

2013年モデル Accord および Accord Hybrid の空力開発

Aerodynamic Development of 2013 Model Year Accord and Accord Hybrid

中 村 大 輔*
Daisuke NAKAMURA

大 西 康 之**
Yasuyuki ONISHI

竹 原 由 泰*
Yoshiyasu TAKEHARA

要 旨

空力性能の指標である $CD \cdot A$ の向上は、燃費向上の一因となっている。2013 年モデル Accord は、前モデル Accord に対して、LX グレードで $CD \cdot A$ を 1.3% 向上させ、Accord Hybrid では、前モデル Accord EX グレードに対して、 $CD \cdot A$ を 8.3% 向上させた。空力開発に先立ち、前モデル Accord を用いた車体周りの流れ場の現象解析をもとにパラメータスタディをおこない、空気抵抗低減に繋がる要素を開発開始前のパッケージデザインに反映した。空力開発においては、25% スケール詳細モデルを用いて、デザイン室と合同で風洞テストをおこない、エクステリアデザインにおいて空力性能を向上させた。また、床下空力デバイスについては、詳細モデルに加えて、CFD、ローリングロード付風洞などのツールを用いて、空力性能の最適化をおこなった。

ABSTRACT

Improvement of the $C_D A$, which is an index of aerodynamic performance, is one factor in improving fuel economy. Honda has achieved a 1.3% enhancement in the $C_D A$ of the LX grade of the 2013 model Accord relative to the previous model, and an 8.3% enhancement in the $C_D A$ of the Accord Hybrid relative to the EX grade of the previous model Accord.

Based on an analysis of the phenomenon of the flow field around the car body, parameter studies were conducted using the previous model Accord before beginning aerodynamic development. Aerodynamic features contributing to the reduction of air resistance were applied to the package design before development was begun.

During aerodynamic development, aerodynamic performance of the exterior styling was enhanced through wind tunnel testing using 25%-scale detailed models, conducted jointly with the Styling Design Office.

The aerodynamic performance of the under-floor aerodynamic devices was optimized using CFD, a wind tunnel with rolling road, and other such tools in addition to the detailed model.

1. ま え が き

走行中の抵抗を減らすことは、燃費向上や排出ガス削減に貢献することができ、自動車による地球環境への負荷を低減するために重要である。

Accord においては、1 台における抵抗低減が微量であっても、1 モデルサイクル当たりの販売台数が、約 200 万台となるため、地球環境への負荷低減に果たす割合は必然的に大きくなる。

走行抵抗には、空気抵抗、転がり抵抗、勾配抵抗、加速抵抗があるが、速度の 2 乗に比例して増加する空気抵抗は、2013 年モデル Accord (新型 Accord) の 100 km/h 走行時において、走行抵抗の約 75% から 80% を占める。そこで、空力性能では、形状の細部にまでこだわり、車体の空気抵抗係数 (CD 値) と車体前面投影面積 A (m^2) を乗じた $CD \cdot A$ を低減することで、走行抵抗を低減する必要がある。

他方で、居住空間、荷室容量、衝突安全性能など、自動車としての商品性のために必要な領域と容積が存在し、小型化を伴う面積 A の低減には制限がある。加えて、それらを内包するエクステリアにおいても、商品性として優先されるデザインに CD 値を低減させる形状を織り込んでいくために、空力形状の反映には限界がある^{(1),(2)}。

そこで、フルモデルチェンジにおいては、Computational Fluid Dynamics (CFD) を用いて車体周りの流れ場を解析し、空力性能向上要素を抽出することが有益である。その結果をもとに、Honda では、エクステリアデザイン部門と合同で風洞テストを繰り返しおこない、デザインに空力性能向上技術を反映している。

本稿は、先行検討における流れ場の現象解析結果から、空力性能に大きな影響を与える要素を紹介するとともに、新型 Accord の空力性能向上手法について紹介する。

* 四輪 R&D センター

** HONDA R&D AMERICAS, INC.

2. 空力開発のねらい

Fig. 1 に 3 BOX セダンカテゴリの空力性能を表す $CD \cdot A$ 分布図を示す。なおこれらの数値は、すべて弊社実車風洞にて計測した CD 値と前面投影面積 $A (m^2)$ を基に求められた分布である。

先行検討では、すでに空力性能がトップレベルにある前モデル Accord に対して、 $CD \cdot A$ を 7% 向上させるためには、どのような手法が必要かという観点で検討をおこなった。

また、開発段階においては、爽快、先進、上質のデザインコンセプトのもと、水平基調の 3 BOX プロポーションと空力性能との両立を図った。その上で、コスト、ウェイト等、さまざまな面で効率のよい空力パッケージを開発し、燃費性能を達成することを目標とした。

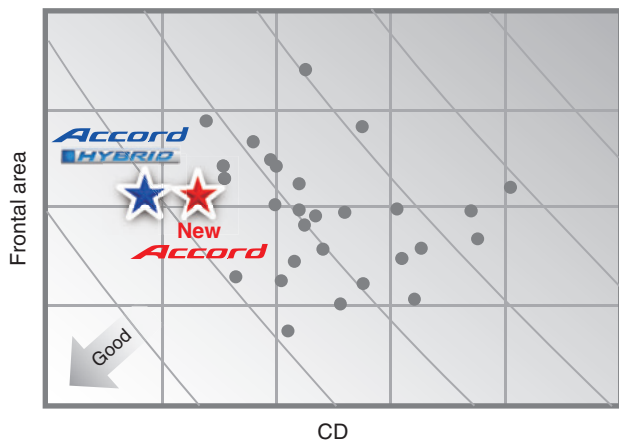


Fig. 1 $CD \cdot A$ distribution of 3box sedan category

3. エクステリア空力解析

新型 Accord の空力目標を達成する形状の方向性を探るため、前モデル Accord の 1/4 クレイモデルを用いて、現象解析およびパラメータスタディをおこなった。

車の開発は、車のコンセプトに見合った、全長、全幅、全高、および、乗員の配置、荷室の容量等、基本骨格を決めるパッケージデザインに基づいて展開される。そこで、空力への影響が大きく、パッケージデザインが決まった後では変更が難しくなる全体のフォルムに影響する部位に注力し、解析をおこなった。パラメータスタディでは、A ピラー周辺、サイド面絞り、トランク高さ、ミラー位置等、16 項目について、総計 500 回以上の案別計測をおこなった。

結果として、A ピラー周り、キャビンからサイドパネルの絞り、ルーフとトランクエンドの関係について、それぞれ他機能とのバランスを取りつつ、空力目標を達成できる変化量をエクステリアデザイン開発が開始する前にパッケージデザイン部門に提案した。

3.1. A ピラー周りについて

A ピラーでは通常、フロントガラスからキャビン側面に流れが回り込む際に、流れ方向に軸を持つ渦（縦渦）による抵抗が発生する。その縦渦は、Fig. 2 に示す渦 A のように、車体後流まで存在し、トランクエンドでの圧力の低下を助長する。それにより、車体側面からの回り込みが増加し、渦 B による縦渦抵抗を増加させる。そのため、空力性能の向上には、A ピラーで発生する縦渦を極力弱めることが重要となる。

基本的には、フロントガラスからサイドガラスへの流れをスムーズに流すことで、A ピラーで発生する縦渦を弱めることができる (Fig. 3)。そのためには、回り込みによる偏向量を小さくするための A ピラーのはさみ角の増加、回り込みの曲率変化を小さくするためのピラー幅の拡大、流れに対する段差を低くするためのドリップモールディング高さの縮小が有効である。

しかしながら、各要素は、視界、水処理、風切音や衝突安全性といった機能に影響を与えることになる。先行検討段階では、それらの機能を成立させる範囲の変化量で、A ピ

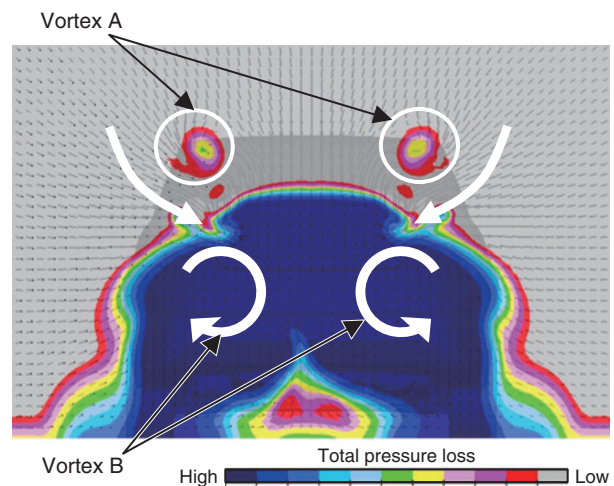


Fig. 2 A-pillar vortex on total pressure loss distribution

Upwash area by A-pillar vortex

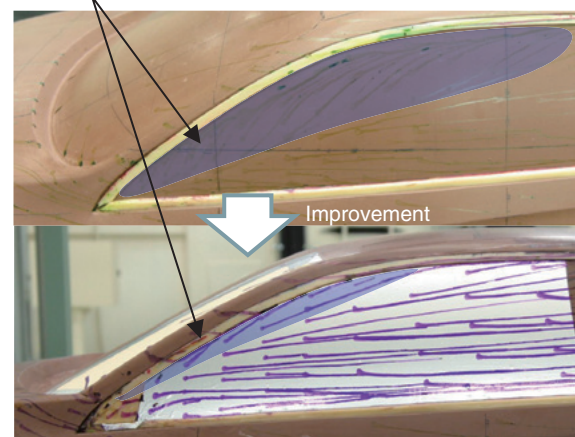


Fig. 3 Vortex improvement around A-pillar

ラーを内側に移動することではさみ角を増加、加えて、Aピラーモールド先端の曲率を大きくし、ドリップモルディング高さを仮想的に縮小することで、1.6%の空力性能向上形状を提案した。

3.2. キャビンからサイドパネルの絞りについて

流れを車体後端まではく離させないように車体側面後部を絞り込み、車体後流に発生する全圧損失域を減らすことで、空力性能を向上させることができる。また、絞り込みによって、Cピラーで発生するはく離渦や、トランク上面からの流れと車体側面からの流れの合流時に生じる縦渦抵抗も低減することができる。

しかしながら、サイドパネルについては、Fig. 4に示すようにタイヤの中央から、前側で30°、後側で50°の部分が法規でタイヤの露出が制限されている⁽³⁾。そのため、ほとんどの車種において、ホイールアーチが車体の最外側になっており、サイドパネル後部の絞り込みがホイールアーチより後ろ側の比較的短い範囲でおこなわれている。

先行検討段階では、最外側を車体中央のフロントドア付近にすることで、サイドパネル後部に向けてスムーズな絞り込みをおこなった。加えて、リヤトレッドを狭くすることで、ホイールアーチの後側50°部分も内側に入れ込み、空力性能向上形状を提案した。

また、キャビンについては、室内空間のためにBピラー位置を維持し、サイドガラスの曲率を強めることで、前出の内側に移動したAピラーと連続させた。さらにCピラーを内側へ移動させることで、空力性能に有利なバレルシェイプとし、1.9%の空力性能向上形状を提案した。

3.3. ルーフとトランクエンドの関係について

ルーフ後端で下方に偏向された流れがトランクの後方に流れ込み、圧力が低くなると、車体後流の縦渦が強くなることに伴って、抵抗が増加する(Fig. 5)。圧力を回復させ、縦渦を抑えるためには、トランク上面の後方延長および、高さを上げることが有効である(Fig. 6)。しかしながら、トランク上面の圧力が車体側面より極度に高くなると、トランクサイド後端では逆相の渦が発生し、渦抵抗の増加につながるため、形状変更量にはしきい値が存在する。

一方、トランクの高さは後方視界、トランクの後方延長は衝突時のリヤバンパストロークといった機能に影響を与

えるため変化量には制限がある。ルーフ後端の高さはトランクに向かう流れの角度に影響を与えるので、ルーフ後端高さや形状によって、空気抵抗を低減できる最適なトランク後端高さおよび位置は変化する。

後方視界に影響を与えないトランク高さでは、トランク後端をリヤバンパストローク限界まで、延長することで空力性能を向上し、ルーフ後端高さを下げることと合わせ、2.4%の空力性能向上形状を提案した。

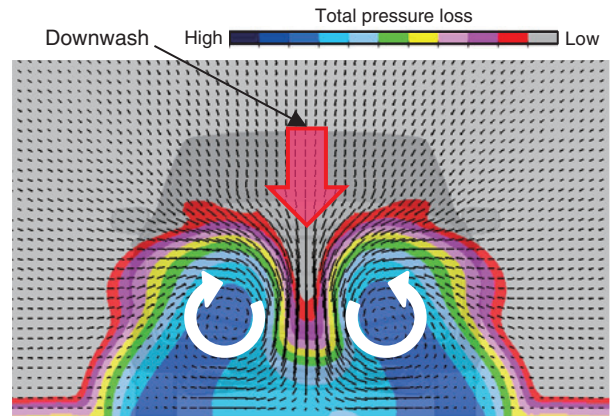


Fig. 5 Example of vortex caused by strong downwash at trunk end

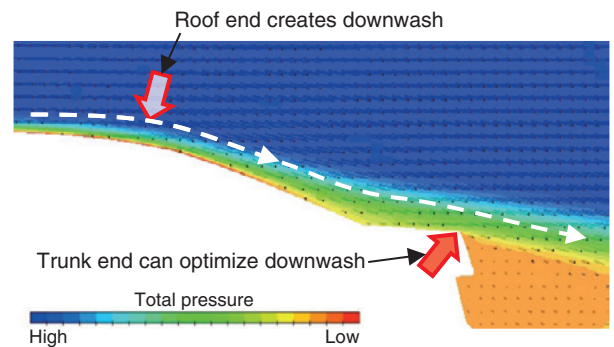


Fig. 6 Relationship between roof end and trunk end

4. エクステリア空力設計

先行検討で提案した基本骨格を取り込んだ開発においても、25%スケールのクレイモデルを用いて、デザイン性と空力性能を両立させるために、デザイン室と合同で風洞テストをおこなった。

風洞テストでは、新型 Accord のデザインが反映されたクレイモデルを用い、先行検討の結果をもとに、再度、細部を見直し、デザイン性を高めながら空力性能を向上させた(Fig. 7)。

Aピラーにおいては、内側への移動量を維持しながら、デザイン性向上のために前方に移動した。それによって、やや狭くなる視界は、Aピラーを細くすることで改善した。Aピラーを細くすることで、空力性能はやや低下するものの、

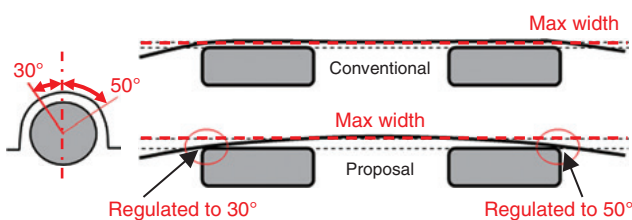


Fig. 4 Proposal of barrel shape to hide wheels

断面曲率変化の徹底的な見直しと、ドリップモーディング段差を縮小することで、A ピラー渦を弱めた (Fig. 8)。

キャビン側面は、居住性向上のために B ピラーを外側に移動させた。その際、ガラスの曲率を大きくすることで A ピラーの位置は外側に移動させず、バレルシェイプ化をさらに進めることができた。

サイドパネルの絞り込みについては、デザイン性と操縦安定性能との両立のためにリヤトレッドは縮小せず、リヤホイールアーチ周辺を外側へ膨らませた。しかしながら、車体中央からの絞込みを維持するために、フロントドア後端周辺が最外側となっている。トランクサイドにおいても、キャビン側面からの連続した絞込みをおこない、前モデル Accord と比べ、さらにバレルシェイプ化をおこなった (Fig. 9)。

ルーフ後端は、前モデル Accord よりも低く設定され、トランク後端は、前モデル Accord 同等の高さと位置に設定された。ホイールベースが 25 mm 短くなったことを考慮すると、トランク後端は、ルーフ後端に対して、相対的に延長された効果を得ている。また、トランク後端高さが視界性能の限界に近いために、トランク上面をダックテイル形状にすることで、後端面の角度を調整し、圧力回復を最適化した。さらに幅方向でもトランク後端高さを高く設

定しており、抵抗低減のみならずリヤリフトの向上にも役立っている (Fig. 10)。

以上の見直しの結果、キャビンからトランク、およびサイドパネルにおいての流れを改善することができた。それらの可視化の結果を Fig. 11 に示す。

全体的な形状寸法が決まった後に、1/4 クレイモデルから、エンジンルームを再現した詳細モデル (Fig. 12) に移行し、さらなる最適化を進めた。

詳細モデルは、冷却開口が開いておりエンジンルームからの排風が模擬されているので、床下デバイスの効果と合わせながら、エクステリアの空力最適化をおこなうことができる。特に、チンスポイラとの関係が重要なフロントバンパの下端形状や、床下からの流れの影響を受けるトランク高さの最適化をより実車に近い状態でおこなうことができた点が有益であった。

その他、エクステリアでは、フロントバンパコーナにおいて、流れがはく離を起こさずにサイドパネルに回り込む形状に最適化した。リヤバンパコーナにおいても、バレル

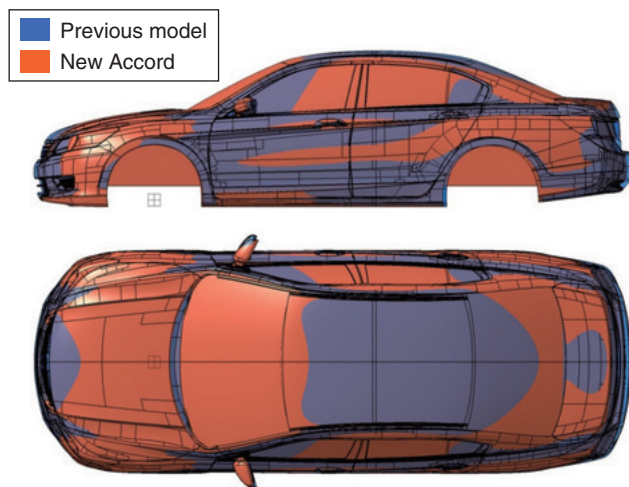


Fig. 7 Side and top view comparison between new Accord and previous model

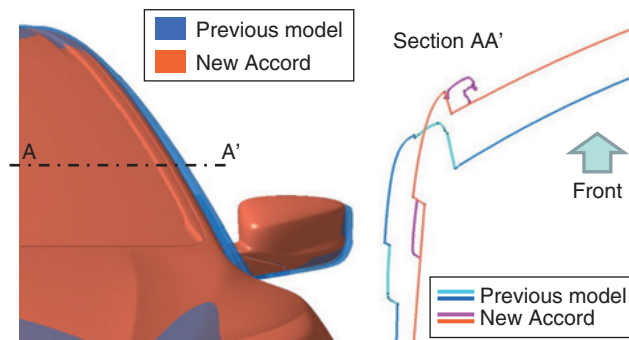


Fig. 8 A-pillar moved inboard

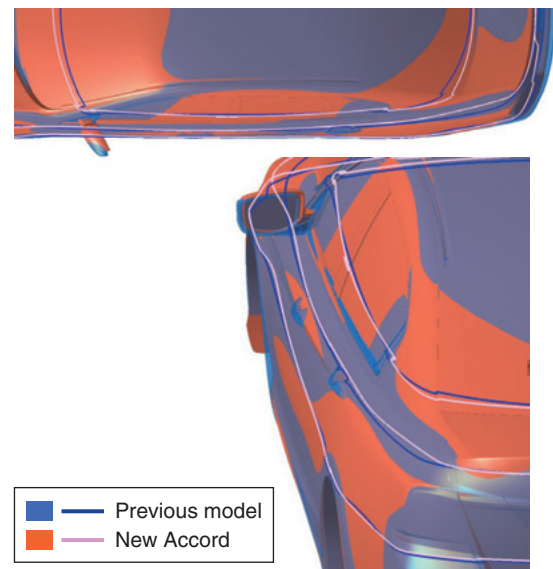


Fig. 9 Barrel-shaped cabin and body side panel

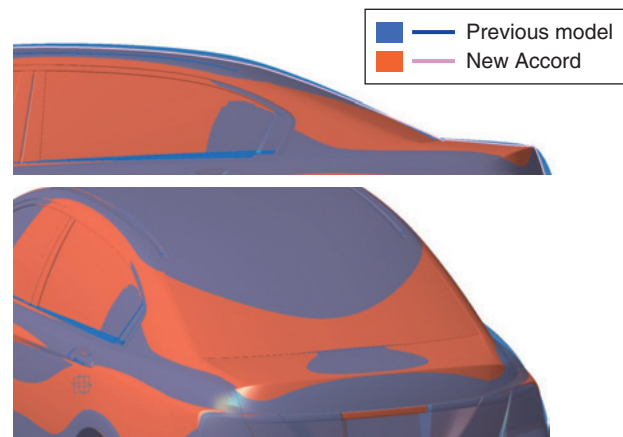


Fig. 10 Roof end and trunk height comparison

シェイプの延長で後部を絞り込んだうえで、車体背面に流れが巻き込まないように、はく離位置を安定させるエッジ形状をつける等の最適化をおこなった。

エクステリア空力設計における最適化は、細部にまでおよび、総計測回数は1000回を超えた。

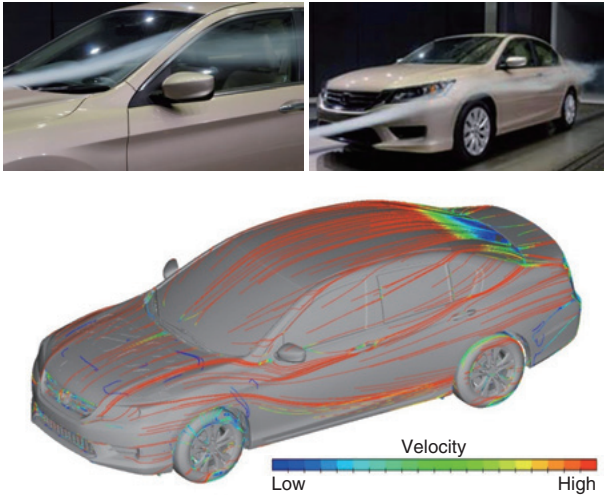


Fig. 11 Flow visualization of barrel-shaped body



Fig. 12 25% scale model with engine room and under covers for wind tunnel test

5. 床下デバイスの解析

床下デバイスによる抵抗低減は、床下を流れる空気をスムーズに流すこともさることながら、床下を通過した流れが車体後流の下向きの流れを低減し、縦渦構造を変化させ、渦抵抗を低減することで達成される。

先行検討においては、現在の設計手法で到達できるCD値のレベルを確認するために、最大面積のアンダカバーおよび床下デバイスを取り付け、CFDで検討することから開始した。

その結果をもとに、流れ場を解析することで、床下流れの改善に寄与している部分に注目し、効率の良いアンダカバーの範囲および形状の検討を進めた。

デバイスごとの効果を解析した結果、左右のリヤタイヤ間の圧力を下げることで、全圧損失域の低減と車体後部の渦抵抗を低減できることがわかった。

リヤタイヤ間の圧力を下げると、内側への偏向の影響で

リヤタイヤ内側の流れ場が改善し、リヤタイヤ後ろの全圧損失域が縮小する (Fig. 13). 車体後流には車体中央の吹き下ろしによる大きな渦 (Fig. 14 中の渦 A) が存在する。リヤタイヤ後ろの全圧損失域が小さくなったことで、渦 A と同相で、リヤタイヤ後ろに存在する渦 B が強化され、その渦 B がリヤバンパコーナ後部において渦 A を弱めることで、車体後部の表面圧力を回復させている。また、渦 A による吹き下ろしが弱くなることで、車体中央での床下からの吹き上げの角度が増加し、車体後流の縦渦を減少させている。

新型 Accord では、その流れ場を実現するために、リヤタイヤ前のエリアで圧力を低下させることを床下デバイスの設計方針とした。

リヤタイヤ間の圧力を下げるためには、リヤタイヤ間の流速を増加することが有効であると考えた。もともとリヤタイヤ前側中央にあるタンクの下面はフラットであるが、その下面は、樹脂製カバー類との地上高設定の違いにより最低地上高に配置することができない。

そこで、タンクバンド間にブリッジを設けることで、クリップ点を増やし、カバーを延長した。それによって、リ

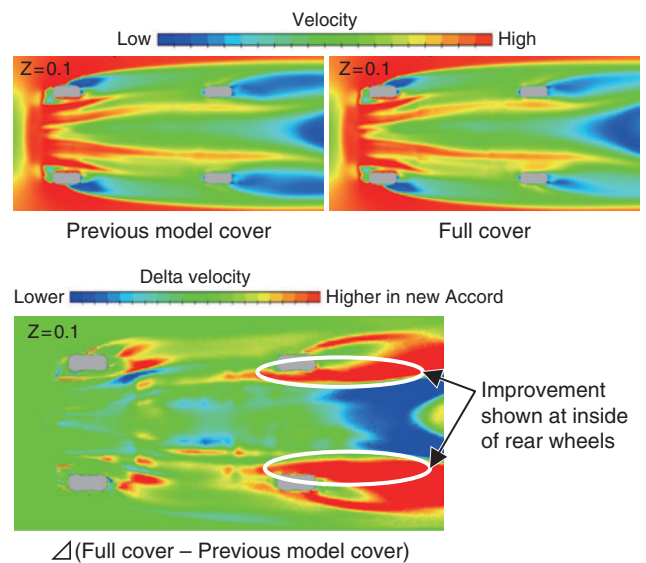


Fig. 13 Velocity distributions and delta velocity between full cover and previous model cover

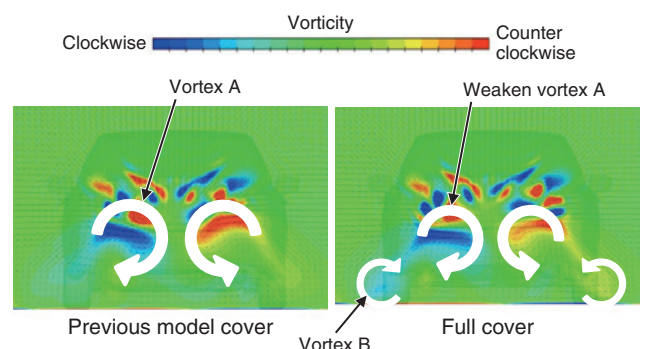


Fig. 14 Vorticity distributions between full cover and previous model cover

ヤタイヤ間の最低地上高に平面を配置し、流速を増加することで、圧力を低下させた (Fig. 15)。

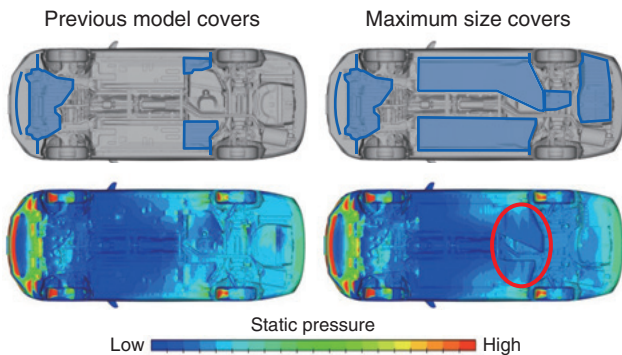


Fig. 15 Static pressure distributions

6. 空力デバイスの設計

6.1. 床下デバイス

CFD でおこなった先行検討をもとに、詳細モデルを用いて床下デバイス形状の最適化をおこなった。

現在の設計手法の最大面積で検討したデバイスをもとに、リヤタイヤ前のエリアで圧力を低下させるという設計方針を守りながら、留め付け点や強度が考慮された形状を反映した。カバーサイズの効率化や、フロアアンダカバーやリヤアンダカバーの先端形状の最適化などを、エンジンルーム排風を模擬した詳細モデルを用い、より実車に近い状態でおこなった。その結果をもとに、試作車に形状を反映し、加えて試作車においても、面積の拡大やカバーによる相乗効果について細部の改善をおこなった。

新型 Accord の開発においては、開発当初よりもエンジン性能改善による燃費性能の向上があった。そこで、燃費目標に合わせて、コストとウェイトを考慮した床下デバイスの採否判断がおこなわれた。

前モデル Accord と比べ、LX グレードにおいては、設計方針を反映したフロアアンダカバーの拡大をおこない効率良く、空力性能を向上した。この向上分によって、耐熱のためのアルミ化が必要だったエンジンアンダカバーを、前モデル Accord より縮小することを可能にし、アルミ化を回避しつつ、冷却耐熱性能も改善することができた。

Accord Hybrid においては、さらに高い燃費性能を達成するために、先行検討時のデバイスをほぼ採用し、空力性能を 2.5% 向上した (Fig. 16)。

6.2. 冷却開口のダクティング

エンジンルームの冷却のために、フロントグリルから空気を取り込む必要があるが、その流量にほぼ比例してエンジンルーム通気抵抗 (クーリングドラッグ) が増加する。

したがって、空力性能向上のためには、フロントグリル

から取り込む流れを必要最小限にすることが重要である。必要流量を最小限にするには、取り込まれた流れがラジエタ等、冷却の必要がある部分以外に流れず、効率よく冷却に使われるようにすることが有効である。そのために、新型 Accord においてはラジエタ全周に導風板を取り付け、ダクティングを施した (Fig. 17)。ダクティングおよび、グリル開口の最適化によって、前モデル Accord に対しクーリングドラッグを 13% 低減した。

6.3. 排気系形状

排気系は床下に露出しており、各拡大部の前端には流れに対して、垂直壁が存在する。それらによる抵抗を少しでも低減するために、空力的な工夫をおこなった (Fig. 18)。

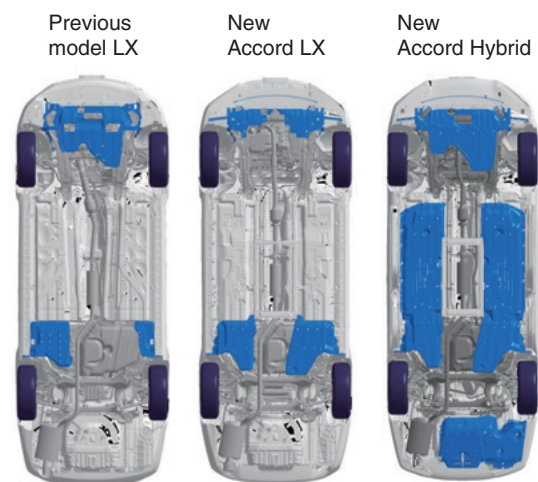


Fig. 16 Under cover variations

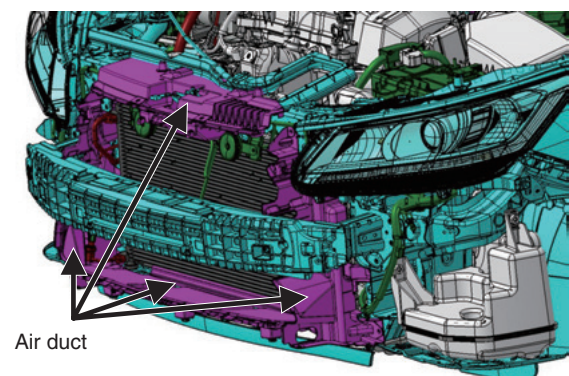


Fig. 17 Ducting around radiator

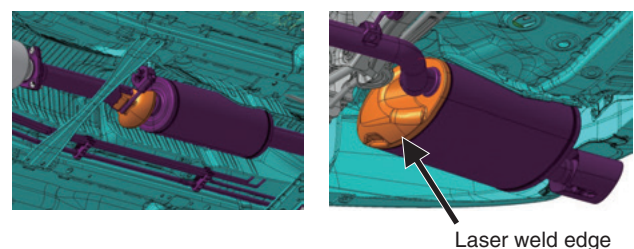


Fig. 18 Aerodynamically modified exhaust

プリチャンパの前側には接触ガードが存在するので、その形状は、後方に向かって広がりを持った半球形状とした。

また、サイレンサは、前縁をレーザ溶接することで、かしめ部をなくした。同時に前面に膨らみを持たせ、下方にスムーズに流れを偏向できるような形状とし空力性能を0.6%向上した。

7. ローリングロード付風洞を用いた開発

新型 Accord の開発終盤に、より現実に近い走行状態の流れをシミュレート可能なシングルベルトのローリングロードを持つ新風洞が稼働を開始した⁽⁴⁾。

Accord Hybrid 用のアルミホイールについては、同時期に進行していたリサーチの結果をもとに、ローリングロードによるタイヤ回転を考慮に入れた空力ホイールの開発をおこない、走行状態での空力性能を向上することができた (Fig. 19)。

さらに、新型 Accord の開発の試作車テストの最終段階として、ローリングロード付風洞において、フロントストレーキのサイズおよび、位置の最適化、各床下デバイスのローリングロード付風洞での効果を確認し、走行状態での床下デバイスの選択をおこなった。

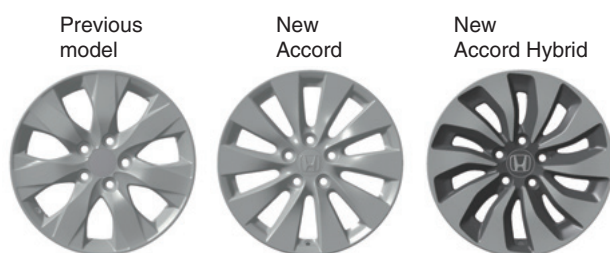


Fig. 19 17-inch wheel variations

8. まとめ

新型 Accord において、詳細な先行検討結果から、流れの現象を解析することで空力的な改良を提案し、それらをデザイン初期のパッケージデザイン段階から反映することによって、エクステリアデザインにおいて、空力性能を向上させることができた。

また、床下デバイスにおいても、先行検討で掲げた設計方針を推進することで、ベースの LX グレードでは、コスト、ウェイトと燃費のバランスを取り、効率の良いアンダカバーの組み合わせを実現した。Accord Hybrid においては、すべての床下デバイスを採用し、空力性能を追求した。

LX グレードにおける、前モデル Accord からの空力性能の向上は1.3%に留まったが、スチールホイールからアルミホイールへの変更など商品性向上による空力性能の低

下も、エクステリアの向上で吸収した。結果として、米国環境保護庁燃費にて、City モード 24 mpg, Highway モード 36 mpg, Combined モード 30 mpg の目標燃費を達成することができた。

さらに、空力性能を追求した Accord Hybrid では、タイヤサイズが同じ前モデル Accord の EX グレードから、空力性能が8.3%向上し、JC08 モード燃費 30 km/L の達成に貢献することができた。

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) 国土交通省: 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 (平成 14 年国土交通省告示第 619 号) 第 178 条 (車枠及び車体)
- (4) 是本健介, 河村信之, 青木道広, 倉谷尚志, 中村信介, 吉岡英樹: シングルベルトローリングロード付実車風洞, Honda R&D Technical Review, Vol.23, No.1, p.18-21

■ 著 者 ■



中村 大 輔



大 西 康 之



竹 原 由 泰