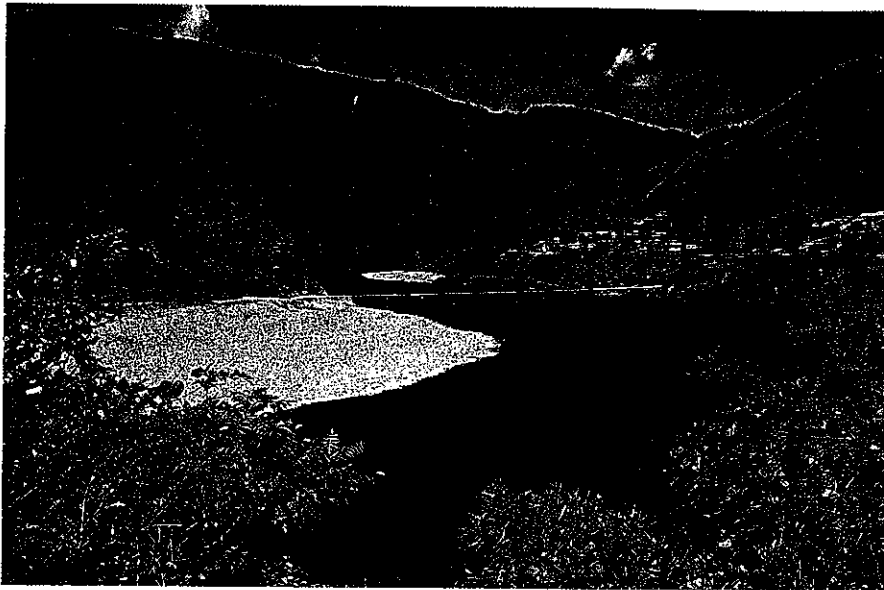


講演論文集

第17回

「電磁力関連のダイナミクス」 シンポジウム



The 17th Symposium on Electromagnetics and Dynamics



2005年
6月22日水～6月24日金

高知市文化プラザかるぽーと

主催：日本AEM学会 共催：電気学会 日本機械学会



アクチュエータによる磁束制御を用いた磁気浮上装置の開発

Development of Maglev Equipment Using Magnetic Bunch Control by Actuator

藤原 佑輔 (高知工科大学)
三原 崇 (株式会社テラマチ)
岡 宏一 (高知工科大学) 正員

Yusuke FUJIWARA Kochi University of Technology
Takashi MIHARA Teramachi Co., Ltd.
Koichi OKA Kochi University of Technology Member

This paper describes a development of a maglev system that controls the flux of magnetic induction using the proprietary shape core and rotary actuator. The feature of this maglev system is to control the magnetic flux that passes the core by controlling the angle of a permanent magnet by the rotary actuator. Now, maglev system that using a permanent magnet and a linear actuator is developed. But, the suspension power cannot be adjusted to zero by the maglev system using permanent magnet and a linear actuator. This proposed mechanism, suspension power can be adjusted to zero. Experimental equipment and system is introduced. And, experimentally considers it.

Keywords: maglev system, permanent magnet, rotary actuator, control the magnetic flux, non-contact.

1. 緒言

永久磁石をリニアアクチュエータにより駆動させ、強磁性体の浮上体と永久磁石との空隙をコントロールすることで、非接触浮上が可能である^[1]。また今日では、リニアアクチュエータを用いて磁路を制御する方法^[2]や、磁歪素子を用いて磁路を制御する方法^[3]などが提案研究されている。これら永久磁石を用いて浮上力を発生させ、コイルを用いずにその力を制御する形式の磁気浮上機構の問題点として、吸引力を零にできない、磁極(永久磁石)と、浮上体が一度吸着してしまうと、制御不能になってしまうということが挙げられる。また、磁極の極性は固定されたままである。

本報告では、この諸問題を解決するためにロータリアクチュエータと、永久磁石を用いて浮上システムを構成することを提案する。ロータリアクチュエータに取り付けられた永久磁石の回転角度を制御することにより、永久磁石が発生した磁束の経路を変更し、浮上力を制御する。永久磁石の回転角度の変化により、磁束の大きさだけでなく、向きも変化させることが可能のため、磁極の極性を変化させることもできる。

以下では、試作した装置の概要を示し、提案する浮上装置の概略を述べ、浮上原理を説明する。そして、装置を用いて、発生吸引力と磁束密度を計測し、その結果を示す。また、簡単な数値シミュレーションを行ったのでその結果より、浮上の可能性を考察する。

以下では、試作した装置の概要を示し、提案する浮上装置の概略を述べ、浮上原理を説明する。そして、装置を用いて、発生吸引力と磁束密度を計測し、その結果を示す。また、簡単な数値シミュレーションを行ったのでその結果より、浮上の可能性を考察する。

連絡先: 藤原 佑輔, 〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185, 高知工科大学 大学院 知能機械システム工学コース, e-mail : 095226a@gs.kochi-tech.ac.jp

上機構の概略を述べ、浮上原理を説明する。そして、装置を用いて、発生吸引力と磁束密度を計測し、その結果を示す。また、簡単な数値シミュレーションを行ったのでその結果より、浮上の可能性を考察する。

2. 試作装置と浮上原理

2.1 試作装置

今回提案する浮上装置の概図を Fig.1 に、試作した装置の写真を図2 に示す。

図中、中央の円形のものが永久磁石であり、その両側にあるF型の部分は、強磁性体で作られたコア(鉄心)である。2つのコアの下に釣下っている平板状のものがここでは浮上体である。コアは鉛直に立てられた固定

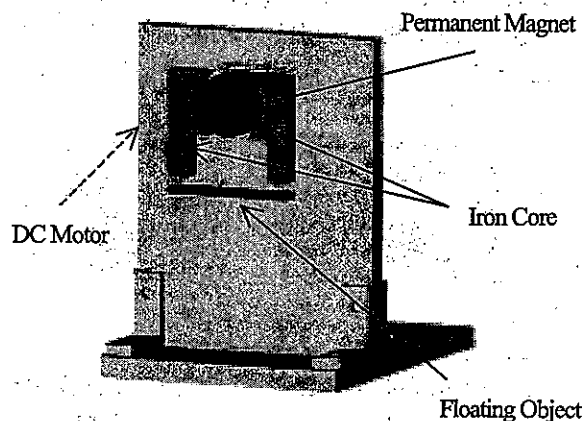


Fig.1. Illustration of Developed Equipment

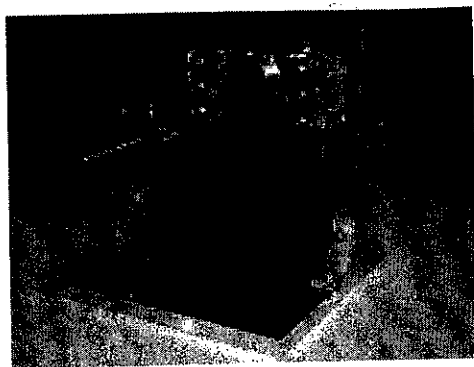


Fig.2 Photograph of Developed Equipment

板に取り付けられている。

円形の永久磁石は、径方向に N 極、S 極と着磁されており、Fig.1 では水平方向に着磁されている様子を示す。永久磁石は垂直固定板の裏側に取付けてある DC モータによって、回転駆動される。

浮上平板の位置は、図には示していないが、平板の下部に配置する変位センサによって検出する。その信号に基づいて、永久磁石の回転角度を制御し、発生浮上力を適切に制御する。また、Fig.2 では、浮上平板が、軸により固定され、軸周りに回転するレバー状の形となっている。この形式にすることで、カウンターバランスを調整することができ、DC モータの応答速度に対応できる。

2.2 浮上原理^{[3][4]}

この装置を用いて浮上体を非接触浮上させるためには、永久磁石の回転角によって、吸引力を調整することが必要である。ここでは、円形の磁石は、ある 90 度の部分が N 極、反対側の 90 度が S 極であると仮定する。

まず、Fig.3, (a) のように永久磁石の N 極がちょうど真上に、S 極が真下にあるときについて考察する。このとき、上部の極から出発した磁束の半分は右側のコアに、半分は左側のコアに流れ込むと考えることができ

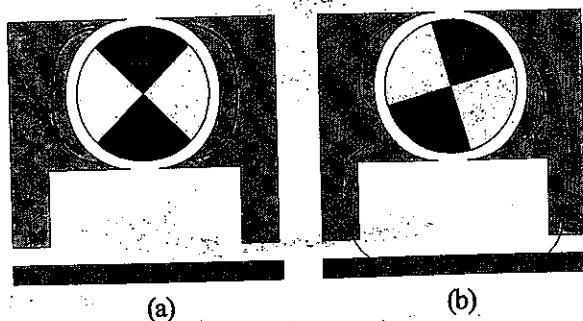


Fig.3 Flux Path of Suspension System

る。そして、これらの磁束はコア下部の S 極に面した部分までコアを通り、その後左右のコアから磁石の S 極に入る。よって永久磁石からの磁束は浮上体を通することはない。つまりコアと浮上体との間に吸引力は生じない。

次に、Fig.3, (b) のように、永久磁石が鉛直より少し傾いた場合について考える。このとき上部の N 極からの磁束の多くは右側のコアに入る。これらの磁束は、図の右側コアの小さなループを描き、コアの S 極に面する部分から永久磁石に入る。しかし、N 極と面するコアの面積と S 極と面するコアの面積の違いからすべての磁束がこの経路を通過することはできない。一方左側コアでは、上部の N 極より下部の S 極と面するコアの面積が大きいため、上部の N 極から流出した磁束だけでは、下部の S 極に流入する磁束が不足する。これらの結果、右側コアで余った磁束は浮上体である磁性体を通過し、左側コアに入ると考えられる。

コアと浮上体の間を通過する磁束は、吸引力を発生させる。Fig.3, (a) の状態からの角度が大きくなるに従って、浮上体を通過する磁束は大きくなり、吸引力も大きくなる。このことから、永久磁石の角度を制御することによって吸引力を調整することが可能であると考えられる。また、逆方向に磁石を回転させることにより、磁束を逆に流すことが可能であり、コアの磁極の極性を変化させることができる。

3. 吸引力と磁束密度の測定

今回試作した装置での浮上の可能性を計るために、吸引力と、磁束密度の測定を行った。

吸引力の測定方法は、浮上対象に近似する強磁性体の平板を、マイクロメータに取付けた力センサに取付け、両コアの下部より 0.5(mm)~7.5(mm)まで 0.5(mm) 間隔で離し且つ、永久磁石をある点より 30° づつ回転させ計測した。その結果を Fig.4 に示す。

磁束密度の測定方法は、マイクロメータにガウスメータを取付け、片側のコアの下部より 0 (mm)~11.5(mm)まで 0.5(mm)間隔で離し且つ、永久磁石をある点より 30° づつ回転させ計測した。その結果を Fig.5 に示す。

Fig.4 より、空隙が小さくなると吸引力は大きくなり、永久磁石の回転角度により吸引力に変化が現れた。これより、空隙と磁石の回転角度により、コアの下側に発生する吸引力を調整可能であることが分かった。

Fig.5 より、吸引力同様に永久磁石の回転角度と空隙によって磁束密度の大きさ、向きが変化することが分

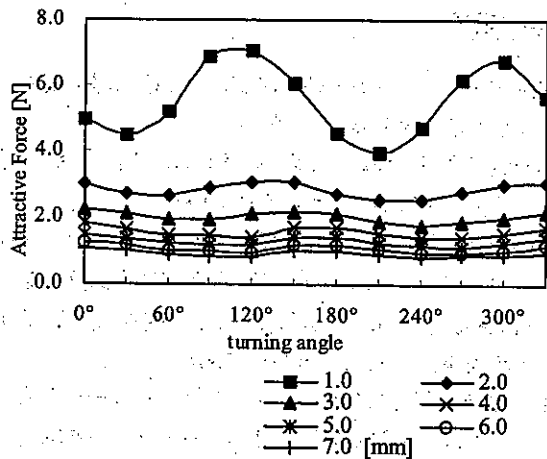


Fig.4 Attractive Force About the Air Gap And Turning Angle

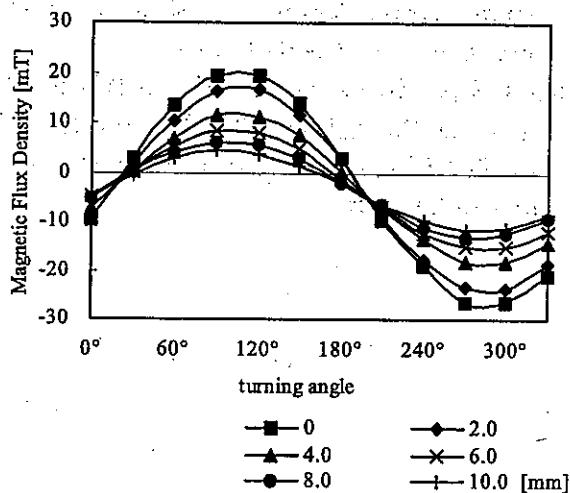


Fig.5

Magnetic Flux Density About the Air Gap And Turning Angle

かった。

4. モデル化と数値シミュレーション³⁾

提案した浮上システムの実現可能性を確認するために、浮上システムの等価回路によるモデル化を行い、そのモデルによって数値シミュレーションを行った。

まず等価回路のために以下のことを仮定した。

- I. 等価回路の入力は、左右のコアの上下の4点である。
- II. これら4点の等価電圧は、永久磁石とコアの対面している面積に比例した電圧源と考え、N極の場合は正の電圧である。
- III. コアの磁気抵抗は小さく、コアと浮上体間の磁気抵抗に比べ無視できる。

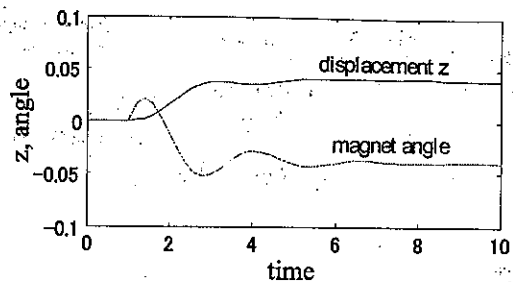


Fig.6 Step Response

IV. 浮上体につながる回路の等価電圧は、コアの上下の平均電圧である。

V. 永久磁石の各磁極は $\pi/2$ の扇型

である。モデル化のための記号は、

θ : 永久磁石回転角度

z : 浮上体位置

Q : 永久磁石の起磁力

d : コアと浮上体の空隙

である。このとき左右のコアの等価電位 v_1, v_2 は、 $v_1 = 2Q\theta/\pi, v_2 = -2Q\theta/\pi$ となる。これより浮上体とコアに働く吸引力 f は、 k を比例定数として、

$$f = \frac{k\theta^2}{d^2} \quad (1)$$

と近似できる。

この結果を用いて、浮上体にステップ入力を加えたときのシミュレーションを行った。ただし、永久磁石の運動は速度制御が行われるものとして行った。結果をFig.6に示す。図からわかるように、ステップ応答の前後で浮上は実現されている。これより本方式の実現可能性が示されたと言える。

5. システム構成図

製作した装置を用いて実験を行う際のシステム構成図をFig.7に示す。

永久磁石の角度はDCmotorに取付けてあるエンコーダによって検出し、フィードバックを行う。また、浮上体の位置は渦電流センサによって検出し状態フィードバックを行う。

また、PCでは、MATLAB/Simulinkのプログラムによって、計算された値をDCmotorに返すようになっている。

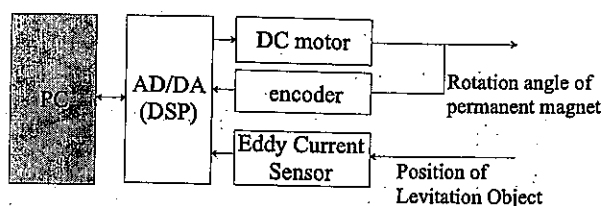


Fig.7 System Chart

結言

本報告では、永久磁石の運動制御による新しい形式の磁気浮上機構を提案した。本機構ではそれまで問題となっていた吸引力を零にできない問題を解決できる構造となる。

まず、浮上機構の概要を述べ、浮上原理を説明し、試作装置の設計、製作、製作した装置を用いて吸引力と磁束密度の変化を計測した結果と、近似モデルによるシミュレーションを行った結果より、浮上機構の実現可能性を示した。今後は、実験によって、浮上機構の可能性が可能であることを確認していく予定である。

参考文献

- [1]岡宏一，永久磁石の運動制御による磁気浮上機構，東京大学，博士論文，1997
- [2]電気学会 磁気浮上応用技術調査専門委員会 編，磁気浮上と磁気軸受，コロナ社，1993
- [3]岡宏一，藤原佑輔，崔天時，三原崇，永久磁石とロータリアクチュエータを用いた磁気浮上装置の開発，自動制御連合講演会実行委員会，自動制御連合講演会講演論文集 p.181～p.182，2004
- [4]三原崇，永久磁石とロータリアクチュエータを用いた磁気浮上装置の開発，高知工科大学，卒業論文，2005
- [5]T.Mizuno・H.Hoshino・M.Takasaki・Y.Ishino，Flux Path Control Magnetic Suspension，Ninth Int. Symp. On Magnetic Bearings，CD-ROM，2004
- [6]上野敏幸，樋口敏郎，磁歪材料と圧電材料の積層体を用いた磁気力制御素子による零パワー磁気浮上制御，電気学会論文誌 D(産業応用部門)，Vol.124 No.7 p724～p.729，2004