

特集：新型デミオ

5

新型デミオ用 小型SKYACTIV-DRIVEの開発 Development of SKYACTIV-DRIVE for New DEMIO

岡山 裕之*¹ 坂 時存*² 藤川 昌道*³
Hiroyuki Okayama Tokimori Saka Masamichi Fujikawa

本瓦 成人*⁴ 永井 祥太郎*⁵ 齊藤 忠志*⁶
Narihito Hongawara Shotaro Nagai Tadashi Saito

要 約

新型デミオに搭載される1.3Lガソリンエンジン用と1.5Lディーゼルエンジン用に、それぞれのトルク容量に適合する2種類の小型6速オートマチックトランスミッション（以下「ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVE」、 「ディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVE」）を開発した。

ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVEはトルクキャパシティ165Nm対応とし、ほぼ全ての部品を専用に設計した。基本コンセプトは先行して商品化した中型SKYACTIV-DRIVEを踏襲しつつ、「低燃費」と「走る歓び」の更なる向上を開発のねらいとした。「低燃費」としては、小型軽量化と振動低減を図るために、ワンウェイクラッチの廃止や低剛性ロックアップダンパ付きトルクコンバータを開発した。「走る歓び」については、遠心キャンセル構造によるロックアップ応答性の向上やギヤ比を最適化することで、スムーズな発進とダイレクト感を両立した。

ディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVEは、CX-5、アテンザ及びアクセラに搭載される2.0L/2.5Lガソリンエンジン用中型SKYACTIV-DRIVEをベースに小型化を図った。軸支持構造など大幅に見直し、入出力の軸間距離を短縮することで、コンパクトカーの限られたスペースに270Nmまで対応できるディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVEを搭載可能とした。また、ダンパを高減衰化し振動を抑制することで、エンジン低回転域からのロックアップを実現し、「低燃費」と「走る歓び」の両立に貢献した。

Summary

For 1.3L gasoline engines and 1.5L diesel engines equipped in new DEMIO, two types of small 6-speed automatic transmissions (hereinafter called “Small SKYACTIV-DRIVE for Gasoline” and “Small SKYACTIV-DRIVE for Diesel”) were developed.

Small SKYACTIV-DRIVE for Gasoline can provide 165Nm and almost all of parts were exclusively designed. The development goal of the transmission is to improve “fuel economy” and “driving pleasure” while inheriting the basic concept of previous “SKYACTIV-DRIVE”. To improve fuel economy and reduce vibration, downsizing and weight reduction was performed, one-way clutch was eliminated and low stiffness lock-up damper was employed to the torque converter. To improve driving pleasure, smooth launch and direct feel were achieved by improving lock-up responsiveness with Canceller Chamber System and optimizing gear ratio.

Small SKYACTIV-DRIVE for Diesel was developed by downsizing the previous mid-size SKYACTIV-DRIVE for 2.0L and 2.5L gasoline engine equipped in CX-5, ATENZA and AXELA. By modifying shaft supporting structure significantly and shorten the center distance between input and output shaft, Small SKYACTIV-DRIVE for Diesel can be fit into the limited space of the compact car while providing maximum torque of 270 Nm. In addition, drastic reduction in rigidity of the damper contributes to torque fluctuation control as well as improvement in fuel economy.

*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、「走る歓び」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り、その技術の一つとして、新型自動変速機「SKYACTIV-DRIVE」^{(1),(2)}を開発してきた。今回は新型デミオ用として小型軽量化したSKYACTIV-DRIVEの開発について述べる。

2. 開発のねらい

新型デミオでは、コンパクトカーの常識を破るべく、高次元の走行性能と燃費性能の両立を目指した。その達成のために、特性の異なるガソリンエンジンとディーゼルエンジン用に、以下をねらいとした新型の小型SKYACTIV-DRIVEを開発した。

- 1) ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVE
 - ・各抵抗要素の効率改善及び小型軽量化
 - ・ロックアップ領域の拡大による、スリップロスの低減
 - ・発進直後からのロックアップによる発進性能の向上
 - ・ギヤ比とギヤレシオステップの最適化
- 2) ディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVE
 - ・ディーゼルエンジンの大トルクに対応しつつ、コンパクトカーに納まるサイズへの小型化
 - ・ディーゼルエンジンのトルク変動を減衰し、低回転からのロックアップを実現する振動抑制技術の開発

3. 主要諸元と構造

小型SKYACTIV-DRIVEの主要諸元を示す (Table 1)。

ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVEは中型SKYACTIV-DRIVEの基本構造をベースに、小排気量エンジン向けに新設計し、旧型デミオのCVTと比較して、9%の軽量化及び30.2mmの全長短縮を実現するとともに、ユニット抵抗を22%低減した。

また、ディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVEは、同じく中型SKYACTIV-DRIVEをベースとして、同等のトルク容量270Nmを確保しながら、新型デミオへ搭載するためにユニット前後長を25mm、インプット軸（エンジン軸）～デフ軸間距離を10mm短縮した。

Table 1 Main Specifications

| | | Small SKYACTIV-DRIVE for Gasoline | Small SKYACTIV-DRIVE for Diesel |
|--------------------------------|------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Torque Capacity[Nm] | | 165 | 270 |
| Overall Length[mm] | | 338.3 | 349.3 |
| Input-Output Axis Distance[mm] | | 185 | 197 |
| Gear Ratio | 1st | 3.529 | 3.552 |
| | 2nd | 2.025 | 2.022 |
| | 3rd | 1.348 | 1.452 |
| | 4th | 1.000 | 1.000 |
| | 5th | 0.742 | 0.708 |
| | 6th | 0.594 | 0.599 |
| | Rev. | 2.994 | 3.893 |
| Final | | 3.609~5.279 | 3.390~4.957 |

4. ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVE

4.1 各抵抗要素の効率改善及び小型軽量化

SKYACTIV-DRIVEの基本コンセプト^{(1),(2)}を踏襲しながら、(1)～(7)の技術を採用し、ユニット抵抗低減と小型軽量化を実現した(Fig. 1～3)。以下主要な技術について、説明する。特に記述のない場合は、中型SKYACTIV-DRIVEとの比較を表す。

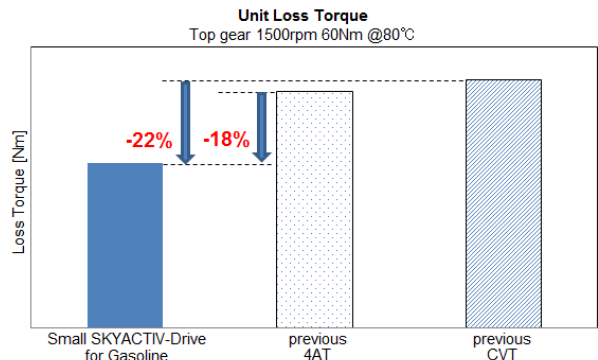


Fig. 1 Comparison of Unit Loss Torque

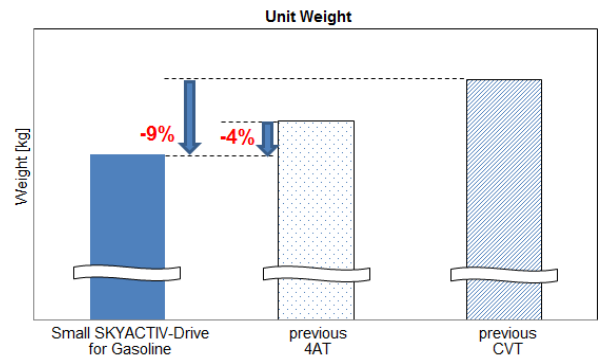


Fig. 2 Comparison of Unit Weight

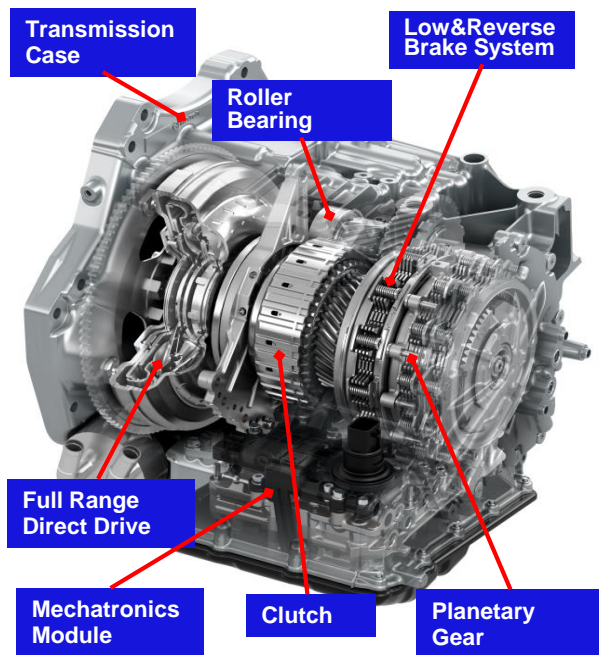


Fig. 3 Structure of Major Parts

(1) ロー・リバースブレーキシステム(ゼロクリアランスシステム)

低抵抗とクラッチの応答性を両立するために、ワンウェイクラッチを廃止し、タンデムピストン構造のゼロクリアランスシステムを開発した(Fig. 4)。クラッチ解放時は、ワンウェイクラッチの引き摺り抵抗を排除するとともに、ストローク用のピストンを後退させることでクラッチの引き摺りトルクも低減した。一方、締結時はストローク用ピストンを前進させることで、ゼロクリアランスの状態とし、クラッチの応答性を向上した。また、ワンウェイクラッチを廃止することで、全長短縮と軽量化にも貢献した。

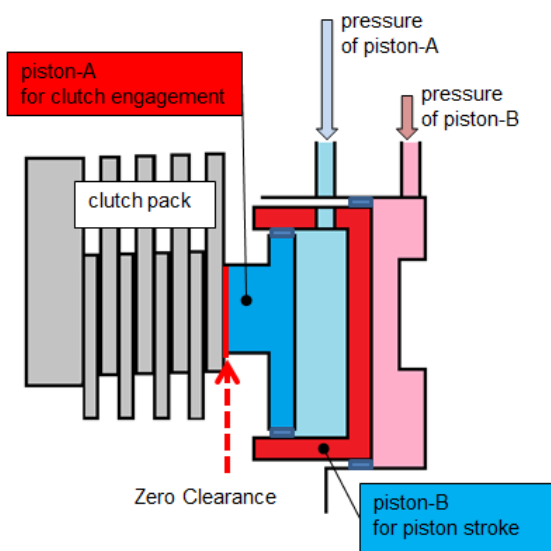


Fig. 4 Structure of Brake System

(2) トルクコンバータ(Full Range Direct Drive)

発進装置であるFull Range Direct Driveを、ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVE専用として新規に開発した。流体解析に基づくトラス部分の小型化や、振動解析に基づくダンパの設計及び剛性解析と内部構造の最適形状化により軽量化した。

(3) 潤滑システム

ギヤ、ベアリング、ブッシュ及びクラッチへの潤滑供給油量をコントロールし、回転部位とクラッチ部位のオイル攪拌抵抗を低減した。また、デフ室へのオイル流入を抑制するシール性の高いパッフルプレートを設置し、デフ部位のオイル攪拌抵抗を低減した。

(4) ローラベアリング

カウンタ軸支持部のアライメント解析とベアリング接触部のクリープ防止構造の採用によって、支持ベアリングをテーパローラからローラタイプに変更し、回転抵抗を低減した。

(5) プラネタリギヤ

プラネタリピニオンシャフトを小径化することで、ピニオンギヤのスペースを確保し、後述するギヤ比最適化とプラネタリキャリアのコンパクト化を図った。また、強度とノイズ性能を両立できるギヤ諸元を採用することで、ギヤ幅及びユニット全長を短縮した。

(6) ケースハウジング

CAE解析によって、可能な限り薄肉軽量化した形状をベースに、強度と振動伝達特性を両立するための最小限の肉厚とリップ形状を決定した。これによって、軽量化(全長短縮、外殻形状小型化)とケース強度と振動伝達特性を両立させた。

(7) Mechatronics moduleの小型軽量化

油圧制御部であるMechatronics module⁽¹⁾の必要機能を解析し、それに合わせた油圧回路とすることで、スプールバルブの削減とアキュムレータピストンの小型化を行った。またレイアウトの見直しを行うことで小型軽量化を図った。

4.2 ロックアップ領域の拡大

ロックアップ領域を拡大し、低燃費に貢献するために、Full Range Direct Driveのロックアップ応答性の向上と振動抑制性能の向上に取り組んだ。

(1) ロックアップ応答性向上

ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVEでは、ロックアップ領域の低回転化を図るために、精度の高い油圧制御を必要とした。ピストン室を密閉された構造とすることで、発進後のコンバータ内部の圧力変化の影響を排除し、ロックアップピストンの制御性を向上した。また、リターンスプリングを廃止し、遠心油圧キャンセル構造を採用することで、常にクラッチクリアランスを最小にコントロールする

システムを構築した (Fig. 5)。これによって、ロックアップクラッチの油圧制御を精密化し、発進直後からのロックアップ走行とスムーズで自然な発進を実現した。

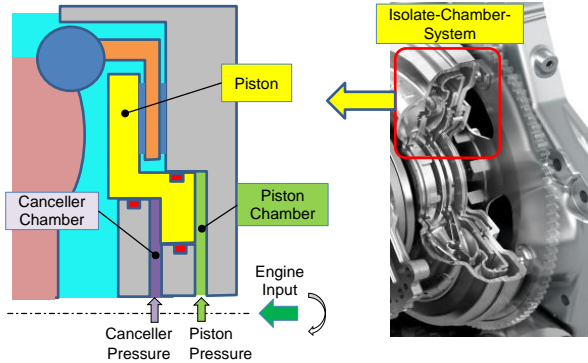


Fig. 5 Structure of Full Range Direct Drive

(2) 振動抑制技術

発進直後からのロックアップを可能とするために、パワートレイン系のねじり共振モード及び振動伝達特性などCAE解析を行い、減衰性能とロックアップダンパ剛性目標を定めた。その達成のため、従来比半減以下と大幅に低剛性化したガソリン用小型SKYACTIV-DRIVE専用のダンパを開発した。

(1) 項のロックアップ応答性向上と (2) 項の振動抑制技術の採用により、JC08モード比較で、中型SKYACTIV-DRIVEの82%に対し、86%までロックアップ走行割合を拡大した (Fig. 6)。

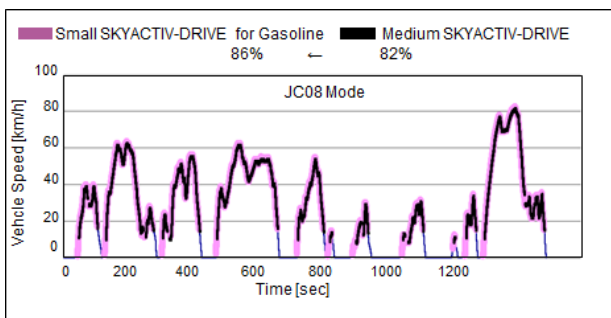


Fig. 6 Comparison of Lockup Range in JC08 Mode

4.3 発進性能の向上

コンパクトカーの重要性能の一つとして、発進停止を繰り返す街乗りでの快適性が挙げられる。ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVEでは特に発進時のフィーリング向上に努めた。ロックアップの応答性を向上したことで、発進直後からスリップ制御が可能となり、中型SKYACTIV-DRIVEと比べてエンジン回転のコントロール性を向上させ、トルクコンバータによるすべり感を低減した。それによって、加速時のドライバーのアクセル操作(右足の感覚)と車

速の上昇及びエンジンサウンドが同期した、マニュアルトランスミッションのようなダイレクト感を伴った発進性能を実現した (Fig. 7)。

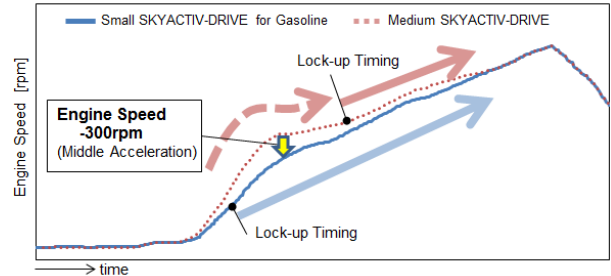


Fig. 7 Comparison of Acceleration Curve

4.4 ギヤ比とレシオステップの最適化

2.0Lガソリンエンジンに比べ余裕駆動力が小さい1.5Lガソリンエンジン用のSKYACTIV-DRIVEを開発するにあたり、各ギヤ段のギヤ比だけではなく、ギヤ段間のレシオステップも最適化した。高ギヤ段になるに従い同じ割合で徐々にステップ比を小さくすることで、エンジントルクを無駄なく使い切りながら、より滑らかな変速フィーリングと駆動力を得ることを目指した (Fig. 8)。中型SKYACTIV-DRIVEをベースに内部構造を見直し、変速ブレーキの締結要素とプラネタリギヤ比の変更及びダブルピニオンギヤを採用することによって、これを実現した。

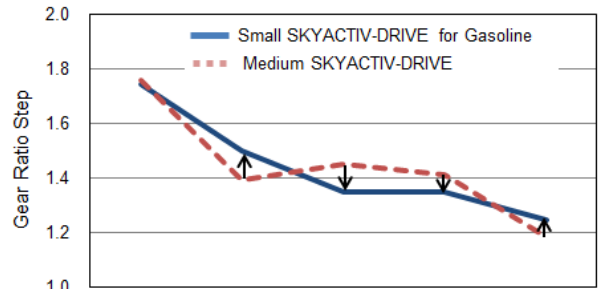


Fig. 8 Comparison of Gear Ratio Step

5. ディーゼル用小型SKYACTIV-DRIVE

既存の中型SKYACTIV-DRIVEをベースに、小型化と振動抑制技術を進化させ、新型デミオに搭載した。

5.1 小型化

SKYACTIV-DRIVEで採用しているインプット軸、カウンタ軸、デフ軸の3軸構造で、軸間距離を短縮するために、カウンタ軸～デフ軸間距離を16.2mm短縮するとともに3軸配置を最適化した (Fig. 9)。これによって、ユニットの前後長を25mm短縮し、新型デミオ用プラットフォームへ搭載可能なサイズへと小型化した。また、インプッ

ト軸（エンジン軸）～デフ軸間の距離を10mm短縮することで、前輪をより車両前側にレイアウトでき、新型デミオのロングホイールベース化に貢献した。その際、カウンタ軸回転数を減速するファイナルギヤのギヤモジュールを縮小しつつ、信頼性とギヤノイズ性能を両立できるギヤ諸元を採用した。また、ガソリン用小型SKYACTIV-DRIVEのファイナルギヤとギヤ諸元を共通化することで、生産性にも貢献した。

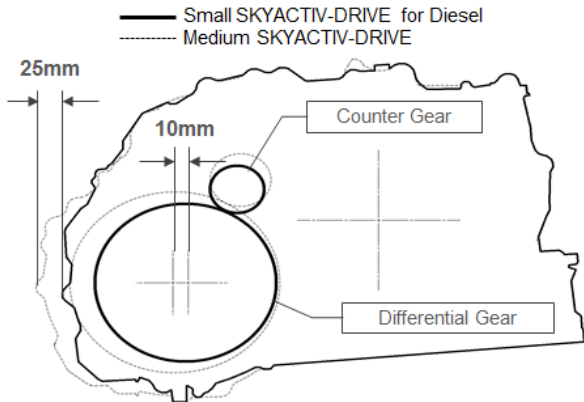


Fig. 9 Comparison of Pulley Axis Distance

5.2 振動抑制技術

ガソリンエンジンに対し加振力が大きいディーゼルエンジン搭載車両で、発進直後からのロックアップを可能とするために、発進装置（Full Range Direct Drive）の振動抑制性能を向上させた。ねじり共振モードや振動伝達系のCAE解析を行い、ダンパのばね剛性を30%以上低減することで（Fig. 10）、低回転域においても高いトルク変動減衰性能を得ることができた（Fig. 11）。これによって、ディーゼルエンジンの大トルク特性を生かしつつ、滑りのないダイレクトな発進性能を実現した。

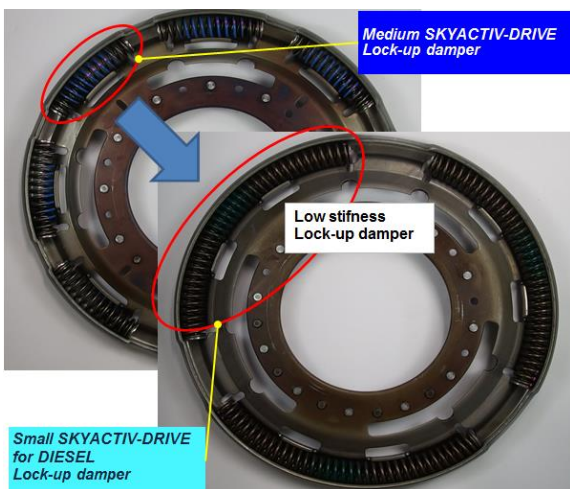


Fig. 10 Structure of Lock-up Damper

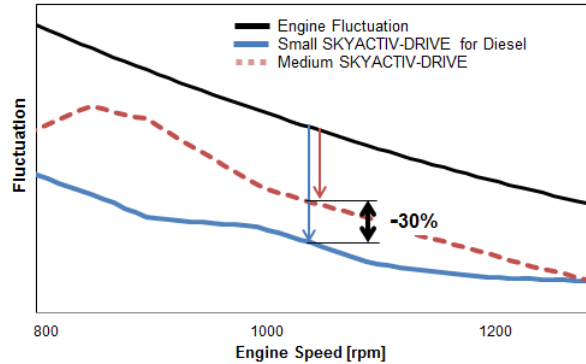


Fig. 11 Comparison of Damping Characteristics

6. おわりに

新型の小型SKYACTIV-DRIVEの開発では、コンパクトカーの理想を追求し、ゼロクリアランスシステムや低剛性ダンパシステムなどのブレイクスルーを成し遂げた。

その結果として、コンパクトカークラスの常識を破る、「走る歓び」と「優れた環境性能」を高いレベルで両立するトランスミッションを開発することができた。

また、小型SKYACTIV-DRIVEの開発によって、ほぼすべてのクラスの車両に、一貫したコンセプトのSKYACTIV-DRIVEをラインアップすることができた。

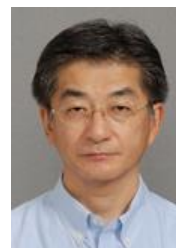
参考文献

- (1) 土井ほか：SKYACTIV-DRIVEの開発，マツダ技報，No. 30，pp.19-23（2012）
- (2) J. Doi, et al.：New MAZDA SKYACTIV-Drive Automatic Transmission, 10th CTI International Symposium and Exhibition in Berlin, Germany A3（2011）

■ 著 者 ■



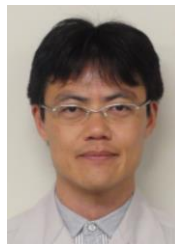
岡山 裕之



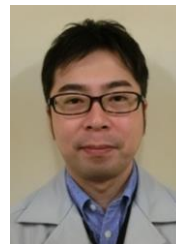
坂 時存



藤川 昌道



本瓦 成人



永井 祥太郎



齊藤 忠志