

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4032325号  
(P4032325)

(45) 発行日 平成20年1月16日(2008.1.16)

(24) 登録日 平成19年11月2日(2007.11.2)

(51) Int. Cl.

H02K 21/14 (2006.01)

F I

H02K 21/14

M

請求項の数 1 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願平10-114923	(73) 特許権者	000005083
(22) 出願日	平成10年4月24日(1998.4.24)		日立金属株式会社
(65) 公開番号	特開平11-308831		東京都港区芝浦一丁目2番1号
(43) 公開日	平成11年11月5日(1999.11.5)	(72) 発明者	三田 正裕
審査請求日	平成17年4月21日(2005.4.21)		埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内
		(72) 発明者	増澤 正宏
			埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内
		(72) 発明者	高橋 俊子
			埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内
		審査官	大山 広人
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

界磁用の永久磁石を配した回転子の磁極数と1歯の周りを巻き回す集中巻きにより巻き回されてなる固定子巻線のスロット数との比率が2対3である120度通電方式の回転電機であって、強磁性体からなる回転子コアの内部に板状の界磁用永久磁石を配して外周面に対称4極の磁極を形成した内部磁石型回転子を具備し、前記内部磁石型回転子は磁路を構成する回転子コアに機械角で90度間隔で永久磁石からなる突部を設けた構造であり、前記界磁用永久磁石の断面積を前記突部を構成する永久磁石の断面積よりも大とし、前記界磁用永久磁石と前記突部を構成する永久磁石は異極同士が対向しており、前記回転子の1磁極の磁束を電角で40～100度に集中することを特徴とする回転電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、界磁用の永久磁石を配した回転子（以後、永久磁石式回転子という）を備えた120度通電方式の回転電機（モータ、発電機等）に関する。

【0002】

【従来の技術】

まず120度通電方式の永久磁石式回転子を有するモータのトルク発生原理から説明する。

内部抵抗  $r$  の電動機に電圧  $V_e$ (V) を印加し、電流  $I$  が流れ、電動機が回転数  $R$  (rad) で回転

しており、電動機内部で逆起電圧 $e(V)$ が発生している場合の電圧方程式は以下の通りである。

$$V = I r + e \quad (1)$$

ここで、電動機の機械的出力を $W_o$ とすると、次式が成り立つ。

$$W_o = e \cdot I \quad (2)$$

この数式は、多数の巻き線を有する電動機において、例えば1つの巻き線Aを取り出して考えた場合に機械的出力、逆起電圧、電流を巻き線A単体に当てはめて考えても同様に成立する。

一方、巻き線Aに鎖交する磁束を、巻き線Aに発生する逆起電圧を $e_A$ とすると、次式が成り立つ。

$$e_A = - (d \Phi / d t) \quad (3)$$

また、出力 $W_o$ は出力トルクと角速度で表され、その関係式は次式である。

$$W_o = \text{トルク (Nm)} \times \text{角速度 (rad/s)}$$

よって、巻き線Aによって発生するトルクを $T$  (Nm)、角速度を $R$  (rad/s)とした場合に瞬間的に発生するトルク、回転数は鎖交磁束量および電流で次式のように表される。

$$T \cdot R = e \cdot I = - (d \Phi / d t) \cdot I \quad (4)$$

また、時間を回転角radに変換して考えるとき、角速度は角度の時間微分であるため、次式が成り立つ。

$$(d \Phi / d t) = (d \Phi / d \text{rad}) \cdot (d \text{rad} / d t) = (d \Phi / d \text{rad}) \cdot R \quad (5)$$

この式(4)を式(5)に代入することにより、巻き線Aが発生するトルクは次式で表せる。

$$T = - (d \Phi / d \text{rad}) \cdot I \quad (6)$$

今、三相スター結線を有する、いわゆる120度通電方式を採用した電動機を考えると、巻き線Aの通電期間、電気角で表すと $1/6$  から $5/6$ の間ではほぼ電流は一定であると考えて良い。この一定の電流を $I_c$ とする。

このため、巻き線Aの通電期間で発生トルク $T$ を積分すると、次の関係式が導かれる。

【0003】

【数1】

$$\int_{\pi/6}^{5\pi/6} T d\text{rad} = \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (- (d \Phi / d \text{rad}) \cdot I_c) d\text{rad} = (\Phi(\pi/6) - \Phi(5\pi/6)) \cdot I_c \quad (7)$$

【0004】

すなわち、1つの巻き線が1通電期間に出すトルクの積分値は通電開始時点の鎖交磁束量と通電終了時点の鎖交磁束量との差に比例することが明らかになった。

【0005】

この概念を、固定子スロット数と回転子磁極数との比率が3:2であり、かつ巻き線が固定子歯に集中巻きされた120度通電方式の電動機に当てはめてみる。

図6に回転子50の磁極数が4極、固定子95が6スロットの従来の回転電機の要部断面図を示す。図7は図6の電動機における120度通電方法を説明する図である。回転子50は、永久磁石100が外周面に配置された表面磁石型の回転子である。120度通電方式を採用しているため、固定子歯のある1つ(図7のA)に注目すると、固定子歯Aの中心と回転子50の永久磁石100の磁極中心とが電気角で30度(機械角で15度)の角度をなした時点で通電が開始される。

通電後、回転子50が回転して図7の固定子歯Bの中心と前記永久磁石100の磁極に隣り合う永久磁石の磁極の中心とが電気角で-30度(機械角で-15度)の角度をなした時点で通電が停止される。なお、実際には回転子50が回転しているが、説明のために図7では便宜的に固定子95の歯が回転子50に対して相対回転した状態で示した。

10

20

30

40

50

前記の固定子歯 A の位置にある場合には、永久磁石 100 の 1 磁極の範囲内に固定子歯 A のギャップ対向面 A1 がすべて入っており、固定子歯 A の中心がこの位置よりも前記回転子 50 の磁極の中心側に移動したとしても、この固定子歯 A 内部の磁束量増加はあまり望めない。前記固定子歯 B の位置にある場合でも、このことは同様である。

なお、120 度通電方式は、限られた通電期間で有効に出力トルクを発生することができる合理的かつ有効な通電方法であるといえる。

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、図 7 からわかるように、固定子歯 A の通電開始位置から離れた位置の、図 7 において C で表した電気角で 60 度分の永久磁石 100 の磁極から発生する磁束は有効に利用  
10  
されていない。すなわち、固定子 95 の歯に巻かれた巻き線に回転子 50 の磁極と反発する電流が流れた場合には前記巻き線と前記磁極の C 部分から発生する磁束とは鎖交しない。よって、前記 C で表わした電気角の磁極部分からの磁束はトルク発生には寄与しない。このように回転子の全角度にわたって永久磁石を配置する回転子構造は永久磁石からの発生磁束を十分に活用しているとはいえず、高価な永久磁石の使用量増加により回転電機のコストを増大させる問題がある。

なお、前記図 6、図 7 の従来の回転電機において回転子の永久磁石 100 の 1 磁極（極弧率）が 180 度の場合には、固定子 95 の歯と回転子 50 の磁極との間のギャップ 98 における磁束密度を  $b_2$  とすると、固定子 95 の歯に集中巻きされている  $n$  ターンの巻き線  
20  
を鎖交する磁束量の角度当たりの変化量は、前記巻き線が巻かれている歯が前記巻き線通電開始時点において前記回転子 50 の磁極に対する対向面積が減少すること、および前記巻き線通電開始時点において対向していない回転子 50 の磁極に対する対向面積が増加することが加わり、

$(\text{磁束密度 } b_2) \times (\text{軸方向長さ}) \times (\text{ギャップ直径}) \times \frac{\pi}{2} \times 2 \times n$ （単位は Wb/rad）（8）で表される。

#### 【0007】

いわゆる分布巻線を採用しているモータにおいては、例えば特開平 9 - 9537 のように、永久磁石式回転子の磁束を電気角で 120 度に集中することが提案されている。しかし、従来の表面磁石型磁石回転子においては図 8 に示すように両端が平行であるアーク状の永久磁石 200 を表面に配する場合が多く、実質的に永久磁石 200 の磁極幅は電気角で  
30  
140 度近くまで下がっている場合が多かった。すなわち電気角で 120 度に磁極を制限しても回転子 150 の永久磁石 200 の有効利用が十分ではなく、回転電機の構成部品として高価な永久磁石の発する磁束が十分に活用されていなかった。

#### 【0008】

したがって、本発明の課題は、永久磁石式回転子を備えた回転電機において、回転子の永久磁石の使用量を節約した場合でも従来と略同様の磁束量（トルク）が得られ、回転電機  
の高性能化を図ることである。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決した本発明は、界磁用の永久磁石を配した回転子の磁極数と 1 歯の周りを  
40  
巻き回す集中巻きにより巻き回されてなる固定子巻線のスロット数との比率が 2 対 3 である 120 度通電方式の回転電機であって、強磁性体からなる回転子コアの内部に板状の永久磁石を配して外周面に対称 4 極の磁極を形成した内部磁石型回転子を具備し、前記内部磁石型回転子は磁路を構成する回転子コアに機械角で 90 度間隔で永久磁石からなる突部を設けた構造であり、前記界磁用永久磁石の断面積を前記突部を構成する永久磁石の断面積よりも大とし、前記界磁用永久磁石と前記突部を構成する永久磁石は異極同士が対向しており、前記回転子の 1 磁極の磁束を電気角で 40 ~ 100 度に集中することを特徴とする回転電機である。

#### 【0010】

本発明及び参考例の回転電機に備えられる永久磁石式回転子としては、例えば回転子表面  
50

に界磁用永久磁石を配置する表面磁石型、回転子の高速回転時の遠心力により表面磁石型回転子の界磁用永久磁石が表面から剥離すること等を防止するために前記界磁用永久磁石のギャップ側に金属（合金）あるいはプラスチックやゴムで形成した円筒状のカバー（キャン）を設けたカバー付きの表面磁石型回転子、強磁性体を主とした回転子コアの内部に界磁用永久磁石を配設する内部磁石型回転子の構成等を採用できる。

このうち、本発明の回転電機に備えられる永久磁石式回転子としては内部磁石型回転子の構造であって、界磁用永久磁石の1磁極の断面積を前記内部磁石型回転子の1磁極（1突極）の角度（電気角で40～100度）に相当する断面積よりも大とした場合である。

#### 【0011】

本発明には公知の永久磁石を用いることができる。例えば、 $R_2T_{14}B$ 金属間化合物（ $R$ はNdおよび/またはDyを主体とし、かつYを含む希土類元素の1種または2種以上、 $T$ はFeまたはFeとCo）を主相としたR-T-B系希土類磁石、 $R'Co_5$ 、 $R'T_7$ 、また（ $R'$ はSmを主体とし、かつYを含む希土類元素の1種または2種以上、 $T$ はCo、Fe、Cuを必ず含みさらにZr、Hf、Tiの1種または2種以上を含む）を主相とする $R'-Co$ 系希土類磁石、フェライト磁石およびこれらの磁石粉末をバインダーで結着したボンド磁石等を用いることができる。

#### 【0012】

##### 【発明の実施の形態】

以下、参考例の態様を説明する。図1（a）に参考例の回転電機の1様態を示す要部断面図を、図1（b）に120度通電を説明する図を示す、以下、角度は特に説明を加えない場合には電気角を意味する。図1において、永久磁石の極弧率、すなわち永久磁石1の回転方向の1磁極角度を電気角で60度としている。よって、通電開始時点の固定子歯10は回転子5の永久磁石の磁極全面に対向しており、反時計方向に回転するに従い両者の対向面積が減少する。図1（b）の位置から回転子が60度反時計方向に回転した時点で、固定子歯10の中心は隣り合う永久磁石1、2の磁極間の中心に位置し、固定子歯10の対向先端10aは回転子5のいずれの磁極とも対向しない位置にある。さらに回転子5が回転するに従い、固定子歯10は回転子5の永久磁石2の磁極に対向し始める。

図1の参考例の回転電機においては、固定子歯集中巻きされているnターンの巻き線を鎖交する磁束量の角度当たりの変化量は、b1をギャップ7における磁束密度とすると、式（8）と同様にして、

（磁束密度b1）×（軸方向長さ）×（ギャップ直径）× / 2 × n（単位はWb/rad）（9）で表される。

次に、上記従来の式（8）と参考例の図1の場合の式（9）との比較から、巻き線を鎖交する磁束量の角度当たりの変化量、すなわちそれと比例関係にあるトルクの大きさは、式（9）（図1）は式（8）（図6、図7）の略半分となる。次に、図1の回転電機の永久磁石の総使用量は、従来の図6、図7の回転電機の総使用量に対し、3分の1に抑えることができる。よって、図1と図6、図7の回転電機において、前記巻き線を鎖交する磁束量の角度当たりの変化量（トルク）の値および永久磁石の総使用量の比較から、図1の構成によれば、図6、図7の構成に比較して、永久磁石重量当たりの発生トルクを1.5倍に増加することができる。

#### 【0013】

なお、図1の回転電機の場合、瞬間的ではあるが固定子歯が隣り合う回転子の磁極のいずれとも対向しない状態の回転角度があるため、回転トルク発生に脈動を生ずることが考えられる。特に、固定子の歯同士で巻き線が発生する磁界が回り込むことを防ぎ、かつ巻き線のスロットへの挿入を容易にするために、固定子歯の先端同士はある程度の間隔を置いて形成されるのが一般的である。この場合は回転トルクの脈動がさらに顕著になる。

回転トルクの脈動を抑え、回転電機の回転を滑らかにするために、回転子の永久磁石の1磁極の角度（極弧率）を大きくすることが有効である。回転子と対向する固定子歯の先端の幅寸法に対し、その幅寸法の約半分の開口部を設けることが広く行われており、その場合に固定子歯の先端は角度で表すと80度となる。また、その場合のスロットの開口角

10

20

30

40

50

度は約40度となることから、回転子の1磁極の角度(極弧率)は最大で100度を確保することがよい。

近年、巻き線技術の向上によって、前記開口の形成比率を低くすることが可能となり、スロットの開口角度が約10度の固定子も広く採用されてきている。よって、回転子の1磁極の角度(極弧率)を最大で80度に抑えればトルク変動をより小さく抑えることが可能であり、さらに望ましい。

なお、参考例の回転電機には、例えば図2に示すように回転子20に磁化容易軸方向が揃った永久磁石21を配置したもの、図3(a)に示すように回転子25に磁化容易軸方向が広がった永久磁石26を配置したものを配置することができる。特に、図3(a)の場合には、永久磁石26の1磁極幅を60度よりも小さく絞り、永久磁石26の磁化容易軸方向を回転子25の半径が大きくなるに従い、図3(b)に示すように外側に広がるような角度(永久磁石26の中心からその外周面26aと端面26bとが交差する位置Pまでの領域において広がり角度が機械角で45度以下)にすることにより、永久磁石26の1磁極を60度未満(例えば、40度以上、あるいは50度以上)にすることができる。また、図示のように、固定子歯28の先端の両端28aに磁束が集中する傾向にあることも回転子25の1磁極を40度以上に設定できる理由の1つである。

【0014】

図4に参考例の回転電機の他の様態を示す。

図4の回転電機では、強磁性体からなる回転子コア42の内部に板状の永久磁石41を配して外周面に対称4極の磁極を形成した内部磁石型回転子40を備えている。この回転子40は磁路を構成する回転子コア42に機械角で90度間隔で突部(突極)43を設けた構造である。固定子の歯48と回転子40の前記突部(突極)43と間のエアギャップ46の厚みを調整して、電気角で60度の範囲で前記突部(突極)43に永久磁石41からの磁束を集中させる構成とした。図4の構成によれば、各永久磁石41の断面積(ハッチした部分)を各突極43の断面積(ダブルハッチした部分)よりも大きくすることにより、回転子40の1磁極(突極43)の角度を電気角で40~100度にして界磁用永久磁石の使用量を減らした場合、1磁極角度(極弧率)180度の従来の回転電機と略同等のトルクを発生できる実用性に富むものである。

【0015】

(従来例、参考例)

図8の従来例の回転電機および図1、図4の参考例の回転電機において、各々について任意の固定子歯に鎖交する磁束量と回転子の回転角度(機械角)との相関データを測定し正規化した結果を図5に示す。なお、図8の従来例の回転電機では1磁極の極弧幅を機械角で72度、電気角で144度とした。この理由は、図8に示された両端面が平行な扇形の永久磁石200を配して対称4極の回転子150を構成した場合、その実質的な磁極幅が機械角で90度ということはある得ず、機械角で正味70度前後のものが多用されていることを考慮したためである。

図5は、前記参考例および従来例の回転電機における1固定子歯を通る磁束量を、前記従来例の回転電機の通電開始角における磁束量対比で正規化している。内部磁石型回転子でかつ電気角60度に回転子の1磁極内の磁束を集中させた図4の参考例の回転電機( )では、固定子歯の通電開始角度および終了角度において、図8の従来例の回転電機( )とほぼ同等な磁束量を示した。かつ、通電部分での磁束量変化のカーブも従来例( )に比べて直線的であるので、トルクリップルの小さい回転電機(モータ、発電機)を実現できるという利点がある。

表面磁石型回転子の構成でかつ1磁極幅を60度とした図1の参考例の回転電機の場合( )、従来例( )に比べて通電開始角度および終了角度において従来例( )に対して約66%と2/3の磁束量を得ることができた。式(8)と式(9)との比較によれば、磁束量が略半分に低下するはずであったが、この相違は1磁極幅が機械角で90度とされていたためと判断される。

【0016】

10

20

30

40

50

図 9 に本発明の回転電機の態様を示す。

図 9 の回転電機では、強磁性体からなる回転子コア 2 4 2 の内部に板状の永久磁石 2 4 1 を配置し、かつ回転子コア 2 4 2 の外周面に等間隔で永久磁石 2 4 3 を配置することで、対称 4 極の磁極を形成した内部磁石型回転子 2 4 0 を備えている。この回転子 2 4 0 は磁路を構成する回転子コア 2 4 2 の外周面に機械角で 9 0 度間隔で永久磁石からなる突部（突極）2 4 3 を設けた構造である。永久磁石 2 4 1 と突部を構成する永久磁石 2 4 3 は異極同士が対向している。固定子の歯 2 4 8 と回転子 2 4 0 の前記突部（突極）2 4 3 との間のエアギャップ 2 4 6 の厚みを調整して、電気角で 6 0 度の範囲で前記突部（突極）2 4 3 に永久磁石 2 4 1 からの磁束を集中させる構成とした。図 9 の構成によれば、各板状永久磁石 2 4 1 の断面積を各突極を構成する略かまぼこ形の永久磁石 2 4 3 の断面積より大きくし、かつ各突極 2 4 3 が永久磁石からなるので、図 4 の回転電機に比べてエアギャップ 2 4 6 における磁束密度分布を大にすることができ、回転電機の高性能化に好適である。

10

【0017】

【発明の効果】

界磁用の永久磁石を配した回転子の磁極数と 1 歯の周りを巻き回す集中巻きにより巻き回されてなる固定子巻線のスロット数との比率が 2 対 3 である 1 2 0 度通電方式の回転電機であって、強磁性体からなる回転子コアの内部に板状の界磁用永久磁石を配して外周面に対称 4 極の磁極を形成した内部磁石型回転子を具備し、前記内部磁石型回転子は磁路を構成する回転子コアに機械角で 9 0 度間隔で永久磁石からなる突部を設けた構造であり、前記界磁用永久磁石の断面積を前記突部を構成する永久磁石の断面積よりも大とし、前記界磁用永久磁石と前記突部を構成する永久磁石は異極同士が対向しており、前記回転子の 1 磁極の磁束を電気角で 4 0 ~ 1 0 0 度に集中することを特徴とする回転電機は、少ない界磁用永久磁石の使用量でかつ略同様の磁束量（トルク）を確保でき、更に回転電機の高性能化が可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】参考例の回転電機の一態様を示す要部断面図

（a）、1 2 0 度通電方法を説明する図（b）である。

【図 2】参考例に用いる永久磁石の磁化容易軸の配向の一例を示す図である。

【図 3】参考例に用いる永久磁石の磁化容易軸の配向の他の例を示す図（a）、図（a）の永久磁石を配した回転電機の一例を示す要部断面図（b）である。

30

【図 4】参考例の回転電機の態様を示す要部断面図である。

【図 5】固定子の歯部を通過する磁束量と回転子の回転角度の相関の一例を示す図である。

【図 6】従来の回転電機を示す要部断面図である。

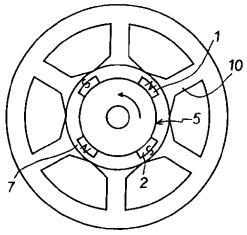
【図 7】図 6 の 1 2 0 度通電方法を説明する図である。

【図 8】従来の回転電機を示す要部断面図である。

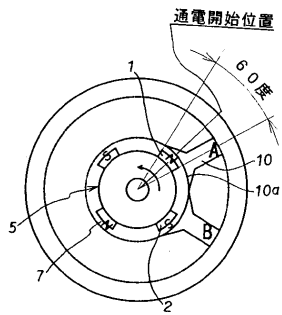
【図 9】本発明の態様を示す要部断面図である。

【図 1】

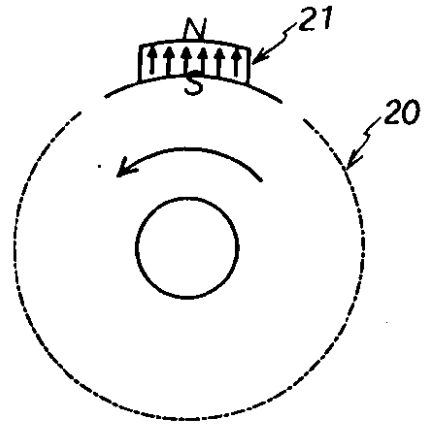
(a)



(b)

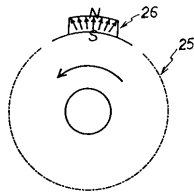


【図 2】

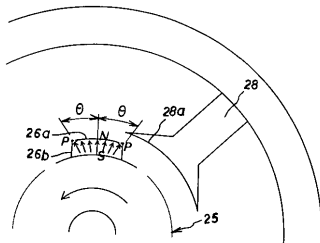


【図 3】

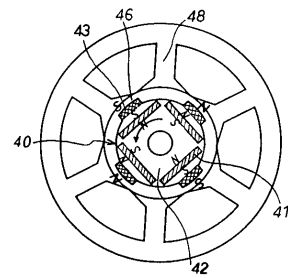
(a)



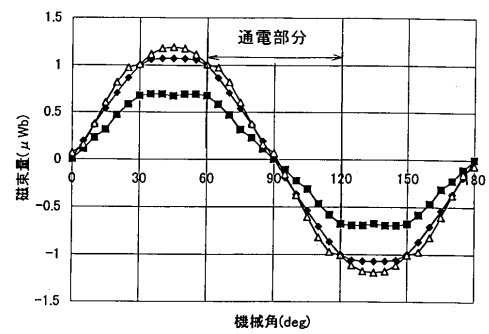
(b)



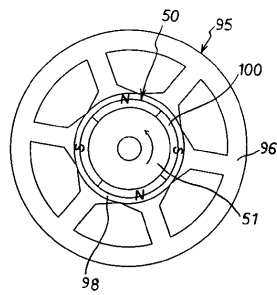
【図 4】



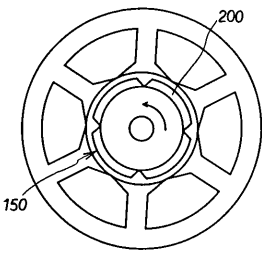
【図 5】



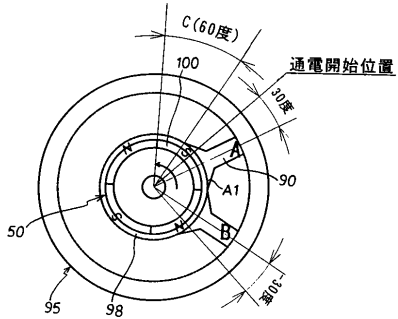
【 図 6 】



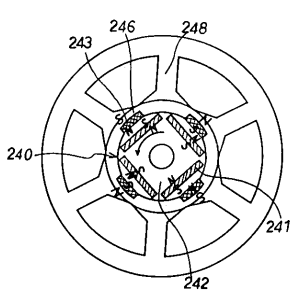
【 図 8 】



【 図 7 】



【 図 9 】





---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平09 - 285088 (JP, A)  
特開平02 - 007842 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 21/14

H02K 1/27