

氏名	LIMAM LAKHDAR (アルジェリア)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第535号
学位授与の日付	令和3年9月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Study on Modular-Wall-Solid-State-Battery, A Feasible Solution for Nanosatellites Design Challenges and Reliability Improvements (超小型衛星の設計課題解決と信頼性向上のための実現可能な一解決である Modular-Wall-Solid-State-Battery に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 浅海 賢一 " 趙 孟佑 " 平木 講 儒 " 豊田 和 弘 " 小森 望 充 " 奥山 圭 一 (日本大学)

### 学位論文内容の要旨

本研究は質量やサイズ、消費電力の制限を維持しつつ、かつ軌道上で不具合を発生させない信頼性の高い超小型衛星システムを実現するため、固体電池の宇宙環境耐性評価とその応用を対象としている。

固体電池にはポリマー型とセラミックス型があるが、ポリマー型は宇宙用のエネルギー貯蔵電池の一つとして知られており、宇宙での使用実績もある。一方、セラミックス型はポリマー型と比較して優れた特徴を有するものの、研究途上であり、宇宙用として使用された実績はない。本論文はセラミックス型固体電池を宇宙機電源としての採用を目指してもので、全7章から構成されている。

第1章では、超小型衛星、特に電力システム (EPS) に関わる技術課題を要約し、その電力システムアーキテクチャの改善など具体的な解決策をまとめている。

第2章では、先ず超小型衛星用の電力管理および配電システム、ソーラーパネル、およびバッテリーから構成される電力システム、および新しい電池である固体電池の定義などを説明している。さらに、固体電池を超小型衛星に搭載する技術的意義、従来の電池と比較した有意性を示すとともに、電解質基の代表的な固体電池を説明し、およびセラミックス基固体電池の優れた特徴 (電圧、容量、エネルギー、サイズ、質量、使用温度範囲など) を示している。また、質量やサイズの制限を維持しつつ、かつシンプルな

システムや短納期を実現できる Modular-Wall-Battery (MWB) についても提案している。

第3章では、セラミックス型固体電池を超小型衛星の電源として使用するための工学的アプローチを EPS とバッテリーの技術の種類も併せて詳述している。ここでは、バッテリーを容量、エネルギー密度、サイズ、質量の観点で比較評価している。先ず地球低軌道環境観測衛星「てんこう」(2018年10月29日打上げ)の電力システムを概観し、「てんこう」に使用されたバッテリー(リチウムイオンバッテリー)を基本として固体電池を含む様々な電池の優劣を評価している。バッテリーの性能に影響を与える重要なパラメーター一つ一つについて詳しく調べ、等価容量(equivalent capacity)、サイズ、質量などの観点でセラミックス型固体電池が最も優れていることを明らかにできている。さらに、セラミックス型固体電池の使用温度範囲はリチウムイオン電池と比較して広いため、これを超小型衛星に採用した場合、その運用範囲を上げられることも示している。

第4章では、セラミック基の固体電池が宇宙環境に耐荷できることを熱真空試験で評価している。セラミック基固体電池が宇宙で使用された実績がないため、先ずここでは試験方法を規定している。熱真空試験は+60°Cから-20°Cの範囲内で3サイクル行い、この間候補となる固体電池について充放電を繰り返し、セラミックス型固体電池の宇宙環境耐性(熱真空耐性)について明らかにし、MWB コンセプトが宇宙環境耐性を持つことを示した。

第5章と第6章では、第4章で評価された新しい電池技術である MWB コンセプトを詳述している。MWB は電池収納容器を必要とせず、衛星内壁や内部搭載機器容器に直接搭載できるため、ハーネス長さを短くできるので衛星システムの小型、軽量化、そしてシステムの簡素化を実現できる。第6章では、1U から 6U までのさまざまなサイズの CubeSat に MWB を採用したときの優れた特徴をサイズ、質量、使用温度範囲などの観点で詳述している。

第7章では、研究を総括するとともに、MWB を 6U 衛星に搭載するための基本設計を行い、その結果を示している。最後に、セラミックス型固体電池や MWB の今後の研究課題をまとめている。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文に関する学位論文調査会及び公聴会において、審査委員と出席者から、超小型衛星に多用されてきたリチウムイオン電池と比較した MWB の長所、また MWB の許容温度範囲、日陰時における予想温度とその熱制御法、ロケット打上げ時における機械環境耐性(振動耐性)、さらに放電電流やインピーダンス変化について質問がなされたが、いずれも著者からの確かな回答がなされ質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査

した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものと判断した。