

特集：MAZDA CX-90

05

CX-90 のエンジンサウンド開発について

Engine Sound Development for CX-90

服部 之総^{*1} 桂川 貴弥^{*2} 大槻 修平^{*3} 河越 三郎^{*4}
Yukifusa Hattori Takaya Katsuragawa Shuhei Otsuki Saburo Kawagoe
三宅 昭範^{*5} 高崎 神風^{*6} 神谷 稔^{*7}
Akinori Miyake Kamikaze Takasaki Minoru Koya

要 約

CX-90 のエンジンサウンド開発では、6 気筒エンジンサウンドの共通コンセプトとして、トルクに対してリニアな音の変化と、干渉音の変化によって“高揚感”を呼び起こし、回転上昇に伴う加速感の続く伸びの良さを周波数上昇の変化で“伸び感”のあるエンジンサウンドを目指した。走りの開発部門も共創して、アクセルを踏み込むほどに走りとも一致した意のままの運転をサポートするサウンド開発に取り組んだ。

Abstract

In the development of the engine sound for CX-90, in order to convey driving pleasure to our customers, we aimed to provide not only elation which is a common concept of Mazda's six-cylinder engine sound, but also stretch feel which is a characteristic of gasoline engines.

Key words : Vibration, Noise, Engine sound, Sound quality evaluation, Driver behavior, Operational

1. はじめに

CX-90 では、新たに直列 6 気筒ガソリンターボエンジンを搭載し、CX-60 共通のコンセプトである“高揚感”に加えて、高回転域まで途切れなく加速感が続く“伸び感”のあるエンジンサウンドの開発に取り組んだ。本稿では、CX-90 のエンジンサウンド開発の考え方と実現手段について報告する。

2. コンセプト

エンジンサウンドは、マツダの考える意のままの走りに欠かせない要素として研究開発を行っている。近年では、人が道具を自在に扱えるメカニズムを研究し、意のままの運転とサウンドの関係を解明してきた。具体的には、MAZDA3、MX-30 等のスモール商品群において、ドライバーが直接扱うトルクの大きさを音で伝えることで運転操作の精度が向上し、サウンドが意のままの走りにつながっていることを証明した⁽¹⁾。

CX-90 を導入する北米環境では、①大小さまざまな加速度をコントロールして交通流に乗ったり、追い越しなど行うシーンと、②アクセル開度一定で、エンジン回転数の上昇とともにねらいの車速まで上げていくシーンと、

大きく 2 つの加速シーンがある。

①のシーンでは、加速度の違いをコントロールするために、CX-60 のディーゼルエンジンのサウンド開発⁽²⁾ の考え方を基盤に、ガソリンエンジンのトルク特性と変速パターンに合わせて、トルクに対する音の変化と干渉音を加えることで、加速度の違いを音でコントロールして“高揚感”につなげる。

また②のアクセル一定で加速するシーンでは、車速と回転上昇に対して途切れなく加速感が続く伸びの良さを、周波数上昇の変化で感じていただき、“伸び感”のあるエンジンサウンドを目指した。

これら干渉音による“高揚感”と、回転上昇に対する周波数の変化による“伸び感”が移り変わることで、北米環境において、アクセルを踏み込むほどに意のままの走りとも一致したエンジンサウンドを目指した。

3. 目標設定

①のシーンでは、トルクに対するリニアな音の変化と、トルクに対する干渉音の変化の目標を定義し、②のシーンでは回転上昇を周波数上昇の変化の目標を定義した。

*1~7 NVH 性能開発部
NVH Performance Development Dept.

3.1 トルクに対するリニアな音の変化

ゆったりと一定の速度で走る場面では、アクセル操作に対してドライバーが直接感じるトルクの大きさは、音の大きさの変化で定義し、トルクに対してリニアな音の変化を定義した (Fig. 1)。

あるトルクに対して音圧が大きいと騒々しく、音圧が小さいとトルクを知覚できないため、適度な音圧レベルを定義し、その範囲の中でリニアな変化となる目標を設定した。

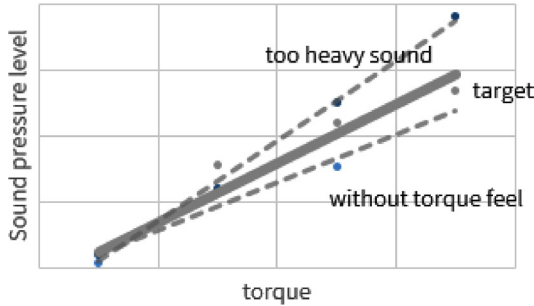


Fig. 1 The Target of Sound Pressure Level vs Torque

3.2 加速時に干渉音で感じる“高揚感”

高揚感は、上記に述べたトルクに対してリニアな音の変化に加えて、トルクに対して干渉音を非線形に変化させることで成立すると考えた。

人間の耳は、外耳・中耳・内耳の3部位から成り、内耳には蝸牛と呼ばれる部位がある。蝸牛内にある基底膜が反応した後、聴覚系はある周波数ごとに信号を振り分ける (Fig. 2)。ここでは、聴覚フィルターと呼ばれる中心周波数の異なる帯域フィルター群がある。すなわち人間の聴覚は24個のフィルター群として、モデル化できる。その帯域幅は臨界帯域幅と呼ばれ、中心周波数が500Hz以下の帯域では約100Hz程度の幅で一定、500Hz以上では周波数とともに、その幅は増加していく。この聴覚フィルターの働きにより、聞いている音にどういった周波数の音が含まれているのかが分かる。この1つの聴覚フィルターに2つ以上の音が存在するときに音は干渉した音に聞こえ、音が別々の聴覚フィルターにある時は澄んだ和音に聞こえる。PTサウンドでは、この干渉音が発生すると、ゴロゴロといった音に聞こえる (Fig. 3)。

ドライバーが意をもって加速する際、和音から干渉音へ音色を変化させることで、操作に対して車からの反応の変化がはっきりと感じ取れ、クルマとの一体感が増し、高揚感につながると考えた。従って、高揚感を感じる音の指標は、“トルクに対する干渉音の変化”と定義し、音色の変化をつけるために、低・中トルク域で干渉する音を非線形に変化させることとした (Fig. 4)。

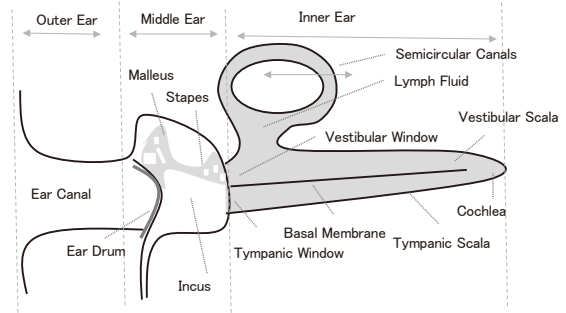


Fig. 2 Structure of the Ear

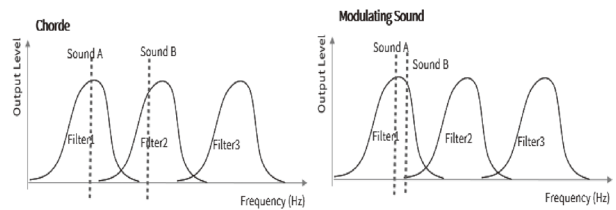


Fig. 3 Hearing Filter⁽³⁾

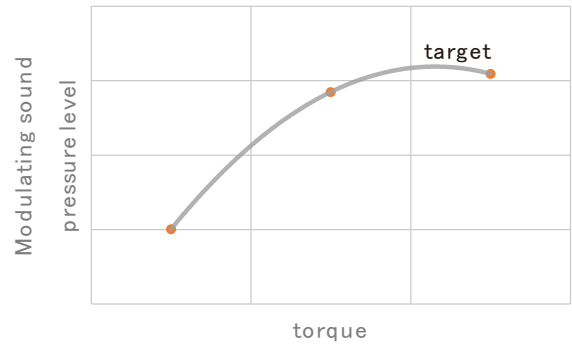


Fig. 4 The Target of Modulate SPL vs Torque

3.3 回転上昇とともに加速感のある“伸び感”

アクセル開度一定状態での加速度は、回転上昇とともに緩やかに減少していくが、回転や車速は上昇していくため、エンジンサウンドから「聞こえる周波数」を上げていくことで、実際には低下していく加速度を、あたかも加速度を維持しているかのように感じさせることで“伸び感”を実現できると考えた。

(1) “聞こえる周波数”の定義

加速中のエンジンサウンドは、多くの周波数で構成されている。この中で最大音圧は100Hz程度に相当する音となるが、エンジンサウンドとして人が感じる音の高さはもっと上の300~400Hz帯となる。この“人が感じる音の高さ”を指標化するために、最大音圧となる周波数の音と、エンジンサウンドとして感じ取れる最大周波数の音圧を線形に結び、基準線を作成した。この基準線から各周波数音の飛び出し量を算出して、飛び出し量最大となる周波数を“聞こえる周波数”と定義した (Fig. 5)。

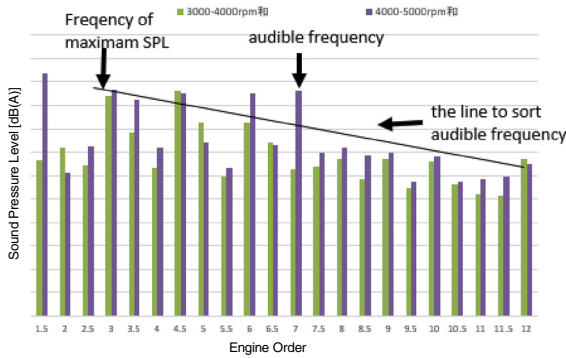


Fig. 5 Audible Frequency Line

(2) “伸び感”の定義

社内で走りの開発部門と共創し、アクセル開度一定の状態、回転数に対して加速度の仕様を3つ用意し、エンジンサウンドからも、回転上昇に対して聞こえる周波数の仕様を3つ用意した。走りは一定加速度からの乖離量を指標とし、エンジンサウンドは6気筒の基本次数であるエンジン回転に対して3倍に相当する周波数から持ち上げた周波数の変化分を指標とした。お互いの仕様を組み合わせることで、ねらいの加速度が維持しているような加速感を実現する領域を定め、これが“伸び感を感じる領域”と定義した。合わせて、回転上昇の変化に対する聞こえる周波数の変化は、先行開発した6気筒ディーゼルエンジンを基準とし、高回転域において、聞こえる周波数の変化が下に凸に上昇変化するような領域を定義した (Fig. 6)。

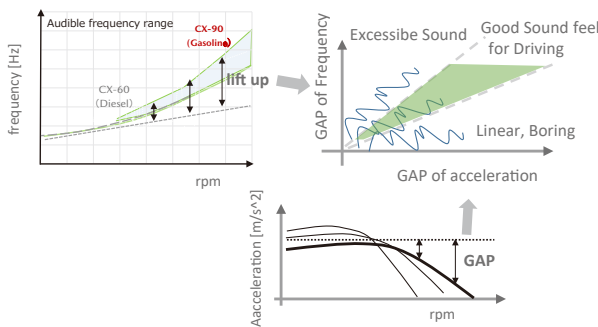


Fig. 6 Driving Feel with Audible Frequency and Acceleration

以上、トルクに対してリニアな音の変化と、干渉音の非線形な変化、及び回転に対して周波数上昇する音、これらの要件から、回転に対する各次数の音圧レベルを分配し、エンジン回転の1次～13次まで目標を設定した。

4. 具現化

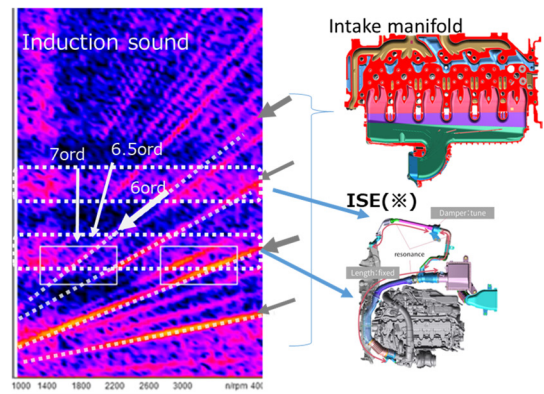
4.1 トルクに対するリニアな音の変化

トルクに対する音の大きさをリニアな変化にするために、回転に対する基本次数は、エンジン振動、トランスミッション振動、リアデフ振動をトルクに対してリニア

に伝わるように、伝達部品と車体を造り込んだ。実現にあたり、CX-60からの変化点、かつ寄与の高いリア周りの駆動系部品と車体パネルの最適化を行うことで、CX-60と同特性となるようにして実現した。

4.2 加速時に干渉音で感じる“高揚感”

トルクに対する干渉音の変化を非線形にするために、直列6気筒エンジンのレイアウトと組み合わせたマツダ独自となる長い吸気管長による周波数の特徴 (250Hz)を活かし、トルク変化の大きい回転数帯で、エンジン回転6次を基軸に、干渉する次数となる6.5次と7次を励起させるようにユニット特性を作り込んだ。よりダイレクトにドライバーに届けるために、吸気音を車室内に直接届ける吸気 ISE (Induction Sound Enhancer) を活用することで、ベースとなる干渉音を造りこんだ (Fig. 7)。



※ISE : Induction Sound Enhancer

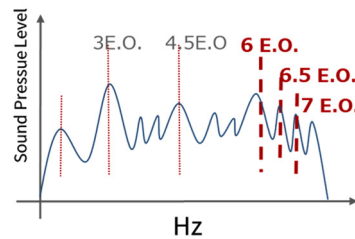


Fig. 7 Inline 6 Engine Characteristic

また、6気筒エンジンの回転基本次数と干渉する0.5倍となる次数の周波数バランスを確認し、吸気音や機械特性では実現できない領域は、オーディオスピーカーからも補完することで干渉音を造りこみ、小さなアクセル操作でも精密に呼応し、トルクに対して非線形に変化する干渉音を実現させた。

4.3 回転上昇とともに加速感のある“伸び感”

回転上昇に対する周波数上昇を作るために、6気筒エンジンの回転基本次数となる3次を基軸に、その倍音成分となる6次、9次、12次の周波数バランスを実現するため、エンジン振動と吸気音をベースに低-中周波数域の音を造り込み、聞こえる周波数で定義した次数成分を

確認した。伸び感で注力した高回転の間こえる周波数は、ハードで実現するためには、環境騒音や低回転とのバランスが難しいため、高次の回転次数の音は、オーディオから補完し、回転上昇とともに聞こえる周波数が上昇変化することで目標を実現した (Fig. 8)。

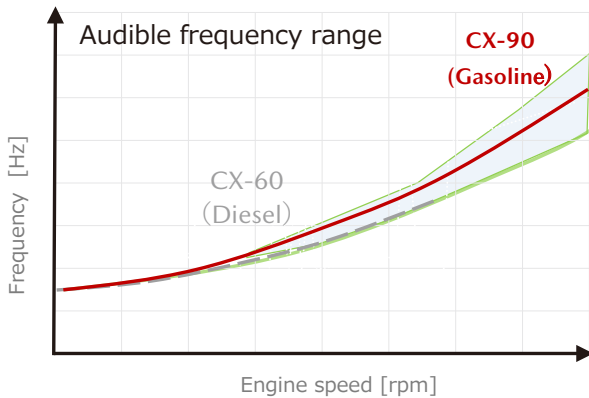


Fig. 8 The Target of Audible Frequency Range

以上、CX-90 は、北米環境での日常の追い越しや、再加速するシーンにおいて、トルクに応じた干渉音により“高揚感”を感じ、回転上昇に伴う加速感の続く伸びの良さを、周波数上昇の変化で感じていただき、アクセルを踏み込むほどに意のままの走り的一致したエンジンサウンドを実現した (Fig. 9)。

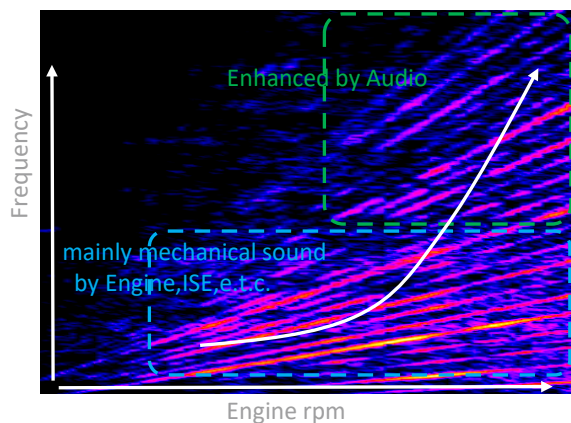


Fig. 9 CX-90 Engine Sound While Accelerating

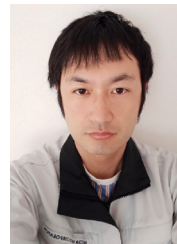
5. おわりに

CX-90 のエンジンサウンド開発について紹介した。読者の皆様にもぜひ CX-90 を運転いただき、6 気筒ガソリンターボエンジンのサウンドに共感していただけると、開発陣として、この上ない喜びである。今後とも、お客様にマツダ車を選び続けていただくために、お客様に喜んでいただける商品づくりと、その実現に向けた NVH 性能開発技術の更なる向上に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 森下ほか：MX-30 EV MODEL のモーターペダル開発, [マツダ技報, No.38, pp.20-25 \(2021\)](#)
- (2) 住田ほか：CX-60 の NVH 開発について, [マツダ技報, No.39, pp.78-82 \(2022\)](#)
- (3) 岩宮眞一郎：よくわかる最新音響の基本と仕組み, 日本, 秀和システム, pp.36-39, p.46, pp.88-89 (2014)

■ 著 者 ■



服部 之総



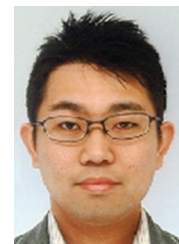
桂川 貴弥



大槻 修平



河越 三郎



三宅 昭範



高崎 神風



神谷 稔