

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 江野口 章人

修士（工学）江野口章人提出の論文は、「収差にロバストな画像ブレ推定法とこれを用いた柔軟構造光学系の振動補償法」と題し、8章と付録からなっている。

近年、鏡筒が伸展式であり、柔軟構造からなる望遠鏡型の撮像機器が、人工衛星に搭載するものとして提案されている。このような柔軟構造光学系は、打上げ時に折りたたんでおき、軌道上で伸展することにより、高い空間分解能の画像取得に必要とされる長い光路長と、ロケット搭載時の収納の小型化を同時に達成できるという特徴があり、特に小型衛星の将来の光学系として有望視されている。しかし、このような光学系は柔軟構造であるため、外乱や姿勢制御により発生する曲げ振動でレンズと撮像素子の位置関係がぶれて、きれいな静止画像が撮れないという問題点を有する。これに対処するために、衛星本体に搭載したジャイロや柔軟構造物に設置した加速度センサーにより振動モードを推定し制御に利用する方法が考えられるが、推定精度の問題や、追加機器による複雑化・重量増等の問題により、小型衛星上での実現は一般に困難である。

本論文の主目的は、このような光学系の曲げ振動による画像劣化への補償を行うため、その光学系により撮影した画像からブレ情報とシフト情報を推定し、そのみを観測量として制振制御を実施する方法論を提案することにある。特に、ブレ情報をシフト情報と併用して振動を推定することは振動補償帯域を大幅に拡大できるという利点がある。本論文ではブレおよびシフト情報の有用度の概念を導入して、それらを比較することによる効果的な併用方法を導出している。また、ブレ情報を用いた運動推定では、収差、すなわち光学系の性能劣化がある場合には、従来手法では収差とブレを区別できず推定精度が著しく劣化するという問題点があったのに対し、本論文では、収差にロバストなブレ推定方法を提案している。さらに、これらの方法論を統合することで、柔軟構造光学系に対する効果的な振動補償系が構築できることを示し、その性能をシミュレーションで検証している。

第1章は序論であり、柔軟構造光学系が提案される背景と特徴を述べ、撮影ミッション要求を達成するのに必要な技術事項を整理し、ブレ情報とシフト情報にもとづいた振動補償の利点を述べている。また、画像からブレ情報を推定する従来手法とその問題点を概観し、本研究の位置づけを明確化している。

第2章では、収差にロバストな画像ブレ推定法の理論を展開している。まず、従来手法の理論を紹介し、収差やデフォーカスによって劣化した画像に対しては、ブレ推定精度が極めて悪くなりうる理由を指摘している。これを受けて、収差へのロバスト性を高める枠組みとして、まずブレの角度を推定して解の探索範囲を限定するという方針と、ブレ角度を推定する目的で用いるテンプレートの最適設計を行なう方針を提案している。さらに、提案した手

法の性能を更に高める方法として、推定結果の信頼度を評価する方針と、帯域の異なる2種類のテンプレートを併用して推定を行なう方針を提案している。

第3章では、柔軟構造光学系の振動補償に採用すべき、シフト推定のための画像処理方法が述べられ、推定された情報の信頼度を評価する方法がまとめられている。

第4章では、計算コストの節約を目的とした、ブレおよびシフトの情報選択法が提案されている。評価基準となる情報の有用度として、観測更新頻度を最大化するという指標が提案され、ブレ推定とシフト推定各々に対してその計算法が示されている。

第5章では、ブレ情報とシフト情報を切り替えて観測量とする状態量推定フィルタが設計され、これに基づく制振制御系が提案されている。これに加え、前章で提案された画像処理アルゴリズムおよび情報選択法が統合され、ロバストで効果的な振動補償系の設計論が展開されている。

第6章では、第2章で提案したブレ推定手法の性能が、数値シミュレーションによって検証され、従来の手法に比べ、収差へのロバスト性が大幅に改善されていることが示されている。

第7章では、統合された振動補償系の性能が数値シミュレーションによって検証され、その特徴が考察されている。

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

付録では、柔軟構造光学系を搭載した宇宙機の基礎方程式を記している。また、提案されたブレ推定法において行われたパラメータ設定の妥当性、および第4章で情報の有用度を設計する際に前提とした事項の妥当性が数値計算結果により確認されている。

以上要するに、本論文は、人工衛星の柔軟構造光学系の曲げ振動による画像劣化問題に対し、その光学系自身で撮影した画像から推定したブレとシフト情報のみを観測量とした、収差にロバストで帯域の広い振動補償法を提案したものであり、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。