

# 永久磁石を用いた非接触回転駆動機構の解析

## Analysis of noncontact spinning mechanisms using permanent magnets

○鶴身輝（高知工科大学） 岡宏一（高知工科大学） 孫鳳（瀋陽工科大学）

Akira TSURUMI, Kochi University of Technology

Koichi OKA, Kochi University of Technology

Feng SUN, Shenyang University of Technology

### 1. 緒言

機械パーツを非接触で操作することを目的として、永久磁石を用いた非接触回転駆動機構が提案されている<sup>(1)</sup>。本研究ではそのような浮上機構モデルに関して IEM 解析とひずみゲージを用いた検証実験により非接触回転機構のトルク特性について考察する。

### 2. 永久磁石を用いた非接触回転駆動機構

#### 2-1 試作装置

試作装置の写真を Fig.1 に示す。中央にある装置はリニアモータと永久磁石を用いて浮上体を浮上させる装置であり、周りにはロータリーモータと円盤磁石を用いて浮上体を回転させる装置である。

#### 2-2 回転原理

浮上体を非接触で回転させる原理を Fig.2 により説明する。浮上体に磁気点 S が存在すると仮定し、円盤磁石の配置が Fig.2 の状態であった場合、磁気点は円板磁石 I へ引き付けられ、鉄球は時計回りに回転する。4 つの円板磁石を反時計回りに 90° 回転させると、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ことが可能だと考えられる。

#### 2-3 浮上体のモデル化と測定装置

現在の試作装置における浮上体表面の磁気点は非常に弱いので、回転トルクを直接測定することができない。そのため、浮上体表面の磁気点を 1 つの永久磁石であるモデルを想定し、その永久磁石と円盤磁石との間に発生する吸引力と反発力を考えることにより、浮上体の回転トルクを解析と実験の両方から考察した。

実験に用いた測定装置を Fig.3 に示す。測定装置は、回転ステージ上にアルミパイプを設置し、アルミパイプの側面にねじり方向のトルクを測定するひずみゲージを 2 つ対面位置に取り付けている。その上部には浮上体表面の磁気点をモデル化するため永久磁石を取り付けた。永久磁石は、直径が 5 mm、長さが 15 mm の円筒形のネオジウム磁石であり、その軸方向に着磁されている。外側に S 極、中央に N 極となるように配置している。歪みゲージには 2 軸 0°/90° トルク用のゲージを用いており、抵抗値が 350 Ω で、ゲージ率約 2.1 となっている。



Fig.1 Rotation Driving Type Mechanism

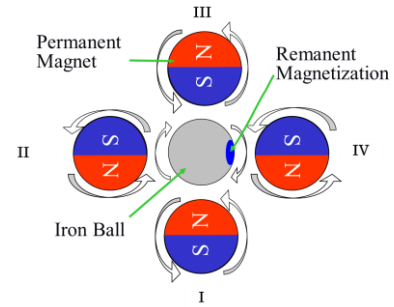


Fig.2 Spin Principle of Rotation Driving Type Mechanism

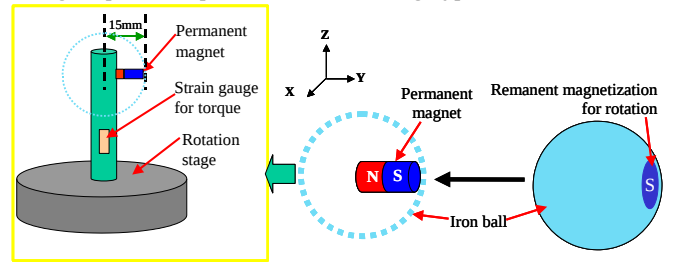


Fig.3 Modelling Remanent Magnetization and Measurement Device

### 3. トルクの測定と解析

この非接触回転機構を用い、円盤磁石の個数を 1 つの場合、2 つの場合、4 つの場合の 3 通りで、回転実験を行った。回転実験によりそれぞれの場合で浮上体を非接触で回転させることが可能だと確認できた。しかし、円盤磁石の数が増えると、浮上体の回転の安定性が良くなるが、限界速度が遅くなることがわかった。これら回転トルクの特性を調べるため、浮上体の表面の磁気点を前述のようにモデル化し、トルク用の歪みゲージを用いて測定実験を行い、浮上体の発生トルクについて検討を行った。また、(株) エルフのエルフマジックを用いて、安定浮上を崩す横方向の力についても計算を行った。

#### 3-1 検証実験の測定方法と結果

円盤磁石を 30° ずつ回転させ、その角度ごとに、測定装置を 5° ずつ回転させて測定を行い、計測した値を元にトルクを求めた。磁石の個数がそれぞれ、1 つ、2 つ、4 つの場合の測定結果を Fig.4～6 に示す。

Fig.4 より、円板磁石 I だけを用いた場合では、安定点は磁石の回転と共に移動しているが、0° と 180° の付近に集中していることがわかった。0° の付近では、交差する傾きが大きく剛性が高い。180° の付近では剛性は低い。また、90° や 270° の付近では安定点が疎である。この結果より、安定点が 0° から 360° に変化しているため、浮上体の回転駆動が可能であると考えられる。しかし、剛性が場所によって変化し、安定点間が均等ではないため、スムーズな回転ができないことがわかった。

Fig.5 より、円板磁石 I, III を用いた場合の結果では、剛性の高い部分が円板磁石と近い場所である  $0^\circ$  と  $180^\circ$  の二ヶ所となっている。安定点が疎になっている部分は円板磁石から遠い場所である  $90^\circ$  と  $270^\circ$  となっている。この結果により、1 つの時よりも安定点間の距離のばらつきが小さくなっているため、浮上体の比較的スムーズな回転制御が可能であることが確認できた。

Fig.6 より、円板磁石を 4 つ用いた場合、4 つの円盤磁石で形成される外部磁場の変化が一様に変化し、浮上体に対しても回転角度に応じたトルクが発生している。また、各トルク曲線の最大値もほぼ等しく、安定点の剛性もすべての場所で傾きがほぼ等しいことも確認できた。安定点も円板磁石の回転角度の変化量と等しく  $30^\circ$  ごとであった。この結果から、永久磁石が 4 つの場合には、浮上体の回転がスムーズに行えることがわかった。

安定回転状態での 3 通りの磁石配置の回転トルクを Fig.7 に示す。Fig.7 より、全ての場合の回転トルクの振幅はすべての場合において  $0 \text{ Nm}$  を中心として揺れているが、4 つの磁石を用いた場合が最も小さい。この結果は Fig.4~6 に示した結果とも一致する。

### 3-2 浮上体に対する水平方向の力

IEM 解析では回転トルクの考察実験と同じ条件と場合で浮上体に対する水平方向の力の計算を行った。解析した結果を Fig.8 に示す。Fig.8 より、円盤磁石が 1 個の場合では残留磁気点に対する吸引力が小さいため、浮上体の回転時に生ずる水平方向の力が最も小さくなる。そのため、回転のバランスが崩れにくく、浮上体の回転速度を大きくすることが可能である。円盤磁石の数が増えると、吸引力が大きくなるため、水平方向の力の振幅が大きくなる。よって、回転のバランスが崩れやすく、浮上体の回転速度の限界が小さくなることが分かった。

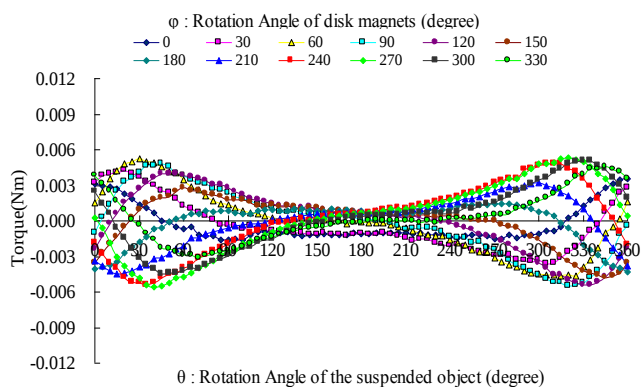


Fig.4 Rotational Torque Using Disk Magnet I

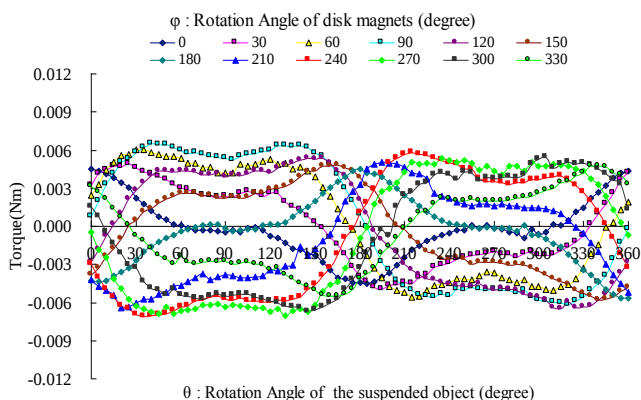


Fig.5 Rotational Torque Using Disk Magnet I and III

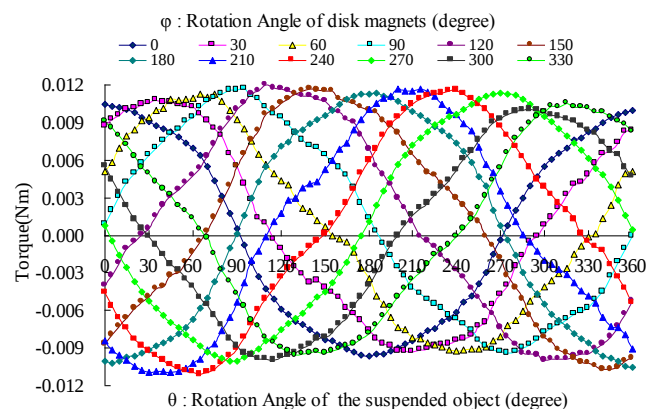


Fig.6 Rotational Torque Using Four Disk Magnets

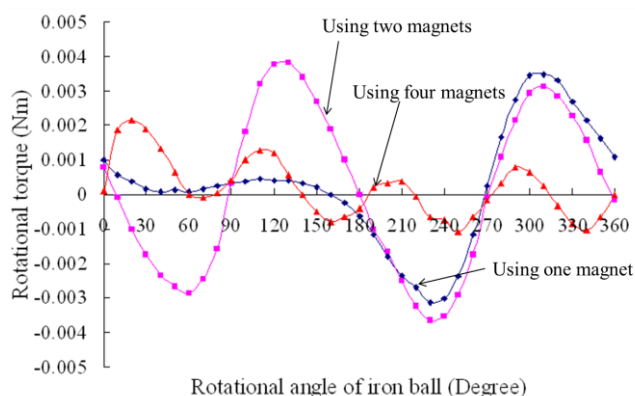


Fig.7 Rotational Torque Results in the Stable State

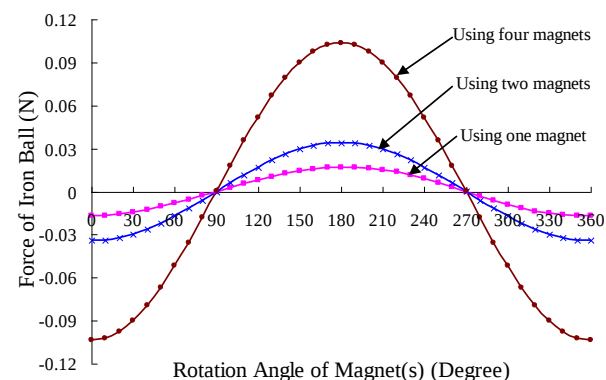


Fig.8 Calculated Attractive Force in the Horizontal Plane.

## 4. 結言

円盤磁石の回転駆動により浮上体を回転させる機構において、歪みゲージに用いた測定装置により回転機構の発生トルクを測定し、回転原理について検討を行った。また、IEM 解析では浮上体に対する水平方向の力計算を行った。その結果、円盤磁石の回転駆動による浮上体の回転は可能であることを確認し、円盤磁石の個数を増やすと回転トルクと安定点の距離の変化がスムーズになり、浮上体の回転は滑らかになる。しかし、水平方向の力が強くなり振動的な力が発生しているため、限界速度が小さくなることが確認できた。

## 参考文献

- (1) 孫 鳳, 岡 宏一: アクチュエータ駆動による非接触回転駆動機構-円板磁石の回転による駆動, 第 21 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 長野, 日本, pp.207-212. 2009.