

# 永久磁石を用いた鉄球の2自由度非接触支持機構の開発

システム工学群

岡研究室 佐藤 寛大

## 1. 諸言

現在, 機械製品の生産過程において部品の搬送や組み立ては主にロボットアームや人の手によって行われている. その際, 部品との間に摩擦などの接触力が働くことで部品に傷がついたり変形するおそれがある. そこで部品の取り扱いを機械的接触のない非接触支持機構によって行うことでこのような課題を解決できると考えた.

磁気力を利用した機構では大きな吸引力を発生させることが可能であり対象物を浮上させる際, 塵や埃が発生しないといった利点があることから本研究では磁気力を利用した非接触支持機構を開発することにした.

永久磁石を用いた機構では電磁石を用いた機構と比較して消費電力や発熱量を小さくできる可能性があり超伝導体を用いた機構のように周囲の環境の制限も少ないことから本研究では永久磁石を用いた機構を提案する. これまでに永久磁石とリニアアクチュエータを用いた非接触支持機構が研究されてきたが駆動軸方向に大きな装置となってしまう.<sup>(1)</sup>そこで本研究では永久磁石とロータリーアクチュエータを用いた非接触支持機構の開発を目的とする.

## 2. 提案する非接触支持機構

図2に提案する非接触支持機構の概要を示す<sup>(2)</sup>. 角柱形状の永久磁石とロータリーアクチュエータを2つずつ使用する. 2つの永久磁石をそれぞれの中心を軸にロータリーアクチュエータで回転させる.

2つの永久磁石を反対方向に同じ角度で回転させることで浮上体に働く浮上力と重力が釣り合うように鉛直方向の制御を行う. また左右の永久磁石を異なる角

度にすることで水平方向の制御も行う.

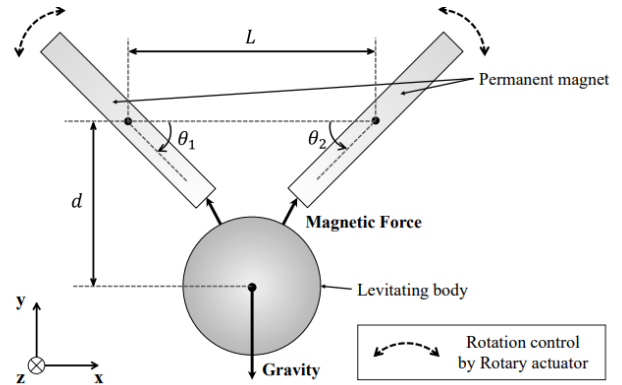


Fig.2 Levitation principle of the proposed mechanism

本機構で使用する永久磁石と浮上体の諸元を表2に示す.

Table 2 Specification of component parts

	Permanent magnet <sup>(2)</sup>	Levitating body <sup>(2)</sup>
Material <sup>(2)</sup>	Neodymium magnet <sup>(2)</sup>	SS400 <sup>(2)</sup>
Dimensions (mm) <sup>(2)</sup>	5×5×40 <sup>(2)</sup>	Ø25 <sup>(2)</sup>
Mass (g) <sup>(2)</sup>	7.4 <sup>(2)</sup>	64.2 <sup>(2)</sup>

先行研究<sup>(2)</sup>の解析結果より, 本研究では磁極組み合わせとして異極対向を採用し永久磁石の中心間距離 $L$ は45mmとする.

## 3. 磁力解析 (鉛直方向制御)

鉄球の鉛直方向への支持を実現させるために浮上体をどの高さで維持させるか検討する必要がある. そこで電磁解析ソフト JMAG-Designer を用いて浮上体に働く磁力を計算した. 二つの永久磁石と鉄球の中心間距離 $d$ を24mmに設定し二つの永久磁石の角度 $(\theta_1, \theta_2)$ を同一に保ったまま0度から90度まで回転させ鉛直方向に働く磁力を計算した. 同様にして中心間距離 $d$ を25mm

から 30mm まで 1mm 間隔でずらし磁力を計算した. 解析結果を図 3-1 に示す.

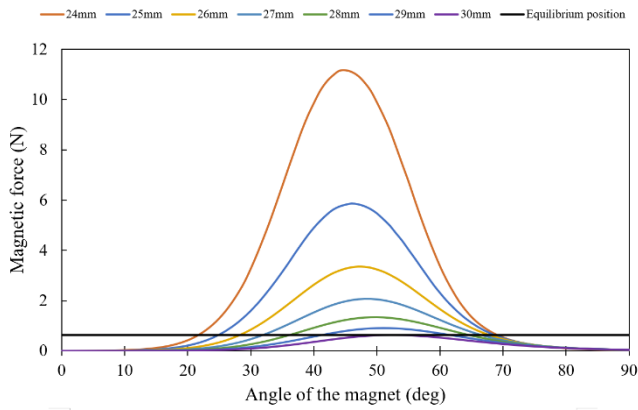


Fig.3-1 Magnetic force analysis results in vertical direction

解析結果より 24mm から 29mm の間では重力を上回る浮上力が得られる永久磁石角度が存在することが確認できた. 次に 24mm~29mm における平衡点での勾配 $K_{\theta}$  (角度変化に対する磁力変化) を計算した. (表 3-1)

Table 3-1 Derivative at the equilibrium point at each distance

distance(mm)	$K_{\theta}$ (N/rad)
24	8.33
25	7.34
26	6.36
27	5.27
28	4.11
29	2.78

中心間距離 $d$ が小さいと浮上体が永久磁石に吸着しやすくなる. 一方で $d$ が大きすぎると浮上体が永久磁石に追従できない可能性がある. したがって本研究では中心間距離 26mm を目標値とすることにした.

#### 4. シミュレーション

システムの入力を永久磁石角度, 出力を浮上体の位置としてブロック線図を作成した. (図 3-2)

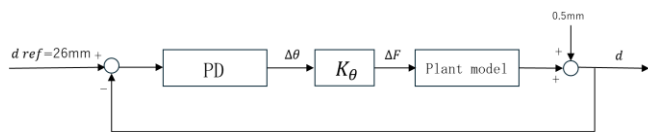


Fig.3-2 Block diagram

MATLAB で開始から 0.1 秒のところから 0.5(mm) のステップ外乱を加えたとき鉄球の位置を PD 制御により安定化させるシミュレーションを二通り行った. 一つ目は外乱が加わった位置 (26.5mm) における勾配 $K_{\theta}$ を用いた場合のシミュレーション, 二つ目は鉄球の各位置に対応する $K_{\theta}$ を用いた場合のシミュレーションである. それぞれの結果を図 3-3 に示す. なお P ゲインは 18.54(rad/m), D ゲインは 0.61(rad・s/m) とする.

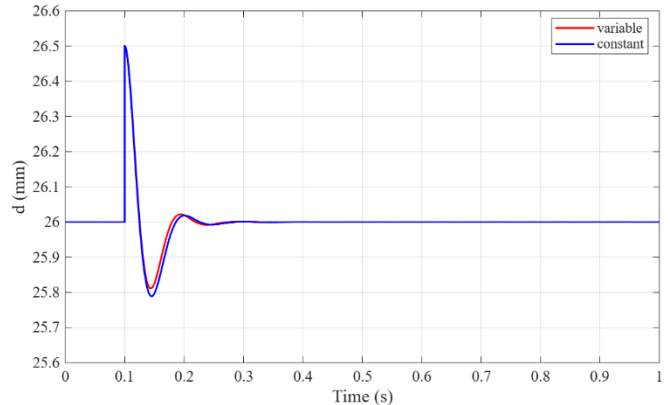


Fig.3-3 Simulation results

シミュレーション結果より鉄球の各位置に対応する $K_{\theta}$ を用いた場合の方がステップ外乱に対するオーバーシユートが僅かではあるが小さく, より正確なフィードバック制御が行われたと考えられる. 今後はこの結果を考慮してシミュレーションや実験を行っていく.

#### 5. 結言

2 自由度の制御を実現させるに左右の永久磁石と鉄球の位置による鉛直方向への磁力を JMAG で計算した. 鉛直方向への制御に向け MATLAB で安定制御のシミュレーションを行った. 今後は浮上体の位置変化が与える磁力の関係を考慮したうえでシステムの入力をモータに対する電流としてモデルを作成する.

#### 6. 参考文献

- (1) 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, 修士論文 (2002)
- (2) 山本健太郎, 複数の回転機構を用いた非接触支持機構の開発, 高知工科大学, 修士論文 (2021)