

# 卒業論文要旨

## OpenFOAM を用いた自動車半裁模型における実験方法の評価

### Numerical Simulation of Wind Tunnel Testing for a Half-Span Vehicle Model

システム工学群

航空エンジン超音速流研究室 1180051 唐澤 颯人

#### 1. 諸言

現在、自動車は私たちの交通輸送手段として身近になっている。その自動車を取り巻く環境として地球温暖化、化石燃料の枯渇などの問題が深刻化し、各自動車メーカーにはエネルギー効率に優れた燃費の良い自動車の開発が求められている。自動車の燃費を向上させるには、車両の軽量化、エンジンの燃焼効率改善、転がり抵抗の低減など様々ある中で、特に空気抵抗低減の効果は大きい<sup>(1)</sup>。本研究では、ボディの空気抵抗低減により、燃費を向上させる事を最終的に目指している。

空気抵抗低減を図るためには、まずは自動車の空力特性を正しく評価する必要がある。そのため、半裁模型を用いた風洞実験を行うこととする。

その環境構築の一環として、村上ら<sup>(2)</sup>が、航空機の半裁模型を用いた風洞実験の際、風洞壁境界層と模型本体との干渉を避ける目的で用いた胴体を延長させた形式の境界層除去板を参考にし、それを自動車の半裁模型に応用し、風洞実験への適用を試みる。

本報告では、その自動車半裁模型を用いた風洞実験に反映させることを目的とし、OpenFOAMを用いたCFD解析により境界層除去板の有効性を評価する。

#### 2. 解析環境

今回のCFD解析の計算環境を表1に示す。流れ解析に用いたオープンソースであるOpenFOAMは、多数のユーザー使用実績とともに、各研究機関、大学でのテストなどによる検証例が多い。

Table.1 Specification of the computer server

CPU	Intel Xeon E5-2650 v3 2.30GHz ×2
Memory	192GB
OS	Ubuntu 16.04
CFD	OpenFOAM ver 3.0.1

#### 3. 計算対象

本研究の計算に用いる車体模型形状を図1に示す。ここで、車体模型はベースとした車体の1/10スケールとし、車体半裁模型全長 $L=430$ [mm]、車高 $H=130$ [mm]、車幅 $W=74$ [mm]である。また2種類の境界層除去板をそれぞれ図2、3に示す。本研究では境界層除去板の有効性を評価するため、自動車半裁模型をそのまま風洞壁に設置したケース(以下 No Spacer)、形状の異なる2種類の境界層除去板を設置したケース(以下 Spacer1, Spacer2)を考える。またこれらの結果と比較するために計算領域を広くし、計算対象を全体モデルとしたもの(以下 Base、ただし車体の中心断面で対称条件を課す)の計4ケースの計算を行う。

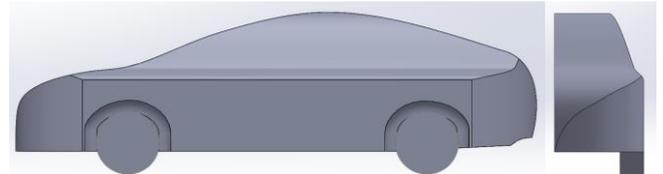


Fig.1 Body

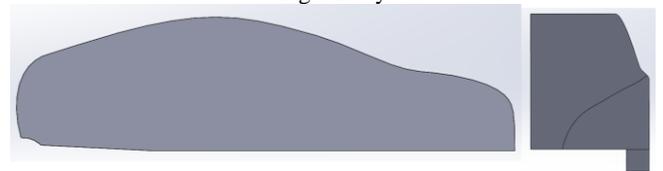


Fig.2 Spacer1

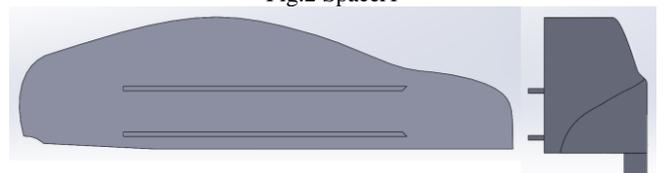


Fig.3 Spacer2

#### 4. 計算領域

計算領域を図4に示す。風洞実験を模した計算領域とし流れ方向×横方向×高さ方向に $1.3$ [m]× $1$ [m]× $1$ [m]とする。また比較のために計算領域を広くし、全体モデルを計算対象としたものは、計算コスト削減のため、車体の中心断面で対称として取り扱い、ボディ半分を対象とする計算を行うこととし、流れ方向×横方向×高さ方向に $8$ [m]× $1$ [m]× $1$ [m]とする。セル数は、風洞実験を模した計算領域のケースは、約100万。比較のために計算領域を広くとったケースは、約200万である。

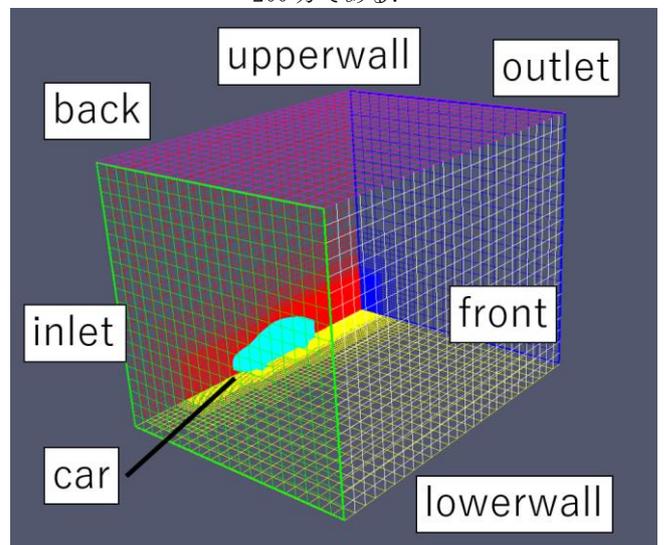


Fig.4 Analysis domain and boundaries

## 5. 数値計算手法

本研究では、流れを定常乱流として取り扱う。支配方程式として、連続の式、レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式を用い、乱流モデルは  $k-\omega$  SST を用いる。速度・圧力解法として SIMPLE 法を適用し、勾配の離散化には線形補間、発散の離散化には二次精度風上差分法を採用する。また、格子生成には OpenFOAM の標準ユーティリティに含まれる「snappyHexMesh」を用いる。

## 6. 境界条件

本計算において、風洞実験に合わせた条件とし、流入境界条件に、主流速度 20[m/s] の一様流を与える。なお、流入気流は乱流で、主流の 1% の乱れを与え  $k$ ,  $\epsilon$ ,  $\omega$  を設定する。流出境界は自由流出とする。流入出面以外の全ての面とボディは滑りなし境界とする。

## 7. 結果及び考察

数値解析におけるボディのみの Cd 値を図 5 に示す。Base の Cd 値と比較して自動車半裁模型をそのまま風洞壁に設置したものは 0.05 の増加、図 2 の形状の境界層除去板を設置したものは 0.03 の増加、図 3 の形状の境界層除去板を設置したものは 0.06 の増加といずれのケースにおいても Cd 値が増加することが分かる。

この Cd 値の差は、ボディ後部での空気の流れが影響していると考え、4 ケースの車体後部を通過する流線を図 6 に示す。Base では、上面からの流れが車体後部で下向きに曲がり、車体側面からの流れを巻き込んでらせん状の渦が発生していることが分かる(図中 A)。これは、実車の走行時にも現れる現象である。No Spacer では、ボディ前部で、大きく上に跳ね上がる流れの発生が確認することができる(図中 B)。これは風洞壁境界層の影響によるものだと考えられるが、原因については検討中である。その影響により上面部の流れが変化するため Cd 値に差が発生したと考えられる。Spacer1 では、No Spacer と同様に、ボディ前部で、大きく上に跳ね上がった流れを確認することができる。しかしこれは境界層除去板での流れであるため、ボディ側のみで Cd 値を求めると影響がないと考えられる。よって Cd 値はボディ下面部の速い流れにより圧力が低下したものが影響すると考えられる。ボディ左側に A と同様のらせん状渦 C が確認できる。Spacer2 では、車体後部にできるらせん状の渦 D とは別に、境界層除去板側面からの流れを巻き込んだらせん状の渦 E が発生していることが分かる。この渦がボディ表面圧力に影響し、前後での圧力差が大きくなったため、Cd 値が上昇したと考えられる。よってこの形状は境界層除去板に適していないと考えられる。

これらのことから、風洞壁を設置した場合の自動車半裁模型における境界層除去板の設置に関しては、風洞壁の境界層と模型の干渉を減少させ、それ以外については Base の流れにもっとも近いという点で、ボディ形状をそのまま延長した形状 (Spacer 1) にすることが好ましいと考えられる。

## 8. 結言

自動車半裁模型における環境構築の一環として、境界層除去板の有効性を評価した。その結果、ボディ形状をそのまま壁面から延長するタイプが有効であると判断された。しかし、まだ Base との結果の差があるため、今後の展開として、解析結果の可視化方法の改善を行った上で、風洞実験境界層除去板の最終的な形状や厚さを決定したい。

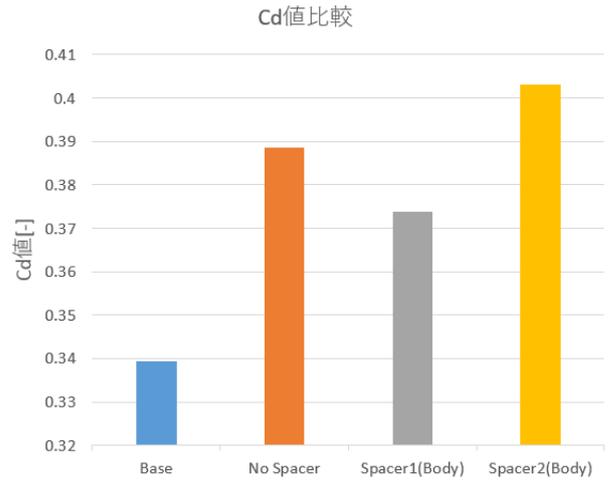


Fig.5 A comparison of Cd

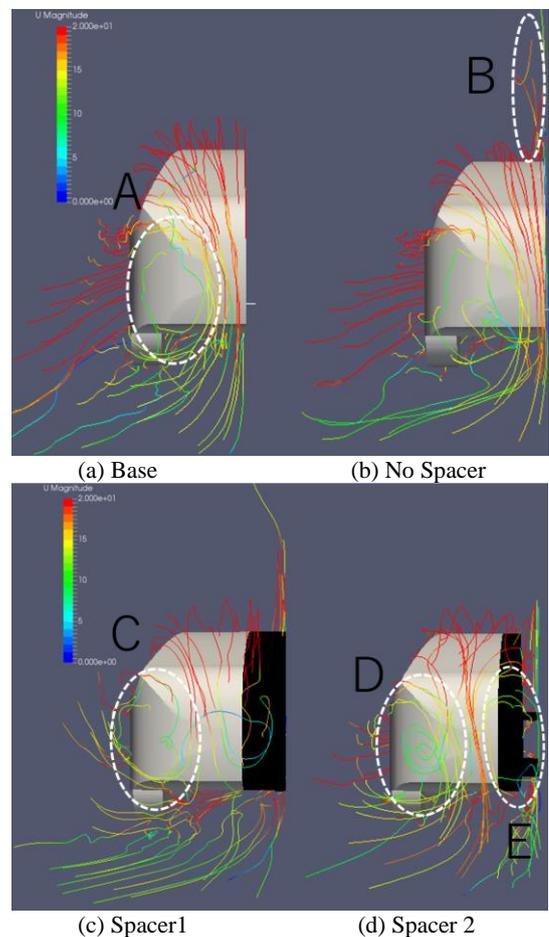


Fig.6 Streamline

## 文献

- (1) 東, 石井, "自動車空力デザイン", (2015), pp. 16-17.
- (2) 村上, 横川, 田中, 山本, 伊藤, "高揚力装置半裁風洞試験における風洞壁干渉の影響について", JAXA-SP-07-016, (2007), pp. 172-177.
- (3) 青木, 神田, 佐藤, 永井, 板橋, 西島, 木村, "JAXA0.8m × 0.45m 高 Re 数遷音速風洞における AGARD-B 標準模型試験", JAXA-SP-09-5, (2009), pp. 9-15