

# Study for Harmonics Degradation of a Random Rectenna Array

Eri SAITO, Yoshiyuki FUJINO

Faculty of Science and Engineering, Toyo University 2100 Kujirai, Kawagoe, Saitama, 350-8585

## **Abstract**

As a solution of energy shortage, Space Solar Power Systems (SSPS) is attracted. SSPS is the concept of performed solar power generation in space, changed it into radio waves and transmitted it to the ground. In the ground, the rectenna array received it and rectified to the electric power.

The problem is to be used diodes in the rectenna array. When rectenna array is received radio waves, diodes are generated higher harmonic waves with strong directivity. These adversely affect other wireless communication systems. So, we study a Random Rectenna Array to weaken strong directivities.

We report considering whether directivity became weak by having changed element separation at random. Specifically, we examine the effectiveness of a element separation random.

# ランダムレクテナアレーの 高次高調波再放射抑制に関する研究

齋藤恵理 藤野義之

東洋大学理工学部 〒350-8585 川崎市鯨井 2100

## 1.はじめに

近年、エネルギー不足の解決策として宇宙太陽発電システム (SSPS : Space Solar Power Systems) が注目されている。SSPS は、静止衛星軌道に太陽発電衛星 (SPS : Solar Power Satellite) を建設し、宇宙空間で太陽光発電を行い、発電された電力はマイクロ波に変換され、地上側のアンテナへ送電されるシステムである。受電した電波は整流回路を通して電力へと変換され、一般家庭や工場などに送られる。受電アンテナ (antenna) と整流回路 (rectifier) を合わせたデバイスをレクテナ (rectenna) と言い、SSPS の地上側ではこのレクテナを複数並べたレクテナアレーを用いることが検討されている。

レクテナの整流回路ではダイオードによって直流電力に変換するが、ダイオードは非線形素子であるため、再放射が起こってしまう。この再放射は基本波 ( $f_0$ ) の他に基本波の整数倍の周波数となる高次高調波 ( $nf_0$ ) が含まれる不要波である。ほとんどの再放射はフィルタによって取り除かれるが必ずしも全て取り除けるわけではない。この残留成分はレクテナ1つから見れば小さい電力であっても、アレー全体では大きな電力となってしまう。また、正面方向以外にも強い指向性が現れてしまうため、他の無線通信システムに悪影響を与えてしまうことが危惧されているため、抑制する必要がある。この手段として、ランダムレクテナアレーについて研究を行った。

先行研究では位相をランダムに選択するランダムレクテナアレーの手法が考えられていた[1]。この方法では指向性は平均的に現れるが整流回路を何種類か用意する必要がある。そこで本研究では整流回路を一つで済むように、素子同士の間隔をランダムに選択する方法として素子間隔ランダムというランダムレクテナアレーにおいても、再放射の抑制が可能か検討を行った。

## 2.ランダムレクテナアレー

レクテナアレーの高次高調波の指向性はアンテナ素子パターン  $g_m$  (EF : Element factor) とアレーファクタ  $F_m$  (AF : Array factor) によって決定する。以下に電界指向性の式を示す。

$$E_m(\theta) = g_m(\theta) \cdot F_m(\theta) \quad (1)$$

今回は式 (1) においてアレーファクタの部分の抑制方法を考える。

通常のレクテナアレーは同相で素子間隔も一定なので図1の左図のように特定方向に強い指向性が現

れる。一方ランダムレクテナアレー化した場合、図1の右図に示すような平均的な指向性を持つようになる。これは再放射の位相をランダムに変化させているためである。

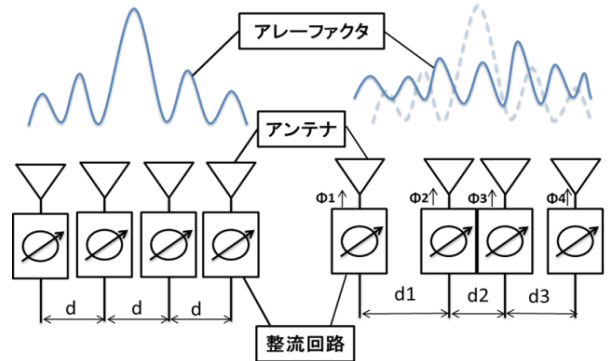


図1 レクテナアレーの再放射の指向性

指向性抑制の検討を行うために、まずアンテナ素子を1次元におけるランダムレクテナアレーについて考えた。図2に直線的に配置したランダムレクテナアレーについて示す。

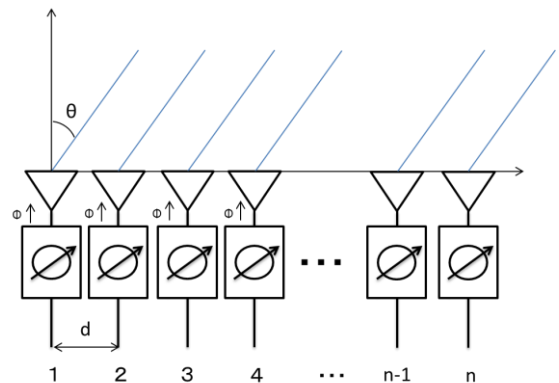


図2 n素子の直線配列レクテナアレー

図2のように配置する場合、 $m$ 次高調波におけるレクテナアレーのアレーファクタは以下のとおりである。

$$F_m(\theta) = \sum_{n=1}^n a_{m,n} e^{j\varphi_{m,n}} e^{j[(n-1)k_m d \sin\theta]} \quad (2)$$

$a_{m,n}$  は  $n$  番目の素子の  $m$  次高調波のときの振幅、 $\varphi_{m,n}$  は  $n$  番目の素子の  $m$  次高調波のときの位相、 $k_m$  は  $m$  次高調波の波数を表している。 $k_m$  に関しては  $m$  次高調波のときの波長を  $\lambda_m$  としたとき、 $k_m = 2\pi/\lambda_m$  と表すことができる。

本研究では高次高調波の周波数の中でも、比較的発生電力が大きく現れる2次高調波と3次高調波について議論する[2]。

## 2.1 検討方法

ランダムレクテナアレーにおいて先行研究では位相ランダムが考えられていた。これは給電点から整流回路までの線路長を変えることで位相を変化させる方法であり、設計を安易にするため数通りの位相値にしている。位相値の選択方法としては2次高調波、3次高調波において位相差が180度となる4つの値、0度、60度、90度、150度を採用している[1]。

本研究では素子間隔ランダムについて考える。ここでの条件付けとして、 $0.6\lambda \sim 0.7\lambda$ の範囲(長さとしては約3cm~3.6cm)を0.1mm刻みで変化させていった。0.1mm変化させる毎に位相は0.7度変化する。

これら2種類のランダムレクテナアレーの手法より求まる抑制量の比較をし、素子間隔ランダムの有効性の評価を行う。

ここでアンテナ素子パターンには給電点を含むE面の円形マイクロストリップアンテナ(CMSA)を用いている。アレーファクタの計算には計算ソフトとしてMATLABを使用して電界指向性を求めた。素子間隔ランダムと位相ランダムの計算時で共通条件として基本波には5.8GHzを使用し、素子数を10~100素子までを10素子刻みで計算し、100万回プログラムを繰り返して最も抑制された値を素子数毎に保存する。これによって得られた素子間隔ランダム、位相ランダムにおける抑制量と指向性のパターンを比較する。

## 3. 実行結果

### 3.1 高次高調波同時抑制時の抑制結果比較

レクテナの再放射では高次高調波が同時に発生しているため、2次高調波と3次高調波も同時に抑制する必要があり、2次3次の発生量に応じて評価関数をかけて評価する。各素子数の抑制量を図3に示す。

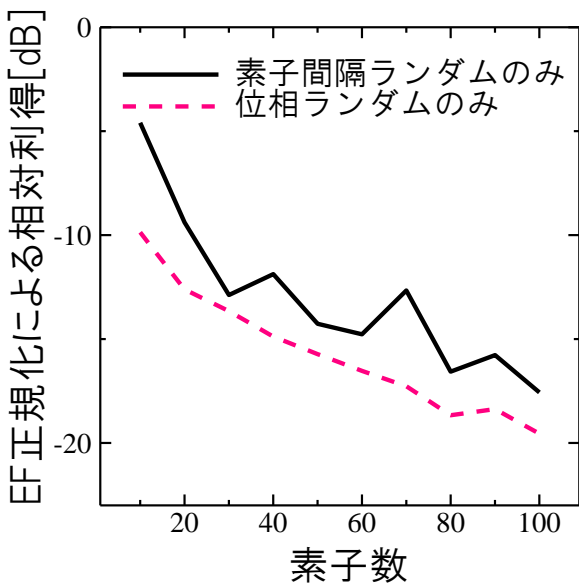


図3 高次高調波同時抑制の比較結果

素子間隔ランダムの場合、0度(正面方向)の抑制が原理的に不可能なので、指向性が現れるが、他の方向に放射される指向性は平均的に現れるため、図3では2番目のピーク値と位相ランダムの結果とを比較した。素子数に対する抑制量としては3次高調波のとき同様に素子間隔ランダムのみ場合は抑制量に多少のばらつきが見られたものの、全体的には素子数が増えると抑制されていることが図3の右肩下りのグラフからわかる。

## 4. まとめ

素子間隔ランダムのみの場合、0度方向に強いビームが現れてしまう。これを取り除くことができれば、整流回路を1種類で素子間隔を変化させることで抑制の可能な素子間隔ランダムの手法はコスト面で有効であると思われる。

今後の展望としては、3次高調波の0度方向のみに強いビームを取り除く方法を模索していくことが必要となるだろう。また、素子数に対する素子間隔ランダムのみ抑制結果にはばらつきが見られた。原因としては試行回数が足りていなかったことと角度方向の分解能が少なかったことなどによって本来の抑制値を計算によって得られなかったと考えられる。したがって、正確な抑制値を知るためにはもっと試行回数や分解能を増やすべきである。

## 参考文献

- [1] 小林, 吉岡, 藤野 “CMSAを用いたランダムレクテナアレーの高次高調波再放射抑制に関する研究”, 6<sup>th</sup> Mar. 2015
- [2] 藤野, 藤田, “レクテナから高調波再放射の測定”, 通信総合研究所季報, Vol44, No. 3, pp161-174, Sep. 1998