

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 初鳥 陽一

修士（工学）初鳥陽一提出の論文は、「衛星姿勢制御用ホイールの振動アイソレーション法に関する研究」と題し、8章と附録からなっている。

衛星姿勢制御用ホイールは人工衛星の高精度姿勢制御用アクチュエータとして広く利用されている一方、主要な内部擾乱源であることが知られている。特に、次世代の地球観測衛星や天体観測衛星では全周波域にわたり擾乱管理要求がますます厳しくなるため、ホイールの加工精度や組み立て精度の向上といった手法では超高姿勢安定度の実現が困難になりつつある。そのため、ホイールから生じる擾乱を抑制する手法として、擾乱源と人工衛星本体の間にダンパを導入することにより擾乱の伝達を抑制する振動アイソレータの研究・開発が行われてきた。宇宙用としては柔軟構造物の振動制御や打ち上げ時のロケットから衛星への振動の伝達を抑制することを目的とした研究が例に挙げられる。一方で、ホイールの擾乱の伝達抑制については、ホイールが衛星姿勢制御用のアクチュエータであることから、発生擾乱の伝達を抑えると同時に制御トルクの伝達は維持しなければならないという固有の問題を有しており、それに対応した設計手法は確立されていない。

そこで本論文では、衛星ミッションから導出される安定度要求をもとに、ホイールのトルク伝達特性と擾乱の伝達抑制の双方を考慮に入れた上で、制御系と構造系を同時に最適設計する手法を提案している。特に本提案手法の特徴として、制御系および構造の設計自由度を周波数空間における重み関数とゲインの成形に置き換えることで、安定度をはじめ種々の要求・制約条件を非常に扱いやすくなるだけでなく、 $H$ -infinity 制御などの確立した制御系設計手法が利用できるようになり、ロバスト性も考慮した実用的・効率的な設計を行うことが可能になる点があげられる。これにより、高精度姿勢制御が要求される今後の人工衛星をはじめ、制御と構造の同時最適設計が必要とされる自動車分野、建築分野など幅広い分野への応用が期待される。

第1章は序論であり、問題設定を行い、振動アイソレータや制御と構造の同時最適設計に関する研究の現状を明らかにすることで、本研究の位置づけや目的を明確化している。

第2章では、衛星姿勢制御用ホイールの内部構造をモデル化し、数値解析を行うことで擾乱特性の把握および定量的評価を行っている。その結果、擾乱トルクの主成分は回転体のスピンドル軸と慣性主軸がずれることによって生じるものであることを確認し、主たる擾乱の周波数はホイール回転周波数に同期することを明らかにしている。

第3章では、振動アイソレータの数学モデルを構築することで、ホイール発生擾乱および制御トルクの衛星本体への伝達特性を定式化し、設計に必要なパラメータと伝達特性の関係を明らかにしている。

第4章以降では3つの設計法が提案され、評価・比較されている。まず第4章では、経験則に基づく設計法として、制御トルクの伝達が必要とされる領域と擾乱の抑制が必要とされる領域が周波数空間で異なることに着目して評価関数を設定し、最適化問題として定式化している。しかし、この手法ではミッションから来る要求を陽に考慮できないため所定の姿勢安定度要求を満たさないことを示し、要求を陽に考慮した設計法の必要性を指摘している。

第5章では、制御系を先に設計し、それを前提にアイソレータの構造設計を行う逐次設計法を提案している。まず、衛星のダイナミクスやミッション要求、および先に設計された姿勢制御系から振動アイソレータに対する設計条件を導く方法を述べている。このとき、制御系の特性を前提とすることで設計条件は不等式の拘束条件として定式化できることが示され、設計問題を不等式拘束条件付の非線形最適設計問題として定式化し、最適化を行っている。

第6章では、第5章の手法を発展させ、構造系と制御系の同時最適化手法を提案している。本手法では、制御系設計のための重み関数と構造系のゲイン特性の成形という周波数空間における設計自由度を定義し、その空間で探索することで同時最適化を行う。制御系は重み関数からH-infinity制御系設計法により自動的に導出することで、内部安定性やロバスト性を考慮した設計ができることを明らかにし、また、重み関数という自由度を利用するため計算が容易であるだけでなく、ミッション要求を扱いやすいこと、周波数領域の制約だけでなく時間領域での制約も考慮可能であることなど、実用面で優れた手法であることを示している。

第7章は、それぞれの手法の比較および考察を行っている。シミュレーション結果をもとに各手法の特徴について議論するだけでなく、設計パラメータと制約条件との関係を理論的に説明し、最適設計問題の収束性についても議論している。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題および展望を述べている。

附録では、ホイールの擾乱のモデル化のためのダイナミクス方程式が説明されている。

以上要するに、本論文は衛星姿勢制御用ホイールの振動アイソレーションの問題に対して、ミッションから来る姿勢制御要求を陽に考慮できる新たな構造と制御の同時最適化法を提案し、効率的・実用的な設計論を展開したものであり、宇宙工学、機械工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。