番目、 $\dots$ となっている。また、固定子巻線 7 2 1 の相数を m 、1 磁極ごとの同相のコイルサイド導線部 7 2 4 の周方向の並び数を n として一般化すると、U 相巻線 7 2 3 U における各コイルサイド導線部 7 2 4 の位置は、1 番目、2 番目、 $1 + (m \times s)$ 番目、 $2 + (m \times s)$ 番目、 $1 + 2 (m \times s)$ 番目、 $2 + 2 (m \times s)$ 番目、 $\dots$ となっている。なおここで、 $m \times s = 6$ である。

[0523] また、各相の相巻線 7 2 3 では、磁極ごとの各コイルサイド導線部 7 2 4 がコイルエンド C E 1, C E 2 で互いに連続的に接続される構成となっている。第 1 コイルエンド C E 1 では、周方向に隣り合う 2 磁極で同相のコイルサイド導線部 7 2 4 が、第 1 渡り部 7 5 1 を介して接続されている。詳しくは、第 1 コイルエンド C E 1 では、例えば、互いに隣り合う磁極 P 1, P 2 において、1 番目及び 7 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 が第 1 渡り部 7 5 1 を介して接続されるとともに、2 番目及び 8 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 が同じく第 1 渡り部 7 5 1 を介して接続されている。

[0524] また、第 2 コイルエンド C E 2 では、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた 2 磁極で同相のコイルサイド導線部 7 2 4 が、第 1 渡り部 7 5 1 と周方向に同じ向きに延びる第 2 渡り部 7 5 2 を介して接続されている。

[0525] 詳しくは、第 2 コイルエンド C E 2 では、例えば、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた磁極 P 1, P 4 において、1 番目及び 20 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 が第 2 渡り部 7 5 2 を介して接続されている。磁極 P 1, P 4 の各コイルサイド導線部 7 2 4 を繋ぐ第 2 渡り部 7 5 2 は、コイルサイド導線部 7 2 4 を挟んで他端側（第 1 コイルエンド C E 1 側）の第 1 渡り部 7 5 1 と周方向に同じ向きに延びるものとなっている。例えば 1 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 から延びる両端の渡り部 7 5 1, 7 5 2 は、いずれも図の右方向に延びる構成となっている。また、同じく周方向に 2 つの磁極を挟ん

で離れた磁極 P 3, P 6 において、1 3 番目及び 3 2 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 が第 2 渡り部 7 5 2 を介して接続されている。磁極 P 3, P 6 の各コイルサイド導線部 7 2 4 を繋ぐ第 2 渡り部 7 5 2 についても同様に、コイルサイド導線部 7 2 4 を挟んで他端側（第 1 コイルエンド C E 1 側）の第 1 渡り部 7 5 1 と周方向に同じ向きに延びるものとなっている。

[0526] この場合、第 1 コイルエンド C E 1 では、周方向に隣り合う 2 磁極において $m \times n$ 分のコイルピッチだけ離れたコイルサイド導線部 7 2 4 が、第 1 渡り部 7 5 1 を介して接続されている。また、第 2 コイルエンド C E 2 では、周方向に 2 つの磁極を挟んで離れた 2 磁極において当該各磁極で周方向に最も離れたコイルサイド導線部 7 2 4 が、第 2 渡り部 7 5 2 を介して接続されている。

[0527] なお、第 2 コイルエンド C E 2 において、第 2 渡り部 7 5 2 が接続されているコイルサイド導線部 7 2 4 以外のコイルサイド導線部 7 2 4 は、隣り合う 2 磁極におけるコイルサイド導線部 7 2 4 どうしで互いに接続されている。つまり、第 2 コイルエンド C E 2 では、周方向に隣り合う 2 磁極において当該各磁極で周方向に近いものどうしのコイルサイド導線部 7 2 4 が渡り部 7 5 3 を介して接続されている。具体的には、例えば、互いに隣り合う磁極 P 1, P 2 において、2 番目及び 7 番目のコイルサイド導線部 7 2 4 が渡り部 7 5 3 を介して接続されている。

[0528] ここで、コイルサイド導線部 7 2 4 における軸方向両側の第 1 渡り部 7 5 1 と第 2 渡り部 7 5 2 とが、周方向において同じ向きに延びる構成となっていることで、第 1 渡り部 7 5 1 と第 2 渡り部 7 5 2 とが、周方向において異なる向きに延びる構成に比べて、相巻線 7 2 3 のほつれや位置ずれが生じにくくなっている。つまり、上記構成では、各相の相巻線 7 2 3 が、1 磁極対ごと（すなわち 2 磁極ごと）に異相の相巻線 7 2 3 を巻き込むように周回させて設けられており、隣の磁極対との間で接続を行う第 2 渡り部 7 5 2 についても同様に磁極対内の異相の相巻線 7 2 3 を巻き込むように設けられている。この場合、仮に軸方向のいずれかの側のコイルエンドが軸方向外側に引

っ張られる状態になっても、コイルサイド導線部 724 には各磁極対の内側にしまる方向に力が作用し、固定子巻線 721 がばらけてしまうといった不都合は生じないものとなっている。そのため、周方向に並ぶコイルサイド導線部 724 の間に、固定子巻線 721 よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材（ティース）が設けられていない固定子 720、いわゆるスロットレス構造の固定子 720 であっても、相巻線 723 のほつれや位置ずれが抑制される。その結果、固定子巻線 721 の構成の適正化を図ることができるものとなっている。

[0529] また、スロットレス構造の固定子 720 ではインダクタンスが低減され、場合によっては電氣的時定数や機械的時定数の低下が懸念されることがあり得る。この点、第 2 渡り部 752 の導線長が第 1 渡り部 751 よりも長くなっていることでインダクタンスを大きくすることができ、電氣的時定数や機械的時定数の低下にも好適に対処できると考えられる。

[0530] また、図 78 の構成では、仮に第 2 コイルエンド CE2 の第 2 渡り部 752 に対して軸方向外側の引張応力が作用した場合に、その第 2 渡り部 752 に繋がるコイルサイド導線部 724 が、その隣位値でかつ同相の別のコイルサイド導線部 724 の側に引き寄せられる。そのため、第 2 コイルエンド CE2 での引張応力の作用に伴い異相のコイルサイド導線部 724 の側に引き寄せられる場合とは異なり、相間の絶縁破壊（短絡）が生じる等の不都合が回避できる。また、同相のコイルサイド導線部 724 について占積率を高めることが可能となる。

[0531] ところで、固定子巻線 721 において、上記のとおり第 1 コイルエンド CE1 の側と第 2 コイルエンド CE2 の側とで渡り部 751, 752 の構成が異なっている場合には、各コイルエンド CE1, CE2 において磁束漏れの度合いが異なることとなる。上記構成では、第 2 渡り部 752 の導線長が第 1 渡り部 751 の導線長よりも長いため、第 2 コイルエンド CE2 において磁束漏れの度合いが大きくなる。

[0532] この点、本例では、図 76 に示すように、固定子巻線 721 におけるコイ

ルサイド導線部 724 の軸方向の中心位置を基準として、軸方向一方側と他方側とで不均等に固定子コア 722 が設けられている。すなわち、第 2 コイルエンド C E 2 側では、第 1 コイルエンド C E 1 側に比べてコイルサイド導線部 724 よりも軸方向外側への固定子コア 722 のはみ出し量が大きくなっている。

[0533] 図 76 では、C A が、固定子巻線 721 におけるコイルサイド導線部 724 の軸方向の中心位置であり、その C A を基準として、第 1 コイルエンド C E 1 側のコア端面までの長さを L_1 、第 2 コイルエンド C E 2 側のコア端面までの長さを L_2 とすると、その長さ L_1 、 L_2 が $L_2 > L_1$ となっている。これにより、第 2 コイルエンド C E 2 側において、第 1 コイルエンド C E 1 側に比べてコイルサイド導線部 724 よりも軸方向外側への固定子コア 722 のはみ出し量が大きくなっている。

[0534] 本構成によれば、第 1 コイルエンド C E 1 側と第 2 コイルエンド C E 2 側とで磁束漏れの度合いが異なることを加味しつつ、好適な構成を実現できる。

[0535] また、固定子巻線 721 の第 1 コイルエンド C E 1 と第 2 コイルエンド C E 2 とで、渡り部 751、752 の導線長の違いにより固定子巻線 721 からの磁束漏れの影響が互いに異なっている場合には、回転センサ 740 を第 1 コイルエンド C E 1 寄りに設けるか第 2 コイルエンド C E 2 寄りに設けるかで回転センサ 740 に及ぶ影響が異なると考えられる。この点、本例では、図 76 に示すように、軸方向において第 1 コイルエンド C E 1 側と第 2 コイルエンド C E 2 側とのうち第 1 コイルエンド C E 1 側に、回転センサ 740 が設けられている。

[0536] 本構成によれば、第 1 コイルエンド C E 1 側に回転センサ 740 が設けられていることにより、磁束漏れの影響を回転センサ 740 が受けることを抑制できる。

[0537] 固定子巻線 721 を、多相の相巻線を各々有する第 1 巻線群と第 2 巻線群とを有する構成としてもよい。本構成における固定子巻線 721 を図 79 に

示す。図 79 に示すように、固定子巻線 721 は、第 1 巻線群 761 と第 2 巻線群 762 とを有している。第 1 巻線群 761 は、U1 相、V1 相、W1 相を構成する 3 相巻線であり、U1 相巻線 763U、V1 相巻線 763V、W1 相巻線 763W を有している。また、第 2 巻線群 762 は、U2 相、V2 相、W2 相を構成する 3 相巻線であり、U2 相巻線 764U、V2 相巻線 764V、W2 相巻線 764W を有している。つまり、固定子巻線 721 としては 6 相の相巻線を有している。これら各巻線群 761、762 は、それぞれ各相のコイルサイド導線部 724 が、周方向に 1 相ずつ交互に配置されて構成されている。各巻線群 761、762 は、各々個別のインバータにより、例えば電気角で 30 度ずつずれた位相で通電制御が行われるとよい。

[0538] 図 80 は、固定子巻線 721 における 2 組の巻線群 761、762 のうち U1 相巻線 763U と U2 相巻線 764U との巻順を示す平面展開図である。V1 相巻線 763V、V2 相巻線 764V、W1 相巻線 763W 及び W2 相巻線 764W の図示は略すが、各 3 相の巻線群 761、762 は、図の左から右に向けて U1 相→U2 相→V1 相→V2 相→W1 相→W2 相の順となるようにそれぞれ配置されている。

[0539] 図 80 では、回転子 710 の各磁極を、P1 (N 極)、P2 (S 極)、P3 (N 極)、P4 (S 極) として示し、4 磁極分、すなわち 2 磁極対分の U1 相巻線 763U と U2 相巻線 764U とを示している。図 80 では、U1 相巻線 763U、U2 相巻線 764U のうち U2 相巻線 764U を太線にて示している。各相の相巻線では、図 78 と同様に、1 磁極につき周方向に 2 つずつ並べて同相のコイルサイド導線部 724 が配置されるようになっている。固定子巻線 721 における第 1 コイルエンド CE1、第 2 コイルエンド CE2、コイルサイド CS は図 78 と同じである。

[0540] コイルサイド CS において、U1 相巻線 763U 及び U2 相巻線 764U はそれぞれ、磁極ごとに周方向に並ぶ 2 ずつのコイルサイド導線部 724 を有している。この場合、例えば U1 相巻線 763U における各コイルサイド導線部 724 の位置は、図の最も左の位置を 1 番目とすると、1 番目、2 番

目、13番目、14番目、25番目、26番目、・・・となっている。また、固定子巻線721の相数を m 、1磁極ごとの同相のコイルサイド導線部724の周方向の並び数を n として一般化すると、U1相巻線763Uにおける各コイルサイド導線部724の位置は、1番目、2番目、 $1 + (m \times s)$ 番目、 $2 + (m \times s)$ 番目、 $1 + 2(m \times s)$ 番目、 $2 + 2(m \times s)$ 番目、・・・となっている。なおここで、 $m \times s = 12$ である。

[0541] U1相巻線763U及びU2相巻線764Uではそれぞれ、第1コイルエンドCE1側及び第2コイルエンドCE2側において、第1渡り部751と第2渡り部752とを用いて同相のコイルサイド導線部724どうしが接続されるようになっている。前述したとおり、第1渡り部751は、周方向に隣り合う2磁極において $m \times n$ 分のコイルピッチだけ離れたコイルサイド導線部724を接続する渡り部であり、第2渡り部752は、周方向に2つの磁極を挟んで離れた2磁極において当該各磁極で周方向に最も離れたコイルサイド導線部724を接続する渡り部である。なお図80では、説明を明確化するために、U1相巻線763Uでは「第1渡り部751A、第2渡り部752A」とし、U2相巻線764Uでは「第1渡り部751B、第2渡り部752B」としている。

[0542] この場合特に、第1巻線群761では、第1コイルエンドCE1側に第1渡り部751Aが設けられるとともに、第2コイルエンドCE2側に第2渡り部752Aが設けられている。また、第2巻線群762では、第1コイルエンドCE1側に第2渡り部752Bが設けられるとともに、第2コイルエンドCE2側に第1渡り部751Bが設けられている。

[0543] 図80の構成によれば、第1巻線群761と第2巻線群762とでは、各コイルエンドCE1、CE2における第1渡り部751と第2渡り部752とが軸方向に逆になっている。そのため、第1渡り部751と第2渡り部752とで導線長が異なっても、両方のコイルエンドCE1、CE2において磁気環境を同じにすることができる。

[0544] 変形例15を以下のように具体化することも可能である。

- [0545] ・図78や図80の構成では、固定子巻線721において1磁極につき周方向に2つずつ並べて同相のコイルサイド導線部724が配置されているが、これを変更し、1磁極につき周方向に1つずつ同相のコイルサイド導線部724が配置される構成、又は、1磁極につき周方向に3つずつ並べて同相のコイルサイド導線部724が配置される構成としてもよい。つまり、磁極ごとの同相のコイルサイド導線部724の数は任意でよい。
- [0546] ・固定子720において、周方向に並ぶコイルサイド導線部724の間に、固定子巻線721よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材が設けられていない構成は、必ずしも固定子コア722の一部が全く介在していない構成でなくてもよい。例えば、固定子コア722が、導線間部材として、コイルサイド導線部724の径方向厚さよりも小さい寸法（例えば1/2以下、1/3以下、1/4以下などの寸法）で径方向外側に延びる突起を有する構成であってもよい。
- [0547] ・回転電機700を、インナロータ式の回転電機としてもよい。また、回転電機700を、回転電機子形の回転電機としてもよい。この場合、電機子としての回転子と界磁子としての固定子とを有する構成とする。
- [0548] 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。

請求の範囲

[請求項1] 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）を備える回転電機（700）に適用され、多相の電機子巻線（721）を有し、前記界磁子の径方向内側又は径方向外側に配置される電機子（720）であって、

前記電機子巻線は、相ごとに設けられ、相ごとの所定の並び順序で周方向に巻回される複数の相巻線（723）を有し、

前記電機子巻線において周方向に並ぶコイルサイド導線部（724）の間に、当該電機子巻線よりも径方向内側と径方向外側とを繋ぐ導線間部材が設けられておらず、

前記各相の相巻線は、前記磁極ごとに所定数ずつの前記コイルサイド導線部を有し、軸方向一方の側の第1コイルエンド（CE1）では、第1渡り部（751）を介して、周方向に隣り合う2磁極で同相の前記コイルサイド導線部が接続されているとともに、軸方向他方の側の第2コイルエンド（CE2）では、前記第1渡り部と周方向に同じ向きに延びる第2渡り部（752）を介して、周方向に2つの磁極を挟んで離れた2磁極で同相の前記コイルサイド導線部が接続されている電機子。

[請求項2] 前記電機子巻線の相数は m （ $m \geq 2$ ）であり、

前記各相の相巻線は、前記磁極ごとに周方向に並ぶ n 個（ $n \geq 2$ ）ずつの前記コイルサイド導線部を有しており、前記第1コイルエンドでは、周方向に隣り合う2磁極において $m \times n$ 分のコイルピッチだけ離れた前記コイルサイド導線部が、前記第1渡り部を介して接続されているとともに、前記第2コイルエンドでは、周方向に2つの磁極を挟んで離れた2磁極において当該各磁極で周方向に最も離れた前記コイルサイド導線部が、前記第2渡り部を介して接続されている請求項1に記載の電機子。

[請求項3] 前記電機子巻線に一体に設けられる筒状のコア部材（722）を有

し、

前記電機子巻線における前記コイルサイド導線部の軸方向の中心位置を基準として、軸方向一方側と他方側とで不均等に前記コア部材が設けられており、前記第2コイルエンドの側では、前記第1コイルエンドの側に比べて前記コイルサイド導線部よりも軸方向外側への前記コア部材のはみ出し量が大きくなっている請求項1又2に記載の電機子。

[請求項4]

前記電機子巻線は、多相の前記相巻線を各々有する第1巻線群（761）と第2巻線群（762）とを有し、前記第1巻線群における各相の前記コイルサイド導線部と前記第2巻線群における各相の前記コイルサイド導線部とが、周方向に1相ずつ交互に配置されており、

前記第1巻線群では、各相の前記相巻線において、前記第1コイルエンドの側に前記第1渡り部が設けられるとともに、前記第2コイルエンドの側に前記第2渡り部が設けられており、

前記第2巻線群では、各相の前記相巻線において、前記第1コイルエンドの側に前記第2渡り部が設けられるとともに、前記第2コイルエンドの側に前記第1渡り部が設けられている請求項1又は2に記載の電機子。

[請求項5]

請求項1～3のいずれか1項に記載の前記電機子と、前記界磁子と、を備える回転電機。

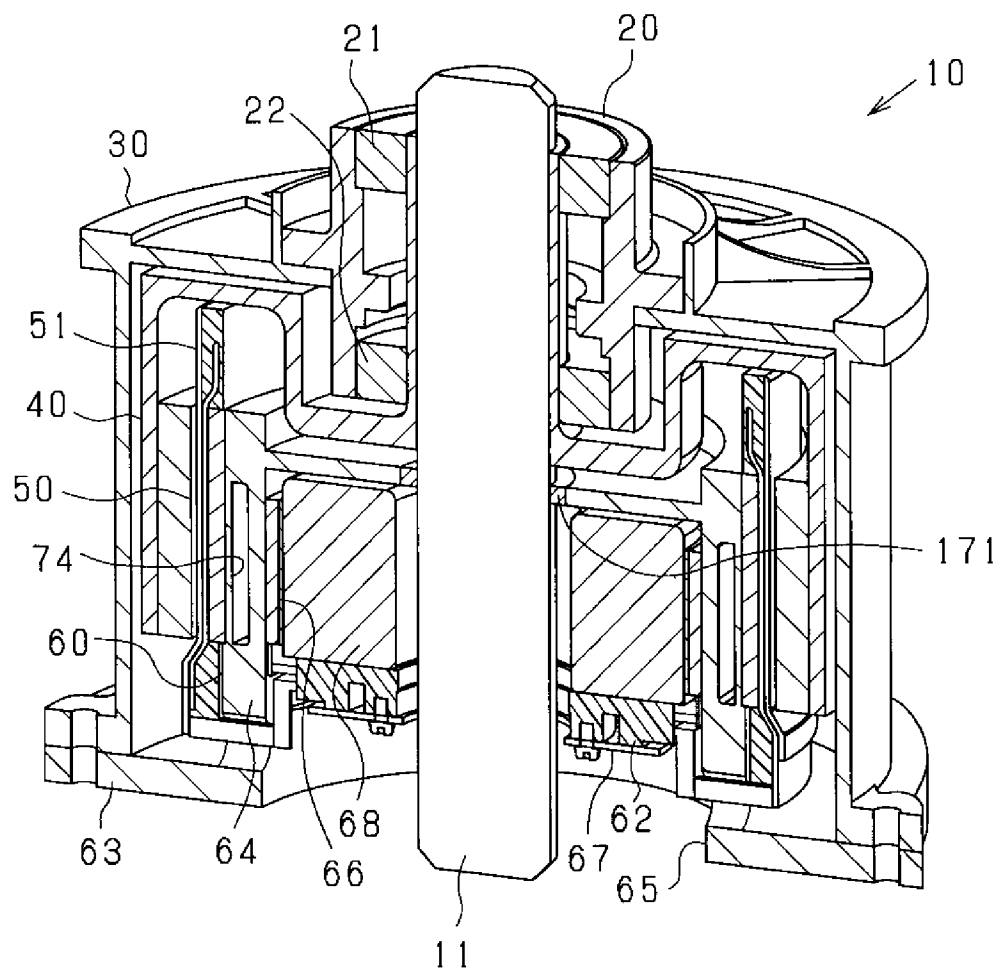
[請求項6]

前記電機子と前記界磁子とのいずれかを、回転軸（701）と共に回転する回転子とする回転電機であって、

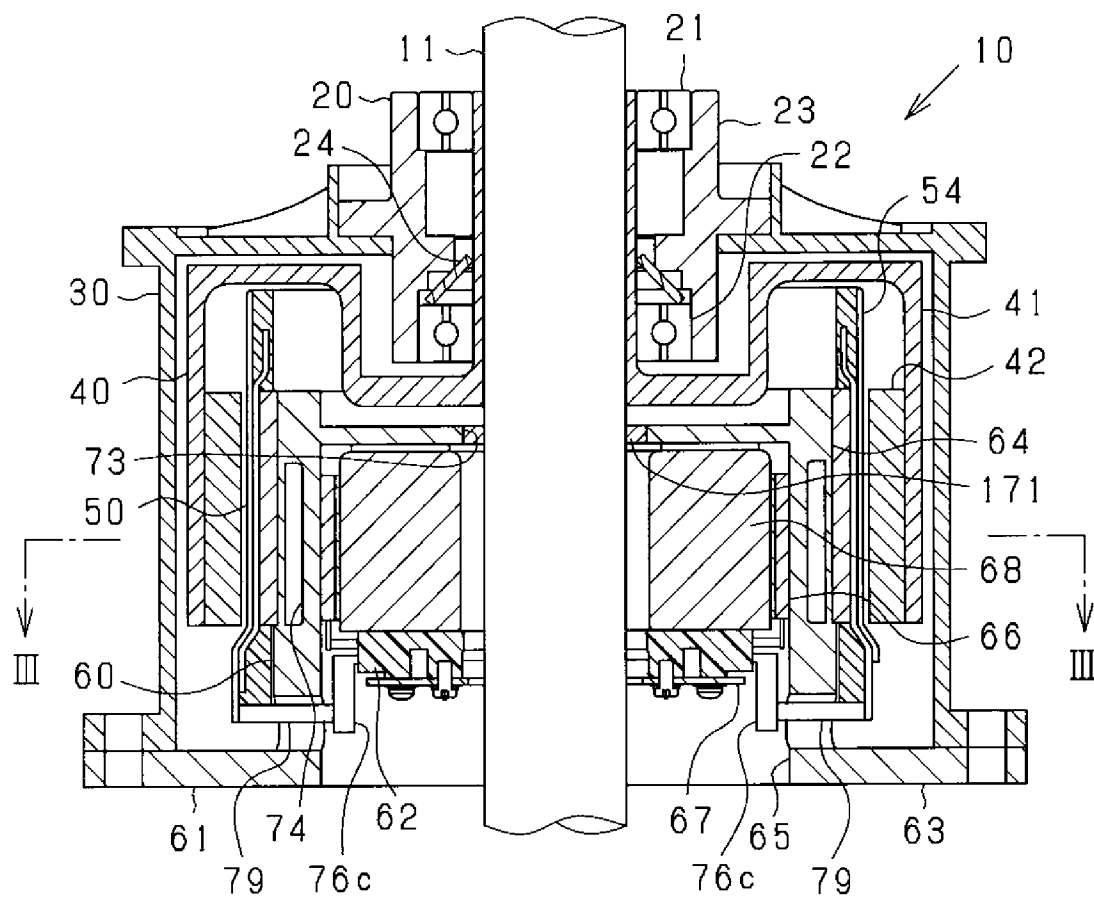
前記回転軸の回転状態を検出する磁気検出式の回転センサ（740）を備え、

軸方向において前記第1コイルエンドの側と前記第2コイルエンドの側とのうち前記第1コイルエンドの側に、前記回転センサが設けられている請求項5に記載の回転電機。

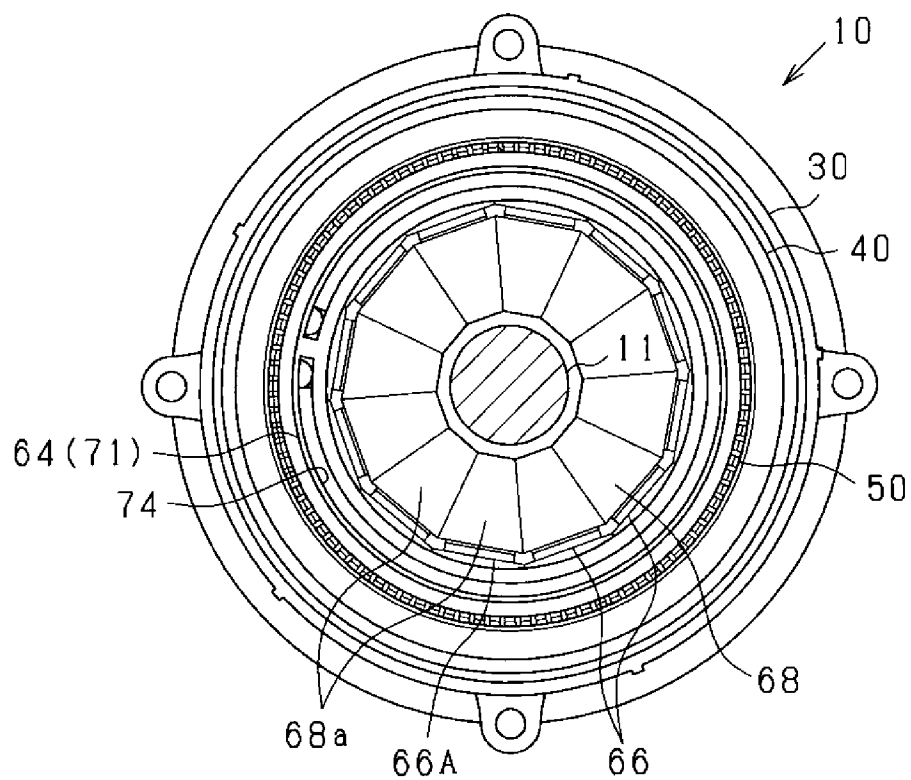
[図1]



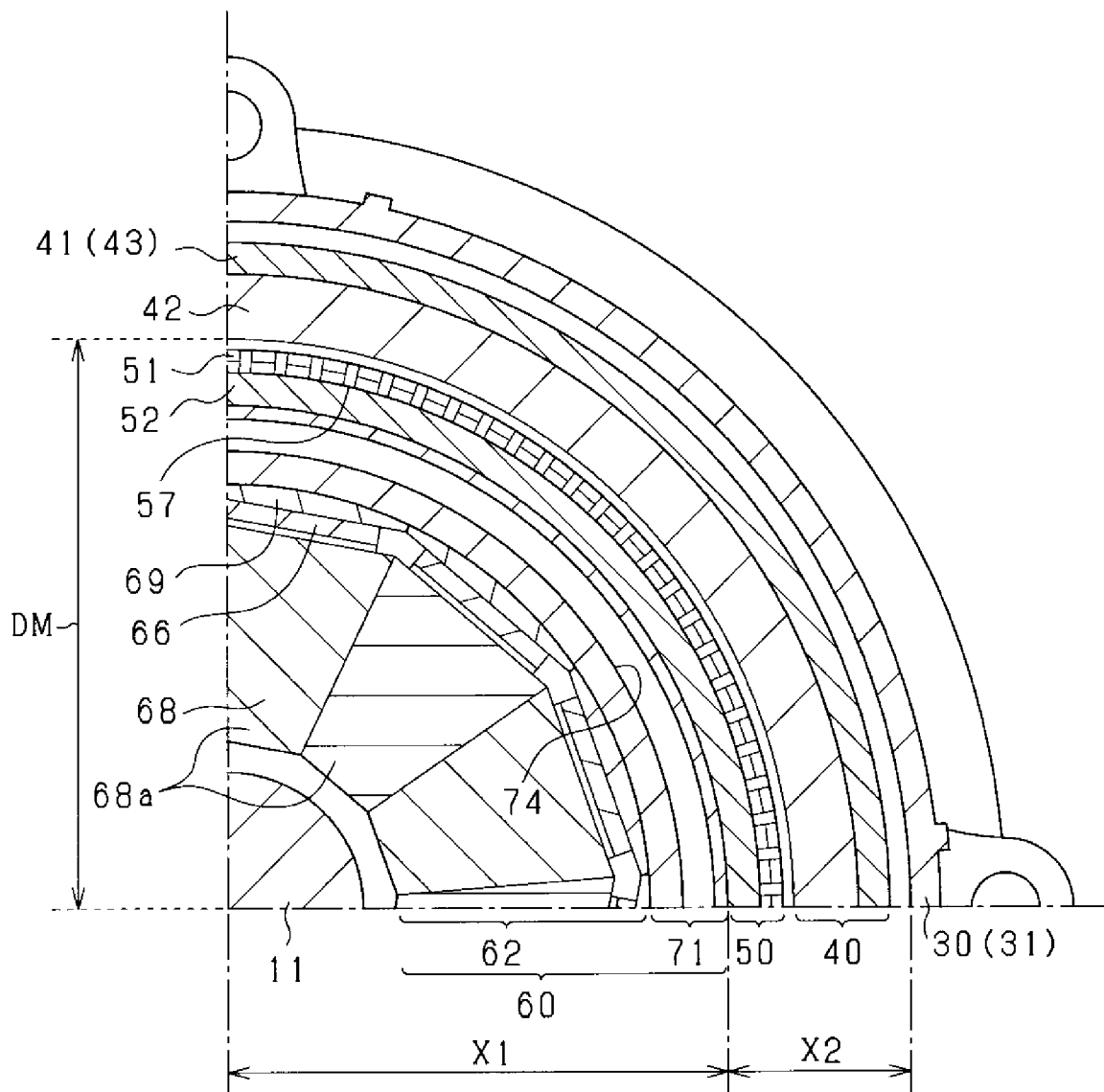
[図2]



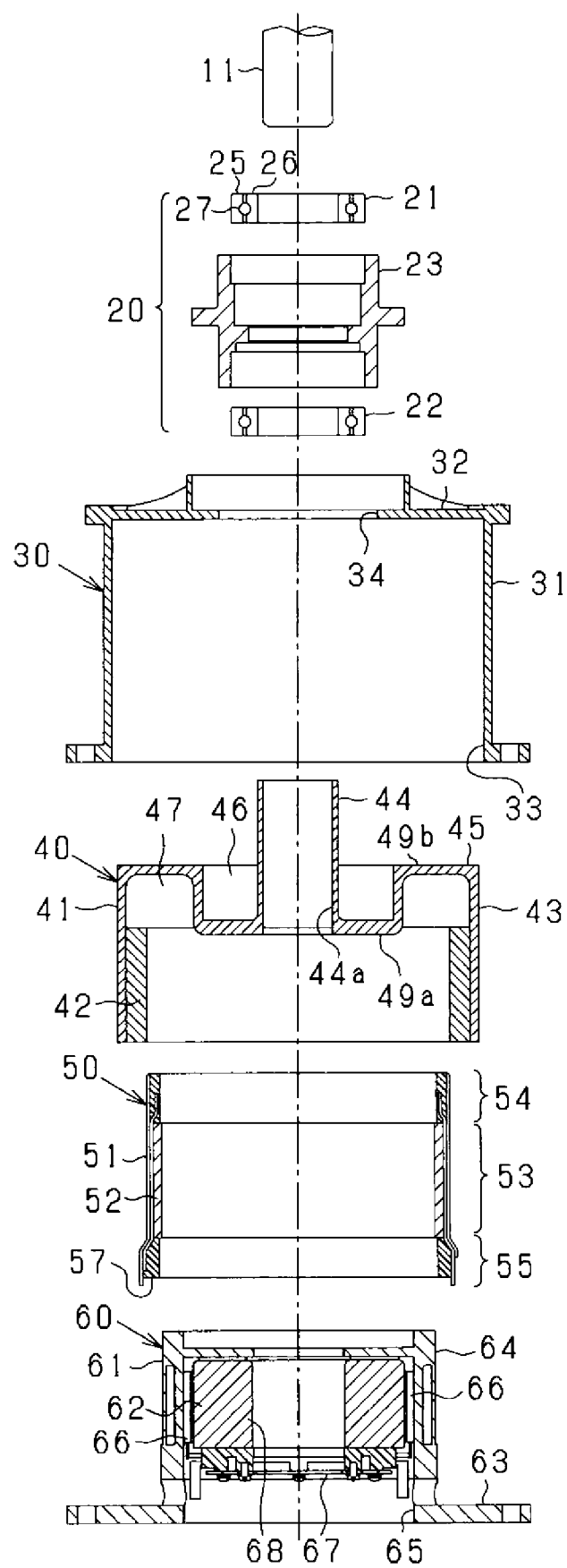
[図3]



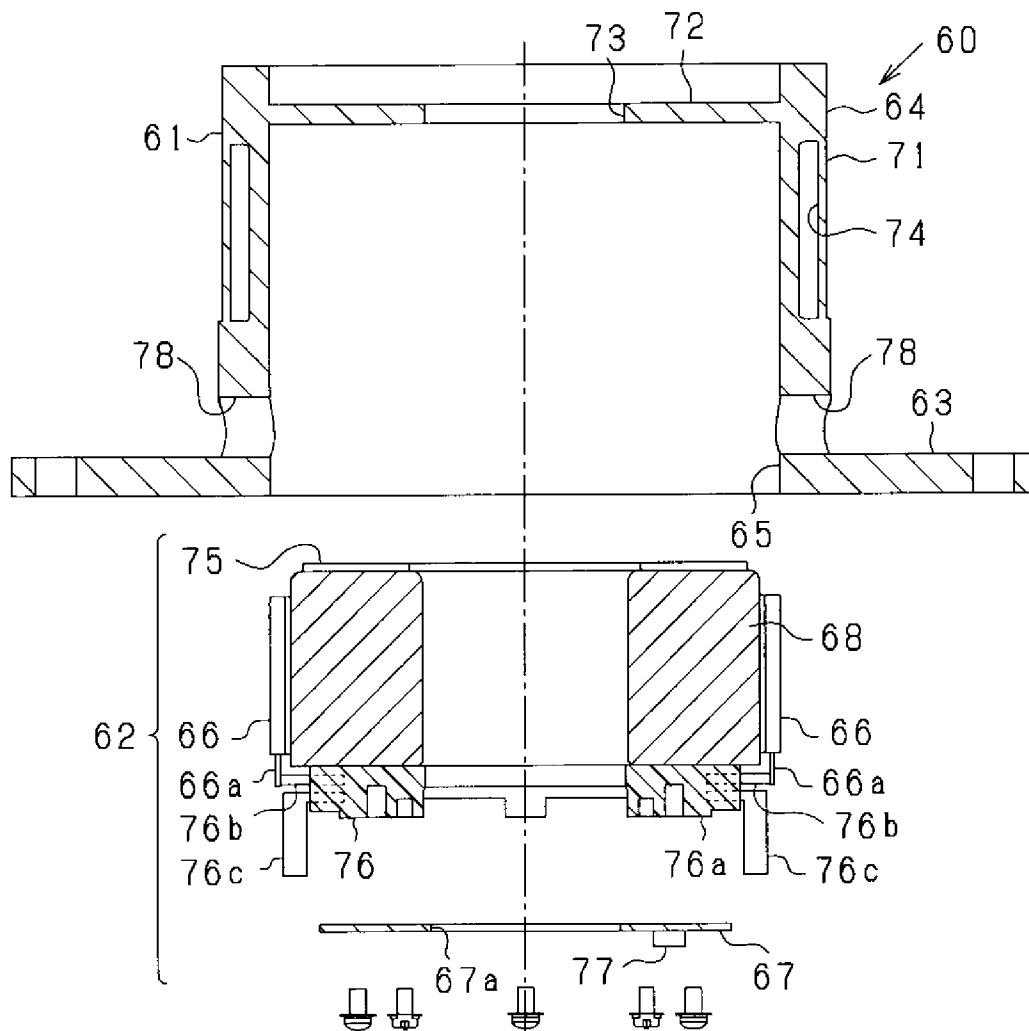
[図4]



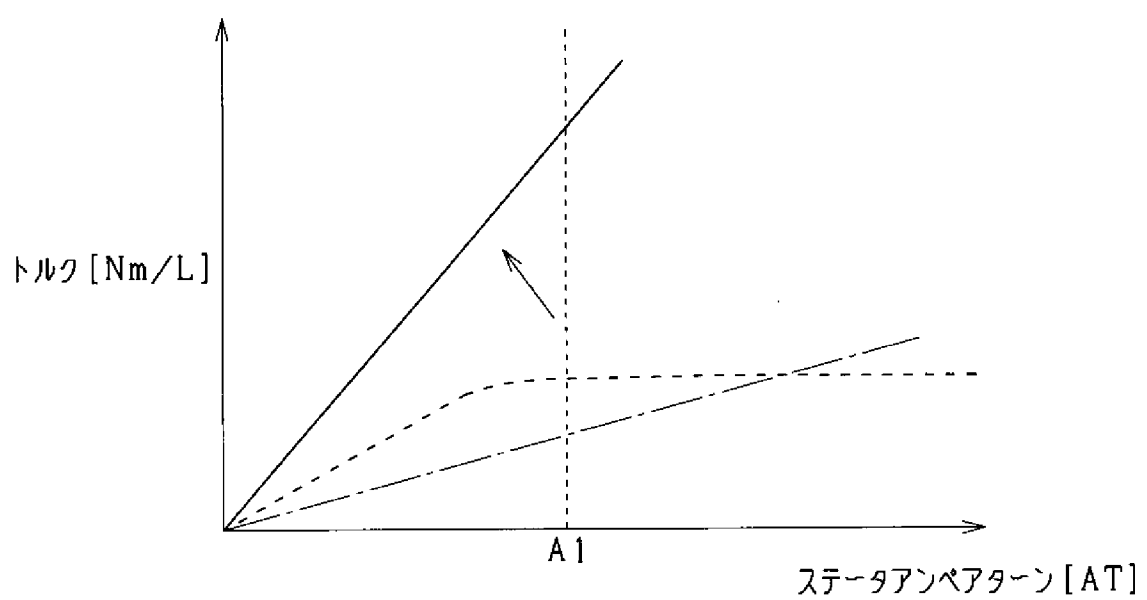
[図5]



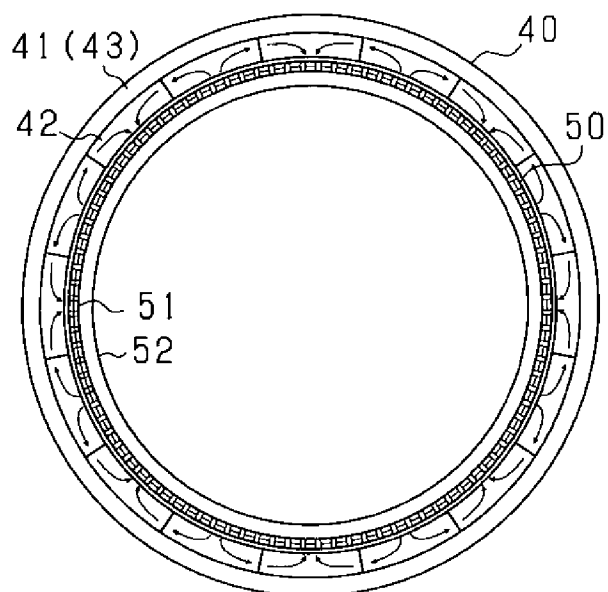
[図6]



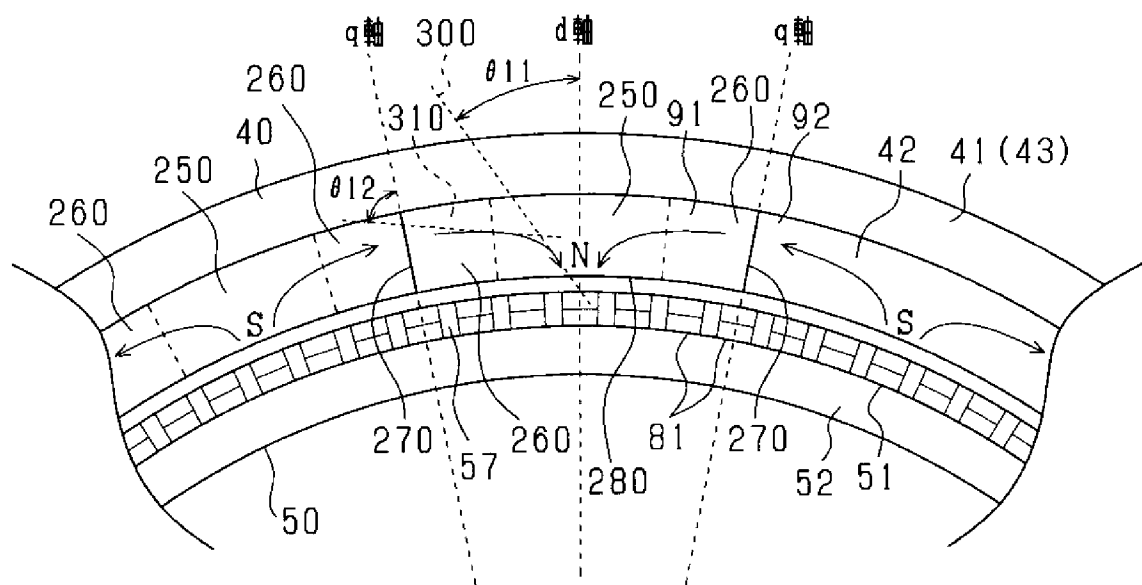
[図7]



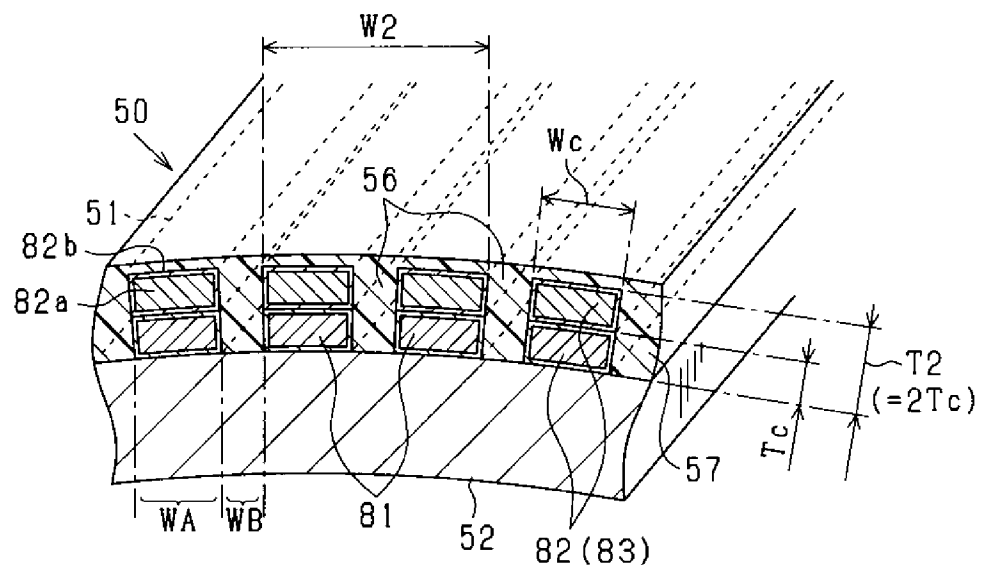
[図8]



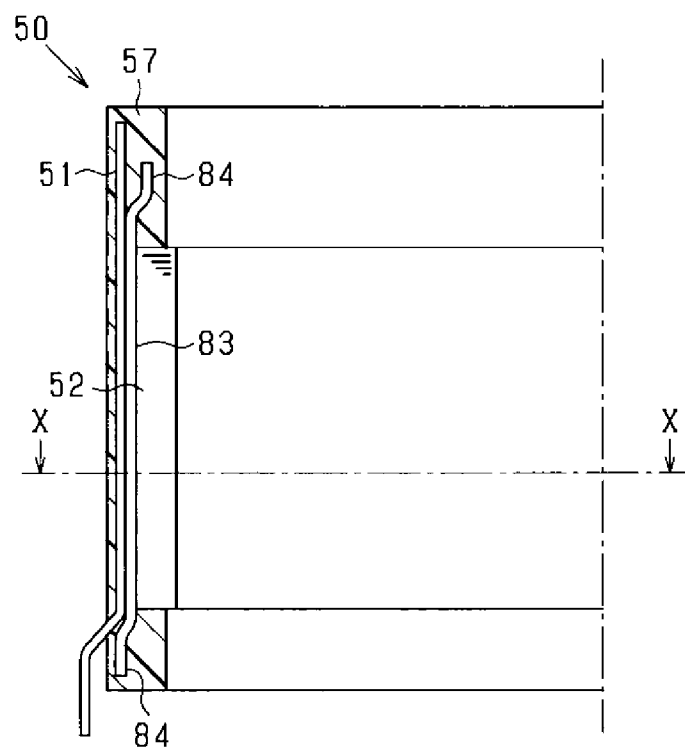
[図9]



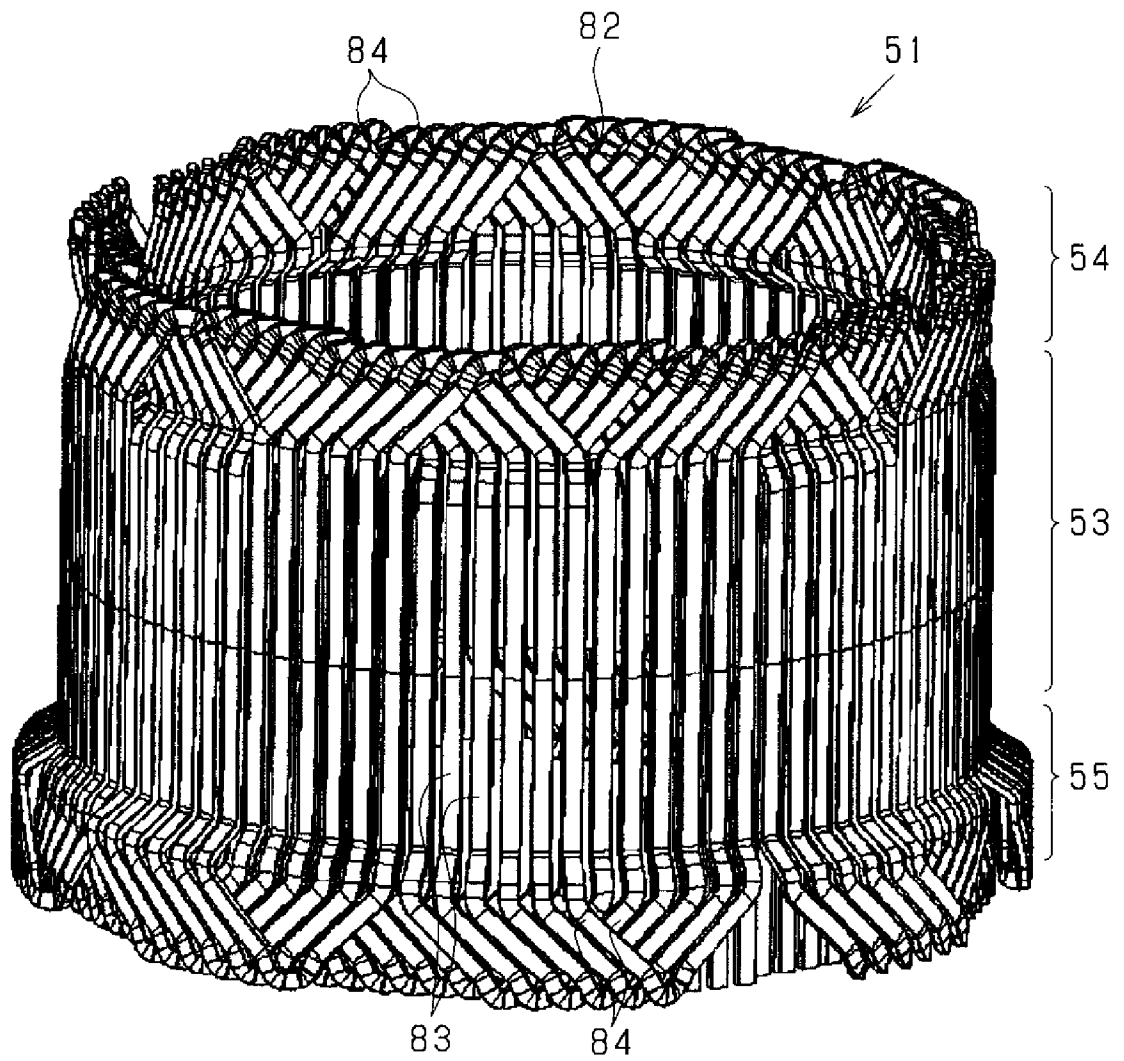
[図10]



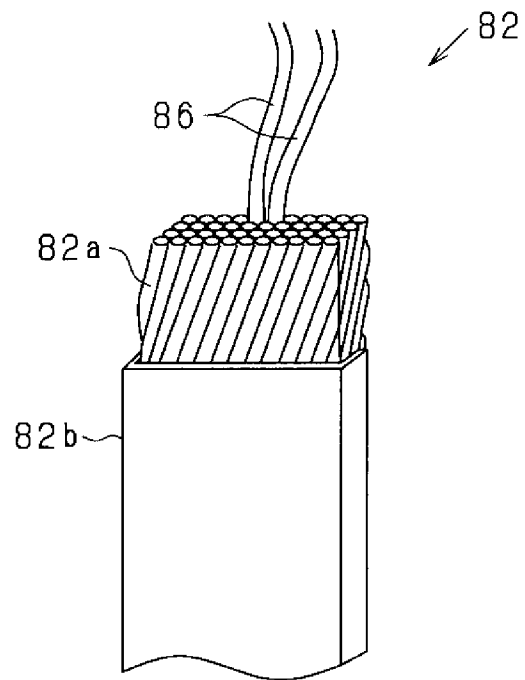
[図11]



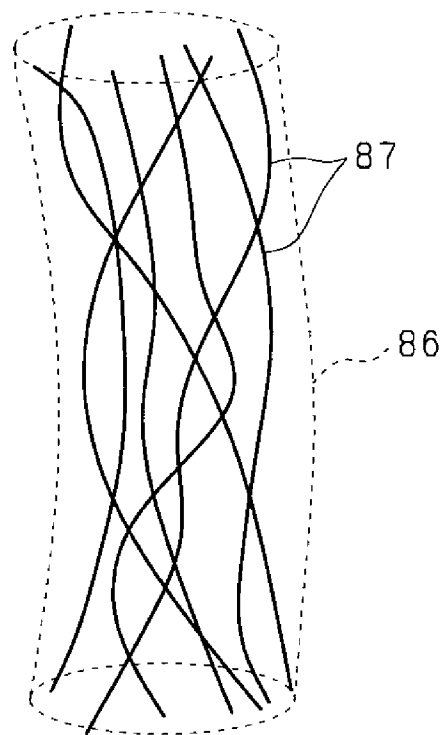
[図12]



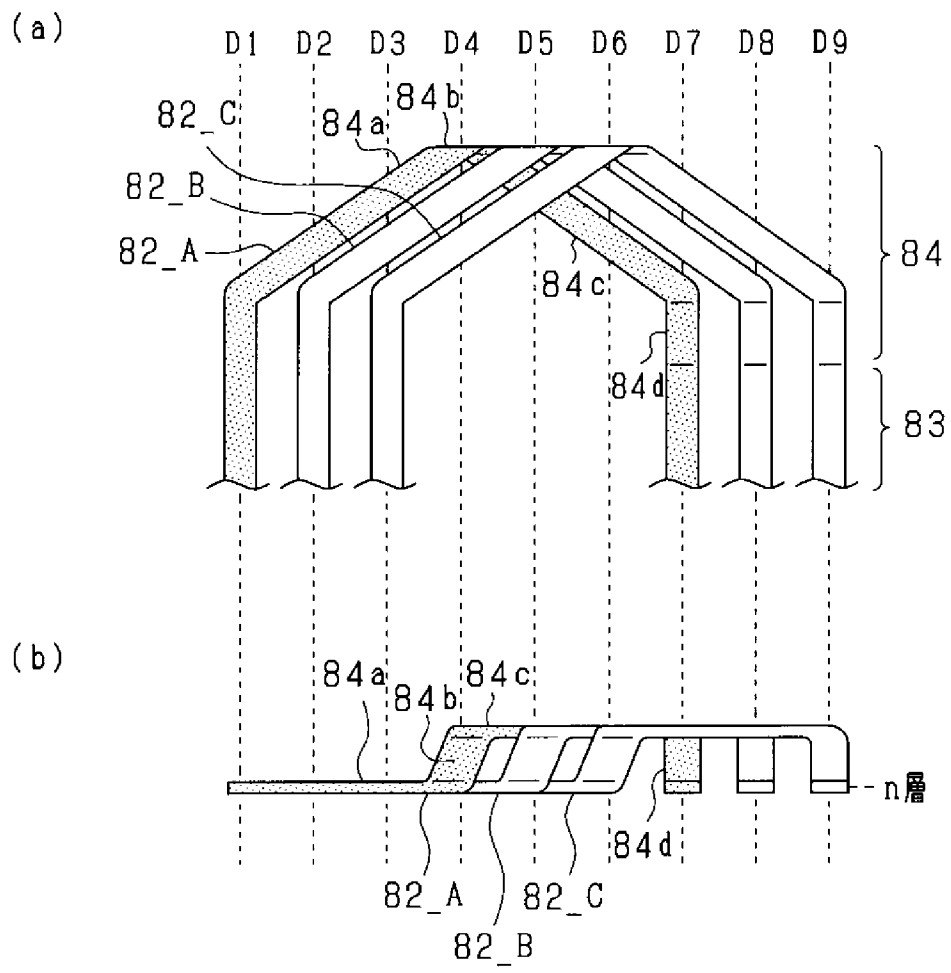
[図13]



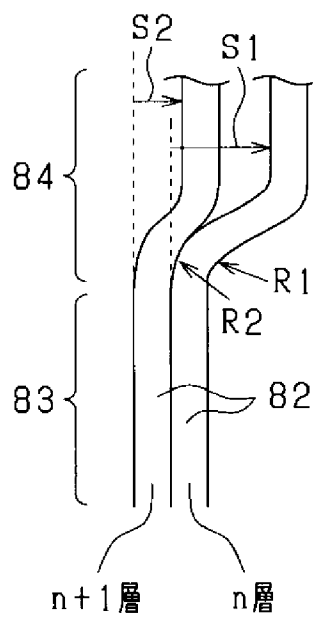
[図14]



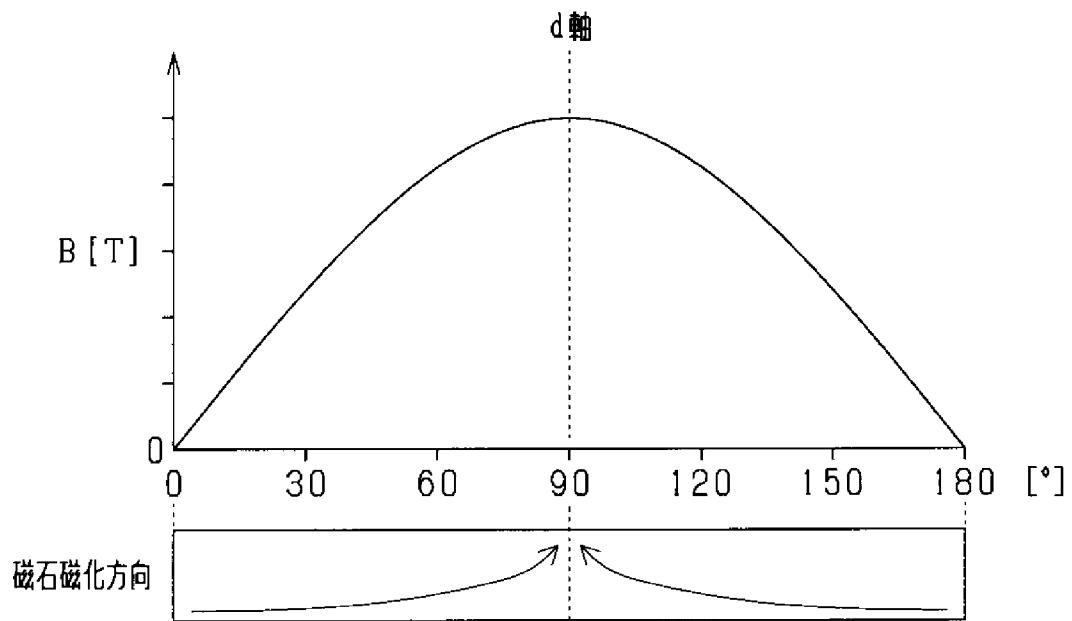
[図15]



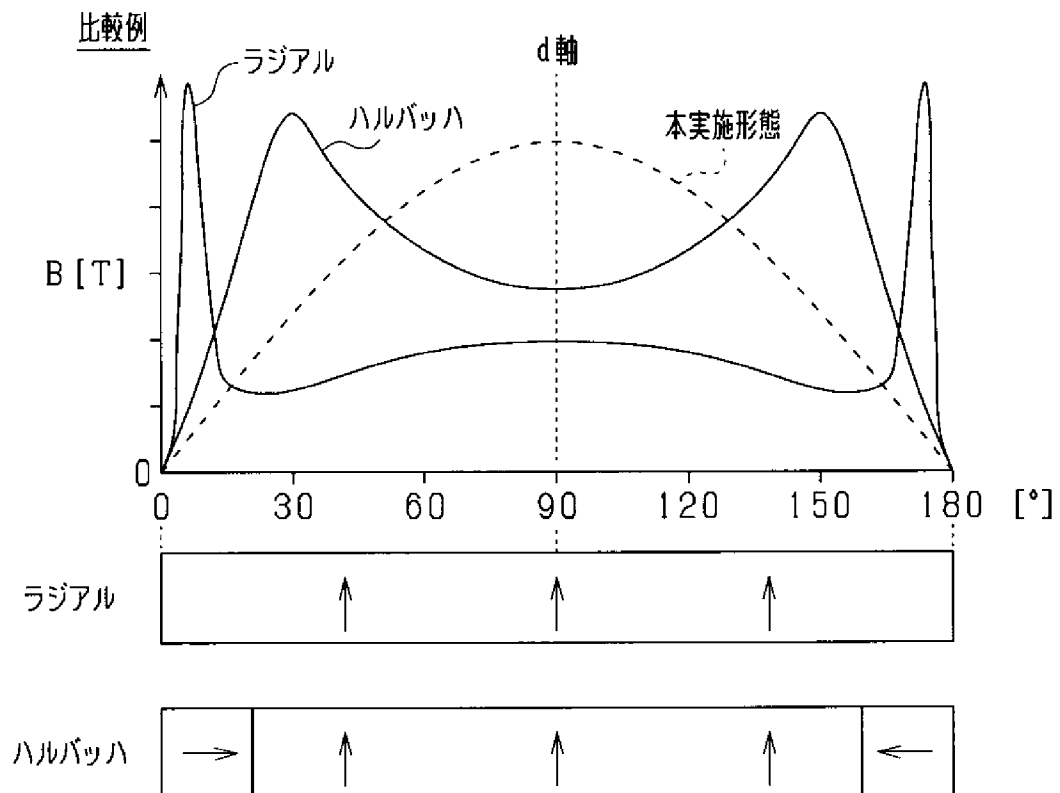
[図16]



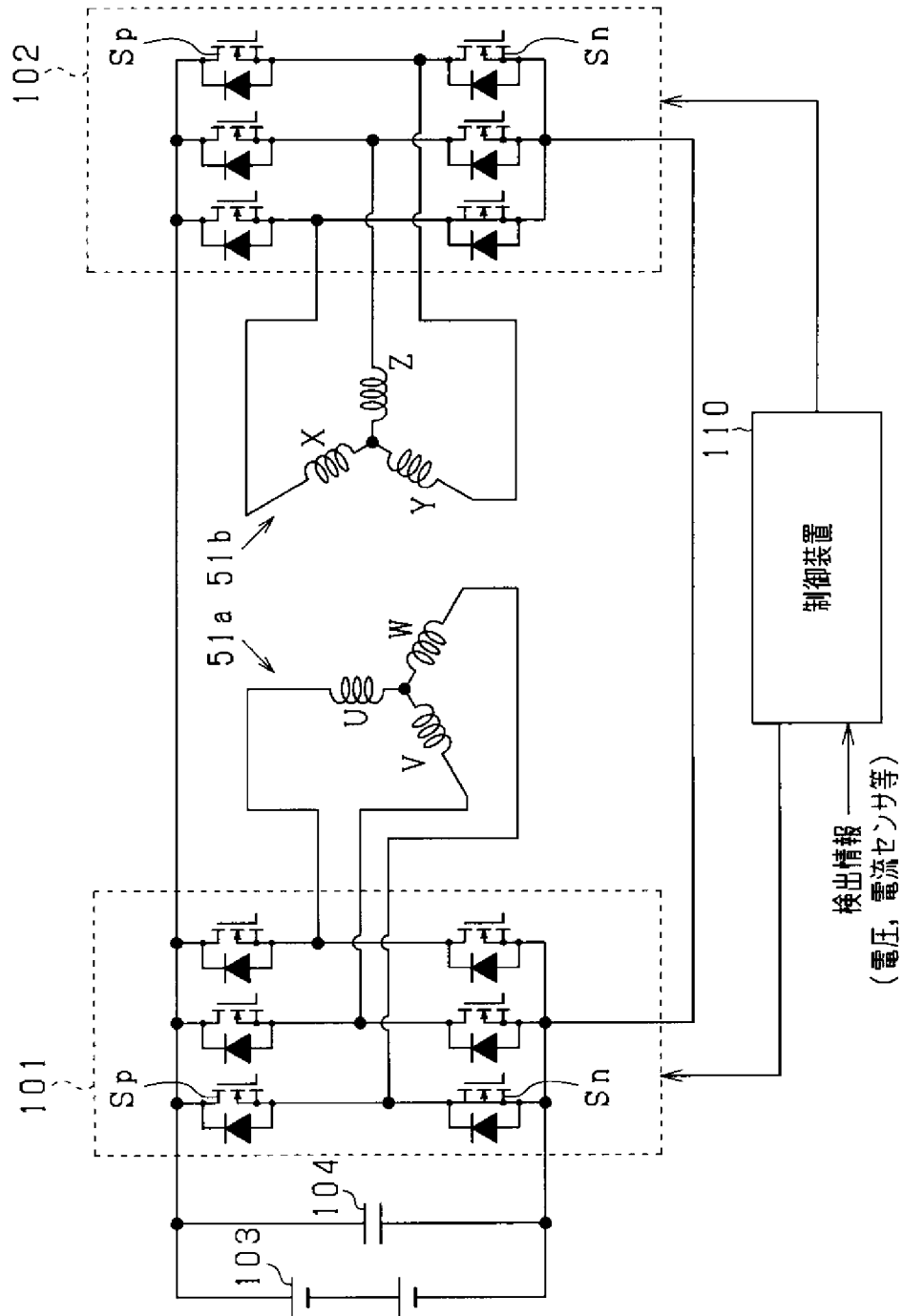
[図17]



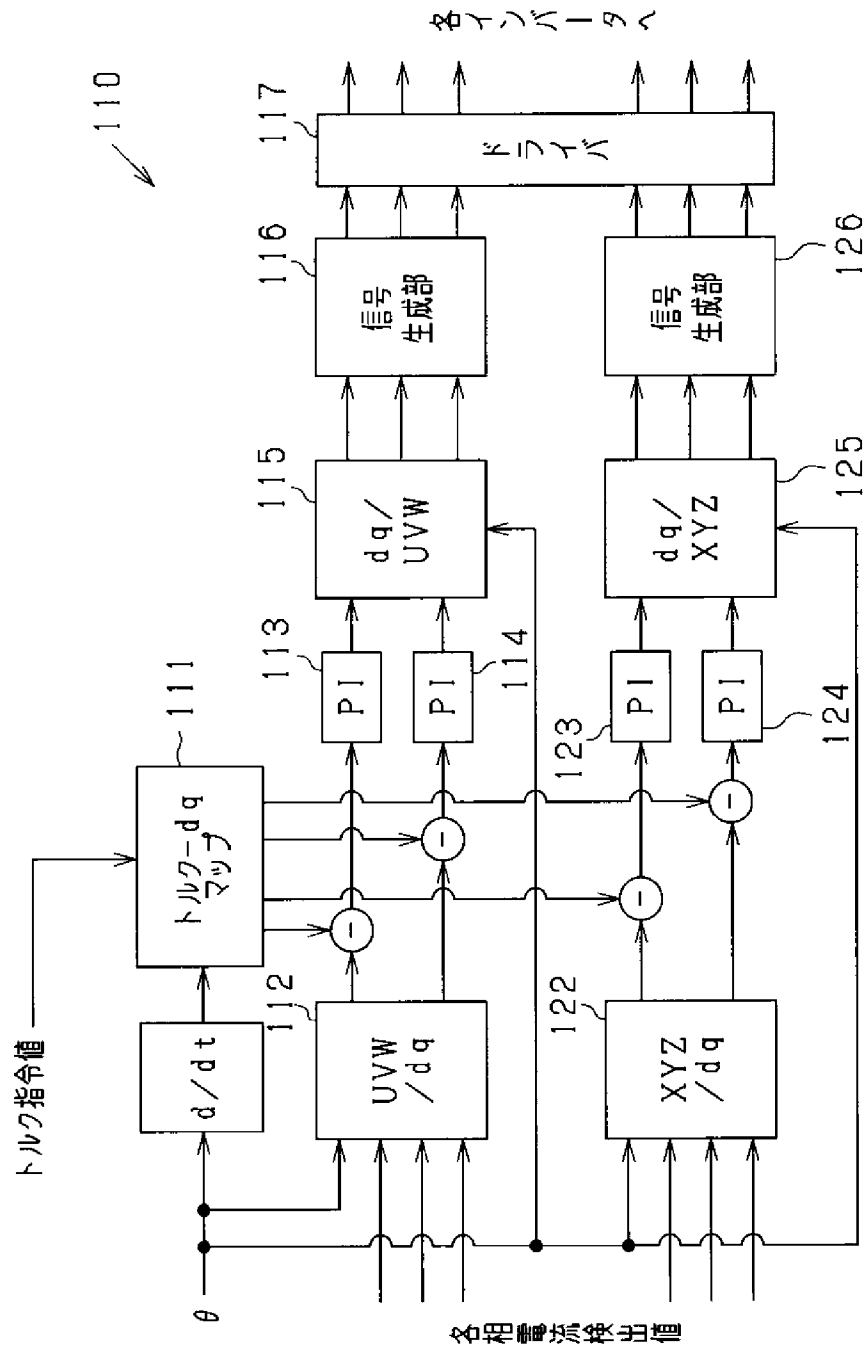
[図18]



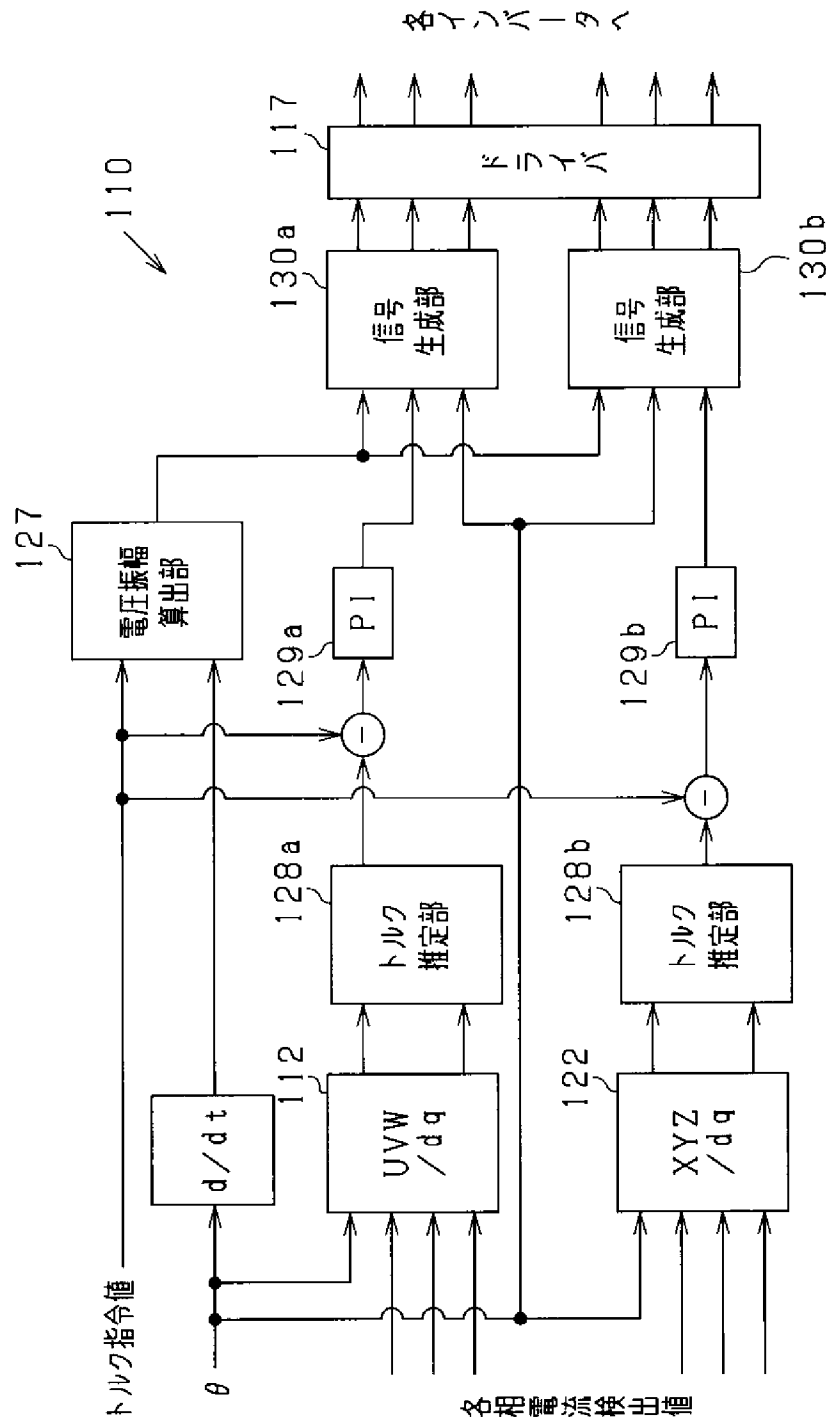
[図19]



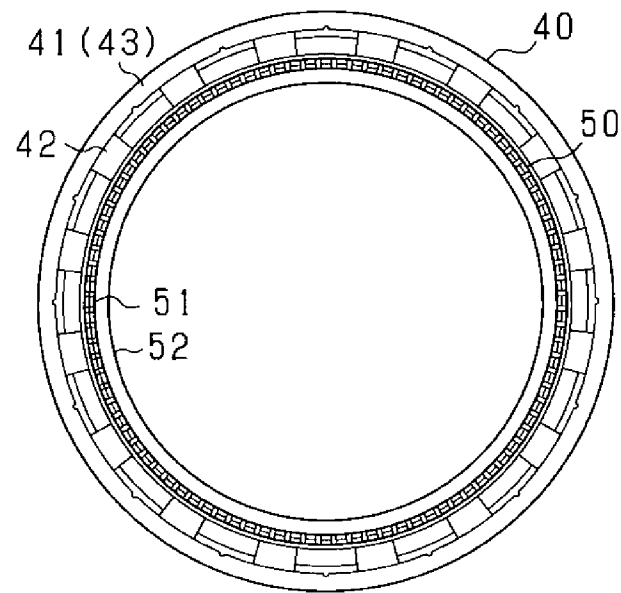
[図20]



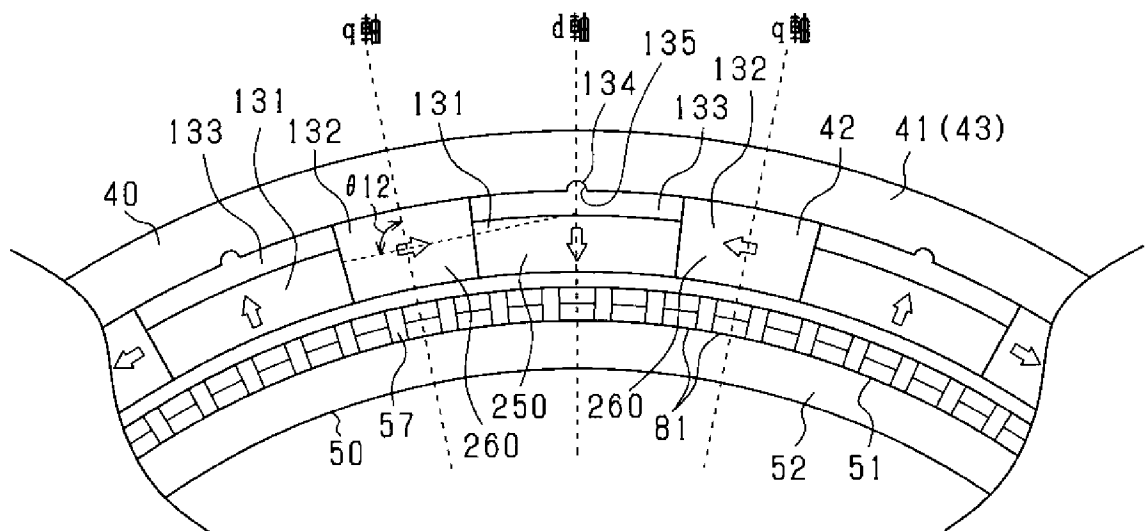
[図21]



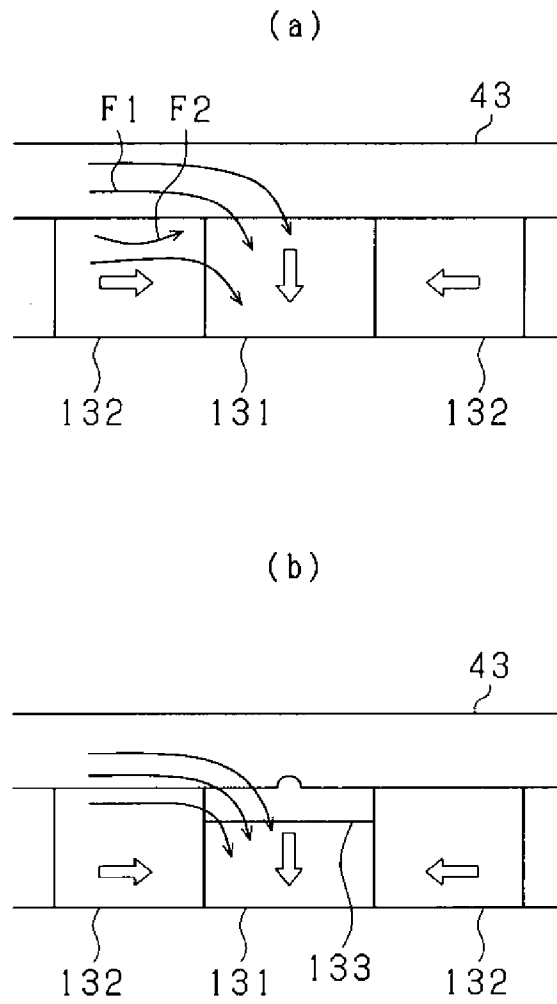
[図22]



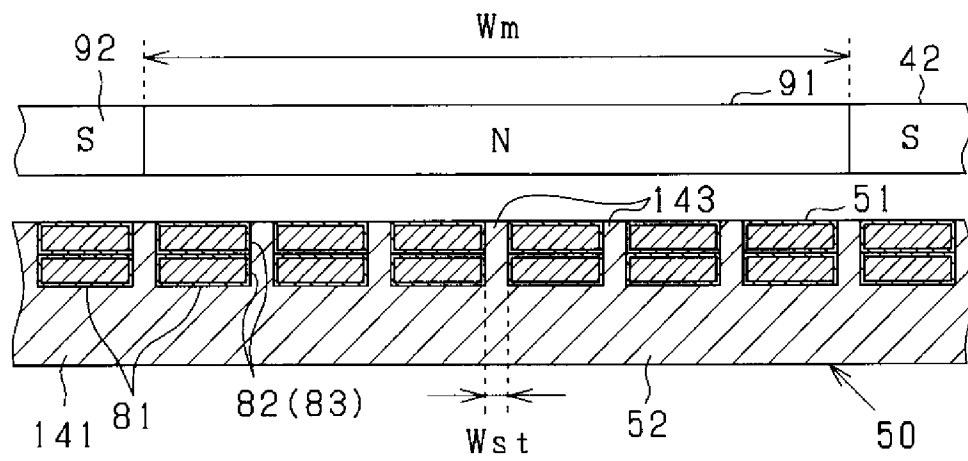
[図23]



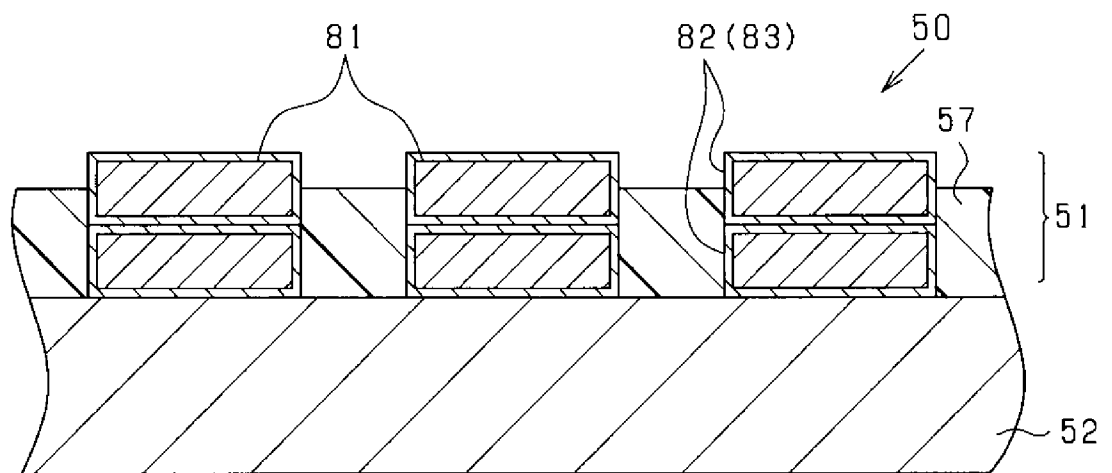
[図24]



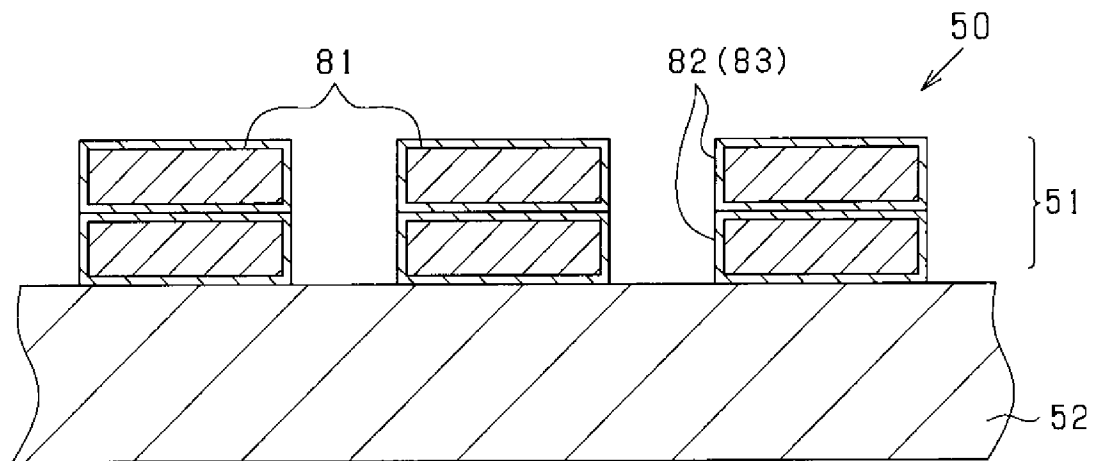
[図27]



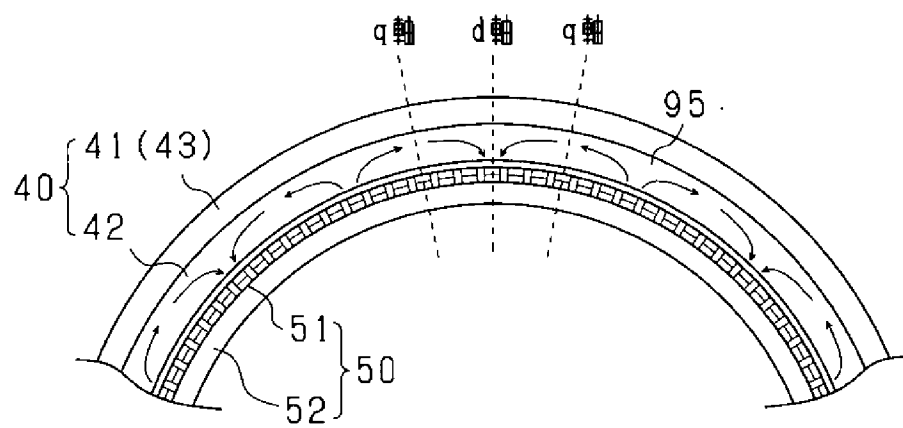
[図28]



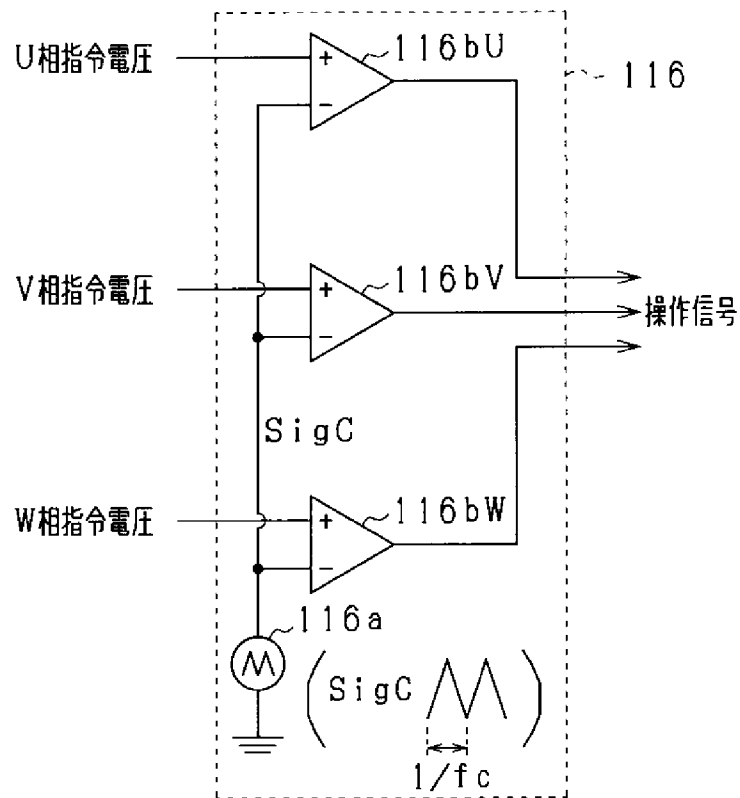
[図29]



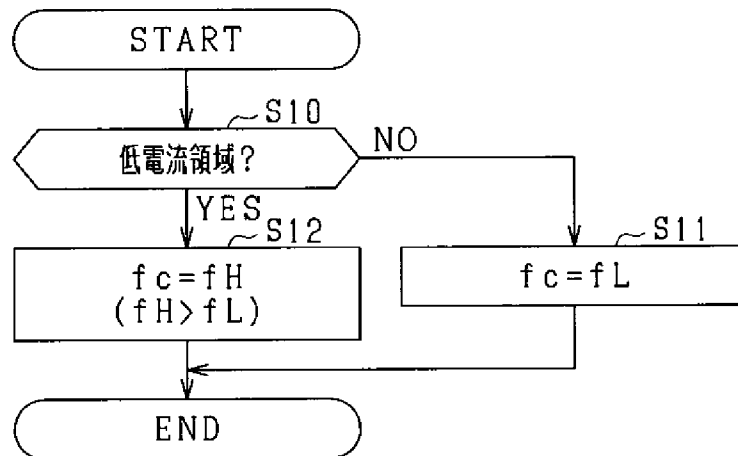
[図30]



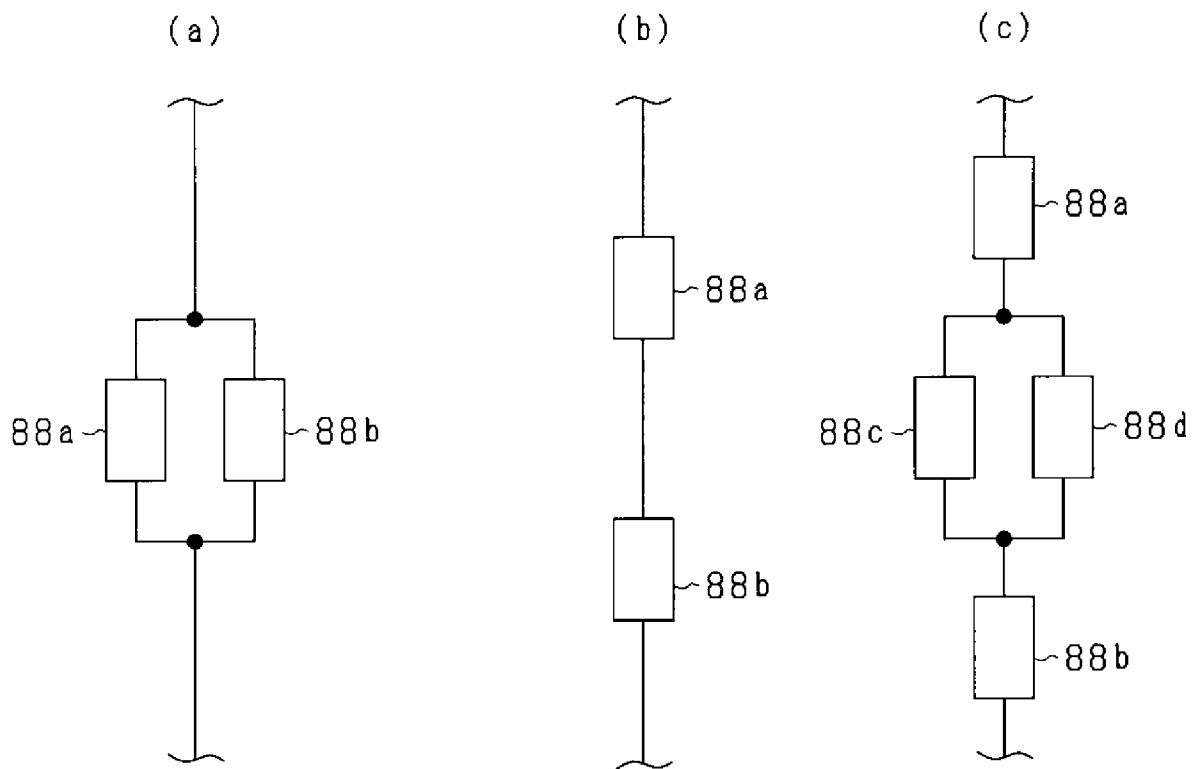
[図31]



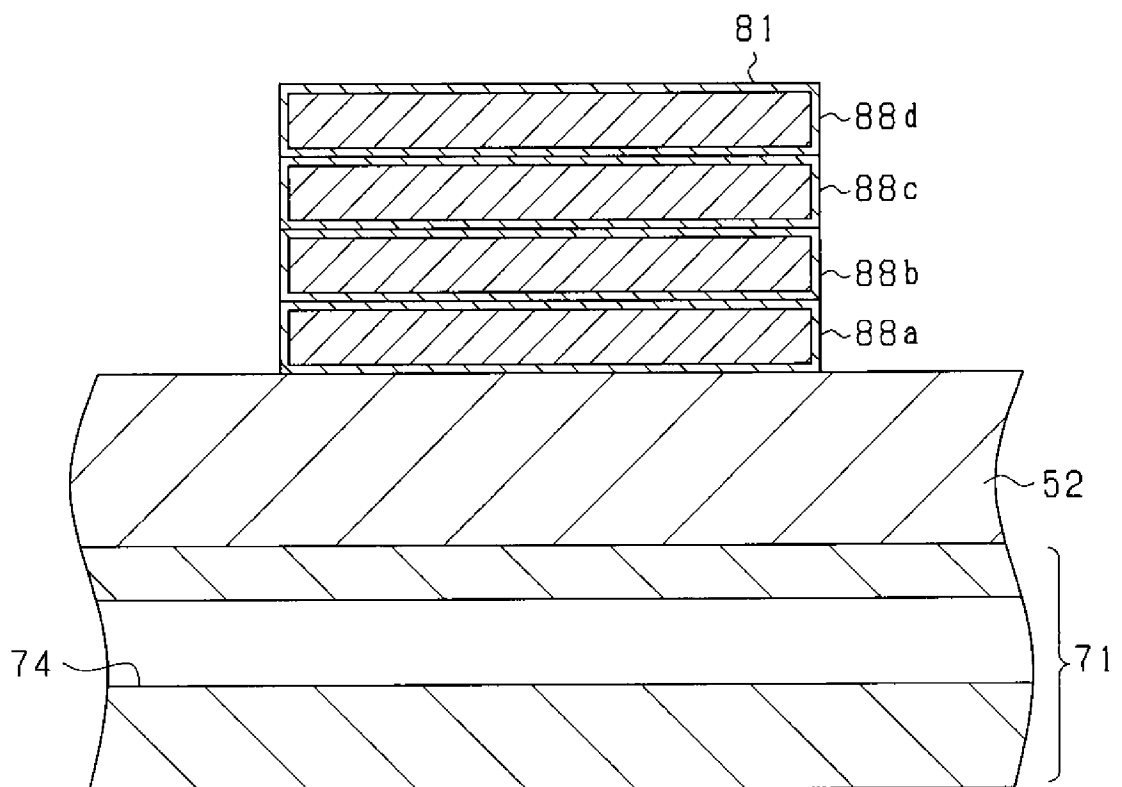
[図32]



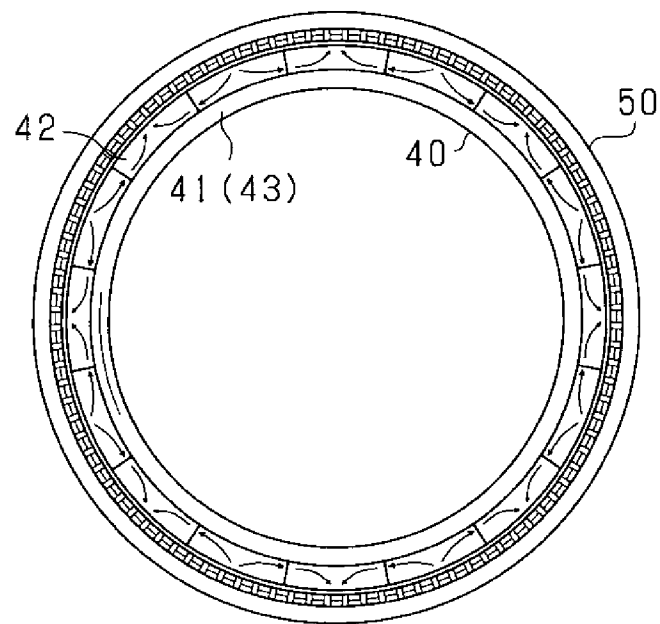
[図33]



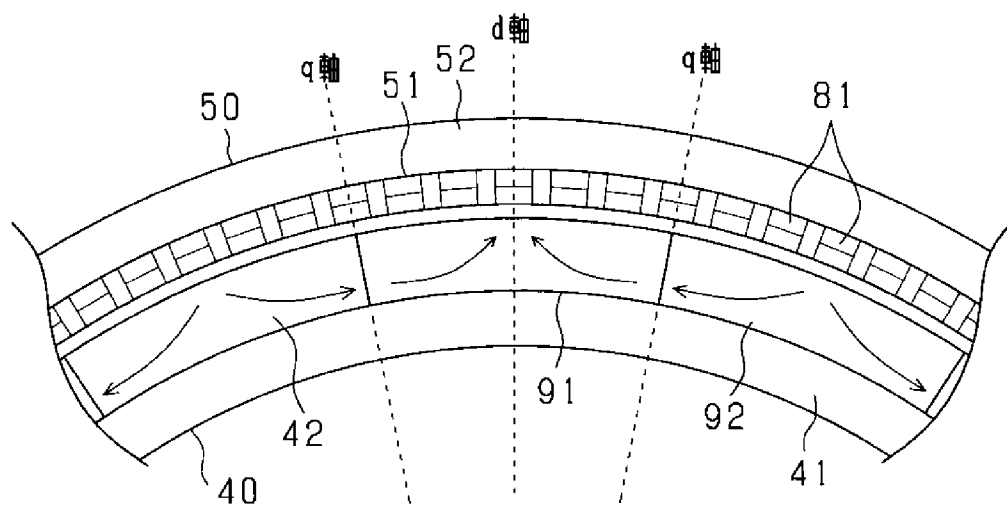
[図34]



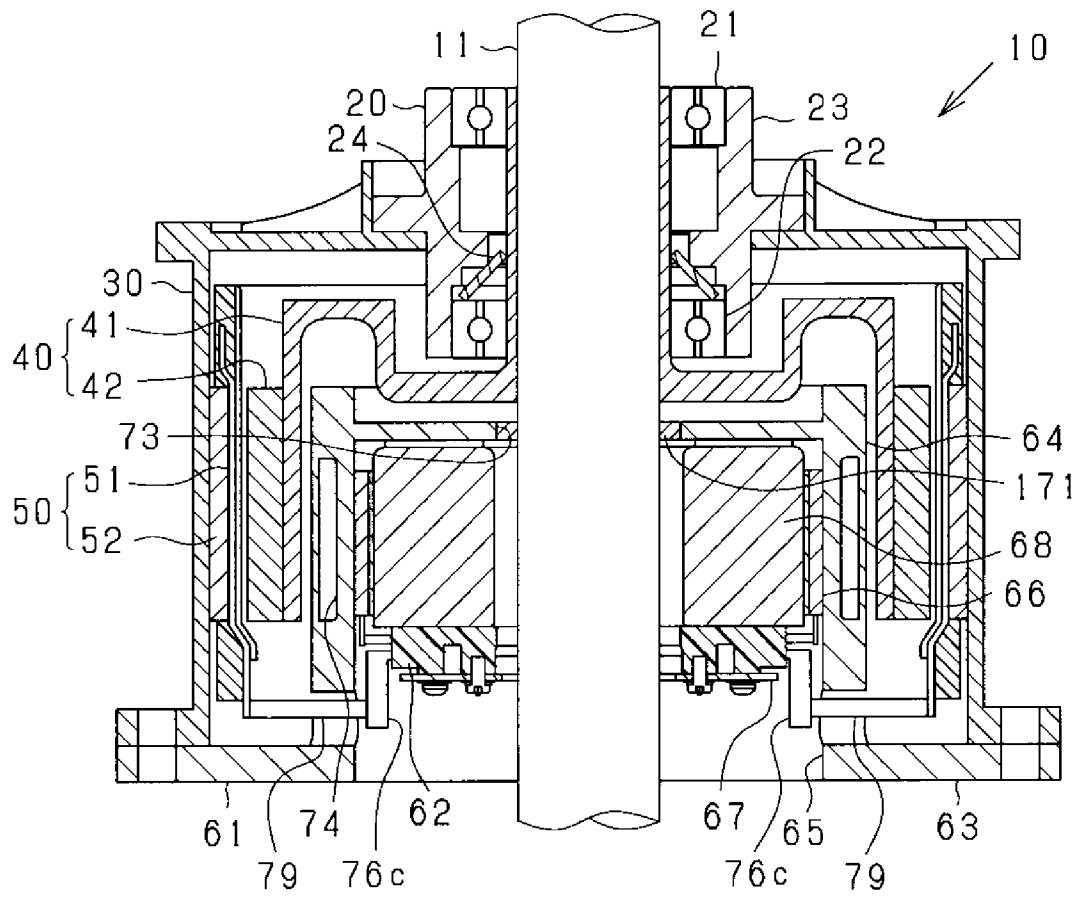
[図35]



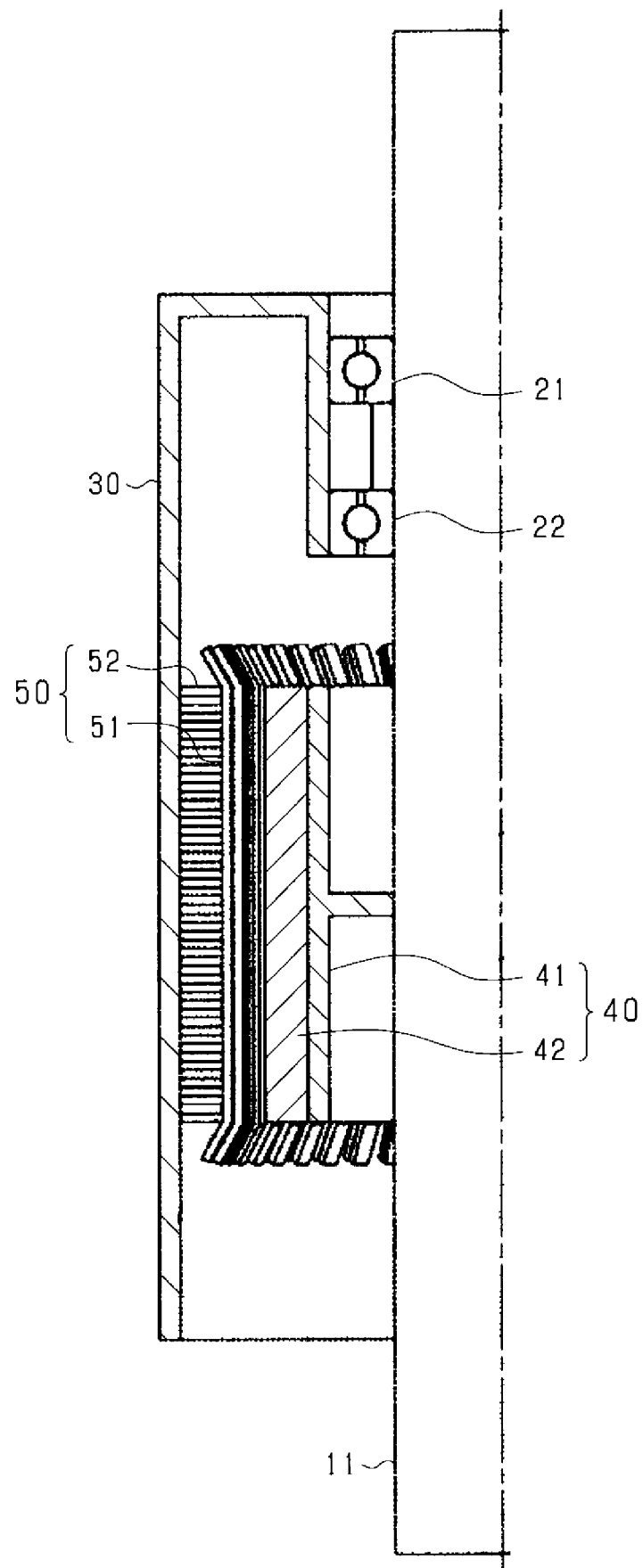
[図36]



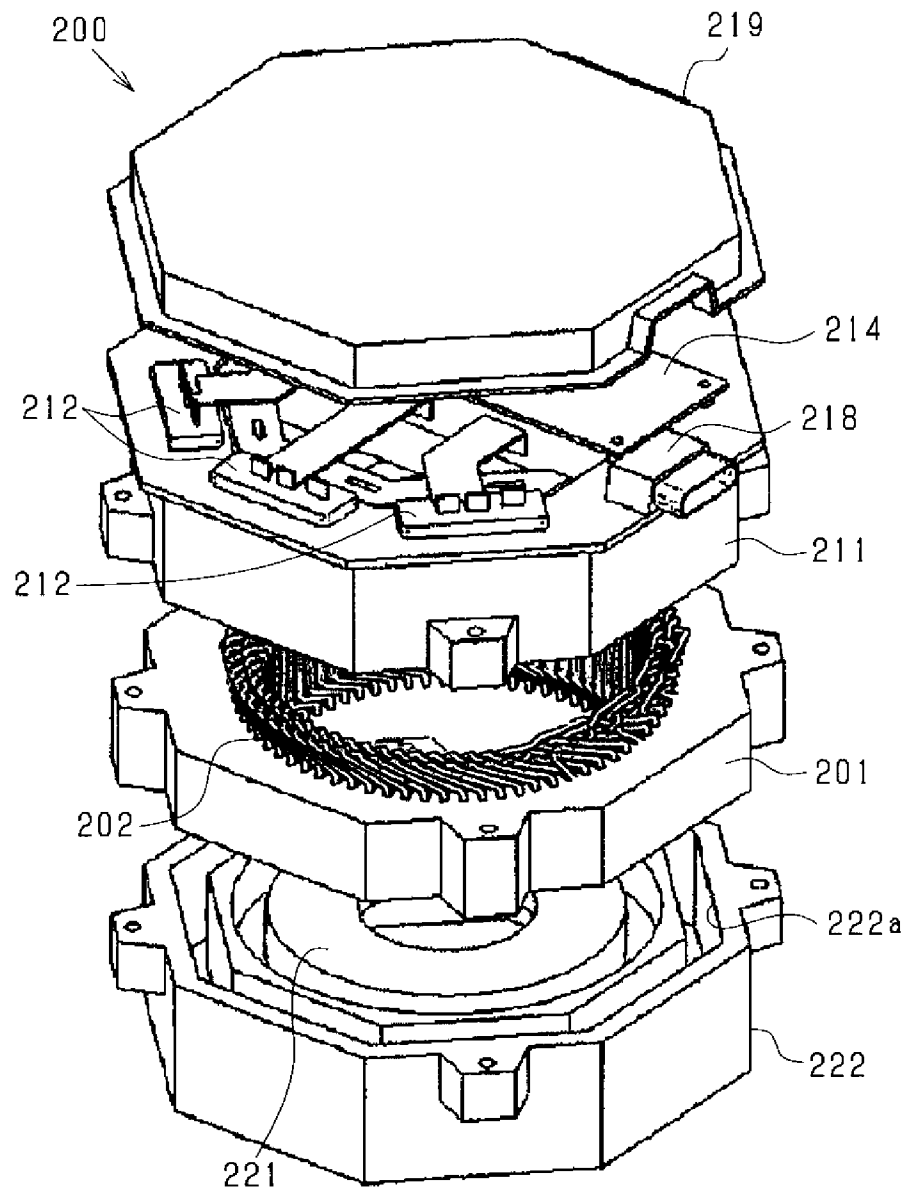
[図37]



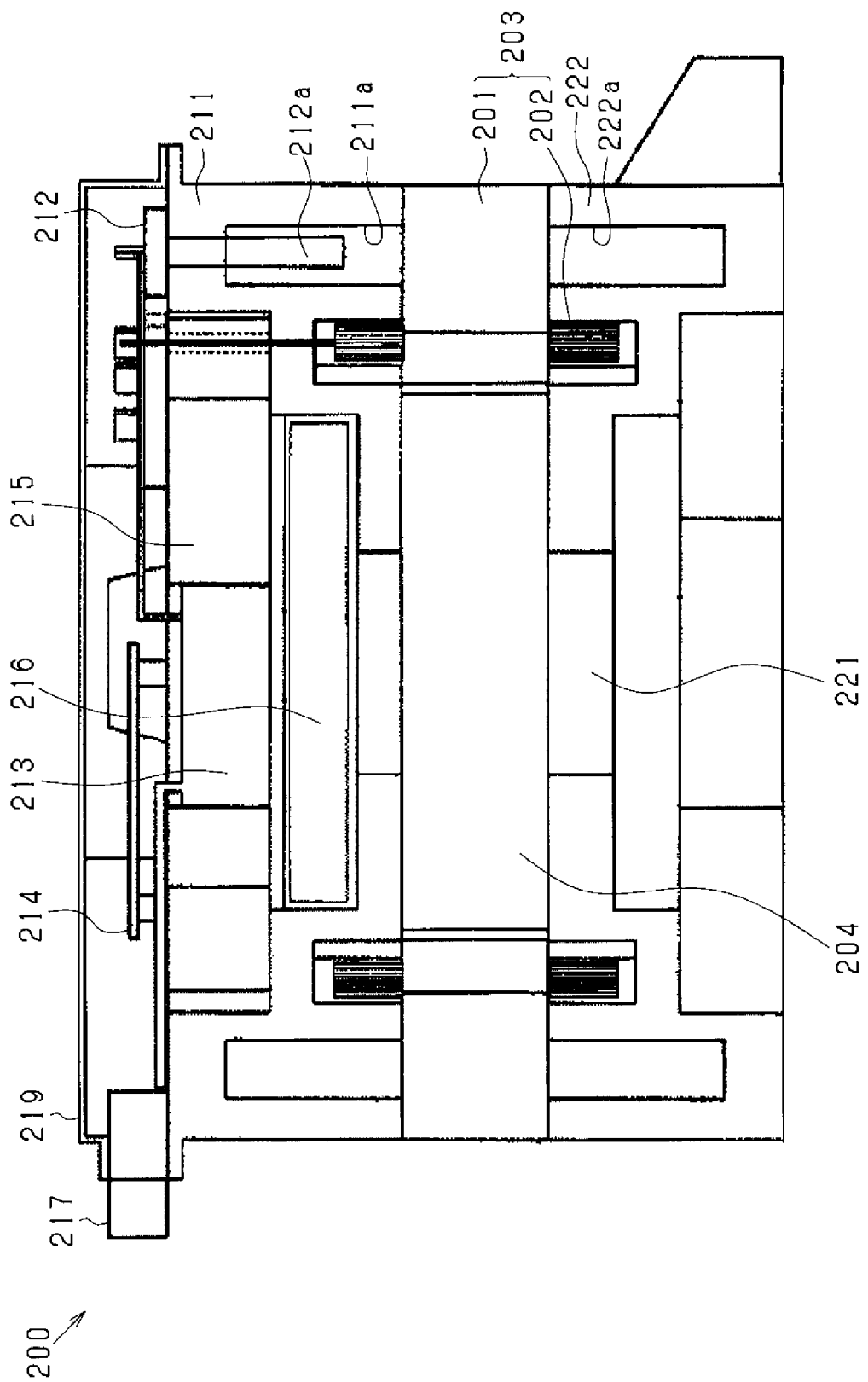
[図38]



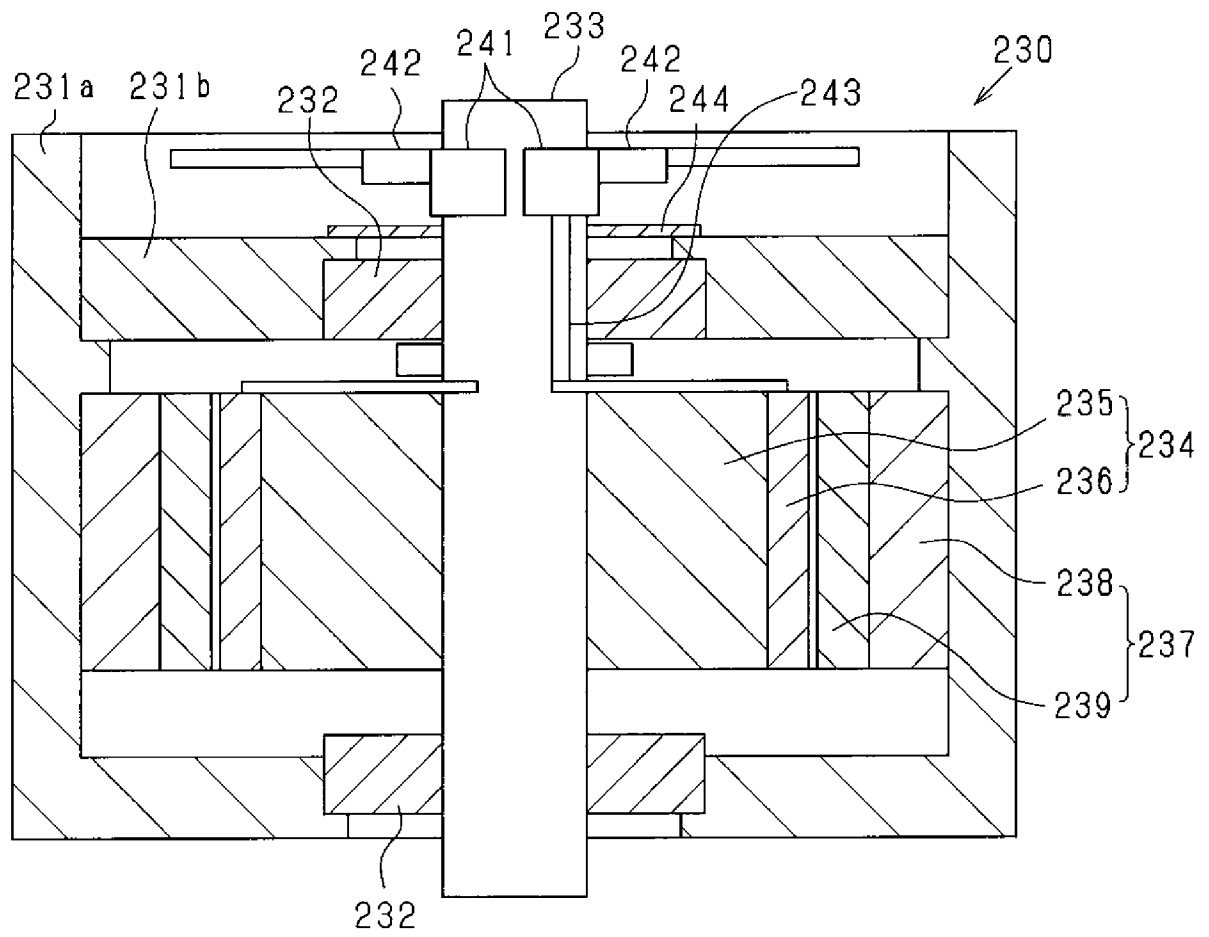
[図39]



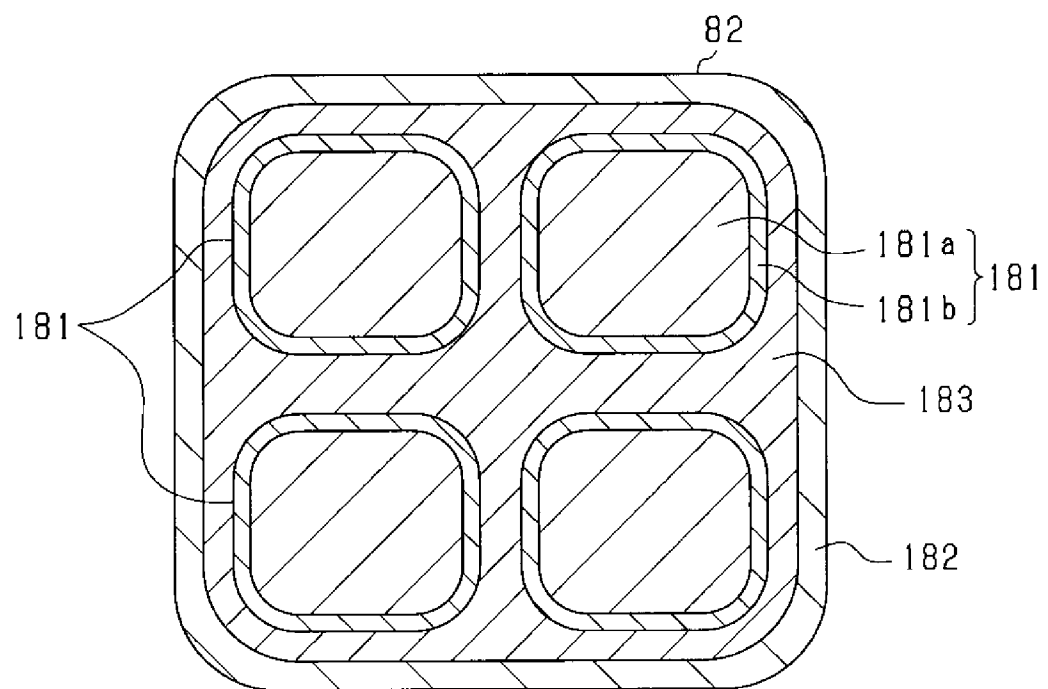
[図40]



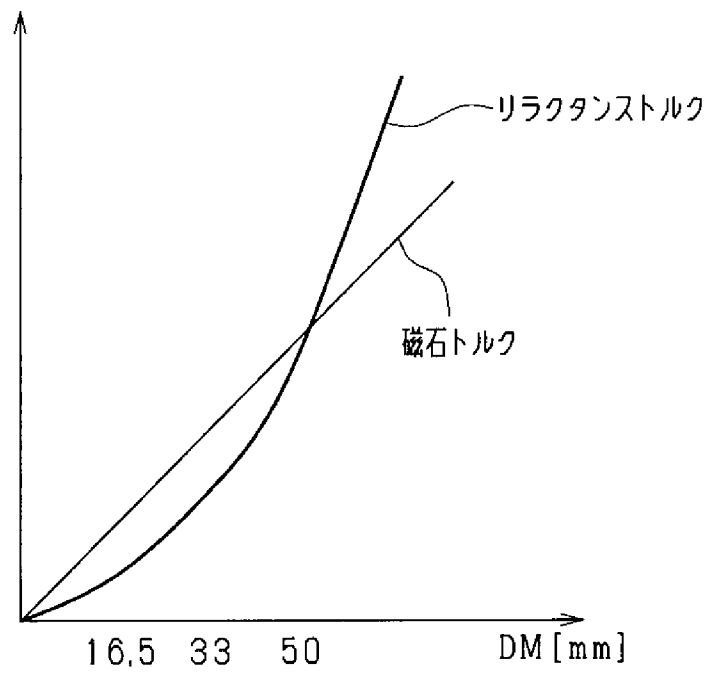
[図41]



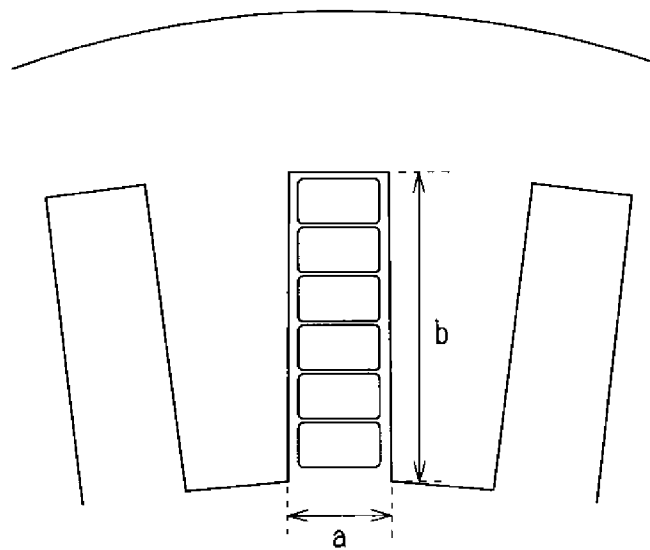
[図42]



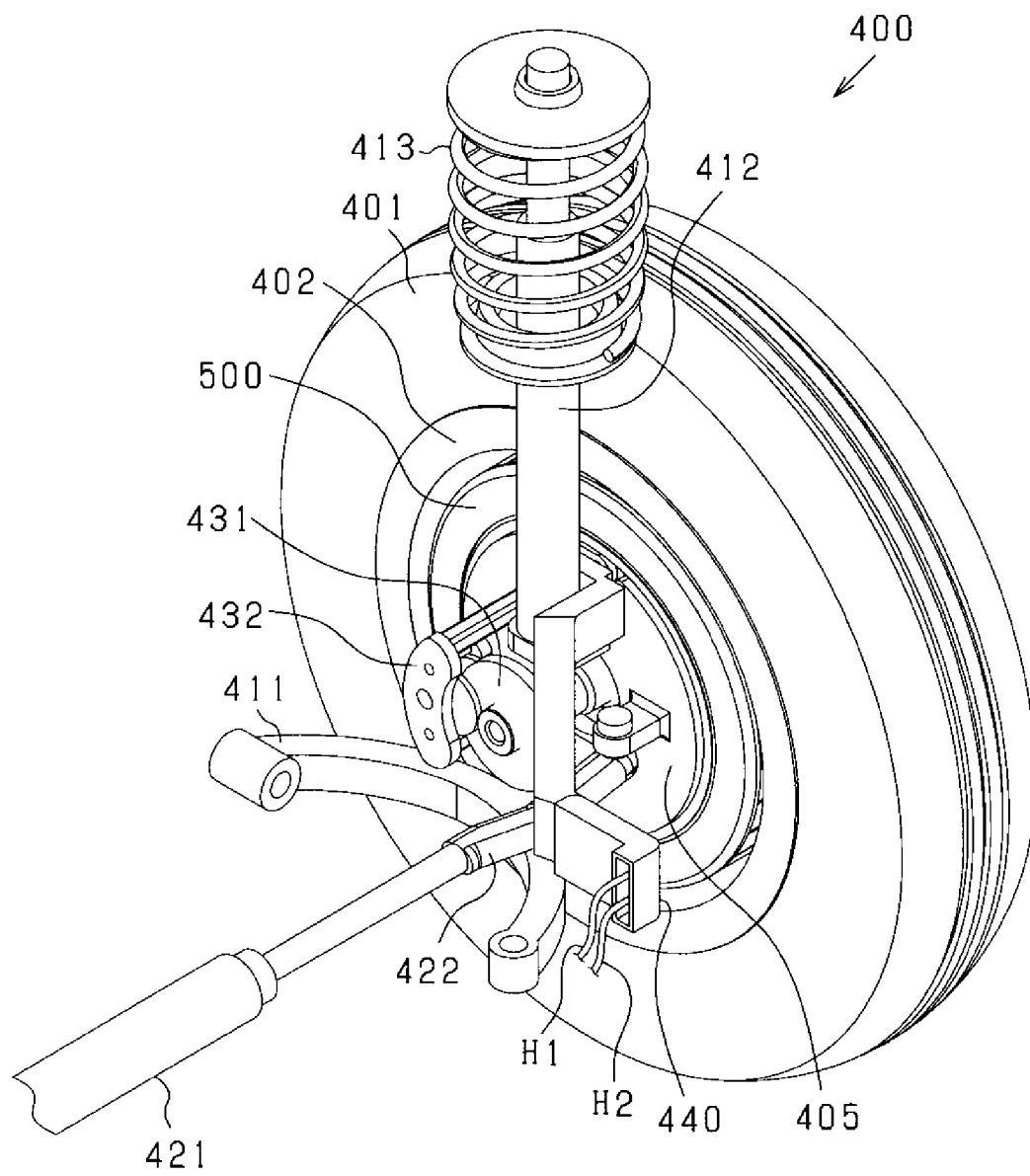
[図43]



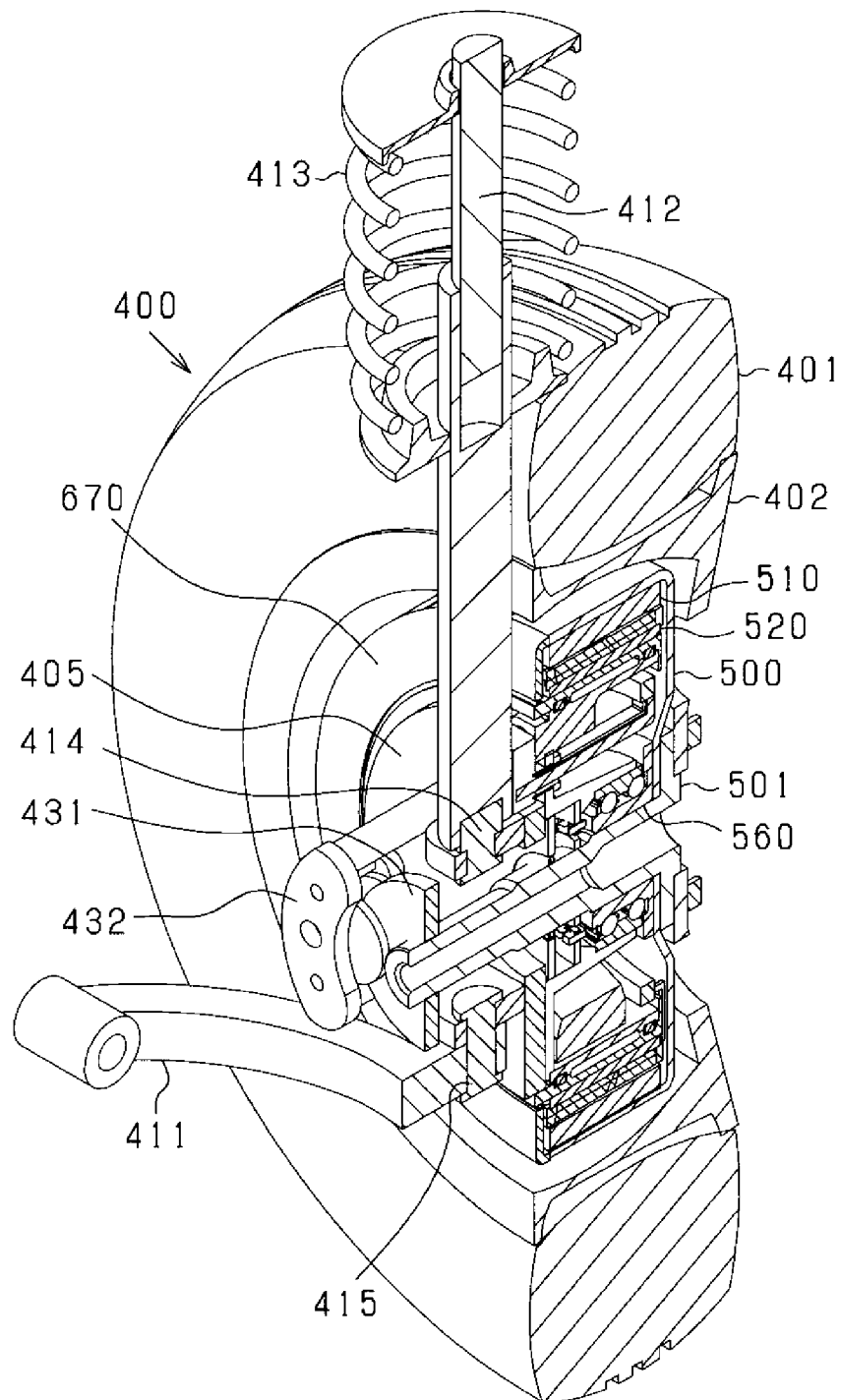
[図44]



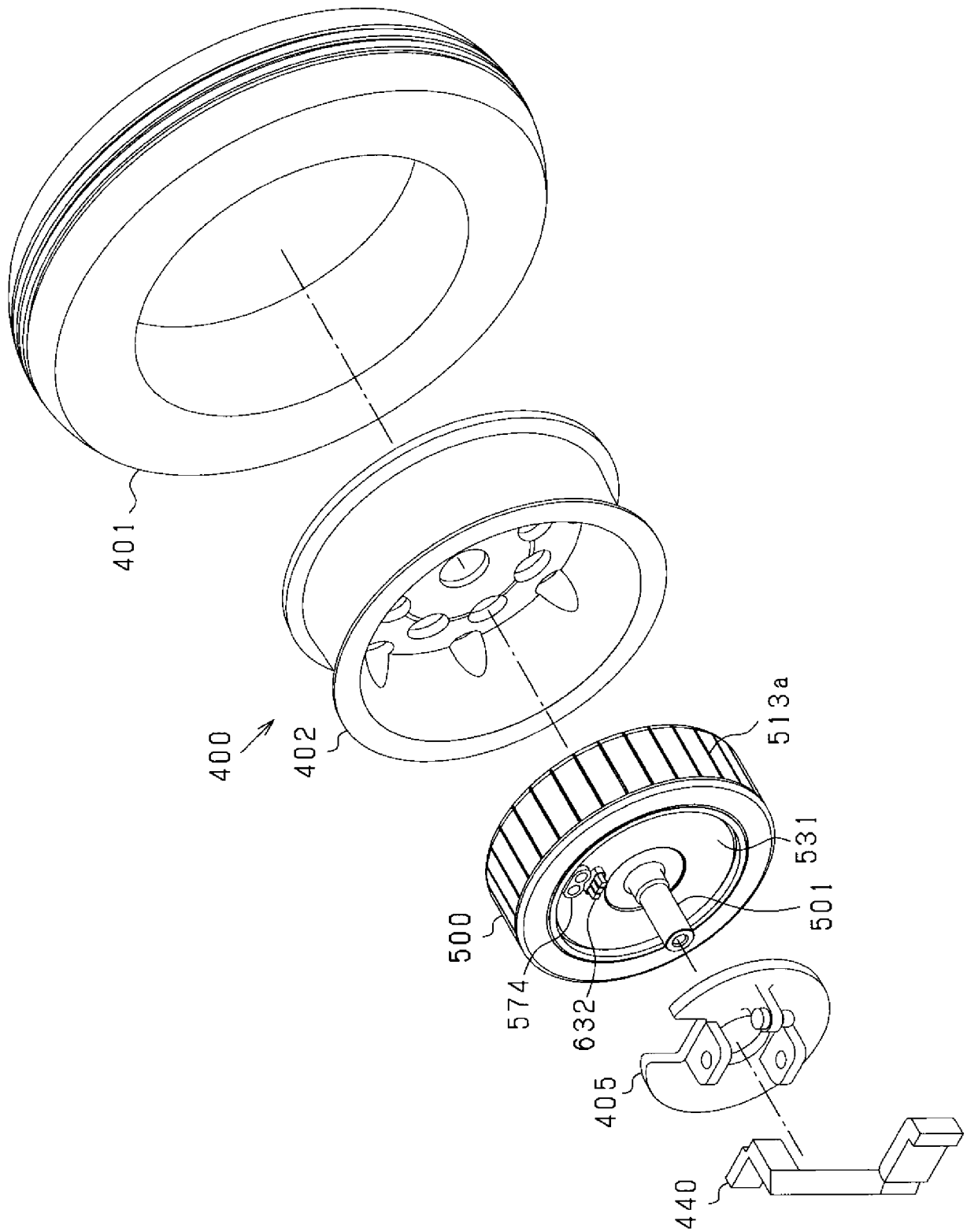
[図45]



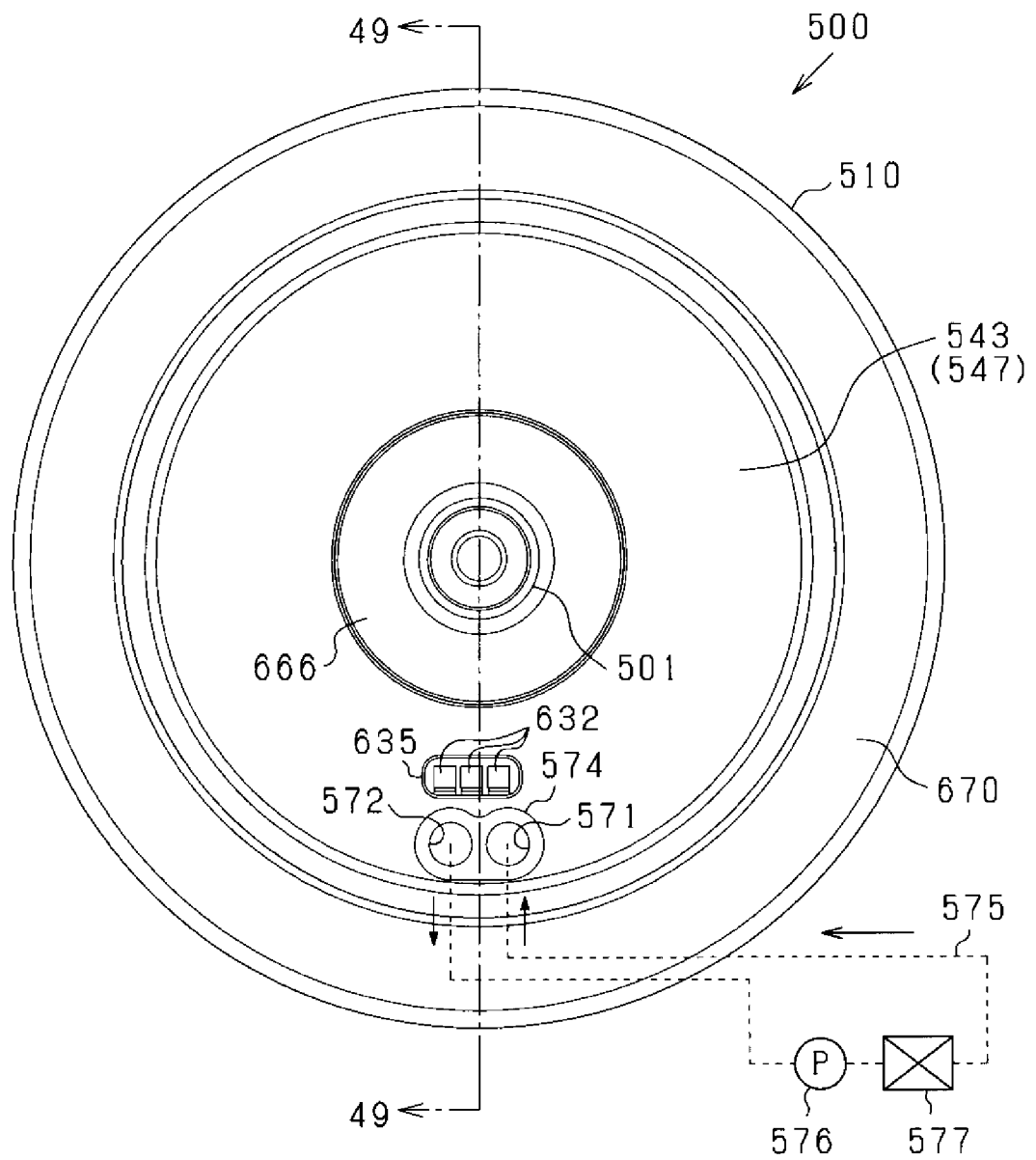
[図46]



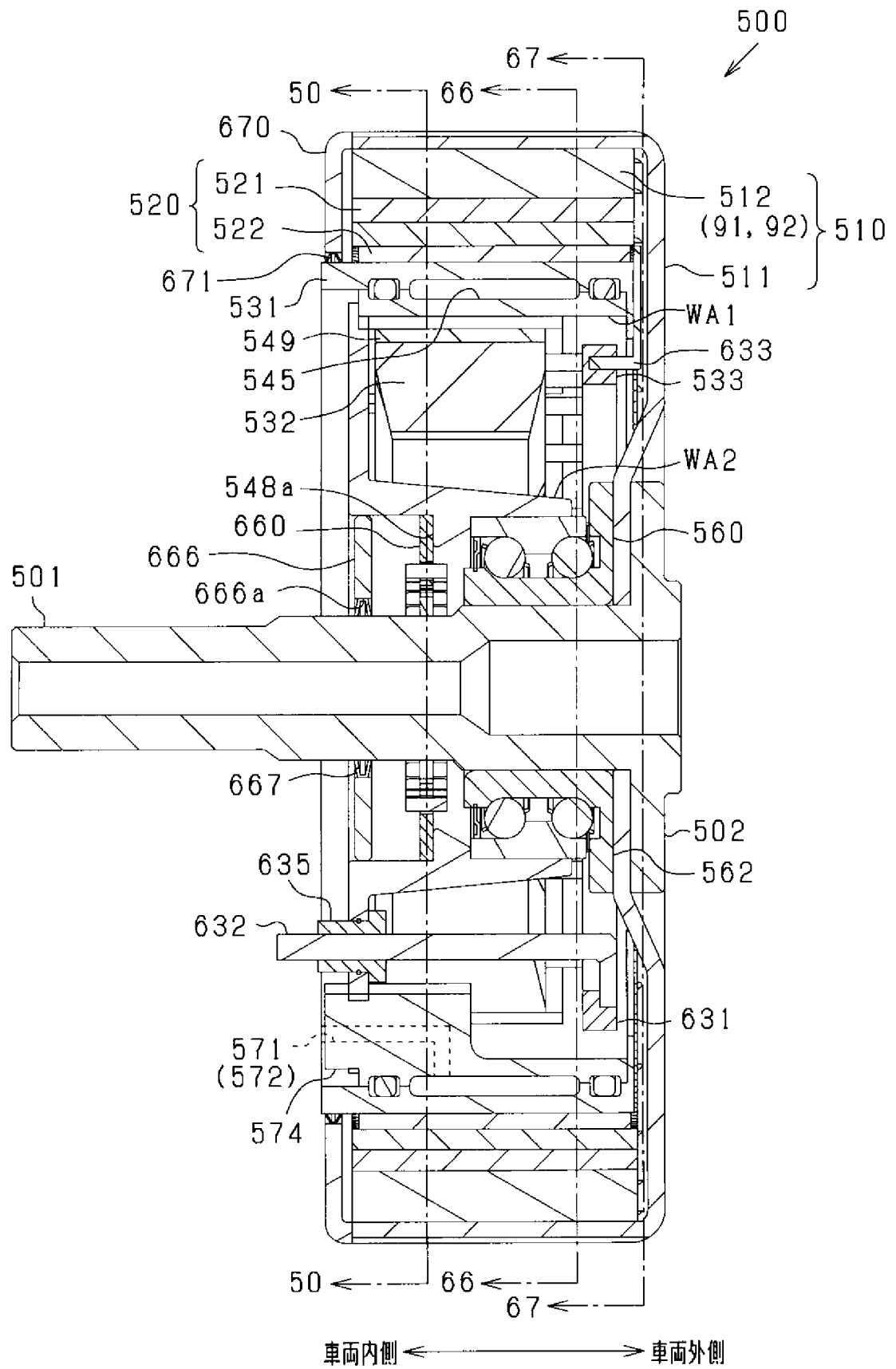
[図47]



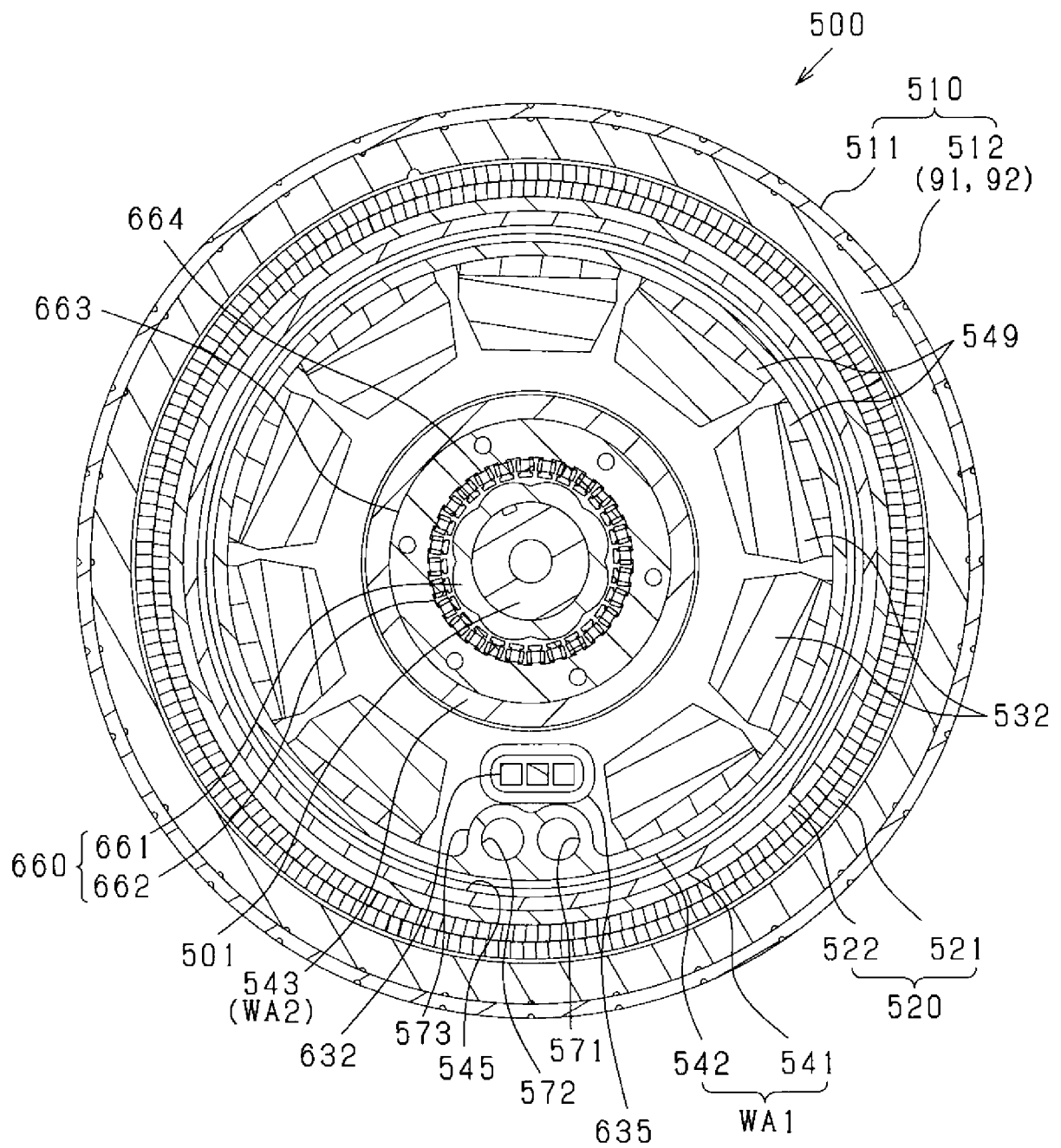
[図48]



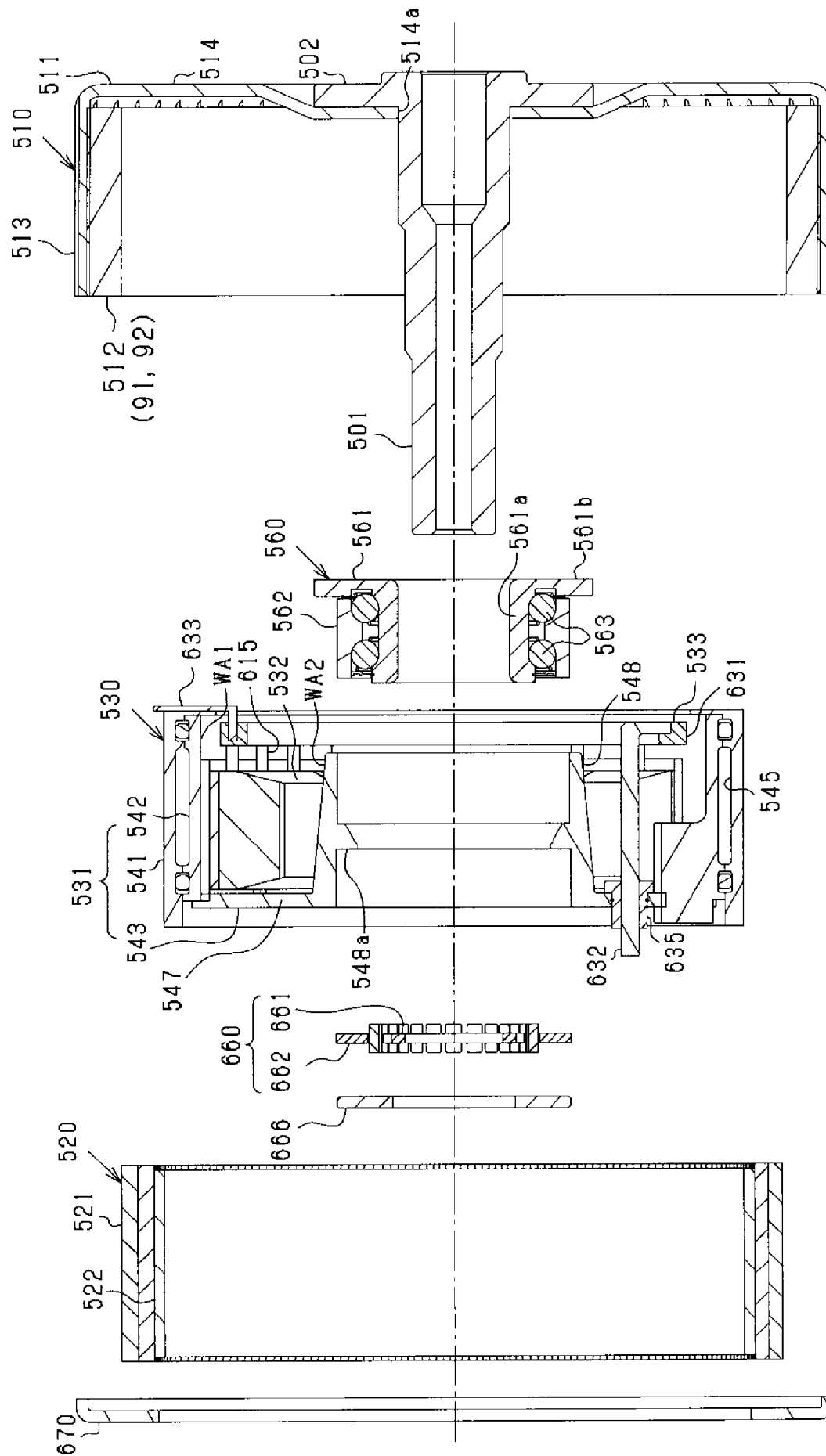
[図49]



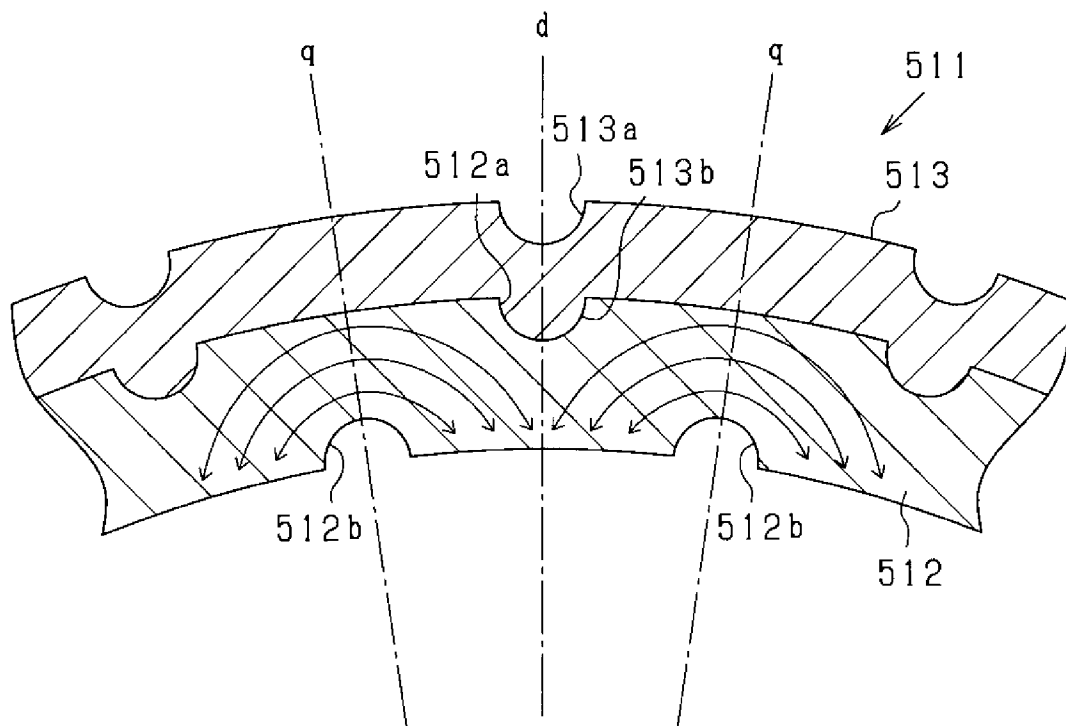
[図50]



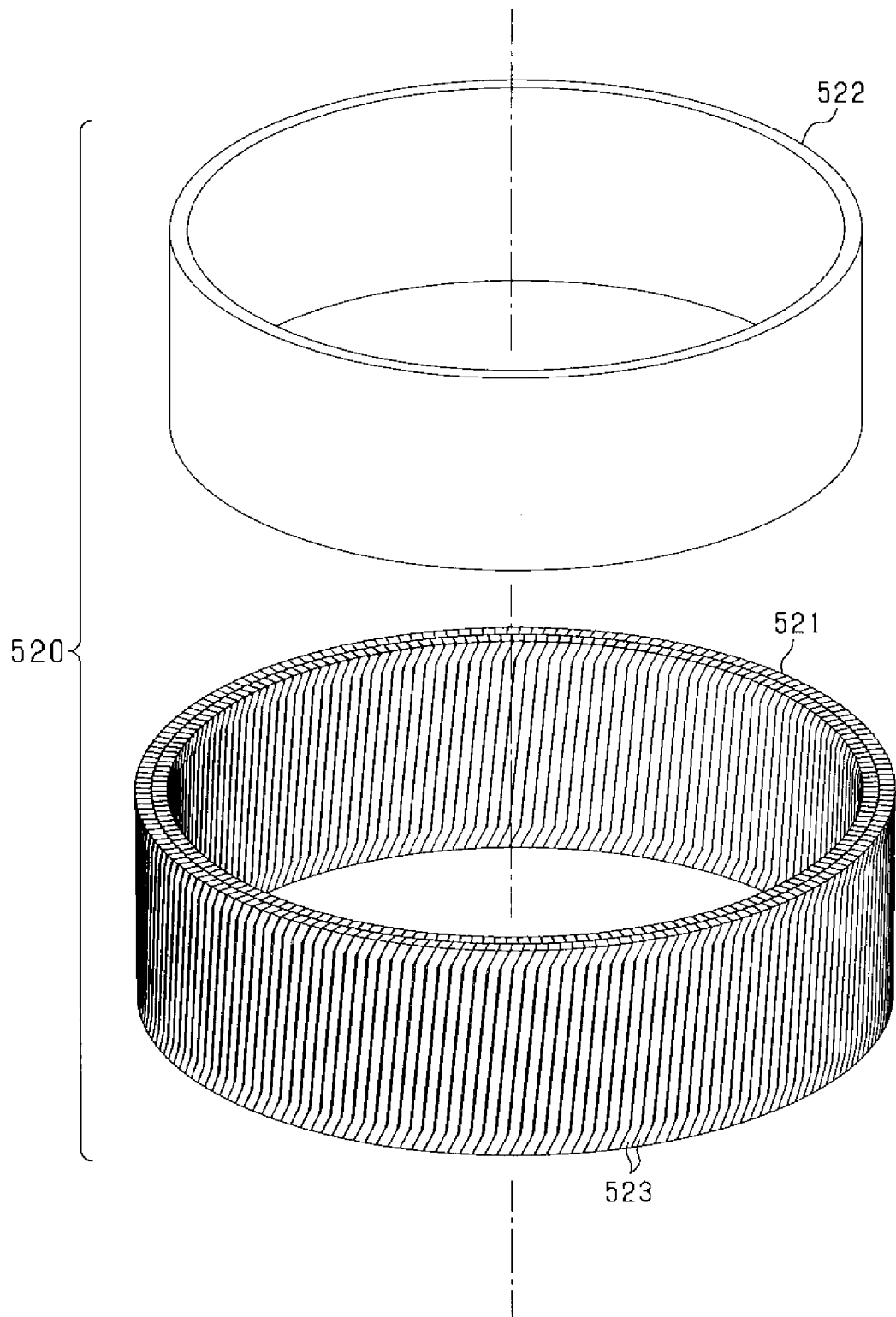
[図51]



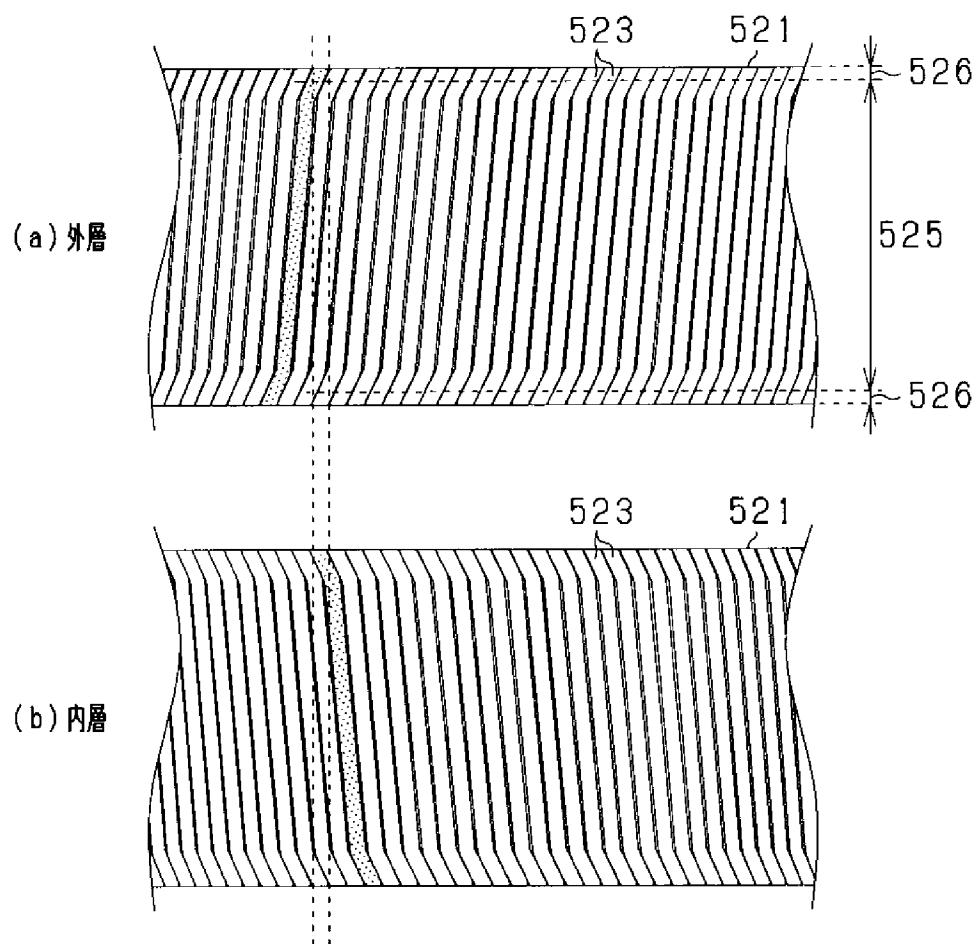
[図52]



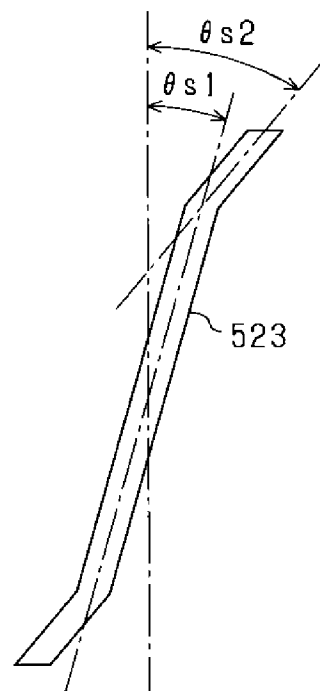
[図53]



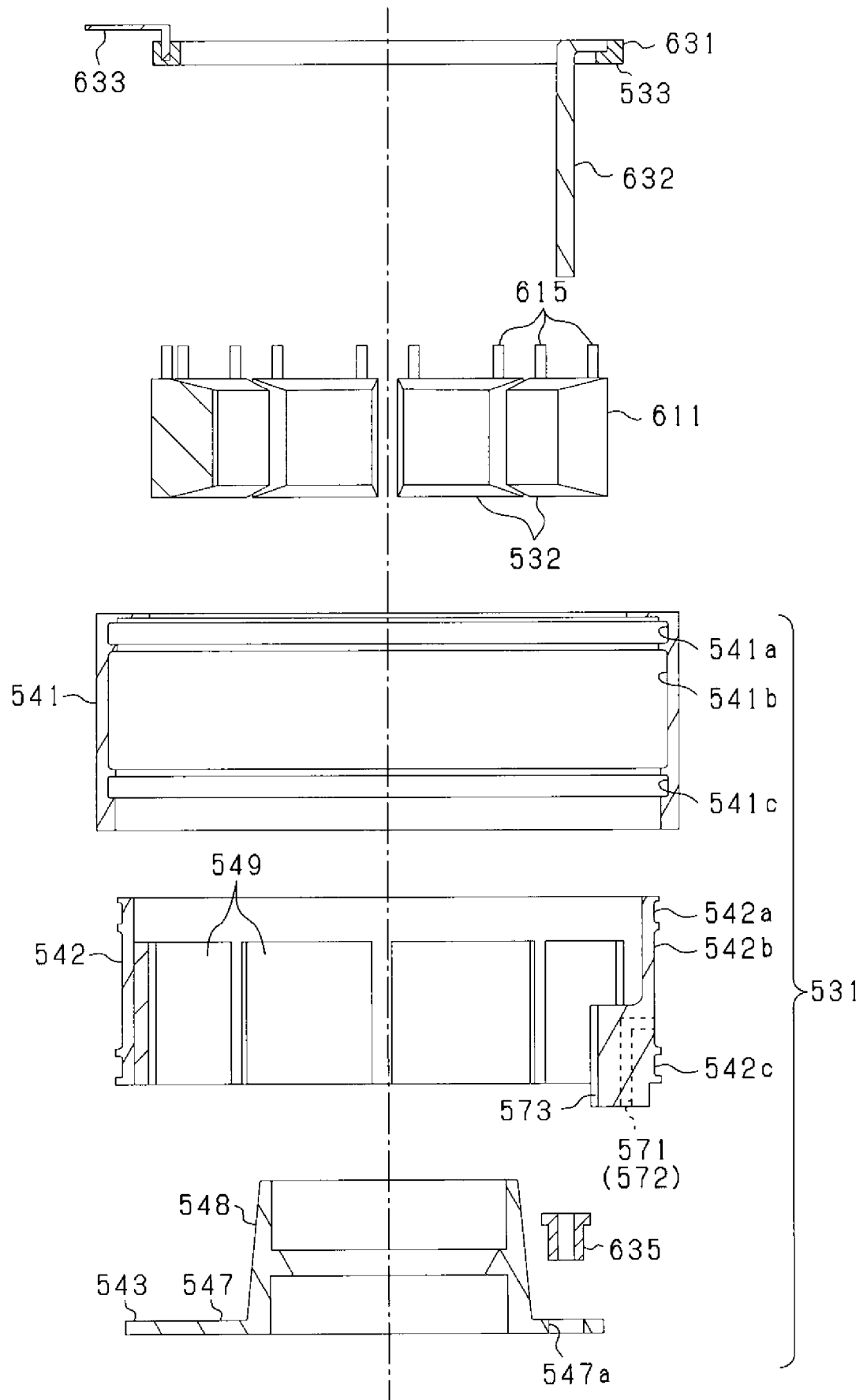
[図54]



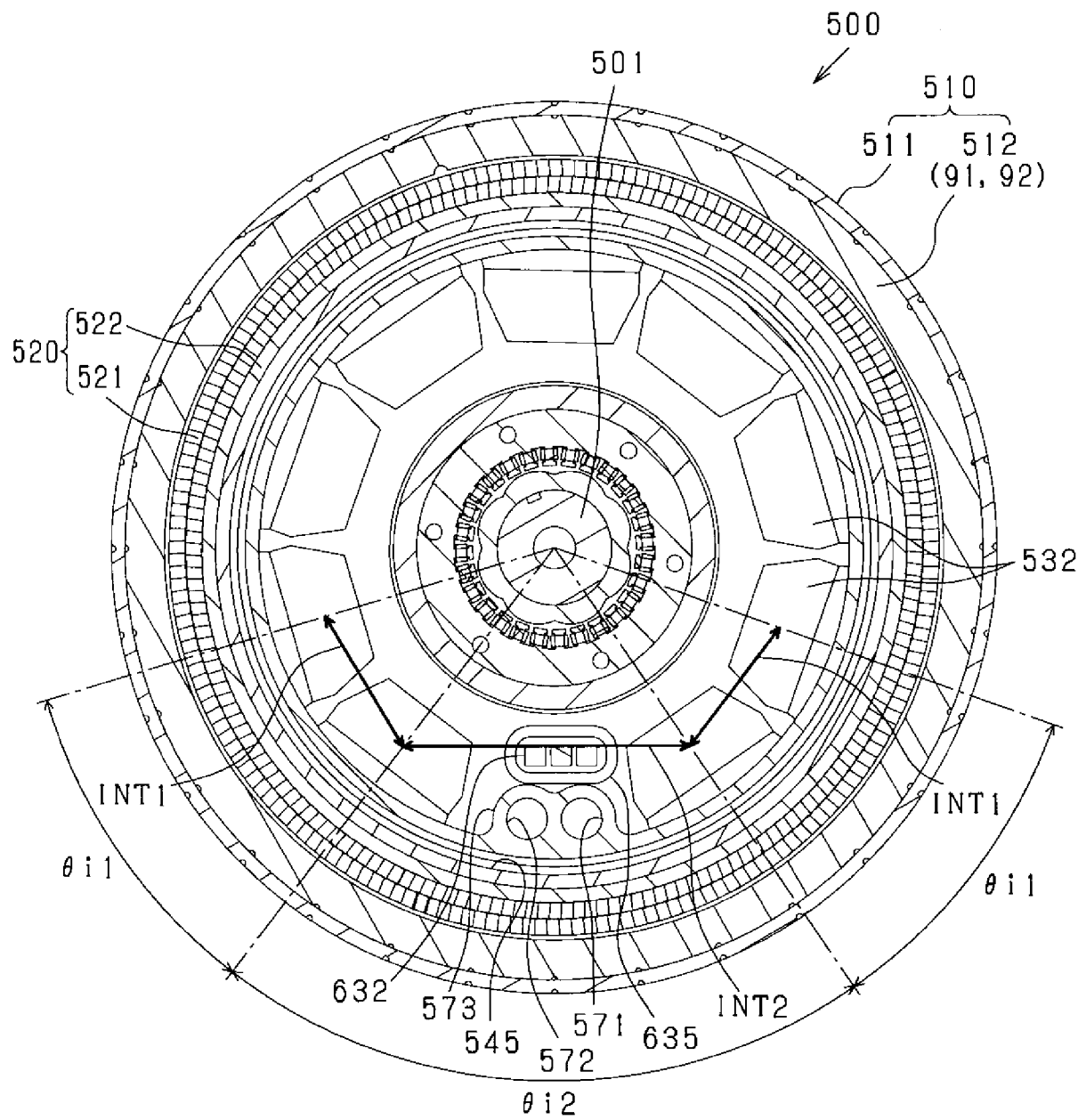
[図55]



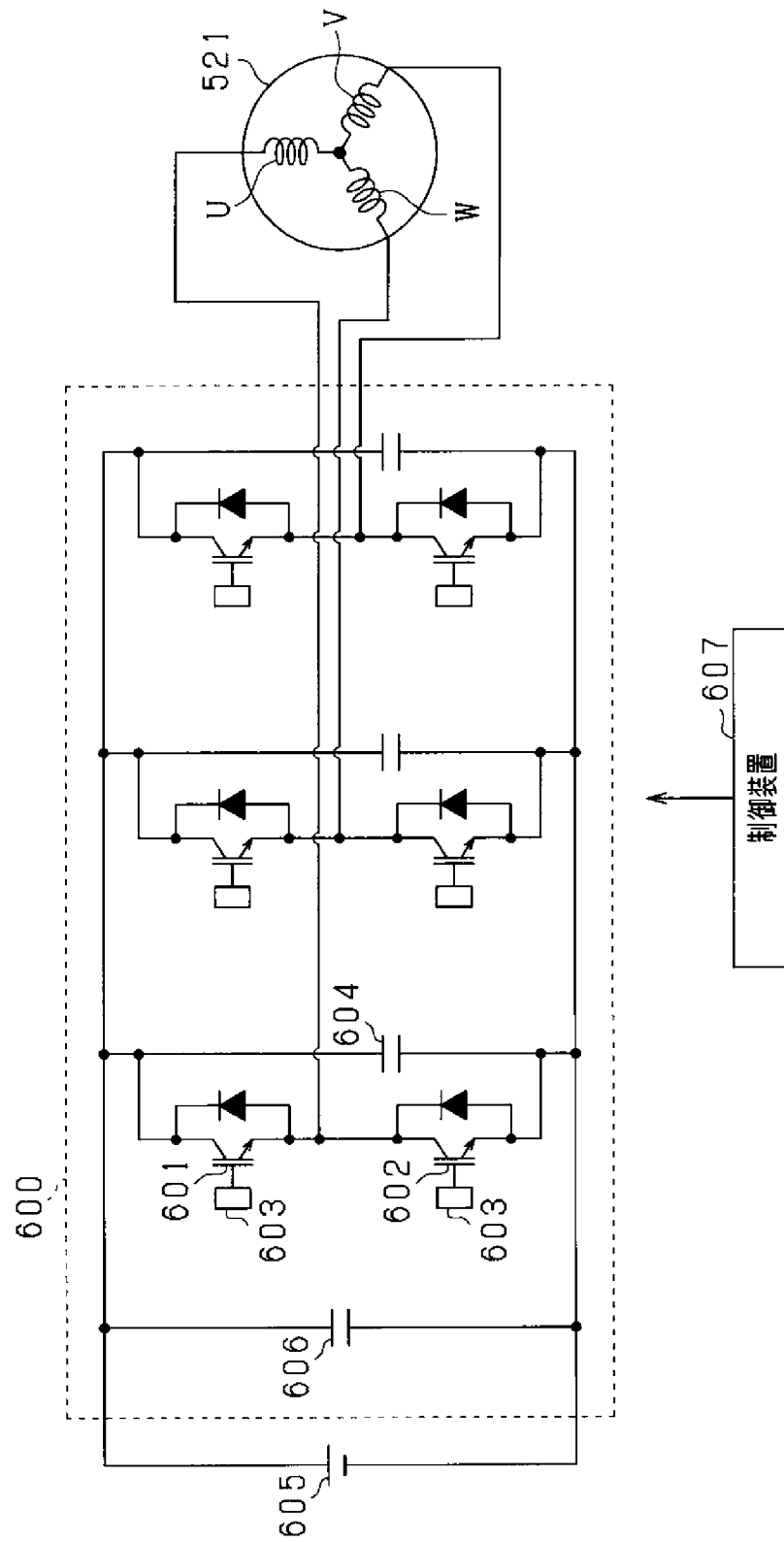
[図56]



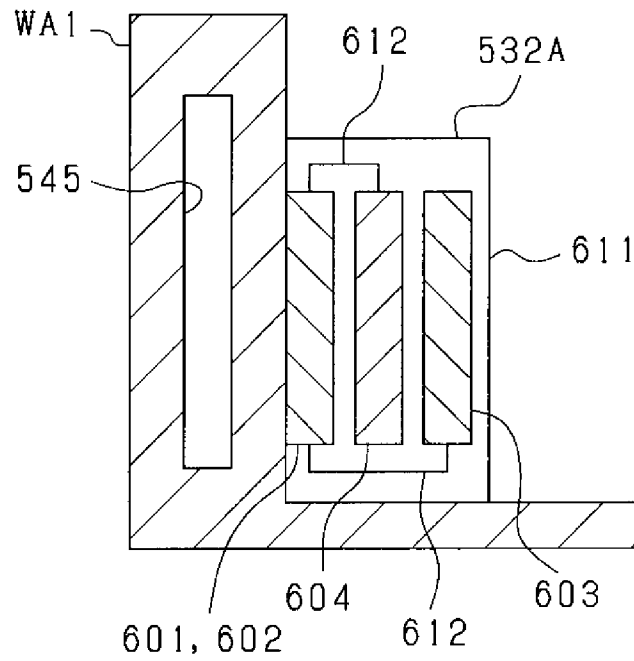
[図58]



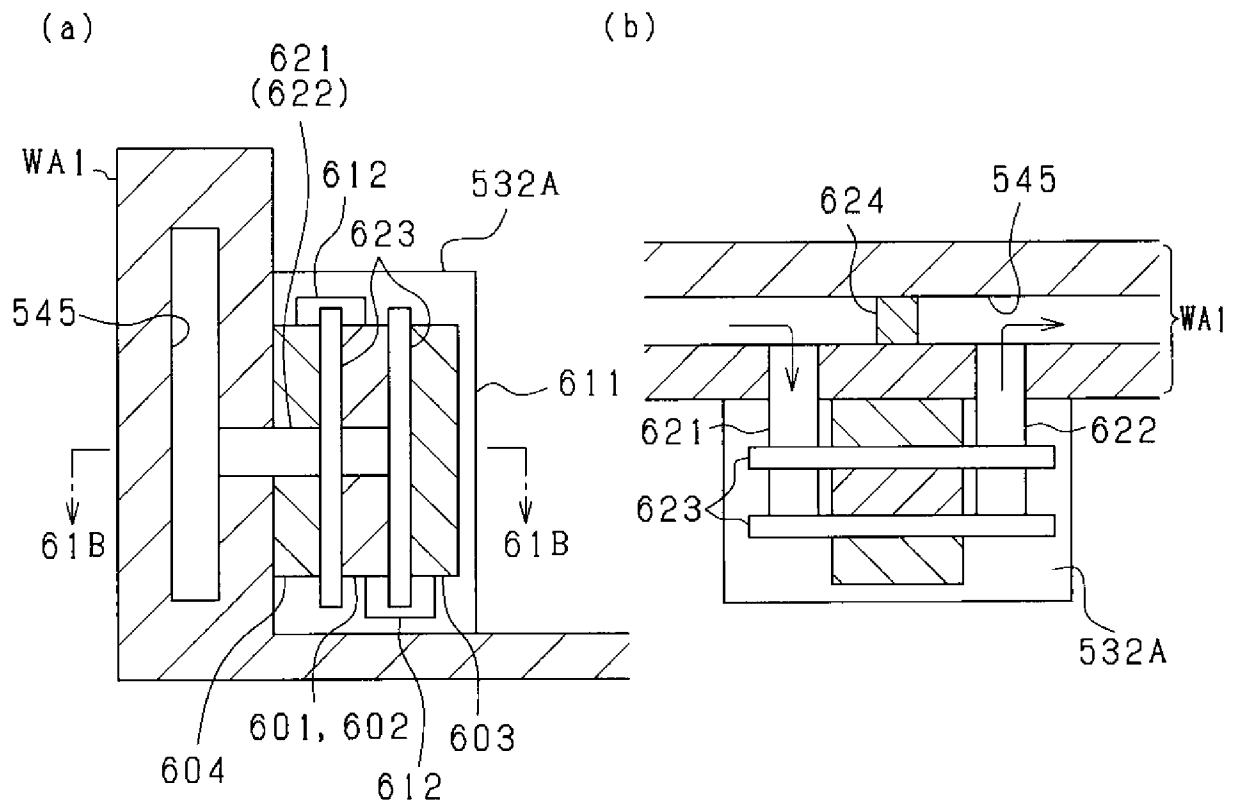
[図59]



[図60]

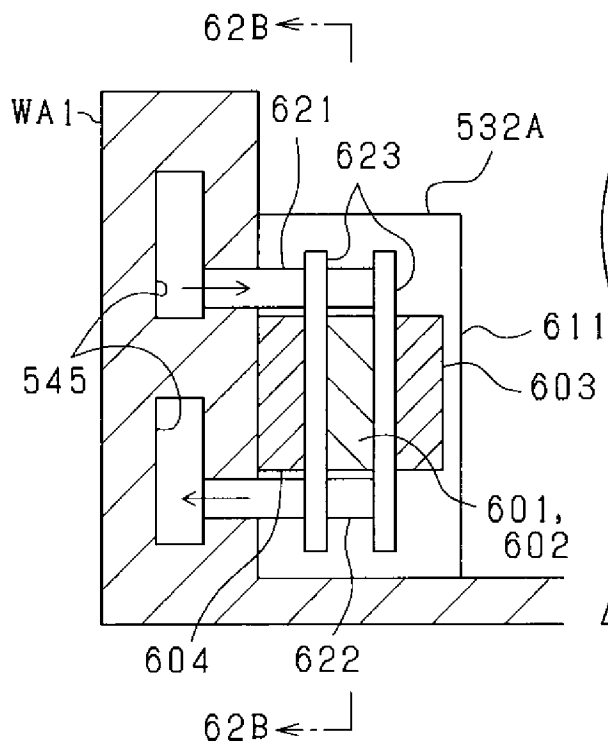


[図61]

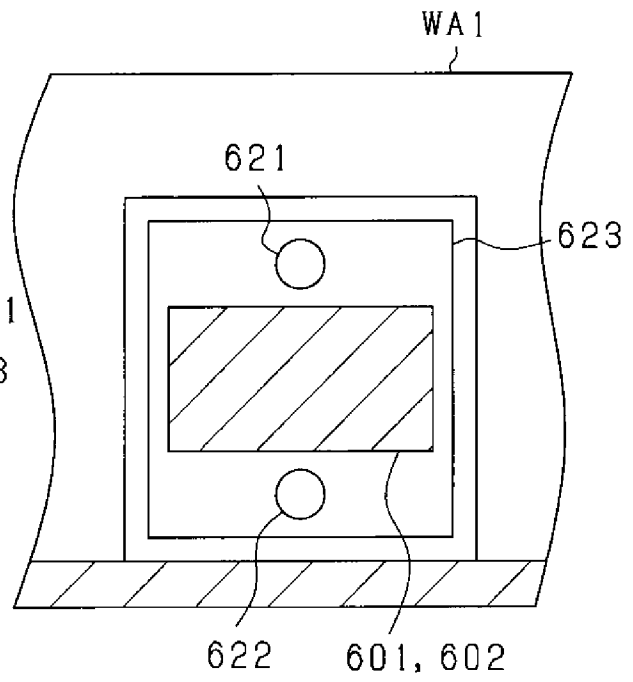


[図62]

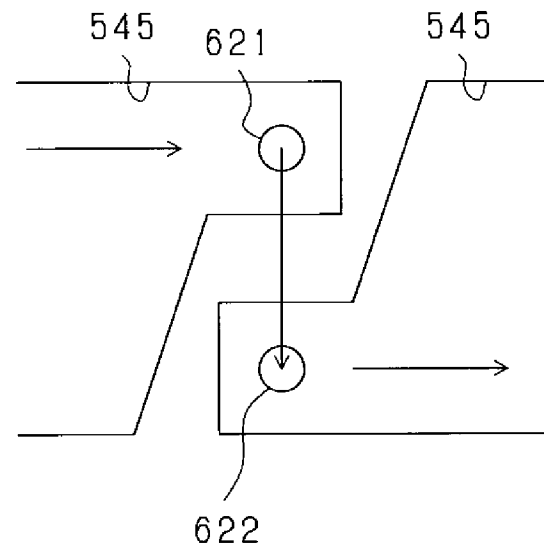
(a)



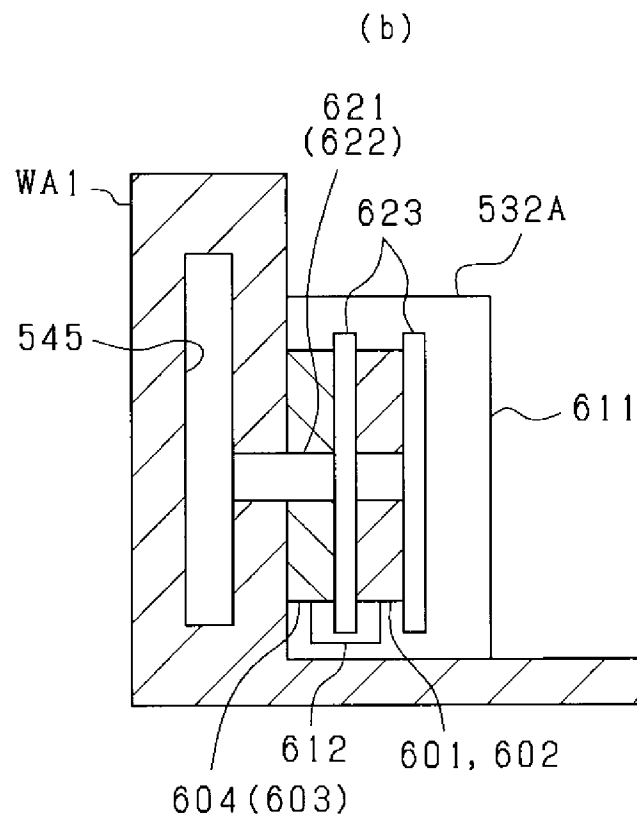
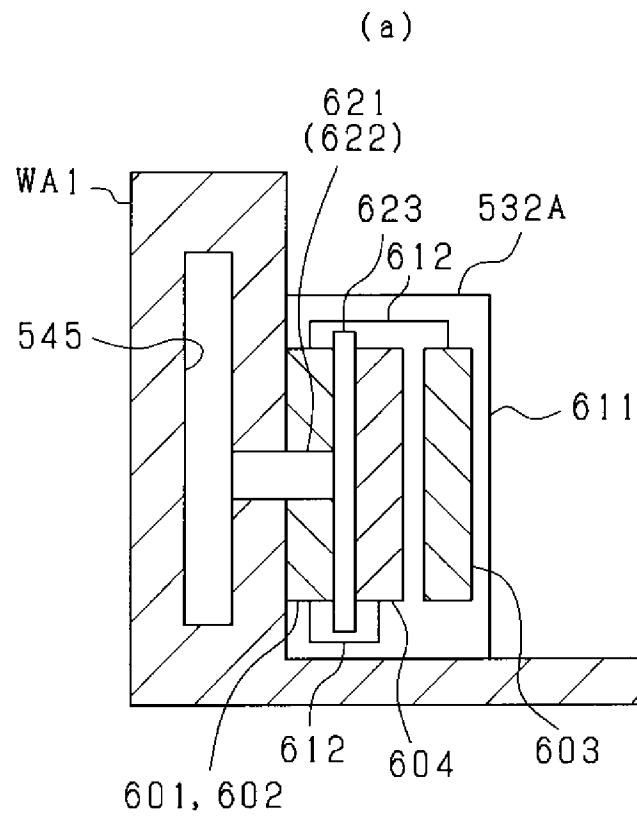
(b)



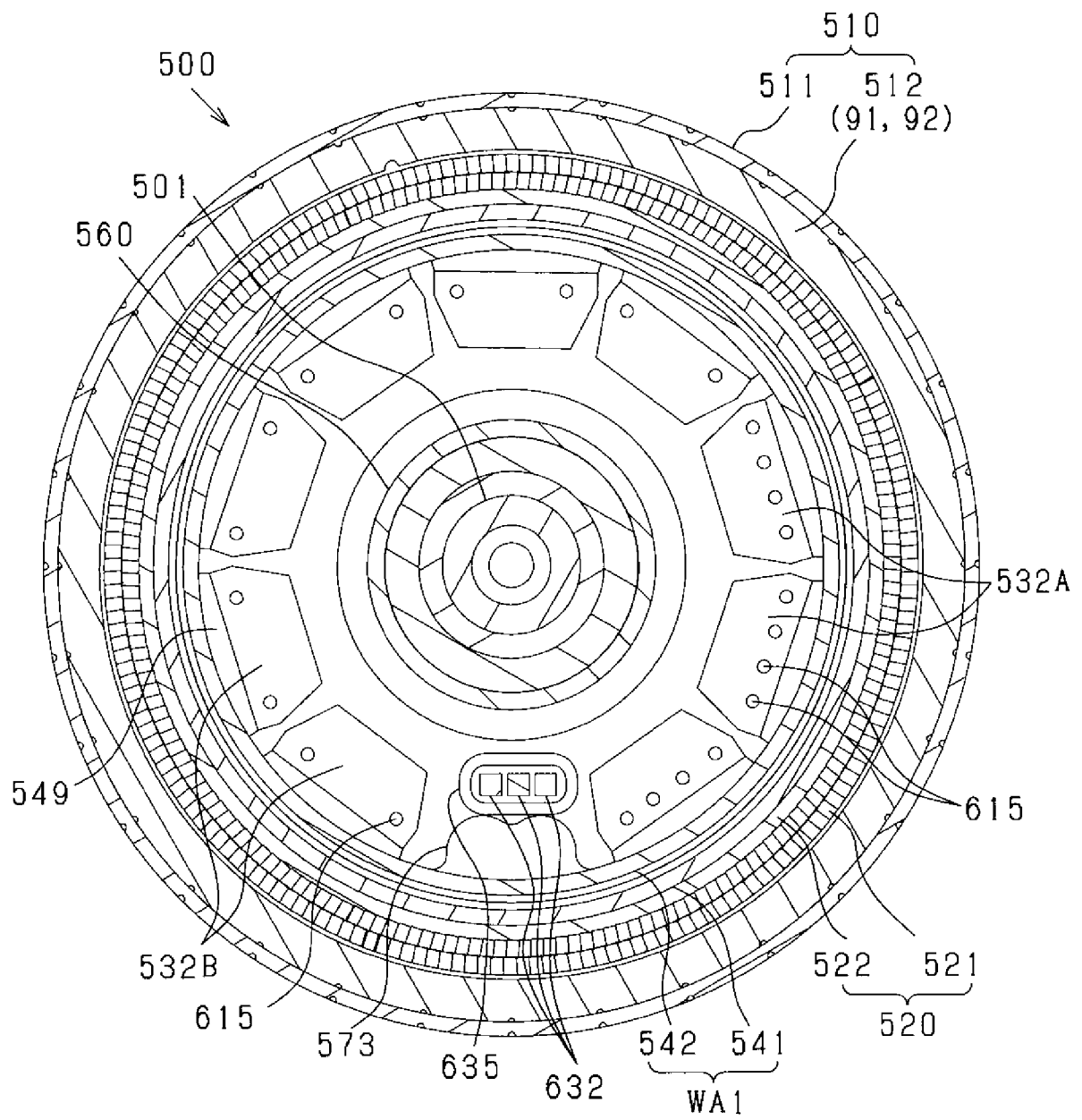
(c)



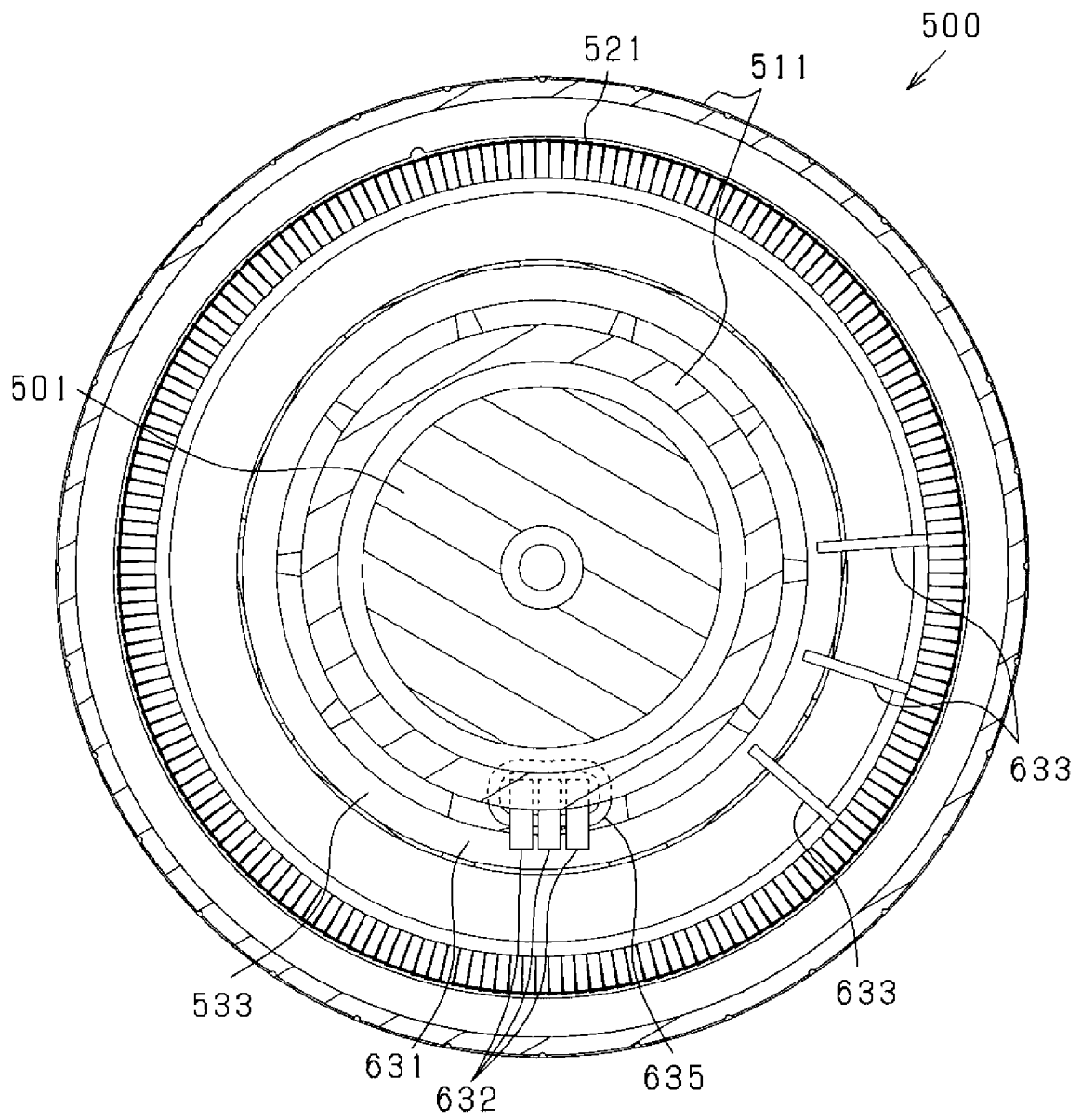
[図63]



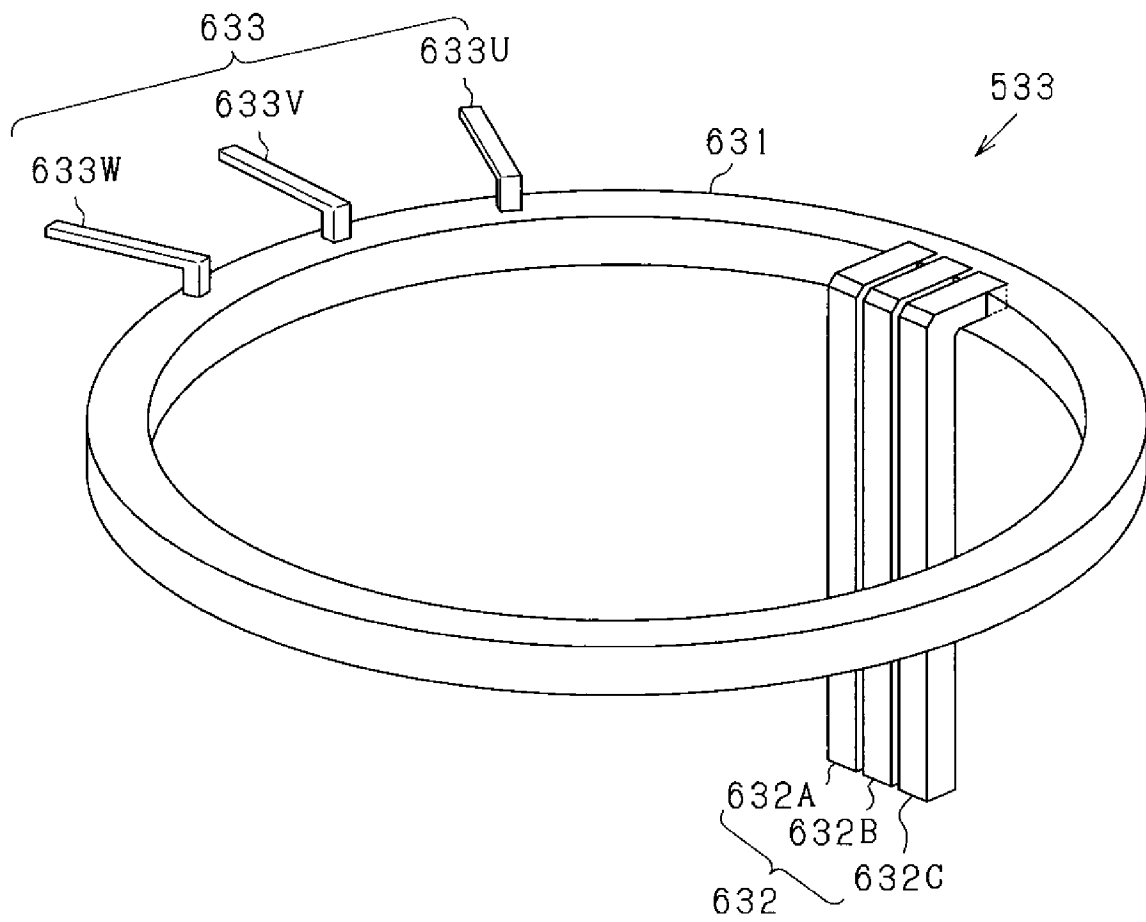
[図66]



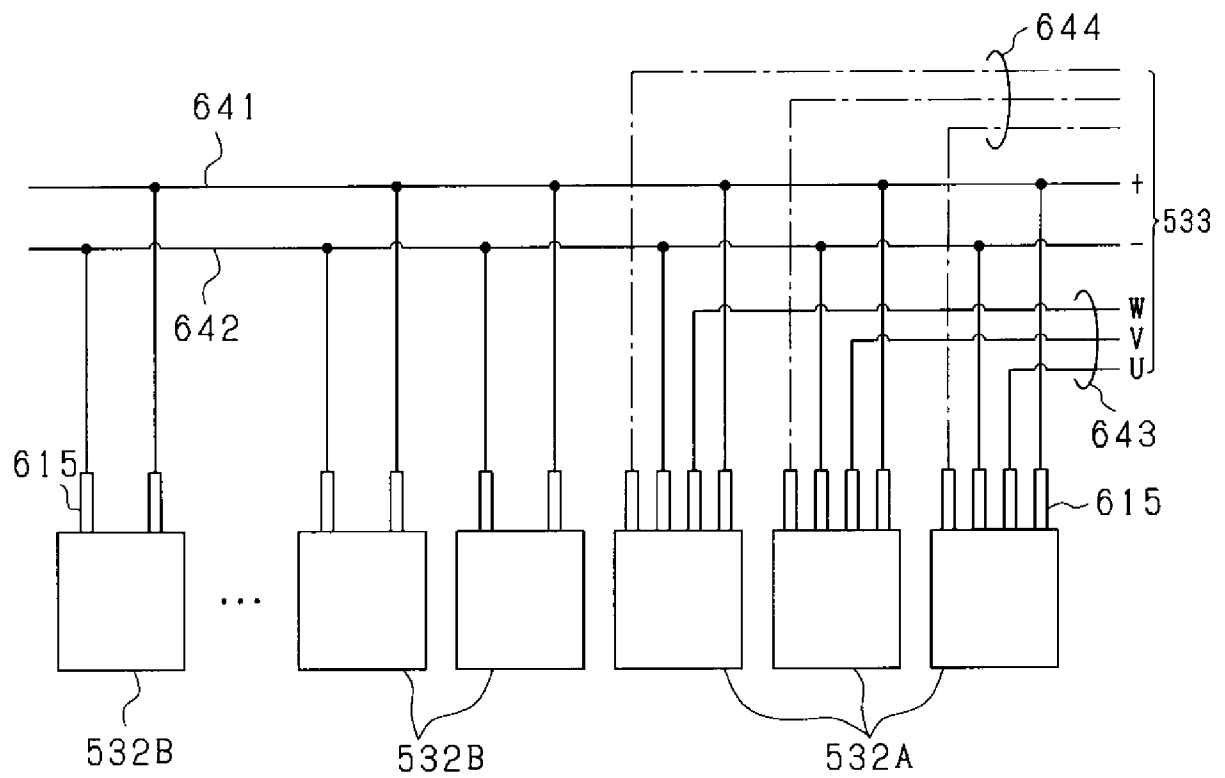
[図67]



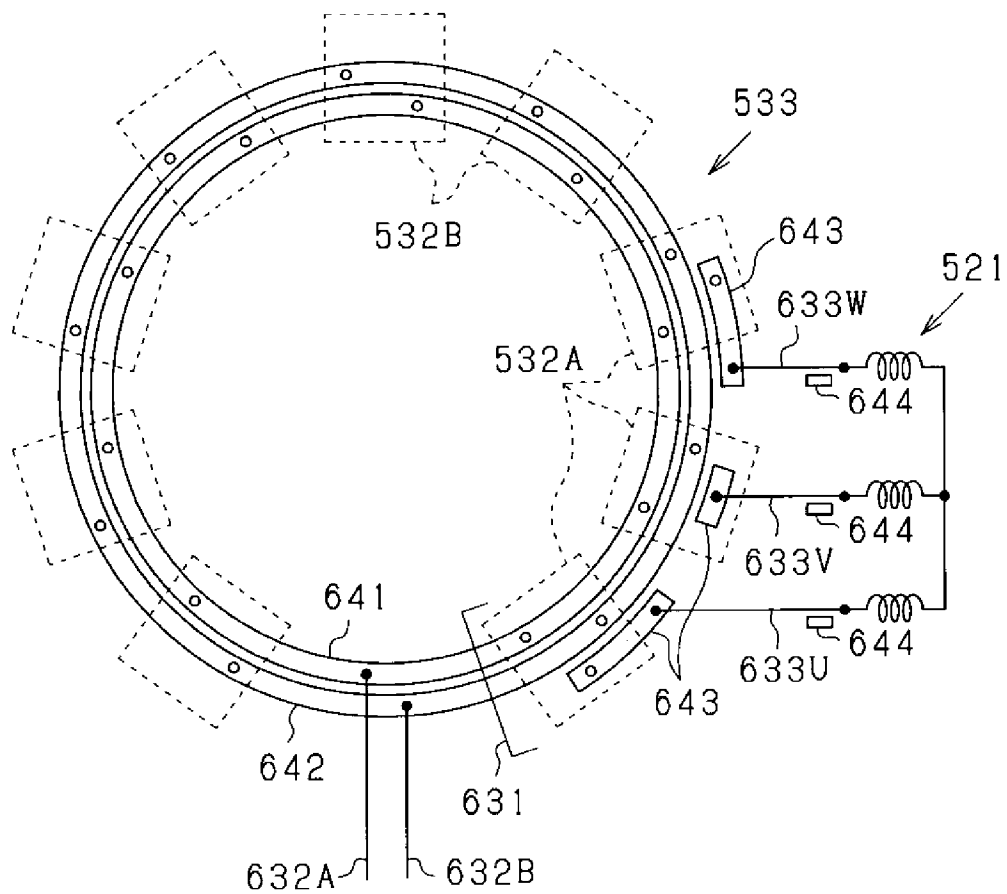
[図68]



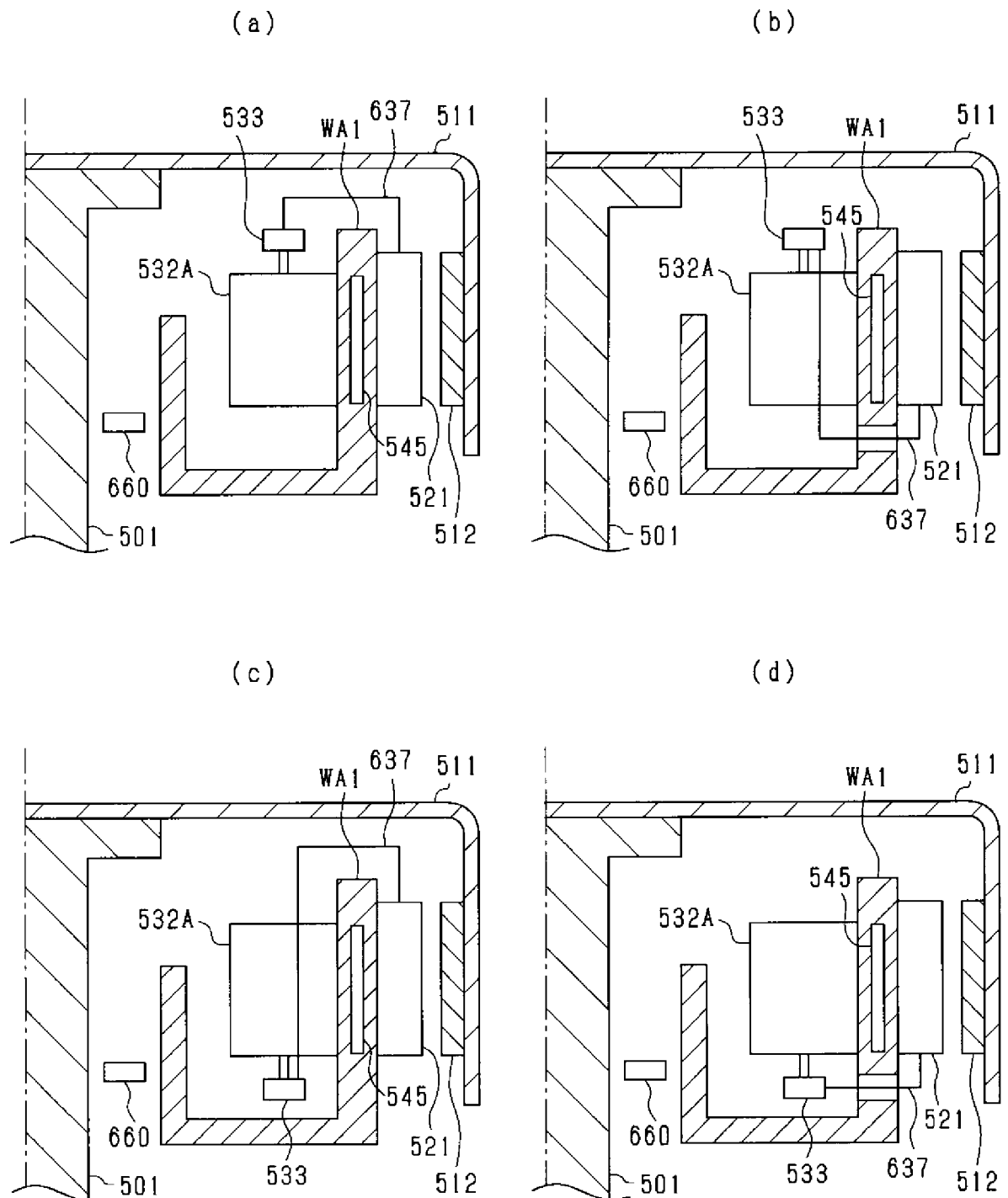
[図69]



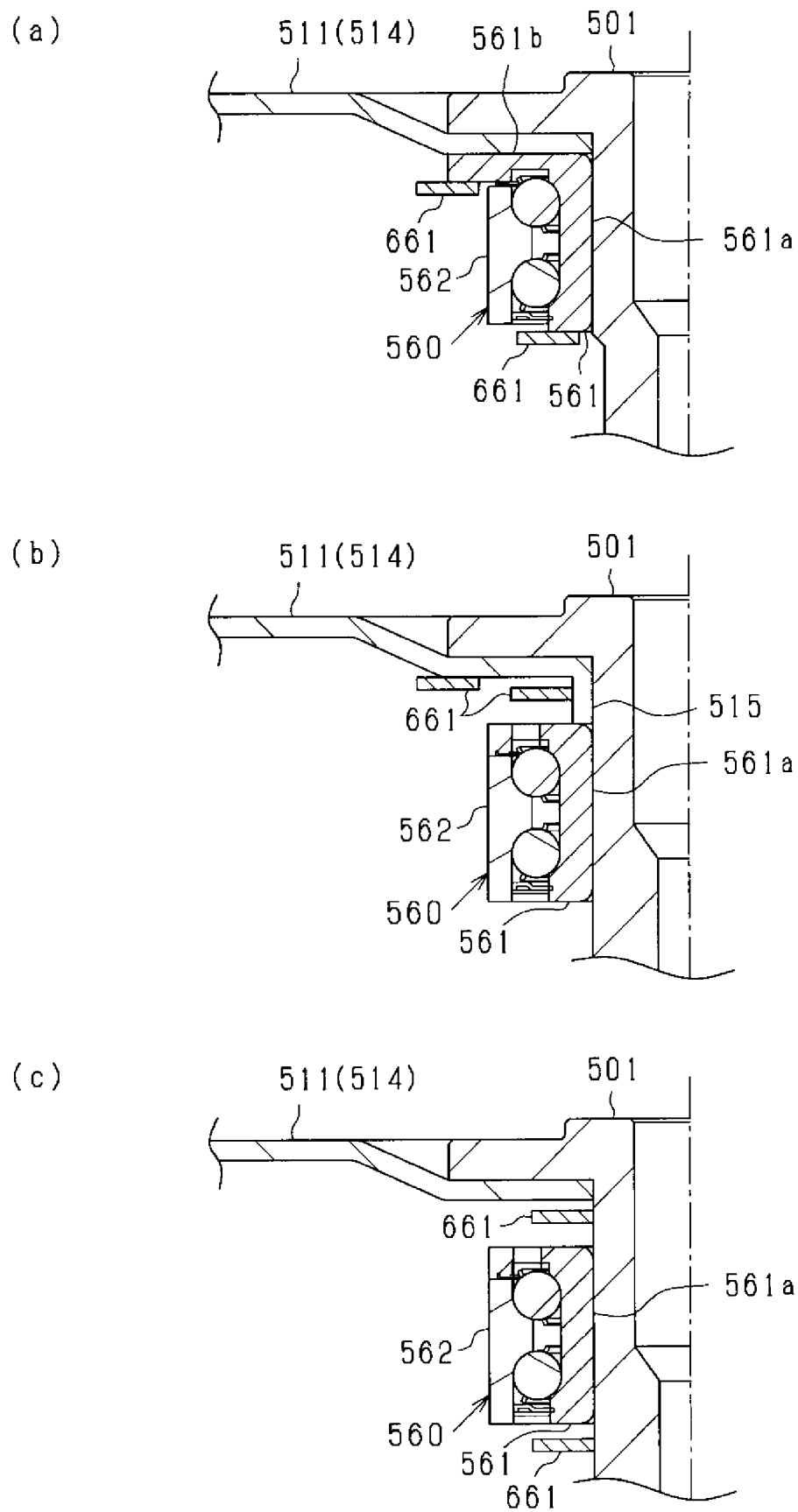
[図70]



[図72]

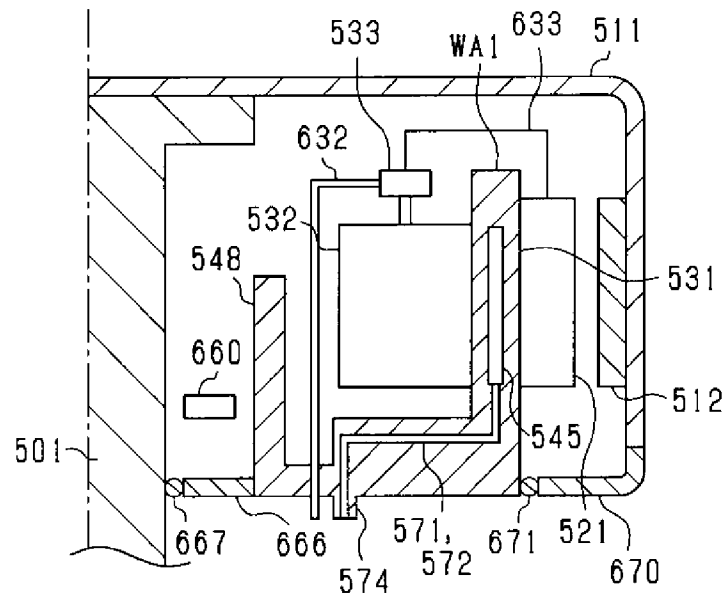


[図73]

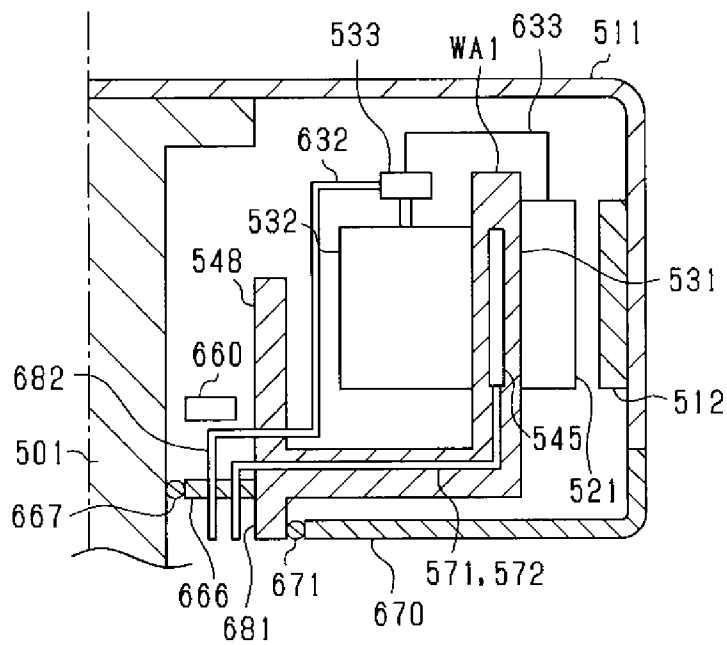


[図74]

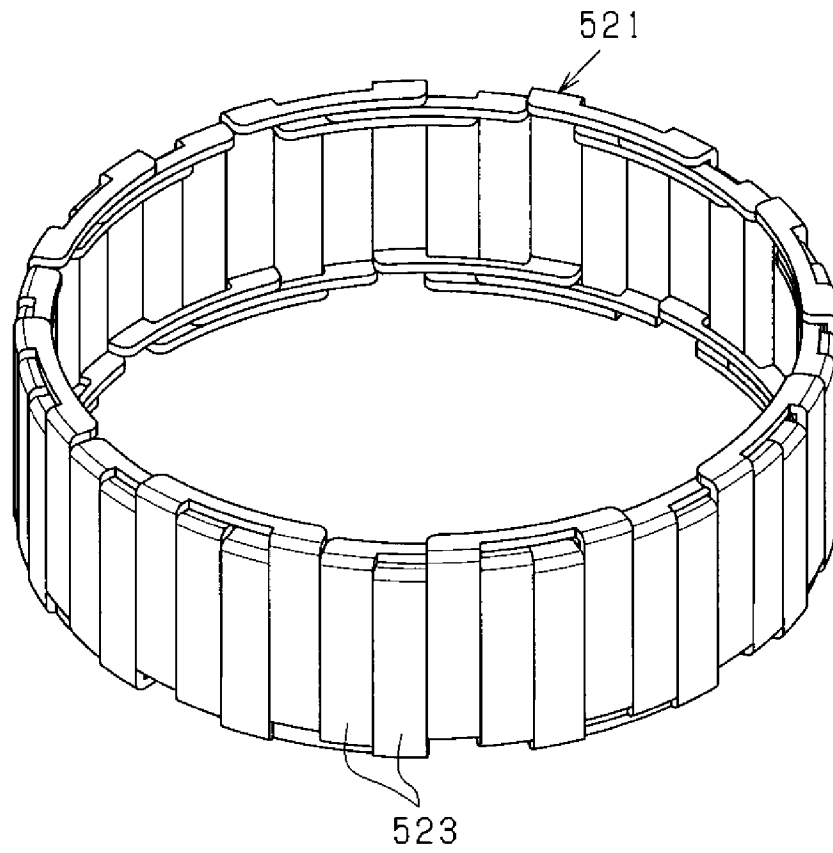
(a)



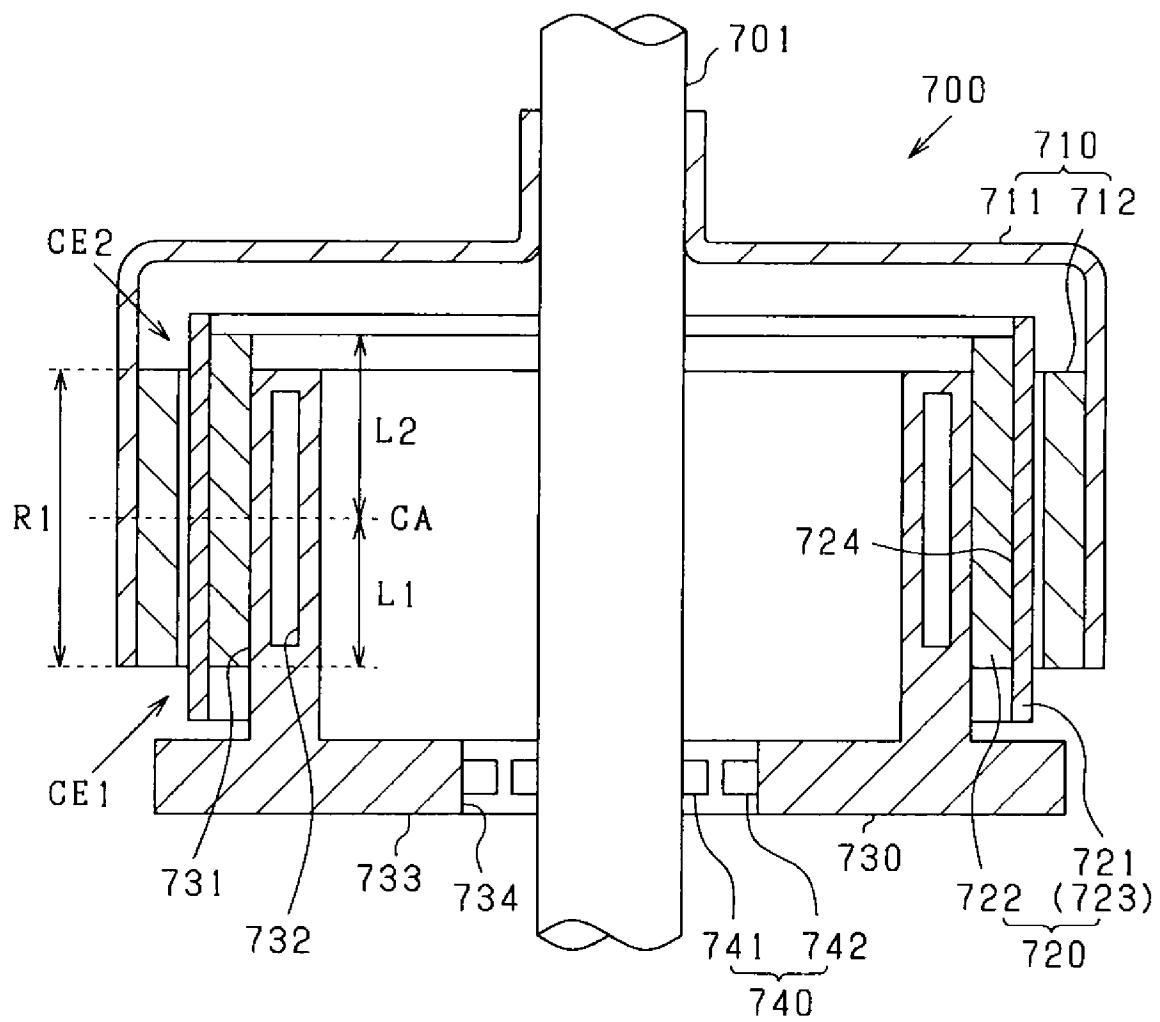
(b)



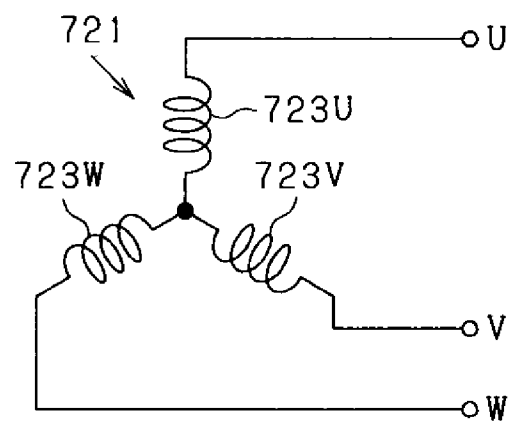
[図75]



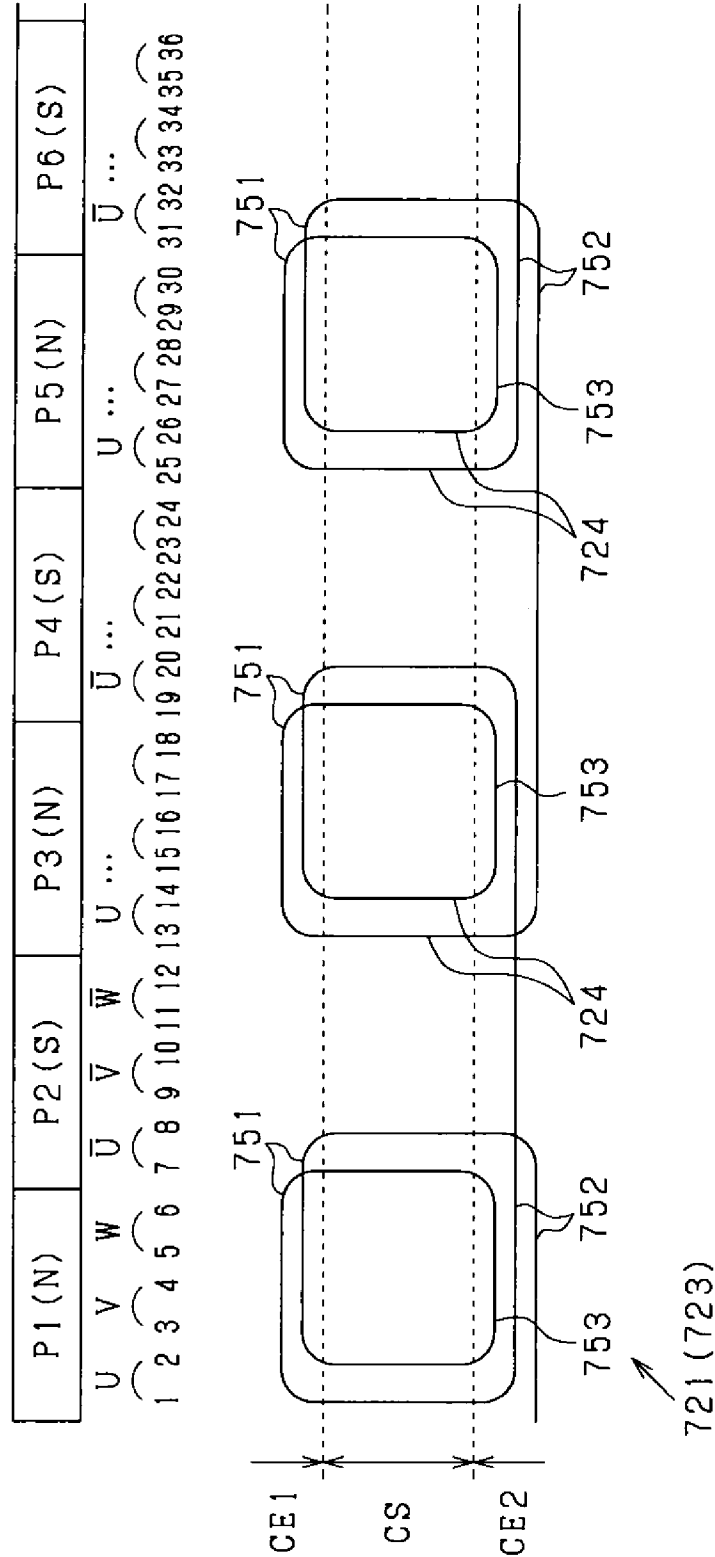
[図76]



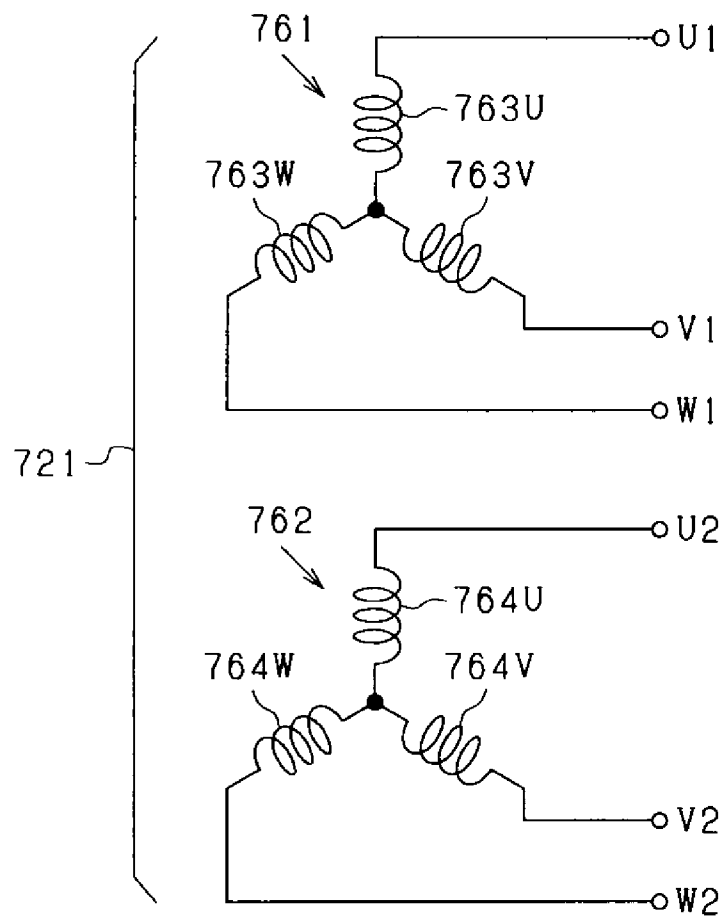
[図77]



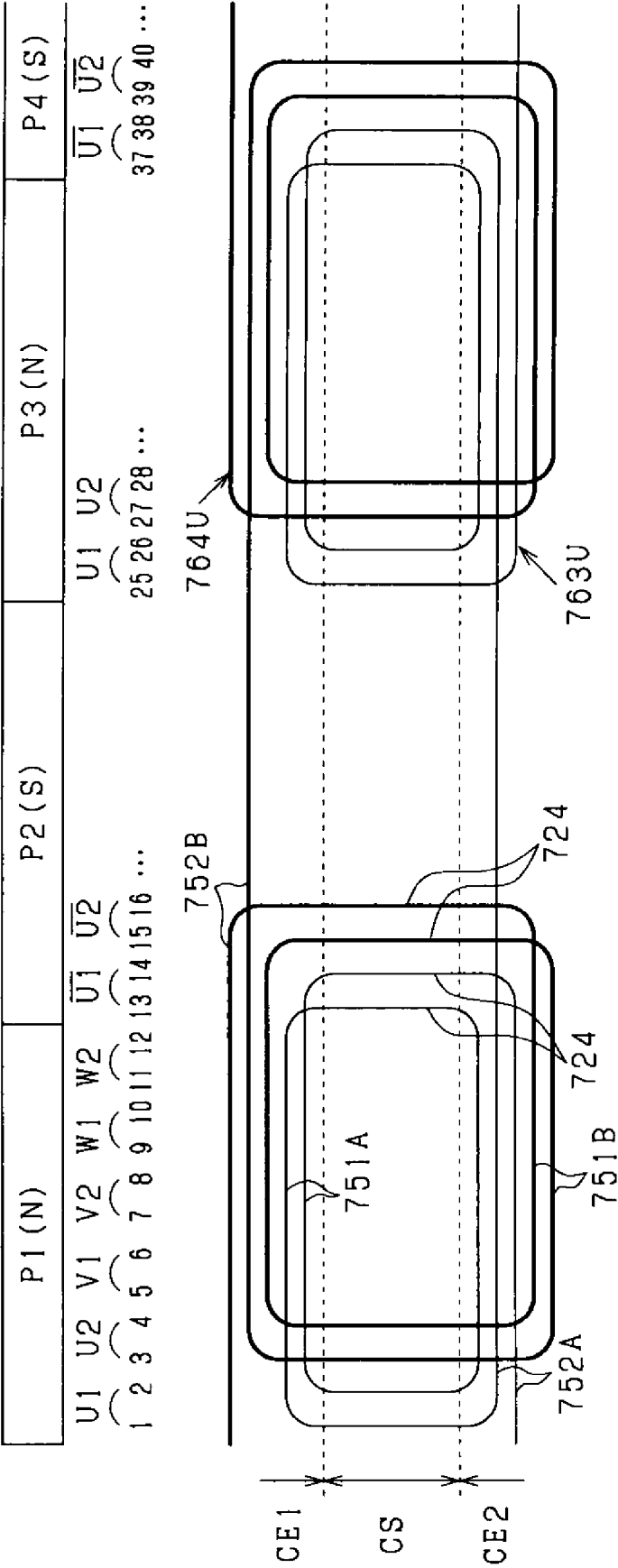
[図78]



[図79]



[図80]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/003231

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 3/28 (2006.01) i; H02K 3/04 (2006.01) i; H02K 11/215 (2016.01) i; H02K 21/22 (2006.01) i

FI: H02K3/28 J; H02K3/04 E; H02K3/04 J; H02K11/215; H02K21/22 Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K3/28; H02K3/04; H02K11/215; H02K21/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-99236 A (TOSHIBA CORP.) 01.06.2017 (2017-06-01) abstract, fig. 1-2	1-6
A	JP 2008-5603 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 10.01.2008 (2008-01-10) paragraph [0044], fig. 2	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 April 2020 (01.04.2020)

Date of mailing of the international search report

14 April 2020 (14.04.2020)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/003231

Patent Documents
referred in the
ReportPublication
Date

Patent Family

Publication
Date

JP 2017-99236 A

01 Jun. 2017

(Family: none)

JP 2008-5603 A

10 Jan. 2008

(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02K 3/28(2006.01)i; H02K 3/04(2006.01)i; H02K 11/215(2016.01)i; H02K 21/22(2006.01)i FI: H02K3/28 J; H02K3/04 E; H02K3/04 J; H02K11/215; H02K21/22 Z														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H02K3/28; H02K3/04; H02K11/215; H02K21/22 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2017-99236 A（株式会社東芝）01.06.2017（2017 - 06 - 01） 要約, 図1-2	1-6												
A	JP 2008-5603 A（三菱電機株式会社）10.01.2008（2008 - 01 - 10） 段落[0044], 図2	1-6												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 01.04.2020		国際調査報告の発送日 14.04.2020												
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 小林 紀和 3V 4240 電話番号 03-3581-1101 内線 3357												

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/003231

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-99236	A	01.06.2017	(ファミリーなし)	
JP	2008-5603	A	10.01.2008	(ファミリーなし)	