

宇宙エネルギー利用システムの研究(A Study of the Space Energy Utilization)

大規模アレーアンテナの解析
(Analysis results of large scale array antennas)総合技術研究本部 高度ミッション研究センター 瀬在俊浩 久田安正
Advanced Mission Research Center, JAXA Toshihiro SEZAI Yasumasa HISADA

Abstract

The microwave based power transmission system (M-SSPS) is a huge system and its microwave transmitting antenna is also large scale. Its diameter is assumed to 1 to 2 km and the antenna would be composed of array antennas of 300 to 900 million elements. It is almost impossible to analyze such large scale antennas directly at this moment. Therefore, we have started the study of the analysis method and modeling the antenna since Fy 2004 in order to analyze and design the antenna for M-SSPS. This study has been performed in cooperation with Tohoku University.

1.はじめに

マイクロ波エネルギー伝送システム“M-SSPS”は巨大なシステムである為、マイクロ波伝送用アンテナも大規模で、現在想定されているアンテナの直径は1~2kmである。アンテナはアレーアンテナで構成され、素子数は約3~9億と見積られる。このような大規模なアレーアンテナを直接解析することは現時点では不可能である。その為、マイクロ波伝送用アンテナの設計、並びに解析を実施する為には、効率的な解析手法を見いだすこと、補償を前提としたアンテナのモデル化が必要となる。この目的の為に、東北大学の協力を受け、平成16年度より本研究を実施している。

2.研究の概要

平成16年度は、大規模アレーアンテナの効率的な解析手法に関する研究を実施した。アンテナ解析手法の1つであるモーメント法は、特にアレーアンテナの解析を高精度で実施出来る方法である。しかし、計算時間は素子数(セグメント数)の3乗に比例する為、アレーアンテナの規模が大きい場合は、膨大な計算時間が必要となる。そこで、モーメント法にグループ化手法を導入し、高精度の特徴を活かしたまま、計算時間を削減する方法を検討した。次に、グループ化手法を導入したモーメント法で1万素子のアレーアンテナの特性解析を実施した。

3.成果の概要

(1)モーメント法の高速度化原理

モーメント法は、アンテナ素子を幾つかのセグメントに分割し、各セグメントの電流分布、電圧分布、セグメントの自己・相互インピーダンスを行列として $[I]$ 、 $[V]$ 、 $[Z]$ で表現し、 $[V]=[Z][I]$ の関係より、電流分布を求める方法である。この時、 $[Z]$ (Z行列)の逆行列を計算する時間は、セグメント数の3乗に比例する為、素子数が大きくなるに連れ、計算時間が急激に増加する。その為、モーメント法の高速度化は $[Z]$ の逆行列の計算を高速度化することに帰着する。

図1の様に配置されたアレーアンテナを通常モーメント法で解説する場合のZ行列は、図2のようになる。その為、その逆行列の計算時間は N_T の3乗に比例する。図3に示す様に、アレーをその空間的な配置などの特徴よりグループ化すると、そのZ行列は図4のように表現される。行列が図4のように表現出来る場合、逆行列を計算する処理(反復回数)は図2の場合より少なくなる。これがグループ化手法によるモーメント法の高速度化原理である。グループ化を行ってもZ行列の次元は同じである為、計算精度は維持される。

例として、図5に示す様にxy平面上に等間隔に配置された半波長ダイポールにより構成されるアレーアンテナの素子数と計算時間との関係を図6に示す。図6より、グループ化により大きく高速化が図られ、素子数が多い程、その効果が大きいことが判る。

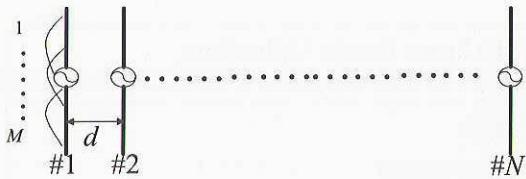
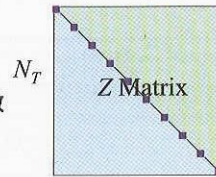


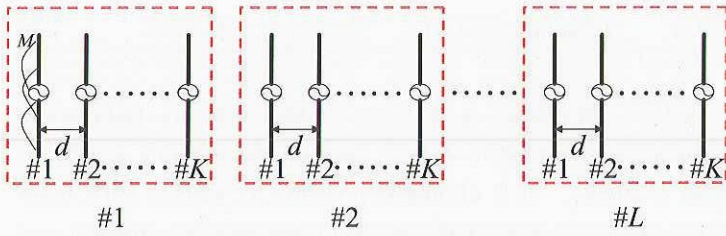
図1 アレーアンテナの配置

N : 総素子数
 M : 素子の分割数



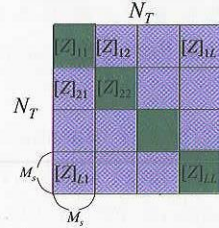
$N_T = N \times M$
 M : 各素子の分割数
 N : 総素子数
 $[S]$; $[Z]$ の対角要素と左下半分
 $[T]$; $[Z]$ の右上半分

図2 図1に対するZ行列



K : 各グループの素子数
 $N = KL$: 総素子数
 M : 素子の分割数
 $L = N/K$: 総グループ数
 $M_s = KM$: 各グループのセグメント数

図3 アレーアンテナのグループ化



$[Z]_{ii}$: グループ*i*中のセグメント同士の自己・相互インピーダンス
 $[Z]_{ij}$: グループ*i*中のセグメントとグループ*j*中のセグメントの相互インピーダンス

図4 図3に対するZ行列

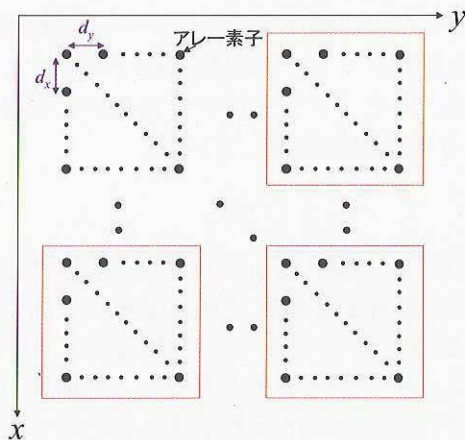


図5 二次元アレーアンテナの配置とグループ化

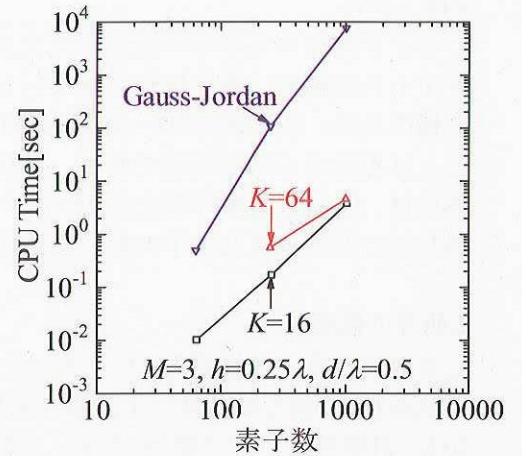


図6 通常のモーメント法(Gauss-Jordan)とグループ化した場合の計算時間 (Pentium4, 3.2GHz clockで計算)

(2)1万素子のアレーアンテナの特性解析結果

グループ化により高速化を図ったモーメント法を使用して、反射板付きクロスダイポールアンテナを100×100に配列した場合のアンテナ特性の解析を実施した。その結果(アンテナパターン)を図7に示す。1万素子の解析はスーパーコンピュータSX-7(NEC製)で実施し、計算時間は約55時間であった。

グループ化によるモーメント法の高速化を図ったことにより、現実的な時間で1万素子(ダイポール数は4万)のアレーアンテナの解析が可能となった。

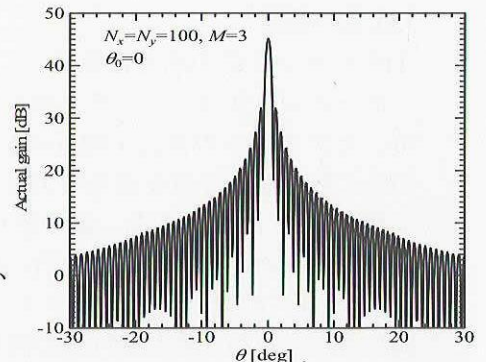


図7 1万素子のアレーアンテナのパターン

4.まとめ

平成16年度の研究の結果、モーメント法の高速化を図ることが出来た。又、それにより1万素子のアレーアンテナの解析を現実的な時間で実施することが可能となった。今後は、補償を前提としたアンテナのモデル化などの検討を実施する予定である。

本研究を実施するに当たり、多大な協力を頂きました東北大学通信工学科澤谷邦男教授、並びに陳強助教授に深謝致します。