

ギャップ制御による吸引力調整機構を用いた簡易磁気浮上装置の開発

知能機械システム工学科

大西 誠

1 緒言

本研究の目的は、吸引力調整機構として、浮上体とセンサのギャップを制御する形式の簡易磁気浮上装置の開発である。

まず、2節において、開発装置の紹介を行なう。

3節において、開発装置のシステムの構成を示す。

4節において、本文をまとめる。

2 実験装置

アクチュエータには、電気式、油圧式、空気圧式等がある。

本研究で用いるのは、電気式の動電アクチュエータである。電気式動電アクチュエータは、電流を用いてフレミングの左手の法則に従ってトルクを発生し、機械的運動を得るものである。これは、位置制御、速度制御などの制御性が良く、耐環境性、保守性、信頼性が高く、電気回路や計算機とのインタフェースが良好であり、微小変位用に適する等の利点がある。

センサには、レーザ式(1)、渦電流式(2)、超音波式(3)、光ファイバ・光電センサ(4)等の種類があり、それぞれ次のような特徴を持っている。

- (1).長距離測定が可能であり、高精度を実現しているが、高価である。
- (2).超小型でありながら、耐環境性と精度を実現している。
- (3).対象物を選ばず、超ロングレンジ測定が可能であるが、精度は低い。
- (4).高精度であるが、測定範囲が短く、スペースが少ない場合に適している。高価である。

本研究で用いるのは、小型であり精度が高く、低コストである、渦電流式センサである。

2.1 制御装置

開発装置の外観を Fig.1 に、別のアングルからのものを Fig.2 に示す。装置の上部から順に、ボイスコイルモータ(以下では、VCM と呼ぶ)、浮上用磁石、浮上体位置検出用渦電流式センサが配置されている。

VCM により駆動される永久磁石は、シャフトを介してつながっているボイスコイルとともに動き、その部分は、ベアリングで支持されている。このため、永久磁石は、直線運動する。

浮上体は、鉄球で直径 25mm のベアリングのボールである。永久磁石は、円筒形で直径 10mm、高さ 4mm である。ギャップセンサは渦電流式のもので、縦 14mm、横 30mm、高さ 4.8mm、測定範囲 4mm、分解能 $1\mu\text{m}$ のものである。



Fig. 1 : 装置の外観

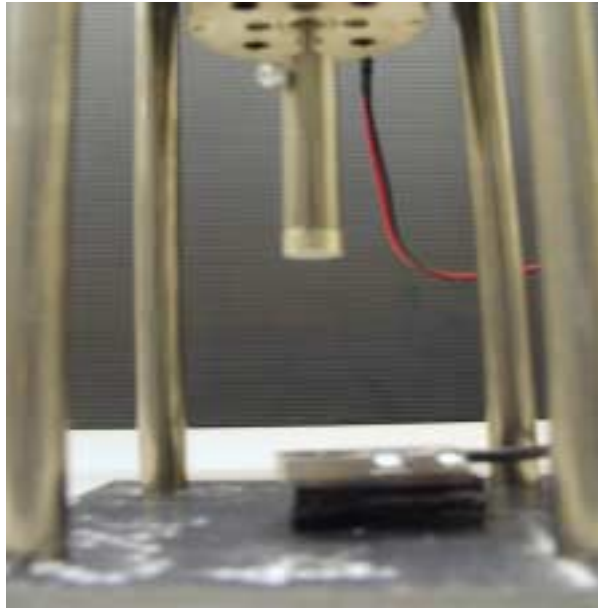


Fig. 2 : 装置の外観

2.2 装置の簡易化

装置を簡易化するため、永久磁石駆動装置にボイスコイル形リニアアクチュエータを用いた。VCM を Fig.3 に示す。VCM は、スピーカ等に利用されるローレンツ力を用いたアクチュエータで、直線運動が可能で、応答性に優れているという特徴を持っている。

このアクチュエータの可動部にはコイルが巻かれており、それがステータの中に入り、直線的に動くようになっている。

バネをベアリングに装着しており、VCM 中におさめることで装置をコンパクトにしている。また、バネはバネ定数を変えられるよう、取り換え可能としている。

センサは薄型のものを使用し、3mm 間隔で高さを変えられるようにしており、装置全体の簡略化が成されている。

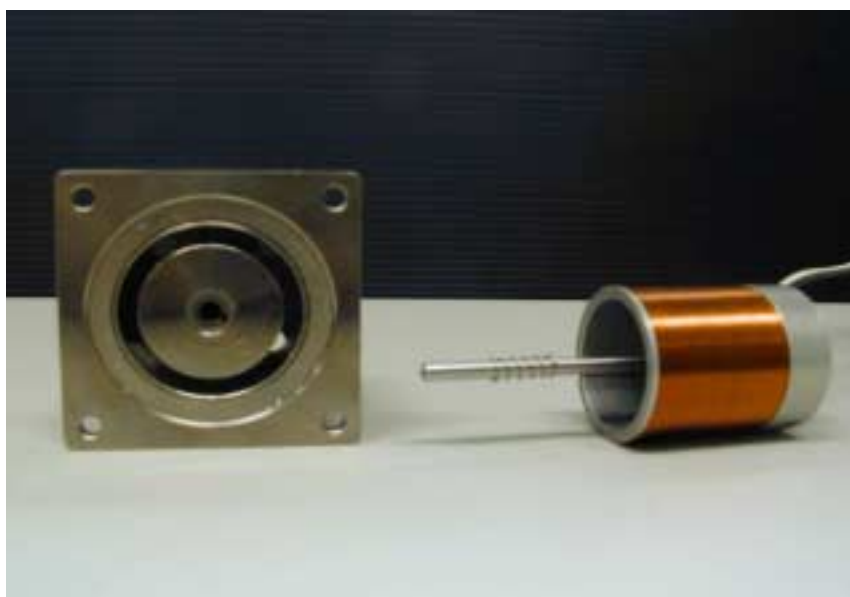


Fig. 3 : VCM

3 システムの構成

システムの構成を Fig.4 に示す。制御システムは図に示すように、鉄球の位置をギャップセンサにより検出し、その信号(電圧)を A/D 変換する。そのデジタル量に基づいて、コンピュータ内で PD 制御を行ない、D/A 変換後、結果をアンプにより増幅し、電圧をボイスコイルへ出力する構成となっている。

3.1 浮上原理

浮上体である鉄球とセンサのギャップをボイスコイルに加える電圧で調整する。この電圧を調整することで、永久磁石が鉄球に近づき、あるいは離れる。

鉄球は、永久磁石による吸引力と重力が釣り合う位置で浮上する。このため、より大きな鉄球を浮上させる時、平衡点の空隙はより小さくなる。

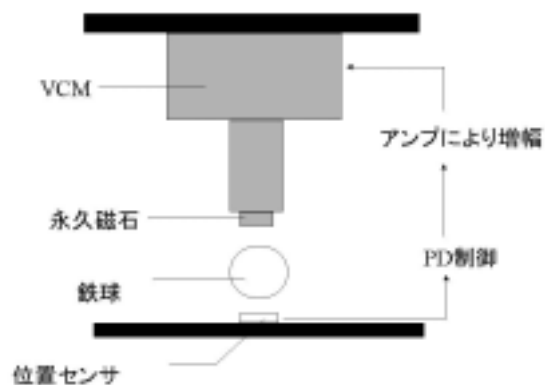


Fig. 4システムの構成

3.2 システムのモデル化

簡易磁気浮上装置のモデルを Fig.5 に示す。以下に記号の説明を行なう。

m_0 : 浮上体質量

m_1 : 永久磁石部質量

z_0 : 浮上体位置

z_1 : 永久磁石位置

f_m : 永久磁石と浮上体間の吸引力

d_{gap} : 永久磁石と浮上体間の空隙の距離

k_1 : 永久磁石支持部バネ定数

R : VCM コイル抵抗

L : VCM コイルインダクタンス

k_t : 推力定数

I : ボイスコイル電流

V : ボイスコイルに加える電圧

k_m : 永久磁石の吸引力定数

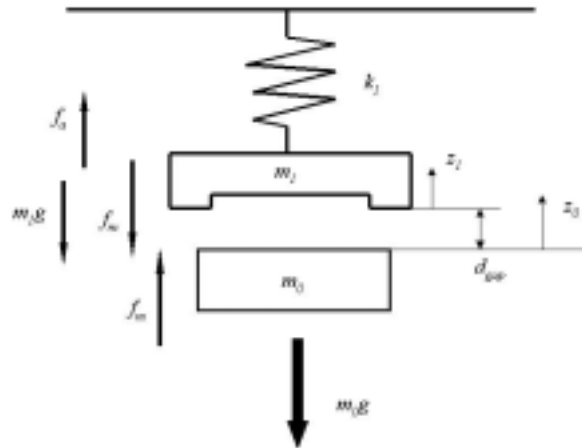


Fig. 5 : システムのモデル化

また、これらの記号で表す値は、平衡点からの偏差とする。

システムの入力は、ボイスコイルに加える電圧、出力は、浮上体位置である。

システムの運動方程式は、浮上体に対して、

$$m_0 \ddot{x}_0 = f_m - m_0 g$$

永久磁石に対して、

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 = -f_m + f_a - m_1 g$$

電気回路に対して、

$$L \dot{i} + R i + k x = V$$

VCM の発生力に対して、

$$f_a = k i$$

永久磁石の吸引力に対して、

$$f_m = -k_m(x - x_0)$$

である。このシステムを線形化する。

システムの線形モデルは、状態ベクトル x を、

$$x = (z_0, z_1, \dot{z}_0, \dot{z}_1)$$

とすると、

$$\dot{x} = Ax + bu$$

$$y = cx$$

となる。ただし、

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k_m}{m_0} & -\frac{k_m}{m_0} & 0 & 0 \\ \frac{k_m}{m_1} & \frac{k_m - k_1}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{k_t}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad y = z_0$$

である。

PD 制御でのシステムの入力は、 k_p : 比例ゲイン、 k_d : 微分ゲインとして、

$$u = k_p z_0 + k_d \dot{z}_0$$

となる。

これを、状態方程式に代入すると、

$$\dot{x} = Ax$$

となる。

A_c の固有多項式は、

$$s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0$$

となる。ただし、

$$a_4 = \frac{m_1 R}{m_1 L},$$

$$a_3 = \frac{m_0(k_1 L + k_1^2) - (m_0 + m_1)k_m L}{m_0 m_1 L},$$

$$a_2 = \frac{m_0 k_1 R - (R(m_0 + m_1))}{m_0 m_1 L},$$

$$a_1 = \frac{k_m(k_1 k_r - k_1 L - k_r^2)}{m_0 m_1 L},$$

$$a_0 = \frac{k_m(k_r k_r - k_1 R)}{m_0 m_1 L},$$

である。

ラウス - フルビッツの安定判別法を用い、フィードバックゲインの安定範囲を求める。

Matlab にて、ゲインの決定を行なう。

4 結言

VCM を用い、吸引力調整機構として、浮上体とセンサのギャップを制御する形式の簡易磁気浮上装置を開発した。開発装置は、永久磁石の運動を制御することで、鉄球を浮上できるものである。

今後の課題は、安定に浮上するゲインを求め、実際に鉄球を安定に浮上させること、また、数値シミュレーションを行い、鉄球が浮上したときの永久磁石と鉄球の動きを調べることである。

また、バネ定数の変化に伴う鉄球あるいは永久磁石の影響についても調べる。

目次

1	緒言.....	1
2	実験装置.....	1
2.1	制御装置.....	2
2.2	装置の簡易化.....	3
3	システムの構成.....	4
3.1	浮上原理.....	4
3.2	システムのモデル化.....	5
4	結言.....	8