

# 東京大学情報基盤センター

## 利用成果報告書

提出日：平成 30 年 4 月 27 日

申込課題名	GPU による電磁界有限要素解析の高速化の検討		
企業名	株式会社 JSOL		
フリガナ 代表者氏名		印	プロジェクトコード
部署名			職名
利用計算機 システム	Reedbush-H		
申込ノード数	Reedbush-U ノード Reedbush-H 1ノード Reedbush-L ノード Oakforest-PACS ノード	利用期間	平成 29 年 4 月 ~ 平成 30 年 3 月
成果公開 (※)	<input checked="" type="radio"/> 1. 即時公開 <input type="radio"/> 2. 公開延期 (成果公開予定：平成 年 月)		

※ 本報告書の内容は原則公開され、センター広報・Web ページに公開されます。ただし、利用者の申出により最大で2年間公開を延期することができます

- 本報告書は、利用期間終了後 1 ヶ月以内に東京大学 情報システム部 情報戦略課 研究支援チームまでご提出ください。
- 本様式の変更はできません。

受付日	平成 年 月 日	受付印	
-----	----------	-----	--

※記入の際は各項目の枠内に収まるように記入してください。補足資料を付加することは可能です。

<p><b>1. 利用の概略</b></p> <p>1) 利用目的・内容 有限要素法による電磁界解析を GPU の併用により高速化することを目的とし、GPU が持つメニーコアを有効利用する数値計算手法およびアルゴリズムを開発する。</p> <p>2) 利用意義（産業利用の観点から） 電気機器の設計や研究開発で用いられるハイエンドの計算機では GPU を数値計算のアクセラレータとして搭載するものが増えつつある。機器設計ツールとして利用される電磁界解析においても GPU を併用することで計算速度が向上し、機器設計の設計開発期間を短縮することが期待されている。</p> <p>3) スーパーコンピュータを利用する必要性 GPU のアーキテクチャは GPU 本体や計算機ハードウェアに依存することが多いため、できるだけ最新のものが望ましい。しかし、個社でハードウェア環境をそろえることは人的および金銭的なコストが大きな負担となる。Reedbush-H/L は GPU による数値計算のために構成されたスーパーコンピュータであり、計算手法やアルゴリズムの開発に専念できる最適なハードウェア環境と言える。</p>
<p><b>2. 成果の概要</b></p> <p>1) 本利用で得られた成果（成果が得られなかった場合はその理由） ※ 内容を以下のうちから選択の上、計算機利用の観点から得られた知見を中心に記載してください。 （ 1. 計算科学、 2. コンピュータ・サイエンス、 3. プログラムチューニング、 4. その他 ）</p> <p>1. 有限要素法による電磁界解析は連立一次方程式を反復解法で解くことに帰着するが、その反復解法の処理時間は全体の計算時間の多くを占める。そこで GPU が持つメニーコアを有効利用し反復計算処理を加速する計算手法、アルゴリズムを検討した。 メニーコア向けの連立一次方程式の反復解法として前処理に反復解法を用いる共役勾配法などが提案されているが、電磁界解析への適用事例は多くはない。特に電磁界と電気回路の強連成解析に反復解法を前処理とした共役勾配法を適用し、複数の GPU を併用して高速化する報告例は数少ない。 そこで、NVIDIA 社の Tesla P100 が NVLink と呼ばれる専用接続で高速に接続された Reedbush-H/L を用いて、埋め込み型永久磁石モータの大規模詳細モデルによる過渡応答解析を実施した。本解析はモータの電磁界と駆動制御回路の強連成解析であり、解析結果として回路に流れる応答電流やトルクを評価する。詳細モデルは節点数 429 万、要素数 962 万、未知数 1,662 万の大規模モデルとなる。連立一次方程式の反復解法には共役勾配法を前処理とした共役勾配法（以降、CGCG 法と呼ぶ）を使用し、複数 GPU の併用によるスケーラビリティを評価した。 電磁界と電気回路の強連成解析に CGCG 法を適用するにあたり、共役勾配法の収束性を悪化させない方法としてシュール補元を用いて解くべき連立一次方程式を変形して行列の性質を改善する手法を電磁界解析用に提案した。提案手法を用いることにより CGCG 法は安定した収束性を示し、応答電流やトルクといった解析結果も電磁界解析で一般的に使用される反復解法である不完全コレスキー分解を前処理とする共役勾配法（以降、ICCG 法と呼ぶ）で得られた結果と一致することを確認した。 複数 GPU を併用した時のスケーラビリティは、GPU を 2 基使用した場合と比較して 3 基使用する場合で 1.60 倍、4 基使用する場合で 1.85 倍となった。 電磁界と電気回路の強連成解析のための反復解法として、シュール補元による解くべき連立一次方程式の係数行列の性質改善と CGCG 法における複数 GPU の併用を提案した。GPU の併用数に対するスケーラビリティは良好であり提案手法の有用性を示すことができた。一方で GPU の併用数の増加に対してスケーラビリティが低下する傾向が見られ、GPU 間の通信量の削減や通信速度の改善が今後の課題となる。</p> <p>2) 社会・経済への波及効果の見通し GPU の併用により有限要素法による電磁界解析が高速化し電気機器設計の開発期間の短縮が可能となる。また計算時間がネックとなって諦めていた解析モデルの詳細化も可能となり、従来の簡略化された解析モデルでは把握することができなかった微細な物理現象も再現することが可能となる。それにより解析精度が向上するだけでなく設計者が新たな知見が得られることもあり、電気機器製品の高度化にも寄与すると考える。</p> <p>3) その他の成果 GPU による電磁界解析の高速化は報告例が少なく、まだ研究の余地が多いと考える。本研究の報告例がきっかけとなって、数多くの研究機関、ソフトウェアベンダーで電磁界解析への GPU の利用が検討されることを期待する。</p>

※記入の際は各項目の枠内に収まるように記入してください。補足資料を付加することは可能です。