

特集：新型MAZDA3

15

新型MAZDA3の静粛性開発について

Quietness Development for All-New Mazda3

伊藤 肇 ^{*1}	富士田 拓也 ^{*2}	黒川 将 ^{*3}
Hajime Ito	Takuya Fujita	Sho Kurokawa
大森 和也 ^{*4}	石塚 勝 ^{*5}	上田 高裕 ^{*6}
Kazuya Omori	Masaru Ishizuka	Takahiro Ueda

要約

静かな空間の中にも、乗員が車外の状況が分かることで、安心して充実したドライブを楽しんでいただきたい。新型MAZDA3では、人が音を感じるメカニズムを探求し、単に「静かな」だけではなく「質の高い静粛性」を追求し、次世代にふさわしいNV性能を実現した。

人は、音の大きさだけではなく、音の到来方向や音が減衰する時間にも大事な要素であるとの考えの基、これまでの音の大きさや到来方向に加えて、時間変化に関わる新たな指標を作成した。目標実現のため、音源の低減、振動伝達特性や空気伝ば音の改善に関して、それぞれをコントロールするための考え方を決め、新たな構造や材料を駆使し、関係部門と共創することで「質の高い静粛性」を実現した。

Summary

We would like occupants to enjoy relieved and fulfilling drive with recognition of exterior noise even when they are in a quite space. In the new Mazda3, we explored the mechanism how human beings sense sound, and realized the NV performance that is appropriate to the next generation vehicles by pursuing not only just “quietness”, but also “high-quality quietness”.

Based on the concept that sound direction and settlement as well as loudness are important elements for sound recognition, we set a new development index and target regarding temporal alteration in addition to the current loudness and sound direction. We established concepts of sound source, vibration transmission and air transmission to control them and using of New Construction and material to achieve the target, and realized “high-quality quietness” in cooperation with the related departments.

Key words : Vibration, Noise, and Ride Comfort, Quietness, Sound, Quality Evaluation/Ride Comfort Evaluation, Optimization Technique

1. はじめに

静かな車室内空間であっても、運転に必要な情報、例えば路面が変化した時や緊急車両が接近した等といった、車の外の状況が分かることで、安心して充実したドライブを楽しんでいただきたい。本稿では、人が音を感じるメカニズムを探求し、それを具現化するための考え方とその実現手段について報告する。

2. 質の高い静粛性の指標化

新型MAZDA3では、CX-5以降で実現した音圧レベルや音の到来方向以外にも、人が感じる音の時間変化に着

目し、それを見るための指標作成を行い、開発指標を決めた。

2.1 走行時の路面変化の指標化

これまでの静粛性は、「高速走行時の静粛性」と「荒れた路面での静粛性」の指標を用いて2軸で表し、開発を行ってきた。この静粛性指標は、「定常現象」を対象としている。しかし、一般的な走行環境下では、路面が時間とともに変化する「過渡現象」が起こっており、従来の指標ではその変化が表せていない。新型MAZDA3の静粛性開発では、路面変化により乗員が予測しているとおりに車室内の音を変化させることで心地よい静粛性を実

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

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

*5~6 マツダE&T 操安・NVH性能開発部
Chassis Dynamics & NVH Performance
Development Dept.

現できると考えた。

そのためには、路面が変わった時、路面からの入力エネルギーと、車室内の音の変化量の一致性を見ることで表すことができると考えた。具体的には、一般的な走行における路面変化には大きく2種類ある。それは、①スムーズな路面から荒い路面への変化。②荒い路面からスムーズな路面に変化した時があり、これらについて新たな指標化に取り組んだ。①は、タイヤからの振動エネルギーと車室内の音の変化量の一致性 (Fig. 1)。②は、タイヤからの放射音エネルギーと、車室内の音の変化量の一致性 (Fig. 2) で表し、これらを開発指標とすることに決定した。

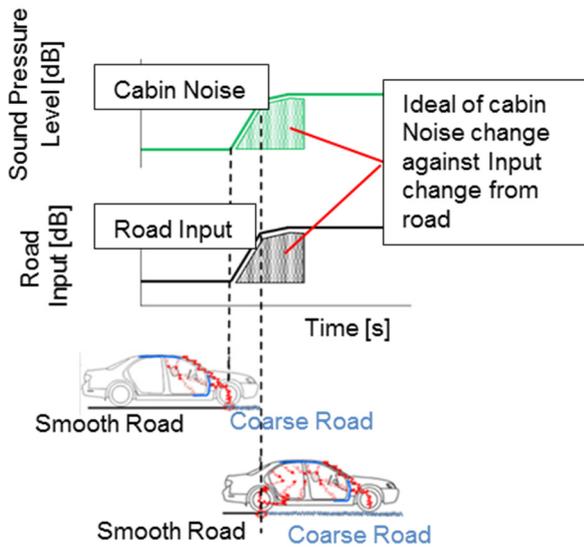


Fig. 1 Road Surface Change from Smooth Road to Coarse Road

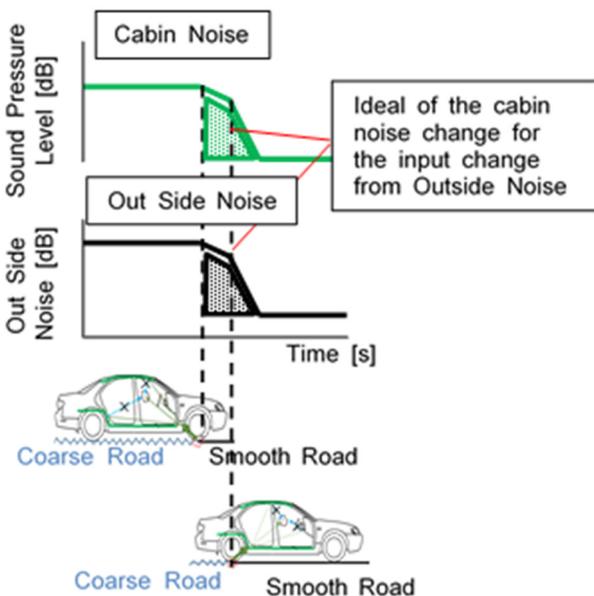


Fig. 2 Road Surface Change from Coarse Road to Smooth Road

2.2 風変動感の指標化

新型MAZDA3では、高速クルージング時においても上質な車室内空間をお客様に提供することを目標として開発した。従来の開発では、会話明瞭度を開発指標として、乗員耳位置での音圧レベルの低減や局所的な音を抑えることで静粛性を向上させてきた。しかし、市場での走行シーンでは、時々刻々と変化する風を受け、バサバサという耳障りな音（風変動感）を感じており、従来の指標では、その音の変化を表現できていない。新型MAZDA3の風騒音開発においては、人が感じる音の時間変化に着目し、新たな指標化に取り組んだ。

まず、走行時乗員耳位置での音の時系列データを計測し、同時にエキスパートによる聴感評価を実施した。

その結果、音圧レベルが時間的に大きく上昇する場合に変動感を感じるようになった (Fig. 3)。次に、走行時の音圧レベルの変化量と、聴感評価点数に相関性があることが分かり、走行状態での変化量の閾値を決めた (Fig. 4)。

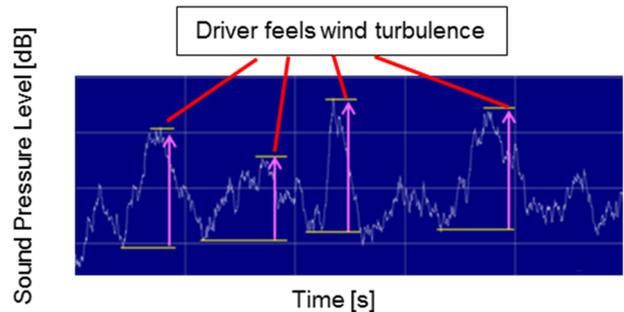


Fig. 3 Temporal Variation of Sound Pressure Level

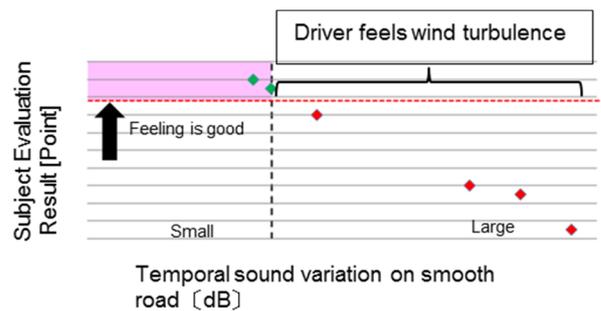


Fig. 4 Index of Wind Turbulence on Smooth Road

続いて、時々刻々と風が変化する環境では開発が困難なため、安定した送風条件下で評価可能な風洞で指標化を行った。走行時の音圧レベル変化量と相関性のある風洞の特性を検討した結果、正対風と横風時の音圧レベル変化量の相関が高く、これを開発指標とすることに決めた (Fig. 5)。

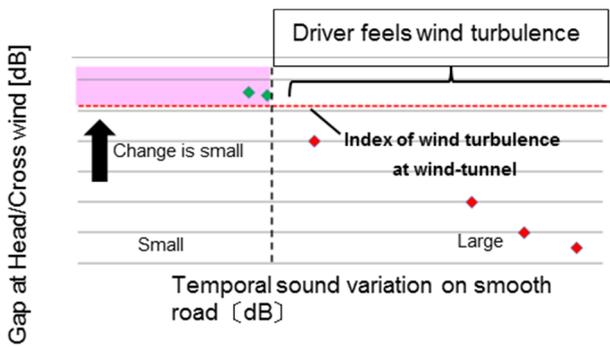


Fig. 5 Wind Turbulence Threshold at Wind-Tunnel

3. 実現手段と達成性能

3.1 路面変化の低減

(1) スムーズな路面から、荒れた路面に変化した時
 走行中にスムーズな路面から、荒れて路面に変化した時のロードノイズは、タイヤが受けた路面からの入力エネルギーが、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。新型MAZDA3では、サスペンションから車体への入力と、車体に入力を与えた時の音の成り易さを表す車体音響感度に対して、ロードノイズ低減の考え方を決めて、質量効率を高めた構造にした。

①サスペンションからの入力低減方法

フロントストラット形式のサスペンション主要モードにおいて、サスペンションの車体側取り付け部が節となるように部品形状をコントロールしている。具体的にはモードの主要ばね要素であるフロントナックル首部において、断面2次モーメントをコントロールしてモードにおける変曲点(a)を設けることで、フロントナックルからロアアームへの入力(b)を最小化させた。これにより、サスペンションから車体へ入る入力を低減した (Fig. 6)。

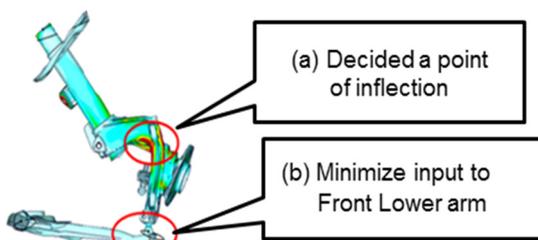


Fig. 6 Nodal Mount

②車体音響感度の低減方法

車体音響感度を低減させるためには、各パネルの振動レベルを低減させる必要がある。新型MAZDA3の開発においては、効率的に各パネルの振動レベルを低減させるために、サスペンションの車体取り付け部の剛性を向上させることで、車体に伝わる振動を低減させた。また、車体の骨格からパネルへと伝達する振動エネルギーを熱

エネルギーに変換させることで振動を低減させた。

a.サスペンション取り付け部の剛性を向上

リアサスペンションからの主要入力点であるトーションビームアクスル取り付け部の剛性を、従来の同形式のサスペンション車に対して向上させた。具体的にはリアフレームの共振モードを元に、フレーム内の最適な場所を抽出し、節形状を適正化した (Fig. 7, 8)。

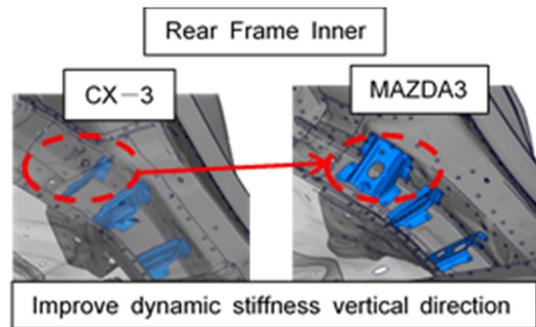


Fig. 7 Optimization of the Reinforce Structure

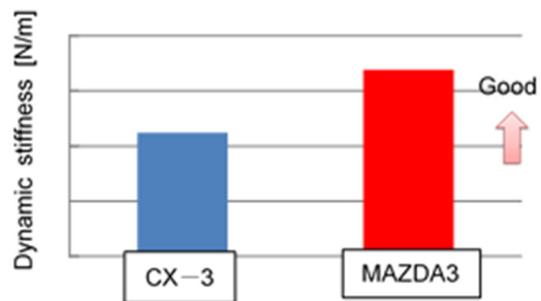


Fig. 8 Body Stiffness of TBA Attachment

b.減衰活用による振動エネルギーの低減

サスペンションから振動エネルギーが入った時の車体の歪エネルギーを分析し、高歪エネルギー部位への減衰材の追加による振動低減を行った。具体的には、フロアなどの接合部における高歪エネルギー部位には減衰接着剤を適用し、フレームの断面変形が大きい所には減衰節を設定した (Fig. 9, 10)。

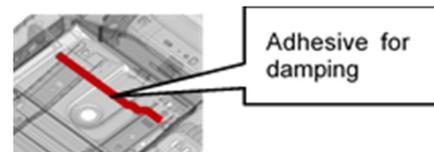


Fig. 9 Adhesive for Damping

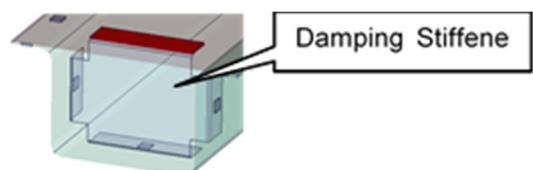


Fig. 10 Damping Stiffener

(2) 荒れた路面からスムーズな路面に変化した時
 荒れた路面からスムーズな路面に変化した時に、車室内に入った音の収まりを良くするために、従来は吸音機能をトップシーリングのみに付加してきたが、新型MAZDA3では更にフロアマットの吸音機能を向上させた。マットの吸音機能を上げるためには、カーペット表皮の密度を上げる手段があるが、質量や運転操作性の相反特性から厚みを抑制しなければならない。新型MAZDA3のフロアマットは、
 (a) カーペット表皮は現状と同じ密度
 (b) ベース層の目付を低減し通気を拡大
 (c) 基材部では厚みを確保し密度の低減を行うことでマットの吸音機能を上げた (Fig. 11)。

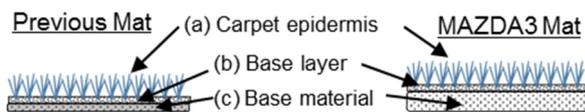


Fig. 11 Composition of Mat

(3) スムーズな路面を走行した時
 スムーズな路面における車室内の音については、空気伝ば音を車室内へ伝えることが重要であり、透過損失（音の反射）をコントロールした。透過損失は、部品単体でいくら高めても、組みつけや他の部品とのスペースの兼ね合いで穴隙が発生してしまうと、10%の場合には7割も透過損失が悪化する (Fig. 12)。新型MAZDA3では、「穴隙ゼロ」という考え方の基、それを2つに定義分けし開発した。

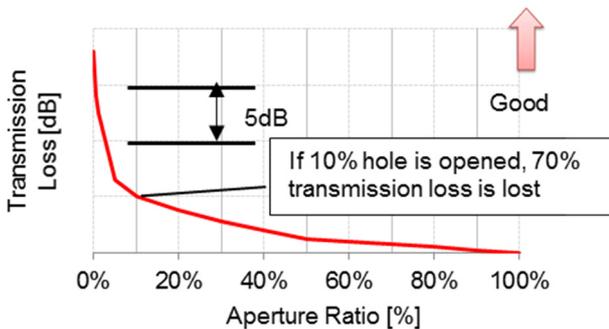


Fig. 12 Relationship Between the Performance of Sound Insulation and Aperture Ratio

①機能上必要な穴

車両には車外と車室内が直通しているが、機能上必要な穴が存在する。代表例として、車両後方にはエキストラクターと呼ばれる車外と車内が直通する穴が存在する。このエキストラクターは、空調で車室内へ入った空気を車外へ出し、ドアを閉める際に室内へ押し込まれた空気を車外へ出す役割を担っており、車の機能上必要な穴ではあるが、音の侵入経路にもなってしまう。従って、こ

れらの相反する機能を満足することができる構造が必要である。新型MAZDA3では、エキストラクターからの経路を管状に囲うように吸音材を配置する、新たな音低減構造を開発した。音を効率よく低減させるためには経路が狭く複雑な構造が良く、一方で空気は経路が広く直線的な構造の方がとおりやすい。そこで、音が低減しやすいように経路の断面積を小さくし、かつ空気の流れを妨げにくい直管形状とすることで、空気を十分に通しつつ侵入音を低減させる構造を実現した (Fig. 13)。

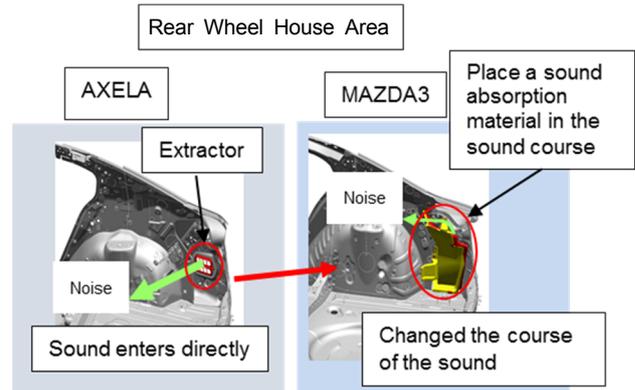


Fig. 13 Structure of Extractor Aeration Part

②音響的な穴

部品の兼ね合いやスペースの都合で、ボディパネルを内装材で覆えていなかった場合、その分の透過損失が低くなってしまいます。それを音響的な穴と定義した。特にフロアパネルエリアの中央部に覆えていない部分が多く、透過損失が低くなっていた。そこで、新型MAZDA3では設計や生産部門と協力し部品の組付け方法の見直しを行うことで、ボディパネルに対して内装材で覆えていない面積を、AXELAに対してフロアパネルエリア全体で13%から6%に低減した (Fig. 14)。

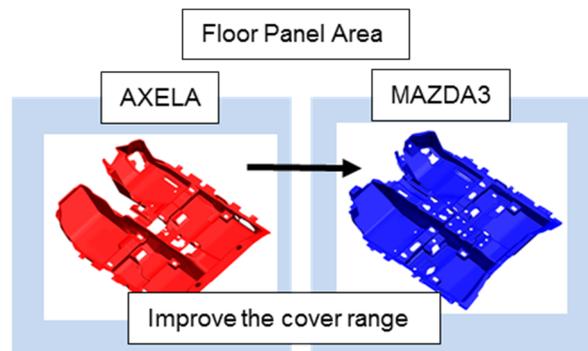


Fig. 14 Floor Panel Area Comparison

3.2 風変動感の低減技術

風変動感の発生メカニズムは、車両廻りの気流の乱れ（渦）で生じる音源（空力騒音）が時間的に変化し、この音源が車室内に伝搬するためである。音源を低減するには、

発生する渦を抑制する必要がある。渦の発生そのものを抑制することで時間的な変化代も低減する。そのため、流れ制御の考え方に基づいて車両の各部位の適正化を実施した。今回、車室内の音に対して寄与が高い(1) Aピラー、(2) ドアミラー、(3) カウルの音源低減事例を以下に示す。

(1) Aピラー：圧力勾配の上昇抑制

下流に向かって圧力が増加する過程で流れがAピラーより剥離し渦が発生する。この圧力変化、すなわち圧力勾配が急になるほど剥離しやすくなるため圧力勾配を緩やかになるようにAピラー形状のRや段差を適正化し、流れを制御することで、渦の発生を抑制し音源を低減した (Fig. 15)。

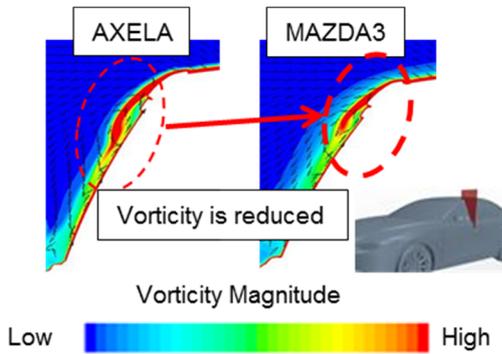


Fig. 15 Vorticity Distribution Around A-pillar

(2) ドアミラー：剥離領域の等速化

ドアミラーの後方で発生する渦は後端のせん断や巻き込みによって発生する。この流れのせん断や巻き込みを制御するために、ミラー後端の速度差を減らすようにミラー外周部の形状を適正化し、流れを制御し音源を低減した (Fig. 16)。

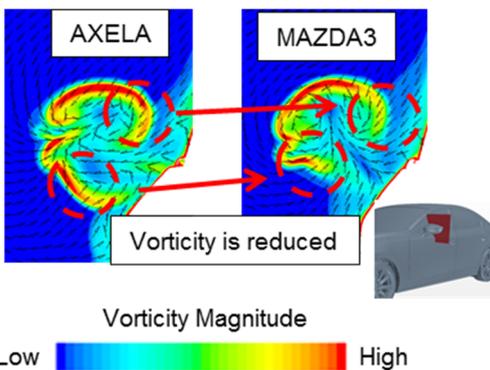


Fig. 16 Vorticity Distribution behind Door Mirror

(3) カウル：剥離領域の流量低減

ボンネット後端での剥離によりカウル内で渦(a)が発生し、更に流れがワイパーに衝突することにより渦(b)が発生する。このため、ボンネット後端位置、ワイパーレイアウトの適正化により、カウル部へ流入する流量を制御することで渦の発生を抑制した (Fig. 17)。

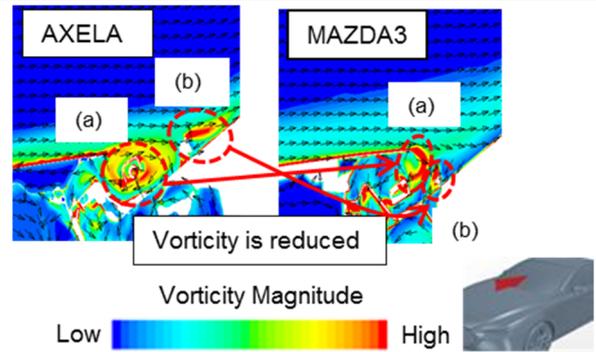


Fig. 17 Vorticity Distribution in Cowl and Wiper Section

各部の流れを制御するための形状因子を簡易モデルのCFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて検討した。これで得られた各部因子をデザインに適用して、渦の発生を低減する流れ制御を実現した。これにより、音源のエネルギーをAXELAから約30%低減することができた (Fig. 18)。

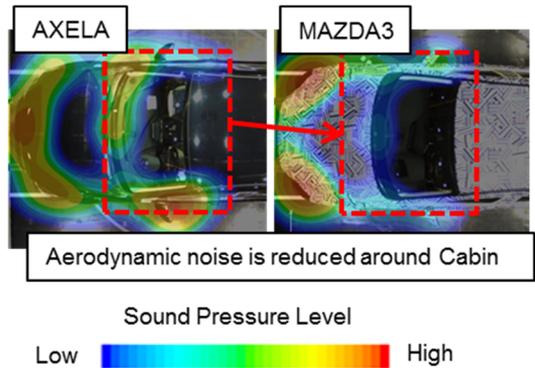


Fig. 18 Aerodynamic Noise Distribution around Vehicle

3.3 新型MAZDA3の達成状況

それぞれの横軸に、従来の開発指標、縦軸には新たに決めた各開発指標での達成状況を示す。

(1) スムーズな路面から荒れた路面への変化

横軸に、荒れた路面を走行した時の車室内の音圧レベル。縦軸に、スムーズ路面から荒れた路面に変化した時の一致性を示す。新型MAZDA3はAXELAに比べ両軸の指標とも向上させた (Fig. 19)。

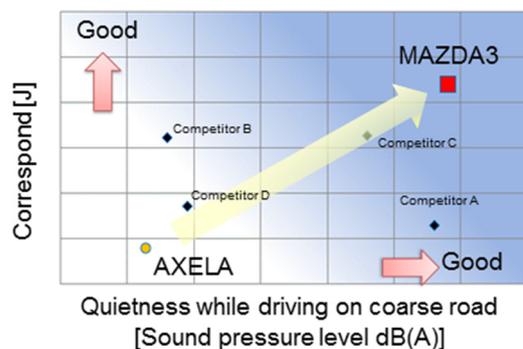


Fig. 19 Noise Change from Smooth to Coarse Road

(2) 荒れた路面からスムーズな路面への変化

横軸に、スムーズな路面を走行した時の車室内の会話明瞭度。縦軸に、荒れた路面からスムーズな路面に変化した時の一致性を示す。

新型MAZDA3はAXELAに比べ両軸の指標とも向上させた (Fig. 20)。

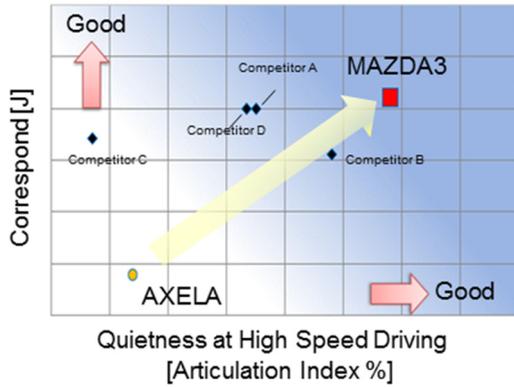


Fig. 20 Noise Change from Coarse to Smooth Road

(3) スムーズな路面を走行した時の風変動

横軸に、スムーズな路面を走行した時の車室内の会話明瞭度。縦軸に、風が変動した時の音圧レベルを示す。新型MAZDA3はAXELAに比べ両軸の指標とも向上させた (Fig. 21)。

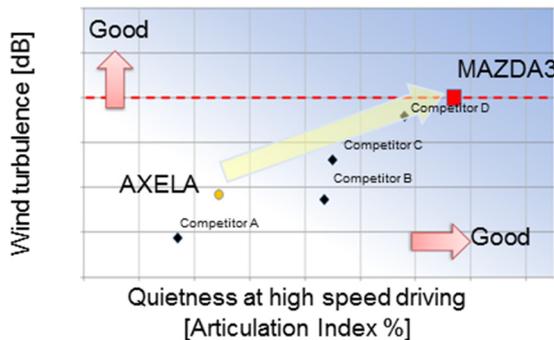


Fig. 21 Wind Noise

従来の音圧レベルの開発に加えて、路面や風などの変化に対する開発をすることで、運転に必要な情報を適切伝えることで、会話がしやすく、人が心地よく感じられる「質の高い静粛性」を実現した。

4. おわりに

以上、新型MAZDA3の静粛性開発について紹介した。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は、人間中心の考えの基、「質の高い静粛性」を追求し続けることが必要である。その実現に向けた、NV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) 永本ほか：新型CX-5の静粛性開発についての紹介，マツダ技報，No.34，p.20-24 (2017)

■ 著 者 ■

