(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7702354号
(P7702354)

(45)発行日　令和7年7月3日(2025.7.3)

(24)登録日　令和7年6月25日(2025.6.25)

(51)国際特許分類		FI		
H02K 1/28 (2006.01)		H02K	1/28	D
F03D 80/60 (2016.01)		F03D	80/60	
H02K 7/18 (2006.01)		H02K	1/28	A
H02K 9/02 (2006.01)		H02K	7/18	A
		H02K	9/02	Z

請求項の数　26　（全19頁）

(21)出願番号　特願2021-540258(P2021-540258)
(86)(22)出願日　令和2年1月9日(2020.1.9)
(65)公表番号　特表2022-517093(P2022-517093A)
(43)公表日　令和4年3月4日(2022.3.4)
(86)国際出願番号　PCT/DK2020/050005
(87)国際公開番号　WO2020/143888
(87)国際公開日　令和2年7月16日(2020.7.16)
審査請求日　令和4年10月24日(2022.10.24)
審判番号　不服2024-6308(P2024-6308/J1)
審判請求日　令和6年4月12日(2024.4.12)
(31)優先権主張番号　62/790,558
(32)優先日　平成31年1月10日(2019.1.10)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

最終頁に続く

(73)特許権者　514130633
ヴェスタス ウィンド システムズ エー／エス
デンマーク ＤＫ－８２００ アーハス エヌ，ヒーデガー ４２
(74)代理人　100094112
弁理士　岡部 譲
(74)代理人　100101498
弁理士　越智 隆夫
(74)代理人　100107401
弁理士　高橋 誠一郎
(74)代理人　100120064
弁理士　松井 孝夫
(74)代理人　100182257
弁理士　川内 英主

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　発電機ロータアセンブリ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

風力タービン用の発電機ロータアセンブリ（４２）であって、前記発電機ロータアセンブリ（４２）は、中央中空部を画成すると共に回転軸回りに回転するように配置された円筒状リング構造体（４６）を備え、前記円筒状リング構造体（４６）は、

前記回転軸の周りに同軸的に配置された複数の永久磁石パッケージ（４８）を備え、前記永久磁石パッケージ（４８）は、

前記回転軸の周りに配置されて環状層を形成する複数の連続するセグメントシート（８２）を含む複数の同軸に積層された環状セグメント層（８０）であって、前記積層された層（８０）は、一の層における２つの連続するセグメントシート（８２）間のセグメント分離部が、隣接する層における２つの連続するセグメントシート（８２）間のセグメント分離部に対して角度的にオフセットされるように千鳥状に配置されている、複数の積層された環状セグメント層と、

前記永久磁石パッケージ（４８）の層を軸方向に貫通して延びる複数のタイロッド孔（８６）であって、隣接する永久磁石パッケージ（４８）の複数のタイロッド孔（８６）は、該複数のタイロッド孔が画定されるように、寸法および位置が相補的である、複数のタイロッド孔と、

前記複数のタイロッド孔のそれぞれを貫通して延びる複数のタイロッド（５４）と、を有し、

端面の少なくとも一つが少なくとも部分的に開放されており、冷却空気流が発電機ロー

タアセンブリ（４２）の外部から前記中央中空部に流れることを可能にしている、発電機ロータアセンブリ。
【請求項２】
前記セグメントシート（８２）のすべては、タイロッド分離角にわたって間隔をおいて配置された多数のタイロッド孔（８６）を含み、２つの隣接する層の間の角度オフセットが、タイロッド分離角の倍数である、請求項１に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項３】
前記永久磁石パッケージ（４８）における任意の２つの隣接する層の間の角度オフセットが少なくとも２つのタイロッド分離角度である、請求項１又は２に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項４】
前記永久磁石パッケージ（４８）の各層について、隣接する層との角度オフセットが、後続する層との角度オフセットよりも大きい、請求項１乃至３のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項５】
前記永久磁石パッケージ（４８）内の各層の間で互いに角度オフセットしていない層の数は、セグメントシート当たりのタイロッド孔（８６）の総数から１を引いた数に等しい、請求項２乃至４のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項６】
前記セグメントシート当たりのタイロッド孔（８６）の総数が、前記永久磁石パッケージ（４８）内の層の数以下であり、前記永久磁石パッケージ（４８）内のすべての層が、互いに対して角度的にオフセットされている、請求項２乃至４のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項７】
前記セグメントシートの各々が、内部永久磁石を受け入れて磁極を確立するための多数の磁石孔のペア（８８）をさらに含み、前記磁石孔のペア（８８）の数は前記タイロッド孔（８６）の数と等しいか、又は倍数である、請求項２乃至６のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項８】
前記複数の積層された環状セグメント層が互いに接着されている、請求項１乃至７のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項９】
前記タイロッド（５４）上で、かつ隣接する前記永久磁石パッケージ（４８）の間に配置された複数のスペーサ（５６）をさらに備える、請求項１乃至８のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１０】
複数の前記永久磁石パッケージ（４８）は、前記円筒状リング構造体（４６）の対向する端部に配置された２つの端部パッケージ（５０）を含み、
前記円筒状リング構造体（４６）は、前記端部パッケージ（５０）の１つに強固に取り付けられたロータ連結部（５８）を含む環状フランジ（５７）と、駆動軸に直接又は間接的に接続されるように構成された駆動軸連結部（６０）とをさらに含む、請求項１乃至９のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１１】
前記端部パッケージ（５０）は、前記円筒状リング構造体（４６）の駆動端部および非駆動端部に配置され、
前記非駆動端部は、使用時に、風力タービンの駆動ラインとは反対側を向いており、前記環状フランジ（５７）が、前記非駆動端部で前記端部パッケージ（５０）に強固に取り付けられている、請求項１０に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１２】
前記ロータ連結部（５８）は、前記ロータ連結部（５８）を軸方向に貫通して延びる複

数のタイロッド孔を含み、
前記ロータ連結部（５８）の前記複数のタイロッド孔は、前記複数のタイロッド（５４）を受け入れて、前記環状フランジ（５７）をそれに取り付けるために配置される、請求項１０又は１１に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１３】
前記ロータ連結部（５８）は、前記端部パッケージ（５０）に平行にかつ直接接触して取り付けられる、請求項１０乃至１２のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１４】
前記駆動軸連結部（６０）は、前記ロータ連結部（５８）と一致するか、又は平行な平面内に延びる、請求項１０乃至１３のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１５】
前記駆動軸連結部（６０）の周長は、前記ロータ連結部（５８）の周長よりも短い、請求項１０乃至１４のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１６】
前記環状フランジ（５７）は、前記ロータ連結部（５８）を前記駆動軸連結部（６０）に連結する中間部（６２）をさらに備え、
前記中間部（６２）は、前記ロータ連結部（５８）に対して、９０度から１８０度、好ましくは１０５度から１６５度、さらに好ましくは１２０度から１５０度で配置され、前記駆動軸連結部（６０）に対して、９０度から１８０度、好ましくは１０５度から１６５度、さらに好ましくは１２０度から１５０度で配置される、請求項１０乃至１５のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１７】
前記中間部（６２）は、前記ロータ連結部（５８）に沿って所定の間隔でかつ前記回転軸の周りに同心円状に配置された複数のブリッジ部（６４）を含み、ブリッジ間隙（６６）が隣接するブリッジ部（６４）間に画定される、請求項１６に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１８】
前記ロータ連結部（５８）は、前記ロータ連結部（５８）を前記端部パッケージ（５０）にクランプする複数のクランプをさらに備える、請求項１０乃至１７のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項１９】
前記環状フランジ（５７）の周長は、前記端部パッケージ（５０）の周長と実質的に等しい、請求項１０乃至１８のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２０】
前記駆動軸連結部（６０）は、環状要素を含む、請求項１０乃至１９のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２１】
前記環状フランジ（５７）は、前記駆動軸連結部（６０）に連結された駆動軸連結フレーム（６８）をさらに備え、
前記駆動軸連結フレーム（６８）は、前記中央中空部内に延び、前記駆動軸連結フレーム（６８）は、前記環状フランジ（５７）を前記駆動軸に連結するように構成されている、請求項１０乃至２０のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２２】
前記複数の永久磁石パッケージ（４８）の少なくとも一部の間に設けられ、前記中央中空部から前記発電機ロータアセンブリ（４２）の外部に向かう冷却空気流の生成を可能にする冷却流路をさらに備える、請求項１乃至２１のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２３】
前記セグメントシート（８２）の各々は、少なくとも２つの磁石対（８４）を含む、請求項１乃至２２のいずれか１項に記載の発電機回転子アセンブリ。

【請求項２４】
前記セグメントシート（８２）の各々は、すべてのセグメントシート（８２）が、環状層（８０）となる３６０度を構成するような寸法にされる、請求項１乃至２３のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２５】
前記発電機ロータアセンブリを支持するための中央ハブがなく、前記発電機ロータアセンブリが自立するように構成されている、請求項１乃至２４のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ。
【請求項２６】
請求項１乃至２５のいずれか１項に記載の発電機ロータアセンブリ（４）を有する発電機を備える風力タービン。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、発電機ロータアセンブリに関する。より詳細には、本発明は、風力タービン用の発電機ロータアセンブリに関する。
【背景技術】
【０００２】
風力タービンは、多数のロータブレードを備えた大きなロータを用いて、風からの運動エネルギーを電気エネルギーに変換する。典型的な水平軸風力タービン（ＨＡＷＴ）は、タワーと、タワーの頂部上のナセルと、ナセルに取り付けられたロータハブと、ロータハブに結合された複数の風力タービンロータブレードと、を含む。ナセルを回転させるヨーシステムとブレードを回転させるピッチシステムとにより、風の方向に応じてナセルとロータブレードとを最適な方向に回転し、向けさせる。
【０００３】
ナセルは、例えば発電機、ギアボックス、駆動系、およびロータブレーキアセンブリを含む風力タービンの多くの機能的構成要素、並びに、ロータにおける機械的エネルギーをグリッドに供給するための電気エネルギーに変換するための変換装置を収容する。ギアボックスは低速主軸の回転速度を上げ、ギアボックス出力軸を駆動する。ギアボックス出力軸はさらに発電機を駆動し、発電機はギアボックス出力軸の回転を電気に変換する。次いで、発電機によって生成された電気は、適切な消費者、例えば配電システムに供給される前に、必要に応じて変換され得る。ギアボックスを使用しない、いわゆる「直接駆動」風力タービンも知られている。直接駆動風力タービンでは、発電機はロータに接続されたシャフトによって直接駆動される。
【０００４】
通常、風力タービンの発電機は、内部ロータアセンブリを取り囲む外部ステータアセンブリからなるＩＰＭ（内部永久磁石）電気機械である。ＩＰＭ内部ロータアセンブリは、典型的には、中心軸に支持された複数の環状の永久磁石パッケージから構成される。ギアボックス出力軸は、ロータアセンブリの中心軸とインターフェースする。
【０００５】
他の電気機械と同様に、永久磁気パッケージは、典型的には、必要な磁場を生成する永久磁石を受け入れるための整列された孔を有する環状の金属層の積層体からなる。大型風力タービンの発電機のような大型発電機の場合、永久磁石パッケージの製造は、リングが単純に大きすぎて一体で製造することができないため困難である。金属層を多数のより小さなセグメントシートから組み立てることが知られており、これらのシートは全て中央ハブ上に設けられ、環状層を形成する。セグメント化された層は、単一の層金属片で作られた層と同じ強度および構造的一体性を有していなくてもよいが、中央ハブは、使用中にロータに作用する全ての遠心力および他の力に耐えるのに十分すぎるほどの構造的な支持をロータに提供する。
【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
風力タービン発電機の設計に対する別の技術的考慮事項は、発電機が使用中に加熱されると、発電機の効率が低下することである。これは、ギアボックスなど、風力タービンのその他の主要コンポーネントにも適用される。風力タービンの性能と寿命とは、したがって発電機の効率的な冷却に依存する。
【０００７】
空冷は、発電機を冷却する費用効果の高い方法である。しかしながら、発電機ハウジングの限定された空間内にあるメガワット規模の発電機は、発電機を効果的に冷却するための現在の空冷方法に対して過剰な熱を発生する。発電機の効率的な冷却の欠如は、回転子アセンブリのような発電機構成要素の内部および周囲の温度上昇をもたらす。
【０００８】
本発明の目的は、上述の１つ以上の問題に対する解決策を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
本発明の第１の態様によれば、上述した目的は、風力タービン用の発電機ロータアセンブリを備え、前記発電機ロータアセンブリが、中央中空部を画定し、回転軸回りに回転するように配置された円筒状リング構造体を備えることによって達成される。円筒状リング構造体は、回転軸の周りに同軸に配置された複数の永久磁石パッケージを含み、該永久磁石パッケージは、複数の同軸に積み重ねられた環状セグメント化層、複数のタイロッド孔、および複数のタイロッドを含む。同軸に積層された環状セグメント化層は、環状層を形成するために回転軸の周りに配置された複数の連続するセグメントシートを含み、積層された層は、層のうちの１つにおける２つの連続するセグメントシート間のセグメントブレーク（セグメント分離部）が、隣接する層における２つの連続するシート間のセグメントブレークに対して角度的にオフセットされるように千鳥配置（ｓｔａｇｇｅｒｅｄ）される。タイロッド孔は、永久磁石パッケージの層を軸方向に貫通して延び、隣接する永久磁石パッケージの複数のタイロッド孔は、複数のタイロッド孔が画定されるように、寸法および位置が相補的である。タイロッドは、複数のタイロッド孔のそれぞれを貫通して延びている。
【００１０】
環状のセグメント化された層の千鳥配置は、永久磁石パッケージの積み重ねられた層の間の摩擦を増大させる。それに加えて、軸方向タイボルト予圧力は、個々の永久磁石パッケージおよび円筒リング構造全体の強度構造および構造的一体性を高める。これらの利点は、固体リングと同様の強度を有し、典型的な風力タービン発電機においてそれに加えられる遠心力（および他の力）に耐えることができる大きな永久磁石パッケージを製造することを可能にする。その結果、これにより、永久磁石パッケージを中央ハブ上に組み立てる必要なく、大型発電機ロータアセンブリ構造を製造することができる。
【００１１】
ロータアセンブリ内に中央ハブを有しないことは、コストおよび重量の低減並びに冷却空気流の改善のような多くの重要な利点をもたらす。発電機の中央に供給される冷却空気は、軸方向および半径方向に自由に流れることができ、ロータおよびその直接近傍に位置する発電機部品を効果的に冷却することができる。本発明によるロータ構造の更なる重要な利点は、ロータアセンブリのモジュール特性である。ロータアセンブリの技術仕様は、例えば、永久磁石パッケージの適切な数およびパッケージ当たりの層の数を選択することによって、要求される性能に容易に適合させることができる。
【００１２】
好ましい実施形態では、発電機ロータアセンブリは、冷却空気流が発電機ロータアセンブリの外部から中央中空部に流れることを可能にするために、その端面の少なくとも１つが少なくとも部分的に開放されている。冷却流路は、複数の永久磁石パッケージの少なくとも一部の間に設けられて、冷却空気流が中央中空部から冷却流路を通って発電機ロータ

アセンブリの外部に向かって流れることを可能にする。
【００１３】
好ましくは、発電機ロータアセンブリは、タイロッド上および隣接する永久磁石パッケージ間に配置された複数のスペーサをさらに含む。このようなスペーサは、後続の永久磁石パッケージ間の空隙を提供し、この空隙を通して、冷却空気流は、ステータおよび発電機の外部ハウジングに近い任意の部分にも到達することができる。
【００１４】
好ましい実施形態では、すべてのセグメントシートは、タイロッド分離角度にわたって間隔を置いて配置された多数のタイロッド孔を含み、２つの隣接する層の間の角度オフセットは、タイロッド分離角度の倍数である。タイロッドが全ての永久磁石パッケージを貫通して延びることができることを確実にするために、隣接する層のタイロッド孔が整列されることが重要であり、また、層が千鳥配置され、層間の角度オフセットが導入される場合も重要である。すべてのセグメントシートが複数のタイロッド孔を有する場合、これは、必要なタイロッド孔を形成することを可能にするより多くの異なる角度オフセットを可能にする。
【００１５】
一実施形態によると、永久磁石パッケージ内の任意の２つの隣接層の間の角度オフセットは、少なくとも２つのタイロッド分離角度である。隣接する層のセグメントブレーク間の距離が大きいほど、各セグメントシートの重なりが大きくなり、２つの層の間の摩擦が大きくなる。摩擦の増加は、磁石パッケージ全体の強度および構造的完全性の向上につながる。
【００１６】
特別な実施形態では、永久磁石パッケージ内のすべての層について、隣接層との角度オフセットは、後続の層との角度オフセットよりも大きい。得られたジグザグ配列は、永久磁石パッケージの強度および構造的一体性をさらに高める。
【００１７】
これらの態様をさらに改善するために、永久磁石パッケージ内の２つの層ごとに互いに角度的にオフセットしていない層の数は、セグメントシート当たりのタイロッド孔の総数から１を引いた数に等しい。このような実施形態では、利用可能な全ての異なる角度オフセットが使用される。
【００１８】
例えば、接着剤又はバックラックのような接着ワニスを用いて、複数の層を一緒に接着することによって、より強固で強力な永久磁石パッケージを得ることができる。
【００１９】
円筒状リング構造体は、該円筒状リング構造体の端部パッケージの１つに確実に取り付けられるロータ連結部を備える環状フランジをさらに備えてもよい。このフランジはさらに、駆動軸に直接又は間接的に接続するように構成された駆動軸連結部を含む。このフランジは、ロータ中心を通って永久磁石パッケージおよびステータへの冷却空気の流れを妨げることなく、ハブレスロータを例えばギアボックスの出力軸に接続することを可能にする。
【００２０】
環状フランジは、ロータの非駆動端部で端部パッケージに確実に取り付けられてもよい。フランジはタイロッドを介して端部パッケージに接続することができる。
【００２１】
本発明のさらなる態様によれば、風力タービンは、上述又は以下に記載される発電機ロータアセンブリを有する発電機を備える。
【図面の簡単な説明】
【００２２】
【図１】典型的な風力タービンを示す正面概略図である。
【図２】典型的な風力タービンのナセル内に収容された主要機能構成要素の概略図および

斜視図である。
【図３】ギアボックスに連結された図２に示すナセルの発電機の等角図である。
【図４】図３に示す発電機の断面図である。
【図５】本発明の一実施形態による、コネクタに接続された発電機ロータの非駆動端側斜視図である。
【図６】図５に示す発電機ロータアセンブリの駆動端斜視図である。
【図７】図５および図６に示す発電機ロータアセンブリの一部を形成する環状層の正面図である。
【図８Ａ】図７に示す環状層のセグメントシートの正面図である。
【図８Ｂ】図８Ａに示すセグメントシートの一部の正面図である。
【図９】図５および図６に示す発電機ロータアセンブリの永久磁石リングを形成するために積層された複数の環状層の側面概略図である。
【図１０】図５および図６に示す発電機ロータアセンブリの部分断面図である。
【図１１】図５、図６および図１０に示す発電機ロータアセンブリの側方断面図である。
【図１２】コネクタを取り外した図５に示す発電機ロータアセンブリの非駆動端部の斜視図である。
【図１３】本発明の一実施形態による、発電機ハウジング、発電機ロータアセンブリ、および発電機ステータアセンブリの分解図である。
【発明を実施するための形態】
【００２３】
以下、添付図面を参照して、本発明を一例として説明する。
【００２４】
次に、本発明の具体的な実施形態について説明するが、この実施形態では、特許請求の範囲に定義されている発明概念の完全な理解を提供するために、多数の特徴が詳細に検討される。しかしながら、当業者には、本発明が特定の詳細なしに実施され得ること、および、いくつかの例では、本発明を不必要に不明瞭にしないために、周知の方法、技術および構造が詳細に記載されていないことが明らかであろう。
【００２５】
本発明の実施形態を適切な文脈に置くために、まず、本発明の実施形態による発電機ロータアセンブリを実装することができる典型的な水平軸風車（ＨＡＷＴ）を示す図１を参照する。この特定の画像は陸上の風力タービンを示すが、同様の特徴が洋上の風力タービンにも見られることが理解されよう。さらに、該風力タービンは「水平軸」と呼ばれるが、実際的な目的のために、軸は、通常、強風の場合にロータブレードと風力タービンタワーとの間の接触を防止するためにわずかに傾斜していることが当業者には理解されよう。
【００２６】
風力タービン１は、タワー２と、タワー２の頂部にヨーシステムにより回転可能に連結されたナセル４と、ナセル４に取り付けられたロータハブ８と、ロータハブ８に連結された複数の風力タービンロータブレード１０とを備える。ナセル４およびロータブレード１０は、ヨーシステムによって風向方向に旋回される。
【００２７】
ナセル４は、発電機、ギアボックス、駆動系、およびロータブレーキアセンブリを含む風力タービンの多くの機能部品、並びに風力の機械的エネルギーを電気的エネルギーに変換してグリッドに供給するための変換装置を収容する。図２を参照すると、ナセル４は、シャフトハウジング２０、ギアボックス２２、および発電機２４を含むことができる。メインシャフト２６は、シャフトハウジング２０を貫通して延び、ベアリング（図示せず）に支持されている。メインシャフト２６は、ロータ８に連結されて駆動され、ギアボックス２２に入力駆動を提供する。ギアボックス２２は、図示しないインターナルギアを介して低速主軸の回転数を上昇させ、ギアボックス出力軸を駆動する。ギアボックス出力軸は、続いて発電機２４を駆動し、発電機はギアボックス出力軸の回転を電気に変換する。次いで、発電機２４によって生成された電気は、適切な消費者、例えば配電システムに供給

される前に、必要に応じて他の構成要素（図示せず）によって変換され得る。ギアボックスを使用しない、いわゆる「直接駆動」風力タービンも知られている。したがって、ギアボックスはオプションとみなすことができる。

【００２８】

ギアボックス２２および発電機２４は、一体化されたユニット内で一緒に結合されてもよい。図３は、発電機２４をより詳細に示す。図３では、ギアボックス２２の最終段のハウジングも、発電機２４のハウジングに連結されているように示されている。

【００２９】

最初にギアボックス２２を参照すると、ギアボックスハウジングは、形状が概ね円筒状であり、その主要回転軸が図面の向きで水平になるように方向付けられる。ギアボックスハウジングの円筒形状は、図示の実施形態で使用される特定のタイプのギアボックスによるものであり、それは遊星歯車ギアボックスである。当業者であれば知っているように、遊星歯車ギアボックスは、中央太陽歯車の周りに配置された一連の遊星歯車からなり、これらの遊星歯車は、環状リング歯車内に集合的に配置されている。環状ギア、遊星ギア、太陽ギア間の歯数の比率によって、ギアボックスのギア比が決まる。ギアボックスは本発明の主要な主題ではないので、ここでは、明確にするために、ギアボックスの詳細な説明は省略する。現在のところ、遊星歯車ギアボックスは、風力タービンナセルの領域に適合するエレガントな解決策を提供すると考えられているが、他のギアボックス構成も使用することができると言うだけで十分である。

【００３０】

ギアボックス２２の出力軸は、発電機２４のロータ３２と連結する。したがって、ギアボックス出力軸の主軸は、発電機２４の回転軸を規定する。図４では、発電機２４のみの断面図が提供される。図示の実施形態における発電機２４は、ロータ３２を取り囲む外部ステータを有するＩＰＭ（内部永久磁石）電気機械である。ステータは、ステータ巻線３８と、ステータコア４０と、ステータ巻線３８およびステータコア４０を囲み支持するステータフレームとを含む。しかしながら、本発明は、特定のタイプのステータに限定されないことに留意されたい。

【００３１】

本発明の一実施形態によれば、発電機２４のロータ３２の一部を形成する発電機ロータアセンブリ４２が提供される。このような発電機ロータアセンブリ４２について、図６から図１１を参照して以下に説明する。発電機ロータアセンブリ４２は、非駆動端を有しており、これにより、該非駆動端は、風力タービンが使用されているときには、風力タービンドライブラインとは反対の方向を向いており、また、タービンが使用されているときには、駆動ラインの方向を向いている駆動端を有している。発電機ロータアセンブリ４２の非駆動端面図を図５に、発電機ロータアセンブリ４２の駆動端面図を図６に示す。

【００３２】

発電機ロータアセンブリ４２は、中央中空部を規定する円筒状のリング構造体４６からなり、回転軸を中心に回転するように配置されている。円筒状リング構造体４６は、複数の永久磁石パッケージ４８を含む。本実施形態では、永久磁石パッケージ４８は、全て同じ円周および厚さである。いくつかの実施形態では、永久磁石パッケージ４８の厚さは、互いに異なってもよい。例えば、ロータは、２つの異なる厚さの永久磁石パッケージ４８を含むことができ、ここで、異なる厚さの永久磁石パッケージ４８は、交互に配置される。永久磁石パッケージ４８は、回転軸の周りに同軸に配置され、組み立てられたときに、永久磁石パッケージ４８の配置は、中央中空部を有する円筒構造を画定する。永久磁石パッケージ４８は、間隙が永久磁石パッケージ４８の各対の間に画定されるように、等しい距離だけ離間される。これらの間隙は、発電機の中心に供給される空気がロータ構造を通って流れ、発電機ロータアセンブリおよびロータアセンブリ４２の半径方向外側に位置する部分を含む発電機の他の部分を冷却することを可能にする。この空気流は、ロータアセンブリ４２の構造および支持を提供するために中央ハブを必要としないという事実によってさらに強化される。

【００３３】
円筒状リング構造体４６は、２つの端部パッケージと、それらの間に設けられた複数の永久磁石パッケージ４８とによって画定される。２つの端部パッケージは、第１の端部パッケージ５０と、円筒状リング構造体４６の対向する端部に配置された第２の端部パッケージとを含む。すなわち、図５に示すように、第１の端部パッケージ５０は、円筒状リング構造体４６の非駆動端部に位置し、第２の端部パッケージは、円筒状リング構造体４６の駆動端部に位置する。
【００３４】
端部パッケージ５０は、円筒状リング構造体４６内の他の永久磁石パッケージ４８と同様に、一般的には単なる通常の永久磁石パッケージであるが、円筒状リング構造体４６の端部に設けられる点が唯一の例外であることに留意されたい。あるいは、端部パッケージの一方又は両方は、他の永久磁石パッケージ４８よりも厚い厚さを有してもよい。端部パッケージ５０は、円筒状リング構造体４６の発電機の他の部分への接続、又は円筒状リング構造体４６の外面を覆うコーティングを可能にする追加の特徴をさらに備えてもよい。端部リング５２は、端部パッケージ５０の一方又は両方に接続されてもよく、端部リング５２は、永久磁石自体を含んでいてもよい。
【００３５】
永久磁石パッケージ４８は、永久磁石パッケージ４８を軸方向に貫通して延びる複数のタイロッド孔を含む。該孔は、各永久磁石パッケージ４８の本体の周囲に配置される。該孔は、好ましくは、等しい距離、すなわち角度だけ離間される。隣接する永久磁石パッケージ４８の孔は、複数のタイロッド孔が画定されるように、寸法および位置が相補的である。タイロッド孔は、回転軸線の周りに同心円状に配置される。タイロッド孔は、円筒状リング構造体４６のパッケージ４８を通って、第１の端部パッケージ５０から第２の端部パッケージまで延在し、場合によっては、任意の追加の端部リング５２又は円筒状リング構造体４６に直接接続された他の構造要素をも通って延在する。
【００３６】
複数のタイロッド５４は、複数のタイロッド孔のそれぞれを貫通して延びている。タイロッド５４上および隣接する永久磁石パッケージ４８間には、複数のスペーサ又はワッシャ５６が配置される。したがって、タイロッド孔は、タイロッド孔の内面とワッシャ５６との繰り返しパターンによって画定される。他の実施形態では、ワッシャ５６を全く使用せず、それによって、複数のロッド５４によっても支持される単一の永久磁石パッケージロータを提供することに留意されたい。
【００３７】
永久磁石パッケージ４８は、その一実施形態が図７～９に示されており、複数の同軸に積層された環状のセグメント化層８０を含み、各セグメント化層は、環状層８０を形成するために回転軸の周りに配置された複数の連続するセグメントシート８２を含む。タイロッド孔８６は、永久磁石パッケージ４８の層を軸方向に貫通して延び、隣接する永久磁石パッケージ４８の複数のタイロッド孔８６は、複数のタイロッド孔が画定され、タイロッド５４は、複数のタイロッド孔のそれぞれを貫通して延びるように、寸法および位置が相補的である。
【００３８】
完全な環状層８０の正面図を図７に示す。セグメントシート８２の拡大図を図８Ａおよび８Ｂに示す。環状層８０は、回転軸を中心に同心円状に配置された複数のセグメントシート８２からなる。本実施形態の環状層８０は、6枚のセグメントシート８２から構成されているが、他の実施形態では、他の数のセグメントシート８２を用いてもよい。効果的には、発電機ロータアセンブリの永久磁石パッケージ４８は、積層された層８０から形成され、それにより、各層８０は、それらのセグメント端部において互いに接合されてセグメント分離部を有する環状層８０を形成する複数のセグメントシート８２から形成される。好ましくは、全てのセグメントシート８２は同一であり、全てのセグメントシート８２が完全な環状層８０の３６０度を構成するような寸法である。

【００３９】
セグメントシート８２は、図８Ａに示すように、外周９０、内周９２および頂角９４（図７参照）によって画定される円弧である。頂角９４は、使用されるすべてのセグメントシート８２が同一であり得るように、３６０度を層８０当たりのセグメントシート８２の数で割った値に等しいことが好ましい。セグメントシート８２は、セグメントシート８２の両端に配置され、外周９０と内周９２とを連結する２つのセグメント端部を有する。２つのセグメント端部は、隣接するセグメントシート８２の端部に隣接している。
【００４０】
図７に示すセグメントシート８２は、6つの磁石対８４と同数のタイロッド孔８６とを含む。６つの連続するセグメントシート８２は、６つの分離セグメント、３６個の磁極、および３６個のタイロッド孔８６を有する環状層８０を形成する。ここで、磁極は、磁石孔８８に配置された一対の永久磁石によって形成される。この例では、各セグメントシート８２は、６つのタイロッド孔８６を有し、６つのＮ極磁極および６つのＳ極磁極を備えている。代替の実施形態では、セグメントシート８２当たりのタイロッド孔８６の数は、磁石対の量とは異なり、セグメントシート８２当たりのタイロッド孔８６および／又は磁石孔８８の量が異なることになる。また、磁極を提供するために使用される永久磁石の数も変化し得る。磁石孔８８の数は、タイロッド孔８６の数の倍数であることが好ましい。
【００４１】
ここに示す実施形態では、セグメントシート８２におけるタイロッド孔８６の位置は、部分タイロッド孔８６がセグメント端部に配置されるようになっている。完全な環状層８０に組み立てられると、セグメントの各側の部分タイロッド孔８６は、一緒に分離して完全タイロッド孔８６を形成する。別の配置では、完全タイロッド孔８６のみを有するセグメントシート８２となる。例えば、セグメントの分離は、磁石対の２つの磁石孔８８の間に設けられてもよく、磁石孔８８の中間に設けられてもよい。
【００４２】
セグメントシート８２からなる環状層８０は、図９に示すように、同軸に積層されて永久磁石パッケージ４８を形成する。層８０は、隣接する層８０Ａ～８０Ｆのセグメントシート８２が互いに角度的にオフセットするように積層される。図９に示すように、これにより、永久磁石パッケージ４８の層８０が千鳥状になる。
【００４３】
永久磁石パッケージ４８を貫通するタイロッド孔の形成を可能にするために、２つの隣接する層８０の角度オフセットは、タイロッド分離角度、すなわち２つの隣接するタイロッド孔８６間の角度距離に等しいか、又はその倍数である必要がある。対称なセットアップでは、タイロッド分離角度は、３６０度を円筒状リング構造体４６で使用されるタイロッドの総量で割った値、すなわちセグメントシート頂点角度９４をセグメントシート当たりのタイロッド孔８６の数で割った値に等しい。この例では、各セグメントシート８２が６つのタイロッド孔８６を有しているので、第１の層８０Ａに対する５つの異なる角度オフセットが可能である(すなわち、層８０Ａ～８０Ｆ当たり６つの異なる可能な配向)。
【００４４】
図９に示す好ましい実施形態によれば、永久磁石パッケージ４８内の任意の２つの隣接する層８０Ａ～８０Ｆの角度オフセットは、タイロッド分離角度の少なくとも２倍である。タイロッド分離角度にのみ対応するオフセットと比較して、この構成は、隣接する層８０間に付加的な摩擦を提供し、磁石パッケージ４８全体としての強度および構造的一体性を改善する。図中左側から始まる、第１の層８０Ａに対する第２の層８０Ｂの角度オフセットは、２つのタイロッド分離角度である。第１の層８０Ａに対する第３の層８０Ｃの角度オフセットは、５つのタイロッド分離角度である。第１の層８０Ａに対する第４の層８０Ｄの角度オフセットは、３つのタイロッド分離角度である。第１の層８０Ａに対する第５の層８０Ｅの角度オフセットは、１つのタイロッド分離角度である。第１の層８０Ａに対する第６の層８０Ｆの角度オフセットは、４つのタイロッド分離角度である。これらは、２つ、３つ、２つ、２つ、および３つのタイロッド分離角度の６つの連続する層８０Ａ

～８０Ｆ間の層間オフセットに変換されるが、依然として６つの利用可能な向きすべてを使用する。６つの層８０Ａ～８０Ｆの後、パッケージ４８が完成するまで同じパターンを繰り返してもよい。その結果、２つの層の間には、同じ配向を有する５つの層８０が常に存在し、それによって、磁石パッケージ４８全体の強度および構造的完全性が再び増大する。より一般的には、永久磁石パッケージ４８内の各層の間で互いに角度オフセットしていない層の数は、セグメントシート８２当たりのタイロッド孔８６の総数から１を引いた数に等しい。

【００４５】

層８０Ａ～８０Ｆ間にさらなる摩擦を加え、永久磁石パッケージ４８全体の強度および構造的一体性を向上させるために、一方の方向におけるすべてのオフセットは、他方の方向におけるオフセットに続く。換言すれば、永久磁石パッケージ４８内の各層８０Ａ～８０Ｆについて、隣接する層８０Ａ～８０Ｆでの角度オフセットは、後続する層８０Ａ～８０Ｆでの角度オフセットよりも大きい。６つの連続する層８０Ａ～８０Ｆの間の既にリスト化された層間オフセット（タイロッド分離角度で測定される）に方向性を加えると［＋２、＋３、－２、－２、＋３、＋２］であり、それによって＋３および－３は、層８０当たり６つのタイロッド孔８６を有する対称ナセットアップにおいて同じオフセットをもたらす。このジグザグ配列は、全てのオフセットが同じ方向にある場合よりも、永久磁石パッケージ４８の異なる層８０間デの摩擦結合をはるかに強くする。

【００４６】

本実施形態では、利用可能な角度方向（６、タイロッド孔８６の数に等しい）の数は、永久磁石パッケージ（１２）内の層の数よりも少ない。したがって、隣接する層８０間の角度オフセットは、第６の層まで異なることができる。第７層から始めて、永久磁石パッケージ４８の残りの層８０について回転のパターンが繰り返される。永久磁石パッケージ４８は、任意の数の層８０を含むことができ、その数は必ずしもセグメントシート８２当たりのタイロッド孔８６の数の倍数ではないことに留意されたい。代替的に、より薄い永久磁石パッケージ４８では、より厚い層８０を使用する場合、又はセグメントシート当たりより多くのタイロッド孔８６を有するより大きなセグメントシート８２を使用する場合、可能な配向の総数は、永久磁石パッケージ４８内の層８０の数に等しいか、又はそれより少なくてもよい。この場合、永久磁石パッケージ４８内のすべての層８０は、互いに角度的にオフセットすることができる。

【００４７】

千鳥状になることによって環状層８０間の摩擦力が増大し、特別な千鳥状パターンによってさらに増大することによって、同じ寸法の単一の中実リングと同様の強度および構造的一体性を有する層８０の積層体が得られる。構造的一体性をさらに改善するために、積層された環状層８０は、バックラックのような接着剤又は接着ワニスによって互いに接着されてもよい。

【００４８】

この千鳥状の構成は、固体リングと同様の強度を有し、典型的な風力タービン発電機においてそれに加えられる遠心力（および他の力）に耐えることができる大きな永久磁石パッケージ４８の製造を可能にする。したがって、それは、固体リングから発電機ロータアセンブリを製造することが不可能な、大型の発電機ロータアセンブリ構造を、永久磁石パッケージ４８を中央ハブ上に組み立てる必要なしに製造することを可能にする。ロータアセンブリ内に中央ハブを有しないことは、コストおよび重量の低減並びに冷却空気流の改善のような多くの重要な利点をもたらす。中央ハブがないということは、発電機の中央に供給された空気が軸方向および半径方向に自由に流れ、発電機ロータアセンブリ４２およびその直接近傍に位置する発電機の他の部分を冷却することを意味する。分割された環状層８０の千鳥状の配置と組み合わせて、タイロッド５４およびワッシャ５６は、層が互いに対してスリップするのをさらに防止する剪断ピンとして機能してもよい。

【００４９】

ロッド５４および永久磁石パッケージ４８は、好ましくはワッシャ５６と共に、ロータ

の主要構造を提供する。ハブレスロータを駆動軸、例えばギアボックスの出力軸に接続できるようにするために、円筒状リング構造体４６は、図５に見られるように、環状フランジ５７を含み、これは非駆動端部にある第１の端部パッケージ５０に強固に取り付けられる。いくつかの実施形態において、環状フランジは、駆動端にある第２の端部パッケージに確実に取り付けられてもよい。端部リング５２は、端部パッケージと環状フランジ５７との間に設けられてもよい。

【００５０】

環状フランジ５７は、第１の端部パッケージ５０に強固に固定されたロータ連結部５８と、駆動軸とも称されるギアボックス出力軸に間接的に連結されるように構成された駆動軸連結部６０とを含む。発電機ロータアセンブリ４２は、更なる部品、例えばブレーキディスクのためにコネクタ４４（図５参照）とインターフェース接続されている。

【００５１】

環状フランジ５７のロータ連結部５８は、永久磁石パッケージ４８を共に保持して円筒状リング構造体４６を形成する、タイロッド５４を用いて、第１の端部パッケージ５０に取り付けられる。環状フランジ５７のロータ連結部５８の周長は、第１の端部パッケージ５０の周長と略同一である。ロータ連結部５８は、ロータ連結部５８を軸方向に貫通する複数の孔を有している。ロータ連結部５８の複数の孔は、複数のタイロッド５４を受け入れ、環状フランジ５７を第１の端部パッケージ５０に取り付けるために配置される。ロータ連結部５８は、第１の端部パッケージ５０と平行にかつ直接接触して取り付けられている。これは、図１０および１１にそれぞれ示される発電機ロータアセンブリの部分断面図および側面断面図において特に明確に見ることができる。

【００５２】

環状フランジ５７の駆動軸連結部６０は、図１０および図１１に明確に示されており、ロータ連結部５８に平行な平面内に延びている。駆動軸連結部６０の周長は、ロータ連結部５８の周長よりも短い。駆動軸連結部６０は、環状の要素からなる。また、駆動軸連結部６０は、円筒状リング構造体４６によって形成される中央中空部内に位置している。

【００５３】

環状フランジ５７は、その半径方向外側部分がロータ連結部５８を形成し、半径方向内側部分が駆動軸連結部６０を形成する単一のリングであってもよい。あるいは、環状フランジ５７は、ロータ連結部５８を駆動軸連結部６０に連結する中間部６２（図１０参）をさらに備えてもよい。この中間部６２は、環状フランジ５７が発電機ロータアセンブリ４２の中空部分内に部分的に突出するように、２つの連結部分５８、６０に対して角度をつけてもよい。図１０の実施形態では、中間部６２とロータ連結部５８との共通点（頂点）を中心とした角度は約１３５度である。中間部６２と駆動軸連結部６０との共通点を中心とした角度は約１３５度である。

【００５４】

中間部６２は、ロータ連結部５８に沿って所定の間隔で回転軸を中心に同心円状に配置された複数のブリッジ部６４を有しており、隣接するブリッジ部６４間にはブリッジ間隙６６が形成されている。ブリッジ間隙６６は、冷却空気流が環状フランジ５７を通過して発電機の内部構造に入ることを許容する。

【００５５】

また、環状フランジ５７は、駆動軸連結部６０に連結された駆動軸連結フレーム６８を有している。駆動軸連結フレーム６８は、中央中空部内に延びている。この例では、連結フレーム６８は、環状フランジ５７の中間部６２にほぼ平行な外面を有する円錐台形形状を有する。外側表面は、冷却空気流が発電機の内部構造を通って流れ、内部構造に到達することを可能にする開口部を含むことが好ましい。駆動軸連結フレーム６８は、環状フランジ５７を駆動軸に連結するように構成されている。環状フランジ５７および駆動軸連結フレーム６８は、発電機ロータアセンブリ４２の円筒状リング構造体４６を駆動軸に連結するための安定した省スペースな構造を提供する。

【００５６】

駆動軸連結フレーム６８は、コネクタ４４が取り外された状態の、図５の発電機ロータアセンブリの非駆動端部斜視図である図１２において、より明確に見ることができる。駆動軸連結フレーム６８は、略円錐台形形状をなしており、フレーム６８の基部の円形外縁７２と駆動軸連結部６０の円形外縁７４とが接合されている。フレーム６８は、駆動軸連結部６０から円筒状リング構造体４６の中空部内に延びている。フレーム６８は、発電機ロータアセンブリ４２の円筒状リング構造体４６と共に回転軸の周りを回転するように配置された円形チャネル７６を含む。円形チャネル７６は、ギアボックス出力軸を受け入れるためのものである。フレーム６８はまた、フレーム６８の基部の円形外縁７２から円形チャネル７６まで延びる有孔壁７８を含む。有孔壁７８内の穿孔は、発電機ロータアセンブリを通る空気流を促進する。

【００５７】

発電機ロータアセンブリ内の永久磁石パッケージ４８は、円筒状リング構造体内に含まれる永久磁石リングの数を変更するためにモジュール構造内で接続可能である。したがって、本発明の発電機ロータアセンブリの構造は、任意の所望の数およびタイプの永久磁石パッケージ４８のロータを使用することができるモジュール式アプローチを可能にする。

【００５８】

発電機の組み立て時には、発電機ロータアセンブリ４２が外部ステータアセンブリ３６に取り囲まれることにより、外部ステータアセンブリ３６は、ステータコア４０と、ステータコア４０を取り囲み支持するステータフレームとを含む。発電機ロータアセンブリ４２および発電機ステータアセンブリ３６の両方は、発電機ハウジング７０によって取り囲まれ、これは、図１３の発電機ハウジング７０、発電機ロータアセンブリ４２、および発電機ステータアセンブリ３６の分解図に見ることができる。

【００５９】

発電機ロータアセンブリ４２および駆動軸への連結部は、冷却空気流が円筒状リング構造体４６によって画定される中央中空部を通り、隣接する永久磁石パッケージ４８間を通ることを可能にする。

【００６０】

添付の特許請求の範囲に定義された本発明の範囲から逸脱することなく、上述した特定の実施形態に対して多くの改変を行うことができる。一実施形態の特徴は、他の実施形態においても、そのような実施形態への追加として、又はその代替として使用することができる。

【００６１】

例えば、円筒状リング構造体４６内の永久磁石パッケージ４８の一部は、円筒状リング構造体４６内の他の永久磁石パッケージとは異なる周長を有してもよい。円筒状リング構造体４６内の永久磁石パッケージ４８の一部は、円筒状リング構造体４６内の他の永久磁石パッケージと異なる厚さを有してもよい。

【００６２】

例えば、発電機ロータアセンブリの円筒状リング構造体４６は、ロータアセンブリの駆動端部にある第２の端部リングに強固に取り付けられたロータ連結部を有する環状フランジを備えることができる。駆動軸連結部は、駆動軸に直接連結されるように構成されてもよい。

【００６３】

環状フランジは、上述した実施形態でその目的のために使用されるタイロッド５４以外の手段によって、いずれかの端部パッケージに取り付けられてもよい。

【００６４】

駆動軸連結部は、単にロータ連結部と平行ではなく、ロータ連結部と一致する平面内に延びていてもよい。

【００６５】

ロータ連結部と駆動軸連結部との間に形成される中間部は、ロータ連結部に対して９０～１８０度、好ましくは１０５～１６５度、さらに好ましくは１２０～１５０度であり、

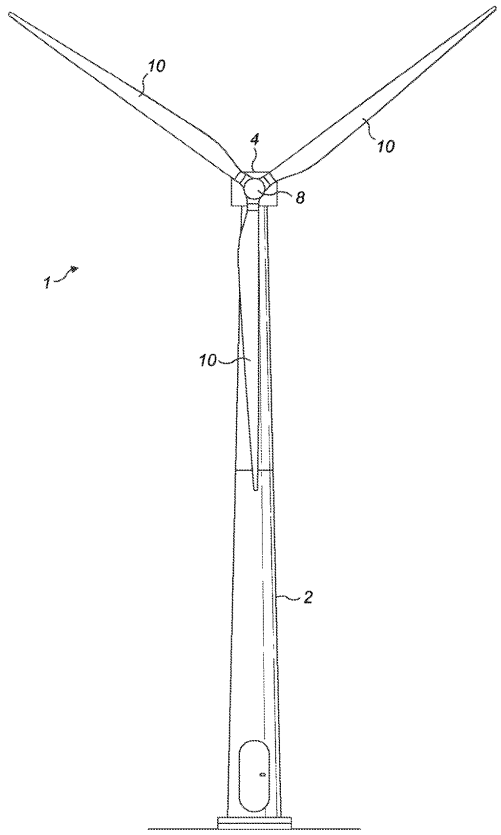
駆動軸連結部に対しても同様の角度である。角度が同じで方向が異なる場合には、ロータ連結部と駆動軸連結部とが平行な平面内に位置し、ギアボックス出力軸とロータアセンブリとを連結する点で実用的である。しかしながら、両方の角度は必ずしも等しいとは限らず、それが望ましい場合には異なることがあることに留意されたい。

【００６６】

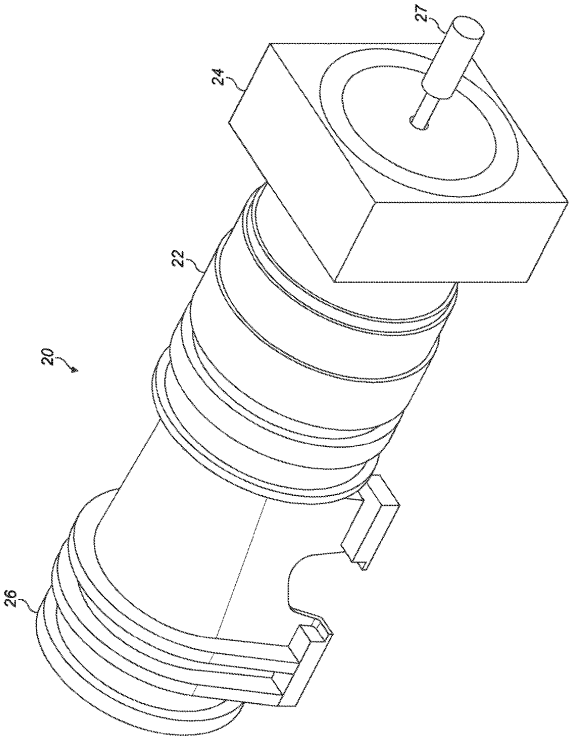
ロータ連結部は、ロータ連結部をそれぞれの端部リングにクランプする複数のクランプをさらに備えてもよい。ロータ連結部は、端部パッケージの１つに平行に取り付けられてもよいが、直接接触していなくてもよい。例えば、スペーサは、端部パッケージとロータ連結部との間に配置されてもよい。

【図面】

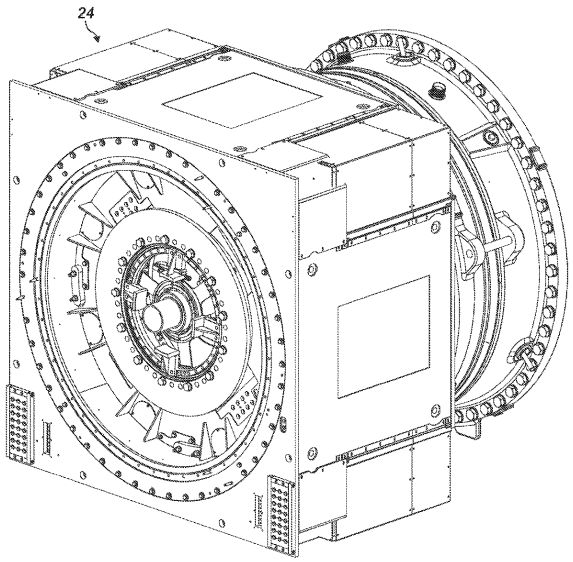
【図１】



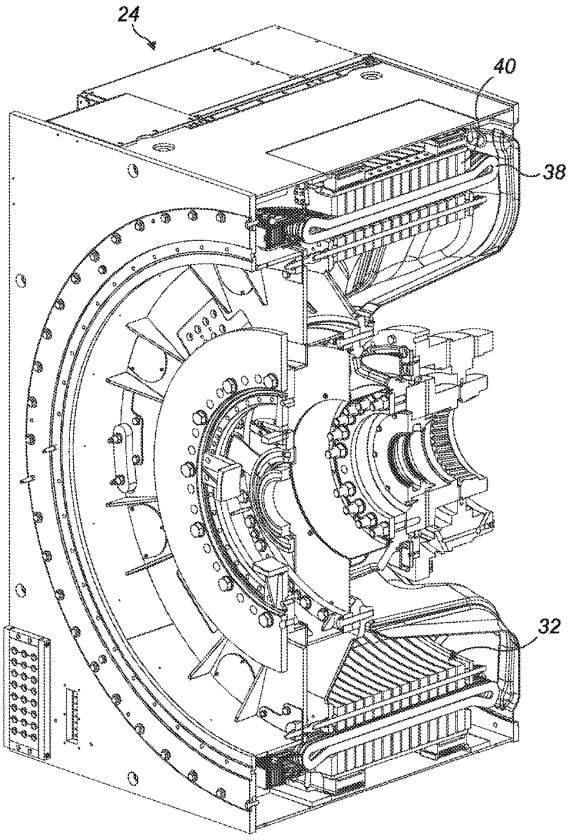
【図２】



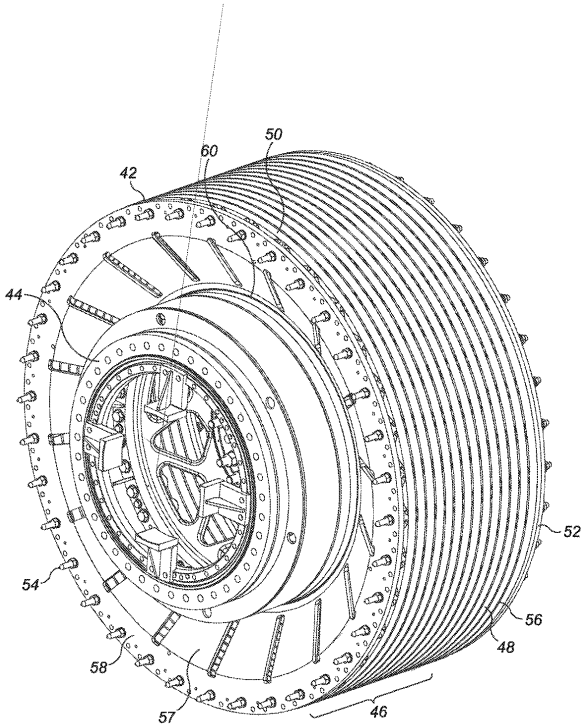
【図３】



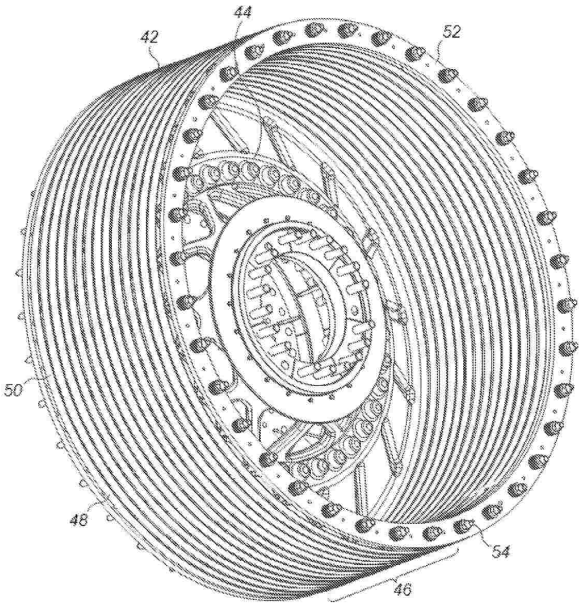
【図４】



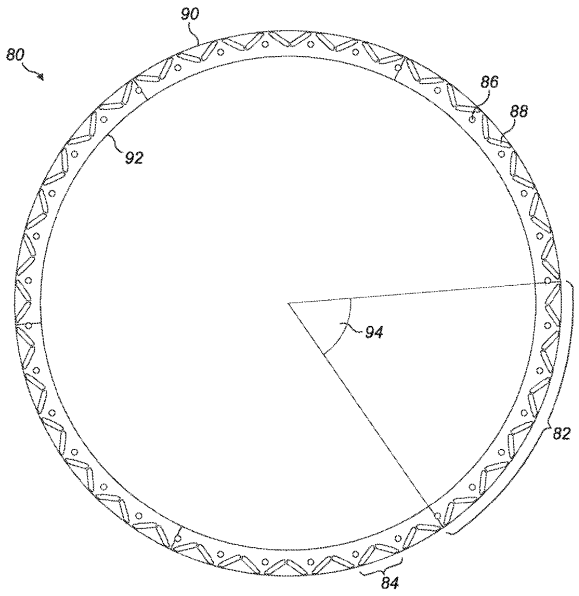
【図５】


60
50
42
44
52
54
56
48
58
57
46

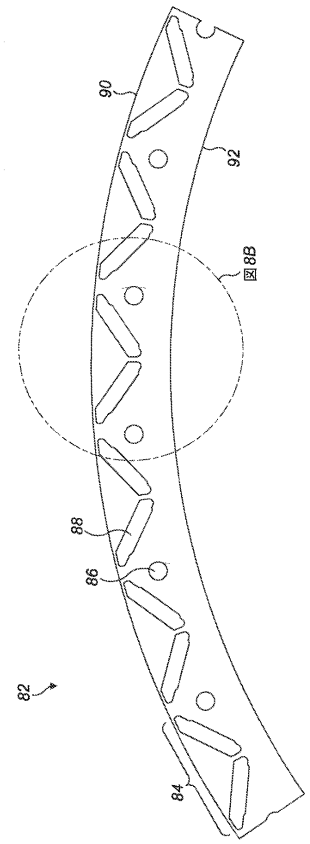
【図６】


44
42
52
50
48
54
46

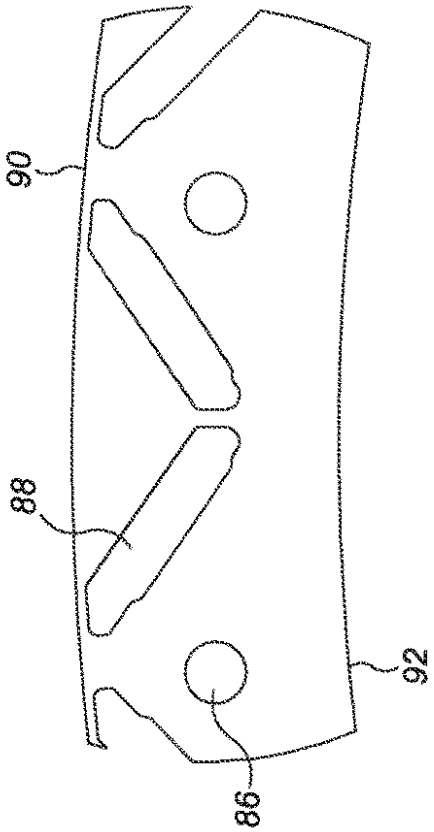
【図７】


90
80
86
88
92
94
82
84

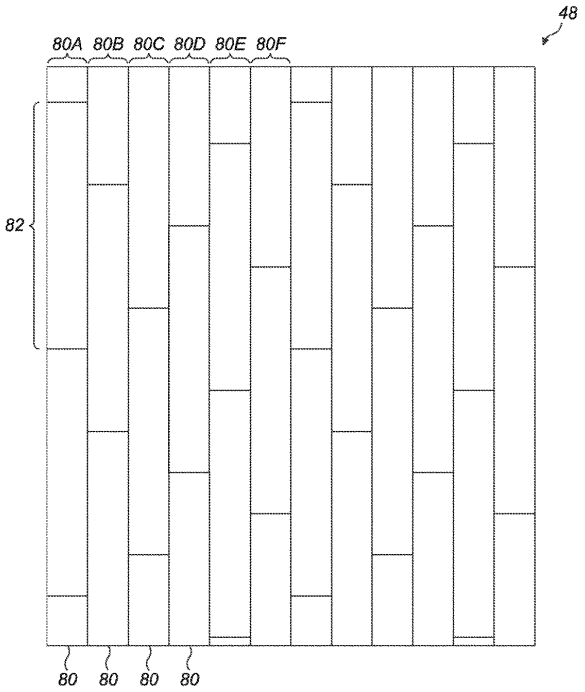
【図８Ａ】


90
92
図8B
88
86
82
84

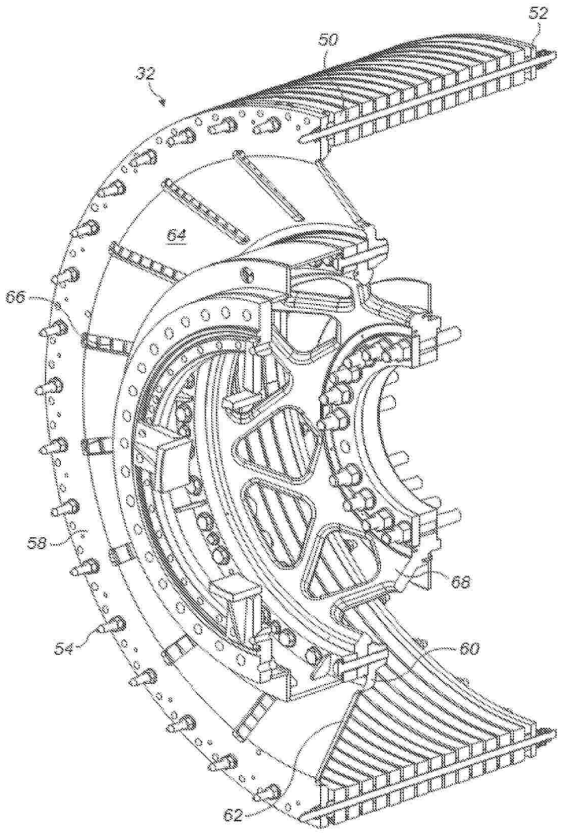
【図８Ｂ】



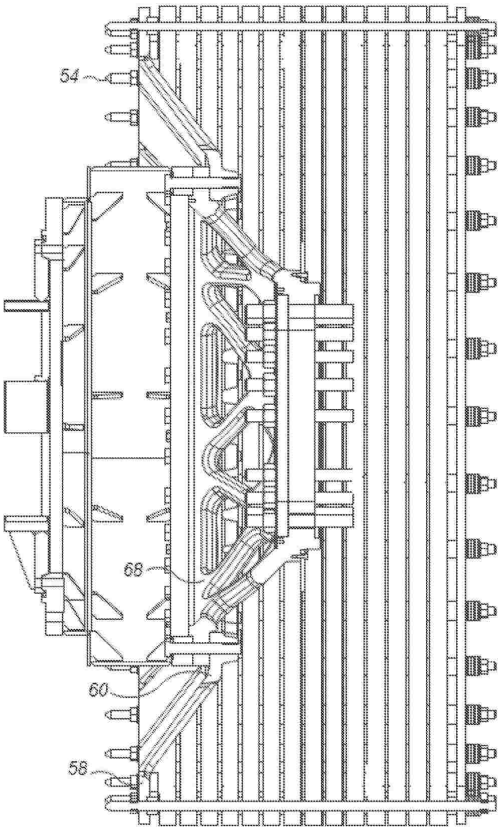
【図９】



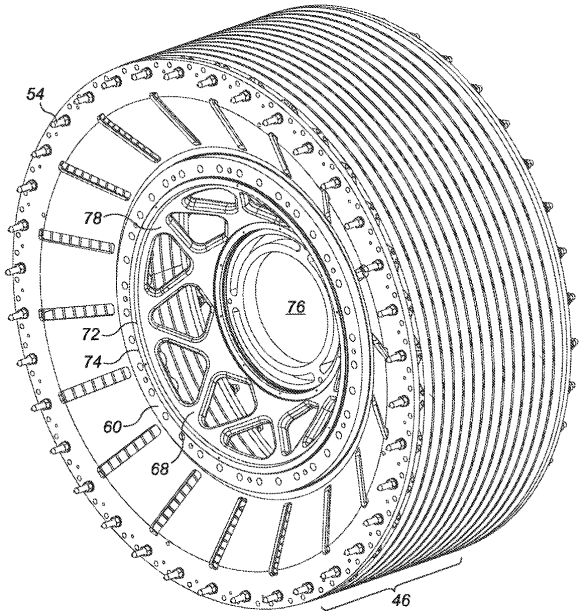
【図１０】



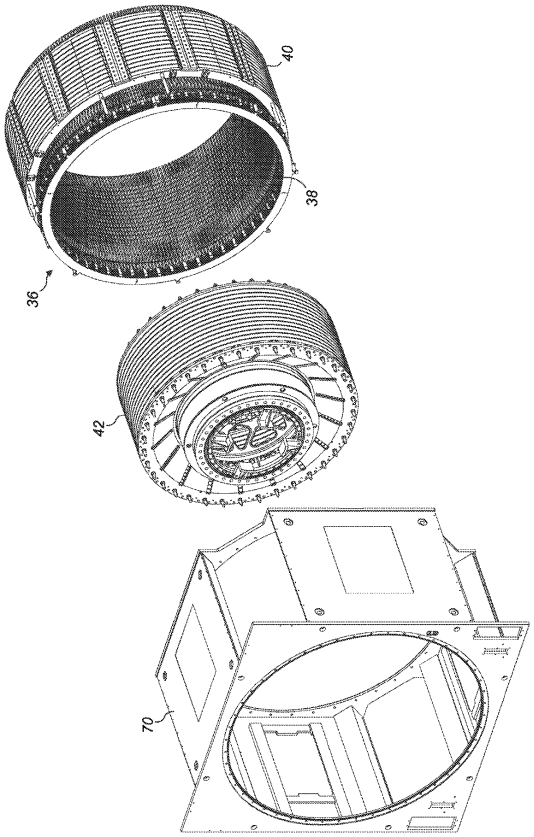
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号　PA201970067
(32)優先日　平成31年1月30日(2019.1.30)
(33)優先権主張国・地域又は機関
デンマーク(DK)
(74)代理人　100202119
弁理士　岩附 秀幸
(72)発明者　モンジュ，ピーター
アメリカ合衆国 ０３８１３ ニューハンプシャー，センター コンウェイ，ケンウッド サークル ３７
(72)発明者　ラングヴァルト クローグ，ラース
デンマーク ８２５０ エガ，エングハーヴェン ７
(72)発明者　マニク，ヘンリック ザー
デンマーク ８４５０ ハンメル，モーゼヴァイ ４４
(72)発明者　ベルクマン，イェンス
ドイツ ２３７０１ オイティン，ツム パーペンムーア １０
合議体
審判長　小宮 慎司
審判官　中野 浩昌
審判官　緑川 隆
(56)参考文献　特表２０１７－５１８７２８号公報（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２６２４９６号公報（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－２６８１６４号公報（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－０１３２９５（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１５／０２５６０３９（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１６／０２８５３３９（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
H02K 1/28
H02K 7/18
H02K 9/02
F03D80/60