

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7483397号
(P7483397)

(45)発行日 令和6年5月15日(2024.5.15)

(24)登録日 令和6年5月7日(2024.5.7)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 K 41/03 (2006.01)

H 0 2 K 41/03 A

B 6 5 G 54/02 (2006.01)

B 6 5 G 54/02

請求項の数 26 (全50頁)

(21)出願番号	特願2020-19842(P2020-19842)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和2年2月7日(2020.2.7)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2021-126012(P2021-126012		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
	A)	(74)代理人	100094112
(43)公開日	令和3年8月30日(2021.8.30)		弁理士 岡部 譲
審査請求日	令和5年2月6日(2023.2.6)	(74)代理人	100101498
			弁理士 越智 隆夫
		(74)代理人	100106183
			弁理士 吉澤 弘司
		(74)代理人	100136799
			弁理士 本田 亜希
		(72)発明者	山本 武
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キヤノン株式会社内
		審査官	谿花 正由輝

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 搬送システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の方向に沿って移動可能な可動子と、
前記第1の方向に沿って配置された複数のコイルを有し、電流が印加された前記複数のコイルにより前記可動子に力を印加する固定子と、
前記第1の方向に沿って移動する前記可動子の位置及び姿勢を取得する取得部と、
前記可動子の前記位置及び前記姿勢に基づき、前記複数のコイルに印加する電流値を決定して前記力を制御する制御部と、を有し、
前記取得部は、前記位置及び前記姿勢として、
前記第1の方向の変位と、
前記第1の方向と交差する第2の方向の変位、前記第1の方向及び前記第2の方向と交差する第3の方向の変位、前記第1の方向に沿った軸周りの第4の方向の変位、前記第2の方向に沿った軸周りの第5の方向の変位並びに前記第3の方向に沿った軸周りの第6の方向の変位のうちの少なくともいずれかと、を取得し、
前記可動子は、前記第1の方向に沿って複数の磁石が並んだ第1の磁石列と、前記第3の方向に沿って複数の磁石が並んだ第2の磁石列とを含む磁石列を有し、
前記複数のコイルは、前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列に対向し、
前記制御部は、前記複数のコイルに印加する電流を制御することにより、前記第1乃至第6の方向の各成分のうちの少なくともいずれかを制御し、
前記取得部は、前記第1の方向又は第3の方向の変位による可動子の捻れを取得し、

前記制御部は、前記複数のコイルに印加する電流を制御することにより、前記可動子の前記捻れを制御する

ことを特徴とする搬送システム。

【請求項 2】

第 1 の方向に沿って移動可能な可動子と、

前記第 1 の方向に沿って配置された複数のコイルを有し、電流が印加された前記複数のコイルにより前記可動子に力を印加する固定子と、

前記第 1 の方向に沿って移動する前記可動子の位置及び姿勢を取得する取得部と、

前記可動子の前記位置及び前記姿勢に基づき、前記複数のコイルに印加する電流値を決定して前記力を制御する制御部と、を有し、

10

前記取得部は、前記位置及び前記姿勢として、

前記第 1 の方向の変位と、

前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向の変位、前記第 1 の方向及び前記第 2 の方向と交差する第 3 の方向の変位、前記第 1 の方向に沿った軸周りの第 4 の方向の変位、前記第 2 の方向に沿った軸周りの第 5 の方向の変位並びに前記第 3 の方向に沿った軸周りの第 6 の方向の変位のうちの少なくともいずれかと、を取得し、

前記可動子は、前記第 1 の方向に沿って複数の磁石が並んだ第 1 の磁石列と、前記第 3 の方向に沿って複数の磁石が並んだ第 2 の磁石列とを含む磁石列を有し、

前記複数のコイルは、前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列に対向し、

前記制御部は、前記複数のコイルに印加する電流を制御することにより、前記第 1 乃至第 6 の方向の各成分のうちの少なくともいずれかを制御し、

20

前記可動子は、前記第 3 の方向よりも前記第 2 の方向に大きく、

前記磁石列は、前記可動子の上面及び下面に設置されている

ことを特徴とする搬送システム。

【請求項 3】

第 1 の方向に沿って移動可能な可動子と、

前記第 1 の方向に沿って配置された複数のコイルを有し、電流が印加された前記複数のコイルにより前記可動子に力を印加する固定子と、

前記第 1 の方向に沿って移動する前記可動子の位置及び姿勢を取得する取得部と、

前記可動子の前記位置及び前記姿勢に基づき、前記複数のコイルに印加する電流値を決定して前記力を制御する制御部と、を有し、

30

前記取得部は、前記位置及び前記姿勢として、

前記第 1 の方向の変位と、

前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向の変位、前記第 1 の方向及び前記第 2 の方向と交差する第 3 の方向の変位、前記第 1 の方向に沿った軸周りの第 4 の方向の変位、前記第 2 の方向に沿った軸周りの第 5 の方向の変位並びに前記第 3 の方向に沿った軸周りの第 6 の方向の変位のうちの少なくともいずれかと、を取得し、

前記可動子は、前記第 1 の方向に沿って複数の磁石が並んだ第 1 の磁石列と、前記第 3 の方向に沿って複数の磁石が並んだ第 2 の磁石列とを含む磁石列を有し、

前記複数のコイルは、前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列に対向し、

40

前記制御部は、前記複数のコイルに印加する電流を制御することにより、前記第 1 乃至第 6 の方向の各成分のうちの少なくともいずれかを制御し、

前記可動子は、上面と下面とを入れ替えるように反転可能に構成され、

前記磁石列は、前記可動子の反転前後において前記複数のコイルが対向可能に前記可動子に設けられている

ことを特徴とする搬送システム。

【請求項 4】

前記第 2 の方向は、鉛直方向である

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 5】

50

前記制御部は、前記コイルに印加される単位電流による、前記力の前記第 1 乃至第 6 の方向の各成分のうちの少なくともいずれかに対する寄与に関する情報を用いて、前記電流値を決定する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 6】

前記制御部は、前記寄与に関する情報と、前記力の前記第 1 の方向の成分及び前記力の前記第 2 乃至第 6 の方向の各成分のうちの少なくともいずれかに基づき、前記電流値を決定する

ことを特徴とする請求項 5 記載の搬送システム。

【請求項 7】

前記可動子は、第 1 のヨーク板を有し、

前記複数のコイルは、前記第 1 のヨーク板に対向する第 1 のコイルを含み、

前記制御部は、前記第 1 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 2 の方向の成分、前記第 4 の方向の成分及び前記第 6 の方向の成分のうちの少なくともいずれかを制御する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 8】

前記第 1 のコイルは、前記第 1 のヨーク板に前記第 2 の方向に沿って対向する

ことを特徴とする請求項 7 記載の搬送システム。

【請求項 9】

前記可動子は、第 2 のヨーク板を有し、

前記複数のコイルは、前記第 2 のヨーク板に対向する第 2 のコイルを含み、

前記制御部は、前記第 2 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 3 の方向の成分及び前記第 5 の方向の成分のうちの少なくともいずれかを制御する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 10】

前記第 2 のコイルは、前記第 2 のヨーク板に前記第 3 の方向に沿って対向する

ことを特徴とする請求項 9 記載の搬送システム。

【請求項 11】

前記可動子は、導電板を有し、

前記複数のコイルは、前記導電板に対向する第 3 のコイルを含み、

前記制御部は、前記第 3 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 1 の方向の成分を制御する

ことを特徴とする請求項 7 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 12】

前記可動子は、前記第 1 の方向に沿って複数の磁石が並んだ磁石列を有し、

前記複数のコイルは、前記磁石列に対向する第 2 のコイルを含み、

前記制御部は、前記第 2 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 1 の方向の成分、前記力の前記第 3 の方向の成分及び前記第 5 の方向の成分のうちの少なくともいずれかを制御する

ことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の搬送システム。

【請求項 13】

前記可動子は、前記第 1 の方向に沿って複数の磁石が並んだ磁石列を有し、

前記複数のコイルは、前記磁石列に対向する第 1 のコイルを含み、

前記制御部は、前記第 1 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 1 の方向の成分、前記力の前記第 2 の方向の成分、前記力の前記第 4 の方向の成分及び前記力の前記第 6 の方向の成分のうちの少なくともいずれかを制御する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 14】

前記可動子は、ヨーク板を有し、

前記複数のコイルは、前記ヨーク板に対向する第 2 のコイルを含み、
前記制御部は、前記第 2 のコイルに印加する電流を制御することにより、前記力の前記第 3 の方向の成分及び前記力の前記第 5 の方向の成分のうちの少なくともいずれかを制御する

ことを特徴とする請求項 1 3 記載の搬送システム。

【請求項 1 5】

前記第 2 のコイルは、前記ヨーク板に前記第 3 の方向に沿って対向することを特徴とする請求項 1 4 記載の搬送システム。

【請求項 1 6】

前記取得部は、前記第 1 の方向又は第 3 の方向の変位による可動子の捻れを取得し、
前記制御部は、前記複数のコイルに印加する電流を制御することにより、前記可動子の前記捻れを制御する

10

ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の搬送システム。

【請求項 1 7】

前記第 1 の磁石列の中に設置されたヨーク板を有することを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 1 8】

前記可動子は、前記第 3 の方向よりも前記第 2 の方向に大きく、
前記磁石列は、前記可動子の上面及び下面に設置されている
ことを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の搬送システム。

20

【請求項 1 9】

前記可動子は、前記第 3 の方向よりも前記第 2 の方向に大きく、
前記磁石列は、前記可動子の上面及び側面に設置されている
ことを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の搬送システム。

【請求項 2 0】

前記磁石列は、前記可動子の下面に設置されている
ことを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の搬送システム。

【請求項 2 1】

前記可動子は、上面と下面とを入れ替えるように反転可能に構成され、
前記磁石列は、前記可動子の反転前後において前記複数のコイルが対向可能に前記可動子に設けられている

30

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の搬送システム。

【請求項 2 2】

前記磁石列の上面及び下面は、開放されている
ことを特徴とする請求項 2 1 記載の搬送システム。

【請求項 2 3】

前記コイルは、コアと、前記コアに巻かれた巻き線とを有し、
前記コアの内部に永久磁石が設けられている
ことを特徴とする請求項 1 乃至 2 2 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 2 4】

40

前記コイルは、コアと、前記コアに巻かれた巻き線とを有し、
前記コアは、前記巻き線が巻かれた中央部と、前記中央部から前記第 3 の方向に沿って前記巻き線の外側に拡張された拡張部とを有する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の搬送システム。

【請求項 2 5】

請求項 1 乃至 2 4 のいずれか 1 項に記載された搬送システムと、
前記可動子により搬送されるワークに対して加工を施す工程装置と
を有することを特徴とする加工システム。

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載の加工システムを用いて物品を製造する物品の製造方法であって、

50

前記可動子により前記ワークを搬送する工程と、
前記可動子により搬送された前記ワークに対して、前記工程装置により前記加工を施す工程と

を有することを特徴とする物品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、搬送システムに関する。

【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。

【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短くするという問題があった。

【0004】

そこで、特許文献1には、可動子を非接触で搬送可能な磁気浮上型の搬送装置が記載されている。特許文献1で記載されるような磁気浮上型の搬送装置は、可動子の搬送方向に沿って、チャンバの上部には浮上用コイルを、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している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第6538710号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1に記載されるような搬送装置では、浮上用のコイルと可動子の間の距離の制御を個々のコイルと可動子の間で完結して行うため、可動子の搬送を安定して行うことが困難であった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一観点によれば、搬送方向に沿って移動可能な可動子と、前記搬送方向に沿って配置された複数のコイルを有し、電流が印加された前記複数のコイルにより前記可動子に力を印加する固定子と、前記搬送方向に沿って移動する前記可動子の位置及び姿勢を取得する取得部と、前記可動子の前記位置及び前記姿勢に基づき、前記複数のコイルに印加する電流値を決定して前記力を制御する制御部とを有することを特徴とする搬送システムが提供される。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、可動子の姿勢を制御しつつ、安定して可動子を非接触状態で搬送することができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 2】本発明の第 1 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 3】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおけるコイル及びコイルに関連する構成を示す概略図である。

【図 4】本発明の第 1 実施形態による搬送システムを制御する制御システムを示す概略図である。

【図 5】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子の姿勢制御方法を示す概略図である。

【図 6】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおいて可動子の位置及び姿勢を制御するための制御ブロックの一例を示す概略図である。

10

【図 7 A】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける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。

【図 7 B】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける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。

【図 8】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子姿勢算出関数による処理を説明する概略図である。

【図 9 A】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子姿勢算出関数による処理を説明する概略図である。

【図 9 B】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子姿勢算出関数による処理を説明する概略図である。

20

【図 1 0】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子に取り付けられたヨーク板に働く力と可動子 1 0 1 に働く力成分及びトルク成分との関係を示す概略図である。

【図 1 1】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける Z 方向の推力定数プロファイルを模式的に示すグラフである。

【図 1 2 A】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける固定子のコイルを示す概略図である。

【図 1 2 B】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける固定子のコイルを示す概略図である。

【図 1 3】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおいて、コイルに印加する電流量と、コイルとヨーク板との間に働く吸引力の大きさとの関係を模式的に示すグラフである。

30

【図 1 4】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける可動子を Z 方向に沿って上から下に見た概略図である。

【図 1 5】本発明の第 1 実施形態による搬送システムにおける Y 方向の吸引力プロファイルを模式的に示すグラフである。

【図 1 6】本発明の第 2 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 1 7 A】本発明の第 2 実施形態による搬送システムにおいてコイルと永久磁石列とを使って力成分 T_x 、 T_y 及びトルク成分 T_{wz} を可動子に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。

【図 1 7 B】本発明の第 2 実施形態による搬送システムにおいてコイルと永久磁石列とを使って力成分 T_x 、 T_y 及びトルク成分 T_{wz} を可動子に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。

40

【図 1 7 C】本発明の第 2 実施形態による搬送システムにおいてコイルと永久磁石列とを使って力成分 T_x 、 T_y 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を可動子に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。

【図 1 8】本発明の第 3 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 1 9 A】本発明の第 3 実施形態による搬送システムにおいてコイルと永久磁石列とを使って力成分 T_x 、 T_z 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を可動子 1 0 1 に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。

【図 1 9 B】本発明の第 3 実施形態による搬送システムにおいてコイルと永久磁石列とを

50

使って力成分 T_x 、 T_z 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を可動子 101 に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。

【図 20】本発明の第 4 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 21 A】本発明の第 4 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 21 B】本発明の第 4 実施形態による搬送システムにおける q 軸推力定数プロファイル、 h 軸定数プロファイル及び d 軸推力定数プロファイルを示すグラフである。

【図 22】本発明の第 4 実施形態による搬送システムにおいて h 軸方向 (Y 方向) に力を発生する原理を説明する概略図である。

【図 23 A】本発明の第 5 実施形態による搬送システムにおいて可動子が捻れながら X 方向に搬送されている場合を模式的に示す概略図である。

10

【図 23 B】本発明の第 5 実施形態による搬送システムにおいて可動子が捻れながら X 方向に搬送されている場合を模式的に示す概略図である。

【図 24 A】本発明の第 6 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 24 B】本発明の第 6 実施形態による搬送システムにおける q 軸推力定数プロファイル、 h 軸定数プロファイル及び d 軸推力定数プロファイルを示すグラフである。

【図 25 A】本発明の第 7 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 25 B】本発明の第 7 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 26】本発明の第 8 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 27】本発明の第 9 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 28 A】本発明の第 10 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

20

【図 28 B】本発明の第 11 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【図 29】本発明の第 12 実施形態による搬送システムの構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

[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 1 乃至図 15 を用いて説明する。

【0011】

まず、本実施形態による搬送システム 1 の構成について図 1 乃至図 3 を用いて説明する。図 1 及び図 2 は、本実施形態による可動子 101 及び固定子 201 を含む搬送システム 1 の構成を示す概略図である。なお、図 1 及び図 2 は、それぞれ可動子 101 及び固定子 201 の主要部分を抜き出して示したものである。また、図 1 は可動子 101 を斜め上方から見た図、図 2 は可動子 101 及び固定子 201 を後述の X 方向から見た図である。図 3 は、搬送システム 1 におけるコイル 202、207、208 及びコイル 202、207、208 に関連する構成を示す概略図である。

30

【0012】

図 1 及び図 2 に示すように、本実施形態による搬送システム 1 は、キャリア、台車又はスライダを構成する可動子 101 と、搬送路を構成する固定子 201 とを有している。また、搬送システム 1 は、統合コントローラ 301 と、コイルコントローラ 302 と、コイルユニットコントローラ 303 と、センサコントローラ 304 とを有している。なお、図 1 では、可動子 101 として 3 つの可動子 101 a、101 b、101 c、固定子 201 として 2 つの固定子 201 a、201 b を示している。以後、可動子 101、固定子 201 等の複数存在しうる構成要素について特に区別する必要がない場合には共通の数字のみの符号を用い、必要に応じて数字の符号の後に小文字のアルファベットを付して個々を区別する。また、可動子 101 の R 側の構成要素と L 側の構成要素とを区別する場合には、小文字のアルファベットの後に R 側を示す R 又は L 側を示す L を付す。

40

【0013】

本実施形態による搬送システム 1 は、固定子 201 のコイル 207 と可動子 101 の導電板 107 との間で電磁力を発生させて X 方向の推力を可動子 101 に印加する誘導型リニアモータによる搬送システムである。また、本実施形態による搬送システム 1 は、可動子 101 を浮上させて非接触で搬送する磁気浮上型の搬送システムである。本実施形態に

50

よる搬送システム 1 は、可動子 101 により搬送されたワーク 102 に対して加工を施す工程装置をも有する加工システムの一部を構成している。

【0014】

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 に保持されたワーク 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。工程装置は、特に限定されるものではないが、例えば、ワーク 102 であるガラス基板上に成膜を行う蒸着装置、スパッタ装置等の成膜装置である。なお、図 1 では、2 台の固定子 201 に対して 3 台の可動子 101 を示しているが、これらに限定されるものではない。搬送システム 1 においては、1 台又は複数台の可動子 101 が 1 台又は複数台の固定子 201 上を搬送されうる。

10

【0015】

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。鉛直方向は、重力の方向 (mg 方向) である。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 軸周りの回転方向を W_x 方向、Y 軸周りの回転方向を W_y 方向、Z 軸周りの回転方向を W_z 方向とする。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_c 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。なお、X 方向、Y 方向及び Z 方向は、必ずしも互いに直交する方向に限定されるものではなく、互いに交差する方向として定義することもできる。

20

【0016】

また、搬送方向の変位を位置とし、それ以外の方向の変位を姿勢、位置と姿勢と後述する捻じれ方向の変位とを合わせて状態と定義する。また以下の説明で用いる q 軸及び d 軸の表記は、それぞれ一般的に同期式モーター制御で用いられるベクトル制御における q 軸及び d 軸の表記と同様である。q 軸に沿った方向を q 軸方向とし、d 軸に沿った方向を d 軸方向とする。

【0017】

また、以下の説明において用いる記号は、次のとおりである。なお、記号は、コイル 202、207、208 の各場合について重複して用いられる。

30

【0018】

O_c : 可動子 101 の原点
 O_s : リニアスケール 104 の原点
 O_e : 固定子 201 の原点

【0019】

j : コイルを特定するための指標
 (ただし、j は、N を 2 以上の整数として $1 \leq j \leq N$ を満たす整数である。)
 N : コイルの設置数
 I_j : j 番目のコイルに印加される電流量

40

【0020】

P : 可動子 101 の位置及び姿勢を含む状態 (X, Y, Z, W_x , W_y , W_z)
 $X(j, P)$: 状態 P の可動子 101 の中心から見た j 番目のコイルの X 座標
 $Y(j, P)$: 状態 P の可動子 101 の中心から見た j 番目のコイルの Y 座標
 $Z(j, P)$: 状態 P の可動子 101 の中心から見た j 番目のコイルの Z 座標

【0021】

T : 可動子 101 に印加する力
 T_x : 力 T の X 方向の力成分
 T_y : 力 T の Y 方向の力成分

50

<p>T_z : 力 T の Z 方向の力成分</p> <p>T_{wx} : 力 T の $W \times$ 方向のトルク成分</p> <p>T_{wy} : 力 T の W_y 方向のトルク成分</p> <p>T_{wz} : 力 T の W_z 方向のトルク成分</p>	
【 0 0 2 2 】	
$E_z(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く Z 方向の力	
$E_x(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く X 方向の力	
$E_y(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く Y 方向の力	10
【 0 0 2 3 】	
$E_q(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く q 軸方向の力	
$E_d(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く d 軸方向の力	
$E_h(j, P)$: j 番目のコイルに単位電流を印加した際に状態 P の可動子 1 0 1 に対して働く h 軸方向の力	
【 0 0 2 4 】	
：指標 j を 1 から N まで変化させた場合の合計	20
L : L 側のコイルの指標を変化させた場合の合計	
R : R 側のコイルの指標を変化させた場合の合計	
【 0 0 2 5 】	
$*$: 行列、ベクトルの積	
M : トルク寄与行列	
K : 疑電流ベクトル (列ベクトル)	
T_q : トルクベクトル (列ベクトル)	
I_s : コイル電流ベクトル (列ベクトル)	
F_s : コイル力ベクトル (列ベクトル)	
$M(a, b)$: 行列 M の a 行 b 列の要素	30
【 0 0 2 6 】	
$Inv()$: 逆行列	
$Tr()$: 転置行列	
$Tr(\text{要素 1}, \text{要素 2}, \dots)$: 要素 1、要素 2、... を要素とする列ベクトル	
【 0 0 2 7 】	
Wy_R : 可動子 1 0 1 の R 側の W_y 方向の変位	
Wy_L : 可動子 1 0 1 の L 側の W_y 方向の変位	
【 0 0 2 8 】	
図 1 中の矢印で示すように、可動子 1 0 1 は、搬送方向である X 方向に沿って移動可能に構成されている。可動子 1 0 1 は、ヨーク板 1 0 3 と、導電板 1 0 7 とを有している。また、可動子 1 0 1 は、リニアスケール 1 0 4 と、 Y ターゲット 1 0 5 と、 Z ターゲット 1 0 6 とを有している。	40
【 0 0 2 9 】	
ヨーク板 1 0 3 は、可動子 1 0 1 の複数箇所に複数取り付けられて設置されている。具体的には、ヨーク板 1 0 3 は、可動子 1 0 1 の上面において、 R 側及び L 側それぞれの端部に X 方向に沿って取り付けられて設置されている。また、ヨーク板 1 0 3 は、可動子 1 0 1 の R 側及び L 側それぞれの側面に X 方向に沿って取り付けられて設置されている。各ヨーク板 1 0 3 は、透磁率の大きな物質、例えば鉄で構成された鉄板である。	
【 0 0 3 0 】	
導電板 1 0 7 は、可動子 1 0 1 の上面において中央部に X 方向に沿って取り付けられて	50

設置されている。導電板 107 は、導電性を有する金属板等の導電性を有するものであれば特に限定されるものではないが、電気抵抗の小さいアルミニウム板等が好適である。

【0031】

なお、ヨーク板 103 及び導電板 107 の設置場所及び設置数は、上記の場合に限定されるものではなく、適宜変更することができる。

【0032】

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、可動子 101 において、それぞれ固定子 201 に設置されたりニアエンコーダ 204、Y センサ 205 及び Z センサ 206 により読み取り可能な位置に取り付けられて設置されている。

【0033】

固定子 201 は、コイル 202、207、208 と、リニアエンコーダ 204 と、Y センサ 205 と、Z センサ 206 とを有している。

【0034】

コイル 202 は、可動子 101 の上面に設置されたヨーク板 103 に Z 方向に沿って対向可能なように固定子 201 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されている。具体的には、複数のコイル 202 は、可動子 101 の上面における R 側及び L 側それぞれの端部に設置された 2 つのヨーク板 103 に Z 方向に沿って上方から対向可能なように X 方向に沿って 2 列に配置されて設置されている。

【0035】

コイル 208 は、可動子 101 の側面に設置されたヨーク板 103 に Y 方向に沿って対向可能なように固定子 201 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されている。具体的には、複数のコイル 208 は、可動子 101 の R 側及び L 側それぞれの側面に設置された 2 つのヨーク板 103 に Y 方向に沿って側方から対向可能なように X 方向に沿って 2 列に配置されて設置されている。

【0036】

コイル 207 は、可動子 101 の上面に設置された導電板 107 に Z 方向に沿って対向可能なように固定子 201 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されている。具体的には、複数のコイル 207 は、可動子 101 の上面における中央部に設置された導電板 107 に Z 方向に沿って上方から対向可能なように X 方向に沿って 1 列に配置されて設置されている。

【0037】

固定子 201 は、電流が印加された各コイル 202、207、208 により、搬送方向に沿って移動可能な可動子 101 に力を印加する。これにより、可動子 101 は、位置及び姿勢が制御されつつ搬送方向に沿って搬送される。

【0038】

なお、コイル 202、207、208 の設置場所は、上記の場合に限定されるものではなく、適宜変更することができる。また、コイル 202、207、208 の設置数は、適宜変更することができる。

【0039】

リニアエンコーダ 204、Y センサ 205 及び Z センサ 206 は、搬送方向に沿って移動する可動子 101 の位置及び姿勢を検出する検出部として機能する。

【0040】

リニアエンコーダ 204 は、可動子 101 に設置されたりニアスケール 104 を読み取り可能なように固定子 201 に取り付けられて設置されている。リニアエンコーダ 204 は、リニアスケール 104 を読み取ることにより可動子 101 のリニアエンコーダ 204 に対する相対的な位置を検出する。

【0041】

Y センサ 205 は、可動子 101 に設置された Y ターゲット 105 との間の Y 方向の距離を検出可能なように固定子 201 に取り付けられて設置されている。

【0042】

10

20

30

40

50

Z センサ 2 0 6 は、可動子 1 0 1 に設置された Z ターゲット 1 0 6 との間の Z 方向の距離を検出可能なように固定子 2 0 1 に取り付けられて設置されている。

【 0 0 4 3 】

可動子 1 0 1 は、例えば、その上又は下にワーク 1 0 2 が取り付けられ又は保持されて搬送されるようになっている。なお、図 2 では、ワーク 1 0 2 が可動子 1 0 1 の下に取り付けられた状態を示している。なお、ワーク 1 0 2 を可動子 1 0 1 に取り付け又は保持するための機構は、特に限定されるものではないが、機械的なフック、静電チャック等の一般的な取り付け機構、保持機構等を用いることができる。

【 0 0 4 4 】

なお、図 2 には、ワーク 1 0 2 に対して加工作業を施す工程装置の例である蒸着装置 7 0 1 のチャンバ内に可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 が組み込まれている場合を示している。蒸着装置 7 0 1 は、可動子 1 0 1 に取り付けられたワーク 1 0 2 に対して蒸着を行う蒸着源 7 0 2 を有している。蒸着源 7 0 2 は、可動子 1 0 1 の下部に取り付けられたワーク 1 0 2 に対向可能なように蒸着装置 7 0 1 のチャンバ内の下部に設置されている。蒸着源 7 0 2 の設置場所に搬送された可動子 1 0 1 の下部に取り付けられたワーク 1 0 2 である基板には、蒸着源 7 0 2 による蒸着により金属、酸化物等の薄膜が成膜される。このように、可動子 1 0 1 とともにワーク 1 0 2 が搬送され、搬送されたワーク 1 0 2 に対して工程装置により加工が施されて物品が製造される。

【 0 0 4 5 】

また、図 1 は、固定子 2 0 1 a と固定子 2 0 1 b との間に、例えばゲートバルブ等の構造物 1 0 0 が存在している場所を含む領域を示している。構造物 1 0 0 が存在する場所は、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になっている。

【 0 0 4 6 】

搬送システム 1 に対しては、これを制御する制御システム 3 が設けられている。なお、制御システム 3 は、搬送システム 1 の一部を構成しうる。制御システム 3 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、コイルユニットコントローラ 3 0 3 と、センサコントローラ 3 0 4 とを有している。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 及び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。コイルコントローラ 3 0 2 には、複数のコイルユニットコントローラ 3 0 3 が通信可能に接続されている。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 2 0 5、複数の Z センサ 2 0 6 が通信可能に接続されている。各コイルユニットコントローラ 3 0 3 には、コイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 が接続されている（図 3 参照）。

【 0 0 4 7 】

統合コントローラ 3 0 1 は、センサコントローラ 3 0 4 から送信されるリニアエンコーダ 2 0 4、Y センサ 2 0 5 及び Z センサ 2 0 6 からの出力に基づき、複数のコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に印加する電流指令値を決定する。統合コントローラ 3 0 1 は、決定した電流指令値を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 から受信した電流指令値を各コイルユニットコントローラ 3 0 3 に送信する。コイルユニットコントローラ 3 0 3 は、コイルコントローラ 3 0 2 から受信した電流指令値に基づき、接続されたコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 の電流量を制御する。

【 0 0 4 8 】

図 3 に示すように、各コイルユニットコントローラ 3 0 3 には、1 個又は複数個のコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 が接続されている。

【 0 0 4 9 】

コイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 には、各々電流センサ 3 1 2 及び電流コントローラ 3 1 3 が接続されている。電流センサ 3 1 2 は、接続されたコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に流れる電流値を検出する。電流コントローラ 3 1 3 は、接続されたコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に流れる電流量を制御する。

【 0 0 5 0 】

10

20

30

40

50

コイルユニットコントローラ 303 は、コイルコントローラ 302 から受信した電流指令値に基づき、電流コントローラ 313 に所望の電流量を指令する。電流コントローラ 313 は、電流センサ 312 により検出された電流値を検出して個々のコイル 202、207、208 に対して所望の電流量の電流が流れるように電流量を制御する。

【0051】

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 3 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。

【0052】

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、コイルユニットコントローラ 303 と、センサコントローラ 304 とを有している。制御システム 3 は、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 及びセンサコントローラ 304 が通信可能に接続されている。

【0053】

コイルコントローラ 302 には、複数のコイルユニットコントローラ 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コイルユニットコントローラ 303 は、コイル 202、207、208 のそれぞれの列に対応して設けられている。各コイルユニットコントローラ 303 には、コイル 202、207、208 が接続されている。コイルユニットコントローラ 303 は、接続されたコイル 202、207、208 の電流の大きさを制御することができる。

【0054】

コイルコントローラ 302 は、接続された各々のコイルユニットコントローラ 303 に対して目標となる電流値を指令する。コイルユニットコントローラ 303 は、接続されたコイル 202、207、208 の電流量を制御する。

【0055】

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。

【0056】

複数のリニアエンコーダ 204 は、可動子 101 の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かつ面をなすように固定子 201 に取り付けられている。

【0057】

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、上述のようにコイルユニットコントローラ 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、制御部として機能し、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。

【0058】

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制御部として機能する。

10

20

30

40

50

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。

【0059】

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。

10

【0060】

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。

【0061】

20

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、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。

【0062】

ここで、力の 3 軸成分である Tx、Ty、Tz は、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、トルクの 3 軸成分である Twx、Twy、T wz は、それぞれトルクの 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 (Tx, Ty, Tz, Twx, Twy, Twz) 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。

30

【0063】

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、207、208 に印加する電流指令値 409 を決定する。

【0064】

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。

40

【0065】

可動子 101 の位置及び姿勢の制御についてさらに図 6 を用いて詳細に説明する。図 6 は、可動子 101 の位置及び姿勢を制御するための制御ブロックの一例を示す概略図である。

【0066】

図 6 において、P は、可動子 101 の位置及び姿勢 (位置姿勢又は状態ともいう) であり、(X, Y, Z, Wx, Wy, Wz) を成分とする。ref は、(X, Y, Z, Wx, Wy, Wz) の目標値である。err は、目標値 ref と位置及び姿勢 P との間の偏差で

50

ある。

【 0 0 6 7 】

可動子姿勢制御関数 4 0 3 は、偏差 e_{rr} の大きさ、偏差 e_{rr} の変化、偏差 e_{rr} の積算値等に基づき、目標値 r_{ef} を実現するために可動子 1 0 1 に印加すべき力 T を算出する。コイル電流算出関数 4 0 4 は、印加すべき力 T 並びに位置及び姿勢 P に基づき、可動子 1 0 1 に力 T を印加するためにコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に印加すべきコイル電流 I を算出する。こうして算出されたコイル電流 I がコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に印加されることにより、力 T が可動子 1 0 1 に作用して位置及び姿勢 P が目標値 r_{ef} に変化する。

【 0 0 6 8 】

このように制御ブロックを構成することにより、可動子 1 0 1 の位置及び姿勢 P を所望の目標値 r_{ef} に制御することが可能になる。

【 0 0 6 9 】

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 7 A 及び図 7 B を用いて説明する。図 7 A 及び図 7 B 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 7 0 】

図 7 A 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 0 4 の位置基準である。図 7 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 2 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 0 4 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 7 1 】

例えば、図 7 A に示す可動子 1 0 1 b のリニアスケール 1 0 4 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 0 4 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 $P_{os}(101b)$ は次式 (1) により算出することができる。

$$P_{os}(101b) = S_c - P_c \quad \dots \text{式 (1)}$$

【 0 0 7 2 】

例えば、図 7 A に示す可動子 1 0 1 a のリニアスケール 1 0 4 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 0 4 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 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 $P_{os}(101a)$ は、次式 (2) で算出することができる。

$$P_{os}(101a) = S_a - P_a \quad \dots \text{式 (2)}$$

【 0 0 7 3 】

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 0 4 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 $P_{os}(101a)$ は、次式 (3) により算出することができる。

$$P_{os}(101a) = S_b - P_b \quad \dots \text{式 (3)}$$

【 0 0 7 4 】

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 $P_{os}(101a)$ 、 $P_{os}(101a)$ 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 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 0 4 を観測していると判定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 5 】

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 0 7 6 】

また、可動子 1 0 1 は、Z 軸周りに回転量 W_z で回転しうる。この回転量 W_z の変位による可動子 1 0 1 の位置の補正が必要な場合について図 7 B で説明する。

【 0 0 7 7 】

図 7 B は、可動子 1 0 1 b の Y 方向における一方の側面にリニアスケール 1 0 4 が取り付けられている場合について説明している。O s はリニアスケール 1 0 4 の原点、O c は可動子 1 0 1 b の原点である。可動子 1 0 1 の中心 O c からリニアスケール 1 0 4 までの距離を L_x とすれば、可動子 1 0 1 b の位置 $P o s (1 0 1 b)$ は、次式 (1 b) を用いて計算することにより、より正確な可動子 1 0 1 b の位置を得ることができる。

$$P o s (1 0 1 b) = S c - P c - W_z * L_x + W_y * L_z \quad \dots \text{式 (1 b)}$$

【 0 0 7 8 】

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 0 7 9 】

次に、可動子姿勢算出関数 4 0 2 による処理について図 8、図 9 A 及び図 9 B を用いて説明する。

【 0 0 8 0 】

図 8 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 2 0 5 として Y センサ 2 0 5 a、2 0 5 b が配置されている場合を示している。図 8 に示す可動子 1 0 1 c の Y ターゲット 1 0 5 には、2 つの Y センサ 2 0 5 a、2 0 5 b が対向している。2 つの Y センサ 2 0 5 a、2 0 5 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 2 0 5 a、2 0 5 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 0 8 1 】

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 2 0 5 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 0 5 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 0 8 2 】

また、図 9 A 及び図 9 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 2 0 6 として Z センサ 2 0 6 a、2 0 6 b、2 0 6 c が配置されている場合を示している。図 9 A 及び図 9 B に示す可動子 1 0 1 d の Z ターゲット 1 0 6 には、3 つの Z センサ 2 0 6 a、2 0 6 b、2 0 6 c が対向している。ここで、3 つの Z センサ 2 0 6 a、2 0 6 b、2 0 6 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 2 0 6 a、2 0 6 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 2 0 6 a、2 0 6 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。

$$W_y = (Z b - Z a) / L_z 1 \quad \dots \text{式 (5 a)}$$

$$W_x = (Z c - Z a) / L_z 2 \quad \dots \text{式 (5 b)}$$

【 0 0 8 3 】

可動子姿勢算出関数 4 0 2 は、上述のようにして、可動子 1 0 1 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。

【 0 0 8 4 】

また、可動子姿勢算出関数 4 0 2 は、次のようにして可動子 1 0 1 の姿勢情報として可動子 1 0 1 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。

【 0 0 8 5 】

まず、可動子 1 0 1 の Y 方向の位置 Y の算出について図 8 を用いて説明する。図 8 において、可動子 1 0 1 c がかかる 2 つの Y センサ 2 0 5 をそれぞれ Y センサ 2 0 5 a、2 0 5 b とする。また、Y センサ 2 0 5 a、2 0 5 b の測定値をそれぞれ Y a、Y b とする。また、Y センサ 2 0 5 a の位置と Y センサ 2 0 5 b 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 1 0 1 c 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 1 0 1 c の Y 方向の位置 Y は、次式 (6) により近似的に計算して算出することができる。

$$Y = (Y a + Y b) / 2 - W z * d X \quad \dots \text{式 (6)}$$

【 0 0 8 6 】

次に、可動子 1 0 1 の Z 方向の位置 Z の算出について図 9 A 及び図 9 B を用いて説明する。可動子 1 0 1 d がかかる 3 つの Z センサ 2 0 6 をそれぞれ Z センサ 2 0 6 a、2 0 6 b、2 0 6 c とする。また、Z センサ 2 0 6 a、2 0 6 b、2 0 6 c の測定値をそれぞれ Z a、Z b、Z c とする。また、Z センサ 2 0 6 a の X 座標と Z センサ 2 0 6 c の X 座標とは同一である。また、また、Z センサ 2 0 6 a 及び Z センサ 2 0 6 c の位置 X を O e とする。さらに、O e から可動子 1 0 1 の中心 O s までの距離を d X とする。このとき、可動子 1 0 1 の Z 方向の位置 Z は、次式 (7) により近似的に計算して算出することができる。

$$Z = (Z a + Z b) / 2 + W y * d X \quad \dots \text{式 (7)}$$

【 0 0 8 7 】

なお、位置 Y 及び位置 Z とともにそれぞれ 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。

【 0 0 8 8 】

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 及び可動子姿勢算出関数 4 0 2 を用いた処理を実行することにより、可動子 1 0 1 の位置及び姿勢 (X、Y、Z、W x、W y、W z) を取得する取得部として機能する。

【 0 0 8 9 】

次に、可動子 1 0 1 に所望の力 T を印加するためのコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に印加する電流値の決定方法について説明する。可動子 1 0 1 に印加する力 T は、上述のように、力の 3 軸成分である T x、T y、T z 及びトルクの 3 軸成分である T w x、T w y、T w z を有するものである。コイル電流算出関数 4 0 4 を用いた処理を実行する統合コントローラ 3 0 1 は、以下に説明する電流値の決定方法に従ってコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 に印加する電流値を決定することができる。

【 0 0 9 0 】

なお、コイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 が印加する力及びトルクのうち、1 つの力又はトルクが他の力又はトルクに与える影響を十分無視できる場合がある。コイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 が印加する力及びトルクは、具体的には、コイル 2 0 7 が印加する X 方向の力、コイル 2 0 8 が印加する Y 方向の力及び W z 方向のトルク、並びにコイル 2 0 2 が印加する Z 方向の力、W x 方向のトルク及び W y 方向のトルクである。コイル 2 0 8 が印加する Y 方向の力及び W z 方向のトルクは、水平方向において作用するものである。コイル 2 0 2 が印加する Z 方向の力、W x 方向のトルク及び W y 方向のトルクは、浮上方向において作用するものである。影響を十分無視できる場合、コイル 2 0 7 については X 方向の力だけを、コイル 2 0 8 については Y 方向の力及び W z 方向のトルクだけを、コイル 2 0 2 については Z 方向の力、W x 方向のトルク及び W y 方向のトルクだけを考慮して電流値を計算できる。以下、影響を十分に無視できる場合について説明する。

【 0 0 9 1 】

まず、Z 方向の力成分 T z、W x 方向のトルク成分 T w x 及び W y 方向のトルク成分 T w y を可動子 1 0 1 に印加するために各コイル 2 0 2 に印加する電流について図 1 0 乃至図 1 3 B を用いて説明する。

【 0 0 9 2 】

10

20

30

40

50

図 1 0 は、可動子 1 0 1 上に取り付けられたヨーク板 1 0 3 に働く力と可動子 1 0 1 に働く力成分 T_z 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} との関係を示す概略図である。

【 0 0 9 3 】

図 1 0 において、 F_{zj} は、 j 番目のコイル 2 0 2 がヨーク板 1 0 3 に印加する力である。ただし、コイル 2 0 2 の設置数 N を 2 以上の整数として、 j は $1 \sim j \sim N$ を満たす整数である。各力 F_{zj} が印加するトルクは、トルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} に寄与する。各力 F_{zj} が印加するトルクは、その力 F_{zj} 及びその作用点と可動子 1 0 1 の中心 O_c との距離に応じて決定される。

【 0 0 9 4 】

図 1 1 は、 Z 方向の推力定数プロファイル 6 0 1 を模式的に示すグラフである。推力定数プロファイル 6 0 1 は、ヨーク板 1 0 3 に対向する浮上用のコイル 2 0 2 に単位電流を印加した際にヨーク板 1 0 3 に働く吸引力を模式的に示している。その吸引力大きさは、 X 方向の移動に対して連続的に変化する。

10

【 0 0 9 5 】

ここで、コイル 2 0 2 の構成の例について図 1 2 A 及び図 1 2 B を用いて説明する。図 1 2 A 及び図 1 2 B は、コイル 2 0 2 を示す概略図である。図 1 2 A は Z 軸方向から見た図、図 1 2 B はコイル 2 0 2 を X 軸方向から見た図である。

【 0 0 9 6 】

図 1 2 A 及び図 1 2 B に示すように、コイル 2 0 2 は、巻き線 2 1 0 と、コア 2 1 1 とを有している。巻き線 2 1 0 には、電流コントローラ 3 1 3 により電流が印加される。巻き線 2 1 0 に電流が印加されると、磁束の経路である磁路 2 1 2 が形成される。こうして形成された磁路 2 1 2 中の磁束により、コイル 2 0 2 とヨーク板 1 0 3 の間に吸引力が働く。

20

【 0 0 9 7 】

コイル 2 0 2 に印加する電流と、コイル 2 0 2 とヨーク板 1 0 3 との間に働く吸引力の大きさとの関係について図 1 2 A 乃至図 1 3 を用いてさらに詳しく説明する。図 1 3 は、コイル 2 0 2 に印加する電流と、コイル 2 0 2 とヨーク板 1 0 3 との間に働く吸引力の大きさとの関係を模式的に示すグラフである。図 1 3 に示すグラフにおいて、横軸はコイル 2 0 2 に印加する電流量 I 、縦軸はコイル 2 0 2 とヨーク板 1 0 3 との間に働く吸引力の大きさ F_z を示している。図 1 3 に示すグラフには、電流量 I に対する吸引力の大きさ F_z を示す吸引力プロファイル 6 0 4 が示されている。

30

【 0 0 9 8 】

コイル 2 0 2 とヨーク板 1 0 3 との間の Z 方向の間隔が一定の場合、吸引力 F_z は、電流量 I の二乗に概ね比例する。ここで、図 1 3 に示すグラフ中、 F_0 は、可動子 1 0 1 に働く重力 $m g$ を補償するために必要な各コイル 2 0 2 に平均的に働く力の大きさである。

【 0 0 9 9 】

ここで、次のように数値及び記号を設定する。

1 個のコイル 2 0 2 のコア 2 1 1 の底面積： $S = 0.01 [m^2]$

1 個のコイル 2 0 2 が補償する可動子 1 0 1 の質量の一部： $F_0 = 100 [N]$ (約 $10 [kg]$)

40

真空の透磁率： $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$

空気ギャップ： $gap [m]$

コイル 2 0 2 の巻き線 2 1 0 の巻き数： $n [回]$

コイル電流： $I [A]$

コア 2 1 1 とヨーク板 1 0 3 との間の磁束密度： $B [T]$

【 0 1 0 0 】

コア 2 1 1 及びヨーク板 1 0 3 の透磁率が真空の透磁率に対して十分大きいとすると、 F_z 及び B は、それぞれ次式 (8 a) 及び (8 b) により近似的に計算することができる。

$F_z = S * B^2 / (2 * \mu_0) \dots$ 式 (8 a)

$B = N * I * \mu_0 / (2 * gap) \dots$ 式 (8 b)

50

【 0 1 0 1 】

ここで巻き数 n が 5 0 0 [回]、コイル電流 I_0 が 1 . 0 [A] のとき、空気ギャップ gap は、式 (8 a) 及び (8 b) により 0 . 0 0 6 2 6 6 [m] と計算することができる。

【 0 1 0 2 】

ここで、吸引力プロファイル 6 0 4 において、 $F_z = F_0$ となる $I = I_0$ の点を Q とする。この点 Q の周りについて説明する。

【 0 1 0 3 】

仮に、 gap が 0 . 0 0 6 2 6 6 [m] から 0 . 2 5 [m m] だけ拡大する方向に変化した場合、拡大する gap を補償するため、コイル 2 0 2 にはより大きな起磁力を発生させる必要がある。 gap を 0 . 0 0 6 5 1 6 m として、式 (8 a) 及び (8 b) を同じ F_z を発生するようにして計算すれば、コイル電流 I は、1 . 0 3 9 9 [A] と計算される。この程度の電流値であるから、可動子 1 0 1 の搬送中におけるコイル電流の電流値の変動は、基準となるコイル電流 I_0 に比べて十分小さい。

【 0 1 0 4 】

したがって、点 Q の周りでは、電流 I_0 に対して追加で印加する電流 dI と、電流 dI の印加により Z 軸方向に追加して発生する力の大きさ dF との間には、次式 (8 c) で示される関係が成り立つ。なお、原点 O の周りでは、式 (8 c) で示される関係は成立しない。

$$dF \quad dI \quad \dots \text{式 (8 c)}$$

【 0 1 0 5 】

ここで、 dF と dI の比を次式 (8 d) により定義する。

$$dF / dI = E_z \quad \dots \text{式 (8 d)}$$

【 0 1 0 6 】

図 1 1 に示す推力定数プロファイル 6 0 1 において、 $E_z(j, P)$ が示されている。 $E_z(j, P)$ は、式 (8 d) に示す比になっている。すなわち、 $E_z(j, P)$ は、可動子 1 0 1 が位置姿勢 P にあるときに j 番目のコイル 2 0 2 に平均的に印加している電流 I_0 に対して追加で電流 dI を印加した際における、電流 dI に対する Z 軸方向に追加して発生する力の大きさ dF の比である。

【 0 1 0 7 】

j をコイル 2 0 2 を特定する指標として上記表記方法に従って図 1 0 を参照して説明する。以下、簡単のため、 Z 方向の追加の力 dF_z を単に F_z と表記し、追加の電流 dI_j を I_j と表記する。

【 0 1 0 8 】

j 番目のコイル 2 0 2 が発生する Z 方向の追加の力 F_z は、 I_j を j 番目のコイル 2 0 2 に印加する追加の電流とすれば、次式 (9 a) により表される。

$$F_z = E_z(j, P) * I_j \quad \dots \text{式 (9 a)}$$

【 0 1 0 9 】

さらに $X(j, P)$ を j 番目のコイル 2 0 2 の可動子 1 0 1 の原点 O_c から見た X 方向の相対位置、 $Y(j, P)$ を j 番目のコイル 2 0 2 の可動子 1 0 1 の原点 O_c から見た Y 方向の相対位置とする。すると、 Z 方向の力成分 T_z 、 Wx 方向のトルク成分 T_{wx} 及び Wy 方向のトルク成分 T_{wy} は、それぞれ次式 (9 b)、(9 c) 及び (9 d) により表される。

$$T_z = (E_z(j, P) * I_j) \quad \dots \text{式 (9 b)}$$

$$T_{wx} = (-E_z(j, P) * Y(j, P) * I_j) \quad \dots \text{式 (9 c)}$$

$$T_{wy} = (E_z(j, P) * X(j, P) * I_j) \quad \dots \text{式 (9 d)}$$

【 0 1 1 0 】

上式 (9 b)、(9 c) 及び (9 d) を満足する電流 I_j を各コイル 2 0 2 に印加すれば、所望の力成分及びトルク成分 (T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy}) を得ることができる。

【 0 1 1 1 】

10

20

30

40

50

ここで、トルク寄与行列 M を定義する。トルク寄与行列 M は、可動子が位置姿勢 P にある場合に $1 \sim j$ 番目のコイル 202 の各々に対して単位電流を印加した場合の各力成分及びトルク成分 (T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy}) への寄与の大きさを示す行列である。このように、トルク寄与行列 M を用いて、各コイル 202 に印加される単位電流による力成分及びトルク成分 (T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy}) の各成分に対する寄与に関する情報を用いて、各コイル 202 に印加される電流値を決定する。

【0112】

トルク寄与行列 M では、その 1 行目を Z 方向、2 行目を Wx 方向、3 行目を Wy 方向に対応させる。すると、トルク寄与行列 M の 1 行 j 列、2 行 j 列及び 3 行 j 列の各要素 $M(1, j)$ 、 $M(2, j)$ 及び $M(3, j)$ は、それぞれ次式 (10a)、(10b) 及び (10c) により表される。トルク寄与行列 M は、3 行 N 列の行列である。なお、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。

$$M(1, j) = E_z(j, P) \quad \dots \text{式 (10a)}$$

$$M(2, j) = -E_z(j, P) * Y(j, P) \quad \dots \text{式 (10b)}$$

$$M(3, j) = E_z(j, P) * X(j, P) \quad \dots \text{式 (10c)}$$

【0113】

一方、コイル電流ベクトル I_s として、 $1 \sim N$ 番目のコイル 202 に印加する電流量 $I_1 \sim I_N$ を要素とする列ベクトルを導入する。コイル電流ベクトル I_s は、次式 (10d) により表される N 行 1 列の列ベクトルである。

$$I_s = Tr(I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N) \quad \dots \text{式 (10d)}$$

【0114】

ここで、トルクベクトル T_q を次式 (11) により定義する。

$$T_q = Tr(T_z, T_{wx}, T_{wy}) \quad \dots \text{式 (11)}$$

【0115】

すると、式 (9b) ~ (9d)、(10a) ~ (10d) 及び (11) から次式 (12) が得られる。

$$T_q = M * I_s \quad \dots \text{式 (12)}$$

【0116】

ここで、疑電流ベクトル K を導入する。疑電流ベクトル K は、3 行 1 列の列ベクトルであり、 $Tr(M)$ をトルク寄与行列 M の転置行列とすれば、次式 (13) を満足するベクトルである。

$$Tr(M) * K = I_s \quad \dots \text{式 (13)}$$

【0117】

コイル電流ベクトル I_s を式 (13) により表されるものとするこで、 T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy} への寄与の大きいコイル 202 により多くの電流値を印加することができるため、効率的に電流を印加することができる。

【0118】

式 (12) は、式 (13) を用いて次式 (14) に変形することができる。

$$T_q = M * Tr(M) * K \quad \dots \text{式 (14)}$$

【0119】

式 (14) において、 $M * Tr(M)$ は、3 行 N 列の行列と N 行 3 列の行列との積であるから 3 行 3 列の正方行列である。また、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。したがって、 $M * Tr(M)$ は、逆行列を常に得ることができる。そのため、式 (14) は、次式 (15) に変形することができる。

$$K = Inv(M * Tr(M)) * T_q \quad \dots \text{式 (15)}$$

【0120】

式 (13) 及び (15) から、最終的に次式 (16) で表されるコイル電流ベクトル I_s を得る。こうして、コイル電流ベクトル I_s を一意に求めることができる。

$$Tr(M) * Inv(M * Tr(M)) * T_q = I_s \quad \dots \text{式 (16)}$$

【0121】

10

20

30

40

50

以上のようにしてコイル電流ベクトル I_s を計算することにより、各コイル 202 に印加する電流を決定することができる。これにより、可動子 101 に対して Z 方向の力成分 T_z 、Wx 方向のトルク成分 T_{wx} 及び Wy 方向のトルク成分 T_{wy} を独立して印加することができるので、Z 方向、Wx 方向及び Wy 方向において可動子 101 の姿勢を安定させることができる。

【0122】

次に、Y 方向の力成分 T_y 及び Wz 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 101 に印加するためにコイル 208 に印加する電流について図 14 及び図 15 を用いて説明する。力成分 T_y 及びトルク成分 T_{wz} は、それぞれ水平方向において作用するものである。図 14 は、可動子 101 を Z 方向に沿って上から下に見た概略図である。図 15 は、Y 方向の吸引力

10

【0123】

なお、簡単のため、図 14 には、固定子 201 に設置されたコイル 208 として、4 個のコイル 208aR、208bR、208aL、208bL が可動子 101 に対向している場合を示している。また、コイル 208aL と 208aR とは、一対となって 1 個のコイル 208a として動作する。また、コイル 208bL とコイル 208bR とは、一対となって 1 個のコイル 208b として動作する。このように、j 番目の対のコイル 208jR とコイル 208jL とは、一対となって 1 個のコイル 208j として動作するものとする。

20

【0124】

図 15 に示す吸引力プロファイル 605 は、j 番目の 1 対のコイル 208j に印加する電流の大きさ I_L 、 I_R と可動子 101 に働く力 F_y の大きさとの関係を示している。コイル 208 とヨーク板 103 の間には、反発力は働かず吸引力のみが働く。このため、可動子 101 に対して Y+ 方向に力を印加する場合には、吸引力プロファイル 605 の範囲 605a において、R 側のコイル 208jR に電流を印加する。また、可動子 101 に対して Y- 方向に力を印加する場合には、吸引力プロファイル 605 の範囲 605b において、L 側のコイル 208jL に電流を印加する。

【0125】

例えば、Y+ 方向の力 F_a を印加する場合には、R 側のコイル 208jR に電流 I_a を印加することができる。また、例えば、Y- 方向の力 F_b を印加する場合は L 側のコイル 208jL に電流 I_b を印加することができる。

30

【0126】

j を一対のコイル 208 を特定する指標とする。また、 $X(j, P)$ を j 番目の一対のコイル 208 の可動子 101 の原点 O_c から見た X 方向の相対位置とする。また、j 番目の一対のコイル 208 が印加する Y 方向の力を F_{y_j} とする。すると、水平方向の Y 方向の力成分 T_y 及び Wz 方向のトルク成分 T_{wz} は、それぞれ次式 (17a) 及び (17b) により表される。

$$T_y = F_{y_j} \dots \text{式 (17a)}$$

$$T_{wz} = (-F_{y_j} * X(j, P)) \dots \text{式 (17b)}$$

40

【0127】

ここで、1 ~ N 番目のコイル 208 が印加する Y 方向の力 F_{y1} 、 F_{y2} 、...、 F_{yN} を要素とする Y 方向力ベクトル F_{ys} を次式 (17c) により定義する。

$$F_{ys} = \text{Tr}(F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{y_j}, \dots, F_{yN}) \dots \text{式 (17c)}$$

【0128】

さらに、トルクベクトル T_q を次式 (17d) により定義する。

$$T_q = \text{Tr}(T_y, T_{wz}) \dots \text{式 (17d)}$$

【0129】

トルク寄与行列 M では、1 行目を Y 方向、2 行目を Wz 方向に対応させる。すると、トルク寄与行列 M の 1 行 j 列及び 2 行 j 列の各要素 $M(1, j)$ 及び $M(2, j)$ は、それ

50

ぞれ次式 (1 7 e) 及び (1 7 f) により表される。

$$M (1 , j) = 1 \quad \dots \text{式 (1 7 e)}$$

$$M (2 , j) = X (j , P) \quad \dots \text{式 (1 7 f)}$$

【 0 1 3 0 】

コイル 2 0 8 に印加する電流を算出するため、まず、次式 (1 7 g) を満足する Y 方向力ベクトル F_{ys} を決定する。

$$Tq = M * F_{ys} \quad \dots \text{式 (1 7 g)}$$

【 0 1 3 1 】

Tq は 2 行 1 列のベクトル、 M は 2 行 N 列の行列であるから、式 (1 7 g) を満足する Y 方向力ベクトル F_{ys} の要素の組み合わせは無数にあるが、以下の方法に従って一意に計算することができる。

【 0 1 3 2 】

ここで、2 行 1 列の擬電流ベクトル K を導入する。擬電流ベクトル K は、 $Tr (M)$ をトルク寄与行列 M の転置行列とすれば、次式 (1 7 h) を満足するベクトルである。

$$Tr (M) * K = F_{ys} \quad \dots \text{式 (1 7 h)}$$

【 0 1 3 3 】

式 (1 7 g) は、式 (1 7 h) を用いて次式 (1 7 i) に変形することができる。

$$Tq = M * Tr (M) * K \quad \dots \text{式 (1 7 i)}$$

【 0 1 3 4 】

$M * Tr (M)$ は、2 行 N 列の行列と N 行 2 列の行列との積であるから 2 行 2 列の正方行列である。また、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。したがって、 $M * Tr (M)$ は、逆行列を常に得ることができる。そのため、式 (1 7 i) は、次式 (1 7 j) に変形することができる。

$$K = Inv (M * Tr (M)) * Tq \quad \dots \text{式 (1 7 j)}$$

【 0 1 3 5 】

式 (1 7 h) 及び (1 7 j) から、最終的に次式 (1 7 k) で表される Y 方向力ベクトル F_{ys} を得る。これにより、Y 方向力ベクトル F_{ys} を一意に計算することができる。

$$Tr (M) * Inv (M * Tr (M)) * Tq = F_{ys} \quad \dots \text{式 (1 7 k)}$$

【 0 1 3 6 】

Y 方向力ベクトル F_{ys} が得られた後は、予め計算又は測定されている吸引力プロファイル 6 0 5 から逆算して各コイル 2 0 8 に印加する電流を算出することができる。

【 0 1 3 7 】

以上のようにして、各コイル 2 0 8 に印加する電流を決定することができる。これにより、可動子 1 0 1 に対して Y 方向の力成分 T_y 及び Wz 方向のトルク成分 T_{Wz} を独立して印加することができるので、Y 方向及び Wz 方向において可動子 1 0 1 の姿勢を安定させることができる。例えば、コイル 2 0 8 に対しては、 Wz 方向のトルクが常に 0 となるように電流を印加することができる。

【 0 1 3 8 】

次に、搬送方向である X 方向の推力を可動子 1 0 1 に印加するコイル 2 0 7 の制御方法について説明する。本実施形態による搬送システム 1 は、誘導型リニアモータによる搬送システムである。コイル 2 0 7 は、可動子 1 0 1 の導電板 1 0 7 との間で電磁力を発生させて X 方向の推力、すなわち X 方向の力成分 T_x を可動子 1 0 1 に印加する。導電板 1 0 7 としては、特に限定されるものではないが、電気抵抗が比較的小さい例えばアルミニウム製の板が用いられている。

【 0 1 3 9 】

各コイル 2 0 7 は、電流が印加されることにより搬送方向である X 方向に移動磁界を発生させてコイル 2 0 7 と導電板 1 0 7 との間に電磁力を発生させる。これにより、各コイル 2 0 7 は、可動子 1 0 1 に搬送方向である X 方向の推力として力成分 T_x を発生させる。可動子 1 0 1 の速度が不足する場合は、各コイル 2 0 7 に印加する電流を増加したり、移動磁界が移動する速度が大きくなるように各コイル 2 0 7 に印加する電流のタイミング

10

20

30

40

50

を変更したりすることができる。

【0140】

上述のようにして、統合コントローラ301は、各コイル202、207、208に印加する電流の電流指令値を決定して制御する。これにより、統合コントローラ301は、固定子201により搬送される可動子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。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。

【0141】

なお、本実施形態では、コイル207もコイル202、コイル208と同様に電流が制御される場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、より簡単に、誘導モーターコントローラを統合コントローラ301に接続して、誘導モーターコントローラにより一定の移動磁界が発生するように各コイル207の電流を制御するように構成することもできる。

【0142】

特許文献1に記載されるような従来の搬送装置では、例えば可動子を傾ける等の全体の姿勢を変更することが困難であった。また、従来の搬送装置では、可動子の姿勢を全体として制御することがないため、例えば可動子の変形した場合に特定のコイルは上向きに、別のコイルでは下向きに力を印加するといったように相反する指令を出すおそれがある。相反する指令は、可動子の搬送を不安定にする。

【0143】

また、従来の搬送装置では、可動子を全体的に見た姿勢を制御していないため、可動子の移動に伴ってその高さや変形が外乱となって可動子の姿勢を不安定にする。また、特に可動子の浮上用のコイルが離散的に配置された場合、従来の搬送装置では、可動子の位置によっては制御に関わるコイルの個数が変化する結果、制御上の実効的なゲインが変化して結果的に可動子の搬送が不安定になるという課題があった。また、従来の搬送装置では、制御に必要以上の電流を印加するためエネルギーの損失が大きくコイルが必要以上に加熱されるため、冷却系が必要になるなどの課題があった。

【0144】

これに対して、本実施形態では、可動子101に対して6軸の力成分及びトルク成分(T_x , T_y , T_z , T_{wx} , T_{wy} , T_{wz})を印加することができるため、可動子101の姿勢を全体として制御することができる。したがって、本実施形態では、可動子101の姿勢を安定化するとともに、各コイル202、207、208に必要な範囲で電流を印加することができる。

【0145】

以上のとおり、本実施形態によれば、可動子101に対して6軸の力成分及びトルク成分(T_x , T_y , T_z , T_{wx} , T_{wy} , T_{wz})を独立して印加することができる。このため、本実施形態によれば、Y方向、Z方向、 W_x 方向、 W_y 方向及び W_z 方向において可動子101の姿勢を安定させつつX方向に安定して可動子101を非接触状態で搬送することができる。

【0146】

[第2実施形態]

本発明の第2実施形態について図16乃至図17Cを用いて説明する。なお、上記第1実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【0147】

まず、本実施形態による搬送システム1の構成について図16を用いて説明する。図16は、本実施形態による可動子101及び固定子201を含む搬送システム1の構成を示す概略図である。図16は、可動子101及び固定子201をX方向から見た図である。

【0148】

本実施形態による搬送システム1の基本的構成は、第1実施形態による構成とほぼ同様

10

20

30

40

50

である。本実施形態による搬送システム 1 は、X 方向の力成分 T_x 、Y 方向の力成分 T_y 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 101 に印加するための構成の点で、第 1 実施形態による構成と異なっている。

【0149】

図 16 に示すように、本実施形態による可動子 101 は、第 1 実施形態で用いた可動子 101 側面のヨーク板 103 及び可動子 101 上面の導電板 107 に代えて、複数の永久磁石を含む永久磁石列 109 を有している。また、本実施形態による固定子 201 は、第 1 実施形態で用いたコイル 207、208 に代えて、永久磁石列 109 を有している。

【0150】

永久磁石列 109 は、可動子 101 の R 側及び L 側の側面のうちの一方の側面に X 方向に沿って複数の永久磁石が並ぶように設置されている。図 16 では、可動子 101 の L 側の側面に永久磁石列 109 が設置されている場合を例示している。永久磁石列 109 に含まれる複数の永久磁石は、固定子 201 側の側方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

10

【0151】

コイル 209 は、可動子 101 の側面に設置された永久磁石列 109 に Y 方向に沿って対向可能なように固定子 201 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されている。具体的には、複数のコイル 209 は、可動子 101 の R 側及び L 側のうちの一方の側面に設置された永久磁石列 109 に Y 方向に沿って側方から対向可能なように X 方向に沿って配置されて設置されている。

20

【0152】

各コイル 209 には、第 1 実施形態で説明したコイル 202、207、208 と同様に、統合コントローラ 301、コイルコントローラ 302 等を含む制御システム 3 により電流が印加される。

【0153】

本実施形態では、コイル 209 により永久磁石列 109 に力を印加することにより、X 方向の力成分 T_x 、Y 方向の力成分 T_y 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 101 に対して独立に印加する。本実施形態による搬送システム 1 は、固定子 201 のコイル 209 と可動子 101 の永久磁石列 109 との間で電磁力を発生させて X 方向の推力を可動子 101 に印加する同期式リニアモータによる搬送システムである。また、本実施形態による搬送システム 1 は、可動子 101 を浮上させて非接触で搬送する磁気浮上型の搬送システムである。

30

【0154】

以下、X 方向の力成分 T_x 、Y 方向の力成分 T_y 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 101 に対して独立に印加する方法について図 17A 乃至図 17C を用いて説明する。

【0155】

図 17A 乃至図 17C は、コイル 209 と永久磁石列 109 とを使って力成分 T_x 、 T_y 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 101 に対して独立に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、以下の方法に従って、可動子 101 の永久磁石列 109 に対して力成分 T_x 、 T_y 及びトルク成分 T_{wz} を独立に印加するためにコイル 209 に印加する電流指令値を決定する。なお、簡単のため、図 17A 乃至図 17C において、永久磁石列 109 は 5 個の永久磁石を含むものとする。なお、図 17A 乃至図 17C において左右に並んだ破線は、それぞれ X 方向において対応する位置を示している。

40

【0156】

また、以下の説明では、座標軸として q 軸及び d 軸を適宜用いる。q 軸及び d 軸は、同期式モータのベクトル制御理論で一般的に使用される表現である。q 軸は、永久磁石列 109 が延在する方向に沿った軸である。d 軸は、q 軸と直交して永久磁石列 109 に含まれる永久磁石の表面が向く方向に沿った軸である。本実施形態では、q 軸が X 軸、d 軸が Y 軸に相当する。

50

【 0 1 5 7 】

ここで、Pを可動子101の位置及び姿勢、jを列に並んだコイル209の番号として、単位電流当たりのj番目のコイル209のq軸方向(X方向)及びd軸方向(Y方向)に働く力の大きさを、それぞれ $E_q(j, P)$ 及び $E_d(j, P)$ とする。また、j番目のコイル209の電流の大きさを $I(j)$ とする。

【 0 1 5 8 】

図17Aは、横にq軸(X軸)、縦にZ軸を取り、永久磁石列109に対向する9個のコイル209を抜き出して示す図であり、Y+方向から見た図である。図17Bは、図17AをZ方向から見た図である。コイル209には、X方向に並んだ順に1から9までの番号jを付与し、以下では例えばコイル209(1)のように表記して各コイル209を特定する。

10

【 0 1 5 9 】

図17A及び図17Bに示すように、コイル209は、距離Lのピッチで配置されている。一方、可動子101の永久磁石列109に含まれる永久磁石は、距離 $3/2 * L$ のピッチで配置されている。

【 0 1 6 0 】

図17Cは、図17A及び図17Bに示す各々のコイル209に対して単位電流を印加した際に発生するq軸方向(X方向)の力 E_q 及びd軸方向(Y方向)の力 E_d の大きさをそれぞれ模式的に示したグラフである。

【 0 1 6 1 】

20

簡単のため、図17A乃至図17Cでは、コイル209のX方向の位置の原点 O_m をコイル209(5)の中間とし、永久磁石列109のX方向の中心を可動子101の原点 O_c としている。このため、図17Cは、 O_s 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 6 2 】

このとき、例えばコイル209(4)に対して働く単位電流当たりの力は、q軸方向(X方向)に $E_q(4, 0)$ 、d軸方向(Y方向)に $E_d(4, 0)$ の大きさである。

【 0 1 6 3 】

可動子101の永久磁石列109に働くX方向の力成分 T_x 、Y方向の力成分 T_y 及びWz方向のトルク成分 T_{wz} は、それぞれ次式(20a)、(20b)及び(20c)により表される。

30

$$T_x = E_q(j, P) * I_j \quad \dots \text{式}(20a)$$

$$T_y = E_d(j, P) * I_j \quad \dots \text{式}(20b)$$

$$T_{wz} = \{ -E_d(j, P) * X(j, P) * I_j \} \quad \dots \text{式}(20c)$$

【 0 1 6 4 】

この後は、第1実施形態と同様に、トルク寄与行列Mを定義して計算することにより、所望の T_x 、 T_y 、 T_{wz} を可動子101に印加するために各コイル209に印加する電流を示すコイル電流ベクトル I_s を得ることができる。

【 0 1 6 5 】

本実施形態で定義するトルク寄与行列Mでは、その1行目をX方向、2行目をY方向、3行目をWz方向に対応させる。すると、本実施形態で定義するトルク寄与行列Mの1行j列、2行j列及び3行j列の各要素 $M(1, j) \sim M(3, j)$ は、それぞれ次式(20d)～(20f)により表される。トルク寄与行列Mは、3行N列の行列である。なお、トルク寄与行列Mの各行は、互いに線形独立である。

40

$$M(1, j) = E_q(j, P) \quad \dots \text{式}(20d)$$

$$M(2, j) = E_d(j, P) \quad \dots \text{式}(20e)$$

$$M(3, j) = -E_d(j, P) * X(j, P) \quad \dots \text{式}(20f)$$

【 0 1 6 6 】

また、本実施形態では、コイル電流ベクトル I_s として、1～N番目のコイル209に印加する電流量 $I_1 \sim I_N$ を要素とする列ベクトルを導入する。コイル電流ベクトル I_s

50

は、次式 (2 0 g) により表される N 行 1 列の列ベクトルである。

$$I_s = Tr (I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N) \quad \dots \text{式 (2 0 g)}$$

【 0 1 6 7 】

また、本実施形態では、トルクベクトル T_q を次式 (2 0 h) により定義する。

$$T_q = Tr (T_x, T_y, T_{wz}) \quad \dots \text{式 (2 0 h)}$$

【 0 1 6 8 】

すると、次式 (2 0 i) が得られる。

$$T_q = M * I_s \quad \dots (2 0 i)$$

【 0 1 6 9 】

本実施形態でも、第 1 実施形態と同様に疑電流ベクトル K を用いた計算を実行する。本実施形態では、3 行 1 列の疑電流ベクトル K を導入する。本実施形態で導入する疑電流ベクトル K は、次式 (2 0 j) を満足する。

$$Tr (M) * K = I_s \quad \dots \text{式 (2 0 j)}$$

【 0 1 7 0 】

式 (2 0 i) は、式 (2 0 j) を用いて次式 (2 0 k) に変形することができる。

$$T_q = M * Tr (M) * K \quad \dots \text{式 (2 0 k)}$$

【 0 1 7 1 】

式 (2 0 k) において、 $M * Tr (M)$ は、3 行 N 列の行列と N 行 3 列の行列との積であるから 3 行 3 列の正方行列である。また、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。したがって、 $M * Tr (M)$ は、逆行列を常に得ることができる。そのため、式 (2 0 k) は、次式 (2 0 l) に変形することができる。

$$K = Inv (M * Tr (M)) * T_q \quad \dots \text{式 (2 0 l)}$$

【 0 1 7 2 】

式 (2 0 j) 及び (2 0 l) から、最終的に次式 (2 0 m) により表されるコイル電流ベクトル I_s を得る。こうして、コイル電流ベクトル I_s を一意に求めることができる。

$$Tr (M) * Inv (M * Tr (M)) * T_q = I_s \quad \dots \text{式 (2 0 m)}$$

【 0 1 7 3 】

以上のようにしてコイル電流ベクトル I_s を計算することにより、各コイル 2 0 9 に印加する電流を決定することができる。これにより、可動子 1 0 1 に対して X 方向の力成分 T_x 、Y 方向の力成分 T_y 及び W z 方向のトルク成分 T_{wz} を独立して印加することができる。したがって、Y 方向及び W z 方向において可動子 1 0 1 の姿勢を安定させつつ可動子 1 0 1 を X 方向に搬送することができる。

【 0 1 7 4 】

なお、本実施形態においても、第 1 実施形態と同様に各コイル 2 0 2 に電流を印加することにより、可動子 1 0 1 に対して Z 方向の力成分 T_z 、W x 方向のトルク成分 T_{wx} 及び W y 方向のトルク成分 T_{wy} を独立して印加することができる。このため、本実施形態でも、コイル 2 0 2 とコイル 2 0 9 とを組み合わせる用いることにより、力 T の 6 軸成分 ($T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$) を可動子 1 0 1 に対して印加することができる。

【 0 1 7 5 】

以上のとおり、本実施形態によれば、可動子 1 0 1 に対して 6 軸の力成分及びトルク成分 ($T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$) を独立して印加することができる。したがって、本実施形態によれば、Y 方向、Z 方向、W x 方向、W y 方向及び W z 方向において可動子 1 0 1 の姿勢を安定させつつ X 方向に可動子 1 0 1 を非接触状態で搬送することができる。

【 0 1 7 6 】

[第 3 実施形態]

本発明の第 3 実施形態について図 1 8 乃至図 1 9 B を用いて説明する。なお、上記第 1 及び第 2 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 7 】

まず、本実施形態による搬送システム 1 の構成について図 1 8 を用いて説明する。図 1 8 は、本実施形態による可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 を含む搬送システム 1 の構成を示す概略図である。図 1 8 は、可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 を X 方向から見た図である。

【 0 1 7 8 】

本実施形態による搬送システム 1 の基本的構成は、第 1 実施形態による構成とほぼ同様である。本実施形態による搬送システム 1 は、X 方向の力成分 T_x 、Z 方向の力成分 T_z 、Wx 方向のトルク成分 T_{wx} 、Wy 方向のトルク成分 T_{wy} 及び Wz 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 1 0 1 に印加するための構成の点で、第 1 実施形態による構成と異なっている。

10

【 0 1 7 9 】

図 1 8 のように、本実施形態による可動子 1 0 1 は、第 1 実施形態で用いた可動子 1 0 1 上面のヨーク板 1 0 3 及び同じく上面の導電板 1 0 7 に代えて、複数の永久磁石を含む永久磁石列 1 0 9 を有している。また、本実施形態による固定子 2 0 1 は、第 1 実施形態で用いたコイル 2 0 2、2 0 7 に代えて、コイル 2 0 9 を有している。

【 0 1 8 0 】

永久磁石列 1 0 9 は、可動子 1 0 1 の上面において、R 側及び L 側それぞれの端部に X 方向に沿って複数の永久磁石が並ぶように 2 列に設置されている。永久磁石列 1 0 9 に含まれる複数の永久磁石は、固定子 2 0 1 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

20

【 0 1 8 1 】

コイル 2 0 9 は、可動子 1 0 1 の上面に設置された 2 列の永久磁石列 1 0 9 に Z 方向に沿って対向可能なように固定子 2 0 1 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されている。具体的には、複数のコイル 2 0 9 は、可動子 1 0 1 の上面に設置された 2 列の永久磁石列 1 0 9 に Z 方向に沿って上方から対向可能なように X 方向に沿って 2 列に配置されて設置されている。

【 0 1 8 2 】

各コイル 2 0 9 には、第 1 実施形態で説明したコイル 2 0 2、2 0 7、2 0 8 と同様に、統合コントローラ 3 0 1、コイルコントローラ 3 0 2 等を含む制御システム 3 により電流が印加される。

30

【 0 1 8 3 】

コイル 2 0 9 は、可動子 1 0 1 の浮上及び搬送用のコイルとして機能する。このようなコイル 2 0 9 として、コア有コイルを用いることができる。コイル 2 0 9 としてコア有コイルを用いることにより、コイル 2 0 9 に電流を印加しなくてもコイル 2 0 9 と永久磁石列 1 0 9 との間に大きな吸引力が働くため、コイル 2 0 9 に印加する電流量を大幅に低減することができる。

【 0 1 8 4 】

なお、本実施形態におけるコイル 2 0 9 と永久磁石列 1 0 9 との関係は、それぞれの設置場所を除き、第 2 実施形態で説明したコイル 2 0 9 と永久磁石列 1 0 9 との関係と同等である。なお、図 1 6 乃至図 1 7 B に示す第 2 実施形態では q 軸が X 軸、d 軸が Y 軸に相当していたのに対し、図 1 8 及び図 1 9 A に示す本実施形態では q 軸が X 軸、d 軸が Z 軸に相当する。

40

【 0 1 8 5 】

本実施形態では、コイル 2 0 9 により永久磁石列 1 0 9 に力を印加することで、X 方向の力成分 T_x 、Z 方向の力成分 T_z 、Wx 方向のトルク成分 T_{wx} 、Wy 方向のトルク成分 T_{wy} 及び Wz 方向のトルク成分 T_{wz} を可動子 1 0 1 に対して独立に印加する。本実施形態による搬送システム 1 も、第 2 実施形態と同様、固定子 2 0 1 のコイル 2 0 9 と可動子 1 0 1 の永久磁石列 1 0 9 との間で電磁力を発生させて X 方向の推力を可動子 1 0 1 に印加する同期式リニアモータによる搬送システムである。

【 0 1 8 6 】

50

以下、X方向の力成分 T_x 、Z方向の力成分 T_z 、Wx方向のトルク成分 T_{wx} 、Wy方向のトルク成分 T_{wy} 及びWz方向のトルク成分 T_{wz} を可動子101に対して独立に印加する方法について図19A及び図19Bを用いて説明する。図19A及び図19Bは、コイル209と永久磁石列109とを使って力成分 T_x 、 T_z 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を可動子101に対して独立に印加する方法を説明する概略図である。なお、図19A及び図19Bにおいて左右に並んだ一点鎖線は、それぞれX方向において対応する位置を示している。コイル電流算出関数404は、以下の方法に従って、可動子101の永久磁石列109に対して力成分 T_x 、 T_z 及びトルク成分 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を独立に印加するためにコイル209に印加する電流指令値を決定する。

【0187】

10

ここで、Pを可動子101の位置及び姿勢、jを列に並んだコイル209の番号として、単位電流当たりのj番目のコイル209のq軸方向(X方向)及びd軸方向(Z方向)に働く力の大きさを、それぞれ $E_q(j, P)$ 及び $E_d(j, P)$ とする。また、j番目のコイル209の電流の大きさを $I(j)$ とする。

【0188】

図19Aは、固定子201及び可動子101をZ方向に沿って上から下に見た図である。なお、図19Aでは、見やすさのため、永久磁石列109に対してコイル209を外側にずらして示している。本実施形態では、上述のようにq軸がX軸、d軸がZ軸に相当する。

【0189】

20

図19Bは、 $E_q(j, P)$ を示すq軸推力定数プロファイル601及び $E_d(j, P)$ を示すd軸推力定数プロファイル603を示している。 $E_q(j, P)$ はq軸推力定数プロファイル601から、 $E_d(j, P)$ はd軸推力定数プロファイル603から求めることができる。

【0190】

以下に示す方法により2列のコイル209で、5軸の力および回転方向のトルク(T_x 、 T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz})を印加すること出来る。

【0191】

本実施形態では、2列のコイル209があることに注意して、第2実施形態における式(20a)、(20b)及び(20c)を拡張する。

30

【0192】

jをL側及びR側の両側のコイル209の指標として考えると、可動子101の永久磁石列109に働くX方向の力成分 T_x 及びZ方向の力成分 T_z は、それぞれ次式(21a)及び(21b)により表される。また、可動子101の永久磁石列109に働くWx方向のトルク成分 T_{wx} 、Wy方向のトルク成分 T_{wy} 及びWz方向のトルク成分 T_{wz} は、それぞれ次式(21c)、(21d)及び(21e)により表される。

$$T_x = E_q(j, P) * I_j \quad \dots \text{式(21a)}$$

$$T_z = E_d(j, P) * I_j \quad \dots \text{式(21b)}$$

$$T_{wx} = \{ -E_d(j, P) * Y(j, P) * I_j \} \quad \dots \text{式(21c)}$$

$$T_{wy} = E_d(j, P) * X(j, P) * I_j \quad \dots \text{式(21d)}$$

$$T_{wz} = E_q(j, P) * Y(j, P) * I_j \quad \dots \text{式(21e)}$$

40

【0193】

この後は、第1実施形態と同様に、トルク寄与行列Mを定義して計算することにより、所望の T_x 、 T_z 、 T_{wx} 、 T_{wy} 、 T_{wz} を可動子101に印加するために各コイル209に印加する電流を示すコイル電流ベクトル I_s を得ることができる。

【0194】

本実施形態で定義するトルク寄与行列Mでは、その1行目をX方向、2行目をZ方向、3行目をWx方向、4行目をWy方向、5行目をWz方向に対応させる。

【0195】

すると、本実施形態で定義するトルク寄与行列Mの1行j列、2行j列、3行j列、4

50

行 j 列及び 4 行 j 列の各要素 $M(1, j) \sim M(5, j)$ は、それぞれ次式 (21f) ~ (21j) により表される。

【0196】

トルク寄与行列 M は、5 行 N 列の行列である。なお、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。

$$M(1, j) = E q(j, P) \quad \dots \text{式 (21f)}$$

$$M(2, j) = E d(j, P) \quad \dots \text{式 (21g)}$$

$$M(3, j) = -E d(j, P) * Y(j, P) \quad \dots \text{式 (21h)}$$

$$M(4, j) = E d(j, P) * X(j, P) \quad \dots \text{式 (21i)}$$

$$M(5, j) = E q(j, P) * Y(j, P) \quad \dots \text{式 (21j)}$$

10

【0197】

また、本実施形態では、コイル電流ベクトル I_s として、1 ~ N 番目のコイル 209 に印加する電流量 $I_1 \sim I_N$ を要素とする列ベクトルを導入する。コイル電流ベクトル I_s は、次式 (21k) により表される N 行 1 列の列ベクトルである。

$$I_s = Tr(I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N) \quad \dots \text{式 (21k)}$$

【0198】

また、本実施形態では、トルクベクトル T_q を次式 (21l) により定義する。

$$T_q = Tr(T_x, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}) \quad \dots \text{式 (21l)}$$

【0199】

すると、次式 (21m) が得られる。

$$T_q = M * I_s \quad \dots \text{式 (21m)}$$

20

【0200】

本実施形態でも、第 1 実施形態と同様に疑電流ベクトル K を用いた計算を実行する。本実施形態では、5 行 1 列の疑電流ベクトル K を導入する。本実施形態で導入する疑電流ベクトル K は、次式 (21n) を満足する。

$$Tr(M) * K = I_s \quad \dots \text{式 (21n)}$$

【0201】

式 (21m) は、式 (21n) を用いて次式 (21o) に変形することができる。

$$T_q = M * Tr(M) * K \quad \dots \text{式 (21o)}$$

【0202】

式 (21o) において、 $M * Tr(M)$ は、5 行 N 列の行列と N 行 5 列の行列との積であるから 5 行 5 列の正方行列である。また、トルク寄与行列 M の各行は、互いに線形独立である。したがって、 $M * Tr(M)$ は、逆行列を常に得ることができる。そのため、式 (21o) は、次式 (21p) に変形することができる。

$$K = Inv(M * Tr(M)) * T_q \quad \dots \text{式 (21p)}$$

30

【0203】

式 (21n) 及び (21p) から、最終的に次式 (21q) により表されるコイル電流ベクトル I_s を得る。こうして、コイル電流ベクトル I_s を一意に求めることができる。

$$Tr(M) * Inv(M * Tr(M)) * T_q = I_s \quad \dots \text{式 (21q)}$$

【0204】

以上のようにしてコイル電流ベクトル I_s を計算することにより、各コイル 209 に印加する電流を決定することができる。これにより、可動子 101 に対して X 方向の力成分 T_x 、 Z 方向の力成分 T_z 、 W_x 方向のトルク成分 T_{wx} 、 W_y 方向のトルク成分 T_{wy} 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz} を独立して印加することができる。すなわち、可動子 101 に対して 5 軸分の地下成分及びトルク成分を独立して印加することができる。したがって、 Z 方向、 W_x 方向、 W_y 方向及び W_z 方向において可動子 101 の姿勢を安定させつつ可動子 101 を X 方向に搬送することができる。

40

【0205】

なお、本実施形態においても、第 1 実施形態と同様に各コイル 208 に電流を印加することにより、可動子 101 に対して Y 方向の力成分 T_y 及び W_z 方向のトルク成分 T_{wz}

50

を独立して印加することができる。このため、本実施形態でも、コイル 208 とコイル 209 とを組み合わせることで、力 T の 6 軸成分 (Tx, Ty, Tz, Twx, Twy, Twz) を可動子 101 に対して印加することができる。

【0206】

以上のとおり、本実施形態によれば、可動子 101 に対して 6 軸の力成分及びトルク成分 (Tx, Ty, Tz, Twx, Twy, Twz) を独立して印加することができる。したがって、本実施形態によれば、Y 方向、Z 方向、Wx 方向、Wy 方向及びWz 方向において可動子 101 の姿勢を安定させつつ X 方向に可動子 101 を非接触状態で搬送することができる。

【0207】

[第 4 実施形態]

本発明の第 4 実施形態について図 20 乃至図 22 を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 3 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【0208】

まず、本実施形態による搬送システム 1 の構成について図 20 及び図 21 A を用いて説明する。図 20 及び図 21 A は、本実施形態による可動子 101 及び固定子 201 を含む搬送システム 1 の構成を示す概略図である。図 20 は、可動子 101 及び固定子 201 を X 方向から見た図である。図 21 A は、図 20 を Z 方向に沿って上から下に見た図である。なお、図 20 の右半分は、図 21 A における (A) - (A) 線に沿った断面 (A) になっている。また、図 20 の左半分は、図 21 A における (B) - (B) 線に沿った断面 (B) になっている。また、図 21 A では、見やすさのため、永久磁石列 110 (110a、110b) に対してコイル 209 を外側にずらして示している。

【0209】

本実施形態による搬送システム 1 の基本的構成は、第 3 実施形態による構成とほぼ同様である。本実施形態による搬送システム 1 は、Y 方向の力を可動子 101 に印加するための構成の点で、第 3 実施形態による構成と異なっている。

【0210】

図 20 及び図 21 A に示すように、本実施形態による可動子 101 は、第 3 実施形態で用いた永久磁石列 109 に代えて、複数の永久磁石を含む永久磁石列 110 を有している。なお、本実施形態による可動子 101 では、第 3 実施形態とは異なり、L 側及び R 側の両側面にヨーク板 103 が設置されていない。また、本実施形態による固定子 201 は、第 3 実施形態と同様にコイル 209 を有している。なお、本実施形態による固定子 201 では、第 3 実施形態とは異なり、コイル 208 が設置されていない。

【0211】

永久磁石列 110 は、可動子 101 の上面において、R 側及び L 側それぞれの端部に X 方向に沿って複数の永久磁石が並ぶように 2 列に設置されている。ただし、2 列の永久磁石列 110 の各列の一部、すなわち永久磁石列 110 の両端部では、Y 方向に 2 個の永久磁石が並ぶように設置されている。このような 2 列の永久磁石列 110 の各列は、可動子 101 が搬送される X 方向に沿って N 極及び S 極に交互に着磁された永久磁石列 110b と、それとは直交する Y 方向に N 極及び S 極に交互に着磁された永久磁石列 110a とを有している。永久磁石列 110b では、複数の永久磁石が、固定子 201 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。永久磁石列 110a では、2 個の永久磁石が、固定子 201 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が Y 方向に交互に並ぶように設置されている。なお、永久磁石列 110a は、2 個を超える複数の永久磁石を含んでいてもよい。ここで、Y 軸を h 軸、Y 方向を h 軸方向と定義する。

【0212】

コイル 209 は、可動子 101 の上面に設置された 2 列の永久磁石列 110 に Z 方向に沿って対向可能なように固定子 201 に X 方向に沿って複数取り付けられて設置されてい

10

20

30

40

50

る。具体的には、複数のコイル 209 は、可動子 101 の上面に設置された 2 列の永久磁石列 110 に Z 方向に沿って上方から対向可能なように X 方向に沿って 2 列に配置されて設置されている。

【0213】

各コイル 209 には、第 1 実施形態で説明したコイル 202、207、208 と同様に、統合コントローラ 301、コイルコントローラ 302 等を含む制御システム 3 により電流が印加される。

【0214】

図 21B は、各コイル 209 に発生する単位電流当たりの、q 軸方向 (X 方向)、h 軸方向 (Y 方向) 及び d 軸 (Z 軸) のそれぞれの力の大きさ $E_q(j, P)$ 、 $E_h(j, P)$ 及び $E_d(j, P)$ を模式的に示している。なお、図 21A 及び図 21B において左右に並んだ一点鎖線は、それぞれ X 方向において対応する位置を示している。q 軸推力定数プロファイル 601 は $E_q(j, P)$ 、h 軸定数プロファイル 602 は $E_h(j, P)$ 、d 軸推力定数プロファイル 603 は $E_d(j, P)$ を示している。

【0215】

本実施形態において、h 軸方向 (Y 方向) に力を発生する原理について図 22 を用いて説明する。図 22 は、h 軸方向 (Y 方向) に力を発生する原理を説明する概略図である。図 22 には、図 21 における永久磁石列 110 の (A) - (A) 線に沿った断面の R 側及び L 側のうちの一方の永久磁石列 110a を含む部分を示している。

【0216】

図 22 に示すように、コイル 209 は、コア 211 と、巻き線 210 とを有している。コイル 209 は、永久磁石列 110a に Z 方向に沿って上方から対向するように設置されている。コア 211 中の矢印 214 は、コイル 209 の磁化方向を示し、矢印 214 の先が N 極を示すものとする。永久磁石列 110a では、h 軸方向 (Y 方向) に沿って永久磁石 110aR、110aL が並んでいる。永久磁石 110aR、110aL 中の矢印は、その永久磁石の着磁方向を示し、矢印の先が N 極を示すものとする。

【0217】

図 22 に示すように、コイル 209 のコア 211 の永久磁石列 110a 側の表面に N 極が現れるように電流を印加すれば、コイル 209 と永久磁石 110aR との間には斥力が、コイル 209 と永久磁石 110aL との間には引力が発生する。このため、可動子 101 には、h 軸方向の + 方向 (Y + 方向) 方向に力が働く。

【0218】

より定量的に表わせば、コア 211 を通過する巻き線 210 の鎖交磁束 Φ が可動子 101 の h 軸方向の位置 h に対して次式 (22a) により表される関係があるとする。

$$\Phi = \Phi(h) \quad \dots \text{式 (22a)}$$

【0219】

この場合、h 軸方向 (Y 方向) に働く力の大きさ F_h は、i をコイル 209 に流れる電流の大きさとして、一般的に次式 (22b) により表される。

$$F_h = i \cdot \frac{d\Phi}{dh} \quad \dots \text{式 (22b)}$$

【0220】

このように、本実施形態では、コイル 209 と永久磁石列 110a との間に働く力により、可動子 101 に対して h 軸方向 (Y 方向) に力を印加することができる。

【0221】

本実施形態でも、第 1 乃至第 3 実施形態と同様に考えて、各軸方向に印加される力成分及びトルク成分は、それぞれ次式 (23a)、(23b)、(23c)、(23d)、(23e) 及び (23f) により表される。

$$T_x = (E_q(j, P) \cdot I_j) \quad \dots \text{式 (23a)}$$

$$T_y = (E_h(j, P) \cdot I_j) \quad \dots \text{式 (23b)}$$

$$T_z = (E_d(j, P) \cdot I_j) \quad \dots \text{式 (23c)}$$

$$T_{wx} = \{ (E_h(j, P) \cdot Z(j, P) - E_d(j, P) \cdot Y(j, P)) \cdot I$$

10

20

30

40

50

j } ...式 (2 3 d)

$$T w y = \{ (E d (j , P) * X (j , P) - E q (j , P) * Z (j , P)) * I$$

j } ...式 (2 3 e)

$$T w z = \{ (E q (j , P) * Y (j , P) - E h (j , P) * X (j , P)) * I$$

j } ...式 (2 3 f)

【 0 2 2 2 】

ここで、本実施形態でも、第 1 乃至第 3 実施形態と同様にトルク寄与行列 M 及び 6 行 1 列の疑電流ベクトル K を導入した計算を実行して、次式 (2 1 q) により、コイル 2 0 9 に印加する電流を示すコイル電流ベクトル I s を得ることができる。

$$T r (M) * I n v (M * T r (M)) * T q = I s \quad \text{...式 (2 1 q)}$$

10

【 0 2 2 3 】

以上のとおり、本実施形態によれば、可動子 1 0 1 に対して 6 軸の力成分及びトルク成分 (T x , T y , T z , T w x , T w y , T w z) を独立して印加することができる。したがって、本実施形態によれば、Y 方向、Z 方向、W x 方向、W y 方向及び W z 方向において可動子 1 0 1 の姿勢を安定させつつ X 方向に可動子 1 0 1 を非接触状態で搬送することができる。

【 0 2 2 4 】

[第 5 実施形態]

本発明の第 5 実施形態について図 2 3 A 及び図 2 3 B を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 4 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

20

【 0 2 2 5 】

本実施形態では、第 4 実施形態において、可動子 1 0 1 の L 側と R 側で異なった W y トルクを印加することが必要な場合について図 2 3 A 及び図 2 3 B を用いて説明する。

【 0 2 2 6 】

図 2 3 A 及び 2 3 B は、可動子 1 0 1 が捻れながら X 方向に搬送されている場合を模式的に示す概略図である。図 2 3 A は可動子 1 0 1 を Y 方向から見た図、図 2 3 B は可動子 1 0 1 を斜め上方から見た斜視図である。

【 0 2 2 7 】

可動子 1 0 1 は、図 2 3 A 及び図 2 3 B に示すように、捻れる方向に変形又は振動しながら搬送される場合がある。可動子 1 0 1 が捻れるとは、図 2 3 A に示すように、可動子 1 0 1 の R 側における W y 方向の回転角 W y R と、可動子 1 0 1 の L 側における W y 方向の回転角 W y L とが互いに異なる場合がある。このような捻れは、可動子 1 0 1 の位置姿勢 P のうちの姿勢の成分の 1 つである。

30

【 0 2 2 8 】

本実施形態では、L 側及び R 側の各々で可動子 1 0 1 の W y 方向の変位を独立して測定できるように、Z センサ 2 0 6 が配置されている。すなわち、Z センサ 2 0 6 が L 側及び R 側の各々に設置されており、可動子 1 0 1 がどこにいても片側 2 個以上の Z センサ 2 0 6 が各々の側で可動子 1 0 1 の W y 方向の変位を測定できるような間隔で設置されている。例えば、図 2 3 A に示すように、L 側では Z センサ 2 0 6 L a、2 0 6 L b により、R 側では Z センサ 2 0 6 R a、2 0 6 R b により、可動子 1 0 1 の W y 方向の変位を測定する。一般的な 4 個以上の Z センサ 2 0 6 が設置され、それらのうちのどの 3 個の組み合わせも 1 つの直線の上に設置されていないようにすれば、理論的には W y R と W y L とを別々に計算することができる。本実施形態では、W y R と W y L とが別々に計算できるように複数の Z センサ 2 0 6 が設置されている。

40

【 0 2 2 9 】

本実施形態では、L 側及び R 側の各々に設置された Z センサ 2 0 6 により W y 方向の変位を測定して、W y R と W y L とを測定する。後は、他の軸の場合と同様に目標値と現在値とを用いて、可動子 1 0 1 の L 側及び R 側の両側にそれぞれ印加する所望の W y 方向のトルク成分 T w y L、T w y R を算出する。

50

【 0 2 3 0 】

より詳細には、本実施形態では、第 4 実施形態における式 (2 3 e) に代えて、次式 (2 3 e 1) 及び (2 3 e 2) を用いる。

$$T_{wyL} = L \{ (E_d(j, P) * X(j, P) - E_q(j, P) * Z(j, P)) * I_j \} \quad \dots \text{式 (2 3 e 1)}$$

$$T_{wyR} = R \{ (E_d(j, P) * X(j, P) - E_q(j, P) * Z(j, P)) * I_j \} \quad \dots \text{式 (2 3 e 2)}$$

【 0 2 3 1 】

以降の計算では、第 4 実施形態と同様にトルク寄与行列 M 及び疑電流ベクトル K を導入した計算を実行して、コイル 2 0 9 に印加する電流を示すコイル電流ベクトル I_s を得ることができる。なお、本実施形態では、トルク寄与行列 M は 7 行 N 列の行列、疑電流ベクトル K は 7 行 1 列の列ベクトルである。

10

【 0 2 3 2 】

こうして、本実施形態では、W y 方向の変位による可動子 1 0 1 の捻れが生じた場合に、W y 方向のトルク成分 T_{wyL} 、 T_{wyR} を印加して可動子 1 0 1 の捻れを制御することができる。例えば、本実施形態では、W y 方向の変位による可動子 1 0 1 の捻れを解消するように可動子 1 0 1 に対して W y 方向のトルク成分 T_{wyL} 、 T_{wyR} を印加することができる。

【 0 2 3 3 】

このように、本実施形態によれば、可動子 1 0 1 が捻れた場合でもその方向にトルク成分を積極的に印加することができる。これにより、可動子 1 0 1 の捻れを制御することができる。

20

【 0 2 3 4 】

このため、本実施形態によれば、捻れ又は振動が自然に収まるのを待つのでなく積極的にトルクを印加するので、可動子 1 0 1 の変位をより短時間で収束させることができる。したがって、本実施形態によれば、さらに安定して可動子 1 0 1 を搬送することができる。特に、本実施形態による構成は、可動子 1 0 1 が薄く、W y 方向の剛性が低い場合に有効である。

【 0 2 3 5 】

なお、上記では、可動子 1 0 1 の W y 方向の変位により可動子 1 0 1 に捻れが生じた場合について説明したが、これに限定されるものではない。W y 方向の場合と同様に可動子 1 0 1 の W x 方向の変位により可動子 1 0 1 に捻れが発生した場合も、W y 方向の場合と同様に可動子 1 0 1 の捻れを制御することができる。

30

【 0 2 3 6 】

〔 第 6 実施形態 〕

本発明の第 6 実施形態について図 2 4 A 及び図 2 4 B を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 5 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【 0 2 3 7 】

本実施形態による搬送システム 1 の構成について図 2 4 A を用いて説明する。図 2 4 A は、本実施形態による可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 を含む搬送システム 1 の構成を示す概略図である。図 2 4 A は、可動子 1 0 1 を Z 方向に沿って上から下に見た図である。なお、図 2 4 A では、見やすさのため、永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 に対してコイル 2 0 9 を外側にずらして示している。

40

【 0 2 3 8 】

本実施形態による搬送システム 1 の基本的構成は、第 4 実施形態による構成とほぼ同様である。本実施形態による搬送システム 1 は、永久磁石列 1 1 0 に代えて永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 が設置されている点で、第 4 実施形態による構成と異なっている。

【 0 2 3 9 】

図 2 4 A に示すように、本実施形態による可動子 1 0 1 は、第 4 実施形態で用いた永久

50

磁石列 1 1 0 に代えて、永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 を有している。

【 0 2 4 0 】

永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 は、可動子 1 0 1 の上面において、R 側及び L 側それぞれの端部に X 方向に沿って 2 列に設置されている。2 列の永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 の各列は、第 4 実施形態と同様の永久磁石列 1 1 0 a、1 1 0 b と、ヨーク板 1 1 0 c とを有している。ヨーク板 1 1 0 c は、永久磁石列 1 1 0 b の中に X 方向に沿って設置されている。ヨーク板 1 1 0 c は、透磁率の大きな物質、例えば鉄で構成された鉄板である。

【 0 2 4 1 】

本実施形態においては、ヨーク板 1 1 0 c が設置されていることにより、図 2 4 B に示すように、q 軸推力定数プロファイル 6 0 1、h 軸定数プロファイル 6 0 2 及び d 軸推力定数プロファイル 6 0 3 の形状が、第 4 実施形態とは異なったものとなる。なお、図 2 4 A 及び図 2 4 B において左右に並んだ一点鎖線は、それぞれ X 方向において対応する位置を示している。

10

【 0 2 4 2 】

なお、本実施形態でも、第 4 実施形態と同等の方法によりコイル 2 0 9 に印加する電流を示すコイル電流ベクトル I_s を得ることができる。

【 0 2 4 3 】

本実施形態では、永久磁石に代えてヨーク板 1 1 0 c が設置されているため、コイル 2 0 9 の冷却が容易である。本実施形態による構成は、特に、X 方向及び Y 方向への要求トルクが小さい場合に好適である。また、本実施形態では、高価な永久磁石の使用量を低減

20

【 0 2 4 4 】

[第 7 実施形態]

本発明の第 7 実施形態について図 2 5 A 及び図 2 5 B を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 6 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【 0 2 4 5 】

本実施形態では、可動子 1 0 1 が水平方向よりも鉛直方向に大きい場合について図 2 5 A 及び図 2 5 B を用いて説明する。図 2 5 A は、可動子 1 0 1 が水平方向よりも鉛直方向に大きい場合の搬送システム 1 の構成の例を示す概略図である。図 2 5 B は、可動子 1 0 1 が水平方向よりも鉛直方向に大きい場合の搬送システム 1 の構成の他の例を示す概略図である。図 2 5 A 及び図 2 5 B は、可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 を X 方向から見た図である。本実施形態では、以下に説明するように、第 4 又は第 5 実施形態で説明した永久磁石列 1 1 0 及びコイル 2 0 9 の設置場所が変更されたものとなっている。

30

【 0 2 4 6 】

図 2 5 A に示すように、可動子 1 0 1 は、水平方向よりも鉛直方向に大きくなっている。すなわち、可動子 1 0 1 は、Y 方向よりも Z 方向に大きくなっている。なお、可動子 1 0 1 は、X 方向よりも Z 方向に大きくなっているてもよいし、X 方向よりも Z 方向に小さくなっているてもよい。

【 0 2 4 7 】

40

図 2 5 A に示す場合、可動子 1 0 1 の上面には、永久磁石列 1 1 0 が設置されている。可動子 1 0 1 の上面に設置された永久磁石列 1 1 0 は、永久磁石列 1 1 0 a、1 1 0 b を含んでいる。可動子 1 0 1 の上面の永久磁石列 1 1 0 a は、2 個の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が Y 方向に交互に並ぶように設置されている。可動子 1 0 1 の上面の永久磁石列 1 1 0 b は、複数の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

【 0 2 4 8 】

固定子 2 0 1 の上部には、可動子 1 0 1 の上面の永久磁石列 1 1 0 に Z 方向に沿って上方から対向可能なようにコイル 2 0 9 が設置されている。こうして可動子 1 0 1 の上面に

50

設置された永久磁石列 1 1 0 とコイル 2 0 9 との間に大きな吸引力が発生するように構成されている。なお、可動子 1 0 1 の上面には、永久磁石列 1 1 0 に代えて又はこれとともにヨーク板 1 0 3 が設置され、ヨーク板 1 0 3 にコイル 2 0 9 が対向するように構成されていてもよい。また、コイル 2 0 9 としては、可動子 1 0 1 の上面の永久磁石列 1 1 0 との間に電流が印加されていないときも吸引力を発生させるため、コア有マグネットを用いることができる。

【 0 2 4 9 】

また、図 2 5 A に示すように、可動子 1 0 1 の下面には、永久磁石列 1 1 0 が設置されている。可動子 1 0 1 の下面に設置された永久磁石列 1 1 0 は、永久磁石列 1 1 0 a、1 1 0 b を含んでいる。可動子 1 0 1 の下面の永久磁石列 1 1 0 a は、2 個の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の下方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が Y 方向に交互に並ぶように設置されている。可動子 1 0 1 の下面の永久磁石列 1 1 0 b は、複数の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の下方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

10

【 0 2 5 0 】

固定子 2 0 1 の下部には、可動子 1 0 1 の下面の永久磁石列 1 1 0 に Z 方向に沿って下方から対向可能なようにコイル 2 0 9 が設置されている。

【 0 2 5 1 】

鉛直方向に大きい可動子 1 0 1 は、その側面に基板等のワーク 1 0 2 を保持するように構成することができる。固定子 2 0 1 には、可動子 1 0 1 の側面に保持されたワーク 1 0 2 に対向するように、ワーク 1 0 2 に対して蒸着を行う蒸着源 7 0 2 を設置することができる。

20

【 0 2 5 2 】

また、固定子 2 0 1 には、可動子 1 0 1 を取り出すための開口部 8 0 2 が設けられている。開口部 8 0 2 は、固定子 2 0 1 の上部に設けられている。停電、事故等の異常が発生した場合には、開口部 8 0 2 を介して可動子 1 0 1 を固定子 2 0 1 の上側からクレーン等で釣り上げて退避させることができる。これにより、搬送システム 1 を含む生産ラインの安定稼働に寄与することができる。

【 0 2 5 3 】

また、開口部 8 0 2 は容易に固定子 2 0 1 に設けることができるため、異常時に可動子 1 0 1 をクレーン等で釣り上げて回収するのに適している。

30

【 0 2 5 4 】

なお、可動子 1 0 1 の下面に永久磁石列 1 1 0 を設置することに代えて、図 2 5 B に示すように、可動子 1 0 1 の側面に永久磁石列 1 1 0 を設置することもできる。このように構成することにより、縦長の可動子 1 0 1 をより安定して搬送することができる。

【 0 2 5 5 】

なお、上記では第 4 又は第 5 実施形態で説明した永久磁石列 1 1 0 及びコイル 2 0 9 の設置場所が変更された場合について説明したが、第 6 実施形態で説明した永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 の設置場所も上記の永久磁石列 1 1 0 と同様に変更することができる。

【 0 2 5 6 】

40

[第 8 実施形態]

本発明の第 8 実施形態について図 2 6 を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 7 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【 0 2 5 7 】

本実施形態では、可動子 1 0 1 の下面に永久磁石列 1 1 0 が設置された場合について図 2 6 を用いて説明する。図 2 6 は、可動子 1 0 1 の下面に永久磁石列 1 1 0 が設置された場合の搬送システム 1 の構成の例を示す概略図である。図 2 6 は、可動子 1 0 1 及び固定子 2 0 1 を X 方向から見た図である。本実施形態では、以下に説明するように、第 4 又は第 5 実施形態で説明した永久磁石列 1 1 0 及びコイル 2 0 9 の設置場所が変更されたものとなっている。

50

【 0 2 5 8 】

図 2 6 に示すように、可動子 1 0 1 の下面における L 側及び R 側の各端部には、永久磁石列 1 1 0 が設置されている。L 側及び R 側の各側の端部に設置された永久磁石列 1 1 0 は、永久磁石列 1 1 0 a、1 1 0 b を含んでいる。永久磁石列 1 1 0 a は、2 個の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の下方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が Y 方向に交互に並ぶように設置されている。永久磁石列 1 1 0 b は、複数の永久磁石が、固定子 2 0 1 側の下方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

【 0 2 5 9 】

固定子 2 0 1 には、可動子 1 0 1 の下面における L 側及び R 側の各端部に設置された永久磁石列 1 1 0 に Z 方向に沿って下方から対向可能なようにコイル 2 0 9 が設置されている。

10

【 0 2 6 0 】

図 2 6 に示す永久磁石列 1 1 0 及びコイル 2 0 9 の配置の場合、永久磁石列 1 1 0 とコイル 2 0 9 との間の力は正方向のバネ係数を持つ、すなわちコイル 2 0 9 の電流量を一定に維持した場合に可動子 1 0 1 が下降するとコイル 2 0 9 が作る斥力は大きくなる。このため、可動子 1 0 1 の位置は Z 方向に安定化する。したがって、より可動子 1 0 1 の姿勢を安定化しながら可動子 1 0 1 を搬送することができる。

【 0 2 6 1 】

なお、上記では第 4 又は第 5 実施形態で説明した永久磁石列 1 1 0 及びコイル 2 0 9 の設置場所が変更された場合について説明したが、第 6 実施形態で説明した永久磁石ヨーク複合列 1 1 1 の設置場所も上記の永久磁石列 1 1 0 と同様に変更することができる。

20

【 0 2 6 2 】

[第 9 実施形態]

本発明の第 9 実施形態について図 2 7 を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 8 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【 0 2 6 3 】

本実施形態では、上記実施形態で用いたコイル 2 0 2 が永久磁石 2 1 3 を有する場合について図 2 7 を用いて説明する。図 2 7 は、X 方向から見た本実施形態によるコイル 2 0 2 の断面を示す図である。

30

【 0 2 6 4 】

図 2 7 に示すように、コイル 2 0 2 は、巻き線 2 1 0 と、巻き線 2 1 0 が巻かれたコア 2 1 1 とを有し、さらにコア 2 1 1 の内部に永久磁石 2 1 3 を有している。永久磁石 2 1 3 は、コア 2 1 1 の巻き線 2 1 0 が巻かれた内側部分の内部に、図 2 7 中の矢印で示すように N 極及び S 極が Z 方向に並ぶように設けられている。

【 0 2 6 5 】

例えば、コイルにおいて、巻き線の巻き数を 5 0 0 回、巻き線に印加する電流値を 1 A とした場合の起磁力は 5 0 0 A だが、これを起磁力 9 5 0 k A / m のネオジウム磁石で代替すると、その磁石の厚みは約 1 . 0 5 mm である。このように、永久磁石 2 1 3 は、巻き線 2 1 0 に一定の電流を常時印加しているのと同じ効果を奏する。したがって、基準となる可動子 1 0 1 の搬送高さを考慮して、巻き線 2 1 0 に印加する電流が小さくなるように永久磁石 2 1 3 の厚み等を設計することができる。こうして永久磁石 2 1 3 を用いることより、可動子 1 0 1 の搬送中に巻き線 2 1 0 に印加する電流を、可動子 1 0 1 の姿勢の変動を補正する分だけにすることができ、コイル 2 0 2 に印加する電流値を大幅に低減することができる。

40

【 0 2 6 6 】

なお、上述したコイル 2 0 2 のほか、上記実施形態で用いたコイル 2 0 7、2 0 8、2 0 9 についても永久磁石 2 1 3 を有するように構成することができる。

【 0 2 6 7 】

[第 1 0 実施形態]

50

本発明の第 10 実施形態について図 28 A を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 9 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【0268】

本実施形態では、第 4 実施形態による構成において、コイル 209 のコア 211 の形状を変更した場合について図 28 A を用いて説明する。図 28 A は、X 方向から見た本実施形態によるコイル 209 及び永久磁石列 110 a の断面を示す図である。

【0269】

本実施形態によるコイル 209 は、図 22 に示す第 4 実施形態の場合と同様に、永久磁石 110 a R、110 a L を含む永久磁石列 110 a に Z 方向に沿って対向するように設置されている。コイル 209 は、巻き線 210 と、巻き線 210 が巻かれたコア 211 とを有している。永久磁石列 110 a では、永久磁石 110 a R、110 a L が Y 方向に並ぶように設置されている。

【0270】

一方、図 22 に示す第 4 実施形態の場合とは異なり、本実施形態では、図 28 A に示すように、コイル 209 のコア 211 が、巻き線 210 が巻かれた中央部と、中央部から Y 方向に沿って巻き線 210 の外側に拡張された拡張部とを有している。なお、コア 211 の拡張部は、Y 方向に沿って部分的に巻き線 210 の外側に拡張されていてもよいし、巻き線 210 の全周にわたって外側に拡張されていてもよい。

【0271】

このようにコア 211 が拡張部を有する構成とすることにより、本実施形態では、永久磁石列 110 a が h 軸方向 (Y 方向) に移動した際の鎖交磁束 の変化が大きくなる。このため、本実施形態では、h 軸方向 (Y 方向) への単位電流あたりの力が大きくなるので有利である。したがって、本実施形態では、より安定して可動子 101 を搬送することができる。

【0272】

なお、上記では第 4 実施形態による構成において、コイル 209 のコア 211 の形状を変更した場合について説明したが、第 5 及び第 6 実施形態による構成においても上記と同様にコア 211 の形状を変更することができる。

【0273】

[第 11 実施形態]

本発明の第 11 実施形態について図 28 B を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 11 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【0274】

本実施形態では、第 10 実施形態による構成において、永久磁石列 110 a の構成を変更した場合について図 28 B を用いて説明する。図 28 B は、X 方向から見た本実施形態によるコイル 209 及び永久磁石列 110 a の断面を示す図である。

【0275】

本実施形態では、図 28 B に示すように、永久磁石列 110 a における永久磁石 110 a R、110 a L のうち的一方である永久磁石 110 a L がなくなっている。この場合でも、永久磁石列 110 a が h 軸方向 (Y 方向) に移動した際の鎖交磁束 の変化があるため、可動子 101 に対して h 軸方向 (Y 方向) に力を印加することができる。本実施形態では、Y 方向に印加する力の大きさは小さくなるが、永久磁石を少なくすることができるため、可動子 101 の軽量化が要求される場合等に好適である。

【0276】

[第 12 実施形態]

本発明の第 12 実施形態について図 29 を用いて説明する。なお、上記第 1 乃至第 11 実施形態と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略し又は簡略にする。

【0277】

本実施形態では、第 4 実施形態による構成において、可動子 101 を、上面と下面とを入れ替えるように反転可能に構成した場合について図 29 を用いて説明する。図 29 は、

10

20

30

40

50

本実施形態による搬送システム 1 の構成を示す概略図である。図 29 は、本実施形態による可動子 101 及び固定子 201 を X 方向から見た図である。本実施形態では、第 4 実施形態による構成において、上面と下面とを入れ替える可動子 101 の反転に伴って永久磁石列 110a、110b が反転した状態でも、永久磁石列 110a、110b が可動子 101 の浮上搬送に利用可能になっている。

【0278】

搬送システム 1 とともに加工システムを構成する工程装置が蒸着装置の場合、可動子 101 に取り付けるワーク 102 はガラス基板等の基板であることが多い。ワーク 102 として基板を可動子 101 に取り付ける場合、ワーク 102 を吸着等により保持する可動子 101 のワーク保持面を上側に向けることができれば、作業性を向上することができるため好ましい。ワーク 102 を保持する際、可動子 101 は、その上面又は下面であるワーク保持面、すなわち蒸着面 D が上側を向いた状態になる。その状態でワーク 102 を可動子 101 に保持させた後、ワーク 102 を可動子 101 に保持させた状態で Wy 方向に可動子 101 を 180° 回転させて反転させてから、可動子 101 の搬送を開始することができる。

10

【0279】

本実施形態では、上述のように可動子 101 を搬送する場合に、可動子 101 の初期位置からワーク 102 を保持させる位置まで搬送する場合と、ワーク 102 を保持させて反転させた後に搬送する場合とで同じコイル 209 を使って可動子 101 を搬送する。

【0280】

20

本実施形態では、図 29 に示すように、永久磁石列 110 が可動子 101 の側面に設置されている。すなわち、可動子 101 の L 側及び R 側の各側面には、永久磁石列 110a、110b を含む永久磁石列 110 が設置されている。永久磁石列 110a は、2 個の永久磁石が、固定子 201 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が Y 方向に交互に並ぶように設置されている。永久磁石列 110b は、複数の永久磁石が、固定子 201 側の上方を向く外側の磁極の極性が交互に異なって外側に S 極及び N 極の極性が X 方向に交互に並ぶように設置されている。

【0281】

本実施形態では、可動子 101 の上面の側の永久磁石列 110a、110b の上面には、ヨークは設置されていない。また、可動子 101 の下面の側の永久磁石列 110a、110b の下面にも、ヨークは設置されていない。ヨークが設置されていないため、永久磁石列 110a、110b の上面及び下面は、いずれも開放されている。このため、永久磁石列 110a、110b は、可動子 101 が蒸着面 D を上側に向けた場合も下側に向けた場合も、固定子 201 に設置されたコイル 209 に磁極の一方又は他方に向けることができるようになっている。

30

【0282】

上述のように、永久磁石列 110 が設置された可動子 101 は、上面と下面とを入れ替えるように反転可能に構成されている。永久磁石列 110 の反転は、可動子 101 の反転を行うべき場所に設置された反転機構により行われる。

【0283】

40

固定子 201 には、L 側及び R 側の各側において、ブラケット 215 及びレール 216 を介して、永久磁石列 110 に Z 方向に沿って対向するようにコイル 209 が設置されている。L 側及び R 側の各側において、永久磁石列 110 に対向するコイル 209 は、それぞれブラケット 215 に取り付けられて設置されている。各ブラケット 215 は、レール 216 の上を Y 方向に移動可能にレール 216 に設置されている。各ブラケット 215 は、可動子 101 が反転する際、レール 216 上を移動して外側に退避することができる。各ブラケット 215 が退避した間に、図示しない反転装置が可動子 101 の上面と下面を入れ替える動作を行うことができる。

【0284】

こうして、本実施形態において、永久磁石列 110a、110b を含む永久磁石列 11

50

0 は、可動子 101 の反転前後において複数のコイル 209 が対向可能に可動子 101 に設けられている。

【0285】

また、本実施形態においては、リニアスケール 104、Y ターゲット 105 及び Z ターゲット 106 が、それぞれ可動子 101 の上側部分と下側部分に設置されている。可動子 101 の上側部分と下側部分に設置されたリニアスケール 104、Y ターゲット 105 及び Z ターゲット 106 は、例えば、可動子 101 が回転して反転する反転軸を対称軸としてそれぞれ軸対称に配置されている。

【0286】

固定子 201 には、リニアエンコーダ 204 が、可動子 101 の蒸着面 D が上側を向いた場合も下側を向いた場合も、可動子 101 の上側部分及び下側部分に設置されたリニアスケール 104 の一方の測定が可能に設置されている。また、固定子 201 には、Y センサ 205 が、可動子 101 の蒸着面 D が上側を向いた場合も下側を向いた場合も、可動子 101 の上側部分及び下側部分に設置された Y ターゲット 105 の一方の測定が可能に設置されている。また、固定子 201 には、Z センサ 206 が、可動子 101 の蒸着面 D が上側を向いた場合も下側を向いた場合も、それぞれ可動子 101 の上側部分及び下側部分に設置された Z ターゲット 106 の一方の測定が可能に設置されている。こうして、本実施形態でも、リニアスケール 104、Y センサ 205 及び Z センサ 206 により、反転可能な可動子 101 の位置姿勢 (X, Y, Z, W_x, W_y, W_z) を測定することが可能になっている。

【0287】

本実施形態によれば、反転可能な可動子 101 であっても、Y 方向、Z 方向、W_x 方向、W_y 方向及び W_z 方向において可動子 101 の姿勢を安定させつつ X 方向に安定して可動子 101 を非接触状態で搬送することができる。

【0288】

なお、上記では第 4 実施形態による構成において、可動子 101 を、上面と下面とを入れ替えるように反転可能に構成した場合について説明したが、第 5 及び第 6 実施形態による構成においても上記と同様に可動子 101 を反転可能に構成することができる。

【0289】

[変形実施形態]

本発明は、上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

例えば、上記実施形態では、X 方向、Y 方向、Z 方向、W_x 方向、W_y 方向及び W_z 方向において可動子 101 の位置及び姿勢する場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。X 方向、Y 方向、Z 方向、W_x 方向、W_y 方向及び W_z 方向の少なくともいずれかの方向において変位を取得して位置及び姿勢を制御すればよい。

【0290】

また、上記実施形態では、可動子 101 を浮上させる浮上力として、コイル 202、209 によりヨーク板 103、永久磁石列 109、110 が受ける電磁力を利用する場合を例に説明したが、これに限定されるものでない。例えば、可動子 101 の質量又は可動子 101 上に置かれるワーク 102 の質量が大きく鉛直方向へ印加すべき浮上力が大きい場合には、別途、空気等の流体による静圧を浮上用に使って浮上力を補助してもよい。

【0291】

また、上記実施形態では、可動子 101 を浮上させて非接触で搬送する磁気浮上型の搬送システム 1 について説明したが、これに限定されるものではない。搬送システム 1 は、例えば、搬送方向に沿って設置されたガイドレールに沿ってガイドレールに接触しつつ移動可能に構成された可動子 101 を搬送するものであってもよい。

【0292】

また、上記実施形態では、複数のコイル 202、207、208、209 が所定の列数で配置されている場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。可動子 101 に配置されたヨーク板 103、導電板 107、永久磁石列 109、110 に応じて、各コ

10

20

30

40

50

イルを所定の列数で配置することができる。

【 0 2 9 3 】

また、本発明による搬送システムは、電子機器等の物品を製造する製造システムにおいて、物品となるワークに対して各作業工程を実施する工作機械等の各工程装置の作業領域にワークを可動子とともに搬送する搬送システムとして利用することができる。作業工程を実施する工程装置は、ワークに対して部品の組み付けを実施する装置、塗装を実施する装置等、あらゆる装置であってよい。また、製造される物品も特定のものに限定されるものではなく、あらゆる部品であってよい。

【 0 2 9 4 】

このように、本発明による搬送システムを用いてワークを作業領域に搬送し、作業領域に搬送されたワークに対して作業工程を実施して物品を製造することができる。

10

【符号の説明】

【 0 2 9 5 】

1 搬送システム

3 制御システム

1 0 1 可動子

1 0 2 ワーク

1 0 3 ヨーク板

1 0 4 リニアスケール

1 0 5 Yターゲット

1 0 6 Zターゲット

1 0 7 導電板

1 0 9 永久磁石列

1 1 0 永久磁石列

1 1 1 永久磁石ヨーク複合列

2 0 1 固定子

2 0 2 コイル

2 0 4 Xセンサ

2 0 6 Zセンサ

2 0 7 コイル

2 0 8 コイル

2 0 9 コイル

2 1 0 巻き線

2 1 1 コア

2 1 3 永久磁石

2 1 5 ブラケット

2 1 6 レール

3 0 1 統合コントローラ

3 0 2 コイルコントローラ

3 0 3 コイルユニットコントローラ

3 0 4 センサコントローラ

3 1 2 電流センサ

3 1 3 電流コントローラ

7 0 1 蒸着装置

7 0 2 蒸着源

8 0 2 開口部

20

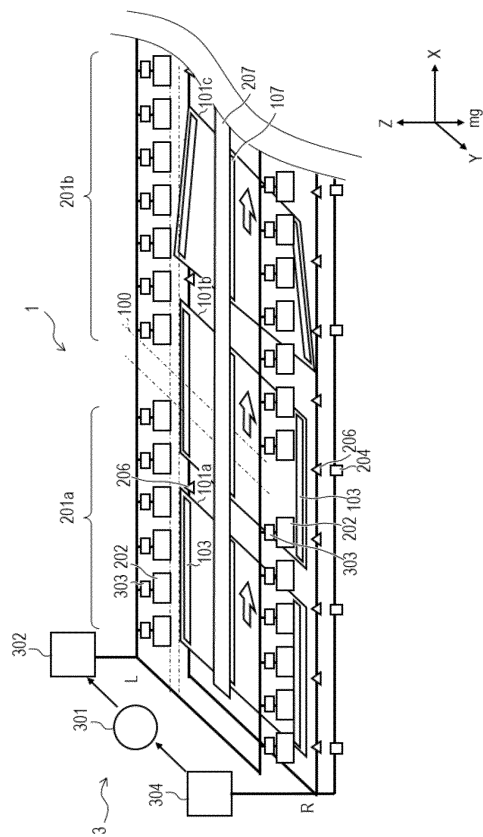
30

40

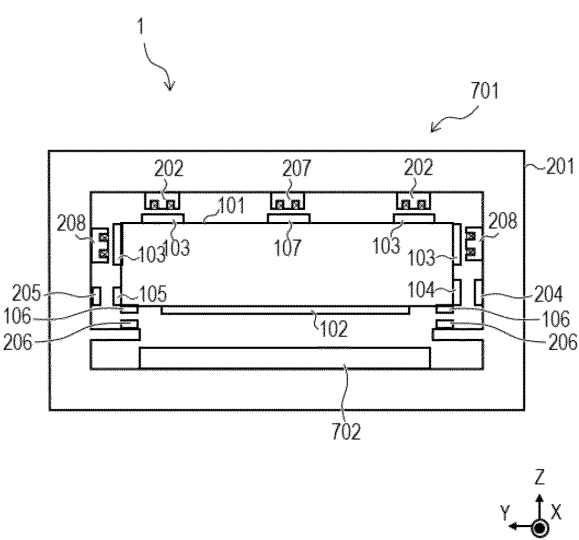
50

【図面】

【図 1】



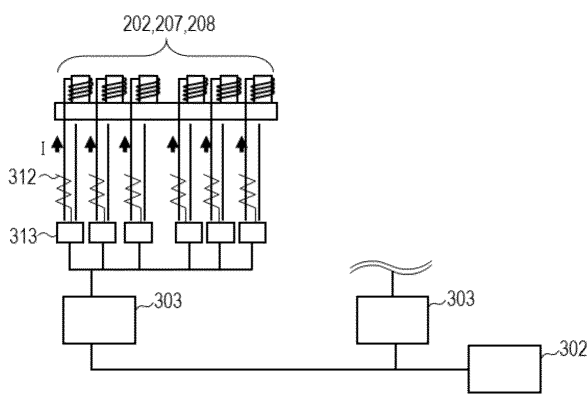
【図 2】



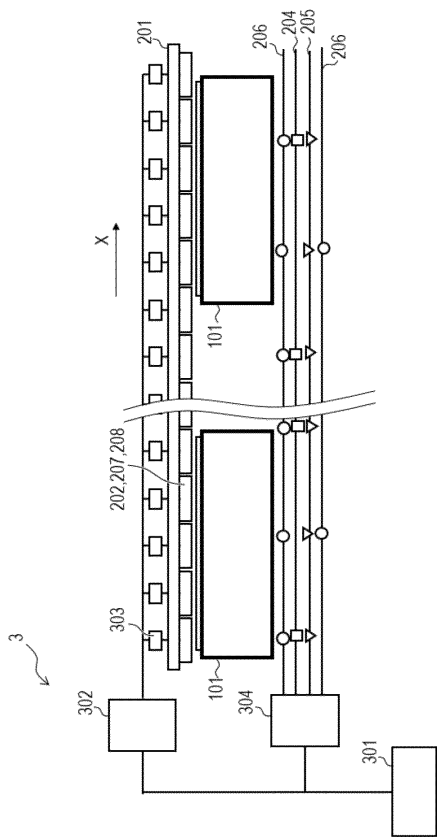
10

20

【図 3】



【図 4】

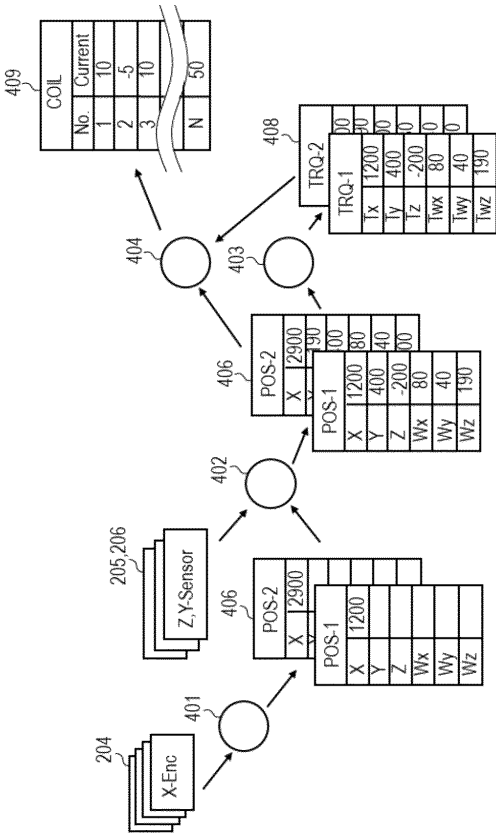


30

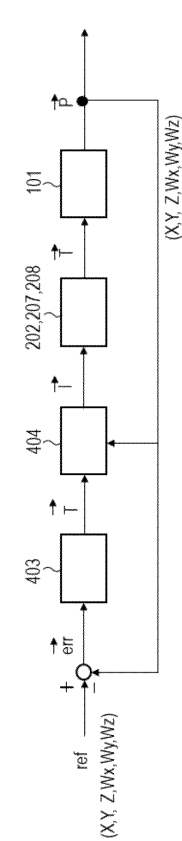
40

50

【 図 5 】



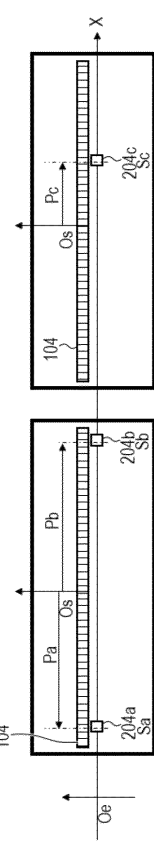
【 図 6 】



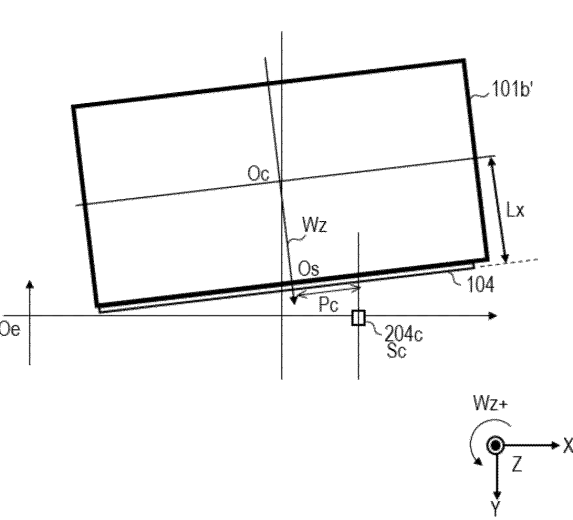
10

20

【 図 7 A 】



【 図 7 B 】

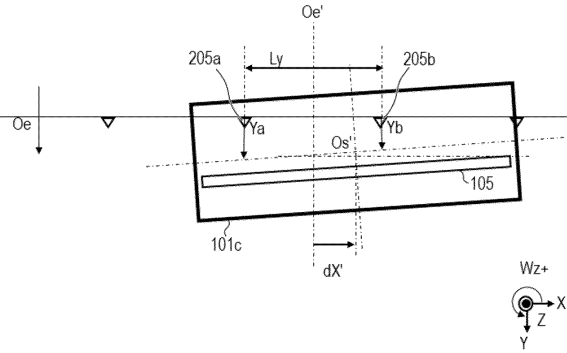


30

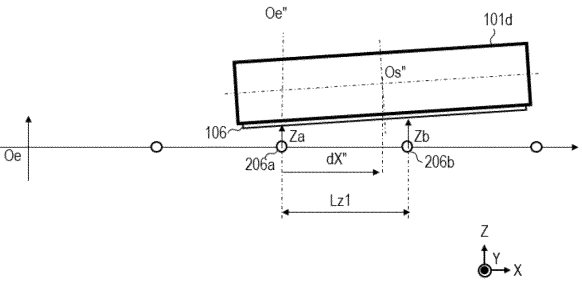
40

50

【図 8】

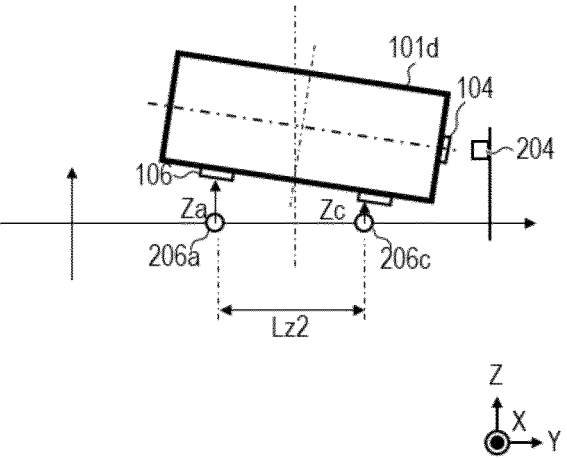


【図 9 A】

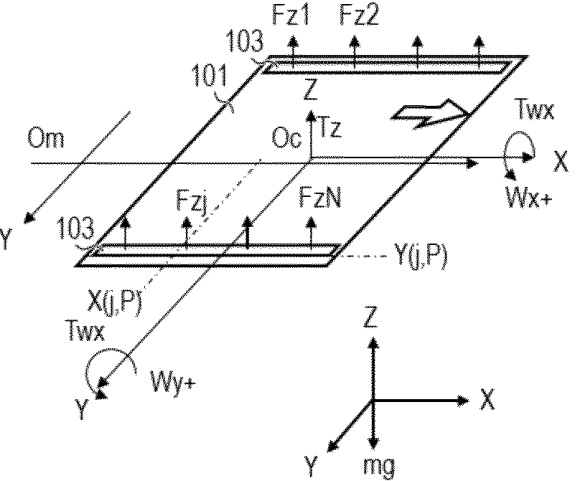


10

【図 9 B】



【図 10】



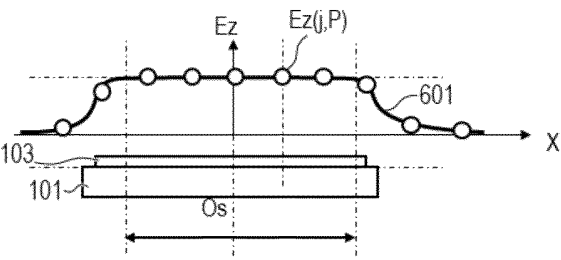
20

30

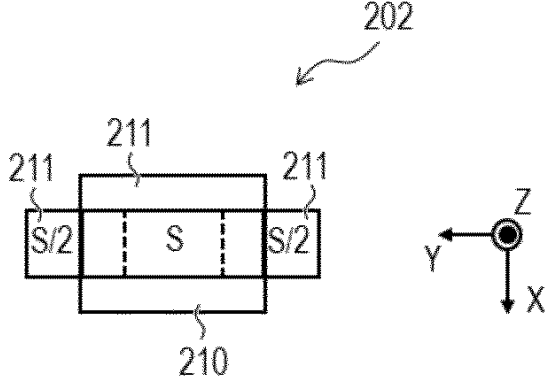
40

50

【図 1 1】

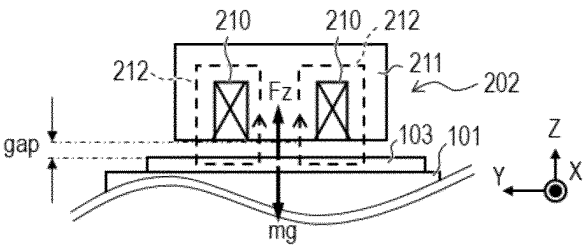


【図 1 2 A】

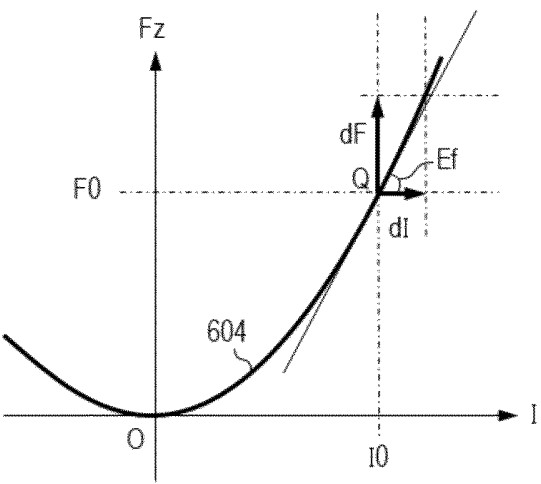


10

【図 1 2 B】



【図 1 3】



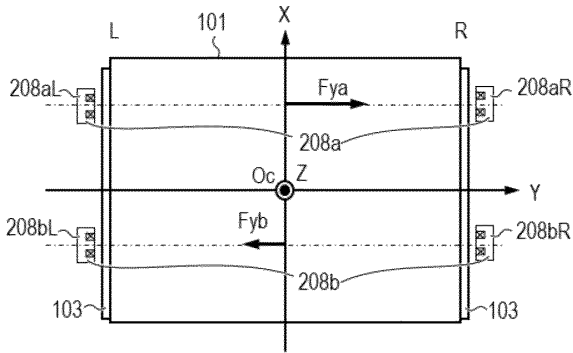
20

30

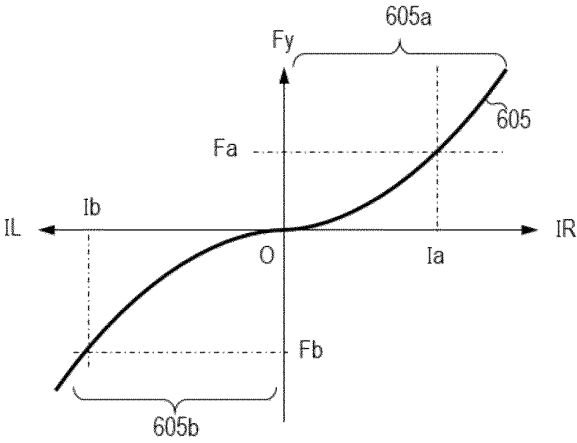
40

50

【図 1 4】

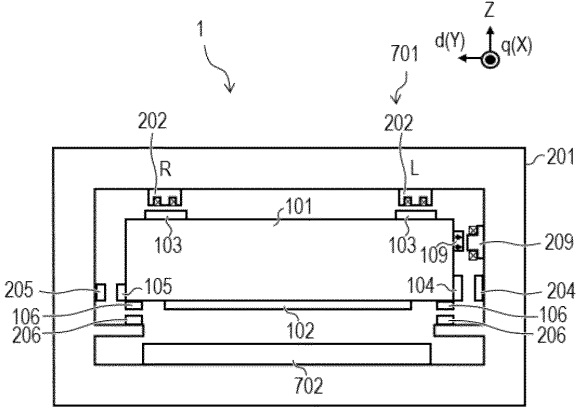


【図 1 5】

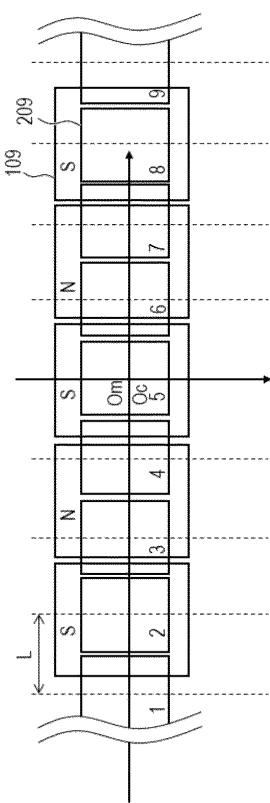


10

【図 1 6】



【図 1 7 A】



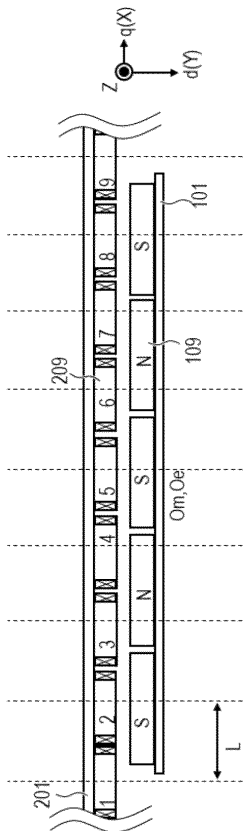
20

30

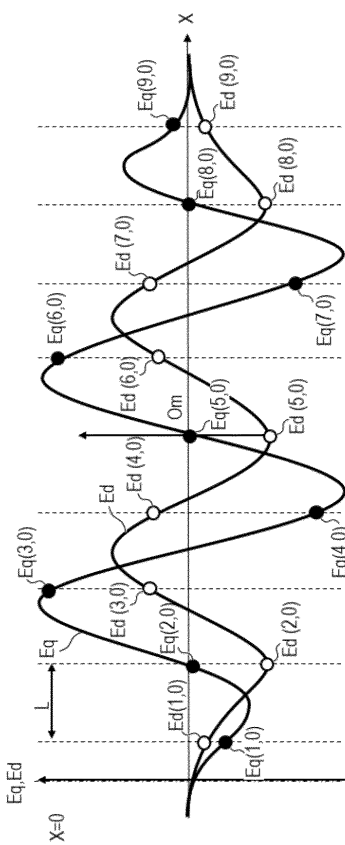
40

50

【図 17 B】



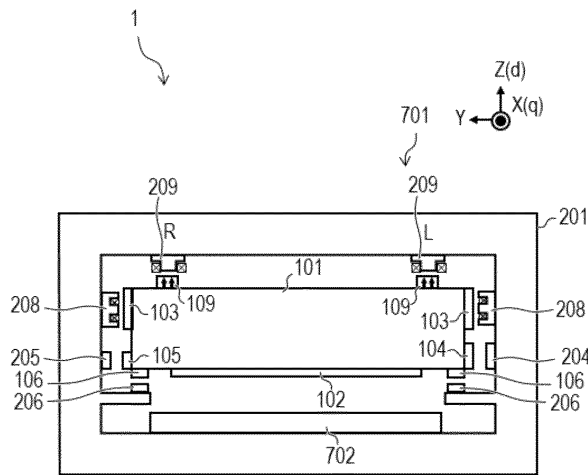
【図 17 C】



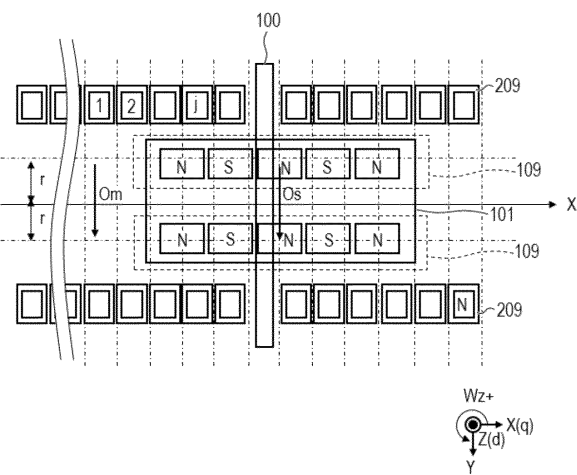
10

20

【図 18】



【図 19 A】

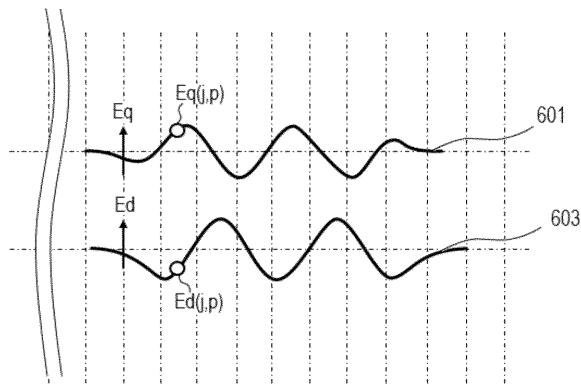


30

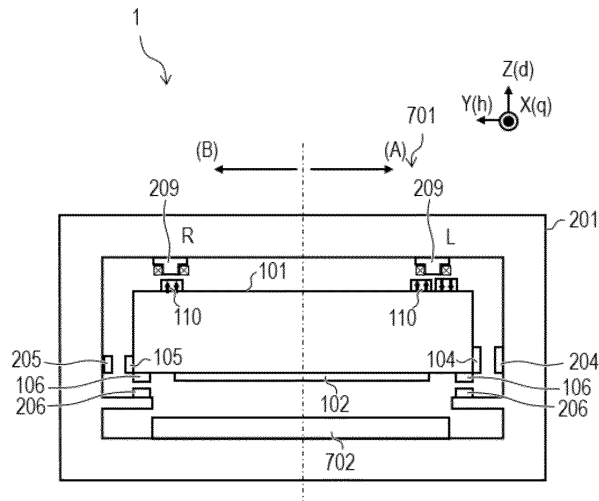
40

50

【図 19 B】

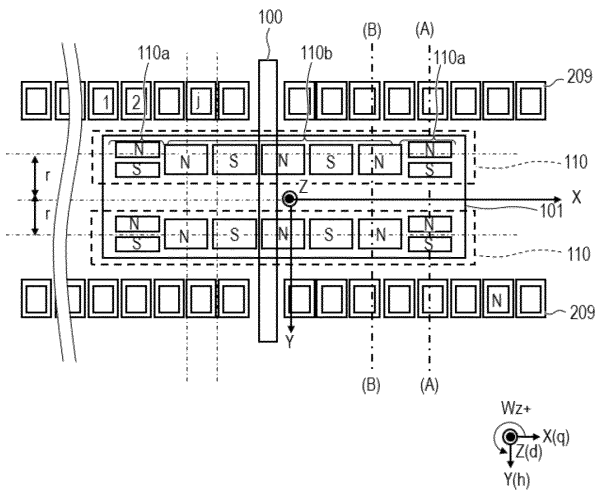


【図 20】

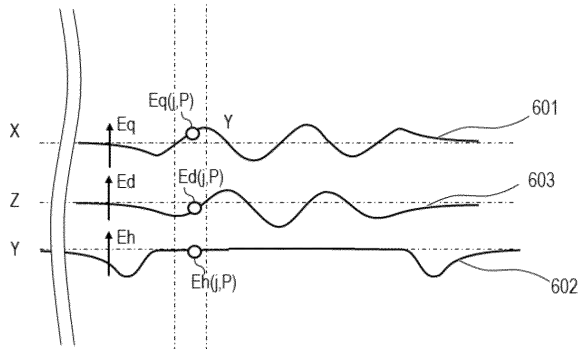


10

【図 21 A】



【図 21 B】



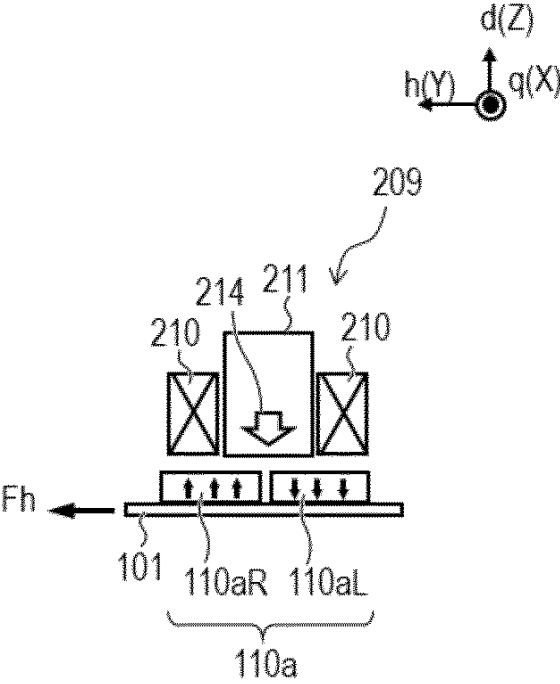
20

30

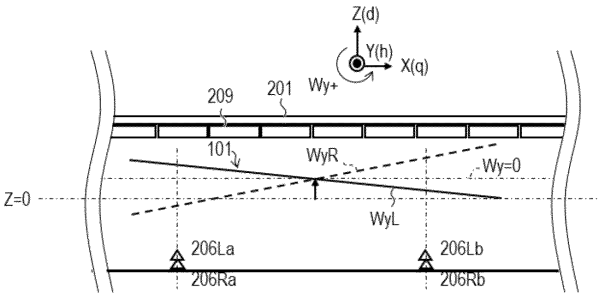
40

50

【図 2 2】

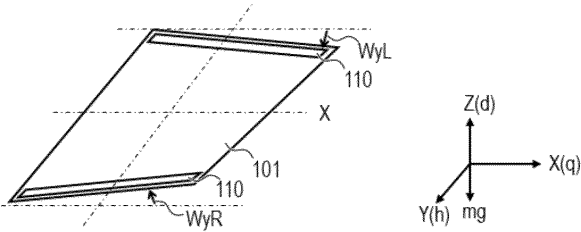


【図 2 3 A】

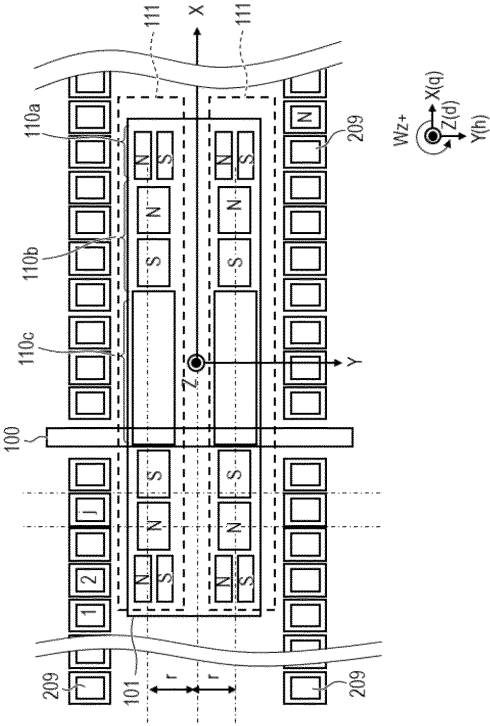


10

【図 2 3 B】



【図 2 4 A】

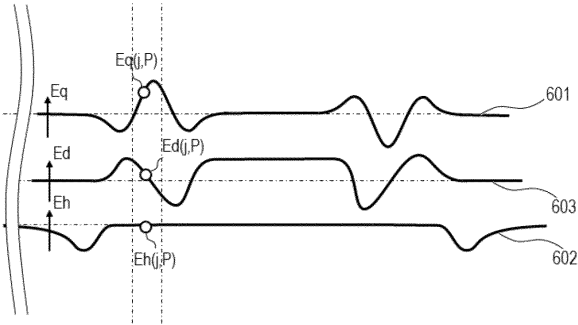


30

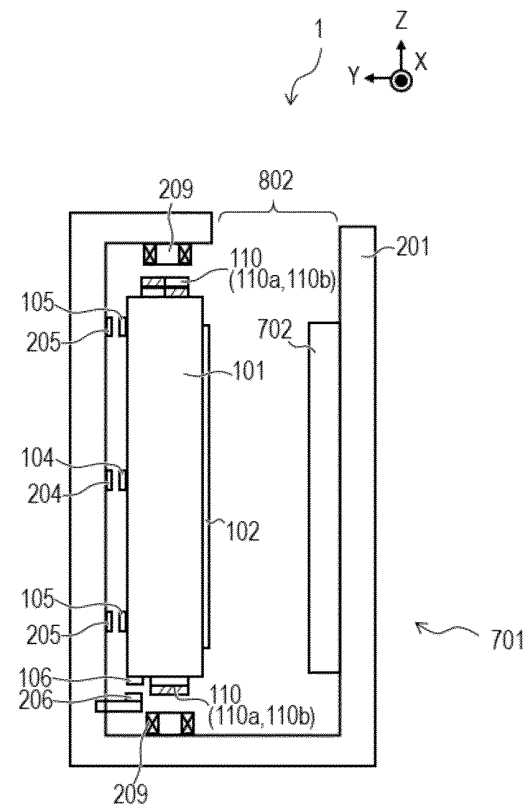
40

50

【図 2 4 B】



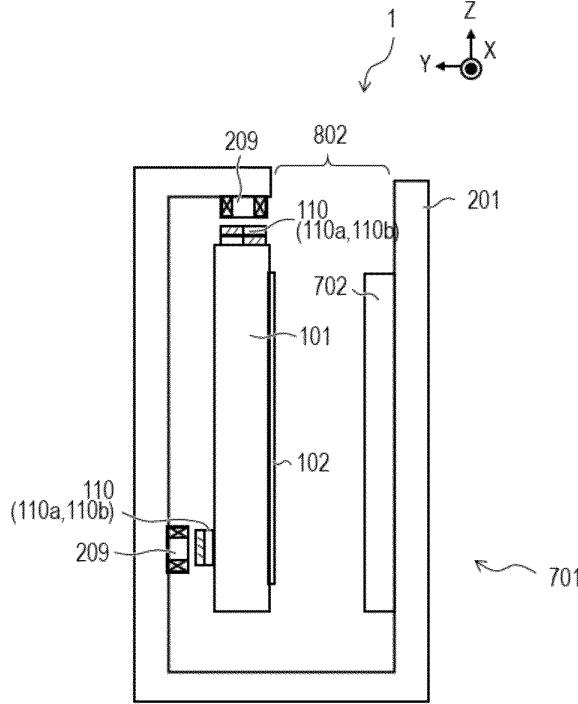
【図 2 5 A】



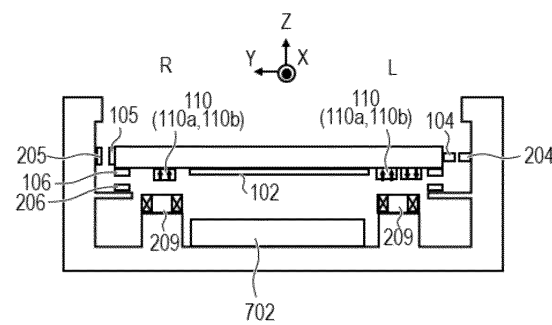
10

20

【図 2 5 B】



【図 2 6】

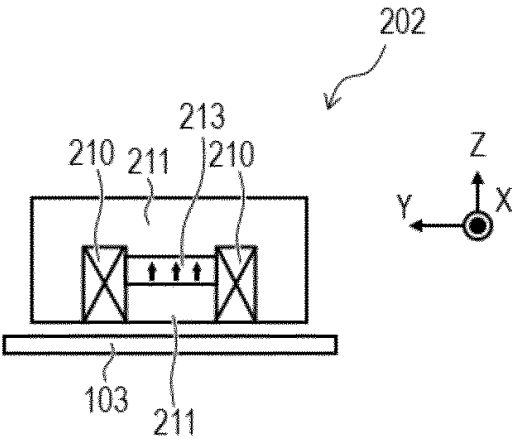


30

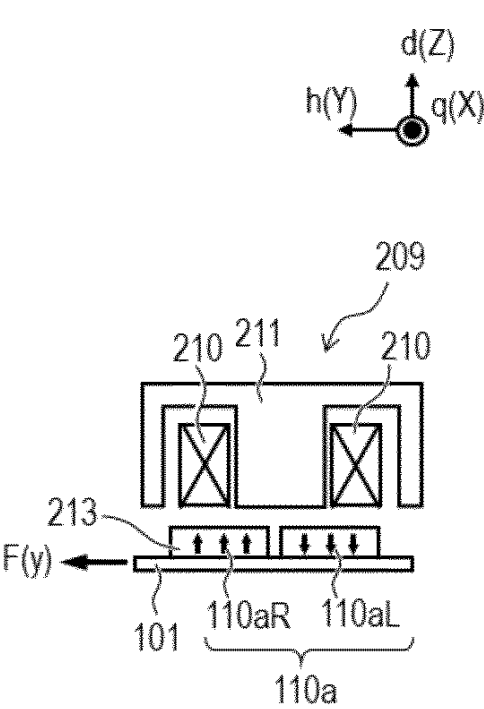
40

50

【図 2 7】



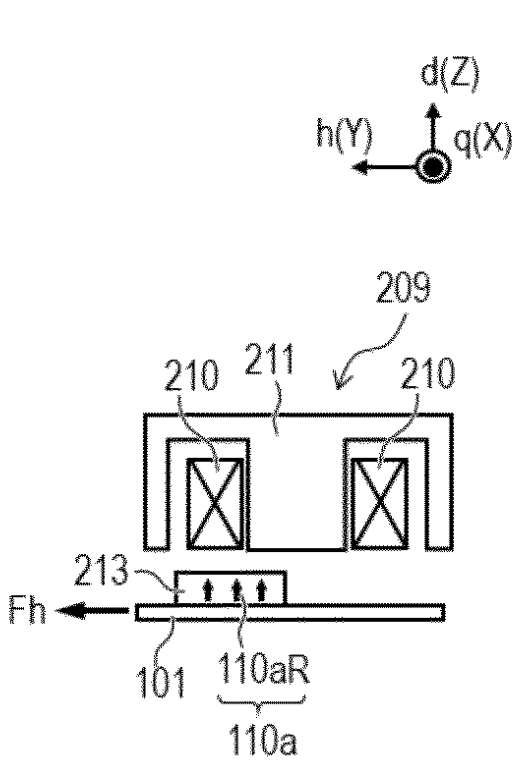
【図 2 8 A】



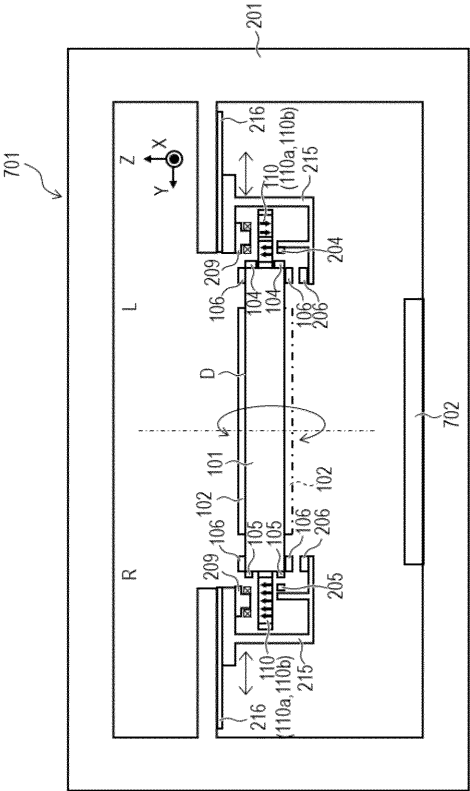
10

20

【図 2 8 B】



【図 2 9】



30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 2 5 4 4 8 9 (J P , A)
 特開平 0 9 - 0 1 7 8 4 6 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 0 5 2 1 6 4 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 H 0 2 K 4 1 / 0 3
 B 6 5 G 5 4 / 0 2