

特集：CX-3

15

## 新型デミオとCX-3の空力性能開発 Aerodynamic Development for New Demio and CX-3

中田 章博\*1    伊川 雄希\*2    川北 正寿\*3    大平 洋樹\*4  
Akihiro Nakata    Yuki Ikawa    Masatoshi Kawakita    Hiroki Ohira

李 曄\*5    岡田 義浩\*6    岡本 哲\*7    田中 松広\*8  
Ye Li    Yoshihiro Okada    Satoshi Okamoto    Matsuhiko Tanaka

### 要 約

新型デミオとCX-3は新世代商品群のBカーとして、共通のプラットフォームから開発した。空力開発としては低燃費実現のため、空気抵抗の低減に注力して取り組んだ。プラットフォームの空力開発では燃費低減に大きく寄与する車体の軽量化実現のために、空力付加物の設定を必要最小限として、空気抵抗を低減させることを目指した。また各車種のユニーク要素であるアッパーボデーの空力開発では、魂動デザインのコンセプトである「生命感のある動き」の表現を最大限に活かしながら空気抵抗を低減することを目指した。以上により、新型デミオとCX-3の空力開発は非常に難しいタスクであった。

この難易度の高いタスクを実践するために、空力シミュレーション（以下CFD）を開発ツールとして本格適用することで、CX-5、アテンザ、そしてアクセラの開発で培ってきた空気抵抗低減技術と開発プロセスを更に進化させた。そして、この進化させた技術とプロセスを適用することで、新型デミオとCX-3はクラストップレベルの空力性能を実現できた。

### Summary

New Demio and CX-3 were developed from a common platform as new generation B-cars. Aerodynamic drag was reduced through the aerodynamic development in order to enhance fuel economy performance. In the process of the aerodynamic development of the platform, in order to realize reduction of car weight which contributes to fuel economy, the volume of aerodynamic parts had to be minimized. Also, the aerodynamic drag had to be reduced while realizing the Mazda “Kodo” design concept of expressing “dynamic and lively motion”. Therefore, the drag reduction developments of New Demio and CX-3 were quite difficult tasks.

To work out them, we worked on the innovation of the aerodynamic development process and aerodynamic drag reduction technology by the full use of computational fluid dynamics (CFD). By applying this development process and technology, New Demio and CX-3 achieved top level aerodynamic drag among the same class vehicles.

### 1. はじめに

近年、燃費向上やCO<sub>2</sub>削減は自動車開発の重要課題となっている。これに大きく寄与する空気抵抗の低減が空力開発における重要な目的となっている。一方で、空気抵抗は車体形状に依存するため、商品性や他機能との両立が開発課題となる。特にマツダはデザインに強いこだわりを持っている。そのため、車種開発では魂動デザインで表現したいコンセプトを最大限に実現しつつ空力性能を高めること

が使命となる。更に、燃費低減に大きく寄与する軽量化実現のために必要最小限の空力付加物の設定で空気抵抗を低減させる必要があった。これらのチャレンジをやり遂げ、クラストップレベルの空力性能を実現するために、これまでの新世代商品開発で培ってきた空力開発のプロセスと空気抵抗低減技術を更に進化させた。本稿では、新型デミオとCX-3の空力開発のコンセプトとプロセス、そして空気抵抗低減技術について述べる。

\*1～8 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

## 2. 新世代商品群の空力開発プロセス

新型デミオ、CX-3の空力開発は、CX-5、アテンザ、アクセラの開発に適用した一括開発プロセスと空気抵抗低減の共通コンセプトを引き継いで行った。そしてCFD技術の本格適用で更に開発力を強化した。次節では、まずCX-5、アテンザ、アクセラの開発プロセスと空気抵抗低減コンセプトについて述べる。

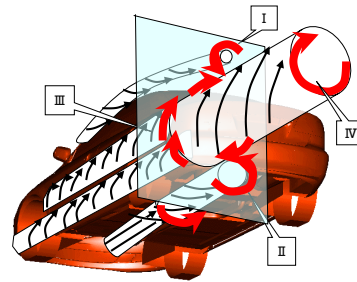


Fig. 1 Flow Structure around a Vehicle<sup>2)</sup>

### 2.1 一括開発プロセスと空気抵抗低減のコンセプト

CX-5、アテンザ、アクセラの開発ではマツダの一括企画開発<sup>1)</sup>を適用した。この開発は、下記①～③のとおり車格、セグメントを超えてプラットフォームを共通化し、そこから派生させて商品群を開発するというものである。

①商品開発に先駆けて、ベストな性能を発揮するために必要な要素技術を開発する。

②開発した技術を車格、セグメントを超えた共通のプラットフォームの基本構造に織り込む。

③各車種に共通のプラットフォームの基本構造を織り込んだ上で残りの個別要素を車種ごとに開発する。

空力開発では、まず①の要素技術開発の段階で、空気抵抗低減の共通コンセプトを構築した。この共通コンセプトはこれまでの研究から明らかになった空気抵抗の発生要因となる特徴的な渦構造<sup>2)</sup>の抑制を要素技術とした。この渦構造は (I)アッパ領域、(II)床下領域、(III)ボデーサイド領域に分けて考えることができ、各部位の渦を最小にすることで、空気抵抗に支配的である(IV)車体後方の渦を抑制するものである<sup>2)</sup> (Fig. 1)。この考え方をもとに車両後方で上下の流れを制御し、一点に収束するような流れを作ることによって(IV)車体後方の渦を抑制できる<sup>3)</sup>。これを空気抵抗低減の共通コンセプトとした。そして、②のプラットフォーム開発の段階では床下フロアラインを定義し、このラインに沿った床下基本構造を共通プラットフォームに織り込むことで、空気抵抗低減の共通コンセプトとした流れを実現した<sup>3)</sup> (Fig. 2)。

そして、③個別車種開発の段階ではこの共通プラットフォームを全車両に織り込み、変動要素についてのみ開発を行うことで開発期間の短期化を実現した。主な変動要素は、アッパ領域の渦構造を変化させるエクステリアデザイン領域、床下とボデーサイドの渦構造を変化させる車高とタイヤサイズ、そして後流の渦構造を変化させる車体後部の形状であった (Fig. 3)。これらの渦構造の変化に対応できるように、形状の最適化や空力付加物の設定を風洞実験主体で行った<sup>4)</sup>。その結果、一括開発した全ての車種でクラストップレベルの空気抵抗係数：Cd値を実現することができ、空気抵抗低減のコンセプトと開発プロセスの実効性を確認できた。

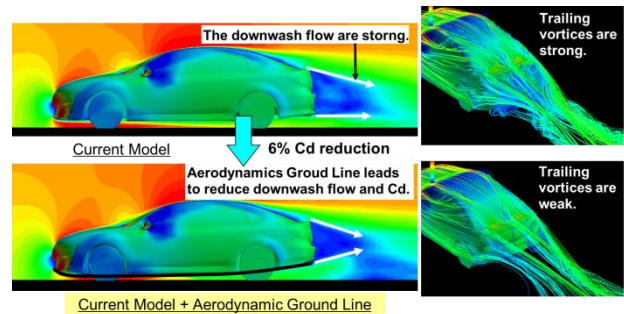


Fig. 2 Aerodynamic Optimization Concept by Modifying Underbody Geometry<sup>3)</sup>

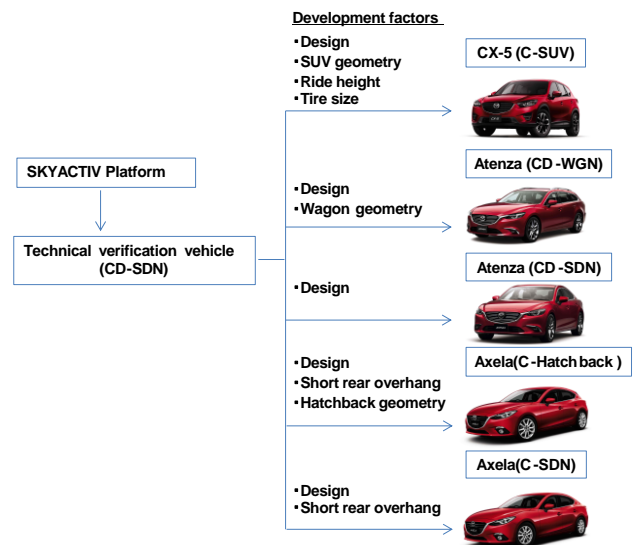


Fig. 3 Aerodynamic Development Factors of CX-5, Atenza, and Axela

### 2.2 空力開発への本格適用のためのCFD技術の強化

CX-5、アテンザ、アクセラでの空力開発に並行して、開発力を更に高めるべくCFDの技術の強化も行ってきた。CX-5、アテンザ、アクセラの開発時もCFDを活用してきたが、解析精度や計算時間の課題から補足的な検討ツールとして使用し、風洞実験主体でスペックを決定していた。しかし、この検討方法には以下の課題があった。

- ・圧力や速度等流れ場の計測に時間がかかり、計測できる物理量も限られているため、可視化や現象の理解が困難

である。

- ・風洞実験用の実車モデル作成・形状変更を検討時間がかかるため、デザインや他性能の検討に対してタイムリーな提案ができず、整合取りに時間がかかる。

そこで、更なる低Cd値の実現に向けて、流れを詳細に見える化でき、モデル作成、形状変更が容易な利点を持つCFDを主体にした開発に切り替えることを検討した。CFDを開発のメインツールとするには、Cd値の予測精度を高めることに加えて、要素技術開発の対象としている渦構造の再現が重要になる。そこで、CX-5、アテンザ、アクセラの開発において、CFDと風洞の流れ場を比較検証し、メッシュの解像度と乱流モデルを最適化する活動を並行して行った。特に、境界層メッシュのサイズと厚み、そしてホイールハウス周りの空間メッシュの解像度を上げることが精度向上に効果的であった。これらの検討の結果、Cd値の予測誤差を3%以下 (Fig. 4) とし、他社が報告している予測精度<sup>(5),(6)</sup>と同等以上に優れたものにできた。また渦構造の再現についても一括企画で注力している領域については信頼に足るレベルまで向上させることができた。更に解析の自動化や計算リソースの整備により開発のスピードに追従できるまで解析速度を高めた。このようにCFD技術を一括企画開発に適合するように育成することで、開発のメインツールとして活用できる環境を構築できた。

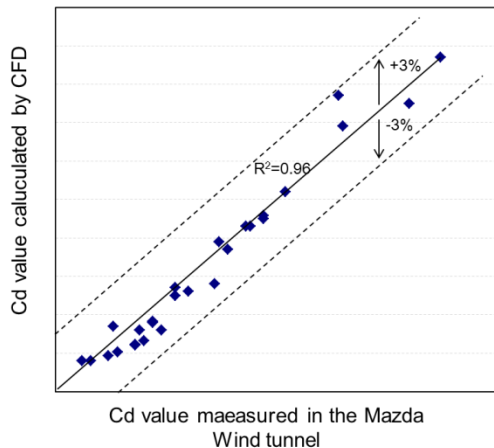


Fig. 4 Correlation Diagram of Cd Value between CFD and Mazda Wind Tunnel

### 2.3 新型デミオ, CX-3の開発プロセス

新型デミオとCX-3の開発はこれまでに述べてきた新世代商品群の開発で培った空気抵抗低減の共通コンセプトと開発プロセスを踏襲し、精度を向上したCFDをスペック決定のメインツールとして活用した。

本開発はコンパクトカーの一括開発にて行った (Fig. 5)。まずコンパクトカー用のプラットフォームを開発した。この開発でもCX-5、アテンザ、アクセラに採用したCDカー用のプラットフォームと同様に、渦を抑制できる基本構造を織り込んだ。そして、新型デミオの個別要素であるデザイン開発を行った。これらの開発では、CFDの

利点を活かし短期間で詳細な渦構造の分析を行うことでスペックを決定した。その結果、デザインのコンセプトを実現し、なおかつ必要最小限の空力付加物で渦抑制のコンセプトを実現することができた。これらの検討の詳細は次章以降で述べる。

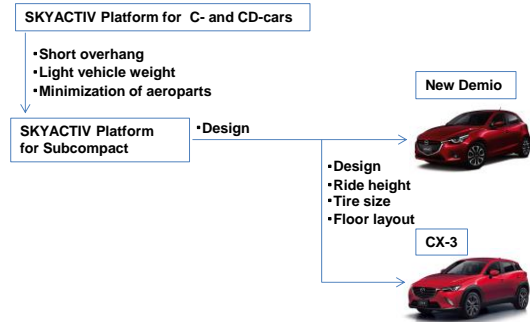


Fig. 5 Aerodynamic Development Factors of New Demio and CX-3

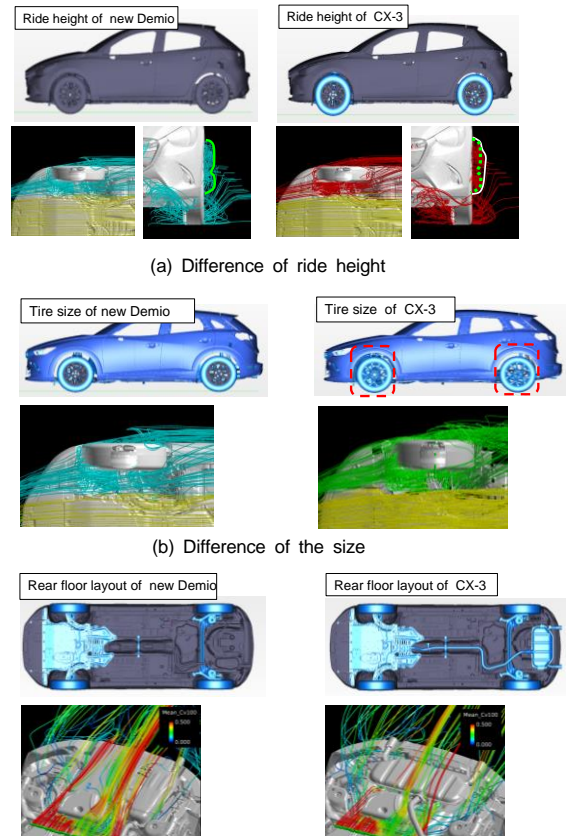


Fig. 6 Difference of Flow Structure between New Demio and CX-3

そしてCX-3の開発については、新型デミオをベースに渦構造に変化を及ぼすユニーク要素についてのみ開発を行った。この開発においてもCFDを最大限に活用した。具体的には、新型デミオとCX-3の渦構造の相違点とその根本原因を詳細に理解するために、構造の違いを一つ一つ段階的に再現したモデルを作成し、渦構造の変化を分析した

(Fig. 6)。その結果、共通部品で渦の抑制が可能な領域と個別部品の設定が必要な領域を細かく区別することができ、最小限の個別パーツで渦を抑制できる仕様を短期間で見出すことができた。この検討の詳細は第5章で述べる。

このようにCFDを本格活用することで、車種の個別要素の空力開発の質の向上と短期化を同時に実現することができた。

### 3. プラットフォームの空力開発

本章以降では、これまで述べてきた空力開発プロセスを適用して行った空力開発の詳細について述べる。まず新型デミオとCX-3の共通骨格となる新型コンパクトカー用プラットフォームに織り込んだ空気抵抗低減技術について述べる。

#### 3.1 プラットフォームの空力開発上の課題

2.1節で述べた空気抵抗低減のコンセプトを実現するためには、アンダカバー等の空力付加物が必要であるが、燃費向上を狙った軽量化のため、これらの必要最小化が必要である。この課題に対して検討した結果を床下領域とエンジンルーム領域の二つに分けて述べる。

#### 3.2 床下領域での空気抵抗低減技術

床下領域では、車両後端部の流れを持ち上げる流れのコンセプト (Fig. 2) を軽量化と整合させた上で実現させることを目指した。まず一括開発する車種の中で最小ボディとなる新型デミオのFF 1.3 ℓ ガソリンエンジン車をベース車両として床下のレイアウト検討を行った。そして、CFDの利点を活かして、流れのコンセプトを実現出来る必要最小限の床下付加物を設定することができた (Fig. 7)。実例として、燃料タンク横カバーでの空気抵抗低減事例について述べる。床下詳細設計段階において、燃料タンクの前側と横側の領域で流れが巻き上がることで、床下の渦が増大することが分かった (Fig. 8(a))。この結果から、本箇所は空気抵抗低減のための重要ポイントと判断し、カバーの設定を検討した。カバーの具体化を検討する段階において、流れ場解析の結果より、燃料配管との干渉防止のために必要な隙から燃料タンク横に流れが巻き上がっていることが分かった (Fig. 9(a))。この流れの抑制のために、必要な隙を確保しつつ、巻き上がる流れの流路を狭めるカバー形状を見出し、流れを改善した (Fig. 9(b))。CFDの検討サイクルの短さにより、短期間で流れコンセプトを実現できるカバー最適形状を効率的に見出すことができた (Fig. 8(b))。

#### 3.3 エンジンルーム領域の空気抵抗低減技術

エンジンルーム領域では、エンジンの冷却のために、エンジンルームへ空気を取り込む必要があるが、その流量の増加によりエンジンルームから床下、車両側方に気流が流出して生じる乱れ、渦が強められ、空気抵抗は増大する<sup>(2)</sup>。

この流れはフロントエンドの車体形状とエンジンルーム

内部の構造に依存しているが、デザイン自由度を高めるためには後方で空力改善を行うことが望ましい。そこでフロントグリルから放熱器までの間に導風ダクト構造を設定し、エンジン冷却に寄与しない無駄な流れの最小化に取り組んだ。具体的にはCFDにより、フロントグリルから流入した流れの流出経路を評価した。エンジン冷却に不要な流れがどの箇所に存在しているかを確認するために、放熱器周辺の隙間を通過する流量を算出しつつ、流れの可視化から問題箇所を明確にした (Fig. 10, 11)。これらの解析結果より、サイド部の隙間からの流出の寄与度が大きいことを見出した。そして、CFDの流れが詳細に可視化できる利点を活かして、流出の経路を把握することで該当箇所を重点的にシールできるダクト構造を見出し、設定した。その結果、冷却に必要なラジエータの通過風量を高めつつ冷却に不要な漏れ流量を26%低減することができ、Cd値を2%低減することができた。

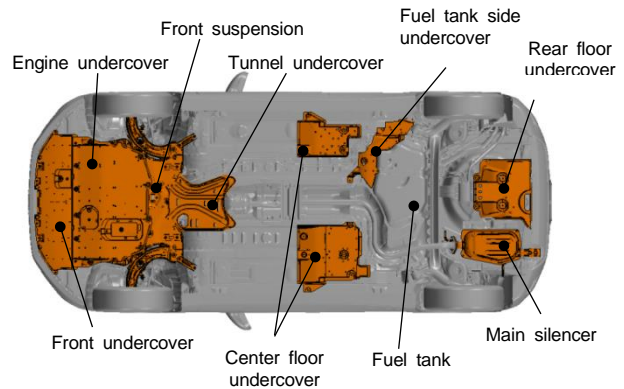
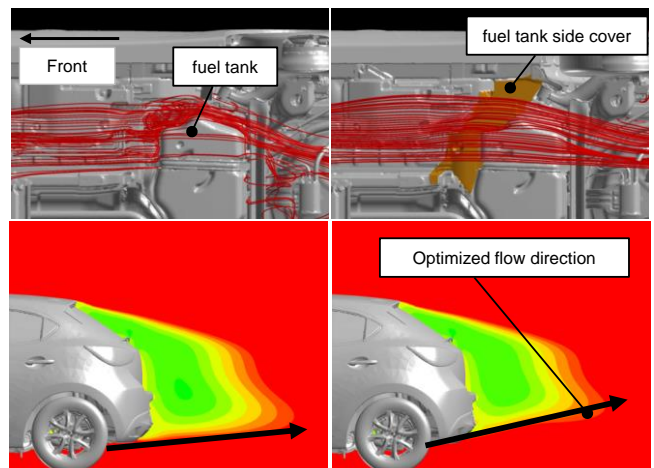
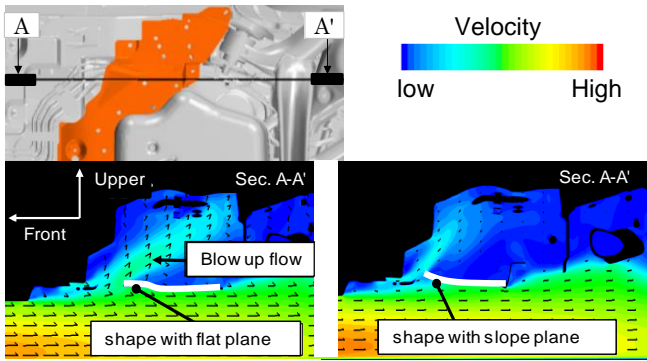


Fig. 7 Aerodynamic Optimization on Under Body of New Demio



(a) Without fuel tank side undercover (b) With fuel tank side undercover

Fig. 8 Flow Streamlines around Left Side of Fuel Tank and Velocity Contours behind the Vehicle



(a) Fuel tank cover without optimization (b) Fuel tank cover with optimization

Fig. 9 Velocity Contours and Vectors at Left Side of Fuel Tank

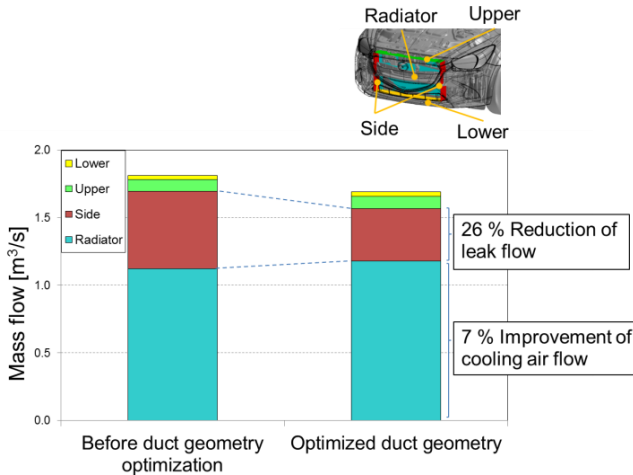


Fig. 10 Mass Flow Passed through Front Grille

Optimized duct geometry decreased leak flow from side part

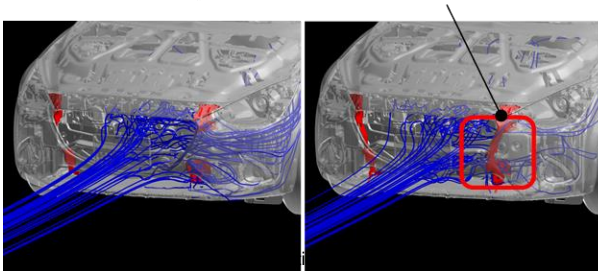


Fig. 11 Flow Streamlines around Front Grille

#### 4. 新型デミオの空力開発

本章では、新型デミオのユニーク要素であるデザイン領域に織り込んだ空気抵抗低減技術について述べる。

##### 4.1 新型デミオの空力開発上の課題

デザインのコンセプトを最大限に実現しつつ2.1節で述

べた後流を制御して一箇所に集約させ、空気抵抗を大幅に低減するコンセプトの実現を目指した。これに際し、主に以下二つのデザインコンセプトとの整合課題に集約して開発に取り組んだ。

- ・アッパ領域のスタイリングとの整合：迫力あるリヤビューを実現するため、バックウィンドウが前後方向に前傾したスタイリングを採用した。これは空気抵抗を増大させる後流の渦を誘起する方向である。よって、この渦の抑制が必要であった。
  - ・タイヤ大型化との整合：力強いデザインの実現に加え操縦安定性向上のため、幅、径ともに大きいタイヤを採用した。これは、タイヤ周りで生じる渦が大きくなる方向である。よって、この渦の抑制が必要であった。
- これらの課題を解決するために、検討した結果を述べる。

##### 4.2 アッパ領域での空気抵抗低減技術

アッパ領域では、車両周りの剥離などによる乱れ、渦の抑制、車両後方での後引き渦の抑制を行った。具体的に形状を改善した箇所をFig. 12に示す。特に課題であった、バックウィンドウを前傾させたスタイリングと空気抵抗低減の整合について報告する。Fig. 13に示すように、バックウィンドウを前傾させたスタイリングにより、リヤピラーからバックウィンドウに流れが巻き込み、この領域で空気抵抗が増大していた。この渦の抑制のため、本箇所にリヤサイドスポイラの設定を検討した。CFDによる流れ現象の見える化、検討期間の短期化の利点を活かし、デザインテーマを崩さないように、見栄えや取り付け構造と整合のとれた必要最小限の形状を効率的に見出すことができた。その結果、バックウィンドウを前傾させたスタイリングを活かしつつ、Fig. 14のとおりバックウィンドウに巻き込む流れを抑制し、Cd値を1%低減することができた。

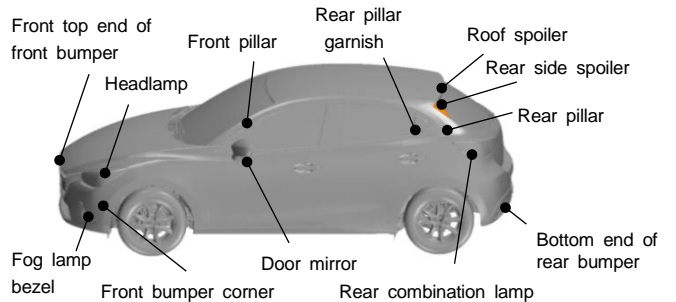


Fig. 12 Aerodynamic Optimization on Upper Body of New Demio

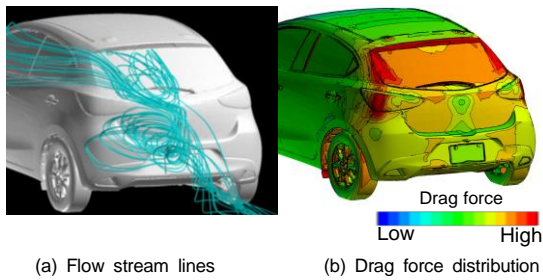


Fig. 13 Flow and Drag Force around Back Window without Rear Side Spoiler

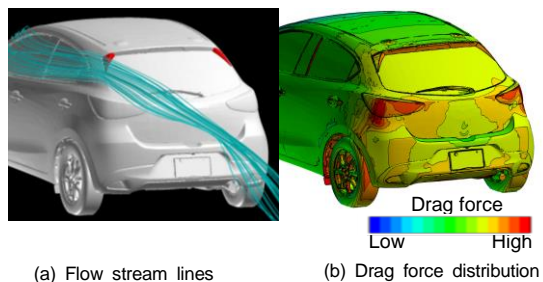


Fig. 14 Flow and Drag Force around Back Window with Rear Side Spoiler

4.3 タイヤ周りでの空気抵抗低減技術

タイヤ周り領域では、大きなタイヤ、および軽量化と空力との整合の実例として、フロントタイヤデフレクタでの空気抵抗低減について述べる。大きいタイヤに対するボデーサイドの渦、乱れを抑制するため、より大きなタイヤを設定しているCDカーのフロントタイヤデフレクタの検討結果を活用した。検討の初期段階ではレイアウト、見栄えとの整合取りが必要であったため、CFDでタイヤ周りの流れを見ながら検討を行い、整合取りをした上で、タイヤ上部、ホイール開口から生じる渦を抑制できる形状を見出した (Fig. 15)。

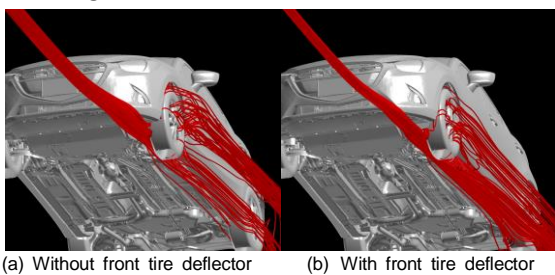
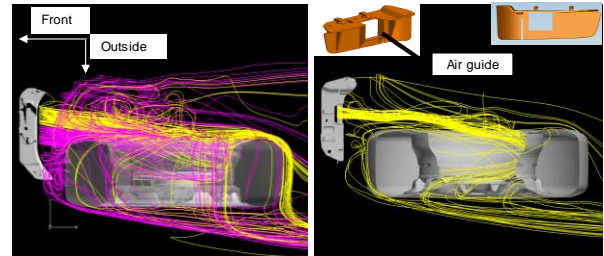


Fig. 15 Flow Streamlines around Front Tire

また詳細設計段階ではブレーキの冷却性能との整合取りについて検討を行った。デフレクタの設定は空力性能を向上させる一方で、ブレーキロータに当たる冷却風量を低下させる。特に新型デミオは軽量化のためブレーキロータを小型化しており、放熱量が小さくなるため、冷却風量が不足していた。そこで、両立案としてブレーキ冷却のため、フロントタイヤデフレクタに開口を設けた。ブレーキに必要な冷却性能から経験的に設定した初期の開口形状に対し、CFDで流れ場分析を行い、ブレーキに向かう流れを理解

することで、効率的な開口位置、最小限の大きさ、導風ダクト形状を見出した (Fig. 16)。その結果、ブレーキ冷却性能を満たし、かつ空気抵抗についてもほぼロスのないフロントタイヤデフレクタのブレーキ冷却開口を設定でき、Cd値を3%低減することができた。



(a) Brake cooling hole without optimization (b) Brake cooling hole with optimization

Fig. 16 Flow Streamlines through Brake Cooling Hole of Front Tire Deflector

5. CX-3の空力開発

本章では、CX-3のユニーク要素に対して織り込んだ空気抵抗低減技術について述べる。

5.1 CX-3の空力開発上の課題

CX-3は新型デミオに対して以下のユニークの課題があり、これらの整合課題に集約して開発に取り組んだ。

- ・リアフロア領域のレイアウト変更との整合：CX-3はベースとなるBカー用プラットフォームに対し大排気量エンジン対応のため、サイレンサを大型化し、リアフロア部のレイアウトを変更した (Fig. 17)。これらの変更に適した床下と後流の渦最小化技術が必要である。
- ・更なるタイヤ大型化・車高アップとの整合：CX-3は新型デミオに対し、力強いデザイン実現のため、タイヤ径と幅を更に大きくした。加えて、車高が高いスタイリングを採用したので、いずれもタイヤ周りで生じる渦が大きくなる。よって、これを抑制できる技術が必要である。これらの課題に対して、検討した結果を述べる。

5.2 CX-3の床下領域での空気抵抗低減技術

2.3節で述べた新型デミオとCX-3の渦構造の変化を分析した結果 (Fig. 6) から、新型デミオと部品を共通化しつつ個別の空力付加物の設定は必要最小限とした上で流れのコンセプトを実現できる仕様を見出した (Fig. 17)。実例として、リヤバンパに設定したアンダカバーでの空気抵抗低減事例について述べる。CX-3のユニーク部品であるサイレンサ下を通った流れがリヤバンパ内側に巻き込み、車両後部で乱れていることを見出した (Fig. 18(a))。本箇所は空気抵抗低減のための重要ポイントと判断し、カバーの設定を検討した。高温となるサイレンサと樹脂製カバーとの間に要求される必要な隙間からリヤバンパ内へ巻き込む流れが課題であったため、本カバーに耐熱性の高い樹脂を採用し、隙を最小とした。加えて、CFDによる流れ場分析を行い、リヤバンパの内側に巻き込まないようにし

つつ後流の流れが一箇所に集約するように風を車体後方にガイドする形状を見出し (Fig. 19) 採用した。これにより、リヤバンパ下から車両後方への流れを整流し (Fig. 18(b)), Cd値を1%低減することができた。

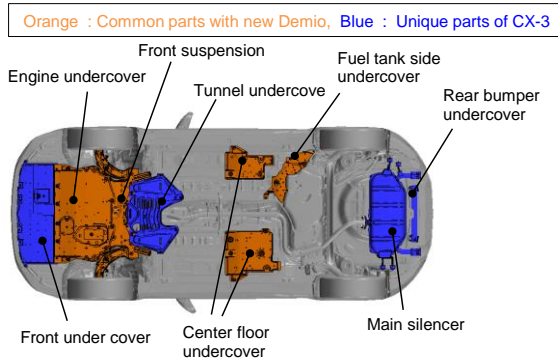
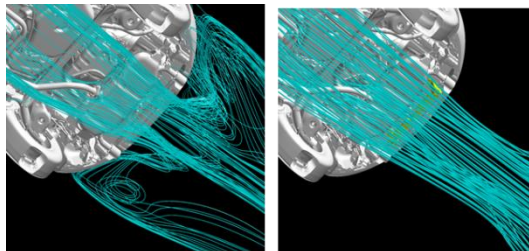


Fig. 17 Aerodynamic Optimization on Under Body of CX-3



(a) Without rear bumper cover (b) With rear bumper cover

Fig.18 Flow Streamlines around Rear Floor

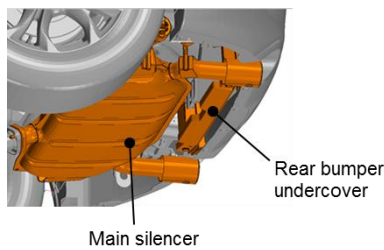


Fig. 19 Rear Bumper Under Cover

### 5.3 タイヤ周りでの空気抵抗低減技術

CX-3でも新型デミオ同様、前後タイヤの前にタイヤデフレクタを設定した。タイヤの大型化や車高アップの課題に対し、タイヤデフレクタの大型化に加え、フロントタイヤ前のフェンダ部やリヤタイヤ前のガーニッシュ部にもデフレクタ形状を織り込んだ (Fig. 20)。

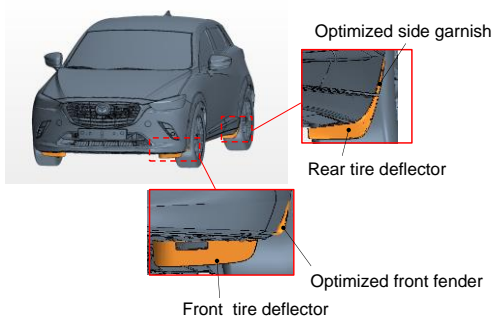
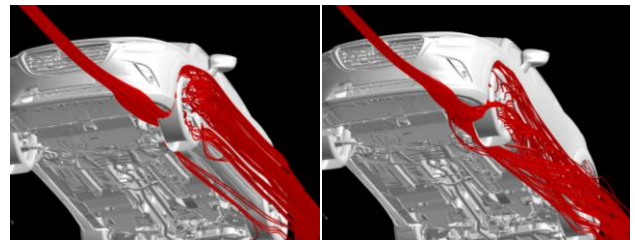


Fig. 20 Aerodynamics Optimization around Tire

デフレクタの大型化はブレーキの冷却性能が悪化する方向であったため、新型デミオと同様にCFDによる流れ場分析を行い、最も冷却に有利な場所と必要最小限の面積の冷却用開口を設けることで整合取りを行った。また大型デフレクタでの見栄えの整合取りも重要課題であったため、CFDで流れ場が見える化し、ミリ単位で形状を最適化しデザイン、空力を満足する形状を見出した。その結果、タイヤ上部、ホイール開口から生じる渦を抑制することができ (Fig. 21), Cd値を3%低減することができた。

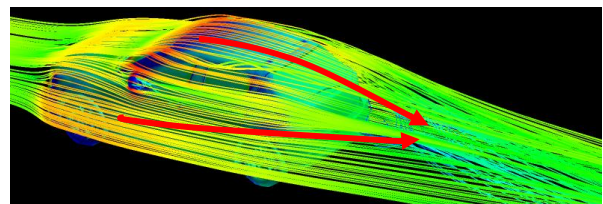


(a) Without front tire deflector (b) With front tire deflector

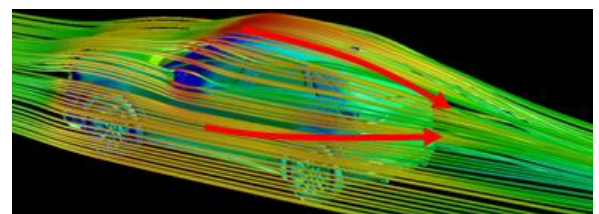
Fig. 21 Flow Streamlines around Front Tire

## 6. 新型デミオとCX-3の空力性能

新型デミオとCX-3は、これまでに述べてきた空気抵抗低減技術を織り込むことで、流れを整流し、車両後方で上下左右の流れを一点収束させるコンセプトを実現した (Fig. 22(a), (b))。そして、開発の最終段階にて、検証車両を用いた風洞実験の結果、当初のねらいどおりの風流れ (Fig. 23) と空気抵抗を左右するCd値と前面投影面積 (FA) の積であるCd・FAについてクラストップレベルの性能達成を確認した (Fig. 24, 25)。



(a) New Demio



(b) CX-3

Fig. 22 Flow Streamlines around New Demio and CX-3

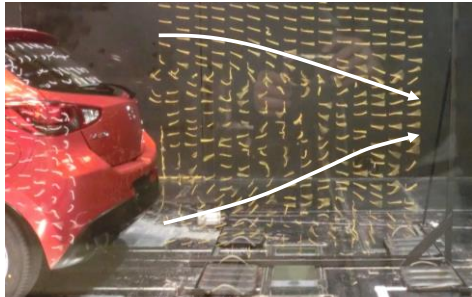


Fig. 23 Wind Tunnel Test Result of Flow Visualization behind Body of New Demio

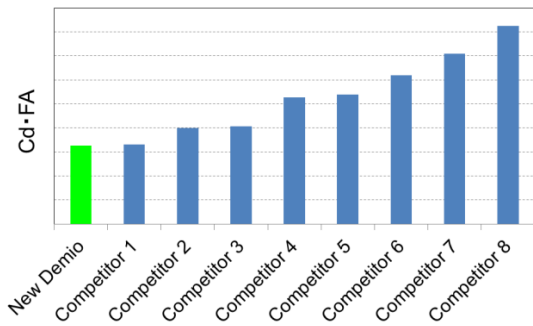


Fig. 24 Aerodynamic Drag of New Demio and Competitors Measured in Wind Tunnel

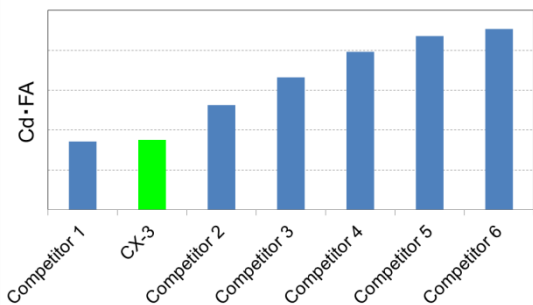


Fig. 25 Aerodynamic Drag of CX-3 and Competitors Measured at Wind Tunnel

### 7. まとめ

SKYACTIV TECHNOLOGYを全面導入したCX-5、アテンザ、アクセラの開発で培ってきた空力開発プロセスと空気抵抗低減技術をCFDの本格活用により更に進化させ、これを新型デミオとCX-3の開発に適用した。その結果、いずれもクラストップレベルのCd・FAを達成することができ、開発プロセス、そして空気抵抗低減技術の実効性を確認できた。

### 参考文献

- (1) マツダの構造改革とブランド価値の向上に向けた取り組み, MAZDA ANNUAL REPORT, pp.16-27 (2008)
- (2) 農沢ほか：自動車の空気抵抗を増大させる車体周りの

流れ構造：第2報, 日本機械学会論文集B編, 75, pp.1807-1813 (2009)

(3) 木村ほか：SKYACTIV-ボディ, マツダ技報, No.29, pp.61-67 (2011)

(4) 木村ほか：CX-5 SKYACTIV-BODY ストラクチャの開発, マツダ技報, No.30, pp.103-108 (2012)

(5) 清野ほか：バーチャル風洞の構築と車両空力性能開発への適用, 学術講演会前刷集, No.24-14, pp.5-8 (2014)

(6) Andreas Kremheller : The Aerodynamics Development of the New Nissan Qashqai, SAE Technical Paper, 2014-01-0572

### ■ 著 者 ■



中田 章博



伊川 雄希



川北 正寿



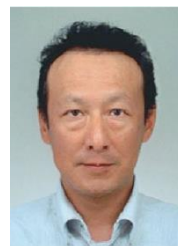
大平 洋樹



李 曄



岡田 義浩



岡本 哲



田中 松広