

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2010

非定常渦構造の特性解明および
それに基づく抜本的空気抵抗低減技術の開発

～非定常流れに着目した自動車の空気抵抗低減検討～

トヨタ自動車株式会社
プロジェクトリーダー 炭谷圭二
○杉田祐輔
前田和宏

自動車における空力開発の取り組み

環境

(空気抵抗低減)



走行抵抗の3割が空気抵抗
(コンパクト車、欧州燃費モード)

安全

(走行安定性)
(視野性確保)

快適

(空力騒音)
(運動性能)

従来の自動車の空気抵抗低減技術

表面のスムーズ化
による整流

流線型に近づけ
流れを収束させる



コーナーで
剥離させない

床下フラット化
による整流

- ・ 経験や実験に基づく形状の変更による空気抵抗の低減
- ・ 定常空気力による解析

自動車の空気抵抗低減の取組み

従来の取組み

- ・ 局所最適化
- ・ 定常空気力

近年の取組み

- ・ 全体流れ
- ・ 外乱（実走行）
- ・ **非定常空気力**

将来に向けた取組み

- ・ **境界層**、摩擦制御
- ・ アクティブ制御

車両後方の非定常流れ場



煙法（実車）

車両周りの非定常渦構造
(境界層内、車両後方の渦構造)
を実験的に解明するは困難
⇒ 計算を用いて解析を行う

* 大規模な計算資源が必要であり、自動車での
検討例は非常に少ない

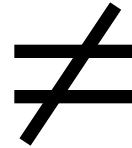
- ・ 境界層内部の流れ構造まで解像
- ・ 非定常空気力に着目した、空気抵抗低減技術開発を行う

本課題の計算の狙い、計算条件

本課題の計算の狙い

今までの多くの自動車の研究

境界層内部は近似している



本課題

自動車周りの境界層内部まで流れ場を解像し、車両周りの非定常な流れ現象を再現する

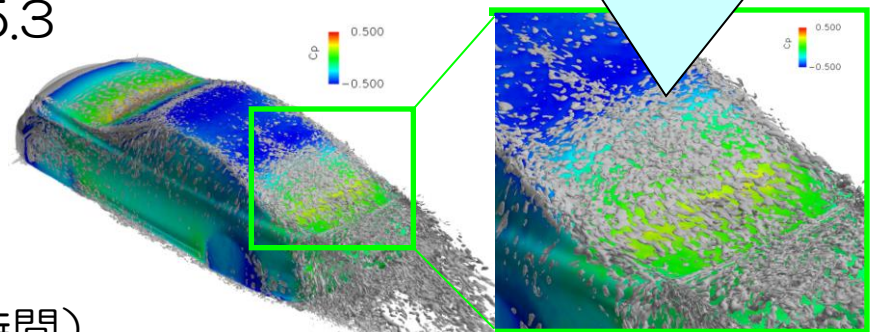
計算条件

解析ソルバー：FrontFlow/Blue ver.5.3
LES解析手法

解析格子：6面体 5000万格子点数

計算機：ES (1Case:16ノード×70時間)

車両周りの境界層(縦渦)、
車両後方の渦構造を解像

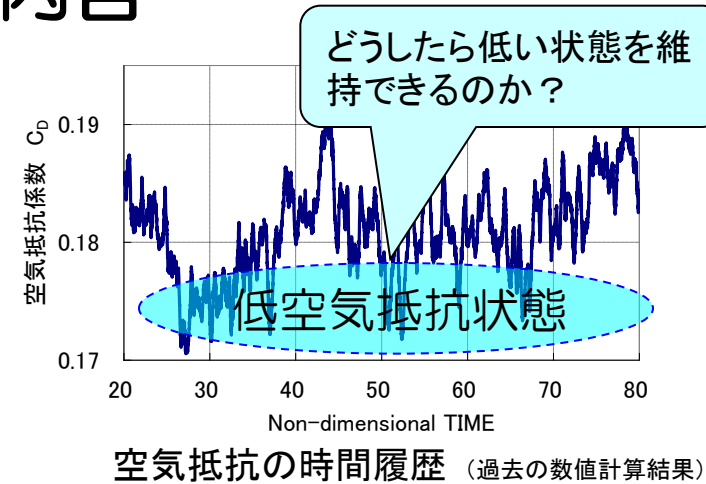


車両周りの渦構造(Q値で可視化)

本課題の取り組み内容

目的：車両周りの境界層および後流の非定常流れ場を解析し、空気抵抗が低い状態の流れ場を解明し、それを維持する流れ場の要件を明らかにする。

⇒自動車の低空気抵抗状態を維持

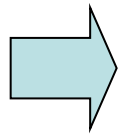


取り組み内容

【H19,20年度】

STEP1：シンプルなモデルを用いて、基本的な非定常流れ現象の検討

基本的な流れ場は解明



- ・車両後方に渦輪が周期的に発生して、空気抵抗変動を起こしている
- ・その渦輪を制御することで、空気抵抗を低減できることを確認

【H21年度（今年度）】

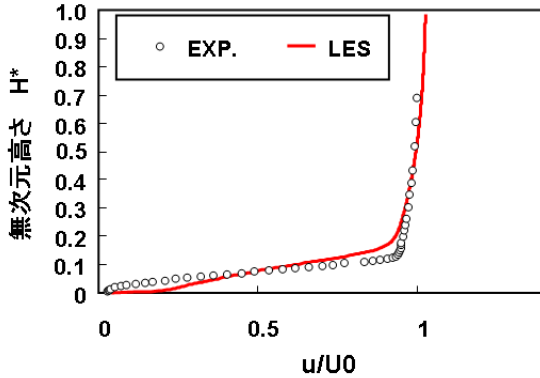
STEP2：実施の自動車周りの流れ場に近づけたタイヤを設置したモデルを用いて、複雑な非定常流れ現象の検討



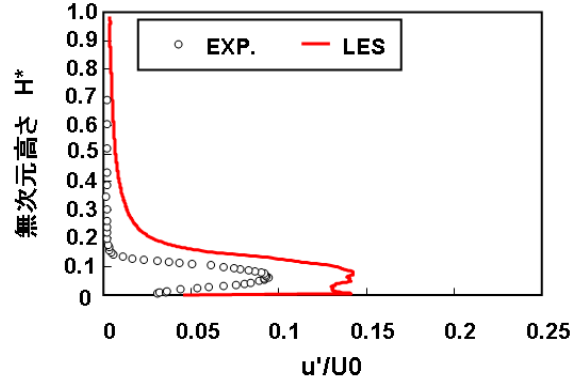
H21年度検討

計算精度の検証

計算結果と実験結果の比較 (1/4スケールモデル)



速度分布

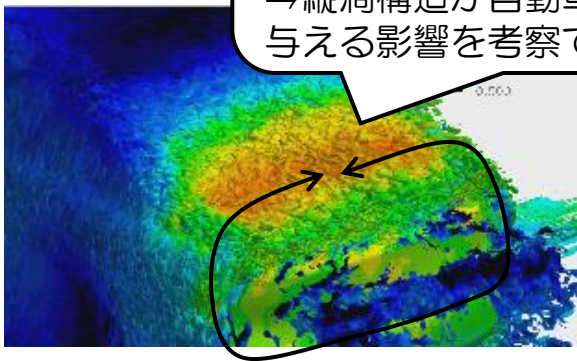


速度変動分布



計測ライン

70本ほどの縦渦を解像できているが、最小渦スケールまでは、解像できていない
 ⇒縦渦構造が自動車の空気抵抗に与える影響を考察できると判断



境界層内の縦渦

空気抵抗比較

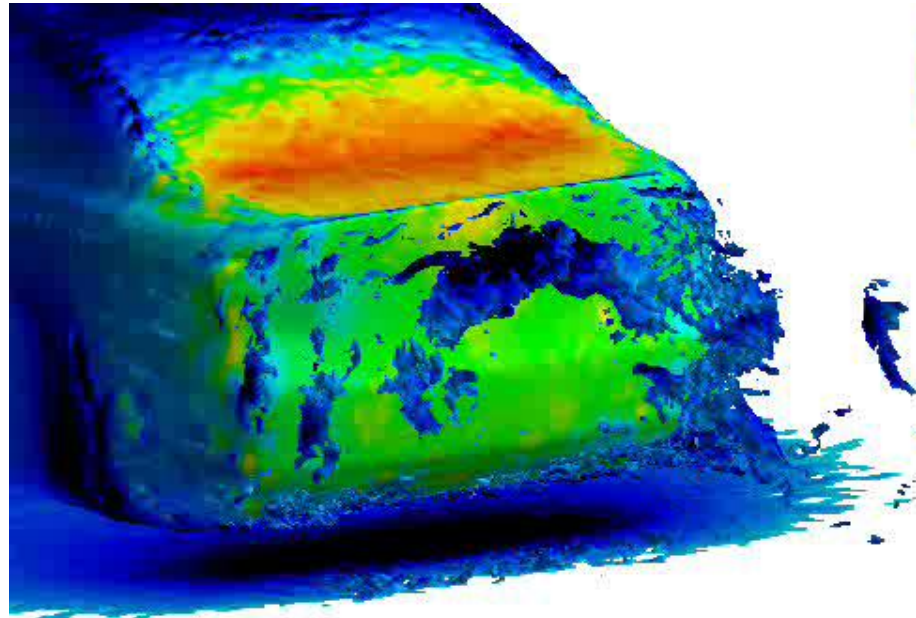
	形状1		形状2	
	実験	計算	実験	計算
C	0.232	0.226	0.220	0.209
D				

5%以内の精度。
 形状変化による傾向は捉えている。

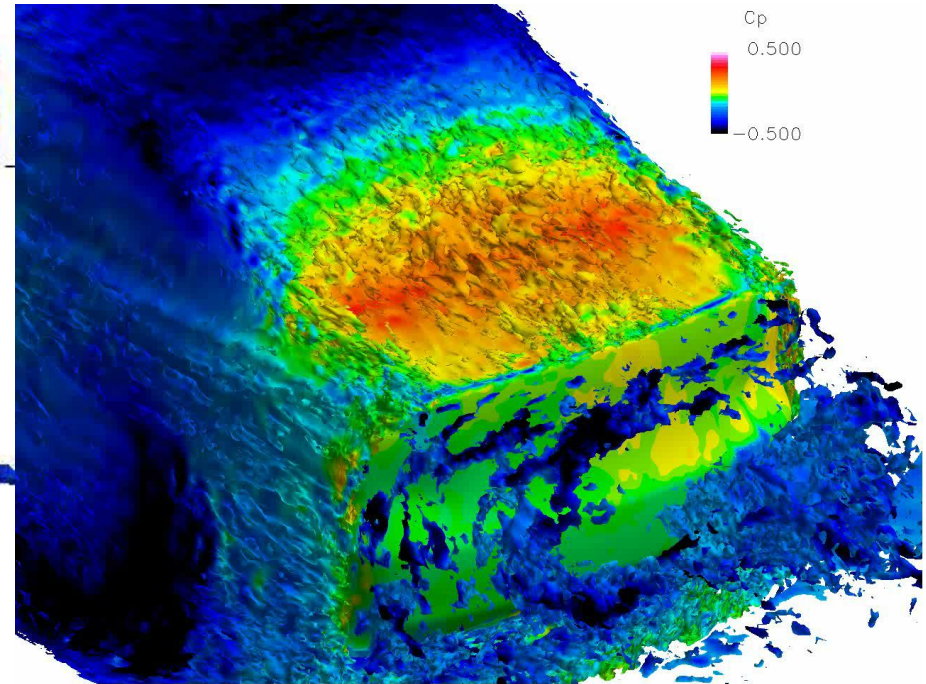
乱流境界層の構造をある程度解像でき、境界層速度分布が一致しており、流れ場をほぼ再現

車両後部の流れ構造

車両後方の渦構造



タイヤ無



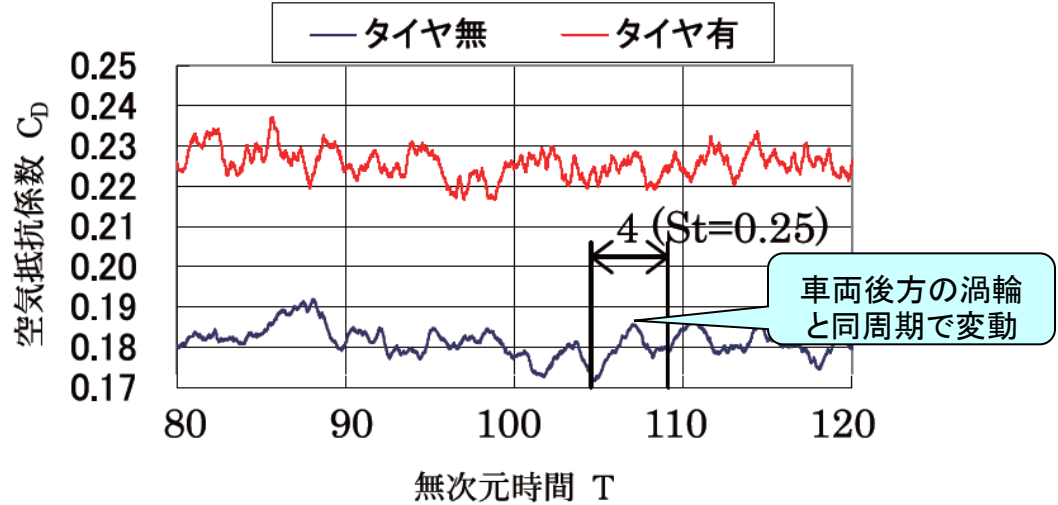
タイヤ有

* 総圧の等値面で可視化
(エネルギーの損失の大きい領域)

タイヤ無の場合と同様に車両後方にリング状の渦輪構造があり、発生～成長～拡散～消滅を繰り返す

空気抵抗の時間履歴、パワースペクトル

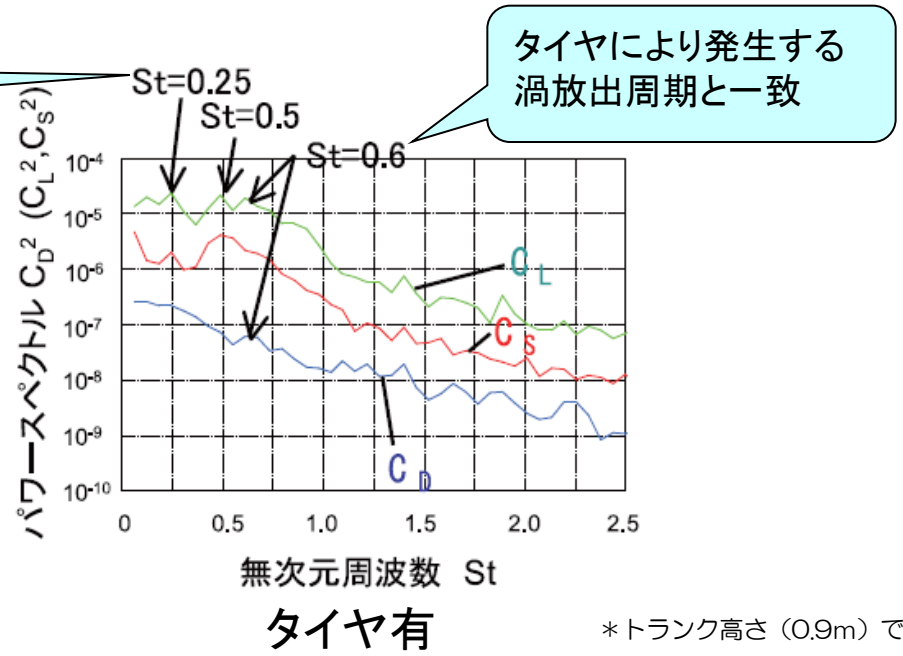
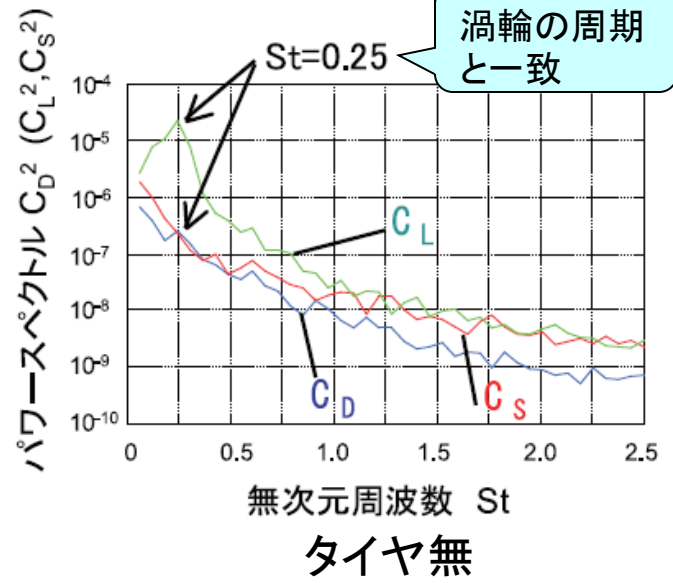
空気抵抗の時間履歴



タイヤ有無の空気抵抗

	車両全体 C_D	
	AVE	σ
タイヤ無	0.181	0.0041
タイヤ有	0.227	0.0034

空気力のパワースペクトル

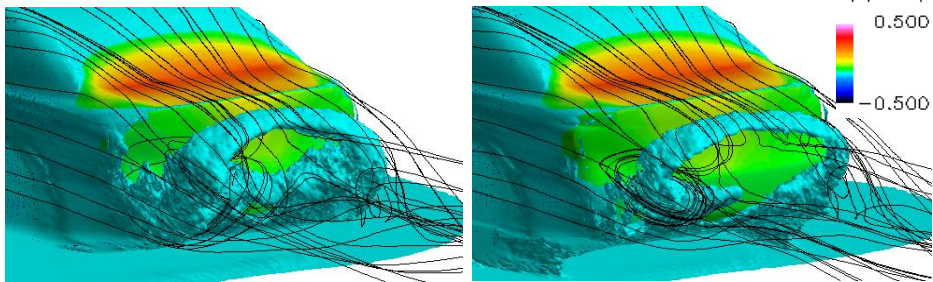


*トランク高さ (0.9m) で無次元化

タイヤがあることで空気力に高周波の変動が現れている

車両後方の流れ場（4分類した平均流れ場）

車両後方渦構造（ $C_D = \text{High}$ ）

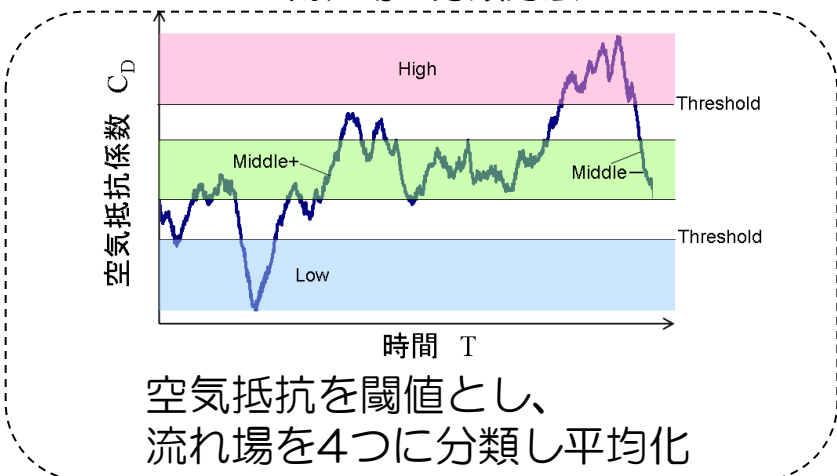


タイヤ無

タイヤ有

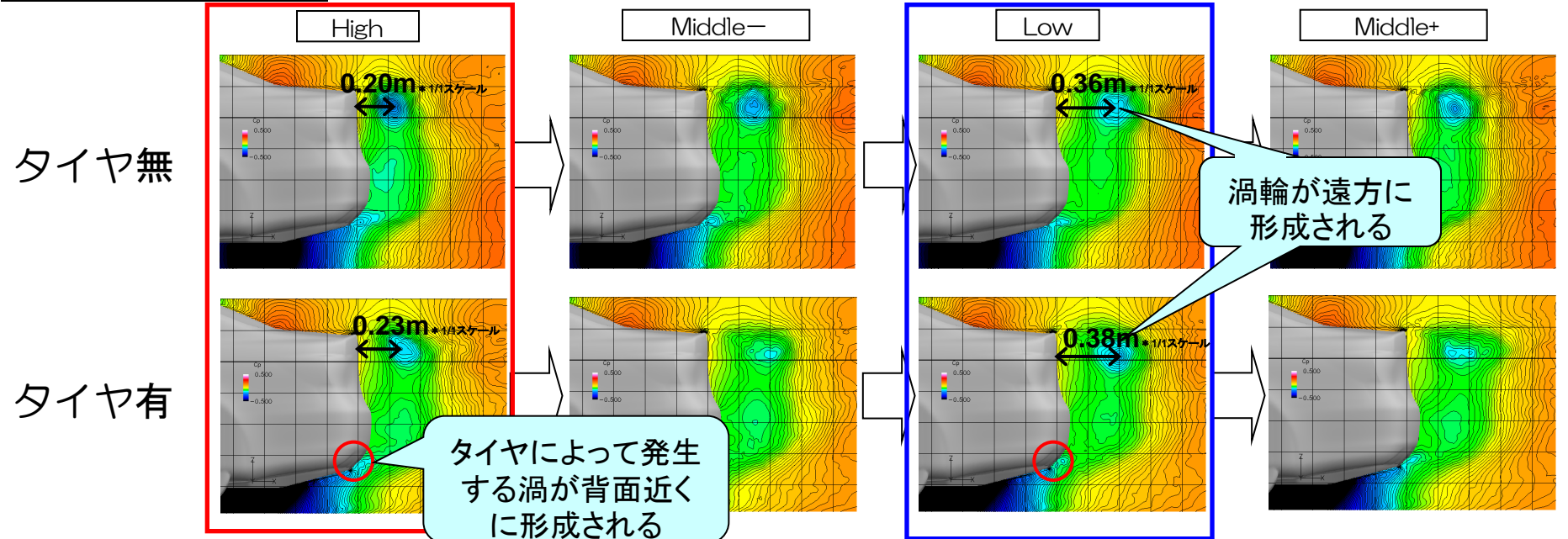
*渦輪：総圧の等値面で可視化

流れ場の分類方法



空気抵抗を閾値とし、流れ場を4つに分類し平均化

車両中心静圧分布



タイヤ無

タイヤ有

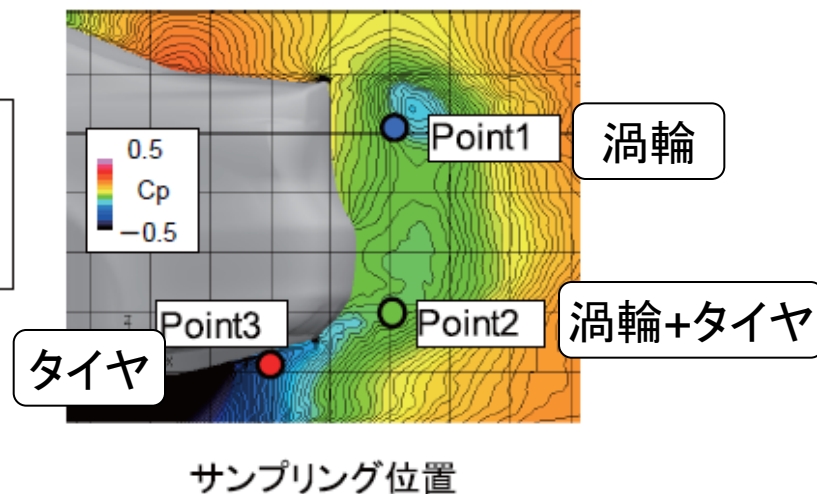
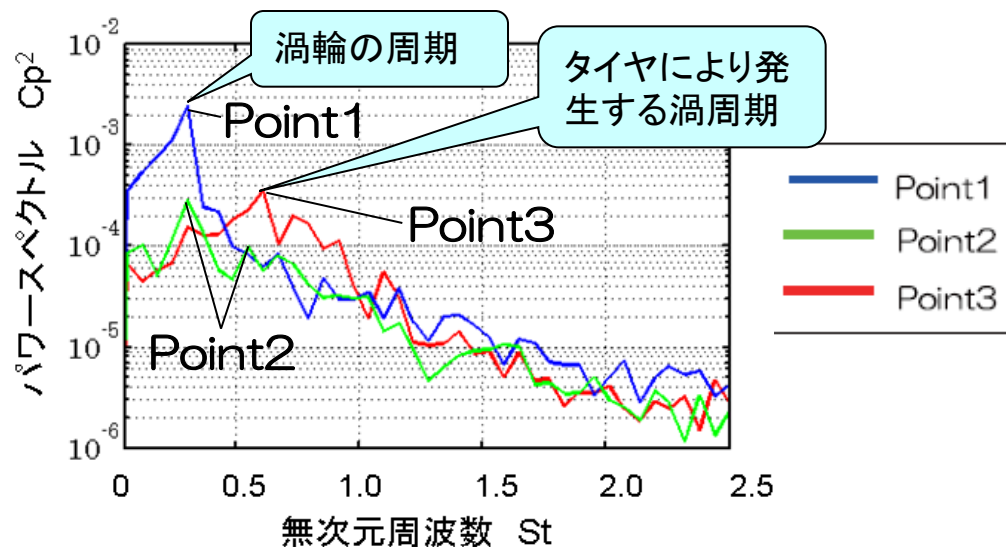
タイヤによって発生する渦が背面近くに形成される

渦輪が遠方に形成される

渦輪上部	タイヤ有無共に	高い時：渦輪が近くに形成	低い時：渦輪が遠くに形成、拡散
渦輪下部	タイヤ有	高い時：低圧流体が背面近くに形成	低い時：低圧流体が存在しない

車両後方空間場の流れ場変動

車両後方空間場の圧力係数のパワースペクトル



Point1:車両後方の渦輪の影響

Point2:車両後方の渦輪にタイヤによって発生する渦が合わさった影響

Point3:タイヤによって発生する渦の影響

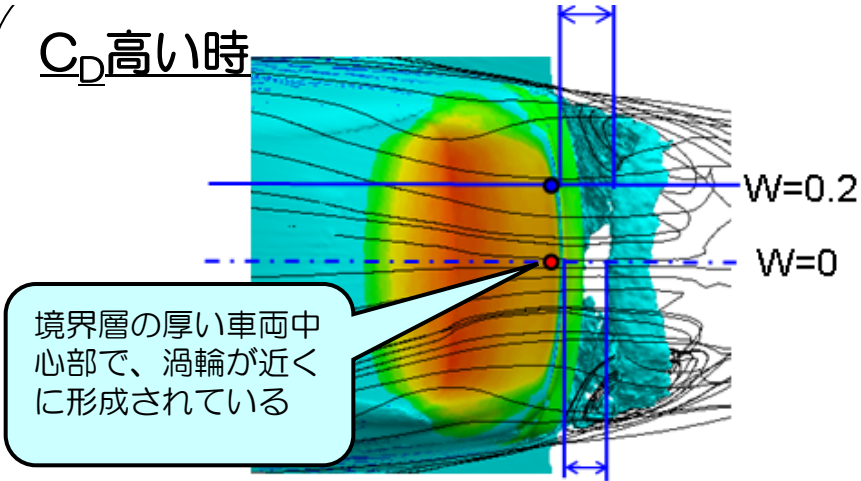
車両後方の渦輪、タイヤによって発生する渦の変動を抑制すれば、空気抵抗の低い状態を維持でき、空気抵抗を低減させることができる

検討項目

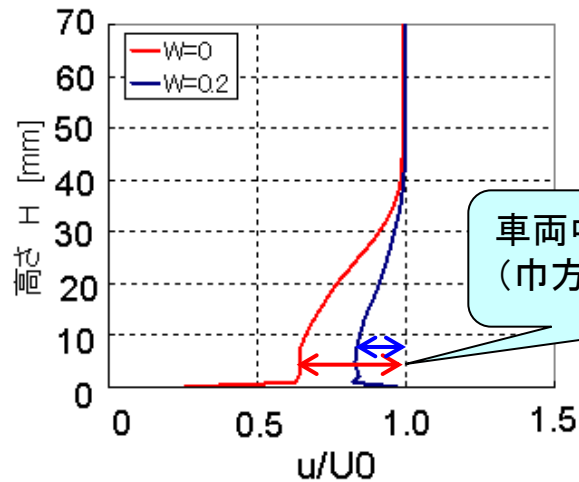
- ① Point1:車両後方の渦輪の制御（遠方化）
- ② Point2,3:タイヤによって発生する渦と車両後方の渦輪の干渉制御

①車両後方の渦輪の制御 流れ場の確認

渦輪のスパン方向形成位置



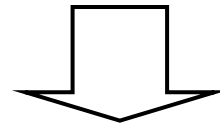
車両後方の渦構造



車両中心部で境界層が厚い (巾方向で分布がある)

境界層が厚いほど、車両近くに渦輪が形成される
境界層厚いことでトランク中央後方が渦輪の起点になっている可能性あり

*ここでの境界層厚さは、排除厚さ

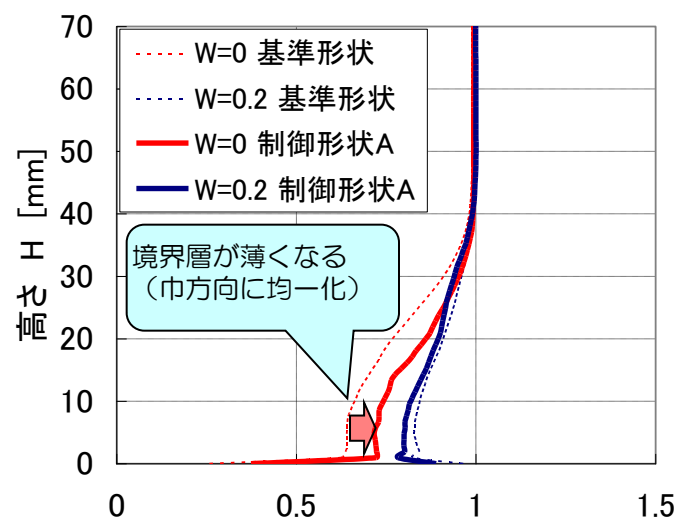


制御形状A

狙い:トランク上面の境界層を均一化(薄くする)

①車両後方の渦輪の制御 制御検討結果

トランク後端の速度分布



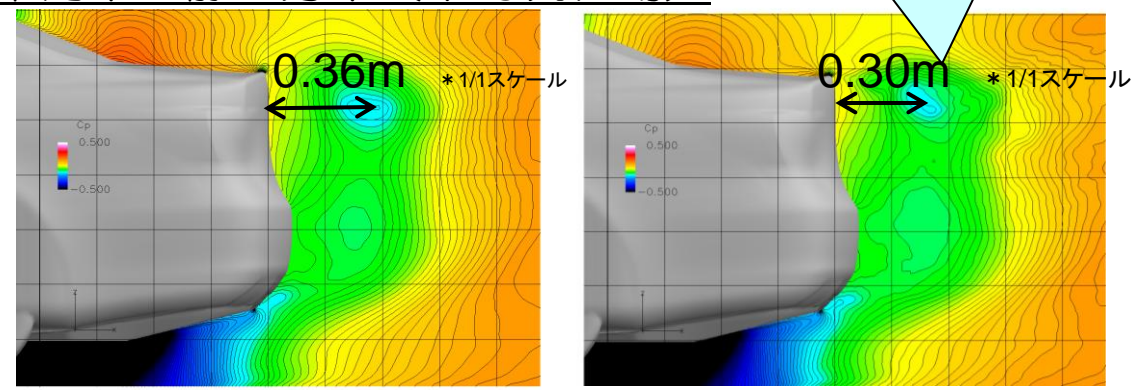
境界層速度分布 (トランク後端)

流体力比較

	車両全体C _D		部位別 Δ C _D	
	AVE	σ	車両上面	車両背面
基準形状	0.227	0.0034	—	—
制御形状A	0.230	0.0038	-0.002	+0.004

幅方向に渦輪が巾方向に位相が揃い近くに形成されたと推察

車両中心静圧分布 (平均流れ場)



基準形状

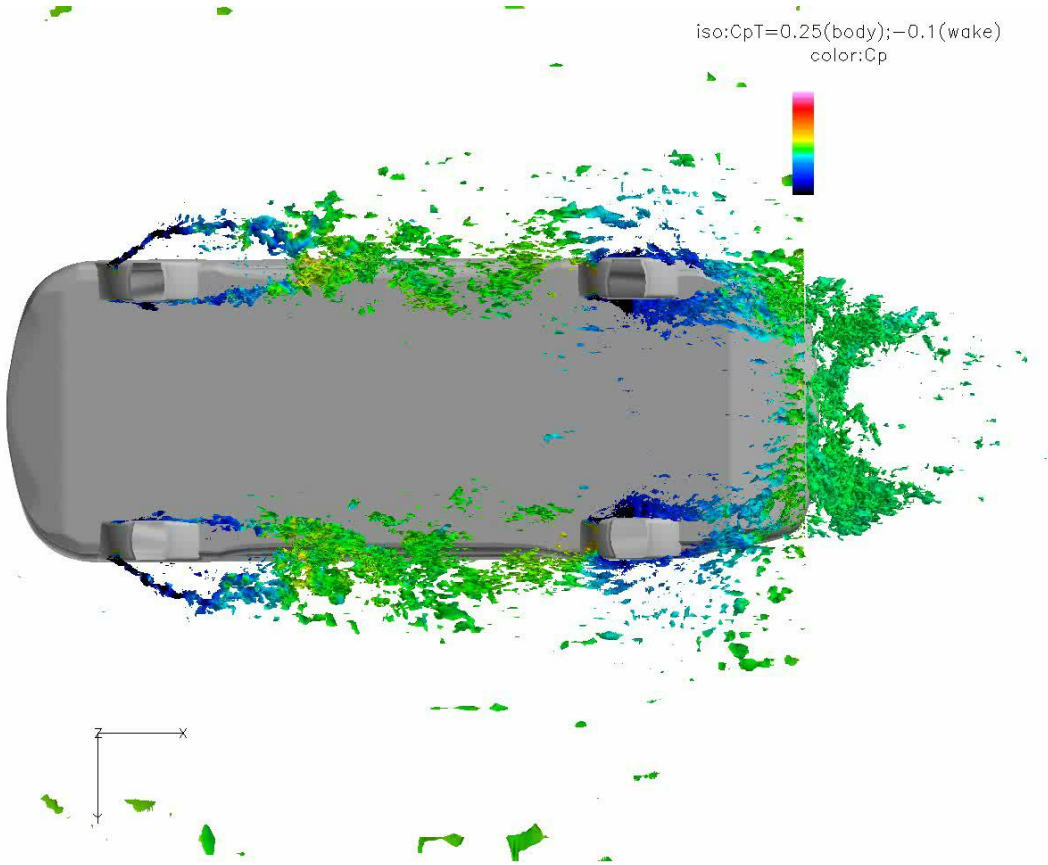
制御形状A

結果：境界層厚さを均一化 ⇒ 渦輪が車両近くに形成

空気抵抗低減の考え方：

- 境界層厚さに分布をつける ⇒ 幅方向での位相がそろわなくなる
- ⇒ 渦輪が遠方に形成され ⇒ 低空気抵抗状態を維持できる

②タイヤによって発生する渦と車両後方の渦輪の干渉制御 流れ場の確認



制御形状B

狙い：フロントタイヤで発生する渦をリアタイヤで発生する渦と干渉させない

タイヤ周りの流れ場

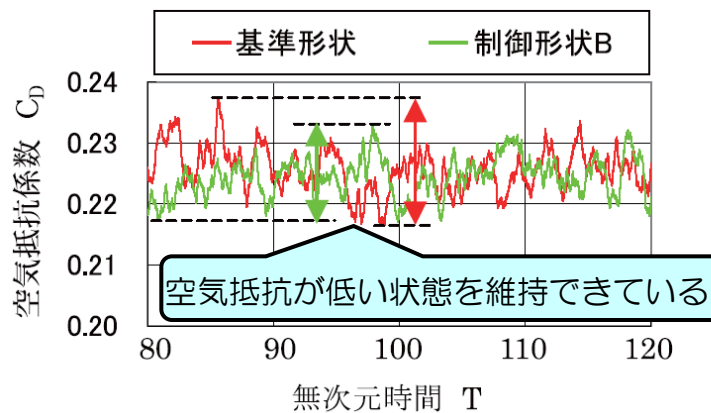
* 総圧の等値面で可視化

フロントタイヤでの渦が発生 ⇒ 後方に流されリアタイヤにあたる
 ⇒ リアタイヤで大きく剥離 ⇒ 低圧流体が背面に流れ空気抵抗悪化
 ⇒ 渦輪の成長を促進し空気抵抗悪化

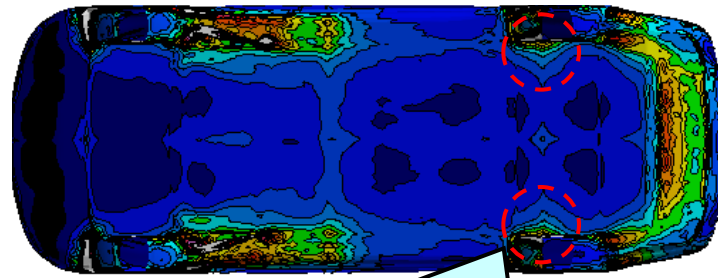
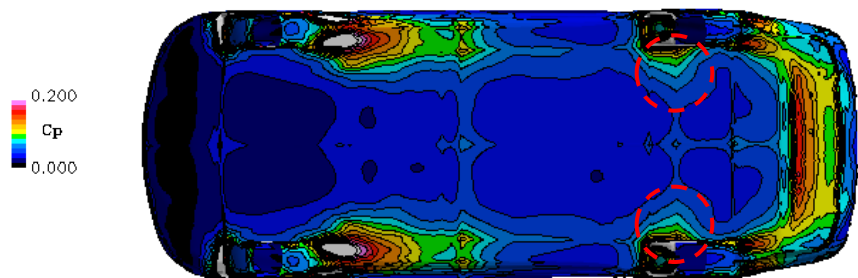
②タイヤによって発生する渦と車両後方の渦輪の干渉制御 検討結果

空気抵抗比較

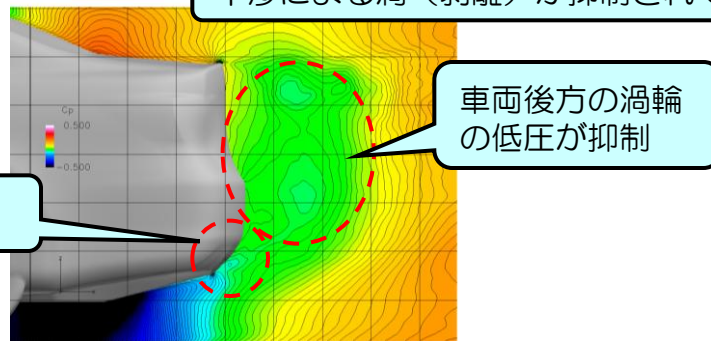
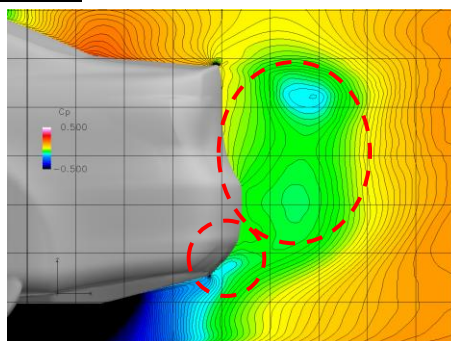
	車両全体 C_D		部位別 ΔC_D		
	AVE	σ	フィン単体	リアタイヤ	車両背面
基準形状	0.227	0.0034	—	—	—
制御形状 B	0.224	0.0032	+0.001	-0.002	-0.002



車両床下の圧力変動分布



車両中心静圧分布



基準形状

制御形状 B

干渉による渦を抑制 ⇒ 低圧流体の背面への回り込み抑制 ⇒ 空気抵抗が低い状態を維持
 ⇒ 車両後方の渦輪の成長抑制

まとめ

自動車の空気抵抗変動に着目し、その低い状態を維持し空気抵抗の平均値を低減させる検討を実施

- ・ 自動車の車両後方に渦輪が形成され、空気抵抗変動を起こす
- ・ 車両後方の渦輪の形成位置をトランク後端の境界層速度分布による制御で、渦輪の形成位置を変化可能
⇒幅方向に非均一にすることで、渦輪が遠方化に形成され低空気抵抗状態を維持できる可能性あり
- ・ タイヤがあることで、タイヤによって発生する渦変動が追加され、フロント・リアタイヤ周り流れが干渉し、空気抵抗変動を更に起こす
⇒フロント・リアタイヤの流れの干渉を、フィンにより抑制でき、低空気抵抗状態を維持できる

終わり