

共同利用(産業利用トライアルユース:先端研究施設共用促進事業
『みんなのスパコン』TSUBAME2.0 によるペタスケールへの飛翔)
成果報告書 平成 24 年度 課題種別

大規模アレイアンテナの電磁界解析への GPU クラスタ応用
Application of GPU cluster acceleration for large scale array antenna electromagnetic simulation.

是枝 修一
Shuichi KOREEDA

NEC 東芝スペースシステム株式会社
NEC TOSHIBA Space Systems, Ltd.
URL <http://www.ntspace.co.jp/>

邦文抄録(300 字程度)

高利得、大口径の RLSA(ラジアルラインスロットアンテナ)では、解析対象となる素子数が数万素子に及び、それらを実機に相当するフルモデルで解析するには数億メッシュの解析が必要となる。アンテナの性能の改善、機能の高度化のためには、実験と合わせて解析による最適化が必要となるが、その場合、CPU 単体で解析することは困難であり、クラスターシステムの応用が必要である。TSUBAME2.0 を用い並列化にて実用的な計算時間(96 ノードで約 20 時間)で解析が可能となった。今後は、解析メッシュの微細化による解析精度の向上と計算機リソース配分とのバランスを考慮して解析条件の効率的な選択を検討する予定である。

英文抄録(100 words 程度)

A high-gain large size RLSA (radial line slot antenna) is composed of several ten thousand slots. To analyze using electromagnetic simulator, the mesh will be billion. In order to improve the performance of the antenna, optimization is required. In this case, it is difficult to analyze with single CPU. Therefore cluster system need. The computation time decreases and it costs about 2 hours (usage of 96 nodes using CST STUDIO SUITE) with MPI technique on TSUBAME2.0. In the future, we plan to investigate the efficient selection of the analysis conditions in consideration of the balance between the computer resource allocations and improve the analysis accuracy by refining the mesh.

Keywords:

electromagnetic simulation, radial line slot antenna, CST STUDIO SUITE, FDTD

背景と目的

RLSA に代表される大規模なアレイアンテナは、アレイの要素となる基本構造により電気特性の基本が決まり、それらの合成にて全体の総合特性が実現されるため、従来は基本構造のみ詳細に電磁界解析を行い、その合成はアレイの特徴を生かした繰り返し構造を用いて解析を行っている。この方法は多くの計算リソース(メモリ、CPU)を必要とせず、短時間に結果を得る事ができる利点があるが、解析手法に近似が含まれるため総合特性を正確に予測することが難しい。従って、実験を繰り返して、設計に耐えうる設計パラメータの追い込みを行い、設計手法を確立する必要がある。

しかし、設計パラメータの追い込みの為に実験の繰り返し、即ち複数の試作が必要で開発コストの増大や開発期間が長くなる問題がある。また、高利得など高性能を実現するためには実験に含まれる測定誤差など、パラメータの変化の吸収を行う設計のための実

験が必要となる問題がある。

本プロジェクトでは、試作・実験を削減するために、商用電磁界解析プログラムを用い、並列化により高速に解析を行い、試作実験の代替手段としてのフルモデル電磁界解析技術の有効性を検証した。

概要

高利得、大口径の RLSA(ラジアルラインスロットアンテナ、図1)では、解析対象となる素子数が数万素子に及び、それらを実機に相当するフルモデルで解析するには数億メッシュの解析が必要となる。アンテナの性能の改善、機能の高度化のためには、実験と合わせて解析による最適化が必要となるが、その場合、CPU 単体で解析することは困難であり、クラスターシステムの応用が必要である。

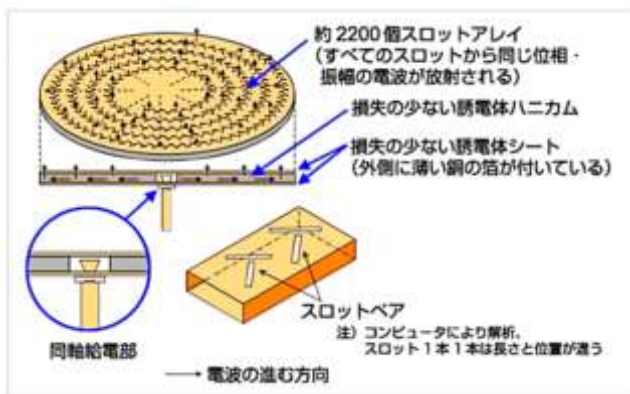


図1 RLSA の例

ここでは商用電磁界解析プログラム CST STUDIO SUITE を解析エンジンとして用い最大 20 億メッシュに及ぶ超大規模モデルについて解析を行い、実験結果との検証含めその有効性を検証した。

結果および考察

最初に適切な手法を得るため直径が大規模モデルの 1/9 程度の小規模モデルで、メッシュサイズ(メッシュ数)と解析結果の収束性を確認した。

図 2 に示したように解が収束するためには FEM では 250 万メッシュ、FDTD の場合 2 億メッシュ、eFPBA では 2 千万メッシュ程度必要である。

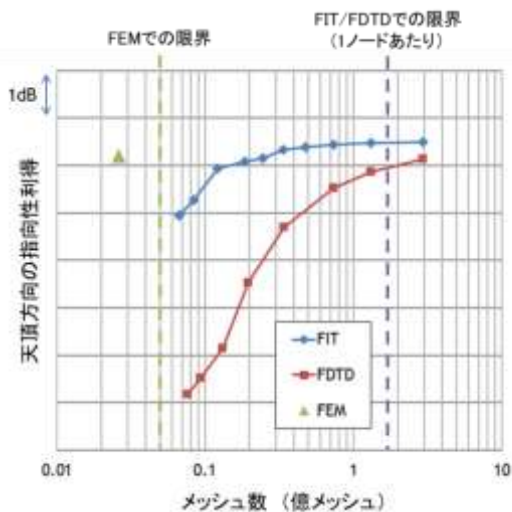


図 2 メッシュと解の収束性

この結果から、大規模モデルでは FEM を用いた場合、約 2 億メッシュ、FDTD の場合 160 億メッシュ、eFPBA の場合 16 億メッシュ必要と予測され、eFPBA を用いる事にする。次に中規模モデルで実測値との比較を行い図 3 に示したようにメッシュの粗さを可変し解析条件を評価した。

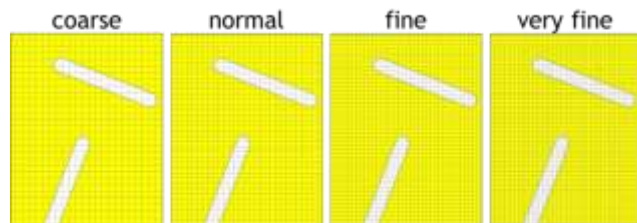


図 3 メッシュの粗さ

天頂方向の指向性利得(Directivity)の実測値との比較を示したのが図 4 である。指向性利得の値及び、ピークとなる周波数との差が実測値との間で生じているが、指向性利得の実測値との差はメッシュを細かくすると小さくなる傾向がある。

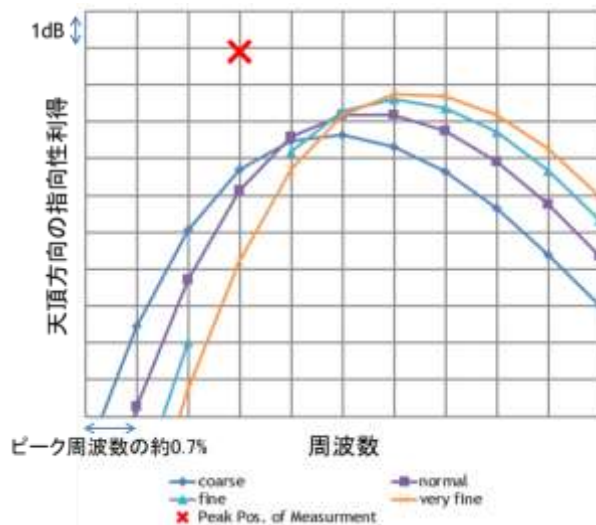


図 4 中規模モデルのメッシュサイズによる比較

次に大規模モデルについて中規模モデルと同様にスロットの周りのメッシュ粗さを変えて、実測値との比較を行ったのが図 5 である。

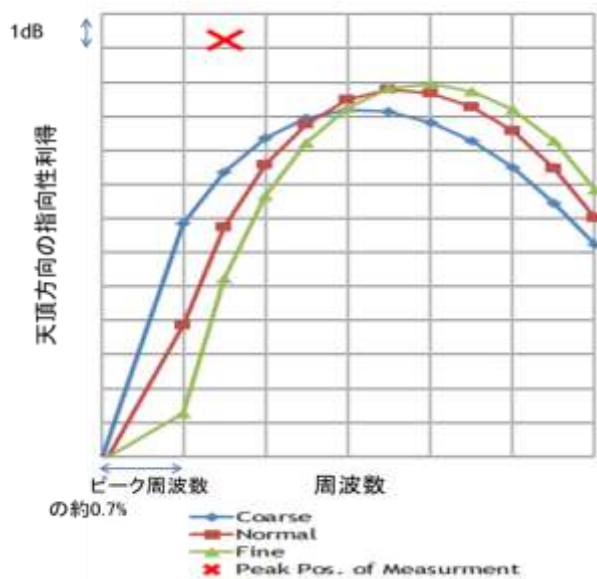


図 5 大規模モデルのメッシュサイズによる比較

大規模モデルにおいても中規模モデルと同様に指向性利得の値及び、ピークとなる周波数との差が実測値との間で生じているが、指向性利得の値の差はメッシュを細かくすると小さくなっている。

6.7 億メッシュ(図 5 の Coarse に相当)の大規模モデルは TSUBAME2.0 の 96 ノードを利用すると約 20 時間で解析が可能である。

アンテナ内部の電磁波の伝搬する部分の構造、パラメータを可変した場合の解析結果の比較を図 6 に示す。表 1 では指向性利得と動作利得(Realized Gain)の差である損失を求めている。このようなパラメータを可変した場合の差を実験で求める事は難しいが、解析においては差分を安定して定量的に評価できる。

表 1 モデルの違いによる損失の比較

モデル	Directivity - Realized Gain
model-A	3.54
model-B	2.82
model-C	2.84
model-D	2.59

まとめ、今後の課題

高利得、大口径の RLSA(ラジアルラインスロットアンテナ)で解析対象となる素子数が数万素子になるような解析対象を実機に相当するフルモデルで解析するには数億メッシュの解析が必要であるが TSUBAME2.0 を用いることで実用的な計算時間(96 ノードで約 20 時間)で解析が可能となった。仮に、クラスターシステムを使わずに単一ノードで解析した場合にはメモリを約 200GB 以上実装する必要があり、且つ単純計算で並列化に貢献している 12 時間部分の約 96 倍の計算時間に相当する約 1152 時間(48 日相当)がかかることになり、パラメータを可変する必要がある設計検証などの実用には耐えない。よって TSUBAME2.0 を用いたクラスターシステムの応用が有効であることが実証された。今回はソフトウェアの機能制限のため GPU クラスターシステムの有効性を確認できなかったが、今後は GPU の効果の確認を含め、解析メッシュの微細化による解析精度の向上と計算機リソース配分とのバランス

を考慮して解析条件の効率的な選択を検討する予定である。