

特集：新型ロードスター

20

## 新型ロードスターの軽量ドライブトレインの紹介 Lightweight Drivetrain for New Roadster

延河 克明\*1      渡部 雅晃\*2      石田 一之\*3  
Katsuaki Nobukawa    Masaaki Watanabe    Kazuyuki Ishida

佐々木 雅弘\*4      松原 伸幸\*5  
Masahiro Sasaki      Nobuyuki Matsubara

### 要 約

マツダは、初代ロードスターへの原点回帰と『守るために変える』の志の下、開発に取り組んだ。新たに開発した専用 6 速マニュアルトランスミッションのドライブトレインは、クラッチペダル、チェンジレバーの操作性や静粛性等の環境性能を進化させつつ、初代のドライブトレインよりも軽量、コンパクト、高効率を実現し、この車の軽快で楽しい走りに貢献した。本稿では開発プロセスをマツダの志と行動を含めて紹介する。

### Summary

A new drivetrain was developed based on the concept of the original Roadster and our philosophy "Change to protect". The drivetrain for 6-speed transmission is lighter, more compact and efficient than the original and contributes to agile and fun driving while improving clutch pedal/shifter operation and environmental performance such as quietness. The paper presents the development process including our visions and efforts.

### 1. はじめに

ドライブトレインは、ロードスターの軽快で楽しい走りの進化のために、エンジントルク容量比で世界最軽量を理想に掲げ、開発に着手、商品化を実現した。

### 2. 開発のねらい

新型ロードスターの車両コンセプト実現のため、下記項目をドライブトレイン開発のねらいとした。

- (1) エンジントルク容量比世界最軽量
- (2) 操作性の正常進化
- (3) 静粛性向上と高効率の両立

### 3. ドライブトレインの構造と主要諸元

基本構造は初代ロードスターを受け継ぎながら、軽量、コンパクト、高効率化したものとなっている。

SKYACTIVの英知を集め、大幅な進化を遂げた。意のままに発進加速をコントロール、リズムカルな変速をサポートするクラッチシステム。初代の伝統であるカチッと きまる操作性を守りつつ、軽量、コンパクト、高効率を実現させた6速マニュアルトランスミッションとディファレンシャル。高張力鋼材で軽量化を実現したプロペラシャフ

ト。軽量化と走りに最適な剛性を両立したドライブシャフト。外観をFig. 1に示す。



Fig. 1 Drivetrain Overview

### 4. ドライブトレインの詳細

#### 4.1 クラッチシステム

新型ロードスターのクラッチシステム開発では人馬一体を実現するため、下記2点に注力して開発した。

\*1~5 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

- (1) 最適なクラッチ切れ性能と締結ポイント
  - (2) 意のままに加速度を操ることができるペダル特性
- 人間工学を駆使し、ドライバの左足が感じる負担が最少になる範囲に、クラッチ切れポイントと締結ポイントを配置した。ペダルの踏み切り位置から締結ポイントまでの最適なストローク寸法を定義し、それを実現することで、軽快感のあるリズムカルな変速操作性に貢献した (Fig. 2)。

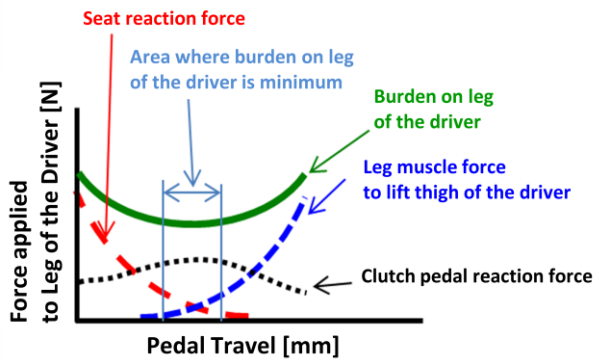


Fig. 2 Burden on Leg - Clutch Pedal Travel

また、ドライバの仕事量と加速度の関係をリニアに表現できる伝達特性カーブを最適にチューニングすることで、意のままに加速度がコントロールできるクラッチフィールを実現した。現行車との比較をFig. 3に示す。

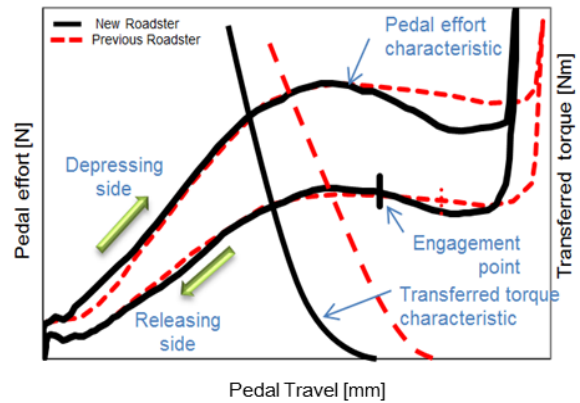


Fig. 3 Clutch Pedal Transferred Torque Characteristics

4.2 6速マニュアルトランスミッション

開発のねらいを高いレベルで実現させるため、トランスミッションの機能配分について、ゼロベースで熟考し、ねらいを実現できるキー技術を見極めた上で、詳細の開発設計に着手した。機能配分の概要を Fig. 4 に示す。

このユニットは4つのキー技術と2つのプロセス革新で、開発のねらいとユニット性能、質量、コストの高次元バランスを実現した。まずは、各キー技術と開発のねらいの関係を紹介する。

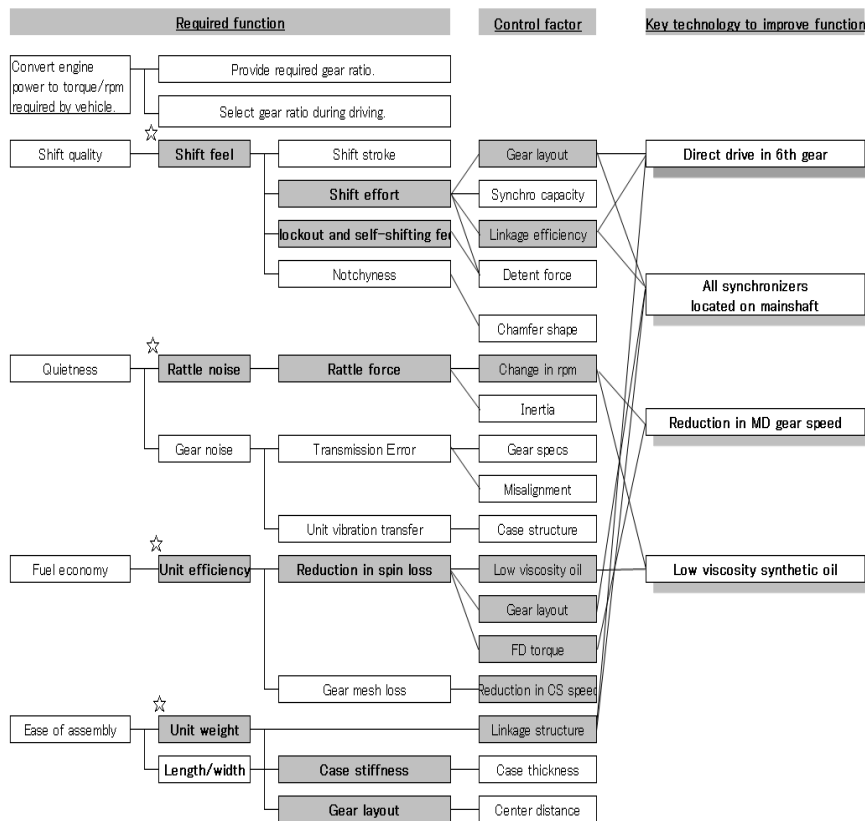


Fig. 4 Functional Allocation Outline

## (1) 6速直結構造

6速ギヤをギヤ比1.000直結とすることで、チェンジロッド上の反転機構が不要となり、軽量となる上、チェンジリンク効率の高いダイレクトフィールを向上させた。

## (2) インพุットリダクションギヤ比の低速化

オイル攪拌抵抗低減、トランスミッションに入力されるエンジンの回転変動低減によるラトル音低減にも貢献した背反機能のブレークスルーである。このキー技術で軽量化、静粛性と高効率化の両立を実現できた。

## (3) シンクロの全段メイン軸配置

チェンジリンク構造のカウンタ軸上へつなぐ部品が不要なため、リンク効率向上と軽量化。また、カウンタ軸の攪拌抵抗の低減も実現し、高効率に貢献できた。

## (4) 低温時低粘度オイル

冬季、ミッションオイル温度低下により、オイルの粘度が上がることで、シフトが入りにくいシーンがあり、これを払拭するため、新たに低温時低粘度オイルを開発した。攪拌抵抗低減とともに、季節変動に左右されないチェンジフィールを実現した。ユニット抵抗は現行ロードスターの6速マニュアルトランスミッションと比較して約30%低減した。ユニット抵抗を Fig. 5 に示す。

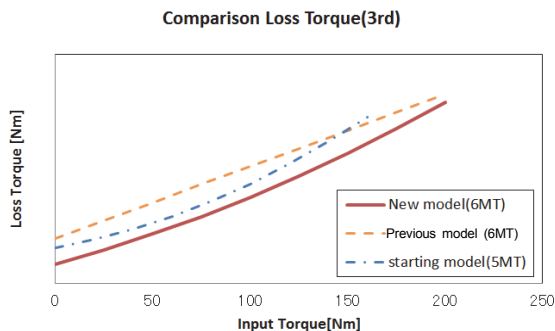


Fig. 5 Comparison Loss Torque

これらのキー技術と SKYACTIV 技術の融合で新型ロードスター用の6速マニュアルトランスミッションは誕生した。次にプロセス革新事例を紹介する。

## (1) 軽量と高剛性を両立したハウジング

トランスミッションへの入力負荷とシンクロ同期容量から軸間距離を決定、初代のカチッと決まるチェンジを守るために、シャフト及びロッドの軸受け配置は初代を踏襲した。初代の伝統を守るために変えなければならないこと、変えてはならないことを決めて開発を進めた。ハウジング輪郭は内部の構造体にギリギリ沿うように、オイル整流も加味して描いた。SKYACTIV-MT のケース開発プロセス①を進化させ、従来の均一肉厚という考え方を適用せず、強度、剛性、NVH 性能から最小限必要な厚みを必要な部位のみに肉厚としてのせた。エンジンと接続するトランスミッションケースは外リブを立てないことで、高剛性とスリムなボディシェイプを両立させた。均一ではない薄肉厚

はアルミダイカストの生産課題であったが、生産サイドのサポートで商品化を実現できた。ハウジングの設計手順を以下に示す。

## ① ハウジング存在可能空間の定義

ハウジング輪郭と関連するレイアウト要件から定義した。主な項目は下記のとおりである。

(i) フロントミッドシップレイアウト

(ii) 乗員ヒップポイントを低く中央に配置する。

(iii) ドライバの下半身が車両前方にまっすぐ向くようにペダル位置を改善する。

トランスミッションハウジングのスリム化は、新型ロードスターのコンセプトの重要な要件に貢献できた。

## ② ハウジングコンセプト設計

下記項目を満足できる形状と肉厚を決定した。

(i) ひずみエネルギーの最小化

(ii) 基本剛性確保

## ③ 基本機能設計

基本形状、肉厚をベースに下記項目を設計した。

(i) 潤滑性能

(ii) 合わせ面のシール性と強度

## ④ 製品仕様の決定

NVHに関する項目を満足できる仕様を適用して最終製品形状を決定した。

(i) 伝達特性

(ii) 共振応力発生回避

(iii) 増幅および放射特性

設計手順の中でポイントとなった領域を次に紹介する。ハウジング形状の成り立ちは、位相最適検討で必要最小限の柱、壁、外殻を定義した後、製品化する上での制約条件を必要最小質量で満足し、形状を決定した (Fig. 6)。

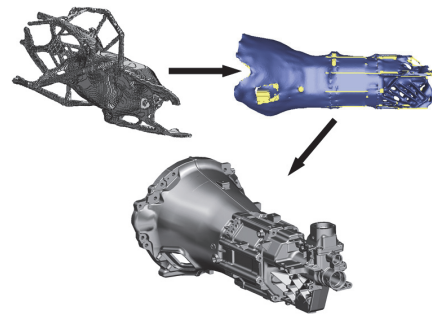


Fig. 6 Transmission Housing Optimization

潤滑性能確保のためのハウジング内壁形状については、トランスミッション内部は空気とオイルの2相状態であり、粒子法や差分法による数値計算のみで造り込むにはCAEでは十分でなく、透明ハウジングを作製し、油の流れを可視化した。攪拌抵抗が小さく、ねらいの油流れになるように、内壁形状を決定した (Fig. 7)。

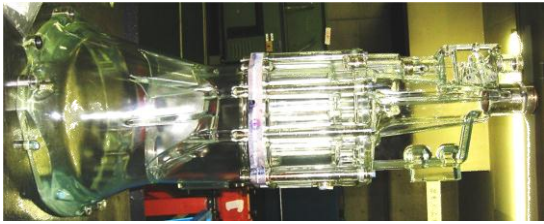


Fig. 7 Clear Transmission Case for Lubrication Development

NVHについて、エンジン起振力によるNVH、ギヤノイズ、ラトルノイズの目標値を最小限の肉厚（質量）で成立させた。FRレイアウトでは、エンジン、トランスミッション、プロペラシャフト、リヤディファレンシャル、トランスミッションとディファレンシャルをつなぐパワープラントフレーム、ドライブシャフトと長く大きな系を形成しており、各部品で切り離れた振動系と全体での振動系には差異が見られた。そのため、パワートレイン系が一体となった大規模なモデルで解析し、実測することで高い精度の設計を効率よく実施できた。モデル規模を Fig. 8 に示す。

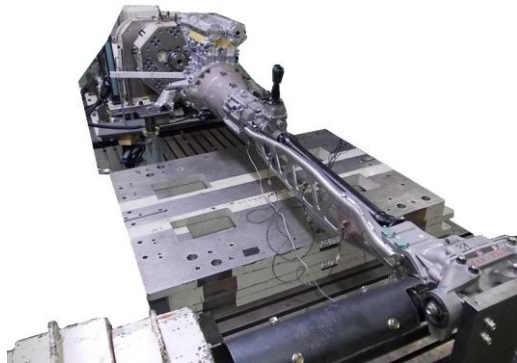


Fig. 8 NVH Measurement Analysis Model

以上のハウジング軽量化も含め、ドライブトレイン全体で初代の 5MT とほぼ同等の質量を実現した (Fig. 9)。

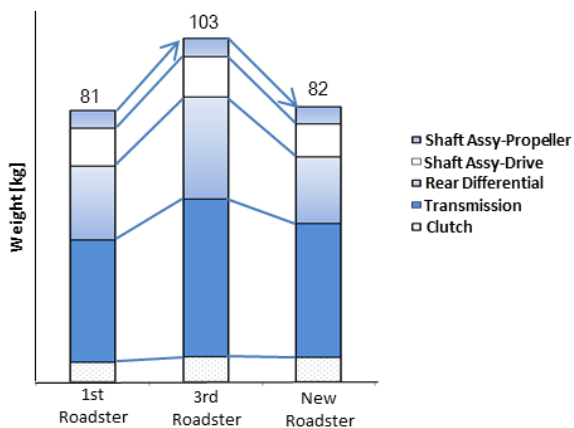


Fig. 9 Weight of Drivetrain System of Roadsters

(2) チェンジ操作性造り込みの革新と正常進化

他の操作系部品との調和、ステアリングとチェンジノブ位置関係まで、操作フィーリングを構成する特性を可能な限り分解してデータ化し、ベースとなる静的な操作波形の理想を描いた。単品部品の面粗さに至るまで徹底して突き詰めた。基本は初代の 40mm シフトストローク波形とし、節度を維持させながら、変速時に不快に感じる摺動抵抗のないフィーリングを実現。セレクト操作、シフト操作のベースとした理想波形と実波形を Fig. 10 に示す。

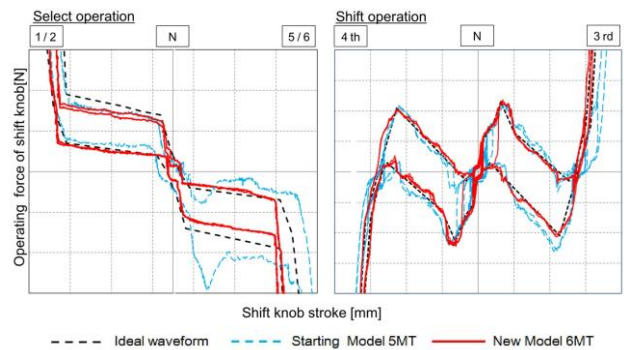


Fig. 10 Operation Waveform of 6MT

ベースの波形に同期荷重、チャンファ掻き分け荷重が加わり、走行時の変速操作波形、力積となる。操作スピードの時間軸の幅を考慮して、各段位ごとにシンクロスペックとスプラインチャンファ形状を設計した。初代のカチッと決まるチェンジを守りながら、4代目ロードスターにふさわしい軽快で楽しいフィーリングに仕上がった。このフィーリングは唯一無二のマツダロードスターフィーリングである。ギヤ比とシンクロスペックを Table 1 に、新型 6MT の透視図を Fig. 11 に示す。

Table 1 Gear Ratio and Spec. of Synchronizer

	Gear Ratio	Synchronizer
1st	5.087	Triple cone with Carbon
2nd	2.991	Triple cone with Carbon
3rd	2.035	Triple cone
4th	1.594	Triple cone
5th	1.286	Double cone
6th	1.000	Single cone with Carbon
Rev.	4.696	Single cone

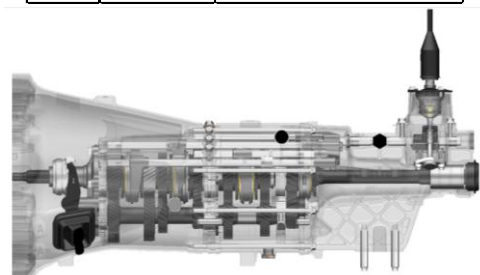


Fig. 11 Main Section of New 6MT



### 4.3 ディファレンシャル

小型軽量化、形状最適化により、ライトウェイトスポーツカーとしてベストインクラスの質量を達成した。また、ユニット効率に寄与度の大きいオイル潤滑に着目した抵抗低減技術の育成を行い、燃費性能向上を実現した。

キャリア基本形状はCAEを活用し、強度、NVHの基本となるギヤ支持剛性を前モデル並に確保した上で、軽量化を実現した。具体的には、キャリアとリヤカバーの分割位置変更、骨格リブの設置により、鋳鉄同等の剛性で薄肉アルミダイカストへの材料置換を実現した。新型ディファレンシャルの透視図をFig. 12に示す。

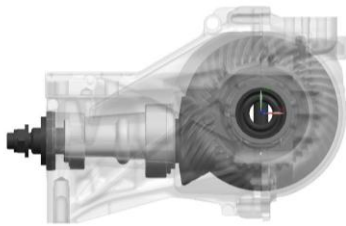


Fig. 12 Main Section of Rear Differential Unit

キャリア外部形状は車両フロア下回りの風の流れ解析とユニット発熱、伝熱、放熱のモデル解析を駆使しリヤデフ油温の基本となる冷却、放熱性能予測から、冷却フィンをも最小化した (Fig. 13)。抵抗低減技術のポイントとなる潤滑改善は、低温時攪拌抵抗の低減を重視した低粘度オイルを新規開発することで実現した。また、キャリア内部形状はギヤ攪拌によるオイル流れの整流化に注力した (Fig. 14)。その結果、ユニット効率は60km/h走行時の損失トルクで27%低減した。レスポンスとダイレクト感を重視した小型リミテッドスリップデフを新規開発した。

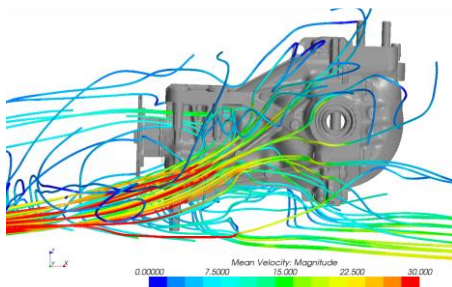


Fig. 13 Analysis Model of Air Flow

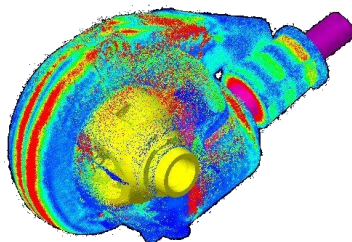


Fig. 14 Analysis Model of Oil Flow

### 4.4 プロペラシャフト・ドライブシャフト

プロペラシャフトは高張力鋼材を採用することで、軽量化を図った。ドライブシャフトはマニュアルトランスミッション車用に中空タイプを採用して走りのレスポンスからの要求剛性を維持しながら軽量化に貢献した。

## 5. おわりに

4代目ロードスターは、初代の『人馬一体』コンセプトを受け継ぎ、革新的な進化を遂げた。軽量、コンパクト、高効率で優れた環境性能を、クラッチ、シフト操作性の更なる進化で『走る喜び』を高次元で実現したドライブトレインシステムに仕上がった。

## 参考文献

(1) 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，自動車技術会駆動系シンポジウム2013前刷集 No.03-13, pp.12-16 (2013)

### ■ 著 者 ■



延河 克明



渡部 雅晃



石田 一之



佐々木 雅弘



松原 伸幸