

## 宇宙太陽光発電 地上実証試験機用送電部の開発<sup>†</sup> Development of the Power Transmitting Section of Microwave Power Transmission Ground Test Model for Solar Power Satellite/Station

本間 幸洋<sup>\*1‡</sup>・佐々木 拓郎<sup>\*1</sup>・高橋 智宏<sup>\*1</sup>・原内 健次<sup>\*1</sup>  
佐々木 謙治<sup>\*2</sup>・中村 修治<sup>\*2</sup>

Yukihiro HOMMA, Takuro SASAKI, Tomohiro TAKAHASHI, Kenji HARAUCHI,  
Kenji SASAKI, and Shuji NAKAMURA

平成 21 年度から 26 年度にかけて、「マイクロ波による精密ビーム制御技術の研究開発」を推進した。本研究では、宇宙太陽光発電 (SSPS) のキー技術である、精密ビーム制御技術の実証を目的として実証試験機の開発を行い、電力伝送試験を行なった。本報告はこれらの研究のうち、送電部の開発結果を報告し、この成果を受けた SSPS 用送電部の今後の開発の方向性について提案を行なう。

From 2009 to 2014, the microwave power transmission ground test model had researched in order to demonstrate Microwave Power Transmission (MPT) technology at the field test for Solar Power Satellite/Station. In this paper, development result of the power transmitting section which consists of four active phased array antenna modules is reported and next development agendas are discussed.

**Keywords** : Active Phased Array Antenna, GaN HEMT, Microwave Power Transmission Technology

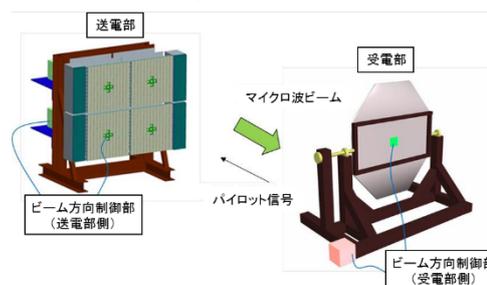
### 1. はじめに

平成 21 年度から 26 年度にかけて、「マイクロ波による精密ビーム制御技術の研究開発」について、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構等と共同で推進した。本研究では、SSPS のキー技術である、精密ビーム制御技術の実証を目的として実証試験機の開発を行い、電力伝送試験を行なった<sup>1-3)</sup>。本報告ではこれらの研究のうち、送電部の開発の結果を報告し、この成果で得られた知見をもとに今後の SSPS の送電部の開発方針の方向性について提案する。

### 2. マイクロ波電力伝送試験モデルについて

SSPS の原理実証を見据えて「50m 程度の距離でキロワット級のマイクロ波電力伝送を実施する」、「複数のアクティブフェーズドアレイ (APAA) で協調動作を行い、レトロディレクティブ技術を用いて精密なビーム制御技術を開発する」ことを目的に、実証試験機であるマイクロ波電

力伝送試験モデルの開発を行なった(図 1 に概念図を示す)。送電部は 4 台の送電モジュールで構成されており、協調動作を行なって 5.8GHz のマイクロ波を送信し、送電部は受信したマイクロ波を電力に変換する。ビーム方向は 2.45GHz のパイロット信号を利用して制御される。



第 1 図 マイクロ波電力伝送試験モデル概念図

### 3. 送電部の開発

**3.1 開発コンセプト** SSPS における送電部は、宇宙空間で太陽光発電を行い、その電力をマイクロ波に変換して地上に送電する、また大口径径が可能な技術であることが要求される。この要求に対して、今回開発した送電部は「小型・軽量」「高効率な DC-RF 変換」に注力した開発のコンセプトとし、①送電周波数は 5.8GHz、②小型・軽量化の最適設計を行う、③高効率の GaN 増幅器、④複数 APAA による送電・ビーム制御技術、の 4 つの施策を行なった。

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> Corresponding author: Yukihiro HOMMA.

E-mail: Homma.Yukihiro@df.MitsubishiElectric.co.jp

<sup>\*1</sup> 三菱電機株式会社 通信機製作所

〒661-8661 兵庫県尼崎市塚本町 8-1-1,

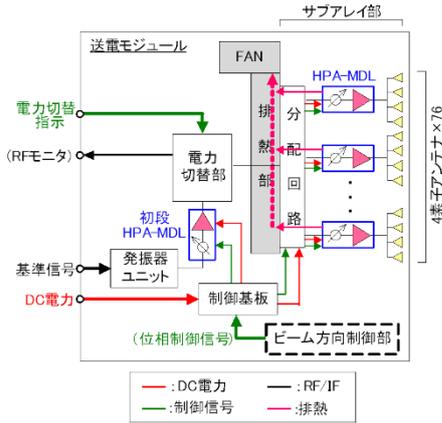
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 8-1-1,

Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki City, Hyogo 661-8661, Japan

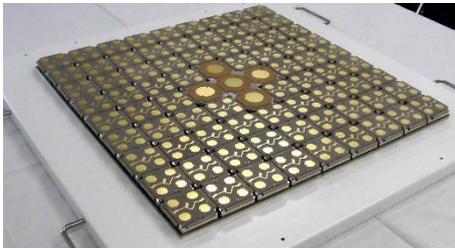
<sup>\*2</sup> 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号 機械振興会館 3 階

**3.2 開発成果** 第2図に開発した送電部の送電モジュール1台分のシステムブロック図を示す。RF信号に着目すると、送電モジュールの外部から入力した基準信号から5.8GHzを生成して、分配器で76個のサブアレイに分配される。この信号を最終段増幅器(HPA-MDL)で増幅して、4分配してアンテナからマイクロ波を照射する。図3に開発した送電モジュールの外観を、表1に性能評価試験の結果を示す。送電サブアレイは輸送性を向上させるために薄型化設計に注力し、厚さは約25mm(突起部除く)を達成した。また最終段増幅器のDC-RF変換効率、高効率なDC-RF変換効率のGaNデバイスを用いることで、全増幅器の平均で60.3%を達成した<sup>4)</sup>。



第2図 送電モジュール ブロック図



第3図 送電モジュール 外観

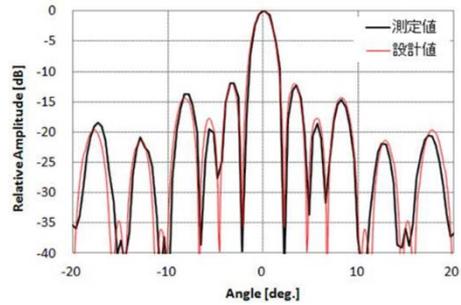
第1表 送電モジュールの評価結果

項目	仕様値	実測結果
サイズ	約0.6m×約0.6m	599mm×600mm
厚さ	40mm以下	25mm(突起部除く)
質量	19kg	16.1kg
周波数	5.8GHz	5.8GHz
出力	400W以上	平均449.8W (送電部全体で1795W)
効率	最終段 HPA: 平均60%以上 送電部総合: 30%以上	最終段 HPA: 平均60.3%, 送電部総合: 35.1%

送電部(図4参照)は、送電モジュールを4台並べ、位相を合わせて協調動作させることにより、理想的な送電マイクロ波ビームを形成し高効率な電を実現した。図5に4台の送電モジュールで送電した場合の放射パターンを示す。設計値とほぼ一致した良好なパターンが得られている<sup>4)</sup>。



第4図 送電部 外観(屋外試験風景)



第5図 送電部のAZ放射パターン(正面指向時)

#### 4. 今後の送電部開発方針の提案

本研究開発により、複数のAPAAを強調動作させて精度よく送電できる原理実証を行い、5.8GHzの半導体増幅器+APAAの送電システムの有用性を示すことができた。本成果はSSPSの実現に向けた大きな一歩と考える。一方、送電部としては引き続き表2に示すような課題に取り組んでいく必要があると考える。これらの課題の解決に向けた研究開発を着実に進め、SSPSの実現を目指して行きたい。

第2表 送電モジュールの評価結果

課題	概要
半導体高効率化	送電部の効率のポテンシャルを決める半導体増幅器の素子の高効率化が必要。
増幅器回路の高効率化	素子のみならず、増幅器内の種々の回路を改良し、送電部としての高効率化を目指す。
周辺サブシステムとの融合	「送電一体型パネルの開発」や「アンテナ展開方式」、「排熱方式」の検討等、太陽電池や構造・組立て等の周辺サブシステムとの共同の検討を進め、SSPSの実現性を高める。

#### 謝 辞

本研究開発は経済産業省より一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が受託した「太陽光発電無線送電技術研究開発」の一環として行なわれた。ご支援に感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) Mihara et al., S.: Microwave Transmission Experiment on the Ground for the Future SSPS, *ISTS Proc.* (2015).
- 2) 牧野克省 他: SSPSの実現に向けた高精度マイクロ波ビーム方向制御装置の開発とその技術実証試験, 信学技報

- SANE2015-22 (2015), pp. 37-42.
- 3) JAXA イベントホームページ: マイクロ波無線電力伝送地上実証試験/実用化実証 (デモンストレーション) .
- 4) 佐々木拓郎 他 : マイクロ波電力伝送試験モデル用送電部開発, 信学技報 2014-110(2015), pp. 81-84.

(2016. 1. 18 受付)