

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7479835号
(P7479835)

(45)発行日 令和6年5月9日(2024.5.9)

(24)登録日 令和6年4月26日(2024.4.26)

(51)国際特許分類	F I	
B 6 5 G 54/02 (2006.01)	B 6 5 G 54/02	
H 0 2 K 41/02 (2006.01)	H 0 2 K 41/02	C
H 0 2 K 41/03 (2006.01)	H 0 2 K 41/03	A
H 0 1 L 21/677(2006.01)	H 0 1 L 21/68	A
F 1 6 C 32/04 (2006.01)	F 1 6 C 32/04	Z
請求項の数 14 (全30頁)		

(21)出願番号	特願2019-233231(P2019-233231)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和1年12月24日(2019.12.24)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2021-102495(P2021-102495		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
	A)	(74)代理人	100126240
(43)公開日	令和3年7月15日(2021.7.15)		弁理士 阿部 琢磨
審査請求日	令和4年12月19日(2022.12.19)	(74)代理人	100223941
			弁理士 高橋 佳子
		(74)代理人	100159695
			弁理士 中辻 七朗
		(74)代理人	100172476
			弁理士 富田 一史
		(74)代理人	100126974
			弁理士 大朋 靖尚
		(72)発明者	山本 武
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 搬送装置及び物品の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の方向に沿って複数のコイルが配置された固定子と、
前記第1の方向に沿って移動する可動子と、を備え、
前記固定子は、前記第1の方向に沿って配置され、一方向に着磁された複数の第1の磁石をさらに有し、
前記可動子は、
前記複数のコイルに対向するように配置された複数の第2の磁石と、
前記複数の第1の磁石と対向するように配置され、前記複数の第1の磁石と反発する方向に着磁された複数の第3の磁石と、を有し、
前記コイルと前記複数の第2の磁石との相互作用で発生する力と、前記複数の第1の磁石と前記複数の第3の磁石とが反発しあう力によって、浮上する方向の力が制御されることを特徴とする搬送装置。

【請求項2】

前記複数のコイルは、コアを有することを特徴とする請求項1に記載の搬送装置。

【請求項3】

前記複数の第3の磁石は、前記可動子の下面側に配置されていることを特徴とする請求項1または2に記載の搬送装置。

【請求項4】

前記複数の第3の磁石は、前記可動子の上面に対向する位置に配置されていることを特

徴とする請求項 1 乃至 3 いずれか一項に記載の搬送装置。

【請求項 5】

前記複数の第 1 の磁石の前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向における中心と、前記複数の第 3 の磁石の前記第 2 の方向における中心は、前記第 2 の方向においてずれていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 いずれか一項に記載の搬送装置。

【請求項 6】

前記複数の第 3 の磁石の少なくとも 1 つは、湾曲した形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 いずれか一項に記載の搬送装置。

【請求項 7】

前記複数の第 3 の磁石の少なくとも 1 つは、V 字状に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 いずれか一項に記載の搬送装置。

10

【請求項 8】

前記可動子は、側面に前記第 1 の方向に沿って配置され一方向に着磁された複数の第 4 の磁石をさらに有し、

前記固定子は、前記複数の第 4 の磁石と対向可能な位置に、前記複数の第 4 の磁石と反発する方向に着磁された複数の第 5 の磁石を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 いずれか一項に記載の搬送装置。

【請求項 9】

前記複数の第 2 の磁石は、前記第 1 の方向に沿って互いに磁極が異なるように配置された第 1 の磁石群と、前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向に沿って互いに磁極が異なるように配置された第 2 の磁石群と、を有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 いずれか一項に記載の搬送装置。

20

【請求項 10】

前記可動子は、前記コイルと前記第 1 の磁石群との相互作用で発生する力によって、前記第 1 の方向に沿って移動する力が制御されることを特徴とする請求項 9 に記載の搬送装置。

【請求項 11】

前記可動子は、前記コイルと前記第 1 の磁石群との相互作用で発生する力と、前記複数の第 1 の磁石と前記複数の第 3 の磁石とが反発しあう力によって、浮上する方向の力が制御されることを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の搬送装置。

【請求項 12】

30

請求項 1 乃至 11 いずれか一項に記載の搬送装置により搬送されたワークに加工を行ない、物品を製造することを特徴とする物品の製造方法。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載に搬送装置と、蒸着源と、を備える蒸着装置であって、

前記蒸着源が、前記複数の第 1 の磁石及び前記複数の第 3 の磁石よりも下方に設けられていることを特徴とする蒸着装置。

【請求項 14】

前記可動子は、前記蒸着源と、前記複数のコイルとの間を移動可能であることを特徴とする請求項 13 に記載の蒸着装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、搬送装置及び物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、工業製品を組み立てるための生産ラインや半導体露光装置等では、搬送装置が用いられている。特に、生産ラインにおける搬送装置は、ファクトリーオートメーション化された生産ライン内又は生産ラインの間の複数のステーションの間で、部品等のワークを搬送する。また、プロセス装置中の搬送装置として使われる場合もある。搬送装置とし

50

ては、可動磁石型リニアモータによる搬送装置が既に提案されている。

【 0 0 0 3 】

可動磁石型リニアモータによる搬送装置では、リニアガイド等の機械的な接触を伴う案内装置を使って搬送装置を構成する。しかしながら、リニアガイド等の案内装置を使った搬送装置では、リニアガイドの摺動部から発生する汚染物質、例えば、レールやベアリングの摩耗片や潤滑油、あるいはそれが揮発したもの等が生産性を悪化させるという問題があった。また、高速搬送時には摺動部の摩擦が大きくなってリニアガイドの寿命を小さくするという問題があった。

【 0 0 0 4 】

そこで、特許文献 1 には、搬送トレイを非接触で搬送可能な磁気浮上搬送装置が記載されている。文献 1 で記載されているような磁気浮上搬送装置は、搬送トレイの搬送方向に沿って、チャンバの上部には浮上用電磁石を、チャンバの側面には固定子コイルを一定間隔で並べることで非接触での搬送を実現させている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 文献 】 特表 2 0 1 6 - 5 3 2 3 0 8 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、生産ライン内又は生産ラインの間の複数のステーションの間でワーク等の可動子を搬送する場合、装置の立ち上げ時や電源が OFF にされた場合など電磁力による制御が行われていない場合はストッパに接触した状態に置かれる。その場合、接触時に摩耗片が発生する。あるいは非接触状態に移行する際に激しく衝突するなどしてストッパが破損する場合がある。

【 0 0 0 7 】

また、永久磁石吸引型の磁気浮上システムにおいては磁気吸引力が作るポテンシャルエネルギーが一般的に不安定なことから可動子に一定の剛性が必要でそれが可動子の大型化、重量化につながっていた。

【 0 0 0 8 】

本発明は、可動子を安定して搬送することが出来る搬送装置及び物品の製造方法を提供することを目的としている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明の搬送装置は、第 1 の方向に沿って複数のコイルが配置された固定子と、前記第 1 の方向に沿って移動する可動子と、を備え、前記固定子は、前記第 1 の方向に沿って配置され、一方向に着磁された複数の第 1 の磁石をさらに有し、前記可動子は、前記複数のコイルに対向するように配置された複数の第 2 の磁石と、前記複数の第 1 の磁石と対向するように配置され、前記複数の第 1 の磁石と反発する方向に着磁された複数の第 3 の磁石と、を有し、前記コイルと前記複数の第 2 の磁石との相互作用で発生する力と、前記複数の第 1 の磁石と前記複数の第 3 の磁石とが反発しあう力によって、浮上する方向の力が制御されることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

本発明の物品の製造方法は、上記の搬送装置により搬送されたワークに加工を行ない、物品を製造することを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、可動子を安定して非接触で搬送することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 2 A】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 2 B】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 3】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 4】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 5】本発明の第一の実施形態を示す概略図である。
【図 6】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 7】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 8 A】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 8 B】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 9 A】本発明の第一の実施形態説明する概略図である。
【図 9 B】本発明の第一の実施形態説明する概略図である。
【図 9 C】本発明の第一の実施形態説明する概略図である。
【図 10】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 11 A】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 11 B】本発明の第二の実施形態を説明する概略図である。
【図 12】本発明の第一の実施形態を説明する概略図である。
【図 13】本発明の第二の実施形態を説明する概略図である。
【図 14】本発明の第三の実施形態を説明する概略図である。
【図 15】固定子と可動子の状態を説明する図である。
【図 16】本発明の第四の実施形態を説明する概略図である。
【図 17】本発明の第五の実施形態を説明する概略図である。
【図 18】本発明の第六の実施形態を説明する概略図である。
【図 19】本発明の第七の実施形態を説明する概略図である。

10

20

【発明を実施するための形態】

【0013】

〔第一の実施形態〕

以下、図面を参照して本発明の第一の実施形態について図 1 乃至図 9 を用いて説明する。

【0014】

まず、本実施形態による搬送装置の全体構成について図 1 を用いて説明する。

30

【0015】

図 1 は本実施形態における可動子 101 および固定子 201 を含む搬送装置の全体構成を示す概略図である。

【0016】

図 1 に示すように、本実施形態による搬送装置 1 は、台車、スライダ又はキャリッジを構成する可動子 101 と、搬送路を構成する固定子 201 とを有している。固定子 201 に対して非接触で可動子 101 を搬送する磁気浮上型の搬送装置として構成されている。本実施形態では、搬送装置 1 の一例として、可動磁石型リニアモータ（ムービング永久磁石型リニアモータ、可動界磁型リニアモータ）による搬送装置を示すが、可動コイル型による搬送装置であってもよい。

40

【0017】

搬送装置 1 は、例えば、固定子 201 に対して可動子 101 を搬送することにより、可動子 101 とともに移動するワーク 102 を加工作業を施す加工装置に搬送する。そして、ワーク 102 に加工作業を施し、物品を製造する。本実施形態においては、加工装置の一例として、蒸着装置を示す。図 1 において、140 は蒸着源であり、固定子 201 がチャンバとなる。つまり、蒸着装置に、蒸着源に対して可動子 101 とともにワーク 102 を搬送する搬送装置 1 が備えられている。なお、図 1 では、固定子 201 に対して 1 台の可動子 101 を示しているが、これに限定されるものではない。搬送装置 1 においては、複数台の可動子 101 が固定子 201 に対して搬送されうる。

【0018】

50

ここで、以下の説明において用いる座標軸、方向等を定義する。まず、可動子 101 の搬送方向である水平方向に沿って X 軸をとり、可動子 101 の搬送方向を X 方向とする。また、X 方向と直交する方向である鉛直方向に沿って Z 軸をとり、鉛直方向を Z 方向とする。また、X 方向及び Z 方向に直交する方向に沿って Y 軸をとり、X 方向及び Z 方向に直交する方向を Y 方向とする。さらに、X 軸周りの回転を W_x 、Y 軸、Z 軸周りの回転を各々 W_y 、 W_z とする。また、乗算の記号として “*” を使用する。また、可動子 101 の中心を原点 O とし、Y+ 側を R 側、Y- 側を L 側として記載する。なお、可動子 101 の搬送方向は必ずしも水平方向である必要はないが、その場合も搬送方向を X 方向として同様に Y 方向及び Z 方向を定めることができる。

【0019】

次に、本実施形態による搬送装置 1 おける搬送対象である可動子 101 について図 1 及び図 2 を用いて説明する。

【0020】

なお、図 1 は可動子 101 及び固定子 201 を X 方向から見た図である。図 1 の左半分は図 2 の (B) - (B) 線に沿った断面を示している。また、図 1 の右半分は、図 2 の (A) - (A) 線に沿った断面を示している。

【0021】

永久磁石 103 L、103 R は、可動子 101 の X 方向に沿った上面の L 側および R 側の端部にそれぞれ配置されて取り付けられている。具体的には、可動子 101 の上面の R 側に、永久磁石 103 a R、103 b R、103 c R、103 d R が取り付けられている。また、可動子 101 の上面の L 側に、永久磁石 103 a L、103 b L、103 c L、103 d L が取り付けられている。なお、以下では、特に区別する必要がない限り、可動子 101 の上面の永久磁石を単に「永久磁石 103」と表記する。また、R 側と L 側とを区別する必要まではないが、各永久磁石 103 を個別に特定する必要がある場合、各永久磁石 103 に対する符号の末尾から R 又は L を除いた識別子としての小文字のアルファベットまでの符号を用いて各永久磁石 103 を個別に特定する。この場合、「永久磁石 103 a」、「永久磁石 103 b」、「永久磁石 103 c」又は「永久磁石 103 d」と表記して、各永久磁石 103 を個別に特定する。

【0022】

永久磁石 103 a R、103 d R は、可動子 101 の X 方向に沿った上面の R 側における X 方向の一方の端部及び他方の端部に取り付けられている。永久磁石 103 b R、103 c R は、可動子 101 の上面の R 側の永久磁石 103 a R、103 d R 間に取り付けられている。永久磁石 103 a R、103 b R、103 c R、103 d R は、例えば、X 方向に等ピッチに配置されている。また、永久磁石 103 a R、103 b R、103 c R、103 d R は、それぞれの中心が、例えば可動子 101 の上面の中心から R 側に所定距離 $r \times 3$ 離れた X 方向に沿った直線上に並ぶように配置されている。

【0023】

永久磁石 103 a L、103 d L は、可動子 101 の X 方向に沿った上面の L 側における X 方向の一方の端部及び他方の端部に取り付けられている。永久磁石 103 b L、103 c L は、可動子 101 の上面の L 側の永久磁石 103 a L、103 d L 間に取り付けられている。永久磁石 103 a L、103 b L、103 c L、103 d L は、例えば、X 方向に等ピッチに配置されている。また、永久磁石 103 a L、103 b L、103 c L、103 d L は、それぞれの中心が、例えば可動子 101 の上面の中心から L 側に所定距離 $r \times 3$ 離れた X 方向に沿った直線上に並ぶように配置されている。さらに、永久磁石 103 a L、103 b L、103 c L、103 d L は、X 方向においてそれぞれ永久磁石 103 a R、103 b R、103 c R、103 d R と同位置に配置されている。

【0024】

永久磁石 103 a、103 d は、それぞれ可動子 101 の中心である原点 O から X 方向の一方及び他方の側に距離 $r \times 3$ だけ離れた位置に取り付けられている。永久磁石 103 a、103 b、103 c、103 d は、それぞれ原点 O から Y 方向に距離 $r \times 3$ だけ離れ

10

20

30

40

50

た位置に取り付けられている。永久磁石 103c、103b は、それぞれ原点 O から X 方向の一方及び他方の側に距離 r_y だけ離れた位置に取り付けられている。

【0025】

永久磁石 103aR、103dR、103aL、103dL は、それぞれ Y 方向に沿って配置された 2 個の永久磁石のセットである。永久磁石 103a、103d は、それぞれ、固定子 201 側を向く外側の磁極の極性が交互に異なるように 2 個の永久磁石が Y 方向に沿って並べられて構成されたものである。なお、永久磁石 103a、103d を構成する Y 方向に沿って配置された永久磁石の数は、2 個に限定されるものではなく、複数個であればよい。また、永久磁石 103a、103d を構成する永久磁石が配置される方向は、必ずしも搬送方向である X 方向と直交する Y 方向である必要はなく、X 方向と交差する方向であればよい。すなわち、永久磁石 103a、103d は、それぞれ磁極の極性が交互になるように X 方向と交差する方向に沿って配置された複数の永久磁石からなる磁石群であればよい。

10

【0026】

一方、永久磁石 103bR、103cR、103bL、103cL は、それぞれ X 方向に沿って配置された 3 個の永久磁石のセットである。永久磁石 103b、103c は、それぞれ、固定子 201 側を向く外側の磁極の極性が交互に異なるように 3 個の永久磁石が X 方向に沿って並べられて構成されている。なお、永久磁石 103b、103c を構成する X 方向に沿って配置された永久磁石の数は、3 個に限定されるものではなく、複数個であればよい。すなわち、永久磁石 103b、103c は、磁極の極性が交互になるように X 方向に沿って配置された複数の永久磁石からなる磁石群であればよい。

20

【0027】

各永久磁石 103 は、可動子 101 の上面の R 側及び L 側に設けられたヨーク 107 に取り付けられている。ヨーク 107 は、透磁率の大きな物質、例えば鉄で構成されている。

【0028】

こうして、可動子 101 には、可動子 101 の X 軸に沿った中心軸を対称軸として、複数の永久磁石 103 が、可動子 101 の上面の R 側及び L 側に対称に配置されている。永久磁石 103 が配置された可動子 101 は、後述するように、固定子 201 の複数のコイル 202 に電流を流すことにより永久磁石 103 が受ける力（電磁力）により姿勢が 6 軸制御されつつ移動可能に構成されている。

30

【0029】

また、可動子 101 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 108 が 2 列配置されて取り付けられている。具体的には、可動子 101 の下面の R 側に、永久磁石 108R が取り付けられている。また、可動子 101 の下面の L 側に、永久磁石 108L が取り付けられている。なお、以下では、特に区別する必要がない限り、可動子 101 の下面の永久磁石を単に「永久磁石 108」と表記する。

【0030】

それぞれの永久磁石 108 は、可動子 101 の下面の R 側及び L 側に設けられたヨーク 106R、106L に取り付けられている。ヨーク 106R、106L は、透磁率の大きな物質、例えば鉄で構成されている。

40

【0031】

この永久磁石 108 と、後述する固定子 201 に設けられた永久磁石 127 との間に生じる反発力より、電源が OFF にされた場合など電磁力による制御が行われていない場合であっても可動子の位置を保つことが可能になる。つまり、永久磁石 108 と、固定子 201 に設けられた永久磁石 127 との間に、重力の方向と平行な方向に反発しあう力を生じさせることができる。つまり、複数の永久磁石 127 を、一方向に着磁させ、複数の永久磁石 127 と対向する複数の永久磁石 108 を、前記一方向に着磁された複数の永久磁石 127 と反発する方向に着磁させることにより反発しあう力を生じさせることができる。

【0032】

可動子 101 は、その上面あるいは下面に搬送すべきワーク 102 を載置あるいは装着

50

した状態で搬送される。可動子 101 は、例えば、ワークホルダ等のワーク 102 を可動子 101 上に保持する保持機構を有していてもよい。

【0033】

また可動子 101 は、可動子アダプタ 105 (105 L、105 R) に取り付けられていてもよい。この場合、永久磁石 103 L、108 L は、可動子アダプタ 105 L に取り付けられ、永久磁石 103 R、108 R は、可動子アダプタ 105 R に取り付けられる。

【0034】

可動子 101 が可動子アダプタを有していると、可動子 101 の形状が変化しても可動子アダプタ 105 に取り付け可能であれば可動子 101 の設計を変更することなく搬送が可能である。本明細書において、可動子 101 は、保持機構を含んでいてもよく、可動子アダプタ 105 を含んでいてもよい。

10

【0035】

可動子アダプタ 105 L、105 R は、それぞれ、上面 (105 a L、105 a R)、下面 (105 b L、105 b R)、側面 (105 c L、105 c R) を有している。本実施形態においては、側面 (105 c L、105 c R) のそれぞれに、側面 (105 c L、105 c R) から突出する凸部 (105 d L、105 d R) を備えている。そして、固定子 201 に取り付けられたストッパ 124 の、上側突出部 124 a と下側突出部 124 b との間に前記凸部 105 a が突き出すようにしておく。これにより、可動子 101 の浮上状態が変化してもストッパ 124 によって可動範囲 (上側突出部 124 a と下側突出部 124 b との間) を規制することが出来る。

20

【0036】

次に、本実施形態による搬送装置 1 における固定子 201 について図 1、図 3、及び図 10 を用いて説明する。

【0037】

図 3 は、固定子 201 のコイル 202 を示す概略図である。なお、図 3 は、コイル 202 を Z 方向下から上に向かって見た図である。

【0038】

図 3 における固定子 201 は、可動子 101 の搬送方向である X 方向に沿って、複数のコイル 202 がそれぞれ配置されている例を示している。固定子 201 には、複数のコイル 202 が可動子 101 の上面の L 側および R 側に配置された永久磁石 103 L、103 R と対向するように取り付けられている。L 側の永久磁石 103 L に対向して配置されるコイルを 202 L、R 側の永久磁石 103 R に対向して配置されるコイルを 202 R、と表記する。なお、以下では、特に区別する必要がない限り、コイルを単に「コイル 202」と表記する。固定子 201 は搬送方向である X 方向に延在して可動子 101 の搬送路を形成する。

30

【0039】

図 1 に示すように、固定子 201 に沿って搬送される可動子 101 は、L 側に、リニアスケール 111 L と、Y ターゲット 110 L と、Z ターゲット 109 L とを有している。同様に、R 側には、Z ターゲット 109 R (不図示) とを有している。なお、以下では、特に区別する必要がない限り、リニアスケールを単にリニアスケール 111、Y ターゲットを単に Y ターゲット 110 及び Z ターゲットを単に Z ターゲット 109 と表記する。リニアスケール 111、Y ターゲット 110 及び Z ターゲット 109 は、それぞれ例えば可動子 101 の側面に X 方向に沿って取り付けられている。本明細書において Y ターゲットとは、Y センサの目標となる突起であり、Y センサと Y ターゲットとの距離を検知することにより、Y 方向の位置を求めることができる。同様に Z ターゲットとは、Z センサの目標となる突起であり、Z センサと Z ターゲットとの距離を検知することにより、Z 方向の位置を求めることができる。

40

【0040】

図 1 に示すように、固定子 201 は、L 側に、複数のコイル 202 L と、複数のリニアエンコーダ 204 L と、複数の Y センサ 122 L と、複数の Z センサ 121 L とを有して

50

いる。同様に、R側には、複数のコイル202Rと、複数のZセンサ121Rとを有している。なお、以下では、特に区別する必要がない限り、コイルを単にコイル202、リニアエンコーダを単にリニアエンコーダ204、Yセンサを単にYセンサ122及びZセンサを単にZセンサ121と表記する。

【0041】

複数のコイル202は、可動子101の上面のR側及びL側の永久磁石103と対向可能なように、X方向に沿って2列に配置されて固定子201に取り付けられている。R側において1列に配置された複数のコイル202Rは、可動子101のR側の永久磁石103aR、103bR、103cR、103dRと対向可能にX方向に沿って配置されている。また、L側において1列に配置された複数のコイル202Lの可動子と対向する面は、可動子101のL側の永久磁石103aL、103bL、103cL、103dLと対向可能にX方向に沿って配置されている。

10

【0042】

本実施形態では、可動子101のR側及びL側のコイル202の列が、それぞれ、互いに構成する複数の永久磁石の配置方向が異なる永久磁石103a、103d及び永久磁石103b、103cに対向可能に配置されている。このため、少ない列数のコイル202で、後述するように可動子101に対して搬送方向及び搬送方向とは異なる力を印加することができ、よって可動子101の搬送制御及び姿勢制御を実現することができる。

【0043】

こうして、複数のコイル202は、可動子101が搬送される方向に沿って取り付けられている。複数のコイル202は、X方向に所定の間隔で並べられている。また、各コイル202は、その中心軸がZ方向を向くように取り付けられている。なお、コイル202は、コアにコイルが巻かれており、本実施形態において、コイルの位置とは、コアの位置を示す。

20

【0044】

複数のコイル202は、例えば3個ずつの単位で電流制御されるようになっている。そのコイル202の通電制御される単位を「コイルユニット203」と記載する。コイル202は、通電されることにより、可動子101の永久磁石103との間で電磁力を発生して可動子101に対して力を印加することができる。

【0045】

図1～図3において、永久磁石103a、103dは、それぞれY方向に2個の永久磁石が並べられた磁石群により構成されている。これに対して、各コイル202は、永久磁石103a、103dの2個の永久磁石のY方向の中心がコイル202のY方向の中心と合致するように配置されている。永久磁石103a、103dに対向するコイル202に通電することで、永久磁石103a、103dに対してY方向に力を発生する。

30

【0046】

また、永久磁石103b、103cは、X方向に3個の永久磁石が並べられた磁石群により構成されている。これに対して、永久磁石103b、103cに対向するコイル202に通電することで、永久磁石103b、103cに対してX方向及びZ方向に力を発生する。

40

【0047】

複数のリニアエンコーダ204は、それぞれ可動子101のリニアスケール111と対向可能なようにX方向に沿って固定子201に取り付けられている。各リニアエンコーダ204は、可動子101に取り付けられたリニアスケール111を読み取ることで、可動子101のリニアエンコーダ204に対する相対的な位置を検出して出力することができる。

【0048】

複数のYセンサ122は、それぞれ可動子101のYターゲット105と対向可能なようにX方向に沿って固定子201に取り付けられている。各Yセンサ122は、可動子101に取り付けられたYターゲット110との間のY方向の相対距離を検出して出力する

50

ことができる。

【 0 0 4 9 】

複数の Z センサ 1 2 1 は、それぞれ可動子 1 0 1 の Z ターゲット 1 0 9 と対向可能なように X 方向に沿って固定子 2 0 1 に 2 列に取り付けられている。各 Z センサ 1 2 1 は、可動子 1 0 1 に取り付けられた Z ターゲット 1 0 9 との間の Z 方向の相対距離を検出して出力することができる。

【 0 0 5 0 】

図 1 0 は、固定子 2 0 1 の永久磁石 1 2 7 L、1 2 7 R を示す概略図である。なお、図 1 0 は、永久磁石 1 2 7 L、1 2 7 R を Z 方向上から下に向かって見た図である。

【 0 0 5 1 】

図 1 0 における固定子 2 0 1 には、複数の永久磁石 1 2 7 が、可動子 1 0 1 の下面の L 側および R 側に配置された永久磁石 1 0 8 L、1 0 8 R と対向するように取り付けられている。L 側の永久磁石 1 0 8 L に対向して配置される永久磁石を 1 2 7 L、R 側の永久磁石 1 0 8 R に対向して配置される永久磁石を 1 2 7 R、と表記する。永久磁石 1 2 7 L は、固定子 2 0 1 に設けられたヨーク 1 2 6 L に取り付けられていてもよい。永久磁石 1 2 7 R は、固定子 2 0 1 に設けられたヨーク 1 2 6 R に取り付けられていてもよい。ヨーク 1 2 6 は、透磁率の大きな物質、例えば鉄で構成されている。永久磁石 1 2 7 L はブラケット 1 2 5 L を介して固定子に取り付けられていてもよく、永久磁石 1 2 7 R はブラケット 1 2 5 R を介して固定子に取り付けられていてもよい。

【 0 0 5 2 】

なお、以下では、特に区別する必要がない限り、永久磁石を単に「永久磁石 1 2 7」と表記する場合がある。

【 0 0 5 3 】

図 1 において、永久磁石 1 0 8 L、1 0 8 R と永久磁石 1 2 7 L、1 2 7 R の内部の矢印は各々の永久磁石の着磁方向を示している。例えば矢印の先が N 極矢印の根本が S 極である。図 1 にあるように永久磁石 1 0 8 L と永久磁石 1 2 7 L は着磁方向が Z 方向に逆方向を向いている。従って、永久磁石 1 0 8 L と永久磁石 1 2 7 L は近づくお互いに反発する方向に力が大きくなる。同様に、永久磁石 1 0 8 R と永久磁石 1 2 7 R は着磁方向が Z 方向に逆方向を向いている。従って、永久磁石 1 0 8 R と永久磁石 1 2 7 R は近づくお互いに反発する方向に力が大きくなる。

【 0 0 5 4 】

永久磁石 1 0 8 L と対向する位置であってストッパ 1 2 4 による Z 方向の可動範囲より離れた位置に、永久磁石 1 2 7 L が固定子 2 0 1 に取り付けられている。同様に、永久磁石 1 0 8 R と対向する位置であってストッパ 1 2 4 による可動範囲より離れた位置に、永久磁石 1 2 7 R が固定子 2 0 1 に取り付けられている。

【 0 0 5 5 】

さらに、永久磁石 1 0 8 L と永久磁石 1 2 7 L、永久磁石 1 0 8 R と永久磁石 1 2 7 R はその中心位置が Y 方向に予めずらして配置されている。図 1 では永久磁石 1 2 7 L が永久磁石 1 0 8 L より外側に配置されている。同様に永久磁石 1 2 7 R が永久磁石 1 0 8 R より外側に配置されている。このように配置することで後述するように Y 方向にもポテンシャルエネルギーが極小になる位置がありその位置の周りにおいてコイル 2 0 2 が通電されていない状態においても可動子 1 0 1 の位置が Y 方向に安定した位置を維持できる。

【 0 0 5 6 】

この可動子と固定子の状態を、図 1 5 を用いて説明する。

【 0 0 5 7 】

図 1 5 は永久磁石間に働く力の大きさの実験結果の一例である。

【 0 0 5 8 】

図 1 5 は横軸に Z 方向の位置、縦軸に Z 方向に受ける力の大きさをプロットしてある。

【 0 0 5 9 】

コイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 との間に働く吸引力の大きさは 1 5 0 1、永久磁石 1 0

10

20

30

40

50

8と永久磁石127との間に働く反発力の大きさは1502であり、両者とも上方向に受ける力である。例えば可動子101の質量が1500kgであった場合、合力1503が15000Nであるときに $Z = Z_t$ および $Z = Z_b$ 近傍で力は釣り合う。

【0060】

特に $Z = Z_b$ 近傍では、 Z が Z_b より小さくなると合力1503は可動子101がうける重力より大きくなり上方向に加速度が発生する。逆に Z が Z_b より大きくなると合力1503は可動子101が受ける重力よりも小さくなるので下方向に加速される。そのため、 $Z = Z_b$ 付近では位置が安定する。

【0061】

また、実験の結果から吸引力1501は Z が $Z+$ 方向になるとそのグラフの勾配が大きくなる。また同様に永久磁石同士の反発力1502のグラフの勾配は Z が $Z-$ 方向になるとグラフの傾きが大きくなることが分かった。

10

【0062】

このことから、コイル202およびそれと対向する永久磁石103、永久磁石108と対向する永久磁石127の位置と大きさを適切に選択すればコイル202に通電しない状態でもその位置を安定させられることが分かる。

【0063】

以上を、図11Aを用いてポテンシャルエネルギーの考え方に基づいて詳細に説明する。

【0064】

図11Aは可動子101が受ける力の大きさを模式的に表した図である。

20

【0065】

図11Aは横軸に $Z+$ 、縦軸には可動子101が Z 方向に受ける力の大きさ F_z および可動子101のポテンシャルエネルギー Z をとる。

【0066】

以下、コイル202には通電しない状態において受ける力について説明する。

【0067】

可動子101が受ける力の大きさ(F_z)は、永久磁石103がコイル202に吸引される力(F_a)、永久磁石108が永久磁石127に押し上げられる力(F_b)、重力($-mg$)がある。コイル202はコアを有するのでコイルに電流を印加しない状態でも吸引力が働く。

30

$$F_z = F_a + F_b - mg$$

【0068】

図11Aでは簡単のため、 F_b の符号を反転してプロットしてある。

$$F_a - mg : 1101a$$

$$-F_b : 1102a$$

とすると

$$F_z = F_a + F_b - mg = (F_a - mg) - (-F_b)$$

となるので、 F_z は図中1106aで示される矢印の大きさになる。すなわち、 $Z = Z_b$ から $Z = Z_t$ の区間では下向き、それ以外の区間では上向きの力を受けることになる。

【0069】

40

これをポテンシャルエネルギー Z で説明する。

【0070】

可動子101が持つポテンシャルエネルギー Z は、可動子101が受ける力(F)に対抗して移動させる力の積分で定義されるので、 \int を積分記号として

$$Z = - \int (F_a + F_b - mg) dz + \text{定数}$$

で定義される。

【0071】

定数を適当にとるとポテンシャルエネルギー Z (1103a)は図のようになり、 $Z = Z_b$ で極小値、 $Z = Z_t$ で極大値をとる。物体はポテンシャルエネルギーが極小となる位置で安定化するので $Z = Z_b$ で安定化する。

50

【 0 0 7 2 】

ここで、ストッパ 1 2 4 の位置を調整して可動子 1 0 1 の可動範囲を 1 1 0 7 a から 1 1 0 8 a の範囲に限定すれば可動子 1 0 1 はコイル 2 0 2 による電氣的な制御が停止された場合でも $Z = Z_b$ の位置で安定する。

【 0 0 7 3 】

同様に、可動子 1 0 1 が Y 方向に受ける力の大きさを図 1 2 において説明する。

【 0 0 7 4 】

ここで、可動子 1 0 1 のポテンシャルエネルギー y を

$$y = - (F_y L + F_y R) dy + \text{定数}$$

で定義する。

10

【 0 0 7 5 】

$F_y L$ は L 側の永久磁石（永久磁石 1 2 7 L と永久磁石 1 0 8 L）から受ける Y 方向の力、 $F_y R$ は R 側の永久磁石（永久磁石 1 2 7 R と永久磁石 1 0 8 R）から受ける Y 方向の力の大きさである。

【 0 0 7 6 】

今、 $F_y L$ （1 2 0 1）は正方向にとり、 $F_y R$ （1 2 0 2）は符号を反転して記載することに注意すれば

$$y = - (F_y L - (-F_y R)) dy + \text{定数}$$

となるのでポテンシャルエネルギー y は矢印 1 1 2 2 を積分したものになり Y （1 2 0 3）のような形状になる。

20

【 0 0 7 7 】

y （1 2 0 3）は $Y = Y_c$ で極小値をとるので Z 方向と同様、可動子 1 0 1 は $Y = Y_c$ の位置で安定する。

【 0 0 7 8 】

以上の構成を取れば、可動子 1 0 1 はコイル 2 0 2 に通電しない状態においても $Z = Z_b$ 、 $Y = Y_c$ の位置で安定する。

【 0 0 7 9 】

本実施形態では永久磁石 1 2 7 の中心と永久磁石 1 0 8 の中心は、搬送方向（X 方向）と交差する方向（Y 方向）の位置をずらして配置することで Y 方向に制御可能であり、安定させることができる。つまり、搬送方向（X 方向）と交差する方向（Y 方向）の位置を所定距離シフトさせて配置することで Y 方向に制御可能であり安定させることができる。しかしこれに限らず、例えば Y 方向にも別途永久磁石を設置して互いに反発するように構成することで位置を安定させることも出来る。

30

【 0 0 8 0 】

本実施形態では図 1 1 A にあるようにポテンシャルエネルギー Z の極大値をとる位置（ Z_t ）と極小値を取る位置（ Z_b ）は

$$Z_b < Z_t$$

の関係にある。この場合反発用の永久磁石（永久磁石 1 2 7、1 0 8）が無い場合の $F_z - mg = 0$ となる位置、すなわちコイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 との間の吸引力が可動子 1 0 1 の重力と釣り合う位置（ Z_0 ）よりも可動子 1 0 1 はコイル 2 0 2 から離れた位置にある。

40

【 0 0 8 1 】

この構成ではコイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 との間に働く推力定数は $Z = Z_0$ にある時よりも小さくなるのでその分可動子 1 0 1 を搬送する際の電流は $Z = Z_0$ にある時よりも大きくなる場合がある。

【 0 0 8 2 】

次に、本実施形態による搬送装置 1 を制御する制御システムについてさらに図 4 を用いて説明する。図 4 は、本実施形態による搬送装置を制御する制御システムを示す概略図である。

【 0 0 8 3 】

50

図 4 に示すように、制御システムは、統合コントローラ 3 0 1 と、コイルコントローラ 3 0 2 と、センサコントローラ 3 0 4 とを有し、可動子 1 0 1 と固定子 2 0 1 とを含む搬送装置を制御する制御装置として機能する。統合コントローラ 3 0 1 には、コイルコントローラ 3 0 2 が通信可能に接続されている。また、統合コントローラ 3 0 1 には、センサコントローラ 3 0 4 が通信可能に接続されている。

【 0 0 8 4 】

コイルコントローラ 3 0 2 には、複数の電流コントローラ 3 0 3 が通信可能に接続されている。コイルコントローラ 3 0 2 及びこれに接続された複数の電流コントローラ 3 0 3 は、2 列のコイル 2 0 2 (図 1 参照) のそれぞれの列に対応して設けられている。各電流コントローラ 3 0 3 には、複数のコイル 2 0 2 (図 1 参照) によるコイルユニット 2 0 3 が接続されている。電流コントローラ 3 0 3 は、接続されたコイルユニット 2 0 3 の各々のコイル 2 0 2 の電流の大きさを制御することができる。

10

【 0 0 8 5 】

コイルコントローラ 3 0 2 は、接続された各々の電流コントローラ 3 0 3 に対して目標となる電流値を指令する。電流コントローラ 3 0 3 は接続されたコイル 2 0 2 の電流量を制御する。

【 0 0 8 6 】

コイル 2 0 2 は、可動子 1 0 1 が搬送される X 方向の可動子 1 0 1 の上面の両側に取り付けられている。

【 0 0 8 7 】

20

センサコントローラ 3 0 4 には、複数のリニアエンコーダ 2 0 4、複数の Y センサ 1 2 2 及び複数の Z センサ 1 2 1 が通信可能に接続されている。

【 0 0 8 8 】

複数のリニアエンコーダ 2 0 4 は、可動子 1 0 1 が搬送中もそのうちの 1 つが必ず 1 台の可動子 1 0 1 の位置を測定できるような間隔で固定子 2 0 1 に取り付けられている。また、複数の Y センサ 1 2 2 は、そのうちの 2 つが必ず 1 台の可動子 1 0 1 の Y ターゲット 1 0 5 を測定できるような間隔で固定子 2 0 1 に取り付けられている。また、複数の Z センサ 1 2 1 は、その 2 列のうちの 3 つが必ず 1 台の可動子 1 0 1 の Z ターゲット 1 0 9 を測定できるような間隔で固定子 2 0 1 に取り付けられている。

【 0 0 8 9 】

30

統合コントローラ 3 0 1 は、リニアエンコーダ 2 0 4、Y センサ 1 2 2 及び Z センサ 1 2 1 からの出力に基づき、複数のコイル 2 0 2 に印加する電流指令値を決定して、コイルコントローラ 3 0 2 に送信する。コイルコントローラ 3 0 2 は、統合コントローラ 3 0 1 からの電流指令値に基づき、上述のように電流コントローラ 3 0 3 に対して電流値を指令する。これにより、統合コントローラ 3 0 1 は、制御装置として機能し、固定子 2 0 1 に沿って可動子 1 0 1 を非接触で搬送するとともに、搬送する可動子 1 0 1 の姿勢を 6 軸で制御する。

【 0 0 9 0 】

以下、統合コントローラ 3 0 1 により実行される可動子 1 0 1 の姿勢制御方法について図 5 を用いて説明する。図 5 は、本実施形態による搬送装置 1 における可動子 1 0 1 の姿勢制御方法を示す概略図である。図 5 は、可動子 1 0 1 の姿勢制御方法の概略について主にそのデータの流れに着目して示している。統合コントローラ 3 0 1 (図 4 参照) は、以下に説明するように、可動子位置算出関数 4 0 1、可動子姿勢算出関数 4 0 2、可動子姿勢制御関数 4 0 3 及びコイル電流算出関数 4 0 4 を用いた処理を実行する。これにより、統合コントローラ 3 0 1 は、可動子 1 0 1 の姿勢を 6 軸で制御しつつ、可動子 1 0 1 の搬送を制御する。なお、統合コントローラ 3 0 1 に代えて、コイルコントローラ 3 0 2 が統合コントローラ 3 0 1 と同様の処理を実行するように構成することもできる。

40

【 0 0 9 1 】

まず、可動子位置算出関数 4 0 1 は、複数のリニアエンコーダ 2 0 4 からの測定値及びその取り付け位置の情報から、搬送路を構成する固定子 2 0 1 上にある可動子 1 0 1 の台

50

数及び位置を計算する。これにより、可動子位置算出関数 4 0 1 は、可動子 1 0 1 に関する情報である可動子情報 4 0 6 の可動子位置情報 (X) 及び台数情報を更新する。可動子位置情報 (X) は、固定子 2 0 1 上の可動子 1 0 1 の搬送方向である X 方向における位置を示している。可動子情報 4 0 6 は、例えば図 5 中に P O S - 1、P O S - 2、... と示すように固定子 2 0 1 上の可動子 1 0 1 ごとに用意される。

【 0 0 9 2 】

次いで、可動子姿勢算出関数 4 0 2 は、可動子位置算出関数 4 0 1 により更新された可動子情報 4 0 6 の可動子位置情報 (X) から、各々の可動子 1 0 1 を測定可能な Y センサ 1 2 2 及び Z センサ 1 2 1 を特定する。次いで、可動子姿勢算出関数 4 0 2 は、特定された Y センサ 1 2 2 及び Z センサ 1 2 1 から出力される値に基づき、各々の可動子 1 0 1 の姿勢に関する情報である姿勢情報 (Y , Z , W x , W y , W z) を算出して可動子情報 4 0 6 を更新する。可動子姿勢算出関数 4 0 2 により更新された可動子情報 4 0 6 は、可動子位置情報 (X) 及び姿勢情報 (Y , Z , W x , W y , W z) を含んでいる。

10

【 0 0 9 3 】

次いで、可動子姿勢制御関数 4 0 3 は、可動子位置情報 (X) 及び姿勢情報 (Y , Z , W x , W y , W z) を含む現在の可動子情報 4 0 6 及び姿勢目標値から、各々の可動子 1 0 1 について印加力情報 4 0 8 を算出する。印加力情報 4 0 8 は、各々の可動子 1 0 1 に印加すべき力の大きさに関する情報である。印加力情報 4 0 8 は、後述する印加すべき力 T の力の 3 軸成分 (T x , T y , T z) 及びトルクの 3 軸成分 (T w x , T w y , T w z) に関する情報を含んでいる。印加力情報 4 0 8 は、例えば図 5 中に T R Q - 1、T R Q - 2、... と示すように固定子 2 0 1 上の可動子 1 0 1 ごとに用意される。

20

【 0 0 9 4 】

次いで、コイル電流算出関数 4 0 4 は、印加力情報 4 0 8 及び可動子情報 4 0 6 に基づき、各コイル 2 0 2 に印加する電流指令値 4 0 9 を決定する。

【 0 0 9 5 】

こうして、統合コントローラ 3 0 1 は、可動子位置算出関数 4 0 1、可動子姿勢算出関数 4 0 2、可動子姿勢制御関数 4 0 3 及びコイル電流算出関数 4 0 4 を用いた処理を実行することにより、電流指令値 4 0 9 を決定する。統合コントローラ 3 0 1 は、決定した電流指令値 4 0 9 をコイルコントローラ 3 0 2 に送信する。

【 0 0 9 6 】

30

ここで、可動子位置算出関数 4 0 1 による処理について図 6 を用いて説明する。図 6 は、可動子位置算出関数による処理を説明する概略図である。

【 0 0 9 7 】

図 6 において、基準点 O e は、リニアエンコーダ 2 0 4 が取り付けられている固定子 2 0 1 の位置基準である。また、基準点 O s は、可動子 1 0 1 に取り付けられているリニアスケール 1 1 1 の位置基準である。図 6 では、可動子 1 0 1 として 2 台の可動子 1 0 1 a、1 0 1 b が搬送され、リニアエンコーダ 2 0 4 として 3 つのリニアエンコーダ 2 0 4 a、2 0 4 b、2 0 4 c が配置されている場合を示している。なお、リニアスケール 1 1 1 は、各可動子 1 0 1 a、1 0 1 b の同じ位置に X 方向に沿って取り付けられている。

【 0 0 9 8 】

40

例えば、図 6 に示す可動子 1 0 1 b のリニアスケール 1 1 1 には、1 つのリニアエンコーダ 2 0 4 c が対向している。リニアエンコーダ 2 0 4 c は、可動子 1 0 1 b のリニアスケール 1 1 1 を読み取って距離 P c を出力する。また、リニアエンコーダ 2 0 4 c の基準点 O e を原点とする X 軸上の位置は S c である。したがって、可動子 1 0 1 b の位置 P o s (1 0 1 b) は次式 (1) により算出することができる。

$$P o s (1 0 1 b) = S c - P c \quad \dots \text{式 (1)}$$

【 0 0 9 9 】

例えば、図 6 に示す可動子 1 0 1 a のリニアスケール 1 1 1 には、2 つのリニアエンコーダ 2 0 4 a、2 0 4 b が対向している。リニアエンコーダ 2 0 4 a は、可動子 1 0 1 a のリニアスケール 1 1 1 を読み取って距離 P a を出力する。また、リニアエンコーダ 2 0

50

4 a の基準点 O e を原点とする X 軸上の位置は S a である。したがって、リニアエンコーダ 2 0 4 a の出力に基づく可動子 1 0 1 a の X 軸上の位置 P o s (1 0 1 a) は、次式 (2) で算出することができる。

$$P o s (1 0 1 a) = S a + P a \quad \dots \text{式 (2)}$$

【 0 1 0 0 】

また、リニアエンコーダ 2 0 4 b は、可動子 1 0 1 a のリニアスケール 1 1 1 を読み取って距離 P b を出力する。また、リニアエンコーダ 2 0 4 b の基準点 O e を原点とする X 軸上の位置は S b である。したがって、リニアエンコーダ 2 0 4 b の出力に基づく可動子 1 0 1 a の X 軸上の位置 P o s (1 0 1 a) は、次式 (3) により算出することができる。

$$P o s (1 0 1 a) = S b - P b \quad \dots \text{式 (3)}$$

【 0 1 0 1 】

ここで、各々のリニアエンコーダ 2 0 4 a 、 2 0 4 b の位置は予め正確に測定されているため、2 つの値 P o s (1 0 1 a) 、 P o s (1 0 1 a) の差は十分に小さい。このように 2 つのリニアエンコーダ 2 0 4 の出力に基づく可動子 1 0 1 の X 軸上の位置の差が十分小さい場合は、それら 2 つのリニアエンコーダ 2 0 4 は、同一の可動子 1 0 1 のリニアスケール 1 1 1 を観測していると判定することができる。

【 0 1 0 2 】

なお、複数のリニアエンコーダ 2 0 4 が同一の可動子 1 0 1 と対向する場合は、複数のリニアエンコーダ 2 0 4 の出力に基づく位置の平均値を算出する等して、観測された可動子 1 0 1 の位置を一意に決定することができる。

【 0 1 0 3 】

可動子位置算出関数 4 0 1 は、上述のようにしてリニアエンコーダ 2 0 4 の出力に基づき、可動子位置情報として可動子 1 0 1 の X 方向における位置 X を算出して決定する。

【 0 1 0 4 】

次に、可動子姿勢算出関数 4 0 2 による処理について図 7 、図 8 A 及び図 8 B を用いて説明する。

【 0 1 0 5 】

図 7 では、可動子 1 0 1 として可動子 1 0 1 c が搬送され、Y センサ 1 2 2 として Y センサ 1 2 2 a 、 1 2 2 b が配置されている場合を示している。図 7 に示す可動子 1 0 1 c の Y ターゲット 1 1 0 には、2 つの Y センサ 1 2 2 a 、 1 2 2 b が対向している。2 つの Y センサ 1 2 2 a 、 1 2 2 b が出力する相対距離の値をそれぞれ Y a 、 Y b とし、Y センサ 1 2 2 a 、 1 2 2 b 間の間隔が L y の場合、可動子 1 0 1 c の Z 軸周りの回転量 W z は、次式 (4) により算出される。

$$W z = (Y a - Y b) / L y \quad \dots \text{式 (4)}$$

【 0 1 0 6 】

なお、可動子 1 0 1 の位置によっては 3 つ以上の Y センサ 1 2 2 が対向する場合もありうる。その場合、最小二乗法等を使って Y ターゲット 1 1 0 の傾き、すなわち Z 軸周りの回転量 W z を算出することができる。

【 0 1 0 7 】

また、図 8 A 及び図 8 B では、可動子 1 0 1 として可動子 1 0 1 d が搬送され、Z センサ 1 2 1 として Z センサ 1 2 1 a 、 1 2 1 b 、 1 2 1 c が配置されている場合を示している。図 8 A 及び図 8 B に示す可動子 1 0 1 d の Z ターゲット 1 0 9 には、3 つの Z センサ 1 2 1 a 、 1 2 1 b 、 1 2 1 c が対向している。ここで、3 つの Z センサ 1 2 1 a 、 1 2 1 b 、 1 2 1 c が出力する相対距離の値をそれぞれ Z a 、 Z b 、 Z c とする。また、X 方向のセンサ間距離、すなわち Z センサ 1 2 1 a 、 1 2 1 b 間の距離を L z 1 とする。また、Y 方向のセンサ間距離、すなわち Z センサ 1 2 1 a 、 1 2 1 c 間の距離を L z 2 とする。すると、Y 軸周りの回転量 W y 及び X 軸周りの回転量 W x は、それぞれ次式 (5 a) 及び (5 b) により算出することができる。

$$W y = (Z b - Z a) / L z 1 \quad \dots \text{式 (5 a)}$$

10

20

30

40

50

$W_x = (Z_c - Z_a) / L_z$...式(5b)

【0108】

可動子姿勢算出関数402は、上述のようにして、可動子101の姿勢情報として各軸周りの回転量 W_x 、 W_y 、 W_z を算出することができる。

【0109】

また、可動子姿勢算出関数402は、次のようにして可動子101の姿勢情報として可動子101のY方向の位置Y及びZ方向の位置Zを算出することができる。

【0110】

まず、可動子101のY方向の位置Yの算出について図7を用いて説明する。図7において、可動子101cがかかる2つのYセンサ122をそれぞれYセンサ122a、122bとする。また、Yセンサ122a、122bの測定値をそれぞれ Y_a 、 Y_b とする。また、Yセンサ122aの位置とYセンサ122bの位置との中点を O_e とする。さらに、式(1)～(3)で得られた可動子101cの位置を O_s とし、 O_e から O_s までの距離を d_X とする。このとき、可動子101cのY方向の位置Yは、次式により近似的に計算して算出することができる。

$$Y = (Y_a + Y_b) / 2 - W_z * d_X$$

【0111】

次に、可動子101のZ方向の位置Zの算出について図8A及び図8Bを用いて説明する。可動子101dがかかる3つのZセンサ121をそれぞれZセンサ121a、121b、121cとする。また、Zセンサ121a、121b、121cの測定値をそれぞれ Z_a 、 Z_b 、 Z_c とする。また、Zセンサ121aのX座標とZセンサ121cのX座標とは同一である。また、リニアエンコーダ204は、Zセンサ121aとZセンサ121cとの中間の位置にあるものとする。また、Zセンサ121a及びZセンサ121cの位置Xを O_e とする。さらに、 O_e から可動子101の中心 O_s までの距離を d_X とする。このとき、可動子101のZ方向の位置Zは、次式により近似的に計算して算出することができる。

$$Z = (Z_a + Z_b) / 2 + W_y * d_X$$

【0112】

なお、位置Y及び位置Zともにそれぞれ W_z 、 W_y の回転量が大きい場合には、さらに近似の精度を高めて算出することができる。

【0113】

次に、コイル電流算出関数404による処理について図1を用いて説明する。なお、以下で用いる力の表記において、X方向、Y方向及びZ方向の力が働く方向をそれぞれx、y、zで示し、図1におけるY+側であるR側をR、Y-側であるL側をL、X+側をf、X-方向をbで示す。

【0114】

図2AにおいてR側及びL側の各永久磁石103に働く力をそれぞれ次のように表記する。各永久磁石103に働く力は、電流が印加された複数のコイル202により永久磁石103が受ける電磁力である。永久磁石103は、電流が印加された複数のコイル202により、可動子101の搬送方向であるX方向の電磁力のほか、X方向とは異なる方向であるY方向及びZ方向の電磁力を受ける。

【0115】

R側の永久磁石103に働く力の表記は、それぞれ次のとおりである。

F_{zfR} : R側の永久磁石103bRのZ方向に働く力

F_{xfR} : R側の永久磁石103bRのX方向に働く力

F_{yfR} : R側の永久磁石103aRのY方向に働く力

F_{xbR} : R側の永久磁石103cRのX方向に働く力

F_{ybR} : R側の永久磁石103dRのY方向に働く力

F_{zbR} : R側の永久磁石103cRのZ方向に働く力

【0116】

10

20

30

40

50

L側の永久磁石103に働く力の表記は、それぞれ次のとおりである。

F_{zfL} : L側の永久磁石103bLのZ方向に働く力

F_{xfL} : L側の永久磁石103bLのX方向に働く力

F_{yfL} : L側の永久磁石103aLのY方向に働く力

F_{xbL} : L側の永久磁石103cLのX方向に働く力

F_{ybL} : L側の永久磁石103dLのY方向に働く力

F_{zbL} : L側の永久磁石103cLのZ方向に働く力

【0117】

また、可動子101に対して印加される力Tを次式(6)により表記する。なお、 T_x 、 T_y 、 T_z は、力の3軸成分であり、それぞれ力のX方向成分、Y方向成分及びZ方向成分である。また、 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} は、モーメントの3軸成分であり、それぞれモーメントのX軸周り成分、Y軸周り成分及びZ軸周り成分である。本実施形態による搬送装置1は、これら力Tの6軸成分(T_x 、 T_y 、 T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz})を制御することにより、可動子101の姿勢を6軸で制御しつつ、可動子101の搬送を制御する。

$T = (T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz})$...式(6)

【0118】

すると、 T_x 、 T_y 、 T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} は、それぞれ次式(7a)、(7b)、(7c)、(7d)、(7e)及び(7f)により算出される。

$T_x = F_{xfR} + F_{xbR} + F_{xfL} + F_{xbL}$...式(7a)

$T_y = F_{yfL} + F_{yfR} + F_{ybL} + F_{ybR}$...式(7b)

$T_z = F_{zbR} + F_{zbL} + F_{zfR} + F_{zfL}$...式(7c)

$T_{wx} = \{ (F_{zfL} + F_{zbL}) - (F_{zfR} + F_{zbR}) \} * r_{x3}$...式(7d)

$T_{wy} = \{ (F_{zfL} + F_{zfR}) - (F_{zbL} + F_{zbR}) \} * r_{y3}$...式(7e)

$T_{wz} = \{ - (F_{yfL} + F_{yfR}) + (F_{ybL} + F_{ybR}) \} * r_{z3}$...式(7f)

【0119】

このとき、永久磁石103に働く力については、次式(7g)、(7h)、(7i)及び(7j)により表される制限を導入することができる。これらの制限を導入することにより、所定の6軸成分を有する力Tを得るための各永久磁石103に働く力の組み合わせを一意に決定することができる。

$F_{xfR} = F_{xbR} = F_{xfL} = F_{xbL}$...式(7g)

$F_{yfL} = F_{yfR}$...式(7h)

$F_{ybL} = F_{ybR}$...式(7i)

$F_{zbR} = F_{zbL}$...式(7j)

【0120】

次に、コイル電流算出関数404が、各永久磁石103に働く力から各コイル202に印加する電流量を決定する方法について説明する。

【0121】

まず、N極及びS極の極性がZ方向に交互に並んだ永久磁石103a、103dにZ方向の力を印加する場合について説明する。なお、コイル202は、そのZ方向の中心が永久磁石103a、103dのY方向の中心に位置するように配置されている。これにより、永久磁石103a、103dに対してX方向及びY方向に働く力は、殆ど発生しないようになっている。

【0122】

Xを可動子101の位置、jを列に並んだコイル202の番号として、単位電流当たりのコイル202(j)のZ方向に働く力の大きさを $F_z(j, X)$ とし、コイル202(j)に印加する電流を $i(j)$ とする。なお、コイル202(j)は、j番目のコイル202である。この場合、電流 $i(j)$ は、次式(8)を満足するように決定することができる。なお、次式(8)は、永久磁石103dRについての式である。他の永久磁石103aR、103aL、103dLについても同様にしてコイル202に印加する電流を決

10

20

30

40

50

定することができる。

【 0 1 2 3 】

ここで、各コイル 2 0 2 に印加する電流とコイル 2 0 2 に働く力の線形性について説明する。図 9 において永久磁石 1 0 3 はコイル 2 0 2 に対向していて永久磁石 1 0 3 から出た磁束の多くはコイル 2 0 2 内を通過して再び永久磁石 1 0 3 に戻る。

【 0 1 2 4 】

仮に永久磁石 1 0 3 の起磁力を 900 k A / m 、厚み 0.01 m とした場合、永久磁石の起磁力は

$$900 \text{ k A / m} * 0.01 \text{ m} = 9000 \text{ A}$$

となる。

【 0 1 2 5 】

一方コイル 2 0 2 の巻き数を 900 回とし電流として 1 A を印加した場合の起磁力は $900 * 1 \text{ A} = 900 \text{ A}$

900 A であり、永久磁石 1 0 3 が作る起磁力が十分大きい。このような場合、コイル 2 0 2 に印加する電流量と新たに発生する力の関係は十分線形であることが一般的に知られている。そのため、

$$F_z(j, X) * i(j) = F_z b R \quad \dots \text{式 (8)}$$

が成立する。

【 0 1 2 6 】

コイル電流算出関数 4 0 4 は、上述のようにしてコイル 2 0 2 (j) に印加する電流指令値を決定することができる。こうして決定される電流指令値により可動子 1 0 1 に印加される Z 方向の力により、可動子 1 0 1 は、Z 方向に浮上する浮上力を得るとともに、その姿勢が制御される。

【 0 1 2 7 】

なお、複数のコイル 2 0 2 が永久磁石 1 0 3 に力を及ぼす場合には、各コイル 2 0 2 が及ぼす力に応じて単位電流当たりの力の大きさを電流を按分することにより、永久磁石 1 0 3 に働く力を一意に決定することができる。

【 0 1 2 8 】

また、図 1 に示すように、永久磁石 1 0 3 は、可動子 1 0 1 の L 側及び R 側に対称に配置されている。このような永久磁石 1 0 3 の対称配置により、永久磁石 1 0 3 に働く多成分の力、例えば永久磁石 1 0 3 a、1 0 3 d に働く W_x の力、すなわち X 軸周りのモーメント成分を L 側及び R 側の力で相殺することが可能になる。この結果、より高精度な可動子 1 0 1 の姿勢の制御が可能になる。

【 0 1 2 9 】

次に、N 極、S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並んだ永久磁石 1 0 3 b に対して X 方向及び Y 方向に対して独立に力を印加する方法について説明する。図 9 は、永久磁石 1 0 3 b に対して X 方向及び Y 方向に独立に力を印加する方法を説明する概略図である。コイル電流算出関数 4 0 4 は、以下に従って、永久磁石 1 0 3 b に対して X 方向及び Y 方向に対して独立に力を印加するためにコイル 2 0 2 に印加する電流指令値を決定する。なお、永久磁石 1 0 3 c についても、永久磁石 1 0 3 b と同様に X 方向及び Y 方向に対して独立に力を印加することができる。

【 0 1 3 0 】

X を可動子 1 0 1 の位置、j を列に並んだコイル 2 0 2 の番号として、単位電流当たりのコイル 2 0 2 (j) の X 方向及び Y 方向に働く力の大きさを、それぞれ $F_x(j, X)$ 及び $F_y(j, X)$ とする。また、コイル 2 0 2 (j) の電流の大きさを $i(j)$ とする。なおコイル 2 0 2 (j) は、j 番目のコイル 2 0 2 である。

【 0 1 3 1 】

図 9 A は、横に X 軸、縦に Y 軸を取り、永久磁石 1 0 3 b R に対向する 6 個のコイル 2 0 2 を抜き出して示す図である。図 9 B は、図 9 A を Y 方向から見た図である。コイル 2 0 2 には、X 方向に並んだ順に 1 から 6 までの番号 j を付与し、以下では例えばコイル 2

10

20

30

40

50

0 2 (1) のように表記して各コイル 2 0 2 を特定する。

【 0 1 3 2 】

図 9 A 及び図 9 B に示すように、コイル 2 0 2 は、距離 L のピッチでされている。一方、可動子 1 0 1 の永久磁石 1 0 3 は、距離 $3 / 2 * L$ のピッチで配置されている。

【 0 1 3 3 】

図 9 C のグラフは、図 9 A 及び図 9 B に示す各々のコイル 2 0 2 に対して単位電流を印加した際に発生する X 方向の力 F_x 及び Z 方向の力 F_z の大きさを模式的に示したグラフである。

【 0 1 3 4 】

簡単のため、図 9 では、コイル 2 0 2 の X 方向の位置の原点 O_c をコイル 2 0 2 (3) とコイル 2 0 2 (4) の中間とし、永久磁石 1 0 3 b R の X 方向の中心 O_m を原点としている。このため、図 9 は、 O_c と O_m とが合致した場合、すなわち $X = 0$ の場合を示している。

【 0 1 3 5 】

このとき、例えばコイル 2 0 2 (4) に対して働く単位電流当たりの力は、X 方向に $F_x(4, 0)$ 、Z 方向に $F_z(4, 0)$ の大きさである。また、コイル 2 0 2 (5) に対して働く単位電流当たりの力は、X 方向に $F_x(5, 0)$ 、Z 方向に $F_z(5, 0)$ の大きさである。

【 0 1 3 6 】

ここで、コイル 2 0 2 (1) ~ 2 0 2 (6) に印加する電流値をそれぞれ $i(1) \sim i(6)$ とする。すると、永久磁石 1 0 3 b R に対して、X 方向に働く力の大きさ $F_x f R$ 及び Y 方向に働く力の大きさ $F_z f R$ は、それぞれ一般的に次式 (9) 及び (1 0) で表される。

$$F_x f R = F_x(1, X) * i(1) + F_x(2, X) * i(2) + F_x(3, X) * i(3) + F_x(4, X) * i(4) + F_x(5, X) * i(5) + F_x(6, X) * i(6) \quad \dots \text{式 (9)}$$

$$F_z f R = F_z(1, X) * i(1) + F_z(2, X) * i(2) + F_z(3, X) * i(3) + F_z(4, X) * i(4) + F_z(5, X) * i(5) + F_z(6, X) * i(6) \quad \dots \text{式 (1 0)}$$

【 0 1 3 7 】

上記式 (9) 及び (1 0) を満足する電流値 $i(1) \sim i(6)$ をそれぞれコイル 2 0 2 (1) ~ 2 0 2 (6) に印加されるように電流指令値を決定することにより、永久磁石 1 0 3 b R に対して X 方向及び Z 方向に独立に力を印加することができる。コイル電流算出関数 4 0 4 は、永久磁石 1 0 3 に対して X 方向及び Z 方向に独立に力を印加するために、上述のようにしてコイル 2 0 2 (j) に印加する電流指令値を決定することができる。

【 0 1 3 8 】

より簡単のため、図 9 に示す場合において、永久磁石 1 0 3 b R に対してコイル 2 0 2 (1) ~ 2 0 2 (6) のうちのコイル 2 0 2 (3)、2 0 2 (4)、2 0 2 (5) だけを使い、さらにこれら 3 つの電流値の総和が 0 となるように制御する場合を例に考える。この例の場合、永久磁石 1 0 3 b R に対して X 方向に働く力 $F_x f R$ 及び Z 方向に働く力 $F_z f R$ は、それぞれ次式 (1 1) 及び (1 2) により表される。

$$F_x f R = F_x(3, X) * i(3) + F_x(4, X) * i(4) + F_x(5, X) * i(5) \quad \dots \text{式 (1 1)}$$

$$F_z f R = F_z(3, X) * i(3) + F_z(4, X) * i(4) + F_z(5, X) * i(5) \quad \dots \text{式 (1 2)}$$

【 0 1 3 9 】

また、コイル 2 0 2 (1) ~ 2 0 2 (6) の電流値は、次式 (1 3) 及び (1 4) を満足するように設定することができる。

$$i(3) + i(4) + i(5) = 0 \quad \dots \text{式 (1 3)}$$

$$i(1) = i(2) = i(6) = 0 \quad \dots \text{式 (1 4)}$$

10

20

30

40

50

【 0 1 4 0 】

したがって、永久磁石 1 0 3 b R に対して必要な力の大きさ ($F_x f R$ 、 $F_z f R$) が決定された場合、電流値 $i (1)$ 、 $i (2)$ 、 $i (3)$ 、 $i (4)$ 、 $i (5)$ 及び $i (6)$ を一意に決定することができる。こうして決定される電流指令値により可動子 1 0 1 に X 方向及び Z 方向に力が印加される。可動子 1 0 1 に印加される X 方向の力により、可動子 1 0 1 は、X 方向に移動する推進力を得て X 方向に移動する。また、こうして決定される電流指令値により可動子 1 0 1 に印加される X 方向及び Z 方向の力により、可動子 1 0 1 はその姿勢が制御される。

【 0 1 4 1 】

こうして、統合コントローラ 3 0 1 は、複数のコイル 2 0 2 に印加する電流を制御することにより、可動子 1 0 1 に印加する力の 6 軸成分のそれぞれを制御する。

10

【 0 1 4 2 】

なお、可動子 1 0 1 の搬送により永久磁石 1 0 3 b R の中心 O_m に対してコイル 2 0 2 の中心 O_c が移動した場合、すなわち X 0 の場合は、移動した位置に応じたコイル 2 0 2 を選択することができる。さらに、コイル 2 0 2 に発生する単位電流当たりの力に基づいて、上記と同様の計算を実行することができる。

【 0 1 4 3 】

上述のようにして、統合コントローラ 3 0 1 は、複数のコイル 2 0 2 に印加する電流の電流指令値を決定して制御することにより、固定子 2 0 1 上での可動子 1 0 1 の姿勢を 6 軸で制御しつつ、可動子 1 0 1 の非接触での固定子 2 0 1 上の搬送を制御する。すなわち、統合コントローラ 3 0 1 は、可動子 1 0 1 の搬送を制御する搬送制御手段として機能し、複数のコイル 2 0 2 により永久磁石 1 0 3 が受ける電磁力を制御することにより、固定子 2 0 1 上における可動子 1 0 1 の非接触での搬送を制御する。また、統合コントローラ 3 0 1 は、可動子 1 0 1 の姿勢を制御する姿勢制御手段として機能し、固定子 2 0 1 上における可動子 1 0 1 の姿勢を 6 軸で制御する。なお、制御装置としての統合コントローラ 3 0 1 の機能の全部又は一部は、コイルコントローラ 3 0 2 その他の制御装置により代替されうる。

20

【 0 1 4 4 】

このように、本実施形態によれば、2 列に配置された複数のコイル 2 0 2 により、可動子 1 0 1 に対して、3 軸の力成分 (T_x 、 T_y 、 T_z) 及び 3 軸のモーメント成分 (T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz}) の 6 軸の力を印加することができる。これにより、可動子 1 0 1 の姿勢を 6 軸で制御しつつ、可動子 1 0 1 の搬送を制御することができる。本実施形態によれば、制御すべき変数である力の 6 軸成分の数よりも少ない列数である 2 列のコイル 2 0 2 により、可動子 1 0 1 の姿勢の 6 軸制御しつつ、可動子 1 0 1 の搬送を制御することができる。

30

【 0 1 4 5 】

したがって、本実施形態によれば、コイル 2 0 2 の列数を少なく構成することができるため、システムの大型化や複雑化を伴うことなく、可動子 1 0 1 の姿勢を制御しつつ、可動子 1 0 1 を非接触で搬送することができる。さらに、本実施形態によれば、コイル 2 0 2 の列数を少なく構成することができるため、安価に小型の磁気浮上型の搬送装置を構成することができる。

40

【 0 1 4 6 】

[第二の実施形態]

図 1 3 を用いて第二の実施形態について説明する。

【 0 1 4 7 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。それに対し、本実施形態においては、永久磁石 1 3 0 1 L が、可動子の上面に取り付けられている例を示す。R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。図 1 3 において、永久磁

50

石 1 3 0 1 L が、可動子の上面に取り付けられ、永久磁石 1 3 0 3 L が固定子 2 0 1 に取り付けられている。そして、可動子側の永久磁石 1 3 0 1 L と固定子側の永久磁石 1 3 0 3 L が互いに反発する方向に着磁されている。つまり、可動子側の永久磁石 1 3 0 1 L と固定子側の永久磁石 1 3 0 3 L は互いに反発しあう。1 3 0 2 L、1 3 0 3 L はそれぞれヨークで、1 3 0 5 L は固定子 2 0 1 との間のブラケットである。

【 0 1 4 8 】

これにより、可動子 1 0 1 が上昇すると固定子 2 0 1 に取り付けられた永久磁石 1 3 0 3 L から反発力を受ける構成となっている。

【 0 1 4 9 】

図 1 1 B でさらに詳細に説明する。

10

【 0 1 5 0 】

図 1 1 B は図 1 1 A と同様に可動子 1 0 1 が受ける力を模式的に表した図である。

【 0 1 5 1 】

図 1 1 A と異なり図 1 1 B では F_b が $Z +$ 方向に行くに従ってその絶対値が大きくなっている。また反発力は下向きの力であるので F_b は図 1 1 A と異なり第二象限 ($F_Z > 0$) にある。

【 0 1 5 2 】

この場合、コイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 の関係を変えないとすると $F_a - mg$ (1 1 0 1 b) のプロファイルは図 1 1 A (1 1 0 1 a) と同じである。一方、 F_b の大きさは $F_a - mg$ (1 1 0 1 b) よりその勾配の変化が大きくなるように構成されている (1 1 0 2 b) 。

20

【 0 1 5 3 】

以上のように反発しあう永久磁石 (1 3 0 1、1 3 0 3) を構成すれば図 1 1 B にあるように $Z = Z_b$ でそのポテンシャルエネルギー Z は極小値をとり、 $Z = Z_t$ で極大値をとる。従って、 $Z = Z_b$ 近傍で可動子 1 0 1 の位置は安定する。

【 0 1 5 4 】

第二の実施形態の場合、第一の実施形態と比較して $F_a - mg$ の勾配が大きい領域で安定化させる必要があるので F_b の勾配はそれよりさらに大きくなる必要があるため反発しあう永久磁石 (1 3 0 1、1 3 0 3) は第一の実施形態と比べて大型化しやすい。

【 0 1 5 5 】

30

しかしながら、本実施形態では $Z = Z_0$ の位置に比べてコイル 2 0 2 に近い側で可動子 1 0 1 の位置が安定するので $Z = Z_0$ あるいは第一の実施形態と比較して推力定数が大きくなる場合がある。従って同じ推力を発生させる場合でも小さな電流で済む。

【 0 1 5 6 】

一方、第一の実施形態と比較してポテンシャルエネルギーの深さ (1 1 0 5 b) は第一の実施形態のポテンシャルエネルギーの深さ (1 1 0 5 a) と比較して小さくなる傾向になるので安定化の度合いが小さい。

【 0 1 5 7 】

また、第二の実施形態の場合、コイル 2 0 2 と反発用の永久磁石 (1 3 0 1、1 3 0 3) を近接して配置して設計することが可能なので装置構成をよりコンパクトにすることが出来る。また、加工のためのプロセス装置が可動子 1 0 1 の下側にある蒸着源 (図 1 の 1 4 0 参照) であるような場合、反発しあう永久磁石 (1 3 0 1、1 3 0 3) が可動子 1 0 1 の下方にあると蒸着源 4 0 0 の邪魔になりかねない。しかし、そういった場合も永久磁石 (1 3 0 1、1 3 0 3) を蒸着源 (図 1 の 1 4 0 参照) 等のプロセス装置の反対側に位置することが出来るため有効である。

40

【 0 1 5 8 】

[第三の実施形態]

図 1 4 を用いて第三の実施形態について説明する。

【 0 1 5 9 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、

50

永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。また、第二の実施形態では、可動子に取り付けられた永久磁石 1 3 0 1 L が下側、固定子に取り付けられた永久磁石 1 3 0 3 L が上側になるように可動子および固定子に取り付けることで、可動子が上昇すると反発力を受ける例を示した。本実施形態では、可動子に取り付けられた永久磁石 1 4 0 1 L が上側、固定子に取り付けられた永久磁石 1 4 0 3 L が下側になるように可動子および固定子に取り付けることで、可動子が下降すると反発力を受ける例を示す。図 1 4 では L 側のみについて記載しており、R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態または第二の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。図 1 4 において、永久磁石 1 4 0 1 L が、可動子の上面に取り付けられた可動子アダプタ 1 0 5 に取り付けられ、永久磁石 1 4 0 3 L が固定子 2 0 1 に取り付けられたブラケット 1 4 0 5 L に取り付けられている。そして、可動子側の永久磁石 1 4 0 1 L と固定子側の永久磁石 1 4 0 3 L が互いに反発する方向に着磁されている。1 4 0 2 L、1 4 0 3 L はそれぞれヨークで、1 3 0 5 L は固定子 2 0 1 との間のブラケットである。

10

【 0 1 6 0 】

これにより、可動子 1 0 1 が下降すると固定子 2 0 1 に取り付けられた永久磁石 1 4 0 3 L から反発力を受ける構成となっている。

【 0 1 6 1 】

可動子アダプタ 1 0 5 および固定子のブラケット 1 3 0 5 L の形状が互いに S 字の形状になり大型化しやすい。しかし、可動子 1 0 1 が下降すると固定子側の永久磁石 1 4 0 3 L から反発する力を受けるので、第一の実施形態のようにポテンシャル F z を深くすることが容易で安定化させやすい。

20

【 0 1 6 2 】

ポテンシャルエネルギー Z のとりかたは第一の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【 0 1 6 3 】

[第四の実施形態]

図 1 6 を用いて第四の実施形態について説明する。

【 0 1 6 4 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。

30

【 0 1 6 5 】

本実施形態では、第一の実施形態に加えて、Y 方向用の永久磁石のセット、1 6 0 1 L、1 6 0 2 L が配置されている例を示す。図 1 6 では L 側のみについて記載しており、R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態または第二の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。

【 0 1 6 6 】

Y 方向用の永久磁石のセット、1 6 0 1 L、1 6 0 2 L を配置することで可動子 1 0 1 の位置を Y 方向にも安定化させることが出来る。

【 0 1 6 7 】

40

なお、永久磁石 1 6 0 1 L、1 6 0 2 L は永久磁石だけでもよいし、裏側にヨークを取り付けてもよい。

【 0 1 6 8 】

[第五の実施形態]

図 1 7 を用いて第五の実施形態について説明する。

【 0 1 6 9 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。また、図 1 において、永久磁石 1 0 8 L、1 2 7 L の形状が平板状である例を示した。

【 0 1 7 0 】

50

本実施形態では、図 1 の平板状の永久磁石 1 0 8 L、1 2 7 L に変えて、C 字形状に湾曲した永久磁石 1 7 0 1 L と 1 7 0 2 L がそれぞれ配置されていて対向して置かれている例を示す。図 1 7 では L 側のみにについて記載しており、R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態または第二の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。

【 0 1 7 1 】

図 1 7 に示すように C 字形状に湾曲した永久磁石 1 7 0 1 L と 1 7 0 2 L を配置することで可動子 1 0 1 の位置を Y 方向にも安定化させることが出来る。

【 0 1 7 2 】

なお、永久磁石 1 7 0 1 L、1 7 0 2 L は、永久磁石だけでもよいし、裏側にヨークを取り付けてもよい。

10

【 0 1 7 3 】

なお、図 1 7 では永久磁石 1 7 0 1 L が永久磁石 1 7 0 2 L に囲われる形状になっているが、その磁石の関係を逆にした配置としてもよい。

【 0 1 7 4 】

[第六の実施形態]

図 1 8 を用いて第六の実施形態について説明する。

【 0 1 7 5 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。また、図 1 において、永久磁石 1 0 8 L、1 2 7 L の形状が平板状である例を示した。

20

【 0 1 7 6 】

本実施形態では、図 1 の平板状の永久磁石 1 0 8 L に変えて、平板状の永久磁石 1 8 0 1 a L、1 8 0 2 a L が V 字状に配置され、平板状の永久磁石 1 8 0 1 b L、1 8 0 2 b L に対向して永久磁石 1 8 0 1 b L、1 8 0 2 b L が置かれている例を示す。図 1 8 では L 側のみにについて記載しており、R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態または第二の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。

【 0 1 7 7 】

図 1 8 に示すように平板状の永久磁石 1 8 0 1 a L、1 8 0 2 a L を V 字型に配置することで可動子 1 0 1 の位置を Y 方向にも安定化させることが出来る。

30

【 0 1 7 8 】

なお、永久磁石 1 8 0 1 a L、1 8 0 2 a L、1 8 0 1 b L、1 8 0 2 b L は永久磁石だけでもよいし、裏側にヨークを取り付けてもよい。

【 0 1 7 9 】

なお、図 1 8 では永久磁石 1 8 0 1 a L、1 8 0 1 b L が永久磁石 1 8 0 2 a L、1 8 0 2 b L に囲われる形状になっているが、その磁石の関係を逆にした配置としてもよい。

【 0 1 8 0 】

[第七の実施形態]

図 1 9 を用いて第七の実施形態について説明する。

40

【 0 1 8 1 】

第一の実施形態では、可動子 1 0 1 の X 方向に沿った下面の L 側および R 側の端部に、永久磁石 1 0 8 が 2 列配置されて取り付けられている例を示した。また、図 1 において、永久磁石 1 0 8 L、1 2 7 L の形状が平板状である例を示した。

【 0 1 8 2 】

本実施形態では、図 1 では L 側に 1 列配置された永久磁石 1 2 7 L の代わりに、L 側に 2 列に配置された永久磁石 1 9 0 2 a L、1 9 0 2 b L が永久磁石 1 0 8 L と対向して置かれている例を示す。図 1 9 では L 側のみにについて記載しており、R 側については図示および説明を省略するが、L 側と同様である。また、第一の実施形態または第二の実施形態から変更のない構成については、同じ符号を付し説明を省略する。

50

【 0 1 8 3 】

図 1 9 に示すように L 側に 2 列に永久磁石 1 9 0 2 a L、1 9 0 2 b L を配置することで可動子 1 0 1 の位置を Y 方向にも安定化させることが出来る。

【 0 1 8 4 】

なお、永久磁石 1 9 0 2 a L、1 9 0 2 b L は永久磁石だけでもよいし、裏側にヨークを取り付けてもよい。

【 0 1 8 5 】

なお、図 1 9 では分割された永久磁石 1 9 0 2 a L、1 9 0 2 b L が固定子側に取り付けられているが、可動子側の磁石 1 0 8 L と固定子側の永久磁石 1 9 0 2 a L、1 9 0 2 b L との配置関係を逆にしてもよい。

10

【 0 1 8 6 】

なお、第 1 から第 7 の実施形態においてはコイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 の組み合わせは可動子 1 0 1 の上面側にあったが、これを可動子 1 0 1 の下面側に置いてもよい。その場合、コイル 2 0 2 のコアは無いものが好適である。コイル 2 0 2 のコアが無い場合はコイル 2 0 2 に通電しない場合、コイル 2 0 2 と永久磁石 1 0 3 との間の吸引力が働かないので例えば図 1 5 において吸着力 1 5 0 1 は働かない。

【 符号の説明 】

【 0 1 8 7 】

- 1 0 1 可動子
- 1 0 2 ワーク
- 1 0 3 永久磁石
- 1 0 5 可動子アダプタ
- 1 0 6 ヨーク
- 1 0 7 ヨーク
- 1 0 8 永久磁石
- 1 0 9 Z ターゲット
- 1 1 0 Y ターゲット
- 1 1 1 リニアスケール
- 1 2 1 Z センサ
- 1 2 2 Y センサ
- 1 2 4 ストップ
- 1 2 5 ブラケット
- 1 2 6 ヨーク
- 1 2 7 永久磁石

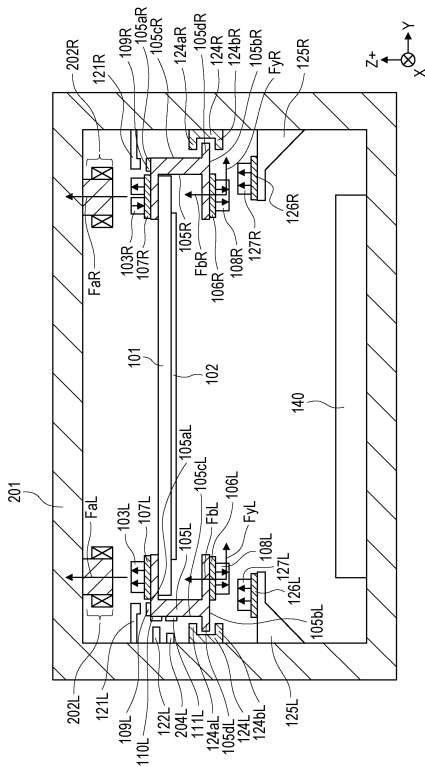
20

30

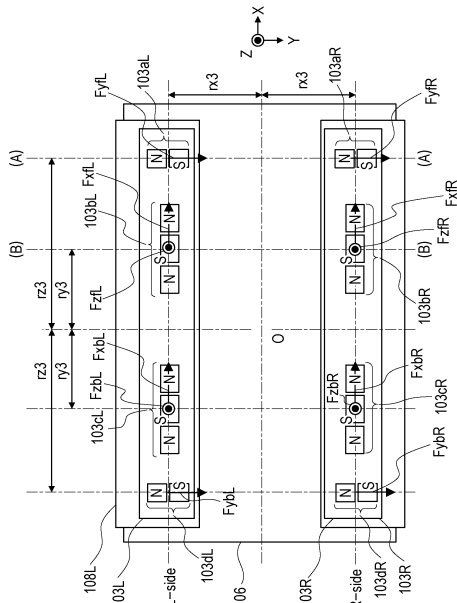
40

50

【図面】
【図 1】



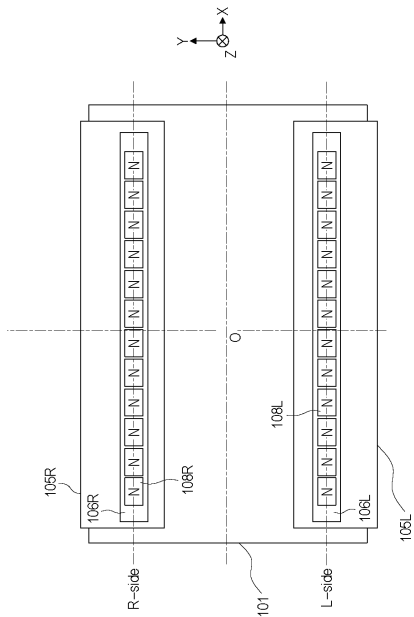
【図 2 A】



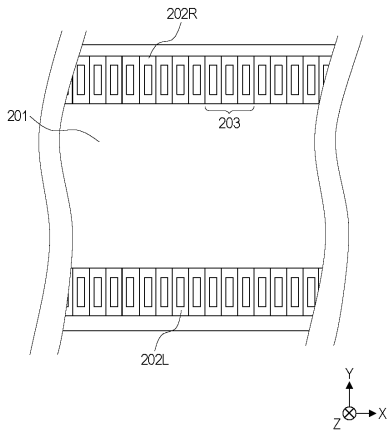
10

20

【図 2 B】



【図 3】

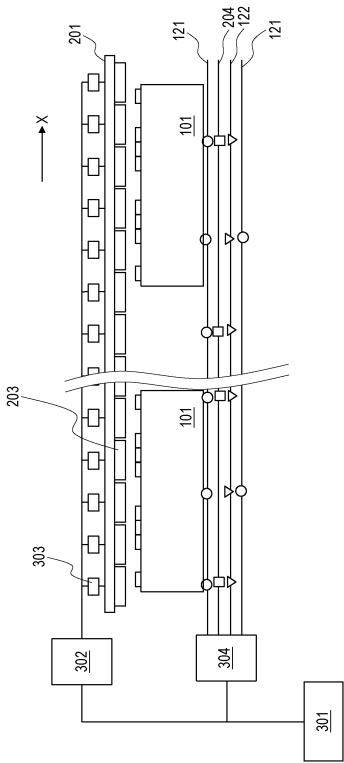


30

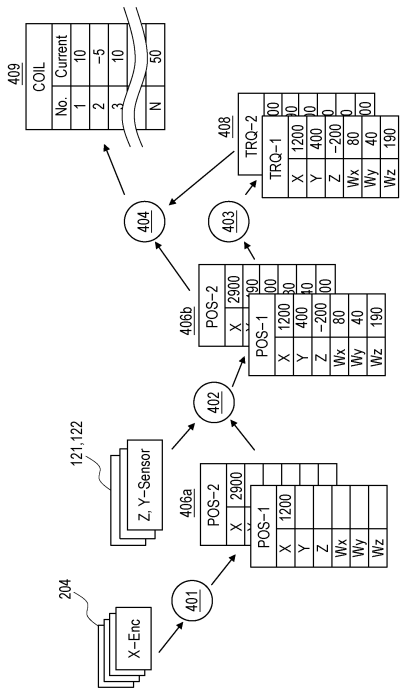
40

50

【図 4】



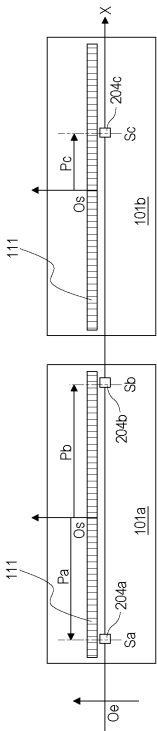
【図 5】



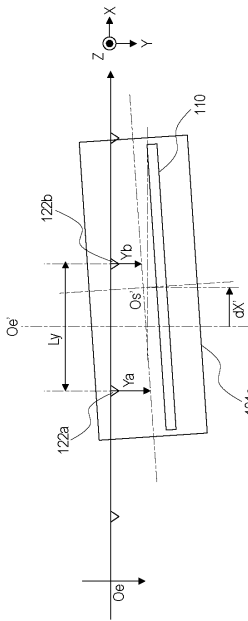
10

20

【図 6】



【図 7】

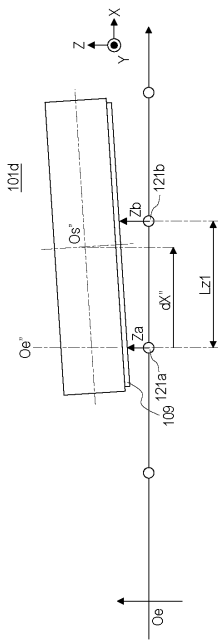


30

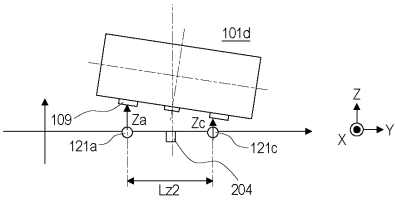
40

50

【図 8 A】



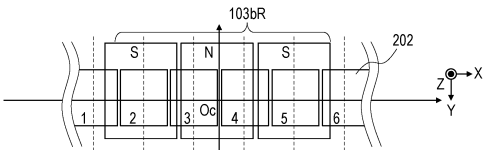
【図 8 B】



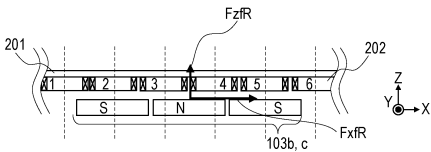
10

20

【図 9 A】



【図 9 B】

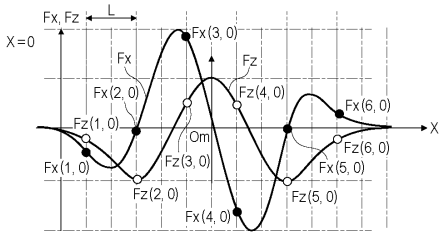


30

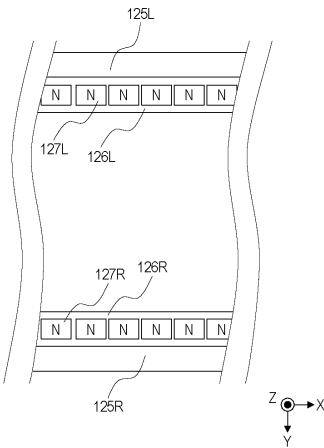
40

50

【図 9 C】



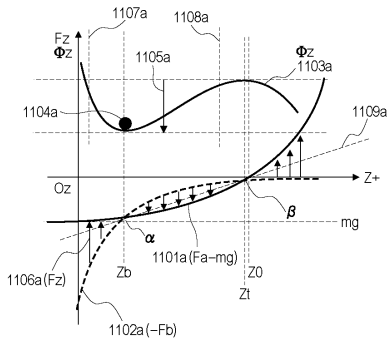
【図 1 0】



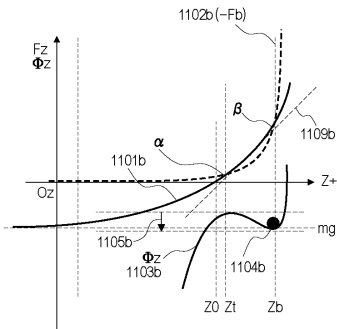
10

20

【図 1 1 A】



【図 1 1 B】

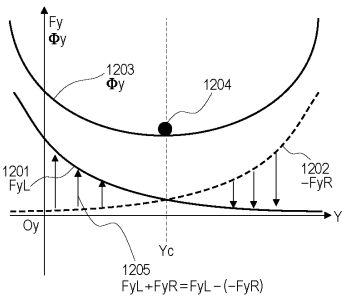


30

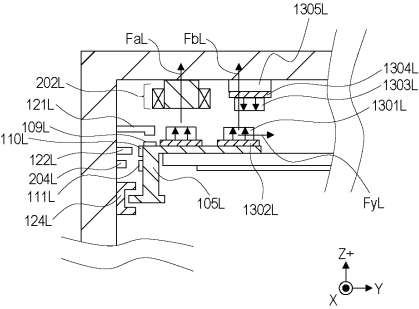
40

50

【 図 1 2 】



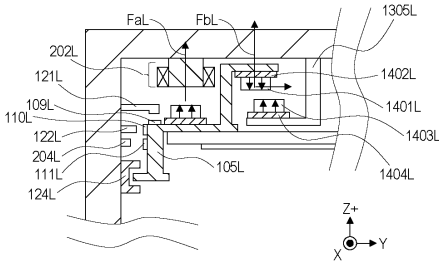
【 図 1 3 】



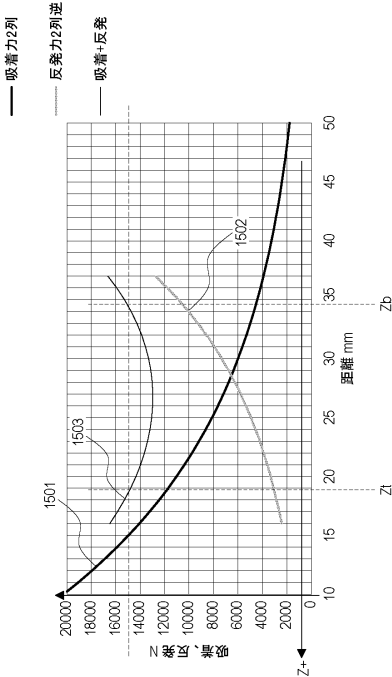
10

20

【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

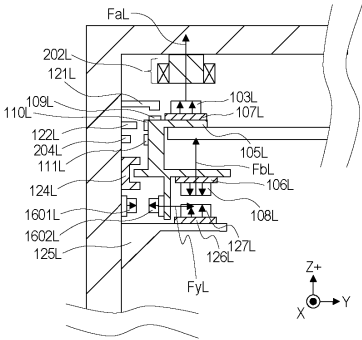


30

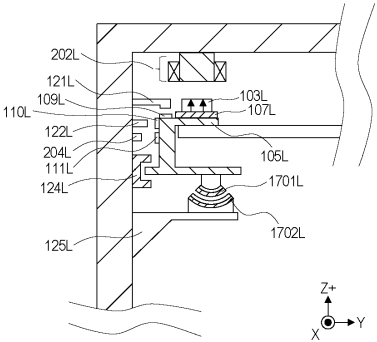
40

50

【図 1 6】



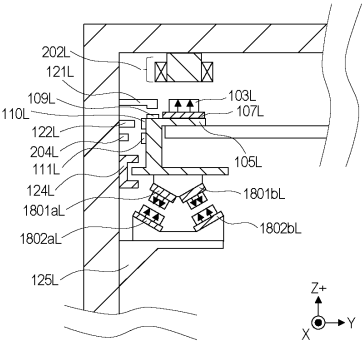
【図 1 7】



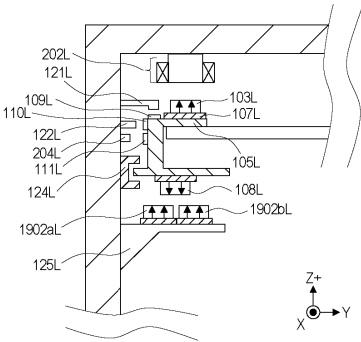
10

20

【図 1 8】



【図 1 9】



30

40

50

フロントページの続き

ヤノン株式会社内

審査官 内田 茉李

- (56)参考文献 韓国公開特許第 1 0 - 2 0 1 2 - 0 0 5 8 4 7 8 (K R , A)
特開昭 6 0 - 2 4 9 8 0 5 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 8 8 3 9 9 (U S , A 1)
特開昭 6 0 - 0 3 6 2 2 2 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 3 8 5 2 2 (J P , A)
特表 2 0 1 6 - 5 3 2 3 0 8 (J P , A)
韓国公開特許第 1 0 - 2 0 1 5 - 0 0 0 5 1 1 0 (K R , A)
特開昭 6 4 - 0 3 4 1 0 8 (J P , A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 6 5 G 5 4 / 0 2
H 0 2 K 4 1 / 0 2
H 0 2 K 4 1 / 0 3
H 0 1 L 2 1 / 6 7 7
F 1 6 C 3 2 / 0 4