

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4886624号  
(P4886624)

(45) 発行日 平成24年2月29日 (2012.2.29)

(24) 登録日 平成23年12月16日 (2011.12.16)

(51) Int. Cl. F 1  
**H02K 1/27 (2006.01)**  
 H02K 1/27 501C  
 H02K 1/27 501A  
 H02K 1/27 501K

請求項の数 5 (全 9 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-182002 (P2007-182002)                  (22) 出願日 平成19年7月11日 (2007.7.11)                  (65) 公開番号 特開2009-22089 (P2009-22089A)                  (43) 公開日 平成21年1月29日 (2009.1.29)                  審査請求日 平成21年3月18日 (2009.3.18)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000005108                  株式会社日立製作所                  東京都千代田区丸の内一丁目6番6号                  (74) 代理人 100064414                  弁理士 磯野 道造                  (74) 復代理人 100111545                  弁理士 多田 悦夫                  (72) 発明者 木村 守                  茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株                  式会社日立製作所 日立研究所内                  (72) 発明者 郡 大祐                  茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株                  式会社日立製作所 日立研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 永久磁石式回転電機、及び永久磁石式回転電機システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固定子と回転子鉄心の外周部に複数の永久磁石を挿設した回転子とを備える永久磁石式回転電機において、

前記永久磁石は、周方向に複数に分割され、前記回転子の外周面側に傾斜面を有し、内周面側に平面を有した凸形状の断面を備えると共に、最薄部が異極の永久磁石に隣接したものであり、

前記分割された同極の永久磁石は、前記傾斜面を形成する第1の単一直線と前記平面を形成する第2の単一直線とこれらの単一直線に連続する4つの円弧と2本の他の直線とからなる断面形状を備え、

前記第1の単一直線の両端の外周側円弧の半径は、前記第2の単一直線の両端の内周側円弧の半径よりも大きな値であり、

前記回転子鉄心は、前記回転子外周側で、前記最薄部に対応する隣接する2つの円弧面と前記回転子の外周面とで形成される極間ブリッジを備え、

前記回転子鉄心は、前記永久磁石よりも外周側において、前記極間ブリッジの間に鉄心ブリッジが形成され、

前記永久磁石の最厚部の厚さをTMとし、前記鉄心ブリッジの厚さをT1としたとき、T1 / TMの比が0.13 ≤ T1 / TM ≤ 0.23の関係を満足するように配置し、

前記回転子鉄心は、前記回転子鉄心の外周円筒面から、前記隣接する2つの円弧面同士  
の中央部まで、フラックスバリアを凹設した

ことを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項 2】

前記固定子は、継鉄部内周面に突出した複数のティースが形成され、このティースに集中巻あるいは分布巻によりコイルが巻回されたことを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 3】

前記フラックスバリアと前記永久磁石との間の最短幅を  $T_2$  とし、前記永久磁石の最厚高さを  $T_M$  としたとき、 $T_2 / T_M$  の比が  $0.1 < T_2 / T_M < 0.4$  の関係を満足するように配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機を動力源としたことを特徴とする電車の永久磁石式回転電機システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機を駆動源としたことを特徴とする送風用の永久磁石式回転電機システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石を備えた回転子と固定子とを備えた永久磁石式回転電機、及びこれを用いた永久磁石式回転電機システムに関する。

【背景技術】

【0002】

電車に使用される回転電機としてはこれまで誘導電動機が用いられてきたが、近年、永久磁石の低価格化や半導体素子の高性能化により、インバータにより駆動される永久磁石式回転電機を採用する気運が高まっている。

このような中、回転電機の電気特性を改善するために、様々な形式の永久磁石式の回転子構造が検討されている。特許文献 1 の永久磁石式回転電機の回転子は、永久磁石を分割して配置し、この分割された永久磁石の背後にフラックスバリアを配置することで、回転子内部への漏洩磁束を低減して固定子のコイルとの鎖交磁束数を増加させている。

【特許文献 1】特開 2003 - 116235 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

回転電機の大容量化に伴い、回転子径が小さい小型機では問題にならない回転子の機械的強度に関する検討が重要になっている。特に、永久磁石は、接着剤により回転子コアの表面に配設されることが多く、遠心力による径方向の移動により永久磁石の剥がれが生じやすい。一方、永久磁石の剥がれを回避するために回転子コアの円周部に軸方向の複数の孔を設け、この孔に永久磁石を配設する構成にすると、永久磁石の表面と固定子磁極との間隔が増加し、磁気特性が低下する問題点がある。すなわち、回転子の機械的強度と磁気特性とを両立する必要がある。

【0004】

そこで、本発明は、遠心力による永久磁石の移動を制限することができる永久磁石式回転電機、及びこれを用いた永久磁石式回転電機システムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

前記課題を解決するため、本発明の永久磁石式回転電機は、固定子と回転子鉄心の外周部に複数の永久磁石を挿設した回転子とを備える永久磁石式回転電機において、前記永久磁石は、前記回転子の外周面側に傾斜面を有し、この傾斜面の最薄部が異極の永久磁石に隣接することを特徴とする。

【0006】

10

20

30

40

50

これによれば、回転子鉄心は、外周部に複数の永久磁石が挿設されているので、永久磁石を保持するブリッジ（例えば、極間ブリッジ、鉄心ブリッジ）が形成され、このブリッジが回転子の遠心力から永久磁石の径方向への移動を制限する。また、永久磁石は外周面側に傾斜面を有し、最薄部が異極の永久磁石に隣接しているため、最薄部近傍のブリッジ（例えば、極間ブリッジ）は、剛性が高く、ブリッジの変形が少なく、確実に永久磁石の移動を制限する。なお、永久磁石の傾斜面とは、回転子の磁極中心における接線方向に対して傾斜している面を意味する。また、永久磁石を凸形状の断面とすることにより、磁極中心の外周部のブリッジ（例えば、鉄心ブリッジ）を薄くすることができるので、磁気特性が向上する。

【発明の効果】

10

【0007】

本発明によれば、遠心力による永久磁石の移動を制限することができる。これにより、回転子鉄心と永久磁石との剥がれを防止することができる。また、請求項2に係る発明によれば、磁気特性が向上する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

（第1実施形態）

以下本発明の詳細を図面を用いながら説明する。各図において同一部分は同じ番号を付与している。

【0009】

20

（第1実施形態）

図1は、第1実施形態の永久磁石式回転電機の端部断面図である。永久磁石式回転電機100は、10極45スロットの回転電機であり、数百kW級の電車用に使用され、5000～7000rpmの回転速度を許容する。

【0010】

固定子1は、継鉄部から内周面に突出した複数のティース12を備える円筒状の固定子鉄心と、ティース12を用いて分布的に素線を巻回したコイル10とを備える分布巻固定子となっている。コイル10は、U相、V相、W相の3相巻線が施されており45スロットで10極が電気的に作られるように巻回されている。なお、軸方向に延在したティース12の間に形成されたスロット13は、外周側と内周側とに2分割され、コイル10は、スロット13の外周側に上コイル8が配設され、内周側に下コイル9が配設されるようになっている。

30

【0011】

コイル10は、短節巻と呼ばれる方式で巻回されており、全節巻よりも渦電流損が低減される。コイル10は、スロット13に反時計回りに便宜的につけられた#1から#45までの番号のうち#1スロットの下コイル9から出た素線が、#5スロットの上コイル8に入るように結線されており、この結線が周方向に繰り返され3相巻線を構成している。なお、#5スロットの番号は、スロット数45を極数10で除算した4.5を四捨五入し5とした値である。なお、巻線ピッチと磁極ピッチとの比（短節度）を5/6にすることにより第5次と第7次の空間高調波が低減される。また、本実施形態では、短節巻を採用したが、その他の極数、スロット数の組合せで全節巻や集中巻を採用してもよい。また、本実施形態は、10極45スロットの組合せだが、その他の極数とスロット数との組合せでも成立する。

40

【0012】

回転子2は、固定子1と同軸に回転可能に配設され、回転子鉄心5の軸にシャフト6が嵌挿され、回転子鉄心5の外周部に穿設された複数の磁石スロット4内に永久磁石3が各々配設されている。永久磁石3は、一極あたり2個ずつ同極磁石が並設され、計20個配設されている。また、回転子鉄心5の外周部に複数の磁石スロット4が穿設されることにより、並設された同極の永久磁石3、3の境界（磁極中心）には磁極ブリッジ15が形成され、隣接する異極の永久磁石3、3の境界には極間ブリッジ14が形成され、永久磁石

50

3の外周側の極間ブリッジ14の間(あるいは、極間ブリッジ14と磁極ブリッジ15との間)には鉄心ブリッジ16が形成される。すなわち、永久磁石3は、極間ブリッジ14、及び磁極ブリッジ15と鉄心ブリッジ16とで支えられている。

【0013】

図2に、第1実施形態の回転子2の一極分の部分拡大図を示す。並設された2個の同極の永久磁石3, 3は、破線で示される1つの永久磁石3aでモデル化され、永久磁石3aは、磁極中心(同極の永久磁石3, 3の境界線)が回転子外径に向け凸となる形状をしており、磁極中心から周方向に略対称となっている。言い換えれば、永久磁石3, 3は、永久磁石3aが2分割されたものであり、回転子2の周方向に断面の厚さが変化する傾斜面を備えている。この傾斜面の形状は、複数の直線とこの直線に連続する複数の円弧との組合わせであり、回転子外周側角部の円弧の半径R1, R2が回転子内周側角部の円弧R3, R4の半径よりも大きな値になっている。なお、永久磁石3aは、内面側の形状が平面であり、永久磁石3aの傾斜面は、磁極中心における回転子の接線方向に対して傾斜している面であり、また、磁極中心部の厚さTMが両側の最薄部よりも大きくなっている。

10

【0014】

極間ブリッジ14, 14は、回転子2の外周表面との間隔が増加するように永久磁石3aの両側に形成されている。すなわち、永久磁石3aの最薄部は、異極の永久磁石3aと隣接している。極間ブリッジ14, 14と鉄心ブリッジ16との双方は、回転子2が回転したときの遠心力による永久磁石3aの径方向の移動を制限し、永久磁石3aの剥がれが防止される。このとき、永久磁石3aがかまぼこ形の凸形状となっていることにより、極間ブリッジ14, 14は、回転子2の外周方向に向くに従って周方向幅が大きくなる構成であり、剛性が高く、変形が少なく、十分な強度で永久磁石3aの移動を制限する。永久磁石3aの移動が制限される。また、永久磁石3aが凸形状であることにより、磁極中心近傍(永久磁石3aの中心近傍)における鉄心ブリッジ16の厚さが薄くなり、回転電機100の磁気特性が向上する。

20

【0015】

磁極ブリッジ15は、同極の永久磁石3, 3の間に設けられており、磁極中心での遠心力による鉄心ブリッジ16の変形を制限している。

【0016】

図2において、磁石スロット4と回転子2の外径との間の鉄心ブリッジ16の厚さをT1とし、永久磁石3の最厚部の高さ(厚さ)をTMとする。永久磁石3は回転子外径側角部の半径R1, R2を回転子内径側角部の半径R3, R4よりも大きく設定することで応力集中の緩和を行っている。なお、永久磁石の外周側の一部を平面でなく、回転子2の外周に合わせて円弧状に形成しても応力集中の緩和を図ることもできる。また、永久磁石3aは、断面形状を凸形状にしたため、磁極中心近傍の鉄心ブリッジ16の厚さを薄くすることができ、固定子1の磁極に対する磁気特性が向上する。

30

【0017】

以下、応力特性、モータ特性の観点からそれぞれの効果について説明する。

図3に応力規格化値及びモータ特性規格化値とT1/TMとの関係を示す。横軸は、鉄心ブリッジ16の厚さと永久磁石3の厚さとの比T1/TMであるが、鉄心ブリッジ16を厚くするほど、応力特性が高まり、モータ特性が低下する傾向がある。

40

【0018】

線51は、応力規格化値を示し、機械強度が満足される値(例えば、劣化による破壊を防止できる値)を1に規格化している。また、線52は、モータ特性規格化値を示し、モータとしてのトルク・電圧特性が満足される値を1に規格化している。言い換えれば、各々の規格化値が1以上であれば、永久磁石式回転電機として問題なく動作させることが可能である。図によれば、T1/TM比が0.13以上であれば、応力規格化値を満足し、T1/TM比が0.23以下であれば、モータ特性規格化値を満足することになる。このため、T1/TMの値は、0.13 < T1/TM < 0.23と設定することが望ましい。

【0019】

50

以上説明したように本実施形態によれば、複数の永久磁石 3 が回転子鉄心 5 の外周部に挿設されているので、永久磁石を保持する極間ブリッジ 14、鉄心ブリッジ 16 が形成されており、このブリッジ 14、16 が回転子 2 の遠心力から永久磁石 3 の径方向への移動を制限する。また、永久磁石 3 は外周面側に傾斜面を有し、最薄部が異極の永久磁石 3 に隣接しているので、最薄部近傍の極間ブリッジ 14 は、剛性が高く、ブリッジの変形が少なく、確実に永久磁石の移動を制限する。また、凸形状の断面を 2 分割した形状の永久磁石 3、3 とすることにより磁極中心の外周部の鉄心ブリッジ 16 を薄くすることができるので、磁気特性が向上する。また、異極の永久磁石の間に同極の 2 つの永久磁石 3、3 を備えることにより、磁極ブリッジ 15 が形成され、磁極ブリッジ 15 は鉄心ブリッジ 16 の変形をさらに低減する柱として機能する。

10

## 【0020】

(第2実施形態)

図4は、本発明の第2実施形態の永久磁石式回転電機の端部断面図である。

永久磁石式回転電機 110 が、第1実施形態の永久磁石回転電機 100 と異なる点は、異極性の永久磁石 3 のそれぞれの磁極間にはフラックスバリア 7 が軸方向に凹設されている点である。このフラックスバリア 7 は、永久磁石 3 から発生する磁束が隣接する異極の永久磁石に流れることを防ぎ、磁束が固定子 1 の磁極に流れるようにしている。

## 【0021】

図5は、第2実施形態の回転子 2 の一極分の部分拡大図である。図2と同様に、磁石スロット 4 と回転子 2 の外径との間の鉄心ブリッジ 16 の厚さを  $T_1$  とし、永久磁石 3 の最厚部分の厚さを  $T_M$  とする。また、フラックスバリア 7 と永久磁石 3 との間の最狭部の幅を  $T_2$  とする。

20

## 【0022】

図6に応力規格化値とモータ特性規格化値と  $T_2 / T_M$  の関係を示す。図3と同様に、線 61 は応力規格化値として、機械強度が満足される値を 1 としている。また、線 62 は、モータ特性規格化値として、回転電機としてのトルク・電圧特性が満足される値を 1 としている。よって各々の値が 1 以上であれば、永久磁石式回転電機として問題なく動作させることが可能である。したがって、 $T_2 / T_M$  比が 0.1 以上であれば、応力規格化値を満足し、 $T_2 / T_M$  比が 0.4 以下であれば、モータ特性規格化値を満足することになる。以上より  $T_2 / T_M$  比は、 $0.1 < T_2 / T_M < 0.4$  と設定することが望ましい。

30

## 【0023】

(第3実施形態)

第1実施形態、及び第2実施形態で示した回転子構造は、永久磁石 3a (図2) を 2 分割し、磁極ブリッジ 15 を 1 本にしたが、図7、図8に示すように、永久磁石 3a を 3 分割、あるいは 4 分割し、磁極ブリッジ 15 を 2 本、あるいは 3 本とすることもできる。これにより、鉄心ブリッジ 16 (図1) の変形をさらに低減することができる。

## 【0024】

(適用例)

図9は、本実施形態の回転電機 100、110 を電車の永久磁石回転電機システムに適用した例を示す。電車 200 は、第1実施形態及び第2実施形態で示した回転電機 100、110 と、増速ギア (変速ギア) 60 と、車輪 50 とを備え、回転電機 100、110 が増速ギア 60 を介して車輪 50 を駆動する。

40

また、図10の電車 210 のように、回転電機 100、110 の軸方向両側に車輪 50 を直接接続してもよい。また、ファン、ポンプなどの送風用の永久磁石回転電機システムの動力源としても十分適用が可能である。

## 【0025】

(変形例)

本発明は前記した実施形態に限定されるものではなく、例えば、以下のような種々の変形が可能である。

(1) 前記各実施形態は、永久磁石 3 の回転子内周側を平面としたが、他の形状でもよい

50

。(2) 前記各実施形態は、鉄心ブリッジ16で極間ブリッジ14あるいは磁極ブリッジ15の間を接続していたが、磁極近傍では、鉄心ブリッジ16で接続する必要がない。このようにすれば、永久磁石3と固定子1との間隔が短くなるので磁気特性が向上する。特に、永久磁石3aを奇数個に分割した場合には、中心の永久磁石が固定子1の磁極に近接することになるので、有効である。なお、この場合でも、中心の永久磁石を挿設すること、すなわち、鉄心ブリッジ16の一部で永久磁石3b(図7)を押さえることは必要である。

【図面の簡単な説明】

【0026】

10

【図1】本発明の第1実施形態である回転電機の断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態である回転電機の部分拡大断面図である。

【図3】第1実施形態の回転電機の応力規格化値及びモータ特性と $T1/TM$ との関係を示す図である。

【図4】本発明の第2実施形態である回転電機の断面図である。

【図5】本発明の第2実施形態である回転電機の部分拡大断面図である。

【図6】第2実施形態の回転電機の応力規格化値及びモータ特性と $T1/TM$ との関係を示す図である。

【図7】永久磁石を3分割した場合の回転子鉄心を示した図である。

【図8】永久磁石を4分割した場合の回転子鉄心を示した図である。

20

【図9】回転電機を用いて電車の車輪を駆動した例である。

【図10】回転電機を電車の車輪に直結した例である。

【符号の説明】

【0027】

1 固定子

2 回転子

3, 3a 永久磁石

4 磁石スロット

5 回転子鉄心

6 シャフト

7 フラックスバリア

8 上コイル

9 底コイル

10 コイル

12 ティース

13 スロット

14 極間ブリッジ

15 磁極ブリッジ

16 鉄心ブリッジ

50 車輪

51, 52, 61, 62 線

60 増速ギア

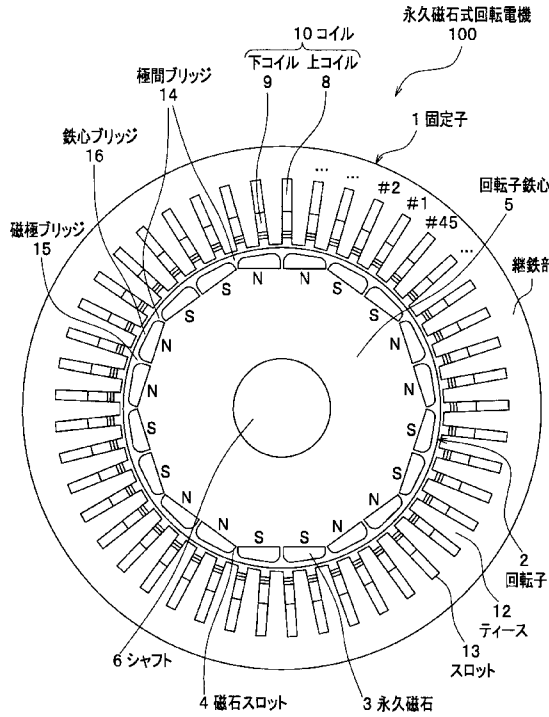
100, 110 回転電機

200, 210 電車

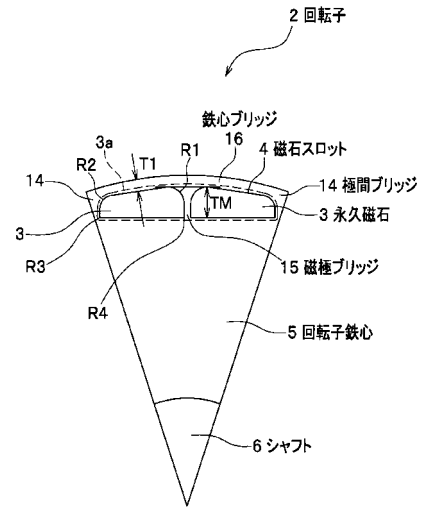
30

40

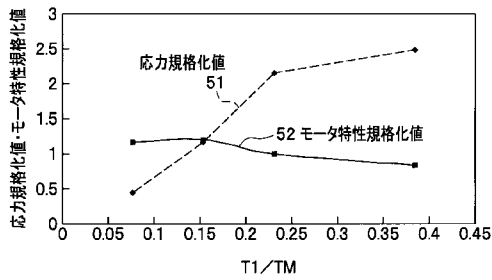
【図1】



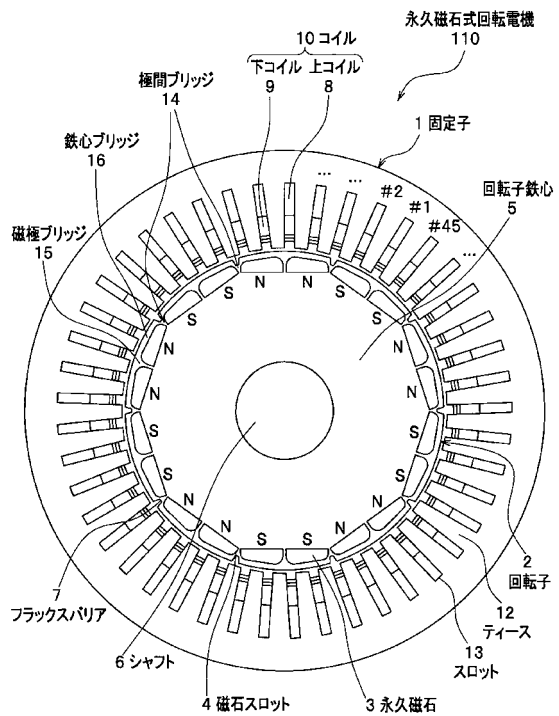
【図2】



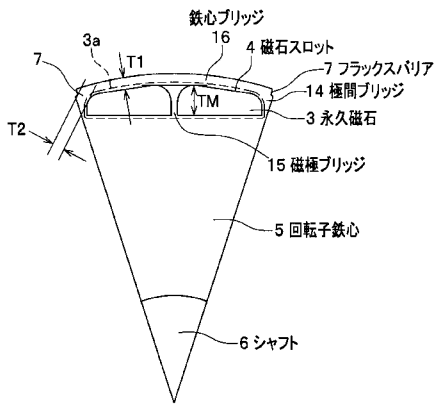
【図3】



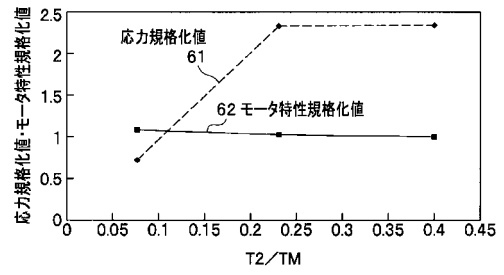
【図4】



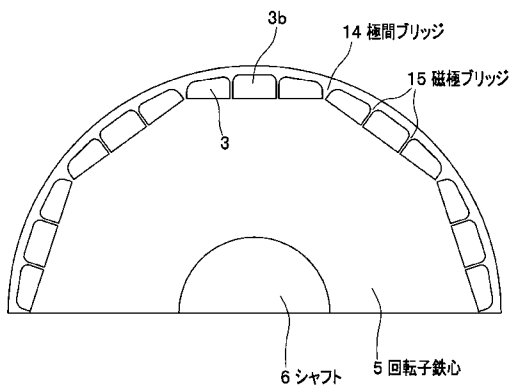
【図5】



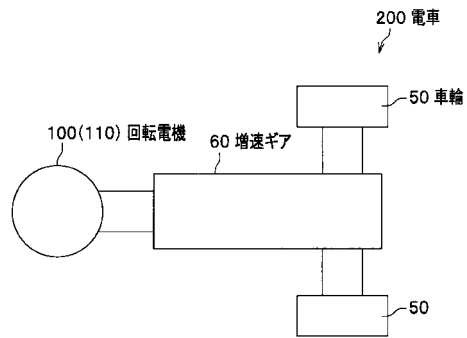
【図6】



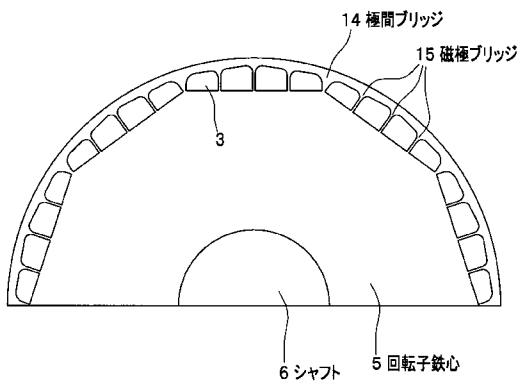
【図7】



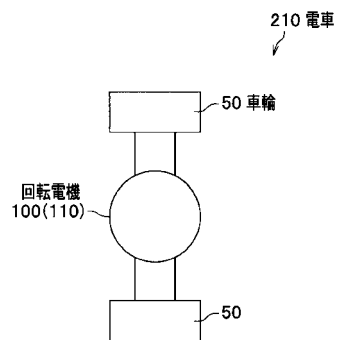
【図9】



【図8】



【図10】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 三上 浩幸  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 増田 誠吉  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 藤枝 昌泰  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内

審査官 三島木 英宏

- (56)参考文献 特開2007-068357(JP,A)  
特開2007-060755(JP,A)  
特開平11-355986(JP,A)  
特開2003-164082(JP,A)  
特開2007-097387(JP,A)  
特開2007-116833(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02K 1/27