

平成 25 年度 TSUBAME 産業利用トライアルユース 成果報告書

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.ntspspace.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。TSUBAME を用い GPU クラスタを活用した並列化にて高速に解析が可能となった(28 億メッシュモデルを 32 ノード、96GPU で約 26 時間)。

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 26 hours (2.8Billion mesh, usage of 32 nodes with 96 GPU's using CST STUDIO SUITE) with MPI and GPU technique on TSUBAME.

Keywords:

electromagnetic simulation, radial line slot antenna, GPU, 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 GPU クラスタ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。

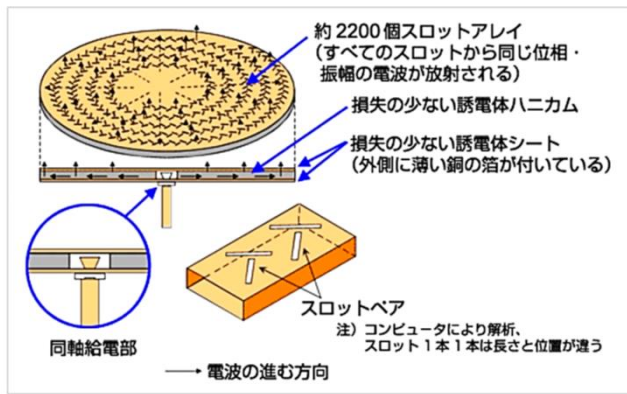


図1 RLSA の例

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 28 億メッシュに及ぶ超大規模モデルについて解析を行い、GPU の効果と実験結果との検証を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。

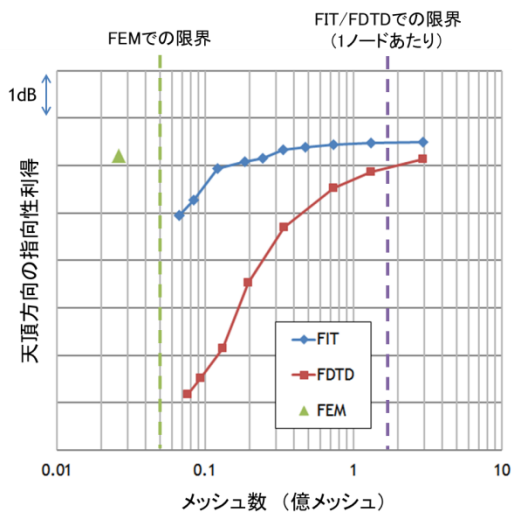


図2 メッシュと解の収束性

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。

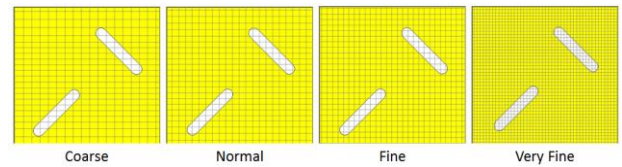


図3 メッシュの粗さ

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。

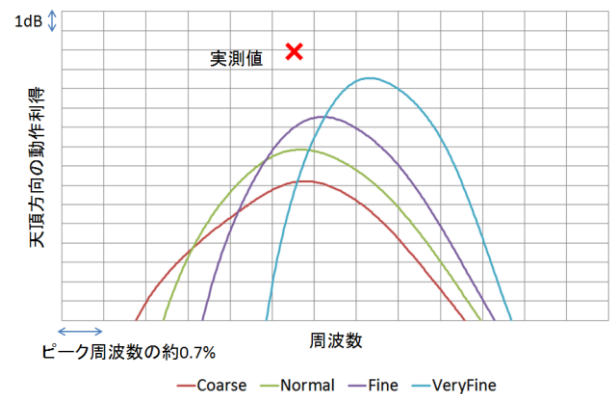


図4 大規模モデルのメッシュサイズによる比較

GPU を用いない場合、6.7 億メッシュ（図 4 の Normal に相当）の大規模モデルを解析するのに TSUBAME2.0 の 96 ノードを利用して約 20 時間で解析が可能である。

GPU を活用することで、表 1 に示すように 28 億メッシュの規模（Very Fine）でも 26 時間で解析することができた。GPU を活用することにより計算効率で約 3 倍の改善が得られた。

表1 解析規模と計算時間（ノード、GPU 数との関係）

モデル名	MPIノード数	GPU数	メッシュ数	計算時間
Coarse	8	24	4.3億	11H
Normal	8	24	6.4億	-
Fine	16	48	10億	-
Very Fine	32	96	28億	26H

計算の結果については解がほぼ収束していると思われるメッシュまで細かくしても実験値との差が残るため、その原因について考察した。天頂方向の指向性利得(Directivity)の実測値との比較だけでは、差の原因を考察することが難しいので、電磁界分布の解析結果を求めた。検討時間を短縮するため、空間的にはほぼ同様の規模で周波数の低いモ

デルについて利得がピークになる周波数の 70mm 上空での電界の振幅と位相、利得の分布を可視化したのが図 5 である。

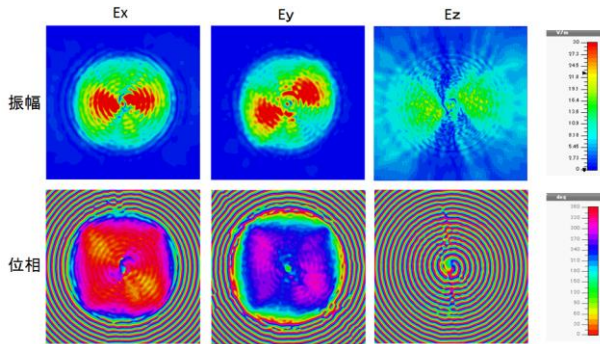


図 5 放射面の電界分布

最適に設計された場合の分布は一様になるのに対して、分布の偏りが認められる。設計の誤差を考慮しても、このような分布の偏りは大きく、位相情報に矩形の偏りが認められるところが鍵となりそうであるが、現時点では十分これらの結果から原因となる要素を切り分けることができていない。

実験結果と解析結果との差の原因は次の通りと考えられる。

- ① スロット近傍の Z 方向(放射方向)のメッシュの細かさが十分でない
- ② 実際のスロット形状(例えばエッジの形状等)を十分に反映できていない
- ③ 解析に用いた各種材料パラメータに実測値と差がある

これらの要因を切り分けるためには今後さらに検討を進める必要がある

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 Tsubame を用い GPU を活用することで実用的な計算時間(28 億メッシュモデルを 32 ノード、96GPU で約 26 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 800GB 以上実装する必要があり、且つ単純計算で約 4800 時間(200 日相当)がかかることになり、机上で構造を変え

たり、材料パラメータを変換する必要がある設計検証などの実用には耐えない。しかし Tsubame を用いた GPU クラスターシステムは、更に大規模でより詳細なモデルの解析についても有効であることが実証された。今後は GPU の効果を生かして、実測値との差の検証や新たなモデルの解析への適用を行い、大規模アンテナ開発への解析技術の応用を進めたい。