

特集：MAZDA CX-30

06

新世代 i-ACTIV AWD の紹介

Introduction of New Generation i-ACTIV AWD

嶋田 克利^{*1} 梅津 大輔^{*2} 今村 泰理^{*3}
 Katsutoshi Shimada Daisuke Umetsu Yasumasa Imamura
 日高 誠二^{*4}
 Seiji Hidaka

要 約

マツダは、長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づき、クルマのもつ魅力である「走る歓び」によって、「地球」、「社会」、「人」それぞれの課題解決を目指している。AWD システムでは、人の能力を引き出し、心と体を活性化させる「人馬一体」感のさらなる追究と、実用環境下における燃費性能の両立を掲げて技術開発を行ってきた。本稿では、2012 年 CX-5 以降の車両に順次搭載してきた「i-ACTIV AWD」をベースとして、ハードウェア/ソフトウェアとも大幅に進化した、CX-30 搭載の「新世代 i-ACTIV AWD」について紹介する。

Summary

Based on a long term vision, “Sustainable “Zoom-Zoom” 2030”, Mazda aims to solve a variety of issues facing the “earth” “society” and “people” through “driving pleasure”. Mazda AWD system has been developed by further pursuing “Jinba-ittai” to bring out human potential and boost the excitement of mind and body while aiming for ideal handling and real-world fuel economy performance.

This article introduces “New generation i-ACTIV AWD” for CX-30 supported by significantly improved hardware and control system while sustaining the characteristics of the original “i-ACTIV AWD” mounted from 2012 CX-5.

Key words : Power transmission, All-wheel drive system, Drivetrain, Vehicle dynamics, Driving stability, Vibration, noise, and ride comfort, Booming noise/vibration, Full-vehicle simulation

1. はじめに

マツダは、1970 年代からフルタイム 4WD システムの技術開発をスタートし、国産車初の乗用フルタイム 4WD 車である 1985 年の「ファミリア 4WD」を発売。センターデフ式 4WD と低速用デフロック機構を有し、高い走破性を実現していた。1990 年代には「ボンゴフレディ」や「トリビュート」でロータリーブレードカップリング式 4WD を開発し、4WD モデルの課題であった燃費との両立に取り組んだ。2000 年代からは電子制御多板クラッチ式 4WD の技術開発をスタートし、初代「アテンザ」で初導入。2005 年の「マツダスピードアテンザ」ではハイパフォーマンス AWD セダンの開発を通し

てノウハウを蓄積してきた。

現行世代につながる 2012 年の初代「CX-5」に搭載した「i-ACTIV AWD」では、電子制御式多板クラッチユニットに独自の高度な制御アルゴリズムを組み合わせた AWD システムへと進化。それまでの四輪駆動のクルマというと、一般的に直進安定性が高い一方でアンダーステア傾向が強く、曲がりにくさを感じるものであったが、i-ACTIV AWD ではドライバーのステアリング操作に応じて後輪トルクをリニアに変化させることで類まれな曲がりやすさを実現し、誰もが扱いやすい AWD を提供してきた。

MAZDA3 から採用した「新世代 i-ACTIV AWD」では、ドライバーの操舵に合わせてエンジントルクを制御し、4

*1,4 ドライブトレイン開発部
 Drivetrain Development Dept.

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

*3 電子基盤開発部
 Electronic Platform Development Dept.

輪の荷重状態を最適化して操舵応答性を改善する「G-ベクタリングコントロール (GVC)」とAWDの協調システムを構築し、曲がりやすさと安定性をさらに高次元で両立。SUVであるCX-30には、悪路走破性を飛躍的に向上する「オフロード・トラクション・アシスト」を搭載し、より幅広いシーンでの「人馬一体」感を提供する。

2. 進化のコンセプト

MAZDA3とCX-30に採用した新世代i-ACTIV AWDシステムでは、次のふたつの提供価値の更なる向上を目指して、ハードウェアとソフトウェアの両方においてさまざまな機能を進化させた (Fig. 1)。

- (1) さまざまな路面で安全に走行できるダイナミクス性能
- (2) 実用域で2WD車に迫る低燃費

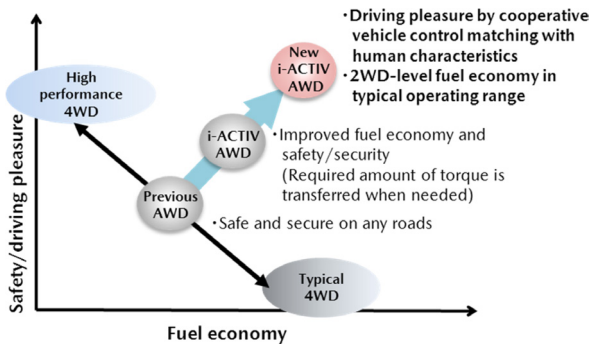


Fig. 1 Evolution of AWD

2.1 理想の車両挙動へ

タイヤは、垂直荷重が掛かることでより高いグリップを発揮することができる。「新世代 i-ACTIV AWD」はこの原理を活用し、さまざまな走行シーンにおいて4つのタイヤに効率的に仕事をさせるため、クルマの前後方向の荷重移動をドライバーの操作やGセンサーの情報などから推定。前後荷重状態に応じて、前輪・後輪の荷重が掛かった方へ積極的にトルクを配分する。

これを実現するため、減速～旋回～加速と時々刻々変化する車両運動状態と、ブレーキやステアリング、アクセルによるドライバーの操作意図をモニターしながら、瞬時に前後のトルク配分を変化させることで前後タイヤの負荷バランスを最適化する。すなわち、前後輪のタイヤ摩擦円状態を推定し、タイヤ力のキャパシティを最大化する前後トルク配分コントロールによって、人馬一体のダイナミクス性能と高効率な低燃費性能を両立するのが新世代 i-ACTIV AWD の技術コンセプトである。

2.2 加減速時のAWDトルク配分

加速時は、アクセル操作や前後Gから推定した車両後方への荷重移動に応じて後輪のトルク配分を増加し、前輪のタイヤ負荷を低減。タイヤスリップが発生するずっと手前から前後輪のタイヤ力の路面伝達効率の最大化を

狙って制御する。減速時には前輪への配分を増加させ、垂直荷重が減少した後輪のタイヤ負荷を低減し、タックイン挙動も含めた減速姿勢の安定化に貢献する。

高速走行時には、路面にうねりのある高速道路などでも安心して走行できるよう、車速の増加に応じて後輪へのトルク配分を増加させ、前後輪の拘束力を強化することで直進安定性を高める (Fig. 2)。

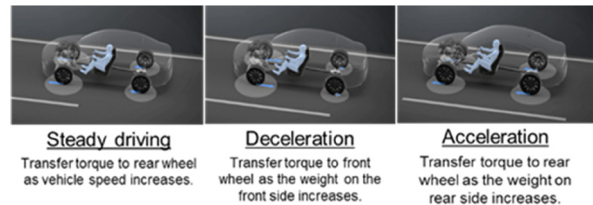


Fig. 2 AWD Torque Ratio at Acceleration

2.3 旋回時のAWDトルク配分

旋回時は、ターンインのタイミング、すなわちドライバーがハンドルを切り足している間は、曲がりやすさを優先するため、GVCのエンジントルク制御による荷重移動効果を優先し、AWDはその瞬間の前後トルク配分を保持。定常旋回に至るまでには、車両のヨー運動の強度に応じて後輪へのトルク配分を増やしていくことで、前輪のタイヤ横力マージンを確保してアンダーステアの発生を防ぎつつ、後述のサスペンションジオメトリーとの相乗効果を活用して旋回姿勢の安定化を実現した (Fig. 3, 4)。



Fig. 3 AWD Torque Ratio at Turn

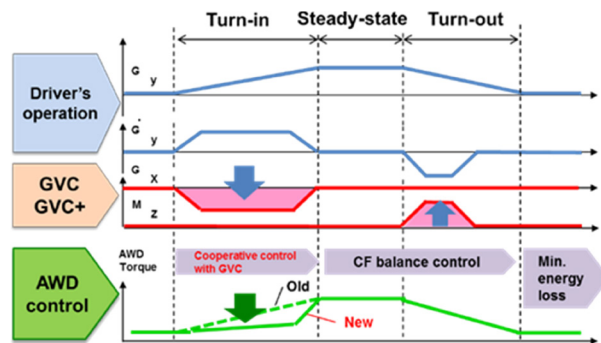


Fig. 4 Cooperative Control with GVC

2.4 サスペンションジオメトリーとの相乗効果

MAZDA3 と CX-30 からは、新世代車体構造技術である SKYACTIV VEHICLE ARCHITECTURE を採用。前輪駆動 2WD と AWD 用のプラットフォームで、リヤサスペンションにはトーションビームアクスル (TBA) を採用する。AWD ではこの TBA の取付角を活用し、後輪トルク付加によるアンチスコット効果によって加速時の車体後部の沈み込みを抑制。安定した加速姿勢を実現する。

旋回時には後輪トルク増加によってピッチ姿勢変化を抑制し、ドライバーが感じるロール感を穏やかに改善する。具体的には、アクセル一定で走行した場合、前輪が減速してアンチダイブ効果、後輪が増速となってアンチスコット効果が発生し、前後の車体の支えが強化されることでピッチ姿勢を安定する (Fig. 5)。また TBA の特徴として駆動力の増減に対するタイヤのトー角変化が少ないため、旋回加速シーンにおいても限界挙動が予測しやすいというメリットがある。

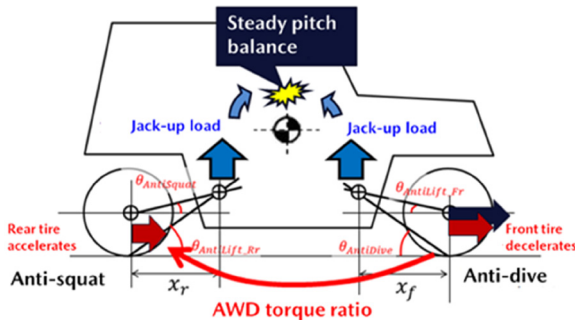


Fig. 5 Image of Stabilizing Effect in Vehicle Pitching

新旧の i-ACTIV AWD で旋回時の操舵応答性を比較した結果を Fig. 6 に示す。GVC と AWD の協調制御により、ゼロ舵角から切り込み時のアンダーステアが低減し、よりスムーズな旋回挙動を実現。ハンドルを戻す際のヨー挙動の収束性も改善し、よりリニアリティの高いハンドリング性能を実現した。

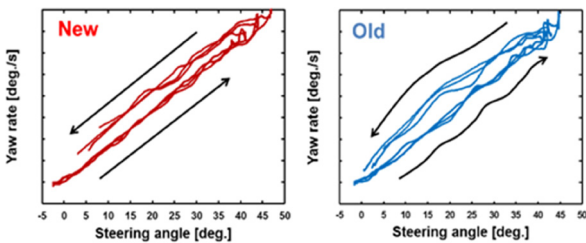


Fig. 6 Comparison Result of Steering Response between Previous and New System

以上の相乗効果によって、ドライ、ウェットにかかわらずさまざまな路面環境で高効率かつ意のままのダイナミクス性能を実現した。不安定になりやすい雪上においても、安定した車両挙動と自在なコントロール性を提供する (Fig. 7)。



Fig. 7 New Generation i-ACTIV AWD on Snowy Road

2.5 悪路走破性の向上

SUV モデルの CX-30 では、悪路でのスタック脱出性を高める「オフロード・トラクション・アシスト」を新規に開発、採用した (Fig. 8)。AWD システムとトラクション・コントロール・システム (TCS) が協調し、オフロードやぬかるみ、深雪、わだち等の悪路における走破性とコントロール性を高め、「悪路でも人馬一体」を実現する。

オフロード・トラクション・アシスト作動時には、AWD はスリップする前から後輪トルクを最大化し、4 輪のタイヤのグリップポテンシャルを向上。対角輪のスリップをはじめとするスタック状態をモニターし、悪路で地面から浮いて空転する輪に対しては通常よりも強い TCS のブレーキ介入によって駆動力の抜けを抑えることで、接地輪側へ駆動力を確実に伝達する (Fig. 9)。



Fig. 8 Operation SW and Meter Display

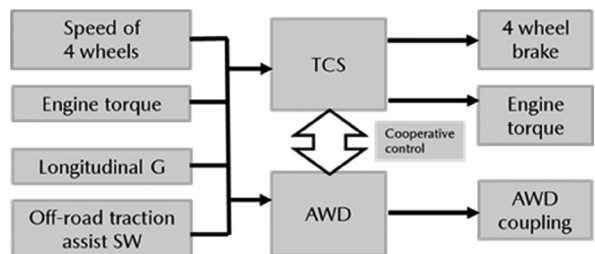


Fig. 9 System Diagram of Off-Road Traction Assist

この機能によって、悪路においてもタイヤのグリップを余すことなく使い切ることが可能となり、ドライバーがスリップを緻密にコントロールしながら積極的にアクセルを踏んで走破することが可能となった (Fig. 10)。



Fig. 10 Off-Road Traction Assist

3. 進化をささえる制御技術

上述の車両挙動を実現するためには、時々刻々と変化する車両状態を正確に把握し、ドライバーのアクセルやステアリング操作と連動して遅延なく最適な AWD トルクを演算し制御することが必要である。以下に進化した制御技術を紹介する。

3.1 AWD 制御システムの進化

従来の i-ACTIV AWD では AWD 専用 ECU を有しており、エンジンを制御するパワーコントロールモジュール (PCM) と独立で構成され、PCM から CAN 送信される情報を基に AWD トルクを演算していた。新世代 i-ACTIV AWD では、この AWD 専用 ECU を PCM へ統合 (Fig. 11)。AWD トルク演算に必要な情報の CAN 送信による遅れを排除することで応答速度を向上させるとともに、GVC と共通の車両運動モデルを用いた新たな統合制御システムを構築した。

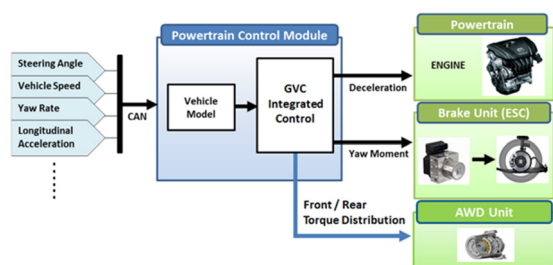


Fig. 11 Summary of Vehicle Integrated Control System

3.2 AWD 制御ロジックの進化

i-ACTIV AWD では、ドライバー操作情報及び車両情報を基に推定した車両状態に応じて、最適な AWD トルクを演算している。新世代 i-ACTIV AWD では、より緻密な車両状態の把握とリニアなトルク配分を目指して、以下の新規ロジックを構築した (Fig. 12)。

① 4 輪接地荷重推定ロジック

加減速・旋回時の 4 輪の接地荷重を演算する。

② エネルギー損失最小制御ロジック

4 輪の接地荷重に応じて、タイヤのグリップ性能を最

大化するように AWD トルクを最適化する。

③ GVC 協調旋回制御ロジック

GVC と協調して GVC 作動中の AWD トルクを維持するとともに、旋回状態に応じて AWD トルクを増加する。

これにより、旋回時の操舵応答性と安定性との両立を図ると同時に、加減速時におけるタイヤ伝達効率最大化とドライバー意図に応じた挙動コントロール性を実現した。

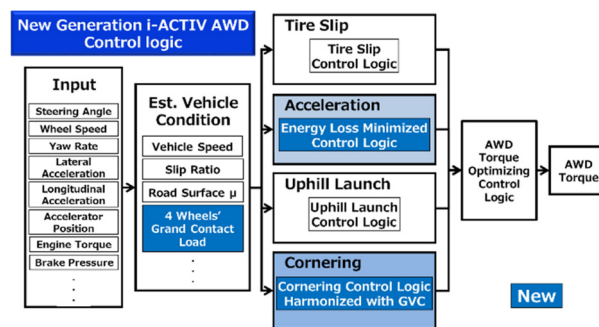


Fig. 12 Summary of AWD Control Logic

4. 進化をささえるハードウェア技術

上述の車両制御を実現するためには、AWD トルク配分の応答性と精度の向上が不可欠である。また、実用燃費向上のためには、個々の関連部品はもちろんのこと、AWD 全体のシステム効率を上げることが重要である。以下に進化したハードウェア技術を紹介する。

4.1 トルク配分範囲の拡大と応答性・精度の向上

新世代 i-ACTIV AWD では、システムとしてトルク配分制御範囲の拡大、応答性・精度の向上のため、前後駆動系に約 1% の差回転を発生するギヤ比を新たに設定した (Fig. 13)。

多板クラッチ式 AWD ユニットでは、その締結力により回転数の高い側から低い側へトルクが配分される。つまり前後輪の回転差が大きい場合は正確なトルク配分がしやすい一方、平坦路での定常走行など前後輪の回転差が少ない場合は正確なトルク配分が難しい状況となる。そこで、パワーテイクオフ (PTO) とリヤデファレンシャルユニット (RDU) にギヤ比差を設定することで、常に AWD ユニットの前後に差回転が生じる状態をつくり、より正確で確実な後輪トルク配分を可能とした。また、差回転によってユニット内部のパイロットクラッチをスタンバイ状態に維持することで、トルク配分の応答速度を従来比で約 1/2 に改善した (Fig. 14)。

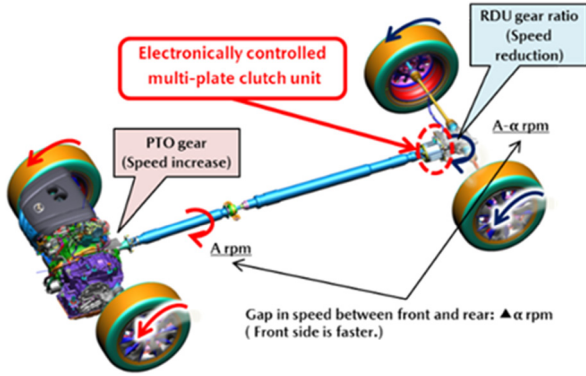


Fig. 13 Gap in Rotation between Front and Rear Wheels

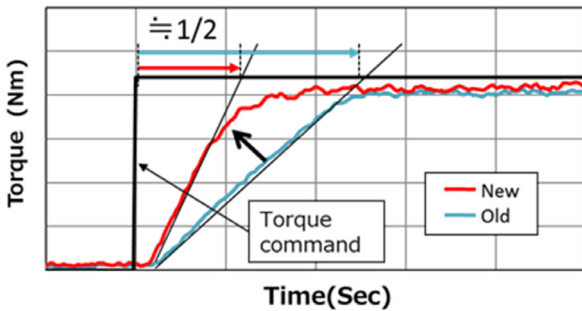


Fig. 14 Rear Wheel Torque Response

4.2 電子制御式多板クラッチユニット

AWDユニット内に常に生じる差回転の課題として、引き摺りトルクが発生し、トルクコントロール性と効率低下が懸念される。この解決策として、多板クラッチの最適化や低粘度フルード等を採用。冬季を想定した電子制御式多板クラッチフルード温度0℃付近において、引き摺りトルクを約43%低減し、トルクコントロール性の向上とエネルギー損失の低減に貢献した (Fig. 15)。

更に、ユニット内部に温度センサーを追加、内部温度を直接モニターし、温度変化に対するクラッチの特性変化を制御で補正することで、トルク配分精度の向上を図った (Fig. 16)。

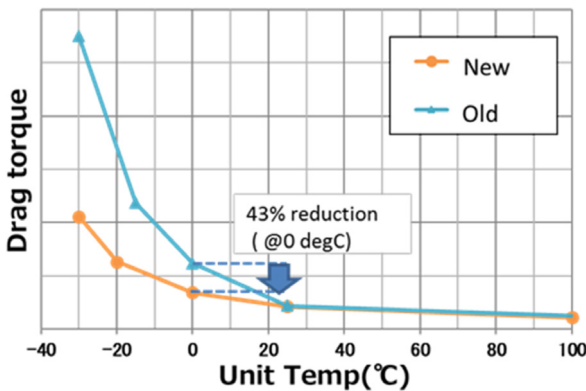


Fig. 15 Drag Torque of Electronically Controlled Multi-Plate Clutch Unit

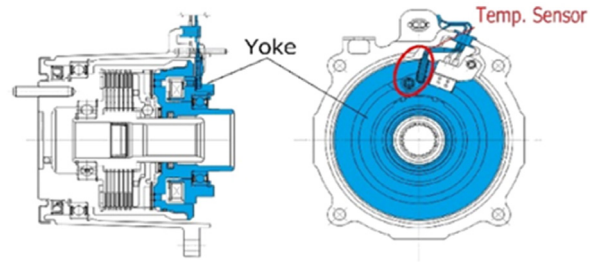


Fig. 16 Electronically Controlled Multi-Plate Clutch Unit Temp. Sensor

4.3 パワー・テイク・オフユニット (PTO) / リヤデフ・ユニット (RDU)

初代CX-5以降、マツダではAWDモデルの実用燃費の向上を目的に、PTOとRDUの抵抗低減に継続的に取り組んでいる。新世代i-ACTIV AWDシステムでは、次の①~③の技術を採用することで、AWDシステムのエネルギー損失を旧型に対して60%低減した (Fig. 19)。

① PTO ダンパーの採用

新世代i-ACTIV AWDでは、PTOの動力伝達経路上に、ストッパー付きねじりダンパー (PTO ダンパー Fig. 17) を設定し、PTOのねじり剛性を従来比大幅に低減することで、リヤ駆動系のねじり共振周波数を常用域外に離間した。これにより、リヤ駆動系起因のNVH性能の向上及び、リヤ駆動系へのトルク変動入力を大幅に低減でき、幅広い運転状況下においてAWDトルクをより正確に配分することを可能とした。また、正確なトルク配分によりAWDシステムのエネルギー損失も大幅に低減した。

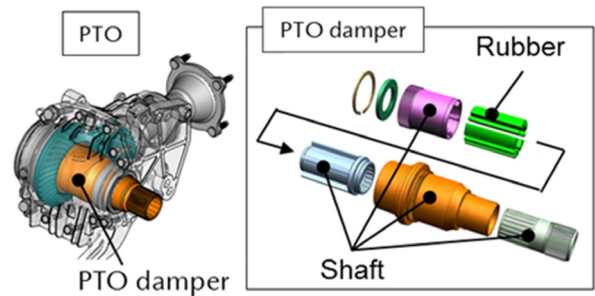


Fig. 17 Structure of PTO Damper

② PTO/RDU ボールタイプのベアリングの採用

ベアリングの構造をテーパローラータイプからボールタイプに変更することで、回転抵抗を低減した。

③ RDU オイルの一時預け構造の採用

過剰なオイル供給によるベアリングの攪拌損失の増大を抑制することで、回転抵抗を低減した (Fig. 18)。

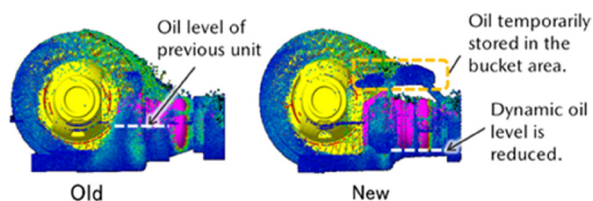


Fig. 18 Results of Oil Flow Analysis by Particle Method

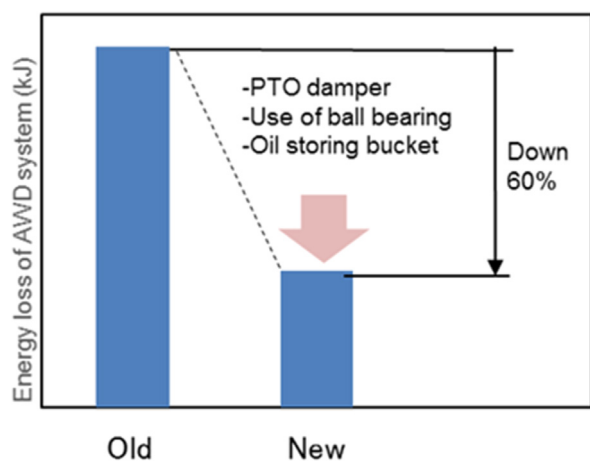


Fig. 19 Energy Loss of AWD System

4.4 NVH 性能の強化

より快適なドライビング環境を実現するため、AWDシステムでも車両静粛性を大幅に向上させている。AWD車両では2WDに対して後輪を駆動させるためのギヤや動力伝達軸が追加され、振動・騒音の発生/伝達源が増加する。そこで新世代 i-ACTIV AWD では、初期開発段階からAWDシステムの車両振動モデル (Fig. 20) を構築し、構成部品の主要共振モード周波数をコントロールし離間配置することにより、AWDシステムによる振動増幅を抑制するNVHポテンシャルの高い基本骨格を実現。優れたNVH性能に貢献した。

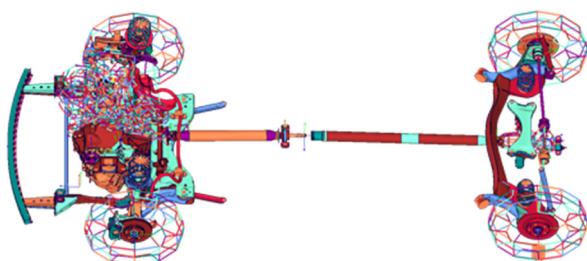


Fig. 20 Vibration Analysis AWD Vehicle Model

おわりに

新世代 i-ACTIV AWD は、統合的な車両運動制御システムの進化によって、従来からもつ舗装路や雪道での直進安定性や操縦安定性の向上のみならず、オフロード等の悪路においても安心・安全な人馬一体性能を提供し、

ドライバーの行動範囲をより拡大する。

また、AWDシステムのエネルギー損失を継続的に低減することで環境性能も飛躍的に向上し、マツダの目指すAWDの理想にまた一步近づいた。

参考文献

- (1) 沢崎ほか：新型デミオ・CX-3の小型・軽量4WDシステムの紹介, [マツダ技報, No.32, pp.38-41 \(2015\)](#)
- (2) 梅津ほか：G-Vectoring Controlの開発, [マツダ技報, No.34, pp.99-104 \(2017\)](#)
- (3) 梅津ほか：G-Vectoring Control Plusの開発, [マツダ技報, No.36, pp.235-240 \(2019\)](#)

■ 著 者 ■



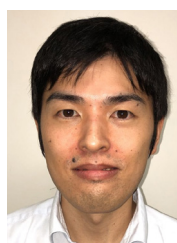
嶋田 克利



梅津 大輔



今村 泰理



日高 誠二