

明 細 書

発明の名称：ロータコア、ロータ、および回転電機

技術分野

[0001] 本開示は、ロータコア、ロータ、および回転電機に関する。

背景技術

[0002] IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) 等、永久磁石埋込型の回転電機では、ロータコア内に永久磁石が埋め込まれると共に、永久磁石の近傍にフラックスバリアが形成される。フラックスバリアは、回転電機内の磁束の流れを制御し、回転電機の特性を向上させるためのものである。このようなフラックスバリアが形成される場合、2つのフラックスバリアの間や、フラックスバリアとロータコアの端面との間にブリッジ部が形成される。ロータコアを構成する軟磁性体部（電磁鋼板等）でブリッジ部を構成すると、永久磁石で発生した磁束がステータコアに向かわずにブリッジ部を通りロータコア内で還流する虞がある。

[0003] そこで、国際公開第2019/065112号には、懸架方向の複数箇所之間隔を空けて配置され、鋼板の他の部位よりも透磁率が低減された複数の磁気抵抗部をブリッジ部に設けることが記載されている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、国際公開第2019/065112号に記載の技術では、複数の磁気抵抗部が、当該磁気抵抗部を挟むフラックスバリアのコーナ部よりも内側に作製されている。したがって、磁束がブリッジ部に進入し易くなる。また、国際公開第2019/065112号に記載の技術では、ブリッジ部における複数の磁気抵抗部の間の領域の磁気抵抗は殆どないとされている。したがって、ブリッジ部の懸架方向の一方の端から進入する磁束が、当該領域を経由して、他方の端に到達する虞がある。よって、永久磁石で発生

した磁束がステータコアに向かわずにブリッジ部を経由してロータコア内で還流することを低減することができない虞がある。例えば、複数の磁気抵抗部の間の領域が短い場合（例えばブリッジ部が短い場合）には、ロータコア内で還流する磁束の低減が困難になる。よって、回転電機のトルクを増加させることができない虞がある。

本開示は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、回転電機のトルクを増加させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様のロータコアは、永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を有するロータコアであって、高透磁率部と、比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも、前記ロータコアの内周面側に配置される内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である。

本開示の他の態様のロータコアは、永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を備えるロータコアであって、高透磁率部と、比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第1外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、回転電機のトルクを増加させることができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1] IPMSMの構成の一例を示す図である。

[図2] ロータの構成の第1の例を示す図であり、図1のロータに対応する。

[図3] ロータコアの構成の第1の例を示す図であり、図2のロータコアに対応

する。

[図4]図3に示すロータコアの一部分を拡大して示す図である。

[図5]内周側ブリッジ部の構成の一例を示す図である。

[図6]ロータコアの比較例1の構成を示す図である。

[図7]ロータコアの比較例2の構成を示す図である。

[図8]ロータコアの比較例3の構成を示す図である。

[図9]ロータの構成の第2の例を示す図である。

[図10]ロータコアの構成の第2の例を示す図である。

[図11]図10に示すロータコアの一部分を拡大して示す図である。

[図12]第1外周側ブリッジ部と第2外周側ブリッジ部の構成の一例を示す図である。

[図13]ロータコアの比較例4の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照しながら、本開示の一実施形態を説明する。

尚、長さ、位置、大きさ、間隔等、比較対象が同じであることは、厳密に同じである場合の他、本開示の主旨を逸脱しない範囲で異なるもの（例えば、設計時に定められる公差の範囲内で異なるもの）も含むものとする。また、各図において、 $x-y-z$ 座標は、各図における向きを示すものである。 $x-y-z$ 座標において、○の中に●が付されている記号は、紙面の奥側から手前側に向かう方向が正の方向であることを示す記号である。

[0009] (第1実施形態)

まず、第1実施形態を説明する。本実施形態では、回転電機がIPMSMである場合を例示する。

図1は、IPMSM100の構成の一例を示す図である。図1は、IPMSM100の中心線0（ロータ110の回転軸線）に対して垂直に切った場合のIPMSM100の断面図である。図1において、IPMSM100は、ロータ110と、ステータ120と、を備える。

[0010] ステータ120は、ステータコア121と、不図示のステータコイルと、

を備え、回転磁界を発生させるためのものである。尚、表記が複雑になるので、図1では、ステータ120が備えるステータコイルの図示を省略するが、ステータコイルは、ステータコア121のスロット122に配置される（尚、表記が複雑になるため、図1では48個のスロットのうちの1つのみに符号を付している）。

[0011] ロータ110は、IPMSM100の中心線0を回転軸線として回転する。本実施形態では、図1に示す矢印線の方法（すなわち、紙面に向かって反時計回りの方向）にロータ110が回転する場合を例示する。ただし、本実施形態においては、ロータ110の回転方向は、図1に示す矢印線の方法に限定されない。ロータ110は、図1に示す矢印線の方法とは逆の方法（すなわち、紙面に向かって時計回りの方向）に回転しても、図1に示す矢印線の方法とその逆の方法との両方向に回転してもよい。図2は、ロータ110の構成の一例を示す図である。図2も、図1と同様に、ロータ110の中心線0に対して垂直に切った場合のロータ110の断面図である（以下の説明では、ロータ110の中心線0に対して垂直に切った場合のロータ110の断面を、ロータ断面とも称する）。尚、ロータ110の中心線0と、IPMSM100の中心線0と、は一致する。

[0012] 図2に示すように、ロータ110は、ロータコア111と、複数の永久磁石112（ここでは1極当たり3個の永久磁石112a～112c）と、を備える。ロータコア111は、高透磁率特性を有する軟磁性材料を用いて構成される。ロータコア111は、例えば、ロータ110の中心線0に沿って積層された複数枚の電磁鋼板を用いて作製される。ただし、必ずしも、積層された複数の電磁鋼板を用いてロータコア111を構成する必要はない。ロータコア111は、例えば、圧粉磁心、アモルファスコア、およびナノ結晶コアであってもよい。尚、ロータコア111が、圧粉磁心、アモルファスコア、ナノ結晶コアである場合、ロータコア111を構成する軟磁性材料は、それぞれ、絶縁被覆された軟磁性粒子、アモルファス合金、ナノ結晶合金を用いて構成される。

- [0013] ロータコア111には、ロータコア111の中心線Oに平行な方向（以下、z軸方向と称する）に複数の穴が形成されている。本実施形態では、当該穴が、z軸方向に貫通する貫通穴である場合を例示する。
- [0014] 複数の永久磁石112は、それぞれ、ロータコア111に形成された穴に挿入されることで、ロータコア111内に設置（言い換えると、埋設）される。図2では、永久磁石112（112a～112c）の磁極面201（201a～201f）から磁束が流出入する場合を例示する。磁極面201に直交する方向（図2において、永久磁石112a～112cを横切るように示す両矢印線の方向）が永久磁石112の磁化方向である。永久磁石112が設置される穴において、永久磁石112が存在しない領域は、フラックスバリア113（113a～113f）となる。また、永久磁石112が設置されていない穴は、当該穴の全体がフラックスバリア113（113g～113j）となる。フラックスバリア113には有体物が存在しておらず、フラックスバリア113は空隙部（空気の領域）となっている。フラックスバリア113は、磁束が通らない、またはその周囲の領域よりも通りづらい領域である。ただし、非磁性体を設置することにより、フラックスバリア113を構成してもよい。また、ロータコア111には、フラックスバリア113以外にも穴114が作製されている。穴114には、不図示のシャフト等が設置される。
- [0015] 尚、本実施形態では、ロータ断面の形状が、ロータ110のz軸方向のいずれの位置においても、図2に示す形状になる場合を例示するが、必ずしもこのようにする必要はない。
- [0016] また、図1および図2では、IPMSM100の極数が8極である場合を例示する。図1および図2において、「1極」と示している両矢印線の範囲がIPMSM100の1極を構成する部分である。1極あたり3個の永久磁石112a～112cが埋設されており、ロータコア111には合計で24個の永久磁石が埋設されている。この極数や、1極当たりの永久磁石112の数や配置は一例を示すに過ぎず、任意に決めることができる。図1および

図2では、表記が複雑になるので、ロータ110の1極を構成する部分にのみに符号を付しロータ110のその他の7極を構成する部分における符号を省略する。尚、IPMSM100の極数が n 極(n は2以上の整数、図1および図2に示す例では $n=8$)である場合、IPMSM100は、概ね、IPMSM100の中心線0を回転対称軸とする n 回対称の回転対称性の関係を有する。

[0017] 図3は、ロータコア111の構成の一例を示す図である。図4は、図3に示すロータコア111の一部分を拡大して示す図である。図3も、図1および図2と同様に、ロータコア111の中心線0に対して垂直に切った場合のロータコア111の断面図である(以下の説明では、ロータコア111の中心線0に対して垂直に切った場合のロータコア111の断面を、ロータコア断面とも称する)。尚、ロータコア111の中心線0と、IPMSM100の中心線0およびロータ110の中心線0と、は一致する。また、図3でも図2と同様に、ロータコア111の1極を構成する部分にのみに符号を付しロータコア111のその他の7極を構成する部分における符号を省略する。

[0018] 図3において、ロータコア111は、永久磁石112(112a~112c)が設置される穴301a~301cと、永久磁石112が設置されない穴301d~301gと、を備える。

[0019] 永久磁石112a~112bが設置される穴301a~301bは、穴301a~301bに設置される永久磁石112a~112bの磁極面201a~201d(図2を参照)が、ロータコア111のステータ120と対向する端面である外周面に対して傾くように配置される。換言すると、永久磁石112a~112bの磁極面201a~201dは、ロータコア111の半径方向に対して傾くように配置されている。図3では、永久磁石112a~112bが設置される穴301a~301b(穴301a~301bに設置される永久磁石112a~112b)の周方向の間隔が、ロータコア111の外周面に近いほど広くなるように作製される場合を例示する。このように図2では、永久磁石112a~112bがいわゆるV字(逆さハの字)状

に配置される場合を例示する。一方、永久磁石112cが設置される穴301cは、穴301cに設置される永久磁石112cの磁極面201e~201f（図2を参照）が、高透磁率部311を介して、ロータコア111の外周面と対向するように（いわゆる平型配置となるように）作製される。

[0020] 図1では、インナーロータ型のIPMSM100を例示する。したがって、図1に示すように、ロータ110（ロータコア111）の外周面が、ステータ120と間隔を有して対向する端面になる。

また、図2において、永久磁石112（112a~112c）の側面202（202a~202c）、203（203a~203c）は、永久磁石112（112a~112c）の磁極面210（201a~201f）に平行な方向（以下、長さ方向と称す）の端部側に位置する端面（図2に示す例では、永久磁石112（112a~112c）の磁極面201（201a~201f）の長さ方向の端部に位置する端面）である。

[0021] 以上のように本実施形態では、永久磁石112a~112cが設置される穴301a~301cとして1極当たり3つの穴がロータコア111に作製されている場合を例示する。しかしながら、永久磁石が設置される穴の1極当たりの数は3つ以上であっても、2つ以下であってもよい。例えば、穴301dに永久磁石を設置してもよいし、穴301cに永久磁石112cを設置しなくてもよい。

[0022] 図4において、永久磁石112a~112cが設置される穴301a~301cの領域のうち、永久磁石112a~112cが設置される領域401a~401c以外の領域（すなわち、永久磁石112a~112cが設置されない領域）は、図2に示すフラックスバリア113a~113fとなる。また、永久磁石が設置されない穴301d~301gの全ての領域は、図2に示すフラックスバリア113g~113jとなる。

[0023] ロータコア111は、穴301a~301g以外の領域に、高透磁率部311および低透磁率部321a~321bを備える。高透磁率部311は、ロータコア111を構成する、前述した高透磁率特性を有する軟磁性材料（

電磁鋼板等）で構成される。

[0024] 低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b の比透磁率は、高透磁率部 3 1 1 の比透磁率よりも低く、且つ、真空又は空気の比透磁率（≒ 1）よりも高い（真空又は空気の比透磁率 < 低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b の比透磁率 < 高透磁率部 3 1 1 の比透磁率）。なお、本実施形態では、一例として、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b と高透磁率部 3 1 1 が同じ材料で一体に形成されている。具体的には、高透磁率部 3 1 1 は、前述したとおり軟磁性材料（電磁鋼板等）によって構成された部分であり、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b は、軟磁性材料を低透磁率化させた部分である。このように、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b と高透磁率部 3 1 1 が同じ材料で一体に形成されることにより、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b に高透磁率部 3 1 1 と異なる低透磁率材料（もしくは非磁性材料）を挿入して結合するよりも機械強度を高めることができる。なお、軟磁性材料を低透磁率化させる方法、すなわち、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b の作製方法については、以下に説明する。なお、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b の作製方法は、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b の比透磁率が高透磁率部の比透磁率よりも小さくなるようにしていれば、特に限定されない。

[0025] 例えば、ロータコア 1 1 1 を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b を構成する領域をプレスして、高透磁率部 3 1 1 を構成する領域の厚みよりも低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b を構成する領域の厚みを薄くすることにより、ロータコア 1 1 1 を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域の一部（本実施形態では、低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b）を低透磁率化してもよい。

[0026] また、特開 2 0 1 1 - 1 1 4 9 2 7 号公報に記載されているように、ロータコア 1 1 1 を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b を構成する領域の厚みをエッチングすることにより薄くしてもよい。

[0027] また、特開 2 0 0 1 - 9 3 7 1 7 号公報に記載されているように、ロータ

コア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち低透磁率部３２１ａ～３２１ｂを構成する領域に改質材料を添加しつつ高エネルギー密度のビームを照射することにより、ロータコア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域の一部を低透磁率化してもよい。

[0028] また、特開平１１－１８３２４号公報に記載されているように、ロータコア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち低透磁率部３２１ａ～３２１ｂを構成する領域を溶接したり、当該領域に歪みや転移を生じさせたりすることにより、ロータコア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域の一部を低透磁率化してもよい。

[0029] また、ロータコア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域の一部を低透磁率化せずに、低透磁率部３２１ａ～３２１ｂを作製してもよい。例えば、特開２０１０－０２９５１４号公報に記載されているように、ロータコア１１１を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち低透磁率部３２１ａ～３２１ｂを構成する領域に、ＩＰＭＳＭ１００のｚ軸方向に穴（例えば貫通穴）を作製し、当該穴に低透磁率部材を充填することにより、低透磁率部３２１ａ～３２１ｂを作製してもよい。

[0030] 以上のようにして作製される低透磁率部３２１ａ～３２１ｂは、少なくとも一部が、永久磁石１１２ａ～１１２ｃが設置される領域４０１ａ～４０１ｃの少なくとも１つよりも、ロータコア１１１の内周面側に配置される内周側ブリッジ部の全体に配置されるブリッジ部である。図５は、内周側ブリッジ部５０１ａ～５０１ｂの構成の一例を示す図である。尚、表記が複雑になるので、図５では、低透磁率部３２１ａ～３２１ｂの図示を省略する。

[0031] 図３～図５では、内周側ブリッジ部５０１ａ、５０１ｂが、永久磁石１１２ａ、１１２ｂが設置される穴３０１ａ、３０１ｂと、永久磁石が設置されない穴３０１ｄとの間に配置される場合を例示する。尚、本明細書において、穴と穴との間は、一方の穴を形成する面から他方の穴を構成する面までの領域を指し、穴と端面との間は、穴を形成する面から端面までの領域を指し、端面と端面との間は、端面から端面までの領域を指すものとする。また、

内周側ブリッジ部501a、501bは、永久磁石112a、112bが設置される穴301a、301bと、永久磁石が設置されない穴301dとの間に配置されるものに限定されない。内周側ブリッジ部は、2つの穴に挟まれることで、2つの穴の間に配置されていればよい。例えば、内周側ブリッジ部は、永久磁石が設置される2つの穴に挟まれることで、当該2つの穴の間に配置されるものでも、永久磁石が設置されない2つの穴に挟まれることで、当該2つの穴の間に配置されるものでもよい。また、内周側ブリッジ部501a、501bは、2つの穴（図3～図5に示す例では2つの穴301a、301dと2つの穴301b、301d）の間に配置される場合に限定されない。例えば、ロータコア111に作製される1つの穴（例えば穴301d）とロータコア111の内周面との距離が短く、当該1つの穴とロータコア111の内周面との間の領域がブリッジ部となる場合、当該ブリッジ部を内周側ブリッジ部としてもよい。このように内周側ブリッジ部は、1つの穴とロータコアの内周面とに挟まれることで、当該穴とロータコアの内周面との間に配置されていてもよい。

- [0032] 前述したように内周側ブリッジ部501a～501bの少なくとも一部は、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりも、ロータコア111の内周面側に配置される。前述したように本実施形態では、ロータ110（ロータコア111）の外周面が、ロータコア111のステータ120と間隔を有して対向する端面になる。したがって、ロータ110（ロータコア111）の内周面側（すなわち、中心線0側）は、ロータコア111のステータ120と対向する端面側とは反対側になる。図5では、各極において、内周側ブリッジ部501a～501bの少なくとも一部が、3つの永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cよりも、ロータ110（ロータコア111）の内周面側（中心線0側）に配置される場合を例示する。尚、図4に示すように、永久磁石112a～112bが設置される領域401a～401bは、永久磁石112cが設置される領域401cよりも、ロータ110（ロータコア111）

の内周面側（中心線0側）に配置されるので、内周側ブリッジ部501a～501bの全ての領域は、永久磁石112cが設置される領域401cよりも、ロータ110（ロータコア111）の内周面側（中心線0側）に配置される。

[0033] 図5では、内周側ブリッジ部501a～501bが、穴301a～301bの長さ方向の端部のうち、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの周方向の間隔が短くなる側の端部（すなわち、ロータコア111の内周面側の端部）504a～504bの間に配置される場合を例示する。

[0034] 内周側ブリッジ部501aの領域をより具体的に説明する。内周側ブリッジ部501aは、ロータコア断面において、内周側ブリッジ部501aを挟む穴301a、301dのコーナ部（言い換えると、ロータコア断面において、後述する代表点となる部分を含む穴を形成する辺と辺との接続部分）を結ぶ2つの線と、穴301a、301dと、により区画される、穴301a、301dの間の領域である。後述するように、内周側ブリッジ部の面積に対する、内周側ブリッジ部における低透磁率部の面積の割合は大きいほどよい。よって、これらの2つの線は、例えば、当該直線が穴301a、301dの内部を通らずに、且つ、内周側ブリッジ部501aの大きさが最も大きくなるようにコーナ部を形成する領域の中から選択される、コーナ部の代表点同士を結ぶ直線である。

[0035] 例えば、ロータコア断面において、コーナ部が1つの頂点として表れる場合には、当該頂点をコーナ部の代表点として選択する。

一方、穴301a、301dのコーナ部が曲率を有する場合等、コーナ部が1つの頂点で定まらない場合には、当該曲率を有する領域等、穴301a、301dのコーナ部を形成する領域の中から穴301a、301dのコーナ部の代表点を選択する。コーナ部の代表点は、例えば、内周側ブリッジ部501aの大きさが最も大きくなるように選択される。ただし、必ずしもこのようにしてコーナ部の代表点を選択する必要はない。例えば、コーナ部を

形成する領域の中心位置をコーナ部の代表点として選択してもよい。

[0036] 図5に示す例では、穴301aのコーナ部のうち、穴301dと対向する端に位置する2つのコーナ部はそれぞれ曲率を有しているため、穴301aのコーナ部を形成する領域から点502a～502bを選択して穴301aのコーナ部の代表点とする。また、穴301dのコーナ部のうち、穴301aと対向する端に位置する2つのコーナ部もそれぞれ曲率を有しているため、点502c～502dを穴301dのコーナ部を形成する領域から選択して穴301dのコーナ部の代表点とする。そして、穴301aのコーナ部の代表点502aと穴301dのコーナ部の代表点502cとを結ぶ直線503aと、穴301aのコーナ部の代表点502bと穴301dのコーナ部の代表点502dとを結ぶ直線503bと、穴301a、301dと、により区画される、穴301a、301dの間の領域を内周側ブリッジ部501aとする。

[0037] 同様に、穴301bのコーナ部の代表点502e～502fと、穴301dのコーナ部の代表点502g～502hとを選択する。そして、穴301bのコーナ部の代表点502eと穴301dのコーナ部の代表点502gを結ぶ直線503cと、穴301bのコーナ部の代表点502fと穴301dのコーナ部の代表点502hを結ぶ直線503dと、穴301b、301dと、により区画される、穴301b、301dの間の領域を内周側ブリッジ部501bとする。

本実施形態では以上のようにして内周側ブリッジ部501a～501bを定める。

[0038] 前述したように、内周側ブリッジ部501a～501bの全体が低透磁率部321a～321bであるので、図5に示す内周側ブリッジ部501a～501bと、図3および図4に示す低透磁率部321a～321bとは一致する。図4において、321a(501a)、321b(501b)と符号を付していることは、このことを意味する。

[0039] 以上のように本実施形態のロータコア111は、1極当たり2つの内周側

ブリッジ部501a～501bを備え、内周側ブリッジ部501a～501bの全体が低透磁率部321a～321bである場合を例示する。しかしながら、1極当たりの内周側ブリッジ部の数は2つ以上であっても、1つであってもよい。例えば、穴301dを2つに分け、当該2つの穴の間の領域をそれぞれ内周側ブリッジ部とし、当該内周側ブリッジ部の全体を低透磁率部としてもよい。このようにする場合、当該内周側ブリッジ部は、永久磁石が設置されていない2つの穴の間に配置されることになる。また、穴301dを作製せずに、穴301a～301bの間の領域を内周側ブリッジ部とし、当該内周側ブリッジ部の全体を低透磁率部としてもよい。このようにする場合、当該内周側ブリッジ部は、永久磁石が設置されている2つの穴の間に配置されることになる。また、このようにする場合、穴301a～301bの間の領域が狭くなるように、穴301a～301bの大きさおよび形状を変更するのが好ましい。

[0040] 本開示者らは、内周側ブリッジ部501a～501bの全体を低透磁率部321a～321bとすることで、内周側ブリッジ部501a～501bの一部のみを低透磁率部とするよりも、回転電機のトルクが増加することを見出した。以下にこのことについて説明する。ここでは、図3および図4に示すように、内周側ブリッジ部501a～501bの全体を低透磁率部321a～321bとしたものを本開示の実施例1と称することとする。

[0041] 図6、図7、図8は、ロータコアの比較例1、比較例2、比較例3の構成を示す図である。図6～図8は、図4に対応する図である。

[0042] 図6に示すように、比較例1は、実施例1における低透磁率部321a～321bを高透磁率部311に変更したものであり（すなわち、低透磁率部321a～321bを有さないものとしたものであり）、その他は実施例1と同じである。比較例1では、ロータコア断面において、内周側ブリッジ部501a～501bの面積に対する、内周側ブリッジ部501a～501bにおける低透磁率部の面積の割合を百分率で表した値は0%である。

[0043] 図7に示すように、比較例2は、実施例1における低透磁率部321a～

3 2 1 bを低透磁率部7 2 1 a～7 2 1 bに変更したものであり、その他は実施例1と同じである。比較例2では、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bの一部を、低透磁率部7 2 1 a～7 2 1 bとする。比較例2では、ロータコア断面において、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bの面積に対する、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bにおける低透磁率部7 2 1 a～7 2 1 bの面積の割合を百分率で表した値は4 0 %である。

[0044] 図8に示すように、比較例3は、実施例1における低透磁率部3 2 1 a～3 2 1 bを低透磁率部8 2 1 a～8 2 1 fに変更したものであり、その他は実施例1と同じである。比較例3でも比較例2と同様に、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bの一部を、低透磁率部8 2 1 a～8 2 1 fとする。ただし、比較例3では、ロータコア断面において、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bの面積に対する、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bにおける低透磁率部8 2 1 a～8 2 1 fの面積の割合を百分率で表した値は6 0 %である。

[0045] 実施例1、比較例1、比較例2、および比較例3における高透磁率部3 1 1は同じ磁化特性を有するものである。また、実施例1、比較例2、および比較例3における低透磁率部3 2 1 a～3 2 1 b、7 2 1 a～7 2 1 b、8 2 1 a～8 2 1 fは、内周側ブリッジ部5 0 1 a～5 0 1 bに占める面積割合が異なるだけであり、同じ磁化特性を有するものである。ここでIPMSMのトルクを電磁界解析で評価するにあたり、高透磁率部3 1 1と同じ種類の電磁鋼板を当該電磁鋼板の板厚の半分の板厚になるまでプレスしたサンプルを作製して当該サンプルの磁化特性を測定し、測定した磁化特性を低透磁率部3 2 1 a～3 2 1 b、7 2 1 a～7 2 1 b、8 2 1 a～8 2 1 fの磁化特性とした。尚、高透磁率部3 1 1の磁化特性は、高透磁率部3 1 1を構成する電磁鋼板の磁化特性である。

[0046] 回転数＝3 0 0 0 r p m、励磁電流（励磁電流の実効値）＝2 0 A、進角＝3 0 d e gの運転条件で、実施例1、比較例1、比較例2、比較例3のロータコアを備えるIPMSMを運転した場合のIPMSMの電磁界解析を、

高透磁率部 3 1 1 の磁化特性および低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b、7 2 1 a ~ 7 2 1 b、8 2 1 a ~ 8 2 1 f の磁化特性を用いて有限要素法により実行した。ここでは、x-y 平面の二次元の電磁界解析を実行した。そして、電磁界解析の結果として得られる磁束密度ベクトルに基づいて、マクスウェルの応力テンソルを算出し、マクスウェルの応力テンソルから IPMSM のトルクを算出した。

[0047] その結果、図 6 に示す比較例 1 では IPMSM のトルク T は 15.00 Nm となり、図 7 に示す比較例 2 では IPMSM のトルクは 15.08 Nm となり、図 8 に示す比較例 3 では IPMSM のトルク T は 15.10 Nm となり、図 4 に示す実施例 1 では IPMSM のトルク T は 15.14 Nm となった。したがって、内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b の面積に対する、低透磁率部の面積の割合が 3 2 1 a ~ 3 2 1 b、7 2 1 a ~ 7 2 1 b、8 2 1 a ~ 8 2 1 f の順に大きくなるほど、IPMSM のトルクは大きくなる。図 6 に示す比較例 1 に比べて図 4 に示す実施例 1 では、IPMSM のトルクは 1.0% 増加する。また、内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b 内の最大磁束密度は、図 6 に示す比較例 1 では 1.7 T であるのに対し、図 4 に示す実施例 1 では 1.4 T であった。これらの結果は、内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b の面積に対する、低透磁率部の面積の割合が 3 2 1 a ~ 3 2 1 b、7 2 1 a ~ 7 2 1 b、8 2 1 a ~ 8 2 1 f の順に大きくなるほど、内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b を経由してロータコア 1 1 1 内を還流する磁束が減ることに対応し、このことが IPMSM 1 0 0 のトルクの増加に寄与する。

[0048] 以上のように本実施形態では、永久磁石 1 1 2 a ~ 1 1 2 c が設置される領域 4 0 1 a ~ 4 0 1 c の少なくとも 1 つよりもロータコア 1 1 1 の内周側に少なくとも一部が配置される内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b の全体を低透磁率部 3 2 1 a ~ 3 2 1 b とする。したがって、内周側ブリッジ部 5 0 1 a ~ 5 0 1 b を経由してロータコア 1 1 1 内を還流する磁束を減らすことができる。よって、IPMSM 1 0 0 のトルクを増加させることができ

る。また、非磁性部（比透磁率が真空の比透磁率（＝１）と同じ）を空隙として作製するよりも、低透磁率部を作製する方がコアの機械強度を高くすることができる。したがって、ロータコア１１１の外形寸法が同じ場合でも、ＩＰＭＳＭ１００のトルクを増加させると共に高回転数化を実現できる、すなわち高出力化を実現できるロータコア１１１を作製することができる。

[0049] 本実施形態では、回転電機は、インナーロータ型のＩＰＭＳＭ１００を例示した。しかしながら、回転電機は、インナーロータ型のＩＰＭＳＭ１００に限定されない。例えば、アウターロータ型のＩＰＭＳＭのモータのロータに対して、本実施形態で説明したようにして、低透磁率部を作製してもよい。この場合、ロータコアの内周面が、ステータと間隔を有して対向する端面になり、ロータコアの外周面が、ステータと間隔を有して対向する端面とは反対側の端面になる。したがって、アウターロータ型のＩＰＭＳＭのモータのロータに対して、本実施形態で説明したようにして、低透磁率部を作製する場合、例えば、本実施形態の説明において、インナーロータをアウターロータに置き換え、外周を内周に置き換え、内周を外周に置き換えればよい。回転電機として、永久磁石埋込型のモータではなく、永久磁石埋込型の発電機のロータに対して、本実施形態で説明したようにして、低透磁率部を作製してもよい。

[0050] （第２実施形態）

次に、第２実施形態を説明する。第１実施形態では、内周側ブリッジ部５０１ａ～５０１ｂの全体を低透磁率部３２１ａ～３２１ｂとする場合を例示した。本実施形態では、内周側ブリッジ部５０１ａ～５０１ｂ以外のブリッジ部も低透磁率部とする場合について説明する。このように本実施形態は、第１実施形態に対し、低透磁率部とする箇所を増やしたものである。したがって、本実施形態の説明において第１実施形態と同一の部分については、図１～図８に付した符号と同一の符号を付す等して詳細な説明を省略する。

[0051] 本実施形態では、図２に示すロータ１１０が以下のように変更される。図９は、ロータ９１０の構成の一例を示す図である。図９は、ロータ９１０の

中心線0に対して垂直に切った場合のロータ910の断面図（ロータ断面を示す図）であり、図2に対応する図である。本実施形態でも、第1実施形態と同様に、図9に示す矢印線（紙面に向かって反時計回りの方向）にロータ910が回転し、図9に示す矢印線（紙面に向かって時計回りの方向）にはロータ910が回転しない場合を例示する。

[0052] ロータ910は、ロータコア911と、複数の永久磁石112（1極当たり3個の永久磁石112a～112c）と、を備える。ロータコア911は、例えば、複数枚の電磁鋼板を、ロータ910の中心線0に沿って積層させることにより構成される。ただし、必ずしも、複数の電磁鋼板を積層させることによりロータコア911を構成する必要はない。第1実施形態で例示したように、他の軟磁性材料によりロータコア911を構成してもよい。

[0053] ロータコア911に作製される穴は、第1実施形態のロータコア111に作製される穴と同じである。また、複数の永久磁石112も、第1実施形態の複数の永久磁石112と同じである。したがって、本実施形態のロータ910においても、第1実施形態のロータ110と同じフラックスバリア113（113a～113j）および穴114が作製される。

[0054] また、本実施形態でも第1実施形態と同様に、ロータ断面の形状が、ロータ110のz軸方向のいずれの位置においても、図9に示す形状になる場合を例示する。また、図9では、第1実施形態と同様に、IPMSMの極数が8極である場合を例示する。図9でも図2と同様に、表記が複雑になるので、ロータ910の1極を構成する部分にのみ符号を付しロータ910のその他の7極を構成する部分における符号を省略する。

[0055] 図10は、ロータコア911の構成の一例を示す図である。図10は、ロータコア911の中心線0に対して垂直に切った場合のロータコア911の断面図（すなわち、ロータコア断面を示す図）であり、図3に対応する図である。尚、図10でも図3と同様に、ロータコア911の1極を構成する部分にのみ符号を付しロータコア911のその他の7極を構成する部分における符号を省略する。図11は、図10に示すロータコア911の一部分を

拡大して示す図であり、図4に対応する図である。

- [0056] 図10および図11において、ロータコア911は、第1実施形態のロータコア111に対し、高透磁率部311の一部を低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cにしたものである。低透磁率部321a～321b、1021a～1021c、1022a～1022cの比透磁率は、高透磁率部1011の比透磁率よりも小さく、且つ、真空の比透磁率（＝1）よりも大きい（真空の比透磁率＜低透磁率部321a～321b、1021a～1021c、1022a～1022cの比透磁率＜高透磁率部1011の比透磁率）。
- [0057] 低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cは、例えば、第1実施形態で説明した低透磁率部321a～321bの作製方法の1つを採用して作製される。尚、作業負荷を軽減する観点から、低透磁率部321a～321bと、低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cとを同じ方法で作製するのが好ましい。例えば、ロータコア911を構成する軟磁性材料（電磁鋼板等）の領域のうち、低透磁率部321a～321b、1021a～1021c、1022a～1022cを構成する領域をプレスすることにより、低透磁率部321a～321b、1021a～1021c、1022a～1022cを作製すれば、1枚の電磁鋼板における、低透磁率部321a～321b、1021a～1021c、1022a～1022cの領域を、一度のプレスで作製することができる。
- [0058] 低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cは、第1実施形態で説明した内周側ブリッジ部501a～501bよりもロータコア911の外周側に配置されるブリッジ部である第1外周側ブリッジ部の一部または第2外周側ブリッジ部の一部に作製される。第1外周側ブリッジ部は、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも、ロータコア911の回転方向の先頭側に配置される。一方、第2外周側ブリッジ部は、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも、ロータコア911の回転方向の後尾側

に配置される。

[0059] 図10および図11に示す例では、低透磁率部1021a～1021cは、第1外周側ブリッジ部の一部に作製される。一方、低透磁率部1022a～1022cは、第2外周側ブリッジ部の全体に作製される。図12は、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cと第2外周側ブリッジ部1221a～1221cの一例を示す図である。尚、表記が複雑になるので、図12では、低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cの図示を省略する。

[0060] 図10～図12において、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cおよび第2外周側ブリッジ部1221a～1221cは、ロータコア911に作製された複数の穴301a～301gのうち少なくとも一部が内周側ブリッジ部501a～501bよりもロータコア911の外周面側に配置されるブリッジ部である。第1外周側ブリッジ部および第2外周側ブリッジ部には、2つの穴に挟まれることで、2つの穴の間に配置されるブリッジ部、または、1つの穴とロータコアの外周面とに挟まれることで、当該穴とロータコアの外周面との間に配置されるブリッジ部とが含まれる。

[0061] 具体的には、第1外周側ブリッジ部1211aは、ロータコア911に作製された穴301aとロータコア911の外周面との間に配置されるブリッジ部である。また、第2外周側ブリッジ部1221aは、ロータコア911に作製された穴301bとロータコア911の外周面との間に配置されるブリッジ部である。

[0062] 前述したように図12において第1外周側ブリッジ部1211a（第1外周側ブリッジ部1211aの全ての領域）は、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも、ロータコア911の回転方向の先頭側に配置される。第2外周側ブリッジ部1221a（第2外周側ブリッジ部1221aの全ての領域）は、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも、ロータコア911の回転方向の後尾側に配置される。ロータコア911の回転方向の先

頭側は、ロータコア 911 の回転方向の後尾側の反対側である。以下では、ロータコア 911 の回転方向の先頭側を単に先頭側とも称し、ロータコア 911 の回転方向の後尾側を単に後尾側とも称する。

[0063] 図 9 に示す例では、ロータコア 911 の 1 つの極を構成する領域は、「1 極」と示している両矢印線の範囲である。図 11 および図 12 に、ロータコア 911 の 1 つの極を構成する領域の周方向の中央の位置と中心線 0 とを結んだ仮想線 1101 で示す。仮想線 1101 が示す位置が、ロータコア 911 の 1 つの極を構成する領域の周方向の中央の位置である。第 1 外周側ブリッジ部 1211a（第 1 外周側ブリッジ部 1211a の全ての領域）は、仮想線 1101 よりも先頭側に配置され、第 2 外周側ブリッジ部 1221a（第 2 外周側ブリッジ部 1221a の全ての領域）は、仮想線 1101 よりも後尾側に配置される。

[0064] ロータコア 911 の回転方向の先頭側は、ロータ 910 の回転方向に向かって見た場合に、永久磁石 112 の先頭の位置側であり、ロータコア 911 の回転方向の後尾側は、当該永久磁石 112 の後尾の位置側である。具体的に図 9 に示す例では、ロータ 910 の回転方向に向かって見た場合に、永久磁石 112 の先頭の位置は、永久磁石 112 の側面 202 にあり、当該永久磁石 112 の後尾の位置は、永久磁石 112 の側面 203 にある。したがって、ロータコア 911 は、ロータコア 911 の回転方向の先頭側が、永久磁石 112 の側面 202 側となり、ロータコア 911 の回転方向の後尾側が、当該永久磁石 112 の側面 203 側となるようにロータ 910 に配置される。

[0065] また、第 1 外周側ブリッジ部 1211a の少なくとも一部は、図 11 に示す永久磁石 112a～112c が設置される領域 401a～401c の少なくとも 1 つよりも、ロータコア 911 の外周面側に配置される。同様に、第 2 外周側ブリッジ部 1221a の少なくとも一部は、図 11 に示す永久磁石 112a～112c が設置される領域 401a～401c の少なくとも 1 つよりも、ロータコア 911 の外周面側に配置される。本実施形態でも、イン

ナーロータ型のIPMSMを例示する。したがって、本実施形態でも第1実施形態と同様に、ロータ910（ロータコア911）の外周面が、ロータコア911のステータ120と間隔を有して対向する端面になる場合を例示する。

[0066] 図12では、第1外周側ブリッジ部1211aおよび第2外周側ブリッジ部1221aの全てが、3つの永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cよりも、ロータ910（ロータコア911）の外周面に配置される場合を例示する（尚、図11に示すように永久磁石112cが設置される領域401cは、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cよりも、ロータ910（ロータコア911）の外周面に配置される）。より具体的に図12では、第1外周側ブリッジ部1211a、第2外周側ブリッジ部1221aが、穴301a、301bと、ロータ910（ロータコア911）の外周面との間に配置される場合を例示する。

[0067] 図12を用いて、第1外周側ブリッジ部1211aの領域をより具体的に説明する。第1外周側ブリッジ部1211aは、ロータコア断面において、第1外周側ブリッジ部1211aに隣接する穴301aの2つのコーナ部の代表点から、（ロータコア911の外周面の接線と垂直になるように）ロータコア911の外周面におろした2つの垂線と、穴301aと、ロータコア911の外周面と、により区画される、穴301aとロータコア911の外周面との間の領域である。穴301aの2つのコーナ部の代表点は、例えば、当該垂線が穴301aの内部を通らずに、且つ、第1外周側ブリッジ部1211aの大きさが最も大きくなるように選択される。尚、ロータコア断面において、コーナ部の代表点からロータコア911の外周面におろした垂線は、コーナ部の代表点と中心線0とを結ぶ直線と重なる。

[0068] 例えば、ロータコア断面において、コーナ部が1つの頂点として表れる場合には、当該頂点をコーナ部の代表点として選択する。

一方、穴301aのコーナ部が曲率を有する場合等、コーナ部が1つの頂

点で定まらない場合には、当該曲率を有する領域等、コーナ部を形成する領域の中から穴３０１ａのコーナ部の代表点をコーナ部とする。コーナ部の代表点は、例えば、第１外周側ブリッジ部１２１１ａの大きさが最も大きくなるように選択される。ただし、必ずしもこのようにしてコーナ部の代表点を選択する必要はない。例えば、コーナ部を形成する領域の中心位置を代表点として選択してもよい。

[0069] 図１２に示す例では、穴３０１ａのコーナ部のうち、ロータコア９１１の外周面と対向する位置にある２つのコーナ部はそれぞれ曲率を有しているため、穴３０１ａのコーナ部を形成する領域から点１２０１ａ～１２０１ｂを選択して穴３０１ａのコーナ部とする。そして、穴３０１ａ代表点１２０１ａから、ロータコア９１１の外周面におろした垂線１２０２ａと、穴３０１ａ代表点１２０１ｂから、ロータコア９１１の外周面におろした垂線１２０２ｂと、穴３０１ａと、ロータコア９１１の外周面と、により区画される、穴３０１ａとロータコア９１１の外周面との間の領域を第１外周側ブリッジ部１２１１ａとする。

[0070] 同様に、穴３０１ｂのコーナ部の代表点１２０１ｃ～１２０１ｄを選択する。そして、穴３０１ｂの代表点１２０１ｃから、ロータコア９１１の外周面におろした垂線１２０２ｃと、穴３０１ｂの代表点１２０１ｄから、ロータコア９１１の外周面におろした垂線１２０２ｄと、穴３０１ｂと、ロータコア９１１の外周面と、により区画される、穴３０１ｂとロータコア９１１の外周面との間の領域を第２外周側ブリッジ部１２２１ａとする。

[0071] 図１２において、第１外周側ブリッジ部１２１１ｂは、ロータコア９１１に作製された穴３０１ｅとロータコア９１１の外周面との間に配置されるブリッジ部である。第１外周側ブリッジ部１２１１ｃは、ロータコア９１１に作製された穴３０１ｃ、３０１ｅの間に配置されるブリッジ部である。第２外周側ブリッジ部１２２１ｂは、ロータコア９１１に作製された穴３０１ｆとロータコア９１１の外周面との間に配置されるブリッジ部である。第２外周側ブリッジ部１２２１ｃは、ロータコア９１１に作製された穴３０１ｃ、

301fの間に配置されるブリッジ部である。

[0072] 第1外周側ブリッジ部1211aと同様に、第1外周側ブリッジ部1211b～1211c（第1外周側ブリッジ部1211b～1211cの全ての領域）は、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央（言い換えると、仮想線1101）よりも先頭側に配置される。第2外周側ブリッジ部1221aと同様に、第2外周側ブリッジ部1221b～1221c（第2外周側ブリッジ部1221b～1221cの全ての領域）は、ロータコア911の1つの極を構成する領域の周方向の中央（仮想線1101）よりも後尾側に配置される。

[0073] また、第1外周側ブリッジ部1211aと同様に、第1外周側ブリッジ部1211b～1211cの少なくとも一部は、図11に示す永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりも、ロータコア911の外周面側に配置される。また、第2外周側ブリッジ部1221aと同様に、第2外周側ブリッジ部1221b～1221cの少なくとも一部は、図11に示す永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりも、ロータコア911の外周面側に配置される。

[0074] 図12では、第1外周側ブリッジ部1211bおよび第2外周側ブリッジ部1221bの全てが、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cよりも、ロータ910（ロータコア911）の外周面側に配置される場合を例示する。より具体的に図12では、第1外周側ブリッジ部1211b、第2外周側ブリッジ部1221bが、穴301e、301fと、ロータ910（ロータコア911）の外周面との間に配置される場合を例示する。

このように第1外周側ブリッジ部1211bおよび第2外周側ブリッジ部1221bは、第1外周側ブリッジ部1211aおよび第2外周側ブリッジ部1221aと同様に、ロータ910（ロータコア911）の外周面と穴との間にあるブリッジ部であるので、第1外周側ブリッジ部1211aおよび

第2外周側ブリッジ部1221aと同様にして定められる。

[0075] 具体的に、図12に示す例では、穴301eのコーナ部の代表点1201e～1201fを選択する。そして、穴301e代表点1201eから、ロータコア911の外周面におろした垂線1202eと、穴301e代表点1201fから、ロータコア911の外周面におろした垂線1202fと、穴301eと、ロータコア911の外周面と、により区画される、穴301eとロータコア911の外周面との間の領域を第1外周側ブリッジ部1211bとする。

[0076] 同様に、穴301fのコーナ部の代表点1201h～1201iを選択する。そして、穴301fの代表点1201hから、ロータコア911の外周面におろした垂線1202gと、穴301fの代表点1201iから、ロータコア911の外周面におろした垂線1202hと、穴301fと、ロータコア911の外周面と、により区画される、穴301fとロータコア911の外周面との間の領域を第2外周側ブリッジ部1221bとする。

[0077] また、図12では、第1外周側ブリッジ部1211cが穴301cと穴301eとの間に配置され、且つ、第2外周側ブリッジ部1221cが穴301cと穴301fとの間に配置される場合を例示する。第1外周側ブリッジ部1211c、第2外周側ブリッジ部1221cの少なくとも一部は、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりもロータ910（ロータコア911）の外周面側に配置される。第1外周側ブリッジ部1211c、第2外周側ブリッジ部1221cの一部が、永久磁石112cが設置される領域401cよりもロータ910（ロータコア911）の外周面側に配置される場合を例示する。

[0078] このように第1外周側ブリッジ部1211cおよび第2外周側ブリッジ部1221cは、第1実施形態の内周側ブリッジ部501a～501bと同様に、2つの穴の間にあるブリッジ部であるので、第1実施形態の内周側ブリッジ部501a～501bと同様にして定められる。

[0079] 具体的に、図12に示す例では、穴301eのコーナ部の代表点1201

f～1201gを選択すると共に、穴301cのコーナ部の代表点1201k～1201lを選択する。そして、穴301eのコーナ部の代表点1201fと穴301cのコーナ部の代表点1201kとを結ぶ直線1202iと、穴301eのコーナ部の代表点1201gと穴301cのコーナ部の代表点1201lとを結ぶ直線1202jと、穴301c、301eと、により区画される、穴301c、301eの間の領域を第1外周側ブリッジ部1211cとする。

[0080] 同様に、穴301fのコーナ部の代表点1201i～1201jを選択すると共に、穴301cのコーナ部の代表点1201m～1201nを選択する。そして、穴301fのコーナ部の代表点1201iと穴301cのコーナ部の代表点1201mとを結ぶ直線1202kと、穴301fのコーナ部の代表点1201jと穴301cのコーナ部の代表点1201nとを結ぶ直線1202lと、穴301c、301fと、により区画される、穴301c、301fの間の領域を第2外周側ブリッジ部1221cとする。

本実施形態では以上のようにして第1外周側ブリッジ部1211a～1211cと第2外周側ブリッジ部1221a～1221cとを定める。

[0081] 前述したように、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部が低透磁率部1021a～1021cであるので、図12に示す第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部が低透磁率部1021a～1021cとなり、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの残りは高透磁率部1011になる。一方、第2外周側ブリッジ部1221a～1221cの全体が低透磁率部1022a～1022cであるので、図12に示す第2外周側ブリッジ部1221a～1221cと、図10および図11に示す低透磁率部1022a～1022cとは一致する。図11において、1021a(1221a)、1021b(1221b)、1021c(1221c)と符号を付していることは、このことを意味する。尚、図11においても、図4と同様に、321a(501a)、321b(501b)と符号を付して、内周側ブリッジ部501a～501bと低透磁率部321a～321bと

が一致することを示す。

[0082] 本開示者らは、ロータコア911の1つの極を構成する領域の周方向の中央よりも先頭側に配置される第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部を低透磁率部1021a～1021cとすることで、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの全体を低透磁率部とする場合よりも、回転電機のトルクが増加することを見出した。以下にこのことについて説明する。

[0083] 図13は、ロータコアの比較例4の構成を示す図である。図13は、図11に対応する図である。ここでは、図10および図11に示すように、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部を低透磁率部1021a～1021cとしたものを本開示の実施例2と称することとする。尚、ここでは、実施例2との比較のために、図13に示すロータコアを比較例4と称することとするが、比較例4も、前述した図3および図4に示す実施例1と同様に、内周側ブリッジ部501a～501bの全体を低透磁率部321a～321bとしているので、実施例ということもできる。

[0084] 図13に示すように、比較例4は、実施例2における低透磁率部1021a～1021cを低透磁率部1321a～1321cに変更したものであり（すなわち、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの全体を低透磁率部としたものであり）、その他は実施例2と同じである。したがって、比較例4では、ロータコア断面において、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの面積に対する、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cにおける低透磁率部の面積の割合を百分率で表した値は100%である。一方、実施例2では、ロータコア断面において、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの面積に対する、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cにおける低透磁率部の面積の割合を百分率で表した値は50%である。尚、ロータコア断面において、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの面積に対する、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cにおける低透磁率部の面積の割合を百分率で表した値は0%超90%以下が好まし

く、40%超60%以下がより好ましい。また、1つの第1外周側ブリッジ部1211a~1211cに作製される低透磁率部の数は1つであっても複数であってもよい。

[0085] 実施例2および比較例4における低透磁率部1021a~1021c、1321a~1321cは、第1外周側ブリッジ部1211a~1211cに占める面積割合が異なるだけであり、同じ磁化特性を有するものである。ここでIPMSMのトルクを電磁界解析で評価するにあたり、高透磁率部1011と同じ種類の電磁鋼板を当該電磁鋼板の板厚の半分の板厚になるまでプレスしたサンプルを作製して当該サンプルの磁化特性を測定し、測定した磁化特性を低透磁率部1021a~1021c、1321a~1321cの磁化特性とした。尚、高透磁率部1011の磁化特性は、高透磁率部1011を構成する電磁鋼板の磁化特性である。

[0086] 回転数=3000rpm、励磁電流（励磁電流の実効値）=20A、進角=30degの運転条件で、実施例2、比較例4のロータコアを備えるIPMSMを運転した場合のIPMSMの電磁界解析を、高透磁率部1011の磁化特性および低透磁率部1021a~1021c、1321a~1321cの磁化特性を用いて有限要素法により実行した。ここでは、x-y平面の二次元の電磁界解析を実行した。そして、電磁界解析の結果として得られる磁束密度ベクトルに基づいて、マクスウェルの応力テンソルを算出し、マクスウェルの応力テンソルからIPMSMのトルクを算出した。

[0087] その結果、図13に示す比較例4ではIPMSMのトルクTは15.75Nmとなったのに対し、図11に示す実施例2ではIPMSMのトルクTは15.76Nmとなった。したがって、第1外周側ブリッジ部1211a~1211cの全体を低透磁率部1321a~1321cとする場合よりも、第1外周側ブリッジ部1211a~1211cの一部を低透磁率部1021a~1021cとする方が、IPMSMのトルクTは大きくなる。この例では、図13に示す比較例4に比べて図11に示す実施例2では、IPMSMのトルクTは0.1%増加する。

- [0088] 以上のように本実施形態では、少なくとも一部が、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりも、ロータコア111の外周面側に配置され、且つ、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置される第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部を低透磁率部1021a～1021cとする。したがって、IPMSM100のトルクをより増加させることができる。
- [0089] また、本実施形態では、少なくとも一部が、永久磁石112a～112cが設置される領域401a～401cの少なくとも1つよりも、ロータコア111の外周面側に配置され、且つ、ロータコア911の1つの極を構成する領域において、当該領域の周方向の中央よりも回転方向の後尾側に配置される第2外周側ブリッジ部1221a～1221cの全体を低透磁率部1022a～1022cとする。したがって、IPMSM100のトルクをより一層増加させることができる。
- [0090] 本実施形態では、第1実施形態と同様に、内周側ブリッジ部501a～501bの全体を低透磁率部321a～321bとする場合を例示した。しかしながら、内周側ブリッジ部501a～501bの全体を低透磁率部321a～321bとしない構成を採用してもよい。すなわち、低透磁率部321a～321bを備えずに、低透磁率部1021a～1021c、1022a～1022cを備えるロータコアを採用してもよい。
- [0091] また、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの一部を低透磁率部1021a～1021cとするのが好ましいが、第1外周側ブリッジ部1211a～1211cの全体を低透磁率部としてもよい。このようにする場合、ロータコアの全てのブリッジ部について、全体が低透磁率部になる。また、第2外周側ブリッジ部1221a～1221cの一部を低透磁率部としてもよい。
- [0092] 尚、以上説明した本開示の実施形態は、何れも本開示を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本開示の技術的範囲

が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本開示はその技術思想、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

[0093] 以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

[0094] (付記 1)

永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を有するロータコアであって、
高透磁率部と、

比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ空気の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、

少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも、前記ロータコアの内周面側に配置される内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、ロータコア。

[0095] (付記 2)

1 極当たり 2 つ以上の前記内周側ブリッジ部を有し、

2 つ以上の前記内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、付記 1 のロータコア。

[0096] (付記 3)

前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される 2 つの前記穴の間に
ある、付記 1 または付記 2 のロータコア。

[0097] (付記 4)

前記複数の穴は、永久磁石が設置されない穴をさらに含み、

前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴と前記永久磁石が
設置されない穴との間、または、前記永久磁石が設置されない 2 つの穴の間
のうち、少なくとも一方にある、付記 1 ～付記 3 のいずれか 1 項のロータコ
ア。

[0098] (付記 5)

前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴のうち、設置され
る永久磁石の磁極面が前記ロータコアの外周面に対して傾くように配置され

た2つの穴の、前記内周面側の端部の間に少なくとも1つある、付記1～付記4のいずれか1項のロータコア。

[0099] (付記6)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第1外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、付記1～付記5のいずれか1項のロータコア。

[0100] (付記7)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第2外周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、付記6のロータコア。

[0101] (付記8)

永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を備えるロータコアであって、高透磁率部と、

比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ空気の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第1外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、ロータコア。

[0102] (付記9)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周

面側に配置される、付記 8 のロータコア。

[0103] (付記 1 0)

前記第 1 外周側ブリッジ部は、前記穴と前記外周面の間と、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも少なくとも一部が前記外周面側に配置される前記穴を含む 2 つの前記穴の間とのうち、少なくとも一方に配置される、付記 6 ～付記 9 のいずれか 1 項のロータコア。

[0104] (付記 1 1)

付記 1 ～付記 1 0 のいずれか 1 項のロータコアと、
前記永久磁石と、
を備えるロータ。

[0105] (付記 1 2)

付記 1 1 のロータと、
ステータと、
を備える、回転電機。

[0106] (付記 1 3)

永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を有するロータコアであって、
高透磁率部と、
比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、
少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも、前記ロータコアの内周面側に配置される内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、ロータコア。

[0107] (付記 1 4)

前記低透磁率部と前記高透磁率部が同じ材料で一体に形成されている、付記 1 3 のロータコア。

[0108] (付記 1 5)

前記高透磁率部は、軟磁性材料によって構成された部分であり、
前記低透磁率部は、前記軟磁性材料を低透磁率化させた部分である、付記

14のロータコア。

[0109] (付記16)

1極当たり2つ以上の前記内周側ブリッジ部を有し、
2つ以上の前記内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、付記13～付記15のいずれか1項のロータコア。

[0110] (付記17)

前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される2つの前記穴の間に
ある、付記13～付記16のいずれか1項のロータコア。

[0111] (付記18)

前記複数の穴は、永久磁石が設置されない穴をさらに含み、
前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴と前記永久磁石が
設置されない穴との間、または、前記永久磁石が設置されない2つの穴の間
のうち、少なくとも一方にある、付記13～付記17のいずれか1項のロー
タコア。

[0112] (付記19)

前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴のうち、設置され
る永久磁石の磁極面が前記ロータコアの外周面に対して傾くように配置され
た2つの穴の、前記内周面側の端部の間に少なくとも1つある、付記13～
付記18のいずれか1項のロータコア。

[0113] (付記20)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中
央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前
記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周
面側に配置される第1外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、
付記13～付記19のいずれか1項のロータコア。

[0114] (付記21)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中
央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前

記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第2外周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、付記20のロータコア。

[0115] (付記22)

永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を備えるロータコアであって、高透磁率部と、

比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第1外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、ロータコア。

[0116] (付記23)

前記低透磁率部と前記高透磁率部が同じ材料で一体に形成されている、付記22のロータコア。

[0117] (付記24)

前記高透磁率部は、軟磁性材料によって構成された部分であり、

前記低透磁率部は、前記軟磁性材料を低透磁率化させた部分である、付記23のロータコア。

[0118] (付記25)

前記ロータコアの1つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される、第2外周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、付記22～付記24のいずれか1項のロータコア。

[0119] (付記26)

前記第1外周側ブリッジ部は、前記穴と前記外周面の間、及び、前記永久

磁石が設置される領域の少なくとも1つの領域よりも少なくとも一部が前記外周面側に配置される前記穴を含む2つの前記穴の間の、少なくとも一方に配置される、付記20～付記25のいずれか1項のロータコア。

[0120] (付記27)

付記13～付記26のいずれか1項のロータコアと、
前記永久磁石と、
を備えるロータ。

[0121] (付記28)

付記27のロータと、
ステータと、
を備える、回転電機。

[0122] なお、2021年3月31日に出願された日本国特許出願2021-060471号の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。

本明細書に記載された全ての文献、特許出願、および技術規格は、個々の文献、特許出願、および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を有するロータコアであって、
高透磁率部と、
比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、
少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも、前記ロータコアの内周面側に配置される内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、ロータコア。
- [請求項2] 前記低透磁率部と前記高透磁率部が同じ材料で一体に形成されている、請求項1に記載のロータコア。
- [請求項3] 前記高透磁率部は、軟磁性材料によって構成された部分であり、
前記低透磁率部は、前記軟磁性材料を低透磁率化させた部分である、請求項2に記載のロータコア。
- [請求項4] 1極当たり2つ以上の前記内周側ブリッジ部を有し、
2つ以上の前記内周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載のロータコア。
- [請求項5] 前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される2つの前記穴の間にある、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載のロータコア。
- [請求項6] 前記複数の穴は、永久磁石が設置されない穴をさらに含み、
前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴と前記永久磁石が設置されない穴との間、または、前記永久磁石が設置されない2つの穴の間のうち、少なくとも一方にある、請求項1～請求項5のいずれか1項に記載のロータコア。
- [請求項7] 前記内周側ブリッジ部は、前記永久磁石が設置される穴のうち、設置される永久磁石の磁極面が前記ロータコアの外周面に対して傾くように配置された2つの穴の、前記内周面側の端部の間に少なくとも1

つある、請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 項に記載のロータコア。

[請求項 8] 前記ロータコアの 1 つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第 1 外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、請求項 1～請求項 7 のいずれか 1 項に記載のロータコア。

[請求項 9] 前記ロータコアの 1 つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第 2 外周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、請求項 8 に記載のロータコア。

[請求項 10] 永久磁石が設置される穴を含む複数の穴を備えるロータコアであって、

高透磁率部と、

比透磁率が前記高透磁率部の比透磁率よりも小さく且つ真空の比透磁率よりも大きい低透磁率部と、を備え、

前記ロータコアの 1 つの極を構成する領域において当該領域の周方向の中央よりも回転方向の先頭側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも 1 つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される第 1 外周側ブリッジ部の一部が、前記低透磁率部である、ロータコア。

[請求項 11] 前記低透磁率部と前記高透磁率部が同じ材料で一体に形成されている、請求項 10 に記載のロータコア。

[請求項 12] 前記高透磁率部は、軟磁性材料によって構成された部分であり、
前記低透磁率部は、前記軟磁性材料を低透磁率化させた部分である、請求項 11 に記載のロータコア。

[請求項 13] 前記ロータコアの 1 つの極を構成する領域において当該領域の周方

向の中央よりも回転方向の後尾側に配置され、且つ、少なくとも一部の領域が、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つよりも前記ロータコアの外周面側に配置される、第2外周側ブリッジ部の全体が、前記低透磁率部である、請求項10～請求項12のいずれか1項に記載のロータコア。

[請求項14] 前記第1外周側ブリッジ部は、前記穴と前記外周面の間、及び、前記永久磁石が設置される領域の少なくとも1つの領域よりも少なくとも一部が前記外周面側に配置される前記穴を含む2つの前記穴の間、少なくとも一方に配置される、請求項8～請求項13のいずれか1項に記載のロータコア。

[請求項15] 請求項1～14のいずれか1項に記載のロータコアと、
前記永久磁石と、
を備えるロータ。

[請求項16] 請求項15に記載のロータと、
ステータと、
を備える、回転電機。