

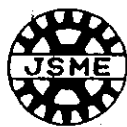
中国四国支部第 41 期総会・講演会

講演論文集

No.035-1

開催日：平成15年3月6日(木)

会 場：鳥取大学工学部



発行 日本機械学会中国四国支部

〒739-8527

東広島市鏡山一丁目4番1号

広島大学工学部内

電話 (0824) 24-7533

平成 15 年 2 月 24 日発行

9.02 永久磁石を用いた懸垂形磁気浮上装置の開発 (第2報 VCMを用いた磁気浮上機構)

Development of Hanging Type Mag-lev System uses of the magnetic attraction (2nd Mag-lev System Uses of the VCM)

○ 吉田祐介 (高知工科大院) 正 岡宏一 (高知工科大)

Yusuke Yoshida (Kochi University of Technology)
Koichi Oka (Kochi University of Technology)

1. はじめに

磁気浮上装置には多くの方式が提唱され、また実現されている。磁気浮上装置は非接触なので塵埃の発生が少ない。そのため工場等のクリーンルーム内での搬送装置として非常に有望である。本報告では、VCMを用いて永久磁石と強磁性体との間に働く吸引力を制御する方法による懸垂形磁気浮上機構について報告する。

懸垂形磁気浮上装置は、鉄などの強磁性体製の天井と浮上体、制御するためのコントローラで構成され、浮上に必要な永久磁石やセンサ、アクチュエータを配した浮上体が天井にぶら下がる形で浮上する装置である。

2. 試作装置

試作装置の写真を Fig.1 に示す。Fig.1 は装置を正面から見た写真である。浮上体の簡略図を Fig.2 に示す。浮上体の質量は全体が 793.8g で、磁石部とベース部から成る。磁石部は磁石とそれとともに動く部分であり、質量は 73.8g である。ベース部は浮上体のその他の部分のことで VCM やマイクロメータ、センサ等が含まれ、質量は 720g である。空隙を制御するアクチュエータは、可動範囲 15mm、最大推進力が 10N である VCM を用いた。浮上体位置を検出するセンサには分解能 $0.5\mu\text{m}$ の渦電流センサを使用する。センサの位置は高精度な設定を必要とするためマイクロメータで調整できるようにした。浮上体の重量を支える VCM の力を補助するために Fig.2 に示すようにバネを取り付けた。永久磁石が天井につかないように図に示すような位置の調整が可能なガードを取り付けた。また、VCM のシャフト下部にセンサターゲットをつけ、渦電流センサにより、永久磁石の動きを検出できるようにした。これにより仮想的なバネ、ダンパ系を作りだし、より安定な制御ができるようにした。

吸引力の調整法は、VCM を伸び縮みさせ、天井と磁石との空隙の距離を変化させることによって行う。吸引力を変化させることにより浮上位置の復元力を得て非接触浮上を行うことが可能である。具体的な制御の流れを Fig.3 に示す。浮上体位置をギャップセンサで検出し、この値に基づいてコントローラは PD 制御を行う。これを VCM の電流に反映させる。

3. 試作装置のモデル化と浮上可能性

試作した浮上システムが浮上可能であることを理論的に確認するため、システムを Fig.3 のようにモデル化した。

$$m_0 \ddot{z}_0 = k_a(z_1 - z_0) + \xi(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) - f_a - m_0 g \quad (1)$$

$$m_1 \ddot{z}_1 = -k_a(z_1 - z_0) - \xi(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) + f_a + f_m - m_1 g \quad (2)$$

$$f_a = k_i i \quad (3)$$

$$f_m = \frac{k_m}{d^2} \quad (4)$$

各パラメータは次のとおりである。

m_0 : 浮上体ベース部質量, m_1 : 永久磁石部質量, z_0 : 浮

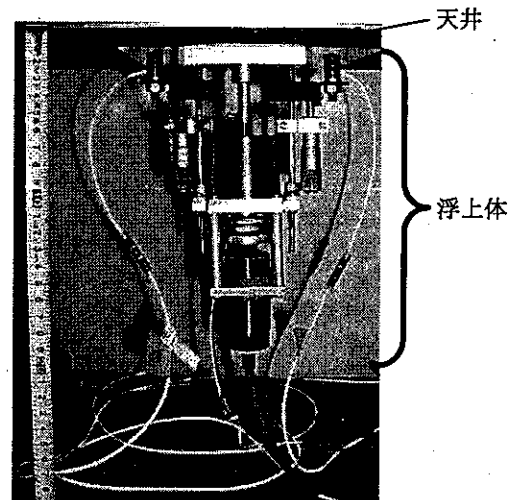


Fig.1. Photograph of levitation system

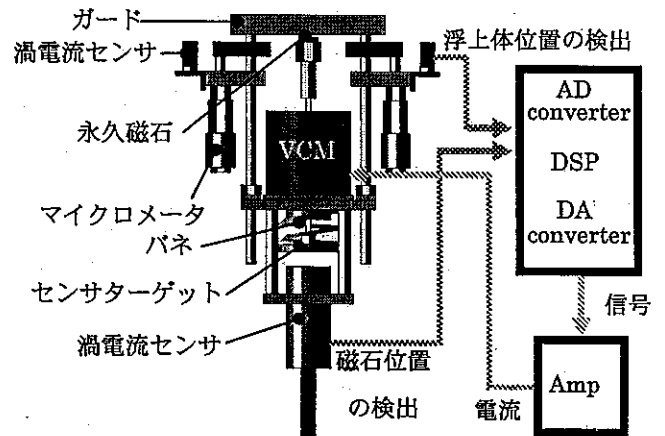


Fig.2. Graphics of levitated object

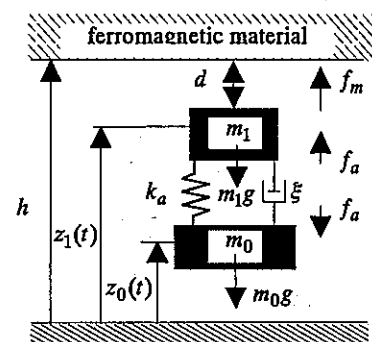


Fig.3. Model of levitation system

上体ベース部位置, z_1 : 永久磁石位置, f_a : VCM の駆動力, f_m : 永久磁石の吸引力, k_a : VCM のバネ定数, ξ : VCM のダンピング係数, k_i : VCM の推進力定数, k_m : 永

久磁石の吸引力定数, i : 入力電流, h : 地面から天井までの高さ, g : 重力加速度, d : 天井と磁石とのギャップ。

4. シミュレーション

4.1 制御方法

運動方程式より非線形のまま浮上可能性を確認するために数値シミュレーションを行った。制御方式は安定化のためのPD制御のみを行う以外に、浮上のロバスト性や省エネルギーのための補償を行った場合について考察した。ブロック線図をFig.4に示す。

I. PD制御による制御: 浮上させるために天井とのギャップとVCMの伸びに関してPD制御する。

II. 省エネのための定常電流の零化: 平衡状態にあるとき、浮上体の重量をバネ力とつりあわせることによりアクチュエータの駆動電流を0にすることができる。このことにより電流をほとんど消費せずに浮上可能である。具体的にはVCMの駆動電流の積分制御を行う。

III. VCMの可動範囲の真中で動作させるための制御: VCMの可動範囲の両端では制御できる幅が狭くなり、大きな外乱に対応できないという欠点がある。この問題に対処するためにVCMの可動範囲の中間位置を常に平衡点とする制御を行う。このために、磁石位置の目標値を可動範囲の中間位置として積分制御を行う。

4.2 結果と考察

シミュレーションの結果をFig.5からFig.7に示す。鉛直上向きが正である。浮上体が浮上中に外から力を受けても浮上可能か調べるため、0.1秒後に外乱として浮上体ベース部の質量を10g増加させた。1秒までのシミュレーションの結果を以下に表す。

Fig.5はIのPD制御のみを行った実験結果である。上から磁石部の変位、ベース部の変位、VCMへの入力電流を表している。下向きに力が加わると同時に磁石を上へ伸ばし、ベース部は下に行っているのがわかる。これは質量が重くなった分、浮上力を得るため磁石を天井に近づけているためであり、また、VCMが伸びることによって磁石を下に引っ張る力を得ている。その後平衡状態を保っていることが分かる。

Fig.6は、IIに述べた電流零化制御を実現させるために、VCMの駆動電流を積分制御した結果である。図からわかるように外乱が加わる前後で、ともにVCMへの入力電流が零に収束している。これにより、電流零化制御が可能であることがわかる。

Fig.7は、IIIに述べたように、VCM可動範囲の中間位置で動作させるための制御をした結果である。上から磁石部の変位、ベース部の変位、VCMの可動部中央からの変位、VCMへの入力電流を表している。VCM駆動範囲の中間位置を0としているが、外乱の前後の定常状態ではともに変位が0になっていることがわかる。これにより、常に可動範囲の中央で浮上が可能である。

5. まとめ

今回の報告では試作した永久磁石を用いた懸垂形磁気浮上装置の紹介と、その浮上可能性について考察を行った。外乱が加わっても落ちることなく安定していることから、試作した浮上体は浮上が可能であると考えられる。また、電流が0Aの時に平衡状態にもってくる制御が可能のため、消費電力を小さくでき、電池駆動による搬送装置の実現が可能であると考えられる。さらに、VCMの可動範囲の中間位置を平衡状態にもってこることが可能なことから、制御量が大きくとれると考えられる。実際このシステムを搬送装置として使用する場合、工場などでは様々な力が加わることが予想される。実際の制御でも今回のシミュレーションと同じ制御が可能かを確認するため、現在浮上実験を行っている。

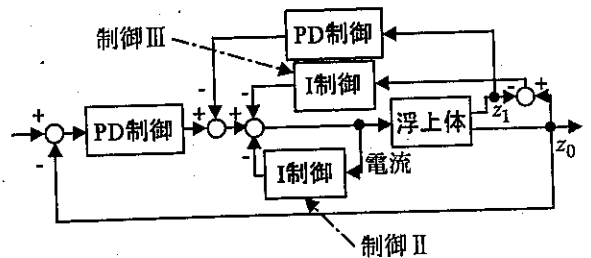


Fig.4. Block diagram of control system

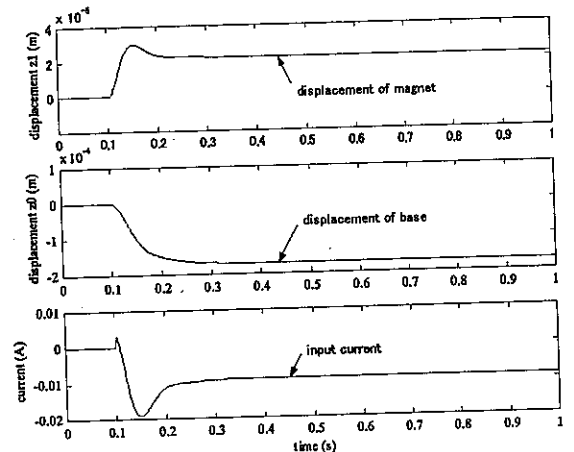


Fig.5. Displacement of levitation system

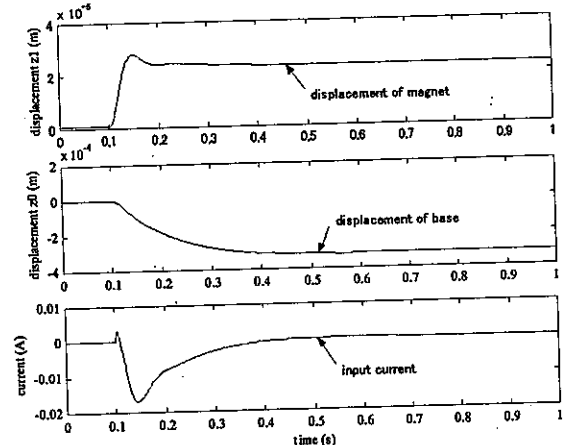


Fig.6. Control of current

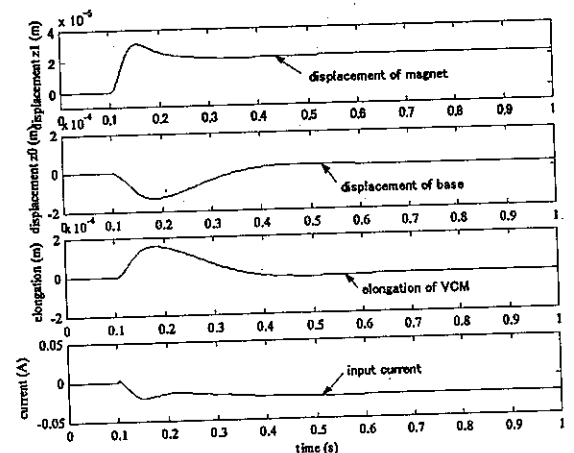


Fig.7. Control at offset position