

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7613819号
(P7613819)

(45)発行日 令和7年1月15日(2025.1.15)

(24)登録日 令和7年1月6日(2025.1.6)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 2 K	1/16 (2006.01)	H 0 2 K	1/16 C
H 0 2 K	1/18 (2006.01)	H 0 2 K	1/18 C
H 0 2 K	15/04 (2025.01)	H 0 2 K	15/04 Z
H 0 2 K	1/02 (2006.01)	H 0 2 K	1/02
H 0 2 K	1/22 (2006.01)	H 0 2 K	1/22 B
請求項の数 63 (全109頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2023-518160(P2023-518160)	(73)特許権者	523098289
(86)(22)出願日	令和3年9月17日(2021.9.17)		イーヴィーアール モーターズ リミテッド
(65)公表番号	特表2023-542518(P2023-542518 A)		イスラエル国 4 9 2 7 1 8 9 ベタフ
(43)公表日	令和5年10月10日(2023.10.10)	(74)代理人	ティクヴァ モディーン ストリート 3 1 110000877
(86)国際出願番号	PCT/IB2021/058475		弁理士法人 R Y U K A 国際特許事務所
(87)国際公開番号	WO2022/058939	(72)発明者	キスレフ、ヴィクター
(87)国際公開日	令和4年3月24日(2022.3.24)		イスラエル国 4 9 2 7 1 8 9 ベタフ
審査請求日	令和6年9月13日(2024.9.13)		ティクヴァ モディーン ストリート 3 1
(31)優先権主張番号	63/081,043		イーヴィーアール モーターズ リミテッ
(32)優先日	令和2年9月21日(2020.9.21)		ド内
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	ガスパー、オレグ
早期審査対象出願			イスラエル国 4 9 2 7 1 8 9 ベタフ
			ティクヴァ モディーン ストリート 3 1
			イーヴィーアール モーターズ リミテッ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ラジアルフラックス電気機械

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；
ステータ；
ここで、前記ロータ又は前記ステータのうちの少なくとも1つは、前記回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含む；及び、
複数の電磁コイル、ここで、前記複数の電磁コイルの各コイルは、それを通る不均一台形空洞を有し、それぞれの空洞は、前記複数の歯のうちの1つの歯の中に含むように構成されており、前記複数の歯の各歯は、共に組み立てられたときに前記不均一台形空洞の形状に対応する複数のピースから形成されており、各歯は、コア歯部分及び少なくとも1つのウェッジ形状部分を含み、前記回転軸に垂直な平面において、前記コア歯部分は、実質的に矩形の断面形状を有し、前記少なくとも1つのウェッジ形状部分は、実質的に三角形の断面形状を有する、
を備えるラジアルフラックス電気機械。

【請求項 2】

各歯の前記複数のピースが共に組み立てられるとき、各歯の外周は、対応するコイルの前記空洞の内周に対応する、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 3】

前記少なくとも1つのウェッジ形状部分は、前記コア歯部分の対向する両側に配設された少なくとも2つのウェッジ形状部分を含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 4】

ラジアル方向に垂直な平面において、前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つのウェッジ形状部分は、実質的に矩形の断面形状を有する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 5】

各歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つのウェッジ形状部分は、接着材料を使用して共に連結されている、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 6】

各歯の前記コア歯部分は、前記回転軸を囲んで延在する環状リングと一体的に形成されている、請求項 5 に記載の電気機械。

【請求項 7】

各歯の前記複数のピースが共に組み立てられるとき、各歯は、2 組の対向する面を有する外面を画定し、前記 2 組の各組の前記対向する面は互いに非平行である、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 8】

隣接する歯の対向する面は互いに平行である、請求項 7 に記載の電気機械。

【請求項 9】

前記 2 組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している、請求項 7 に記載の電気機械。

【請求項 10】

一方の組の対向する面の前記対向する面は、ラジアル方向外向きに互いに向かって近づく、他方の組の対向する面の前記対向する面は、前記ラジアル方向外向きに互いから離れる、請求項 9 に記載の電気機械。

【請求項 11】

前記回転軸に垂直な平面における各歯の断面は、台形状を有し、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は矩形形状を有する、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 12】

ラジアル方向に垂直な前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定である、請求項 11 に記載の電気機械。

【請求項 13】

前記ラジアル方向に垂直な前記断面の面積は、前記ラジアル方向において変動する、請求項 12 に記載の電気機械。

【請求項 14】

前記ステータは、前記複数の歯を含み、前記ラジアル方向に垂直な前記断面の面積は、前記ラジアル方向において前記ロータに向かって増加する、請求項 13 に記載の電気機械。

【請求項 15】

アキシアル平面における各歯の断面は等脚台形状を有する、請求項 11 から 14 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 16】

各歯の前記複数のピースのうちの少なくとも 1 つのピースは、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、請求項 1 から 15 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 17】

前記ステータは前記複数の歯を含み、各歯の前記複数のピースのうちの第 1 ピースは、前記回転軸を囲んで延在する環状ステータリングと一体であり、前記環状ステータリングからラジアル方向に延在し、各歯の前記複数のピースのうちの第 2 ピースは、前記第 1 ピースと非一体的に形成されている、請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 18】

前記電気機械は、電気モータ又は発電機の 1 つである、請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

【請求項 19】

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；

複数の電磁コイル；及び

前記回転軸の周りに延在する環状ステータリング、及び、前記環状ステータリング上に円周方向に配置された複数の多部品歯を含むステータ、ここで前記複数の多部品歯の各多部品歯は、前記環状ステータリングと一体的に形成されたコア歯部分を含み、少なくとも1つの追加歯部分は、前記環状ステータリングから隔離されている、

を備え、

ここで、前記複数の多部品歯の各歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも1つの追加歯部分は、接着材料を使用して共に連結されており、前記コア歯部分、前記少なくとも1つの追加歯部分、及び、前記接着材料の材料の熱膨張係数の間の差は約20%より小さく、
前記複数の電磁コイルの各コイルは、前記複数の多部品歯の異なる多部品歯に装着され、それぞれのコイルは、前記コイルと前記コア歯部分との間の間隙を伴って、前記多部品歯の対応するコア歯部分を囲み、前記少なくとも1つの追加歯部分は、前記間隙に配設されている、ラジアルフラックス電気機械。

10

【請求項 20】

各多部品歯の前記コア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、請求項19に記載の電気機械。

【請求項 21】

前記環状ステータリングは軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、請求項19または20に記載の電気機械。

20

【請求項 22】

前記環状ステータリングは、前記回転軸に垂直な対称面に沿って共に連結される2つの鏡面对称の半分を含む、請求項19から21のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 23】

前記2つの鏡面对称の半分は、接着材料を使用して、前記対称面に沿って共に取り付けられている、請求項22に記載の電気機械。

【請求項 24】

前記環状ステータリングは、複数のアキシャル方向に積み重ねられた環状リングを含み、前記積み重ねられた環状リングのうちの少なくとも2つは軟磁性複合材料（SMC）からできている、請求項19から23のいずれか一項に記載の電気機械。

30

【請求項 25】

各多部品歯の前記コア歯部分は、前記環状ステータリングからラジアル方向に外向きに延在している、請求項19から24のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 26】

前記ラジアル方向に垂直な平面に沿った、前記コア歯部分及び前記少なくとも1つの追加歯部分の各々の断面形状は、実質的に矩形の形状を有する、請求項25に記載の電気機械。

【請求項 27】

前記回転軸に垂直な平面に沿った、前記コア歯部分の断面は、実質的に矩形の形状を有する、請求項19から26のいずれか一項に記載の電気機械。

40

【請求項 28】

前記回転軸に垂直な前記平面に沿った、前記少なくとも1つの追加歯部分の断面は、実質的に三角形の形状を有する、請求項27に記載の電気機械。

【請求項 29】

前記回転軸に垂直な前記平面に沿った、前記複数の多部品歯の各歯の断面は、実質的に台形の形状を有する、請求項28に記載の電気機械。

【請求項 30】

前記少なくとも1つの追加歯部分は、前記コア歯部分の対向する両面に対称に配置された追加歯部分の対を含む、請求項19から29のいずれか一項に記載の電気機械。

50

【請求項 3 1】

前記複数の多部品歯のうち各多部品歯の前記少なくとも 1 つの追加歯部分は、前記コイルの内面と前記コア歯部分の外面との間に押し込まれている、請求項 1 9 から 3 0 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 3 2】

前記コイルは、各歯の前記コア歯部分を囲んでおり、少なくとも 2 つの間隙が、前記コイルの内面と前記コア歯部分の対向する両側との間に形成され、前記少なくとも 1 つの追加歯部分は、前記少なくとも 2 つの間隙の異なる間隙に配設されている少なくとも 2 つの追加歯部分を含む、請求項 1 9 から 3 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 3 3】

ラジアル方向に垂直な平面における前記複数の多部品歯の各多部品歯の断面は、矩形形状を有する、請求項 1 9 から 3 2 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 3 4】

前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定である、請求項 3 3 に記載の電気機械。

【請求項 3 5】

前記断面の面積は、前記ラジアル方向において変動する、請求項 3 4 に記載の電気機械。

【請求項 3 6】

前記電気機械は、電気モータ又は発電機である、請求項 1 9 から 3 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

【請求項 3 7】

電気機械の不規則形状の多部品歯上でコイルを組み立てる方法であって、

前記多部品歯の少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端が前記コイルの開口から外に延在するように、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記コイルの前記開口内に挿入する段階；

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端が、前記コイルの前記開口から外に延在したまま、挿入された前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を有する前記コイルを前記多部品歯のコア歯部分に装着する段階、ここで、前記コイルにおける前記開口は、第 1 端から第 2 端に延在し、

前記第 1 端における前記開口の幅は、前記第 2 端における前記開口の前記幅と異なり、
前記第 1 端における前記開口の長さは、前記第 2 端における前記開口の長さとは異なり、
前記第 1 端における前記開口の周長は、前記第 2 端における前記開口の周長と実質的に同一である、； 及び、

前記多部品歯上に前記コイルを締め付けるために、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端に力を加える段階

を備える方法。

【請求項 3 8】

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端に力を加える段階は、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端を前記コイルにおける前記開口内へ押す段階を含む、請求項 3 7 に記載の方法。

【請求項 3 9】

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を挿入する段階は、前記幅の広い端が前記開口の前記第 2 端から外に延在するように、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記開口内に挿入する段階を含み、前記力を加える段階は、前記幅の広い端を前記開口の前記第 1 端に向かって押す段階を含む、請求項 3 7 または 3 8 に記載の方法。

【請求項 4 0】

前記第 1 端及び前記第 2 端における前記開口の形状は矩形である、請求項 3 7 から 3 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4 1】

前記第 1 端における前記開口の面積は、前記第 2 端における前記開口の前記面積から変

10

20

30

40

50

動する、請求項 3 7 から 4 0 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4 2】

前記開口の面積は前記第 1 端から前記第 2 端にかけて増加する、請求項 3 7 から 4 1 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4 3】

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記コイルの前記開口に挿入する段階は、少なくとも 2 つのウェッジ部分を前記開口内に挿入する段階を含む、請求項 3 7 から 4 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4 4】

前記コイルを装着する段階は、前記コア歯部分が前記少なくとも 2 つのウェッジ部分の間に配設されるように、前記コイルを前記コア歯部分に装着する段階を含む、請求項 4 3 に記載の方法。

【請求項 4 5】

接着材料を使用して、前記多部品歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも 2 つのウェッジ部分を共に取り付ける段階を更に備える、請求項 4 4 に記載の方法。

【請求項 4 6】

前記多部品歯は、前記電気機械のステータの一部である、請求項 3 7 から 4 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4 7】

前記多部品歯の前記コア歯部分は、中心軸を囲んで延在する環状ステータリング上に対称に配置された複数のコア歯部分の 1 つであり、前記コア歯部分は、前記環状ステータリングからラジアル方向に外向きに延在する、請求項 4 6 に記載の方法。

【請求項 4 8】

前記複数のコア歯部分は前記環状ステータリングと一体的に形成されている、請求項 4 7 に記載の方法。

【請求項 4 9】

前記中心軸に垂直な平面において、前記コア歯部分は、実質的に矩形の断面形状を有し、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分は、実質的に三角形の断面形状を有する、請求項 4 7 または 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 0】

前記ラジアル方向に垂直な平面において、前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つのウェッジ部分は実質的に矩形の断面形状を有する、請求項 4 7 または 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 1】

前記コイルは、前記開口を囲む銅線の巻線を含み、前記銅線は、正方形、矩形、又は円形の断面形状の 1 つを有する、請求項 3 7 から 5 0 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5 2】

前記コイルは、前記開口を囲むらせん状の銅撚線の巻線を含む、請求項 3 7 から 5 0 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5 3】

前記電気機械は電気モータである、請求項 3 7 から 5 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5 4】

前記電気機械は発電機である、請求項 3 7 から 5 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5 5】

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；
ステータ、ここで、前記ロータまたは前記ステータのうち少なくとも 1 つは、前記回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含む；、

複数の電磁コイル、ここで前記複数の電磁コイルの各コイルは、それを貫通する不均一台形空洞を有し、各空洞は、前記複数の歯のうちの 1 つの歯をその中に含むように構成され、前記複数の歯のうちの各歯は、共に組み立てられたときに、前記不均一台形空洞の形状に対応する台形状の歯を形成する複数のピースから形成される、

10

20

30

40

50

を備え、

ここで、前記回転軸に垂直な平面における各歯の断面は、台形の形状を有し、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面が矩形の形状を有し、ラジアル方向に垂直な前記断面の周長は、前記ラジアル方向において、実質的に一定である、

電気機械。

【請求項 5 6】

前記電気機械は、電気モータまたは発電機のうちの一つである、請求項 5 5 に記載の電気機械。

【請求項 5 7】

電気機械の多部品歯上にコイルを組み立てる方法であって、前記多部品歯が、前記電気機械の回転軸を囲んで延在する環状ステータリングと一体的に形成され、且つ前記環状ステータリングからラジアル方向に延在するコア歯部分と、前記コア歯部分とは別個に形成された、幅の広い端及び幅の狭い端を有する少なくとも 1 つのウェッジ部分と、を含み、前記方法は、

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端が、前記コイルの開口の第 2 端から外に延在するように、前記コイルの前記開口に前記多部品歯の前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を挿入する段階、ここで、前記開口は、第 1 端から前記第 2 端に延在し、前記開口の断面積は、前記第 1 端から前記第 2 端へと向かうにつれて変動する；

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端が、前記コイルの前記開口の前記第 2 端の外に延在したままとなるように、前記多部品歯の前記コア歯部分上に、挿入された前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を有する前記コイルを装着する段階；及び

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅が広い端を前記開口の前記第 1 端に向かって移動させる段階、

を備える、方法。

【請求項 5 8】

前記多部品歯の前記少なくとも 1 つのウェッジ部分が、少なくとも 2 つのウェッジ部分を含み、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記コイルの前記開口に挿入する段階は、少なくとも 2 つのウェッジ部分を前記開口に挿入する段階を含む、

請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 5 9】

前記幅の広い端を前記開口の前記第 1 端に向かって移動する段階は、前記多部品歯上で前記コイルを締め付ける段階を含む、

請求項 5 7 または 5 8 に記載の方法。

【請求項 6 0】

前記開口の前記断面積が、前記第 1 端から前記第 2 端にかけて増加する、請求項 5 7 から 5 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6 1】

前記コイルは、前記開口を囲む銅線の巻線を含み、前記銅線は、正方形、矩形、又は円形の断面形状の 1 つを有する、

請求項 5 7 から 6 0 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6 2】

前記電気機械は、電気モータである、請求項 5 7 から 6 1 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6 3】

前記電気機械は、発電機である、請求項 5 7 から 6 1 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔関連出願への相互参照〕

本出願は、参照によって全体が本明細書に組み込まれる、2020年9月21日に出願された米国仮特許出願第63／081，043号に対する優先権を主張する。

10

20

30

40

50

【0002】

本開示はラジアルフラックス電気機械に関する。

【背景技術】

【0003】

本開示は電気機械に関し、特に、ラジアルフラックス電気機械に関する。電気機械 (electric machine 又は electrical machine) は一般的に、その動作を電磁力に依存する機械についての用語である。電気機械の2つの主な部品は、機械的又は電氣的観点から記載できる。機械的観点では、ロータは回転する部品であり、ステータは電気機械の静止部品である。電氣的観点では、アーマチャは、動力生成コンポーネントであり、分野は、電気機械の磁場生成コンポーネントである。アーマチャはロータ又はステータ上にあり得、磁場は、ロータ又はステータのいずれかに装着された電磁石又は永久磁石のいずれかによって提供され得る。電気機械は、電気機械的エネルギー変換器であり、とりわけ、電気モータ及び発電機を含む。電気モータは、電気を機械的動力に変換し、一方、発電機は、機械的動力を電気に変換する。電気機械の可動部品は、回転 (回転電気機械) するもの又は線形 (線形電気機械) に可動なものであり得る。電気機械は、電流が電磁フラックスを生成する、及び、その逆の原理で動作する。いくつかの電気機械において、永久磁石を含むロータは、電気が通過する複数の電磁石によって生成される電磁場における回転のために構成されている。

【0004】

電気機械は、アキシアルフラックス電気機械及びラジアルフラックス電気機械として分類され得る。これらのタイプの機械の間の基本的な相違点は、これらの機械における磁場の向きである。ラジアルフラックス電気機械において、作動磁束は、ラジアル平面においてステータとロータとの間の空隙を横断し、一方、アキシアルフラックス電気機械において、磁束は、回転軸と平行に空隙を横断する。永久磁石及び電気機械の巻線の浮遊磁場を低減すること、及び、ステータ及びロータコアにおける磁束密度の集中を増大させることを目的として多数の解決法が知られており、コアのすべての部品における磁束密度の値が同一であることを確実にするよう取り組まれている。また、永久磁石電気機械についての高いフィルファクタを提供することを目的とする多数の解決法がある。これらの解決法のいくつかは、複雑な歯の形状を使用して電気機械性能を改善する。これらの解決法のいくつかは、歯の体積を効果的に使用するが、電気機械の漏洩磁束を十分に低減しない。加えて、いくつかの場合において、複雑な歯の形状により、電気機械についての高い巻線フィルファクタを提供することが困難となる。本開示のラジアルフラックス電気機械は、上で言及した問題の一部又は全部を緩和する。本開示の電気機械の実施形態における漏洩磁束の減少及びフィルファクタの増加により、電気機械の動力及び効率を増加させることが可能となり得る。しかしながら、本開示の範囲は、任意の問題を解決する能力によってではなく、請求項によって定義される。

【発明の概要】

【0005】

電気機械、及び、電気機械を製造及び使用する方法の複数の実施形態が開示される。上記の一般的記載及び以下の詳細な記載の両方は単なる例示及び説明であることが理解される。したがって、本開示の範囲は、開示される実施形態だけに限定されない。むしろ、開示される実施形態の趣旨及び範囲内の代替形態、修正形態、及び均等物を包含することを意図している。当業者であれば、本開示の趣旨及び範囲を逸脱することなく、様々な変更、置換、及び改変が、開示される実施形態に加えられ得ることを理解するであろう。

【0006】

一実施形態において、複数の台形状の歯を有する電気機械が開示される。電気機械は複数の電磁コイルを含み得る。各コイルは、それを通る不均一台形空洞を含み得、その中に、複数の歯のうちの1つの歯を含むように構成され得る。各歯は、共に組み立てられたときに台形状の歯を形成する複数のピースから形成され得る。

【0007】

いくつかの実施形態において、ロータに向かってラジアル方向に断面積が増加し、かつ、巻きコイルが空隙に可能な限り近くシフトされる多部品歯の台形状は、電気機械の漏洩磁場を著しく低減し得る。ラジアル方向における一定の断面周長を有する歯を事前に形成することにより、電気機械のフィルファクタが増加し、電気機械の性能、効率トルク及び動力が改善する。

【0008】

一実施形態において、ラジアルフラックス電気機械が開示される。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、及び、ステータを含み得る。ロータ又はステータのうちの少なくとも1つは、回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含み得る。電気機械はまた、複数の電磁コイルを含み得る。複数の電磁コイルの各コイルは、それを通る不均一台形空洞を有し得る。各空洞は、その中に複数の歯のうちの1つの歯を含むように構成され得る。複数の歯の各歯は、共に組み立てられたときに不均一台形空洞の形状に対応する複数のピースから形成され得る。

【0009】

電気機械の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、各歯の複数のピースが共に組み立てられたときに、各歯の外周は、対応するコイルの空洞の内周に対応する；各歯は、コア歯部分、及び、少なくとも1つのウェッジ形状部分を含む；各歯は、コア部分の対向する両側に配設されたコア歯部分及び少なくとも2つのウェッジ形状部分を含む；回転軸に垂直な平面において、コア歯部分は実質的に矩形の断面形状を有し、少なくとも1つのウェッジ形状部分は実質的に三角形の断面形状を有する；ラジアル方向に垂直な平面において、コア歯部分、及び、少なくとも1つのウェッジ形状部分は、実質的に矩形の断面形状を有する；各歯のコア歯部分、及び、少なくとも1つのウェッジ形状部分は、接着材料を使用して共に連結される；各歯のコア歯部分は、回転軸を囲んで延在する環状リングと一体的に形成される；各歯の複数のピースが共に組み立てられるとき、各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定し、2組のうちの各組の対向する面は、互いに非平行である；隣接する歯の対向する面は互いに平行である；2組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している；対向する面のうちの一方の組の対向する面は、ラジアル方向外向きにおいて互いに向かって近づき、対向する面のうちの他方の組の対向する面は、ラジアル方向外向きにおいて互いから離れる；回転軸に垂直な平面において、各歯の断面は台形状を有し、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は、矩形形状を有する；ラジアル方向に垂直な断面の周長は、ラジアル方向において実質的に一定である；ラジアル方向に垂直な断面の面積は、ラジアル方向において変動する；ステータは複数の歯を含み、ラジアル方向に垂直な断面の面積は、ロータに向かってラジアル方向に増加する；アキシャル平面における各歯の断面は等脚台形状を有する；各歯の複数のピースのうちの少なくとも1つのピースは軟磁性複合材料（SMC）から形成される；ステータは複数の歯を含み、各歯の複数のピースのうちの第1ピースは、回転軸を囲んで延在する環状ステータリングと一体であり、それからラジアル方向に延在し、各歯の複数のピースのうちの第2ピースは、第1ピースと非一体的に形成される；電気機械は電気モータ又は発電機の1つである、のうちの1又は複数を含み得る。

【0010】

別の実施形態において、ラジアルフラックス電気機械が開示される。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、及び、ロータの近傍に固定されて位置するステータを含み得る。ロータ又はステータのうちの少なくとも1つは、回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含み得る。複数の歯のうちの各歯は、ラジアル方向に垂直な複数の平面における各歯の複数の断面積が変動し得るように、ラジアル方向に延在し得る。そして、複数の断面の周長は、複数の垂直平面にわたって実質的に同一であり得る。

【0011】

電気機械の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、電気機械のアキシャル平面又はラジアル平面のうちの少なくとも1つにおける各歯の形状は台形である；電気機械のアキシャル平面又はラジアル平面のうちの少なくとも1つにおける各

歯の形状は等脚台形である；複数の歯は、ステータ上に環状に配置されている；ロータは、ステータのラジアル方向外向きに配設され、ラジアル平面における各歯の幅は、ロータに向かってラジアル方向に増加し、アキシャル平面における各歯の長さは、ロータに向かってラジアル方向に減少する；各歯は、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面積がロータに向かってラジアル方向に増加するように、ラジアル方向に延在する；ロータはステータのラジアル方向内向きに配設され、ラジアル方向に垂直な平面における複数の歯の各歯の断面積は、ロータに向かってラジアル方向に増加する；複数の歯は、ロータ上に環状に配置されている；電気機械は更に複数の電磁コイルを含み、複数の電磁コイルの各コイルは、複数の歯のうちの別個の歯を囲んで延在する；各コイルは、正方形、矩形、又は円形の断面形状のうち1つを有する銅線を含む；ワイヤはマルチストランドであり、各コイルは、歯に沿ってラジアル方向にらせん状の形態で巻かれている；各コイルは、箔の平坦側がラジアル方向において歯の全長にわたって延在するように、歯を囲んで巻かれた銅箔を含む；各コイルは、歯に沿ってラジアル方向にらせん状の形態で巻かれた銅箔のリブを含む；各歯は軟磁性複合材料（SMC）材料を含む；各歯は共に連結された複数のピースを含む；複数のピースは、回転軸を囲んで延在する環状リングと一体的に形成されるコア部分、及び、コア部分に連結された1又は複数のウェッジ部分を含む；1又は複数のウェッジ部分は、コア部分の対向する両側に配設された少なくとも2つのウェッジ部分を含む；電気機械は電気モータ又は発電機である；ステータ又はロータの1つは、外側部品及び内側部品を含み、ステータ及びロータは、二重の空隙によって隔離されている；外側部品及び内側部品は、磁気伝導性材料からできている接続部分によって共に接続されている、のうちの1又は複数を含み得る。

10

20

【0012】

別の実施形態において、ラジアルフラックス電気機械が開示される。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、複数の電磁コイル、及びステータを含み得る。ステータは、回転軸の周りに延在する環状ステータリング、及び、ステータリング上に円周方向に配置された複数の多部品歯を含み得る。複数の多部品歯の各多部品歯は、ステータリングと一体的に形成されたコア歯部分、及び、ステータリングとは別個の少なくとも1つの追加歯部分を含み得る。複数の電磁コイルの各コイルは、各コイルがコイルとコア歯部分との間の間隙を伴って多部品歯の対応するコア歯部分を囲むように、複数の多部品歯の異なる多部品歯上に装着され得る。少なくとも1つの追加歯部分は間隙に配設され得る。

30

【0013】

電気機械の様々な実施形態は、代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、各多部品歯のコア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から形成される；環状ステータリングは軟磁性複合材料（SMC）から形成されている；環状ステータリングは、回転軸に垂直な対称面に沿って共に連結された2つの鏡面对称性の半分を含む；2つの鏡面对称性の半分は、接着材料を使用して、対称面に沿って共に取り付けられている；環状ステータリングは、複数のアキシャル方向に積み重ねられた環状リングを含み、積み重ねられた環状リングのうちの少なくとも2つは軟磁性複合材料（SMC）からできている；各多部品歯のコア歯部分は、環状ステータリングからラジアル方向外向きに延在している；ラジアル方向に垂直な平面に沿ったコア歯部分及び少なくとも1つの追加歯部分の各々の断面は実質的に矩形の形状を有する；回転軸に垂直な平面に沿ったコア歯部分の断面は実質的に矩形の形状を有する；回転軸に垂直な平面に沿った少なくとも1つの追加歯部分の断面は実質的に三角形の形状を有する；回転軸に垂直な平面に沿った複数の多部品歯の各歯の断面は実質的に台形の形状を有する；少なくとも1つの追加歯部分は、コア歯部分の対向する両側に対称に配置された追加歯部分の対を含む；複数の多部品歯の各歯のコア歯部分及び少なくとも1つの追加歯部分は、接着材料を使用して共に連結されている；コア歯部分、少なくとも1つの追加歯部分の材料、及び、接着材料の熱膨張の係数の間の差は約20%より小さい；各多部品歯の少なくとも1つの追加歯部分は、複数の電磁コイルのコイルの内面とコア歯部分の外面との間に押し込まれ；複数の電磁コイルのコイルは、少なくとも2

40

50

つの間隙がコイルの内面とコア歯部分の対向する両側との間に形成されるように、各歯のコア歯部分を囲み、少なくとも1つの追加歯部分は、少なくとも2つの間隙の異なる間隙に配設された少なくとも2つの追加歯部分を含む；ラジアル方向に垂直な平面における複数の多部品歯の各多部品歯の断面は矩形形状を有する；断面の周長は、ラジアル方向において実質的に一定である；断面の面積はラジアル方向において変動する；電気機械は電気モータ又は発電機である、のうちの1又は複数を含み得る。

【0014】

別の実施形態において、ラジアルフラックス電気機械が開示される。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、複数の電磁コイル、及びステータを含み得る。ステータは、環状ステータリング、及び、ラジアル方向に延在する複数のコア歯部分

10

部分を有し得る。環状ステータリング及び複数のコア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から一体的に形成され得る。SMCは、1又は複数の等方性強磁性材料、約1.6テスラ以上の飽和磁気誘導、及び、10マイクロオーム/mより高い電気抵抗率を含み得る。

【0015】

電気機械の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、ステータは、環状ステータリング上に対称に配置された複数の多部品歯を含み、複数の多部品歯の各歯は、複数のコア歯部分の1つ、及び、複数のコア歯部分の1つと非一体的に形成された少なくとも1つの追加歯部分を含む；追加歯部分の対は、関連付けられたコア歯部分の対向する両側に配置されている；回転軸に垂直な平面に沿った各歯のコア歯部分の断面は実質的に矩形の形状を有し、回転軸に垂直な平面に沿った少なくとも1つの追加歯部分の各追加歯部分の断面は実質的に三角形の形状を有する；ラジアル方向に垂直な平面に沿ったコア歯部分及び少なくとも1つの追加歯部分の各々の断面は実質的に矩形の形状を有する；回転軸に垂直な平面における複数の多部品歯のうちの各歯の断面は台形形状を有する；ラジアル方向に垂直な平面における複数の多部品歯の各歯の断面は実質的に矩形の形状を有し、断面の周長はラジアル方向において実質的に一定であり、断面の面積はラジアル方向に変動する；ロータはステータのラジアル方向外向きに配設され、ロータとステータとの間の空隙を形成し、断面の面積は空隙に向かってラジアル方向に増加する；複数の多部品歯の各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定し、2組のうちの各組の対向する面は互いに非平行であり、隣接する歯の隣接する側面は互いに平行である；2組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している；一方の組の対向する面のうちの対向する面は、ラジアル方向外向きにおいて互いに向かって近づき、他方の組の対向する面のうちの対向する面は、ラジアル方向外向きに互いから離れる；少なくとも1つの追加歯部分は、SMCから形成されている；少なくとも1つの追加歯部分は、SMC以外の等方性材料から形成されている；環状ステータリングは、回転軸に垂直な対称面に沿って共に連結された2つの鏡面对称ボディを含む；2つの鏡面对称ボディは、接着材料を使用して対称面に沿って共に取り付けられ、SMC及び接着材料の熱膨張係数の間の差は約20%より小さい；SMCの飽和磁気誘導は、約2.4テスラ以上である；SMCの飽和磁気誘導は、約2.5テスラ以上である；SMCの抵抗率は、約100マイクロオーム/mより高い；電気機械は電気モータである；電気機械は発電機である、のうちの1又は複数を含み得る。

20

30

40

【0016】

別の実施形態において、ラジアルフラックス電気機械が開示される。電気機械は、内側ステータ、及び、ステータの周りを回転するように構成されている外側ロータを含み得る。外側ロータは、ロータベース、及び、ロータの回転軸に平行にロータベースからアキシヤル方向に延在する、複数の環状に配置された永久磁石を含み得る。円柱状コアは、複数の永久磁石を包囲するロータベースから延在し得る。コアは軟磁性複合材料（SMC）から形成され得る。スリーブはロータを包囲し得る。スリーブは円柱状コアを支持し得、円柱状コアは複数の永久磁石を支持し得る。円柱状コアは、スリーブと複数の永久磁石との間にラジアル方向に位置し得る。

【0017】

50

電気機械の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、スリーブ又はロータベースのうちの少なくとも1つは非磁性材料からできている；非磁性材料は、炭素繊維、ガラスファイバ、又は、アラミド繊維のうちの少なくとも1つを含む複合材料である；非磁性材料は、ステンレス鋼又はアルミニウムのうちの少なくとも1つを含む；スリーブは磁性材料からできている；磁性材料は、積層電気鋼鉄シートを含む軟磁性材料を含む；磁性材料は、鋼鉄からできている中実ボディである；スリーブは、円柱状コアの外面上に形成された凹部に配設された補強リブを含む；円柱状コアは、ロータベースに連結された第1端から第2端に延在し、スリーブは、円柱状コアの第2端に位置するバランシングリングを含み、バランシングリングは、ロータの動的バランシングを提供するように構成されている；スリーブはバランシングリングにわたって延在している；バランシングリングは非磁性材料から形成されている；複数の永久磁石は、回転軸を囲んで実質的に円形のパターンでロータベース上に配置されている；複数の永久磁石は、複数の永久磁石の各永久磁石の磁気軸が回転軸と交差するように、ロータベース上に配置されている；ロータベースはアルミニウム又は鋼鉄から形成されている；ロータベースは、ロータベースが回転するときに回転軸に沿って空気流を誘導するように構成されている通気口を含む；ロータベースはスリーブ及びバランシングリングと一体である；複数の永久磁石は、接着剤を使用して円柱状コアに取り付けられ、複数の永久磁石、円柱状コア、及び接着剤の材料の熱膨張係数の間の差は約20%より小さい；スリーブはロータベースと一体であり単一ピースを形成する；円柱状コア及びスリーブの両方は、回転軸の周りに不均一なラジアル方向の厚さを有し、スリーブのより厚い領域は各永久磁石の中央に隣接して位置する；電気機械は電気モータ又は発電機の1つである、のうちの1又は複数を含み得る。

10

20

【0018】

いくつかの実施形態において、電気機械の不規則形状の多部品歯上のコイルを組み立てる方法が開示される。方法は、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける開口から外に延在するように、コイルの開口に多部品歯の少なくとも1つのウェッジ部分を挿入する段階を含み得る。方法はまた、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルの開口から外に延在したままであるように、多部品歯のコア歯部分上に、挿入された少なくとも1つのウェッジ部分を有するコイルを装着する段階、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端に力を加え、コイルを多部品歯上で締着する段階を含み得る。

【0019】

30

開示された方法の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端に力を加えることは、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端をコイルにおける開口内に押すことを含む；コイルにおける開口は、第1端から第2端に延在し、少なくとも1つのウェッジ部分を挿入することは、幅の広い端が開口の第2端から外に延在するように、少なくとも1つのウェッジ部分を開口に挿入することを含み、力を加えることは、幅の広い端を開口の第1端に向かって押すことを含む；コイルにおける開口は、第1端から第2端に延在し、第1端における開口の幅は、第2端における開口の幅と異なり、第1端における開口の長さは、第2端における開口の高さと異なる；第1端及び第2端における開口の形状は矩形である；第1端における開口の周長は、第2端における開口の周長と実質的に同一である；第1端における開口の面積は、第2端における開口の面積から変動する；開口の面積は、第1端から第2端にかけて増加する；少なくとも1つのウェッジ部分をコイルの開口に挿入することは、少なくとも2つのウェッジ部分を開口に挿入することを含む；コイルを装着することは、コア歯部分が少なくとも2つのウェッジ部分間に配設されるように、コイルをコア歯部分上に装着することを含む；接着材料を使用して、多部品歯の少なくとも2つのウェッジ部分及びコア歯部分を共に取り付ける；多部品歯は電気機械のステータの一部である；多部品歯のコア歯部分は、中心軸を囲んで延在する環状ステータリング上に対称的に配置された複数のコア歯部分の1つであり、コア歯部分は、環状ステータリングからラジアル方向外向きに延在する；複数のコア歯部分は、環状ステータリングと一体的に形成されている；中心軸に垂直な平面において、コア歯部分は実質的に矩形の断面形状を有し、少なくとも1つのウェ

40

50

ッジ部分は実質的に三角形の断面形状を有する；ラジアル方向に垂直な平面において、コア歯部分及び少なくとも1つのウェッジ部分は実質的に矩形の断面形状を有する；コイルは、開口を囲んで銅線の巻線を含み、ワイヤは、正方形、矩形、又は円形の断面形状の1つを有する；コイルは、開口を囲んでらせん状の銅撚線の巻線を含む；電気機械は電気モータである；及び電気機械は発電機である、のうちの1又は複数を含み得る。

【0020】

いくつかの実施形態において、電気機械のステータ又はロータの歯に装着するためのコイルを製造する方法が開示される。方法は、マンドレルの周りにワイヤを巻いて、マンドレルの形状に対応する第1形状を有するコイルを形成する段階、第1形状を有するコイルをマンドレルから除去する段階、及び、コイルに対して機械的な力を適用して、コイルの形状を第1形状から第2形状に変化させる段階を含み得る。第2形状は、歯の形状に対応し得る。方法はまた、歯に第2形状のコイルを装着する段階を含み得る。

【0021】

開示された方法の様々な実施形態は、代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、ワイヤは導電体の複数のストランドから形成されている；ワイヤは、導電体を共に撚ることにより形成されるか、又は、リッツ線の形態で作られる；ワイヤは円形断面形状を有する；ワイヤは正方形又は矩形断面形状の1つを有する；第1形状は、円柱形状、又は、実質的に一定の周長を有する任意の形状であり得る；第2形状は台形形状である；ワイヤをマンドレルの周りに巻くことは、ワイヤをマンドレルの周りにらせん状のパターンで巻いて、第1端から第2端に延在する内部空洞を有するコイルを形成することを含む；コイルに対して機械的な力を適用することは、第1端又は第2端の1つにおける空洞のサイズを選択的に増加させることを含む；コイルに対して機械的な力を適用することは、内部空洞の形状を変化させることを含む；内部空洞の形状を変化させることは、内部空洞の中心軸に垂直な平面に沿った内部空洞の断面形状を円形形状から矩形形状に変化させることを含む；矩形形状の幅及び長さは両方とも第1端から第2端に変動する；矩形形状の周長は、第1端から第2端にかけて実質的に一定であり、矩形形状の面積は第1端から第2端にかけて変動する；矩形形状の面積は第1端から第2端にかけて増加する；内部空洞の形状を変化させることは、内側空洞の3次元形状を円柱形状から台形形状に変化させることを含む；コイルに対して機械的な力を適用することは、第2マンドレルをコイルの内部空洞に挿入して、内部空洞の第2端の形状と比較して、内部空洞の第1端の形状を変化させることを含む；コイルに対して機械的な力を適用することは、第1の機械的な力を適用して、第1端又は第2端の1つにおける内部空洞の寸法を増加させ、第2の機械的な力を適用して、第1端又は第2端の他方の内部空洞の寸法を減少させることを含む；第1の機械的な力は、内部空洞の中心軸に向かって作用し、第2の機械的な力は、中心軸から離れるように作用する；コイルに対して機械的な力を適用することは、内部空洞の第1端又は第2端のうちの少なくとも1つを画定するコイルのワイヤを伸ばすことを含む；ワイヤは銅からできている、のうちの1又は複数を含み得る。

【0022】

一実施形態において、電気機械が開示されている。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、回転軸の周りのステータコアに環状に配置された複数の歯を有するステータ、複数の電磁コイル、及びベースプレートを含み得る。複数の電磁コイルの各コイルは、複数の歯の別個の歯に装着され得、ベースプレートは、複数の電磁コイル及びステータコアに隣接するように位置し得る。ベースプレートは、動作中に複数の電磁コイル及びステータコアが加熱するように、複数の電磁コイル及びステータコアと熱的に接触し得、ベースプレートは、複数の電磁コイル及びステータコアについての共通のヒートシンクとして機能するように構成されている。

【0023】

開示された電気機械の様々な実施形態は、代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、複数の電磁コイルの各コイルは、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じて、ベースプレートと接触する；ステータコアは、直接的に、又は、それら

の間に配設された熱伝導性材料を通じてベースプレートに接触する；ベースプレートに熱的に接続されたモータハウジングを更に含み、複数の電磁コイル及びステータコアによって生成された熱がベースプレート及びモータハウジングを通じて放散することを可能にする；ベースプレートは、第1側及び第1側の反対の第2側を含み、複数の電磁コイル及びステータコアは、ベースプレートの第1側に熱的に接触し、モータハウジングは、ベースプレートの第2側に熱的に接触する；ベースプレートの第2側は、そこから延在する冷却フィンを含む；冷却フィンは、複数のピンを含む；ベースプレートは、回転軸を囲んで延在する円柱状ハブ部分を含む；ステータコアは、ベースプレートの円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングを含む；環状ステータリングの内側環状面は、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じて、ベースプレートの円柱状ハブ部分の外側環状面に接触する；ステータコアは、回転軸を囲んで延在する環状ステータリングを含み、複数の歯の各歯は、環状ステータリングと一体のコア歯部分を含む；複数の歯の各歯は更に、コア歯部分と非一体的に形成される1又は複数の追加歯部分を含む；追加歯部分の対は、コア歯部分の対向する両側に配置された歯部分を含む；すべての歯部品が共に組み立てられるとき、各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定する；2組のうちの各組の対向する面は互いに非平行であり、2組の対向する面の各面は、ラジアル方向に傾斜している隣接する歯の対向する面は、互いに実質的に平行である；ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は矩形形状を有し、断面の周長は、ラジアル方向において実質的に一定であり、断面の面積はラジアル方向に変動する；ベースプレートは、アルミニウムから形成されている；ベースプレートは、ロータが回転するときに、空気を複数の電磁コイルへ誘導するように構成されている通気口を含む；電気機械は電気モータである；電気機械は発電機である、のうちの1又は複数を含み得る。

【0024】

更に別の実施形態において、電気機械が開示される。電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、ステータコア及び回転軸の周りにステータコア上に環状に配置された複数の歯を有するステータ、複数の電磁コイル、及びベースプレートを含み得る。複数の電磁コイルの各コイルは、複数の歯の別個の歯に装着され得る。ベースプレートは、複数の電磁コイル及びステータコアに隣接して位置し得る。ベースプレートは第1側及び反対の第2側を有し得る。第1側は、複数の電磁コイル及びステータコアと熱的に接触し得る。動作中にコイル及びステータコアが加熱につれて、ベースプレートが、熱をクーラント液チャンネルにおけるクーラント液に伝達して、複数の電磁コイル及びステータコアから熱を放散するように構成されるように、クーラント液チャンネルがベースプレートの第2側で画定され得る。

【0025】

開示された電気機械の様々な実施形態は代替的に、又は追加的に、以下の態様、すなわち、複数の電磁コイルの各コイルは、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じてベースプレートと接触する；ステータコアは、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じてベースプレートに接触する；ベースプレートに熱的に接続されているモータハウジングを更に含み、複数の電磁コイル及びステータコアによって生成された熱がベースプレート及びモータハウジングを通じて放散されることを可能にする；ベースプレートは、第1側、及び、第1側と反対の第2側を含み、複数の電磁コイル及びステータコアは、ベースプレートの第1側に熱的に接触し、モータハウジングは、ベースプレートの第2側に熱的に接触する；クーラント液チャンネルの壁は、複数の電磁コイルと熱的に接触するベースプレートの第1側の部分と直接的に反対のベースプレートの第2側の部分である；クーラント液チャンネルは、回転軸を囲んで延在し、ベースプレートの第2側上の環状領域は、クーラント液チャンネルの壁として機能する；ベースプレートの第2側上の環状領域は、クーラント液チャンネル内に延在する複数のフィンを含む；複数のフィンは、回転軸の周りに配置されている；クーラントをクーラント液チャンネル内に誘導するように構成されているクーラント吸入口、及び、クーラントをクーラント液チャンネルから外に誘導するように構成されているクーラント排出口を更に含む；ベースプレートは

、回転軸を囲んで延在する円柱状ハブ部分を含み、ステータコアは、ベースプレートの円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングを含み、クーラント液チャネルは、回転軸に沿って円柱状ハブ部分を通過する；環状ステータリングの内側環状面は、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じて、ベースプレートの円柱状ハブ部分の外側環状面と接触している；複数の歯の各歯は、環状ステータリングと一体的に形成されるコア歯部分、及び、コア歯部分と非一体的に形成される少なくとも1つの追加歯部分を含む；環状ステータリング及びコア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている；コア歯部分及び少なくとも1つの追加歯部分が共に組み立てられるとき、各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定し、2組の各組の対向する面は互いに非平行であり、2組の対向する面の各面は、ラジアル方向に傾斜している；隣接する歯の対向する面は、互いに平行である；ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は台形状を有し、断面の周長は、ラジアル方向において実質的に一定であり、断面の面積はラジアル方向において変動する；ベースプレートは、アルミニウムから形成されている；電気機械は電気モータである；電気機械は発電機である、のうちの1又は複数を含み得る。

10

【図面の簡単な説明】

【0026】

本開示に組み込まれ、その一部を構成する添付図面は、例示的な実施形態を図示し、記載と共に、開示される原理を説明するために使用される。これらの図面において、適切な場合、異なる図における同様の構造、コンポーネント、材料、及び／又は要素を図示する参照番号は、同様に付番されている。具体的に示されるもの以外に、構造、コンポーネント、及び／又は要素の様々な組み合わせが想定され、本開示の範囲内にあると理解される。

20

【0027】

図示の簡潔性及び明確性のために、図は、様々な記載されている実施形態の一般的な構造を描写する。周知のコンポーネント又は特徴の詳細は、他の特徴を不明瞭にすることを回避するために省略され得る。なぜなら、これらの省略された特徴は、当業者にとって周知であるからである。更に、図における要素は、必ずしも縮尺通りに描かれていない。例示的な実施形態の理解を改善するべく、いくつかの特徴の寸法は、他の特徴に対して誇張され得る。当業者であれば、図における特徴は、必ずしも縮尺通りに描かれているわけではなく、別段の定めが無い限り、図における異なる特徴の間の比例的関係を表すものとして見るべきでないことを理解するであろう。追加的に、具体的に言及されない場合でも、一実施形態又は図を参照して記載される態様は、他の実施形態又は図にも適用可能であり得る、それと共に使用され得る。

30

【0028】

【図1】本開示による例示的な電気機械の一実施形態の透視図を図示する。

【0029】

【図2】アキシアル平面における図1の電気機械の断面図である。

【0030】

【図3】ラジアル平面における図1の電気機械の断面図を図示する。

【0031】

【図4A】図1の電気機械の例示的なステータの異なる透視図を図示する。

40

【図4B】図1の電気機械の例示的なステータの異なる透視図を図示する。

【図4C】図1の電気機械の例示的なステータの異なる透視図を図示する。

【0032】

【図5】図1の電気機械のステータの例示的な概略電気表現である。

【0033】

【図6A】箔から形成される図1の電気機械の例示的なコイルを図示する。

【図6B】箔から形成される図1の電気機械の例示的なコイルを図示する。

【図6C】箔から形成される図1の電気機械の例示的なコイルを図示する。

【図6D】箔から形成される図1の電気機械の例示的なコイルを図示する。

【0034】

50

【図 7 A】ワイヤから形成される図 1 の電気機械の例示的なコイルを図示する。
【図 7 B】ワイヤから形成される図 1 の電気機械の例示的なコイルを図示する。
【図 7 C】ワイヤから形成される図 1 の電気機械の例示的なコイルを図示する。
【図 7 D】ワイヤから形成される図 1 の電気機械の例示的なコイルを図示する。
【図 7 E】ワイヤから形成される図 1 の電気機械の例示的なコイルを図示する。

【0035】

【図 8 A】本開示による例示的な電気機械の概略図である。
【図 8 B】本開示による例示的な電気機械の概略図である。
【図 8 C】本開示による例示的な電気機械の概略図である。
【図 8 D】本開示による例示的な電気機械の概略図である。
【図 8 E】本開示による例示的な電気機械の概略図である。

10

【0036】

【図 9】本開示による他の例示的な電気機械を図示する。
【図 10】本開示による他の例示的な電気機械を図示する。

【0037】

【図 11】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 12】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 13】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 14】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 15】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 16】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 17】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 18】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 19】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 20】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 21】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。
【図 22】本開示の更なる例示的な電気機械の概略図である。

20

【0038】

【図 23 A】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 B】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 C】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 D】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 E】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 F】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 G】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 H】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 I】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 J】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 K】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 L】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 M】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。
【図 23 N】本開示による電気機械の例示的な歯の異なる態様を図示する。

30

【0039】

【図 24 A】本開示による、電気機械の例示的なステータの組立体を図示する。
【図 24 B】本開示による、電気機械の例示的なステータの組立体を図示する。
【図 24 C】本開示による、電気機械の例示的なステータの組立体を図示する。
【図 24 D】本開示による、電気機械の例示的なステータの組立体を図示する。

【0040】

【図 25 A】本開示による、電気機械の例示的なステータの異なる態様を図示する。
【図 25 B】本開示による、電気機械の例示的なステータの異なる態様を図示する。

50

【0041】

【図26A】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図26B】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図26C】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図26D】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【0042】

【図27A】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図27B】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図27C】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

【図27D】異なる平面における例示的な歯の断面図を図示する。

10

【0043】

【図28A】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図28B】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図29A】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図29B】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図30】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図31A】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【図31B】例示的な歯の幾何学的特徴を図示する。

【0044】

【図32A】本開示のステータコアの例示的な実施形態を図示する。

20

【図32B】本開示のステータコアの例示的な実施形態を図示する。

【図32C】本開示のステータコアの例示的な実施形態を図示する。

【図32D】本開示のステータコアの例示的な実施形態を図示する。

【図32E】本開示のステータコアの例示的な実施形態を図示する。

【0045】

【図33A】例示的なステータの異なる部分を図示する。

【図33B】例示的なステータの異なる部分を図示する。

【図33C】例示的なステータの異なる部分を図示する。

【0046】

【図34A】例示的な外側ロータを図示する。

30

【図34B】例示的な外側ロータを図示する。

【0047】

【図35】例示的なシャフトを図示する。

【0048】

【図36】例示的な外側ロータを図示する。

【図37】例示的な外側ロータを図示する。

【0049】

【図38A】例示的な外側ロータの例示的な部分を図示する。

【図38B】例示的な外側ロータの例示的な部分を図示する。

【図38C】例示的な外側ロータの例示的な部分を図示する。

【図38D】例示的な外側ロータの例示的な部分を図示する。

40

【0050】

【図39】例示的な外側ロータ組立体を図示する。

【0051】

【図40】例示的な外側ロータを図示する。

【0052】

【図41】例示的な外側ロータの部分を図示する。

【0053】

【図42A】例示的な外側ロータの断面図を図示する。

【図42B】例示的な外側ロータの断面図を図示する。

50

【0054】

【図43】別の例示的な外側ロータを図示する。

【0055】

【図44】例示的なロータコアを図示する。

【0056】

【図45A】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

【図45B】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

【図45C】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

10

【図45D】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

【図45E】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

【図45F】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の概略図である。

【0057】

【図46A】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の簡略化された概略図である。

20

【図46B】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図46C】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【0058】

【図47】本開示の電気機械における多部品歯にコイルを設置する例示的な方法のフローチャートである。

【0059】

【図48A】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の概略図である。

【図48B】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の概略図である。

30

【図48C】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の概略図である。

【図48D】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の概略図である。

【0060】

【図49A】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図49B】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図49C】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図49D】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

40

【0061】

【図50A】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図50B】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図50C】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図50D】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

50

【0062】

【図51A】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【図51B】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法の簡略化された概略図である。

【0063】

【図52】本開示の電気機械のコイルを形成する例示的な方法のフローチャートである。

【0064】

【図53】開示される実施形態による、アキシアル平面における電気機械の断面図を図示する。

10

【0065】

【図54】開示される実施形態による、図53の電気機械のステータの透視図を図示する。

【0066】

【図55】開示される実施形態による、アキシアル平面における図53の電気機械のステータの断面図を図示する。

【0067】

【図56】開示される実施形態による、図53の電気機械のステータのベースプレート56及びその円柱状ハブ部分132の透視図を図示する。

【0068】

【図57】開示される実施形態による、アキシアル平面における液体クーラントによって冷却された電気機械の断面図を図示する。

20

【0069】

【図58】開示される実施形態による、図57の電気機械の異なる図を図示する。

【図59】開示される実施形態による、図57の電気機械の異なる図を図示する。

【図60】開示される実施形態による、図57の電気機械の異なる図を図示する。

【発明を実施するための形態】

【0070】

「約」、「実質的に」、「凡そ」などのすべての相対的な用語は、（別段の定めが無い限り、又は、別の変形が指定されない限り）最大15%の変動の可能性を示すために使用されることに留意されたい。例えば、本開示において、第2領域の断面積と実質的に等しい、又は、実質的に同一であると記載される第1領域の断面積は、最大15%の断面積の変動をその範囲においてカバーする。同様に、「 t 」単位（幅、長さなど）に実質的に等しい寸法は、最大15%の変動をカバーする。追加的に、ある範囲（例えば、 $X-Y$ 、 X から Y など）の間にあると記載される寸法は、2つの境界を含む。すなわち、 $X-Y$ の間の寸法は、 $X-15$ （%）から $X+15$ （%）の間の任意の寸法であり得る。別段の定めが無い限り、物体又はエリアの形状に関するすべての用語は、凡その形状を指す。例えば、正方形（矩形、台形など）であると記載される断面形状は、必ずしも厳密な正方形（そのように記載される場合を除く）を指すものではない。むしろ、記載される形状の（例えば、製造プロセス、許容誤差などの結果である）僅かな変動もカバーされる。例えば、正方形であると記載される断面積の角は、丸い（又は面取りされた）角を有し得、角の角度の変動は最大15%、対向する両側の間の平行度の変動は15%、などである。

30

40

【0071】

別段の定めが無い限り、本明細書において使用される、すべての技術用語、表記、及び、他の科学用語又は専門用語は、本開示が属する当業者によって一般に理解されるものと同一の意味を有する。本明細書において記載又は参照されるコンポーネント、構造、及び／又はプロセスのいくつかは、当業者によって、よく理解され、従来の方法を使用することによって一般に利用される。したがって、これらのコンポーネント、構造、及びプロセスは、詳細に記載されない。本明細書において参照されるすべての特許、出願、出願公開、及び、他の公報は、参照によって全体が組み込まれる。本開示に記載される定義又は記載が、これらの文献における定義及び／又は記載と異なる、又はそうでない場合、整合性

50

が無い場合、本開示において記載される定義及び／又は記載が、参照によって組み込まれる文献より優先される。本明細書において記載又は参照される文献のいずれも、本開示に対する先行技術として認められない。

【0072】

本開示の様々な実施形態はラジアルフラックス電気機械を含む。本明細書において使用される場合、電気機械 (electric machine 又は electrical machine) は、電磁力に基づいて動作するデバイスである。一般的に、電気で動作する、又は、電気を生成する任意のタイプの電気機械的エネルギー変換器が電気機械である。必要ではないが、いくつかの実施形態において、電気機械は、電気モータ又は発電機であり得る。動作中、電気機械は磁束を生成する。ラジアルフラックス電気機械において、生成された磁束の少なくともいくつかの部分は、機械の回転軸に垂直に延在する。電気機械は、空隙によって隔離されたステータ及びロータを含む。ラジアルフラックス電気機械において、作動 (又は主な) 磁束は、ラジアル平面における空隙を通じて、ロータとステータとの間に延在し得る。図1は本開示の例示的なラジアルフラックス電気機械10を図示する。電気機械10の内部の詳細が、図2及び図3を参照して記載される。図1に図示される電気機械10は、ハウジング50を有する空気冷却システムであり得る。外部リブ52は、端シールド54とステータベースプレート56との間のハウジング50の表面上に位置し得る。図1に図示されるように、ベースプレート56は、そこから延在する複数のピン58を含み得る。リブ52及びピン58は、動作中に電気機械10によって生成された熱を周辺の空気に伝達することを助け得る。下の論述において、電気モータの形態の電気機械10が記載される。しかしながら、当該記載は、例えば発電機などの他のタイプの電気機械に等しく適用可能である。電気機械10が動作するとき、そのシャフト20が回転する。

【0073】

本開示の電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、及びステータを含み得る。本明細書において使用される場合、ステータは、電気機械の任意の静的な又は固定された部品、コンポーネント、又は (コンポーネントの) 組立体であり、ロータは、ステータに対して移動するように構成されている部品、コンポーネント、又は組立体である。いくつかの実施形態において、ロータは、ステータに対して、回転軸の周りを回転するように構成され得る。ロータは、ロータと共に回転するシャフト (ロータシャフト) に連結されている。ロータ (及びそのシャフト) がその周りを回転する軸は、「回転軸」と称される。図2は、機械10のアキシャル平面に沿って、(図1の) 電気機械10の断面図を図示し、図3は、機械10のラジアル平面に沿った機械10の断面図を図示する。アキシャル平面は、機械の回転軸が存在する (又はその一部である) 仮想的な平面を指す。換言すると、機械の回転軸のすべての点はアキシャル平面内に存在する。図2において、機械10の回転軸1000はアキシャル平面内に存在し、アキシャル平面は、機械10を2つの対称的な半分に二分する。ラジアル平面は、回転軸に垂直に延在する平面を指す。回転軸1000は、ラジアル平面に垂直に (例えば、本文書内に、及び、本文書から外に) 延在する。

【0074】

下の論述において、図2及び図3を参照する。電気機械10は、ロータ200及びステータ100を含む。ロータ200は、ステータ100に対して、回転軸1000の周りを回転するように構成されている。ステータ100は、複数の歯120を含むステータコア110を含み、ロータ200は、複数の永久磁石220を含むロータコア210を含む。電磁コイル300はステータ100の歯120に装着される。ロータ200は、回転軸1000の周りを回転するように構成されているシャフト20に接続されている。電力がコイル300に提供されるとき、磁場が生成される。生成された磁場に基づいて、磁束がロータ200とステータ100との間を流れ、それによって、回転力をロータに提供する。電気機械10は、任意の適用において、電源として使用され得る。例えば、電気自動車において、電気機械10は、電気自動車の車輪を駆動し得る。

【0075】

本開示の電気機械において、ロータ及び／又はステータのうちの少なくとも1つは、回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含み得る。本明細書において使用される場合、歯は、ボディから突出する突起を指す。歯は、ボディから突出する一連の実質的に同様の突起を含み得る。例えば、ロータが歯を含む実施形態において、ボディ又はロータのコアから突出する一連の実質的に同様の突起は、歯を含む。そして、ステータが歯を含む実施形態において、ボディ又はステータのコアから突出する一連の実質的に同様の突起は、歯を含む。ラジアルフラックス電気機械において、歯はラジアル平面において突出している。換言すると、歯はラジアル平面に存在し、ラジアル方向において（内向き又は外向きに）突出している。各突起は歯を形成する。典型的には、突起（又は歯）は、ステータとロータとの間で磁束の大部分を誘導するよう構成され、又はそのような形状である。図2及び図3を参照すると、電気機械10において、ステータ100は、ステータ100のコア110上に、回転軸1000の周りに環状かつ対称に配置された複数の歯120を含む。後により詳細に説明されるように、各歯120は、共に配置されて複合体又は多部品歯120を形成する複数のピース又は部品を含む。3個の歯120の外形が、図3における破線を使用して示される。後により詳細に記載されるように、各歯120は、アキシヤル平面（図2を参照）及びラジアル平面（図3を参照）の両方において台形断面形状を有し得る。

10

【0076】

図3から分かるように、ロータ200は、空隙250によってステータ100から隔離されている。いくつかの実施形態において、以前に記載されたように、ロータ200及びステータ100の構成に応じて、複数の空隙がロータ200及びステータ100を隔離し得る。図2及び図3に図示される例示的な実施形態において、ステータ100は、9個の歯120を含み、ロータ200は、10個の永久磁石220（図3において破線を使用して識別される）を含む。しかしながら、これは単なる例である。一般的に、任意の数の歯120及び永久磁石220が設けられ得る。図3において最も良く分かるように、各永久磁石220は、回転軸1000の周りに円弧の形態で共に連結された複数の永久磁石セグメント222を含み得る。任意の数のセグメント222が各永久磁石220に含まれ得る。いくつかの実施形態において、すべての永久磁石220は、同一の数のセグメント222を含み得る。いくつかの実施形態において、複数のセグメント222は、（例えば接着材料によって）共に取り付けられ、永久磁石220を形成し得る。任意のタイプの永久磁石が使用され得る。いくつかの実施形態において、永久磁石220は、フェライト、アルニコ、サマリウムコバルト、又はネオジム合金のうちの1又は複数を含み得る。いくつかの実施形態において、各永久磁石220は非導電性材料で被覆され得る。いくつかの実施形態において、隣接する永久磁石220は、スペーサ224によって互いから隔離され得る。スペーサ224は非導電性材料からできていることがあり得、接着材料（例えば接着剤）によって隣接する永久磁石220に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、スペーサ224は除去され得、隣接する永久磁石220は、空間又は間隙によって互いから隔離され得る。

20

30

【0077】

本開示の電気機械は複数の電磁コイルを含み得る。電磁コイル（又は電気コイル）は、電流が（例えば電気モータにおける）導体を通過するときに磁場を生成する、又は、磁場がコイルの上を通過するときに、導体の電圧を生成する導電体の1又は複数の巻いたものを含み得る。いくつかの実施形態において、導電体の巻いたものは、コイル、ループ、撚線、カール、又はらせん状に構成され、又は、そのような形状であり得る。いくつかの実施形態において、電磁コイルは、強磁性コアを囲んで掛けられるように構成されている一連の伝導性ワイヤを含む導電体であり得る。一般的に、本開示の電磁コイルは、電気機械のステータ又はロータに関連付けられ得る。すなわち、いくつかの実施形態において、複数のコイルがロータに連結され得（例えば、装着される、設置される、巻かれる、など）、他の実施形態において、複数のコイルはステータに連結され得る。図2及び図3に図示

40

50

される電気機械１０の例示的な実施形態において、複数の電磁コイル３００はステータ１００に連結されている。図２及び図３に図示される電気機械１０の構成は単なる例であることも留意されるべきである。

【００７８】

図２及び図３の電気機械１０において、単一ロータ２００が、単一ステータ１００のラジアル方向外向きに位置する。しかしながら、この構成は単なる例であり、本開示の電気機械は他の構成を有し得る。図８Ａ～図８Ｅは、ロータ２００に対するステータ１００のレイアウトを示す本開示の電気機械の例示的な構成の概略図である。各場合において、ロータ２００は、回転軸１０００の周りを回転するシャフト２０に接続され、回転軸１０００の周りに環状に配置された複数の永久磁石セグメント２２０を含む。そして、ステータは、回転軸１０００の周りに環状に配置された複数の歯１２０を含む。各歯１２０は、複数の部品を含み、（図２、図３のように）アキシャル及びラジアル平面の両方において台形断面形状を有する。そして、コイル３００が、歯１２０のうちの１又は複数の歯に装着されている。

【００７９】

図８Ａは、ロータ２００がステータ１００の外側に位置する、図２及び図３の電気機械１０を概略的に図示する。そのような一実施形態において、ラジアル平面における各歯１２０の幅は、空隙２５０（及びロータ２００）に向かってラジアル方向（図３を参照）に増加し、アキシャル平面における各歯１２０の長さは、空隙２５０（図２を参照）に向かってラジアル方向に減少する。すなわち、図２及び図３を参照すると、 $l_1 > l_2$ 、 $w_1 < w_2$ である。図８Ｂの電気機械１０Ａにおいて、ロータ２００は、ステータ１００のラジアル方向内向きに位置する。すなわち、図８Ａの電気機械１０とは対照的に、機械１０Ａのロータ２００は、そのステータ１００より回転軸１０００の近くに位置する。図８Ｃは、ラジアル平面において、（図８Ｂの）電気機械１０Ａの断面図を図示する。図８Ｂ及び図８Ｃの電気機械１０Ａにおいて、ラジアル平面（図８Ｃを参照）におけるステータ歯１２０の幅は、ロータ２００及び空隙２５０に向かってラジアル方向内向きに減少し、アキシャル平面（図８Ｂに図示される図）におけるその長さは、ロータ２００に向かってラジアル方向内向きに増加する。

【００８０】

図８Ｄの電気機械１０Ｂは、ロータ２００の対向する両側に位置する２つのステータ１００Ａ、１００Ｂを含む。内側及び外側ステータ１００Ａ、１００Ｂの両方は、回転軸１０００の周りに環状に配置された複数の多部品歯１２０を含む。電気機械１０Ｂにおいて、内側ステータ１００Ａの（ラジアル平面における）各歯１２０の幅は、ロータ２００（及び空隙２５０）に向かってラジアル方向外向きに増加し、外側ステータ１００Ｂの各歯１２０の幅は、ロータ２００（及び空隙２５０）に向かってラジアル方向内向きに減少する。反対に、図８Ｄに示すように、内側ステータ１００Ａの（アキシャル平面における）各歯１２０の長さは、ロータ２００に向かってラジアル方向外向きに減少し、外側ステータ１００Ｂの（アキシャル平面における）歯１２０の長さは、ロータ２００に向かってラジアル方向内向きに増加する。換言すると、歯１２０の幅が一方向において減少する場合、その同一方向において、その長さが増加し、逆も同様である。

【００８１】

図８Ｅの電気機械１０Ｃは、ステータ１００の対向する両側に位置する２つのロータ２００Ａ、２００Ｂを含む。そのような構成において、（ラジアル平面における）ステータ歯１２０の幅は、外側ロータ２００Ｂに向かってラジアル方向外向きに増加し、内側ロータ２００Ａに向かってラジアル方向内向きに減少する。反対に、図８Ｅから自明のように、（アキシャル平面における）ステータ歯１２０の長さは、外側ロータ２００Ｂに向かってラジアル方向外向きに減少し、内側ロータ２００Ａに向かってラジアル方向内向きに増加する。各歯１２０の断面積はラジアル方向外向きに増加し得る。（図８Ａ～図８Ｅの）電気機械１０～１０Ｃにおいて、コイル３００は、ステータとロータとの間の空隙２５０の近くに位置するように、各歯１２０に装着される。

【0082】

図9は、ロータ200のラジアル方向における対向する両側に位置する内側ステータ100A及び外側ステータ100Bを含む例示的な電気機械10Fを図示する。内側及び外側ステータ100A、100Bの各々は、空隙250（図9において表示されない）によってロータ200から隔離されている。すなわち、電気機械10Fは、二重空隙電気機械である。コイル300が内側ステータ100Aに装着されている。図8Dの二重ステータ電気機械10Bと異なり、図9の電気機械10Fにおいて、コイル300は外側ステータ100Bに装着されていない。その代わりに、コイル300は内側ステータ100Aの歯120だけに装着されている。

【0083】

図10は、内側及び外側ステータ100A、100Bが磁気伝導ブリッジ140によって接続されている点で電気機械10F（図9）と異なる例示的な二重ステータ電気機械10Gを図示する。ブリッジ140は、例えば、積層鋼鉄、SMCなどの任意の好適な材料から作られ得る。SMCは、等方的な磁気特性（すなわち、すべての方向において等しい磁束を伝導する能力）をブリッジ140に提供し得る。上で論じられた電気機械の構成は単なる例であることに留意されたい。多くの他の変形が可能である。後により詳細に論じられるように、電気機械のこれらの変形の各々は、1又は複数の歯120にコイル300が装着された、ラジアル及びアキシャル平面において台形断面形状を有する多部品歯120を含む。

【0084】

図11～図22は、ラジアル及びアキシャル平面において台形断面形状を有する多部品歯120を有する本開示のラジアルフラックス電気機械のいくつかの例示的な変形の概略図である。これらの図において、アキシャル平面における電気機械の断面図が左側に示されており、ラジアル平面における電気機械の断面図が右側に示されている。簡潔にする目的で、他の記載された実施形態と異なる各電気機械の態様のみが下に記載される。図11の電気機械において、ロータ200はステータ100のラジアル方向外側に装着されている。複数の多部品歯120が組み立てられ、ステータ100上にリングの形態で配置されている。コイル300は、各歯120を囲んで延在している。ロータ200において、永久磁石220は、ロータ200のドラム230上に形成されたスロットに環状に配置され、ステータ100とロータ200との間の空隙250を形成する。

【0085】

図12の電気機械において、ロータ200は、ラジアル方向における内側及び外側ステータ100A、100Bの間に設置されている。内側ステータ100Aは、リングの形態で作られ、台形状の歯120を含む。後に（図23A～図23Kを参照して）説明されるように、図11及び図12の電気機械において、各歯120は、共に組み立てられて台形状の歯120を形成する、ステータコア110の環状部品130と一体的に形成されるコア歯部分122、及び、1又は複数の追加のウェッジ形状歯部分124A～124Fから形成される。ロータ200は、内側及び外側ステータ100A、100Bの各々とロータ200との間に形成された空隙250を有する内側及び外側ステータ100A、100Bの間に回転するように構成されている。2個の空隙（例えば、図12、図13など）を有する電気機械は、二重空隙電気機械と称される。

【0086】

図13の電気機械において、図12の実施形態のように、ロータ200は内側及び外側ステータ100A、100Bの間に設置され、内側ステータ100Aは、リングの形態で作られ、複数の多部品歯120を含む。内側及び外側ステータ100A、100Bは、磁気伝導性ブリッジ140によって接続されている。図14の電気機械は、図11の電気機械と同様であるが、その歯120が、ステータ100上で組み立てられた別個の部品から形成されていることを除く（例えば、図23L～図23N、図24A～図24Dを参照）。すなわち、図14の実施形態において、図23L～図23Nを参照して記載されるように、各歯120が、ステータコア110とは別個の複数の部品から形成され得る。

【0087】

図15は、ロータ200が内側ステータ100A及び外側ステータ100Bの間に設置され、(図14を参照して説明されるように)歯120がステータ100とは別個である電気機械を図示する。図16の電気機械は、図15の電気機械と同様であるが、ブリッジ140が内側ステータ100A及び外側ステータ100Bを接続することを除く。図17の電気機械において、ロータ200は、ブリッジ140によって共に接続された内側ステータ100A及び外側ステータ100Bの間に設置されている。内側ステータ100Aは、図12の電気機械と同様の多部品台形状の歯120を含み、外側ステータ100Aは、リングに配置された別個の円弧形状セグメントから作られる。図18の電気機械は、図17の電気機械と同様であるが、内側ステータ100A上の歯120が図14の電気機械のものと同様であることを除く。

10

【0088】

図19の電気機械において、ロータ200はステータ100内に装着され、ステータ歯120は、リングの形態で作られた外側ステータ100上で組み立てられている。図20の電気機械において、ロータ200は、ブリッジ140によって共に接続された内側ステータ100A及び外側ステータ100Bの間に設置される。外側ステータ100Bは、リングの形態で作られ、コイル300が装着された歯120を含む。図21の電気機械において、ロータ200は、内側ステータ100A及び外側ステータ100Bの間に設置されている。内側ステータ100A及び外側ステータ100Bの両方は、リングの形態で作られ、コイル300が装着された台形状の歯120を含む。図22の電気機械は、図21の電気機械と同様であるが、内側ステータ100A及び外側ステータ100Bがブリッジ140によって接続されていることを除く。

20

【0089】

上に記載された電気機械の実施形態は単なる例である。上に記載された実施形態に対する多くの変形があり得る。当業者であれば、上の開示に基づいてこれらの変形を認識できるので、これらの変形は本明細書において更に論じない。更に、歯120は、上に記載された電気機械の実施形態において、ステータ100の一部として記載されているが、これは限定ではない。すなわち、いくつかの実施形態において、歯120は代替的に、又は追加的に、ロータ200の一部であり得る。簡潔にする目的で、下の論述において、本開示の例示的な態様が、図2及び図3に図示される電気機械10の構成を参照して論じられる。この論述は、電気機械の他の構成(例えば、上で論じた構成など)に等しく適用されることが強調されるべきである。

30

【0090】

図4A～図4Cは、図2及び図3の電気機械10の他のコンポーネントから隔離されたステータ100の異なる図を図示する。図4A及び図4Bは、ステータ100の透視図を図示し、図4Cは、アキシアル平面におけるステータ100の断面図を図示する。各コイル300は、歯120に装着又は設置されている。いくつかの実施形態において、コイル300の内面が歯120の外面对して緊密に嵌合するように、コイルが歯に設置され得る。いくつかのそのような実施形態において、コイル300の外部形状(又は輪郭)は、それが装着されている歯120の外部形状と実質的に同一であり得る。図5は、電気機械10の例示的な3相巻線140の電気接続図を図示する。図4A～図4Bにおいて最も良く分かるように、ステータ100の各歯120は、隣接する歯120に装着されたコイル300を収容するスロット160によって隣接する歯120から隔離されている。図5に図示されるように、電気機械10の歯120に装着されたコイル300はまとめて3相巻線310を形成する。ステータ100は歯120を含むものとして記載されているが、いくつかの実施形態において、ロータ200は代替的に、又は追加的に歯120を含み得ることに留意されたい。

40

【0091】

図6A～図6D及び図7A～図7Eは、歯120に装着され得る電磁コイル300の異なる態様を図示する。図6A～図6Dに図示される実施形態において、コイル300は、

50

導電性材料の箔 312 から作られ、又は形成され、図 7 A ～図 7 E に図示される実施形態において、コイル 300 は、導電性ワイヤ 314 から作られている。当業者によって認識されるように、箔は、厚さ及び幅を有する導電体のストリップである。箔の幅は典型的には、その厚さより大きい。すなわち、箔は、導電性材料の薄いストリップである。一般的に、任意のタイプの導電性材料が、コイル 300 を形成するために使用され得る。いくつかの実施形態において、銅が使用され得る。いくつかの実施形態において、箔 312 は、電気絶縁性材料で被覆され得る。

【0092】

図 6 A 及び図 6 B に図示されたコイル 300 の例示的な実施形態において、コイル 300 は、コイル 300 の第 1 端 322 から第 2 端 324 に延在する中央空洞 320 を囲む箔 312 の複数の巻いたものを含む。図 6 B に図示されるように、歯 120 が空洞 320 を通じて延在するように、コイル 300 は歯 120 に装着されている。いくつかの実施形態において、図 6 A 及び図 6 B に示されるように、箔 312 の幅（すなわち、箔の平坦側に沿った幅）は、歯のラジアル方向において、歯 120 の幅全体に（すなわち、ラジアル軸 2000 に沿って）延在し得る。いくつかの実施形態において、図 6 C 及び図 6 D に図示されるように、箔 312 のリブ（すなわち、歯 120 の幅より小さい幅を有する箔 312 のストリップ）が、歯 120 に沿ってラジアル方向に、例えば、らせん状の形態で巻かれ、コイル 300 を形成し得る（例えば、図 6 C、図 6 D を参照）。

【0093】

いくつかの実施形態において、図 7 A ～図 7 E に図示されるように、コイル 300 は、導電性（例えば銅の）ワイヤ 314 の 1 又は複数のストランドを使用して作られ得る。いくつかの実施形態において、ワイヤ 314 は、電気絶縁性材料を用いて被覆され得る。いくつかの実施形態において、図 7 A ～図 7 C に示されるように、ワイヤ 314 は、らせん状の形態で巻かれ、コイル 300 の中央空洞 320 を画定し得る。らせん状に巻かれたワイヤ 314 は、コイル 300 の第 1 端 322 から第 2 端 324 に延在し得る。ワイヤ 314 は任意の断面形状を有し得る。いくつかの実施形態において、図 7 D に図示されるように、ワイヤ 314 は円形断面形状を有し得る。いくつかの実施形態において、図 7 E に図示されるように、ワイヤ 314 は、正方形又は矩形断面形状を有し得る。これらの図示された断面形状は単なる例であることに留意されたい。一般的には、ワイヤ 314 は任意の断面形状を有し得る。いくつかの実施形態において、渦電流損を低減するべく、複数のワイヤ 314 が、リッツ線の形態で共に撚られ得る。当業者によって認識されるように、リッツ線は、個々に絶縁され、共に撚られ、又は織られ、複数のパターンの 1 つで配置された複数のワイヤストランドから成る。これらのパターンは、各ストランドが導体の外側にある全体の長さの比率を等しくするように機能し得る。撚線又はリッツ線の使用は、渦電流損を低減し、電気機械の効率を増加させるのに有益であり得る。箔 312 又はワイヤ 314 を使用してコイル 300 を形成する例示的な方法は、図 45 A ～図 47 を参照して後に記載される。

【0094】

様々な実施形態において、開示された電気機械の各コイルは、それを通る不均一な空洞を有し得る。不均一な空洞とは、その長さの一部に沿って不均一な断面形状を有する空洞を指す。不均一な空洞において、空洞の断面寸法に関するパラメータは、少なくとも、空洞の長さの一部にわたって変動する。寸法に関する任意のパラメータ（例えば、幅、高さ、長さ、面積、周長、又は、寸法に関する別の測定結果）は、空洞の長さの一部を通じて変動し得る（すなわち、一定でない）。いくつかの実施形態において、不均一な空洞において、空洞の面積（又は、別の寸法に関する測定結果）は、空洞の長さの一部に沿って均一でないことがあり得る。いくつかの実施形態において、空洞の面積（又は、別の寸法の測定結果）は、空洞の全長（すなわち、空洞の一端から他端まで）にわたって均一でないことがあり得る。いくつかの実施形態において、不均一な空洞において、空洞の一部又は空洞全体にわたって、1 つのパラメータ（例えば、周長）は均一であり得、一方、別のパラメータ（例えば、面積）は不均一であり得る。

【0095】

以前に説明したように（図6A～図7Eを参照）、箔312から作られているか、又はワイヤ314から作られているかに関わらず、コイル300は、第1端322から第2端324に延在する空洞320を含み得る。様々な実施形態において、空洞320は不均一台形空洞であり得る。すなわち、空洞のパラメータに関する断面寸法は、第1端322及び第2端324の間の長さの少なくとも一部にわたって変動し得る。図6Bを参照すると、空洞320の内部表面が歯120の外部表面に密接に合う、又はそれに対して緊密となるように、コイル300が歯120に装着されている。そのような装着の結果、コイル300の空洞320の内部形状は、歯120の外部形状と実質的に同一（又は同様）であり得る。図2及び図3を参照すると、ラジアル及びアキシャル平面における各歯120の断面形状は台形であり得る。換言すると、歯120は台形形状であり得る。各歯120の幅及び長さはラジアル方向において変動する。すなわち、図2に図示されるように、歯120の長さ l_1 は、歯120のラジアル方向外向きに（ラジアル軸2000に沿って） l_1 から l_2 に変動し、図3に図示されるように、歯120の幅 w は、歯120のラジアル方向外向きに w_1 から w_2 に変動する。後に説明されるように（図26A～図26Dを参照）、ラジアル方向に垂直な平面における歯120の断面の周長は、そのラジアル方向において実質的に一定であり得、一方、断面の面積はラジアル方向において変動する。いくつかの実施形態において、各歯120は、ラジアル方向において不均一である台形断面形状を有し得る。コイル300の空洞320はまた、ラジアル方向において不均一である同様の台形断面形状を有し得る。

【0096】

様々な実施形態において、コイルの各空洞は、その中に、複数の歯のうちの1つの歯を含むように構成され得る。一般的に、歯は、任意の方式でコイル空洞内に含まれ得る、又は配設され得る。すなわち、いくつかの実施形態において、各歯は、コイル空洞内に緊密に受けられ得、一方、他の実施形態において、歯は空洞内に緩く受け入れられ得る。いくつかの実施形態において、歯の外表面の一部は、歯を含む空洞の内面の接触部分であり得る。いくつかの実施形態において、界面材料が、空洞の合わせ面とコイルとの間に配設され得る。図6Bを参照すると、いくつかの実施形態において、歯の外表面の少なくともいくつかの部分が空洞320の内面の部分に接触するように、歯120は、コイル300の空洞320に緊密に含まれている。しかしながら、これは必要ではなく、歯120は、任意の方式で空洞320に含まれ得る。すなわち、いくつかの実施形態において、空洞320における歯120の外表面は、空洞320の内面と物理的に接触しないことがあり得る。いくつかの実施形態において、歯120の外表面及び空洞320の内面は、別の材料によって隔離され得る。

【0097】

様々な実施形態において、各歯は、共に組み立てられたときに、コイルの不均一台形空洞の形状に対応する複数のピースから形成され得る。本明細書において使用されるように、ピースは、全体の部分又は一部を指す。ピースは任意のサイズ及び形状を有し得る。歯は、任意の数のピース又は部品から形成され得、これらの複数の部品は、任意の形状を有し得、任意の方式で共に組み立てられ得る。例えばいくつかの実施形態において、複数の部品は、別の方式で共に接着又は固定され得る。いくつかの実施形態において、複数の部品は単に、共に緩く又は密に配置され得る。図2及び図3の電気機械10の実施形態において、コイル300の不均一台形空洞320は、多ピース歯120を形成する複数の部品を含むように構成されている。空洞320のサイズ及び形状は、多部品歯120を中に受けるように構成されている。いくつかの実施形態において、コイル300の空洞320のサイズは、歯120のサイズと実質的に同一であり得る。いくつかの実施形態において、空洞320は、歯120より僅かに小さいサイズであり得、（図45A～図47を参照して後に記載されるように）多部品歯120が組み立てられるとき、コイル300は広がって歯120を空洞320内に緊密に受ける。

【0098】

図 2 3 A～図 2 3 K は、そのステータ 1 0 0 のコア 1 1 0 に配置された電気機械 1 0 の歯 1 2 0 の異なる例示的な実施形態を図示する。これらの実施形態において、各歯 1 2 0 は、共に配置されて完全な多部品歯 1 2 0 を形成する複数のピース又は部品を含む。図 2 3 A～図 2 3 D は、多部品歯 1 2 0 の例示的な一実施形態を図示し、図 2 3 D～図 2 3 H は、歯 1 2 0 の他の例示的な実施形態を図示し、図 2 3 I～図 2 3 K は、多部品歯 1 2 0 の更なる例示的な実施形態を図示する。これらの図示された実施形態は単なる例であり、本開示の電気機械は、ステータ及び／又はロータにおける他のタイプの多部品歯を含み得ることに留意するべきである。

【0099】

図 2 3 A は、透視図を図示し、図 2 3 B は、図 2 3 A の拡大された部分を図示し、単一の歯 1 2 0 の構造を示す。図 2 3 C 及び図 2 3 D は、それぞれ、ラジアル及びアキシヤル平面における図 2 3 A の断面図を図示する。ステータコア 1 1 0 は、リング形状又は環状部品 1 3 0 を含む。ステータ 1 0 0 の各多部品歯 1 2 0 は、環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在する。ステータ 1 0 0 及びロータ 2 0 0 が組み立てられて電気機械 1 0 を形成するとき、各歯 1 2 0 は、空隙 2 5 0 に向かってラジアル方向外向きに延在する（図 2 及び図 3 を参照）。以前に説明されたように、歯 1 2 0 は多部品構造を有する。図 2 3 A～図 2 3 D に図示される歯 1 2 0 の例示的な実施形態において、各歯 1 2 0 は、共に組み立てられて歯 1 2 0 を形成するコア歯部分 1 2 2 及び 2 つの追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B を有する。

【0100】

コア歯部分 1 2 2 は、ステータコア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 と一体であり、各追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B は、コア歯部分 1 2 2 の対向する両側面に設置される。「…と一体」及び「一体的に形成」という用語は、2 つの部品が接続されて、部品の完全性を破壊することなく取り外すことが事実上できない単一部品を形成することを示すために使用される。いくつかの場合、2 つの一体的に形成された部品は、単一部品として形成され得る。いくつかの実施形態において、追加歯部分のうちの 1 又は複数は、ウェッジのような形状であり得る。本明細書において使用される場合、ウェッジ形状部分は、幅の狭い端及び幅の広い端を有する部品である。図 2 3 B を参照すると、各追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B は、幅の狭い第 1 端 1 2 6 から幅の広い第 2 端 1 2 8 に延在するウェッジ形状のコンポーネントである。第 1 追加歯部分 1 2 4 A 及び第 2 追加歯部分 1 2 4 B は、本実施形態において同一のコンポーネントとして図示されているが、これは必須ではない。

【0101】

図 2 3 E～図 2 3 H は、組み立てられて歯 1 2 0 を形成するコア歯部分 1 2 2 及び 1 個の追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D を有する歯 1 2 0 の例示的な実施形態を図示する。これらの実施形態において、コア歯部分 1 2 2 は、コア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 と一体であり、追加歯部分 1 2 4 C、1 2 4 D はウェッジ形状である。追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D は、コア歯部分 1 2 2 の一側面に設置されて歯 1 2 0 を形成する。図 2 3 E（及び図 2 3 A）の（歯 1 2 0 の）コア歯部分 1 2 2 は、ラジアル軸 2 0 0 0 に沿って環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在するが、図 2 3 G の歯のコア歯部分 1 2 2 は、（ラジアル軸 2 0 0 0 に対して）ある角度だけ傾斜してその環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在する。コア歯部分 1 2 2 は、任意の角度 γ だけ傾斜し得る。いくつかの実施形態において、傾斜の角度 γ は、図 2 8 A 及び図 2 8 B を参照して記載されるものと同様である。いくつかの実施形態において（例えば、図 2 3 E の実施形態）、傾斜の角度 γ は 0 であり得ることに留意されたい。すなわち、コア歯部分 1 2 2 は、ラジアル軸 2 0 0 0 に沿ってラジアル方向外向きに延在し得、単一の追加歯部分が、コア歯部分 1 2 2 の一側面に設置されて歯 1 2 0 を形成し得る。図 2 3 I～図 2 3 K の実施形態において、各歯 1 2 0 は、組み立てられて歯 1 2 0 を形成するコア歯部分 1 2 2 及び 4 つの追加歯部分 1 1 2 a、1 2 4 A、1 1 2 e 及び 1 1 2 f を有する。コア歯部分 1 2 2 はコア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 と一体であり、第 1 の対の追加歯部分 1 2 4 A 及び 1 2 4 B は、コア歯部分 1 2 2 の対向する両側面に位置し、第 2 の対の追加歯部分 1 1 2 e 及び 1 1 2 f は、コア歯部

10

20

30

40

50

分 1 2 a の上部及び底面に配置されている。上で論じられる歯 1 2 0 の実施形態は単なる例であり、本開示の電気機械は、歯 1 2 0 の他の構成（例えば、追加歯部分の異なる数及び他の形状を有する）を含み得ることに留意されたい。歯 1 2 0 の異なる部品の図示された形状（すなわち、コア歯部分及び追加歯部分）も例示的なものであることも留意されるべきである。一般的に、歯 1 2 0 の構成部品は、組み立てられたときに歯 1 2 0 の外部形状がコイル 3 0 0 の不均一台形空洞 3 2 0 の形状に対応するように、任意の好適な形状を有し得る。

【 0 1 0 2 】

図 2 3 A ～ 図 2 3 K を参照して上で記載した多部品歯の実施形態において、各歯 1 2 0 の 1 つの部品（すなわちコア歯部分 1 2 2）は、ステータコア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 と一体に形成され、少なくとも 1 つの追加歯部分は、コア 1 1 0 とは別個に形成される（すなわち、統合されない）。しかしながら、そのような構成は、要求はされない。いくつかの実施形態において、歯のすべての部品は、ステータコア 1 1 0 とは別個であり得る。これらの別個の部品は組み立てられて歯 1 2 0 を形成し得る。図 2 3 L 及び図 2 3 M は、ハブ 1 3 2（図 2 3 N を参照）上で組み立てられてステータ 1 0 0 を形成する、別個のコンポーネントとして形成された歯 1 2 0 の例示的な実施形態を図示する。図 2 3 L の実施形態において、コア歯部分 1 2 2 のベース 1 3 4 は、ステータ 1 0 0 を組み立てるときにハブ 1 3 2 内の対応する形状の溝に挿入されるように構成されるリブ 1 3 6 を含む。図 2 3 M の実施形態において、コア歯部分 1 2 2 のベース 1 3 4 は、ステータ 1 0 0 を組み立てるときにハブ 1 3 2 上の対応する形状のリブに嵌合する溝 1 3 8 を含む（図 2 4 B を参照）。すべての歯 1 2 0 がハブ 1 3 2 上で組み立てられるとき、歯 1 2 0 のベース 1 3 4 はまとめてステータ 1 0 0 の環状部品 1 3 0 を形成し得る（図 2 4 D を参照）。

【 0 1 0 3 】

図 2 4 A ～ 図 2 4 D は、ハブ 1 3 2 上で（図 2 3 M に図示されるタイプの）例示的な歯 1 2 0 を設置してステータ 1 0 0 を形成することを図示する。図 2 4 A に図示されるように、コイル 3 0 0 はまず多部品歯 1 2 0 上に装着される。コイル 3 0 0 を歯 1 2 0 に装着する例示的な方法は後に記載される。図 2 4 B に図示されるように、コイル 3 0 0 が装着された歯 1 2 0 は、コア歯部分 1 2 2 のベース 1 3 4 上の溝 1 3 8 を、ハブ 1 3 2 上の対応する形状のリブに挿入することによって、ハブ 1 3 2 上に設置される。追加の歯 1 2 0 が次に、図 2 4 C 及び図 2 4 D に図示されるようにハブ 1 3 2 上に装着され、ステータ 1 0 0 の組立体が完成する。

【 0 1 0 4 】

いくつかの実施形態において、歯 1 2 0（コア歯部分 1 2 2 及び追加歯部分 1 2 4 A ～ 1 2 4 F）の複数の部品及びコイル 3 0 0 は、接着材料（例えば、高温接着剤）を使用して共に連結され得る。いくつかの実施形態において、接着材料は、（例えば、望ましい特性を接着剤に与えるために）フィラー材料で充填され得る。任意のタイプの接着材料が使用され得る。いくつかの実施形態において、接着材料の熱膨張係数（CTE）は、電気機械の動作中に歯 1 2 0 が加熱するとき、歯 1 2 0 及びコイル 3 0 0 において誘導される（CTE ミスマッチに起因して誘導される）熱機械的応力は許容可能限度内である（すなわち、応力は、障害を引き起こし得る値の下である）というものであり得る。いくつかの実施形態において、接着材料の CTE は、歯コンポーネント（例えば、鋼鉄ラミネーション、SMC など）の CTE の約 2 0 % 内であり得る。いくつかの実施形態において、接着材料の CTE は、歯コンポーネント及びコイル 3 0 0 の CTE の約 2 0 % 内であり得る。

【 0 1 0 5 】

いくつかの実施形態において、図 2 5 A 及び図 2 5 B に図示するように、ケージ 1 4 2（又は円周方向に掛けられたバンデージ）がステータ 1 0 0 上に設置され得る。ケージ 1 4 2（又はバンデージ）は、動作中に歯 1 2 0 の部品（及び／又はコイル 3 0 0）がステータ 1 0 0 とロータ 2 0 0（図 3 を参照）との間の空隙 2 5 0 に突出しないように保持することを助け得る。いくつかの実施形態において、ウィンドウが、ロータ 2 0 0 に面するケージ 1 4 2 の表面上に設けられ得る。いくつかの実施形態において、ケージ 1 4 2 はま

た、接着材料を使用して歯 120 に取り付けられ得る。コア歯部分 122 がステータコア 110 の環状部品 130（例えば、図 23A～図 23K を参照）と一体である歯 120 の実施形態において、コイル 300 及び追加歯部分 124A～124F は、後に記載されるように、コア 110 と統合されたコア歯部分 122 上に設置される。すべての歯 120 及びコイル 300 が設置された後に、いくつかの実施形態において、ケージ 142 はステータ 100 上に設置され得る。ケージ 142 は、低い導電率の非磁性材料、又は、低い導電率を有し約 10 以上の比透磁率を有する軟磁性材料から作られ得る。ケージ 142 を軟磁性材料から作る結果、振動磁場の高次高調波を抑制し、振動及びノイズの減少につながる。

【0106】

コア歯部分 122 及び追加歯部分の構成に起因して、各歯 120 は、ラジアル平面（例えば図 3、図 23C を参照）及びアキシャル平面（例えば図 2、図 23D を参照）の両方において台形断面形状を有し得る。いくつかの実施形態において、図 23B に図示するように、各歯 120 の対向する両側面 C 及び D は、互いに平行でなく、歯 120 の対向する上面 A 及び底面 B も、互いに平行でない（例えば、図 23D を参照）。しかしながら、隣接する歯 120 の間に形成されるスロット 160 がラジアル方向において一定幅を有するように、隣接する歯 120 の対向する両側面 C、D は、互いに平行であり得る（例えば、図 23C を参照）。すなわち、1 個の歯 120 の側面 C は隣接する歯 120 の側面 D に平行であり得る。

【0107】

ロータ 200 がステータ 100 の外向きに位置する（図 2 及び図 3 を参照）一実施形態において、各歯 120 の対向する両側面 C 及び D は、ラジアル方向外向きに互いから離れ得（例えば、図 23C を参照）、上面 A 及び底面 B は、ラジアル方向外向きに互いに向かって近づき得る（例えば、図 23D を参照）。外側ロータ 200 及び内側ステータ 100（図 2、図 3）を有する電気機械の一実施形態において、ラジアル平面（図 3）における各歯 120 の幅は、ラジアル方向においてロータ 200 に向かって増加し得（例えば、図 3 において w_1 から w_2 に増加し）、アキシャル平面（図 2）における各歯 120 の長さは、ラジアル方向においてロータ 200 に向かって減少し得る（例えば、図 2 において l_1 から l_2 に減少する）。コイル 300 は、ステータ 100 の各多部品歯 120 上に装着され得、その内面は、歯 120 の外面（すなわち、図 23C 及び図 23D の面 A、B、C 及び D）に対して緊密であり、コイル 300 の外面は、歯 120 の下にある表面と実質的に同一の形状を有する。いくつかの実施形態において、コイル 300 は、歯 120 に装着され得、そのラジアル方向外向きの端は、空隙 250 及びロータ 200 の（永久磁石の）極の近くに位置する（例えば、図 3 を参照）。上の論述は、特に、図 23A～図 23D の歯 120 において識別される特徴（面 A、B、C、D など）を特に参照しているが、上の論述は、（ステータ及び／又はロータにおける）歯 120 のすべての実施形態に等しく適用可能であることに留意されたい。

【0108】

本開示の電気機械 10 は、ステータ 100、及び、回転軸 1000 の周りをステータ 100 に対して回転するように構成されているロータ 200 を含み得る。ステータ 100 又はロータ 200 のうちの少なくとも 1 つは、回転軸 1000 の周りに環状に配置されている複数の歯 120 を含み得る。電磁コイル 300 が各歯 120 に装着され得る。各コイル 300 は不均一台形空洞 320 を有し得、各歯 120 は複数のピースから形成され得る。複数のピースが組み立てられるとき、歯 120 の外部形状は、歯 120 を受けるコイル空洞 320 の形状に対応し得る。いくつかの実施形態において、図 26A～図 26D を参照して後に記載されるように、各歯 120 の外周は、空洞 320 の内周に対応し得る。いくつかの実施形態において、コイル 300 が多部品歯 120 に装着された後に、歯 120 の外周は、歯 120 のラジアル方向の各点において空洞 320 の内周に対応し得る。

【0109】

いくつかの実施形態において、各歯 120 の複数のピースは、コア歯部分 122、及び、少なくとも 1 つの追加歯部分 124A～124F を含み得る（例えば、図 23A～図 2

10

20

30

40

50

3 Mを参照)。いくつかの実施形態において、各歯120は、コア歯部分122、及び、コア歯部分122の対向する両側に配設された2つの追加歯部分124A、124Bを含み得る(例えば、図23A、図23K~図23Mを参照)。いくつかの実施形態において、追加歯部分1124A、124Bは、ウェッジ形状であり得る。すなわち、これらの歯部分は、幅の狭い第1端126から幅の広い第2端128に延在し得る。

【0110】

いくつかの実施形態において、各歯120は、コア歯部分122、及び、コア歯部分122の一側面に位置する単一の追加歯部分124Cのみを含み得る(例えば、図23Hを参照)。いくつかの実施形態において、各歯120aは、コア歯部分122、及び、コア歯部分122の対向する両側に配設されたウェッジ形状の追加歯部分124A、124Bの対、及び、コア歯部分122の上面及び底面に配設された追加歯部分112e、112fの別の対を含み得る(例えば、図23Kを参照)。対の各追加歯部分は、実質的に同一であり得る。いくつかの実施形態において、歯120が組み立てられた後、回転軸100に垂直な平面において、多部品歯120の全体は、台形断面形状を有し得、コア歯部分122(又は歯120)は実質的に矩形の断面形状を有し得、各追加歯部分124A、124B、124Cは、実質的に三角形の断面形状を有し得る(例えば、図23C、23Hを参照)。そして、ラジアル方向に垂直な平面において、多部品歯、コア歯部分122、及び追加歯部分124A、124B、124Cは各々、実質的に矩形の断面形状を有し得る(例えば、図23A、23Fを参照)。

【0111】

多部品歯120がいくつかの部品から作られるか、及び、これらの部品の具体的形状に関わらず、歯120が組み立てられた後、ラジアル平面(例えば、図3、図23C、図23Hを参照)及びアキシシャル平面(例えば、図2、図23Dを参照)における各歯120の断面は、台形形状(いくつかの実施形態において、等脚台形形状)を有し得る。いくつかの実施形態において、図26A~図26Dを参照して後に説明されるように、歯120のラジアル方向に垂直な平面における歯120の断面の周長は、ラジアル方向において実質的に一定であり、断面の面積はラジアル方向に変動する。内側ステータ100及び外側ロータ200(図2、図3を参照)、又は、外部ステータ100及び内部ロータ200(図8B、図8Cを参照)を有する電気機械の一実施形態において、断面積は、ラジアル方向においてロータ200に向かって増加する。いくつかの実施形態において、回転軸100に垂直な平面における歯120の断面積は、アキシシャル方向において歯120の中央から側面にかけて減少し得る(例えば、図27A~図27Dを参照)。

【0112】

各歯120の複数のピースが組み立てられるとき、各歯120は、2組の対向する面を有する外面を画定し得る。例えば、図23Bに図示される歯120の実施形態において、対向する両側面C及びDは、一方の組の対向する面を形成し、対向する上面A及び底面Bは、別の組の対向する面を形成する。各組の対向する面C、D(及びA、B)は、互いに非平行である。2組の各面は、歯120のラジアル方向において傾斜している(図23C、図23Dを参照)。いくつかの実施形態において(例えば、外側ロータ200及び内側ステータ100を有する一実施形態において)、一方の組の対向する面(A、B)は、空隙250に向かってラジアル方向外向き(例えば図23Dを参照)において互いに向かって近づき得(図2を参照)、他方の組の対向する面(C、D)は、ラジアル方向外向きに空隙250に向かって互いから離れ得る(図3、図23Cを参照)。いくつかの実施形態において(例えば、内側ロータ200及び外側ステータ100を有する一実施形態において)、対向する上面及び底面は、空隙250に向かって互いから離れ得(図6Bを参照)、対向する両側面は、空隙250に向かって互いに向かって近づき得る(図6Cを参照)。

【0113】

歯120の異なる部品(すなわち、コア歯部分及び追加歯部分)は、任意の好適な材料(例えば、鋼鉄ラミネーション、軟磁性複合材料(SMC)など)から作られ得る。いくつかの実施形態において、各歯120のコア歯部分122及び追加歯部分124A~12

4 Fの両方は、同一の材料（例えばSMC）から作られ得る。いくつかの実施形態において、コア歯部分122は、第1材料から作られ得、追加歯部分124A～124Fは、第2材料から作られ得る。例えば、いくつかの実施形態において、コア歯部分122は、SMCから作られ得、追加歯部分124A～124Fは、別の等方性材料、例えば、別のSMCから作られ得る。これは、平面内に無く3方向に変化する磁束がコア歯部分122及び追加歯部分124A～124Fを通過することに起因する。コア歯部分122がステータコア110の環状部品130と一体的に形成される（例えば、図23A、図23Gを参照）実施形態において、コア歯部分122及び環状部品130の両方は、同一の材料（例えばSMC）から作られ得る。

【0114】

本開示の様々な実施形態において、電気機械の複数の歯の各歯は、ラジアル方向に延在し、ラジアル方向に垂直な複数の平面における各歯の複数の断面積は変動し、複数の断面の周長は、複数の垂直平面にわたって実質的に同一である。電気機械の回転軸に垂直（又は実質的に垂直）に延在する任意の方向は、電気機械のラジアル方向である。例えば、図1及び図2に図示される実施形態において、概して回転軸1000に垂直に延在する任意の方向は、ラジアル方向である。いくつかの実施形態において、ラジアル方向は、電気機械の歯のラジアル軸に沿って延在し得る、又は、一致し得る。以前に説明されたように、いくつかの実施形態において、（ステータ100及び／又はロータ200の）各歯120は、ラジアル平面（図3を参照）及びアキシャル平面（図2を参照）の両方において台形断面形状を有し、ラジアル平面（図3を参照）における歯120の幅は、ラジアル方向外向きに（すなわち、ロータ200に向かって）増加し、一方、アキシャル平面（図2を参照）における歯120の長さは、その同一方向において減少する。

【0115】

図26A～図26Dは、異なる平面に沿った歯120の断面画像である。図26Aは、アキシャル平面における単一歯120の断面画像を図示する（図2と比較）。歯120は、図26Aにおいて、斜線で示す。図26Aから自明であるように、アキシャル平面における歯120の断面形状は台形である（すなわち、1対の対向する平行の辺、及び、別の対の対向する非平行の辺を有する四辺形）。いくつかの実施形態において、図31A及び図31Bを参照して説明されるように、アキシャル及び／又はラジアル平面における歯120の断面形状は、等脚台形（すなわち、対向する両側の長さが等しい台形）である。また、図26Aから自明であるように、歯120の長さは、本実施形態においてラジアル軸2000と一致するラジアル方向における距離の増加と共に減少する。図26B～26Dは、ラジアル方向に垂直な異なる平面（A-A、B-B、及びC-C）における歯120の断面を図示する。図26Bは、平面A-Aに沿った歯120の断面図であり、図26Cは、平面B-Bに沿った歯120の断面図であり、図26Dは、平面C-Cに沿った歯120の断面図である。図26B～図26Dから分かるように、歯120のラジアル方向に垂直な平面において、歯120は矩形断面形状を有する。

【0116】

図26B～図26Dには、正方形の角（すなわち、90°の角）を有する完全な矩形が図示されているが、これは単なる例であることが留意されるべきである。以前に説明したように、いくつかの実施形態において、これらの断面形状は、完全な矩形でないことがあり得る。当業者によって認識されるように、いくつかの実施形態において、矩形の対向する両側は、完全に平行でないことがあり得、隣接する側は、完全に垂直でないことがあり得、角は丸みを帯びていても、及び／又は、面取りされていてもよい。図26B～図26Dに図示されるように、内側ステータ100及び外側ロータ200を有する電気機械（図2～図3を参照）の実施形態において、ラジアル方向における距離が増加するほど、矩形形状は短く、かつ、幅広くなる。すなわち、回転軸1000からのラジアル方向の距離が増加するほど、歯120の長さが減少し（すなわち、 $a_1 > b_1 > c_1$ 、 $a_3 > b_3 > c_3$ ）、歯120の幅は増加する（すなわち、 $a_2 < b_2 < c_2$ 、 $a_4 < b_4 < c_4$ ）。必要ではないが、いくつかの実施形態において、断面形状の対向する両側は等しいことがあり得

10

20

30

40

50

る。すなわち、 $(a_1 = a_3) > (b_1 = b_3) > (c_1 = c_3)$ 、及び、 $(a_2 = a_4) < (b_2 = b_4) < (c_2 = c_4)$ である。換言すると、歯120は、回転軸1000からラジアル方向外向きに、徐々に短く、かつ幅広くなる。歯120の断面積（すなわち、ラジアル方向に垂直な平面における断面積）も、ラジアル方向外向きにおいて変動する。ロータ200がステータ100外側にある（例えば、図2、図3）一実施形態において、断面積は、ラジアル方向外向きにおいて増加し得る（すなわち、 $S_A < S_B < S_C$ ）。電気機械の他の実施形態において、面積は、ラジアル方向に沿って異なる方式で変動し得る。例えば、内側ロータ及び外側ステータを有する電気機械（図8B～図8Cを参照）において、断面積は、ラジアル方向内向きに増加し得る。

【0117】

図26A～図26Dを参照すると、ラジアル方向における各歯120の周長は実質的に一定であり得、一方、ラジアル方向における各歯120の断面積は変動し得る。すなわち、平面A-A、B-B、及びC-C（図26B～図26Dを参照）に沿った歯120の断面積の周長は、実質的に同一であり得、一方、これらの平面の断面積は、一定でないことがあり得る（又は変動し得る）。すなわち、 $(a_1 + a_2 + a_3 + a_4) \quad (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \quad (c_1 + c_2 + c_3 + c_4)$ であり、 $S_A \neq S_B \neq S_C$ である。電気機械の構成に関わらず、すべての実施形態において、（ラジアル方向に垂直な断面における）各歯の周長は、ラジアル方向に沿って実質的に一定のままであり得、一方、その断面積はこの方向において変動し得る。

【0118】

図27A～図27Dは、異なる平面に沿った歯120の断面図である。図24Aのように、図27Aは、アキシャル平面における歯120の断面画像を図示する。図27B～図27Dは、歯120のアキシャル方向に沿った（すなわち、回転軸1000に沿った）回転軸1000に垂直な（又はラジアル方向に平行な）異なる平面（D-D、E-E、及びF-F）における歯120の断面を図示する。図27Bは、平面D-Dに沿った歯120の断面図であり、図27Cは、平面E-Eに沿った歯120の断面図であり、図27Dは、平面F-Fに沿った歯120の断面図である。これらの図に図示されるように、歯120の中央から端へのアキシャル方向において、歯120の断面積は減少する。すなわち、 $S_D / S_E / S_F$ である。換言すると、ラジアル方向（いくつかの実施形態において、ラジアル軸2000）に垂直な平面における歯120の断面積は、ラジアル方向において変動し（図26B～図26Dを参照）、回転軸1000に垂直な（又はラジアル方向に平行な）平面における歯の断面積は、アキシャル方向において変動する（図27B～図27Dを参照）。ロータ200がステータ100の外側にある電気機械100（図2、図3）の一実施形態において、各歯120の断面積は、ラジアル方向に増加し（図26B～図26Dを参照）、アキシャル方向に減少する（図27B～図27Dを参照）。

【0119】

図28A及び図28Bは、（図2、図3の電気機械10の）例示的な歯120の幾何学的詳細を図示する。図28Aは、ラジアル平面における歯120の断面図であり、図28Bは、歯120の（歯を見下ろす）透視図である。以前に説明されたように、内側ステータ100及び外側ロータ200を有する電気機械の実施形態において、各歯120は、ラジアル方向外向きに延在するほど、ラジアル平面において幅広くなる（図3を参照）。図28Aに示すように、歯120の対向する両側面C、Dは、歯120のラジアル方向（いくつかの実施形態において、ラジアル軸2000）との間に角度 γ を形成する。角度 γ の値は、電気機械100における歯120の数によって決定され得る。一般的に、角度 2γ （歯120の対向する両側面C、Dの間の角度）は、約360度を歯120の数で割った値に凡そ等しい。すなわち、 $2\gamma = 360^\circ / n$ であり、 n は歯の数である。例えば、9個の歯120を有する電気機械10（図3を参照）について、角度 $2\gamma = 360 / 9 = 40^\circ$ である。したがって、歯120の各側面C、Dは、ラジアル軸2000から約 20° 傾斜している。図28Bを参照すると、歯120の前面及び背面は、歯120のアキシャル平面において角度 β を成す。角度 β はまた、電気機械（100）の歯の数によって決定

10

20

30

40

50

される。ラジアル方向において実質的に一定の周長を有する歯 120 は、 $h_1 = d_1$; $d_1 = r * \sin(\gamma)$; $h_1 = r * \tan(\beta)$; $r * \sin(\gamma) = r * \tan(\beta)$; $\sin(\gamma) = \tan(\beta)$; $\beta = \arctan(\sin(\gamma))$ 、又は、 $\beta = 1 / \tan(\sin(\gamma))$ という対応関係をもたらす (図 28 B を参照)。

【0120】

図 29 A 及び図 29 B は、ラジアル平面における例示的な歯 120 の断面図を図示する。図 29 B の歯 120 は、ポールピース又はシュー (shoe) 112 を含むが、図 29 A の歯 120 は含まない。これらの図に示されるように、歯 120 の幅は、ラジアル方向において (ラジアル軸 2000 に沿って) (すなわち、空隙 250 に向かって、図 2、3 を参照) 増加する。図 26 A ~ 図 26 D を参照して説明されるように、歯 120 の幾何学的寸法は、歯 120 の断面積がラジアル方向に増加するというものである。シュー 112 を有する (図 29 B) 及び有しない (図 29 A) 歯 120 の一実施形態の両方において、ラジアル方向に沿った断面積の増加 ($S_A < S_B < S_C$) は、滑らかであり得る。いくつかの実施形態において、断面積の増加は、単調であり得る。いくつかの実施形態において、断面積の変動 (増加又は減少) の割合は一定であり得る。空隙 250 に向かう断面積の滑らかな変動 (増加又は減少) は、大きい電流が歯 120 上に装着されたコイル 300 を流れているときでも、歯 120 のラジアル方向最外端 114 (又は先端) 及びシュー 112 (シューが使用される場合) を磁気導体 (又は、磁場コンセントレータ) として使用することを可能にする。

【0121】

図 30 は、図 2 及び図 3 の電気機械 10 の歯 120 及びロータ 200 の部分の概略図である。図 30 から分かるように、空隙 250 は、ステータ 100 とロータ 200 との間に存在し、歯 120 のラジアル方向最外端 114 とロータ 200 (ロータの永久磁石) との間に形成される。図 30 に図示されるように、いくつかの実施形態において、コイル 300 のラジアル方向最外端 316 が空隙 250 に可能な限り近くに位置するように、コイル 300 が歯 120 上に装着され得る。コイル 300 のラジアル方向最外端 316 と歯 120 のラジアル方向最外端 114 との間のラジアル方向距離 γ は、使用される適用及び製造方法に依存し得る。いくつかの実施形態において、距離 γ は、空隙 250 の約 20% 以下であり得る。いくつかの実施形態において、距離 γ は、空隙 250 の 0 ~ 20% の間であり得る。いくつかの実施形態において、コイル 300 のラジアル方向最外端 316 は、歯 120 のラジアル方向最外端 114 と実質的に一致し得る (すなわち、 $\gamma = 0$)。換言すると、コイル 300 のラジアル方向最外端 316 は、ラジアル方向における歯 120 の最外端 114 を超えて突出しないことがあり得る。

【0122】

図 30 にも図示されるように、いくつかの実施形態において、すべての歯 120 のラジアル方向最外端 114 が実質的に円形の輪郭を有するように、歯 120 のラジアル方向最外端 114 は、丸められる、又は湾曲していることがあり得る。アキシャル平面及びラジアル平面における歯 120 の断面形状は、等脚台形又は非等脚台形であり得る。図 31 A 及び図 31 B は、等脚台形形状を有する歯 120 及び非等脚台形形状を有する歯 120 A の (ラジアル平面又はアキシャル平面における) 概略図である。本開示の電気機械の歯は、ラジアル平面 (図 3 を参照)、及び/又は、アキシャル平面 (図 2 を参照) において、等脚又は非等脚台形形状を有し得ることに留意されたい。歯 120 の台形形状、並びに、ラジアル方向における歯の断面積の滑らかな増加、及び、間隙に近い歯のコイルの場所は、電気機械の漏洩磁束を低減することを助け、それによって、その効率及び動力出力を増加することを助け得る。

【0123】

上で説明されたように、いくつかの実施形態において、本開示の電気機械は、ステータ 100、及び、回転軸 1000 の周りをステータ 100 に対して回転するように構成されているロータ 200 を含む得る (例えば、図 2、図 3、図 8 A ~ 図 22 を参照)。ステータ 100 又はロータ 200 のうちの少なくとも 1 つは、回転軸 1000 の周りに環状に配

置された複数の歯 120 を含み得る。複数の歯 120 は、ステータ 100 又はロータ 200 上に環状に配置され得る。各歯 120 は、ラジアル方向に垂直な複数の平面（例えば、A-A、B-B、C-C）における各歯 120 の断面積（例えば、 S_A 、 S_B 、 S_C ）が変動するように、ラジアル方向に延在し得る（例えば、図 26A～図 26D を参照）。複数の断面の周長は、複数の垂直平面にわたって実質的に一定であり得る。すなわち、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面積は、ラジアル方向に沿って変動し得、一方、断面の周長は、この方向において実質的に一定のままである（例えば、図 26A～図 26D を参照）。

【0124】

いくつかの実施形態において、回転軸 1000 に垂直な平面における各歯 120 の断面積は、アキシャル方向に沿って変動する（例えば、図 27A～図 27D を参照）。以前に説明されたように、ロータ 200 及びステータ 100 の構成に基づいて、複数の歯がステータ上に位置するとき、断面積は、ロータ 200 に向かって増加又は減少し得る。ラジアル平面及びアキシャル平面の両方における各歯 120 の断面形状は、台形であり得る（例えば、図 2、図 3、図 6A～図 22 を参照）。いくつかの実施形態において、ラジアル方向及び／又はアキシャル平面における各歯 120 の断面形状は非等脚台形である（例えば、図 31A を参照）。一方、いくつかの実施形態において、ラジアル方向及び／又はアキシャル平面における各歯 120 の断面形状は、等脚台形である（例えば、図 31B を参照）。ロータ 200 がステータ 100 のラジアル方向外向きに配設される（例えば、図 2、図 3 を参照）実施形態において、ラジアル平面における各歯の幅（図 3 を参照）は、ロータ 200 に向かってラジアル方向に増加し、アキシャル平面における各歯の長さ（図 2 を参照）は、ロータ 200 に向かってラジアル方向に減少する。

【0125】

以前に説明されたように、電気機械はまた、複数の電磁コイル 300 を含み得る。コイル 300 を形成する方法は、図 48A～図 52 を参照して後に記載される。各コイル 300 は、電気機械の別個の歯 120 上に装着され、それを囲んで延在し得る（例えば、図 8A～図 22 を参照）。多部品歯 120 上にコイル 300 を装着する方法は、図 45A～図 47 を参照して後に記載される。各コイル 300 は、任意の断面形状又は平坦な箔 312 を有するワイヤ 314 の形態で導電体（例えば銅線）を含み得る。いくつかの実施形態において、ワイヤ 314 は、正方形、矩形、又は円形の断面形状の 1 つを有し得る（例えば、図 7D、図 7E を参照）。任意のタイプのワイヤ 314 が、コイル 300 を形成するために使用され得る。ワイヤは、単一のストランド又は（例えば、共に撚られる）複数のストランドを含み得る。いくつかの実施形態において、ワイヤは、マルチストランドワイヤであり得る（例えば、図 7A、図 7B を参照）。いくつかの実施形態において、各コイル 300 は、歯 120 に沿ってラジアル方向においてらせん状の形態で巻かれ得る（例えば、図 7B を参照）。いくつかの実施形態において、ワイヤの代わりに箔 312（例えば銅箔）が使用され、コイル 300 を形成し得る（例えば図 6A～図 6D を参照）。箔 312 は、箔の幅がラジアル方向に歯 120 の全長にわたって延在するように、歯 120 を囲んで巻かれ得る（例えば、図 6A を参照）。代替的に、いくつかの実施形態において、より薄い箔（例えば、ラジアル方向において歯 120 の長さより小さい幅を有する箔）は、歯 120 に沿ってラジアル方向にらせん状の形態で（例えばリブ上で）巻かれ得る（例えば、図 6C、図 6D を参照）。

【0126】

以前に説明されたように、歯 120 は、共に連結された複数の部品（コア歯部分 122 及び 1 又は複数の追加歯部分 124A～124F）を含み得る（例えば、図 23A～図 23M を参照）。また、以前に説明されたように、これらの複数の部品は、同一の材料から、又は、異なる材料（SMC など）から作られ得る。いくつかの実施形態において、コア歯部分 122 は、回転軸 1000 を囲んで延在するステータコア 110 の環状リング 130 と一体的に形成され得る。いくつかの実施形態において、追加歯部分のうちの 1 又は複数（例えば、124A、124B、124E、124F）は、ウェッジ形状であり、コア

10

20

30

40

50

歯部分 1 2 2 の対向する両側に配設され得る。各歯 1 2 0 は、ラジアル方向に垂直な平面における歯 1 2 0 の断面積がラジアル方向においてロータに向かって変動し得るように、ラジアル方向に延在する。ロータ 2 0 0 がステータ 1 0 0 のラジアル方向外向きに位置する実施形態において、歯 1 2 0 の断面積は、ラジアル方向においてロータ 2 0 0 に向かって増加する。

【0 1 2 7】

本開示の電気機械の様々な実施形態において、ステータは、回転軸の周りに延在する環状ステータリングを含み得る。本明細書において使用されるように、環状ステータリングは、ステータに関連付けられたリング形状構造である。リング形状構造は、電気機械の回転軸の周りに配設され得る。図 2 3 A ~ 図 2 3 K を参照すると、例えば、電気機械 1 0 のステータ 1 0 0 は、回転軸 1 0 0 0 を囲んで延在する環状部品 1 3 0 を含む。本開示の電気機械の様々な実施形態はまた、ステータリング上に円周方向に配置された複数の多部品歯を含み得る。換言すると、複数の歯は各々、複数の部品を含み得、それらは、環状ステータリングの円周上に、又は、その近くに位置し得る。図 2 3 A 及び図 2 3 C において最も良く分かるように、本開示の実施形態において、複数の多部品歯 1 2 0 は、ステータ 1 0 0 の環状部品 1 3 0 上に円周方向に配置されている。

【0 1 2 8】

様々な実施形態において、複数の多部品歯の各多部品歯は、ステータリングと一体的に形成されたコア歯部分、及び、ステータリングとは別個の少なくとも 1 つの追加歯部分を含み得る。すなわち、コア歯部分は、それらが単一のコンポーネントを形成するようにステータリングに接続され得、少なくとも 1 つの追加歯部分が 1 又は複数の追加のコンポーネントを形成する。いくつかの実施形態において、コア歯部分及びステータリングは、単一部品として形成され得、追加歯部分は、別個の部品として形成され得る。いくつかの実施形態において、コア歯部分及びステータリングは別個の部品として形成され得るが、共に取り付けられ得（例えば、融着、又はそうでない場合、取り外しできないように取り付けられて）、部品の完全性を破壊することなく容易に分解され得ない単一部品を形成し、一方、追加歯部分は、ステータリングから容易に分離され得るような方式で共に取り付けられ得る。

【0 1 2 9】

図 2 3 A ~ 図 2 3 M を参照して以前に説明されたように、電気機械 1 0 の各歯 1 2 0 は、共に配置された複数の部品（例えばコア歯部分 1 2 2 及び追加歯部分 1 2 4 A ~ 1 2 4 F）を含み得る。図 2 3 A ~ 図 2 3 K を参照して論じられた歯 1 2 0 の例示的な実施形態において、各歯 1 2 0 のコア歯部分 1 2 2 は、回転軸 1 0 0 0 を囲んで延在する（ステータコア 1 1 0 の）環状部品 1 3 0 と一体的に形成され、1 又は複数の追加歯部分 1 2 4 ~ 1 2 4 K は、コア歯部分 1 2 0 の側面及び／又は上面及び底面に位置されて歯 1 2 0 を形成する。

【0 1 3 0】

図 3 2 A は、環状部品 1 3 0 上に環状に配置された複数のコア歯部分 1 2 2 を有するステータコア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 の例示的な実施形態を図示する。各コア歯部分 1 2 2 は、環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在し、多部品歯 1 1 2 の一部を含む（図 2 3 A を参照）。図 3 2 A に図示される環状部品 1 3 0 の実施形態において、各コア歯部分 1 2 2 は、ラジアル軸 2 0 0 0 に沿って環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在する。しかしながら、図 2 3 G を参照して説明されるように、これは必須ではない。すなわち、いくつかの実施形態において、コア歯部分 1 2 2 は、環状部品 1 3 0 からラジアル方向外向きに延在し得るが、ラジアル軸 2 0 0 0 に対して傾斜し得る。

【0 1 3 1】

環状部品 1 3 0 を形成するステータコア 1 1 0 は、図 3 2 A に図示されるように単一部品（すなわち、共に連結された複数の部品でない）として形成され得る。いくつかの実施形態において（例えば、ステータコア 1 1 0 が SMC 又は別の脆い材料から作られているとき）、ステータコア 1 1 0 を単一部品として製造することは困難である、及び／又は、

高価であり得る。ステータコア 110 の製造、及び、電気機械の動作中に、コア 110 の部品は、著しい応力（例えば、製造中などの圧縮、交互に振動する荷重、及び動作中の熱機械的な力など）を受け得る。これらの大きな応力は、単一部品として製造され得るステータコア 110 のサイズを限定し得る。例えばいくつかの実施形態において、高い信頼性で単一部品として製造され得るステータコア 110 の厚さ（例えば、コア歯部分 122 の厚さ）と、アキシアル方向の長さ（すなわち、回転軸 1000 に沿った高さ）との比率は、約 1 : 6 以下であり得る。いくつかの実施形態において、より大きいサイズのステータコア 110 が複数の部品として製造され得る。

【0132】

図 32B ~ 図 32E に図示されるように、ステータコア 110 は、複数の部品から作られており、次に共に取り付けられ得る。図 32B 及び図 32C は、対称面に沿って共に取り付けられてステータコア 110 を形成する 2 つの鏡面对称の半分 110A、110B から作られた例示的なステータコア 110 を図示する。これらの図において図示されるように、コア 110A、110B の各半分は、コア歯部分 122 の半分 122A、122B を含む。2 つの半分 110A、110B は、任意のタイプの接着材料を使用して共に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、永久接着剤（例えば、部品の完全性を破壊することなく容易に除去できない接着剤）が、コア 110 の 2 つの半分 110A、110B を共に取り付けるために使用され得る。コア 110 の 2 つの半分 110A、110B を取り付けるために使用される接着材料の CTE は、CTE ミスマッチにより誘導される熱機械的応力を低減するべく、コア 110 を形成する材料の CTE の約 20% 内であり得る。一般的に、ステータコア 110 は、共に連結された任意の数の部品によって形成され得る。図 32D 及び図 32E は、（例えば、上で論じた接着材料を使用して）共に連結された 3 つの部品 110A、110B、110C から作られた例示的なステータコア 110 を図示する。

【0133】

ステータ 100 の強度を増加させるべく、ステータコア 110 の 1 又は複数の部品は、共に組み立てられた積層電気鋼鉄シートから作られ得る。いくつかの実施形態において、例えば約 0.014 インチ ~ 0.018 インチ（0.36 ~ 0.46 ミリメートル）（29 ~ 26 ゲージ）の間の厚さを有し、非常に薄い絶縁層（例えば、約 0.001 インチ（0.26 ミリメートル）の厚さの絶縁層）で被覆された複数の積層鋼鉄シート（例えば、シリカ鋼鉄シート）が共に取り付けられてステータの積層鋼鉄部品を形成し得る。いくつかのそのような実施形態において、図 23K を参照して記載されるタイプの多部品歯 120 が使用され得る。環状部品 130 及びコア歯部分 122 は、積層された鋼鉄又は等方性材料（SMC）から作られ得、追加の部分 124A ~ 124F は、SMC などの等方性材料から作られ得る。磁場の 3 次元性に起因して、コア歯部分 122 の対向する両側面上の追加歯部分 124A、124B の対、及び、コア歯部分 122 の対向する上面及び底面上の追加歯部分 124E、124F の別の対を使用することにより、好適な磁気性能を提供し得る。

【0134】

図 33A ~ 図 33C は、複数の材料から作られる例示的なステータコア 110 を図示する。これらの図を参照すると、ステータコア 110 は、中央環状部品 130B に取り付けられてコア 111 の環状部品 130 を形成する、上方環状部品 130A 及び下方環状部品 130C を含む。図 33C に示すように、上方環状部品 130A 及び下方環状部品 130C は同一コンポーネントであり得る。一般的に、環状部品 130A、130B 及び 130C は、任意の材料（例えば、SMC 積層鋼鉄など）から作られ得る。上方環状部品 130A 及び下方環状部品 130C は、積層された鋼鉄から作られたリングを共に取り付けることによって作られ得る。中央環状部品 130B は SMC から作られ得る。いくつかの実施形態において、図 33B において最も良く分かるように、コア歯部分 122 は、ラジアル方向外向きに中央環状部品 130B から延在し得、上方追加歯部分 124E 及び下方の追加歯部分 124F は、上方環状部品 130A 及び下方の環状部品 130C、及び、コア歯

10

20

30

40

50

部分 1 2 2 の上面及び底面に取り付けられ得る。追加の歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B、1 2 4 E 及び 1 2 4 F は、等方性材料（SMC）から作られ得、上方環状部分 1 3 0 A 及び下方環状部分 1 3 0 C、中央環状部分 1 3 0 B、及びコア歯部分 1 2 2 は、積層された鋼鉄又は等方性材料（SMC）から作られ得る。

【0135】

本開示の様々な実施形態において、複数の電磁コイルの各コイルは、各コイルがコイルとコア歯部分との間の間隙を伴って多部品歯の対応するコア歯部分を囲むように複数の多部品歯の異なる多部品歯上に装着され、少なくとも 1 つの追加歯部分は間隙に配設される。各多部品歯は、別個の電磁コイルに関連付けられ得る。コイルは、コイルとコア歯部分との間に 1 又は複数の空間又は間隙が形成されるように、多部品歯のコア歯部分を囲んで延在し得る。そして、追加歯部分は、これらの空間又は間隙内に位置する。いくつかの実施形態において、（例えば）図 4 A、図 2 3 F、図 2 3 H、図 2 3 J、図 2 3 K に図示されるように、各多部品歯 1 2 0 のコア歯部分 1 2 4 は、コイル 3 0 0 上に装着され、コア歯部分 1 2 4 の外面とコイル 3 0 0 の内面との間に形成される 1 又は複数の間隙を伴ってコア歯部分 1 2 4 を囲んでコイル 3 0 0 が延在する。多部品歯 1 2 0 がコア歯部分 1 2 2 から形成され、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の対がコア歯部分 1 2 2 の対向する両側面に位置する図 4 A ～ 図 4 C 及び図 2 3 A の実施形態において、コイル 3 0 0 がコア歯部分 1 2 2 上に装着されるとき、コア歯部分 1 2 4 の対向する両側面とコイル 3 0 0 の内面との間に 2 つの間隙が形成される。追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の一方は、一方の間隙内に位置し、他方の追加歯部分 1 2 4 B は、他方の間隙内に位置する。多部品歯 1 2 0 がコア歯部分 1 2 2 及び単一の追加歯部分 1 2 4 C から形成される図 2 3 F の実施形態において、この追加歯部分 1 2 4 C は、コア歯部分 1 2 2 の側面とコイル 3 0 0 との間に形成される間隙内に位置する。そして、図 2 3 K の実施形態において、コア歯部分 1 2 2 の外面とコイル 3 0 0 の内面との間に 4 つの間隙が形成され、各追加の歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B、1 2 4 E、1 2 4 F は、別個の間隙に位置する。

【0136】

いくつかの実施形態において、本開示の電気機械（電気モータ又は発電機）は、ステータ 1 0 0、及び、回転軸 1 0 0 0 の周りでステータ 1 0 0 に対して回転するように構成されているロータ 2 0 0 を含み得る（例えば、図 2、図 3、図 8 A ～ 図 2 2 を参照）。ステータ 1 0 0 又はロータ 2 0 0 のうちの少なくとも 1 つは、回転軸 1 0 0 0 の周りに配置された複数の多部品歯 1 2 0 を含み得る。ステータ 1 0 0 は、回転軸 1 0 0 0 の周りに延在する環状ステータリング又は部品 1 3 0 を含み得る（例えば、図 2 3 A、図 2 3 G、図 2 3 K など参照）。いくつかの実施形態において、複数の多部品歯 1 2 0 は、ステータリング 1 3 0 上に円周方向に配置され得る。各多部品歯 1 2 0 は、ステータリング 1 3 0 と一体的に形成されたコア歯部分 1 2 2、及び、ステータリング 1 3 0 とは別個に形成された少なくとも 1 つの追加歯部分（例えば、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B、1 2 4 E、1 2 4 F）を含み得る。電気機械はまた、複数の電磁コイル 3 0 0 を含み得る。そして、各コイル 3 0 0 は、別個の歯 1 2 0 上に装着され得、コイル 3 0 0 は、コイル 3 0 0 とコア歯部分 1 2 2 との間に形成された間隙を伴って、多部品歯 1 2 0 のコア歯部分 1 2 2 を囲み（例えば、図 2 3 E ～ 図 2 3 F、図 2 3 I ～ 図 2 3 K、図 2 4 A など参照）、追加歯部分は間隙内に配設され得る。

【0137】

いくつかの実施形態において、環状部品（又はリング）1 3 0 は SMC から形成され得る。いくつかの実施形態において、環状部品 1 3 0 は積層鋼鉄から形成され得る。いくつかの実施形態において、環状部品 1 3 0 の一部分は、一材料（例えば積層鋼鉄）から形成され得、一方、別の部分は別の材料から作られる。いくつかの実施形態において、環状部品 1 3 0 は、単一部品として形成され得る（例えば図 3 2 A を参照）。他の実施形態において、環状部品 1 3 0 は、複数の部品から作られ得る（例えば、図 3 2 B ～ 図 3 2 E を参照）。いくつかの実施形態において、ステータ 1 0 0 の環状部品 1 3 0 は、回転軸 1 0 0 0 に垂直な対称面に沿って共に連結された 2 つの鏡面对称の半分を含み得る（例えば、図

32B～図32Cを参照)。環状部品130は、共に取り付けられた2又はより多くの実質的に同一の部品を含み得る(例えば、図32B～図32Eを参照)。任意のタイプの接着材料が、ステータリング114の部品を共に取り付けるために使用され得る。接着材料のCTEは、取り付けられたコンポーネントのCTEの約20%内であり得る。

【0138】

環状ステータリング130は、複数(2、3、4など)のアキシャル方向に積み重ねられた環状部品を含み得る(例えば図32B～図33Cを参照)。いくつかの実施形態において、積み重ねられた環状部品の各々は、同一の材料(例えば、SMC、積層鋼鉄)から作られ得、一方、他の実施形態において、積み重ねられた環状部品は、異なる材料から作られ得る。例えば、図33Bの環状部品130を参照すると、上部及び下部の環状部品130A、130Cは、積層鋼鉄又はSMCの一方から作られ得、中央環状部品130Bは、積層鋼鉄又はSMCの他方から作られ得る。

【0139】

各多部品歯120のコア歯部分122は、環状ステータリング114からラジアル方向に外向きに延在し得る(例えば、図23C、図23Gを参照)。いくつかの実施形態において、コア歯部分122は、ステータリング130のラジアル軸2000に沿って環状ステータリング130からラジアル方向外向きに延在する(例えば、図23Cを参照)。いくつかの実施形態において、コア歯部分122は、ラジアル軸2000から傾斜して環状ステータリング130からラジアル方向外向きに延在する(例えば図23Gを参照)。

【0140】

ラジアル方向に垂直な平面に沿ったコア歯部分122及び少なくとも1つの追加歯部分124A～124Fの各々の断面は、実質的に矩形の形状を有する(例えば、図23A、図23F、図23Kを参照)。いくつかの実施形態において、回転軸に垂直な平面に沿ったコア歯部分122aの断面は実質的に矩形の形状を有し、回転軸に垂直な平面に沿った少なくとも1つの追加歯部分の断面は、実質的に三角形の形状を有する(例えば、図23C、図23Hを参照)。いくつかの実施形態において、ラジアル平面における各多部品歯120の断面は台形形状を有する(例えば図3、図23C、図23Hを参照)。いくつかの実施形態において、アキシャル平面における各多部品歯112の断面形状も台形である(例えば、図2、図23Dを参照)。いくつかの実施形態において、ラジアル方向及び／又はアキシャル平面における歯120の断面形状は、等脚台形である(例えば、図31A、図31Bを参照)。いくつかの実施形態において、歯のラジアル方向に垂直な平面における各多部品歯120の断面積の周長は、ラジアル方向において実質的に一定であり、一方、断面の面積はラジアル方向において変動する(例えば、図26A～図26Dを参照)。各歯120は、コア歯部分124の対向する両側に対称に配置された追加歯部分124A、124B、124E、124Fの対を含み得る(例えば、図23C、図23Kを参照)。いくつかの実施形態において、各歯120は、コア歯部分122の対向する両側(例えば、対向する両側面)の第1の対に対称に配置された追加歯部分124A、124Bの第1の対、及び、コア歯部分122の対向する両側(例えば上面及び底面)の第2の対に対称に配置される追加歯部分124E、124Fの第2の対を含む(例えば、図23Kを参照)。

【0141】

各多部品歯120のコア歯部分122及び追加歯部分は、接着材料を使用して共に連結され得る。いくつかの実施形態において、多部品歯120の複数の部品及びコイル300は、接着材料によって共に取り付けられ得る。任意の好適なタイプの接着材料(例えば接着剤)が使用され得る。いくつかの実施形態において、接着材料は、接着材料の特性を修正するためにフィラー材料を含み得る。いくつかの実施形態において、接着材料のCTEは、歯120の材料のCTEの約20%内にあり得る。いくつかの実施形態において、接着材料のCTEは、コイル300の歯120の材料のCTEの約20%内であり得る。

【0142】

各多部品歯120の少なくとも1つの追加歯部分は、コイル300の内面とコア歯部分

10

20

30

40

50

122の外面との間に押し込まれ得る（例えば、図23F、図23K、図24Aを参照）。いくつかの実施形態において、コイル300は、各歯120のコア歯部分122を囲み、少なくとも2つの間隙が、コイル300の内面とコア歯部分122の対向する両側との間に形成され、各追加歯部分は、異なる間隙内に配設される（例えば、図23K、図24Aを参照）。いくつかの実施形態において、各歯120は、コイル300とコア歯部分122との間の間隙内に配設された単一のウェッジ形状の追加歯部分を含む（例えば図23Fを参照）。

【0143】

本開示の電気機械の様々な実施形態は、環状ステータリングを有するステータ、及び、ラジアル方向に延在する複数のコア歯部分を含み得る。本明細書において使用される場合、環状ステータリングは、ステータのリング形状のコンポーネントである。更に、歯は、環状ステータリングから突出する一連の突起である。各突起は歯を形成する。コア歯部分は、ステータコアに取り付けられた歯の部分である。以前に説明されたように、図23A～図23K及び図32A～図32Eを参照すると、いくつかの実施形態において、電気機械10のステータ100は、回転軸1000を囲んで延在する環状部品130を有するステータコア110を含む。これらの図からも分かるように、コア歯部分124は、ステータコア110の環状部品130からラジアル方向に延在する。コア歯部分124は、ステータ100の多部品歯120の一部を形成する。

【0144】

様々な実施形態において、環状ステータリング及び複数のコア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から一体的に形成されている。本明細書において使用されるように、「一体的に形成」という用語は、ステータリング及びコア歯部分が接続されて、部品の完全性を破壊することなく取り外すことが事実上できない単一部品を形成することを示す。いくつかの場合において、ステータリング及びコア歯部分は単一部品として形成される。いくつかの実施形態において、コア歯部分及びステータリングは、別個の部品として形成され得るが、共に取り付けられて（例えば、融着されて又はそうでない場合取り外しできないように取り付けられて）、部品の完全性を破壊することなく容易に分解され得ない単一部品を形成し得る。軟磁性複合材料（SMC）は、いくつかの実施形態において、電気絶縁膜の層で被覆される強磁性粉末粒子を含み得る。いくつかの実施形態において、SMCは、電気絶縁膜によって囲まれた強磁性粉末粒子を含み得る。SMCから作られたコンポーネントは、従来の粉末金属圧縮技法によって製造され得る。いくつかの場合において、一体的に形成されたSMCステータコアは、従来の積層鋼鉄コアを上回る複数の利点を提供し得る。例えば、これらのステータコアは、3次元（3D）等方性強磁性挙動、非常に低い渦電流損、中及び高周波数における相対的に低い総コア損失、熱特性の改善、及び、重量の低減のうちの1又は複数を示し得る。任意の現在知られている又は後に開発されるSMCが本開示の実施形態において使用され得る。いくつかの実施形態において、市販のSMC（例えば、Sintex（登録商標）SMC、Somaloy 130i、Somaloy 500、Somaloy 700 IP、Somaloy 700 3P、Somaloy 700 5P、又は別の好適なSMC）が使用され得る。

【0145】

以前に説明されたように、図23A～図23Mを参照すると、電気機械10の各歯120は、共に配置された複数の部品（例えば、コア歯部分122及び追加歯部分124A～124F）を含む。図23A～図23K（及び図32A～図32E）を参照して論じられる歯120の例示的な実施形態において、ステータコア110の環状部品130からラジアル方向外向きに延在する各歯120のコア歯部分122は、環状部品130と一体的に形成されている。1又は複数の追加歯部分124～124Kは、コア歯部分122の側面及び／又は上面及び底面に位置して多部品歯120を形成する。図23A（及び図21A～図32E）に図示される歯120の実施形態において、各コア歯部分124は、歯120のラジアル軸2000に沿って環状部品130からラジアル方向外向きに延在する。しかしながら、図23Gを参照して説明されるように、これは必須ではない。すなわち、い

くつかの実施形態において、コア歯部分 122 は、ラジアル軸 2000 に対して傾斜して環状部品 130 からラジアル方向外向きに延在し得る。

【0146】

一体的に形成された（歯 120 の）コア歯部分 122 及び環状部品 130 は同一の材料から作られ得る。いくつかの実施形態において、一体的に形成された環状部品 130 及びコア歯部分 122 は SMC から形成され得る。コア歯部分 122 とともに組み立てられて完全な歯 120 を形成する追加歯部分 124A～124F は、SMC 又は別の等方性材料から形成され得る。いくつかの実施形態において、コア歯部分 122 及び追加歯部分 124A～124F の両方は SMC から形成され得る。いくつかの実施形態において、コア歯部分 122（及び環状部品 130）は、SMC から作られ得る。また、いくつかの実施形態において、コア歯部分 122（及び環状部品 130）は鋼鉄ラミネーションから作られ得、一方、追加歯部分 124A～124F の一部又は全部は SMC から形成されると想定される。

10

【0147】

いくつかの実施形態において、図 33A～図 33C を参照して記載されるように、ステータコア 110 は、中央環状部品 130B に取り付けられてコア 110 の環状部品 130 を形成する上方及び下方環状部品 130A、130C を含み得る。そのようないくつかの実施形態において、図 33B において最も良く分かるように、コア歯部分 122 は、中央環状部品 130B と一体的に形成され、ラジアル方向において中央環状部品 130B から外向きに延在し得る。一般的に、環状部品 130A、130B 及び 130C は、任意の材料（例えば、SMC、積層鋼鉄など）から作られ得る。いくつかの実施形態において、中央環状部品 130B 及びコア歯部分 122 は、SMC から形成され得、上方及び下方環状部品 130A、130C は積層鋼鉄から形成され得る。

20

【0148】

以前に説明されたように、任意の好適な SMC が、一体形成された環状ステータリング 130 及び複数のコア歯部分 122 を作るために使用され得る。本開示の様々な実施形態において、SMC は、1 又は複数の等方性強磁性材料、少なくとも 1.6 テスラの飽和磁気誘導、及び、10 マイクロオーム/m を超える電気抵抗率を含み得る。強磁性材料は、磁場をよく伝導する物質である。強磁性材料の例は、鉄、コバルト、ニッケル、ガドリニウム、二酸化クロム (CrO_2) 及びその他を含む。本開示のいくつかの実施形態において、強磁性材料は、鉄ベースの材料であり得る。等方性材料は、異なる方向において同一の値である 1 又は複数の特性を有する。材料の任意の特性は、異なる方向において同一であり得る。いくつかの実施形態において、等方性強磁性材料の 1 又は複数の磁気特性は、異なる方向において同一であり得る。いくつかの実施形態において、材料の飽和磁気誘導及び／又は電気抵抗率は、すべての方向において同一であり得る。飽和磁気誘導は、材料又は当該材料から作られているコンポーネントにおいて、どれ程の磁性が誘導され得るかの指標である。磁気飽和に起因して、増加した磁場を適用することにより最小限の追加の磁気誘導が生じる収穫逡減点がある。飽和磁気誘導は、磁場強度の更なる増加と共に誘導が増加しない状態に軟磁性材料が飽和することを特徴とする。電気抵抗率は、電流に対して材料がどれ程強く抵抗するかを示す、材料の基本的特性である。それは、材料がどれ程よく電気を伝導するかを数値化した導電性の逆数である。電気抵抗率の低い値は、材料が電流を容易に通過させることを示す。

30

40

【0149】

いくつかの実施形態において、一体形成された環状ステータリング 130 及び複数のコア歯部分 122 を作るために使用される SMC 材料は、約 1.6 テスラ以上 ($\geq$) の飽和磁気誘導及び約 10 マイクロオーム/m より高い電気抵抗率を有する等方性強磁性材料であり得る。いくつかの実施形態において、SMC は、約 2.4 テスラ以上の飽和磁気誘導を有し得る。いくつかの実施形態において、SMC の飽和磁気誘導は、約 2.5 テスラ以上であり得る。いくつかの実施形態において、SMC の飽和磁気誘導は、約 2.4～2.6 テスラの間であり得る。SMC の電気抵抗率は、約 10 マイクロオーム/m ($\mu\Omega/\text{m}$)

50

）以上であり得る。いくつかの実施形態において、SMCの電気抵抗率は、約 $100\mu\Omega/m$ 以上（約 $150\mu\Omega/m$ 以上、約 $300\mu\Omega/m$ 以上、約 $400\mu\Omega/m$ 以上、又は、約 $500\mu\Omega/m$ 以上）であり得る。いくつかの実施形態において、SMCの電気抵抗率は、約 $10\sim600\mu\Omega/m$ 内であり得る。SMCの特性の等方性は、歯120の体積における3次元磁場を生成することを助け得る。SMCの約1.6テスラ以上の飽和磁気誘導は、磁気導体又は磁場コンセンレータの特性を維持することを助け、従って、漏洩磁束を低減し、電気機械10のトルク値及び動力を増加させ得る。SMCの約 $100\mu\Omega/m$ 以上の電気抵抗率は、電気機械10の動作の幅広い範囲の速度及び周波数における渦電流損を低減することを助け得る。したがって、SMCの一体形成された環状ステータリング130及び複数のコア歯部分122を作成することは、磁束密度を増加させ磁気損失を低減することによって、結果として電気機械の効率の増加をもたらす得る。

10

【0150】

いくつかの実施形態において、本開示のラジアルフラックス電気機械は電気モータ又は発電機であり得る。電気機械は、回転軸1000、複数の電磁コイル200、及びステータ100の周りを回転するように構成されているロータ200を含み得る（例えば、図8A～図22を参照）。いくつかの実施形態において、ステータ100は、環状ステータリング130、及び、ラジアル方向においてステータリング130から延在する複数のコア歯部分122を有し得る（例えば、図23A～図23Kを参照）。環状ステータリング130及び複数のコア歯部分122は、軟磁性複合材料（SMC）から一体的に形成され得る。いくつかの実施形態において、SMCは、1又は複数の等方性強磁性材料を含み、約1.6テスラ以上の飽和磁気誘導、及び、約 $10\mu\Omega/m$ 以上の電気抵抗率を有し得る。ステータ100は、環状ステータリング130上に対称に配置された複数の多部品歯120を含み得、各歯120は、複数のコア歯部分122の1つ、及び、コア歯部分122と非一体的に形成される少なくとも1つの追加歯部分124A、124B、124E、124Fを含み得る（例えば、図23A、図23B、図23I～23Kを参照）。一对の追加歯部分124A、124Bは、コア歯部分122の対向する両側面上に位置し、歯120を形成し得る（例えば、図23A～図23Cを参照）。一对の追加歯部分124A、124Bは、コア歯部分122の対向する両側面上に位置し得、別の対の追加歯部分124E、124Fは、対向する位置のコア歯部分122の上面及び底面上に位置し得る（例えば、図23I～図23Kを参照）。いくつかの実施形態において、単一のウェッジ形状部分のみが追加の歯部分として使用され得る。

20

30

【0151】

いくつかの実施形態において、電気機械の回転軸1000に垂直な平面に沿った各歯120のコア歯部分122の断面は実質的に矩形の形状を有し得、各追加歯部分の断面は、実質的に三角形の形状を有し得る（例えば図23Aから図23N、特に図23H、図23Iを参照）。いくつかの実施形態において、ラジアル方向に垂直な平面に沿ったコア歯部分122の各々、及び、少なくとも1対の追加歯部分124A～124Fの断面は、実質的に矩形の形状を有し得る。ラジアル平面又は回転軸1000に垂直な平面における各多部品歯120の断面は台形状を有し得る。歯120のラジアル方向に垂直な平面における各歯120の断面積は、ラジアル方向において変動し得、一方、断面積の周長は、ラジアル方向において実質的に一定のままである（例えば、図26A～図26Dを参照）。ロータ200がステータ100のラジアル方向外向きに配設されて、ロータ200とステータ100との間に空隙250を形成する実施形態において（例えば図2、図3を参照）、断面積は、ラジアル方向において空隙250に向かって増加し得る。回転軸1000に垂直な平面における歯120の断面積は、アキシアル方向において歯120の中央からその側面に向かって減少し得る（例えば、図27A～図27Dを参照）。

40

【0152】

いくつかの実施形態において、各多部品歯120は、2組の対向する面（例えば、図23Bの面A、B、及び、面C、D）を有する外面を画定する。2組のうち各組の対向する面は、互いに非平行であり得る。すなわち、面A及びBは、互いに非平行であり得、面C

50

、Dは、互いに非平行であり得る。いくつかの実施形態において、2組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜し得る。一方の組の対向する面の対向する面は、ラジアル方向外向きに互いに向かって近づき得（例えば、図23Dの面A、B）、他方の組の対向する面の対向する面は、ラジアル方向外向きに互いから離れる（例えば、図23Cの面C、D）。隣接する歯の隣接する側面は、互いに平行であり得る。すなわち、1個の歯120の側面Cは、隣接する歯120の側面Dに平行であり得る（例えば、図23A～図23Cを参照）。

【0153】

いくつかの実施形態において、電気機械の環状ステータリング130は、回転軸1000に垂直な対称面に沿って共に連結された2つの鏡面对称ボディ130A、130Bを含み得る（例えば、図32B、図32Cを参照）。環状ステータリング130は、共に取り付けられた複数の実質的に環状のコンポーネントを含み得る。2つの鏡面对称ボディ130A、130Bは、接着材料を使用して、対称面に沿って共に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、2つの鏡面对称ボディの材料（又はSMC）と接着材料との間の熱膨張係数の差は、約20%より小さいことが得る。

【0154】

任意の周知又は後に開発されるSMCが、一体形成された環状ステータリング130及び複数のコア歯部分122を作るために使用され得る。いくつかの実施形態において、市販のSMC（例えば、Sintex（登録商標）SMC、Somaloy130i、Somaloy500、Somaloy700 IP、Somaloy700 3P、Somaloy700 5P、又は別の好適なSMC）が使用され得る。SMCの飽和磁気誘導は、約2.4テスラ以上、又は、約2.5テスラ以上であり得る。いくつかの実施形態において、SMCの抵抗率は、約 $100\mu\Omega/m$ 以上、又は、約 $150\mu\Omega/m$ 以上であり得る。

【0155】

本開示の電気機械の様々な実施形態は、内側ステータの周りを回転するように構成されている内側ステータ及び外側ロータを含み得る。以前に説明されたように、本開示の電気機械は、異なる構成を有し得る（例えば、図8A～図22を参照）。いくつかの実施形態において、電気機械は、ステータ100に対して回転軸1000を中心に回転する内側ステータ100及び外側ロータ200（例えば図2、図3を参照）を含み得る。本開示の電気機械はロータベースを含み得る。ロータベースはロータの部品であり得る。ロータベースは、ロータの永久磁石を電気機械のシャフト（例えばシャフト20）に連結することを可能にするロータの任意のコンポーネントを指す。電気機械はまた、ロータの回転軸に平行にロータベースからアキシャル方向に延在する、複数の環状に配置された永久磁石を含み得る。永久磁石は、磁場又は電流の誘導無しで、磁気特性を保持する磁石であり得る。永久磁石は、磁化され、かつ、それ自体の永続的な磁場を生成する材料からできている物体であり得る。永久磁石の材料は、硬磁性と呼ばれる。それは、増加したヒステリシスループにより軟磁性材料とは異なる。一般的に、当技術分野で知られている（現在知られている、又は後に開発される）任意のタイプの永久磁石が、永久磁石を形成するために使用され得る。いくつかの実施形態において、永久磁石は、例えば、ネオジム鉄ボロン（NdFeB）、サマリウムコバルト（SmCo）などのレアアース（RE）材料からできていることがあり得る。RE材料の高いコスト及び相対的な希少性を考慮すると、いくつかの実施形態において、永久磁石は、非RE磁石（例えば、フェライト磁石）であり得る。また、いくつかの実施形態において、永久磁石はハイブリッド磁石であり得、RE磁石及びフェライト磁石の組み合わせが使用されることが想定される。

【0156】

いくつかの実施形態において、電気機械は、ロータベースから延在する円柱状コアも含み得る。いくつかの実施形態において、コアは、磁束を伝導するように構成され得る。コアはまた、ロータの永久磁石を固定するための構造を提供し得る。いくつかの実施形態において、コアは、複数の永久磁石を包囲するように、ロータベースから延在し得る。必須

10

20

30

40

50

ではないが、いくつかの実施形態において、コアはＳＭＣから形成され得る。ＳＭＣ円柱状コアは、３次元（３Ｄ）等方性強磁性の挙動のうちの１又は複数を示し得る。それはまた、中及び高周波数において、非常に低い渦電流損、及び、相対的に低い全体的なコア損失を示し得る。追加的に、ＳＭＣコアはまた、改善された熱特性及び低減された重量を示し得る。したがって、いくつかの開示された電気機械においてＳＭＣコアを使用するための明確な利点があり得る。

【０１５７】

電気機械はまた、ロータを包囲するスリーブを含み得る。スリーブは、ロータを保護する、及び／又は、ロータの強度を増加させる構造であり得る。いくつかの実施形態において、スリーブはバンデージであり得る。スリーブは、一部又は全部のロータコンポーネントを囲んで延在するリング、ベルト、又は別の環状構造の形態であり得る。いくつかの実施形態において、スリーブは、ロータが回転するときの遠心（又は求心）力の影響からロータコンポーネントを保護し得る。いくつかの実施形態において、スリーブは、円柱状コアを支持し得、円柱状コアは、複数の永久磁石を支持し得る。例えば、スリーブは、構造支持体をコアに提供し得、コアは、構造支持体を複数の永久磁石に提供し得る。いくつかの実施形態において、円柱状コアは、ラジアル方向にスリーブと複数の磁石との間に位置し得る。

【０１５８】

図３４Ａは、電気機械１０のシャフト２０に連結された例示的なロータ２００の図示である（図２～図３も参照）。以前に説明したように、図１～図３を参照すると、電気機械１０の動作中、ロータ２００は、ステータ１００のラジアル方向外向きに位置し、ステータ１００に対して回転軸１０００の周りを回転する。ロータ２００はロータベース９０４を含み得る。図３４Ａに図示されるように、いくつかの実施形態において、ロータベース９０４は、円盤状構造を有し得る。しかしながら、円盤状構造は必須ではなく、ロータベース９０４は、任意の好適な形状及び構成を有し得る。ロータベース９０４は、一体として回転するように、シャフト２０に固定（又は連結）され得る。すなわち、電気機械１０が動作するとき、ロータベース９０４及びシャフト２０の両方が回転する。

【０１５９】

以前に（例えば図１～図３を参照して）説明したように、１又は複数の永久磁石がロータベース９０４から懸架され得る（例えば、図２の永久磁石２２０を参照）。図３４Ｂは、図３４Ａのロータ２００の断面図である。これらの図から分かるように、永久磁石２２０は、回転軸１０００を囲んで環状リングを形成するように配置され得る。ロータ２００はまた、両方とも回転軸１０００を囲んで延在するロータコア９１０及びスリーブ９０８を含み得る。コア９１０は、永久磁石２２０を囲んで延在し得、スリーブ９０８は、コア９１０を囲んで延在し得る。したがって、複数の永久磁石２２０、コア９１０、及びスリーブ９０８は、回転軸１０００を囲んで３個の同心環状リングを形成し得る。コア９１０は、その内側円柱状壁上に装着された永久磁石２００を有する円柱状コンポーネントであり得る。スリーブ９０８は、その内側円柱状壁にコアが当接している円柱状コンポーネントであり得る。いくつかの実施形態において、コア９１０は、スリーブ９０８の内側円柱状壁上に装着され得る。図３４Ｂ及び図３６から最も良く分かるように、コア９１０は、複数の永久磁石２２０とスリーブ９０８との間に挟まれ得る。

【０１６０】

ロータ２００はまた、１又は複数のバランシングリングを含み得る。「バランシングリング」という用語は、ロータのバランシングを助ける構造を指す。いくつかの実施形態において、バランシングリングは、ロータの重量を再配分することによってロータの動的バランシングを可能にする。例えばいくつかの実施形態において、バランシングリングは、ロータの重量を再配分するために、操作できる（例えば、ネジを入れる、又は出す）重荷（例えば、ネジ）を支持し得る。いくつかの実施形態において、バランシングリング９２２は、スリーブ９０８の一端（例えば上端）に設けられ得る（図３６を参照）。代替的に又は追加的に、いくつかの実施形態において、バランシングリング９２６がスリーブ９０

10

20

30

40

50

8 の下端に設けられ得る（図 3 7 を参照）。いくつかの実施形態において、バランシングリング 9 2 2、9 2 6 の 1 つのみが設けられ得るが、他の実施形態において、バランシングリング 9 2 2、9 2 6 の両方が設けられ得る。バランシングリング 9 2 2、9 2 6 の両方を提供することにより、2 平面バランシング又はロータ 2 0 0 を可能にし得る。これらの図に図示されるバランシングリング 9 2 2、9 2 6 の構造及び場所は単なる例であることに留意されたい。一般的に、1 又は複数のバランシングリングが、ロータ 2 0 0 の任意の場所に設けられ得る。

【0161】

図 3 4 B を特に参照すると、いくつかの実施形態において、複数の永久磁石 2 2 0 は、ロータベース 9 0 4 上に環状に配置され得、ロータ 2 0 0 の回転軸 1 0 0 0 に平行にロータベース 9 0 4 からアキシャル方向に延在する。永久磁石 2 2 0 は、ラジアル方向に磁化及びセグメント化され、渦電流損を低減し得る。「磁気軸」という用語は、永久磁石の永久磁石磁化の軸を示す。磁石が磁化されるとき、磁区は、この軸に対して向けられる。結果として、永久磁石 2 2 0 の 2 つの反対の極（例えば、N 極及び S 極）が、この磁気軸に沿って形成される。永久磁石において、磁気軸は、その N 極と S 極との間に延在する。いくつかの実施形態において、永久磁石 2 2 0 が、図 3 6 及び図 3 7（及び図 3）に示されるように、円柱状パターンで配置されているとき、個別の永久磁石 2 2 0 の磁気軸は、ラジアル方向に延在し得る。いくつかの実施形態において、複数の永久磁石 2 2 0 の磁気軸は、回転軸 1 0 0 0 において（又はその近くで）互いに交差し得る。

【0162】

図 3 8 A 及び図 3 8 B は、コア 9 1 0 及びロータ 2 0 0 の永久磁石 2 2 0 を図示する。いくつかの実施形態において、例えば、接着剤（例えば、図 3 も参照）を使用して、ラジアル方向磁化及び交番極性を有する永久磁石 2 2 0 が、円柱状コア 9 1 0 の内面に固定又は装着されている。永久磁石 2 2 0 は、永久磁石 2 2 0 の N 極がラジアル方向内向き（すなわち、回転軸 1 0 0 0 に向かう方）を向き、一方、隣接する磁石 2 2 0 の S 極がラジアル方向内向きを向くように位置付けられ得る。いくつかの実施形態において、（図 2 ～図 3 を参照して）以前に説明されたように、各永久磁石 2 2 0 は、共に取り付けられた複数の永久磁石セグメント 2 2 2 からできていることがあり得る。すなわち、永久磁石 2 2 0 は、回転軸 1 0 0 0 の周りでセグメント化され得る。いくつかの実施形態において、図 3 8 A 及び図 3 8 B において最も良く分かるように、永久磁石 2 2 0 はまた、回転軸に沿って（すなわち、回転軸 1 0 0 0 に沿って長さ方向に）セグメント化され得る。複数の永久磁石 2 2 0 は、回転軸 1 0 0 0 の周りに環状に配置され得、隣接する永久磁石 2 2 0 は、スペーサ 2 2 4（又は間隙）によって互いから間隔を空けられている。図 3 8 C は、例示的なスペーサ 2 2 4 を図示する。スペーサ 2 2 4 は、隣接する永久磁石セグメント 2 2 0 を隔離する中実又は中空のコンポーネントであり得る。いくつかの実施形態において、スペーサ 2 2 4 は、非導電材料からできていることがあり得る。必須ではないが、いくつかの実施形態において、スペーサ 2 2 4 は、コア 9 1 0 の全長にわたって延在し得る。永久磁石 2 2 0 のセグメント化は、渦電流損の低減を助け得る。以前に説明されたように、永久磁石 2 2 0 は、レアアース（RE）磁石（例えば、NdFeB、SmCo など）、フェライト磁石、又は、他の知られたタイプの磁石であり得る。

【0163】

外側ロータ 2 0 0 は円柱状コア 9 1 0 も含み得る。円柱状コア 9 1 0 は、ロータベース 9 0 4 から延在し、複数の永久磁石 2 2 0 を包囲し得る。いくつかの実施形態において、円柱状コア 9 1 0 は、SMC から形成され得る。円柱状コア 9 1 0 は、複数の永久磁石 2 2 0 の片側（例えば、ラジアル方向外側）を支持し得る。いくつかの実施形態において、永久磁石 2 2 0 は、円柱状コア 9 1 0 上（例えば、円柱状コア 9 1 0 のラジアル方向内側）に装着され得る。永久磁石 2 2 0 は、例えば接着材料を使用してコア 9 1 0 に取り付けられ得る。例えば、接着剤層は、永久磁石 2 2 0 のラジアル方向外側をコア 9 1 0 のラジアル方向内側に結合し得る。

【0164】

スリーブ 908 は円柱状コア 910 を包囲し得る。いくつかの実施形態において、図 3 6 及び図 3 7 に図示されるように、スリーブ 908 は、円柱状コア 910 のラジアル方向外側を囲んで延在し得る。スリーブ 908 は、円柱状コア 910 に物理的に接触して支持し得る。いくつかの実施形態において、接着材料がスリーブ 908 のラジアル方向内側をコア 910 のラジアル方向外面上に取り付け得る。スリーブ 908 は（コア 910 を介して）複数の永久磁石 220 を支持し得る。スリーブ 908 は、コア 910 のラジアル方向外面を支持するので、ロータ 200 の回転中の遠心力に起因してコア 910 が割れないように保護し得る。コア 910 は、ラジアル方向にスリーブ 908 と複数の永久磁石 220 との間に位置し得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、接着材料を使用してロータベース 904 に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、ロータベース 904 に統合され、又は、それと一体に作られ得る（例えば、スリーブ 908 及びロータベース 904 は、同一の材料の単一部品として形成され得る）。

【0165】

いくつかの実施形態において、スリーブ 908 及び／又はロータベース 904 は、アルミニウム、又は、炭素繊維、ガラスファイバ、及び／又は、ケブラーのようなアラミド繊維などの非磁性複合材料からできていることがあり得る。非磁性複合材料は、多成分材料であり、磁束について非伝導性であり、著しく異なる物理的及び／又は化学的特性を有する 2 又はより多くのコンポーネントからできている。一般的に、スリーブ 908 及びロータベース 904 は、磁性材料又は非磁性材料からできていることがあり得る。（スリーブ 908 及び／又はロータベース 904 の）非磁性材料は複合材料であり得る。いくつかの実施形態において、複合非磁性材料は、炭素繊維、ガラスファイバ、アラミド繊維、ケブラー、又は別の好適なファイバのうちの少なくとも 1 つを含み得る。例えば、ファイバ（炭素、ガラス、アラミド、ケブラーなど）は、共に織られてスリーブ 908 を形成し得る。そのようないくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、バンデージの形態であり得る。バンデージは、可撓性、半可撓性、又は剛性であり得る。いくつかの実施形態において、ファイバは、別の材料（例えば、エポキシなど）のマトリクスに組み込まれ、複合非磁性材料を形成し得る。いくつかの実施形態において、（スリーブ 908 及び／又はロータベース 904 の）非磁性材料は、ステンレス鋼又はアルミニウムのうちの少なくとも 1 つを含み得る（又は、である）。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 及び／又はロータベース 904 は、磁性材料からできていることがあり得る。磁性材料は、例えば積層電気鋼鉄シートなどの軟磁性材料を含み得る。いくつかの実施形態において、磁性材料は鋼鉄であり得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 及びロータベース 904 は、例えば鋼鉄からできている、単一の統合された部品であり得る。

【0166】

いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、コア 910 及び永久磁石 220 を有するパッケージとして組み立てられ得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、円柱状コア 910 の外面上に形成された凹部上に配設された補強リブを含み得る。「補強リブ」という用語は、ロータ構造の強度を増加するように構成されている要素又は特徴を示す。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、バランシングリング 926、及び、複数の永久磁石 220 の自由端にわたって延在し得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、バランシングリング 922 にわたって延在し得る。いくつかの実施形態において、円柱状コア 910 は、ロータベース 904 に連結された第 1 端から第 2 端まで延在し得る。例えば、図 3 4 A ～ 図 3 4 B を参照されたい。いくつかの実施形態において、バランシングリング 922、926 は、円柱状コア 910 の自由端を囲んで延在し得る。

【0167】

図 3 5 は、図 2、図 3 の回転軸 1000 の周りを回転するように構成されている例示的なシャフト 20 を図示する。図 3 6 ～ 図 3 7 は、例示的な外側ロータ 200 の部分図を図示する。外側ロータ 200 は、第 1 バランシングリング 922 及び第 2 バランシングリング 926 を含む。第 1 バランシングリング 922 は、ロータベース 904 に連結された円

柱状コア 910 の第 1 端に配設され得る。第 2 バランシングリング 926 は、ロータベース 904 の反対の円柱状コア 910 の第 2 端に配設され得る。いくつかの実施形態において、第 2 バランシングリング 926 は、ロータ 200 の動的バランシングを提供し得、第 1 バランシングリング 922 は、静的バランシングを提供し得る。第 1 バランシングリング 922 及び第 2 バランシングリング 926 は、スリーブ 908 及び／又は円柱状コア 910 に取り付けられるように構成され得る。バランシングリング 922、926 の一方又は両方は、穴 924 を含み得る。

【0168】

円柱状コア 910 は、永久磁石 220 と共に、ロータ 200 をシャフト 20 に連結するロータベース 904 に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、円柱状コア 910 の端及び永久磁石 220 を囲んで折り曲げられ、それらを外側ロータ 200 の両端側でクランプし得る（例えば、図 36 を参照）。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 は、非導電材料、又は、低い導電率の材料、又は、非磁性非導電性複合材料からできていることがあり得る。いくつかの実施形態において、高精度の静的及び動的バランシングの間に、これらの重荷に空洞又は穴が開けられ得る。いくつかの実施形態において、必要な重荷変更は、2 つの平面で（例えば、2 つのバランシングリング 922 及び 926 を使用して）行われ得る。重荷は、バランシングリング穴 924 内に設置され得る。いくつかの実施形態において、第 2 バランシングリング 926 は、円柱状コア 910 の第 1 端（ロータベース 904 に連結されている端）に位置し得る。いくつかの実施形態において、第 1 バランシングリング 922 及び／又は第 2 バランシングリング 926 は、非磁性複合材料から形成され得る。いくつかの実施形態において、第 1 バランシングリング 922 及び／又は第 2 バランシングリング 926 は、非磁性材料から形成され得る。いくつかの実施形態において、第 1 バランシングリング 922 及び／又は第 2 バランシングリング 926 は、外側ロータ 200 をバランシングするための 1 又は複数のネジを含み得る。

【0169】

いくつかの実施形態において、複数の永久磁石 220 は、回転軸 1000 を囲んで実質的に円形パターンでロータベース 904 上に配置され得る（例えば、図 3、図 36 ～図 38B を参照）。隣接する磁石 220 は、非磁性材料、又は、SMC のような任意の軟磁性材料からできているスペーサ 224 によって隔離されている。いくつかの実施形態において、複数の永久磁石 220 がロータベース 904 上に配置され、複数の永久磁石 220 の各永久磁石の磁気軸は、回転軸（例えば回転軸 1000）に向かって延在する。いくつかの実施形態において、複数の永久磁石 220 は、ロータベース 904 上に配置され、複数の永久磁石 220 の各永久磁石の磁気軸は、回転軸において（又はその近傍で）交差する。

【0170】

いくつかの実施形態において、ロータベース 904 は、アルミニウム又は鋼鉄から形成され得る。いくつかの実施形態において、ロータベース 904 は、スリーブ 908 及び 1 又は複数のバランシングリング（例えば 922、926）と一体であり得る。複数の永久磁石 220 は、接着剤を使用して円柱状コア 910 に取り付けられ得る。いくつかの実施形態において、熱サイクルの間の CTE ミスマッチにより誘導される熱機械的応力を低減するべく、複数の永久磁石 220、円柱状コア 910、及び接着剤の材料の熱膨張係数（CTE）の間の差は、約 20% より小さいことがあり得る。円柱状コア 910 は、接着剤を使用してロータベース 904 に取り付けられ得る。電気機械は電気モータ又は発電機であり得る。いくつかの実施形態において、円柱状スリーブ 910 は、電気鋼鉄の積層シートから組み立てられたパッケージの形態で作られ得る。

【0171】

図 38D は、例示的な円柱状ロータコア 910 の図を図示する。以前に説明されたように、ロータ 200 において、スペーサ 224 は、円柱状コア 910 の内面上に装着された複数の永久磁石 220 における隣接する永久磁石 220 を隔離する（図 38A ～図 38C を参照）。スペーサ 224 の代替として（又はそれに加えて）、いくつかの実施形態にお

いて、円柱状コア 910 は、統合されたスペーサ 928 を含み得る。これらのスペーサ 928 は、ラジアル方向に、コア 910 の円柱状内表面から内向きに突出し得る。統合されたスペーサ 928 は、永久磁石 220 を格納するために、それらの間のスロット 929 を画定し得る。永久磁石 220 がこれらのスロット 929 上に装着されているとき、スペーサ 928 は、円柱状コア 910 の内面上に装着された複数の永久磁石 200 における隣接する永久磁石 220 を隔離する。図 42A~図 42B は、ラジアル平面における例示的な外側ロータ 200 の断面図を図示する。これらの図に図示されるように、永久磁石 220 が、ロータコア 910 の内面上のスペーサ 928 の間のスロット 929 (図 38D を参照) 内に配設されているとき、スペーサ 928 は、円周方向において、隣接する永久磁石 220 を互いから隔離する。スペーサ 928 はラジアル方向において任意の厚さを有し得る。いくつかの実施形態において、スペーサ 928 の厚さは、永久磁石 220 の (ラジアル方向の) 厚さを超えないことがあり得、その結果、スペーサ 928 は、外側ロータ 200 と内側ステータ 100 との間の空隙 250 内に突出しない (図 3 を参照)。いくつかの実施形態において、振動するモーメントを制限するべく、各スペーサ 928 は、永久磁石 220 の厚さの約半分以下である厚さを有し得る。

【0172】

図 39 は、ロータ 200 の断面図を図示する。スリーブ 908 は、任意の方法によってロータ 200 内に設置され得る。いくつかの実施形態において、スリーブ 908 を設置するべく、(例えば、スリーブ 908 のいずれかの側の) ロータ 200 の 2 つの端 (例えば、上端及び下端) に止め具 930 が設けられ得る。スリーブ 908 がバンデージの形態である実施形態において、スリーブ 908 は、ロータコア 910 の外面を囲んでスリーブ材料を巻く (又は掛ける) ことによってロータ 200 上に設置され得る (図 40 を参照)。巻くことは、コア 910 の表面 (又はロータの外面) 上の各突出部及び各凹部が 1 つの動作において満たされるように実行され得る。このように巻くことは、動作中のロータ 200 の強度及び剛性を増加させ、振動及びノイズを低減するように機能し得る。巻くこと (図 40 に示す) は、複合体テープ、複合体スレッド (示されていない)、又は、その両方の組み合わせを用いて行われ得る。スリーブ 908 を形成するために止め具 930 を使用することが記載されているが、これは単なる例である。巻くことは、止め具 930 無しでも達成され得る。

【0173】

いくつかの実施形態において、ロータベース 904、スリーブ 908 は、統合されたコンポーネントであり得る。そのような場合、ロータベース 904 及びスリーブ 908 は、例えば複合材料の 1 つの統合された部品として共に形成され得る。いくつかの実施形態において、接着材料は、円柱状コア 910、ロータベース 904、スリーブ 908、及びバランシングリング 922、926 上に永久磁石 220 及び/又はスペーサ 224 を固定するために使用され得る。結合される要素の加熱中の応力を低減するべく、接着材料は、熱膨張係数 (CTE) が、結合される材料の CTE に近い (例えば、約 20%) ように選択され得る。

【0174】

図 40 において最も良く分かるように、ロータベース 904 は 1 又は複数の通気孔 932 を含み得る。通気孔 932 は、回転軸 1000 に沿って (すなわち、回転軸 1000 に平行に) 空気流を誘導するように構成され得る。いくつかの実施形態において、この空気は、ロータ 200 が回転するときにロータに (ロータ内に位置するステータに向かって) 誘導される (例えば図 2 を参照)。いくつかの実施形態において、通気孔 932 は、ロータ 200 が回転するときに、ファンブレードとして動作して、電気機械の 1 又は複数のコンポーネントを冷却するように構成され得る。いくつかの実施形態において、ブレード、ベーン、又は他の空気を移動させる特徴が、通気孔 932 を囲んで (又はその近傍に) 設けられ、回転軸 1000 に沿って (ロータ回転中に、穴 932 内へ、又は、ステータに向かって) 空気を誘導し得る。

【0175】

図４１は、例示的な外側ロータ２００の図を図示する。いくつかの実施形態において、ロータ２００の許容可能な最大回転速度を増加させるべく、１又は複数のスロット９３４が円柱状コア９１０の外表面（例えば、ラジアル方向外表面）上に設けられ得る。図４１から理解できるように、各スロット９３４は、永久磁石２２０の各々の中央と反対に位置し得る（１個の永久磁石２２０が図４１において破線を使用して示される）。いくつかの実施形態において、スリーブ９０８の内側合わせ面は、コア９１０がスリーブ９０８内に装着されているときにスロット９３４内に受けられる対応するリブ９３６を含む。スリーブ９０８が、（図４０を参照して記載されるように）コア９１０を囲んで掛けられているバンデージである実施形態において、スロット９３４は、スリーブ９０８の材料を受け、補強リブ９３６を形成するように構成され得る。すなわち、スリーブ９０８がコア９１０を囲んで装着されている、又は、掛けられているときにスロット９３４内に受けられるスリーブ９０８の部分は、補強リブ９３６を形成する。補強リブ９３６は、そのサイズ（例えば厚さ）を増加させることなくロータコア９１０の強度を増加させる。各永久磁石２２０の中央は、最も低い磁束密度の場所に対応する。したがって、永久磁石２２０の中央の反対にスロット９３４を位置付けることは、そのサイズを増加させることなく、漏洩磁束を低減すること、及び、コア９１０の強度を増加させることを助ける。いくつかの実施形態において、ロータ２００は、スリーブ９０８無しで作られ得る。

【０１７６】

図４３は、ロータベース９０４、円柱状コア９１０、複数の永久磁石２２０、及びスリーブ９０８を有する例示的な外側ロータ２００の図を図示する。図４３に図示されるように、円柱状コア９１０は、回転軸１０００の周りにおいて（ラジアル平面における）不均一な厚さを有し得る。図示された実施形態において、円柱状コア９１０の外表面は、起伏性表面を形成し（その半径は、回転軸１０００の周りにおいて変動、又は増加、及び減少する）、コア９１０の外表面は、円柱状の表面である。コア９１０の不均一な厚さは、異なるタイプの内側及び外表面の結果として生じる。図示された実施形態において、スリーブ９０８の外表面は、円柱状であり、その内面（コア９１０の起伏ある外表面と合う）は、起伏性表面に対応する。したがって、スリーブ９０８はまた、その内側と外表面との間の差の結果として、回転軸１０００の周りにおいて不均一な厚さな（すなわち変動する）厚さを有する。

【０１７７】

図４３から分かるように、円柱状コア９１０のより厚い領域Ｘ（又は、より大きい厚さの場所）は、スリーブ９０８のより薄い領域（又は、より小さい厚さの場所）に対応し、コア９１０のより薄い領域Ｙは、スリーブ９０８のより厚い領域に対応する。図４３から分かるように、コア９１０のより厚い領域Ｘは、隣接する永久磁石２２０の間に位置し、コア９１０のより薄い領域Ｙは、各永久磁石２２０の中央に隣接するように位置する。また、スリーブ９０８のより厚い領域は、各永久磁石２２０の中央に隣接するように位置し、そのより薄い領域は、２つの永久磁石２２０の間に位置する。永久磁石２２０の中央は、最も磁束密度が低い場所に対応する。スリーブ９０８のより厚い領域が、各永久磁石２２０の中央に隣接するように（又はその近傍に）位置することにより、そのサイズを増加させることなくロータ２００の強度を増加させる。図４３を参照して論じられるロータ２００の例示的な実施形態におけるコア９１０の起伏性外表面及びスリーブ９０８の内表面は、単なる例であることに留意されたい。一般的に、コア９１０及び／又はスリーブ９０８の不均一な厚さは、任意の方式で提供され得る。いくつかの実施形態において、コア９１０及び／又はスリーブ９０８の厚さは、例えば、円周方向に（すなわち、回転軸１０００の周りに）段階的な方式で変動し得る。

【０１７８】

図４４は、ロータ２００の例示的なコア９１０を図示する。図示された実施形態において、永久磁石２２０は、コア９１０内に配設される（又は組み込まれる）。いくつかの実施形態において、永久磁石２２０は、コア９１０において星形パターンで配設され得る。コア９１０は、永久磁石２２０を受けのために、対応する星形パターンのスロットを含み得る。星形パターンは単なる例であり、一般的に、永久磁石２２０は、コア９１０におい

て任意のパターン（例えば、円形など）で配設され得ることに留意されたい。いくつかの実施形態において、コア 910 は、永久磁石セグメントを受けるために、円周方向に間隔を空けたスロットを含み得る。

【0179】

図 4A～図 4C 及び図 6A～図 7C を参照すると、電気機械の効率的動作のために、多部品歯 120 上に装着された電磁コイル 300 の内面が、歯 120 の外面（図 23B の表面 A、B、C、D）に接触する、又は、それに対して緊密であることが好ましい。歯 120 の台形形状（又はラジアル方向における歯 120 の変動する断面積）に起因して、コイル 300 の空洞 320 の合わせ面（例えば、図 6A～図 7C を参照）、及び、歯 120 の外面が歯のラジアル方向全体に沿って接触するように、事前に製造されたコイル 300 を歯 120 に装着することは困難である。ワイヤ（又は箔）を歯 120（又は歯 112 を有する、事前に組み立てられたコア 110）に直接巻いてコイル 300 を形成することは可能であり得るが、そのようなプロセスは、製造コストを増加させる。また、ワイヤを歯 120 に巻くことにより、歯 120 の間のスロット 160 の充填密度が減少し（例えば、図 4A～図 4B を参照）、結果として、電気機械のフィルファクタが低くなる。歯 120 を（上で論じたように）複数の部品から形成することにより、事前に製造されたコイル 300 を歯 120 に設置又は装着する一方で、高いフィルファクタ値を維持することが可能となる。多部品歯 120 の部品は、コイル 300 内で組み立てられて、コイル 300 の空洞 320（又は開口）内で歯 120 の台形形状を形成する。

【0180】

図 45A～図 45F は、コイル 300 を例示的な多部品歯 120 に装着（又は設置）する例示的な方法を図示する。図 46A～図 46C は、コイル 300 を歯 120 に装着する異なるステージを描写する簡略化された概略図である。下の論述において、図 46A～図 46C も参照する。下の論述において、図 24A を参照して記載された歯 120 の実施形態上にコイル 300 を設置する方法が記載される。コイル 300 はまた、同様の方式で、歯 120 の他の実施形態において設置され得る。図示された実施形態において、多部品歯 120 は、そのベース 134 に溝 138 を有する別個のコア歯部分 122（すなわち、図 23A の実施形態におけるコア 110 の環状部品 130 と統合されていないコア歯部分 122）、及び、2つの追加歯部分 124A 及び 124B を含む。事前に製造された（又は事前に形成された、事前に巻かれた、など）コイル 300 が、これらの複数の歯部分 122、124A、124B から形成された多部品歯 120 上に設置され得る。必須ではないが、図示された実施形態において、2つの追加歯部分 124A、124B は同一である。

【0181】

歯 120 は、複数の部品からできており、歯 120 の複数の部品がコイル 300 の空洞 320 内に嵌合するように、以前に形成されたコイル 300 が歯 120 に装着され得る。図 45A を参照すると、事前に形成されたコイル 300 は、コイル 300 の中央空洞 320（又は開口）を囲んで延在する導電体（ワイヤ、箔など）を含む。空洞 320 は、第 1 端 322 からコイル 300 の第 2 端 324 に延在する。いくつかの実施形態において、各追加歯部分 124A、124B は、構造が同一であり得、ウェッジ形状であり得る。各追加歯部分 124A、124B は、幅の広い端 128 から、幅の狭い端 126 に延在し得る。組立ての後に、コイル 300 の第 1 端 322 は、ステータコア 110 の近傍に位置し、その第 2 端 324 は、空隙 250 の近傍に位置する（図 2 を参照）。

【0182】

いくつかの実施形態において、コイル 300 を多部品歯 120 に設置する方法は、挿入された追加歯部分 124A、124B の幅の広い第 2 端 128 が空洞 320 から外に延在するように、多部品歯 120 の少なくとも 1 つの追加歯部分 124A、124B をコイル 300 の空洞 320 に挿入する段階を含む。例えば、図 46A において最も良く分かるように、2つの追加歯部分 124A、124B の幅の広い第 2 端 128 が空洞 320 からその第 2 端 324 を通じて延在（又は突出）するように、2つの追加歯部分 124A、124B がコイル 300 の空洞 320 に挿入される。歯 120 が単一の追加歯部分（例えば、

図 2 3 E 及び図 2 3 H の歯部分 1 2 4 C、1 2 4 D) のみを含む実施形態において、この単一の歯部分は、幅の広い端が空洞 3 2 0 の一端から外に突出するように、コイル 3 0 0 の空洞 3 2 0 に挿入される。歯 1 2 0 が複数の追加歯部分を含む実施形態において (図 2 3 A、図 2 3 I ~ 図 2 3 K を参照)、これらの複数の追加歯部分のうちの 1 又は複数の、空洞 3 2 0 に挿入される。

【 0 1 8 3 】

いくつかの実施形態において、図 4 5 A ~ 図 4 6 C に図示されるように、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の両方は空洞 3 2 0 に挿入される。2 つの追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の間の空洞 3 2 0 内に間隙が形成されるように、2 つの追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B は、空洞 3 2 0 の対向する両側壁に対して (すなわち、コイル 3 0 0 の内壁に対して) 圧迫され得る。すなわち、図 4 5 D 及び図 4 6 A から分かるように、各追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の側面が、空洞 3 2 0 の内側上の反対の表面に接触して (又は、それに対して圧迫されて) 2 つの追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の間に間隙を形成するように、2 つの追加歯部分 1 2 4 A 及び 1 2 4 B は、空洞 3 2 0 内に配置される。

【 0 1 8 4 】

図 4 5 D 及び図 4 6 A から最も良く分かるように、挿入された歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の幅の広い第 2 端 1 2 8 がその第 2 端 3 2 4 において空洞 3 2 0 から外に延在する (又は突出する) ように、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B は、空洞 3 2 0 に挿入される。図 4 6 B において最も良く分かるように、挿入された追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の幅の広い第 2 端 1 2 8 がコイル 3 0 0 の空洞 3 2 0 から外に延在したままとなるように、(挿入された追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B を有する) コイル 3 0 0 は次に、多部品歯 1 2 0 のコア歯部分 1 2 2 上に装着される。図 4 6 C に図示されるように、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の突出する第 2 端 1 2 8 に力 F が適用され、追加歯部分を空洞 3 2 0 内に (すなわち、空洞 3 2 0 の第 1 端 3 2 2 に向かって) 更に押す。追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B が空洞 3 2 0 内に更に入るにつれて、それらはコア歯部分 1 2 2 の側方及び空洞 3 2 0 の内壁を圧迫し、コイルを多部品歯 1 2 0 上に締着する (例えば、図 4 5 E、図 4 6 C を参照)。いくつかの実施形態において、図 4 5 F に図示されるように、次に、接着材料 (又は接着剤) が塗布され、多部品歯 1 2 0 の複数の部品を共に、及びコイル空洞 3 2 0 の内壁に連結し得る。

【 0 1 8 5 】

上で論じた実施形態は単なる例であることに留意されたい。コイル及び歯の構成に基づいて、記載された方法には多くの変形があり得る。図 2 3 E ~ 図 2 3 F 及び図 2 3 H はまた、多部品歯 1 2 0 のいくつかの他の構成にコイル 3 0 0 を設置する例示的な方法を描写する。以前に説明されたように、追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D の幅の広い端が開口 3 2 0 から外に延在するように、(図 2 3 E の) 追加歯部分 1 2 4 C 又は (図 2 3 H の) 1 2 4 D はまず、コイル 3 0 0 の空洞 3 2 0 内に挿入され得る。次に、追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D の幅の広い端が空洞 3 2 0 から外に延在したままとなるように、追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D を有するコイル 3 0 0 はコア歯部分 1 2 2 の上に位置し得る。次に、力が追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D の幅の広い端に加えられ、それを空洞 3 2 0 内へ更に押し、それによって、多部品歯 1 2 0 を囲んでコイル 3 0 0 を緊密に嵌合し得る。力を加えることにより、追加歯部分 1 2 4 C 又は 1 2 4 D の幅の広い端を、コア 1 1 0 の環状部品 1 3 0 に向かってコイル 3 0 0 内に更に駆動し、コイル 3 0 0 を多部品歯 1 2 0 上に締め付け得る (例えば図 2 3 F を参照)。いくつかの実施形態において、次に接着材料が塗布され、多部品歯 1 2 0 の複数の部品を共に連結し得る。

【 0 1 8 6 】

図 2 3 I ~ 図 2 3 J は、コイル 3 0 0 を多部品歯 1 2 0 上に設置する別の例示的な方法を図示する。図 4 5 A ~ 図 4 6 C を参照して記載される実施形態において、追加歯部分 1 2 4 A 及び 1 2 4 B の対がまずコイル 3 0 0 の空洞 3 2 0 内に位置付けられ得る (図 2 3 J を参照)。この構成において、2 つの追加歯部分 1 2 4 A 及び 1 2 4 B の幅の広い端は、空洞 3 2 0 から外に突出又は延在し得る (図 2 3 J を参照)。次に、対向する両側 (例

例えば、上側及び下側、図 2 3 J を参照) に位置する追加歯部分 1 2 4 E、1 2 4 F を有するコア歯部分 1 2 2 は、2 つの追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の間の空間を通じてコイル 3 0 0 の空洞 3 2 0 に挿入され得る。コア歯部分 1 2 2 が空洞 3 2 0 に挿入されるとき、追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B の一方又は両方の幅の広い端は、空洞 3 2 0 から外に突出したままであり得る。次に、少なくとも、突出した幅の広い端の部分を空洞 3 2 0 内に押し込むために力が加えられ得る。追加歯部分 1 2 4 A、1 2 4 B が空洞 3 2 0 内に更に入るとき、それらはコア歯部分 1 2 2 の側方、追加歯部分 1 2 4 E、1 2 4 F、及び、空洞 3 2 0 の内壁を圧迫して、コイル 3 0 0 を多部品歯 1 2 0 上で締着し得る (例えば図 2 3 K を参照する)。いくつかの実施形態において、次に、接着材料が塗布されて、部品を共にコイルに連結し得る。多部品歯 1 2 0 の部品を共に連結するために任意のタイプの接着材料が使用され得る。いくつかの実施形態において、接着材料は、歯及び／又はコイル材料の熱膨張係数に近い熱膨張係数を有し、動作中に部品が加熱されるときに、C T E ミスマッチ誘導熱機械的応力を低減し得る。いくつかの実施形態において、接着材料と多部品歯 1 2 0 の異なる部品との間の C T E ミスマッチは、約 2 0 % を下回り得る。

【0187】

コイル 3 0 0 を多部品歯 1 2 0 に装着する記載された方法は、コア歯部分 1 2 2 がコア 1 1 0 とは別個である歯 1 2 0 の実施形態 (例えば、図 2 3 L 及び図 2 3 M の実施形態)、及び、コア歯部分 1 2 2 がコア 1 1 0 と統合されている歯 1 2 0 の実施形態 (例えば、図 2 3 A ~ 図 2 3 K の実施形態) に適用可能である。一般的に、電気機械の不規則形状の多部品歯上でコイルを組み立てる方法は、少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける空洞 (又は開口) から外に延在するように、多部品歯の少なくとも 1 個の追加歯部分 (例えば、ウェッジ形状歯部分又はウェッジ部分) をコイルの開口内に挿入する段階を含み得る。本明細書において使用される場合、「不規則な形状」という用語は、長さに沿って変動する断面を指す。いくつかの実施形態において、不規則な形状の体積は、規則的又は単純な図 (円、円柱、立方体、平行六面体など) 以外の幾何学的な図によって最も良く記載され得る。「ウェッジ部分」という用語は、幅の広い端及び幅の狭い端を有する部品を示す。いくつかの実施形態において、ウェッジ部分は、ウェッジの形態であり得る。「空洞」又は「開口」という用語は、コイルの内側の中空部品を指す。挿入された少なくとも 1 つのウェッジ部分を有するコイルは、少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける空洞から外に延在したままとなるように、多部品歯のコア歯部分上に位置する。方法はまた、少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端に力を加え、多部品歯上にコイルを締め付ける段階を含み得る。

【0188】

いくつかの実施形態において、少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端に力を加えることは、少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端をコイルの空洞 (すなわちコイル開口) 内へ押すことを含み得る。いくつかの実施形態において、コイルにおける開口は、第 1 端から第 2 端に延在し得る。そして、少なくとも 1 つのウェッジ部分を挿入することは、幅の広い端が開口の第 2 端から外に延在するように、少なくとも 1 つのウェッジ部分を開口内に挿入することを含み得る。いくつかの実施形態において、力を加えることは、幅の広い端を開口の第 1 端に向かって押すことを含み得る。コイルにおける開口又は空洞は、第 1 端から第 2 端に延在し得る。いくつかの実施形態において、第 1 端における開口の幅は、第 2 端における開口の幅と異なり得、第 1 端における開口の長さは、第 2 端における開口の高さと異なり得る。いくつかの実施形態において、第 1 端における開口の形状、及び、第 2 端における開口の形状は、矩形であり得る (例えば、図 7 B を参照)。電磁コイルは歯の表面に緊密に嵌合するので、いくつかの実施形態において、コイル空洞又は開口の形状は、歯の形状に対応し得る (又は実質的に同様であり得る)。したがって、コイル空洞の第 1 端における開口の周長は、コイル空洞の第 2 端における開口の周長と実質的に同一であり得る (例えば、図 2 6 A ~ 図 2 6 B を参照して歯 1 2 0 の形状の論述を参照)。いくつかの実施形態において、第 1 端におけるコイル開口の面積は、第 2 端における開口の面積から変動し得る。いくつかの実施形態において、コイル開口の面積は第 1 端

から第2端にかけて増加し得る。いくつかの実施形態において、少なくとも1つのウェッジ部分をコイル開口に挿入することは、少なくとも2つのウェッジ部分を開口内に挿入することを含み得る。

【0189】

コイルを歯に装着することは、コア歯部分が少なくとも2つのウェッジ部分の間に配設されるように、コイルをコア歯部分に装着することを含み得る。いくつかの実施形態において、接着材料は、多部品歯の少なくとも2つのウェッジ部分及びコア歯部分を共に取り付けるために使用され得る。多部品歯は、電気機械のステータの一部であり得る。いくつかの実施形態において、多部品歯のコア歯部分は、電気機械の中心軸を囲んで延在する環状ステータリング上に対称的に配置された複数のコア歯部分のうちの1つであり得る。コア歯部分は、ラジアル方向において環状ステータリングから外向きに延在し得る。いくつかの実施形態において、複数のコア歯部分は、環状ステータリングと一体的に形成される。いくつかの実施形態において、中心軸に垂直な平面において、コア歯部分は、実質的に矩形の断面形状を有し得、少なくとも1つのウェッジ部分は、実質的に三角形の断面形状を有し得る（例えば、図23B、図23F、図23Kを参照）。いくつかの実施形態において、ラジアル方向に垂直な平面において、コア歯部分及び少なくとも1つのウェッジ部分は実質的に矩形の断面形状を有し得る。いくつかの実施形態において、コイルは、コイル開口又は空洞を囲んで銅線の巻線を含み得る（例えば、図7A～図7Cを参照）。ワイヤは、正方形、矩形、又は円形の断面形状のうち1つを有し得る（例えば、図7D、図7Eを参照）。いくつかの実施形態において、コイルは、開口を囲んでらせん状構成の銅撚線の巻線を含み得る。いくつかの実施形態において、電気機械は電気モータであり得る。いくつかの実施形態において、電気機械が発電機であり得る方法。

【0190】

電気機械の不規則形状の多部品歯上でコイルを組み立てる例示的な方法は、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける開口から外に延在するように、多部品歯の少なくとも1つのウェッジ部分をコイルの開口内に挿入する段階を含み得る。方法は、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける開口から外に延在したままとなるように、挿入された少なくとも1つのウェッジ部分を有するコイルを多部品歯のコア歯部分上に装着する段階を含み得る。方法は、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端に力を加えて多部品歯上でコイルを締め付ける段階を含み得る。

【0191】

図47は、コイルを多部品歯上に設置する例示的な方法のフローチャートを図示する。図45A～図46Cを追加的に参照すると、方法は、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端（第2端128）がコイルにおける開口から外に延在するように、多部品歯120の少なくとも1つのウェッジ部分（例えば、追加歯部分124A、124B）を開口（例えば、コイル300の空洞320）内に挿入する段階を含み得る（段階810）。方法はまた、少なくとも1つのウェッジ部分の幅の広い端がコイルにおける開口から外に延在したままであるように、挿入された少なくとも1つのウェッジ部分124A、124Bを有するコイル300を多部品歯120のコア歯部分122上に装着する段階を含み得る（段階820）。方法は更に、少なくとも1つのウェッジ部分124A、124Bに力（例えば、図46Cの力F）に加えて、幅の広い端128をコイルにおける開口内に押し込む段階を含み得る。外側ロータ組立体を組み立てる方法において、コイルにおける開口は、第1端から第2端に延在し得、少なくとも1つのウェッジ部分の挿入は、幅の広い端が開口の第2端から外に延在するように、少なくとも1つのウェッジ部分を開口内に挿入することを含み、力を加える段階は、開口の第1端に向かって幅の広い端を押し込む段階（段階830）を含む。

【0192】

本開示の電気機械についてのコイル300を形成する例示的な方法は下に記載される。いくつかの実施形態において、コイルは不規則形状のコイルであり得る。本明細書において使用される場合、不規則形状のコイルという用語は、コイルの断面がその長さに沿って

変動することを示す。図 6 A～図 7 C を参照して以前に説明されたように、本開示のコイル 300 は、第 1 端 322 から第 2 端 324 に延在する空洞 320 を含み得る。いくつかの実施形態において、不規則形状のコイルの空洞 320 の断面に関する寸法は、第 1 端 322 及び第 2 端 324 の間の距離（例えば長さ）の少なくとも一部に沿って変動する。いくつかの実施形態において、断面積は第 1 端 322 から第 2 端 324 に変動する。本開示の不規則形状のコイルを形成する様々な実施形態は、コイルを形成すること、マンドレルを囲んでワイヤを巻いてマンドレルの形状にコイルを形成すること、コイルをマンドレルから除去すること、及び、機械的な力をコイルに加えて歯の形状に対応するようにコイルの形状を変化させることを含み得る。歯は電気機械のステータ又はロータの部品であり得る。いくつかの実施形態において、コイルは次に歯に装着され得る。

10

【0193】

本明細書において使用される場合、「マンドレル」という用語は、第 1 形状のコイルを形成するように、コイルを形成するワイヤ又は箔が支持され、又は巻かれるデバイス（シャフト、スピンドル、又はワークピース）を指す。いくつかの実施形態において、マンドレルは、シャフト又はロッド（例えば円柱状シャフト）であり得る。任意のタイプの機械的な力（圧縮力、張力、引く、押す、など）がコイルに加えられ、その形状を変化させ得る。いくつかの実施形態において、機械的な力は、結果としてコイルの変形をもたらし得る。図 6 A～図 7 E を参照して以前に説明されたように、本開示のコイル 300 は、ワイヤ又は箔からできていることがあり得る。コイルがワイヤからできているいくつかの実施形態において、ワイヤは、シングルストランドワイヤ又はマルチストランドワイヤを含み得る。「ストランド」という用語は、ワイヤの他の電流導体から絶縁された電流伝導体又は導電体を指す。電流又は「導電体」という用語は、1 又は複数の方向に電荷又は電流が流れることを可能にする材料又は物体を指す。いくつかの実施形態において、コイルを形成するワイヤは共に燃られ得る。すなわち、ワイヤのストランドは共に燃られ得る。いくつかの場合において、ストランドを共に燃ることは、渦電流損を低減することを助け得る。

20

【0194】

図 48 A～図 48 D は、例示的な実施形態におけるコイル 300 を製造する段階を図示する。図 48 A に示すように、コイル 300 はワイヤ 314 からできていることがあり得る。ワイヤ 314 は、シングルストランドワイヤ又はマルチストランドワイヤ 314 であり得る。コイル 300 は、ラジアル方向においてらせん状の形態で巻かれ得る。いくつかの実施形態において、コイル 300 は、円柱状マンドレルを囲んで巻かれ、らせん状の形状の巻線を形成し得る。したがって、円柱状マンドレル上に巻いた後のコイル 300 の第 1 形状は、マンドレルの形状に対応し得る。円柱状マンドレル上に巻いた後に結果として生じるコイル 300 の円柱状の空洞は、空洞の長さに沿って一定の周長及び一定の断面積を有し得る。円柱状マンドレル及び結果として生じる円柱形状は単なる例であることに留意されたい。一般的に、マンドレルは、任意の形状（すなわち、任意の断面形状のロッド）を有し得、マンドレル上で巻いた結果生じるコイルは、対応する断面形状を有し得る。例えば、ワイヤを巻くために使用されるマンドレルが矩形断面形状を有する場合、巻く動作の結果として生じるコイルの空洞も、実質的に同様の矩形断面形状を有する。

30

【0195】

図 48 B に示されるように、コイル 300 は、1 又は複数の隔離マンドレル 956 を使用して、製造ステーション 952 上に配置され得る。隔離マンドレル 956 は、第 1 形状から第 2 形状にコイル空洞の形状を変更するために機械的な力を加える間にコイルを支持し得る。いくつかの実施形態において、製造中にコイル 300 が移動し得ないように、マウント 954 がコイル 300 の一部をステーション 952 に固定し得る。図 48 C に示されるように、コイル 300 の形状を変化させるために、ウェッジマンドレル 958 が隔離マンドレル 956 の間で駆動され得る。内部空洞の壁の直径方向に反対の端を外向きに押すために、ウェッジマンドレル 958 は、2 つの隔離マンドレル 956 の間の間隙を通じて、コイルの空洞内に押し込まれ得る（図 48 B 及び図 48 C を参照）。ウェッジマンドレル 958 を隔離マンドレル 956 の間の空間内に押し込むために、例えば図 48 C にお

40

50

いて示される下向き方向 960 において、力がウェッジマンドレル 958 に加えられ得る。ウェッジマンドレル 958 がコイル空洞内に下向きに移動するとき、隔離マンドレル 956 は、ウェッジマンドレル 958 のウェッジ面によって外向き（図 48C において矢印を使用して示される）に駆動され得る。隔離マンドレル 956 が外向きに移動するとき、コイル空洞の内壁も外向きに押され得る。コイル空洞の直径方向に反対の端に対する、ラジアル方向外向きにおけるこの力の結果として、図 48D に示すように、コイル 300 の第 2 形状が形成され得る。第 2 形状は、歯 120 の形状に対応し得る。すなわち、（図 48A～図 49D を参照して説明される）歯 120 の外部形状と同様に、（図 48B～図 49D に示される）力を加えた後、歯 120 の表面に緊密に嵌合するコイル 300 の空洞 320 は、第 1 端 322 から第 2 端 324 までの長さに沿って実質的に一定の周長を有し得る、一方、長さに沿ったその断面積は変動する。第 2 形状は、矩形又は台形であり得る。いくつかの実施形態において、空洞 320 は、コイル 300 の第 1 端 322 及び第 2 端 324 の間に延在する軸に垂直な平面において矩形断面積を有する 3 次元台形形状を有し得る（例えば、図 6C、図 7A、図 48B～図 48D を参照）。いくつかの実施形態において、コイル 300 の内部空洞の少なくとも一端は、ウェッジマンドレル 958 によって加えられた力の結果として、拡張（又は可塑的に変形）し得る。空洞 320 が第 2 形状であるコイル 300 の例示的な実施形態が、図 6A～図 6D 及び図 7A～図 7B に示されている。以前に説明されたように、ワイヤ 314 は、上に記載した方法においてコイル 300 を形成するために使用されるが、コイル 300 も、箔 312 を使用して同様に形成され得る。

【0196】

図 49A～図 49D は、コイルを製造する別の例示的な方法を図示する。図 49A に示されるように、1 又は複数のガイド隔離マンドレル 962 を使用して、コイル 300 が製造ステーション 952 上に配置され得る。コイル 300 が製造中に移動し得ないように、マウント 954 は、コイル 300 の部分を固定し得る。図 49B に示すように、隔離マンドレル 962 は、下部分 964 及び上部分 966 を含み得る。下部分 964 は、コイル内に駆動されてコイルを形成し得、上部分 966 は、隔離マンドレル 962 を装着 954 に保持するなどのために、隔離マンドレル 962 の移動を制限するように構成され得る。図 49C に示すように、ウェッジマンドレル 958 は、ガイド隔離マンドレル 962 の間で駆動されて、コイル 300 の形状を変化させ得る。力は、製造ステーション 952 の反対のマンドレル 958 に（例えば、示される下向きの方向 958 に）加えられ得、隔離マンドレル 962 は、ウェッジマンドレル 958 のウェッジ面によって駆動され得る。図 49D に示すように、コイル 300 の第 2 形状が形成され得る。第 2 形状は、歯 120 の形状に対応し得る。第 2 形状は上で記載したものと同様であり得る。いくつかの実施形態において、コイル 300 の内部空洞の少なくとも一端は、ウェッジマンドレル 958 によって加えられる力の結果として拡張し得る。コイル 300 の結果として生じる第 2 形状は、図 6A～図 6D 及び図 7A～図 7B に示されるコイル 300 に対して示されるものと同様であり得る。

【0197】

（図 45A～図 46C を参照して）以前に説明されたように、コイル 300 の空洞 320 が歯 120 に緊密に嵌合するように、コイル 300 はロータ又はステータの歯 120 に装着される。いくつかの実施形態において、（例えば図 48A～図 48D 又は図 49A～図 49D を参照して）コイル 300 が上に記載されたように形成された後に、その空洞 320 の形状は、歯 120 の形状に十分対応しないことがあり得る。そのようないくつかの実施形態において、コイル 300 が上に記載されたように形成された後に、コイル 300 の外面及び／又は空洞 320 の内壁に力が加えられ、空洞 320 の形状を歯 120 の形状に仕上げ（又は微調整）し得る。図 50A～図 50D は、コイルを製造する例示的な方法の図を図示する。図 50A～図 50B に示されるように、（図 48A～図 48D 及び図 49A～図 49D を参照して記載された第 2 形状に空洞の形状を変化させた後の）コイル 300 は、その空洞が突出部を囲んだ状態で突出部 576 上に配置され得る。コイル 300 が突出部 576 上に位置されると、ブロック 572、574 の形成により、コイル 300

の外面に接触し、機械的な力（例えば圧縮力）を加え、コイル３００の形状を変化させ得る。図５０Ｃ～図５０Ｄに示されるように、ブロック５７２、５７４を形成することは、突出部５７６に向かって（例えば力５７８で）内向きに駆動され、コイル空洞の形状が最終的な所望の形状に変化し得る。結果として生じるコイル３００の形状は台形であり、（図４８Ａ～図４９Ｄを参照して記載される）多部品歯１２０の形状に対応し得る。いくつかの実施形態において、ブロック５７４（又は５７２）の反対に位置される１対のみが、突出部５７６に装着されたコイル３００に対して圧縮力を加え得る。いくつかの実施形態において、反対に位置するブロック５７４の第１の対は、圧縮力をコイル３００に加えて、反対に位置するブロック５７２の第２の対は、コイル表面上に単に置かれ、例えば、力を加える結果としてブロック５７２の方向に膨張することを防止し得る。

10

【０１９８】

いくつかの実施形態において、コイル空洞の形状を最終的な所望の形状に仕上げるためにウェッジピースが使用され得る。図５１Ａ～図５１Ｂは、コイルを製造する方法の図を図示する。図５１Ａ～図５１Ｂに示されるように、ウェッジマンドレル５８２及びベース５８４は、コイル３００の空洞３２０の形状を仕上げるために使用され得る。いくつかの実施形態において、ウェッジマンドレル５８２は、コイル３００の空洞３２０において（例えば、図５１Ａにおける上方及び下方に）移動させられ、空洞３２０の内壁を最終的な所望の形状に仕上げ（又は微調整し）得る。いくつかの実施形態において、図５１Ｂに図示されるように、ウェッジマンドレル５８２は、ベース５８４に対してコイル３００の片側に対して圧迫され、コイル空洞の片側の形状を最終的な所望の形状に仕上げ得る。いくつかの実施形態において、コイル３００は反転され、プロセスが反復され、他の側を形成又は仕上げ得る。マンドレル５８２は、コイル３００内に台形を形成するようにウェッジ形状であり得る。いくつかの実施形態において、他の端（例えばクランプ）において内部空洞のサイズを減少するために機械的な力が使用され得る一方で、マンドレル５８２がベース５８４に対して圧迫される。そのような実施形態において、マンドレル５８２は、コイル３００の中心軸（例えば、図６Ｄに示す軸２０００）から離れる方向に作用し得、他の端において内部空洞のサイズを減少させる機械的な力は、コイル３００の中心軸に向かう方向に作用し得る。

20

【０１９９】

図５２は、電気機械のステータ又はロータの歯１２０に装着するためのコイルを製造する方法９４０を図示する。方法９４０の段階は、マンドレルの周りにワイヤ（又は箔）を巻いて、マンドレルの形状に対応する第１形状を有するコイルを形成する段階９４２を含み得る。例えば、いくつかの実施形態において、ワイヤ３１４（又は箔３１２）は、円形ロッド又はシャフトを囲んで巻かれ得、それを通る円柱状空洞を有するワイヤ３１４の円柱状の巻線を形成する（又は変形する）。方法９４０の段階は、第１形状を有するコイルをマンドレルから除去する段階９４４を含み得る。例えば、円形シャフトにワイヤが巻かれて円形コイルを形成する一実施形態において、コイルはシャフトから除去され得る。段階９４６において、段階９４４でコイルがマンドレルから除去されるときに円形形状を保持するように、ワイヤの材料は可塑的に変形され得る。方法の段階は、コイルに機械的な力を加えて、コイルの形状を第１形状から歯に対応する形状に変化させる段階９４６を含み得る。例えば、歯が矩形形状を有する場合、この段階において、ワイヤの円形コイルに機械的な力が加えられ、その結果、円柱状の空洞の形状が矩形断面形状を有する空洞に変化する。方法の段階は、第２形状のコイルを歯に装着する段階９４８を含み得る。

30

40

【０２００】

いくつかの実施形態において、ワイヤのコイルは、複数のストランドの導電体から形成され得る。ワイヤは任意の数（例えば、２～３０００）のストランドを有し得る。いくつかの実施形態において、ワイヤ３１４は、導電体を共に撚ることによって形成されるか、又は、リッツ線の形態できていることがあり得る。リッツ線は、個別に絶縁及び撚られ、又は共に織られ得る多くのワイヤストランドからできている。いくつかの場合において、リッツ線は、複数のワイヤストランドの間で電流を等しく分配することを助け得、それに

50

よって、その抵抗を低減する。

【0201】

ワイヤ314は円形断面形状又は矩形断面形状を有し得る。以前に説明されたように、本開示のコイル300は、ワイヤ314又は箔312を使用して作られ得る。上で記載されたコイル製造方法810は、ワイヤ314を使用して記載されているが、これは単なる例であることに留意されたい。方法910はまた、箔312を使用して実行され得る。簡潔にする目的で、コイル300を製造する方法がワイヤ314を参照して記載される。コイル300はまた、同様の方式で箔312を使用して形成され得る。

【0202】

段階920を参照すると、ワイヤ314がマンドレルに巻かれ、任意の形状（すなわち任意の第1形状）を有するコイルを形成し得る。いくつかの実施形態において、コイルの第1形状は円柱形状又は台形形状であり得る。すなわち、ワイヤ314をマンドレルに巻いた結果として形成されたコイルは、その長さに沿って延在する円柱状（又は台形）の空洞320を有し得る。いくつかの実施形態において、マンドレルの周りにワイヤ314を巻く段階（すなわち段階920）は、第1端322から第2端324に延在する内部空洞320を有するコイルを形成することを含む。いくつかの実施形態において、コイルに機械的な力を加える段階（すなわち段階940）は、第1端322又は第2端324の1つにおいて内部空洞320のサイズを選択的に増加させることを含む。いくつかの実施形態において、コイルに機械的な力を加える段階（すなわち段階940）は、内部空洞320の形状を変化させることを含み得る。例えば、内部空洞320の断面形状は、1つの形状（例えば、円形断面形状）から異なる形状（例えば、矩形断面形状）に変更され得る。いくつかの実施形態において、内部空洞の形状を変化させることは、内部空洞の中心軸に垂直な平面に沿った内部空洞の断面形状を円形形状（例えば図49Aを参照）から台形形状（例えば図50C～図50Dを参照）に変化させることを含み得る。

【0203】

いくつかの実施形態において、台形形状の幅及び高さの両方は、第1端から第2端に変動し得る（例えば、図7B、図48A～図48Dを参照）。いくつかの実施形態において、台形形状の周長は、第1端から第2端にかけて実質的に一定であり得、台形形状の面積は第1端から第2端に変動する。いくつかの実施形態において、台形形状の面積は第1端から第2端に増加する。いくつかの実施形態において、コイルに機械的な力930を加える段階は、コイルの内部空洞に第2マンドレルを挿入して、内部空洞の第2端の形状と比較して、内部空洞の第1端の形状を変化させることを含み得る。「第2マンドレル」という用語は、コイルの形状を円柱状から台形に変化させるように構成されている中実材料を示す。

【0204】

コイルに機械的な力930を加える段階は、第1の機械的な力（例えば方向960の機械的な力）を加えて、第1端又は第2端の一方において内部空洞の寸法を増加させ、第2の機械的な力を加えて、第1端又は第2端の他方において内部空洞の寸法を減少させることを含み得る。いくつかの実施形態において、第1の機械的な力は、内部空洞の中心軸に向かって作用し得、第2の機械的な力は、中心軸から離れるように作用する。いくつかの実施形態において、機械的な力930をコイルに加える段階は、内部空洞の第1端又は第2端のうちの少なくとも1つを画定するコイルのワイヤを伸ばすことを含む。いくつかの実施形態において、ワイヤは銅からできていることがあり得る。

【0205】

本開示の様々な実施形態は電気機械を含む。本明細書において使用される場合、電気機械（electric machine又はelectrical machine）は、電磁力に基づいて動作するデバイスであり得る。一般的に、電気で作動する、又は、電気を生成する任意のタイプの電気機械的エネルギー変換器が電気機械であり得る。必要ではないが、いくつかの実施形態において、電気機械は、電気モータ又は発電機であり得る。動作中、電気機械は磁束を生成する。ラジアルフラックス電気機械において、生成された

10

20

30

40

50

磁束の少なくともいくつかの部分は、機械の回転軸に垂直に延在し得る。電気機械は、空隙によって隔離されたステータ及びロータを含み得る。ラジアルフラックス電気機械において、動作（又は主な）磁束は、ラジアル平面における空隙を通じて、ロータとステータとの間に延在し得る。

【0206】

図53、図54及び図55は、例示的な電気機械10の異なる図を描写する。例示的な電気機械10は、ステータ100、ロータ200、ベースプレート56、複数の歯120、及び電磁コイル300を含み得る。電気機械10は、ハウジング50を有する空気冷却システムであり得る。外部リブ52は、端シールド54とステータベースプレート56との間のハウジング50の表面上に位置し得る。図53に図示されるように、ステータベースプレート56は、そこから延在する複数のピン58を含み得る。外部リブ52及びピン58は、動作中に電気機械10によって生成された熱を周辺の空気に伝達することを助け得る。下の論述において、電気モータの形態の電気機械10が記載される。しかしながら、当該記載は、例えば発電機などの他のタイプの電気機械に等しく適用可能である。電気機械10が動作するとき、そのシャフト20は回転し得る。電気機械10のコンポーネントは、下でより詳細に記載される。

【0207】

本開示の電気機械は、回転軸の周りを回転するように構成されているロータ、及び、回転軸の周りにステータコア上に環状に配置された複数の歯を有するステータを含み得る。一般的に、ステータは、電気機械の任意の静止コンポーネント（又はコンポーネントの組立体）であり得、ロータは、ステータに対して移動するように構成されている任意の電気機械コンポーネント（又はコンポーネントの組立体）であり得る。いくつかの実施形態において、ステータは、ロータに対して固定されて位置付けられ得る。いくつかの実施形態において、ロータは、ステータに対して回転軸の周りを回転するように構成され得る。ロータは、ロータと共に回転するシャフト（ロータシャフト）に連結され得る。ロータ（及びシャフト）がその周りを回転する軸は、「回転軸」と称され得る。本明細書において使用される場合、複数の歯は、ボディから突出する突起を指し得る。歯は、ボディから突出する一連の実質的に同様の突起を含み得る。例えば、ステータが歯を含む実施形態において、ステータのボディ又はコアから突出する一連の実質的に同様の突起は歯を含み得る。追加的に、又は代替的に、ロータが歯を含む実施形態において、ロータのボディ又はコアから突出する一連実質的に同様の突起は、歯を含み得る。ラジアルフラックス電気機械において、歯はラジアル平面において突出し得る。換言すると、ラジアル平面における歯は、ラジアル方向において（内向き又は外向きに）突出し得る。各突起は歯を形成し得る。典型的には、突起（又は歯）は、ステータとロータとの間で磁束の大部分を誘導するように構成され、又はそのような形状であり得る。

【0208】

ステータコアは、単一又は複数の部品からできていることがあり得るステータのメインボディを指し得、回転する磁場を支持及び保護し得る。ステータコアは、電気機械の磁束を伝導するために軟磁性材料からできていることがあり得る。回転軸の周りに、ステータコア上に環状に配置された複数の歯は、回転電気機械のロータシャフトの軸の周りに、ラジアル平面においてコアから突出する歯を指し得る。いくつかの実施形態において、ステータコアは、回転軸を囲んで延在する環状ステータリングを含み得、複数の歯の各歯は、環状ステータリングと一体のコア歯部分を含み得る。環状ステータリングはリング形状構造を指し得る。リング形状構造は、電気機械の回転軸を囲んで配設され得る。コア歯部分は、ラジアル平面におけるステータリングの環状ステータリングから突出する部品を指し得る。「一体」という用語は、本明細書において、2つの部品が接続されて、部品の完全性を破壊することなく事実上取り外すことができない単一部品を形成することを示すために使用され得る。いくつかの場合において、2つの一体的に形成された部品は単一部品として形成され得る。追加的に、又は代替的に、複数の歯の各歯は、コア歯部分と非一体的に形成された1又は複数の追加歯部分を含み得る。1又は複数の追加歯部分がコア歯部分

10

20

30

40

50

と非一体的に形成されるとは、環状ステータリングから容易に分離され得る方式で、1又は複数の追加歯部分が共に取り付けられることを指し得る。いくつかの実施形態において、追加歯部分はウェッジ形状であり得る。いくつかの実施形態において、追加歯部分の対は、コア歯部分の対向する両側に配置された歯部分を含み得る。別の例として、追加歯部分の対はまた、コア歯部分の上面及び底面上に配置された歯部分を含み得る。

【0209】

特定の実施形態において、すべての歯部品が共に組み立てられるとき、各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定し得、2組の各組の対向する面は互いに非平行であり、2組の対向する面の各面はラジアル方向に傾斜し得る。すなわち、例えば、面A～面Dを有する歯については、面A及び面Bの対は互いに非平行であり得、面C及び面Dの別の対は、互いに非平行であり得る。追加的に、又は代替的に、隣接する歯の対向する面は互いに実質的に平行であり得る。すなわち、例えば、1つの歯の面Cは、隣接する歯の面Dに平行であり得る。隣接する歯の間に形成されるスロットがラジアル方向において一定の幅を有するように、対向する両側面は、互いに平行であり得る。いくつかの実施形態において、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は矩形形状を有し得、断面の周長は、ラジアル方向に実質的に一定であり得、断面の面積はラジアル方向において変動し得る。

【0210】

図53は、電気機械10のアキシャル平面に沿った電気機械10の断面図を図示する。図53において、電気機械10の回転軸1000はアキシャル平面内に存在し、アキシャル平面は、電気機械10を2つの対称的な半分に二分する。ラジアル平面は、回転軸に垂直に延在し、回転軸1000は、ラジアル平面に垂直に（例えば、本文書に入る、及び、本文書から外に出る方向に）延在する。電気機械10はステータ100及びロータ200を含み得る。ロータ200は、回転軸1000の周りをステータ100に対して回転するように構成され得る。ステータ100は、複数の歯120を含むステータコア110を含み得、ロータ200は、複数の永久磁石220を設置されたロータコア210を含み得る。電磁コイル300は、ステータ100の歯120に環状に装着され得る。ロータ200は、回転軸1000の周りを回転するように構成され得るシャフト20に接続され得る。電力が電磁コイル300に提供されるとき、磁場が生成され得る。生成された磁場に基づいて、磁束がロータ200とステータ100との間を流れ得、それによって、回転力をロータ200に提供する。電気機械10は、任意の適切な適用において、電源として使用され得る。例えば、自動車において、電気機械10は、自動車の車輪を駆動し得る。

【0211】

電気機械10のステータ100は、ステータ100のステータコア110上に、回転軸1000の周りに環状かつ対称に配置された複数の歯120を含み得る。各歯120は、共に配置されて複合体又は多部品歯120を形成し得る複数のピース又は部品を含み得る。各歯120は、アキシャル平面及びラジアル平面の両方において矩形又は台形断面形状を有し得る。各歯120の幅及び長さはラジアル方向において変動し得る。すなわち、図53に図示されるように、歯120の長さは、歯120のラジアル方向外向きにおいて（ラジアル軸2000に沿って） l_1 から l_2 に変動し得、歯120の幅は、歯120のラジアル方向外向きに変動し得る（示されない）。図54に描写される電気機械10など、いくつかの実施形態において、歯は、コア歯部分122、及び、コア歯部分122の対向する両側面に位置する追加歯部分124A及び124Bの対を含み得る。

【0212】

本開示の電気機械は複数の電磁コイルを含み得る。電磁コイル（又は電気コイル）は、電流が（例えば電気モータにおける）導体を通過するときに磁場を生成し得る、又は、磁場がコイルを通過するときに導体に電圧を生成し得る導電体の1又は複数の巻いたもの（又は巻線）を含み得る。いくつかの実施形態において、導電体を巻いたものは、コイルのような構成又は形状であり得る。いくつかの実施形態において、電磁コイルは、強磁性コアを囲んで掛けられるように構成され得る一連の伝導性ワイヤを含む導電体であり得る。一般的に、本開示の電磁コイルは、電気機械のステータ又はロータと関連付けられ得る。

すなわち、いくつかの実施形態において、複数のコイルはロータに連結され得（例えば、装着され、設置され、巻かれ）、他の実施形態において、複数のコイルはステータに連結され得る。いくつかの実施形態において、複数の電磁コイルの各コイルは、複数の歯の別個の歯に装着され得る。これらの実施形態において、ステータコアから突出する複数の歯の各歯は、導電体の１又は複数の巻いたものを含む電磁コイルを含み得る。

【０２１３】

図５４は、図５３の例示的な電気機械１０のステータ１００の透視図を描写し、図５５は、アキシャル平面におけるステータ１００の断面図を描写する。各電磁コイル３００は、歯１２０に装着又は設置され得る。いくつかの実施形態において、電磁コイル３００の内面が歯１２０の外面に対して緊密に嵌合するように電磁コイル３００が歯１２０に設置され得る。いくつかのそのような実施形態において、電磁コイル３００の外部形状（又は輪郭）は、それが装着された歯１２０の外部形状と実質的に同一であり得る。ステータ１００の各歯１２０は、隣接する歯１２０に装着された電磁コイル３００を収容し得るスロット１６０によって、隣接する歯１２０から隔離され得る。歯がコア歯部分１２２及び追加歯部分１２４Ａ及び１２４Ｂを含む実施形態において、コア歯部分１２２の外表面と電磁コイル３００の内面との間に１又は複数の間隙が形成された状態で、電磁コイル３００がコア歯部分１２２を囲んで延在するように、各多部品歯１２０のコア歯部分１２２は、電磁コイル３００に装着され得る。そのような実施形態において、コア歯部分１２２の対向する両側面と電磁コイル３００の内面との間に２つの間隙が形成され得、追加歯部分１２４Ａ又は１２４Ｂの１つは、一方の間隙内に位置し得、他方の追加歯部分１２４Ｂ又は１２４Ａは、他方の間隙内に位置し得る。ステータ１００は歯１２０を含むように記載されているが、いくつかの実施形態において、ロータ２００は代替的に、又は追加的に、歯１２０を含み得ることに留意されたい。

【０２１４】

本開示の電気機械は、複数の電磁コイル及びステータコアに隣接するように位置するベースプレートを含み得る。ベースプレートとは、ステータコア及び電磁コイルをその上で組み立て得るようにステータに取り付けられたピース又は部品の組み合わせを指し得る。ベースプレートは、熱をそのソースから伝導及び除去するために熱伝導性材料からできていることがあり得る。例えば、ベースプレートはアルミニウムから形成されることがあり得る。複数の電磁コイル及びステータコアが動作中に加熱するときベースプレートが複数の電磁コイル及びステータコアについての共通のヒートシンクとして機能するように構成され得るように、ベースプレートは、複数の電磁コイル及びステータコアと熱的に接触し得る。熱的に接触（又は熱的に接続）とは、それらの間に良好な熱交換が生じるようなベースプレートと複数の電磁コイルとの間の近接性を指す。いくつかの実施形態において、２つのボディが熱的に接触し、又は、熱的に接続されているとき、２つのボディの間の熱交換が、伝導伝熱機構によって生じ得る。すなわち、２つのボディは物理的に接触し得る。２つのボディは熱的に接続される（又は熱的に接触する）ときに物理的に直接接触し得るが、これは必須ではない。例えば、熱的に接触している２つのボディは、２つのボディ間に配設されたサーマルインタフェースマテリアル（例えば、熱伝導性グリースなど）を介して互いに物理的に接触し得る。サーマルインタフェースマテリアルがこのように配設される場合、伝導伝熱が、その間のサーマルインタフェースマテリアルを通じて、（熱的に接触する）２つのボディの間で発生する。共通のヒートシンクとは、複数の電磁コイル及びステータコアによって生成された熱を、電気機械から熱を放散して電気機械の温度の制御を可能にし得る流体媒体、例えば、空気又はクーラント液に伝達し得る受動熱交換器を指し得る。

【０２１５】

いくつかの実施形態において、複数の電磁コイルの各コイル及び／又はステータコアは、直接的に、又は、それらの間に配設された熱伝導性材料を通じて、ベースプレートに接触し得る。熱伝導性材料とは、システム間の熱エネルギーの交換及び伝達を改善する材料を指し得る。上に記載したサーマルインタフェースマテリアルは熱伝導性材料であり得る

。熱伝導性材料の厚さ及びその熱伝導性は、熱エネルギーの交換及び伝達に影響を与え得る。したがって、いくつかの実施形態において、複数の電磁コイルとステータコアとの間に配設された熱伝導性材料及びベースプレートは、その熱抵抗を低減するために、熱伝導性材料の薄い層であり得る。熱伝導性材料の厚さは適用に依存する。熱伝導性材料の熱伝導性が高い適用では、熱伝導性材料の厚さはより高いことがあり得る。

【0216】

いくつかの実施形態において、電気機械は更に、ベースプレートに熱的に接続されたモータハウジングを含み得、複数の電磁コイル及びステータコアによって生成された熱がベースプレート及びモータハウジングを通じて放散することを可能にする。モータハウジングとは、電気機械のステータ及びロータを内部に収容するように構成され得るケーシングを指し得る。モータハウジングは、熱伝導性材料からできていることがあり、伝熱表面を増加させるためのリブを含み得る。いくつかの実施形態において、ベースプレートは、第1側、及び、第1側の反対の第2側を含み得、複数の電磁コイル及びステータコアは、ベースプレートの第1側と熱的に接触し得、モータハウジングは、ベースプレートの第2側と熱的に接触し得る。側とは、ベースプレートの縦、上、下、前、又は裏であり得る、ベースプレートの表面を指し得る。特定の実施形態において、ベースプレートの第2側は、そこから延在する冷却フィンを含み得る。冷却フィンは、対流を増加させることによって、環境への、又は環境からの伝熱の速度を増加させる物体から延在する表面を指し得る。冷却フィンは、物体の表面積を増加させ、その結果、伝熱の問題に対する経済的かつ十分な解決法をもたらし得る。冷却フィンは、伝熱表面を増加させるために、熱伝導性材料からできていることがあり得る。冷却フィンは、任意の形状及び構成を有し得る。いくつかの実施形態において、冷却フィンは、ベースプレートから突出するプレート状構造を含み得る。いくつかの実施形態において、冷却フィンは複数のピンを含み得る。ピンは、任意の断面形状（例えば、円形、正方形、矩形など）を有し得、熱を除去できる面積を増加させることによって、表面からの伝熱を強化し得る。いくつかの実施形態において、ピンは、他のヒートシンクの方法と比べて、大きい表面積を有し得るので、効率的な冷却の解決法を呈し得る。加えて、ピンの間の空間は、空気がこれらの空間を流れて表面に乱流を形成することを可能にし得る。乱流は、フィンの表面に存在し得る任意の境界層を崩すこと（及び、表面の対流伝熱係数を増加させること）を助け得る。ピンのヒートシンクは、ベース、及び、組み込まれたピンのアレイから成り得、その寸法（例えば、長さ、厚さ、密度、材料）は、関連する熱負荷、利用可能な空間、及び空気流に応じて、様々な適用に合うようにカスタマイズされ得る。

【0217】

いくつかの実施形態において、ベースプレートは、回転軸を囲んで延在する円柱状ハブ部分を含み得る。本明細書において使用される場合、円柱状ハブ部分は、ステータコアを固定するように機能する円柱状構成を有するベースプレートの部分を指し得る。円柱状ハブ部分は、熱をそのソースから伝導及び除去するために熱伝導性材料からできていることがあり得る。追加的に、ステータコアは、ベースプレートの円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングを含み得る。本明細書において使用される場合、環状ステータリングはリング形状構造であり得る。リング形状構造は、電気機械の回転軸を囲んで配設され得る。円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングは、円柱状ハブ部分の側方を囲むような方式で円柱状ハブ部分を完全又は部分的にカバーする環状ステータリングを指し得る。いくつかの実施形態において、環状ステータリングの内側環状面は、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて、ベースプレートの円柱状ハブ部分の外側環状面と接触し得る。いくつかの実施形態において、ベースプレートは、ロータが回転するとき、空気を複数の電磁コイルへ誘導するように構成されている通気口を含み得る。通気口とは、それを通る空気の流入を可能にする経路、開口、空洞、又は排出口を指し得る。いくつかの実施形態において、通気口は、通気口を通じて空気を出すために、ファンブレードと同様に動作するベーンに関連付けられ得る。通気口（及び、ある場合はベーン）は、電気機械を冷却するために空気流を誘導するように設計及び構成され得る。

【0218】

図54、図55及び図56において、電磁コイル300は、ベースプレート56とステータ100の歯120との間に密に嵌合することが示されている。電磁コイル300は、ベースプレート56の第1側602及び歯120と直接接触し得、又は、熱伝導性フィラー材料を介して、ベースプレート56の第1側602及び歯120と熱的に接触し得る。ステータコア110は、ステータ100の円柱状ハブ部分132に対して緊密に嵌合し得る。ハブ部分132はステータベースプレート56に接続され得る。ベースプレート56及びその円柱状ハブ部分132は、1つの単一ピース、又は、2つの別個の部品の形態で作られ、熱伝導性材料、例えばアルミニウムからできていることがあり得る。ステータベースプレート56の第2側604は、ピン58の形態でできている冷却フィンを備え得、それにより、ステータベースプレート56の第2側604の冷却表面を著しく増加させ得る。電磁コイル300はまた、熱伝導性フィラーの助けによりその上に装着されるステータコア110の歯120に密に嵌合する、又は、接触し得る。電気機械の動作中、図53に概略的に図示されるように、（例えば、コイルを通過する電流に起因して）電磁コイル300において生成される熱の一部は、歯120及び円柱状ハブ部分132を通じてベースプレート56に伝導し得る。

10

【0219】

図53にも図示されるように、コイル300において生成される熱の一部は、熱的に接触しているベースプレート56に直接伝導し得る。（コイル300とベースプレート56との間の）直接的な物理的接触に起因して、コイル300がベースプレート56に熱的に接触する実施形態において、コイル300からの熱は、ベースプレート56へ直接伝導し得る。熱伝導性材料（又は熱伝導性フィラー）がコイル300とベースプレート56との間に設けられる実施形態において、コイル300からの熱は、熱伝導性材料を通じてベースプレート56に伝導し得る。したがって、コイル300とベースプレート56との間の熱的接触は、熱がコイル300から外に伝導するための追加の短い経路を提供する。コイル300はベースプレート56と熱的に接触するので、この経路を通じて、熱がコイル300からベースプレート56に容易に通過し得る。すなわち、歯120及び円柱状ハブ部分132を介して熱がコイル300からベースプレート56に通過することとは対照的に、コイル300とベースプレート56との間の熱的接触は、ベースプレート56へのより直接的な熱伝導経路を提供する。次に、ベースプレート56の第2側604上のピン58を越える空気流が、ベースプレート56からの熱を除去し得る。

20

30

【0220】

したがって、上の論述から、電磁コイル300及び歯120を有するステータコア110によって生成された熱は、ステータベースプレート56及びその円柱状ハブ部分132を通じて伝導され、環境内に放出されることが理解され得る。加えて、図53に図示されるように、ステータベースプレート56からの熱の一部は、それに接続されたハウジング50を通じて通過し得、また、その外側リブ52を通じて環境内に放出され得る。ハウジング50は、熱導電性材料からできていることがあり得る。ステータベースプレート56は、電気機械10のための空気冷却ラジエータとして作用し得る。加えて、図53は、コイル300からベースプレート56への例示的な熱伝導経路600を描写する。

40

【0221】

ハウジング50の内面、及び／又は、ロータ200の外表面はまた、内部リブ又はフィン（示されない）を有し得る。電気機械10のためのこれらのフィン、通気孔と同様に、ロータ200が回転するときに空気を攪拌することを意図するものであり得る。これにより、熱が、磁石及びロータコアの形態の熱源から除去され、ハウジング50へ、更には環境内へ伝達されることが可能となり得る。

【0222】

上の論述において、電気機械10は、空気冷却機械として記載されている。しかしながら、これは単なる例である。いくつかの実施形態において、電気機械10は液体冷却され得る。本開示の電気機械は、冷却液体を誘導するように構成されているクーラント液チャ

50

ネルを含み得る。冷却液体（又はクーラント）は、コイル３００によって生成された熱を電気機械から除去し得る。いくつかの実施形態において、動作中にコイル及びステータコアが加熱につれて、ベースプレートが、熱をクーラント液チャンネルにおけるクーラント液に伝達して、複数の電磁コイル及びステータコアから熱を放散するように構成されるように、クーラント液チャンネルがベースプレートの第２側で画定され得る。いくつかの実施形態において、クーラント液チャンネルは、ベースプレートを通じて画定され得る。クーラント液チャンネルとは、液体の流れを可能にするように構成されている空洞又は経路を指す。液体は、チャンネルの壁から熱を除去するように構成され得る。クーラント液チャンネルを流れるように構成されている任意の液体はクーラントとして機能し得る。チャンネルを流れる液体の温度が、冷却される部品より低いとき、液体は、部品から熱を除去し、それによって、部品を冷却する。任意の知られたクーラント液（例えば、水、油、グリコール混合物、誘電流体；など）が、クーラント液チャンネルを通じて誘導され得る。

10

【０２２３】

いくつかの実施形態において、クーラント液チャンネルの壁は、複数の電磁コイルに熱的に接触しているベースプレートの第１側の部分の直接反対にあるベースプレートの第２側の部分であり得る。ベースプレートの第２側の環状領域がクーラント液チャンネルの壁として機能し得るように、クーラント液チャンネルは、回転軸を囲んで延在し得る。追加的に、又は代替的に、ベースプレートの第２側の環状領域は、クーラント液チャンネル内に延在する複数のフィンを含み得る。複数のフィンは回転軸の周りに配置され得る。フィンは、クーラント液チャンネルを流れるクーラント液によって熱を除去できる表面積を増加させ得る。いくつかの実施形態において、フィンはピンの形態であり得る。以前に説明されたように、ピンは、ベースプレートの第２側からクーラント液チャンネル内に突出する（任意の断面形状の）円柱状の突起であり得る。いくつかの実施形態において、クーラント液チャンネルは、クーラント吸入口及びクーラント排出口を有し得る。クーラント吸入口は、クーラントをクーラント液チャンネル内に誘導するように構成され得、クーラント排出口は、クーラントをクーラント液チャンネルから外に誘導するように構成され得る。クーラントを（例えば、チャンネルに入るように、又は、それから外に出るように）誘導するように構成されている任意の開口は、クーラント吸入口及びクーラント排出口として機能し得る。

20

【０２２４】

いくつかの実施形態において、クーラント吸入口及びクーラント排出口は、流体フィッティング（カップリングなど）を有し得、又は、そうでない場合、密封方式でクーラントをチャンネル内に、又はチャンネルから外に誘導するように構成され得る。いくつかの実施形態において、クーラント吸入口及び／又はクーラント排出口は、ラジエータ又は熱交換器に流体的に接続され得る。熱交換器は、クーラントから熱を除去するように構成され得る。いくつかの実施形態において、クーラント排出口からの加熱されたクーラントが熱交換器において冷却され、クーラント吸入口を通じて電気機械内に再び誘導されるように、クーラント吸入口、熱交換器、及びクーラント排出口は、閉ループを形成し得る。任意のタイプの熱交換器が使用され得る。いくつかの実施形態において、クーラント排出口は、電気機械を一部として有するシステムの共通の熱交換器（又はラジエータ）に流体的に接続され得る。例えば、電気機械が電気自動車の部品である（例えば、電気自動車の車輪に動力を提供するために使用される）実施形態において、クーラント排出口は、電気自動車の共通のラジエータに接続され得る。そのようないくつかの実施形態において、電気機械を冷却するために使用されるクーラント液は、電気自動車（又は、電気機械を一部として有する他のシステム）の他のコンポーネントを冷却するために使用されるクーラントであり得る。クーラント液が上で記載されているが、一般的に、任意の流体クーラント（液体又は気体）が電気機械を冷却するために使用され得ることに留意されたい。気体クーラントが電気機械を冷却するために使用される実施形態において、クーラント気体は、ベースプレートにおけるクーラントチャンネルを通じて誘導され得る。

30

40

【０２２５】

図５７～図６０は、液体冷却される、本開示の例示的な電気機械７００の異なる図を図

50

示する。図 5 7 は、ステータベースプレート 5 6 の第 2 側 6 0 4 で画定される例示的なクーラント液チャンネル 7 0 2 を描写する。クーラント液チャンネル 7 0 2 は、ステータベースプレート 5 6 の第 2 側 6 0 4 とハウジング 5 0 のケーシングカバー 7 1 2 との間で画定される空洞であり得る。チャンネル 7 0 2 は、電気機械 7 0 0 の回転軸 1 0 0 0 を囲んで延在し、電気機械を囲んで延在する環状経路を形成し得る（例えば、図 6 0 を参照）。いくつかの実施形態において、図 5 7 及び図 6 0 において最も良く分かるように、チャンネル 7 0 2 は、多部品歯 1 2 0 に装着されたコイル 3 0 0 の直接下に（又は隣接して）位置し得る。チャンネル 7 0 2 のラジアル方向位置（又は、回転軸 1 0 0 0 からのラジアル方向距離）は、コイル 3 0 0 と実質的に同一であり得る。図 5 7 に図示されるように、チャンネル 7 0 2 のラジアル方向寸法（例えば、ラジアル方向幅 r_1 ）も、コイル 3 0 0 のラジアル方向寸法（例えば、ラジアル方向幅 r_2 ）と実質的に同一であり得る（又は対応し得る）。すなわち、環状チャンネル 7 0 2 は、回転軸 1 0 0 0 を囲むコイル 3 0 0 と実質的に同一のラジアル方向サイズを有する経路をたどり得る（例えば、図 6 0 を参照）。単一チャンネル 7 0 2 が図示及び記載されているが、これは単なる例である。いくつかの実施形態において、複数のクーラントチャンネル（例えば、複数のラジアル方向に空間を空けたチャンネル）が設けられ得る。また、図 5 7 のチャンネル 7 0 2 がベースプレート 5 6 の第 2 側 6 0 4 とケーシングカバー 7 1 2 との間に画定されているが、これは単なる例であることに留意されたい。多くの変形例が可能である。いくつかの実施形態において、チャンネル 7 0 2 は、ベースプレート 5 6 を通じて延在し得る。

【0226】

図 5 7 に示すように、チャンネル 7 0 2 を密封して漏洩を防止するために、ベースプレート 5 6 とケーシングカバー 7 1 2 との間にガスケット 7 0 6 が設けられ得る。図 5 7 に示されるように、ベースプレート 5 6 の伝熱表面を増加させるべく、フィン 7 1 6 は、ベースプレート 5 6 の第 2 側 6 0 4 からチャンネル 7 0 2 内に延在し得る。フィン 7 1 6 は、回転軸 1 0 0 0 を囲んで延在し、ベースプレート 5 6 からチャンネル 7 0 2 内に突出する環状プレートからラジアル方向に空間を空けて形成し得る。以前に説明されたように、フィン 7 1 6 の図示されたパターンは単なる例である。多くの他のパターンが可能である。いくつかの実施形態において、フィン 7 1 6 はピンとして構成され得る。すなわち、複数の柱状の突起がベースプレート 5 6 からチャンネル 7 0 2 内に突出し得る。図 5 7 には表示されていないが、ベースプレート 5 6（及び／又はケーシングカバー 7 1 2）はまた、クーラントをチャンネル 7 0 2 内に誘導するように構成されているクーラント吸入口、及び、クーラントをチャンネル 7 0 2 から外に誘導するように構成されているクーラント排出口を含み得る。いくつかの実施形態において、複数のクーラント吸入口及び／又は排出口が設けられ得る。

【0227】

いくつかの実施形態において、クーラント液チャンネルはまた、電気機械 7 0 0 の他のコンポーネントを通じて延在し得る。図 5 8～図 6 0 は、ステータ 1 0 0 の円柱状ハブ部分 1 3 2 を通じた例示的なクーラント液チャンネル 7 0 4 を図示する。いくつかの実施形態において、液体の通過のためのチャンネルはまた、ステータコア 1 1 0 及び／又はハウジング 5 0 を通じて延在し得る。電磁コイル 3 0 0 及びステータコア 1 1 0（及び／又は他のコンポーネント）によって生成される熱は、（例えば伝導によって）ステータベースプレート 5 6 及びその円柱状ハブ部分 1 3 2 を通じて、クーラント液チャンネル 7 0 2 及び 7 0 4 内に通過し得る。チャンネル 7 0 2、7 0 4 を流れる液体は次に、冷却のために熱をラジエータ（示されていない）に伝達し得る。ラジエータからの冷却された液体は、チャンネル 7 0 2 及び／又は 7 0 4 へ再び誘導され得る。いくつかの実施形態において、液体は、圧力を受けてチャンネル 7 0 2 及び／又は 7 0 4 を流れ得る。内部ロータ 2 0 0 を有する電気機械のいくつかの実施形態において、熱を除去するためのクーラントチャンネルが、ハウジング 5 0 の中央部品及びそのベアリング部品内に位置し得る。

【0228】

コイル 3 0 0 をロータベースと熱的に接触した状態に維持することによって電気機械の

コイル 300 を直接冷却することは、コイル 300 を冷却するための、追加のより容易な経路を提供する。すなわち、コイル 300 からの熱を、歯 120、ハブ部分 132、及びベースプレート 56 を介して外部環境に伝達することに依存するのではなく、コイル 300 をベースプレート 56 に熱的に接触した状態に維持することにより、より容易、より効果的なコイル 300 の冷却を可能にする。電気機械の冷却の改善は、結果として、電気機械の効率及び動力の改善をもたらす。

【0229】

電気機械及びその関連する方法の上に記載した実施形態は単なる例である。多くの変形例が可能である。いくつかの可能な変形が、参照によって全体が本明細書において組み込まれる、米国特許第 9,502,951 号及び第 10,056,813 号に記載されている。上に記載された方法は、論じられる、又は示される順序で実行される必要はない。更に、複数の段階が省略され、組み合わせられ、及び／又は、いくつかの段階が追加され得る。更に、電気機械のいくつかの態様が、特定の構成の電気機械を参照して記載されているが、記載される態様は、任意の構成を有する電気機械において使用され得る。電気機械及び関連する方法の他の実施形態は、本明細書の開示を考慮することにより、当業者にとって明らかとなるであろう。

（他の可能な項目）

【項目 1】

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；

ステータ；

ここで、前記ロータ又は前記ステータのうちの少なくとも 1 つは、前記回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含む；及び、

複数の電磁コイル、ここで、前記複数の電磁コイルの各コイルは、それを通る不均一台形空洞を有し、それぞれの空洞は、前記複数の歯のうちの 1 つの歯の中に含むように構成されており、前記複数の歯の各歯は、共に組み立てられたときに前記不均一台形空洞の形状に対応する複数のピースから形成されている、

を備えるラジアルフラックス電気機械。

【項目 2】

各歯の前記複数のピースが共に組み立てられるとき、各歯の外周は、対応するコイルの前記空洞の内周に対応する、項目 1 に記載の電気機械。

【項目 3】

各歯がコア歯部分及び少なくとも 1 つのウェッジ形状部分を含む、項目 1 または 2 に記載の電気機械。

【項目 4】

各歯は、コア歯部分、及び、前記コア歯部分の対向する両側に配設された少なくとも 2 つのウェッジ形状部分を含む、項目 3 に記載の電気機械。

【項目 5】

前記回転軸に垂直な平面において、前記コア歯部分は、実質的に矩形の断面形状を有し、前記少なくとも 1 つのウェッジ形状部分は、実質的に三角形の断面形状を有する、項目 3 または 4 に記載の電気機械。

【項目 6】

ラジアル方向に垂直な平面において、前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つのウェッジ形状部分は、実質的に矩形の断面形状を有する、項目 3 から 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

【項目 7】

各歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つのウェッジ形状部分は、接着材料を使用して共に連結されている、項目 3 から 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

【項目 8】

各歯の前記コア歯部分は、前記回転軸を囲んで延在する環状リングと一体的に形成されている、項目 7 に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

〔項目 9〕

各歯の前記複数のピースが共に組み立てられるとき、各歯は、2組の対向する面を有する外面を画定し、前記2組の各組の前記対向する面は互いに非平行である、項目1から8のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 10〕

隣接する歯の対向する面は互いに平行である、項目9に記載の電気機械。

〔項目 11〕

前記2組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している、項目9に記載の電気機械。

〔項目 12〕

一方の組の対向する面の前記対向する面は、ラジアル方向外向きに互いに向かって近づき、他方の組の対向する面の前記対向する面は、前記ラジアル方向外向きに互いから離れる、項目11に記載の電気機械。

〔項目 13〕

前記回転軸に垂直な平面における各歯の断面は、台形状を有し、ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は矩形形状を有する、項目1から12のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 14〕

ラジアル方向に垂直な前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定である、項目13に記載の電気機械。

〔項目 15〕

前記ラジアル方向に垂直な前記断面の面積は、前記ラジアル方向において変動する、項目14に記載の電気機械。

〔項目 16〕

前記ステータは、前記複数の歯を含み、前記ラジアル方向に垂直な前記断面の面積は、前記ラジアル方向において前記ロータに向かって増加する、項目15に記載の電気機械。

〔項目 17〕

アキシャル平面における各歯の断面は等脚台形状を有する、項目13から16のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 18〕

各歯の前記複数のピースのうちの少なくとも1つのピースは、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、項目1から17のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 19〕

前記ステータは前記複数の歯を含み、各歯の前記複数のピースのうちの第1ピースは、前記回転軸を囲んで延在する環状ステータリングと一体であり、前記環状ステータリングからラジアル方向に延在し、各歯の前記複数のピースのうちの第2ピースは、前記第1ピースと非一体的に形成されている、項目1から18のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 20〕

前記電気機械は、電気モータ又は発電機の1つである、項目1から19のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 21〕

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；及び
前記ロータの近傍に固定されて位置付けられているステータ
を備え、前記ロータ又は前記ステータのうちの少なくとも1つは、前記回転軸の周りに環状に配置された複数の歯を含み、前記複数の歯のうちの各歯はラジアル方向に延在し、前記ラジアル方向に垂直な複数の平面における各歯の複数の断面の面積は変動し、前記複数の断面の周長は、前記垂直な複数の平面にわたって実質的に同一である、ラジアルフラックス電気機械。

〔項目 22〕

前記電気機械のアキシャル平面又はラジアル平面のうちの少なくとも1つにおける各歯

10

20

30

40

50

の形状は台形である、項目 2 1 に記載の電気機械。

〔項目 2 3〕

前記電気機械のアキシャル平面又はラジアル平面のうちの少なくとも 1 つにおける各歯の前記形状は等脚台形である、項目 2 2 に記載の電気機械。

〔項目 2 4〕

前記複数の歯は、前記ステータ上に環状に配置されている、項目 2 1 から 2 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 2 5〕

前記ロータは、前記ステータのラジアル方向外向きに配設され、ラジアル平面における各歯の幅は前記ラジアル方向において前記ロータに向かって増加し、アキシャル平面における各歯の長さは、前記ラジアル方向において前記ロータに向かって減少する、項目 2 4 に記載の電気機械。

〔項目 2 6〕

各歯は前記ラジアル方向に延在し、前記ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面積は、前記ラジアル方向において前記ロータに向かって増加する、項目 2 5 に記載の電気機械。

〔項目 2 7〕

前記ロータは、前記ステータのラジアル方向内向きに配設され、前記ラジアル方向に垂直な平面における前記複数の歯の各歯の断面積は、前記ラジアル方向において前記ロータに向かって増加する、項目 2 4 から 2 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 2 8〕

前記複数の歯は前記ロータ上に環状に配置されている、項目 2 1 から 2 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 2 9〕

前記電気機械は更に複数の電磁コイルを含み、前記複数の電磁コイルの各コイルは、前記複数の歯の別個の歯を囲んで延在する、項目 2 1 から 2 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 0〕

各コイルは、正方形、矩形、又は円形の断面形状のうちの 1 つを有する銅線を含む、項目 2 9 に記載の電気機械。

〔項目 3 1〕

前記銅線はマルチストランドであり、各コイルは、歯に沿って前記ラジアル方向においてらせん状の形態で巻かれている、項目 3 0 に記載の電気機械。

〔項目 3 2〕

各コイルは、歯を囲んで巻かれた銅箔を含み、前記銅箔の平坦側は、前記ラジアル方向において前記歯の全長にわたって延在している、項目 2 9 から 3 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 3〕

各コイルは、歯に沿って前記ラジアル方向においてらせん状の形態で巻かれた銅箔のリブを含む、項目 2 9 から 3 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 4〕

各歯は、軟磁性複合材料（SMC）材料を含む、項目 2 1 から 3 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 5〕

各歯は、共に連結された複数のピースを含む、項目 2 1 から 3 4 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 6〕

前記複数のピースは、前記回転軸を囲んで延在する環状リングと一体的に形成されるコア部分、及び、前記コア部分に連結される 1 又は複数のウェッジ部分を含む、項目 3 5 に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

〔項目 3 7〕

前記 1 又は複数のウェッジ部分は、前記コア部分の対向する両側に配設された少なくとも 2 つのウェッジ部分を含む、項目 3 6 に記載の電気機械。

〔項目 3 8〕

前記電気機械は電気モータ又は発電機である、項目 2 1 から 3 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 3 9〕

前記ステータ又は前記ロータの 1 つは、外側部品及び内側部品を含み、前記ステータ及び前記ロータは、二重の空隙によって隔離される、項目 2 1 から 3 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 4 0〕

前記外側部品及び前記内側部品は、磁気伝導性材料からできている接続部分によって共に接続されている、項目 3 9 に記載の電気機械。

〔項目 4 1〕

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；
複数の電磁コイル；及び

前記回転軸の周りに延在する環状ステータリング、及び、前記環状ステータリング上に円周方向に配置された複数の多部品歯を含むステータ、前記複数の多部品歯の各多部品歯は、前記環状ステータリングと一体的に形成されたコア歯部分を含み、少なくとも 1 つの追加歯部分は、前記環状ステータリングから隔離されている、

を備え、ここで、前記複数の電磁コイルの各コイルは、前記複数の多部品歯の異なる多部品歯に装着され、それぞれのコイルは、前記コイルと前記コア歯部分との間の間隙を伴って、前記多部品歯の対応するコア歯部分を囲み、前記少なくとも 1 つの追加歯部分は、前記間隙に配設されている、ラジアルフラックス電気機械。

〔項目 4 2〕

各多部品歯の前記コア歯部分は、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、項目 4 1 に記載の電気機械。

〔項目 4 3〕

前記環状ステータリングは軟磁性複合材料（SMC）から形成されている、項目 4 1 または 4 2 に記載の電気機械。

〔項目 4 4〕

前記環状ステータリングは、前記回転軸に垂直な対称面に沿って共に連結される 2 つの鏡面对称の半分を含む、項目 4 1 から 4 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 4 5〕

前記 2 つの鏡面对称の半分は、接着材料を使用して、前記対称面に沿って共に取り付けられている、項目 4 4 に記載の電気機械。

〔項目 4 6〕

前記環状ステータリングは、複数のアキシャル方向に積み重ねられた環状リングを含み、前記積み重ねられた環状リングのうちの少なくとも 2 つは軟磁性複合材料（SMC）からできている、項目 4 1 から 4 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 4 7〕

各多部品歯の前記コア歯部分は、前記環状ステータリングからラジアル方向に外向きに延在している、項目 4 1 から 4 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 4 8〕

前記ラジアル方向に垂直な平面に沿った、前記コア歯部分及び前記少なくとも 1 つの追加歯部分の各々の断面は、実質的に矩形の形状を有する、項目 4 7 に記載の電気機械。

〔項目 4 9〕

前記回転軸に垂直な平面に沿った、前記コア歯部分の断面は、実質的に矩形の形状を有する、項目 4 1 から 4 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 5 0〕

10

20

30

40

50

前記回転軸に垂直な前記平面に沿った、前記少なくとも1つの追加歯部分の断面は、実質的に三角形の形状を有する、項目49に記載の電気機械。

〔項目51〕

前記回転軸に垂直な前記平面に沿った、前記複数の多部品歯の各歯の断面は、実質的に台形の形状を有する、項目50に記載の電気機械。

〔項目52〕

前記少なくとも1つの追加歯部分は、前記コア歯部分の対向する両側に対称に配置された追加歯部分の対を含む、項目41から51のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目53〕

前記複数の多部品歯の各歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも1つの追加歯部分は、
接着材料を使用して共に連結されている、項目41から52のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目54〕

前記コア歯部分、前記少なくとも1つの追加歯部分、及び、前記接着材料の材料の熱膨張係数の間の差は約20%より小さい、項目53に記載の電気機械。

〔項目55〕

各多部品歯の前記少なくとも1つの追加歯部分は、前記複数の電磁コイルのコイルの内面と前記コア歯部分の外面との間に押し込まれている、項目41から54のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目56〕

前記複数の電磁コイルのコイルは、各歯の前記コア歯部分を囲んでおり、少なくとも2つの間隙が、前記コイルの内面と前記コア歯部分の対向する両側との間に形成され、前記少なくとも1つの追加歯部分は、前記少なくとも2つの間隙の異なる間隙に配設されている少なくとも2つの追加歯部分を含む、項目41から55のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目57〕

ラジアル方向に垂直な平面における前記複数の多部品歯の各多部品歯の断面は、矩形形状を有する、項目41から56のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目58〕

前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定である、項目57に記載の電気機械。

〔項目59〕

前記断面の面積は、前記ラジアル方向において変動する、項目58に記載の電気機械。

〔項目60〕

前記電気機械は、電気モータ又は発電機である、項目41から59のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目61〕

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；

複数の電磁コイル；及び

環状ステータリング、及び、ラジアル方向に延在する複数のコア歯部分を有するステータ、ここで、前記環状ステータリング及び前記複数のコア歯部分は、一体的に軟磁性複合材料（SMC）から形成されており、前記SMCは、1又は複数の等方性強磁性材料、約1.6テスラ以上の飽和磁気誘導、及び、10マイクロオーム/mより大きい電気抵抗率を含む、

を備えるラジアルフラックス電気機械。

〔項目62〕

前記ステータは、前記環状ステータリング上に対称に配置された複数の多部品歯を含み、ここで、前記複数の多部品歯の各歯は、前記複数のコア歯部分の1つ、及び、前記複数のコア歯部分の前記1つと非一体的に形成される少なくとも1つの追加歯部分を含む、項目61に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

〔項目 6 3〕

追加歯部分の対が、関連付けられたコア歯部分の対向する両側に配置されている、項目 6 2 に記載の電気機械。

〔項目 6 4〕

前記回転軸に垂直な平面に沿った、各歯のコア歯部分の断面は、実質的に矩形の形状を有し、前記回転軸に垂直な前記平面に沿った、前記少なくとも 1 つの追加歯部分の各追加歯部分の断面は、実質的に三角形の形状を有する、項目 6 2 または 6 3 に記載の電気機械。

〔項目 6 5〕

前記ラジアル方向に垂直な平面に沿った、コア歯部分及び前記少なくとも 1 つの追加歯部分の各々の断面は、実質的に矩形の形状を有する、項目 6 2 から 6 4 のいずれか一項に記載の電気機械。

10

〔項目 6 6〕

前記回転軸に垂直な平面における、前記複数の多部品歯の各歯の断面は台形形状を有する、項目 6 2 から 6 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 6 7〕

前記ラジアル方向に垂直な平面における前記複数の多部品歯の各歯の断面は、実質的に矩形の形状を有し、前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定であり、前記断面の面積は前記ラジアル方向において変動する、項目 6 2 から 6 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 6 8〕

前記ロータは、前記ステータのラジアル方向外向きに配設されて前記ロータと前記ステータとの間に空隙を形成し、前記断面の前記面積は、前記ラジアル方向において前記空隙に向かって増加する、項目 6 7 に記載の電気機械。

20

〔項目 6 9〕

前記複数の多部品歯の各歯は、2 組の対向する面を有する外面を画定し、前記 2 組の各組の前記対向する面は互いに非平行であり、隣接する歯の隣接する側面は互いに平行である、項目 6 2 から 6 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 7 0〕

前記 2 組の対向する面の各面はラジアル方向において傾斜している、項目 6 9 に記載の電気機械。

30

〔項目 7 1〕

一方の組の対向する面の前記対向する面は、ラジアル方向外向きに互いに向かって近づき、他方の組の対向する面の前記対向する面は、前記ラジアル方向外向きに互いから離れる、項目 7 0 に記載の電気機械。

〔項目 7 2〕

前記少なくとも 1 つの追加歯部分は前記 SMC から形成される、項目 6 2 から 7 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 7 3〕

少なくとも 1 つの追加歯部分は、SMC 以外の等方性材料から形成されている、項目 6 2 から 7 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

40

〔項目 7 4〕

前記環状ステータリングは、前記回転軸に垂直な対称面に沿って共に連結される 2 つの鏡面对称ボディを含む、項目 6 1 から 7 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 7 5〕

前記 2 つの鏡面对称ボディは、接着材料を使用して、前記対称面に沿って共に取り付けられ、前記 SMC と前記接着材料との間の熱膨張係数の差は、約 20 % より小さい、項目 7 4 に記載の電気機械。

〔項目 7 6〕

前記 SMC の前記飽和磁気誘導は、約 2.4 テスラ以上である、項目 6 1 から 7 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

50

〔項目 7 7〕

前記 SMC の前記飽和磁気誘導は、約 2.5 テスラ以上である、項目 6 1 から 7 5 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 7 8〕

前記 SMC の抵抗率は、約 100 マイクロオーム/m より大きい、項目 6 1 から 7 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 7 9〕

前記電気機械は電気モータである、項目 6 1 から 7 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 8 0〕

前記電気機械は発電機である、項目 6 1 から 7 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 8 1〕

内側ステータ；及び

前記内側ステータの周りを回転するように構成されている外側ロータ

を備え、ここで、前記外側ロータは、

ロータベース；

前記外側ロータの回転軸に平行に前記ロータベースからアキシアル方向に延在する環状に配置された複数の永久磁石；

前記複数の永久磁石を包囲する前記ロータベースから延在する円柱状コア、ここで、前記円柱状コアは、軟磁性複合材料（SMC）から形成されている；及び、

前記外側ロータを包囲するスリーブ、ここで、前記スリーブは、前記円柱状コアを支持し、前記円柱状コアは、前記複数の永久磁石を支持し、前記円柱状コアは、ラジアル方向において前記スリーブと前記複数の永久磁石との間に位置する、

を含む、

ラジアルフラックス電気機械。

〔項目 8 2〕

前記スリーブ又は前記ロータベースのうちの少なくとも 1 つは、非磁性材料からできている、項目 8 1 に記載の電気機械。

〔項目 8 3〕

前記非磁性材料は、炭素繊維、ガラスファイバ、又はアラミド繊維のうちの少なくとも 1 つを含む複合材料である、項目 8 2 に記載の電気機械。

〔項目 8 4〕

前記非磁性材料は、ステンレス鋼又はアルミニウムのうちの少なくとも 1 つを含む、項目 8 2 または 8 3 に記載の電気機械。

〔項目 8 5〕

前記スリーブは磁性材料からできている、項目 8 1 から 8 4 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 8 6〕

前記磁性材料は、積層された電気鋼鉄シートを含む軟磁性材料を含む、項目 8 5 に記載の電気機械。

〔項目 8 7〕

前記磁性材料は、鋼鉄からできている中実ボディである、項目 8 5 または 8 6 に記載の電気機械。

〔項目 8 8〕

前記スリーブは、前記円柱状コアの外面上に形成される凹部に配設される補強リブを含む、項目 8 1 から 8 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 8 9〕

前記円柱状コアは、前記ロータベースに連結された第 1 端から第 2 端に延在し、前記スリーブは、前記円柱状コアの前記第 2 端に位置するバランシングリングを含み、前記バランシングリングは、前記外側ロータの動的バランシングを提供するように構成されている、項目 8 1 から 8 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

〔項目 9 0〕

前記スリーブは、前記バランシングリングにわたって延在する、項目 8 9 に記載の電気機械。

〔項目 9 1〕

前記バランシングリングは非磁性材料から形成されている、項目 8 9 または 9 0 に記載の電気機械。

〔項目 9 2〕

前記複数の永久磁石は、前記回転軸を囲んで実質的に円形のパターンで前記ロータベース上に配置されている、項目 8 1 から 9 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 3〕

前記複数の永久磁石は、前記ロータベース上に配置され、前記複数の永久磁石の各永久磁石の磁気軸は、前記回転軸で交差する、項目 9 2 に記載の電気機械。

〔項目 9 4〕

前記ロータベースはアルミニウム又は鋼鉄から形成されている、項目 8 1 から 9 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 5〕

前記ロータベースは、前記ロータベースが回転するときに前記回転軸に沿って空気流を誘導するように構成されている通気口を含む、項目 8 1 から 9 4 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 6〕

前記ロータベースは、前記スリーブ及び前記バランシングリングと一体である、項目 8 9 から 9 1 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 7〕

前記複数の永久磁石は、接着剤を使用して前記円柱状コアに取り付けられ、前記複数の永久磁石、前記円柱状コア、及び、前記接着剤の材料の熱膨張係数の間の差は、約 2 0 % より小さい、項目 8 1 から 9 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 8〕

前記スリーブは、前記ロータベースと一体であり、単一ピースを形成する、項目 8 1 から 9 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 9 9〕

前記円柱状コア及び前記スリーブの両方は、前記回転軸の周りにおいて不均一なラジアル方向の厚さを有し、前記スリーブのより厚い領域は、各永久磁石の中央に隣接して位置する、項目 8 1 から 9 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 0 0〕

前記電気機械は、電気モータ又は発電機の 1 つである、項目 8 1 から 9 9 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 0 1〕

電気機械の不規則形状の多部品歯上でコイルを組み立てる方法であって、
前記多部品歯の少なくとも 1 つのウェッジ部分の幅の広い端が前記コイルの開口から外に延在するように、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記コイルの前記開口内に挿入する段階；

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端が、前記コイルの前記開口から外に延在したまま、挿入された前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を有する前記コイルを前記多部品歯のコア歯部分に装着する段階； 及び、

前記多部品歯上に前記コイルを締め付けるために、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端に力を加える段階

を備える方法。

〔項目 1 0 2〕

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端に力を加える段階は、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分の前記幅の広い端を前記コイルにおける前記開口内へ押す段階を

10

20

30

40

50

含む、項目 1 0 1 に記載の方法。

〔項目 1 0 3〕

前記コイルにおける前記開口は第 1 端から第 2 端に延在し、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を挿入する段階は、前記幅の広い端が前記開口の前記第 2 端から外に延在するように、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記開口内に挿入する段階を含み、前記力を加える段階は、前記幅の広い端を前記開口の前記第 1 端に向かって押す段階を含む、項目 1 0 1 または 1 0 2 に記載の方法。

〔項目 1 0 4〕

前記コイルにおける前記開口は、第 1 端から第 2 端に延在し、前記第 1 端における前記開口の幅は、前記第 2 端における前記開口の前記幅と異なり、前記第 1 端における前記開口の長さは、前記第 2 端における前記開口の高さと異なる、項目 1 0 1 から 1 0 3 のいずれか一項に記載の方法。

10

〔項目 1 0 5〕

前記第 1 端及び前記第 2 端における前記開口の形状は矩形である、項目 1 0 4 に記載の方法。

〔項目 1 0 6〕

前記第 1 端における前記開口の周長は、前記第 2 端における前記開口の周長と実質的に同一である、項目 1 0 4 または 1 0 5 に記載の方法。

〔項目 1 0 7〕

前記第 1 端における前記開口の面積は、前記第 2 端における前記開口の前記面積から変動する、項目 1 0 6 に記載の方法。

20

〔項目 1 0 8〕

前記開口の面積は前記第 1 端から前記第 2 端にかけて増加する、項目 1 0 6 または 1 0 7 に記載の方法。

〔項目 1 0 9〕

前記少なくとも 1 つのウェッジ部分を前記コイルの前記開口に挿入する段階は、少なくとも 2 つのウェッジ部分を前記開口内に挿入する段階を含む、項目 1 0 1 から 1 0 8 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 1 0〕

前記コイルを装着する段階は、前記コア歯部分が前記少なくとも 2 つのウェッジ部分の間に配設されるように、前記コイルを前記コア歯部分に装着する段階を含む、項目 1 0 9 に記載の方法。

30

〔項目 1 1 1〕

接着材料を使用して、前記多部品歯の前記コア歯部分及び前記少なくとも 2 つのウェッジ部分を共に取り付ける段階を更に備える、項目 1 1 0 に記載の方法。

〔項目 1 1 2〕

前記多部品歯は、前記電気機械のステータの一部である、項目 1 0 1 から 1 1 1 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 1 3〕

前記多部品歯の前記コア歯部分は、中心軸を囲んで延在する環状ステータリング上に対称に配置された複数のコア歯部分の 1 つであり、前記コア歯部分は、前記環状ステータリングからラジアル方向に外向きに延在する、項目 1 1 2 に記載の方法。

40

〔項目 1 1 4〕

前記複数のコア歯部分は前記環状ステータリングと一体的に形成されている、項目 1 1 3 に記載の方法。

〔項目 1 1 5〕

前記中心軸に垂直な平面において、前記コア歯部分は、実質的に矩形の断面形状を有し、前記少なくとも 1 つのウェッジ部分は、実質的に三角形の断面形状を有する、項目 1 1 3 または 1 1 4 に記載の方法。

〔項目 1 1 6〕

50

前記ラジアル方向に垂直な平面において、前記コア歯部分及び前記少なくとも1つのウェッジ部分は実質的に矩形の断面形状を有する、項目113または114に記載の方法。

〔項目117〕

前記コイルは、前記開口を囲む銅線の巻線を含み、前記銅線は、正方形、矩形、又は円形の断面形状の1つを有する、項目101から116のいずれか一項に記載の方法。

〔項目118〕

前記コイルは、前記開口を囲むらせん状の銅燃線の巻線を含む、項目101から116のいずれか一項に記載の方法。

〔項目119〕

前記電気機械は電気モータである、項目101から118のいずれか一項に記載の方法。

〔項目120〕

前記電気機械は発電機である、項目101から118のいずれか一項に記載の方法。

〔項目121〕

電気機械のステータ又はロータの歯に装着するためのコイルを製造する方法であって、ワイヤをマンドレルの周りに巻いて、前記マンドレルの形状に対応する第1形状を有するコイルを形成する段階；

前記第1形状を有する前記コイルを前記マンドレルから除去する段階；

機械的な力を前記コイルに加え、前記コイルの形状を前記第1形状から第2形状に変化させる段階、ここで、前記第2形状は前記歯の形状に対応する；及び、

前記第2形状の前記コイルを前記歯に装着する段階

を備える方法。

〔項目122〕

前記ワイヤは、導電体の複数のストランドから形成されている、項目121に記載の方法。

〔項目123〕

前記ワイヤは、導電体を共に燃ることによって形成される、又は、リッツ線の形態で作られる、項目121または122に記載の方法。

〔項目124〕

前記ワイヤは円形断面形状を有する、項目121から123のいずれか一項に記載の方法。

〔項目125〕

前記ワイヤは、正方形又は矩形断面形状の1つを有する、項目121から123のいずれか一項に記載の方法。

〔項目126〕

前記第1形状は、円柱形状である、又は、実質的に一定の周長を有する任意の形状である、項目121から125のいずれか一項に記載の方法。

〔項目127〕

前記第2形状は台形形状である、項目121から126のいずれか一項に記載の方法。

〔項目128〕

前記マンドレルの周りに前記ワイヤを巻く段階は、らせん状のパターンで前記マンドレルの周りに前記ワイヤを巻いて、第1端から第2端に延在する内部空洞を有するコイルを形成する段階を含む、項目121から127のいずれか一項に記載の方法。

〔項目129〕

機械的な力を前記コイルに加える段階は、前記第1端又は前記第2端の1つにおける前記内部空洞のサイズを選択的に増加させる段階を含む、項目128に記載の方法。

〔項目130〕

前記コイルに機械的な力を加える段階は、前記内部空洞の形状を変化させる段階を含む、項目129に記載の方法。

〔項目131〕

前記内部空洞の形状を変化させる段階は、前記内部空洞の中心軸に垂直な平面に沿った

10

20

30

40

50

前記内部空洞の断面形状を円形状から矩形形状に変化させる段階を含む、項目 1 3 0 に記載の方法。

〔項目 1 3 2〕

前記矩形形状の幅及び長さの両方は、前記第 1 端から前記第 2 端にかけて変動する、項目 1 3 1 に記載の方法。

〔項目 1 3 3〕

前記矩形形状の周長は、前記第 1 端から前記第 2 端にかけて実質的に一定であり、前記矩形形状の面積は、前記第 1 端から前記第 2 端にかけて変動する、項目 1 3 1 または 1 3 2 に記載の方法。

〔項目 1 3 4〕

前記矩形形状の面積は、前記第 1 端から前記第 2 端にかけて増加する、項目 1 3 3 に記載の方法。

〔項目 1 3 5〕

前記内部空洞の形状を変化させる段階は、前記内部空洞の 3 次元形状を円柱形状から台形形状に変化させる段階を含む、項目 1 3 0 から 1 3 4 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 3 6〕

機械的な力を前記コイルに加える段階は、第 2 マンドレルを前記コイルの前記内部空洞に挿入して、前記内部空洞の前記第 1 端の形状を、前記内部空洞の前記第 2 端の形状と比較して変化させる段階を含む、項目 1 2 9 から 1 3 5 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 3 7〕

機械的な力を前記コイルに加える段階は、第 1 の機械的な力を加えて、前記第 1 端又は前記第 2 端の一方における前記内部空洞の寸法を増加させる段階、及び、第 2 の機械的な力を加えて、前記第 1 端又は前記第 2 端の他方における前記内部空洞の寸法を減少させる段階を含む、項目 1 2 9 から 1 3 5 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 3 8〕

前記第 1 の機械的な力は、前記内部空洞の中心軸に向かって作用し、前記第 2 の機械的な力は、前記中心軸から離れるように作用する、項目 1 3 7 に記載の方法。

〔項目 1 3 9〕

機械的な力を前記コイルに加える段階は、前記内部空洞の前記第 1 端又は前記第 2 端のうちの少なくとも 1 つを画定する前記コイルの前記ワイヤを伸ばす段階を含む、項目 1 2 9 から 1 3 8 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 4 0〕

前記ワイヤは銅からできている、項目 1 2 1 から 1 3 9 のいずれか一項に記載の方法。

〔項目 1 4 1〕

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；

前記回転軸の周りに、ステータコア上に環状に配置された複数の歯を有するステータ、複数の電磁コイル、ここで、前記複数の電磁コイルの各コイルは、前記複数の歯の別個の歯に装着されている；及び、

前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアに隣接して位置し、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアに熱的に接触しているベースプレート、ここで、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアが動作中に加熱するときに、前記ベースプレートは、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアのための共通のヒートシンクとして機能するように構成されている、

を備える電気機械。

〔項目 1 4 2〕

前記複数の電磁コイルの各コイルは、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて前記ベースプレートに接触している、項目 1 4 1 に記載の電気機械。

〔項目 1 4 3〕

前記ステータコアは、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて前記ベースプレートに接触している、項目 1 4 2 に記載の電気機械。

10

20

30

40

50

〔項目 1 4 4〕

前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアによって生成された熱が、前記ベースプレート及びモータハウジングを通じて放散されることを可能にするべく、前記ベースプレートに熱的に接続されたモータハウジングを更に備える、項目 1 4 1 から 1 4 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 4 5〕

前記ベースプレートは、第 1 側、及び、前記第 1 側の反対の第 2 側を含み、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアは、前記ベースプレートの前記第 1 側に熱的に接触し、前記モータハウジングは、前記ベースプレートの前記第 2 側に熱的に接触している、項目 1 4 4 に記載の電気機械。

10

〔項目 1 4 6〕

前記ベースプレートの前記第 2 側は、そこから延在する冷却フィンを含む、項目 1 4 5 に記載の電気機械。

〔項目 1 4 7〕

前記冷却フィンは複数のピンを含む、項目 1 4 6 に記載の電気機械。

〔項目 1 4 8〕

前記ベースプレートは、前記回転軸を囲んで延在する円柱状ハブ部分を含む、項目 1 4 1 から 1 4 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 4 9〕

前記ステータコアは、前記ベースプレートの前記円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングを含む、項目 1 4 8 に記載の電気機械。

20

〔項目 1 5 0〕

前記環状ステータリングの内側環状面は、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて、前記ベースプレートの前記円柱状ハブ部分の外側環状面に接触している、項目 1 4 9 に記載の電気機械。

〔項目 1 5 1〕

前記ステータコアは、前記回転軸を囲んで延在する環状ステータリングを含み、前記複数の歯の各歯は、前記環状ステータリングと一体のコア歯部分を含む、項目 1 4 1 から 1 5 0 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 5 2〕

前記複数の歯の各歯は更に、前記コア歯部分と非一体的に形成された 1 又は複数の追加歯部分を含む、項目 1 5 1 に記載の電気機械。

30

〔項目 1 5 3〕

追加歯部分の対は、前記コア歯部分の対向する両側に配置された歯部分を含む、項目 1 5 2 に記載の電気機械。

〔項目 1 5 4〕

歯部品のすべてが共に組み立てられるとき、各歯は、2 組の対向する面を有する外面を画定し、前記 2 組の各組の前記対向する面は互いに非平行であり、前記 2 組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している、項目 1 5 2 または 1 5 3 に記載の電気機械。

40

〔項目 1 5 5〕

隣接する歯の対向する面は、互いに実質的に平行である、項目 1 5 4 に記載の電気機械。

〔項目 1 5 6〕

前記ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は矩形形状を有し、前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定であり、前記断面の面積は前記ラジアル方向において変動する、項目 1 5 4 または 1 5 5 に記載の電気機械。

〔項目 1 5 7〕

前記ベースプレートはアルミニウムから形成されている、項目 1 4 1 から 1 5 6 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 5 8〕

50

前記ベースプレートは、前記ロータが回転するときに前記複数の電磁コイルへ空気を誘導するように構成されている通気口を含む、項目 1 4 1 から 1 5 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 5 9〕

前記電気機械は電気モータである、項目 1 4 1 から 1 5 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 6 0〕

前記電気機械は発電機である、項目 1 4 1 から 1 5 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 6 1〕

回転軸の周りを回転するように構成されているロータ；

ステータコア、及び、前記回転軸の周りに、前記ステータコア上に環状に配置された複数の歯を有するステータ；

複数の電磁コイル、ここで、前記複数の電磁コイルの各コイルは、前記複数の歯の別個の歯に装着される；

前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアに隣接して位置するベースプレート、前記ベースプレートは第 1 側及び反対の第 2 側を有し、前記第 1 側は、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアに熱的に接触している；及び、

前記ベースプレートの前記第 2 側上で画定されているクーラント液チャネル、ここで、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアが動作中に加熱するときに、前記ベースプレートは、熱を前記クーラント液チャネルにおけるクーラント液に伝達して、前記熱を前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアから放散するように構成されている、
を備える電気機械。

〔項目 1 6 2〕

前記複数の電磁コイルの各コイルは、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて前記ベースプレートに接触している、項目 1 6 1 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 3〕

前記ステータコアは、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて前記ベースプレートに接触している、項目 1 6 2 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 4〕

前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアによって生成された熱が、前記ベースプレート及びモータハウジングを通じて放散されることを可能にするべく、前記ベースプレートに熱的に接続されたモータハウジングを更に備える、項目 1 6 1 から 1 6 3 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 6 5〕

前記ベースプレートは、第 1 側、及び、前記第 1 側の反対の第 2 側を含み、前記複数の電磁コイル及び前記ステータコアは、前記ベースプレートの前記第 1 側に熱的に接触し、前記モータハウジングは、前記ベースプレートの前記第 2 側に熱的に接触している、項目 1 6 4 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 6〕

前記クーラント液チャネルの壁は、前記複数の電磁コイルに熱的に接触している前記ベースプレートの前記第 1 側の部分の直接反対にある前記ベースプレートの前記第 2 側の部分である、項目 1 6 5 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 7〕

前記クーラント液チャネルは前記回転軸を囲んで延在し、前記ベースプレートの前記第 2 側の環状領域は、前記クーラント液チャネルの壁として機能する、項目 1 6 5 または 1 6 6 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 8〕

前記ベースプレートの前記第 2 側の前記環状領域は、前記クーラント液チャネル内に延在する複数のフィンを含む、項目 1 6 7 に記載の電気機械。

〔項目 1 6 9〕

前記複数のフィンは前記回転軸の周りに配置されている、項目 1 6 8 に記載の電気機械。

〔項目 1 7 0〕

前記クーラント液を前記クーラント液チャンネル内に誘導するように構成されているクーラント吸入口、及び、前記クーラント液を前記クーラント液チャンネルから外に誘導するように構成されているクーラント排出口を更に備える、項目 1 6 1 から 1 6 9 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 7 1〕

前記ベースプレートは、前記回転軸を囲んで延在する円柱状ハブ部分を含み、前記ステータコアは、前記ベースプレートの前記円柱状ハブ部分を囲んで延在する環状ステータリングを含み、前記クーラント液チャンネルは、前記回転軸に沿って前記円柱状ハブ部分を通過する、項目 1 6 1 から 1 7 0 のいずれか一項に記載の電気機械。

10

〔項目 1 7 2〕

前記環状ステータリングの内側環状面は、直接的に、又は、間に配設された熱伝導性材料を通じて、前記ベースプレートの前記円柱状ハブ部分の外側環状面に接触している、項目 1 7 1 に記載の電気機械。

〔項目 1 7 3〕

前記複数の歯の各歯は、前記環状ステータリングと一体的に形成されたコア歯部分、及び、前記コア歯部分と非一体的に形成された少なくとも 1 つの追加歯部分を含む、項目 1 7 1 または 1 7 2 に記載の電気機械。

〔項目 1 7 4〕

前記環状ステータリング及び前記コア歯部分は、軟磁性複合材料（S M C）から形成されている、項目 1 7 3 に記載の電気機械。

20

〔項目 1 7 5〕

前記コア歯部分及び少なくとも 1 つの追加歯部分が共に組み立てられるとき、各歯は、2 組の対向する面を有する外面を画定し、前記 2 組の各組の前記対向する面は互いに非平行であり、前記 2 組の対向する面の各面は、ラジアル方向において傾斜している、項目 1 7 3 または 1 7 4 に記載の電気機械。

〔項目 1 7 6〕

隣接する歯の対向する面は、互いに平行である、項目 1 7 5 に記載の電気機械。

〔項目 1 7 7〕

前記ラジアル方向に垂直な平面における各歯の断面は台形状を有し、前記断面の周長は、前記ラジアル方向において実質的に一定であり、前記断面の面積は前記ラジアル方向において変動する、項目 1 7 5 または 1 7 6 に記載の電気機械。

30

〔項目 1 7 8〕

前記ベースプレートはアルミニウムから形成されている、項目 1 6 1 から 1 7 7 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 7 9〕

前記電気機械は電気モータである、項目 1 6 1 から 1 7 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

〔項目 1 8 0〕

前記電気機械は発電機である、項目 1 6 1 から 1 7 8 のいずれか一項に記載の電気機械。

40

【図面】

【図 1】

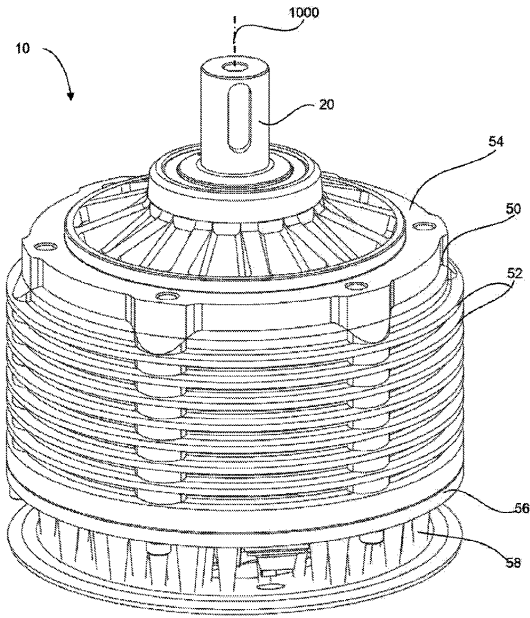


FIG. 1

【図 2】

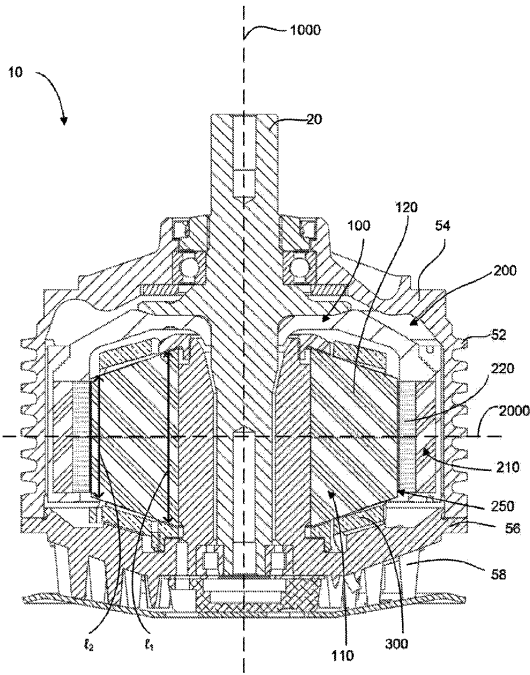


FIG. 2

【図 3】

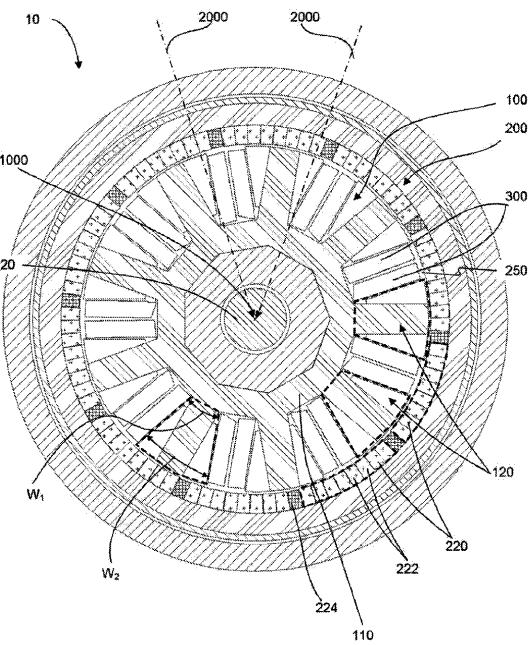


FIG. 3

【図 4 A】

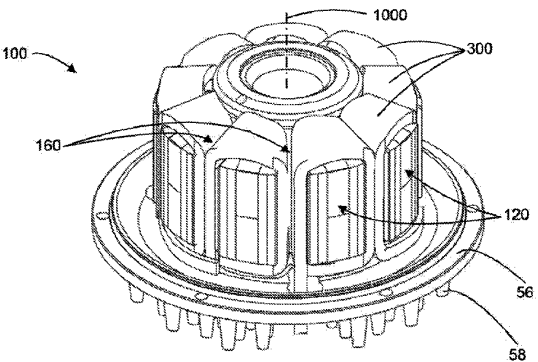


FIG. 4A

10

20

30

40

50

【図 4 B】

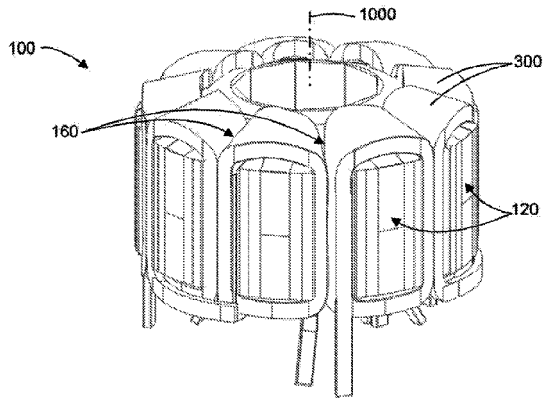


FIG. 4B

【図 4 C】

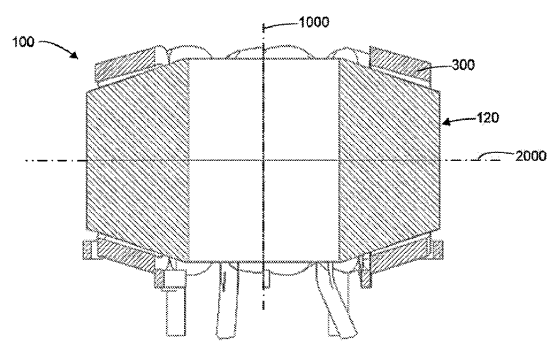


FIG. 4C

【図 5】

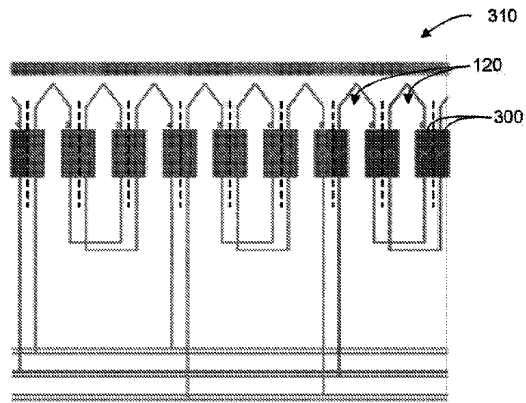


FIG. 5

【図 6 A】

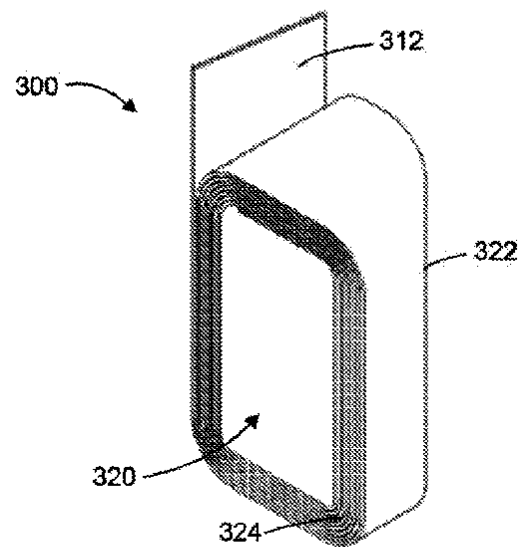


FIG. 6A

10

20

30

40

50

【図 6 B】

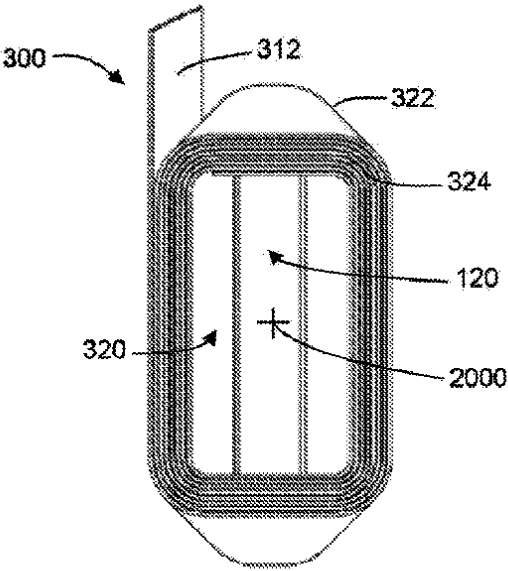


FIG. 6B

【図 6 C】

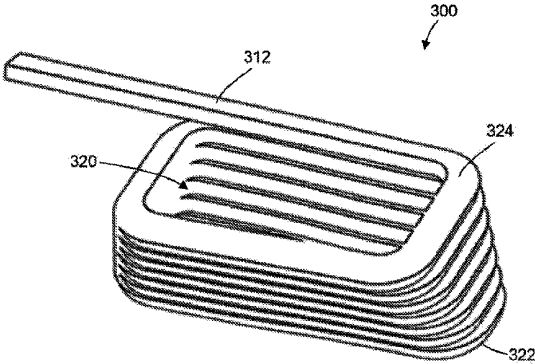


FIG. 6C

【図 6 D】

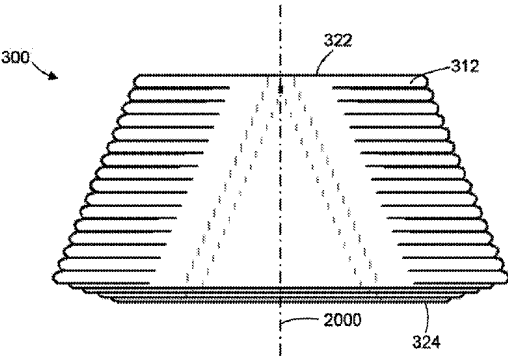


FIG. 6D

【図 7 A】

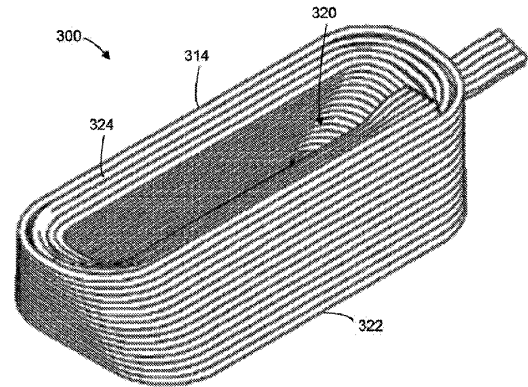


FIG. 7A

10

20

30

40

50

【図 7 B】

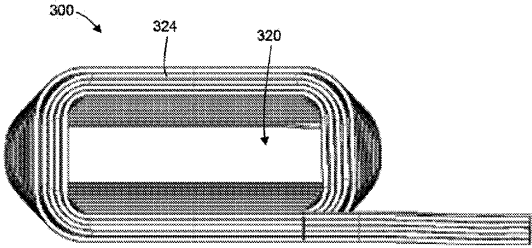


FIG. 7B

【図 7 C】

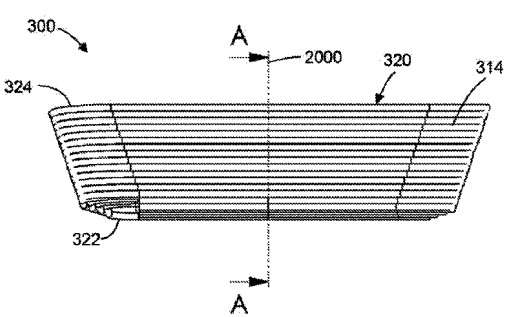
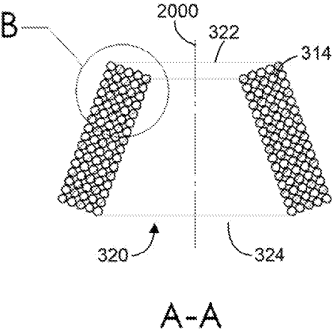


FIG. 7C

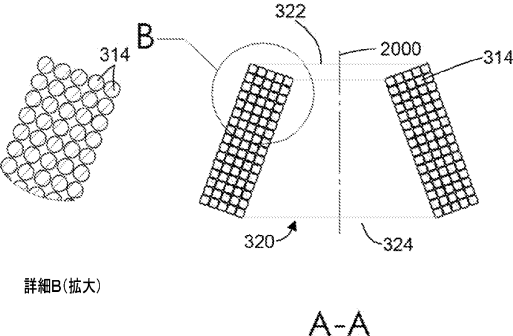
10

【図 7 D】



A-A

【図 7 E】



A-A

詳細B(拡大)

詳細B(拡大)

20

30

40

50

【図 8 A】

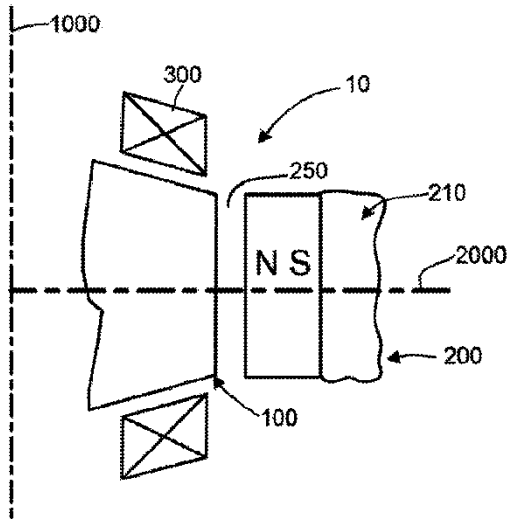


FIG. 8A

【図 8 B】

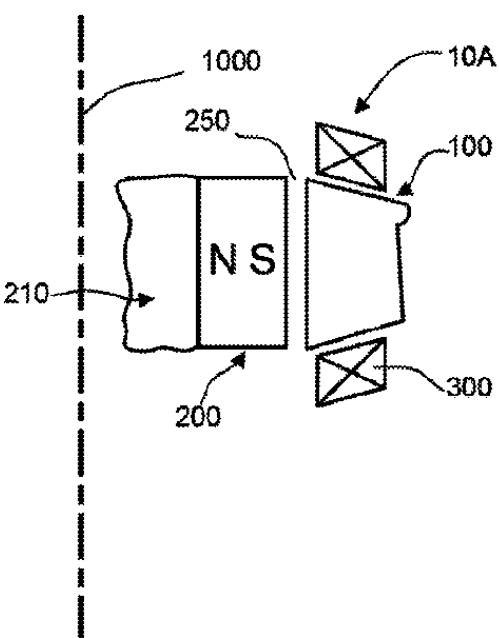


FIG. 8B

【図 8 C】

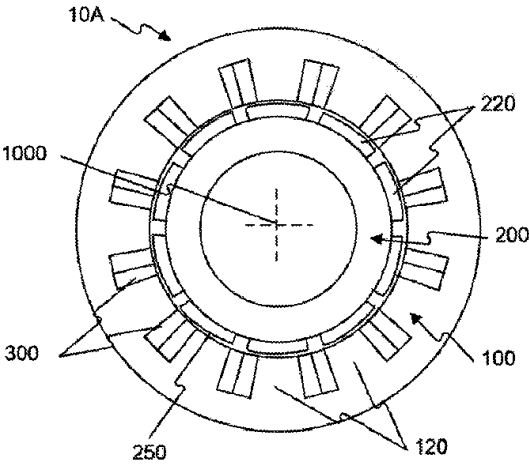


FIG. 8C

【図 8 D】

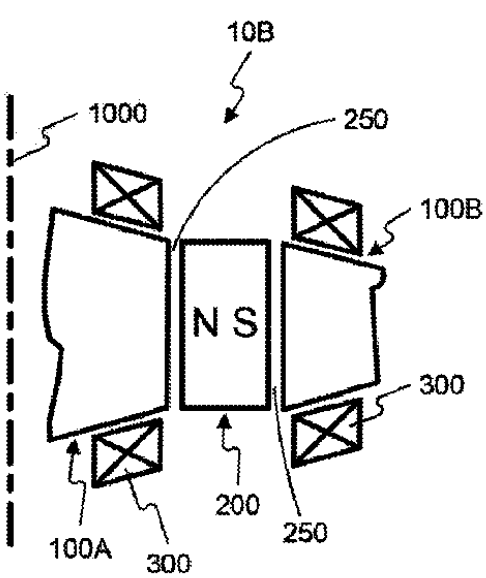


FIG. 8D

10

20

30

40

50

【図 8 E】

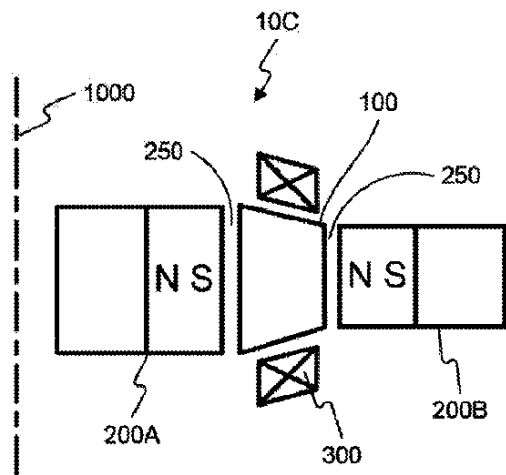


FIG. 8E

【図 9】

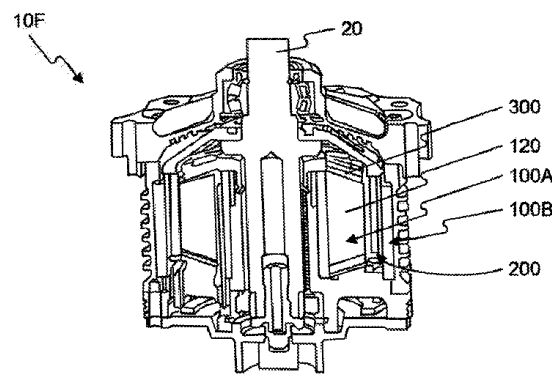


FIG. 9

【図 1 0】

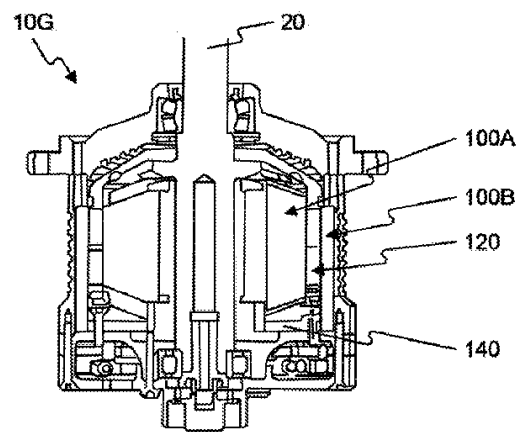


FIG. 10

【図 1 1】

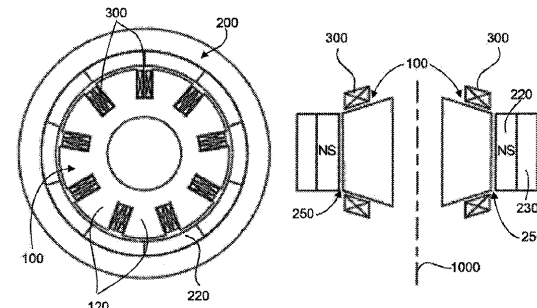


FIG. 11

10

20

30

40

50

【図 1 2】

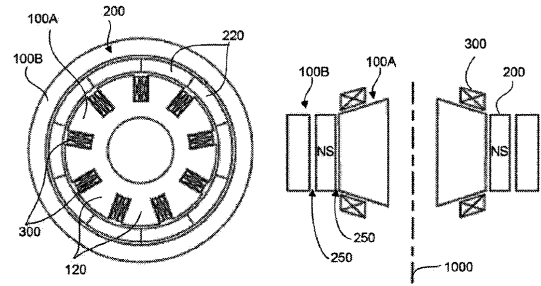


FIG. 12

【図 1 3】

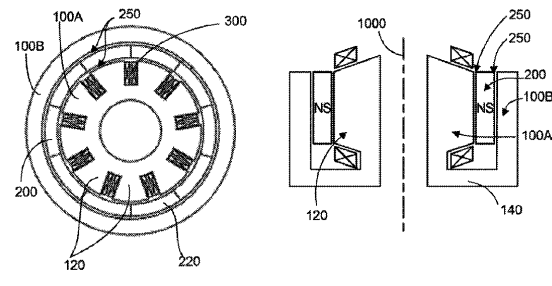


FIG. 13

10

【図 1 4】

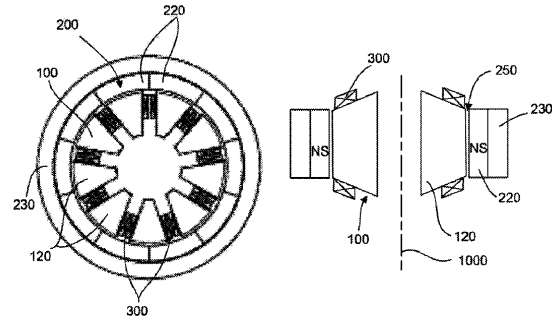


FIG. 14

【図 1 5】

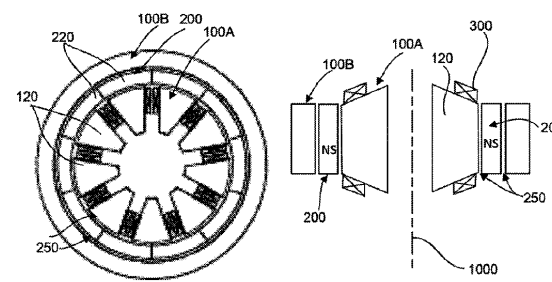


FIG. 15

20

【図 1 6】

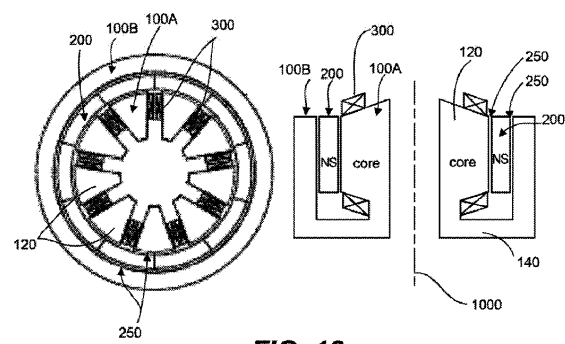


FIG. 16

【図 1 7】

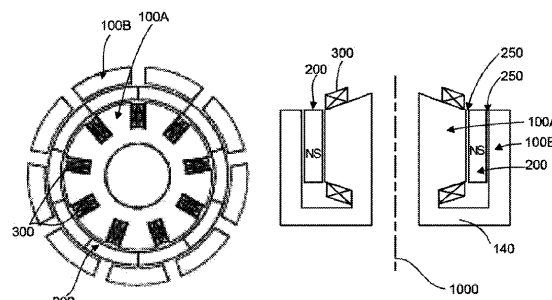


FIG. 17

30

40

50

【図 18】

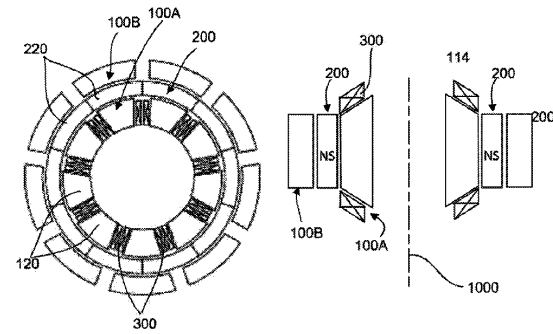


FIG. 18

【図 19】

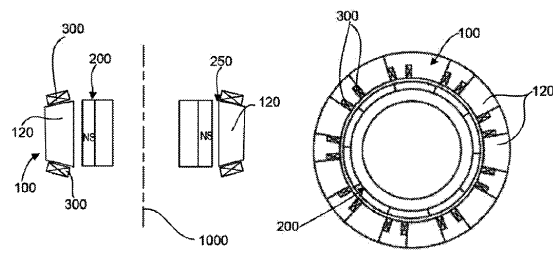


FIG. 19

10

【図 20】

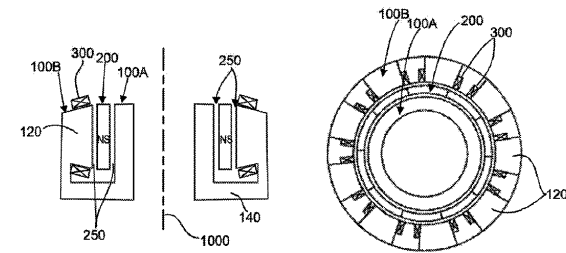


FIG. 20

【図 21】

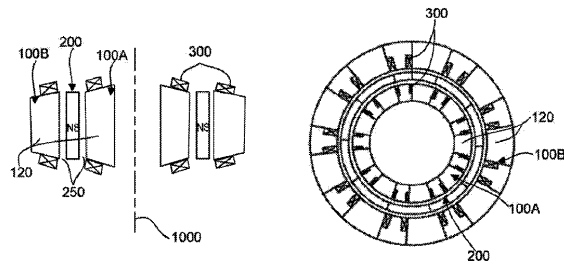


FIG. 21

20

30

40

50

【図 2 2】

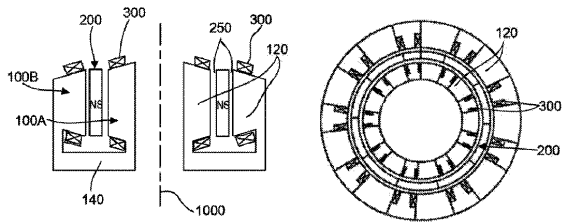


FIG. 22

【図 2 3 A】

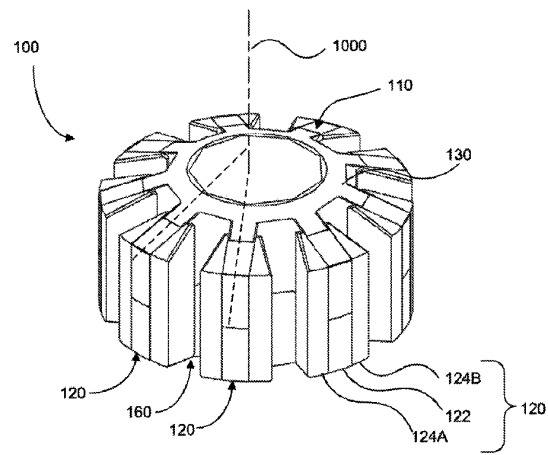


FIG. 23A

【図 2 3 B】

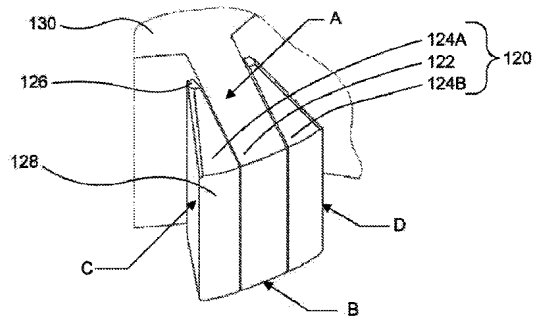


FIG. 23B

【図 2 3 C】

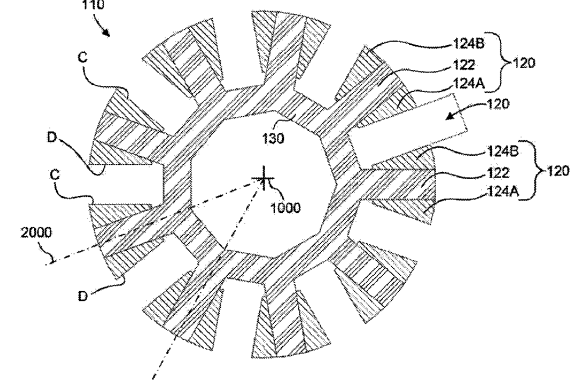


FIG. 23C

10

20

30

40

50

【図 2 3 D】

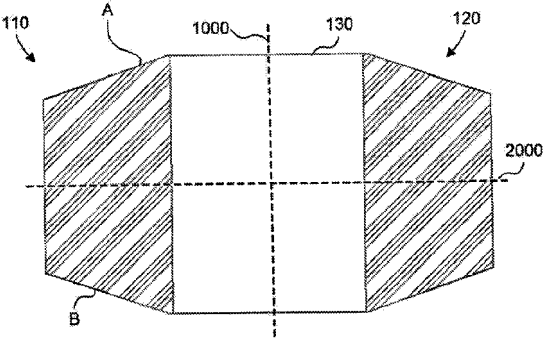


FIG. 23D

【図 2 3 E】

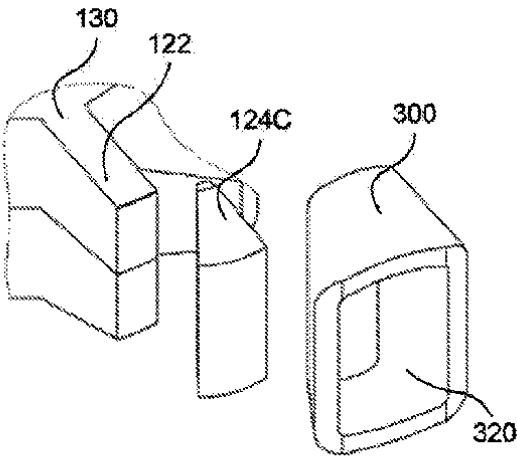


FIG. 23E

【図 2 3 F】

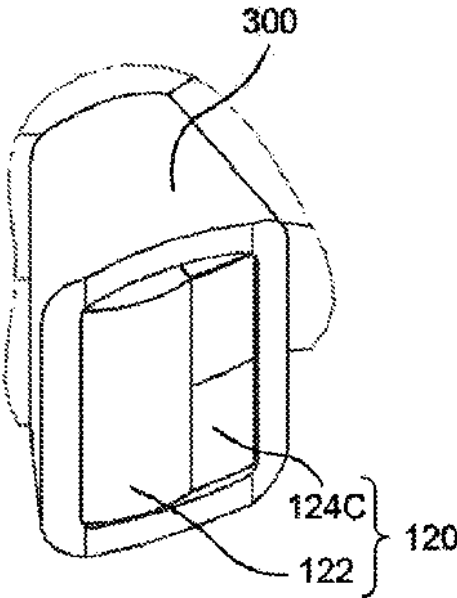


FIG. 23F

【図 2 3 G】

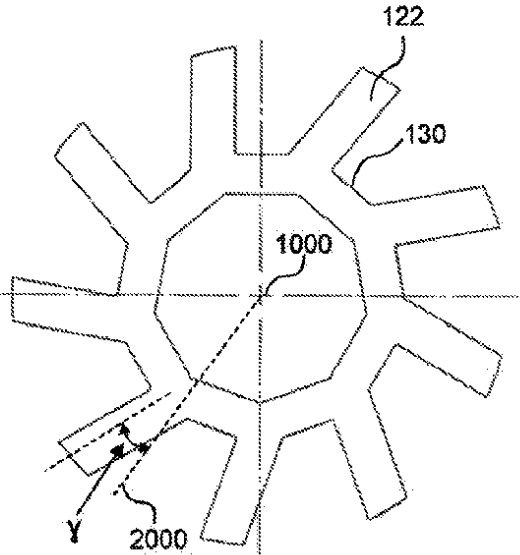


FIG. 23G

10

20

30

40

50

【図 23 H】

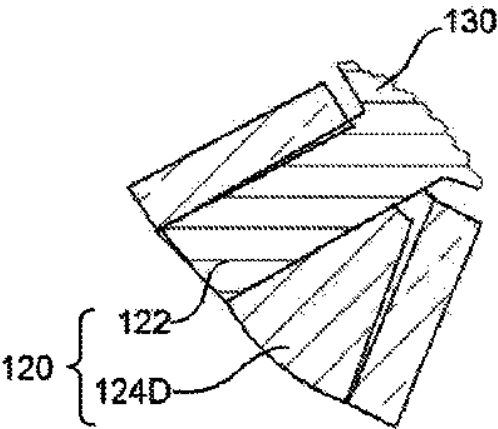


FIG. 23H

【図 23 I】

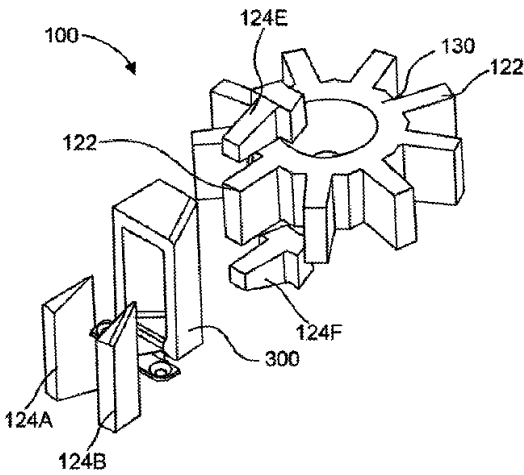


FIG. 23I

【図 23 J】

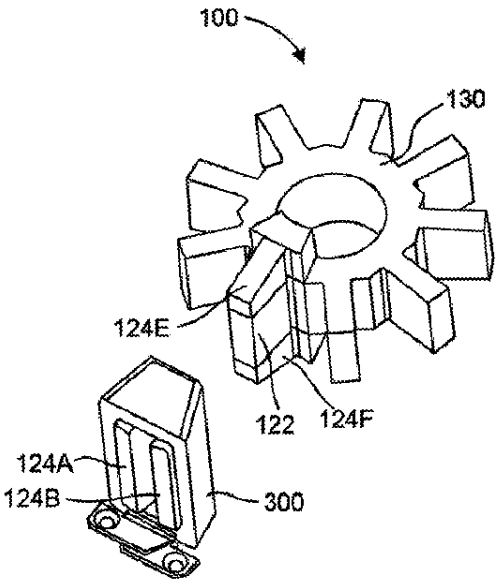


FIG. 23J

【図 23 K】

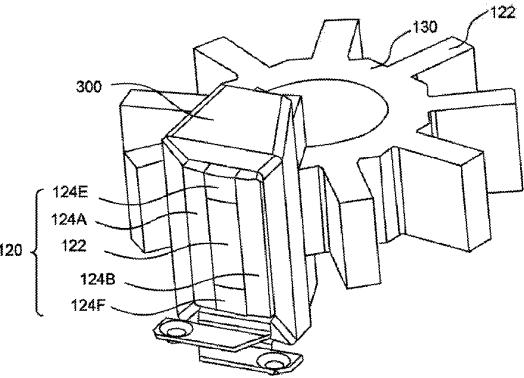


FIG. 23K

10

20

30

40

50

【図 2 3 L】

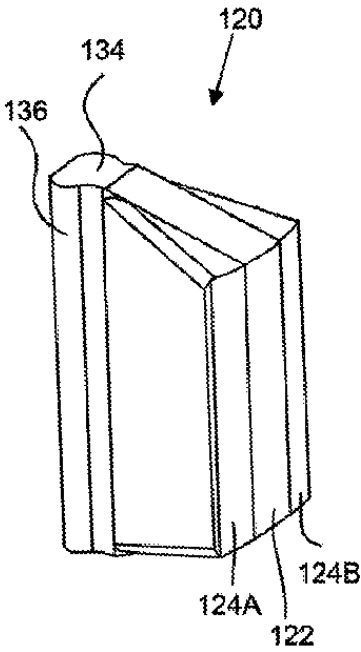


FIG. 23L

【図 2 3 M】

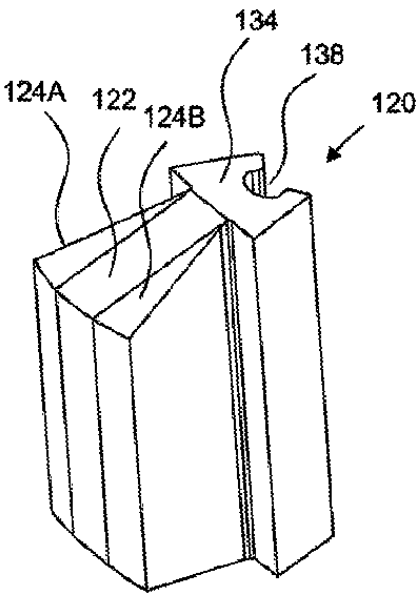


FIG. 23M

【図 2 3 N】

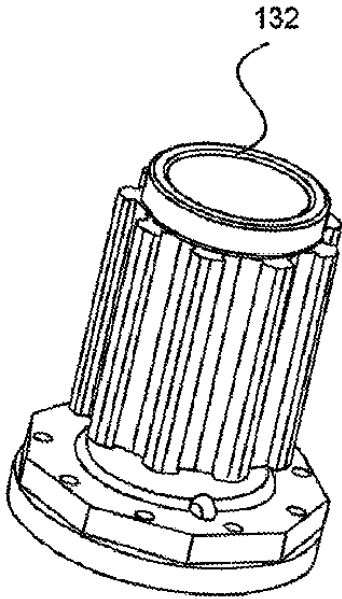


FIG. 23N

【図 2 4 A】

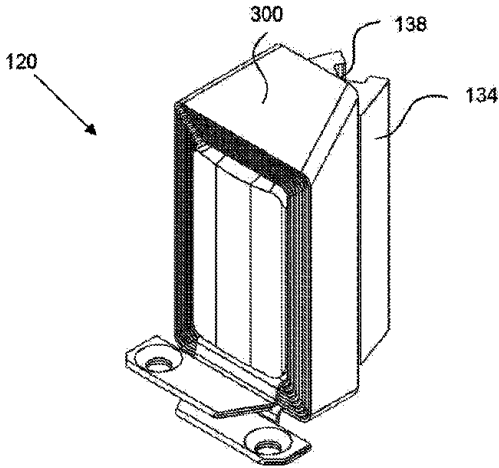


FIG. 24A

10

20

30

40

50

【図 2 4 B】

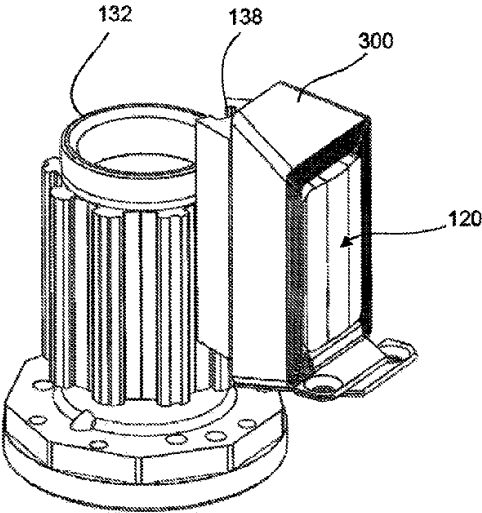


FIG. 24B

【図 2 4 C】

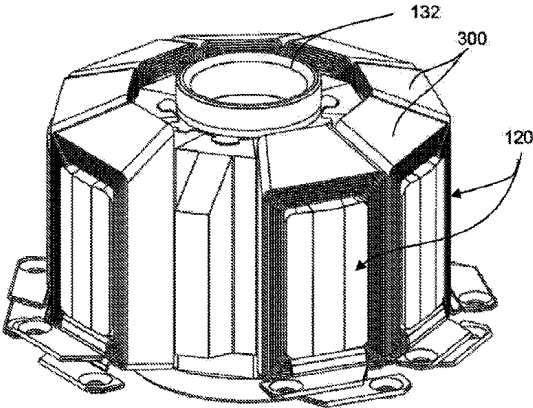


FIG. 24C

【図 2 4 D】

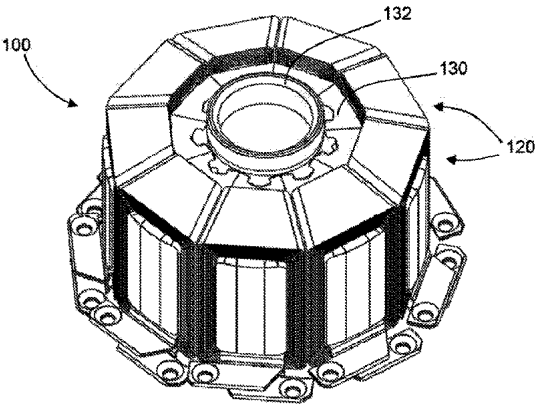


FIG. 24D

【図 2 5 A】

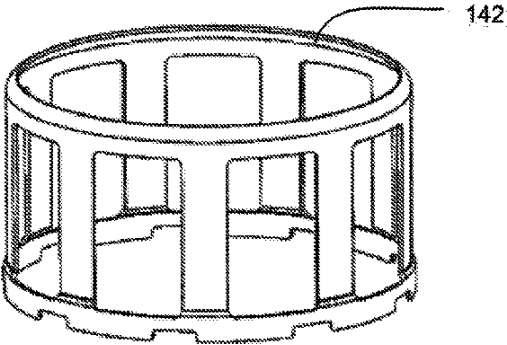


FIG. 25A

10

20

30

40

50

【図 2 5 B】

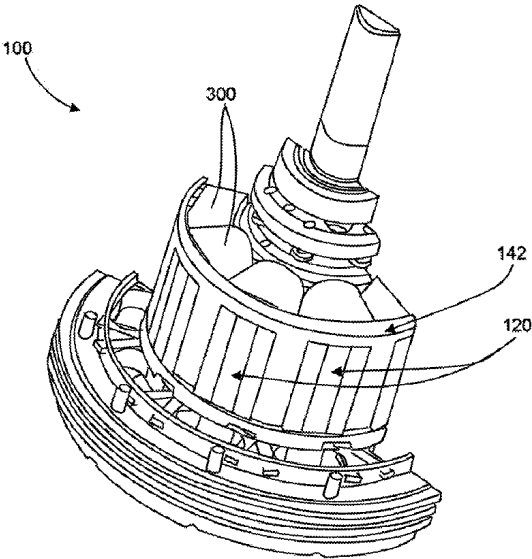


FIG. 25B

【図 2 6 A】

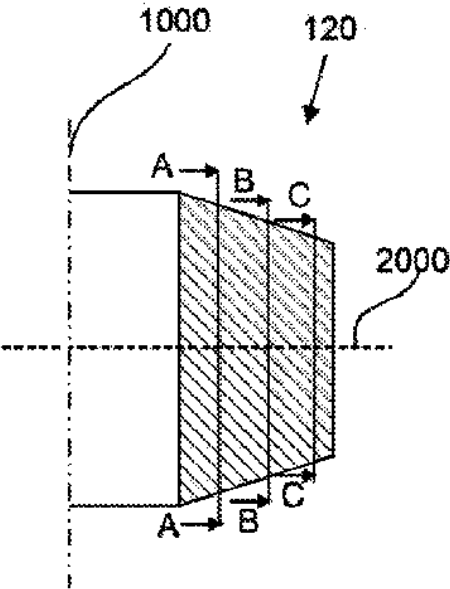


FIG. 26A

【図 2 6 B】

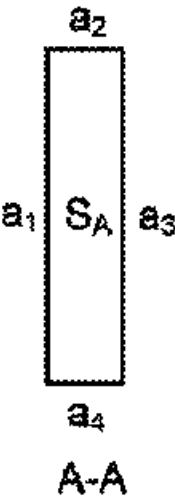


FIG. 26B

【図 2 6 C】

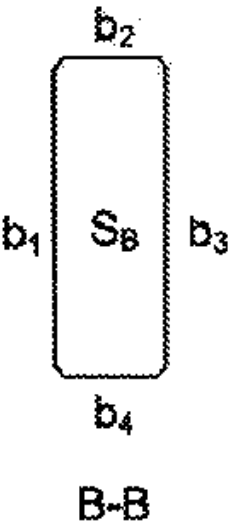


FIG. 26C

10

20

30

40

50

【図 2 6 D】

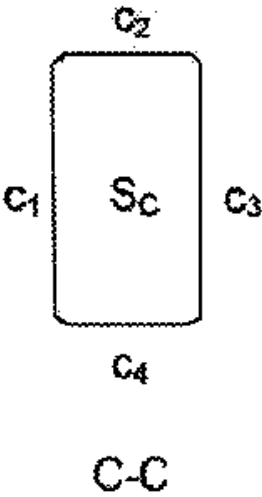


FIG. 26D

【図 2 7 A】

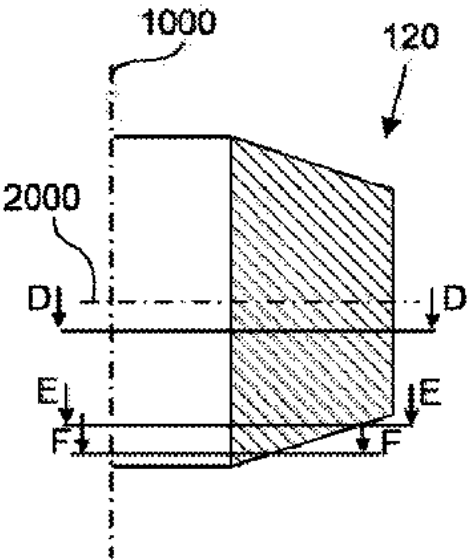


FIG. 27A

【図 2 7 B】

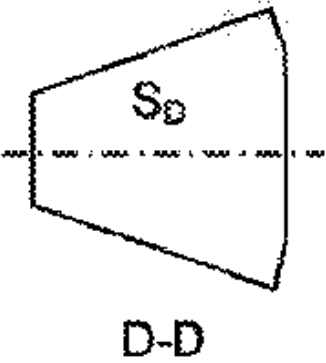


FIG. 27B

【図 2 7 C】

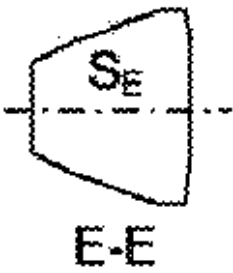


FIG. 27C

【図 27 D】



【図 28 A】

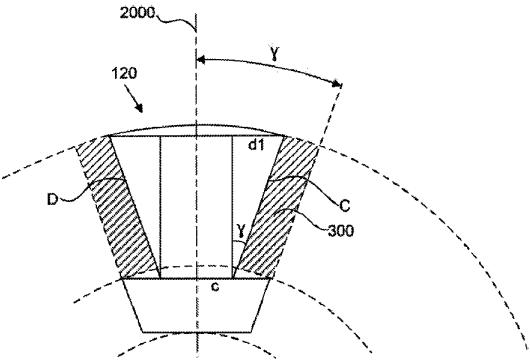


FIG. 28A

FIG. 27D

【図 28 B】

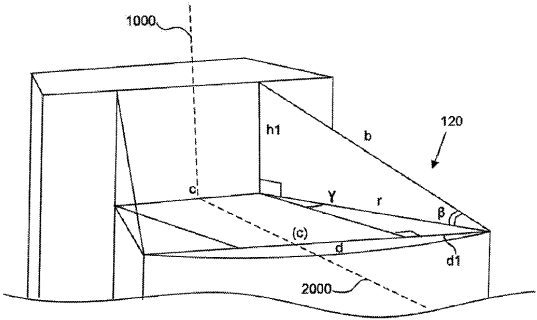


FIG. 28B

【図 29 A】

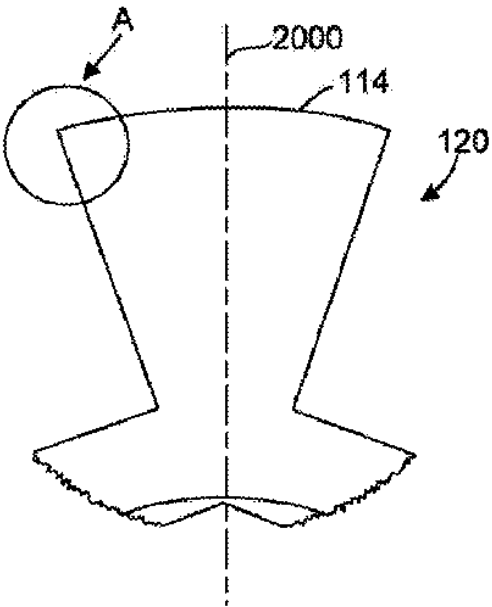


FIG. 29A

10

20

30

40

50

【図 29 B】

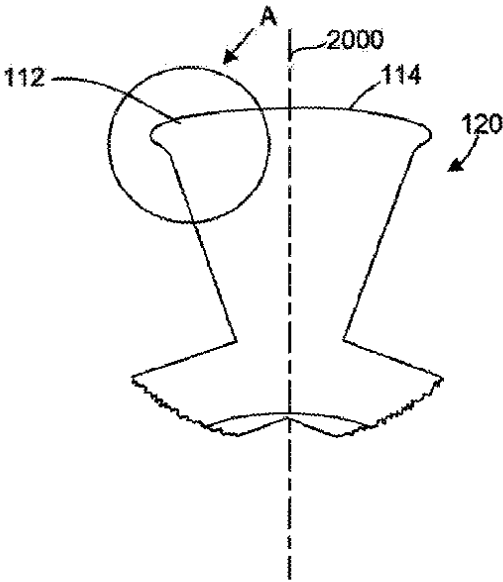


FIG. 29B

【図 30】

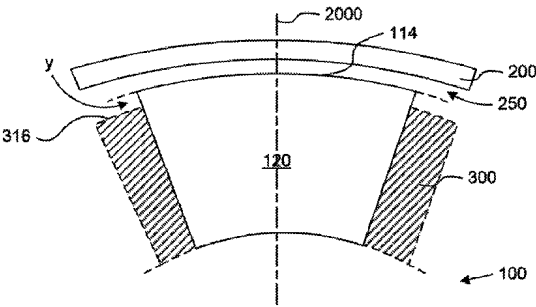
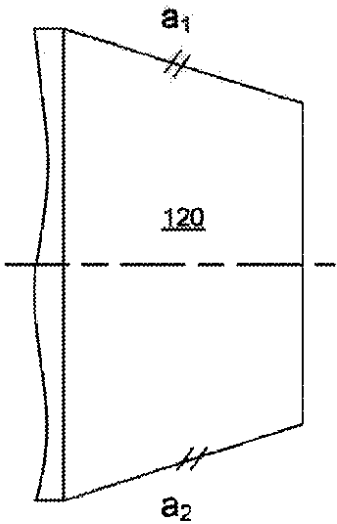


FIG. 30

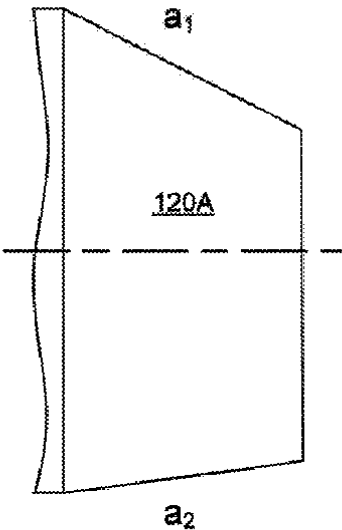
【図 31 A】



$a_1 = a_2$

FIG. 31A

【図 31 B】



$a_1 \neq a_2$

FIG. 31B

10

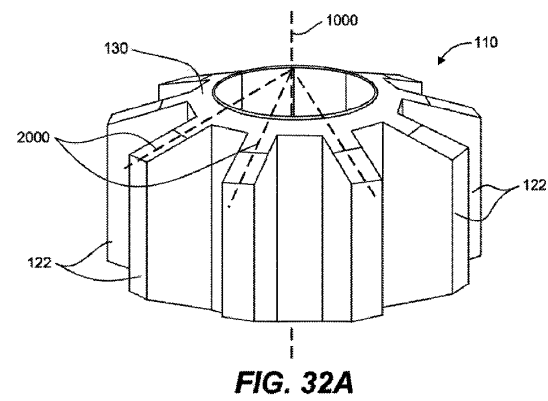
20

30

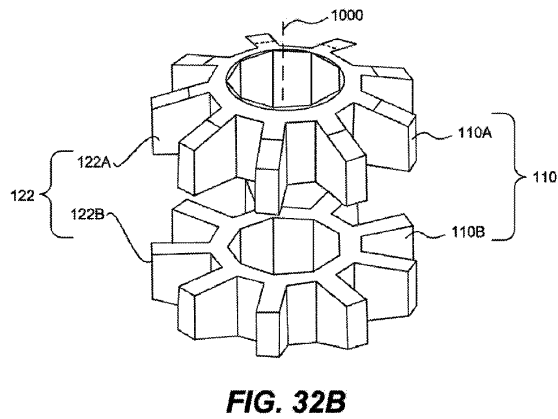
40

50

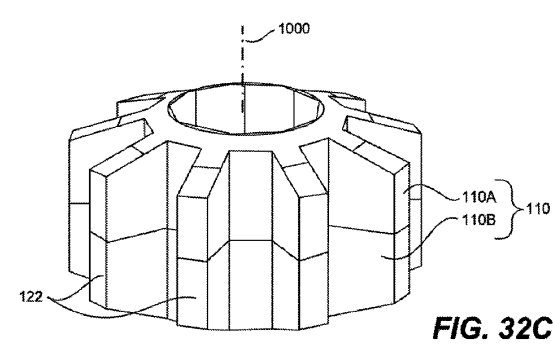
【図 3 2 A】



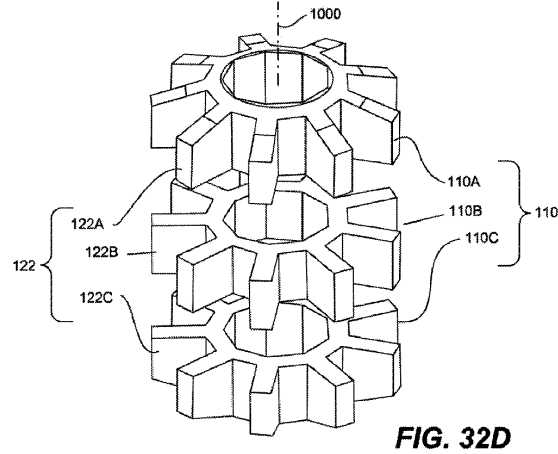
【図 3 2 B】



【図 3 2 C】



【図 3 2 D】



10

20

30

40

50

【図 3 2 E】

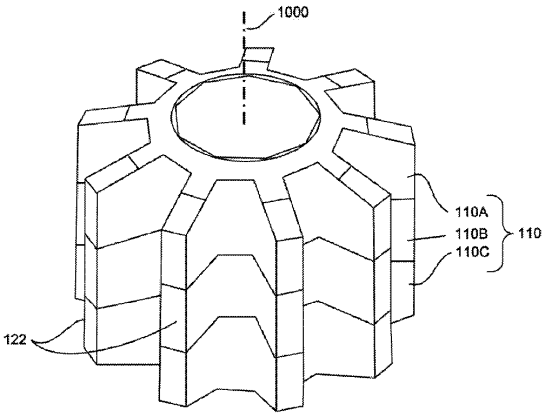


FIG. 32E

【図 3 3 A】

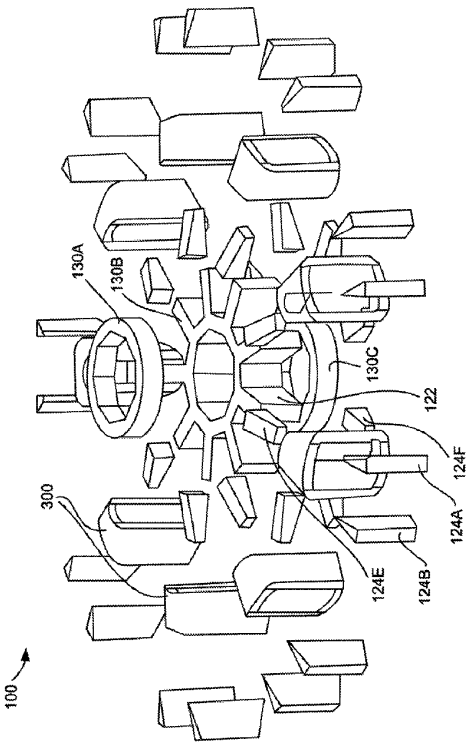


FIG. 33A

【図 3 3 B】

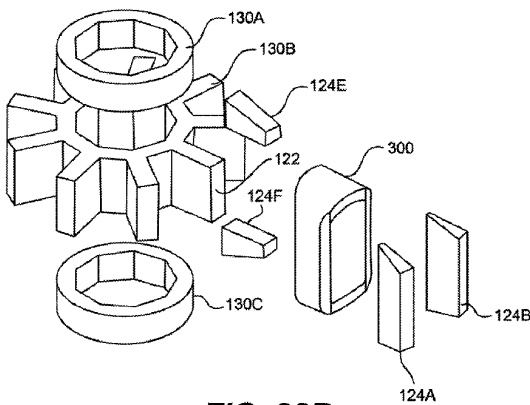


FIG. 33B

【図 3 3 C】

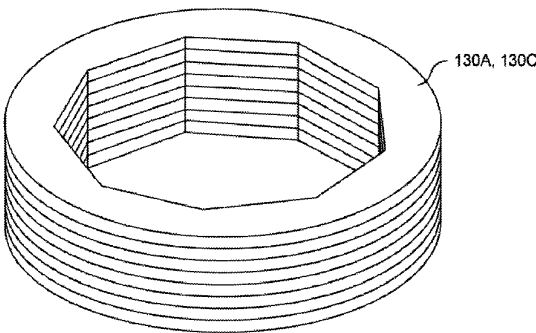


FIG. 33C

10

20

30

40

50

【図 3 4 A】

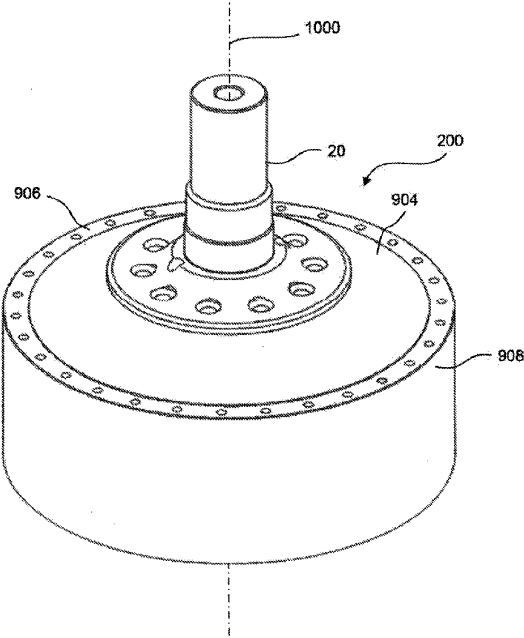


FIG. 34A

【図 3 4 B】

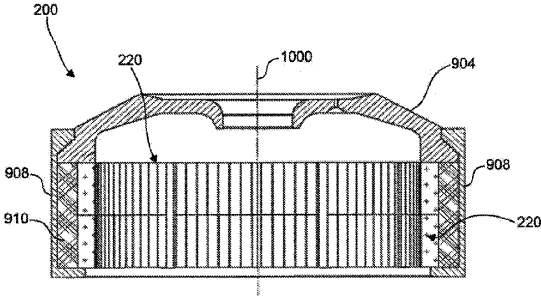


FIG. 34B

10

20

【図 3 5】

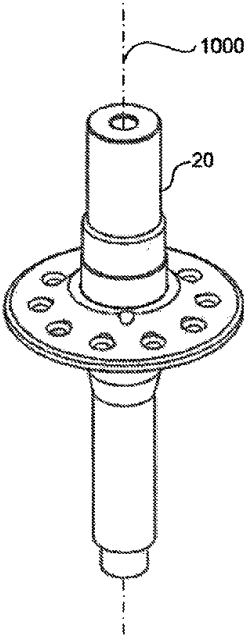


FIG. 35

【図 3 6】

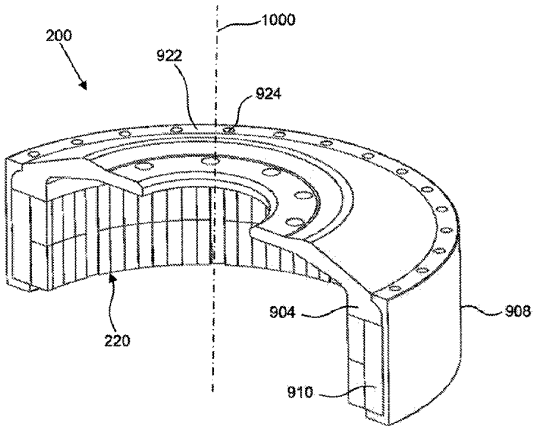


FIG. 36

30

40

50

【図 3 7】

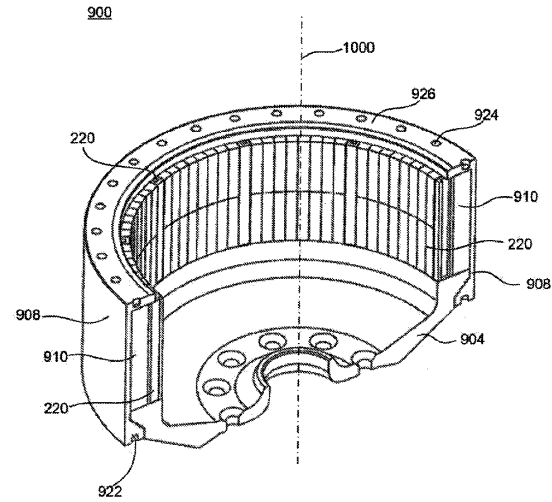


FIG. 37

【図 3 8 A】

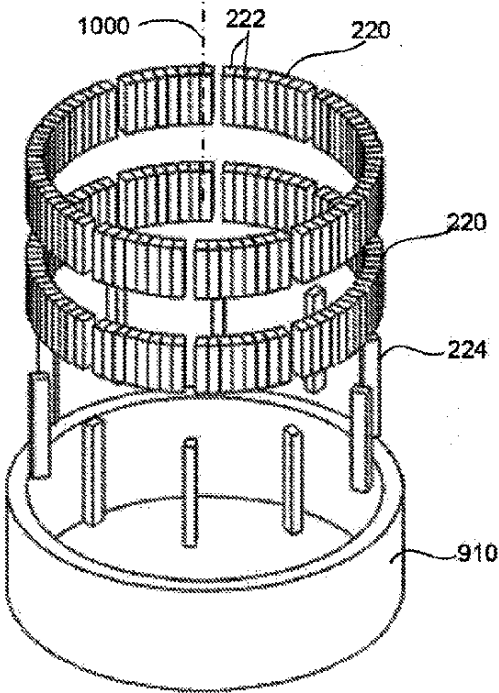


FIG. 38A

【図 3 8 B】

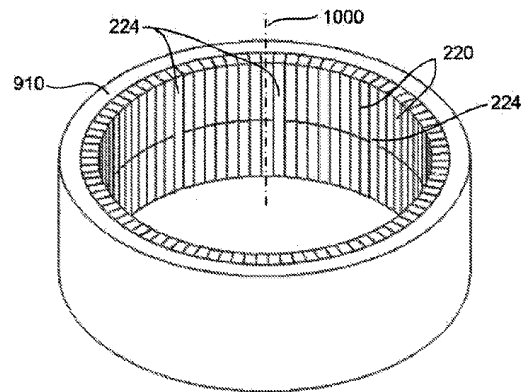


FIG. 38B

【図 3 8 C】

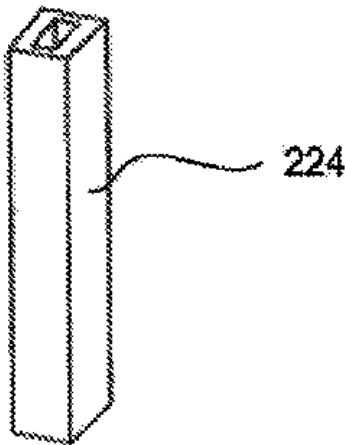


FIG. 38C

10

20

30

40

50

【図 3 8 D】

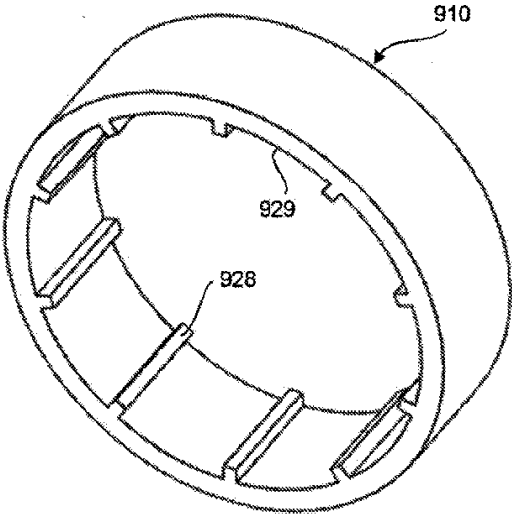


FIG. 38D

【図 3 9】

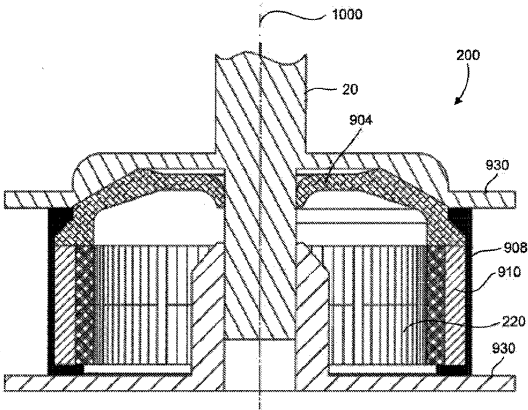


FIG. 39

【図 4 0】

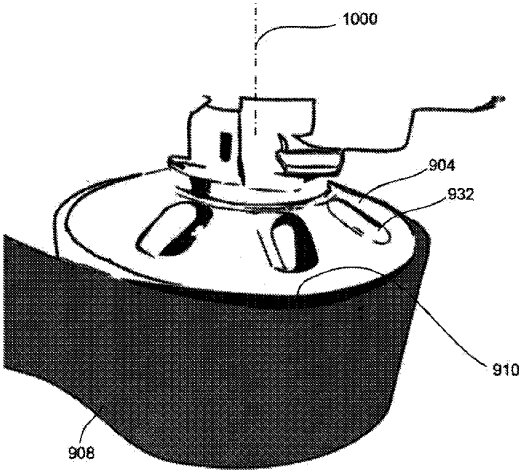


FIG. 40

【図 4 1】

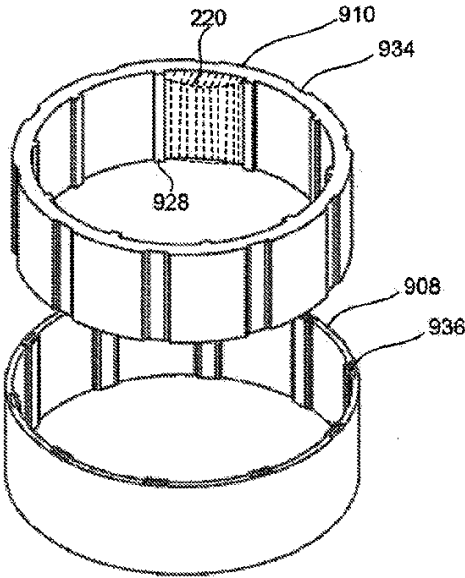


FIG. 41

10

20

30

40

50

【図 42 A】

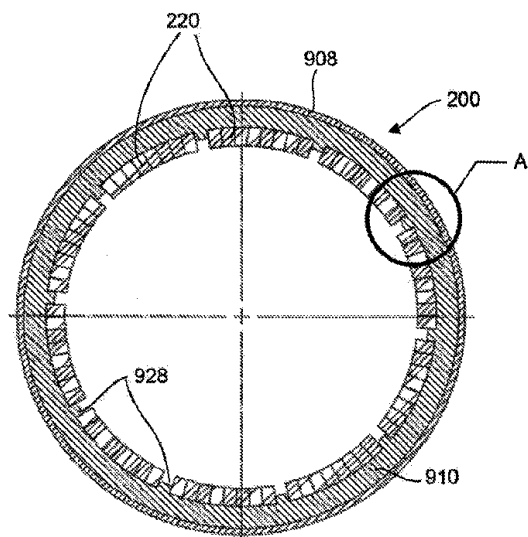


FIG. 42A

【図 42 B】

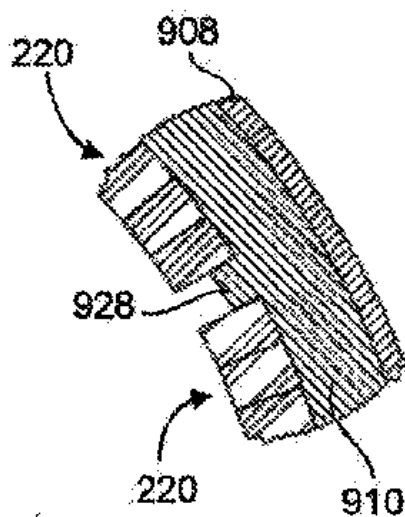


FIG. 42B

【図 43】

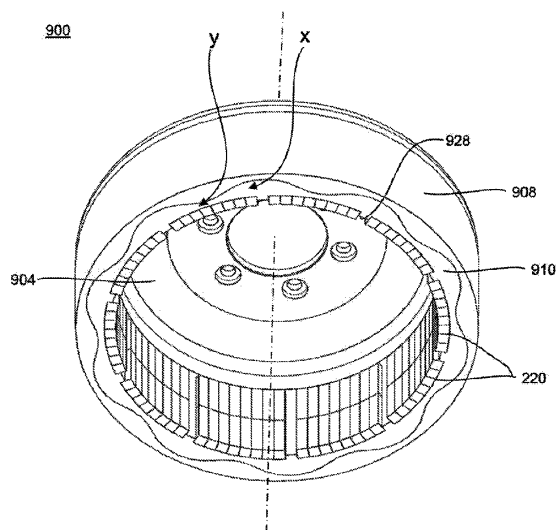


FIG. 43

【図 44】

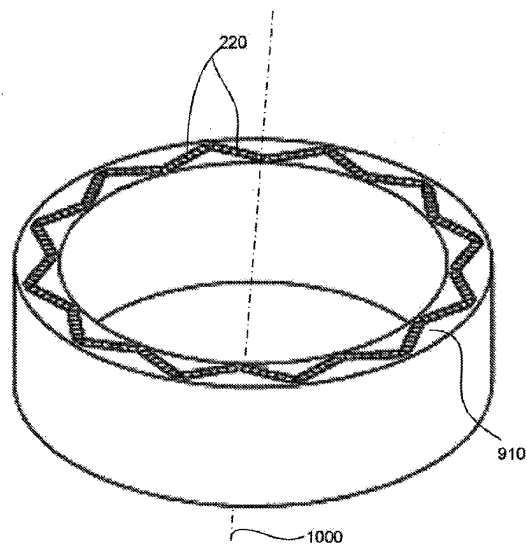


FIG. 44

10

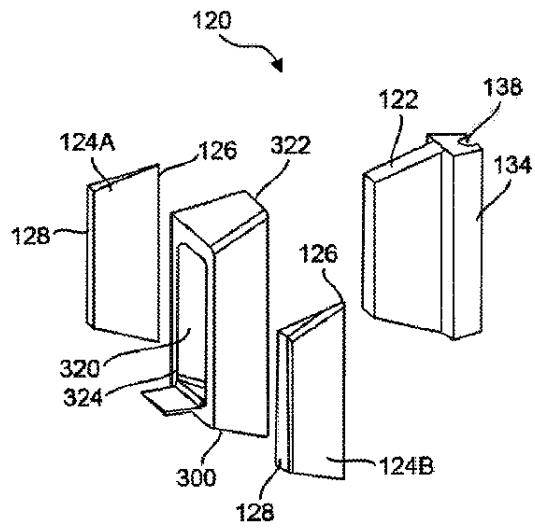
20

30

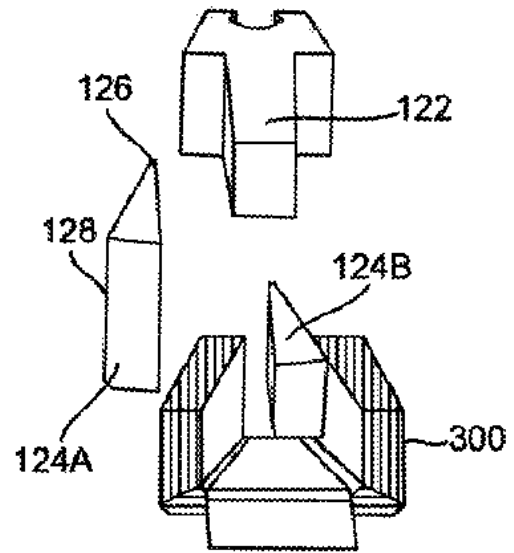
40

50

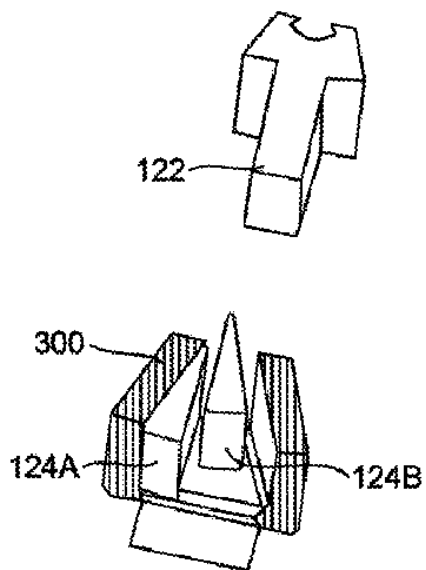
【図 4 5 A】

**FIG. 45A**

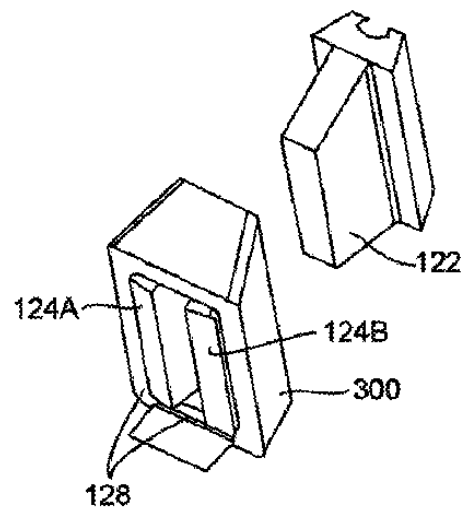
【図 4 5 B】

**FIG. 45B**

【図 4 5 C】

**FIG. 45C**

【図 4 5 D】

**FIG. 45D**

10

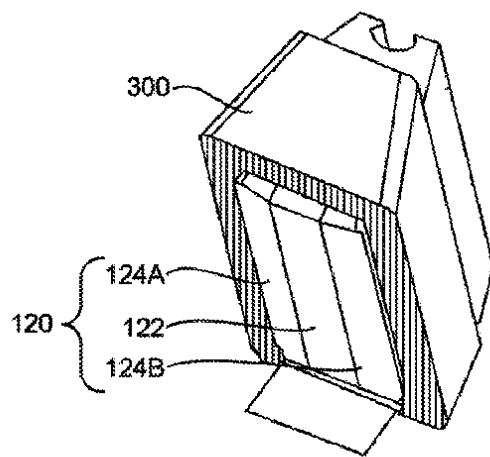
20

30

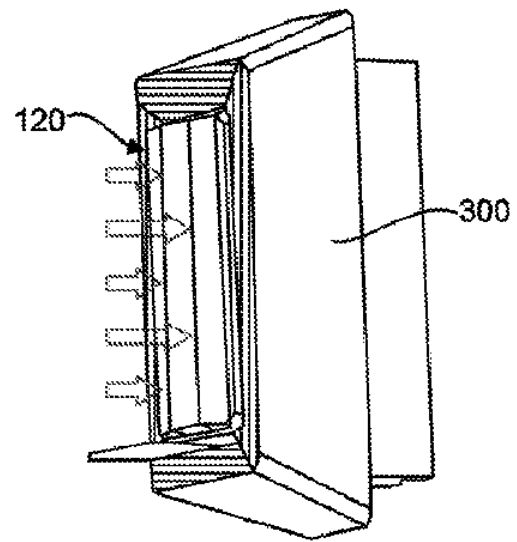
40

50

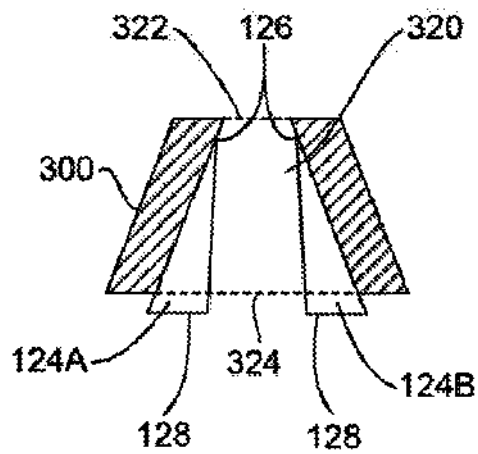
【図 4 5 E】

**FIG. 45E**

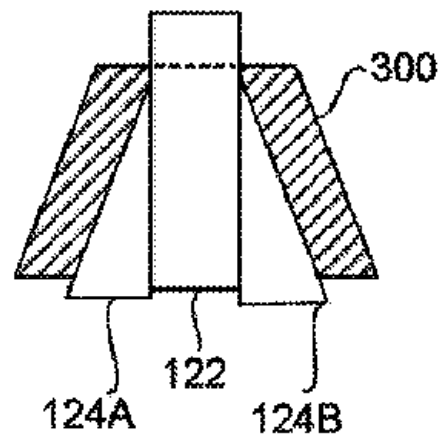
【図 4 5 F】

**FIG. 45F**

【図 4 6 A】

**FIG. 46A**

【図 4 6 B】

**FIG. 46B**

10

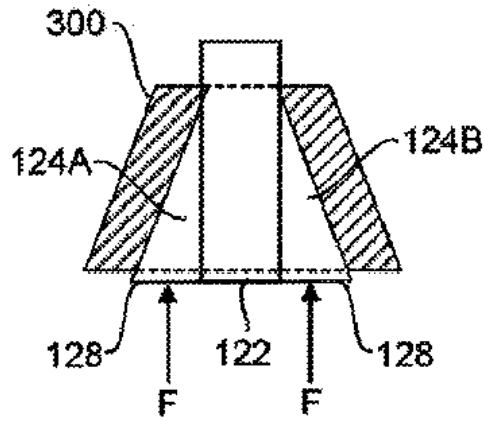
20

30

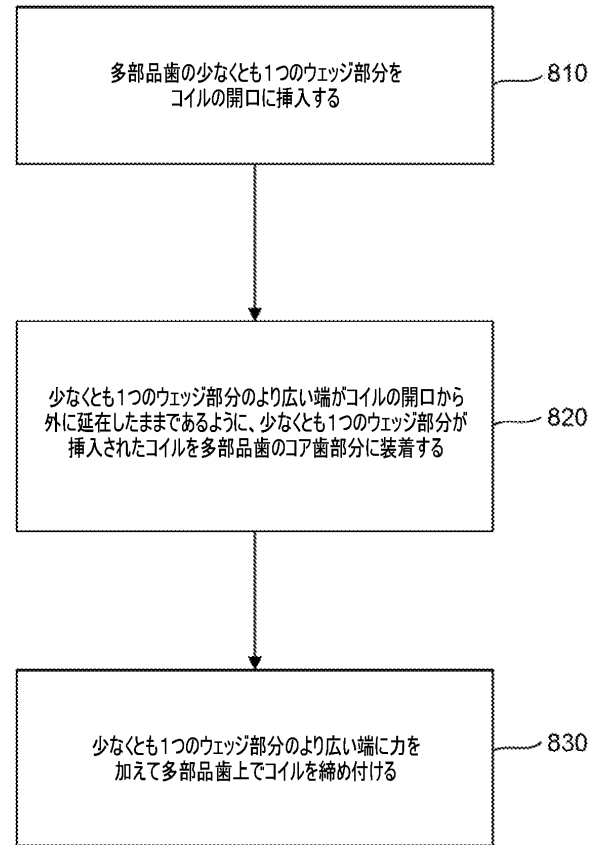
40

50

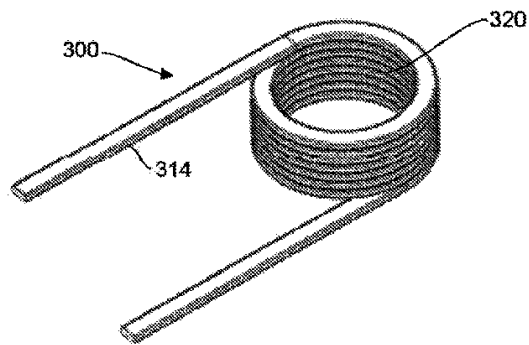
【図 4 6 C】

**FIG. 46C**

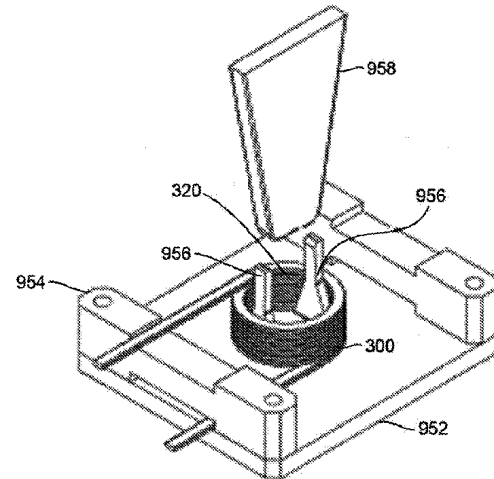
【図 4 7】



【図 4 8 A】

**FIG. 48A**

【図 4 8 B】

**FIG. 48B**

10

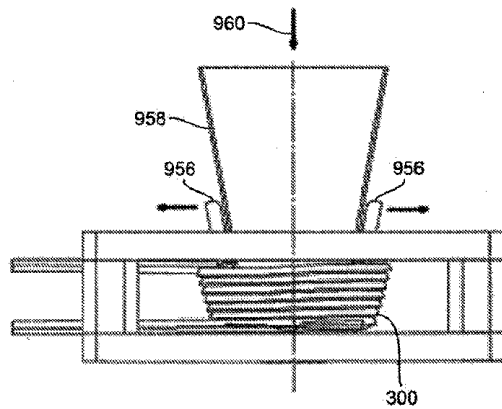
20

30

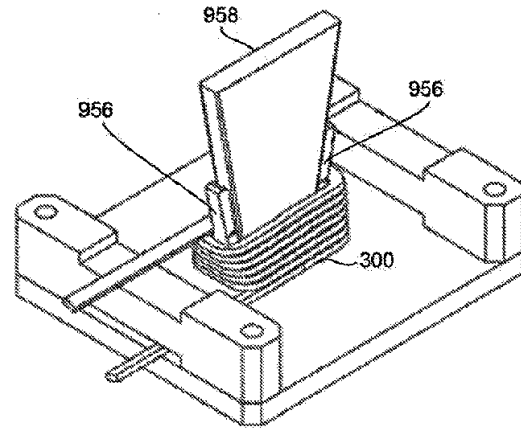
40

50

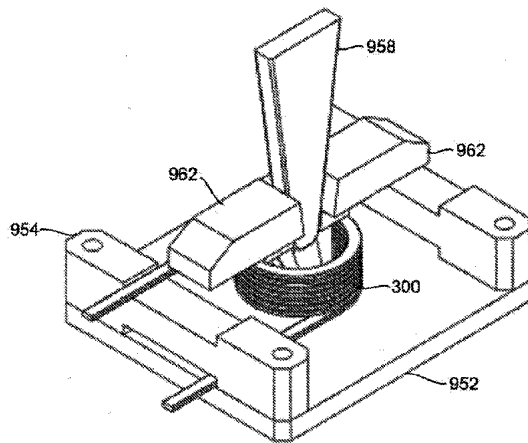
【図 48 C】

**FIG. 48C**

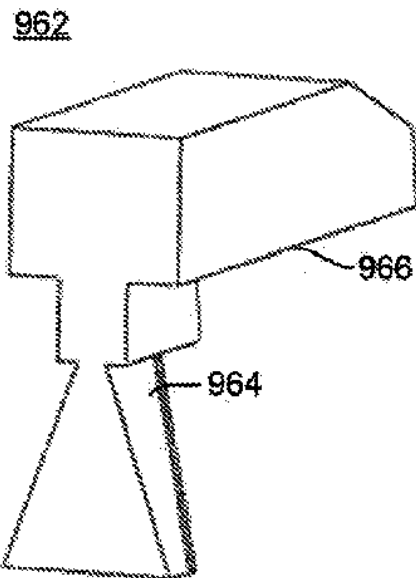
【図 48 D】

**FIG. 48D**

【図 49 A】

**FIG. 49A**

【図 49 B】

**FIG. 49B**

10

20

30

40

50

【図 49 C】

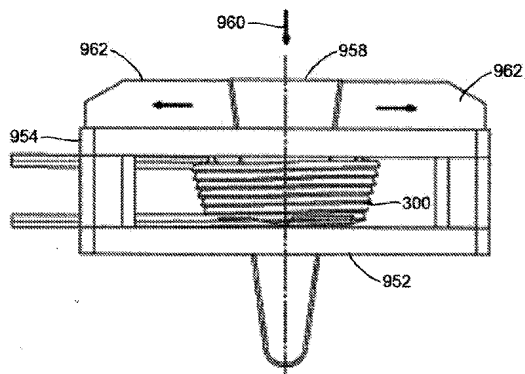


FIG. 49C

【図 49 D】

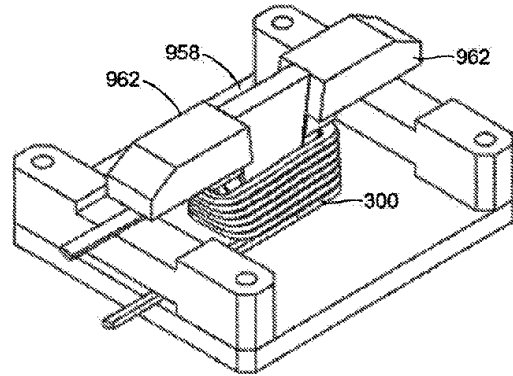


FIG. 49D

【図 50 A】

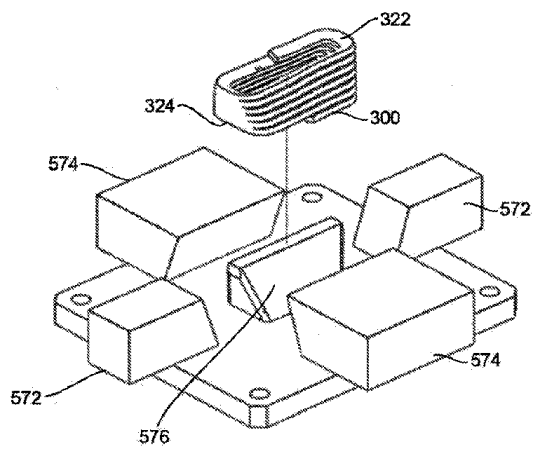


FIG. 50A

【図 50 B】

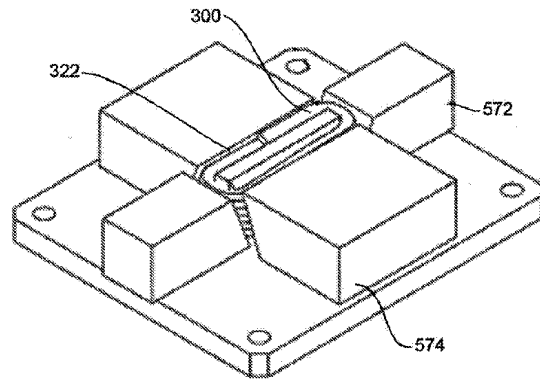


FIG. 50B

10

20

30

40

50

【図 50 C】

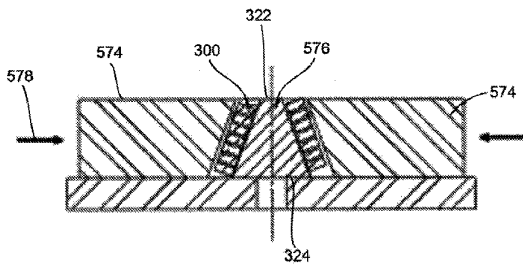


FIG. 50C

【図 50 D】

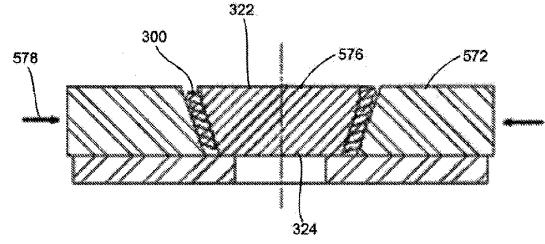


FIG. 50D

【図 51 A】

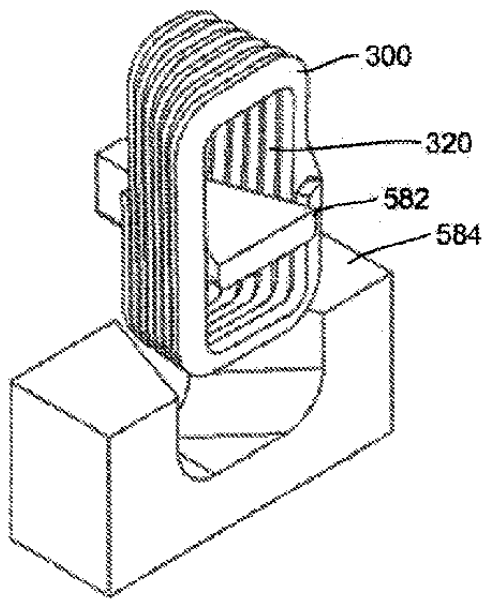


FIG. 51A

【図 51 B】

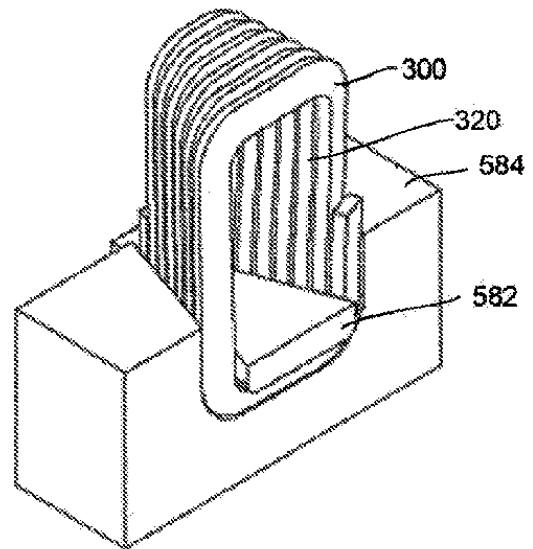


FIG. 51B

10

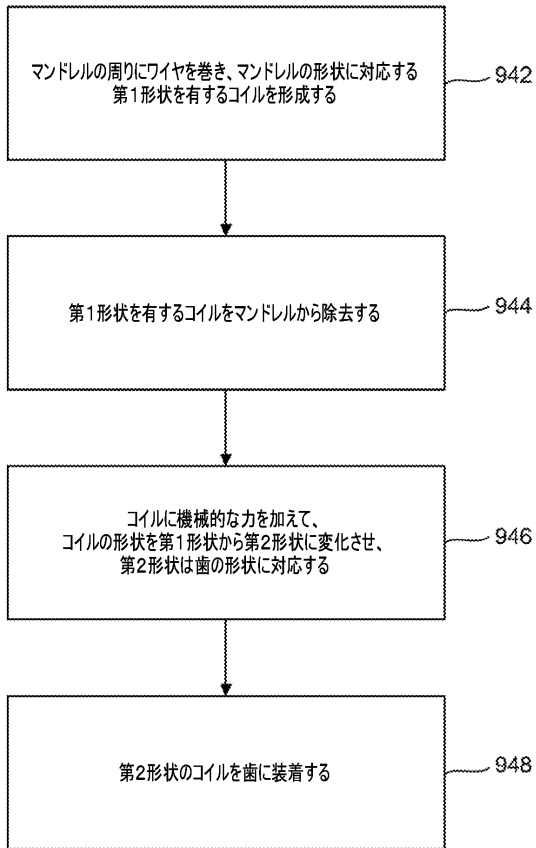
20

30

40

50

【図 5 2】



【図 5 3】

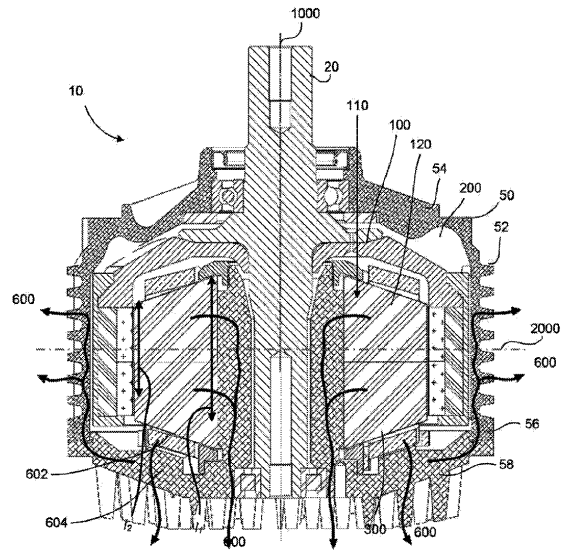


FIG. 53

【図 5 4】

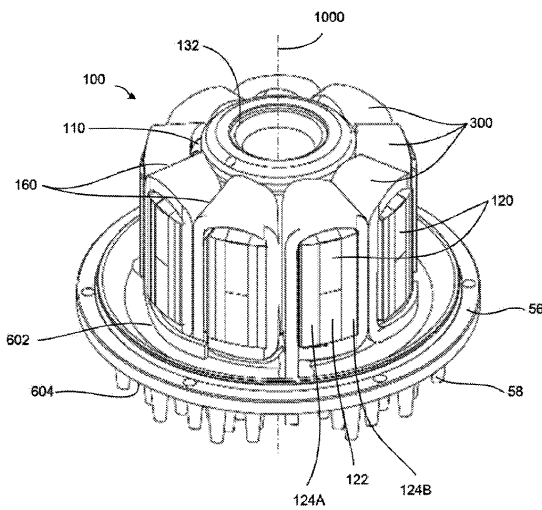


FIG. 54

【図 5 5】

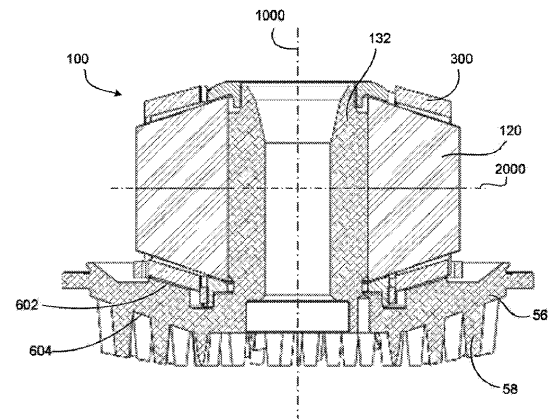


FIG. 55

10

20

30

40

50

【図 56】

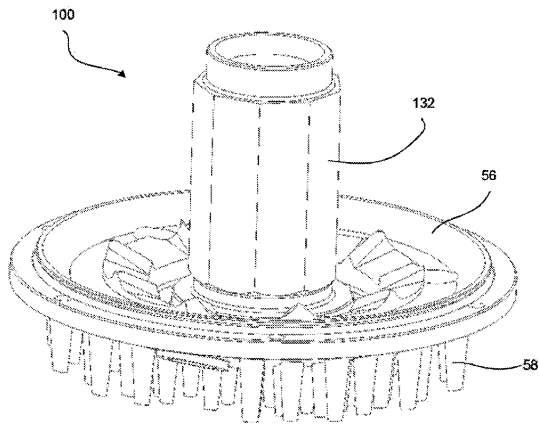


FIG. 56

【図 57】

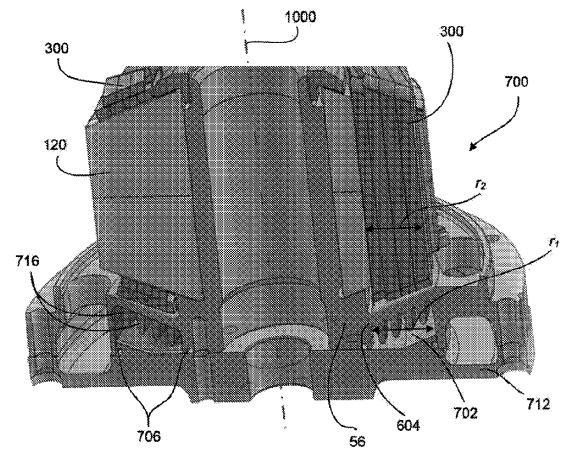


FIG. 57

【図 58】

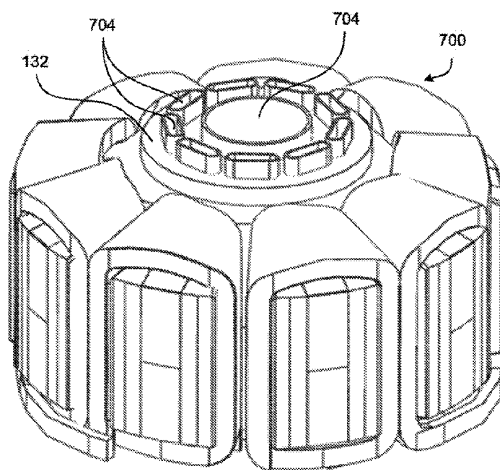


FIG. 58

【図 59】

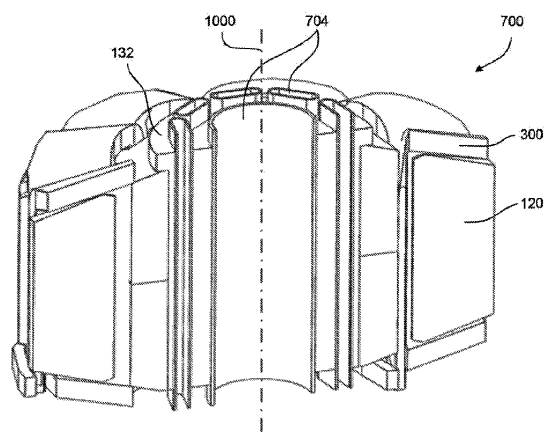


FIG. 59

10

20

30

40

50

【図 60】

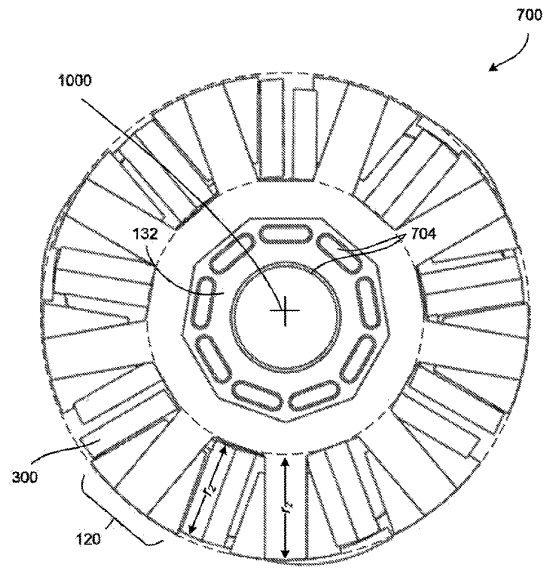


FIG. 60

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 K	15/06 (2025.01)	H 0 2 K	1/22	A
H 0 2 K	5/18 (2006.01)	H 0 2 K	15/06	
H 0 2 K	5/20 (2006.01)	H 0 2 K	5/18	
		H 0 2 K	5/20	

ド内

(72)発明者 シャビンスキー、ルスラン

イスラエル国 4 9 2 7 1 8 9 ペタフ テイクヴァ モディーン ストリート 31 イーヴィーアー
ル モーターズ リミテッド内

(72)発明者 ロジンスキー、エリヤフ

イスラエル国 4 9 2 7 1 8 9 ペタフ テイクヴァ モディーン ストリート 31 イーヴィーアー
ル モーターズ リミテッド内

審査官 三澤 哲也

(56)参考文献

米国特許出願公開第2019/0372408 (US, A1)

米国特許出願公開第2020/0274430 (US, A1)

特開2004-201483 (JP, A)

中国特許出願公開第111404290 (CN, A)

国際公開第2020/233936 (WO, A1)

特開2006-158176 (JP, A)

米国特許第9777770 (US, B2)

英国特許出願公開第2507072 (GB, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H 0 2 K 1/16

H 0 2 K 1/18

H 0 2 K 15/04

H 0 2 K 1/02

H 0 2 K 1/22

H 0 2 K 15/06

H 0 2 K 5/18

H 0 2 K 5/20