

論文・解説

19

新型ロードスターのパワートレインの進化 Enhancement of Powertrain with New Roadster

若狭章則^{*1} 野崎 修^{*2} 西田智宣^{*3} 齊藤忠志^{*4}
 Akinori Wakasa Osamu Nozaki Tomonori Nishida Tadashi Saito
 佐々木 健二^{*5} 濱田雅美^{*6} 藤富哲男^{*7}
 Kenji Sasaki Masami Hamada Tetsuo Fujitomi

要約

三代目ロードスター (MX-5) のマイナーチェンジは、「サステイナブル “Zoom-Zoom”」に基づき、環境保全に対応しつつ今まで以上の「人馬一体」の楽しさを創り込むことが使命と考えた。本稿では、低CO₂・クリーンな排気ガス、エンジンレブリミットの向上、アクセルに即応する心踊るエンジンサウンド、6速トランスミッションの改良など、走る喜びと環境・安全性能が調和し「進化」したパワートレインの姿を紹介する。

なお、ベースになる三代目ロードスターのパワートレインについては、マツダ技報 (2006 No.24) を参照いただきたい。

Summary

We have facelifted the third generation Roadster (MX-5) under the slogan of “Sustainable Zoom-Zoom”; aiming to strike a balance between environmental protection and enjoyable driving so that our customers will be able to feel “Jinba-ittai (Oneness between horse and rider)” more than ever before. This paper describes the highly-evolved New Roadster Powertrain which not only has achieved enjoyable and safe driving but has enhanced environmental performance, resulting in low CO₂ emissions and clean exhaust gas, engine rev. limit rise, exciting engine sound that quickly responds to accelerator pedal movement, and upgraded 6-speed transmission.

Refer to “Mazda Technical Review No. 24, 2006” for the third generation Roadster Powertrain, the base of New Roadster.

1. はじめに

ロードスターは「人馬一体」を具現化したパフォーマンスフィールドを初代から二代目、三代目へと正統進化させて独自のポジショニングを確立してきた。近年、自動車を取り巻く環境は大きく変わり、スポーツカーといえども地球環境保全に対応することが重要な使命になっている。

一方、どんなに時代背景が変わろうとも、「人馬一体感」で人を魅了し続けることは普遍の理念であり、現状に満足することなく常により向上させてゆくことが自明の理と考えて、開発に取り組んでいる。

2. パワートレインの進化

2.1 パワートレインが目指したもの

三代目として開発した2.0Lエンジンと6速トランスミッションを搭載しているロードスターは世界中で59ものタイトルを受賞する等、非常に高い評価をいただいた。

この改良に際しては、地球環境の変化や市場ユーザの声を基に真摯な分析を行い、以下を基本的な考え方とした。

- ① 車両の価格上昇に繋がる投資は抑制して商品ポジションを維持する
- ② 短所があれば改善する
- ③ 長所は強みとして更に特化してゆく

*1, 7 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
*4 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*2 エンジン設計部
Engine Engineering Dept.
*5 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

*3 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.
*6 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

④ 改良の結果はドライバの五感で明らかに体感できるレベルに仕上げる

具体的には、スポーツカー故に弱みといわざるを得ない環境性能はクリーンでCO₂排出量の少ないエミッションを実現すること。

パートレインの性能は、レーストラックなどでの加速タイムを追求するのではなく、「一般のどんな走行シーンでも常に楽しく運転できる」と好評を得たパフォーマンスフィールを更に強化することである。

2.2 パートレインラインナップの充実

パートレインは各国のニーズに合わせて展開しているが、近年オートマチック車への期待が高まってきた欧州にも6AT車をラインナップして充実した (Table 1)。

Table 1 Powertrain Line-up (: Added)

Engine	Transmission	JPN	N.America	Europe	Australia
2.0L	6MT	●	●	●	●
	5MT	●	●	●	-
	6AT	●	●	○	●
1.8L	5MT	-	-	●	-

3. 環境性能の改善

環境性能の改善は、燃費、CO₂、排気エミッションの改善など、国別のエミッション規制や騒音規制の違いやユーザ調査結果を分析して走る楽しさへの期待を損なわないように最適化を図り機種毎に緻密な改善を進めた。

日本仕様では、触媒の貴金属を変更してULEVから最も厳しいSULEVに強化しながら、将来的に規制となる可能性があるオフサイクルエミッションも先取り対応した。また、6速マニュアルトランスミッション車の6速ギヤ比は5%高速化して実用燃費の改善を行った。北米仕様でも、6速ギヤ比の高速化や走行抵抗の改善などにより、HWYラベル燃費を1MPG低減したことに代表されるように走行頻度の多いフリーウェイ走行時の燃費を改善している。欧州仕様は、量販モデルの1.8LのFGRを4.100から3.909に高速化する等、NEDCモード燃費やアウトバーン走行でのCO₂排出量の低減をした。1.8LモデルのCO₂排出量はクラストップの167g/kmを達成している。

各国の機種毎の改善策をTable 2に示す。

Table 2 Environmental Measures

Objectives	Measures	JPN			N.America			Europe			Australia		
		2.0L			2.0L			2.0L			1.8L	2.0L	
CO ₂	EM	6MT	5MT	6AT	6MT	5MT	6AT	6MT	5MT	6AT	5MT	6MT	6AT
✓	Optimized MGR	●			●								
✓	Optimized FGR											●	
✓	Catalytic converter refined	●	●	●									
✓	Powertrain control module refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
✓	Air resistance refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
✓	Rolling resistance refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

4. パフォーマンスフィールの更なる強化

4.1 人馬一体のパフォーマンスフィールの考え方

一般的にユーザがパフォーマンスフィールを表現する時、リニア、ライブリ、パワフル、トルクフル、スムーズ

などと表される。「人馬一体」DNAを具現化するパフォーマンスフィールとは、低回転から高回転までストレスなく伸びて行く感覚 (Linear) と、きびきび軽快な走り感 (Lively) にあると考えている。新型ロードスターでは、このLinear, Livelyの両面を更に強化することが重要と考えた (Fig.1)。

Linearの向上は、エンジンパワーを使い切る楽しさや、マニュアルトランスミッション (MT), 電子制御6速オートマチックトランスミッション (AT) で、コーナリング走行時に不用意にギヤを変速せずにコーナを脱出してゆくこと、そして更にスポーツサウンドの強化によってエンジンの伸びのフィーリングを高めることに主眼を置いた。

Livelyの強化は、アクセルOn, Offに歯切れ良く呼応するスポーツサウンドを作り上げて行くとともに、MTの軽快なシフトフィールの更なる改善、ATのマニュアル操作の利便性を高める制御システムの採用により追求した。

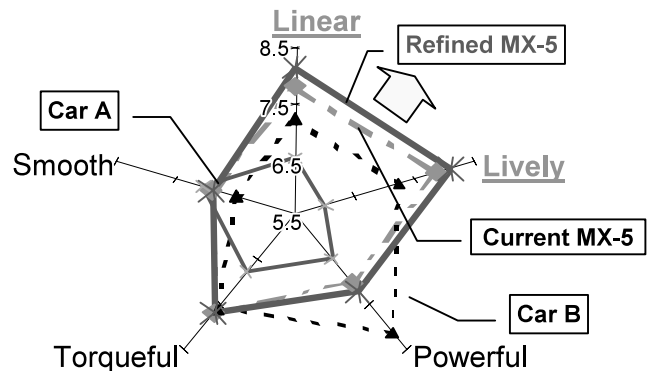


Fig.1 Performance Feel Orientation

4.2 エンジンの使い切り感の醸成

エンジン性能はむやみな最高出力の向上を追うのではなく、ドライバがエンジンのポテンシャルを最大限に引き出すことでリニアな楽しさを実感できることに注力した。

従来の2.0Lエンジンは最高出力発生が6,700rpm、レブリミットが7,000rpmとしていたが、ドライバが全開加速したときトップエンドに向けて伸びてゆく感覚が継続するとき、時としてレブリミットに当たることもあり、もう少しだけエンジンを回したいと感じられることがあった。新型ロードスターの開発では、最高出力を7,000rpm、回転限界を7,500rpmとしてレブリミットを500rpm高回転化した (2.0L MT車) (Fig.2)。

主な採用技術は、

- ・ 従来モデルの鋳鉄クランクシャフトに換えて、より剛性の高い鍛造クランクシャフトを新採用し、高回転でのクランク剛性を確保。
- ・ ピストンをフルフロート化することで、高回転でのピンボスマわりの信頼性を高めた。
- ・ バルブスプリングを新設して、高回転でのバルブのパウンスを抑制した。
- ・ コンロッドのメタル材質をハイグレード化し、高回転で

の焼きつき性を改善して耐摩耗性を向上させ、耐久性を高めた。

これらの技術により、高回転域でもエンジンの振動が抑えられたスムーズなオペレーションを実現した。2速、3速といった低いギヤで全開加速走行をした時に伸びやかな加速を伴う楽しい走りができるようになり、ドライバがエンジン性能を使いきったと感じられるフィーリングを実現した。

なお、エンジンの高回転化で、2.0L MT車の0-100km/h加速性能は0.1秒短縮された。

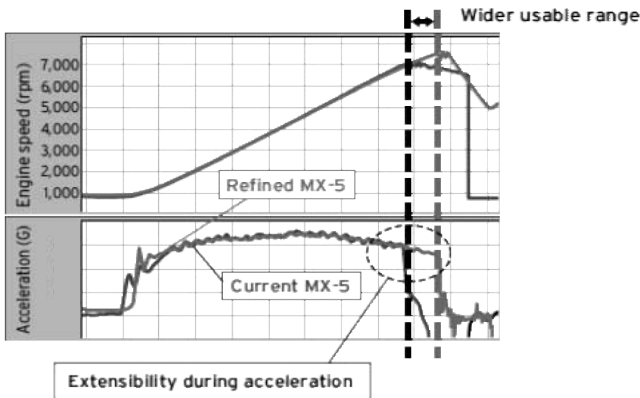


Fig.2 Enhanced Linearity in Performance Feel (Wide-open Throttle in Second Gear)

4.3 「人馬一体」スポーツサウンドの再構築

ロードスター伝統の心地良いサウンドは、エンジン音、吸気音、排気音のトータルサウンドでLinear, Livelyを聴覚という側面から高めている。

新型ロードスターのサウンド開発にあたっては、車外環境に配慮しながら、走行シーンに応じた心地良いサウンドを積極的にドライバへ伝えることに力点を置いて、エンジン本体と吸気システムを再構築した (Fig.3)。

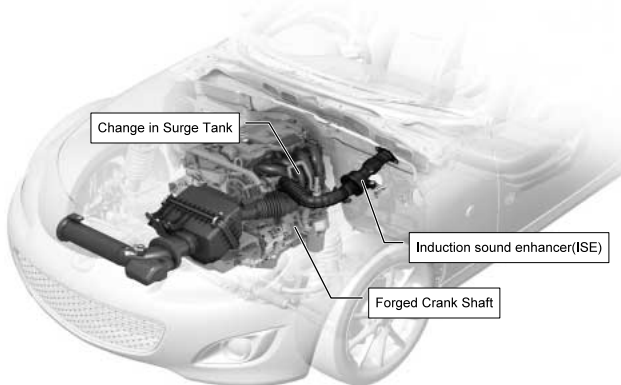


Fig.3 Restructuring of Engine Sound

(1) エンジン本体サウンドのリニア化

マツダのサウンド創りは高度なバーチャルサウンド加工システム『ArtemiS』を用いて、音質の目標値を定めて創り込みを行っている。エンジン本体には様々な周波数を組み合わされた音質があるが、最適なバックグラウンドの音

質を作る目的でエンジン本体の役割を見直した。

2.0L MT車のエンジンの回転系については、レプリミットの500回転アップでも同時に必要とされた高剛性鍛造クランクシャフト (Fig.4) の採用により、ハーフ次数で発生する振動音を低減して、基本次数の振動音のみを強調した (Fig.5)。

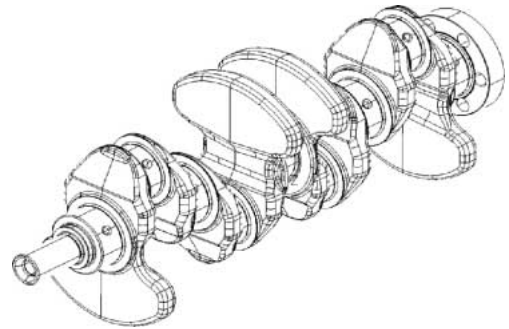


Fig.4 Changes for Crank Shaft

Change in tone resulting from change in crankshaft:

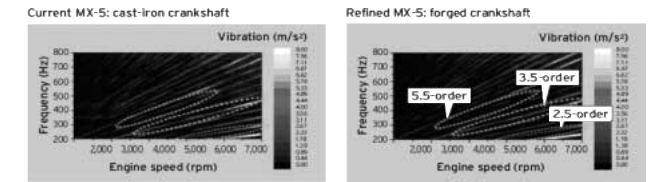


Fig.5 Comparison of Crank Shaft

Fig.5の斜めのラインはエンジンの回転次数に応じて発生する音を示す。従来型ロードスターの鋳鉄クランクでは、2.5次、3.5次などのハーフ次数成分の音も少し出ているが、新型ロードスターの鍛造クランク (Fig.4) では、2.5次、3.5次などのハーフ次数成分の音をほとんど消すことができ、2次、4次といった基本次数の音を強調できたことを『ArtemiS』のチャートで実証している。

また、インテークサージタンクについて、従来型ロードスターでは、サージタンクの膜振動による鼓動を利用してアクセル操作に応じたサウンドを演出したが、新型ロードスターではサージタンクの肉厚やリブなどを再チューニングして500Hz付近の音圧を抑制したことをチャートで示している (Fig.6) この対応は特に減速時とクルージング走行の静粛化に貢献した。

Change in tone resulting from change in surge tank

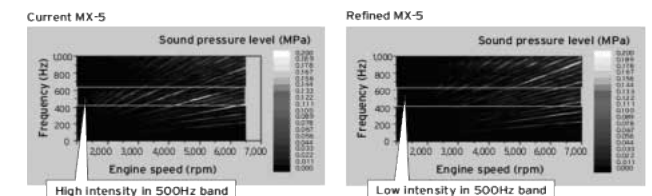


Fig.6 Comparison of Surge Tank

これらにより、通常走行の車内音を「すっきり」した質感に変えることに成功した。

そして、吸気システムの開発でメリハリのある音質を際立たせるようにしたのである。

(2) 新開発 ISE (Induction Sound Enhancer)

アクセルワークに呼応して心地よいサウンドを発生する吸気システムとして、ISE (インダクションサウンドエンハンサー) を新開発し6MT車に装着した。

ISEは2本のサウンドパイプとISE本体から構成される。ドライバのアクセル操作でスロットルが開くと、インテークで発生した吸気脈動がサウンドパイプ内で共鳴しながら、ISE本体へと導かれ、ISE本体内部に設けられたデバイスの膜が吸気脈動を増幅したサウンドになる。

そして、ISEで増幅された吸気サウンドはダッシュカウル内に放出され、250~400Hzのアグレッシブなサウンドとして室内のドライバの耳へと届けられる (Fig.7)。

特にオープン走行時には、カウルアッパー内に伝達されたサウンドがカウルグリルから開放され、直接室内に聞こえてくるため、クローズ走行時よりも、大きな音圧として聞こえ、オープン走行の楽しさが増幅される。エンジン回転に応じたサウンドの大きさをFig.8のチャートで示している。

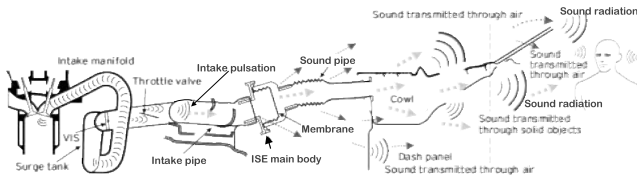


Fig.7 ISE Sound Transmission System

ISEは、ドライバがアクセルを踏んでいる時にのみアグレッシブなサウンドが発生し、ドライバに届けられるという利点がある。

例えば、高速走行で、のんびりクルージングしたい時は、ISEのエンジンサウンドは比較的静かになり、アクセルを戻して減速する時にもサウンドは小さくなる。

しかし、ドライバがアクセルを深く踏み込むと世界が一変する。またアクセルを軽くあおって回転合わせをしながらシフトダウンする時にも、歯切れのよいISEサウンドがドライバの気分を盛り上げる。

このように加速時のアクセル操作に応じてリニアに高まるサウンドは、「鞭を入れた時に感じる馬の息づかいや鼓動が乗り手を奮い立たせる」のに似ていて、ロードスターのドライバはサウンドでも「車との対話」を楽しみながら一体となって走る楽しみを味わうことができることを実現したのである。

なお、5MT車、6AT車についても、オプション装着ができるようにセッティングしている。

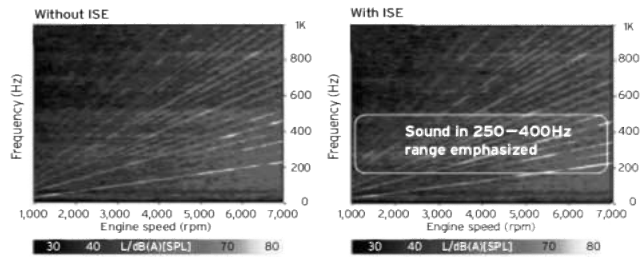


Fig.8 Effects of ISE

4.4 6MT車のシフトフィールの更なる向上

2.0L MT車のエンジンを500回転アップしたゾーンでも軽快なシフト操作ができるように開発を行った。

6MTのトランスミッションでは3~4速のシンクロメッシュの径を6mmアップ、更に1~4速トリプルコンシンクロのアウタコーンにカーボンコーティングを採用するとともに全段位のシンクロコーンの諸元を見直した。

これらの対応によって高回転化したゾーンの変速フィールを軽快にすることを実現しただけでなく、通常走行ゾーンのシフトフィールを更に滑らかなにすることをも実現している。

なお、5MTについては、従来から7,500rpmに適合したトランスミッションであり、常用域から高回転化したゾーンまでスムーズなシフト操作を実現できている。

4.5 6AT車のLiner, Liveryの向上

三代目ロードスターから採用した6速ATアクティブマチックは、ワイドギヤにより走りと燃費の高次元なバランスを実現すると同時に、リニアな変速レスポンスで高い評価を得ている。新型ロードスターの6ATでは、更にリニアなフィールを高めるため、シフト性能を積極的に制御する新しい2つの技術を採用した。

(1) AASの採用

ドライバの意図を瞬時に判断してシフトパターンを変化させ、走行シーンごとに適切なシフト選択を行って、常にスポーティな走行を楽しめるアクティブアダプティブシフト (AAS) を新採用した。

この機能は、勾配量、ワインディング路か否かなどで道路環境を捕え、アクセル、ブレーキ操作などでドライバの意思を掴み、また、加速度、コーナリング状態などで車両の挙動を捉えて、制御システムが自動的に走行シーンの判別を行って最適なシフトを選択する。ドライバの意思に即して常に最適な駆動力をアクセルコントロールできるため、リニアでダイナミックな走りをサポートする。

変速しないタイトなコーナリング、十分なエンジンブレーキによる減速、タイムラグのない鋭い加速を得ることで、6AT車においてもLiner, Liveryが向上し、スポーツ走行をこれまで以上に楽しむことができる (Fig.9)。

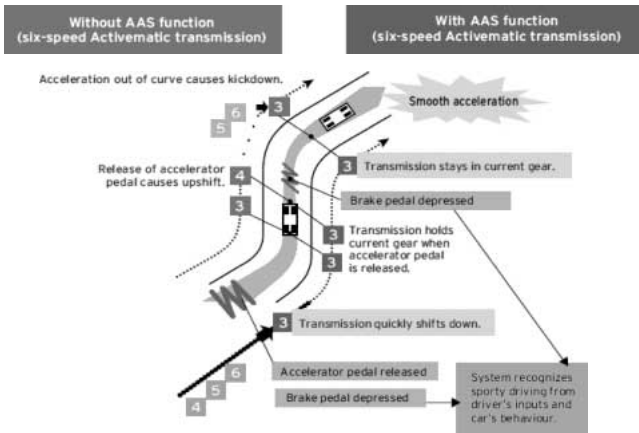


Fig.9 Benefits of AAS Function

(2) DMの採用

走行中にステアリングシフトスイッチ操作のみで素早くストレスなく変速を操れるダイレクトモード(DM)を新設定した。

このDMはすでにMazda RX-8マイナーチェンジに搭載されたものと基本的に同じであるが、Dレンジでの自動変速走行中、Mレンジに切り替えなくてもステアリングシフト操作だけで、シフトダウン等ドライバが要求するギヤ段に素早く一時的に移行するもので、シーンが続く間はそのギヤを継続し、シフトダウンを必要とするシーンが終了したとシステムが判断した時点で自動的にDレンジのオペレーションへ戻すという制御を行う。

チューニング開発は、下り坂でのエンジンブレーキによる減速シーン、コーナリング進入での減速から再加速までのシーン、いったんシフトダウンしてからの追い越し加速シーンという、一般のドライバが頻繁に遭遇すると考えられる3つのシーンを想定して進めた。

このDMによって、ドライバが望む思い通りのタイミングでエンジンブレーキや素早い加速を容易に行うことができるようになりLivelyを更に高めることができた(Fig.10)。

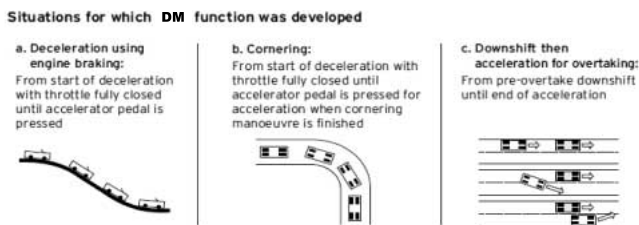


Fig.10 Situations for DM

これらの様々な「こだわりの技術」によって、「人馬一体コンセプト」ならではのパフォーマンスフィールドの「進化」を実現できた。

5. おわりに

この新しいロードスターの、初代から一貫した、「“ Lots of Fun ” の楽しさ」は確実に大きく増幅している。エンジニア達は、「並み居るどんなクルマよりもロードスターが楽しい」と言い切る自信を持っている。

我々にとって、「ロードスターというクルマのありかた」はひとつの「哲学・思想」であるといっても過言ではない。この「哲学・思想」に共感し、支え続けてくださる世界中の人々のために、またこれからこのクルマに出会う人々に向けて、より進化したロードスターをお届けできることは、開発メンバの大きな喜びである。

今後も更なる「人馬一体」の楽しさをお客様に提供できるよう、「情熱とこだわり」を持って「進化」を進めて行きたい。

また、ロードスターは今年誕生20周年を迎える。ファンの皆様方と一緒に「成人式」の喜びを分かち合いたい。

著者



若狹章則



野崎 修



西田智宣



齊藤忠志



佐々木健二



濱田雅美



藤富哲男