

# タイヤ詳細を考慮した LES によるフルスケール自動車の空力解析

## LES on full scale vehicle model with detailed tire

- 竹内 奏, 北大工学院, 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目, kanade@eis.hokudai.ac.jp  
坪倉 誠, 神戸大院, 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1, tsubo@tiger.kobe-u.ac.jp  
Kanade TAKEUCHI, Hokkaido University Graduate school of Engineering, North-8 West-8, Kita-ku, Sapporo-city, Hokkaido  
Makoto TSUBOKURA, Kobe University Graduate school of System Informatics, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe-city, Hyogo

CFD is a useful method in the field of vehicle aerodynamics development. In particular, LES is a superior method in reconstructing turbulent flow and unstable analysis when compared with RANS or DNS, thus it is used often for various fields of computational simulation. Furthermore, as with any computational analysis, the accuracy of the results is of the utmost importance to consider with regards to the practicality of use. For these reasons, LES was the method of choice in this analysis. In this paper, the following two topics are discussed: (1) the modeling method used for LES around the road and tires of the analyzed model, as these areas are typical areas where complex flow structure occur, and (2) the results of the analyzed flow in these areas.

### 1. 緒言

自動車開発において、空力性能の向上は必要不可欠な要素と言える。近年では電気自動車や燃料電池自動車など、次世代自動車と呼ばれる新たな自動車が台頭してきている<sup>(1)</sup>が、どのようなエネルギー源を利用するにあたって発生する問題として、燃費性能や走行・操縦安定性、さらに航続可能距離などの向上が挙げられる。そして空力性能の向上はこのような問題を解決する手立てとして有効である。空気抵抗係数  $C_d$  値を低減させることで、燃費性能や航続可能距離の向上が見込まれる。また、揚力係数  $C_L$  値の低減は自動車の走行・操縦安定性を向上させられる。しかし一般的にこれら二つは相反する要素であり、同時に低減させることは困難だと言われている。

車体アッパーボディ形状の最適化による  $C_d$  値、 $C_L$  値低減の試みはこれまでも多くあるが、近年新たに注目されているのが自動車足周り付近形状の最適化によるそれらの低減である。自動車床下やタイヤ・ホイールといった足周りは、アッパーボディと異なりその形状を変化させることで車体全体のデザインを悪くすることや車内の居住性を損なうことが少なく、空力性能の向上を目的とした形状変化がしやすいといえる。タイヤやホイールに着目した研究はこれまでも行われてきた<sup>(2,3)</sup>が、タイヤ回転の影響や床下形状が複雑であることから、自動車足周りの流れ場は多くの場合非常に複雑となっており、その空力特性についての詳細な知見がまだ得られていないのが現状である。

実験により自動車周りの流れ場を計測するには、相応の技術とコストが必要になる。特に自動車足周りのような複雑な流れ場を詳細に解析するためには、実際のモデルやセットアップとしての走行環境を忠実に模擬する必要である。このようなことから、足周り流れの計測に限らないが、実験に比べてコストや迅速性に優れる CFD (Computational Fluid Dynamics) による解析が開発現場で用いられることが多くなりつつある<sup>(4)</sup>。CFD は、多数のモデルを同時並行で解析することができ、結果が得られてからモデル変更等のフィードバックが実験と比べると容易であることなどから、開発の初期段階で用いられることが多い。さらに具体的な流れ場を比較的容易に可視化することができるため、これまでは経験的にしかわからなかった事象などの原因説明も CFD によって可能になりうる。しかし CFD による結果は解析モデルや解析手法への依存性が大きく、一般的に実験に対して再現精度が劣ると言われる部分が工業的実用化に向けての課題となっている。

CFD および風洞実験を用いた自動車足周りの空力解析に関する先行研究に、Wittmeier ら<sup>(5)</sup>のものがある。この研究で著者らは、空力特性の向上を目指して変化させる自動車足周り箇所としてタイヤに注目し、タイヤの中でも形状を変化させたときに空力特性への影響が大きかった箇所を明らかにしたうえで、最適なタイヤ形状の提案している。

本研究では、タイヤ詳細を考慮したフルスケール自動車モデルについての空力特性の数値解析を行う。上述の研究でも言及された、タイヤトレッド部分からタイヤサイドウォール部分にかけてのタイヤショルダー部分について、その形状が異なる 3 つのタイヤを用意し、それぞれの形状が生み出す流れ場の違いからどのような空力特性の差を生じるかを考察していく。但し今回はトレッドパターン形状の再現はない。解析の乱流モデルとして標準スマゴリンスキーモデルを用いた LES (Large Eddy Simulation) を用いることとした。LES は現在数値解析の主流となっている RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation) よりも計算負荷が大きくなるが、複雑な渦や非定常な流れの再現性に優れる<sup>(6,7)</sup>ため、工学的問題への適用が近年活発になっている。

自動車は飛行中の航空機などと違い、タイヤで常に地面と接地しているために地面効果を考慮する必要があり、特に CFD においてはその箇所の形状再現や解析による再現手法を十分に工夫しなければならない。接地箇所では路面とタイヤが急峻な隙間を形成するため、そこに品質の良い非構造格子を作成するのは困難である。それを避けるために手段の一つに、路面に適当な台座を作成し、タイヤをその上に設置する方法がある。本研究では台座を作成することで接地箇所の再現を試みた。

上述のようなタイヤ詳細を考慮した自動車に関する CFD はこれまでにあまりなく、本研究では接地箇所のモデル化手法にも留意しつつタイヤショルダー部の形状差が車体周りの流れ場に与える影響を LES により観察・考察することで、空気抵抗や揚力が増大するメカニズム解明を目指す。

### 2. 解析対象

#### (1) 自動車モデル

本研究で解析に用いた自動車モデルについて、Fig.1 に示す。自動車はエンジンルームや床下形状などが非常に細かく再現された実車相当のモデルを使用した。モデルの再現性を高めながらも要素数を節約するために、自動車全体としてはおよそ 8mm 程度の解

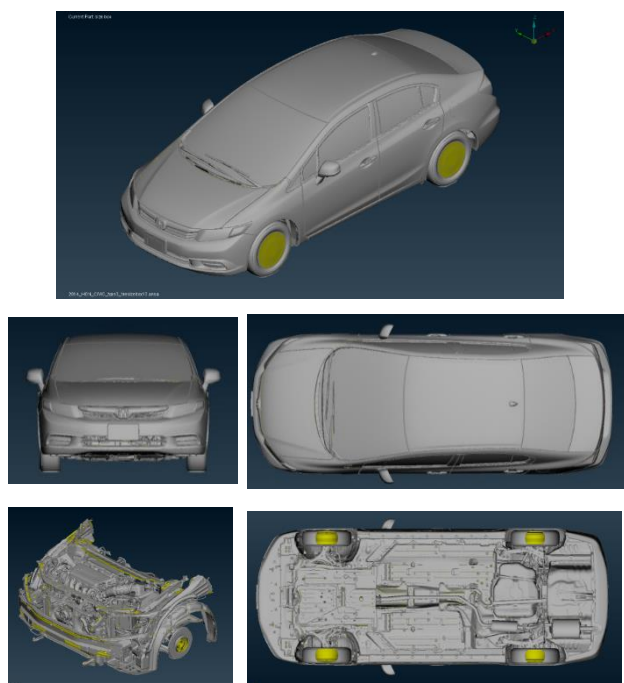


Fig. 1 Vehicle model

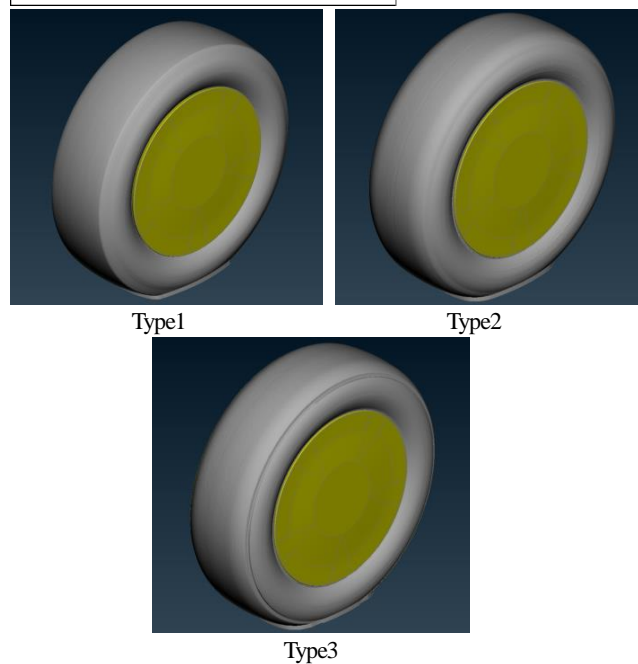
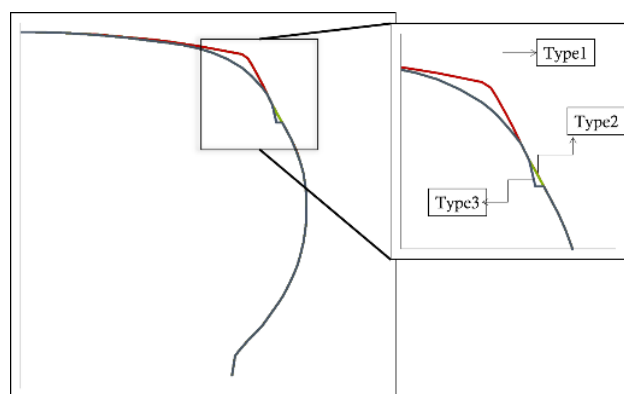


Fig.2 Analyzed tire model

Vehicle	Length	$L_V = 4.510 \text{ m}$
	Wheelbase	$L_W = 2.670 \text{ m}$
	Width	$W_V = 1.720 \text{ m}$
	Height	$H_V = 1.410 \text{ m}$
	Frontal projected area	$A = 2.155 \text{ m}^2$
Calculation Domain	Length	$L_D = 144 \text{ m}$
	Width	$W_D = 19.2 \text{ m}$
	Height	$H_D = 12.8 \text{ m}$
	Length of Moving-belt	$L_b = 9.0 \text{ m}$
	Width of Moving-belt	$W_b = 3.2 \text{ m}$

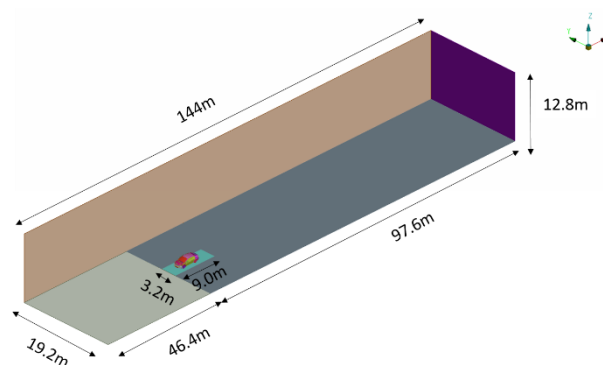
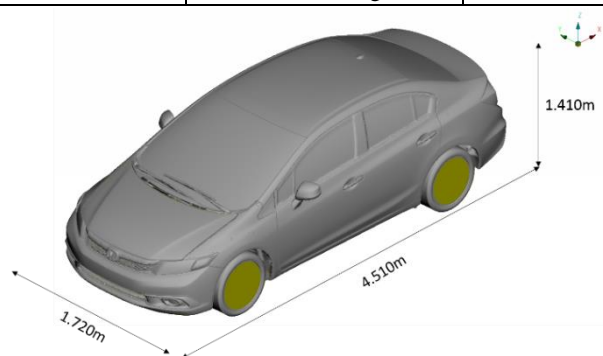


Fig. 3 Analysis model and calculation domain

像度とした。自動車において特徴的な渦を生み出すとされている各ピラー部分や流れの剥離が起こるリアエンド部分、そして形状が複雑であるエンジンルーム内などの細かい形状が存在する箇所は高度な再現性を保つために 6mm 程度の解像度とし、今回の解析で最も注目したい自動車足周りに相当するホイールハウスや床下形状は、さらに細かい 4mm 程度の解像度とした。

(2) タイヤモデル

タイヤモデルについて、Fig.2 に示す。本研究では、195/65 R15 のタイヤモデルを用いた。タイヤショルダー部に異なる形状を持つタイヤを 3 種用意し、それぞれの形状によって空力特性がどのように異なってくるかを解析した。3 つのタイヤをそれぞれ Type1, Type2, Type3 とし、最も滑らかなショルダー部を持つ Type2 を基準として、Type1 は路面に近い部分に角の形状を持ち、Type3 は回転中心に近い部分に溝の形状を持つものとした。

タイヤ及びホイールは走行中に高速で回転し、先述のような自動車足周りの非常に複雑な流れ場を作る要因の一つとなるが、本研究ではタイヤ形状の影響のみに着目するために、ホイールからの空気の吹き出し等の影響は考えずに簡略化する目的で、ホイールにはホイールカバーを取り付けてある。地面とタイヤの間には先述の通り 10mm の高さの台座を作成し、接地箇所付近での表面格子と空間格子間の格子品質を維持するための工夫を施した。

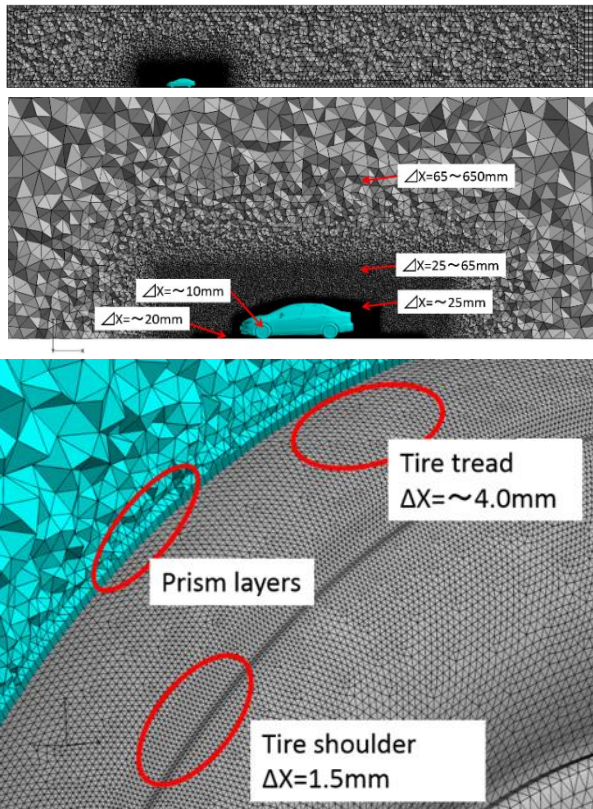


Fig. 4 Mesh around the vehicle and tire

### (3) 解析領域

解析対象の自動車と、解析領域の寸法を Table 1 に、その図を Fig. 3 にそれぞれ示す。車体近傍の床面にはムービングベルトを想定した領域を作成し、この領域に適当な条件を与えることで移動床面を表現した。車体の前面投影面積と解析領域の断面積であるブロッケージ率は、表中の値から次のように計算され、十分に小さいことがわかる。

$$\text{Blockage ratio} = \frac{2.155}{12.80 \times 19.80} = 0.85 \text{ [\%]}$$

また、Fig. 4 には領域全体および自動車近傍の空間格子、そして Type3 のタイヤ表面格子と近傍の空間格子の様子を示す。

自動車近傍には 2 層のサイズボックスを挿入し、それぞれ最大の格子幅を設定することで解析対象近傍を中心に細かい格子を作成し、車体から十分遠方では大きい格子を作成した。こうすることで車体近傍は詳細に解析できるようにし、さらに格子の成長が緩やかに進むようにして格子の品質を向上させることを図った。同様の理由から、ムービングベルトと設定した箇所の付近とタイヤ周りにもサイズボックスを挿入してある。

タイヤショルダー部分は 3 種のタイヤで形状が異なる部分であるため、1.5mm の解像度で慎重にモデルを作成し、そのほかの部分も今回のメインの解析対象であるため解像度を 4mm とした。また、タイヤ表面での境界層を詳細に解析するために、タイヤ表面に 5mm×5 層のプリズム層を作成した。タイヤ近傍の空間格子の図では、タイヤの表面にプリズム層が存在するのが分かる。また、タイヤトレッド部の解像度に対してショルダー部の解像度が小さいことも分かる。ここでは Type3 を示してあるが、他の二つのタイプについてもショルダー部分で同じ程度の格子幅の調整を施してある。尚、本研究での格子作成には BETA CAE 社の ANSA を用いた。

### (4) 流体六分力の定義

以下の Fig. 5 に流体六分力の定義を示す。抗力は進行方向逆向

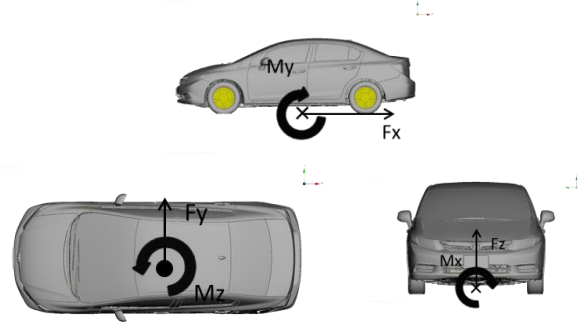


Fig. 5 Definition of the six forces

きを正、横力は進行方向に向かって右向きを正、揚力は進行方向に向かって上向きを正とする。

### (5) 無次元化

得られた流体力は、代表値を用いて次のように無次元化を施す。

$C_D = \frac{F_x}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$	$C_S = \frac{F_y}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$	$C_L = \frac{F_z}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$
---	---	---

ここで  $\rho$  は流体密度、 $U$  は流入速度、 $A$  は前面投影面積、 $L_w$  はホイールベース長を表している。また、揚力の前後バランスである  $C_{Lf}$ 、 $C_{Lr}$  は以下の式を用いて算出した。

$$C_{Lf} = \left(\frac{1}{2}F_z + \frac{M_y}{L_w}\right) / \left(\frac{1}{2}\rho U^2 A\right)$$

$$C_{Lr} = \left(\frac{1}{2}F_z - \frac{M_y}{L_w}\right) / \left(\frac{1}{2}\rho U^2 A\right)$$

本研究の目的はタイヤ形状が異なることでの空力特性差の考察であるため、上記の中でも  $C_D$  値、 $C_L$  値、 $C_{Lf}$  値、 $C_{Lr}$  値についての結果のみ述べる。

### 3. 解析手法

本研究で用いた非圧縮性流れを対象とした LES の基礎方程式は、以下に示す空間フィルタ操作が施された連続の式と Navier-Stokes 方程式である。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + 2 \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_{SGS}) \bar{S}_{ij}$$

ここで、式中の添字  $i, j$  は方向を表し、上付き線は格子スケールによる空間フィルタ操作を表す。本解析でのサブグリッドスケール (SGS, Subgrid-Scale) モデルとしてはスマゴリンスキーモデルを用いた。ここで、 $\nu_{SGS}$  は渦粘性係数で、

$$\nu_{SGS} = (C_{SGS} f_s \Delta)^2 \sqrt{2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij}}$$

である。 $C_{SGS}$  はスマゴリンスキー定数で、今回は 0.15 とした。 $\Delta$  は空間フィルタスケールで、計算要素体積の 1/3 乗である。

基礎方程式は非構造格子有限体積法を用いて離散化した。対流項には 2 次制度中心差分法に 1 次制度風上差分法を 5% ブレンドしたスキームを用いたほか、車両から遠方では粗い格子を配置しているため、数値振動を抑制するために 3 次制度風上差分法を用いた。

本研究ではオープンソースソフトウェア FrontFlow/red を自動車空力用に最適化した FrontFlow/red-Aero を用いた。

以下の Table 2 には、本解析の主な解析条件を記してある。本研究では前節で説明したタイヤモデルに対して、それらを一様回転体とみなしてタイヤ・ホイール・台座に様の回転条件を与え、

Table 2 Analysis condition		
Resource	node	32
	Processor	512
Physical properties (air)	Flow assumption	Incompressible
	Density	$\rho = 1.15 \text{ kg/m}^3$
	Viscosity	$\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Boundary condition	Inlet	$u = 44.44 \text{ m/s}$ $v = 0 \text{ m/s}, w = 0 \text{ m/s}$
	Outlet	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial n} = 0, p = 101325 \text{ Pa}$
	Vehicle	Log-Law $u = 0 \text{ m/s}, v = 0 \text{ m/s},$ $w = 0 \text{ m/s}$
	Tire Wheel Wheel-cover	Velocity boundary condition (uniform rotation) 1338.8 rpm
	Ground Sidewall	Free-slip $u = 0 \text{ m/s}, v = 0 \text{ m/s},$ $w = 0 \text{ m/s}$
	Moving belt	Log-law $u = 44.44 \text{ m/s}$
Calculation condition	Reynolds number	$1.3 \times 10^7$
	Convective term	2 <sup>nd</sup> order central (95%) + 1 <sup>st</sup> order upwind (5%)
	Time integral method	Euler implicit method
	Time increment	$dt = 4.0 \times 10^{-6} \text{ sec}$
	Time steps	125000 steps (0.5 sec)
	Smagorinsky constant	0.15
	Mesh number	Approximately 66 million



Fig. 6 Time series data

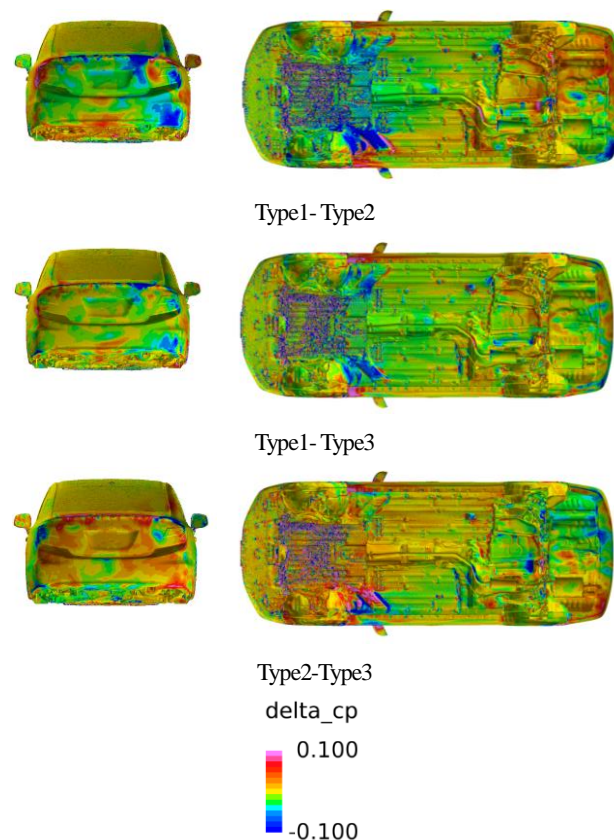


Fig. 7 Vehicle surface pressure distribution (delta)

Table 4 Normalized fluid force				
	cd	cl	clf	clr
type1	1.000	1.000	1.000	1.000
type2	0.978	1.085	1.186	1.000
type3	1.000	1.097	1.093	1.100

走行中のタイヤ回転を模擬した。回転中心は前後左右それぞれのタイヤの中心座標である。また、ムービングベルトを想定した領域には、境界条件を対数則とし、主流と同じ速度を与えることでタイヤ回転に伴う床面の移動を模擬した。総要素数は3つのタイヤタイプすべてでおよそ6600万要素と大きな差はなく、3種を揃えて大規模なものになった。

最小格子幅が小さいことから時間刻みは $4.0 \times 10^{-6} \text{ sec}$ と小さく、1ケース125000ステップを流すのにおよそ1週間を要した。

#### 4. 解析結果

まずは100000~125000ステップ目の時間平均された $C_D$ 値, $C_L$ 値, $C_{Lf}$ 値, $C_{Lr}$ 値をTable4に示す。表中の値はType1での $C_D$ 値, $C_L$ 値, $C_{Lf}$ 値, $C_{Lr}$ 値を1.000として規格化した値としてある。Fig.6にType1の $C_D$ 値, $C_L$ 値の時系列データを示す。左側の縦軸は規格化された $C_D$ 値,右側の縦軸は規格化された $C_L$ 値である。100000~125000stepでは数値解が十分に収束していることが分かる。

$C_D$ 値では基準となるショルダー形状を持つType2が最小値を示し、Type1とType3は同じ値を示した。また、 $C_L$ 値ではType1が最小値を示し、次いでType2、最大の $C_L$ 値を示したのはType3となった。 $C_L$ 値の前後バランスである $C_{Lf}$ 値, $C_{Lr}$ 値であるが、Type2は $C_{Lf}$ 値が最大であるものの $C_{Lr}$ 値でType1と同程度の低い値をとったため、結果としてType3よりも低い $C_L$ 値をとった。逆にType3は $C_{Lr}$ 値で大きな値をとり、全体の $C_L$ 値として最大値をとった。

上記の空気力の差を調べるために、流れ場の可視化図の考察をしていく。本研究のポスト処理にはIntelligentight社のFieldViewを用いた。

##### (1) 車体表面圧力分布

Fig.7に、車体背面と床下の表面圧力差分の図を示す。タイヤ形状は3タイプで異なるため、ここでは前後のタイヤは表示していない。また、図は差分の表示であり、青~緑の領域は前者の方が低圧、黄~赤は前者の方が高圧であることを示している。ここで、圧力係数 $C_p$ は次の式から算出した。 $p$ は各タイプの車体表面の静圧、 $p_\infty$ は十分遠方での圧力である。

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

まず車体背面を後方から見た、左側の図について考察する。こ

の図で圧力が高ければ、自動車を後ろから押す力が存在することを表しており、一般に  $C_D$  値は小さくなる。Type1- Type3 の図を見ると、緑と黄の分布が同程度あり、全体を通して圧力差があまりないと言える。ところが Type1- Type2 では青や緑の分布が広く、Type2- Type3 では黄や赤の分布が広いのがわかる。これらはいずれも Type2 の車体背面の圧力が他の 2 つに比べて高いことを表しており、 $C_D$  値が最も低い結果となったことと一致する。

次に右側の床下表面の図について考察する。この図で圧力が高ければ、自動車を下から上向きに押す力が存在することを表しており、一般に  $C_L$  値は大きくなる。Type1- Type2 と Type1- Type3 の図においていずれもフロントタイヤ直後の床下圧力が低くなっていることがわかり、これらから Type1 の車体床下のフロントタイヤ付近で最も圧力が低く、 $C_L$  値、特に  $C_L$  値で最も低い値を示したと一致する。

車体表面の圧力分布に差を生じた結果から、その付近の流れ場に違いがあることで予想できるが、本研究では用いた自動車モデルは同じでタイヤ形状のみが異なるため、次にタイヤ付近の流れ場の違いを観察することとする。

## (2) タイヤ近傍 Z 断面速度分布

Fig. 8 に 2 つの Z 断面におけるタイヤ近傍の速度分布図を示す。但しすべての図は +Z 方向から見た図であり、主流の流れる方向はすべて左から右である。また、左上に Type1, 右上に Type2, 左下に Type3 を掲載してある。

$Z=0.10m$  よりも上の位置では車体と断面が被り始めるため、これら 4 つの断面に特に注目した。フロントタイヤ付近に注目すると、 $Z=0.01m$  といったきわめて低い位置の車体に対して外側の部分での流れの剥離の仕方に大きな差があり、右フロントタイヤ近くに注目した図から、それがショルダ一部分の形状が異なる位置から起こっていることがわかる。具体的には Type1 で最も大きく剥離しており、次いで Type3 となり、Type2 のフロントタイヤ前側ショルダ一部分では剥離が観察されない。 $Z=0.05m$  の位置でも同じ傾向の流れが観察されるが、ショルダ部分よりもやや後方部分からそれが起きているがわかる。それ以上の位置でもフロントタイヤ外側に流れの違いはあるものの、その高さでのショルダ部分の影響とは言えない。つまりフロントタイヤ外側の流れ場の違いはタイヤと地面の接地箇所にきわめて近いショルダ部分の形状の違いから引き起こされているとすることができる。高い断面になるほどフロントタイヤ直後の内側の流れ場にも違いが現れていた。このタイヤ内側に生じた流れの違いはフロントタイヤよりも後方の車体床下全体に影響を及ぼしていることも予想される。

リアタイヤはフロントタイヤと異なり低い位置での違いはタイヤの外側・内側ともにあまり見られなかった。ところが  $Z=0.1m$  程度の高さになると、タイヤ直後の内側に違いが見られ始めた。具体的には Type1 では車体内側の流れが、他の二つのタイプに比べてまっすぐ後方に流れているのに対し、Type2, 3 では両方のタイヤから内側に寄っている様子が分かる。これは上述のようにリアタイヤの前方、車体内側部分で流れ場がタイプによって異なり、それらが異なる形状を持つリアタイヤにぶつかったためだと考えられる。

フロントタイヤの路面に近い位置での剥離の違いが特に大きく見られたため、フロントタイヤ付近の流れ場が後方にどのように影響するかを調べるために、フロントタイヤ付近から発生させた流線について次に観察した。

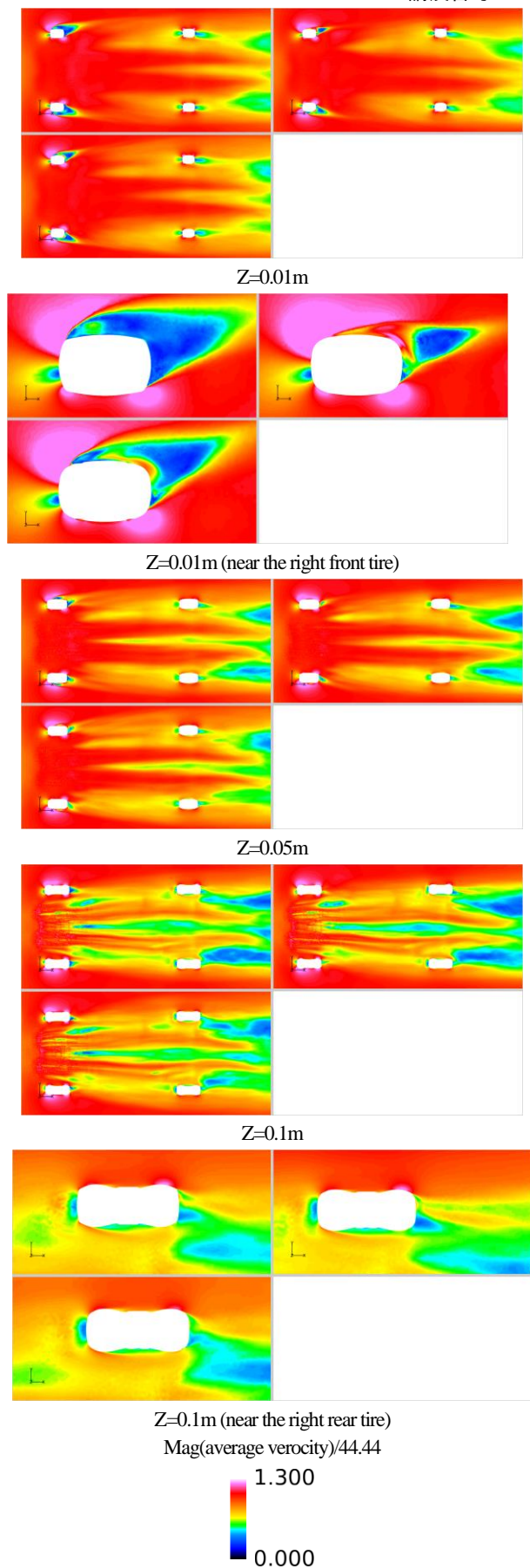


Fig. 8 Velocity distributions on the Z plane

(3) フロントタイヤ後方流線分布

Fig.9 にフロントタイヤの前方約 50mm, Z=0.05m の高さから発生させた流線の分図を示す。流線は速度絶対値を示している。但し自動車床面が見える図は-Z 方向から見た図であり、主流の流れる方向はすべて右から左である。また, Fig. 8 と同じく左上に Type1, 右上に Type2, 左下に Type3 を掲載してある。

一番上の図から、フロントタイヤ付近で確認された流れの違いが影響を及ぼす範囲は実に広く、車体後方にまで及んでいることがわかる。右フロントタイヤ付近の流線に着目すると、タイヤの内側と外側を通りタイヤ直後で再び合流する際にそれぞれことなる挙動を示していることがわかる。Type2 と Type3 ではタイヤ直後から多くの流線が互いに干渉し合い、複雑に入り乱れている様子が見て取れる。一方の Type1 ではそのような様子が他の二つに比べて小さく、タイヤ直後に乱れを作っていないのがわかる。リアタイヤ付近の流線に着目した図からは、タイヤに流入する線自体がそれぞれ異なる動きを取っているのがわかる。タイヤ付近だけでなく、床下に存在する流線においても異なる特徴が見られる。また、車両右側前方から見た図で見ると、リアタイヤに流線が至る箇所では車体外側でも流れが異なる様子がわかり、車体背面付近の流線に着目した図からもわかるようにリアタイヤ、リアホイールハウス付近から流線が多く車体背面に影響を及ぼしている様子うかがえる。以上から、フロントタイヤによって異なる流れ場が形成された結果、床下やリアタイヤに流入する流れがそれぞれ違う流れとなり、リアタイヤで再び異なる流れ場を形成されたことで車体背面付近でも流れ場の違いが観察できたと言える。

(4) 結果考察

以上の Fig. 7~9 を通じて、タイヤショルダー部分の形状が異なることに対して次のような考察が述べられると考える。

フロントタイヤの車体外側前方箇所での流れの剥離性状が 3 つのタイヤタイプで異なった。特に Type1 と Type3 の角、溝がついた箇所での流れの剥離は大きく、タイヤと地面の接地箇所付近の流速分布に大きな差を生じた。車体床下・リアタイヤにかけての流れ場もそれぞれ異なった様子が観察されたが、フロントタイヤ前方から発生させた流線の分布を見るとわかるように、これはフロントタイヤで起きた剥離性状の違いによって後方への流線の流入の仕方が変わったからだと考える。フロントタイヤ後方から車体床下・リアタイヤ付近にかけての流れ場の違いは車体表面の圧力分布にそのまま直結し、定常空気力の違いとして現れたと言える。

ただし今回の結果は台座の形状が 3 つのタイプでそれぞれ異なることに留意しておかなければならない。Fig. 10 には 3 つのタイヤタイプそれぞれでの台座のみを示す。

Type2 は Type1 と比べて四つの隅が滑らかであり、Type3 では台座に溝が存在することがわかる。このような形状差が生まれた理由は、台座高さを 10mm と設定したためである。タイヤに対して路面からこの高さまで上にさかのぼると、すでに一部ではショルダー部分に至っている箇所がある。タイヤ形状をもとにして路面に向かって下向きに台座を作成したため、3 タイプで台座形状が異なってしまったのである。

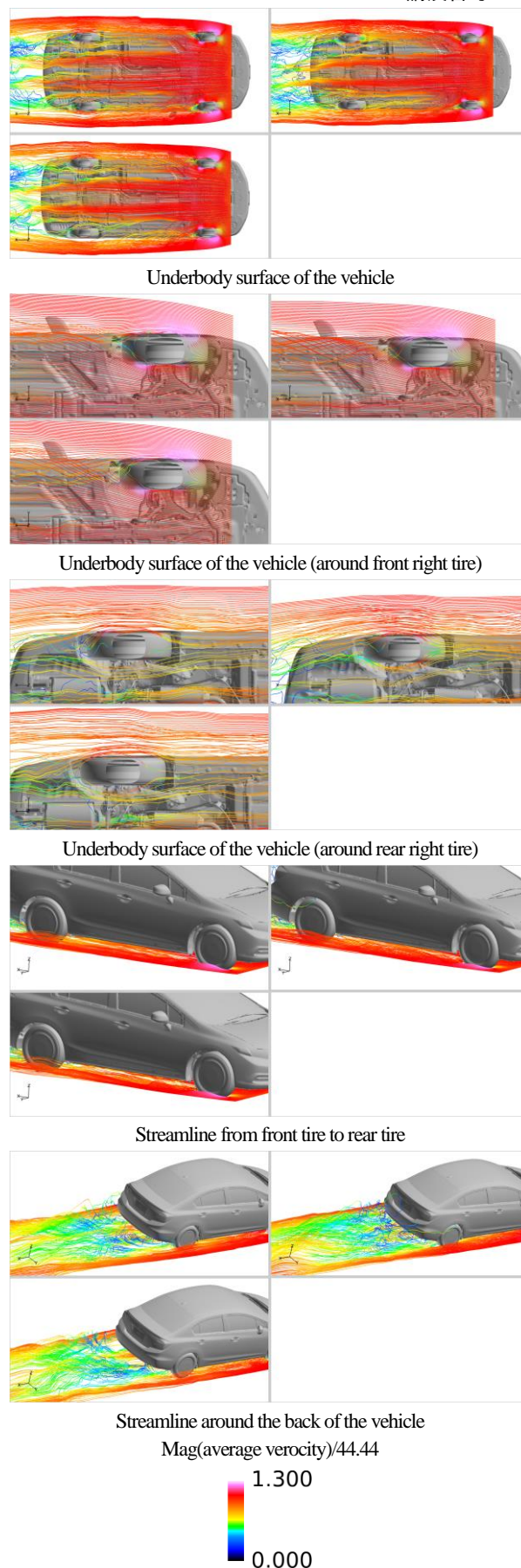


Fig. 9 Velocity streamline distributions

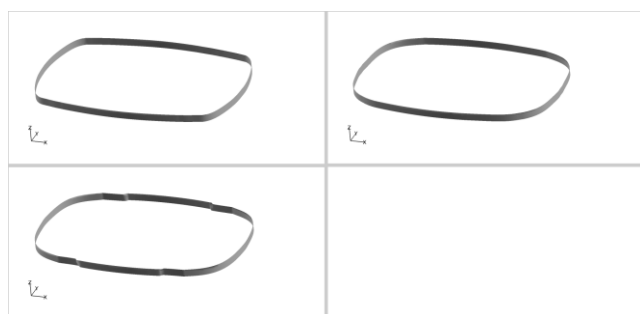


Fig. 10 shape of the 3 different pedestral types

## 5. 結言

本研究において明らかになったことと、今後の課題を以下に述べる。

- ・ 本研究で用いたタイヤのショルダー部分の形状差は最大でもおよそ 10mm 程度の違いであったにも関わらず、タイプごとによって  $C_D$  値では最大 2.2%,  $C_L$  値では最大 9.7% の空力特性の違いを生んだ。この部分をさらに解析することで、自動車全体の空力特性を向上させることは十分可能であると考えられる。
- ・ 車体床下表面と背面の圧力分布が 3 タイプそれぞれで変わっており、定常空気力に差が出る結果を得た。
- ・ フロントタイヤと地面の接地箇所付近での流れの剥離に違いがあり、その流れの違いは車体後方まで至り、車体床下と背面の表面圧力分布に影響を及ぼした。
- ・ タイヤと地面の接地箇所ではタイヤショルダー一部形状差に則した台座形状差が存在し、それが流れ場の違いに影響した可

能性が高く、その因子を取り除くためにはより低い台座を作成し、台座の形状が 3 つのタイプで同等になるように工夫しなければならない。

接地箇所のモデル化の問題としては、緒言で示した台座の問題だけでなく自動車の自重によるタイヤのたわみなども挙げられ、より実際の走行状況に近い状態での解析が求められる。本研究ではその箇所での再現性が不十分であったと考えられるため、今後改良していく必要がある。

## 参考文献

- (1) 有森揚祐, 中野冠, “クリーンエネルギー自動車の国内ポートフォリオ最適化”, 日本機械学会論文集(2012) 2571-2582
- (2) 小林敏雄, 農沢隆秀, “自動車のデザインと空力技術”, 朝倉出版, 1998
- (3) 小林竜也, “ホイール回転効果を考慮した自動車周りの流れの LES”, 北海道大学工学院修士論文, 2012
- (4) F.Modlinger, R.Demuth, N.A.Adams, “Investigations on the Realistic Modeling of the Flow around Wheels and Wheel Arches by CFD”, JSAE Annual Congress Proceedings (spring), No.45-07, 20075195, 2007
- (5) Felix wittmeier, T.Kuthanda (FKFS), N.Widdecke, J.Wiedemann (FKFS/IVK Universität), “Tire development from an aerodynamic perspective”, ATZlive, 13<sup>th</sup> Stuttgart International Symposium Automotive and Engine Technology, 43-53.
- (6) J.H.ファーツィガー, M.ペリッチ 著, 小林敏雄, 大島信行, 坪倉誠 訳, “コンピュータによる流体力学”, 丸善出版, 2012
- (7) H.K.Versreeg, W.Malalasekera 著, 松下洋介, 齊藤泰洋, 青木秀之, 三浦隆利 共訳, “数値流体力学 第 2 版”, 森北出版, 2011