

卒業論文要旨

CFD ソフトウェア FaSTAR を用いた自動車を対象とした流体解析の試み

航空・ガスタービン研究室 1170147 松本 巧

1. 緒言

近年化石燃料の枯渇が懸念される中、自動車においても燃費向上は重要な課題である。燃費は空気抵抗に大きく左右され、空気抵抗を減らすことは燃費の改善につながる。

近年はコンピュータの性能が飛躍的に向上し、実際の現象をコンピュータ上で仮想的に作り出すシミュレーション技術が発達してきている。自動車においても、モデルの作成や実験の一部をシミュレーションに置き換えることで開発期間の短縮とコスト削減を実現している。特に空力、デザイン開発においては CFD (Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学) が用いられる。

本研究室では今年度から、JAXA が開発した主に流体の外部流れを対象とした CFD ソフトウェア FaSTAR を導入した。これは、本研究は FaSTAR で自動車の数値流体解析をする環境を整えることを目的として、解析と実験データの比較を行った。

2. 解析方法

2.1 解析環境概略

計算機サーバとして、UNI-XW56M (CPU 数 2, メモリ 44GB) を用いた。その構成を表 1 に示す。

格子作成ソフトは HexaGrid, 前処理から後処理までの解析ソフト FaSTAR, 可視化には ParaView を使用した。

2.2 HexaGrid

HexaGrid とは、六面体ベースの非構造格子を自動作成するツールである。他のツールと比較して少ないパラメータ設定で高速に格子を作成することが出来る。

2.3 FaSTAR

FaSTAR とは、世界トップレベルの高速性を持つ流体解析ツールであり、非構造格子に対応した圧縮性流体ソルバである。空間離散化には、有限体積法のセル中心法を採用していて、音速域から亜音速域まで対応している。

2.4 解析対象

解析対象である SUV の簡易モデルを図 1 に示す。全長 L は 0.6095m, 全幅 W は 0.2475m, 全高 H は 0.24925m である。実験と比較するため、モデルを地面から 0.015m 浮かした状態で解析を行った。

2.5 解析格子

本研究で用いた格子の解析領域を図 2 に示す。自動車の空力シミュレーションの必要最低限の解析領域を最小格子幅の 16 倍、解析対象の前後を最小格子幅の 4 倍に設定した。

境界条件として、入口と地面に一樣流を与え、側面、上面は自由滑り条件、出口境界に静圧固定流出、解析対象に断熱

滑りなし乱流を設定した。

Table 1 Structure of UNI-XW56M

CPU	Intel Xeon x5600 3.46GHz
CPU 数	2 (2×6 コア)
メモリ	44GB
ハードディスク	2.0TB
オペレーティングシステム	Ubuntu 14.04

Table 2 Physical and numerical condition

基準流れマッハ数[-]	0.044 (15.0m/s)
基準流れ静温[K]	293.15
基準流れ静圧[Pa]	101325
レイノルズ数	6.15×10^5

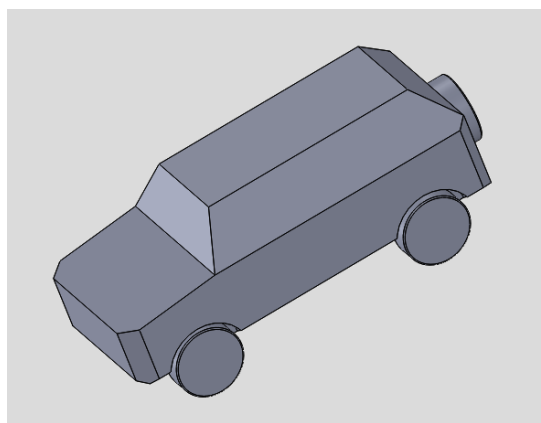


Fig. 1 analysis object

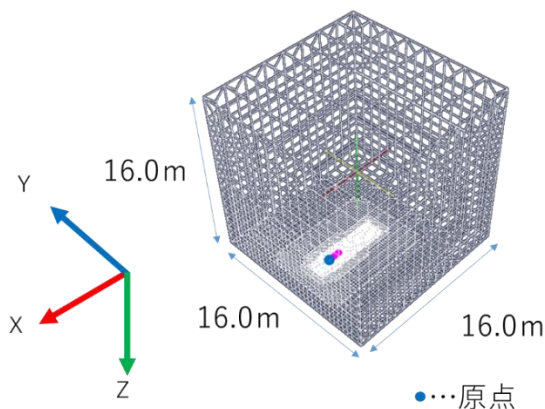


Fig. 2 analysis domain

2.6 解析条件

本研究では乱流モデルとして、外部流れで形状が複雑なモデルの解析に適している SST モデルを設定した。SST モデルとは、壁近傍の流れを安定に解くことが出来る $k-\omega$ モデルをベースに、圧力勾配のある剥離の精度は良くないが、壁面から離れた領域では自由せん断流れを高精度に解ける $k-\epsilon$ モデルを融合したものである。

ここで、基準流れの条件を表 2 に示す。基準流れ静温を 20°C とし、基準流れ静圧を大気圧とした。

2.7 解析ケース

最小格子幅が小さいほど精度は上がるが、格子数が増加し、解析コストは上がる。そこで、格子数による結果の違いを見るために 5 ケースの解析を行った。最大格子幅は全長 L を約 50 で割った 0.012m。最小格子幅はそれぞれ 0.012m, 0.006m, 0.003m, 0.0015m, 0.00075m である。

3. 結果

空気抵抗係数、圧力分布を次の式で求める。次の式から求めたそれぞれの空気抵抗係数を表 3 に示す。

$$\begin{aligned} \cdot C_d \text{ (空気抵抗係数)} &= \frac{2D}{\rho v^2 A} \\ \cdot C_p \text{ (圧力係数)} &= \frac{p_\infty - p}{\frac{1}{2} \rho v^2} \end{aligned}$$

抗力 : D , 空気密度 : ρ , 主流速度 : v , 前面投影面積 : A
 主流全圧 : p_∞ , 表面圧力 : p

モデル後端から 450mm 後方の圧力係数分布の実験データを図 3 に、解析データを図 4 から図 8 に示す。全体で見ると、車両後部の圧力係数は高くなっている。実験データでは車両をそのまま投影したような形になっている。しかし、解析データは最小格子幅が小さくなるにつれ、中心部分で圧力係数が低くなって、実験結果と解析結果が似ているとはいえない。

4. 考察

今回の結果より、格子数は約 2810 万で結果のずれはかなり小さくなり、妥当であると考えられる。しかし、今回使用したサーバでは解析に 1 日かかってしまう。今後の課題として精度を保ったまま格子数を小さくすることが必要である。そのために、部分的に格子を細かくして、その他を粗くすることで全体の格子数を抑えることを試みたい。

自動車後部の圧力係数分布の差については、実験ではモデルの影を映すように圧力が下がって、風が縦横方向に移動せずにそのまま後ろに流れていると考えられ、それに対し解析では粘性が低いような流れが見られた。最小格子幅が大きいケースの C_d 値が低いのは、モデルの段差を表現できていないことが原因と考える。逆に最小格子幅 0.0015m より 0.00075m の方が C_d 値が低いのは、モデル側面の風がモデル後部で合わさることで圧力が回復しているからであると考えられる。現状では実験と解析では風の流れ方に大きな差があることがわかる。これを解決するために、乱流モデルの変更およびパラメータ調整を試みたい。

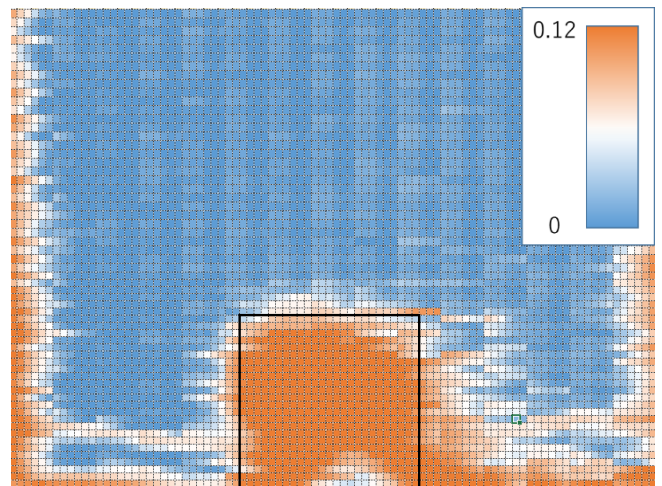


Fig. 3 Cp distribution (experiment)

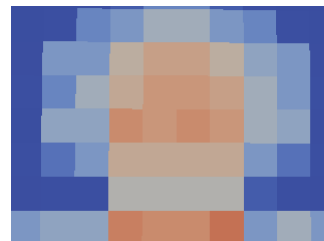


Fig. 4 Cp (CFD 0.012m)

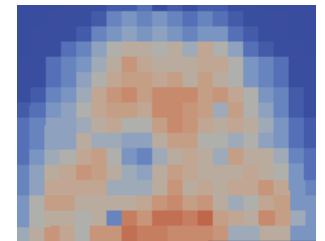


Fig. 5 Cp (CFD 0.006m)

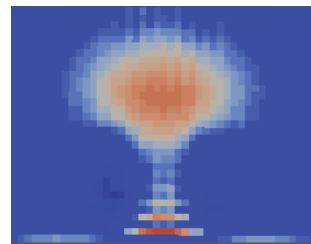


Fig. 6 Cp (CFD 0.003)

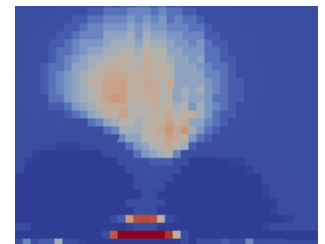


Fig. 7 Cp (CFD 0.0015)

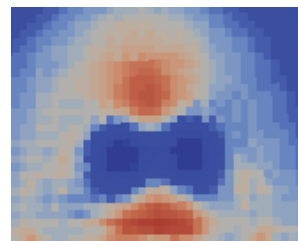


Fig. 8 Cp (CFD 0.00075)

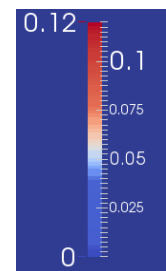


Table3 coefficient of drag

最小格子幅 [m]		0.012	0.006	0.003	0.0015	0.00075
格子数 [個]	実験	43 万	157 万	455 万	1300 万	2810 万
C_d 値 [-]	0.633	0.537	0.563	0.671	0.695	0.674
誤差 [%]		-17.9	-12.4	5.7	9.0	6.2

5. 文献

自動車のホイール回転が車両空力に及ぼす影響に関する LES 解析 (池田 隼, 坪倉 誠, 小林 竜也, 長谷川 巧, 小森 谷 徹, ながれ, Vol. 32, No. 2 (2013), pp. 107-111.)