

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6086361号  
(P6086361)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 F 7/02 (2006.01) HO 1 F 7/02 Z  
 HO 2 K 7/06 (2006.01) HO 2 K 7/06 A

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2012-118204 (P2012-118204)	(73) 特許権者	800000068
(22) 出願日	平成24年5月24日 (2012.5.24)		学校法人東京電機大学
(65) 公開番号	特開2013-247169 (P2013-247169A)		東京都足立区千住旭町5番
(43) 公開日	平成25年12月9日 (2013.12.9)	(74) 代理人	100083806
審査請求日	平成27年5月19日 (2015.5.19)		弁理士 三好 秀和
		(74) 代理人	100100712
			弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
		(74) 代理人	100095500
			弁理士 伊藤 正和
		(74) 代理人	100101247
			弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100098327
			弁理士 高松 俊雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホッピング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

筐体に固定された永久磁石からなる第1固定磁石と、  
 前記筐体に固定され且つ前記第1固定磁石と所定距離離れて配置された永久磁石からなる第2固定磁石と、  
 前記第1固定磁石と前記第2固定磁石との間を移動する永久磁石からなる可動磁石と、  
前記第1固定磁石と前記第2固定磁石との一方の固定磁石に吸着された前記可動磁石を上方向に移動させて他方の固定磁石に吸着させる移動機構部とを有し、

前記第1固定磁石と前記第2固定磁石と前記可動磁石との各々は、対向する磁石間で吸引力が働くような方向に一直線上で且つ上下方向に配置されていることを特徴とするホッピング装置。

10

【請求項2】

前記移動機構部は、  
 モータと、  
 前記モータの回転により回転するネジと、  
 前記ネジに螺合し前記ネジの回転により上下移動する第1スライド部と、  
 上側拘束面と下側拘束面とが形成され、前記上側拘束面と前記下側拘束面との間に前記可動磁石を収納するとともに、前記第1スライド部に係合し前記第1スライド部の上下移動に伴って上下移動する第2スライド部と、  
 を備えることを特徴とする請求項1記載のホッピング装置。

20

## 【請求項 3】

前記可動磁石が前記第 1 固定磁石及び前記第 2 固定磁石の内の一方の固定磁石から引き離された後に、前記可動磁石が他方の固定磁石に吸着されたとき、前記モータを停止させるモータ停止部を備えることを特徴とする請求項 2 記載のホッピング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、小惑星上のような低重力環境下において惑星表面探査機器をホッピングさせるホッピング装置に関する。

## 【背景技術】

10

## 【0002】

近年、小惑星に対する探査活動が注目されている。探査機本体から分離し、小惑星の表面を移動して探索する小型のローバーには大きさと重量に制限がある。このため、一つの小惑星探査に多くのローバーを導入するのが難しい。したがって、高機能なローバーを少数導入することしかできず、探査範囲も制限されると考えられる。

## 【0003】

これに対して、簡易機能のみを備えた非常に小型のローバーを小惑星上に分散させ、広範囲でデータを収集することも、一つの探査手段と考えられる。このような探査手段を実現するためには、移動機能を持つ非常に小さな探査ローバーの開発が必要となる。

## 【0004】

20

また、小惑星上のような低重力下では、接地面との摩擦がほとんどなく、車輪やクローラなど従来の移動機構は、有効な移動手段とはならない。

## 【0005】

これに対して、これまでにスプリングを利用した移動機構が提案されている（非特許文献 1）。この非特許文献 1 に記載された移動機構は、重りを取り付けたバネを収縮・解放させることにより発生する慣性力を利用して探査機器をホッピングさせている。

## 【0006】

また、はやぶさに搭載された小惑星表面探査ローバー MINEREVA には、2つのホイールをモータにより回転させ、発生した遠心力で探査機器を任意の方向へホッピングさせる移動機構が搭載されている（非特許文献 2）。

30

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0007】

【非特許文献 1】下田真吾，久保田 孝，中谷一郎，"微小重力環境下におけるスプリングを利用した移動機構の提案，" 日本ロボット学会誌，vol.21，no.6，pp663-669，2003

【非特許文献 2】吉光徹雄，久保田孝，中谷一郎，足立忠司，齋藤浩明，"「はやぶさ」搭載小惑星表面探査ローバ MINERVA"，日本航空宇宙学会誌，Vol.53，No.620，pp.276-281，2005

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

40

## 【0008】

しかしながら、非特許文献 2 に記載されたホイールを用いる手法は、ホイールを回転させるための起動電流が大きくなる。このため、発電で生成できる電流が小さい小型ローバーには適していない。

## 【0009】

また、非特許文献 1 に記載されたスプリングを利用する手法は、小さな電流で時間をかけてスプリングを収縮させ、蓄えたエネルギーを一気に解放する。このため、消費電力に対して大きな力が取り出せるため、小型ローバーに有利である。

## 【0010】

しかしながら、非特許文献 1 に記載されたスプリングを利用する手法は、スプリングの

50

残留振動が小型ローバーの運動を妨げる可能性がある。

【0011】

本発明の課題は、消費電力に対して発生する衝撃力が大きく残留振動も発生せず、探査機器の小型化、軽量化を図ることができるホッピング装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明に係るホッピング装置は、筐体に固定された永久磁石からなる第1固定磁石と、前記筐体に固定され且つ前記第1固定磁石と所定距離離れて配置された永久磁石からなる第2固定磁石と、前記第1固定磁石と前記第2固定磁石との間を移動する永久磁石からなる可動磁石と、前記第1固定磁石と前記第2固定磁石との一方の固定磁石に吸着された前記可動磁石を上方向に移動させて他方の固定磁石に吸着させる移動機構部とを有し、前記第1固定磁石と前記第2固定磁石と前記可動磁石との各々は、対向する磁石間で吸引力が働くような方向に一直線上で且つ上下方向に配置されていることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、移動機構部が、第1固定磁石と第2固定磁石との一方の固定磁石に吸着された可動磁石を上方向に移動させて他方の固定磁石に吸着させるので、第1固定磁石又は第2固定磁石と可動磁石との吸着により発生する衝撃力をローバーのホッピングに用いるので、消費電力に対して発生する衝撃力が大きく残留振動も発生せず、探査機器の小型化、軽量化を図ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明のホッピング装置の基本原理図である。

【図2】本発明の実施例1に係るホッピング装置の構成図である。

【図3】本発明の実施例1に係るホッピング装置の動作を説明するための図である。

【図4】本発明の実施例1に係るホッピング装置によるホッピング時にDCモータを停止させるための回路構成図である。

【図5】本発明の実施例1に係るホッピング装置の固定磁石、可動磁石、直動スライドブロック、スライドブラケットの寸法を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態に係るホッピング装置について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0016】

本発明のホッピング装置は、移動機構として永久磁石を用い、永久磁石同士の吸着により発生する衝撃力をローバーのホッピングに用いることを特徴とする。このホッピング装置は、消費電力に対して発生する衝撃力が大きく、残留振動も発生せず、小型化、モジュール化を図ることができる。

【実施例1】

40

【0017】

(ホッピング装置の基本元原理)

図1は、本発明のホッピング装置の基本原理図である。ホッピング装置は、3つの永久磁石を用い、磁石の吸引力を利用する。ホッピング装置は、図1に示すように、2つの固定された固定磁石1a、1bと、固定磁石1a、1bの間を移動する可動磁石2とで構成されている。各々の磁石1a、1b、2は、対向する磁石と引き合うように配置されている。

【0018】

図1において、可動磁石2が固定磁石1a、1b間の中点にあるときには、可動磁石2が両方の固定磁石1a、1bから受ける吸引力は等しい。

50

## 【0019】

しかし、可動磁石2の位置が中点から少しでもずれると、吸引力は不均衡となり、可動磁石2は、可動磁石2に近い方の固定磁石に引き寄せられる。可動磁石2が片側の固定磁石に近づけば近づくほど、吸引力は増加し、逆に反対側の固定磁石からの吸引力は減少する。このため、可動磁石2は、近い方の固定磁石に瞬時に吸着する。ホッピング装置は、可動磁石2が固定磁石に吸着する際に生じる衝撃力をローバーのホッピングのための力として利用する。

## 【0020】

(ホッピング装置の構成)

図2は、本発明の実施例1に係るホッピング装置の構成図である。図2において、ホッピング装置は、筐体3に固定された永久磁石からなる固定磁石1a(第1固定磁石)と、筐体3に固定され且つ固定磁石1aと所定距離離れて配置された永久磁石からなる固定磁石1b(第2固定磁石)と、2つの固定磁石1a, 1b間を移動する永久磁石からなる可動磁石2と、この可動磁石2を移動させる移動機構部Aとを有して構成されている。

10

## 【0021】

2つの固定磁石1a, 1b及び可動磁石2は、それぞれ対向する磁石間で吸引力が働くような方向に一直線上に配置されている。筐体3は、固定磁石1a, 1b、可動磁石2、移動機構部Aを収納している。

## 【0022】

移動機構部Aは、DCモータ(直流モータ)4、減速機5、第1ギア6、第2ギア7、ネジ8、直動スライドブロック9、スライドブラケット10を有して構成されている。スライドブラケット10は、導電性を有するもので、例えば、アルミニウムからなる。

20

## 【0023】

DCモータ4は、直流電流により回転し、減速機5は、DCモータ4からの回転力を減速させる。減速機5の先端には第1ギア6が連結され、第1ギア6には第2ギア7が噛合している。第2ギア7の中心軸には細長いネジ8が取り付けられ、第2ギア7が回転することでネジ8が回転するようになっている。

## 【0024】

ネジ8には直動スライドブロック9が螺合しており、ネジ8の回転により直動スライドブロック9が上下に移動するようになっている。直動スライドブロック9には凸部9aが形成され、スライドブラケット10には細長い長方形の穴部10aが形成されている。この穴部10aには直動スライドブロック9の凸部9aが引っ掛けられ、直動スライドブロック9の上下移動によりスライドブラケット10も上下に移動するようになっている。

30

## 【0025】

また、スライドブラケット10には上側拘束面10bと下側拘束面10cとが形成され、上側拘束面10bと下側拘束面10cとは、紙面に対して垂直に折り曲げられた平板からなり、上側拘束面10bと下側拘束面10cとの間には可動磁石2が収納されている。

## 【0026】

(ホッピング装置の基本的な動作)

次に、このように構成されたホッピング装置の基本的な動作を説明する。まず、DCモータ4が回転すると、DCモータ4の回転力は、減速機5により減速されて第1ギア6に伝達される。

40

## 【0027】

第1ギア6が回転すると、第1ギア6に噛合した第2ギア7が回転し、第2ギア7が回転すると、ネジ8も回転する。ネジ8が回転すると、ネジ8に螺合した直動スライドブロック9が上下に移動する。

## 【0028】

スライドブラケット10の穴部10aには、直動スライドブロック9の凸部9aが引っ掛けられているため、スライドブラケット10は、直動スライドブロック9と共に上下に移動する。スライドブラケット10の上下移動により可動磁石2も上下に移動する。

50

## 【 0 0 2 9 】

なお、吸引により生じる可動磁石 2 の運動を阻害しないようにするために、スライドブラケット 1 0 の拘束面間の距離は、可動磁石 2 の長さより大きくしている。スライドブラケット 1 0 も直動スライドブロック 9 に対して、可動領域を持つようにしている。

## 【 0 0 3 0 】

( ホッピング装置の詳細な動作 )

次に、実施例 1 に係るホッピング装置の動作を、図 3 を参照しながらより詳細に説明する。ここでは、図 3 ( a ) ~ 図 3 ( e ) の 5 つの状態に区分される。

## 【 0 0 3 1 】

まず、図 3 ( a ) に示す第 1 の状態は、初期状態であり、可動磁石 2 が下側の固定磁石 1 b に吸着されている。

10

## 【 0 0 3 2 】

次に、図 3 ( b ) に示す第 2 の状態では、DC モータ 4 の回転により、スライドブラケット 1 0 が上に移動することにより可動磁石 2 も上に移動し、固定磁石 1 b から可動磁石 2 が引き離されている。

## 【 0 0 3 3 】

次に、図 3 ( c ) に示す第 3 の状態では、可動磁石 2 の位置が固定磁石 1 a , 1 b 間の中間点を越え、上側の固定磁石 1 a からの吸引力が強くなる。これにより、可動磁石 2 が下側拘束面 1 0 c を離れてスライドブラケット 1 0 内を移動している。

## 【 0 0 3 4 】

20

次に、図 3 ( d ) に示す第 4 の状態では、可動磁石 2 がスライドブラケット 1 0 の上側拘束面 1 0 b に到達することにより、可動磁石 2 とスライドブラケット 1 0 とが一体となって移動している。

## 【 0 0 3 5 】

次に、図 3 ( e ) に示す第 5 の状態は、最終状態であり、可動磁石 2 が上側の固定磁石 1 a に吸着し、ホッピング装置全体が上方向に運動している。

## 【 0 0 3 6 】

なお、可動磁石 2 の運動に関して、このホッピング装置は、上下対称となっている。即ち、図 3 ( e ) に示す第 5 の状態でホッピング装置を上下逆にすると図 3 ( a ) に示す第 1 の状態になる。したがって、衝撃力を発生できる方向は 2 方向である。

30

## 【 0 0 3 7 】

( ホッピング時に DC モータを停止させる回路構成 )

図 4 は、実施例 1 に係るホッピング装置によるホッピング時に DC モータ 4 を停止させるための回路構成図である。図 4 に示すホッピング装置は、図 3 ( e ) に示すホッピング装置と同一構成であり、可動磁石 2 が上側の固定磁石 1 a に吸着されている状態である。このホッピング装置のスライドブラケット 1 0 は、アルミニウムからなり、信号線を介して接地されている。

## 【 0 0 3 8 】

また、固定磁石 1 a には信号線が接続され、この信号線は抵抗 R 1 との一端とアンド回路 2 1 の一方の入力端子とに接続されている。抵抗 R 1 の他端には電源電圧が印加されている。アンド回路 2 1 の他方の入力端子には DC モータ 4 を回転させるためのパルス信号が入力されるようになっている。モータ駆動部 2 2 は、アンド回路 2 1 からの出力により DC モータ 4 を駆動する。抵抗 R 1 とアンド回路 2 1 とモータ駆動部 2 2 とは、モータ停止部を構成する。

40

## 【 0 0 3 9 】

図 4 に示す回路によれば、可動磁石 2 が上側の固定磁石 1 a に吸着されていない状態では、スライドブラケット 1 0 が固定磁石 1 a に接触していないため、アンド回路 2 1 の抵抗 R 1 の電圧はほぼ電源電圧となる。このため、アンド回路 2 1 はパルス信号をモータ駆動部 2 2 に出力する。これにより、DC モータ 4 が駆動される。

## 【 0 0 4 0 】

50

一方、図4に示すように、可動磁石2が上側の固定磁石1aに吸着された状態では、スライドブラケット10が固定磁石1aに接触するため、アンド回路21の抵抗R1の一端は、固定磁石1aとスライドブラケット10とを介して接地される。このため、アンド回路21の出力はLレベルとなり、モータ駆動部22は、DCモータ4を停止させる。

【0041】

即ち、DCモータ4が停止されることで、ホッピング装置内のスライドブラケット10、直動スライドブロック9等の破損を防ぐことができる。

【0042】

なお、固定磁石1b側にも同様の回路を構成する。

(設計パラメータ)

図5は、実施例1に係るホッピング装置の固定磁石、可動磁石、直動スライドブロック、スライドブラケットの寸法を示す図である。固定磁石1a、1b間の距離、スライドブラケット10の可動範囲には、図3(a)~図3(e)において説明した各状態を実現するための幾何学的条件が存在する。

【0043】

可動磁石の吸着による衝撃力を生成するためには、それらの条件を考慮した上で、固定磁石1a、1b及び可動磁石2の長さやスライドブラケット10の拘束面間の距離等の設計パラメータを決める必要がある。

【0044】

設計パラメータとして、図5に示すように、固定磁石1a、1b間の距離、可動磁石2の長さ、スライドブラケット10の拘束面間距離、拘束面の幅、スライドブラケット10の穴幅、スライドブロック9の凸部9aの幅をそれぞれIS、IM、lw、la、lh、lbとする。このとき、次式が成立する。

【0045】

$$lb < lh < lw \quad (1)$$

$$IM < lw < IS - 2la \quad (2)$$

また、各状態間の遷移において幾何学的制約を考慮すると次式が得られる。

【0046】

$$lw = (IS + IM)/2 + lb - lh - la \quad (3)$$

吸着による衝撃力を最大にするためには、磁石の吸引力をモデル化し、可動磁石2の質量やローバー全体の質量、式(1)~(3)を考慮した上で最適な設計パラメータを決める必要がある。

【0047】

(試作モジュール)

本発明者は、ホッピング装置の試作モジュールを構築した。この試作モジュールは、現在計画中の小型ローバーを考慮し、全長を28mmとして設計した。また、固定磁石1a、1bに7×2mm、0.28T、可動磁石2に6×6mm、0.452Tの円柱型ネオジウム磁石を使用した。これにより、IM = 6mmとなる。

【0048】

DCモータ4には遊星減速機付DCモータを使用した。DCモータ4の特性は以下の通りである。直径は6mm、長さは21.4mm、重さは1.2g、ギア比は136.02、動作電圧は3V、電流は40mA、速度は200rpm、最大トルクは120gcmである。

【0049】

これらの部品から最終的にIS = 22mm、lw = 10mm、la = 0.6mm、lh = 7.4mm、lb = 4mmとした。なお、減速機出力軸からネジ8への減速比は3.2、ネジ8のピッチは0.25mmである。試作モジュール全体の質量は10gとなった。

【0050】

このように実施例1に係るホッピング装置によれば、永久磁石をモータで動かし、永久磁石同士の吸着により発生する衝撃力で、ホッピング装置およびそれを搭載した探査機器

10

20

30

40

50

をホッピングさせる。従って、ホッピング装置を簡単に構成することができる。また、消費電力に対して発生する衝撃力が大きく、残留振動も発生しない。

【0051】

また、小惑星探査機器の小型化、軽量化が図れるため、ロケットの打ち上げコスト等、探査機の運搬にかかるコストを軽減することができる。さらに、探査機器の小型化により、多数の探査機を一度に打ち上げることが可能となり、惑星探査の効率化を図ることができる。

【0052】

なお、本発明は、上述した実施例1に係るホッピング装置に限定されるものではない。本発明は、ホッピング装置を複数台組み合わせて用いても良い。あるいは、本発明は、ホッピング装置の向きを変える機構を別途設けることで、探査機器を任意の方向へホッピングさせることもできる。

10

【産業上の利用可能性】

【0053】

本発明は、小惑星に対する探査活動に広く利用できる。

【符号の説明】

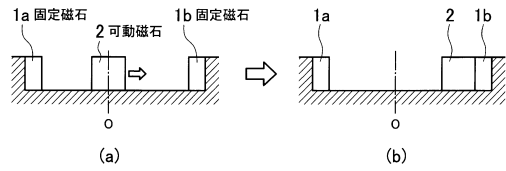
【0054】

- 1 a , 1 b 固定磁石
- 2 可動磁石
- 3 筐体
- 4 DCモータ
- 5 減速機
- 6 第1ギア
- 7 第2ギア
- 8 ネジ
- 9 直動スライドブロック
- 9 a 凸部
- 10 スライドブラケット
- 10 a 穴部
- 10 b 上側拘束面
- 10 c 下側拘束面
- 21 アンド回路
- 22 モータ駆動部
- R1 抵抗

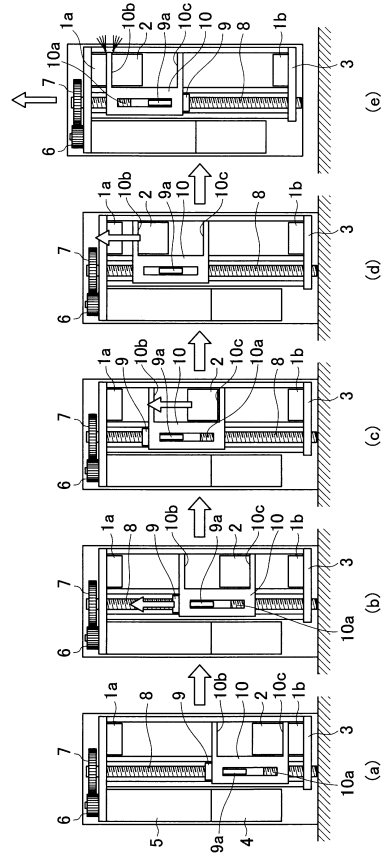
20

30

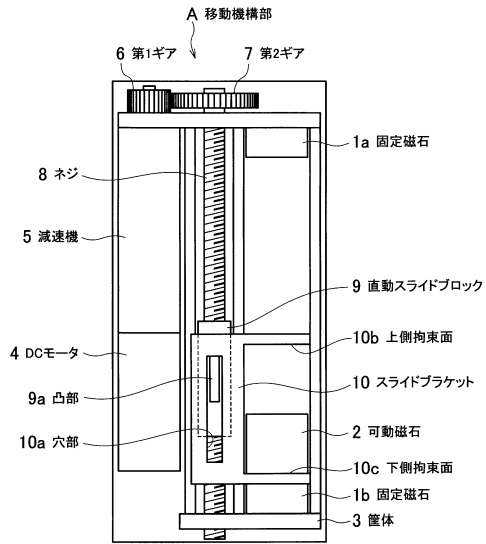
【図1】



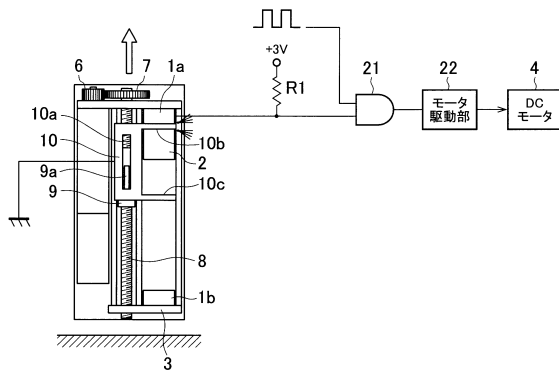
【図3】



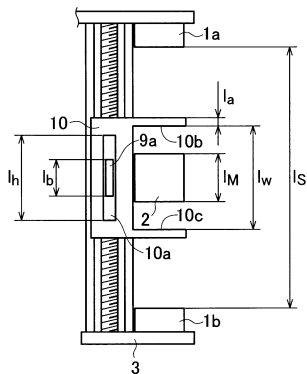
【図2】



【図4】



【図5】





---

フロントページの続き

(72)発明者 栗栖 正充  
東京都足立区千住旭町5番 学校法人東京電機大学内

審査官 佐久 聖子

(56)参考文献 特開平03-086638(JP,A)  
特開昭63-262006(JP,A)  
特開昭55-032128(JP,A)  
特開昭49-057241(JP,A)  
特開平07-194770(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A63H 1/00 - 37/00、  
B60L 1/00 - 3/12、 7/00 - 13/00、  
15/00 - 15/42、  
H01F 7/00 - 7/02、  
H02K 7/00 - 7/20