

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-215442  
(P2004-215442A)

(43) 公開日 平成16年7月29日(2004.7.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H02K 1/18

H02K 1/14

H02K 21/16

F 1

H02K 1/18

H02K 1/14

H02K 21/16

テーマコード(参考)

5H002

5H621

Z

M

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願2003-1356 (P2003-1356)

(22) 出願日

平成15年1月7日 (2003.1.7)

(71) 出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(74) 代理人 100075513

弁理士 後藤 政喜

(74) 代理人 100084537

弁理士 松田 嘉夫

(72) 発明者 米倉 光一郎

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産

自動車株式会社内

Fターム(参考) 5H002 AA04 AA09 AB01 AE07

5H621 AA02 GA01 GA04 GA16

(54) 【発明の名称】永久磁石埋め込み同期モータ

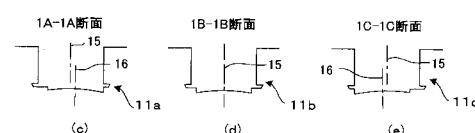
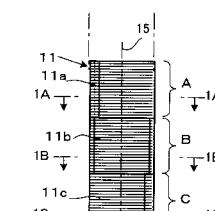
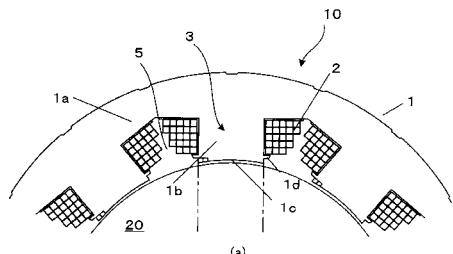
## (57) 【要約】

【課題】コイル長を大きくせずにトルク変動を低減できる永久磁石埋め込み同期モータを提供する。

【解決手段】永久磁石を用いて界磁を形成するロータ(20)と、該ロータと同軸的に設置される略円筒状のステータ(10)とを備え、該ステータはロータ側へ向けて突出するティース部(3)を有するモータであって、前記ティース部は、コイル(2)が巻回されるティース胴体部(1b)と、ロータに対面し且つ前記コイルが巻回されていないティース先端部(1c)を有し、前記ステータは、前記ティース先端部(1c)における円周方向の中心位置(16)が前記ティース胴体部の円周方向の中心(15)からずれている複数種類の鋼板(11a、11b、11c)を備え、該複数種類の鋼板が軸方向に積層されることを特徴とするモータを提供する。

【選択図】

図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

永久磁石を用いて界磁を形成するロータと、該ロータと同軸的に設置され且つコイルに電流を流すことによって回転磁界を発生する略円筒状のステータとを備え、該ステータはロータ側へ向けて突出するティース部を有するとともに隣接するティース部間のスロットに前記コイルが収容されるモータにおいて、

前記ティース部は、前記コイルが巻回されるティース胴体部と、ロータに対面し且つ前記コイルが巻回されていないティース先端部を有し、

前記ステータは、前記ティース先端部における円周方向の中心位置が前記ティース胴体部の円周方向の中心からずれるように配置されている複数種類の鋼板を備え、該複数種類の鋼板が軸方向に積層されていることを特徴とするモータ。10

## 【請求項 2】

前記複数種類の鋼板のティース先端部が、前記ティース胴体部の円周方向の中心に関して対称になるように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ。

## 【請求項 3】

前記複数種類の鋼板はそれぞれ略同枚数積層されており、さらに、ロータの磁極数を  $p$ 、ステータのティース数を  $t$  とし、 $1 \text{ cm} (p, t)$  を  $p$  と  $t$  の最小公倍数とした場合に、それぞれの種類の鋼板の前記ティース先端部における中心の位置が、ステータ中心軸に関して円周方向に互いに  $180 / 1 \text{ cm} (p, t)$  度だけ異なっていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のモータ。20

## 【請求項 4】

前記複数種類の鋼板は、前記ティース先端部が円周方向について前記ティース胴体部よりも一方のスロット側へ突出している形状の鋼板と、それとは逆方向スロット側に突出している鋼板からなることを特徴とする請求項 1 ~ 3 に記載のモータ。

## 【請求項 5】

前記ティース胴体部に前記コイルが集中巻きされていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 に記載のモータ。

## 【請求項 6】

前記ステータが、円筒状に結合された複数の分割コアから構成されることを特徴とする請求項 1 ~ 5 に記載のモータ。30

## 【請求項 7】

前記ティース胴体部は、前記ステータの中心軸方向に向かう中心平面に関して略面対称の形状を有しており、前記ステータは前記ティース胴体部の前記中心平面に関して対称になるように配置される 2 種類の鋼板を具備し、該 2 種類の鋼板が同一の鋼板の表裏を逆にした関係にあることを特徴とする請求項 2 に記載のモータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

この発明は、ロータに永久磁石を備える回転電機に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

一般に永久磁石を有するロータと、突極性のあるステータを組み合わせた電気モータでは、コギングトルクと呼ばれる無負荷回転時のトルク変動が生じることが知られている。このコギングトルクは、永久磁石磁束によるロータ磁極とステータ磁極間の吸引力を主因として生じる。また上記モータでは、駆動時にはトルクリップルも発生する。この傾向は、製造が容易であるなどの理由から近年開発が進んでいる集中巻 IPM モータ（永久磁石埋め込みモータ）では特に顕著である。これらは例えば、車両に搭載され車両を駆動するようなモータにおいては、不快な振動の発生源となる場合がある。40

## 【0003】

このトルク変動を抑制する手段としては、例えば特開 2001-69697 などが知られ50

ている。これはステータを積層鋼板で構成する際に、微小角度ずつ円周方向に意図的にずらして積層し斜めの突極（軸方向に対し平行でない）を構成するスキーと呼ばれる手法である。スキーは、トルク変動が主にステータとロータの相対位置に依存して発生することを利用し、位相の異なるトルク波形を重ね合わせて全体的なトルク変動を低減する。

#### 【0004】

##### 【特許文献1】

特開特開2001-69697号公報

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながらこののような従来の技術においては、ステータにスキーを施すとコイルをステータティース側面に沿って巻回することになる。このため、スキーを施さない場合に比較してコイルの銅線長が長くなり、電気抵抗が大きくなり銅損が増大し、モータの効率が悪化するという問題点があった。

#### 【0006】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、コイル長を大きくせずにトルク変動を低減できる永久磁石埋め込み同期モータを提供する。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明のモータ、永久磁石を用いて界磁を形成するロータと、該ロータと同軸的に設置され且つコイルに電流を流すことによって回転磁界を発生する略円筒状のステータとを備え、該ステータはロータ側へ向けて突出するティース部を有するとともに隣接するティース部間のスロットに前記コイルが収容される。前記ティース部は、前記コイルが巻回されるティース胴体部と、ロータに対面し且つ前記コイルが巻回されていないティース先端部を有する。さらに前記ステータは、前記ティース先端部における円周方向の中心位置が前記ティース胴体部の円周方向の中心からずれるように配置されている複数種類の鋼板を備え、該複数種類の鋼板が軸方向に積層されている。

#### 【0008】

##### 【作用・効果】

本発明によれば、コイルの巻かれないティースの先端部分のみについて、ステータの円周方向の角度位置が異なる鋼板を積層することによりコイル長を大きくせずにトルク変動を低減できる。

#### 【0009】

##### 【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

#### 【0010】

図1は本発明の第一実施形態を示す図である。略円筒状のステータ10は、主にステータコア1とステータコア1に巻かれるコイル2とで構成される。図1(a)はモータのステータコア1を示し、ステータコア1は磁性体からなる薄い鋼板11を複数枚、軸方向に積層して構成されている。鋼板11は、例えば、ケイ素鋼板であってよい。ステータコア1には、略円筒状のヨーク部1aと、ヨーク部1aからステータ内周側(ロータ20側)に突出したティース胴体部1bと、ロータ20に対面するティース先端部1cがある。このうちティース胴体部1bにはコイル2が例えば集中巻により巻回されており、ティース先端部1cにはコイル2は巻回されていない。集中巻では、コイルエンドの高さを低くでき銅損が低減できる。このように、突極つまりティース部3が、ティース胴体部1bとティース先端部1cとで構成されている。なお、各ティース胴体部は、ステータ10の中心軸方向に向かう中心平面15に関して略面対称の形状を有している。

#### 【0011】

ティース部3の間にスロット5が構成され、コイル2がスロット5に収容されている。コイル2が巻回される場合の作業性向上およびコイル2のズレ防止の目的でステータコア1

10

20

30

40

50

にはコイルストップ部 1 d が設けられることもある。

【 0 0 1 2 】

ステータ 1 0 の内部には、エアギャップとなる隙間を介してステータ 1 0 と同軸的にロータ 2 0 が配置されており、略円筒状のステータ 1 0 の中心軸は円筒状のロータ 2 0 の回転中心に一致している。ロータ 2 0 には、界磁を形成する永久磁石（図示せず）が設置されている。コイル 2 に交流電流を流すことにより、ステータ 1 0 は回転磁界を発生し、主に回転磁界と永久磁石との作用により、ロータ 2 0 は回転中心のまわりで回転する。

【 0 0 1 3 】

なお、ステータコア 1 の各ティース胴体部 1 b は、ステータ 1 0 の中心軸に向かう半径方向の平面 1 5 に関して対称になっており、この平面 1 5 が各ティース胴体部 1 b の幅方向（円周方向）の中心となる。

【 0 0 1 4 】

図 1 ( b ) は、ティース先端部 1 c をロータ側から見た側面図である。図 1 ( b ) を参照すると、ステータコア 1 において、ティース先端部 1 c の円周方向（つまりティース先端部 1 c の幅方向）における中心が互いに異なる 3 種類の鋼板が、それぞれほぼ同じ枚数だけ軸方向に積層されている。即ち、ティース先端部の中心 1 6 が、ティース胴体部 1 b の中心よりに対して一方にずれた位置にあるような鋼板 1 1 a を所定枚数だけ積層した A 部と、ティース先端部の中心 1 6 がティース胴体部 1 b の中心 1 5 と同じであるような鋼板 1 1 b を同じく積層した B 部と、さらにはティース先端部の中心 1 6 が A 部とは逆の方向にずれているような鋼板 1 1 c を積層した C 部とで、ステータコア 1 は構成されている。A 部、B 部、C 部の軸方向の厚みは、略同一である。このような構成は円周方向に設けられた全てのティースについて同じである。

【 0 0 1 5 】

図 1 ( c ) - ( e ) に、A 部、B 部、C 部の軸方向に垂直な断面図を示す。この断面は、同時に A 部を構成する鋼板 1 1 a 、B 部を構成する鋼板 1 1 b 、C 部を構成する鋼板 1 1 c の形状を示したものである。上記のように、軸方向の上側の A 部と下側の C 部では、ティース先端部 1 c の幅方向に関する鋼板の中心 1 6 が、ティース胴体部 1 b の中心 1 5 から円周方向において互いに逆向きにずらされている。

【 0 0 1 6 】

一般に永久磁石モータのトルク変動は、ステータとロータの相対角度位置に依存することが知られているから、ここでは A 部、B 部および C 部でそれぞれ発生するトルク波形は、僅かずつ位相がずれることになる。この様子を図 2 に示す。図はコイル 2 に所定の電流を流した時の、ロータ回転角度に対する発生トルクを表している。従来のスキューワーのないモータは、本実施形態における B 部の寄与によるトルクの 3 倍となるので、図では 1 で示される。これに対して本実施形態では A 部により発生するトルクは、B 部により発生するトルク 3 よりも位相が僅かに進んだ波形 2 となり、逆に C 部により発生するトルクは B 部よりも位相が遅れた 4 の波形となる。モータ全体としてのトルクはこれら 2 ~ 4 の和となるから、5 が本実施形態でのモータのトルク波形となる。

【 0 0 1 7 】

従って、本実施形態は以下の効果を奏する。ティース先端部分中心の円周方向についての位置が異なる複数種類の鋼板を軸方向に積層することで、トルク波形のピークを抑制し、トルク変動が低減できる。さらにはこの場合、コイルを巻回すティース胴体部 1 b に関しては、スキューワーのないモータと全く同一であるため、コイル長が長くなることもなく、従って銅損の増大は発生しない。

【 0 0 1 8 】

なお、本実施形態では 3 種類の鋼板を積層する例を示したが、これが 2 種類、あるいは 3 種類以上の鋼板であっても同様の効果が得られることは、その原理上明らかである。

【 0 0 1 9 】

図 3 は本発明の第二実施形態を示す図である。本実施形態では、見かけ上ティース先端部 1 c の位置が異なる 2 種類の鋼板 1 1 d 、1 1 e が積層され、それぞれ D 部と E 部を構成

10

20

30

40

50

している（図3（b）参照）。ただしこの場合、E部はD部の裏返しの形状であり、これらは同一形状の鋼板11を打ち抜き時の表裏を逆に積層することで実現される（図3（c）（d）参照）。なお、ティース胴体部は前記ステータの中心軸方向に向かう中心平面15に関して略面对称の形状を有しているが、本実施形態において、ティース先端部において、前記ステータは前記ティース胴体部の前記中心平面に関して対称になるように配置される2種類の鋼板を具備し、2種類の鋼板が同一の鋼板の表裏を逆にした関係にある。つまり、複数種類の鋼板11d、11eのティース先端部が、前記ティース胴体部のステータ円周方向についての中心に関して対称になるように配置される。

## 【0020】

複数種類の形状の鋼板を使用してステータを構成する場合、一般には形状の数だけ打ち抜き用の型を用意しなければならないのが通常である。しかしながら本実施形態では、打ち抜き用の型は一種類でよく、製造が容易かつ低コストに上述の効果を得ることが可能である。

## 【0021】

図4は本発明の第三実施形態を示す図である。図は2種類の鋼板を使用した例である。図3と同様に、軸方向の上側をD部、下側をE部とすると、D部のティース先端部1cの中心と、E部の先端部1cの中心との角度が、ステータ中心軸に関して円周方向に互いに $180/1\text{cm}(p, t)$ 度だけずれている。ただし、 $1\text{cm}(p, t)$ は、ロータの磁極数をp、ステータのティース数をtとしたときに、pとtの最小公倍数を表す。なお、図3（b）に示すように、D部とE部は、ほぼ同じ枚数だけ積層されている。

## 【0022】

例えば、3極対9スロットのモータの場合、ロータの磁極数pは6、ステータのティース数tは9であるからそれらの最小公倍数は18であり、本実施形態に従えば2種類の鋼板の先端部の中心は $10^\circ$ 円周方向に異なるようになっている。

## 【0023】

本実施形態の効果を図5により以下に詳述する。永久磁石モータのトルク変動が、ロータ1回転当たり、ロータ磁極数とステータティース数（又はステータスロット数）の最小公倍数で求まるサイクル数だけ生じることが知られている。このためティース先端部1cの中心を $180/1\text{cm}(p, t)$ 度ずらすことにより、2種類の鋼板を用いて位相が半周期異なるトルクを全トルクの $1/2$ ずつ発生させ、2種類の鋼板から生じるトルクのトルク変動を互いに打ち消しあうことができる。この様子を図5に示す。図のようにトルク波形の周期がD部（2）からの寄与により生じるトルクとE部（3）からの寄与により生じるトルクの間で $1/2$ だけずれることにより一方の山ともう一方の谷が合成されることになるため、全体（4）では、スキーのない場合（1）と比較して大幅にトルク変動を抑制することが可能になる。

## 【0024】

なお、本実施形態ではステータ1を構成する鋼板11が2種類の場合について説明したが、これは他の組み合わせでも成立する。例えば第1図に示すような3種類の鋼板を積層する場合、A部のティース先端部とB部の先端部が $180/1\text{cm}(p, t)$ 度だけずれており、同様にB部の先端とC部の先端も $180/1\text{cm}(p, t)$ 度ずれているようになる。なおかつ積層枚数はA部：B部：C部で1：2：1になるようにするのである。こうすることでそれぞれ位相が $1/2$ 周期だけ異なるトルクが同程度ずつ合成されることになり、トルク変動を効率的に抑制できる。

## 【0025】

図6は本発明の第四実施形態を示す図である。図はティース先端部の位置が異なる鋼板を2種類積層したステータコアを示す（図6（b）参照）。一方の鋼板11eはティース先端部1cがティース胴体部の側面よりもスロット5側へ突出しており、別の鋼板11dについては、ティース先端部1cが、鋼板11eの場合とは逆方向にもう一方のスロット5側へ突出している（図6（a）参照）。

## 【0026】

10

20

30

40

50

ティースの先端部の形状や幅はモータの特性、特にコイルに誘起される誘起電圧に非常に敏感に作用する。ティース先端部の形状を僅かに変えることで誘起電圧に含まれる高調波成分が増大したり、逆に減少したりする場合がある。誘起電圧に含まれる高調波成分はモータの制御性を悪化させ、最大発生出力を低下させる原因になる。そのため高調波を抑制する目的で、ティース先端部 1c の幅をティース胴体部 1b よりも細くする必要が生じることがある。

【0027】

ティース先端部 1c の幅がティース胴体部 1b よりも細い場合、従来のスキューワーのない構造では、コイルの巻回時の作業性や、モータ駆動時の振動等によるコイルのズレおよび脱落の防止のため、ティース胴体部にコイルストップ部 1d を設ける必要があった。しかし、このコイルストップ部 1d は隣接するティースとの間に漏れ磁束を発生させることがあり、モータの効率が低下することがある。

【0028】

本実施形態によれば、ティース胴体部 1b 側面の各方向に部分的に突出部が形成されるため、ティース先端部 1c の幅がティース胴体部 1b の幅よりも小さい場合であっても別途コイルストップ部を設ける必要がなくなり、モータの効率が悪化することを抑制できる。

【0029】

図 7 は本発明を分割コアステータに適用した第五実施形態を示す図である。ステータが分割コア構造である点以外は図 1 の実施形態と同じ構成となっている。

【0030】

本実施形態では、略 T 字形状を有する鋼板であって、ティース先端形状のみが異なる 3 種類の鋼板を所定枚数ずつ積層して分割コアとし、この分割コアのティース胴体部 1b にコイルを集中巻きした後、これを所定個数円周方向に並べて円筒状のステータを組み上げる。

【0031】

従来の方法（同一形状の鋼板を微小角度ずつずらしながら積層）でスキューワーを設けようすると、隣接するコアとの当接面がねじれた面となり、分割コアを良好に組み上げることが困難となるが、本発明の方法ではそのような問題が発生しない。

【0032】

本発明は上記の実施の形態に限定されず、その技術的な思想の範囲内において種々の変更がなしうることは明白である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第一実施形態に係るステータを示す図である。(a) はステータの端面図である。(b) はティース部をロータ側から見た側面図である。(c) ~ (e) はティース部の軸方向垂直な断面図であり、同時にステータを構成する鋼板のティース部における形状を示す。

【図 2】第一実施形態に係るモータのトルク波形を示す図である。

【図 3】第二実施形態に係るステータを示す図である。(a) はステータの端面図である。(b) はティース部をロータ側から見た側面図である。(c) 及び (d) はティース部の軸方向垂直な断面図であり、同時にステータを構成する鋼板のティース部における形状を示す。

【図 4】第三実施形態に係るステータの部分端面図であり、同時にステータを構成する鋼板のティース部における形状を示す。

【図 5】第三実施形態に係るモータのトルク波形を示す図である。

【図 6】第四実施形態に係るステータを示す図である。(a) ステータの端面図である。(b) ティース部をロータ側から見た側面図である。

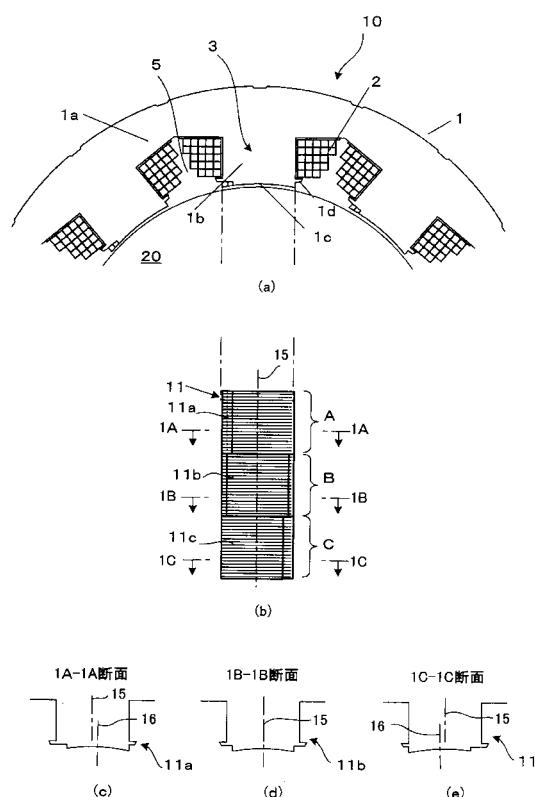
【図 7】第五実施形態に係るステータを示す図である。(a) ステータの端面図である。(b) ティース部をロータ側から見た側面図である。

【符号の説明】

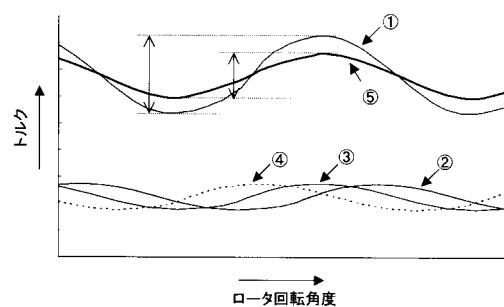
- 1 a ヨーク部  
 1 b ティース胴体部  
 1 c ティース先端部  
 1 d コイルストップ部  
 2 コイル  
 3 ティース部  
 5 スロット  
 10 ステータ  
 11 鋼板  
 15 ティース胴体部の中心  
 16 ティース先端部の中心  
 20 ロータ

10

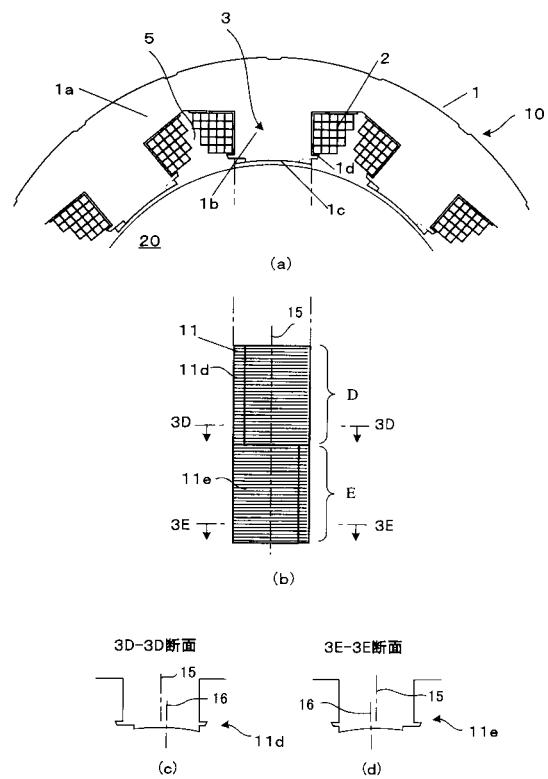
【図1】



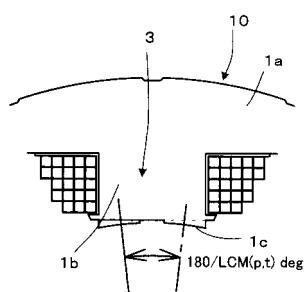
【図2】



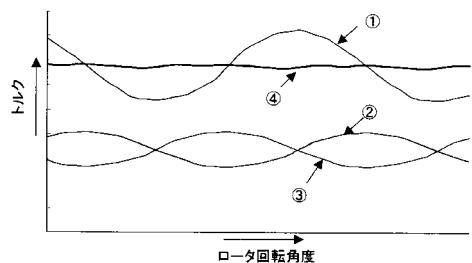
【図3】



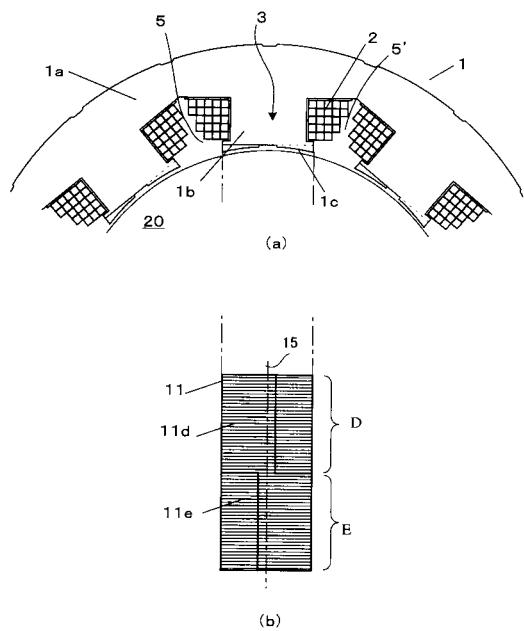
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

