

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-333601

(P2006-333601A)

(43) 公開日 平成18年12月7日(2006.12.7)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
H02K 41/03 (2006.01)		H02K	41/03	A	3C048
B23Q 1/38 (2006.01)		B23Q	1/38	Z	5H641
B23Q 5/28 (2006.01)		B23Q	5/28	B	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2005-152222 (P2005-152222)	(71) 出願人	303000408
(22) 出願日	平成17年5月25日 (2005.5.25)		コニカミノルタオプト株式会社
			東京都八王子市石川町2970番地
		(74) 代理人	100107272
			弁理士 田村 敬二郎
		(74) 代理人	100109140
			弁理士 小林 研一
		(72) 発明者	細江 秀
			東京都八王子市石川町2970番地 コニ
			カミノルタオプト株式会社内
		Fターム(参考)	3C048 CC07 DD01 DD26
			5H641 BB06 BB14 BB18 BB19 GG02
			GG03 GG07 HH03 JA06 JA09
			JA19 JB05

(54) 【発明の名称】 リニアモータ、工作機械及び計測器

(57) 【要約】

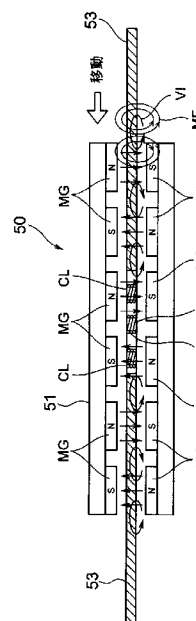
【課題】

応答遅れ等を低減でき位置決め精度を高めることができるリニアモータを提供する。

【解決手段】

リニアモータ50によれば、導体53、53と永久磁石MGとが相対的に移動することで、永久磁石MGの磁束を相対的な移動によって横切ることにより、その速度に比例した誘導電流（渦電流）VIを発生し、その電流により発生する磁界MFが永久磁石MGとの磁界により磁力（誘導起電力）を発生し抗力となるので、応答遅れがないスライドテーブル13の移動を実現できるため、高精度な加工を実現できる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定体と移動体のうち一方に配置され所定のピッチで並べられた複数の永久磁石と、前記固定体と前記移動体のうち他方に前記永久磁石に対向して配置されたコイルとを有するリニアモータにおいて、

前記永久磁石からの磁力を受ける位置に配置され、前記永久磁石のピッチ以上の長さを有する導体を有していることを特徴とするリニアモータ。

【請求項 2】

固定体と移動体のうち一方に配置され、所定のピッチで並べられた複数の永久磁石と、前記固定体と前記移動体のうち他方に配置されたコイルと、

前記永久磁石の前記所定のピッチ以上の長さを有し、前記永久磁石に対向する位置に配置された導体と、を有することを特徴とするリニアモータ。

10

【請求項 3】

前記導体は、前記永久磁石に対向する位置であって、前記コイルが配置される側に配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のリニアモータ。

【請求項 4】

前記導体は、前記永久磁石の並び方向において、前記コイルに対して両側に配置されていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載のリニアモータ。

【請求項 5】

前記永久磁石の並び方向において、前記コイルに対して一方の側に配置された前記導体の長さを A、他方の側に配置された前記導体の長さを B、前記コイルの長さを C としたときに、前記複数の永久磁石の並び長さ M と、前記移動体の駆動ストローク S との間に、以下の式を満たす関係があることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載のリニアモータ。

20

$$M + S \leq A + B + C \quad (1)$$

$$M - C \geq S \quad (2)$$

【請求項 6】

前記永久磁石は 2 列に並べられており、前記コイルと前記導体は、前記永久磁石の列間に配置されてなることを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載のリニアモータ。

【請求項 7】

前記永久磁石は円筒状又は円柱状であり、前記コイルと前記導体は、並んだ前記永久磁石の周囲に配置されてなることを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載のリニアモータ。

30

【請求項 8】

前記コイルと前記導体とが前記固定体に固定されており、前記永久磁石が前記移動体に固定されており、前記コイルに電力を供給することによって前記固定体に対して前記移動体が移動することを特徴とする請求項 1～7 のいずれかに記載のリニアモータ。

【請求項 9】

請求項 1～8 のいずれかに記載のリニアモータを搭載した工作機械であって、前記移動体はスライドテーブルであることを特徴とする工作機械。

40

【請求項 10】

前記スライドテーブルは、静圧により浮上保持されていることを特徴とする請求項 9 に記載の工作機械。

【請求項 11】

光学素子の光学面又は光学素子を形成する光学素子成形用金型の光学転写面を加工することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の工作機械。

【請求項 12】

請求項 1～8 のいずれかに記載のリニアモータを搭載した計測器であって、前記移動体はスライドテーブルであることを特徴とする計測器。

【請求項 13】

50

前記スライドテーブルは、静圧により浮上保持されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の計測器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、精度の良い駆動を実現できるリニアモータ、工作機械及び計測器に関する。

【背景技術】

【0002】

工作機械や計測器などにおいて、ワークや工具もしくは測定子等を保持して位置決めするためにスライドテーブルが用いられている。かかるスライドテーブルの送り駆動手段として、リニアモータが用いられる場合がある（特許文献 1 参照）。 10

【特許文献 1】特開 2002-346844 号公報

【特許文献 2】特開 2003-189589 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、リニアモータの一つの問題は、コギングが生じることである。コギングとは、コイルと永久磁石との間に発生する磁力に起因した推力ムラであり、これが応答遅れの原因となる場合がある。コギングは、電流の有無に関わらず発生し、リニアモータの位置精度を低下させる恐れがあり、また、駆動のために余分な電流が必要になり発熱を増加させる恐れがある。 20

【0004】

コギングの低減対策として、可動磁石に補極を設けてみかけ上のコギングを相殺する方法や、リニアモータを複数ユニット設けて互いの位相をずらす方法などが提案されているが、これらの方法は、コギングのある周波数成分を除去するだけに過ぎず、高調波まで含めてコギングをほぼゼロにすることは達成されていない。

【0005】

これに対し特許文献 2 には、複数の永久磁石を、移動方向における各永久磁石の両端の位置が実質的に櫛歯状鉄心の歯のピッチだけずれるように、傾斜して配置することでコギングを低減させるリニアモータが開示されている。しかしながら、特許文献 2 の技術は、櫛歯状鉄心を有するリニアモータにのみ有効なものであり、全てのリニアモータに適用できるとは限らない。 30

【0006】

本発明は、かかる従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、応答遅れなどを低減でき位置決め精度を高めることができるリニアモータを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項 1 に記載のリニアモータは、固定体と移動体のうち一方に配置され所定のピッチで並べられた複数の永久磁石と、前記固定体と前記移動体のうち他方に前記永久磁石に対向して配置されたコイルとを有するリニアモータにおいて、 40

前記永久磁石からの磁力を受ける位置に配置され、前記永久磁石のピッチ以上の長さを有する導体を有していることを特徴とする。

【0008】

本発明のリニアモータにおいては、前記導体と前記永久磁石とが相対的に移動することで、前記永久磁石の磁束を相対的な移動によって横切ることにより、その速度に比例した誘導電流（渦電流）を発生し、その電流により発生する磁界が前記永久磁石との磁界により磁力（誘導起電力）を発生し抗力となる。ここで、前記移動体に働く推力を P とし、前記コイルの電流による磁力を $F_c(i)$ とし、誘導電流による抗力を $F_e(v)$ としたときに、以下の式（3）が成り立つ。

$$P = F_c(i) - F_e(v) \quad (3)$$

【0009】

本発明では、この誘導電流の発生に、前記コイルの磁力との相互作用で前記移動体の推進力を発生する前記永久磁石を用いることにより、前記コイルの磁力による推力方向と、前記導体による誘導電流による抗力が、ほとんど同一線上に位置して逆向きとなるため、前記移動体にモーメントなどの姿勢を崩す余分な力が働かないという効果が得られる。従って、このような抗力が働いても、前記移動体を滑らかに高精度に移動させることができるのである。

【0010】

式(3)によって、前記移動体が一定速度で移動している場合には、前記コイルの電流は前記導体が無い場合よりも大きくなる。しかし、前記移動体が一定速度で移動している場合に、例えば摩擦などによって前記移動体の速度が低下すると、速度に比例する誘導起電力すなわち抗力 F_e が減少し、前記コイルによる磁力 F_c が変わらなくとも、前記移動体の速度 v を復帰させるように推力 P が増えるという作用が発生する。一方、前記移動体の速度が上昇した場合には、これに比例する抗力 F_e が大きくなり、前記コイルの電流が変わらなくとも前記移動体の速度を低減させるように推力 P が減少するという作用が発生する。このように、前記導体を設けることによって、前記移動体の速度を一定に保とうとする作用が働くこととなる。

【0011】

さらに、前記コイルへの電流の供給において、前記移動体の速度を検出してこれを制御する速度フィードバックを掛けている場合は、前記導体による誘導起電力がそのサーボ特性を補完するので、速度サーボゲインを大きくしたのと同じ効果が得られる。つまり、本発明にかかる前記導体による速度変化の抑制効果は誘導起電力に依存するため、速度変化とほとんど同時に発生するが、その応答速度は、例えば通常の工作機械などのサーボループ速度である 100～200 Hz よりもずっと高速である。従って、通常のサーボ制御では追従できないような高速な速度変化に対しても抑制するように作用するため、見かけ上、速度サーボゲインを非常に高く設定した効果を生むのである。しかも、実際のサーボループ制御は帯域が全く違うために、この作用とは相互干渉を全く発生しないでその効果を発揮することができ、その結果、前記移動体の極めて安定した運動精度を確保できる。また、本発明にかかる前記導体によって発生する誘導起電力が、推力に対して抗力を与え、電流の制御分解能が同じ状態で前記コイルに大きな電流を流すため、その分、前記移動体の小さな速度変化や追従誤差に対して相対的に大きな電流変化を与えることができるので、ループゲインを高めたのと同じ効果が得られ、前記移動体の高精度な運動制御が可能となる。

【0012】

本発明は、前記移動体の急激な速度変化を抑制する。これは前記導体の面積が大きくて、前記移動体の移動に伴って永久磁石の磁束を導体がたくさん横切るほど、大きな抗力を発生し速度変化の抑制効果も大きくなる。即ち前記導体の磁力が横切る面積を変化させることで、発生する抗力の大きさを制御することができる。また、前記導体の内部抵抗が小さいほど、誘導電流のジュール熱による損失が減少し発生磁界が強くなるので大きな抗力を発生し、速度変化の抑制効果を上げる。ただし、前記導体は、前記永久磁石の並び方向のピッチより長い長さ（前記永久磁石の並び方向の長さを言う）を有していることで、十分な速度変化の抑制効果を上げることができる。

【0013】

前記導体そのものは、銅などの金属材料で良く、前記コイルを挟むように両側に取り付けると、永久磁石との相対的な移動によっても横切る磁束が変わらず、速度に正確に比例した抗力を発生するので好ましい。このように、極めて簡単な部品によって、大きな効果を得られる。

【0014】

前記移動体の速度を変化させる制御を行っている場合は、速度変化を抑制するように前

記導体の誘導起電力が働くが、この力は前記導体の大きさや内部損失等によって前記コイルの電流による磁力よりは必ず小さくなるので、前記移動体の速度を制御できることとなる。しかし、前記導体を有しない場合よりは、この抑制効果のためにより大きなコイルの電流の変化が必要となるので、これは見かけ上、サーボゲインを高めたと同じ効果となる。

【0015】

しかもサーボループでゲインを高めた場合は、ノイズも大きくなって容易に発振しやすくなるが、本発明の場合は、瞬間的な速度変化が滑らかに抑制されているために、このノイズに相当する副作用が小さく、その制御精度を期待通りに高めることができる。

【0016】

請求項2に記載のリニアモータは、
固定体と移動体のうち一方に配置され、所定のピッチで並べられた複数の永久磁石と、
前記固定体と前記移動体のうち他方に配置されたコイルと、
前記永久磁石の前記所定のピッチ以上の長さを有し、前記永久磁石に対向する位置に配置された導体と、を有することを特徴とする。

【0017】

本発明によれば、請求項1に記載の発明の効果に加え、前記導体を前記永久磁石に対向する位置に配置することによって、コンパクトな構成でありながら効率的に誘導起電力を発生することができる。

【0018】

請求項3に記載のリニアモータは、請求項1又は2に記載の発明において、前記導体は、前記永久磁石に対向する位置であって、前記コイルが配置される側に配置されていることを特徴とする。ここで、「コイルが配置される側」とは、複数の永久磁石が移動体に設けられている場合には、コイルが設けられた固定体と同様に、移動体に対して固定された側であることを意味し、複数の永久磁石が固定体に設けられている場合には、コイルが設けられた移動体と一体的に移動される側であることを意味する。このようにコイルが配置される側に配置された導体は、コイルと一体的にもしくはコイルの近傍にコイルと一体で設けられていても良く、またコイルが設けられた部材とは別部材に設けられていても良い。

【0019】

請求項4に記載のリニアモータは、請求項1～3のいずれかに記載の発明において、前記導体は、前記永久磁石の並び方向において、前記コイルに対して両側に配置されていることを特徴とするので、前記コイルの両側でバランス良く抗力を発生することができる。

【0020】

請求項5に記載のリニアモータは、請求項1～4のいずれかに記載の発明において、前記永久磁石の並び方向において、前記コイルに対して一方の側に配置された前記導体の長さをA、他方の側に配置された前記導体の長さをB、前記コイルの長さをCとしたときに、前記複数の永久磁石の並び長さMと、前記移動体の駆動ストロークSとの間に、以下の式を満たす関係があることを特徴とする。

$$M + S \leq A + B + C \quad (1)$$

$$M - C \geq S \quad (2)$$

【0021】

式(1)の関係を満たすことにより、前記移動体が移動するストロークの範囲のいずれの位置でも、前記導体が前記永久磁石との間で、速度に比例した誘導起電力を発生することができる。コイルが永久磁石の並びの中央に位置しているとき、相対的に永久磁石が移動する場合を考える。この時、永久磁石の並びと、駆動方向に重なっている部分が減少する一方の側の導体では、その減少分に比例して誘導起電力が発生しなくなるが、他方の側にある導体においては、永久磁石との駆動力向の重なりが、減少分と同じだけ増加するので、それぞれで発生する誘導起電力(抗力)の和はほとんど変わらない。従って、移動体の速度に比例した抗力を安定して得られることとなる。即ち、本発明の効果を、移動ストローク全範囲で得るためには、式(1)を満たすことが望ましいといえる。式(2)は、

10

20

30

40

50

前記コイルが、移動ストローク全範囲で前記永久磁石の並びからはみ出さないために必要な条件である。

【0022】

請求項6に記載のリニアモータは、請求項1～5のいずれかに記載の発明において、前記永久磁石は2列に並べられており、前記コイルと前記導体は、前記永久磁石の列間に配置されてなることを特徴とする。

【0023】

請求項7に記載のリニアモータは、請求項1～5のいずれかに記載の発明において、前記永久磁石は円筒状又は円柱状であり、前記コイルと前記導体は、並んだ前記永久磁石の周囲に配置されてなることを特徴とする。

10

【0024】

いわゆるシャフトモータと呼ばれるリニアモータの特徴は、シャフト状の永久磁石の周りに隙間を介してコイルを設けているため、コイルの軸方向の磁界のみに永久磁石の磁力による推力が働くので、これと直交方向には実質的に力が生じない。つまり、シャフト状の永久磁石のアライメントが、移動方向に対して若干傾いていても、コイルとの隙間が維持されてシャフトの永久磁石と非接触を保つ限りは、移動体の移動特性に影響を与えない。従って、本発明によりシャフトの永久磁石やコイルのセッティングが容易なリニアモータが構成されることとなる。

【0025】

このコイルに対して円筒状の導体を設けて一体にすると、シャフト状の永久磁石とコイルが相対的に移動する際には、その速度に比例した誘導電流が、かかる導体内に働いて磁界を作り、抗力として働く。この抗力は速度に比例するので、速度変化に対してこれを抑制するように働く。つまり、コイルと導体、もしくはシャフトの永久磁石側が一定速度で相対移動している場合は、一定の抗力として誘導起電力が働き、そのためコイルの電流による駆動力は、かかる導体が無い場合よりも大きくなる。つまり、移動体に働く推力 P は、同様に式(3)で表される。その状態で、摩擦などによって前記移動体の速度が低下すると、速度に比例する誘導起電力すなわち抗力 F_e が減少し、前記コイルによる磁力 F_c が変わらなくとも、移動体の速度 V を復帰させるように推力 P が増えるのである。

20

【0026】

請求項8に記載のリニアモータは、請求項1～7のいずれかに記載の発明において、前記コイルと前記導体とが前記固定体に固定されており、前記永久磁石が前記移動体に固定されており、前記コイルに電力を供給することによって前記固定体に対して前記移動体が移動することを特徴とする。

30

【0027】

前記コイルに電流を供給する配線や、前記コイルを液冷する場合には、冷却水などの配管を組み付ける必要があるが、前記コイルと前記導体とを前記移動体に固定すると、かかる配線や配管を前記移動体と共に移動させなくてはならず、それを実現する構成が複雑となり、更には移動に際してこれらが障害となったり、抗力となったりする恐れもある。これに対し、前記永久磁石を前記移動体に取り付ける場合には、配線や配管が不要となり、極めて簡素でありながら、移動に障害を生じる心配がなく好ましい。

40

【0028】

請求項9に記載の工作機械は、請求項1～8のいずれかに記載のリニアモータを搭載した工作機械であって、前記移動体はスライドテーブルであることを特徴とする。

【0029】

請求項10に記載の工作機械は、請求項9に記載の発明において、前記スライドテーブルは、静圧により浮上保持されていることを特徴とする。

【0030】

例えば、油や空気などの流体の静圧によって非常に滑らかに移動できるスライドテーブルを有する工作機械は、高精度な運動精度を求められているので、本発明のリニアモータを適用することで、さらに高精度なスライドテーブルの運動制御が実現できる。

50

【0031】

請求項11に記載の工作機械は、請求項9又は10に記載の発明において、光学素子の光学面又は光学素子を形成する光学素子成形用金型の光学転写面を加工することを特徴とする。「光学転写面」とは、光学素子の光学面を転写する面をいう。

【0032】

ここで言う光学面又は光学転写面を加工するとは、加工面の表面粗さが平均表面粗さR_aで5nm以下を実現する加工を指す。そのような加工を目的とする工作機械は、極めて高精度に工具台やワーク固定台を直線運動や旋回運動する必要があり、本発明のリニアモータを適用することで、さらに高精度な運動精度を実現でき加工精度を高められる。

【0033】

請求項12に記載の計測器は、請求項1～8のいずれかに記載のリニアモータを搭載した計測器であって、前記移動体はスライドテーブルであることを特徴とする。

【0034】

請求項13に記載の計測器は、請求項12に機差の発明において、前記スライドテーブルは、静圧により浮上保持されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0035】

本発明によれば、応答遅れなどを低減でき位置決め精度を高めることができるリニアモータを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。図1は、本実施の形態にかかるリニアモータを適用できる工作機械としての5軸加工機10の斜視図である。5軸加工機10は、光学素子の光学面又は光学素子を形成する光学素子成形用金型の光学転写面を加工することができる。図1において、床F上に4本（3本のみ図示）の脚11aで支持されたアクティブエアマウント11は、振動の伝達を抑制する抑制手段であり、床の振動をベース12に伝達しない機能を有する。

【0037】

アクティブエアマウント11上に支持されたベース12のレール12a上には、Z軸方向に移動可能にスライドテーブル13が設けられ、スライドテーブル13上に回転可能に旋回テーブル14が設けられている。尚、スライドテーブル13はレール12aに対し、旋回テーブル14はスライドテーブル13に対し、それぞれ不図示の静圧案内により油を媒体として低フリクションで支持されている。

【0038】

更に、ベース12上において、一对のサポートブロック15上に掛け渡されたレール15aには、X軸方向に移動可能にスライドテーブル16が設けられ、スライドテーブル16上のレール16aには、Y軸方向に移動可能にスライドテーブル17が設けられ、スライドテーブル17上に回転可能に旋回テーブル18が設けられている。尚、スライドテーブル16はレール15aに対し、スライドテーブル17はレール16aに対し、旋回テーブル18はスライドテーブル17に対し、それぞれ不図示の静圧案内により油を媒体として低フリクションで支持されている。なお、旋回テーブル18に工具を配置する代わりに、旋回テーブル14に載置した被測定物を検査する測定子やカメラ等を搭載することで、高精度な計測が可能な計測器が構成されることとなる。

【0039】

本実施の形態では、第1の作業台であるスライドテーブル13、16、17には、測定分解能1nmのレーザースケールを設けて、その移動量を測定できるようにし、サーボゲインが-3dBとなる周波数が50Hz（好ましくは100Hz）以上のリニアモータ（後述）により駆動する方式とした。一方、第2の作業台である旋回テーブル14、18には、角度分解能0.1秒のロータリーエンコーダーを設置して回転角度を測定できるようにした。本実施の形態の静圧案内では、油の粘度は2pois、供給圧力は5気圧とした

10

20

30

40

50

。この時、スライド軸の水平・垂直方向の剛性は $1350\text{ N}/\mu\text{m}$ であり、十分な値であった。

【0040】

スライドテーブル13、16、17、旋回テーブル14、18及び静圧案内は、窒化珪素製であり、旋回軸はローター部分を窒化珪素とし、ステーター部分を線膨張係数 4×10^{-6} の特殊合金製とした。また、サポートブロック15は、インバーを用いた。ベース12は線膨張係数 4×10^{-6} の特殊合金板を溶接して用いた。この特殊合金のヤング率は、 130 GPa であるが、板厚を 40 mm とすることでベース面として必要な剛性を確保した。

【0041】

自由曲面光学面の加工物を旋回テーブル14に取り付け、旋回テーブル18にダイヤモンド工具（不図示）をセットし、スライドテーブル13、16、17、旋回テーブル14を同時に（4軸で）シェーパー切削加工を行った。スライドテーブル13の送り速度は $600\text{ mm}/\text{min}$ 以上であり、加工時間は36時間であった。切削面の表面粗さは、 $R\text{max}5\text{ nm}$ 、形状精度 57 nm で、市販の多軸加工機の加工精度の約3倍の高精度を達成した。

【0042】

図2は、本実施の形態におけるスライドテーブル及び旋回テーブルの断面図（図1のII-II線で切断した断面図）である。図2において、ベース12のレール支持部12a上には、セラミックから形成され紙面に垂直方向に延在する平板状のレール12bが固定されている。レール12bを覆うようにして、セラミックから形成され断面がコ字状のスライドテーブル13が配置されている。

【0043】

スライドテーブル13は、レール12bの上面に対向する内周下面に静圧パッド（薄い空間もしくは多孔質材：以下同じ）13a、13aを形成し、レール12bの側面に対向する内周側面に静圧パッド13b、13bを形成し、レール12bの下面に対向する内周上面に静圧パッド13c、13cを形成している。各静圧パッド13a～13cには、スライドテーブル13内を延在する孔13dを介して、外部より所定の圧力の油が供給されるようになっている。尚、スライドテーブル13には、不図示のエンコーダが固定されており、一方、これに対向して、ベース12には不図示のセンサが設けられており、ベース12に対してスライドテーブル13の移動量を、分解能 10 nm 以下で測定できるようになっている。エンコーダとセンサとで測定手段を構成する。

【0044】

スライドテーブル13の上面には、支持台120が固定されている。支持台120は、後述するようにコイル等を埋設するために、インバーなどの合金であると好ましいが、加工可能であればセラミックを用いることもできる。

【0045】

略中空円筒状の支持台120は、旋回テーブルユニット14を内包している。より具体的には、旋回テーブルユニット14は、磁性材から形成された下部の歯形部14aと、セラミックから形成された上部の円盤部14bとを、円盤状の縮径部14fを介して連結した形状を有している。歯形部14aは、外周に複数の歯が形成され、一歯ずつ磁化されることでN極とS極が交互に配置されている。かかる歯に対向し、支持台120の内周面には、歯形部14aの歯数より一つ多い数だけコイルCが配置されている。歯形部14aとコイルCとでACサーボモータを構成する。

【0046】

歯形部14aの下面には、エンコーダ14cが固定されており、一方、これに対向して、支持台120にはセンサ14dが設けられており、支持台120に対して旋回テーブルユニット14の回転角度を、分解能1秒角以下で測定できるようになっている。

【0047】

支持台120は、歯形部14aの上面に対向する上部フランジ120fの下面に環状の

10

20

30

40

50

静圧パッド 120 a を形成し、縮径部 14 f の外周面に対向する上部フランジ 120 f の内周面に環状の静圧パッド 120 b を形成し、歯形部 14 a の下面に対向する下部フランジ 120 e の上面に環状の静圧パッド 120 c を形成している。各静圧パッド 120 a ~ 120 c には、支持台 120 内を延在する孔 120 d を介して、外部より所定の圧力の油が供給されるようになっている。

【0048】

図 3 は、スライドテーブル 13 を駆動する本実施の形態にかかるリニアモータ 50 の主要部を示す図である。移動体としてのスライドテーブル 13 に（図 2 とは異なる断面位置で）配置される磁石ケース 51 は、断面がコ字状の直方体形状を有している。磁石ケース 51 内には、その軸線に沿って等しいピッチ P で、N 極と S 極が交互になるように複数個並べられた永久磁石 MG が 2 列、間隔をあけながら極を異ならせて互いに対向して配置されている。

10

【0049】

スライドテーブル 13 が相対移動する固定体（ここではベース 12 が相当する）側には、3 つのコイル CL を収容したコイルケース 52 と、コイルケース 52 に対して永久磁石 MG の並び方向両側に連結された長板状の導体 53、53 が配置されている。図 3 では離れて示されているが、コイルケース 52 と導体 53、53 は、磁石ケース 51 内の対向する永久磁石 MG の列間にスキマを介して挿入されている。永久磁石 MG の並び方向において、コイルケース 52 の長さは C であり、導体 53、53 の長さはそれぞれ A である。又、コイルケース 52 の幅 W1 は、導体 53、53 の幅 W2 の 2 倍となっている。ここで、永久磁石の並び長さ M と、スライドテーブル 13 の駆動ストローク S とすると、以下の関係が成立する。

20

$$M + S \leq 2A + C$$

$$M - C \geq S$$

【0050】

図 3 で手前側の導体 53 には、冷却配管 54 が連結され、ここから導体 53 内の冷却通路（不図示）に導入された冷却水は、コイルケース 52 を冷却した後、図 3 で奥側の導体 53 内の冷却通路（不図示）を介して、別の冷却配管 55 から排出されるようになっている。又、コイルケース 52 には、外部の電源（不図示）からコイル CL に電力を供給するための配線 56 が接続されている。

30

【0051】

本実施の形態の動作について説明する。図 2 において、外部の油圧源より配管 13 d に油が供給されることで、静圧パッド 13 a ~ 13 c から油が吐出され、その静圧を用いて、支持台 120 を搭載したスライドテーブル 13 は、レール 12 b に対して非接触状態で支持される。かかる状態で、図 3 のリニアモータ 50 が駆動されることで、スライドテーブル 13 は、ベース 12 に対して所望の位置に移動することとなる。

【0052】

更に、外部の油圧源より配管 120 d に油が供給されることで、静圧パッド 120 a ~ 120 c から油が吐出され、その静圧を用いて、不図示のワークを支持した旋回テーブルユニット 14 は、支持台 120 に対して非接触状態で支持される。かかる状態で、コイル C に交番電流を付与することで、歯形部 14 a が磁氣的に駆動され、旋回テーブルユニット 14 は、支持台 120 に対して所望の角度だけ回転することとなる。

40

【0053】

図 4 は、本実施の形態にかかるリニアモータ 50 の動作を示す模式図である。図 3 に示す配線 56 を介して外部から電流を供給すると、コイル CL に磁界が発生するので、永久磁石 MG とコイル CL との間に磁力が生じ、それにより磁石ケース 51 は駆動方向（永久磁石 MG の並び方向である図 4 で左右方向）に付勢されるため、スライドテーブル 13 が移動するようになっている。

【0054】

ここで、導体 53、53 と永久磁石 MG とが相対的に移動することで、導体 53、53

50

が永久磁石MGの磁束を横切ることにより、その速度に比例した誘導電流（渦電流）VIを発生し、その電流により発生する磁界MFが永久磁石MGとの磁界により磁力（誘導起電力）を発生し抗力となるので、応答遅れがないスライドテーブル13の移動を実現できるため、高精度な加工を実現できる。更に、静圧によって極めて滑らかにスライドするスライドテーブル13によって、永久磁石MGがコイルケース52と導体53、53を横切る構造であるため、スライドテーブル13側には、コイルのための配線や配管が不要となることから、簡素な構成を実現できる。なお、図3に示すリニアモータ50を、スライドテーブル16、17の駆動に用いることもできる。

【0055】

（実施例1）

図3に示す工作機械において、高圧油によって浮上している静圧スライドテーブルに、図4に示すように、ピッチ25mmで板状の永久磁石を2列取り付け、その間をコイルケースとこれに延在する銅板をベース側に取り付けた。銅体の幅は永久磁石の幅の半分としたので、スライドテーブルの移動に伴って導体が横切る磁束は、コイル電流による磁力の約半分であるから、この導体が無い場合に対してスライドテーブルの推力は1.5倍の電流を必要とすることになる。言い換えれば、ループゲインを1.5倍高く設定することができる。

【0056】

図5は、実施例にかかるリニアモータにより静圧スライドテーブルを停止状態から10mm/minの速度で駆動し停止させたときの追従誤差を示す図である。図6は、比較例（実施例に対し導体を取り外したもの）にかかるリニアモータにより静圧スライドテーブルを停止状態から10mm/minの速度で駆動し停止させたときの追従誤差を示す図であり、この状態でサーボのゲイン調整を行っている。「追従誤差」とは、指令位置に対するスライドテーブルの位置の誤差であり、この値がゼロであれば指令通りの運動をスライドテーブルが行っており、プラス側に増大するにつれ応答遅れが生じ、マイナス側に増大するにつれオーバーシュートが生じていることを示す。

【0057】

まず、図6に示す比較例では、駆動の瞬間には追従誤差が遅れ方向に10nm以上発生し、6秒程かかってほぼゼロに推移している。また、停止の瞬間には、追従誤差が15nm程行き過ぎ方向に発生している。導体を設けていないことによりサーボの安定性が悪くなったために、ループゲインを落とさざるを得ず、その結果、比例ゲインが低下し積分時定数が大きくなり、スライドテーブルの運動レスポンスが大幅に悪くなった。

【0058】

これに対し、図5に示す実施例では、駆動時も停止時とほぼ同じノイズレベルであり、ほぼ数nmの追従誤差で移動しているのがわかる。又、駆動や停止の瞬間においても数nmの追従誤差しか発生しておらず、図5からだけでは、応答遅れが生じることなく、いつ駆動し停止したかわからない程、スライドテーブルの高精度な制御を実現している。

【0059】

以上より、導体を設けたことによるスライドテーブルの送り精度向上効果が、実際に確認された。

【0060】

（実施例2）

実施例1に用いた静圧スライドテーブルにおいて、100mmの距離を速度10mm/minで連続往復運動させ、コイルの温度上昇を測定した。図7は、コイル温度を縦軸に、起動からの経過時間を横軸にとって示すグラフである。コイルは 23 ± 0.1 ℃の水によって冷却されている。コイルの温度は2時間経過して約0.7℃の温度上昇で飽和した。ベースの温度上昇は0.1℃以下でほとんど検知できなかった。これは、コイルケースがはるかに大きなベースに固定されているので熱容量が大きく、温度制御された静圧油が静圧面から排出されコイルの近くを流れているためと判断される。

【0061】

10

20

30

40

50

また、永久磁石を取り付けたスライドテーブルの温度上昇は明確に観察されなかった。コイルとは1mm以上の隙間が有って空気によって断熱されており、スライドテーブル内を流れる静圧油の循環によっても温度安定化がなされているためと判断される。

【0062】

以上から、コイルの温度上昇に伴うベースやスライドテーブルの熱膨縮の影響は無視できる程度に小さいことが判明した。以上の実施例から、本発明に係るリニアモータが極めて高精度な移動体制御を、簡素な導体部品の付加だけで実現できることが実証された。

【0063】

以上、本発明を実施の形態を参照して説明してきたが、本発明は上記実施の形態に限定して解釈されるべきではなく、適宜変更・改良が可能であることはもちろんである。例えば、特開2005-073419に示すときシャフトモータに本発明を適用できる。 10

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】本実施の形態にかかる5軸加工機10の斜視図である。

【図2】本実施の形態におけるスライドテーブル及び旋回テーブルの断面図である。

【図3】本実施の形態にかかるリニアモータ50の主要部を示す図である。

【図4】本実施の形態にかかるリニアモータ50の動作を示す模式図である。

【図5】実施例にかかるリニアモータにより静圧スライドテーブルを停止状態から10mm/minの速度で駆動し停止させたときの追従誤差を示す図である。

【図6】比較例にかかるリニアモータにより静圧スライドテーブルを停止状態から10mm/minの速度で駆動し停止させたときの追従誤差を示す図である。 20

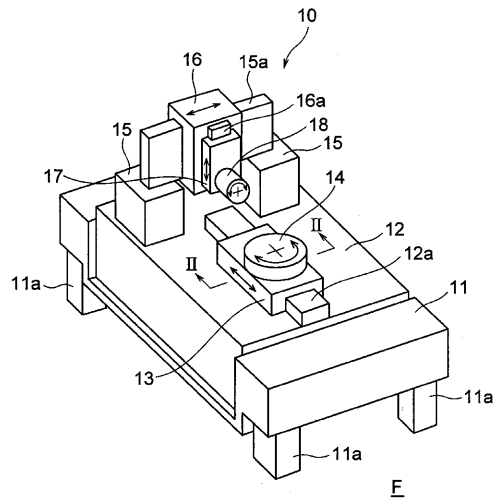
【図7】コイル温度を縦軸に、起動からの経過時間を横軸にとって示すグラフである。

【符号の説明】

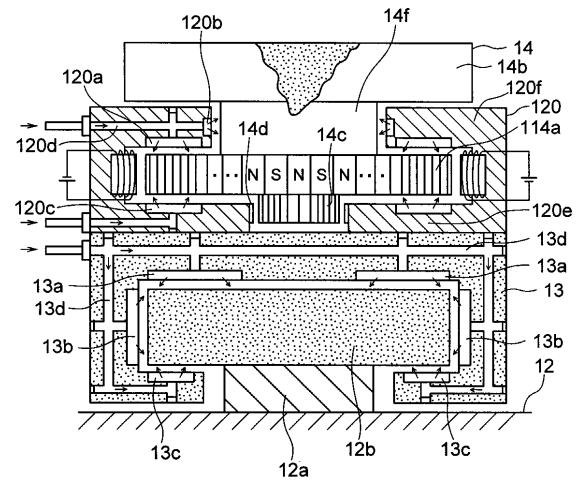
【0065】

- 10 5軸加工機
- 11 アクティブエアマウント
- 12 ベース
- 13 (Z軸)スライドテーブル
- 14 旋回テーブル
- 15 サポートブロック
- 16 (X軸)スライドテーブル
- 17 (Y軸)スライドテーブル
- 18 旋回テーブル
- 50 リニアモータ
- 51 磁石ケース
- 52 コイルケース
- 53 導体
- 54、55 配管
- 56 配線
- CL コイル
- MG 永久磁石

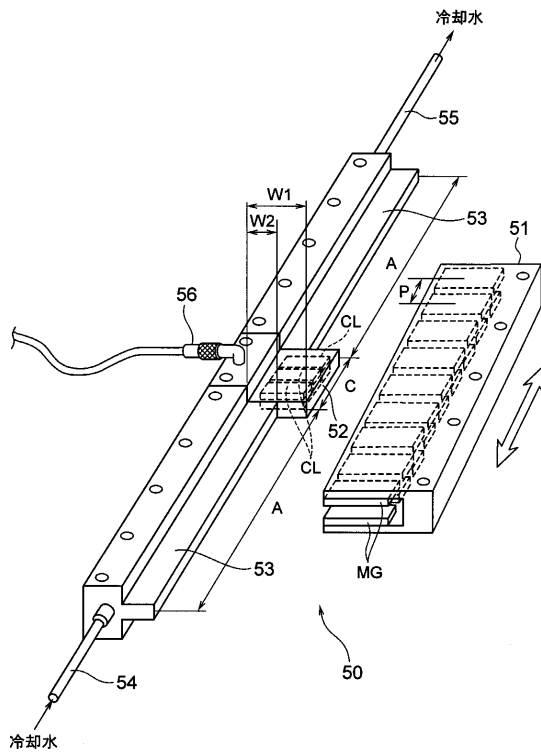
【図 1】



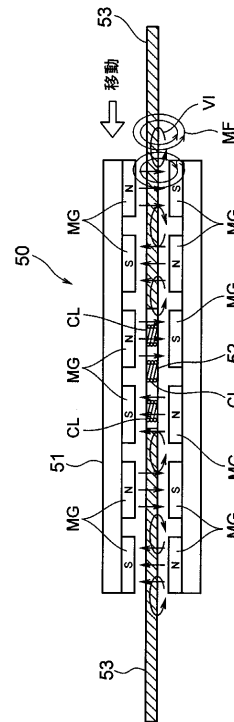
【図 2】



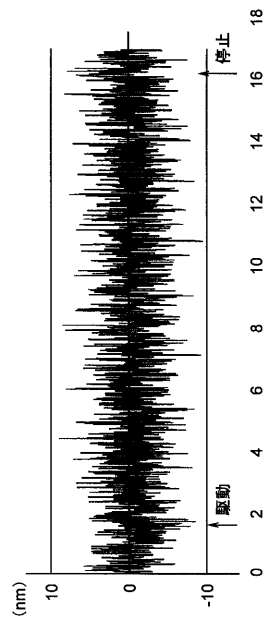
【図 3】



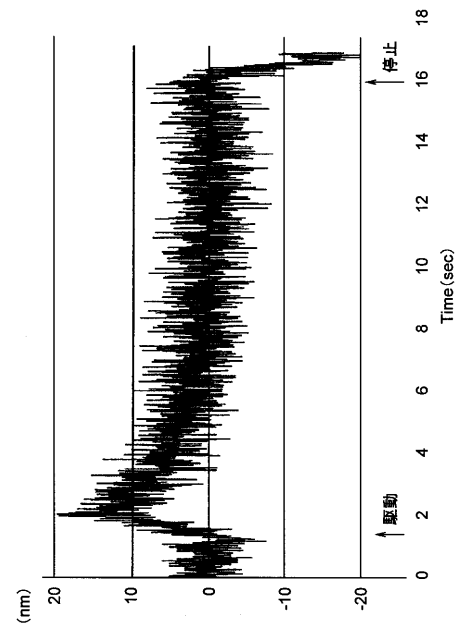
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

