BCS-1-22

# パネル構造型 SPS におけるビーム補正のための 送電パネル位置推定に関する研究

Study on Position Estimation of Transmission Panels for Microwave Power Beam Correction for Panel-Structure SPS

> 石川峻樹 Takaki Ishikawa

篠原真毅 Naoki Shinohara

京都大学 生存圈研究所 Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

#### 1 まえがき

宇宙太陽発電所 (Space Solar Power Satellite/Station: SPS) とは,静止衛星軌道に巨大な太陽発電衛星を建設 し、そこで発電した電力をマイクロ波電力伝送により地 上へと送電し、宇宙で発電した電力を地上で利用すると いう構想である. SPS においては36,000km の距離をマ イクロ波電力伝送を行う必要があるため、送電マイクロ 波のビーム方向を 0.001 度以下の精度で制御する必要が ある. そのため、送電用のアンテナとしては、アンテナ 素子の位相の制御によりビームパターンを電気的に制御 可能なフェーズドアレーを用いるものとされている. 現 在、日本ではSPSのモデルとしてパネル構造型SPSが 提案され、実用化を目指し研究が進められている[1].パ ネル構造型 SPS は 50cm 四方のサイズの発送電一体型 のパネルを最小のユニットとし、それらのパネルを多数 並べることで一辺が数 km のサイズの SPS を構成する モデルである.

一般に宇宙空間では、大型構造物は固有の振動を持ち、構造物の平面性を維持することは困難であり、パネル構造型 SPS においても、各パネルを平行に並べることが困難である。これにより、送電アンテナ面に歪みが生じることとなり、高精度なビーム制御を実現するためには、アンテナ面の歪みによる影響を補正することが重要となっている。本研究では、このようなパネル構造型 SPSにおけるアンテナ面の歪みによるアンテナ素子の位相の変化を補正する手法について検討することを目的としている。ただし今回行っている検討では、SPS およびパネル配置を図1のような直線状のアレーとして検討を行っている。

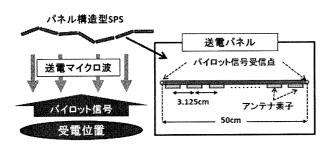


図1 シミュレーションにおけるパネルの設定

### 2 PAC (Position and Angle Correction) 法

PAC 法とは、パネル構造型 SPS におけるアンテナ面の歪みによる位相の変化を補正する手法として提案されたビーム補正の手法である [2]. PAC 法による制御の手順は、以下のように表せる.

- 1. 各パネルにおいて、地上の受電位置より発信されたパイロット信号の到達位相を測定する.
- 2. パネル上の2点で測定したパイロット信号の位相差から, 到来方向推定を行い, 各パネルの角度を求める.
- 3. 求められたパネルの角度・到達位相から推定されるパネルの位置候補と隣接するパネル同士の位置関係を用いてパネルの位置推定を行う.
- 4. 推定されたパネルの位置から各アンテナ素子における位相の補正を行う.

PAC 法による位相補正の精度は、各パネル上のパイ ロット信号受信点の位置と位相測定の精度によって決ま ることが分かっており、精度を高くするためには、位相 測定点を少なくともパネルの両端に配置する必要があ る. そのため、パイロット信号測定点がパネルあたりに 2点の場合は、パネルの両端にのみ配置することとなる. 実際のシステムを考慮し、送電マイクロ波の周波数を 5.8GHz, パイロット信号の周波数を 2.95GHz とすると, PAC 法の手順 2. で推定可能なパネル角度の大きさの 最大は約5度となり、角度の大きさが5度を超えるもの が1か所でも存在すれば、到来方向推定にアンビギュイ ティが発生し、PAC 法による補正が行えなくなってし まう. そこで今回は, 位相測定点の数を増やした場合に ついて検討を行い, パネル角度推定のために行う到来方 向推定において,アンビギュイティによる推定の誤りが 発生しないための条件について検討した. ただし, パネ ル角度の大きさの最大を45度、パイロット信号の位相 測定の誤差を最大で15度として到来方向推定に関する シミュレーションを行い評価することとした.

## 3 到来方向推定シミュレーション

信号の到来方向推定では、まず 2 点で受信した信号の位相差から信号の経路差 l を求め、次に 2 点間の距離 d と経路差の長さを用いて、 $\theta=\sin^{-1}(l/d)$  として、到来方向  $\theta$  を求める。このとき、位相差は -180 度から 180 度の範囲でしか求まらないため、2 つの測定点間の長さが信号の半波長よりも大きい場合には、推定される経路

# 2012年電子情報通信学会総合大会

差が  $l_k = l \pm k\lambda$  のように複数求まり、これが推定の結 果にアンビギュイティが生じる原因となっている. ただ し、k は整数、 $\lambda$  は信号の波長である、測定点が3 点以 上の場合の到来方向推定の方法は、まず測定点を2点選 んだ場合にできるすべての組み合わせについて、2点の 場合と同様の到来方向推定を行い、アンビギュイティを 含めた全ての候補を求める. その後, 全ての推定の中か ら到来方向の候補を1つずつ選んだ際の推定値の分散を 計算する. 同様の計算をすべての候補の組み合わせにつ いて行い、分散の値が最も小さくなったものが実際の到 来方向であるとする. 今回のシミュレーションでは測定 点が3点と4点の場合について計算を行い、正しくアン ビギュイティが除去できる確率を求めるものとした. ま た各場合の測定点の配置は図2のように設定するものと し、いずれの場合も測定点1、2はパネルの両端に固定 し、測定点3,4の位置を変化させ、そのときのアンビ ギュイティの除去成功率の計算を行った.ただし,計算 を行う際には、位相測定の誤差を考慮し、理想的な到達 位相の値に誤差として -15度から15度までの値をラン ダムに印加するものとしている.

シミュレーションによる結果は図3、図4となった、各 グラフは横軸に実際のパイロット信号到来方向、縦軸に 測定点が3点の場合は測定点3,測定点4点の場合は測 定点4の位置を表しており、カラーマップはアンビギュ イティの除去成功率を表している. ただし、測定点が4 点の場合のものは測定点3の位置を測定点1から5cm とした場合の結果である. 図3の結果から、まず3点の システムは誤差によってアンビギュイティの除去を失敗 しやすいことが確認出来る.一方で、誤差がある程度大 きい状況でも、3 点目の位置を 0.1m の位置に取った場 合などでは、パネル角度が -30 度から 30 度の範囲であ ればアンビギュイティの除去が可能であることが分かっ た. 図4の結果から、測定点が4点の場合は、測定点3 を端から 5cm, 測定点 4 を端から 20cm 程度の位置に配 置することで、位相測定の誤差がある程度大きい状況で も,パネル角度が -60 度から 60 度の範囲まで,アンビ ギュイティの除去が行えていることが確認出来る. 以上 の結果から、位相測定の誤差およびパネルの取りうる角 度が、今回の設定よりも十分に小さな値を取る範囲内に 確実に抑えられる場合には、測定点の数は3点でも大丈 夫であるが、測定の誤差やパネル角度の値が今回の設定 に近い値を取る可能性が存在する場合には、測定点を4 点用意する必要があることが分かる.

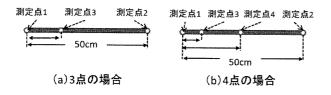


図 2 測定点の配置

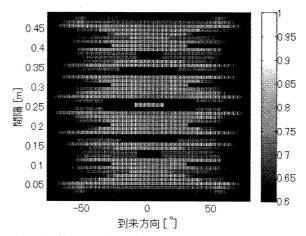


図3 測定点が3点の場合のアンビギュイティ除去成功率

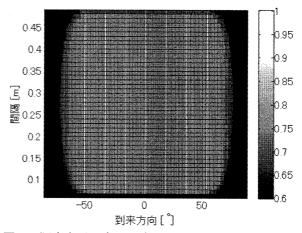


図 4 測定点が 4点の場合のアンビギュイティ除去成功率 (測定点 3の位置: 5cm)

#### 4 まとめと今後の予定

今回の結果から、PAC法における到来方向推定について、誤差がある程度大きい場合についても、アンビギュイティによる推定の誤りを発生させないためには、パイロット信号の受信点が4点あれば良いことが分かった。今後は実験により今回のシミュレーションの結果を確認するとともに、直線アレーの結果をもとに平面アレーのシステムを検討し、送電に対する効果まで含め検討を行っていく必要がある。特に測定点の増加は、パネル上に配置することができる送電用のアンテナの数にも影響を与えるため、送電アンテナの数の減少なども考慮し、最終的な電力伝送への影響なども含めて検討を行っていく。

#### 参考文献

- [1] (財) 無人宇宙実験システム研究開発機構,"平成 19 年度太陽光発電利用促進技術調査成果報告書", 2008.3
- [2] 安間健一,成田貴則,福田信彦,マイクロ波無線送受電技術委員会,"宇宙太陽発電システム 送電制御技術 (PAC 法、並列化法)の開発",第54回宇宙科学技術連合講演会講演集,1S13,2010.11