430 ADVENTURE システムと並列 GA を用いたタービン翼の熱弾性形状最適化

Thermo-elastic Design Optimization of Turbine Blade Using ADVENTURE System with Parallel GAs

○ 正 吉村忍 (東大院・環境学) ブライアン・デニス (東大・計算科学技術連携研究センター)

Shinobu YOSHIMURA, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8656

Brian Dennis, University of Tokyo

Key Words : Parallel CAE, Optimization, Genetic Algorithms, ADVENTURE, PC Cluster

1. はじめに

高速計算機(HPC)環境として、PCを多数ネットワーク接続したPCクラスターが脚光を浴びている。その理由として、LinuxやMPIなどの良質でフリーのソフトウェア環境が整ってきたこと、価格性能比が高いこと、初心者でも比較的容易に高性能の並列処理環境を構築できること、比較的大規模なメモリー空間・ディスク空間を実現できること、欲すれば1ユーザーが24時間占有できること、などが挙げられる。また、昨今の超並列計算機MPPsの多くが汎用マイクロプロセッサを利用しており、PCクラスターとの垣根は低くなりつつある。一方、アプリケーションに着目すると、従来、PCクラスターやMPPs環境で自在に稼動する汎用CAEシステムは存在しなかった。

著者らは、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「計算科学」分野のADVENTUREプロジェクトにおいて、任意形状の実用力学問題を、1千万～1億自由度級モデルを用いて解析や最適化計算ができる並列CAEシステムADVENTUREを開発し、Ver.1を2002年3月にプロジェクトホームページから無料公開した⁽¹⁻³⁾。

本論文では、ADVENTUREシステムの実用性能を検証する目的で実施したタービン翼の熱弾性最適設計について報告する。

2. ADVENTURE システムの特徴

ADVENTUREシステムでは、1千万から1億自由度級モデルを自由自在に扱えることと同時に、システムの開発・保守を容易にするために、背景知識や理論・アルゴリズム、プログラミングスタイルの異なる多数のプレ処理モジュール、メイン処理モジュール、ポスト処理モジュール、最適化モジュールを独立なモジュールとして構築している。各モジュールには領域分割型データ構造を基礎とする並列アルゴリズムが実装されており、それぞれ単独コードとして並列環境で稼動する。同時に各モジュールのデータ入出力は、並列分散環境での大規模解析を前提とする標準的なI/O(ADVENTURE_IO)⁽⁴⁾によって統一されており、モジュール間の連携を図りながら各種連成解析や最適化解析を行い易いように設計されている。

Fig.1 Typical Turbine Blade

3. タービン翼の最適設計

タービン翼は、Fig.1に示すように複雑な形状をしており、設計においては、空力特性、除熱特性、強度特性等を同時に考慮することが求められる。しかし、3次元モデルを用いた流体-熱-構造連成解析自体が極めて難しく、さらに、形状を最適化することは、人工物設計問題の中でも最も困難な問題の1つである。

先述したように、ADVENTUREシステムでは、個別力学現象を大規模モデルを用いて解析することはもちろんのこと、最適化解析や弱連成解析を並列環境上で自在に行うための基本的なメカニズムを実現している⁽⁵⁾。その実証の第一段階として、本来は流体解析から定まるべき温度境界条件をFig.2に示すように固定し、内部冷却流路の形状を設計変数とする熱弾性形状最適化問題に適用した。

Fig.2 Thermal Boundary Conditions

Fig. 3 Internal Passage in Turbine Blade

具体的には次の最適化問題を解いた。

目的関数: Fig. 3 に示すような内部冷却流路を有するブレードの重量を最小化する

制約条件: 全域の発生温度が 500°C 以下

全域の発生応力が 740MPa 以下

設計変数: 内部冷却流路の形状 (ベジエ・スプラインパッチ) の制御パラメータ

ADVENTURE システムの主要モジュール (ADV_Metis: 領域分割, ADV_Thermal: 熱解析, ADV_Solid: 熱応力解析) は並列化されており、一方、RGA (Real Coded GA) は容易に並列化できるので、本研究では 2 段階の並列化を採用した。その結果、並列計算機のプロセッサ資源を問題に応じて効率的に利用することができる。並列 RGA では、人口サイズ 24、プロセッサ数 48 個、設計変数 40、一様交差、突然変異率は 5%、制約はペナルティー法で処理、とした。各熱弾性解析には 2 プロセッサ (PenIII, 500MHz) を利用し、FEM メッシュの平均サイズは 10 万自由度 (Fig. 4 参照) で、1 ケース当たり計算時間 10 分であった。

4. 設計結果

Fig. 5 に世代進行に伴う重量変化の履歴を示す。30 世代で重量が 33% 程度削減された。Fig. 6 には、第 1 世代と第 30 世代の解の表面温度分布を示す。流路形状最適化によって温度条件も緩和されていることがわかる。なお、今回の問題では、遠心力を考慮しなかったために、流路が拡大し壁が薄くなることによって、軽量化が図られたが、遠心力を考慮することにより、最適解探索の難易度は上がると予想される。

5. おわりに

ADVENTURE システムと並列 RGA を組み合わせることにより、タービン翼の熱弾性形状最適化という実用レベルの複雑な問題を PC クラスタ環境で解けることを示した。今後は、遠心力の考慮や流体力学との連成など、解析モデルの高精度化を図っていく予定である。

謝辞 本研究は、学振未来開拓「計算科学」分野の ADVENTURE プロジェクトの成果の一部である。

Fig. 4 An Typical Mesh

Fig. 5 Convergence of GA-based Optimization

参考文献

- (1) <http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp>
- (2) S.Yoshimura et al., Advanced General-purpose Computational Mechanics System for Large Scale Analysis and design, Journal of Computational and Applied Mathematics, in Print
- (3) 吉村、計算科学とバーチャル実証試験：学振未来開拓 ADVENTURE プロジェクトが提示する近未来、原誌、43-12, (2001) 1185-1190
- (4) 宮村、吉村ほか、大規模並列計算力学システムにおける入出力データの標準化、日本計算工学会論文集、2 (2000) 219-226
- (5) Y.Nakabayashi, S.Yoshimura, G.Yagawa, Fluid-Structure Weak Coupled Analysis in a Parallel and Distributed Computer Environment, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering, Accepted.

Fig. 6 Surface Temperature at 1st and 30th Generation
Max Temperature Reduces from 496°C to 478°C