

SSPS 運用に向けた新規薄膜太陽電池を用いた 大規模発電システムに関する研究報告†

Report of Super-lightweight Large Scale Power Generation System using a new thin film solar cell for SSPS

高 浦 直 己^{*1‡}・小 山 翔 平^{*2}・田 中 孝 治^{*3}
Naoki TAKAURA, Shohei KOYAMA and Koji TANAKA

宇宙太陽光発電システム (SSPS) は環境とエネルギー問題の解決案の一つとして注目されている。SSPS は km サイズの宇宙構造物で GW クラスの発電システムが検討されており、従来にない大規模光発電システムが要求される。我々は、大規模宇宙発電システムに関して研究を行っている。軽量化を実現するためには、薄膜太陽電池の新しい宇宙応用技術が重要であり、現在、薄膜太陽電池の中で最も高い変換効率が期待できる CIGS 薄膜太陽電池に関して、SPS に用いた場合の発電システムの検討を前提とした、太陽電池の温度による特性変化、高照度による特性変化、耐宇宙環境性を実験的に求め、システム検討を行った。

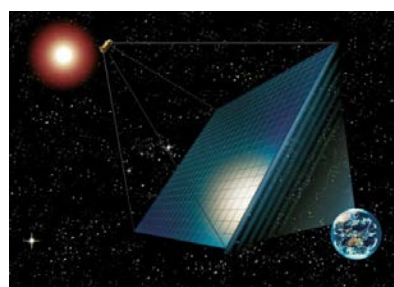
A SSPS has got attention as one of the solutions for energy and environmental problems of the human society. Solar Power satellite (SPS) will have very huge space structures with a size of several km and super-light weight giant power generation systems of several GW. So we have studied the lightweight power generation system that is based on the thin film technologies. In order to realize the weight reduction of the thin solar array for the SPS, new space technologies are important. CIGS thin film solar cell can be expected the highest conversion efficiency in various thin-film solar cells. Study of the power generation system in the case of using the CIGS solar cells for SPS is performed. We describe experimental results of the measurement of the characteristic change of the solar cell due to space environmental factors. And we examined the power generation system by using experimental results.

Keywords : SSPS, CIGS thin film solar cell, Lightweight power generation system

1. 序論

1.1 研究背景 宇宙太陽光発電システム (SSPS) は、地球周回軌道に打ち上げた巨大な太陽電池パネルを用いて、太陽光により得られる電力をマイクロ波に変換し、地上の受電施設に送電し、地上で利用する、環境とエネルギー問題の解決案の一つとして注目されている新しいエネルギーシステムである。現在、SSPS において周回軌道に建設される太陽発電衛星 (SPS) には様々なモデルが提唱されて

いるが、商業モデルとして検討されている衛星は、km サイズの宇宙構造物による GW クラスの発電システムが検討されており、従来にない大規模宇宙太陽光発電システムが要求される。我が国でベーシックモデルと呼ばれている SPS の概念図を第 1 図に示す。



第 1 図 SPS ベーシックモデル

SSPS が社会インフラとして普及するには、他の地上用発電システムとのコスト競争においても優位性を持たなければならない。その実現のために SPS の発電部に求められている重要な課題は、軽量化つまり単位質量当たりの発電量の向上による輸送コストの大幅な削減や衛星軌道上での大規模発電システムの低コスト構築手法の確立である。軽量

† 第 1 回宇宙太陽発電シンポジウム, 2015 年 12 月 15-16 日, 東京にて発表

‡ Corresponding author: Naoki TAKAURA.
E-mail:1514616@ed.tus.ac.jp

*¹ 東京理科大学大学院
〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1,
Tokyo University of Science, 6-3-1, niizyuku, katushika-ku, Tokyo
125-8585, Japan

*² 東京電機大学
〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5,
TokyoDenki University, 5, senzyuasahityou, Adatchi-ku, Tokyo
120-8551, Japan

*³ 宇宙航空研究開発機構
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1,
Japan aerospace exploration agency, 3-1-1, chuo-ku, Yoshinodai,
Sagamihara, Kanagawa 252-5210, Japan

化には主に、太陽電池自体の軽量化とフレーム等の構造物の削減が挙げられる。このため軽量の薄膜太陽電池が必要となる。また輸送コスト削減のために、太陽電池には軽量化に加え、一度で多く運べるように折りたためるようなフレキシブル性も求められる。それらの条件を満たす太陽電池としてプラスチックフィルム上に形成した薄膜太陽電池が、現在注目されている。

1.2 太陽電池 太陽電池は半導体からできているが、その半導体の材料によって色々な種類がある。本節ではその種類や特徴について述べる¹⁾。参考として、代表的な太陽電池の種類とその変換効率を第1表に示す。

第1表 太陽電池の種類と性能

分類		現状の変換効率 ³⁾	
		モジュール	セル
シリコン系	単結晶	22.7	24.5
	多結晶	17.0	20.4
	薄膜	10.4	20.0
化合物系	III-V族	36.1	41.6
	CIGS系	13.6	23.0
	CdTe系	10.9	16.7
有機系	色素増感系	8.5	11.2
	有機半導体系	3.5	7.9

1.2.1 結晶系シリコン太陽電池 結晶系シリコン太陽電池は地球の岩石中に多く存在する元素であるシリコン(Si)を原料にした太陽電池である。Siを熱して溶かし、徐々に冷やすことで結晶化させて作る。冷却法によって単結晶型と多結晶型に分かれる。単結晶型は耐用年数が長く安定して発電できるのが特徴である。しかし製造コストが高いのがデメリットとして挙げられる。また、多結晶型も単結晶型と同様に耐用年数が長く安定して発電できる。さらに単結晶型に比べ製造コストも安価なため現在住宅用に多く用いられている。しかし、単結晶に比べ変換効率が低いのがデメリットとして挙げられる。また結晶系は、薄膜・フレキシブル化が出来ないのもデメリットである。SSPS用としては、質量当たりの発電量が低く、用いるには困難と言える。

1.2.2 非晶質 (アモルファス) シリコン太陽電池 アモルファスシリコン(a-Si)太陽電池は、結晶系シリコンと同様で、Siを用いている。しかし結晶系にはない特徴を持っている。特徴は、使用するSiの量が結晶型より数百分の1と低く、原料ガスの制御により膜質を制御できることから、コストが低いことである。そしてa-Si太陽電池は結晶シリコンに比べて、光と格子の相互作用が大きく、それだけ光吸収係数が大きく薄膜化が可能である。a-Si太陽電池では光吸収層を1 μ m以下の膜厚で形成できる。さらにガラス基板ではなくフィルム基板や金属箔を用いたフレキシブルな太陽電池の製造も行われている。フィルム型の太陽電池は軽量かつフレキシブルな特徴に加え、ロール・ツー・ロール製法を用いた連続処理による量産化が可能である。デメリットは変換効率が低いことである。この太陽電池は、大規模薄膜発電システムの軌道上での展開と発電の技術実証としてソーラー電力セイルの実証機である「IKAROS」に用いられた実績がある。SSPS用としては、現状では性能が低いため、今後の変換効率の向上次第である。

1.2.3 化合物系太陽電池 この太陽電池は、2種類以上の元素からなる半導体を使用する。代表的なものはIII-V族、CdTe、CIGSがある。初めにIII-V族系太陽電池について説明をする。この太陽電池は多接合型であり、超高効率率が特徴である。放射線に強く宇宙用として用いられている。デメリットは希少金属を原材料として使用しているので製造コストが高くなってしまいうことである。このようなデメリットがあるので、大面積になるSPSには向いていないが、集光系との組み合わせ次第では検討の余地はある。次にCdTe系太陽電池について説明する。この太陽電池は光を吸収係数が大きいため薄膜にすることが出来るので、原材料の少量化、製造時間の短縮化ができ、製造コストを安価に抑えることが出来るのが特徴である。デメリットは変換効率がそれほど高くはないことである。また、原材料のTeが希少金属の一種なので製造コストが上がる懸念もある。このようなデメリットがあるのでSPSに用いるには困難であると考えられる。最後にCIGS太陽電池について説明する。この太陽電池は熱や影に強く製造コストを低くできる可能性があることが特徴である。薄膜太陽電池の中では、高い変換効率が得られる。資源的制約がInのみなので今後有望なものとして注目されている。

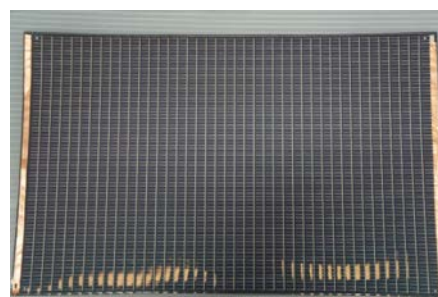
1.2.4 有機系太陽電池 有機系太陽電池は有機物を用いている太陽電池である。ここでは色素増感太陽電池と有機太陽電池について述べる。色素増感太陽電池は光を吸収する働きがある色素を使って発電する太陽電池である。有機太陽電池は、半導体の性質を示す有機物半導体を用いた太陽電池である。この太陽電池は薄膜化が可能で軽量で曲げられる特徴を持っている。しかし有機系の太陽電池は変換効率がかかなり低く寿命が短いことが課題点である。開発途上の太陽電池である。

1.3 研究課題と目的 CIGS太陽電池は宇宙環境の耐性が極めて高いという特徴がある²⁾。しかし宇宙機のバス電源に用いられるような実績はまだないのが現状である。そこでCIGS太陽電池をSPSに用いた場合の発電システムの検討を行うことでCIGS太陽電池の技術の現状と将来性を調べることを目的とする。

本報告ではCIGS太陽電池の温度特性試験、高照度試験、耐宇宙環境性試験の結果を示し、結果を用いてSPSの発電部に用いた場合の考察を行う。

2. 測定準備

本章では測定に用いた太陽電池や測定装置について述べる。まず初めにCIGS薄膜太陽電池を第2図に示す。



第2図 CIGS 薄膜太陽電池

第2図に示した太陽電池のサイズは縦 19.5cm, 横 31cm で厚み 25 μ m のポリイミドフィルムが基板として使用されており, 薄膜・フレキシブル性を実現させている. また, 本 CIGS 太陽電池はロール・ツー・ロール製法とレーザースクライブを用いた内部直並列構造となっており, 従来の結晶系 Si 太陽電池と異なる大面積製造技術で製作されている.

測定に用いたソーラーシュミレータを第3図に示す.

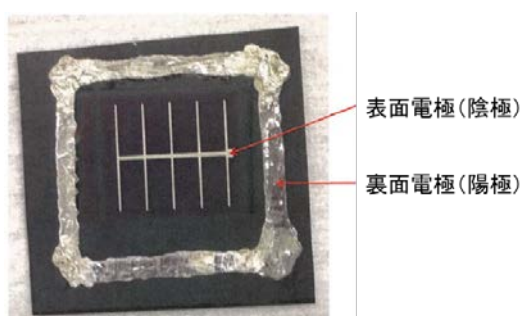


第3図 ソーラーシュミレータ

このソーラーシュミレータは Air Mass 0 の放射照度を模擬した光を出すことが出来るので, 宇宙環境下 (大気圏外) の太陽電池の I-V 特性を取得することが出来る. また光強度を 1 倍~5 倍の範囲で可変できる. これを用いて試験を行った.

3. 温度特性試験

3.1 試験条件 使用する太陽電池は宇宙環境試験用サンプルとして 1cm 角の CIGS 薄膜太陽電池を用意した. その太陽電池を第4図に示す.



第4図 試験用 CIGS 太陽電池

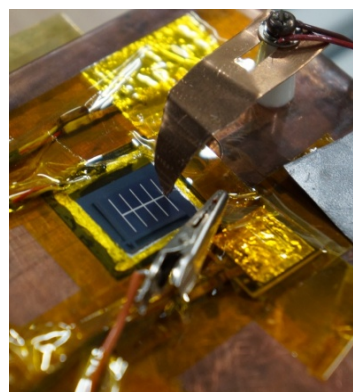
この太陽電池の AM0 の時の基本スペックを第2表に示す.

第2表 1cm 角の CIGS 太陽電池の基本スペック

各種パラメータ	スペック
短絡電流 I_{sc} (mA)	35
開放電圧 V_{oc} (V)	0.57
最大電力 P_{max} (mW)	16.0
変換効率 η (%)	9.58

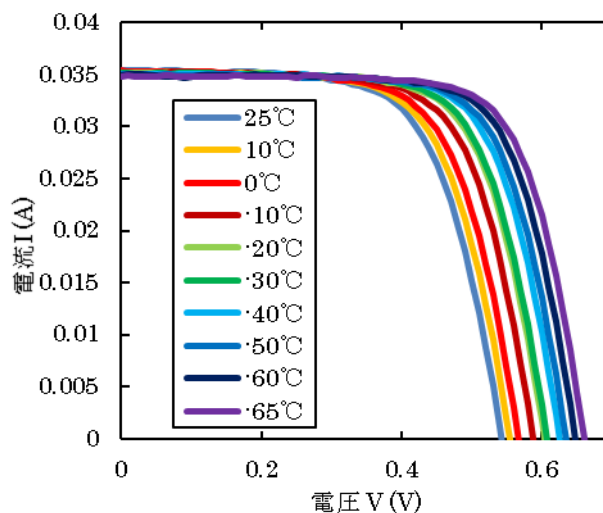
試験は室温より低い温度を低温側とし, 室温より高い温度を高温側とする. 高温側の試験は温度範囲 25 $^{\circ}$ C~190 $^{\circ}$ C, 環境は大気中, 光強度を AM0 の太陽光 1 倍で行った. 低

温側は温度範囲 25 $^{\circ}$ C~-65 $^{\circ}$ C, 環境は高真空, 光強度を AM0 の太陽光 1 倍で行った. I-V 特性を計測することで, 太陽電池の温度特性を求めた. 測定している様子を5図に示す

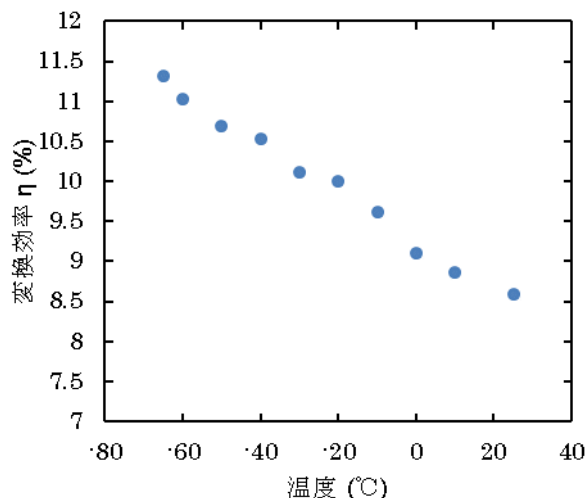


第5図 測定している様子

3.2 結果及び考察 初めに低温試験の結果を第6図と第7図に示す.



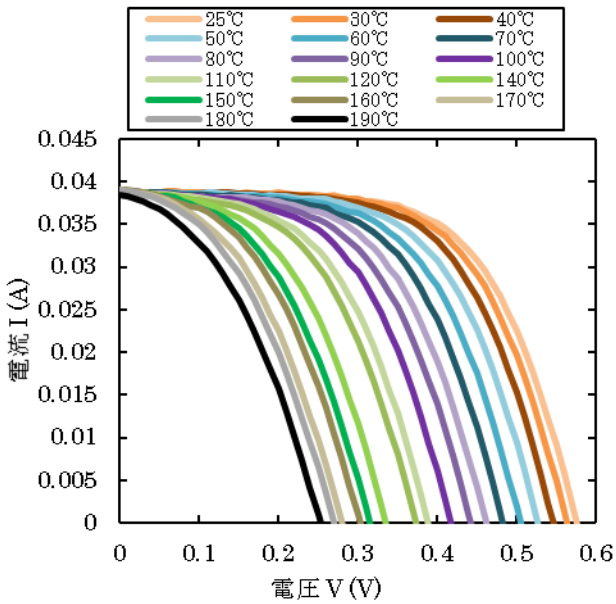
第6図 低温試験の I-V 特性



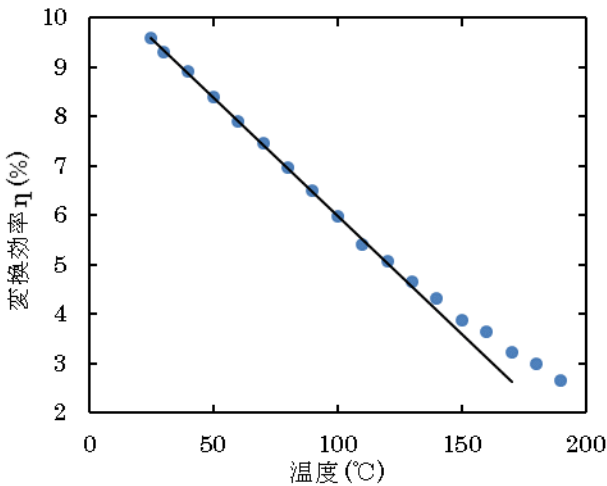
第7図 低温試験の変換効率の変化

温度が低くなると短絡電流が小さくなり、開放電圧が大きくなることわかった。また変換効率は、温度が低くなると単調に上昇することがわかった。

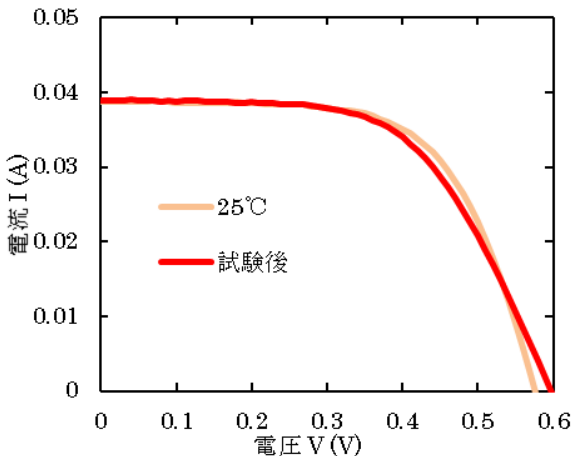
次に高温試験側の結果を第8図と第9図と第10図に示す。



第8図 高温試験の I-V 特性



第9図 高温試験の変換効率の変化



第10図 高温試験前後の I-V 特性

温度が高くなると短絡電流が大きくなり、開放電圧が小さくなることわかる。変換効率は 120°C 付近で特性の変化が見られるが、第9図より試験後に特性がもとに戻っていることから可逆変化と考えられる。

高温試験及び低温試験の結果より求めた温度特性を第3表に示す。

第3表 CIGS 太陽電池の温度特性

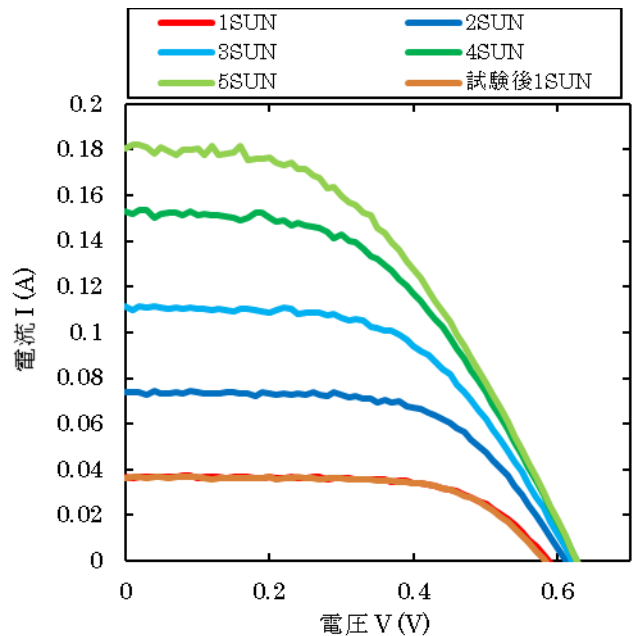
Isc (%/°C)	Voc (%/°C)	η (%/°C)
0.019	-0.32	-0.40

以上の結果より CIGS 薄膜太陽電池の温度特性を得ることが出来た。変換効率は-65°C~120°Cまでは線形的に変化することがわかった。一方、変換効率は-120°C以上で線形的な変化から外れてしまうこともわかった。この120°Cの特性の変化は可逆反応であることも確認できた。温度を上げることで生じる短絡電流の増加と開放電圧の減少の現象はバンドギャップが小さくなることに寄与しており、この現象も確認できた。

4. 高照度試験

4.1 試験条件 使用した太陽電池は第3章と同様、1cm角の CIGS 薄膜太陽電池である。試験は大気中、光強度は AM0 の太陽光を 1 倍~5 倍の条件で行った。今回も I-V 特性を取得することで太陽電池の照度特性を求めた。

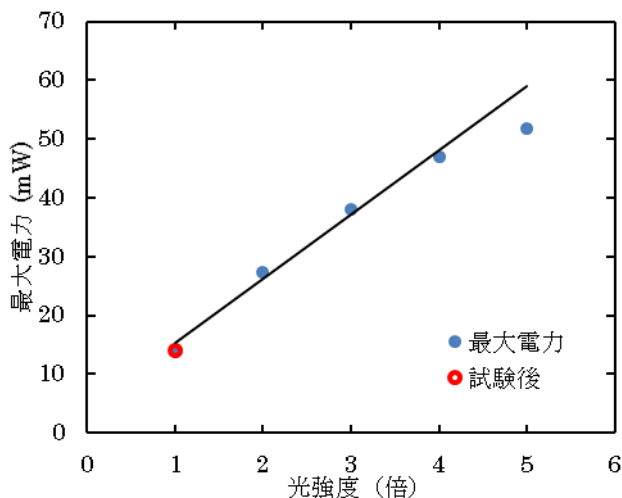
4.2 結果及び考察 各照度に対する I-V 特性を第11図に示す。



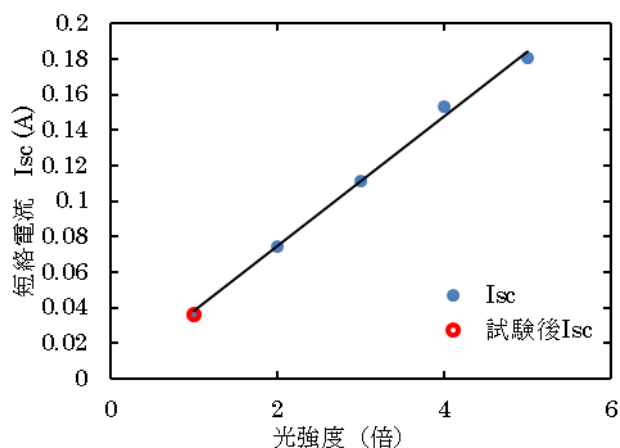
第11図 各照度に対する I-V 特性

第11図より、試験前後で特性に変化が見られないことがわかった。よって少なくとも5倍の照度強度の光までは、照射することによる劣化が生じないこともわかった。

次に各照度に対する最大電力の変化を第 12 図に、短絡電流を第 13 図に示す。



第 12 図 各照度に対する最大電力の変化



第 13 図 各照度に対する短絡電流の変化

第 12 図より、光強度が 1~4 倍の時、最大電力は光強度に対して比例的に増加しているのがわかる。しかし光強度が 5 倍の時はその関係から外れ、値の増加量が小さくなっているのがわかる。

第 13 図より、光強度が 1~5 倍の時、短絡電流は光強度に対して比例関係で増加することがわかった。

以上より短絡電流と光強度が比例の関係であることを明らかにした。最大電力は光強度 5 倍の時に増加量が小さくなることを明らかにした。この結果はシステム検討する際に考慮しなくてはならない項目である。

5. 耐宇宙環境性試験

5.1 試験条件 SPS は静止衛星軌道に打ち上げられる衛星である。そこで静止軌道上での宇宙環境を想定し劣化試験を行うことで CIGS 薄膜太陽の耐宇宙環境性を調べる。今回は電子線、陽子線、紫外線の三つの劣化試験を行った。

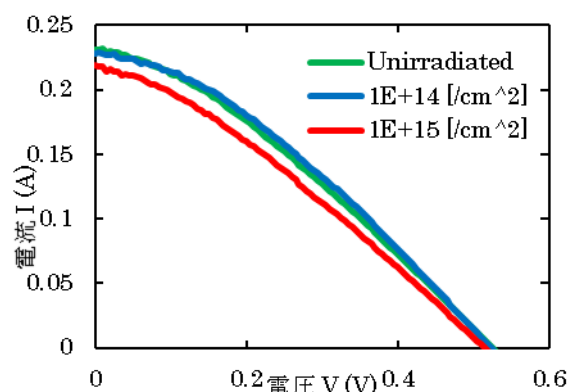
静止衛星軌道上の放射線環境は、バン・アレン外帯にトラップされている高エネルギーの電子と太陽フレアによる陽子の二つが考えられる。そこで電子線照射試験は、エネルギーを 10 [MeV]、密度を 1×10^{14} 、 1×10^{15} [cm^2] の条

件で行った。密度が 1×10^{15} [cm^2] の時、静止衛星軌道上でおよそ 100 年分の電子線被ばくの劣化に相当する。次に、陽子線照射試験はエネルギーを 10 [MeV]、密度を 1×10^{12} [cm^2] の条件で行った。この条件の場合、静止衛星軌道上でおよそ 110 年分の陽子線被ばくの劣化に相当する。

続いて太陽からの紫外線が照射されることも想定される。そこで紫外線照射試験は、光強度を AM0 の太陽光 5 倍とし、加速試験を行うことで 1 年分に相当する被ばくの劣化を確認した。また使用した太陽電池は第 3 章と同様、1cm 角の CIGS 薄膜太陽電池である。

電子線照射試験及び陽子線照射試験では I-V 特性で劣化の評価し、紫外線照射試験では短絡電流で劣化の評価する。

5.2 試験結果 まず初めに電子線照射試験の結果を第 14 図、第 4 表に示す。



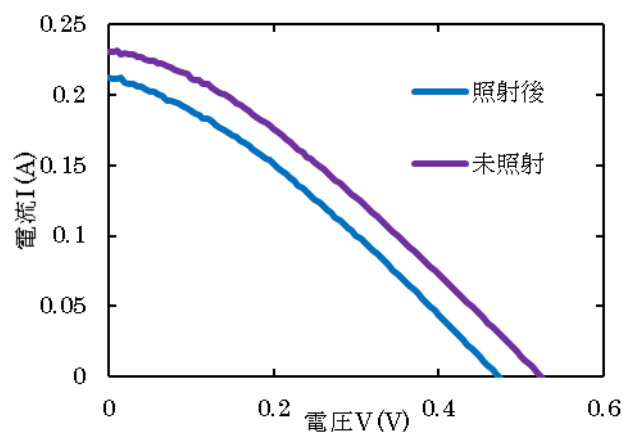
第 14 図 電子線照射試験結果

第 4 表 CIGS 太陽電池の電子線による劣化評価

条件	Isc (A)	Voc (V)
未照射	0.231	0.520
1×10^{14} [cm^2]	0.228	0.520
1×10^{15} [cm^2]	0.219	0.515

第 14 図、第 4 表より、100 年照射相当で電力はおおよそ 5.8% 減ることがわかった。この結果より CIGS 太陽電池は電子線による劣化が小さいとわかった。

次に陽子線照射試験の結果を第 15 図、第 5 表に示す。



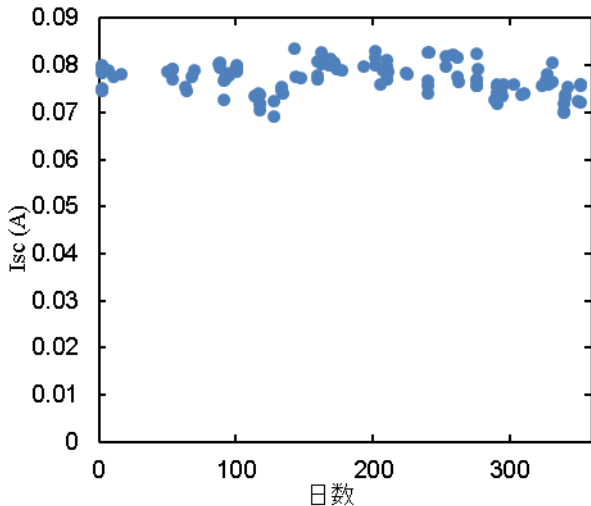
第 15 図 陽子線照射試験結果

第 5 表 CIGS 太陽電池の陽子線による劣化評価

条件	Isc (A)	Voc (V)
未照射	0.231	0.520
$1 \times 10^{12} \text{ [cm}^{-2}\text{]}$	0.212	0.470

第 15 図, 第 5 表より, 110 年照射相当で電力はおおよそ 21.8%減ることがわかった. この結果より CIGS 太陽電池は電子線に比べて, 陽子線による劣化のほうが大きいことがわかった. またこのような大きな劣化は陽子線が光吸収層へ侵入したことによる影響の可能性が考えられる.

最後に紫外線照射試験の結果を第 16 図に示す.



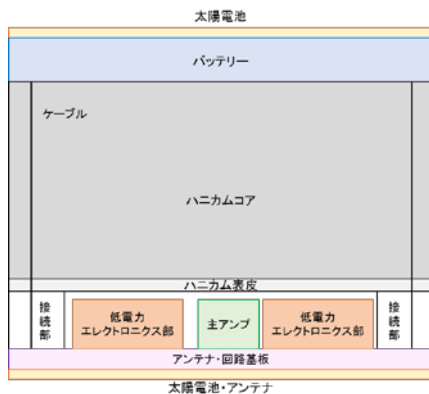
第 16 図 紫外線照射試験結果

第 15 図より, CIGS 太陽電池は紫外線による劣化が起きない結果となった.

以上より, CIGS 太陽電池の耐宇宙環境性を明らかにすることができた. また陽子線による劣化が一番大きく, 陽子線の劣化に関しては注意して検討しなくてはならないと考えられる.

6. SPS の発電システムの検討

6.1 モジュール, サブモジュールの構造 今回は 1GW 級テザー-SSPS を想定し, その中でも発電部に対して検討を行う⁵⁾. モジュールサイズは $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.02 \text{ m}$ とす



第 17 図 サブモジュールの構造

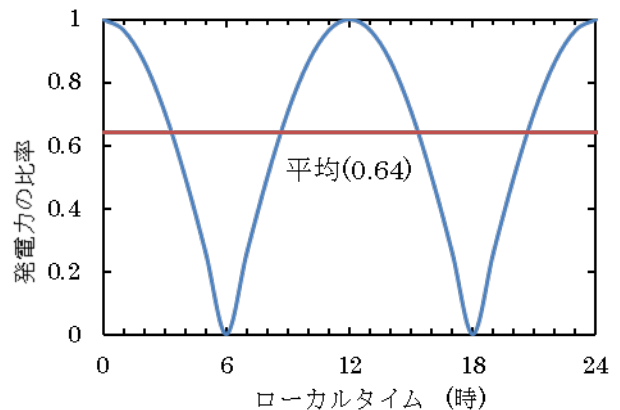
る. モジュール上面はバッテリーに貼り付けられた薄膜太陽電池で構成される. モジュール内はバッテリーとハニカムと回路層で構成される. モジュール下面はマイクロ波アンテナと太陽電池で構成される. 太陽電池の面積は下面全体に対して 90%と仮定する. またモジュールは 17 個のサブモジュールで構成される. よってサブモジュールは $125 \text{ mm} \times 125 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ となる. サブモジュールの構造を第 17 図に示す.

太陽電池は今回試験した CIGS 薄膜太陽電池を用いる. 参考としてそれぞれの重さを第 6 表に示す⁵⁾.

第 6 表 サブモジュールの構成とその重さ

品名	タイプ	重さ (g)
太陽電池	CIGS 薄膜太陽電池	1.16
バッテリー	リチウムポリマー	22.66
ハニカム	複合材またはアルミハニカム	4.2
ハニカム表皮	CFRP	3.1
接続部材	軽量発泡剤	0.35
マイクロ波回路 (主アンプ)	MMIC	2
低電力部回路	MMIC, IC	10
アンテナ・回路基板	PPE	15
太陽電池・マイクロ波アンテナ	CIGS 薄膜太陽電池とマイクロ波アンテナ	1.16
ケーブル	同線	2.24

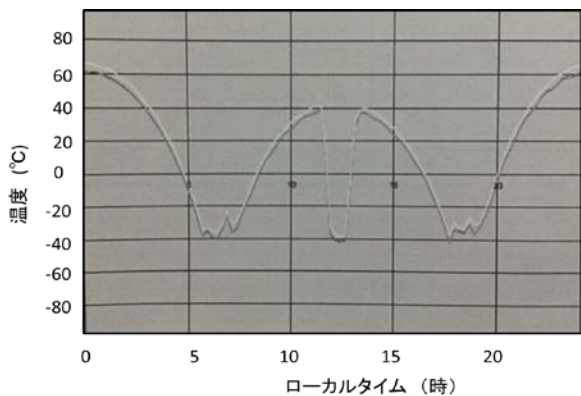
6.2 太陽電池の発電特性変化 静止衛星軌道上での太陽電池の発電特性の変動を第 18 図に示す.



第 18 図 太陽電池の発電特性の変動

テザー方式の SSPS は太陽指向しないため発電電力は時間で変化する. 上面での発電と下面での発電があるためこのような sin 曲線を描く. テザー方式の SSPS の場合, 太陽指向方式に対し平均で 64%となる. 今回の発電量の検討ではこの平均の値を用いる.

6.3 太陽電池面の熱解析 第 19 図に第 16 図の構造の場合のエレクトロニクス部の温度の熱解析結果を示す⁵⁾. 正午 (12 時付近) の温度低下は, 地球の蝕による温度低下を示しているもので, 春分及び秋分頃の限られた時間帯 (最大で 50 分程度) である. 0 時から 24 時までの温度の平均値 (7.9°C) を太陽電池に適応し発電量の計算を行う.



第 19 図 発電部の温度変化

6.4 発電システムの検討 今までの結果を用いて発電システムの検討を行う。SPS は運用年数を 40 年で検討している。そこで 40 年後の電力ロスを計算する。

電力ロスはデブリ衝突によるものと放射線照射によるものと二つ考えられる。初めにデブリ衝突の場合を考える。パネル状構造物への衝突頻度を第 7 表に示す。

第 7 表 パネル状構造物への衝突頻度

デブリのサイズ	衝突頻度
10 cm	1 回/70 年
1 cm	1 回/3 年
1 mm	2400 回/年

太陽電池モジュールサイズは 0.5 m × 0.5 m なので、第 7 表より 40 年後は 4.8% 電力ロスすることになる。(破壊が 1 モジュール内にとどまる場合) 次に放射線の電力ロスを第 8 表に示す。

第 8 表 放射線による電力ロス

種類	40 年後の電力ロス
紫外線	0%
電子線	-2.3%
陽子線	-7.9%

第 8 表は第 4 章の結果を用いて計算した。以上の内容より、全体で 40 年後では 15% 電力ロスすることがわかった。

この結果を踏まえ、システム検討を行う。今回は試験で用いた CIGS 薄膜太陽電池と現状の最大変換効率 (23%) の変換効率の CIGS 薄膜太陽電池の 2 通りで検討する。これにより現状の技術での SPS の実現に向けた到達度、及び CIGS 太陽電池の将来性をみる。今回検討しているテザー方式 SPS の場合、発電能力の目標値は 2.2 kW/kg、サイズは 2km 四方、重さを 2546 トンである。この目標値に対しての到達度を求めた。またその時の SPS のサイズも求めた。さらにミッション開始時 (BOL) と、ミッション終了時 (EOL) の 2 通りを計算することで、SPS のサイズがどのくらい異なるのかを明らかにした。その結果を第 9 表と第 10 表に示す。

第 9 表 CIGS 太陽電池を用いた SPS の発電システム検討 (BOL)

項目	現在	近い将来
モジュール (0.5 m × 0.5 m) の数 (個)	71,971,442	27,674,117
全体のサイズ	4.2km 四方	2.6km 四方
太陽電池の重さ (トン)	2545	978
最大発電能力 [kW/kg]	0.7	2.04

第 10 表 CIGS 太陽電池を用いた SPS の発電システム検討 (EOL)

項目	現在	近い将来
モジュール (0.5 m × 0.5 m) の数 (個)	84,566,444	32,517,087
全体のサイズ	4.6km 四方	2.9km 四方
太陽電池の重さ (トン)	2990	1149
最大発電能力 [kW/kg]	0.7	2.04

以上より BOL と EOL では、サイズは約 0.4km 四方大きくなり、重さは約 15% 増加し、モジュール数は 18% 増加することがわかった。EOL でのシステム検討もするべきであることを明らかにした。BOL において、サイズは現状の技術では 4.2km 四方になってしまい、検討値では 2km 四方なのでまだ実現の可能性は低い。しかし現状の最高変換効率が大規模化できた場合、2.6km 四方のサイズになり、かなり実現可能性が高まることがわかった。重さは BOL において、現状の技術では 2545 トンとなり、検討値は 2546 トンなのでかなり検討値に近いものが実現できることがわかった。発電能力は BOL において、現状の技術では 0.7kW/kg となり、検討値である 2.2kW/kg には程遠く、まだ実現可能性は低い。しかし現状の最高変換効率が大規模化できた場合、発電能力が 2.04kW/kg になるので、かなり検討値に近づけられることがわかった。

7. 総括

本報告では、CIGS 薄膜太陽電池を用いた場合の SPS の発電システムの検討を目的として、太陽電池の温度による特性変化、高照度の特性変化、耐宇宙環境性を求め、その結果を用いて SSPS 運用検討を行った。

①高温・低温試験による温度特性試験について。CIGS 太陽電池の温度特性を得ることが出来た。-65°C ~ 190°C の範囲において特性の変化は可逆反応であることもわかった。

②高照度試験について。照射光の強度を 5 倍まで強めても劣化が起きないことがわかった。しかし 5 倍の時に発電増加量が小さくなるので、集光型の適応は要検討であることがわかった。

③耐宇宙環境性試験について。CIGS 太陽電池の電子線、陽子線、紫外線に対する耐久性を評価することが出来た。

④システム検討について。BOL と EOL での要求値の違いを求めた。また現状の技術での目標達成度も求めることが出来た。

⑤今後について。今回の結果より CIGS 太陽電池は今後の発電能力向上次第では将来有望な太陽電池であることがわかった。また現在、ソーラー電力セイルの発電部に用い

られることも検討されており、今後、宇宙での実績が増えていくことが予想される。しかし、軽量化のために発電システムの薄膜化を行うと、膜の剛性が小さくなることによる反りの発生や、非対称な多層膜で構成される薄膜太陽電池の各層の熱膨張率が違うことで、温度変化により熱変形が発生することが課題点として挙げられている。そこで私は現在、その課題点を解決するため、面コーティングによる形状制御に関する研究を行っている。今後は反りのない超軽量薄膜太陽電池を実現することを目的としている。

参 考 文 献

- 1) 太陽電池活用ガイドブック, パワー社 (1990), pp. 8-11.
- 2) 吉田 隆: 高効率太陽電池, NTS (1990).
- 3) Green M. A. *et al.*: Solar cell efficiency tables (version 35); *Progress in Photovoltaic Research Application*, **18** (2010) pp. 144-150.
- 4) 山口真史: 高効率化合物太陽電池の基礎 研究開発の現状と将来展望—高効率 III-V 族太陽電池の基礎.
- 5) 平成 19 年度太陽光発電利用促進技術調査 成果報告書 別冊, システム専門委員会報告書, 発送電技術専門委員会 報告書 (2008).

(2016.2.2 受付)