

特集：新型マツダCX-9

9

新型CX-9の空力性能開発 Aerodynamic Development of New CX-9

油目 雅史*¹ 中田 章博*²
Masafumi Aburame Akihiro Nakata

要 約

新型CX-9は3列ミッドサイズクロスオーバーSUVとして、CX-5のプラットフォームをベースに開発した。空力性能はクラストップレベルを目指した。そのうちプラットフォームについては、CX-5以降の新世代商品群と同様の床下整流に加えて、新型CX-9では特にフロントタイヤ周り及びリアサスペンション周りの整流に注力した。またアップパーボディについては、新型CX-9のデザインコンセプトである「おごそかで品格のあるプレミアム」の表現を実現しながらリア周りの風流れの巻き込みを抑制することに注力した。更に、高速走行時にお客様が“安心／快適”を感じられる卓越した静粛性の実現のために、風流れにより発生する渦を起因とする空力騒音の低減にも注力した。本稿では、デザイン部門、各設計部門と一体となって共創し、前モデルから11%の空気抵抗低減及び空力騒音の低減を実現した事例を紹介する。

Summary

The new Mazda CX-9 was developed as a mid-size crossover SUV based on the platform of the Mazda CX-5. The target of aerodynamic development was achieving top level among the same class vehicles. In aerodynamic development for the platform, a focus was placed on improvement of the air flow in the rear suspension area and around front tires in addition to improvement of the air flow in the floor same with the Mazda CX-5 and the following new-generation vehicles. In the development of upper body, we aimed at improving the air flow in the rear body with realizing the design concept of the new Mazda CX-9 for expressing “stately and dignified premium”. In addition, for the realization of outstanding silence in the situation of high speed driving so that customers are able to feel “peace of mind/coziness”, we focused on the reduction of aerodynamics noise. This paper introduces the case of realizing an 11 % aerodynamics drag from the previous model and reducing of aerodynamics noise.

1. はじめに

近年、燃費性能向上のための空気抵抗低減が商品開発の重要項目となっている。空気抵抗は車体形状に依存するため、デザインや他機能との両立が重要課題となる。今回開発した新型CX-9は米国市場のハイエンドモデルと位置付けられており、魂動デザインを実現しながらSKYACTIV TECHNOLOGYとしてふさわしい燃費性能を高次元でバランスさせるため、空力性能を前モデルから大幅に進化させた。更に、今回の空力開発では高速走行時にお客様が“安心／快適”を感じられる卓越した静粛性の実現のため

に、風流れにより発生する渦を起因とする空力騒音の低減にも注力した。本稿では、2章～6章にて前モデルから11%空気抵抗低減を実現した技術について述べ、7章で空力騒音低減技術について述べる。

2. 空気抵抗低減コンセプトと空力性能開発プロセス

2.1 空気抵抗低減コンセプト

空力開発では、CX-5以降の新世代商品群の空気抵抗低減の共通コンセプトを踏襲した⁽¹⁾。これは(I)床下領域、(II)ボディサイド領域、(III)アップパー領域それぞれの渦を

*1,2 車両実験部
Vehicle Testing & Research Dept.

抑制し、車体後方で上下左右の風流れを1点に収束させる風流れを作り空気抵抗を低減するねらいである (Fig. 1)。(I)については床下にフロアラインを定義し、床下基本構造を基に各パーツをそのラインに沿ってレイアウトすることで、1点に収束する風流れを実現した²⁾ (Fig. 2)。(II)と(III)についてはデザイン開発要素が多いため新型CX-9ユニークで開発を進めた。

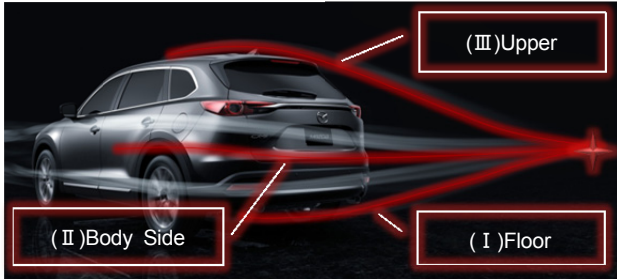


Fig. 1 Flow Structure around a Vehicle

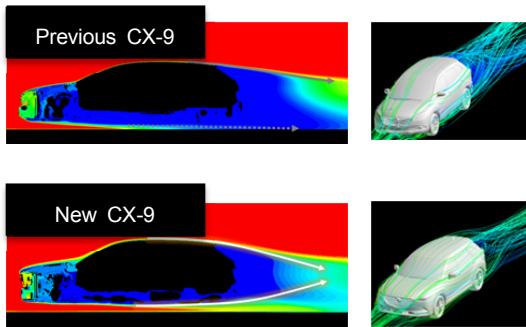


Fig. 2 Aerodynamic Optimization by Modifying Underbody Geometry

2.2 新型CX-9の空力性能開発プロセス

新型CX-9の空力開発では、ミッドサイズSUVセグメントの常識を打ち破る優れた燃費性能を実現するため、極限まで空力性能を高めることを目指した。ファミリーカーとしての十分な実用性を備えるため、必要な前面投影面積を確保しつつ空気抵抗係数（以下、Cd値）低減を目指した。従来の一括企画開発の考え方³⁾に加え、新型CX-9では特に空力性能向上に重要な部位を空力シミュレーション（以下、CFD：Computational Fluid Dynamics）を用いて特定し、固定要素・変動要素を問わず注力点を絞り込み、それぞれの領域に機能配分をした (Fig. 3)。前節の考え方を基にした床下、ボディサイド、アッパーの3領域の流れに加えて、エンジンルームの流れを追加し計4領域で検討した。それぞれの領域について個別目標を設定し空力開発を進めることで、クラストップレベルの空力性能を目指した。これまでの車種の開発では冷却性能と空力抵抗低減の両立は最も開発が難航したため、特にエンジンルームの流れに開発初期段階から注力した。3章から6章では各領域の検討の詳細について述べる。

Previous CX-9 Cd=100%



CX-5 Cd=93%

Cooling : -1% Upper : -2% Body Side : -2% Floor : -2%



Change Element

- Design
- Full Flat Floor
- Tire Size Down
- Full Duct



New CX-9 Target Cd=89%

Cooling : -3% Upper : -2% Body Side : -2% Floor : -4%



Change Element

- Design
- Full Flat Floor + Lateral Link Cover
- Tire Size UP + Optimized around Front Tire
- Full Duct + Active Air Shutter

Fig. 3 Target Cascade

3. 床下領域の空力開発

3.1 床下領域の開発コンセプトと課題

1点に収束する風流れの実現に向けて、床下領域の開発コンセプトは「風をまっすぐスムーズに後方へ流す」とこととした。これに対し、CX-5以降の新世代商品群は一括企画開発によりほぼフラットな床下領域を実現していたものの、4章で述べるようにエンジンルームからの排出風と可動部位であるリアサスペンション周りについてより緻密な配慮をする必要があった。

また、新型CX-9では静粛性向上のためフロア下アンダーカバーを従来の樹脂材料から不織布材料に変更することに伴い新規設計となったため、風がスムーズに流れるよう最適化を図った。しかし、カバー成型時の端部曲率が拡大することで風をスムーズに剥離させることができず、リアサスペンションへ従来以上に風流れが向かい抵抗となっていた (Fig. 4)。これをカバーの剛性と両立を図りながら低減した。

3.2 床下領域の空気抵抗低減技術

フロアアンダーカバーは後端部に風流れを剥離させる形状を設定したことに加え、地上高が低くなる部分について

は縁石衝突時などの破損を回避するため、変形可能なラバー部品とし両立を実現した (Fig. 5)。更に、床下領域での更なる空気抵抗低減のため、従来のフロアアンダーカバーだけでなく可動部位であるリアサスペンション周りの整流も検討した。その結果、新たにマツダ車初となるリアサスペンション前部のラテラルリンクに新設計のカバーを装着し、リアサスペンションへ風流れが衝突することなくスムーズに風を流せるような構造を見出した (Fig. 6)。また、FWDをベースに進めてきたこれらの施策は、トンネル下やデファレンシャルギア周りの構造が違うAWDにも踏襲し、フロアカバーはAWDのレイアウトに合わせてユニーク要素として開発し最適化した。これにより、空力性能を同等とすることができFWDとAWDともに旧型CX-9比Cd値を約4%低減することができた。

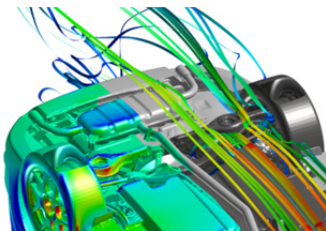


Fig. 4 Flow Streamline around Rear Floor before Optimizing Covers

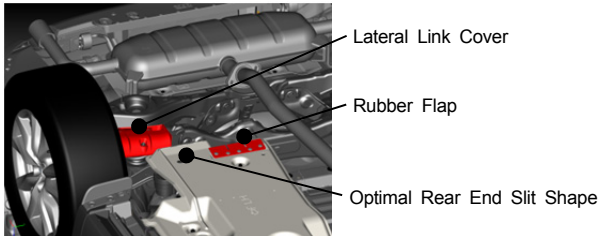


Fig. 5 Optimal around Rear Suspension

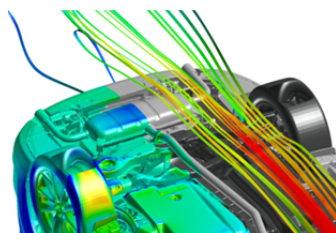


Fig. 6 Flow Streamline around Rear Floor after Optimizing Covers

4. ボディサイド領域の空力開発

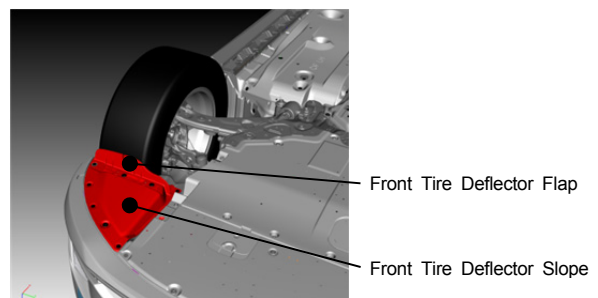
4.1 ボディサイド領域の開発コンセプトと課題

ボディサイド領域の開発コンセプトは、「ボディサイドの風流れを乱さず、フロントバンパーコーナーからホイールハウスにかけて発生する渦を抑制する」こととした。新型CX-9の課題として、フロントバンパーコーナー部のデザインについて従来比凹凸が深くなったことに加え、幅

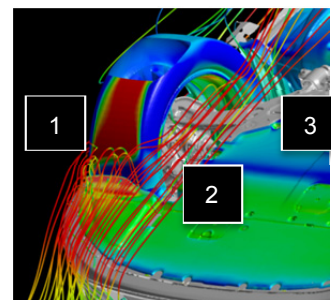
広・大径タイヤによりボディサイドが大きく乱れていたため、剥離渦の抑制が必要であった。

4.2 ボディサイド領域の空気抵抗低減技術

前述の剥離渦を抑制するため、フロントタイヤ周りの各部位それぞれに対して風をスムーズに流すための検証をした。まず、フロントタイヤディフレクタについて、フロントタイヤへ流れを沿わせるため、従来のフラップタイプのディフレクタに加え、ディフレクタ前方にスローブ形状を追加した (Fig.7-(a))。これにより、ディフレクタ自体へ風が衝突し発生していた渦を抑制し、よりスムーズに風をタイヤへ沿わせることができた。ディフレクタフラップ面については、車両外側の面構成はデザイナー、設計者一体となって、Fig. 7の①に示すようにフロントバンパーからの面のつながりを維持しながら確実にタイヤ外側へ風を導くよう最適化した。車両内側の切り上げ形状については、Fig. 7の②に示すようにディフレクタフラップ面自体の抵抗を抑制しつつ、ホイールハウス内へ風が巻き上がることをないように長さ・形状を最適化し、風流れをフラップ部分で剥離させまっすぐ流れるようにした。次に、3.1節で述べた課題の一つであったエンジンルームからホイールハウスへの排出風を抑制すべくスブラッシュシールド形状を最適化した。Fig. 7の③に示すように、ホイールハウスからの排出風についてはボディサイドへ排出せず、床下へまっすぐ風を導くためにマッドガード後端部とセンターフロアカバー前端部のつながりをスムーズにした。その結果、旧型CX-9の構造からCd値を約2%低減し、幅広・大径タイヤによるボディサイドの乱れを抑制することができた (Fig. 8)。

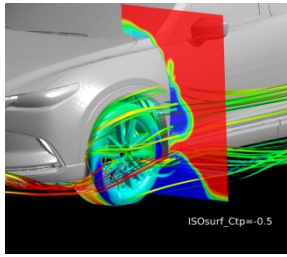


(a) Front Tire Deflector

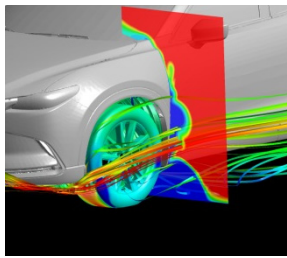


(b) Stream Line around Front Tire Front Tire Deflector

Fig. 7 Flow Streamlines around Front Tire



(a) Before Front Tire Optimization



(b) Optimized Front Tire

Fig. 8 Body Side Flow around Front Tire

5. エンジンルームの空力開発

5.1 エンジンルームの開発コンセプトと課題

エンジンルームに入る風流れは、フロントグリルから必要最小限の風を取り込みまっすぐインタークーラー・ラジエーターに流し、他のエリアへ漏れる風流れを最小限にした。

新型CX-9の開発初期においてはグリル～ラジエーター間の損失が増大し、必要以上の風を取り込んでいたため、ラジエーターまでの導風ダクト構造を見直し、不要なエリアへの漏れを抑制することが課題であった。

5.2 エンジンルームの空気抵抗低減技術

新型CX-9でもCX-5以降の新世代商品群と同様の考え方により、導風ダクト構造を設計者との共創により他性能やレイアウト、組み付け性は満足しながら、バンパー内のセットプレートとインタークーラーダクト構造を最適化した (Fig. 9)。その結果、開発初期段階と比較し冷却に不要な漏れ量を約20%低減することができた。一方で、更なるグリル～ラジエーター間の損失低減のため、アクセラなどに採用しているアクティブエアシャッターの採用を検討した。しかし、アクセラにレイアウトされている位置にはインタークーラーがレイアウトされているためそのままでは設定が困難であった。そこで新型CX-9ではアッパーグリル後方へレイアウトすることを検討した。このエリアはホーンやミリ波レーダーの性能を確保した上でこれらをレイアウトしつつ、衝突性能も満足する必要がある。そのため、アクチュエーターやシャッター外枠形状を最適化し、空力性能と他性能を損なわずにレイアウトを成立させた。これらの結果、マツダ車では初となるアッパーグリル後方へのアクティブエアシャッター搭載を実現し (Fig. 9)、旧型CX-9の構造からCd値を約3%低減することができた (Fig.

10)。

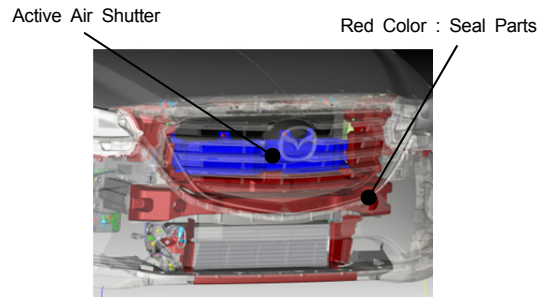
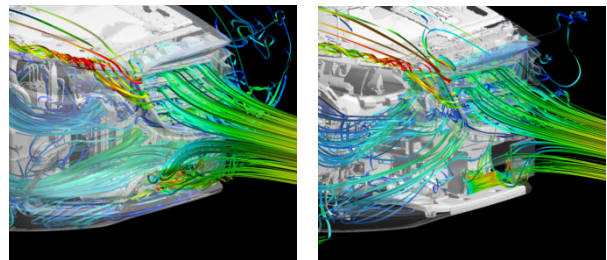


Fig. 9 Seal Plate and Active Air Shutter



(a) Before Front Grill

(b) Optimized Front Grill

Optimization

Fig. 10 Flow Streamlines Around Front Grill

6. アッパー領域の空力開発

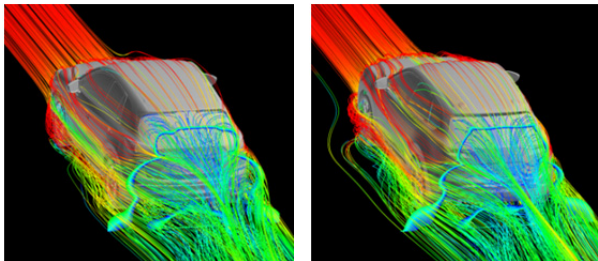
6.1 アッパー領域の開発コンセプトと課題

アッパー領域の開発コンセプトは、2.1節を踏まえて上下左右の流れを巻き込ませず、後方で1点収束する流れを実現することとした。新型CX-9の初期デザイン案はスタンスの良さを表現するため、安定感のある台形フォルム (タイヤからランプ、キャビンにかけて幅が絞られている形状) になっている。このフォルムを実現するためキャビンが丸みを帯びていることに加え、バックウインドウの角度が先代モデルより倒れていることで車両後方で風の巻き込みが強くなり空力性能の悪化につながっていた。この風の巻き込みを、デザイン表現を損なうことなく実施していくことが重要な課題であった (Fig. 11-(a))。

6.2 アッパー領域の空気抵抗低減技術

新型CX-9では、車両の各部位についてデザイナーと共創した。具体的に風流れを向上した部位をFig. 12に示す。ここでは、特に車体上部から風流れが吹きおろすことにより発生する渦の抑制に注力し、リアスポイラーとリアサイドスポイラーで後流渦の低減を実現した事例について報告する。リアスポイラーを設計者、デザイナーと構造、性能、デザインが成立する形状を見出し、上部からの吹き降ろしを抑制した。リアサイドスポイラーについても同様に車両後方で流れを1点収束させるべく剥離位置、流れの収束角度を最適化し空力性能とデザイン性を高次元でバランスさせることができた。車両後方は上下左右の流れのバランス取りが重

要であるため、床下からの吹き上がりについてもリアバンパー下面形状を最適化し流れを制御した。その結果、デザイン表現のポイントであったスタンスの良さを損なうことなく上下左右の風流れを車両後方で1点収束させることができた (Fig. 11-(b))。これにより、旧型CX-9からCd値を2%低減した。



(a) Before Upper Design (b) Optimized Upper Design
Optimization

Fig. 11 Flow Streamlines around Upper Design

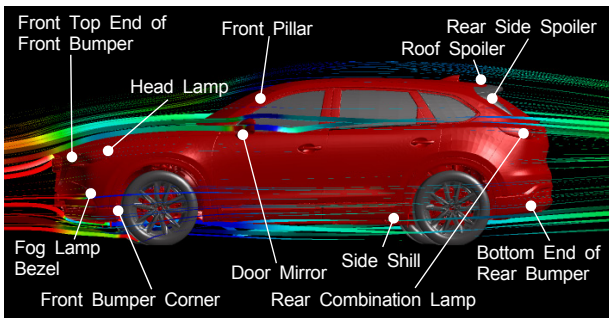


Fig. 12 Aerodynamic Optimization on Upper Body of the New Mazda CX-9

7. 空力騒音の開発

7.1 空力騒音低減のねらい

ここでは、1章で述べた空力騒音低減について紹介する。新型CX-9では、高い車室内静粛性を実現するために、人の感じ方を重視した静粛性を開発のねらいとし“突き抜けた静粛性”を定義し目標を設定した (Fig. 13)。車室内の静粛性について、高速走行時はタイヤ音と風騒音が会話を妨げる音として支配的であるため、風騒音の低減はとても重要である。そこで新型CX-9では、風騒音の音源となる空力騒音の低減に注力して開発した。次節では空力騒音を低減した事例を述べる。

7.2 空力騒音低減技術

車室内の静粛性に寄与する空力騒音の音源は複数あり、その寄与度は距離減衰と透過損失によって変化する (Fig. 14)。そこで、それらを明確にしたところ①ボンネット後端部からワイパー、②Aピラーからルーフ周り、③ドアミラー形状、④B・Cピラーガーニッシュの4か所に注力して開発を進めることとした。まず①のボンネット後端部

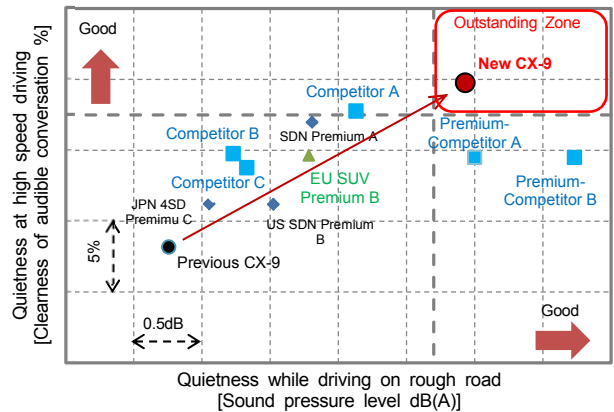


Fig. 13 Quietness Chart

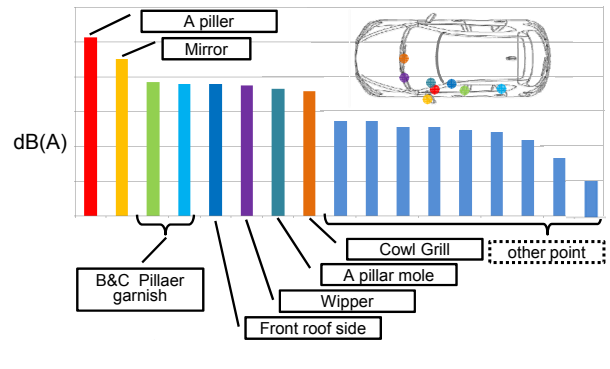


Fig. 14 Sound Pressure Level Transferred from Exterior Regions to the Driver Position

はワイパーへ風が衝突し音が発生するため、衝突による音の発生を抑制すべくワイパーを最適配置した (Fig. 15)。②のAピラーについては、先端で剥離した流れが渦となることで音が発生するため、魂動デザインを損なうことなくAピラー先端部の形状を最適化し、Aピラーとドアサッシュ段差による渦も抑制すべく段差を最小化した。更に、Aピラーとルーフの隙にマツダ車初となるリップ付モールを採用し、段差と隙間による風切音の発生を抑制し、Aピラーからルーフ周りにかけての縦渦発生を抑制した (Fig. 16)。③のドアミラー形状については、ミラーの後流渦により音が発生するため、ミラーヘッド外側からの巻き込み渦の抑制とミラー上下左右での流れの収束をミラー外形のデザイン性を生かしながら最適化した (Fig. 17)。④のB・Cピラーガーニッシュは前後の端部で風の乱れによる音が発生するため、端部断面に角度をつけることで剥離を抑制した。これら各部位ごとの最適化により、フロントウィンドウ周りの空力騒音の音源を旧型CX-9からFig. 18に示すように低減し、高い静粛性の実現に貢献した。

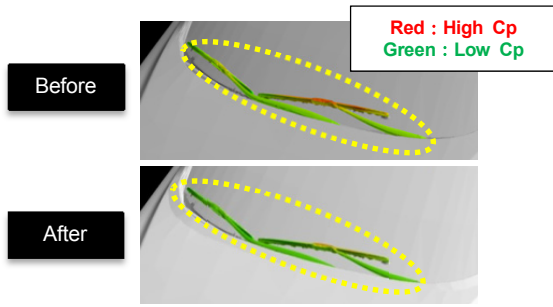


Fig. 15 Surface Pressure around Wiper

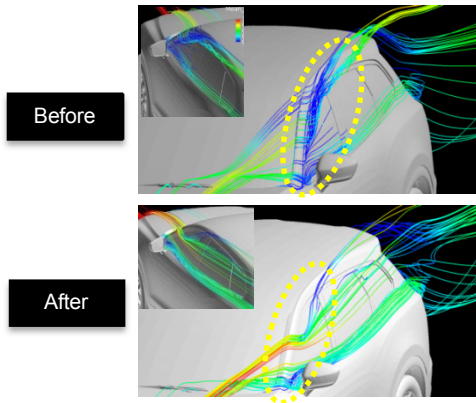


Fig. 16 Flow Streamlines Around Upper Design

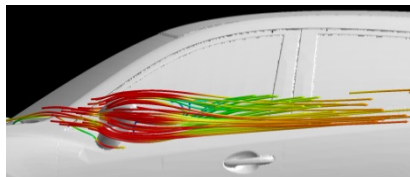
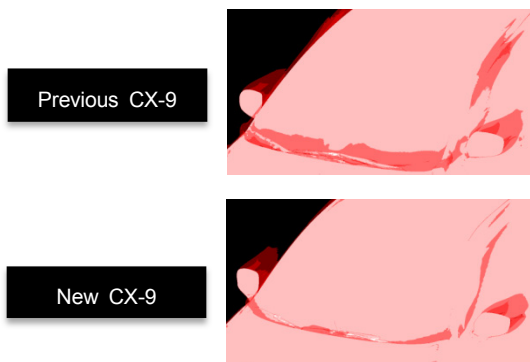


Fig. 17 Flow Streamlines Around Optimized Mirror



Sound source of each part

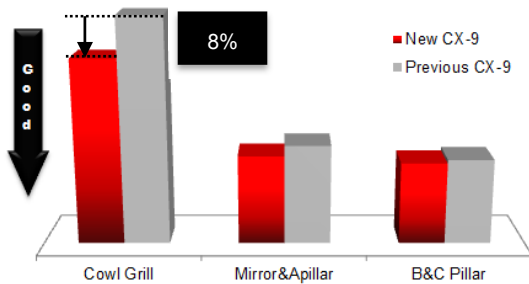


Fig. 18 Aerodynamics Noise CFD Result

8. まとめ

新型CX-9の開発は、デザイナー・設計者と密にコミュニケーションをとりながら共創し、新たな風流れ制御技術を織り込むことで旧型CX-9比11%の大幅な空気抵抗低減と魂動デザインを両立させ、クラストップレベルの空力性能を実現した。また、お客様が“安心／快適”を感じられる卓越した静粛性の実現にも貢献することができた。今後の開発においても飽くなき挑戦を続け、走る歓びと優れた燃費性能、魂動デザインを空力性能によりブレイクスルーさせ、より良い商品をお客様へ届けていきたい。

参考文献

- (1) 中田ほか：新型デミオとCX-3の空力性能開発，マツダ技報，No.32，pp.85-92(2015)
- (2) 木村ほか：SKYACTIV-ボディ，マツダ技報，No.29，pp.61-67 (2011)
- (3) 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)

■ 著 者 ■



油目 雅史



中田 章博