

平成28年2月15日

崇城大学大学院
工学研究科委員会

研究科長 山 川 烈 殿

論文審査委員
主査 中原 正俊



論文審査結果の報告 (甲)

論文提出者	中村 創一郎 (1211D01)
論文題名	宇宙衛星エネルギーシステムの研究
審査委員	主査 教授 中原 正俊
	副査 教授 西 宏之
	副査 教授 坂井 栄治

論文審査結果の要旨

現在、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、デジタル制御スイッチング電源による多機能高効率電源を次世代型エネルギーシステムの技術として位置づけ研究を行っている。従来の宇宙衛星エネルギーシステムに関して主に二つの問題がある。

まず、第一の問題は太陽電池の発電能力を十分に活用していないことである。太陽電池には、最大電力点 (MPP) と呼ばれる動作点が存在し、最大電力を取り出すためには太陽電池をこの MPP で動作させなければならない。また、MPP は日射量や温度など環境の変化に伴い変動するため、これに追従するためには最大電力点追従制御 (MPPT) を行う必要がある。しかしながら、宇宙衛星では、バッテリーの長寿命化やスピン衛星での応用などの観点から高速な MPPT を行うことが必要であるが、この実現が非常に困難なために、現在の宇宙衛星では MPPT を行っていない。したがって、結果的に取り出せる電力量が減少して電源システムの効率が悪くなっている。

次に、第二の問題は現在の電源システム構成に関する問題である。宇宙衛星では、太陽電池から取り出した電力を一旦蓄電池に蓄電する。現在の電源構成では、蓄電池が入力側に集中的に接続されているため非常に大きな蓄電池が必要となる。さらに、事故時に対応するためにバックアップ用の蓄電池が用意されているため蓄電池の総重量が非常に大きくなっている。また、蓄電池が入力側に集中しているので、電源設計が負荷設計に強く依存し設計の柔軟性がない。

そこで本論文では、次世代エネルギーシステムでは不可欠なデジタル制御を導入し、上記の二つの問題を解決する新しい技術を確立することを目的としている。

まず、本論文では第一の問題点に関して、宇宙衛星において太陽電池の発電能力を十分

に活用できる高速 MPPT に関する研究を行っている。従来、地上における MPPT には山登り法が適用されており、この方法は、建物や陸地など太陽電池が静止している場合は有効である。しかし、宇宙衛星では高速な MPPT が必要であり、MPPT を高速化するには制御周波数を高周波化しなければならない。従来の研究では、高周波制御周波数領域における MPPT の解析法が確立されておらず、したがって、山登り法で MPPT を高周波化できるかどうかは全く不明であった。そこで、本論文では高周波制御周波数領域における MPPT に対する独自の解析法を確立し、従来の二種類の山登り法に対してこの解析法を適用している。その結果、山登り法に対する動作条件が導出でき、その動作条件を実際に満足させることは非常に厳しいため、山登り法で高速 MPPT を実現することは困難であることを初めて理論的に明らかにしている。さらに、本論文ではこの問題を解決するために、高速 MPPT を実現する新しいニュートン法による MPPT を提案している。この方法は、ニュートン法を用いて太陽電池の動作点が MPP になるように電圧を逐次制御更新していく方法である。この方法の動作条件を満たすことは容易であり、山登り法では実現できない制御周波数の高周波化が実現できるため、山登り法と比較して数十倍から百倍程度高速に MPPT が可能である。本論文では、これらのことを理論、シミュレーションおよび実験によって明らかにし、提案法の有効性を確認している。

次に、第二の問題点に対しては、分散協調制御というこれまでに実現されていないデジタル制御を駆使した新しい制御技術を提案している。一般的に宇宙衛星電源システムには、電力の流れを制御する電力変換回路が多数使用されており、機能としては、定電圧制御、MPPT 制御など複数ある。入力側に蓄電池を持つ従来の構成では、原則一つの電力変換回路は一つの機能を持っており、他の電力変換回路の動作とは基本的に無関係に動作しているので、この構成法は従来のアナログ制御技術で実現できる一方、抜本的な蓄電池の軽量化は困難であるという欠点を持つ。また、蓄電池が入力側に集中しているために、電源設計に柔軟性がない。そこで、本論文では、負荷側に小さな蓄電池を分散させる構成にし、一つの電力変換回路に複数の役割を持たせ、さらに、他の電力変換回路の挙動に協調して動作させるという極めて高度な制御法を提案している。提案法では、高度な制御を行うためにデジタル制御を行い、各電力変換回路の協調動作を実現している。この結果、事故補償用の蓄電池が不要となり蓄電池の軽量化が可能であることを理論と実験により明らかにしている。さらに、蓄電池が負荷側に接続されることにより、蓄電池、電力変換回路、負荷が一つのモジュールにまとめられ、設計の柔軟性が向上することも述べている。

以上、本論文では、宇宙衛星の従来のエネルギーシステムの問題点を抜本的に解決する方法を確立している。

最終試験結果の要旨

本論文の成果により、次世代の宇宙衛星のエネルギーシステムの軽量化と高効率化が期待できる。したがって、申請者は博士（工学）の学位に値するものと認めた。

提出論文について、審査委員より、提案法の有効性や従来法との比較、本研究で実現できた内容の新規性、今後の課題などに関して質問がなされたが、いずれも申請者より適切な回答が得られた。

また、公聴会においては、出席者より活発な質疑が行われ、様々な質問がなされたが、いずれも申請者の説明より質問者の理解が得られた。

以上の結果より、申請者は最終試験に合格したものと認めた。