

低地球軌道環境における太陽電池セルの放電による劣化

Solar cell degradation due to arcing in LEO environment

九州工業大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 博士前期課程 2年 趙研究室 奥村 哲平

1. 背景

人類の大規模な宇宙進出にとって課題となるのが、大型宇宙構造物への電力の安定供給である。早急に解決されるべき問題として、太陽電池アレイと周辺宇宙環境の相互作用の問題がある。人工衛星の電力システムにおいて送電効率を上げることを目的に、太陽電池アレイによる高電圧発電・送電を行う事が理想的である。しかし、低地球軌道環境においてはその発電電圧が100Vを超えると、電離層プラズマとの干渉により太陽電池アレイ表面で放電が発生することが知られている。この放電によって太陽電池セルの電気性能が劣化することが地上試験において確認された。本研究では放電がどの程度のエネルギーを持つと太陽電池セルを劣化に至らせるのか調査し、そのような放電する可能性のある太陽電池アレイ発電電圧を見積もった。

2. 試験方法

試験システムの概観図を図1に示す。真空チャンパー内のプラズマ環境はECRプラズマ源によって生成した。作動ガスはキセノンである。試験中のプラズマ密度は $2 \times 10^{12} \text{m}^{-3}$ 、電子温度2eV、中性気体密度は $4.5 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ 程度である。本試験では放電が持つエネルギーを変化させるために、外部回路のキャパシタンスを変化させた。チャンパー内には太陽電池セルの電気性能を測定するためにメタルハライドランプが設置されている。劣化した太陽電池セルは試験後に、劣化箇所の特定を行った。太陽電池セルの劣化はセル側面で放電が発生した際にリーク抵抗が生成される事により発生することが分かっている。そこで太陽電池セルに逆バイアスを行い、リーク抵抗に電流が流れて発熱する事による赤外発光を赤外線カメラにより探索することによって劣化箇所の特定を行った。赤外発光が確認された箇所と顕微鏡写真によって撮影した放電痕の位置を一致させる事により、太陽電池セルを劣化に至らせた放電を特定した。

3. 試験結果と考察

図2に外部キャパシタンスの値を変化させることによって変化した放電エネルギー $W_{arc}[\text{J}]$ と太陽電池セルの劣化確率の関係を示す。劣化確率はある試験条件において、太陽電池セル側面で発生した放電の個数で劣化した太陽電池セルの枚数を割ることにより算出した。試験より放電が15mJ程度のエネルギーを持つと太陽電池セルが劣化に至る可能性がある事がわかった。現実の太陽電池アレイ上で発生する放電において、放電のエネルギーは帯電した太陽電池セルのカバーガラスにより供給される。低地球軌道の場合、カバーガラスの帯電電圧は太陽電池アレイの発電電圧をほぼ等しいので、カバーガラスに蓄積されるエネルギー

は発電電圧とカバーガラスの容量により決定される。今、カバーガラスの静電容量を700pF、サイズを3.5cm×7cmとし、発電電圧を100Vとすると、15mJというエネルギーはカバーガラス4200枚から供給される。低地球軌道環境で発生した放電は最大で20500枚のカバーガラスからエネルギーを供給される可能性があることがわかっている。100V発電衛星でも15mJ程度のエネルギーを持った放電は発生する。また、図2より放電エネルギーの上昇と共に劣化確率も上昇している。放電エネルギーは発電電圧の上昇と共に増大するので、発電電圧上昇とともに太陽電池セルの劣化が起きる可能性が高くなる事が示唆される。

4. まとめと今後の課題

放電が15mJ程度のエネルギーを持つと、太陽電池セルを劣化に至らせる可能性があることが分かった。そのエネルギーを持つ放電は低軌道100V発電衛星でも発生する可能性があることがわかった。今後の課題として、実用化されているGaAs太陽電池や将来実用化が予想されるアモルファスシリコン、CIGS太陽電池において同様な地上試験を行う。

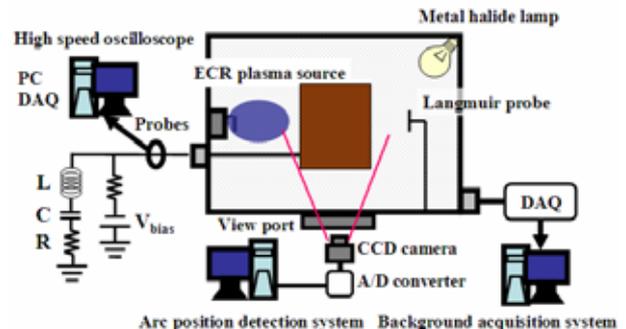


図1 試験システム

Fig1. Experimental system

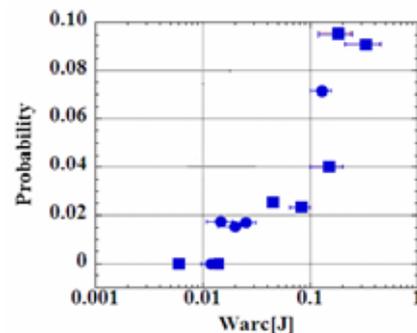


図2 放電エネルギーと劣化確率の関係

Fig2. The relationship between Arc energy and solar cell degradation probability