

(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
2016年2月18日(18.02.2016)



(10) 国際公開番号

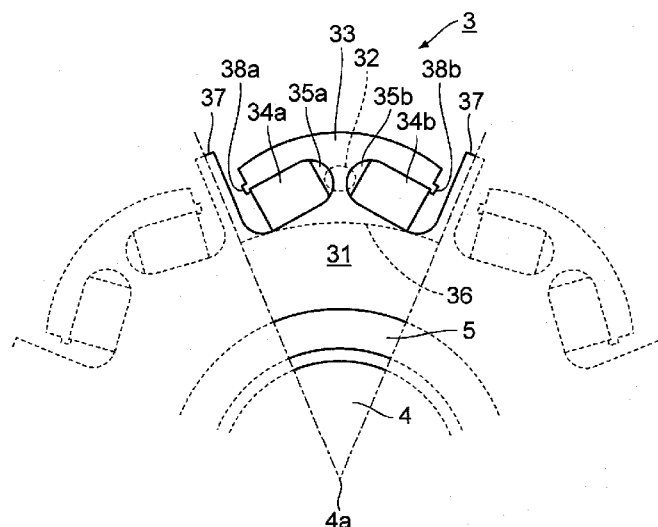
WO 2016/024324 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01) H02K 19/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/071252
- (22) 国際出願日: 2014年8月11日(11.08.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士電機株式会社(FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 持田 敏治(MOCHIDA, Toshiharu); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 今盛 聡(IMAMORI, Satoshi); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 松本 隆(MATSUMOTO, Takashi); 〒1010024 東京都千代田区神田和泉町1-6-1 インターナショナルビル802 松本特許事務所内 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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:
— 国際調査報告(条約第21条(3))

[続葉有]

(54) Title: DYNAMO-ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 回転電機



(57) Abstract: This invention provides a dynamo-electric machine that excels in terms of rotor strength, can be manufactured at low cost, and makes it possible to increase the amount of torque generated by the rotor. Two holes (35a) and (35b) per pole are formed in the rotor (3) in the circumferential direction thereof. Said holes (35a) and (35b) connect to the outer circumference of the rotor, and in each pole, an outer-edge section (33) that is outwards of the two holes in the radial direction of the rotor is joined to a core section (31) on the inside in the radial direction of the rotor by a center bridge (32) between the two holes. The center bridges (32) are made non-magnetic or are made to have low magnetic permeability, making it possible to reduce flux leakage via the center bridges (32) even if wide center bridges (32) are used.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/024324 A1



- 補正された請求の範囲及び説明書（条約第 19 条(1)）

ロータの強度に優れ、かつ、低コストで製造することができ、ロータが発生するトルクを増加させることが可能な回転電機を提供する。ロータ（３）には、周方向に沿って１極当たり２個の穴（３５ａ）および（３５ｂ）が形成されている。２個の穴（３５ａ）および（３５ｂ）は、ロータ外周と連通し、各極において２個の穴のロータの半径方向外側の外周縁部（３３）がロータの半径方向内側の芯部（３１）と当該２個の穴間のセンタブリッジ（３２）を介して繋がっている。このセンタブリッジ（３２）は、非磁性化または低透磁率化されている。従って、センタブリッジ（３２）の幅を広くしても、センタブリッジ（３２）を介した漏れ磁束を低減することができる。

明 細 書

発明の名称： 回転電機

技術分野

[0001] この発明は、電動機、発電機等の回転電機に関する。

背景技術

[0002] 図8（a）、図8（b）は、従来の永久磁石埋め込み式回転電機の一例であるIPM電動機のロータの構成を示す断面図であり、図8（c）は、その外周面を示す図である。この従来例のIPM電動機は、特許文献1に開示されたものである。このIPM電動機は、ロータ10の外側に向かって広がるようにV字状に配置した2つの永久磁石13a、13bを一極分とするものであり、2つの永久磁石13a、13bをロータ10の内部に複数組埋め込んで、複数の極を形成したものである。また、ロータ10は、図8（a）に示す積層鋼板11と、図8（b）に示す積層鋼板12を、図8（c）に示すように一枚ずつ、または数枚単位で交互に積層して構成したものである。

[0003] 図8（a）に示すように、積層鋼板11には、一極分として、2つの保持穴部18a、18bと、2つの空洞部14a、14bと、2つの空洞部15a、15bとを形成し、これらを複数組形成している。具体的には、一極分として、V字状に配置され、2つの永久磁石13a、13bを保持する2つの保持穴部18a、18bと、2つの保持穴部18a、18b同士の間の部分（V字の中央部分）に配置され、各保持穴部18a、18bと各々連通する2つの空洞部14a、14bと、隣接する他極との間の部分（V字の端部分）に配置され、各保持穴部18a、18bと各々連通する2つの空洞部15a、15bとを形成している。

[0004] 保持穴部18a、空洞部14a、空洞部15aは、連続した1つの領域（穴）となっており、また、保持穴部18b、空洞部14b、空洞部15bも、連続した1つの領域（穴）となっており、積層鋼板11の打ち抜き加工時には、各々、1つの穴として打ち抜けばよい。打ち抜き加工により、空洞部

15 a、15 bの外縁側にサイドブリッジ19 a、19 bが形成されることになる。

[0005] また、図8 (b) に示すように、積層鋼板12には、一極分として、2つの保持穴部18 a'、18 b' と、2つの空洞部14 a'、14 b' と、2つの切欠部16 a、16 bとを形成し、これらを複数組形成している。積層鋼板12における保持穴部18 a'、18 b'、空洞部14 a'、14 b' は、各々、積層鋼板11における保持穴部18 a、18 b、空洞部14 a、14 bと同等のものである。具体的には、一極分として、V字状に配置され、2つの永久磁石13 a、13 bを保持する2つの保持穴部18 a'、18 b' と、2つの保持穴部18 a'、18 b' 同士の間の部分 (V字の中央部分) に配置され、各保持穴部18 a'、18 b' と各々連通する2つの空洞部14 a'、14 b' と、各空洞部15 a、15 bと各々重なるように配置され、各保持穴部18 a'、18 b' と各々連通すると共に積層鋼板12の外縁まで通じる2つの切欠部16 a、16 bとを形成している。各切欠部16 a、16 bは、各空洞部15 a、15 bを各々内部に含むように配置されており、これにより、各空洞部15 a、15 bと各々重なるように配置される。

[0006] 保持穴部18 a'、空洞部14 a'、切欠部16 aは、連続した1つの領域 (切り欠き) となっており、また、保持穴部18 b'、空洞部14 b'、切欠部16 bも、連続した1つの領域 (切り欠き) となっており、積層鋼板12の打ち抜き加工時には、各々、1つの切り欠きとして打ち抜けばよい。

[0007] 積層鋼板11における空洞部14 aと空洞部14 bの間、積層鋼板12における空洞部14 a' と空洞部14 b' との間には、センタブリッジ19 cがある。積層鋼板11および12において、永久磁石よりも内周側の領域と外周側の領域は、このセンタブリッジ19 cを介して繋がっている。

[0008] そして、上記積層鋼板11、12を一枚ずつ交互に積層した場合には、ロータ3の外周面は、図8 (c) に示す外観となり、切欠部16 a、16 bが各々列になって、積層鋼板1枚おきに配置されることになる。

[0009] この従来例においては、積層鋼板 11 と積層鋼板 12 とを交互積層しており、積層鋼板 12 においては、磁束が切欠部 16 a、16 b を通過することになるので、積層鋼板 11 においては、サイドブリッジ 19 a、19 b の幅を細くしなくても、磁気短絡を低減することができる。具体的には、積層鋼板 12 に切欠部 16 a、16 b が有るため、各鋼板における永久磁石とロータ外周面との間の鉄心の断面積を総計した総断面積（即ち、サイドブリッジ 19 a、19 b の部分の断面積を総計した総断面積）が $1/2$ となり、その結果、磁気短絡を低減することになる。

[0010] また、積層鋼板 12 においては、隣接する他極との間の部位に切欠部 16 a、16 b が形成され、鉄心が存在しないため、切欠部 16 a、16 b における磁気抵抗を、サイドブリッジ 19 a、19 b における磁気抵抗よりも大きくすることができる。そして、積層鋼板 11 と積層鋼板 12 とを交互積層しているので、積層鋼板 11 のみを用いた場合よりも磁気抵抗を大きくすることができる。従って、切欠部 16 a、16 b における磁気短絡の低減により、磁束漏れを抑制して、多くの磁束をステータ側に供給でき、電動機効率の向上を図ることができる。更に、積層鋼板 12 において、d 軸磁束、q 軸磁束の通過部分には鉄心が存在しているので、所望のリラクタンストルクを維持することができる。

[0011] 上記構成により、打ち抜き加工性や耐遠心力性のために、サイドブリッジ 19 a、19 b を所定の幅とする必要がある場合でも、切欠部 16 a、16 b の存在により、サイドブリッジ 19 a、19 b の幅として、所定の幅を確保しつつ、磁気抵抗を大きくして、磁束漏れを抑制することができる。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開 2011-4480 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] ところで、上述した従来の永久磁石埋め込み式回転電機は、形状の異なる複数種類のロータ鋼材によりロータが構成されていたため、次のような問題があった。まず、ロータの製造時に、ロータ鋼材を製造するための複数種類の打ち抜き型が必要になり、部材・型の管理が煩雑になる問題があった。また、形状の異なるロータ鋼材は強度特性が互いに異なる。それにも拘わらず、従来の永久磁石埋め込み式回転電機では、複数種類のロータ鋼材の各間で、磁石・シャフトの形状・配置を同一とする必要がある。このため、磁石・シャフトの形状・配置の設計範囲が大幅に狭められることとなる。この結果、小さな磁石・細いシャフトとせざるを得ず、このため、回転電機の回転数若しくはトルクが大きく制限される。また、形状の異なる複数種類のロータ鋼材を積層させてロータを構成する場合、ロータの設計時に、3次元での磁界計算・強度計算が必要であり、計算負荷が増大し、また、計算精度が低下する問題があった。また、形状の異なる複数種類のロータ鋼材は、一体物の鋼材から例えばワイヤカットなどによる除去加工によって形成することができない。このため、加工コストが増大する問題があった。

[0014] また、従来の永久磁石埋め込み式回転電機は、ロータを構成する2種類の鋼板のうちの1種類にサイドブリッジ19aおよび19bがあるため、以下の問題があった。まず、サイドブリッジ19aおよび19bがあることにより、永久磁石の漏れ磁束が依然として少なからず残存しており、また、磁気抵抗もゼロには程遠い。これがロータに発生させるトルクを増加させるのを妨げていた。また、従来の永久磁石埋め込み式回転電機は、ロータにサイドブリッジ19aおよび19bがあるため、ロータ軸方向の風通しが悪い。このロータの風通しの悪さが、ロータ、その中でも特に永久磁石の冷却を妨げる要因となっていた。また、ロータにサイドブリッジ19aおよび19bがあるため、遠心力に対して永久磁石を支える力が不均一になり、永久磁石内部に大きな応力が発生する、という問題があった。

[0015] また、一般に永久磁石埋め込み式回転電機は、シャフトに対してロータ鋼材を嵌め合い固定する場合に、ロータ鋼材に周方向の組み立て残留応力が残

る。この組み立て残留応力が主に残留する範囲は、ロータ軸を中心とした円周上に穴や切り欠きが存在しない半径範囲（つまりリング状につながっている範囲）である。従来例の場合、サイドブリッジ19aおよび19bがあるので、ロータの最外周にはリング状領域があり、この最外周のリング状領域には引張残留応力が残る。また、サイドブリッジ19aおよび19bには、ロータの回転時に遠心力に起因したせん断応力が加わる。従って、ロータの回転時にサイドブリッジ19aおよび19bが破損するのを防止するために、サイドブリッジ19aおよび19bの幅を広げる必要がある。このため、従来例では、漏れ磁束を削減することが困難であった。

[0016] また、従来例では、センタブリッジ19cのある位置の近くに大きな組み立て残留応力が残存する。加えて、ロータの回転時には、遠心力による大きな引っ張り応力（以下、遠心応力）がセンタブリッジ19cに発生する。従来の永久磁石埋め込み式回転電機のロータは、この組み立て残留応力が発生する領域と、遠心応力が発生する領域が近接しており、ロータの強度設計が難しかった。ロータの高速回転を可能にするためには、引張残留応力の発生範囲に大きな応力が発生しないようにする必要がある。この応力緩和のために、例えばセンタブリッジ19cに曲率半径の大きな面取りを行うことも考えられる。しかし、そのような曲率半径の大きな面取りを施すと、磁石を配置するスペースが減り、トルクが制限される。このように、従来例においては、応力を緩和する有効な手段がなかったため、ロータの回転数が制約され、あるいは磁石の大きさが制約されてトルクが制約されるといった問題があった。

[0017] また、一般に、ロータの外周面に凹凸を設けると、ロータに発生するトルクの高調波成分を基本波成分に転換することができ、トルク脈動を減らし、トルクを増大させることができる。しかし、従来例のように、磁石埋め込み穴の外側に穴や窪みのないリング状の最外周領域のあるロータの場合、最外周のリング状の領域に組み立て残留応力が残存する。従って、従来のロータにおいて、このような残留応力の残存しているロータの最外周面に応力集中

を招く凹凸を設けるのは困難である。このため、従来の永久磁石埋め込み式回転電機は、ロータの外周面に凹凸を設けてトルクを高めることが困難であった。

[0018] また、従来例では、センタブリッジが強磁性材料のままのため、永久磁石の漏れ磁束が依然として少なからず残存しておりゼロには程遠い。これがロータに発生させるトルクを増大させるのを妨げていた。

[0019] この発明は以上のような事情に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、ロータの強度に優れ、かつ、低コストで製造することができる回転電機を提供することにある。また、この発明の第2の目的は、ロータの強度を低下させることなく、ロータが発生するトルクを増加させることにある。

課題を解決するための手段

[0020] この発明は、センタブリッジを間に挟んで周方向に隣り合った偶数個の穴が極毎に形成されてなるロータを有し、前記ロータの各極において前記センタブリッジを挟んだ偶数個の穴は前記センタブリッジの反対側において前記ロータの外周と連通しており、前記センタブリッジを非磁性化または前記ロータにおける前記センタブリッジ以外の部分よりも透磁率を低下させたことを特徴とする回転電機を提供する。

発明の効果

[0021] この発明によれば、1極分の偶数個の穴をロータ外周に連通させたため、ロータの最外周に組み立て残留応力の残存領域が発生しない。このため、回転時におけるロータの強度を高めることができる。また、1極分の偶数個の穴をロータ外周に連通させる構成であり、そもそもサイドブリッジが不要であるため、漏れ磁束低減のためにサイドブリッジのない鋼板とサイドブリッジのある鋼板とを組み合わせる必要もない。従って、1種類の鋼板のみを積層させてロータを製造できる。さらに、センタブリッジが非磁性化、或いは低透磁率化されているため、漏れ磁束は極めて少ない。これにより、同じ磁石量でも、出力トルクに寄与する磁束を増やすことができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]この発明による回転電機の一実施形態である永久磁石埋め込み式回転電機の全体構成を示す縦断面図である。

[図2]同実施形態におけるロータの1極分の構成を示す斜視図である。

[図3]同実施形態における回転中心軸方向からロータの1極分を見た正面図である。

[図4]この発明の他の実施形態である同期リラクタンス回転電機のロータの構成を示す正面図である。

[図5]この発明の他の実施形態である同期リラクタンス回転電機のロータの構成を示す正面図である。

[図6]この発明の他の実施形態である永久磁石埋め込み式回転電機のロータの構成を示す正面図である。

[図7]この発明の他の実施形態である永久磁石埋め込み式回転電機のロータの構成を示す正面図である。

[図8]従来の永久磁石埋め込み式回転電機のロータの構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照しつつこの発明の実施形態について説明する。

図1は、この発明の一実施形態である永久磁石埋め込み式回転電機の全体構成を示す縦断面図である。図1において、フレーム1は、永久磁石埋め込み式回転電機全体を覆う筐体であり、鉄、アルミ、ステンレスなどにより構成されている。フレーム1の内側には、中空円筒状の固定側鉄心2が設けられている。この固定側鉄心2は、珪素鋼板を積層してなるものである。この固定側鉄心2には、穴が設けられており、この穴には銅線などによるステータ巻線が挿通されている（図示略）。固定側鉄心2の内側には、固定側鉄心2との間に所定のギャップを挟んだ状態で、回転側鉄心であるロータ3が挿通されている。このロータ3は、珪素鋼板を積層してなるものである。ロータ3は、その中心を鉄などによるシャフト4が貫通している。理想的には、シャフト4の中心軸がロータ3の回転中心軸4aとなる。そして、シャフト

4は、ベアリング鋼などからなる転がり軸受け5を介して、フレーム1の前後両端に設けられたシールド6に支持されている。

[0024] この例において、永久磁石埋め込み式回転電機は電動機である。この電動機においてロータ3は、ステータ巻線（図示せず）によって作られる回転磁界によってエネルギーを与えられ、回転中心軸4 a 廻りに回転する。

[0025] 本実施形態の特徴は、ロータ3の構成にある。図2は本実施形態におけるロータ3の1極分の構成を示す斜視図である。また、図3は回転中心軸4 a 方向からロータ3の1極分を見た正面図である。なお、図3では、ロータ3の構成の理解を容易にするため、1極分の構成に加えて、その回転方向両隣の極の構成を破線により示した。

[0026] 本実施形態によるロータ3は、回転中心軸4 a 寄りの芯部3 1と、極毎に設けられた2個の永久磁石3 4 a および3 4 b と、回転中心軸4 a からみて永久磁石3 4 a および3 4 b の外側のロータ鋼材からなる各極の外周縁部3 3 と、磁石埋め込み穴3 5 a および3 5 b の間に形成され、芯部3 1 と外周縁部3 3 とを各々繋ぐ各極のセンタブリッジ3 2 と、極間に設けられたq 軸突起3 7 とに大別することができる。

[0027] 1極分の外周縁部3 3 は、略円弧状の断面形状を有しており、ロータ回転方向中央において、センタブリッジ3 2 を介して芯部3 1 と繋がっている。この外周縁部3 3 の外周面は、回転中心軸4 a からロータ最外周部までの距離よりも小さい曲率半径を有している。なお、このように外周縁部3 3 の全部ではなく、外周縁部3 3 の一部の曲率半径を回転中心軸4 a からロータ最外周部までの距離より小さくしてもよい。また、外周縁部3 3 の外周面は曲面である必要はなく、ロータ回転中心からみてセンタブリッジ3 2 を通る延長線上に位置する外周縁部3 3 の外周面がその他の位置の外周面に対し、ロータ回転中心からの距離が長ければよい。このようにして、センタブリッジ3 2 は磁気抵抗を高くし、ロータの外周に配置されたステータと外周縁部3 3 との磁気抵抗を低くすることで永久磁石埋め込み式回転電機のトルクを増大することができる。

[0028] 外周縁部 33 の内側には、永久磁石 34 a を保持するための磁石埋め込み穴 35 a と、永久磁石 34 b を保持するための磁石埋め込み穴 35 b が設けられている。この磁石埋め込み穴 35 a および 35 b は、外周縁部 33、センタブリッジ 32 および芯部 31 により 3 方向から囲まれている。外周縁部 33 は、ロータ 3 の回転時に永久磁石 34 a および 34 b に働く遠心力に対抗して永久磁石 34 a および 35 b を回転中心軸 4 a 側に支持する。各極に対応した各外周縁部 33 は、隣のものとの間に隙間を挟んでロータ回転方向に並んでいる。2 個の外周縁部 33 間の隙間は、センタブリッジ 32 と反対側、すなわち、極間の中央に位置している。磁石埋め込み穴 35 a および 35 b は、この 2 個の外周縁部 33 間の隙間を介してロータ外周に連通している。

[0029] 磁石埋め込み穴 35 a および 35 b は、逆 V 字状に配列されている。そして、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b の内周壁における回転中心軸 4 a 側の領域（芯部 31）は、隣接する極間の中心から離れて 2 個の磁石埋め込み穴の間（すなわち、センタブリッジ 32）に近づくに従って回転中心軸 4 a から離れる方向に傾いている。このため、センタブリッジ 32 は、ロータ 3 の全ての磁石埋め込み穴 35 a、35 b の内接円 36 からロータ半径方向外側に離れた位置にある。

[0030] q 軸突起 37 は、芯部 31 の極間の中央の位置において 2 個の外周縁部 33 間の隙間を通過して遠心方向（回転中心軸 4 a から離れる方向）に突き出している。磁石埋め込み穴 35 a および 35 b には、この q 軸突起 37 側への永久磁石 34 a および 34 b の移動を規制する位置決め突起 38 a および 38 b が設けられている。この位置決め突起 38 a および 38 b は、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b の内壁のうち永久磁石 34 a および 34 b からみてロータ半径方向外側にある領域、すなわち、外周縁部 33 の内側の q 軸突起 37 側の端部において、回転中心軸 4 a に向けて突出している。永久磁石 34 a および 34 b は、この位置決め突起 38 a および 38 b に押し当てられ、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b 内に固定される。その際、永久磁

石 3 4 a および 3 4 b の磁石埋め込み穴 3 5 a および 3 5 b への固定を補助するために接着剤が使用される。

[0031] また、ロータ 3 を構成するセンタブリッジ 3 2 は、特開 2 0 0 2 - 6 9 5 9 3 号公報に開示された方法で、窒化および加熱されることでオーステナイト化（非磁性化）されており、その後冷却および焼き鈍しにより熱歪が除去されている。具体的には次の通りである。

[0032] 本実施形態では、ロータ 3 の積層鋼板の製造時、センタブリッジ 3 2 について窒化处理し、その部分に飽和磁束密度の低い窒化相を生成することで、部材の一部の飽和磁束密度を低下させる。窒化处理の対象となるロータ鋼板としては、例えば、圧延した強磁性材料板が用いられる。窒化处理は、イオン窒化、イオン注入、ガス窒化等の窒化处理が用いられる。通常、800℃以下の温度で処理する。また、非磁性金属等をあらかじめ付着させる必要はない。さらに窒化可能な強磁性材料であればよく、その材質は限定されない。従って、Fe系材料であれば、量産されていて、比較的成本の安いFe-Si系の電磁鋼板等、または、フェライト系ステンレス鋼等であっても良い。

[0033] ロータ鋼板において飽和磁束密度を小さくしたいセンタブリッジ 3 2 のみ窒化させるため、窒化させない部分については、金属板等でマスキングする。マスキングしたロータ鋼板をチャンバに収容し、基板温度を500-800℃に加熱し、チャンバ内に窒素を含むガス、例えば、窒素と水素の混合ガスを導入後、ガスによりプラズマを生成して窒化处理し、電磁鋼板の表面から窒化相を形成する。

[0034] 窒素はオーステナイト形成元素であるので、窒化後の冷却速度に依存してオーステナイト (γ Fe-N) が形成されるか、あるいは、 Fe_4N 、 Fe_{2-3}N が形成される。これらの相の中で飽和磁束密度は Fe_4N がもっとも大きく、 Fe_{2-3}N 、 γ Fe-N の順に飽和磁束密度は小さくなる。特に、 γ Fe-N は非磁性相となっている。これらの相の飽和磁束密度は α Fe の値よりも小さい。

- [0035] 窒化を加速させるために、母合金中に他の添加元素を含ませるか、または、窒化処理中に別の元素を添加しても良い。ケイ素鋼の場合、Si自体が窒化を促進させる元素である。
- [0036] 窒化処理を高温で長時間進めれば、窒化層の厚さも厚くなり、飽和磁束密度は減少する。そのため、窒化処理時間等の窒化処理条件を変えることにより、鋼板の飽和磁束密度を目的の値にすることが可能となる。
- [0037] このような温度、時間以外に、ガス種、ガス組成比、ガス圧力、ガス流量、結晶方位、結晶粒径、表面状態、冷却速度、加速電圧等が、窒化相の形成に影響する。すなわち、窒素化合物を表面から母材内部まで形成するためには、処理温度を高くすること、窒化処理中のガス種を選択すること、母材の組成を選択することが挙げられる。プラズマ窒化の場合には、浸硫窒化あるいは浸炭窒化方法も適用することができる。ガス種および流量比を選択することにより、 Fe_4N よりも $Fe_{2-3}N$ を優先的に成長させることが可能である。
- [0038] また、プラズマ窒化以外にも、イオン注入法あるいはガス窒化法によって窒化が可能である。例えば、イオン注入法を用いる場合に、窒素イオンを注入した部分で上記化合物が形成され、飽和磁束密度が減少する。これらによっても、条件を適正化することにより飽和磁束密度 B_s を低下させることが可能である。
- [0039] 窒化処理で飽和磁束密度が低下するのは窒化物が形成されるためであるから、ケイ素鋼板のみでなく、炭素鋼、フェライト系ステンレス鋼等のFeを含む強磁性合金鋼であれば、窒化処理による飽和磁束密度の低下を実現することが可能である。特に、窒素との化合物を形成しやすい合金元素やC（炭素）の存在によって窒化相の厚さが変化するので、設定した飽和磁束密度を得るためにはこれらの母材の合金元素濃度を考慮する必要がある。
- [0040] 窒化処理後は、歪みを除去するため、または、歪みを拡散させるために、追加熱処理を行う。

以上がセンタブリッジ32を非磁性化する方法の詳細である。

[0041] 本実施形態におけるロータ 3 は、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b がロータ外周に連通した構成となっている。以下、この構成を採用した理由を説明する。

[0042] 電動機の製造では、焼き嵌めなどの締り嵌めによって、シャフトとロータ鋼材を組み立てる方法が一般的である。この締り嵌めの工程において、ロータ鋼材には周方向に引張応力が残留する。このロータの組み立て時に発生する残留応力は、ロータの高速回転中にも残ったままである。本願発明者らが有限要素法により計算したところ、この残留応力は、ロータ鋼材に穴や窪みなどのある部分と同じ半径を持つ円周上には殆ど発生しないことが確認された（すなわち、穴も窪みもなく、リング状につながっている部分でないと応力は残存しない）。

[0043] 一方、ロータの回転時、特に高速回転時には、ロータの各部分に強大な遠心力が発生する。その際、従来例のように、ロータがセンタブリッジとサイドブリッジを持つ場合には、このセンタブリッジとサイドブリッジに大きな遠心応力が発生する。この場合、ロータの回転により発生する遠心力により、センタブリッジに引っ張り応力が働くのに対し、サイドブリッジにはせん断応力が発生する。このため、高速回転によるロータの破損を防止するためには、センタブリッジよりはむしろサイドブリッジの強度を十分に高くする必要があり、この点がロータの強度設計を難しくしていた。

[0044] また、従来例では、漏れ磁束の低減という目的とロータの強度を確保するという目的の両方を達成するために、サイドブリッジのあるロータ鋼板とサイドブリッジのないロータ鋼板とを組み合わせるロータを構成していた。このため、従来例のロータには、製造コストが嵩む等の問題があった。

[0045] そこで、本実施形態では、ロータの構成として、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b がロータ外周に連通した構成、すなわち、従来例におけるサイドブリッジのない構成を採用した。本実施形態によれば、ロータが最外周にサイドブリッジを有していないため、ロータの最外周には組み立て残留応力が残存しない。ロータの回転時の遠心力により発生する遠心応力はセンタブリ

ッジに集中するが、このセンタブリッジに働く遠心応力は引っ張り応力であるため、センタブリッジの幅の調整等によりセンタブリッジが破損に至らないように対処することが容易である。しかも、磁石埋め込み穴 35 a および 35 b がロータ外周に連通したロータ構成は、以下に述べる大きな利点をもたらす。

[0046] まず、従来例と異なり、本実施形態におけるロータ 3 は、ロータ回転軸に垂直な如何なる平面で切断しても同じ断面形状となる。このため、本実施形態におけるロータ 3 には、製作面での利点がある。ロータ 3 を積層鋼板で形成する場合も、穴形状の異なる複数種類の鋼板を用意する必要がなく、1 種類の鋼板のみを用意すればよい。従って、鋼板を形成するための内抜き型の投資費用の面からも、部品管理の面からも、強度・磁界設計の面からも鋼板のコストを圧倒的に低く抑えることができる。

[0047] また、本実施形態におけるロータ 3 は、サイドブリッジのある従来例に比して磁束の漏れ経路が少ない。このため、磁石磁束が巻線に鎖交しやすく、これがトルクの増加に貢献する。

[0048] さらに本実施形態によるロータ 3 には冷却面でも利点がある。すなわち、ロータ 3 は、回転軸方向の風通しがよく、冷却、とりわけ磁石冷却に有利である。従って、本実施形態によるロータ 3 を採用することにより、電動機容量に関する規制を緩和することができる。

[0049] さらに全ての磁石埋め込み穴 35 a および 35 b をロータ外周に連通させた場合には、永久磁石 34 a および 34 b は、外周縁部 33 により全長に亘って均一な応力で支えられることになる。このため、永久磁石 34 a および 34 b の内部に応力が発生しにくく、永久磁石 34 a および 34 b を破損から保護することができる。

[0050] 本実施形態の他の特徴として q 軸突起 37 がある。この q 軸突起 37 は、強いリラクタンストルクを生むことができ、ロータに発生するトルクの増加に貢献する。

[0051] さらに本実施形態の他の特徴として、外周縁部 33 の形状がある。ロータ

の外周面に凹凸を設けると、ロータに発生するトルクの高調波成分を基本波成分に転換することができ、トルク脈動を減らし、トルクを増大させることができる。一方、凹凸部に力が加わると、応力集中と呼ばれる現象により、局所的に高い応力が発生することが広く知られている。

[0052] 従来例のように磁石埋め込み穴がロータ外周に連通しておらず、最外周がリング状に連続したロータの場合、ロータ外周面付近のリング状の領域に組み立て残留応力が残存する。このため従来例のロータにおいて、このような残留応力の残存しているロータの最外周面に応力集中を招く凹凸を設けるのは困難である。

[0053] しかしながら、本実施形態において、磁石埋め込み穴 3 5 a および 3 5 b をロータ外周と連通させているため、ロータ 3 の最外周領域である外周縁部 3 3 に残留応力は残存しない。従って、本実施形態では、トルクを増大させるために、ロータ 3 の最外周領域である外周縁部 3 3 の外周面に凹凸を設けることが容易である。

[0054] そこで、本実施形態において、ロータ回転中心からみて永久磁石の外側にある外周縁部 3 3 の外周面の曲率半径を、ロータ回転中心からロータ最外周部までの距離よりも小さくしている。このように本実施形態では、発生応力を高めることなく、ロータ 3 に発生するトルクの脈動を減らし、トルクを増大させることができる。

[0055] また、本実施形態の特徴として、逆 V 字状に配列された磁石埋め込み穴 3 5 a および 3 5 b がある。この特徴により得られる効果を説明すると、次の通りである。

[0056] まず、シャフト 4 のロータ 3 への締め付け工程において、ロータ鋼材には周方向に引張応力が残留する。この残留応力は、磁石埋め込み穴 3 5 a および 3 5 b と同じ半径を持つ円周上には殆ど発生しない。従って、本実施形態におけるロータ 3 では、磁石埋め込み穴 3 5 a および 3 5 b の内接円 3 6 よりもロータ半径方向外側には、組み立て残留応力は殆ど残存しない。

[0057] 一方、ロータ 3 の回転時には、遠心力による引っ張り応力（遠心応力）が

センタブリッジ32に発生する。磁石埋め込み穴35aおよび35bを逆V字状に配列した場合、このセンタブリッジ32の位置は、残留応力が主に発生する内接円36内よりもロータ半径方向外側に遠ざかる。

[0058] このように本実施形態によれば、ロータ3の回転時に遠心応力が集中するセンタブリッジ32は、締め込み加工による残留応力が主に発生する内接円36内から遠ざかっているため、ロータ3の回転時におけるセンタブリッジ32の強度を高めることができる。

[0059] また、本実施形態では、永久磁石34aおよび34bからみて半径方向外側にある外周縁部33に位置決め突起38aおよび38bが設けられている。従って、永久磁石34aおよび34bを位置決め突起38aおよび38bに押し当てて固定することで、1極をなす2つの永久磁石34aおよび34bに発生する遠心力のアンバランスを防ぐとともに、各永久磁石が発生する磁束分布のアンバランスを防ぐことができる。

[0060] なお、従来例のように、永久磁石から見て半径方向内側のロータ鋼材に位置決め突起を設ける方法もあるが、磁石埋め込み穴35aおよび35bを逆V字状に配置してこれを行うには問題がある。組み立て残留応力が発生する範囲近くに、位置決め突起を設けることになるからである。位置決め突起を設ければ同時に凹みもできる。凹みは元来応力集中が発生し易い。この場合、面取り半径を大きくして凹部の面取りをすることができれば、応力集中をある程度は緩和することができるが、十分に応力を緩和できる面取り半径は、磁石の厚みと同等、若しくはそれ以上となることが多く、位置決めの用を成さない。よって従来例のように永久磁石から見て半径方向内側のロータ鋼材に位置決め突起を設けることは、組み立て残留応力に対する位置決め突起の強度を弱めることとなるので好ましくない。

[0061] 加えて本実施形態においては、センタブリッジ32が非磁性化されていることで、センタブリッジを経路とした永久磁石の漏れ磁束を大幅に削減している。これによりステータ巻線に鎖交する磁石磁束が増加させることができ、トルクアップに寄与している。

- [0062] 本実施形態のようにセンタブリッジ1本で磁石遠心力を支える構造は、以下の理由により、ロータの一部を非磁性化する上で有利である。
- [0063] フェライトやマルテンサイトは体心立方格子であり、格子間距離が長い。一方、オーステナイトは面心立方格子であり、格子間距離が短い。つまり、一般的に、フェライト・マルテンサイトからオーステナイトに改質することで寸法が縮む性質がある。
- [0064] 本実施形態と同様にブリッジのオーステナイト化による非磁性化によりを行ってトルクアップを図った例として、特開2002-69593号公報、特開2005-269840号公報、特開2013-143791号公報などがあるが、これらは非磁性化処理と同時に大きな応力を発生する。何故なら、これらは回転軸を中心としてリング状に繋がっている部分をオーステナイト化しているからである。
- [0065] このような形状ではブリッジ部の寸法が拘束されているため、伸縮が起ると大きな応力を生じる。例えば一般的な電磁鋼板の場合、ヤング率は200 [GPa] 程度であり、例え0.1 [%] 程度の小さな伸縮が発生したとしても、単純計算で200 [MPa] もの応力が発生する。しかし、一般的な電磁鋼板の降伏応力は400 [MPa] 程度のため、組み立て残留応力や、遠心応力を、残りの200 [MPa] の範囲内に収まるよう設計する必要がある。このような理由により特開2002-69593号公報、特開2005-269840号公報、特開2013-143791号公報などは、非磁性化した時点でブリッジに大きな応力を生じ、その結果許容できる遠心応力が小さくなる。これが回転数の制限や磁石量の制限となり、電動機性能を制限する。
- [0066] なお、これらはサイドブリッジがある場合のセンタブリッジに関しても同様である（サイドブリッジによりセンタブリッジの寸法が拘束される）。
- [0067] これに対し、本実施形態による構造のように、センタブリッジ1本で磁石の遠心力を支える構造の場合は、寸法拘束されない部位（センタブリッジ）をオーステナイト化すれば漏れ磁束を絶つことが可能である。寸法拘束され

ていない自由に伸び縮みできる部位の非磁性化のため、応力が発生することはない。

[0068] 以上のように本実施形態は、特開 2002-69593 号公報、特開 2005-269840 号公報、特開 2013-143791 号公報などに開示されたものと比較しても、強度的に優位である。

[0069] 以上のように、本実施形態によれば、ロータの強度に優れ、かつ、低コストで製造することができる永久磁石埋め込み式回転電機を実現することができる。また、本実施形態によれば、ロータの強度を低下させることなく、ロータが発生するトルクを増加させることができる。

[0070] 以上、この発明の一実施形態について説明したが、この発明には他にも実施形態が考えられる。

[0071] (1) 例えば上記実施形態では、オーステナイト化の例として予め窒化処理するものを挙げたが窒化処理がなくてもよい。

[0072] (2) また、上記実施形態ではオーステナイト安定化元素である Ni や Cr の付与を行わない例を挙げたが、Ni や Cr を付与してもよい。

[0073] (3) また、上記実施形態では、非磁性化の例として改質を挙げたが、加工硬化や熱歪を用いて透磁率を低下させても良い。例えば、ロータの製造時、レーザあるいは電子ビームを使ってロータ鋼板におけるセンタブリッジの局部加熱を行った後、徐冷を行うことにより、センタブリッジの透磁率を低下させてもよい。加工や歪みが起きるということは、必ず寸法変化を伴うため、サイドブリッジがある場合には応力が発生する。しかしながら、センタブリッジの場合は加工硬化等によって寸法変化が発生したとしてもそのような応力は発生しない。

[0074] (4) また、上記実施形態では、ロータ材として珪素鋼板を用いたが一般鋼材を用いても良いし、フェライト系・マルテンサイト系の強磁性ステンレスや、オーステナイト系ステンレスを加工硬化により強磁性化させたものを用いても良い。

[0075] (5) また、上記実施形態では、シャフトとの結合方法として締り嵌めを挙

げたが、隙間嵌めの上、トルク伝達をキーで行う方法や、スプラインやそれに類似した構造でトルク伝達を行う方法でもよい。隙間嵌めの場合、サイドブリッジがあっても組み立て残留応力は発生しないが、オーステナイト化や熱歪による寸法変化を原因とした応力は発生し、遠心力によるせん断応力も発生する。

[0076] (6) また、上記実施形態ではこの発明を電動機に適用したが、この発明は発電機にも勿論適用可能である。

[0077] (7) また、上記実施例では永久磁石埋め込み式電動機を例として挙げたが、同期リラクタンス電動機等の磁石レス電動機にも適用可能である。図4はこの発明の他の実施形態である同期リラクタンス電動機のロータ3'の構成を示す正面図である。このロータ3'において、穴35aおよび35bは、磁石を保持せず、横軸インダクタンスを小さくする役割を果たす。トルクアップを図るためには、図4において、外周縁部33の外周面の一部または全部が、ロータ回転中心軸4aからロータ最外周部までの距離よりも大きい曲率半径を有していることが好ましい。また、外周縁部33の外周面は曲面である必要はなく、ロータ回転中心からみてセンタブリッジ32を通る延長線上に位置する外周縁部33の外周面がその他の位置の外周面に対し、ロータ回転中心からの距離が短ければよい。この形状は、リラクタンスモータにおいてトルクを増大させる効果がある。このような同期リラクタンス電動機の場合、磁石がない分だけ遠心応力は小さいが、サイドブリッジがあればそこには組み立て残留応力が発生し、外周縁部33に発生する遠心力を原因として、せん断応力も発生する。図4に示す構成では、穴35aおよび35bがロータ外周に連通しているため、そのような問題は生じない。また、センタブリッジ32を非磁性化または低透磁率化することにより上記実施形態と同様な効果が得られる。

[0078] (8) 上記実施形態では、1つの極を形成するためにセンタブリッジを間に挟んだ2個の穴をロータに形成した。しかし、1つのセンタブリッジに対して設ける穴は、2個に限定されるものではなく、偶数個であればよい。例え

ば1つの極を形成するために、ロータ回転方向にセンタブリッジ32を間に挟んだ穴の対をロータ半径方向に沿って複数対形成してもよい。図5は、そのような同期リラクタンس電動機のロータの構成例を示すものである。この例では、センタブリッジ32のロータ回転方向左側にロータ半径方向に並んだ2個の横軸穴35a1および35a2があり、センタブリッジ32のロータ回転方向右側にロータ半径方向に並んだ2個の横軸穴35b1および35b2がある。各横軸穴35a1、35a2、35b1、35b2は、センタブリッジ32と反対側においてロータ外周と連通している。なお、この例では、1つの極を形成するためにセンタブリッジ32を間に挟んだ穴の対をロータ半径方向に2対形成したが、穴の対を3対またはそれ以上形成してもよい。また、この構成は、同期リラクタンس回転電機のみならず、永久磁石埋め込み式回転電機にも適用可能である。すなわち、図5における横軸穴を永久磁石を埋め込むための穴として使用し、永久磁石埋め込み式回転電機のロータを構成してもよい。

[0079] (9) 上記実施形態では、1つの極を形成するためにセンタブリッジのロータ回転方向両側に各1個の穴をロータに形成したが、1つの極を形成するために、ロータ回転方向両側に2個以上の穴を形成してもよい。図6は、そのような永久磁石埋め込み式回転電機のロータの構成例を示すものである。この例では、センタブリッジ32のロータ回転方向左側にロータ回転方向に並んだ2個の永久磁石埋め込み穴35a3および35a4があり、センタブリッジ32のロータ回転方向右側にロータ回転方向に並んだ2個の永久磁石埋め込み穴35b3および35b4がある。なお、この例では、1つの極を形成するためにセンタブリッジ32を間に挟んだ穴35a3および35b3の対と穴35a4および35b4の対を形成したが、穴の対を3対またはそれ以上形成してもよい。

[0080] (10) 上記実施形態では、ロータ回転方向に1極当たり1個のセンタブリッジを設けたが、ロータ回転方向に1極当たり複数個のセンタブリッジを設けてもよい。図7はそのような永久磁石埋め込み式回転電機のロータ3bの

構成を示す図である。

[0081] このロータ 3 b では、ロータ回転方向に沿って 1 極当たり 2 個のセンタブリッジ 3 2 が形成されている。各センタブリッジ 3 2 のロータ回転方向両側には 2 個の穴 3 5 が形成されている。ロータ 3 b の芯部 3 1 は、各センタブリッジ 3 2 を介して穴 3 5 のロータ回転方向外側の外周縁部 3 3 と各々接続されている。1 極内の 4 個の穴 3 5 のうち中央の 2 個の穴 3 5 には磁石 3 4 がロータ回転方向に沿って 2 個ずつ埋め込まれている。また、1 極内の 4 個の穴 3 5 のうちロータ回転方向外側の 2 個の穴 3 5 はそれぞれ、ロータ回転方向内側に 1 個の磁石 3 4 が埋め込まれ、ロータ回転方向外側に 1 個のオモリ 3 4 a が埋め込まれている。また、ロータ 3 b において、磁極間の境界付近には、2 個の放射突起 3 9 が突出しており、磁極中央付近に 1 個の放射突起 3 9 a が突出している。以上がロータ 3 b における 1 磁極分の概略構成である。そして、図 7 に示す例では、ロータ 3 b 全体で 4 磁極が構成されている。

[0082] 1 磁極内の 3 個の放射突起のうちロータ回転方向両側の 2 個の放射突起 3 9 は、回転中心軸 4 a から離れる方向に突き出している。この放射突起 3 9 のロータ回転方向両側の側面には、放射突起 3 9 の両側の外周縁部 3 3 の外周面の角部に頂上部を向けた山形状の側面突起 3 9 1 が形成されている。また、1 磁極内の 3 個の放射突起のうち中央の放射突起 3 9 a は傘状になっている。そこで、以下、このロータ回転方向中央の放射突起 3 9 a を傘状放射突起 3 9 a という。この傘状放射突起 3 9 a は、ロータ回転方向両側の 2 個の外周縁部 3 3 の一部または全部をロータ外周側から覆う側面突起 3 9 2 を有している。これに対し、2 個の放射突起 3 9 は、山形状の側面突起 3 9 1 を有しているものの、この側面突起 3 9 1 は、外周縁部 3 3 の端部からロータ回転方向に離れている。すなわち、この態様では、ロータ回転方向の外周縁部 3 3 との距離が複数の放射突起間で異なり、磁極中央に位置する傘状放射突起 3 9 a と外周縁部 3 3 との距離は、磁極間境界に位置する帯状の放射突起 3 9 と外周縁部 3 3 との距離よりも短い。

- [0083] また、この態様において、磁極中央に位置する傘状放射突起 3 9 a の側面突起 3 9 2 よりもロータ半径方向内側の部分の幅（ロータ回転方向の寸法）は、そのロータ回転方向両側の帯状の放射突起 3 9 の幅よりも狭くなっている。
- [0084] また、この態様において、磁極中央に位置する傘状放射突起 3 9 a の最外周と回転中心軸 4 a との間の距離は、外周縁部 3 3 の最外周と回転中心軸 4 a との間の距離よりも長い。すなわち、傘状放射突起 3 9 a の最外周は、外周縁部 3 3 の最外周よりもステータに接近している。
- [0085] この態様において、ロータ外周面は、外周縁部 3 3 と側面突起 3 9 1 および 3 9 2 を各々有する放射突起 3 9 および 3 9 a が概略滑らかに繋がったものとなり、気流の剥離が起こり難い。従って、この態様によれば、ロータ 3 b の風損を低減することができる。
- [0086] また、この態様では、上記実施形態（図 2 および図 3 参照）に比べて、ロータ 3 b の磁極数を低減することができる。以下、この効果について説明する。
- [0087] a. まず、この態様では、磁極中央の傘状放射突起 3 9 a が、そのロータ回転方向両側の外周縁部 3 3 の広い範囲を覆い、かつ、外周縁部 3 3 との距離が近い。このため、この態様では、磁極中央の傘状放射突起 3 9 a と 2 個の外周縁部 3 3 との間の磁気抵抗が小さい。
- [0088] b. また、磁極中央の傘状放射突起 3 9 a は、外周縁部 3 3 よりもステータに近く、ステータとの間の磁気抵抗が小さい。このため、磁束は、傘状放射突起 3 9 a のある磁極中央を通り易い。
- [0089] c. また、傘状放射突起 3 9 a は、半径方向中央付近の部分の幅が狭い。このため、傘状放射突起 3 9 a を経路とした磁気短絡が起きにくい。
- [0090] d. また、この態様では、ロータ回転方向両側に起磁力を持たないオモリ 3 5 a が配置されており、傘状放射突起 3 9 a 付近の起磁力が高くなっている。このため、1 磁極の範囲内において、1 正弦波に近い起磁力の分布が得られる。

[0091] 以上の a～d の効果により、この態様では、図 7 に示すように、センタブリッジ 3 2 を 2 個含む範囲を 1 磁極とし、ロータ全体の磁極数を半減させることができる。このため、1 磁極当たり 1 個のセンタブリッジ 3 2 を含むロータに比べて、永久磁石埋め込み式回転電機を駆動するインバータの制御速度を半分に低下させることができる。

[0092] そして、この態様では、上記実施形態（図 2 および図 3）と同様、センタブリッジ 3 2 が非磁性化されている。従って、上記実施形態と同様、センタブリッジ 3 2 のロータ回転方向の幅を広げて、ロータ 3 の回転時におけるセンタブリッジ 3 2 の強度を高めることが可能になる。

符号の説明

[0093] 1 …… フレーム、2 …… 鉄心、3, 3', 3 b …… ロータ、3 1 …… 芯部、3 2 …… センタブリッジ、3 3 …… 外周縁部、3 4 a, 3 4 b …… 永久磁石、3 5 a, 3 5 b, 3 5 a 1～3 5 a 4, 3 5 b 1～3 5 b 4 …… 穴、3 6 …… 内接円、3 7 …… q 軸突起、3 8 a, 3 8 b …… 位置決め突起、3 9, 3 9 a …… 放射突起、3 9 1, 3 9 2 …… 側面突起、4 …… シャフト、4 a …… 回転中心軸、5 …… 転がり軸受け、6 …… シールド。

請求の範囲

- [請求項1] センタブリッジを間に挟んで周方向に隣り合った偶数個の穴が極毎に形成されてなるロータを有し、
- 前記ロータの各極において前記センタブリッジを挟んだ偶数個の穴は前記センタブリッジの反対側において前記ロータの外周と連通しており、
- 前記センタブリッジを非磁性化または前記ロータにおける前記センタブリッジ以外の部分よりも透磁率を低下させたことを特徴とする回転電機。
- [請求項2] 前記センタブリッジは、熱処理または加工硬化を利用することにより、変態または歪み発生が行われて非磁性化または低透磁率化されたものであることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石埋め込み式回転電機。
- [請求項3] 前記センタブリッジが前記偶数個の穴の内接円よりも前記ロータの半径方向外側に位置していることを特徴とする請求項1に記載の回転電機。
- [請求項4] 前記センタブリッジが前記偶数個の穴の内接円よりも前記ロータの半径方向外側に位置していることを特徴とする請求項2に記載の回転電機。
- [請求項5] 前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項1に記載の回転電機。
- [請求項6] 前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項2に記載の回転電機。
- [請求項7] 前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項3に記載の回転電機。

- [請求項8] 前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項4に記載の回転電機。
- [請求項9] 前記穴が永久磁石を保持し、前記回転電機が永久磁石埋め込み型回転電機であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1の請求項に記載の回転電機。
- [請求項10] 前記外周縁部の外周面の一部または全部が、ロータ回転中心軸からロータ最外周部までの距離よりも小さい曲率半径を有していることを特徴とする請求項9に記載の回転電機。
- [請求項11] 前記穴の内壁のうち前記ロータ半径方向外側の領域に、前記永久磁石の移動を規制する位置決め突起を有することを特徴とする請求項9に記載の回転電機。
- [請求項12] 前記永久磁石の固定を接着剤により補助したことを特徴とする請求項9に記載の回転電機。
- [請求項13] 前記回転電機が同期リラクタンس回転電機であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1の請求項に記載の回転電機。
- [請求項14] 前記外周縁部の外周面の一部または全部が、ロータ回転中心軸からロータ最外周部までの距離よりも大きい曲率半径を有していることを特徴とする請求項13に記載の回転電機。

補正された請求の範囲
[2015年12月14日(14.12.2015)国際事務局受理]

[請求項1] (補正後)

センタブリッジを間に挟んで周方向に隣り合った偶数個の穴が極毎に形成されてなるロータを有し、

前記ロータの各極において前記センタブリッジを挟んだ偶数個の穴は前記センタブリッジの反対側において前記ロータの外周と連通しており、

前記偶数個の穴の内周壁における前記ロータの半径方向中心側の領域は、隣接する極間の中心から離れて前記センタブリッジに近づくに従って前記ロータの半径方向中心側から離れる方向に傾いており、

前記センタブリッジを非磁性化または前記ロータにおける前記センタブリッジ以外の部分よりも透磁率を低下させたことを特徴とする回転電機。

[請求項2]

前記センタブリッジは、熱処理または加工硬化を利用することにより、変態または歪み発生が行われて非磁性化または低透磁率化されたものであることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石埋め込み式回転電機。

[請求項3] (削除)

[請求項4]

前記センタブリッジが前記偶数個の穴の内接円よりも前記ロータの半径方向外側に位置していることを特徴とする請求項2に記載の回転電機。

[請求項5]

前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項1に記載の回転電機。

[請求項6]

前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項2に記載の回転電機。

[請求項7]

前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項3に記載の回転電機。

[請求項8]

前記ロータは、隣接する極間にロータ回転中心軸から離れる方向に突出したq軸突起を有することを特徴とする請求項4に記載の回転電機。

[請求項9]

前記穴が永久磁石を保持し、前記回転電機が永久磁石埋め込み型回転電機であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1の請求項に記載の回転電機。

[請求項10] (補正後)

外周縁部の外周面の一部または全部が、ロータ回転中心軸からロータ最外周部までの距離よりも小さい曲率半径を有していることを特徴とする請求項 9 に記載の回転電機。

[請求項 1 1]

前記穴の内壁のうち前記ロータ半径方向外側の領域に、前記永久磁石の移動を規制する位置決め突起を有することを特徴とする請求項 9 に記載の回転電機。

[請求項 1 2]

前記永久磁石の固定を接着剤により補助したことを特徴とする請求項 9 に記載の回転電機。

[請求項 1 3]

前記回転電機が同期リラクタンス回転電機であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 の請求項に記載の回転電機。

[請求項 1 4] (補正後)

外周縁部の外周面の一部または全部が、ロータ回転中心軸からロータ最外周部までの距離よりも大きい曲率半径を有していることを特徴とする請求項 1 3 に記載の回転電機。

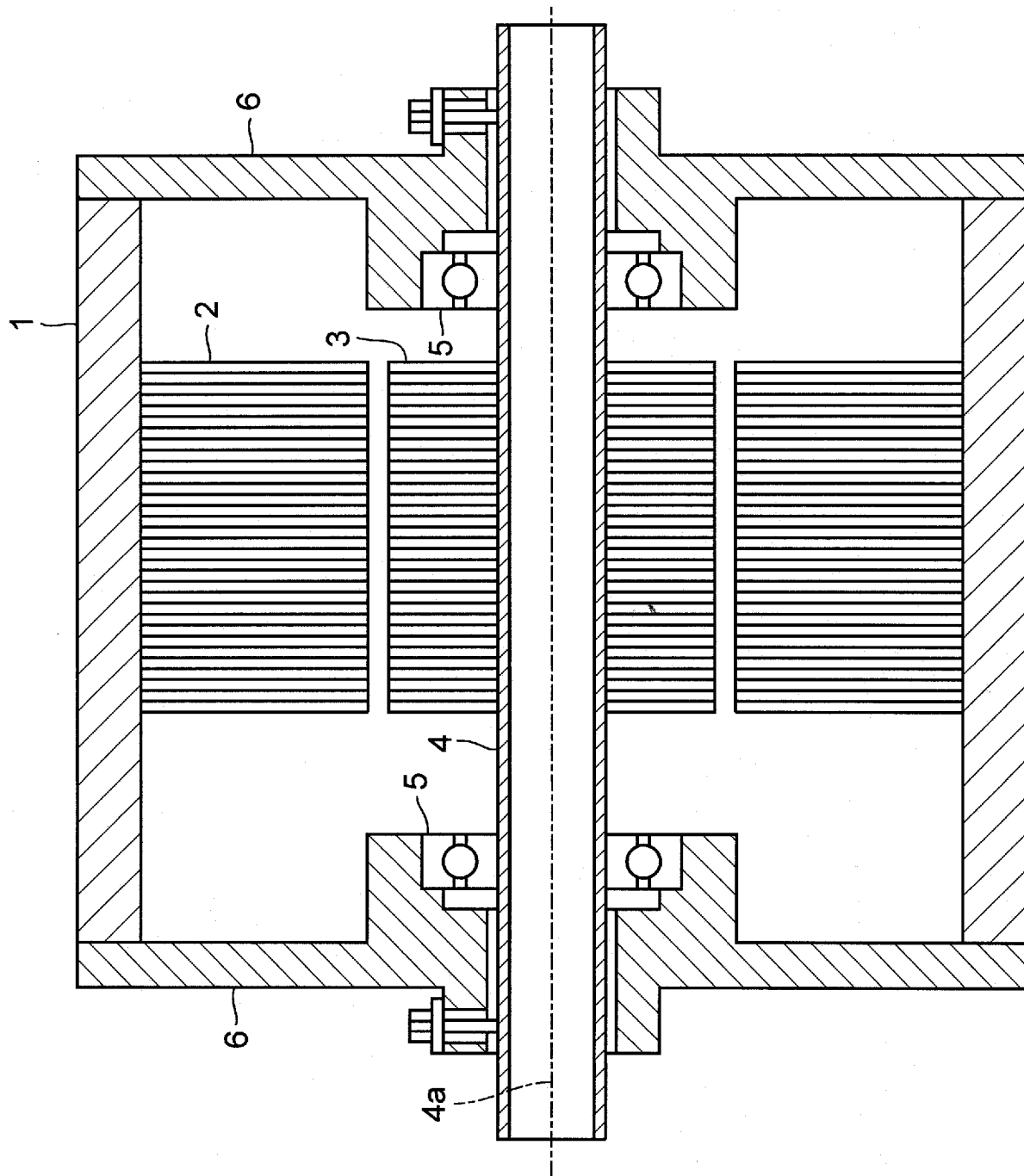
条約第 19 条（1）に基づく説明書

請求項 1、請求項 10 および請求項 14 を補正した。請求項 1 の補正事項は段落 0029 により支持されている。請求項 10 および請求項 14 の補正は誤記の訂正である。

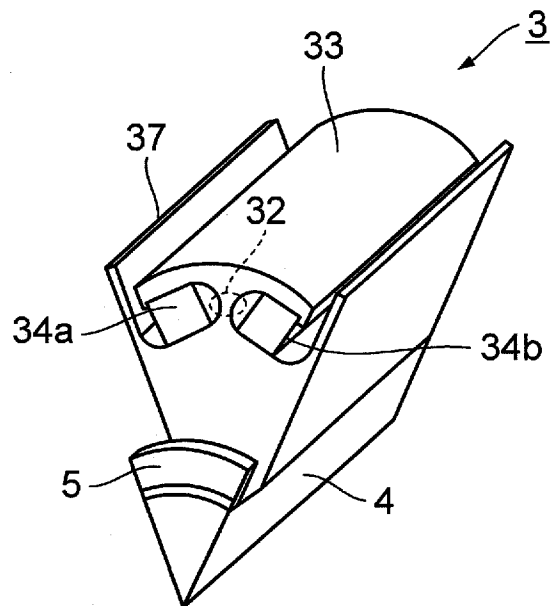
請求項 3 を削除した。

請求項 1、請求項 3、請求項 10 および請求項 14 以外の請求項は、国際出願当初と記載は変わっていない。

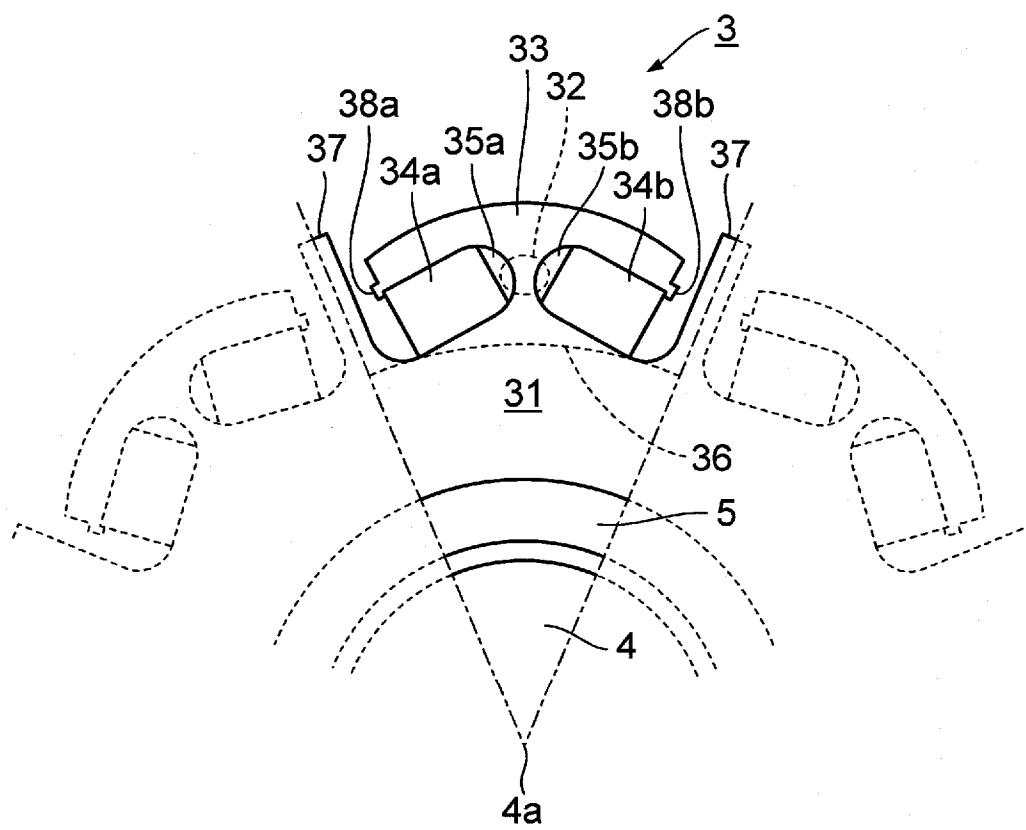
[図1]



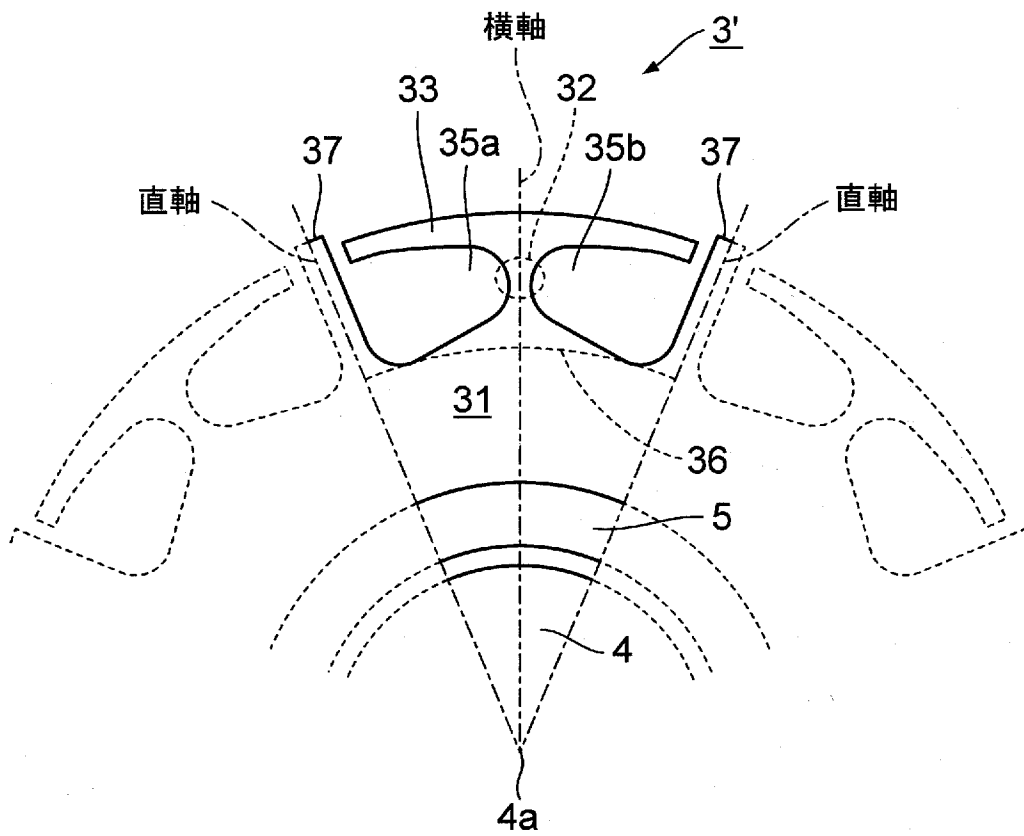
[図2]



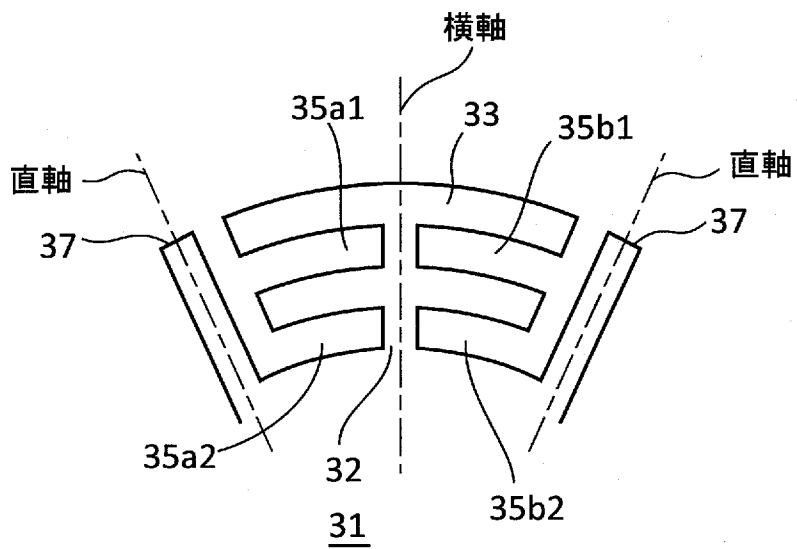
[図3]



[図4]

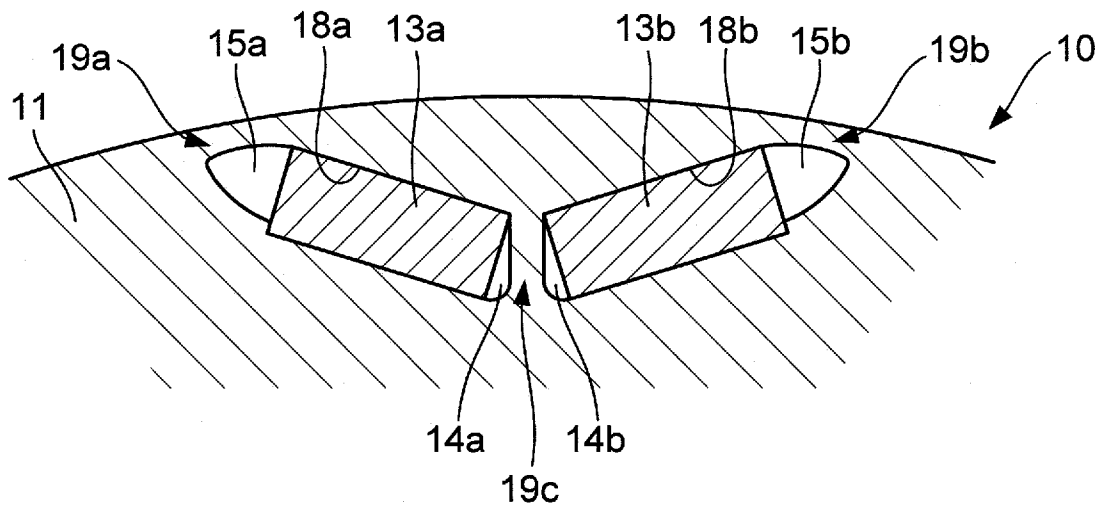


[図5]

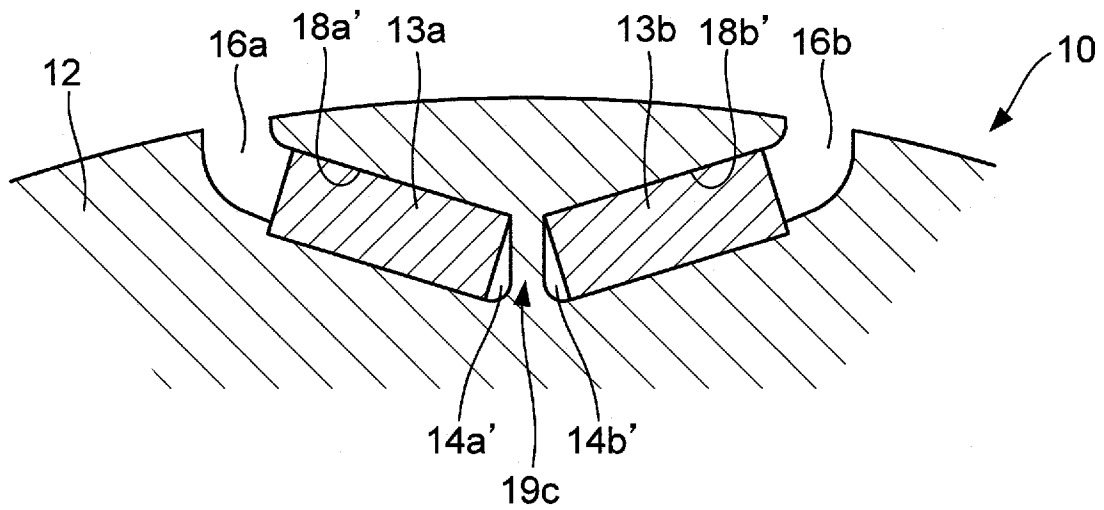


[図8]

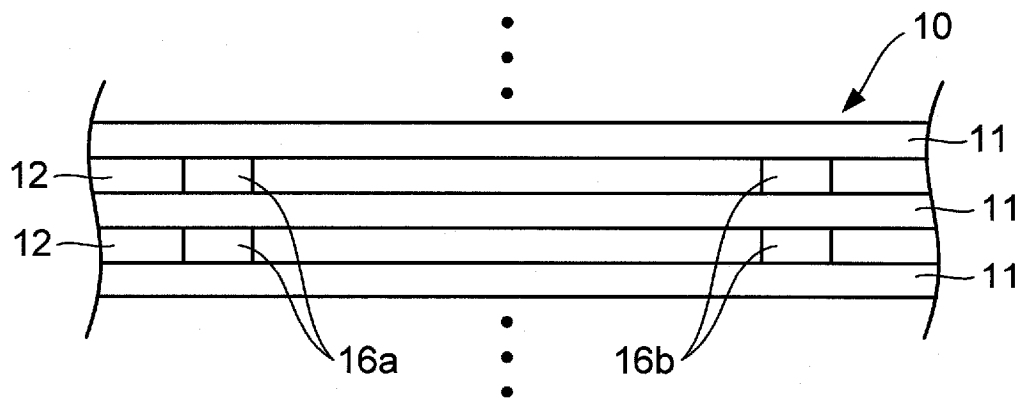
(a)



(b)



(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/071252

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K1/27(2006.01)i, H02K19/10(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, H02K19/10

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
X Y A	JP 2010-193660 A (Nippon Steel Corp.), 02 September 2010 (02.09.2010), claims; paragraphs [0016] to [0027]; fig. 1 (Family: none)	1, 5, 9, 12 2, 6, 10-11, 13-14 3-4, 7-8
Y	JP 2013-46421 A (Toyota Industries Corp.), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraphs [0009] to [0026]; fig. 1 to 6 & US 2013/0043757 A1 & EP 2562913 A2 & CN 102957239 A	1-14
Y	JP 2014-79068 A (Daikin Industries, Ltd.), 01 May 2014 (01.05.2014), claims; paragraphs [0023], [0042]; fig. 10 (Family: none)	1-14

☒ 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
15 October, 2014 (15.10.14)

Date of mailing of the international search report
28 October, 2014 (28.10.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/071252

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-130604 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 19 May 2005 (19.05.2005), claims; paragraphs [0027] to [0040], [0075] to [0077]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-14
Y	JP 2010-220359 A (Yaskawa Electric Corp.), 30 September 2010 (30.09.2010), claims; paragraph [0013]; fig. 1 (Family: none)	1-14
Y	JP 2012-80718 A (Honda Motor Co., Ltd.), 19 April 2012 (19.04.2012), paragraph [0016]; fig. 3 (Family: none)	10
Y	JP 2012-205472 A (Toyota Industries Corp.), 22 October 2012 (22.10.2012), paragraph [0050]; fig. 12 & US 2012/0248915 A1 & EP 2506399 A2 & CN 102710040 A & KR 10-2012-0110025 A	11
Y	JP 2004-364368 A (Toyota Motor Corp.), 24 December 2004 (24.12.2004), claims; fig. 1 (Family: none)	13-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02K1/27(2006.01)i, H02K19/10(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（I P C））

Int.Cl. H02K1/27, H02K19/10

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
X Y A Y	JP 2010-193660 A（新日本製鐵株式会社）2010.09.02, 特許請求の 範囲, 段落【0016】 - 【0027】, 第1図（ファミリーなし） JP 2013-46421 A（株式会社豊田自動織機）2013.03.04, 段落【0009】 - 【0026】, 第1-6図 & US 2013/0043757 A1 & EP 2562913 A2 & CN 102957239 A	1, 5, 9, 12 2, 6, 10-11, 13 -14 3-4, 7-8 1-14

☒ 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

1 5 . 1 0 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 8 . 1 0 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

田村 耕作

3 V

9 6 1 8

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 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
Y	JP 2014-79068 A (ダイキン工業株式会社) 2014.05.01, 特許請求の範囲, 段落【0023】, 【0042】, 第10図 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 2005-130604 A (日産自動車株式会社) 2005.05.19, 特許請求の範囲, 段落【0027】 - 【0040】, 【0075】 - 【0077】, 第1,5図 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 2010-220359 A (株式会社安川電機) 2010.09.30, 特許請求の範囲, 段落【0013】, 第1図 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 2012-80718 A (本田技研工業株式会社) 2012.04.19, 段落【0016】, 第3図 (ファミリーなし)	10
Y	JP 2012-205472 A (株式会社豊田自動織機) 2012.10.22, 段落【0050】, 第12図 & US 2012/0248915 A1 & EP 2506399 A2 & CN 102710040 A & KR 10-2012-0110025 A	11
Y	JP 2004-364368 A (トヨタ自動車株式会社) 2004.12.24, 特許請求の範囲, 第1図 (ファミリーなし)	13-14