

回転機の高速度高精度シミュレーション

三次元有限要素法による回転機の高速度高精度数値解析技術の開発

研究・開発機関：東洋電機製造(株)
 利用施設：(独)海洋研究開発機構 地球シミュレータ
 計算規模：計算速度 1.0Tflops (16 ノード)
 利用ソフトウェア：三次元辺要素有限要素法*

Before

●磁界解析の分野では、これまで解析領域を分割せずに連立一次方程式の演算部分のみを並列化して計算時間を短縮していたため、数千円を超える大規模な磁界解析を行うことは困難でした。

After

- 回転機の並列計算を実現するために、辺要素有限要素法のための領域分割に基づく並列計算手法を開発し、地球シミュレータ上で回転機の大規模並列磁界解析を実現しました。
- 回転機の大規模シミュレーションが可能になれば、消費電力の大幅な低減につながります。

背景と目的

国内の消費電力のうち50%以上が回転機(モータ)によって消費されており(図1)、仮に国内すべての回転機の効率を1%改善したとすると、50万kW級の原子力発電所1基分の電力が削減できると言われています。そのため、回転機の効率向上は環境問題において避けることの出来ない課題のひとつであると言えます。

高効率な回転機の開発設計のためには、回転機本体だけでなく、ケースやその他の構造物等、細部まで精密にモデル化する必要があり、膨大な主記憶容量を要します。また、インバータ等による電圧波形や電流波形を正確に考慮するためには、時間軸方向の分解能を高くする必要があり、膨大な計算時間を要していました。

本プロジェクトは、三次元辺要素有限要素法を用いて電磁界を解析するプログラムを地球シミュレータ上に実装し、高速高精度な回転機の大規模シミュレーションを行うことを目的として実施しました。

図2に示すような埋め込み磁石構造回転機を電磁界解析の対象として、シミュレーションを行いました。なお、図2は周方向に1/3、軸方向に1/22領域を示しています。

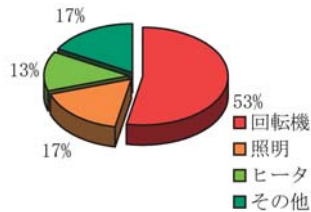


図1. 国内消費電力の内訳(2003年)

利用成果

平成19年度は、三次元磁界解析プログラムを地球シミュレータ上に移植し、図2に示す回転機の並列磁界解析を行いました。磁束密度ベクトル分布の計算例を図3に示します。線形ソルバ部のベクトル化と、ノード内で並列化を行うことにより、約1/190にまで計算時間を短縮することができました。

平成20年度は、辺要素有限要素法のための領域分割による並列化手法を開発し、地球シミュレータで最大128台のCPUを使用して回転機の並列磁界解析を行いました。さらに、ニュートン・ラプソン法を用いて磁性体の非線形性を考慮した磁界解析を行いました。128台のCPUを用いて未知数400万のモデルを計算した場合、最大で約62倍の台数効果を得ることができました(図4)。また、提案手法は解析対象の未知数が多くなるほど並列化効率が向上することもわかりました。

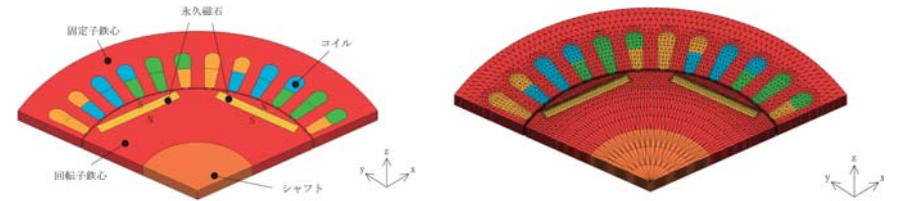


図2. 回転機の解析モデルと三次元分割図(要素数: 289,220、未知数: 323,454)

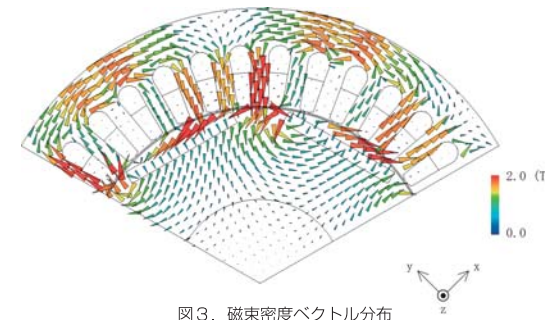


図3. 磁束密度ベクトル分布

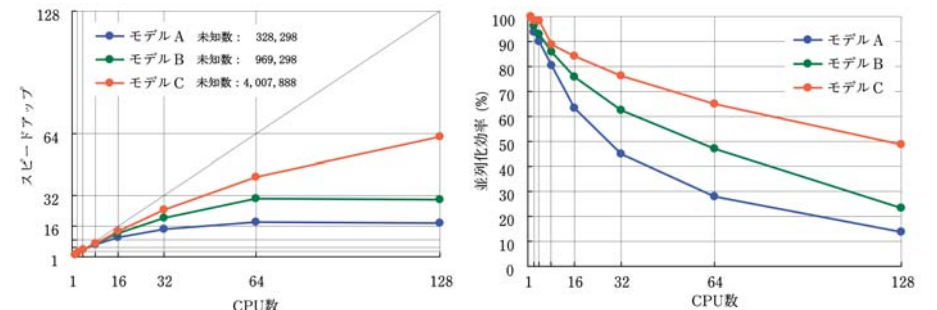


図4. 回転機の非線形解析1ステップに要する計算時間のCPU台数効果と並列化効率