51 スーパーコンピュータと グラフィックスワークステーション による流体解析の可視化

(株)東芝CAEシステムズ 諸田勝義○

(株)東芝 岡 明男, 横野泰之

The Visualization of Flow Analysis
Using Super Computer and Graphics WorkStation

Katsuyoshi MOROTA*, Akio OKA** and Yasuyuki YOKONO***

This paper describes extensive numerical studies on the gases diffusion flame gas-turbine combustor using a interactive steering supercomputing simulation system. The system which are CRAY Y-MP and IRIS4D connected by Ultra-net can visualize analysis process and alter the numerical condition.

The complicated 3D flow caused by air jet and the temperature increase result of combustion reaction was obtained. It was found that the interactive simulation system was valid for the complicated combustion analysis. These were enabled by real time data transfer, that monitoring of calculating status and steering a parameter of analysis interactively.

1. はじめに

近年, 燃焼器内部や火炎内部の現象を, 数値解析的に解明しようとする試みがなされるようになってきており, 詳細な乱流モデル, 燃焼モデルも報告されてきている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾. しかし, 実用燃焼器への応用については比較的報告が少ない. この理由として燃焼のシミュレーションでは, 複雑な化学反応と大きな発熱による密度変化がある場で, 乱流輸送過程を的確に取扱うことが困難であること, 実用燃焼器形状が複雑なために, その結果の確認が困難であることなどがあげられる.

ここでは, スーパーコンピュータと高機能グラフィックスワークステーションを, 高速データ通信回線で結んだ対話型シミュレーションシステム⁽⁵⁾を開発し, 実用燃焼器における燃焼のシミュレーションに適用した. 本システムでは, 解析結果をリアルタイムに画像化し, 解析結果の評価ができ, さらに, この可視化結果を見ながら, 対話形式で解析条件の変更を行える. 燃焼のような複雑な現象に対しては, 解析途中での計算プロセスの把握, 早期のエラー発見が非常に重要であり, 本システムを利用することにより, 解析効率の大きな向上が期待できる.

* Toshiba CAE Systems Inc.

66-2 Horikawacho, Saiwai-ku, kawasaki 210, Japan

** Toshiba Corp. Total Information & System Division

580-1 Horikawacho, Saiwai-ku, Kawasaki 210, Japan

*** Toshiba Corp. Research & Development Center

4-1 Ukishima-cho, Kawasaki-ku, kawasaki 210, Japan

2. システム構成

計算された膨大な数値データを理解するため、計算結果の画像化、すなわち、サイエンティフィックビジュアライゼーション^{(8) (7)}が必須である。これまでに、バッチ処理によりスーパーコンピュータで解析を行い、その結果をGWSやフレームバッファ等に転送し、画像表示するポストプロセッシングシステムが数多く報告されている。これに対し、解析結果をリアルタイムに画像化し、解析結果の判断、さらには、この可視化結果を見ながら、対話形式で解析条件の変更を目的としたトラッキング、ステアリング技術^{(8) (9)}が注目されてきている。本システムは、このステアリング機能を実現するものである。

ハードウェア構成を図1に示す。スーパーコンピュータにはUNIXベースのUNICOSをOSとして採用するCRAY Y-MP, GWSにはIRIS4D/210GTXを使用し、これらをデータ転送速度1GbpsのUltraNetにより接続している。CRAY Y-MP上には流体解析プログラム、およびGWSとの通信モジュールがあり、GWS上にはGLライブラリを使用して記述した可視化プログラム、ユーザーインターフェースプログラム、およびCRAY Y-MPとの通信モジュールが存在する。通信はUNIXのプロセス間通信機能のソケットを用いており、ここでは同期通信を行っている。それぞれの通信プログラムはCRAY Y-MP上の流体解析プログラム、GWS上のプログラムにサブルーチンとして組み込まれ、解析結果の転送、解析条件の変更などを行う。

図2にシステム実行中の画面例を示す。図中上方に、残差、モニターポイントをグラフ表示している。これらのパラメータは、データ量が少なく転送時間は問題とならないため、内部反復計算ごとに転送している。一方、図中央に描かれている解析結果は、データ量が多く転送に時間を要するため、time stepごとの転送としている。

ポスト処理機能として、モデルメッシュ図、カラーコンター図、ベクター図およびグラフの表示機能、表示図の回転・移動・拡大／縮小機能、異なるスカラー量の同時表示機能、表示パラメータの変更機能などがある。またベクター図表示機能では、3次元空間での複雑な現象を容易に把握できるよう、任意のスカラー値をしきい値とした表示データの制限をすることが可能である。さらに、パネルから値を入力することにより、時間刻み、収束判定などの解析条件を解析処理中に変更可能である。

Fig.1 Hardware Construction

Fig.2 Typical Graphical User Interface

3. ガスタービン燃焼器の解析

本システムを適用した燃焼器の概略を図3に示す。これは気体燃料拡散燃焼方式のキャノン形燃焼器で、燃焼器中心軸に燃料および空気用のスワラが設けられ、燃焼器側壁には、燃焼空気孔が45度間隔で3列、燃焼器下流部に希釈空気孔が90度間隔にあげられている。

燃料および空気の流量配分として、燃料はLNGで、燃焼器中心軸近傍のスワラから空気とともに噴出する。燃焼器側壁の燃焼空気孔、希釈空気孔からもそれぞれ空気が流入し、燃焼用空気、燃焼器壁冷却空気となる。キャップルーバー部、燃焼器側壁からの空気流入は微細孔からの噴き出しである。燃焼器内圧力は約10ata、流入空気温度は約300℃である。

燃焼現象を支配する方程式は、連続の式、運動方程式、エネルギーおよび各化学種の保存式となり、これらの式はコントロールボリューム法を用い、解法アルゴリズムにシンプル法⁽¹²⁾を採用している。対流項には3次精度の上流差分を用いている。

解析は90°セクタモデルでこない、周方向20、半径方向40、軸方向50の合計40000メッシュを用いている。この解析メッシュでは、空気噴流のメッシュが2~4で、やや分解能としては不足気味である。入力境界条件としては以下のように設定した。燃料流速を流量と噴き出し口径から算出すると、下記の値より高くなるが、メッシュの分解能の関係から流量を一致させている。ライナ希釈空気は細孔からの噴出であるが、解析では、流量を一致させ、壁一様の湧き出しの形で与える。解析時間刻みは燃焼器長さで平均流入流速に基づく無次元時間 τ で0.005とした。解析は非定常解析として、タイムステップ数で200、無次元時間で1までおこなった。

解析結果の1例として、速度ベクトルを図4に示す。この例では、円周方向に解析結果を重ね合わせ、360度での結果を模擬している。さらに、流れの状態が把握しやすくなるよう、速度が大きく圧力が高い点のみを表示している。図より、燃料、空気噴流による中心部でのスワール流れがよく表されていること、側壁からの空気流により、渦流れが発生していることがわかる。本システムを利用することにより、この様に非常に複雑な3次元流れが観察された。

Fig.3 The combustor geometry

Fig.4 Velocity Distribution

4. おわりに

スーパーコンピュータを高速ネットワークを用いてグラフィックスワークステーションに接続し、アプリケーション間通信を行うことにより、解析途中の結果をリアルタイムにグラフィック表示するモニタリング、および対話形式で解析条件の変更をするステアリング機能を有する流熱解析システムを開発した。本システムをガスタービン燃焼器の解析に適用し、その結果、スワール流、側壁からの噴流により複雑な3次元流れの算出、燃焼反応による温度分布の算出が可能となった。解析精度の向上、定量的な燃焼生成物や壁温度の算出等には、さらに工学的アプローチやより高い高速演算性能が求められる。複雑な解析を進めるにつれ、解析パラメータを決定する解析者の試行錯誤の負担が増加することは疑う余地がなく、解析結果と解析途中の状態をよりタイムリに、かつ的確に評価する必要がある。今後も、スーパーコンピュータの高速演算機能、GWSの高画像処理機能、ユーザーインターフェース性の高さ等を備えた本システムを利用していくとともに、さらに機能強化していく。

5. 参考文献

- (1) 香月, 水谷, ガスタービン学会誌, 17-65, 1989
- (2) 岡本, 高城, 機論, B, 53, 495, 1987
- (3) 加守田他, 第25回燃焼シンポジウム, 1987
- (4) 香月他, 第25回燃焼シンポジウム, 1987
- (5) 横野ほか3名, 計算力学講演会, 1991, 141
- (6) Gallagher, R. S. and Nagtegaal, J. C.,
Computer-graphics, 23, SIGGRAPH'89 Conf. Proc., 1989, 185
- (7) Haber, R. B., Computer, 1989, 84
- (8) 三好, 分散処理型FEMシステム,
第1回デザインエンジニアリングプラザセミナー教材, 1991, 38-43
- (9) 吉田ほか3名, 電子情報通信学会, SDM90-107, VLD90-58, (1990), 47-52
- (10) 日本機械学会編, 流れの数値シミュレーション, コロナ社, 1988
- (11) バタンカー原著, 水谷, 香月共訳, コンピュータによる熱移動と流れの数値解析,
森北出版, 1985
- (12) Magnussen, B. F., B. H. Hjertager, J. G. Olsen and D. Bhaduri,
17th Symp. Combust., 1383, 1979