(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6281922号
(P6281922)

(45)発行日　平成30年2月21日(2018.2.21)　(24)登録日　平成30年2月2日(2018.2.2)

(51)Int.Cl.			F I		
H02K	1/22	(2006.01)	H02K	1/22	A
H01F	1/08	(2006.01)	H01F	1/08	１３０
H01F	1/057	(2006.01)	H01F	1/057	１６０
H01F	1/055	(2006.01)	H01F	1/055	１６０
H01F	1/113	(2006.01)	H01F	1/113	

請求項の数 12　外国語出願　(全 17 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2016-229894 (P2016-229894)
(22)出願日　平成28年11月28日 (2016.11.28)
(62)分割の表示　特願2013-2190 (P2013-2190)の分割
原出願日　平成25年1月10日 (2013.1.10)
(65)公開番号　特開2017-112826 (P2017-112826A)
(43)公開日　平成29年6月22日 (2017.6.22)
審査請求日　平成28年12月21日 (2016.12.21)
(31)優先権主張番号　13/438,083
(32)優先日　平成24年4月3日 (2012.4.3)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(73)特許権者　500520743
ザ・ボーイング・カンパニー
Ｔｈｅ　Ｂｏｅｉｎｇ　Ｃｏｍｐａｎｙ
アメリカ合衆国、６０６０６－２０１６
イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、１００
(74)代理人　110002077
園田・小林特許業務法人
(72)発明者　コーザー，　マイケル　ピー.
アメリカ合衆国　ワシントン　９８１２４，　シアトル，　ピー．オー．　ボックス　３７０７

最終頁に続く

(54)【発明の名称】可撓性磁石の方向性のある剛化方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

フライホイールアセンブリにおける使用のためのロータ磁石であって、前記ロータ磁石はフライホイールロータに付着され、前記ロータ磁石は、効果的な量の繊維含有材料を有する結合媒質内の効果的な量の磁性粉を含んでおり、前記繊維含有材料は、方向性のある剛性を前記磁石に与えるように配向されており、前記ロータ磁石に、約５００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒の周速で、長手方向において約０％から約１％未満の寸法変化が起こる、フライホイールアセンブリのロータ磁石。

【請求項２】

前記ロータ磁石が、ネオジム鉄ホウ素、サマリウムコバルト、ストロンチウムヘキサフェライト、バリウムヘキサフェライト、およびそれらの組合せからなる群から選択される磁性粉を含む、請求項１に記載のロータ磁石。

【請求項３】

前記ロータ磁石が、ゴム含有材料、エポキシ含有材料、ナイロン含有材料、およびそれらの組合せからなる群から選択される結合剤を含む、請求項１または２に記載のロータ磁石。

【請求項４】

前記ロータ磁石が、ポリエチレン（ＰＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、高密度ポリエチレン（ＨＤＰＥ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）、低架橋ゴムおよび高架橋ゴム、エチレンプロピレンジエンモノマー、ウレタン、ならびにそれらの組合せからなる

群から選択される結合剤を含む、請求項１または２に記載のロータ磁石。
【請求項５】
前記結合剤が、炭素繊維含有材料、黒鉛含有材料、繊維ガラス含有材料、カーボンナノチューブ含有材料、金属繊維、ステンレス鋼、チタン、アルミニウム、高強度合金、またはそれらの組合せからなる群から選択される材料と混合される、請求項４に記載のロータ磁石。
【請求項６】
前記ロータ磁石が、約１０００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒の周速で約１％から約５０％の半径方向の寸法変化を呈する、請求項１から５のいずれか一項に記載のロータ磁石。
【請求項７】
前記ロータ磁石が、約０．１ｍｍから約１０ｍｍの厚さを有する、請求項１から６のいずれか一項に記載のロータ磁石。
【請求項８】
前記フライホイールアセンブリがオープンコアアーキテクチャを備える、請求項１から７のいずれか一項に記載のロータ磁石。
【請求項９】
請求項１から８のいずれか一項に記載のロータ磁石を有する、ビークル。
【請求項１０】
要求があり次第放出するためにエネルギーを貯蔵する方法であって、
内面および外面を有するロータを備える、実質的に円筒形のロータアセンブリを用意するステップと、
前記ロータアセンブリに近接するステータアセンブリを用意するステップと、
少なくとも１つのロータ磁石を前記ロータの内面に添着するステップであって、前記ロータ磁石は、フライホイールロータに添着され、効果的な量の繊維含有材料を有する結合媒質内の効果的な量の磁性粉を含み、前記繊維含有材料は、方向性のある剛性を前記磁石に与えるように配向され、前記ロータ磁石は、長手方向において約０％から約１％未満の寸法変化が起き、一方実質同時に、約１０００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒までの周速で、約１％から約５０％の半径方向の伸張が可能である、添着するステップと、
前記ステータに添着された複数のステータ磁石を提供するステップとを有し、
前記ロータ磁石と前記複数のステータ磁石が、動作中、前記ロータの浮揚を容易にするように互いに対して位置決めされる、方法。
【請求項１１】
前記ロータアセンブリとステータアセンブリとがオープンコアアーキテクチャに含まれる、請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
請求項１から８のいずれか一項に記載のロータ磁石を備えた、エネルギー保存及びエネルギー効果的利用システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、フライホイールエネルギー貯蔵デバイスに関し、より詳細には、改善された安定性および性能を有するハブレスまたはオープンコアのフライホイール貯蔵デバイスに関する。
【背景技術】
【０００２】
フライホイールエネルギー貯蔵デバイスおよびシステムは、エネルギーを貯蔵し、要求があり次第貯蔵されたエネルギーを放出することで知られている。既知のフライホイールアセンブリは、炭素繊維複合体を用いて作製されることもある従来のロータ設計を有する。そのようなロータは、モータ／発電機（Ｍ／Ｇ）と軸受け永久磁石（ＰＭ）が装着されるシャフトを有する。シャフトは、従来、ハブを介してリムに連結される。シャフト－ハ

ブフライホイール設計は、その達成可能な上端速度の点で制限されている。フライホイールアセンブリ内の構成部品用に使用可能な材料を調和させることには問題が多い。なぜなら、ロータ速度が上がるにつれて、これらの構成部品の半径方向の膨張および寸法が変動するからである。ハブは、フライホイールの動作スピード範囲内における動作周波数の範囲にわたってロータ構造に曲げモードを導入することなしに、シャフトをリムに機械的に結合しなければならない。しかし、シャフトは、しばしば無視できるほどしか半径方向の膨張を示さない一方、リムは、有意な半径方向の膨張を示す。

【０００３】

したがって、進歩し続ける材料の使用によって可能になるフライホイールにとってのより高いスピードは、残念ながらフライホイール構成部品にとっての膨張調和問題を悪化させる。なぜなら、ロータの半径方向の膨張の増大は、たとえば連結シャフトなど他の連結された構成部品、および／または、たとえば永久磁石（ＰＭ）などロータに取り付けられた回転構成部品が呈するどんな膨張よりも速いからである。さらに、フライホイール技術によってもたらされる全体的な効率は、材料の許容度を超えるスピードでフライホイールが動作したときしばしば破壊される現在使用可能な材料によって制限される。

【０００４】

さらに、現在および次世代のフライホイールによって望まれるより高い回転スピードは、早期故障を引き起こし、また他の形で、フライホイールアセンブリ内のある種の構成部品の最適な性能を阻害することになる。１つの有意な関心領域は、フライホイール動作にとって重要な磁石である。フライホイールアセンブリでは、セラミックタイプの磁石が使用されている。しかし、そのような磁石は、それだけには限らないがたとえば脆性を含めて、それらの固有の特徴のために、より高い回転スピードでは実用的でなかった。したがって、回転フライホイールスピードが上がるにつれて、様々な磁石タイプが求められている。既知のセラミック磁石は、一般に、約３００ｍ／秒未満の周速に制限される。ロータ材料それ自体が動作時に非常に高いスピードで伸張したとき伸張する能力を含めて、望ましい特性を有する磁石が望ましいことになる。しかし、そのような磁石シートは、しなやかすぎることがあり、磁石シートの寸法が予測不能かつ不均一に寸法を変化させ、望ましくないほどに予測不能にロータの寸法を超えて、制御されない形で押し出され、かつ／または伸張することがある「クリープ」または「流れ」として知られる状態を引き起こす。そのようなクリープは、磁石シートの材料特性に依存するが、約５００ｍ／秒を超える周速で発生しやすい。

【発明の概要】

【０００５】

本発明の一態様によれば、内面および外面を有するロータを備える好ましくは中空の、実質的に円筒形のロータアセンブリと、ロータアセンブリに近接するステータアセンブリと、ロータの内面に添着された少なくとも１つのロータ磁石とを備える、エネルギーを貯蔵および放出するためのフライホイールアセンブリが提供される。１つまたは複数のロータ磁石は、予測可能な予め選択された、方向性のある剛性を磁石に与えるように配向された効果的な量の繊維含有材料を有する結合媒質内の効果的な量の磁性粉を含む。複数のステータ磁石がステータに添着され、ロータ磁石とステータ磁石が、動作中、ロータの浮揚を容易にするように互いに対して位置決めされる。ロータ磁石には、約５００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒より大きい周速で、長手方向において約０％から約１％未満の寸法変化が起き、一方同時に、約１％から約５０％の半径方向の伸張が可能であることが好ましい。

【０００６】

ロータ磁石は、ネオジム鉄ホウ素、サマリウムコバルト、ストロンチウムヘキサフェライト、バリウムヘキサフェライト、およびそれらの組合せからなる群から選択される磁性粉を含むことが有利である。

【０００７】

ロータ磁石は、ポリウレタン含有材料、ゴム含有材料、エポキシ含有材料、ナイロン含

有材料、およびそれらの組合せからなる群から選択される結合剤を含むことが有利である。

【０００８】

ロータ磁石は、ポリエチレン（ＰＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、高密度ポリエチレン（ＨＤＰＥ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）、低架橋ゴムおよび高架橋ゴム、エチレンプロピレンジエンモノマー、ウレタン、ならびにそれらの組合せからなる群から選択される結合剤を含むことが有利である。結合剤は、炭素繊維含有材料、黒鉛含有材料、繊維ガラス含有材料、カーボンナノチューブ含有材料、セラミック繊維、有機繊維、アラミド、金属繊維、ステンレス鋼、チタン、アルミニウム、高強度合金、またはそれらの組合せからなる群から選択される材料と混合されることが好ましい。結合剤は、炭素繊維含有材料、黒鉛含有材料、繊維ガラス含有材料、カーボンナノチューブ含有材料、金属繊維、ステンレス鋼、チタン、アルミニウム、高強度合金、またはそれらの組合せからなる群から選択される材料と混合されることが好ましい。

【０００９】

ロータ磁石は、約１０００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒の周速で約１％から約５０％の半径方向の寸法変化を呈することが有利である。

【００１０】

ロータ磁石は、約０．１ｍｍから約１０ｍｍの厚さを有することが有利である。

【００１１】

複数のロータ磁石がロータの内面に付着されることが有利である。

【００１２】

ロータは、ロータ磁石の長手方向の長さと実質的に等しい長手方向の長さを有し、その結果、ロータ磁石が実質的にロータの全長に延びることが有利である。

【００１３】

フライホイールアセンブリは、オープンコアアーキテクチャを備えることが有利である。

【００１４】

エネルギー貯蔵およびエネルギー効果的利用システムがフライホイールアセンブリを備えることが有利である。

【００１５】

ビークルがロータ磁石を備えることが有利である。本発明の他の態様によれば、フライホイールアセンブリで使用するためのロータ磁石が提供される。１つまたは複数のロータ磁石は、フライホイールロータに添着され、効果的な量の繊維含有材料を有する結合媒質内の効果的な量の磁性粉を含む。繊維含有材料は、予測可能な予め選択された、方向性のある剛性を磁石に与えるように選択および配向される。ロータ磁石には、約５００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒より大きい周速で、長手方向において約０％から約１％未満の寸法変化が起き、一方同時に、約１％から約５０％の半径方向の伸張が可能であることが好ましい。さらに、本開示の変形形態による磁石は、高い周速でさえ、既知の磁石より均一な磁界を提供する。

【００１６】

ロータ磁石は、ネオジム鉄ホウ素、サマリウムコバルト、ストロンチウムヘキサフェライト、バリウムヘキサフェライト、およびそれらの組合せからなる群から選択される磁性粉を含むことが有利である。

【００１７】

ロータ磁石は、ゴム含有材料、エポキシ含有材料、ナイロン含有材料、およびそれらの組合せからなる群から選択される結合剤を含むことが有利である。

【００１８】

ロータ磁石は、ポリエチレン（ＰＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、高密度ポリエチレン（ＨＤＰＥ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）、低架橋ゴムおよび高架橋ゴム、エチレンプロピレンジエンモノマー、ウレタン、ならびにそれらの組合せからなる群か

ら選択される結合剤を含むことが有利である。結合剤は、炭素繊維含有材料、黒鉛含有材料、繊維ガラス含有材料、カーボンナノチューブ含有材料、金属繊維、ステンレス鋼、チタン、アルミニウム、高強度合金、またはそれらの組合せからなる群から選択される材料と混合されることが好ましい。

【００１９】

結合剤は、炭素繊維含有材料、黒鉛含有材料、繊維ガラス含有材料、カーボンナノチューブ含有材料、金属繊維、ステンレス鋼、チタン、アルミニウム、高強度合金、またはそれらの組合せからなる群から選択される材料と混合されることが有利である。

【００２０】

約１０００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒の周速で約１％から約５０％の半径方向の寸法変化を呈することが有利である。

【００２１】

ロータ磁石は、約０．１ｍｍから約１０ｍｍの厚さを有することが有利である。

【００２２】

上述のシステムは、オープンコアアーキテクチャを備えることが有利である。

【００２３】

本発明のさらに他の態様によれば、要求があり次第放出するためにエネルギーを貯蔵する方法であって、内面および外面を有するロータを備える中空の、実質的に円筒形のロータアセンブリを用意するステップと、ロータアセンブリに近接するステータアセンブリを用意するステップと、少なくとも１つのロータ磁石をロータの内面に添着するステップとを含む方法が提供される。１つまたは複数のロータ磁石は、フライホイールロータに添着され、効果的な量の繊維含有材料を有する結合媒質内の効果的な量の磁性粉を含む。繊維含有材料は、予測可能な予め選択された、方向性のある剛性を磁石に与えるように配向され、ロータ磁石には、約５００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒より大きい周速で、長手方向において約０％から約１％未満の寸法変化が起き、一方同時に、約１％から約５０％の半径方向の伸張が可能である。少なくとも１つのステータ磁石がステータに添着され、ロータ磁石とステータ磁石が、動作中、ロータの浮揚を容易にするように互いに対して位置決めされるようにする。

【００２４】

ロータアセンブリおよびステータアセンブリは、オープンコアアーキテクチャ内に封じ込められることが有利である。

【００２５】

エネルギー貯蔵およびエネルギー効果的利用システムがロータ磁石を備えることが有利である。

【００２６】

ビークルが上述のフライホイールアセンブリを備えることが有利である。

【００２７】

好ましい変形形態では、本開示のフライホイールアセンブリは、たとえば航空機、宇宙機、ならびに陸上および水上および水中ビークルなど有人および無人のビークルを含めて、静的用途ならびに移動用途のための持続可能な電力源として特に有用性を有する。

【００２８】

本開示の変形形態について、このように一般的な言葉で述べたので、次に、添付の図面を参照する。これらの図面は、必ずしも原寸に比例して示されていない。

【図面の簡単な説明】

【００２９】

【図１Ａ】図１（ａ）は、シャフト－ハブフライホイールアセンブリの断面図である。

【図１Ｂ】図１（ｂ）は、オープンコアフライホイールアセンブリの断面図である。

【図２】フライホイールのオープンコアアーキテクチャ内に封じ込められた複数の入れ子型ロータを示す切断図である。

【図３】ＰＭが定位置にあるロータの頭上平面図である。

【図４】従来のＰＭが定位置にある回転前（図４（ａ））および高速回転中／後（図４（ｂ））のロータを示す、図３の線分Ａ－Ａ’に沿った概略側断面図である。
【図５】改良された可撓性複合体ＰＭが定位置にある回転前（図５（ａ））および高速回転中／後（図５（ｂ））のロータを示す概略側断面図である。
【図６】回転運動を示す図５（ａ）および図５（ｂ）のロータの概略斜視図である。
【図７】可撓性複合体磁石の図５（ａ）からのセクションＢのクローズアップ図である。
【発明を実施するための形態】
【００３０】
次に、本開示のいくつかの追加の変形形態について、以下、本開示のいくつかの、しかしすべてではない変形形態が示されている添付の図面を参照してより十分に述べる。実際には、本開示は、多数の様々な形態で実施することができるので、本明細書に記載の変形形態および代替形態に限定されると解釈すべきではない。それどころか、これらの例示的な変形例は、この開示が徹底的かつ完全なものになるように、また本開示の範囲を当業者に十分に伝えるように提供されている。たとえば、別段示されていない限り、何らかのものを第１、第２などと呼ぶことは、特定の順序を暗示すると解釈すべきではない。また、何らかのものが別の何かの「上方」にあると述べられることがあっても、別段示されていない限り、そうではなく「下方」にあってもよく、逆も同様である。同様に、別の何かの左にあると述べられた何らかのものが、そうではなく右にあってもよく、逆も同様である。同様の符号は、全体を通じて同様の要素を指す。
【００３１】
図１（ａ）は、たとえば様々な周波数およびより高いスピードで限られた性能を示す従来のシャフト－ハブフライホイールアセンブリ１０の断面図を示す。繊維複合体リムロータ１２がハブ１４に取り付けられ、ハブ１４は、シャフト１６に取り付けられている。シャフト１６には、焼結永久磁石（ＰＭ）１５、１８が取り付けられ、リフトＰＭ２０および高温超伝導体２２に対して吸引力および反発力を及ぼす。ＰＭ２０は、支持体１７に取り付けられて示されている。モータ／発電機（Ｍ／Ｇ）からのステータコイル２４が、Ｍ／Ｇ　ＰＭ２６と支持体１７の間に懸吊されて示されている。
【００３２】
図１（ｂ）は、本開示に従って作製されたフライホイールアーキテクチャ３０の断面図を示す。この「ハブレス」オープンコアフライホイールアーキテクチャ（１点短鎖線は中心線を示す）では、弾性のある永久磁石（ＰＭ）３４、３６、３８が、繊維複合体リムロータ３２の内面３３に添着されて示されている。リフト軸受けステータＰＭ４８およびモータ／発電機（Ｍ／Ｇ）からのステータコイル４２が、支持構造物４３に取り付けられている。高温超伝導体（ＨＴＳ）４５が、支持体４６に近接して配置されている。ＰＭ４８、３４は、リフト軸受けを構成し、要素４５、３８は、安定軸受けを構成する。
【００３３】
本開示のオープンコアアーキテクチャは、繊維複合体リムおよびＨＴＳ軸受けが、シャフト－ハブフライホイール設計に固有の、構成部品の半径方向の膨張の不釣り合いという設計制限なしに最大の性能を達成することを可能にする新規な設計を提供する。図ではその垂直の向きにあるオープンコアフライホイール３０全体が、真空チャンバ（図示せず）内に封じ込められることを理解されたい。好ましい垂直の向きでは、リング形状の繊維複合体ロータ３２が、受動的に安定な磁気軸受けによって懸吊され、一端または「上部」でリフト軸受けＰＭ３４、４８を、また第２の端部または「下部」でＨＴＳ安定軸受け３８、４５を構成することが好ましい。ブラシレスＰＭモータ／発電機３６、４２が、ロータの内外に電力を送出することが好ましい。図１（ｂ）に示されているように、ロータＰＭ３４、３６、３８が、ロータ３２の内面に沿って配置されている。小型冷凍機（図示せず）のコールドヘッドがＨＴＳ４５に対して熱伝導し、約３０Ｋから約９０Ｋ、好ましくは約６０Ｋの望ましい温度を維持する。小型のターボ分子ポンプまたはゲッター－サブリメーションポンプ（図示せず）が、チャンバ内の真空を維持する。
【００３４】

たとえば、図２に示されているように、チャンバ壁３３２を有する真空チャンバ内のフライホイールアセンブリ３３０が、外側ロータ半径を有する第１の、または外側のロータ３３４を備え、外側ブラシレスＰＭ　Ｍ／Ｇステータ３３６が外側ロータ３３４に関連付けられている。外側ＰＭリフト軸受け３３８が外側ロータ３３４の上方に位置し、外側ＨＴＳ軸受け３４０が外側ロータ３３４の下方に位置する。内側ロータ３４２は、外側ロータ半径より小さい内側ロータ半径を有し、したがって、外側ロータ３３４から半径方向内側の位置に配置される。内側ＰＭリフト軸受け３４４および内側ＨＴＳ軸受け３４６が、それぞれ内側ロータ３４２の上方および下方に配置されて示されている。内側ブラシレスＰＭ　Ｍ／Ｇステータ３４８が、内側ロータ３４２から半径方向内側に位置して示されている。冷凍機３５０がフライホイールアセンブリ３３０の中心付近に位置して示されており、真空ポンプ３５２の上方に配置されている。真空ポンプ３５２は、小型のターボ分子ポンプまたはゲッターサブリメーションポンプであることが好ましい。小型冷凍機のコールドヘッド（図示せず）がＨＴＳ軸受け３４０、３４６に対して熱伝導し、それらを約３０Ｋから約８０Ｋの好ましい動作温度に保つ。

【００３５】

一変形形態では、真空チャンバは、フライホイールアセンブリの重量のかなりの部分を構成する。複数の入れ子型ロータを組み込むことにより、全体的なシステムエネルギーおよび体積密度が改善されるが、本開示のロータ磁石は、オープンコア（ハブレス）アーキテクチャを有しても有していなくてもよい単一のロータフライホイールアセンブリと共に使用することもできることを理解されたい。一代替形態である、図２に示されているものなど２重ロータ構成では、これらのロータは、独立のフライホイールとして独立して動作される。内側ロータは、好ましくは、外側ロータと著しく似た最大リム速度を有するが、意図的により高い最大ｒｐｍを有することになる。

【００３６】

さらに、３つ以上のロータを同じ真空チャンバ内に組み込み、複数のフライホイールが同じ真空チャンバを共用する状態で、フライホイールアセンブリのエネルギー密度を高めてもよい。同じ真空チャンバ内に収容されることにより、これらの内側ロータは、真空ポンプおよび冷凍機などを本質的に共用し、フライホイールシステムに必要とされるフットプリントをさらに削減する。複数のロータを１つのフライホイールアセンブリ内で入れ子にすることは、オープンコアアーキテクチャで最もよく達成することができる。

【００３７】

２つのロータ構成では、２つのロータを反対方向に動作させることにより、システム全体の正味の角運動量が低減され、高速で動作するフライホイールの通過がさらに容易になる。２つの逆回転ロータが実質的に同じ速度、半径方向の厚さおよび高さを有する場合、外側リムが内側ロータより大きい運動エネルギーおよび角運動量を有することになる。この場合、角運動量を完全に消去することができない。しかし、他の変形形態によれば、角運動量は、内側ロータの高さおよび／または半径方向の厚さを変えることによって消去される。半径方向の厚さは、しばしば半径方向応力に対処する能力によって左右され、一方、高さは、制約のより少ないパラメータである。

【００３８】

さらに、所望のフライホイールシステムに対する設計制約が、内側ロータも外側ロータも同じ高さを維持することを余儀なくするものであった場合、本開示は、第３のロータを組み込むことを企図している。この設計では、角運動量を、たとえば同じ方向に２つのロータ（好ましくは２つの内側ロータ）を回転させ、残りのロータを反対方向に回転させることによって完全に打ち消すことができる。前述のシナリオおよび複数の入れ子型ロータを有する設計のそれぞれにおいて、ロータの運動エネルギーが足し合わされ、フライホイールシステムの総システム運動エネルギーを得る。本開示の変形形態は、オープンコアアーキテクチャにより、真空ポンプおよび冷凍機を最内郭ロータの内側の実質的に円筒形の空間内に置くことができ、それにより、３つの構成部品を真空境界の上部および下部に装着することに比べてシステムの体積（ｖｏｌｕｍｅｔｒｉｃ　ｆｏｏｔｐｒｉｎｔ）全体

が削減される点で特に有利である。ロータ、軸受け構成部品、およびM／Gステータは、真空にされる鋼製容器によって封入される。チャンバの初期真空化は、たとえば粗引きポンプなど任意の好適なポンプによって行われる。粗引きポンプを除去し、次いでチャンバをたとえば７０ｌｓ$^{-1}$、ＤＣ２４Ｖターボ分子ポンプ、および好ましくは関連のバッキングポンプによって連続的に真空化することができる。

【００３９】

ＨＴＳ軸受けの使用は、本明細書に開示されているフライホイールシステムにとって重要であり、フライホイールロータが高速度で回転することを可能にし、オープンコアアーキテクチャの利点を利用する。ＨＴＳ軸受けは、ＨＴＳ構成部品の温度が依然として８０Ｋ未満である限り、依然として受動的に安定である。ＨＴＳの熱容量がＨＴＳへの低い熱漏洩と相まって、安定性を保ち軸受けを動作させるのに十分低い温度を維持することができる。

【００４０】

この構成は、Ｍａｔｅｒｉａｌｓ Ｓｃｉｅｎｃｅ ａｎｄ Ｅｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ Ｂ １５１（２００８年）１９５～１９８、Ｍ Ｓｔｒａｓｉｋ、Ｊ．Ｒ．Ｈｕｌｌ、Ｐ．Ｅ．Ｊｏｈｎｓｏｎ、Ｊ Ｍｉｔｔｌｅｉｄｅｒ、Ｋ．Ｅ．ＭｃＣｒａｒｙ、Ｃ．Ｒ．ＭｃＩｖｅｒ、Ａ．Ｃ．Ｄａｙ、「Ｐｅｒｆｏｒｍａｎｃｅ ｏｆ ａ Ｃｏｎｄｕｃｔｉｏｎ－ｃｏｏｌｅｄ Ｈｉｇｈ－ｔｅｍｐｅｒａｔｕｒｅ Ｓｕｐｅｒｃｏｎｄｕｃｔｉｎｇ Ｂｅａｒｉｎｇ」で報告されている５ｋＷｈ、３ｋＷフライホイールアセンブリで使用される超伝導安定軸受けのステータ構成部品と同様である。実験に基づく軸受け損失値によって示されているように、ＨＴＳ要素下に銅熱バスがあっても、軸受け損失を著しく増大することはなかった。間隙は、フライホイールロータ磁石の下部とＨＴＳ結晶の上部との間の距離である。約２ｍｍから約４ｍｍの間隙がＨＴＳ軸受けに好ましい。ＨＴＳ軸受けにおける回転損失は、（ΔＢ）^{3}／Ｊｃに比例し、ここでΔＢは、回転方向で測定されたＰＭ構成部品の磁界の不均質性であり、Ｊｃは、ＨＴＳの臨界電流密度である。

【００４１】

ＨＴＳ軸受けが最適に動作するために、軸受けのステータ部は、好ましくは約８０Ｋ未満、より好ましくは約３０Ｋから約８０Ｋの極低温で保たれなければならない。これは、バルクＨＴＳ用の支持ベースと冷凍機のコールドヘッドとの間で高い熱コンダクタンスを有する可撓性の機械的接続を確立することによって達成される。開示されている好ましいフライホイールシステムに含めることが企図されている１つの好ましい冷凍機は、Ｓｕｎｐｏｗｅｒ Ｃｒｙｏｔｅｌ ＴＭ（ＳｕｎＰｏｗｅｒ Ｉｎｃ．、オハイオ州アセンズ）である。この好ましい冷凍機は、空気軸受けを使用し、摩擦を主要素とする故障モードがなく、約７７Ｋで最大約１５Ｗの冷却を実現する能力を有する直線、フリーピストンの一体型スターリングサイクル機である。さらに、この好ましい冷凍機は、それほど冷却が必要とされないとき入力電力を絞る能力を有し、最大約１００ｋＷｈにサイズ設定されたフライホイール用のＨＴＳ軸受けを冷却することができるはずである。

【００４２】

さらに、M／Gは、モータモードでは電流が、ロータＰＭの磁界と相互作用しトルクを生成するように時間調節されてステータコイルを通過する点で、従来のラジアルギャップ型ブラシレス設計として機能する。発電機モードでは、回転するＰＭ磁束がステータコイルを掃引し、ファラデーの法則に従って電圧を生成する。低速では、ステータ電流のタイミングを制御するために、ホール効果センサがM／Ｇ　ＰＭからの磁界を測定する。高速では、コイル上の逆電磁界がこの制御のための入力を供給する。従来のラジアルギャップ型M／Ｇでは、ステータコイルは、典型的にはＰＭから半径方向外側に位置する。しかし、本開示の好ましい変形形態によれば、この好ましいオープンコア設計では、位置が逆にされ、図１（ｂ）に示されているように、ステータコイルがＰＭの半径方向内側に位置する。

【００４３】

本開示によれば、好ましいＭＷＣＮＴを含めて著しく改善された強度／密度比を有するロータ材料をオープンコアフライホイールアーキテクチャに組み込むことは、エネルギー密度を約２６４Ｗｈ／ｋｇという現在知られている値から少なくとも約４７３Ｗｈ／ｋｇに高め、それに対応する約１１ＧＰａから約６３ＧＰａへの繊維引張り強度の増大をもたらすことになる（既知のデバイスから少なくとも約８０％の効率および強度の増大）。実際、ＭＷＣＮＴの壁厚を約０．０７５ｎｍの物理的な壁厚に正規化すると、少なくとも約３００ＧＰａの理論壁厚が達成可能である。さらに、シングルウォールＣＮＴ（ＳＷＣＮＴ）もまた本開示によって企図されており、ＳＷＣＮＴは、適切な、さらには優れた質量効率的（ｍａｓｓ　ｅｆｆｉｃｉｅｎｔ）補強をもたらすことができるので、本明細書に記載の本発明のフライホイールアセンブリのロータ構成部品に組み込むことができることを理解されたい。典型的なＳＷＣＮＴは、約１．３５ｎｍの直径を有する。この直径を１原子の原子間間隔と共に使用して、わずか３９％のＶｆが達成可能である。３ｎｍの直径は、６０％のＶｆを生み出すことになる。本開示の変形形態と共に使用するための最適なＣＮＴは、ＣＮＴ直径、達成可能なＶｆ、およびＣＮＴ補強の効率を釣り合わせるものであることを理解されたい。

【００４４】

上述のように、たとえば「オープンコア」フライホイールアーキテクチャなどハブレスフライホイール設計では、実質的に円筒形のロータまたは「チューブ」が、好ましくは長手方向軸の周りで高速で回転され、それにより運動エネルギーを貯蔵する。次いで、この運動エネルギーがフライホイールシステムから発電機を介して送出され、電気を生成および送出する。フライホイール技術の分野で周知のように、回転速さが上がるにつれて、ロータは半径方向に伸張することになる。ロータと接触した状態のまま、またフライホイールアセンブリにとって有用なままであるために、ロータ磁石は、依然としてロータ表面と接触していなければならない。したがって、寸法が（半径方向に）伸張するロータと接触したままであるために、１つまたは複数のロータ磁石もまた、ロータが受ける膨張比と実質的に揃って寸法が（半径方向に）伸張しなければならない。

【００４５】

たとえばゴム磁石またはゴム加工（ｒｕｂｂｅｒｉｚｅｄ）磁石など可撓性の磁石が、フライホイールアセンブリ内でロータ磁石として使用するために試されている。しかし、望ましいフライホイール回転スピード（周速）では、可撓性のゴム加工磁石は、寸法が予測不能な形で伸張し、または「流れ」もしくは「クリープ」し始める。この寸法が予測不能な磁石の流れは、フライホイールアセンブリから磁石および／または適切な磁化を失うことに通じる。さらに、高速でのこの磁石の流れは、ロータの不安定に通じ、最終的にロータおよびフライホイールアセンブリ全体の破局的な破壊を引き起こすおそれがある。

【００４６】

本発明の変形形態は、たとえば可撓性ロータ磁石組成物内の軸方向に配向された繊維など配向繊維を組み込むことを企図している。選択される軸方向繊維のタイプ、濃度、および特性により、磁石は、寸法が所定の、予測可能な形で伸張することができる。このようにして、本開示によれば、軸方向に配向された繊維を磁石に添加し、ロータ磁石がロータの寸法の伸張（たとえば半径方向など）に実質的に合致することを予測可能に可能にし、それによりロータ磁石がロータ表面との臨界接触を維持し、所望の、所定の寸法だけ伸張することを可能にする。

【００４７】

図３は、円筒形のロータアセンブリ１２００の頭上平面図を示す。ロータ１２０２は、内壁１２０４と、外部ロータ壁１２０６とを有する。磁石１２０８は、内壁１２１０と、外壁１２１２とを有する。図では、磁石の外壁１２１２は、ロータの内壁１２０４と密接に接触しており、好ましくは内壁１２０４に添着される。図４（ａ）は、静止位置にある、または回転力が加えられる前の、線分Ａ－Ａ’を横断する図３の円筒形のロータアセンブリ１２００の断面図である。ロータ１２０２および磁石１２０８は、実質的に合致する長手方向寸法、または高さ「ｈ」を有する。ロータアセンブリ１２００は、中心線１２１

４周りで回転する。

【００４８】

図４（ｂ）は、アセンブリ１２００が高速（たとえば、約５００ｍ／秒を超える高い周速など）で回転力を受けた後の、図３および図４（ａ）の円筒形のロータアセンブリ１２００の断面図である。磁石１２０８の一部分が、点１２１６で寸法または高さ「ｈ」を超える寸法に押し出され、長手方向に延びて示されている。換言すれば、磁石の一部分が「クリープ」し、もしくは「流れ」、または他の形で磁石それ自体からロータ１２０２の高さを越えた点に押し出される。

【００４９】

図５（ａ）および図５（ｂ）は、ロータアセンブリ１２２０がロータ１２２４と密接に接触して示されているロータ磁石１２２２を備える断面図を示す。図５（ａ）は、動作時に中心線１２２６周りで回転する前に静止しているロータアセンブリ１２２０を示す。図５（ｂ）は、高速で回転後または回転中の図５（ａ）のロータアセンブリ１２２０を表す。ロータの高さ「ｈ」を越える磁石の「流れ」またはクリープは発生しない。図７は、図５（ａ）からの拡大された切取り部「Ｂ」であり、磁石の寸法安定性を保存し、５００ｍ／秒を超える高い周速でさえ「流れ」を防止するロータ磁石１２２２内に存在する配向繊維の代表的なクローズアップ図を示す。図６は、中心線（軸）１２２６周りで回転する図５（ａ）および図５（ｂ）の実質的に円筒形のロータ１２２０の斜視図である。

【００５０】

図３～７に示されているように、本開示は、高さ全体、実際にはロータの内周の内面全部に沿って、接着された、またはゴム加工された永久磁石（ＰＭ）層を配置することを企図している。換言すれば、接着された磁石シートは、ロータの内面を実質的に完全に覆い隠すことが好ましい。シートは、応力集中を作り出さないようにロータの全長（長手方向の長さまたは「高さ」）に延びることが好ましい。好ましい一変形形態によれば、ロータは、ロータ磁石の長手方向の長さと実質的に等しい長手方向の長さを有し、その結果、ロータ磁石が実質的にロータの全長に延びる。この望ましい、また好ましい構成により、ロータは、約１０００ｍ／秒から約３０００ｍ／秒の高い周速を達成することができ、フライホイールシステムに関してエネルギー密度がより高くなる。ＰＭ層は、フライホイールアセンブリ内のリフト軸受け、安定軸受け、およびモータ／発電機用の離散的なＰＭと同じ機能を実施するように選択的に磁化される。しかし、望むなら、本開示の改良された可撓性の磁石は、ロータの内壁表面を完全に覆うより少ない範囲に影響を及ぼす、望ましい任意の構成でロータの内壁に付着することができることを理解されたい。

【００５１】

本開示の可撓性の磁石は、配向繊維と共に結合剤内に導入された磁性粉を含むことが好ましい。本開示の変形形態による可撓性のゴム加工磁石（好ましくはシート）を作製するために使用される磁性粉は、従来、磁石作製に使用されている任意の磁性粉とすることができる。磁性粉は、ネオジム鉄ホウ素、サマリウムコバルト、ストロンチウムヘキサフェライトおよびバリウムヘキサフェライトを含み、ネオジム鉄ホウ素粉末が特に好ましい。

【００５２】

ゴムシートマトリクス結合剤は、好ましくは炭素繊維、黒鉛、繊維ガラス、カーボンナノチューブ（ＣＮＴ）、たとえば超高分子量ポリエチレン（ＵＨＭＷＰＥ）、ポリベンゾオキサゾール（ＰＢＯ）、アラミドなど有機繊維、ＳｉＣ、ホウ素、ＢＮなどセラミック、またはステンレス鋼、チタン、アルミニウム、もしくは高強度合金から導出された金属繊維と混合されたゴム含有材料、エポキシ含有材料、およびナイロン含有材料を含めて、任意の好適な材料製である。特に好ましい結合剤は、ポリウレタン、ポリアミド、たとえばポリエチレン（ＰＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、高密度ポリエチレン（ＨＤＰＥ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）など熱可塑性樹脂材料を含む。さらに好ましい結合剤は、たとえば低架橋ゴムおよび高架橋ゴム、エチレンプロピレンジエンモノマー、ウレタンなどを含めて、熱硬化性化合物を含む。

【００５３】

配向繊維は、たとえばＫｅｖｌａｒ（登録商標）、ポリエチレン、超高分子量ポリエチレン（ＵＨＭＷＰＥ）など有機繊維、アルミナ、炭化ケイ素（ＳｉＣ）、ホウ素などセラミック、黒鉛、様々な繊維ガラスなど、およびそれらの組合せとすることができる。繊維は、磁石のクリープまたは流れに対して最も良好に働くような方向に配向される。繊維は、長手方向のクリープまたは流れに対して最も良好に働くように長手方向に配向される。繊維は、必要とされる剛性および必要とされる強度を追加するために、わずかに軸外しで配列されてもよい（±３～４５°）。ロータが著しくスピードを増すにつれて、ロータは、軸方向に伸張または「膨張」し、また軸方向で変化する。繊維の選択、およびゴム加工磁石マトリクス内への含浸の角度により、磁石のたとえば軸方向など寸法の変化が調節され、またそうでない場合には決定され、その変化をロータの変化に予測可能に合致させることができる。実際、寸法を変化させることができないことによりフライホイールロータ破壊を引き起こす既知の脆弱なセラミック磁石に比べて、本開示の変形形態による磁石は、高い周速時に約１％から約５０％の率で予測可能に半径方向に伸張するように設計および調整され、一方、寸法が長手方向で約０％から約１％未満の量だけ変化する。

【００５４】

本開示による磁石は、磁性粉に繊維を含浸させることによって、または積層を製造し、繊維をゴムシート材料に添加することによって作製することができることを理解されたい。選択される繊維のタイプは、所望の応用例に応じて選ぶことができ、たとえば平織り、朱子織りなど織布とすることができる。縦糸と横糸に関しては、トウは、同じまたは異なるものとすることができ、したがって複数の材料を得られる１つの布内に組み込んでもよい。繊維は、たとえばレーザアブレーション、ＵＶ処理、酸エッチング、プラズマ処理など、任意選択の表面処理にかけてもよい。さらに、たとえばシラン、チタネート、ジルコネートなど、任意選択のカップリング剤を与えてもよい。

【００５５】

複合体層の厚さは、磁石シートの所望の最終的な厚さによって決まることになる。最終的な磁石シートの厚さは、たとえばフライホイールロータ内など、その所期の用途によって決まることになる。本開示によるフライホイールアセンブリの場合、磁性粉は、約１～２μｍの好ましい直径を有する。繊維は、約１μｍから約１０μｍの直径を有することが好ましい。それと共に、所望の最終用途の制約に応じて、磁性粉と繊維の層は、約１～２ｍｍの厚さを有し、ゴムシートは、約０．１ｍｍから約１０ｍｍ、より好ましくは約１～２ｍｍの全体的な所望の厚さを有する。

【００５６】

磁石のために選択される実際の製造方法は、噴霧体積（たとえば繊維ガラス製造および加工に有用なチョップトファイバと共にたとえば使用するためのもの）、モールディング（円筒形のフライホイールロータ内に挿入するための継ぎ目なし磁石の製造に特に有用）、たとえばテーブル上で、またはドラムに巻かれて行われる積層工程であり、繊維のトウがドラムに巻かれ長手方向で切断され、円筒形の磁石を生産するものなどを含む。

【００５７】

本開示によれば、ロータは、たとえば炭素繊維含有材料、ガラス繊維含有材料、金属含有材料、およびそれらの組合せなど、高強度材料を含むことが好ましい。カーボンナノチューブ（ＣＮＴ）含有材料が特に好ましい。そのような材料は、円筒形のナノ構造を有する炭素の同素体である。ナノチューブは、他のどの材料よりも著しく大きい最大１３２，０００，０００：１の長さ対直径比で構築されている。これらの円筒形の炭素分子は、ナノテクノロジ、エレクトロニクス、光学、ならびに他の材料科学および材料技術の分野にとって価値のある独特の特性を有する。カーボンナノチューブは、それらの熱伝導性および機械的、電気的特性のために、様々な構造材料に対する添加剤として応用される。ナノチューブは、シングルウォールナノチューブ（ＳＷＮＴ）とマルチウォールナノチューブ（ＭＷＮＴ）として分類される。個々のナノチューブは、ファンデルワールス力、より具体的にはπスタッキングによって共に保持される「ロープ」の形に自然に整列する。

【００５８】

本開示で使用される好ましいＣＮＴは、仕上げ後の複合体材料および製品に、現在知られているものより望ましい物理的特性（たとえば、より高いロータ引張り強度）を与えるように、マトリクス内の配向度および体積分率を制御することによって特別に配合される。

【００５９】

本明細書に開示されている変形形態によれば、好ましいＭＷＣＮＴを含めて著しく改善された強度／密度比を有するロータ材料をオープンコアフライホイールアーキテクチャに組み込むことは、フライホイールロータエネルギー密度を約２６４Ｗｈ／ｋｇという現在知られている値から少なくとも約４７３Ｗｈ／ｋｇに高め、それに対応する約１１ＧＰａから約６３ＧＰａへの繊維引張り強度の増大をもたらすことになる（既知のデバイスから少なくとも約８０％の効率および強度の増大）。実際、ＭＷＣＮＴの壁厚を約０．０７５ｎｍの物理的な壁厚に正規化すると、少なくとも約６３ＧＰａの理論壁厚が達成可能である。さらに、シングルウォールＣＮＴ（ＳＷＣＮＴ）もまた企図されており、ＳＷＣＮＴは、適切な、さらには優れた質量効率的（ｍａｓｓ　ｅｆｆｉｃｉｅｎｔ）補強をもたらすことができるので、本明細書に記載の本発明のフライホイールアセンブリのロータ構成部品に組み込むことができることを理解されたい。典型的なＳＷＣＮＴは、約１．３５ｎｍの直径を有する。この直径を１原子の原子間間隔と共に使用して、わずか３９％のＶｆが達成可能である。３ｎｍの直径は、６０％のＶｆを生み出すことになる。本開示と共に使用するための最適なＣＮＴは、ＣＮＴ直径、達成可能なＶｆ、およびＣＮＴ補強の効率を釣り合わせるものであることを理解されたい。

【００６０】

好ましい変形形態によれば、大抵のフライホイールロータが、ＨＴＳ軸受けによって磁気的に浮揚されるフィラメント巻き繊維複合体を含む。ＨＴＳ軸受けは、ＰＭロータと、ＨＴＳステータとを備える。ＨＴＳステータの超伝導特性により、浮揚は受動的なものであり、有意なフィードバックまたは能動制御は必要としない。ＨＴＳステータは、Ｙ－Ｂａ－Ｃｕ－Ｏの個々のＨＴＳ結晶の配列、またはＹがたとえばＧｄ、Ｎｄ、Ｅｕなど他の希土類元素で置き換えられ、冷凍機のコールドヘッドに対する熱伝導によって約７０Ｋから約８０Ｋの温度に冷却された他の材料の個々のＨＴＳ結晶の配列を含むことが好ましい。軸受け動作に極低温の液体（たとえば液体窒素など）が必要とされないことが好ましい。ブラシレスＭ／Ｇは、ＰＭロータと、好ましくは強磁性ヨーク内に銅巻線を備えるステータとを備える。Ｍ／Ｇステータ冷却は、真空チャンバ壁に対する熱伝導によって行われる。この機能のために寄生エネルギーは必要とされない。エネルギー吸収用封じ込めレイヤは、回転するフライホイールと外側真空シェルとの間に配置される。真空チャンバと真空チャンバ内の静止構成部品両方の重量を最小限に保ち、フライホイール配列のエネルギー密度要件を満たすことが好ましい。好ましいシステムの他の主要な構成部品は、リフト軸受け、タッチダウン軸受け、およびパワーエレクトロニクスを含む。

【００６１】

本明細書に開示されているフライホイールシステムのための有用な応用例は豊富である。実際、持続可能なエネルギー貯蔵および効果的利用のためのどのような必要とされるニーズも、本開示から用途および利益を得るはずである。好ましい変形形態では、フライホイールアセンブリは、それだけには限らないが航空機、宇宙機、および陸上および水上および水中ビークルを含めて、有人および無人のビークルで使用するための持続可能な電力源として特に有用性を有する。たとえば、本開示のフライホイールシステムの実質的に無音の動作により、無音またはステルスモードでの有人または無人のビークル運転が可能になる。さらに、現在開示されているシステムは、急速充放電、ならびに、たとえばグリッド、再生可能エネルギー源、発電機など、あらゆる使用可能なエネルギー源から充電することを可能にする。さらに、開示されている変形形態を、移動運転および静止運転での断続しないエネルギー貯蔵および制限可能なエネルギー貯蔵または効果的利用を必要とする静的または移動型のデバイス、システム、またはビークルに組み込むために、独特な工具またはインフラストラクチャは必要とされない。開示されている変形形態のオープンコア

アーキテクチャ設計に対するモジュール型手法は、全体的なシステム破壊の危険性を低減し、既知のフライホイールシステムに比べてより深い（たとえば、約９５％を超える）エネルギー放出をさらに可能にする。さらに、これらのシステムは、フライホイール回転スピードの監視だけに基づいて非常に正確な充電の判定を可能にする。

【００６２】

好ましい変形形態および代替形態について例示し述べたが、本開示の精神および範囲から逸脱することなしに、様々な変更および置き換えを行うことができることを理解されたい。したがって、本開示の範囲は、添付の特許請求の範囲、およびその均等物によってのみ限定されるべきである。

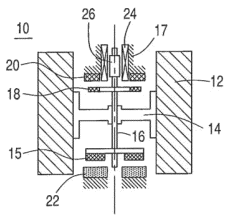
【符号の説明】

【００６３】

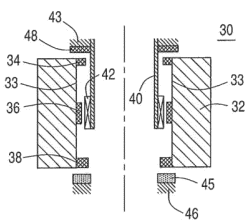
１０　シャフト－ハブフライホイールアセンブリ
１２　繊維複合体リムロータ
１４　ハブ
１５　永久磁石
１６　シャフト
１７　支持体
１８　永久磁石
２０　永久磁石
２２　高温超伝導体
２４　ステータコイル
２６　永久磁石
３０　フライホイールアーキテクチャ
３２　繊維複合体リムロータ
３３　内面
３４　永久磁石
３６　永久磁石
３８　永久磁石
４０　モータ／発電機
４２　ステータコイル
４３　支持構造物
４５　高温超伝導体
４６　支持体
４８　永久磁石
３３０　フライホイールアセンブリ
３３２　チャンバ壁
３３４　外側ロータ
３３６　Ｍ／Ｇステータ
３３８　ＰＭリフト軸受け
３４０　外側ＨＴＳ軸受け
３４２　内側ロータ
３４４　内側ＰＭリフト軸受け
３４６　内側ＨＴＳ軸受け
３４８　Ｍ／Ｇステータ
３５０　冷凍機
３５２　真空ポンプ
１２００　ロータアセンブリ
１２０２　ロータ
１２０４　内壁
１２０６　外部ロータ壁

１２０８　磁石
１２１０　内壁
１２１２　外壁
１２１４　中心線
１２２０　ロータアセンブリ
１２２２　ロータ磁石
１２２４　ロータ
１２２６　中心線

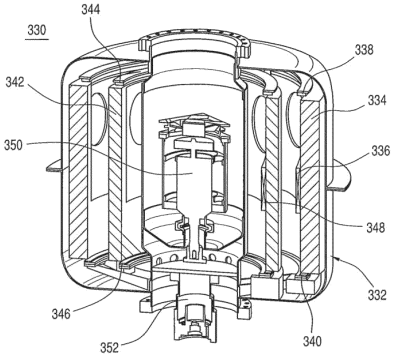
【図１Ａ】



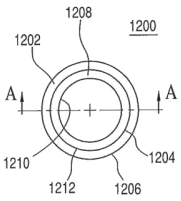
【図１Ｂ】



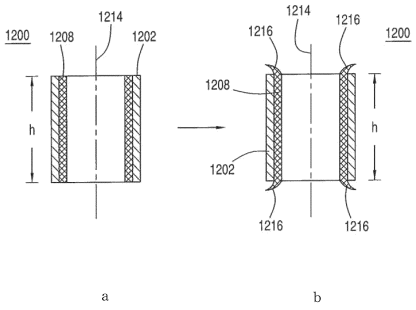
【図２】


330
344
338
342
334
350
336
348
332
346
352
340

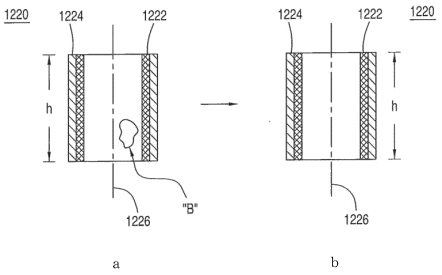
【図３】


1208
1200
1202
A
A
1210
1204
1212
1206

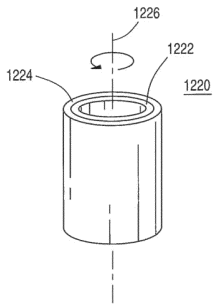
【図４】


1200
1208
1214
1202
h
1214
1216
1216
1200
1208
h
1202
1216
1216
a
b

【図５】


1220
1224
1222
h
"B"
1226
1224
1222
1220
h
1226
a
b

【図６】



【図７】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
H02K	***1/27***	***(2006.01)***	H02K	1/27	502Z
F16C	***32/04***	***(2006.01)***	F16C	32/04	Z
F16H	***33/02***	***(2006.01)***	F16H	33/02	A
H02K	***7/09***	***(2006.01)***	H02K	7/09	
H02J	***15/00***	***(2006.01)***	H02J	15/00	A

(72)発明者 ハル, ジョン アール.
アメリカ合衆国 ワシントン 98124, シアトル, ピー. オー. ボックス 3707
(72)発明者 ミットライダー, ジョン エー.
アメリカ合衆国 ワシントン 98124, シアトル, ピー. オー. ボックス 3707
(72)発明者 ウィレンスキ, マーク エス.
アメリカ合衆国 ワシントン 98124, シアトル, ピー. オー. ボックス 3707

審査官 マキロイ 寛済

(56)参考文献 特開平5－176506（JP, A）
特開平9－19093（JP, A）
特開2009－238996（JP, A）
特開2000－313027（JP, A）
米国特許第6873235（US, B2）

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 1／22
F16C 32／04
F16H 33／02
H01F 1／055
H01F 1／057
H01F 1／08
H01F 1／113
H02J 15／00
H02K 1／27
H02K 7／09