

(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3月10日(10.03.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/035191 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01) H02K 15/02 (2006.01)
H02K 1/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/073360
- (22) 国際出願日: 2014年9月4日(04.09.2014)
- (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: 株式会社安川電機(KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 野中 剛(NONAKA Tsuyoshi); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 益田 博文, 外(MASUDA Hirofumi et al.); 〒1100015 東京都台東区東上野1-7-1 3 東上野上村ビル2階 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, 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.

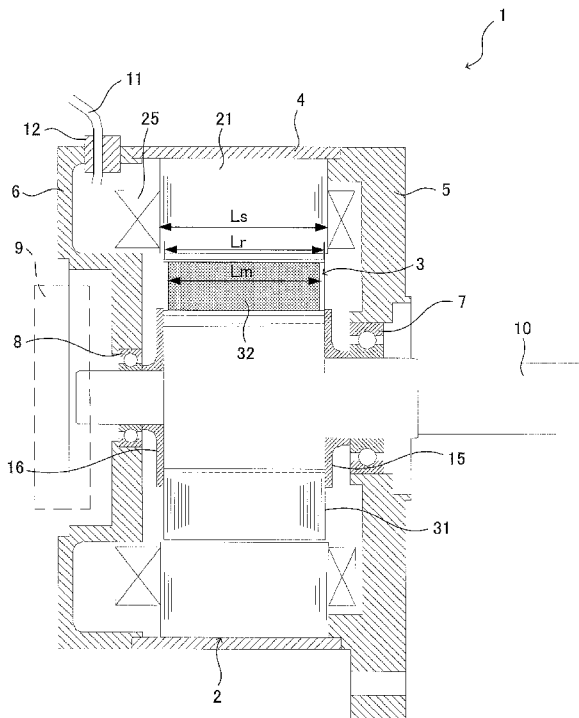
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: ROTATING ELECTRIC MACHINE AND METHOD FOR MANUFACTURING ROTOR CORE

(54) 発明の名称: 回転電機、回転子鉄心の製造方法



(57) Abstract: [Problem] To increase the efficiency of a rotating electric machine. [Solution] A rotating electric machine 1 has: a stator core 21; a rotor core 31 provided with a plurality of laminated steel sheets 37 and having an axial direction dimension L_r shorter than that of the stator core 21; and a permanent magnet 32 buried in the rotor core 31 and having an axial direction dimension L_m shorter than that of the rotor core 31. The rotor core 31 is structured by laminating the steel sheets 37 having a hardenability and been heat-treated. The stator core 21 has a plurality of teeth 23b around which stator windings 25 are wound and a connection part 23a for connecting the ends of the teeth 23b on the inner circumferential side in a cylindrical shape.

(57) 要約: 【課題】回転電機を高効率化する。
【解決手段】回転電機1は、固定子鉄心21と、積層された複数の鋼板37を備え、軸方向寸法 L_r が固定子鉄心21より短い回転子鉄心31と、回転子鉄心31に埋め込まれ、軸方向寸法 L_m が回転子鉄心31より短い永久磁石32とを有する。回転子鉄心31は、焼入れ性を有し熱処理が施された鋼板37が積層されて構成される。固定子鉄心21は、固定子巻線25が巻回される複数のティース23bと、ティース23bの内周側の端部を円筒形状に連結する連結部23aとを有する。

WO 2016/035191 A1

明 細 書

発明の名称： 回転電機、回転子鉄心の製造方法

技術分野

[0001] 開示の実施形態は、回転電機及び回転子鉄心の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、焼入れ性を有する炭素鋼または合金鋼からなる鋼板を積層し、マグネット装着孔の周りが焼入れ処理されたロータコアを備えた回転電機が記載されている。これにより、ロータコアを高強度にして高速回転化を実現している。また、この回転電機では、マグネットより発する磁束をロータ表面に磁束集中させることにより、ロータコアを意図的に磁束飽和させ、回転中のロータコア表面近くの部分での磁束密度変化を低減することで、ロータコアの鉄損を低く止め、高効率化を実現している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5256724号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記従来技術において、さらなる高効率化を図る場合には、装置構成のさらなる最適化が要望される。

[0005] 本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、高効率化が可能な回転電機及び回転子鉄心の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、固定子鉄心と、積層された複数の鋼板を備え、軸方向寸法が前記固定子鉄心より短い回転子鉄心と、前記回転子鉄心に埋め込まれ、軸方向寸法が前記回転子鉄心より短い永久磁石と、を有する回転電機が適用される。

[0007] また、本発明の別の観点によれば、回転電機の回転子鉄心の製造方法であ

って、熱処理された鋼板を所望の形状に打ち抜き成形することと、成形された複数の前記鋼板を積層することと、前記熱処理により前記鋼板の表面に形成された酸化皮膜同士を接着剤で接着することと、を有する回転子鉄心の製造方法が適用される。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、高効率化が可能な回転電機及び回転子鉄心の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施形態に係る回転電機の全体構成の一例を表す軸方向縦断面図である。

[図2]回転電機の軸方向と直交する横断面図である。

[図3]回転子鉄心に設けられた磁石装着孔及び磁石装着孔に装着された永久磁石の形状の一例を表す平面図である。

[図4]回転子鉄心の構成の一例を表す斜視図である。

[図5A]比較例に係る回転子鉄心の隣接する鋼板の境界部の構成の一例を表す説明図である。

[図5B]実施形態に係る回転子鉄心の隣接する鋼板の境界部の構成の一例を表す説明図である。

[図6]回転子鉄心の製造方法の一例を表す工程図である。

[図7]一般的な磁気ヒステリシス曲線の一例を表す図である。

[図8]オープンティース型の固定子を備える変形例の回転電機の全体構成の一例を表す横断面図である。

[図9]界磁磁束が小のときの回転子の状態の一例を表す説明図である。

[図10]界磁磁束が中のときの回転子の状態の一例を表す説明図である。

[図11]界磁磁束が大のときの回転子の状態の一例を表す説明図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、一実施の形態について図面を参照しつつ説明する。なお、以下において、回転電機等の構成の説明の便宜上、上下左右等の方向を適宜使用する

場合があるが、回転電機等の各構成の位置関係を限定するものではない。

[0011] <1. 回転電機の全体構成>

図1及び図2を用いて本実施形態に係る回転電機1の全体構成の一例について説明する。回転電機1は、モータ又は発電機として使用される。

[0012] 図1及び図2に示すように、回転電機1は、固定子2と、回転子3を有する。固定子2は、筒状のフレーム4の内周に設けられる。回転子3は、シャフト10の外周に設けられ、固定子2と径方向に対向するように配置される。フレーム4の負荷側（図1中右側）には負荷側ブラケット5が設けられ、フレーム4の反負荷側（図1中左側）には反負荷側ブラケット6が設けられる。シャフト10は、負荷側ブラケット5に設けられた負荷側軸受7と、反負荷側ブラケット6に設けられた反負荷側軸受8とにより、回転自在に支持されている。

[0013] シャフト10の反負荷側端部には、シャフト10の回転位置を検出するエンコーダ9が設けられている。なお、エンコーダ9を設けなくてもよい。反負荷側ブラケット6の外周には、図示しない外部電源と接続されるリード線11が挿通されたブッシュ12が取り付けられている。リード線11は、固定子2の反負荷側において、固定子2の複数の固定子巻線25を結線処理した図示しない結線部と接続されている。

[0014] なお、本明細書において「負荷側」とは回転電機1に対して負荷が取り付けられる方向、すなわちこの例ではシャフト10が突出する方向（図1中右側）を指し、「反負荷側」とは負荷側の反対方向、すなわちこの例では回転電機1に対してエンコーダ9が配置される方向（図1中左側）を指す。

[0015] <2. 固定子の詳細構成>

次に、図2を用いて固定子の詳細構成の一例について説明する。図2に示すように、固定子2は、固定子鉄心21と、複数（図示の例では12）の上記固定子巻線25とを備えている。固定子鉄心21は、フレーム4の内周面に沿って設けられた筒状の外側固定子鉄心部22と、外側固定子鉄心部22の内側に設けられた内側固定子鉄心部23とを有する。内側固定子鉄心部2

3は、放射状に配置された複数（図示の例では12）のティース23bと、複数のティース23bの内周側の端部を円筒形状に連結する連結部23aとを備える。外側固定子鉄心部22と内側固定子鉄心部23とは、内側固定子鉄心部23の各ティース23bの外周側端部と外側固定子鉄心部22とを貫通したボルト24によって固定されている。各固定子巻線25は、内側固定子鉄心部23のティース23bにそれぞれ巻回され、周方向に隣り合うティース23bと外側固定子鉄心部22との間に形成された複数（図示の例では12）のスロット26に收容される。

[0016] <3. 回転子の詳細構成>

次に、図1～図4を用いて回転子の詳細構成の一例について説明する。図1及び図2に示すように、回転子3は、固定子2の内側に磁気的空隙を空けて配置された円筒状の回転子鉄心31と、回転子鉄心31の内部に設けられた複数（図示の例では20）の永久磁石32とを備える。図1に示すように、回転子鉄心31の軸方向寸法 L_r は、固定子鉄心21の軸方向寸法 L_s よりも所定の長さ短く、永久磁石32の軸方向寸法 L_m は、回転子鉄心31の軸方向寸法 L_r よりも所定の長さ短く設定されている。なお、この例では、複数の永久磁石32が回転子鉄心31に埋め込まれた、いわゆるIPM（Internal Permanent Magnet）型の構成としたが、これに限定されるものではなく、SPM（Surface Permanent Magnet）型の構成としてもよい。

[0017] 図2及び図4に示すように、回転子鉄心31は、内周面に複数の凸部36aが設けられた穴部36を有する。一方、シャフト10は、回転子取り付け部分の外周面に複数の凹部10aを有する。回転子鉄心31は、凸部36aと凹部10aを嵌合させつつシャフト10に焼き嵌め等に取り付けられることによって、シャフト10の外周面に固定されている。また、負荷側軸受7と回転子鉄心31の端面との間、及び、反負荷側軸受8と回転子鉄心31の端面との間では、負荷側側板15及び反負荷側側板16がそれぞれシャフト10に固定されている。これら負荷側側板15及び反負荷側側板16によっ

て、回転子鉄心 3 1 は軸方向の移動を規制されている。

[0018] 回転子鉄心 3 1 は、上記複数の永久磁石 3 2 が挿入される複数の磁石装着孔 3 3 を備えている。図 4 に示すように、各磁石装着孔 3 3 は、回転子鉄心 3 1 を軸方向に沿って貫通するように設けられている。また、図 3 に示すように、各磁石装着孔 3 3 は軸方向から見て略長形状であるが、その外周側の 2 つの隅部 3 3 a は、軸方向から見て円弧状（言い換えると曲面状）に形成されている。永久磁石 3 2 は略直方体形状に形成され、軸方向から見た形状は略長形状であるが、磁石装着孔 3 3 の隅部 3 3 a に対応する 2 つの外周側の角部 3 2 a が軸方向から見て円弧状に形成されている。永久磁石 3 2 は、磁石装着孔 3 3 に挿入され、接着剤等により固定される。磁石装着孔 3 3 に装着された永久磁石 3 2 の外周側の曲面状の端面及び周方向両側の平面状の側面は、磁石装着孔 3 3 の外周側の曲面状の端面及び周方向両側の平面状の側面に接触する。永久磁石 3 2 の内周側の平面状の端面 3 2 b と磁石装着孔 3 3 の内周側の端面との間には空隙 3 3 b が形成される。

[0019] 複数の磁石装着孔 3 3 に埋設された複数の永久磁石 3 2 は、図 2 及び図 3 に示すように、軸方向から見て、N 極又は S 極の同極の磁極同士を対向させた 2 つの永久磁石 3 2 が径方向内側に凸の V 字状の対をなす態様で、対向する同極の磁極を周方向に交互に異ならせて回転子鉄心 3 1 に配置されている。これにより、回転子鉄心 3 1 の周方向に交互に極性の異なる N 極と S 極の複数（この例で 10 個）の磁極部 3 4 が形成されている。

[0020] なお、本実施形態の回転子 3 では、各磁極部 3 4 において永久磁石 3 2 より発生する磁束が回転子 3 の表面に集中するように、V 字状に配置された 2 つの永久磁石 3 2 の挟角が充分狭くなるように設計される。これにより、2 つの永久磁石 3 2 の間の回転子鉄心 3 1 を意図的に磁束飽和させ、回転中の回転子鉄心 3 1 の表面近くの部分での磁束密度変化を低減することで、回転子鉄心 3 1 の鉄損を低く止め得る設計としている。

[0021] 図 4 に示すように、回転子鉄心 3 1 は、所望の形状に打ち抜き成形された複数の鋼板 3 7 を軸方向に積層して構成される。隣接する鋼板 3 7 同士は接

着剤 38（後述の図 5 A 参照）により接着される。鋼板 37 としては、炭素鋼、合金鋼等の焼入れ性を有する鋼板が使用される。本実施形態では、各鋼板 37 の全体に焼入れが施されており、当該複数の鋼板 37 が積層されることにより、内部を含む全体に熱処理が施された回転子鉄心 31 が形成される。

[0022] なお、上述のように焼入れを施した鋼板 37 を積層するのではなく、熱処理を施していない鋼板を積層した後に例えば高周波加熱等により焼入れを行ってもよい。また、回転子鉄心 31 の全体ではなく一部に熱処理が施された構成としてもよい。この場合に部分的に熱処理する個所は、例えば回転子鉄心 31 の表面部分や、永久磁石 32 の遠心力による応力で破断されやすい領域等が挙げられる。この破断されやすい領域は、図 3 に示すように、例えば磁石装着孔 33 の外周部の周囲領域 31 a や、V 字状に配置された隣り合う磁石装着孔 33 の間の領域 31 b 等である。また、回転子鉄心 31 に施す熱処理は、焼入れに限定されるものではなく、例えば加工硬化によるひずみの除去等のために行われる焼きなまし（焼鈍）等でもよい。また、鋼板 37 は焼入れ性を有する鋼板に限定されるものではなく、通常の電磁鋼板を用いてもよい。

[0023] < 4. 鋼板と鋼板の境界部の構成 >

次に、図 5 A 及び図 5 B を用いて鋼板と鋼板の境界部の構成の一例について説明する。図 5 A に比較例の回転子鉄心 41 を示す。この比較例の回転子鉄心 41 では、一般的な電磁鋼板 47 が積層される。一般に電磁鋼板 47 は、最終工程で圧延と焼鈍が行われ、規定の厚みに加工された後、絶縁皮膜処理される。これにより形成される絶縁皮膜 47 a は、電磁鋼板 47 間に流れる渦電流を遮断するのに十分な厚さ（酸化皮膜 37 a より厚い）で形成される。隣接する電磁鋼板 47 同士の間には鋼板 47 の表面の平面度に応じて空隙 49 が生じるが、絶縁被膜 47 a により絶縁が確保されるので、空隙 49 に接着剤等は充填されていない。電磁鋼板 47 を軟化させる焼鈍工程では、電磁鋼板 47 の表面を酸化させないため真空中で加熱しゆっくりと冷却され

る。このため、加工時間が長くなると共に、加熱設備を真空とするための装置等が必要となるので、コストが増大する可能性がある。

[0024] 図5Bに本実施形態の回転子鉄心31を示す。図5Bに示すように、鋼板37は焼入れにより形成された酸化皮膜37aを表面に備えている。この酸化皮膜37aは非常に薄いため絶縁性が低い可能性がある。そのため、回転電機1の運転中の振動等により鋼板37と鋼板37が接触する部分等において酸化皮膜37aの絶縁性を損なう可能性がある。そこで、本実施形態では、鋼板37の表面の不陸（微細な凹凸）により隣接する鋼板37同士の間に見える空隙39に接着剤38が充填される。接着剤38は、例えば樹脂製であり絶縁性を有する接着剤である。この接着剤38は、隣接する鋼板37の酸化皮膜37a同士を接着する。これにより、接着剤38が緩衝材となって鋼板37同士の振動を抑制できるとともに、上記比較例の絶縁皮膜40に劣ることのない絶縁性を長期間維持可能である。また、鋼板37は、最終の焼鈍工程が無く、焼入れ工程となるので、ゆっくりと冷却する必要が無く急冷でよい。また、酸化皮膜37aを故意に発生させるので、加熱設備を真空とする必要もない。さらに絶縁被膜処理もない。このため、大幅に加工時間を短縮できると共に、コストを節減できる。

[0025] なお、回転子鉄心31の隣接する鋼板37の酸化皮膜37a同士を接着剤38で接着させる方法としては、例えば、鋼板37に接着剤38を滴下し、鋼板37を高速回転して遠心力により接着剤38を液膜として広げて鋼板37に塗布する第1の方法（スピコート）、鋼板37にスプレーノズルから接着剤38を噴霧して塗布する第2の方法、接着剤38として含浸性の接着剤を使用し、含浸性の接着剤38の浴中に回転子鉄心31の下半部を浅い深度で浸漬し、接着剤38を毛細管現象で吸い上げて、時間をかけて空隙39に接着剤38を浸透させる第3の方法などが挙げられる。

[0026] <5. 回転子の製造方法>

次に、回転子3の製造方法の一例を図6により説明する。図6に示すように、回転子鉄心31の製造工程では、まず鋼板37を焼入れ処理する。次に

、焼入れ処理された鋼板 37 をプレス機等で所望の形状（磁石装着孔 33 や穴部 36 を含む形状）に打ち抜き成形する。なお、上記焼入れ工程と打ち抜き成形工程の順番を反対としてもよい。次に、成形された複数の鋼板 37 を積層し、焼入れにより鋼板 37 の表面に形成された酸化皮膜 37 a 同士を接着剤 38 で接着して一体化することで、回転子鉄心 31 を完成する。一方で、回転子 3 の製造工程では、まず、シャフト 10 に負荷側側板 15 を圧入して一体化する。次に、負荷側側板 15 を一体化したシャフト 10 に回転子鉄心 31 を組み付ける。次に、回転子鉄心 31 の磁石装着孔 33 に永久磁石 32 を装着して接着し、一体化する。次に、シャフト 10 に反負荷側側板 16 を圧入し一体化する。次に、永久磁石 32 を着磁する。これにより、回転子 3 が完成する。

[0027] <6. 実施形態の効果>

以上説明したように、本実施形態の回転電機 1 は、固定子鉄心 21 と、回転子鉄心 31 と、永久磁石 32 とを備える。そして、回転子鉄心 31 の軸方向寸法 L_r が固定子鉄心 21 の軸方向寸法 L_s より短く、永久磁石 32 の軸方向寸法 L_m が回転子鉄心 31 の軸方向寸法 L_r より短い寸法関係に設定されている。これにより、次のような効果を得る。

[0028] すなわち、回転子 3 の回転に対し、回転子鉄心 31 から固定子鉄心 21 を経て回転子鉄心 31 に戻る磁路抵抗は、ティース 23 b がある部分で小さく、ティース 23 b がない部分（スロット 26 の部分）で大きくなる。この変動により、回転子鉄心 31 には、渦電流損とヒステリシス損が発生する。このとき、本実施形態では、回転子鉄心 31 の鋼板 37 として一般的な電磁鋼板に比べ、ヒステリシス特性の悪い炭素鋼や合金鋼等の鋼板を使用しているので、図 7 の W の面積に応じたヒステリシス損の増大が問題となる。なお、図 7 は一般的な磁気ヒステリシス曲線の一例を表す図である。

[0029] このとき、軸方向寸法の大小関係を、固定子鉄心 21 > 回転子鉄心 31 > 永久磁石 32 とすることで、ティース 23 b がない部分での上記磁路抵抗を低減でき、磁路抵抗の変動を小さくすることができる。その結果、図 7 のヒ

ステリシス曲線における ΔB 、 ΔH を低減し、回転子鉄心31で発生する鉄損を低減できる。これにより、回転子鉄心31で発生する鉄損（ヒステリシス損）を低減できるので、回転電機1を高効率化できる。

[0030] また、本実施形態では特に、回転子鉄心31の少なくとも一部に熱処理（上記の例では焼入れ）が施されている。これにより、焼入れ硬化により回転子鉄心31の強度を向上できるので、高速回転が可能となる。したがって、回転電機の高出力化が可能となる。

[0031] また、本実施形態では特に、回転子鉄心31は、焼入れ性を有し熱処理が施された鋼板37が積層されて構成される。これにより、回転子鉄心31を構成する各鋼板37が焼入れ硬化により高強度となるので、回転子鉄心31の強度を大幅に向上できる。

[0032] また、本実施形態では特に、固定子鉄心21は、固定子巻線25が巻回される複数のティース23bと、ティース23bの内周側の端部を円筒形状に連結する連結部23aとを有する。これにより、次の効果を奏する。すなわち、連結部23aにより、ティース23bがない部分（スロット26部分）での上記磁路抵抗をさらに低減でき、磁路抵抗の変動をより小さくすることができる。その結果、回転子鉄心31で発生する鉄損（ヒステリシス損）を低減できるので、回転電機1をさらに高効率化できる。

[0033] また、本実施形態では特に、鋼板37は、熱処理により形成された酸化皮膜37aを表面に備えており、回転子鉄心31の隣接する鋼板37の酸化皮膜37a同士は接着剤38により接着されている。これにより、次のような効果を得る。

[0034] すなわち、上述のように焼入れ工程で鋼板37の表面に形成される酸化皮膜37aは、非常に薄いため絶縁性が低い可能性がある。そのため、回転電機1の運転中の振動等により鋼板37と鋼板37が接触する部分において酸化皮膜37aの絶縁性を損なう可能性がある。そこで、隣接する鋼板37の酸化皮膜37a同士の間隙に接着剤38を充填することにより、鋼板37同士の振動を抑制でき、酸化皮膜37aのサビ等の劣化も防止できる。これによ

り、従来の絶縁皮膜に劣ることのない絶縁性を長期間維持することが可能である。また、以上により鋼板 37 に絶縁皮膜を設ける必要がない。したがって、絶縁皮膜処理が不要となるため、大幅な加工時間の短縮とコスト節減を図ることができる。

[0035] また、本実施形態では特に、回転子鉄心 31 には、外周側の隅部 33a が円弧状である磁石装着孔 33 が形成され、永久磁石 32 は、磁石装着孔 33 の隅部 33a に対応する角部 32a が円弧状に形成される。これにより、磁石装着孔 33 の外周側の隅部 33a での応力集中を低減できるので、回転子鉄心 31 の遠心力に対する強度を向上できる。したがって、さらなる高速回転化が可能となる。

[0036] また、本実施形態の回転電機 1 の回転子鉄心 31 の製造方法は、焼入れ処理された鋼板 37 を所望の形状に打ち抜き成形する工程と、成形された複数の鋼板 37 を積層する工程と、焼入れ処理により鋼板 37 の表面に形成された酸化皮膜 37a 同士を接着剤 38 で接着する工程とを有する。これにより、次のような効果を得る。

[0037] すなわち、回転子鉄心に用いられる一般的な電磁鋼板は、最終工程で圧延と焼鈍が行われ、規定の厚みに加工された後、絶縁皮膜処理される。鋼板を軟化させる焼鈍工程では、鋼板表面を酸化させないため真空中で加熱しゆっくりと冷却される。

[0038] これに対し、本実施形態における鋼板 37 は、最終の焼鈍工程がなく、焼入れ工程となるので、ゆっくりと冷却する必要がなく急冷でよい。また、酸化皮膜 37a を故意に発生させるため、加熱設備を真空にする必要もない。さらに絶縁皮膜処理もない。このため、大幅に加工時間を短縮できると共に、コストを節減できる。したがって、遠心力破壊強度が高く安価な回転子鉄心 31 を実現できる。

[0039] また、本実施形態において、酸化皮膜 37a 同士を接着剤 38 で接着する工程において、積層された鋼板 37 間の空隙 39 に接着剤 38 を含浸させる（前述の第 3 の方法）場合には、積層された鋼板 37 間の気泡を抜くことが

できるので、鋼板 37 間の絶縁性を高めることができる。

[0040] <7. 変形例>

なお、開示の実施形態は、上記に限られるものではなく、その趣旨及び技術的思想を逸脱しない範囲内で種々の変形が可能である。以下、そのような変形例を説明する。

[0041] 上記実施形態では、固定子鉄心 21 は、固定子巻線 25 が巻回される複数のティース 23 b の内周側の端部が連結部 23 a によって円筒形状に連結されていたが、複数のティースの内周側の端部が連結されずに、ティース相互間に内周側に向けて開口したスロットが設けられるいわゆるオープンティース構造としてもよい。本変形例の一例を図 8 に示す。なお、図 8 では、フレームやシャフト等の図示を省略している。

[0042] (7-1. 回転電機の全体構成)

図 8 に示すように、本変形例の回転電機 1 A は、固定子 2 A と可変界磁構造の回転子 3 A とを備えている。固定子 2 A は、複数（この例では 12）のティース 23 A を有する固定子鉄心 21 A と、複数のティース 23 A に巻回された複数（この例では 12）の固定子巻線 25 A とを備えている。複数のティース 23 A の各々は、ボルト 24 A によって円筒状の固定子鉄心部 22 A に固定されている。複数のティース 23 A は、ティース 23 A の相互間に内周側に開口した複数（この例では 12）のスロット 26 A を有し、ティース 23 A に巻回された固定子巻線 25 A はスロット 26 A に収容される。また、上記実施形態の回転電機 1 と同様に、回転子鉄心 31 A の軸方向寸法 L_r は、固定子鉄心 21 A の軸方向寸法 L_s よりも所定の長さ短く、永久磁石 32 A の軸方向寸法 L_m は、回転子鉄心 31 A の軸方向寸法 L_r よりも所定の長さ短く設定されている。

[0043] (7-2. 固定子の寸法関係)

固定子鉄心 21 A のティース 23 A は、内周側の端部の円周方向の幅 W_t が、スロットピッチ W_p の 7 割以上 ($W_t \geq 0.7 W_p$)、又は、内周側の端部におけるティース間距離 W_s の 2 倍以上 ($W_t \geq 2 W_s$) に設定される

。このような寸法関係にすれば、ティース23Aの円周方向の幅を大きくし、ティース間距離 W_s を小さくできる。その結果、ティース23Aがある部分とない部分での回転子鉄心31Aから固定子鉄心21Aを経て回転子鉄心31Aに戻る磁路抵抗の変動をより小さくして、回転子3の回転子鉄心31Aで発生する鉄損（ヒステリシス損）を低減することができ、回転電機1Aの高効率化をさらに高めることができる。

[0044] (7-3. 回転子の構成)

回転子3Aは、固定子2Aの内側に磁気的空隙を空けて配置された円筒状の回転子鉄心31Aと、回転子鉄心31Aの内側に配置された円筒部材55と、回転子鉄心31Aの内部に放射状に設けられた複数（この例では10）の第1永久磁石32Aと、円筒部材55の外周面に周方向に沿って設けられた複数（この例では10）の第2永久磁石56とを備える。回転子鉄心31Aは、少なくとも一部に焼入れ処理が施されている。つまり、上記実施形態における回転子鉄心31と同様、焼入れ性を有する鋼板37Aを焼入れ処理後、積層して構成されている。

[0045] 複数の第1永久磁石32Aは、N極又はS極の同極の磁極同士を周方向に対向させた態様で、対向する同極の磁極を周方向に交互に異ならせて回転子鉄心31Aに配置されている。これにより、回転子鉄心31Aの周方向に交互に極性の異なるN極とS極の複数（この例で10個）の磁極部34Aが形成されている。

[0046] 円筒部材55は図示しないシャフト10に固定される。回転子鉄心31Aは、図示しない回動機構により円筒部材55に対し相対回転可能に設けられている。回転子3Aは、回転子鉄心31Aを円筒部材55に対し相対回転し、円筒部材55の第2永久磁石56に対する回転子鉄心31Aの第1永久磁石32Aの位置を変更することで、回転子3Aが発生する界磁磁束を可変することができる。

[0047] (7-4. 回転子による界磁磁束の可変動作)

次に、図9～図11を参照しつつ、回転子3Aによる界磁磁束の可変動作

の一例について説明する。

- [0048] 図9は、界磁磁束が小さい状態を示している。この状態では、回転子鉄心31Aと円筒部材55とは、互いに極性が異なる磁極部34Aと第2永久磁石56とが径方向に正対する角度位置となる。この状態では、磁極部34Aの磁束は第2永久磁石56側に漏れるので、界磁磁束は小さくなる。
- [0049] 図10は、界磁磁束が中程度である状態を示している。この状態では、回転子鉄心31Aと円筒部材55とは、磁極部34Aと2つの第2永久磁石56、56の中間位置とが径方向に正対する角度位置となる。この状態では、第2永久磁石56側に漏れる磁極部34Aの磁束が少なくなるので、界磁磁束は中程度となる。
- [0050] 図11は、負荷トルクが大きい状態を示している。この状態では、回転子鉄心31Aと円筒部材55とは、磁極部34Aと第2永久磁石56との極性が一致する角度位置となっている。この状態では、第2永久磁石56側に漏れる磁極部34Aの磁束がほとんどなくなり、磁極部34Aの磁束は第2永久磁石56により強められるので、界磁磁束は最大となる。
- [0051] 以上説明した本変形例によれば、上記実施形態と同様の効果を得る。また、例えば負荷トルクの大小等に応じて界磁磁束を変化させることができるので、回転電機1Aの効率をさらに高めることができる。
- [0052] なお、以上の説明において、「垂直」「平行」「平面」等の記載がある場合には、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「垂直」「平行」「平面」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に垂直」「実質的に平行」「実質的に平面」という意味である。
- [0053] また、以上の説明において、外観上の寸法や大きさが「同一」「等しい」「異なる」等の記載がある場合は、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「同一」「等しい」「異なる」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に同一」「実質的に等しい」「実質的に異なる」という意味である。
- [0054] また、以上既に述べた以外にも、上記実施形態や変形例による手法を適宜

組み合わせて利用しても良い。

[0055] その他、一々例示はしないが、上記実施形態や変形例は、その趣旨を逸脱しない範囲内において、種々の変更が加えられて実施されるものである。

符号の説明

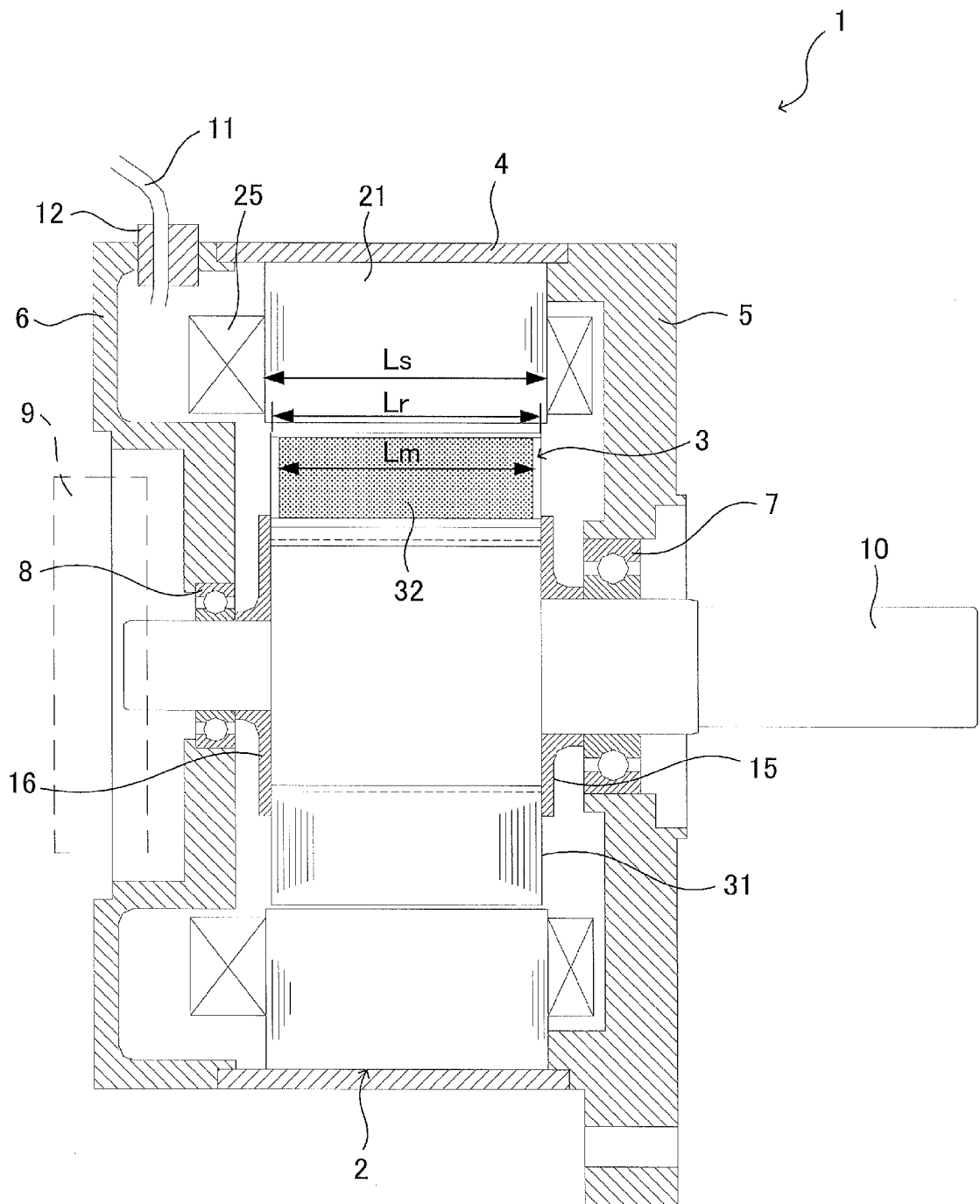
[0056]	1, 1 A	回転電機
	2 1	固定子鉄心
	2 1 A	固定子鉄心
	2 3 a	連結部
	2 3 b	ティース
	2 3 A	ティース
	2 5	固定子巻線
	2 6	スロット
	2 6 A	スロット
	3 1	回転子鉄心
	3 2	永久磁石
	3 2 a	角部
	3 3	磁石装着孔
	3 3 a	隅部
	3 7	鋼板
	3 7 a	酸化皮膜
	3 8	接着剤
	W s	ティース間距離
	W t	ティースの幅
	W p	スロットピッチ

請求の範囲

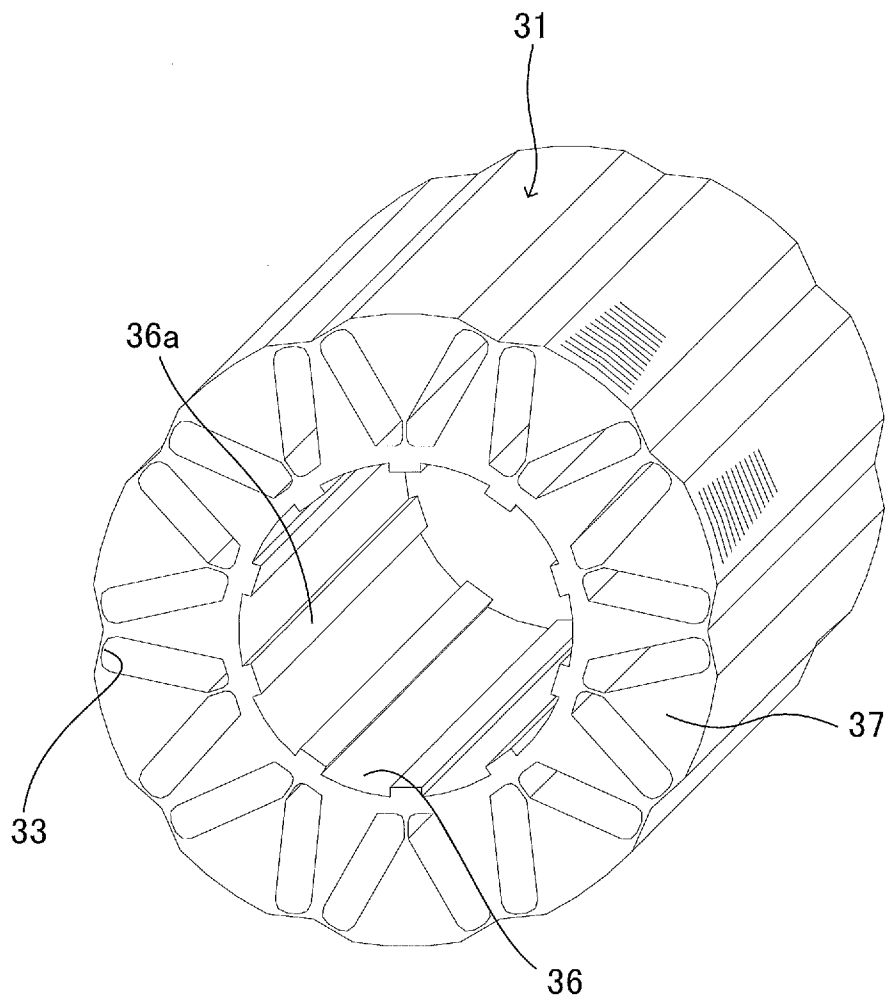
- [請求項1] 固定子鉄心と、
積層された複数の鋼板を備え、軸方向寸法が前記固定子鉄心より短い回転子鉄心と、
前記回転子鉄心に埋め込まれ、軸方向寸法が前記回転子鉄心より短い永久磁石と、
を有することを特徴とする回転電機。
- [請求項2] 前記回転子鉄心は、
少なくとも一部に熱処理が施されている
ことを特徴とする請求項1に記載の回転電機。
- [請求項3] 前記熱処理は、
焼入れである
ことを特徴とする請求項2に記載の回転電機。
- [請求項4] 前記回転子鉄心は、
焼入れ性を有し熱処理が施された前記鋼板が積層されて構成される
ことを特徴とする請求項2又は3に記載の回転電機。
- [請求項5] 前記固定子鉄心は、
固定子巻線が巻回される複数のティースと、
前記ティースの内周側の端部を円筒形状に連結する連結部と、を有する
ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の回転電機。
- [請求項6] 前記固定子鉄心は、
相互間に内周側に向けて開口したスロットが形成される複数のティースを有し、
前記ティースは、
内周側の端部の円周方向の幅が、スロットピッチの7割以上、又は、
内周側の端部におけるティース間距離の2倍以上である
ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の回転電機。

- [請求項7] 前記鋼板は、
熱処理により形成された酸化皮膜を表面に備えており、
前記回転子鉄心は、
隣接する前記鋼板の前記酸化皮膜同士が接着剤で接着されている
ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の回転電機。
- [請求項8] 前記回転子鉄心には、
外周側の隅部が円弧状である磁石装着孔が形成され、
前記永久磁石は、
前記磁石装着孔の前記隅部に対応する角部が円弧状に形成される
ことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の回転電機。
- [請求項9] 回転電機の回転子鉄心の製造方法であって、
熱処理された鋼板を所望の形状に打ち抜き成形することと、
成形された複数の前記鋼板を積層することと、
前記熱処理により前記鋼板の表面に形成された酸化皮膜同士を接着
剤で接着することと
を有することを特徴とする回転子鉄心の製造方法。
- [請求項10] 前記酸化皮膜同士を接着剤で接着する際には、
積層された前記鋼板間の空隙に接着剤を含浸させる
ことを特徴とする請求項9に記載の回転子鉄心の製造方法。

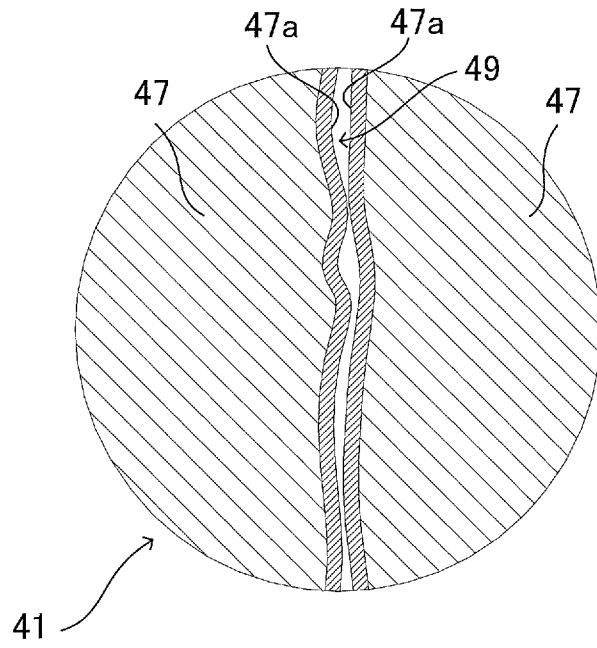
[図1]



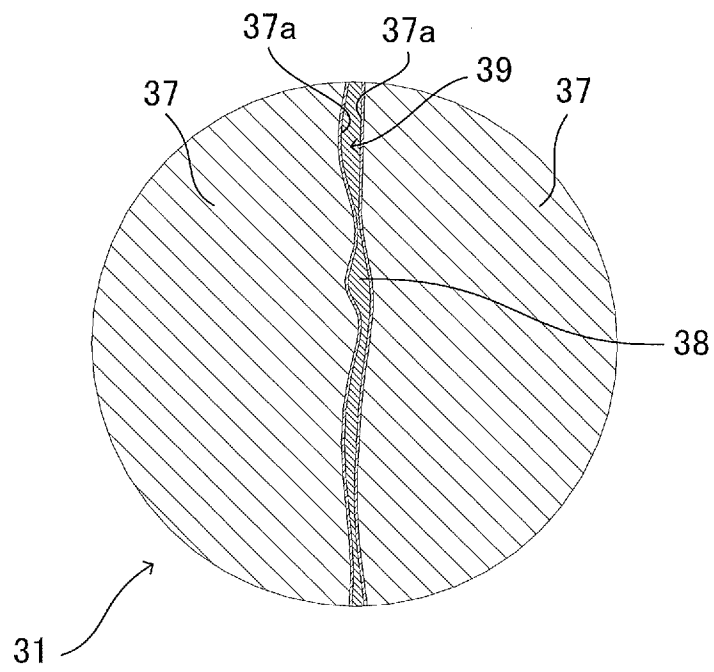
[図4]



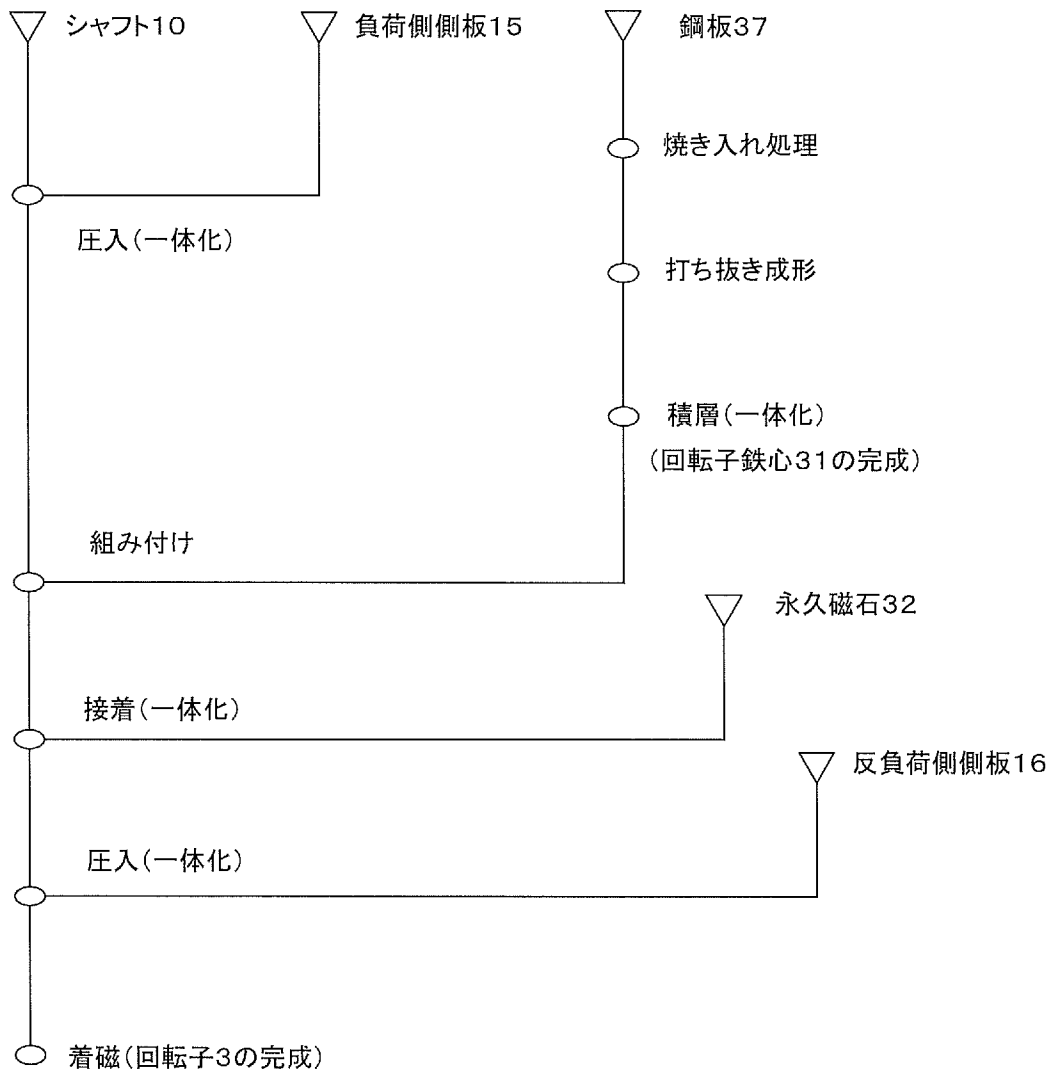
[図5A]



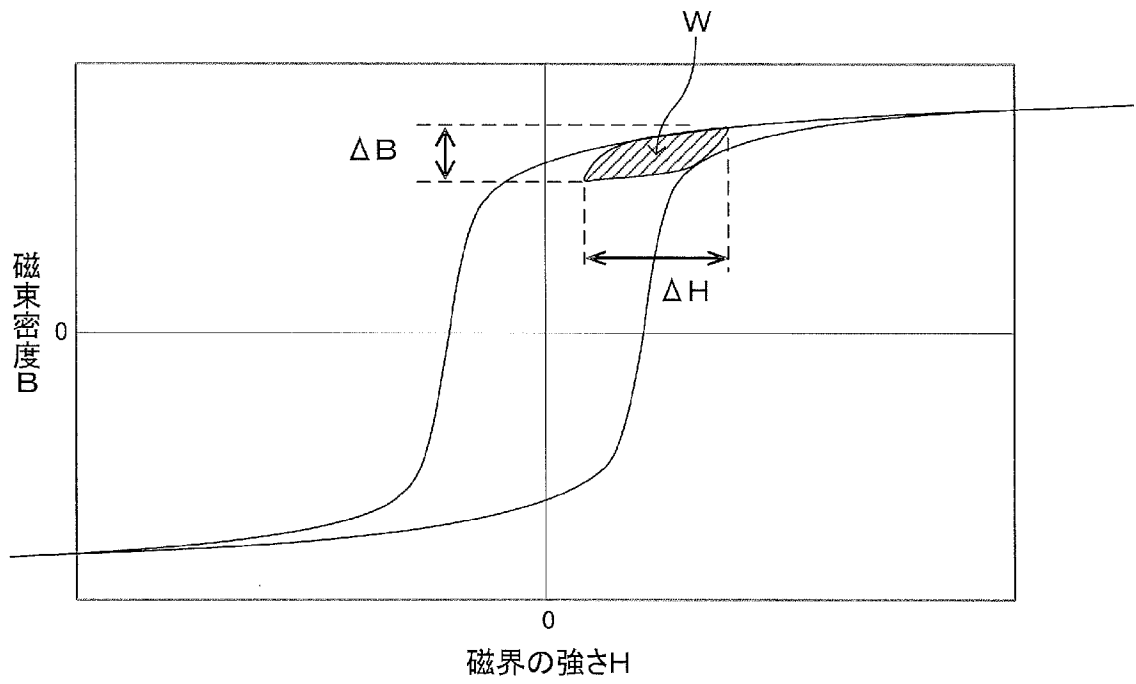
[図5B]



[図6]

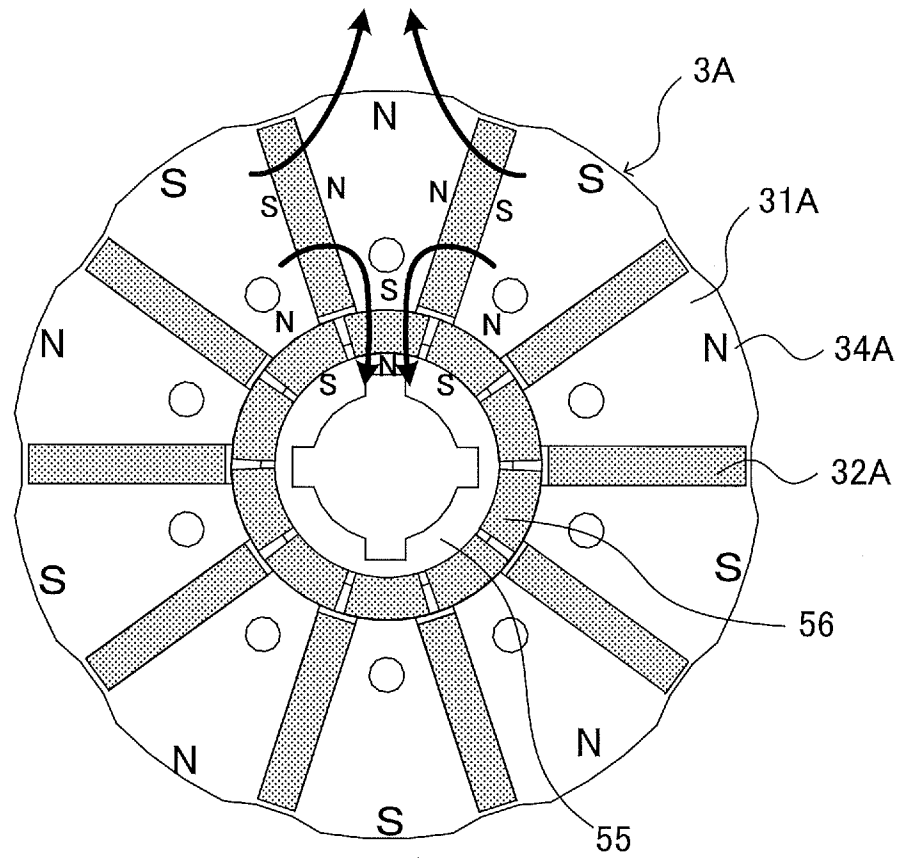


[図7]



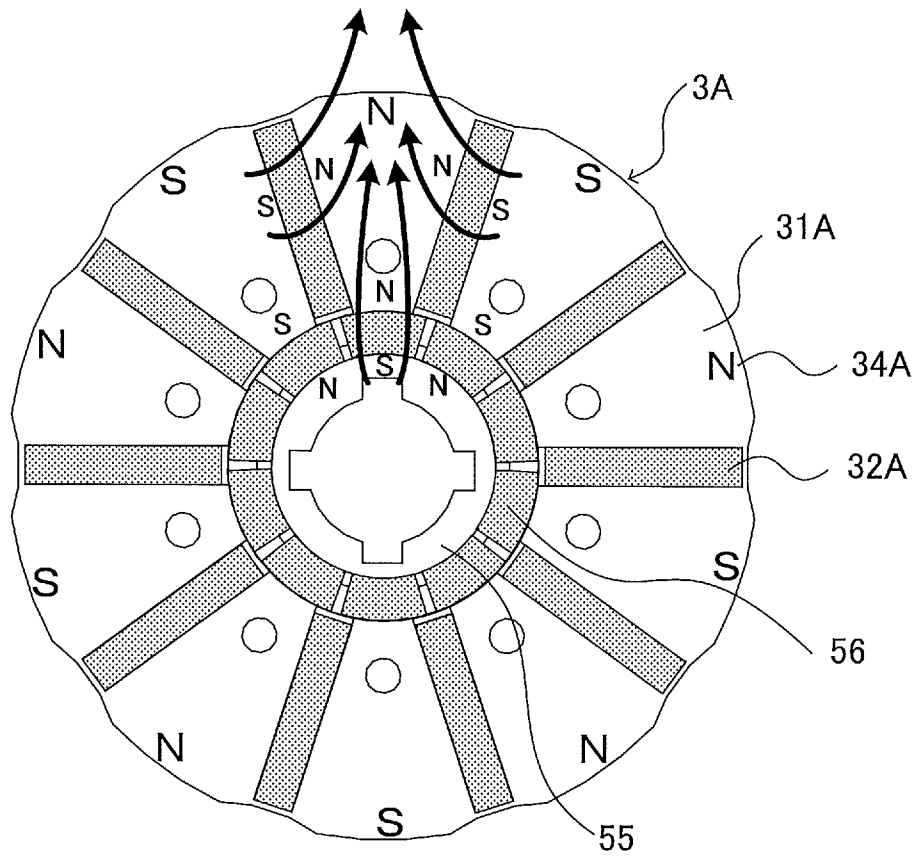
[図9]

界磁磁束小



[図11]

大東磁磁界



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/073360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02K1/27(2006.01)i, H02K1/22(2006.01)i, H02K15/02(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, H02K15/02

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.
Y A	JP 11-234931 A (Hitachi, Ltd.), 27 August 1999 (27.08.1999), claim 1; paragraphs [0023] to [0025]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-8 9-10
Y A	JP 2004-260976 A (Fujitsu General Ltd.), 16 September 2004 (16.09.2004), claim 1; paragraph [0010]; fig. 1 (Family: none)	1-8 9-10
Y	JP 2009-153230 A (Yaskawa Electric Corp.), 09 July 2009 (09.07.2009), claims 1 to 2; fig. 4 (Family: none)	2-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 07 November, 2014 (07.11.14)	Date of mailing of the international search report 18 November, 2014 (18.11.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/073360

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 2014-93914 A (Mitsuba Corp.), 19 May 2014 (19.05.2014), claim 1; fig. 1 to 3 & WO 2014/027630 A1	5, 7-8
Y	JP 2011-182488 A (Toyota Boshoku Corp.), 15 September 2011 (15.09.2011), paragraph [0002]; fig. 19 (Family: none)	7-10
Y	JP 2008-36671 A (Nippon Steel Corp.), 21 February 2008 (21.02.2008), claims 1, 7; paragraph [0019] (Family: none)	7-10
Y	JP 2010-11640 A (Hitachi, Ltd.), 14 January 2010 (14.01.2010), fig. 1 to 2 & US 2009/0322175 A1 & EP 2139093 A2	8

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, H02K15/02(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, H02K15/02										
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 <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:30%;">日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2014年									
日本国実用新案登録公報	1996-2014年									
日本国登録実用新案公報	1994-2014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								
Y A	JP 11-234931 A (株式会社日立製作所) 1999.08.27, 請求項1、段落【0023】-【0025】、図1、5 (ファミリーなし)	1-8 9-10								
Y A	JP 2004-260976 A (株式会社富士通ゼネラル) 2004.09.16, 請求項1、段落【0010】、図1 (ファミリーなし)	1-8 9-10								
Y	JP 2009-153230 A (株式会社安川電機) 2009.07.09, 請求項1-2、図4 (ファミリーなし)	2-8								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> * 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 </td> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> 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 </td> </tr> </table>			* 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						
* 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 07.11.2014	国際調査報告の発送日 18.11.2014									
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) マキロイ 寛済	3V 4031								
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 2014-93914 A (株式会社ミツバ) 2014.05.19, 請求項1、図1-3 & WO 2014/027630 A1	5, 7-8
Y	JP 2011-182488 A (トヨタ紡織株式会社) 2011.09.15, 段落【0002】、図19 (ファミリーなし)	7-10
Y	JP 2008-36671 A (新日本製鐵株式会社) 2008.02.21, 請求項1、7、段落【0019】 (ファミリーなし)	7-10
Y	JP 2010-11640 A (株式会社日立製作所) 2010.01.14, 図1-2 & US 2009/0322175 A1 & EP 2139093 A2	8