

特集：SKYACTIV TECHNOLOGY

4

SKYACTIV-DRIVE の開発 Development of SKYACTIV-DRIVE

土井 淳一^{*1}

Junichi Doi

岩下 典生^{*4}

Norio Iwashita

鎌田 真也^{*2}

Shinya Kamada

三谷 明弘^{*5}

Akihiro Mitani

丸末 敏久^{*3}

Toshihisa Marusue

宮濱 芳文^{*6}

Yoshifumi Miyahama

要約

地球環境に対する意識が高まる中、マツダでは、技術開発の長期ビジョンである「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言」に基づき、環境に優しく、走って楽しい車造りを目指している。「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を両立するため、新型自動変速機「SKYACTIV-DRIVE」の開発を行った。

「SKYACTIV-DRIVE」の開発では、「低燃費」「ダイレクト感」「スムーズで力強い発進」「滑らかな変速」を追求した。燃費向上では、走行中の滑りをなくすフルレンジロックアップの実現、またトルクコンバータ以外についてもシステム機能の理想を追求することで効率向上を図った。ダイレクト感向上については、ロックアップクラッチのすべり量を緻密に制御できるよう当クラッチの制御性を飛躍的に高めることで対応した。スムーズで力強い発進については、発進時にのみトルクコンバータを使用するシステムとした。滑らかな変速については、クラッチ油圧を精度良く直接コントロールできる新システム(Mechatronics Module)を採用した。

以上により理想を追求することでブレイクスルーを成し遂げ、その結果として「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を両立することができた。

Summary

While public eco-awareness is increasing, Mazda Motor Corporation aims to build environmentally friendly and fun-to-drive vehicles based on the long-term vision, the Sustainable “Zoom-Zoom” concept. To achieve both “driving pleasure” and “outstanding eco-friendly and safety performance”, the all-new automatic transmission “SKYACTIV-DRIVE” was developed.

“Low fuel economy”, “direct feel”, “smooth and powerful startup” and “smooth gearshift” were focused on in the “SKYACTIV-DRIVE” development. Fuel efficiency was improved by the Full range lockup which eliminates the slippage of the torque converter, and by pursuing the ideal function of other systems.

To achieve direct feel, the controllability of the clutch was drastically improved, so the lockup clutch slippage can be controlled precisely. Smooth and powerful startup was realized by using the torque converter at vehicle startup. For smooth gearshifts, the new system called “Mechatronics Module” was adopted, which directly and precisely controls the clutch hydraulic pressure.

Breakthroughs were made in seeking for the ideal transmission, and both the “driving pleasure” and “outstanding eco-friendly and safety performance” were realized.

*1～6 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

1. はじめに

地球環境に対する意識が高まる中、マツダでは、技術開発の長期ビジョンであるサステナブル”Zoom-Zoom”宣言に基づき、環境に優しく、走って楽しい車造りを目指している。SKYACTIV TECHNOLOGYは、「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を両立するための新世代技術の総称である。今回はその技術の一つである、新型自動変速機「SKYACTIV-DRIVE」の開発について述べる (Fig.1)。



Fig.1 Phantom View of SKYACTIV-DRIVE

2. 開発の狙い

SKYACTIV-DRIVEの開発にあたり、トランスミッションの理想を再定義するところからスタートした。現在普及しているオートマチックトランスミッションのタイプを大別すると、CVT、デュアルクラッチ式、ステップATの3タイプがある。これらの特徴を Table 1 に示す。それぞれに得意とする特性があるが、理想を全て満足したトランスミッションは存在しない。そこで、SKYACTIV-DRIVEでは、以下の4つの性能を追求することで各々の得意とする特性を全て備えた理想のトランスミッションの実現を目指した。

- 1) 低燃費への貢献
- 2) MTのようなダイレクト感とクイックシフト
- 3) スムーズで力強い発進性能
- 4) 滑らかな変速

Table 1 Transmission Types and Characteristics

Technology		Dual Clutch Transmissions	Continuously Variable Transmission	Conventional Torque Converter	Ideal AT
Good fuel economy	Low-speed FE	+	+		+
	High-speed FE	+		+	+
Easy launch (launch feel)			+	+	+
Easy hill start (creep)			+	+	+
Direct feel		+			+
Smooth shifting (shifting quality)			+		+

3. 技術コンセプト

SKYACTIV-DRIVEの開発では、その性能を実現するために、個々に理想を描き、それを可能とする方法をゼロベースで考えた。

まず、燃費向上では、車両全体からトランスミッションのロスエネルギーを分析した。その結果、トルクコンバータのロスが大きいことに着目し、まず、走行中の滑りをなくすフルレンジロックアップを実現したいと考えた(Full range direct drive)。次に、トルクコンバータ以外にもシステム機能の理想を追求することで各抵抗要素の効率向上を図った。

ダイレクト感については、アクセル操作に対し加速感の遅れなくリニアに感じられることを目標とした。そのために、ロックアップクラッチのすべり量を、緻密に制御できるように当クラッチの周波数応答を現行比 10 倍以上向上することで対応した。

スムーズで力強い発進については、発進時のみトルクコンバータを使用するシステムとした。

変速応答性と滑らかな変速の両立については、クラッチ油圧を精度良く直接コントロールできる新システム (Mechatronics Module)を採用した。

4. Full range lock-up 実現のためのブレイクスルー

走行中のロックアップ領域を拡大するためには、こもり音や加減速ショックが障害となる。従って、これらをいかに解消するかという課題に取り組んだ。

前述の課題をブレイクスルーするキーネーブラが”Full range direct drive”である (Fig.2)。

以下、Full range direct driveのキー技術である、1) ダンパ改善による振動抑制、2) ロックアップクラッチの耐久性、制御性の向上、3) 機能向上したダンパとクラッチを、全長が制約されるFFトランスミッションパッケージにコンパクトに収めるためのトラス小型化、について説明する。

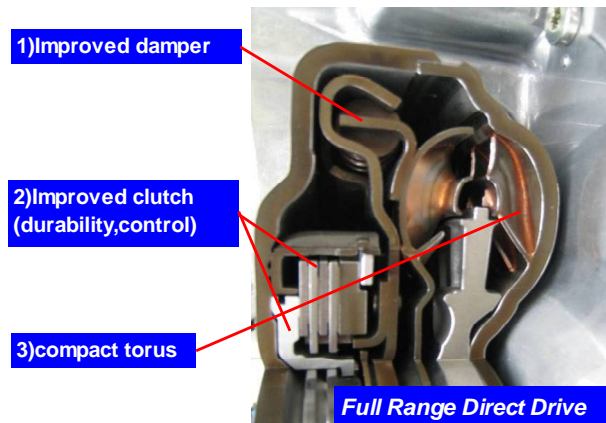


Fig.2 Development Goal of Full Range Direct Drive

4.1 振動抑制

ロックアップ時の振動抑制のため、トランスミッションに留まらず、エンジン、マウント、排気系、車体、制御の車両システム全体を CAE で解析し、各要素の寄与度を把握した上で、車両システム全体から機能配分を行った (Fig.3)。この中で、Full range direct drive は、ダンパを従来比 46%低剛性化することにより振動減衰に大きく貢献した。従来品との対比を Fig.4 に示す。

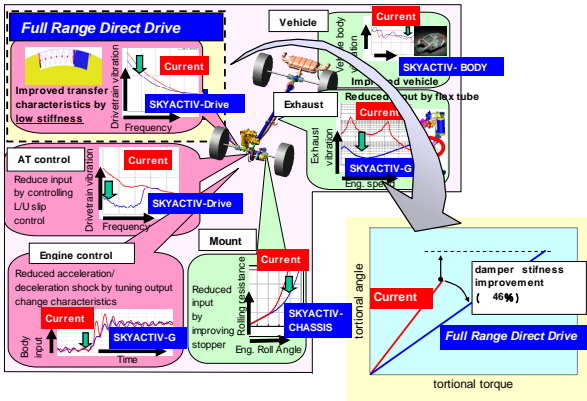


Fig.3 Functional Distribution of Full Range Direct Drive

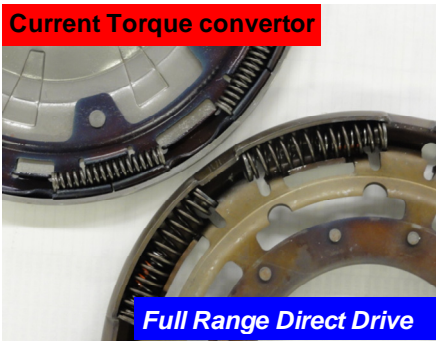


Fig.4 Comparison with Full Range Direct Drive Damper

4.2 ロックアップクラッチの耐久性, 制御性改善

ロックアップ領域を拡大するためには、クラッチの劣化に伴うシャッターを防止する必要がある。そのため、クラッチの冷却機能を高めて耐久性向上を図った。具体的には、セグメントタイプの湿式多板クラッチを採用するとともにオイル流れを最適化し、従来比冷却能力を約 50%向上した (Fig.5, 6)。

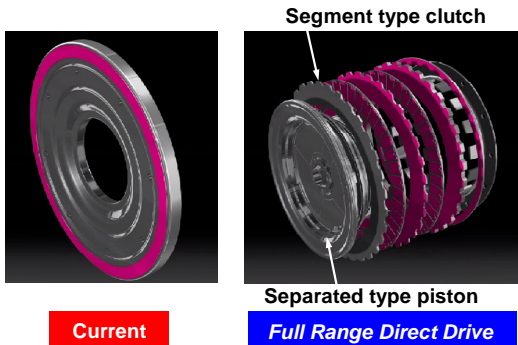


Fig.5 Comparison with Full Range Direct Drive Clutch

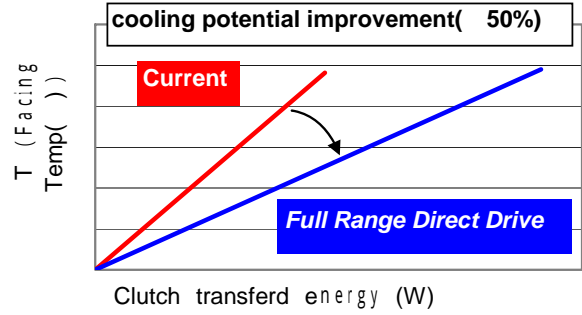


Fig.6 Comparison of Clutch Cooling Performance

更に、ロックアップクラッチのすべり量を緻密に制御するため、独立ピストン室構造を採用し、ロックアップクラッチの周波数応答を 10 倍以上向上した (Fig.7)。

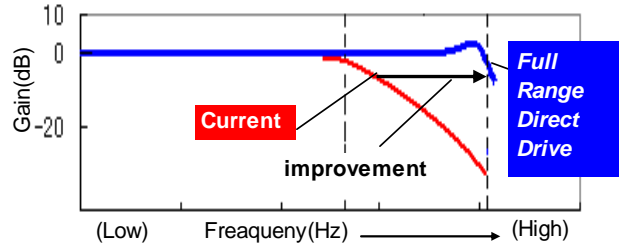


Fig.7 Comparison with Full Range Direct Drive Clutch Responsiveness

4.3 トーラスのコンパクト化

前述の機能を高めたダンパやロックアップクラッチを全長制約が厳しい F F トランスミッションパッケージに収めるためにコンパクト化が不可欠となる。そこで、トルクコンバータの使用領域を発進時に限定するとともに、CAE等を駆使してオイル流れを最適化することでトーラスをコンパクト化し、これを可能とした (Fig.8)。

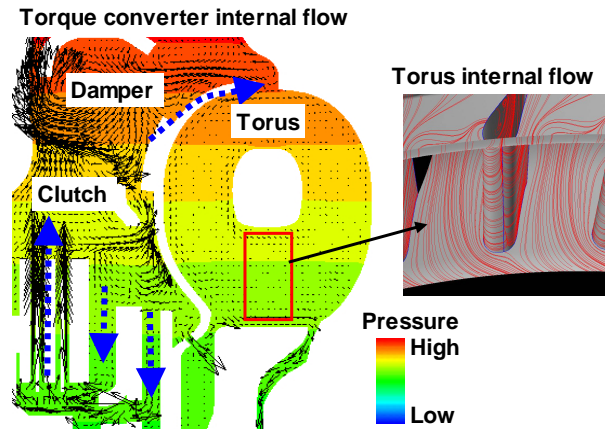


Fig.8 CAE Analysis of Internal Flow of Full Range Direct Drive

発進にはトルクコンバータを用いるが、発進直後からロックアップ状態にスムーズに移行させることで、従来のATと変わらない滑らかな発進を実現した (Fig.9)。

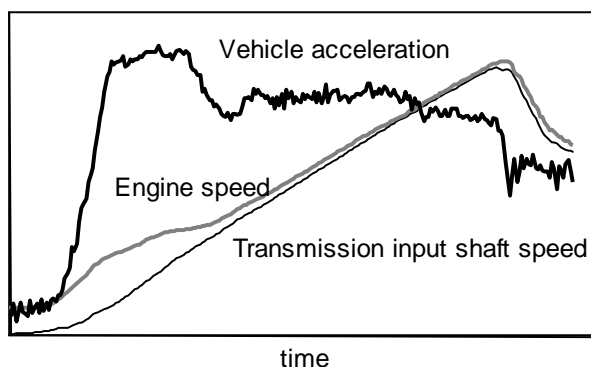


Fig.9 Acceleration Curve at Startup

Fig.10 は、従来ステップ AT と SKYACTIV-DRIVE の JC08 モード走行中のロックアップ領域を比較したものである。SKYACTIV-DRIVE の採用により、JC08 モード走行中のロックアップ領域を約 49 ~ 82%に拡大することが可能となった。

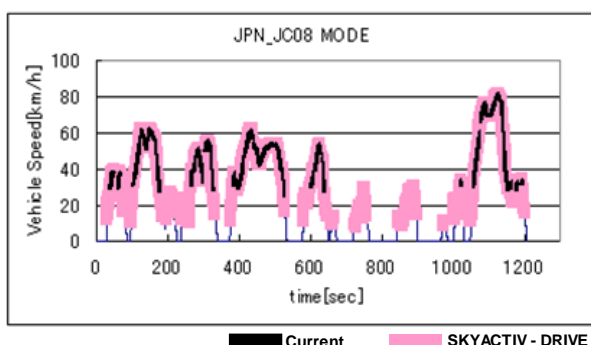


Fig.10 Comparison of Lockup Range in JC08 Mode

5. 機能向上による各抵抗要素の効率改善

更に、自動変速機の抵抗を司る各抵抗要素について、夫々のシステム機能の理想を追求し基本機能をもつことで、抵抗低減を実現させた。主な改善内容を以下に示す。(Fig.11)

- a) オイルポンプ：ポンプギヤの理想歯形を追求しポンプ機能を高め効率を改善
- b) クラッチ：クラッチ摩擦材の溝形状を最適化し排油機能を高めることで抵抗低減
- c) ベアリング：ベアリングの耐久性能を高めることでボールベアリングの採用を実現
- d) ワンウェイクラッチ：ラチェット式を採用し相対回転部のオイル攪拌を極限まで低減
- e) シールリング：最小クラッチ数で6速化を実現するスケルトンを選定してシール箇所を最小化するとともに、サイドフォースを極限まで低減するシールリング形状を採用

f) デフ攪拌抵抗：デフ室へのオイル流入の抑制とオイル排出性の向上によりオイル攪拌による抵抗を削減

g) AT オイル：劣化による粘度低下を抑制するとともに、潤滑機能を高めることで耐焼きつき性を向上させてオイルの低粘度化を実現

以上の改善により、ユニット全体での機械抵抗を現行5AT と比べ約 16%低減し、デュアルクラッチ式と同等以下の抵抗を実現した。

前述の Full range direct drive の効果と抵抗低減により、AT ユニット全体で現行比 4~7%の燃費改善を可能とした。

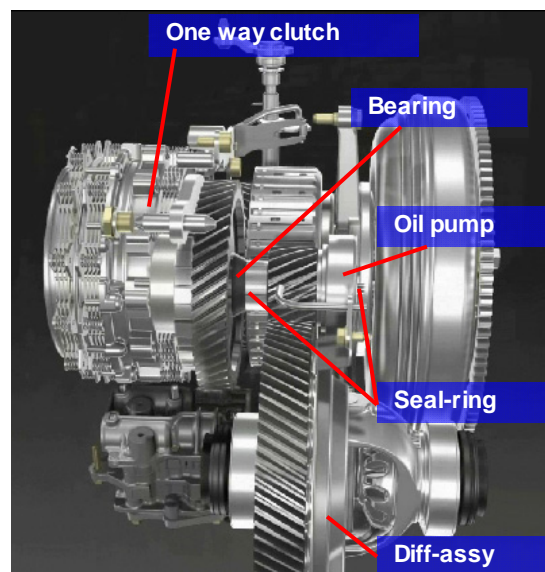


Fig.11 Name and Structure of Major Parts

6. 変速応答性とショック改善のブレークスルー

変速応答性とショックを高次元で両立させるためには、ロックアップクラッチや変速クラッチの作動油圧をいかに精度良く、応答良く制御できるかがポイントとなる。この基本機能を飛躍的に高めるためのブレークスルーが "Mechatronics module"である。

6.1 Mechatronics module による高応答・高精度の実現

AT の油圧精度は、多数の機械部品と電子部品のバラツキが影響する。そこで、これまで個別管理していた油圧回路と電子部品を一体化し、出力される油圧特性を制御コンピュータに記録することで、クラッチ油圧のバラツキを従来比 1/5 に抑制することが可能となった。同時に各種センサー類も一体化することで、部品点数の削減と信頼性の向上を図った (Fig.12)。

また、油圧応答速度を高めるために、ダイレクトリニアソレノイドを採用するとともに、電流応答遅れ、油路抵抗、変速用クラッチ剛性などの解析を進め、油圧回路一本一本に至るまで理想を追求することで、高速で安定した制御システムを構築した。

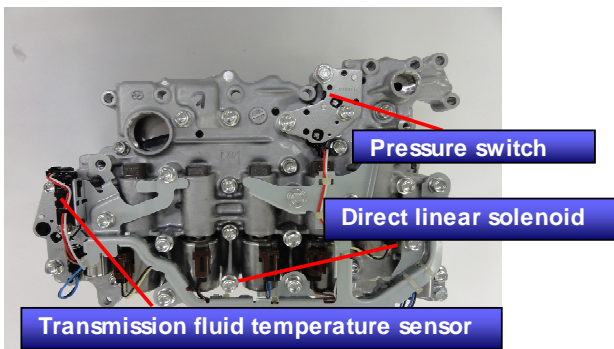
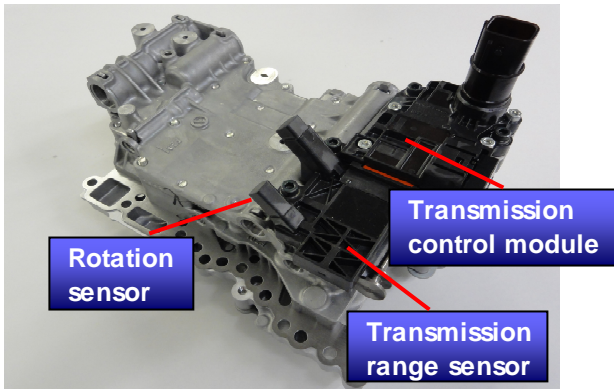


Fig.12 Makeup of Mechatronics Module

6.2 高速変速制御によるシフトクオリティの向上

SKYACTIV-DRIVE では前述の Mechatronics module によって得られた高応答、高精度の制御システムを最大限生かし、スムーズかつ高応答の変速を実現した。

アップシフトでは、変速中も車両の加速度が不連続にならないようにクラッチ油圧とエンジントルクを制御するシステムを構築した (Fig.13)。

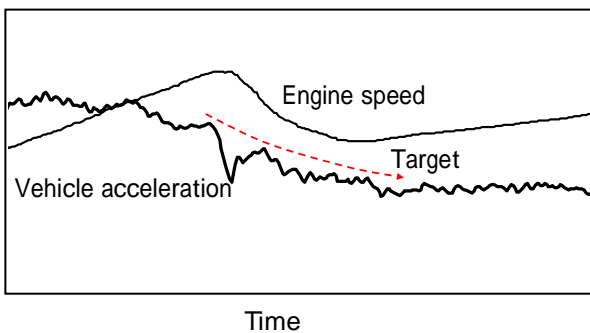


Fig.13 Upshift of SKYACTIV-DRIVE

ダウンシフトでは、応答性を実現するとともに、エンジントルクを変速に同期して上昇させることで、スムーズで早い変速を実現した (Fig.14)。

また外乱に対しても安定したシフトクオリティが得られるように現代制御論によるフィードバック制御を全変速で採用するとともに、制御コンピュータ内に油圧モデルを構築し、リアルタイムでクラッチやバルブの作動状態を推定している。

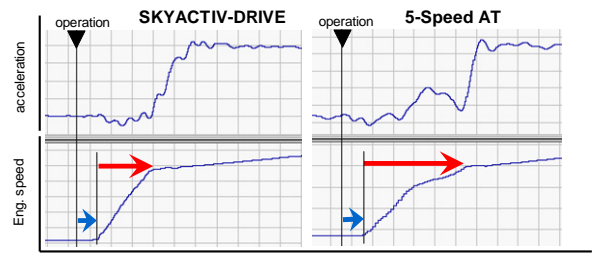


Fig.14 Comparison of Downshift Responsiveness

7. おわりに

SKYACTIV-DRIVE の開発では、理想を追求し続けることによりブレークスルーを成し遂げ、その結果として、走る喜びと優れた環境性能を両立することができた。

ロックアップ領域の拡大によりダイレクト感を向上、更に変速応答性もデュアルクラッチタイプ同等以上を実現。加えてプラネタリギヤ式構造であるためトルク制約もなく、大トルクディーゼルエンジンとの組み合わせでもその良さを存分に発揮できる。これらが従来 AT 比率の低かった欧州市場でも受け入れられ、AT 比率が非常に高くなっている。また全部品を一新するに当たり、モノ造り革新として、機能配分・設計・生産・調達の最適化をお取引先様と共同で行い、低コストを実現した。

最後に、本開発に多大なご協力をいただいたお取引先様はじめ、関係各位に深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 石野勲雄ほか：新世代技術「SKYACTIVパワートレイン」、マツダ技報 No.29, pp.29-35 (2011)
- (2) 黒川和司ほか：ドライブトレイン技術開発の現状と展望、自動車技術 vol.65 2011.09.01, P.11-P.16
- (3) 土井淳一ほか：New Mazda SKYACTIV-Drive Automatic Transmission, ATZ auto technology September 2011, P.52-P.55

著者



土井 淳一



鎌田 真也



丸末 敏久



岩下 典生



三谷 明弘



宮濱 芳文