

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 酒匂信匡

修士(工学)酒匂信匡提出の論文は、「不確定な熱環境条件における超小型衛星の熱設計法に関する研究」と題し、全8章と補遺からなっている。

50kg程度以下の小型・超小型衛星は、従来の衛星とは異なり、迅速かつ安価な宇宙実証手段や新しい宇宙ビジネスの可能性を開くものとして、近年、宇宙開発機関、ベンチャー会社あるいは大学を中心に、世界中で競って製作・打ち上げされるようになってきた。特に大学においては、これらの衛星は宇宙工学教育の優れた題材であり、また、多くの学生のアイデアによる新規技術の芽を発掘する場として重要な貢献を果たしている。

小型・超小型衛星は、電力・重量・容積などのリソースが厳しい点、低コスト化のために民生品を使わざるを得ない点、また、開発期間が短くいわゆるウォーターフロー型の開発プロセスを踏むことが困難な点などから、従来の衛星とは異なる設計論が要求されている。特に、熱設計においては、ピギーバック打ち上げからくる軌道条件の不確定性や熱制御自由度が極端に少ないことなど、小型・超小型衛星に特有の制約条件から、その設計は非常に困難になっており、それは特に10kg程度以下の超小型衛星で顕著である。これらに対しては、各衛星ごとに独自の設計手法が取られているが、許容温度範囲の広い部品を使用するしか手がないなど限界があり、汎用的で効果的な設計法がまだ確立されていないのが現状である。

本論文では、10kg程度以下の超小型衛星の熱設計における特徴を環境の不確定性と設計の自由度の少なさという2点で整理し、その制約の中でも効果的に熱設計を行える手法を提案することを目的としている。まず設計自由度の不足に対しては、新たに相転移式蓄熱材の使用を提案し、実験によりその熱設計上のモデル化を行っている。その結果、蓄熱材は、少ない重量でも熱変動の幅を効果的に下げることができ、不足している自由度を補えることを示した。続いて、外部熱環境条件の不確定性の要因を解析し、熱設計時に考慮すべき最悪環境条件を導出することにより不確定性を削減することができることを示した。また、超小型衛星といえども、熱設計の自由度は60を超え、それを同時最適化することは計算負荷や解のグローバルな最適性の点で問題が多いことを示し、それに対しては超小型衛星の熱的特徴を効果的に利用することで、自由度を逐次的に最適化できることを示した。最後に、以上の基礎的な検討を統合する形で超小型衛星の統合的な熱設計手法を提案し、1kgおよび3kg級の超小型衛星の設計に適用して、最適性と計算負荷のバランスの点で優れた手法であることが示されている。

第1章は序論であり、大型衛星の持つ問題点への解の一つとして、小型・超小型衛星が開発されている現状を概観している。超小型衛星の意義と有効性を示すと共にその設計上の困難な点、とりわけ熱設計に関する問題を提起して、研究の目的を明確にしている。

第2章は、従来の衛星と比較して、超小型衛星の熱設計上の特徴を、外部熱環境条件の

不確定性と設計の自由度の欠如の2点で整理している。設計自由度の不足を補うために相転移式蓄熱材の使用を提案し、その軌道上における効果を示している。それを含めて超小型衛星でも利用可能な設計自由度のまとめを行っている。

第3章は、外部熱環境の不確定性を考察している。超小型衛星の熱環境の不確定性は軌道と姿勢の2要因からなっていることを示し、詳細な解析ののち、超小型衛星の実際的な制約条件を考慮してこの不確定性を削減する手法を提案している。

第4章は、本論文で提案している蓄熱材の有効性を確認し熱的モデル化を行うための実験とその成果について記載している。特に蓄熱材とそれを接合する部分との熱的接合がそれほど強くなくとも蓄熱材の効果が十分にあることが示され、それをもとに蓄熱材を搭載する実際的な方法を提案している。

第5章では、設計論の基礎になるべき超小型衛星の熱的特徴が解析されている。修正パウエル法を用いた全設計自由度の同時最適化を行うのは、解の大域性と計算負荷の点で問題があるのに対し、超小型衛星の熱的な特徴を利用することで、個々の自由度に対して逐次的に最適な設定ができることを示した。特に、それらの設定の妥当性を解析的に証明していることが重要な貢献である。

第6章では、前章までに考察された基礎論を元にして、超小型衛星の統合的な熱設計手法を、衛星の太陽に対する姿勢条件により3つに大別して提案している。

第7章では、提案する熱設計法を、全自由度の同時最適化および人間の行うようなヒューリスティックな手法と比較し、ここで提案する手法が最適性と計算時間のバランスの取れた優れた手法であることを示している。

補遺では、修正パウエル法を熱設計に適用するアルゴリズム、一般的な相転移式蓄熱材の種類と性質、超小型衛星の代表例である CubeSat XI の熱設計事例が説明されている。

以上を要するに、本論文は超小型衛星の持つ熱設計上の特徴、つまり不確定な熱環境条件と設計自由度の不足の問題に対し、詳細な解析による不確定性削減方法と相転移式蓄熱材の利用を提案し、また、超小型衛星の熱的特徴を利用した逐次的な熱設計法により実際的な時間で最適に近い熱設計を得ることができることを示すことにより、従来、統一的な熱設計手法のなかった超小型衛星の分野に効果的な設計論をもたらしたものであり、衛星工学、宇宙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。