

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2023-546289

(P2023-546289A)

(43)公表日 令和5年11月1日(2023.11.1)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 2 K 1/14 (2006.01)	H 0 2 K 1/14	Z 5 H 6 0 1
H 0 2 K 21/22 (2006.01)	H 0 2 K 21/22	M 5 H 6 2 1
H 0 2 K 21/24 (2006.01)	H 0 2 K 21/24	M
H 0 2 K 16/00 (2006.01)	H 0 2 K 16/00	

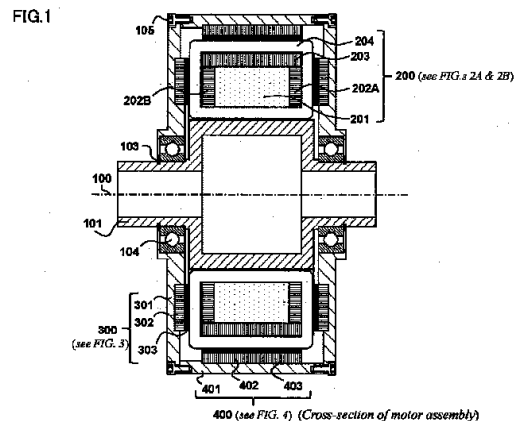
審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全33頁)

(21)出願番号	特願2023-547942(P2023-547942)	(71)出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年5月28日(2021.5.28)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(85)翻訳文提出日	令和5年4月13日(2023.4.13)	(72)発明者	チョウ,レイ アメリカ合衆国、02139-1955 マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブ ロードウェイ 201、エイス・フロア 、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック ・リサーチ・ラボラトリーズ・インコー ポレイテッド
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/021289	(72)発明者	ワン,ピンナン アメリカ合衆国、02139-1955 マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブ 最終頁に続く
(87)国際公開番号	WO2022/079942		
(87)国際公開日	令和4年4月21日(2022.4.21)		
(31)優先権主張番号	17/071,386		
(32)優先日	令和2年10月15日(2020.10.15)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA ,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA( AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせた電気機械

(57)【要約】

軸方向磁束および径方向磁束モータは、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられている。固定子組立体系は、非強磁性材料からなる固定子コアを有し、固定子コアの第1の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第1の軸方向磁束固定子ヨークを含む。第2の軸方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの第2の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する。第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含む。スロットを有する径方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有する。径方向磁束固定子ヨーク、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含む。巻線は、第1の軸方向磁束固定子ヨークのスロット、第2の軸方向磁束固定子ヨークのスロット、および径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置されている。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械であって、  
機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、前記回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、

非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を備え、

前記固定子組立体は、

前記固定子コアの第 1 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 1 の軸方向磁束固定子ヨークと、前記固定子コアの第 2 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 2 の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、

10

スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、前記径方向磁束固定子ヨークは、前記固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、前記径方向磁束固定子ヨーク、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨーク、および前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記径方向磁束固定子ヨークの前記スロットに配置された巻線を含む、電気機械。

## 【請求項 2】

前記固定子組立体は、前記シャフトに強固に取り付けられ、

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークは、軸方向のスロットを有し、

20

前記径方向磁束固定子ヨークは、前記固定子コアの前記連続的な外壁の外径面に設けられたスロットを有し、

前記巻線は、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記径方向磁束固定子ヨークの前記スロットに配置された 1 組のトロイド状多相巻線を含む、請求項 1 に記載の電気機械。

## 【請求項 3】

軸受を介して前記シャフトに回転可能に取り付けられ、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークと係合する 2 つの軸方向磁束回転子組立体をさらに備え、

30

各軸方向磁束回転子組立体は、

軸受の外輪に強固に取り付けられた軸方向磁束回転子ハウジングと、

前記軸方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた軸方向磁束回転子バックアイロンと、

前記軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた軸方向磁束永久磁石アレイとを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

## 【請求項 4】

軸方向磁束回転子ハウジングに強固に接続され、前記径方向磁束固定子ヨークに回転可能に係合する径方向磁束回転子組立体をさらに備え、

前記径方向磁束回転子組立体は、

40

前記軸方向磁束回転子ハウジングに強固に取り付けられた径方向磁束回転子ハウジングと、

前記径方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた径方向磁束回転子バックアイロンと、

前記軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた径方向磁束永久磁石アレイとを含む、請求項 3 に記載の電気機械。

## 【請求項 5】

前記 2 つの軸方向磁束回転子組立体の前記軸方向磁束永久磁石アレイおよび前記径方向磁束永久磁石アレイはそれぞれ、異なる極性を有する、請求項 4 に記載の電気機械。

## 【請求項 6】

50

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨーク、前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨーク、および前記 2 つの軸方向磁束回転子組立体の前記軸方向磁束回転子バックアイロンは、らせん状の電気積層体から作られるか、または前記径方向磁束固定子ヨークおよび前記径方向磁束回転子バックアイロンは、重ね合わせられた電気積層体から作られる、請求項 4 に記載の電気機械。

【請求項 7】

前記固定子コアの前記非強磁性材料は、1 つ以上の非強磁性材料を 90 % 以上含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 8】

前記固定子コアの前記非強磁性材料は、プラスチック、炭素繊維強化ポリマー、ガラス繊維、または鉄を含まない（非鉄系）材料のうちの 1 つである材料である、請求項 1 に記載の電気機械。

10

【請求項 9】

前記固定子コアの前記非強磁性材料は、チタン、ガラス繊維、またはアセタールホモポリマーのうちの 1 つに関連した導電性材料のレベルおよび機械的剛性のレベルを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 10】

前記固定子コアの前記非強磁性材料は、硫化物、炭酸塩またはケイ酸塩鉱物から得られる 1 種以上の非強磁性金属であり、且つ非磁性材料である、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 11】

前記巻線は、前記組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、トロイダル巻線と呼ばれる座巻きを有する巻線パターンを含み、前記トロイダル巻線は、前記座巻きの長さを減らし、その結果、前記トロイダル巻線を有しない同様構成の電気機械と比較して、前記電気機械の全体効率を増加させる、請求項 1 に記載の電気機械。

20

【請求項 12】

前記巻線は、銅材料を含み、前記組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、トロイダル巻線と呼ばれる座巻きを有する巻線パターンを含み、前記トロイダル巻線は、前記座巻きの長さを減らし、その結果、モータ巻線の銅損の合計量をもたらし、モータの全体効率を改善する、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 13】

前記巻線は、前記シャフトに熱的に接続され、前記巻線と前記シャフトとの前記熱的接続は、熱伝導性および電気絶縁性の材料エポキシを用いて形成される、請求項 1 に記載の電気機械。

30

【請求項 14】

軸受をさらに含み、前記回転子は、前記軸受を介して前記シャフトに回転可能に取り付けられ、前記シャフトは、中空の固定シャフトであり、前記固定子コアおよび前記シャフトは、前記固定子コアを前記シャフトに選択的に結合し嵌合するように構成された結合特徴部を含み、これにより、前記固定子組立体は、トルク作用を伝達し、角度対応を維持し、トルク力を生成するように前記シャフトに固定される、請求項 1 に記載の電気機械。

40

【請求項 15】

軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械であって、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、前記回転子は、固定シャフトに回転可能に取り付けられており、

固定子組立体を備え、

前記固定子組立体は、

非強磁性材料からなる固定子コアを含み、前記固定子コアは、第 1 の端壁と、第 2 の端壁と、周方向に沿って前記固定子コアの周囲に配置された連続的な外壁とを含み、

前記固定子コアの第 1 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 1 の軸方

50

向磁束固定子ヨークと、前記固定子コアの第 2 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 2 の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、

スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、前記径方向磁束固定子ヨークは、前記固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、前記径方向磁束固定子ヨーク、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨーク、および前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記径方向磁束固定子ヨークの前記スロットに配置された巻線を含み、前記固定子組立体は、前記回転子が回転する前記固定シャフトと同じ固定シャフトに固定され、トルク作用を伝達し、トルク力を生成する、電気機械。

10

【請求項 16】

前記径方向磁束固定子ヨークは、シートを電氣的に積層し、互いに絶縁することによって得られたシート積層体を含み、これらのシートは、実質的に同じ形状を有し、軸方向に沿って互いに積層されるまたは互いに接続される、請求項 15 に記載の電気機械。

【請求項 17】

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークは、電氣的に積層され、互いに絶縁されたシート積層体を含み、

前記シート積層体は、径方向直線に対して軸対称であり、

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークの前記積層体は、径方向に沿って互いに積層されまたは互いに接続された前記シートを含む、請求項 15 に記載の電気機械。

20

【請求項 18】

前記径方向磁束固定子ヨークは、環状であり、前記非強磁性コアの前記連続的な外壁の外側対向面に強固に取り付けられた連続的な内壁の内側対向面を含む、請求項 15 に記載の電気機械。

【請求項 19】

前記巻線は、前記組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、磁性銅線の複数のループを含み、3相および極対数を有する、請求項 15 に記載の電気機械。

【請求項 20】

30

軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械であって、

機械軸を中心に回転可能に装着された回転子と、

固定子組立体とを備え、

前記固定子組立体は、

前記シャフトに取り付けられた固定非強磁性固定子コアと、

各々が軸方向のスロットを有する第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび第 2 の軸方向磁束固定子ヨークと、

前記固定非強磁性固定子コアの外径面に配置され、スロットを有する径方向磁束固定子ヨークと、

前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記径方向磁束固定子ヨークの前記スロットに配置された 1 組のトロイド状多相巻線と、

40

前記シャフトに回転可能に取り付けられ、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークと係合する 2 つの軸方向磁束回転子組立体とを含み、各軸方向磁束回転子組立体は、軸受の外輪に強固に取り付けられた軸方向磁束回転子ハウジングと、前記軸方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた軸方向磁束回転子バックアイロンと、前記軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた軸方向磁束永久磁石アレイとを含み、

両方の軸方向磁束回転子ハウジングに強固に接続され、径方向磁束固定子ヨークに回転可能に係合する径方向磁束回転子組立体を含み、前記径方向磁束回転子組立体は、前記両方の軸方向磁束回転子ハウジングに強固に取り付けられた径方向磁束回転子ハウジング

50

と、前記径方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた径方向磁束回転子バックアイロンと、前記両方の軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた径方向磁束永久磁石アレイとを含む、電気機械。

【請求項 2 1】

前記永久磁石アレイの極対数を前記固定子巻線の極対数と同じようにすることによって、同期表面実装型永久磁石モータを形成する、または永久磁石アレイの極対数を前記固定子スロット数プラスまたはマイナス前記固定子巻線の極対数と同じようにすることによって、パーニア型永久磁石モータを形成する、請求項 2 0 に記載の電気機械。

【請求項 2 2】

システムであって、

軸方向磁束および径方向磁束 ( A F A R F ) モータに関連するセンサから信号を受信するトランシーバと、

前記信号を受信し、前記 A F A R F モータのトルクの基準軌道を追跡するために、前記 A F A R F モータの多相電圧または電流の 1 つまたは組み合わせの値を指定する制御信号を生成するように構成されたデジタルコントローラとを備え、前記 A F A R F モータは、前記 A F A R F モータによって位置が制御され且つ前記デジタルコントローラによって制御可能な負荷を有し、

前記 A F A R F モータは、

機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を含み、前記回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、

非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を含み、

前記固定子組立体は、

前記固定子コアの第 1 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 1 の軸方向磁束固定子ヨークと、前記固定子コアの第 2 の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第 2 の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、

スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、前記径方向磁束固定子ヨークは、前記固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、前記径方向磁束固定子ヨーク、前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨーク、および前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、

トロイド形状の固定子組立体を形成する前記第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび前記第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークの前記スロットに配置された巻線と、

前記システムは、

前記デジタルコントローラおよび前記 A F A R F モータと通信するインバータを備え、前記インバータは、前記 A F A R F モータの前記基準軌道と測定トルクとの間の誤差が所定の誤差閾値を上回る場合、前記誤差を低減するために、生成された制御信号に従って生成された多相電圧および電流を前記 A F A R F モータの多相巻線に供給するように構成されている、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、ギヤボックスを使用しない直接駆動用途の軸方向磁束 ( axial-flux ) および径方向磁束 ( radial-flux ) を組み合わせたモータとアウトランナ電気モータとを含むモータ設計に関し、特に、非強磁性材料からなる固定子コア ( stator core ) を有し、電気積層体を可能にすることにより、損失を低減しトルクを改善するモータに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来電気モータは、現在産業界で使用されている最も重要なエネルギー変換システムの 1 つである。従来電気モータは、電気エネルギーを機械的エネルギーに変換する。従

10

20

30

40

50

来の電気モータの多くは、モータの磁場と巻線に流れる電流との間の相互作用を介して動作し、シャフトを回転させる力を発生する。例えば、地球上の電力全体の99%以上は、発電機から供給され、そのうちの約3分の2が従来の電気モータから供給される。例えば、多くの電気機械は、その単純性から径方向磁束モータを採用しているが、トルク密度が最も重要なモータ設計要件である場合、軸方向磁束モータが採用される。

#### 【0003】

従来の電気モータの多くは、様々な用途のために負荷を駆動する際に、減速用の変速機構（例えば、ギアボックス）とのベアリングが必要である。これは、主に、(a)電気機械は、通常、負荷の必要回転数よりもかなり高い定格回転数で最も効率的であること、および(b)電気機械の直接トルク出力は、通常、用途に対して不十分であり、トルクを増大させるために変速機構が必要であることの2つの理由によるものである。このような電気モータと変速機構の両方を含むモータ駆動構造は、工作機械、産業機械、家電製品、電気自動車などの様々な用途分野で利用されている。

10

#### 【0004】

しかしながら、ギアボックスは、典型的には、バックラッシュヒステリシス、非線形クーロン摩擦などの非線形動力学を有し、電気モータの動的性能を損なう可能性があり、高精度用途には好ましくない。そのため、機械室のないエレベータ、ロボットマニピュレータ、高精度回転ステージ、および電気自動車用インホイール駆動装置などの他の多くの用途分野では、この変速機構をなくして、電気モータで負荷を直接駆動することが有益である場合がある。

20

#### 【0005】

例えば、従来の軸方向磁束永久磁石モータ設計は、直接駆動モータ用途を目標とする高トルク密度を達成するために利用される。このような設計は、トルク能力を損なうことなくモータの軸方向長さを短縮することができる。表面実装永久磁石(PM)モータが様々なモータ原理の中でせん断応力を発生することができるため、従来の直接駆動モータを改良するためのいくつかの取り組みは、PMモータに対して行われてきた。

#### 【0006】

PMモータを含む全ての電気機械は、磁束の方向によって、軸方向磁束機と径方向磁束機に分類することができる。殆どの電気機械は、その単純さから径方向磁束を使用している。径方向磁束機の場合、回転子(rotor)と固定子(stator)との間のエアギャップ内の磁場または磁束は、回転子の方向に対して径方向に流れる。軸方向磁束機の場合、回転子と固定子との間のエアギャップ内の磁場または磁束は、回転子シャフト軸の方向に流れる。しかしながら、両種類の機械設計においても、固定子に沿った表面積の一部のみが、トルクを発生させるためのエアギャップとして利用されている。

30

#### 【0007】

モータのトルクを改善しようとする重要な従来の方法の1つは、回転子表面上のエアギャップ表面積を増大させることによって行われる。エアギャップは、回転子と固定子との間の距離である。追加のトルクを発生する必要がある場合、モータのトルクを増加させるための1つの有効な従来の方法は、トルクの発生に軸方向磁束と径方向磁束との組み合わせを使用することである。この場合、エアギャップは、軸方向および径方向の両方に構成され、固定子内の磁束は、3次元的である。

40

#### 【0008】

永久磁石同期モータは、他の回転電気モータと同様に、回転子と固定子とから構成される。固定子は、固定部であり、回転子は、回転部である。一般に、回転子は、電気モータの固定子の内側に位置する。また、回転子が固定子の外側に位置する構造、すなわち、インサイドアウトまたは外側回転子構造を有するモータ設計もあり、これは、アウトランナ電気モータと呼ばれている。一般に、この種類のアウトランナ電動機において、回転子は、永久磁石の保磁力が高い材料からなる永久磁石で構成されている。固定子は、外枠と巻線付きコアからなり、2相巻線および3相巻線を用いた設計が最も一般的である。同期モータの動作原理は、固定子の回転磁場と回転子の定磁場との相互作用に基づいている。回

50

転子の磁場は、アンペアの法則に従って固定子巻線の同期交流電流と相互作用することによって、トルクを生成し、回転子を強制的に回転させる。

【0009】

したがって、ギヤボックスを必要としない直接駆動モータ用途のトルク生成を改善し且つ損失低減およびトルク向上を支援する電気積層体を使用することができる、軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計とアウトランナ電気モータ設計とを含む新しいモータ設計構成が必要である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本開示は、ギヤボックスを使用しない直接駆動用途の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータとアウトランナ電気モータとを含むモータ設計に関し、特に、非強磁性材料からなる固定子コアを有し、電気積層体を可能にすることにより、損失を低減しトルクを改善するモータに関する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本開示のいくつかの実施形態は、非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を有する、ギヤボックスを使用しない直接駆動用途の改良モータを提供する。従来の固定子コア材料、すなわち、軟磁性複合材料(SMC)またはフェライト材料を非強磁性材料に置換することは、従来の考え方および従来の設計者の信念に反する。実験では、非強磁性材料からなる固定子コアが、別個の電気積層体からなる固定子ヨークを形成できることを発見した。電気積層体を可能にする別個の固定子ヨークを含むこれらの新しいモータ設計は、モノリシック固定子とSMCまたはフェライト材料で作製されたコアとを有する同じサイズの従来のモータと比較して、他の利益の中でも、モータのトルク増加させ、モータのヒステリシス損失を減少させるなどの利点があることが証明されている。

【0012】

本開示の実施形態は、プラスチックまたはガラス繊維などの非強磁性材料からなる固定子コアを含み、固定子コアの中心体積が従来のSMC材料を非強磁性材料に置換した別個の固定子ヨークを有する。単に固定子コアの中心容積を置換するのではなく、非強磁性材料を特定の形状、パターンおよび積層で固定子ヨークまたは固定子コアに使用することが考えられている。モータ設計者の特定の目標およびモータ動作性能目標に応じて、固定子コア内の非強磁性材料の特定の形状、パターンおよび積層は、特定のモータ動作性能目標、総トルク出力の最大化を取得および達成することを支援するように構成することができる。後に実験から得られた利点は、固定子コアの従来の重いSMC材料の量に対応する量の軽い非磁性材料で置換することにより、モータの総重量を減少することを含む。したがって、モータの総重量を減少することによって、モノリシック軟磁性複合体(SMC)またはフェライト材料を用いた固定子コアを有する同じサイズの従来のモータの総トルクと比較して、モータのトルク対質量比の増加につながる。

【0013】

実験から実現された他の革新的な特徴は、軸方向磁束モータおよび径方向磁束を組み合わせたモータとアウトランナ電気モータとを含むモータの本開示の新しいモータ設計のいくつかに組み込まれた新しい巻き方を組み込むことを含む。例えば、実験中に、固定子コアに非強磁性材料を組み込むという観点から、巻線を再評価できることが認識された。したがって、異なる巻線構成を試した結果、トロイダル巻線と呼ばれるパターンで巻線を固定子コアの周りに巻き付けることによって、座巻き(end turns)の長さを短縮するという革新的な巻き方を発見した。このことが重要である理由の少なくとも1つは、この革新的な特徴により、SMCまたはフェライト材料を用いた固定子コアを持つ同じサイズの従来型モータの従来の巻線方法およびアプローチを用いた場合の端部巻線の使用量と比較して、モータの端部巻線の使用量の増加をもたらす、したがってモータの効率の増加をもたらしたことである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 4 】

実験中、従来の電気積層体をどのように3次元(3D)磁束モータに組み込んで利用するか、解決または克服すべき多くの課題および問題があった。その理由は、電気積層体は、2Dフラックスモータのみに対して機能し、3Dフラックスモータに対しては機能しないからである。したがって、従来の考え方では従来の電気積層体を3Dモータに組み込むことができないため、従来のモータ設計者は、これを試みないであろう。例えば、従来の3D磁束モータ設計は、軸方向および径方向の両方にエアギャップを構成し、固定子磁束が3Dであり、軟磁性複合体(SMC)またはフェライト材料で従来の固定子コアを作る必要がある。SMC材料を必要とする理由は、全方向に渦電流が発生することによって、3次元磁束モータに電気積層体を使用できないため、低いバルク導電率を達成するためである。SMCまたはフェライト材料を従来の固定子コアに使用した場合の問題点として、SMC材料の透磁率が低いため、単位エアギャップ面積当たりのモータのせん断応力発生量を減少することが挙げられる。また、SMC材料を使用した場合他の問題点として、上述したように、SMC材料の磁気保磁力が電気積層体よりも高いため、モータのヒステリシス損失を増加させることが挙げられる。

10

## 【 0 0 1 5 】

固定子コア内の従来のSMC材料を非強磁性材料(プラスチックまたはガラス繊維)に置換する少なくとも1つの認識は、SMC材料で作られた従来のモノリシック固定子コアを使用すると、固定子コアの中心部の磁束密度が低くなることが実験により分かったからである。これは、固定子コアの中心部の強磁性材料が完全に活用されていないことを意味し、固定子コアの中心部を非強磁性材料に置換する認識につながった。判明したいくつかのことは、SMC材料で作られた従来の固定子コアは、モータの全体重量を増やすこと、材料の透磁率が低いため単位エアギャップ面積当たりのモータのせん断応力発生量を減らすこと、モータのヒステリシス損失を増やすこと、およびモータの全体トルクを減らすことである。この認識に基づき、多くのモータ設計構成を試行した結果、本開示のモータ設計は、以下のような多くの利点を有することが分かった。これらの利点は、(1)非強磁性固定子コア材料は、モータのトルクを損なうことなくモータの質量を低減し、モータの比トルク(単位質量当たりのトルク)を改善すること、(2)径方向磁束固定子コアおよび軸方向磁束固定子コアの両方の電気積層体は、より低い材料および製造コスト、より高いトルク、およびより低い損失を提供すること、(3)トロイダル巻線は、単一の固定子組立体を可能にし、端部巻線の長さを減少させ、高い効率を可能にすること、(4)改良されたモータ構成は、軟磁性複合材(SMC)またはフェライト材料からなるコアを使用する同じサイズの従来のモータの柔軟な設計量と比較した場合、モータの柔軟な設計量を増加させることにより、トルク密度量および/または特定のトルク量を最適化することを含む。

20

30

## 【 0 0 1 6 】

本開示は、多くの特徴を有する革新的な固定子組立体を含む。これらの特徴は、以下でより詳細に検討される。これらの特徴は、(A)非強磁性材料からなる固定子コア材料と、(B)軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨーク用の別個の電気積層体からなる固定子、または(C)固定子組立体のトロイダル巻線の1つまたは組み合わせとを含む。

40

A. 非強磁性材料を用いた革新的な固定子コア - ある種の固定子コア材料がモータの性能を改善するという認識

## 【 0 0 1 7 】

いくつかの実施形態は、軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計ならびにアウトランナ電気モータ設計などのモータ設計に対して、ある種の固定子コア材料がモータの導電性に悪影響を及ぼし、その結果、モータの全体的な性能レベルを低下させるという認識に基づいている。実験からは、軟磁性複合材(SMC)またはフェライト材料で作られた従来のモノリシック固定子コアが、固定子コアの中心部の磁束密度のレベルを低下させることを発見した。この発見に基づいて、この欠陥のある従来のモータ設計は、モ

50



ータの総重量を増やした。これは、今日の多くのモータ用途には良くない、その他のマイナス面もあった。したがって、従来の固定子コアの中心部をプラスチックまたはガラス繊維などの非強磁性材料に置換することによって、欠陥のある従来のモータ設計の欠点を克服する改良を実現した。この実現は、全ての従来のモータ設計、およびこれらの従来のモータの設計者の考え方に反するものであった。

従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計

【0018】

従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計は、他の種類の従来のモータ設計よりもトルク密度の増加を達成するように特別に設計されたため、これらの従来のモータ設計は、軸方向および径方向の両方に構成されたエアギャップを有し、固定子内の磁束は、3次元的である。従来の固定子コア設計は、全方向に発生する渦電流により、低いバルク導電性を得るために、軟磁性複合材料またはフェライト材料を含む。しかしながら、このような従来のモータ設計の場合、従来の電気積層体を利用できないというマイナス面がある。別体の固定子を用いて回転子を取り囲むこのような従来のモータ設計の場合、中実回転子を使用しているため、(他の同じサイズの従来のモータ設計と比較して)比トルクが低くなる他のマイナス面もある。しかしながら、これらの従来のモータ設計を、プラスチックまたはガラス繊維などの非強磁性材料を用いた固定子コアを有する実施形態と比較すると、モータ性能の結果は、モータの総トルク量の増加を示した。

(C) 従来のアウトランナ電気モータ設計

【0019】

従来のアウトランナ電気モータ設計は、エアギャップの外側に構成された回転子と固定子組立体とを有するため、固定子組立体の位置は、エアギャップおよび回転子に対して内側にある。同じサイズの従来のインランナモータ設計(すなわち、固定子がエアギャップおよび回転子に対して外側に位置し、回転子がエアギャップおよび固定子に対して内側に位置するもの)と比較すると、本開示のアウトランナモータ設計は、モータの全体寸法を変更することなく、径方向磁束モータのエアギャップの直径量を増大させることによって、モータのトルク発生能力を向上させる。

【0020】

実験中、2つの異なるSMC材料および電気積層体の物理特性と磁気特性との間の比較を行った。SMC材料は、電気積層体よりも著しく低い透磁率( $\mu_r$ )を有することが分かった。さらに、SMC材料の磁気保磁力( $H_c$ )は、電気積層体の磁気保磁力よりも大きいことが分かった。電気積層体からなるコアを用いた従来の径方向磁束モータと比較すると、SMCコアを用いたモータは、トルクがより低く、ヒステリシス損失がより高いことが分かった(定義次の段落)。

【表1】

種類	材料	$\mu_r$	$H_c$	抵抗率	密度
積層体	M19 電気鋼	8000	56 A/m	0.05 $\mu\Omega\text{m}$	7650 $\text{kg/m}^3$
SMC	Somaloy	950	217 A/m	70 $\mu\Omega\text{m}$	7560 $\text{kg/m}^3$
	1000 3P				
SMC	Somaloy	350	152 A/m	20000 $\mu\Omega\text{m}$	7440 $\text{kg/m}^3$
	130i 5P				

表中、透磁率は、( $\mu_r$ )であり、磁気保磁力は、( $H_c$ )である。

【0021】

以降のさらなる実験は、SMCまたはフェライト材料で作られた従来の固定子コアが、固定子ヨーク材料によってトルクの低減および損失の増加をもたらすことを判明した。材料の透磁率が低いためと考えられる理由によって、試験モータの単位エアギャップ面積当たりのせん断応力発生量が低減するなどのマイナス面もあった。また、一部の試験モータでは、透磁率の低下により、漂遊磁場の発生が抑制された。言い換えれば、回転子に低透

磁率の材料を使用すると、回転子本体の磁場強度の低下が大きくなり、発生トルクが低減する可能性がある。また、この種のモータにSMCを使用すると、SMCの保磁力が従来の電気積層体よりも高いため、モータのヒステリシス損失も増加する。ヒステリシス損失は、電流が順方向と逆方向に流れる時にコアの磁化および減磁によって引き起こされ得る。磁化力（電流）が大きくなると、磁束は増加する。すなわち、着磁力（電流）が磁石の分子の内部摩擦に抗して発生すると、モータの磁気ヒステリシス損が大きくなり、熱を生成する。生成されたエネルギーは、ヒステリシスによる熱として無駄になり、すなわち、ヒステリシス損失となり、機械にとって望ましくない過程となる。例えば、ヒステリシス損失が望ましくない理由として、過大な電圧供給がモータの電氣的な過負荷を引き起こすことができること、より多くの電流を引き出すオーバーワークが過熱を引き起こすことが挙げられる。モータがより厳しくまたは異常な負荷の下で動作すると、熱が主な副産物となつて、故障につながる。

10

#### 【0022】

上述したように、従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計および従来のアウトランナモータ設計を含むこれらの従来のモータ設計は、完全には利用されていない大きな体積を有し、すなわち、固定子の強磁性コア材料の大部分が磁束を誘導するために利用されておらず、低いトルク対質量比または比トルクをもたらすため、従来のモータのトルク生成には有益ではない。

#### 【0023】

いくつかの他の実験は、モータで行われたコア材料によるトルクの低減および損失の増加に関する試験を含む。いくつかの実験は、固定子ヨークの磁束が3次元である軸方向磁束と径方向磁束を組み合わせたモータを使用した。この試験用モータの試験条件では、固定子ヨークに全方向の渦電流が発生するため、低バルク導電率を達成するために、軟磁性複合体（SMC）またはフェライト材料で固定子コアを形成した。しかしながら、従来の電気積層体を使用することができないため、この試験モータは、目的を達成することができなかつた。電気積層体は、この種の試験モータに利用することができないため、固定子ヨーク材料によってトルクが低下し、損失が増加する結果となつた。これらの結果をさらに検討すると、従来のアウトランナモータにも上記と同様の効果があつたことが分かつた。

20

#### 【0024】

したがって、実験をさらに進め、2つの異なるSMC材料および電気積層体の物理特性および磁気特性を比較した。分かつたことは、SMC材料は、電気積層体よりも著しく低い透磁率（ $\mu_r$ ）を有することである。また、SMC材料の磁気保磁力（ $H_c$ ）は、電気積層体よりも大きい。電気積層体からなるコアを用いた従来の径方向磁束モータと比較すると、SMCコアを用いたモータは、より低いトルクおよびより高いヒステリシス損失を有していた。また、コア材料の非効率的な使い方を検証する別の実験も行った。例えば、軸方向磁束と径方向磁束とを組み合わせた試験モータを試験したところ、磁束は、殆どの場合、固定子または回転子コアの体積を完全に貫通することができない。この発見により、コア材料が非効率的に使用されていることが分かり、また、トルク対質量比が比較的低いことも分かつた（すなわち、この分析は、従来のアウトランナモータ設計に関連するものであつた）。

30

40

B. 軸方向磁束および径方向磁束モータ設計およびアウトランナモータ設計用の別個の電気積層体からなる固定子コア

#### 【0025】

いくつかの実施形態は、軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計およびアウトランナモータ設計が、電気積層体で作られていない固定子を有する従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計または従来のアウトランナモータ設計と比較して、モータの比トルクのレベルを改善するであろう電気積層体からなる固定子を使用するように構成され得るといふ別の認識に基づいている。上述したように、従来の電気積層体の製造プロセスは、従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ設計お

50

び従来のアウトランナモータ設計に使用することができない。例えば、電気積層体を用いて従来のモータを製造する場合、鋼板積層体の厚さは、通常、0.014インチから0.025インチの間である。より厚い積層体が稀であるが、性能を改善するためにより薄い積層体を使用することもある。まず、各積層体は、ブランクシートから所望の磁気設計に加工する必要がある。従来に最も広く使用されている方法は、打ち抜き、化学エッチングおよびレーザ切断である。次に、これらの積層体を積層する必要がある。従来の方法は、リベット留め、ボルト留め、溶接、接着およびデンプルの使用を含む。SMCコアを用いた従来のモータ設計の場合、材料は、薄いシートの形ではない。したがって、積層モータのように薄い金属シートを取り扱うプロセスを使用することができない。

#### 【0026】

しかしながら、本開示に従って、これらの種類のモータの、SMCまたはフェライト材料から作られた固定子コアを、プラスチックまたはガラス繊維などの非強磁性材料に置換することによって、従来の電気積層体を利用して固定子を製造することが可能になった。この発見により、軸方向磁束および径方向磁束のモータ設計およびアウトランナモータ設計を含む新しいモータ設計構成は、従来の電気積層体を用いて作製され、後で組み立てられる別個の軸方向磁束および径方向磁束の固定子ヨークならびにアウトランナ固定子ヨークを含む固定子組立体を有することができるという認識につながった。この独特の固定子設計は、次のこと、すなわち、(1)従来の電気積層体を使用することによって固定子の製造コストを低減すること、(2)より高い材料透磁率によって、モータの総トルクを増加すること、(3)モータの総比トルク(単位質量当たりのトルク)を増加すること、(4)従来の電気積層体で作られていない固定子を有する固定子組立体を有する同じサイズの従来のモータ設計と比較して、より低いヒステリシス損失を有することを提供した。

#### 【0027】

本開示の実施形態のこの独特の固定子設計のいくつかの利点は、同じサイズの従来の軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータの回転子の表面上のトルク発生面積と比較した場合、回転子の表面上のトルク発生面積(すなわち、トルクを生成することができる回転子と固定子との表面積)の増加を含むことができる。また、本開示の実施形態のこの独特の固定子設計は、エアギャップにおいてほぼ一定のせん断応力の発生を含むことができ、これは、モータの全体の立方体面積/サイズ、すなわち、モータの全体積を増加させることなくトルク発生面積を増加させ、その結果、同じサイズの同種の従来のモータの総体積のトルク発生面積と比較して、モータのトルク密度を効果的に改善する。

#### 【0028】

多くの利点の中でも、非強磁性材料を固定子コアの中心体積として使用するこの革新的な固定子コア設計の他の利点は、同じサイズの同種の従来のモータ設計と比較して、モータの総重量を効果的に低減し、したがって、モータのトルク対質量比を改善する。これは、非強磁性材料が強磁性材料よりも遥かに低い密度を有するため、同じ体積の強磁性材料をより軽い非強磁性材料に置換することによって、モータ全体の質量を削減することができるからである。

#### (C) トロイダル巻線特徴

#### 【0029】

本開示のいくつかの利点を有するさらに別の特徴は、スロットを有する環状の固定子ヨークを有する固定子を有するトロイダル巻線特徴を含むことができ、巻線は、トロイダル形状の固定子組立体を形成するコアに巻き付けられる。コアに巻き付けられた巻線は、トロイダル巻線と呼ばれるパターンを有する。本開示のトロイダル巻線の少なくとも1つの使用は、座巻きの長さを減らし、ひいてはモータの銅損を減らすのに役立つ、したがって、少なくとも同じサイズの同種の従来のモータと比較した場合、モータの全体的な効率を改善する。

#### 【0030】

本開示のいくつかの実施形態は、直接駆動モータが以下の多くの理由で魅力的であるため、直接駆動用途のために構成される。(a) ギアボックスの排除は、アクチュエータ組

10

20

30

40

50

立体の体積を効果的に減少させ、システムをよりコンパクトにすることができる。(b)ギアボックス故障は、ギア付きモータの主要な故障モードの1つであり、直接駆動モータの使用は、信頼性の面で有利である。(c)ギアボックスのないより単純なアクチュエータ組立体は、システムのコストを低減するのに役立つことができる。(d)ギアボックスは、一般に、バックラッシュヒステリシス、非線形クーロン摩擦などの非線形動力学を有するため、システムの動的性能を損なう可能性があり、精密用途には好ましくない。このような背景から、直接駆動用途のモータを実現するために、モータ技術に一連の革新を行った。本開示の実施形態によって構成された直接駆動モータは、同じサイズおよび種類の従来の非直接駆動電気機械と比較して、より高い超高トルク発生能力、より低い公称速度、より高い比トルク(単位質量当たりのトルク)、より高いトルク密度(単位全体積当たりのトルク)、より高い相対効率、より小さいトルクリップル、より小さい全体積またはコンパクトなフォームファクタなどのいくつかの特徴を有することができる。

10

#### 【0031】

非強磁性コアを有する径方向磁束および軸方向磁束を組み合わせたモータを有する他の試験モータ設計のいくつかの態様は、固定子巻線のコアとして機能する構造を含む。これらの試験モータ設計のいくつかは、共通の固定子担持構造に配置された固定子パケットと、共通の回転子担持構造に配置された回転子パケットとを含む。回転子パケットは、固定子パケットの少なくとも1つと電磁的に相互作用している。また、内側回転子担持構造および回転子パケットは、外側固定子担持構造と固定子パケットとの間で回転する。固定子パケットの少なくとも1つは、いくつかの試験モータ設計では径方向に沿って、いくつかの他の試験モータ設計では軸方向に沿って、回転子担持構造の両側に配置される。さらに別の試験モータ設計は、径方向に沿って周囲に配置された固定子パケットの少なくとも1つをさらに含む。いくつかの試験モータ設計において、相互作用する固定子パケットおよび回転子パケットは、パケット間のエアギャップ内の磁束が主に径方向に沿ってエアギャップを横切るように配置されている。さらに、他の試験モータ設計において、相互作用する固定子パケット(12a~e)および回転子パケット(14a~d)は、相互作用するパケットの一部の間のエアギャップ内の磁束が主に径方向に沿ってエアギャップを横切るように配置されている。

20

#### 【0032】

しかしながら、後で分かったことは、これらの試験モータ設計の全ては、「軸方向のずれが生じた場合に、回転子に軸方向の力がかからないモータである」という機能性を有することである。一方、このような試験モータ設計を検討した結果、後に分かったことは、構造と機能の両方が異なることである。対照的に、本開示の実施形態は、上記の試験モータ設計とは形状および位置の両方が異なる構造と、異なる構造の固定子組立体の中心ピースとを含む。本開示の実施形態が提供した別の違いは、上記の試験モータ設計に比べて、さらなる機械支持を提供すると共に、低減された重量、低減された損失を有するモータ設計の機能性であった。

30

#### 【0033】

本開示の一実施形態によれば、機軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械であって、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を備え、固定子組立体は、固定子コアの第1の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第1の軸方向磁束固定子ヨークと、固定子コアの第2の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第2の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、径方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、径方向磁束固定子ヨーク、第1の軸方向磁束固定子ヨーク、および第2の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置された巻線を含む。

40

50

## 【 0 0 3 4 】

本開示の別の実施形態によれば、軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械であって、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、回転子は、固定シャフトに回転可能に取り付けられており、固定子組立体を備え、固定子組立体は、非強磁性材料からなる固定子コアを含み、固定子コアは、第1の端壁と、第2の端壁と、周方向に沿って固定子コアの周囲に配置された連続的な外壁とを含み、固定子コアの第1の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第1の軸方向磁束固定子ヨークと、固定子コアの第2の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第2の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、径方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、径方向磁束固定子ヨーク、第1の軸方向磁束固定子ヨーク、および第2の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置された巻線を含み、固定子組立体は、回転子が回転する固定シャフトと同じ固定シャフトに固定され、トルク作用を伝達し、トルク力を生成する。

10

## 【 0 0 3 5 】

本開示の別の実施形態は、軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械である。この電気機械は、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子と、固定子組立体とを備え、固定子組立体は、シャフトに取り付けられた固定非強磁性固定子コアと、軸方向のスロットを有する第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークと、固定非強磁性固定子コアの外径面に配置され、スロットを有する径方向磁束固定子ヨークと、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置された1組のトロイド状多相巻線と、シャフトに回転可能に取り付けられ、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークと係合する2つの軸方向磁束回転子組立体とを含み、各軸方向磁束回転子組立体は、軸受の外輪に強固に取り付けられた軸方向磁束回転子ハウジングと、軸方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた軸方向磁束回転子バックアイロン (back-iron) と、軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた軸方向磁束永久磁石アレイとを含み、両方の軸方向磁束回転子ハウジングに強固に接続され、径方向磁束固定子ヨークに回転可能に係合する径方向磁束回転子組立体を含み、径方向磁束回転子組立体は、両方の軸方向磁束回転子ハウジングに強固に取り付けられた径方向磁束回転子ハウジングと、径方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた径方向磁束回転子バックアイロンと、両方の軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた径方向磁束永久磁石アレイとを含む。

20

30

## 【 0 0 3 6 】

本開示の別の実施形態は、システムであって、軸方向磁束および径方向磁束 (AFARF) モータに関連するセンサから信号を受信するトランシーバと、信号を受信し、AFARFモータのトルクの基準軌道を追跡するために、AFARFモータの多相電圧または電流の1つまたは組み合わせの値を指定する制御信号を生成するように構成されたデジタルコントローラとを備え、AFARFモータは、AFARFモータによって位置が制御され且つデジタルコントローラによって制御可能な負荷を有し、AFARFモータは、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を含み、回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を含み、固定子組立体は、固定子コアの第1の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第1の軸方向磁束固定子ヨークと、固定子コアの第2の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第2の軸方向磁束固定子ヨークとを含み、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークはそれぞれ、スロットを有する外壁を含み、スロットを有する径方向磁束固定子ヨークを含み、径方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁を有し、径方向磁束固定子ヨーク、第1の軸方向磁束固定子ヨーク、および第2の軸方向磁束固定子ヨークは、積層シートを含み、トロイド形

40

50

状の固定子組立体を形成する第 1 の軸方向磁束固定子ヨークおよび第 2 の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置された巻線と、システムは、デジタルコントローラおよび A F A R F モータと通信するインバータを備え、インバータは、A F A R F モータの基準軌道と測定トルクとの間の誤差が所定の誤差閾値を上回る場合、誤差を低減するために、生成された制御信号に従って生成された多相電圧および電流を A F A R F モータの多相巻線に供給するように構成されている。

【 0 0 3 7 】

以下、添付の図面を参照して本開示の実施形態をさらに説明する。図面は、必ずしも一定の縮尺で描かれていない。その代わりに、本開示の実施形態の原理を示すために、図面を強調する場合がある。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 8 】

【図 1】本開示の一実施形態に従って、モータの断面図を示す概略図である。

【図 2 A】本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体の等角図を含むモータ固定子組立体を示す概略図である。

【図 2 B】本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体の分解図を含む図 2 A のモータ固定子組立体を示す概略図である。

【図 3】本開示のいくつかの実施形態に従って、軸方向磁束回転子組立体を示す概略図である。

【図 4】本開示のいくつかの実施形態に従って、径方向磁束回転子組立体を示す概略図である。

【図 5】本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体と冷却用の中空シャフトとの間の熱的接続を示す概略図である。

【図 6】本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ駆動および制御システムを示すブロック図である。

【図 7】本開示のいくつかの実施形態に従って、誘導モータを含む機械のコントローラシステムと通信するプロセッサのいくつかのコンポーネントを示す概略図である。

【図 8】本開示のいくつかの実施形態に従って、いくつかのシステムおよび方法を実装するために使用され得る集中型コントローラシステムを示す概略図である。

【図 9 A】本開示のいくつかの実施形態に従って、タイプ I のアウトランナ電気モータを示す概略図である。

【図 9 B】本開示のいくつかの実施形態に従って、タイプ II のアウトランナ電気モータを示す概略図である。

【 0 0 3 9 】

上記の特定の図面は、本開示の実施形態を図示しているが、上記で議論したように、他の実施形態も考えられる。本開示は、限定ではなく例示として、例示的な実施形態を提供する。当業者は、本開示の実施形態の原理の範囲および精神に含まれる多くの他の変形例および実施例を考案することができる。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 0 】

本開示は、一般にモータに関し、より具体的には、別個の電気積層体からなる固定子コアを軸方向磁束および径方向磁束に使用することにより損失を減らしてトルクを改善する、軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせたモータ構成に関する。

【 0 0 4 1 】

図 1 は、本開示の一実施形態に従って、モータの断面図を示す概略図である。本開示のモータ設計は、トルクを生成するための軸方向磁束および径方向磁束を組み合わせた設計を含み、直接駆動用途で適用することができる。例えば、シャフト 1 0 1 は、固定モータシャフトであり、線 1 0 0 は、回転子の回転軸を示す。

【 0 0 4 2 】

固定子組立体 2 0 0 ( 詳細は図 2 A および図 2 B 参照 ) は、機械全体の中心に配置され

10

20

30

40

50

、固定子組立体 200 は、シャフト 101 に固定される。固定モータシャフト 101 は、中空の固定モータシャフトであってもよい（図 5 の 599 を参照）。固定モータシャフト 101 は、冷却チャネルとして使用することができる内面を固定シャフトの中に有することができる。冷却液は、冷却チャネルに流れてモータに生成された熱を取り除くことができる。各固定子組立体 200 は、非強磁性材料で作られた少なくとも 1 つの固定コア 201 と、2 つの軸方向磁束固定子ヨーク 202 A、202 B と、1 つの径方向磁束固定子ヨーク 203 と、1 組の固定子巻線 204 とを含むことができる。

#### 【0043】

2 つの軸方向磁束回転子組立体 300 および 1 つの径方向磁束回転子組立体 400 は、固定子組立体 200 を取り囲むように構成され、回転軸 100 を中心に自由に回転することができる。各軸方向磁束回転子組立体 300 は、1 つの軸方向磁束回転子ハウジング 301 と、1 つの軸方向磁束回転子バックアイロン (back-iron) 302 と、1 つの軸方向磁束永久磁石 (PM) アレイ 303 とから構成されている。径方向磁束回転子組立体 400 は、1 つの径方向磁束回転子ハウジング 401 と、1 つの径方向磁束回転子バックアイロン 402 と、1 つの径方向磁束 PM アレイ 403 とから構成されている。2 つの回転子組立体 300 および 400 は、ねじ締結具 105 を介して強固に接続され、軸受 104 によって支持されている。軸受 103 の軸方向位置は、保持リング 103 によって決められる。

10

#### 【0044】

図 2 A は、本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体の等角図を含むモータ固定子組立体を示す概略図である。

20

#### 【0045】

図 2 B は、本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体の分解図を含む、図 2 A のモータ固定子組立体を示す概略図である。

#### 【0046】

図 2 A および図 2 B を参照して、固定コアまたは少なくとも 1 つのコア 201 は、導電率の低い非強磁性材料、例えばガラス繊維で作られている。固定コア 201 は、内径面にスロットを有する。1 つの径方向磁束固定子ヨーク 203 および 2 つの軸方向磁束固定子ヨーク 202 a および 202 b は、構造用接着剤を介して固定コア 201 に強固に取り付けられる。軸方向磁束固定子ヨーク 202 は、らせん状の電気積層体から構成され、積層方向は、径方向である。円盤状のスパイラルを作製し、放電加工 (EDM) によりスロットをカットすることによって、軸方向磁束固定子ヨーク 202 を作製することができる。一方の径方向磁束固定子ヨーク 203 は、重ね合わせられた電気積層体から構成され、積層方向は、軸方向である。最終的に、固定子巻線 204 は、スロット内の組み立てられた固定子ヨーク (201、202 および 203 を含む) を取り囲むように巻かれる。固定子巻線 204 は、磁性銅線の複数のループからなり、3 相で極対数  $P_s$  を有する。最後に、固定子組立体 200 は、シャフト 101 に取り付けられ、スプラインを介して強固に接続される。コア 201 の内面上の歯は、シャフト 101 の表面上のスロットと係合する。このようにして、固定子組立体 200 をシャフトに固定することができ、大きなトルクを伝達することができる。

30

40

#### 【0047】

図 3 は、本開示のいくつかの実施形態に従って、軸方向磁束回転子組立体を示す概略図である。例えば、図 3 は、1 つの軸方向磁束回転子ハウジング 301 と、1 つの軸方向磁束回転子バックアイロン 302 と、1 つの軸方向磁束 PM アレイ 303 とを含むことができる本開示のモータ用の軸方向磁束回転子組立体 300 を示す。軸方向磁束回転子バックアイロンは、らせん状の電気積層体で作られ、積層方向は、径方向である。軸方向磁束 PM アレイ 303 は、極性が交互に変わる  $2P_r$  個の円弧状磁石からなり、 $P_r$  は、回転子極対数である。磁石は、構造用接着剤を介して軸方向磁束回転子バックアイロン 302 に強固に取り付けられる。軸方向磁束回転子ハウジング 301 は、構造用アルミニウム合金で作られてもよい。組み立てられた 302 および 303 は、同じく構造用接着剤を介して

50

軸方向磁束回転子ハウジング 301 に固定される。

【0048】

図4は、本開示のいくつかの実施形態に従って、径方向磁束回転子組立体を示す概略図である。例えば、図4は、1つの径方向磁束回転子ハウジング401と、1つの径方向磁束回転子バックアイロン402と、1つの径方向磁束PMアレイ403とを含むことができる本開示のモータ用の径方向磁束回転子組立体400を示す。径方向磁束回転子バックアイロンは、重ね合わせられた電気積層体で作られ、積層方向は、軸方向である。径方向磁束PMアレイ403は、極性が交互に変わる $2P_r$ 個の円弧状磁石を含むことができる。磁石は、構造用接着剤を介して径方向磁束回転子バックアイロン402上に強固に取り付けられる。径方向磁束回転子ハウジング301は、構造用アルミニウム合金で作られてもよく、軸方向表面にはテーブ穴が配置される。最後に、組み立てられた402および403は、圧入によって径方向磁束回転子ハウジング301に固定される。

10

【0049】

3相電流で固定子コイルを励磁すると、固定子は、回転磁場を生成する。この回転磁場は、回転子磁場と相互作用することによって回転子にトルクを生成し、回転子を加速したり負荷を駆動することができる。モータ設計が

$$P_r = P_s \quad (1)$$

である場合、モータは、通常の表面実装型永久磁石同期モータ(PMSM)を形成する。

【0050】

モータパラメータに以下の関係である場合、

$$P_r = Z_s \pm P_s \quad (2)$$

式中、 $Z_s$ は、202および203の固定子スロット数であり、モータは、パーニア永久磁石モータ(VPM)を形成し、基本高調波エアギャップ磁束および固定子歯高調波エアギャップ磁束の両方がトルクの発生に関与する。このモータは、磁気ギアリング効果を利用しているため、通常のPMSMに比べて大きなトルクを発生することができる。本発明のモータトポロジーは、通常のPMSMモータとVPMモータの両方で使用することができる。

20

【0051】

図5は、本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ固定子組立体と冷却用の中空シャフトとの間の熱的接続を示す概略図である。例えば、図5は、固定子コイル204がスロット内に組み立てられた固定子ヨーク201、202および203の周りに巻き付けられていることを示す。固定子ヨーク201と固定子コイル202の間には、電気絶縁体501の薄層が形成されている。絶縁体501は、ポリマイドフィルムまたは電気機械用の他の標準的なスロット絶縁材料で作ることができる。固定子組立体がシャフト上に適切に配置された後、固定子コイル202は、熱伝導性でありながら電気絶縁性のエポキシ502を介してシャフト101と接触する。このエポキシ層502は、熱をコイルからシャフトに、さらに冷却チャンネル599に効果的に伝導することができる。

30

【0052】

図6は、本開示のいくつかの実施形態に従って、モータ駆動および制御システムを示すブロック図である。例えば、図6は、本発明のモータの制御システムのブロック図を示す。本発明のモータ606は、接続部615を介して負荷607に接続される。モータの角度位置は、エンコーダおよびホール効果センサなどの位置センサ(図示せず)によって測定され、測定された角度位置信号616は、デジタルリアルタイムコントローラ601のアナログ/デジタル変換器にフィードバックされる。基準軌道信号611は、基準軌道生成部602によって生成される。モータの測定位置616および基準軌道611の両方は、モーションコントローラ603に供給され、モーションコントローラ603は、デジタルPWM信号の形で制御努力(control effort)信号612を生成する。DC電源604は、インバータ605のDCバスを供給する高電圧DC電力613を生成する。PWM信号612は、インバータ605のゲートを制御し、インバータ605は、高電圧信号614を生成し、モータ606の巻線に通電する。このような制御システムは、モータの位

40

50



置を基準軌道に追従するように制御することができる。

【 0 0 5 3 】

図 7 は、本開示のいくつかの実施形態に従って、PM 機械または同種の機械などの機械（図示せず）の制御システム 7 6 2 に接続されたプロセッサ 7 4 0 を含むコンピューティングシステム 7 0 7 のいくつかのコンポーネントを示す概略図である。例えば、プロセッサ 7 4 0 は、機械（図示せず）に近接して配置されてもよく、または機械の内部に配置されてもよい。プロセッサ 7 4 0 は、環境（図示せず）内に位置し、プロセッサ 7 4 0 および機械（図示せず）の感知距離内に配置されたセンサ 7 3 0 に接続することができる。センサ 7 3 0 は、機械（図示せず）と共に使用されるカメラ、ビデオカメラ、速度センサ、光センサ、環境関連センサ（すなわち、温度、湿度、火災、空気、水、気圧計センサなど）であってもよい。センサ 7 3 0 は、ネットワーク 7 3 2 がセンサ 7 3 0 の動作距離の範囲にあり得るように、ハードワイヤで接続されてもよく、および/またはワイヤレスで接続されてもよい。

10

【 0 0 5 4 】

プロセッサ 7 4 0 は、バスシステム 7 2 2 に接続され、バスシステム 7 2 2 は、記憶装置 7 4 2 に接続されている。記憶装置 7 4 2 は、データベース 7 4 4、命令データベース 7 4 6、履歴データベース（図示せず）、命令履歴データベース（図示せず）、環境データベース（図示せず）、機械の動作に関連する機械データベース（図示せず）を含むことができ、他のデータベース（図示せず）は、動作に関するデータおよび機械の最適化、管理または動作に使用可能な情報を含むことができる。各ユーザ/オペレータの特定の動作構成/構造/特殊なニーズ/機械の意図した使用感度に応じて、多くの異なる構成が考えられる。

20

【 0 0 5 5 】

引き続き図 7 を参照して、メモリ 7 4 8 は、受信機インターフェイス 7 5 1、受信機 7 5 2、および電源 7 5 5 と共に、バスシステム 7 2 2 に接続されている。電源 7 5 5 は、特定のユーザ/オペレータが意図した動作の特殊なニーズに応じて、バスシステム 7 2 2 に接続されてもよく、制御インターフェイス 7 5 3 に接続されてもよく、または多数の他の構成を有するように構成されてもよい。電源は、電気、再生可能エネルギー源、化学物質、および機械に直接接続されること、異なる種類の複数の外部電源を有すること、またはその両方であることが可能である。送信機インターフェイス 7 5 7 および送信機 7 5 9 は、バスシステム 7 2 2 に接続されている。また、ネットワークインターフェイスコントローラ（NIC）7 5 0（ネットワークインターフェイスカード、ネットワークアダプタ、LAN アダプタ、または物理ネットワークインターフェイスとしても知られ、同様の用語により、コンピュータをコンピュータネットワークに接続するコンピュータハードウェア要素）は、バスシステム 7 2 2 に接続され、ネットワーク 7 3 2 または他の異なる種類のワイヤレスネットワーク（図示せず）と通信することができる。この場合も、意図した使用のためにユーザ/オペレータによって必要とされる操作および感度の特殊なニーズに応じて決まる。

30

【 0 0 5 6 】

制御モジュール 7 6 0 は、バスシステム 7 2 2 に接続することができる。制御モジュール 7 6 0 は、機械制御コンピュータ 7 6 2 のコンポーネントを指示することを支援する機械制御コンピュータ 7 6 2 に接続することができる。いくつかのコンポーネントは、非限定的な実施例として、コンポーネント 1 7 6 4、コンポーネント 2 7 6 6、コンポーネント 3 7 6 8、および他の機械関連コンポーネント 7 6 9 を含むことができ、これらは、全て 7 7 1 を介して、機械制御コンピュータ 7 6 2 および/または制御モジュール 7 6 0 に接続されてもよい。制御モジュール 7 6 0 は、機械コンポーネントの状態を一度確認し、報告するように機械制御コンピュータ 7 6 2 から構成され、機械の管理、動作の最適化/性能、ならびに他の関連するサービスおよび監視能力を提供することができる。機械制御コンピュータは、ユーザの特殊な要求に応じて、電力を機械（図示せず）に提供する任意の電源、例えば、電力アダプタまたは充電式バッテリーパックを含む電力モジュール

40

50

774を備えることも考えられる。

【0057】

引き続き図7を参照して、プロセッサ740は、メモリ748、記憶装置742に記憶されている、またはネットワーク732を介してクラウド記憶装置からアクセスする命令を実装または実行することができる。具体的には、プロセッサ740は、前述したように、データベース744、命令データベース746からのデータ、または他のデータベース（図示せず）からの他のデータを含む、事前に記憶されたデータにアクセスすることができる。

【0058】

引き続き図7を参照して、機械制御コンピュータ762は、本開示のモデルの態様に関連する機械の1つ以上のコンポーネントにコマンドを提供し、変更を実施する。コンピュータシステム707は、機械のコンポーネント764、766、768に接続されたセンサ制御部773を含むことができると考えられる。また、いくつかのコンポーネントのセンサ（すなわち、機械、または機械の任意の他のコンポーネント、または機械に関連するコンポーネントに関連するセンサ）および他のコンポーネント（図示せず）を利用することができることも考えられる。複数の種類のセンサを機械の領域上または領域の中に配置することができることも考えられる。

【0059】

センサ制御コンピュータ773は、ソフトウェア（図示せず）を記憶するメモリ（図示せず）に接続されたハードウェアプロセッサ（図示せず）を含むことができる。このハードウェアプロセッサ（図示せず）は、メモリ（図示せず）に記憶された命令を実装または実行ことができ、任意のセンサデータを受信すると、受信データを記憶データと比較し、センサデータ/信号、例えば警告メッセージ、機械の1つ以上のコンポーネントに関連する性能レベルなどを機械制御コンピュータ762または機械もしくはコンピュータシステム707の他のコンポーネントに送信することができる。本実施形態のシステムおよびコンポーネントの別の態様において、ソフトウェアもしくはハードウェア、またはそれらの何らかの組み合わせは、ローカル記憶装置を介して、またはクラウドベースのシステムを介して実装されてもよい。

【0060】

さらに、制御またはコントローラモジュール760は、本開示の方法を実施するための異なるアプリケーションおよびプログラムを含むことができる。例えば、制御モジュール760は、グラフ、機械が位置する環境の3Dモデルを含む操作関連モデルを生成するなど、機械制御コンピュータ762から受信した情報を処理するためのアプリケーションを含むことができる。制御モジュール760は、入力回路/インターフェイスモジュール780、記憶モジュール782を介して受信した制御入力または入力信号を解釈し、コマンド/アクションを生成するためのアプリケーションを含むことができる。

【0061】

図8は、本開示のいくつかの実施形態に従って、ユーザの特定の目的に応じて、いくつかの方法を実施するために使用することができるまたは図7のプロセッサと組み合わせることができる集中型コントローラシステムを示す概略図である。例えば、集中型コントローラシステムは、ラップトップ、デスクトップ、ワークステーション、携帯情報端末、サーバ、ブレードサーバ、メインフレーム、および他の適切なコンピュータなどの様々なデジタルコンピュータを表すコンピューティング装置であってもよい。

【0062】

集中型コントローラシステム800は、全てがバス850に接続されている電源808、プロセッサ809、メモリ810、および記憶装置811を含むことができる。さらに、高速インターフェイス812、低速インターフェイス813、高速拡張ポート814および低速接続ポート815をバス850に接続することができる。また、バス850には低速拡張ポート816が接続されている。非限定的な例として、特定の用途に応じて、様々なコンポーネントを共通のマザーボード830上に搭載されてもよい。さらに、入力イ

10

20

30

40

50

ンターフェイス 817 は、バス 850 を介して外部受信機 806 および出力インターフェイス 818 に接続されてもよい。受信機 819 は、バス 850 を介して外部送信機 807 および送信機 820 に接続されてもよい。また、バス 850 には、外部メモリ 804、外部センサ 803、機械 802、および環境 801 を接続することができる。さらに、1つ以上の外部入出力装置 805 をバス 850 に接続することができる。バス 850 を介してネットワーク 822 に接続するようにネットワークインターフェイスコントローラ (NIC) 821 を構成することができる。データまたは他のデータは、とりわけ、コンピュータ装置 800 の外部の第三者ディスプレイ装置、第三者撮像装置、および/または第三者印刷装置上でレンダリングすることができる。

#### 【0063】

メモリ 810 は、集中型コントローラシステム 800 によって実行可能な命令、履歴データ、ならびに本開示の方法およびシステムによって利用され得る任意のデータを記憶することができる。メモリ 810 は、ランダムアクセスメモリ (RAM)、読み取り専用メモリ (ROM)、フラッシュメモリ、または任意の他の好適なメモリシステムを含むことができる。メモリ 810 は、揮発性メモリユニットおよび/または不揮発性メモリユニットであってもよい。また、メモリ 810 は、磁気ディスクまたは光ディスクなどの別の形態のコンピュータ可読媒体であってもよい。

#### 【0064】

引き続き図 8 を参照して、コンピュータ装置 800 によって使用される補足データおよび/またはソフトウェアモジュールを記憶するように記憶装置 811 を構成することができる。例えば、記憶装置 811 は、本開示に関して上述したように、履歴データおよび他の関連データを記憶することができる。追加的にまたは代替的に、記憶装置 811 は、履歴データ、例えば、本開示に関して上述したデータを記憶することができる。記憶装置 811 は、ハードドライブ、光学ドライブ、サムドライブ、ドライブのレイ、またはそれらの任意の組み合わせを含むことができる。さらに、ストレージ装置 811 は、フロッピー (登録商標) ディスク装置、ハードディスク装置、光ディスク装置、テープ装置、フラッシュメモリまたは他の同様の固体メモリ装置、記憶領域ネットワークまたは他の構成の装置を含む装置レイなどのコンピュータ可読媒体を含むことができる。命令は、情報担体に格納することができる。命令は、1つ以上の処理装置 (例えば、プロセッサ 809) によって実行されると、上述した1つ以上の方法を実行する。

#### 【0065】

システムは、必要に応じてバス 850 を介して、システムをディスプレイ装置 825 およびキーボード 824 に接続するように構成されたディスプレイインターフェイスまたはユーザインターフェイス (HMI) 823 にリンクすることができる。ディスプレイ装置 825 は、特にコンピュータモニタ、カメラ、テレビ、プロジェクタ、またはモバイル装置を含むことができる。

#### 【0066】

引き続き図 8 を参照して、集中型コントローラシステム 800 は、プリンタインターフェイス (図示せず) に構成されたユーザ入力インターフェイス 817 を含むことができ、このプリンタインターフェイスは、バス 850 を介して印刷装置 (図示せず) に接続するように構成されてもよい。印刷装置は、特に液体インクジェットプリンタ、固体インクプリンタ、大型商用プリンタ、熱プリンタ、UVプリンタ、または昇華型プリンタを含むことができる。

#### 【0067】

高速インターフェイス 812 は、コンピューティング装置 800 の帯域幅集約型動作を管理し、低速インターフェイス 813 は、より低い帯域幅集約型動作を管理する。このような機能の割り当ては、例示に過ぎない。いくつかの実装形態では、高速インターフェイス 812 は、メモリ 810、ユーザインターフェイス (HMI) 823、(例えば、グラフィックスプロセッサまたはアクセラレータを介して) キーボード 824 およびディスプレイ 825 に結合されてもよく、バス 850 を介して様々な拡張カード (図示せず) を受

10

20

30

40

50

け入れ得る高速拡張ポート 814 に結合されてもよい。この実装形態では、低速インターフェイス 813 は、バス 850 を介して記憶装置 811 および低速拡張ポート 815 に結合されている。様々な通信ポート（例えば、USB、ブルートゥース（登録商標）、イーサネット（登録商標）、無線イーサネット（登録商標））を含み得る低速拡張ポート 815 は、1 つ以上の入力 / 出力装置 805、キーボード 824、ポインティング装置（図示せず）、スキャナ（図示せず）などの他の装置、またはネットワークアダプタを介して、例えばスイッチまたはルータなどのネットワーク装置に結合されてもよい。

#### 【0068】

引き続き図 8 を参照して、集中型コントローラシステム 800 は、図示のように、いくつかの異なる形態で実装されてもよい。例えば、集中型コントローラシステム 800 は、標準サーバ 826 として実装されてもよく、またはこのようなサーバのグループにおいて複数回実装されてもよい。また、集中型コントローラシステム 800 は、ラップトップコンピュータ 827 などのパーソナルコンピュータとして実装されてもよい。また、集中型コントローラシステム 800 は、ラックサーバシステム 828 の一部として実装されてもよい。代替的に、コンピューティング装置 800 のコンポーネントは、モバイル装置用に構成された異なるコンポーネントを有するモバイルコンピューティング装置など、モバイル装置（図示せず）の他のコンポーネントと組み合わせられてもよい。

10

#### 【0069】

図 9 A および図 9 B は、本開示のいくつかの実施形態に従って、アウトランナ電気モータを概略図である。図 9 A は、タイプ I のモータを示し、図 9 B は、タイプ II のモータを示している。

20

#### 【0070】

例えば、図 9 A は、内部に固定子および巻線を有するタイプ I の機械を示しているが、巻線は、トロイダル巻線ではなく、通常の分布巻線である。回転子、回転子コアおよび磁石は、外側にあり、回転子バーおよびエンドリングを有する。本開示の実施形態は、回転子バーおよびエンドリングを有しない。

#### 【0071】

また、図 9 B は、内部に固定子、巻線および固定子コアを有するタイプ II の機械を示しているが、巻線は、トロイダル巻線ではなく、通常の集中巻線である。回転子、回転子コアおよび磁石は、外側にある。しかしながら、上記の種類機械は、いずれも軸方向磁束部を有しないが、本開示の実施形態は、軸方向両端に固定子および回転子の 2 つの軸方向磁束部を有する。

30

実際の適用

#### 【0072】

本開示の実施形態は、軸方向磁束モータ設計および径方向磁束組み合わせたモータ設計と、ギアボックスなしの直接駆動用途で構成されたアウトランナ電気モータ設計とを含む、改良されたモータ構成を提供する実施形態を含む。これらの実施形態は、別個の電気積層体からなる固定子ヨークを軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークに用いる固定子組立体を含む。電気積層体のいくつかの特性は、モータのトルクを増加させ、モータのヒステリシス損失を減少させることを含んでもよい。また、別個の電気積層体からなる固定子ヨークを有する固定子組立体を組み込むことによって、固定子コアの中心体積を非強磁性材料に置換することができ、モータの総重量を効果的に低減し、したがってモータのトルク対質量比を改善することができる。上記の利点および利益、ならびに他の利点および利益のうち、本開示の実施形態は、多くの異なる種類の用途、例えば、機械室のないエレベータ、ロボットマニピュレータ、精密回転ステージ、および電気自動車用インホイール駆動装置に利用することができる。

40

#### 【0073】

汎用ドライバ用の従来の電気モータと比較すると、直接駆動モータを対象とし、直接駆動モータに組み込まれた本開示の実施形態は、超高トルク密度、低公称速度、およびコンパクトなフォームファクタを有する比較的高い効率を有するなどの特定の動作特性を提供

50

する。例えば、本開示の実施形態は、高い比トルク（単位質量当たりのトルク）、高いトルク密度（単位全体積当たりのトルク）を達成する。直接駆動モータ設計を有する本開示の実施形態の他の態様は、上述したように、コンパクトな形態を有すると共に、比較的高い効率、小さいトルクリップルを含むことができる。

#### 【0074】

したがって、本開示の実施形態の革新的なモータ設計構成は、特に、ロボットマニピュレータ、精密回転ステージ、および電気自動車用インホイール駆動装置などの多くの異なる用途に利用されるように構成されている。その理由は、少なくとも本明細書に記載されたように、これらの用途は、同じサイズおよび種類の従来のモータよりも性能が優れており、増加したトルクおよび比トルク、コンパクトなサイズ、全体重量の減少、本明細書に

10

#### 【0075】

また、本開示の実施形態の革新的なモータ設計構成の他の用途は、工作機械、産業機械、家電製品、電気自動車などの様々な応用分野を含むことができる。本開示の実施形態のいくつかの他の利益および利点は、従来の電気積層体を利用することにより、すなわち、同じサイズの従来の電気モータと比較した場合に、固定子の製造コストを低減することを含むことができる。さらに、より多くの利益および利点は、（１）材料透磁率の向上によるモータの総トルクの増加、（２）ヒステリシス損失の低減、（３）小型化、（４）総重量の低減、（５）性能の向上を含むことができる。上述した５つの利点は、少なくとも本

20

#### 特徴

#### 【0076】

本開示の実施形態によれば、軸方向磁束および径方向磁束モータである電気機械は、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を備え、回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、非強磁性材料からなる固定子コアを有する固定子組立体を備え、固定子組立体は、固定子コアの第１の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する第１の軸方向磁束固定子ヨークと、固定子コアの第２の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を

30

#### 【0077】

本開示の態様によれば、固定子組立体を含む態様は、シャフトに強固に取り付けられ、第１の軸方向磁束固定子ヨークおよび第２の軸方向磁束固定子ヨークは、軸方向のスロットを有し、径方向磁束固定子ヨークは、固定子コアの連続的な外壁の外径面に設けられたスロットを有し、巻線は、第１の軸方向磁束固定子ヨークおよび第２の軸方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロットに配置された１組のトロイド状多相巻線を含む。一態様は、軸受を介してシャフトに回転可能に取り付けられ、第１の軸方向磁束固定子ヨークおよび第２の軸方向磁束固定子ヨークと係合する２つの軸方向磁束回転子組立体をさらに備え、各軸方向磁束回転子組立体は、軸受の外輪に強固に取り付けられた軸方向磁束回転子ハウジングと、軸方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた軸方向磁束回転子バックアイロンと、軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた軸方向磁束永久磁石アレイとを含む。

40

50

## 【 0 0 7 8 】

別の態様は、軸方向磁束回転子ハウジングに強固に接続され、径方向磁束固定子ヨークに回転可能に係合する径方向磁束回転子組立体をさらに備える。径方向磁束回転子組立体は、軸方向磁束回転子ハウジングに強固に取り付けられた径方向磁束回転子ハウジングと、径方向磁束回転子ハウジングに取り付けられた径方向磁束回転子バックアイロンと、軸方向磁束回転子バックアイロンに取り付けられた径方向磁束永久磁石アレイとを含む。一態様は、2つの軸方向磁束回転子組立体の軸方向磁束永久磁石アレイおよび径方向磁束永久磁石アレイはそれぞれ、異なる極性を有してもよい。別の態様は、第1の軸方向磁束固定子ヨーク、第2の軸方向磁束固定子ヨーク、および2つの軸方向磁束回転子組立体の軸方向磁束回転子バックアイロンは、らせん状の電気積層体から作られるか、または径方向磁束固定子ヨークおよび径方向磁束回転子バックアイロンは、重ね合わせられた電気積層体から作られる。別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、プラスチック、炭素繊維強化ポリマー、ガラス繊維、または鉄を含まない（非鉄系）材料のうちの一つである。別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、1つ以上の非強磁性材料を90%以上含む。

10

## 【 0 0 7 9 】

さらに別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、プラスチック、炭素繊維強化ポリマー、ガラス繊維、または鉄を含まない（非鉄系）材料のうちの一つである。別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、チタン、ガラス繊維、またはアセタールホモポリマーのうちの一つに関連した導電性材料のレベルおよび機械的剛性のレベルを含む。さらに別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、硫化物、炭酸塩またはケイ酸塩鉱物から得られる1種以上の非強磁性金属であり、且つ非磁性材料である。

20

## 【 0 0 8 0 】

一態様では、巻線は、組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、トロイダル巻線と呼ばれる座巻きを有する巻線パターンを含み、トロイダル巻線は、座巻きの長さを減らし、その結果、トロイダル巻線を有しない同様構成の電気機械と比較して、電気機械の全体効率を増加させる。別の態様は、巻線は、銅材料を含み、組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、トロイダル巻線と呼ばれる座巻きを有する巻線パターンを含み、トロイダル巻線は、座巻きの長さを減らし、その結果、モータ巻線の銅損の合計量をもたらす、モータの全体効率を改善する。少なくとも一つの態様は、中空の固定シャフトである固定シャフトをさらに備え、回転子は、軸受を介して固定シャフトに回転可能に取り付けられる。巻線は、シャフトに熱的に接続される。一つの非強磁性コアの内壁の内面上の歯が、固定シャフトの表面上のスロットと係合し、これによって、固定子組立が固定シャフトに固定され、トルク作用を伝達し、トルク力を生成する。巻線とシャフトとの熱的接続は、熱伝導性および電気絶縁性の材料エポキシを用いて形成される。一態様は、軸受をさらに含み、回転子は、軸受を介してシャフトに回転可能に取り付けられ、シャフトは、中空の固定シャフトである。固定子コアおよびシャフトは、固定子コアをシャフトに選択的に結合し嵌合するように構成された結合特徴部を含み、これにより、固定子組立体は、トルク作用を伝達し、角度対応を維持し、トルク力を生成するようにシャフトに固定される。

30

## 【 0 0 8 1 】

一態様によれば、径方向磁束固定子ヨークは、シートを電氣的に積層し、互いに絶縁することによって得られたシート積層体を含み、これらのシートは、実質的に同じ形状を有し、軸方向に沿って互いに積層されるまたは互いに接続される。別の態様は、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークは、電氣的に積層され、互いに絶縁されたシート積層体を含み、シート積層体は、径方向直線に対して軸対称であり、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子ヨークの積層体は、径方向に沿って互いに積層されまたは互いに接続されたシートを含む。さらに別の態様は、径方向磁束固定子ヨークは、環状であり、非強磁性コアの連続的な外壁の外側対向面に強固に取り付けられた連続的な内壁の内側対向面を含む。さらなる態様は、巻線は、シャフトに熱的に接続される。従って、第1の軸方向磁束固定子ヨークおよび第2の軸方向磁束固定子

40

50

ヨークおよび径方向磁束固定子ヨークのスロット内に配置された巻線は、トロイド形状の固定子組立体を形成する。1つの態様は、巻線は、組み立てられた固定子ヨークの周りに巻き付けられ、磁性銅線の複数のループを含み、3相および極対数を有する。別の態様は、固定子コアの非強磁性材料は、硫化物、炭酸塩またはケイ酸塩鉱物から得られる1種以上の非強磁性金属であり、且つ非磁性材料である。

【0082】

別の態様は、永久磁石アレイの極対数を固定子巻線の極対数と同じようにすることによって、同期表面実装型永久磁石モータを形成する、または永久磁石アレイの極対数を固定子スロット数プラスまたはマイナス固定子巻線の極対数と同じようにすることによって、パーニア型永久磁石モータを形成する。

10

【0083】

アウトランナ電動機である電気機械であって、機械軸を中心に回転可能に装着された回転子を含み、回転子は、シャフトに回転可能に取り付けられており、少なくとも1つの非強磁性コアを含む固定子組立体と、固定子コアの第1の端壁の外面に強固に取り付けられた内壁を有する軸方向磁束固定子ヨークと、固定子コアの連続的な外壁に強固に取り付けられた連続的な内壁をする径方向磁束固定子ヨークとを含み、軸方向ヨークまたは径方向ヨークは、積層シートを含み、軸方向磁束ヨークは、スロットを有する外壁を含み、径方向磁束ヨークは、スロットを含み、巻線は、軸方向磁束固定子ヨークまたは径方向磁束固定子ヨークのいずれかのスロットに配置され、固定子コアおよびシャフトは、固定子コアをシャフトに選択的に結合し嵌合するように構成された結合特徴部を含む。

20

定義

【0084】

本開示の態様によれば、実験に基づいて、以下の定義を確立した。もちろん、以下の定義は、各語句または用語の完全な定義ではない。提示された定義は、実験からの学習に基づく例のみとして提供され、他の解釈、定義および他の態様が適切である。しかしながら、以下に提示された定義は、提示された語句または用語の少なくとも単なる基本的プレビューに対して提供される。

【0085】

トルク：トルクは、ボルトまたは自動車用フライホイールなどの回転中の物体に対する回転力の測定値と定義される。トルクは、ボルトまたは自動車用フライホイールなどの回転中の物体に対する回転力の測定値である。ここで再び、基本的な物理法則に戻って、図2に示すように、 $T = F \times r$ 、式中、 $T$  = トルク、 $F$  = 印加力、 $r$  = 力を印加する円弧の半径。トルクは、通常、ニュートンメートル単位またはフィートポンド単位で表される。

30

【0086】

トルク密度：トルク密度は、体積に対するトルク能力の比を、ジュール/立方メートル単位またはフィートポンド/立方フィート単位で表す。つまり、トルク密度は、コンポーネントのトルク搬送能力を各重量および空間エンベロープで測定する。つまり、トルク密度は、コンポーネントのトルク搬送能力を各重量および空間エンベロープで測定する。トルク密度が機械設計において重要な理由とは、機械システムの設計では、トルク密度を用いて、より賢明な設計決断を下すことができることである。消費者製品のたとえを使うなら、購入選択は、増幅器の出力ワット数、または高圧洗浄機のエンジンの定格馬力などの「ブルートフォース」要因に基づいて誤ってなされることが多い。より詳細な検討では、増幅器がそのスピーカに信号を出力する際の効率、または高圧洗浄機が特定の圧力で出力する水量について詳しく調べる。

40

【0087】

製品設計および選択にトルク密度を用いることの見返り：トルクを出力する必要性は、複雑な課題であることが多い。電力または回転速度に基づいた旧来のアプローチでは、不要にかさばるソリューションにつながる可能性がある。トルク密度を主要パラメータとして用いることによって、(a)省スペース化による動作の高効率化、(b)最適なコンポーネント選択によるコスト削減、(c)革新的な設計および新たな製品、(d)よりよく調

50

和したコンポーネントによる装置寿命の延長、(e)モータの小型化によるノイズ低減、などの多数の見返りが達成可能である。トルク密度をまず考慮することにより、設計者、製造業者、およびエンドユーザの全てが、より賢明な機械設計の恩恵を受けることができる。

#### 【0088】

磁化：磁化Mは、物質の原子成分が磁気双極子のように挙動する傾向に起因する。この磁化は、材料内に存在する磁気分極による磁化と、誘発分極による磁化との2つの部分の合計である。前者は1次磁化 $M_{pri}$ であり、後者は2次磁化である。1次磁化は、外部からの励磁がない状態で物質に関連付けられた磁界である。この磁界は、物質内の磁気双極子から発生する。材料の2次磁化は、外部場によって物質内に誘発される分極である。

10

#### 【0089】

モータ巻線：モータ巻線は多くの形状および形態を取り得る。しかしながら、工業用途のACモータでは3相分布巻が最もよく使用されており、本稿ではこれに注目する。以下の記載は、誘導モータにおける、または永久磁石同期モータにおける、この種類の巻線の使用に等しく当てはまる。分布巻の目的は、モータエアギャップ内に正弦波の起磁力(MMF)分布を生成することである。このMMFは、均衡のとれた一連の3相AC電流が相巻線に流れると生成される。MMFは、モータ磁気回路設計と組み合わせられて、エアギャップ内に磁束の進行波を生じさせて必要なモータトルクを生成する。巻線は、絶縁銅から巻かれた数本のコイルで、または場合によってはアルミ線で構成される。数本の電線を平行に接続して1本の導線を形成することができ、次にこれを巻き付けて、数回巻いたコイルにする。巻数は、特定の設計要件によって決まる。分布巻は、以下に示すようにモータステータのスロットに挿入された数本のコイルで構成される。コイルの数は、ステータスロット数、相数(本願の場合は3)、およびモータ極数pによって決まる。各コイルはいくつかのスロットにまたがる。全節巻は、平均スパンが磁極ピッチまたは $360^\circ/p$ と等しいスロット数に対応するコイルを有するのに対して、短節巻はそれよりも少ないスロットにまたがる。以下の図面は、典型的な4極モータの全節巻を示している。巻線の一部はスロットの中にあり、モータトルク生成に寄与する。残りの部分は、モータトルク生成に寄与しないコイル端にある。したがって、高価な銅を無駄にしないように注意深い設計が必要とされる。さらに、良好な熱性能は、高いスロット充填、およびコイル端の熱管理の必要性を高める。これらの要因は、製造プロセスの考慮事項によって制限されることが多い。理想的な分布巻は、MMF空間分布が完全な正弦波になるように無数のスロットの中に配置された無数のコイルを有することになる。これは実際には明らかに不可能であるため、必要な性能を満たすために最良の妥協案を見つける必要がある。相が異なるコイルは、短絡および故障を防ぐために、互いにおよびステータコアから絶縁する必要がある。絶縁によってさらなる熱障壁が形成され、熱障壁によって機械の内部から外部への熱伝達能力が制限される。空隙が巻線同士の間、および、絶縁と、巻線と、ステータコアとの間に生じる。これらの空隙は含浸法を用いて樹脂で充填されるため、熱伝達が改善して巻線絶縁がさらに改善する。

20

30

#### 【0090】

電動機巻線設計：電動機用途についての巻線設計は多種多様である。用途によって、モータ設計に課される要件が異なる。これらの要件のうちいくつかは、巻線設計の影響を受け、(a)効率向上のための高調波損失の最小化、(b)トルク脈動の低減、ならびに(c)音響ノイズおよび振動の低減、を含み得る。同じ電気性能を達成するためのいくつかの巻線レイアウトが可能である。これらのレイアウトの選択は、巻線を製造するために使用される自動化のレベルの影響を大きく受ける製造上の制約によって決定される。

40

#### 【0091】

磁束：磁束は、指定された物理的媒体内の力場の存在、または表面を通るエネルギーの流れである。電子工学では、この用語は任意の静電場および任意の磁場に適用される。磁束は、電荷極もしくは磁極を含む、または電荷極もしくは磁極に交差する面内の「線」として描かれる。

50



## 【 0 0 9 2 】

径方向磁束：径方向磁束モータの磁束は、シャフトの中心に出入りしており、それが半径上であるため、「径方向」と呼ばれる。エアギャップ、つまりロータと磁石との間の空間も、モータを記述することができるが、エアギャップを見た場合、エアギャップは寸法と考えるべきである。

## 【 0 0 9 3 】

トルク：トルクは、その効果が物体を回転させることができる円形力の尺度である。言い換えると、力と距離の積である。このトルクは、ねじり力とも呼ばれる。トルクの S I 単位はニュートンメートルであり、ニュートンメートルはジュールに相当する。トルクの例は、手から力を加えて瓶の蓋を開け閉めすることがあり得る。加える力が大きいほど、トルクが大きくなる。また、スパナを介してナットを締めたり緩めたりするために、および車のステアリングを回すために、トルクが印加される。トルク = 力 × 距離。

10

## 実施形態

## 【 0 0 9 4 】

以下の説明は、例示的な実施形態のみを提供するものであり、本開示の範囲、適用または構成を制限することを意図していない。むしろ、以下の例示的な実施形態の説明は、1 つ以上の例示的な実施形態の実施を可能にするための説明を当業者に与える。添付の特許請求の範囲に記載された主題の精神および範囲から逸脱することなく、要素の機能および配置に対する様々な変更が考えられる。実施形態に対する完全な理解を提供するために、以下の説明において具体的な詳細が与えられる。しかしながら、当業者は、これらの具体的な詳細がなくても、実施形態を実施できることを理解することができる。例えば、不必要な詳細で実施形態を不明瞭にしないように、開示された主題におけるシステム、プロセス、および他の要素は、ブロック図のコンポーネントとして示されてもよい。また、実施形態を不明瞭にしないように、周知のプロセス、構造、および技術は、不必要な詳細なしで示されてもよい。さらに、様々な図面において、同様の参照番号および名称は、同様の要素を示す。いくつかの好ましい実施形態を参照して本開示を説明したが、理解すべきことは、本開示の精神および範囲内で、様々な他の改造および修正を行うことができることである。

20

30

40

50

【 図 面 】  
【 図 1 】

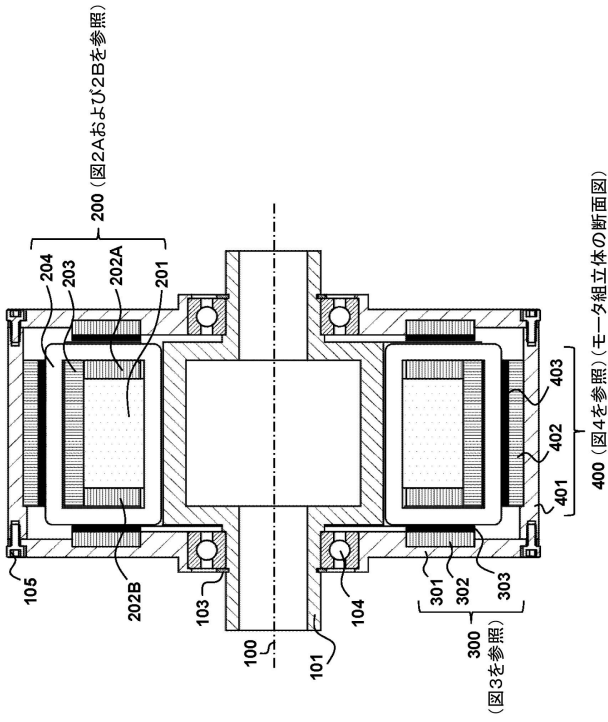


FIG.1

【 図 2 A 】

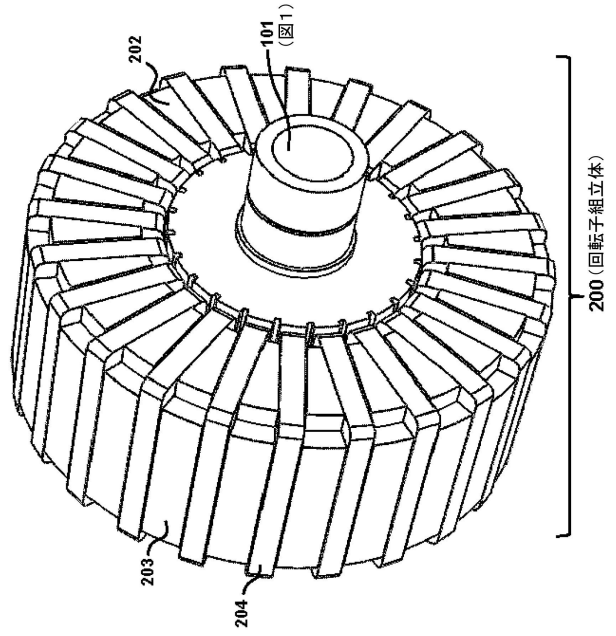


FIG.2A

【 図 2 B 】

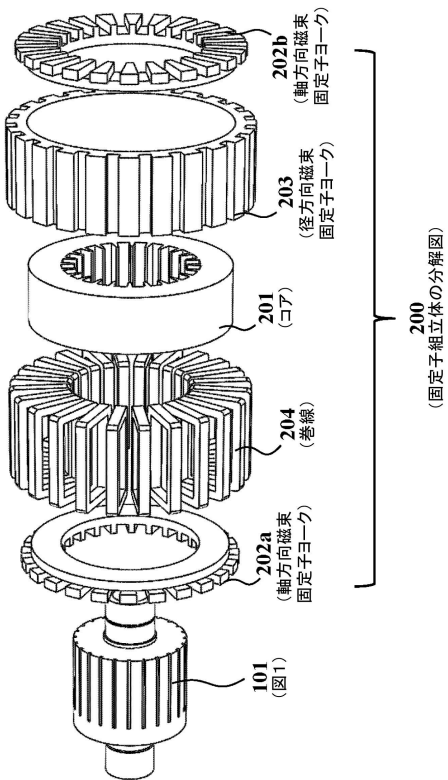


FIG.2B

【 図 3 】

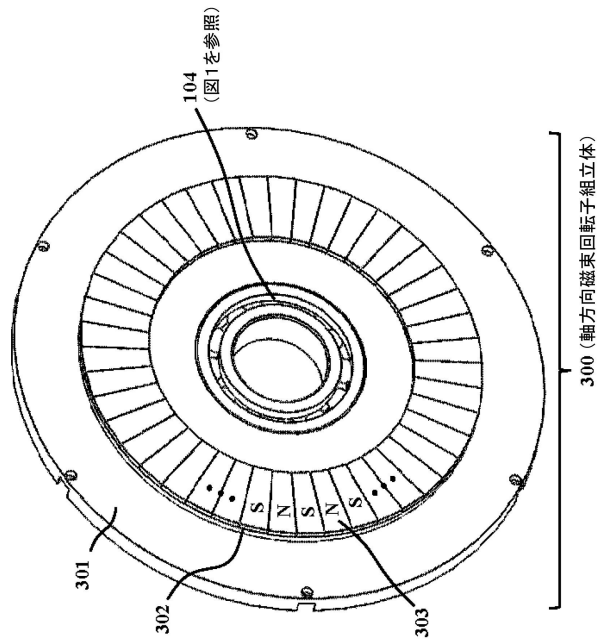


FIG.3

10

20

30

40

50

【 図 4 】

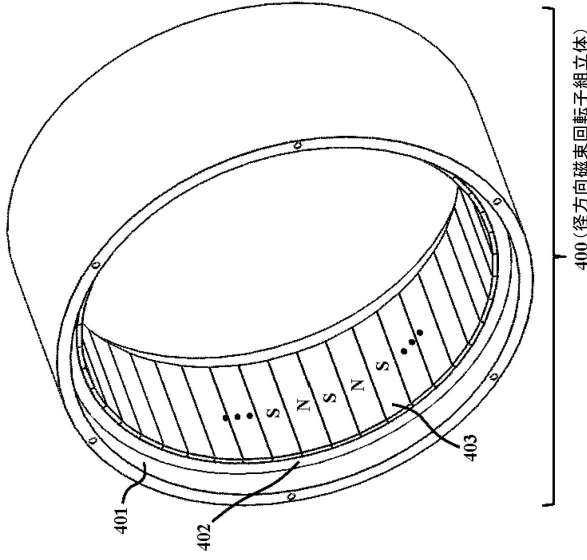


FIG.4

【 図 5 】

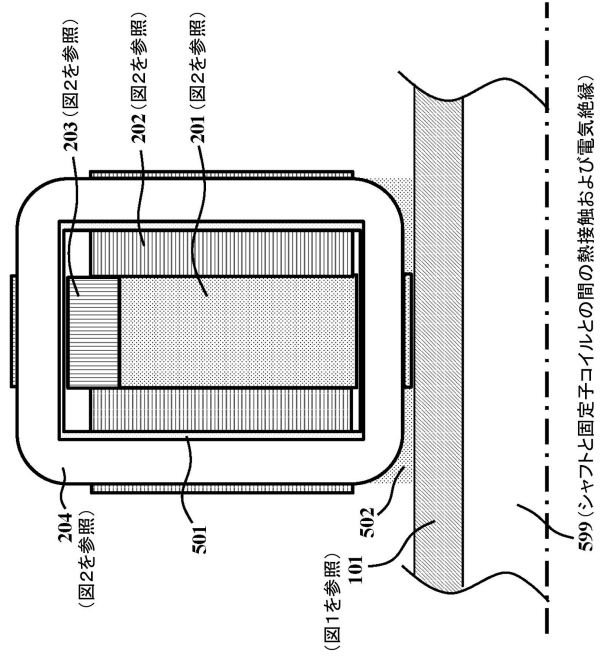


FIG.5

【 図 6 】

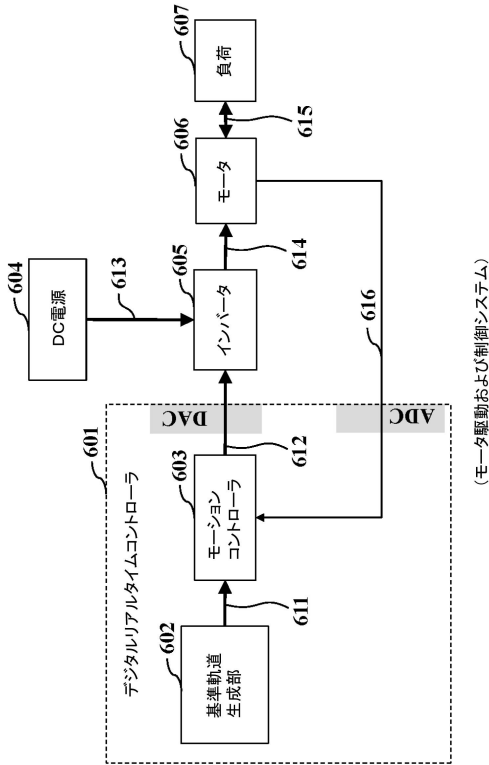


FIG.6

【 図 7 】

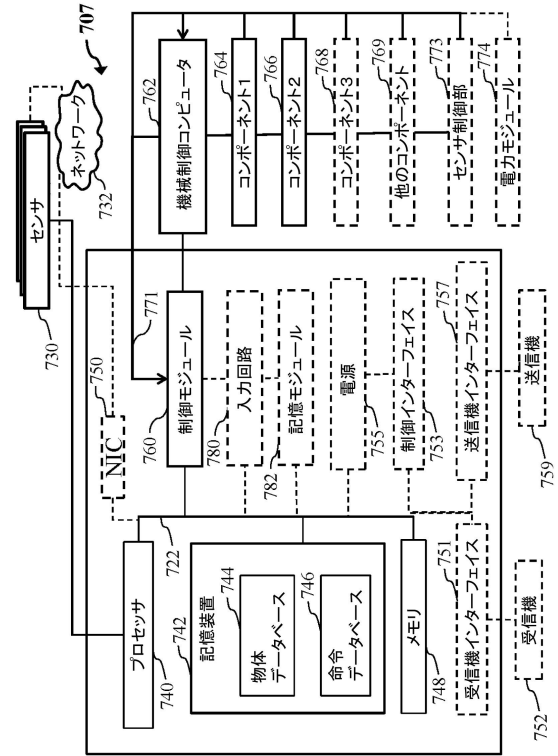


FIG.7

【 図 8 】

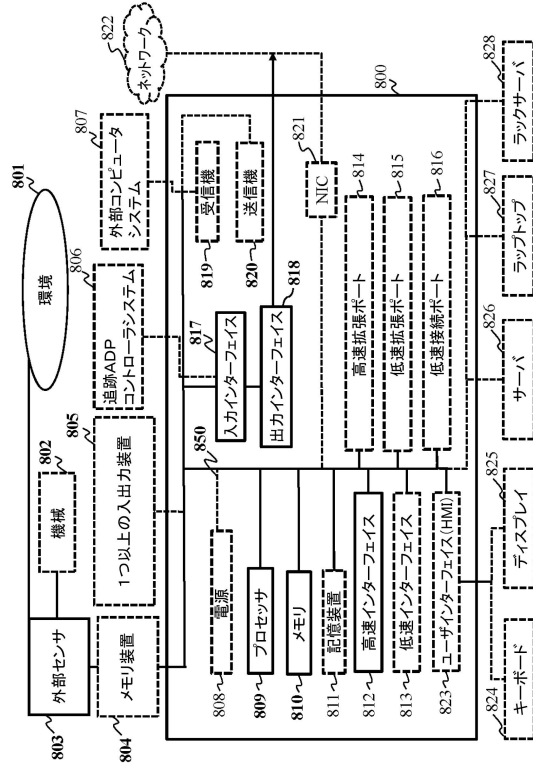


FIG.8

【 図 9 A 】

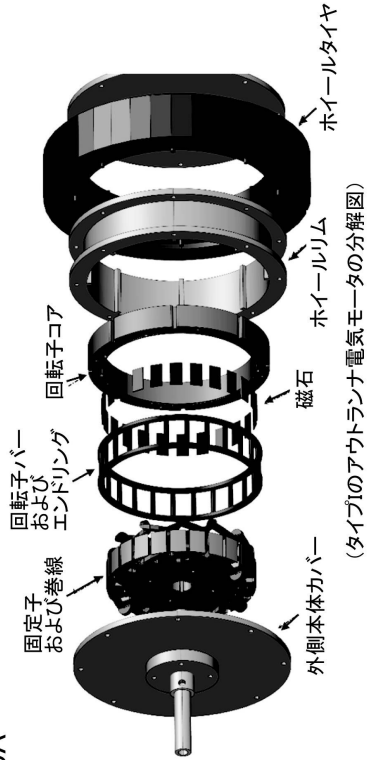


FIG.9A

【 図 9 B 】

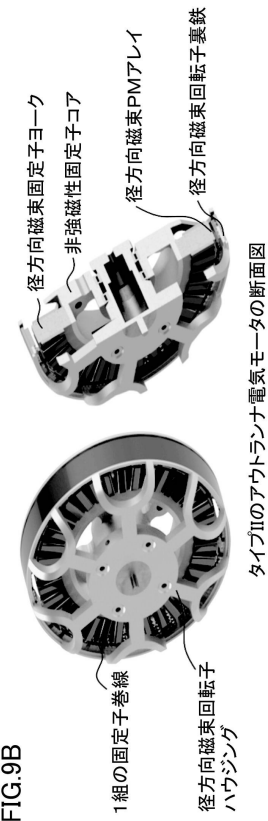


FIG.9B

10

20

30

40

50

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/JP2021/021289
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. H02K16/00 H02K21/22 H02K21/24 H02K1/04 H02K1/14 H02K21/12 ADD. According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC												
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02K Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data												
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>												
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.										
Y	WO 03/094328 A1 (WAVECREST LAB LLC [US]; SOGHOMONIAN ZAREH SALMASI [US] ET AL.) 13 November 2003 (2003-11-13) page 7, lines 1-3; figures 1-8 -----	20,21  1-19										
A												
Y	US 2007/228860 A1 (RAO DANTAM K [US]) 4 October 2007 (2007-10-04) figures 1-9 -----	20,21										
Y	WO 2016/014717 A1 (CLEARWATER HOLDINGS LTD [US]) 28 January 2016 (2016-01-28) figures 1-9 -----	20,21										
Y	US 5 894 902 A (CHO CHAHEE P [US]) 20 April 1999 (1999-04-20) figure 6 -----	20,21										
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.												
* Special categories of cited documents : <table border="0"> <tr> <td>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*E* earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*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)</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td>*Z* document member of the same patent family</td> </tr> </table>			*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*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	*E* earlier application or patent but published on or after the international filing date	*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	*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)	*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	*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	*Z* document member of the same patent family
*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*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											
*E* earlier application or patent but published on or after the international filing date	*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											
*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)	*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											
*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	*Z* document member of the same patent family											
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report										
21 September 2021		23/11/2021										
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Maître, Jérôme										

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

10

20

30

40

50

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2021/021289

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

20

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
  
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

30

40

1-21

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

50

International Application No. PCT/ JP2021/ 021289

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-21

Axial-flux and radial-flux motor

---

2. claim: 22

System with a transceiver and a digital controller

---

10

20

30

40

50

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/JP2021/021289

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 03094328	A1	13-11-2003	US 6762525 B1 13-07-2004
			US 6891306 B1 10-05-2005
			WO 03094328 A1 13-11-2003
-----			
US 2007228860	A1	04-10-2007	NONE
-----			
WO 2016014717	A1	28-01-2016	AU 2015292613 A1 19-01-2017
			BR 112017001411 A2 21-11-2017
			CA 2954469 A1 28-01-2016
			CL 2017000146 A1 08-09-2017
			CN 106663999 A 10-05-2017
			EP 3195452 A1 26-07-2017
			JP 2017522848 A 10-08-2017
			JP 2021100376 A 01-07-2021
			KR 20170036059 A 31-03-2017
			MX 363001 B 01-03-2019
			PH 12017500133 A1 29-05-2017
			RU 2017105453 A 30-08-2018
			SG 112017001360 A 27-02-2017
			TW 201618438 A 16-05-2016
			US 2018219464 A1 02-08-2018
WO 2016014717 A1 28-01-2016			
ZA 201700312 B 27-05-2020			
-----			
US 5894902	A	20-04-1999	NONE
-----			

10

20

30

40

50



## フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),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,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,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,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

ロードウェイ 201、エイス・フロア、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

(72)発明者 ワン, ホンユ

アメリカ合衆国、02139-1955 マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、エイス・フロア、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

F ターム (参考) 5H601 AA26 CC01 CC13 CC15 DD02 DD11 DD12 DD14 DD30 DD47  
EE12 FF17 GA02 GB05 GB13 GB34 GC12 GC13 GC14 GC19 GE02  
GE11 HH04 KK13 KK14 KK21  
5H621 BB01 BB02 BB05 BB07 BB10 GA01