

2014 年モデル FIT の空力開発

Aerodynamic Development of 2014 Model Year FIT

町 田 健太郎*

Kentaro MACHIDA

村 川 淳*

Atsushi MURAKAWA

金 子 宗 嗣*

Munetsugu KANEKO

小 川 厚*

Atsushi OGAWA

小 只 輝 将*

Terumasa KOTADA

要 旨

ABSTRACT

2014 年モデル FIT の空力開発において、2008 年モデル比で空気抵抗を約 7% 低減し、ハッチバックカテゴリで世界トップクラスの低 CD 値を達成した。デザイン領域とプラットフォーム領域の風洞テストおよびシミュレーション結果を基に高い空力性能を有する車体の具現化をおこなった。エクステリアデザイン領域では、内製 CFD システムを活用し、スケールモデルテストを補完しながら空力的な形状最適化を進めた。プラットフォーム領域では、CFD 解析により流れ場を分析し、その空力性能向上の方向性を定め、詳細形状の最適化をおこなった。車体後流での全圧損失を抑制するためには、エンジンルームを含む車体フロントまわりとリヤエンド部それぞれの流速と圧力分布を均一化することが重要であるとの知見が得られた。

Aerodynamic development of the 2014 model year FIT achieved an approximately 7% reduction in aerodynamic drag compared to the 2008 model, giving it among the world's lowest drag coefficients in the hatchback category. Based on wind tunnel testing and simulation results, a vehicle body with high aerodynamic performance was realized. The Honda-created CFD system was used for the exterior design development, helping to optimize aerodynamic shape while supplementing scale-model testing. For the platform development, CFD analysis of the flow field established a direction for enhancing aerodynamic performance and helped optimize the shape in detail. From this process, it was confirmed that to inhibit total pressure loss in the vehicle wake, it is important to ensure uniform flow velocity and pressure distribution in the vehicle front (including the engine room) and rear end.

1. はじめに

自動車による地球への環境負荷を低減するため、車体の空気抵抗低減により燃費向上や排出ガス削減に貢献することは重要である。したがって空気抵抗係数 (CD 値) と車体前面投影面積 $[A (m^2)]$ を乗じた空気抵抗 $(CD \cdot A)$ を低減することが空力開発における重要な目的となる。しかしながら近年のハッチバック車の開発では安全性、居住性、荷室容量など商品性向上のため、車体のダウンサイズ化には大きな制約がある。一方で CD 値を低減するための車体形状の変更についても、エクステリアデザインとの両立の観点からおのずと限界がある。よって CD 値低減を進めるため

には、開発対象となる車体における空力改善要素を効率よく抽出し、その対応を衝突安全性、視界、パッケージングなどの他機能といかに両立させるかが課題となっている^{(1), (2)}。この制約下では、車体まわりの流れ場を CFD シミュレーションで解析し、CD 値低減の方向性を定めることが有効である。また、デザイン部門と設計部門と共同で空力性能の定量的効果を確認しながら CD 値低減目標を達成するアプローチが効率的と考えられる。2014 年モデル FIT (新型 FIT) の開発においては、従来の風洞テストとフルビークル CFD に加えて、内製 CFD システム Flow Analysis Simulation Tool (FAST)⁽³⁾ を活用し、デザイン、他機能との両立を図った。

*四輪 R&D センター

本報告では、新型 FIT の空力開発過程でわかったハッチバックの特徴的な流れ場を示しながら、世界トップクラスの低 CD 値を達成した手法を紹介する。

2. 開発のねらいと目標

Fig. 1 に 2008 年モデル FIT (先代モデル) を含む B セグメントハッチバックの CD 値の変遷を示す。CD 値は先代モデルを基準とした各車との比で表している。これらの分布はすべて弊社実車風洞において計測した数値である。新型 FIT 開発スタート時のねらいは、燃費性能の向上に寄与する車体の低 CD・A 化と、同一セグメントにおける世界トップクラスの空力性能をお客様に提供することであった。ただし前提条件として、FIT の強みである広い室内空間を保持しながら、デザインモチーフであるワンモーションフォルム、フォワードキャビンフォルムと空力性能をそれぞれ両立させる必要があった。

これらの条件下で新型 FIT は A を縮小しない、すなわち CD 値の低減のみによって低 CD・A 化を図ることとした。

そこで、空気抵抗低減による燃費向上と、車体性能を決定する種々の影響因子とを高次元にバランスさせながら、取り組むべき空力改善案を絞り込んだ。開発初期段階でリストアップした新型 FIT の空力取り組み項目を Fig. 2 に

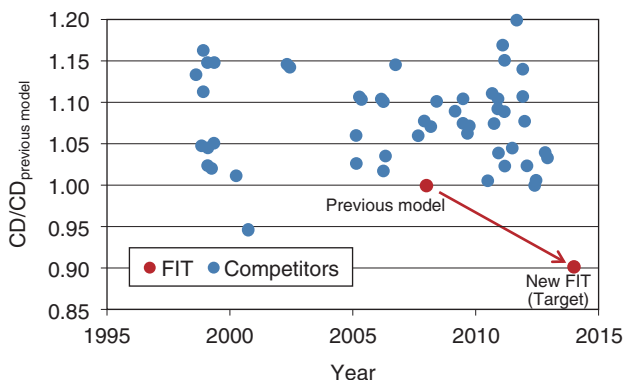


Fig. 1 CD history of B-segment hatchback

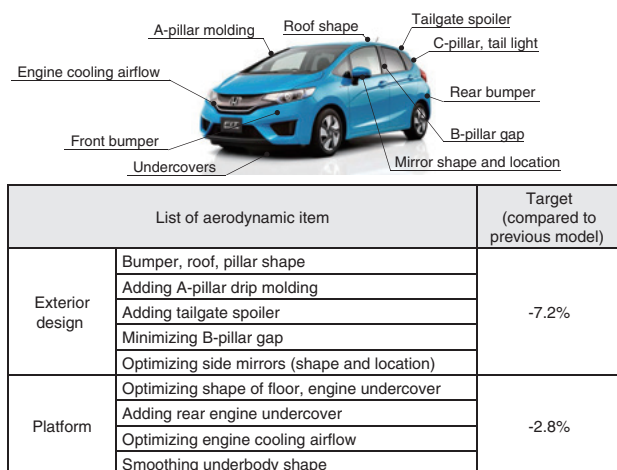


Fig. 2 List of aerodynamic items of new FIT

示す。ここでは、エクステリアの意匠にかかわる部分をデザイン領域とし、フロントグリル、バンパを含むエンジンルームとアンダフロアをプラットフォーム領域としている。これよりトータル CD 値の目標値を定め、その確からしさを評価しながら開発をおこなった。

3. 新型 FIT の空力現象解析

Fig. 1 に示すように、先代モデルにおいても空力性能は B セグメントハッチバックでトップクラスの位置づけである。新型 FIT でさらに空気抵抗を低減するために、先代モデルの開発完了直後から CFD シミュレーションで空力現象を解析した。その結果をデザインや設計等の関連部門と共有し空力最適化の方向性を定めた。

以下、デザイン領域とプラットフォーム領域について新型 FIT の空力的な特徴について紹介する。なお、本稿では Fig. 3 のように車体の前後方向を X 軸、左右方向を Y 軸、上下方向を Z 軸と定義する。

3.1. デザイン領域

新型 FIT では FAST を初めて開発に適用した。これはエクステリアデザインデータとあらかじめ定型化されたプラットフォームデータを自動結合し空力シミュレーションをおこなうシステムである。このため開発に携わるデザイナーや空力担当者でも効率よく計算をおこない相互に結果を共有することが可能である。

デザイン先行検討段階では、多数のデザイン案について解析をおこない、先代モデルと比較した。Fig. 4 は各デザイン案に対する空力検討の結果の一例である。ここではデザイン部門より提供されたモデルおよびそれらに空力向上



Fig. 3 Definition of coordinates

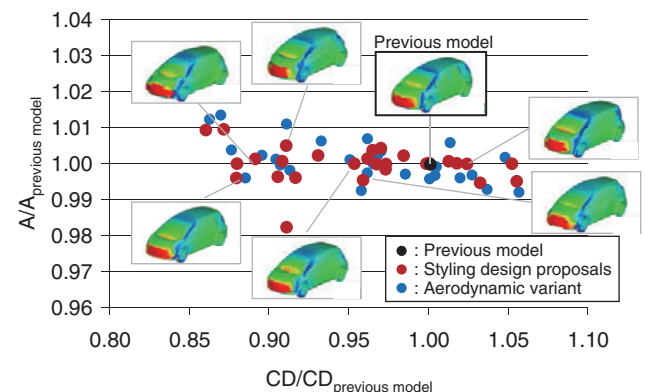


Fig. 4 Simulation results on styling development phase

提案の形状を反映したモデルを用い解析をおこなった。この段階はデザイン案を絞り込むことではなく空力改善要素を抽出することが目的であった。

この解析から、先代モデルに対し低 CD 値となるモデルに共通する要素のうち、形状変更に対する CD 値変化の感度が高いフロントバンパ、ルーフ、C ピラーサイド面の各形状の特徴を絞り込んだ。Fig. 5 に先代モデルおよびこれら各部位での空力要素を盛り込んだ新型 FIT の表面圧力分布を示す。フロントバンパについてはコーナ部で急激な圧力変化を避けるために流れ方向の側面長と曲率半径を大きくした [Fig. 5(a)]。またルーフ形状は先代モデルに対してサイドビューのピークを前方にし後方に向かって徐々に圧力が高まる形状とした [Fig. 5(b)]。これはフォルムに躍動感を感じさせたいデザイナーの方向性とも合致した⁽⁴⁾。先代モデルでは C ピラー形状の影響により側面からの流れが車体背面に巻き込みやすくなっているため、この部分で強い負圧のピークが発生している [Fig. 5(c)]。このため新型 FIT では後端末の形状をダウンビューで外側に向くような処理をおこない、この負圧ピークを弱めた。フロントバンパ、ルーフ、C ピラーはいずれも局所的な圧力勾配変化を小さくし、車体の後端末での圧力レベルの一致をねらっている。同時にその周辺での気流速度の向きを X 方向へ整流する形状とした。この結果、車体背面での圧力が上昇していることがわかる [Fig. 5(d)]。

これらの空力改善要素をデザイナーが新型 FIT のデザインに活かすことで空力性能との両立が図られた。

車体表面での圧力分布を定量的に比較するため、Fig. 6 に新型 FIT と先代モデルの X 軸に沿った圧力分布を示す。

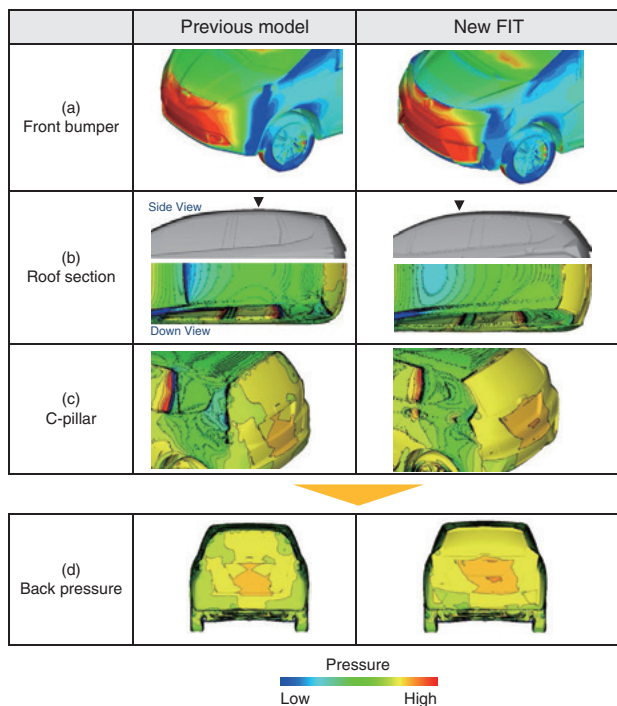


Fig. 5 Surface pressure comparison of previous model and aerodynamically optimized styling

Fig. 6(a) は車体中心断面でのルーフとリヤゲート面の圧力分布である。新型 FIT の方が X 方向の圧力分布の変化が緩やかであり、ルーフ上での圧力も高い。これはルーフピークが前方になっていることで、流れに沿って圧力が上昇する距離を大きくとれるためである。これにより車体背面の圧力も上昇している。Fig. 6(b) は C ピラー中央高さ断面での圧力分布である。前方のサイドウィンドウ面の圧力は先代モデルと同レベルであるが、後方の C ピラーにおいては負圧のピークが小さくなっており、その勾配も低い。また、新型 FIT においてルーフと C ピラーの圧力レベルが近くなっていることも確認できる。これらより、先行検討で抽出した車体表面の圧力分布を均一にするエクステリアデザイン形状のねらいが実現できていることがわかる。

Fig. 7 は新型 FIT の 25% スケールモデルを用いた風洞テストにおける開発全体での総計測回数と CD 値の関係を示したものである。図中の一つの点が一つの形状案別を表している。開発ではトータル 2000 回以上のテストをおこなってきたが、FAST を多く活用した初期段階の空力最適化形状にて目標レベルは達成している。その後のテストの大部分は空力とエクステリアデザインおよび設計、生産技術性との成立性を検討することを目的におこなわれたが、FAST を用いて得られた空力改善点を新型 FIT に反映することで、効率よく目標レベルに到達する形状を提案することができた。

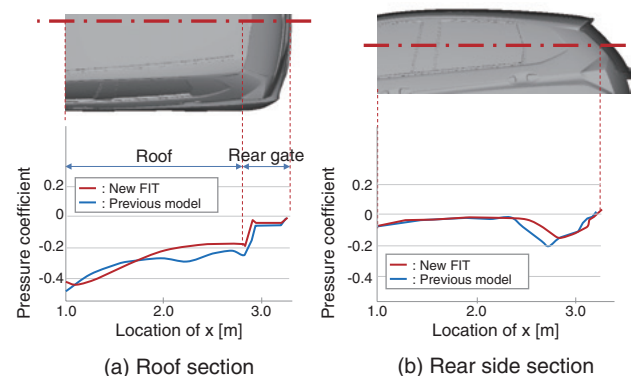


Fig. 6 Pressure coefficient on roof and rear side section

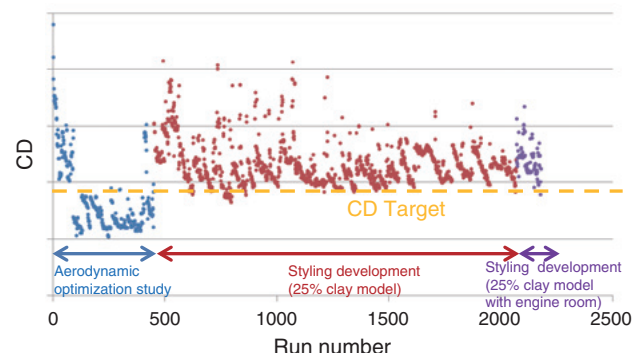


Fig. 7 CD history on wind tunnel tests

3.2. プラットフォーム領域

プラットフォーム領域において、新型 FIT で検討した床下デバイスと先代モデルとの比較を Fig. 8 に示す。アンダフロアのカバーについて、フロントサブフレーム後方にカバーを追加し、エンジンルームからの流れを整流した。また、アンダフロア後方の特にリヤサスペンションビーム周辺の全圧損失低減をねらってカバー面積を拡大し、さらなる空力向上をねらった。

これらの空力デバイスは仕向け地ごとに目標とする燃費とコストにより必要性を検討し、設定した。

プラットフォーム領域の空力開発にあたって、先代モデルでのシミュレーション結果をもとに空力影響の大きい部位を抽出した。ここでは、特に効果の大きいフロントフロア周りの流れ場とその空力改善手法について述べる。

Fig. 9 に先代モデルのフロントホイールセンタ位置の YZ 断面での圧力 (左側) および速度分布 (右側) を示す。ここで車体の側方とアンダフロアの圧力に着目すると、ホイールハウス近傍 [Fig. 9(A)] の圧力が、アンダフロア [Fig. 9(B)] に対して低くなっていることがわかる。この圧力差に

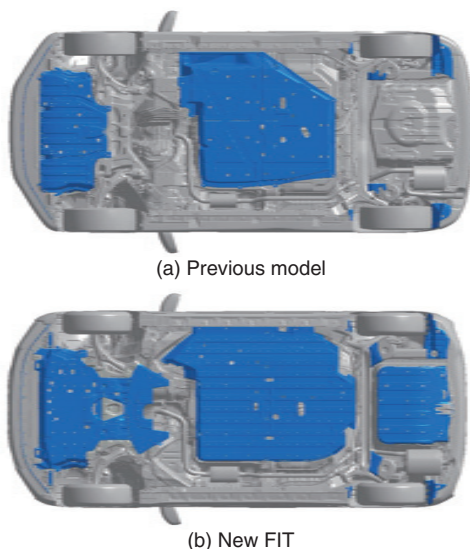


Fig. 8 Underbody covers

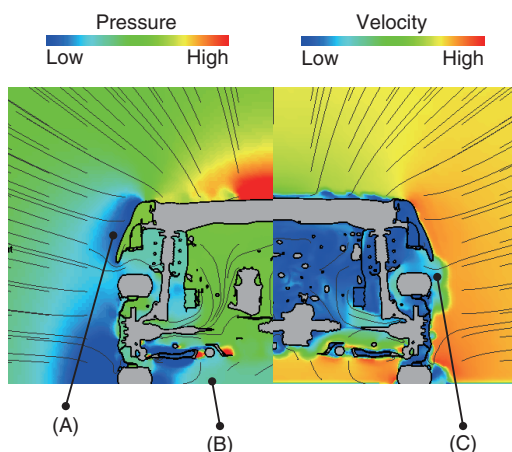


Fig. 9 Pressure (left) and velocity (right) contours at front wheel center section

よってアンダフロアからフロントホイールハウス側へのエネルギーの小さな流れ [Fig. 9(C)] が車両側方に導かれる。この流れは車両後方での全圧損失増大をまねき空気抵抗を増加させる。これはバンパコーナとアンダフロアの圧力差から生じる作用であり、フロントホイールハウスからの流出による全圧損失を抑制するためにはこの圧力差を小さくすることが必要である。

Fig. 10 に先代モデルの表面圧力分布を示す。FIT は初代モデルより MM 思想に基づいたフロントオーバーハングが短いフォルムを特徴としており、このためフロントホイールエッジ [Fig. 10(A)] 近傍で強い負圧が生じている。したがって、相対的にアンダフロアとの圧力差が大きくなり、ホイールハウスからの流出の影響が大きくなっている。これを抑制するためには、エクステリアデザイン形状の最適化によりフロントバンパでの負圧を減少させるとともに、フロントアンダフロアでの圧力を下げることが FIT のようなハッチバックでは効果的である。なお、初代モデルより FIT で採用されているチンスポイラ (エアダム) はこの作用をねらって装着されている。

これらの先代モデルを用いた解析結果をもとに、新型 FIT ではフロントアンダフロアでの負圧をさらに強めるために、エンジンアンダカバー先端に曲率のある突起を設けた新形状を採用した (Fig. 11)。フロントバンパ下端からの流れがこの小さい曲率半径をもった前縁を回りこむ際に加速されるため、この領域で負圧のピークが生じる。Fig. 12 に新型 FIT と先代モデルとの床下圧力の比較を示すが、新

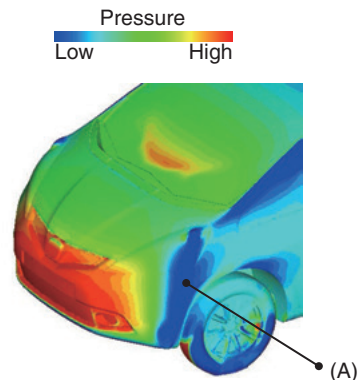
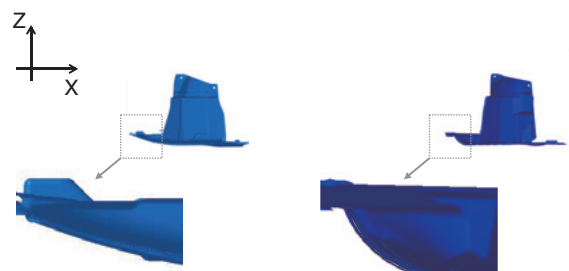


Fig. 10 Low surface pressure region at front bumper corner (previous model)



(a) Previous model

(b) New FIT

Fig. 11 Shape of engine undercover

型 FIT ではよりアンダカバー下の負圧が強められていることがわかる。アンダフロアとフロントバンパとの圧力差を比較するために、X 軸に沿ったそれぞれの圧力の分布を Fig. 13 に示す。新型 FIT ではエンジンアンダカバーのある領域で Fig. 12 に示したように負圧が強められている。エクステリアデザインの最適化によりフロントバンパコーナでの圧力のピークも先代モデルに対して緩やかであり、結果としてフロントセクションでの側面と床下の圧力差が小さくなっている。

Fig. 14 に新型 FIT と先代モデルとのアンダフロアの車体中心断面における流速分布を示す。フロントまわりの圧力差低減の効果によりアンダフロアでの全圧損失も減少しており、ほぼ全域で新型 FIT の方が流速が高くなっていることが示されている。

車両側方の全圧損失の断面図を Fig. 15 に示す。ここでは流れがエネルギーを失っている領域が赤色で示されている。先代モデルに対して新型 FIT は特にフロントホイールハウスからの流出が抑制されており [Fig. 15(A)], 車両後方での損失領域も小さい。これは Fig. 13 で示されているフロントセクションでの圧力の均一化の効果によるものである。

フロントまわりの空力改善について、これらの検討に加えエンジンルーム通気抵抗（クーリングドラッグ）低減にも

取り組んだ。クーリングドラッグ低減のためにはフロントグリルから取り込む流れを効率よくラジエタ等の冷却機器に導き、その流量を必要最小限にすることが重要である。このため導風板を設定してエンジンルームから床下や車両側方に流出する余剰な空気を抑制し、冷却効率を高めた (Fig. 16)。その結果、グリル開口を最適化することによってクーリングドラッグを先代モデル比で 19% 削減した。

これらの検討結果をもとに新型プラットフォーム開発をおこない、車体領域として空気抵抗低減を図った。これらの結果は同様のプラットフォームを用いる FIT 派生車種にも活かされた。

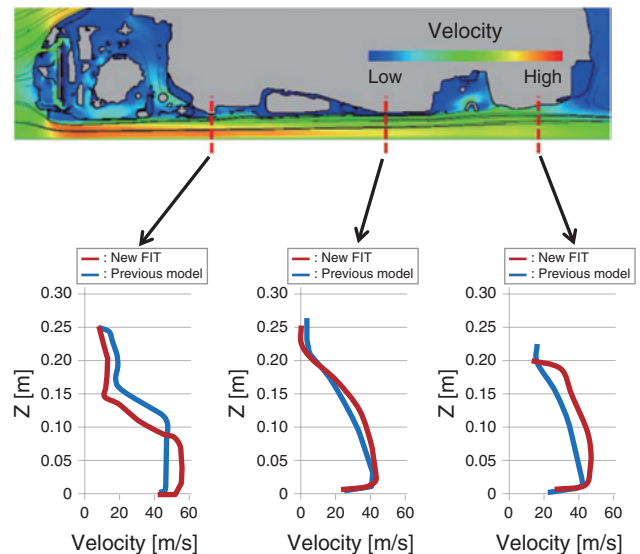


Fig. 14 Flow velocity on underfloor section

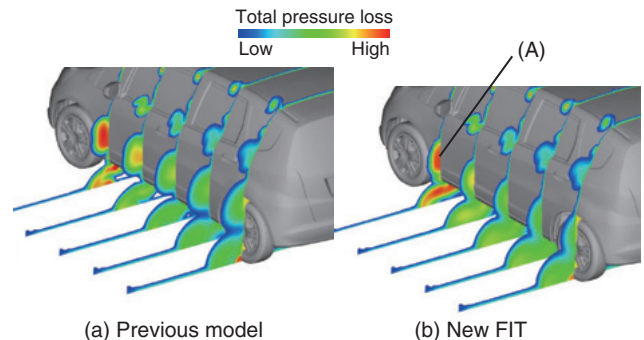


Fig. 15 Total pressure loss comparison of new FIT and previous model

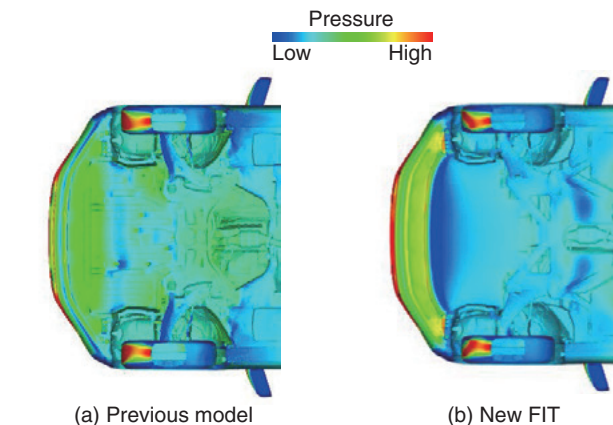


Fig. 12 Surface pressure distribution on engine undercover

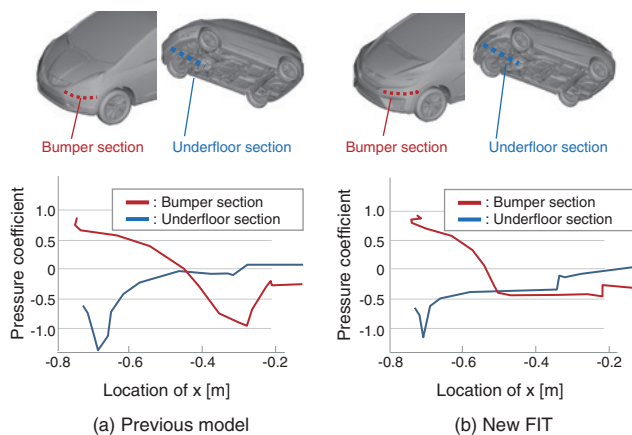


Fig. 13 Pressure coefficient on front bumper and underfloor

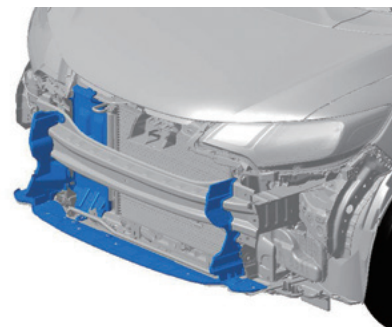


Fig. 16 Air guide devices in engine room

3.3. 車体後流の比較

車体に働く空気抵抗の要因は、流れのはく離に伴い車体後流での全圧損失が増大することと、車体表面の圧力差により Y, Z 方向の速度成分が誘起され、縦渦 (X 方向に軸を持つ渦) が強められることに大別される。つぎの項でこれらに着目し新型 FIT の車体後流を先代モデルと比較する。

3.3.1. 全圧損失の分布

車体後流 YZ 断面における全圧損失の分布を Fig. 17 に示す。この図は、車両背後で赤色の領域が小さくなること、そのレベルが低くなることで全圧損失が小さくなることを示している。

新型 FIT の車体後流では、A ピラー段差の影響による全圧損失 [Fig. 17(A), (A')] が減少している。これは A ピラーに新規設定したピラーガーニッシュの効果と考えられる。また車体サイド部において、フロントホイールハウスからの流出を低減する新型プラットフォームの効果により、損失領域が縮小している [Fig. 17(B), (B')]. その一方で、車体中心付近においては新型 FIT の方が損失が大きい [Fig. 17(C), (C')]. これは新型 FIT は先代モデルに比べルーフ後端からの下向き流れ (吹き下ろし) が車体中心部で抑制されているため、この領域では流速が小さいことによる。

新型 FIT と先代モデルとの差異を明確にするために、Fig. 18 に車両 5 m 後方の YZ 断面での全圧損失の差分を示す。ここでは新型 FIT が先代モデルに対して全圧損失が小さい領域、すなわち車体後流での損失が少なくなり低 CD 化に寄与している部分が青色で示されている。本図より、A ピラー [Fig. 18(A)] およびサイド部 [Fig. 18(B)] において新型 FIT の全圧損失が小さく、断面全体での損失が低減していることがわかる。これより全圧損失の低減による空力改善要素として A ピラーと車体サイドが主に寄与していることが確認できる。

3.3.2. 縦渦の分布

Fig. 19 に新型 FIT と先代モデルでの後方 YZ 断面における X 軸まわりの渦度の分布を示す。図中で赤が反時計回り、青が時計回りの渦度が大きいことを示している。A ピラーからの渦 [Fig. 19(A)] とともに、車体後方の一対の縦渦 [Fig. 19(B)] がみられるが、新型 FIT ではこれらの渦が小さくなっていることがわかる。これはデザイン領域でのルーフの前ピーク化、C ピラー位置、リッドライト端末形状の最適化により、車体表面の圧力分布が均一化され、車両後端での流れの巻き込みが抑制されたためである。

Fig. 20 に車体後方の YZ 断面における渦抵抗を示す。これは Y, Z 方向速度の 2 乗和に密度を乗じたもので単位面積あたりの運動量の次元を持ち、車両後方で流れが巻き込むことによる抵抗の大小を表している⁽⁵⁾。新型 FIT では Fig. 20 の (A), (A') に見られるように渦抵抗が小さくなっている。Fig. 21 はこの差分をとったものであり、ここでは新型 FIT が先代モデルに対して渦抵抗が小さく低 CD 化に寄与している領域が青色で表されている。新型 FIT は全領域で渦抵抗が抑制されており、特に車体中心においてその差異が大きい。これは先代モデルに対して車体表面圧力が均一化されたことで、結果としてルーフからの吹き下ろしとそれに伴う縦渦が弱められていることによる [Fig.

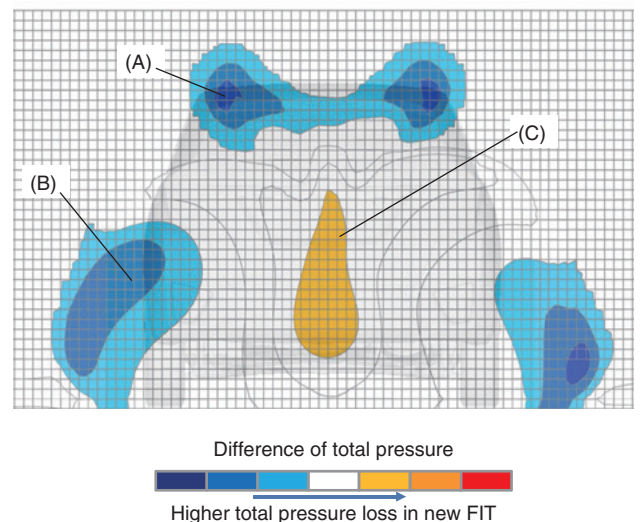


Fig. 18 Total pressure difference of New FIT and previous model

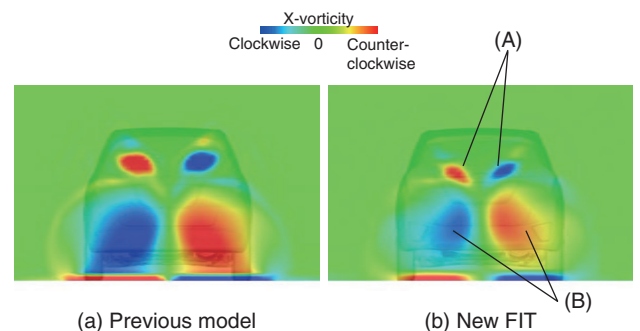


Fig. 19 Vorticity comparison of New FIT and previous model

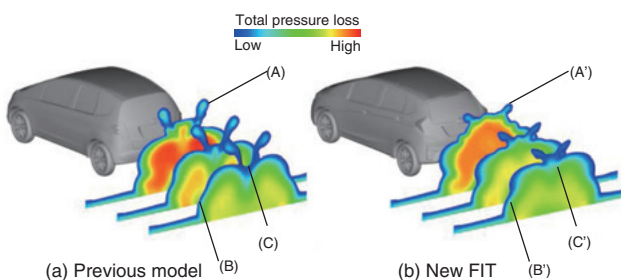


Fig. 17 Total pressure loss behind vehicle

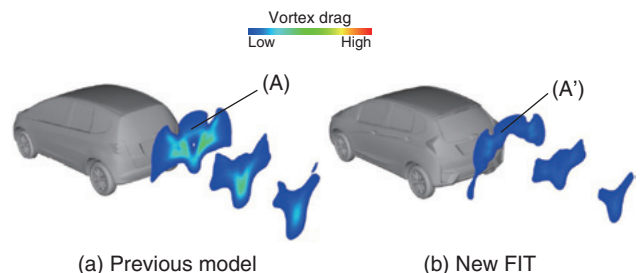


Fig. 20 Longitudinal vortex drag behind vehicle

21(A)). ここは全圧損失の増加と縦渦の抑制がトレードオフとなる領域であるが、Fig. 18 と Fig. 21 より、新型 FIT の方が全圧損失低減、縦渦の抑制ともにトータルで空気抵抗が小さくなっていることがわかる。

3.4. 新型 FIT の空力達成値

これまでに述べた新型 FIT の空力性能向上の取り組みに対して設計部門との綿密な連携をとり商品化検討をおこなった。この結果 CD 値の位置づけは Fig. 22 のようになり、目論見通り B セグメントハッチバックにおいて世界トップクラスの低空気抵抗値を達成した。結果、JC08 モード 36.4 km/l という高い燃費性能に貢献した。

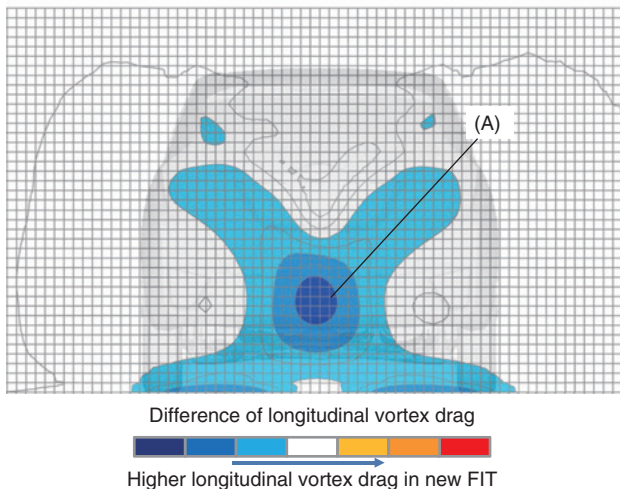


Fig. 21 Longitudinal vortex drag difference of new FIT and previous model

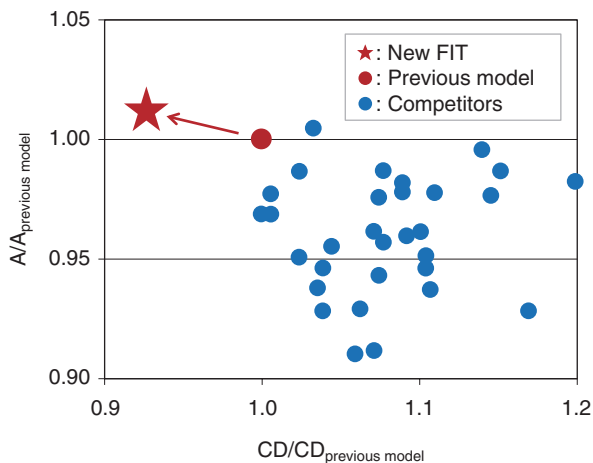


Fig. 22 Schematic of CDA

4. まとめ

新型 FIT の空力開発において、デザインとプラットフォーム各領域の先行研究の風洞およびシミュレーション結果を基に高い空力性能を有する車体の具現化をおこなった。

この結果は以下のようにまとめられる。

- (1) エクステリアデザイン領域において、CFD システムと風洞テストの効果的な運用により、車体まわりの流速、圧力分布の均一化とデザイン性を両立する形状を具現化した。
- (2) プラットフォーム領域において、エンジンルーム内ダクティングやアンダカバー形状を最適化することでフロントバンパ周辺の圧力を最適化し、デザイン領域の流れとの干渉を最小限に抑えた車体を開発した。
- (3) 上記のような空力車体の開発技術により先代モデル比で空気抵抗を 7% 低減し、JC08 モード 36.4 km/l という高い燃費性能に貢献した。

参考文献

- (1) 山崎博之, 土岐優美子, 村山俊之: 3 代目プリウスの空力特性向上技術, Toyota Technical Review, Vol.57, No.1, p.20-26(2010)
- (2) 大平洋樹, 岡本哲, 中藤博文, 賀谷守, 植松徹, 松岡秀典: 新型マツダアテンザの空力性能開発, マツダ技報, No. 26, p.65-70(2008)
- (3) Takiguchi, T., Ogawa, K., Tateyama, H., Oda, T: The Automatic Aerodynamic CFD Framework Employing Vehicle Specifications at the Concept Stage of Development, SAE Technical Paper 2013-01-0604(2013)
- (4) 北島義也, 村川淳: 新しい Honda デザインの考えに基づいた 2014 年モデル FIT のデザイン, Honda Technical Review, Vol.26, No.1, p.1-10
- (5) Hucho, W., Sovran, G.: Aerodynamics of Road Vehicles, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 25, p.485-537(1993)

著者



町田健太郎



金子宗嗣



小只輝将



村川 淳



小川 厚