

Noncontact Magnetic Suspension System Using Permanent Magnets by hanging from a diagonal direction

* T.Morimitsu(Kochi-tech Univ.), K.Oka, A.TSURUMI

Abstract— This paper describes non-contact manipulation mechanism of multi-DOF(degrees of freedom) magnetically suspended system. This manipulation system uses unique suspension mechanism whose suspension force is controlled by air gap length. This mechanism is composed of permanent magnets and liner actuators. We study the stability of a 2 DOF suspension system which manipulate the object in the vertical plane. In experimental system, the magnetic field analysis is investigated on the system by an finite element method and the characteristics of the system are studied. Numerical support the feasibility of the multi-DOF non-contact manipulation system.

Key Words: Permanent magnet, Suspension system, FEM analysis

1. 諸言

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させるものや, 円盤型永久磁石の回転駆動により回転させるものである. しかし, これらの機構は鉄球の鉛直上から吊り下げの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特性についてFEM 解析を行った結果を示す.

2. 試作装置

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 Fig. 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, レーザセンサ, 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鉛直方向の変位は下部の渦電流センサにより検出され, 水平方向の変位はレーザセンサによって検出される. 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.

3. FEM 解析

試作した浮上機構の特性について検討するため, 電磁界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JSOLのJMAG-Designer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 Fig. 2 に示す. Fig. 2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.

3.1 平衡状態から左右の永久磁石を動かした場合

Fig. 2中のa=0mm (鉄球表面の頂上) において左右の

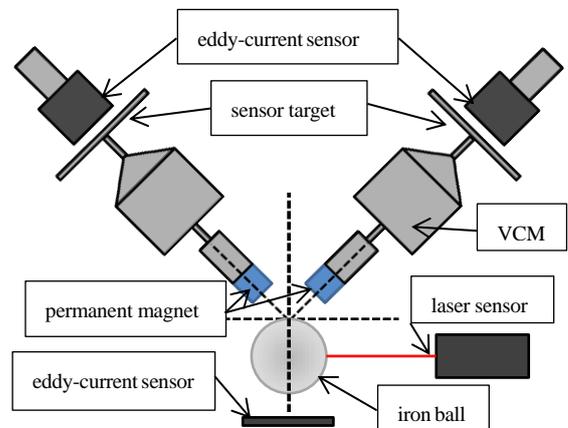


Fig.1 Experimental device

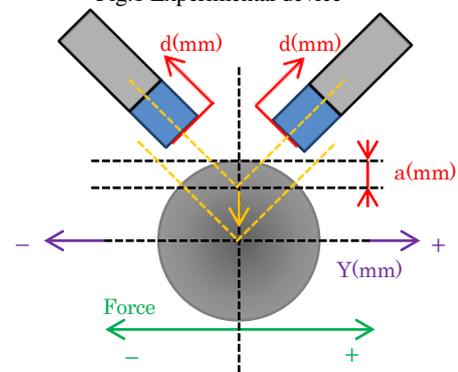


Fig.2 Analysis model

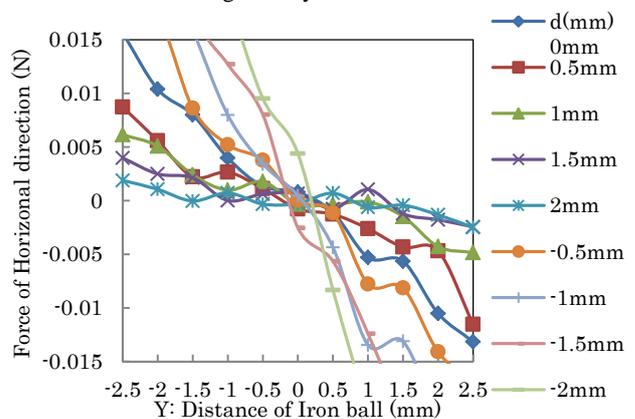


Fig.3 Analysis result of Horizontal force (d=-2mm~2mm)

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 ($d=-2\text{mm}\sim 2\text{mm}$)、 0.5mm ごとに水平方向の力の解析を行った。解析結果を Fig. 3 に、水平方向の剛性を Fig. 4 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 Fig. 2 における右方向の力であり、負の値は左方向の力である。

Fig. 3 より $d=0\text{mm}$ 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 Fig. 2 の中心位置で安定して浮上できる。Fig. 4 より、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。このことは水平方向の剛性を考慮した制御が必要であるかもしれない。

3.2 永久磁石の延長線上の交点を変化させた場合

Fig. 2 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。Fig. 2 中の交点を 0.5mm 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 Fig. 5 に、水平方向の剛性を Fig. 6 に、鉛直方向の力の解析結果を Fig. 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、Fig. 5 のグラフにおいて、 $a=0\text{mm}$ では 3.1 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、 $a=1\text{mm}$ 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 Fig. 6 の水平方向の剛性からもわかる。また、鉄球の位置の $\pm 3\text{mm}$ 付近では復元力が働き、安定点に留まろうとする。しかし、Fig. 7 より鉛直方向の力が鉄球の重さとつり合う力 (0.625N) 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。また、Fig. 6 より a を大きくすると水平方向の不安定力が大きくなるため制御が難しくなると思われる。

4. 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特性について FEM 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必要があると思われる。

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,

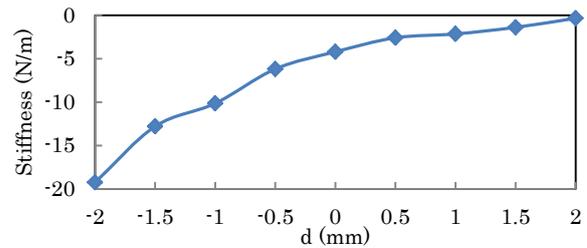


Fig.4 Analysis result of Horizontal Stiffness ($d=-2\text{mm}\sim 2\text{mm}$)

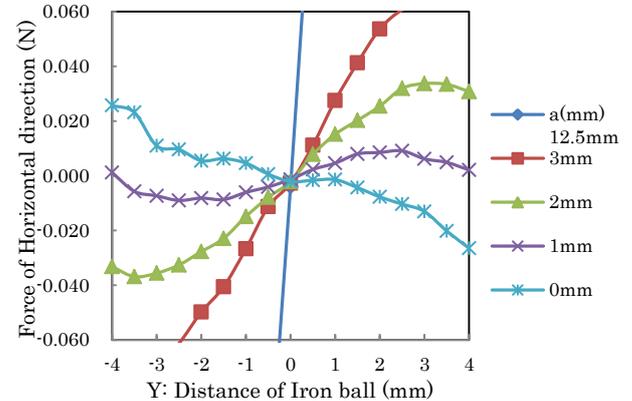


Fig.5 Analysis result of Horizontal force ($a=0\text{mm}\sim 3\text{mm}, 12.5\text{mm}(\text{center})$)

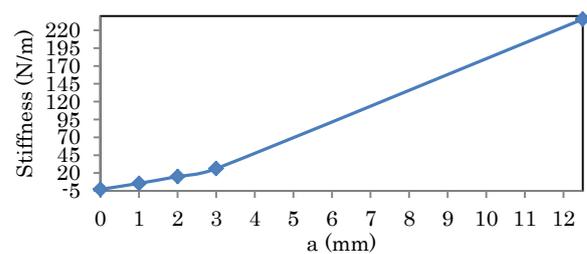


Fig.6 Analysis result of Horizontal Stiffness ($a=0\text{mm}\sim 3\text{mm}, 12.5\text{mm}(\text{center})$)

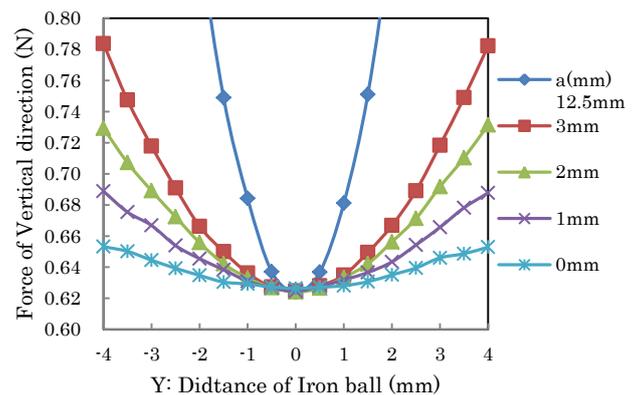


Fig.7 Analysis result of Vertical force ($a=0\text{mm}\sim 3\text{mm}, 12.5\text{mm}(\text{center})$)

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