

革新的超精密除振装置の開発

Ultraprecision Active Vibration Isolation System

プロジェクト代表者：水野 毅（理工学研究科・教授）

Takeshi Mizuno, Professor, Graduate School of Science and Engineering

1 目的

急速に高精度化・高性能化していく半導体デバイス製造システムや極微小領域計測システムなどでは、振動などの外乱を除去する除振装置の重要性が増している。除振装置で除去すべき振動外乱は、設置床の振動に起因する地動外乱と装置のばね上に入力される直動外乱とに大別でき、前者には低剛性、後者には高剛性の支持機構が適している。従来のパッシブな除振装置では、これらの相反する要求を十分に満足することが困難であった。このような問題を克服するため、本研究では、従来のアクティブ除振装置とは全く異なるアプローチによって、地動外乱に対する振動絶縁と直動外乱に対する制振との両立を図る。具体的には、ゼロパワー制御を施した磁気浮上系（以下、ゼロパワー磁気浮上系と呼ぶ）が「負」の剛性を持っていることを利用して、振動絶縁性能を損なうことなく、直動外乱に対する剛性が無限大となる除振装置を実現する。本研究の目的は、このような負の剛性を利用したアクティブ除振装置の基盤技術を確立し、その実用化を進展させることである。

2 研究組織

本研究の研究組織および役割分担は、以下のようにまとめられる。

氏名	所属・職名	役割
水野 毅	埼玉大学大学院理工学研究科・教授	全般・研究総括
高崎 正也	埼玉大学大学院理工学研究科・准教授	実験

3 研究内容

本年度は、主に荷重支持機構を備えた除振ユニットの開発を行い、これを利用したユニット型6自由度アクティブ除振装置の実現を試みた。

図1を用いて荷重支持機構を備えた除振装置の原理を説明する。ばね定数 k_1 、 k_2 を持つ2つのばねを直列に結合し、さらにこれにばね定数 k_d を持つばねを並列に接続して一つのばねを作ると、その合成ばね定数 \hat{k}_c は、

$$\hat{k}_c = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} + k_d, \quad (1)$$

となる。ここで、仮に負のばねが実現したとして、

$$k_1 = -k_2, \quad (2)$$

という関係を満たすようにすれば、

$$|\hat{k}_c| = +\infty, \quad (3)$$

とすることができる。図2は、この原理を利用したゼロパワー磁気浮上式除振ユニットの基本構成を示している。除振テーブルは、正のばねとゼロパワー磁気浮上機構とを中間質量を介して直列に接続

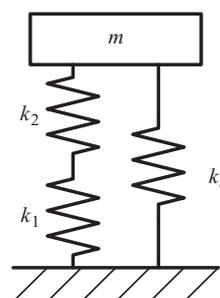


図1 荷重支持用並列ばねの導入

した支持機構に加えて、ばね要素 k_d （荷重支持機構）によって直接支持されている。ただし、 k_d の値は十分小さくし、地動外乱に対する振動絶縁特性が劣化しないようにする。

6自由度アクティブ除振装置を実現する場合、鉛直方向の運動と水平方向の運動に対して、別々の構造の支持機構を用いると低コスト化に不利である。このような問題に対し、研究代表者らはパラレルメカニズムを用いた除振装置を提案している。この装置では、同一の1自由度除振ユニットをパラレルメカニズムの直動アクチュエータとして6台用いて、6自由度除振装置を構成する。図3は、このような構想に基づいて試作した除振装置の外観である。この装置の直動アクチュエータとして、図2で示した除振ユニットが用いられている。

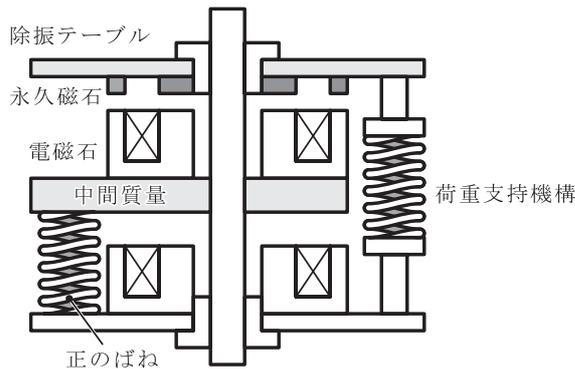


図2 荷重支持機構を備えた除振ユニット

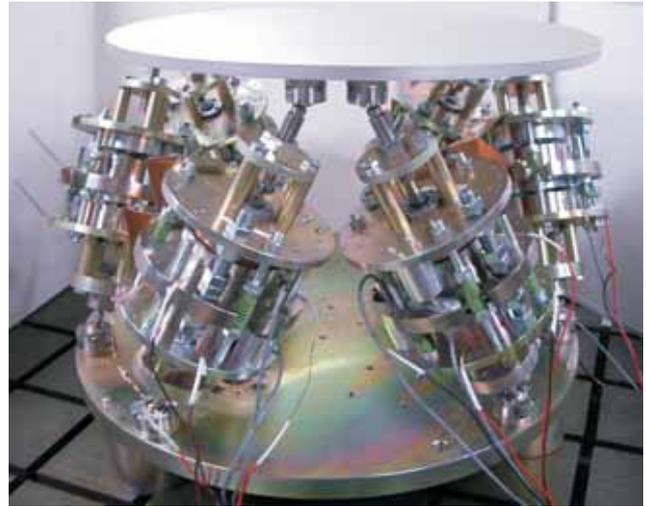


図3 パラレルメカニズムを利用した除振装置

4 研究成果

- [1] Mizuno, T., Hoque, M. E., Takasaki, M. and Ishino, Y., Development of a Six-Axis Hybrid Vibration Isolation System Using Zero-Power Control, *Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control*, pp.6531-6536 (2006.12).
- [2] Hoque, Md. E., Mizuno, T., Takasaki, M. and Ishino, An Active Zero-Power Control with a Passive Technique for Vibration Isolation System, *Proc. IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2006)*, pp.1309-1314 (2006.12).
- [3] Mizuno, T., Takasaki, M., Kishita, D. and Hirakawa, K., Vibration Isolation System Combining Zero-Power Magnetic Suspension with Springs, *Control Engineering Practice*, Vol.15, No.2, pp 187-196 (2006.10).
- [4] Hoque, Md. E., Mizuno, T., Ishino, Y. and Takasaki, M., A Model-Based Controller for a Vibration Isolation System with Weight Support Springs, *4th IFAC Symposium on Mechatronic Systems 2006*, 662 (2006.09).
- [5] Hoque, Md. E., Mizuno, T., Takasaki, M. and Ishino, Y., A Nonlinear Compensator of Zero-Power Magnetic Suspension for Zero-Compliance to Direct Disturbance, *Trans. the Society of Instrument and Control Engineering*, Vol.42, No.9, pp.1008-1016 (2006.09).
- [6] Hoque, Md. E., Takasaki, M., Ishino, Y., Suzuki, H. and Mizuno, T., An Active Microvibration Isolator with Zero-Power Controlled Magnetic Suspension Technology, *JSME International Journal, Series C*, Vol.49, No.3, pp.719-726 (2006.09).
- [7] Furushima, T., Takasaki, M., Ishino, Y. and Mizuno, T., Realization of Zero-Compliance System by Using Displacement Cancellation Control, *Proc. 8th International Conference on Motion and Vibration Control*, TE2-1 (2006.09).
- [8] Hoque, Md. E., Takasaki, M., Ishino, Y. and Mizuno, T., Development of a Three-Axis Active Vibration Isolator Using Zero-Power Control, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.11, No.4, pp.462-470 (2006.08).
- [9] Mizuno, T., Ishino, Y. and Takasaki, M., Nonlinear Compensation of Zero Power Magnetic Suspension for High-Performance Vibration Isolation Systems, *Proc. 9th International Symposium on Magnetic Bearings, Control of Active Magnetic Bearings*, pp.144-148 (2006.08).