

課題名(タイトル):

時空間並列化有限要素法に基づく高速大規模電磁界解析

利用者氏名:

○柿田晋平

岡本吉史

理研における所属研究室名:

情報システム本部 研究開発部門 計算工学応用開発ユニット

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

電気機器の設計サイクルにおける設計期間短縮および製作コスト削減のため、CAE に基づく電磁界解析が各所で利用されている。電気機器の過渡電磁界解析では、解析ステップ数が計算時間に大きく影響する。しかし、PWM インバータで駆動された状態を模擬する場合、解析精度の観点から、一周あたり 1000 ステップ以上の時間分割が必要になる。これまで、電磁界解析分野では、空間方向の領域分割型並列化有限要素法による高速化の研究が実施されてきた。一方で、時間方向への領域分割による高速化の研究はほとんど行われていない。そこで我々は、時空間有限要素法を用いて時間・空間の一括電磁界解析を検討する。時間・空間両方向に離散化を行う本手法では、過渡現象の長い電気機器の解析時間を大きく短縮でき、電気機器の設計工程に必要な時間を劇的に低減できる可能性がある。

今年度は、電磁界解析における並列化有限要素法の基礎検討として、領域分割型並列化有限要素法による三次元非線形渦電流解析を行い、並列性能の検討を行った。

2. 具体的な利用内容、計算方法

非線形渦電流解析を領域分割型並列化有限要素法によって行った。Maxwell の方程式から $A-\phi$ 法を用いて有限要素法弱形式を導出した。空間方向には一次六面体辺要素を用い、時間方向には、一次精度の後退差分を用いて離散化を行う。非線形問題の解法にはニュートン・ラフソン法を使用する。並列化のための領域分割は METIS を使用し、ロードバランスが均等になるようにする。加えて、係数行列作成部分での通信を避けるため、オーバーラップ要素を導入した。作成された連立一次方程式の解法として、ブロック ICCG 法を採用した。解析用プログラムは C 言語で記述し、MPI を用いて並列化を行った。

数値実験には、ポット型リアクトルを用いた非線形渦電流

解析を実施する。目周期との渦電流損の相対誤差が 1%以下になった時を、定常解への収束と判定し、定常解へ収束するまで時間ステップを重ねる。また、非線形終息に関しては、磁束密度の変化の最大値が 10^{-3} であることを非線形の収束条件とする。線形解法における収束判定値を 10^{-3} と設定した。解析モデルの有限要素メッシュについて、要素規模 200,000 程度のメッシュと、2,000,000 要素のメッシュを用意し、モデル規模ごとの並列性能の検証を行った。

3. 結果

ポット型リアクトルモデルにおける非線形渦電流解析において、256 並列時、小規模問題で 63 倍、大規模問題で 80 倍の高速化を達成した。両メッシュ共に、16 並列時までは同等の並列性能を示していたが、高並列になるにつれ、小規模モデルの並列性能の向上の悪化が見られた。これは、線形解法部分において、演算時間に対し、通信時間の割合が大きくなっているためであると考えられる。また、IC 分解におけるシフトパラメータについて、各プロセスで別々のシフトパラメータを定義する方法に比べ、全プロセスで統一した方法の方が良い収束特性を示した。

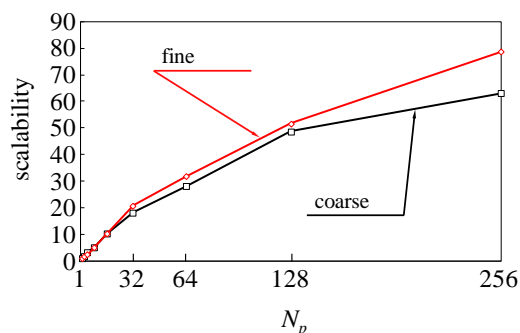


図 並列性能

4. まとめ

電磁界問題における過渡解析を、領域分割型並列化有限要素法を用いて行い、並列性能について検討した。その結果、先行研究で得られている結果と同程度の並列性能を実現することができた。

5. 今後の計画・展望

空間方向に対する並列化に加え、時間方向への並列化手法を実装することで、電磁界問題における過渡解析や定常解析の高速化を検討する。