細分割ツールを用いた大規模並列磁場解析

Large-scale Parallel Magnetic Analysis using Refine Tool

○正 杉本振一郎, 室谷浩平(東京大学), 正 河合浩志(諏訪東京理科大学), 正 吉村忍(東京大学)

Shin-ichiro SUGIMOTO¹⁾, Kohei MUROTANI¹⁾, Hiroshi KAWAI²⁾ and Shinobu YOSHIMURA¹⁾,

¹⁾ The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku Tokyo 113-8656

²⁾ Tokyo University of Science, Suwa, 5000-1, Toyohira, Chino-shi Nagano 391-0292

Key words: Refine Tool, Hierarchical Domain Decomposition Method, Magnetostatic Analysis, Large-scale Parallel Analysis, Finite Element Method

1. はじめに

近年, 解析対象が大規模化, 複雑化するとともに, 精度の向上を目的としたメッシュの細分化もなされてきており, 磁場解析における大規模計算の必要性が高まっている. そこで, 大規模計算の 1 手法として我々は階層型領域分割法 (Hierarchical Domain Decomposition Method: HDDM) に着目し, 磁場解析への適用に取り組んできた. 階層型領域分割法は領域分割法[1]を並列計算環境に効率よく実装するための 1 手法であり, 大規模問題を効率よく数値計算することのできる手法としてよく知られている. 例えば約 1 億自由度の構造解析や数千万自由度の熱伝導解析に対して共役勾配法 (Conjugate Gradient Method: CG 法) に基づく階層型領域分割法を用いた並列計算の有効性が示されている[2][3]. そこで, 我々は非線形静磁場問題に CG 法に基づく階層型領域分割法[4]を適用し, これまでに 10 億自由度規模までの問題を解くことを可能とした[5].

また近年では CPU のマルチコア化や並列コンピュータ技術の向上による並列数の増加により, 大規模解析を手軽に行える環境が整ってきている. それらの並列環境で効率よく動作する並列解析コードの開発も進んでおり, 中～大規模な問題もより短時間で求解できるようになってきている. 一方, 解析が大規模になるにつれ解析に用いるメッシュの作成に多大な時間がかかるようになってきているとともに, 中規模な問題においても解析時間が短縮されるにつれ解析業務全体に占めるメッシュ生成時間の割合が増える傾向にある. これまでに並列化された細分割ツールによって小規模なメッシュから大規模なメッシュを短時間で生成するとともに, 細分割ツールによって生成されたメッシュを用いて並列静磁場解析を行い, 精度の検証を行った[6]. 本稿では, メッシュ細分割の際に形状適合度を向上させるための形状補正を考える.

2. 形状補正

文献[6]で述べた細分割では, 細分割の際に辺上に生成される中点は辺の両端の節点を結んだ直線上にある. そのため, 辺が曲面にある場合には, 生成される中点はもとのモデルの曲面上になく, 細分割をしても自由度が増えるだけで, メッシュの形状適合度は改善しない (Fig. 1). そこで, 形状適合度を向上させるための形状補正を考える.

(a) オリジナル

(b) 細分割 2 回

Fig. 2. Refinement with shape adaptation.

本稿では, 形状補正を以下の手順で行う.

- 1) 形状補正を行う必要のある面に存在する要素面番号 (要素番号と要素内の面番号のセット) を抽出する.
- 2) 曲面のデータ (円柱であれば中心軸の両端点の座標, および半径) と, 要素面番号を対応づけたデータを作成する.
- 3) 細分割を行う. 形状補正を行う必要のある辺に中点を

(a) オリジナル (b) 細分割 2 回 (c) 細分割 4 回

Fig. 1. Refinement without shape adaptation.

生成する際、曲面データをもとに中点からもっとも近い曲面上の座標を求め、中点の座標とする。

この手順で行った細分割の例を Fig. 2 に示す。曲面部分の形状適合度が大きく向上していることがわかる。

また、TEAM Workshop Problem 20 [7]を使用した例を示す。簡易的なモデルとして Fig. 3 に示したモデルを考え、1/4 の領域($x \geq 0, y \geq 0$)のメッシュを作成する。このメッシュは要素数 471,541、節点数 639,724、自由度数 559,848 である。Fig. 4 に形状補正を行って細分割した例を示す。Fig. 4 は Fig. 3 の赤丸の部分拡大したものである。曲面部分がなめらかになっていることがわかる。

Fig. 3. TEAM Workshop Problem 20.

4. おわりに

メッシュ細分割の際に形状適合度を向上させるため、形状補正を行った。発表では、形状補正を行ったメッシュを実際に解析し、精度検証の結果などを示す。

参考文献

- [1] A. Quarteroni and A. Valli, Domain decomposition methods for partial differential equations, CLARENDON PRESS · OXFORD, 1999.
- [2] R. Shioya and G. Yagawa, Iterative domain decomposition FEM with preconditioning technique for large scale problem, ECM'99 Progress in Experimental and Computational Mechanics in Engineering and Material Behaviour, pp.255-260, 1999.
- [3] A.M.M. Mukaddes, M. Ogino, H. Kanayama and R. Shioya, A Scalable Balancing Domain Decomposition Based Preconditioner for Large Scale Heat Transfer Problems, JSME International Journal Series B, 49-2, pp.533-540, 2006.
- [4] H. Kanayama, H. Zheng and N. Maeno, A domain decomposition method for large-scale 3-D nonlinear magnetostatic problems, Theoretical and Applied

Mechanics, 52, pp.247-254, 2003.

- [5] 杉本振一郎, 淀薫, 荻野正雄, 金山寛, 吉村忍, 階層型領域分割法による 10 億自由度規模の並列磁場解析, 静止器・回転機合同研究会資料, SA-10-077, RM-10-086, 2010.
- [6] 杉本振一郎, 室谷浩平, 河合浩志, 吉村忍, 細分割ツールを利用した大規模並列磁場解析(第2報), 静止器・回転機合同研究会資料, SA-11-055, RM-11-068, 2011.
- [7] 回転機電磁界解析ソフトウェアの適用技術調査専門委員会, 「回転機電磁界解析ソフトウェアの適用技術」, 電気学会技術報告, No.486, 1994.

(a) オリジナルメッシュ

(b) 細分割 1 回

(c) 細分割 2 回

Fig. 4. Refinement with shape adaptation (TEAM20).