

審査の結果の要旨

氏名 季 炳 成

月探査は、月の磁場分布、水の存在、起源、進化などを探る重要な研究である。そのために用いられる、月面ローバーのほぼすべてにおいて、電力源は太陽電池 (PV) パネルであり、ローバーの内外部の熱遮断に用いられる多層絶縁材 (MLI) に設けたスリットを介したワイヤ接続で電力をローバーに送っている。しかし、ワイヤ接続は、夜間、内部機器から外部への熱漏れが発生するため、余分なバッテリーが必要でローバーには過剰な負荷となる。

本論文は、この問題を解決するため、ワイヤ接続を置き換えるワイヤレス電力伝送 (WPT) システムを提案するもので、「**Research on Wireless Power Transfer System for PV Powered Lunar Rover with Maximum Power Point Tracking Control** (太陽電池給電月面ローバーのための無線電力伝送システムと最大電力追従制御に関する研究)」と題し、英文で記述された 7 章よりなる。

第 1 章は序論であり、最近の月面ローバーの開発現状を紹介し、未解決の問題を分析している。すなわち、部分的な遮光条件下での熱漏れと PV の MPPT (太陽電池の最大電力追従制御) である。1 W の熱漏れは約 2 kg のリチウム電池でカバーされるためローバー全体で予想される電力は 20 W をまかなうには 40 kg もの電池が必要である。また、ローバーが月面を移動すると、PV パネルが部分的に陰になる可能性が非常に高くなることが述べられている。

第 2 章「**Lunar Rover Structure and PV Property**」では、提案する月面ローバー WPT システムの構成を示し、さまざまな太陽放射照度に対する PV 出力特性などについて述べられている。提案法では、従来のワイヤ接続が WPT システムに置き換えられ、MLI にスリットがないので熱漏れが完全に回避される。さらに、PV 出力特性は 1 ダイオードおよび 2 ダイオード PV セルモデルに基づいて分析され、PV パネルの太陽放射照度が均一でない、つまり部分陰 (シェーディング) 条件下では、グローバル MPPT 制御が必要であるとしている。

第 3 章「**Lunar Rover WPT System Topology**」では、提案する月面ローバー WPT システムの構造を検討している。PV の MPPT 制御を行うコンバータの位置により、送信側コンバータ (TC) WPT システムと、受信側コンバータ (RC) WPT システムの 2 種のトポロジが考えられる。両者を検討した結果、両者とも MPPT に必要な精度と応答時間の要件を満たすことができるが、さらに、深い比較を行い、主として主回路デバイスの制約条件から、RC トポロジの方が月面ローバーにより適していると結論づけている。

第 4 章「**Lunar Rover WPT System Power Management Strategy**」では、TC および RC トポロジの月面ローバー WPT システムの電力管理法を示している。WPT システムは、3 つの部分、すなわち、PV、バッテリー、および負荷で構成される。PV は限られた電力を供給し、負荷は電力を要求する。バッテリーは両者の電力バランスを実現する。

ここでは、月面の太陽放射照度分布と月面ローバーのミッション設計を考慮し、6つの作業モードを設定し、TCおよびRC WPTシステムのトポロジにもとづいて、システム制御方法を検討し、その動作を実験によって検証している。

第5章「Lunar Rover WPT System Parameter Variation」では、パラメータ変動を伴うWPTシステムの最大DC-to-DC効率追跡方法を検討している。月面の極端な温度条件にさらされるWPTシステムの送信側は、大きな回路デバイスのパラメータ変動に遭遇し、WPTシステムのDC-DC変換効率は、事前に設定された公称システムでの設計値から大幅に低下する。この問題を解決するため、効率の最大値を追跡するシミュレーテッドアニーリング(SA)法を適用し、シミュレーションで有効性を検証している。

第6章「Lunar Rover PV MPPT Algorithm」では、まず、太陽放射照度が均一である場合、PVは電力電圧(P-V)曲線で単一ピークを持ち、ローカルなMPPTで電力ピークを追跡できるが、さらにバリエーションステップインクリメンタルコンダクタンス(InCon)法を適用することで、追跡時間の感度と精度を改善している。

次に、太陽放射照度が均一でなく、PVが部分陰(シェーディング)の条件下で動作し、複数の電圧ピークを出力する場合に対処するため、グローバルMPPT方式を提案している。ここでは2つのグローバルMPPTアルゴリズム、すなわち、シミュレーテッドアニーリング支援粒子置換ガウス粒子群最適化法(SA-PR-GPSO)とシミュレーテッドアニーリング支援粒子ジャンプ粒子群最適化法(SA-PJ-PSO)を提案している。前者では、追跡精度は向上するが追跡時間は短縮されないため、後者のSA-PJ-PSOアルゴリズムを提案し、粒子ジャンプという手法を用いることで追跡の高速化と精度の両立を達成している。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を要約し、提案したPVとWPTシステムの組み合わせ方法の将来の研究見通しを述べている。

以上これを要するに、本論文は、月面ローバーにおいて、PVから機内への電力伝送を、従来のワイヤ接続からWPTシステムに置き換え、夜間の熱漏れを回避することに成功したもので、PVのMPPT制御を受信側のコンバータで行うことで送信側設備の削減、厳しい月環境によるパラメータ変動下でのシステム効率最大化、部分陰の条件下でも動作できるグローバルなMPPT制御の提案などを行い、地上実験によってその有効性を検証したものであって、先端エネルギー工学、電気工学、宇宙工学、制御工学などへの貢献が少なくない。

よって本論文は博士(科学)の学位請求論文として合格と認められる。

以上 2464 字