【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第２部門第３区分
【発行日】平成16年11月18日(2004.11.18)

【公開番号】特開2000-158365(P2000-158365A)
【公開日】平成12年6月13日(2000.6.13)
【出願番号】特願平10-333598
【国際特許分類第７版】
Ｂ２５Ｊ　7/00
Ｂ２５Ｊ　19/00
Ｂ６２Ｄ　57/00
Ｈ０２Ｋ　33/16
【ＦＩ】
Ｂ２５Ｊ　7/00
Ｂ２５Ｊ　19/00　A
Ｂ２５Ｊ　19/00　D
Ｈ０２Ｋ　33/16　Z
Ｂ６２Ｄ　57/00　C

【手続補正書】
【提出日】平成15年11月26日(2003.11.26)
【手続補正１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【発明の名称】磁気浮上型マイクロハンド
【特許請求の範囲】
【請求項１】磁気浮上型マイクロハンドにおいて、
（ａ）３次元平行駆動が可能なように配置されるとともに、永久磁石からなる可動子と、固定部に固定された励磁コイルを有する固定子とからなる磁気アクチュエータと、
（ｂ）該磁気アクチュエータによって駆動される被駆動体と、
（ｃ）該被駆動体の変位を検知する変位センサと、
（ｄ）前記被駆動体に結合される平行リンク機構と、
（ｅ）前記被駆動体又は前記平行リンク機構の端部に取り付けられるエンドエフェクタとを具備することを特徴とする磁気浮上型マイクロハンド。
【請求項２】請求項１記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、前記磁気アクチュエータは筒状の励磁コイルからなる固定子及び永久磁石からなる可動子を有し、吸引力と反発力を組合わせて有用な駆動力を発生させることを特徴とする磁気浮上型マイクロハンド。
【請求項３】請求項１記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、前記変位センサは作業に適した分解能を有する限り、多様なセンサを利用できることを特徴とする磁気浮上型マイクロハンド。
【請求項４】請求項１記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、平行リンク機構は平行四辺形的動きをし、しかも平行四辺形を一体化した構造で、重力に対して常に平衡を保つことを特徴とする磁気浮上型マイクロハンド。
【請求項５】請求項１記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、方向を調節可能なエンドエフェクタを前記平行リンク機構に取付けることができることを特徴とする磁気浮上型マイクロハンド。
【発明の詳細な説明】
【０００１】

【発明の属する技術分野】
本発明は、機械加工や組立に用いられる磁気浮上型マイクロハンドに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
ミクロ機械を製造するには、小さな部品のハンドリング及び機械加工が求められている。マイクロセンサやアクチュエータといった、種々のミクロ機械部品が近年開発されて以来、その製造手段の需要は高まりつつある。
【０００３】
従来の市販のマイクロマニピュレータは、吸着や切断、線引き作業を行うことが可能である。こうした作業は、産業上の検査や生物工学においては十分であるが、ミクロ機械の製造にはその他の作業が要求される。
【０００４】
ミクロ機械は時としてマクロ機械の一部となり、その製造プロセスは、狭いスペースの中で行われる。したがって、製造装置はサイズの小さな物が望ましい。
【０００５】
このような状況からして、従来の工作機械や産業用ロボットの採用は不可能ということになる。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
上記したように、従来のマイクロマニピュレータは、ミクロ機械を製造する上では不十分である。つまり、組立とともに機械加工の能力が、ミクロ機械を製造する上で求められるのである。
【０００７】
本発明は、上記した状況に鑑みて、超精密で３次元平行動作及び回転動作が可能な磁気浮上型マイクロハンドを提供することを目的とする。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
本発明は、上記目的を達成するために、
〔１〕磁気浮上型マイクロハンドにおいて、３次元平行駆動が可能なように配置されるとともに、永久磁石からなる可動子と、固定部に固定された励磁コイルを有する固定子とからなる磁気アクチュエータと、この磁気アクチュエータによって駆動される被駆動体と、この被駆動体の変位を検知する変位センサと、前記被駆動体に結合される平行リンク機構と、前記被駆動体又は前記平行リンク機構端部に取り付けられるエンドエフェクタとを具備するようにしたものである。
【０００９】
〔２〕上記〔１〕記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、前記磁気アクチュエータは筒状の励磁コイルからなる固定子及び永久磁石からなる可動子を有し、吸引力と反発力を組合わせて有用な駆動力を発生させるようにしたものである。
【００１０】
〔３〕上記〔１〕記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、前記変位センサは作業に適した分解能を有する限り、多様なセンサを利用できるようにしたものである。
【００１１】
〔４〕上記〔１〕記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、平行リンク機構は平行四辺形的動きをし、しかも平行四辺形を一体化した構造で、重力に対して常に平衡を保つようにしたものである。
【００１２】
〔５〕上記〔１〕記載の磁気浮上型マイクロハンドにおいて、方向を調節可能なエンドエフェクタを前記平行リンク機構に取付けることができるようにしたものである。
【００１３】
【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら詳細に説明する。
【００１４】
図１は本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの構成図である。
【００１５】
この図に示すように、この磁気浮上型マイクロハンドは、被駆動体１０、エンドエフェクタを結合する平行リンク機構１４，１６，１７，１８と、希土類永久磁石３，６，９からなる可動子と、励磁コイル２，５，８からなる固定子とを有する磁気アクチュエータ１，４，７と、レーザー変位センサ１１，１２，１３、重力に対し平衡を保つための錘（図示なし）を搭載するアダプタ（平衡錘取付用アダプタ）１５から構成されている（エンドエフェクタは被駆動体１０に搭載することが精度上望ましいが、アダプタ１５に搭載することも可能である）。
【００１６】
なお、磁気アクチュエータ１，４，７の励磁コイル２，５，８と、レーザー変位センサ１１，１２，１３は固定部（図示なし）に固定される。
【００１７】
より詳細には、被駆動体１０のＸ軸方向駆動用磁気アクチュエータ１、被駆動体１０のＹ軸方向駆動用磁気アクチュエータ４、被駆動体１０のＺ軸方向駆動用磁気アクチュエータ７と、被駆動体１０のＸ軸方向の動きを検出するレーザー変位センサ１１、被駆動体１０のＹ軸方向の動きを検出するレーザー変位センサ１２、被駆動体１０のＺ軸方向の動きを検出するレーザー変位センサ１３とを用いて被駆動体１０と平衡錘取付用アダプタ１５は第１の平行リンク機構１４を介して対称的な動きをし、エンドエフェクタを駆動できる。なお、図１において、２１は固定台、２２は第１平行リンク機構取付部、２３，２５，２７，２８は回転軸、２４は上辺リンク、２６は底辺リンクである。
【００１８】
この磁気浮上型マイクロハンドは、従来のものに比して、以下の点が改良されている。
【００１９】
（１）エンドエフェクタの方向を固定し、Ｘ，Ｙ，Ｚ軸方向の平行運動を行わしめる平行リンク機構１４を採用する。なお、従来はレバー機構が用いられていた。
【００２０】
（２）希土類永久磁石３，６，９と励磁コイル２，５，８で構成された磁気アクチュエータ１，４，７は、線形を特徴とする駆動作用が大きなストロークをするよう設計された。この原理は、ボイスコイルモータと似ている。なお、従来は一対の電磁石が用いられていた。
【００２１】
（３）１μｍの解像度を持つ高精度レーザー変位センサ１１，１２，１３を用いる。従来は渦電流センサが用いられていた。
【００２２】
以下、この磁気浮上型マイクロハンドの各部分を詳細に説明する。
【００２３】
〔１〕まず、平行リンク機構について説明する。
【００２４】
図２は本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの平行リンク機構の模式図である。
【００２５】
ここでは、２つの平行リンク機構を挙げて説明する。
【００２６】
従来のレバー機構は、構造が単純で、重力に対して平衡させることが容易であるという点が挙げられる。課すべき作業としては、１本指によるミクロ製図等であり、また、２本指により対象物を選び取ることであり、これらの作業は指先端部分を用いて行うことができる。

【００２７】
しかしながら、機械加工のような作業は、工具の側面を用いて遂行され、エンドエフェクタの一定方向性が必要となる。
【００２８】
したがって、本発明では、図２に示すように、平行リンク機構にエンドエフェクタ３１を結合するタイプのマイクロハンドを採用した。
【００２９】
機構設計を検討するにはいくつかの問題点がある。
【００３０】
第１に、被駆動体１０の直接駆動作用において、磁力が比較的小さいという点があり、重力に対し平衡した構造が必要である。多くのリンクが用いられているため、リンクと平衡錘とが干渉しがちである。
【００３１】
第２に、磁石により駆動された力の伝達効率を考慮に入れると、図３に示した、方形に近い形の平行四辺形を用いることが望ましい。なお、図３において、Ｆは駆動力、Ｆｅは運動に有効な力成分である。
【００３２】
第３に、長いリンクを用いて軸受における摩擦効果を低減することが望まれる。
【００３３】
単純な設計として、ｘ，ｙ及びｚの運動に対応して直列に結合した３つの平行四辺形がある。しかし、この設計は、３つの平衡錘が必要である。ゆえに機構が複雑で大きい。だから、本発明は、２つの平行四辺形を組み合わせたリンク機構を、図４に示すような、もう１つの平行リンク機構に直列に接続することにした。だが、２つのリンク機構間に干渉が残ってしまうので、間隔を空けて接続した。この設計は完全に重力的に平衡を保つことができ、マイクロハンドはどんな配置でも使用することができ、また、従来のマニピュレータにも取り付けることができる。
【００３４】
図４はこの機構の大きさを示す。なお、図４において、図１と均等な部分は同じ符号を付してそれらの説明は省略する。この図において、リンクの長さは１００ｍｍで、軸受摩擦による影響力も、磁力に比べれば無視できる大きさである。リンクの材料にアルミニウム合金を用いることによって低慣性とし、より良い制御能力を発揮することを可能にしている。なお、図４において、３２はこの機構による作業範囲、３３はセンサ、アクチュエータ、エンドエフェクタ取付部、Ｄは間隔を示している。
【００３５】
〔２〕磁気アクチュエータ
磁気アクチュエータには２つのタイプが考えられる：１つは磁気軸受において用いられる一対の電磁石、もう１つは永久磁石とコイルである。この２タイプを比較してみる。同じコイルを使用すると仮定するが、図５（ａ）に示す前者のタイプはコイル３６中に鉄芯３５を含み、図５（ｂ）に示す後者のタイプは、対象物３４に接続された永久磁石３７を含む。Ｓ［m^2］，Ｉ［Ａ］及びｎ［／ｍ］を、それぞれ横断部面積、電流、コイルの長さ１単位での巻数とする。すると、磁界Ｈは以下のようになる：

$$H = nI \qquad (1)$$

両タイプの最大力を推定する。前者タイプの間隔は非常に小さいと仮定してみる。すると、磁力Ｆは以下のように表せる。
【００３６】

$$F = 2\mu H^2 S \qquad (2)$$

ここで、μは対象物の透磁率を表す。
【００３７】
次に、後者タイプを検討してみる。永久磁石の横断面は面積S_pを有する円形であり、両磁極はコイル中にある。すると、磁力F_pは以下のようになる：

$F_p = 2HS_pM$ （３）

ここで、Ｍは使用した希土類磁石の磁化を表す。

【００３８】

μ＝０．００２［ＮＡ－２］、Ｍ＝０．８［Ｔ］と仮定して、ＦとＦ$_p$を比較してみる。

【００３９】

$S_p < S$ （４）

であるが、Ｈが小さいとき、Ｍ＞μＨであるため、後者タイプは前者タイプよりも大きな力を発生する。

【００４０】

Ｈが大きいとき、磁化は飽和状態（最大限）になる。これは材料によって異なり、珪素鋼の場合の飽和磁化は、Ｍ　０．８［Ｔ］でＨ＝１０^5［Ａ／ｍ］である。だが、Ｂ－Ｈカーブの線状領域は、Ｍ＜０．６［Ｔ］である。

【００４１】

こうした検討から、前者タイプの対象物と電磁極との間隔が小さい場合、

$F > F_p$ （５）

となる。しかし、間隔が広がるにつれて、磁力は急速に減少していく。ゆえに、後者タイプは、全体的には非常に強くなるのである。

【００４２】

このアクチュエータに適したもう１つの特徴は、その力が電流Ｉに比例するのに対し、一対の電磁石は非線形の特徴を持つという点である。即ち、磁力は電流Ｉと対象物と極の間隔の非線形関数となる。

【００４３】

図６は本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの磁気アクチュエータの構成図である。ここで、３８は筒状のコイル、３８Ａはコイル端中心、３９は永久磁石である。

【００４４】

この磁気アクチュエータは、以下の通りである。

【００４５】

（１）巻数ｎ＝２０，０００［／ｍ］であり、ここで、コイル長さが２６［ｍｍ］のとき巻数は５００である。

【００４６】

（２）電流Ｉ＝０から３［Ａ］、

（３）面積Ｓ＝３．１４×１０$^{-4}$［ｍ^2］　ここで、コイルの内外直径は２０及び３２［ｍｍ］である。

【００４７】

（４）$S_p = 0.4S$　ここで、永久磁石の直径は１０［ｍｍ］、長さは４０［ｍｍ］である。

【００４８】

（５）Ｍ＝０．８［Ｔ］

図５と異なり、励磁コイルは１個の円筒であるため、Ｆ$_p$を単一の磁極に作用する力から求める。

【００４９】

$F_p = HS_pM$ （６）

数式（６）により、Ｉ＝３［Ａ］のとき力が６００［ｇｆ］であるのに対し、測定された実際の力はＩ＝３［Ａ］のとき３６０［ｇｆ］であった。この差の原因としては、磁束の漏出と、反対極の影響が挙げられる。

【００５０】

Ｉ＝０．２［Ａ］のときのコイル内側の永久磁石の位置を変化することによって実験的に測定した力を図７に示す。図７において、縦軸は力Ｆ（ｇｆ）、横軸は磁極位置（ｍｍ）である。一方、ｘ及びｙは、コイル端の中心を原点とした磁極位置を示す。この図は、極がコイル中心の近くにあるとき、力がほぼ一定であることを表している。

【００５１】
〔３〕制御の特徴
ここでは、レーザー変位センサを用いたときの、アクチュエータの制御の特徴を示す。このレーザー変位センサ（ＫＥＹＥＮＣＥ　ＬＫ－２０００）は、以下のような機能を有する。
【００５２】
（１）分解能は１μｍ、（２）測定範囲は±５ｍｍ、（３）応答時間は５１２μｓである。本発明のマイクロハンドではエンドエフェクタを直接駆動することやリンク機構が低摩擦であるため、位置制御と力制御の２つの制御モードが可能である。ここでは、両方の制御モードに効果的な、ＰＤタイプの制御装置（コントローラ）を用いて、新しいシステムを評価している。
【００５３】
図８に本発明の磁気浮上型マイクロハンドに代わる１軸実験の模式図を示す。
【００５４】
希土類永久磁石４３及びレーザ反射板４１は、被駆動体搭載部４２に取り付けらているのに対し、コイル４４及びレーザー変位センサ４５は固定部（図示なし）に取り付けられている。２種類のコイルで実験を行った。これらは、電線の巻数及び直径において異なっている。なお、図８において、４６は平衡錘である。

（1）コイル1：巻数　　５００巻、径0．５
抵抗　　４［Ω］
のとき、最大力　　Ｉ＝３［Ａ］のとき３６０［ｇｆ］
（2）コイル2：巻数　　２０００巻、径0．２３
抵抗　　１００［Ω］
のとき、最大力　　Ｉ＝0．２［Ａ］のとき１１０［ｇｆ］

なお、最大値は電源の容量（３Ａ，３６Ｖ）によって制限される。両コイルとも同一の筒に巻線を施したものである。ゆえに、両コイル$Ｌ_1$及び$Ｌ_2$のインダクタンスは、以下のような関係である。
【００５５】
$$Ｌ_2 ＝１６Ｌ_1 \qquad （７）$$
コイル１は図６の測定で用いたものと同一である。
【００５６】
図９に、上記した両コイルのステップ応答を示す図であり、縦軸は変位量（μｍ）、横軸は時間（ｓ）である。
【００５７】
この結果により、応答時間とオーバーシュートは、ほぼ同じであることが分かるが、コイル２のデータによると、安定した状態においては、より大きな振動を示している。これらの結果を以下に説明する。
【００５８】
（１）コイル１はコイル２より強いが、デジタルＰＤ制御装置の安定性の問題のため、コイル１に対しては小さな制御ゲインを用いなくてはならない。
【００５９】
（２）コイル２はインダクタンスが大きいため、電圧電流変換回路が用いられているが、インダクタンスの影響を除去しきれていないため、コイル２の振動はさらに大きいものとなっている。
【００６０】
コイル１の方が、より良い制御の特徴を示したので、コイル１を用いることが望ましいことがわかった。

【００６１】
なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。
【００６２】
【発明の効果】
以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。
【００６３】
（Ａ）超精密で３次元平行動作及び回転動作が可能な磁気浮上型マイクロハンドを提供することができる。
【００６４】
（Ｂ）対象物及びエンドエフェクタの非接触による直接駆動が可能である。さらに、非接触の直接駆動を導入することにより、低摩擦駆動を可能にし、高精度な位置制御と力制御を実行できる。また、ストローク幅やリニアリティを改善することができる。
【００６５】
（Ｃ）高精度の変位センサを用いることにより、検出精度に対応した高精度の制御を行うことができる。
【００６６】
（Ｄ）また、平行リンク機構は平行四辺形的動きをなすことにより、加工時の大きな反動トルクに対してはリンク機構で支え、比較的弱い磁石の駆動力をエンドエンドエフェクタに精確に伝達することができ、かつ小型にすることができる。したがって、マイクロマシンに最適である。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの構成図である。
【図２】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの平行リンク機構の模式図である。
【図３】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの方形に近い形の平行四辺形平行リンク機構を示す図である。
【図４】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドのリンク機構の模式図である。
【図５】各種の磁気アクチュエータの模式図である。
【図６】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの磁気アクチュエータの構成図である。
【図７】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの磁気アクチュエータの各種の可動子の位置における駆動力特性図である。
【図８】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドに代わる１軸実験の模式図を示す図である。
【図９】本発明の実施例を示す磁気浮上型マイクロハンドの磁気アクチュエータの１軸実験の励磁コイルの応答特性図である。
【符号の説明】
１，４，７　　磁気アクチュエータ
２，５，８　　励磁コイル
３，６，９　　希土類永久磁石
１０　　被駆動体
１１，１２，１３，４５　　レーザー変位センサ
１４，１６，１７，１８　　平行リンク機構
１５　　平衡錘取付用アダプタ
２１　　固定台
２２　　第１平行リンク機構取付部
２３，２５，２７，２８　　回転軸
２４　　上辺リンク

２６　底辺リンク
３１　エンドエフェクタ
３２　作業範囲
３３　センサ、アクチュエータ、エンドエフェクタ取付部
３４　対象物
３５　鉄芯
３６，４４　コイル
３７，３９　永久磁石
３８　筒状のコイル
３８Ａ　コイル端中心
４１　レーザ反射板
４２　被駆動体搭載部
４３　希土類永久磁石
４６　平衡錘