

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-184834
(P2020-184834A)

(43) 公開日 令和2年11月12日(2020.11.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2K 41/03 (2006.01)	HO2K 41/03 A	5H641
HO2K 41/02 (2006.01)	HO2K 41/02 A	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2019-88203 (P2019-88203)	(71) 出願人	504182255 国立大学法人横浜国立大学 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(22) 出願日	令和1年5月8日(2019.5.8)	(74) 代理人	100103894 弁理士 家入 健
		(72) 発明者	下野 誠通 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
		(72) 発明者	八田 禎之 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
		(72) 発明者	藤本 康孝 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内

最終頁に続く

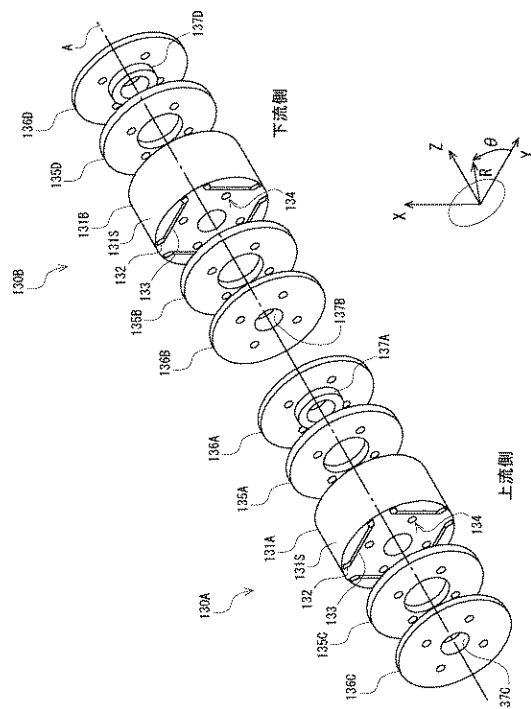
(54) 【発明の名称】埋込磁石型モータ、位置推定装置および位置推定方法

(57) 【要約】

【課題】組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータ等を提供する。

【解決手段】二自由度埋込磁石型モータは、基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、第1螺旋方向と交差する第2巻線体とを有する固定子と、固定子に対して、軸方向において相対的に移動可能かつ周方向において相対的に回転可能な可動子とを備える。可動子は、周方向において異なる磁極が交互に配置される第1磁石群と、第1磁石群の下流に配置され、周方向において異なる磁極が交互に配置される第2磁石群と、第1磁石群が埋設されるように第1磁石群を保持する第1磁石保持部と、第2磁石群が埋設されるように第2磁石群を保持する第2磁石保持部と、軸方向において第1磁石群及び第2磁石群の間に配置されると共に、第1磁石保持部及び第2磁石保持部より透磁率が低い磁束バリア部と、を有する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基準軸を中心とした第 1 螺旋方向に延びる第 1 導線を含む第 1 巻線体と、前記第 1 螺旋方向と交差する方向であって前記基準軸を中心とした第 2 螺旋方向に延びる第 2 導線を含む第 2 巻線体と、を有する固定子と、

前記基準軸に直交する径方向において前記固定子の少なくとも一部と対向し、前記固定子に対して、前記基準軸に沿った軸方向において相対的に移動可能かつ前記基準軸を中心とした周方向において相対的に回動可能な可動子と、を備え、

前記可動子は、前記周方向において異なる磁極が交互に配置される第 1 磁石群と、

前記軸方向において前記第 1 磁石群の下流に配置され、前記周方向において異なる磁極が交互に配置される第 2 磁石群と、

前記第 1 磁石群が埋設されるように前記第 1 磁石群を保持し、空気より透磁率が高い第 1 磁石保持部と、

前記第 2 磁石群が埋設されるように前記第 2 磁石群を保持し、前記軸方向において隣り合う前記第 1 磁石群の磁極と前記第 2 磁石群の磁極とが異なるように配置され、空気より透磁率が高い第 2 磁石保持部と、

前記軸方向において前記第 1 磁石群及び前記第 2 磁石群の間に配置されると共に、前記第 1 磁石保持部及び前記第 2 磁石保持部より透磁率が低い磁束バリア部と、を有する、埋込磁石型モータ。

【請求項 2】

前記磁束バリア部は、円柱形状に形成されている、請求項 1 に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項 3】

前記磁束バリア部は、前記軸方向において並んで配置される第 1 磁束バリア部及び第 2 磁束バリア部を有し、

前記可動子は、前記軸方向において前記第 1 磁束バリア部及び前記第 2 磁束バリア部の間に配置され前記第 1 磁束バリア部及び前記第 2 磁束バリア部より透磁率が高い中間部と

、前記第 1 磁石保持部及び前記中間部に連結し、前記径方向において前記第 1 巻線体及び前記第 2 巻線体の少なくとも一方との間に前記第 1 磁束バリア部を挟むように配置され、前記第 1 磁束バリア部より透磁率が高い第 1 磁束連結部と、

前記第 2 磁石保持部及び前記中間部に連結し、前記径方向において前記第 1 巻線体及び前記第 2 巻線体の少なくとも一方との間に前記第 2 磁束バリア部を挟むように配置され、前記第 2 磁束バリア部より透磁率が高い第 2 磁束連結部と、を有する、請求項 1 又は 2 に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項 4】

前記中間部は、円柱形状に形成されている、請求項 3 に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項 5】

前記第 1 磁束連結部及び前記第 2 磁束連結部の少なくともいずれか一方は、円柱形状に形成されている、請求項 3 又は 4 に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項 6】

前記中間部と、前記第 1 磁束連結部及び前記第 2 磁束連結部の少なくとも一方とは、一体に形成されている、

請求項 3 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項 7】

前記可動子は、前記軸方向における前記第 1 磁石群の上流に配置されると共に、前記第 1 磁石保持部より透磁率が低い第 3 磁束バリア部と、

前記軸方向における前記第 3 磁束バリア部の上流に配置され、前記第 3 磁束バリア部よ

10

20

30

40

50

り透磁率が高い第3磁束ガイド部と、

前記第1磁石保持部及び前記第3磁束ガイド部に連結し、前記径方向において前記第1巻線体及び前記第2巻線体の少なくとも一方との間に前記第3磁束バリア部を挟むように配置され、前記第3磁束バリア部より透磁率が高い第3磁束連結部と、を有する、請求項3乃至6のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項8】

前記第3磁束バリア部、前記第3磁束ガイド部及び前記第3磁束連結部の内少なくともいずれか一つは、円柱形状に形成されている、請求項7に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項9】

前記可動子は、前記軸方向における前記第2磁石群の下流に配置されると共に、前記第2磁石保持部より透磁率が低い第4磁束バリア部と、

前記軸方向における前記第4磁束バリア部の下流に配置され、前記第4磁束バリア部より透磁率が高い第4磁束ガイド部と、

前記第2磁石保持部及び前記第4磁束ガイド部に連結し、前記径方向において前記第1巻線体及び前記第2巻線体の少なくとも一方との間に前記第4磁束バリア部を挟むように配置され、前記第4磁束バリア部より透磁率が高い第4磁束連結部と、を有する、請求項3乃至8のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項10】

前記第4磁束バリア部、前記第4磁束ガイド部及び前記第4磁束連結部の内少なくともいずれか一つは、円柱形状に形成されている、請求項9に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項11】

前記固定子は、前記第1巻線体又は前記第2巻線体を構成する導線が巻回され、前記軸方向において、前記第1巻線体を構成する導線同士が互いに連結されるとともに、前記第2巻線体を構成する導線同士が互いに連結される複数のヨーク単位を有する、請求項1乃至10のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項12】

複数の前記ヨーク単位は、前記軸方向に投影した場合にそれぞれ同一の形状を有する、請求項11に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項13】

前記第1巻線体は、前記第1螺旋方向に沿って絶縁状態で並行して延びる複数の第1導線部材を有し、

前記第2導線は、前記第2螺旋方向に沿って絶縁状態で並行して延びる複数の第2導線部材を有する、

請求項11又は12に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項14】

前記可動子は、前記径方向において前記固定子より内周側に配置される、請求項1乃至13のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項15】

前記第1巻線体は、前記径方向において前記第2巻線体と前記可動子との間に配置されている、

請求項1乃至14のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項16】

前記第2巻線体は、前記軸方向において前記第1巻線体の下流に配置される、

請求項1乃至14のいずれか1項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項17】

前記第1巻線体および前記第2巻線体に対して駆動用の交流電圧よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定信号を印加するドライバ回路と、

前記第1巻線体および前記第2巻線体に流れる電流から前記位置推定信号を検出するた

10

20

30

40

50

めのフィルタ回路と、

検出された前記位置推定信号の電流値を測定する電流計と、

前記電流値に基づいて、前記第1巻線体又は前記第2巻線体と前記可動子との相対的な位置関係を推定する演算回路と、をさらに備える

請求項1乃至16のいずれか一項に記載の埋込磁石型モータ。

【請求項18】

基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、前記第1螺旋方向と交差し、前記基準軸を中心とした第2螺旋方向に延びる第2導線を含む第2巻線体と、を有する固定子と、

前記固定子に対して、前記基準軸に沿った直線方向において相対的に移動可能かつ前記基準軸を中心とした周方向において相対的に回動可能な可動子と、を備える埋込磁石型モータの、前記固定子と前記可動子との相対的な位置関係を推定する位置推定装置であって

10

、
前記第1巻線体および前記第2巻線体に対して駆動用の交流電流よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定信号を印加するドライバ回路と、

前記第1巻線体および前記第2巻線体に流れる電流から前記位置推定信号を検出するためのフィルタ回路と、

検出された前記位置推定信号の電流値を測定する電流計と、

前記電流値に基づいて、前記第1巻線体又は前記第2巻線体と前記可動子との相対的な位置関係を推定する演算回路と、を備える

20

位置推定装置。

【請求項19】

基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、前記第1螺旋方向と交差し、前記基準軸を中心とした第2螺旋方向に延びる第2導線を含む第2巻線体と、を有する固定子と、

前記固定子に対して、前記基準軸に沿った直線方向において相対的に移動可能かつ前記基準軸を中心とした周方向において相対的に回動可能な可動子と、を備える埋込磁石型モータの、前記固定子と前記可動子との相対的な位置関係を推定する位置推定方法であって

、
前記第1巻線体および前記第2巻線体に対して駆動用の交流電流よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定用電圧を印加する印加ステップと、

30

前記第1巻線体および前記第2巻線体に流れる電流から前記位置推定用周波数の位置推定用電流を検出するためのフィルタリングステップと、

検出された前記位置推定用電流の電流値を測定する電流測定ステップと、

前記電流値に基づいて、前記第1巻線体又は前記第2巻線体と前記可動子との相対的な位置関係を推定する推定ステップと、を備える

位置推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は埋込磁石型モータ、位置推定装置および位置推定方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年、直動および回転可能な二自由度モータが提案されている。例えば特許文献1に記載の電磁アクチュエータは、交差させた導線で生じる2つの起磁力の合力を駆動力として用いて駆動機構を構成する。この電磁アクチュエータは、交差させた導線に通電する電流の方向を調整することによって、2つの起磁力（ローレンツ力）の合力の方向を変更し、異なる駆動態様を独立して制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献1】特開2015-163004号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

ところで、特許文献1に記載の電磁アクチュエータは、可動子であるシャフトの表面に磁石を貼り付ける表面磁石型又はS P M (Surface Permanent Magnet) と称されるタイプのモータである。S P M型のモータは表面に貼り付けた磁石が剥がれ落ちやすく高速回転には向いていない。そこで発明者らは、特許文献1に記載の電磁アクチュエータを埋込磁石型又はI P M (Interior Permanent Magnet) と称されるタイプに変更することを検討した。埋込磁石型モータ又はI P M型のモータは、磁石がシャフト内に埋め込まれているため高速回転により磁石が剥がれ落ちる虞がない。

10

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献1に記載の電磁アクチュエータの磁極部をI P M型に変更する場合、例えばシャフトの軸方向に設けた空間に異なる極性の磁石を並べて挿入するとN極とS極とが短絡し、磁束が低下してしまう。複数の磁石をこのような方法により配置する場合、精度よく組み立てを行うことが難しい。

【 0 0 0 6 】

本発明はこのような課題を解決するためになされたものであり、組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータ等を提供するものである。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明にかかる埋込磁石型モータは、基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、上記第1螺旋方向と交差する方向であって上記基準軸を中心とした第2螺旋方向に延びる第2導線を含む第2巻線体と、を有する固定子と、上記基準軸に直交する径方向において上記固定子の少なくとも一部と対向し、上記固定子に対して、上記基準軸に沿った軸方向において相対的に移動可能かつ上記基準軸を中心とした周方向において相対的に回転可能な可動子と、を備え、上記可動子は、上記周方向において異なる磁極が交互に配置される第1磁石群と、上記軸方向において上記第1磁石群の下流に配置され、上記周方向において異なる磁極が交互に配置される第2磁石群と、上記第1磁石群が埋設されるように上記第1磁石群を保持し、空気より透磁率が高い第1磁石保持部と、上記第2磁石群が埋設されるように上記第2磁石群を保持し、上記軸方向において隣り合う上記第1磁石群の磁極と上記第2磁石群の磁極とが異なるように配置され、空気より透磁率が高い第2磁石保持部と、上記軸方向において上記第1磁石群及び上記第2磁石群の間に配置されると共に、上記第1磁石保持部及び上記第2磁石保持部より透磁率が低い磁束バリア部と、を有する。

30

【 0 0 0 8 】

このような構成により、電磁アクチュエータは、I P M型の磁極部が軸方向に連結される。そのため、電磁アクチュエータは組立容易な構成となる。

【 0 0 0 9 】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記磁束バリア部は、円柱形状に形成されているのが好ましい。これにより磁束バリア部は加工容易となる。

40

【 0 0 1 0 】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記磁束バリア部は、上記軸方向において並んで配置される第1磁束バリア部及び第2磁束バリア部を有し、上記可動子は、上記軸方向において上記第1磁束バリア部及び上記第2磁束バリア部の間に配置され上記第1磁束バリア部及び上記第2磁束バリア部より透磁率が高い中間部と、上記第1磁石保持部及び上記中間部に連結し、上記径方向において上記第1巻線体及び上記第2巻線体の少なくとも一方との間に上記第1磁束バリア部を挟むように配置され、上記第1磁束バリア部より透磁率が高い第1磁束連結部と、上記第2磁石保持部及び上記中間部に連結し、上記径方向におい

50

て上記第1巻線体及び上記第2巻線体の少なくとも一方との間に上記第2磁束バリア部を挟むように配置され、上記第2磁束バリア部より透磁率が高い第2磁束連結部と、を有するものであってもよい。

【0011】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記中間部は、円柱形状に形成されているのが好ましい。これにより中間部は加工容易となる。

【0012】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第1磁束連結部及び上記第2磁束連結部の少なくともいずれか一方は、円柱形状に形成されているのが好ましい。これによりこれらの構成は加工容易となる。

【0013】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記中間部と、上記第1磁束連結部及び上記第2磁束連結部の少なくとも一方とは、一体に形成されていてもよい。

【0014】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記可動子は、上記軸方向における上記第1磁石群の上流に配置されると共に、上記第1磁石保持部より透磁率が低い第3磁束バリア部と、上記軸方向における上記第3磁束バリア部の上流に配置され、上記第3磁束バリア部より透磁率が高い第3磁束ガイド部と、上記第1磁石保持部及び上記第3磁束ガイド部に連結し、上記径方向において上記第1巻線体及び上記第2巻線体の少なくとも一方との間に上記第3磁束バリア部を挟むように配置され、上記第3磁束バリア部より透磁率が高い第3磁束連結部と、を有するものであってもよい。これにより埋込磁石型モータは効率が向上する。

【0015】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第3磁束バリア部、上記第3磁束ガイド部及び上記第3磁束連結部の内少なくともいずれか一つは、円柱形状に形成されていてもよい。

【0016】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記可動子は、上記軸方向における上記第2磁石群の下流に配置されると共に、上記第2磁石保持部より透磁率が低い第4磁束バリア部と、上記軸方向における上記第4磁束バリア部の下流に配置され、上記第4磁束バリア部より透磁率が高い第4磁束ガイド部と、上記第2磁石保持部及び上記第4磁束ガイド部に連結し、上記径方向において上記第1巻線体及び上記第2巻線体の少なくとも一方との間に上記第4磁束バリア部を挟むように配置され、上記第4磁束バリア部より透磁率が高い第4磁束連結部と、を有するものであってもよい。これにより埋込磁石型モータは効率が向上する。

【0017】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第4磁束バリア部、上記第4磁束ガイド部及び上記第4磁束連結部の内少なくともいずれか一つは、円柱形状に形成されているのが好ましい。これによりこれらの構成は加工容易となる。

【0018】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記固定子は、上記第1巻線体又は上記第2巻線体を構成する導線が巻回され、上記軸方向において、上記第1巻線体を構成する導線同士が互いに連結されるとともに、上記第2巻線体を構成する導線同士が互いに連結される複数のヨーク単位を有するものであってもよい。これにより固定子は組立容易な構成となる。

【0019】

上記埋込磁石型モータにおいて、複数の上記ヨーク単位は、上記軸方向に投影した場合にそれぞれ同一の形状を有するのが好ましい。これによりヨーク単位は加工容易となる。

【0020】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第1巻線体は、上記第1螺旋方向に沿って絶縁状態で並行して延びる複数の第1導線部材を有し、上記第2導線は、上記第2螺旋方向に沿って絶縁状態で並行して延びる複数の第2導線部材を有するものであってもよい。これに

10

20

30

40

50

より埋込磁石型モータは、例えば2自由度3相交流モータを実現できる。

【0021】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記可動子は、上記径方向において上記固定子より内周側に配置されるものであってもよい。これにより可動子を軸とした2自由度モータを実現できる。

【0022】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第1巻線体は、上記径方向において上記第2巻線体と上記可動子との間に配置されているものであってもよい。これにより、径方向に第1巻線体と第2巻線体をそれぞれ有する固定子を構成できる。

【0023】

上記埋込磁石型モータにおいて、上記第2巻線体は、上記軸方向において上記第1巻線体の下流に配置されるものであってもよい。これにより軸方向に第1巻線体と第2巻線体をそれぞれ有する固定子を構成できる。

【0024】

上記埋込磁石型モータは、上記第1巻線体および上記第2巻線体に対して駆動用の交流電圧よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定信号を印加するドライバ回路と、上記第1巻線体および上記第2巻線体に流れる電流から上記位置推定信号を検出するためのフィルタ回路と、検出された上記位置推定信号の電流値を測定する電流計と、上記電流値に基づいて、上記第1巻線体又は上記第2巻線体と上記可動子との相対的な位置関係を推定する演算回路と、をさらに備えるものであってもよい。これにより、埋込磁石型モータは、シンプルな構成で位置推定を行うことができる。

【0025】

本発明にかかる位置推定装置は、基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、上記第1螺旋方向と交差し、上記基準軸を中心とした第2螺旋方向に延びる第2導線を含む第2巻線体と、を有する固定子と、上記固定子に対して、上記基準軸に沿った直線方向において相対的に移動可能かつ上記基準軸を中心とした周方向において相対的に回動可能な可動子と、を備える埋込磁石型モータの、上記固定子と上記可動子との相対的な位置関係を推定する位置推定装置であって、上記第1巻線体および上記第2巻線体に対して駆動用の交流電流よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定信号を印加するドライバ回路と、上記第1巻線体および上記第2巻線体に流れる電流から上記位置推定信号を検出するためのフィルタ回路と、検出された上記位置推定信号の電流値を測定する電流計と、上記電流値に基づいて、上記第1巻線体又は上記第2巻線体と上記可動子との相対的な位置関係を推定する演算回路と、を備える。

【0026】

このような構成により、位置推定装置は、組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータの位置推定をシンプルな構成により実現する。

【0027】

本発明にかかる位置推定方法は、基準軸を中心とした第1螺旋方向に延びる第1導線を含む第1巻線体と、上記第1螺旋方向と交差し、上記基準軸を中心とした第2螺旋方向に延びる第2導線を含む第2巻線体と、を有する固定子と、上記固定子に対して、上記基準軸に沿った直線方向において相対的に移動可能かつ上記基準軸を中心とした周方向において相対的に回動可能な可動子と、を備える埋込磁石型モータの、上記固定子と上記可動子との相対的な位置関係を推定する位置推定方法であって、上記第1巻線体および上記第2巻線体に対して駆動用の交流電流よりも高い位置推定用周波数を有する位置推定用電圧を印加する印加ステップと、上記第1巻線体および上記第2巻線体に流れる電流から上記位置推定用周波数の位置推定用電流を検出するためのフィルタリングステップと、検出された上記位置推定用電流の電流値を測定する電流測定ステップと、上記電流値に基づいて、上記第1巻線体又は上記第2巻線体と上記可動子との相対的な位置関係を推定する推定ステップと、を備える。

【0028】

10

20

30

40

50

このような構成により、位置推定方法は、位置推定装置は、組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータの位置推定をシンプルな構成により実現する。

【発明の効果】

【0029】

本発明により、組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータ等を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの基本構成を示す概観斜視図である。

【図2】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの基準軸に直交する面の平面図である

10

【図3】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの基準軸に平行な面の断面図である。

【図4】実施の形態1にかかるコア部の斜視図である。

【図5】実施の形態1にかかる磁極単位の分解斜視図である。

【図6】磁極部の磁石の配置を示した斜視図である。

【図7】磁極部における基準軸に直交する面のq軸の磁束を示した断面図である。

【図8】磁極部における基準軸に直交する面のd軸の磁束を示した断面図である。

【図9】磁極部における基準軸に平行な面のq軸の磁束を示した断面図である。

【図10】磁極部における基準軸に平行な面のd軸の磁束を示した断面図である。

【図11】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの回転方向の電気角とトルクの関係を示す図である。

20

【図12】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの直動方向の電気角と推力の関係を示す図である。

【図13】実施の形態1にかかるステータ部の分解斜視図である。

【図14】実施の形態1にかかるヨーク単位の第1の平面図である。

【図15】実施の形態1にかかるヨーク単位の第2の平面図である。

【図16】実施の形態1にかかる第1巻線体の斜視図である。

【図17】実施の形態1にかかる第2巻線体の斜視図である。

【図18】制御回路のブロック図である。

【図19】実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの基本回路図である。

30

【図20】実施の形態2にかかる第1巻線体、第2巻線体およびコア部の分解斜視図である。

【図21】実施の形態3にかかるコア部およびステータ部の分解斜視図である。

【図22】実施の形態3にかかる第1巻線体の斜視図である。

【図23】実施の形態3にかかる第2巻線体の斜視図である。

【図24】実施の形態3にかかる第1巻線体および第2巻線体の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、特許請求の範囲にかかる発明を以下の実施形態に限定するものではない。また、実施形態で説明する構成の全てが課題を解決するための手段として必須であるとは限らない。説明の明確化のため、以下の記載および図面は、適宜、省略、および簡略化がなされている。なお、各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

40

【0032】

<実施の形態1>

以下、図面を参照して実施の形態1について説明する。図1は、実施の形態1にかかる電磁アクチュエータの基本構成を示す概観斜視図である。実施の形態1にかかる電磁アクチュエータ10は、埋込磁石型モータの一実施態様である。実施の形態1にかかる電磁アクチュエータ10は、コア部11およびステータ部12を有している。コア部11は、基準軸Aに対して回転対称の部材により構成された電磁アクチュエータの可動子である。ス

50

テータ部 1 2 は、コア部の周囲を所定の円筒面に沿って囲むように構成された電磁アクチュエータの固定子である。ステータ部 1 2 は、ヨーク部とも称される。

【 0 0 3 3 】

コア部 1 1 およびステータ部 1 2 は、基準軸 A に対して、相対的に直動自在および回転自在に設置される。したがって、例えば、ステータ部 1 2 は任意のケースに保持されてその姿勢を維持し、コア部 1 1 はステータ部 1 2 と接触せず、予め設定された間隔を維持しながら直動および回転するように軸受等により支持される。このような構成により電磁アクチュエータは直動方向と回転方向の二自由度を有する。

【 0 0 3 4 】

電磁アクチュエータ 1 0 は、コア部 1 1 を駆動するための制御回路に接続される。制御回路は、上流側（図の左下側）で、ステータ部 1 2 に接続して所定の電圧を印加する。ステータ部 1 2 は上流側から下流側（図の右上側）へ向かって所定の螺旋状に導線が配線されており、さらにこの導線は下流側から上流側へ配線されている。この導線は、上流側から下流側へ流れる電流と、下流側から上流側へ流れる電流とが平行して交互に流れることにより、ローレンツ力が生じるように配置される。なお、導線が螺旋状に配線された二自由度モータの技術は既に当業者に知られるところであり、ここでの詳述は省略する。制御回路からステータ部 1 2 に電圧が印加されると、コア部 1 1 に駆動力が生じる。制御回路については後述する。

【 0 0 3 5 】

構成要素の位置関係を説明するための便宜的なものとして、図 1 は、右手系の直交座標系および円筒座標系が重畳された状態で付されている。図 2 以降において、直交座標系又は円筒座標系が付されている場合、図 1 の X 軸、Y 軸、および Z 軸方向と、これらの直交座標系の X 軸、Y 軸、および Z 軸方向はそれぞれ一致している。また電磁アクチュエータの基準軸である回転軸の軸方向と Z 軸方向とは一致しており、電磁アクチュエータの半径方向は矢印 R で示され、電磁アクチュエータの円周方向は矢印 で示されている。以降の説明において、「内周側」は、矢印 R に沿って「外周側」よりも基準軸 A に近い側をいう。また、円周方向におけるプラス方向は、図示の矢印のように、Y 軸プラス側から X 軸プラス側へ向かう方向をいう。また以降の説明において「上流側」とは Z 軸マイナス側であり、「下流側」とは Z 軸プラス側をいう。

【 0 0 3 6 】

図 2 および図 3 を参照しながら電磁アクチュエータの構成についてさらに説明する。図 2 は、基準軸 A に直交する面の平面図である。図 3 は、基準軸 A に平行な面の断面図である。図 3 は、図に示した断面 III を示したものである。

【 0 0 3 7 】

ステータ部 1 2 は主な構成として、複数のヨーク単位 1 2 1 および複数のヨーク連結部 1 2 5 を有している。ヨーク単位 1 2 1 とヨーク連結部 1 2 5 とは、基準軸 A に沿って交互に連結している。

【 0 0 3 8 】

ヨーク単位 1 2 1 は、円筒状の磁性体の内周側に第 1 巻線体 1 4 の構成要素である第 1 導線が巻回された複数のコイル、第 2 巻線体 1 5 の構成要素である第 2 導線が巻回された複数のコイルおよびティース 1 2 4 を有している。第 1 巻線体 1 4 は基準軸 A の周囲に配置された複数のコイルにより構成されている。第 2 巻線体 1 5 は、基準軸 A の周囲であって、第 1 巻線体 1 4 の外周側に配置された複数のコイルにより構成されている。ティース 1 2 4 は、第 1 巻線体 1 4 の内周側に複数配置されており、ティース 1 2 4 の内周側の面は直径 D 1 の第 1 円筒面を形成している。なお、ヨーク単位 1 2 1 の詳細な構成は後述する。

【 0 0 3 9 】

ヨーク連結部 1 2 5 は、円筒状の磁性体により形成されており、2 つ有する平面部においてそれぞれ隣接するヨーク単位 1 2 1 に連結する。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

コア部 1 1 は主な構成として、基準軸 A に沿って延伸する軸 1 1 1 と、軸 1 1 1 の周囲に固定された磁極部 1 3 とを有する。磁極部 1 3 は円筒形状であり、その外径は直径 D 2 である。直径 D 2 はテイス 1 2 4 により形成される第 1 円筒面の直径 D 1 より小さい。すなわち、磁極部 1 3 は直径 D 1 より小さい直径 D 2 の第 2 円筒面を有し、第 2 円筒面は、第 1 円筒面に離間して対向している。

【 0 0 4 1 】

次に、コア部のさらなる詳細について説明する。図 4 は、実施の形態 1 にかかるコア部の斜視図である。コア部 1 1 は、軸 1 1 1 の中央部に磁極部 1 3 が固定されている。磁極部 1 3 は、軸方向の両端部に係合部材 1 1 2 がそれぞれ係合されている。これにより磁極部 1 3 と軸 1 1 1 とは互いに固定されている。磁極部 1 3 は、第 1 磁極単位 1 3 0 A および第 1 磁極単位 1 3 0 A の下流側の軸方向に連結された第 2 磁極単位 1 3 0 B を有している。なお第 1 磁極単位 1 3 0 A および第 2 磁極単位 1 3 0 B を総称して磁極単位 1 3 0 と称する。また同様に、以降の説明において構成要素の符号の数字が同じであって、末尾のアルファベットが異なるものについては、アルファベットを省略して符号の数字のみで構成要素を総称する場合がある。

10

【 0 0 4 2 】

次に図 5 を参照して磁極単位の構成について説明する。図 5 は、磁極単位 1 3 0 の分解斜視図である。第 1 磁極単位 1 3 0 A は主な構成として第 1 磁石保持部 1 3 1 A、磁石 1 3 3、第 1 磁束バリア部 1 3 5 A、第 3 磁束バリア部 1 3 5 C、第 1 磁束ガイド部 1 3 6 A 及び第 3 磁束ガイド部 1 3 6 C を有している。第 2 磁極単位 1 3 0 B は主な構成として第 2 磁石保持部 1 3 1 B、磁石 1 3 3、第 2 磁束バリア部 1 3 5 B、第 4 磁束バリア部 1 3 5 D、第 2 磁束ガイド部 1 3 6 B 及び第 4 磁束ガイド部 1 3 6 D を有している。また磁極単位 1 3 0 のこれらの構成は、いずれも位置決め部 1 3 4 を有しており、隣接する各構成と位置決め部 1 3 4 により位置ずれなく固定される。

20

【 0 0 4 3 】

第 1 磁石保持部 1 3 1 A および第 2 磁石保持部 1 3 1 B は、直径 D 2 の第 2 円筒面 1 3 1 S を有する磁性体により構成されており、内部に複数の磁石 1 3 3 により構成される磁石群を保持している。磁石保持部 1 3 1 を形成する磁性体とは例えば鉄、ステンレス、ケイ素鋼板等の強磁性体である。本実施の形態において、磁石保持部 1 3 1 は、4 個の矩形板状の磁石 1 3 3 により構成される磁石群を有している。磁石群を構成する 4 個の磁石 1 3 3 は、基準軸 A の周囲に 90 度ずつ回転した位置であって、且つ、基準軸 A からの距離がそれぞれ等しい位置に埋設されている。またこのとき、4 個の磁石 1 3 3 は、基準軸 A を中心軸として形成される四角柱の各面に沿って配置されていることになる。図に示す磁石保持部 1 3 1 は、磁石 1 3 3 のそれぞれの主面が X Z 平面又は Y Z 平面に平行になるように磁石 1 3 3 を保持している。また、基準軸 A から磁石 1 3 3 までの最短距離は、いずれも同じになるように構成されている。また磁石 1 3 3 の軸方向の長さは、磁石保持部 1 3 1 の軸方向の長さと同じであって、同一の端面を形成するように構成されている。なお、ここで磁石が「埋設されている」とは、磁石の少なくとも一部が磁石保持部 1 3 1 内に埋め込まれていればよく、磁石の一部が磁石保持部 1 3 1 の表面に露呈していてもよい。また磁石 1 3 3 の軸方向の長さは、磁石保持部 1 3 1 の内部で所定の位置に固定されてい

30

40

【 0 0 4 4 】

磁石保持部 1 3 1 は、磁石 1 3 3 の円周方向の両端部に、エアギャップ 1 3 2 をそれぞれ有している。エアギャップ 1 3 2 は、磁石 1 3 3 の円周方向の端面に接して形成されている。エアギャップ 1 3 2 をこのように構成することにより、エアギャップ 1 3 2 は、磁石 1 3 3 の端面で磁束が短絡することを防いでいる。なお、磁石 1 3 3 の極性については後述する。

【 0 0 4 5 】

磁束バリア部 1 3 5 は、磁石保持部 1 3 1 より透磁率の低い材質により形成された板状部材である。磁束バリア部 1 3 5 の外径は、磁石保持部 1 3 1 と同じ直径 D 2 である。磁

50

石保持部より透磁率の低い材質とは、磁石保持部に比較的透磁率の高い鉄などを用いた場合には、例えば代表的にはアルミニウム、銅、紙等の非磁性体である。なお、磁束バリア部 135 は、このような素材に代えて、あるいはこのような素材に加えて、空間を設けることにより構成されてもよい。

【0046】

磁束バリア部 135 は、磁石保持部 131 の軸方向の端面に接触した状態で配置される。これにより磁束バリア部 135 は、磁石 133 の軸方向の端面に接触する。そのため、磁束バリア部 135 は、軸方向において磁石 133 を保持する。磁束バリア部 135 は、磁石保持部 131 と磁束ガイド部 136 との間に介在することにより、磁石保持部 131 と磁束ガイド部 136 との間に流れる磁束を抑制する。なお、磁石 133 の軸方向の長さが磁石保持部 131 より短い場合、磁石保持部 131 と磁束バリア部 135 とが接触する面と磁石 133 との間にはエアギャップが存在することになる。

10

【0047】

磁束ガイド部 136 は、磁石保持部 131 と同等の材質により形成された円筒状の部材である。磁石保持部 131 と同等の材質とは、磁石保持部 131 と同じ材質である必要はなく、透磁率が磁石 133 や磁束バリア部 135 等より高い部材であればよい。磁束ガイド部 136 の外径は、磁石保持部 131 と同じ直径 D2 である。磁束ガイド部 136 は、磁石 133 と接触する面と反対側の面で磁束バリア部 135 に隣接する。また、磁束ガイド部 136 の内周側には、磁石保持部 131 に向かって突出する磁束連結部 137 が設けられている。磁束連結部 137 は、磁束バリア部 135 の内周側を延伸するように形成されており、磁石保持部 131 と接触するように構成される。換言すると、磁束連結部 137 は、径方向において、第 1 巻線体 14 又は第 2 巻線体 15 の少なくともいずれか一方との間に磁束バリア部 135 を挟むように配置されている。

20

【0048】

図 5 に示すように、本実施の形態において、第 1 磁極単位 130 A および第 2 磁極単位 130 B は、それぞれ同じ構成を有している。第 1 磁極単位 130 A は、上流側から順に、第 3 磁束ガイド部 136 C、第 3 磁束バリア部 135 C、第 1 磁石保持部 131 A、第 1 磁束バリア部 135 A および第 1 磁束ガイド部 136 A の順に連結している。第 2 磁極単位 130 B は、上流側から順に、第 2 磁束ガイド部 136 B、第 2 磁束バリア部 135 B、第 2 磁石保持部 131 B、第 4 磁束バリア部 135 D および第 4 磁束ガイド部 136 D の順に連結している。そして、第 1 磁束ガイド部 136 A と第 2 磁束ガイド部 136 B とは互いに連結している。すなわち、磁極単位 130 は、直径 D2 の各要素を軸方向に連結して構成される。このように各構成が円柱状に形成されているため、磁極単位 130 の各構成は、旋盤加工等が行いやすい。なお、磁束連結部 137 は、磁束ガイド部 136 に代えて、磁石保持部 131 が有していてもよいし、別の部品として構成されてもよい。また、本実施の形態における第 1 磁束ガイド部 136 A と第 2 磁束ガイド部 136 B とは、別体に形成された中間部であるが、一体に形成された中間部であってもよい。

30

【0049】

次に、図 6 を参照しながら磁石 133 の極性について説明する。図 6 は、磁極部の磁石の配置を示した斜視図である。図において、磁極部 13 の外径は点線により示され、磁石保持部 131 が有する磁石 133 が透過して示されている。以下の説明において、第 1 磁極単位 130 A が有する 4 つの磁石群を第 1 磁石群と称し、第 2 磁極単位 130 B が有する 4 つの磁石群を第 2 磁石群と称する場合がある。

40

【0050】

図に示す磁石 133 は、外周側に有する極性により磁石 133 N と磁石 133 S とに区分して示されている。磁石 133 N は、外周側の主面に極性を示す文字「N」と示されている。あるいは、磁石 133 N は、外周側の主面が示されていない場合に、内周側の主面に極性を示す文字が括弧付で「(S)」と示されるとともに、外周側の主面に向かって矢印により「N」が示されている。磁石 133 S は、上述の磁石 133 N の場合とは反対の極性を示す文字がそれぞれ同様の態様により示されている。

50

【 0 0 5 1 】

図に示すように、磁極部 1 3 において、内部に含まれる磁石 1 3 3 N および磁石 1 3 3 S は、軸方向又は円周方向に隣り合う極性が互いに異なるように配置されている。すなわち、例えば本実施の形態において、第 1 磁石群および第 2 磁石群はそれぞれ周方向において異なる磁極が交互に配置され、かつ、2 つの磁極単位 1 3 0 は、軸方向に連結される際に、相対的に回転方向に 9 0 度回転されることにより、軸方向においても異なる磁極が隣り合うように配置された状態となっている。

【 0 0 5 2 】

磁極単位 1 3 0 は、このように、軸方向に複数の要素を連結することにより構成される。また、図 4 に示した磁極部 1 3 は、複数の磁極単位 1 3 0 を軸方向に連結することにより構成される。さらに、図 6 に示すように、磁極部 1 3 が複数の磁極単位 1 3 0 を連結して構成される場合には、隣り合う磁石 1 3 3 の極性が異なるように配置される。すなわち本実施の形態によれば、異なる磁極を交互に配置した磁極部を構成することができる。このような構成により、本実施の形態は、内部に磁石 1 3 3 を有する I P M 型の磁極部を組立容易な構成とすることができる。

10

【 0 0 5 3 】

次に、図 7 ~ 図 1 0 を参照して、磁極部 1 3 に作用する q 軸の磁束および d 軸の磁束の状態を説明する。一般的な三相モータの電流を制御する上で、d q 変換という手法がある。この d q 変換を用いることにより、U 相、V 相及び W 相のコイルは、仮想的に d 軸及び q 軸のコイルに変換することができる。d 軸の磁束及び q 軸の磁束とは、この仮想的なコイルによって生じる磁束を示し、d 軸電流及び q 軸電流とは、これらの仮想的なコイルに流す電流を示す。なお、d q 変換は既知の技術であり、本実施の形態における詳細な説明は省略する。

20

【 0 0 5 4 】

図 7 を参照して基準軸に直交する面 (X Y 平面に平行な面) における q 軸の磁束について説明する。図 7 は、磁極部における基準軸に直交する面の q 軸の磁束を示した断面図である。図において、q 軸の磁束 q が点線の矢印により示されている。磁束 q は、4 か所の磁石 1 3 3 (磁石 1 3 3 N および磁石 1 3 3 S) および磁石 1 3 3 に隣接するエアギャップ 1 3 2 の断面形状に沿うように、磁石の外周側と、磁石の内周側とをそれぞれ流れる。すなわち、基準軸 A に直交する面において、磁性体の内部に保持されている磁石 1 3 3 と磁石 1 3 3 の端部に隣接するエアギャップ 1 3 2 とは、磁束 q の磁路を形成する。また磁石保持部 1 3 1 は、形成された磁路において磁束 q を流すために相応な厚みの磁性体を有し、且つ、磁束 q を妨げる要素を有していない。

30

【 0 0 5 5 】

次に、図 8 を参照して基準軸に直交する面における d 軸の磁束について説明する。図 8 は、磁極部における基準軸に直交する面の d 軸の磁束を示した断面図である。図において、d 軸の磁束 d が点線の矢印により示されている。磁束 d は、例えば磁石 1 3 3 N を通過して磁石 1 3 3 S に向かって流れ、さらに磁石 1 3 3 S を通過する。また、磁石 1 3 3 の端部において磁束 d はエアギャップ 1 3 2 を通過するように流れる。図に示すように、磁束 d は、磁石保持部 1 3 1 の磁性体よりも比較的透磁率が低い磁石 1 3 3 やエアギャップ 1 3 2 を通過する。

40

【 0 0 5 6 】

以上のように、基準軸 A に直交する面において、磁束 q は磁石 1 3 3 やエアギャップ 1 3 2 よりも透磁率の高い磁性体を流れる。一方で、磁束 d は、磁石保持部 1 3 1 を形成する磁性体よりも透磁率の低い磁石 1 3 3 やエアギャップ 1 3 2 を通過する。そのため、磁束 q は磁束 d より大きくなる。したがって、磁束 q にかかるインダクタンス L_q は、磁束 d にかかるインダクタンス L_d より大きくなる。このように、磁束 q と磁束 d の流れやすさに差を設けることにより、本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ 1 0 は、磁極部 1 3 において、回転方向のリラクタンストルク (回転力) が発生する。

【 0 0 5 7 】

50

次に、図 9 を参照して基準軸 A に平行な面における q 軸の磁束について説明する。図 9 は、磁極部 1 3 における基準軸に平行な面の q 軸の磁束を示した断面図である。図に示した断面は基準軸 A に平行な面の一例として X Z 平面に平行な断面を示している。図において、q 軸の磁束 q が点線の矢印により示されている。磁束 q は、4 か所の磁石 1 3 3 および磁石 1 3 3 に隣接する磁束バリア部 1 3 5 の断面形状に沿うように、磁石の外周側と、磁石の内周側とをそれぞれ流れる。すなわち、基準軸 A に直交する面において、磁性体の内部に保持されている磁石 1 3 3 と磁石 1 3 3 の端部に隣接する磁束バリア部 1 3 5 とは、磁束 q の磁路を形成する。また磁石保持部 1 3 1 は、形成された磁路において磁束 q を流すために相応な厚みの磁性体を有し、且つ、磁束 q を妨げる要素を有していない。より具体的に一例を示すと、第 1 磁極単位 1 3 0 A において、一の磁束 q は、第 1 磁束ガイド部 1 3 6 A から、第 1 磁束連結部 1 3 7 A、第 1 磁石保持部 1 3 1 A、第 3 磁束連結部 1 3 7 C そして第 3 磁束ガイド部 1 3 6 C を流れる。さらに別の具体例を示すと、第 2 磁極単位 1 3 0 B において、一の磁束 q は、第 2 磁束ガイド部 1 3 6 B から、第 2 磁束連結部 1 3 7 B、第 2 磁石保持部 1 3 1 B、第 4 磁束連結部 1 3 7 D そして第 4 磁束ガイド部 1 3 6 D を流れる。

【 0 0 5 8 】

次に、図 1 0 を参照して基準軸に平行な面における d 軸の磁束について説明する。図 1 0 は、磁極部 1 3 における基準軸に平行な面の d 軸の磁束を示した断面図である。図 1 0 は、X Z 平面に平行な断面の d 軸の磁束を示した断面図である。図において、d 軸の磁束 d が点線の矢印により示されている。磁束 d は、右側の磁極単位 1 3 0 から左側の磁極単位 1 3 0 に向かって、磁石 1 3 3 又は磁束バリア部 1 3 5 を通過して流れる。すなわち磁束 d は、磁石保持部 1 3 1 の磁性体よりも比較的透磁率が低い磁石 1 3 3 や磁束バリア部 1 3 5 を通過する。

【 0 0 5 9 】

以上のように、基準軸 A に平行な面において、磁束 q は磁石 1 3 3 やエアギャップ 1 3 2 よりも透磁率の高い磁性体を流れる。一方で、磁束 d は、磁石保持部 1 3 1 を形成する磁性体よりも透磁率の低い磁石 1 3 3 や磁束バリア部 1 3 5 を通過する。そのため、磁束 q は磁束 d より大きくなる。したがって、磁束 q にかかるインダクタンス L_q は、磁束 d にかかるインダクタンス L_d より大きくなる。換言すると、磁極部 1 3 は磁束 q の流れやすさと磁束 d の流れやすさとが異なるように設定されている。このように、磁束 q と磁束 d の流れやすさに差を設けることにより、本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ 1 0 は、磁極部 1 3 において、直動方向のリラクタンス力（推力）が発生する。

【 0 0 6 0 】

一般的な IPM モータでは、d 軸電流及び q 軸電流の割合に係る電気角を適切に決定することにより、マグネットトルク（マグネット力）だけでなくリラクタンストルク（リラクタンス力）も利用可能となる。電気角 β とは、以下の式のように定義される。

【 数 1 】

$$I_a = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$$

【 数 2 】

$$i_d = -I_a \sin \beta, \quad i_q = I_a \cos \beta$$

電磁アクチュエータ 1 0 は、第 1 巻線体と第 2 巻線体の 2 種類の三相コイルを有し、第 1 巻線体の d 軸電流及び q 軸電流と、第 2 巻線体の d 軸電流及び q 軸電流が設けられている。従って、電磁アクチュエータ 1 0 には、第 1 巻線体の電気角 θ_1 と第 2 巻線体の電気角 θ_2 とが設けられている。次に、電磁アクチュエータ 1 0 が発生する力について説明す

る。発明者らは、本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10の構造をコンピュータ上でシミュレーションし、コア部11とステータ部12との間に発生する回転方向の力（回転力）と直動方向の力（推力）を算出した。

【0061】

次に、図11を参照して、電磁アクチュエータ10が発生する回転力と電気角との関係について説明する。図11は、発明者らが本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10の構造をコンピュータ上でシミュレーションし、コア部11とステータ部12との間に発生する回転方向の力（回転力）を算出した結果である。図に示すグラフは横軸が電気角であり、縦軸がトルクを示している。なお、以降の説明において、電気角 θ_1 は、第1巻線体の電気角 θ_1 及び第2巻線体の電気角 θ_2 を示す。例えば、電気角 $\theta_1 = 40$ 度とは、第1巻線体の電気角 $\theta_1 = 40$ 度かつ第2巻線体の電気角 $\theta_2 = 40$ 度を示す。

10

【0062】

グラフにプロットされた3つの曲線は、下から回転方向のリラクタンストルク、マグネットトルクおよびこれらの合計である。すなわち、リラクタンストルクは、電気角0度で約0.15Nmであり、電気角が増えるとともに徐々に増加し、電気角45度付近で0.5Nmとなる。そして、そこから電気角が増えるとともに徐々に減少し、電気角90度で0Nmとなる。一方、マグネットトルクは、電気角0度から30度付近まで1Nmであり、そこから徐々に減少し、電気角90度で0Nmとなる。このリラクタンストルクとマグネットトルクとを合計すると、電磁アクチュエータ10の回転力は、電気角度40度付近で最大トルク約1.43Nmとなる曲線を描く。

20

【0063】

次に、図12を参照して、電磁アクチュエータ10が発生する推力と電気角との関係について説明する。図12は、発明者らが本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10の構造をコンピュータ上でシミュレーションし、コア部11とステータ部12との間に発生する直動方向の力（推力）を算出した結果である。図に示すグラフは横軸が電気角であり、縦軸が推力を示している。グラフにプロットされた3つの曲線は、下から直動方向のリラクタンス力、マグネット力およびこれらの合計である。すなわち、リラクタンス力は、電気角0度で約5Nであり、電気角が増えるとともに徐々に増加し、電気角50度付近で約28Nとなる。そして、そこから電気角が増えるとともに徐々に減少し、電気角90度で0Nmとなる。一方、マグネット力は、電気角0度から20度付近まで約59Nであり、そこから徐々に減少し、電気角90度で0Nmとなる。このリラクタンス力とマグネット力とを合計すると、電磁アクチュエータ10の推力は、電気角度40度付近で最大推力約80Nとなる曲線を描く。

30

【0064】

このように、シミュレーションにより、電磁アクチュエータ10は、回転方向においてリラクタンストルクが発生しているだけでなく、直動方向においてもリラクタンス力が発生していることが示された。すなわち、このシミュレーションにより、電磁アクチュエータ10は、磁極部13において磁束バリア部135を設けることにより、直動方向のリラクタンス力が発生することが示された。

【0065】

次に、ステータ部12の構成について詳細を説明する。図13は、実施の形態1にかかるステータ部の分解斜視図である。ステータ部12は、基準軸Aに沿って、ヨーク単位121とヨーク連結部125とが交互に連結されている。図においてZ軸マイナス側（上流側）の端部に配置されているヨーク単位121を、ヨーク単位121aと示している。また、ステータ部12は、Z軸マイナス側（上流側）からプラス側（下流側）に向かって、ヨーク単位121a、ヨーク連結部125、ヨーク単位121b、ヨーク連結部125、ヨーク単位121c、・・・と連結されている。

40

【0066】

ヨーク単位121aはコイルの一部を省略して表示している。図に示すように、ヨーク単位121は、円筒状のバックヨーク122と、バックヨーク122の内周面から内周側

50

に向かって延伸するコイルヨーク123とを有している。バックヨーク122およびコイルヨーク123は、例えば磁性体を素材とする板材をプレス加工するなどして一体的に成形することができる。本実施の形態において、コイルヨーク123は、6か所設けられている。連結されている複数のヨーク単位121は、それぞれ軸方向に投影した場合の形状が同一となっている。よって、例えば、複数のヨーク単位121は、磁性体を主成分とする板材をプレス加工することにより形成することができる。

【0067】

ヨーク連結部125は、円筒状の磁性体により構成されている。ヨーク連結部125は、バックヨーク122およびコイルヨーク123と同様に、磁性体を素材とする板材をプレス加工することにより成形することができる。このように、ヨーク単位121の間にヨーク連結部125を設ける構成にすることにより、ステータ部12は、加工が容易となる。

10

【0068】

次に、図14および図15を参照して、隣接するヨーク単位121の構成について説明する。図14は、実施の形態1にかかるヨーク単位の第1の平面図である。図14はヨーク単位121aの平面図であり、Z軸に沿って観察した状態である。また、図14は、一部が断面として示されている。

【0069】

ヨーク単位121aは、回転方向に60度毎に設けられた6個のコイルヨーク123を有している。6個のコイルヨーク123の内、対向する2個のコイルヨーク123は、X軸に平行に設けられている。コイルヨーク123の内周側には、ティース124が設けられている。コイルヨーク123は、内周側に第1巻線体14の構成要素であるコイルが巻回されており、第1巻線体14よりも外周側に、第1巻線体14とは通電しないように、第2巻線体15の構成要素であるコイルが巻回されている。第1巻線体14を構成する導線と第2巻線体15を構成する導線との間は、通電しないように絶縁部材が設けられていてもよい。

20

【0070】

ところで本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10は、3相交流モータである。そのため、第1巻線体14は、U相、V相およびW相のそれぞれに対応するコイルを有している。図において、コイル14UはU相に対応し、14VはV相に対応し、14WはW相に対応している。すなわち、第1巻線体14が有するコイル14Uと、コイル14Vとコイル14Wとは、それぞれ位相の異なる交流電流が印加される。図において、X軸に平行なコイルヨーク123にはコイル14Uがそれぞれ巻回されている。また、円周方向のマイナス方向に60度回転して隣接するコイルヨーク123にV相に対応するコイル14Vが巻回され、さらにマイナス方向に60度回転して隣接するコイルヨーク123にW相に対応するコイル14Wが巻回されている。

30

【0071】

第1巻線体14と同様に、第2巻線体15も、U相、V相およびW相のそれぞれに対応するコイル15U、コイル15Vおよびコイル15Wを有している。図において、ヨーク単位121aは、X軸に平行な2つのコイルヨーク123にはコイル15Wがそれぞれ巻回されている。また、円周方向のマイナス方向に60度回転して隣接するコイルヨーク123にU相に対応するコイル15Uが巻回され、さらにマイナス方向に60度回転して隣接するコイルヨーク123にV相に対応するコイル15Vが巻回されている。

40

【0072】

次に、ヨーク単位121bについて説明する。図15は、実施の形態1にかかるヨーク単位の第2の平面図である。図15はヨーク単位121bの平面図であり、Z軸に沿って観察した状態である。図15に示すヨーク単位121bが有しているコイルヨーク123は、図14に示したヨーク単位121aと比較すると円周方向に30度回転している状態である。このように、電磁アクチュエータ10のステータ部12は、隣接するヨーク単位のコイルヨーク123が30度回転した状態で連結されている。これにより、ステータ部

50

1 2 は、磁極部 1 3 に対して好適に q 軸の磁束を発生させる。

【 0 0 7 3 】

図において、X 軸に対してマイナス 方向に 3 0 度傾いた 2 つのコイルヨーク 1 2 3 の内周側にはコイル 1 4 U がそれぞれ巻回されている。また、円周方向のマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接するコイルヨーク 1 2 3 に V 相に対応するコイル 1 4 V が巻回され、さらにマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接するコイルヨーク 1 2 3 に W 相に対応するコイル 1 4 W が巻回されている。すなわちヨーク単位 1 2 1 a に隣接するヨーク単位 1 2 1 b の第 1 巻線体 1 4 は、相対的にマイナス 方向に 3 0 度回転した位置に配置されていることになる。

【 0 0 7 4 】

また、図において、X 軸に対してプラス 方向に 3 0 度傾いた 2 つのコイルヨーク 1 2 3 の外周側にはコイル 1 5 W がそれぞれ巻回されている。また、円周方向のマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接するコイルヨーク 1 2 3 に U 相に対応するコイル 1 5 U が巻回され、さらにマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接するコイルヨーク 1 2 3 に V 相に対応するコイル 1 5 V が巻回されている。すなわちヨーク単位 1 2 1 a に隣接するヨーク単位 1 2 1 b の第 2 巻線体 1 5 は、相対的にプラス 方向に 3 0 度回転した位置に配置されていることになる。

【 0 0 7 5 】

次に図 1 6 を参照して第 1 巻線体 1 4 が有するコイルの構成について説明する。図 1 6 は、実施の形態 1 にかかる第 1 巻線体の斜視図である。図 1 6 は、ステータ部 1 2 が有する第 1 巻線体 1 4 のコイルを抽出して表示したものである。図に示す濃い網掛けが施されたコイルは、コイル 1 4 U である。コイル 1 4 U からマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接する位置に示され、コイル 1 4 U より薄い網掛けが施されたコイルは、コイル 1 4 V である。またコイル 1 4 V からマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接する位置に示され、網掛けが施されていない（白い）コイルは、コイル 1 4 W である。図に示すように、コイル 1 4 U、コイル 1 4 V およびコイル 1 4 W は、Z 軸プラス方向に進むと、順次、マイナス 方向に 3 0 度回転した配置となっている。そのため、第 1 巻線体 1 4 の周囲に示した矢印 1 4 R のように、第 1 巻線体 1 4 のそれぞれのコイルは、基準軸 A の周りに右ネジの螺旋と同じ方向（右螺旋方向）の螺旋状に接続されている。すなわち、第 1 巻線体 1 4 は、右螺旋方向に沿って平行して伸びる複数の第 1 導線部材により構成されている。第 1 巻線体 1 4 は、U 相、V 相および W 相の少なくとも 3 相の互いに絶縁状態の第 1 導線部材を有している。

【 0 0 7 6 】

次に図 1 7 を参照して第 2 巻線体 1 5 が有するコイルの構成について説明する。図 1 7 は、実施の形態 1 にかかる第 2 巻線体の斜視図である。図 1 7 は、ステータ部 1 2 が有する第 2 巻線体 1 5 のコイルを抽出して表示したものである。図に示す濃い網掛けが施されたコイルは、コイル 1 5 U である。コイル 1 5 U からマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接する位置に示され、コイル 1 5 U より薄い網掛けが施されたコイルは、コイル 1 5 V である。またコイル 1 5 V からマイナス 方向に 6 0 度回転して隣接する位置に示され、網掛けが施されていない（白い）コイルは、コイル 1 5 W である。図に示すように、コイル 1 5 U、コイル 1 5 V およびコイル 1 5 W は、Z 軸プラス方向に進むと、順次、プラス 方向に 3 0 度回転した配置となっている。そのため、第 2 巻線体 1 5 の周囲に示した矢印 1 5 L のように、第 2 巻線体 1 5 のそれぞれのコイルは、基準軸 A の周りに左ネジと同じ方向（左螺旋方向）の螺旋状に接続されている。すなわち第 2 巻線体 1 5 は、左螺旋方向に沿って平行して伸びる複数の第 2 導線部材により構成されている。第 2 巻線体 1 5 は、U 相、V 相および W 相の少なくとも 3 相の互いに絶縁状態の第 2 導線部材を有している。

【 0 0 7 7 】

第 1 巻線体 1 4 のコイルは、右螺旋方向の螺旋状に接続される。すなわち第 1 巻線体 1 4 は右螺旋方向に同相の電流が流れるように設定されている。よってコイル 1 4 U が巻回されているコイルヨーク 1 2 3 はティース 1 2 4 の内周側に右螺旋方向に同相の磁界を発

10

20

30

40

50

生させる。そのため第1巻線体14は磁極部13に対して右螺旋方向に直交する左螺旋方向の起磁力を与えることができる。同様に、第2巻線体15のコイルは、第1巻線体14の螺旋方向と交差する左螺旋方向の螺旋状に接続されている。そのため第1巻線体14は磁極部13に対して左螺旋方向に直交する右螺旋方向の起磁力を与えることができる。したがって電磁アクチュエータ10は、二自由度を有する電磁アクチュエータを構成することができる。

【0078】

以上、実施の形態によれば、組立容易な埋込磁石型モータを提供することができる。また、上述のように複数のコイルを螺旋状に接続することにより、電磁アクチュエータは線占積率を向上させることが可能となる。なお、上述のような、異なる磁極を交互に配置した磁極部と、複数の導線を互いに電氣的に絶縁した状態で交差させて配置してなる二組の巻線体とを有する二自由度の電磁アクチュエータの技術については既に公知であるため、駆動原理に関して、ここでの詳細な説明は省略する。

【0079】

(位置推定機能)

次に電磁アクチュエータ10が有する位置推定機能について説明する。電磁アクチュエータ10はステータ部12に交流電圧を印加してコイルヨーク123に磁界を発生させることにより磁極部13を駆動する。このとき磁極部13が内蔵する磁石133が変位することによりU相~W相コイルのインダクタンスが変動するため、励磁コイルである第1巻線体14および第2巻線体15は、磁極部13が変位することによる磁界の変動を検出することができる。本実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10を駆動する制御回路は、この磁界の変動を検出することにより可動子の位置を推定する機能を有する。

【0080】

図18を参照しながら位置推定機能を有する制御回路について説明する。図18は、制御回路のブロック図である。制御回路300は、電磁アクチュエータ10のステータ部12に接続し、コア部11を駆動する。制御回路300は、主な構成として、ドライバ回路310および位置推定回路320を有している。

【0081】

ドライバ回路310は、可動子を駆動するための3相交流電源を含む電源回路であり、U相、V相およびW相の各層に位相の異なる交流電圧を印加するための駆動回路を含んでいる。またドライバ回路310は、可動子を駆動するための交流電圧に加えて、可動子の位置を推定するために、駆動用の交流電圧よりも高い周波数の交流電圧を発生させる機能を有している。なお、以降の説明において、可動子の位置を推定するための交流電圧を位置推定信号と称する。位置推定信号の周波数(位置推定用周波数)は、駆動用の交流電圧と明確に区別できる程度の周波数であることが好ましい。例えば、位置推定用周波数は、駆動用の交流電圧が有する周波数の、数十倍程度である。また位置推定信号の電圧は、駆動用の交流電圧と比較して、5パーセント~20パーセント程度の小さい値である。

【0082】

位置推定回路320は、可動子の位置を推定するための構成を有している。位置推定回路320は主な構成として、ハイパスフィルタ321、電流計322および演算回路323を有している。

【0083】

ハイパスフィルタ321は、ステータ部12に流れる電流から位置推定信号を抽出するためのフィルタ回路である。なおハイパスフィルタ321はハイパスフィルタに代えてバンドパスフィルタでもよい。電流計322は、ハイパスフィルタ321により抽出された位置推定信号の電流値を測定する。演算回路323は、電流計322が測定した電流値から、可動子の位置すなわち第1巻線体14又は第2巻線体15と磁極部13との相対的な位置関係を推定するための演算を行う。なお、電流計322は、位置推定だけでなく、電磁アクチュエータ10の駆動制御にも用いられる。すなわち、電流計322は、電磁アクチュエータ10を駆動する際の電流のフィードバック制御に用いられるものである。した

10

20

30

40

50

がって、ここで示す位置推定機能のために別個に電流計 3 2 2 を用意する必要はない。

【 0 0 8 4 】

次に、可動子の位置を推定するための原理について説明する。図 1 9 は、実施の形態 1 にかかる電磁アクチュエータの基本回路図である。図 1 9 は電磁アクチュエータ 1 0 の動作回路を模式的に示したものである。電磁アクチュエータ 1 0 は、制御回路 3 0 0 を有している。制御回路 3 0 0 は、第 1 巻線体 1 4 に接続する回路と第 2 巻線体 1 5 に接続する回路とをそれぞれ有している。

【 0 0 8 5 】

図 1 9 に示すように、電磁アクチュエータ 1 0 の第 1 巻線体 1 4 は U 相のコイル 1 4 U、V 相のコイル 1 4 V および W 相のコイル 1 4 W を有している。これらのコイルに対して制御回路 3 0 0 は交流電圧を印加するための交流電源を有している。

【 0 0 8 6 】

例えばコイル 1 4 U には電圧 E_{in_u} が印加される。このときにコイル 1 4 U に流れる電流は I_{in_u} である。またコイル 1 4 U のインダクタンスは $L_{in_u}(\alpha_{in})$ である。ここで α_{in} は、磁極部 1 3 の左螺旋方向の機械角である。同様に、コイル 1 4 V には電圧 E_{in_v} が印加される。このときにコイル 1 4 V に流れる電流は I_{in_v} である。またコイル 1 4 V のインダクタンスは $L_{in_v}(\alpha_{in})$ である。コイル 1 4 W には電圧 E_{in_w} が印加される。このときにコイル 1 4 W に流れる電流は I_{in_w} である。またコイル 1 4 W のインダクタンスは $L_{in_w}(\alpha_{in})$ である。

【 0 0 8 7 】

第 2 巻線体 1 5 が有するコイル 1 5 U、コイル 1 5 V およびコイル 1 5 W についても上述の第 1 巻線体 1 4 と同様に、電圧、電流およびインダクタンスが示されている。コイル 1 5 U には電圧 E_{out_u} が印加される。このときにコイル 1 5 U に流れる電流は I_{out_u} である。またコイル 1 5 U のインダクタンスは $L_{out_u}(\alpha_{out})$ である。ここで α_{out} は、磁極部 1 3 の右螺旋方向の機械角である。同様に、コイル 1 5 V には電圧 E_{out_v} が印加される。このときにコイル 1 5 V に流れる電流は I_{out_v} である。またコイル 1 5 V のインダクタンスは $L_{out_v}(\alpha_{out})$ である。コイル 1 5 W には電圧 E_{out_w} が印加される。このときにコイル 1 5 W に流れる電流は I_{out_w} である。またコイル 1 5 W のインダクタンスは $L_{out_w}(\alpha_{out})$ である。

【 0 0 8 8 】

図 1 9 に示した上述の電圧、電流および機械角は、以下の関係が成立している。

【 数 3 】

$$E_{in_u} = E_{in_0} \sin(\alpha_{in}) + E_{in_1} \sin(2\pi f_{in} \cdot t) \quad \dots \quad (1)$$

【 数 4 】

$$E_{in_v} = E_{in_0} \sin\left(\alpha_{in} + \frac{2}{3}\pi\right) + E_{in_1} \sin\left(2\pi f_{in} \cdot t + \frac{2}{3}\pi\right) \quad \dots \quad (2)$$

【 数 5 】

$$E_{in_w} = E_{in_0} \sin\left(\alpha_{in} - \frac{2}{3}\pi\right) + E_{in_1} \sin\left(2\pi f_{in} \cdot t - \frac{2}{3}\pi\right) \quad \dots \quad (3)$$

【 数 6 】

$$E_{out_u} = E_{out_0} \sin(\alpha_{out}) + E_{out_1} \sin(2\pi f_{out} \cdot t) \quad \dots \quad (4)$$

【 数 7 】

$$E_{out_v} = E_{out_0} \sin\left(\alpha_{out} + \frac{2}{3}\pi\right) + E_{out_1} \sin\left(2\pi f_{out} \cdot t + \frac{2}{3}\pi\right) \quad \dots \quad (5)$$

【数 8】

$$E_{out_w} = E_{out_0} \sin\left(\alpha_{out} - \frac{2}{3}\pi\right) + E_{out_1} \sin\left(2\pi f_{out} \cdot t - \frac{2}{3}\pi\right) \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

【数 9】

$$\alpha_{in} = 2\pi \left(\frac{z}{l_m} + \frac{\theta}{\pi} \right) \cdot \cdot \cdot \quad (7)$$

【数 10】

$$\alpha_{out} = 2\pi \left(\frac{z}{l_m} - \frac{\theta}{\pi} \right) \cdot \cdot \cdot \quad (8)$$

ここで、 f_{in} は第1巻線体14に印加する位置を推定するための交流電圧の周波数（位置推定用周波数）であり、 t は時間であり、 f_{out} は第2巻線体15に印加する位置を推定するための交流電圧の周波数である。また、 z は直動方向の位置であり、 l_m は z 方向における磁石の極性1周期分の長さであり、 θ は回転方向の角度を示す。

【0089】

式(1)～(6)における右辺第1項は、回転力又は推力を発生させるための電圧であり、可動子の位置すなわち機械角 α_{in} 又は α_{out} に依存する。式(1)～(6)における右辺第2項は、位置推定信号を発生させるための電圧であり、時間に依存する。これにより、各コイルには、駆動用の電流と共に、位置推定用の高周波の電流が流れる。

20

【0090】

ところでIPM型の電磁アクチュエータ10は、可動子の位置に応じて各コイルのインダクタンスが変動する。そこで、位置推定回路320は、ハイパスフィルタ321により位置推定信号を抽出し、抽出した位置推定信号の電流値（位置推定用電流）を測定する。これにより位置推定回路320は、可動子の位置を推定する。

【0091】

より具体的には、位置推定回路320は、第1巻線体14を利用して第1巻線体14の駆動方向である左螺旋方向の可動子の位置を推定する。同様に位置推定回路320は、第2巻線体15を利用して第2巻線体15の駆動方向である右螺旋方向の可動子の位置を推定する。位置推定回路320は、このように第1巻線体14および第2巻線体15を利用して推定した位置を組み合わせることにより可動子の動きを推定する。

30

【0092】

以下に、電磁アクチュエータ10における電圧と電流の関係を示す。

【数 11】

$$E_{in_U} = \frac{d(L_{in_U}(\alpha_{in})I_{in_U})}{dt} \doteq L_{in_U}(\alpha_{in}) \frac{dI_{in_U}}{dt} \cdot \cdot \cdot \quad (9)$$

【数 12】

$$E_{in_V} = \frac{d(L_{in_V}(\alpha_{in})I_{in_V})}{dt} \doteq L_{in_V}(\alpha_{in}) \frac{dI_{in_V}}{dt} \cdot \cdot \cdot \quad (10)$$

40

【数 13】

$$E_{in_W} = \frac{d(L_{in_W}(\alpha_{in})I_{in_W})}{dt} \doteq L_{in_W}(\alpha_{in}) \frac{dI_{in_W}}{dt} \cdot \cdot \cdot \quad (11)$$

上式において、第3項である近似式は、機械角 α_{in} および α_{out} の変動に対して位

50

位置推定信号の周波数 f_{in} および f_{out} が十分に大きい場合を示している。

【0093】

上式から例えば第1巻線体14のU相であるコイル14Uにおける電流値 I_{in_U} は以下となる。

【数14】

$$I_{in_U} = \int \frac{E_{in_U}}{L_{in_U}(\alpha_{in})} dt \cdots (12)$$

さらに、式(12)から位置推定信号の成分を抽出すると、抽出された位置推定用電流の値である電流値 I'_{in_U} は以下となる。

【数15】

$$I'_{in_U} = -\frac{E_{in_1}}{2\pi f_{in} L_{in_U}(\alpha_{in})} \cos(2\pi f_{in} \cdot t) \cdots (13)$$

【0094】

このように、コイル14Uにおける位置推定信号の電流値 I'_{in_U} の振幅は機械角 α_{in} に依存する。同様に、コイル14Vおよびコイル14Wにおける位置推定信号の電流値も機械角 α_{in} に依存する。一方、コイル15U、15Vおよびコイル15Wにおける位置推定信号の電流値は機械角 α_{in} に依存する。そこで、位置推定回路320は、上述のように各コイルの位置推定信号の電流値の振幅を算出する。これにより、位置推定回路320は、可動子の位置を推定する。

【0095】

以上、電磁アクチュエータ10が有する位置推定機能について説明した。本実施の形態よれば、電磁アクチュエータ10は、位置推定のためのホール素子やレゾルバに代えて、位置推定回路を有することでセンサレスの電磁アクチュエータを実現できる。

【0096】

以上、実施の形態1について説明したが、実施の形態にかかる電磁アクチュエータ10は、上述の構成に限られない。例えば、電磁アクチュエータ10はバックヨーク122とヨーク連結部125とが別体ではなく、一個の部品であってもよい。また、上述の例ではステータ部12がコア部11を囲むような構成であったが、ステータ部12のヨーク単位121は、バックヨーク122の外周側にコイルヨーク123が突出した形態であってもよい。また、上述の説明では固定子であったステータ部12を可動させ、可動子であったコア部11を固定してもよい。その場合、第1巻線体および第2巻線体を有している部材(上述のステータ部12)を可動子と称し、上述の第1磁石保持部および第2磁石保持部を有している部材(コア部11)を固定子と称してもよい。

【0097】

以上、本実施の形態によれば、組立容易かつ高速回転可能な二自由度埋込磁石型モータを提供することができる。また本実施の形態によれば、組立容易であり、位置推定機能を有する二自由度埋込磁石型モータを提供することができる。またかかる位置推定機能は、新たに電流計を追加することなく実現可能である。

【0098】

<実施の形態2>

次に、図20を参照して実施の形態2について説明する。実施の形態2にかかる電磁アクチュエータは、第1巻線体と第2巻線体とがそれぞれ基準軸Aに連なって配列されている点が、実施の形態1と異なる。またこれに伴い、実施の形態2にかかる電磁アクチュエータは、第1巻線体に対応する第1磁極部と、第2巻線体に対応する第2磁極部とをそれ

20

30

40

50

ぞれ有する点が、実施の形態 1 と異なる。

【 0 0 9 9 】

図 2 0 を参照しながら、実施の形態 1 と異なる主な点について説明する。図 2 0 は、実施の形態 2 にかかる第 1 巻線体、第 2 巻線体およびコア部の分解斜視図である。図 2 0 は、ステータ部のコイルを抽出して表示している。

【 0 1 0 0 】

図 2 0 に示す実施の形態 2 にかかる電磁アクチュエータは、第 1 巻線体 2 4、第 2 巻線体 2 5 を有している。第 1 巻線体 2 4 は、実施の形態 1 にかかる第 1 巻線体 1 4 と同様の構成であり、右螺旋方向にコイルがそれぞれ連なって接続されている。第 2 巻線体 2 5 は、第 1 巻線体 2 4 と同様の円筒形状を形成し、第 1 巻線体 2 4 と同軸上に連なって配置されている。第 2 巻線体 2 5 は、左螺旋方向にコイルがそれぞれ連なって接続されている。なお図示しないが、第 1 巻線体 2 4 および第 2 巻線体 2 5 のヨーク板は実施の形態 1 にかかるヨーク単位 1 2 1 より直径を小さくすることが可能である。また、第 1 巻線体 2 4 に用いるヨーク板と、第 2 巻線体 2 5 に用いるヨーク板は同じものであってもよい。

10

【 0 1 0 1 】

図 2 0 に示す実施の形態 2 にかかる電磁アクチュエータは、コア部 2 1 を有している。コア部 2 1 は軸 1 1 1、第 1 磁極部 1 3 R および第 2 磁極部 1 3 L を有している。第 1 磁極部 1 3 R は、第 1 巻線体 2 4 に対応した磁極部であり、第 2 磁極部 1 3 L は、第 2 巻線体 2 5 に対応した磁極部である。第 1 磁極部 1 3 R および第 2 磁極部 1 3 L は軸 1 1 1 にそれぞれ固定されている。第 1 磁極部 1 3 R および第 2 磁極部 1 3 L は、それぞれ、実施の形態 1 にかかる磁極部 1 3 と同様の構成を有している。

20

【 0 1 0 2 】

以上のように、実施の形態 2 によれば、組立容易であり、かつ効率の高い二自由度電磁アクチュエータであって、径方向を小型化した電磁アクチュエータを提供することができる。

【 0 1 0 3 】

< 実施の形態 3 >

次に、図 2 1 ~ 2 4 を参照しながら実施の形態 3 について説明する。実施の形態 3 は、ステータ部の形態は実施の形態 1 と異なる。

【 0 1 0 4 】

図 2 1 は、実施の形態 3 にかかるコア部およびステータ部の分解斜視図である。ステータ部 3 2 は、第 1 巻線体 3 4 および第 2 巻線体 3 5 を有している。

30

【 0 1 0 5 】

図 2 2 は、実施の形態 3 にかかる第 1 巻線体の斜視図である。実施の形態 3 にかかる第 1 巻線体 3 4 は、複数コイルに代えて螺旋状の導線を有している点が実施の形態 1 と異なる。図に示すように、第 1 巻線体 3 4 は、断面が矩形の導線を、基準軸 A を中心軸とした円筒面に対応して右螺旋状に加工したものである。第 1 巻線体 3 4 は、U 相に対応する導線 3 4 U、V 相に対応する導線 3 4 V および W 相に対応する導線 3 4 W が互いに通電しないように隣接して配置されている。

【 0 1 0 6 】

図 2 3 は、実施の形態 3 にかかる第 2 巻線体の斜視図である。実施の形態 3 にかかる第 2 巻線体 3 5 は、第 1 巻線体 3 4 と同様に、断面が矩形の導線を円筒状に加工したものであり、基準軸 A を中心軸とした円筒面に対応して左螺旋状に加工したものである。第 2 巻線体 3 5 は、U 相に対応する導線 3 5 U、V 相に対応する導線 3 5 V および W 相に対応する導線 3 5 W が互いに通電しないように隣接して配置されている。

40

【 0 1 0 7 】

図 2 4 は、実施の形態 3 にかかる第 1 巻線体および第 2 巻線体の斜視図である。図に示すように、実施の形態 3 にかかる電磁アクチュエータは、第 1 巻線体 3 4 の外周側に第 2 巻線体 3 5 が配置される。これにより、第 1 巻線体 3 4 は磁極部 1 3 に対して右螺旋方向に直交する左螺旋方向の起磁力を与えることができる。同様に、第 2 巻線体 3 5 は、右螺

50

旋方向の起磁力を与えることができる。したがって本実施の形態にかかる電磁アクチュエータは、二自由度を有する電磁アクチュエータを構成することができる。以上、実施の形態によれば、組立容易なIPM型の磁極部を有する電磁アクチュエータを提供することができる。

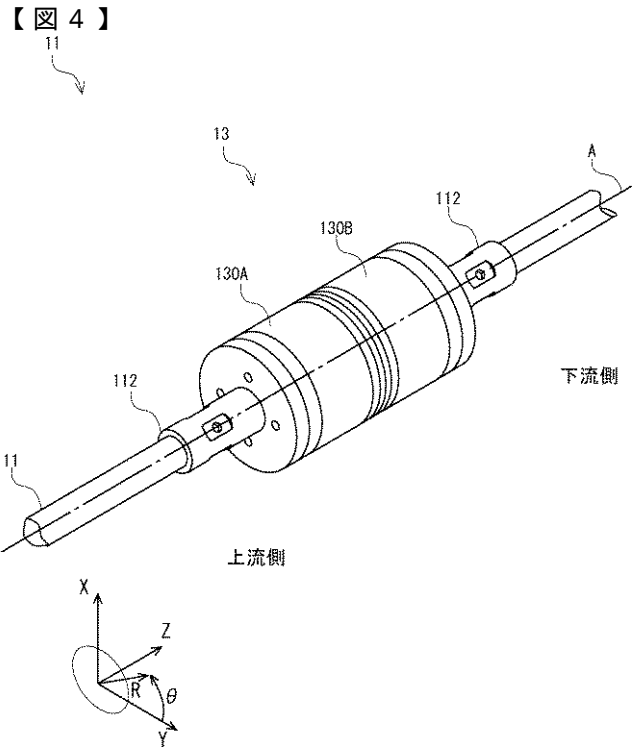
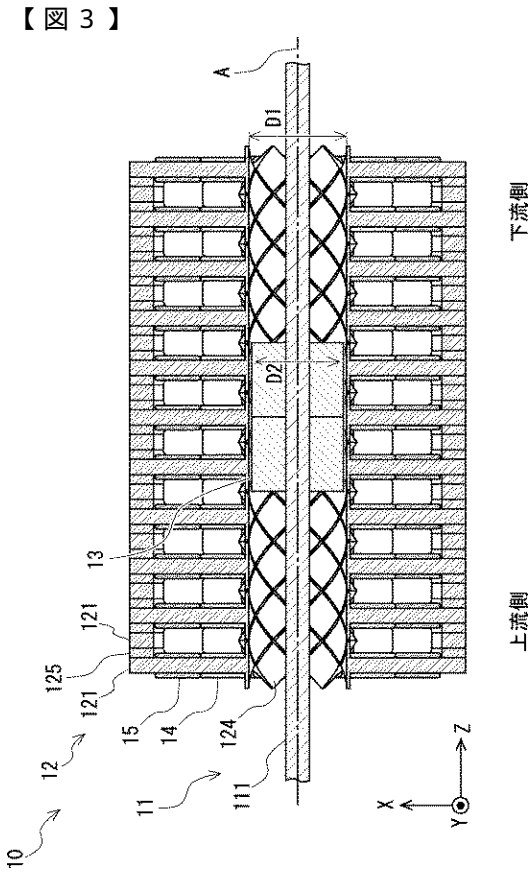
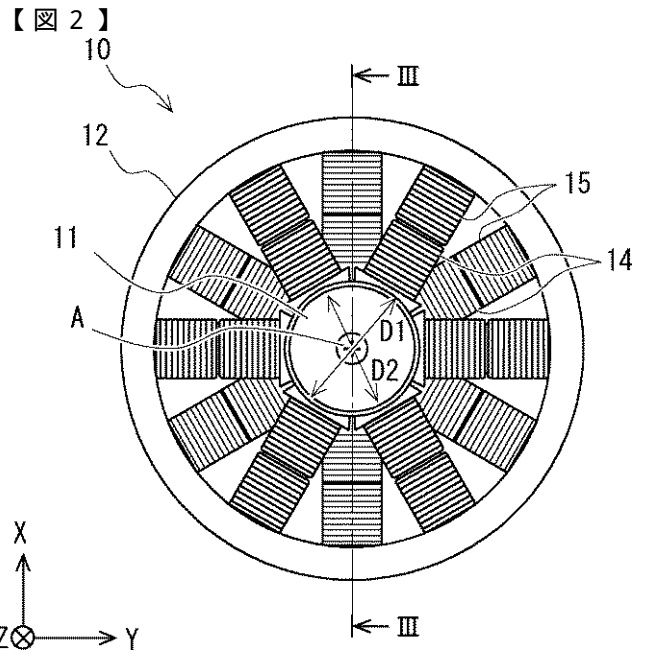
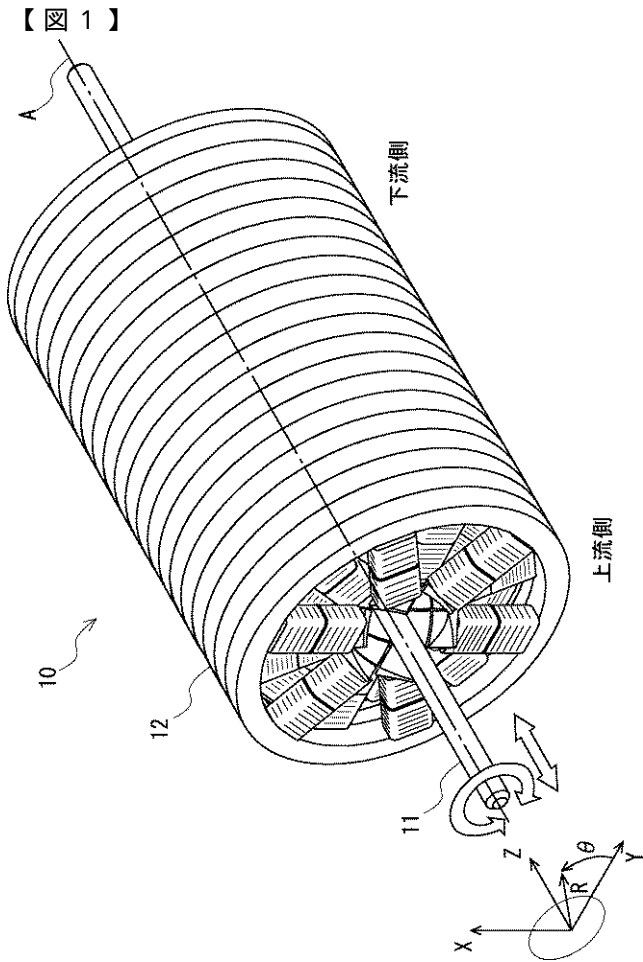
【0108】

なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。

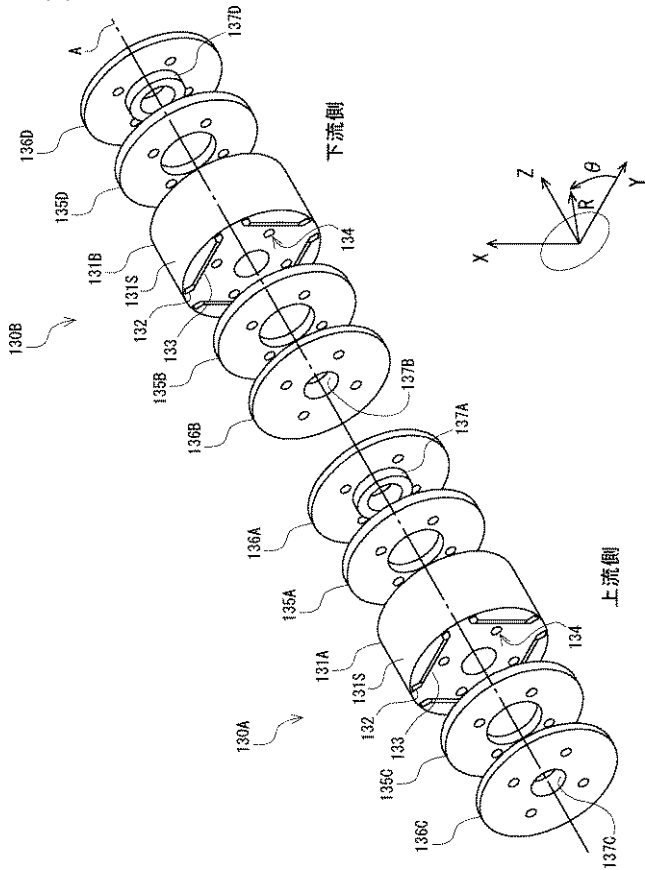
【符号の説明】

【0109】

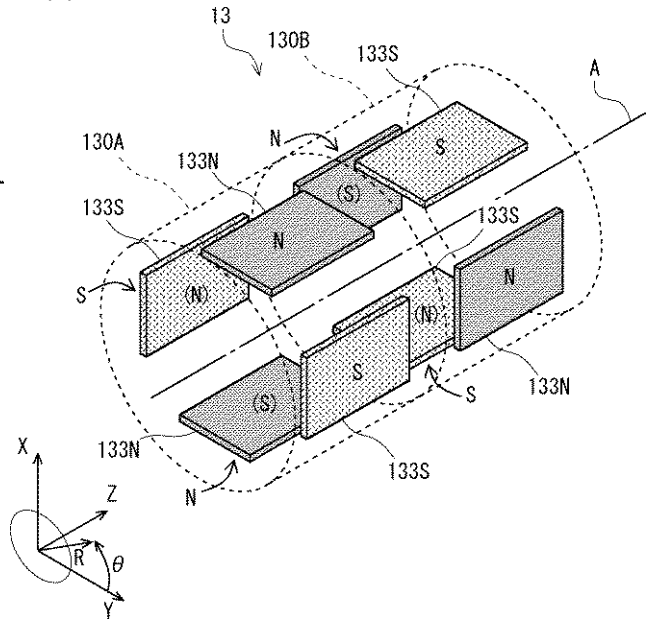
10	電磁アクチュエータ	10
11、21	コア部	
12、32	ステータ部	
13	磁極部	
111	軸	
112	係合部材	
121	ヨーク単位	
122	バックヨーク	
123	コイルヨーク	
124	ティース	
125	ヨーク連結部	20
130	磁極単位	
131	磁石保持部	
132	エアギャップ	
133	磁石	
134	位置決め部	
135	磁束バリア部	
136	磁束ガイド部	
137	磁束連結部	
300	制御回路	
310	ドライバ回路	30
320	位置推定回路	
321	ハイパスフィルタ	
322	電流計	
323	演算回路	
A	基準軸	
d、q	磁束	



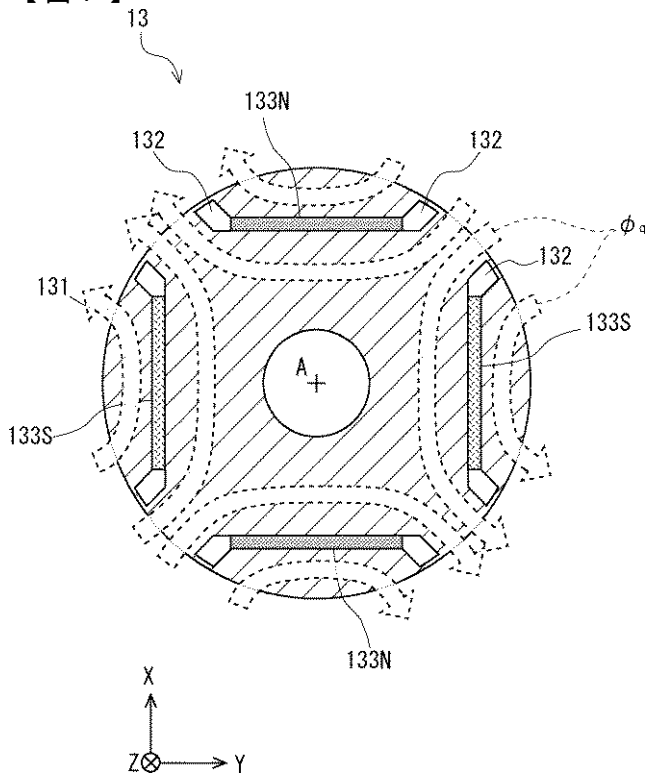
【図5】



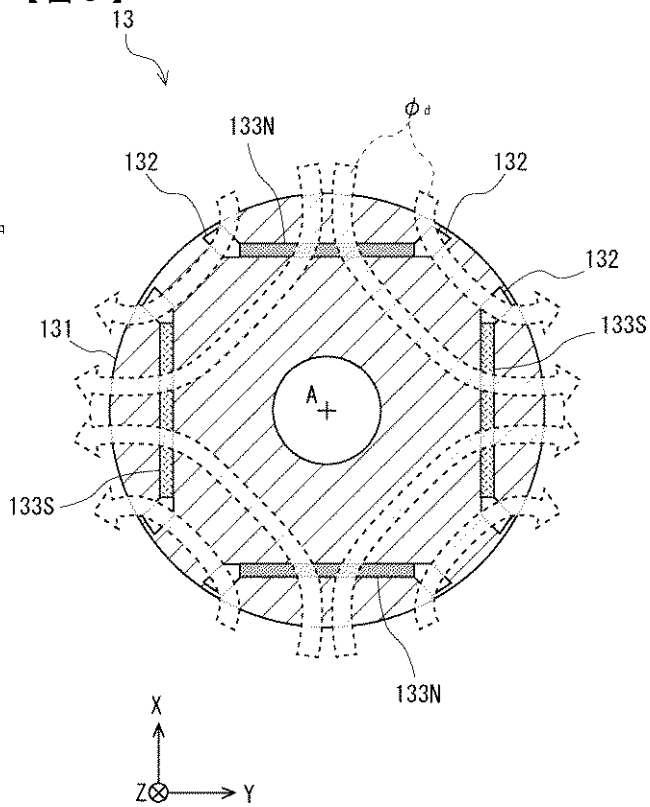
【図6】



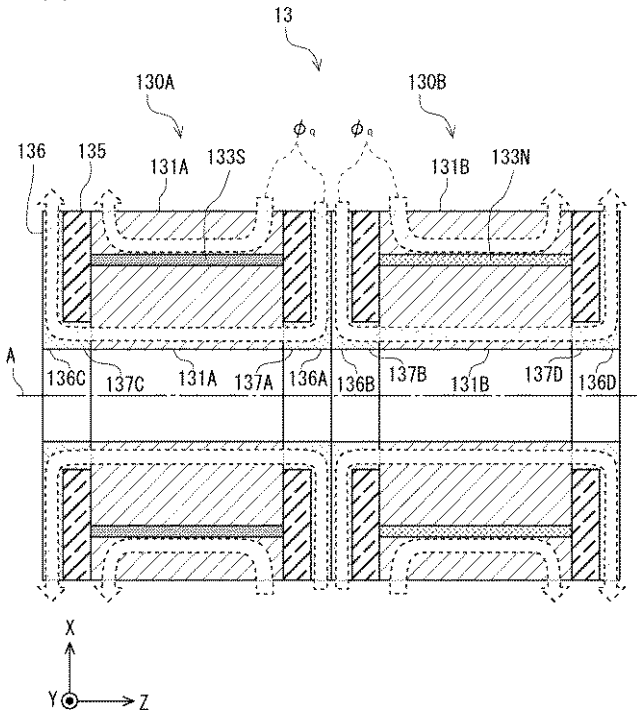
【図7】



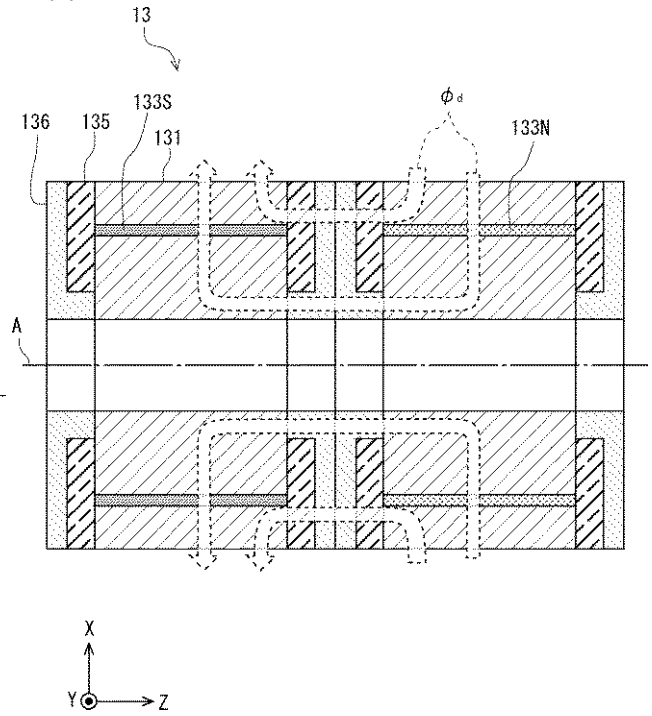
【図8】



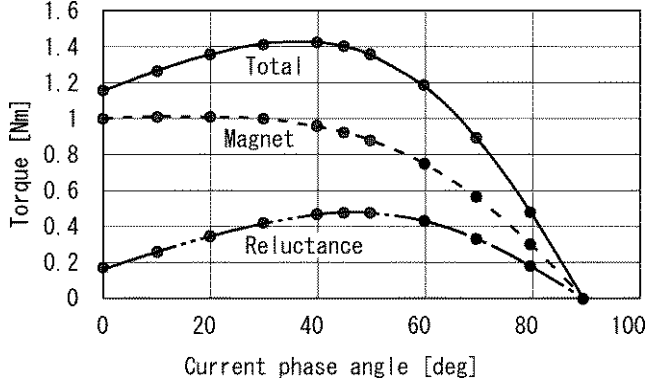
【図9】



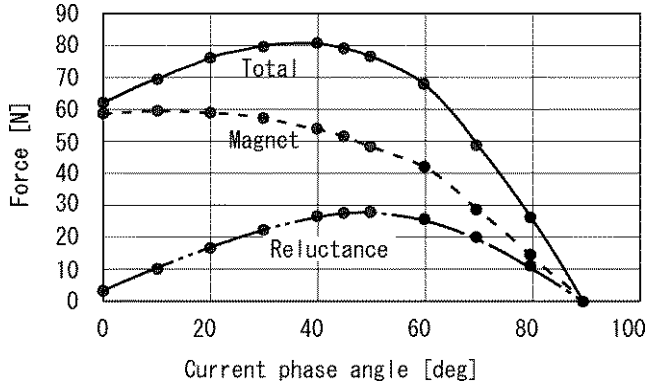
【図10】



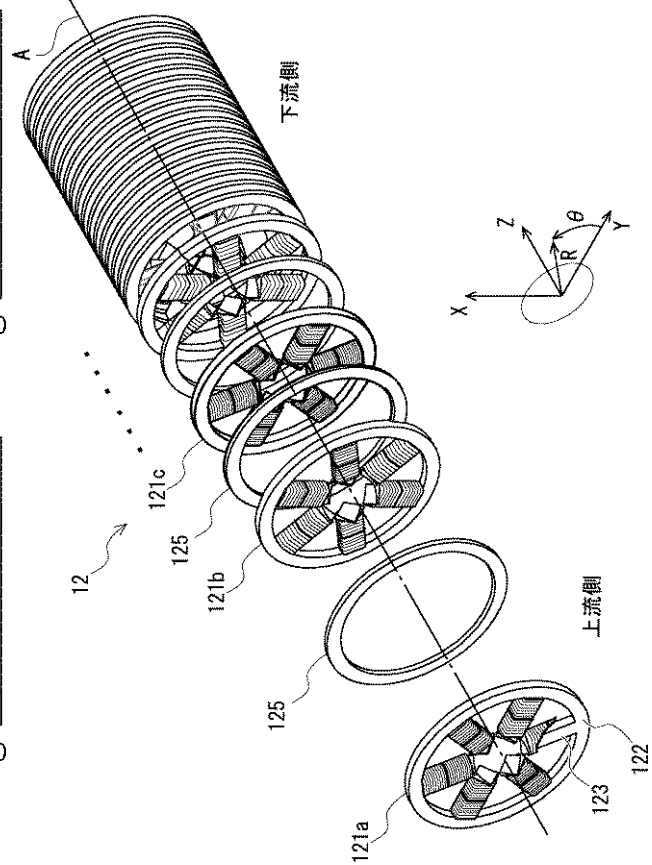
【図11】



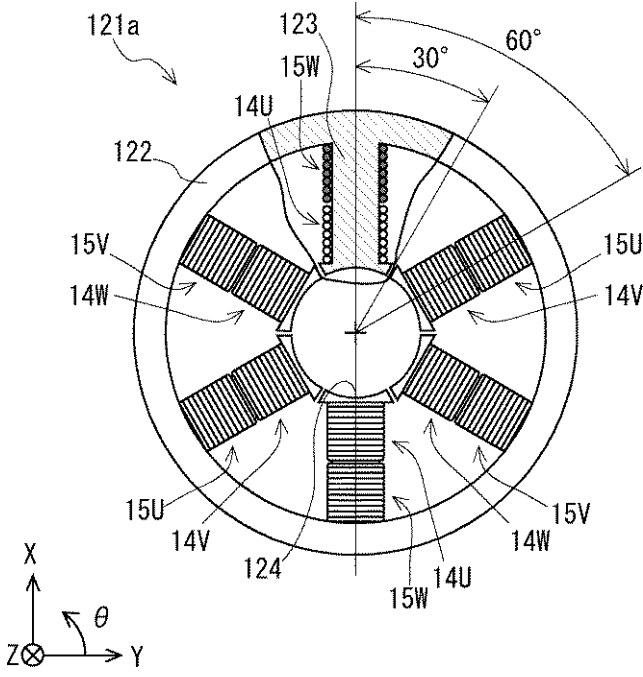
【図12】



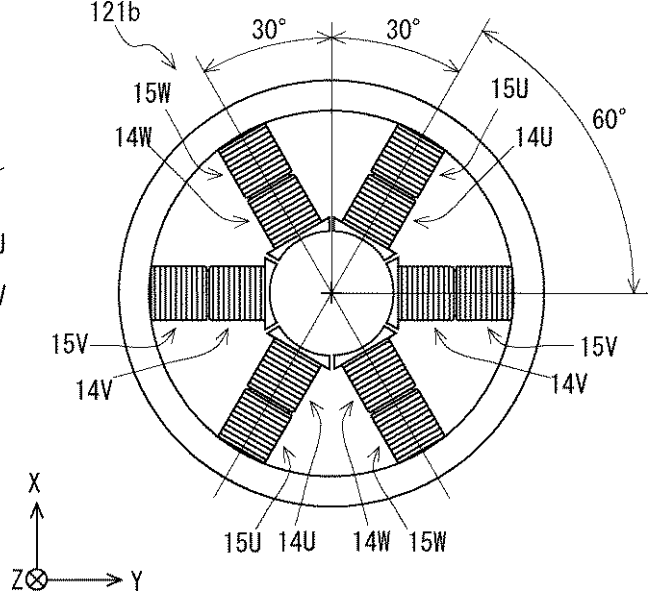
【図13】



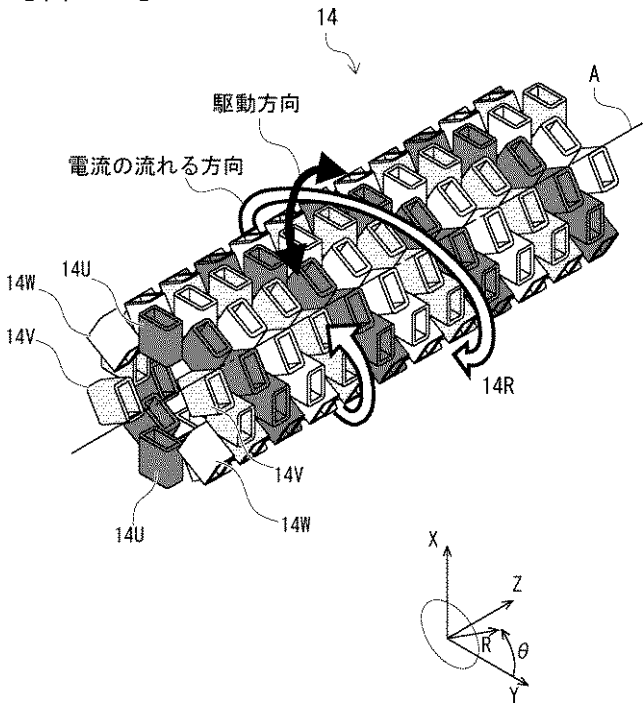
【図14】



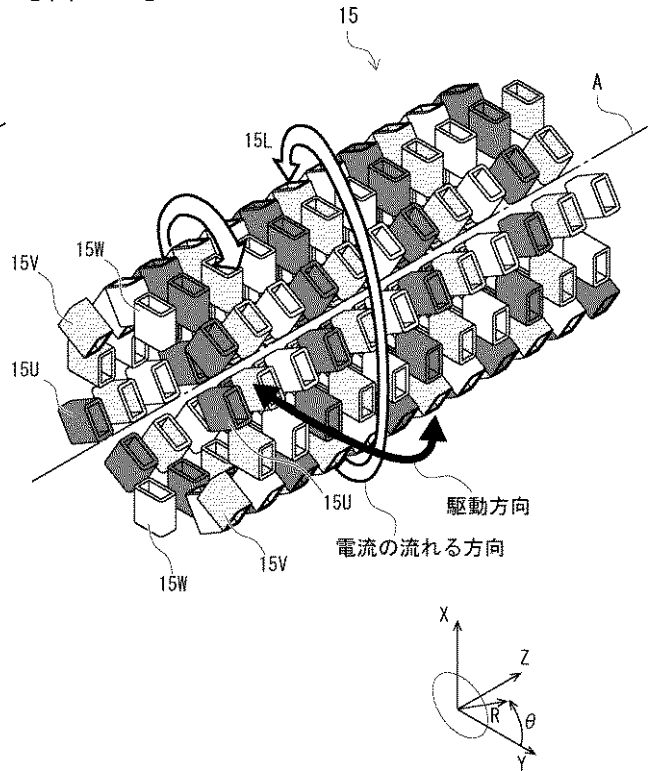
【図15】



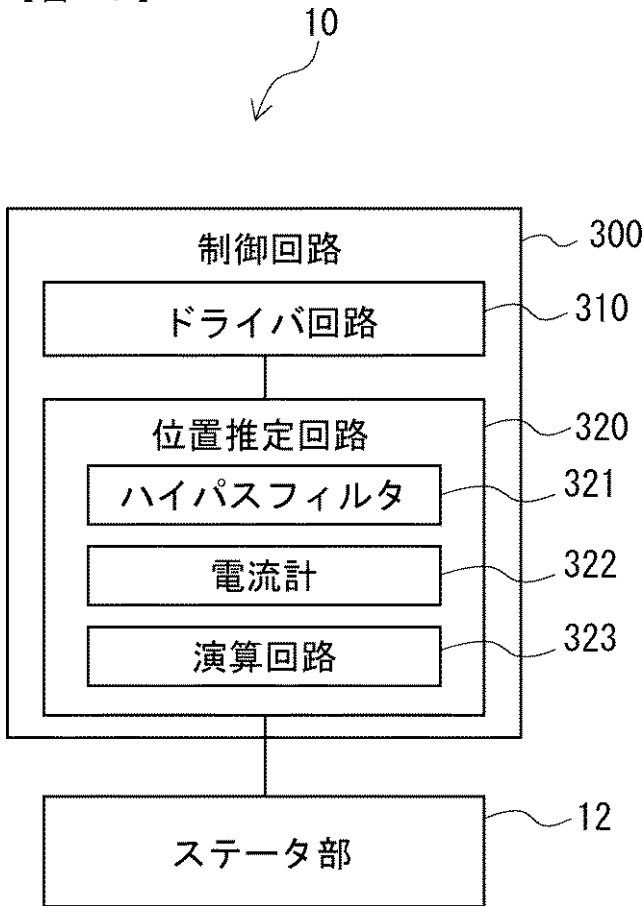
【図16】



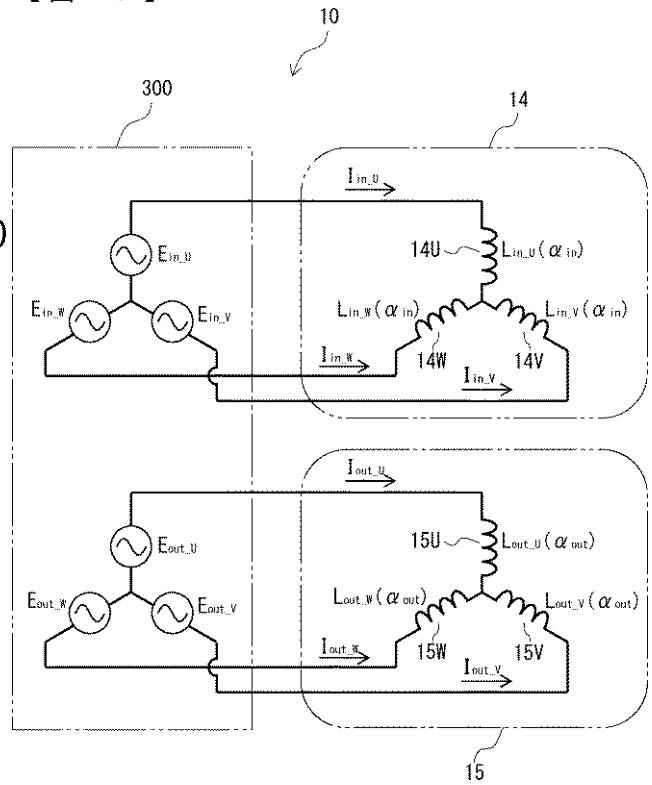
【図17】



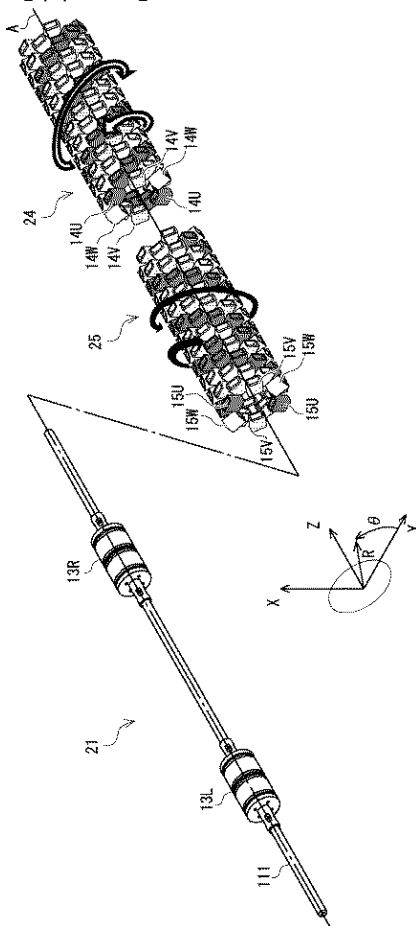
【図18】



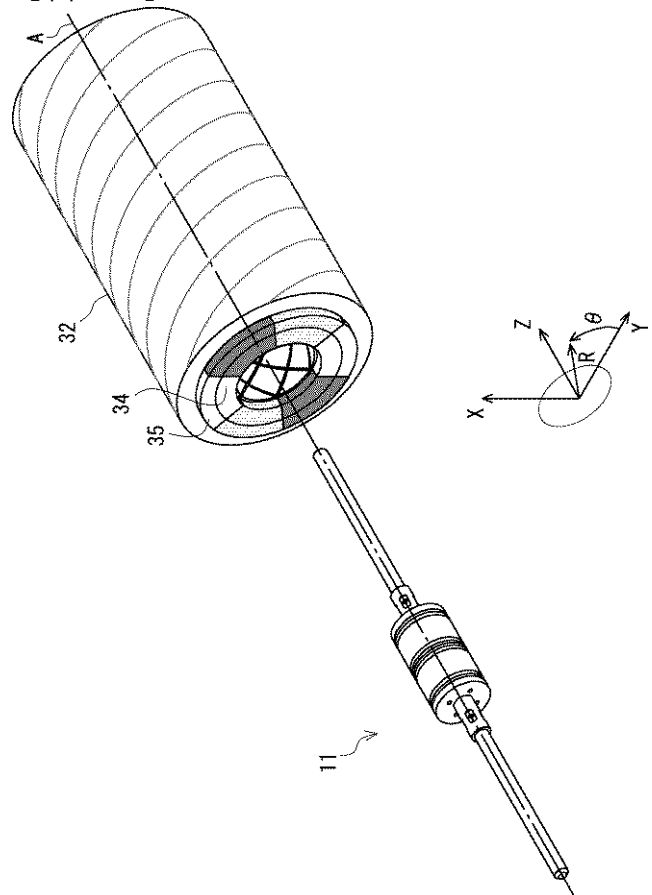
【図19】



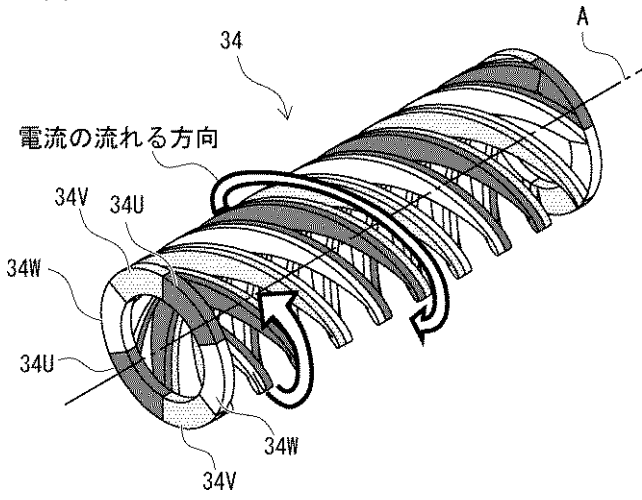
【図20】



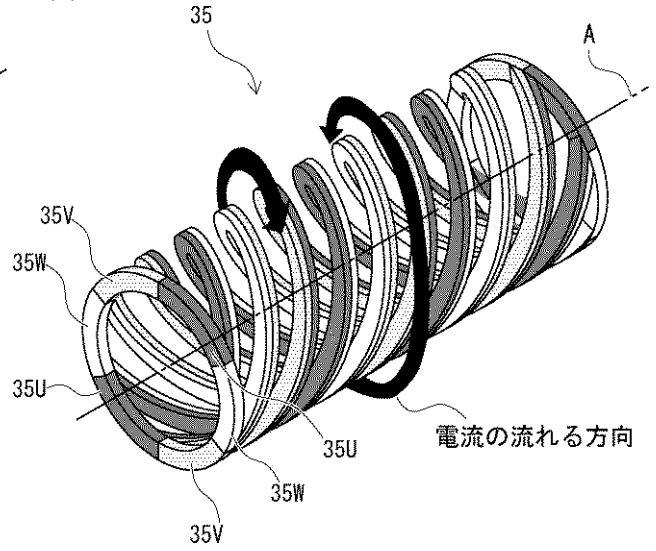
【図21】



【図 2 2】

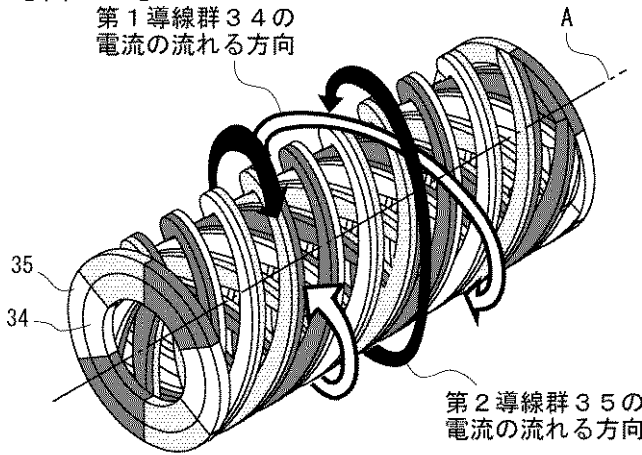


【図 2 3】

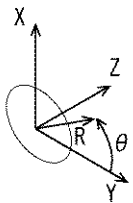


【図 2 4】

第 1 導線群 3 4 の
電流の流れる方向



第 2 導線群 3 5 の
電流の流れる方向



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H641 BB06 BB14 BB15 BB17 BB19 GG02 GG04 GG08 GG24 GG26
HH03 HH11 HH20