

氏 名 鵜野 将年

学位（専攻分野） 博士（工学）

学位記番号 総研大甲第 1491 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 物理科学研究科 宇宙科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Feasibility Study for Supercapacitor-Based Spacecraft  
Power System and its Development

論文審査委員 主 査 准教授 廣瀬 和之 宇宙科学研究所  
准教授 水野 貴秀  
准教授 田中 孝治  
助教 豊田 裕之  
教授 小田原 修 東京工業大学

## 論文内容の要旨

Supercapacitor (SC) offering long life performance over a wide temperature range is more attractive than conventional lithium-ion battery (LIB) as secondary batteries of spacecraft power systems. However research efforts are need to overcome major obstacles including (1) lack of a cycle life prediction model, (2) mass increase of the power systems, (3) voltage imbalance among series-connected SCs, and (4) large voltage variation during cycling. The aim of this work is to study the feasibility of SC technologies, namely electric double-layer capacitors (EDLCs) and lithium-ion capacitors (LICs), for spacecraft power systems in terms of these four points.

The following results are obtained. (1) A cycle life prediction model is established by combining the linear extrapolation and acceleration factors. The predicted aging trends are in good agreement with the experimental data. (2) The comparative analysis reveals that the LIC-based power system has an advantage over the LIB-based power system in terms of mass reduction of the spacecraft power systems for long life missions. (3) A cell equalizer and an equalization charger with a single switch for each are proposed. (4) Novel magnetic-less unregulated interface converters (UICs) which achieves high-efficiency power conversions over wide voltage range are proposed. With the proposed UICs, bus voltage variations can be maintained within a desired voltage range.

## 博士論文の審査結果の要旨

本審査委員会は、物理科学研究科、宇宙科学専攻、鵜野将年君の出願に関わる学位申請博士論文「Feasibility Study for Supercapacitor-Based Spacecraft Power System and its Development」について、博士の学位を授与するにふさわしいものであると全員一致で判断した。

本申請論文は、スーパーキャパシタ(SC)の宇宙機電源系システムへの応用に関する実験的及び理論的研究成果に関する報告である。出願者が研究対象とする電気二重層キャパシタとリチウムイオンキャパシタは、SCの中でも長寿命、広い動作温度範囲、高い安全性、良好なハイレート充放電特性を有することから、電動車両、産業機器、非常用電源など民生分野での利用が進んでいるものである。宇宙機のさらなる長寿命化と運用性向上ためには、これらのSCを応用することが期待されているが、これまでその実現性に関する検討がなされてこなかった。

出願者は、まずSCを宇宙機で用いるための寿命予測モデルを構築し実験的に検証した。具体的には、民生分野で用いられる寿命試験方法である大電流充放電サイクル試験とフロート試験では劣化メカニズムが互いに異なることに着目して、宇宙機応用のために低レートでの充放電条件を設定し、20,000サイクルの充放電試験を行い容量劣化率を求めた。そして、容量劣化率がSCの充電状態には依存せず、環境温度にのみ依存することを見いだして、宇宙機応用のための加速試験法を導くことに成功した。

次にSCを宇宙機で応用するための周辺回路に関して、新しい回路トポロジーの考案とその理論的解析、実験的検証を実施した。具体的には、複数のSCセルから構成される宇宙機電源系システムにおいて懸案となるセル電圧のばらつきを抑制する高信頼性かつ高効率なバランス回路充電器を考案した。また充電回路とともに必要となるインターフェースコンバータに関しても、高効率かつ動作電圧範囲の広いカスケード接続スイッチトキャパシタ方式のインターフェースコンバータ回路を考案した。そして両回路と電気二重層キャパシタと模擬太陽電池により宇宙機電源系システムを構築し、充放電サイクル試験を行うことでその設計の妥当性を実証した。

最後に、上記の宇宙機電源系システムの寿命・質量評価を行い、低軌道衛星へのSC適用の可能性を見いだした。

このように本申請論文の内容は、SCの中でも民生分野での利用が進んでいる電気二重層キャパシタおよびリチウムイオンキャパシタの宇宙機搭載の実現性を検討するために、宇宙機応用に適合させたSCの寿命予測方法の提案、高効率なバランス回路充電器ならびにインターフェースコンバータというSC周辺回路の提案、模擬太陽電池を利用した実機での実証試験を総合的に行ったものである。本申請論文は、充放電サイクル数が現在よりいっそう多い宇宙ミッションを実現するうえで必要となる数多くの知見を与えるものであり、宇宙工学分野での貢献は顕著なものと言える。

本申請論文を構成する主な内容は、採択済み査読付き論文10件(英文4件)、国際会議発表件数12件、著書1件にすでに発表されており、博士論文としての独創性を有し、かつ十分な学術水準に達していると認められる。また、上記掲載論文の全ての筆頭著者であることから、出願者の本研究についての主体的な取り組みが認められる。