

特集：MAZDA CX-30

05

MAZDA CX-30 のビークルダイナミクス性能開発

Development of Vehicle Dynamics Performance for Mazda CX-30

柏村 祐二^{*1} 老川 隆^{*2} 吉村 匡史^{*3}
 Yuji Kashimura Takashi Oikawa Tadashi Yoshimura
 後藤 英貴^{*4} 松村 篤^{*5}
 Hidetaka Goto Atsushi Matsumura

要 約

CX-30 と MAZDA3 は新世代スモール商品群として、コモンアーキテクチャを用いて開発をスタートした。乗り心地性能と操縦安定性のプラットフォーム開発においては、人間中心の開発哲学に基づき、人の頭部の動きを安定させて、快適な乗り心地性能と車が人の手足のように感じられる“人馬一体”が更に進化することを目指した。それは新たな車両構造技術 SKYACTIV-VEHICLE ARCHITECTURE を適用したことで実現した。これを具現化した MAZDA3 に続き、SUV である CX-30 でも同じ乗り心地性能と操縦安定性能が感じられるように、MAZDA3 から踏襲すべき要素技術を“固定”，CX-30 ユニークなシステム要件に対して変更を加えることで同じ性能が得られる要素技術を“変動”と定め、この“固定”と“変動”を組み合わせることで、MAZDA3 と同体質（同じ特性）が感じられるダイナミクス性能を実現した。

Summary

CX-30 and Mazda3 were developed based on a common architecture as new generation vehicles. In the development for better ride comfort and vehicle dynamics, we set a target with aim to achieve a driver's stable head motion and “Jinba-ittai” performance based on the human-centered development philosophy. This target was achieved by newly-developed vehicle structural technology called Skyactiv-Vehicle Architecture. Following Mazda3, which was developed as a leading model equipped with this new technology, CX-30 was also developed with the adoption of the technology to realize the same characteristics in ride comfort and vehicle dynamics as those of Mazda3. We defined part of newly-developed technology that sustained Mazda3 characteristics as “fixed factor” technology, and rest of the technology that was changed from Mazda3 characteristics as “variable factor” technology. With a combination of these “fixed factor” and “variable factor” technology, we finally developed CX-30 in which a driver can feel same characteristics in ride comfort and vehicle dynamics as in Mazda3.

Key words : Ride Comfort, Vehicle Dynamics, “Fixed factor”, “Variable factor”

1. はじめに

近年、マツダは人間中心の開発哲学に基づき、開発プロセスを進化させている。従来は車両性能を機械特性として扱い進化を目指してきたが、人の特性に関する研究を進めることで、人間が本来持っている優れた能力を運転中に発揮できるように、車両特性を開発している。

本稿では CX-30 の開発コンセプトと開発プロセス、そ

れらを実現する技術について述べる。

2. 新世代商品群の一括開発プロセス

2.1 ダイナミクス性能の一括開発

一括開発におけるプラットフォームの役割は、いくつかのセグメントで車種適用できるコンセプト、同じ体質（特性）を実現する要素技術を開発して、それらを構造化する。ダイナミクス性能は人の頭部の動きを安定させる

*1～2 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.

*4 ボデー開発部
Body Development Dept.

*3 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*5 マツダ E&T CAE 技術推進部
Mazda E&T CAE Technology Promotion Dept.

コンセプトとそれを具現化する技術を開発した。

2.2 人の特性に関する開発コンセプト

一般的に、人は頭部の動きが安定すれば、快適な乗り心地性能を感じることができることは知られている。運転操作中でも人の頭部の動きを安定させることを開発のコンセプトとした。路面からの入力で発生する力が、人体へ伝わるまでの経路の中で頭部の動きを不連続にする要素を洗い出し、それらを連続的な動きに変換して、頭部の動きを安定させる (Fig. 1)。

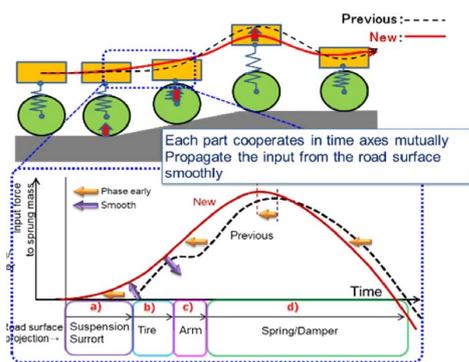


Fig. 1 Concept of Road Input Force Control

2.3 ダイナミクス性能の同体質

人間特性を基にダイナミクス性能が同じと感じられる車両特性を平面運動とバネ上運動で定義した。

(1) 平面運動における同体質化

① 操舵特性に関する定義で、日常の走行条件における操舵力の差が±1N以下であることを同体質とした。

② 車両応答に関する定義で、操舵に対するヨー応答と横向き加速度の発生タイミングを適切にすることが重要で、その位相遅れの関係がある一定以内であることを同体質とした (Fig. 2)。

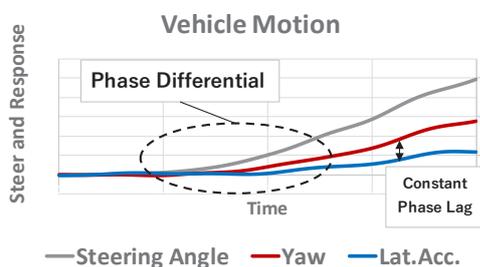


Fig. 2 Yaw and Lateral G Phase Lag against Steer

(2) バネ上運動における同体質化

バネ上の運動は路面入力により発生する上下運動、操舵により発生するピッチ運動やロール運動を起こす。これらの運動が連成する一定の関係について同体質を定義した。例として操舵初期におけるピッチ運動とロール運動の連成を示す (Fig. 3)。

Relation of Roll and Pitch Motion

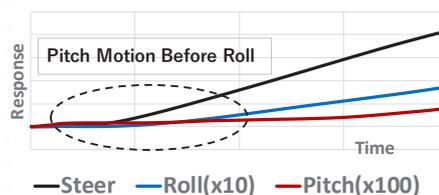


Fig. 3 Pitch and Roll Relation

2.4 同体質性能を実現する制御因子

ダイナミクス性能の同体質化に向け、各システム、ユニットの特性を検証し、制御因子を明らかにした。

① 頭部の動きを安定させるシート特性⁽¹⁾

着座時でも立位 (歩行時) に近くなるよう骨盤を立てさせること、バランス保持能力が発揮できるよう脊柱に自然なS字カーブを描かせることで、乗員がバネ上運動を正確に把握できる優れたシート特性が実現できる。これから座面、シートバックの体圧分布など、人体の支持特性を制御因子とした。

② 入力伝達に遅れがなく振動を減衰させるボディー特性

フロントサスペンションからの入力をリアサスペンションへ遅れなく伝達する高剛性な車体骨格特性と振動エネルギーを減衰させて乗員へ伝える伝達特性を制御因子とした。

③ タイヤの動きを安定させるサスペンション支持特性⁽¹⁾

路面からのさまざまな方向への入力に対して、ロアアーム前側ブッシュをピボット化して、タイヤの位置決め機能を強化した。タイヤへ横力や前後力が入力した時、前側ブッシュを中心にロアアームが回転運動することで、連続したコンプライアンス特性となり、車両運動を安定させる。この特性を制御因子とした (Fig. 4)。

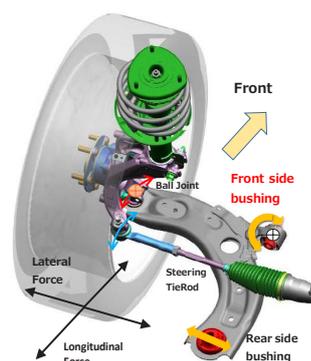


Fig. 4 Stable Tire Position against Input Force

④ ロール運動とピッチ運動を決定するロール軸

バネ上のロール運動やピッチ運動はロール軸の設定に依存する。ロール軸はフロントとリアのサスペンションのリンク配置により決定する特性で、路面からの入力の大きさと位相を制御する。このリンク配置とロール剛性を制御因子とした。

これらの制御因子に加え、ショックアブソーバーの減衰特性、電動パワーステアリングの制御パラメーター特性、タイヤ空気圧などを検討した。

2.5 同体質性能を支える解析技術

CAE 解析はヨー運動などの平面運動の分析に加えて、ロール運動とピッチ運動の連成など、バネ上運動の分析を強化した。

このCAE 解析は、機構解析ソフトによるシミュレーション技術の強化により実現した。プラットフォーム開発時からCAE モデルの精度向上に取り組み、CX-30 開発はモデル精度と検証精度を向上させた。その一例として、新たな形状を採用したトーションビーム式リアサスペンションのロール剛性に関する検討を示す。質量の増加を抑え、ねじり剛性の確保とステア方向の金物の剛性を向上させる目的で新規開発した Smart Expand Beam (Fig. 5) は、従来の解析手法では精度良く解析できないことから、新たなモデル化技術が必要であった。プラットフォーム開発時からこの課題に取り組み、MAZDA3 開発時のコリレーション活動を経て、CX-30 開発時は実測との誤差を5%以内に抑えることができ、解析精度を向上させた (Fig. 6)。この技術は後述のバネ上運動の分析精度を向上させた。

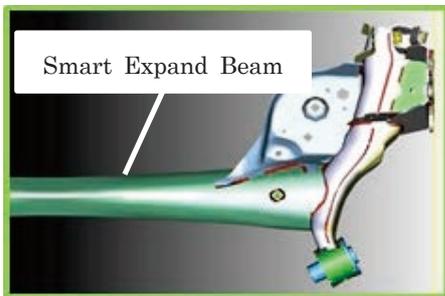


Fig. 5 Torsion Beam Axle (Smart Expand Beam)

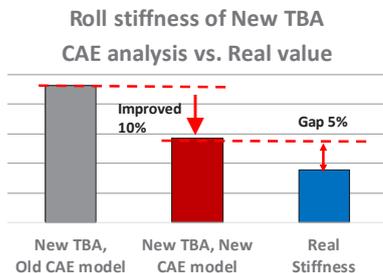


Fig. 6 Rear Roll Stiffness CAE Analysis vs. Vehicle's

3. CX-30 のダイナミクス性能開発

CX-30 は MAZDA3 と車両諸元が異なり、ダイナミクス性能に変化が生じるが、制御因子を用いて同体質性能を実現した。本章では、CX-30 のダイナミクス性能開発における制御因子の適用について述べる。

3.1 主要諸元とダイナミクス性能

CX-30 と MAZDA3 はその商品の特性から下記のような違いがある (※ C.G.: Center of Gravity)。

Table 1 Difference of Vehicle Specification

	MAZDA3	New CX-30	GAP
Vehicle height (mm)	1440	1540	+100
Ground height (mm)	140	175	+35
Weight (kg)	1360	1400	+40
C.G. height (mm)※	—	—	+40
Tire Diameter (mm)	651	694	+43

(1) SUV 化した CX-30 は、幅広いシーンで使いやすい荷室容量と開口部の広さを設定した (Fig. 7)。

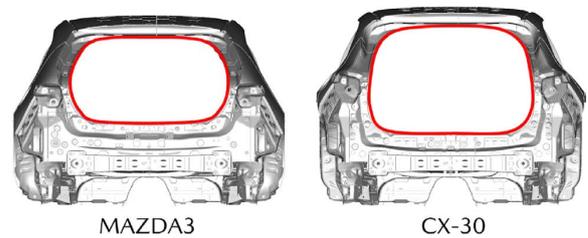


Fig. 7 Back Door Open Area

荷室開口部が広がると車体骨格の剛性、特にねじり剛性が低下して、サスペンション入力の伝達ロスや振動エネルギーの減衰機能が低下する (Fig. 8)。

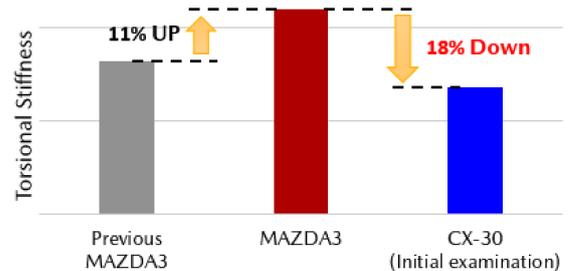


Fig. 8 Body Torsional Stiffness

(2) 大径タイヤ採用と地上高拡大により、フロントロアアームの傾きが増大する。その結果路面からボディーへ伝達される前後、上下入力の位相が変化し (Fig. 9)、バネ上運動が変化する。

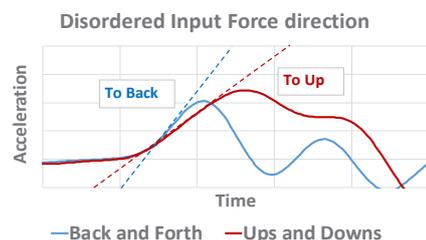


Fig. 9 Disordered Input Force Direction

ロアアームの傾き増加はジャッキアップが増大し、操舵時のロール姿勢はフロント旋回内輪が浮く特性へ変化する (Fig. 10)。

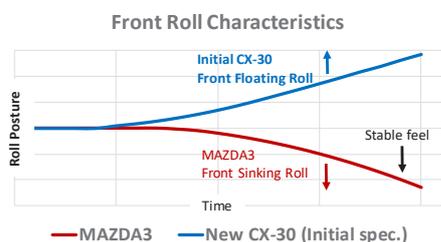


Fig. 10 Lose Front Roll Balance (Jack Up)

(3) 全高、重心高、質量のアップに伴いモーメントが増加して、ロール運動やピッチ運動のバネ上運動が増大する (Fig. 11)。

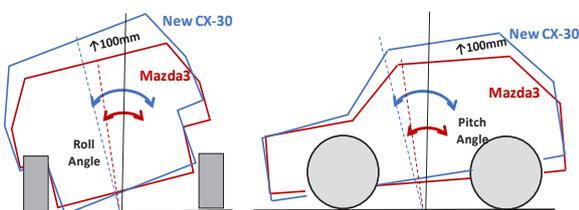


Fig. 11 Increasing Roll and Pitch Motion

3.2 伝達、減衰機能を実現するボディー構造

車体骨格のねじり剛性を MAZDA3 と同じにすることで、等価なボディー特性の実現を図った。車体骨格は MAZDA3 の環状構造を踏襲し、ねじり剛性の低下はリアボディー構成部品の感度を分析して、高感度で質量影響が小さい部品の構造・板厚を最適化した (Fig. 12)。

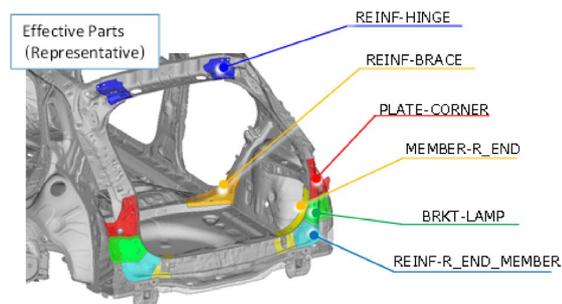


Fig. 12 Sensitive Analysis of Rear Body Parts

その結果、車体骨格の質量増加を最小減に抑え、MAZDA3 と同等な車体ねじり剛性を実現した (Fig. 13)。

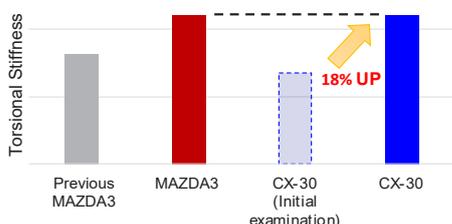


Fig. 13 Improved Body Torsional Stiffness

車体骨格の剛性を等価にしたことで、路面からの入力によって発生する車体の歪部位、その歪エネルギーを減衰させる減衰接着剤のエネルギー減衰効果を等価にでき、MAZDA3 と同等な減衰特性を実現した。効果の一例として路面入力に対する乗員付近の振動レベルを MAZDA3 と比較した (Fig. 14)。

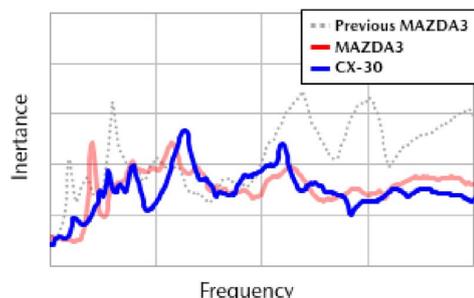


Fig. 14 Body Damping Characteristics

ピークが低く、総面積が小さいほど、振動エネルギーを減衰させる高機能なボディー特性である。

CX-30 は車体のねじり剛性と振動エネルギーの減衰特性を“固定”要素ととらえ、リアボディー構成部品の構造・板厚の新設計により、MAZDA3 と同体質なボディー特性を実現した。

3.3 入力の位相を揃えるフロントサスペンション構造

バネ上の上下運動は、路面からの前後入力と上下入力の位相関係が重要である。前後入力はロアアームの回転運動により、上下入力はロアアームの傾き (以下、下反角) により決まる。

この上下運動を MAZDA3 と同体質にするために、ロアアームの回転運動を等価にした。また車両諸元の違いからロアアームの下反角が同傾となるように、ロアアームとナックルを新形状にした。

同体質化のために守るべき特性・構造を明確にして、“固定”要素ととらえ、前後、上下入力の位相を揃えることで、MAZDA3 と同体質な入力特性とバネ上の上下運動を実現した (Fig. 15)。

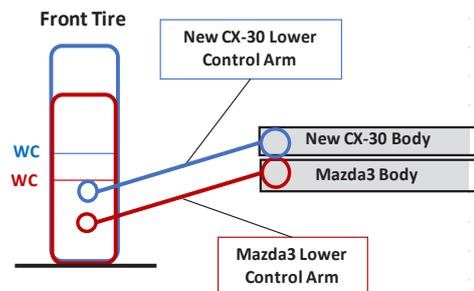


Fig. 15 Front Lower Control Arm Inclination (Front View)

その結果、路面から入力を受けた時の前後方向と上下方向の加速度の増加率が等価となり、乗員は滑らかで連

続した入力と上下運動を感じる事ができる (Fig. 16, Fig. 17)。

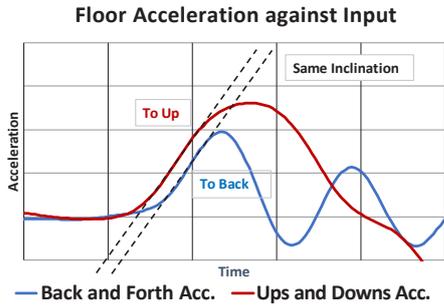


Fig. 16 Floor Acceleration against Road Input

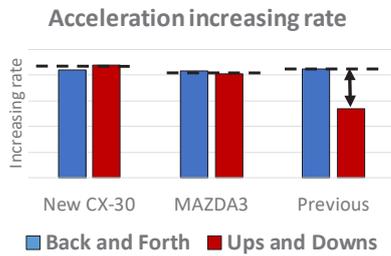


Fig. 17 Acceleration Increasing Rate

更に MAZDA3 と同傾にしたロアアーム下反角は、ロール運動時のジャッキアップの増加が抑制でき、フロントの旋回内輪が浮くロール姿勢を改善した。

3.4 ロール、ピッチを連成させるロール軸とロール剛性

ロール運動とピッチ運動が連成して滑らかに発生するように、MAZDA3 からロール軸と前後ロール剛性配分を再考した。

(1) ロール運動とロール軸の考え方

ロアアームの下反角は、ロール運動時の回転中心となるロール軸の高さ、すなわちロールセンター高を決定する。同体質なロール運動の実現は、重心高アップと同等にロールセンター高を上げ、ロールモーメントを等価にする必要がある。しかし、同体質な上下運動の実現のために MAZDA3 と下反角を同傾にした結果、フロントのロールモーメントは増加した (Fig. 18)。

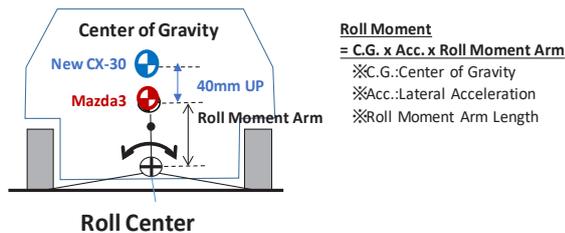


Fig. 18 Center of Gravity and Front Roll Center Height

一方、リアのトーション・ビーム・アクスル式サスペンション (TBA 式：車軸懸架) は、フロントのマク

ファーソン・ストラット式サスペンションと異なり、ロールセンター高は TBA サスペンションのボディー取り付け点の高さに依存する。そのため取り付け点を重心高アップと同等の 40mm 引き上げ、リアのロールモーメントを等価にした (Fig. 19)。

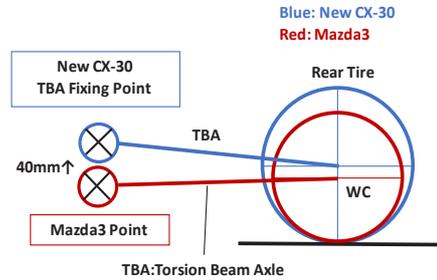


Fig. 19 Rear Torsion Beam Fixing Point (Side View)

リアのロールセンター高を上げた結果、CX-30 のロール軸は MAZDA3 のロール軸に対して前傾となった (Fig. 20)。

この変化によるフロントのロールモーメントの増加は、制御因子であるフロントのロール剛性を 10% アップさせて、同体質なロール運動を実現した。

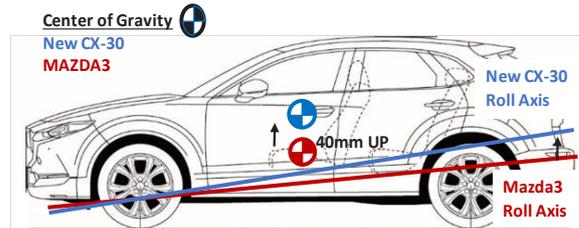


Fig. 20 Roll Center Axis Inclination (Side View)

(2) ピッチ運動とロール運動の連成の考え方

操舵時にロール運動とともに発生するピッチ運動は、フロントのロール剛性アップでフロント旋回外輪の沈み込みが抑えられ、ピッチ運動は減少する。

この変化に対し、リアのロールセンター高を上げ、ロール剛性を MAZDA3 と同等にしたことで、リアの旋回内輪によるジャッキアップを利用してピッチ運動を誘起し、同体質なピッチ運動を実現した。

これらロール運動とピッチ運動の連成を指標に、ロール軸と前後のロール剛性配分を決定する検証を CAE 解析で行い、MAZDA3 と同体質なバネ上運動を導いた。

4. ダイナミクス性能の達成状況

試験車両の実走試験においても、操舵初期にピッチ運動が発生し、その後にロール運動が連成して発生するバネ上運動が実現できた (Fig. 21)。

ロール運動とピッチ運動の連成は、同体質の定義で定めたターゲットを達成している (Fig. 22)。

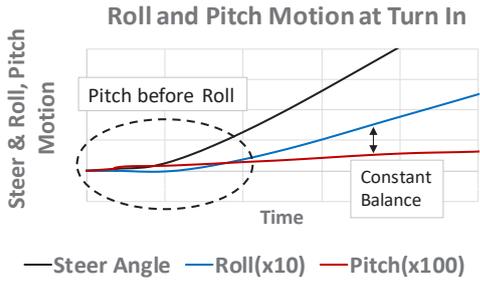


Fig. 21 Pitch and Roll Motion Relation at Turn In

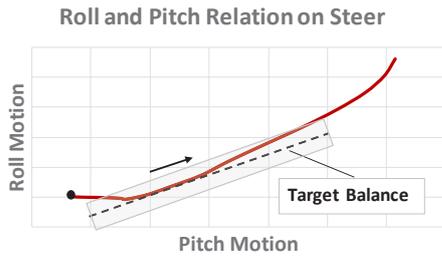


Fig. 22 Pitch and Roll Motion Relation on Steer

CX-30 は、路面からの前後入力と上下入力の位相を揃えて上下運動を制御すること、操舵により発生するロール運動とピッチ運動の連成を制御すること、これらによって MAZDA3 と同体質なバネ上運動性能を実現した。更に開発のコンセプトである乗員の頭部の動きを安定させた。それは社内テストコースの路面において、頭部の動きの計測で確認した (Fig. 23)。これは前世代プラットフォームの車両に比べて、頭部の動きが減少し、快適な乗り心地性能を感じることができる。

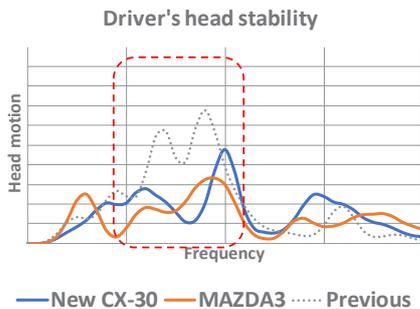


Fig. 23 Driver's Head Motion on Testing Vehicles

5. おわりに

CX-30 は、MAZDA3 と同体質で優れたダイナミクス性能を実現した。市場からの評価では、ドイツで最も権威のある自動車賞のひとつである「ゴールデンステアリングホイール賞」(コンパクト SUV 部門) を受賞した。国内の評価においても、イメージするだけで車がそのとおりに動くような「以心伝心」感を感じるなどのコメントをいただき、人間中心の開発哲学に基づいたダイナミクス性能が市場で評価されたと考える。

参考文献

- (1) 塚根ほか：新型 MAZDA3 のビークルダイナミクス技術，マツダ技報，No.36, pp.90-95 (2019)

■ 著 者 ■



柏村 祐二



老川 隆



吉村 匡史



後藤 英貴



松村 篤