

## **Microwave irradiation experiment to imitation electrode of solar cell**

Akio Ikeda, Kouhei Kasedo, Mengu Cho (Kyushu Institute of Technology)

Yasumasa Hisada (JAXA)

Department of Electrical Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1 Sensui Tobata-ku Kitakyushu 804-8550, Japan

Phone: +81-91-884-3229

Fax: +81-91-884-3229

[g346406a@tobata.isc.kyutech.ac.jp](mailto:g346406a@tobata.isc.kyutech.ac.jp)

### **Abstract:**

SPS transmits power to Ground by using 5.8GHz microwave. This microwave has possibility to cause discharge on solar array of SPS by leak and diffraction. Satellites that pass under SPS have also possibility, because it is momentarily irradiated by microwave. Therefore, we carried on experiment to irradiate solar cells with microwave, and analyze discharge occurrence. We used 20mm x 40mm solar cells and 35mm x 70mm solar cells in the experiment, and used a microwave of 400W. Discharge occurred only with the 20mm x 40mm solar cell, and the 35mm x 70mm solar cell did not discharge even for 400W irradiation. Points of discharge concentrated on the inter-connector and the N electrode of the solar cell. So we concluded that discharge involved the shape of solar cell electrode. It seems that electric field concentrates on N electrode. Then, we calculated electric field around N electrode by FDTD method. The electric field of 1/8 model N electrode gives rises 23dB at the electrode tip compared macro electric field by calculation. To examine influence of only N electrode, we made simulated electrode of solar cell that have electrode length 20mm and 35mm. We irradiated the simulated electrode with microwave. Only simulated electrode of electrode length 20mm shows discharge. Therefore we conclude that the discharge on solar cell depends on electrode length of solar cell.

# 太陽電池模擬電極へのマイクロ波照射実験

池田顕夫、加世堂康平、趙孟佑(九州工業大学)

久田安正 (JAXA 高度ミッション研究センター)

## 1. はじめに

太陽発電衛星(以下SPS)において地上への電力伝送に 5.8GHzのマイクロ波を使用することが考えられているが、このマイクロ波がSPSの太陽電池に漏洩、回折し、放電を引き起こす可能性がある。また、SPSの下を通過する衛星にも瞬間的ではあるがマイクロ波が照射されるため、放電が起きる可能性がある。想定される放電としてはRFガス放電とマルチパクタ放電<sup>[1]</sup>がある。RFガス放電は放電発生箇所の局所圧力に依存し、マルチパクタ放電は電界強度に依存する。本研究の目的は真空環境下で太陽電池に 5.8GHzのマイクロ波を照射した時の太陽電池上での放電発生の有無、および放電発生の原因を調べることである。これまで行なってきた研究からエネルギー密度 200[W/m<sup>2</sup>]程度のマイクロ波により太陽電池の電極およびインターコネクタ周辺で放電が起きることが分かっている。しかし、実験に使用した太陽電池は 20mm×40mm(以下 small cell)で現在一般的に使用されている 35mm×70mmの太陽電池(以下 large cell)とは異なる。太陽電池の比較を行うために以下のような研究を行った。

(1)small cell クーポン、large cell クーポンへのマイクロ波照射

(3)太陽電池周辺の電界分布のシミュレーション

(4)太陽電池模擬電極へのマイクロ波照射

## 2. 実験装置および測定系

図1に実験装置を示す。実験で使用するクーポンは直径 0.4m、長さ 0.4m の真空チャンバー内に設置した。使用するマイクロ波はマグネトロンを使用し、5.8GHz、最大出力 CW400W である。マイクロ波発振器から真空チャンバーにモード変換ホーンを用いて取り付けた。入射、反射電力は発振器とモード変換ホーンの間にある方向性結合器からダイオードで検波することにより検出した。真空チャンバー内の圧力は電離真空計により測定し、放電発生確認は CCD カメラの画像で行った。また、クーポンに貼った黒体テープから放射温度計で温度を測定した。

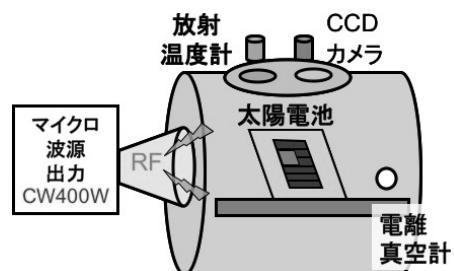


図1 実験装置

## 3. small cell クーポン、large cell クーポンへのマイクロ波照射

実験に使用したクーポンを図2に示す。small cell クーポンは Si でセルサイズ 20mm×40mm、5 直列でありカプトンフィルム上に接着されている。large cell クーポンは Si でセルサイズ 35mm×70mm、4 直列 3 並列であり CFRP にカプトンフィルムを貼ってある構体に接着されて

いる。クーポンには太陽電池の局所圧力を算出するために黒体テープを貼った。

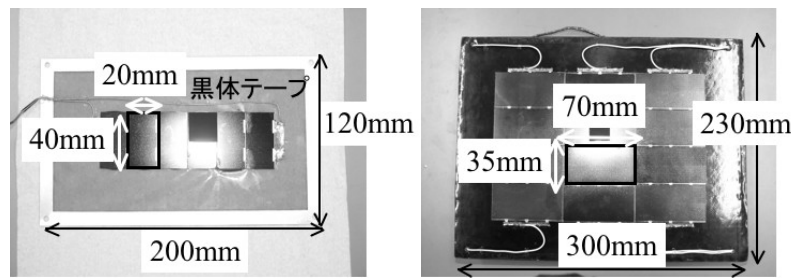


図 2 small cell クーポン(左)、large cell クーポン(右)

small cell クーポンに雰囲気圧力( $10^{-3}\text{Pa}$ )でマイクロ波を 0Wから 100Wまで五分間隔で 10Wずつ上昇させて照射し、放電発生閾値を調べた。図 3 の左図はsmall cellクーポンの放電点の光強度履歴である。放電点の光強度はCCDカメラで撮った画像から放電点の光強度を算出した。また、図 3 の右図はsmall cellクーポンに貼った黒体テープを放射温度計で測定した温度である。80W照射時にインターコネクタで放電が発生した。このとき光強度が上昇しているが、これは放電による発光のためである。また、このとき圧力はほとんど変化しなかった。放電時の黒体テープの温度は 65 度であり、この温度からクーポンの局所圧力を算出したところ 0.08Paとなった。large cell クーポンに対しても同様に実験を行った。しかし、100W照射しても放電が見られなかったため、0Wから 400Wまで五分間隔で 100Wずつ上昇させて照射した。しかし放電は確認できなかった。400W照射時、黒体テープの温度は 105 度、雰囲気圧力は 1Paオーダーであった。small cellクーポンと同様にlarge cellクーポンの局所圧力を算出したところ 800Paとなった。このことから太陽電池での放電は太陽電池の形状に依存するといえる。また放電の発生した箇所がインターコネクタとN電極先端部に集中するので太陽電池の電極、特にN電極の形状に依存していると考えられる。また、large cellクーポンの局所圧力は非常に高い値であるのに放電しなかったことから今回の放電は圧力には依存しないといえる。

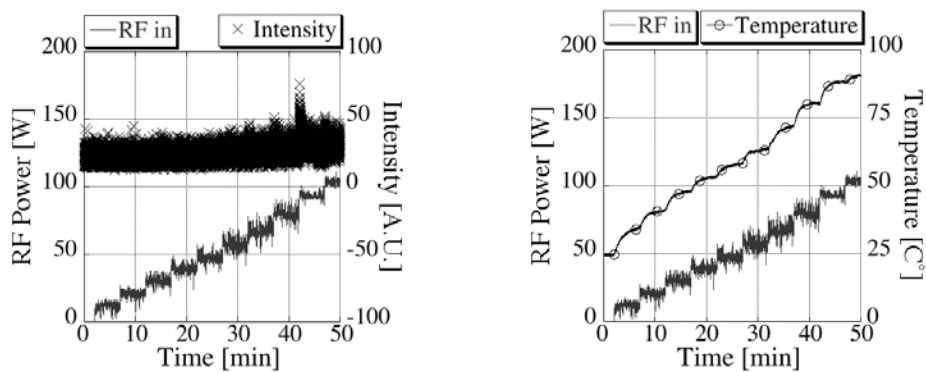


図 3 small cell クーポン試験履歴 放電点の光強度(左) クーポン温度(右)

#### 4. 太陽電池周辺の電界分布シミュレーション

太陽電池電極周辺で電界が強まり、マルチパクタ放電が起きた可能性が考えられる。そこで太陽電池電極周辺の局所電界を調べるために FDTD 法(Finite Difference Time Domain

method)を用いてシミュレーションを行った。FDTD 法は計算領域を微小直方体で分割し、その微小直方体に対して差分のマクスウェル方程式を解くことで電磁場解析を行う。しかし、真空チャンバーと太陽電池電極はサイズが異なるため同時にシミュレーションすることが難しい。そこで真空チャンバーのみのシミュレーションを行い、真空チャンバー内のマクロな電界強度の最大値を求める。次に太陽電池電極周辺のシミュレーションを行い、真空チャンバーの結果と合わせ最終的にチャンバー内の太陽電池電極周辺の電界分布を求めるという方法を取った。真空チャンバーのシミュレーションモデルは図 4 である。図 5 は真空チャンバーの断面の平均電界分布である。このシミュレーションから真空チャンバー内で定在波ができており、入射波より 3dB の電界が上昇している場所があることが分かった。

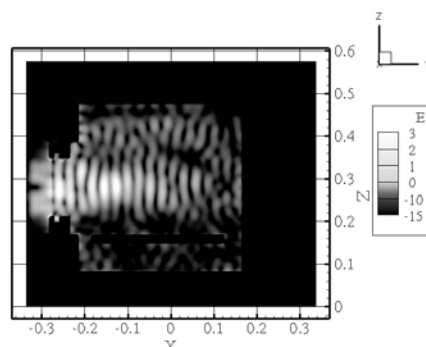
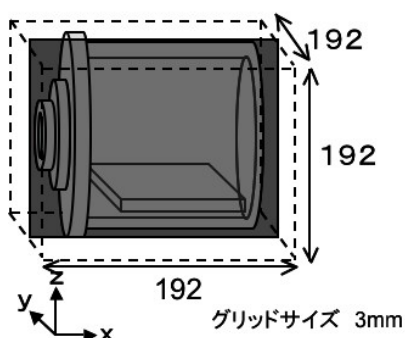


図 4 真空チャンバーシミュレーションモデル 図 5 真空チャンバー内平均電界分布

太陽電池電極周辺シミュレーションに使用した電極モデルはsmall cell のN電極である。しかし、計算の都合上電極の 1/8 しか模擬できていない。また図 6 に太陽電池電極周辺のモデルを示す。図 7 は図 6 での太陽電池電極を配置したy平面における電極先端での平均電界分布の分布を電極がない時の電界を基準としたdB表示したものである。太陽電池電極周辺シミュレーションから電極先端で最大 23dB の電界が上昇していることが分かった。この結果から 400W出力時の電極先端の電界を算出すると  $6.4 \times 10^4$  [V/m] となる。マルチパクタ放電の発生閾値は  $1.0 \times 10^6$  [V/m] 程度と見積もられるため、放電に至らないことになる。しかし、今回のシミュレーションでは太陽電池のN電極の 1/8 しか模擬できていない。そのため電極の完全なシミュレーションを行った場合電極周辺でマルチパクタ放電の発生閾値以上になる可能性がある。

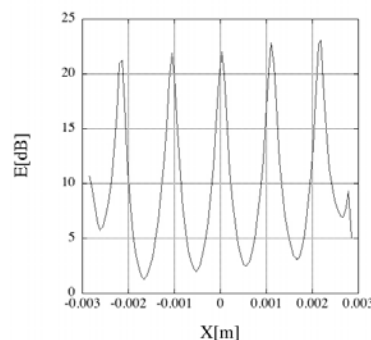
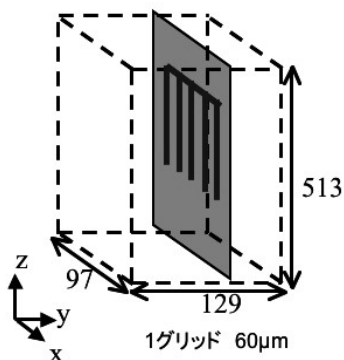


図 6 太陽電池電極周辺シミュレーションモデル

図 7 太陽電池電極先端の平均電界分布

## 5. 太陽電池模擬電極へのマイクロ波照射

太陽電池で起きる放電が電極の幾何形状によるものと考え、太陽電池の模擬電極を作成し、マイクロ波照射実験を行った。small cell と large cell の N 電極は図 8 のような形状をしている。今回は電極の電極長のみに着目した。small cell を模擬した電極は電極長 20mm、large cell を模擬した電極は電極長 35mm、電極間隔、電極幅は small cell 、large cell とともに 1mm、100  $\mu\text{m}$  とし、ポリイミドフィルム上に銅の模擬電極を作成した。

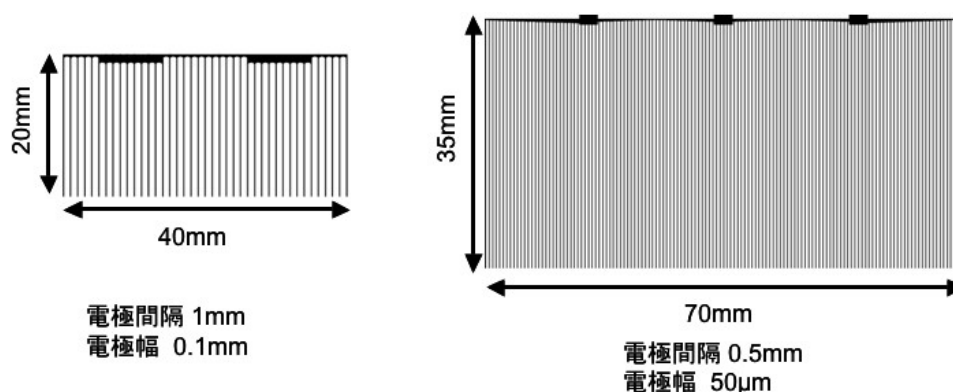


図 8 太陽電池の N 電極形状 small cell (左) large cell(右)

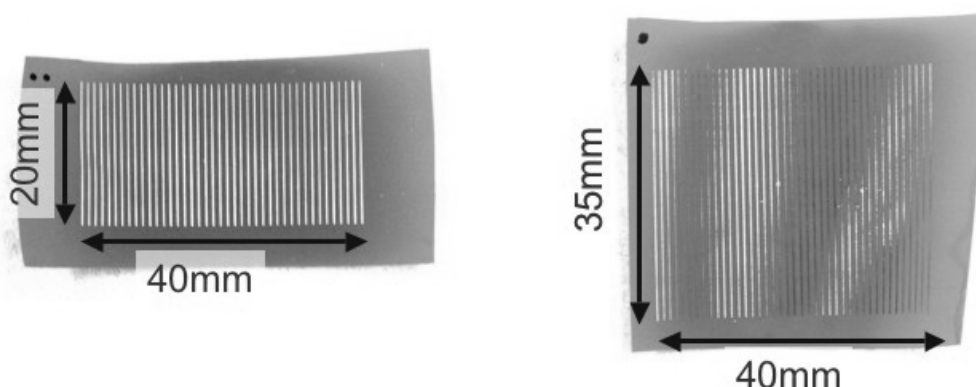


図 9 模擬電極 small cell モデル(左) large cell モデル(右)

作成した模擬電極は small cell モデル、large cell モデルともに 100W から放電が発生するまで 3 分間隔 20W 刻みで上昇させた。small cell モデルでは 240W 照射時電極先端で放電が発生した。放電はマイクロ波照射をやめるまで激しく発光した。放電発生後は数 10W 程度のマイクロ波照射でも放電を確認した。large cell モデルは 400W 照射時でも放電を確認できなかった。実験後の模擬電極を図 10 に示す。small cell モデルは電極周辺がかなり焦げていることが分かる。放電点周辺は放電によりポリイミドフィルムが溶けていた。large cell モデルは small cell モデルよりも高強度のマイクロ波を長時間照射したにも関わらず電極周辺の焦げは少なかった。

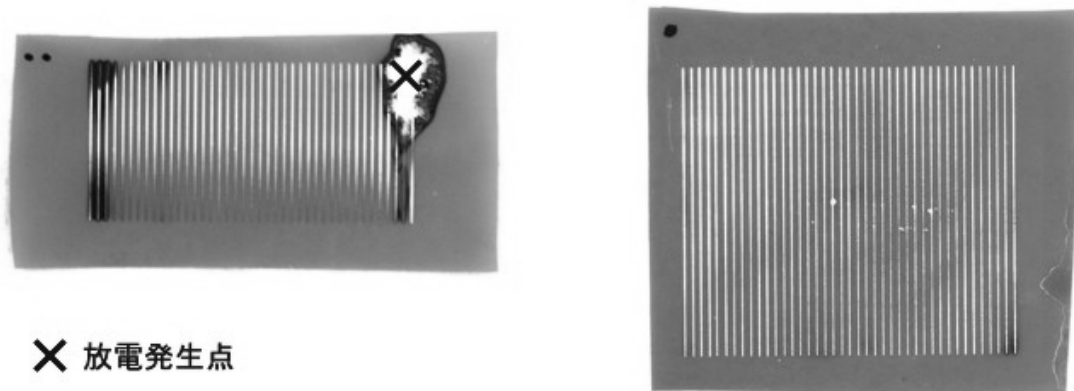


図9 実験後の模擬電極 small cell モデル(左) large cell モデル(右)

## 6. まとめ

20mm×40mm の太陽電池を使用した small cell クーポン、35mm×70mm の太陽電池を使用した large cell クーポンの太陽電池にマイクロ波を照射した際、small cell クーポンのみで放電を確認した。small cell、large cell の N 電極を模擬した模擬電極にマイクロ波を照射した際、small cell モデルの電極でのみ放電を確認した。これより太陽電池で起きる放電には N 電極の電極長に依存するといえる。また、電磁界シミュレーションから算出した電極先端の電界分布から太陽電池の電極形状が局所的電界強度を強め、放電に至ると考えられる。

今後は圧力一定下で電極長、間隔、幅等の異なるサンプルへマイクロ波を照射し、放電に起因する N 電極のパラメータの推定。アンテナ、ケーブル、コネクタ等の SPS で使用されると考えられる様々な部材マイクロ波を照射し、放電発生の有無を調べる。また、今回行えなかった太陽電池電極の完全なシミュレーションを行っていく。

## 参考文献

- [1]R.A.Kishek, Y.Y.Lau,; Multipactor discharge on metals and dielectrics, PHYSICS OF PLASMAS Vol.5,No.5, May 1998, pp2120-2126