永久磁石を用いた非接触浮上機構

-複数の永久磁石の斜め方向運動による多自由度浮上の検討-

Noncontact Suspension Mechanism Using Permanent Magnets

-Study of Multi D.O.F. Suspension System by Diagonal Motion of Multi Permanent Magnets-

○学 鶴身 輝(高知工科大学), 正 岡 宏一(高知工科大学)

Akira TSURUMI, Kochi University of Technology,185 Miyanoguchi, Tosayamada, Kami, Kochi,782-8502 Japan Koichi OKA, Kochi University of Technology,185 Miyanoguchi, Tosayamada, Kami, Kochi,782-8502 Japan

Key Words: Permanent magnet, IEM analysis, Suspension system

1. 緒言

近年、永久磁石を用いた様々な非接触回転機構が提案され ている.鉄球を永久磁石のリニア駆動により回転⁽¹⁾させるも のや,円盤型永久磁石の回転駆動により回転⁽²⁾させるもので ある.しかし,これらの機構は鉄球の鉛直上から吊り下げる ように浮上を行なっているため水平軸回りの回転を行うこ とが難しい.鉄球の多自由度回転を可能にするため,永久磁 石を斜め方向に配置し,かつその方向の運動により浮上を行 う機構の設計,開発を行った.

まず,浮上機構の試作装置を紹介し,制御システムを示す. 次に,試作装置を用いて浮上実験を行った結果を示す.そして,IEM 解析により浮上機構の特性について解析を行った結 果を示す.

2. 試作装置

2.1 試作装置概要

浮上機構は永久磁石と鉄球との空隙距離を制御する方法 を用いている.浮上機構の試作装置の概略図を図1に示す. 浮上機構は永久磁石,ボイスコイルモータ(VCM),センサ ターゲット,渦電流センサで構成されている.永久磁石はVCM の先端に取り付けられており,リニア駆動を行う.浮上体で ある鉄球の変位は下部の渦電流センサにより検出され,永久 磁石の変位は上部の渦電流センサにより検出される.浮上に 用いた鉄球は質量 63.77[g]である.

2.2 制御システム

浮上機構の制御システムを図2に示す.鉄球の変位,左右 の永久磁石の変位をそれぞれフィードバックし,PDコントロ ーラを用いて浮上を実現している.また,左右の永久磁石の 運動を同期させるため,右の永久磁石を基準に左の永久磁石 の運動をPDコントローラにより制御する.

3. 浮上実験

試作装置を用いて浮上実験を行った.鉄球を安定浮上させ た後、センサに1mmのステップ入力を加え、その応答を測 定した.実験結果を図3に示す.グラフの縦軸は鉄球の位置 であり、横軸は時間である.グラフより、入力したステップ に応じて鉄球が追従していることがわかる.



Fig.1 Experimental device.







611

4. IEM 解析

試作した浮上機構の特性について検討するため、磁場解析 ソフトを用いて解析を行った。用いたソフトウェアは株式会 社エルフの ELF/MAGIC である。解析方法は後述する2つの場 合で鉄球を左右に動かし、左右の永久磁石が鉄球に及ぼす力 の解析を行った。それぞれの条件で解析に用いたモデルの概 略図を図4に示す。図4中のYは鉄球の横方向の変位、aは 永久磁石の延長線上の交点を鉄球の頂上から中心方向へ移 動させた時の距離であり、dは以下の場合において定めた永 久磁石と鉄球表面との空隙距離からの変位である。

4.1 平衡状態から左右の永久磁石を動かした場合

図4中のa=0mm (鉄球表面の頂上)において左右の永久磁 石を,鉄球の重さが鉛直方向の吸引力とつり合った状態にな る空隙距離から左右同時に同じ距離で移動させ (d=0mm~ 2mm),0.5mm ごとで水平方向の力の解析を行った.解析結果 を図5に示す.グラフの縦軸は鉄球に働く水平方向の力であ り,横軸は鉄球の位置である.また,縦軸の正の値は図4に おける右方向の力であり,負の値は左方向の力である.d=0mm では,鉄球を左に動かした場合,右方向の力が徐々に大きく なっていることがわかる.このことから,鉄球に対して元の 位置に戻ろうとする復元力が働き,グラフ上で右下がりに0 と交わる点で安定しようとする(安定点).よって,鉄球が 図4の中心位置で安定して浮上できる.永久磁石の変位 dを 大きくしていくにつれ,鉄球に働く復元力が小さくなること もわかる.

4.2 永久磁石の延長線上の交点を変化させた場合

前述のとおり鉄球の鉛直上(鉄球表面の頂上)から吊り下 げるように浮上を行った場合,鉄球を水平軸回りに回転させ ることが困難である.図4中における永久磁石の延長線上の 交点を鉄球表面の頂上から鉄球の中心方向に移動させるこ とで,水平方向と鉛直方向の力が鉄球にどう働くかを検討す るために解析を行った.図4中の交点を1mmごとに鉄球の頂 上から中心に向かう方向に移動させ解析を行った. 永久磁石 と鉄球表面との空隙距離は,鉄球の重さが鉛直方向の吸引力 とつり合う状態になる距離で固定している.水平方向の力の 解析結果を図6に、鉛直方向の力の解析結果を図7に示す. それぞれのグラフの縦軸は鉄球に働く水平方向の力, 鉛直方 向の力であり、横軸は鉄球の位置である.まず、図6のグラ フにおいて, a=0mm では 4.1 で示したように鉄球に対して水 平方向の復元力が働き,安定浮上する.しかし,a=1mmでは 鉄球を左右に少し動かした場合,その方向と同じ方向に力が 働いていることがわかる.また,鉄球の位置の±3mm付近で は復元力が働き、安定点に留まろうとする.しかし、図7よ り鉛直方向の力が鉄球の重さとつり合う力(0.625[N])より 大きくなることから鉄球は浮上することができない.同様の 結果が a を大きくしていった場合でも考えられる.

5. 結言

鉄球を多自由度に回転させるため、従来の浮上方法である 永久磁石の鉛直方向の運動ではなく、斜め方向の運動により 浮上を行う機構の設計、開発を行った.製作した試作装置を 用いて浮上実験を行い、IEM 解析により浮上機構の特性につ いて解析を行った.解析結果より、実際の試作装置を用いて 浮上させる場合では、鉄球の水平方向の変位を計測し、それ を用いて永久磁石の位置を制御することが必要だと考えら れる.



参考文献

(1)藤原佑輔, 崔 天時, 陳 麗, 岡 宏一, "永久磁石リニア 駆動によるマニピュレーション-鉄球の回転制御-", 第 17 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, No.2AM3, pp.231-236.

(2)孫 鳳, 岡 宏一, "アクチュエータ駆動による非接触回転 駆動機構 -円板磁石の回転による駆動-", 第 21 回「電磁力 関連のダイナミクス」シンポジウム, No.20B4-1, pp.207-212.