

特集：MAZDA CX-60

09

新型 8 速 自動変速機の紹介

Introduction of New 8 Speed Automatic Transmission

篠塚 浩^{*1}

Hirosi Shinozuka

上田 健輔^{*2}

Kensuke Ueda

山本 真司^{*3}

Shinji Yamamoto

本瓦 成人^{*4}

Narihito Hongawara

朝倉 浩之^{*5}

Hiroyuki Asakura

要 約

現代のクルマに求められる高い安全性能と環境性能を兼ね備えながら、マツダブランドの醍醐味である走る喜びを体現したミッドサイズ SUV である CX-60 を発表した。この商品は新世代 Large 商品群のトップバッターであり、これからのマツダのブランド価値を 1 段高いステージにステップアップさせる重要な役割を担っている。優れた環境性能と人馬一体による走る喜びを両立させるべく、新型の縦置きオートマチックトランスミッション (AT) を開発した。

新型 AT の開発に当たり、断続・同期・伝達効率といったトランスミッション機能の劇的な向上を追求し、流体式トルクコンバーターの代わりにマニュアルトランスミッションのような機械式クラッチ機構を採用することで、ダイレクトな発進と高応答で滑らかな変速性能、そして抵抗低減による高効率化を目指した。併せてギヤ比設定と変速制御を最適に作り込むことで、人の感覚と一致したリズム感のある走りを実現するとともに、コンパクトな設計を行うことで理想的な運転姿勢を実現し、クルマとの究極の一体感を感じられるものとした。また、環境性能に対する幅広いニーズにお応えするために 48V マイルドハイブリッド及びプラグインハイブリッドの電駆システムを内蔵できる構造を採用した。

Abstract

Mazda announced the CX-60, a mid-size SUV that embodies the joy of driving, which is the real pleasure of the Mazda brand, while combining the high safety performance and environmental performance required of modern cars. This product is the top batter in the Large product lineup, and it plays an important role in taking Mazda's brand value management to the next level. As Mazda's unique approach, we have developed a new type of vertical automatic transmission (AT) in order to pursue a human-centered development philosophy and realize the joy of driving with "Jinba Ittai". In developing the new AT, we focused on dramatic improvements in transmission functions such as intermittent, synchronous, and transmission efficiency, and instead of using a fluid torque converter, we adopted a mechanical clutch mechanism like a manual transmission to create a direct start. We aimed for high response and smooth shifting performance, and high efficiency by reducing resistance. At the same time, by optimally incorporating gear ratio setting and shift control, driving with a sense of rhythm that matches human senses is realized, and by designing a compact design, an ideal driving posture is realized, and with the car. I made it possible to feel the ultimate sense of unity. In order to satisfy the environmental performance that is becoming more severe year by year, we have adopted a structure that can incorporate a 48V mild hybrid and plug-in hybrid electric drive system.

Key words : Power transmission, Drivetrain

*1~3 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*5 パワートレイン開発本部
Powertrain Development Dept.

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

(2022.7.31 時点)

1. はじめに

新世代ラージ商品群第一弾として発表したCX-60は、マツダらしい意のままに操れる走行性能と高い環境性能を両立させ、どんな道でも運転を楽しむことができるミッドサイズSUVとして開発された。その究極の人馬一体感を実現するために、新たに縦置き8速ATを開発した (Fig. 1)。この新型8ATは、トルコンレスのクラッチ発進機構によるダイレクトな発進と、多段化による滑らかで応答の良い変速を実現するとともに、抵抗低減による高効率化により走りと環境性能を高い次元で両立した。

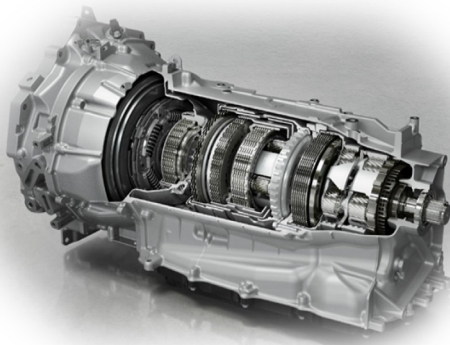


Fig. 1 Phantom View of 8AT

2. 開発のねらい

縦置きの新型8ATは人間中心の設計思想を追求し、以下を開発のねらいとした。

2.1 理想の着座姿勢の実現

人馬一体の走りを支える理想的な着座姿勢を実現するためには、ペダルワークスペースの確保が不可欠である。縦置きのAWDドライブトレインにおいては、前輪に駆動力を伝達するプロペラシャフトの配置が、センタートンネルの車室内への張り出し、及び、ペダルワークスペースに影響を与える。従い、プロペラシャフトに隣接するATの小径化が課題となる。課題解決の施策として、①ATユニット内部構造の最適化でケーシング側に窪みを設け、②2軸小径のトランスファーギヤを採用しプロペラシャフトをケーシングの窪みにびたりと沿わせることでセンタートンネル部の小径化を図った。これらを開発初期から考慮に入れて車両全体での最適化設計を行い、理想のペダルワークスペースを実現した (Fig. 2)。

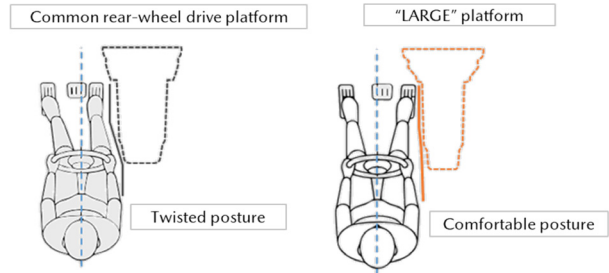


Fig. 2 Pedal Workspace Comparison

2.2 理想のAT機能の追求

ATの提供価値を定義し、従来のトルコン付きステップATの弱点を解消しつつ、熟練ドライバーによるマニュアル車操作のようなスムーズな発進/変速操作を緻密なクラッチ制御で作り込み理想のATを実現した (Fig. 3)。

Value provided by AT	Step AT with torque converter	Dual clutch transmission	Ideal AT
Practical fuel economy	Cold fuel economy	+	+
	Warm fuel economy	+	+
	Start responsiveness	+	+
Driving performance "Jinba Ittai"	Ease of starting	+	+
	Shift response	+	+
	Smooth shifting	+	++

Fig. 3 The Value Provided by AT and the Ideal AT Image

2.3 電動化対応

環境性能や走行性能に対する幅広いニーズにお応えするためには電動化技術の対応は不可欠である。新型8ATではモーターをエンジンとトランスミッションで挟み込む構造を採用し、48Vマイルドハイブリッド及びプラグインハイブリッドの2種類の電駆システムに適応した (Fig. 4)。エンジンとモーター/ジェネレーターを切り離して効果的にエネルギーを回生し、加速時や変速時に有効活用することで、環境性能だけでなく素早い加速応答や変速性能にも貢献している。

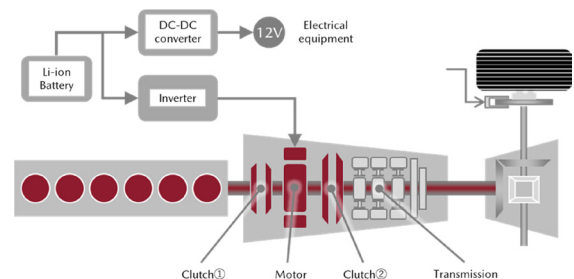


Fig. 4 Electric Transmission Layout of New AT

3. 技術コンセプト

新型8ATを開発するに当たり、トランスミッションの基本機能は駆動力を「素早く」「滑らかに」「無駄なく」路面に伝えることであると定義し、それらを軽量・コンパクトに実現することを目指した。この実現のために基

本機能に対して制御因子を明確にし、ATの各構成要素の技術進化のロードマップを具体化した (Fig. 5)。

Value delivered		Enhanced function	Adopted technology
Quickly	engage / disengage	Hydraulic characteristics	Hydraulic feedback control
Smoothly	Synchronize	Friction Inertial mass	Direct connection (Without torque converter)
		Ratio	Gear ratio optimization
Efficiently	transfer	Vibration damping	Resonance frequency control
		Fluid loss	Variable lubrication / reduction of oil amount
		Mechanical loss	Gear loss / sliding loss reduction
		Heat loss	Thermal management

Fig. 5 AT Basic Functions and Technical Concept

通常のATは発進装置（トルコン）と変速機構を直列に配置するが、新型ATではこれらの機能を変速機構に集約することで、エンジンと変速機構の間に電駆対応スペースを創出した。変速機構を大型化させないために、8速化に必要な最小要素数（プラネタリギヤ4組、湿式多板クラッチ5組）での構成としつつ、発進機能を1つのクラッチに集約的に配分できるギヤトレインとすることで、クラッチ発進に伴う制御・冷却システムの肥大も回避した (Fig. 6)。

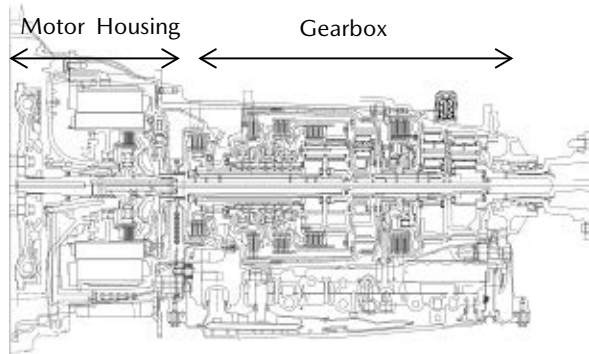


Fig. 6 Sectional View of New 8 Speed AT

4. クラッチ発進

究極の伝達効率とMTのようなダイレクト感を目指し、流体を介さないクラッチ発進方式を選択した。流体伝達はエンジン回転の吹きあがりや動力伝達の遅れのデメリットがある一方、ショック／振動を伝えにくく、発生した熱を効率よく放熱するというメリットもある。湿式多板クラッチをベースに以下のブレイクスルー技術を織り込むことで流体伝達のメリットを損なわずにMTのようなダイレクト感を実現した。

4.1 ショック・振動の低減技術

応答遅れなく滑らかな発進挙動が得られるよう、流体伝達並みの微小トルクを伝達できる構造を採用した。従来クラッチ構造では、微小トルク伝達をねらって押し付け油圧を下げると、クラッチが解放位置に戻りトルク伝達そのものができなくなるという課題があった。この課題解決の施策として、クラッチプレート間の遊びを詰めた状態で保持可能なばね構造の採用、及び油圧制御の緻密な作り込みにより、トルク抜けを生じることなく微小なトルク伝達を可能とした (Fig. 7)。

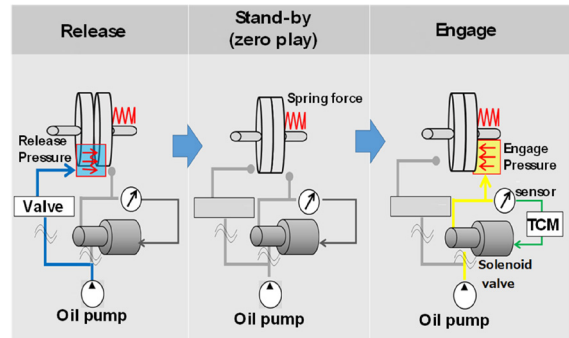


Fig. 7 Launch Clutch Concept

4.2 クラッチ冷却

登坂等の高負荷発進では半クラッチを継続しても摩擦材の耐久性を確保できるように、適切な潤滑冷却性能が求められる。油路の絞りの選択切り替え機構や電動オイルポンプによる潤滑ブースト機能を設け、必要時に必要量の潤滑ができるシステムを備えることでクラッチ冷却性能と燃費性能の両立を図った。

5. 油圧フィードバック制御

ショックを吸収するトルコンなしで優れた変速性能を実現するには、クラッチ油圧の精度・応答性を従来以上に高める必要があった。そこで、各クラッチに油圧センサーを設定し、油温や容積変化などの外乱影響をリアルタイムで油圧制御へ補正する機能をTCMに実装した。これにより、変速の進行状況ごとに変化する油圧要件を常時トレースできる緻密な制御が可能となった。

6. ギヤ比設定

トルコンレスに伴い、これまでトルコンのトルク増幅で実現していたローンチ性能も担保しつつ、最高段位での巡行性能やドライバー意図に応じた加速度の変化、リズムの心地よさといった変速による自己主体感を追求し、理想を実現するためのギヤ比設定を行った。以下、詳述する。

6.1 レシオレンジの拡大

駆動ユニットによらず求められる共通のパートレイ

ン性能目標から、レシオレンジの設定を行った。具体的には、1速の性能要件としてローンチ加速性能、登坂／トローイング性能を、8速に対しては余裕加速度、高速巡行燃費を考慮した。結果、従来6ATのおよそ1.4倍のレシオレンジとすることで複数ある駆動ユニット全ての走行性能を実現することができた。

6.2 中間段位の要求性能と多段化

各段位に求められる走行性能と、隣り合うギヤ段の比率（ギヤステップ）によるつながりに加え、全体のギヤ比のつながりによる変速のリズムの要件を定義し、中間段位のギヤ比、必要なギヤ段数を明確にした。具体的には各々の変速での駆動力のつながりに加え、低段位の加速ギヤ段においては収束性を、中間ギヤ段以上の定常ギヤ段においてはドライバーの意図に応じた加速度を的確に実現できるギヤステップを明確にした。本要件と6.1項の要求レシオレンジを両立できるトルコンレスATとして前進8速、後退1速の8ATを選定することで理想を実現した (Fig. 8)。

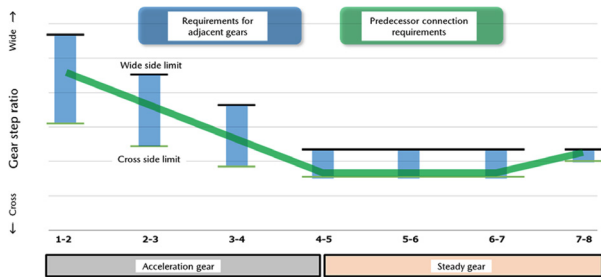


Fig. 8 Ideal Gear Ratio

7. 電駆対応

新型8ATは環境性能に対応するために初期構想から電動化対応することを想定し、モーターを内蔵可能なトランスミッション構造を採用した。モーターをエンジンとトランスミッションで挟み込む構造とすることで、48Vマイルドハイブリッドやプラグインハイブリッドに対応できる拡張性の高いシステムを採用しさまざまな環境ニーズに応えることを可能とした。

新世代ラージ商品群で電駆システム採用にあたり目指したのは、動力源がエンジンとモーターの2つがあることをドライバーに意識させることなく圧倒的な走りと燃費を実現することである。エンジンとモーターを切り離すクラッチを緻密にコントロールすることで、回生したエネルギーを加速時や変速時に有効活用し、環境性能だけでなく素早い加速応答や変速性能を実現した。

マイルドハイブリッド、プラグインハイブリッドのそれぞれのシステムに対して効率的で最適なソリューションを提供するために以下システムを採用した。

- ・48Vマイルドハイブリッド：大排気量の6気筒エン

ジンとの組合せで、小排気量に比べて燃費性能の劣る極軽負荷領域を小型のモーターで効果的に補い、環境性能を高める (Fig. 9)。

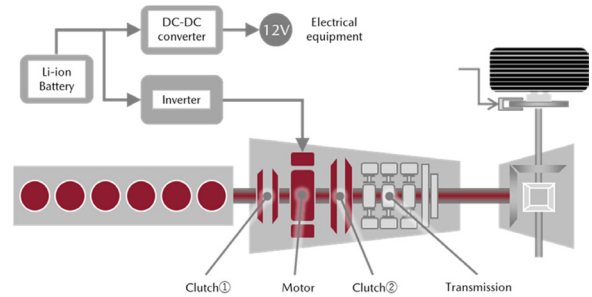


Fig. 9 48V Mild Hybrid Layout

- ・プラグインハイブリッド：中負荷まで高出力のモーターが担い、中高負荷燃費が良いSKYACTIV-Gとの組み合わせで環境性能と走りを高次元で両立させる (Fig. 10)。

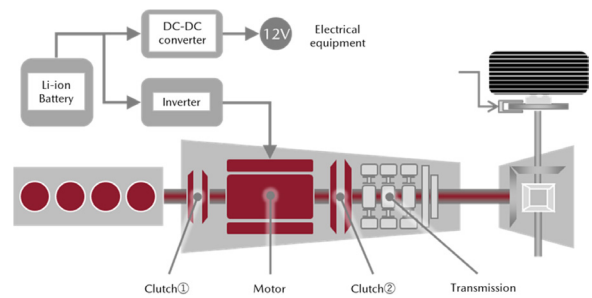


Fig. 10 Plugin Hybrid Layout

8. 損失低減

新型8ATはスリップロスの少ない発進システムや走行中のクラッチ引きずりを抑制可能なスケルトンを採用したことで、基本構造レベルで損失を大幅低減している。オイルポンプは、高油圧が必要なクラッチ作動圧要件と大流量が必要な潤滑・変速要件をあらゆる走行状況で無駄なく満足できるように、機械式ポンプと電動ポンプに機能を最適配分し、無駄な吐出をさせない油圧供給システムとした。更に、オイルの低粘度化と潤滑システムへの変機構造追加によって、回転体の攪拌ロスを低減した。これらによって、従来ユニット比でトルクキャパシティを向上しつつ、約22%の損失低減を実現した (Fig. 11)。

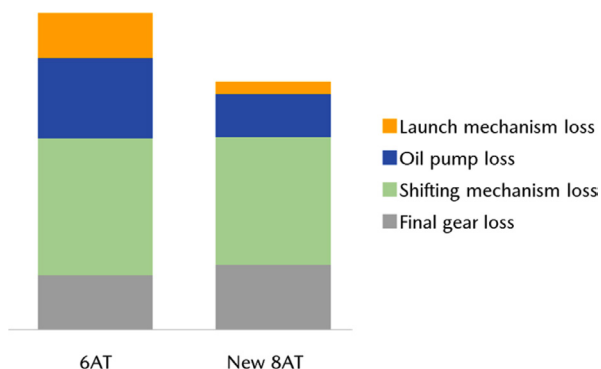


Fig. 11 Transmission Loss Torque Comparison @WLTC Mode

9. NVH

新型 8AT のトルコンレス構造の実現においては、流体伝達による振動減衰が見込めないため、特に低回転領域でのエンジンの回転変動がトランスミッション内部に伝わることで発生する駆動系ねじり振動性能の成立性が重要な課題であった。

駆動系ねじり振動モードをコントロールする主な因子としては、ねじり剛性と回転部品のイナーシャの 2 つがある。ねじり剛性が低いほど、あるいはイナーシャが大きいほど高い振動減衰効果が期待できる一方、大イナーシャは重量増大の弊害を招く。今回の新型 8AT では、従来、エンジン／トランスミッション間に配置しているねじりダンパーに加え、モーターとトランスミッション間にも小型の低剛性ねじりダンパーを配置した。これにより最小限の追加イナーシャで振動モードを最適化でき、トランスミッションの軽量化と NVH 性能の両立を実現した。

10. 開発・モノづくり進化

今回の新型 8AT は、さまざまなタイプのエンジンと電駆システムへの対応が求められている。全ての組合せに対して個別最適で開発をすると膨大な開発期間が必要になることから、システムとしての固定要素と変動要素を定め、基本構造を同体質化するコモンアーキテクチャー構想を立てて効率的な開発を実現した。具体的にはプラネタリギヤ及び油圧制御システムを固定要素として、全ての AT バリエーションに対して共通とした。他方、変動要素としては、エンジントルクによってダンパー容量及びクラッチ容量を 2 種類、電駆システムをモーターサイズ及びモーター有無で 3 種類、駆動システムとして 2WD/4WD の 2 種類を設定した。システム間の差分に着目しモデルベースでの機能検証を充実させることで、時間とコストのかかる実機検証を最小化した。

また、理想のペダルワークスペースを実現する縦置き 8AT とするために、大径長尺クラッチドラムの採用が必

要となった。大径部品を多用する構造を採用するとイナーシャ増加による走行性能課題や NVH 課題への対応が必要となる。今回、これらの課題を解決する手段として軽量なアルミ材を採用した。加えて、アルミプレス工法の採用により、省スペース、生産性向上を実現した (Fig. 12)。更に、異材 (鉄) 部品との塑性結合を選択することで、部品精度の向上を行いながら省スペースで 8AT スケルトンを実現した。

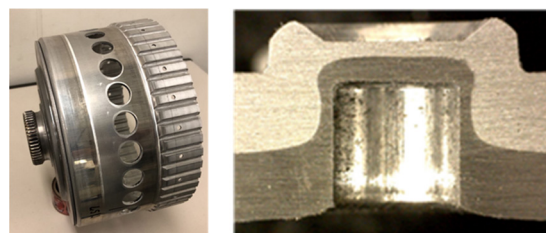


Fig. 12 Aluminum Press Drum/Dissimilar Material Joint

11. おわりに

今回の新型 8AT は、究極の人馬一体性能の提供により、心と体の活性化を通じた豊かなカーライフをお楽しみいただけることを目指し開発を行った。これまで培ってきたモデルベース開発の考え方、プロセスを更に進化／深化させ、多数の開発部門の連携と協力によって商品化を実現した。今後、ビルディングブロック構想に基づき、本技術と電動化技術の更なる進化に挑戦し、引き続き全てのお客様に優れた環境・安全性能と走行性能をお届けしていく。

■著者■



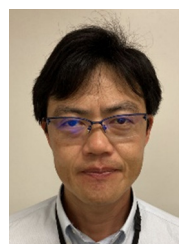
篠塚 浩



上田 健輔



山本 真司



本瓦 成人



朝倉 浩之