

審査の結果の要旨

氏 名 山 田 知 典

構造、流体、熱伝導などの物理現象の有効な数値シミュレーション手法として有限要素法が広く用いられるようになりつつある。コンピュータ技術の発展に従って、現在では大規模かつ複雑な有限要素解析が可能になってきた。また、近年の計算機技術における大きな発展の一つに並列計算機が挙げられる。複数の計算機を一つの目的のために協調して処理を行う並列計算においては計算機処理能力を格段に上昇させることが可能であるが、計算アルゴリズム自身の並列計算への適応性が問題となる。有限要素法のアルゴリズムも並列計算に対して対応が進められてきたが、未だ過渡期であり、大規模な連立一次方程式を解くソルバー部分以外は十分な並列化がなされていない。このため、大規模複雑な有限要素解析においては、有限要素モデル作成に費やす時間が全解析行程のかなりを占めているといった状況となっている。

本論文では、有限要素法において連立一次方程式のソルバー部分だけでなく要素生成についても並列化を行うことにより、解析者からのインタラクティブな入力を必要としない有限要素法解析プロセス全体を並列化することを目的としている。要素生成部分の並列化を行うためにバケットベース要素生成手法と名付けた新たな自動要素生成アルゴリズムの提案を行い、実際に並列環境に実装することにより、本アルゴリズムが高い並列効率で並列計算可能であることを示している。また、連立一次方程式ソルバー部分においても新しいスケーリングアルゴリズムを用いた並列共役勾配法ソルバーを実装することにより高い並列性と収束性の向上を達成している。両部分を同一の並列環境で実装することによりさまざまなオーバーヘッドの軽減に成功している。本論文は全体で6つの章から構成されている。

第1章では本研究の背景として現在の有限要素法の並列化の現状を述べ、解析者からのインタラクティブな入力を必要としない全解析プロセスを並列化する必要があることを述べている。

第2章は、並列計算を行う上で必要となる基本的な知識として、並列計算の評価手法や現在の計算機アーキテクチャについてまとめたものである。

第3章では、有限要素プロセスの並列化を行うために、基本的な有限要素生成アルゴリズムについて述べ、並列化の問題点を明確にしている。その解決案

としてバケットベース要素生成手法を提案し、2次元および3次元のアルゴリズム、並列環境への実装方法を述べている。

第4章では、大規模連立一次方程式のソルバー部分の並列化について述べており、従来スケーリング前処理の主流として用いられている対角項のみに着目した対角スケーリング前処理に対して、マトリクスの各行列ノルムに着目を行ったノルムスケーリング前処理アルゴリズムを提案している。

第5章において、提案したバケットベース要素生成手法を実際に計算機上に実装し、単一プロセッサでの要素生成時間、並列計算における並列効率の数值例を示し、本手法が有効であることを示している。また、連立一次方程式ソルバー部分においても数值例を用いて、十分な並列効率、対角スケーリング前処理に対する本ノルムスケーリング前処理の収束性の向上を示している。この両部分を同一環境で並列化することにより一千万自由度程度の解析を従来に比べ解析者の負荷を軽減し、容易に実行できることを示している。

第6章では結論をまとめている。

以上を要約すれば、本論文は実用レベルの大規模複雑な有限要素解析を実行するにあたり、解析者からのインタラクティブな入力を必要としない有限要素生成部分と連立一次方程式ソルバー部分を、新たに提案されたアルゴリズムを用いながら並列化することにより計算時間と解析者の労力の削減を行ったものであり、計算力学および計算機援用工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。