

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5624776号
(P5624776)

(45) 発行日 平成26年11月12日 (2014.11.12)

(24) 登録日 平成26年10月3日 (2014.10.3)

(51) Int. Cl. F 1
H O 2 K 16/02 (2006.01) H O 2 K 16/02

請求項の数 11 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2010-48562 (P2010-48562)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成22年3月5日 (2010.3.5)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2011-188567 (P2011-188567A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成23年9月22日 (2011.9.22)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成25年1月28日 (2013.1.28)		弁理士 井上 学
		(74) 代理人	100098660
			弁理士 戸田 裕二
		(72) 発明者	周 広斌
			埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地
			株式会社 日立製作
			所 基礎研究所内
		(72) 発明者	宮崎 泰三
			埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地
			株式会社 日立製作
			所 基礎研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

巻線を有する固定子と、

前記固定子に空隙を介して回転可能に配設され、回転軸方向に少なくとも第1回転子と第2回転子に二分割され、それぞれに極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置された回転子と、

前記第1回転子に対する前記第2回転子の相対的な回転軸方向位置を可変する磁束可変装置とを有し、

前記磁束可変装置は、

動力発生部と、

前記動力発生部で発生した力を第2回転子及び第1回転子に伝達する動力伝達機構とを備え、

前記回転子は、3つ以上に分割され、

前記磁束可変装置は、前記分割された個々の分割回転子の相対的な回転軸方向位置を可変し、

前記動力伝達機構は、

前記動力発生部と第2回転子とを連結する第1の軸受構造と、

前記第1回転子と第2回転子とを連結する第2の軸受構造と、

を備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載の回転電機において、

前記第 1 回転子は第 1 のスプラインを介して回転軸に装着され、前記第 2 回転子は第 2 のスプラインを介して前記回転軸に装着され、

前記第 1 のスプラインは、前記第 2 のスプラインと逆切り方向で構成されていることを特徴とする回転電機。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の回転電機において、

前記第 2 の軸受構造は、第 1 回転子と第 2 回転子とを異なる方向に回転移動させることを備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 4】

極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置された回転子と、

前記固定子に空隙を介して回転可能に配設され、回転軸方向に少なくとも第 1 固定子と第 2 固定子に二分割され、巻線を有する固定子と、

前記第 1 固定子に対する前記第 2 固定子の相対的な回転軸方向位置を可変する磁束可変装置とを有し、

前記磁束可変装置は、

動力発生部と、

前記動力発生部で発生した力を第 2 固定子及び第 1 固定子に伝達する動力伝達機構とを備え、

前記回転子は、3 つ以上に分割され、

前記磁束可変装置は、前記分割された個々の分割回転子の相対的な回転軸方向位置を可変し、

前記動力伝達機構は、

前記動力発生部と第 2 回転子とを連結する第 1 の軸受構造と、

前記第 1 回転子と第 2 回転子とを連結する第 2 の軸受構造と、

を備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の回転電機において、

前記動力発生部と前記動力伝達機構の間に介在し、前記動力発生部で発生した力を倍増する倍力機構とを備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の回転電機において、

前記倍力機構は、梃子構造、リンク機構、油圧機構、歯車とボールネジ機構のいずれかによって構成されることを特徴とする回転電機。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機において、

前記磁束可変装置を制御する手段をさらに備え、

前記制御手段は、

回転子の回転数とトルクで定まる運転効率が示された回転電機効率マップを複数の有効磁束ごとに記憶した記憶装置と、

要求トルクと要求回転数に基づいて前記複数の回転電機マップを参照し、最も効率が高いマップの有効磁束を決定する有効磁束決定手段と、

決定された有効磁束に基づく指令値を計算して前記磁束可変装置へ出力する計算手段とを備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機において、

前記磁束可変装置を制御する手段をさらに備え、

前記制御手段は、

回転子の回転数とトルクで定まる運転効率が示された回転電機効率マップを複数の有効磁束ごとに記憶した記憶装置と、

10

20

30

40

50

前記複数の回転電機効率マップに基づいて合成効率マップを生成し、前記合成効率マップを参照して要求トルクと要求回転数に基づく運転点の合成後の有効磁束を決定する有効磁束決定手段と、

決定された有効磁束に基づく指令値を計算して前記磁束可変装置へ出力する計算手段とを備えることを特徴とする回転電機。

【請求項 9】

車輪と、

前記車輪を駆動する内燃機関と、

車速を制御する変速機と、

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機であって、前記内燃機関と前記変速機間に機械的に連結された回転電機と、

電力の充放電を行う蓄電手段と、

前記蓄電手段と前記回転電機間に接続され、電力の変換を行う電力変換器とを備えることを特徴とするハイブリッド自動車。

【請求項 10】

車輪と、

前記車輪を駆動する内燃機関と、

車速を制御する変速機と、

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機と、

前記内燃機関のクランクプーリと前記回転電機のシャフトに結合されたプーリとが連結された金属ベルトと、

電力の充放電を行う蓄電手段と、

前記蓄電手段と前記回転電機間に接続され、電力の変換を行う電力変換器とを備えることを特徴とするハイブリッド自動車。

【請求項 11】

車輪と、

前記車輪を駆動する請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機と、

電力の充放電を行う蓄電手段と、

前記蓄電手段と前記回転電機間に接続され、電力の変換を行う電力変換器とを備えることを特徴とする電気自動車。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石を用いた磁束可変型の回転電機、およびその回転電機を用いた自動車に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の誘導電動機（IMモータ）に代わり、効率に優れ、小型化や低騒音化も期待できる永久磁石同期電動機（PMモータ）が普及し始めている。

【0003】

例えば、家電、鉄道車両、電気自動車向けの駆動モータとしてPMモータが利用されるようになってきている。IMモータは、ステータ（固定子）巻線に交流電圧を印加すると、これにより回転磁界が発生し、回転子がこの磁束を切ることにより、渦電流が回転子内に誘導され、フレミングの左手法則によってトルクを発生する。IMモータの回転子に誘導される磁束はステータからの励磁電流によって誘導されて作り出すため、励磁電流を流すことによる損失が大きい問題点がある。一方、PMモータは、ロータに永久磁石を備え、永久磁石から発生する磁束を利用してトルクを出すモータである。そのため、PMモータではIMモータのように回転子に励磁電流を印加する必要はない分、動作原理上では効率が良いモータが作れる。

【0004】

しかしながら、PMモータは、回転数に比例して永久磁石の磁束により電機子コイルに誘起電圧が発生する。鉄道車両や自動車など回転範囲が広い応用分野では、最高回転数において生じる誘起電圧によって、PMモータを駆動制御するインバータが過電圧によって破壊しないことが必要である。このような特性を有するPMモータでは、電源電圧を一定として定出力運転を行う場合に、前述の最高回転数をさらに上昇させて運転速度を広くするための方策がいくつも開発されている。その一つの技術として、電機子コイルに永久磁石による磁束を打ち消す電流を流して等価的に誘起電圧を下げるといういわゆる弱め界磁制御がある。しかし、この弱め界磁制御は、トルクに寄与しない電流を流すため、電機子コイルの抵抗損が増加し、効率の低下を招いていた。また、電機子コイルに大電流を流す必要があり、おのずとコイルに発生する熱が増大する。そのため、高回転領域における回転電機としての効率の低下、冷却能力を超えた発熱による永久磁石の減磁等が起こり得る可能性があった。

10

【0005】

そこで、電気的な弱め界磁の代わりに、機械的に有効磁束量を可変することができる回転電機としては、例えば特許文献1に記載された回転電機が知られている。

【0006】

特許文献1に記載された回転電機は、回転軸方向に二分割された2つの回転子を有する。各回転子には、それぞれに極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置された回転子を有する。そして、回転電機を電動機として動作させる場合は、二分割回転子の一方の界磁用磁石と二分割回転子の他方の界磁用磁石との間の磁気作用力と、回転子のトルク方向との釣り合いによって二分割回転子の界磁用磁石の磁極中心を揃える。回転電機を発電機として動作させる場合は、回転子のトルク方向が反対になるに伴って二分割回転子の界磁用磁石の磁極中心をずらす。このように、分割した二つの回転子の磁極中心を変化させることで機械的に有効磁束量を可変にしている。さらに、機械的な可変機構を用いた回転電機では、被搭載体、例えば自動車に対する信頼性を向上させるために、例えば回転子のトルク方向の変化に伴って二分割回転子の一方が可変した時に二分割回転子の一方や機械的な可変機構に生じる衝撃を緩和できる機構を設けた回転電機が特許文献1に記載されている。さらに、特許文献2に記載された回転電機は、特許文献1に記載された回転電機において、回転軸方向に移動可能な回転子の側面に設けた電磁クラッチにより、可動回転子を移動できるようにしている。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2001-069609号広報

【特許文献2】特開2002-262534号公報

【特許文献3】特開2008-63641号公報

【特許文献4】特開2008-42098号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

40

しかしながら、前述した回転電機では、大負荷や高速回転時において、可動回転子を移動させる駆動力が大きくなり、可動回転子の動力発生部が大型化し、必要となるパワーも増加する。そのため、動力発生部と、動力発生部で発生した駆動力により可動回転子を移動する磁束可変装置とを含めた駆動装置全体の体積が増大するとともに、回転電機の効率低下などの問題が生じる。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の回転電機は、巻線を有する固定子と、固定子に空隙を介して回転可能に配設され、回転軸方向に第1回転子と第2回転子に二分割され、それぞれに極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置された回転子と、第1回転子に対する第2回転子の相対的な

50

回転軸方向位置を可変する磁束可変装置とを有する。磁束可変装置は、動力発生部と、動力発生部で発生した力を第 2 回転子と第 1 回転子に伝達する動力伝達部とを有する。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、回転電機における動力発生部を小型化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明に係る磁束可変型回転電機の一構成例を示す図であり、最大有効磁束となる。

【図 2】本発明に係る磁束可変型回転電機の一構成例を示す図であり、最大有効磁束の 1 / 2 となるように回転子の位置を調節している。 10

【図 3】本発明に係る磁束可変型回転電機の一構成例を示す図であり、最大有効磁束がゼロとなるように回転子の位置を調節している。

【図 4】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 1 実施形態の磁束可変装置の動作特性を説明する図である。

【図 5】本発明に係る磁束可変型回転電機の埋め込み磁石構造の一例を示す図である。

【図 6】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 1 の実施形態における回転子三分割構造の一例を示す図である。

【図 7】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 2 の実施形態における梃子を利用した倍力機構の一例を示す図である。 20

【図 8】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 3 の実施形態における油圧を利用した倍力機構の一例を示す図である。

【図 9】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 4 の実施形態におけるリンクを利用した倍力機構の一例を示す図である。

【図 10】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 5 の実施形態における歯車およびボールネジを利用した倍力機構の一例を示す図である。

【図 11】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 6 の実施形態における固定子分割構造の一例を示す図である。

【図 12】本発明に係る磁束可変型回転電機の第 6 の実施形態における固定子分割構造の他の例を示す図である。 30

【図 13】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機の制御回路の一例を示す図である。

【図 14】(a) ~ (d) は有効磁束が 1.0 Φ , 0.75 Φ , 0.5 Φ , 0.25 Φ の場合の効率マップ MP1 ~ MP4 を示す図である。

【図 15】図 13 のマップ MP1 ~ MP4 を合成した合成効率マップ GMP を示す図である。

【図 16】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機の効率に及ぼす電圧への影響を示す図である。

【図 17】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機の電圧降下効果に及ぼす搭載バッテリー個数への影響を示す図である。

【図 18】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機を搭載したハイブリッド自動車の駆動装置の構成例を示す図である。 40

【図 19】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機を搭載したハイブリッド自動車の駆動装置の他の構成例を示す図である。

【図 20】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機を搭載した電気自動車の駆動装置の構成例を示す図である。

【図 21】第 1 ~ 第 6 実施形態による回転電機を搭載した電気自動車の駆動装置の他の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

- 第 1 の実施形態 -

本発明に係る磁束可変型回転電機の一構成例を図 1 , 図 2 , 図 3 に基づいて説明する。

【 0 0 1 3 】

図 1 , 図 2 , 図 3 は本実施形態の回転電機の構成を示す。図 1 , 図 2 , 図 3 に示すように、円筒状の固定子鉄心 1 の内周部には、軸方向に連続して開口した溝（以後「スロット」と記す）が周方向に複数形成され、複数のスロットの各々には電機子巻線 2（固定子巻線ともいう）が装着されている。

【 0 0 1 4 】

固定子鉄心 1 の外周側にはハウジング 3 が設けられ、固定子鉄心 1 とハウジング 3 とは焼嵌或いは圧入などによってより締結される。回転電機の回転軸方向端部にはブラケット 3 A が設けられ、固定子鉄心 1 を覆っている。ブラケット 3 A にはシャフト 4（回転軸ともいう）を支承するベアリング 3 B も設けられている。

10

【 0 0 1 5 】

固定子鉄心 1 の内周側には空隙を介して、シャフト 4 に設けたスプライン 4 A 上を回転しながら回転軸方向に移動可能な第 1 回転子 5 と、シャフト 4 に設けたスプライン 4 B（スプライン 4 A と同じリード角、逆切り方向）上を回転しながら回転軸方向に移動可能な第 2 回転子 6 とが回転可能に設けられている。なお、シャフト 4 に設けたスプラインは所定のリード角をもっており、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 はシャフト 4 上を回転しつつ移動する。従って、スプライン 4 A と 4 B のリード角を適切に定めることにより、要求された磁束密度に応じて第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の移動量を決定し、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の磁極位相を設定することができる。

20

【 0 0 1 6 】

第 1 回転子 5 には、極性が回転方向に順次異なるように第 1 回転子の界磁用磁石である永久磁石 5 A が複数埋め込まれている。また、第 2 回転子 6 にも、極性が回転方向に順次異なるように、第 2 回転子の界磁用磁石である永久磁石 6 A が複数埋め込まれている。つまり、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 は、それぞれに極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置される。シャフト 4 の中心軸方向の両端部は、ベアリング 3 B によって回転可能に支持されている。第 1 回転子 5 の最大移動量はストッパ 7 によって制限される。

【 0 0 1 7 】

第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 をシャフト 4 上で移動する磁束可変装置 J M は、動力発生部 A C、及び動力伝達部 D D を備えて構成されている。動力発生部 A C は、アクチュエータを備えている。動力伝達部 D D は、第 2 回転子 6 とアクチュエータ 9 とを連結するスラスト軸受 8 A と、第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 とを連結するスラスト軸受 8 B とを備えている。なお、スラスト軸受 8 A とスラスト軸受 8 B は、第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 と一緒に移動し、アクチュエータ 9 からの押す力と引っ張る力を伝達する構造をもつ軸受である。

30

【 0 0 1 8 】

磁束可変装置 J M は、第 2 回転子 6 を第 1 回転子 5 の反対側から駆動する。すなわち、動力発生部 A C であるアクチュエータ 9 が回転軸方向に進退すると、動力伝達部 D D のスラスト軸受 8 A , スラスト軸受 8 B を介して第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 を所定位置に移動させる。

40

【 0 0 1 9 】

第 1 の実施形態では、図 1 ~ 図 3 に示すように、回転電機のトルクや回転数の変化に応じて第 2 回転子 6 及び第 1 回転子 5 を移動させている。すなわち第 1 の実施形態では、図 1 の状態から図 3 の状態までの任意状態としている。

【 0 0 2 0 】

ここで、図 1 は、最大有効磁束が必要とされる場合を示し、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の永久磁石 5 A , 6 A の磁極の中心が揃うように、磁束可変装置 J M により第 1 回転子と第 2 回転子は移動されている。すなわち、アクチュエータ 9 を制御信号によって制御してスラスト軸受 8 A を駆動し、第 2 回転子 6 と、スラスト軸受 8 B を介して第 1 回転子 5 とを所定位置に移動させる。図 1 の状態では、第 2 回転子 6 の磁極位相は第 1 回転子 5 の

50

磁極位相と同じ電気角になる。

【 0 0 2 1 】

図 2 , 図 3 は、要求有効磁束が最大有効磁束よりも小さい時の第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 との相対位置を示す。磁束可変装置 J M は、第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 を、シャフト 4 上を回転させながら、必要な有効磁束が得られる所定位置に位置決める。なお、第 1 回転子 5 とシャフト 4 とを介するスプライン 4 A は、第 2 回転子 6 とシャフト 4 とを介するスプライン 4 B と逆切り方向になるため、シャフト 4 上での回転方向は、第 2 回転子 6 と逆方向となる。図 2 の状態では、第 2 回転子 6 の磁極位相は第 1 回転子 5 の磁極位相と 90° の電気角になる。

【 0 0 2 2 】

図 3 の状態では、第 1 回転子 5 の磁極位相は第 2 回転子 6 の磁極位相と 180° の電気角になる。磁極が 8 極の場合では、第 1 回転子 5 の磁極位相は第 2 回転子 6 の磁極位相との最大機械角は 45° になる。このとき、界磁用の有効磁束量は 0 となり、誘起電圧を 0 にすることができる。この有効磁束 0 の特性は回転電機の過電圧からの保護機能に利用できる。

【 0 0 2 3 】

アクチュエータ 9 は、電動アクチュエータ、油圧アクチュエータ、空気圧アクチュエータ、圧電アクチュエータ、高分子アクチュエータなどが挙げられる。

【 0 0 2 4 】

第 1 の実施形態の回転電機では、図 1 , 図 2 , 図 3 に示すように、第 1 回転子 5 とシャフト 4 の間にはスプライン 4 A , 第 2 回転子 6 とシャフト 4 の間にはスプライン 4 B (スプライン 4 A と同じリード、逆切り方向) が設けられている。図 4 に示すように回転子が二等分分割された場合、第 1 回転子 5 の遠心力から生じた回転軸方向の力 F_{a1} と第 2 回転子 6 の遠心力から生じた回転軸方向の力 F_{a2} は、互いに相殺してしまうことによって駆動する動力発生部はより小さい力で回転軸上の第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 を所定位置に移動できる。従って、動力発生部 A C を大型化することなく、大負荷や高速回転時に第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 を所望の位置に移動することができる。その結果、回転電機の有効磁束量を運転状態に応じて変えることができ、広い運転範囲での高効率運転が可能となる磁束可変型回転電機を提供できる。磁束可変型回転電機と同等の性能を磁束固定型回転電機で得る場合、回転電機の出力軸を変速装置で変速する必要がある、装置が大型化する。磁束可変型回転電機自体は磁束固定型回転電機よりも大きくなるが、変速装置が不要となる分、全体の大きさは小さくなる。

【 0 0 2 5 】

第 1 の実施形態の回転電機では、磁極を 8 極、第 1 回転子 5 が回転可能に装着されているスプライン 4 A のリードを 2.4 mm (1 周回転で回転軸方向に 2.4 mm 移動)、左切りとし、第 2 回転子 6 が回転可能に装着されているスプライン 4 B のリードを 2.4 mm 、右切りとした場合、有効磁束を $0\phi \sim 1.0\phi$ の範囲内で変化させるためには、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の軸長方向の移動距離が 1.5 mm となる。回転電機の運転範囲や運転点によって有効磁束を $0.5\phi \sim 1.0\phi$ の範囲内で変化させるためには、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の軸長方向の移動距離が 0.75 mm となる。

【 0 0 2 6 】

第 1 の実施形態では、回転子の磁極が 8 極について説明したが、高速回転対応の回転電機 (高速回転用回転電機) で界磁用永久磁石の極数がより少ない場合においては、有効磁束の範囲を限定することにより、回転子の回転軸方向移動距離をさらに短縮することができる。例えば、回転子磁極 4 極にすると、有効磁束を $0\phi \sim 1.0\phi$ に変化させるのに移動距離が最大 3 mm となる。有効磁束 $0.5\phi \sim 1.0\phi$ 範囲内に限定すると移動距離は 1.5 mm になる。磁極が 8 極の回転電機に比べて、スプラインのリードを小さくすることができ、動力発生部 A C のアクチュエータ 9 が小型化でき、回転電機の小型化が期待できる。

【 0 0 2 7 】

なお、上述した有効磁束は、回転電機の回転トルクに寄与する磁束量である。この磁束

10

20

30

40

50

量は、回転電機の回転トルクと固定子の巻線に流れる電流から求められる。

【 0 0 2 8 】

また、上述した本発明の回転電機は、磁石を回転子鉄心の表面に配置する表面磁石式を代表として説明したが、図 5 に示すように、磁石を回転子鉄心の中に挿入する埋め込み磁石式構造の回転電機にも適用することは言うこともない。

【 0 0 2 9 】

上記第 1 の実施形態では、二分割回転子を有する回転電機について説明したが、図 6 に示すように、三分割以上に分割した回転子を有する回転電機にも本発明を適用できる。つまり、この回転電機は、固定子鉄心に空隙を介して回転可能に配設された三つ以上の回転子であって、それぞれに極性の異なる界磁用磁石が回転方向に交互に配置された回転子と、分割された個々の分割回転子の相対的な回転軸方向位置を可変する磁束可変装置とを備える。この磁束可変装置は、第 1 の実施形態で説明したように、動力発生部と動力伝達部とを有する。三分割または三分割以上の回転子を有する回転電機でも、図 1 , 図 2 , 図 3 に記載した回転子が二分割された構成と同様の効果を達成できる。

【 0 0 3 0 】

- 第 2 の実施形態 -

第 2 の実施形態は、第 1 の実施形態の第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 をシャフト 4 上で移動する磁束可変装置 J M には、動力発生部 A C と動力伝達部 D D の間に倍力機構 B M を設けて構成されたものである。ここでは、倍力機構以外の部分については第 1 の実施形態と同様であり、説明は省略する。以下、第 1 の実施形態の説明と同じ部品には同符号を付してその説明を省略し、異なる部品のみ説明する。動力発生部 A C は、アクチュエータ 9 と、アクチュエータ 9 のアーム 9 A とを備えている。動力伝達部 D D は、ストッパ 1 2 と、ストッパ 1 2 のアーム 1 2 A と、第 2 回転子 6 とストッパのアーム 1 2 A とを連結するスラスト軸受 8 A と、第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 とを連結するスラスト軸受 8 B とを備えている。倍力機構 B M は梃子の原理を用いている。この倍力機構 B M は、図 7 に示すように、梃子のアーム 1 1 と、梃子の支点 1 1 A と、梃子の作用点 1 1 B と、梃子の力点 1 1 C とから構成されている。

【 0 0 3 1 】

磁束可変装置 J M は、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 を駆動する。すなわち、動力発生部 A C であるアクチュエータ 9 のアーム 9 A がアクチュエータ 9 の軸方向に進退すると、倍力機構 B M の梃子のアーム 1 1 は、梃子の支点 1 1 A を回動中心として揺動し、梃子の作用点 1 1 B , 動力伝達部 D D のストッパのアーム 1 2 A , ストッパ 1 2 , スラスト軸受 8 A , スラスト軸受 8 B を介して第 2 回転子 6 と第 1 回転子 5 を所定位置に移動させる。

【 0 0 3 2 】

図 7 は、第 2 実施形態の倍力機構 B M の梃子機構を示す図である。梃子機構の原理により、動力伝達部 D D のストッパのアーム 1 2 A と動力発生部 A C のアーム 9 A が平行する場合、式 (1) が得られる。

$$F 1 \times L 1 = F 2 \times L 2 \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 3 】

ここで、F 1 は第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 を駆動するのに必要な力、F 2 は動力発生部 A C から発生する力、L 1 は梃子の支点 1 1 A から梃子の作用点 1 1 B までの距離、L 2 は梃子の支点 1 1 A から梃子の力点 1 1 C までの距離である。F 1 が一定とすると、L 1 / L 2 を小さくすれば F 2 を小さくすることができる。つまり、L 1 を短くするか、L 2 を長くすることにより F 2 を小さくできる。例えば、L 1 / L 2 は 1 / 5 (L 2 は L 1 の 5 倍) とすると、動力発生部 A C の出力 F 2 は第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の駆動力 F 1 の 1 / 5 で済む。動力発生部 A C で発生する力 F 2 が小さいと、動力発生部 A C の出力パワーを小さくでき、その結果、動力発生部 A C を小型化できる。

【 0 0 3 4 】

図 7 において、アクチュエータアーム 9 A により梃子のアーム 1 1 の梃子の支点 1 1 A

を中心として揺動するようにしたが、アクチュエータ 9 の代わりに手動で梘子のアーム 11 を揺動するように構成してもよい。つまり、マニュアルクラッチのような操作によって、手動で段階的に有効磁束量を調整してもよい。

【0035】

以上、第 2 の実施形態によれば、上述した通り、梘子の原理を用いた倍力機構によって、動力発生部で発生した力を倍力して第 2 回転子と第 1 回転子を駆動するようにしたので、動力発生部をより小容量かつ小型にできる。さらに、低出力のアクチュエータを使用することができるので、小型の磁束可変型回転電機を使用して、大負荷や高速回転時における回転電機の有効磁束量を運転状態に応じて変えられ、広い運転範囲での高効率運転が可能となる。

10

【0036】

- 第 3 の実施形態 -

第 3 の実施形態は、第 2 の実施形態の梘子による倍力構造に代えて、油圧式倍力機構を用いたものである。倍力機構以外の部分については第 2 の実施形態と同様であり、説明は省略する。以下、第 2 の実施形態の説明と同じ部品には同符号を付してその説明を省略し、異なる部品のみ説明する。

【0037】

図 8 は、油圧を利用した倍力機構の例を示す。図 8 に示すように、油圧式倍力機構で倍力された力 F_1 は、式 (2) から計算することができる。

$$F_1 \times S_2 = F_2 \times S_1 \quad \dots (2)$$

20

【0038】

F_1 は第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の駆動力、 F_2 は動力発生部から発生する力、 S_1 はピストン 13 A の受圧面積、 S_2 はピストン 13 B の受圧面積である。駆動力 F_1 を一定とすると、 S_2 / S_1 を小さくすれば力 F_2 を小さくすることができる。つまり、 S_2 を小さくするか、または S_1 を大きくすることにより、増幅倍率を大きくできる。例えば、 S_2 / S_1 を $1 / 5$ (S_1 は S_2 の 5 倍) とすると、動力発生部から発生する力 F_1 は回転子駆動力 F_2 の $1 / 5$ で済む。

【0039】

- 第 4 の実施形態 -

第 4 の実施形態は、第 2 の実施形態の梘子による倍力構造に代えて、リンク機構を使用した倍力機構を回転電機に適用したものである。倍力機構以外の部分については第 2 の実施形態と同様であり、説明は省略する。以下、第 2 の実施形態の説明と同じ部品には同符号を付してその説明を省略し、異なる部品のみ説明する。

30

【0040】

図 9 に示す倍力機構 B M は、第 2 実施形態の梘子構造の代わりに、リンクによる倍力機構を用いたものであり、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の駆動力 F_2 は式 (3) に示される。

$$F_1 \times D_1 = F_2 \times D_2 \quad \dots (3)$$

【0041】

ここで、 F_1 は第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の駆動力、 F_2 は動力発生部から発生する力、 D_1 はリンクの支点 15 D とリンクの支点 15 B 間の距離、 D_2 はリンクの支点 15 A とリンクの支点 15 C 間の距離である。 F_1 を一定とすると、 D_1 / D_2 を小さくすればより大きな駆動力を得ることができる。 D_1 を短くするか、または D_2 を長くすればよい。例えば、 D_1 / D_2 を $1 / 5$ (D_2 は D_1 の 5 倍) にすると、動力発生部 A C で発生する力 F_2 は、回転子駆動力 F_1 の $1 / 5$ で済む。

40

【0042】

- 第 5 の実施形態 -

第 5 の実施形態は、第 2 の実施形態の梘子による倍力構造に代えて、歯車とボールネジ機構を用いた倍力機構を回転電機に適用したものである。倍力機構以外の部分については第 2 の実施形態と同様であり、説明は省略する。以下、第 2 の実施形態の説明と同じ部品

50

には同符号を付してその説明を省略し、異なる部品のみ説明する。

【 0 0 4 3 】

図 1 0 は、歯車とボールネジ機構を利用した倍力機構の例を示す。第 2 の実施形態の梔子式倍力機構では、動力発生部 A C はアーム 9 A を直動させるタイプであったが、第 5 の実施形態の倍力機構では、回転式のステッピングモータを用いる。図 1 0 では、式 (4) が成立する。

$$F_2 = F_1 \times (R_2 \times R_3 / R_1^2) \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 4 】

ここで、 F_1 は第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の駆動力、 F_2 は動力発生部から発生する力、 R_1 は第一歯車 1 7 の半径、 R_2 は第二歯車 1 8 の半径、 R_3 はボールネジ 1 9 の半径である。 F_1 一定とすると、 $(R_2 \times R_3 / R_1^2)$ を小さくすれば F_2 を小さくすることができる。つまり、 R_2 または R_3 を小さくするか、または R_1 を大きくすればよい。

【 0 0 4 5 】

- 第 6 の実施形態 -

本発明に係る回転電機の固定子を二分割した磁束可変型回転電機の一構成例を図 1 1 に基づいて説明する。

【 0 0 4 6 】

図 1 1 は本実施形態の回転電機の構成を示す。図 1 1 に示すように、円筒状の回転子 2 0 の内周部には、極性が回転方向に順次異なるように界磁用磁石である永久磁石 2 0 A と 2 0 B が複数埋め込まれている。回転子 2 0 は、永久磁石 2 0 A と 2 0 B の内周側には空隙を介して、軸 2 4 に支承する軸受 2 3 に回転可能に配設されている。軸 2 4 に設けたスプライン 2 4 A を回しながら軸方向に移動可能な第 1 固定子 2 1 と、軸 2 4 に設けたスプライン 2 4 B (2 4 A と同じリード、逆切り方向) を回しながら軸方向に移動可能な第 2 固定子 2 2 とが設けられている。

【 0 0 4 7 】

動力発生部は、アクチュエータ 2 6 を備えている。動力伝達部は、第 1 固定子 2 1 とアクチュエータ 2 6 とを連結するスラスト軸受 2 5 A と、第 2 固定子 2 2 とアクチュエータ 2 6 を連結するスラスト軸受 2 5 B とを備えている。なお、スラスト軸受 2 5 A とスラスト軸受 2 5 B は、それぞれ第 1 固定子 2 1 と第 2 固定子 2 2 と一緒に移動し、アクチュエータ 2 6 からの押す力と引っ張る力を伝達する構造をもつ軸受である。

【 0 0 4 8 】

アクチュエータ 2 6 は、電動アクチュエータ、油圧アクチュエータ、空気圧アクチュエータ、圧電アクチュエータ、高分子アクチュエータなどが挙げられる。装着スペースなどを考慮すると、圧電アクチュエータ、高分子アクチュエータが望ましい。

【 0 0 4 9 】

低速回転領域においては、固定子の同極性磁極の中心が揃えるようにして、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を多くし、高トルクが得られるようにする。一方、高速回転領域においては、相対的に回転できる固定子を同極性磁極の中心がずれる方向に回転させれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると機械的な弱め界磁効果があり、高回転領域において定出力特性が得られる。

【 0 0 5 0 】

図 1 2 は本実施形態の回転電機の他の構成を示す。図 1 2 に示すように、動力発生部は回転式のステッピングモータ 2 9 を用いる。動力伝達部は、第一歯車 2 7 と第二歯車 2 8 を備えている。本構成は、ステッピングモータ 2 9 の回転力を第一歯車 2 7、第二歯車 2 8、スプライン 2 4 A、スプライン 2 4 B を通して、第 1 固定子 2 1 と第 2 固定子 2 2 を軸方向に移動させる。この移動により、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると機械的な弱め界磁効果があり、高回転領域において定出力特性が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

なお、本実施形態の固定子分割型回転電機は、固定子の巻線エンドが少ない集中巻型であることが望ましい。

【 0 0 5 2 】

- 第 1 ～ 第 6 の実施形態に用いる制御回路 -

第 1 ～ 第 6 の実施形態の磁束可変装置の制御回路の一例について簡単に説明する。

【 0 0 5 3 】

図 1 3 は回転電機の四種類の効率マップ M P 1 ～ M P 4 と、これらのマップ M P 1 ～ M P 4 を合成した合成マップ G M P を示す。効率マップ M P 1 ～ M P 4 は、第 1 の実施形態において、第 1 回転子 5 に対する第 2 回転子 6 の磁極位相（電気角）をそれぞれ 0 ° , 4 5 ° , 9 0 ° , 1 3 5 ° とした場合の回転数 - トルク曲線として示されている。ここで、磁極位相が 0 ° のときの有効磁束を 1 . 0 Φ としたとき、磁極位相が 4 5 ° , 9 0 ° , 1 3 5 ° の有効磁束を 0 . 7 5 Φ , 0 . 5 Φ , 0 . 2 5 Φ と表記する。

10

【 0 0 5 4 】

図 1 4 (a) ～ (d) は、効率マップ M P 1 ～ M P 4 の回転数 - トルク曲線内の運転効率分布を示し、これらの 4 つの効率マップ M P 1 ～ M P 4 を合成すると、図 1 5 の合成効率マップ G M P が得られる。なお、磁極位相 0 ° , 4 5 ° , 9 0 ° , 1 3 5 ° の効率マップの間、例えば磁極位相 6 0 ° や 1 2 0 ° の効率マップでも、磁極位相に対して連続的に運転効率分布が変化しているが、この実施形態では、4 つの効率マップから図 1 5 および図 1 3 の下部に示す合成効率マップ G M P を作成する。もちろん、磁極位相 0 ° ～ 1 3 5 ° の間を 4 5 ° ピッチよりも小さいピッチで分割し、よりきめ細かく合成効率マップを作成してもよい。

20

【 0 0 5 5 】

なお、有効磁束ごとの運転効率マップ M P 1 ～ M P 4 は予め制御回路の記憶装置に記憶しておき、これらの運転効率マップ M P 1 ～ M P 4 を合成した合成マップ G M P も記憶装置に記憶しておく。

【 0 0 5 6 】

図 1 5 の合成効率マップ G M P の上部に示す有効磁束範囲は、1 . 0 Φ の第 1 範囲 , 1 . 0 ～ 0 . 7 5 Φ の第 2 範囲 , 0 . 7 5 ～ 0 . 5 Φ の第 3 範囲 , 0 . 5 ～ 0 . 2 5 Φ の第 4 範囲 , 0 . 2 5 ～ 0 . 0 Φ の第 5 範囲である。なお、図 1 3 の下部の合成効率マップ G M P では有効磁束範囲を省略している。

30

【 0 0 5 7 】

合成効率マップの作成手順を説明する。

【 0 0 5 8 】

それぞれ X 軸（回転電機回転数）と、Y 軸（回転電機トルク）とそれぞれの図中の階段状の曲線とにより囲まれた領域で、有効磁束を 0 . 0 ～ 1 . 0 Φ に変化させると、この領域中央やや左よりの位置に（図示せず）、それぞれの効率マップで最も効率のよい条件が存在する。すなわち、これらの効率マップでこの効率の良い場所を効率最高点として、回転電機効率の分布図が生成される（図 1 4）。さらに、有効磁束を 0 . 0 ～ 1 . 0 Φ に変化させたときのこれらの結果から、各有効磁束中の最大効率点を取り出し（図 1 3 中央）、合成した結果を磁束可変型回転電機の効率マップとして図 1 3 下部中央および図 1 5 に示す。

40

【 0 0 5 9 】

例えば、電気自動車に第 1 の実施形態の回転電機を適用した場合について説明する。電気自動車の運転状況に応じて、電気自動車のモータコントローラから要求トルクと要求回転数が指令されると、合成有効マップ G M P を参照して、そのトルクと回転数における運転点が含まれる有効磁束範囲を決定する。決定された有効磁束範囲で代表する有効磁束が例えば 1 . 0 Φ であれば、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の位置を、有効磁束 1 . 0 Φ に対応する位置に制御する。すなわち、アクチュエータ 9 へ制御信号を送り、回転子を移動する。

50

【 0 0 6 0 】

上記のようにして決定された最適な有効磁束に基づいて、この有効磁束に対応する磁極位相となるように、磁束可変装置 J M が制御され、第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 がアクチュエータにより移動して最適な有効磁束が実現される。またこの有効磁束において要求トルクが得られるように回転電機がインバータでベクトル制御される。

【 0 0 6 1 】

本発明では、有効磁束が磁束可変装置で制御されるため、高回転における誘導起電力を弱めるための弱め界磁制御が不要である。従って、弱め界磁制御のための励磁電流の制御も不要となり、回転電機のベクトル制御も簡単になる。

【 0 0 6 2 】

なお、本実施形態では、有効磁束を、図 1 3 に示した合成効率マップ G M P から算出するようにしたが、図 1 4 (a) ~ (d) の合成前の効率マップに基づいて有効磁束を決定してもよい。すなわち、要求トルクと要求回転数により各マップの運転効率を決定し、最高の運転効率を示したマップの有効磁束が、回転電機の運転状況に適した有効磁束であると決定する。そして、有効磁束が得られる位置へ第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 を移動するように、アクチュエータ 9 に制御信号を印加するようにしてもよい。あるいは、要求トルクと要求回転数を用いて数式や近似式から有効磁束を計算してもよい。

【 0 0 6 3 】

- 第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機電圧降下効果 -

図 1 6 は、第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機効率に及ぼす回転電機電圧の影響を示す。回転電機のトルクと回転数を一定した場合（従来の弱め界磁制御領域）では、回転電機電圧が半分になっても回転電機の有効磁束量を適切に減らせば、同じ出力に対してより高い回転電機効率での運転が得られる。言い換えれば、磁束固定永久磁石回転電機に比べ、磁束可変型永久磁石回転電機は、より低い回転電機電圧にしてもより高い効率で同じトルクと回転数で運転することができる。

【 0 0 6 4 】

また、従来のハイブリッド自動車や電気自動車は、弱め界磁領域を少なくし回転電機効率を向上することを目的として、バッテリーモジュールを多数直列することや昇圧回路を設けることによって回転電機電圧を高めることが一般的に採られている。しかしながら、バッテリーモジュールの多数直列による過重量、昇圧回路による電力変換損失の増大は問題であった。前述に説明したように、従来の磁束固定永久磁石回転電機に比べ、本発明の磁束可変型永久磁石回転電機は、低い回転電機電圧にしてもより高い効率で同じトルクと回転数で運転できることを利用すれば、回転電機を高速領域で運転させるために必要とされる多量の直列バッテリーや昇圧回路を省くことができる。例えば、図 1 7 に示すように、同じトルクと回転数の運転状況（従来の弱め界磁制御領域）において、回転電機の有効磁束を 5 0 % 中にすることで、必要とされるバッテリーは半分減らすことができる。その結果、ハイブリッド自動車や電気自動車の総重量を減らしたり、総合効率を向上させたりすることが可能となる。

【 0 0 6 5 】

また、上記回転電機の電圧降下効果を利用すれば、低電圧急速充電が可能となり、充電時間を大幅に短縮することができる。例えば、従来の電気自動車の充電は、家庭用 1 0 0 V 電源で十数時間が必要となる。数時間で充電できる急速充電は、2 0 0 V 電源で行っているので、一般家庭には 2 0 0 V 電源を備えていない。本発明の回転電機を用いれば、家庭用 1 0 0 V 電源でも急速充電が可能である、充電時間を大幅に短縮することができる。

【 0 0 6 6 】

- ハイブリッド自動車への適用例その 1 -

第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機をハイブリッド自動車の駆動装置に適用した例について説明する。図 1 8 はハイブリッド自動車の駆動装置の配置構成を示す。ハイブリッド自動車は、車輪と、その車輪を駆動する駆動装置とを有する。駆動装置は、車両の駆動力を発生する、つまり車輪を駆動する内燃機関であるエンジン 3 0 と、車両の速度を制御する

10

20

30

40

50

変速機であるトランスミッション 3 2 との間に回転電機 3 1 (永久磁石型同期回転電機) を機械的に連結して構成されている。この回転電機 3 1 は、上述した第 1 ~ 第 6 のいずれかの実施形態の回転電機である。

【 0 0 6 7 】

エンジン 3 0 と回転電機 3 1 との連結には、エンジン 3 0 の出力軸と回転電機 3 1 の回転軸を直結する方法、あるいは遊星歯車減速機構などで構成された変速を介して連結する方法が一般的に採られている。回転電機 3 1 は、電動機あるいは発電機として動作するので、回転電機 3 1 は、電力変換器であるインバータ 3 3 を介して電力の充放電を行う蓄電手段であるバッテリー 3 4 に電氣的に接続されている。つまり、電力変換器であるインバータ 3 3 は、蓄電手段であるバッテリー 3 4 と回転電機 3 1 間に接続され、電力の変換を行う。

10

【 0 0 6 8 】

回転電機 3 1 を電動機として用いる場合は、バッテリー 3 4 から出力された直流電力をインバータ 3 3 で交流電力に変換して回転電機 3 1 に供給する。回転電機 3 1 の駆動力は、エンジン 3 0 の始動用あるいはアシスト用として用いられる。

【 0 0 6 9 】

回転電機 3 1 を発電機として用いる場合は、回転電機 3 1 によって発電された交流電力をインバータ 3 3 (コンバータ機能) で直流電力に変換してバッテリー 3 4 に供給する。これにより、変換された直流電力はバッテリー 3 4 に蓄電される。

【 0 0 7 0 】

20

従来の永久磁石同期回転電機は、回転数の上昇と共に磁石による誘起電力が大きくなるため、バッテリー、インバータの制約により高回転領域で駆動するのが困難であった。高回転領域で回転電機を駆動する方式として、電流により永久磁石の界磁用磁束を等価的に弱める弱め界磁制御があるが、トルクに寄与しない電流を流すため効率の低下を招いていた。

【 0 0 7 1 】

しかしながら、上述した第 1 ~ 第 6 の実施形態のいずれかの磁束可変型回転電機では、要求回転数、要求トルクに応じて機械的に最適な界磁用有効磁束を発生させることができる。従って、誘起電力によるバッテリーやインバータの制約が低減でき、さらにトルクに寄与しない電流を流さないため、効率を向上させることができる。

30

【 0 0 7 2 】

第 1 ~ 第 6 の実施形態による回転電機では、動力発生部で発生した力をシンプルな機構によって回転子を移動させるので、小型で出力の小さいアクチュエータ 9 を使用して第 1 回転子 5 と第 2 回転子 6 の位置制御が可能となる。その結果、本発明の磁束可変型回転電機は、広い回転速度範囲での高効率運転ができるので、変速ギア段の低減、あるいは、変速装置を省略することが可能となり、駆動装置全体の小型化を図ることもできる。

【 0 0 7 3 】

- ハイブリッド自動車への適用例その 2 -

第 1 ~ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機をハイブリッド自動車の駆動装置に適用した他の例について説明する。

40

【 0 0 7 4 】

図 1 9 は、本実施形態での自動車の駆動装置の配置構成を示す。基本的には、図 1 8 と同じ構成であるが、回転電機 3 1 がエンジン 3 0 とトランスミッション 3 2 の間ではなく、エンジン 3 0 及び回転電機 3 1 が並列に配置されている。また、図 1 9 の駆動装置では、エンジン 3 0 のクランクプーリ 3 5 と、回転電機 3 1 のシャフトに結合されたプーリ 3 7 とが金属ベルト 3 6 で連結されている。

【 0 0 7 5 】

また、図 1 9 のハイブリッド自動車の駆動装置においては、回転電機 3 1 は電動機単体、発電機単体、もしくはモータ・ジェネレータのどの形態で用いてもよい。図 1 9 の適用例ではクランクプーリ 3 5、金属ベルト 3 6、プーリ 3 7 によって、エンジン 3 0 と回転

50

電機 31 の間にある速度比をもった変速機構を構成することができる。

【0076】

例えば、クランクプーリ 35 とプーリ 37 の半径比を 2 : 1 にすることにより、回転電機 31 をエンジン 30 の 2 倍の速度で回転させることができ、エンジン 30 の始動時、回転電機 31 のトルクをエンジン 30 の始動時に必要なトルクの 1 / 2 にすることができる。従って、回転電機 31 を小型化することができる。

【0077】

- ハイブリッド自動車への適用例その 3 , その 4 -

前記第 1 ~ 第 6 の実施形態のいずれかの回転電機が用いられるハイブリッド自動車の他の 2 例を簡単に説明する。

【0078】

- 第 3 の適用例 -

第 3 の適用例による自動車は、車輪を駆動する内燃機関と、電力の充放電を行うバッテリーと、モータ・ジェネレータと、モータ・ジェネレータに供給される電力及びモータ・ジェネレータから供給された電力を制御する電力変換装置と、電力変換装置を制御する制御装置とを有する。このモータ・ジェネレータが上述した第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機のいずれかである。モータ・ジェネレータは、内燃機関のクランク軸と機械的に連結され、バッテリーから供給された電力によって駆動されて内燃機関を駆動すると共に、内燃機関からの動力によって駆動されて発電し、バッテリーにその発電電力を供給する。この自動車は、内燃機関で車輪を駆動する通常の自動車、あるいは内燃機関とモータ・ジェネレータ

【0079】

- 第 4 の適用例 -

第 4 の適用例によるハイブリッド自動車は、車輪を駆動する内燃機関と、電力の充放電を行うバッテリーと、モータ・ジェネレータと、モータ・ジェネレータに供給された電力及びモータ・ジェネレータから供給された電力を制御する電力変換装置と、電力変換装置を制御する制御装置とを有する。モータ・ジェネレータは、バッテリーから供給された電力によって駆動されて車輪を駆動すると共に、車輪からの駆動力を受けて発電し、バッテリーにその発電電力を供給する。このモータ・ジェネレータが第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機のいずれかである。

【0080】

- 電気自動車への適用例その 1 -

第 1 ~ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機を電気自動車の駆動装置に適用した例について説明する。

【0081】

図 20 は、第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機が搭載される電気自動車の駆動装置の配置構成を示す。この適用例の電気自動車は、電力の充放電を行うバッテリー 34 と、回転電機 31 と、回転電機 31 に供給される電力及びモータ・ジェネレータから供給された電力を制御するインバータ 33 と、インバータ 33 を制御する制御装置とを有する。回転電機 31 は、バッテリー 34 から供給された電力によって駆動され、減速機を介して車輪を駆動すると共に、車輪からの駆動力を受けて発電し、バッテリー 34 にその発電電力を供給する。この回転電機 31 が第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機で構成されている。

【0082】

- 電気自動車への適用例その 2 -

第 1 ~ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機を電気自動車の駆動装置に適用した他の例について説明する。

【0083】

図 21 は、第 1 ~ 第 6 の実施形態の回転電機が搭載される電気自動車の駆動装置の配置構成を示す。この適用例の電気自動車は、電力の充放電を行うバッテリー 34 と、車輪に配置された回転電機 31 (インホイール式) と、回転電機 31 に供給される電力及びモータ

10

20

30

40

50

・ジェネレータから供給された電力を制御するインバータ 33 と、インバータ 33 を制御する制御装置とを有する。回転電機 31 は、バッテリー 34 から供給された電力によって駆動されて車輪を駆動すると共に、車輪からの駆動力を受けて発電し、バッテリー 34 にその発電電力を供給する。この回転電機 31 が第 1 ～ 第 6 の実施形態の回転電機で構成されている。

【0084】

- 洗濯機への適用例 -

本適用例では、第 1 ～ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機を洗濯機の電動機に適用した例について説明する。

【0085】

洗濯機の従来技術で、電動機のトルクはプーリを介してベルトとギアによりトルクを伝達する場合、ベルトとギアの摺動、打撃音等の騒音が大きい問題がある。また、電動機のトルクを直接回転体や脱水槽に伝達するためのダイレクトドライブ方式では、電氣的な弱め界磁制御技術により高速運転領域を広げることが、弱め界磁電流による発熱や効率低下などにより限界がある。前記ダイレクトドライブ方式は減速機構がないために、低速高トルクの洗いや濯ぎ行程と高速大出力の脱水行程の広範囲速度領域を賄う電動機の体格は大型になる。

【0086】

上記電動機としては本発明の磁束可変型回転電機を用いる場合、洗いもしくは濯ぎ行程で、電動機の分割された回転子または固定子の同極性の中心を揃えるようにすれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を多くして、高トルク特性が得られる。一方、脱水行程のような高速回転領域において運転する時は、相対的に回転できる回転子または固定子を同極性磁極の中心がずれる方向に回転させれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると機械的な弱め界磁効果があり、高回転領域において定出力特性が得られる。

【0087】

- 風力発電システムへの適用例 -

本適用例では、第 1 ～ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機を風力発電システムの発電機に適用した例について説明する。

【0088】

従来の風力発電システムの発電機において、低速領域で高トルクが得られるが、回転数の可変範囲が狭いために高速領域の運転は困難であった。そこで、電氣的な弱め界磁制御技術により高速運転領域を広げることが考えられる。また、風力発電システムの発電機は広い速度範囲で所定の出力を確保するためにギア機構やピッチモータ等を備えて、さまざまな風速条件に対応できるようにした。発電機の各相巻線を主軸の回転速度に応じて巻線切り替え装置を用いて、低速用巻線と高速用巻線に切り替えて駆動するようにしているものもある。電氣的な弱め界磁制御により高速運転領域を広げることが、弱め界磁電流による発熱や効率低下などにより限界がある。各相巻線を主軸の回転速度に応じて巻線切り替え装置を用いた場合は、発電機本体からのリード線の数が多く、さらに巻線切り替え制御装置とその構造が複雑になる問題などがある。

【0089】

分割回転子を有する回転電機を用いた風力発電システムの発電機が風力の広い範囲で高効率を行う適用例として、分割された回転子は以下の状態で運転されればよい。

【0090】

風が弱い低速回転領域においては、回転子の同極性磁極の中心が揃えるようにして、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を多くし、高出力特性が得られるようにする。一方、風が強い高速回転領域においては、相対的に回転できる回転子を同極性磁極の中心がずれる方向に回転させれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると機械的な弱め界磁効果があり、高速回転領域において定出力特性が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 1 】

また、分割固定子を有する回転電機を用いた場合においても、上記と同様の状態で運転されればよい。

【 0 0 9 2 】

本適用例によれば、機械的に永久磁石の界磁用有効磁石量を可変できるという効果がある。特に、風力発電システムの主軸発電機の機械的な弱め界磁が簡単にでき、広範囲可变速制御に大きな効果がある。発電機構造が簡単になることにより、発電機が軽量になるため、タワーの構造が簡単になるという効果がある。

【 0 0 9 3 】

- 輸送車両への適用例 -

10

本適用例では、第 1 ～ 第 6 の実施形態で説明したいずれかの回転電機を輸送車両の電動機・発電機に適用した例について説明する。

【 0 0 9 4 】

永久磁石同期電動機は誘導電動機に比べ高効率であり、小型軽量化に有利である。また、高効率であることは消費電力量やCO₂排出量の削減も期待できる。輸送車両の駆動用電動機は小型軽量であることが強く求められているため、永久磁石同期電動機は有力な候補である。また、電動機だけでなくインバータも含めた主回路全体の軽量化が求められる。主変換装置保護の観点から、永久磁石による逆誘起電圧は、そのピーク値が少なくとも直流中間回路電圧の過電圧保護動作設定値を超えないように設計すべきである。しかし、そのように電動機を設計した場合、必要とするインバータ容量を増大させてしまう。

20

【 0 0 9 5 】

輸送車両の電動機として本発明による磁束可変型回転電機を用いる場合、低速大トルクで、電動機の分割された回転子または固定子の同極性の中心が揃えるようにすれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を多くして、高トルク特性が得られる。一方、高速回転領域において運転する時は、相対的に回転できる回転子または固定子を同極性磁極の中心がずれる方向に回転させれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると機械的な弱め界磁効果があり、高回転領域において定出力特性が得られる。

【 0 0 9 6 】

この適用例によれば、機械的に永久磁石の界磁用有効磁束量を可変できるという効果がある。また、輸送車両の発電機の機械的な弱め界磁が簡単にでき、広範囲可变速制御には大きな効果がある。さらに、機械的に有効磁束を可変することにより、逆誘起電圧を抑えることができる。その結果、インバータの容量を低減することができる。従って、インバータのコスト低減や駆動装置全体の小型化を図ることもできる。

30

【 0 0 9 7 】

本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の形態についても、本発明の範囲内に含まれる。

【 0 0 9 8 】

— 磁石材料の実施例 —

40

次に、第 1 ～ 第 6 の実施形態による回転電機に適用した磁石材料について説明する。

【 0 0 9 9 】

従来の磁性体では、高保磁力及び高残留磁束密度を確保するために希土類元素を添加した希土類元素含有鉄硼素化合物や希土類元素含有鉄窒素化合物が磁石材料として製造されており、回転電機を始めとする各種磁気回路に使用されている（特許文献 3，特許文献 4）。

【 0 1 0 0 】

従来の磁性体の課題は希少でかつ高価な元素である希土類元素を使用するため資源保護の観点から今後も価格が高騰する恐れがある。また希土類元素は酸化しやすいため腐食しやすく、さらに加工性が劣るという欠点がある。このようなことから希土類元素をできる

50

だけ使用しない磁石材料が望まれている。

【0101】

本発明ではこれを解決するため、フッ素を主相に含有する磁石を適用する。

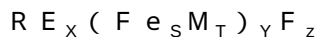
【0102】

以下に磁石材料の実施例を示す。

【0103】

—磁石材料の第1の実施例—

LaFe₁₂F磁石を作製するために、La及び鉄の母合金をLaとFeの原子比が1:12になるように真空溶解する。母合金の組成を均一にするために数回溶解と冷却を繰り返した後に、再溶解し急冷することにより箔片を形成後粉碎する。粉碎粉の平均粉末径は10から100μmである。この粉碎粉とフッ化アンモニウム粉とをアルコール溶媒中で混合し、酸化防止と不純物混入抑制のために表面フッ化が施されたステンレスボールと共に容器内に入れて外部ヒータにより100℃に加熱しながらボールミリングを進める。溶解急冷からボールミル、加熱成形まで酸化防止、磁気特性確保のため窒素雰囲気中で進めた。加熱及びボールによる粉碎によりフッ化が進行し、平均粉末径が0.5から5μmのフッ化磁性粉が作成される。ボールミリングは100時間実施した結果、F(フッ素)が粉末表面から拡散し、LaFe₁₂F組成の磁性粉が形成される。粉末中心部はLaFe₁₂F_{0.01-0.1}である。この磁性粉を磁場10kOeで1t/cm²の圧力で成形後400℃、10t/cm²で加熱圧縮成形する。加熱成形により磁性粉表面のフッ化物の一部が結着することでフッ化物磁性粉の全体に占める体積が90から99%のブロック体得られる。このブロック体を成形温度以下の温度で時効急冷後、異方性方向に25kOeの磁界を印加することで磁石特性を確認したところ、残留磁束密度1.8T、保磁力25kOe、キュリー温度520℃であった。上記特性を示すLaFe₁₂F磁石は、フッ素濃度が結晶粒界と結晶粒中心部でフッ素濃度が異なる。フッ素濃度は結晶粒界近傍で高く結晶粒中心部で低く、濃度差として0.1原子%以上認められる。このフッ素濃度差は波長分散型X線分析により確認できる。また、結晶粒界あるいは磁石表面にはLaOFやLaF₃などの体心正方晶構造をもった主相(LaFe₁₂F)とは異なる組成の水素、炭素や窒素などの不純物を含有するフッ化物あるいは酸フッ化物が成長する。このようなフッ化物あるいは酸フッ化物の全体に占める体積が増加すると、残留磁束密度が低下するため、平均粒径2μmの主相に対する体積率として20%以下が望ましく、残留磁束密度1.5T以上とするためには10%以下である必要がある。本実施例のような残留磁束密度1.8T、保磁力25kOe、キュリー温度520℃と同等の磁石特性はLaFe₁₂F以外に、La(Fe_{0.9}Co_{0.1})₁₂F、La(Fe_{0.9}Mn_{0.1})₁₂F、CeFe₁₂F、PrFe₁₂F、YFe₁₂F、Nd(Fe_{0.9}Co_{0.1})₁₂Fなどのフッ化物で得られ、希土類元素をRE、鉄及び希土類元素以外の遷移金属元素をM、フッ素をFとすると、



X, Y, Zは正数であり、X < Y, Z < Y, S > Tで磁石特性を示し、残留磁束密度を1.5T以上とするためには、X < Y/10, Z < 3, Z < Y/4, T < 0.4, S > Tであること及び上記主相以外の強磁性を示さないフッ化物や酸フッ化物の体心正方晶あるいは六方晶構造の主相に対する体積比率を0.01から10%にすることが必要である。なお、フッ化物や酸フッ化物の形成は母相の構造安定性を高めるために磁石特性確保には不可欠であり、0.1%程度が望ましい。本実施例の反応性ボールミルあるいは反応性メカニカルアロイ工程は、すべての粉末材料のフッ化処理に適用できる。即ち、200℃よりも高い温度に加熱可能な加熱温調により容器内を加熱し、容器内にフッ素を含有する粉末あるいはガスを充てんして反応性をもたせ、ボールによるメカニカルな反応(新生面形成、粉碎、摩擦部の活性化など)を合わせることでフッ化が比較的低温(50℃から500℃)で進行する。この手法は、磁石材料だけではなく、高電気陰性度かつ小原子半径であるフッ素がバンド構造(電子状態密度の三次元分布)に与える影響から設計される77K以上で超電導となる高温超電導材料や磁気冷凍材料に適用でき、銅に0.1から50原子%フッ素を導入したM-Cu-F系(Mは一種以上のCu以外の遷移元素、Cuは銅、Fは

フッ素) 高温超電導材料やフッ素をケイ素系材料に 1 から 30 原子% 導入した $M-Si-F$ (M は一種以上の Si 以外の遷移元素、 Si はケイ素、 F はフッ素) の磁気冷凍材料が製造できる。

【0104】

—磁石材料の第2の実施例—

$CeFe_{24}F$ 磁石を作製するために、 Ce 及び鉄の母合金を Ce と Fe の原子比が 1 : 24 になるように真空溶解する。母合金の組成を均一にするために数回溶解と冷却を繰り返した後に、再溶解し急冷することにより箔片を形成後粉碎する。粉碎粉の平均粉末径は 1 から 10 μm である。この粉碎粉とフッ化アンモニウム粉とをアルコール溶媒中で混合し、酸化防止と不純物混入抑制のために表面フッ化が施されたステンレスボールと共に容器内に入れて外部ヒータにより 200 に加熱しながらボールミリングを進める。溶解急冷からボールミル、加熱成形まで酸化防止、磁気特性確保のため窒素雰囲気中で進めた。加熱及びボールによる粉碎によりフッ化アンモニウムの分解に伴いフッ化が進行し、平均粉末径が 0.1 から 2 μm のフッ化磁性粉が作成される。ボールミリングは 20 時間実施した結果、 F (フッ素) が粉末表面から拡散し、 $CeFe_{24}F$ 組成の磁性粉が形成される。粉末中心部は $CeFe_{12}F_{0.01-0.1}$ である。この磁性粉を磁場 10 kOe で 1 t/cm² の圧力で仮成形後 500 、10 t/cm² で加熱圧縮成形する。加熱成形により磁性粉表面のフッ化物の一部が結着することでフッ化物磁性粉の全体に占める体積が 95 から 99 % のブロック体 が得られる。このブロック体を成形温度以下の温度で時効後、100 / 秒の最大冷却速度で急冷した成形体を異方性方向に 25 kOe の磁界を印加することで磁石特性を確認したところ、残留磁束密度 1.9 T、保磁力 20 kOe が確認でき、磁化の温度依存性から求めたキュリー温度は 630 であった。上記特性を示す $CeFe_{24}F$ 磁石は、フッ素原子の一部が侵入して格子歪が導入された相であり、結晶構造は温度に依存して変態し、体心正方晶あるいは六方晶である。また結晶粒においてフッ素濃度が結晶粒界と結晶粒中心部でフッ素濃度が平均的に異なる。フッ素濃度は結晶粒界近傍で高く結晶粒中心部で低く、濃度差として 1 原子% 以上認められる。このフッ素濃度差は波長分散型 X 線分析により確認できる。また、結晶粒界あるいは磁石表面には $CeOF$ や CeF_2 , CeF_3 などの主相 ($CeFe_{24}F$) とは異なる組成の水素、炭素や窒素、鉄などの不純物を含有するフッ化物あるいは酸フッ化物が成長する。このようなフッ化物あるいは酸フッ化物の全体に占める体積が増加すると、残留磁束密度が低下するため、平均粒径 2 μm の主相に対する体積率として 10 % 以下が望ましい。

【0105】

—磁石材料の第3の実施例—

$MnFe_{24}F$ 磁石を作製するために、 Mn 及び鉄の母合金を用い真空溶解する。 Mn と Fe の原子比が 1 : 25 になるように真空溶解を複数回繰り返し組成の均一化を図る。母合金を $Ar-1\%F_2$ 雰囲気で溶湯急冷する。急冷中に一部の箔体にフッ素が導入される。この箔体をフッ化アンモニウム (NH_4F) 雰囲気中で粉碎する。さらにフッ化アンモニウム (NH_4F) 雰囲気での低温ボールミル工程を経て平均粒径 0.5 から 5 μm の $MnFe_{24}F_{0.1}$ が得られる。さらに低温ボールミル工程での温度よりも高い温度 (100 から 300) でフッ化アンモニウム (NH_4F) 雰囲気中での反応性ボールミル工程を適用し、 HF などの反応基によるフッ化を進行させることにより平均粒径 0.05 から 0.5 μm の $MnFe_{24}F$ 粉を得た。フッ素導入による格子体積の増加及び高電気陰性度による鉄やマンガンのバンド構造の変化により磁気モーメント増加と磁気異方性エネルギー増加ならびにスピン間交換結合の強磁性化及び一部 Mn 原子の反強磁性結合による異方性発現などにより、磁石特性が得られ、磁粉を加熱圧縮成形するかあるいは、有機材料をバインダに用いた成形、熱間押し出し成形などの加熱変形による異方化、ならびに通電成形、衝撃波成形などが成形体を得るための手法として適用できる。フッ化物バインダに MgF_2 を用いた成形体を磁場中圧縮成形し、異方性方向に 50 kOe の磁界を印加することで磁石特性を確認したところ、20 で残留磁束密度 1.6 T、保磁力 20 kOe が確認でき、磁化の温度依存性から求めたキュリー温度は 450 であった。本実施例の $MnFe_{24}F$

粉は一部のMnがFeと強磁性、一部のMnはFeと反強磁性結合を示し、フッ素原子が侵入する比率によってその磁気結合が大きく変化する。侵入位置に配置するフッ素原子の平均濃度は1から10原子%であり、特に3から5原子%であり、単位格子の原子層ではさらに高濃度のフッ素原子が侵入することでMn原子による高磁気異方性エネルギーが実現できる。侵入型化合物の構造を安定化するために、 $MnFe_{24}F$ に添加する元素は、Co, Ni, Ti, Mo, V, Cr, Al, Mg, Si, Ga, Ge, Bi, W, La, Ce, Pr, Nd, SmなどのMn及びFe以外の遷移元素であり、これらの遷移元素添加により侵入可能なフッ素原子濃度を高濃度とすることができ結晶の安定性と磁気特性（異方性エネルギー）の向上が可能である。なお、このような侵入フッ素原子は、高電気陰性度のために、磁性体の電子状態密度分布が大きく変化する。したがって磁気モーメント以外にも電気抵抗、磁気抵抗、磁気比熱、磁気歪、結晶磁気異方性エネルギー、磁気異方性の方向が変化することから、保磁力増加、飽和磁増加、磁気抵抗率増加、磁気歪の増加、磁気比熱の増加が認められ、磁石や磁歪材料、磁気冷凍材料、磁気抵抗材料に適用でき、ハードディスクのヘッドやボイスコイルモータ、アクチュエータ、冷却装置、磁気センサ、MRIなどに適用でき、磁石回転機においては透磁率の高い磁気冷凍材料により磁石部を冷却してトルク特性を安定化させ、かつ損失を低減でき全ての磁気回路において上記磁気冷凍材料と磁石が適用できる。また、 $MnFe_{24}F$ と同等の磁気特性を示すフッ化物磁石は、本実施例と類似の工程を適用して作成可能であり、 $Mn_xFe_yM_zF_s$ の組成で確認でき、Mnはマンガン、Feは鉄、Mは鉄及びマンガン以外の遷移元素、Fはフッ素、 $Z < X < Y$, $S < 3$ で示され、フッ素原子の一部が侵入位置に配置した正方晶あるいは立方晶、六方晶、斜方晶、菱面体晶あるいはこれらの複合結晶であり、フッ素原子が侵入した相以外に強磁性や反強磁性を示さない酸フッ化物あるいはフッ化物が母相に接触して形成され、酸素濃度は主相よりも前記酸フッ化物の方が高濃度である。侵入位置のフッ素あるいはMnが規則的に配列した場合、磁石性能あるいは磁気物性の向上が認められる。なお、上記フッ化物粉あるいは結晶粒には酸素、窒素、水素、炭素などが結晶構造を破壊しない程度の濃度で含まれていてもフッ素原子の侵入位置に大きな影響はないため特性に問題はない。さらに侵入位置に配列するフッ素原子とともに同様の原子位置に窒素や炭素、ホウ素、酸素、塩素、あるいは水素が配置しても良い。

【0106】

—磁石材料の第4の実施例—

$La_{0.5}MnFe_{24}F$ 磁石を作製するために、La, Mn及び鉄の母合金を用い真空溶解する。La, MnとFeの原子比が0.6 : 1 : 24になるように真空溶解を複数回繰り返して組成の均一化を図る。母合金を $N_2 - 1\% F_2$ 雰囲気中で溶湯急冷する。急冷中に一部の箔体にフッ素が導入され表面の酸化を防止するとともに高フッ素濃度の準安定結晶を形成する。この箔体をフッ化アンモニウム(NH_4F)雰囲気中で粉砕する。さらにフッ化アンモニウム(NH_4F)雰囲気での低温ボールミル工程を経て、高フッ素濃度の準安定結晶からのフッ素原子の拡散とガスフッ素からのフッ素供給により平均粒径0.5から5 μm の $La_{0.5}MnFe_{24}F_{0.5}$ が得られる。さらに低温ボールミル工程での温度よりも高い温度(100から300)でフッ化アンモニウム(NH_4F)雰囲気中での反応性ボールミル工程を適用し、フッ化を進行させることにより平均粒径0.05から0.5 μm の $La_{0.5}MnFe_{24}F$ 粉を得た。フッ素導入による格子歪の増加及び高電気陰性度によるランタン、鉄及びマンガンのバンド構造の変化により磁気モーメント増加と磁気異方性エネルギー増加ならびにスピン間交換結合の強磁性化及び一部Mn原子の反強磁性結合による異方性発現などにより、磁石特性が得られ、磁粉を加熱圧縮成形するかあるいは、有機材料をバインダに用いた成形、熱間押し出し成形などの加熱変形による異方化、ならびに通電成形、衝撃波成形などが成形体を得るための手法として適用できる。バインダにエポキシを用いた成形体を磁場中圧縮成形し、異方性方向に50 kOeの磁界を印加することで磁石特性を確認したところ、20で残留磁束密度1.5 T、保磁力21 kOeが確認でき、磁化の温度依存性から求めたキュリー温度は520であった。本実施例の $La_{0.5}MnFe_{24}F$ 粉は一部のMnがFeと強磁性、一部のMnはFeと反強磁性結合を示し、

フッ素原子が侵入する比率によってその磁気結合が大きく変化する。侵入位置に配置するフッ素原子の平均濃度は0.1から10原子%であり、特に1から5原子%であり、単位格子の原子層ではさらに高濃度のフッ素原子が侵入することでMn原子による高磁気異方性エネルギーが実現できる。侵入型化合物の構造を安定化するために、 $\text{La}_{0.5}\text{MnFe}_{24}\text{F}$ に添加する元素は、Co, Ni, Ti, Mo, V, Cr, Al, Mg, Si, Ga, Ge, Bi, W, Ce, Pr, Nd, SmなどのLa, Mn及びFe以外の遷移元素であり、これらの遷移元素添加により侵入可能なフッ素原子濃度を高濃度とすることができ結晶の安定性と磁気特性（異方性エネルギー）の向上が可能である。なお、このような侵入フッ素原子は、高電気陰性度のために、磁性体の電子状態密度分布が大きく変化する。したがって磁気モーメント以外にも電気抵抗、磁気抵抗、磁気比熱、磁気歪、結晶磁気異方性エネルギー、磁気異方性の方向が変化することから、保磁力増加、飽和磁増加、磁気抵抗率増加、磁気歪の増加、磁気比熱の増加が認められ、磁石や磁歪材料、磁気冷凍材料、磁気抵抗材料に適用でき、ハードディスクのヘッドやボイスコイルモータ、アクチュエータ、冷却装置、磁気センサ、MRIなどに適用でき、磁石回転機においては透磁率の高い磁気冷凍材料により磁石部を冷却してトルク特性を安定化させ、かつ損失を低減でき全ての磁気回路において上記磁気冷凍材料と磁石を接触させた複合材料が適用できる。また、 $\text{La}_{0.5}\text{MnFe}_{24}\text{F}$ と同等の磁気特性を示すフッ化物磁石は、本実施例と類似の工程を適用して作成可能であり、 $\text{RE}_x\text{Mn}_y\text{F}_z\text{M}_w\text{F}_s$ の組成で確認でき、REは希土類元素、Mnはマンガン、Feは鉄、Mは鉄、希土類元素及びマンガン以外の遷移元素、Fはフッ素、 $Z < X < Y$, $U < S < 3$ で示され、フッ素原子の一部が侵入位置に配置した正方晶あるいは立方晶、六方晶、斜方晶、菱面体晶あるいはこれらの複合結晶であり、フッ素原子が侵入した相以外に強磁性や反強磁性を示さない酸フッ化物あるいはフッ化物が母相に接触して形成され、酸素濃度は主相よりも前記酸フッ化物の方が高濃度である。侵入位置のフッ素あるいはMnが規則的に配列した場合、磁石性能あるいは磁気物性の向上が認められる。なお、上記フッ化物粉あるいは結晶粒には酸素、窒素、水素、炭素などが結晶構造を破壊しない程度の濃度で含まれていてもフッ素原子の侵入位置に大きな影響はないため特性に問題はない。さらに侵入位置に配列するフッ素原子とともに同様の原子位置に窒素や炭素、ホウ素、酸素、塩素、あるいは水素がフッ素原子よりも少ない濃度で配置しても良い。

【0107】

—磁石材料の第5の実施例—

Mn及びAlの2つの蒸着源を真空室に設置し、蒸着源の設置された場所に隣接して反応室を設け、反応室に F_2 ガスを充てんする。真空室から反応室にMn及びAl蒸気が引き込まれ、反応室においてMnやAlがフッ素(F)と反応したクラスタあるいは粒子が基板や反応室の側壁に付着する。付着したフッ化物は、蒸着速度、フッ素ガス圧力、基板温度、真空度、反応室と蒸発室との圧力差などに依存してその濃度や粒子径が制御される。蒸着速度が $\text{Mn } 10 - 20 \text{ nm/秒}$, $\text{Al } 1 - 10 \text{ nm/秒}$ 、基板温度 10°C 、フッ素ガス圧力 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件においてMn-Al-F系粉末を形成した。その結果、 Mn_4AlF 組成において強磁性かつ高磁気変態温度を確認できた。強磁性を示す上記フッ化物において、フッ素は侵入位置あるいは置換位置のいずれかに配置し、一部のフッ素原子は規則配列している。上記の蒸着法で作成したフッ化物粒子の平均粒径は $10 - 100 \text{ nm}$ であり、これらの粒子はその微小粒径であることを利用して低温成形が可能であり、磁場中配向後、 400 から 500°C で加熱焼結することで焼結磁石を作成でき、その磁気特性は残留磁束密度 1.1 T 、保磁力 20 kOe であり、希土類元素を使用しないことから低コストを実現できる。焼結により粒界近傍には安定な母相とは異なる結晶構造のフッ化物または酸フッ化物が形成される。焼結温度が 500°C よりも高温側では安定な粒界相が成長し磁気特性が劣化する。また焼結温度 400°C 未満では焼結が不十分となり高密度が得にくい。平均粒径をさらに細かくして $2 - 5 \text{ nm}$ とすることで焼結温度を 300°C に低温化することが可能であるが、環境温度が 200°C を超える温度では粒成長のために使用することが困難である。上記保磁力と同程度の材料としては、 $\text{Mn}_x\text{Al}_y\text{F}_z$ で表記

される組成において、Xが1から10、Yが0.1から2、Zが0.1から2であり、Mnはマンガン、Alはアルミニウム、Fはフッ素である。フッ素の導入によりMn原子間距離が延ばされ、かつフッ素の高電気陰性度のために電子状態密度分布が一部局在化し、結果としてMn原子間が強磁性的な磁気結合になる。Alの代わりにSi, Cu, Ti, Vなどの安定フッ化物を形成可能な元素である遷移元素を使用しても同等の特性が得られる。またフッ素の原子位置にはフッ素と炭素の混合、フッ素と窒素の混合あるいはフッ素と酸素の混合配置であっても良い。本実施例のような100nm以下の粉末径をもった粉末は低温焼結が可能となることから、RE-Fe-F系(REは希土類元素、Feは鉄、Fはフッ素)などのフッ素原子が一部侵入した母相の焼結には有効であり、母相の構造を維持したまま焼結することが可能であり、正方晶あるいは六方晶の結晶構造でフッ素が侵入位置に配列した $RE_xFe_yF_z$ を母相とする焼結磁石を300から400の温度で形成できる。焼結時に電磁波によるフッ化物の局所加熱を使用してもよい。前記 $RE_xFe_yF_z$ はREが希土類元素、Feが鉄、Fがフッ素であり、X, Y, Zは正数でかつ $X < Y$, $Z < 5$ ある。焼結に伴い粒界三重点の一部には主相とは構造の異なるフッ化物や酸フッ化物あるいは鉄フッ化物、酸化鉄、希土類酸化物が0.01から10体積%形成される。このような主相と異なる結晶構造をもった相の体積が10%を超えると残留磁束密度の低下が著しい。また0.01体積%以上の体積率では、酸フッ化物やフッ化物、酸化鉄、希土類酸化物あるいは希土類フッ化物は主相に隣接(接触)して成長し、主相構造の安定性すなわちフッ素の原子配置の安定性を向上させる。このようなRE-Fe-F系磁石は、キュリー温度510、保磁力25kOe、残留磁束密度1.8Tの磁気特性を示し、Nd-Fe-B系磁石の磁気特性を超えており、磁石使用量を削減でき、磁気回路の小型軽量化に貢献できる。

【0108】

—磁石材料の第6の実施例—

ArとF₂混合ガス雰囲気中で鉄及びマンガンを蒸発させ蒸着室の側壁に鉄とマンガン及びフッ素から構成された合金粉を形成する。蒸着前の真空度は 1×10^{-5} Torrであり、Ar+10%F₂ガスを導入して蒸着中に鉄及びマンガンの一部がフッ化し、水冷された側壁面に付着する。側壁面の温度は20以下にして、付着する粒子を急速することによりフッ素を格子間位置に配置させる。粉末径は1から100nmである。この粉末を集めて平均の粒子径を10nmに分級し、大気にさらすことなく磁場配向金型に挿入後、10kOeで磁場配向し、300で焼結させる。焼結工程中に加圧して高密度化しても良い。500以上に成形体を加熱すると侵入位置に配置したフッ素原子がより安定なフッ化物や酸フッ化物を形成し、粒界のフッ化物や酸フッ化物などの非磁性相が成長し磁気特性が低下し、ネール点やキュリー点も低下する。侵入位置に配置するフッ素の安定性あるいは侵入構造の安定性向上のためには、安定なフッ化物や酸フッ化物との格子の整合性を高めるかあるいは希土類元素などの遷移元素を0.01から5原子%の範囲で添加することが有効である。300の低温焼結工程で作成したフッ化物は $Fe_xMn_yF_z$ (Feは鉄、Mnはマンガン、Fはフッ素、Xは1から10、Yは0.1から2、Zは0.1から2)のフッ化物であり、混入物として酸素や炭素を含み、結晶構造は正方晶及び立方晶が認められる。フッ素が0.1よりも少ない場合侵入配置するフッ素の量が少ないことからキュリー温度が低い。また、フッ素が2を超えると安定なフッ化物が成長し保磁力が低下する。Mnは反強磁性結合と強磁性結合を制御する元素であり2よりも多くすると反強磁性の割合が増加することにより残留磁束密度が著しく低下する。フッ素の一部は鉄あるいはマンガンの格子間位置に侵入し、格子歪をもたらしことにより、鉄—マンガン原子間に強磁性結合を誘発させている。一部のマンガンはマンガンあるいは鉄と反強磁性結合を示し、反強磁性配列と強磁性配列の間に交換結合が認められる。保磁力は交換結合の方向に依存して変化し、最大30kOe、残留磁束密度1.7Tを実現でき、反強磁性が消失する温度が強磁性消失温度よりも低いか高いかにより磁気特性は大きく異なる。反強磁性が消失するネール温度がキュリー温度よりも低い場合、保磁力は急激に低下する。ネール温度がキュリー温度よりも高い場合は保磁力の温度依存性が小さい。そこで、ネール温度がキ

キュリー温度よりも高い材料系と相構造制御が必要になる。フッ素が導入されることにより Mn と鉄に格子歪が導入され原子間距離が広げられるためネール点が上昇し、ネール点がキュリー温度よりも高くなる。ネール点がキュリー温度（キュリー点）よりも高い場合は低い場合よりも保磁力が 1 から 10 kOe 高くなる。また、反強磁性と強磁性の Mn が周期的に配列した構造でかつフッ素原子が侵入位置に配置することで Mn 原子間距離が伸縮し、上記周期構造を安定化するために鉄，マンガンを除く遷移元素が強磁性マンガンを消失しない範囲で添加された材料では、77 K の温度以上 350 K 以下の高温で超電導を示し、磁石材料の代替材料となる。このようなフッ素が侵入位置に配置した金属系超電導材料は、高い電気陰性度をもつフッ素が隣接する原子の電子状態を変えることで達成され、従来の NbTi 系，NbAl 系，MgB 系などの材料に対しても超電導を示す温度範囲を高温側にするか、あるいは臨界磁場の増加に効果があり、0.5 から 5 原子% のフッ素原子を侵入させることで超電導を示す臨界温度が 10 から 50 K 上昇する。

10

【符号の説明】

【0109】

- 1 固定子鉄心
- 2 電機子巻線
- 3ハウジング
- 3A ブラケット
- 3B ベアリング
- 4 シャフト
- 4A，4B，24A，24B スプライン
- 5，21 第1回転子
- 5A，6A，10A，20A，20B 永久磁石
- 6，22 第2回転子
- 7，12 ストッパー
- 8A，8B，25A，25B スラスト軸受
- 9，26 アクチュエータ
- 10 第3回転子
- 11 梃子のアーム
- 11A 梃子の支点
- 11B 梃子の作用点
- 11C 梃子の力点
- 12A ストッパーのアーム
- 13 油圧シリンダ
- 13A，13B ピストン
- 14 作動油
- 15 リンク
- 15A～15D リンクの支点
- 16，29 ステッピングモータ
- 17，27 第一歯車
- 18，28 第二歯車
- 19 ボールネジ
- 20 回転子
- 23 軸受
- 24 軸
- 30 エンジン
- 31 回転電機
- 32 トランスミッション
- 33 インバータ
- 34 バッテリ

20

30

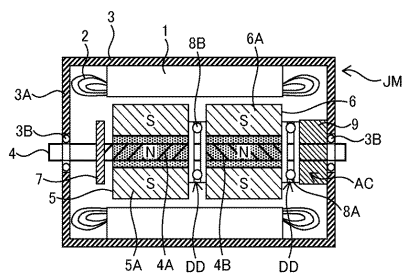
40

50

- 3 5 クランクプーリ
- 3 6 金属ベルト
- 3 7 プーリ
- A C 動力発生部
- B M 倍力機構
- D D 動力伝達部
- J M 磁束可変装置

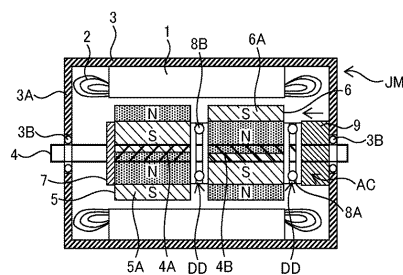
【図 1】

図 1



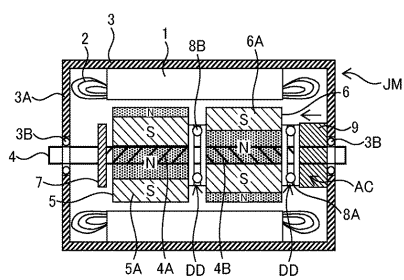
【図 3】

図 3



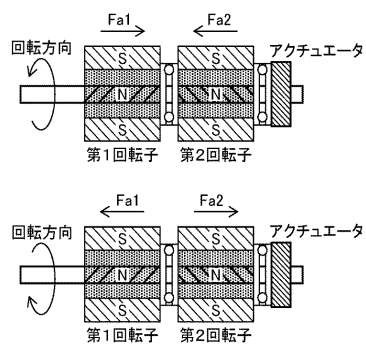
【図 2】

図 2

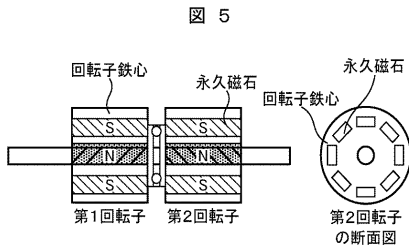


【図 4】

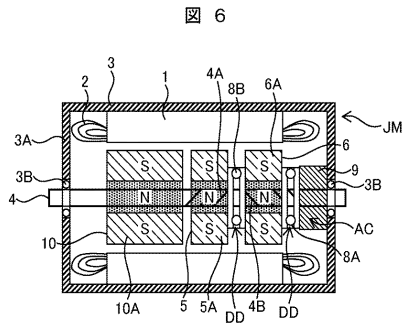
図 4



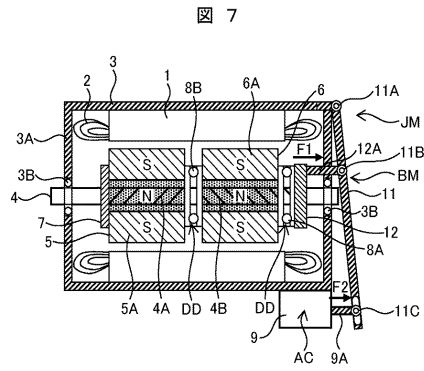
【図 5】



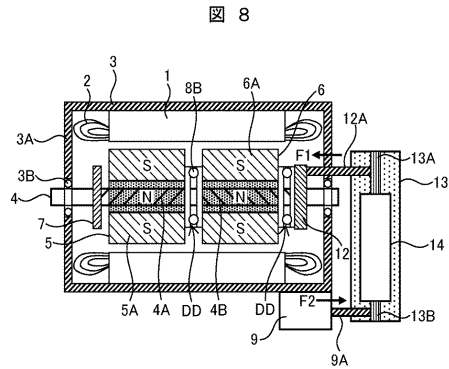
【図 6】



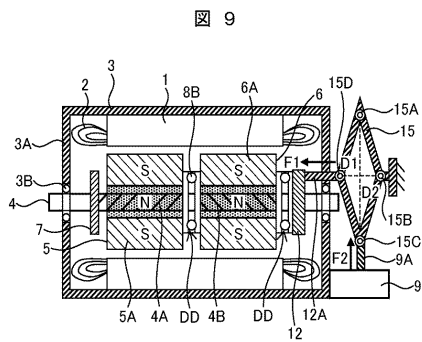
【図 7】



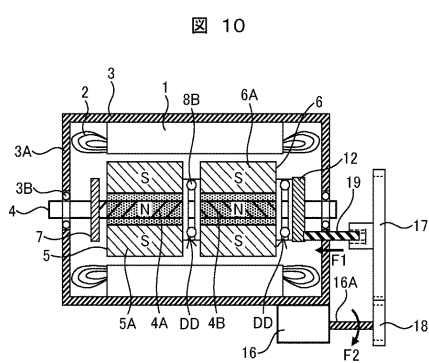
【図 8】



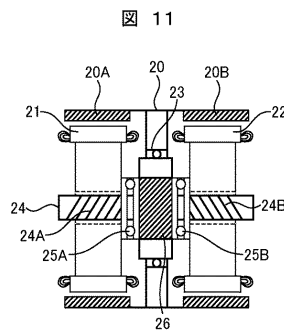
【図 9】



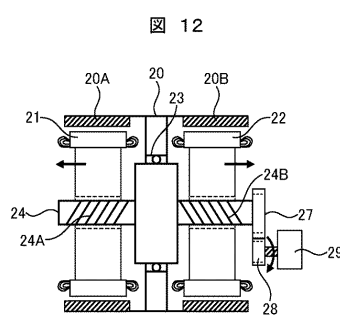
【図 10】



【図 11】

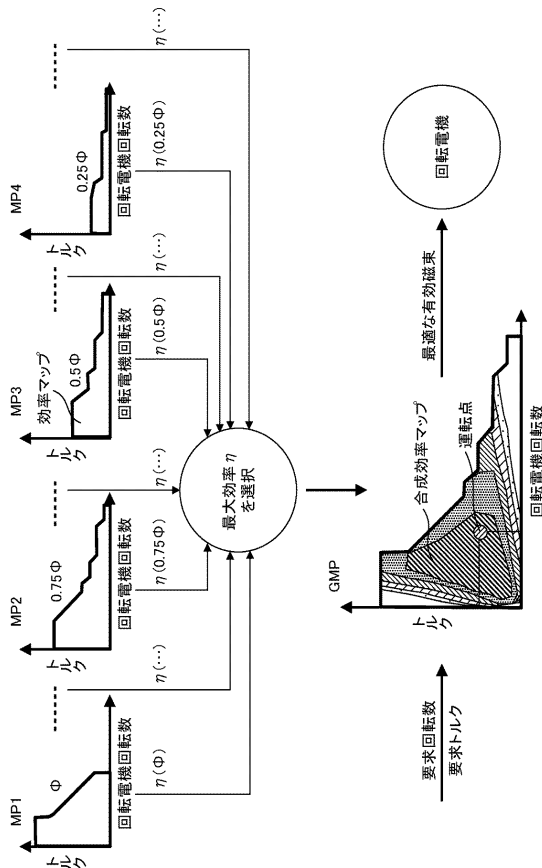


【図 12】



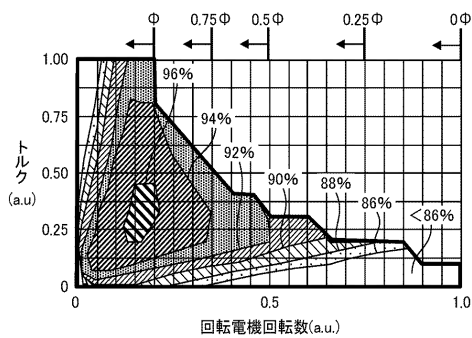
【図 13】

図 13



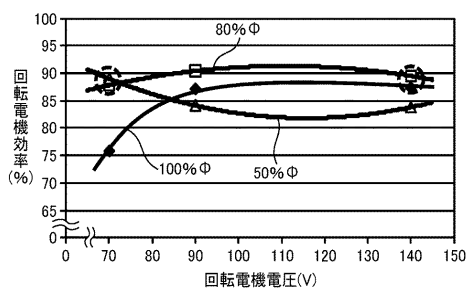
【図 15】

図 15



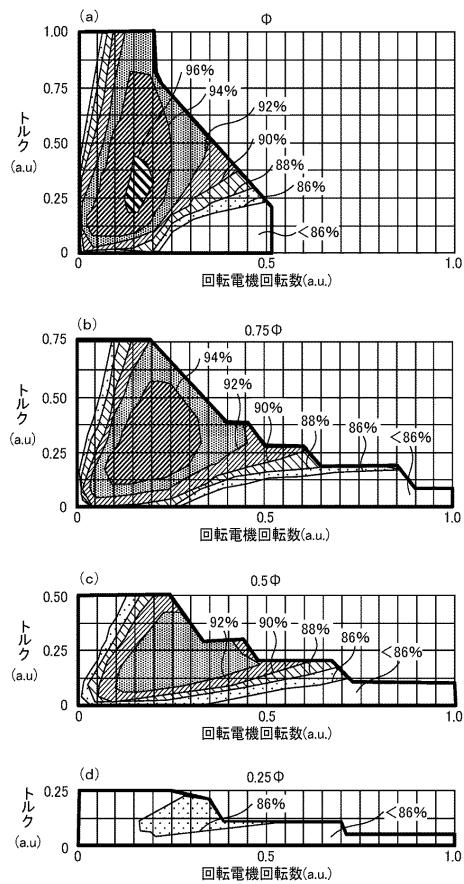
【図 16】

図 16



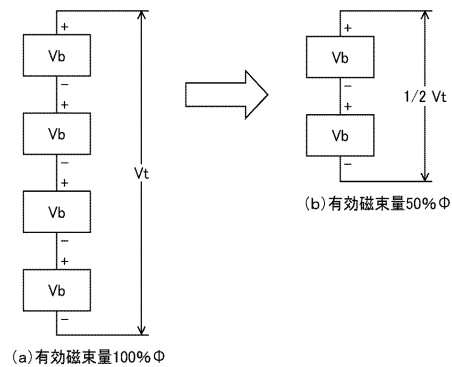
【図 14】

図 14



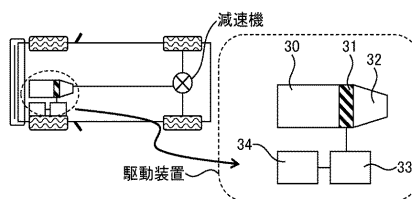
【図 17】

図 17



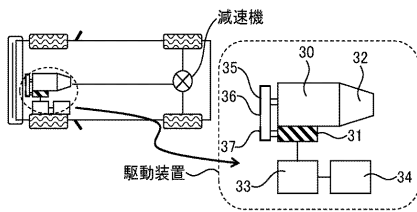
【図 18】

図 18



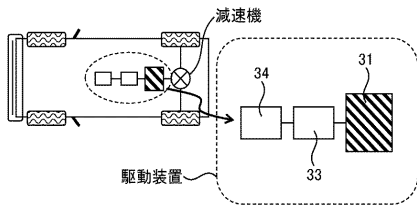
【図 19】

図 19



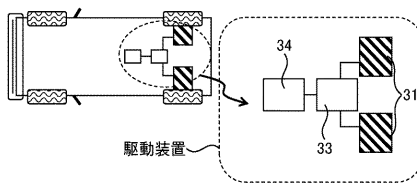
【図 20】

図 20



【図 21】

図 21



フロントページの続き

- (72)発明者 小室 又洋
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地
所内 株式会社 日立製作所 基礎研究
- (72)発明者 金子 大吾
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号
所内 株式会社 日立製作所 日立研究
- (72)発明者 岡部 悟
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号
所内 株式会社 日立製作所 日立研究
- (72)発明者 佐通 祐一
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地
所内 株式会社 日立製作所 基礎研究
- (72)発明者 鈴木 啓幸
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地
所内 株式会社 日立製作所 基礎研究

審査官 安池 一貴

- (56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 2 6 2 4 8 8 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 2 6 2 6 0 0 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 6 7 4 9 8 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 9 4 3 7 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 0 6 9 6 0 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 2 K 1 6 / 0 0
H 0 2 K 1 / 0 0
H 0 2 K 2 1 / 0 0
B 6 0 L 1 1 / 0 0
B 6 0 W 2 0 / 0 0