

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

Mag-lev System using Permanent Magnet and Rotary Actuator

○岡 宏一（高知工科大学）

藤原 祐輔（高知工科大学）

崔 天時（高知工科大学）

三原 崇（高知工科大学）

Koichi OKA, Kochi University of Technology, Miyanoguchi 185, Tosayamada, Kochi

Yusuke Fujiwara, Kochi University of Technology

TianShi Cui, Kochi University of Technology

Takashi Mihara, Kochi University of Technology

This paper describes a novel type of magnetic suspension system with a permanent magnet and a rotary actuator. This suspension system has a feature that a rotary actuator controls attractive force. Magnetic flux is changed by the angle of a permanent magnet driven by the actuator. Other types of suspension systems which control suspension forces actively by actuators use linear actuators and can not make the suspension forces to be zero. The proposed suspension system can not make force zero only, but also can change magnetic polarity of stator poles. First the outline of the suspension system will be described. Next, the principle of the suspension mechanism will be explained. To verify the feasibility of the proposed system, a simulation result will be shown.

Key Words: Magnetic Levitation, Permanent Magnet, Rotary Actuator, Flux Path Control

1 はじめに

永久磁石をリニアアクチュエータで制御することにより、強磁性体の非接触浮上が可能である^{1) 2) 3)}。この浮上機構の原理は、永久磁石と浮上体の空隙を調整することにより、その間に働く支持力を制御して非接触浮上を行わせるものである。また近年では、リニアアクチュエータを用いて磁路を制御する方法⁴⁾や、磁歪素子を用いて磁路を制御する方法⁵⁾などが提案されている。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方式の問題点として、吸引力を零にすることができないために、磁極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あげられる。また磁極の極性は固定されたままである。

本報告ではこの問題に対処するために、回転形の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。永久磁石の回転角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て浮上力を調整する。角度の変化により磁束の大きさだけでなく、方向も変化させることが可能なため磁極の極性を変化させることもできる。以下では、提案する浮上機構の概略を述べ、浮上原理を説明する。この方式により浮上が可能であることを確認するため、簡単な数値シミュレーションを行ったのでその結果についても報告する。

2 永久磁石と回転形モータ浮上装置

2.1 装置の概略

提案する浮上装置の概観を Fig. 1 に示す。図の中央の円形のものが永久磁石であり、その両側にある F

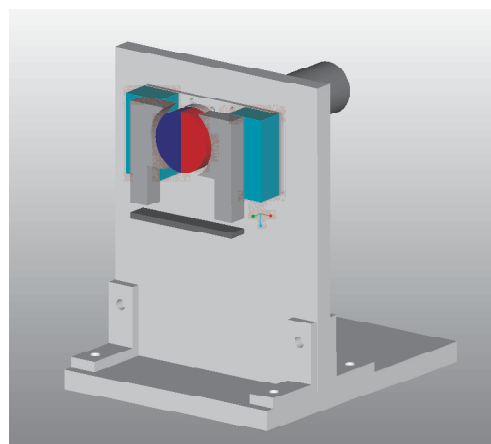


Fig. 1: Outline of Suspension System

型の部分は強磁性体で作られたコアである。2つのコアがつり下げている平板がここでは浮上体である。コアは鉛直にたてられた固定板に取り付けられている。

円形の永久磁石は、直径方向にN極、S極が配置されている。図では水平方向に着磁されている様子を示す。永久磁石は、鉛直固定板の裏側に配置されている回転型アクチュエータによって回転駆動される。

浮上平板位置は、図に示されていないが、浮上平板下部に配置した変位センサによって検出される。その信号に基づいて、永久磁石の回転角は制御され浮上力が適切に調整される。

2.2 浮上原理

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。

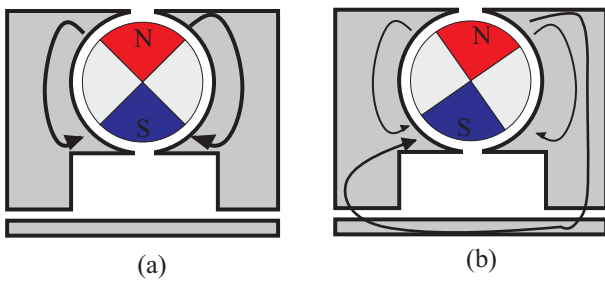


Fig. 2: Flux path of suspension system

まず, Fig. 2 (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 N 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こむと考えることができる. 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過することはない. つまりコアと浮上体との間に吸引力は生じない.

つぎに, Fig. 2 (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. 2 (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 モデル化と数値シミュレーション

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. IV. 浮上体

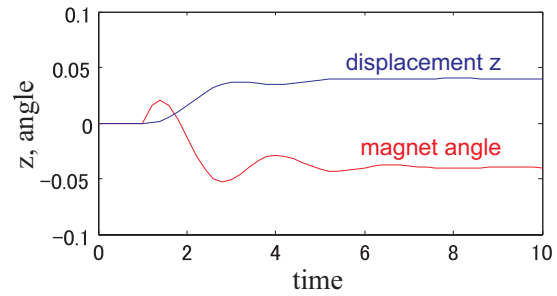


Fig. 3: Step response

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 $\pi/2$ の扇形である.

モデル化のための記号は, θ : 永久磁石回転角, 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

$$f = k\theta^2/d^2 \quad (1)$$

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. 3 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.

4 おわりに

永久磁石の運動を制御する新しい形式磁気浮上機構を提案した. この磁気浮上機構は, 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っている. 浮上機構の概要を述べ, 浮上原理を説明し, 近似モデルによる数値シミュレーションを行い, 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構成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) K.Oka and T.Higuchi: "Magnetic levitation system by reluctance control -levitation by motion control of permanent magnet-", Int. J. of Applied Electromagnetics in Materials, 4, 369-375 (1994)
- 2) K. Oka, T. Higuchi, and Y. Shimodaira: "Noncontact Conveyance Using Robot Manipulator and Permanent Magnet", Fifth Int. Symp. on Magnetic Bearings, Kanazawa, pp. 447-452, (1996)
- 3) 水野毅, 関口秀樹, 荒木獻次: 「永久磁石の運動制御を利用した反発型磁気軸受けに関する研究」, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.64, No.628, pp.4717-4722 (1998.12)
- 4) T. Mizuno, H. Hoshino, M. Takasaki, and Y. Ishino: "Flux Path Control Magnetic Suspension", Ninth Int. Symp. on Magnetic Bearings, CD-ROM, (2004)
- 5) 上野敏幸, 樋口俊郎: 「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, pp. 724-729 (2004.7)