

特集：MAZDA CX-60

10

## CX-60 の AWD システム開発

### Development of AWD System Technology for CX-60

吉田 琢<sup>\*1</sup>      今村 泰理<sup>\*2</sup>      梅津 大輔<sup>\*3</sup>  
Taku Yoshida      Yasumasa Imamura      Daisuke Umetsu  
日高 誠二<sup>\*4</sup>      嶋田 克利<sup>\*5</sup>  
Seiji Hidaka      Katsutoshi Shimada

#### 要 約

CX-60 でマツダ初となる縦置きエンジンレイアウトの電子制御多板クラッチ式 AWD を採用した。高いトラクション性能と理想的なハンドリング特性を実現し、乗用車としてトップレベルの AWD を新開発した。

さまざまな路面で頼れる安心・安全の走破性に加え、ドライバーが高速・高 G の領域に至るまで意のままに操れる自然な車両挙動によって、より高いレベルの“走る喜び”を提供できた。

本稿では、それらを実現した AWD システムの技術紹介を行う。

#### Abstract

Mazda's first electronic controlled multi-plate clutch AWD for a longitudinal engine layout is adopted to the CX-60. This AWD realizes high traction and ideal handling performance, becoming one of the best passenger cars.

It provides safe and secure driving performance on any roads, increases “driving pleasure” thanks to the natural vehicle behavior that is maneuverable even in high speed and high-G range.

The article introduces the technical details of the AWD system.

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

#### 1. はじめに

縦置きエンジン 4WD の歴史は古く、4 輪直結駆動のパートタイム式に始まり、前後トルク配分が常時固定配分となるセンターデフ式へと進化し、その後電子制御多板クラッチ式を採用する事例が増えるにつれて、前後トルク配分の最適化を模索する時代へと変化してきた。

CX-60 より採用した縦置きエンジンレイアウトの AWD システムは、後輪駆動ベースの駆動方式の特徴であるニュートラルな旋回性はそのままに、AWD ならではの安定性をバランスさせ、より高次元な人馬一体感を提供するフルタイム 4WD である。

雪上など低 $\mu$ 路での力強いトラクションによる安定した走りはもちろん、高速道路での直進安定性やワインディングにおける意のままのハンドリング性能について

も、これまでの前輪駆動ベースの i-ACTIV AWD を大きく凌駕するレベルに進化し、乗用車において世界トップクラスのトラクション性能を誇る AWD として、パワートレインの出力を余すことなく路面に伝達する。

また、ハイブリッドシステムにおいては、減速時に 4 輪のタイヤからより多くのエネルギー回収ができるよう、パワートレインやブレーキシステムと AWD の統合制御によって、さまざまな走行環境に対して 4 輪の駆動力配分を最適化することで、幅広い運転シーンにおいて、お客様に安心いただける走りの力強さと低燃費による高い経済性を提供する。加えて、4 気筒及び 6 気筒縦置きエンジンや床面バッテリー配置等への対応から、軽量・コンパクトかつ高い伝達効率を目指して開発した。

\*1,2 電子基盤開発部  
Electronic Platform Development Dept.

\*4,5 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

\*3 操安性能開発部  
Chassis Dynamics Development Dept.



Fig. 1 CX-60 AWD System

## 2. AWD システム

### 2.1 パッケージング

マツダが目指す「人馬一体」において、重要な項目の一つが「理想のドライビングポジションの提供」である。特に縦置きエンジンであるCX-60においては、AWDシステムを含む駆動系部品を小型化し、センタートンネルの車室内への張り出しを最小化することで、足元付近のスペースを最大化することがポイントであり、これを最重要項目として開発した (Fig. 2)。

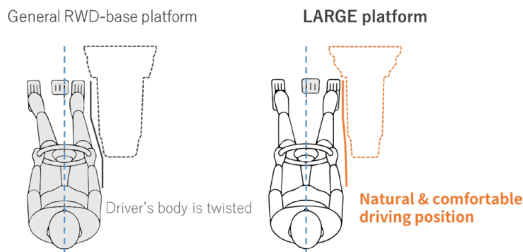


Fig. 2 CX-60 Driving Position

まず、主駆動軸から駆動力を分岐する「トランスファーユニット」(T/F) について、ねらいの軸間距離で最も軽量・高効率化が可能な2軸ギヤ式を選択した (Fig. 3)。

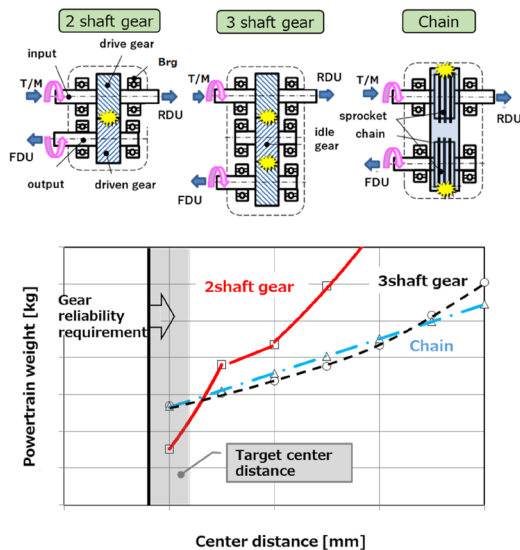


Fig. 3 Centerdistance vs Weight of Different Powertrains

また、「フロントデファレンシャルユニット」(FDU) については、ユニットベアリングを採用し軸受け部を小型化することで、ユニットの前後長及びエンジンからのオフセット量を最小化した (Fig. 4)。更に、T/FとFDUでそれぞれ減速比を設定して2段減速とすることで、プロペラシャフトの最高回転を下げ、軸径を最小化した。加えて、別述の新開発内製8速ATユニット内部の機能部品 (バルブボディー、電動オイルポンプなど) をユニット開発当初から、プロペラシャフトのレイアウトを考慮した構造とすることにより、軽量・コンパクトなレイアウトを実現した (Fig. 5, 6)。

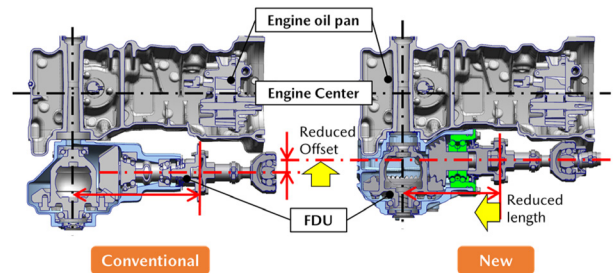


Fig. 4 Comparison of FDU Structure

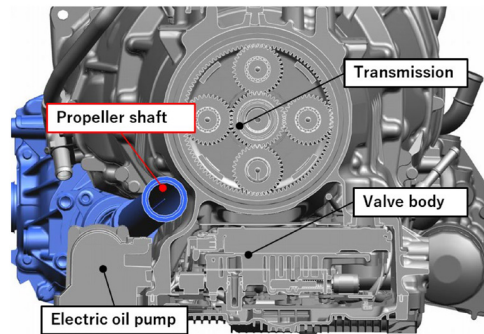


Fig. 5 Sectional View of Transmission and Propeller Shaft

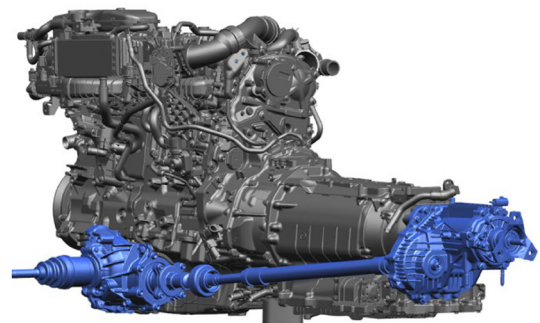


Fig. 6 CX-60 front Drivetrain

これらT/F、プロペラシャフト、FDU、ATは元より、車両構造を含めた一括開発により、縦置きエンジン車においてネックとなるセンタートンネルの車室内への張り出しを最小限に留め、「理想のドライビングポジション」の実現に貢献した。

## 2.2 高効率化

初代 CX-5 以降、マツダでは AWD 車の実用燃費向上を目的に、AWD ユニットの抵抗低減に継続的に取り組んでいる。

CX-60 では高トルク対応 AWD として、CX-5、CX-30 に織り込んできた回転抵抗低減技術に加え、新たに高トルク時のギヤ摩擦損失低減を目的とした、ハイポイドギヤの歯面平滑化技術を開発した。

### (1) 歯面平滑化技術について

一般的にハイポイドギヤは、コンパウンド材を歯面に塗布しながらギヤ対を噛み合わせることで（ラップ工程）で、ねらいの相対歯形を実現している。その結果、歯面には噛み合い進行方向に筋目が付いており、歯面の油膜形成が阻害され、高トルク時のギヤの摩擦損失が増大する。本技術は、ラップ工程で発生する筋目を除去し、歯面をディンプル化（多数の小さなくぼみを形成）することで、油膜形成性を向上させ、高トルク時のギヤの摩擦損失低減を狙ったものである（Fig. 7）。

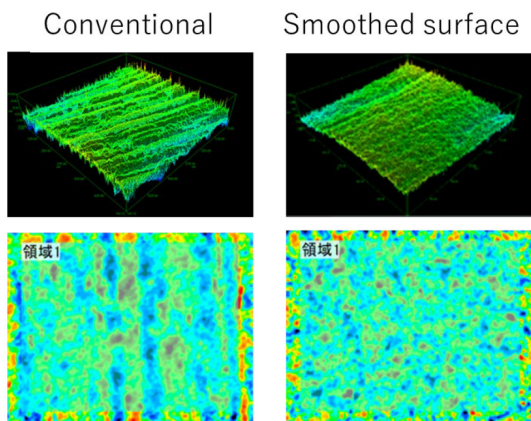


Fig. 7 Comparison of Tooth Surface

### (2) 歯面平滑化技術による損失低減効果について

歯面平滑化技術によって、高トルク時のデフユニットのギヤの摩擦損失を約 35% 低減し、車両燃費及び CO<sub>2</sub> 排出量低減に貢献した（Fig. 8）。

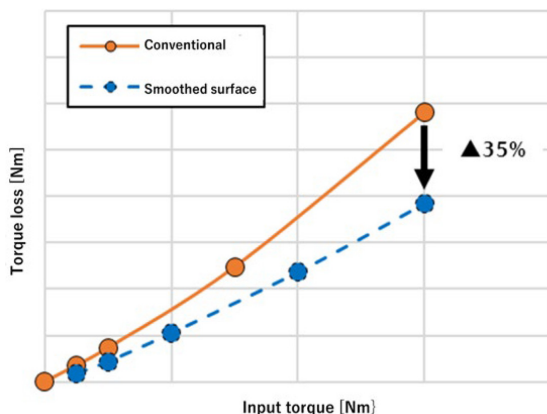


Fig. 8 Resistance Reduction Effect

## 3. AWD システムの機能

### 3.1 より高次元な人馬一体を目指して

CX-60 では、後輪駆動ベースの駆動方式がもつハンドリングの良さをそのままに、電子制御多板クラッチ式 AWD の採用によって安定走行領域を広げることでより高次元な人馬一体感を提供することを目指し、以下のポイントに注力した（Fig. 9）。

- ① AWD ならではの安定性  
(低 $\mu$ 路や高速直進安定性の領域拡張)
- ② ニュートラルステア特性を維持できる領域の拡大  
(高速・高 G の安心性能の拡張)
- ③ 雪上やオフロードでの高い走破性  
(走行フィールド拡張)
- ④ 2WD に迫る実用燃費  
(行動範囲の拡張)

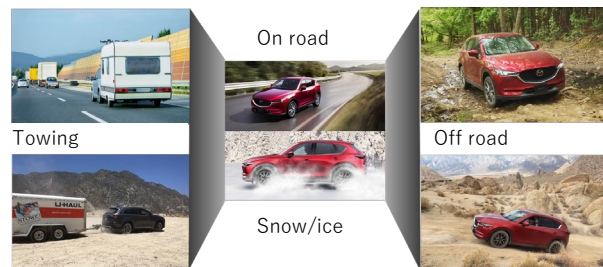


Fig. 9 Extended Image

加えて、従来 RWD と 4WD が旋回性と安定性のトレードオフとなるという常識を AWD のトルク配分の最適化によって覆し、旋回性と安定性の両立をブレイクスルーする（Fig. 10）ことでダイナミクス全体を進化させた。乗用車において世界トップクラスのトラクション性能を誇る AWD として、パワートレインの出力を余すことなく路面に伝達するシステムを開発し、従来の前輪駆動ベースの i-ACTIV AWD を大きく凌駕するレベルに進化させた。

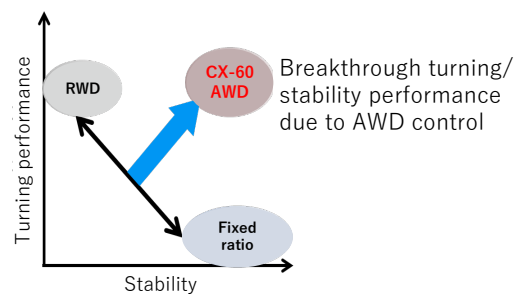


Fig. 10 Concept of AWD

### 3.2 後輪駆動ベース AWD 技術コンセプト

縦置きエンジンレイアウトの後輪駆動ベース AWD の特徴として、リヤトルク配分するほど旋回ポテンシャルが上がる前輪駆動ベースの AWD と違い、フロントトルク

ク配分するほど安定性は上がるがアンダーステアが発生し旋回性は下がるため配分比を決めにくいことがあげられる。また、クラッチを介してトルクを伝達する電子制御多板クラッチ式のトルク配分は、構造上出力側が入力側より遅い回転数である必要があるため、旋回状態を含めてフロント軸側を遅く回す必要がある。クラッチの引き摺りロスなどの燃費影響を最小化しながら理想の車両挙動と安定性を実現するために、以下2点に注力した。

- ① 前後ギヤ比差による AWD トルク伝達の最大化
- ② 前後トルク配分の後輪駆動ベースへの最適化

3.3 前後ギヤ比差による AWD トルク伝達の最大化

フロントデフ/トランスファのギヤ比の組み合わせにより、前後駆動系に微小な差回転を発生するギヤ比を設定した (Fig. 11)。これにより、常に前後差回転を発生させることで、フロントタイヤへすばやく・正確にねらいのトルクを伝達することが可能となり、必要最小限のトルク配分で車両安定性の向上を実現した。

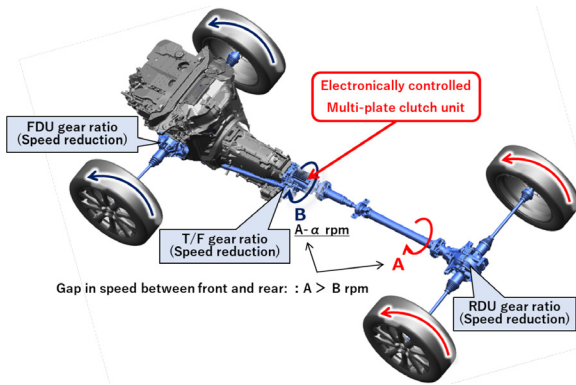


Fig. 11 Gap in Rotation between Front and Rear

3.4 前後トルク配分の後輪駆動ベースへの最適化

後輪駆動らしい旋回性と AWD らしい安定性を燃費への影響を最小化しながら実現するために、前述した前後ギヤ比差設定を前提として、制駆動力及びタイヤ荷重状態に応じてトルク配分を最適化した。タイヤ摩擦円内での走行においては、加減速に応じてトルク配分を緻密にコントロールすることで AWD としての安定性を確保しながら、旋回時は前輪から後輪へトルク配分を変化させることでピッチ姿勢をコントロールし後輪駆動ベースの素直な操縦性を実現した。また、高速・高Gや低μ路など旋回時のタイヤ摩擦円を超えるようなシーンにおいては、従来のタイヤ前後スリップ検知によるスリップ制御に加え、オーバーステア・アンダーステアを検知して駆動配分をコントロールすることで車両挙動を安定化した (Fig. 12)。更に回生ブレーキ時には、回生協調ブレーキシステムと連携しフロントへトルク配分する制御によって車両安定性を確保するとともに、より多くのエネルギー回収を可能にした。

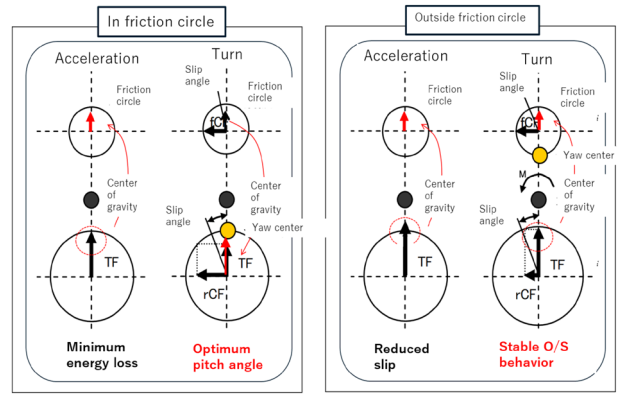


Fig. 12 AWD Torque Ratio

前述のトルク配分を実現する制御システムを Fig. 13 に示す。AWD 制御ロジックをパワートレインコントロールモジュール (PCM) 内に配置することで、エンジン・モーターが発生する駆動トルク情報を素早く検知し、目標とする前後駆動トルク配分比を演算、AWD の多板クラッチユニットに対してトルク指示を行う。また、後述する Mi-Drive やキネマティック・ポスチャー・コントロール (KPC) とも連携し、PCM 内で統合的に車両運動目標を決定して各ユニットへ指示することで、理想的な車両挙動と安定性を実現した。

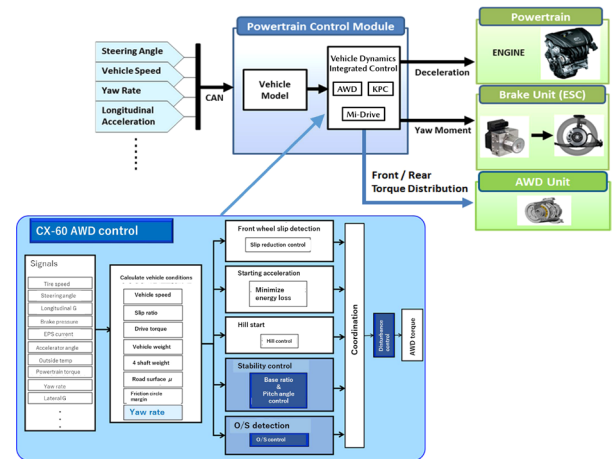


Fig. 13 AWD Control System

3.5 Mazda intelligent Drive Select (Mi-Drive)

CX-60 から採用する進化した Mi-Drive では、走行シーンに応じて「NORMAL」「SPORT」「OFF-ROAD」「TOWING」に「EV」を加えた5つのモードを設定した。ベースとなる「NORMAL」に対して、各走行モードそれぞれの特徴に合わせて AWD のトルク配分も最適化することで、走行条件が大きく異なるそれぞれのシーンで「人馬一体の走り」を実現した。

(1) SPORT

クルマの持つダイナミクス性能のポテンシャルを最大限に引き出し、パワートレインの応答性を高めてより

積極的な走りをサポート。合わせてAWDの締結力を高めて操舵安定性を高めることで力強い走りを実現した。

(2) OFF-ROAD

未舗装路や深雪などの悪路を走行する際、AWDやトラクションコントロールシステム(TCS)をはじめとした走行システムをトラクション重視の特性に変更することで、より高い走破性を実現した。

(3) TOWING

トレーラーの牽引やバイクキャリア等の搭載時に、パワートレインの出力特性を重量増加状態に最適化することに合わせて、トレーラー牽引状態にAWDを最適化することで直進安定性を向上した。

4. CX-60のAWD性能

前述したAWDシステムにより、雪上など低μ路での力強いトラクションによる安定した走りはもちろん、高速走行時の直進安定性やワインディングにおける意のままのハンドリング性能を実現した。

4.1 低μ路 発進加速性能

低μ路での発進加速時の時系列データをFig. 14に示す。発進加速直後から遅れなく前輪側へトルク配分し、パワートレインの出力を余すことなく路面に伝えることでねらいの車両加速度を実現した。

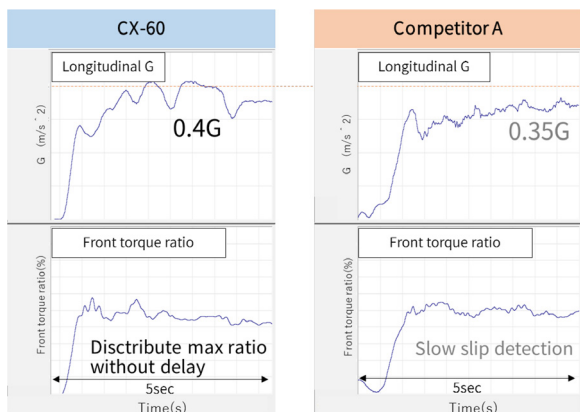


Fig. 14 Launch Acceleration on Snow Road



Fig. 15 Launch Acceleration on Snow Road

4.2 低μ路 旋回安定性

低μ路での旋回時の舵角とヨーレートの関係を表したデータをFig. 16に示す。CX-60は舵角とヨーレートの関係がリニアになっており、低μ路においてもニュートラルなステア特性を維持している。

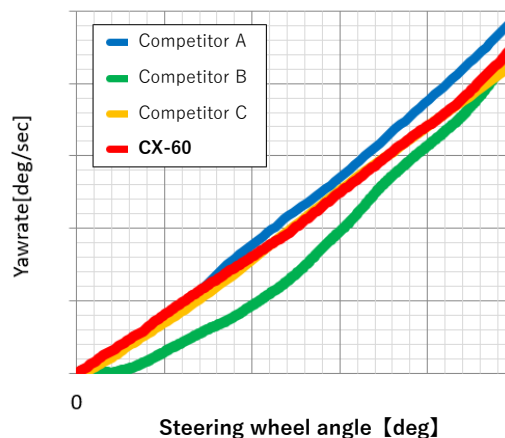


Fig. 16 Steering Characteristic on Snow

また、旋回加速時の時系列データをFig. 17に示す。点線のアクセル踏み込みタイミングの直後、競合車は強いアンダーステア傾向を示す一方、CX-60は後輪駆動らしく旋回方向に向きを変えながらしっかり加速しており、雪上においてもドライバーの意のままの挙動コントロール性を提供している。

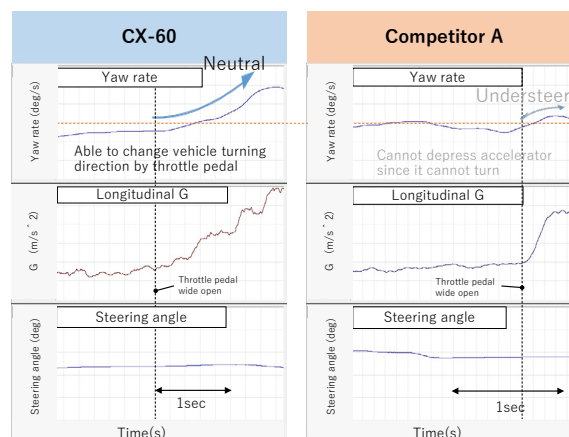


Fig. 17 Yaw Motion Controllability by Throttle Pedal



Fig. 18 Steady State Cornering with Wide Open Throttle on Snow

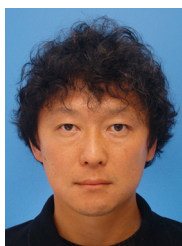
## 5. おわりに

マツダの乗用車史上、最大のパワートレイン出力となるCX-60のポテンシャルを最大限に引き出すAWDシステムを開発した。電子制御多板クラッチ式AWDシステムを存分に活かし、ハイパフォーマンスなフルタイム4WDとしてエンジンとモーターの大出力を常時前後輪に最適配分することで、従来の前輪駆動ベースのi-ACTIV AWDを凌駕する操縦安定性とトラクション性能を実現する。後輪駆動ベースAWDならではの意のままに操れる自然な車両挙動を、高速・高G領域まで一貫して実現することで、より高いレベルの人馬一体感を提供できた。

## 参考文献

- (1) 嶋田ほか：新世代i-ACTIV AWDの紹介，[マツダ技報](#)，No.37，pp.33-38（2020）

### ■著者■



吉田 琢



今村 泰理



梅津 大輔



日高 誠二



嶋田 克利