

卒業論文要旨

複数の永久磁石の回転制御による非接触浮上機構

機械・航空システム制御研究室 1170027 岡田 澄果

1. 諸言

近年、産業、民生機器などの精密化と小型化は目まぐるしく進展しており、埃の発生を抑えるクリーンルーム工場、機能的な小型の機械パーツの組立装置、輸送中の制度保持などが求められている。非接触でパーツを操作することができれば、接触が起因となって発生するパーツの変形、またそれに伴う精度低下や埃の発生の低減が可能であると考えられる。

非接触浮上機構には空気圧、静電気、磁力などが利用されている。空気圧を用いるものは強力なエアにより比較的強い発生力を得られるが、エアの噴射により埃を巻き上げる問題がありクリーン環境には不向きであると考えられる。静電気力は放電破壊を考慮すると発生力が小さく、対象物は面積の広いものに限られる。磁力を用いた場合、比較的簡単な機構により大きな発生力が可能であり、ほこりの発生の問題もなくクリーン環境にも向いていると考えられる。しかし、対象物は強磁性体に限定される。本研究で対象物は限定されるものの実用上使いやすいと考えられる磁気を用いた搬送装置について考える。

磁力を用いた非接触浮上機構は様々なものが提案、開発されている⁽¹⁾。中でも近年、永久磁石を用いた支持機構による多自由度の浮上が提案されている⁽²⁾⁽³⁾。永久磁石を用いる利点としては、磁力の発生源の体積を小さくできるため小型の浮上体に適している点があげられる。以下では永久磁石を用いた非接触の浮上機構について新たな提案を行ったので、これについて報告する。

2. 浮上機構

2.1 提案する浮上機構

図1にシステムの概略を示す。この機構は2つの回転磁石の間にある浮上体を、磁石の回転を制御することにより浮上させるものである。永久磁石と浮上体との空隙距離が大きくなると、それらの間に働く吸引力は小さくなり浮上体は落下してしまう。逆に空隙距離が小さくなると、吸引力は重力より大きくなり永久磁石に吸着してしまう。浮上体が落下しそうになると永久磁石を近づけ、浮上体が永久磁石に吸着しそうになると磁石を離す。これを繰り返すことで浮上体を浮上させる。本研究では磁石を近づける動作、離す動作が回転動作により行えることを検討する。

また永久磁石の中心を支点として回転させたときに、浮上体である鉄球は回転によって追従してくるかを検討していく。例えば、同方向の回転で水平方向の移動、反対方向の回転で鉛直方向の位置決めは可能であるかを検討する。

2.2 制御システム

この磁気浮上システムのコントローラは図1に示したようなDSPコントローラを用いる。A/D変換器によってデジタル化した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はコントローラに入力される。その信号に基づいてDSPは演算を行い適切な回転モータの回転角度を計算する。その結果は、D/A変換器を通して回転モータへの

電流信号として入力される。

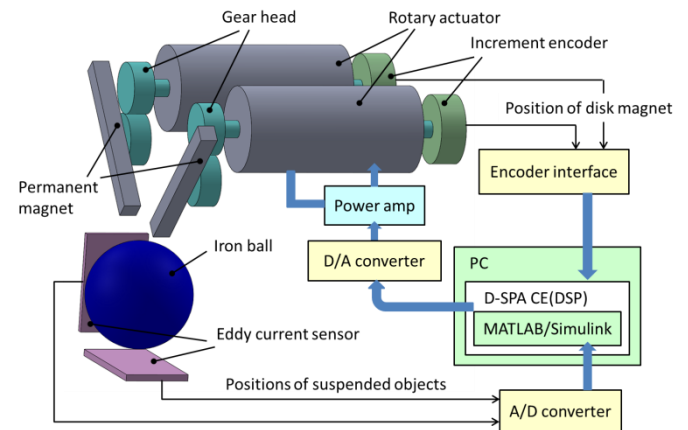


Fig.1 Configuration of the magnetic suspension system

3. IEM 解析

考案した浮上機構の特性について検討し、試作装置の制御に活用するために、磁場解析ソフトを用いて磁場解析と力の解析を行った。用いたソフトウェアは株式会社 JSOL の JMAG である。

3.1 解析方法

片側の磁石のみを回転させた場合と両側の磁石を同時に回転させた場合のそれぞれで、浮上体である鉄球に与えられる磁力の解析を行う。解析モデルは図2に示す。片側回転では α 、両側回転では α 、 β を変化させる。このとき、磁石の角度は鉛直方向から $40^\circ \sim 50^\circ$ まで 0.5° 刻みで変化させる。角度変化は同様の条件で、磁石の中心間の距離(L)を40mm~50mmまで2mm間隔で解析する。その際、閾値と比較しやすいようにaの値を変えて空隙距離を調節する。本研究での永久磁石の回転は速度変化が微小であるために、渦電流の影響はないものとする。

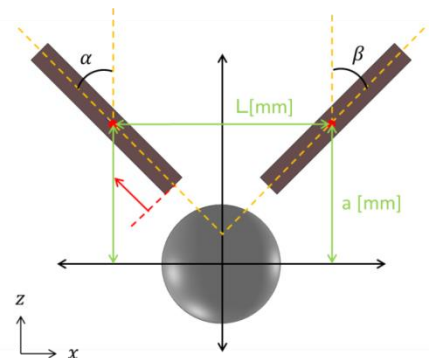


Fig.1 Analysis model

3.2 解析結果

鉄球は直径 25mm の SS400 を使用する。浮上体は重力の影響を鉛直下向きに受ける。鉄球に与えられる磁力と鉄球の重力が釣り合う位置で鉄球は安定に浮上するといえる。つまり、磁力が+z 軸方向に 0.629[N]のときに平衡状態にある。

$L=40\text{mm}$, $a=30\text{mm}$ のときの鉄球に与えられる磁力の変化を図 3, 4 に示す。xz 平面上の回転であるため、y 成分は 0 であるとしている。

図 3, 4 より両側の磁石を同時に回転させた場合、x 成分の力の変化はなく z 成分の力の変化しか見られない。そのため、z 軸方向の制御が可能となり鉄球を浮上させられるといえる。一方片側の磁石のみの回転では、x, z 成分の両方に力の変化が見られるため、x 方向の制御も可能であると考えられる。

図 3, 4 を見ると同極対向(Homopolar)で解析を行うと、磁石を回転させても鉄球に与えられる力の変化は小さいことが読み取れる。片側回転では α が 40° のときに-x 軸方向、 50° のときに+x 軸方向に力が働いていることから、指定した角度変化の範囲では鉄球は-x 軸方向に移動すると考えられる。両側回転においてさらに詳しく解析を行うと、 $\alpha=\beta=40^\circ$ のとき、 $a=31.37[\text{mm}]$ で平衡状態になる。また、 $\alpha=\beta=50^\circ$ のとき、 $a=30.83[\text{mm}]$ で平衡状態になる。よって鉄球の z 軸方向の変位量は、 $0.46[\text{mm}]$ にとどまってしまう。これは図 5 に示したように磁界が干渉を起こすことで、上手く鉄球に力が伝わらないためと考えられる。異極対向においては、 $\alpha=\beta=40^\circ$ のとき、 $a=31.21[\text{mm}]$ で平衡状態になる。また、 $\alpha=\beta=50^\circ$ のとき、 $a=29.37[\text{mm}]$ で平衡状態になる。よって同時に 10° 回転させると鉄球は $1.84[\text{mm}]$ 移動すると考えられる。よって今回は変位量の点から異極対向を採用する。

異極対向において、両側の磁石を回転させたときの鉄球の z 軸方向の平衡位置の変位量を図 6 に示す。永久磁石間の距離を大きくすると鉄球の変位量は小さくなる。これは空隙距離の変化が少なくなるために、磁石に追従する浮上体の変位量も小さくなるためと考えられる。

4. 結言

本研究では、2 つの永久磁石の回転制御を用いた新しい非接触浮上機構を提案した。

解析結果によって、永久磁石の配置によって変位に違いが見られたが、磁石の回転に伴って鉄球は微小ながら移動することが分かった。また磁石の回転の仕方によって鉄球の追従の仕方に変化が見られ、それぞれの成分に分けて制御が可能であると考えられる。

今後は、今回解析した範囲よりさらに回転角度を大きくして、鉄球に与える力がどのように変化するかを解析し、鉄球はどのような動きをするかを検討していきたいと考えている。また今回解析に用いた磁石では力の変化が小さかったため、磁石の表面積を大きくするなど磁石の形状の再検討が必要であると考えられる。それによって磁石の移動量は大きくなるか、空隙距離を大きく保てるかなどを解析していきたいと考えている。解析を行ったのち、本研究で提案する非接触浮上機構の試作装置の設計製作を行い、浮上の実現に努めていく。

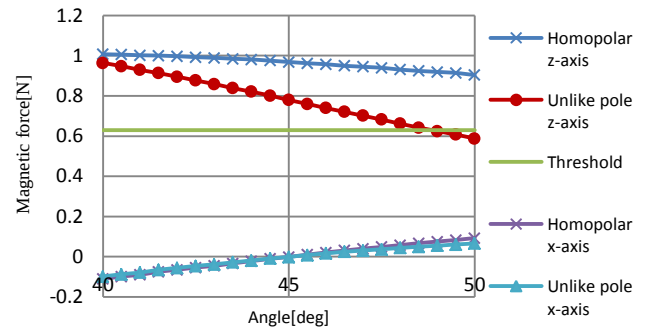


Fig.3 Magnetic force at one side rotation

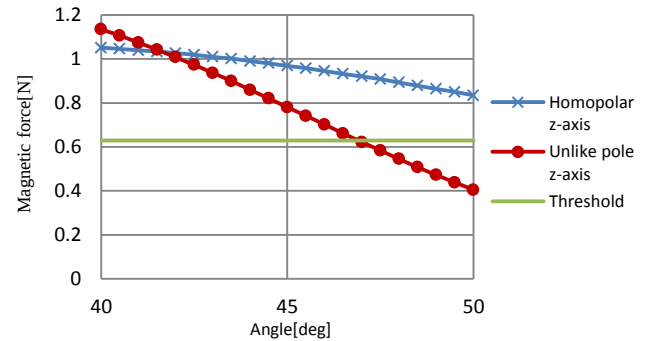


Fig.4 Magnetic force when rotating on both sides

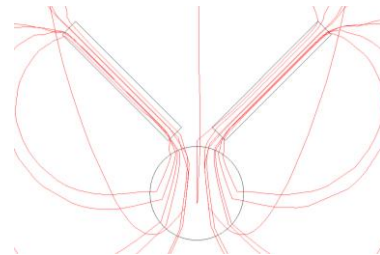


Fig.5 Line of magnetic force

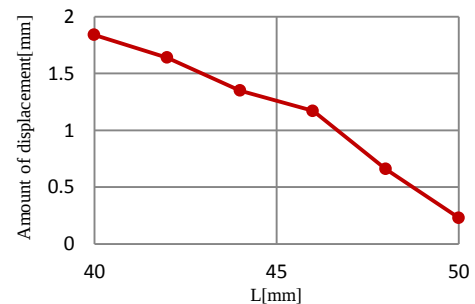


Fig.6 Amount of displacement(z-axis)

参考文献

- (1) 森光利至, “永久磁石を用いた非接触浮上機構における自動持ち上げ制御”, 高知工科大学学士課程学位論文, (2012).
- (2) 政木慶次, “永久磁石の運動制御を用いた 2 自由度磁気浮上装置の開発”, 高知工科大学修士課程学位論文, (2002).
- (3) 鶴見輝, “非接触多自由度駆動のための永久磁石を用いた浮上機構”, 高知工科大学修士課程学位論文, (2011).