

# 『2BOX車型の 車両空気抵抗低減技術の開発』

トヨタ自動車株式会社  
プロジェクト責任者 安木 剛  
山村 淳  
忠津 雅也

## 目次

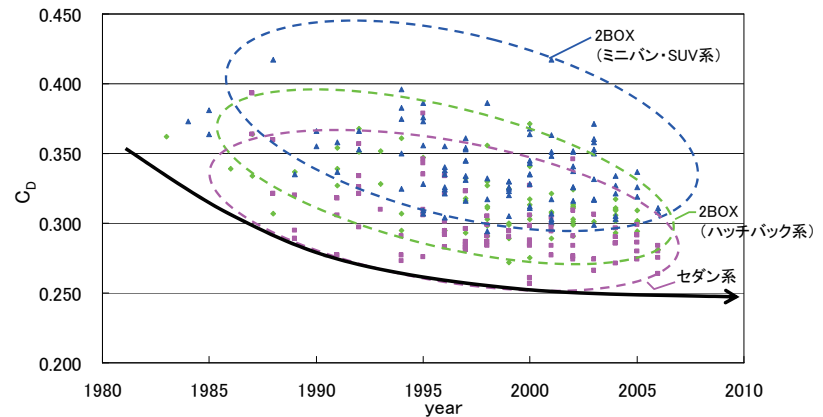
1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

### 背景 - 車両の空気抵抗低減の必要性 -

- ・欧州では2012年からのフェーズインで全乗用車のCO<sub>2</sub>排出量を130g/km相当とする規制が発行された。
- ・国内でも2015年を目標達成年度とした乗用車等の新燃費基準(2004年度実績比で乗用車23.5%向上)が導入された。
- ・車両の空気抵抗係数(C<sub>D</sub>)0.010低減は、CO<sub>2</sub>の排出量を1g/km低減することに相当し、その低減の必要性が高まっている。

### 背景 - 1980年以降の車両空気抵抗の推移 -

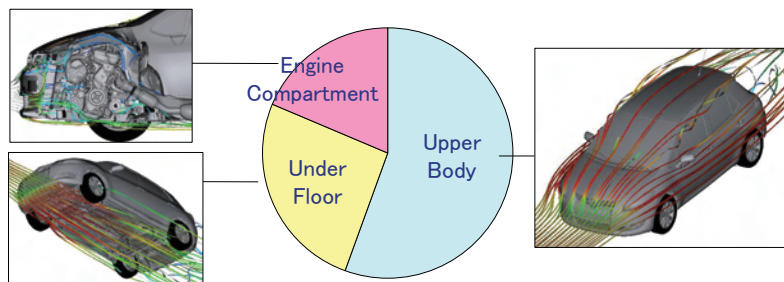
・車両空気抵抗は1980年以降、低下する傾向にあるが、近年は低減量が頭打ちの傾向。  
⇒ 2BOX車両の空気抵抗低減に取り組む。



## 背景 - 2BOX車両の空気抵抗発生部位割合 -

4/38

・アッパーボデーが、2BOX車両の空気抵抗の約6割を占める。



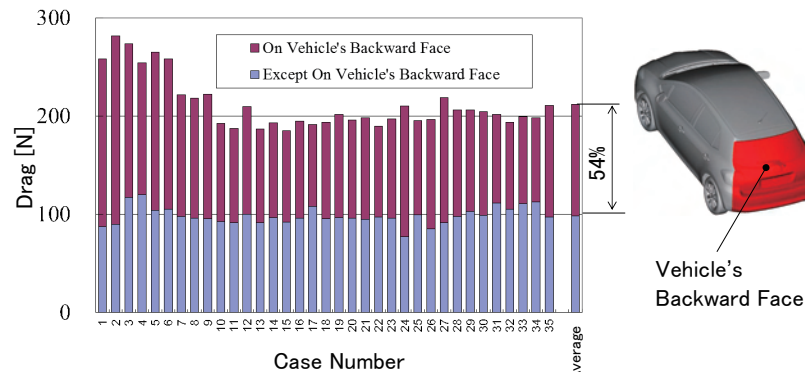
Items of Aerodynamic Drag

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 背景 - アッパーボデーの空気抵抗発生部位割合 -

5/38

・車両背面がアッパーボデーの空気抵抗の54%を占める。  
⇒ 車両背面の剥離域と空気抵抗の関係解明が期待される。



2BOX Shape Vehicle's Upper Body Aerodynamic Drag

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 本研究の狙い(1/2)

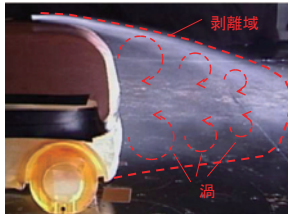
6/38

・車両背面の剥離域内の渦構造と空気抵抗の関係を解明。

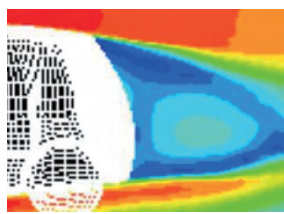
地球シミュレータを用いた  
大規模(約4億格子)、高精度(LES)な計算にて、  
剥離域内の時間的に変化する複雑な渦構造を分析。

【参考: 従来の実験, 計算の例】

風洞実験での可視化やk-εモデル等を用いた定常計算では、  
3次元の渦構造を把握しにくい。



Experiment



Calculation (k-ε)

Example of the Flow in the Wake

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 本研究の狙い(2/2)

7/38

・2010年度にバックウィンドウ傾斜角度が大きい場合の  
空気抵抗発生メカニズムを解明。  
・2011年度はバックウィンドウ傾斜角度が小さい場合においても、  
空気抵抗が小さい形状を創出。

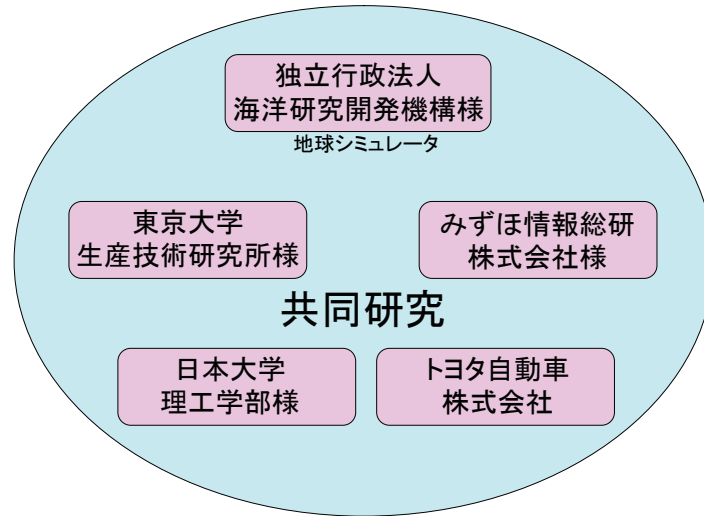
お客様ニーズ  
スタイリングに対する  
多様な御要望  
バックウィンドウ  
傾斜角度小も、その一つ  
↓  
空気抵抗低減が  
困難な場合が多い



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 研究体制

8/38



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 目次

9/38

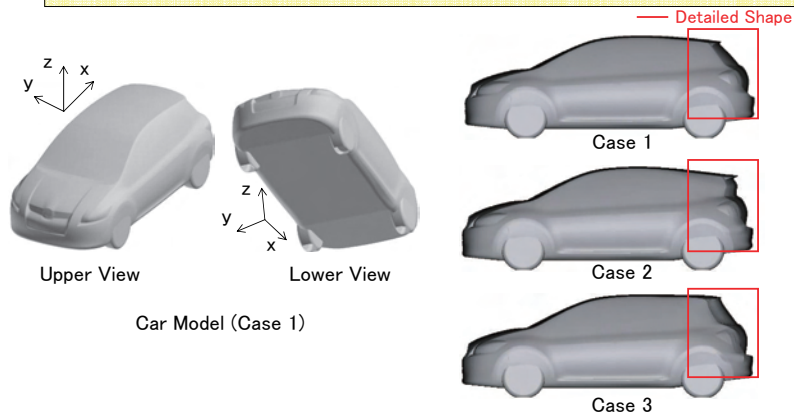
1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要 — 供試品 —

10/38

- ・車両背面は剥離域内の渦構造を再現しうる実車相当の詳細な形状(3ケース).
- ・エンジンルーム,床下は形状を簡略化.  
(剥離域内での流れの差を顕著にすべく,車両背面までの流れをスムーズ化.)
- ・車両背面以外の形状は同一.



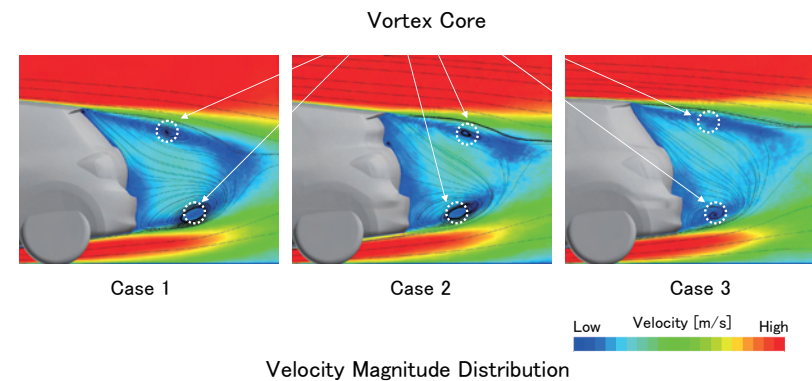
Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

11/38

### — 車両中央断面の流速分布 —

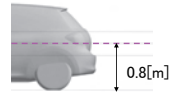
- ・車両中央断面の剥離域内の流線は,渦構造の存在を示唆する.



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

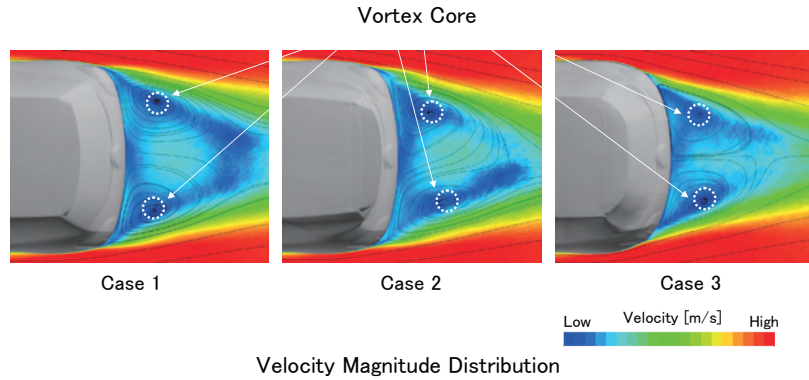
## 2010年度実施結果概要

—地上高0.8[m] 水平断面の流速分布—



12/38

・水平断面の剥離域内の流線も渦構造の存在を示唆する。

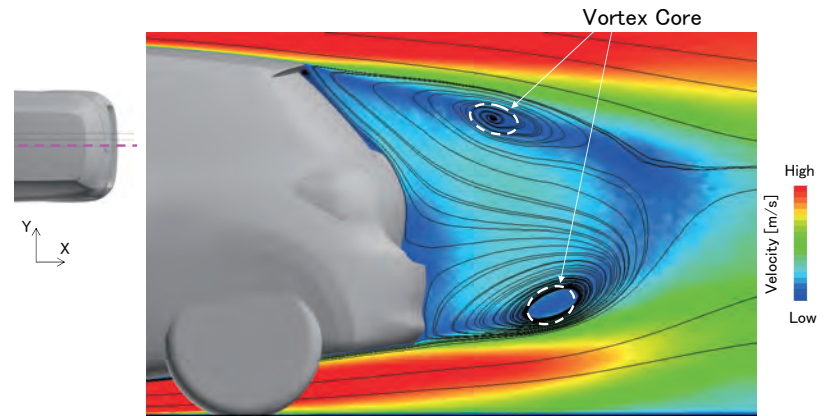


Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

—車両中央断面の渦中心(Case 1)—

13/38



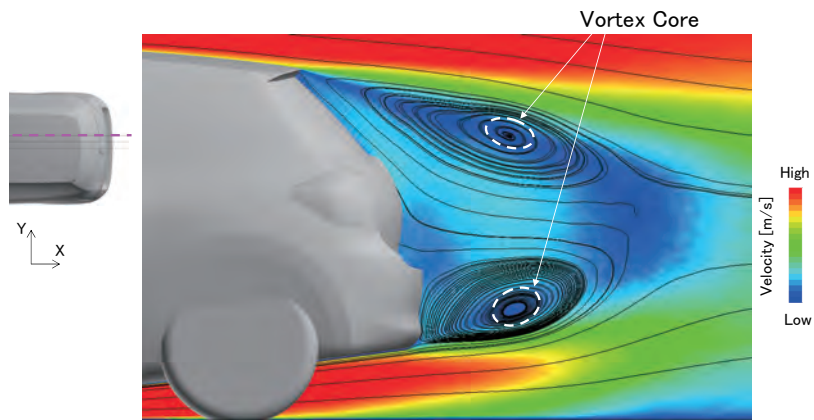
Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

—車両中央断面からY方向0.2[m]オフセット断面の渦中心(Case 1)—

14/38

・オフセットした断面においても渦中心が存在。

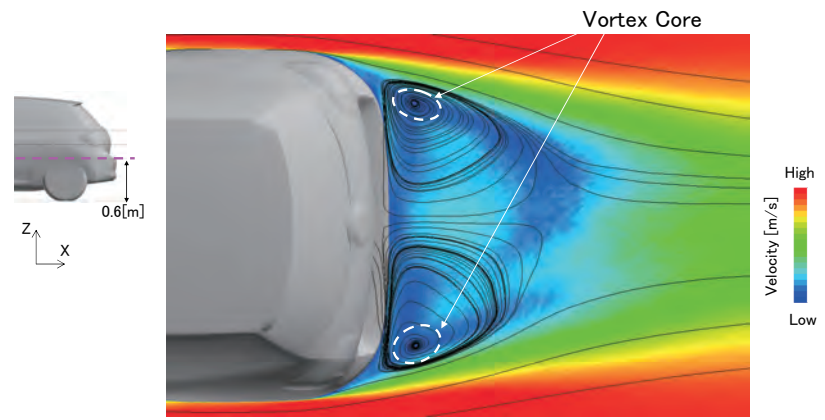


Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

—地上高0.6[m]断面の渦中心(Case 1)—

15/38



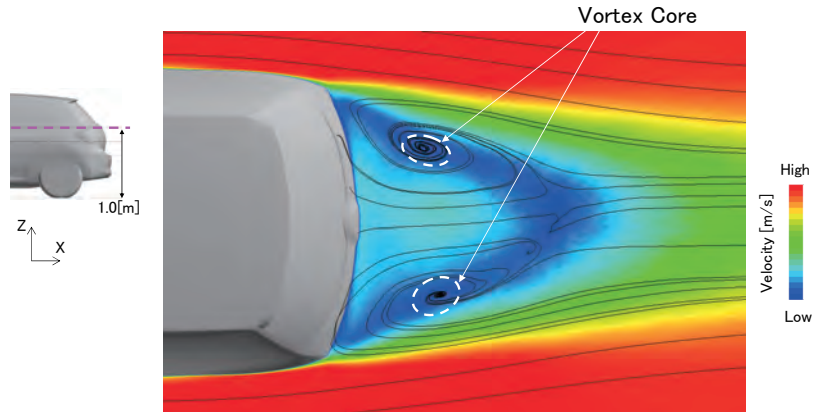
Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

16/38

—地上高1.0[m]断面の渦中心(Case 1)—

- ・オフセットした断面においても渦中心が存在.



Stream Line and Velocity Magnitude at 1.0[m] Offset from Ground

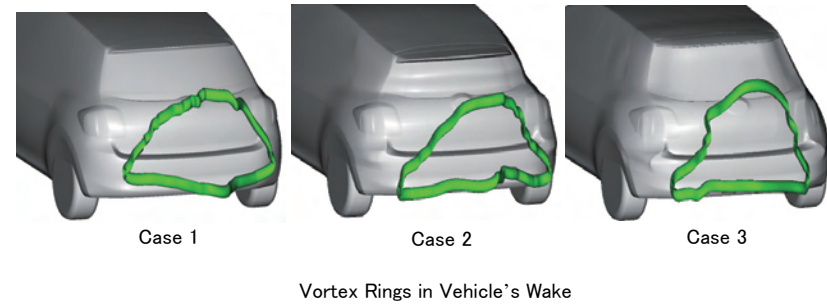
Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

17/38

—剥離域内の渦中心の3次的分布—

- ・剥離域内の渦中心を各断面毎に特定.
- ・特定された渦中心をつなぐと3次的な渦輪が形成.



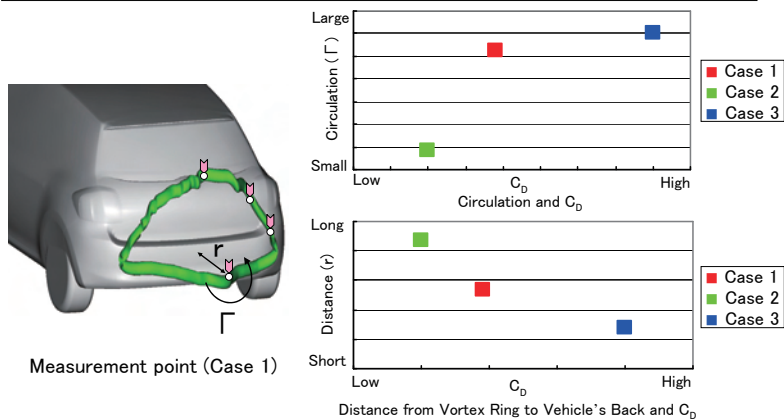
Vortex Rings in Vehicle's Wake

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 2010年度実施結果概要

18/38

- ・渦輪の循環量および車両背面との距離を計測.
- ・循環量が多いほど空気抵抗が大きく、渦輪と車両背面との距離が近いほど空気抵抗が大きいことが判明.



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 目次

19/38




1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 供試品(1/2)

20/38

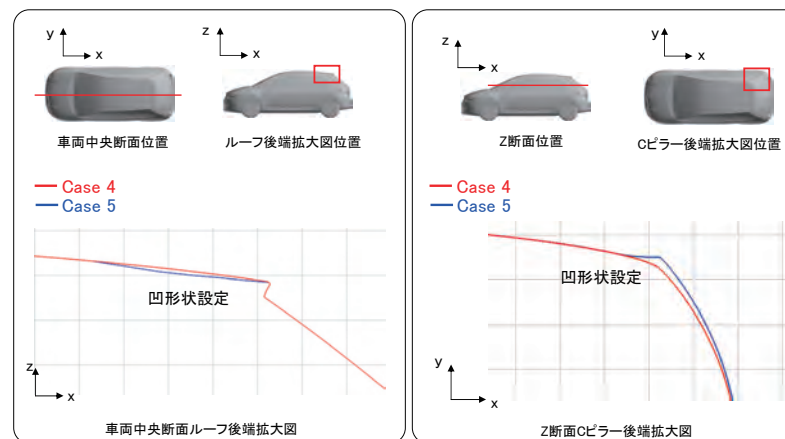
- 2010年度のベース形状(Case 1)に対し、バックウィンドウ傾斜角度を小さくした形状(Case 4).
- Case 4のバックウィンドウ傾斜角度を保持したうえで空気抵抗を低減させる形状(Case 5, 詳細次ページ).

Case 4		バックウィンドウ傾斜角度小 (37°)
Case 5		バックウィンドウ傾斜角度小 (37°)
参考 Case 1		バックウィンドウ傾斜角度大 (53°)

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 供試品(2/2)

21/38



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 目次

22/38

- 背景
- 2010年度実施結果概要
- 供試品
- 計算条件
- 計算結果
- 考察
- まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

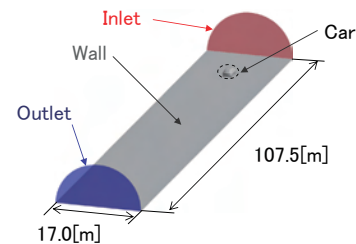
## 計算条件(1/2)

23/38

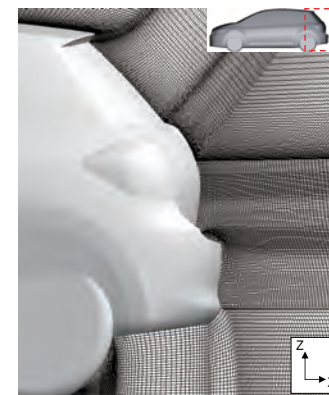
- 断面積の大きい風洞を模擬.
- 車両背面のフィレットRを再現する最小格子寸法(約0.5[mm]).

### Calculation Condition

Reynolds Number	$2.5 \times 10^5 [-]$
Dynamic Viscosity Coefficient	$1.54 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$
Characteristic Length	1.876 [m]



Calculation Domain



Calculation Grids at Y=0 Plane (Case 1)

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 計算条件(2/2)

・地球シミュレータでしか実施できない大規模、高精度な計算を実現。

計算ソフト	FrontFlow/blue 5.2 (LES)
計算格子数	約4億
計算ノード数	32 { ※1ノードあたり8CPU 32×8=256CPU }
計算時間	約80時間(1ケースあたり)

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

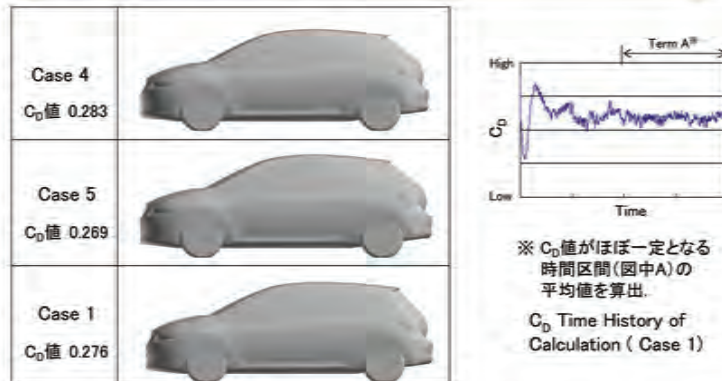
## 目次

1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 計算結果(1/3)

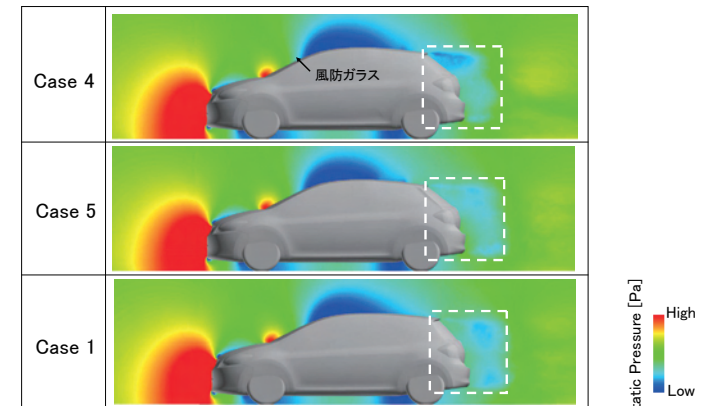
・Case 1に比べてCase 4の $C_D$ 値は0.007大きく、  
Case 5の $C_D$ 値は0.007小さい。



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 計算結果(2/3)

・風防ガラスより前方の圧力分布に優位な差は見られない。  
・車両背面の剥離域内の圧力分布に差が見られた。






Static Pressure Distribution at Center Plane

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 計算結果(3/3)

28/38

・車両全体の $C_D$ 値差の大部分は車両背面の $C_D$ 値差に起因することが判明。

		Case 4	Case 5	Case 1
車両全体	$C_D$ 値	0.283	0.269	0.276
	Case 1との差	<u>0.007</u>	<u>-0.007</u>	—
車両背面	$C_D$ 値	0.115	0.103	0.109
	Case 1との差	<u>0.006</u>	<u>-0.006</u>	—
車両背面 $C_D$ 値積分範囲				

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 目次

29/38

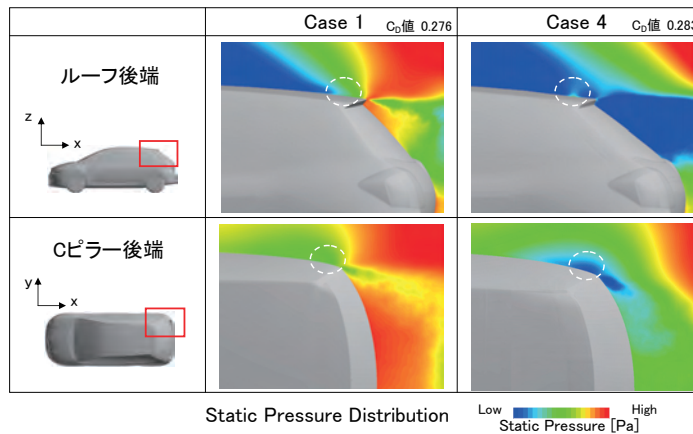
1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 考察 - 圧力分布比較(Case 1, Case 4) -

30/38

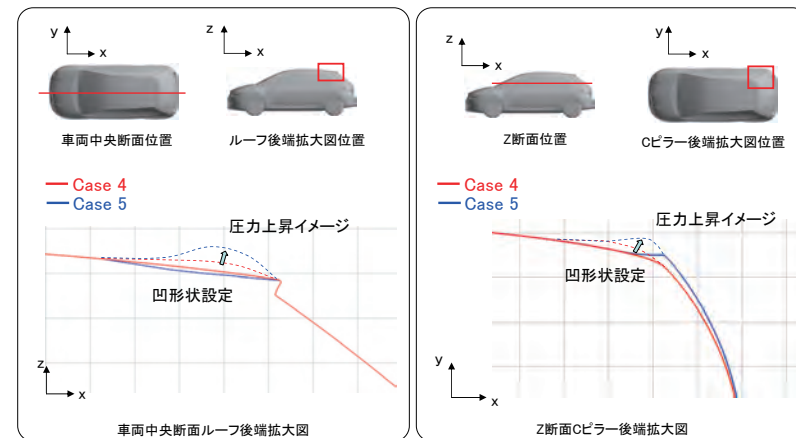
・Case 1と比較し, Case 4のルーフ後端, およびCピラー後端の圧力が低い. ⇒  $C_D$ 値増加の要因と推定.



Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 考察 - ルーフ後端, Cピラー後端での圧力上昇を狙う形状(Case 5) -

31/38



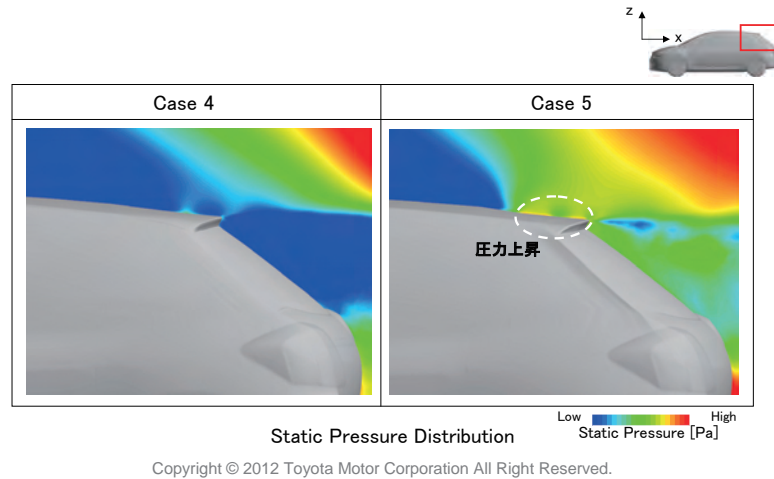
Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.



32/38

### 考察 - 圧力分布比較 (Case 4, Case 5) -

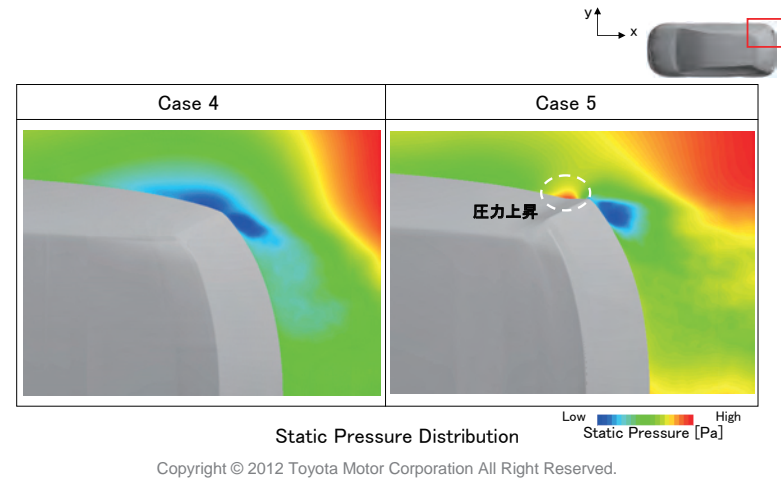
・狙い通りルーフ後端の凹形状位置で圧力が上昇.



33/38

### 考察 - 圧力分布比較 (Case 4, Case 5) -

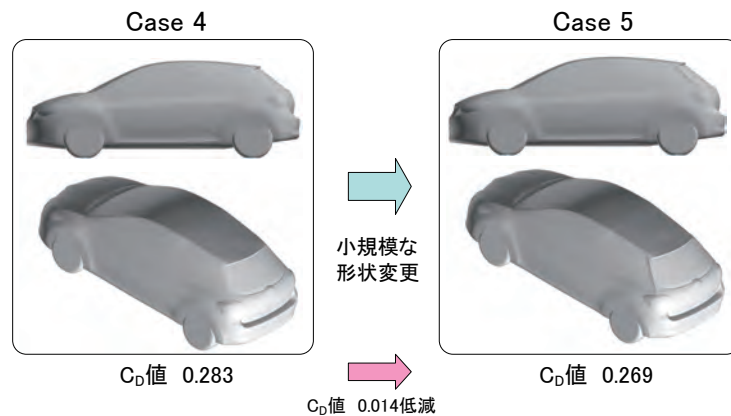
・狙い通りCピラー後端の凹形状位置で圧力が上昇.



34/38

### 考察 - $C_D$ 値比較 (Case 4, Case 5) -

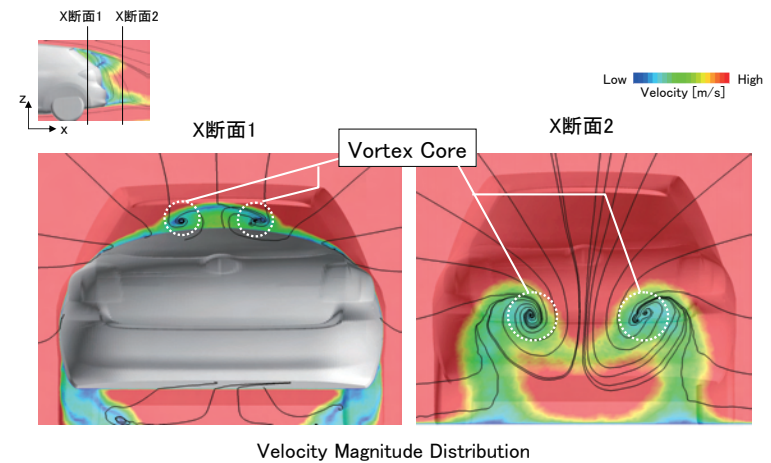
・バックウィンドウ傾斜角度を保持した小規模な形状変更のみで  $C_D$ 値を0.014低減.



35/38

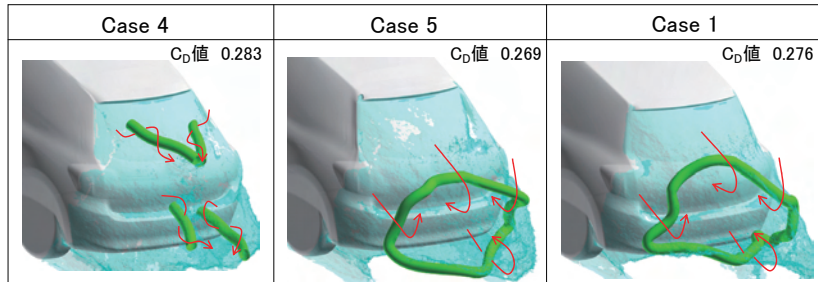
### 考察 - 車両X断面の流速分布 (Case 4) -

・車両X断面の剥離域内の流線は、渦構造の存在を示唆する.



## 考察 — 剥離域内の渦中心の3次元的分布 —

・ $C_D$ 値の大きいCase 4では、剥離域内の車両の極めて近傍に、Case 5やCase 1では存在しない縦渦が形成されることが判明。



Vortex in Vehicle's Wake

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## 目次

1. 背景
2. 2010年度実施結果概要
3. 供試品
4. 計算条件
5. 計算結果
6. 考察
7. まとめ

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.

## まとめ

地球シミュレータを用い、合計3840ノード時間の計算を実施(利用単価負担率30%)。

- ・バックウィンドウの傾斜角度が小さい場合においても空気抵抗を0.014低減できる形状を創出。  
( $CO_2$ の排出量を約1.4g/km低減することに相当)
- ・本研究の供試品では、剥離域内に縦渦が存在する場合に $C_D$ 値が大きくなることが判明。
- ・弊社内環境では1ケース約400時間を要する計算を、約80時間で完了させることができた。

Copyright © 2012 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.