25 動画による自動車周りの流れの可視化(第2報)

日産自動車 藤谷克郎^{*}、姫野龍太郎、佐藤早苗
日産ディーゼル 西川省吾

Motion Graphics of Computed Unsteady Flow around Automobiles (Part 2)

Katsuro FUJITANI*, Ryutaro HIMENO**, Sanae SATOH*, Shogo NISHIKAWA***

A motion graphic technique was utilized to visualize some computed flows around automobiles. Multi-block transformation and transfinite interpolation were used to generate the complicated grid systems. Unsteady flow fields were computed by the finite difference method using a third order upwind scheme. A mini supercomputer and a graphic work station, which were connected with each other through a local area network, were used for the grid generation and the flow visualization.

It is concluded that the combination of the multi-block grid generation and the motion graphic flow visualization is very useful to analyze the unsteady flow. It enables us to understand the flows around the realistic automobile shapes with wheels, wheel wells and mud guards.

1. まえがき

第1報[1]では、ワークステーションとミニスーパーコンピュータからなる動画化システムを用いた非定常流れの計算結果の可視化について報告した。このときには、タイヤ等を省いた3次元の基本的な自動車形状を取り扱ったが、エンジンルームの耐熱検討やタイヤの泥はねの検討[2]等、広範囲の自動車の空力特性を扱う上で、タイヤ、空気流入口等の複雑な形状を考慮する必要がある。そこで、multi-block transformation[3]を用いた会話型の格子生成システムにより、タイヤなどの複雑な形状を再現する格子を生成し、流れの計算を行い、可視化を試みた。

2. 計算方法

自動車の周りの流れは非圧縮性であり、静止流体中を速度 v_0 で格子系が移動する場合の連続の式とナビエーストークス方程式は以下ようになる。

・連続の式

$$\nabla \cdot (v - v_0) = 0 \quad (1)$$

・ナビエーストークス方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \{ (v - v_0) \cdot \nabla \} v = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta (v - v_0) \quad (2)$$

*Product Development Systems Department, Nissan Motor Co., Ltd., Yokosuka, Japan

**Central Engineering Laboratories, Nissan Motor Co., Ltd., Yokosuka, Japan

***Research Department, Nissan Diesel Motor Co., Ltd., Ageo, Japan

この2式から圧力に関するポアソン方程式を導く。

$$\Delta p = -\nabla \cdot \{(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0) \cdot \nabla\} \mathbf{v} - \frac{\partial D}{\partial t} \quad (3)$$

この(3)式のD ($-\text{div } \mathbf{v}$)は連続の式から0であるが連続の式の誤差の修正項として残し、(3)式を次のように変形する。

$$\Delta p = -\nabla \cdot \{(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0) \cdot \nabla\} \mathbf{v} + \frac{D}{\Delta t} \quad (4)$$

そして、この(4)式と(2)式を一般座標系に変換し、差分法を用いて流速と圧力を算出する。このとき、(2)式の対流項には3次精度の風上差分、その他の空間方向の微分には2次の中心差分を用い、時間方向には2次の陰的オイラーを用いる。

3. 格子生成

自動車のCADデータから計算格子を会話型で生成するシステムを用いて、格子を生成した。このシステムではmulti-block transformationを用い、計算領域を多数のブロックに分割し、その各々のブロックで格子を生成する。また、ブロックごとの格子生成には、transfinite interpolation[4]を用いている。

図1にタイヤ、タイヤハウス等の形状を再現したスポーツ車のブロックの構成図を、図2には、その車体近傍の計算格子を示す。この計算格子では、ブロックの数は、約50個で、格子点数は $163 \times 50 \times 75$ の611,250点である。また、図3にはマッドフラップの形状まで再現したトラック・キャブの計算格子を示す。格子点数は $105 \times 50 \times 89$ の467,250点である。

Fig.1 Block Structure

Fig.2 Grid System A (Sports Car)

Fig.3 Grid System B (Truck Cab)

4. 可視化システム

図4に示すように、計算結果の可視化には前報で示した、ワークステーションとミニスーパーコンピュータからなる可視化システムを用いている。前報と比べると、光ディスク装置とビデオプリンタを付け加えている。光ディスク装置を用いるとコマ撮りによる計算結果の動画化が効率良く行なえる、また、前述した会話型の格子生成システムもこのワークステーション上で行なえるようになっている。

Fig.4 Computer Network

5. 結果

計算は対象条件を与え、 Re 数1,000,000(代表長1 m)で行なった。またトラック・キャブの計算では、タイヤに回転速度を与えている。

図5はスポーツ車周りの流れをストリークラインで示したものである。ストリークラインは、自動車の前方から仮想粒子を連続的に流れの中に放出し、その軌跡を計算したものであり、この図では、自動車後部や床下の流れの様子が可視化されている。

図6にはトラックのキャブのタイヤ近傍のストリークラインを示す。この図6ではキャブ前方から流した仮想粒子がタイヤハウス内に巻き込まれているのがわかるが、さらに動画で観察すると、このタイヤハウス内の粒子がある瞬間、キャブの側方に吹き出しているのがわかる。

Fig.5 (a) Streak Lines (Sports Car)

Fig.5 (b) Streak Lines (Sports Car)

(a)

(b)

Fig.6 Streak Lines (Truck Cab)

6. まとめ

(1) multi-block transformation を用いて格子を生成すると、タイヤ等を含んだ複雑な自動車形状周り流れの計算とその可視化が行なえることがわかった。

(2) タイヤハウスの泥はねの検討に動画による可視化が有効なことがわかった。

参考文献

- [1] 藤谷、藤井、姫野、高木：“動画による自動車まわりの流れの可視化”、流れの可視化 Vol.8 No.30 (1988)
- [2] 西川、渡辺、藤谷、姫野、高木：“トラック車体回りの流れの数値計算”、自動車技術 Vol.43 No.4 (1989)
- [3] Sawada, K. and Takanashi, S. : “A Numerical Investigation on Wing/Nacell Interface of USB Configurations”, AIAA paper 87-0455(1987)
- [4] 中橋：“格子形成法の基礎”、日本機械学会第153回講習会資料“数値流体力学の初歩から実用まで” pp37-48 (1987)