

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7406897号
(P7406897)

(45)発行日 令和5年12月28日(2023.12.28)

(24)登録日 令和5年12月20日(2023.12.20)

(51)国際特許分類

H 0 2 K	41/03 (2006.01)	F I	H 0 2 K	41/03	A
H 0 2 K	41/02 (2006.01)		H 0 2 K	41/02	C
B 6 5 G	54/02 (2006.01)		B 6 5 G	54/02	

請求項の数 16 (全25頁)

(21)出願番号 特願2019-202780(P2019-202780)
 (22)出願日 令和1年11月7日(2019.11.7)
 (65)公開番号 特開2020-96514(P2020-96514A)
 (43)公開日 令和2年6月18日(2020.6.18)
 審査請求日 令和4年10月28日(2022.10.28)
 (31)優先権主張番号 特願2018-230243(P2018-230243)
 (32)優先日 平成30年12月7日(2018.12.7)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74)代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (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】 搬送装置および物品の製造方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットと、

前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、

前記コイルユニットは、両隣のコイルユニットとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルユニットと、両隣のコイルとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルユニットを含み、

前記可動子が前記第2コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第2コイルユニットと前記可動子との間の距離は、前記可動子が前記第1コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第1コイルユニットと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする搬送装置。

【請求項2】

前記第1の方向において、前記第2コイルユニットの間には、強磁性体あるいは鉄の部材が配置されてい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】

前記可動子が前記強磁性体あるいは鉄の部材と対向する領域を通過する際の前記強磁性体あるいは鉄の部材と前記可動子との間の距離は前記可動子が前記第1コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第1コイルユニットと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする請求項2に記載の搬送装置。

【請求項 4】

前記可動子が前記第2コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第2コイルユニットと前記可動子との間の距離は、前記所定の間隔と前記広い間隔の差の3%以上15%以下であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の搬送装置。

【請求項 5】

前記第1コイルユニットのコイルのコアは、前記第2コイルユニットのコイルのコアより小さいことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の搬送装置。

【請求項 6】

第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットと、

前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、

前記コイルユニットは、両隣のコイルユニットとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルユニットと、両隣のコイルとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルユニットを含み、

前記第1コイルユニットのコイルのコアは、前記第2コイルユニットのコイルのコアより小さいことを特徴とする搬送装置。

【請求項 7】

前記第1の方向において、前記第2コイルユニットの間には強磁性体あるいは鉄の部材が配置されていることを特徴とする請求項6に記載の搬送装置。

【請求項 8】

第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットと、

前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、

前記コイルユニットは、両隣のコイルとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルユニットと、両隣のコイルとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルユニットを含み、

前記第1の方向において、前記第2コイルユニットの間には、強磁性体あるいは鉄が配置されていることを特徴とする搬送装置。

【請求項 9】

前記可動子が前記強磁性体あるいは鉄の部材と対向する領域を通過する際の前記強磁性体あるいは鉄の部材と前記可動子との間の距離は、前記可動子が前記第1コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第1コイルユニットと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする請求項8に記載の搬送装置。

【請求項 10】

第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットを有するコイルボックスと、

前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、

前記コイルボックスは、両隣のコイルユニットとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルボックスと、両隣のコイルとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルボックスを含み、

前記可動子が前記第2コイルボックスと対向する領域を通過する際の前記第2コイルボックスと前記可動子との間の距離は、前記可動子が前記第1コイルボックスと対向する領域を通過する際の前記第1コイルボックスと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする搬送装置。

【請求項 11】

第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットを有するコイルボックスと、

前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、

前記コイルボックスは、両隣のコイルボックスとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルボックスと、両隣のコイルボックスとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より

10

20

30

40

50

広い間隔で配置された第2コイルボックスを含み、

前記第1の方向において、前記第2コイルボックスの間には、強磁性体あるいは鉄の部材が配置されていることを特徴とする搬送装置。

【請求項12】

前記可動子が前記強磁性体あるいは鉄の部材と対向する領域を通過する際の前記強磁性体あるいは鉄の部材と前記可動子との間の距離は、前記可動子が前記第1コイルボックスと対向する領域を通過する際の前記第1コイルボックスと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする請求項11に記載の搬送装置。

【請求項13】

前記可動子は、第1の方向に沿って配置された第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12のいずれか1項に記載の搬送装置。

10

【請求項14】

前記第1の磁石群及び前記第2の磁石群は、前記可動子の上面に配置されていることを特徴とする請求項13に記載の搬送装置。

【請求項15】

前記強磁性体あるいは鉄の部材が、ゲートバルブに配置されていることを特徴とする請求項2、7乃至9、11及び12のいずれか1項に記載の搬送装置。

【請求項16】

請求項1乃至15のいずれか1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。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、搬送装置およ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、搬送システムが用いられている。特に、生産ラインにおける搬送システムは、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。搬送システムとしては、可動磁石型リニアモータによる搬送システムが既に提案されている。

30

【0003】

可動磁石型リニアモータによる搬送システムでは、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システムを構成する。しかしながら、リニアガイド等の案内装置を使った搬送システムでは、リニアガイドの摺動部から発生する汚染物質、例えば、レールやペ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しまいリニアガイドの寿命を小さくするという問題があった。

【0004】

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安定して非接触での搬送を実現させている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特表2016-532308号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0006】

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、どうしても電磁石やコイルを配置することができない場所がある。例えば、真空チャンバにおいては、メンテナンス、雰囲気制御を行なう目的のために途中にゲートバルブを設けて仕切る必要がある。このような場合、一定間隔で電磁石やコイルを配置することができない。そのため、吸引力の変化により搬送中の部品やワークが傾いてしまったり、落下してしまったりする可能性がある。

【0007】

本発明は、可動子を安定してスムーズに非接触で搬送することができる搬送装置および物品の製造方法を提供することを目的としている。

10

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本発明の搬送装置は、第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットと、前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、前記コイルユニットは、両隣のコイルユニットとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルユニットと、両隣のコイルとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルユニットを含み、前記可動子が前記第2コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第2コイルユニットと前記可動子との間の距離は、前記可動子が前記第1コイルユニットと対向する領域を通過する際の前記第1コイルユニットと前記可動子との間の距離に比べて、小さいことを特徴とする。

20

【0009】

本発明の搬送装置は、第1の方向に沿って配置された3個ずつの単位で電流制御される複数のコイルからなるコイルユニットを有するコイルボックスと、前記複数のコイルに沿って移動する可動子と、を有し、前記コイルボックスは、両隣のコイルボックスとの間の間隔が所定の間隔で配置された第1コイルボックスと、両隣のコイルボックスとの間の間隔の一方が前記所定の間隔より広い間隔で配置された第2コイルボックスを含み、前記第1の方向において、前記第2コイルボックスの間には、強磁性体あるいは鉄が配置されていることを特徴とする。

【0010】

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。

30

【発明の効果】**【0011】**

本発明によれば、可動子を安定してスムーズに非接触で搬送することができる。

【図面の簡単な説明】**【0012】**

【図1A】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

【図1B】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

【図2】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

【図3】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

40

【図4】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

【図5】本発明の第1実施形態を示す概略図である。

【図6】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図7】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図8A】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図8B】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図9】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図10】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図11】本発明の第1実施形態を説明する概略図である。

【図12】本発明の第2実施形態を説明する概略図である。

50

【図13】本発明の第3実施形態を説明する概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

[第1実施形態]

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

【0014】

図1A及び図1Bは、本実施形態による可動子101及び固定子201a、201bを含む搬送システムの全体構成を示す概略図である。なお、図1A及び図1Bは、可動子101及び固定子201a、201bの主要部分を抜き出して示したものである。また、図1Aは可動子101を後述のY方向から見た図、図1Bは可動子101を後述のZ方向から見た図である。図1Aは、固定子201aと固定子201bの間に例えばバルブゲートなどの構造物(100)が存在している場所を示している。つまり、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、連続して電磁石やコイルを配置することができない場所を示している。本実施形態においては、構造物を挟んで2つの固定子を配置する場合を記載したが、これに限らず、固定子が1つであってコイルとコイルの間にスペース(隙間)がある場合であってもよい。本実施形態は、連続して電磁石やコイルを配置することができない場所に隣接するコイルの位置(コアの位置)を、その他のコイル(コア)よりも低い位置(可動子と近接する位置)に配置することで、可動子の傾きや落下を抑制するものである。本実施形態においては、特に区別する必要がない限り、固定子を単に「固定子201」と表記する。各固定子201個別に特定する必要がある場合、「固定子201a」、「固定子201b」と表記して各固定子201を個別に特定する。

10

【0015】

まず、本実施形態による搬送装置を有する搬送システムの全体構成について図1A及び図1Bを用いて説明する。

【0016】

図1A及び図1Bに示すように、本実施形態による搬送装置を有する搬送システム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。搬送システム1は、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)による搬送システムである。さらに、搬送システム1は、リニアガイド等の案内装置を持たず、固定子201上において非接触で可動子101を搬送する磁気浮上型の搬送システムとして構成されている。

30

【0017】

搬送システム1は、例えば、固定子201により可動子101を搬送することにより、可動子101上のワーク102を、ワーク102に対して加工作業を施す工程装置に搬送する。ワークに加工作業を施すことにより、高精度な物品を製造することができる。なお、図1A及び図1B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。搬送システム1においては、複数台の可動子101が固定子201上を搬送されうる。

【0018】

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。

40

【0019】

次に、本実施形態による搬送システム1における搬送対象である可動子101について図

50

1 A、図 1 B 及び図 2 を用いて説明する。図 2 は、本実施形態による搬送システム 1 における可動子 101 及び固定子 201 を示す概略図である。なお、図 2 は、可動子 101 及び固定子 201 を X 方向から見た図である。また、図 2 の左半分は、図 1 B の (A) - (A) 線に沿った断面 (A) を示している。また、図 2 の右半分は、図 1 B の (B) - (B) 線に沿った断面 (B) を示している。

【0020】

図 1 A、図 1 B 及び図 2 に示すように、可動子 101 は、永久磁石 103 として、永久磁石 103aR、103bR、103cR、103dR、103aL、103bL、103cL、103dL を有している。

【0021】

永久磁石 103 は、可動子 101 の X 方向に沿った上面の L 側 R 側端部に 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 の上面の R 側に、永久磁石 103aR、103bR、103cR、103dR 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 103aL、103bL、103cL、103dL 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 103a」、「永久磁石 103b」、「永久磁石 103c」又は「永久磁石 103d」と表記して、各永久磁石 103 を個別に特定する。

10

【0022】

永久磁石 103aR、103dR 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 103bR、103cR は、可動子 101 の上面の R 側の永久磁石 103aR、103dR 間に取り付けられている。永久磁石 103aR、103bR、103cR、103dR 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 103aR、103bR、103cR、103dR 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。

20

【0023】

永久磁石 103aL、103dL 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 103bL、103cL は、可動子 101 の上面の L 側の永久磁石 103aL、103dL 間に取り付けられている。永久磁石 103aL、103bL、103cL、103dL 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 103aL、103bL、103cL、103dL 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 103aL、103bL、103cL、103dL は、X 方向においてそれぞれ永久磁石 103aR、103bR、103cR、103dR と同位置に配置されている。

30

【0024】

永久磁石 103a、103d 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 $r_z 3$ だけ離れた位置に取り付けられている。永久磁石 103a、103b、103c、103d は、それぞれ原点 O から Y 方向に距離 $r \times 3$ だけ離れた位置に取り付けられている。永久磁石 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 $r_y 3$ だけ離れた位置に取り付けられている。

40

【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

50

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。

【0026】

一方、永久磁石103bR、103cR、103bL、103cLは、それぞれY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。

10

【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、固定子201の複数のコイル202により後述するように永久磁石103が受ける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。

20

【0029】

可動子101は、X方向に沿って2列に配置された複数のコイル202に沿ってX方向に移動可能である。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。

【0030】

次に、本実施形態による搬送システム1における固定子201について図1A、図2及び図3を用いて説明する。

30

【0031】

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Y方向から見た図である。

【0032】

固定子201は、可動子101の搬送方向であるX方向に沿って2列に配置された複数のコイル202を有している。固定子201には、複数のコイル202がそれぞれ上面のR側及びL側から可動子101に対向するように取り付けられている。固定子201a、201b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。

【0033】

固定子201に沿って搬送される可動子101は、リニアスケール104と、Yターゲット105と、Zターゲット106とを有している。リニアスケール104、Yターゲット105及びZターゲット106は、それぞれ例えば可動子101の底部にX方向に沿って取り付けられている。Zターゲット106は、リニアスケール104及びYターゲット105の両側にそれぞれ取り付けられている。

40

【0034】

図2に示すように、固定子201は、複数のコイル202と、複数のリニアエンコーダ204と、複数のYセンサ205と、複数のZセンサ206とを有している。

【0035】

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

50

において1列に配置された複数のコイル202は、可動子101のR側の永久磁石103a R、103b R、103c R、103d R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202の可動子と対向する面は、可動子101のL側の永久磁石103a L、103b L、103c L、103d Lと対向可能にX方向に沿って配置されている。

【0036】

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。10

【0037】

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Y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。

【0038】

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。20

【0039】

コイルユニット203は、単数のコイルユニットあるいは複数のコイルユニットごとに、図1Aに示すように、コイルボックス2031の中に収容され、コイルボックス2031ごとにX方向に沿って配置してもよい。その場合は、コイルボックス2013と隣接するコイルボックス（例えば図1Aに示すコイルボックス2031aと隣接するコイルボックス2031b）の間は、隙間S1をあけて配置されていてもよい。本実施形態では、コイルボックスの中に収容される単数のコイルユニットあるいは複数のコイルユニットをコイル群と称する場合がある。30

【0040】

図1Aは、固定子201aと固定子201bの間に例えばバルブゲートなどの構造物（100）が存在している場所を示している。つまり、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、連続して電磁石やコイルを配置することができない場所を示している。すなわち、真空チャンバの境界でゲートを開閉する機構等が配されていると、可動子をガイドかつ駆動する固定子、あるいはその駆動系を隙間なく連続的に配することができない。そのため、可動子がその境界を通過する際に、固定子側の駆動系より得られる浮上、位置制御、推進力に対応する駆動力に不連続点が生じ、可動子が目標軌道からはずれたり、位置ずれを生じたり、位置精度が低下する問題を生じる危険がある。

【0041】

図1Aには、構造物を挟んで2つの固定子の間に隙間S1より大きいスペースS2がある例を記載するが、固定子が1つであってコイルとコイルの間に隙間S1以上のスペースS2がある場合であっても本発明の効果は發揮される。連続してコイルを配置することができない場所に隣接するコイルの位置は、その他のコイルの可動子と対向する面202aの、可動子が通過する時の可動子との間の距離に比べて、小さくなる位置（可動子に近接する位置）に配置する。スペースS2が空いてしまうことによる可動子の傾きや落下を抑制することができる。本実施形態では2つの固定子201a、201bがX方向にスペースS2をあけて配置される場合を示したが、固定子201bの固定子201aとは反対側に隙間S1より大きいスペースS3（不図示）をあけてさらに固定子201c（不図示）を配置してもよい。例えば、生産ラインの生産装置毎に異なる固定子を配置してもよい。40

【0042】

図1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方向の中心と一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。

【0043】

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。

10

【0044】

図10は、本実施形態を説明するための概念図である。図10Aは、連続してコイルを配置することができる場所における固定子201と可動子101の関係を示した図である。コイルボックス2032a～2032gは、コイルボックス)とコイルボックスとの間に所定の間隔(隙間S1)をあけて配置される。この固定子201と可動子101の関係を示した図である。図10では、コイルボックスを、間隔をあけて配置する例を示したが、コイルボックスではなくコイルあるいはコイル群であってもよい。所定の間隔(隙間S1)をあけずコイルボックス同士を接触させて配置させてもよい。また、コイルボックスを等間隔に配置することができれば、可動子101に係る重力と、コイルと永久磁石103による吸引力とが釣り合った状態になる。

20

【0045】

図10Bは、図10Aにおけるコイルボックス2032fを配置させることができず、所定の間隔より広い間隔(スペースS2)が空いてしまった場合における固定子201と可動子101の関係を示した図である。つまり、両隣のコイルボックスとの間の間隔が所定の間隔S1で配置されたコイルボックスと、両隣のコイルボックスとの間の間隔の一方が、前記所定の間隔S1より広い間隔S2で配置されたコイルボックスとの関係を示した図である。コイルボックス2032fに吸引力を発生させることができないため、可動子101に係る重力Gの方がコイルと永久磁石103による吸引力を上回ってしまう。これを解消させようと、コントローラにより、コイルには、より大きな電流が流れるように制御される。これにより、可動子には、T1+T2+T3の吸引力が加えられる。しかし、電流増加による吸引力アップには限界があり、不足している重力Gに対応する吸引力を発生させることは難しい。 $4 \times G > 3 \times G + (T_1 + T_2 + T_3)$

30

【0046】

そこで、図10Cに示すように、コイルボックス2032fを配置させることができず空いてしまったスペースに隣接する部分のコイルボックス2032eと2032gを可動子101側に引き下げて配置する(H)。(両隣のコイルボックスとの間の間隔の一方が、前記所定の間隔S1より広い間隔S2で配置されたコイルボックス2032eあるいは2032gを可動子101側に引き下げて配置する(H)。)つまり、前記所定の間隔で配置されたコイル103の可動子101と対向する面の、可動子101が通過する時、前記可動子101との間の距離に比べて、前記可動子101との間の距離が狭くなる位置に配置する。前記可動子101が、前記広い間隔で配置されたコイルボックスと対向する領域を通過する際の、前記広い間隔で配置されたコイルボックスと前記可動子101との間の距離をAとする。前記可動子101が、両隣のコイルボックスとの間の間隔が前記所定の間隔で配置されたコイルボックスと対向する領域を通過する際の、前記所定の間隔で配置されたコイルボックスと前記可動子101との間の距離をBとする。Bに比べて、Aが狭くなるように配置する。これにより、吸引力を格段に向上させることができる。図10Cの、2032eの吸引力は、Gと、電流増加による吸引力増加分T3と、コイルボックス2032を引き下げた分の吸引力増加分K1の合計となる。これにより、重力と吸引力が釣り合うように制御することが可能となる。 $4 \times G = 3 \times G + (T_1 + T_2 + T_3 + K_1)$

40

50

+ K 1

【 0 0 4 7 】

これにより、可動子 1 0 1 を傾かせることなく、スムーズに搬送させることができる。

【 0 0 4 8 】

より具体的に、図 1 1 を使ってコイル（あるいはコイルボックス）間にスペースがある場合とそのスペースの両端のコイルをキャリアに近接した場合に可動子 1 0 1 に働く力の大きさを説明する。

【 0 0 4 9 】

図 1 1 A はコイルのスペース 3 4 0 1 がある場合を示している。T Z プロファイル 3 4 0 2 は可動子 1 0 1 の姿勢を維持するために必要な Z 方向へのトルクの大きさを模式的に示している。可動子 1 0 1 は X + 方向に搬送されている。

10

【 0 0 5 0 】

このとき、可動子 1 0 1 の先端がスペース 3 4 0 1 の 3 0 4 1 の X - 端（A）に入るとスペース 3 4 0 1 の分だけ可動子 1 0 1 には吸引力が働くのでそれを補償するためコイル 2 0 2 には鉛直上向きの力（T z ）が働く。その最大値を T z 1 とする。

【 0 0 5 1 】

次に、可動子 1 0 1 の後端がスペース 3 0 4 1 の X - 端（A）に差し掛かると吸引力が印加されるので T z プロファイル 3 4 0 2 は 0 に近づく。

【 0 0 5 2 】

また、T w y プロファイル 3 4 0 3 は可動子 1 0 1 に働く W y 方向のトルクの大きさを模式的に表した図である。T W y プロファイル 3 4 0 3 は可動子 1 0 1 の先端（X + 側）がスペース 3 4 0 1 に差し掛かると、スペース 3 4 0 1 に掛かる部分の吸引力が働くためそれを補償するために W Y + 方向のトルクを印加する必要がある。その最大値を T w y 1 とする。

20

【 0 0 5 3 】

T w y はスペース 3 4 0 1 の可動子 1 0 1 の上での位置が中央に近づくと 0 に近づく。逆に可動子 1 0 1 の後端が A の位置に差し掛かると今度は T W y + の方向に力が働くのでそれを補償するためキャリアには W Y - 方向の力を印加する必要がある。

【 0 0 5 4 】

図 1 1 B はスペース 3 4 0 1 の両側のコイル 2 0 2 と可動子 1 0 1 の距離を一定量近づけた場合を模式的に示した図である。

30

【 0 0 5 5 】

この場合、T Z プロファイル 3 4 0 4 は可動子 1 0 1 の先端（X + 側）がコイル 3 5 0 1 に差し掛かると、可動子 1 0 1 とコイル 3 5 0 1 が他のコイルと比較して近い分コイル 3 5 0 1 側に強い吸引力を受ける。したがってそれを補償するために Z - 側のトルクを印加する必要がある。

【 0 0 5 6 】

以降は図 1 1 A で説明したのと同様である。この T Z プロファイル 3 4 0 4 の Z 方向のトルクの最大値 T z 2 はコイル 3 5 0 1 および 3 5 0 2 の X 方向の幅と可動子 1 0 1 と近接させる量を適当に設定すれば、T z 1 の絶対値より T z 2 の絶対値を小さくすることが出来る。

40

【 0 0 5 7 】

このようにすれば、可動子 1 0 1 の姿勢を維持するための Z 方向のトルクの最大値を小さくすることが出来るのでより安定して可動子 1 0 1 の姿勢を所望の値に維持することが出来る。また Z 方向のトルクの最大値を小さく出来るのでコイルの大きさを小さく出来、印加する電流の大きさやそれに伴う発熱量を小さくするといった効果が得られる。

【 0 0 5 8 】

W y 方向のトルクについても Z 方向のトルクと同様に、コイル 3 5 0 1 および 3 5 0 2 を可動子 1 0 1 に近接させることで可動子 1 0 1 に印加する W y 方向の最大値を抑制することが可能になる。

50

【 0 0 5 9 】

前記可動子との間の距離が狭くなる位置に配置する方法はどのような方法を用いてもよいが、固定子とコイルボックスの間にスペーサを間に挟み高さを調節して配置することがより好ましい。高さ H は、所定の間隔 S 1 とスペース S 2 との差の 3 % 以上 1 5 % 以下であることが好ましい。3 % より小さいと引き下げる効果が少なく、1 5 % より大きいと他のコイルボックスと可動子との間隔が広くなりすぎてしまい効率が悪い。

【 0 0 6 0 】

コイルボックスを引き下げる代わりに、コイルボックスからスペース S 2 に向かって強磁性体あるいは比透磁率の大きい材料からなる部材 1 0 0 1、1 0 0 2 を配置してもよい。これにより吸引力を増加させることが可能になる。つまり、前記広い間隔で配置された 2 つのコイルの間には、前記コイルから広い間隔 S 2 によるスペースに向かって磁性体の板を配置することが好ましい。

10

【 0 0 6 1 】

コイルボックスを引き下げ、さらに強磁性体あるいは比透磁率の大きい材料からなる部材 1 0 0 1、1 0 0 2 を配置するとさらに吸引力を増加させることができためより好ましい。

【 0 0 6 2 】

本実施形態では、コイルボックスを引き下げる例を示したが、コイル群をコイルボックスに収容していなくてもよい。つまり、コイルボックスに収容していないコイル群を可動子側に引き下げる場合も、コイル群ではなくコイルを引き下げてもよい。

20

【 0 0 6 3 】

本実施形態ではコイルボックスとコイルボックスの間にスペース S 2 がある場合を説明したがコイルとコイルの間にスペース S 2 がある場合であっても同じである。また、コイル群とコイル群の間にスペース S 2 がある場合であっても同じである。

【 0 0 6 4 】

また、本実施形態では、スペース S 2 に隣接する、スペース S 2 を挟んで両側の部分のコイルボックス 2 0 3 2 e と 2 0 3 2 g あるいはコイルを可動子側に引き下げる配置する例を示した。しかし、これに限るものではない。スペース S 2 に、可動子の進行方向の端部の磁石が対面した時、可動子の中心から、可動子の進行方向の端部の磁石までの間に配置された磁石に対面するコイルボックスのいずれかをひき下げる事でも本発明の効果を得ることができる。あるいは、スペース S 2 に、可動子の進行方向の端部の磁石が対面した時、可動子の中心から、可動子の進行方向の端部の磁石までの間に配置された磁石に対面するコイルのいずれかをひき下げる事でも本発明の効果を得ることができる。

30

【 0 0 6 5 】

複数のリニアエンコーダ 2 0 4 は、それぞれ可動子 1 0 1 のリニアスケール 1 0 4 と対向可能なように X 方向に沿って固定子 2 0 1 に取り付けられている。各リニアエンコーダ 2 0 4 は、可動子 1 0 1 に取り付けられたリニアスケール 1 0 4 を読み取ることで、可動子 1 0 1 のリニアエンコーダ 2 0 4 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。

40

【 0 0 6 6 】

複数の Y センサ 2 0 5 は、それぞれ可動子 1 0 1 の Y ターゲット 1 0 5 と対向可能なように X 方向に沿って固定子 2 0 1 に取り付けられている。各 Y センサ 2 0 5 は、可動子 1 0 1 に取り付けられた Y ターゲット 1 0 5 との間の Y 方向の相対距離を検出して出力することができる。

【 0 0 6 7 】

複数の Z センサ 2 0 6 は、それぞれ可動子 1 0 1 の Z ターゲット 1 0 6 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 2 0 6 は、可動子 1 0 1 に取り付けられた Z ターゲット 1 0 6 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 6 8 】

50

次に、本実施形態による搬送システム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システム1を制御する制御システム3を示す概略図である。

【0069】

図4に示すように、制御システム3は、統合コントローラ301と、コイルコントローラ302と、センサコントローラ304とを有し、可動子101と固定子201とを含む搬送システム1を制御する制御装置として機能する。統合コントローラ301には、コイルコントローラ302が通信可能に接続されている。また、統合コントローラ301には、センサコントローラ304が通信可能に接続されている。

【0070】

コイルコントローラ302には、複数の電流コントローラ303が通信可能に接続されている。コイルコントローラ302及びこれに接続された複数の電流コントローラ303は、2列のコイル202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303には、コイルユニット203が接続されている。電流コントローラ303は、接続されたコイルユニット203の各々のコイル202の電流の大きさを制御することができる。

10

【0071】

コイルコントローラ302は、接続された各々の電流コントローラ303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303は接続されたコイル202の電流量を制御する。

20

【0072】

コイル202及び電流コントローラ303は、可動子101が搬送されるX方向の可動子101の上面の両側に取り付けられている。

【0073】

センサコントローラ304には、複数のリニアエンコーダ204、複数のYセンサ205及び複数のZセンサ206が通信可能に接続されている。

【0074】

複数のリニアエンコーダ204は、可動子101が搬送中もそのうちの1つが必ず1台の可動子101の位置を測定できるような間隔で固定子201に取り付けられている。また、複数のYセンサ205は、そのうちの2つが必ず1台の可動子101のYターゲット105を測定できるような間隔で固定子201に取り付けられている。また、複数のZセンサ206は、その2列のうちの3つが必ず1台の可動子101のZターゲット106を測定できるような間隔で固定子201に取り付けられている。

30

【0075】

統合コントローラ301は、リニアエンコーダ204、Yセンサ205及びZセンサ206からの出力に基づき、複数のコイル202に印加する電流指令値を決定して、コイルコントローラ302に送信する。コイルコントローラ302は、統合コントローラ301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303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301は、制御装置として機能し、固定子201に沿って可動子101を非接触で搬送するとともに、搬送する可動子101の姿勢を6軸で制御する。

40

【0076】

以下、統合コントローラ301により実行される可動子101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システム1における可動子101の姿勢制御方法を示す概略図である。図5は、可動子101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301は、以下に説明するように、可動子位置算出関数401、可動子姿勢算出関数402、可動子姿勢制御関数403及びコイル電流算出関数404を用いた処理を実行する。これにより、統合コントローラ301は、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。なお、統合コントローラ301に代えて、コイルコントローラ302が統合コント

50

ローラ 301 と同様の処理を実行するように構成することもできる。

【0077】

まず、可動子位置算出関数 401 は、複数のリニアエンコーダ 204 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 201 上にある可動子 101 の台数及び位置を計算する。これにより、可動子位置算出関数 401 は、可動子 101 に関する情報である可動子情報 406 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 201 上の可動子 101 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 406 は、例えば図 5 中に POS-1, POS-2, ... と示すように固定子 201 上の可動子 101 ごとに用意される。

【0078】

次いで、可動子姿勢算出関数 402 は、可動子位置算出関数 401 により更新された可動子情報 406 の可動子位置情報 (X) から、各々の可動子 101 を測定可能な Y センサ 205 及び Z センサ 206 を特定する。次いで、可動子姿勢算出関数 402 は、特定された Y センサ 205 及び Z センサ 206 から出力される値に基づき、各々の可動子 101 の姿勢に関する情報である姿勢情報 (Y, Z, Wx, Wy, Wz) を算出して可動子情報 406 を更新する。可動子姿勢算出関数 402 により更新された可動子情報 406 は、可動子位置情報 (X) 及び姿勢情報 (Y, Z, Wx, Wy, Wz) を含んでいる。

10

【0079】

次いで、可動子姿勢制御関数 403 は、可動子位置情報 (X) 及び姿勢情報 (Y, Z, Wx, Wy, Wz) を含む現在の可動子情報 406 及び姿勢目標値から、各々の可動子 101 について印加力情報 408 を算出する。印加力情報 408 は、各々の可動子 101 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 408 は、後述する印加すべき力 T の力の 3 軸成分 (Tx, Ty, Tz) 及びトルクの 3 軸成分 (Twx, Twy, Twz) に関する情報を含んでいる。印加力情報 408 は、例えば図 5 中に TRQ-1, TRQ-2, ... と示すように固定子 201 上の可動子 101 ごとに用意される。

20

【0080】

次いで、コイル電流算出関数 404 は、印加力情報 408 及び可動子情報 406 に基づき、各コイル 202 に印加する電流指令値 409 を決定する。

【0081】

こうして、統合コントローラ 301 は、可動子位置算出関数 401、可動子姿勢算出関数 402、可動子姿勢制御関数 403 及びコイル電流算出関数 404 を用いた処理を実行することにより、電流指令値 409 を決定する。統合コントローラ 301 は、決定した電流指令値 409 をコイルコントローラ 302 に送信する。

30

【0082】

ここで、可動子位置算出関数 401 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。

【0083】

図 6 において、基準点 Oe は、リニアエンコーダ 204 が取り付けられている固定子 201 の位置基準である。また、基準点 Os は、可動子 101 に取り付けられているリニアスケール 104 の位置基準である。図 6 では、可動子 101 として 2 台の可動子 101a、101b が搬送され、リニアエンコーダ 204 として 2 つのリニアエンコーダ 204a、204b、204c 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 104 は、各可動子 101a、101b の同じ位置に X 方向に沿って取り付けられている。

40

【0084】

例えば、図 6 に示す可動子 101b のリニアスケール 104 には、1 つのリニアエンコーダ 204c が対向している。リニアエンコーダ 204c は、可動子 101b のリニアスケール 104 を読み取って距離 Pc を出力する。また、リニアエンコーダ 204c の基準点 Oe を原点とする X 軸上の位置は Sc である。したがって、可動子 101b の位置 Po (101b) は次式 (1) により算出することができる。

$$Pos(101b) = Sc - Pc \dots \text{式 (1)}$$

50

【0085】

例えば、図6に示す可動子101aのリニアスケール104には、2つのリニアエンコーダ204a、204bが対向している。リニアエンコーダ204aは、可動子101aのリニアスケール104を読み取って距離Paを出力する。また、リニアエンコーダ204aの基準点Oeを原点とするX軸上の位置はSaである。したがって、リニアエンコーダ204aの出力に基づく可動子101aのX軸上の位置Pos(101a)は、次式(2)で算出することができる。

$$Pos(101a) = Sa - Pa \dots \text{式(2)}$$

【0086】

また、リニアエンコーダ204bは、可動子101bのリニアスケール104を読み取って距離Pbを出力する。また、リニアエンコーダ204bの基準点Oeを原点とするX軸上の位置はSbである。したがって、リニアエンコーダ204bの出力に基づく可動子101aのX軸上の位置Pos(101a)は、次式(3)により算出することができる。

$$Pos(101a) = Sb - Pb \dots \text{式(3)}$$

【0087】

ここで、各々のリニアエンコーダ204a、204bの位置は予め正確に測定されているため、2つの値Pos(101a)、Pos(101a)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204の出力に基づく可動子101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204は、同一の可動子101のリニアスケール104を観測していると判定することができる。

【0088】

なお、複数のリニアエンコーダ204が同一の可動子101と対向する場合は、複数のリニアエンコーダ204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101の位置を一意に決定することができる。

【0089】

可動子位置算出関数401は、上述のようにしてリニアエンコーダ204の出力に基づき、可動子位置情報として可動子101のX方向における位置Xを算出して決定する。

【0090】

次に、可動子姿勢算出関数402による処理について図7、図8A及び図8Bを用いて説明する。

【0091】

図7では、可動子101として可動子101cが搬送され、Yセンサ205としてYセンサ205a、205bが配置されている場合を示している。図7に示す可動子101cのYターゲット105には、2つのYセンサ205a、205bが対向している。2つのYセンサ205a、205bが出力する相対距離の値をそれぞれYa、Ybとし、Yセンサ205a、205b間の間隔がLyの場合、可動子101cのZ軸周りの回転量Wzは、次式(4)により算出される。

$$Wz = (Ya - Yb) / Ly \dots \text{式(4)}$$

【0092】

なお、可動子101の位置によっては3つ以上のYセンサ205が対向する場合もある。その場合、最小二乗法等を使ってYターゲット105の傾き、すなわちZ軸周りの回転量Wzを算出することができる。

【0093】

また、図8A及び図8Bでは、可動子101として可動子101dが搬送され、Zセンサ206としてZセンサ206a、206b、206cが配置されている場合を示している。図8A及び図8Bに示す可動子101dのZターゲット106には、3つのZセンサ206a、206b、206cが対向している。ここで、3つのZセンサ206a、206b、206cが出力する相対距離の値をそれぞれZa、Zb、Zcとする。また、X方向のセンサ間距離、すなわちZセンサ206a、206b間の距離をLz1とする。また

10

20

30

40

50

、Y方向のセンサ間距離、すなわちZセンサ206a、206c間の距離をLz2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(5a)及び(5b)により算出することができる。

$$W_y = (Z_b - Z_a) / L_{z1} \dots \text{式}(5a)$$

$$W_x = (Z_c - Z_a) / L_{z2} \dots \text{式}(5b)$$

【0094】

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。

【0095】

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。 10

【0096】

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205をそれぞれYセンサ205a、205bとする。また、Yセンサ205a、205bの測定値をそれぞれYa、Ybとする。また、Yセンサ205aの位置とYセンサ205bの位置との中点をOeとする。さらに、式(1)～(3)で得られた可動子101cの位置をOsとし、OeからOsまでの距離をdX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。

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

【0097】

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206をそれぞれZセンサ206a、206b、206cとする。また、Zセンサ206a、206b、206cの測定値をそれぞれZa、Zb、Zcとする。また、Zセンサ206aのX座標とZセンサ206c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206aとZセンサ206cとの中間の位置にあるものとする。また、Zセンサ206a及びZセンサ206cの位置XをOeとする。さらに、Oeから可動子101の中心Osまでの距離をdX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。 30

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

【0098】

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、さらに近似的精度を高めて算出することができる。

【0099】

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-側をbで示す。 40

【0100】

図1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。

【0101】

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103a RのZ方向に働く力

F_{xfR} : R側の永久磁石103b RのX方向に働く力

F_{yfR} : R側の永久磁石103b RのY方向に働く力

10

20

30

40

50

$F_x b R$: R側の永久磁石 103cR の X 方向に働く力

$F_y b R$: R側の永久磁石 103cR の Y 方向に働く力

$F_z b R$: R側の永久磁石 103dR の Z 方向に働く力

【0102】

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。

$F_z f L$: L側の永久磁石 103aL の Z 方向に働く力

$F_x f L$: L側の永久磁石 103bL の X 方向に働く力

$F_y f L$: L側の永久磁石 103bL の Y 方向に働く力

$F_x b L$: L側の永久磁石 103cL の X 方向に働く力

$F_y b L$: L側の永久磁石 103cL の Y 方向に働く力

$F_z b L$: L側の永久磁石 103dL の Z 方向に働く力

【0103】

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システム 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。

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

【0104】

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。

$$T_x = F_x f R + F_x b R + F_x f L + F_x b L \dots \text{式(7a)}$$

$$T_y = F_y f L + F_y f R + F_y b L + F_y b R \dots \text{式(7b)}$$

$$T_z = F_z b R + F_z b L + F_z f R + F_z f L \dots \text{式(7c)}$$

$$T_{wx} = \{ (F_z f L + F_z b L) - (F_z f R + F_z b R) \} * r_x 3 \dots \text{式(7d)}$$

$$T_{wy} = \{ (F_z f L + F_z f R) - (F_z b L + F_z b R) \} * r_y 3 \dots \text{式(7e)}$$

$$T_{wz} = \{ (F_y f L + F_y f R) - (F_y b L + F_y b R) \} * r_z 3 \dots \text{式(7f)}$$

【0105】

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。

$$F_x f R = F_x b R = F_x f L = F_x b L \dots \text{式(7g)}$$

$$F_y f L = F_y f R \dots \text{式(7h)}$$

$$F_y b L = F_y b R \dots \text{式(7i)}$$

$$F_z b R = F_z b L \dots \text{式(7j)}$$

【0106】

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。

【0107】

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 Z 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。

【0108】

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)

10

20

30

40

50

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定することができる。

$$Fz(j, X) * i(j) = FzbR \dots \text{式 (8)}$$

【0109】

コイル電流算出関数 404 は、上述のようにしてコイル 202(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 101 に印加される Z 方向の力により、可動子 101 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。

10

【0110】

なお、複数のコイル 202 が永久磁石 103 に力を及ぼす場合には、各コイル 202 が及ぼす力に応じて単位電流当たりの力の大きさで電流を按分することにより、永久磁石 103 に働く力を一意に決定することができる。

【0111】

また、図 1 に示すように、永久磁石 103 は、可動子 101 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 103 の対称配置により、永久磁石 103 に働く多成分の力、例えば永久磁石 103a、103d に働く Wx 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 101 の姿勢の制御が可能になる。

20

【0112】

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 103b 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 103b 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 404 は、以下に従って、永久磁石 103b 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 202 に印加する電流指令値を決定する。なお、永久磁石 103c についても、永久磁石 103b 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。

30

【0113】

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 X 方向及び Y 方向に働く力の大きさを、それぞれ $Fx(j, X)$ 及び $Fy(j, X)$ とする。また、コイル 202(j)の電流の大きさを $i(j)$ とする。なおコイル 202(j)は、 j 番目のコイル 202 である。

【0114】

図 9 中の上段の図は、横に X 軸、縦に Y 軸を取り、永久磁石 103bR に対向する 6 個のコイル 202 を抜き出して示す図である。図 9 中の中段の図は、図 9 中の上段の図を Y 方向から見た図である。コイル 202 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 202(1) のように表記して各コイル 202 を特定する。

40

【0115】

図 9 中の上段及び中段の図に示すように、コイル 202 は、距離 L のピッチでされている。一方、可動子 101 の永久磁石 103 は、距離 $3/2 * L$ のピッチで配置されている。

【0116】

図 9 中の下段のグラフは、図 9 中の上段及び中段の図に示す各々のコイル 202 に対して単位電流を印加した際に発生する X 方向の力 Fx 及び Z 方向の力 Fz の大きさを模式的に示したグラフである。

【0117】

簡単のため、図 9 では、コイル 202 の X 方向の位置の原点 O_c をコイル 202(3) とコイル 202(4) の中間とし、永久磁石 103bR 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

50

いる。

【0118】

このとき、例えばコイル 202(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 202(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。

【0119】

ここで、コイル 202(1)～202(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 103bR 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(10)で表される。

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

$$F_z f R = F_z(1, X) * i(1) + F_z(2, X) * i(2) + F_z(3, X) * i(3) + F_z(4, X) * i(4) + F_z(5, X) * i(5) + F_z(6, X) * i(6) \dots \text{式(10)}$$

【0120】

上記式(9)及び(10)を満足する電流値 $i(1) \sim i(6)$ をそれぞれコイル 202(1)～202(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 103bR 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 404 は、永久磁石 103 に対して X 方向及び Z 方向に独立に力を印加するため、上述のようにしてコイル 202(j)に印加する電流指令値を決定することができる。

【0121】

より簡単のため、図 9 に示す場合において、永久磁石 103bR に対してコイル 202(1)～202(6)のうちのコイル 202(3)、202(4)、202(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 103bR 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(11)及び(12)により表される。

$$F_x f R = F_x(3, X) * i(3) + F_x(4, X) * i(4) + F_x(5, X) * i(5) \dots \text{式(11)}$$

$$F_z f R = F_z(3, X) * i(3) + F_z(4, X) * i(4) + F_z(5, X) * i(5) \dots \text{式(12)}$$

【0122】

また、コイル 202(1)～202(6)の電流値は、次式(13)及び(14)を満足するように設定することができる。

$$i(3) + i(4) + i(5) = 0 \dots \text{式(13)}$$

$$i(1) = i(2) = i(6) = 0 \dots \text{式(14)}$$

【0123】

したがって、永久磁石 103bR 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 101 に X 方向及び Z 方向に力が印加される。可動子 101 に印加される X 方向の力により、可動子 101 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 101 に印加される X 方向及び Z 方向の力により、可動子 101 はその姿勢が制御される。

【0124】

こうして、統合コントローラ 301 は、複数のコイル 202 に印加する電流を制御することにより、可動子 101 に印加する力の 6 軸成分のそれぞれを制御する。

【0125】

10

20

30

40

50

なお、可動子 101 の搬送により永久磁石 103 b R の中心 O m に対してコイル 202 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 202 を選択することができる。さらに、コイル 202 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。

【0126】

上述のようにして、統合コントローラ 301 は、複数のコイル 202 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 201 上での可動子 101 の姿勢を 6 軸で制御しつつ、可動子 101 の非接触での固定子 201 上の搬送を制御する。すなわち、統合コントローラ 301 は、可動子 101 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 202 により永久磁石 103 が受ける電磁力を制御することにより、固定子 201 上における可動子 101 の非接触での搬送を制御する。また、統合コントローラ 301 は、可動子 101 の姿勢を制御する姿勢制御手段として機能し、固定子 201 上における可動子 101 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 301 の機能の全部又は一部は、コイルコントローラ 302 その他の制御装置により代替されうる。

【0127】

[第2実施形態]

第1実施形態では、コイルあるいはコイルボックスを引き下げる例を示したが、第2実施形態では二つのステーション 3001a および 3001b の間に強磁性体あるいは比透磁率の大きい材料からなる部材 1001b を配置する例を示す。コイル、コイル群、あるいはコイルボックスを引き下げる代わりにステーション間に部材 1001b を配置してもよいし、引き下げおよび部材 1001b の配置を両方備えていてもよい。そのほかの構成は第1の実施形態と同様であり詳細な説明は省略する。本実施形態ではステーションがチャンバである例を示す。図 12において、二つのチャンバ 3001a および 3001b はそれぞれ真空チャンバで図示しない真空ポンプが接続されて適切な真空度に維持されている。

【0128】

二つのチャンバ 3001a および 3001b の間にはゲートバルブ 3002 とそれを動かすためにゲートバルブ昇降部 3003 があり、両側のチャンバ 3001a および 3001b の雰囲気を分離する役割を果たしている。

【0129】

ゲートバルブ 3002 はメンテナンスなどのタイミングでは下降しているが、可動子 101 を搬送している間は上昇している。

【0130】

ゲートバルブ 3002 の下面に強磁性体あるいは比透磁率の大きい材料からなる部材 1001b が取り付けられ、可動子 101 の上の永久磁石 103 との間に吸引力が働く位置に固定されている。

【0131】

このように構成することで可動子 101 には、スペース 3004 において吸引力が印加されるのでより安定して可動子 101 を搬送することが可能になる。

【0132】

[第3実施形態]

第1実施形態では、コイル、コイル群、あるいはコイルボックスを引き下げる例を示したが、第3実施形態ではコアの大きさを変える例を示す。コイル、コイル群、あるいはコイルボックスを引き下げる代わりにコアの大きさを変えてもよいし、引き下げおよびコアの大きさの変更を両方行なってもよい。そのほかの構成は第1の実施形態と同様であり詳細な説明は省略する。

【0133】

図 13A ではコア 3014 の大きさの異なる二種類のコイル 3101 および 3102 を示す。コイル 3101 および 3102 は、コア 3104 と巻き線 3013 から構成される

10

20

30

40

50

。コイル3102のコア3104はコイル3101のコア3104より大きく設計されている。このようにすることでコイル3102の磁気抵抗はコイル3101の磁気抵抗より小さくなるのでより大きな吸引力を得ることが出来る。

【0134】

図13Bはコイル3101および3102で構成された搬送路である。搬送路にはスペース3103がある。スペース3103に近い側（第1の実施形態においてコイルあるいはコイルボックスを引き下げた部分）に、それ以外の部分のコイル3101よりコアの大きなコイル3012を配置する。

【0135】

このように構成することによりコイルあるいはコイルボックスを引き下げることで得られる効果と同様の効果を得ることが出来る。つまり、可動子を安定してスムーズに非接触で搬送することができる。

10

【符号の説明】

【0136】

- 101 可動子
- 102 ワーク
- 103 永久磁石
- 104 リニアスケール
- 105 Yターゲット
- 106 Zターゲット
- 107 ヨーク
- 201 固定子
- 202 コイル
- 203 コイルユニット
- 204 リニアエンコーダ
- 205 Yセンサ
- 206 Zセンサ
- 301 統合コントローラ
- 302 コイルコントローラ
- 303 コイルコントローラ
- 304 センサコントローラ

20

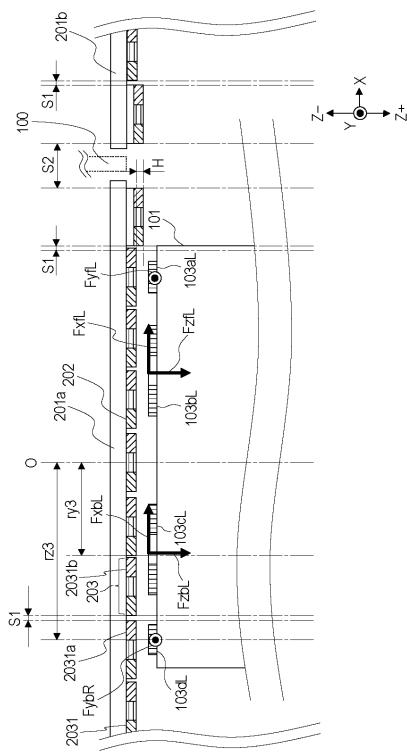
30

40

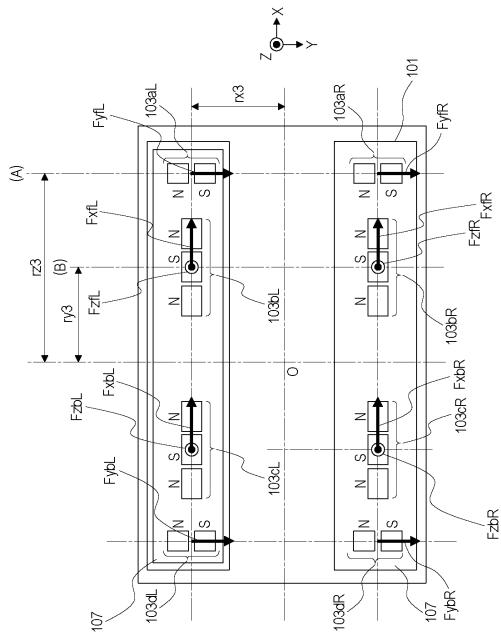
50

【四面】

【図1A】

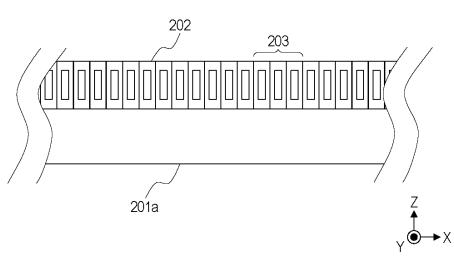
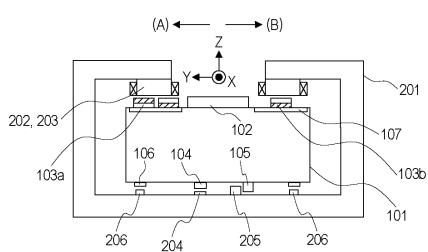


【図1B】

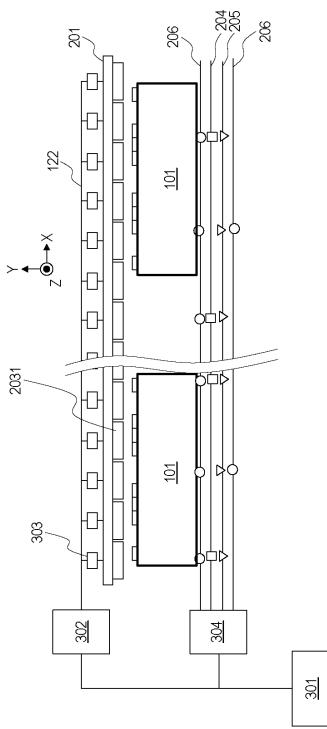


【 図 2 】

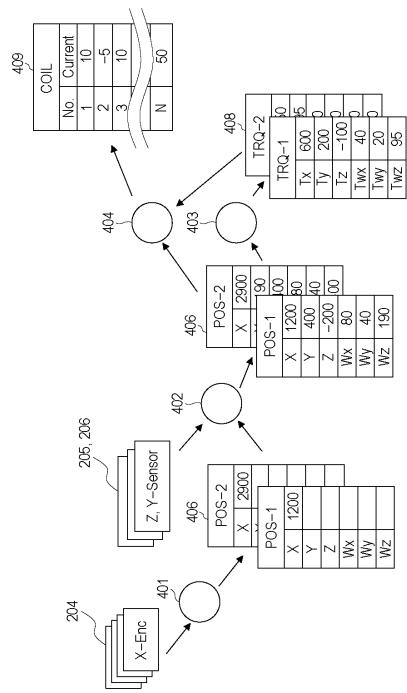
【図3】



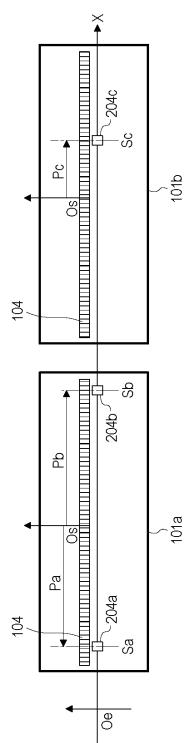
【 四 4 】



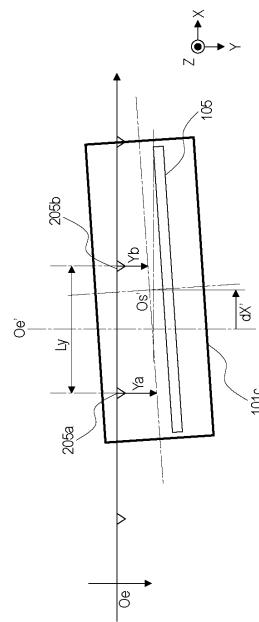
【 四 5 】



【 6 】



【 四 7 】



10

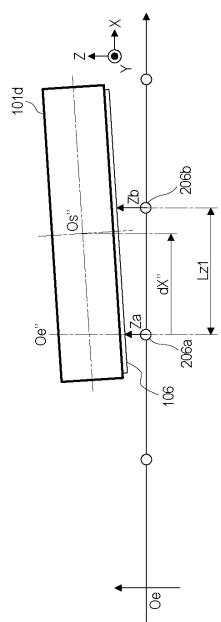
20

30

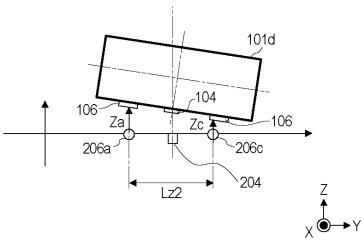
40

50

【図 8 A】



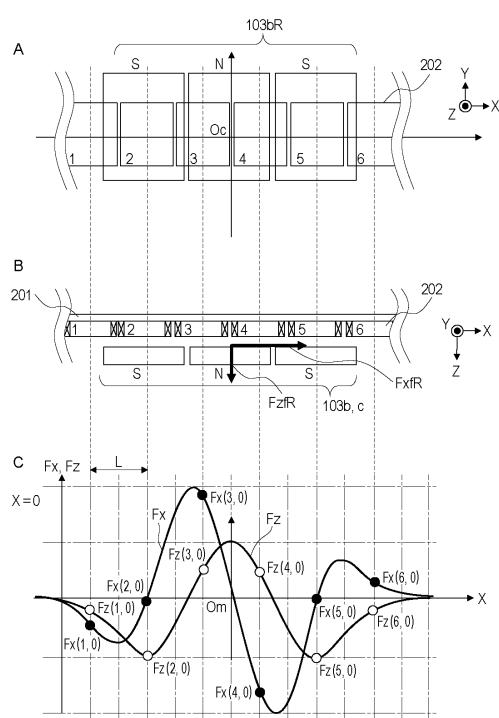
【図 8 B】



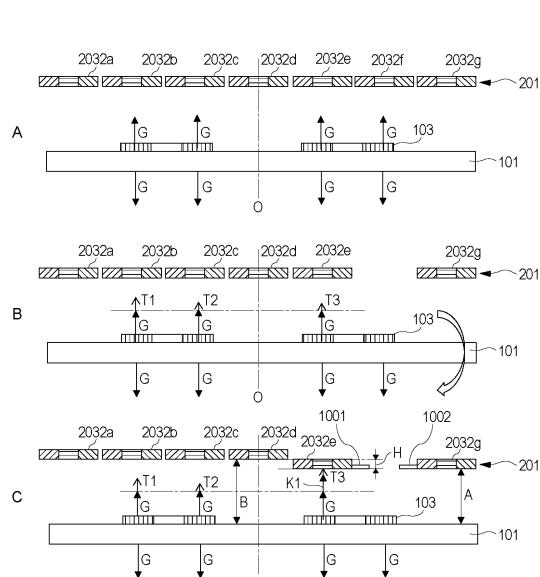
10

20

【図 9】



【図 10】

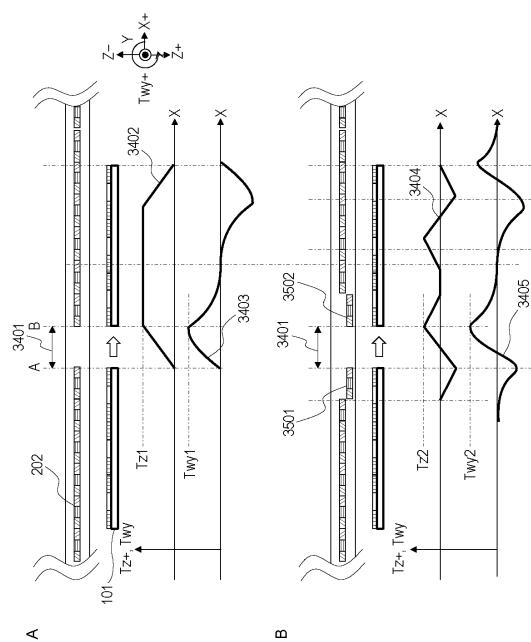


30

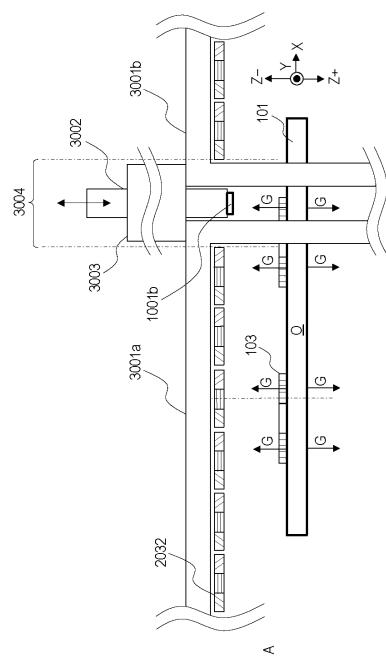
40

50

【図 1 1】



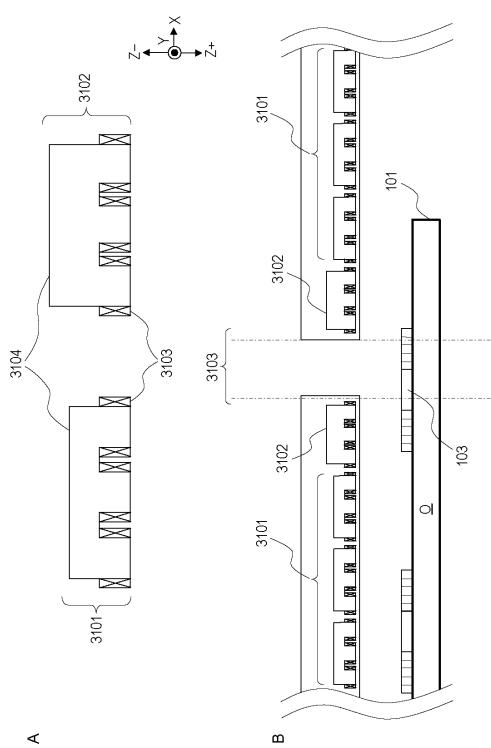
【図 1 2】



10

20

【図 1 3】



30

40

50

フロントページの続き

ヤノン株式会社内

審査官 保田 亨介

(56)参考文献 特開2012-095414 (JP, A)

特開2012-039680 (JP, A)

特開2004-187401 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B65G54/00 - 54/02

H02K41/00 - 41/06