

特集：新型マツダデミオ

4

新型マツダデミオのパワートレイン Introduction of All-New Mazda Demio Powertrain

前田 敏正*¹ 古野 貴久*² 栗田 淳右*³
Toshimasa Maeda Takahisa Furuno Junsuke Natsumeda
世良 久*⁴ 西村 憲一郎*⁵ 松崎 俊幸*⁶
Hisashi Sera Kenichiro Nishimura Toshiyuki Matsuzaki

要約

新型デミオは、走る喜びと環境安全性能の調和を目指した「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言」の第1弾の商品である。前モデル比約100kgもの軽量化を柱とし、熟成した既存パワートレインに新開発の自然吸気MZR1.3Lミラーサイクルエンジン（ZJ-VEM型）とマツダ初のCVT（自動無段変速機）をラインアップに加えることで、「環境と走り」性能を高次元で両立させている。ここでは、新たに採用したパワートレインの主要技術について紹介する。

Summary

The new Demio is the first product which was developed under the slogan of the sustainable “Zoom-Zoom” aiming at balancing enjoyable driving and environmentally-safe performance. “Environment protection and driveability” is balanced to the maximum extent with various technologies, such as approximately 100kg weight reduction than its previous model, which is an important pillar of development, and addition of newly-developed natural-aspirated MZR 1.3L “Miller cycle” engine (ZJ VEM-type engine) and Mazda’s first CVT (Continuously Variable Transmission) to the powertrain lineup besides base engine which is an existing matured powertrain. This document describes such major technologies applied to the new Demio in details.

1. はじめに

マツダは2007年3月に、ブランド価値を向上していく技術開発の長期ビジョンとして「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言」を策定した。すなわち、CO₂削減など自動車産業が抱えるさまざまな課題に対応し、地球環境と交通環境のサステナブル（持続可能）な未来に向けた技術開発に取り組んでいくことを宣言したわけである。

その第1弾の商品として開発した新型デミオは、「Personal Smart Commuter」というコンセプトを掲げ、前モデル比約100kgもの軽量化を柱として、新開発の自然吸気MZR1.3LミラーサイクルエンジンとCVTを採用することにより、「環境と走り」性能を高次元で両立させた。

本稿では「前モデルからの主要向上技術」、「ミラーサイクルエンジンの概要」、および「CVTとの協調制御」について紹介する。

2. パワートレイン開発のねらい

2.1 開発のねらい

新型デミオの開発にあたり、「優れた環境性能の実現」と「軽快な走り感」を高次元で両立することを開発の狙いとした。

開発目標は以下の通り。

- (1) クラストップレベルの低燃費：10・15モード23.0km/L【1.3L/CVT車】
- (2) SU-LEVレベルの低エミッション（EM）性能：平成17年度低排出ガス基準75%低減レベル【全車】
- (3) クラストップレベルの走り感：Linear・Livelyの訴求【CVT車】

以上を実現化するために、「ミラーサイクル+CVT」を始めとするパワートレイン開発を行った。

*1 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
*5 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.
*6 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

*3, 4 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

2.2 パワートレインラインアップ

新型デミオのパワートレイン・ラインアップをTable 1に示す。前モデルに対して、新開発のミラーサイクルエンジン (ZJ-VEM型)、マツダ初採用のCVTを追加した。

全車「平成17年基準排出ガス75%低減レベル (SU-LEV)」認定を取得した。SPORT ModelのCVT搭載車と13C-V Modelは「平成22年度燃費基準+20% ()」、15C ModelのCVT搭載車と13S/13C/13F Modelは「平成22年度燃費基準+10% ()」を達成し、「グリーン税制 (/)」に適合させている。

Table 1 Powertrain Lineup

Vehicle Model	Engine Type	Max.Power (kW/rpm) Max.Torque (Nm/rpm)	T/M	Drive Train	EM Rank	10・15 Mode F/C (km/L)	Green Tax.	
Sport	ZY-VE (1.5L)	83kW/6000	5MT CVT	2WD	1.0 t	19.4	—	
					1.25t	20.0	○	
15C			5MT CVT		1.0 t	19.4	—	
					1.25t	20.0	○	
13C-V	ZJ-VEM (1.3L)	66kW/6000 120Nm/4000	CVT		1.0t	23.0	◎	
13S	ZJ-VE (1.3L)	67kW/6000	4AT	e-4WD	1.0t	21.0	○	
13C	2WD			1.0 t	17.8	○		
13C			5MT	4AT	2WD	1.0 t	21.0	○
					e-4WD	1.25 t	17.8	○
13F				2WD	1.0t	21.0	○	

ピストンリングは、Topリング：1.0mm、2ndリング：1.0mm、オイルリング：2.0mmの薄幅リングを採用してライナーへの追従性を向上させている。ピストン形状も変更し、④2ndランド幅拡大によりランドボリュームを増やしてリング挙動を安定させ、⑤オイルリング溝のオイルドレン穴数と位置の最適化によりピストン裏へのオイル排出性を向上させている。以上の仕様によりガスシール性とオイル消費性を維持し、2ピースより安価な3ピースオイルリングを採用しながらBICの低張力化を実現している (Fig.2)

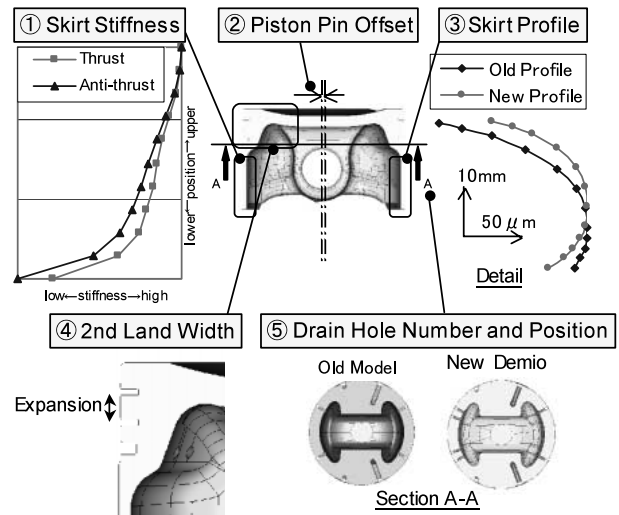


Fig.1 Modification of Piston

3. 前モデルからの主要向上技術

3.1 燃費向上技術

前モデルに採用してきた技術を熟成するとともに、更なる燃費向上技術を織り込んだ (Table 2)。ミラーサイクルエンジンおよびCVTは後述するとして、本章ではそれ以外の技術について紹介する。

(1) ピストン・ピストンリングの低抵抗化 (Fig.1)

エンジンの静粛性・ピストンの信頼性を確保しながらピストン~ライナー間の摺動抵抗を低減するために、①ピストンスカート剛性分布 (非対称剛性)、②ピストンピンオフセット量、③スカートプロフィールの最適化を行った。

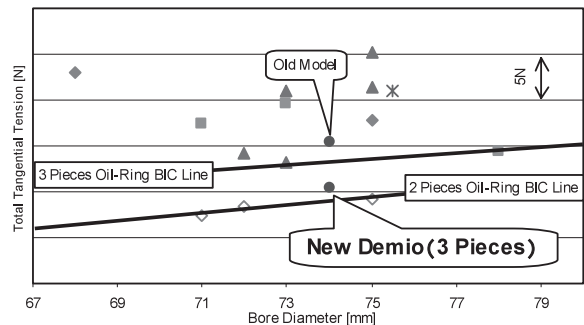


Fig.2 Benchmark Data about Total Piston Ring Tangential Tension

Table 2 Energy Flow Chart

Method of Loss Reduction	Miller cycle		(1) Piston/Piston Ring		CVT	(3) Weight reduction	
	Engine		FEAD	T/M	Rolling Resistance Loss	Vehicle	
	Combustion	Mechanical Friction Loss	FEAD Drive Loss	T/M Loss		Air Drag Loss	Acceleration Loss
Acceleration & constant-speed	Improvement of thermal efficiency	Frictional resistance reduction	Drive Resistance reduction	Improve-ment of efficiency	Tire & Hub & Brake Resistance reduction	Cd & frontal area reduction	Weight reduction
Idling	high-load driving	reducing Engine Speed		Using efficient area			
Deceleration	Idling-Stop Tech.			neutral ID, Eng.Stop			
	No Fuel Injection Tech.applied During Deceleration		More energy generation				Energy Recovery during deceleration

(2) Alternator Control

(2) オルタネータ制御 (Fig.3)

減速エネルギー回生技術をオルタネータ発電制御に応用している。減速時に積極的な発電を行うことにより、従来減速時に熱エネルギーとして損失していた運動エネルギーを回生する。そのため、減速時以外ではオルタネータ発電電圧を抑えることができ、エンジンに対しロストトルクとなるオルタネータ発電負荷を低減できた。

またコントロールユニットによりバッテリー電圧および、バッテリーからの放電電流を計測し、バッテリー比重を予測することで回生時に最適なバッテリー充電状態に制御している。

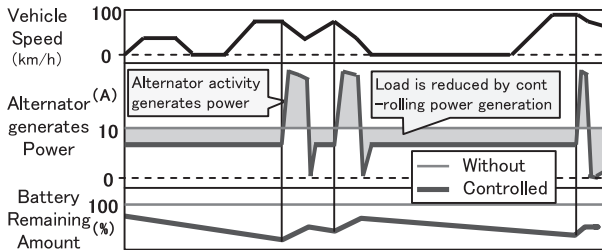


Fig.3 Alternator Electric Power During Acceleration/Deceleration.

(3) 軽量化

機能を維持・向上しつつ、パワートレイン全体で約10kgの軽量化を達成した。おもな内容は以下の通りである。

- ① 排気システム [5.0kg] - エンジン直キャタのみでSU-LEVに適合し、Under Footキャタを廃止した(全車)、一部機種についてはプリサイレンサを廃止 (1.3L/2WD車) しメインサイレンサのみで排気音の低減を行った。
- ② クーリングシステム [1.7kg] - フィンを効率アップした薄型ラジエータ及び薄型電動ファンを採用した。
- ③ バッテリー [2.2kg] - バッテリーマネジメントにより、バッテリーのサイズダウンを実現した (2WD車)
- ④ その他クランクシャフトブリー [0.26kg], Fresh Air Duct [0.17kg] 等、グラム単位での軽量化開発を行った。

(4) トランスミッション・変速比の最適化

車両全体の軽量化に伴う余裕駆動力の向上を元にN/V比

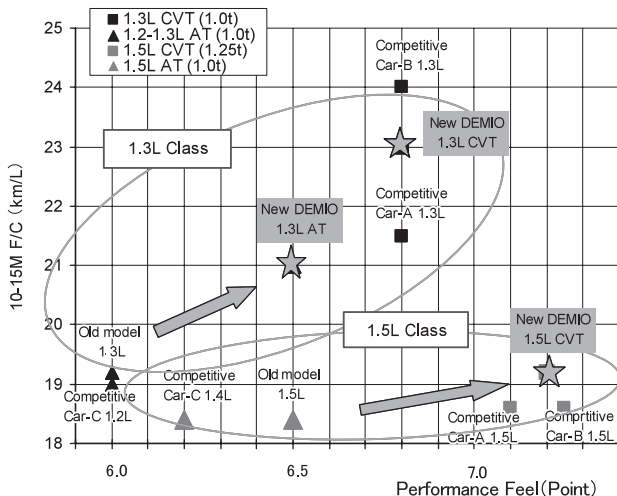


Fig.4 Balanced Performance-F/C

の最適化を行った。最終減速比を1ランク高めに設定することで燃費と走りの両立を図った (Fig.4)

3.2 エミッション低減技術

(1) エンジン直結キャタリスト

エキゾーストマニホールドからキャタベッド間の距離を約100mm短く (Fig.5) することにより、キャタのウォームアップ性能を向上させた。その結果、キャタの早期活性をはかり低エミッション性能を実現した (Fig.6)

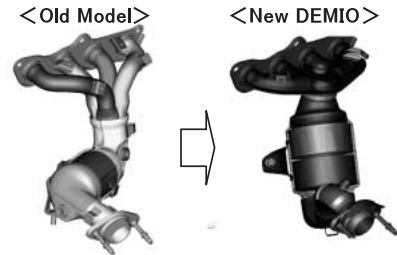


Fig.5 Close Coupled Catalyst

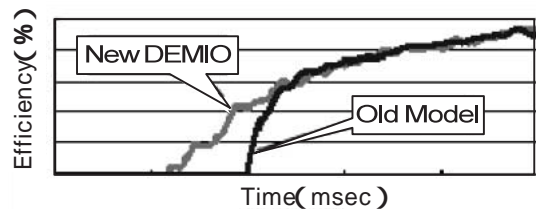


Fig.6 HC Catalytic Conversion Efficiency

(2) LAFS (Linear Air Fuel Ratio Sensor)

従来のO₂センサ (O₂センサ) では、A/F (空燃比) がリッチあるいはリーン状態から「A/F=14.7」を横切ることによりA/Fを補正していたため、横切らない状態ではセンサ出力に変化がなく、緻密な制御ができなかった。LAFSでは実際のA/Fのずれ量からA/F補正量を決めるため、目標A/Fへの収束性が改善され過渡時のA/F挙動を正確に補正できる。その結果キャタ浄化率が最も高くなるA/Fに制御することができEMの改善を図ることができた (Fig.7, 8)

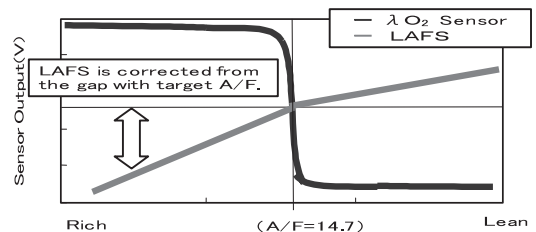


Fig.7 LAFS vs O₂

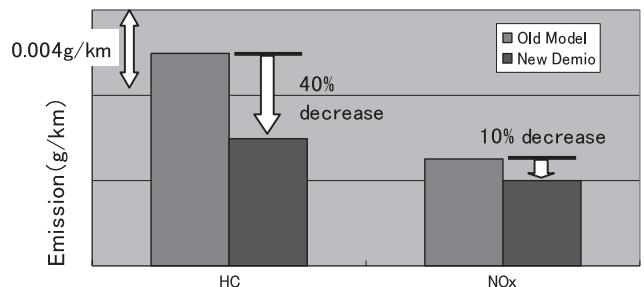
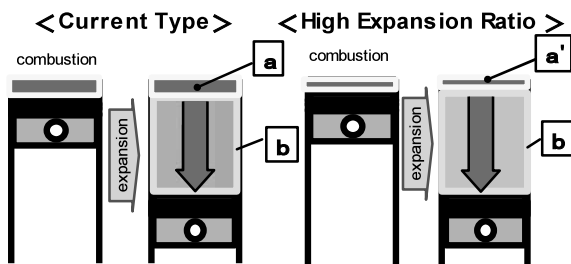


Fig.8 Emission Improvement

4. ミラーサイクルエンジン概要と採用技術

4.1 ミラーサイクルとは

熱効率は熱エネルギーが移動する相の温度差が大きいほど高い(熱力学第二法則)。すなわち、燃焼温度が高く排気温度が低いほど効率は高くなるので、燃焼開始時の燃焼ガスの体積(a)と排気開始時の体積(a+b)の比が高いほど効率が低いということになる。オットーサイクルでは「圧縮比=膨張比」のため圧縮比が高いほど熱効率は高くなるが、高くしすぎると圧縮行程でノッキングが発生してしまう。そこで、膨張比だけをより大きくして「圧縮比<膨張比」を実現したのが「アトキンソンサイクルエンジン」である。しかし、その実現手段が複雑なクランク機構であったため、そのサイクル理論を元に、比較的簡単な動弁系の工夫で実現したものが「ミラーサイクルエンジン」である。新型デミオでは「膨張比アップ“(a+b)/a (a+b)/a”+吸気遅閉じ」によって、「圧縮比<膨張比」を実現している(Fig.9)。



■Mechanism of Late Intake Valve Close ~ compression Cycle

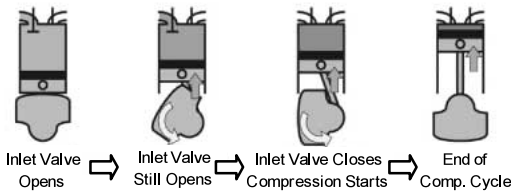


Fig.9 Miller Cycle Theory

4.2 自然吸気ミラーサイクルエンジン(ZJ-VEM)の概要

ZJ-VEM型の外観図をFig.10に示す。

Table 3に、ZJ-VEM型/ZJ-VE型/ZY-VE型の主要諸元比較を示す。



Fig.10 ZJ-VEM Engine Appearance

Table 3 Engine Main Specifications Comparison

Engine Model	Miller Cycle		Otto Cycle
	ZJ-VEM	ZJ-VE	ZY-VE
Displacement [L]	1.348	←	1.498
Bore Diameter [mm]	74.0	←	78.0
Stroke [mm]	78.4	←	←
Valve Train Mechanism	DOHC 16-Valves	←	←
Sequential Valve Timing	Intake	←	←
Compression Ratio	11.0 : 1	10.0 : 1	10.0 : 1
Max Power [kW/rpm]	66 / 6000	67 / 6000	83 / 6000
Max Torque [kW/rpm]	120 / 4000	124 / 3500	140 / 4000
Exhaust Emissions Regulations	SU-LEV	←	←

4.3 ミラーサイクル実現化手段と燃費性能

ピストン・クラウン形状変更(Fig.11)により、ZJ-VE型(10.0)に対してより大きな圧縮比(11.0=膨張比)を実現した。更に、吸気側カムシャフトのプロフィールを変更して吸気バルブの閉じタイミングを遅らせ(ABDC59°80°)、ノッキングを抑制しながら、ポンピングロスを低減、熱効率を高めた(Fig.12)。これにより、定常・過渡走行時ともに低燃費化を実現している(Fig.13)。

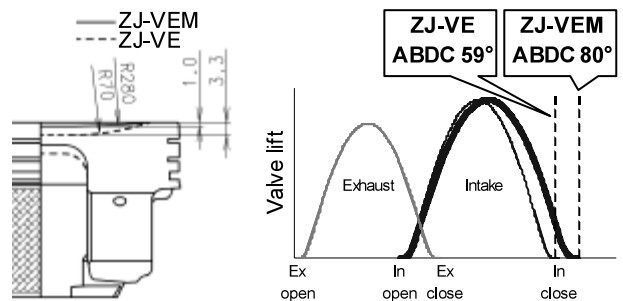


Fig.11 Piston Shape Fig.12 Valve Timing Comparison

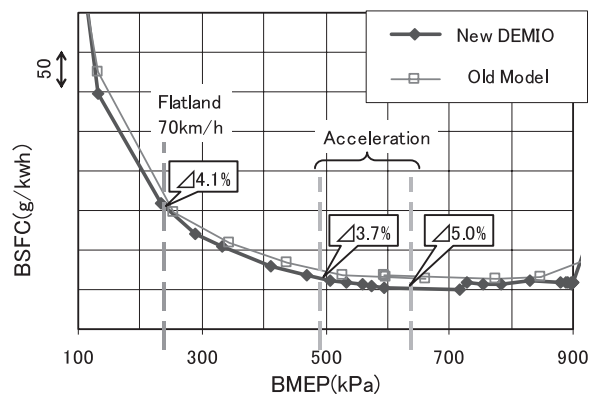


Fig.13 Fuel Consumption

4.4 ミラーサイクルの走り向上技術

(1) S-VT (Sequential Valve Timing)

吸気側に油圧式S-VTを採用し、カムシャフトの位相を連続的に可変させている。前モデルに対してスロットル全開領域のS-VT進角を拡大し、ミラーサイクル(吸気遅閉じ)に伴うトルクの低下を最小限に抑えた上、S-VTの作動範囲を高回転化(4,500rpm 6,500rpm)し、高回転域でのトルクを確保している(Fig.14)。

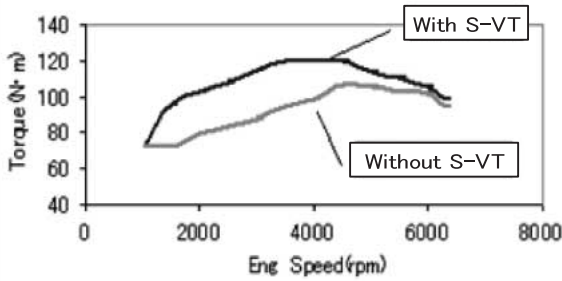


Fig.14 ZJ-VEM Engine Torque

(2) FAD (Fresh Air Duct)

吸気取込み口をエンジンルーム内(ヘッドランプ裏)からフロントグリル部に変更した(Fig.15)。これにより、走行時、積極的に外気を吸入させることで、停車からの発進時などにおいて、上昇した吸気温度の冷却効果で(Fig.16)、加速性能を向上することができた。

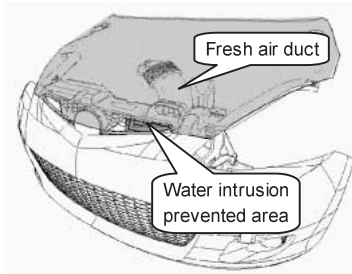


Fig.15 Structural Air-Intake

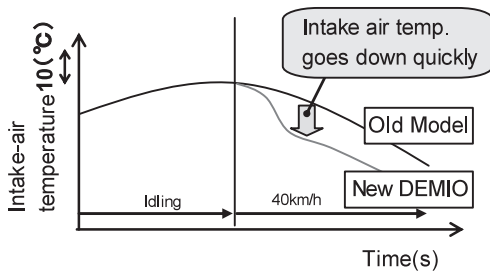


Fig.16 Intake Air Temperature Reduction Effect

5. CVT概要と車両とのマッチング技術

13C-V Model (1.3Lミラーサイクル)とSport/15C Model (1.5L)にマツダ初のCVTを搭載し、滑らかな発進・加速性能及び燃費性能の改善を実現した。

CVTの外観図(Fig.17)及び断面図(Fig.18)を示す。

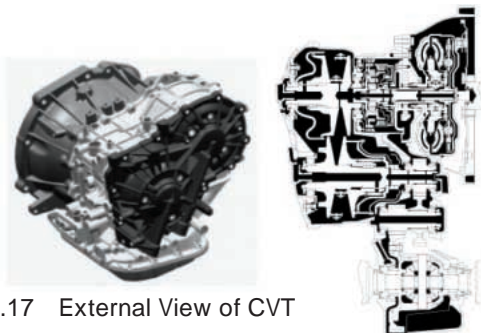


Fig.17 External View of CVT

Fig.18 Cross Section of CVT

本CVTの機構は油圧制御でプライマリプーリをストロークさせ、ベルトの接触半径を調整することでリニアにプーリー比(High/Low)を変速させるものである(Fig.19)。

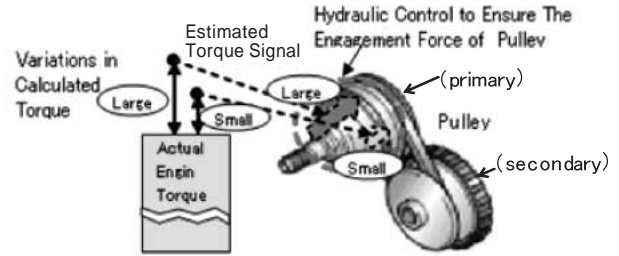


Fig.19 Relationship between Engine Torque Signal and CVT

5.1 CVT制御による燃費向上

ニュートラルアイドル制御の採用、シフトパターンの最適化、エンジントルクに応じたCVT油圧制御の最適化、L/U(Lock up)領域の拡大により、燃費向上を図った。

(1) ニュートラルアイドル制御

信号待ちなどでDレンジのまま停車している時、CVTが自動的にニュートラル状態に近づけるとともに、エンジン回転数を低く抑えることにより、エンジンの負荷/燃料消費を軽減し、燃費の向上を図った(Fig.20)。

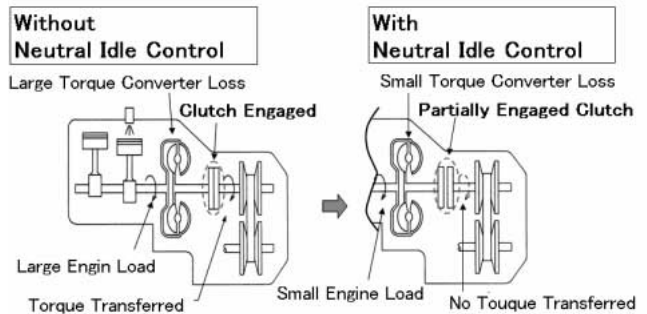


Fig.20 Neutral Idle Control

(2) シフトパターンの最適化

シミュレーション計算にて、エンジン+CVT効率及び車両の加減速を考慮した燃費最良領域を使用するベース変速マップを作成し、後述のオートパワーモード制御と合わせ、燃費/走りの性能を両立させる変速マップを作りこんだ。

(3) L/U(Lock Up)領域の拡大

無段階変速機能による変速時のL/U on-off動作が不要、変速ショックが出ない、というCVTの特性を生かし、ATに対しL/U領域を低速側に拡大することで、加速時のトルクコンバータのスリップロス低減、減速時の燃料カット領域の拡大(Fig.21)により、燃費を向上させた。

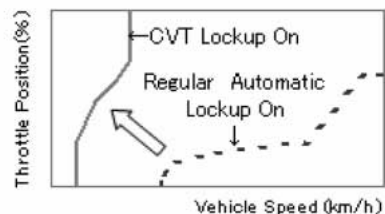


Fig.21 Lock up

(4) ライン圧(油圧)制御の適正化

CVTはATに対して走行中のライン圧が高い領域があり、ロストルクによる燃費悪化の要因となる。ライン圧はPCMから出力される推定トルク信号を元に設定されるが、ATに対しエンジントルク演算精度を上げることで、必要最低限のライン圧設定とし、燃費を向上させている。

5.2 走行性向上

マツダ独自の变速制御を織込み、車両の走行状態に応じてシフトパターンを切替えることで、ドライバの意図した通りの走行性を可能とした。

(1) 变速時のエンジン回転数制御

一般的なCVTの過渡走行は、アクセルの踏み込みに対し、エンジンの回転上昇が大きく、その後、エンジン回転が一定のまま車速が上昇する、スリップ感のある制御となっていた。本CVTでは、アクセルの踏み込み量に対し、エンジン回転の上昇を抑えて、車速とエンジン回転の上昇をリニアにする制御を採用し、CVT車特有の違和感を抑え、AT並のリニアな加速フィーリングを実現している (Fig.22)。

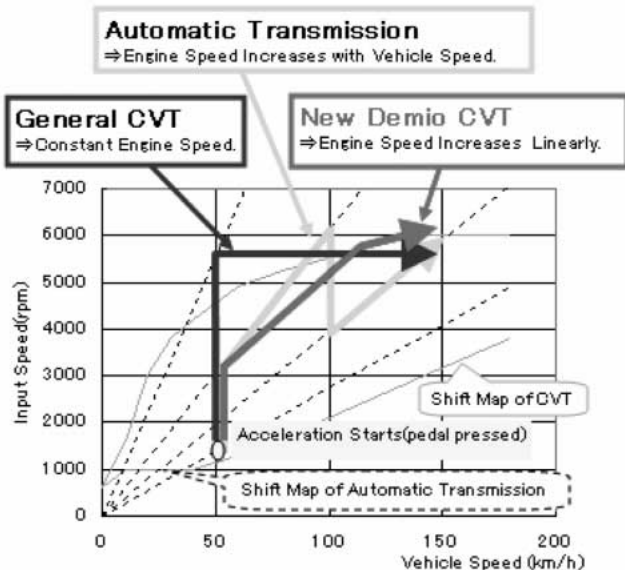


Fig.22 Engine Speed Transition

(2) オートパワー制御

走行性向上のため、ドライバのアクセル操作や車両加速度の履歴から、ドライバの要求加速度を推定し、变速マップを選択するようにしている。

① 市内・郊外等でゆっくり走る場合

前車に追従して交通の流れに沿ってゆっくり走る場合は、燃費や静粛性を重視した高速ギヤレシオの变速マップを選択する。

② ワインディング走行等でスポーティに走る場合

コーナへの進入の減速からコーナ脱出の加速シーンでは、適度なエンブレと十分な駆動力となる低速ギヤレシオの变速マップを選択し、キビキビした軽快な走りを可能にした。通常はできるだけエンジン回転を低く保ちながら、省燃費でスムーズな走りを演出し、ドライバがキビキビ

た走りを要求する場面は、切り替え操作なしで素早く变速マップを切り替える制御を採用し、省燃費と“Zoom-Zoom”な走りを高次元で両立させた。

(3) 7速マニュアルモード

Sport Model には、ステアリングシフトスイッチにより特定のギヤ比が選択可能な「7速マニュアルモード」を採用した。マニュアルシフトパターンをギヤ比が固定となるように变速段毎に設定することで実現している。これによりドライバの要求に応じた駆動力が選択可能となり、MT車の操作感に似たスポーツ走行を実現した (Fig.23, 24)。



Fig.23 Steering Shift Switch

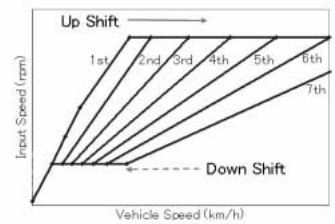


Fig.24 Manual Mode Shift Map

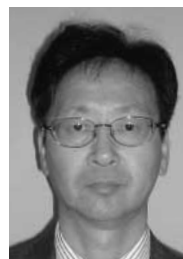
6. おわりに

新型デミオのパワートレインは、「ベースモデルの熟成」に加えて、「ミラーサイクル」・「CVT」という新たな技術を導入することで、「環境と走り」性能を高次元で両立させた自信作とすることができた。

今後とも、地球環境と交通環境のサステナブルな未来に向けた技術開発に、微力ながら貢献していきたい。

最後に、本開発において、多くのご指導・ご協力を頂いた社内外の関係者の皆様に、誌面をお借りして深く感謝申し上げます。

著者



前田敏正



古野貴久



桑田淳右



世良久



松崎俊幸