

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5621373号  
(P5621373)

(45) 発行日 平成26年11月12日 (2014.11.12)

(24) 登録日 平成26年10月3日 (2014.10.3)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>H02K</b>	<b>1/27</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02K</b>	<b>1/27</b>	<b>501A</b>
<b>H02K</b>	<b>1/22</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02K</b>	<b>1/27</b>	<b>501K</b>
			<b>H02K</b>	<b>1/22</b>	<b>A</b>

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2010-159586 (P2010-159586)	(73) 特許権者	000003218
(22) 出願日	平成22年7月14日 (2010.7.14)		株式会社豊田自動織機
(65) 公開番号	特開2012-23856 (P2012-23856A)		愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地
(43) 公開日	平成24年2月2日 (2012.2.2)	(74) 代理人	100068755
審査請求日	平成24年10月1日 (2012.10.1)		弁理士 恩田 博宣
		(74) 代理人	100105957
			弁理士 恩田 誠
		(72) 発明者	斉藤 洋一
			愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会
			社 豊田自動織機 内
		(72) 発明者	吉田 稔彦
			愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会
			社 豊田自動織機 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石埋込型回転子及び回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定子内側のロータコアの外周面寄りに、d 軸に直交する方向に延びるように第 1 埋込孔が形成され、該第 1 埋込孔に第 1 永久磁石が埋込まれるとともに、前記ロータコアにおける前記第 1 永久磁石の両側に q 軸に沿って延びるように第 2 埋込孔が形成され、該第 2 埋込孔に第 2 永久磁石が埋込まれており、さらに、前記ロータコアにおける前記第 1 埋込孔よりも前記 q 軸寄りの位置それぞれに空隙部が形成された永久磁石埋込型回転子において、

前記空隙部は、前記第 1 埋込孔に連続し、かつ前記第 1 永久磁石の q 軸寄りの磁石端面から該 q 軸に向けて延びる第 1 空隙と、該第 1 空隙から前記 q 軸側に離れた第 2 空隙と、

10

からなるとともに、前記第 1 空隙と第 2 空隙との間に補強ブリッジが形成され、前記 d 軸に沿った前記第 1 永久磁石の厚みを T としたとき、前記磁石端面から前記第 1 空隙における前記補強ブリッジの形成面に至るまでの最短距離が、

$$1/3 T < \text{最短距離} \quad T$$

となるように前記空隙部が形成され、

前記空隙部は前記第 2 永久磁石と前記空隙部との間を磁束が通過するように形成されている永久磁石埋込型回転子。

【請求項 2】

前記ロータコアは、磁性体製のコア板を複数枚積層して形成され、前記第 1 空隙における前記補強ブリッジの形成面と、前記第 2 空隙における前記補強ブリッジの形成面との間

20

の距離は、前記コア板の厚みの２倍以上に設定されている請求項１に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項３】

前記第１空隙及び第２空隙それぞれは、前記ロータコアの外周面に沿って延びる外周側形成面を備え、該外周側形成面と前記ロータコアの外周面との間には、ロータコアの周方向に沿って延びる外周側ブリッジが形成され、前記外周側形成面と、前記ロータコアの外周面との間の距離は、前記コア板の厚みの２倍以上に設定されている請求項２に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項４】

前記第１永久磁石の両磁石端面側に位置する一対の補強ブリッジは、前記ロータコアの外周面側から内周面側に向かって補強ブリッジ間の間隔を広げるハの字状をなすように形成されている請求項１～請求項３のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子。

10

【請求項５】

前記第１空隙は、前記ロータコアの最外周面寄りに位置する外周側端部を有するとともに、前記ロータコアの最内周面寄りに位置する内周側端部を有し、前記第１永久磁石は、該第１永久磁石の磁極面が、前記第１空隙の外周側端部より前記ロータコアの内周面側に位置し、かつ前記第１空隙の内周側端部より前記ロータコアの外周面側に位置するように配置されている請求項１～請求項４のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項６】

前記固定子は、環状のステータコアの内周に複数配列されたティースを備え、前記ステータコアの径方向に沿って延び、かつ前記ティースの幅方向の中間点を通過する直線を前記ティースの中心軸とし、隣り合うティースの前記中心軸間のピッチを $P$ としたとき、前記 $d$ 軸に沿った前記ロータコアの外周面から前記磁極面までの前記第１永久磁石の埋込深さが、

20

$$1/10P < \text{埋込深さ} < 2/3P$$

を満たすように第１永久磁石が配置される請求項５に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項７】

前記第１永久磁石は、前記 $d$ 軸に直交する方向に細長に延びる平板形状であり、前記第１永久磁石の長辺方向への長さは、前記ピッチの１～３倍に設定される請求項６に記載の永久磁石埋込型回転子。

30

【請求項８】

前記第２永久磁石と前記第２空隙との間隔は、前記ピッチの $0.3 \sim 2$ 倍に設定される請求項６又は請求項７に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項９】

前記第２永久磁石は、前記ロータコアの内周面側から外周面側に向かって拡がる $V$ 字状、又はロータコアの外周面側から内周面側に向かって凹む円弧状に配置されている請求項１～請求項８のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子。

【請求項１０】

固定子と、

該固定子内側のロータコアの外周面寄りに、 $d$ 軸に直交する方向に延びるように矩形状の第１埋込孔が形成され、該第１埋込孔に第１永久磁石が埋込まれるとともに、前記ロータコアにおける前記第１永久磁石の両側に $q$ 軸に沿って延びるように第２埋込孔が形成され、該第２埋込孔に第２永久磁石が埋込まれており、さらに、前記ロータコアにおける前記第１埋込孔よりも前記 $q$ 軸寄りの位置それぞれに空隙部が形成された永久磁石埋込型回転子と、からなる回転電機であって、前記永久磁石埋込型回転子が、請求項１～請求項９のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子である回転電機。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

50

本発明は、第1永久磁石が埋込まれた第1埋込孔と、第2永久磁石が埋込まれた第2埋込孔がロータコアに形成され、ロータコアにおける第1埋込孔よりもq軸寄りの位置それぞれに空隙部が形成された永久磁石埋込型回転子、及び該永久磁石埋込型回転子を備える回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

回転電機としては、例えば、特許文献1が挙げられる。図4に示すように、特許文献1の永久磁石式リラクタンス型回転電機90は、複数の電機子コイル91を備える固定子92と、その固定子92の内側の回転子93とから構成されている。

【0003】

回転子93は、円筒形の回転子鉄心94を備えるとともに、複数の磁極が設けられている。回転子鉄心94の各磁極軸に沿った方向には、磁極幅の間隔をあけて長方形の第1の空洞部95が形成されている。第1の空洞部95は、各磁極を両側から挟み込む位置に形成されている。第1の空洞部95それぞれには第1の永久磁石96が埋込まれている。また、回転子鉄心94において、各磁極間には回転子鉄心94の外周に沿って長方形の第2の空洞部97が形成されている。第2の空洞部97それぞれには第2の永久磁石98が埋込まれている。

【0004】

そして、永久磁石式リラクタンス型回転電機90においては、回転子鉄心94に第1の永久磁石96と第2の永久磁石98とを設けることで、リラクタンストルクを増大させ、永久磁石式リラクタンス型回転電機90のトルクが増大されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3597821号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、特許文献1の永久磁石式リラクタンス型回転電機90において、第2の永久磁石98は回転子鉄心94の表面に配置されているため、この第2の永久磁石98に鎖交する交番磁界が多く、第2の永久磁石98には大きな渦電流損が発生してしまっている。この大きな渦電流損により、第2の永久磁石98の温度が上昇してしまい、第2の永久磁石98が減磁されてしまって永久磁石式リラクタンス型回転電機90のトルクが低下してしまう。

【0007】

このため、第2の永久磁石98に鎖交する交番磁界を減らすため、第2の永久磁石98を回転子鉄心94の表面から離すべく、図4の2点鎖線に示すように、第2の永久磁石98の埋込位置（第2の空洞部97の形成位置）を、回転子鉄心94の内周面側へ移動させることが考えられる。しかし、第2の永久磁石98の埋込位置を、回転子鉄心94の内周面側へ移動させると、第2の永久磁石98と第1の永久磁石96とが近付いて短絡磁束が増加してしまい、第2の永久磁石98から固定子92に渡る磁束が減少して、永久磁石式リラクタンス型回転電機90のトルクが低下してしまう。

【0008】

そこで、第2の永久磁石98の埋込位置を回転子鉄心94の内周面側へ若干移動させつつも、第2の永久磁石98と第1の永久磁石96との間での短絡磁束を低減させるには、図4の2点鎖線に示すように、第2の永久磁石98の長辺方向の両側に、第2の空洞部97から離れた空隙99を設けることが考えられる。この空隙99によって第2の永久磁石98と第1の永久磁石96との間での短絡磁束が低減される。

【0009】

しかし、第2の空洞部97から離れた位置に空隙99を設けると、回転子鉄心94にお

10

20

30

40

50

ける空隙 99 と第 2 の空洞部 97 との間の肉部が機械的な補強ブリッジ 100 となり、補強ブリッジ 100 は第 2 の空洞部 97 に連続して設けられる。そして、補強ブリッジ 100 の機械的強度を確保するために補強ブリッジ 100 の幅を大きくすると、第 2 の永久磁石 98 の磁極面（回転子鉄心 94 外周面側の面）から補強ブリッジ 100 を経路として流れる短絡磁束が増大してしまい、永久磁石式リラクタンス型回転電機 90 のトルクが低下してしまう。

#### 【0010】

本発明は、補強ブリッジによる機械的強度を維持しつつ、短絡磁束を抑制することができる永久磁石埋込型回転子、及び該永久磁石埋込型回転子を備える回転電機を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

上記問題点を解決するために、請求項 1 に記載の発明は、固定子内側のロータコアの外周面寄りに、d 軸に直交する方向に延びるように第 1 埋込孔が形成され、該第 1 埋込孔に第 1 永久磁石が埋込まれるとともに、前記ロータコアにおける前記第 1 永久磁石の両側に q 軸に沿って延びるように第 2 埋込孔が形成され、該第 2 埋込孔に第 2 永久磁石が埋込まれており、さらに、前記ロータコアにおける前記第 1 埋込孔よりも前記 q 軸寄りの位置それぞれに空隙部が形成された永久磁石埋込型回転子に関する。この永久磁石埋込型回転子において、前記空隙部は、前記第 1 埋込孔に連続し、かつ前記第 1 永久磁石の q 軸寄りの磁石端面から該 q 軸に向けて延びる第 1 空隙と、該第 1 空隙から前記 q 軸側に離れた第 2 空隙と、からなるとともに、前記第 1 空隙と第 2 空隙との間に補強ブリッジが形成され、前記 d 軸に沿った前記第 1 永久磁石の厚みを T としたとき、前記磁石端面から前記第 1 空隙における前記補強ブリッジの形成面に至るまでの最短距離が、 $1/3 T < \text{最短距離}$  T となるように前記空隙部が形成され、前記空隙部は前記第 2 永久磁石と前記空隙部との間を磁束が通過するように形成されている。

#### 【0012】

また、請求項 10 に記載の発明は、固定子と、該固定子内側のロータコアの外周面寄りに、d 軸に直交する方向に延びるように矩形状の第 1 埋込孔が形成され、該第 1 埋込孔に第 1 永久磁石が埋込まれるとともに、前記ロータコアにおける前記第 1 永久磁石の両側に q 軸に沿って延びるように第 2 埋込孔が形成され、該第 2 埋込孔に第 2 永久磁石が埋込まれており、さらに、前記ロータコアにおける前記第 1 埋込孔よりも前記 q 軸寄りの位置それぞれに空隙部が形成された永久磁石埋込型回転子と、からなる回転電機に関し、前記永久磁石埋込型回転子が、請求項 1 ～ 請求項 9 のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子になっている。

#### 【0013】

これによれば、最短距離が、第 1 永久磁石の厚み T を基準として、 $1/3 T < \text{最短距離}$  T に設定されるため、補強ブリッジは、第 1 空隙を介して磁石端面から所定距離だけ遠ざけられた位置に設けられている。このため、背景技術のように、補強ブリッジが磁石端面に連続するように設けられる場合と比べると、磁極面から補強ブリッジに至るまでの磁束経路を長くし、磁極面からの磁束が即座に補強ブリッジに到達してしまうことが防止される。そして、磁極面から補強ブリッジに至るまでの磁束経路を長くすることで磁束経路での磁気抵抗を増加させることができ、補強ブリッジを経路とする短絡磁束を低減させることができる。その結果として、補強ブリッジを磁石端面から所定距離だけ遠ざけるだけで、補強ブリッジの幅を変更することなくその機械的強度を維持しつつ、補強ブリッジを経路とした短絡磁束を低減させ、回転電機のトルク低下を防止することができる。

#### 【0014】

また、前記ロータコアは、磁性体製のコア板を複数枚積層して形成され、前記第 1 空隙における前記補強ブリッジの形成面と、前記第 2 空隙における前記補強ブリッジの形成面との間の距離は、前記コア板の厚みの 2 倍以上に設定されていてもよい。

#### 【0015】

また、前記第1空隙及び第2空隙それぞれは、前記ロータコアの外周面に沿って延びる外周側形成面を備え、該外周側形成面と前記ロータコアの外周面との間には、ロータコアの周方向に沿って延びる外周側ブリッジが形成され、前記外周側形成面と、前記ロータコアの外周面との間の距離は、前記コア板の厚みの2倍以上に設定されていてもよい。

【0016】

これによれば、コア板の打ち抜きの際の強度を確保することができ、打ち抜きの際の補強ブリッジ及び外周側ブリッジ形成部位の変形を防止することができる。

また、前記第1永久磁石の両磁石端面側に位置する一対の補強ブリッジは、前記ロータコアの外周面側から内周面側に向かって補強ブリッジ間の間隔を広げるハの字状をなすように形成されていてもよい。

10

【0017】

これによれば、磁石端面から、補強ブリッジの側面までの距離は、ロータコアの外周面側から内周面側に向かって徐々に長くなる。よって、ロータコアの外周面側から内周面側に向かうに従い、第1空隙による磁気抵抗を大きくして、第1空隙を介した補強ブリッジへの短絡磁束を低減させることができる。

【0018】

また、前記第1空隙は、前記ロータコアの最外周面寄りに位置する外周側端部を有するとともに、前記ロータコアの最内周面寄りに位置する内周側端部を有し、前記第1永久磁石は、該第1永久磁石の磁極面が、前記第1空隙の外周側端部より前記ロータコアの内周面側に位置し、かつ前記第1空隙の内周側端部より前記ロータコアの外周面側に位置するように配置されていてもよい。

20

【0019】

これによれば、ロータコアでの第1永久磁石の配置位置を設定することにより、第1永久磁石がロータコアの外周面寄りに配置されていても、第1永久磁石が外周面に近付き過ぎることが防止され、第1永久磁石の表面に発生する渦電流損を抑えることができる。また、第1永久磁石に鎖交する交番磁界を減らすため、第1永久磁石をロータコアの外周面から離し、第1永久磁石をロータコアの内周面側に配置したとき、第1永久磁石が第2永久磁石に近付き過ぎることが防止され、第1永久磁石から固定子に渡る磁束が減少してしまうことが防止される。その結果として、回転電機のトルクを低下させることなく渦電流損を低減させることができる。

30

【0020】

また、前記固定子は、環状のステータコアの内周に複数配列されたティースを備え、前記ステータコアの径方向に沿って延び、かつ前記ティースの幅方向の中間点を通過する直線を前記ティースの中心軸とし、隣り合うティースの前記中心軸間のピッチをPとしたとき、前記d軸に沿った前記ロータコアの外周面から前記磁極面までの前記第1永久磁石の埋込深さが、 $1/10P < \text{埋込深さ} < 2/3P$ を満たすように第1永久磁石が配置されてもよい。

【0021】

これによれば、第1永久磁石の埋込深さの範囲を設定することにより、回転電機のトルクを低下させることなく渦電流損を低減させることができるという効果を好適に発揮させることができる。

40

【0022】

また、前記第1永久磁石は、前記d軸に直交する方向に細長に延びる平板形状であり、前記第1永久磁石の長辺方向への長さは、前記ピッチの1～3倍に設定されていてもよい。

【0023】

これによれば、第1永久磁石の長辺方向への長さを設定することで、第1永久磁石が短くなりすぎること起因した磁束の減少を防止しつつ、磁極における空隙部及び第2永久磁石の配置を好適に設定することができる。

【0024】

50

また、前記第 2 永久磁石と前記第 2 空隙との間隔は、前記ピッチの 0.3 ~ 2 倍に設定されていてもよい。

これによれば、間隔を設定することで、回転電機のトルクの低下を抑えつつ、トルクリプルの増加を抑えることができる。

【0025】

また、前記第 2 永久磁石は、前記ロータコアの内周面側から外周面側に向かって広がる V 字状、又はロータコアの外周面側から内周面側に向かって凹む円弧状に配置されていてもよい。

【0026】

これによれば、q 軸を通る磁束を増加させることができ、回転電機のリラクタンストルクを増加させることができる。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、補強ブリッジによる機械的強度を維持しつつ、短絡磁束を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】実施形態の永久磁石埋込型回転電機を示す平面図。

【図 2】永久磁石埋込型回転子における磁極を示す部分拡大図。

【図 3】第 2 永久磁石の別例を示す部分拡大図。

【図 4】背景技術を示す平面図。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明を具体化した一実施形態を図 1 ~ 図 2 にしたがって説明する。

図 1 に示すように、回転電機としての永久磁石埋込型回転電機 M は、環状の固定子 10 と、この固定子 10 内に回転可能に設けられた永久磁石埋込型回転子 15（以下、単に回転子 15 と記載する）とから形成されている。固定子 10 は、環状のステータコア 11 を備えるとともに、このステータコア 11 は磁性体（鋼板）製の複数枚のコア板を積層して構成されている。

【0030】

ステータコア 11 の内周には複数配列されたティース 13 が形成されている。また、ステータコア 11 の周方向に隣り合うティース 13 の間にはスロット 12 が形成されている。固定子 10 は、複数のスロット 12 に組み込まれた複数のコイル 30 を備えている。ここで、図 2 に示すように、ステータコア 11 の径方向に直交する方向に沿ったティース 13 の長さを、ティース 13 の幅とした場合、そのティース 13 の幅の中間点を通過し、かつステータコア 11 の径方向に延びる直線をティース 13 の中心軸 TL とする。このようにした場合、隣り合うティース 13 での中心軸 TL 間の幅をティース 13 間のピッチ P とする。ピッチ P は、ティース 13 の先端から基端に向かうに従い徐々に大きくなるため、本実施形態では、ピッチ P は、ティース 13 先端での中心軸 TL 間の幅とし、中心軸 TL 間の幅が最も小さい値とする。

【0031】

次に、回転子 15 について説明する。図 1 に示すように、回転子 15 は、円環状のロータコア 16 を備え、このロータコア 16 は、磁性体（鋼板）製の複数枚のコア板 161 を積層して構成されている。また、ロータコア 16 の中心部には軸孔 16a が貫設されるとともに、この軸孔 16a には永久磁石埋込型回転電機 M の出力軸（図示略）が通されて固定される。

【0032】

図 1 の 2 点鎖線に示すように、ロータコア 16 を周方向に等分割（本実施形態では 8 分割）した各仮想領域 W それぞれには、1 つの第 1 永久磁石 17、及び 2 つの第 2 永久磁石 18 が埋込まれている。第 1 永久磁石 17 及び第 2 永久磁石 18 それぞれは、平板形状を

10

20

30

40

50

なし、ロータコア 16 の中心軸 C に直交する断面が矩形状に形成されている。

【0033】

そして、各仮想領域 W において、1 つの第 1 永久磁石 17、及び 2 つの第 2 永久磁石 18 の 1 組の磁石群により、ロータコア 16 には 1 つの磁極が構成されている。本実施形態では、磁石群がロータコア 16 の周方向に沿って 8 箇所に配設されることで、回転子 15 は 8 つの磁極を備えるとともに、複数の磁極はロータコア 16 の周方向に交互に異なる磁極となるように設けられている。なお、図 1 に示す d 軸 26 は、各磁極が作る磁束の方向（第 1 永久磁石 17 の長辺方向に直交し、かつ 2 つの第 2 永久磁石 18 間を通過する軸）を表し、q 軸 27 は、d 軸 26 と電氣的、磁氣的に直交する軸を表し、円弧状に延びている。

10

【0034】

図 2 に示すように、各仮想領域 W において、ロータコア 16 の外周面 16b 寄りには、第 1 埋込孔 19 がロータコア 16 の中心軸 C と平行な方向に貫設されるとともに、この第 1 埋込孔 19 はロータコア 16 の周方向にほぼ沿って延びる細長（矩形状）に形成されている。詳述すると、第 1 埋込孔 19 は、第 1 埋込孔 19 の長辺に対し d 軸が直交するように形成されている。そして、この第 1 埋込孔 19 に第 1 永久磁石 17 が嵌入されている。

【0035】

また、第 1 埋込孔 19 の形成面は、長辺側の形成面のうちロータコア 16 の外周面 16b に近い方の外側形成面 19a と、この外側形成面 19a に対向し、かつロータコア 16 の内周面に近い方の内側形成面 19b とを有する。そして、第 1 埋込孔 19 に嵌入された第 1 永久磁石 17 においては、ロータコア 16 の外周面 16b に近い方の端面であり、外側形成面 19a に対向する面が磁極面 17a となっており、ロータコア 16 の内周面に近い方の端面であり、内側形成面 19b に対向する面が反磁極面 17b となっている。さらに、第 1 永久磁石 17 において、両短辺側の端面であり、第 1 永久磁石 17 の q 軸 27 寄りの端面が磁石端面 17c となっている。

20

【0036】

各仮想領域 W（磁極）において、矩形状をなす 2 つの第 2 埋込孔 20 が、その長辺がロータコア 16 の内周面側から外周面側に向かって延びるようにロータコア 16 に形成されるとともに、中心軸 C と平行な方向に延びるように貫設されている。各仮想領域 W（磁極）において、2 つの第 2 埋込孔 20 は、ロータコア 16 の内周面側から外周面側に向かうに従い互いに間隔を広げるように配置され、V 字状をなすように配置されている。各仮想領域 W（磁極）において、2 つの第 2 埋込孔 20 は、q 軸 27 の一部に対して平行をなすように（沿うように）長辺が延びて形成されている。そして、各第 2 埋込孔 20 に、第 2 永久磁石 18 が嵌入されている。第 2 埋込孔 20 の形成面は、長辺側の形成面のうち第 1 埋込孔 19 に近い方の第 1 形成面 20a と、この第 1 形成面 20a に対向し、かつ隣りの磁極の第 2 埋込孔 20 に近い方の第 2 形成面 20b とから構成されている。

30

【0037】

各仮想領域 W（磁極）において、2 つの第 2 永久磁石 18 は、同じ側（例えば、ロータコア 16 の外周面 16b 側）が同極となるように配置されている。また、隣り合う磁極に配置された第 2 永久磁石 18 同士は、ロータコア 16 の外周面 16b 側が異なる極となるように配置されている。例えば、ある一組の第 2 永久磁石 18 が、ロータコア 16 の外周面 16b 側が S 極となるように配置されると、隣りの磁極に配置される一組の第 2 永久磁石 18 は、ロータコア 16 の外周面 16b 側が N 極になるように配置される。本実施形態では、回転子 15 が正逆両方向へ回転可能とするため、d 軸 26 に対し、2 つの第 2 永久磁石 18 が線対称となる位置に配置されている。

40

【0038】

ロータコア 16 には、第 1 埋込孔 19 の両短辺に連続するように第 1 空隙 21 が形成されている。また、ロータコア 16 には、第 1 永久磁石 17 及び第 1 空隙 21 から q 軸 27 側に離れて第 1 空隙 21 とは別の第 2 空隙 22 が形成されている。第 1 空隙 21 及び第 2 空隙 22 それぞれは、中心軸 C と平行な方向に延びるようにロータコア 16 に貫設されて

50

いる。そして、本実施形態では、この第1空隙21と第2空隙22とから1つの空隙部23が構成されている。

【0039】

第1空隙21の形成面は、ロータコア16の外周面16bに沿って円弧状に延びる外周側形成面21aを有するとともに、この外周側形成面21aの両端縁のうちd軸26側の端縁からd軸26と平行に延びるd軸側形成面21bを有する。また、第1空隙21の形成面は、d軸側形成面21bの第1永久磁石17側の端縁からq軸27に向かって磁極面17aに対し平行に延びる形成面21cを有するとともに、その形成面21cの端縁からd軸26と平行に延びる延長面21dを有する。さらに、第1空隙21の形成面は、外周側形成面21aのq軸27側の端縁から、ロータコア16の内周面側に向けて延びるq軸側形成面21eを有するとともに、q軸側形成面21eの端縁から第1永久磁石17の磁石端面17cに向けて延びる内周側形成面21fを有する。そして、第1空隙21の形成面は、外周側形成面21aと、d軸側形成面21b、形成面21cと、延長面21dと、q軸側形成面21eと、内周側形成面21fとから構成されている。

10

【0040】

また、第2空隙22の形成面は、ロータコア16の外周面16bに沿って円弧状に延びる外周側形成面22aを有するとともに、この外周側形成面22aの両端縁のうちd軸26側の端縁から第1空隙21のq軸側形成面21eと平行に延びるd軸側形成面22bを有する。また、第2空隙22の形成面は、外周側形成面22aのq軸27側の端縁からq軸27に沿って延びるq軸側形成面22dを有する。

20

【0041】

また、ロータコア16において、第1空隙21と第2空隙22の間が補強ブリッジ25となっている。補強ブリッジ25の第1空隙21側の側面は、第1空隙21のq軸側形成面21eによって形成され、補強ブリッジ25の第2空隙22側の側面は、第2空隙22のd軸側形成面22bによって形成されている。そして、q軸側形成面21eとd軸側形成面22bの間隔は一定であり、補強ブリッジ25は一定の幅に形成されている。補強ブリッジ25の幅は、コア板161の厚みの2倍以上に設定されるのが好ましい。各仮想領域W(磁極)では、第1永久磁石17の両磁石端面17c側に補強ブリッジ25が形成されているが、一对の補強ブリッジ25は、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かって互いの間隔を広げるハの字状に配置されている。

30

【0042】

ロータコア16において、ロータコア16の外周面16bと、第1空隙21の外周側形成面21a及び第2空隙22の外周側形成面22aとの間が外周側ブリッジ24となっている。外周側ブリッジ24は、ロータコア16の周方向に沿って一定の幅で延びるように形成され、外周側ブリッジ24の幅は、コア板161の厚みの2倍以上に設定されるのが好ましい。

【0043】

第1空隙21は、第1永久磁石17の磁極面17aよりも外周面16b側へ延びるように形成されるとともに、磁石端面17cよりもq軸27側へ延びるように形成されている。ここで、d軸26に沿った第1永久磁石17の厚みをTとしたとき、d軸26に直交する方向に沿った磁石端面17cからq軸側形成面21eに至るまでの最短距離Vが、 $1/3 T < \text{最短距離 } V < T$ となるように第1空隙21が形成される。

40

【0044】

最短距離Vが $1/3 T$ より短くなると、第1永久磁石17の磁極面17aと補強ブリッジ25とが近くなり、磁極面17aから補強ブリッジ25を通る磁束経路が短くなり、該磁束経路での磁気抵抗が小さくなってしまい好ましくない。また、最短距離Vが $1/3 T$ より短くなると、第1空隙21の開口幅が狭くなり、磁石端面17cから補強ブリッジ25に短絡する磁束が増えてしまい好ましくない。一方、最短距離Vが第1永久磁石17の厚みTより長くなると、第1空隙21が大きくなりすぎて、磁極における第1空隙21及び第2空隙22の配置を好適に設定することが困難になり好ましくない。

50



## 【 0 0 4 5 】

第 1 空隙 2 1 において、延長面 2 1 d 及び磁石端面 1 7 c を通過し、d 軸 2 6 に平行に延びる直線を仮想線 E とした場合、第 1 空隙 2 1 は、仮想線 E よりも q 軸 2 7 側の基部 2 1 1 と、仮想線 E よりも d 軸 2 6 側に延長された延長部 2 1 2 とから構成される。そして、第 1 空隙 2 1 において、基部 2 1 1 は、第 1 永久磁石 1 7 より q 軸 2 7 側に位置し、延長部 2 1 2 は基部 2 1 1 から d 軸 2 6 側へ延びるように形成されている。

## 【 0 0 4 6 】

この延長部 2 1 2 は、仮想線 E よりも d 軸 2 6 側の外周側形成面 2 1 a の一部と、d 軸側形成面 2 1 b と、形成面 2 1 c とから形成されている。そして、ロータコア 1 6 の径方向に沿った開口幅が、延長部 2 1 2 の方が基部 2 1 1 よりも狭くなっている。よって、第 1 空隙 2 1 においては、基部 2 1 1 側では磁束が通過し難く、開口幅の狭くなる延長部 2 1 2 では磁束が通過しやすくなっている。このため、第 1 空隙 2 1 においては、延長部 2 1 2 の方が基部 2 1 1 に比べると、磁気抵抗が小さくなっている。

## 【 0 0 4 7 】

また、第 1 空隙 2 1 において、内周側形成面 2 1 f により、第 1 空隙 2 1 の中で、最もロータコア 1 6 の内周面寄りに位置する部位となる内周側端部が形成されている。また、第 1 空隙 2 1 の外周側形成面 2 1 a が、第 1 空隙 2 1 の中で、最もロータコア 1 6 の外周面寄りに位置する部位となる外周側端部を構成している。

## 【 0 0 4 8 】

そして、第 1 永久磁石 1 7 は、その磁極面 1 7 a が第 1 空隙 2 1 の外周側形成面 2 1 a (外周側端部) よりロータコア 1 6 の内周面側に位置し、かつ第 1 空隙 2 1 の内周側形成面 2 1 f よりロータコア 1 6 の外周面側に位置するように配置されている。ここで、d 軸 2 6 に沿ったロータコア 1 6 の外周面 1 6 b から磁極面 1 7 a までの距離を、第 1 永久磁石 1 7 の埋込深さとする。この場合、埋込深さは、ティース 1 3 間のピッチ P を基準とすると、 $1/10P < \text{埋込深さ} < 2/3P$  に設定されるのが好ましい。

## 【 0 0 4 9 】

埋込深さが  $2/3P$  より大きくなると、第 1 永久磁石 1 7 がロータコア 1 6 の内周面に近づく。このとき、2 つの第 2 永久磁石 1 8 は、ロータコア 1 6 の内周面に向かうに従い互いの間隔を狭めるように配置されているため、第 1 永久磁石 1 7 がロータコア 1 6 の内周面に近づく、第 1 永久磁石 1 7 の磁石端面 1 7 c が第 2 永久磁石 1 8 に近付いてしまい、第 2 永久磁石 1 8 との短絡磁束が増えてしまい好ましくない。一方、埋込深さが  $1/10P$  より小さくなると、第 1 永久磁石 1 7 がロータコア 1 6 の外周面 1 6 b に近づくこととなり、第 1 永久磁石 1 7 に鎖交する交番磁界が増加してしまい、第 1 永久磁石 1 7 表面での渦電流損が増えてしまい好ましくない。そして、第 1 永久磁石 1 7 の埋込深さの範囲を設定することで、第 1 永久磁石 1 7 は一対の空隙部 2 3 の間に位置するように配置される。

## 【 0 0 5 0 】

第 1 永久磁石 1 7 の長辺方向への長さ N は、ティース 1 3 間のピッチ P を基準とすると、ピッチ P の 1 ~ 3 倍に設定されるのが好ましい。第 1 永久磁石 1 7 の長さ N がピッチ P の 1 倍より短くなると、第 1 永久磁石 1 7 の磁力が低下し、第 1 永久磁石 1 7 から発生する磁束が減少してしまい好ましくない。一方、第 1 永久磁石 1 7 の長さ N がピッチ P の 3 倍より長くなると、第 1 永久磁石 1 7 が長くなりすぎて、磁極における空隙部 2 3 及び第 2 永久磁石 1 8 の配置を好適に設定することが困難になり好ましくない。

## 【 0 0 5 1 】

また、各磁極において、各第 2 空隙 2 2 (空隙部 2 3) の q 軸側形成面 2 2 d と、その q 軸側形成面 2 2 d の q 軸 2 7 側に隣り合う第 2 永久磁石 1 8 との間隔 H は、ピッチ P を基準とすると、ピッチ P の 0.3 ~ 2 倍に設定されるのが好ましい。この間隔 H がピッチ P の 0.3 倍より短くなると、第 2 永久磁石 1 8 と第 2 空隙 2 2 の間を通過する磁束が減少し、トルクの低下を招いて好ましくない。一方、間隔 H がピッチ P の 2 倍より長くなると、第 2 永久磁石 1 8 と第 2 空隙 2 2 の間を通過する磁束を増加させることができるが、

10

20

30

40

50

トルクリブルが増加してしまい好ましくない。

【 0 0 5 2 】

次に、回転子 1 5 を備える永久磁石埋込型回転電機 M の作用を説明する。

コイル 3 0 への通電によって固定子 1 0 に回転磁界が発生するとともに、回転子 1 5 に回転磁界が作用する。そして、回転磁界と第 1 永久磁石 1 7 及び第 2 永久磁石 1 8 との間の磁気的な吸引力及び反発力により回転子 1 5 が回転する。このとき、ロータコア 1 6 に第 1 永久磁石 1 7 と、第 2 永久磁石 1 8 とが設けられているため、例えば、第 1 永久磁石 1 7 又は第 2 永久磁石 1 8 のみがロータコア 1 6 に設けられる場合と比べると、第 1 及び第 2 永久磁石 1 7 , 1 8 によりリラクタンストルクが増大され、永久磁石埋込型回転電機 M のトルクが増大される。

10

【 0 0 5 3 】

回転子 1 5 の回転による遠心力により、第 1 永久磁石 1 7 にはロータコア 1 6 の外周面 1 6 b 側へ向かう力が作用するが、機械的強度を有する補強ブリッジ 2 5 により第 1 永久磁石 1 7 の移動が防止される。

【 0 0 5 4 】

また、固定子 1 0 に生じる回転磁界による磁束及び第 1 永久磁石 1 7 の磁極面 1 7 a からの磁束が、第 1 永久磁石 1 7 の磁石端面 1 7 c 側とロータコア 1 6 の外周面 1 6 b との間に集中する。そして、コイル 3 0 への通電量が大きくなって第 1 空隙 2 1 とロータコア 1 6 の外周面 1 6 b との間に磁気飽和状態になったとする。このとき、第 1 空隙 2 1 の最短距離 V を所定範囲に設定し、補強ブリッジ 2 5 を磁石端面 1 7 c から遠ざけることで、第 1 永久磁石 1 7 の磁極面 1 7 a から補強ブリッジ 2 5 を経路とする磁束経路が長くなり、磁気抵抗が大きくなっている。このため、磁極面 1 7 a から補強ブリッジ 2 5 へ流れる短絡磁束が低減される。

20

【 0 0 5 5 】

上記実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

( 1 ) ロータコア 1 6 において、第 1 埋込孔 1 9 よりも q 軸 2 7 寄りの位置に空隙部 2 3 が形成され、この空隙部 2 3 は、第 1 埋込孔 1 9 に連続し、かつ第 1 永久磁石 1 7 の磁石端面 1 7 c から q 軸 2 7 に向けて延びる第 1 空隙 2 1 と、この第 1 空隙 2 1 から q 軸 2 7 側に離れた第 2 空隙 2 2 とからなる。そして、磁石端面 1 7 c から第 1 空隙 2 1 の q 軸側形成面 2 1 e に至るまでの最短距離 V は、第 1 永久磁石 1 7 の厚み T を基準として、 $1/3 T < \text{最短距離 } V < T$  に設定され、補強ブリッジ 2 5 が、磁石端面 1 7 c から所定距離だけ遠ざけられるように空隙部 2 3 が形成されている。このため、磁極面 1 7 a から補強ブリッジ 2 5 を通り、ロータコア 1 6 の外周面 1 6 b 又は反磁極面 1 7 b に至るまでの磁束経路での磁気抵抗を増加させることができ、補強ブリッジ 2 5 を経路とする短絡磁束を低減させることができる。その結果として、補強ブリッジ 2 5 を磁石端面 1 7 c から所定距離だけ遠ざけることで、補強ブリッジ 2 5 の幅を変更することなくその機械的強度を維持しつつ、補強ブリッジ 2 5 を経路とした短絡磁束を低減させ、永久磁石埋込型回転電機 M のトルク低下を防止することができる。

30

【 0 0 5 6 】

( 2 ) 第 1 空隙 2 1 の q 軸側形成面 2 1 e と、第 2 空隙 2 2 の d 軸側形成面 2 2 b との間の距離である補強ブリッジ 2 5 の幅は、コア板 1 6 1 の厚みの 2 倍以上に設定されている。第 1 空隙 2 1 及び第 2 空隙 2 2 は、コア板 1 6 1 の所定部位を打ち抜き除去して形成されているが、補強ブリッジ 2 5 の幅がコア板 1 6 1 の 2 倍以上に設定されることで、コア板 1 6 1 の打ち抜きの際の強度を確保することができ、打ち抜きの際の補強ブリッジ 2 5 の形成部位の変形を防止することができる。

40

【 0 0 5 7 】

( 3 ) ロータコア 1 6 の外周面 1 6 b と、第 1 空隙 2 1 の外周側形成面 2 1 a 及び第 2 空隙 2 2 の外周側形成面 2 2 a との間の距離である外周側ブリッジ 2 4 の幅は、コア板 1 6 1 の厚みの 2 倍以上に設定されている。第 1 空隙 2 1 及び第 2 空隙 2 2 は、コア板 1 6 1 の所定部位を打ち抜き除去して形成されているが、外周側ブリッジ 2 4 の幅がコア板 1

50

61の2倍以上に設定されることで、コア板161の打ち抜きの際の強度を確保することができ、打ち抜きの際の外周側ブリッジ24形成部位での変形を防止することができる。

【0058】

(4)各磁極において、第1永久磁石17の両磁石端面17c側に位置する一対の補強ブリッジ25は、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かって補強ブリッジ25間の間隔を広げるハの字状に配置されている。このため、磁石端面17cから、補強ブリッジ25の側面であるq軸側形成面21eまでの距離は、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かって徐々に長くなっている。よって、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かうに従い、第1空隙21による磁気抵抗を大きくして、第1空隙21を介した補強ブリッジ25への短絡磁束を低減させることができる。

10

【0059】

(5)第1空隙21は、第1永久磁石17の磁極面17aからロータコア16の外周面16bに向けて延びるように形成され、さらに、補強ブリッジ25が、磁石端面17cから所定距離だけ遠ざけられている。このため、磁極面17aからの磁束は、一旦、第1空隙21に沿ってロータコア16の外周面16b側に向けて流れた後に補強ブリッジ25を流れる。よって、最短距離Vを確保することに加え、補強ブリッジ25に至るまでの磁束経路での磁気抵抗を増加させることができ、補強ブリッジ25を経路とする短絡磁束をより一層低減させることができる。

【0060】

(6)第1空隙21は、基部211と、この基部211よりもロータコア16の径方向に沿った開口幅が狭い延長部212とから構成されている。このため、延長部212では基部211に比べると磁束が通過しやすく磁気抵抗が小さくなっている。よって、ロータコア16においては、基部211と延長部212により、q軸27からd軸26に向かって徐々に磁気抵抗が小さくなっていき、延長部212が形成されない場合と比べると、回転子15が回転したときのロータコア16での磁気抵抗の変化が緩やかになり、永久磁石埋込型回転電機Mのトルクリプルを抑えることができる。

20

【0061】

(7)第1永久磁石17は、ロータコア16の外周面16b側の磁極面17aが、第1空隙21における、ロータコア16の外周面16b側の外周側形成面21aよりもロータコア16の内周面側に位置し、かつ第1空隙21の内周側形成面21fよりロータコア16の外周面側に配置されている。このように、第1永久磁石17の位置を設定することにより、第1永久磁石17がロータコア16の外周面16b寄りに配置されていても、第1永久磁石17が外周面16bに近付き過ぎることが防止され、第1永久磁石17の表面に発生する渦電流損を抑えることができる。さらには、第1永久磁石17がロータコア16の内周面に近付き過ぎることが防止され、第1永久磁石17と第2永久磁石18との間での短絡磁束が低減される。

30

【0062】

したがって、渦電流損による第1永久磁石17の温度上昇を小さく抑えることができ、第1永久磁石17の減磁を防止することができるとともに、短絡磁束の増加を防止することができる結果、永久磁石埋込型回転電機Mのトルク低下を防止することができる。そして、第1永久磁石17の渦電流損を抑えることができるため、第1永久磁石17に高保磁力の磁石を採用したり、厚みを厚くしたり、複数に分割する必要がなくなり、トルク低下防止のための第1永久磁石17のコストアップを避けることができる。

40

【0063】

(8)第1永久磁石17の埋込深さの範囲を、ティース13間のピッチPを基準とした場合、 $1/10P < \text{埋込深さ} < 2/3P$ に設定したため、永久磁石埋込型回転電機Mのトルクを低下させることなく渦電流損を低減させることができるという効果を好適に発揮させることができる。

【0064】

(9)第1永久磁石17の長辺方向への長さNは、ティース13間のピッチPを基準と

50

した場合、ピッチPの1～3倍に設定されるのが好ましい。このように第1永久磁石17の長さNを設定することで、第1永久磁石17が短くなりすぎることによる磁束の減少を防止しつつ、磁極における空隙部23及び第2永久磁石18の配置を好適に設定することができる。

【0065】

(10) 第2空隙22と、隣り合う第2永久磁石18との間隔Hは、ピッチPを基準とした場合、ピッチPの0.3～2倍に設定されるのが好ましい。このように間隔Hを設定することで、永久磁石埋込型回転電機Mのトルクの低下を抑えつつ、トルクリプルの増加を抑えることができる。

【0066】

(11) 各磁極には、1つの第1永久磁石17を挟むように2つの第2永久磁石18が、ロータコア16の内周面側から外周面16b側に向かって拡がるV字状に配置されている。このため、各磁極では、q軸27を通る磁束を増加させることができ、リラクタンストルクを増加させることができる。

【0067】

なお、上記実施形態は以下のように変更してもよい。

図3に示すように、ロータコア16に形成する第2埋込孔20を、q軸27に沿って延び、ロータコア16の外周面側から内周面側に凹む円弧状に形成するとともに、第2埋込孔20に嵌入される第2永久磁石18を断面円弧状となる一枚の永久磁石によって形成してもよい。

【0068】

実施形態では、ロータコア16に2つの第2埋込孔20を形成し、各第2埋込孔20に第2永久磁石18を嵌入したが、ロータコア16に一繋ぎりのV字状をなす第2埋込孔20を形成し、その第2埋込孔20にV字状に一体成形された1枚の第2永久磁石18を嵌入してもよいし、複数に分割した第2永久磁石18を嵌入してもよい。

【0069】

実施形態では、第1永久磁石17の両磁石端面17c側に位置する一対の補強ブリッジ25は、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かって補強ブリッジ25間の間隔を拡げるハの字状をなすように配置されたが、以下のように変更してもよい。すなわち、一対の補強ブリッジ25は、ロータコア16の外周面16b側から内周面側に向かって補強ブリッジ25間の間隔を狭くする逆ハの字状をなすように配置されていてもよいし、補強ブリッジ25間の間隔が一定となるように配置されていてもよい。

【0070】

外周側ブリッジ24、及び補強ブリッジ25の幅は、コア板161の厚みの2倍以上でもよい。

第1空隙21において、延長部212は、基部211からd軸26に向かうに従い徐々に細くなるように形成されていてもよい。このように構成すると、ロータコア16の径方向に沿った延長部212の開口幅は、基部211からd軸26に向かうに従い徐々に狭くなっていく。このため、ロータコア16においては、基部211からd軸26に向かって徐々に磁気抵抗が小さくなっていき、ロータコア16での磁気抵抗の変化をより緩やかにして、トルクリプルを抑えることができる。

【0071】

実施形態では、永久磁石埋込型回転子15が正逆両方向へ回転するように、第1永久磁石17及び2つの第2永久磁石18をd軸26に対し線対称となるように配置したが、永久磁石埋込型回転子15が一方向にのみ回転される場合には、第1永久磁石17及び2つの第2永久磁石18をd軸26に対し非線対称となるように配置してもよい。

【0072】

実施形態では、磁極数を8極にしたが、変更してもよい。

次に、上記実施形態及び別例から把握できる技術的思想について以下に追記する。

(イ) 前記第1空隙は、前記第1永久磁石より前記q軸側の基部と、該基部から前記d

10

20

30

40

50

軸側へ延びる延長部とから構成され、前記ロータコアの径方向に沿った前記延長部の開口幅が、前記基部の開口幅より狭く形成されている請求項１～請求項９のうちいずれか一項に記載の永久磁石埋込型回転子。

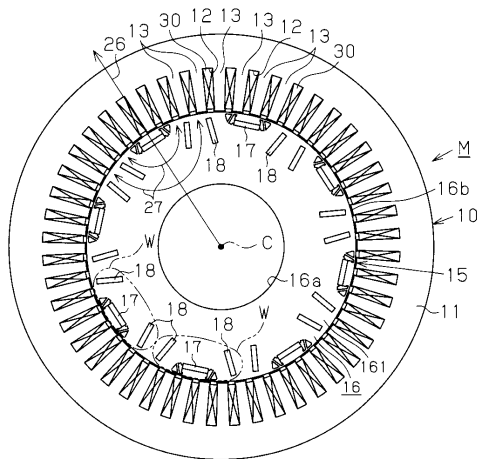
【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

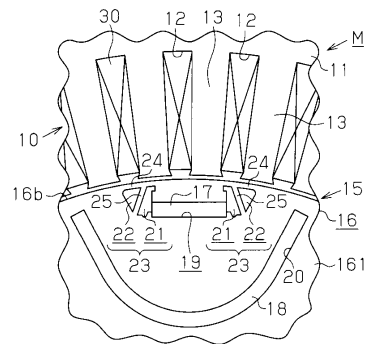
H ... 間隔、M ... 回転電機としての永久磁石埋込型回転電機、N ... 長さ、P ... ピッチ、T ... 厚み、V ... 最短距離、TL ... 中心軸、10 ... 固定子、11 ... ステータコア、13 ... ティース、15 ... 永久磁石埋込型回転子（回転子）、16 ... ロータコア、16b ... 外周面、17 ... 第１永久磁石、17a ... 磁極面、17c ... 磁石端面、18 ... 第２永久磁石、19 ... 第１埋込孔、20 ... 第２埋込孔、21 ... 第１空隙、21e ... 補強ブリッジの形成面としてのq軸側形成面、21a, 22a ... 外周側端部としての外周側形成面、21f ... 内周側端部としての内周側形成面、22 ... 第２空隙、22b ... 補強ブリッジの形成面としてのd軸側形成面、23 ... 空隙部、24 ... 外周側ブリッジ、25 ... 補強ブリッジ、26 ... d軸、27 ... q軸、161 ... コア板。

10

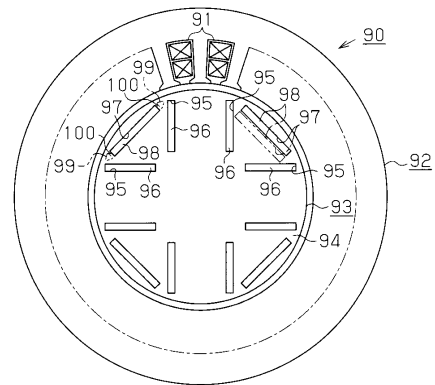
【図１】



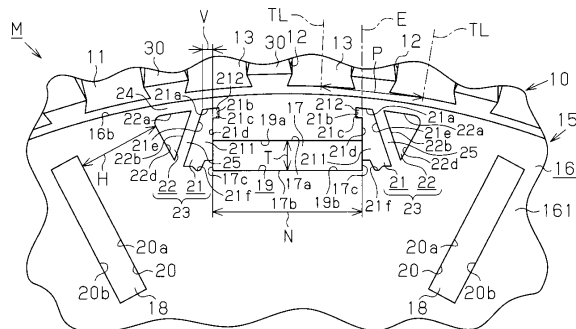
【図３】



【図４】



【図２】



---

フロントページの続き

(72)発明者 服部 達哉

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社 豊田自動織機 内

審査官 池田 貴俊

(56)参考文献 特開2010-130859(JP,A)

特開2008-283746(JP,A)

特開2009-112166(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1/27

H02K 1/22