

特集：新型MPV

23

## 新型MPV パワートレインの紹介

### Introduction of All-New MPV Powertrain

青木 基<sup>\*1</sup> 末国 栄之介<sup>\*2</sup> 室谷 満幸<sup>\*3</sup> 藤川 朋久<sup>\*4</sup>  
 Motoi Aoki Einosuke Suekuni Mitsuyuki Murotani Tomohisa Fujikawa  
 藤原 卓治<sup>\*5</sup> 佐々木 和夫<sup>\*6</sup> 河野 裕人<sup>\*7</sup>  
 Takuji Fujiwara Kazuo Sasaki Hiroto Kawano

#### 要約

新型MPVのコンセプトは、『MAZDA DNAを具現化した次世代ピープルムーバ (Multi passenger functional sports tourer)』であり、パワートレインは、このコンセプトをサポートするキーバリューである『Dynamic Performance Innovation』の実現と、欠かすことのできない環境性能を高次元で両立させるべく、パワートレインの選定から開発まで一貫して妥協のない活動を実施してきた。

#### Summary

The design concept of the all-new MPV is “Next-generation People Mover, multi passenger functional sports tourer, with MAZDA DNA”. We have maintained consistent development attitude from powertrain selection to development completion without making any compromise in order to achieve a good balance between “Dynamic Performance Innovation” which is the key to accomplishing this concept and “excellent fuel economy and clean gas” which is imperative for environmental protection.

#### 1. はじめに

先代の2代目MPVは高い機能性と快適で広いスペースを持ったミニバンとして好評を博している。

新型MPVは先代の良さを継承しながら、デザインや走りの性能といったエモーショナルな価値を持った新しいピープルムーバの提案を目指し開発を進めてきた。

本稿では新型MPVのエモーショナルな走りを支えるパワートレインについて紹介する。

#### 2. パワートレイン概要

我々がパワートレイン開発の前提としたのは、エモーショナルな走りと同時に高次元な環境性能の実現である。

ミニバンとして単に走りの向上のみを追うのであれば、排気量を大きくすることで達成することはできる。しかしながら、排気量の増大は同時に燃費の悪化ももたらすことから、我々の考える環境性能とは合致しなかった。

こうした考えから、我々は2代目MPVでも定評のMZR 2.3Lエンジンを更に進化させたのに加え、ハイパワーユニットとして、圧倒的な加速性能と低燃費を両立させた2.3L DISI (Direct Injection Spark Ignition) ターボエンジンを選定した。このユニットはいたずらに高出力を追うのではなく、ミニバンに相応しい低速のレスポンス、トルクを得るよう専用のチューニングを施した。

そしてこれに組み合わせるトランスミッションとして、MZR 2.3L-FFには、2代目MPVから更に熟成させた軽量で燃費にも優れた4速ATを、2.3L DISIターボにはハイパワーを受け止める新開発の6速ATを採用した。

4WDはMZR 2.3Lと2.3L DISIターボの双方に設定し、それぞれのキャラクターに相応しいチューニングを施した。特に2.3L DISIターボ車にはLSD (Limited Slip Differential) を採用し、エモーショナルな走りを実現させる重要なアイテムとなっている。

Table 1にパワートレインラインナップを示す。

\*1 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.  
\*4 第3エンジン開発部  
Engine Development Dept. No.3

\*2, 3 第1エンジン開発部  
Engine Development Dept. No.1  
\*5~7 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

Table 1 Powertrain Line-up

Engine	Transmission		Emission level	Fuel economy 10.15mode	※2 Green tax
	4AT	6AT			
MZR 2.3L	FF	○	SULEV	※1 12.2km/l	Applicable
	4WD	○	SULEV	10.4km/l	Applicable
2.3L DISI T/C	FF	○	SULEV	10.2km/l	Applicable
	4WD	○	SULEV	9.4km/l	Applicable

※1 2ton rank; 11.2km/l  
 ※2 As of 2006.03

### 3. エンジン

Fig.1にMZR 2.3L, Fig.2に2.3L DISIターボのエンジン外観図を, Table 2にエンジンの主要諸元を示す。



Fig.1 MZR 2.3L Engine Appearance



Fig.2 2.3L DISI T/C Engine Appearance

Table 2 Engine Major Specifications

Engine	MZR 2.3L	2.3L DISI T/C
Cylinder	In-Line 4-Cylinder	In-Line 4-Cylinder
Bore X Stroke (mm)	87.5 X 94	87.5 X 94
Displacement (cm <sup>3</sup> )	2260	2260
Compression Ratio	9.7	9.5
Valvetrain	DOHC 4 Valves	DOHC 4 Valves
Number of Valves	4 per cylinder	4 per cylinder
Valve diametr (mm)	In.	35
	Ex.	30
Fuel supply system	Electric Fuel Injection	Electric Fuel Injection
Max. Power (kW/rpm)	120 / 6500	180 / 5000
Max. Torque (Nm/rpm)	210 / 4000	350 / 2500

#### 3.1 MZR 2.3Lエンジン

高出力, 低燃費, 静粛性で定評のあった2代目MPVのMZR 2.3Lエンジンを更に進化させるため, 動弁系の吸気S-VT (Sequential Valve Timing) 追加によるトルクの向上, 電子制御スロットル採用によってドライバビリティと環境性能を両立させている。

触媒はフロア下に加え, エギゾーストマニフォールド直下にも設定し, SULEVの低排出ガス認定を得ている。

また, オルタネータの電流制御やLEDランプ採用による省電力化などにより燃費も大幅に向上させている。

##### (1) S-VT追加によるトルクの向上

高出力と低燃費を両立させるためS-VT機構を採用した (Fig.3)。S-VTは, 基本作動はすでに量産しているアテンザのものと同一インテークカムの位相可変タイプで, 厚さ33mmという世界最小レベルのアクチュエータと, カムキャップと一体化したコンパクトな油圧回路を採用している。また, シリンダヘッドの吸気ポートを吸気抵抗の少ないハイフローポートとし, 新カムプロフィール設計法で開弁面積を拡大し, S-VTの効果を引き出している。その結果, エンジンルームレイアウトへの影響を与えることなくS-VTによる高出力・低燃費化を実現することができた。

Fig 4はS-VTの出力への効果を表している。

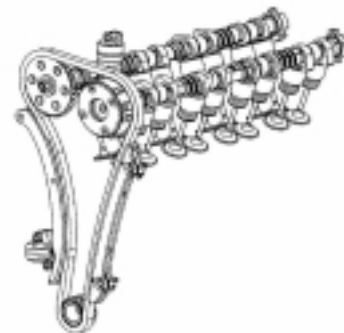


Fig.3 Structure of S-VT

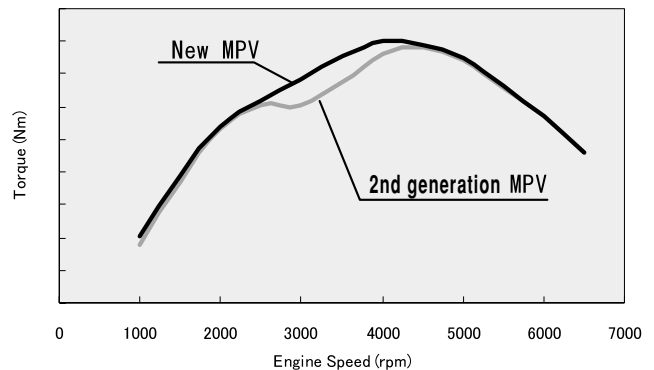


Fig.4 Engine Output Performance

##### (2) 電子制御スロットル

アクセル操作をPCMからの信号に変換してアクチュエ

ータでスロットルバルブを開閉することで、全エンジン回転領域で精密な吸入空気制御を可能にした。この電子制御スロットルによってアクセル操作にリニアに反応しながらも、加速Gのバラツキを抑えることで、ドライバビリティと排出ガス低減を両立させている。

3.2 2.3L DISI ターボ エンジン

V6 3Lエンジン比、大幅な出力と燃費向上を両立するユニットとして、マツダスピードアテンザ (MSA) に搭載し、好評を博している2.3L DISIターボエンジンをベースに開発をした。ミニバン搭載による車重の増加とAT化に合せ、ターボチャージャ仕様の最適化を行い、かつ電子制御スロットル特性やATコンバータの最適化も行い、低速域から高速域まで、卓越したパフォーマンスフィールを実現した。

MSAからの主な変更内容は、タービンケースA/Rの小型化 コンプレッサインペラの小型化である (Fig.5)

これらにより、低速域でのトルク増大と、高速域での出力を による低ガス流量時のタービン回転アップと、 による低ガス流量時のコンプレッサ効率向上のため、低速域での過給圧を大幅に向上させることができた (Fig.6)。これにより、低速トルクの増大 (MSA比 +22% / 2,000rpm) によるローンチフィール改善を実現するとともに (Fig.7, 8), ミニバンとして圧倒的な高速域の走りを実現する最高出力 (245PS / 5,000rpm) も確保した。

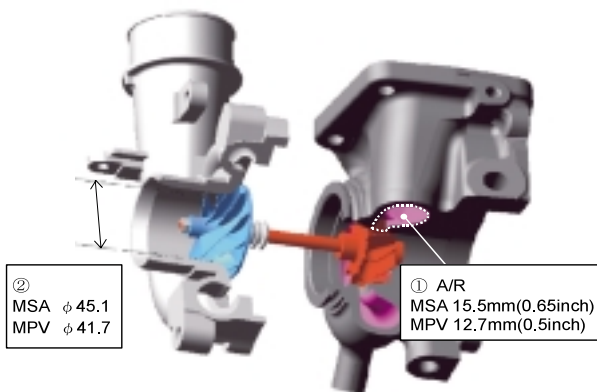


Fig.5 Change Design from MSA

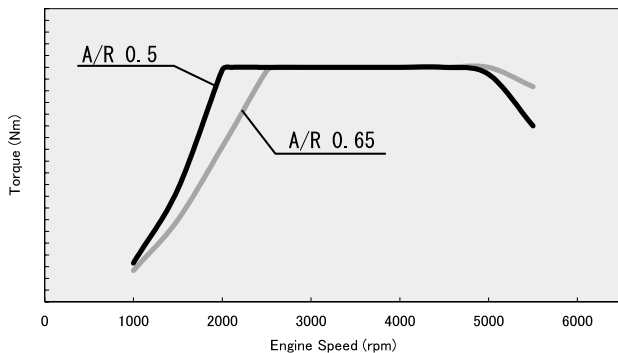


Fig.6 Engine Output Performance

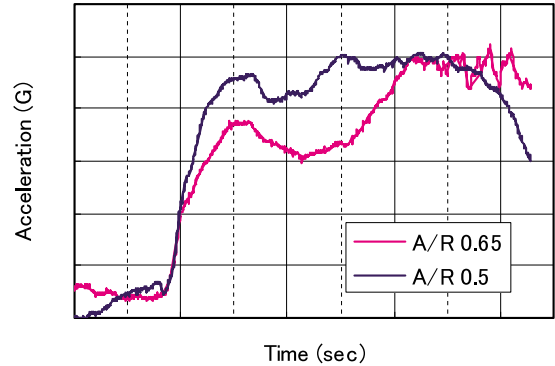


Fig.7 Acceleration at Start-up (Launch Feel)

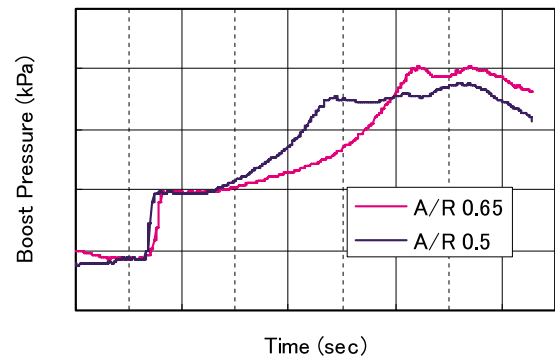


Fig.8 Boost Pressure at Start-up

一方小型化の弊害としては、(1)タービンケースへの熱負荷増による寿命低下、(2)タービン回転の上昇によるタービン翼の寿命低下が考えられる。これらの課題に対しては、それぞれ次のように解決した。

- (1) 型の精度管理まで踏み込んだ品質育成を行い、10年24万kmの寿命を確保した。
- (2) 吸気温度、大気圧、そしてギヤ段等の運転状況に応じたきめ細やかな過給圧制御により、走行性能を損なうことなくタービン翼の信頼性も確保した。

4. トランスミッション

Table 3にトランスミッションの主要諸元を示す。

Table 3 Transmission Major Specifications

	MZR 2.3L		2.3L DISI T/C (FF/4WD)
	(FF)	(4WD)	
Total length(mm)	380.0	392.0	←
Center distance(mm)	183.0	207.0	←
Gear ratio	1st	2.816	4.148
	2nd	1.553	2.370
	3rd	1.000	1.555
	4th	0.695	1.154
	5th	—	0.859
	6th	—	0.685
	Rev	2.279	3.393
F.G.R.	4.416	3.749	3.464

4.1 4速AT

新型MPV用FFの4速ATは、2代目MPVに採用した小型軽量FN4A-ELをベースに、新規車体に合せたチューニングを施したものである。

ベースATで確立した小型軽量でかつ高トルクに対応したギヤトレイン部を継承し、小気味良い変速応答性と高品質なシフトクオリティを両立させることで、高品質な走り感を実現した。

ギヤトレイン部の断面図をFig.9に示す。

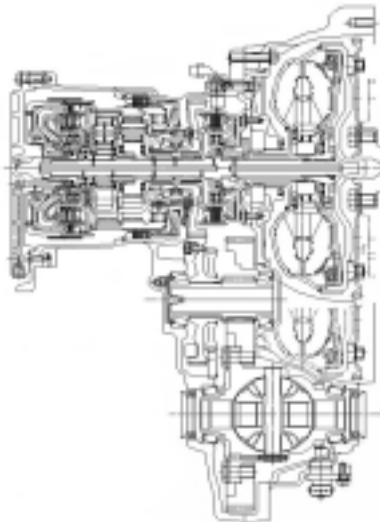


Fig.9 Section View of 4EAT

4.2 6速AT

新型MPVの2.3L DISIターボエンジン (FF/4WD) とMZR2.3Lエンジン (4WD) と組み合わせるトランスミッションとして 6速ATを採用した。FF 6速ATはV6エンジンとの組み合わせでMazda 6で北米市場に導入しているが、今回MPVに搭載し国内に導入するにあたり更に進化させた。この新型トランスミッションの詳細と採用した技術を以下に紹介する。

(1) 6速ATの開発の狙い

走りと燃費を高次元で両立させ、マイルドなシフトクオリティの実現と静粛性の向上を目的に、前モデルのV6エンジンとの組み合わせの5速ATに対し、更に多段化した6速ATを採用した。新開発のFF 6速ATの各訴求点と織り込み技術をTable 4に示す。

Table 4 Target Point and Adopted Technology

Target point	Adopted technology
(1)Performance feel	Active adaptive shift. (AAS)
(2)Fuel economy	Neutral idle control and slipping control.
(3)Shift quality	Real time and best hydraulic pressure control on the basis of the engine torque signal and the rotation signal.
(4)NVH	Power plant bending modification, Improvement of gear noise.
(5)Shift feel	Instrument panel change lever. (Former model is colum change lever) Optimization of shift feel.

AW6A-ELの構造をFig.10に示す。

この6速ATのスケルトンはLepelletier方式を採用し、従来機種との5速ATに対し、重量・全長ともほぼ同等で6速化を達成した。その特徴を以下に示す。

最少の締結要素 (クラッチ3, ブレーキ2) で前進6段を形成。

プラネタリギアはシングルプラネタリギアとラビニヨ式プラネタリギア各1セットの組み合わせ。

2/6ブレーキに小径高容量のバンドタイプ (巻き付き角700°) を採用。

また、2.3L DISIターボ及びMZR 2.3Lエンジンとの組み合わせに対し、それぞれの出力特性に最適なトルクコンバータ性能及びファイナルギアレシオを選定し、街中での走行性と高速での静粛性・燃費向上に貢献した。

4WDへの対応については、PTU (Power Transfer Unit) とのインターフェイスである「デフサイドギヤ」等の仕様差で対応し、トランスミッションケース、コンバータハウジングをはじめほとんどの部品をFFと共通化した。



Fig.10 Sectional View of 6EAT

(2) 制御システム

1) トルクフル&リニアな走りの実現

- アクティブ・アダプティブ・シフト (AAS) の採用 -  
ミニバンクラスとして、高い快適性とマツダ車らしい走りを両立させるために、従来から採用する路面勾配によって変速段を切り替えるスロープコントロールシステムに加えて、AASを新たに採用した。

AASは、RX-8に採用したドライバの加速要求度と走行状態履歴より変速段を切り替えるアクティブ・シフトを更に進化させたものである。進化した点は、ドライバのアクセル操作や車両加減速度の履歴からドライバの加速要求度を推定するシステムと、平坦路や登降坂路、直線路や屈曲路等の履歴から走行環境を推定するシステムを持たせたことである。これら 加速要求度と 走行環境の組み合わせから変速段を最適化することにより、従来よりも更に走行

フィーリングが向上した。具体的には、ドライバの加速要求が強い場合は、余裕駆動力を重視する変速段を選択し、ドライバの加速要求が低い場合は、燃費や静粛性を重視する変速段を選択することを基本とした。更に走行環境によって加速要求度で求める変速段を補正し、屈曲路では不要な変速を抑制するなど、ドライバの意志を変速段に反映しつつ、走行路の状態からより走りやすい変速段を判断するシステムとした。

これらのシステムによって通常走行中は主に4~6速を使ってエンジン回転を低回転に保ちながらスムーズで快適な走行を、そして、登坂路やアグレッシブな走行をする場合は、3~5速を主体にトルクフルでコントロール性の良い走りを実現することができた。

## 2) 燃費の向上

これらの変速制御に加え、この6速ATでは、ロックアップコンバータのすべり損失を低減するスリップ制御を、加速時、減速時とともに採用した。スリップ制御を行うことにより、トルクコンバータのトルク伝達ロス低減するとともに、減速時のエンジンフューエルカット時間を拡大して燃費を向上させた。更に、停車中はDレンジでもブレーキの操作状態によって自動的にニュートラル状態に切り替えるニュートラルアイドル制御も導入し、停車時のトルクコンバータによる損失を低減して、更に燃費を向上させた。

## 3) 上質なシフトクオリティの実現

ミニバンクラスとしての上質なシフトクオリティを実現するために、高精度の油圧制御システム及びエンジンとの協調制御システムが必要となる。そのため、この6速ATでは、6個のリニアソレノイドと2個のON/OFFソレノイドを搭載する油圧システムを採用し、各変速種毎に締結及び開放するクラッチ・ブレーキ圧を各々独立して精密に制御できるようにした。

更に、エンジンとの協調制御システムでは、変速時に適切なトルクダウン量とその切り替え応答を高次元で両立することが必要である。今回、高出力のターボエンジンでこれを実現するために、スロットルバルブと点火進角を同時に変更するトルクダウンシステムを新たに開発し、適切なトルクダウン量を確保するとともに、トルクダウン開始時や終了時に素早く狙いのトルクとする高応答性の両立を実現した。加えて、環境変化によるエンジン出力変化に対して適切に対応するために、ATコントロールユニットは大容量のユニット間通信システム(CAN通信)を用いて詳細なエンジンの運転状態をリアルタイムで把握している。この情報に基づきトルクダウン量を補正するシステムも新たに採用した。これにより、あらゆる環境条件に対してミニバンクラスにふさわしい上質なシフトクオリティを安定して達成することができた。

## (3) NVH性能の向上

静粛性の向上のため、モーダル解析結果によるコンバータハウジングの基本形状やリブ配置、肉厚を最適化した。これにより高トルクエンジンとの組み合わせにもかかわらずPPB(Power Plant Bending)性能を向上させ、高い静粛性を確保した。PPB性能向上のための解析の例をFig.11に示す。

また、ギヤノイズ性能についてはベースユニット(Mazda 6へ搭載)に対し更なる改善を行うため、Rrプラネタリギヤセットのロングピニオンギヤ、ショートピニオンギヤ、サンギヤの特性の最適化を行った。

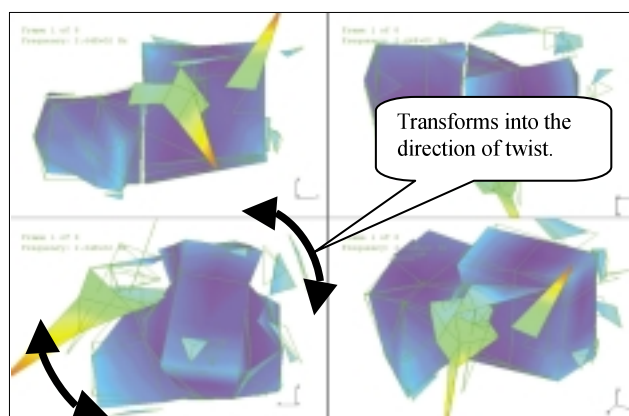


Fig.11 Example of Modal Analysis

## (4) チェンジ操作性の向上

操作性向上のため前モデルのコラム式チェンジをインパネチェンジ(Fig.12)に変更した。

インパネチェンジに対応するため、AT内部のマニユアルプレートの新設し最適な操作力特性を実現した。

Mazda6に対しては

N-D間ストロークの短縮

N-D操作力低減及び操作力バランスの最適化

を行い更に操作フィーリングを向上させた(Fig.13)。



Fig.12 Instrument Panel Change Lever

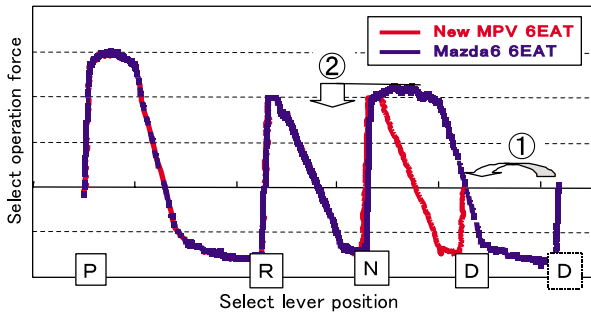


Fig.13 Shift Operation Force Characteristics

### 5. 4WDシステム

新型MPVでは、MSA及びプレマシーに採用された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、新たに直進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の4WDミニバンらしい操縦安定性能の実現」を目指した。

#### 5.1 4WDシステムの構成

新型MPV 4WDでは、MZR 2.3Lと2.3L DISIターボの2種類のエンジン搭載車を設定している。

新開発の4WDシステムでは、上述の目標を実現するため、4WD制御ロジックを進化させキャリブレーションを車両特性に合せ最適化した。

本4WDのシステム構成をFig.14に示す。ハイパワーエンジンの2.3L DISIターボ搭載モデルは、MSAの4WDシステムをベースとし、操縦安定性確保のためRDUにトルク感应型LSDを設定した。実用性重視のMZR 2.3L搭載モデルでは、新型プレマシのシステムをベースとしたシンプルな4WDシステムとしている。

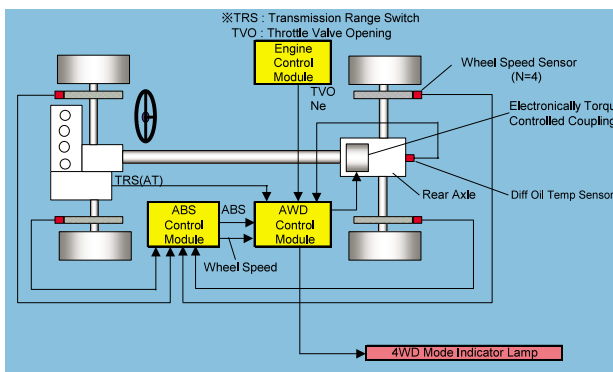


Fig.14 4WD System

#### (1) PTU & RDU (Rear Differential Unit)

PTU及びRDUは、高出力エンジンに適用することを前提としてマツダスピードアテンザ用に開発した軽量・コンパクト・高トルク容量のユニットを採用した。

2.3L DISIターボ搭載モデルのPTUには強制水冷クーラ

ーを採用した。これにより、高速・高負荷運転条件下でも油温の上昇を抑え必要十分なトルクを後輪へ伝達することを可能とした。

#### (2) トルク感应型LSD

2.3L DISIターボ搭載モデルでは、ハイパワー車に相応しい操縦安定性能を確保するためRDU内にLSDを採用した。

本LSDは、RX-8やロードスター、マツダスピードアテンザでも採用しているトルク感应型のLSDである。

#### 5.2 4WD制御

本4WD制御では、センサからの信号により車両状態を判定し、Fig.15に示す状態遷移に基づいて、各走行に応じて最適なりヤトルク量を決定する。

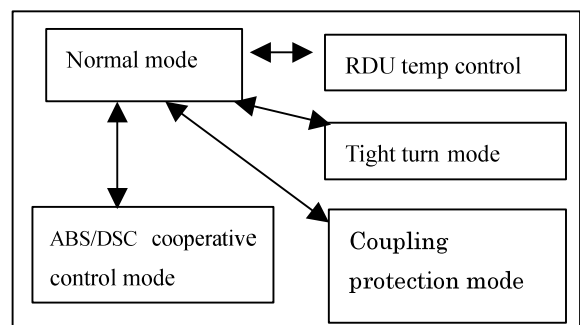


Fig.15 Transition Diagram

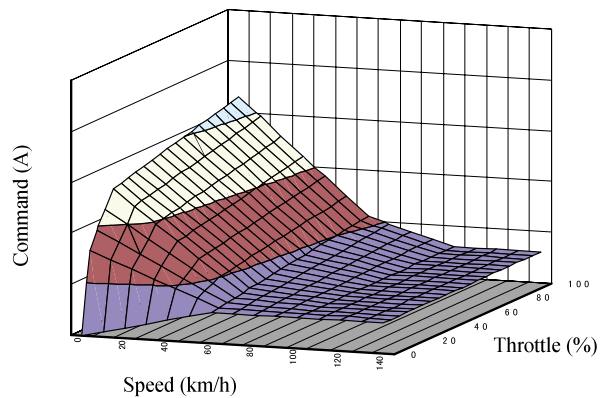


Fig.16 Feedforward Map (Example)

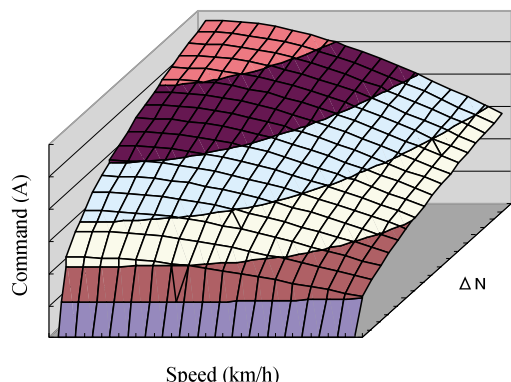


Fig.17 Feedback Map (Example)

目標リヤ伝達トルクは、スロットル開度 (TVO) と従動輪車速 (VSP) に基づき決定されるプリトルク (Fig.16) と、前後輪回転差 (N) に応じて決定される補正トルク (Fig.17) の合計トルクである。この目標指令トルクは、刻々と変化する路面状態・運転条件下では常に変化しているが、4WD-ECU内でその時々々の運転状態に最適なプリトルクと補正トルクのデータデータへの最適化処理をし、滑らかな制御指令トルクに変換することで、穏やかな車両挙動変化を実現している。このことにより「雪道で安心して走行できる4WD制御」を実現することができた。

この4WDシステムによって得られる効果は以下の通りである。

#### 【滑りやすい雪道での安定した発進 / 登坂性能】

路面 $\mu$ が一定でない状態においても、安定した発進及び登坂性能を実現することを目指し、前輪スリップを抑えた制御ロジック及びキャリブレーションとした。スタッドレスタイヤ装着状態であれば、25%勾配の雪道登坂路を安定して発進できる高い4WD性能を実現することができた。

#### 【あらゆる路面を安心して走行可能な操縦安定性能】

4WDミニバンとして、フル乗車・積車状態でも滑りやすい雪道及びウエットな高速道路を安心して走れる操縦安定性能を実現すると同時に、乾燥した舗装路でも不快な振動騒音がなく、安定した走行が可能となるようスロットル開度と4輪車輪速信号に基づき車両の旋回 / 直進状態を検知し、走行状態に応じた最適なりや伝達トルクに制御している。これらにより、あらゆる路面において安心して快適な走行を実現した。

#### 【燃費改善】

雪のない郊外路や高速道路で車両が安定定常走行している状態では後輪伝達トルクを必要最小限まで制限し、実用燃費の向上を図った。特にMZR 2.3Lモデルでは市街地での走行でも実用燃費低減効果を狙った制御マップとしている。しかし、一旦加減速などでわずかでも車輪がスリップすると、瞬時に必要十分なりや伝達トルクに復帰させる制御とすることで実用燃費と4WD性能 / 操縦安定性の両立を実現した。

## 6. おわりに

新型MPV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、非常に高い目標を達成した上で、高品質 / 高性能の商品に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。

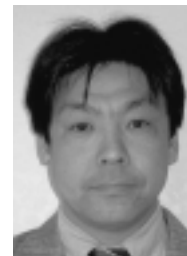
### 著者



青木 基



末国栄之介



室谷満幸



藤川朋久



藤原卓治



佐々木和夫



河野裕人