



円板磁石の回転を用いた磁路制御形非接触浮上機構

Noncontact Suspension Mechanism Using Flux Path Control by Disk Magnet Rotation

○武智徹（高知工科大学） 孫鳳（高知工科大学） 岡宏一（高知工科大学）

Toru Takechi, Kochi University of Technology

Feng SUN, Kochi University of Technology

Koichi Oka, Kochi University of Technology

1. 緒言

磁気浮上機構は、浮上体を非接触で支持でき、機械的な接触からの摩擦がなく、塵埃などを発生しない機構である。磁気浮上機構のこの利点によって、クリーンルーム、宇宙での装置や高速装置などが作られる。現在多く用いられている磁気浮上装置は、EMS（electromagnetic suspension system）という電磁石のコイル電流を調整して支持力を制する機構を用いたものである。また、永久磁石を用いた磁気浮上機構も数多く提案されている。しかし、永久磁石を用いた磁気浮上機構は、永久磁石の吸引力を調整できない、浮上体が一度吸着してしまうと制御できない、磁極を変えることができないなどの問題がある。

本研究では、これらの問題点を解決するため、回転モータと円板磁石を用いた磁気浮上機構を提案する⁽¹⁾。この浮上機構は、永久磁石の回転制御により磁気抵抗を制御し、浮上力を調整するものである。本報告では、このような浮上装置により、一つの円板磁石を用いて、二つの重量が異なる鉄球を浮上することを考察する。

2. 浮上原理

Fig.1 に提案する磁路調整形の磁気浮上機構の原理を示す。この磁気浮上機構は、円板磁石と二つの F 型の強磁性体コアと浮上体から構成されている。ここでは、円板磁石のある 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.1, (a)のように円板磁石の N 極が真上に、S 極が真下にあるとき、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込んでいると考えられる。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、円板磁石からの磁束は浮上体を通うことはない。従って、コアと浮上体間では吸引力が発生しない。

次に、Fig.1, (a)の状態から、円板磁石が右に少し回転したときの様子が Fig.1, (b)である。この時、上部の N 極と面するコアの面積は、左側のコアより右側のコアの方が大きいので、N 極から流出する磁束が左側のコアより右側のコアの方が多く流れるようになる。また、下部の S 極と面する左右のコアの面積関係は、N 極の逆になっている。従って、左側のコアで流れる磁束は全て左側のコアと面する S 極に入る。右側のコアで流れる磁束は二つの部分に分かれ、一つは右側のコアと面する S 極に流れ、もう一つは浮上体を通って、左側のコアと面する S 極に流れる。これにより、コアと浮上体間に磁束が流れ吸引力が発生する。

上記の原理から、円板磁石の回転角度を制御することによって浮上力を調整することが可能であると考えられる。また、逆方向に円板磁石を回転させることにより、磁束を

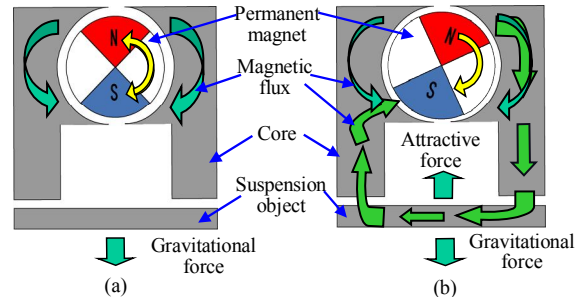


Fig.1 Suspension principle of a flux path control method

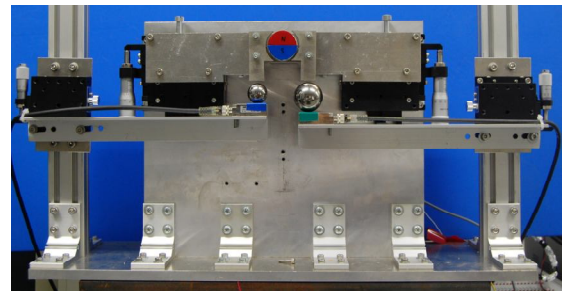


Fig.2 Prototype of the proposed suspension system

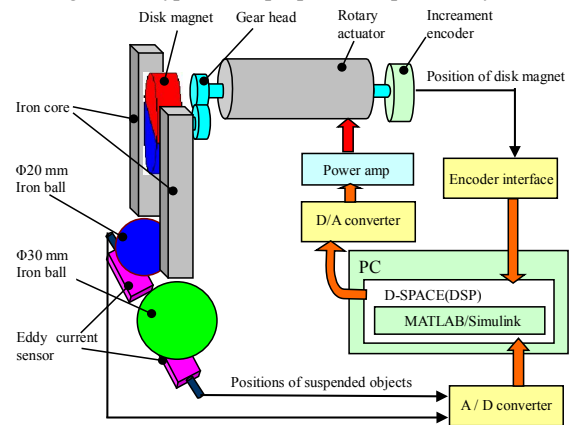


Fig.3 Configuration of magnetic suspension system

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. 試作装置と制御システム

Fig.2 は試作した実験装置の正面から見た写真である。浮上システムの概図を Fig.3 に示す。この浮上機構は、円板磁石、回転モータ、パーマロイのコア、二つの鉄球、二つの渦電流センサで構成している。円板磁石は、直径が 30mm、厚さが 10mm、直径方向上に磁極が半分に磁化されているネオジム磁石であり、垂直固定板の裏側に取り付けてある回転モータによって回転駆動される。回転モータは、ハー

モニックドライブと回転エンコーダを取り付けている DC モータである。このエンコーダの分解能は 360 p/r である。コアは円板磁石の両側にある二つの F 型のもので、厚さが 10mm のパーマロイである。鉄球は、左の方の直径が 20mm、右の方が 30mm である。鉄球下の二つの渦電流センサは、測定範囲が 2mm から 3mm まで、分解能が 0.01mm で、鉄球の位置を測定する。

この磁気浮上システムのコントローラは DSP コントローラで、二つの渦電流センサの信号と回転モータのエンコーダからの回転角度信号によって、回転モータへの電流を制御している。

4. 基本実験と実験結果

試作装置の特性を知るため、左右コアの吸引力の特性と二つの鉄球が互いの浮上に影響するかどうかを考察した。

4-1 吸引力の測定実験

吸引力の測定は、試作装置を用いて、 $\Phi 30\text{mm}$ の鉄球を力センサに取り付けたマイクロメータに取り付け、円板磁石とコアの距離を 2mm に調整し、両コアの下部より 0.5mm から 8mm まで 0.5mm 間隔で離し且つ、円板磁石を 0° （円板磁石の S 極が真上のときは回転角度が 0° と仮定する）から 10° ずつ回転させ、左右コアの吸引力を別々に計測した。

それらの結果を Fig.4 と Fig.5 に示す。両図から分かるように、鉄球の位置が変わらないとき、円板磁石の回転角度により吸引力にほぼ正弦曲線の 2 乗のような変化が現れた。円板磁石の回転角度が 0° と 180° のとき、吸引力がほぼゼロになり、 90° と 270° のとき、吸引力が最大値になる。さらに、同じ角度のとき、空隙が小さくなると吸引力は大きくなる。これより、空隙と円板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することが可能であることが分かった。

4-2 二つの鉄球の影響の考察

二つの鉄球を浮上するときの、互いの影響を考察するための実験を行った。実験は、 $\Phi 20\text{mm}$ と $\Phi 30\text{mm}$ の鉄球を用い、二つの鉄球を二つの力センサに取り付けたマイクロメータに取り付け、同時に左右のコアの吸引力を測定する。円板磁石を一定の回転角度に停めたとき、 $\Phi 20\text{mm}$ の鉄球を固定し、 $\Phi 30\text{mm}$ の鉄球をコアの下部より 0.5mm から 8mm まで 0.5mm 間隔で離し、二つの力センサの結果を記録した。後に、 $\Phi 20\text{mm}$ の鉄球も 0.5mm 間隔で離し、円板磁石の回転角度を 10° ずつ回転した。 $\Phi 20\text{mm}$ の鉄球の測定範囲は 0.5mm から 8mm まで、円板磁石の回転範囲は 0° から 360° までである。

円板磁石を 60° に停めたときの結果を Fig.6 と Fig.7 に示す。Fig.6 は、 $\Phi 30\text{mm}$ の鉄球を動かす時の、 $\Phi 20\text{mm}$ の鉄球の吸引力の結果である。Fig.7 は、 $\Phi 20\text{mm}$ の鉄球を動かす時の、 $\Phi 30\text{mm}$ の鉄球の吸引力の結果である。これらの図から、いくつかの影響はあるが、もし鉄球を小さい範囲中で動かせば、その影響が無視できると考えられる。

5. 結言

本報告では、二つの鉄球を同時に浮上するため、円板磁石と回転モータを用いた磁気浮上システムを提案した。まず、磁路調整形磁気浮上原理を説明し、試作の浮上装置を設計・製作した。試作装置の特性を知るため、左右のコアの吸引力と二つの鉄球の互いの影響を考察する実験を行った。それらの結果によって、空隙と円板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することが可能であることと二つの鉄球の浮上に互いの影響が無視できることを確認した。従って、二つの鉄球を同時に浮上するこ

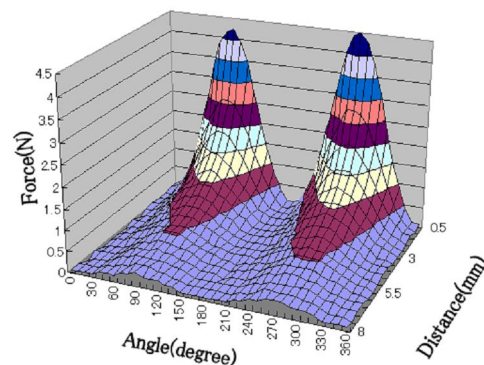


Fig.4 Force results of right core

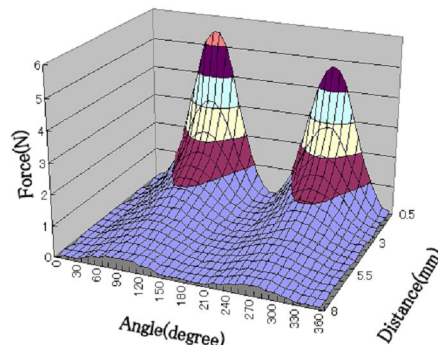


Fig.5 Force results of left core

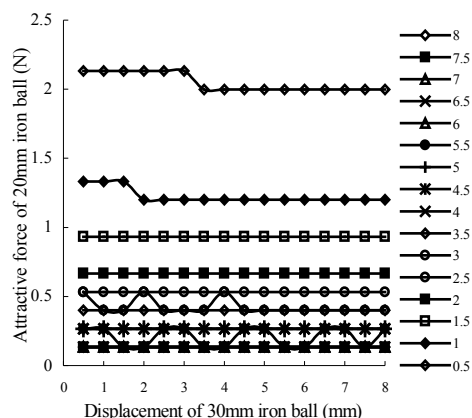


Fig.6 Force results of 30mm iron ball when angle is 60°

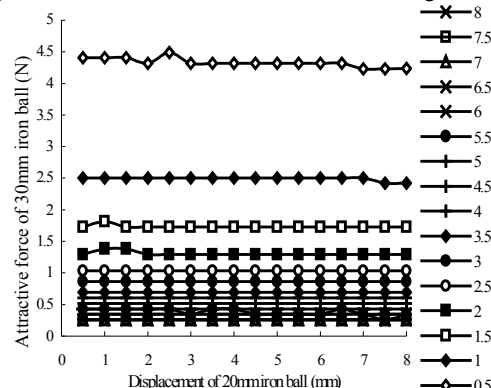


Fig.7 Force results of 20mm iron ball when angle is 60°

とが可能であることが考えられる。今後は、浮上システムのゲインを計算し、二つの鉄球を浮上する予定である。

参考文献

- (1) 孫 鳳, 岡 宏一, 西原 雄太. 回転モータを利用した浮上システムの開発, Dynamics and Design 2009, No. 09-23, CD-ROM 論文集, 2009.