

SPS無線送電システムへのREV法適用性評価

片野 将太郎¹, 武田 光司², 斎藤 恵理³, 田中 孝治^{4,1}

¹総研大, ²TU Delft, ³東洋大, ⁴ISAS/JAXA

概要

静止軌道上への建設が検討されているテザー型太陽発電衛星 (SPS) は、パネル型モジュールを宇宙空間で組み立て、kmサイズにすることが検討されている。その無線送電 (WPT) システムにはフェーズドアレイアンテナ (PAA) を用いたマイクロ波制御が検討されている。そのためPAAの移相器を用いた各アンテナ素子の励振位相同期が必須となる。その同期手法として検討されているのが素子電界ベクトル回転 (REV) 法を用いた手法である。また我々は軌道上からのWPT実証実験を目指し、そのBBM開発と試験を行ってきた。本研究ではBBMを用いたWPT実験を行い、REV法及び新たに提案した手法を用いて位相同期を行った際のマイクロ波ビーム形状や位相同期にかかる時間を測定し、REV法のSPSへの適用性を評価した。

結論

本研究で提案した位相同期手法は従来手法と比較して、精度に大きな劣化はないことが確認できた。提案手法により測定時間の削減が確認できた。しかし、更に新たな位相同期手法または新たなアンテナ設計が必要ということが明らかとなり、現在検討を進めている。

背景・目的

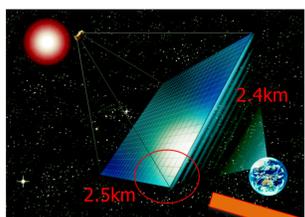
REV法とは、PAA各移相器の位相を一回転させた時に受信点での受信電力が余弦波状に変化することを利用し、PAA各素子での励振位相を測定する手法である。

REV法をSPSに適用する際に問題となるのは、位相測定にかかる時間である。全測定に必要な時間はREV法で測定する状態数と1状態の測定にかかる時間の積であり、後者は機器スペックで定まる事が予測できる。

$$\text{全測定時間} = \underbrace{\text{アンテナ数} \times 2^{\text{bit数}}}_{\text{REV法状態数}} \times \text{1状態測定時間}$$

アンテナ数は2.5km×2.4kmに5.8GHzのアンテナを0.63λ間隔で並べた場合、約57億素子となる。移相器のbit数としては今までに4, 5, 6bitが検討されてきた。

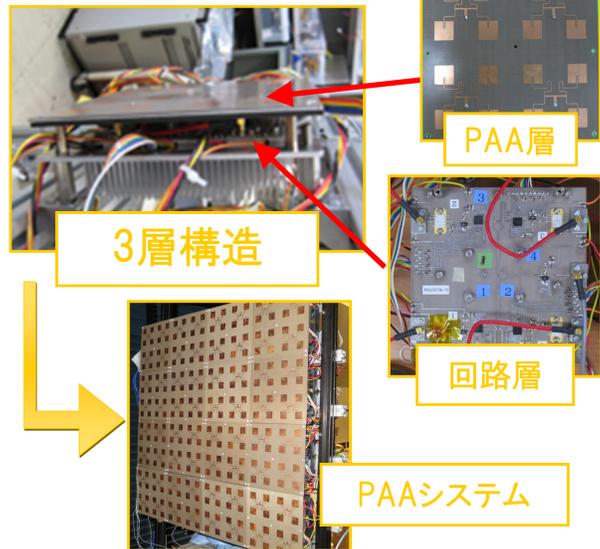
本研究では、REV法による位相測定において、状態数を減らした場合のビーム形状への影響を明らかにし、さらに状態数の低減による全測定時間の削減を確認する。それらからSPSへのREV法の適用性を評価する。



発送電一体パネル型モジュール
 ・サイズ : 1m x 2m
 ・総数 : 2,760,000 個
 ・周波数 : 5.8GHz
 ・位相器数 : 512 個 / モジュール

無線送電実証実験BBM

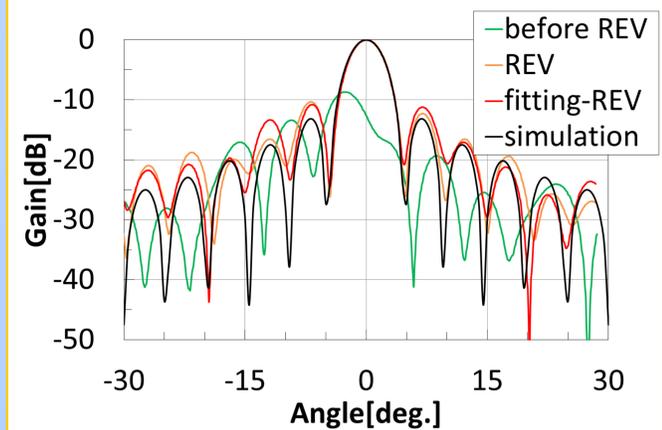
BBMは3層パネル構造からなるPAAシステムで、第2層のマイクロ波増幅・位相制御・分配回路の出力を第1層のPAAから空間に放射する。



項目	数値
サイズ	630 × 630 × 100 mm
アンテナ	方形パッチアンテナ
素子間隔	0.75 λ (mm)
サブアレイサイズ	2×2 素子
マイクロ波出力	約 2.5 W / sub-array 約 160 W (合計)
周波数帯	5.7 GHz帯(垂直偏波)
サブアレイ数	8×8 (64) sub-arrays
アンテナ素子数	16×16 (256) 素子
デジタル移相器	6 bits (5.625deg. / bit)

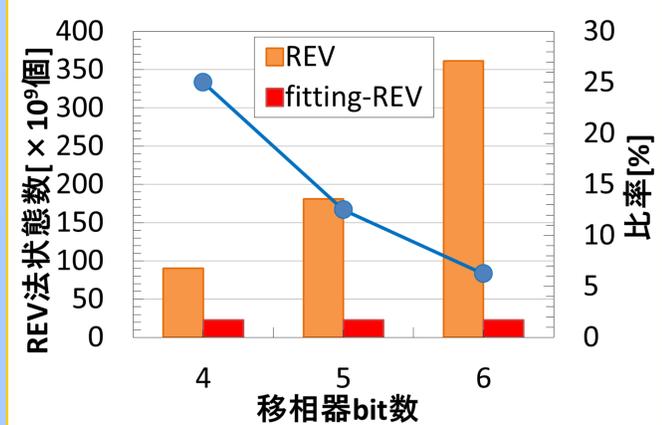
実験結果と考察

① マイクロ波ビームはREV, fitting-REVともにシミュレーションに近い形状となっており、状態数を減らした位相測定でも精度的に問題ないことを確認した。



② fitting-REVの測定時間をREVのそれと比較すると、理論どおり約16分の1の時間で測定が完了しており、状態数を減らすことで測定時間を削減できていることを確認した。

③ SPSのWPTシステムにおいてREV法で測定する状態数は、送電アンテナ数の57億と1移相器の状態数の積である。移相器bit数ごとの状態数を下図に示す。fitting-REVを用いると、6bit移相器では、状態数をREVの6.25%まで減らすことが可能である。



④ SPSのアンテナ57億個の内、1つのアンテナの振幅変化を測定するには97.5dBのダイナミックレンジが必要である。この値は、本実験で用いたスペクトラムアナライザのダイナミックレンジ(70dB)と比較して27.5dB大きく、非現実的である。

⑤ ダイナミックレンジ70dBで測定可能なアンテナは約981万個までである。したがって、測定素子を57億から981万まで削減する必要がある。方法として考えられるのは、一つはsub-array化、もう一つは複数素子を同時にREV法で位相測定する方法である。どちらの場合にも24×24素子(約78cm四方)を1測定素子とみなすことが必要である。sub-array化した場合、1辺に3070個のアンテナ数となるが、4,5,6bitの移相器ならば、方向制御精度が要求を満たす予測を得ている。

質問/コメントはこちらまで : s-katano@ac.jaxa.jp

SPSへのREV法適用試験

BBMを使ってREV法による位相測定を行う際に、状態数を変化させて測定にかかる時間とビーム形状を測定した。

1つの移相器の持つ状態数(2⁶)を全て測定する手法をREVとし、1移相器の持つ状態数を4まで間引いて測定し、cosine fittingを行う測定手法をfitting-REVとして新たに提案し、試験を行った。

測定手法	状態数	測定位相間隔
REV	2 ⁶	5.625 deg.
fitting-REV	4	90 deg.

