

特集：新型CX-5

4

新型CX-5の静粛性開発について Quietness Development for All-New CX-5

永本 光一*¹ 桂川 貴弥*² 栗根 正浩*³
Kouichi Nagamoto Takaya Katsuragawa Masahiro Awane
富士田 拓也*⁴
Takuya Fujita

要 約

新型CX-5では、「ドライバーだけでなく、乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」をお届けするため、前モデルからの大幅な静粛性向上を目指した。静粛性の開発にあたり、従来からのロードノイズや風騒音の指標に加えて前席と後席の音圧差や音の減衰時間といった新しい指標を用いてそれぞれに高い目標を設定した。目標達成のため、音源の低減、音響伝達特性改善、振動伝達性能改善及び車室内音響特性改善の開発を行ったが、その開発には音の時間変化の分析や可視化などNVHのCAE解析技術や実験評価技術を駆使し、新型CX-5の上質な車室内空間を実現した。

Summary

In the quietness development of the All-New CX-5, our aim was to achieve a significant improvement from the former model to offer all occupants a comfortable cabin. We set high targets not only for conventional indices but also for new ones such as "Sound pressure gap between front and rear seats" and "Sound decay time". For the targets achievement, we developed the decrease of the sound source, the improvement of sound transmission performance, the improvement of vibration transmission performance and the sound performance improvement in the cabin. We worked on these indices making use of CAE analysis as well as testing evaluation technology which analyzes temporal variation and visualization of sound. This way, we realized a quality interior space of the All-New CX-5.

1. はじめに

新型CX-5では、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」を目指した。静粛性において快適とは、高速道路でも普段と変わらない穏やかな声で会話が楽しめ、荒れた路面でも乗員に不快感を与えないことである。

本稿では、そのような静粛性の実現のために、お客様視点で設定した新型CX-5の開発指標と、それを具現化したNVHの開発技術について報告する。

2. 静粛性の指標

新型CX-5は、従来のお客様への提供価値である「安心／快適」に「乗る人すべてに」と「上質」を加えた静粛性の指標と定量目標を設定した。

2.1 静粛ゾーン

「安心／快適」をお客様へ提供するための基本的な静粛性指標は、2016年に北米に導入したCX-9の開発から採用している「高速走行時の静粛性」と「荒れた路面での静粛性」を用いた。

「高速走行時の静粛性」は、高速クルージング時の会話のしやすさとして、会話の明瞭度指数のAI値⁽¹⁾ (Articulation Index) を定量指標に用いた。会話明瞭度はザー／バサバサと聞こえる高周波のタイヤ騒音や風騒音を低減させることで向上し、快適な高速クルージングができるようになる。また、「荒れた路面での静粛性」は低周波の不快感なロードノイズを低減させることで向上し、路面状態が変化しても煩わしさを感じることなく、運転ができるようになる。

*1～3 NVH性能開発部
NVH Performance Development Dept.

*4 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

それぞれの指標での会話のしやすい／不快を感じない領域を「静粛ゾーン」と定義し、新型CX-5の静粛性は「静粛ゾーン」を目指した (Fig.1)。

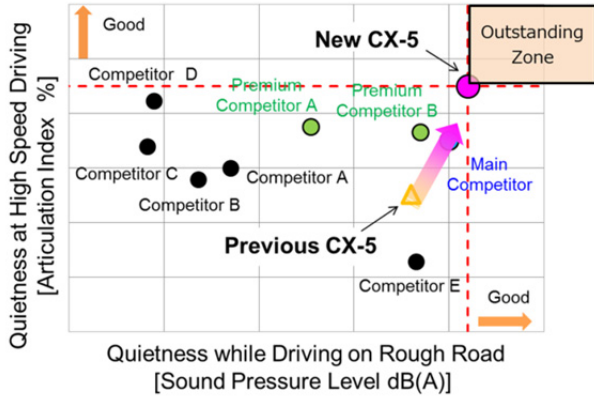


Fig. 1 Quietness Chart

2.2 前席と後席の音圧差

新型CX-5は、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間を提供する」コンセプトを実現するため、前席のみでなく、後席の静粛性にも注力して開発を行った。

前席・後席とも会話明瞭度の向上とロードノイズの低減を図りながら、前席と後席の性能差が前モデルに対して少なくなるように目標を設定した (Fig. 2)。

乗員に違和感を与え、不快と感じさせる車両後方からの侵入音を、重点的に低減することにより、会話明瞭度の大幅な向上とともに、前席と後席の会話を愉しめる快適な車室内空間の実現を目指した。

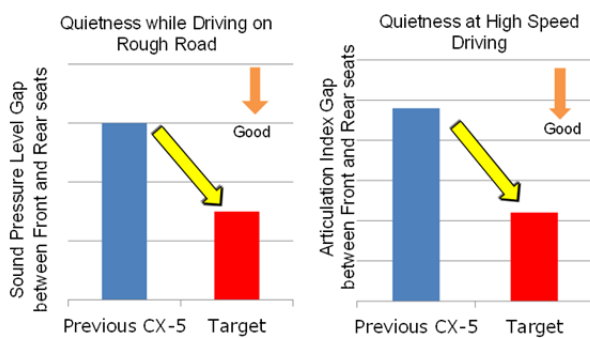


Fig. 2 Sound Pressure Gap between Front and Rear Seats

2.3 音の減衰時間

更に、会話のしやすさは、音圧レベルの低減に加え、音の過渡的な減衰特性（響きの長さ）も重要な因子である。そこで、新型CX-5は、音の響きの長さを前モデルに対して短縮することで、会話のしやすい音響空間の実現

を目指した。

その実現ため、音の響きの長さを定量的に評価する手法を開発し、車室内に単発的に発生する音の時間変化を計測してこれを評価指標とした。

3. 静粛性開発技術

3.1 会話明瞭度の向上

会話明瞭度向上のためには、車外のタイヤ騒音や風騒音の音源低減と音源から車室内への伝達特性改善（=遮音性能の向上）が必要である。

遮音性能は、フロアやドアなどの部品の音響透過損失に左右される。しかし、Fig. 3のように、面積比で僅か1%の穴・隙が部品としての透過損失を約5dB悪化させ、部品全体の遮音性能が大きく損なわれてしまう。そこで、穴・隙を縮小させて遮音性能向上を図った。

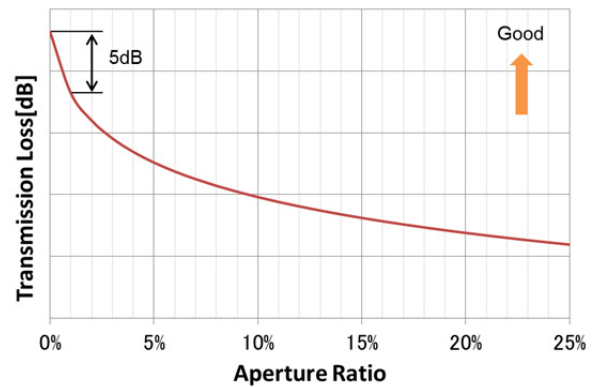


Fig. 3 Relationship between the Performance of Sound Insulation and Aperture Ratio

Fig. 4は、車室内側から音を発生させて、車両側下部のサイドシルから車外に漏れる音を可視化した結果である。図の赤い部位が音漏れの大きい部位を示しているが、実際の走行時では、この部位から音が侵入することになる。サイドシル内部には生産工程で必要な多数の穴が設定されているが、それらの穴を塞ぐことで音圧の低下を確認し、音の侵入に影響の大きい穴が特定できた。

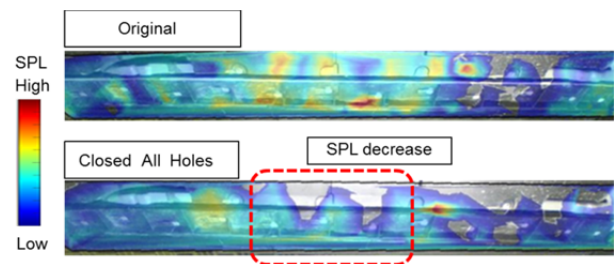


Fig. 4 Visualization of the Sound Leaking

そこで、これらの穴について、シール強化による穴塞ぎ

や塞げない穴への車室内への侵入音の吸音対策を行った。
 以上のような活動を行うことで、車両全体の穴・隙を縮小して、会話明瞭度を向上させた。

3.2 前席と後席の音圧差の縮小

前席と後席の音圧差の縮小のために、後方からの車室内侵入音を分析し改善を実施した。音の可視化分析から、車室内側の主要音源はエキストラクターから侵入するタイヤ騒音であることがわかった。

そこで、エキストラクターから侵入した音をトリム内部で効率的に低減させることで、通気経路の伝達特性の改善を図った。エキストラクターとトリムグリルの間の経路長を確保し、更に、その経路上に吸音材を配置することで、経路内の吸音面積を拡大し効果的な侵入音の低減を行った (Fig. 5)。

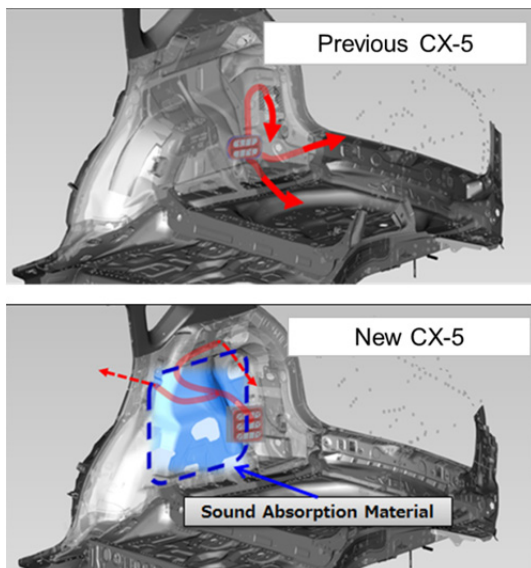


Fig. 5 Improvement Case of the Noise from Backward

その他にも、トランクボードやサブトランクと内装材との間の隙を縮小し、トノカバーと後席シートバックの間の隙を可動式フラップによって縮小するなど、音の侵入経路を塞ぐことで後方からの車室内侵入音を低減した。

3.3 風騒音の低減

風騒音とは、高速走行時に車両廻りに発生する気流の乱れで生じる音（空力騒音）が車室内へ伝搬し、乗員に聞こえる音である。風騒音を低減するためには、音源の空力騒音と音の伝搬を抑制することが必要である。

空力騒音は、気流の乱れ（剥離渦）による空気の変動によって発生するものであり、車体表面に沿って流れる風が車体から離れる部分において気流の乱れが発生するため、キャビン廻り、特にワイパー～カウル部分、Aピラー、ドアミラーなどの形状の影響が大きい。この剥離

渦の抑制が空力騒音抑制の重要なポイントであるが、気流を実験的に可視化することが難しく、CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて気流の把握を行った。

Fig. 6はワイパー～カウル部分中央断面のCFD検討結果を示したもので、赤い部分の剥離渦が大きく、その低減を検討した。前CX-5では気流がワイパー部分に衝突し、剥離渦がワイパー前側と後ろ側に発生していた。このワイパーへの気流の衝突を回避するために、新型CX-5はワイパーの位置をボンネット下側へレイアウトすることで、カウル部分で発生する剥離渦を抑制し、空力騒音を低減することができた。

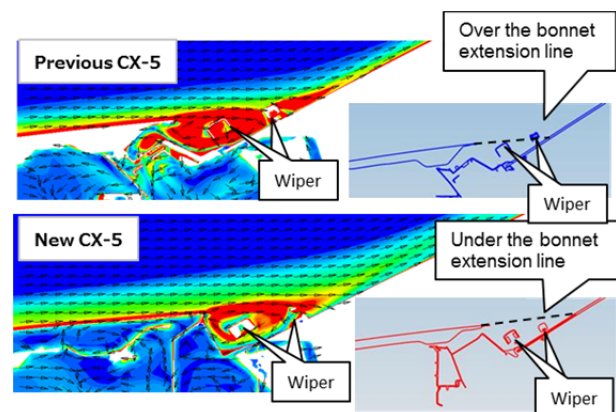


Fig. 6 Improvement of Aerodynamic Noise by Changing the Layout of Wiper and Cowl

また、Aピラー部分についても同様に、Aピラー側面が発生する渦を低減するために、Aピラー形状の検討を行った。CFDを用いて、Aピラー外板面の曲率、Aピラーとガラス面の段差の影響を流れ場解析し、Fig. 7に示すように、ピラー側面が発生する剥離渦を抑制して、走行時の耳元近くの風の音を低減した。

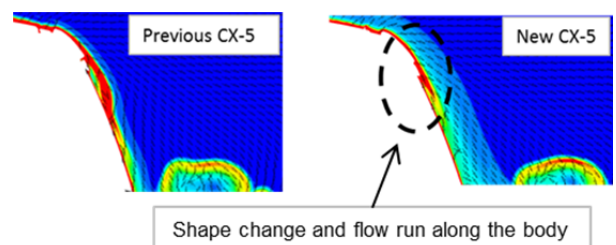


Fig. 7 Reduction of Aerodynamic Noise from A-Pillar

更に、新型CX-5から新たにドア廻りにパーティングシールを設定し、ドア廻りの段差隙により発生する細かな空力騒音を抑制した。

音の伝搬対策としては、遮音性能を高めた遮音ガラスをサイドウィンドウに採用することとした。

3.4 音の減衰時間の短縮

車室内の音の響きは、車室内に面した部品が音を反射することにより発生する。Fig. 8のように、反射する音の伝達経路は長く音源から直接耳に到達する音に対して遅れて耳に到達するため、反射音が大きくなれば音の響きは長くなる。従って、音の響きの長さを短縮するためには、車室内部品の吸音機能を向上させて音の反射を小さくする必要がある。

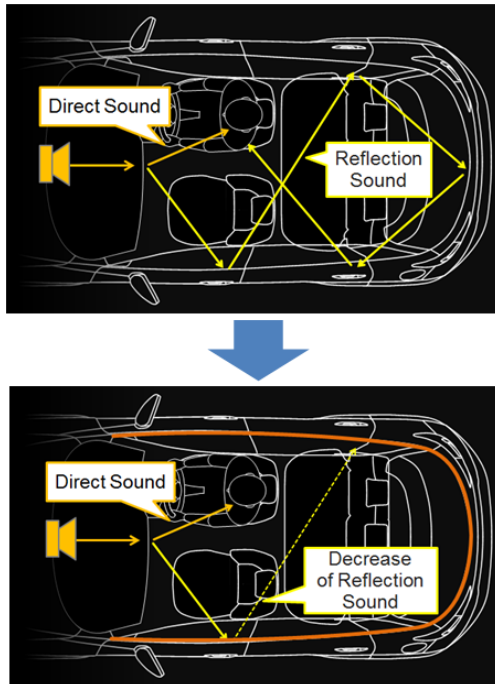


Fig. 8 Delay Caused by the Reflection Sound and the Control by Interior Sound Absorption

音の響きの長さと車室内吸音の関係は、ドア閉め音の減衰時間の計測によって把握した。更に、その結果を用いて、目標の減衰時間達成に必要な車室内吸音量を明らかにし、各内装材部品の吸音機能に配分することにより、それぞれの部品に必要な吸音特性を決定している。新型CX-5は、前モデルに対して、吸音特性の高い天井内装材を用いることで音の減衰時間を低減させた。Fig. 9は天井内装材の吸音特性を示したもので、新型CX-5は、前CX-5に対して基材の変更等によって吸音特性を向上させている。

Fig. 10にドア閉め音の減衰時間の測定結果を示す。新型CX-5は特に高周波域の減衰時間を短縮し、会話のしやすい音響空間を実現した。

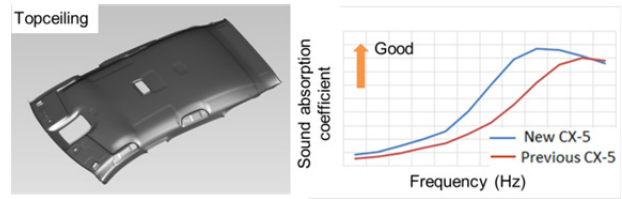


Fig. 9 Parts that Control Sound and the Sound Absorption Coefficient

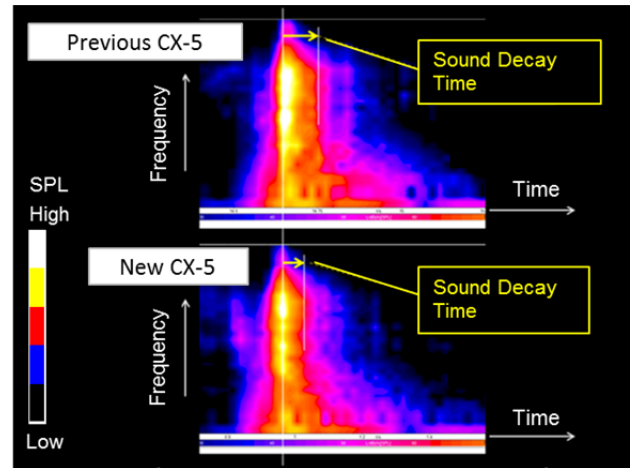


Fig. 10 Evaluation of the Sound Decay Time at the Door Closing

3.5 ロードノイズの低減

荒れた路面でのロードノイズは、タイヤが受けた路面刺激が振動となり、サスペンションや車体骨格を伝達し、車室内に面するパネルから音となって放射されて乗員耳位置まで届く現象である。

伝達特性を表す指標として、タイヤホイールから伝わる力に対し、各パネルで放射される音響パワーを示したERP^② (Equivalent Radiated Power) を用いた。

ERPの目標設定は、ロードノイズの周波数帯域まで分析が可能となった実機での音の可視化結果も考慮して設定した。Fig. 11はトップシーリングから放射される音の大きさを可視化した事例で、赤い部分からの放射音が大きく、この部位の放射音を低減することが効果的であることを示している。

ERPの低減については、入力点から放射部位までの伝達経路上に存在するサスペンションや車体の共振のうち、ERPへの寄与が大きい現象を抑制することが重要である。そこで、解析上で各共振の因子となる特性パラメータを変化させERPの変化を確認することで寄与が大きい共振現象を抽出した。

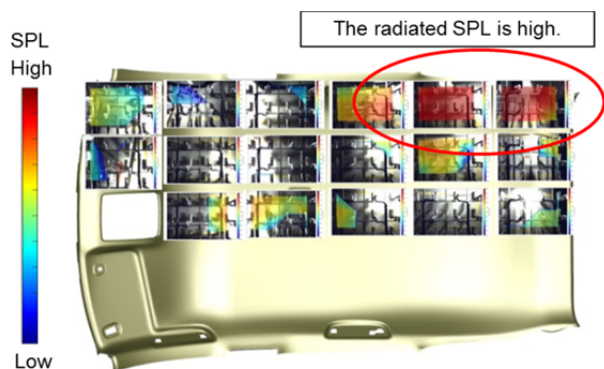


Fig. 11 Visualization of the Radiated Sound

Fig. 12は車体振動の解析結果の一例である。またサスペンションの分析から抽出した共振現象の一例として、リヤサスペンションクロスメンバーの上下方向の共振をFig. 13に示す。抽出した共振現象は、剛性や質量を変化させるなどの効率的な改善策を具体化した。上記サスペンションクロスメンバーの共振現象についても、振動抑制を狙った改善策を検討し、Fig. 14に示すようなERPの改善効果を得ることができた。

このような各部のERP低減策を積み重ねることで、新型CX-5は前席・後席ともロードノイズ性能の向上を実現した。

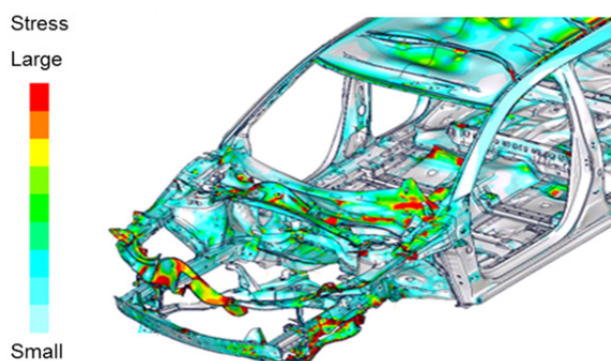


Fig. 12 Example of the Body Vibration

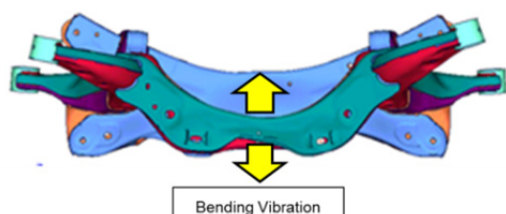


Fig. 13 Mode of Vibration at the Rear Suspension Cross Member

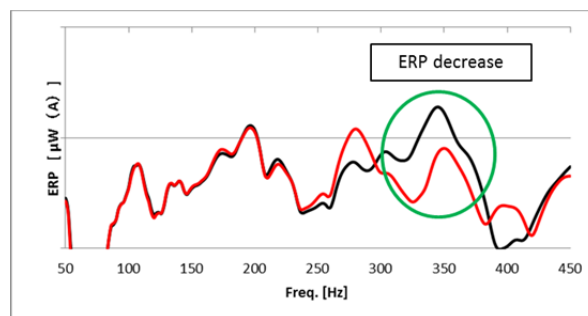


Fig. 14 Effect Confirmation of the ERP Improvement

4. おわりに

新型CX-5では、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」をお客様に提供することができたと自負している。その快適性をマツダブランドとして認知していただくためには、今後も全てのマツダ車が期待以上の性能であり続けることが重要である。その実現に向けてNVH開発技術の更なる向上を図っていく所存である。

参考文献

- (1) ANSI: Methods for the calculation of the articulation index, ANSI S3.5-1969(1969.)
- (2) MSC Software Corporation: MSC Nastran 2010 Release Guide, pp.18-27 (2010)

■ 著 者 ■



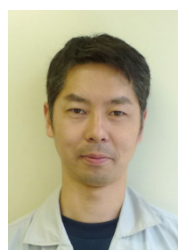
永本 光一



桂川 貴弥



栗根 正浩



富士田 拓也