

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第3746372号
(P3746372)

(45) 発行日 平成18年2月15日(2006. 2. 15)

(24) 登録日 平成17年12月2日(2005. 12. 2)

(51) Int. Cl.	F I
HO2K 21/14 (2006.01)	HO2K 21/14 M
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K 1/27 5O1A
HO2K 29/00 (2006.01)	HO2K 1/27 5O1K
	HO2K 29/00 Z

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-106448	(73) 特許権者 000005108
(22) 出願日 平成10年4月16日(1998. 4. 16)	株式会社日立製作所
(65) 公開番号 特開平11-299199	東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日 平成11年10月29日(1999. 10. 29)	(74) 代理人 100077816
審査請求日 平成13年10月22日(2001. 10. 22)	弁理士 春日 譲
審査番号 不服2004-3316(P2004-3316/J1)	(72) 発明者 松延 豊
審査請求日 平成16年2月19日(2004. 2. 19)	茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
	株式会社 日立製作所 日立
	研究所内
	(72) 発明者 田島 文男
	茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
	株式会社 日立製作所 日立
	研究所内
	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石式回転電機及びそれを用いた電動車両

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、

前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に極性が変わるように構成されており、

前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、

前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、

前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、

前記固定子のスロットピッチを τ_s （機械角度）、極数をPとしたとき、

前記極数Pは、8極若しくは16極であり、

前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）が、

$\theta = n \times \tau_s + 16 / P$ （nは自然数）の式の関係であって、

θ が前記式に基づく計算値のプラス、マイナス1度の範囲内になるように前記永久磁石

10

20

を構成することを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項 2】

固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、

前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に極性が変わるように構成されており、

前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、

前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、

10

前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、

前記固定子のスロット数を 48、前記固定子のスロットピッチを 7.5 度（機械角度）、前記永久磁石の極数を 8 としたとき、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）が 32 度であることを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項 3】

直流電圧を供給するバッテリーと、前記供給された直流電圧を交流電圧に変換するインバータと、前記変換された交流電圧により車両を駆動する駆動トルクを出力する永久磁石式回転電機とを有する電動車両において、

20

前記永久磁石式回転電機は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、

前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に極性が変わるように構成されており、

前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、

前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、

30

前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、

前記固定子のスロットピッチを τ_s （機械角度）、極数を P としたとき、前記極数 P は、8 極若しくは 16 極であり、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）を、

$\theta = n \times \tau_s + 16 / P$ （ n は自然数）の関係であって、

θ が前記式に基づく計算値のプラス、マイナス 1 度の範囲内になるように前記永久磁石を構成し、

40

前記永久磁石式回転電機は所定の駆動トルクを出力し、前記駆動トルクで前記車両の車輪または車輪駆動軸を直接的に駆動することを特徴とする電動車両。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数の永久磁石を回転子の周方向に埋め込んで構成される永久磁石式回転電機及びそれを用いた電動車両に関するものである

【0002】

【従来の技術】

永久磁石式回転電機において、コギングトルクの低減を図るものとして、特開平 7-336808

50

号公報に記載のように、コギングトルクを打ち消すトルクを出力して制御するものが開示されている。また、特開平8-223832号公報に記載のように、回転電機の積層回転子鉄心内の永久磁石を軸方向にスキューすることにより、コギングトルクを低減する方法も開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

特開平8-223832号公報に記載の技術は、積層回転子鉄心内の永久磁石を軸方向にスキューすることにより成り立っているが、成形した磁石をスキューするのは困難なため、永久磁石として磁性材料粉末を含む樹脂を射出成形して作られる樹脂磁石を使用し、スキューを行って、コギングトルクを低減している。

10

【0004】

しかし、樹脂磁石は、性能が均一になりにくく、またコストも高いため、できれば、樹脂磁石ではなく、成形磁石を用いたい。しかし、成形磁石はスキューするのが困難なため、成形磁石は用いるが、成形磁石をスキューしないでコギングトルクを低減する手法が望まれている。

【0005】

本発明の目的は、以上の点に鑑みなされたものであり、成形磁石をスキューすることなくコギングトルクが低減できる永久磁石式回転電機及びそれを用いた電動車両を提供することにある。

【0006】

20

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明における永久磁石式回転電機の特徴とするところは、前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、前記固定子のスロットピッチを τ_s （機械角度）、極数を P としたとき、前記極数 P は、8極若しくは16極であり、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）が、 $\theta = n \times \tau_s + 16 / P$ （ n は自然数）の式の関係であって、 θ が前記式に基づく計算値のプラス、マイナス1度の範囲内になるように前記永久磁石を構成することにある。

30

【0007】

具体的には本発明は次に掲げる永久磁石式回転電機を提供する。

【0008】

本発明は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に極性が変わるように構成されており、前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、前記固定子のスロットピッチを τ_s （機械角度）、極数を P としたとき、前記極数 P は、8極若しくは16極であり、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）が、 $\theta = n \times \tau_s + 16 / P$ （ n は自然数）の式の関係であって、 θ が前記式に基づく計算値のプラス、マイナス1度の範囲内になるように前記永久磁石を構成することを特徴とする永久磁石式回転電機を提供する。

40

【0009】

また、本発明は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に

50

極性が変わるように構成されており、前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、前記固定子のスロット数を48、前記固定子のスロットピッチを7.5度（機械角度）、前記永久磁石の極数を8としたとき、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）が32度であることを特徴とする永久磁石式回転電機を提供する。

【0010】

また、本発明は、直流電圧を供給するバッテリーと、前記供給された直流電圧を交流電圧に変換するインバータと、前記変換された交流電圧により車両を駆動する駆動トルクを出力する永久磁石式回転電機とを有する電動車両において、前記永久磁石式回転電機は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、該固定子鉄心に回転ギャップを有して対向し、複数の永久磁石が周方向に配置内蔵された回転子鉄心を有する回転子とを有し、前記回転子鉄心の周方向に配置された前記複数の永久磁石は交互に極性が変わるように構成されており、前記永久磁石を軸方向にスキューしてない構造の自動車用の永久磁石式回転電機であって、前記複数の永久磁石は、それぞれ、その外周側（前記固定子側）に回転子鉄心が存在して前記回転子鉄心の内部に配置されるように、前記回転子鉄心に形成された収納部の孔に挿入され、前記永久磁石の間の回転子鉄心部分には、リラクタンストルクを発生させるための補助突極が形成されているとともに、前記固定子のスロットピッチを τ_s （機械角度）、極数を P としたとき、前記極数 P は、8極若しくは16極であり、前記各永久磁石の固定子側の外周面の周方向幅と前記回転子の軸芯とのなす角度 θ （機械角度）を、 $\theta = n \times \tau_s + 16 / P$ （ n は自然数）の関係であって、 θ が前記式に基づく計算値のプラス、マイナス1度の範囲内になるように前記永久磁石を構成し、前記永久磁石式回転電機は所定の駆動トルクを出力し、前記駆動トルクで前記車両の車輪または車輪駆動軸を直接的に駆動することを特徴とする電動車両を提供する。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機及びそれを用いた電動車両を、図を用いて説明する。

【0012】

図1は、本発明の第1の実施の形態例に係る三相8極/48スロットの永久磁石式回転電機の1ポールペアを示す。図1において固定子1は従来構成と同一であり、ほぼ環状をなす固定子鉄心2に形成された48個のスロット3にU相の固定子巻線U1、及びV相の固定子巻線V1、並びにW相の固定子巻線W1を挿入配置して構成されている。固定子鉄心2の内周部には、各スロットに対応して開口部4が形成されている。

【0013】

これに対して、回転子6は、回転軸9に回転子鉄心7を嵌合固着し、この回転子鉄心7の外周部周方向に形成された打抜の収納部に、N極とS極とが交互になるように着磁されるネオジウム製の永久磁石8を各収納部に軸方向から挿入して組込むことによって構成されている。

【0014】

また、回転子6は、回転子鉄心7の外周部と固定子鉄心2の内周部との間に所定のギャップ5を有する状態で回転可能に配置されている。なお、回転子鉄心7は、収納部形成用の孔が形成された硅素鋼板を多数枚積層して構成されている。

【0015】

永久磁石8として、その周方向の断面において、固定子1側の辺、すなわち外周面幅が軸に対してなす角度を θ としたとき、 θ を変化させるとコギングトルクが変化する。

【0016】

図2は、出力50kWの回転電機において、角度 θ を32度とした場合の磁場解析結果を示し、図3～図5に、角度 θ を30、32、34度にした場合のコギングトルクを示す。

【0017】

図3～5を比較すると、 $\theta = 32$ 度の場合がコギングトルクが小さくなることがわかる。図を詳細に見ると、図3の $\theta = 30$ 度の場合は高調波成分が大きく、図5の $\theta = 34$ 度の場合も波形が歪んでいるため、高調波成分が支配的である。

【0018】

よって、電気角30度周期の基本成分のみの波形である $\theta = 32$ 度の場合が最もコギングトルクを低減できる。これは、本発明対象の埋込永久磁石式回転電機の場合、回転ギャップとして0.3～0.5mm、磁石を埋め込むための鉄部の厚さが1～2mm存在するため、本来コギングトルクが最小となる角度 $\theta = n \times \tau_s$ にずれが生じるからである。

10

【0019】

図6に、角度 θ を変化させた場合のコギングトルクのピークからピークまでの解析値と $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す。 $\theta = 32$ 度の場合のコギングトルクの実測値と解析値が良く一致していることから、本解析の妥当性が検証できている。図6に示すように $\theta = 24$ 、32、39度の場合がコギングトルクが小さく、これはスロットピッチ $\tau_s = 7.5$ 度の n 倍に $16/P$ （ P は極数で本例の場合8）を加えた数値である24.5、32、39.5度と少なくとも誤差 ± 1 度の範囲内で一致している。

【0020】

即ち、 θ （度）が、

20

$\theta = n \times \tau_s + 16/P$ （ n は自然数）

で表される値のとき、コギングトルクを低減できる。

【0021】

さらに、上記の θ の角度によるコギングトルク低減手法の汎用性を確認するため、出力62kWで、半径や積厚が異なる回転電機について検討した磁場解析結果を図7に、図8に角度 θ を変化させた場合のコギングトルクのピークからピークまでの解析値と $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す。図8においても $\theta = 32$ 度の場合のコギングトルクの実測値と解析値は良く一致している。

【0022】

図8に示すように、 $\theta = 25$ 、32度の場合がコギングトルクが小さく、この回転電機においても、スロットピッチ $\tau_s = 7.5$ 度の n 倍に $16/P$ （ P は極数で本例の場合8）を加えた数値である24.5、32度と少なくとも誤差 ± 1 度の範囲内で一致している。

30

【0023】

また、極数が異なる例として、16極機の回転電機について検討した磁場解析結果を図9に示し、図10に、角度 θ を変化させた場合のコギングトルクのピークからピークまでの解析値を示す。

【0024】

図10に示すように、 $\theta = 16.5$ 度の場合がコギングトルクが小さく、この回転電機においても、スロットピッチ $\tau_s = 7.5$ 度の n 倍に $16/P$ （ P は極数でこの例の場合16）を加えた数値である16度と少なくとも誤差 ± 1 度の範囲内で一致している。

40

【0025】

ここで、回転電機の駆動トルク T は、永久磁石による磁束を ψ 、 q 軸インダクタンスを L_q 、 d 軸インダクタンスを L_d 、 q 軸巻線電流を I_q 、 d 軸巻線電流を I_d とすると、 $T = \psi I_q + (L_q - L_d) I_q \times I_d$ で表される。

【0026】

この式において右辺の第1項は永久磁石の主磁束によるトルクであり、第2項は隣り合った永久磁石間回転子部材、すなわち補助突極によるリラクタンストルクである。これら二つの値は、それぞれ永久磁石、補助突極がなす回転子の周方向の角度に依存することから、所定の駆動トルク、すなわち最大駆動トルクが得られる永久磁石の周方向の角度は個々

50

の回転子において一義的に定まる。

【0027】

図11に、出力50kWの8極機の回転電機における角度 θ とモータの使用頻度を考慮した加重平均効率（インバータ損失含む）との解析値の関係及び $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す。

【0028】

$\theta = 32$ 度の場合の効率の実測値と解析値はほぼ一致し、本解析の妥当性を示している。図11から $\theta = 32$ 度の場合が最も効率が高く、この角度は前述のようにコギングトルクが低減でき、かつ高効率となることが分かる。

【0029】

さらに、本実施の形態例に係わる永久磁石式回転電機は、電動車両の駆動モータとして用いた場合に有効である。

【0030】

永久磁石式回転電機を駆動モータとして用いた電動車両の例として、電気自動車の構成を図12に示す。図12に示すように、バッテリー20から供給される直流電圧をインバータ30で交流に変換し、コントロールユニット40により、所定のトルク、回転数で電動機10が駆動する。

【0031】

電動機10と車軸は直接的に連結されているため、コギングトルクの大きい電動機を用いた場合、始動時と停止時に振動が発生する。

【0032】

本発明の永久磁石回転電機を用いることにより、スキューによる電動機の高コスト、もしくはコギングトルクを打ち消すトルクを出力するコギングトルク制御により高コストとすることなく、電動機のコギングトルクを低減でき、この電動機を用いることにより、車両の始動時と停止時の振動が小さい快適な電動車両を得ることができる。

【0033】

なお、本発明は、永久磁石の形状が、第1の実施の形態例で示した矩形に限らず、色々な形状で成り立つ。

図13は、本発明の第2の実施の形態例に係わる永久磁石式回転電機の構成を示し、永久磁石8の形状がアーク形の場合を示す。この場合も第1の実施の形態例と同じように、角度 θ を最適な値とすることにより、コギングトルクを低減できる。

【0034】

また、永久磁石8は、ネオジウム磁石以外でも良く、永久磁石の個数（極数）は8極や16極以外でも良く、固定子のスロット数も48個以外でも良い。なお、コギングトルクの低減が必要なものは、内転型、外転型などの回転電機に限らず、リニアモータなどにも応用できる。

【0035】

【発明の効果】

本発明によれば、成形磁石をスキューすることなくコギングトルクが低減できるので、永久磁石式回転電機の性能向上が図れ、かつコスト低減を図ることができる。

【0036】

また、本発明の永久磁石式回転電機を電動車両に用いることにより、車両の始動時もしくは停止時の振動が低減でき、乗り心地を快適にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の構成図である。

【図2】図1の角度 θ を32度とした場合の磁場解析を示す図である。

【図3】図1の角度 θ を30度とした場合のコギングトルクを示す図である。

【図4】図1の角度 θ を32度とした場合のコギングトルクを示す図である。

【図5】図1の角度 θ を34度とした場合のコギングトルクを示す図である。

【図6】図1の角度 θ を変化させた場合のコギングトルクのピークからピークまでの解析

10

20

30

40

50

値と $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す図である。

【図 7】図 1 の角度 θ を、半径や積厚、出力が異なる回転電機に適用した場合の磁場解析を示す図である。

【図 8】図 7 の角度 θ を変化させた場合のとギングトルクのピークからピークまでの解析値と $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す図である。

【図 9】図 1 の角度 θ を 16 極機の実施形態に適用した場合の磁場解析を示す図である。

【図 10】図 9 の θ を変化させた場合のコギングトルクのピークからピークまでの解析値を示す図である。

【図 11】図 1 の角度 θ とモータの使用頻度を考慮した加重平均効率（インバータ損失含む）との解析値の関係及び $\theta = 32$ 度の場合の実測値を示す図である。

10

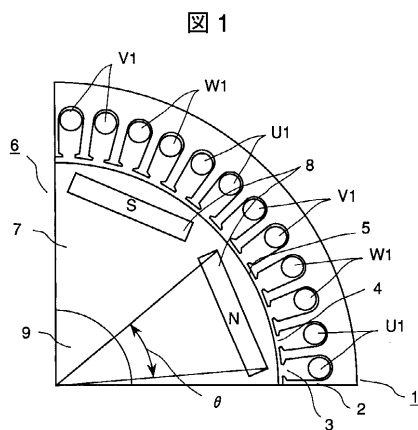
【図 12】本発明の第 1 の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機を用いた電気自動車の構成図である

【図 13】本発明の第 2 の実施の形態例に係る永久磁石式回転電機の構成図である。

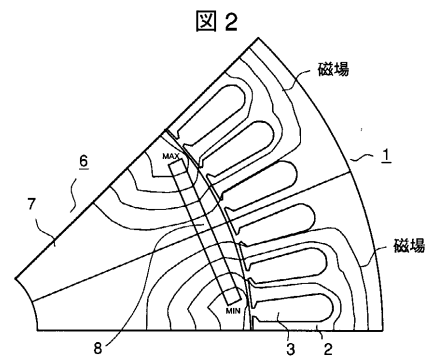
【符号の説明】

1…固定子、2…固定子鉄心、3…固定子スロット、4…固定子開口部、5…ギャップ、6…回転子、7…回転子鉄心、8…永久磁石、9…回転軸

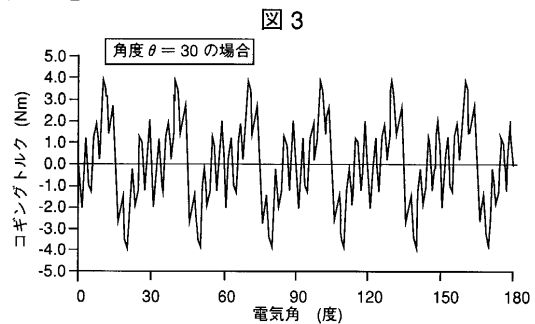
【図 1】



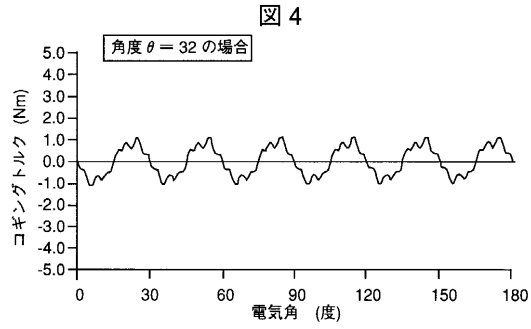
【図 2】



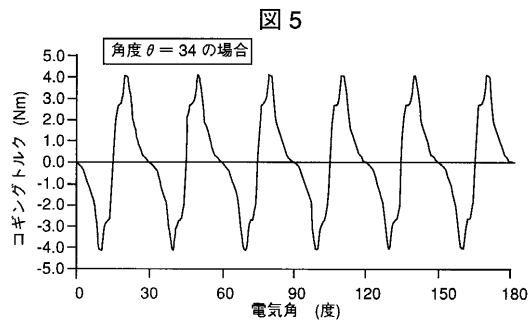
【図 3】



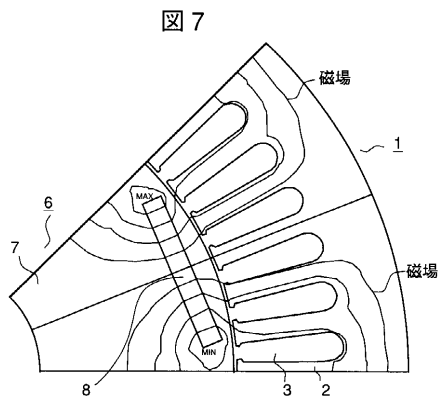
【図 4】



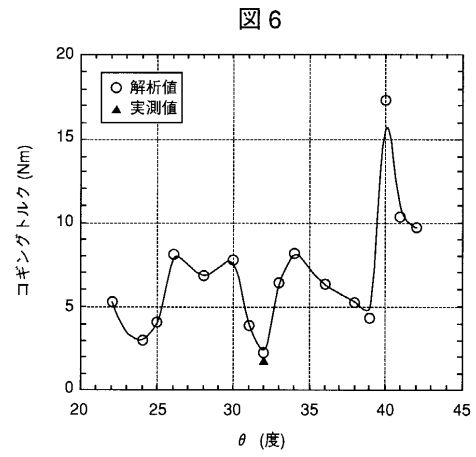
【図 5】



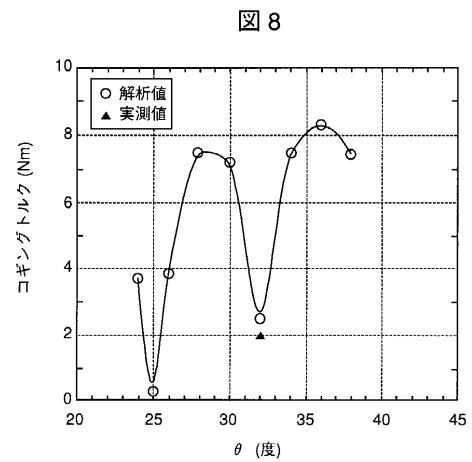
【図 7】



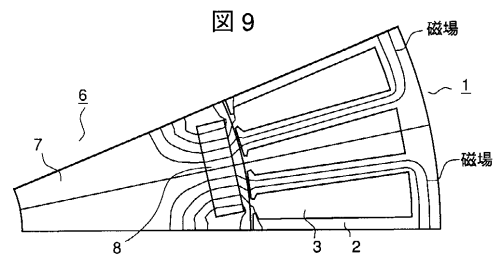
【図 6】



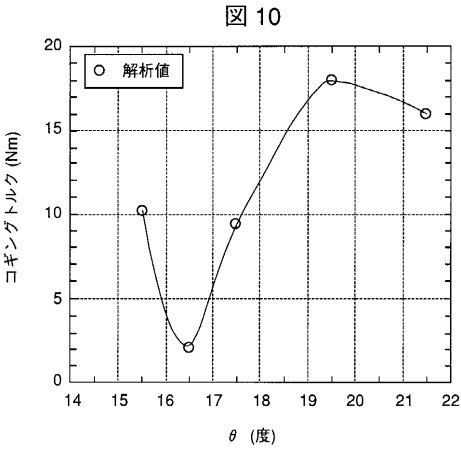
【図 8】



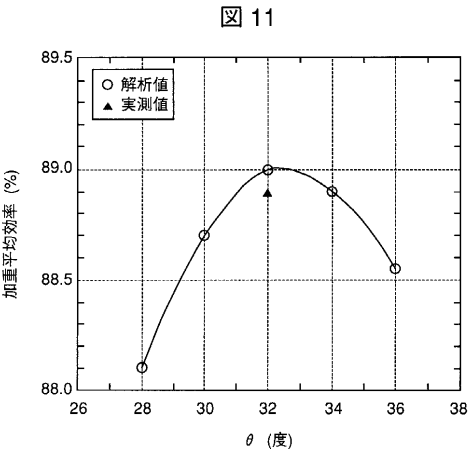
【図 9】



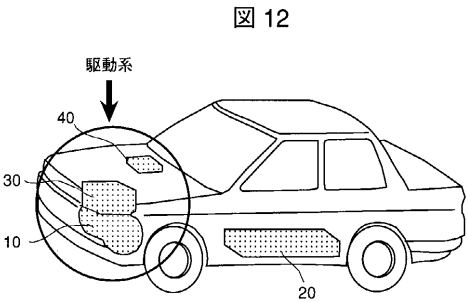
【図 1 0】



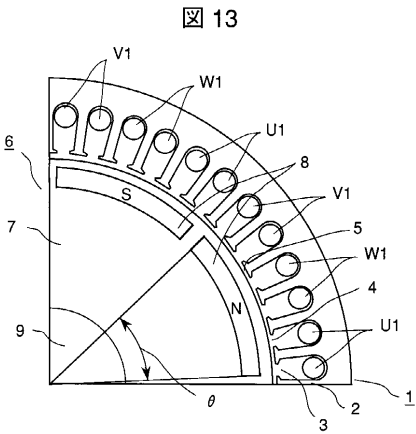
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 川又 昭一
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 小林 孝司
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 渋川 末太郎
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地内 株式会社 日立製作所 自動車機器事業部
- (72)発明者 小泉 修
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地内 株式会社 日立製作所 自動車機器事業部

合議体

審判長 高木 進

審判官 丸山 英行

審判官 佐々木 芳枝

- (56)参考文献 特開平9-327140 (JP, A)
特開平7-336976 (JP, A)
特開平9-182397 (JP, A)
特開平9-285088 (JP, A)
特開平1-286758 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1/27

H02K 19/00-19/38

H02K 21/00-21/48