

# 並列多重磁気浮上システムの開発

水野 毅（理工学研究科・教授）

## 1 目的

「単一」の電力増幅器（アンプ）を用いて、「複数」の対象物（浮上体）の磁気浮上を同時に達成する並列多重磁気浮上システムを開発する。

電磁石の吸引力を制御した磁気浮上系では能動的な制御によって安定化することにより、非接触で浮上体を支持する。このため、真空中やクリーンルームなどの特殊環境下で使用できることや振動・騒音の低減、メンテナンスが容易になるなど多くのメリットがある。このような吸引制御型磁気浮上システムは、基本的には浮上体が単一で、アクチュエータである電磁石を最小で一個、多自由度の運動を制御する場合は複数個用いる。また、各電磁石について、アンプを一台用いている。したがって、磁気浮上系ではアクチュエータの数と同数のアンプが必要となる。このため、複数の電磁石を用いた磁気軸受の場合、多くのアンプを使用するため高価格になってしまう。

研究代表者は、これまでに、単一のアンプを用いて複数の浮上体を支持する多重式磁気浮上システムを提案し、その可制御性及び可観測を理論的に明らかにしている。本研究では、実験装置として鉄球を浮上体とする 1 自由度制御形磁気浮上装置と浮上体がシーソー型となっている磁気浮上装置を組み合わせ

て実験システムを構築し、単一の電流出力形アンプを用いて、並列 2 重磁気浮上を実現する。さらに、ゼロパワー磁気浮上の実現を試みる。

## 2 研究内容

図 1 に並列 2 重磁気浮上システムの概念図を示す。図のような直列接続式並列磁気浮上システムでは、バイアス電流を個別に設定することができないため、それぞれの磁気浮上装置にはバイアス電流の代わりに永久磁石を用いてバイアス磁束を与えている。

本実験で使用した装置の全体の写真を図 2 に示す。本実験では、鉄球を浮上体とする 1 自由度制御形磁気浮上装置（以下では、磁気浮上装置 1 と呼ぶ）と、浮上体がシーソーとなっている磁気浮上装置（以下では、磁気浮上装置 2 と呼ぶ）の二つの実験装置を組み合わせ

て実験を行った。磁気浮上装置 1 及び磁気浮上装置 2 の位置検出には、渦電流形変位センサを用いた。磁気浮上装置 1 の浮上体には鉄球を用い、浮上体の上部に浮上用電磁石を、下部に位置センサを配置している。浮上体の鉄球は、球状という形状のため積層することが難しく、ソリッドのものを使用している。通常、このようなソリッドの浮上体では、渦電流の影響などが大きくなるが、実現された浮上系では応答がそれほど速くないので、本実験ではその影響を考慮せずに制御系の設計を行った。浮上用電磁石の鉄心部分にはバイア

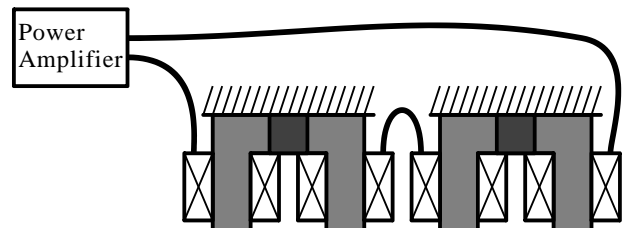


図 1 並列 2 重磁気浮上

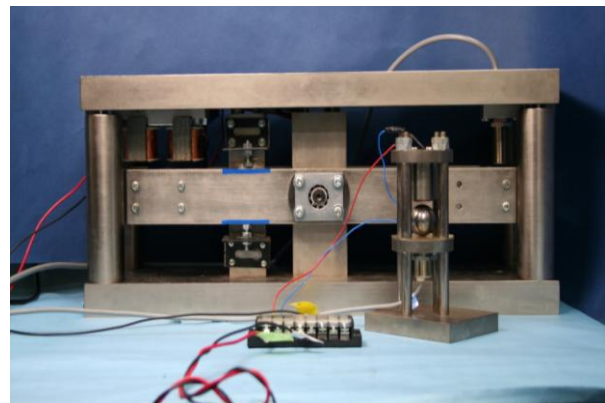


図 2 実験装置

ス磁束発生用の永久磁石が取り付けられている。用いた永久磁石は、円筒状のネオジウム磁石（直径：10[mm]，厚さ：0.5[mm]）であり，浮上体質量はおよそ 70[g]である。

磁気浮上装置 2 は，浮上体が中央のベアリングを中心に 1 自由度の回転運動方向に拘束されているシーソーになっている。浮上体等価質量は 1.97[kg]である。浮上用電磁石及びバイアス磁束発生用の永久磁石は，シーソー左端上部に取り付けてある。永久磁石は，角型のネオジウム磁石（15[mm]×10[mm]×2[mm]）である。さらに，外乱用電磁石を浮上用電磁石の右側に取り付けてある。

制御アルゴリズムとしては，状態フィードバックを適用し，並列 2 重磁気浮上を実現した。さらに，コイル電流の積分値を局所フィードバックすることによって，世界で初めて並列 2 重ゼロパワー磁気浮上に成功した。

### 3 研究成果

#### 【国際会議】

- [1] Mizuno, T., Sakurada, T., Ishino, Y. and Takasaki, M., Zero-power control of parallel magnetic suspension systems, Proc. 10th International Conference on Motion and Vibration Control, CD-2A15 (2010).
- [2] Mizuno, T., Maruyama, Y., Takasaki, M., Ishino, Y. and Oshiba Y., Series-Type Multiple Magnetic Suspension System, Proc. 10th International Conference on Motion and Vibration Control, CD-2A11 (2010).

#### 【学術講演】

- [1] 水野 毅，櫻田 巧，石野 裕二，高崎 正也：多重磁気浮上システムの開発（第 6 報：並列磁気浮上システムのゼロパワー制御），第 22 回「電磁力関連のダイナミクスシンポジウム」講演論文集，19A3-3，SEAD22，pp.62-65 (2010.5)
- [2] 水野 毅，高崎 正也，石野 裕二：多重式磁気浮上システムの開発（第 7 報：ジャイロ系の可制御性），日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集，Vol.5, No.10-1, G1000-3-1, pp.185-186 (2010.9.6).
- [3] 櫻田 巧，水野 毅，高崎 正也，石野 裕二：多重式磁気浮上システムの開発（第 8 報：磁気極性が異なる並列二重磁気浮上の実現），Dynamics and Design Conference 2010 CD-ROM 論文集，736 (2010).
- [4] 櫻田 巧，水野 毅，高崎正也，石野裕二：多重式磁気浮上システムの開発 第 9 報：ゼロパワー制御を用いた並列二重磁気浮上の実現，第 53 回自動制御連合講演会，CD-ROM 231，pp.646-650(2010).
- [5] 水野 毅，櫻田 巧，高崎 正也，石野 裕二：多重磁気浮上システムの開発 第 10 報：磁気極性の異なるジャイロ系の可制御性，第 19 回 MAGDA コンファレンス in 札幌，電磁現象および電磁力に関するコンファレンス講演論文集，OS2-TA2，pp.53-56 (2010).
- [6] 櫻田 巧，水野 毅，高崎 正也，石野 裕二：多重式磁気浮上システムの開発（第 11 報：異なる磁気極性を持つ並列 2 重磁気浮上におけるゼロパワー制御の実現），日本機械学会関東支部第 17 期総会講演会講演論文集，pp.261-262 (2011).

### 4 外部資金の応募・採択状況

交付	水野 毅	JSPS 最先端研究開発戦略的強化費補助金	2010 年度 ～2012 年度	次世代メカトロニクスのための 先端的アクチュエータ国際 共同研究（水野 毅）	51,700 (予定)
申請中	水野 毅	JST A-STEP FS ステージ探索タイプ	2012 年度	磁気支持型高精度マイクロジ ヤイロの開発（水野 毅）	3,000
不採択	水野 毅	科研費 挑戦的萌芽研究	2011 年度 ～2012 年度	並列多重磁気浮上システムの 開発（水野 毅）	4,880
不採択	水野 毅	科研費 基盤研究(A)	2011 年度 ～2014 年度	磁気浮上式回転球体用風洞の 開発（水野 毅）	45,760