

CLARITY FUEL CELL の運動性能

Vehicle Dynamics Performance of CLARITY FUEL CELL

渥 美 淑 弘*

Yoshihiro ATSUMI

亀 本 修 吾*

Shugo KAMEMOTO

鈴 木 浩 義*

Hiroyoshi SUZUKI

日 下 馨*

Kaoru KUSAKA

宮 崎 武 司*

Takeshi MIYAZAKI

要 旨

CLARITY FUEL CELL の目指した運動性能の姿は、燃料電池自動車特有の新たな魅力に加え、運転のしやすさなど乗用車としての普遍的な価値を十分に備えていることである。性能目標は、同クラスの車両として高い性能を有しているアコード PHEV をベンチマークとし、これを超える性能を目標に設定した。具体的には、アクセルペダルだけで速度コントロールが自在にできる電動車特有の長所を活かした走りがしっかりと体感できること、走行中の進路保持のしやすさが感じ取れる操縦安定性を有すること、走り出した瞬間から滑らかな乗り心地が感じ取れること、日常に遭遇するさまざまな走行シーンにおいて、コントロールしやすいと感じられるブレーキフィールを有すること、さらに、高い静粛性を持つこととした。そして、開発した車は、目標を満足してありたい姿を達成することができた。

ABSTRACT

The dynamic performance targeted with the CLARITY FUEL CELL has the unique new appeal of a fuel cell vehicle with a full complement of universal values of a passenger car, such as ease of driving. The Accord PHEV, which is a vehicle in the same class as the CLARITY FUEL CELL and has a high level of performance, was chosen as the benchmark for performance objectives. Specifically, this means that the CLARITY FUEL CELL provides a solid driving experience, making full use of one of the distinctive advantages of electric vehicles, that they allow drivers to freely control the car's speed using only the accelerator pedal. It provides handling performance that demonstrates how easily course-holding can be managed when driving, a smooth, comfortable ride from the moment the car starts moving, and a positive brake feel that makes the car easy to control in all the various driving scenarios encountered from day to day. It is also extremely quiet. The developed vehicle satisfied the objectives and successfully realized the image that was desired.

1. はじめに

自動車は、化石燃料資源の枯渇に対する省燃費技術への要求の高まりや、CO₂による地球温暖化などの環境問題への対応として、電動化や次世代の代替燃料へのシフトという進化や発展の過程にある。燃料電池自動車 (FCV) では高圧水素タンクや複雑な補機類、それらのシステムを衝突時の衝撃から保護するための車体構造などを採用しており、重量増加が課題となっている。また、燃費向上のため、タイヤの転がり抵抗 (RRC) の低減が促進されており、低 RRC タイヤの採用により低下するグリップ性能を確保し、重い車体の運動性能を満足させることは重要な課題である。

FCV の普及拡大を担う CLARITY FUEL CELL では、

同乗者も含めた乗員全員に自動車で自由に移動する喜びを提供するため、最新の技術を用いて開発した。

特に注力したのは、水素タンクを後席背面に搭載し、空気抵抗低減のためにリヤホイールハウスにタイヤカバーを設けるという、特徴的なレイアウト⁽¹⁾によって生じた操縦安定性の課題である。前後重量配分が、一般的な前輪駆動 (FF) の内燃機関 (ICE) 車よりも後ろ寄りになり、さらに、ホイールハウスの外側にカバーが着くことで、装着できるタイヤサイズにも制約が加わり、高い精度での性能検討が必要になった。

本稿では、運転者が車の印象として主観的に感じ取れる操縦安定性、乗り心地、ステアフィール、ブレーキフィール、動力性能およびノイズ振動性能を「運動性能」という総

*四輪 R&D センター

称で表現した。以下に、ねらいとする目標を実現するために適用した技術について紹介する。

2. 開発コンセプトとねらい

開発コンセプトは、Red Carpet to the New Era⁽¹⁾である。この言葉に込めた意味は、FCV 特有の新たな魅力に加えて、乗用車としての性能や使い勝手などの普遍的な価値を十分に備えていることで、この車が、お客様と共に新時代へ踏み出されるような、特別な1台になって欲しいという思いである (Fig. 1)。

コンセプトに基づき、同クラスの環境車として先行して発売されていたアコード PHEV をベンチマークとし、これを超えるように運動性能のねらいを以下のように定めた。

- (1) 電動魅力: 電動車特有の速度コントロール性能が、お客様にとって魅力として伝わる。
- (2) クルマ魅力: 車の印象として感じる各種の動的性能が、お客様にとって魅力として伝わる。

電動魅力は、電動車の特徴として知られている加減速コントロール性にすぐれた点が魅力となることである。そのために、停車状態にアクセルを踏み込んだ瞬間から最大トルクを発生する遅れの少ない力強い加速と、その後、変速を伴わないで持続する滑らかな加速の両立を重視した。さらに、パワートレインから生じるノイズは極力低減した。

また、代替燃料車やハイブリッド車などの環境性能が高いとされるカテゴリの車両は、搭載するパワートレインシステムによる重量増加や低 RRC タイヤの採用により、同クラスの ICE 車と比較すると、操縦安定性、乗り心地、ステアフィール、ブレーキフィール、振動ノイズなどの性能確保により高い技術が必要とされる。運転者や同乗者が車の印象として感じるそういった運動性能が、ICE 車以上の性能となるように開発した。



Fig. 1 Honda CLARITY FUEL CELL

3. 電動魅力の実現

3.1. スムーズでダイレクトな加速感

多くの ICE 車ではアクセル操作に対して燃料が燃焼によって運動エネルギーに変換されるまでのタイムラグや、トルクコンバータの介在による加速直後の加速度変動が原

理的に避けられない。しかし、電動車はそのようなロスがなく、トルクコンバータも不要なために、ICE 車に対して、よりスムーズでダイレクトな加速感を得ることができる。駆動力特性はその長所を活かした。パワートレイン起動時のデフォルト設定は、ノーマルモードと称して上質な走りの実現を目標に、十分な応答性を確保しながら多少ラフなアクセル操作がおこなわれた場合にもギクシャクしないでスムーズな走行ができるようにした。さらに、ノーマルモードよりも駆動力の応答性を高めてメリハリの効いた走りを体感できるスポーツモードも設定した⁽¹⁾。

Fig. 2 にアクセルペダル (AP) を全閉から開度 50% に急開した時の、各モードにおける加速度を示す。ICE 車では、加速直後のトルクコンバータによるトルク増幅効果がなくなりカップリング領域に至ると加速の落ち込みが見られる。しかし、CLARITY FUEL CELL では、ノーマルモードでもレスポンス良く加速度が立ち上がり、その後も落ち込みなく加速が持続している。スポーツモードでは、さらに高い応答性と加速の継続を両立している。

3.2. AP で自在に加減速できる操作性

電動車は AP オフ時には車両の運動エネルギーを回生できるため、減速特性の幅広い設定が可能である。そこで、3.1. 節で述べた加速時と同様に、ノーマルモードでは多少ラフな AP 操作でもギクシャクせず、スポーツモードではメリハリの効いた加減速コントロールを実感できるように考えて、Fig. 3 のような AP 開度に対する加速性能を持つようにした。Fig. 4 に車速に対する AP 全閉時の減速の様子を示す。スポーツモードはノーマルモードよりも高い車速ほど強い減速が得られている。AP 全閉時状態から再び踏み込んだ場合、Fig. 3 に示した加速性能が得られるので、ノーマルモードに対して加減速コントロールが可能な範囲が拡大している。

3.3. パワートレインの高い静粛性

FCV は発電に際し、水素と化学反応させる酸素を空気として供給する。そのために、CLARITY FUEL CELL で

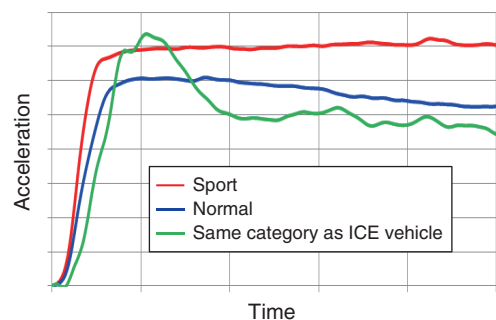


Fig. 2 Acceleration in normal and sport modes with AP (50%)

は電動ターボ型コンプレッサ⁽²⁾を装備している。このコンプレッサの採用は、従来のリショルム式コンプレッサに対し約 40% 作動音を低減し、パワートレインの起動から停止までキャビン内の静粛性を向上した (Fig. 5)。

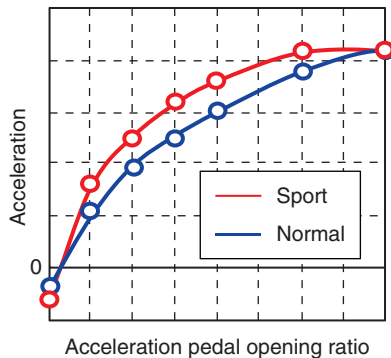


Fig. 3 Acceleration characteristics

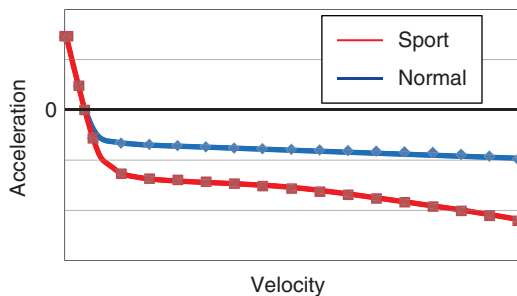


Fig. 4 Deceleration characteristics

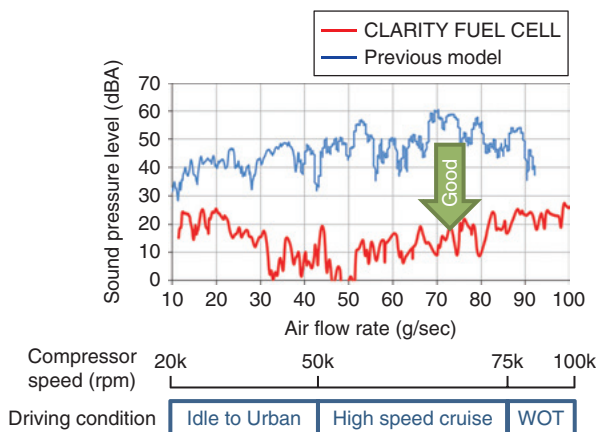


Fig. 5 Reduction of compressor noise in cabin

4. クルマ魅力の実現

4.1. 走行中の進路保持のしやすさ

一般的な FF の ICE 車に対して後ろ寄りの前後重量配分と、低 RRC タイヤの採用という二つの課題に対応するため、開発の初期段階で操縦安定性をシミュレーションで

検討した。重心高、タイヤサイズを含む車両諸元値、サスペンションジオメトリなどを目標とする運動性能を達成するように初期レイアウトに反映した。加えて、それらに対して必要な車体各部の剛性も、独自の構造を採用して確保した。

タイヤサイズは、装着可能な最大サイズから輪荷重に対する負荷率が許容できる最小サイズまで、数種類から検討した。タイヤ単体特性は、統計タイヤモデルを用いた手法で推定し、軸重に対するコーナリングパワー (CP) 特性から 235/45R18 と 225/50R17 の 2 種類に絞り込んだ⁽³⁾⁻⁽⁴⁾ (Fig. 6)。

それぞれのタイヤの CP 特性で周波数応答, USOS, W レーンチェンジに代表される各種の運動性能シミュレーションを実施し、ベンチマークのアコード PHEV と比較検討した。Fig. 7 に検討内容を代表して周波数応答の計算結果を示す。

225/50R17 では定常状態に近い低周波数帯での応答ゲインが高くて、1 Hz 以上では低下してしまうが、235/45R18 なら全域で応答性が改善できることがわかった。これらの結果からタイヤサイズは 235/45R18 を選定した。

進路保持性の確保には、タイヤのグリップ性能以外にもリヤボデーやサスペンション取付け点の剛性が重要なのは良く知られている。しかし、トランク内のスペースの確保と低重心化のために、水素タンクは Fig. 8 のようにリヤサブフレーム内で抱えられる構造となり、設計空間が限られるため、剛性を確保することが課題だった。そこで、Fig. 9 に示すリヤバルクヘッド構造や Fig. 10 に示すリヤサブフレーム下にスティフナを配置する構造を考案した。このように、軽量で高剛性のリヤボデーやサスペンション取付け構造を実現し、低 RRC タイヤを採用しながらも進路保持のしやすさを実現できた。

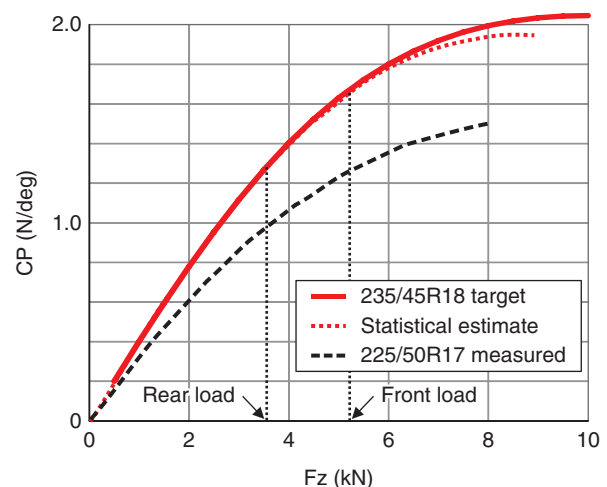


Fig. 6 Measured tire CP (Fz) characteristics of 225/50R17 and target CP (Fz) of 235/45R18

4.2. 走り出し直後から感じる滑らかな乗り心地

乗り心地は、電動車特有のシームレスで滑らかな加速性能にふさわしい滑らかさの実現を目標に設定した。そこで、アコード PHEV でも採用されている周波数応答式可変ダンパ (SFRD)⁽⁵⁾を採用し、4.1. 節で述べたボデーとの特

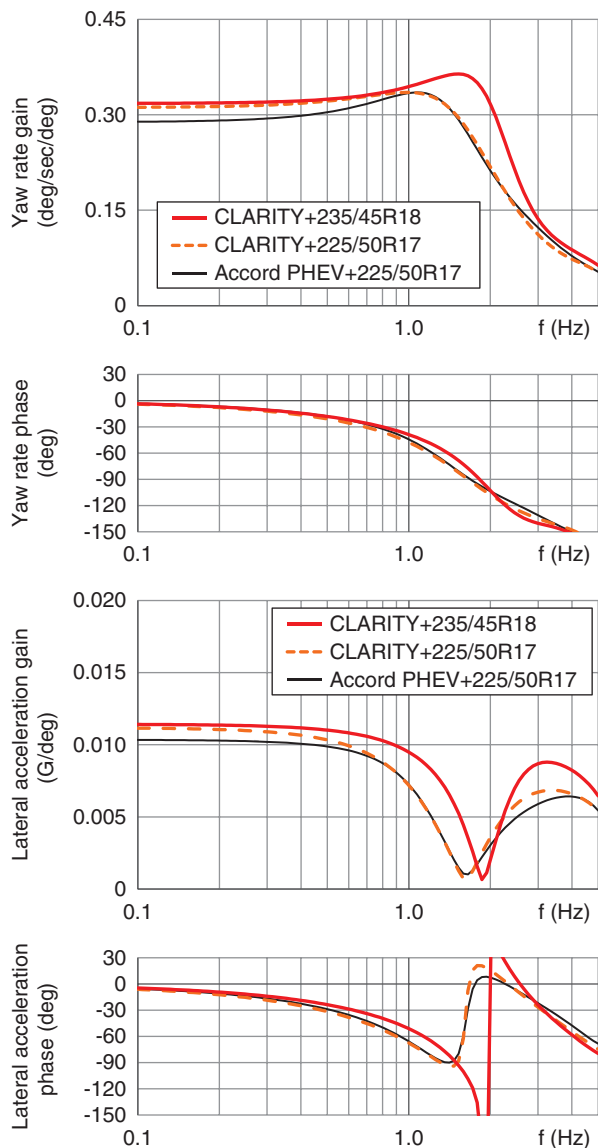


Fig. 7 Bode diagrams of estimated frequency response of yaw rate (upper) and lateral acceleration (lower) with various tire characteristics

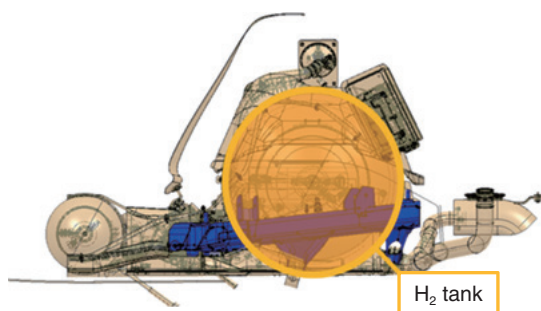


Fig. 8 Side view of rear subframe with H₂ tank

性合わせ込みをおこなった。さまざまな条件下で実走テストを繰り返し、実走テストのエキスパートによる官能評価で、バネ、スタビライザ、ゴムブッシュなども含めた総合的なセッティングをおこない、熟成度を高めてねらいとする運動性能を達成した。

4.3. 進路変更時の自然な動き

操縦性能の低い車は安定した挙動を保ちにくいいためスムーズな運転が難しく、同乗者も走行中の車の動きに不快感を生じる。そこで、ハンドル操作に対して生じるヨーレートとロールの関係に着目し、ヒステリシスを少なくし線形性を高めることにより、操舵に対する車の挙動の予測性を高めた。

サスペンション諸元値やステアリングの制御設定には、官能評価に加えてこの考え方に基づく実車挙動も参考にして開発した結果、ベンチマークとしたアコード PHEV 以上に進路変更時の動きが自然に感じられるようにできた (Fig. 11)。

4.4. コントロールしやすいブレーキ

ブレーキは、さまざまな走行シーンで求められる性能を満足できるように、アコード PHEV と同型式の電動サーボブレーキシステム⁽⁶⁾を採用し、コントロールしやすいブレーキフィールの実現を目標に定めた。達成手法は、ブレーキペダルのストロークに対する反力設定である。減速度が小さい時は、ペダル反力のストロークに対する勾配を大きくしてストロークに対する反力を上げた。そこからさ

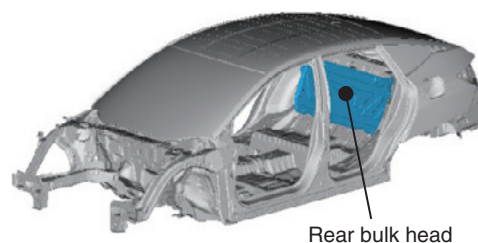


Fig. 9 Rear bulk head

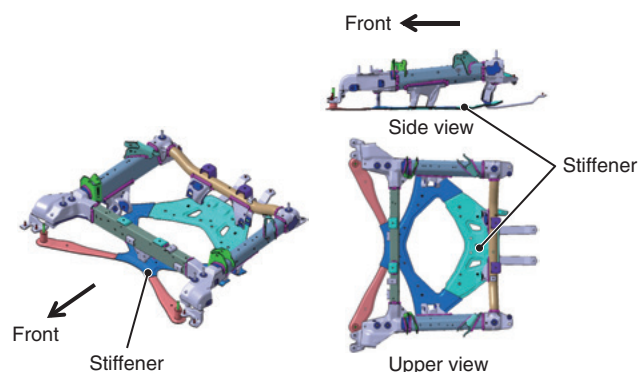


Fig. 10 Rear subframe with stiffener

らにペダルを踏み増した場合には、踏み込みに応じて反力が徐々に上がっていくようにした。これらの対応の結果、常用域から減速度が大きな領域までペダル反力のつながりをスムーズにでき、ベンチマークとしたアコード PHEV 以上にコントロールしやすいブレーキ性能が実現できた。

4.5. ロードノイズ、風切り音に対する静粛感

FCV のパワートレインは ICE 車と比較して静かである。したがって、乗員は ICE 車以上にロードノイズや風切り音によるキャビンへの侵入音が気になると考え、Fig. 13 に示すように音の入力源近傍での吸音と音侵入経路の遮断をおこなった。さらに、遮音ガラスを広範囲の部位に適用して音の侵入を低減した。

フロアカーペットは遮音と吸音効果の高い複層構造とし、組付け部品による隙間面積を縮小することで遮音と吸音の効率を向上した (Fig. 14)。

さらに、ホイールも、レゾネータを付加し、タイヤ気柱共鳴起因のロードノイズや段差乗越し時のショック音を抑制した^{(7),(8)} (Fig. 15)。

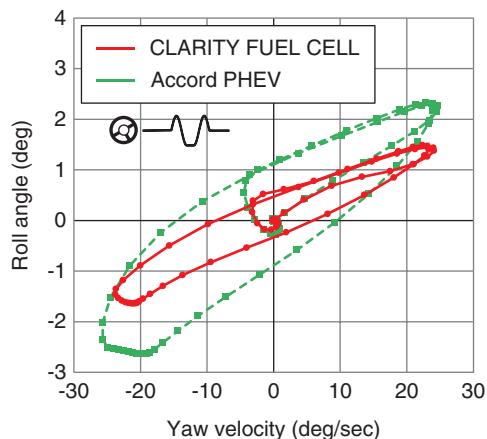


Fig. 11 Relationship between roll and yaw velocity during sinusoidal steer

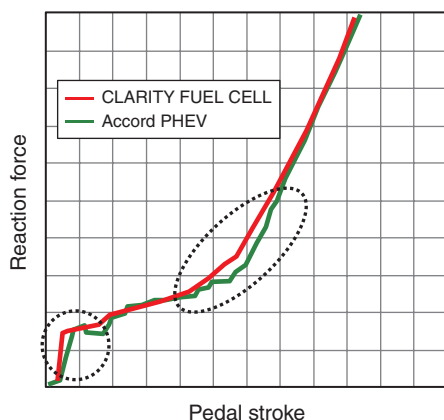


Fig. 12 Relationship between brake pedal stroke and reaction force

これらの効果とアクティブノイズコントロール (ANC) システム⁽⁹⁾の採用により Fig. 16 に示すように、ロードノイズは E セグメントクラスの性能を達成した。風切り音も Fig. 17 に示すように良好な性能を達成した。

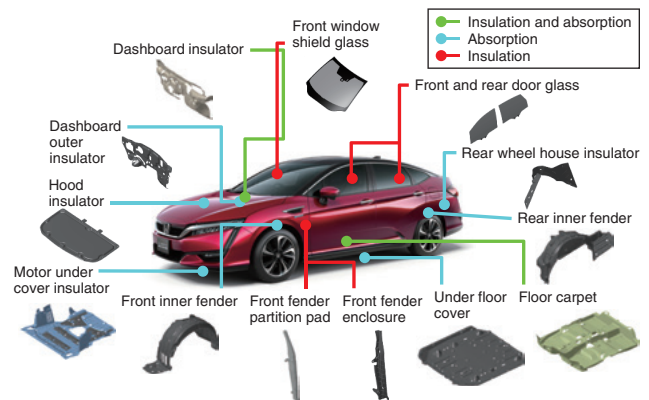


Fig. 13 Sound proof item



Fig. 14 Floor carpet layout



Fig. 15 Wheel resonator

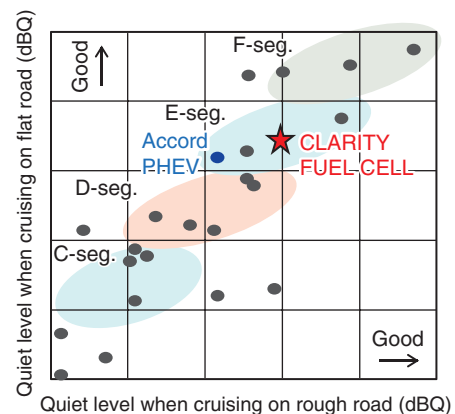


Fig. 16 Quiet feel index (cruising)

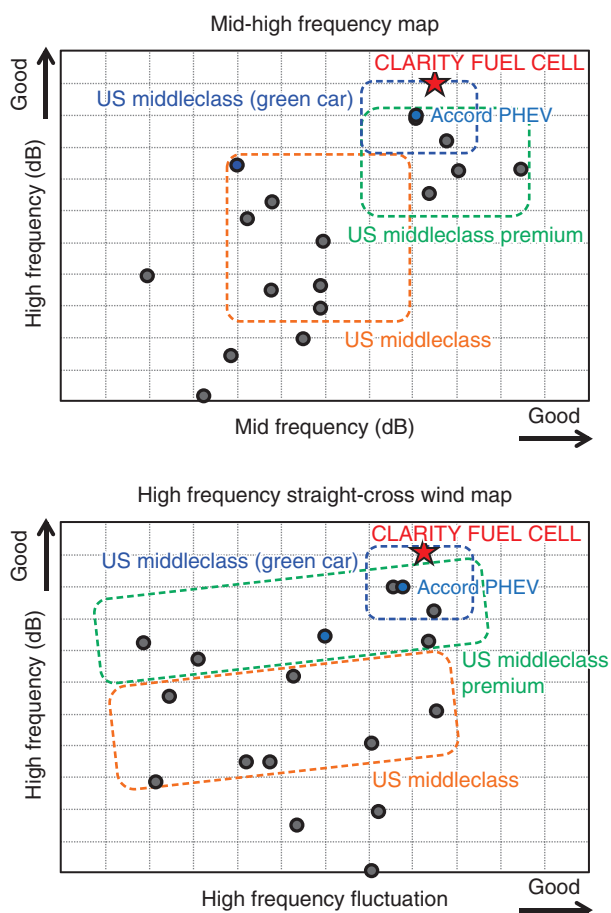


Fig. 17 Wind noise index

5. まとめ

運動性能のねらいを、電動魅力とクルマ魅力に分けて開発した。アコード PHEV をベンチマークにそれぞれのねらいの目標を設定し、そこからどのように性能を進化させるかをお客様目線で徹底的に考えた。

それぞれのねらいはさまざまな技術によって達成した。そうして個々のねらいを達成した結果、電動車特有の新たな魅力とクルマ魅力を兼ね備える車両が開発できたと考えている。この車が、お客様と共に新時代へ踏み出されるような、特別な 1 台になって欲しいと願う。

参考文献

- (1) 木村顕一郎, 河崎輝明, 大村孝之, 渥美淑弘, 清水潔: 新型燃料電池自動車 CLARITY FUEL CELL の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 1-7
- (2) 菅原竜也, 金沢卓磨, 立花優, 今井直樹: CLARITY FUEL CELL 用エア供給システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 2, p. 52-58
- (3) 鈴木朋和, 日下馨: 複数タイヤのデータ群から同定

する「統計タイヤモデル」, Honda R&D Technical Review, Vol. 24, No. 1, p. 85-91

- (4) Kusaka, K., Nagayama, N.: A Statistical Tire Model Concept - Applications to Vehicle Development, SAE Technical Paper, 2015-01-1578, (2015)
- (5) <http://www.showa1.com/jp/technology/automobile/sfrd.html/2015/12/02>
- (6) 大久保直人, 西岡崇, 赤峰宏平, 波多野邦道: 電動サーボブレーキシステムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 1, p. 47-51
- (7) Kamiyama, Y.: Development of a New On-Wheel Resonator for Tire Cavity Noise, SAE Technical paper, 2014-01-0022, (2014)
- (8) 神山洋一, 石井克史, 高木久光, 柏井幹雄: ノイズリデュースリングホイールの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 23, No. 2, p. 78-83
- (9) 河野昌明, 津嶋広通, 秋元幸雄, 嶺和秀, 原田紀之, 長岡進, 江口美彦: 2013 年モデル US Accord の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 1, p. 14-22

■ 著 者 ■



渥美 淑弘



鈴木 浩義



宮崎 武司



亀本 修吾



日下 馨