

特集：SKYACTIV TECHNOLOGY

5

SKYACTIV-MT の紹介

Introduction of SKYACTIV-MT

石井 護*1
Mamoru Ishii

吉倉 佑*2
Yu Yoshikura

高田 雅史*3
Masashi Takada

要約

SKYACTIV-MT は、従来型トランスミッションに対し、大幅な小型・軽量化と抵抗低減、シフトフィールの進化を追求したマニュアルトランスミッションである。適用する入力トルクバンドに対するギヤトレイン構造の最適化と操作系機構の刷新により、優れた環境・安全性能とマツダシフトフィール DNA である「意のままの操作性」を実現した。

Summary

SKYACTIV-MT is the manual transmission that achieved significant downsizing, weight and frictions reduction, better shift feel compared to the conventional transmission. Superior environment/safety performance and "shift quality as a driver is intended" representing Mazda shift feel DNA are achieved by optimizing the gear train structure for input torque range and improving the shift mechanism.

1. はじめに

「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」の更なる進化を目指し新開発した、新型 6 速マニュアルトランスミッション SKYACTIV-MT (C66M-R 型, D66M-R 型) の概要と主要技術について紹介する。

2. 開発のねらい

- (1) 「意のままに操れる変速操作性」の更なる進化
- (2) 小型・軽量化と抵抗低減による環境・安全性能への貢献
- (3) NVH 性能（静粛性）の向上による低騒音化への対応

3. 構造と主要諸元

3.1 C66M-R 型（以下、中型 MT）

中型 MT は、並行 2 軸構造で、最大入力トルク 270Nm に対応する。1 速, 2 速にはトリプルコーンシンクロ, 3 速～6 速, リバースにはカーボン摩擦材を使用したシングルコーンシンクロを採用した。

Fig.1 に主断面図, Table 1 に主要諸元を示す。

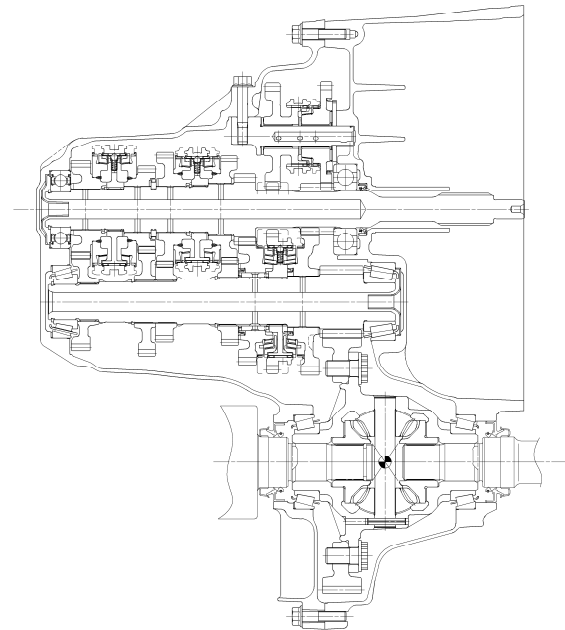


Fig.1 Main Section of C66M-R

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

Table 1 Main Specs of C66M-R

Gear Ratio	1st	3.700
	2nd	1.947
	3rd	1.300
	4th	1.029
	5th	0.837
	6th	0.680
	Rev	3.724
Final		4.388
Weight;Wet [kg]		42.9

3.2 D66M-R 型 (以下, 大型 MT)

大型 MT は、2 速と 3 速の駆動ギヤを共用する並行 3 軸構造で、最大入力トルク 460Nm に対応する。1 速～4 速、リバースにはトリプルコーンシンクロ、5 速、6 速にはカーボン摩擦材を使用したシングルコーンシンクロを採用した。

Fig.2 に主断面図、Table 2 に主要諸元を示す。

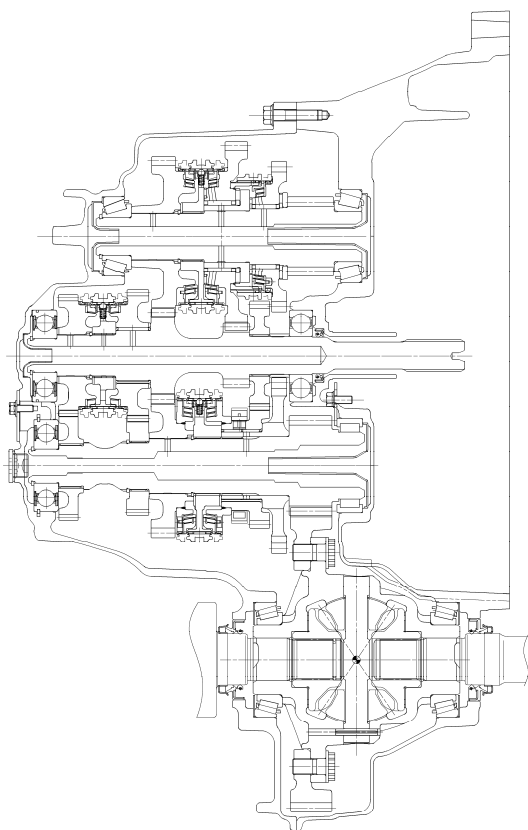


Fig.2 Main Section of D66M-R

Table 2 Main Specs of D66M-R

Gear Ratio	1st	3.357
	2nd	1.826
	3rd	1.565
	4th	1.147
	5th	0.893
	6th	0.745
	Rev	4.091
Final(1,2)		4.105
Final(3-6,R)		3.120
Weight;Wet [kg]		56.9

4. SKYACTIV-MT のもの造り革新

4.1 高トルク容量と小型・軽量・高効率の両立

中型 MT では、SKYACTIV-G のトルクに対応しつつ、搭載長短縮を両立したコンパクトな 2 点支持 2 軸構造を採用し、小型・軽量化と回転抵抗低減を実現した。

また、入力負荷に合わせてデファレンシャルサイズを使い分けることにより、幅広い車種・エンジンに適用可能とした。

大型 MT では、SKYACTIV-D の高トルクに対応したギヤトレイン強度と目標全長の両立のため、2 点支持 3 軸構造を採用した。2 本あるカウンタ軸を、入力負荷が高い 1 速、2 速用と比較的負荷が低い 3 速～6 速用で分けることにより、3 速～6 速用カウンタ軸の支持ベアリングに低抵抗タイプを採用し、小型化と同時に回転抵抗低減を実現した。

4.2 コモンアーキテクチャ構想

ドライバが感じるシフトフィールの理想特性を数値目標化し、実現のための最適化設計を行った。中型 MT と大型 MT で操作系と同期装置の基本構造を共通化することによりストローク特性を統一し、シンクロの同期容量を変動要素として荷重特性を最適化する思想で設計することにより、ギヤトレイン構造やサイズによらない同体質の操作フィールリングを実現した。

4.3 一括企画とフレキシブル生産構想

一括企画・開発とフレキシブル生産構想を効率的に実現するため、開発初期段階から生産部門とのコンカレント活動を行った。これにより、機能開発と生産ライン設計の要件を相互にフィードバックし、開発効率と生産性の改善、および生産準備期間の短縮を実現した。

従来、機種ごとの専用設備で生産していたトランスミッションケースの事例では、加工基準や固定基準座を統一化することで、サイズや形状の異なる SKYACTIV-MT と SKYACTIV-DRIVE の 4 種類以上のケースを同一設備で生産可能な多種変量対応の高稼働率生産ラインとした。

5. シフトフィールの進化

SKYACTIV-MT では、従来から目標としてきた、マツダシフトフィール DNA である「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」を更に進化させるために、乗車姿勢や操作時の腕の動き、筋肉の使い方などを人間工学的に分析し、従来型 MT のシフトストローク 50mm・約 50N の操作力に対し、ストローク 45mm・約 40N の操作力を理想目標とした。

また、変速開始から終了までのシフト操作力目標を、フィールングから数値化し、同期終了後にシフト完了位置に向けて吸い込まれるように動き、ストップ部では適度な剛性感が得られる設定とした。

Fig.3 にシフト操作特性の目標と実測値を示す。

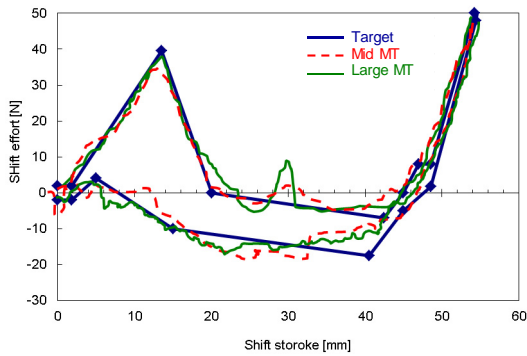


Fig.3 Shift Characteristic

シフト操作のショートストローク化と操作力低減の相反する目標両立のため、以下を目指し開発した。

- ・必要な仕事量を減らす (被同期側イナーシャ低減)
- ・大きな増幅比で操作力を伝える (レバー比拡大)
- ・最大の効率で操作力を伝える (高効率システム)
- ・2段モーション性能向上 (阻害要因の排除)

5.1 被同期側イナーシャ低減

変速中の仕事量を減らすため、クラッチディスクとシンクロ間にあるギヤトレイン部品のイナーシャ低減を行った。

3軸構造の大型MTでは、構造選定時にシンクロとギヤの最適配置を行い、5速・6速用シンクロをインプット軸上に配置することにより、クラッチディスクを含む被同期イナーシャを約12%低減した。

5.2 レバー比拡大

シフトノブのショートストローク化と、ノブからシンクロに操作力を伝えるレバー比拡大を両立するため、MT内部のスリーブストローク短縮を行った。

シンクロスプラインの小モジュール化によりスリーブとギヤスプラインの噛合い長さを縮小するとともに、シンクロ同期時の熱収支解析を行い、シンクロとギヤの熱容量最適化によりシンクロ摩耗量を低減することで、シンクロからギヤスプラインの距離を縮小した。

これらにより、スリーブストロークを従来型比で約15%短縮した。Fig.4に熱収支解析モデル例を示す。

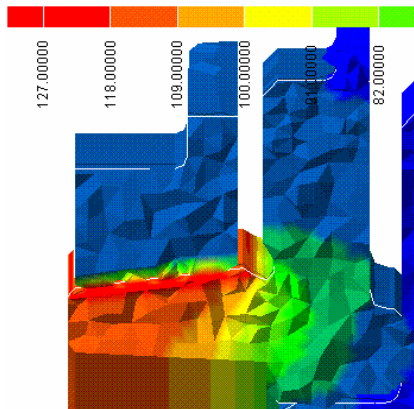


Fig.4 CAE Model

5.3 高効率リンク機構

変速機構を構成するロッド支持部にスライドボールベアリングや低摩擦タイプのブッシュを採用したことに加え、シフトフォークを作動させるレバーをインボリュート形状とし、作動中の摩擦抵抗を低減した。また、作動中のスリーブの傾きによるハブとの摺動抵抗を低減するため、シフトフォーク周辺のレバーやロッドを含むシステムとして最適化し、シフトフォークの両腕を等剛性化した。

Fig.5に操作系部品の構造を示す。

コントロールロッドが上下動するセレクト操作に対しては、1速・2速のセレクト位置を上方へ設置し、シフトアップ時にロッド上部品の自重で下げる構造とした。また、シフト用ディテントがセレクト操作時に摺動しない構造とすることで、操作時の抵抗を低減した。

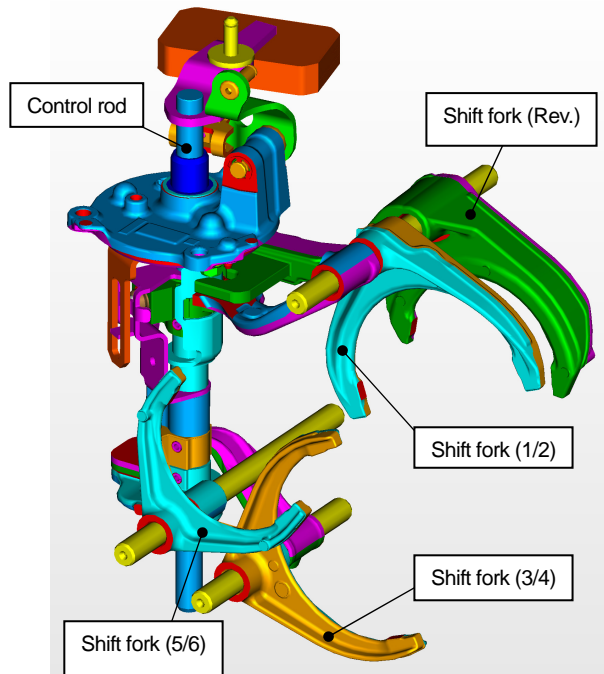


Fig.5 Shift Mechanism

5.4 2段モーション性能向上

変速操作中のスリーブとギヤスプラインの噛合い時に発生する、ゴツゴツとしたフィーリングの2段モーションは、シフトフィールを損ねる要因となる。この現象は、シンクロ同期時に蓄積されたねじりエネルギーが同期終了後に解放され、噛合い時にギヤスプラインとスリーブが相対回転によって衝突することにより発生する。

この対策として、変速操作中の関連部品について挙動解析と高精度の回転変動測定を実施し、ギヤスプラインに対するスリーブの進入角度を明確化するとともに、同期後のスリーブ挙動を可視化することでギヤスプラインのチャンファ形状を最適化した。

これにより、常用シフト荷重域での2段モーション発生を防止し、シフトフィーリングの向上を図った。

6. 小型化・軽量化

MT の全長は、軸上に並ぶギヤの歯幅と同期装置スペース、支持ベアリング寸法等の要素によって構成される。

このため、構造選定時に全長とともに伝達効率や被同期イナーシャも考慮して各要素を最適配置した上で、各要素の小型化を行った。

大型 MT では、共用ギヤの組み合わせ、リバースの配置などが異なる多軸ギヤスケルトンを比較し、ユニット全長および伝達効率から、現在の構造を選定した。

次に中心間距離の設定は、外観サイズ、重量、ギヤ比の設定範囲を考慮し、シミュレーションにより約 1 万通りの中から最適な中心間距離バランスを決定した。

ポテンシャルの高い基本構造と中心距離を選定した上で、各構成部品の軽量化を行うことにより、目標のユニット全長と重量を達成した。

アルミダイカストのトランスミッションケースでは、軽量構造を実現するために、ゼロベースで低周波から高周波振動の順に構造体を設計し、必要最小限の補強リブを設定した。また、生産技術部門と共同で、一般肉厚を従来型比で約 30% 低減に取り組み、形状の最適化と合わせて約 20% の軽量化を実現した。

7. 伝達効率向上

ギヤトレインの構造選定において、摩擦抵抗を考慮した構造選定とギヤ配置を行った上で、MT の伝達損失の多くを占める、オイル攪拌抵抗とベアリングをはじめとする回転部分の摩擦抵抗を低減し、ヨーロッパのモード燃費で約 1% に相当する伝達効率を向上した。

オイル攪拌抵抗では、低粘度オイルを新たに開発するとともに、各部の潤滑状態をシミュレーションと樹脂製の透明ケースを用いた可視化を併用して最適化することにより、オイルレベルを低減した。また、オイルパス構造を工夫し、走行状態では積極的にオイルパス上にオイルを蓄積し、デフの攪拌抵抗を低減した。

摩擦抵抗では、ギヤ諸元や中心距離の最適化により入力を低減し、低抵抗タイプのベアリングを採用した。

8. NVH 性能（静粛性）の向上

従来の開発では、ギヤノイズをはじめとする NVH 性能に対し、起振源である MT ユニットでの振動低減に重点が置かれていたが、振動低減に対する必要重量の効率が悪く、弊害が発生することも多かった。

そこで、SKYACTIV-MT では車両全体で性能をコントロールし、システムとして設計することにより、軽量化と NVH 性能を両立させている。

8.1 システム最適設計

ギヤノイズ開発では、ギヤ設計や支持構造の最適化による MT ユニットの基本的な振動低減を行った上で、Fig.6 の振動伝達における特性に着目し、それぞれの伝達経路に対して最適となるように振動伝達の周波数特性をチューニングした。

これにより、車体側感度の高い周波数域とユニット振動レベルが高い周波数域を離すことで、車両目標を達成し、トランスミッションケースの剛性チューニングで対策を行った場合に比べ、振動低減に必要な重量を約 50% に低減できた。

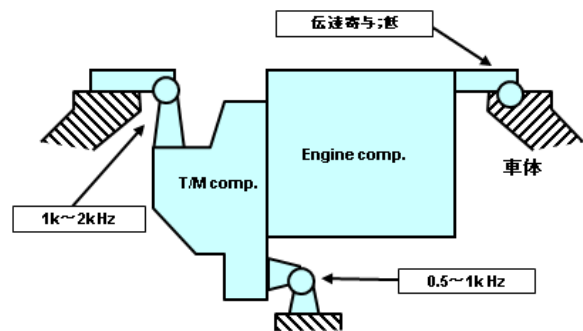


Fig.6 Gear Noise System Model

8.2 構造最適化 CAE の適用

上記のシステム設計を実現するにあたり、NVH 性能以外にも含めた複雑なシステムを成立させる必要があった。そこで、車両システムまで含めた CAE モデルと、最適化ソフトの適用を実施した。

これにより、より精度の高い解析結果と効果的な振動低減形状が実現できている。

9. おわりに

SKYACTIV-MT は、相反する課題をブレークスルーする技術開発に取り組み、小型・軽量・高効率で「優れた環境・安全性能」を、シフトフィールの更なる進化で「走る喜び」を高次元で両立しサポートできるユニットに仕上がった。

是非「意のままに操作でき、小気味よいシフトフィール」を体感していただきたい。

■ 著 者 ■



石井 護



吉倉 佑



高田 雅史