

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7601396号
(P7601396)

(45)発行日 令和6年12月17日(2024.12.17)

(24)登録日 令和6年12月9日(2024.12.9)

(51)国際特許分類		F I	
H O 2 K	1/2783(2022.01)	H O 2 K	1/2783
H O 2 K	16/02 (2006.01)	H O 2 K	16/02
H O 2 K	21/14 (2006.01)	H O 2 K	21/14 M
H O 2 K	21/22 (2006.01)	H O 2 K	21/22 M
請求項の数 10 (全24頁)			
(21)出願番号	特願2021-547004(P2021-547004)	(73)特許権者	501241645
(86)(22)出願日	令和2年9月18日(2020.9.18)		学校法人 工学院大学
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/035609		東京都新宿区西新宿1丁目24番2号
(87)国際公開番号	WO2021/054472	(74)代理人	110001519
(87)国際公開日	令和3年3月25日(2021.3.25)		弁理士法人太陽国際特許事務所
審査請求日	令和4年3月16日(2022.3.16)	(72)発明者	森下 明平
審判番号	不服2023-16229(P2023-16229/J1)		東京都新宿区西新宿1-24-2 学校法人工学院大学内
審判請求日	令和5年9月26日(2023.9.26)	合議体	
(31)優先権主張番号	特願2019-171621(P2019-171621)	審判長	恩田 春香
(32)優先日	令和1年9月20日(2019.9.20)	審判官	緑川 隆
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	審判官	柴垣 俊男
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 磁界発生装置及び回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

3以上の整数の何れか一つを分割数nとして、電気角1周期を前記分割数nで除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、

非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、

を含む磁界発生装置であって、

前記隔壁の厚さ寸法dは、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設定した配列方向に沿う一辺の長さ寸法lm、及び前記分割数nに応じて設定されており、前記隔壁の厚さ寸法dは、

$$0 < d \leq l m \times 1 / (n + 1) \times 1 . 5$$

を満たす

磁界発生装置。

【請求項2】

3以上の整数の何れか一つを分割数nとして、電気角1周期を前記分割数nで除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、

非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設さ

れ、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、を含む磁界発生装置であって、

前記隔壁の厚さ寸法 d は、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設定した配列方向に沿う一辺の長さ寸法 l_m 、及び前記分割数 n に応じて設定されており、前記隔壁の厚さ寸法 d は、

$$d = l_m / (n + 1)$$

を満たす

磁界発生装置。

【請求項 3】

前記保持部材は、外周面に前記永久磁石の各々の内周面が当接されると共に、外周面に前記隔壁の各々の径方向内側端が連結された内周壁を含む請求項 1 又は請求項 2 に記載の磁界発生装置。

10

【請求項 4】

前記界磁部の前記永久磁石の各々に対向される円環状に形成され前記界磁部に対して相対回転可能に設けられ、前記界磁部の磁力により該界磁部との間で磁場を形成する強磁性体と、

を含む請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の磁界発生装置。

【請求項 5】

前記界磁部が、前記複数の永久磁石が周方向に配列された第 1 界磁部、及び前記第 1 界磁部の径方向外側に配置され、前記複数の永久磁石が周方向に配列されて前記第 1 界磁部と一体に回転可能とされた第 2 界磁部を含み、

20

前記保持部材が、前記第 1 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 1 保持部材、及び前記第 2 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 2 保持部材を含む

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の磁界発生装置。

【請求項 6】

3 以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角 1 周期を前記分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、

非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、

30

前記永久磁石の各々が前記保持部材に保持された前記界磁部に対して相対回転可能に配置された電機子と、

を含む回転電機であって、

前記隔壁の厚さ寸法 d は、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設定した配列方向に沿う一辺の長さ寸法 l_m 、及び前記分割数 n に応じて設定されており、前記隔壁の厚さ寸法 d は、

$$0 < d \leq l_m \times 1 / (n + 1) \times 1.5$$

を満たす

回転電機。

40

【請求項 7】

3 以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角 1 周期を前記分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、

非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、前記永久磁石の各々が前記保持部材に保持された前記界磁部に対して相対回転可能に配置された電機子と、

を含む回転電機であって、

前記隔壁の厚さ寸法 d は、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設

50

定した配列方向に沿う一边の長さ寸法 l_m 、及び前記分割数 n に応じて設定されており、前記隔壁の厚さ寸法 d は、

$$d = l_m / (n + 1)$$

を満たす

回転電機。

【請求項 8】

前記界磁部の前記永久磁石の各々に対向される円環状に形成され前記界磁部に対して相対回転可能に設けられ、前記界磁部側の面に前記電機子の三相のコイルが周方向に配列された強磁性体と、

を含む請求項 6 又は請求項 7 に記載の回転電機。

10

【請求項 9】

前記界磁部が、前記複数の永久磁石が周方向に配列された第 1 界磁部、及び前記第 1 界磁部の径方向外側に配置され、前記複数の永久磁石が周方向に配列されて前記第 1 界磁部と一体に回転可能とされた第 2 界磁部を含み、

前記保持部材が、前記第 1 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 1 保持部材、及び前記第 2 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 2 保持部材を含み、

前記電機子が、前記第 1 界磁部と前記第 2 界磁部との間において三相のコイルが周方向に配列されている

請求項 6 又は請求項 7 に記載の回転電機。

【請求項 10】

20

前記保持部材は、外周面に前記永久磁石の各々の内周面が当接されると共に、外周面に前記隔壁の各々の径方向内側端が連結された内周壁を含む請求項 6 から請求項 9 の何れか 1 項に記載の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示の技術は、磁界発生装置及び回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

電動機や発電機などにおいては、永久磁石の N 極と S 極とが交互に配列された界磁（N－S 配列界磁）が用いられている。界磁では、配列された永久磁石の一侧（径方向の内側又は外側）の磁場が用いられるが、N－S 配列界磁では、配列された永久磁石の両側に磁場が生じ、磁場（永久磁石による磁気エネルギー）が有効活用されていない。

30

【0003】

一方、永久磁石配列の界磁には、例えば、磁極（着磁方向）の方向を 90° ずつ回転させて順に複数の永久磁石を配列するハルバッハ配列界磁がある。このハルバッハ配列界磁では、配列された永久磁石の他側よりも一侧に強い磁場を生じさせることができ、永久磁石が発生する磁場を有効利用できる。

【0004】

特開 2009-201343 号公報や特開 2010-154688 号公報等には、互いの磁場が強め合うように 2 組のハルバッハ磁石配列を対向配置することで、永久磁石が発生する磁場をより有効利用できる界磁（デュアルハルバッハ配列界磁）が開示されている。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、電動機に用いるハルバッハ配列界磁では、多数の永久磁石が互いに接するように（隙間なく）周方向に配列される。また、互いに隣接する永久磁石の着磁方向の角度は、0°（着磁方向が同じ方向）や 180°（着磁方向が反対方向）ではなく、分割数に応じた角度（例えば、90°、72°、45° など）となる。このため、ハルバッハ配列界磁では、互いに隣接する永久磁石の間において思わぬ方向に強い反発力や吸着力が生じ

50

るため、永久磁石の組み付けに時間や熟練を要することになり、作業性の向上が望まれている。

【0006】

本開示は上記事実を鑑みてなされたものであり、組み付け作業性を向上できる磁界発生装置及び回転電機を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するための第1の態様の磁界発生装置は、3以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角1周期を前記分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、を含む。

【0008】

第1の態様の磁界発生装置では、3以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角1周期を分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列されて界磁部が形成されている。また、界磁部には、非磁性体や合成樹脂などの非磁性の材料が用いられた保持部材が設けられており、界磁部では、保持部材によって複数の永久磁石の各々が保持されている。

【0009】

ここで、保持部材は、内周面に永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁の周方向において、各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有している。これにより、永久磁石は、周方向に隣接する隔壁の間に嵌入配置されることで、保持部材に保持されて界磁部に組み付けられるので、界磁部への永久磁石の組付け性を向上できる。

【0010】

第2の態様の磁界発生装置は、第1の態様において、前記保持部材は、外周面に前記永久磁石の各々の内周面が当接されると共に、外周面に前記隔壁の各々の径方向内側端が連結された内周壁を含む。

【0011】

第2の態様の磁界発生装置では、保持部材に内周壁が設けられており、内周壁と外周壁との間に永久磁石の各々が配置される。このため、保持部材への永久磁石の組み付けがより容易なり、界磁部の組付け性をより向上できて、界磁部の生産性を向上できる。

【0012】

第3の態様の磁界発生装置は、第1又は第2の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設定した配列方向に沿う一辺の長さ寸法 lm 、及び前記分割数 n に応じて設定されている。この際、長さ寸法 lm の基準とする永久磁石には、直線状に配列された永久磁石が適用される。

【0013】

第4の態様の磁界発生装置は、第3の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、 $0 < d \leq lm \times 1 / (n + 1) \times 1.5$ を満たす。また、第5の態様の磁界発生装置は、第3又は第4の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、 $d = lm / (n + 1)$ を満たす。

【0014】

第6の態様の磁界発生装置は、第1から第5の何れか1の態様において、前記界磁部の前記永久磁石の各々に対向される円環状に形成され前記界磁部に対して相対回転可能に設けられ、前記界磁部の磁力により該界磁部との間で磁場を形成する強磁性体と、を含む。

【0015】

第6の態様の磁界発生装置では、界磁部に対応して強磁性体が相対回転可能に配置されている。これにより、界磁部の永久磁石と強磁性体との間で効果的な磁場を形成できる。

【0016】

第 7 の態様の磁界発生装置は、第 1 から第 5 の何れか 1 の態様において、前記界磁部が、前記複数の永久磁石が周方向に配列された第 1 界磁部、及び前記第 1 界磁部の径方向外側に配置され、前記複数の永久磁石が周方向に配列されて前記第 1 界磁部と一体に回転可能とされた第 2 界磁部を含み、前記保持部材が、前記第 1 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 1 保持部材、及び前記第 2 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 2 保持部材を含む。

【0017】

第 7 の態様の磁界発生装置では、第 1 界磁部と第 2 界磁部とが対で設けられており、第 1 界磁部及び第 2 界磁部は、各々第 1 保持部材及び第 2 保持部材を備えている。これにより、第 1 界磁部及び第 2 界磁部を対で配置する際、第 1 界磁部及び第 2 界磁部の各々への永久磁石の組み付けが容易となって、生産性を向上できる。

10

【0018】

第 8 の態様の回転電機は、3 以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角 1 周期を前記分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列された界磁部と、非磁性の材料が用いられ、内周面に前記永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び前記外周壁の周方向において各々が該外周壁の内面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に前記永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有する保持部材と、前記永久磁石の各々が前記保持部材に保持された前記界磁部に対して相対回転可能に配置された電機子と、を含む。

【0019】

20

第 8 の態様の回転電機では、界磁部と電機子とが相対回転される。界磁部には、3 以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角 1 周期を分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列されている。また、界磁部には、保持部材が設けられ、保持部材によって複数の永久磁石の各々が保持されている。

【0020】

ここで、保持部材には、非磁性の材料が用いられている。また、保持部材は、円環状の内周面に永久磁石の各々の外周面が当接される円環状の外周壁、及び外周壁の周方向において該外周壁の内周面から径方向の内側に突設され、隣接する互いの間の各々に永久磁石が嵌入される複数の隔壁を有している。これにより、外周壁の周方向に隣接する隔壁の間に永久磁石を嵌入配置することで、保持部材に永久磁石を組み付けることができ、界磁部への永久磁石の組み付けが容易となるので、界磁部の組付け性を向上できる。

30

【0021】

第 9 の態様の回転電機は、第 8 の態様において、前記界磁部の前記永久磁石の各々に対向される円環状に形成され前記界磁部に対して相対回転可能に設けられ、前記界磁部側の面に前記電機子の三相のコイルが周方向に配列された強磁性体と、を含む。

【0022】

第 10 の態様の回転電機は、第 8 の態様において、前記界磁部が、前記複数の永久磁石が周方向に配列された第 1 界磁部、及び前記第 1 界磁部の径方向外側に配置され、前記複数の永久磁石が周方向に配列されて前記第 1 界磁部と一体に回転可能とされた第 2 界磁部を含み、前記保持部材が、前記第 1 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 1 保持部材、及び前記第 2 界磁部の前記複数の永久磁石の各々を保持する第 2 保持部材を含み、前記電機子が、前記第 1 界磁部と前記第 2 界磁部との間において三相のコイルが周方向に配列されている。

40

【0023】

第 11 の態様の回転電機は、第 8 から第 10 の何れか 1 の態様において、前記保持部材は、外周面に前記永久磁石の各々の内周面が当接されると共に、外周面に前記隔壁の各々の径方向内側端が連結された内周壁を含む。

【0024】

第 12 の態様の回転電機は、第 8 から第 11 の何れか 1 の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、前記永久磁石の着磁方向に沿う断面において予め基準として設定した配列方

50

向に沿う一辺の長さ寸法 l_m 、及び前記分割数 n に応じて設定されている。この際、長さ寸法 l_m の基準とする永久磁石には、直線状に配列された永久磁石が適用される。

【0025】

ここで、本態様の回転電機は、第9の態様を引用する第12の態様において、前記強磁性体の前記界磁部側の周方向の長さ寸法 L_f 、及び前記界磁部の磁極数 P について、前記長さ寸法 l_m は、 $L_f = l_m \times n \times P$ の関係を満たすことを含む。

【0026】

また、本態様の回転電機は、第10の態様を引用する第12の態様において、前記第1界磁部と前記第2界磁部との間のギャップ中心 G_c の周方向の長さ寸法 L_g 、前記界磁部の磁極数 P について、前記長さ寸法 l_m は、 $L_g = l_m \times n \times P$ の関係を満たすことを含む。

10

【0027】

第13の態様の回転電機は、第12の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、 $0 < d \leq l_m \times 1 / (n + 1) \times 1.5$ を満たす。また、第14の態様の回転電機は、第12又は第13の態様において、前記隔壁の厚さ寸法 d が、 $d = l_m / (n + 1)$ を満たす。

【発明の効果】

【0028】

以上説明したように本開示の磁界発生装置及び回転電機によれば、3以上の整数の何れか一つを分割数 n として、電気角1周期を分割数 n で除した角度ずつ着磁方向が順に変更されて複数の永久磁石が周方向に配列される界磁部において、複数の永久磁石の組み付けを容易にできるので、装置の生産性を向上できる、という効果が得られる。

20

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本実施形態に係る電動機の主要部を示す概略図である。

【図2】ハルバッハ磁石配列を示す概略図である。

【図3A】2つのハルバッハ磁石配列が対向された磁界発生部において一方のハルバッハ磁石配列を強磁性体に置き換えた磁界発生部を示す概略構成図である。

【図3B】2つのハルバッハ磁石配列が対向された磁界発生部を示す概略構成図である。

【図4A】図3Aを変形した磁界発生部を示す概略構成図である。

【図4B】図3Bを変形した磁界発生部を示す概略構成図である。

30

【図5】本実施形態に係る界磁ホルダを示す斜視図である。

【図6】本実施形態に係る界磁部の主要部を示す斜視図である。

【図7A】 $n = 4$ における永久磁石の間隔寸法に対する体積比の変化及び基本波の振幅の変化を示す線図である。

【図7B】 $n = 4$ における基本波成分に対する第5次高調波成分の振幅比の永久磁石の間隔寸法に対する変化を示す線図である。

【図8A】 $n = 8$ における永久磁石の間隔寸法に対する体積比の変化及び基本波の振幅の変化を示す線図である。

【図8B】 $n = 8$ における基本波成分に対する第5次高調波成分の振幅比の永久磁石の間隔寸法に対する変化を示す線図である。

40

【図9】変形例に係る電動機の主要部を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、図面を参照して本開示の実施形態について詳細に説明する。

図1には、本実施形態に係る回転電機としての三相交流電動機（以下、電動機という）10の主要部の概略構成が軸方向視の平面図にて示されている。

【0031】

図1に示すように、電動機10は、回転子としての外形略円柱状のロータ12と、固定子としての略円環状（略円筒状でもよい）のステータ14とを備えている。電動機10は、ロータ12の中心軸線とステータ14の中心軸心とが重ねられ、ステータ14の内部に

50

ロータ 12 が相対回転可能に收容されている。

【0032】

ロータ 12 の外周部には、円環状（円筒状でもよい）の界磁部 16 が設けられている。また、ステータ 14 には、強磁性体としての円環状（円筒状でもよい）の外筒部 18、及び電機子 20 が設けられており、外筒部 18 には、内周面に電機子 20 が周方向に配置されている。これにより、電動機 10 は、ロータ 12 の界磁部 16 の径方向外側に電機子 20 が対向され、電機子 20 が一体で界磁部 16 に対して相対回転可能とされている。

【0033】

電動機 10 では、界磁部 16 の外周部に複数の永久磁石 22 が周方向に配列されており、電動機 10 には、ロータ 12 の界磁部 16 とステータ 14 の外筒部 18 とにより磁界発生装置としての磁界発生部 24 が構成されている。磁界発生部 24 は、界磁部 16 と外筒部 18 との間に磁場（磁界）を形成している。

10

【0034】

電動機 10 の電機子 20 には、複数のコイルとして U 相のコイル 20U、V 相のコイル 20V 及び W 相のコイル 20W が設けられている。コイル 20U、20V、20W（コイル 20U～20W）の各々には、巻き線としてリッツ線が用いられている。また、コイル 20U～20W の各々は、空芯コイルとされており、コイル 20U～20W は、各々集中巻きされて形成されている。

【0035】

電機子 20 は、三相分のコイル 20U、20V、20W が一組とされ、複数組のコイル 20U～20W が外筒部 18 の内周面に周方向に沿って所定の順序で配置されている。電動機 10 では、一例として、6 組のコイル 20U～20W が用いられており、電動機 10 は、スロット数 S が 18 とされている。電動機 10 では、6 組のコイル 20U～20W が相毎に直列接続され、例えば、外筒部 18 の周方向にコイル 20U、20V、20W、20U、20V、20W、・・・の順で配列されている。なお、電動機 10 では、コイル 20U～20W 及びコイル 20U～20W に対して逆巻きとされたコイル 20U'、20V'、20W' が用いられてもよい。この場合、電動機 10 では、コイル 20U'、20U、20U'、20V'、20V、20V'、20W'、20W、20W'、20U'、20U、・・・の順に外筒部 18 の周方向に配列される。

20

【0036】

電動機 10 では、コイル 20U、20V、20W に、各々電気角 1 周期の範囲で互いの位相が 120° ずらされた所定周波数の三相（U 相、V 相及び W 相）の交流電力が供給される。これにより、電動機 10 は、電機子 20（複数組のコイル 20U～20W の各々）に供給される三相交流電力の周波数に応じた回転数でロータ 12 が回転されて、出力軸 12A がロータ 12 と一体に回転駆動される。

30

【0037】

ここで、電動機 10 において磁界発生部 24 を形成するロータ 12 の界磁部 16 及びステータ 14 の外筒部 18 を説明する。

【0038】

磁界発生部 24 の界磁部 16 には、ハルバッハ磁石配列が適用されている。図 2 には、ハルバッハ磁石配列が適用されたシングルハルバッハ配列界磁（以下、ハルバッハ配列界磁という）26 の概略が平面図にて示されている。また、図 3A 及び図 3B には、各々ハルバッハ磁石配列が適用された磁界発生部 28A、28B の概略が平面図にて示されている。

40

【0039】

なお、図面では、永久磁石 22 において、N 極側が符号 N により示され、S 極側が符号 S により示されている。また、以下の説明では、永久磁石 22 の着磁方向が S 極側から N 極側に向かう矢印（実線による矢印）にて示され、磁力線が N 極側から S 極側（永久磁石 22 内では S 極側から N 極側）に向かう破線矢印にて示している。また、図面では、永久磁石 22 の配列方向の一方向が矢印 x にて示され、ハルバッハ磁石配列においてトルク発

50

生に寄与する磁力線の方向が矢印 y にて示されている。

【0040】

図2に示すように、ハルバッハ磁石配列には、着磁方向に沿う断面が略矩形状（略方形状、立体的には略直方体状）の永久磁石22が用いられる。また、ハルバッハ磁石配列では、分割数 n 及び分割数 n に基づいた角度 θ （図示省略）が設定され、着磁方向が所定の角度 θ ずつ変更されて分割数 n に応じた n 個の永久磁石22が所定方向（矢印 x 方向）に順に配列されている。これにより、シングルハルバッハ配列界磁26（以下では、単にハルバッハ配列界磁26という）が形成される。なお、角度 θ は、隣接する2つの永久磁石22の着磁方向の間の角度としている（図示省略）。

【0041】

ハルバッハ磁石配列では、分割数 n として3以上の整数が適用され、角度 θ は、電気角1周期（ $2\pi = 360^\circ$ ）を分割数 n （3以上の整数）で分割した角度が適用される。ハルバッハ配列界磁26では、一例として、分割数 $n = 4$ とし、角度 $\theta = 90^\circ$ （ $\theta = 360^\circ / 4 = 90^\circ$ ）としている。

【0042】

このハルバッハ配列界磁26では、着磁方向が 90° ずつ変更された永久磁石22A、22B、22C、22Dが順に配列されており（永久磁石22A～22Dの配列が繰り返されており）、永久磁石22Aの両側の永久磁石22B、22Dの着磁方向が永久磁石22A側に向けられている。これにより、ハルバッハ配列界磁26では、配列方向と交差する方向の一侧（永久磁石22Aの着磁方向側）の磁場が強くなり、他側（永久磁石22Aの着磁方向とは反対側）の磁場の強さが抑制されている。

【0043】

図3Bに示すように、磁界発生部28Bは、ハルバッハ配列界磁26（26A、26B）が対で配置されたデュアルハルバッハ配列界磁とされており、磁界発生部28Bでは、2組のハルバッハ配列界磁26A、26Bが所定の間隔（ギャップ長2G）だけ隔てて対向されている。

【0044】

具体的には、磁界発生部28Bは、ハルバッハ配列界磁26A、26Bにおいて互いに磁場の強い側が対向されて形成されている。この際、磁界発生部28Bでは、ハルバッハ配列界磁26A、26Bの一方（例えば、ハルバッハ配列界磁26A）の永久磁石22Aに、他方（例えば、ハルバッハ配列界磁26B）において着磁方向が同様となる永久磁石22Cが対向されている。

【0045】

すなわち、ハルバッハ配列界磁26A、26Bは、永久磁石22A同士（永久磁石22C同士でもよい）を着磁方向が同様の向きとした状態で、かつハルバッハ配列界磁26Bにおいて永久磁石22Aの両側の永久磁石22Bと永久磁石22Dとを入れ替えた状態とも言える。これにより、磁界発生部28Bでは、対で配置されるハルバッハ配列界磁26A、26Bの間に、一つのハルバッハ配列界磁26を用いた場合に比して強い磁場が形成される。

【0046】

一方、電界（静電気の分野）においては、鏡像法（電気映像法）が知られている。図示は省略するが、鏡像法においては、所定の距離（間隔寸法）2gを隔てて対向された正負の点電荷+q、-qの間の電気力線が、点電荷+q、-qの中間位置である距離gの位置を対称面とした面対称（二次元的には、線対称）となる。この状態で、点電荷+q、-qの一方（例えば、点電荷-q）を導体（完全導体）に置き換えて、導体の点電荷+q側の面を距離gの位置（点電荷+q、-qの中間位置）に配置する。これにより、鏡像法では、点電荷+qと導体との間の電気力線が、点電荷+q、-qの中間位置（対称面の位置）と点電荷+qとの間の電気力線と同様になる。

【0047】

この鏡像法は、導体に変えて強磁性材料（強磁性体）を用いることで、磁界（磁場）に

10

20

30

40

50

においても同様に成り立つ。ここから、図 3 A に示すように、磁界発生部 2 8 A では、磁界発生部 2 8 B のハルバッハ配列界磁 2 6 B に変えて強磁性材料を用いた強磁性体 3 0 が配置されている。強磁性体 3 0 は、ハルバッハ配列界磁 2 6 A 側の表面が磁界発生部 2 8 B におけるハルバッハ配列界磁 2 6 A、2 6 B の中間位置となるギャップ中心 G c の位置に配置されている。

【0048】

このため、磁界発生部 2 8 A では、磁界発生部 2 8 B におけるハルバッハ配列界磁 2 6 A、2 6 B 間の間隔寸法であるギャップ長 2 G に対し、ハルバッハ配列界磁 2 6 A と強磁性体 3 0 との間隔寸法がギャップ長 G とされている。これにより、磁界発生部 2 8 A では、ハルバッハ配列界磁 2 6 A と強磁性体 3 0 との間の磁束分布が、磁界発生部 2 8 A (デュアルハルバッハ配列界磁) におけるギャップ中心 G c とハルバッハ配列界磁 2 6 A との間における磁束部分と同様とされる。本実施形態に係る電動機 1 0 及び磁界発生部 2 4 では、磁界発生部 2 8 A、2 8 B における永久磁石 2 2 の配列が基準とされている。

【0049】

一方、デュアルハルバッハ磁石配列においては、所定の条件を満たすように永久磁石 2 2 の各々を変形して磁界発生部 2 8 A、2 8 B を円環状に形成することで、デュアルハルバッハ磁石配列による効果と同様の効果が得られる。

【0050】

図 1 に示すように、電動機 1 0 の磁界発生部 2 4 では、k 組 (組数 k) の永久磁石 2 2 A ~ 2 2 D が用いられ、永久磁石 2 2 A ~ 2 2 D が周方向に順に配列されたハルバッハ磁石配列により界磁部 1 6 が形成されている。電動機 1 0 では、一例として界磁部 1 6 に組数 k が 8 (8 組、 $k = 8$) の永久磁石 2 2 A ~ 2 2 D が用いられている。

【0051】

図 4 A 及び図 4 B の各々には、永久磁石 2 2 を円環状に配列した磁界発生部 (界磁) が軸方向視の平面図にて示されている。なお、図 4 A には、一組のハルバッハ磁石配列が用いられた磁界発生部 2 8 A に対応する磁界発生部 3 2 A が示され、図 4 B には、二組のハルバッハ磁石配列 (デュアルハルバッハ磁石配列) が用いられた磁界発生部 2 8 B に対応する磁界発生部 3 2 B が示されている。また、以下では、説明を簡略化するために、変形された永久磁石に変形前の永久磁石 2 2 と同様の符号を付している。

【0052】

ハルバッハ磁石配列では、分割数 n に応じた n 個の永久磁石 2 2 が一組とされており、ハルバッハ磁石配列は、n 個の永久磁石 2 2 の配列が N 極 / S 極の 2 極に対応し、磁極数 P が 2 極に相当している。これにより、電動機 1 0 には、界磁部 1 6 に 8 組の永久磁石 2 2 A ~ 2 2 D により一周分の総数 M が 3 2 ($M = n \times k = 32$ 個) の永久磁石 2 2 が用いられ、電動機 1 0 は、磁極数 P が 1 6 極とされている。

【0053】

図 2、図 3 A 及び図 3 B に示すように、ハルバッハ配列界磁 2 6 (2 6 A、2 6 B) における極ピッチ τ は、着磁方向が反転する範囲 (180° 変化する範囲) の配列方向に沿う長さとして示されている。永久磁石 2 2 を緊密に接触させながら配列した状態において、極ピッチ τ は、分割数 n と永久磁石 2 2 の配列方向に沿う一辺の長さ (長さ寸法) l_m から $\tau = (n \times l_m) / 2$ となる。磁界発生部 2 8 B では、ギャップ中心 G c において最大の鎖交磁束数が得られるギャップ長 2 G が、極ピッチ τ の 0.5 倍から 2.0 倍の範囲 ($0.5 \tau \leq 2 G \leq 2.0 \tau$) とされている。なお、永久磁石 2 2 の長さ寸法 l_m は、予め基準として設定された長さ寸法とされており、永久磁石 2 2 の長さ寸法 l_m は、ハルバッハ配列界磁 2 6 (2 6 A、2 6 B) において永久磁石 2 2 が磁場を形成する電機子 2 0 側の長さが適用されている。

【0054】

ここから、磁界発生部 2 8 A においてハルバッハ配列界磁 2 6 A の外周面 (永久磁石 2 2 の外周面) と強磁性体 3 0 の表面との間隔であるギャップ長 G は、極ピッチ τ の 0.25 倍から 1.0 倍の範囲 ($0.25 \tau \leq G \leq 1.0 \tau$) とされている。また、分割数 n に

10

20

30

40

50

対するギャップ長 G は、永久磁石 2 2 の長さ寸法 l_m の $(0.25 \times n \times l_m \times 1/2)$ 倍から $(1.0 \times n \times l_m \times 1/2)$ 倍の範囲に含まれる（すなわち、 $(0.125 \times n \times l_m) \leq G \leq (0.5 \times n \times l_m)$ ）。これにより、分割数 $n = 4$ の場合、ギャップ長 G は、永久磁石 2 2 の長さ寸法 l_m の 0.5 から 2.0 倍の範囲に含まれる（ $(0.5 \times l_m) \leq G \leq (2.0 \times l_m)$ ）。

【0055】

磁界発生部 2 8 B において、ハルバッハ配列界磁 2 6 A、2 6 B の各々が分割数 n とされた k 組の永久磁石 2 2 が配列される場合、ギャップ中心 G_c の配列方向に沿った長さ寸法は、 $k \times n \times l_m = 2 \times k \times \tau$ となる。

【0056】

図 4 B に示す磁界発生部 3 2 B は、磁界発生部 2 8 B におけるハルバッハ配列界磁 2 6 A、2 6 B を所定の条件を満たすように変形されて、ハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B が形成されている。磁界発生部 3 2 B は、ギャップ中心 G_c が基準円とされて、ハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B がギャップ中心 G_c を挟んで配置されており、磁界発生部 3 2 B では、ギャップ 3 6 を挟んでハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B が対向されている。また、ハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B は、ハルバッハ配列界磁 2 6 A、2 6 B における永久磁石 2 2 の各々が基準とされ、該永久磁石 2 2 の各々が扇形環状（部分環状）に変形されて、周方向に配列されて形成されている。

【0057】

ここで、磁界発生部 3 2 B と磁界発生部 2 8 B とは、ギャップ中心 G_c の長さ（円周）が同様にされている。また、磁界発生部 3 2 B では、ハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B の間の間隔（ギャップ長）が磁界発生部 2 8 B におけるギャップ長 $2G$ と同様にされており、ハルバッハ配列界磁 3 4 A、3 4 B の各々とギャップ中心 G_c との間隔は、ギャップ長 G とされている。

【0058】

さらに、磁界発生部 3 2 B では、径方向断面における断面積について、ギャップ 3 6 中におけるギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 B との間の断面積に対するギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 A との間の断面積の比が、ハルバッハ配列界磁 3 4 B の断面積に対するハルバッハ配列界磁 3 4 A の断面積の比と同様にされている。

【0059】

すなわち、磁界発生部 3 2 B の径方向断面において、ギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 B との間の断面積を面積 S_1 、ギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 A との間の断面積を面積 S_2 、ハルバッハ配列界磁 3 4 B の断面積を面積 S_3 、及びハルバッハ配列界磁 3 4 A の断面積を面積 S_4 とする。磁界発生部 3 2 B では、 $S_2 : S_1 = S_4 : S_3$ の関係を満たす（ $S_1 / S_2 = S_3 / S_4$ ）。

【0060】

また、磁界発生部 3 2 B は、所定の角度 ϕ （°）の範囲（例えば、一組の永久磁石 2 2 A ~ 2 2 D の範囲、図 4 B に二点鎖線で示す範囲）における径方向断面について、ギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 B との間の断面積を面積 S_{go} 、ギャップ中心 G_c とハルバッハ配列界磁 3 4 A との間の断面積を面積 S_{gi} 、ハルバッハ配列界磁 3 4 B の断面積を面積 S_{mo} 、及びハルバッハ配列界磁 3 4 A の断面積を面積 S_{mi} とする。磁界発生部 3 2 B では、 $S_{gi} : S_{go} = S_{mi} : S_{mo}$ の関係を満たす（ $S_{mi} / S_{mo} = S_{gi} / S_{go}$ 。また、 $S_{mo} / S_{mi} = S_{go} / S_{gi}$ も満たす）。

【0061】

このようにして形成される磁界発生部 3 2 B では、ハルバッハ配列界磁 3 4 A の内径、ハルバッハ配列界磁 3 4 A の外径（ギャップ 3 6 の内径）、ギャップ中心 G_c の半径、ハルバッハ配列界磁 3 4 B の内径（ギャップ 3 6 の外径）及びハルバッハ配列界磁 3 4 B の外径を、各々 R_h 、 R_i 、 R_{co} 、 R_g 、 R_o とする。この場合、 $R_i = (R_{co} - G)$ 、 $R_g = (R_{co} + G)$ 等の関係を有する。

【0062】

10

20

30

40

50

この際、面積 S_{go} 、 S_{gi} 、 S_{mo} 、 S_{mi} の各々は、例えば、以下の各式で表される。

$$S_{go} = (R_g^2 - R_{co}^2) \times \pi \times \phi / 360$$

$$S_{gi} = (R_{co}^2 - R_i^2) \times \pi \times \phi / 360$$

$$S_{mo} = (R_o^2 - R_g^2) \times \pi \times \phi / 360$$

$$S_{mi} = (R_i^2 - R_h^2) \times \pi \times \phi / 360$$

【0063】

さらに、ハルバッハ配列界磁 34A、34B では、ハルバッハ配列界磁 26A、26B と同様に、永久磁石 22 の着磁方向に沿う断面が略矩形状（略正方形状）に近似する扇形環状（部分環状）とされる。磁界発生部 32B では、これらの条件を満たすように基準とされた永久磁石 22 の各々が変形されて配列されることで、磁界発生部 28B と同様のデュアルハルバッハ磁石配列による効果を有する。

【0064】

上記した変形の方法に従えば、永久磁石 22 の配列方向に沿う長さ寸法 l_m は、界磁（界磁部 16）と電機子（電機子 20）の種類（組み合わせ）によって以下のように示される。

【0065】

デュアルハルバッハ磁石配列が適用された磁界発生部 28B では、永久磁石 22 が互いに密着している場合、1 組分の永久磁石 22 に対応するギャップ中心 G_c 長さ寸法が、 $2 \times \tau = n \times l_m$ となる。また、磁界発生部 28A、28B では、永久磁石 22 の長さ寸法 l_m は、 $l_m = 2 \times \tau \times 1 / n$ で表される（ $\tau = n \times l_m / 2$ ）。この際、永久磁石 22 の長さ寸法 l_m は、ハルバッハ配列界磁 26A、26B における永久磁石 22（変形前の永久磁石 22）の長さ寸法と同様となっている。

【0066】

一方、デュアルハルバッハ磁石配列が適用された磁界発生部 32B では、1 組の永久磁石 22 の範囲（角度 ϕ の範囲）におけるギャップ中心 G_c の周方向の長さ寸法 L_c が、 $L_c = 2 \times \pi \times R_{co} \times \phi / 360$ となる。ここで、ギャップ中心 G_c における極ピッチを τ とおくと、 $L_c = 2 \times \tau$ となり、ギャップ中心 G_c における永久磁石 22 の配列方向に沿う長さに相当する寸法を長さ寸法 l_m とすると、 $L_c = n \times l_m$ となる。したがって、磁界発生部 32B では、ギャップ中心 G_c において、長さ寸法 $l_m = L_c / n$ が対応される。また、磁界発生部 32B においてギャップ中心 G_c の全周の長さ寸法を L_g とすると、長さ寸法 L_g 、磁極数 P 、分割数 n 及び長さ寸法 l_m の間では、 $L_g = l_m \times n \times P$ の関係を満たす。

【0067】

また、磁界発生部 32B のハルバッハ配列界磁 34B では、ギャップ 36 側の面の周方向の長さ寸法 L_o は、 $L_o = 2 \times \pi \times R_g \times \phi / 360$ となる。ハルバッハ配列界磁 34B では、ギャップ 36 側の面における極ピッチを τ とおくと、 $L_o = 2 \times \tau$ となる。永久磁石 22 が互いに密着している場合、ハルバッハ配列界磁 34B のギャップ 36 側（磁場側）における永久磁石 22 の配列方向（周方向）に沿う長さ寸法 l_m' とすると、 $L_o = n \times l_m'$ となる。したがって、ハルバッハ配列界磁 34B のギャップ 36 側の永久磁石 22 は、長さ寸法 $l_m' = L_o / n$ が対応される。

【0068】

さらに、磁界発生部 32B のハルバッハ配列界磁 34A では、ギャップ 36 側（磁場側）の面の周方向の長さ寸法 L_i は、 $L_i = 2 \times \pi \times R_i \times \phi / 360$ となる。ハルバッハ配列界磁 34A では、ギャップ 36 側の面における極ピッチを τ とおくと、 $L_i = 2 \times \tau$ となる。永久磁石 22 が互いに密着している場合、ハルバッハ配列界磁 34A のギャップ 36 側における永久磁石 22 の配列方向に沿う長さ寸法 l_m'' とすると、 $L_i = n \times l_m''$ となる。したがって、ハルバッハ配列界磁 34A のギャップ 36 側の永久磁石 22 は、長さ寸法 $l_m'' = L_i / n$ が対応される。

【0069】

10

20

30

40

50

ここで、図 4 A に示す磁界発生部 3 2 A では、磁界発生部 3 2 B におけるハルバッハ配列界磁 3 4 B を強磁性体 3 0 A に置き換えている。強磁性体 3 0 A は、内径がギャップ中心 G c の半径と同様にされた円環状に形成されており、強磁性体 3 0 A は、内周（内周面）がギャップ中心 G c の位置とされている。これにより、磁界発生部 3 2 A は、磁界発生部 2 8 A を円環状に変形したのと同様とされて、磁界発生部 3 2 A は、磁界発生部 2 8 A と同様にデュアルハルバッハ磁石配列による効果を有している。

【0070】

また、磁界発生部 3 2 A のハルバッハ配列界磁 3 4 A では、強磁性体 3 0 A のギャップ 3 6 側の面の周方向の長さ寸法は、長さ寸法 L_c と同様となる。このため、磁界発生部 3 2 A において、強磁性体 3 0 A のギャップ 3 6 側の全周の長さ寸法を L_f とすると、長さ寸法 L_f 、磁極数 P 、分割数 n 及び長さ寸法 l_m の間では、 $L_f = l_m \times n \times P$ の関係を満たす。

【0071】

また、磁界発生部 3 2 A は、ハルバッハ配列界磁 3 4 A のギャップ 3 6 側の面の周方向の長さ寸法 $L_i = 2 \times \tau$ となる。永久磁石 2 2 が互いに密着している場合、ハルバッハ配列界磁 3 4 A のギャップ 3 6 側における永久磁石 2 2 は、配列方向に沿う長さ寸法 $l_m'' = L_i / n$ が対応される。さらに、極ピッチ τ は、1 組の永久磁石 2 2（2 2 A ~ 2 2 D）において、着磁方向が反転する範囲（ 180° 変化する範囲）とされているので、永久磁石 2 2 の間に隙間がある場合には、極ピッチ τ は、この隙間を含めた範囲ともいえる。

【0072】

さらに、磁界発生部 3 2 A において、ギャップ長 G は、極ピッチ τ の 0.25 倍から 1.0 倍の範囲（ $0.25 \tau \leq G \leq 1.0 \tau$ ）を満たし、分割数 n に対するギャップ長 G は、永久磁石 2 2 の配列方向に沿う長さ寸法 l_m の（ $0.125 \times n \times l_m$ ）倍から（ $0.5 \times n \times l_m$ ）倍の範囲に含まれるという関係を有する（ $(0.125 \times n \times l_m) \leq G \leq (0.5 \times n \times l_m)$ ）。

【0073】

図 1 に示すように、電動機 1 0 の磁界発生部 2 4 には、磁界発生部 3 2 A と同様の構成が適用されている。磁界発生部 2 4 の界磁部 1 6 には、永久磁石 2 2 が円環状に配列されたハルバッハ配列界磁 3 4 A が適用され、界磁部 1 6 を囲うステータ 1 4 の外筒部 1 8 に強磁性材料が用いられている（外筒部 1 8 が強磁性体 3 0 A に対応）。これにより、電動機 1 0 では、界磁部 1 6 と外筒部 1 8 との間の磁束分布が、磁界発生部 3 2 B のハルバッハ配列界磁 3 4 A とギャップ中心 G c との間における磁束部分と同様とされている。

【0074】

このような磁界発生部 2 4 では、外筒部 1 8 の径方向に沿う寸法としての厚さ寸法 l_y に任意の寸法を適用できる。外筒部 1 8 の厚さ寸法 l_y を小さくすることで、電動機 1 0 の外径寸法が大きくなるのを抑制できて、電動機 1 0 の出力密度の向上を図ることができる。この際、電動機 1 0 では、外筒部 1 8 に生じる磁気飽和によりトルクリップルが発生し易くなる。しかし、界磁部 1 6 では、ハルバッハ配列界磁 2 6 A が適用されていることで、トルクリップルを抑制できるというハルバッハ磁石配列による効果として得られる。

【0075】

また、外筒部 1 8 の厚さ寸法 l_y を大きくすることで、電動機 1 0 の外径寸法が大きくなるのを抑制するのが難しくなるが、外筒部 1 8 に磁気飽和が生じるのを抑制でき、トルクリップルを効果的に抑制できる。

【0076】

ここから、外筒部 1 8 の厚さ寸法 l_y としては、外筒部 1 8 に磁束飽和が生じる最も大きい寸法（外筒部 1 8 に磁束飽和が生じない最も小さい寸法でもよい）が好ましい。これにより、電動機 1 0 の外径寸法が大きくなるのを抑制し出力密度の向上を図りながら、トルクリップルを効果的に抑制できる。

【0077】

ところで、電動機 1 0 のロータ 1 2 には、保持部材としての界磁ホルダ 4 0 が設けられ

10

20

30

40

50

ている。図 5 には、界磁ホルダ 40 の概略構成が斜視図にて示され、図 6 には、界磁部 16 の主要部が斜視図にて示されている。

【0078】

界磁ホルダ 40 には、非磁性の材料（磁性を持たない材料）が用いられている。界磁ホルダ 40 に適用する非磁性の材料としては、常磁性体であってもよく、反磁性体であってもよく、各種の樹脂材料（合成樹脂）であってもよく、界磁ホルダ 40 には、アルミニウム、各種の遷移金属、各種の合成樹脂を適用できる。本実施形態では、高い強度や強靱性が得られることに加え、軽量化が可能となるという観点から、界磁ホルダ 40 に炭素強化繊維プラスチック（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics）を用いている。

【0079】

図 5 に示すように、界磁ホルダ 40 は、各々が所定厚さの略円筒状に形成された内周壁としての内壁 42、及び外周壁としての外壁 44 を備えている。界磁ホルダ 40 では、内壁 42 の外径が外壁 44 の内径よりも小さくされており、界磁ホルダ 40 は、内壁 42 の中心軸線と外壁 44 の中心軸線とが重ねられて、外壁 44 内に内壁 42 が同軸に配置されている。なお、本実施形態では、界磁ホルダ 40 の軸線方向に沿う寸法が永久磁石 22 の着磁方向と交差する方向の寸法と同様とされている。

【0080】

また、界磁ホルダ 40 では、内壁 42 の外周面と外壁 44 の内周面との間隔が前記変形された永久磁石 22 の径方向寸法と同様とされている。これにより、界磁ホルダ 40 は、全体として略円筒状に形成され、界磁ホルダ 40 は、内壁 42 の内周面がロータ 12 の出力軸 12A に固着（接着）されて、ロータ 12 に一体回転可能に配置されている。

【0081】

図 1、図 5 及び図 6 に示すように、界磁ホルダ 40 には、内壁 42 と外壁 44 との間に隔壁としての複数のスペーサ 46 が設けられており、界磁ホルダ 40 は、樹脂の一体成型により内壁 42、外壁 44 及びスペーサ 46 が形成されている。スペーサ 46 は、各々が界磁ホルダ 40 の径方向に沿っており、スペーサ 46 は、界磁ホルダ 40 の周方向に所定間隔で配列されている。

【0082】

界磁ホルダ 40 では、各スペーサ 46 が互いに隣接する永久磁石 22 の間となる位置の各々に設けられており、各スペーサ 46 の配置間隔は、永久磁石 22 の周方向に沿った長さと同様にされている。例えば、各スペーサ 46 の外壁 44 側の周方向に沿う間隔寸法は、界磁部 16 における永久磁石 22 の外周面の周方向の寸法と同様とされている。また、各スペーサ 46 の内壁 42 側の周方向に沿う間隔寸法は、界磁部 16 における永久磁石 22 の内周面の周方向の長さ寸法と同様とされている。

【0083】

これにより、界磁ホルダ 40 には、32 個（ $k \times n$ 個）のスペーサ 46 が形成されており、界磁ホルダ 40 には、互いに隣接するスペーサ 46 の間に、永久磁石 22 を嵌入されるソケット 48 が永久磁石 22 の数だけ形成されている。ソケット 48 は、各々界磁ホルダ 40 の軸線方向と交差する方向（径方向）の開口断面形状が永久磁石 22 の着磁方向に沿う断面形状と同様とされており、ソケット 48 の各々は、開口断面形状が界磁ホルダ 40 に装着される永久磁石 22 の着磁方向に沿う断面形状と同様とされている。

【0084】

電動機 10 のロータ 12 では、界磁ホルダ 40 のソケット 48 の各々に永久磁石 22 が嵌入されて、嵌入された永久磁石の周面が界磁ホルダ 40 の内壁 42 の外周面、外壁 44 の内周面、及び各スペーサ 46 の内面（ソケット 48 の内面）に接着等により接合されている。

【0085】

一方、ハルバッハ磁石配列においては、永久磁石 22 の間隔が磁場に影響する。磁界発生部 24 では、界磁ホルダ 40 におけるスペーサ 46 の周方向に沿う寸法である厚さ寸法 d が界磁部 16 により形成する磁場に影響する。

10

20

30

40

50

【0086】

ここで、界磁ホルダ40では、装着される永久磁石22の配列方向に沿う長さ寸法 l_m (mm) 及び分割数 n に応じ、スペーサ46の厚さ寸法 d (mm) が設定されている。界磁ホルダ40のスペーサ46の厚さ寸法 d は、永久磁石22の配列方向に沿う長さ寸法 l_m 及び分割数 n から(1)式を満たすように設定されている。

$$0 < d \leq l_m \times 1 / (n + 1) \times 1.5 \quad \dots (1)$$

なお、 $l_m \times 1 / (n + 1) \times 1.5 = l_m \times 1.5 / (n + 1)$ である。また、非磁性の材料により形成されている界磁ホルダ40は、磁界発生部24において永久磁石22の外側となる外壁44が面積 S_2 に含まれ、永久磁石22の間のスペーサ46が面積 S_4 に含まれる。

10

【0087】

このように構成されている電動機10では、ロータ12の界磁部16とステータ14の外筒部18とにより磁界発生部24が形成されており、この磁界発生部24中に電機子20 (コイル20U~20W) が配置されている。このため、電動機10は、所定電圧の三相交流電力がコイル20U~20Wの各々に供給されることで、ロータ12が回転されて出力軸12Aが回転駆動される。また、電動機10の出力軸12Aは、コイル20U~20Wの各々に供給される三相交流電力の周波数に応じた回転数で回転駆動される。

【0088】

電動機10の磁界発生部24では、界磁部16が外筒部18によって囲われ、界磁部16の永久磁石22の各々に外筒部18が対向されており、界磁部16では、複数の永久磁石22によりハルバッハ配列界磁34Aが形成されている。また、磁界発生部24では、界磁部16に対してデュアルハルバッハ磁石配列におけるハルバッハ配列界磁34A、34Bのギャップ中心 G_c に対応する位置に外筒部18が配置されており、外筒部18には、強磁性材料 (強磁性体) が用いられている。このため、磁界発生部24では、界磁部16と外筒部18との間にデュアルハルバッハ磁石配列が適用されたのと同様の磁場 (近似した磁場) が形成されている。

20

【0089】

このため、電動機10では、デュアルハルバッハ磁石配列においてトルクリップルを抑制できるという効果が適正に再現されている。これにより、電動機10では、一つのハルバッハ配列界磁34Aを用いて、ハルバッハ配列界磁34A、34Bを用いたデュアルハルバッハ配列界磁と同様の効果が得られるので、電動機10では、トルクリップルの発生が抑制される。

30

【0090】

また、電動機10では、界磁部16の径方向外側に配置している外筒部18が固定されるので、外筒部18に筐体の機能を持たせることができる。このため、電動機10は、小型化及び部品数の削減が可能になり、低コスト化と共に、出力密度の向上が図られる。しかも、電動機10では、ハルバッハ磁石配列が用いられるので、デュアルハルバッハ磁石配列を適用した場合に比して、永久磁石22の数を削減できて、より軽量化及び低コスト化を図ることができて、効果的に出力密度の向上を図ることができる。

【0091】

一般に、径方向断面が相似形状であり、かつ軸方向長さが同様の電動機の間では、出力 (回転角速度×トルク) を相似比率の3乗に比例して大きくできる。電動機10では、デュアルハルバッハ磁石配列が適用された場合に比して径方向の大きさに余裕ができるので、電動機10では、出力を大きくできる可能性がある。このため、電動機10では、デュアルハルバッハ磁石配列が適用された場合に比して、大きな出力密度 (出力/体積比) を得ることが期待できる。

40

【0092】

また、電動機10では、コイル20U~20Wが空芯コイルとされており、コイル20U~20Wには、リッツ線が用いられている。電動機10では、コイル20U~20Wが空芯コイルとされることで、逆起電力の発生が抑制され、インバータ制御を行う場合のイ

50

ンバータ回路におけるスイッチング素子の発熱を抑制できる。また、コイル 20U~20W の巻き線にリッツ線が用いられることで、インダクタンスを小さくできて発熱及びコイル 20U~20W の各々に生じる逆起電力を効果的に抑制できる。これにより、電動機 10 では、定格回転数を高くできて高回転化できる。

【0093】

さらに、電動機 10 では、電機子 20（コイル 20U~20W）が配置される外筒部 18 が回転しないので、冷却フィンや冷却パイプなどの冷却手段を用いて外筒部 18 を冷却でき、外筒部 18 と共に外筒部 18 の内側の電機子 20 も冷却できる。これにより、電動機 10 は、発熱を効果的に抑制できるので、短時間に大きなトルクを出力することも可能になる。

【0094】

次に、磁界発生部 24 の界磁部 16 における永久磁石 22 の組み付けを説明する。

磁界発生部 24 の界磁部 16 には、複数の永久磁石 22 が周方向に配列されており、永久磁石 22 は、隣接する永久磁石 22 の着磁方向が角度 θ ずつ変更されている。

【0095】

ここで、磁界発生部 24 の界磁部 16 には、界磁ホルダ 40 が用いられており、界磁ホルダ 40 には、内壁 42 と外壁 44 との間に複数のスペーサ 46 が設けられて各々に永久磁石 22 が嵌入される複数のソケット 48 が形成されている。ソケット 48 は、界磁部 16 に用いる永久磁石 22 の数だけ形成されており、ソケット 48 は、界磁ホルダ 40 の周方向に配列されている。このため、複数の永久磁石 22 は、界磁ホルダ 40 のソケット 48 の各々に着磁方向が所定の角度 θ ずつ変更されるように順に嵌入されることで、界磁部 16 に組み付けられる。

【0096】

一方、互いに隣接する永久磁石 22 の間には、吸着力及び反発力が作用している。また、永久磁石 22 の着磁方向が所定の角度 θ ずつずらされていると共に、隣接する永久磁石 22 が極めて接近している。このため、永久磁石 22 を順に周方向に配列しようとする、隣接する永久磁石 22 の間では、永久磁石 22 を回転させる方向に大きな吸着力及び反発力が作用することがある。

【0097】

界磁部 16 に用いる複数の永久磁石 22 は、着磁方向に沿う断面形状が同様とされており、界磁ホルダ 40 には、永久磁石 22 の数だけソケット 48 が形成されている。このため、界磁ホルダ 40 では、一つのソケット 48 に嵌入する永久磁石 22 の着磁方向が定まることで、全てのソケット 48 に嵌入される永久磁石 22 の着磁方向が定まる。また、ソケット 48 の各々では、内壁 42、外壁 44 及びスペーサ 46 により永久磁石 22 の移動が規制されている。さらに、永久磁石 22 の間に作用する吸着力や反発力は、互いの距離が離れるにしたがって弱くなる。

【0098】

ここから、界磁ホルダ 40 では、1 個以上の間隔を空けて（一つ又は所定数空けて）ソケット 48 に永久磁石 22 を嵌め込むことで、永久磁石 22 の組み付けが容易になる。例えば、図 6 に示すように、界磁ホルダ 40 では、永久磁石 22 A、22 C、・・・の順で各々を対応するソケット 48 に嵌め込み、その後、永久磁石 22 A、22 C、・・・の間の空いているソケット 48 に永久磁石 22 B、22 D、・・・を順に嵌め込む。これにより、永久磁石 22 の間に大きな吸着力や反発力が作用しても、複数の永久磁石 22 を周方向に配列して組み付けるのが容易になる。

【0099】

また、界磁ホルダ 40 では、ソケット 48 に嵌め込まれた永久磁石 22 の移動を内壁 42、外壁 44 及びスペーサ 46 によって制限できる。このため、界磁ホルダ 40 では、既にソケット 48 に嵌め込まれた永久磁石 22 が、新たにソケット 48 に嵌め込まれる永久磁石 22 の磁力の影響を受けて移動するのを規制できる。これにより、界磁ホルダ 40 では、永久磁石 22 の組み付けを効果的に補助できる。

【0100】

したがって、界磁ホルダ40は、複数の永久磁石22を互いに近接させて配置する場合でも、複数の永久磁石22の各々の組み付けを容易にでき、複数の永久磁石22を周方向に配列する界磁部16の組み立てを容易にできる。

【0101】

さらに、界磁ホルダ40には、炭素強化繊維プラスチック(CFRP)が用いられている。このため、界磁ホルダ40は、永久磁石22を組み付ける際、互いに隣接する永久磁石22の間に吸着力及び反発力が作用しても、内壁42、外壁44及びスペーサ46に変形(ソケット48の歪み)が生じることがない。これにより、界磁ホルダ40は、複数の永久磁石22を一定位置に保持できる。

10

【0102】

また、界磁ホルダ40のソケット48に嵌め込まれた永久磁石22は、界磁ホルダ40のソケット48の内周面(内壁42、外壁44及びスペーサ46の各面)に接着されるなどして固着される。これにより、永久磁石22は、界磁ホルダ40を介してロータ12に確実に固着される。

【0103】

また、電動機10では、ロータ12が回転することで、界磁部16の永久磁石22に遠心力が作用する。このため、電動機10の回転数が上昇することで、永久磁石22に作用する遠心力が大きくなる。この際、界磁ホルダ40には、径方向の外側に外壁44が形成されており、界磁ホルダ40では、外壁44が複数のスペーサ46により内壁42に連結されている。このため、界磁ホルダ40では、ロータ12が回転することで永久磁石22に大きな遠心力が作用しても、外壁44が永久磁石22の径方向外側への移動を効果的に制限できて、永久磁石22を適切に保持できる。これにより、電動機10では、界磁ホルダ40が設けられることで、安定した高速回転が可能になる。しかも、界磁ホルダ40には、強度及び強靱性の高い炭素強化繊維プラスチックが用いられるので、永久磁石22が遠心力によりずれるのを確実に制限できて、電動機10の安定した高速回転を維持できる。

20

【0104】

一方、ハルバッハ磁石配列においては、互いに隣接する永久磁石22の間隔が永久磁石22(界磁部16)によって形成する磁場に大きく影響する。電動機10では、界磁ホルダ40のスペーサ46により互いに隣接する永久磁石22の間隔が僅かに開けられ、互いに隣接する永久磁石22の間隔が定まっている。また、界磁ホルダ40では、基準とする長さ寸法 l_m に対してスペーサ46の厚さ寸法 d が、 $0 < d \leq (l_m \times 1 / (n + 1)) \times 1.5$ の範囲とされており、互いに隣接する永久磁石22の間の間隔寸法 w は、 $0 < w \leq l_m \times 1 / (n + 1) \times 1.5$ とされている。

30

【0105】

一般にハルバッハ磁石配列においては、配列された永久磁石22に対して所定距離だけ離れた位置における磁束密度は、互いに隣接する永久磁石22の間隔(間隔寸法 w)に影響し、互いに隣接する永久磁石22の間隔が広がると、漏れ磁束が生じて磁束密度が低下する。この磁束密度の低下は、電動機10の出力トルクの低下を生じさせる。

【0106】

ここで、ハルバッハ磁石配列では、永久磁石22に対する所定位置における磁束密度分布の空間高調波成分が、角度 $\theta = 360^\circ / n$ (n は分割数)、かつ隣接する永久磁石22の間隔寸法 w が永久磁石22の配列方向に沿う長さ寸法 l_m の $1 / (n + 1)$ ($w = l_m \times 1 / (n + 1)$)において凡そゼロとなる。例えば、分割数 $n = 4$ においては、間隔寸法 $w = l_m / 5$ で、永久磁石22の所定位置における磁束密度分布の高調波成分が凡そゼロとなる。

40

【0107】

図7Aには、永久磁石22の着磁方向の角度 $\theta = 90^\circ$ (分割数 $n = 4$ における角度 θ)の場合における永久磁石22の間隔寸法 w に応じたデュアルハルバッハ磁石配列のギャップ中心 G_c における空間磁束密度分布の基本波成分の振幅の比率(%)、及び永久磁石

50

22の体積の比率(%)が示されている。また、図7Bには、角度 $\theta = 90^\circ$ の場合のギャップ中心Gcにおける永久磁石22の間隔寸法wに応じた空間磁束密度分布の基本波成分に対する第5次((n+1)次)高調波成分の振幅比(振幅比率%)が示されている。

【0108】

なお、空間磁束密度分布の基本波成分の振幅及び体積の比率は、間隔寸法w=0を基準とし、間隔寸法w=0における基本波成分の振幅に対する比率及び体積の比率としており、間隔寸法wが大きくなるにしたがって永久磁石22の体積が減少するものとしている。また、図7A及び図7Bでは、電機子20側における永久磁石22の配列方向に沿う基準としての長さ寸法(径方向に沿う長さ寸法)lmを10mm、ギャップ長2Gを長さ寸法lmの1.5倍(2G=15mm)としている。

10

【0109】

図7Aに示すように、永久磁石22の間隔寸法wに対して、永久磁石22の体積の比率(体積割合)及び基本波の振幅が略比例し、永久磁石22の間隔寸法wが大きくなるにしたがい、永久磁石22の体積の比率及び基本波成分の振幅の比率が減少する。

【0110】

デュアルハルバッハ磁石配列では、角度 $\theta = 90^\circ$ において磁場中(ギャップ中)に(n+1)次の高調波成分が発生することが知られている。図7Bに示すように、間隔寸法wが2mm(=lm×1/(n+1))のときに、基本波成分の振幅に対する第5次高調波成分の振幅の比率(振幅比)が最小(略ゼロ)となっている。ここから、第5次高調波成分は、分割数n=4、及び間隔寸法w=2(mm)において消えるとみなすことができる。

20

【0111】

間隔寸法w=2(mm)は、分割数n=4における永久磁石22の長さ寸法lm(mm)に対して1/5(1/(n+1)に相当)となっている。また、図7Aに示すように、間隔寸法w=2mmにおいては、基本波の振幅が約20%減少している。

【0112】

また、図7Bに示すように、永久磁石22の間隔寸法wが3mmまでの範囲(0<w≤3)では、第5次高調波成分が間隔寸法w=0における第5次高調波成分と同様の比率となっており、基本波成分に対する第5次高調波成分の増加は見られない。

【0113】

図8Aには、永久磁石22の着磁方向の角度 $\theta = 45^\circ$ (分割数n=8に対する角度 θ)の場合における永久磁石22の間隔寸法wに対するデュアルハルバッハ磁石配列のギャップ中心における空間磁束密度分布の基本波振幅の比率(%)、及び永久磁石22の体積の比率(%)が示されている。また、図8Bには、角度 $\theta = 45^\circ$ の場合のギャップ中心Gcにおける永久磁石22の間隔寸法wの変化に応じた空間磁束密度分布の基本波成分に対する第9次((n+1)次)高調波成分の振幅比(振幅比率%)が示されている。

30

【0114】

図8Aに示すように、角度 $\theta = 45^\circ$ の場合においても、永久磁石22の間隔寸法wに対して、永久磁石22の体積の比率、及び基本波振幅の比率がほぼ比例し、永久磁石22の間隔寸法wが大きくなるにしたがい、永久磁石22の体積の比率及び基本波振幅の比率が減少する。

40

【0115】

また、図8Bに示すように、角度 $\theta = 45^\circ$ においては、間隔寸法wが凡そ1mm(lm×1/9に相当)のときに、振幅比が最小(略ゼロ)となっており、この間隔寸法w1(mm)において第9次高調波成分が略消えているとみなすことができる。

【0116】

また、第9次高調波成分が消えるとみなせる間隔寸法wにおいては、基本波の振幅が約10%減少している(図8A参照)。この基本波の振幅の比率が、間隔寸法w=0における比率と同様となるのは、間隔寸法w=1.7(mm)(w=lm×1/9×1.5に相当)となっている。したがって、間隔寸法wが、0≤w≤1.7の範囲では、基本波に対

50

する第9次高調波成分の増加は見られないとみなせる。この間隔寸法 w の範囲は、角度 $\theta = 45^\circ$ （分割数 $n = 8$ ）において、永久磁石22の配列方向に沿う長さ寸法 l_m の $1/9$ （ $= 1/(n+1)$ ）までの範囲となる。

【0117】

したがって、ハルバッハ磁石配列における永久磁石22の間隔寸法 w は、 $0 \leq w \leq l_m \times 1/(n+1) \times 1.5$ であることが好ましい。これにより、ハルバッハ磁石配列（シングルハルバッハ磁石配列及びデュアルハルバッハ磁石配列）において、互いに隣接する永久磁石22の間隔寸法 w を、 $0 \leq w \leq l_m \times 1/(n+1) \times 1.5$ の範囲（但し、 n は分割数、 l_m は永久磁石22の電機子20側における配列方向に沿う長さ寸法）とすることで、互いに隣接する永久磁石22の間隔寸法 w に起因する高調波成分の増加を抑制できる。また、間隔寸法 $w = l_m \times 1/(n+1)$ とすることで、高調波成分を効果的に抑制できる。

10

【0118】

また、界磁ホルダ40に設けられるスペーサ46の厚さ寸法 d は、 $l_m \times 1/(n+1) \times 1.5$ （mm）以下の寸法（ $0 < d \leq l_m \times 1/(n+1) \times 1.5$ ）であれば、スペーサ46を設けることによる高調波成分の増加を抑制できる。特に、界磁ホルダ40は、スペーサ46の厚さ寸法 $d = l_m \times 1/(n+1)$ とすることで、高調波成分を効果的に抑制できる。このため、界磁ホルダ40は、スペーサ46の厚さ寸法 d が、上記範囲でかつ所望の強度が得られる寸法及び材質で形成されればよい。

【0119】

20

したがって、界磁ホルダ40は、上記条件を満たす厚さ寸法 d で形成されればよい。また、界磁ホルダ40は、デュアルハルバッハ磁石配列における径方向断面の断面積について、ギャップ中心 G_c と径方向外側のハルバッハ磁石配列の間の断面積に対するギャップ中心 G_c と径方向内側のハルバッハ磁石配列との間の断面積の比が、径方向外側のハルバッハ磁石配列の断面積に対する径方向内側のハルバッハ磁石配列の断面積の比と同様になるように形成されればよい。この際、界磁ホルダ40は、界磁部16に対応する径方向内側のハルバッハ磁石配列における面積 S_4 にスペーサ46が含まれるように形成されればよく、界磁ホルダ40は、スペーサ46の厚さ寸法 d が極ピッチ τ 及び永久磁石22の配列方向に沿う長さ寸法 l_m を含めて設定されればよい。

【0120】

30

なお、以上説明した本実施形態では、内壁42、外壁44及び永久磁石22の数に応じたスペーサ46を備える界磁ホルダ40を例に説明した。しかしながら、保持部材は、少なくとも外周壁及び隔壁を備えればよく、内周壁は省略されてもよい。この場合、保持部材の内周壁として、例えば回転子の出力軸となる回転軸などを適用し、回転軸に保持部材を取り付けた状態で、保持部材の隔壁の間に永久磁石を嵌め込んで永久磁石を取り付けるようにしてもよい。

【0121】

また、保持部材は、永久磁石の組み付け時に内周壁を用いるが、組み付け後には、内周壁が取り外される構成であってもよい。さらに、保持部材は、外周壁と隔壁、又は外周壁と内周壁と隔壁とにより永久磁石の移動を規制できればよく、外周壁、内周壁及び隔壁は格子状等の一部に開口部が形成された形状であってもよい。

40

【0122】

また、本実施形態では、磁界発生部32Bにおいて、外側のハルバッハ配列界磁34Aを強磁性体30Aに置き換えたが、磁界発生部は、径方向内側のハルバッハ配列界磁を強磁性体に置き換えた構成であってもよい。

【0123】

一方、本実施形態では、電動機10の磁界発生部24に磁界発生部32Aを適用したが、磁界発生部24には、磁界発生部32Bが適用されてもよい。すなわち、回転電機には、デュアルハルバッハ磁石配列が適用されてもよい。図9には、変形例に係る電動機50の概略構成が平面図にて示されている。

50

【0124】

図9に示すように、電動機50の磁界発生部52では、ハルバッハ配列界磁26Aが適用された第1界磁部としての界磁部54A、及びハルバッハ配列界磁26Bが適用された第2界磁部としての界磁部54Bが用いられている。界磁部54A、54Bは、各々略円環状とされ、ギャップ長2Gの間隔が開けられて界磁部54B内に界磁部54Aが同軸的に配置されて一体回転可能にされている。また、電動機50には、界磁部54Aと界磁部54Bとの間に電機子20が配置されており、電機子20は、界磁部54A、54Bに対して相対回転可能とされている。

【0125】

これにより、電動機50では、電機子20のコイル20U～20Wに三相交流電力が供給されることで、電機子20に対して界磁部54A、54Bが一体に相対回転されて、出力軸12Aが回転駆動される。

【0126】

ここで、界磁部54A及び界磁部54Bには、各々に第1保持部材としての界磁ホルダ56及び第2保持部材としての界磁ホルダ58が用いられており、界磁ホルダ56、58は、各々基本的構造が界磁ホルダ40と同様にされている。すなわち、界磁ホルダ56は、界磁ホルダ40と同様にされている。また、界磁ホルダ58には、内壁42に対応する内壁42A、外壁44に対応する外壁44Aが設けられ、内壁42Aと外壁44Aとの間にスペーサ46が配置され、ソケット48に対応するソケット48Aが形成されている。

【0127】

このように構成された電動機50では、界磁ホルダ56、58が用いられることで、界磁部54A、54Bの各々において、永久磁石22（22A～22D）の各々の位置を規制できて永久磁石22の組み付けが容易になる。これにより、電動機50においても、電動機10と同様に製造が容易になる。

【0128】

なお、以上説明した本実施形態及び変形例では、主に分割数 $n=4$ を例に説明したが、分割数 n には、3以上の整数の何れかを適用できる。また、三相交流電力によって駆動される電動機では、トルクリップルをより精度より抑制する観点から、分割数 n としては、 $n=3 \cdot k + 2$ （ただし、 k は正の整数）とすることがより好ましい。これにより、三相交流電力を用いる電源にトルクリップルが生じるのを効果的に抑制できる。

【0129】

また、本実施形態及び変形例では、電動機10、50を例に説明した。しかしながら、回転電機は、回転されることで三相交流電力を発生する発電機であってもよい。回転電機として発電機を適用することで、発電機の出力密度を向上できる。

【0130】

さらに、本実施形態及び変形例では、電動機10、50を例に説明した。しかしながら、回転電機は、車両において力行モードでは駆動源として動作し、減速モード（回生モード）では回生用発電機として動作するように用いることもできる。この場合、力行モードと回生モードの切り換えにおいて電流の向きが逆転しても、電機子に蓄積される磁気エネルギーを抑制（小さく）できる。このため、回転電機では、電流切り換え時に発生する誘導電圧を低くできるので、回転電機を駆動するための駆動回路を回転電機が損傷させてしまうのを抑制できる。しかも、回転電機は、車両においてレスポンスの良好な運転特性を提供できる。

【0131】

日本国特許出願2019-171621の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。

本明細書に記載された全ての文献、特許出願及びその技術規格には、個々の文献、特許出願及び技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記載された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

10

20

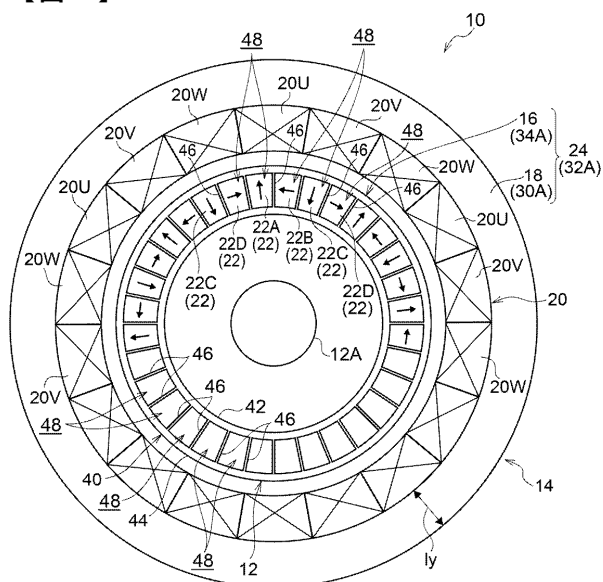
30

40

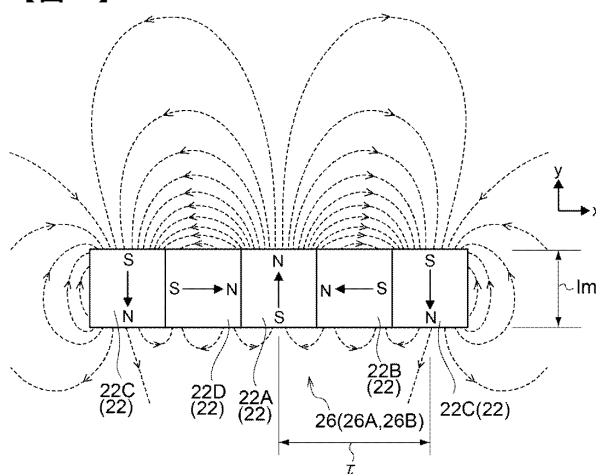
50

【図面】

【図 1】



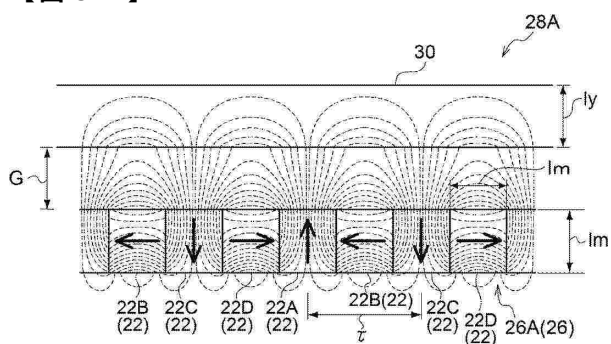
【図 2】



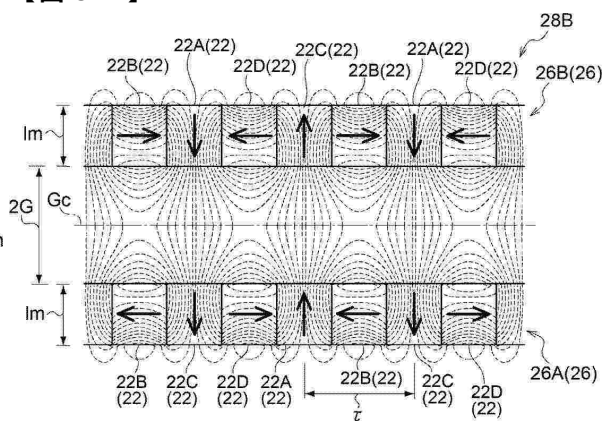
10

20

【図 3 A】



【図 3 B】

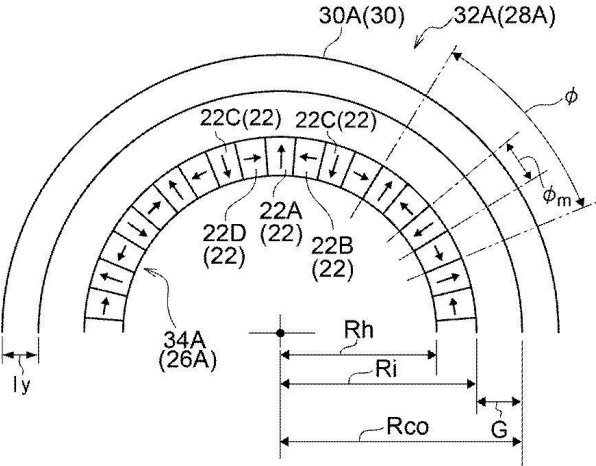


30

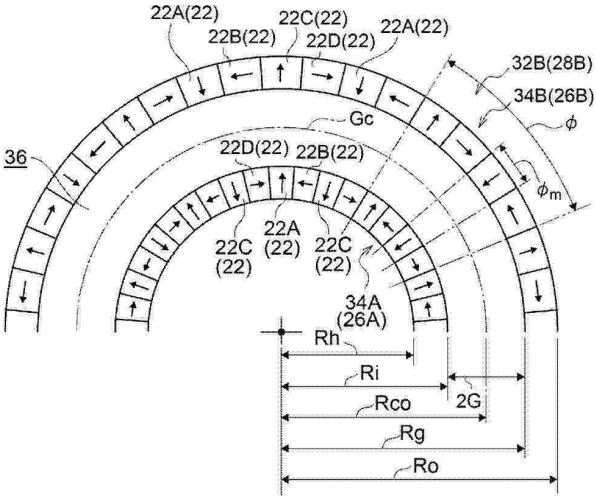
40

50

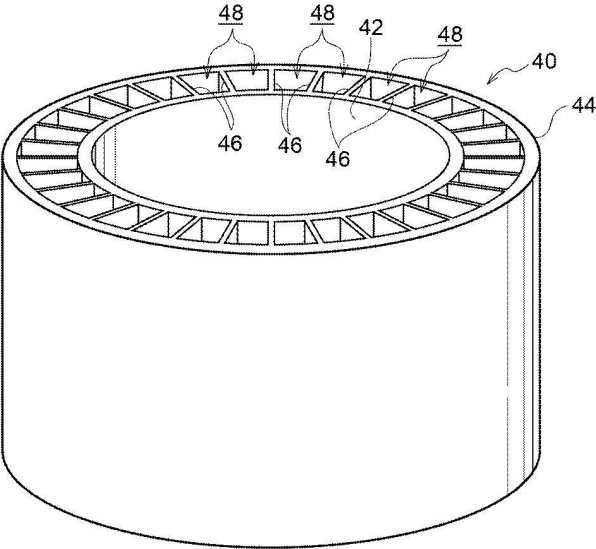
【図 4 A】



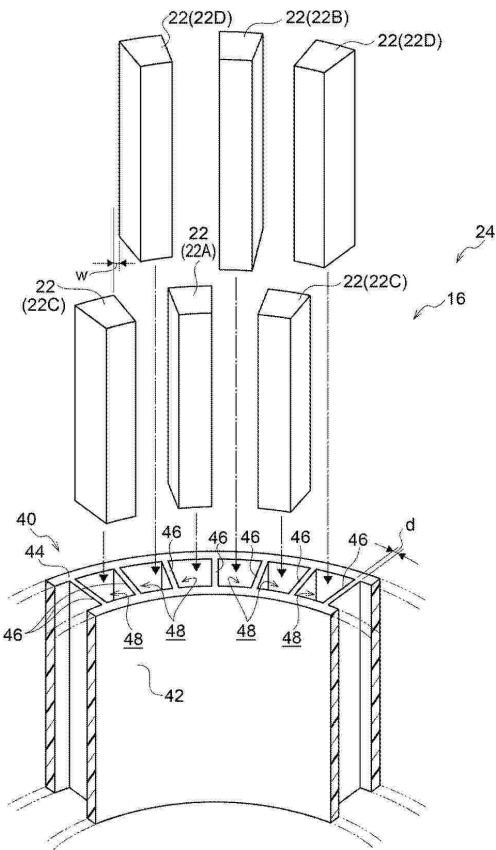
【図 4 B】



【図 5】



【図 6】



10

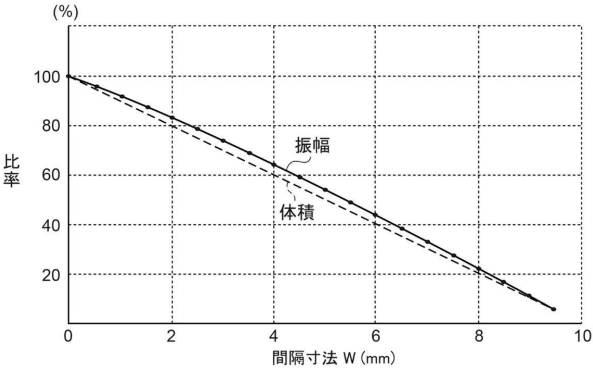
20

30

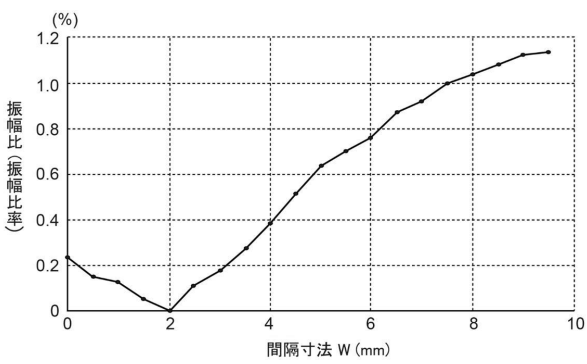
40

50

【図 7 A】

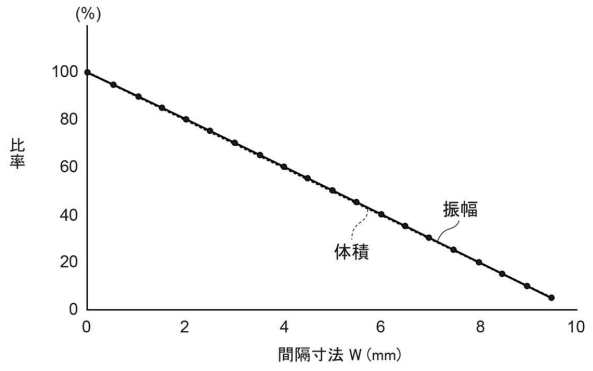


【図 7 B】

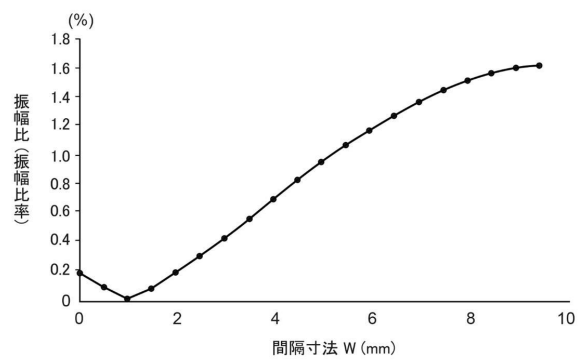


10

【図 8 A】



【図 8 B】



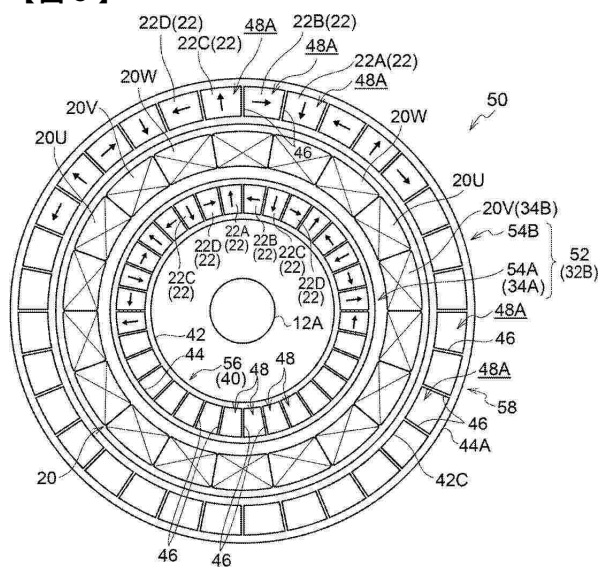
20

30

40

50

【圖 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2002-354721 (JP, A)
特開 2009-201343 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02K 1/2783
H02K16/02
H02K21/14
H02K21/22