

Abstract

Study on a Transmission Antenna of a Demonstration Experiment Satellite for Solar Power Station

Junki Yoshino Kyoto University Uji city gokasyo Kyoto-u

Nowadays, Solar Power Station is expected to solve energy problems.

Therefore an experiment to demonstrate wireless energy transfer technology is planned in Japan. In the experiment, a satellite in low orbit of 370 km in space transfers energy to receiving antennas on the Earth by microwave of 5.8 GHz. In this study, we evaluated transmitting antennas for the demonstrate experiment by computer experiments.

We initialized that phased array antenna is composed of 1024 elements and their element spacing is 0.75λ , where λ is the wavelength in free space and control bits of phase shifter is 5 bits. Then we calculated the antenna pattern with changing the following parameters: the number of elements, element spacing, and control bits of phase shifters.

To optimize transmitting antennas for the experiment, we computed the received power and the maximum beam direction errors between the desired beam direction and actual beam direction.

We revealed that the beam direction errors were in inverse proportion to both the number of antennas and the element spacing; when we increased the control bits by 1, the beam direction error became half. It was also revealed that sub array antenna configuration did not affect the beam direction errors. We showed that when we use phased array antenna with a diameter of 1.9 meters, the maximum beam direction error was 0.05 degrees, which is equivalent to 323 meters long in the horizontal direction on the Earth. A practical experiment was conducted by using Advanced Phased Array System for Microwave Power Transmission, where the distance between the transmitting and receiving antenna is 6.441 meters, in order to measure antenna pattern of transmitting antenna and to compare the computation results.

Presented at the 32nd ISAS Space Energy Symposium, 1st March, 2013

宇宙太陽光発電所のための 小型実証衛星用送電アンテナの研究

京都大学 生存圏研究所 吉野純樹 篠原真毅

現在、JAXAを中心として、SPSに向けて小型衛星を使った無線電力伝送の実証実験を行う計画が進められている。実証実験の一例では、図1のように高度370kmの周回軌道を実証衛星が周回する。天頂付近で人工衛星から電力をフェーズドアレーアンテナを用いることで地上の受電アンテナ群に向けて送電を行う。また、電力伝送実験の間は、人工衛星のアンテナ面を地上のアンテナ群に1°以内の誤差で向けておく予定である。よって、この実験を行うにあたって良い精度で電力を送電する必要がある。

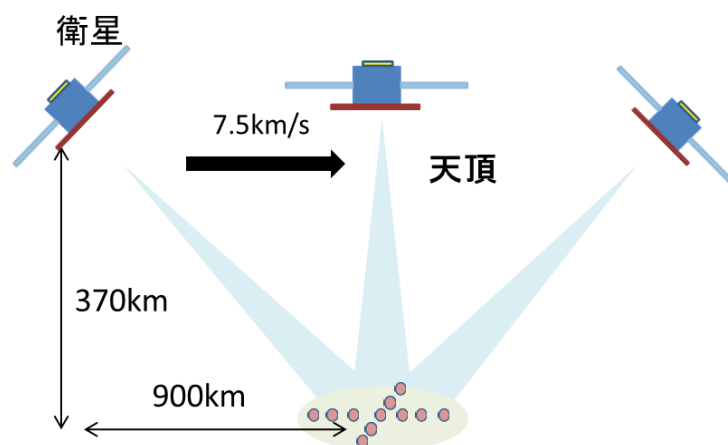


図1 実証実験の概要

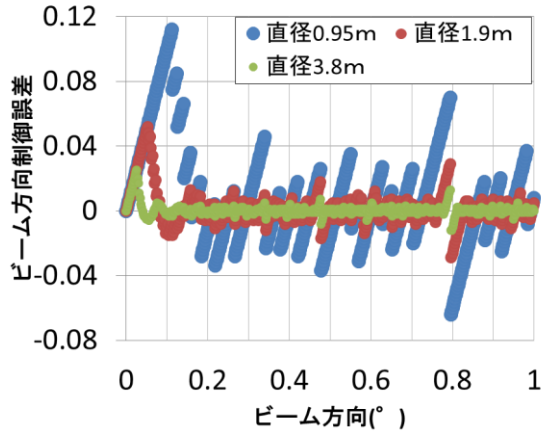
そこで、本研究では、どのようなアンテナを用いれば良いのかについての検討を行うために、アンテナごとにビーム方向制御誤差の計算を行った。ここで、ビーム方向制御誤差とは、フェーズドアレーアンテナを用いる移相器が、デジタル制御であることに起因する量子化誤差によるビーム方向の誤差である。

シミュレーションでは、実際の実証実験でも用いる予定である、右旋円偏波の5.8GHzのパッチアンテナを仮定した。表1のようにシミュレーションに用いるアンテナの基準となるアンテナの形状は四角配置で円形に並べられた直径1.9mのフェーズドアレーアンテナで、素子数は1540素子、素子間隔0.75λ（λは波長）、デジタル移相器の制御bit数は5bit、サブアレー化は行っていないものとした。

アンテナパラメータの基準値	
周波数	5.8GHz
送受電距離	370km
①サイズ	Φ(直径)1.9m
②素子数・間隔	1540 ・ 0.75λ
③制御bit数	5bit
④サブアレー化	×

表1

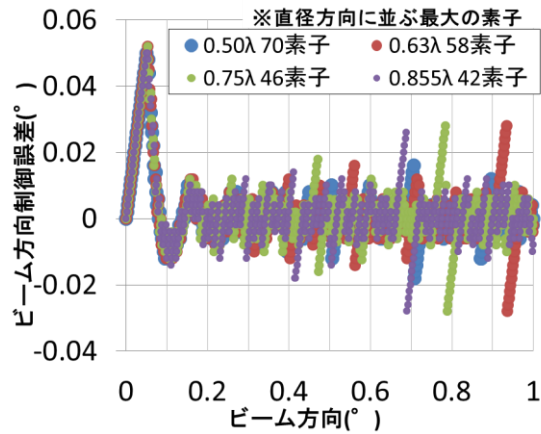
シミュレーションにより、アンテナの直径を変えた場合と、アンテナサイズを一定として素子数と素子間隔を変えた場合、制御bit数を変えた場合、サブアレー化を行った場合のビーム方向制御誤差を計算した。その結果を以下に示す。



パラメータ	
サイズ	-----
素子数・素子間隔	-----・0.75λ
制御bit数	5bit
サブアレー化	×

アンテナサイズを変えた場合

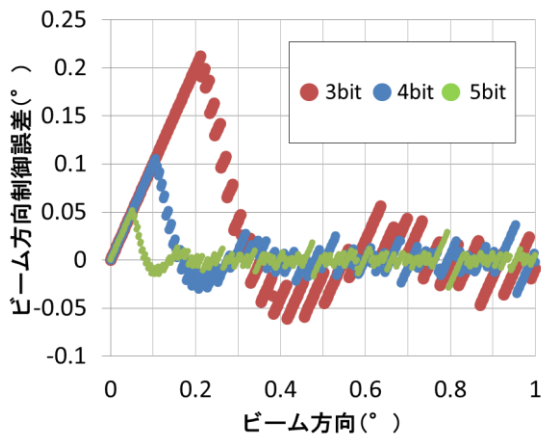
サイズ (直径)	誤差の最大値	地上での誤差
0.95m	0.112°	723m
1.9m	0.052°	336m
3.8m	0.025°	116m



パラメータ	
サイズ	φ1.9m
素子数・間隔	-----
制御bit数	5bit
サブアレー化	×

アンテナサイズ一定の場合

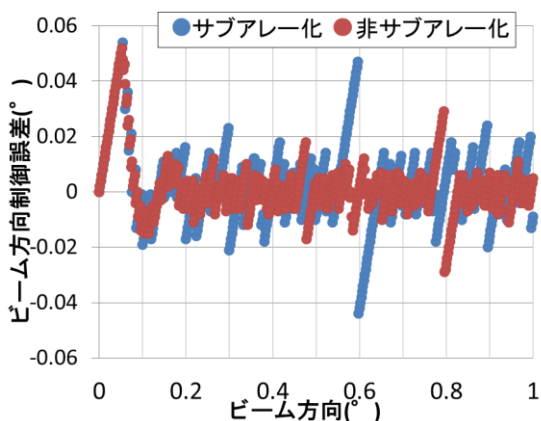
素子間隔・素子数	誤差の最大値	地上での誤差
0.50λ・70	0.050°	323m
0.63λ・58	0.052°	336m
0.75λ・46	0.052°	336m
0.855λ・42	0.050°	323m



パラメータ	
サイズ	Φ1.9m
素子数・間隔	1540 ・ 0.75 λ
制御bit数	-----
サブアレー化	×

制御 bit 数を変えた場合

制御bit数	誤差の最大値	地上での誤差
3 bit	0.212°	1369m
4 bit	0.106°	685m
5 bit	0.052°	336m



パラメータ	
サイズ	Φ1.9m
素子数・間隔	1540 ・ 0.75 λ
制御bit数	5bit
サブアレー化	-----

サブアレー化の影響

サブアレー化	誤差の最大値	地上での誤差
なし	0.052°	336m
あり	0.054°	349m

この結果から、誤差の最大値はアンテナ直径に反比例し、アンテナのサイズが一定の場合、素子数と素子間隔はビーム方向制御誤差にはほぼ影響がなく、デジタル移相器のbit数を1つ増やすごとに、誤差の最大値が約半分になっていき、サブアレー化を行うと、全体的に誤差は大きくなるが、誤差の最大値にはほぼ影響していないことがわかった。

また、本研究では、実際に実験を行い、ビーム方向制御誤差の測定をおこなった。



図2 実験の様子

図2に示すようなフェーズドアレーアンテナと受電アンテナを用いてアンテナパターンを測定した。周波数は5.8GHz、素子数256素子、素子間隔0.855λ、制御bit数5bit、送受電距離は6.411mとで実験を行った。

また、出力位相が3または4bit移相器を用いたときと同じになるようにした場合のデータを入力してアンテナパターンを測定し、ビーム方向制御誤差を測定した。

そのときの測定結果を図3に示す。また、 $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$ までビーム方向を変化させた場合のビーム方向誤差も示した。

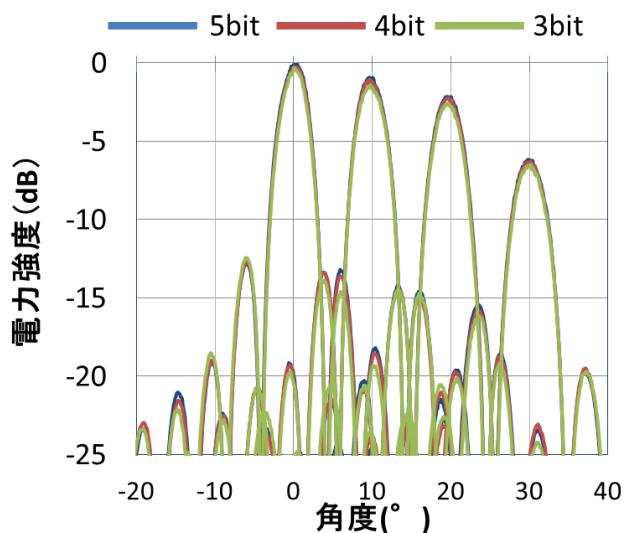
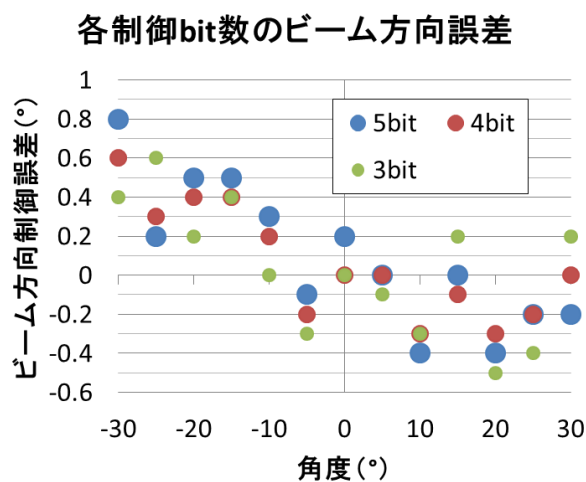


図3 各アンテナパターン



制御bit数	誤差平均	標準偏差
3 bit	0.28°	0.18°
4 bit	0.23°	0.17°
5 bit	0.29°	0.22°

図3より、今回の実験では、5bitの場合が最も誤差平均が大きくなってしまった。
シミュレーション結果からは、より誤差が小さく、かつ制御bit数が大きいほど精度がよくなる
と予想されたが、実験ではそのようにはならなかった。
今後は、ほかの誤差要因や、初期校生、正確な正対を行い、より正確な測定を行い、考察
を進めていく予定である。