

社団法人 日本設計工学会 四国支部
平成 21 年度研究発表講演会
講演論文集

開催日：2010 年 3 月 16 日（火）
会 場：香川大学 工学部

主 催
社団法人 日本設計工学会 四国支部
共 催
香川大学 工学部

永久磁石を用いた非接触浮上・回転機構の開発

○鶴身輝（高知工科大学）

孫鳳（高知工科大学）

岡宏一（高知工科大学）

楠川量啓（正，高知工科大学）

1. 緒言

磁力を用いて非接触で浮上体を回転させる機構は、超伝導体と常伝導を用いた磁気軸受やベアリングレスモータ¹⁾、リング状の永久磁石による非接触ギア²⁾などが提案されている。また、永久磁石のリニア駆動による非接触回転機構が報告されている³⁾。しかし、浮上体への吸引力の不均衡や、方向の変化により、浮上体は回転しながら脈動することや、限界回転速度が小さいといった問題点がある。

そこで、それらの問題点の改善を行うため、円板磁石とロータリーアクチュエータを用いた非接触回転駆動機構の提案・設計を行い、装置を製作し、実験を行った。まず、浮上体を回転させるための回転原理を説明し、その原理を基に製作した試作装置の紹介をする。そして、試作装置を用いての回転実験を行い、鉄球の回転の安定性、限界速度についての実験結果を示す。

2. 回転原理

浮上は永久磁石と浮上体との空隙距離を制御し、浮上させている。浮上体を非接触で回転させる原理を Fig. 1 により説明する。向かい合う円板磁石は共に磁極方向は同じにし、隣り合う円板磁石の磁極方向は反対となるように配置する。鉄球の表面には残留磁気点が存在すると仮定し、4つの円板磁石を同じ回転方向と回転速度で回転させることで、残留磁気点に対する吸引力を制御し、浮上体を回転させる。Fig. 1 の場合、残留磁気点は円板磁石 I へ引き付けられ、鉄球は時計回りに 90° 回転する。4つの円板磁石を反時計回りに 90° 回転させると、残留磁気点は円板磁石 II に引き付けられ、鉄球は時計回りに 90° 回転する。この一連の動作を繰り返し行うことで、鉄球を継続的に回転させる。理論上、鉄球の回転速度は円板磁石の回転速度と等しくなる。

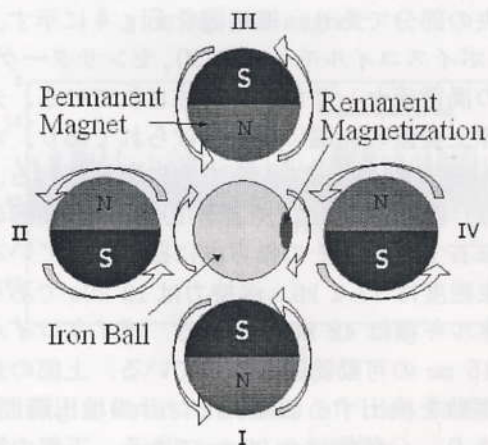


Fig. 1 Principle of Spinning system

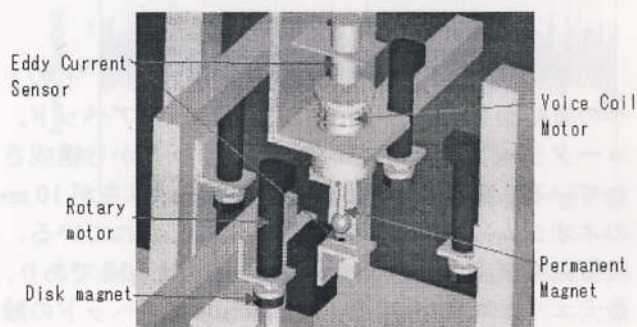


Fig. 2 Design of experimental device

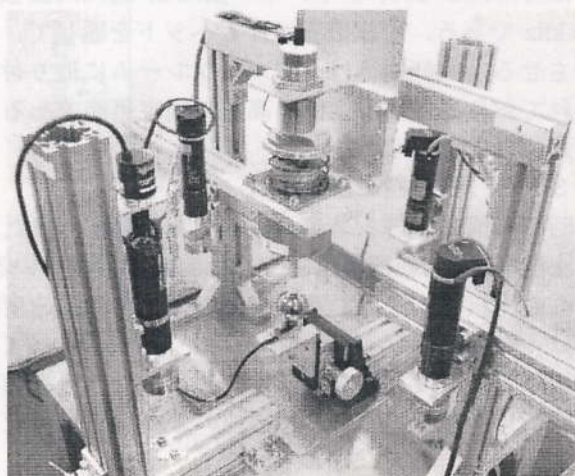


Fig. 3 Photograph of experimental device

3. 試作装置の設計

回転原理に基づき、試作装置の設計を行った。試作した装置の概略図を Fig. 2 に示す。また、設計を基に試作装置を製作した。以下の機構を用いた試作装置の写真を Fig. 3 に示す。

3. 1 浮上機構

磁気浮上機構は永久磁石と浮上体との空隙距離を制御する方法を用いている⁴⁾。この浮上機構は Fig. 3 の中央の部分であり、概略図を Fig. 4 に示す。永久磁石、ボイスコイルモータ (VCM)、センサターゲット、2つの渦電流センサなどで構成されている。永久磁石が浮上装置の先端に取り付けられており、ボイスコイルモータによって鉛直方向に駆動される。永久磁石は、直径が 8 mm、長さが 10 mm の円筒形のネオジム磁石であり、その軸方向に磁化されている。残留磁束密度は 13.2 kG、保持力は 12 kOe であり、最大エネルギー積は 42 MGOe である。ボイスコイルモータは 15 mm の可動範囲を持っている。上部の永久磁石の運動を検出する渦電流センサの検出範囲は 10 mm であり、分解能は 0.02 mm である。下部の浮上体の運動を検出する渦電流センサは、検出範囲が 4 mm であり、分解能が $1\mu\text{m}$ である。

3. 2 回転機構

回転機構は、Fig. 3 の周りの装置であり、その 1 つの概略図を Fig. 5 に示す。円板磁石、ギアヘッド、ロータリーアクチュエータ、エンコーダから構成されている。円板磁石は、直径が 30 mm、厚さが 10 mm のネオジム磁石で、その径方向に磁化されている。残留磁束密度は 14.2 kG、保持力は 12 kOe であり、最大エネルギー積は 48 MGOe である。ギアヘッドの減速比は 21.3:1 である。ロータリーアクチュエータは、出力が 10 W であり、直径は 25 mm である。エンコーダは分解能が 100、チャンネル数は 2、最大周波数は 20 kHz である。円板磁石はギアヘッドを通して、回転させる。回転機構は、アルミフレームに取り付けられており、任意の位置・高さに固定可能である。

3. 3 回転制御システム

回転機構の制御システムを Fig. 6 に示す。また、浮上機構と、回転機構は独立した制御を行っている。4つの円板磁石を同じ速度で回転させるため、速度制御は4つのPDコントローラを用いている。すべての円板磁石の角度を同期させるため、1つの円板磁石の回転角度を基準値として、他の3つの回転角度をPDコントローラにより制御する。

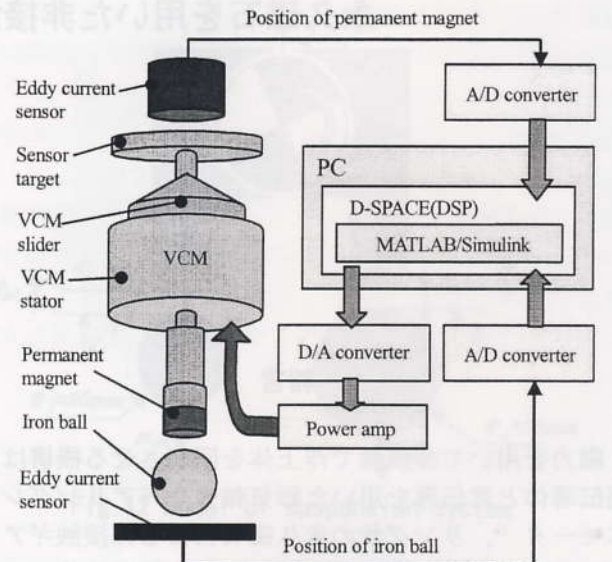


Fig. 4 Configuration of Magnetic Suspension System

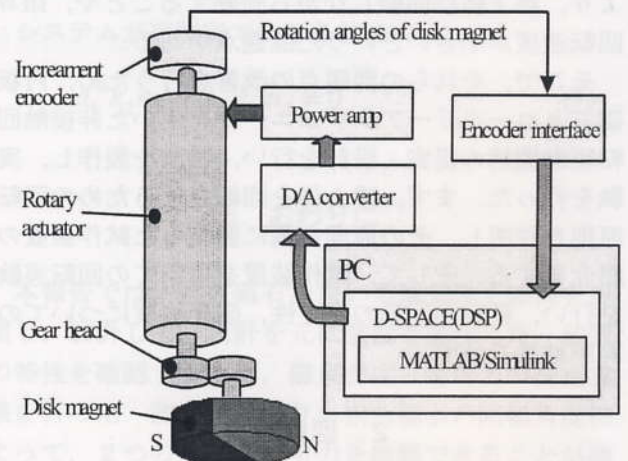


Fig. 5 Configuration of Spinning System

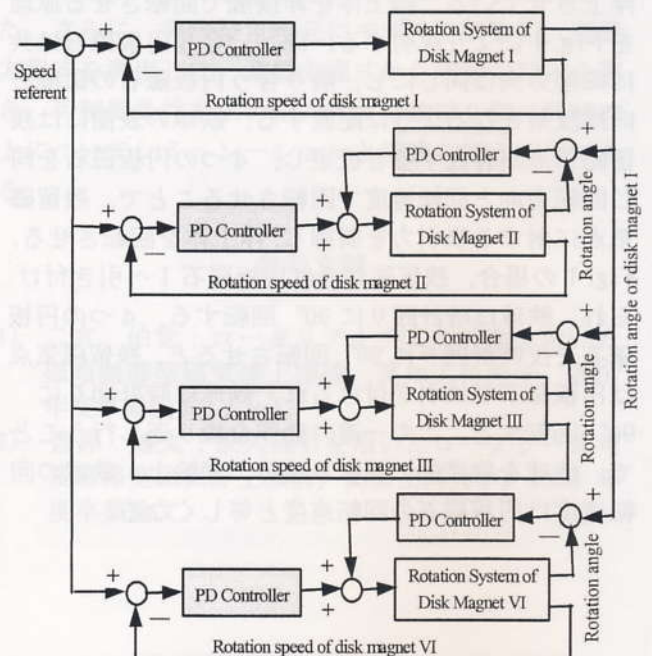


Fig. 6 Control diagram of spinning system

4. 回転実験と実験結果

試作装置を用いて回転実験を行った。まず、円板磁石の磁極を Fig.1 と同じになるように調整、円板磁石の中心位置を鉄球の中心から 90 mm に固定する。円板磁石の回転数はエンコーダにより読み取り、鉄球の回転数は回転運動中の鉄球の表面をレーザフィードモニタ(表面変位計)で計測した。

4. 1 回転安定性

回転の安定性を確認するため実験を行った。円板磁石を 0.5 rps で回転させ、鉄球の回転が安定した状態での鉄球の回転数を測定した。円板磁石が 1 個 2 個、4 個の場合での測定結果を Fig. 7~Fig. 9 に示す。グラフより、円板磁石が 1 個の場合での回転速度が安定していないことがわかる。これは、残留磁気点に働く吸引力が均一になっていないため、鉄球を回転させるトルクが変動していることが原因だと考えられる。グラフより、円板磁石が 2 個の場合では、1 個の場合と比べて鉄球の回転速度は安定している。また、円板磁石の回転速度に応じた回転速度で安定している。円板磁石が 4 個の場合では、2 個の場合よりも安定性が増していることがわかる。このことにより、円板磁石の個数が増えると、鉄球の回転速度が安定することがわかった。

4. 2 回転の限界速度

鉄球の回転速度の限界を調べるため、限界速度の実験を行った。円板磁石の回転速度を 0 rps から 0.1 rps ずつ速くする。そして、鉄球の回転速度が比較的安定している状態で、鉄球の回転速度を 10 秒間記録し、その平均値を計算する。計測は鉄球の浮上状態が崩れるまでとした。円板磁石と鉄球の回転数の推移を Fig. 10~Fig. 12 に示す。

Fig. 10 は円板磁石が 1 つの場合の回転実験結果である。この場合、他の円板磁石は影響を避けるために、取り外している。Fig. 10 より、鉄球の回転数は円板磁石の回転数にともない増加しており、両方の関係はほぼ線形であることが分かる。また、円板磁石と鉄球の回転数が約 3.0 rps であるときに、鉄球の安定浮上状態が崩れた。

Fig. 11 は円板磁石が 2 つの場合の回転実験結果である。2 つの円板磁石は対面になるように配置し、磁極方向が同じになるように調整した。他の 2 つの円板磁石は取り外している。Fig. 11 に示すように、円板磁石と鉄球の回転数の関係はほぼ線形であり、また線形性は円板磁石が 1 つの時より良くなった。

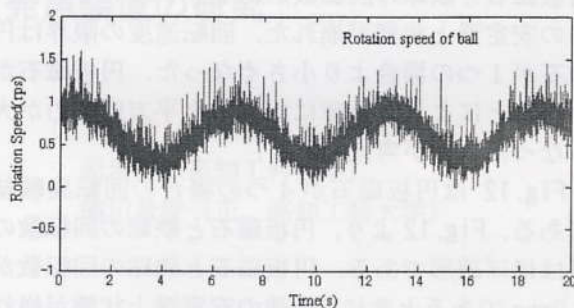


Fig. 7 Rotation state of iron ball using one magnet

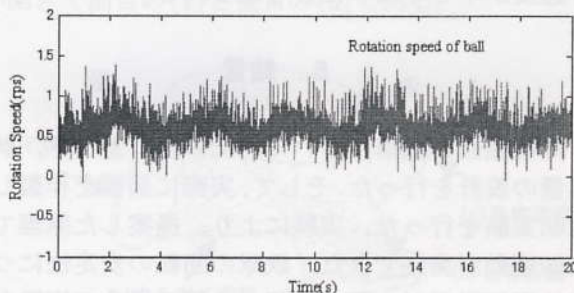


Fig. 8 Rotation state of iron ball using two magnets

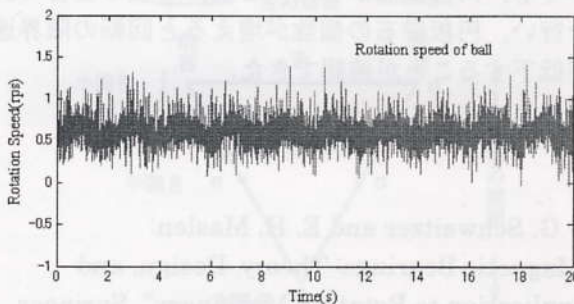


Fig. 9 Rotation state of iron ball using four magnets

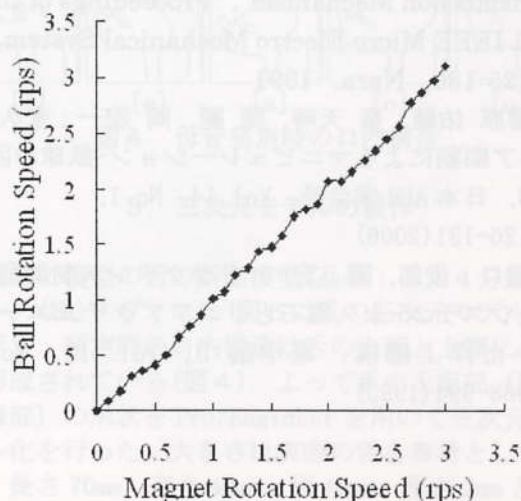


Fig. 10 Speed relationship between magnets and iron ball using one magnet

円板磁石と鉄球の回転数が約 2.5 rps のときに、鉄球の安定浮上状態が崩れた。回転速度の限界は円板磁石が1つの場合より小さくなった。円板磁石が増えることにより、鉄球に対する水平方向の力が大きくなったことが考えられる。

Fig. 12 は円板磁石が4つの場合の回転実験結果である。Fig. 12 より、円板磁石と鉄球の回転数の関係はほぼ線形である。円板磁石と鉄球の回転数が約 2.0 rps であるときに、鉄球の安定浮上状態が崩れた。2つの場合と同様に、円板磁石が増えることにより、鉄球に対する水平方向の力が大きくなったことで限界速度が小さくなったと考えられる。

5. 結言

非接触回転機構について回転原理に基づき、試作装置の設計を行った。そして、実際に装置を作製し、回転実験を行った。実験により、提案した原理での回転運動が実証できた。鉄球の回転の安定性については円板磁石が1個、2個、4個の場合で実験を行い、円板磁石の個数が増えると鉄球の回転の安定性が向上することが確認できた。回転の限界速度についても、円板磁石が1個、2個、4個の場合で実験を行い、円板磁石の個数が増えると回転の限界速度が低下することが確認できた。

参考文献

- 1) G. Schweitzer and E. H. Maslen:
"Magnetic Bearings: Theory, Design, and Application to Rotating Machinery", Springer Dordrecht Heidelberg London New York (2009)
- 2) K. Ikuta, S. Makita and S. Arimoto:
"Non-Contact Magnetic Gear for Micro Transmission Mechanism", Proceedings of the 1991 IEEE Micro Electro Mechanical System, pp.125-130, Nara, 1991
- 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)
- 4) 樋口 俊郎, 岡 宏一: リラクタンس制御型磁気浮上システム-永久磁石とリニアアクチュエータを用いた浮上機構, 電学論 D, Vol. 113, No. 8, pp. 988-994 (1993)

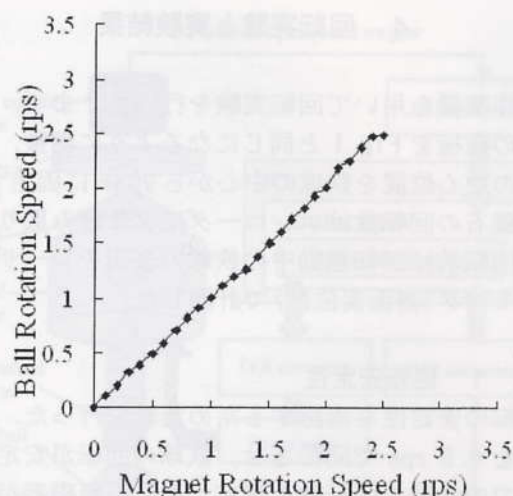


Fig. 11 Speed relationship between magnets and iron ball using two magnets

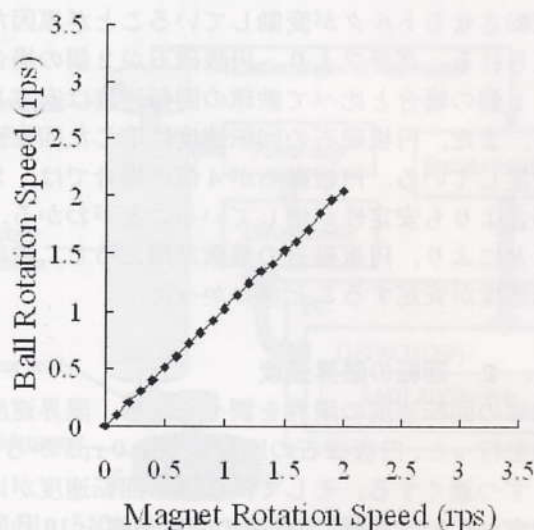


Fig. 12 Speed relationship between magnets and iron ball using four magnets