

# A Study for Arrangement of Receiving Ground Stations for SPS Small Satellite Experiment

Taichi Matsudo<sup>†</sup>, Yoshiyuki FUJINO<sup>†</sup> and Koji TANAKA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Science and Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Toyo University 2100 Kujirai, Kawagoe, Saitama, 350-8585

<sup>‡</sup> Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), JAXA  
3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210,

Abstract Demonstration experiments using small satellites are planning to realize SPS now. In this demonstration, it is necessary to accurately evaluate the shape of the beam transmitted from the satellite. For this reason, it is proposed to install multiple receiving stations, measure the receiving level, and reproduce the beam shape on ground. In this paper, we examined the arrangement of receiving stations for beam pattern evaluation. The antenna was assumed to be an offset parabola antenna of 1.9 m  $\phi$ . As a result, it is considered recommended receiving station area was in a circular range excluding the receiving station on the sea and the angle from the satellite from -3 to 3 degrees. Also, the installation interval of the receiving stations was 1.0 degree in optimum. It was confirmed that the tolerance of reception level was within 2.0 dB. Although the conclusion is preliminary, it was possible to develop a method that enables quantitative evaluation.

## 小型衛星を用いた SPS 実証実験に向けた受信局配置の検討

松戸太一<sup>†</sup>、藤野義之<sup>†</sup>、田中孝治<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東洋大学理工学部電気電子情報工学科 〒350-8585 川越市鯨井 2100

<sup>‡</sup> JAXA 宇宙科学研究所 〒252-5210 相模原市中央区由野台 3-1-1

### 1. はじめに

現在私たちの暮らしは化石燃料に依存しているが化石燃料は有限である。そのため化石燃料は有限である。そのため化石燃料の代替エネルギーが必要である。また化石燃料による電力発電は温室効果ガスの排出を伴う地球温暖化の原因となってしまう。そこで化石燃料の代替エネルギーとして宇宙太陽光発電（以下 SSPS）の研究が行われている。SSPS 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地上に送信、地上で再度電力に変換する。

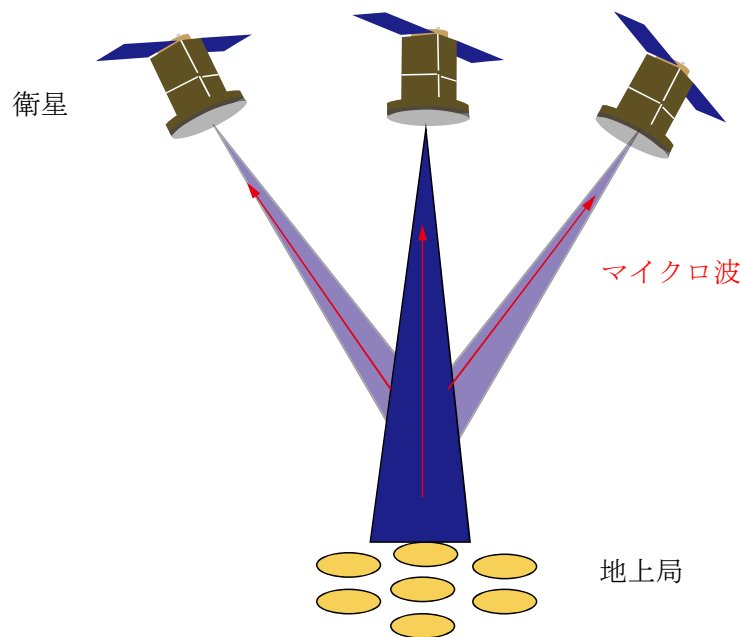


図 1 SPS 試験衛星実証実験イメージ図

将来 SSPS を実現のために JAXA はフェーズドアレーアンテナを搭載した小型衛星からマイクロ波ビームの制御実験を考えている[1]。本試験においては、衛星から送信されるビーム形状を正確に評価することが必要となる。このため、複数の受信局を設置してそのレベルを測定し、ビーム形状を再現することが検討されている。本研究では試験衛星から送電されたアンテナパターンの形成を地上で確認するために、地上に分散させた受信局の数、配置を検討する。実際の実験ではパラボラアンテナではなくフェーズドアレーアンテナであるが、今回はオフセットパラボラアンテナを代用した。

## 2. パターン再構成手法

今回計算したオフセットパラボラアンテナの概略図と座標系について図 2 に示す。

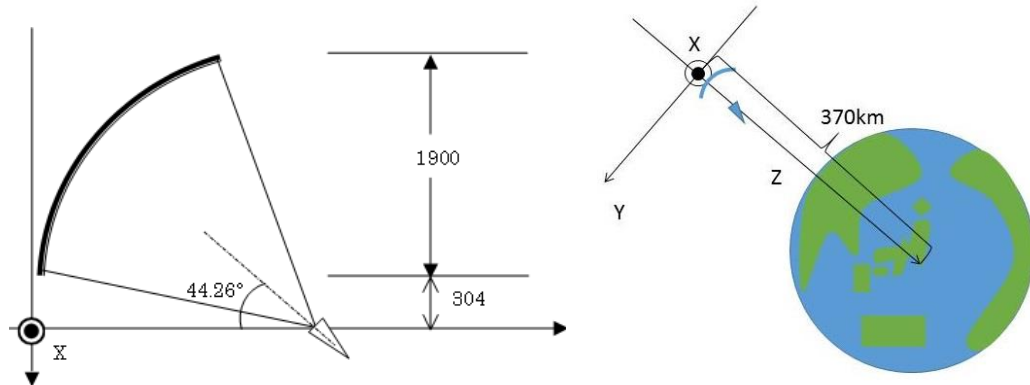


図 2 アンテナの概略図と座標系

アンテナは 1.9m  $\phi$  のオフセットパラボラアンテナを仮定し、その焦点距離は 1406.3mm である。ホーンアンテナは焦点に置かれており、z 軸に対し  $44.295^\circ$  傾いている。また、ホーンの特性は  $-10\text{dB}$  ビーム幅  $22.29^\circ \times 2$  であり、交差偏波は  $-19\text{dB}$ 、 $34.8^\circ$  を仮定している。このアンテナを勝浦上空 370km の衛星に搭載した時を考えた座標系を同図に示す。z 方向は勝浦に向けた主放射方向であり、これに直交する方向が x 方向及び y 方向である。x 方向が経度 (Az) 方向となり、y 方向が緯度 (El) 方向となる。

まず、物理光学法を用いて、衛星が上空にある時の地上のアンテナパターンを計算した。送信されたアンテナパターンのシミュレーションを行った結果、図 3 のようなアンテナパターンを得ることができた。横軸、縦軸は送信アンテナから見た方位角 (Az)、仰角 (El) である。

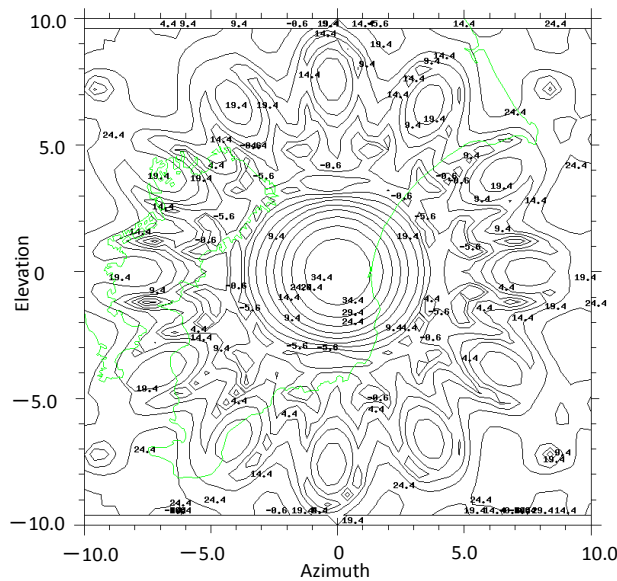


図 3 1.9m  $\phi$  パラボラアンテナのアンテナパターン

次に図 3 のパターンを地上で再現できるように受信局配置を検討した。一般に、パラボ

ラアンテナのメインビーム方向の指向性 (dB 値) は二次関数で近似することができるため [2]、dB 値で表された各受信局の衛星受信電力の測定値を次式で近似する [3]。

$$z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 \quad (1)$$

ここで、 $z, x, y$  はそれぞれ、dB 値で表した衛星受信レベル、Az 角度、El 角度であり、 $a, b, c, d, e$  のそれぞれの係数を最小二乗法で決定する。二次元最小二乗法を用いることできれいなアンテナパターンに近似できボアサイトからの距離の算出などが容易になる。図 4 に、この手法で再構成したアンテナパターンを示す。図の+印が受信局であり、勝浦中心の±3 度範囲内の陸上に 16 局配置してある。

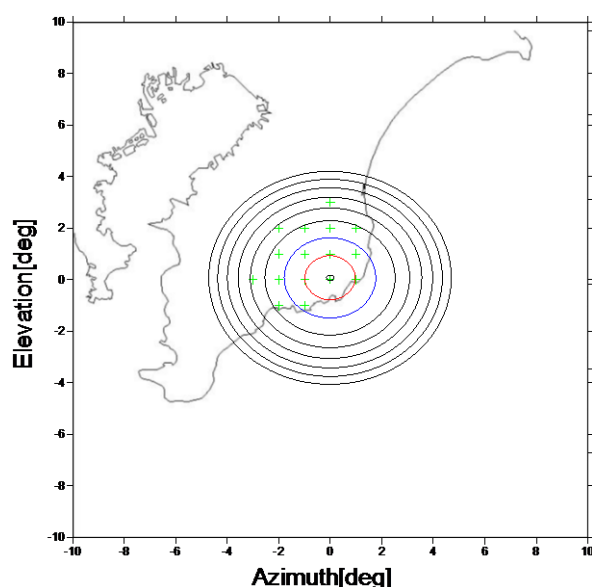


図 4 二次元最小二乗法で再構成したアンテナパターン

受信局配置の検討を行う際、Az, El が±4 度と±3 度範囲で方形状配置、円形配置、放射状配置のそれぞれの検討を行い、さらに、それぞれ海上の受信局を除外したときを加え、12 通りのシミュレーションを行った。その結果地上の受信局数も考慮して±3 度範囲で円形配置 (海除外) が良いことが分かった。その時のカットパターンで比較したものを図 5 に示す。また、このときの受信局数、ピークレベルの物理光学法との誤差、最小二乗法における平均二乗残差を表 1 に示す。受信レベルピーク値は受信局 0.5 度間隔配置で 0.78dB の誤差、1 度間隔配置で 1.05dB の誤差であった。また、ボアサイト角度のずれは観測されなかった。

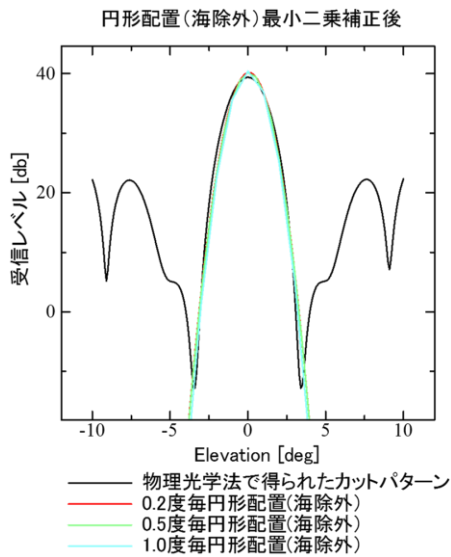


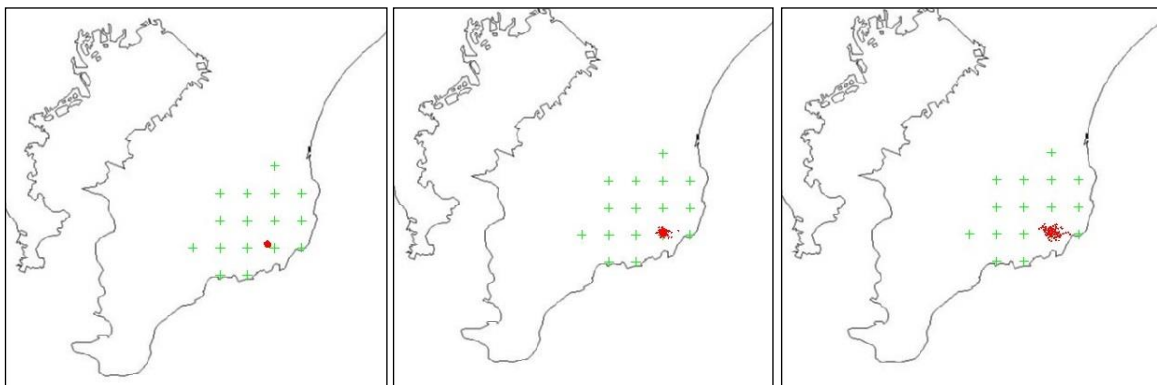
図 5 カットパターンによる比較

表 1 受信局数とピーク値、残差の関係

受信局間隔 [deg]	受信局数	誤差 [dB]	角度のずれ [deg]	平均二乗残差 [ε[dB]]
0.2	373	0.81	0	0.66
0.5	58	0.78	0	0.61
1.0	16	1.05	0	1.09

### 3. 再構成による精度検証

最後に±3度範囲で1.0度毎円形配置から海の受信局を除外したときの測定精度の検討を行った。各受信局の受信レベルに意図的に正規分布  $\alpha$ [dB]の誤差を与えた時のボアサイトの分布を求めた。図6に・印で示す。 $\alpha=3$ [dB]においてボアサイト分布の標準偏差  $\sigma'$ が3kmとなりビーム幅の1/10くらいとなることが分かった。実際の試験衛星のビーム幅30kmの1/10未満にボアサイトの推定誤差を抑えると仮定したとき、3dB以上になるとボアサイトのばらつきが広がるため、2dB以内に誤差を抑える必要がある。



(a)誤差 1.0dB

(b)誤差 2.0dB

(c)誤差 3.0dB

図 6 受信レベルに誤差を与えた時のボアサイトの分布図

#### 4. まとめと今後

SPS 試験衛星のビームパターン評価のための受信局配置の検討を行った。その結果、受信局の設置範囲は、海上の受信局を除外し、衛星からの角度が±3度の円形の範囲に、1.0度間隔で設置することが最適と考えられた。このときの受信局の測定精度は、ボアサイト位置精度をビーム幅の1/10未満としたとき2.0dB以内に抑える必要がある。 /

今後の課題として、パラボラアンテナではなく、フェーズドアレイアンテナでの検討や、異なる受信局配置の検討が挙げられる。

#### 参考文献

- [1]田中孝治、他、“太陽光発電衛星のための小型科学衛星を用いた実証実験計画Ⅱ”第14回宇宙科学シンポジウム、vol.P2-184、2014
- [2] Johnson, Designer Notes for Microwave Antennas, pp.180-181, Artech House, 1991.
- [3]藤野義之、佐藤正樹、三浦周、織笠光明、秋岡眞樹 “二次元最小二乗法による衛星搭載大型展開アンテナパターン測定法の精度検証”2017 電子情報通信学会総合大会, vol. B-3-3,(2017)