

特集：新型CX-9

6

新型CX-9の静粛性開発について Quietness Development for New CX-9

清水 勝矢*1 Katsuya Shimizu	楠木 大地*2 Daichi Kusuki	熊本 和矢*3 Kazuya Kumamoto
粟根 正浩*4 Masahiro Awane	中山 博資*5 Hiroshi Nakayama	山本 晃平*6 Kohei Yamamoto

要 約

新型CX-9のNVH性能では“安心／快適”をお客様への提供価値として、マツダのハイエンドモデルにふさわしい性能を実現した。特に、近年お客様の期待が高まっているクルージング走行時の静粛性に対して、開発初期段階からお客様視点を重視した新たな取り組みを行った。静粛性指標を新たに作成し、新型CX-9のメイン市場である米国現地のメンバーとともに、人の感じ方を重視した“突き抜けた静粛性”を定義し、新型CX-9の静粛性目標とした。静粛性に関連するロードノイズ・風騒音・遮音性能のメカニズムを基に、質量効率を向上させながら、新たな構造を関連部門と共創することにより新型CX-9で“突き抜けた静粛性”を実現した。

Summary

As Mazda's flagship model, the new CX-9 achieved high NVH performance that is appropriate for its class with “safety and comfort” as our customer values. Especially, we focused on the quietness at cruising speed to meet the rising customer expectations from the early development stage using our new approach for customer satisfaction. We defined the “Outstanding Quietness” together with our local members in the U.S., which is the main market for our new CX-9, by focusing on the human senses (how customers perceive quietness) and creating a new set of indices for quietness. Then those were set as the new CX-9 targets for quietness. The new CX-9 achieved “Outstanding quietness” by a brand new noise structures with improved weight efficiency based on road noise, wind noise, and isolation mechanisms.

1. はじめに

新型CX-9では、近年お客様の期待が高まっている静粛性に対し、開発初期段階から新たな取り組みを行った。

お客様視点をより考慮し、「会話のしやすさ」の指標を取り入れ、人の感じ方を重視した目標設定を行った。また、開発初期段階に、その目標を具現化した試作車の評価をメイン市場である米国市場で行い、競合車を凌駕する静粛性目標であることを確信した。開発段階では、この高い目標の達成を目指し、関連部門一体となり開発を行った。

本稿では、静粛性に関連するロードノイズ・風騒音・遮音性能を向上し、新型CX-9で“突き抜けた静粛性”をどのように実現したか、その手段と達成性能を紹介する。

2. 開発の狙い

新型CX-9の静粛性開発では、人の感じ方を重視した静粛性を開発の狙いとした。

“安心／快適”をお客様への提供価値とし、高速クルージング走行で“快適”を感じられる「会話のしやすさ」と、路面変化に対しても“安心”を感じられる「荒れた路面での音圧」を用い、静粛性指標を作成した。

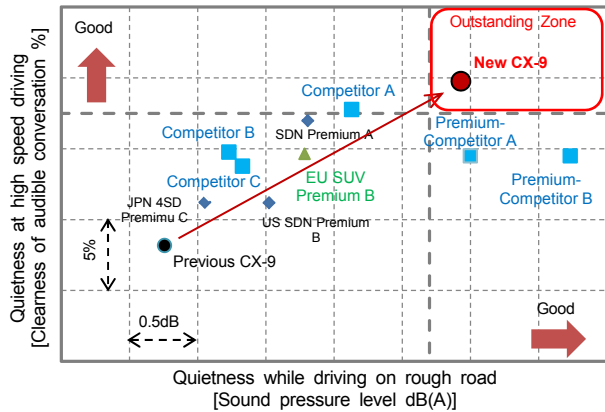
会話のしやすさとは、走行中にお客様が風騒音やタイヤ音のために声を上げることなく、どれだけ快適に会話ができるかを示す。荒れた路面での音圧は、路面環境が変化してもお客様がロードノイズの変化に煩わしさを感じることなく、どれだけ安心して運転できるかを示す。

この指標において、米国現地のメンバーとともに、人の感じ方を重視した目標設定を行った。具体的には、「会話

*1～6 NVH性能開発部
NVH Performance Development Dept.

のしやすさ」の軸に会話が十分に楽しめ快適を感じられるレベル、「荒れた路面での音圧」の軸へ安心を感じられるレベルを定義し、ともにそのレベル以上にあるZoneを、「突き抜けた静粛性」として定義した。

新型CX-9では、そのZone内に目標を設定し、「突き抜けた静粛性」を実現した (Fig. 1)。



3章では、この静粛性指標上の「会話のしやすさ」と「荒れた路面での音圧」をどのように性能向上したかを達成性能と達成手段で示す。

3. 達成性能と達成手段

3.1 会話のしやすさ

(1) 達成性能

新型CX-9では、高速クルージング走行時のあらゆるシーンにおいてお客様が「快適」を感じられる性能を目指した。Fig. 2は、静粛性指標上の「会話のしやすさ」を示している。人の感じ方から、会話を楽しめる快適なレベルを定義し、その実現を目指した新型CX-9は、プレミアム競合車も含めてトップクラスを実現した。

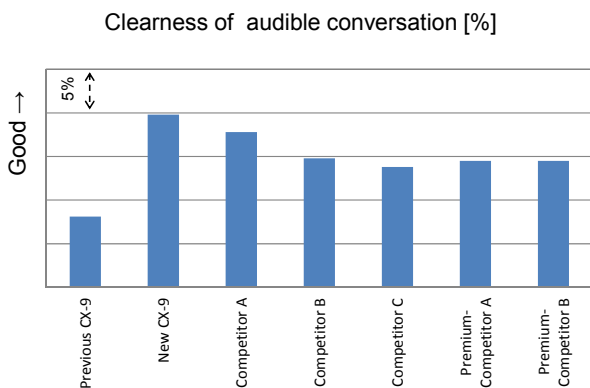


Fig. 2 Clearness of Audible Conversation Comparison

また、あらゆるシーンで「快適」を感じられるために、お客様の使用シーンを考慮し、車速変化や、横風変化にも

安定した静粛性を実現した。会話のしやすさの車速に対する変化をFig. 3に、横風の強さに対する変化をFig. 4に示す。

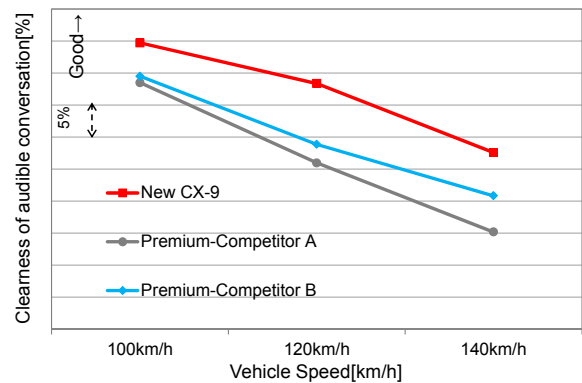


Fig. 3 Quietness Characteristics on Vehicle Speed

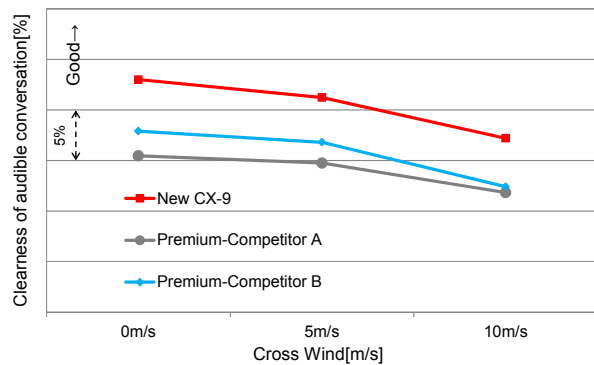


Fig. 4 Quietness Characteristics on Cross Wind

(2) 達成手段

会話をしやすくするためには、高速クルージング走行時に支配的となる風騒音とタイヤ音を車室内において低減する必要がある。音源が伝達特性の影響を受け車室内での音となる空気伝播の現象において、音源低減と伝達特性改善 (遮音性能向上) を図ったので、その開発内容を紹介する。

a. 音源低減

音源低減の事例として風騒音の空力音源低減の達成手段を以下に示す。

風騒音の音源低減に対し、車両前側と後側で各エリアの寄与度分析を行った。

車両前側ではフロントドアサッシュのパーティング部とフロントドアガラスの寄与度が大きい結果となった。そのフロントドアへの性能向上を行った例を Fig. 5に示す。

Aピラーとフロントドアサッシュの隙間と段差によって気流の渦が発生し、これが騒音となっていることが大きな要因であった。CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて気流の渦を可視化し、騒音が発生する部位を明確にした。車両表面の隙や段差を抑制し、流れをスムーズに

Area contribution of wind noise.

(140km/h,3150Hz Previous CX-9 Front seat outboard ear.)

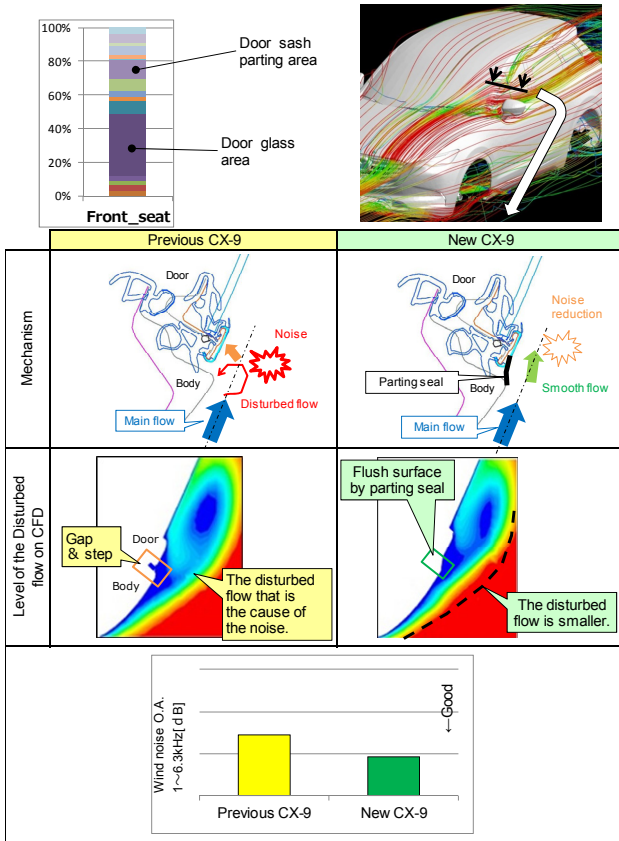


Fig. 5 Improvement of Front Door Seal

することで渦による騒音を低減することができる。この結果から、新型CX-9では新たな構造としてフロントドアサッシュのパーティング部にシール部品を設定した。

この他に寄与が大きいフロントドアガラスについては3.1-(2)-b.で紹介する。

次に車両後側ではリアドア後方のパーティング部も寄与度が高い結果となった。そのリアドアへの性能向上を行った例をFig. 6に示す。リアドアとボディの狭い隙間を空気が流れることによって発生する騒音が大きき要因であった。実車の発煙検証やCFDを用いてリアドアとボディの狭い隙間を流れる空気の経路を解明した。狭い隙間を流れる空気を抑制することで騒音を低減することができる。

この結果から、新型CX-9では空気の入出口であるリアドア後方のボディとのパーティング部にシール部品を設定した。

b. 伝達特性改善

伝達特性の性能向上事例として遮音性能向上の達成手段を以下に示す。

風騒音に対しては、音源低減に加え、風騒音音源に対する遮音性能を旧モデル比大幅に向上した。

Aピラーやドアミラー周りに発生する大きな空力騒音に対して、新型CX-9ではフロントドアガラスに現行ガラス

Area contribution of wind noise.

(140km/h,3150Hz Previous CX-9 2nd seat outboard ear.)

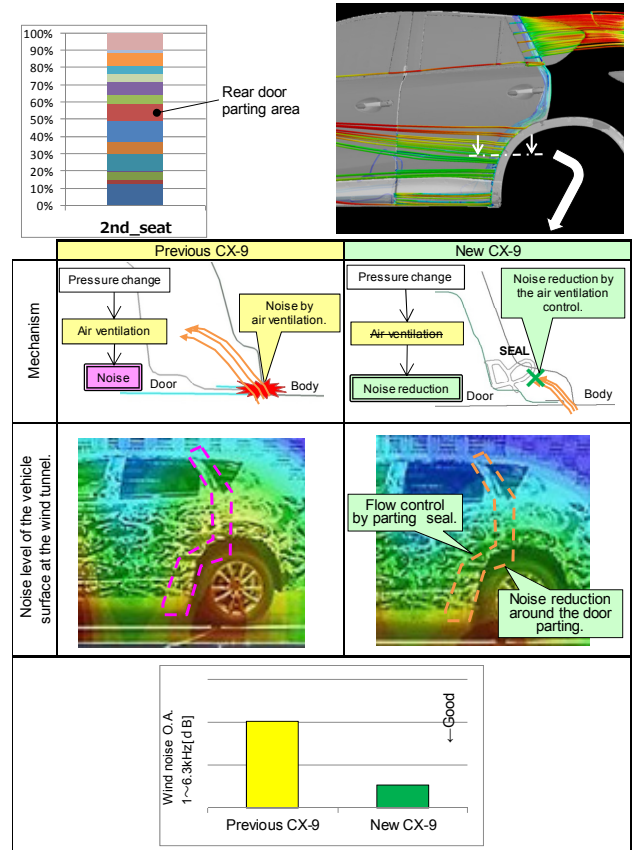


Fig. 6 Improvement of Rear Door Seal

よりも板厚を上げた遮音ガラスを採用し、車室内への音源伝達効率を抑制した。

タイヤ音に対してはタイヤ音源に対する遮音性能を旧モデル比大幅に向上した。新型CX-9の開発においては、このタイヤ音源に対して、まず車室内のインパネ部、ドア部等、音がどこから伝達されているかについて徹底的に解析を行った。

解析の結果から、ダッシュ下部を含むフロア周りから放射音を大幅に低減させる必要があることが分かり、音を通過させない特性である透過損失を飛躍的に高めることを目指した。一方で、透過損失は単純に質量則（質量に比例して透過損失が高くなる）で改善させると重量インパクトが大きくなることから、効率的に改善できる工夫が必要となる。そこで新型CX-9では、フロアマットの非通気層と鉄板の質量配分をコントロールすることで2重壁構造を強化した (Fig. 7)。

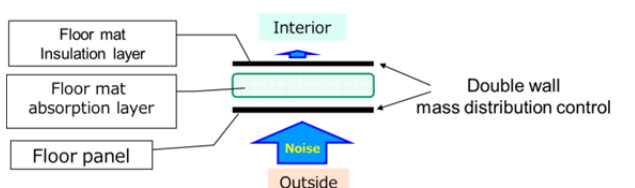


Fig. 7 Double Walled Structure

この結果、透過損失を大幅に強化しかつ、重量と会話のしやすさ効率では、プレミアム車を含め競合車中トップレベルを実現した (Fig. 8)。

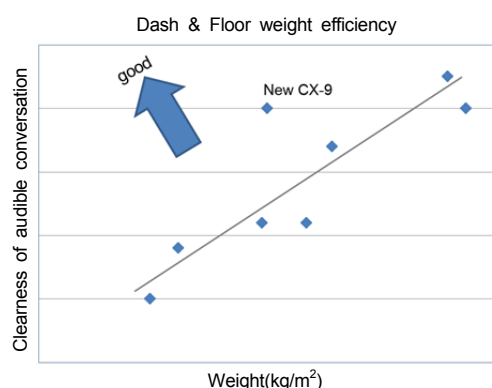


Fig. 8 Weight Efficiency of Insulator

車両後周りの伝達特性低減には、フロア後側の透過損失を向上したことに加えて、(A) トランクサイドエリアの透過損失強化と、(B) エキストラクターからの侵入音低減を行った (Fig. 9)。

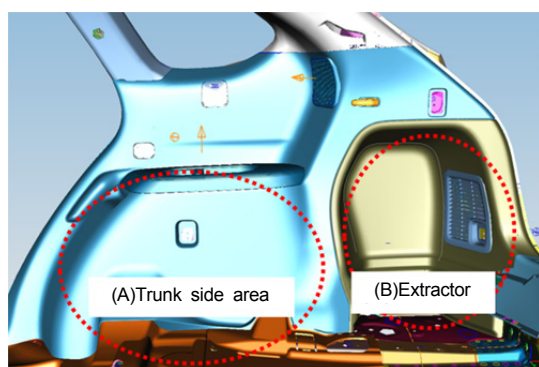


Fig. 9 Rear Area Improvement

まず、(A) については、旧型CX-9のトリム裏面に吸音材を設定し、ホイールハウスパネルから放射されるタイヤ音を吸収させる構造に対し、新型CX-9では吸音材の透過損失を高め (Fig. 10)、配置を工夫することで、このエリアの透過損失を大幅に強化させた。

次に (B) については、空気を通しかつ、エキストラクターからの侵入音をいかに効率良く吸音させるかがポイントとなる。そこで、CX-5以降の新世代商品群から導入している経路遮断と集中吸音構造に、今回更にエキストラクター本体にダクト状ユニットを追加したことで、集中吸音性能を向上した。また、このダクト状のユニットの開発においては、車室内の風流れを徹底的に分析し、エキストラクター本来の機能である空調性能及びドア閉まり性能のための通気抵抗を悪化させないことに注力している。

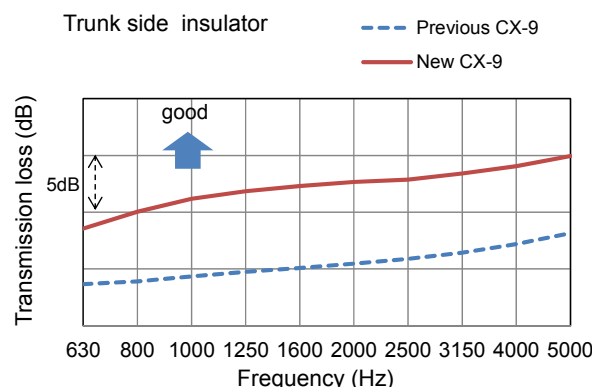


Fig. 10 Transmission Loss of Trunk Side Insulator

上記の例に加えて、新型CX-9の開発では車両全体で透過損失と吸音性能を強化することで遮音性能を大幅に向上し、かつ質量効率を高めることができた。

3.2 荒れた路面での音圧

(1) 達成性能

新型CX-9は、あらゆる路面でお客様が“安心感”を感じられるロードノイズ性能を目指した。

Fig. 11は、静粛性指標上の「荒れた路面での音圧」を示している。人の感じ方から、安心を感じられるレベルを定義し、その実現を目指した新型CX-9は、競合車トップレベル、プレミアム群とも肩を並べるレベルを実現した。

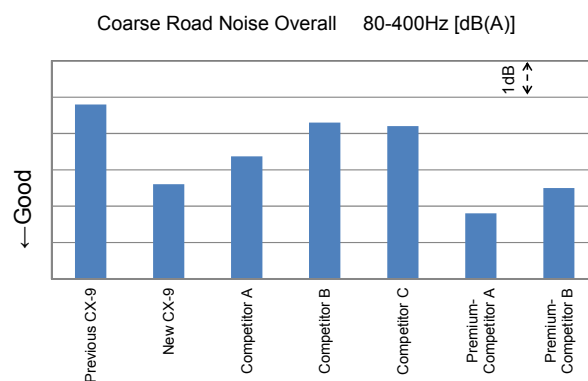


Fig. 11 Coarse Road Noise Comparison

(2) 達成手段

新型CX-9の開発においては、新世代商品群で採用しているSKYACTIV TECHNOLOGYの一括構想の構造を引き継ぎながら、ロードノイズを大幅に低減する必要があった。またSKYACTIV TECHNOLOGYの利点である軽量化との両立を図るため、車体領域では新たな解析手法を適用した。また、サスペンション領域では各 부품のメカニズムを詳細に分析することで、重量効率を最大限に高めた構造を織り込んだ。

a. 車体最適構造実現に向けた新開発手法の適用

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。

これまでの開発では、各部位につき代表点を1点設定し、その点での加速度応答 (A/F: Acceleration/Force) を開発指標としていたが、新型CX-9の開発においては、新指標としてパネル等価放射パワー (ERP: Equivalent Radiated Power) を採用した。Fig. 12に示すように、点指標による管理から面指標による管理へと置き換え、点指標ではとらえきれない局所的なモードまでを網羅可能とすることで、より詳細な現象把握を実現し、適切な改善要件の提案へとつなげた。

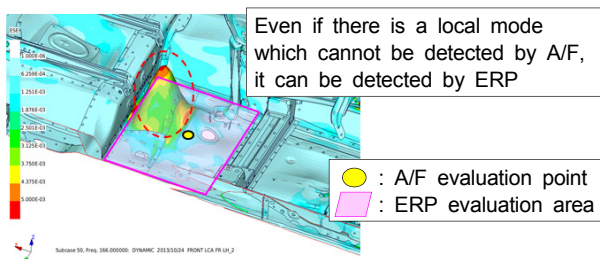


Fig. 12 Comparison between A/F and ERP

更に開発過程では、車体音響感度に影響の大きい部位・周波数帯域をあらかじめ網羅的に明らかにしたうえで、ERP目標を設定し、開発を進めた。その結果、性能レベルを大幅に引き上げつつも、重量増加を最小限とする構造を織り込むことができた。

例えば、センターフロアでは、性能を向上させる部位・周波数帯域を絞り込むことにより、Fig. 13 のとおり、最終構造決定時点まで、基本的にはフロアパネルの形状変更のみで性能を向上させた。その結果、コストや重量をかけることなく、ロードノイズ性能の目標を実現できた。

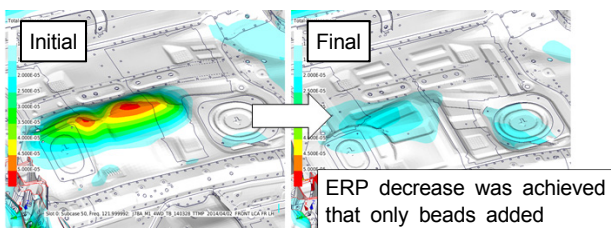


Fig. 13 Modification of the Shape of the Center Floor

b. サスペンション伝達特性の向上手法

サスペンションについては、以下の2つを基本コンセプトとして開発した。(A) 主要モード共振周波数の離間によるモード連成防止、(B) 実走時の特性を考慮したブッシュ開発による伝達特性向上、である。

(A) のサスペンション主要モードのアライメントについては、新世代商品群開発で管理している寄与の高い主要

モードに加え、新たに複数のモードを管理対象として追加することで、より確実にモードの連成を防止することができた (Fig. 14)。

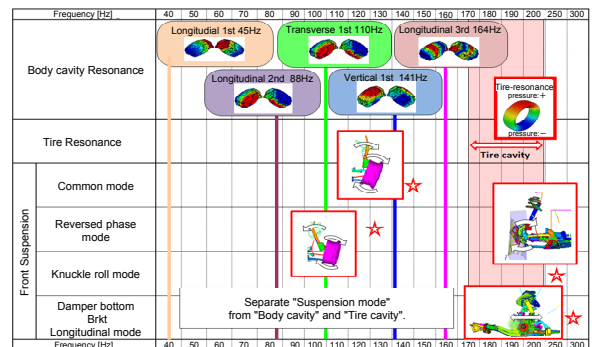


Fig. 14 Suspension Modal Alignment

また、他性能とのバランスや重量効率面から、各サスペンション共振周波数の分散が困難と判断した箇所については、ダイナミックダンパーを設定した。このうちリアトレーリングアームのダイナミックダンパーは、2つの異なる共振に対し効果を持たせることで、重量効率を最大化させた (Fig. 15)。

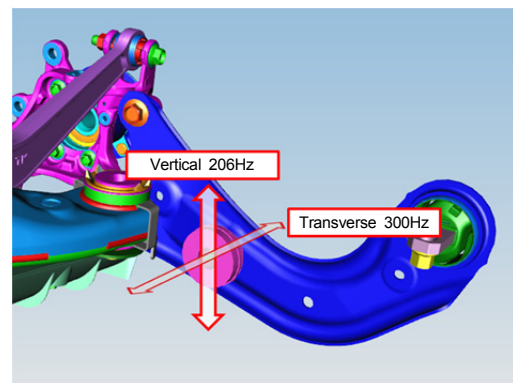


Fig. 15 Dual Direction Dynamic Damper

(B) の伝達特性向上に当たっては、ブッシュ特性の設定方法を進化させた。経路寄与が高く、構造上、実走時に大きなプリロードがかかるフロントロアアーム後側ブッシュに対しては、既存の静止状態における管理指標では不十分である。新型CX-9では、走行抵抗による変位量を計測し、実走時の動バネ特性が最適となるようにブッシュメーカーと協働で管理する特性の計測条件を再構築した。

4. おわりに

以上、新型CX-9の静粛性開発について紹介した。お客様に安心、快適を提供するために、社内の開発、生産、品質管理部門、及び社外協力関係者が一丸となって、各 부품の最適化と改良に取り組み、現行モデルに対して静粛性を大きく向上できたと自負している。今後もお客様視点での

静肅性の向上に取り組んでいく。

■ 著 者 ■



清水 勝矢



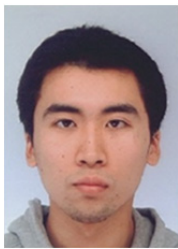
楠木 大地



熊本 和矢



栗根 正浩



中山 博資



山本 晃平