

プロジェクト名：直列2重磁気浮上を利用した高精度微小力測定装置の開発

プロジェクト代表者：水野 毅（理工学研究科・教授）

1 研究の目的

非接触で外力の測定を行う方法として磁力支持天秤がある。磁力支持天秤では、測定対象物の位置を一定に保つような制御系を構成し、測定対象物に作用する外力を制御信号から推定しているが、原子間力のような微小力の計測には用いられた例はない。本研究では、物体に作用する微小力を非接触かつ高精度で測定することを目標として、直列2重磁気浮上系を利用した微小力測定装置を開発することを目的とする。

2 研究の進め方

直列に支持された磁石を持つ磁気浮上系において一方の浮上体を永久磁石とのギャップにより安定化する系を考える。このとき、一方の浮上体に下向きに外力が加わるとその分吸引力を増し、ギャップを縮める向きに他方の浮上体も変位する。本研究では直列多重磁気浮上系のこの性質を利用して磁力によって支持した物体にかかる外力を変位に変換し、測定する装置を開発する。装置のパラメータを適切に設定すれば外力を変位に変換する際に微小な力を大きな変位に変換できるので、微小な力を非接触で測定するには有効な測定方法となる可能性がある。具体的には、以下のように研究を進めた。

2.1 力測定装置の設計・試作

試作した装置の外観を図1に示す。最上部に電磁石が設置してある。電磁石は十分な吸引力を確保するため線径0.5mmで巻数880回のコイルを用いた。浮上体1は1自由度に拘束するために板ばねで支持しており、浮上体2を非接触支持するための永久磁石が設けられている。浮上体1の変位は板ばねに貼り付けた歪ゲージにより測定している。浮上体2は質量を変化させられる構造となっており、非接触で浮上可能である。浮上体2の上下にはリミッタを設置してある。浮上体2の変位は浮上体2の下部に設置した渦電流センサで測定している。制御系実装にはDSPをコアとするデジタルコントローラを用いた。

2.2 制御系実装

本研究で用いる磁気浮上系では、浮上体1の変位を検出してPD制御を施し、さらに浮上系全体には浮上体2の変位を検出してPID制御を行う。この場合、浮上体2に下向きの外力を加えると、浮上体2は変位を用いてPID制御しているため定常的には変位せず、定常的外力と釣り合わせるために、浮上体1が浮上体2とのギャップを縮める向きに変位する。この場合は下向きに変位である。電磁石-浮上体1間はギャップが広がるので正のばねと見なすことができ、浮上体1-浮上体2間はギャップが縮まるので負のばねとなる。そのため、このシステムでは、浮上体1の変位から浮上体2に働く外力を推定することが可能となる。

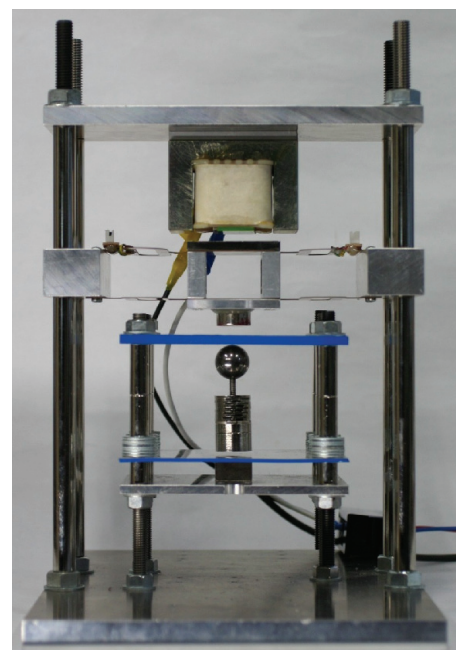


図1 力測定装置

2.3 力測定実験

浮上体2に加わる静的な外力に対する浮上体1, 2の変位を図2に示す。このとき、静的な外力は浮上体2に錘を付加することにより与えた。実験ではまず浮上体に全ての錘を付加し、951[mN]の外力がかかった状態から開始し、24.5[mN]ずつ外力を減らしながら678[mN]まで測定を行った。浮上体2に外力がかかっても浮上体2は変位せず、浮上体1が変位していることが確認できる。このことから浮上体2に働く外力を浮上体1の変位を用いて非接触で計測できる。永久磁石の変位・力係数は、磁石からの距離の2乗に反比例して変化するが、図2の測定範囲の限りでは浮上体1は線形的に変位しているため、この係数はほぼ一定と見なすことができる。次にこの状態から再び24.5[mN]ずつ外力を増やして、951[mN]になるまで測定を行った。図からこのとき外力の増加・減少で浮上体1の変位はわずかに異なっているがこれは磁気ヒステリシスの影響によるものであると考えられる。

これらの結果から、提案する方式によって、浮上体に働く外力を非接触で計測できる可能性があることが実証された。

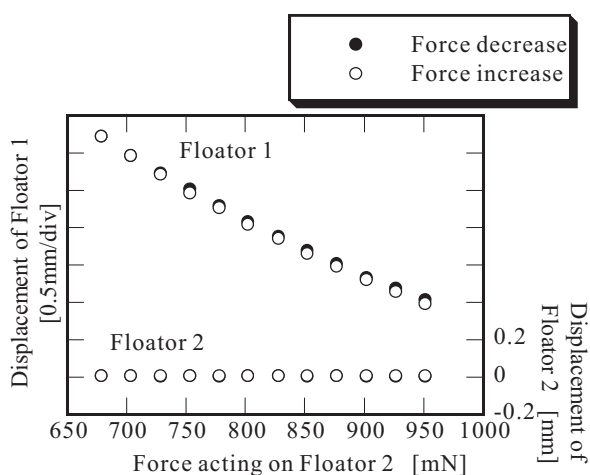


図2 浮上体2に力を作用させたときの各浮上体の変位

3 研究の成果

- [1] Mizuno, T., Sekine, D., Ishino, Y. and Takasaki, M., Proposal of Force Measurement Using Series Magnetic Suspension, *Proceedings of JSME 2012 11th Motion and Vibration Conference (MOVIC2012)*, pdf 8560 (2012).
- [2] 石井 一成, 水野 毅, 高崎 正也, 石野 裕二: 直列多重磁気浮上による微小力の非接触測定に関する研究 - 第3報 三次元測定装置の開発, 第24回「電磁力関連のダイナミクスシンポジウム」講演論文集, pp455-456 (2012).
- [3] 石井 一成, 高崎 正也, 石野 裕二, 水野 毅: 直列多重磁気浮上による微小力の非接触測定に関する研究 第4報: 直列二重磁気浮上を用いた三次元浮上, 第55回自動制御連合講演会講演論文集, CD-ROM 2K302, pp. 1704-1706 (2012).
- [4] 石井 一成, 高崎 正也, 石野 裕二, 水野 毅: 直列多重磁気浮上による微小力の非接触測定に関する研究 第5報: 力測定実験, 第21回MAGDA コンファレンス in 仙台 - 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス - 講演論文集, pp.345-348 (2012).