

特集：MAZDA CX-60

11

## CX-60 のシャシーダイナミクス技術 Chassis Dynamics Technology for CX-60

豊島 由忠<sup>\*1</sup> 本村 浩一<sup>\*2</sup> 三宅 輝<sup>\*3</sup> 虫谷 泰典<sup>\*4</sup>  
 Yoshitada Toyoshima Kouichi Motomura Akira Miyake Yasuyoshi Mushitani  
 奥山 和宏<sup>\*5</sup> 平松 大弥<sup>\*6</sup> 加瀬 泰宏<sup>\*7</sup> 澤井 亮<sup>\*8</sup>  
 Kazuhiro Okuyama Masaya Hiramatsu Yasuhiro Kase Ryo Sawai

### 要 約

マツダが一貫して追求し続けていること、それはクルマが身体の一部になったかのようになじみ、意のままに気持ちまでも通じ合う「人馬一体」によって、ドライバーに感動や活力、自信を感じてもらうことである。そのための開発哲学が、人を徹底的に研究し人の本来もつ能力や感覚を最大限に活用する「人間中心の開発哲学」である。CX-60では、人が道具を体の一部のように同化する人間の能力「身体拡張能力」に着目した。

この能力を最大に発揮するためのポイントは、以下の3点である。

- (1) 人の操作に対するクルマの反応が素早くシンクロする、すなわち操作とクルマの挙動の時間変化が一致すること
- (2) 路面の凹凸などによる外乱や人の操作側の変化があってもシンクロが持続すること
- (3) クルマの反応を、五感で正確に感じ取れること

この3点について新設計のサスペンションを始め、力の伝達経路に沿ってシート骨格に至るまで徹底的に見直しシャシーダイナミクスを作り込むことで、あたかも「脳とクルマが直結」しているかのような感覚と従来商品を大幅に超える人馬一体を実現した。

### Abstract

Mazda has been consistently pursuing “Jimba-ittai” feeling, a sense of oneness between a car and driver, allowing a driver to feel the car as a part of the driver’s body, and the car moves just as the driver intends, which delivers excitement, vitality and confidence to the driver. Our vehicle development philosophy is “human-centered” that makes full use of people’s innate ability and senses. For the CX-60, we focused on human’s “body expansion ability” with which people are able to assimilate a tool as a part of human body.

Keys to maximize the ability in driving are three mentioned below.

- (1) A vehicle quickly responds to driver’s input, in other words, the time change of driving operation and vehicle behavior coincides.
- (2) The concurrency endures disturbances on rough surfaces and some changes in driver’s operations.
- (3) Driver is able to catch vehicle’s response precisely through the five senses.

With the view of the above three key points, we thoroughly reviewed the seat frame including newly-designed suspension, along the transmission course of the power to improve chassis dynamics, and realized the feeling as if driver’s brain is directly connected with the car, and Jinba-ittai feel greatly exceeding the current PF.

**Key words** : Jimba-ittai, Development, Philosophy, A part of human body, Coincides, Concurrency, Precise, Chassis dynamics, Brain

\*1~4 操安性能開発部  
Chassis Dynamics Development Dept.

\*5,6 シャシー開発部  
Chassis Development Dept.

\*7,8 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

### 1. はじめに

マツダは、「人間中心の開発哲学」に基づき、人の普遍的な能力を最大限活用できるクルマ造りを進化させてきた。新世代スモール商品群では、クルマの理想状態として人の歩行における「動的バランス保持能力」に着目し、乗員が運転または乗車している時であってもこの能力を最大に発揮することで、頭部を安定させ疲れにくく安心して移動できる、車両の特性を作り込んだ。今回の新世代ラージ商品群では、スモール商品群までに具現化してきたモノ造りを土台とし、人が道具を体の一部のように同化する「身体拡張能力」に着目した。人が身体拡張能力を発揮する状態とは、体の動きを予測し調整するための〈身体図式〉と呼ばれる脳内モデルに、道具の特性が組み込まれることで、人の意識が道具そのものではなく道具が扱おうとする対象に向かう状態である。下記 (Fig. 1) は、箸を道具とした時と、車を道具とした時の人の意識の動きを示す。

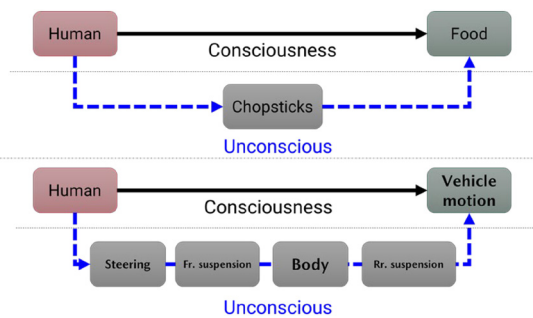


Fig. 1 Human Ability to Handle Tools Like Parts Own Body

クルマにおいては、体の動きに同調した道具の動きを運転中のいかなる場面でも五感で常に把握できることを理想状態と定めた。これを車両全体で統合的に作りこむことでまるで「脳とクルマが直結」しているかのような感覚と、それによって誰もが大きなパワー／サイズのクルマを、手足のように操れるクルマ造りに挑戦した。

### 2. 技術コンセプト

#### 2.1 操作に対するクルマの反応が素早くシンクロ

着目したのは、人からクルマへの力の流れである。理想状態は、下図 (Fig. 2) に示すように、Input (操作) に対し Output (応答) が、応答遅れは存在しながらも応答波形が相似していることと定義した。

クルマにおいては、人の操作と応答の間に多くの部品が介在している。それらの部品の剛性で、Input と Output の関係が決まることから、その剛性配分に着目した。下図 (Fig. 3) は、フリクションをもつ2つの部品 (UNIT ①②) で直列に構成されたモデルの応答を時間軸で示したものである。力の流れる方向に順に剛性を高めていくバランスが理想状態である。

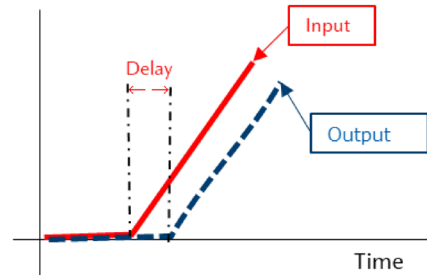


Fig. 2 Ideal State of Input and Output

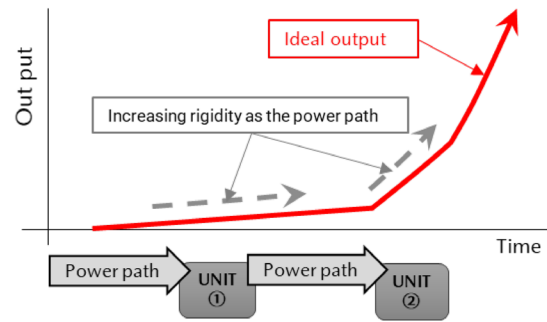


Fig. 3 Ideal Stiffness Distribution

クルマの旋回時において考えると、人の操作 (INPUT) は、ステアリングからフロントサスペンション、車体、リアサスペンションと順に伝わっていく。その結果として、ばね上運動を伴う平面運動が発生する。従来は、力に対する応答のみを追求しシステムごとに応答を高める設計をしていたが、今回 CX-60 では、力の伝達の連続性に着目し、下図 (Fig. 4) に示すように、各システムの応答を力の流れる方向に向かって、途切れることなく繋げるようにした。ポイントは、図中に示す2つである。①は、車両の初期応答を抑え整えるフロントサスペンションの技術。②は、リアサスペンションの応答を高めシンクロさせる技術である。それぞれ次項 3.1 と 3.2 で紹介する。

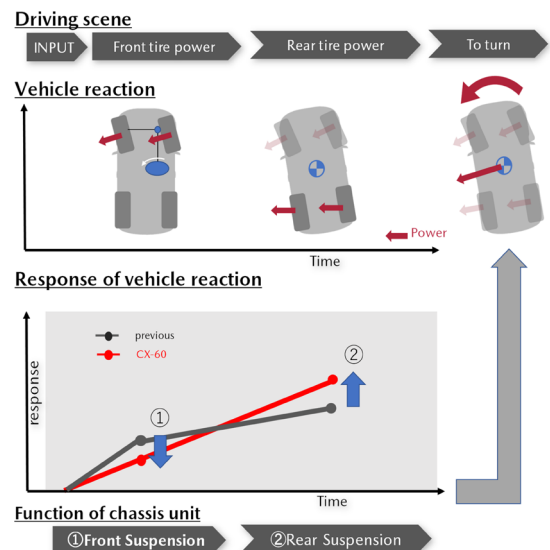


Fig. 4 Input Transmission Order and Response Modification

### 2.2 路面外乱や操作変化に対してシンクロが持続

素早くシンクロさせた後、これを持続させることが「脳と直結したような感覚」の実現には必要である。そのために、路面外乱に対して、バネ上を素直にバウンスさせながらも、不必要なピッチングを抑えることでシンクロが持続できることに着目した。従来、路面外乱に対しては、前後各輪それぞれで力を滑らかにバネ上に伝える技術を採用した。今回は、加えて前後輪の入力の向きを揃えることで、操舵に対するシンクロを、維持させた。この技術の一例を次項 3.3 で紹介する。

### 2.3 クルマの反応を、五感で正確に感じ取れる

脳に組み込まれた身体図式は、五感を通じて得られる情報によって常に更新され続けている。つまり、いかなるシーンでも、クルマ動き（情報）を人に正確に伝える必要がある。情報は、さまざまな部品を介して人に伝えているが、最終的にシートを介して伝わっている。CX-60 では、これまで以上に、人に正確な情報伝達が可能なシートを開発したので、その一例を次項 3.4 で紹介する。

## 3. 導入技術

### 3.1 人の操作を正確にフロントタイヤの横力に変える技術

まず着目したのは、フロントの転舵軸の最適化である。従来は、ハンドルを切った際にタイヤが元に戻る復元力を得やすく、高速走行での安定性を向上させるために、転舵軸の傾きを大きくする必要があった。しかし、その反面大きくすると、力の伝達順にかかわらず操舵と同時にヨー、ロール挙動を発生させていた (Fig. 5 赤矢印の部分)。

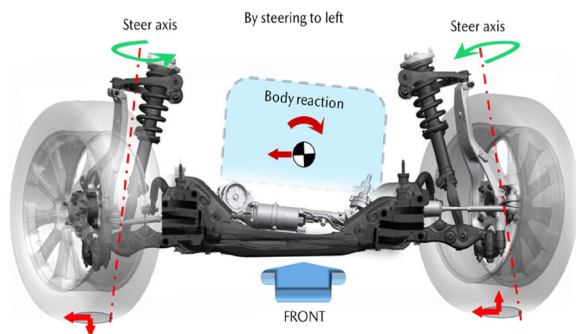


Fig. 5 Mechanism of Caster Action

そのため、従来車では操作初期において応答が高くなる傾向にあった。今回は、転舵軸の傾きによるばね上の動きを最小化するために、復元力による高速での安定性は、リアサスペンションの特性を最適化し補うことでバネ上の動きを従来比較で大幅に低減した。図 (Fig. 6, 7) は、その結果を示す。

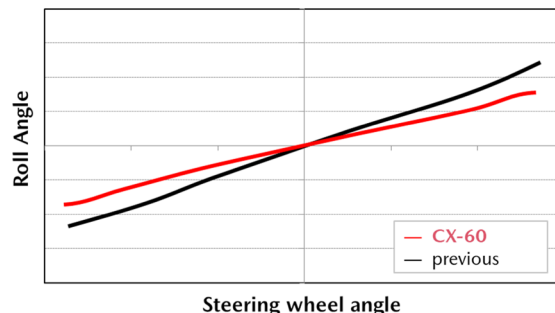


Fig. 6 Steering Angle vs. Roll Angle

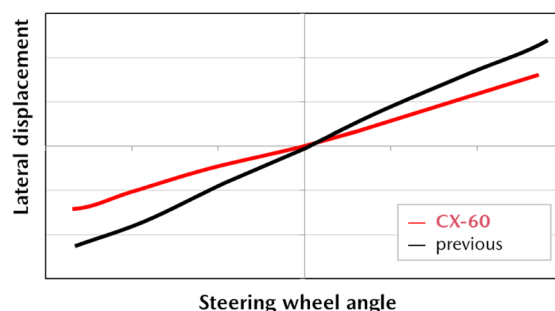


Fig. 7 Steering Angle vs. Lateral Displacement

### 3.2 リアサスペンションによる応答を高める技術

応答性を高めるには、サスペンションの剛性を高めることが必要であるが、一方でしなやかな乗り心地と NVH 性能のためには、一定以上のコンプライアンスが必要である。この背反をブレークスルーするために、下図 (Fig. 8) に示すとおり、サスリンクに支持剛性機能を集約し、サスクロスマウントに振動抑制の機能を集約した新しい剛性配分の最適化技術を紹介する。

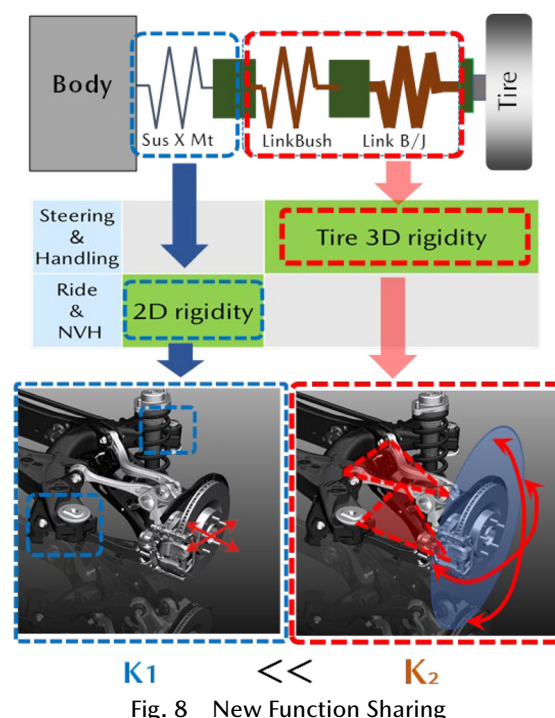


Fig. 8 New Function Sharing

(1) トラス配置のマルチリンクサスペンション

今回は、新設計のマルチリンクサスペンションを採用した。特に注力したのは、リンク配置である。図 (Fig. 9) に示すように上下に配置する 4 本のリンクを相似形でかつ、トラス (三角形) 配置とすることで、幾何学的剛性を高めた。加えて、タイヤ側にはボールジョイントを採用し、ボディー側のブッシュにおいても剛性を高めつつ、スムーズなストロークを実現した。これによりタイヤの支持剛性を高めた。

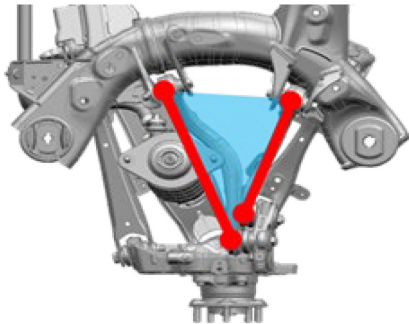


Fig. 9 Truss Layout Rr. Suspension

(2) サスクロスマウントでの乗り心地及び NVH との両立

サスクロスマウントは、ゴムボリュームも大きく、リンクブッシュに比べ振動抑制の機能効率が高い。下図 (Fig. 10) は、乗り心地に必要な理想コンプライアンスを維持しながらも 3D 指標でのタイヤ位置決め剛性実現した結果を示す。

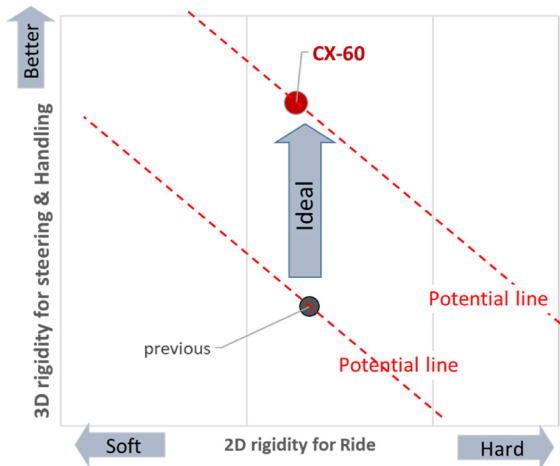


Fig. 10 Tire 3D Rigidity vs. 2D Rigidity

3.3 前後サスペンション作動軸の最適化

前後輪の入力の向きを揃えるために注力したのは、サスペンションの作動軸である。サスペンションには、さまざまな機能が求められており、その機能を満たすために全体バランスを考慮しながらアームやリンクの配置な

どを決定してきた。しかし、前後のサスペンションの作動軸を揃えることは難しく、一つのスロープを乗り越えるシーンで見れば、ピッチ挙動を誘発し、人のバランス保持を阻害する要因が残っていた。この作動軸の前後差を極限まで抑えることに挑戦した。その結果、フロントはダブルウィッシュボーン式、リアはマルチリンク式を採用し、前後輪のタイヤの上下軌跡の回転中心を結んだピッチングセンターを、車両の後方に配置させることで作動軸を一致させた。下図 (Fig. 11) は、その状態を示す。

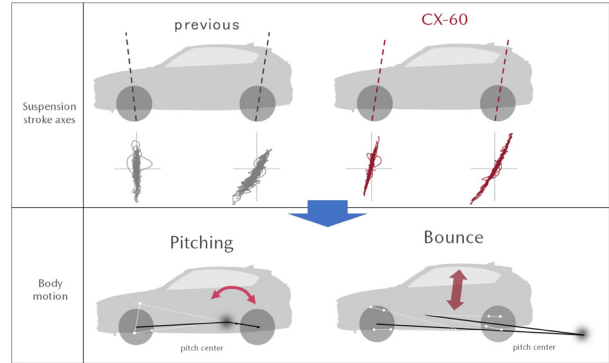


Fig. 11 New Suspension Stroke Axes

下図 (Fig. 12) は、バネ上がバウンス基調となる動きを実現したことで人がバランスを取りやすくなり、人の頭部の動きを大幅に減少させた結果を示す。

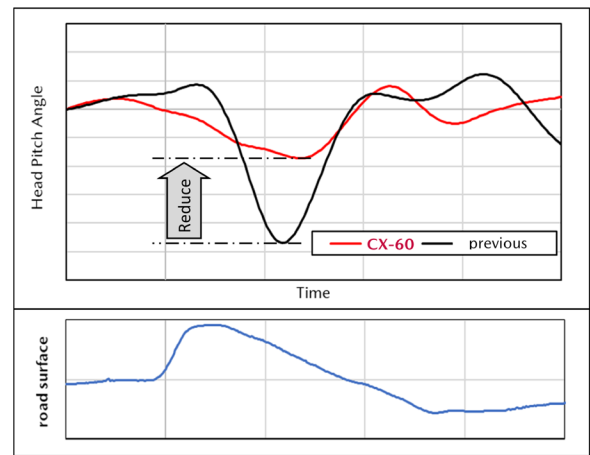


Fig. 12 Driver's Head Pitch Angle

3.4 シート剛性機能配分の最適化

(1) 力の伝達をストレート化

路面からの正確な情報伝達とは、力の変化を人へリニアに伝達することである。その力の伝達に大きく関わっているシート骨格は、図 (Fig. 13) に示すように大きく 3 つの領域で構成されている。シート骨格を構成する部品は、車体へ取り付け部も兼ねている「スライダー」とシート基本骨格である「フレーム」、そして「スライダー」と「フレーム」を繋ぐ「ブラケット」となっている。

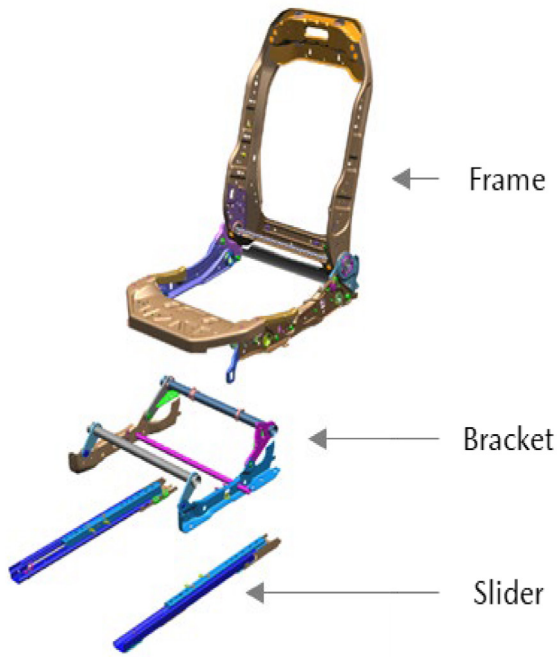


Fig. 13 Seat Structure

これらの部品の剛性が低いと、ボディからシートへ伝達された力が、異なる方向へ逃げたり遅れて伝わり、車両から人へ正確な情報伝達が損なわれる。下図 (Fig. 14 の赤枠) に示すとおり、シート骨格の左右剛性 (バネ定数) を強化し、入力に対して力の分散を抑制しリニアリティを高めた。

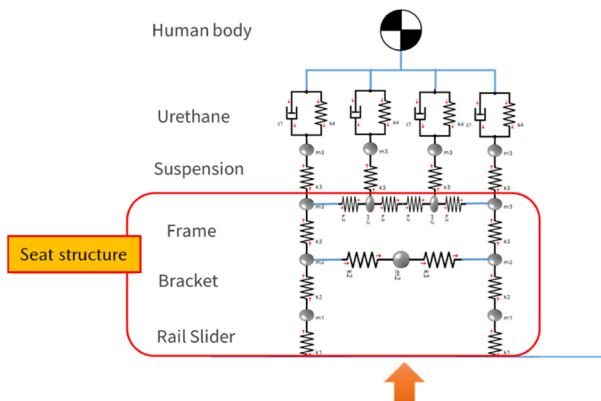


Fig. 14 Transmission Pathways of Seat

(2) シート骨格の剛性向上

CX-60 では、フレームの剛性向上だけでなく、力の流れる方向に順に剛性を高めていくバランスに注目し、シートの土台となっている部品である「スライダー」と「ブラケット」の剛性向上も行った。CAE により、シート骨格の剛性に感度の高い部品を抽出し、効率的にシート骨格の剛性を向上させた。その結果、下図 (Fig. 15) のとおりフレーム上部の左右方向のバネ定数は、現行と比較し約 2.5 倍となった。

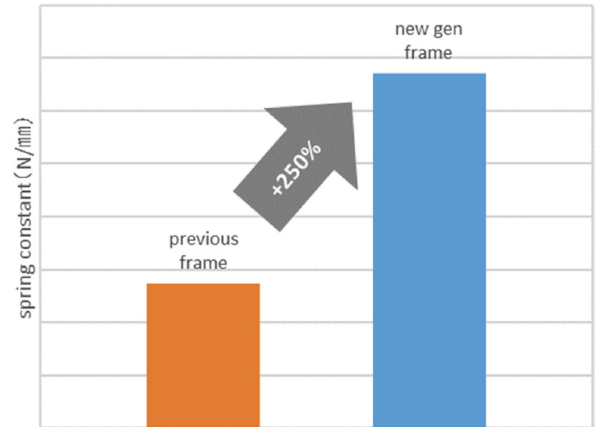


Fig. 15 Rigidity of Seat Frame

4. ダイナミクス性能の達成状況

以上の技術を車両に投入することで、目指した、シャシーダイナミクス性能、あたかも「脳とクルマが直結しているかのような感覚」を従来プラットフォームから大幅に向上させた。下図 (Fig. 16) は、その結果を示す。現行モデル比較で、操作に対するシンクロ度を示す「操作に対する車両挙動の一致度」が 39% 高まり、「凸路を乗り越えた時のドライバーの頭部の動き量」が 34% 減少した。

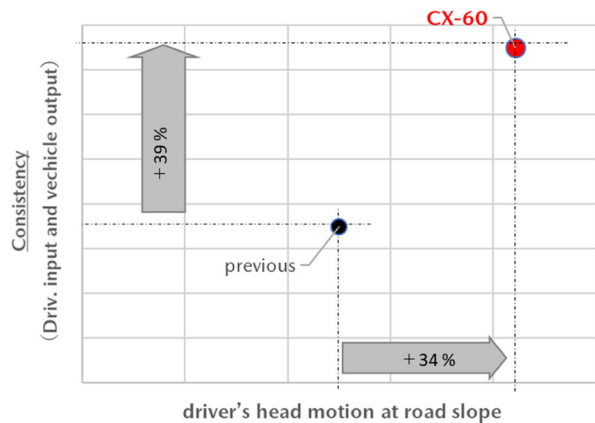


Fig. 16 Dynamics Achievement

5. おわりに

今回は、人が無意識にしている領域に踏み込み車との一体感を高めるという未知の開発に挑戦した。そして、人がどう感じるのかを突き詰めた結果、運転手だけでなく、後席の乗員までも一体となって楽しさを感じ、長距離を乗っても疲れにくいという新たな価値を実現した。これは、マツダ開発部門だけでは到底成しえるものではなく、生産技術部門、及び関係する多くの協力会社の方々と皆で成し得たものである。人の能力を活かす技術進化の余地は広く、理想状態の実現のために今後も愚直に研究を続けていく。



■著者■



豊島 由忠



本村 浩一



三宅 輝



虫谷 泰典



奥山 和宏



平松 大弥



加瀬 泰宏



澤井 亮