

適応的剛性調節に基づく動的質量測定法の提案

石橋 良太

近年、軌道上のスペースシャトルや宇宙ステーションに代表される微小重力環境において、生物学的な基礎実験や新物質の開発などがおこなわれつつある。これらの研究では、試料を計量するための質量測定器が必要であり、これは科学技術分野全般における極めて基本的な要求である。微小重力環境では、地上で一般的に用いられる質量測定法が適用できない。このため、微小重力環境における質量測定法として、幾つかの方法が提案されている。従来手法は通常、被測定物体に衝撃力、振動、および遠心力などを与え、このときの被測定物体の運動情報（位置、速度、加速度）から質量を測定する。

しかしながら、従来手法は実用上の観点から2つの点で問題がある。第1の問題は、質量測定器から宇宙ステーションへ伝播する振動である。宇宙ステーションに代表される宇宙構造物では、除振が難しいため、質量測定器外部へ伝播する振動を抑える必要がある。第2の問題は、信号雑音である。測定に用いる信号（位置、速度、加速度）が雑音を含んでいる場合、これが質量測定精度へ影響する。

第1の問題の解決法として、反共振現象を利用した質量測定法が提案されている。この測定法では、装置が反共振状態にあるとき外部へ伝播する振動が零となるため、宇宙構造物内での運用に適している。一方、信号雑音の問題は未解決である。また、反共振状態を利用する従来手法では、反共振状態へ制御するために測定器の動力学モデルが必要である。

上述の問題を解決するために、本博士論文では反共振現象を利用した新たな質量測定法を提案する。提案手法は反共振状態を利用しているため、測定器が反共振状態へ収束した際に測定器が宇宙構造物へ与える振動が零となる。さらに、本論文の提案測定法では、位置、速度、加速度などの運動情報や、測定器の物理パラメータを直接質量測定へ用いない。これらを用いる代わりに、機械的弾性要素の剛性調節によりシステムを反共振状態とし、このときの剛性値と振動周期から質量を測定する。

本博士論文では、剛性調整則を含む動的質量測定法を提案する。さらに、この制御則によりシステムが反共振状態へ収束することを、Lyapunov関数を用いて理論的に証明する。次に、提案手法の特性を、数値シミュレーションにより検証する。さらに、板ばねを利用した2つの質量測定器を構築し、これらを用いた実験により提案する質量測定法の有効性を示す。