

CIGS 薄膜太陽電池の宇宙応用の研究

Study of CIGS thin film solar cells for Space Applications

川北 史朗 [1]

Shirou Kawakita[1]

[1] 宇宙機構

[1] JAXA

<http://www.jaxa.jp>

近年、宇宙機全体に対して小型・軽量化が要求されている。太陽電池パドルもその例外ではなく、単位重量あたりの電力供給量を、現状の5~60W/kgから100~150W/kgないしそれ以上に向上させることが課題となっている。また、宇宙開発自体のコスト意識が高まっており、低コスト化も大きな課題となっている。これらの目標を達成するための手段として、薄膜太陽電池の宇宙への適用が考えられる。

我々は宇宙機に適した薄膜太陽電池として、Cu(In,Ga)Se₂ 薄膜太陽電池（以下、CIGS 太陽電池）が有力な候補であると考えている。この太陽電池の特長は、報告されている変換効率がAM1.5で19.2%と他の薄膜太陽電池と比べて一番高いこと、高い耐放射線性を有すること、ポリイミドやステンレス基板を用いた軽量太陽電池が開発されていることなどが上げられる。

CIGS 太陽電池の放射線特性について、地上での放射線照射実験および人工衛星を用いた軌道上実験を行っている。これらの最近の実験結果について報告する。

宇宙環境にて太陽電池の電気性能を劣化させる放射線である、電子線および陽子線の照射試験を行った。この結果、宇宙用のシリコン太陽電池や3接合高効率太陽電池と比べて、高い耐放射線性を有していることが分かった。しかも、電子線に対しては、静止軌道における100年以上の放射線量においても電気性能の劣化は観測されなかった。この原因を調べるため、電子線照射下にてCIGS 太陽電池の電気性能を測定した。この結果、その電気性能は、電子線照射中は劣化するが、照射後にて室温程度の温度においても高い性能の回復することが分かった。これより、同太陽電池が高い耐放射線耐性を有するのは、電気性能の回復率が高いため、従来の照射1日以上経過してから電気性能を測定する方法では観測できなかったと考えられる。

次に、CIGS 太陽電池の陽子線による劣化特性について、アニール試験を行い電気性能の回復挙動について実験した。この結果、電子線における結果と同様に、室温においても性能が回復すること、またその回復率は温度に依存することが明らかとなった。しかも、劣化した太陽電池にキャリアを注入することで、その電気性能の回復が促進される、キャリア再結合促進欠陥反応効果が観測された。この効果は、InP 太陽電池などでも報告されており、CIGS 太陽電池も同じ性質を有していることが分かった。これらの地上での放射線照射試験の結果を基に、軌道上の性能予測を行った。

これまで、CIGS 太陽電池の軌道上実験は、2002年に打ち上げられた人工衛星“つばさ”(Mission Demonstration test Satellite No.1: MDS-1)、および2005年に打ち上げられた小型衛星“Cubesat XI-V”にて行っている。

つばさの放射線環境は、その軌道がバン・アレン帯を横切る静止トランスファー軌道のため、1年間の運用にて静止軌道10年相当と言われている。つばさには、CIGSを含む6種類の民生用太陽電池と、比較用の3種類の宇宙用太陽電池を載せた実験ボードが搭載され、太陽電池の電気性能の長期トレンドを取得した。600日間の運用の結果、CIGS 太陽電池以外の太陽電池の電気性能は劣化したのに対し、CIGS 太陽電池は全く劣化しなかった。ここで搭載したCIGS 太陽電池は、放射線防護用のカバーガラス(膜厚:100 μm)が太陽電池の表面に貼り付けられていた。しかし、地上試験および人工衛星つばさによる軌道上実験の結果より、カバーガラスがなくても十分な耐性を有しているということが予測された。そこで、同予測を検証するために、小型衛星Cubesat XIを用いて、カバーガラスがないCIGS 太陽電池の軌道上実験を行っている。

Cubesat XI-Vは、2005年10月にロシアより打ち上げられた。その軌道は、高度が688km、軌道傾斜角が98°の低軌道である。この人工衛星は、10cm×10cm×10cmの立方体構造であり、各面に太陽電池モジュールが貼り付けられている。このうち1面が、カバーガラスのないCIGS 太陽電池モジュールとなっている。これまでの実験の結果、電気性能の劣化は観測されていない。この結果は地上試験の予測結果を証明しており、世界で初めてカバーガラスのないCIGS 太陽電池が軌道上にて劣化しないことを実証した。現在も、この衛星を運用しており、更なる長期トレンドデータを取得することで、予測モデルの信頼性を高めていく。

今後は、CIGS 太陽電池の放射線劣化およびその回復機構の解明や、フレキシブルCIGS 太陽電池などの宇宙機への適用を睨んだ薄膜太陽電池の開発および宇宙実証を行っていく。