

講演論文集

第19回 「電磁力関連のダイナミクス」 シンポジウム

The 19th Symposium on Electromagnetics and Dynamics (SEAD19)

開催期間：2007年5月16日(水)～18日(金)

会 場：早稲田大学 国際会議場

主催：日本機械学会

共催：日本AEM学会，電気学会

協賛：日本シミュレーション学会，精密工学会，日本鉄鋼協会，計測自動制御学会
磁性流体研究連絡会，日本工業技術振興協会，日本応用磁気学会
低温工学協会，日本原子力学会，静電気学会，日本画像学会
高速処理応用学会，早稲田大学21世紀COEプログラム「超高齢社会における人と
ロボット技術の共生」

A134 永久磁石の運動制御による鉄球の非接触回転制御—回転特性の検討—

Noncontact Rotation Control of Iron Ball by Motion Control of Permanent Magnet - Study of Rotation Characteristic -

○正 岡 宏一 (高知工科大)
森本 裕樹 (高知工科大)

学 藤原 佑輔 (高知工科大)

Koichi OKA, Kochi University of Technology, Miyanokuchi 185, Tosayamada-cho, Kami-city, Kochi, Japan
Yusuke Fujiwara, Kochi University of Technology
Yuki Morimoto, Kochi University of Technology

This paper describes a development of a magnetic levitation system with rotation control mechanism. The feature of this magnetic levitation system is using permanent magnets and liner actuators. The levitated object is an iron ball, which is suspended by a permanent magnet in the vertical direction and is rotated by four magnets in the horizontal direction. Rotation principle using air gap control between a four permanent magnets and the ball is introduced. Experiment result of changing the motion cycle of the four permanent magnets is reported.

Key Words : Maglev System, Permanent Magnet, Liner Actuator, Motion Control, Rotation Control, Remnant Magnetism

1. 緒 言

非接触磁気浮上機構には種々のものが提案されており、電磁石(コイル)を用いない磁気浮上方式も様々な研究が行われている⁽¹⁾。特に永久磁石と浮上体の空隙を調整する方式はアクチュエータによる制御であるため広い範囲の操作性を持ち、また浮上磁気力が発生する場からアクチュエータを遠くに配置できるため、漏れ磁束を小さくすることができ、微小な浮上体に対しても有効であると考えられ、微細な非接触マニピュレーションに適していると考えられる。

筆者らは、浮上体に対して水平面内の様々な方向から永久磁石を接近させたり離したりすることで、浮上体が鉛直中心軸周りに回転することを確認している⁽²⁾。本報告では、水平面内の磁石の、運動の周波数を変化させて鉄球の応答性を確認する。また、鉄球については複数のものについて残留磁気を検討し、それがどのように浮上および回転に影響を与えるかについて考察する。

2. 実験装置

今回試作した実験装置を Fig.1 に示す。これは動作部分を拡大したものであり、各機器はフレームに取り付けられている。本装置は鉄球を浮上させ、かつ鉛直軸周りの回転を制御する物である。鉄球の上部に配置したボイスコイルモータのスライダ部の先端に取り付けた永久磁石の吸引力を利用し、鉄球との間隔を調整することで磁気浮上を可能とする⁽³⁾。さらに浮上中の浮上体の水平面上に 4 個の永久磁石を配置しそれぞれ交互に永久磁石と浮上対象との間隔を変えることで浮上体に回転運動を発生させる⁽²⁾。

3. 1 自由度浮上実験

Fig.2 に、永久磁石と鉄球の変位の推移を示す。約 0.1[mm] 程度の振動が見られるが、比較的安定した浮上がおこなえていることが分かる。この振動の原因としては、PD コントローラ内のゲインがまだ完全に最適ではないことや、ボイスコイルモータ内のベアリングの非線形摩擦の影響であるとも考えられる。

4. 回転機構

4・1 回転原理 浮上対象の回転機構は、浮上体を水平面内で回転させる機構である。浮上体は鉄球であり、その表

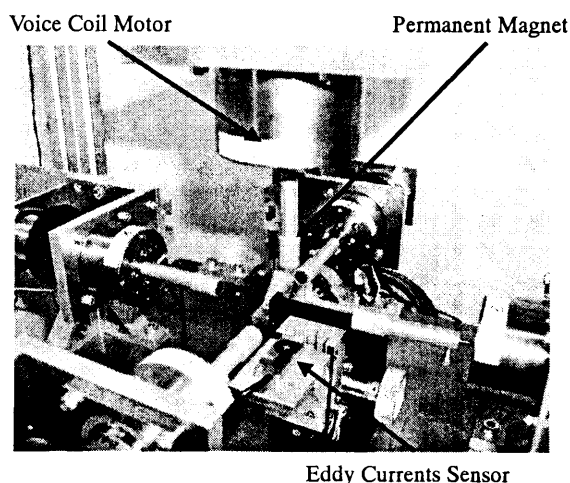


Fig.1 Photograph of Developed Equipment

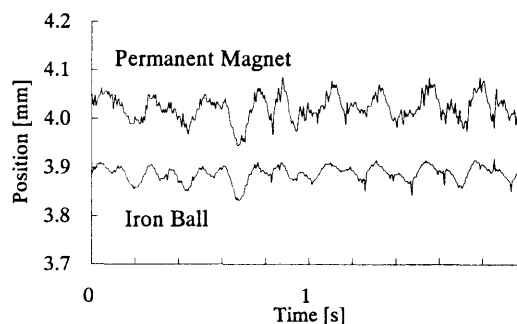


Fig.2. Position of Iron Ball and Permanent Magnet

面には残留磁気の影響があると考えられ、最も大きい残留磁気の影響は鉛直方向の浮上の際に鉄球の上下方向を決めるものである。このとき鉄球の水平方向には他の残留磁気の影響も残っている。その模式図を Fig.3 に示す。これは鉄球の鉛直上部から見た図で、鉄球と永久磁石だけの図である。今回は、浮上中の浮上体の水平面上に 4 個の永久磁石を直交位置に配置し、それぞれの隣り合う永久磁石を浮上体に順番に接近さ

せ、浮上体に回転運動を発生させる。

4・2 回転実験 回転機構を稼動し、前節で述べた原理の通り、鉄球のある点が永久磁石の動きに連動して、鉄球が回転運動を行う事が確認できた。しかし全ての周波数においては安定した回転運動を発生させることができなかった。

Fig.4 に一定の駆動周波数 0~1[Hz]のときの鉄球の平均回転速度を示す。図中の直線は駆動(入力)周波数である。今回の実験では、制御プログラムは、静止している状態の鉄球に、突然回転機構を一定の周期で駆動させる形となっており、安定した回転を行うまでに長い時間が必要である。よって、Fig.4 は 回転機構の永久磁石を駆動した後少し時間が経過して鉄球の比較的安定した回転運動が始まってからのものである。回転機構の始動直後は、鉄球が永久磁石に同期した運動を行う状態ではなく、鉛直上部から見て、右回りと左回りを不規則に繰り返す状態である。ある時偶然的に永久磁石に浮上体の回転運動が同期し始め回転運動が開始する。これは垂直方向の残留磁気の影響がある点の磁気力が非常に弱いためであると考えられる。その中でも 0.50[Hz]付近では比較的安定な回転運動が確認できた。

駆動周波数を、0[Hz]からランプ状に徐々に高くした時の結果を Fig.5 に示す。多少のばらつきがあるものの駆動周波数に回転数が追従している様子が確認できた。1[Hz]付近になると、回転中の鉄球の浮上自体が不安定になり浮上用の磁石にくっついてしまった。

5. 鉄球の残留磁気の影響

浮上中のいくつかの鉄球で、水平面外周(上下の均分円：赤道)上表面の磁束密度を計測した。その結果の1例を Fig.6 に示す。1 回転ごとに同様な磁束密度の大小があることから、提案通り残留磁気の影響を持つ点が存在することがわかる。縦軸の+が N 極を示している。N 極しか表れていないのは、浮上に用いる磁石は鉄球側に N 極が向いていて、その漏れ磁束の影響だと考えられる。回転機構において横から近づける磁石の極も N 極である。よって 1 周期の最も小さな残留磁気の影響を持つ点が、回転運動時に引き寄せられていると考えられる。同じ鉄球でも違う外周上や、他の鉄球で計測した場合も 1 回転ごとに同様な磁束密度を確認することができた。

6. 結 言

本報告では、新しい非接触マニピュレーションの提案・実証として、永久磁石の運動制御による磁気浮上と浮上体の回転機構についての研究及び実験を行なった。

まず永久磁石と浮上対象の空隙を制御することにより浮上体を浮上、回転させることを提案した。この提案に基づいて、永久磁石を鉛直方向に 1 個、水平方向に 4 個配置した実験装置を設計、製作した。製作した装置を用いて浮上体を回転させる方法を具体的に示した。1 自由度の浮上に成功し、安定した浮上を実現させた。

回転機構に関しては、提案した原理での回転運動を確認し、永久磁石の運動周波数を変化させ、鉄球の回転の応答性を検証することができた。

今後の課題としては、1 自由度浮上の更なる安定化・外乱に対する対応策のために、フィードバックゲインなどを見直す必要があること、水平面に配置した永久磁石を鉄球の真中心に向けて直動運動させることが望まれるため、水平面の各永久磁石、及びボイスコイルモータの位置を精度良く配置する方法の検討、回転機構における鉄球の回転をフィードバック制御することの検討、などである。また、鉄球表面の残留磁気の弱さを解決するために、新しく浮上体を試作することも検討しなければならない。

これらの検討の後、永久磁石を運動させる周期と鉄球の回転運動の関係を調査し、回転運動の制御を行う予定である。

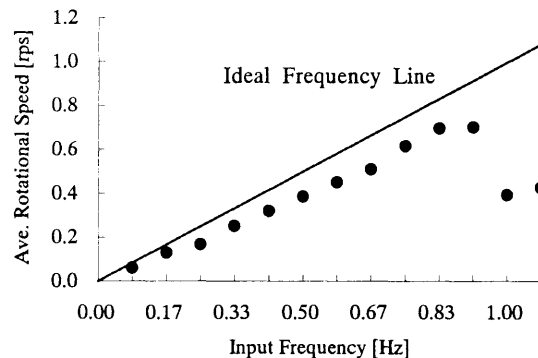


Fig.4. Result of Ave. Rotational Speed by Const. Input Frequency

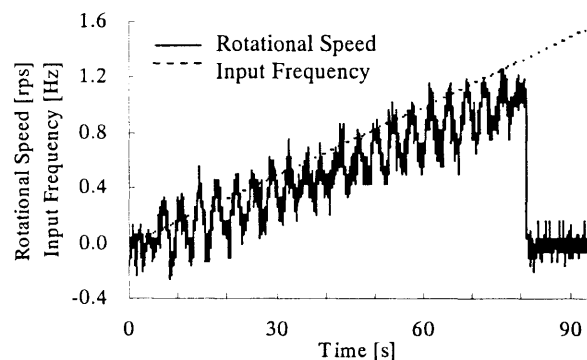


Fig.5. Result of Rotational Speed by Ramp Input Frequency

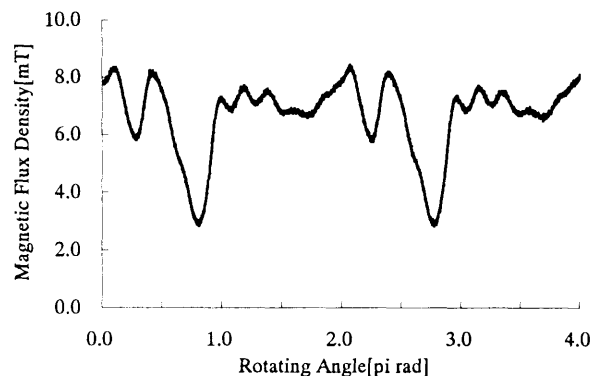


Fig.6. Magnetic Flux Density of Equator Surface of Iron Ball

文 献

- (1) 岡宏一, 電磁コイルを用いない能動浮上方式, 平成 17 年度電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.III-83~pp. III-88(2005)
- (2) K.Oka, T.Higuchi, Magnetic Levitation System by Reluctance Control Levitation by Motion Control of Permanent Magnet, Int.J.of Applied Electromagnetics in Materials, Vol.4, No.4, pp.369-375(1994)
- (3) 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-, 日本 AEM 学会誌, Vol.14, No.1, pp.126-131(2006)