

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7570587号
(P7570587)

(45)発行日 令和6年10月21日(2024.10.21)

(24)登録日 令和6年10月10日(2024.10.10)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 K 41/03 (2006.01) H 0 2 K 41/03 A

請求項の数 6 (全30頁)

(21)出願番号	特願2024-550624(P2024-550624)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和5年9月15日(2023.9.15)	(74)代理人	100118762 弁理士 高村 順
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/033739	(72)発明者	森本 朔 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和6年8月26日(2024.8.26)	(72)発明者	中村 雄一郎 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
早期審査対象出願		(72)発明者	細野 淳 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
		(72)発明者	田中 敏則

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 多軸アクチュエータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

筒状の多軸アクチュエータ用コイルと、
前記多軸アクチュエータ用コイルの内周に配置されるシャフトと、
を備え、
前記多軸アクチュエータ用コイルは、
前記シャフトを軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群と、
前記直動コイル群の内周または外周に配置されて前記シャフトを周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群と、
を備え、
前記直動コイル群は、前記軸方向に並べられて配置された複数の直動コイルを有し、
各前記直動コイルは、前記周方向に延びており、
各前記直動コイルは、前記周方向の一端と他端とに位置する2つのコイル端を有し、
各前記直動コイルにおいて2つの前記コイル端が成す周方向の第1の角度は、前記回転コイル群の電気角周期と等しいか、または、前記回転コイル群の電気角周期の整数倍であり、
前記直動コイルは、前記周方向に延びながら前記軸方向に移動する螺旋状に巻き回されたマグネットワイヤであり、
前記回転コイル群は、前記軸方向と半径方向とに交互に延びながら前記周方向に移動する螺旋状に巻き回されるマグネットワイヤであり、

前記直動コイルの2つの前記コイル端は、前記マグネットワイヤの長さ方向の一端と他端とに位置しており、

前記第1の角度は、0度を超えることを特徴とする多軸アクチュエータ。

【請求項2】

筒状の多軸アクチュエータ用コイルと、

前記多軸アクチュエータ用コイルの内周に配置されるシャフトと、

を備え、

前記多軸アクチュエータ用コイルは、

可撓性を有し、前記シャフトの周方向に巻き回されたプリント基板と、

前記プリント基板にプリントされて、前記シャフトを軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群と、

10

前記プリント基板にプリントされて、前記直動コイル群の内周または外周に配置されて前記シャフトを前記周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群と、

を備え、

前記直動コイル群は、複数の直動コイルのそれぞれである複数の第1のコイルパターンを有し、

各前記第1のコイルパターンは、前記周方向に直線状に延びる複数の第1の長辺部と、隣り合う2つの前記第1の長辺部を繋ぐ複数の第1の短辺部と、を含み、

各前記第1のコイルパターンの各前記第1の長辺部は、互いに平行に延びており、

各前記第1の長辺部の長さ方向の一端と他端とが成す周方向の第1の角度は、前記回転コイル群の電気角周期と等しいか、または、前記回転コイル群の電気角周期の整数倍であることを特徴とする多軸アクチュエータ。

20

【請求項3】

前記直動コイルの巻回角度をA、前記直動コイルの巻数をT、前記第1の角度を1とし、前記巻回角度Aを下記式で表したとき、

$$A = 360 \text{度} \times T + 1$$

各前記直動コイルの前記巻回角度Aが同じ角度であることを特徴とする請求項1または2に記載の多軸アクチュエータ。

【請求項4】

前記直動コイル群および前記回転コイル群は、多相コイルであり、

30

前記回転コイル群と半径方向で対面する前記直動コイルの数は各相で一致しており、かつ、各相の前記直動コイルの数は偶数であり、

前記回転コイル群は、前記軸方向に直線状に延びる長辺部を含み、

前記直動コイル群の前記軸方向の長さは、前記長辺部の前記軸方向の長さよりも短いことを特徴とする請求項1または2に記載の多軸アクチュエータ。

【請求項5】

半径方向において前記多軸アクチュエータ用コイルと対面するように前記多軸アクチュエータ用コイルの内周または外周に配置されるとともに、前記シャフトの外周に配置される磁石をさらに備え、

前記磁石は、

40

第1の中心を有する複数の第1の磁石と、

前記第1の磁石に隣接して配置されて、前記第1の中心とは前記軸方向および前記周方向にずれる第2の中心を有する複数の第2の磁石と、を含み、

前記回転コイル群は、前記軸方向に直線状に延びる長辺部を含み、

隣接する前記第1の磁石の前記第1の中心と前記第2の磁石の前記第2の中心との前記軸方向に沿う距離を極間距離としたとき、前記長辺部の前記軸方向の長さは、前記極間距離の2m倍と同一の長さであり、

前記mは、自然数であり、

前記直動コイル群の前記軸方向の長さは、前記長辺部の前記軸方向の長さよりも長いことを特徴とする請求項1または2に記載の多軸アクチュエータ。

50

【請求項 6】

前記第 1 の角度は、0 度を超えることを特徴とする請求項 2 に記載の多軸アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、多軸アクチュエータ用コイルを備える多軸アクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、半導体の製造装置、小型ロボットなどで、可動子を複数方向に移動させる多軸アクチュエータが用いられている。多軸アクチュエータには、可動子を複数方向に移動させるための磁界を発生させる多軸アクチュエータ用コイルが搭載されている。例えば、特許文献 1 には、軸方向に並べられて配置された Z 軸コイルを有する直動コイル群と、直動コイル群の外周に並べられて配置された 軸コイルを有する回転コイル群とを備える多軸アクチュエータ用コイルが開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2011 - 142725 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 に開示されているように、異なる 2 つのコイル群が半径方向に並んで配置されていると、2 つのコイル群のうち一方に通電した際に発生する磁束が他方のコイル群に干渉する相互干渉が発生する。これにより、意図せぬ誘導電流が生じ、多軸アクチュエータの誤作動を招くという問題がある。特に、回転コイル群から発生した磁束が直動コイル群に干渉する場合に、前記した問題が顕著になる。

【0005】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、回転コイル群から発生した磁束が直動コイル群に干渉することを抑制できる多軸アクチュエータを得ることを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかる多軸アクチュエータは、筒状の多軸アクチュエータ用コイルと、多軸アクチュエータ用コイルの内周に配置されるシャフトと、を備えている。多軸アクチュエータ用コイルは、シャフトを軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群と、直動コイル群の内周または外周に配置されてシャフトを周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群と、を備えている。直動コイル群は、軸方向に並べられて配置された複数の直動コイルを有している。各直動コイルは、周方向に延びている。各直動コイルは、周方向の一端と他端とに位置する 2 つのコイル端を有している。各直動コイルにおいて 2 つのコイル端が成す周方向の第 1 の角度は、回転コイル群の電気角周期と等しいか、または、回転コイル群の電気角周期の整数倍である。直動コイルは、周方向に延びながら軸方向に移動する螺旋状に巻き回されたマグネットワイヤである。回転コイル群は、軸方向と半径方向とに交互に延びながら周方向に移動する螺旋状に巻き回されるマグネットワイヤである。直動コイルの 2 つのコイル端は、マグネットワイヤの長さ方向の一端と他端とに位置している。第 1 の角度は、0 度を超える。

40

【発明の効果】

【0007】

本開示にかかる多軸アクチュエータは、回転コイル群から発生した磁束が直動コイル群に干渉することを抑制できる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 0 8 】

【図 1】実施の形態 1 にかかる多軸アクチュエータを示した斜視図

【図 2】図 1 に示された I I - I I 線に沿った断面図

【図 3】図 1 に示された I I I - I I I 線に沿った断面図

【図 4】実施の形態 1 にかかる多軸アクチュエータを一部破断した斜視図

【図 5】実施の形態 1 にかかる直動コイルを示した斜視図

【図 6】実施の形態 1 にかかる直動コイルを軸方向に沿って見たときの図

【図 7】実施の形態 1 にかかる回転コイルを示した正面図

【図 8】実施の形態 1 にかかる磁石を一部破断した斜視図

【図 9】実施の形態 1 にかかる磁石を軸方向に沿って見たときの図

10

【図 10】実施の形態 2 にかかる多軸アクチュエータを模式的に示した側面図

【図 11】実施の形態 3 にかかる多軸アクチュエータを模式的に示した側面図

【図 12】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルを示した斜視図

【図 13】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルを軸方向に沿って見たときの図

【図 14】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の表面を示した図

【図 15】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

20

【図 16】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の表面を示した図

【図 17】実施の形態 4 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

【図 18】実施の形態 4 の変形例にかかる多軸アクチュエータ用コイルを示した斜視図

【図 19】実施の形態 4 の変形例にかかる多軸アクチュエータ用コイルを軸方向に沿って見たときの図

【図 20】実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の表面を示した図

30

【図 21】実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

【図 22】実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の表面を示した図

【図 23】実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

【図 24】実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイルを示した斜視図

【図 25】実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の表面を示した図

40

【図 26】実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 1 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

【図 27】実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の表面を示した図

【図 28】実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板の裏面を表面から透かして見たときの図

【図 29】実施の形態 7 にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第 2 のプリント基板を巻

50

き回す前の状態を示した側面図であって、第2のプリント基板の表面を示した図

【図30】実施の形態7にかかる多軸アクチュエータ用コイルの第1のプリント基板を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第1のプリント基板の表面を示した図

【図31】実施の形態7にかかる多軸アクチュエータ用コイルを軸方向に沿って見たときの図

【図32】実施の形態8にかかる多軸アクチュエータを示した斜視図

【図33】図32に示されたXXXIII-XXXIII線に沿った断面図

【図34】図32に示されたXXXIV-XXXIV線に沿った断面図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、実施の形態にかかる多軸アクチュエータを図面に基づいて詳細に説明する。

【0010】

実施の形態1.

はじめに、図1から図3を参照して、多軸アクチュエータ100について説明する。図1は、実施の形態1にかかる多軸アクチュエータ100を示した斜視図である。図2は、図1に示されたII-II線に沿った断面図である。図3は、図1に示されたIII-III線に沿った断面図である。図1および図2に示すように、多軸アクチュエータ100は、ハウジング6と、ロータコア7と、磁石8と、多軸アクチュエータ用コイル1と、ステータコア9と、シャフト10とを備えている。

【0011】

ロータコア7およびステータコア9は、いずれも中心軸Cを有する円筒形状に形成されている。以下、多軸アクチュエータ100の各構成要素について方向を説明するときには、中心軸Cと平行な方向を軸方向、中心軸Cと直交する方向を半径方向、中心軸Cを中心とする回転方向を周方向とする。多軸アクチュエータ100は、ステータコア9の内周側にロータコア7が配置されるインナーロータ型の多軸アクチュエータである。

【0012】

ハウジング6は、ロータコア7、磁石8、多軸アクチュエータ用コイル1、ステータコア9およびシャフト10を収容する部材である。ハウジング6の形状は、外周面が角丸正方形で内周面が円形の筒状である。図3に示すように、ハウジング6は、軸方向の両端部が開口する筒状のフレーム6aと、フレーム6aの軸方向の両端部の開口部に配置される2つのブラケット6bとを有している。2つのブラケット6bのそれぞれには、シャフト10が挿入される挿入孔6cが形成されている。各ブラケット6bの挿入孔6cの内周面には、軸受11が1つずつ配置されている。軸受11は、シャフト10を回転および直動可能に支持する部材である。シャフト10は、2つの軸受11により回転および直動可能に支持されている。図3の紙面右側のブラケット6bには、ハウジング6の外部にシャフト10を突出させるための貫通孔6dが形成されている。

【0013】

図2に示すように、ステータコア9は、フレーム6aの内周に配置されている。ステータコア9は、フレーム6aの内周に嵌め込まれている。ステータコア9には、複数方向に磁路が形成される。そのため、ステータコア9の材料には、例えば、圧粉磁心、バルク材が使用されることが好ましい。

【0014】

多軸アクチュエータ用コイル1は、ステータコア9の内周に配置されている。多軸アクチュエータ用コイル1は、円筒形状に形成されている。多軸アクチュエータ用コイル1は、ロータコア7およびステータコア9の中心軸Cと同軸に配置されている。多軸アクチュエータ用コイル1は、直動コイル群2と、直動コイル群2の内周に配置される回転コイル群3とを備えている。直動コイル群2は、シャフト10を軸方向に移動させるための磁界を発生させる。直動コイル群2に電流を流すことにより磁界が発生し、この磁界によりシャフト10を軸方向に移動させる推力が発生して、シャフト10を軸方向に移動させることができる。回転コイル群3は、シャフト10を周方向に回転させるための磁界を発生さ

10

20

30

40

50

せる。回転コイル群 3 に電流を流すことにより磁界が発生し、この磁界によりシャフト 10 を周方向に回転させるトルクが発生して、シャフト 10 を周方向に回転させることができる。多軸アクチュエータ用コイル 1 の詳細については後記する。

【 0 0 1 5 】

磁石 8 は、多軸アクチュエータ用コイル 1 の内周に設けられている。磁石 8 は、多軸アクチュエータ用コイル 1 と空隙を介して配置されている。磁石 8 は、半径方向において多軸アクチュエータ用コイル 1 と対面する。

【 0 0 1 6 】

ロータコア 7 は、磁石 8 の内周に配置されている。換言すると、磁石 8 は、ロータコア 7 の外周に取り付けられている。

10

【 0 0 1 7 】

シャフト 10 は、ロータコア 7 の内周に配置されている。図 3 に示すように、シャフト 10 は、中心軸 C に沿って延びている。シャフト 10 は、中心軸 C と同軸に配置されている。シャフト 10 の軸方向の一端部は、図 3 の紙面右側の一方のブラケット 6 b の挿入孔 6 c および貫通孔 6 d を通じてハウジング 6 の外部に突出している。シャフト 10 の軸方向の他端部は、図 3 の紙面左側の他方のブラケット 6 b の挿入孔 6 c を通じてハウジング 6 の外部に突出している。シャフト 10 は、複数方向に移動可能である。本実施の形態では、シャフト 10 は、周方向と軸方向とに移動することができる。多軸アクチュエータ 100 は、本実施の形態ではムービングマグネット型の多軸アクチュエータである。ロータコア 7 と磁石 8 とシャフト 10 とで可動子が構成され、多軸アクチュエータ用コイル 1 とステータコア 9 とフレーム 6 a とで固定子が構成される。ロータコア 7 と磁石 8 とは、シャフト 10 と共に、周方向と軸方向とに移動する。

20

【 0 0 1 8 】

図 3 の紙面右側の一方のブラケット 6 b の内部には、第 1 の位置検出器 12 および第 2 の位置検出器 13 が配置されている。第 1 の位置検出器 12 は、シャフト 10 の周方向の角度を検出するための機器である。第 1 の位置検出器 12 は、複数の磁極または刻線を有する第 1 のスケール 12 a と、第 1 のスケール 12 a からシャフト 10 の回転角度を検出する第 1 のセンサ 12 b とを有している。第 1 のスケール 12 a は、シャフト 10 に取り付けられている。第 1 のセンサ 12 b は、一方のブラケット 6 b に取り付けられている。第 2 の位置検出器 13 は、シャフト 10 の軸方向の位置を検出するための機器である。第 2 の位置検出器 13 は、複数の磁極または刻線を有する第 2 のスケール 13 a と、第 2 のスケール 13 a からシャフト 10 の軸方向の位置を検出する第 2 のセンサ 13 b とを有している。第 2 のスケール 13 a は、シャフト 10 に取り付けられている。第 2 のセンサ 13 b は、一方のブラケット 6 b に取り付けられている。

30

【 0 0 1 9 】

次に、図 4 から図 9 を参照して、磁石 8、シャフト 10 および多軸アクチュエータ用コイル 1 の詳細について説明する。図 4 は、実施の形態 1 にかかる多軸アクチュエータ 100 を一部破断した斜視図である。図 5 は、実施の形態 1 にかかる直動コイル 2 a を示した斜視図である。図 6 は、実施の形態 1 にかかる直動コイル 2 a を軸方向に沿って見たときの図である。図 7 は、実施の形態 1 にかかる回転コイル 3 a を示した正面図である。図 8 は、実施の形態 1 にかかる磁石 8 を一部破断した斜視図である。図 9 は、実施の形態 1 にかかる磁石 8 を軸方向に沿って見たときの図である。なお、図 4 では、多軸アクチュエータ 100 のうち多軸アクチュエータ用コイル 1 と磁石 8 とシャフト 10 のみを図示している。図 5 では、1 つの直動コイル 2 a のみを図示している。

40

【 0 0 2 0 】

図 4 に示すように、多軸アクチュエータ用コイル 1 は、可動子を軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群 2 と、直動コイル群 2 の内周に配置されて可動子を周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群 3 とを備えている。以下では、直動コイル群 2 および回転コイル群 3 が 3 相コイルである場合を例にして説明する。

【 0 0 2 1 】

50

直動コイル群 2 は、軸方向に並べられて配置された複数の直動コイル 2 a を有している。図 4 では、2 つの直動コイル 2 a が図示されているが、実際には 3 個以上の直動コイル 2 a が軸方向に並べられて配置される。各直動コイル 2 a は、周方向に延びている。各直動コイル 2 a は、周方向に延びながら軸方向に移動する螺旋状に巻き回された 1 本のマグネットワイヤである。各直動コイル 2 a の形状は、本実施の形態では半径方向に重ならない 1 層の円筒形状であるが、半径方向に 2 層以上に重なる円筒形状でもよい。

【 0 0 2 2 】

各直動コイル 2 a は、周方向の一端と他端とに位置する 2 つのコイル端 2 b , 2 c を有している。図 5 に示すように、直動コイル 2 a のコイル端 2 b , 2 c は、マグネットワイヤの長さ方向の一端と他端とに位置する。2 つのコイル端 2 b , 2 c は、半径方向の外側に向かって突出している。2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか一方は、巻き始まり端部である。2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか他方は、巻き終わり端部である。2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか一方は、図示しない電力供給部の電源線が接続される端子となる。2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか他方は、各相の直動コイル 2 a と電氣的に接続される接続部となる。接続部は、例えば、中性点となってもよいし、デルタ結線となってもよい。

10

【 0 0 2 3 】

図 6 に示すように、各直動コイル 2 a において 2 つのコイル端 2 b , 2 c が成す周方向の第 1 の角度 θ_1 は、図 4 に示される回転コイル群 3 の電気角周期と等しいか、または、回転コイル群 3 の電気角周期の整数倍である。第 1 の角度 θ_1 は、直動コイル 2 a の軸中心 2 d を基点とした 2 つのコイル端 2 b , 2 c が成す周方向の角度である。第 1 の角度 θ_1 は、0 度でもよいが、0 度を越えることが好ましい。本実施の形態では、第 1 の角度 θ_1 が 0 度を越える場合を例示している。第 1 の角度 θ_1 が 0 度を越える場合には、同一の直動コイル 2 a において、2 つのコイル端 2 b , 2 c の周方向における位置がずれている。一方、第 1 の角度 θ_1 が 0 度である場合には、同一の直動コイル 2 a において、2 つのコイル端 2 b , 2 c の周方向における位置が一致する。

20

【 0 0 2 4 】

図 4 に示すように、異なる直動コイル 2 a においては、コイル端 2 b の周方向における位置が一致していてもよいし、コイル端 2 b の周方向における位置がずれていてもよい。異なる直動コイル 2 a においては、コイル端 2 c の周方向における位置が一致していてもよいし、コイル端 2 c の周方向における位置がずれていてもよい。軸方向に隣接する一方の直動コイル 2 a のコイル端 2 b と隣接する他方の直動コイル 2 a のコイル端 2 c との周方向における位置は、ずれていてもよいし、一致していてもよい。直動コイル 2 a の巻回角度を A、直動コイル 2 a の巻数を T、第 1 の角度を θ_1 とし、巻回角度 A を下記式 (1) で表したとき、各直動コイル 2 a の巻回角度 A が同じ角度であることが好ましい。

30

$$A = 360 \text{ 度} \times T + \theta_1 \cdots (1)$$

【 0 0 2 5 】

回転コイル群 3 は、軸方向と半径方向とに交互に延びながら周方向に移動する螺旋状に巻き回される 1 本のマグネットワイヤである。回転コイル群 3 は、図 7 に示される六角形のループである回転コイル 3 a を複数有している。複数の回転コイル 3 a は、周方向に連続して形成される。各回転コイル 3 a は、軸方向に直線状に延びる長辺部 3 b と、半径方向に延びる短辺部 3 c とを含んでいる。長辺部 3 b と短辺部 3 c とは、交互に配置されている。長辺部 3 b は、可動子を回転させるトルクの発生に寄与する部分である。短辺部 3 c は、可動子を回転させるトルクの発生に寄与しにくい部分である。短辺部 3 c は、隣り合う 2 つの長辺部 3 b を繋ぐ役割を果たしている。短辺部 3 c の形状は、ループの外周に向かって凸となる先鋭状である。

40

【 0 0 2 6 】

図 4 に示すように、磁石 8 およびシャフト 10 は、回転コイル 3 a の内周に配置されている。磁石 8 は、シャフト 10 の外周面に沿って配置されている。図 8 に示すように、半径方向に沿って見たときの磁石 8 の形状は、本実施の形態では菱形であるが、正方形など

50

でもよい。菱形の対角線の一方が軸方向と一致するように、かつ、菱形の対角線の他方が周方向と一致するように、複数の磁石 8 が隙間無く配置されている。磁石 8 は、N 極となる第 1 の磁石 8 a と、S 極となる第 2 の磁石 8 b とを含んでいる。図 8 では、第 1 の磁石 8 a と第 2 の磁石 8 b とを区別するために、第 1 の磁石 8 a のみにドットハッチングを付している。第 1 の磁石 8 a と第 2 の磁石 8 b とは、互いの辺同士を接触させて配置されている。第 1 の磁石 8 a が軸方向に並べられた列と第 2 の磁石 8 b が軸方向に並べられた列とが周方向に交互に配置されている。第 1 の磁石 8 a が周方向に並べられた列と第 2 の磁石 8 b が周方向に並べられた列とが軸方向に交互に配置されている。第 1 の磁石 8 a の配向は、半径方向の内側から外側に向かう方向である。第 2 の磁石 8 b の配向は、半径方向の外側から内側に向かう方向である。

10

【 0 0 2 7 】

第 1 の磁石 8 a は、第 1 の中心 8 c を有している。第 1 の中心 8 c は、第 1 の磁石 8 a を半径方向に沿って見たときの第 1 の磁石 8 a の中心である。第 1 の磁石 8 a の形状が菱形の場合には、2 本の対角線が交わる箇所が第 1 の中心 8 c である。第 2 の磁石 8 b は、第 2 の中心 8 d を有している。第 2 の中心 8 d は、第 2 の磁石 8 b を半径方向に沿って見たときの第 2 の磁石 8 b の中心である。第 2 の磁石 8 b の形状が菱形の場合には、2 本の対角線が交わる箇所が第 2 の中心 8 d である。第 1 の中心 8 c と第 2 の中心 8 d とは、軸方向および周方向にずれている。

【 0 0 2 8 】

ここでは、隣接する第 1 の磁石 8 a の第 1 の中心 8 c と第 2 の磁石 8 b の第 2 の中心 8 d との軸方向に沿う距離を、極間距離 P 5 とする。また、図 9 に示すように、隣接する第 1 の磁石 8 a と第 2 の磁石 8 b とにおいて第 1 の中心 8 c と第 2 の中心 8 d とが成す周方向の角度を、第 2 の角度 θ_2 とする。第 2 の角度 θ_2 は、円筒形状に並べられて配置された磁石 8 の軸中心 8 e を基点として、隣接する第 1 の磁石 8 a の第 1 の中心 8 c と第 2 の磁石 8 b の第 2 の中心 8 d とが成す周方向の角度である。図 6 に示される第 1 の角度 θ_1 は、図 9 に示される第 2 の角度 θ_2 の $2n$ 倍と同一の角度である。n は、0、または、自然数である。なお、本明細書において同一の角度とは、完全に同一の角度である場合の他、マグネットワイヤの曲げ性能を考慮して厳密には同一の角度ではなくマグネットワイヤの線径の 2 倍から 3 倍までずれた角度を含む意味である。図示した磁石 8 の配列は一例であり、極間距離 P 5 と第 2 の角度 θ_2 とを有する磁石 8 の配列であれば、適宜変更してもよい。

20

30

【 0 0 2 9 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 の効果について説明する。

【 0 0 3 0 】

本実施の形態では、図 4 に示すように、多軸アクチュエータ用コイル 1 は、可動子を軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群 2 と、直動コイル群 2 の内周に配置されて可動子を周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群 3 とを備えている。また、本実施の形態では、図 6 に示すように、各直動コイル 2 a において 2 つのコイル端 2 b , 2 c が成す周方向の第 1 の角度 θ_1 は、回転コイル群 3 の電気角周期と等しいか、または、回転コイル群 3 の電気角周期の整数倍である。これらの構成により、図 4 に示される回転コイル群 3 に通電した際に直動コイル群 2 に鎖交する磁束、すなわち直動側干渉磁束が回転コイル群 3 の各相で平衡となる。そのため、回転コイル群 3 の各相から発生する直動側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、回転コイル群 3 から発生した直動側干渉磁束が直動コイル群 2 に干渉することを抑制できる。これにより、意図せぬ誘導電流の発生を抑制して、多軸アクチュエータ 1 0 0 の誤作動を抑制することができる。

40

【 0 0 3 1 】

本実施の形態では、図 6 に示すように、第 1 の角度 θ_1 は、0 度を超える。この構成により、同一の直動コイル 2 a において、2 つのコイル端 2 b , 2 c の周方向における位置がずれる。そのため、2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか一方に電源線を接続する結線作業と、2 つのコイル端 2 b , 2 c のうちいずれか他方を中性点またはデルタ結線と

50

なるように接続する結線作業とを行いやすくなる。

【 0 0 3 2 】

図 4 および図 6 に示される直動コイル 2 a の巻回角度を A、直動コイル 2 a の巻数を T、第 1 の角度を θ_1 とし、巻回角度 A を前記した式 (1) で表したとき、各直動コイル 2 a の巻回角度 A が同じ角度であることが好ましい。このようにすると、各直動コイル 2 a の巻数 T が厳密に一致するため、直動コイル 2 a の長さが各相で同一になる。これにより、各相の巻線の起磁力が一致することから、多軸アクチュエータ 1 0 0 の運転時の脈動、すなわち振動が抑制されたり、各相の巻線の抵抗値が一致することから、デルタ結線の採用時に循環電流が抑制されたりするなどの効果を期待できる。

【 0 0 3 3 】

本実施の形態では、図 4 に示すように、隣接する一方の直動コイル 2 a のコイル端 2 b と隣接する他方の直動コイル 2 a のコイル端 2 c との周方向における位置は、ずれている。この構成により、隣接する一方の直動コイル 2 a のコイル端 2 b と隣接する他方の直動コイル 2 a のコイル端 2 c とが互いに干渉しない。そのため、隣接する直動コイル 2 a の間の隙間を抑えながら直動コイル 2 a を軸方向に積み重ねられるとともに、コイル端 2 b、2 c への結線作業を行いやすくなる。

【 0 0 3 4 】

次に、実施の形態 1 の変形例について説明する。

【 0 0 3 5 】

本実施の形態では、直動コイル群 2 および回転コイル群 3 が 3 相コイルである場合を例示しているが、これに限定されない。直動コイル群 2 および回転コイル群 3 は、4 相以上の多相コイルであってもよい。

【 0 0 3 6 】

本実施の形態では、図 4 に示すように、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、磁石 8 を備えたが、磁石 8 を備えなくてもよい。例えば、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、鉄心のリラクタンストルクのみで回転する S y n R M (Synchronous Reluctance Motor) に相当する構成でもよい。

【 0 0 3 7 】

本実施の形態では、図 2 および図 3 に示すように、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、ステータコア 9 を備えたが、ステータコア 9 を備えなくてもよい。例えば、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、コイル付近に鉄心を有さないコアレス構造に相当する構成でもよい。

【 0 0 3 8 】

本実施の形態では、図 2 および図 3 に示すように、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、フレーム 6 a を備えたが、フレーム 6 a を備えなくてもよい。例えば、多軸アクチュエータ 1 0 0 は、ステータコア 9 がフレームの役割を兼ねるフレームレス構造に相当する構成でもよい。

【 0 0 3 9 】

本実施の形態では、図 8 に示される第 1 の磁石 8 a が N 極となり、第 2 の磁石 8 b が S 極となっているが、第 1 の磁石 8 a が S 極となり、第 2 の磁石 8 b が N 極となってもよい。

【 0 0 4 0 】

実施の形態 2 .

次に、図 1 0 を参照して、実施の形態 2 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 A について説明する。図 1 0 は、実施の形態 2 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 A を模式的に示した側面図である。本実施の形態では、回転コイル群 3 と半径方向で対面する直動コイル 2 a の数が各相で一致しており、かつ、各相の直動コイル 2 a の数が偶数である点、および、多軸アクチュエータ用コイル 1 A において直動コイル群 2 の軸方向の長さ P 1 が回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P 2 よりも短い点が、前記した実施の形態 1 と相違する。なお、実施の形態 2 では、前記した実施の形態 1 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 は、回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 よりも短い。直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 は、直動コイル群 2 の軸方向の一端から他端までの軸方向に沿う長さである。回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 は、回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の一端から他端までの軸方向に沿う長さである。回転コイル群 3 と半径方向で対面する直動コイル 2 a の数は各相で一致しており、かつ、各相の直動コイル 2 a の数は偶数である。図 1 2 には、一例として、直動コイル群 2 が 3 相コイルであり、各相の直動コイル 2 a の数が 2 個の場合を図示している。

【 0 0 4 2 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 A の効果について説明する。

【 0 0 4 3 】

本実施の形態では、前記した実施の形態 1 と同一の効果を奏することができる。本実施の形態では、回転コイル群 3 と半径方向で対面する直動コイル 2 a の数が各相で一致しており、かつ、各相の直動コイル 2 a の数が偶数である。また、本実施の形態では、直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 が回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 よりも短い。これらの構成により、直動コイル群 2 に通電した際に回転コイル群 3 に鎖交する磁束、すなわち回転側干渉磁束が直動コイル群 2 の各相で平衡となる。そのため、直動コイル群 2 の各相から発生する回転側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、直動コイル群 2 から発生した回転側干渉磁束が回転コイル群 3 に干渉することを抑制できる。つまり、本実施の形態では、回転コイル群 3 から発生した磁束が直動コイル群 2 に干渉すること、および、直動コイル群 2 から発生した磁束が回転コイル群 3 に干渉することの両方を抑制できる。これにより、意図せぬ誘導電流の発生をより一層抑制して、多軸アクチュエータ 1 0 0 A の誤作動をより一層抑制することができる。

【 0 0 4 4 】

実施の形態 3 .

次に、図 1 1 を参照して、実施の形態 3 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 B について説明する。図 1 1 は、実施の形態 3 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 B を模式的に示した側面図である。本実施の形態では、回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 が極間距離 P_5 の 2 m 倍と同一の長さである点、および、多軸アクチュエータ用コイル 1 B において直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 が回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 よりも長い点が、前記した実施の形態 1 と相違する。なお、実施の形態 3 では、前記した実施の形態 1 , 2 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

【 0 0 4 5 】

直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 は、回転コイル群 3 の長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 よりも長い。長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 は、図 8 に示される極間距離 P_5 の 2 m 倍と同一の長さである。m は、自然数である。なお、本明細書において同一の長さとは、完全に同一の長さである場合の他、マグネットワイヤの曲げ性能を考慮して厳密には同一の長さではなくマグネットワイヤの線径の 2 倍から 3 倍までずれた長さを含む意味である。

【 0 0 4 6 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 B の効果について説明する。

【 0 0 4 7 】

本実施の形態では、前記した実施の形態 1 と同一の効果を奏することができる。本実施の形態では、長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 が極間距離 P_5 の 2 m 倍と同一の長さである。また、本実施の形態では、直動コイル群 2 の軸方向の長さ P_1 が長辺部 3 b の軸方向の長さ P_2 よりも長い。これらの構成により、直動コイル群 2 に通電した際に回転コイル群 3 に鎖交する磁束、すなわち回転側干渉磁束が直動コイル群 2 の各相で平衡となる。そのため、直動コイル群 2 の各相から発生する回転側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、直動コイル群 2 から発生した回転側干渉磁束が回転コイル群 3 に干渉することを抑制できる。つまり、本実施の形態では、回転コイル群 3 から発生した磁束が直動コイル群 2 に干渉すること、および、直動コイル群 2 から発生した磁束が回転コイル群 3 に干渉することの両方を抑制できる。これにより、意図せぬ誘導電流の発生をより一層抑制して、多軸アクチ

10

20

30

40

50

ユーエータ100Bの誤作動をより一層抑制することができる。

【0048】

実施の形態4．

次に、図12から図17を参照して、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ100Cについて説明する。図12は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cを示した斜視図である。図13は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cを軸方向に沿って見たときの図である。図14は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cの第1のプリント基板4Aを巻き回す前の状態を示した側面図であって、第1のプリント基板4Aの表面41を示した図である。図15は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cの第1のプリント基板4Aを巻き回す前の状態を示した側面図であって、第1のプリント基板4Aの裏面42を表面41から透かして見たときの図である。図16は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cの第2のプリント基板4Bを巻き回す前の状態を示した側面図であって、第2のプリント基板4Bの表面41を示した図である。図17は、実施の形態4にかかる多軸アクチュエータ用コイル1Cの第2のプリント基板4Bを巻き回す前の状態を示した側面図であって、第2のプリント基板4Bの裏面42を表面41から透かして見たときの図である。本実施の形態では、多軸アクチュエータ用コイル1Cがコイル基板である点が、前記した実施の形態1と相違する。なお、実施の形態4では、前記した実施の形態1と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

【0049】

図12に示すように、多軸アクチュエータ用コイル1Cは、可撓性を有し周方向に巻き回されたプリント基板4と、プリント基板4にプリントされた直動コイル群5Aと回転コイル群5Bとを備えている。なお、図12では、回転コイル群5Bが明確に図示されていないが、直動コイル群5Aの内周に配置されている。また、図12では、多軸アクチュエータ用コイル1Cの内周に配置される磁石8およびシャフト10の図示を省略している。プリント基板4は、図13に示される1つの軸57を中心にして巻き回されている。軸57は、図2に示される中心軸Cと平行に延びる仮想軸である。プリント基板4の巻回方向は、中心軸Cを中心とする回転方向である周方向と一致する。

【0050】

図12に示すように、プリント基板4は、自由に変形させることが可能なフレキシブル基板である。プリント基板4は、本実施の形態では周方向に分割されている。図14から図17に示すように、プリント基板4は、2枚に分割されている。以下の説明において、2枚のプリント基板4を区別する場合には、図14および図15に示される一方のプリント基板4を第1のプリント基板4Aと称し、図16および図17に示される他方のプリント基板4を第2のプリント基板4Bと称する。図14および図15において第1のプリント基板4Aは、灰色領域で図示されている。図16および図17において第2のプリント基板4Bは、斜線ハッチングで図示されている。図18以降で第1のプリント基板4Aと第2のプリント基板4Bとが図示される場合にも、図14から図17と同じ方法で両者を区別する。図12に示すように、プリント基板4は、表面41と、表面41とは反対を向く裏面42とを有している。プリント基板4は、半径方向に2層以上形成されていることが好ましい。図14から図17に示すように、プリント基板4は、周方向の一端43と他端44とを有している。なお、図15および図17では、裏面42が見えないが、説明の便宜上、表面41と裏面42の符号を併記する。

【0051】

図14および図15においてドットハッチングで図示された箇所が、直動コイル群5Aである。図16および図17において格子ハッチングで図示された箇所が、回転コイル群5Bである。以下の説明において、直動コイル群5Aと回転コイル群5Bとを区別せずにコイル群5と呼ぶ場合もある。図18以降で直動コイル群5Aと回転コイル群5Bとが図示される場合にも、図14から図17と同じ方法で両者を区別する。

【0052】

10

20

30

40

50

図 1 4 から図 1 7 に示すように、各コイル群 5 は、複数のコイルパターン 5 1 を有している。各コイルパターン 5 1 は、直線状に伸びる複数の長辺部 5 1 a と、隣り合う 2 つの長辺部 5 1 a を繋ぐ複数の短辺部 5 1 b とを含んでいる。コイルパターン 5 1 は、プリント基板 4 の銅箔層をエッチングすることにより形成される導電体である。以下の説明において、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B とのコイルパターン 5 1 を区別する場合には、直動コイル群 5 A のコイルパターン 5 1 を第 1 のコイルパターン 5 2 と称し、回転コイル群 5 B のコイルパターン 5 1 を第 2 のコイルパターン 5 3 と称する。図 1 4 から図 1 7 では、各コイル群 5 が 3 相コイルである場合を例示している。図 1 4 から図 1 7 では、ハッチングの密度を変えることにより、各相のコイルパターン 5 1 を区別している。

【 0 0 5 3 】

図 1 4 および図 1 5 に示すように、第 1 のコイルパターン 5 2 の数は、本実施の形態では 6 個である。第 1 のコイルパターン 5 2 の数は、本実施の形態では第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 と裏面 4 2 とに 3 個ずつである。表面 4 1 の 3 個の第 1 のコイルパターン 5 2 は、軸方向に並べられて配置されている。裏面 4 2 の 3 個の第 1 のコイルパターン 5 2 は、軸方向に並べられて配置されている。複数の第 1 のコイルパターン 5 2 は、軸方向に並べられて配置された複数の直動コイルである。ここでは、同相の第 1 のコイルパターン 5 2 が存在する軸方向のエリアを、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 および裏面 4 2 の区別なく数えた数を、直動コイルのコイル数とする。また、同相の第 1 のコイルパターン 5 2 が存在する軸方向のエリアの区別は、後記する第 1 の長辺部 5 2 a を基準にして行い、第 1 の長辺部 5 2 a 以外の部分を考慮しない。したがって、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 から裏面 4 2 に向かう方向に沿って見たときに、表面 4 1 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアと裏面 4 2 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアとの軸方向位置が同じである場合には、1 個の直動コイルとして数える。一方、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 から裏面 4 2 に向かう方向に沿って見たときに、表面 4 1 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアと裏面 4 2 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアとの軸方向位置が異なる場合には、異なる直動コイルとして数える。例えば、図 1 4 および図 1 5 においては、表面 4 1 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアと裏面 4 2 において同相の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアとが 3 個ずつであり、6 個の軸方向のエリアの軸方向位置が互いに異なっている。そのため、直動コイルのコイル数は、6 個と数える。各第 1 のコイルパターン 5 2 は、概ね同一形状である。各第 1 のコイルパターン 5 2 は、同一形状のループが軸方向に中心を一定間隔でずらしながら巻かれた分布巻きで第 1 のプリント基板 4 A にプリントされている。第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 と裏面 4 2 とで同一位置にある 2 個の端部 A 1 ・ ・ ・ A 5 , B 1 ・ ・ ・ B 5 , C 1 ・ ・ ・ C 5 は、スルーホール 5 4 を介して電氣的に接続されている。

【 0 0 5 4 】

第 1 のコイルパターン 5 2 は、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 と裏面 4 2 とに交互に配置されている。第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 の第 1 のコイルパターン 5 2 が表面 4 1 で半周延びた後、スルーホール 5 4 を介して第 1 のプリント基板 4 A の裏面 4 2 に渡って、裏面 4 2 の第 1 のコイルパターン 5 2 が裏面 4 2 で半周延びる。6 個の第 1 のコイルパターン 5 2 のそれぞれの巻数は、第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の第 1 のコイルパターン 5 2 のそれぞれの巻数と半径方向に積み重なる第 1 のプリント基板 4 A の積層数との積となる。6 個の第 1 のコイルパターン 5 2 のそれぞれの巻数は、任意に決めてよい。第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 には、各相の第 1 のコイルパターン 5 2 の他端を電氣的に接続する接続部 5 5 が設けられている。接続部 5 5 は、軸方向に延びている。

【 0 0 5 5 】

第 1 のコイルパターン 5 2 は、周方向に伸びる複数の第 1 の長辺部 5 2 a と、複数の第 1 の短辺部 5 2 b とを含んでいる。第 1 の長辺部 5 2 a と第 1 の短辺部 5 2 b とは、交互

10

20

30

40

50

に配置されている。第1の長辺部52aは、可動子を軸方向に移動させる推力の発生に寄与する部分である。第1の短辺部52bは、可動子を軸方向に移動させる推力の発生に寄与しにくい部分である。第1の短辺部52bは、表裏の2つの第1の長辺部52aを繋ぐ役割を果たしている。図14に示される第1の短辺部52bは、第1の長辺部52aから離れるにつれて軸方向の一方に位置するように傾斜しながら延びている。図15に示される第1の短辺部52bは、第1の長辺部52aから離れるにつれて軸方向の他方に位置するように傾斜しながら延びている。裏面42の第1のコイルパターン52の一端には、図示しない電力供給部の電源線が接続される端子52cが設けられている。各第1のコイルパターン52には、端子52cを介して、図示しない電力供給部から電力が供給される。端子52cは、第1のプリント基板4Aの軸方向の一端面よりも軸方向の外側に突出している。軸方向の外側とは、第1のプリント基板4Aの軸方向の中心から軸方向の端面に向かう方向を意味する。

10

【0056】

図14に示すように、各第1のコイルパターン52は、周方向の一端と他端とに位置する2つのコイル端51c、51dを有している。第1のコイルパターンのコイル端51c、51dは、第1のコイルパターン52の第1の長辺部52aの長さ方向の一端と他端とに位置する。図13に示すように、2つのコイル端51c、51dが成す周方向の第1の角度 θ_1 は、回転コイル群5Bの電気角周期と等しいか、または、回転コイル群5Bの電気角周期の整数倍である。第1の角度 θ_1 は、プリント基板4を巻き回す中心となる軸57を基点とした2つのコイル端51c、51dが成す周方向の角度である。第1の角度 θ_1 は、0度を超えることが好ましい。本実施の形態では、第1の角度 θ_1 が0度を超える場合を例示している。第1の角度 θ_1 が0度を超える場合には、同一の第1のコイルパターン52において、2つのコイル端51c、51dの周方向における位置がずれている。第1の角度 θ_1 は、図9に示される第2の角度 θ_2 の2n倍と同一の角度である。

20

【0057】

図14に示すように、異なる第1のコイルパターン52においては、コイル端51cの周方向における位置が図示のように一致していてもよいし、コイル端51cの周方向における位置がずれていてもよい。異なる第1のコイルパターン52においては、コイル端51dの周方向における位置が図示のように一致していてもよいし、コイル端51dの周方向における位置がずれていてもよい。図12に示すように、軸方向に隣接する一方の第1のコイルパターン52のコイル端51cと隣接する他方の第1のコイルパターン52のコイル端51dとの周方向における位置は、図示のようにずれていてもよいし、一致していてもよい。第1のコイルパターン52の巻回角度をA、第1のコイルパターン52の巻数をT、第1の角度を θ_1 とし、巻回角度Aを下記式(2)で表したとき、各第1のコイルパターン52の巻回角度Aが同じ角度であることが好ましい。

30

$$A = 360 \text{度} \times T + \theta_1 \cdots (2)$$

【0058】

図16および図17に示すように、第2のコイルパターン53の数は、本実施の形態では18個である。第2のコイルパターン53の数は、本実施の形態では第2のプリント基板4Bの表面41と裏面42とに9個ずつである。表面41の9個の第2のコイルパターン53は、周方向に並べられて配置されている。裏面42の9個の第2のコイルパターン53は、周方向に並べられて配置されている。複数の第2のコイルパターン53は、周方向に並べられて配置された複数の回転コイルである。ここでは、同相の第2のコイルパターン53が存在する周方向のエリアを、第2のプリント基板4Bの表面41および裏面42の区別なく数えた数を、回転コイルのコイル数とする。また、同相の第2のコイルパターン53が存在する周方向のエリアの区分けは、後記する第2の長辺部53aを基準にして行い、第2の長辺部53a以外の部分を考慮しない。したがって、第2のプリント基板4Bの表面41から裏面42に向かう方向に沿って見たときに、表面41において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリアと裏面42において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリア

40

50

との周方向位置が同じである場合には、1個の回転コイルとして数える。一方、第2のプリント基板4Bの表面41から裏面42に向かう方向に沿って見たときに、表面41において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリアと裏面42において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリアとの周方向位置が異なる場合には、異なる回転コイルとして数える。例えば、図16および図17においては、表面41において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリアと裏面42において同相の第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aが存在する周方向のエリアとが9個ずつであり、このうち6個の周方向のエリアの周方向位置が互いに異なっていて6個の周方向のエリアの周方向位置が同じである。そのため、回転コイルのコイル数は、12個と数える。各第2のコイルパターン53は、概ね同一形状である。各第2のコイルパターン53は、同一形状のループが周方向に中心を一定間隔でずらしながら巻かれた分布巻きで第2のプリント基板4Bにプリントされている。第2のプリント基板4Bの表面41と裏面42とで同一位置にある2個の端部D1・・・D5, E1・・・E5, F1・・・F5は、スルーホール54を介して電氣的に接続されている。また、第2のプリント基板4Bの表面41と裏面42とで同一位置にある2個の端部G1・・・G5, H1・・・H5, I1・・・I5は、スルーホール54を介して電氣的に接続されている。また、第2のプリント基板4Bの表面41と裏面42とで同一位置にある2個の端部J1・・・J5, K1・・・K5, L1・・・L5は、スルーホール54を介して電氣的に接続されている。

10

【0059】

20

第2のコイルパターン53は、第2のプリント基板4Bの表面41と裏面42とに交互に配置されている。第2のプリント基板4Bの表面41の第2のコイルパターン53が表面41で半周延びた後、スルーホール54を介して第2のプリント基板4Bの裏面42に渡って、裏面42の第2のコイルパターン53が裏面42で半周延びる。18個の第2のコイルパターン53のそれぞれの巻数は、第2のプリント基板4Bを巻き回す前の第2のコイルパターン53のそれぞれの巻数と半径方向に積み重なる第2のプリント基板4Bの積層数との積となる。18個の第2のコイルパターン53のそれぞれの巻数は、任意に決めてよい。第2のプリント基板4Bの表面41には、各相の第2のコイルパターン53の他端を電氣的に接続する接続部56が設けられている。接続部56は、周方向に延びている。接続部55, 56は、例えば、中性点となってもよいし、デルタ結線となってもよい。

30

【0060】

第2のコイルパターン53は、軸方向に延びる複数の第2の長辺部53aと、複数の第2の短辺部53bとを含んでいる。第2の長辺部53aと第2の短辺部53bとは、交互に配置されている。第2の長辺部53aは、可動子を回転させるトルクの発生に寄与する部分である。第2の短辺部53bは、可動子を回転させるトルクの発生に寄与しにくい部分である。第2の短辺部53bは、表裏の2つの第2の長辺部53aを繋ぐ役割を果たしている。図16に示される第2の短辺部53bは、第2の長辺部53aから離れるにつれて周方向の一方に位置するように傾斜しながら延びている。図17に示される第2の短辺部53bは、第2の長辺部53aから離れるにつれて周方向の他方に位置するように傾斜しながら延びている。裏面42の第2のコイルパターン53の一端には、図示しない電力供給部の電源線が接続される端子53cが設けられている。各第2のコイルパターン53には、端子53cを介して、図示しない電力供給部から電力が供給される。端子53cは、第2のプリント基板4Bの軸方向の他端面よりも軸方向の外側に突出している。

40

【0061】

図14および図15に示される各第1のコイルパターン52の第1の長辺部52aは、互いに平行に延びている。図16および図17に示される各第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aは、互いに平行に延びている。図14および図15に示される各第1のコイルパターン52の第1の長辺部52aと図16および図17に示される各第2のコイルパターン53の第2の長辺部53aとは、互いに交差する方向に延びている。第1の長辺部52aと第2の長辺部53aとは、本実施の形態では互いに直交する方向に延びて

50

いる。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 に示すように、各プリント基板 4 は、コイル群 5 が形成された表面 4 1 が外周に位置するようにかつ裏面 4 2 が内周に位置するように、右回りに巻き回されている。各プリント基板 4 は、コイル群 5 が形成された表面 4 1 が内周に位置するようにかつ裏面 4 2 が外周に位置するように、巻き回されてもよい。各プリント基板 4 は、図示しない治具の円筒面に沿って巻き回される。図 1 4 および図 1 5 に示される第 1 のプリント基板 4 A の周方向の他端 4 4 が図 1 6 および図 1 7 に示される第 2 のプリント基板 4 B の周方向の一端 4 3 に連続するように、第 1 のプリント基板 4 A および第 2 のプリント基板 4 B が連続して巻き回されている。これにより、図 1 2 に示される円筒形状の多軸アクチュエータ用コイル 1 C が成形される。多軸アクチュエータ用コイル 1 C の外周面は、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 となる。

10

【 0 0 6 3 】

図 1 4 から図 1 7 に示される第 1 のプリント基板 4 A と第 2 のプリント基板 4 B とは、接着剤、テープなどの固定手段により連結されてもよいし、連結されていなくもよい。後者の場合には、内周に位置する第 2 のプリント基板 4 B を巻き回した後、第 2 のプリント基板 4 B の周方向の一端 4 3 に連続するように、第 1 のプリント基板 4 A を巻き回せばよい。内周に位置する第 2 のプリント基板 4 B をガイドにして、2 枚目の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回せるため、多軸アクチュエータ用コイル 1 C を容易に成形することができる。

20

【 0 0 6 4 】

直動コイル群 5 A は、回転コイル群 5 B の外周に配置される。すなわち、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B とは、周方向で一致する位置に配置されている。換言すると、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B とは、半径方向に並べられて配置されている。半径方向に並べられて配置される直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B との間には、例えば、図示しない絶縁層が全周に亘って挟み込まれて配置されている。これにより、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B との短絡を防止できる。

【 0 0 6 5 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 C の効果について説明する。

【 0 0 6 6 】

本実施の形態においても、前記した実施の形態 1 と同様に、回転コイル群 5 B の各相から発生する直動側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、回転コイル群 5 B から発生した直動側干渉磁束が直動コイル群 5 A に干渉することを抑制できる。

30

【 0 0 6 7 】

本実施の形態では、図 1 2 および図 1 3 に示すように、多軸アクチュエータ用コイル 1 C は、可撓性を有し 1 つの軸 5 7 を中心にして巻き回されたプリント基板 4 と、プリント基板 4 にプリントされた複数の直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B とを備えている。この構成により、プリント基板 4 の変形が容易であるため、プリントされた直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B も含めてプリント基板 4 を容易に変形させることができる。すなわち、本実施の形態では、直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B を容易かつ精度良く半径方向に並べて配置することができる。そのため、本実施の形態では、巻き崩れおよび巻線間の交錯が生じにくく、多軸アクチュエータ用コイル 1 C の肥大化を抑制して、コイルスペースの肥大化を抑制することができる。したがって、多軸アクチュエータ用コイル 1 C をスペース効率良く成形することができる。また、コイルスペースの肥大化を抑制できることにより、多軸アクチュエータ 1 0 0 C の大型化および多軸アクチュエータ 1 0 0 C の出力密度の低下を抑制することができる。

40

【 0 0 6 8 】

次に、実施の形態 4 の変形例について説明する。

【 0 0 6 9 】

本実施の形態では、図 1 3 に示すように、プリント基板 4 が円筒形状に巻き回されてい

50

るが、プリント基板 4 の軸 5 7 と直交する断面形状が多角形状の筒状となるようにプリント基板 4 が巻き回されてもよい。

【 0 0 7 0 】

図 1 4 から図 1 7 に示される第 1 のプリント基板 4 A および第 2 のプリント基板 4 B の巻き回し量は適宜変更してもよい。例えば、各プリント基板 4 が 1 周を超えて巻き回されてもよい。このようにすると、コイルパターン 5 1 の巻数がより多く必要な多軸アクチュエータ 1 0 0 C に対応することができる。

【 0 0 7 1 】

直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B のそれぞれのコイルパターン 5 1 の数は、図示の例に限定されることなく、適宜変更してもよい。また、図 1 4 から図 1 7 では、直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B のそれぞれが 3 相コイルである場合を例示しているが、これに限定されない。直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B のそれぞれは、4 相以上のコイルであってもよい。また、本実施の形態では各コイルパターン 5 1 の分布巻きの一例として、重ね巻きを図示したが、これに限定されない。各コイルパターン 5 1 の分布巻きは、例えば、波巻きでもよい。

【 0 0 7 2 】

図 1 8 は、実施の形態 4 の変形例にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 C を示した斜視図である。図 1 9 は、実施の形態 4 の変形例にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 C を軸方向に沿って見たときの図である。図 1 8 および図 1 9 に示すように、同一の第 1 のコイルパターン 5 2 において、2 つのコイル端 5 1 c , 5 1 d の周方向における位置が一致していてもよい。このような構成にすると、第 1 の角度 θ_1 は 0 度になる。

【 0 0 7 3 】

実施の形態 5 .

次に、図 2 0 から図 2 4 を参照して、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 D について説明する。図 2 0 は、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 D の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 を示した図である。図 2 1 は、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 D の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板 4 A の裏面 4 2 を表面 4 1 から透かして見たときの図である。図 2 2 は、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 D の第 2 のプリント基板 4 B を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板 4 B の表面 4 1 を示した図である。図 2 3 は、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 D の第 2 のプリント基板 4 B を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板 4 B の裏面 4 2 を表面 4 1 から透かして見たときの図である。図 2 4 は、実施の形態 5 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 D を示した斜視図である。本実施の形態では、回転コイル群 5 B と半径方向で対面する直動コイルの数が各相で一致しており、かつ、各相の直動コイルの数が偶数である点、および、多軸アクチュエータ用コイル 1 D において直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 が回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 よりも短い点が、前記した実施の形態 4 と相違する。なお、実施の形態 5 では、前記した実施の形態 4 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。図 2 1 および図 2 3 では、裏面 4 2 が見えないが、説明の便宜上、表面 4 1 と裏面 4 2 の符号を併記する。

【 0 0 7 4 】

図 2 0 および図 2 1 に示すように、直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 は、直動コイル群 5 A の軸方向の一端 P 3 1 から他端 P 3 2 までの軸方向に沿う長さである。具体的には、直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 は、軸方向の一方の端に位置する第 1 の長辺部 5 2 a から軸方向の他方の端に位置する第 1 の長辺部 5 2 a までの軸方向に沿う長さである。図 2 2 および図 2 3 に示すように、第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 は、回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の一端から他端までの軸方向に沿う長さである。図 2 0 および図 2 1 においては、表面 4 1 の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺

10

20

30

40

50

部 5 2 a が存在する軸方向のエリアと裏面 4 2 の第 1 のコイルパターン 5 2 の第 1 の長辺部 5 2 a が存在する軸方向のエリアとが 3 個ずつであり、6 個の軸方向のエリアの軸方向位置が互いに異なっている。そのため、直動コイルのコイル数は、6 個である。回転コイル群 5 B と半径方向で対面する直動コイルの数は各相で一致しており、かつ、各相の直動コイルの数は偶数である。図 2 4 には、一例として、直動コイル群 5 A が 3 相コイルであり、各相の直動コイルの数が 2 個の場合を図示している。

【 0 0 7 5 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 D の効果について説明する。

【 0 0 7 6 】

本実施の形態では、前記した実施の形態 4 と同一の効果を奏することができる。本実施の形態では、図 2 0、図 2 1 および図 2 4 に示すように、回転コイル群 5 B と半径方向で対面する直動コイルの数が各相で一致しており、かつ、各相の直動コイルの数が偶数である。また、本実施の形態では、図 2 4 に示すように、直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 が回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 よりも短い。これらの構成により、直動コイル群 5 A に通電した際に回転コイル群 5 B に鎖交する磁束、すなわち回転側干渉磁束が直動コイル群 5 A の各相で平衡となる。そのため、直動コイル群 5 A の各相から発生する回転側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、直動コイル群 5 A から発生した回転側干渉磁束が回転コイル群 5 B に干渉することを抑制できる。つまり、本実施の形態では、回転コイル群 5 B から発生した磁束が直動コイル群 5 A に干渉すること、および、直動コイル群 5 A から発生した磁束が回転コイル群 5 B に干渉することの両方を抑制できる。これにより、意図せぬ誘導電流の発生をより一層抑制して、多軸アクチュエータ 1 0 0 D の誤作動をより一層抑制することができる。

【 0 0 7 7 】

実施の形態 6 .

次に、図 2 5 から図 2 8 を参照して、実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 E について説明する。図 2 5 は、実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 E の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 を示した図である。図 2 6 は、実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 E の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板 4 A の裏面 4 2 を表面 4 1 から透かして見たときの図である。図 2 7 は、実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 E の第 2 のプリント基板 4 B を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板 4 B の表面 4 1 を示した図である。図 2 8 は、実施の形態 6 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 E の第 2 のプリント基板 4 B を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板 4 B の裏面 4 2 を表面 4 1 から透かして見たときの図である。本実施の形態では、回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 が極間距離 P 5 の 2 m 倍と同一の長さである点、および、多軸アクチュエータ用コイル 1 E において直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 が回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 よりも長い点が、前記した実施の形態 4 と相違する。なお、実施の形態 6 では、前記した実施の形態 4、5 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。図 2 6 および図 2 8 では、裏面 4 2 が見えないが、説明の便宜上、表面 4 1 と裏面 4 2 の符号を併記する。

【 0 0 7 8 】

図 2 5 および図 2 6 に示される直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 は、図 2 7 および図 2 8 に示される回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 よりも長い。第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 は、図 8 に示される極間距離 P 5 の 2 m 倍と同一の長さである。m は、自然数である。

【 0 0 7 9 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 E の効果について説明する。

【 0 0 8 0 】

本実施の形態では、前記した実施の形態 4 と同一の効果を奏することができる。本実施

10

20

30

40

50

の形態では、図 2 7 および図 2 8 に示される回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 が図 8 に示される極間距離 P 5 の 2 m 倍と同一の長さである。また、本実施の形態では、図 2 5 から図 2 8 に示すように、直動コイル群 5 A の軸方向の長さ P 3 が回転コイル群 5 B の第 2 の長辺部 5 3 a の軸方向の長さ P 4 よりも長い。この構成により、直動コイル群 5 A に通電した際に回転コイル群 5 B に鎖交する磁束、すなわち回転側干渉磁束が直動コイル群 5 A の各相で平衡となる。そのため、直動コイル群 5 A の各相から発生する回転側干渉磁束の合計は理論上 0 となり、直動コイル群 5 A から発生した回転側干渉磁束が回転コイル群 5 B に干渉することを抑制できる。つまり、本実施の形態では、回転コイル群 5 B から発生した磁束が直動コイル群 5 A に干渉すること、および、直動コイル群 5 A から発生した磁束が回転コイル群 5 B に干渉することの両方を抑制できる。これにより、意図せぬ誘導電流の発生をより一層抑制して、多軸アクチュエータ 1 0 0 E の誤作動をより一層抑制することができる。

10

【 0 0 8 1 】

実施の形態 7 .

次に、図 2 9 から図 3 1 を参照して、実施の形態 7 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 F について説明する。図 2 9 は、実施の形態 7 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 F の第 2 のプリント基板 4 B を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 2 のプリント基板 4 B の表面 4 1 を示した図である。図 3 0 は、実施の形態 7 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 F の第 1 のプリント基板 4 A を巻き回す前の状態を示した側面図であって、第 1 のプリント基板 4 A の表面 4 1 を示した図である。図 3 1 は、実施の形態 7 にかかる多軸アクチュエータ用コイル 1 F を軸方向に沿って見たときの図である。本実施の形態では、コイルパターン 5 1 の巻き方が集中巻きである点が、前記した実施の形態 4 と相違する。なお、実施の形態 7 では、前記した実施の形態 4 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

20

【 0 0 8 2 】

図 3 0 に示すように、第 1 のコイルパターン 5 2 の数は、本実施の形態では 3 個である。3 個の第 1 のコイルパターン 5 2 は、軸方向に並べられて配置されている。各第 1 のコイルパターン 5 2 は、同一形状で異なる大きさのループが同一の中心を基点に巻かれた集中巻きで第 1 のプリント基板 4 A にプリントされている。第 1 のコイルパターン 5 2 の形状は、外周から内周に向かうにつれて四角形のループの大きさが小さくなる雷紋状である。

30

【 0 0 8 3 】

第 1 のコイルパターン 5 2 は、周方向に延びる複数の第 1 の長辺部 5 2 a と、軸方向に延びる複数の第 1 の短辺部 5 2 b とを含んでいる。第 1 の長辺部 5 2 a と第 1 の短辺部 5 2 b とは、交互に配置されている。第 1 の短辺部 5 2 b は、隣り合う 2 つの第 1 の長辺部 5 2 a を繋ぐ役割を果たしている。各第 1 のコイルパターン 5 2 の他端には、端子 5 2 c の反対側となるループ内側の端子 5 2 d が設けられる。各第 1 のコイルパターン 5 2 の端子 5 2 d は、図示しないパターンまたはジャンパ線で互いに結線される。

【 0 0 8 4 】

図 2 9 に示すように、第 2 のコイルパターン 5 3 の数は、本実施の形態では 6 個である。6 個の第 2 のコイルパターン 5 3 は、周方向に並べられて配置されている。各第 2 のコイルパターン 5 3 は、同一形状である。各第 2 のコイルパターン 5 3 は、同一形状で異なる大きさのループが同一の中心を基点に巻かれた集中巻きで第 2 のプリント基板 4 B にプリントされている。第 2 のコイルパターン 5 3 の形状は、外周から内周に向かうにつれて大きさが小さくなる雷紋状である。

40

【 0 0 8 5 】

第 2 のコイルパターン 5 3 は、軸方向に延びる複数の第 2 の長辺部 5 3 a と、周方向に延びる複数の第 2 の短辺部 5 3 b とを含んでいる。第 2 の長辺部 5 3 a と第 2 の短辺部 5 3 b とは、交互に配置されている。第 2 の短辺部 5 3 b は、隣り合う 2 つの第 2 の長辺部 5 3 a を繋ぐ役割を果たしている。各第 2 のコイルパターン 5 3 の他端には、端子 5 3 c の反対側となるループ内側の端子 5 3 d が設けられる。各第 2 のコイルパターン 5 3 の端

50

子 5 3 d は、図示しないパターンまたはジャンパ線で互いに結線される。

【 0 0 8 6 】

図 3 1 に示すように、各プリント基板 4 は、コイル群 5 が形成された表面 4 1 が内周に位置するようにかつ裏面 4 2 が外周に位置するように、右回りに巻き回されている。各プリント基板 4 は、コイル群 5 が形成された表面 4 1 が外周に位置するようにかつ裏面 4 2 が内周に位置するように、巻き回されてもよい。各プリント基板 4 は、図示しない治具の円筒面に沿って巻き回される。第 1 のプリント基板 4 A の周方向の一端 4 3 が第 2 のプリント基板 4 B の周方向の他端 4 4 に連続するように、第 1 のプリント基板 4 A および第 2 のプリント基板 4 B が連続して巻き回されている。これにより、円筒形状の多軸アクチュエータ用コイル 1 F が成形される。多軸アクチュエータ用コイル 1 F の外周面は、第 1 のプリント基板 4 A の裏面 4 2 および第 2 のプリント基板 4 B の裏面 4 2 となる。

10

【 0 0 8 7 】

直動コイル群 5 A は、回転コイル群 5 B の一部の外周に配置される。すなわち、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B の一部とは、周方向で一致する位置に配置されている。換言すると、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B の一部とは、半径方向に並べられて配置されている。半径方向に並べられて配置される直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B の一部との間には、第 2 のプリント基板 4 B が全周に亘って挟み込まれて配置されている。これにより、直動コイル群 5 A と回転コイル群 5 B との短絡を防止できる。

【 0 0 8 8 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 F の効果について説明する。

20

【 0 0 8 9 】

図 3 1 に示されるプリント基板 4 を円筒に複数回巻き回した場合には、プリント基板 4 の 1 周当たりの周長は、プリント基板 4 の外周側ほど長くなる。そのため、図 2 9 に示される回転コイル群 5 B のようにコイルパターン 5 1 の配列方向が周方向と一致し、かつ、各コイルパターン 5 1 の周方向の幅が等しい場合には、プリント基板 4 を円筒に巻き回す回数が増えるほど、同相のコイルパターン 5 1 が周方向にずれる位相ずれが生じる。また、位相ずれが生じることで 1 周ごとの電気的な位相が変化し、多軸アクチュエータの電磁気特性が低下しやすいという問題がある。

【 0 0 9 0 】

この点、本実施の形態では、図 2 9 および図 3 1 に示すように、巻き回されたプリント基板 4 の内周側に配置される回転コイル群 5 B は、コイルパターン 5 1 の配列方向が周方向と一致し、かつ、長辺部 5 1 a が周方向に対して直交する方向に延びている。つまり、位相ずれによる多軸アクチュエータ 1 0 0 F の電磁気特性の低下が顕著に表れやすい回転コイル群 5 B を、位相ずれの発生が抑制されるプリント基板 4 の内周側に配置する。この構成により、回転コイル群 5 B を巻き回されたプリント基板 4 の外周側に配置する場合に比べて、多軸アクチュエータ 1 0 0 F の電磁気特性の低下を抑制することができる。

30

【 0 0 9 1 】

なお、直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B のうちの一方のコイルパターン 5 1 が集中巻きでプリント基板 4 にプリントされ、直動コイル群 5 A および回転コイル群 5 B のうちの他方のコイルパターン 5 1 が分布巻きでプリント基板 4 にプリントされてもよい。

40

【 0 0 9 2 】

実施の形態 8 .

次に、図 3 2 から図 3 4 を参照して、実施の形態 8 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 G について説明する。図 3 2 は、実施の形態 8 にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 G を示した斜視図である。図 3 3 は、図 3 2 に示された X X X I I I - X X X I I I 線に沿った断面図である。図 3 4 は、図 3 2 に示された X X X I V - X X X I V 線に沿った断面図である。本実施の形態では、ロータコア 7 の外周に多軸アクチュエータ用コイル 1 G が配置されるムービングコイル型の多軸アクチュエータ 1 0 0 G である点が、前記した実施の形態 1 と相違する。なお、実施の形態 8 では、前記した実施の形態 1 と重複する部分については、同一符号を付して説明を省略する。

50

【 0 0 9 3 】

図 3 2 から図 3 4 に示すように、ハウジング 6、シャフト 1 0、軸受 1 1、第 1 の位置検出器 1 2 および第 2 の位置検出器 1 3 の構成は、前記した実施の形態 1 と同一である。

【 0 0 9 4 】

図 3 3 に示すように、ステータコア 9 は、フレーム 6 a の内周に配置されている。磁石 8 は、ステータコア 9 の内周に設けられている。磁石 8 は、半径方向において多軸アクチュエータ用コイル 1 G と対面する。

【 0 0 9 5 】

多軸アクチュエータ用コイル 1 G は、磁石 8 の内周に配置されている。多軸アクチュエータ用コイル 1 G は、磁石 8 と空隙を介して配置されている。多軸アクチュエータ用コイル 1 G は、直動コイル群 2 と、直動コイル群 2 の外周に配置される回転コイル群 3 とを備えている。

10

【 0 0 9 6 】

ロータコア 7 は、多軸アクチュエータ用コイル 1 G の内周に配置されている。換言すると、多軸アクチュエータ用コイル 1 G は、ロータコア 7 の外周に配置されている。

【 0 0 9 7 】

シャフト 1 0 は、ロータコア 7 の内周に配置されている。ロータコア 7 と多軸アクチュエータ用コイル 1 G とシャフト 1 0 とは、可動子を構成する。磁石 8 とステータコア 9 とフレーム 6 a とは、固定子を構成する。ロータコア 7 と多軸アクチュエータ用コイル 1 G とは、シャフト 1 0 と共に、周方向と軸方向とに移動する。

20

【 0 0 9 8 】

次に、本実施の形態にかかる多軸アクチュエータ 1 0 0 G の効果について説明する。

【 0 0 9 9 】

本実施の形態でも、可動子を複数方向に移動させながら、前記した実施の形態 1 と同一の効果を奏することができる。また、多軸アクチュエータ用コイル 1 G が巻数の少ない多軸アクチュエータ用コイルの場合、可動子が軽量化し、多軸アクチュエータ 1 0 0 G の応答性が向上する。さらに、多軸アクチュエータ用コイル 1 G を直接円筒成形する際、プリント基板 4 をロータコア 7 に直接巻き付けながら成形することが可能となり、成形用の円筒治具を別途用意する必要がなくなる。

【 0 1 0 0 】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 0 1 】

1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E, 1 F, 1 G 多軸アクチュエータ用コイル、2, 5 A 直動コイル群、2 a 直動コイル、2 b, 2 c, 5 1 c, 5 1 d コイル端、2 d, 8 e 軸中心、3, 5 B 回転コイル群、3 a 回転コイル、3 b, 5 1 a 長辺部、3 c, 5 1 b 短辺部、4 プリント基板、4 A 第 1 のプリント基板、4 B 第 2 のプリント基板、5 コイル群、6 ハウジング、6 a フレーム、6 b ブラケット、6 c 挿入孔、6 d 貫通孔、7 ロータコア、8 磁石、8 a 第 1 の磁石、8 b 第 2 の磁石、8 c 第 1 の中心、8 d 第 2 の中心、9 ステータコア、1 0 シャフト、1 1 軸受、1 2 第 1 の位置検出器、1 2 a 第 1 のスケール、1 2 b 第 1 のセンサ、1 3 第 2 の位置検出器、1 3 a 第 2 のスケール、1 3 b 第 2 のセンサ、4 1 表面、4 2 裏面、4 3 一端、4 4 他端、5 1 コイルパターン、5 2 第 1 のコイルパターン、5 2 a 第 1 の長辺部、5 2 b 第 1 の短辺部、5 2 c, 5 2 d, 5 3 c, 5 3 d 端子、5 3 第 2 のコイルパターン、5 3 a 第 2 の長辺部、5 3 b 第 2 の短辺部、5 4 スルーホール、5 5, 5 6 接続部、5 7 軸、1 0 0, 1 0 0 A, 1 0 0 B, 1 0 0 C, 1 0 0 D, 1 0 0 E, 1 0 0 F, 1 0 0 G 多軸アクチュエータ。

40

50

【要約】

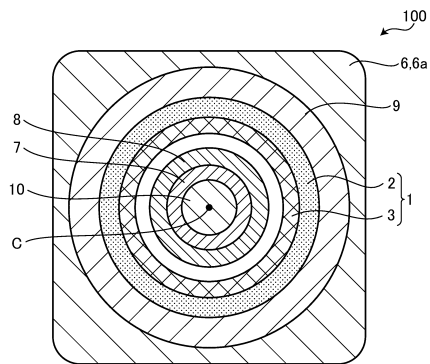
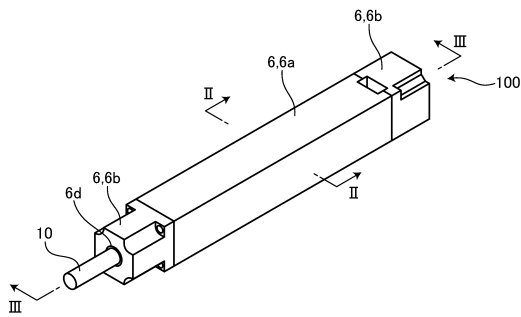
多軸アクチュエータ（100）は、多軸アクチュエータ用コイル（1）と、多軸アクチュエータ用コイル（1）の内周に配置されるシャフト（10）とを備えている。多軸アクチュエータ用コイル（1）は、シャフト（10）を軸方向に移動させる磁界を発生させる直動コイル群（2）と、直動コイル群（2）の内周または外周に配置されてシャフト（10）を周方向に移動させる磁界を発生させる回転コイル群（3）とを備えている。直動コイル群（2）は、軸方向に並べられて配置された複数の直動コイル（2a）を有している。各直動コイル（2a）は、周方向に延びている。各直動コイル（2a）は、周方向の一端と他端とに位置する2つのコイル端（2b, 2c）を有している。各直動コイル（2a）において2つのコイル端（2b, 2c）が成す周方向の第1の角度は、回転コイル群（3）の電気角周期と等しいか、または、回転コイル群（3）の電気角周期の整数倍である。

10

【図面】

【図1】

【図2】



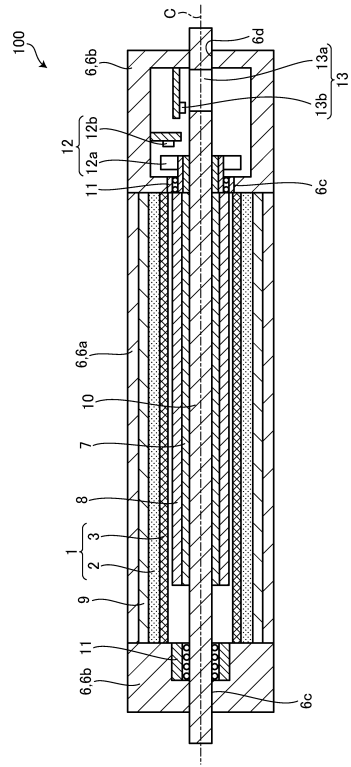
20

30

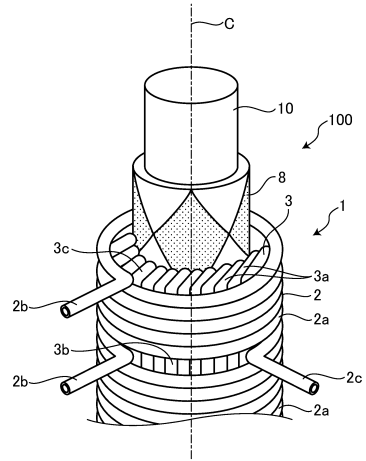
40

50

【図3】



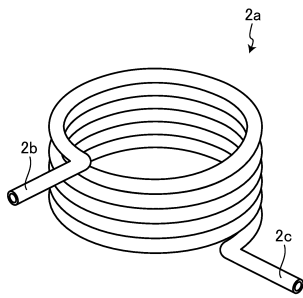
【図4】



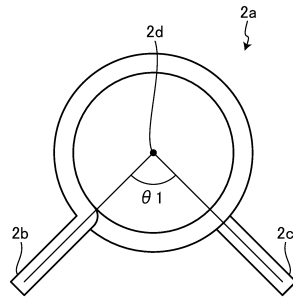
10

20

【図5】



【図6】

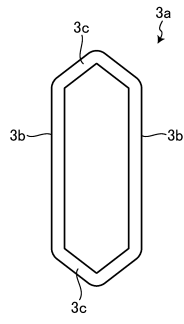


30

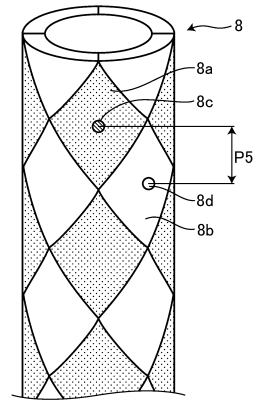
40

50

【 図 7 】



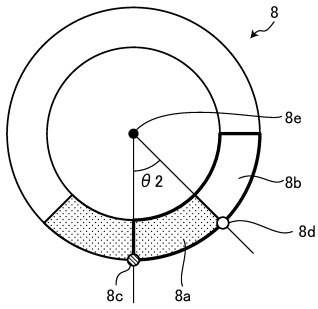
【 図 8 】



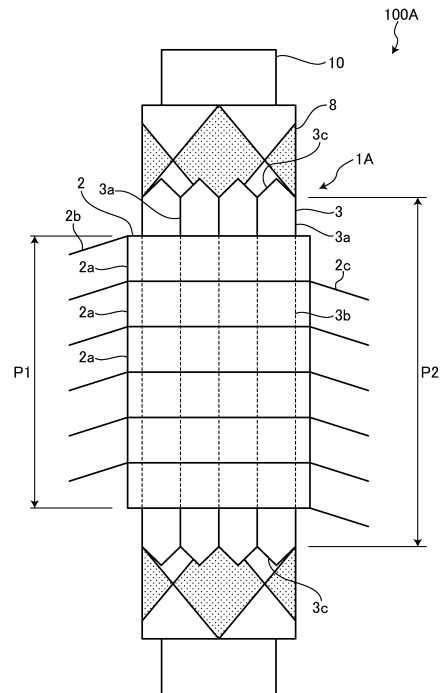
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

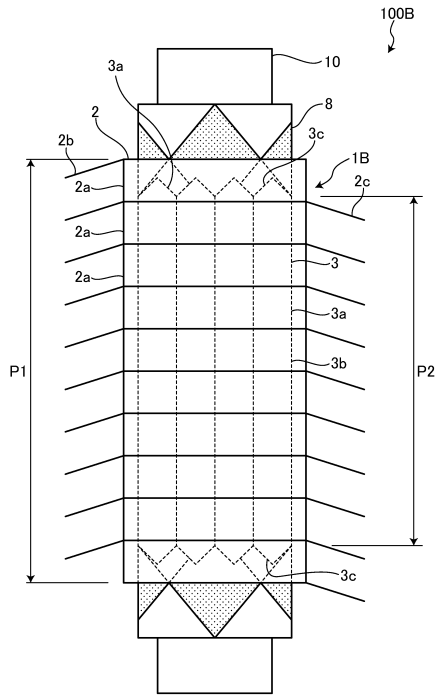


30

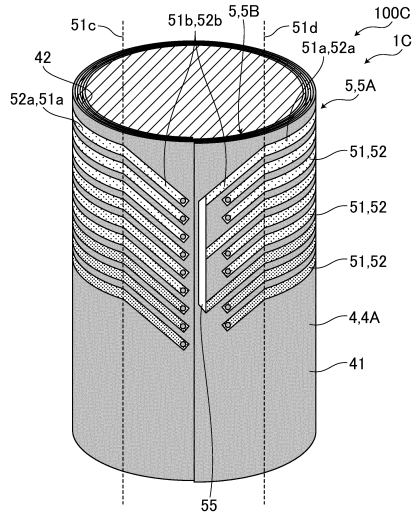
40

50

【図 1 1】



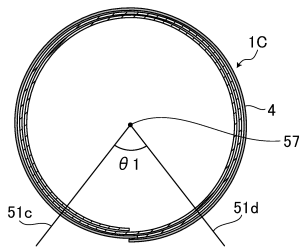
【図 1 2】



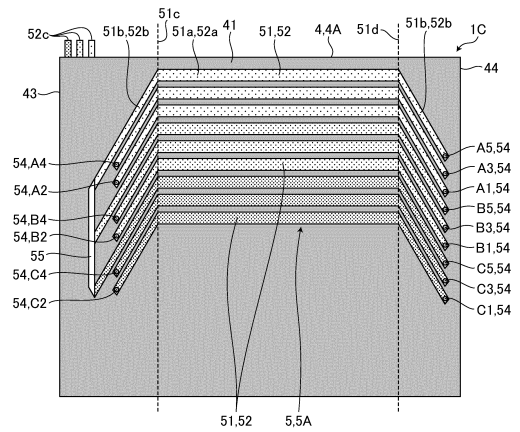
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

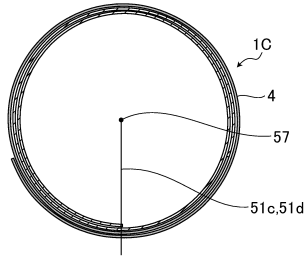


30

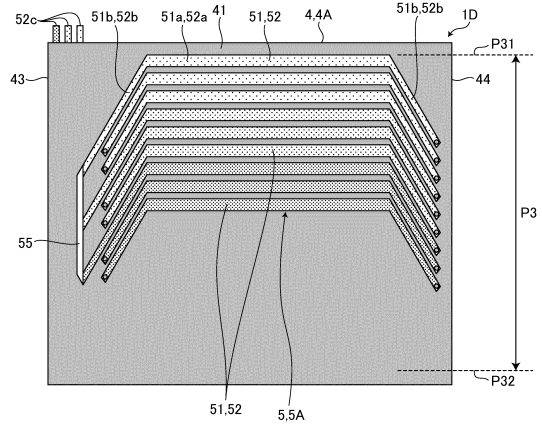
40

50

【 図 19 】

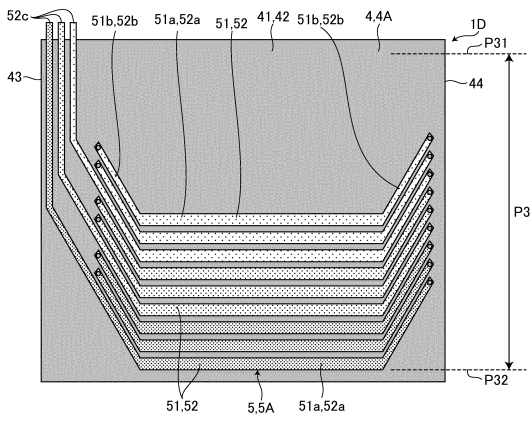


【 図 20 】

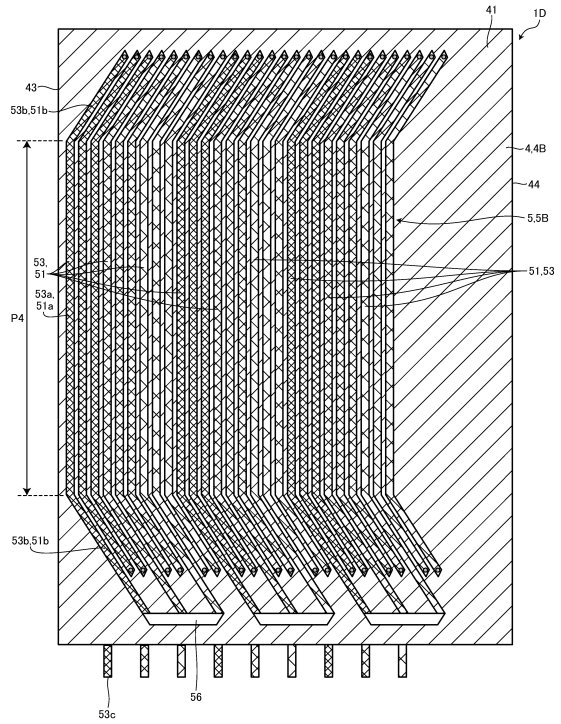


10

【 図 21 】



【 図 22 】



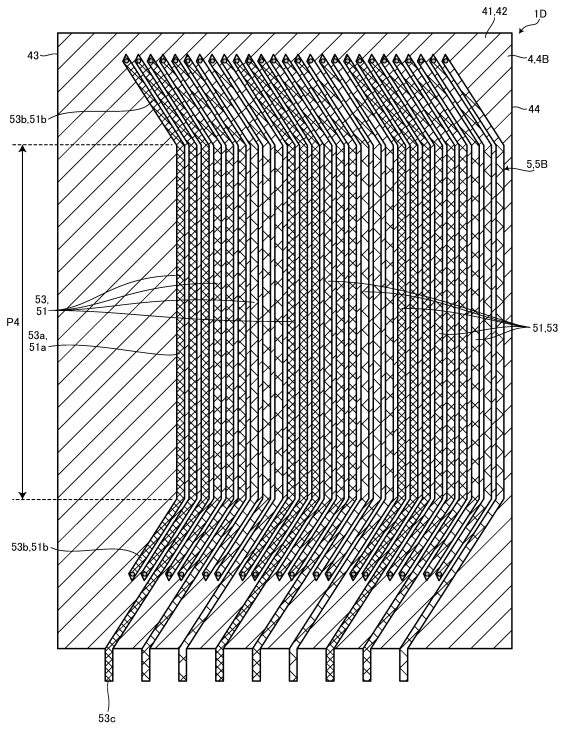
20

30

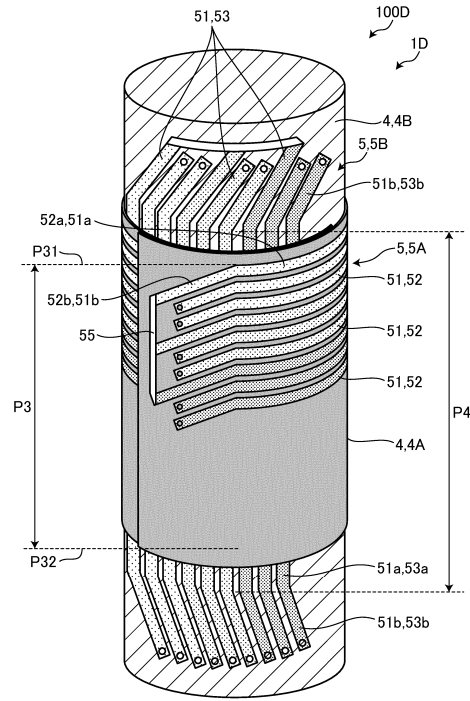
40

50

【 図 2 3 】



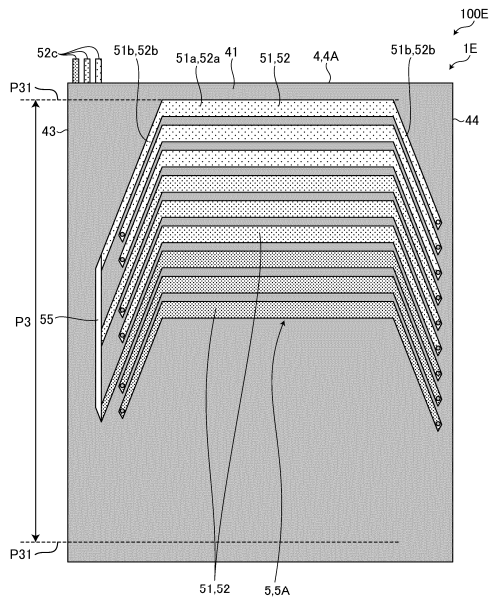
【 図 2 4 】



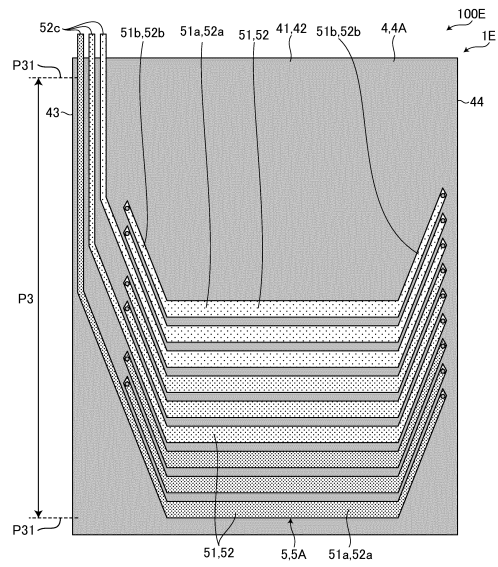
10

20

【 図 2 5 】



【 図 2 6 】

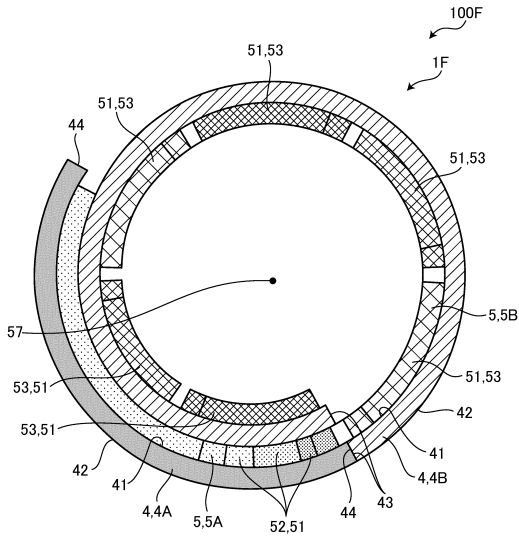


30

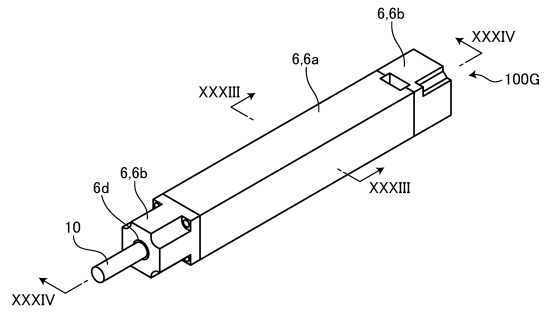
40

50

【 図 3 1 】



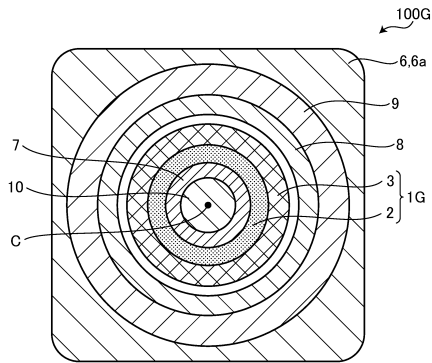
【 図 3 2 】



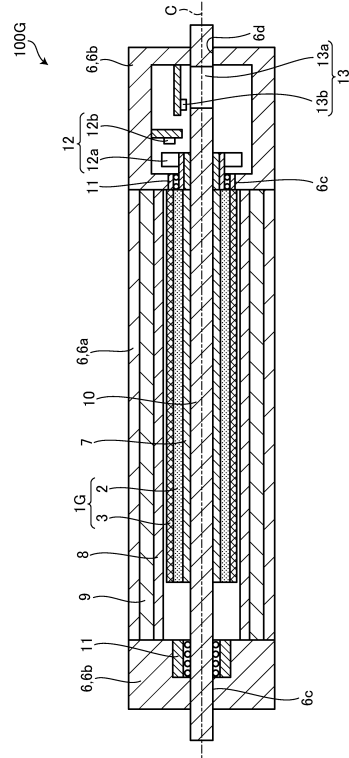
10

20

【 図 3 3 】



【 図 3 4 】



30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 池田 貴俊

- (56)参考文献 特開2011-239661(JP,A)
特開2008-253009(JP,A)
国際公開第2023/095285(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02K 41/03