

特集：新型デミオ

22

新型 MZR 1.3/1.5 エンジンの開発

Development of New MZR 1.3/1.5 Engine

宮腰勝信*¹ 中本敏秋*² 須藤康博*³
 Katsunobu Miyagoshi Toshiaki Nakamoto Yasuhiro Sudou
 相賀正一*⁴ 出口博明*⁵
 Shoichi Aiga Hiroaki Deguchi

要約

新型コンパクトカーデミオに搭載されたMZR 1.3/1.5 エンジンは、アテンザに搭載したMZR 2.0/2.3 に続く、新世代エンジンシリーズ「MZR」の第2弾で、走りの感動を追求するマツダのブランドメッセージ「Zoom-Zoom」スピリットを具体化する新開発直列4気筒エンジンである。

この走って楽しいDNAをサポートするために、特に実用域でのベストインクラス（以下BIC）のトルク性能と心地よいエンジンサウンドの実現、および「優 - 低排出ガス車」認定を取得する優れた環境性能と卓越した信頼性を実現した。

本稿では、このエンジンの諸性能と達成技術について紹介する。

Summary

The MZR 1.3/1.5 is a newly developed I4 engine which has embodied the Mazda's brand message "Zoom-Zoom", the love of motion, and is mounted on the New Demio as the second of the 'MZR', one of Mazda's new-generation engine series, following MZR 2.0/2.3 engine mounted on the Atenza.

In order to support the Fun-to-Drive spirit of the Mazda's DNA, such targets have been achieved as BIC (Best In Class) torque, especially in a practical range, pleasant engine sound, Eco-friendly performance which meets the certification of 'Excellent-Low emission vehicle', and outstanding reliability.

This paper describes the performance and engineering attainment of the engine.

1. はじめに

近年、地球規模で取組まれている省資源、地球温暖化防止のため、CO₂排出量削減の重要課題に対応しつつ、次世代のコンパクトカーに相応しい走りや静粛性をも兼ね備えた、新型MZR 1.3/1.5 エンジンを開発した。本稿では新型デミオに搭載された本エンジンの技術的特徴について紹介する。

2. 開発のねらい

次世代のコンパクトカーに相応しいエンジンとするため、従来エンジンを一新し、以下に重点をおいて開発した (Fig.1)。

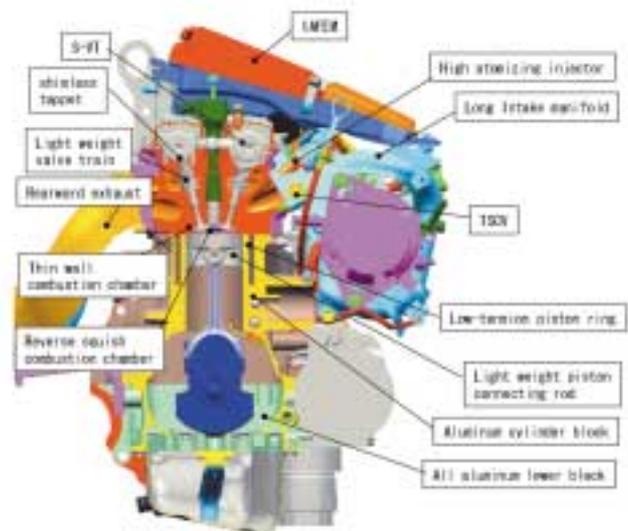


Fig.1 Main Introduced Technologies

* 1, 5 第1エンジン開発部
 Engine Development Dept. No.1

* 2 ~ 4 第3エンジン開発部
 Engine Development Dept. No.3

(1) 高性能

連続位相可変バルブタイミング (Sequential Valve Timing, 以下S-VT) を標準装備し、最適なバルブタイミングを設定、またロングインテークマニホールドや可変慣性過給システム (Variable Induction System, 以下VIS) の採用に加え、排気系のチューニングをすることで、中・低速域のトルク向上と、高速域の出力向上を両立する。

(2) 低燃費

燃焼室内の混合気流動の適正化と圧縮比向上による熱効率の改善、さらには動弁系、ピストン系等の機械抵抗低減による低フリクション化を図り、当社従来エンジン比約10%の低燃費を実現する。

(3) 低エミッション

後方排気レイアウト, TSCV (Tumble Swirl Control Valve), 高微粒化インジェクタの採用により平成12年度排出ガス規制の50%低減 (優・低排出ガス) を実現する。

(4) 軽量コンパクト

アルミ製シリンダブロック, 樹脂製インテークマニホールドの採用および吸気系モジュール化, 補機ブラケット類のシリンダブロック一体化により当社従来エンジン比20%の軽量化を実現する。

(5) 静粛性

オールアルミ製ロアブロック構造によりクランクシャフト支持剛性と、トランスミッションとの結合剛性の大幅な向上による中間周波数帯の振動低減, 更に動弁系, ピストン系等の高周波帯の騒音低減を行い, 伸びやかで澄んだ車内エンジン音を造り出す。

(6) メンテナンスフリー化

シムレスパケット, バルブステム径縮小およびアッパーシート小型化により動弁系の軽量化を行い, バルブシートの耐摩耗性向上を図り, 更に油圧テンション付チェーン駆動を採用することで車両ライフサイクル内でのメンテナンスフリー化を実現する。

3. エンジン諸元

1.3Lと1.5Lは部品の共通化を図りつつ、ポアサイズで排気量分けをした。ただし、インテークマニホールド等を専用設計し、それぞれに最適な吸気管径をチューニングすることで、中・低速トルクを最大限高めた。また、1.5L用にはVISを追加し、更に高い高速出力を確保した (Table1)。

4. 高性能・低燃費

4.1 高性能

実用域での扱いやすさから、中・低速トルクを重視し、常用エンジン回転域 (2,000rpm ~ 4,500rpm) において最大トルクの90%以上を確保するフラットで高トルクを目指し、吸入体積効率およびノック限界の向上を行うことで、他社エンジンを凌駕するBICの性能を実現した (Fig.2)。

Table 1 Main Specification

Engine	1.3L(ZJ-VE)	1.5L(ZY-VE)	
Arrangement and No.05 cylinders	Inline 4 Gasoline Engine		
Max Power(JIS net)	67kW/6000rpm	83kW/6000rpm	
Max Torque(JIS net)	124N·m/3500rpm	140N·m/4000rpm	
Bore x Stroke(mm)	74 x 78.4	78 x 78.4	
Displacement(cc)	1348	1498	
Valve Train System	DOHC 4 valve Chain-drive		
Cylinder Block	AL Diecasting		
Compreion ratio	10.0		
Intake-valve time	open	-5 ~ 35 BTDC	-3 ~ 37 BTDC
	close	55 ~ 15 ABDC	53 ~ 13 ABDC
Exhaust-valve time	open	40 BBDC	53 BBDC
	close	-1 ATDC	3 ATDC
VIS			
Fuel type	Regular		

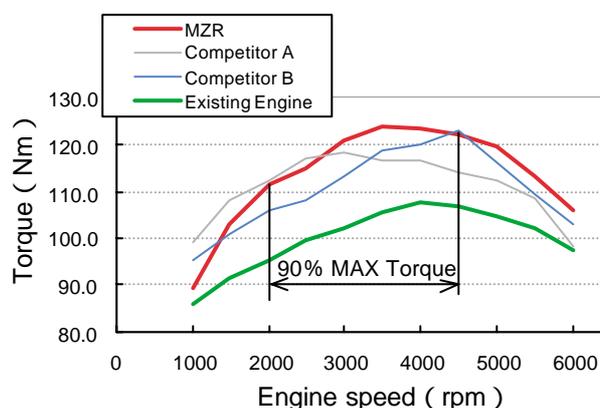


Fig.2 Engine Performance (1.3L)

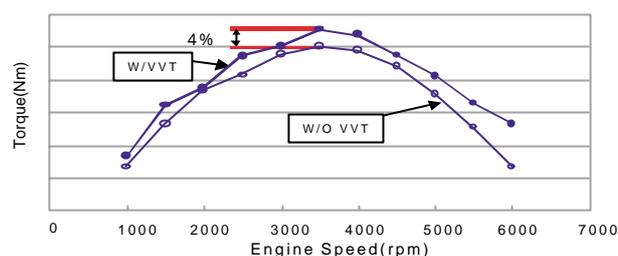


Fig.3 Torque up Effect by S-VT

(1) S-VT

回転・負荷等エンジン運転状態に応じた最適バルブタイミングの設定を可能にするS-VT (Fig.4) を追加することで、+4%のトルク向上を実現した (Fig.3)。また、このS-VTをMZR 1.3/1.5 エンジンへ標準装備するため、従来エンジンに装着しているS-VTに対し、作動用の油圧送経路すべてをエンジンの基本構造部分に内蔵化し、構造の簡素

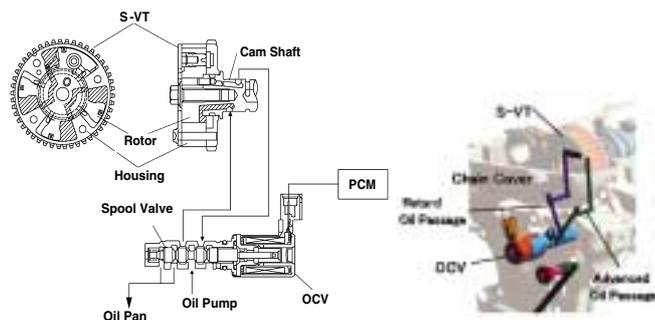


Fig.4 S-VT System

Fig.5 S-VT Oil Passage

化を行った (Fig.5)。

(2) ロングインテークマニホールド, VIS

エアクリーナについては、通気抵抗低減のため、CAEによる流速調整と形状最適化を行った。またインテークマニホールドは、排気量1.3L向けには600mmの等長管、排気量1.5L向けには、VISを内蔵し600mmおよび450mmの等長管を切り替えることにより、更に高回転域でのトルクを4%向上させた (Fig.6)。

4.2 低燃費

燃焼、冷却性改善による熱効率向上と低フリクション化による機械抵抗低減により従来エンジン比、約10%の燃費改善を実現した (Fig.7)。

(1) 熱効率向上

燃焼速度や熱発生パターン、燃焼安定性はタンブル流やスキッシュ流など筒内ガス流動特性に大きく影響されるが、逆スキッシュ流による後期の燃焼速度を上げることがノッキング改善に有効である¹⁾。本エンジンではペントルーフ燃焼室において、適正タンブル流を設定することで、初期の燃焼期間を延長し、更に後期の燃焼速度を上げて主燃焼期間を短縮することで、後期重心型の燃焼パターンを実現しノッキング改善を図った (Fig.8)。

また、シリンダヘッド内の水流を均一化するため、CAEによりシリンダヘッドのウォータージャケットの形状を選定し、ヘッド燃焼室壁面の冷却改善を行った (Fig.9)。加えてオイルジェットを採用によりピストンの冷却を強化した。

これらの結果、圧縮比を従来エンジンの9.4から10.0へ向上することができた

(2) 機械抵抗低減

① 動弁系

タペットのシムレス化、バルブシステムの細軸化 (6 5.5) およびアッパーシートの小型化による動弁系の軽量化により、バルブスプリング低荷重化を実現した (Fig.10)。さらにカムシャフトのカムロブ部とタペットの表面粗さを改善することで、動弁系の抵抗を20%低減した。

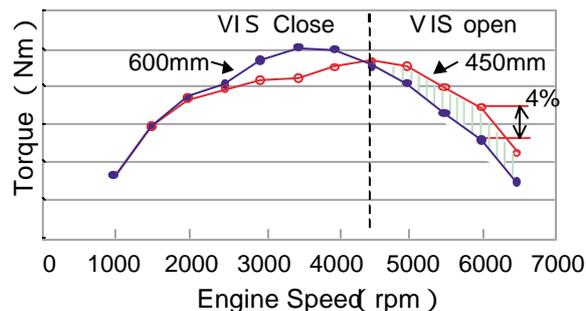


Fig.6 Torque up Effect by Long Intake

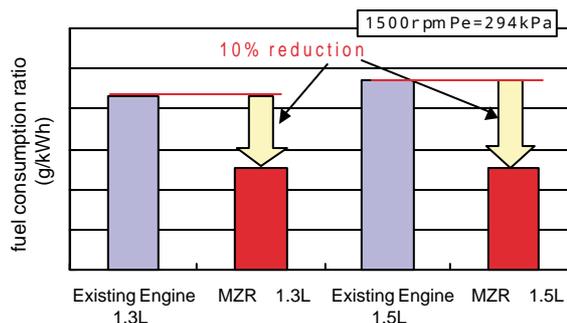


Fig.7 Fuel Economy Improvement

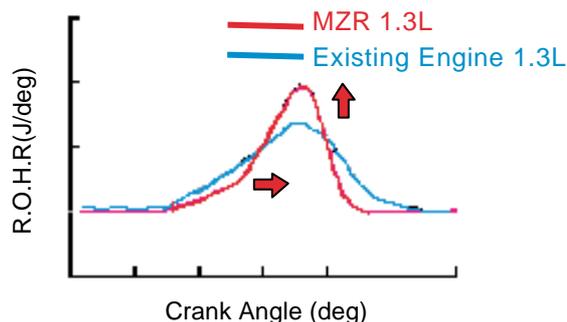


Fig.8 Comparison of Rate of Heat Release

② ピストン系

アルミ製シリンダブロックのT5熱処理、鑄ぐるみ鑄鉄シリンダライナの予熱追加とウォータージャケットの深さ選定により、ライナ回りの残留応力を低減し、ライナの真円度を向上させることで (Fig.11)、ピストンリング張力を17%低減した。

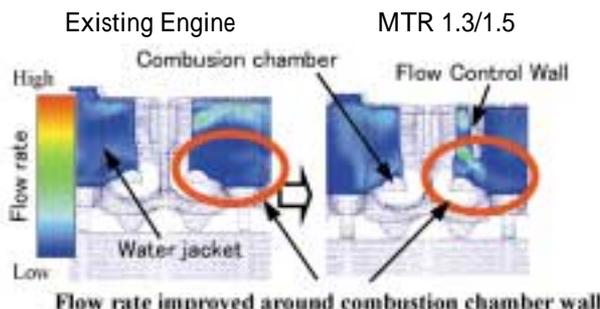


Fig.9 Water Flow Analysis within a Cylinder Head

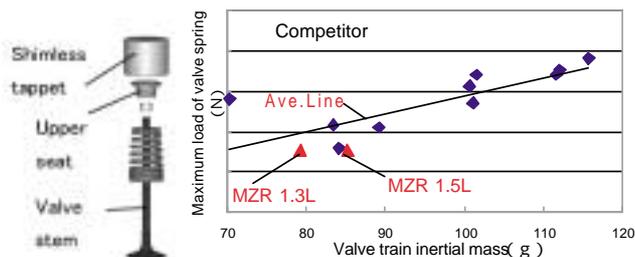


Fig.10 Valve Spring Force Performance

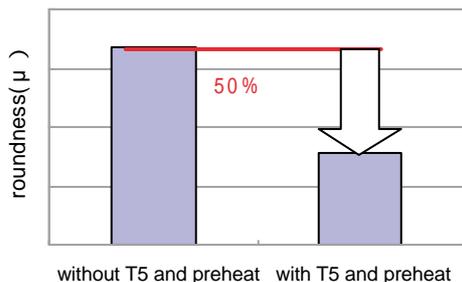


Fig.11 Circularity Improvement

5 . 低エミッション

従来エンジンにおいて前方に配置していた排気系を、後方へ変更することで、触媒までの距離を短縮化し、触媒の早期活性化を実現した。また、全エンジンにTSCV (Fig.12)を採用し、冷間始動時にバルブを閉じることで、筒内のタンブル比を強化して、燃焼改善を図っている。この結果、冷間始動時に点火時期を遅らせることで、排ガス温度の上昇を実現した。

これらの結果、冷間領域の触媒浄化効率が向上し、エミッションの改善を実現している。

また、ピストンのトップランド厚さを低減することで (Fig.13), 炭化水素HCの排出量を約18%低減した。

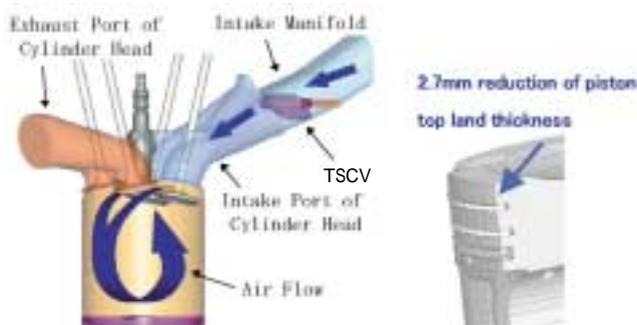


Fig.12 TSCV

Fig.13 Piston Top Land

6 . 静粛性

「伸びやかな」と「澄んだ」車内エンジン音を実現するために、ハーフ次、奇数次成分および中間周波数帯 (200 ~ 800Hz) の振動低減と高周波帯 (1 ~ 10KHz) の騒音低減を、以下項目を織り込むことで実現した。

6.1 エンジンユニット振動

(1) ブロック構造系

アルミ製シリンダブロックとオールアルミ製ロアブロックを基本構造 (Fig.14) とし、CAEを活用して効果的なリブ配置、肉厚選定を行った。これにより従来エンジン比、約10kg軽量化した上で、トランスミッションとの結合剛性を高め、曲げ、ねじり剛性を約20%向上、クランクシャフト支持剛性を約15%向上できた。

この結果、パワープラントベンディング (PPB) の周波数を従来エンジンから約60Hz向上させ、常用回転域から大幅に高い周波数域 (300Hz以上) とすることができた。

なお、本エンジンで採用したオールアルミ製ロアブロックには、ベアリングキャップの締付けに「新締付け法」を採用し、クランクシャフトジャーナルのメタルクリアランス縮小化によるエンジン振動低減を実現した。従来の締付け方法では、メタルのクラッシュハイトを潰す過程で有効軸力が低下しメタルクリアランスの拡大が生じる。そこで、各クランクジャーナル毎にクラッシュハイトの変動に応じて締付けボルトの軸力を補正制御する「新締付け法」を採用した。この結果、オールアルミ化による温間時のメタルクリアランス拡大を40%抑制することができた (Fig.15)。



Fig.14 Structure of Aluminum Cylinder Block and all Aluminum Lower Block

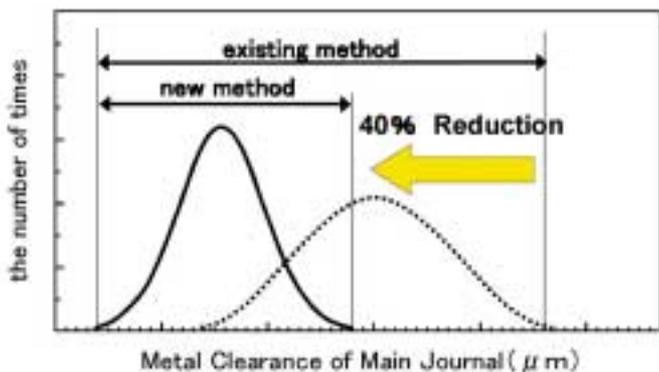


Fig.15 Effect by New Tightening Method

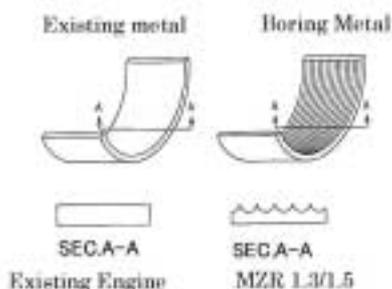


Fig.16 Metal

さらに、クランクシャフトメタルに、条痕メタルを採用した (Fig.16)。これにより油膜の保持機能が向上し、耐焼付き性が改善することで、クランクシャフトジャーナルのメタルクリアランス縮小を可能とした。

(2) ピストン系

ピストンスカートおよび圧縮高さの短縮化 (Fig.17) と、ピストンリングの薄巾化、コンロッドの細軸径化を行い、従来エンジン比約 8% の往復慣性力の低減を実現した (Fig.18)。また、ピストンスカートの高剛性化およびプロ

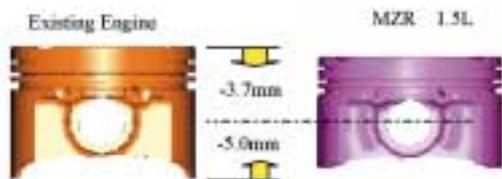


Fig.17 Piston

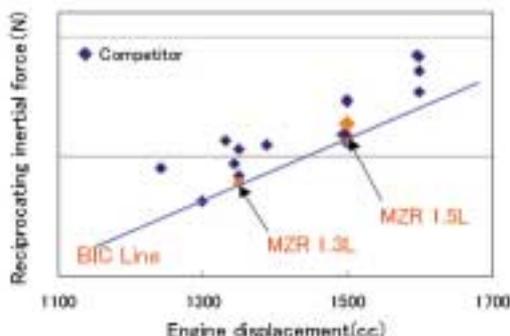


Fig.18 Performance of Reciprocating

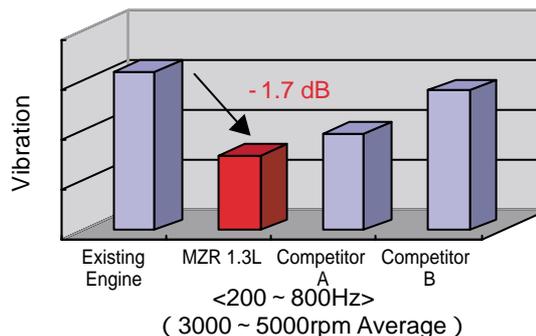


Fig.19 Vibration at No.3.Mt.Engine

フィールの最適化により、ピストン挙動を安定化させた。この結果、従来エンジンで実施していたピストン外径とシリンダブロックボア内径の 3 ランク選択組付けを廃止することができた。

これらの結果、クラストップレベルの静粛性と音質を確立した (Fig.19)。

6.2 エンジンユニット放射音

(1) 動弁系、チェーンシステム系

車内音に寄与度大きい排気バルブのクローズ側加速度低減やバルブリフトカーブの高周波成分低減等のカムプロフィール最適化を行い、動弁系加振力を低減することでエンジン放射音を改善した (Fig.20)。

カムシャフトの駆動には、スプロケットと斜めに衝突することで衝撃力を弱める 6.35mm ピッチのサイレントチェーンを採用し、静粛性を確保した。さらに、スキャンング

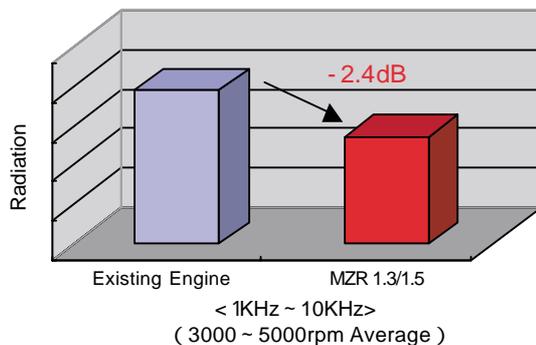


Fig.20 Improvement of Valve Train Noise

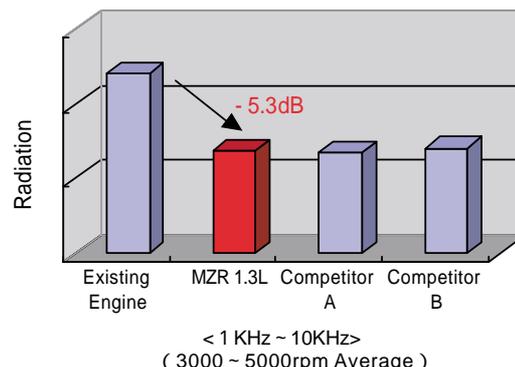


Fig.21 High Frequent Noise

レーザによる実機放射音解析を用いて、ヘッドカバー、フロントカバーの最適な肉厚分布、リブ配置を選定することで、高周波成分の騒音を低減した。

(2) 吸気系

インテークマニホールドに等長吸気管を採用し、奇数次数およびハーフ次数の音圧を低減し、音質を改善した。更に、エアクリーナをエンジン直上に搭載することにより、エンジン本体系からの高周波騒音低減も実現した。

これらの結果として、クラストップレベルの放射音が実現できた (Fig.21)。

7. 軽量・コンパクト化

このエンジン開発にあたっては、部品、システム毎に、徹底した軽量化・コンパクト化を実施した。

7.1 サーベントインと補機ブラケットの廃止

将来の電動パワーステアリング化および関連部品の共通化等を考慮した上で、補機配置を設定し、これらを1本の補機ベルトで駆動するサーベントインを採用した。また、エアコンコンプレッサ、パワーステアリングポンプ、オルタネータの各補機の取付けブラケットを廃止し、シリンダブロック、ロアブロックに直付けすることでコンパクト化と重量低減を実現した。その結果、従来エンジンに対し、87mmエンジン巾低減を実現した (Fig.22)。

7.2 IAFEM

IAFEMは、エアクリーナ・PCM (Powertrain Control Module) ・エアフロセンサ・エアホースで構成されるエアクリーナサブモジュールと、インテークマニホールド・スロットルボデー・フューエルディスペイブ・インジェク



Fig.22 Overall Height and Width of Engine

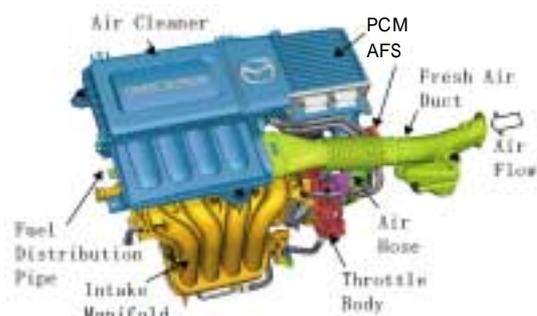


Fig.23 IAFEM

タで構成されるインテークマニホールドサブモジュールからなる (Fig.23)。

PCMをエアクリーナに内蔵し、PCMボックスとエアクリーナケースの機能統合を行っている。従来、車室内に搭載されていたPCMをエンジンルーム内のエアクリーナに内蔵することで、①PCMボックスを樹脂製のケースと一体化構造としてPCMボックスを廃止、②ワイヤーハーネスの線長短縮化およびコネクタ数削減、③エンジン吸気によりPCMを冷却し、冷却構造の簡素化等、効率の良いパッケージングを実現した。その結果、従来比で重量30%低減、納入部品点数で約95%削減を実現した。さらに車両工場での仕様に合わせたPCMのプログラムを書き込むことで、従来比約70%のPCM種類数を削減できた。また、エアクリーナをエンジン直上に配置したにも関わらず従来エンジンと同等のエンジン全高とすることができた (Fig.22)。

8. まとめ

「Zoom-Zoom」コンセプトを具現化するための採用技術と技術構成を紹介してきた。

本エンジンは、今後の小型基幹エンジンとして、多くの車種に搭載していく予定であり、刻々と変化していく時代の要求に応えられるよう、常に改善を続けるよう努力していきたい。

開発に際しご協力いただいたお取引先様はじめ関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 藤本昌彦他：燃焼室がタンブル、スキッシュ流および燃焼パターンに及ぼす影響，自動車技術会 学術講演前刷集，NO.1-01(2001)

著者



宮腰勝信



中本敏秋



須藤康博



相賀正一



出口博明