

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



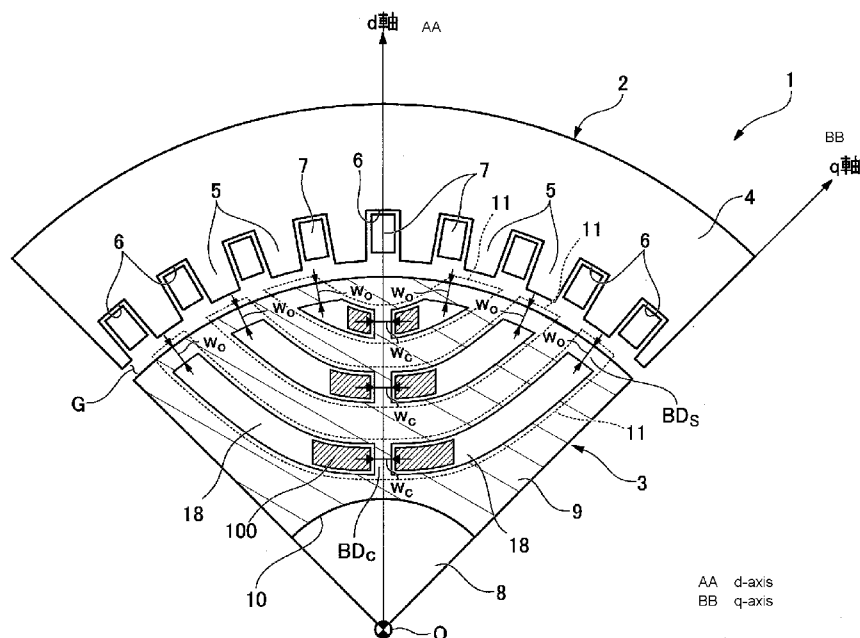
(10) 国際公開番号

WO 2018/043081 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01) *H02K 1/22* (2006.01) CORPORATION) [JP/JP]; 〒2128585 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/028948 (72) 発明者: 竹内 活徳 (TAKEUCHI Katsutoku); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 松下 真琴 (MATSUSHITA Makoto); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 高橋 則雄 (TAKAHASHI Norio); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 三須 大輔 (MISU Daisuke); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 長谷部 寿郎 (HASEBE Toshio);
- (22) 国際出願日: 2017年8月9日(09.08.2017)
- (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 2016-170040 2016年8月31日(31.08.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP). 東芝インフラシステムズ株式会社 (TOSHIBA INFRASTRUCTURE SYSTEMS & SOLUTIONS

(54) Title: ROTOR AND RELUCTANCE MOTOR

(54) 発明の名称: 回転子およびリラクタンスモータ



(57) **Abstract:** A rotor of an embodiment has a shaft and a rotor core fixed to the shaft. Multiple flux barriers are formed on the rotor core. Multiple bridge parts are formed on each of the flux barriers, and one or multiple barrier regions having a lower magnetic permeability than that of portions other than the flux barrier are formed between the multiple bridge parts. A permanent magnet is disposed in at least one of the barrier regions. The magnetization direction of the permanent magnet is aligned with a direction intersecting the longitudinal direction



〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))

of the flux barrier. In addition, a value of $(\mu_0 \times S_M \times B_r) / (\mu_{re} \times t_{FB} \times w_B)$ is in a range of 1.2 to 3.0 inclusive.

(57) 要約: 実施形態の回転子は、シャフトと、シャフトに固定された回転子鉄心とを持つ。回転子鉄心には、複数のフラックスバリアが形成されている。フラックスバリアには、複数のブリッジ部が形成されていると共に、複数のブリッジ部の間にフラックスバリア以外の部分に比して透磁率が低い一つまたは複数のバリア領域が形成されている。少なくとも一つのバリア領域には、永久磁石が設けられている。永久磁石の磁化方向は、フラックスバリアの長手方向に交差する方向に向けられている。そして、 $(\mu_0 \times S_M \times B_r) / (\mu_{re} \times t_{FB} \times w_B)$ の値が、1.2以上且つ3.0以下の範囲内となる。

明 細 書

発明の名称： 回転子およびリラクタンスモータ

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、回転子およびリラクタンスモータに関する。

本願は、2016年8月31日に、日本に出願された特願2016-170040号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] リラクタンスモータの回転子に永久磁石を設けることでモータの突極性を改善する技術が知られている。

[0003] しかしながら、従来の技術では、回転子に設けられた永久磁石から固定子に向けて磁束が漏れ出し、誘起電圧が発生していた。この結果、無負荷回転時に鉄損が発生し、リラクタンスモータを適用したシステムとしてのエネルギー効率が低下する場合があった。また、回転中に駆動装置の故障などでモータの端子間が短絡された場合、短絡電流が流れてしまうという問題があった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2011-83066号公報

特許文献2：特開2012-178921号公報

特許文献3：特開2002-291288号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明が解決しようとする課題は、誘起電圧を発生させることなく、突極比を大きくすることができる回転子およびリラクタンスモータを提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 実施形態の回転子は、軸心回りに回転するシャフトと、シャフトに固定さ

れた回転子鉄心とを持つ。回転子鉄心には、回転子鉄心の外周面のある箇所から他の箇所に至る複数のフラックスバリアが、回転子鉄心の径方向に並んで形成されている。フラックスバリアには、フラックスバリアの長手方向の両端において回転子鉄心の外周面の一部を形成するブリッジ部を含む複数のブリッジ部が形成されており、複数のブリッジ部の間に回転子鉄心におけるフラックスバリア以外の部分に比して透磁率が低い一つまたは複数のバリア領域が形成されている。少なくとも一つのバリア領域には、永久磁石が設けられている。永久磁石の磁化方向は、永久磁石の設けられた位置におけるフラックスバリアの長手方向に交差する方向に向けられている。 μ_0 ：バリア領域における永久磁石が存在しない領域の透磁率、 S_M ：シャフトの延在方向に直交する平面における永久磁石の断面積、 B_r ：永久磁石の残留磁束密度、 μ_{re} ：永久磁石のリコイル透磁率、 t_{FB} ：バリア領域の厚さの最小と最大の相加平均、 w_B ：ブリッジ部の幅の最小と最大の相加平均、とした場合に、 $(\mu_0 \times S_M \times B_r) / (\mu_{re} \times t_{FB} \times w_B)$ の値が、1.2以上且つ3.0以下の範囲内となる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]第1の実施形態における4極のリラクタンスモータ1の1極分の構成を示す回転軸8に直交する断面図。

[図2]あるフラックスバリア11と、その近傍の回転子鉄心9とを模式的に示す図。

[図3]数式(1)のパラメータの定義を説明するための図。

[図4]永久磁石100の磁気特性の一例を示す図。

[図5]磁気回路の一例を示す図。

[図6]回転子鉄心9の磁化特性の傾向の一例を示す図。

[図7]回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s と、各ブリッジ部の比透磁率と、漏れ磁束量との関係の一例を示す図。

[図8]バリア領域18における永久磁石100の配置位置の一例を示す図。

[図9]バリア領域18における永久磁石100の配置位置の他の例を示す図。

[図10]リラクタンスモータ 1 の外観の一例を示す図。

[図11]第 2 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1 A の 1 極分の構成を示す回転軸 8 に直交する断面図。

[図12]回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s と、各ブリッジ部の比透磁率と、電機子巻線 7 に鎖交する漏れ磁束量との関係の他の例を示す図。

[図13]第 3 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1 B の 1 極分の構成を示す回転軸 8 に直交する断面図。

[図14]第 4 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1 C の 1 極分の構成を示す回転軸 8 に直交する断面図。

[図15]バリア領域 1 8 における永久磁石 1 0 0 の配置位置の他の例を示す図。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、実施形態の回転子およびリラクタンスモータを、図面を参照して説明する。

[0009] 図 1 は、第 1 の実施形態における 4 極のリラクタンスモータ 1 の 1 極分の構成を示す回転軸 8 に直交する断面図である。なお、図 1 では、リラクタンスモータ 1 の 1 極分、すなわち、1 / 4 周の周角度領域分のみを示している。回転軸 8 は、例えば、回転可能に軸支されて回転軸 8 中心で軸方向に延び、回転軸 8 中心回りに回転するシャフトであってよい。

[0010] 同図に示すように、リラクタンスモータ 1 は、略円筒状の固定子 2 と、固定子 2 よりも径方向内側に設けられ、固定子 2 に対して回転自在に設けられた回転子 3 と、を備えている。なお、固定子 2 および回転子 3 は、それぞれの中心軸線が共通軸上に位置した状態で配設されている。以下、上述した共通軸を中心軸 O と称し、中心軸 O に直交する方向を径方向と称し、中心軸 O 回りに周回する方向を周方向と称する。

[0011] 固定子 2 は、略円筒状の固定子鉄心 4 を有している。固定子鉄心 4 は、電磁鋼板を複数枚積層したり、軟磁性粉を加圧成形したりして形成することが可能である。固定子鉄心 4 の内周面には、中心軸 O に向かって突出し、周方

向に等間隔で配列された複数のティース5が一体成形されている。ティース5は、断面略矩形状に形成されている。そして、隣接する各ティース5間には、それぞれスロット6が形成されている。これらスロット6を介し、各ティース5に電機子巻線7が巻回されている。

[0012] なお、固定子鉄心4は、絶縁性を有するインシュレータが装着されたり、外面の全体が絶縁被膜で被覆されたりしてよい（何れも不図示）。そして、各ティース5には、インシュレータや絶縁被膜の上から電機子巻線7が巻回される。

[0013] 回転子3は、中心軸Oに沿って延びる回転軸8と、回転軸8に外嵌固定された略円柱状の回転子鉄心9と、を備えている。回転子鉄心9は、電磁鋼板を複数枚積層したり、軟磁性粉を加圧成形したりして形成することが可能である。回転子鉄心9の外径は、径方向で対向する各ティース5との間に、所定のエアギャップGが形成されるように設定されている。

[0014] また、回転子鉄心9の径方向中央には、中心軸Oに沿って貫通する貫通孔10が形成されている。この貫通孔10には、回転軸8が圧入等される。これによって、回転軸8と回転子鉄心9とが一体となって回転する。

[0015] さらに、回転子鉄心9には、1極（すなわち1／4周の周角度領域）のそれぞれに、複数（例えば、本実施形態では3つ）のフラックスバリア11が、回転子鉄心9の回転軸8を通る一つの径を通過するように並べられて形成されている。すなわち、これらのフラックスバリア11は、回転子鉄心9の外周面における、ある箇所から他の箇所に至り、固定子2により形成された磁束が通過する複数の磁路の間に形成されて、各磁路を区画する。本実施形態において、各フラックスバリア11は、複数（例えば、本実施形態では2つ）のバリア領域18を有しており、それらは略双曲線状に分布している。なお、図1では、中心軸Oに最も近いフラックスバリア11についてのみバリア領域を示す18、永久磁石を示す100の符号を付しているが、その他のフラックスバリア11についても同様である。

[0016] 回転子鉄心9において、バリア領域18によって磁束の流れが妨げられな

い方向をq軸と定義する。すなわち、回転子の外周面のある周角度位置Aに正の磁位（例えば磁石のN極を近づける）、それに対して1極分（本実施例の場合は90度）ずれた周角度位置Bに負の磁位（例えば磁石のS極を近づける）を与え、Aの位置を周方向へずらしていった場合に最も多くの磁束が流れる時の中心軸Oから位置Aに向かう方向をq軸と定義する。本実施形態では、回転子鉄心9を中心軸Oに近い領域と遠い領域に分離するフラックスバリア11の長手方向にq軸が設定される。

[0017] 一方で、バリア領域18によって磁束の流れが妨げられる方向、すなわちq軸に対して磁氣的に直交する方向をd軸と定義する。本実施形態では、フラックスバリア11によって、中心軸Oに近い領域と遠い領域に分離された2つの回転子鉄心部分が対向する方向に対して平行な方向にd軸が設定される。また、フラックスバリア11が多層に形成されている場合（本実施形態では3層）、層の重なり方向がd軸である。なお、フラックスバリア11は3層に限られず、単層または2層、あるいは4層以上形成されてもよいし、各フラックスバリア11におけるバリア領域18の個数は2つに限られず、1または3以上であってもよい。

[0018] 各バリア領域18は、少なくとも外周側において、q軸に沿うと共に、周方向の中央部が最も径方向内側に位置するように、外周側から径方向内側の中心軸Oに向かって凸形状に湾曲した断面略円弧状に形成される。なお、各バリア領域18の形状は、円弧に限られず、U字型のような凸形状であってもよい。本実施形態において、回転子鉄心9のそれぞれの周角度領域には、略円弧状の6つのバリア領域18が形成されている。

[0019] これら複数のバリア領域18は、回転子鉄心9に生じる遠心力を考慮して、フラックスバリア11の外周側に近接する端部200bにおいて回転子鉄心9の外周から所定距離w離れた位置に設けられる。これによって、回転子3の外周とバリア領域18の端部200bとの間に位置する回転子鉄心9の機械的強度を高めることができる。回転子鉄心9には、外周ブリッジ部BD_sを含む複数のブリッジ部が形成される。外周ブリッジ部BD_sは、フラックス

バリア 11 の長手方向の両端において回転子鉄心 9 の外周面の一部（端部 200b）を形成するブリッジ部である。外周ブリッジ部 BD_s は、各フラックスバリア 11 のバリア領域 18 により分離された回転子鉄心 9 同士を結合（接続）する役割を果たす。フラックスバリア 11 の両端のそれぞれに設けられた外周ブリッジ部 BD_s の幅 w_o は、回転子 3 の外周側から回転軸 8 に向かう方向に関する幅である。

[0020] また、フラックスバリア 11 の延伸方向に沿った両端の間の中間地点（例えば径方向において最も回転軸 8 に近い部分）において、複数のバリア領域 18 がその延伸方向に間隔を空けて形成される場合、所定距離 w_c 離れた間隔でバリア領域 18 を形成する。これによって、複数のバリア領域 18 間に位置する回転子鉄心 9 の機械的強度を高めることができる。所定距離 w_c は、所定距離 w_o と同じであってもよいし、異なってもよい。以下、凸部近傍において、バリア領域 18 の間に位置する回転子鉄心 9 を、「センタブリッジ部 BD_c 」と称して説明する。センタブリッジ部 BD_c は、「内部ブリッジ部」の一例である。

[0021] センタブリッジ部 BD_c を挟み、対をなすバリア領域 18 は、互いに略同形状となる。センタブリッジ部 BD_c は、外周ブリッジ部 BD_s と同様に、各フラックスバリア 11 のバリア領域 18 により分離された回転子鉄心 9 同士を結合（接続）する役割を果たす。上記ブリッジ部により、フラックスバリア 11 が形成された状態でも、フラックスバリア 11 の両端と中間地点において回転子鉄心 9 が分離されることなく回転子鉄心 9 が 1 つの部材として纏まることになる。なお、径方向に形成された複数のフラックスバリア 11 のそれぞれの両端における外周ブリッジ部 BD_s の幅 w_o は、互いに異なってもよいし、一部または全部が同じであってもよい。同様に、センタブリッジ部 BD_c が複数形成される場合、径方向に形成された複数のフラックスバリア 11 のそれぞれのセンタブリッジ部 BD_c の幅 w_c は、互いに異なってもよいし、一部または全部が同じであってもよい。

[0022] 本実施形態では、複数のバリア領域 18 のそれぞれに永久磁石 100 が挿

入される。本実施形態における永久磁石１００とは、電磁石ではない磁石のことであり、リラクタンスモータ１の使用年数（寿命）を考慮した場合に、ほぼ一定の磁場を発生し続けることができる物体のことをいう。各永久磁石１００は、例えば、ネオジム磁石、フェライト磁石、サマリウム鉄コバルト磁石などである。バリア領域１８に挿入される永久磁石１００は挿入後に略ｄ軸方向に磁化するように着磁されてもよいし、予め所定方向に着磁された永久磁石１００が、その磁化方向が略ｄ軸方向に向くように挿入されてもよい。すなわち本実施形態では、磁石の磁化方向は、ｑ軸に対して磁氣的に完全に直交するのに限らず、直交する角度からある程度の角度幅（例えば１０度程度）をもって交わってよい。言い換えれば、永久磁石１００の磁化方向は、永久磁石の設けられた位置におけるフラックスバリア１１の長手方向に交差する方向に向けられる。各バリア領域１８には、挿入された永久磁石１００を固定するために、接着性の樹脂などの非磁性体が充填されてもよいし、永久磁石１００と共に非磁性体のスペーサなどが挿入されてもよい。また、永久磁石１００の側面が回転子鉄心９に接触することによって固定されていてもよい。非磁性体は、回転子鉄心９に比して透磁率が低いものとする。

[0023] また、永久磁石１００は、ｑ軸およびｄ軸を含む断面において、バリア領域１８の輪郭（境界）を形成する面（後述する２００ｂ、２０１ａ、２０２ａ、２０２ｂ：図２）のうち一部（好ましくは全部）から離間するように配置される。すなわち、バリア領域１８内において、永久磁石１００が回転子鉄心９と直に接しないように配置される。このような配置によって、永久磁石１００の角部などで発生する局所的な不可逆減磁を抑制することができる。もちろん、輪郭を形成する面の一部、またはすべてと永久磁石１００が接していてもよい。後述のように、永久磁石１００とバリア領域１８の側面（回転子鉄心９）の接触有無に関わらず、永久磁石１００の断面積が同じであれば、本実施形態の主として期待する磁氣的な効果は同一である。

[0024] 図２は、あるフラックスバリア１１と、その近傍の回転子鉄心９とを模式的に示す図である。図示のように、例えば、永久磁石１００は、センターブ

リッジ部 BD_c 側に偏って配置されてよい。永久磁石 100 の起磁力によって発生した磁束は、磁化方向である略 d 軸方向に向かう磁束 101 と、外周ブリッジ部 BD_s を経由する磁束 102 と、センタブリッジ部 BD_c を経由する磁束 103 とに分かれる。外周ブリッジ部 BD_s およびセンタブリッジ部 BD_c は鉄心であるため、その材質に応じた飽和磁束密度が存在する。従って、鉄心の飽和磁束密度を超えて外周ブリッジ部 BD_s およびセンタブリッジ部 BD_c に磁束が流れると、各ブリッジ部の磁気抵抗が高まり磁束が流れにくくなる。本実施形態では、永久磁石 100 から生じた磁束が各ブリッジ部を d 軸方向の略逆方向に流れるため、固定子 2 側から流入した磁束は、各ブリッジ部において d 軸方向の略逆方向に流れにくくなる。磁束が飽和した各ブリッジ部は、それ以上磁束を通さないことから広義な意味でのフラックスバリア 11 となる。上記永久磁石 100 の効果によって、固定子 2 から流入した磁束量のうち d 軸方向の略逆方向に流れる磁束量を少なくすることで、 q 軸方向に流れる磁束量を多くすることができるため、バリア領域 18 に永久磁石 100 を設けないリラクタンスモータ 1 に比べて突極性を改善させることができる。

- [0025] なお、本実施形態のリラクタンスモータ 1 を、高速回転用のモータに適用したり、径が大きい大型のモータに適用したりする場合、回転子鉄心 9 が大きな遠心力を受けやすくなる。この場合、外周ブリッジ部 BD_s の幅 w_s 、およびセンタブリッジ部 BD_c の幅 w_c を広くして機械的強度を高める必要がある。このような場合、各ブリッジ部における飽和磁束量（ブリッジ部の飽和磁束密度と各ブリッジ部の幅の積）が大きくなるため、より起磁力が強く磁束量が多い（＝残留磁束密度や断面積が大きい）永久磁石 100 をバリア領域 18 に挿入する必要がある。しかしながら、永久磁石 100 の起磁力や磁束量を大きくし過ぎると永久磁石 100 から発生した d 軸方向へ向かう磁束 101 がエアギャップ G を介して電機子巻線 7 に鎖交する。この状態で回転子 3 が回転すると、誘起電圧が生じる。このように、各ブリッジ部の幅と、永久磁石 100 の起磁力と磁束量との関係は互いに背反の関係にあり、誘

起電圧を生じさせないという制約条件の下では好適な起磁力と磁束量（すなわち残留磁束密度と断面積）の数値範囲が存在する。この数値範囲については、図を参照して後述する。

[0026] 誘起電圧の発生を抑制するために、以下の数式（１）に示す条件式に従って、永久磁石１００の大きさを決定する。

[0027] [数１]

$$S_M = \frac{\mu_{re}}{\mu_0} \frac{B_s}{B_r} w_B t_{FB} \quad \dots(1)$$

[0028] 数式（１）中の S_M は、各フラックスバリア１１のそれぞれのバリア領域１８に挿入される永久磁石１００の総断面積を表す。また、 w_B は、全てのブリッジ部の幅の総和を表しており、図２の例では、 $w_B = 2w_o + w_c$ として表される。また、 t_{FB} は、バリア領域１８の厚さを表し、 μ_{re} は、永久磁石１００のリコイル透磁率を表す。また、 μ_0 は、永久磁石１００を除くバリア領域１８に充填された物体の透磁率、すなわち空気の透磁率を表す。なお、バリア領域１８に永久磁石１００を固定するための非磁性体（例えば樹脂）が充填等された場合には、透磁率 μ_0 は、この非磁性体の物性に応じた透磁率であってよい。 B_s は、フラックスバリア１１の延在方向と略直交する幅方向（短手方向）における回転子鉄心９の飽和磁束密度を表し、 B_r は、永久磁石１００の残留磁束密度を表す。これらパラメータのうち、 w_o 、 w_c 、 t_{FB} 、 S_M は、以下のように定義されてよい。

[0029] 図３は、数式（１）のパラメータの定義を説明するための図である。図３において、バリア領域１８の輪郭を形成する面のうち、面２００ｂは、フラックスバリア１１の延在方向（長手方向）における外周側の面であり、面２０１ａは、フラックスバリア１１の延在方向における中心軸Ｏ側の面である。また、面２０２ａは、フラックスバリア１１の幅方向における外周側の面であり、面２０２ｂは、フラックスバリア１１の幅方向における中心軸Ｏ側の面である。以下、面２００ｂ、面２０１ａ、面２０２ａ、面２０２ｂをそ

れぞれ、先端部200b、先端部201a、上側面202a、下側面202bと称して説明する。

[0030] 外周ブリッジ部BD_sの幅w_sは、回転子鉄心9の外周面200aとバリア領域18の先端部200bとの間の距離をとる。バリア領域18の先端部200bは、バリア領域18の輪郭を形成する面の一部であり、フラックスバリア11の延在方向における外周側の面である。例えば、回転子鉄心9の外周面200aとバリア領域18の先端部200bとを各々構成する曲線または折れ線が平行でない場合は、外周ブリッジ部BD_sの幅w_sは、それらの曲線または折れ線間の最小距離と最大距離との相加平均値と定義される。例えば、回転子鉄心9の外周面200aを示す曲線または折れ線上に任意の基準点を設定する。この基準点から、バリア領域18の外周側の境界面である先端部200bを示す曲線または折れ線までの距離が最短を示す直線を導出する。以降、外周面200aを示す曲線または折れ線上において、基準点をずらしながら最短を示す直線を複数導出する。このようにして複数導出した直線の長さの平均が外周ブリッジ部BD_sの幅w_sと定義される。つまりは、外周ブリッジ部BD_sの幅w_sは、対面する2つの面の距離になる。同様に、センターブリッジ部BD_cの幅w_cは、センターブリッジ部BD_cを挟み、対となるバリア領域18のセンターブリッジ部BD_c側の面201aおよび201bとの距離をとる。例えば、バリア領域18のセンターブリッジ部BD_c側の面201aおよび201bを構成する曲線または折れ線が平行でない場合は、センターブリッジ部BD_cの幅w_cは、それらの曲線または折れ線間の距離の最小値と最大値の相加平均値と定義される。

[0031] また、バリア領域18の厚さt_{FB}は、バリア領域18の上側面（外周側の側面）202aと下側面（中心軸O側の側面）202bとを構成する曲線または折れ線の最小距離と最大距離の相加平均値と定義される。例えば、バリア領域18の上側面202aを示す曲線または折れ線上に任意の基準点を設定する。この基準点から、下側面202bを示す曲線または折れ線までの距離が最短を示す直線を導出する。以降、上側面202aを示す曲線または折

れ線上において、基準点をずらしながら最短を示す直線を複数導出する。このようにして複数導出した直線の長さの平均がバリア領域 18 の厚さ t_{FB} と定義される。また、バリア領域 18 の幅 l_{FB} は、バリア領域 202a の上側面 202a と下側面 202b とを構成する曲線または折れ線の長さの相加平均値と定義される。例えば、上側面 202a を示す曲線または折れ線上に任意の基準点を設定する。この基準点から、下側面 202b を示す曲線または折れ線までの距離が最短を示す直線を導出する。以降、上側面 202a を示す曲線または折れ線上において、基準点をずらしながら下側面 202b に対する距離が最短を示す直線を複数導出する。このようにして複数導出した直線のそれぞれの中点を通る曲線の長さがバリア領域 18 の幅 l_{FB} と定義される。

[0032] また、永久磁石 100 の総断面積 S_M は、各フラックスバリア 11 において、永久磁石 100 の幅 l_M と、永久磁石 100 の厚さ t_M とを乗算することで得られる各永久磁石 100 の断面積と、永久磁石 100 の数（図 3 の例では 2 個）との積と定義される。永久磁石 100 の厚さ t_M は、バリア領域 18 の厚さ t_{FB} の定義と同様に、永久磁石 100 の上側面（フラックスバリア 11 の幅方向における外周側の面）と下側面（フラックスバリア 11 の幅方向における中心軸 O 側の面）とを構成する曲線または折れ線の最小距離と最大距離の相加平均値と定義される。また、永久磁石 100 の幅 l_M は、バリア領域 18 の幅 l_{FB} の定義と同様に、永久磁石 100 の上側面と下側面とを構成する曲線または折れ線の長さの相加平均値と定義される。

[0033] 図 4 は、永久磁石 100 の磁気特性の一例を示す図である。図示のように、上記パラメータのうち、 μ_{re} 、 B_r は、永久磁石 100 の磁気特性として以下のように表すことができる。例えば、永久磁石 100 の残留磁束密度 B_r は、線形領域において、磁界の強さ H がゼロ程度であるときの磁束密度（グラフの y 切片 150）として導出することができる。また、リコイル透磁率 μ_r は、線形領域において、磁界の強さ H に対する磁束密度 B の変化を表す直線 151 の傾きとして導出することができる。

[0034] 上述した永久磁石100、バリア領域18、外周ブリッジ部BD_s、およびセンタブリッジ部BD_cの寸法を決定するパラメータを用いて、図3に示す回転子3のフラックスバリア11周辺の構成を等価な磁気回路に置き換えた場合、以下の図5のように表すことができる。

[0035] 図5は、磁気回路の一例を示す図である。例えば、磁気回路において、永久磁石100の起磁力 E_M は、 $(t_M \cdot B_r) / \mu_{re}$ として扱うことができる。また、永久磁石100の内部磁気抵抗 r_M は、 $t_M / (\mu_{re} \cdot l_M)$ として扱うことができる。なお、当磁気回路は不可逆減磁が発生しない線形領域において動作させるものとする。永久磁石100を流れる磁束 Φ_M やバリア領域18を流れる磁束 Φ_{FB} に対して回路方程式を立てると、図5に示す磁気回路から外に漏れる磁束101が発生しない条件を、上記数式(1)として導出することができる。数式(1)が成立する範囲において、永久磁石100の面積(幅 l_M と厚さ t_M)を決定すれば、外部に磁束を漏らさないという制約条件の下で各ブリッジ部の磁束を飽和させることができる。すなわち、誘起電圧が発生させることなく、リラクタンスモータ1の突極性を改善することができる。なお、図5においては、永久磁石100がバリア領域18の右上側面に接しているが、側面が接触しないようにバリア領域18の中央に配置されている場合も、外部に磁束を漏らさない条件は(1)式で表される。また、図5では永久磁石の断面は幅 l_M 方向に扁平であるが、厚さ t_M 方向に扁平であってもよい。すなわち、永久磁石100の配置方法に関わらず、永久磁石の断面積と残留磁束密度が同じであれば、外部から見た磁気特性は等価となる。

[0036] 図6は、回転子鉄心9の磁化特性の傾向の一例を示す図である。一般的に回転子鉄心9の磁化特性は緩やかに変化することが知られている。図6に示すように、磁気特性が変化する場合、数式(1)のパラメータ B_s を一意に決定することができない。従って、ある数値範囲において、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s に幅を持たせてよい。数値範囲については後述する。

[0037] 図7は、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s と、各ブリッジ部の比透磁率と、

電機子巻線 7 に鎖交する漏れ磁束量との関係の一例を示す図である。各ブリッジ部の比透磁率は、真空の透磁率に対するブリッジ部の透磁率の比率である。漏れ磁束量は、ギャップ G を通過して固定子 2 に漏れ出す磁束の 2 乗値である。一般的に、無負荷鉄損や短絡事故時の損失などは、固定子 2 に漏れ出す磁束量の 2 乗に比例するため、本実施形態においても固定子 2 に漏れ出す磁束量の 2 乗値で評価するものとする。図 7 に示す結果は、リラクタンスモータ 1 の回転軸 8 に対する 1 極分の断面において、回転子鉄心 9 をケイ素鋼板（非線形磁化特性）とし、フラックスバリア 11 を 3 層とし、各々のフラックスバリア 11 におけるバリア領域 18 を 3 つとし、各々のフラックスバリア 11 におけるセンタブリッジ部 B D₀ を 2 つとし、2 つのセンタブリッジ部 B D₀ に挟まれるバリア領域 18 にネオジム磁石を挿入したモデルを想定したときの解析結果（シミュレーション結果）を示している。このようなモデルは、後述する図 13 に示すリラクタンスモータ 1 C を想定したモデルに相当する。図中の飽和磁束密度 B_s は、以下の数式（2）により解析的に導出した値である。数式（2）における各パラメータは、上述した数式（1）に用いたパラメータと同様である。

[0038] [数2]

$$B_s = \frac{\mu_0 S_M}{\mu_{re} t_{FB} w_B} B_r \quad \dots(2)$$

[0039] 図示の例では、回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s が 0 から 1.2 T（テスラ）までの範囲では、各ブリッジ部の比透磁率が増加する傾向を有している。すなわち、各ブリッジ部において、磁束が流れやすい状態となる。また、飽和磁束密度 B_s が 1.2 T 以上の範囲では、各ブリッジ部の比透磁率が減少する傾向を有している。すなわち、各ブリッジ部において、磁束が流れにくい状態となる。従って、各ブリッジ部の比透磁率のみに着目した場合には、飽和磁束密度 B_s が、各ブリッジ部の比透磁率の最大値 1.2 T 以上となるように永久磁石 100 の断面積や残留磁束密度を決定すると好適である。

[0040] 一方、漏れ磁束量に着目した場合、回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s が 2 T 程度までの範囲では、固定子 2 に漏れ出す磁束量（磁束の 2 乗値）を、ゼロ程度に抑えることができる。すなわち、回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s が 2 T 程度までの範囲では、誘起電圧の発生を抑制することができる。回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s が 2 T 以上の範囲では、固定子 2 に漏れ出す磁束量が指数関数的に増加するため、誘起電圧が発生しやすい。ここで、漏れ磁束量がおおよそ 1000 mWb^2 程度以下であれば漏れ磁束の影響を無視することができ、この範囲において、回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s の上限値を設定すると好適である。具体的には、固定子 2 に漏れ出す磁束量の 2 乗の変化を表す曲線の漸近線との交点を回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s の上限値に設定する。本実施形態では上限値は図示のように 3.0 T に設定される。

[0041] 本実施形態における永久磁石 100 に対する比較例として、永久磁石同期モータ（Permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM）などに利用される永久磁石をバリア領域 18 に挿入した場合、各ブリッジ部（回転子鉄心 9）の飽和磁束密度 B_s は、おおよそ 5 T 程度になる。一方、本実施形態では、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が 1.2 T 以上且つ 3.0 T 以下の範囲に収まるように永久磁石 100 の大きさを決定するため、比較例としての永久磁石同期モータに比して、 $1/4$ 程度まで漏れ磁束量を低下させることができる。すなわち、リラクタンスモータ 1 の駆動に支障がでない程度の永久磁石 100 をバリア領域 18 に挿入して、各ブリッジ部の磁束を飽和させることができる。

[0042] 以上説明した第 1 の実施形態によれば、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が 1.2 T 以上となるように永久磁石 100 の断面積と残留磁束密度を決定するため、各ブリッジ部を飽和させて磁氣的に無効化することができる。これによって、誘起電圧を発生させることなく、リラクタンスモータ 1 の突極性を改善させることができ、突極比を高めることができる。この結果、モータの性能（トルク、効率、力率など）が改善し、エネルギー効率を向上させることができる。

[0043] また、上述した第1の実施形態によれば、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が3 T以下となるように永久磁石100の断面積と残留磁束密度を決定するため、永久磁石100から発生して電機子巻線7へ鎖交する磁束101は非常に小さく、誘起電圧の発生を抑制することができ、短絡事故等における保護回路などを別途設ける必要がなくなる。また、無負荷鉄損が発生しないため、本モータを用いたシステムとしてのエネルギー効率を改善することができる。

[0044] なお、これまでの説明においては電動機（モータ）として説明を行ってきたが、発電機（ジェネレータ）としても本回転機を運用することができ、本実施形態の適用範囲となる。

[0045] （第1の実施形態における変形例）

以下、第1の実施形態における変形例について説明する。上述した数式（1）および（2）によれば、d軸およびq軸を含む断面における永久磁石100の総断面積 S_M が一定であれば、バリア領域18における永久磁石100の配置位置に依らずに各ブリッジ部を飽和させることができる。従って、第1の実施形態における変形例として、例えば、永久磁石100を外周ブリッジ部 B_{Ds} 側に偏って配置する。

[0046] 図8は、バリア領域18における永久磁石100の配置位置の一例を示す図である。一般に、ブリッジ部を除く鉄心領域の磁路幅はブリッジ幅に比べて十分広く、ブリッジ部は飽和していてもその他の鉄心領域は飽和しない。したがって、永久磁石100を挿入してもブリッジ部以外の鉄心領域の比透磁率は数1000程度と非常に大きく、磁気回路として考えた場合は無視しうる抵抗値となる。したがって、図示のように永久磁石100がセンターブリッジ部 B_{Dc} と比べて外周ブリッジ部 B_{Ds} に近い位置に配置されている場合においても、センターブリッジ部 B_{Dc} と外周ブリッジ部 B_{Ds} にはほぼ同程度の起磁力が加わり、飽和レベルも同等となる。すなわち、バリア領域18において永久磁石100をどこに配置しても、各ブリッジ部の鉄心を飽和させることができる。

[0047] また、単一のバリア領域 18 に挿入する永久磁石 100 の数は 1 つに限られず、複数個であってもよい。図 9 は、バリア領域 18 における永久磁石 100 の配置位置の他の例を示す図である。図示のように、例えば、センターブリッジ部 BD_c を挟み、対となるバリア領域 18 のいずれか一方に個数が非対称となるように 2 つの永久磁石 100 を挿入してもよい。この際、対となるバリア領域 18 の双方において、永久磁石 100 の断面積は、上記数値範囲内であれば異なってもよい。

[0048] また、リラクタンスモータ 1 はスキュー構造であってもよい。図 10 は、リラクタンスモータ 1 の外観の一例を示す図である。図 10 の (a) に示すように、リラクタンスモータ 1 がスキュー構造である場合、図 10 の (b) に示すように、フラックスバリア 11 は、d 軸および q 軸からなる断面と直交する v 軸（すなわち回転軸 8）の位置に応じて、その断面での位置が異なってもよい。この場合、永久磁石 100 の形状もスキュー構造に合わせた形状であってもよい。

[0049] また、第 1 の実施形態では、各フラックスバリア 11 のバリア領域 18 ごとに永久磁石 100 が挿入されるものとして説明したがこれに限られず、いずれのバリア領域 18 にも永久磁石 100 が挿入されないフラックスバリア 11 が形成されてもよい。すなわち、永久磁石 100 によって各ブリッジ部の磁束を飽和させることで、より d 軸方向への漏れ磁束を少なくさせるフラックスバリア 11 と、単にバリア領域 18 によって d 軸方向への漏れ磁束を少なくさせるフラックスバリア 11 とが混在していてもよい。

[0050] また、リラクタンスモータ 1 の突極を 4 極として説明したがこれに限られず、2 極、6 極、8 極、その他任意の極数であってもよい。

[0051] （第 2 の実施形態）

以下、第 2 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1 A について説明する。ここでは、第 1 の実施形態との相違点として、センターブリッジ部 BD_c を挟みこむことで対となるバリア領域 18 のいずれか一方のみに永久磁石 100 を挿入する点について説明する。以下、上述した第 1 の実施形態と共通す

る機能等についての説明は省略する。

[0052] 図 11 は、第 2 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1A の 1 極分の構成を示す回転軸 8 に直交する断面図である。第 2 の実施形態では、センターブリッジ部 BD_c を挟み、対となるバリア領域 18 のいずれか一方のみに永久磁石 100 を挿入し、他方のバリア領域 18 には、当該永久磁石 100 と同程度の質量を有する重量調整部材 WT を挿入する。すなわち、永久磁石 100 は、フラックスバリア 11 の中央部（例えばフラックスバリア 11 の長手方向において各端部からの距離が同じ位置）に対して、いずれかの側に偏したバリア領域 18 に設けられ、重量調整部材 WT は、いずれかの側に偏していない他方のバリア領域 18 に設けられる。重量調整部材 WT は、非磁性体である。重量調整部材 WT が挿入されるバリア領域 18 には、重量調整部材 WT を固定するために接着性の樹脂などの非磁性体が充填されてもよいし、重量調整部材 WT と共に非磁性体のスペーサなどが挿入されてもよい。

[0053] なお、図 11 では、中心軸 O に最も近いフラックスバリア 11 についてのみバリア領域を示す 18、永久磁石を示す 100、重量調整部材を示す WT の符号を付しているが、その他のフラックスバリア 11 についても同様である。また、分割されたバリア領域を、18a、18b のように示している。

[0054] 重量調整部材 WT をバリア領域 18 に挿入する場合、上記数式 (1) または (2) において、永久磁石 100 の総断面積 S_M には、重量調整部材 WT の断面積を含めないものとする。すなわち、一方のバリア領域 18 に挿入された永久磁石 100 の断面積のみを用いて、回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s を評価すればよい。

[0055] また、図 11 の例では、d 軸の右側のみに重量調整部材 WT が挿入されているがこれに限られず、フラックスバリア 11 ごとに重量調整部材 WT の配置を入れ替えてよい。

[0056] 以下、第 2 の実施形態におけるリラクタンスモータ 1A における回転子鉄心 9 の飽和磁束密度 B_s と、各ブリッジ部の比透磁率と、電機子巻線 7 に鎖交する漏れ磁束量との関係について説明する。

[0057] 図12は、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s と、各ブリッジ部の比透磁率と、電機子巻線7に鎖交する漏れ磁束量との関係の他の例を示す図である。各ブリッジ部の比透磁率は、真空の透磁率に対するブリッジ部の透磁率の比率である。第2の実施形態でも、第1の実施形態と同様に、固定子2に漏れ出す磁束量の2乗値で評価するものとする。

[0058] 図12に示す結果は、図11に示すリラクタンスモータ1Aの構成のモデルを想定したときの解析結果である。この解析に用いたモデルでは、例えば、リラクタンスモータ1Aの回転軸8に対する1極分の断面において、回転子鉄心9をケイ素鋼板（非線形磁化特性）とし、フラックスバリア11を3層とし、各々のフラックスバリア11におけるバリア領域18を2つとし、各々のフラックスバリア11に含まれるセンターブリッジ部 BD_c を1つとしている。また、解析に用いたモデルでは、2つのバリア領域18の双方に、同程度の断面積および残留磁束密度 B_r を有する永久磁石100を挿入している。図中の飽和磁束密度 B_s は、上述した数式（2）により解析的に導出した値である。

[0059] 図12に示す結果は、上述した図7に示す結果と同様に、各ブリッジ部の比透磁率に着目した場合、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s が0から1.2T（テスラ）までの範囲では、各ブリッジ部の比透磁率が増加する傾向を有している。また、飽和磁束密度 B_s が1.2T以上の範囲では、各ブリッジ部の比透磁率が減少する傾向を有している。一方、漏れ磁束量に着目した場合、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s が2T程度までの範囲では、固定子2に漏れ出す磁束量（磁束の2乗値）がゼロ程度であり、回転子鉄心9の飽和磁束密度 B_s が2T以上の範囲では、固定子2に漏れ出す磁束量が指数関数的に増加している。従って、センターブリッジ部 BD_c の数が2つである場合でも、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が1.2T以上且つ3.0T以下の範囲に収まるように永久磁石100の断面積を決定することによって、漏れ磁束量の増加を抑制しつつ、各ブリッジ部の磁束を飽和させることができる。このように、ブリッジ部の数や位置を変更するような設計変更をした場合でも、数式

(1)、(2)の理論式を用いて導かれる結果は同様の傾向を示しており、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が上記数値範囲内に収まるように永久磁石100の断面積を決定すれば同一の効果を得ることができる。

[0060] 以上説明した第2の実施形態によれば、上述した第1の実施形態と同様に、リラクタンスモータ1の誘起電圧が発生しない程度の永久磁石100をバリア領域18に設けることにより、バリア領域18に永久磁石100を設けないリラクタンスモータ1に比べて突極性を改善させることができる。この結果、エネルギー効率を向上させることができる。

[0061] また、上述した第2の実施形態によれば、永久磁石100の代わりに重量調整部材WTを挿入することによって、回転子3において機械的なアンバランスを解消することができ、フラックスバリア11間の回転子鉄心9（各ブリッジ部も含む）に生じる応力をバランスよく分散させることができる。この結果、回転子3の機械的強度を向上させることができる。

[0062] （第3の実施形態）

以下、第3の実施形態におけるリラクタンスモータ1Bについて説明する。ここでは、第1および第2の実施形態との相違点として、センターブリッジ部BD。または外周ブリッジ部BD_sのいずれか一方が存在しない点について説明する。以下、上述した第1および第2の実施形態と共通する機能等についての説明は省略する。

[0063] 図13は、第3の実施形態におけるリラクタンスモータ1Bの1極分の構成を示す回転軸8に直交する断面図である。第3の実施形態では、外周ブリッジ部BD_sのみが存在し、各フラックスバリア11は、1つのバリア領域18を有している。この場合、上記数式(1)において、 w_B を $2w_o$ として扱うことで、永久磁石100の大きさを決定してよい。なお、図13では、中心軸Oに最も近いフラックスバリア11についてのみバリア領域を示す18、永久磁石を示す100の符号を付しているが、その他のフラックスバリア11についても同様である。

[0064] また、図13に示すリラクタンスモータ1Bにおいて、センターブリッジ

部 BD_c のみが存在していてもよい。この場合、上記数式 (1) において、 w_b を w_c として扱うことで、永久磁石 100 の大きさを決定してよい。

[0065] 以上説明した第3の実施形態によれば、上述した第1および第2の実施形態と同様に、リラクタンスモータ1の誘起電圧が発生しない程度の永久磁石100をバリア領域18に設けることにより、バリア領域18に永久磁石100を設けないリラクタンスモータ1に比べて突極性を改善させることができる。この結果、エネルギー効率を向上させることができる。

[0066] また、上述した第3の実施形態によれば、ブリッジ部の数を少なくすることができるため、バリア領域18に設ける永久磁石100を小さくすることができる。

[0067] (第4の実施形態)

以下、第4の実施形態におけるリラクタンスモータ1Cについて説明する。ここでは、第1から第3の実施形態との相違点として、バリア領域18が3つ以上形成されている点について説明する。以下、上述した第1から第3の実施形態と共通する機能等についての説明は省略する。

[0068] 図14は、第4の実施形態におけるリラクタンスモータ1Cの1極分の構成を示す回転軸8に直交する断面図である。図14では、中心軸Oに最も近いフラックスバリア11についてのみバリア領域を示す18、永久磁石を示す100の符号を付しているが、その他のフラックスバリア11についても同様である。また、分割されたバリア領域を、18a、18b、18cのように示している。第4の実施形態では、各フラックスバリア11においてバリア領域18が3つ形成されていることから、フラックスバリア11両端の間の中間地点において、2つのセンターブリッジ部 BD_c が形成されている。そして、バリア領域18のうち中央に位置する（中心軸Oに最も近い）バリア領域18bに永久磁石100が取り付けられている。

[0069] 図15は、バリア領域18における永久磁石100の配置位置の他の例を示す図である。永久磁石100は、それぞれのフラックスバリア11において、複数のバリア領域18のうち、回転軸8からの距離が最も短いバリア領

域 18 に挿入される。図示の例では、バリア領域 18 b である。なお、永久磁石 100 は、2 つのセンターブリッジ部 BD_c によって挟まれたバリア領域 18 b に挿入される代わりに、当該バリア領域 18 b の両脇に位置するバリア領域 18 a および 18 c のそれぞれに挿入されてもよい。これによって、永久磁石 100 の磁束は、2 つの外周ブリッジ部 BD_s および 2 つのセンターブリッジ部 BD_c に略均等に流れやすくなる。また、永久磁石 100 は、3 つのバリア領域 18 のうちの中間のバリア領域 18 b や、両脇のそれぞれのバリア領域 18 a および 18 c に挿入されるため、回転子 3 において機械的なアンバランスを解消することができ、フラックスバリア 11 間の回転子鉄心 9（各ブリッジ部も含む）に生じる応力をバランスよく分散させることができる。

[0070] 第 4 の実施形態では、フラックスバリア 11 ごとのバリア領域 18 の厚さ t_{FB} は、全てのバリア領域 18 の厚さの平均として扱われる。例えば、バリア領域 18 a および 18 c のそれぞれの幅を l_{OFB} 、厚さを t_{OFB} と定義し、バリア領域 18 b の幅を l_{CFB} 、厚さを t_{CFB} と定義した場合、 $t_{FB} = (2 t_{OFB} + t_{CFB}) / 3$ と表すことができる。また、永久磁石 100 の総断面積 S_M は、永久磁石 100 が 1 つであることから、 l_M と t_M の積となる。また、全てのブリッジ部の幅の総和 w_B は、 $w_B = 2 (w_o + w_c)$ として表される。これらのパラメータを用いることで、ギャップ G を通過して電機子巻線 7 へ鎖交する漏れ磁束が小さくなる（すなわち、誘起電圧が小さくなる）ように永久磁石 100 の断面積と残留磁束密度を決定することができる。

[0071] 以上説明した第 4 の実施形態によれば、上述した第 1 から第 3 の実施形態と同様に、リラクタンスモータ 1 の誘起電圧が発生しない程度の永久磁石 100 をバリア領域 18 に設けることにより、バリア領域 18 に永久磁石 100 を設けないリラクタンスモータ 1 に比べて突極性を改善させることができる。この結果、エネルギー効率を向上させることができる。

[0072] 以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、各ブリッジ部の飽和磁束密度 B_s が 1.2 T 以上且つ 3.0 T 以下の範囲に収まるように永久磁石

100の断面積と残留磁束密度を決定するため、誘起電圧を最小化しつつ、各ブリッジ部を磁氣的に無効化することができる。これによって、リラクタンスモータ1の突極性を改善させることができ、突極比を高めることができる。この結果、モータの性能（トルク、効率、力率など）が改善し、エネルギー効率を向上させることができる。

[0073] 本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

符号の説明

[0074] 1…リラクタンスモータ、2…固定子、3…回転子、4…固定子鉄心、5…ティース、7…電機子巻線、8…回転軸（シャフト）、9…回転子鉄心、11…フラックスバリア、18…バリア領域、100…永久磁石

請求の範囲

[請求項1]

軸心回りに回転するシャフトと、

前記シャフトに固定された回転子鉄心と、を備え、

前記回転子鉄心には、

前記回転子鉄心の外周面のある箇所から他の箇所に至る複数のフラックスバリアが、前記回転子鉄心の径方向に並んで形成されており、

、

前記フラックスバリアには、

前記フラックスバリアの長手方向の両端において前記回転子鉄心の外周面の一部を形成するブリッジ部を含む複数のブリッジ部が形成されており、

前記複数のブリッジ部の間に前記回転子鉄心における前記フラックスバリア以外の部分に比して透磁率が低い一つまたは複数のバリア領域が形成されており、

少なくとも一つの前記バリア領域には、永久磁石が設けられており、

、

前記永久磁石の磁化方向は、前記永久磁石の設けられた位置における前記フラックスバリアの長手方向に交差する方向に向けられており、

μ_0 ：前記バリア領域における前記永久磁石が存在しない領域の透磁率

S_M ：前記シャフトの延在方向に直交する平面における前記永久磁石の断面積

B_r ：前記永久磁石の残留磁束密度

μ_{re} ：前記永久磁石のリコイル透磁率

t_{FB} ：前記バリア領域の厚さの最小と最大の相加平均

w_B ：前記ブリッジ部の幅の最小と最大の相加平均

とした場合に、 $(\mu_0 \times S_M \times B_r) / (\mu_{re} \times t_{FB} \times w_B)$ の値が

、 1.2 以上

且つ 3.0 以下の範囲内となる、

回転子。

[請求項2] 前記回転子鉄心には、前記フラックスバリアによって区画され、固定子により形成された磁束が通過する一つ以上の磁路が形成されている、

請求項 1 に記載の回転子。

[請求項3] 少なくとも一つの前記フラックスバリアの長手方向の両端のいずれか一方の側に偏した位置に形成された前記バリア領域には、前記永久磁石が設けられ、他方の側に偏した位置に形成された前記バリア領域には、前記永久磁石と同程度の質量を有する重量調整部材が設けられている、

請求項 1 に記載の回転子。

[請求項4] 前記バリア領域内において、前記回転子鉄心と前記永久磁石との間に非磁性体が充填されている、

請求項 1 に記載の回転子。

[請求項5] 少なくとも一つの前記フラックスバリアには、複数の前記バリア領域が形成されており、複数の前記バリア領域のうち、前記シャフトに最も近いバリア領域に前記永久磁石が設けられている、

請求項 1 に記載の回転子。

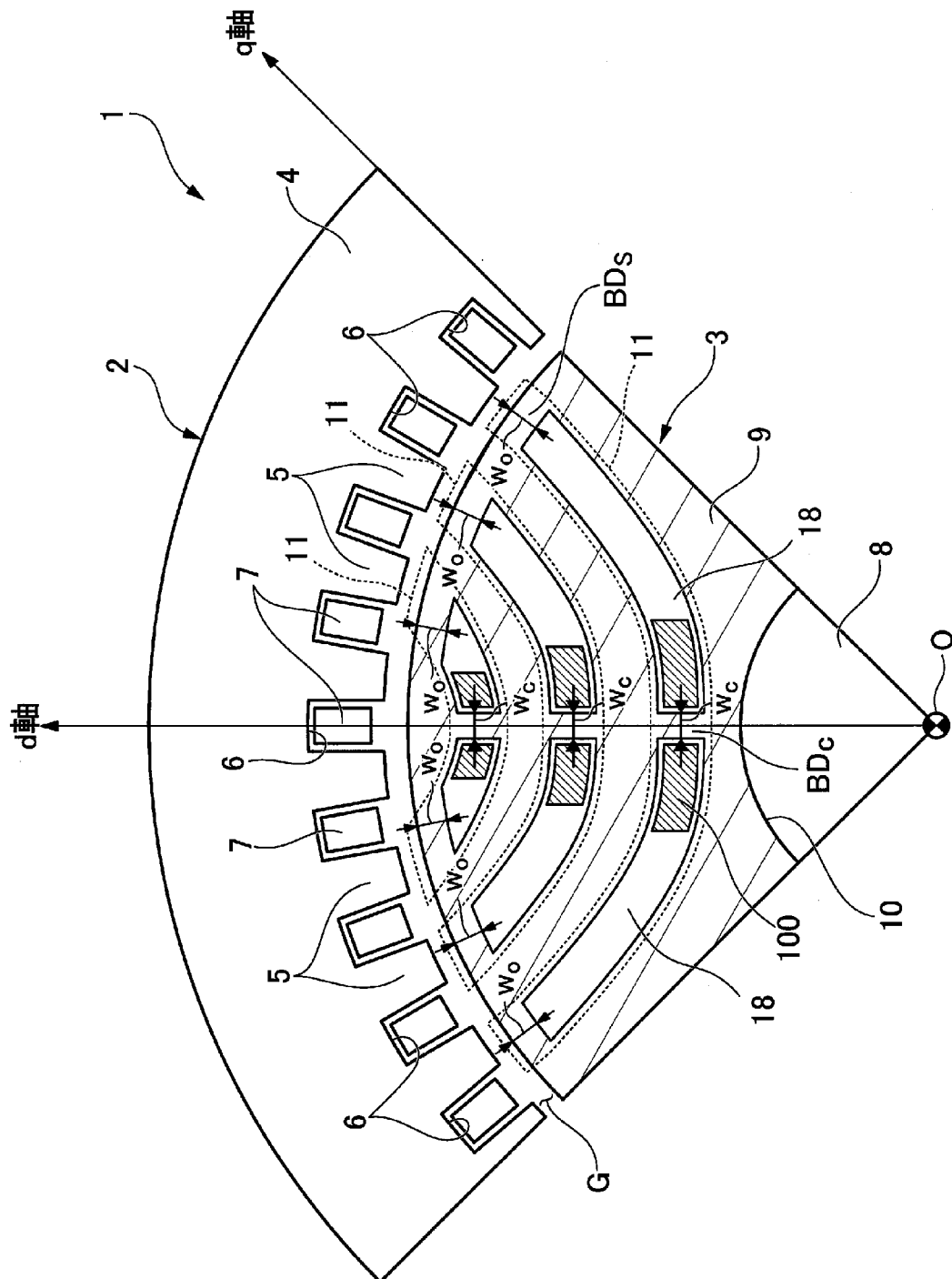
[請求項6] 請求項 1 に記載の回転子と、

前記回転子鉄心の外周に前記回転子鉄心と間隔をあけて配置され、互いに周方向に間隔をあけて配列された複数のティースを有する固定子鉄心と、

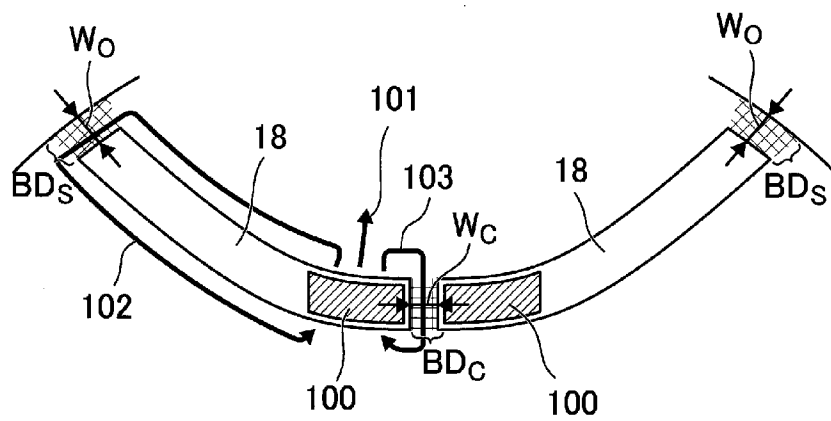
前記複数のティースにそれぞれ巻回された複数極の多相の電機子巻線と、

を備えるリラクタンスモータ。

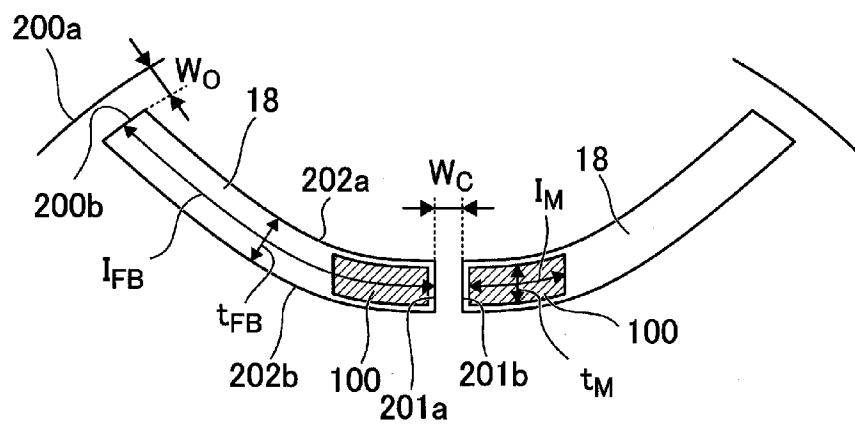
[図1]



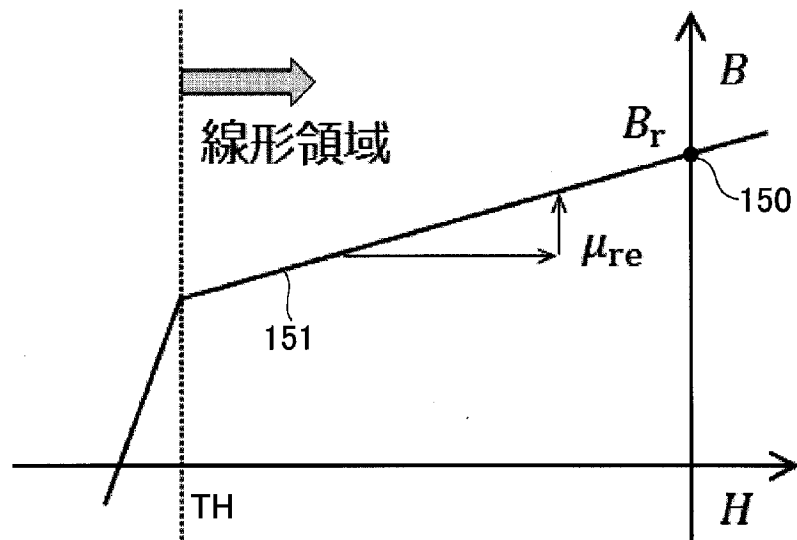
[図2]



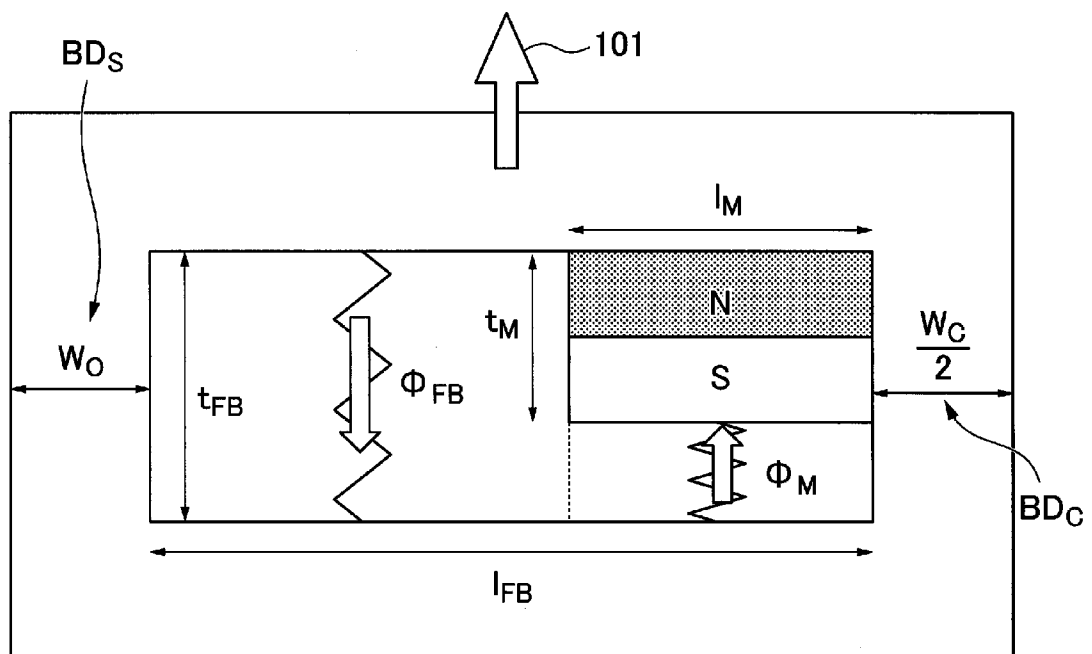
[図3]



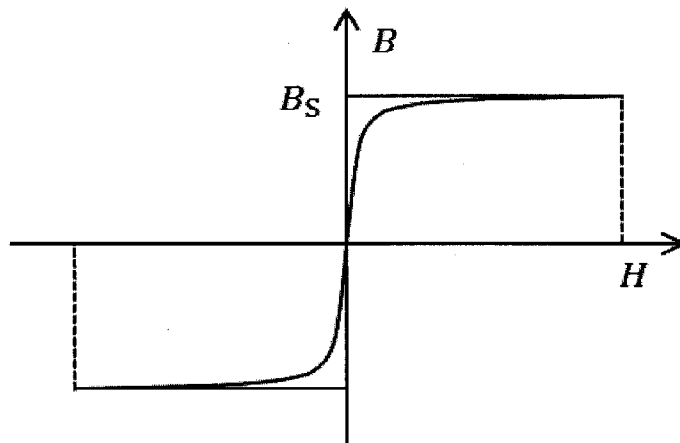
[図4]



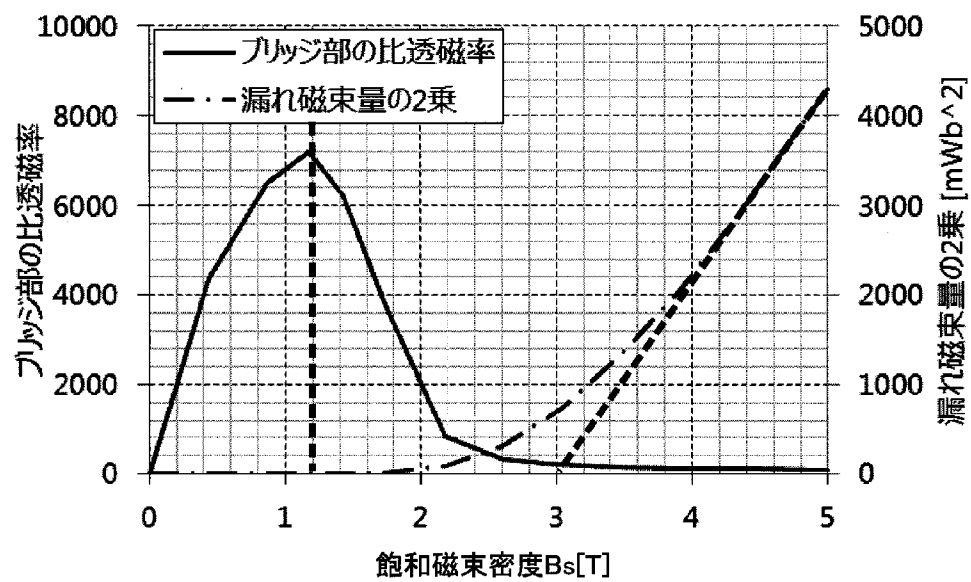
[図5]



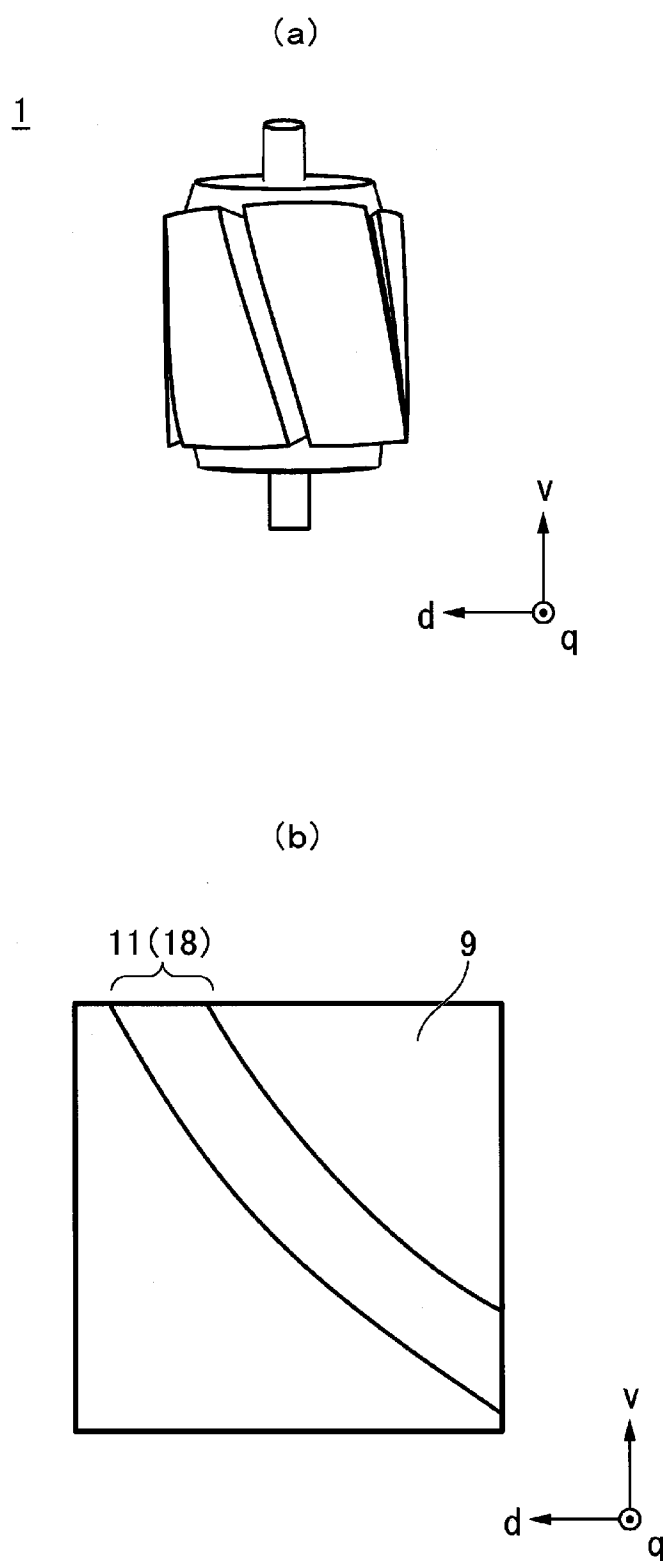
[図6]



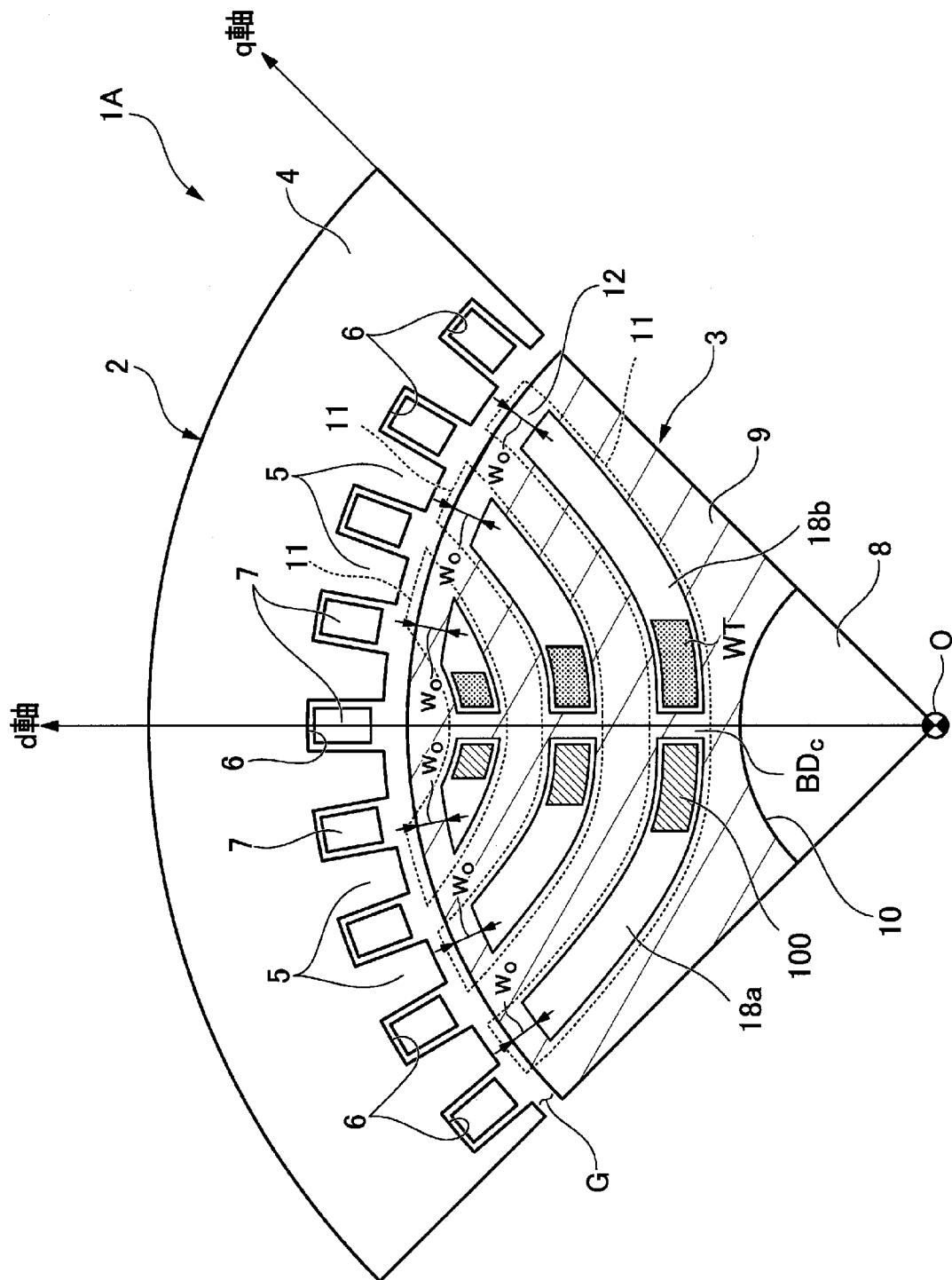
[図7]



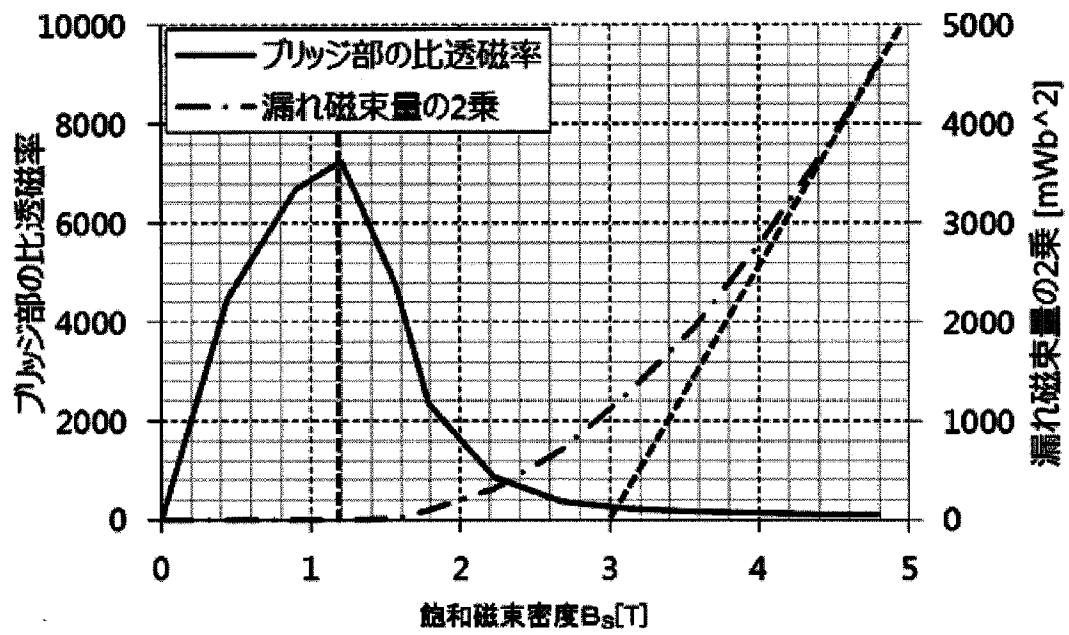
[図10]



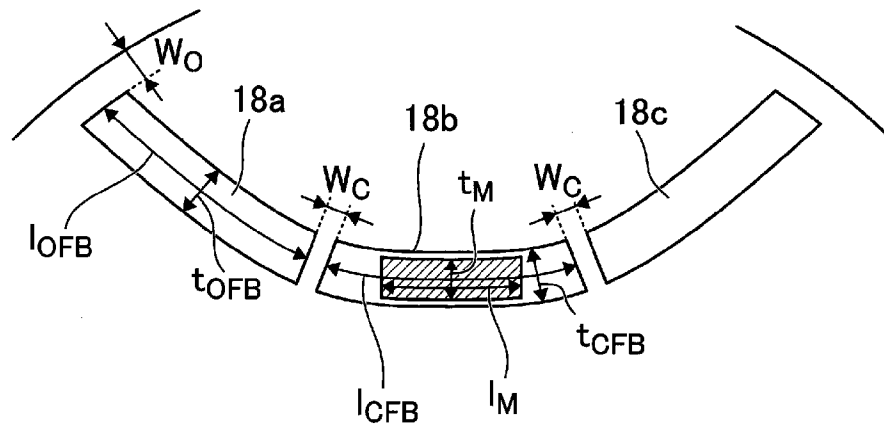
[図11]



[図12]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/028948

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K1/27(2006.01)i, H02K1/22(2006.01)i

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)

H02K1/27, H02K1/22

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2009-153353 A (Aichi Elec Co.), 09 July 2009 (09.07.2009), paragraphs [0014] to [0026]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-6
A	JP 2011-147345 A (Denso Corp.), 28 July 2011 (28.07.2011), fig. 5 (Family: none)	1-6
A	JP 11-89144 A (Hitachi, Ltd.), 30 March 1999 (30.03.1999), paragraph [0010]; fig. 3 (Family: none)	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

"T" 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
02 November 2017 (02.11.17)

Date of mailing of the international search report
14 November 2017 (14.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02K1/27(2006.01)i, H02K1/22(2006.01)i

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））

Int.Cl. H02K1/27, H02K1/22

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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）

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 2009-153353 A（アイチエレクトロニクス株式会社）2009.07.09, 段落[0014]-[0026]、図1-4（ファミリーなし）	1-6
A	JP 2011-147345 A（株式会社デンソー）2011.07.28, 図5（ファミリーなし）	1-6
A	JP 11-89144 A（株式会社日立製作所）1999.03.30, 段落[0010]、図3（ファミリーなし）	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。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「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
「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）
「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

「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.11.2017

国際調査報告の発送日

14.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

森山 拓哉

3 V

5561

電話番号 03-3581-1101 内線 3357