

# Interaction among microwave, satellite surface and plasma around a SSPS SSPS demonstration microsatellite\*

Mengu Cho, Hirokazu Masui (KIT), Tatsuhito Fujita (JAXA)

## Abstract

A SSPS demonstration satellite planned in 201x in Low Earth Orbit intends to radiate high-intensity microwave in dense ionospheric plasma. It was found by the past laboratory experiments conducted jointly by KIT and JAXA that discharge occurs as gas was generated from heated insulator surface nearby conductor that intensified the microwave. Conductors that had an appropriate shape to intensify the microwave could cause discharge under the microwave irradiation as low as several kW/m<sup>2</sup>. The antenna pattern on the surface of microwave emitter has mixed patterns of conductor and insulator. Therefore, discharge is possible as the high intensity microwave is emitted in dense background plasma and neutral gas. As the SSPS demonstration satellite is becoming reality, we need to carry out detailed study on the interaction among microwave, satellite surface and plasma once again. It was decided to resume the laboratory experiment from FY 2010. This research enables us not only applying the experimental result directly to the design of the demonstration satellite, but also giving a guideline to high intensity microwave apparatus such as SAR of which use is expected to rise in near future. Before resuming the experiment, we look back the past research result and introduce the new experimental system and the experimental plan.

---

\* Presented at the Thirteenth SPS Symposium, 28-29 October, 2010

# SSPS 小型実証衛星のマイクロ波・衛星表面・プラズマ相互作用について

趙孟佑、増井博一（九州工業大学）、藤田辰人（JAXA）

## 1. はじめに

201x 年度に予定される低軌道での SSPS 実証衛星では、高密度プラズマ中での高強度マイクロ波の放射が予想される。マイクロ波放射面のアンテナパターンは導体と絶縁体の混在したパターンが形成されており、プラズマ密度並びに背景ガス密度の高い低軌道での高強度マイクロ波放射によってアンテナ表面での放電が誘起される可能性がある。SSPS 実証衛星が具体的に計画される中で、高強度マイクロ波・衛星表面・プラズマの三者の相互作用について、詳細な検討を加える必要があり、2010 年度から地上実験を実施することとなった。この研究は、実験結果を実証衛星の設計に直接適用できることのみならず、高強度 SAR 等の今後低軌道で利用が高まると思われる高強度マイクロ波機器の耐放電設計の指針を与えるという意味からも有用である。本稿では、研究の実施にあたり、過去の研究結果を振り返ると共に、実験システム・実験計画についての紹介を行なう。

## 2. 高強度マイクロ波照射による放電現象

SSPS からの高強度マイクロ波が電離圏プラズマを通過する際の相互作用については、自由空間におけるマイクロ波とプラズマの非線形相互作用について、京都大学において以前から研究がなされてきた。しかしながら、これらの現象について、境界のあるプラズマ容器中で発生したプラズマと使って実験的に研究する事は難しく、理論的研究や高速大容量コンピュータによる数値実が中心となってきた。

一方、高強度マイクロ波と衛星表面の相互作用については、放電現象を対象とした研究が中心となるが、マイクロ波・衛星表面・プラズマ（ガス）の3要素を局所的に再現すればよく、実験室内での実験が可能である。マイクロ波が絡んだ放電現象としては、マルチパクタ放電と高周波ガス(RF)放電の二種類がある。マルチパクタ放電は、衛星通信機器や地上の高周波プラズマ加熱機器で以前から問題となっており、それらの分野で研究がなされてきた。RF 放電は、プラズマプロセス等のために高周波でプラズマを生成するメカニズムとして、これらも多くの研究実績がある。

マルチパクタ放電は、電界周期として同期して2次電子が雪崩的に増殖することにより引き起こされる放電であり、2次電子が放出されるための「表面」が必要である。電子が高周波電界により表面に向かって加速され、表面に到達した際に一個以上の2次電子を放出するのに十分なエネルギーを得る。次に表面から放出された2次電子が高周波

により加速を受けるのであるが、その加速の周期と2次電子が表面から飛び出て再度表面に衝突するまでの周期が同期することで効率的に2次電子を加速できればよい。2次電子が雪崩的に増大すると、表面を叩く2次電子がもたらすエネルギーフラックスが膨大なものとなり、表面からのガスの脱離をもたらし、最終的にそれらのガスの電離から放電に至る。一個以上の2次電子を放出するためには、それなりのエネルギー(50eV程度)は必要であり、マルチパクタ放電が発生するためには強電界が必要である。

RF ガス放電は電離衝突により荷電粒子が増殖することで起きる放電である。そのため「表面」の存在は不要であるが、高周波電界からエネルギーを受ける初期電子は必要である。衝突前に電子一個が受け取る高周波電界から受け取るエネルギーが電離エネルギーよりも大きくなければいけないし、また電子と衝突するのに十分な中性ガスの密度が必要である。そのため、RF ガス放電には高圧力が必要である。

図1にマルチパクタ放電とガス放電の発生しきい値を理論的に求めたものを示す。1GWSSPS直下のエネルギー密度を $1\text{kW/m}^2$ として電界強度を計算すると電界値は $1\text{kV/m}$ より低く、衛星周辺のガス密度を考えると、SSPS周辺ではRFガス放電もマルチパクタ放電も無視できる筈である。しかしながら、2004年度から07年度にかけて実施された九工大とJAXAの共同研究では、そのレベルの5.8GHzマイクロ波を照射された太陽電池やアンテナで放電が発生することが確認された<sup>(1),(2)</sup>。実験で照射されたマイクロ波の強度は $2.6\text{kW/m}^2$ であるが、これはあくまでMacroscopicな値であたり、太陽電池のN電極等の導体部分の先端で局所的に電界が高められ加熱された結果、そこから脱ガスが発生してガス放電に至ったのではないかと考えられる。放電の有無は照射される物体の形状に強く依存しており、マイクロ波電界を局所的に高める金属のパターンが形成されていることが大事であった。

### 3. 今後の研究

2010年度から九工大とJAXAでは高強度マイクロ波と衛星表面の相互作用に関する共同研究を再開することとなった。今回の研究では、以前のように衛星表面がマイクロ波を照射されるのではなく、近々に予定される低軌道での技術実証を想定して、アンテナから高強度マイクロ波を放射した際に、電離圏相当の高密度プラズマ中で絶縁体と導体が混在したアンテナ表面とその近傍での放電現象について実験的に調べることを目標としている。具体的な目的は、実験結果を低地球軌道での実証衛星の設計に活用すると共に、高強度SAR等の今後低軌道で利用が高まるとされる高強度マイクロ波機器の耐放電設計の指針を与えることである。図3に示すような実験装置を再度組み立て、2010年度中には予備実験を行う予定である。

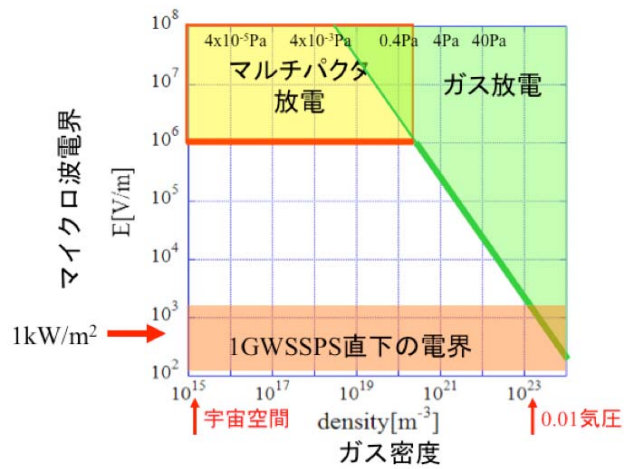


図1 マルチパクタ放電とRFガス放電の発生しきい値

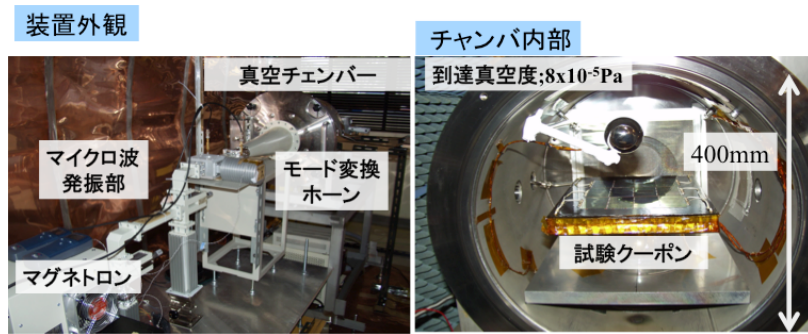


図2 2004年度から07年度にかけて実施されたマイクロ波照射実験の実験装置



図3 2010年度からのマイクロ波照射実験の実験装置

参考文献

1. K. Kasedo, S. Hosoda, K. Toyoda, M. Cho, Y. Hisada, "Discharge phenomenon on solar array surface due to RF irradiation", The 22nd ISDEIV Matsue, September 2006
2. 池田顕夫、趙孟佑、久田安正、「マイクロ波照射下での太陽電池で発生する放電の電極形状の依存性」、第51回宇宙科学技術連合講演会(2007年10月)