

論文・解説

20

マツダスピードアテンザ パワートレインの紹介

Introduction of Mazdaspeed Atenza Powertrain

猿 渡 健一郎*1 藤 野 宏 明*2 西 田 正 美*3
 Kenichiro Saruwatari Hiroaki Fujino Masami Nishida
 渡 邊 淳 司*4 岡 留 泰 樹*5 河 野 裕 人*6
 Junji Watanabe Yasuki Okadome Hiroto Kawano

要 約

マツダスピードアテンザは『究極のZoom-Zoom Sedan』と位置づけ、『Sophisticated Hi-Performance Sedan』をコンセプトに開発を行ってきた。パワートレインは全て新開発とし、絶対的な加速力に加え、車を操る楽しさを極めるために、特にリニアな特性、良好なレスポンスにも注力した開発を行っている。

Summary

Positioned as “ultimate Zoom-Zoom Sedan,” New Mazdaspeed Atenza was developed under the concept “sophisticated hi-performance sedan.” Entire powertrains were redesigned in quest for the absolute acceleration performance, focusing on the linear characteristics and the good response to embody the fun-to-drive.

1. はじめに

エンジンはMZR2.3Lエンジンに直噴システム (Direct Injection System, 以下DI) とターボチャージャ (T/C) を組み合わせることで、『究極のZoom-Zoom Sedan』として十分な加速性能と、『Sophisticated Hi-Performance Sedan』としてのリニアな加速特性、良好なレスポンスの両立を実現、更に燃費/排出ガスに代表される環境問題への積極的な対応を行うことで、次世代ハイパフォーマンスユニットとして相応しいものとした (Fig.1)。

新開発の6速マニュアルトランスミッション (6MT) は、高トルク対応に加え、ギヤ比のエンジン性能との最適化、シフト操作力低減、シフトストロークの短縮、剛性感/節度感のある操作フィーリング実現に注力している。



Fig.1 Engine Appearance

4WDシステムについては、基本システムこそアテンザワゴンを踏襲しているが、トルクアップに伴う各部の強度アップに加え、スポーツ走行時における操縦安定性能向上のためにリヤへ伝達するトルク量を大幅に見直している。そのために、パワートランスファーユニット (PTU) への水冷のオイルクーラの設定、リヤデファレンシャルユニット (RDU) にスーパーLSDを採用している。

2. MZR2.3L 直噴ターボエンジン

2.1 開発の狙い

マツダのハイパワーユニットとして位置づけ、高トルク/高出力/良好なレスポンスと、低エミッション/低燃費を両立させることを狙いに開発を行っている。

2.2 エンジンの概要と特徴

Table 1に主要諸元を示す。

【特徴 - 1】

DIとT/Cの組み合わせにより、従来はT/Cの弱点とされていた、以下の領域を訴求点に変えることができた。

- ① 低中速領域のトルクアップ
- ② 優れたエンジンレスポンス
- ③ シングルターボで全速度域をカバー

*1, 2 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.

*4 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

*3 第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1

*5, 6 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

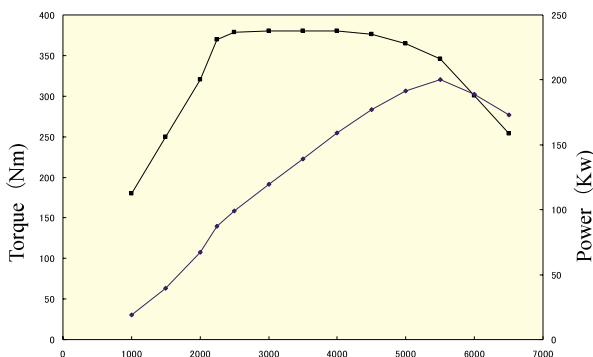


Fig.2 Engine output Performance (Japan spec)

④ 触媒の早期活性化

⑤ 低燃費に貢献する高圧縮比

これらの領域について各々紹介する。

① 低中速領域のトルクアップ

最大11.5MPaの高圧で霧状の燃料を筒内噴射する際の気化潜熱により燃焼室の温度が下がり（筒内冷却効果）、混合気の充填効率が向上する。これにより、3,000rpm付近を中心にトルクを最大で約10%高め、低中速域の扱いやすさを実現させた。

② 優れたエンジンレスポンス

筒内冷却効果により初期加速の充填量がアップすることでT/Cのタービン/コンプレッサ回転速度が素早くリニアに上昇する。これにより、2,500rpmという低回転からT/Cの過給効果を大幅に向上させ、良好なエンジンレスポンスを実現している。

③ シングルターボで全速度域をカバー

直噴による上記のメリットにより、シンプルな構造の軽量シングルスクロールターボチャージャで、低速から高速まで効率的な過給を実現できた。これにより排気系の熱容量が大幅に低減されるため、排出ガス温度の低下を最小に抑えることができ、厳しいエミッション規制への適合を可

Table 1 Engine Main Specifications

Engine		L3T
Cylinder		In-Line 4-Cylinder
Bore X Stroke (mm)		87.5 X 94
Displacement (cm ³)		2260
Compression Ratio		9.5
Valvetrain		DOHC 4 Valves
Number of Valves		4 per cylinder
Valve Diameter (mm)	In.	35
	Ex.	30
Fuel Supply System		Electric Fuel Injection
Fuel Injection		4 - 11.5
Max. Power (kW/rpm)		200/5500 (JPN)
Max. Torque (Nm/rpm)		380/3000 (JPN)

Table 2 Technologies for Improved Machine Strength and Heat Resistance of Engine Body System

Aims	Engine parts	Technologies adopted / Spec change contents
Machine strength improvement	Cylinder head	Adoption of new cast method
	Piston system	Crown thickness increase, Piston diameter increase, Full float structure
	Con rod	Adoption of high strength steel
	Cylinder block	New Die Casting, High strength liner
	Crank shaft	Pin diameter increase, High frequency quenching, Deep roll
	Intake manifold	Aluminum
Heat resistance improvement	Cylinder head	Drilled hole addition between exhaust valve bridge, Expansion of water passage of exhaust port bottom face
	Exhaust valve	Adoption of high heat resistance material (Valve tulip; nickel alloy/shank; heat resistance steel)
	Cylinder block	Drilled hole addition between bore
	Exhaust manifold	Bellow coupling structure, Adoption of high heat resistance material (Ferrite cast steel)

能にした。

④ 触媒の早期活性化

筒内に霧状の燃料を直接噴射することでプラグまわりに非常に良好な混合気形成され、耐失火性が向上するため、失火を伴うことなく点火時期を遅らせることが可能になり、排出ガス温度が上昇しやすくなる。これによってエンジン始動直後でも触媒をより早く活性化温度まで高めることができ、厳しいエミッション規制への適合を可能にした。

⑤ 低燃費に貢献する高圧縮比

筒内冷却効果により耐ノック性が向上し、高い圧縮比でも低速トルクを損なうことなくエンジン単体燃費を向上できた。この効果により、MZR 2.3 DISI Turboはターボエンジンとして高圧縮比の9.5を実現し、低燃費化に貢献した。

【特徴 - 2】

T/Cとアルミ製シリンダヘッド及びシリンダブロックの組み合わせで、軽量/コンパクトでかつ高出力の高効率エンジンを実現するために、高出力化に伴う高負荷、耐熱性対応として各 부품の形状、材質の最適化を行った。

Table 2にそれらの採用技術を示す。

(1) ダイレクトインジェクションシステム

1) インジェクタ

磁気回路の効率化や可動部重量の軽量化により、これまでの直噴インジェクタに対しダイナミックレンジを1.3倍に向上、高出力と低燃費の両立を実現した。

また、スワラーおよび噴孔内部形状を最適化、噴霧に適度な旋回力を与えることにより背圧下でも良好な噴霧を形成し、燃焼性の改善を実現している (Fig.3)

2) 高圧燃料ポンプ

高圧燃料ポンプは単筒の可変容量制御式プランジャポン

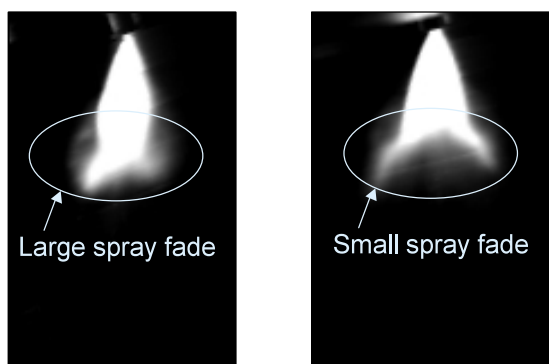


Fig.3 Comparison of Injector Spray Form

ブを採用し、小型・軽量化、高効率化を実現している。高強度アルミ鍛造ポデーを採用することで高い耐圧性と軽量化を両立させた。

ターボエンジンの大流量の燃料吐出量要求に対応するため、5.8mmの大ストロークとし単筒高圧燃料ポンプとして業界最大の理論吐出量（875mm³/rev.）を実現した。ポンプはカム駆動されるが、そのフォロアの冠面には、高面圧に耐えうる窒化クロムをイオンプレーティングした。

一方、低負荷時には小流量の吐出量コントロール性が要求されるが、その両方の要求に応えるため制御ソレノイド特性を適正化し、広いダイナミックレンジを実現した。

また構成部品は六価クロムフリー化などにより、欧州ELV（End-of-Life Vehicle）規制に対応している（Fig.4）。

3) 燃料レール

燃料レールは、金属組織を緻密化できるアルミ低圧鋳造工法の採用と、FEMによる形状の最適化により、軽量と高強度を両立した。

燃料メイン通路の大容量化とインジェクタ連通路部に設けた絞り構造により、燃料脈動を低減し、高燃圧化に伴う放射音を低減した。

燃料ポンプにニッケルリンメッキ、燃料レールに環境に優しいノンクロムのジリコニウム処理を採用し、耐腐食性を向上している。

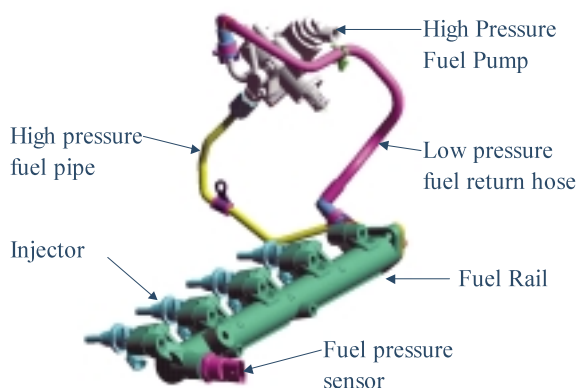


Fig.4 Direct Injection System

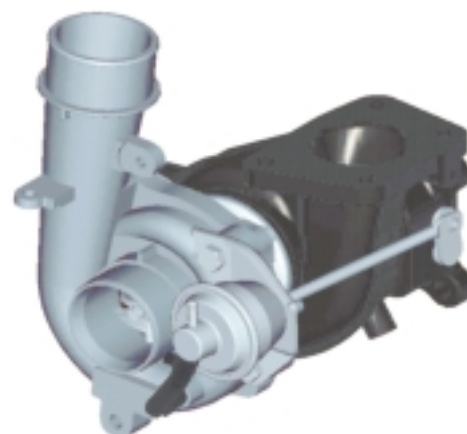


Fig.5 Appearance of Turbocharger

(2) ターボチャージャシステム

1) ターボチャージャ

エンジン概要で述べたとおり、DI化によるトルク、レスポンス改善効果を活用し、ターボチャージャシステム自身はシンプル・軽量のシングルエントリータイプを採用した（Fig.5）。

それにより、一般的に高出力ターボエンジンに使われるツインエントリーターボと比較し熱容量を低減することができ、ターボの下流に配置される触媒の温度を高め、排出ガスの浄化性能を高めることができた。

2) エギゾーストマニフォールド

ターボ化による熱負荷増大に対応するために、材料を高耐熱材とし、形状を2気筒ごとのエギゾーストマニフォールドをベローズで接合する構造とした（Fig.6）。ベローズ構造とすることにより、エギゾーストマニフォールド自身の熱収縮による変形を吸収し発生応力を低減した。鋳物部の材質はフェライト系鋳鋼を採用し、高ガス温下での耐酸化性を確保した。

(3) 高出力に対応する技術

1) シリンダヘッド

シリンダヘッドは高強度アルミニウム合金製で、工法の改善により高熱と高圧が作用する燃焼室面の金属組織の緻密化を行った。

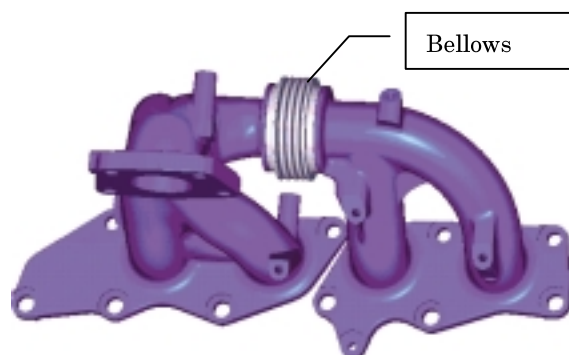


Fig.6 Appearance of Exhaust Manifold

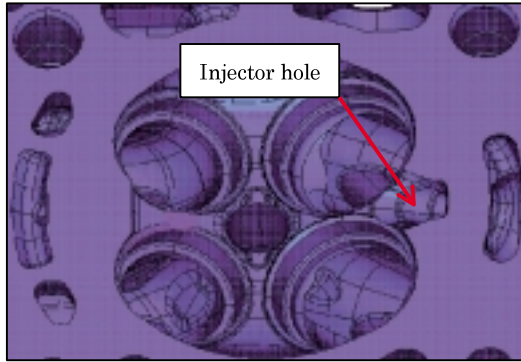


Fig.7 Combustion Chamber Appearance

DI化に伴い燃焼室へインジェクタを配置したが、レイアウトの工夫により現行機種と同じバルブ径 35を確保し高出力化に貢献した (Fig.7)

発生熱量増大に対応するために、以下の冷却水通路の改善を行った。

冷却が困難なエキゾーストバルブシート間にドリル加工を追加し、水圧の高いシリンダブロックと連結することで、高速な水流を形成し、バルブシート温度の均一化を図った。

またエキゾーストポート下部の冷却水通路を拡大し、CAEによるバーチャルテストで水路内の流速適正化を行い、排気ポートの最適な冷却効果を獲得した (Fig.8)

2) ヘッドガスケット

ヘッドガスケットは従来と同じく、ステンレス鋼板の多層構造を採用しているが、ターボ化に伴う燃焼圧力の増大に対応するためシリンダボア部の面圧を高めるよう各層の板厚を最適化した。

また熱膨張によるシリンダヘッド/ブロック間の擦れの増大に対応するため、2層から4層構成に変更した。一般的に多層化によりヘッドガスケット厚さが増大し、シリンダヘッド/ブロック間の隙間で生成する未燃ガスを増大させる。本エンジンではシリンダヘッドの燃焼室面の剛性を向上することで、燃焼圧によるシリンダヘッドの上下動を抑制し、ヘッドガスケットへの負荷を低減することで0.89mmの薄さを実現した。

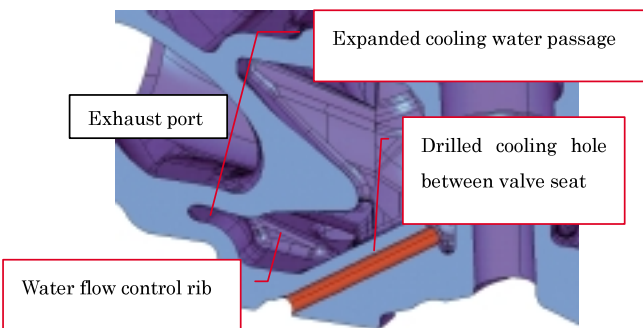


Fig.8 Changes for Cooling Passage

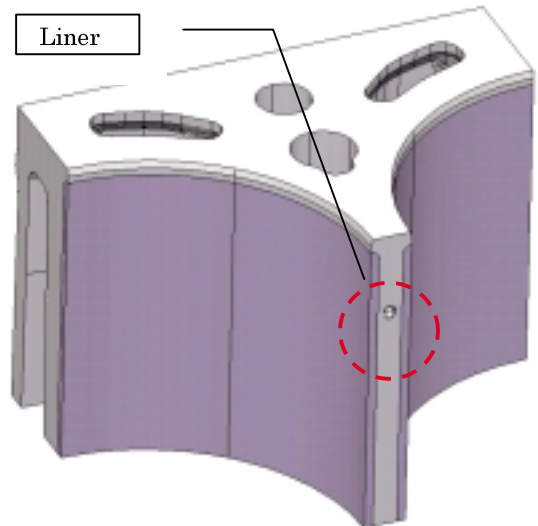
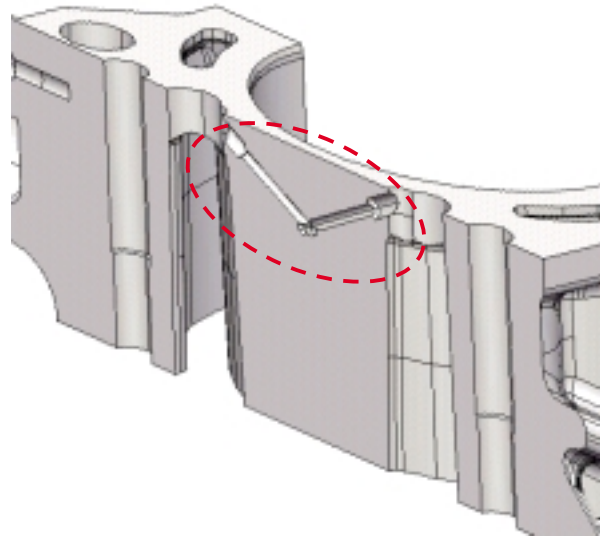


Fig.9 Drilled Cooling Hole between Cylinder Bore
Upper : Cross-section between cylinder
Lower : Center of cylinder

3) シリンダブロック

MZR I4 2.3Lシリーズで採用されたコスワース鋳造法をベースに、ターボ化による熱負荷、燃焼圧力の増大に対応するため、工法のチューニングを行い、シリンダ上部のアルミニウム金属組織を緻密化した。

その緻密化による強度向上に加え、高強度ライナーを採用することで、ディーゼルエンジン並みの高い燃焼圧力に対応した。

また、上記の金属組織の改善により、狭いシリンダボア間への冷却用ドリル穴の配置を可能とし、シリンダ冷却の均一化に貢献した (Fig.9)

これらの改善により、高強度アルミ合金製で狭いボア間距離を持つMZR 2.3Lシリーズのシリンダブロックの基本

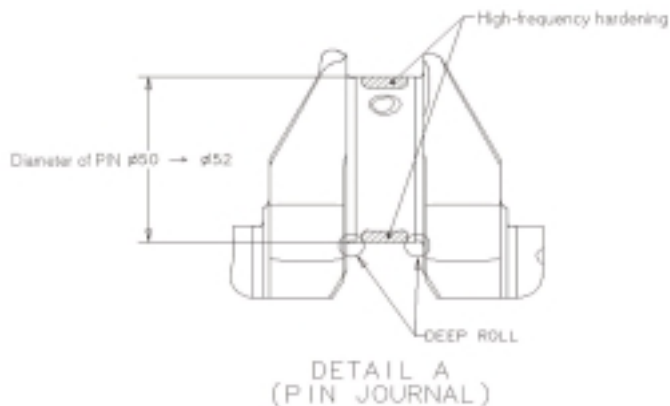


Fig.10 Changes for Crank Shaft

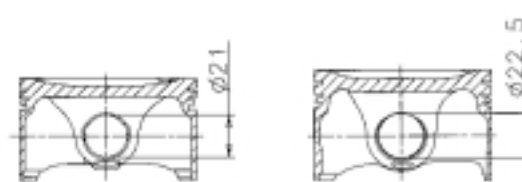


Fig.13 Piston Pin Diameter Change

- ・ 鋳鉄からスチールへ材質変更
- ・ クランクピン大径化 (50から 52)
- ・ 高周波焼入れ追加
- ・ ディープロール追加

5) ピストン

ディーゼルエンジン並の高い燃焼圧力に耐えられるようピストンはクラウン部、ピンボス部等の強化を行った。更にピストンピンはピン径を拡大し耐焼き付き性の高いフルフロート構造に変更した。ピストンリングもトップ/セカンドリングとともに1.2mmから1.5mmに厚肉化し高燃焼圧によるリングの変形に対応した (Fig.12 , 13)

またオイル消費量の安定性を図るため、トップリングには窒化クロムコーティング (PVD処理) を施し、オイルリングを2ピースタイプに変更した。

6) コンロッド

高い燃焼圧力と、クランクピン径大径化による周速上昇に対応するため、コンロッドベアリングにはオーバーレイ付きケルメット材を採用するとともに、オーバーレイの表面に微細な油溝を設けるポーリング加工を施し、潤滑性を向上させた。

コンロッドは慣性重量増加を抑制するために新規開発した高強度鋼を採用した (Table 3)。

7) オイルパン

車両旋回性能の向上に対応するため、オイルパン形状を見直し、旋回時のオイル供給能力を向上させた。油量も30%増量した。また高出力化に伴うエンジン放射音を抑制するため、肉厚分布、リップ形状の見直し、側面への制振鋼板追加を採用した。

8) インテークマニホールド

ターボエンジンに適したインテークマニホールドとするために、圧力損失の少ないコンパクトな構造を採用した。

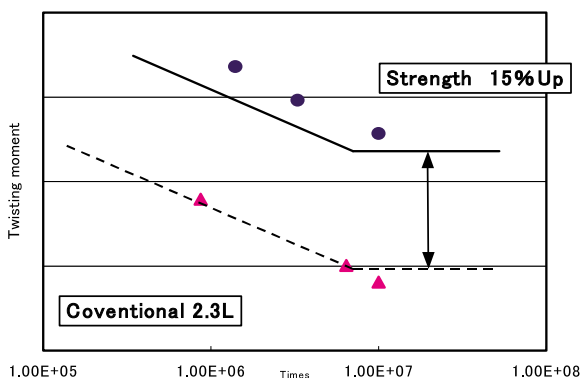


Fig.11 Effectiveness of Fatigue Strength Improvement

構成を踏襲したまま、高出力化に対応し、同クラスで最軽量クラスのコンパクトなエンジンとすることができた。

また高い燃焼圧力による振動の刺激力増大に対応するために、下記の対策を採用しNVHへの影響を抑制した。

- ① メーンベアリングキャップボルトの締付法を弾性着座点角度法で採用することで、クリアランスのばらつきを抑制。
- ② ブロック側面のリップ配置を最適化によりパワープラントベンディングを改善。

4) クランクシャフト

以下の変更を行い従来MZR2.3L比強度を15%向上した (Fig.10 , 11)



Fig.12 Piston Appearance

Table 3 Strength Comparison of Con 'rod Materials (Sinter forging material values are set at 100)

	Tensile strength	Yield strength	Fatigue strength
High strength cost steel	121	143	185
Steel for conventional con rod	97	92	130
Sinter forging material (Conventional 2.3L)	100	100	100

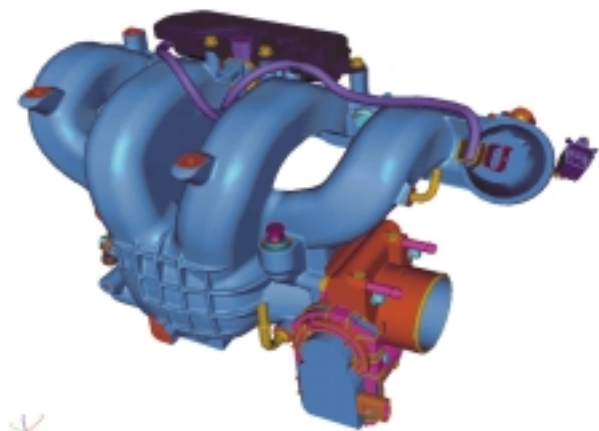


Fig.14 Intake Manifold Appearance

MZR I4 2.3Lと同様に、ELT (Equal Length Tract) 構造を採用し、吸気音中の耳障りな「奇数次成分」、「ハーフ次成分」の大幅な低減を行った。また、TSCV (Tumble Swirl Control Valve) を採用、エンジンの冷間時に作動させて燃焼状態を最適に制御し、触媒のライトオフ性能を向上させて排出ガスの浄化に貢献している (Fig.14)。

9) ベンチレーションシステムの改善

ターボエンジン化によりクランクケース内のブローバイガス発生量が增大するが、換気流量を増量することで、従来のMZRエンジンシリーズと同等の耐オイル劣化性を維持した。換気流量の増量に伴い、ブローバイガス中のオイルの分離性能を向上させる必要があるが、マツダ固有技術であるサイフォン構造を設けることで、カムカバー内の限られたスペースの中で、十分なオイル分離能力を確保した (Fig.15)。

(4) 車載吸気系

吸気システムは、出力目標達成のためインタークーラを採用した。これをエンジン直上に配置することで吸気系の簡素化を行い、通気抵抗低減、軽量化/コスト削減を実現した (Fig.16)。

これにより、質量の重いものを車両中心にレイアウトし慣性モーメントを小さくするとともに、過給気側吸気システムに加え、インタークーラシステムの他車種との共通化

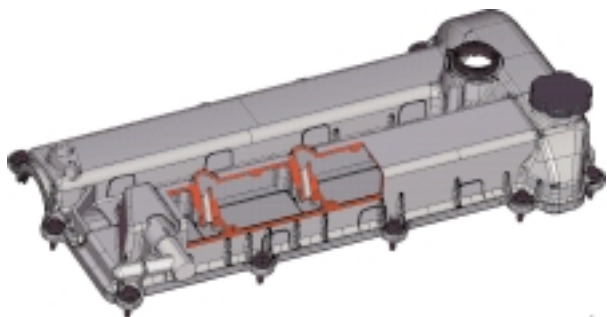


Fig.15 Siphon Structure in Oil Separation Room

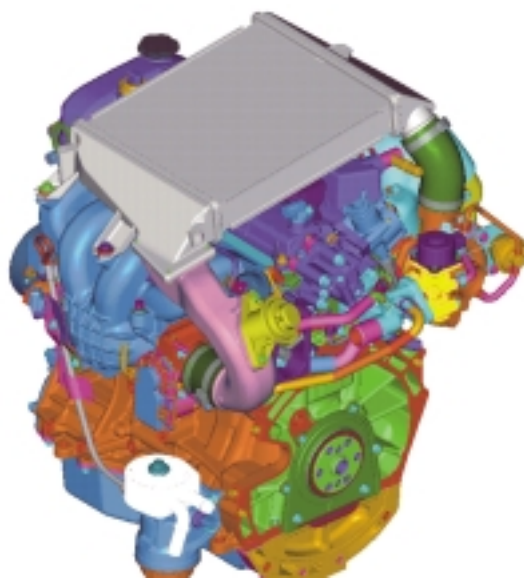


Fig.16 Cooling Duct for Inter Cooler



Fig.17 Air Duct behind a Hood

を実現した。これにより車種毎に行っていたエンジン制御の基本セッティング領域の共通化を可能とし、開発期間や費用の削減も実現した。また、インタークーラ冷却に必要な風量を確保出来る大型の冷却ダクトをボンネット裏面に装着した。これによりインタークーラをエンジン直上に配した従来車種の特徴でもあったボンネット中央部の吸気バルジを不要とし、すっきりとした車両デザインの成立を可能とした (Fig.17)。

(5) 冷却システム

冷却システムは、ターボ化による発熱量増加に対応し、従来のMZR2.3Lエンジンの冷却システム比約20%のポテンシャルアップを図った。具体的手段としては、ラジエータのチューブ/フィン形状の見直し (放熱量: 約10%アップ)、電動ファンモータ容量アップ (風量: 約15%アップ) 等である。これらによりエンジンを常に適切な温度に保てるようにした。更に電動ファンは、必要十分な風量を確保しつつ消費電力低減や低騒音を可能とするファン回転数制御 (PWM制御) を採用した (Fig.18)。

(6) フロントアクセサリドライブ

フロントアクセサリドライブシステムは、エンジン後面 (トランスミッション側) のデュアルマスフライホイール (DMF) 採用を実現するため、オルタネータブリーを

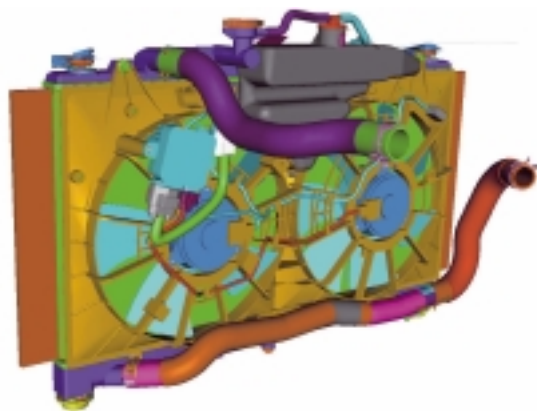


Fig.18 Radiator Module

1wayクラッチ付きプーリとした。これにより補機ベルト弦振動・ベルトスリップ異音を改善するとともに補機ベルトの信頼性も向上させている。

(7) 燃料系

車載燃料システムでは、エンジンの高出力に伴う最大燃料供給要求量の増加と制御燃圧値の上昇を成立させるため、大容量燃料ポンプモジュールを新規に開発した。更にポンプモータの回転速度を高低2段階制御することで、エンジンの低負荷領域ではポンプ回転速度を落とし、消費電力の低減による燃費改善やポンプ作動音抑制を行っている。

(8) 排気システム

厳しい排出ガス規制をクリアするために、フロア下に加えT/C直下にも触媒を設定している。また、排気抵抗を低減するために、アテンザ比排気管径をアップしている。更にスポーティなエンジンサウンドを演出するために、メインサイレンサの内部構造の見直しを行い、低回転では低周波の、高回転では澄んだ音質の排気音を実現している。

3.6速マニュアルトランスミッション

洗練された走りとZoom-Zoomな走りの演出のために、6MTをアイシン・エーアイ(株)と共同で新たに開発を行ってきた。ワイドなギヤ比を設定することで、エンジンの持つ中低速での豊かなトルクをあらゆる走行シーンで有効に使用することができ、卓越した動力性能と経済性の両立に貢献している。

3.1 開発の狙い

ハイパワーエンジンに対応した大容量な6MTを、車両搭載可能なMT全長で実現することを最優先に、以下4項目を開発の狙いとした。

- ・5MT 並の全長となる大容量6MT の実現
- ・「意のままに操作でき、小気味良いシフトフィーリング」の実現
- ・静粛性の向上
- ・動力伝達効率の向上で車両燃費の向上

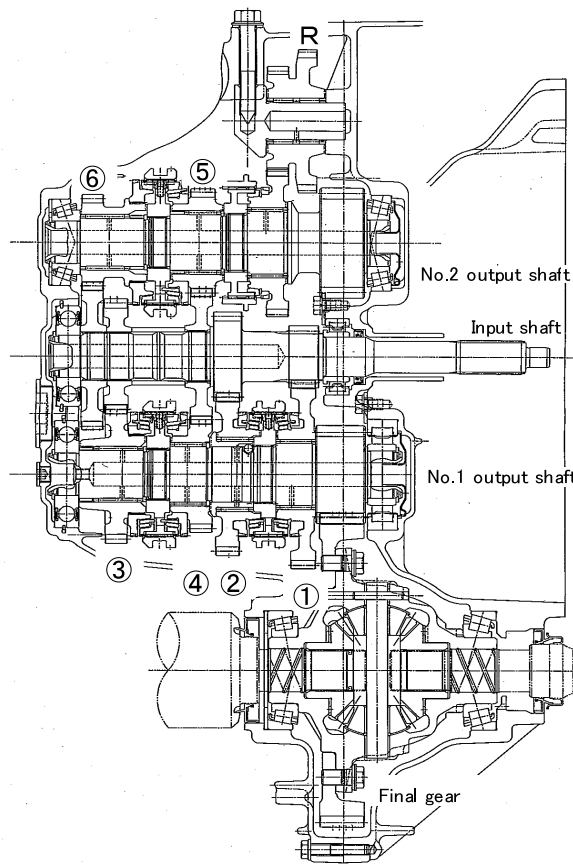


Fig.19 Transmission Cross Section

Table 4 Transmission Specification Chart

Transmission type		Manual 6 speed
Clutch size (mm)		φ 250 × 155
Gear Ratio	1st	3.538
	2nd	2.238
	3rd	1.535
	4th	1.171
	5th	1.085
	6th	0.853
	Reverse	3.831
	Final (1-4th)	3.611
Final (5-6th, Reverse)		3.095
Torque Capacity (Nm)		380 over
Weight (kg)		76 (Dry)

3.2 構造概要と特徴

構造をFig.19に、主要諸元をTable 4に示す。

ギヤトレインは、現在主流のジヤコーサ式（並行2軸式）と異なる3軸式を採用し、ギヤ、シンクロを各軸に分散、並行配置し全長短縮を実現した。また、エンジン性能を十分に引き出すため、クロスレシオとなるギヤレシオを設定した。なお、ケースはシンプルな2分割構造としている。

シンクロメッシュ機構は1速、2速、3速に大容量なトリプルコーンシンクロ（Fig.20）、4速にはダブルコーンシンクロ、後進段はレバーシンクロ機構を採用し、シフト操作力の軽減を図った。

3.3 採用技術と効果

(1) MT全長の短縮

3軸式ギヤトレイン構造の採用に加え、以下のギヤを共用することで画期的な全長短縮を実現した。

- ・1速と後進段のドライブギヤ
- ・4速と5速のドライブギヤ
- ・第2出力軸のファイナルギヤ

更に1速に深潜り込みコーンクラッチ一体冷鍛ギヤを採用 (Fig.20, 21) する等、各要素の短縮を図りBest in Classを達成した (Fig.22)。

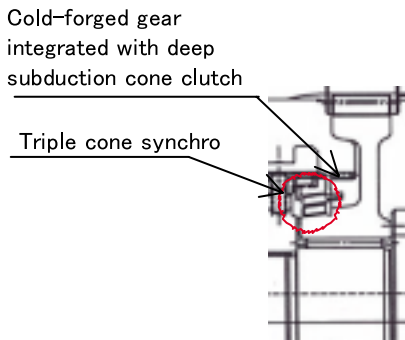


Fig.20 Triple Cone Synchro for First Gear and Cold-forged Gear Integrated with Deep Subduction Cone Clutch

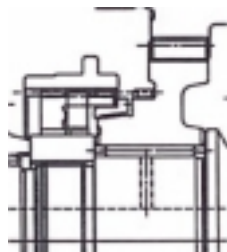


Fig.21 Lever Synchro Mechanism for Reverse Gear

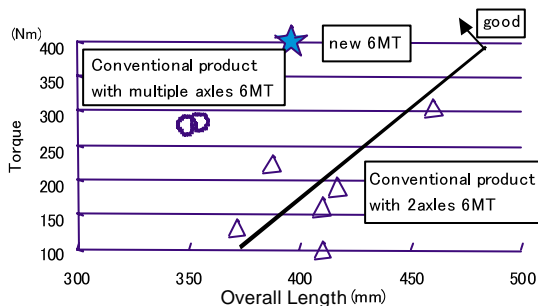


Fig.22 Comparison of Overall Length

(2) シフトフィーリングの向上

「意のままに操作でき、小気味良いシフトフィーリング」の実現のため、以下を開発した。

1) シフト操作力の軽減

前述のマルチコーンシンクロの採用に加え、シフトリンク各摺動部にスライドボールベアリング、転がり式のディテントピンを採用し、低フリクション設計とした (Fig.23)。

2) 滑らかさの向上

冷鍛2段チャンファスリーブの採用により、同期歯とギヤスプライン噛み合い歯を専用化 (Fig.24)、チャンファ角度を最適設計することで、2段モーション発生頻度の低減を図った。また、ゴツゴツ感軽減のため、シフトアウターレバーに慣性マスを設定した (Fig.25)。

(3) 静粛性の向上

ギヤノイズ低減のため高噛み率となるギヤ諸元を採用し、更に、高歯面精度の実現のためギヤホーニング加工を3速、4速、5速、6速、ファイナルギヤに実施した。また、FEM等でケース振動を解析・改良し膜振動の低減を図った。

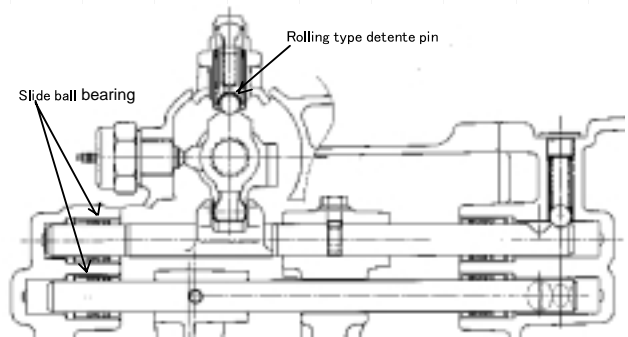


Fig.23 Rolling Type Detent Pin and Slide Ball Bearing

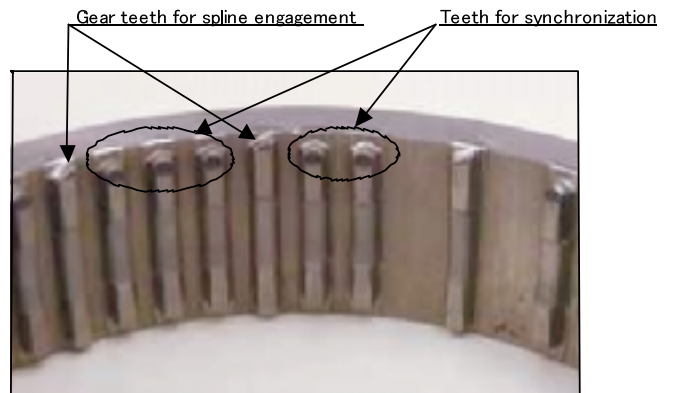


Fig.24 Cold Forged Sleeve with Two-stage Chamfer

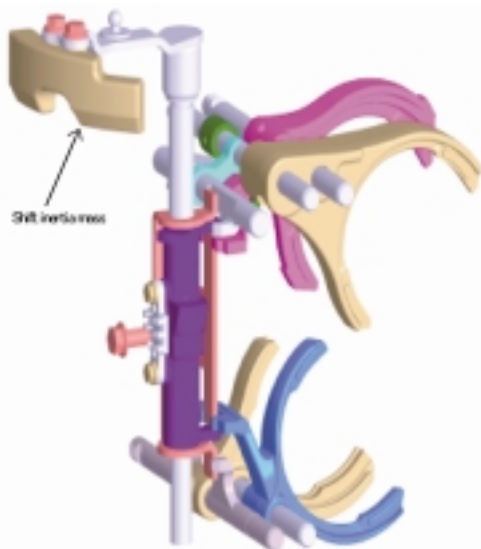


Fig.25 6MT Shift Mechanism



Fig.27 Bare Chassis

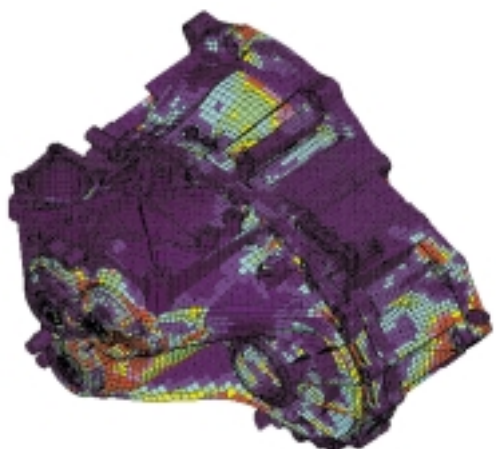


Fig.26 Case Vibration Analysis

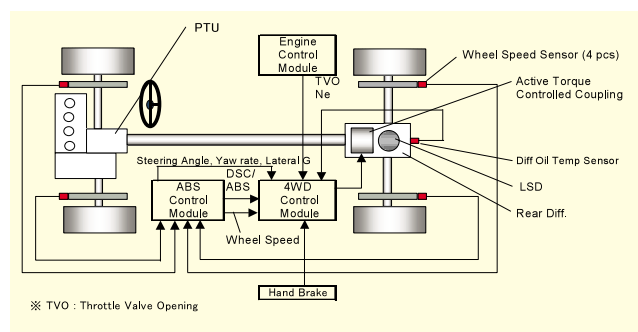


Fig.28 4WD System

た (Fig.26)。また、歯打ち音低減のため、DMFを採用した。

(4) 動力伝達効率の向上

オイルの攪拌損失低減とベアリング形式の適正化による摩擦損失の低減に取り組んだ。

1) オイルの攪拌損失低減

油浴率が高く、回転径が大きいファイナルギヤの攪拌損失低減のため、以下の対策を行った。

- ・ファイナルギヤ周辺のケース形状を絞り込み油量を低減
- ・オイル流れを阻害するケースの内側リブを廃止。剛性等はケース外側にリブを設定し対応
- ・変速ギヤ部より流入する油量を適正化するオイルセパレーターの設定

2) ベアリングの摩擦損失低減

入力軸と第1出力軸は、ボールベアリングとローラベアリングを採用し、摩擦損失の大きいテーパローラベアリングの使用箇所を最小化した。またテーパローラベアリング自体も最新の低フリクション仕様を採用した。

4. 電子制御式4WDシステム

マツダスピードアテンザでは、現行アテンザ4WDシステムをベースとして、「雪道などの滑りやすい路面での安定した走行及び雪上走破性の向上」に加え、新たに操縦安定性向上の観点から「舗装路を含めたあらゆる走行シーンでスポーティな操縦安定性の実現」を目指し、一段と進化したアクティブトルクコントロールカップリング4WDシステムを開発した。

4.1 4WDシステムの構成

新開発の4WDシステムでは、上記の目標を実現するため、新しい4WD制御ロジック、新ユニットを新規開発し採用した。新4WDのシステム構成をFig.28に示す。基本構成は、現行モデルを踏襲した上で、4WD制御用に新たに

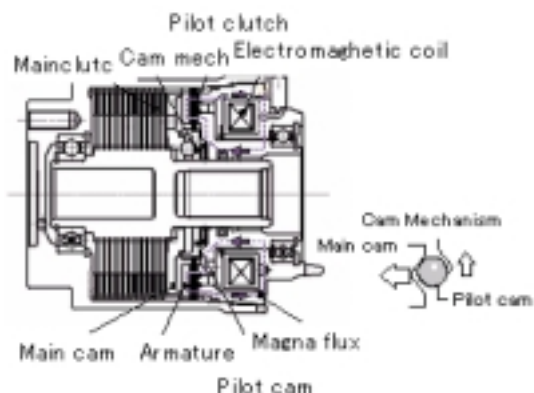


Fig.29 Structure of Electronic Control Coupling

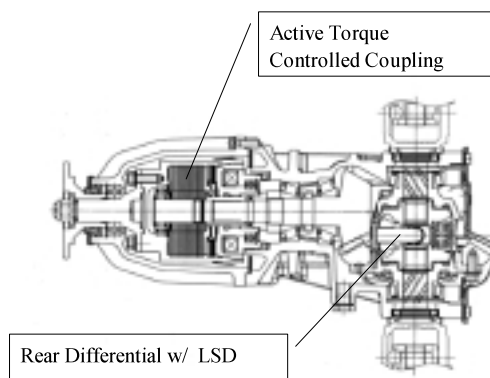


Fig.31 Newly-developed RDU

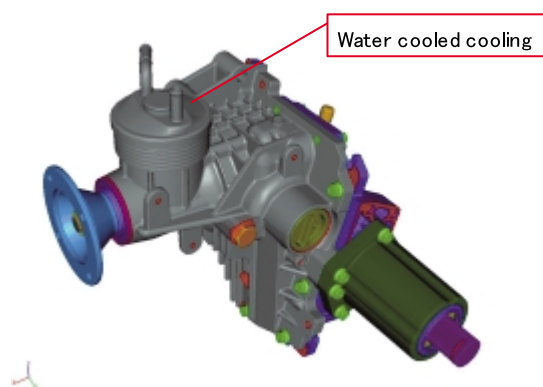


Fig.30 Newly-developed PTU

舵角、ヨーレート信号、横G信号を追加した。新ユニットとして、高トルク対応のPTU & RDUを新規開発し採用した。RDUには、操縦安定性向上のためトルク感応型LSDを採用した。

電子制御カップリングは、現行アテンザ用をベースに、メインクラッチのプレート枚数増及びパイロットクラッチのプレート表面処理変更（DLC処理）の採用によりトルク容量・耐久性を向上させ、高トルク伝達のニーズに対応した（Fig.29）。

4.2 新開発PTU & RDU

PTU及びRDUは、400Nmクラスの高出力エンジンに適用することを前提として新規に開発した軽量・コンパクト・高容量のユニットである。

PTUは入力軸をトランスミッション側出力軸と同軸上でスプライン結合するアドオン型2軸タイプの基本構造を採用した。これにより、既存FF用トランスミッションの接合部の形状変更を最小限に抑え、本PTUと組み合わせ可能とした。更に2軸タイプとすることでPTU入力軸ギヤを小型化でき、エンジンブロックとPTU間のスペースを確保した。

ギヤセットのうち、ハイポイドギヤは等高歯を採用した。ギヤノイズ低減と耐久強度アップを高次元で両立させ、高いロバスト性を実現した。高出力・高回転での運転中の潤滑油温度の上昇に対しては、強制水冷クーラーを採用した。これにより、エンジン高回転・高負荷の運転条件下でも油温上の制約を受けることなく、リヤへの必要十分なトルク伝達を可能とした（Fig.30）。

新型RDUは、現行アテンザ用RDUをベースに、ハイポイドギヤ及びベアリングのサイズアップを行い耐久強度を確保するとともに、ケース・ハウジング類は全てアルミ製とし軽量化を追求した。CAE解析を活用し机上検証を充実させ、熱変形・応力変形を考慮し鋳物形状を決定することで、軽量化と強度確保を両立させた。電子制御カップリングを収納するカップリングケースでは、必要な強度を確保した上で、一般肉厚を従来品比で30%低減に成功した。またハイポイドギヤを支持するデファレンシャルキャリアの形状選定では、必要なハウジング剛性を確保した上で除肉を行い、軽量化を達成した。同時にハイポイドギヤの歯当たり変化を最小限に抑制でき、ギヤ寿命の向上を実現した（Fig.31）。

4.3 トルク感応型LSD

左右スプリット状態でのトラクション性能と、操縦安定性アシスト性能の向上のため、RDU内にLSDを採用した。本LSDは、RX-8やロードスターでも採用しているトルク感応型のLSDである。

左右差動に対する高いトルク応答性を有し、旋回時のリニアな車両コントロール性を実現している。また、差動時の振動/異音に対するロバスト性を向上させるため、LSD差動部の表面粗さを最適化し、耐久劣化後も適正な μ -V特性を確保している。

4.4 4WDシステムと効果

(1) 4WDシステム/制御の狙い

マツダスピードアテンザは、現行アテンザ4WDシステ

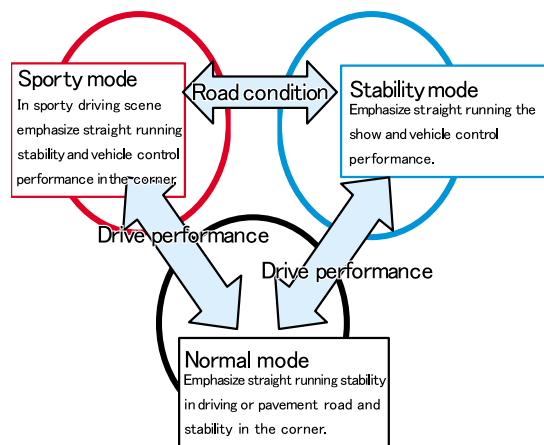


Fig.32 Condition Change Chart

ムをベースとし4WD制御ロジックを進化させた。4WD制御ロジックでは、ノーマル/スポーティ/スタビリティの3つのモードをコントロールモジュールで自動判定させ、ドライバがスイッチ操作を行うことなく常にリア伝達トルクを最適にコントロール出来るシステムとした。その結果、RDUに採用したLSDの効果を含め、現行アテンザ4WDに比べ操縦安定性能やトラクション性能を大幅に向上することができた。操縦安定性能向上に貢献した領域は、以下である。

- ①直進時の車両安定性/ステアリング手応え感
- ②旋回時の車両コントロール性能
- ③旋回脱出時の強力なトラクション性能

(2) 制御ロジック概要

新4WDシステムは、Fig.32の状態遷移チャートに示すように、各センサからの信号により車両状態を判定し、各車両運転状態が必要となる最適な後輪目標伝達トルクを決定している。4WDカップリング締結トルクは、車速/アクセル開度により規定されるプリトルクマップ(フィードフォワード制御)と、前後輪の回転差により規定されるN補正マップ(フィードバック制御)により制御される。ノーマル/スポーティ/スタビリティの各モードには、それぞれ専用のプリトルクマップを設定しており、ヨーレート、横G、舵角、エンジン回転数の各信号により運転状態及び路面状態を判定し、これを切り替えることで最適なりや伝達トルクにコントロールしている。また、NVHや駆動系信頼性向上のニーズに対応した4WD制御モードの追加、およびCAN通信を利用したDSC/ABSとの協調制御なども現行のアテンザから大きく進化させ、4WD車としての性能向上に大きく貢献している。

1) ノーマルモード

高速走行時や舗装路での一般走行時には、直進安定性やステアリング手応え感を重視したトルクマップを設定した。

2) スポーティモード

郊外のウィンディングロードをスポーティに走行するシーンを想定し、旋回中のコントロール性能と操舵の手応え感を実現できる4WD性能を目指した。そのため、旋回中はアクセル操作に対するトルクマップを最適化し、過度なアンダーステアの発生を抑えつつ、適度なステア特性とタックイン挙動が得られ、リニアな車両挙動となるセッティングを行った。また、旋回後半の加速時には、4WDカップリング締結トルクを直結相当まで増加させ、旋回脱出時の強力なトラクションを得ている。

3) スタビリティモード

このモードでは、雪道や凍結路など、低μ路での車両安定性を重視したトルクマップを設定した。低μ路では、4WDカップリング締結トルクを高くすると、急激にテールスライドにいたる懸念があるが、マツダスピードアテンザでは車速/アクセル開度に対して適切な4WDカップリング締結トルクとなるように制御しており、低μ路でも車両をコントロールしやすい操縦安定性能を実現している。

4) NVH性能や駆動系信頼性との両立

リアトルク伝達によるNVH性能や駆動系信頼性への影響が懸念される走行シーンでは、車両状態を検出して一時的に4WDカップリング締結トルクを低減させる制御を採用し、各性能との両立を図っている。

5. 最後に

マツダスピードアテンザ用パワートレインは、サプライヤの方々を含め、数多くの方の強力なサポートのおかげで、当初の目標通りの非常に高品質/高性能の商品を完成させることができました。

この誌面をお借りして、厚くお礼申し上げます。

著者



猿渡健一郎



藤野宏明



西田正美



渡邊淳司



岡留泰樹



河野裕人