

特集：新型デミオ

6

新型デミオの小型高効率MTの開発 Development of SKYACTIV-MT for New DEMIO

岡留 泰樹*1 池本 孝之*2 北原 智之*3
Yasuki Okadome Takayuki Ikemoto Tomoyuki Kitahara

福田 真人*4
Masato Fukuda

要 約

小型SKYACTIV-MTは、既に量産化された中型・大型SKYACTIV-MTの基本コンセプトを踏襲しつつ、デミオクラスの小型車にふさわしい、更なる「小型・軽量・低抵抗化」を追求・進化させたマニュアルトランスミッションである。小型SKYACTIV-MTは、エンジンの特性に合わせ、6MT&5MT双方に派生可能で幅広いトルクバンドに適応したギヤトレイン構造とコンパクトな操作系機構を備え、優れた環境・安全性能と意のままの操作性を実現した。

Summary

While inheriting the basic concept of mid/large size SKYACTIV-MT already in production, new small size SKYACTIV-MT was made suitable for compact car by pursuing further “downsizing, weight and friction reduction”. The new SKYACTIV-MT matches with the characteristic of the engine and can be used as 5 and 6-speed MT and provides compact shift mechanism and geartrain structure that accommodates wide torque range. The transmission achieved outstanding environmental and safety performance and excellent shiftability that enables drivers to maneuver the vehicle as they intend.

1. はじめに

「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」の実現を目指し新開発した、新型6速、及び5速小型マニュアルトランスミッション SKYACTIV-MT (F66M-R型、F65M-R型) の主要技術の概要について紹介する。

2. 開発の狙い

SKYACTIV-MTをデミオに搭載するにあたり、既存のSKYACTIV-MTの基本性能を継承しつつ、以下の3つの性能を更に高めることで、理想のトランスミッション（以下T/M）の実現を目指した。

- (1) 小型・軽量化と低抵抗化による走りと燃費への貢献
- (2) 意のままに操れる変速操作性の進化
- (3) NVH性能（静粛性）の向上

3. 構造と主要諸元

3.1 F66M-R型（以下 小型6MT）

小型6MTは、並行2軸構造で、旧型デミオに搭載されていたF35M-R型（以下 従来5MT）比、約52%のトルク

容量アップ及び、6速化に対応しながら5%の軽量化を実現した。1速、2速にはトリプルコーンシンクロ、3速～6速には、シングルコーンシンクロを採用した。また、リバース専用同期装置を廃止し、リバース操作時には、5速用の同期装置を作動させる構造とした。Fig. 1に外観図を示す。

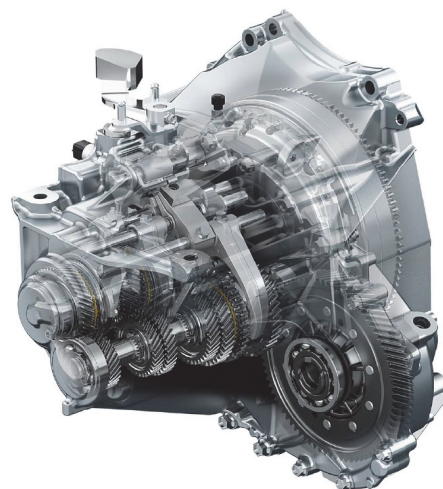


Fig. 1 Phantom View of F66M-R

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

3.2 F65M-R型 (以下 小型5MT)

小排気量エンジン搭載車では、適正な駆動力確保のため5MT設定のニーズがあることを考慮し、6MT構造から最小限の部品変更により、5MT対応が可能な構造とした。

Fig. 2に小型5MTへの主要変更部位を示す。

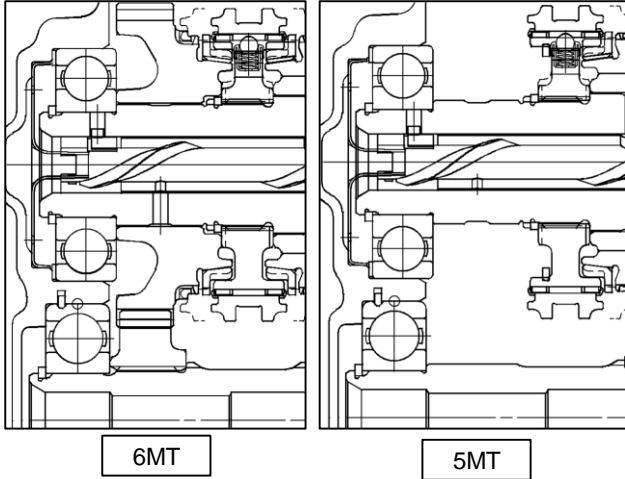


Fig. 2 Main Section of F66M-R and F65M-R

Table 1に小型5MT及び小型6MTのギヤ比を示す。出力トルクの異なる複数エンジンへ適応するため、主変速部で発生するギヤ荷重の適正化を狙い、低速・高速の2種類の主変ギヤレシオシリーズを設定した。

Table 1 Gear Ratio

| Gear Ratio | 5MT | 6MT |
|------------|-------|-------|
| 1st | 3.583 | 3.230 |
| 2nd | 1.904 | 1.652 |
| 3rd | 1.218 | 1.088 |
| 4th | 0.918 | 0.775 |
| 5th | 0.717 | 0.580 |
| 6th | - | 0.490 |
| Rev | 3.454 | 3.454 |
| Final | 4.105 | 3.850 |

3.3 骨格設計プロセス (最適機能配分の実現)

小型6MT・5MT (以下小型MT) は、ギヤトレイン・軸受・ケースへの機能配分にあたり、各サブシステムごとに軸芯間距離と重量との関係を求め、システム全体で最軽量となる軸芯間距離を決定した。特に、少し大きめの軸芯間距離を設定することでギヤ噛み反力を軽減、セカンダリ軸に深溝玉/円筒ころ軸受の採用を可能とし、ケースへの入力荷重軽減による軽量化と、軸受の回転抵抗低減を実現した。Fig. 3に軸芯間距離とユニット重量、抵抗の関係を

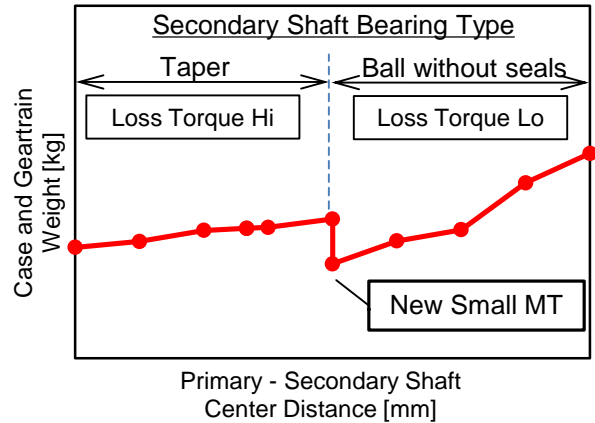


Fig. 3 Relation between Center Distance and Weight

3.4 フレキシブル生産への対応

マツダのMT組立ラインは、シャフトアッセンブリなどユニーク部品のモジュール単位でのサブアッセンブリ化と、メインラインの生産順序に合わせた部品供給 (マーチャリング化) により、5速・6速や2軸・3軸など構造が異なるMTユニットを同一ラインでランダム生産できる混流生産を可能としている。

小型MTの開発においても、開発初期段階から生産部門とのコンカレント活動を実施し、サブアッできる最少モジュール単位構造、メインラインでの組立基準共通化、及び組み付け方向統一などの生産要件を織り込んだ製品設計を行い、既存のSKYACTIV-MT組立ラインでのフレキシブル生産を実現した。

4. 小型・軽量化

前述の動力伝達機構及びケースの最適機能配分に加え、シフトリンク機構の小型化により、6速化に対応しつつ、トルク容量アップと軽量化を実現した。Fig. 4にMTユニットトルク容量とユニット質量の関係を示す。

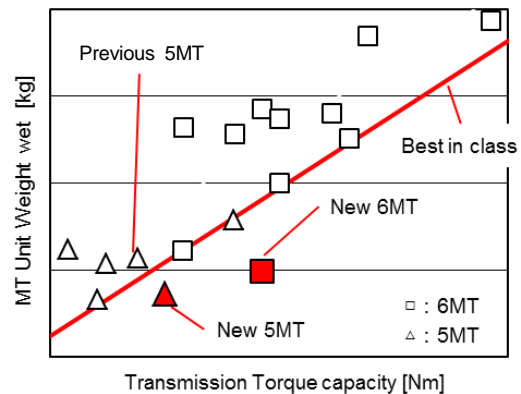


Fig. 4 Transmission Weight

4.1 シフトリンク機構

小型MTは、T/M上部へ操作系機能部品をコンパクトに集約することで、従来5MT比 約17%の軽量化を実現した。Fig. 5にシフトリンク機構の構造を示す。

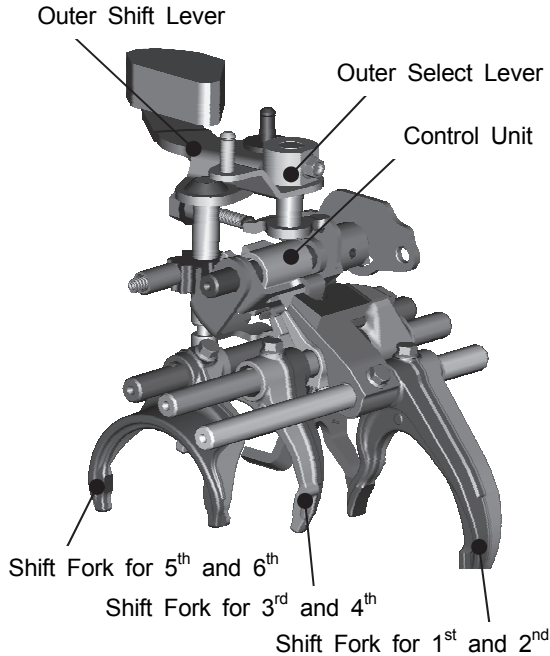


Fig. 5 Shift Mechanism

4.2 ケース

小型MTは、従来5MTのリヤカバーがある3分割ケース構造から、2分割構造へ変更した。更に既存SKYACTIV-MTのケース開発プロセスを進化・適用することで、従来5MT比、部品点数の削減と10%の軽量化を実現した。特に、ケースの基本骨格設計段階で、位相最適化の設計手法④を適用することで、狙いのギヤトレイン支持剛性を最小の重量で実現するケース基本形状やリブ配置等のケース骨格を造り込んだ。

Fig. 6にケース形状の検討推移を、Fig. 7に従来ユニットとの重量比較を示す。

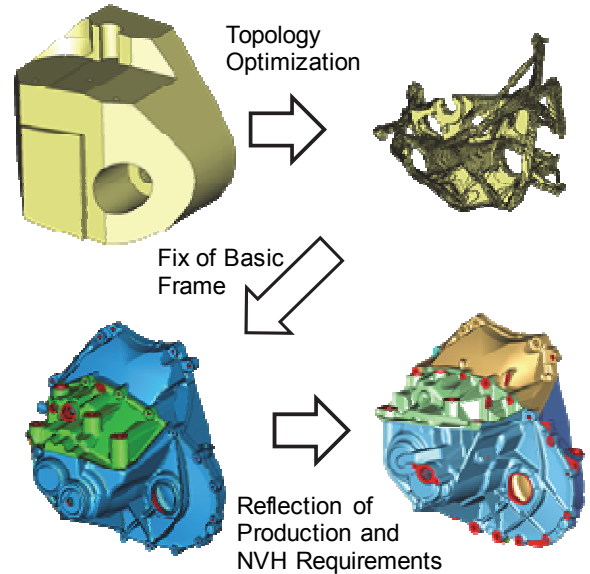


Fig. 6 Optimization of Case Shape by CAE

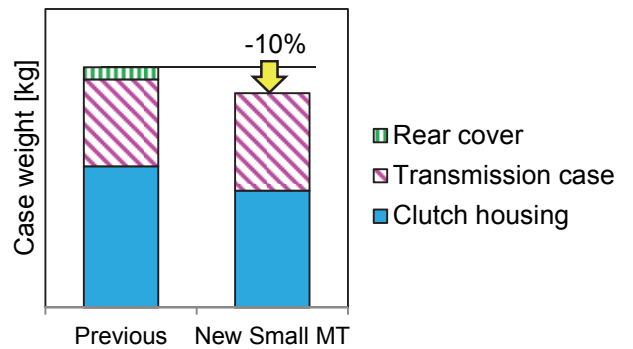


Fig. 7 Case Weight

5. ユニット抵抗低減

小型MTは、以下の主要施策により、従来5MT比23%の抵抗低減を図り、ベストインクラスとなる低抵抗化を実現した。Fig. 8にトルク容量に対するユニット損失トルクの比較を示す。

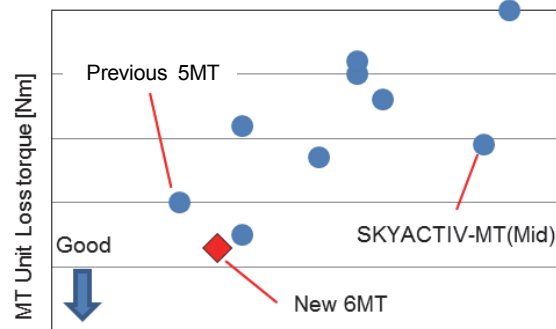


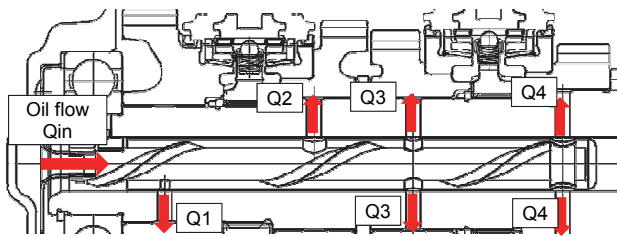
Fig. 8 Transmission Loss Torque

5.1 軸受損失の低減

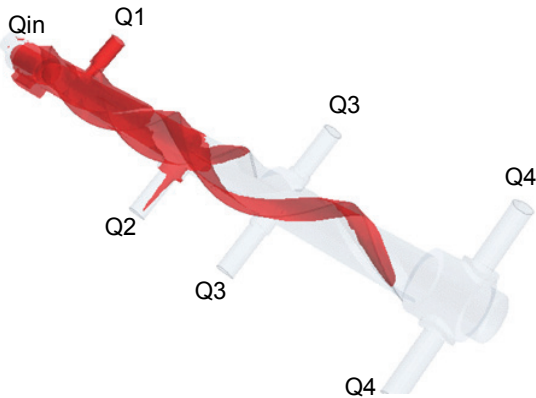
小型MTは、セカンダリ軸への深溝玉／円筒ころ軸受の採用（前述）に加え、デファレンシャル軸に深溝玉軸受を採用し、軸受損失の最小化を実現した。適用する深溝玉軸受は、原則オープンタイプとし、一部使用条件の厳しい車種へはシール付軸受と併用可能とした。

5.2 オイル攪拌抵抗の低減

必要な箇所へ必要な量だけオイルを供給可能な、オイルパス、ファンネル、オイルパイプ等の潤滑システムを開発し、従来5MT比、45%のオイル量低減と、攪拌抵抗の低減を実現した。特に、プライマリシャフト内のオイルパイプの仕様決定には、流体解析CAEを活用し、導出溝や吐出孔径・数量の仕様最適化を図った。Fig. 9にオイルパイプを通過する流体解析CAE解析結果の例を示す。



(a) Section of Primary Shaft and Oil Pipe



(b) Fluid Analysis

Fig. 9 Oil Flow in Oil Pipe by CAE

Fig. 10にオイルパイプ追加時の、シャフト穴からのオイル吐出量測定結果を示す。オイルパイプの設定により、オイル吐出量の均等・安定化が図れ、ギヤジャーナル部の耐焼付性能の確保とオイル量低減の両立が可能となった。

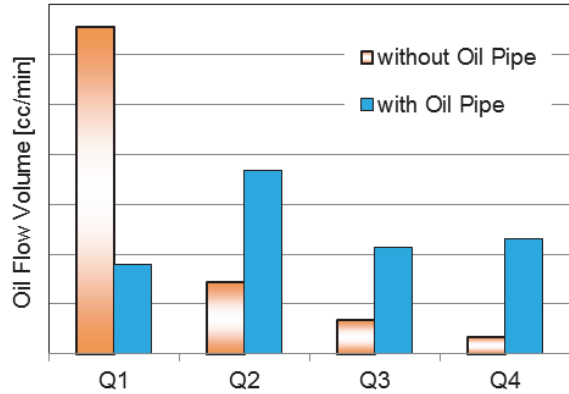


Fig. 10 Oil Flow Volume from Discharge hole

5.3 リバース専用シンクロの廃止

前進行時のリバースアイドルギヤ及び、リバース専用シンクロリングの回転抵抗を排除するため、選択摺動式のリバースギヤ構造と、リバースプレバーク機構を採用した。小型MTで新開発したリバースプレバーク機構は、リバース操作時に5速の同期装置を作動させることで、同期変速を可能とし、リバース専用シンクロを廃止した。Fig. 11にリバースプレバーク機構を示す。

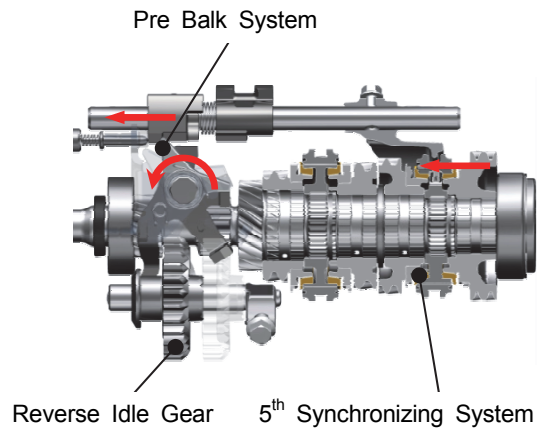


Fig. 11 Reverse Shift Mechanism

6. シフトフィール開発の進化

小型MTは、従来SKYACTIV-MTで好評を得た、「ドライバの意のままに操作でき、小気味よいシフトフィール」のDNAを、継承・進化させた。

特に、静的シフト操作特性の造り込みでは、機構解析CAEを活用、狙いとする荷重特性をよりロバストに実現できる部品設計を実現した。Fig. 12にユニットレバー上のシフト操作特性の実測値と解析結果を示す。

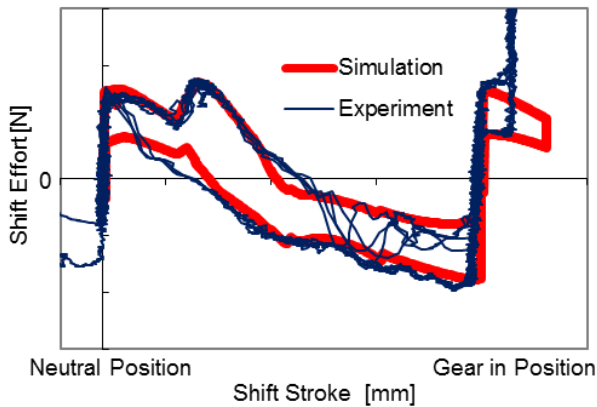


Fig. 12 Shift Characteristic

7. NVH性能（静粛性）の向上

小型MTのNVH開発では、従来SKYACTIV-MTでのNVH開発を踏襲し、車両部品を含めて全体最適となるシステム設計を行った。

特に、起振源と対象周波数帯が異なる、エンジン振動とギヤノイズのNVH性能に対しては、T/Mケースとエンジンマウントブラケットを同時に最適化を行い、両性能の主要常用域から主要振動ピークを外すことで、NVH性能確保に要する部品重量を最小化した。

また、ギヤの正しい噛合いを予測し、最適な歯面設計を実現するため、非接触光学式3次元変位計測器によりトルク負荷時のギヤ倒れ量を計測、より高精度のアラメントエラー予測モデルを構築した。これによりギヤ強度とギヤノイズを両立する歯面設計を実現した。Fig. 13に、ギヤアラメントエラーの予実差を示す。

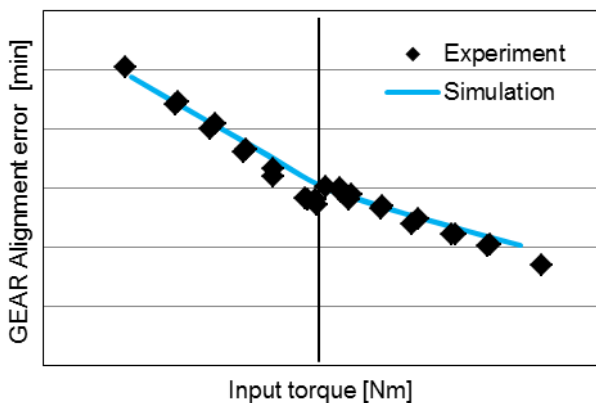


Fig. 13 Gear Alignment Error of Final Gear

8. おわりに

小型SKYACTIV-MTは、中型・大型SKYACTIV-MTの小型・軽量・低抵抗のDNAを継承、進化させることで、小型車搭載に相応しい「優れた環境・安全性能」と軽快なシフトフィールの「走る喜び」を具現化するユニットに仕上がった。

参考文献

- (1) 石井ほか：SKYACTIV-MTの紹介，マツダ技報，No.30，pp.24-27（2012）
- (2) 三浦ほか：トランスミッションケース開発における基本骨格形状最適化，シンポジウム「動力伝達系の最新技術2013」，pp.12-16（2013）

■ 著 者 ■



岡留 泰樹



池本 孝之



北原 智之



福田 真人