

6.4. 太陽電池パネルの排熱回収に関する研究

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

マテリアル技術部 複合材料グループ

関根 一史 氏



第16回試験技術ワークショップ

2018/11/28

太陽電池パネルの排熱回収に関する研究

○関根一史、高垣和規、宮下雅大、森岡孝之
(三菱電機株式会社)

三菱電機株式会社

© Mitsubishi Electric Corporation



アウトライン

1. 開発の背景
2. 熱電変換素子の発電原理
3. 熱電変換素子を搭載した太陽電池パネルの設計
4. 熱真空試験と出力電力評価
5. まとめ

© Mitsubishi Electric Corporation 2



1. 開発の背景

IoTの本格化による高速大容量衛星通信の
需要拡大



消費電力の増加に対応するため、
衛星バスの大電力化が重要

太陽電池パネル：
太陽電池をハニカムサンドイッチ構造に
接着した軽量・高剛性パネル

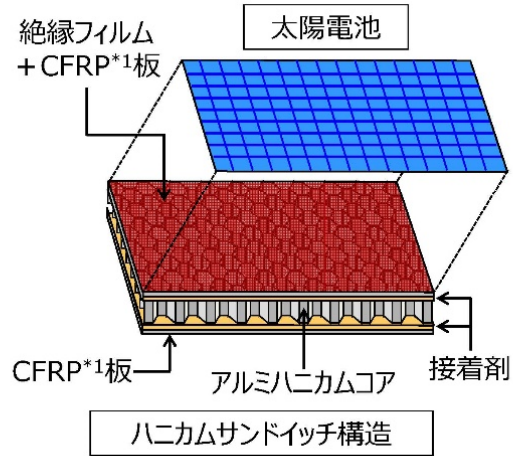
大電力化のためには・・・

- (1)従来技術の延長線上のアプローチ
(太陽電池の発電効率向上など)
- (2)他の発電技術との組合せにより
「総合的発電効率」を高めるアプローチ



熱電変換素子を用いて熱を電力に変換する
熱電発電（温度差発電）技術
-排熱を利用して電力を回収する用途での
実用化/開発が増加（工場や自動車など）

太陽電池パネルの模式図



*1)CFRP：炭素繊維強化プラスチック
(Carbon Fiber Reinforced Plastics)

3

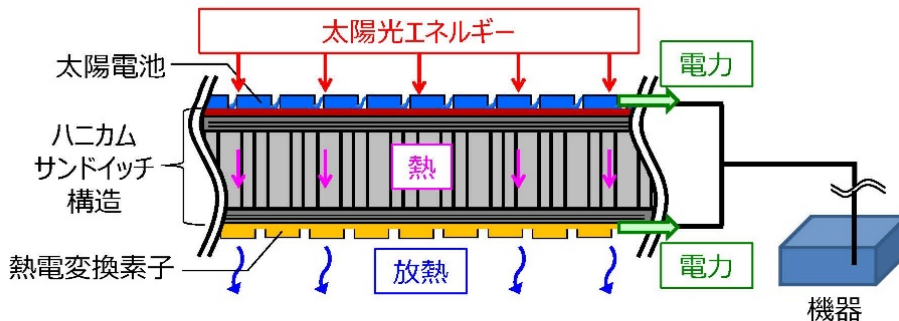
© Mitsubishi Electric Corporation



コンセプト

太陽光照射面の太陽電池で発電し、その排熱が構造を伝わり、宇宙空間に放熱される経路中に熱電変換素子を搭載して電力を回収するパネル

熱電変換素子を搭載した太陽電池パネルの断面模式図



衛星電力の増強を目的とし、太陽電池パネルの排熱回収技術を開発
・伝熱解析を用いて、熱電変換素子の出力電力が大きいパネルを設計
・パネルの熱真空試験を行い、素子の出力電力を評価

4

© Mitsubishi Electric Corporation



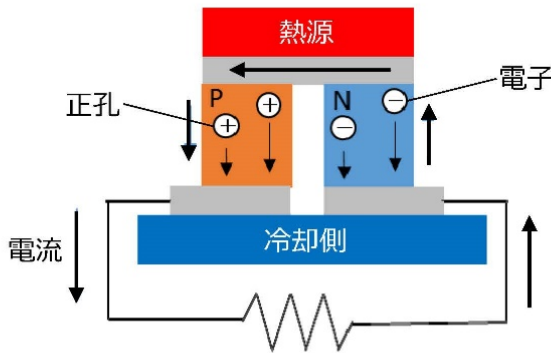
2. 熱電変換素子の発電原理

熱電変換素子：ゼーベック効果を利用して熱を電力に変換する半導体素子

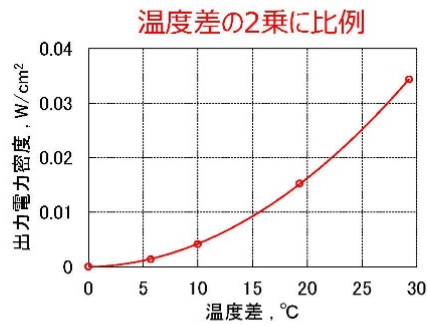
発電原理：

- (1) P型/N型半導体の片側に熱を与えると、それぞれ正孔/電子が発生
- (2) 正孔/電子の密度をバランスするように、正孔/電子が冷却側に移動
- (3) 加熱端と冷却端を導電体で結合し抵抗を与えることで、電力を出力

熱電変換素子の発電原理の説明図



熱電変換素子の出力電力の例



5

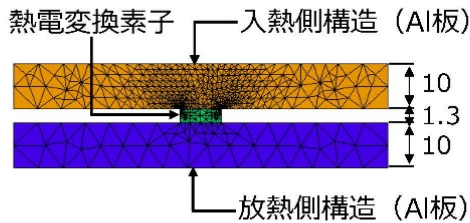
© Mitsubishi Electric Corporation



パネル構成の検討

・熱電変換素子の特徴を考慮し、素子の搭載面積率と温度差との関係を解析で評価

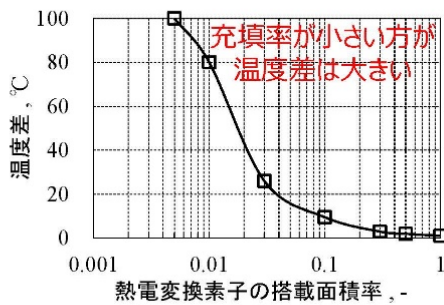
解析モデル



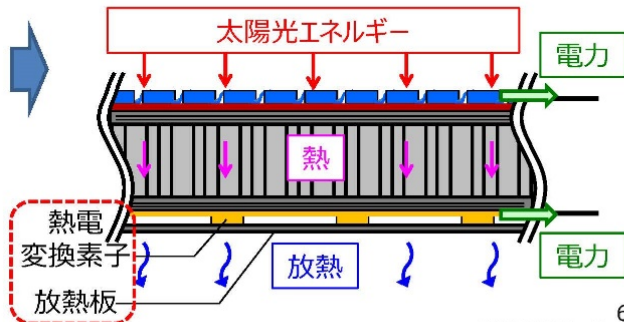
熱荷重：入熱側構造の上表面に947.1W/m²
境界条件：入熱/放熱側構造の上/下表面に輻射冷却（温度4K）

$$\text{搭載面積率} = \frac{\text{入熱側構造と接する素子面積の総和}}{\text{入熱側構造の面積}}$$

素子の充填率と温度差との関係



パネルの基本構成



6

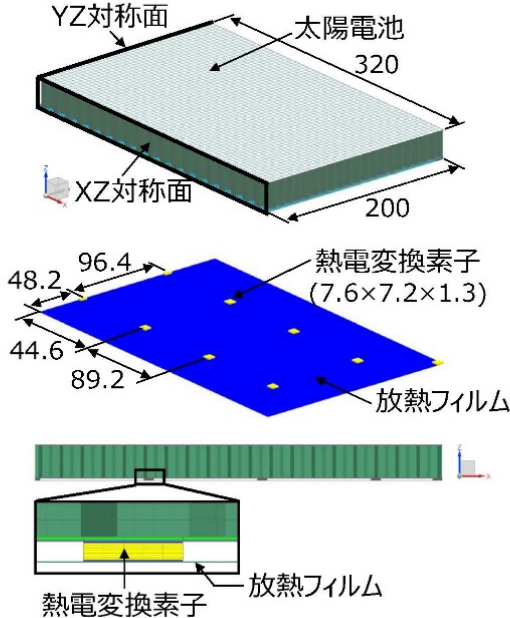
© Mitsubishi Electric Corporation



3. 熱電変換素子を搭載した太陽電池パネルの設計

- ・素子と放熱フィルムを裏面に接着したパネルのFEMモデルを作成、伝熱解析を実施

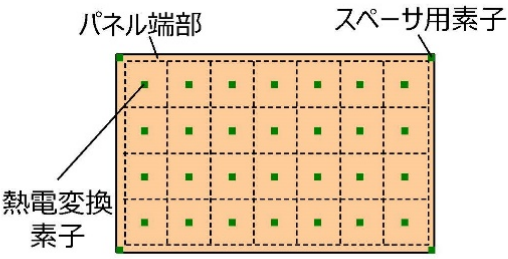
解析モデル (1/4対称形状)



熱荷重：太陽電池セルの上表面に947.1W/m²
境界条件：モデルの上/下表面に輻射冷却
(温度4K)

$$\sigma = \frac{\sum S_i}{A} \times 100 \quad (i=1 \sim N)$$

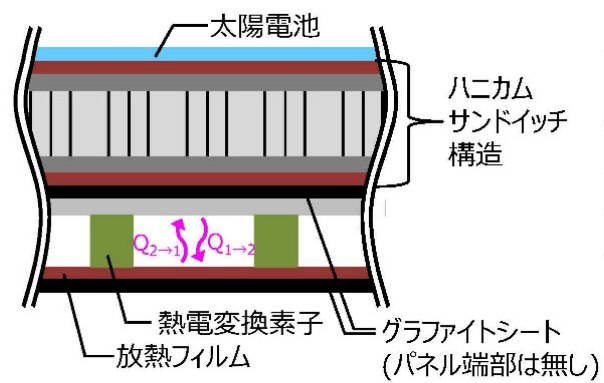
σ：素子搭載面積率
S_i：パネル面と接する素子の面積
A：パネル面積、N：素子の個数



パネル面内の高熱伝導化と輻射伝熱の低減

- ・面内の高熱伝導化のためにグラファイトシートを、輻射伝熱の低減のためにアルミシートを取付

パネルの断面外略図



材料	面内熱伝導率 [W/(m・K)]
CFRP	23
ポリイミドフィルム	0.2
グラファイトシート	1750

材料	輻射率 [-]
グラファイト	0.80
ポリイミド	0.81
アルミ合金	0.04

※接着/粘着層は非表示

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \varepsilon_1 \cdot E_{G1} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

$$Q_{2 \rightarrow 1} = \varepsilon_2 \cdot E_{G2} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_2^4 - T_1^4)$$

Q：輻射熱、ε：輻射率、形態係数；E_G、
σ：ステファンボルツマン定数、面積；A、T：温度

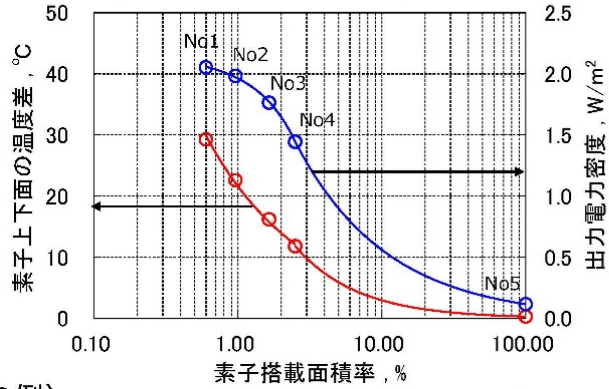


パネルの伝熱解析結果

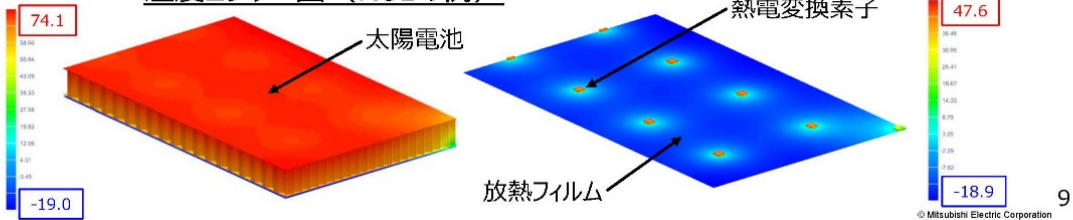
・搭載面積率が小さい方が出力電力は大きく、0.60%で2.1W/m²の発電を予測

素子搭載面積率と温度差,出力電力密度の関係

No	素子搭載面積率[%]
1	0.60
2	0.96
3	1.65
4	2.50
5	100



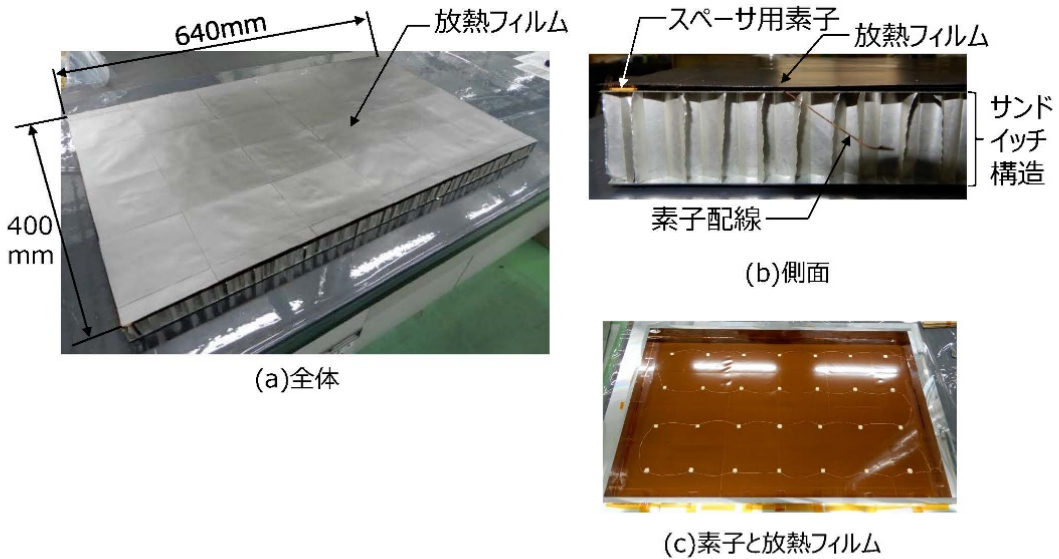
温度コンター図 (No1の例)



4. 熱真空試験と出力電力評価

・素子搭載面積率0.60%の仕様において試験体を製作、熱真空試験を実施

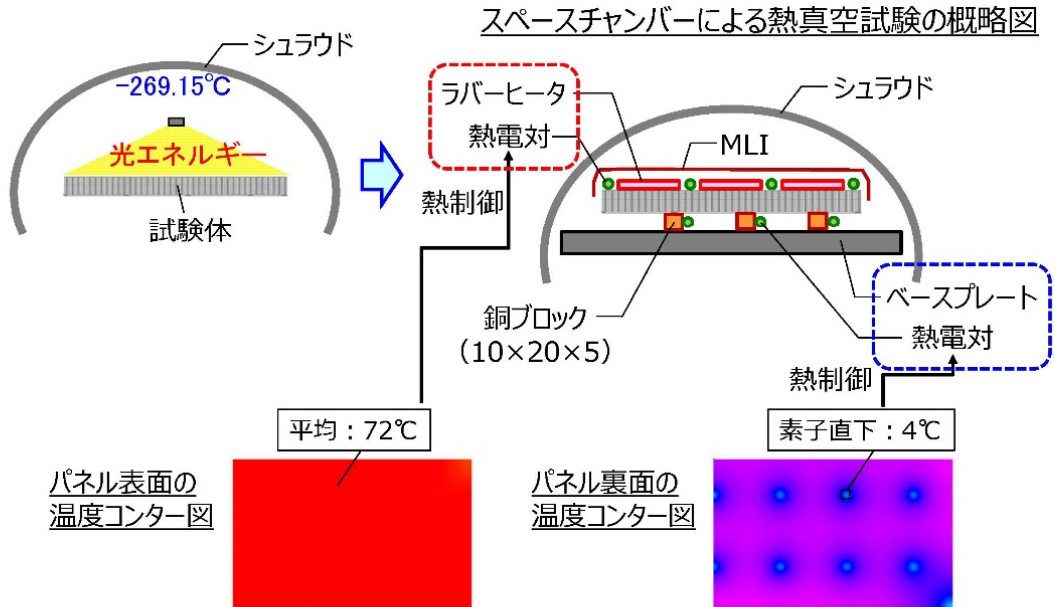
試験体





試験方法

- ・解析で予測されたパネル表面温度(72℃)と裏面温度(4℃)を設定したときのパネルの出力電力を評価

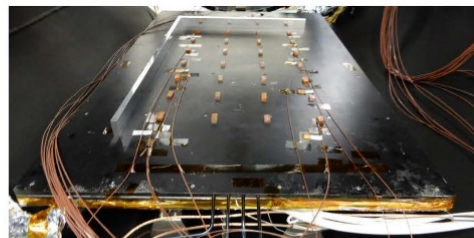
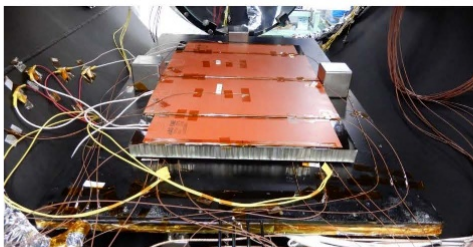
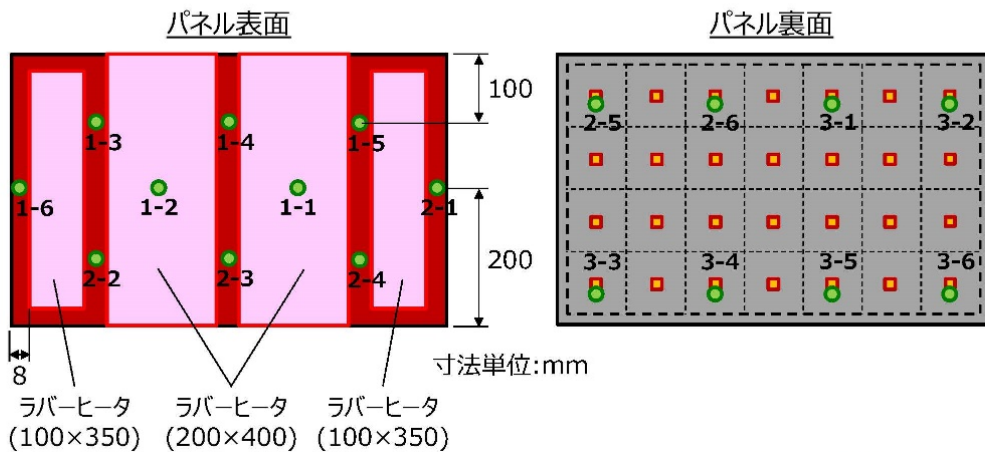


11

© Mitsubishi Electric Corporation



ヒータと温度センサの配置

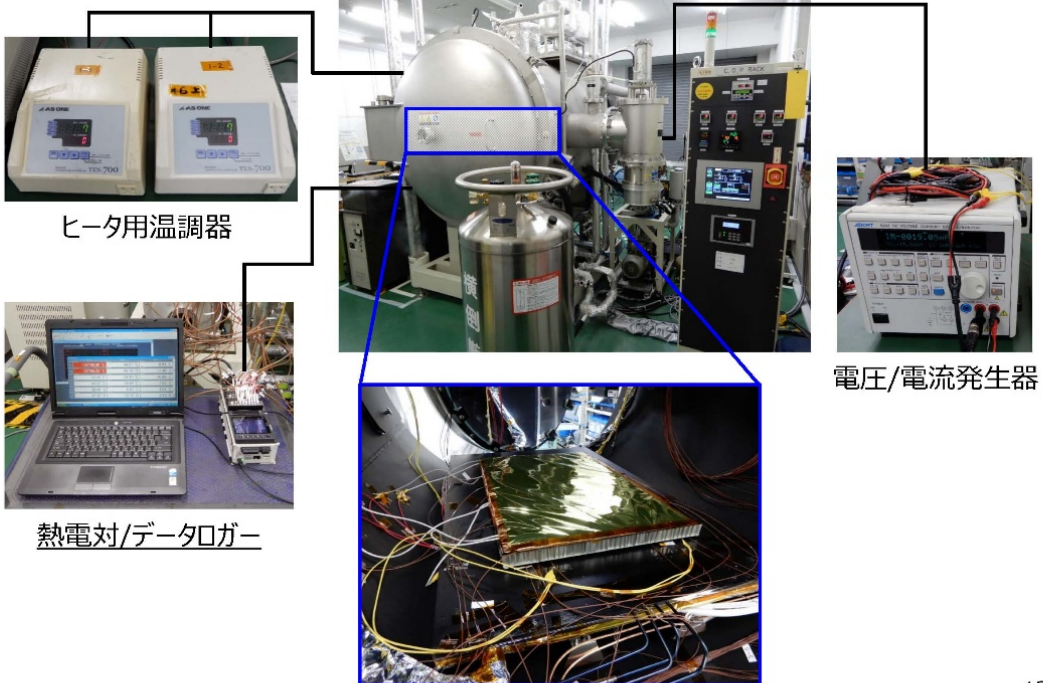


12

© Mitsubishi Electric Corporation

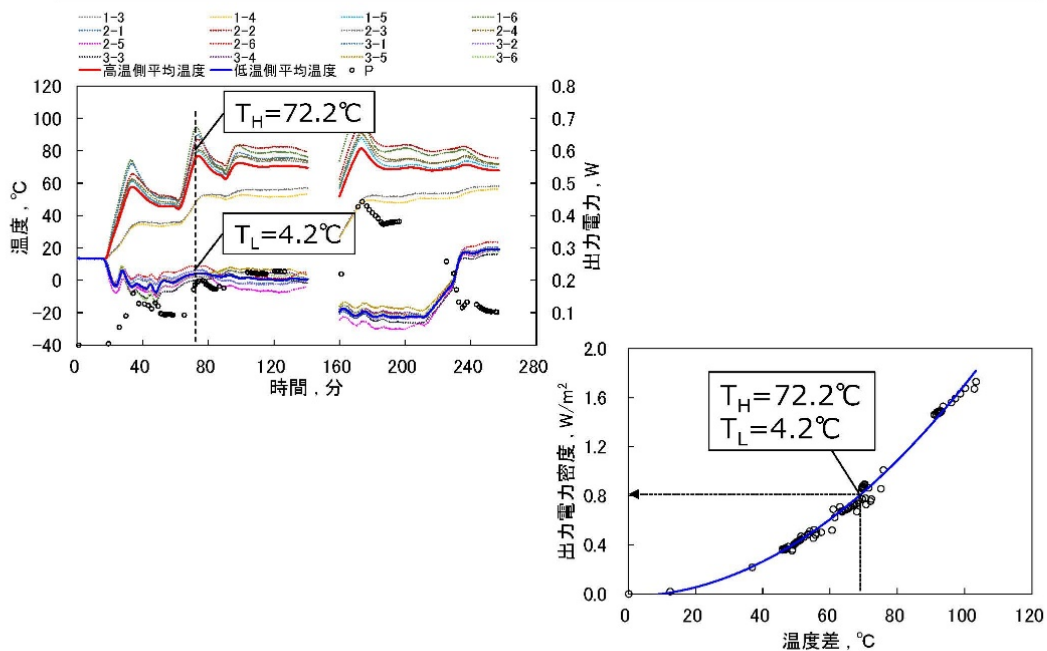


試験セットアップ



出力電力評価結果

・太陽電池パネルの排熱から電力を回収できることを実証 (0.8W/m²の発電を確認)



5. まとめ

衛星電力の増強を目的とし、太陽電池パネルの排熱回収技術の開発に取り組み、以下の結果を得た

- ・パネルの伝熱解析を実施し、熱電変換素子の搭載面積率が小さいほど温度差は大きくなって出力電力も増大し、搭載面積率が0.60%のときに出力電力が最大であった
- ・パネルの熱真空試験を行い、素子による $0.8\text{W}/\text{m}^2$ の発電を確認し、太陽電池パネルの排熱から電力を回収できることを実証した

質疑応答

質問者① JAXA 研究開発部門第一研究ユニット 艸分様

大変興味深い内容発表いただきありがとうございます。2点質問がございます。6ページの左側のグラフで搭載面積率と温度差のグラフがございますが、この温度差の分だけ従来パネルよりもセグメントの温度が高くなるのでしょうか。

発表者

おっしゃる通りです。やはりセル面の温度が少し上がってくるということがございます。こちらは簡単な結果になってはいますが、実際にこの条件の時にセル面の温度がどれくらい上がるかというのを解析的に見ています。この条件の時に大体10度ほど上がってしまうという結果になっています。

質問者①

温度差が30度の時にセル面が10度程上がるということでしょうか？

発表者

その通りです。

質問者①

もう一点について、9ページのグラフで確認させていただきたかったことなのですが、このグラフの縦軸が W/m^2 になってはいますが、これはパネルの面積でしょうか、素子の面積でしょうか。

発表者

パネルの面積となります。

質問者② 三菱重工業株式会社 中村様

宇宙で使用されている太陽電池パネルというのは、一般的に平米あたりのW数でいうと20Wとか30Wとかではないでしょうか。それに対して0.8Wという値は決して小さくない値であると認識しています。それで、今後パネルの熱を使って効率を上げていくというのとパネル自身の性能をあげていくのはどちらのほうが進歩してきているのでしょうか。動向を教えてくださいませんか。

発表者

決して小さくないとっていただけて非常にありがたいのですが、現状の太陽電池パネルはもう少し大きいのでこれだと少し実際に使用するのには厳しいかなと感じています。太

陽電池パネルよりも発熱熱量の大きいところのほうが向いているのかなと個人的にはおもっております。ただ、方法がないわけではなく、先ほどご質問いただきました太陽電池セルの温度と関係してくるのですが、もう少し収熱等をしてあげれば温度差を付けることは可能です。ただ太陽電池セルを主で考えた場合、温度が上昇しすぎるとセルの効率が変化してしまうので、もう少し良い使い方がないかということを考えております。二点目にご質問いただいた、セル自身の効率がということですが、セル自身の効率を上げることは難しいと最初に申しましたが、昨今ですといろんなタイプが出てきておりまして、特にJAXAさんでもされているペロブスカイトの太陽電池とか将来性のあるものが出てきているので、そういったところがイノベーションを起こすこともあるかと思えます。

質問者③ 株式会社スペースゲート 齋藤様

発表のほうお疲れ様でした。電氣的な話はとてもアイデアとして良いと思えました。一方、太陽電池パネルはセルに貼っているガラスが割れる等、環境的にかなり厳しいものがあると思うのですが、これに導電素子を張ったとき機械的な問題は起こらないのでしょうか。非常に点で接触しているので膜に機械的な問題が起きるのではないかという気がしております。その辺の方は検討されているのでしょうか。

発表者

本当は振動試験等を行いたかったのですが、まだ行えておりません。ご指摘いただいた懸念点は確かにございまして、機械的に素子の接着の部分が耐えられるか、ということは今後の課題となっております。

質問者④ 日本電気株式会社 小林様

貴重なお話ありがとうございました。一点質問がありまして、この素子を取り付けるにあたって何枚かシートを取り付けるかと思いますが、全体のパネルに対して質量何パーセントぐらい増えるのでしょうか。

発表者

質量に関しても算出しておりまして、実際の弊社のパネルに対して何パーセントというのはあいにく申し上げられませんが、素子自体は一個当たり0.3gなので何キロという値にはなりません。