

論文・解説

24

BT-50用新型エンジンMZR-CD 2.5/3.0の開発 Development of MZR-CD 2.5/3.0 Engine for BT-50

松 江 浩 太*¹ 石 原 力*² 岡 田 雄 三*³
 Kota Matsue Chikara Ishihara Yuzo Okada
 加 藤 修*⁴ 秀 衡 佳 裕*⁵ 池 添 明*⁶
 Osamu Kato Yoshihiro Hidehira Akira Ikezoe

要 約

オートアライアンスタイランド(AAT)で生産する新型ピックアップトラック“BT-50”に搭載するMZR-CD 2.5L(WL)3.0L(WE)エンジンは、ピックアップトラック専用エンジンとして新規に開発した直列4気筒直接噴射式(DI)コモンレール・ターボエンジンであり、2006年5月よりタイをはじめとして世界130カ国以上で販売を開始した。

“振り向いて荷台を見ない限りトラックとは思えないZoom-Zoomな心地よい走り”という車両コンセプトのもと、東南アジア生産・調達を前提として、高い信頼性の確保はもちろんのこと、世界の様々な環境や規制へ対応して、高出力/高トルク、低燃費、低騒音を実現した。特にフィーリングを重視した開発を行い、世界中のお客様に車の楽しさを体感していただけるエンジンとなっている。

Summary

The New engine MZR-CD 2.5/3.0 is designed for BT-50 made by AAT to introduce all over the world except North America and Japan from 2006/05 is inline 4 Diesel engine with Common rail type fuel injection system and Variable geometry Turbo charger. The concept of this vehicle is “The commercial vehicle but feel like Passenger car with Zoom-Zoom performance if drivers wouldn't look back to the bed.” So development team did many discussions and test to make sure suitability for several environment, regulations and reliability. And make customers feel pleasure with Zoom-Zoom feeling.

1. はじめに

MZR-CD 2.5/3.0は、動力性能の高さを売りとしたWLT(2.5L IDI)エンジンの後継機として、2006年3月よりAATで生産を開始した1トンピックアップトラック専用エンジンである。“振り向いて荷台を見ない限りトラックとは思えないZoom-Zoomな心地よい走り”という車両コンセプトに基づき、エンジンとしては次の3つをキーワードとして、開発を行った。

1.1 High Performance

- (1) 低回転から高回転までBest in Class(BIC)の高い出力/トルクを実現する。その手段には、コモンレール式燃料噴射装置を備えた4バルブDIと可変ジオメトリター

ボ(VGT)を使用した燃焼の最適化に加え、シリンダヘッドやブロックなどのエンジン本体系を強化して、筒内許容最高圧力の引き上げを図る。また、更なるHigh Performance仕様として、排気量を拡大した3L仕様を追加する。

- (2) ピックアップトラックでZoom-Zoomな走りを実現するため、実際の加速性能はもちろんのこと、レスポンスなどのフィーリングを重視したチューニングを行い、心地よさを実現する。

1.2 Clean & Economy

- (1) 最新の排出ガス(EM)規制である欧州Stage4に適合するクリーン性能を達成する。燃焼室形状や吸気ポートの最適化に加え、可変スワールやVGTの追加、EGRの

*1, 2 エンジン設計部
Engine Engineering Dept.

*3 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.

*4~6 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

制御方式変更などで、高精度な吸気量/EGR量管理による燃焼最適化とばらつき低減を図る。

- (2) 競争力のある燃費性能を実現する。DI化を中心とした燃焼効率の改善に加え、エンジンフリクションの低減やドライブトレインのギア比見直しにより、総合的に燃費向上を行う。

1.3 Quietness

- (1) 乗用車の静かさをピックアップで実現する。ブロック剛性を見直しや遮音の追加による“徹底した”エンジン放射音の低減を行う。
- (2) コモンレール式燃料噴射システムを生かして多段噴射による燃焼音の低減を行うとともに、つながり感を感じられるリニアなチューニングを行う。

以上の3つのキーワードで開発したMZR-CD 2.5/3.0エンジンの諸元をTable 1に、外観・特徴をFig.1, 2, 出力特性をFig.3に示す。

Table 1 Specification of MZR-CD 2.5/3.0

		Present model	MZR-CD	
		WLTC	2.5	3.0
Displacement (cc)		2499	2499	2953
Bore x Stroke (mm)		93 x 92	93 x 92	96 x 102
Max Power(kW/rpm)		82/3500	105/3500	115/3200
Max Torque(Nm/rpm)		270/2000	330/1800	380/1800
Combustion type		In-Direct Injection	Direct Injection	←
Compression Ratio		19.8	18	←
Valve driving system		SOHC Gear&Belt-driven 12Valves	DOHC Gear&Belt-driven	←
Valve Timing	IN	Open BTDC	10	←
		Close ABDC	24	←
	EX	Open BBDC	61	←
		Close ATDC	9	←
Valve lift (mm)		IN 8 EX 10	IN 10.5 EX 10.4	←
Port Layout		←	Parallel port	←
Intake System		←	Variable Swirl	←
Fuel Injection Type		Elec.VE Pump (Bosch COVEC-F)	Common Rail (Bosch CRS2.1)	←
Injection Pressure		←	160MPa	←
Super charging system		Mixed Flow Turbo (IHI RHF5)	Variable Geometry Turbo with I/C (IHI RHF4V)	←
Inter cooler		with	←	←
Balancer-shaft		with	←	←
EGR System		Elec. EGR	←	←
		Cooled EGR	High Efficiency Cooled EGR	←



Fig.1 Outer View of MZR-CD 2.5/3.0

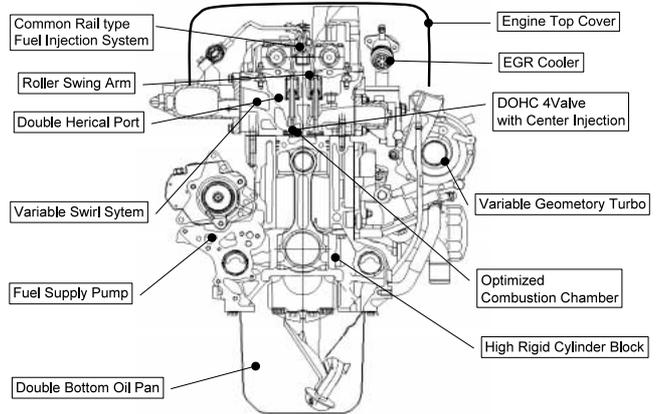


Fig.2 Features of MZR-CD 2.5/3.0

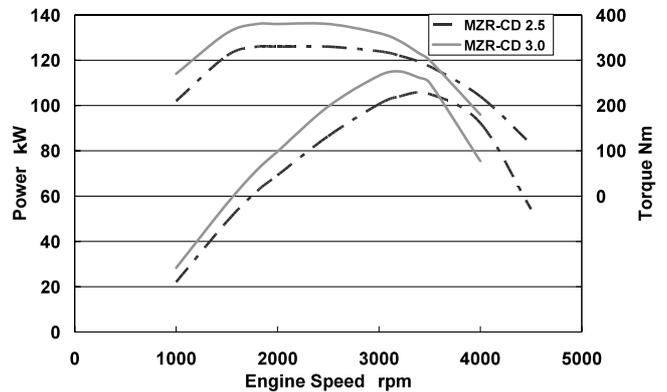


Fig.3 Performance Curve

2. エンジン本体の特徴

エンジン本体は、従来エンジンであるW9 (2.9L) をベースとして、3つのキーワードに対応するための変更を行った。

2.1 High Performance

許容筒内最高圧力の向上と最大出力向上による熱負荷の増大に対応する信頼性確保の施策を織り込んだ。

(1) ピストン

ピストン材料にはAC8Aをベースに耐熱強度をアップさせた高耐熱強度アルミニウム材料を採用した。各部の応力緩和のために、ベース機種のピストンに対して圧縮高さやピストンピン径の拡大、ピン穴のテーパ形状化を行っている。更にピン穴部の耐焼付き性向上のために冷却空洞からのオイル供給穴を追加している。スカート部の耐スカッフ性向上のために、最適プロフィールの設定と、二硫化モリブデン樹脂コートを塗布している。また、オイル消費抑制のためCAE解析と実機評価からセカンド、サードランド高さバランス及びスカート下端プロフィール形状の最適化を行っている。概略形状をFig.4に示す。

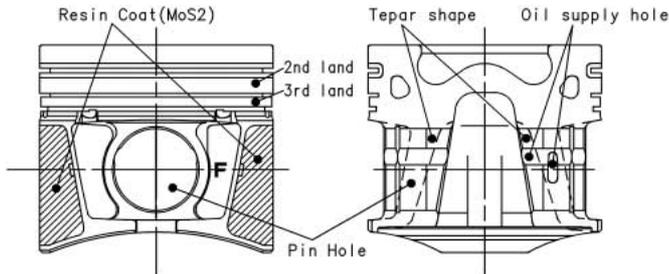


Fig.4 Piston Specification

(2) シリンダヘッド

高サイクル、低サイクル疲労・クリープなどを考慮した弾塑性熱応力解析を実施し、各部の肉厚や構造の最適化を行った。Fig.5に解析例を示す。

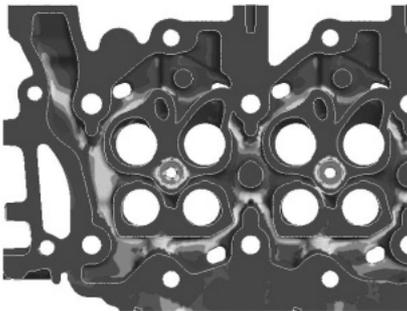


Fig.5 FEM Analysis of Cylinder Head

2.2 Clean & Economy

エンジンフリクションの低減と燃焼改善のため、以下の策を織り込んだ。

(1) ローラシングアーム

エンジンフリクションの低減のため、動弁系にローラシングアームを採用した。これにより、機械損失を低減し、燃費改善・出力向上を実現している。概略構造をFig.6に示す。

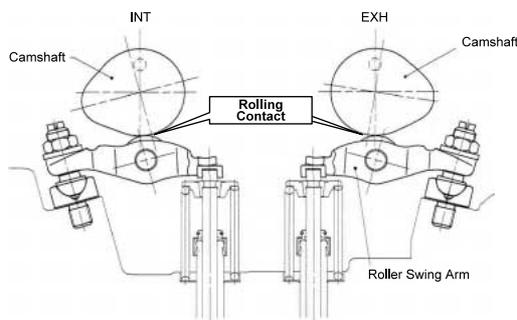


Fig.6 Roller Swing Arm

(2) ダブルヘリカルポート

燃焼改善策として、吸入空気量の増量とスワールの最適化を目的に、シリンダヘッドのインテークポートは異なるスワール比のダブルヘリカルポートとした。低スワールポート側にはスワールコントロールバルブを採用し、運転領域に応じて最適なスワールを発生させている。

2.3 Quietness

高燃焼圧化によるエンジンの振動騒音の悪化を抑制するため、CAE解析により主要な音源部位を特定し、その部位の剛性の向上や遮音の追加を行った。

(1) 高剛性シリンダブロック

高燃焼圧化によりシリンダブロックの変形が増大する。これに対し、シリンダブロックのオイルパン取付けレール部を厚肉化して剛性を向上させることで、シリンダブロック及びオイルパンの変形を抑制し、振動を低減している。

(2) 二重底オイルパン

エンジン下面（オイルパン）からの放射音を低減するために、オイルパン内部下面に鉄板プレートを溶接し二重底構造にしている。この構造により、オイルパン及び油面の振動を抑制することで放射音の低減を図っている。音圧レベル低減効果をFig.7に示す。

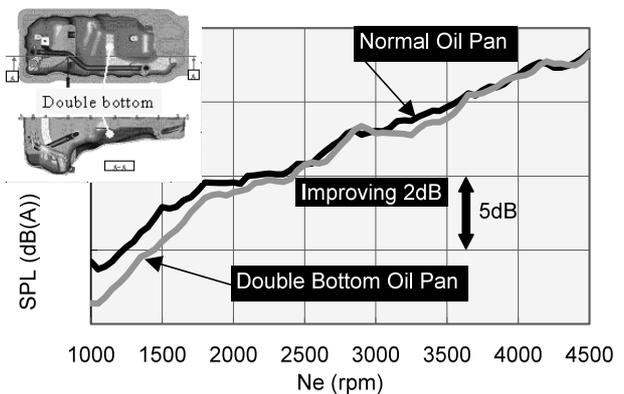


Fig.7 Sound Pressure Level of Double Bottom Oil Pan

(3) エンジントップカバー

エンジンルームデザインとエンジン上面からの放射音低減のため、エンジン上面に樹脂製のカバーを採用した。このエンジントップカバー裏面には吸音効果のあるマット材を装着し、コモンレールにより高圧化した燃料噴射の騒音やディーゼルノックに代表される燃焼騒音の更なる低減を図っている。低減効果をFig.8に示す。

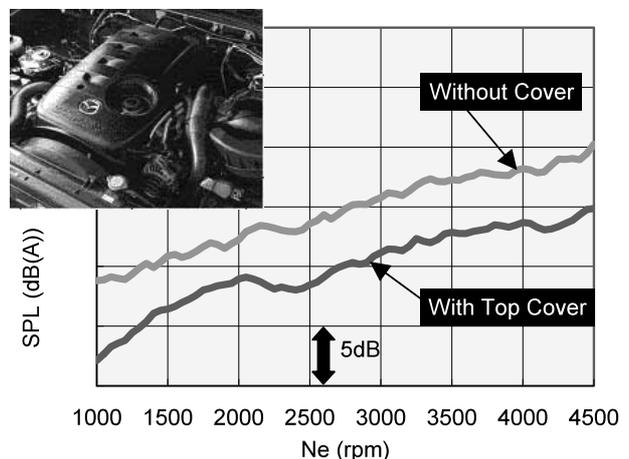


Fig.8 Sound Pressure Level of Engine Top Cover

(4) 遮音部品

エンジン前・側面からの放射音低減のためにエンジンの右側面とエンジンフロント面に吸音効果のあるグラスウールでできた遮音材を設定している。また、クランクプリー前面からの放射音低減のために、ウレタンを装着したラバー製カバーでクランクプリー中央穴部を閉塞している。一例としてクランクプリーカバーの低減効果をFig.9に示す。

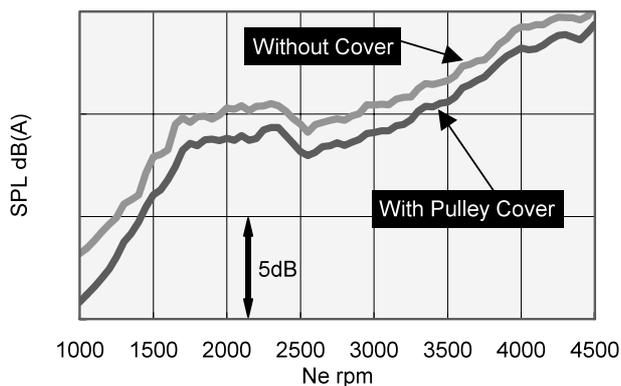


Fig.9 Effect of Crank Pulley Cover

3. 燃焼・制御系の特徴

3.1 High Performance

燃料噴射システムにはBosch製第2世代コモンレールシステムCRS2.1を採用した。サプライポンプはCP3.2+を使用し、最高燃料噴射圧力は160MPaである。インジェクタには、一行程で最高3回の多段噴射が可能な電磁ソレノイド式のCRI2.1を使用し、安定した微少噴射を可能にしている。過給機にはMZR-CD2.0エンジンでも実績のあるIHI製可変ジオメトリターボを採用し、低回転から効率的な過給を実現した。これらの組み合わせにより、低スモーク燃焼を実現し、クラストップレベルの高出力/高トルクを実現している。

3.2 Clean

Fig.10にEMシステム図を示す。大別すると、主に①PM・CO低減のデバイスと②NOx低減のためのデバイスで構成される。前者は、コモンレールシステム、スワールコントロールバルブ、酸化キャタリストで構成され、燃焼の改善と後処理による大幅なPM・COの低減を実現した。後者には、吸入空気量フィードバック式EGRシステム(高効率EGRクーラ, EGRバルブと吸気シャッターバルブ)を採用し、可変ジオメトリターボ(VGT)との協調制御により、高精度な吸入空気量とEGR量のコントロールを行っている。

これらのシステムにより、ディーゼルパティキュレートフィルタなしで最新の欧州Stage4規制に適合する低EM化を実現している。

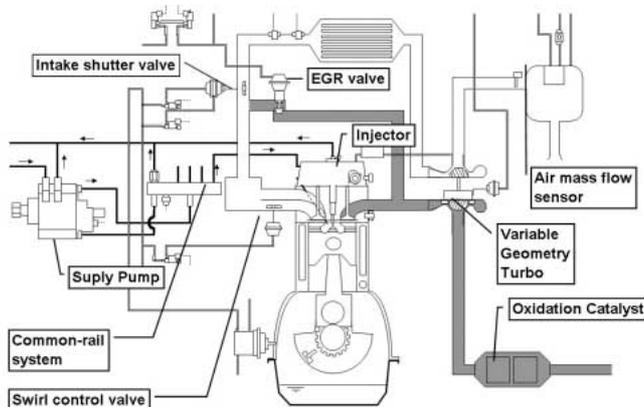


Fig.10 Emission Control System

また、BT-50を販売する130カ国以上の様々な要件に対応するため、MZR-CD 2.5/3.0ではFig.10のシステムを基本形として、各仕向け国のEM規制や燃料性状に合わせて最適なデバイスをセレクトする“モジュールシステム”を採用している。その組み合わせパターンをTable 2に示す。

Table 2 Emission Control for Each Regulation

EM Device	Emission Regulation			
	Stage4	Stage3	Stage2	Stage1
PCM Calibration	Type A	Type B	Type B	Type C
Swirl Control Valve	C	None	None	None
EGR Valve	C	C	C	None
EGR Cooler	High Efficiency	Standard	Standard	None
Intake Shutter Valve	C	None(2.5) C (3.0)	None(2.5) C (3.0)	None
After Treatment	Oxidation Catalyst	Oxidation Catalyst	None	None

C:Controlled

3.3 車両コンセプト実現に向けたセッティング

High Performance/Clean & Economy/Quietnessを両立し、車両コンセプトを実現するには、最大出力/トルク/EMとノック音やドライバビリティを両立させることが、ポイントであった。このため、本開発ではセッティング段階で、基本セッティングと官能チューニングの2つのステップにわけて進めた。

(1) 基本セッティング

Model Based Calibration (MBC) を活用し、パイロット段数/噴射量/インターバル/吸入空気量/燃料噴射タイミングなどの制御パラメータを説明変数として、実験計画法にて各物理量を解析、その後モデリングを実施した。Fig.11に各制御パラメータとNOx、ノック音の代用特性であるCPL (Cylinder Pressure Level) の関係を示している。このモデルの結果をもとにCPLの目標を制約条件として、パイロット噴射量や段数、パイロットインターバルなどのパラメータを検討し、EMとCPLという観点から制御パラメータの最適化を実施した。

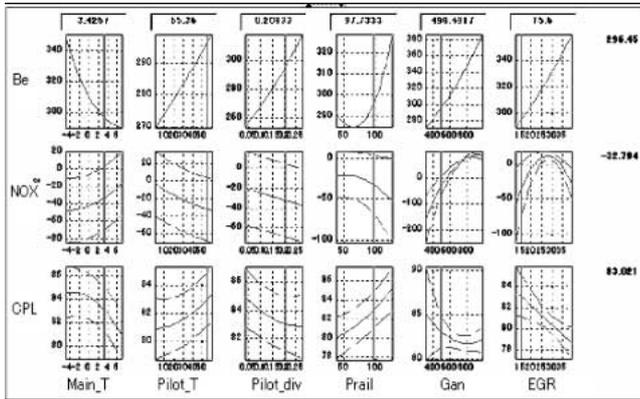


Fig.11 Parameter Optimization

(2) 官能チューニング

基本セッティングの結果を基に、実際に運転者が感じるフィーリングに合わせて官能チューニングを実施した。走り方・走行シーンに応じて、パイロット噴射の回数の異なる3種の噴射パターンやEGR量のチューニングを行い、ノック音とEM・ドライバビリティという“相反する性能”を両立した。

3.4 チューニング結果

官能チューニング実施後の結果を以下に示す。

(1) High Performance

“Zoom-Zoom Pick up Truck”としての走行性能面のポイントは“レスポンス”と“加速性向上”である。

レスポンスとしては“アクセルONに対する加速度(G)の立ち上がりのよさ”として、立ち上がりまでの時間や実際にGを感じたときの官能的なフィーリングに着目して育成を行った。結果としてFig.12に示すように、加速ショック及びブスモーク性能も満足した上で、前モデル・競合他車を上回る“気持ちのよい”レスポンスを実現している。

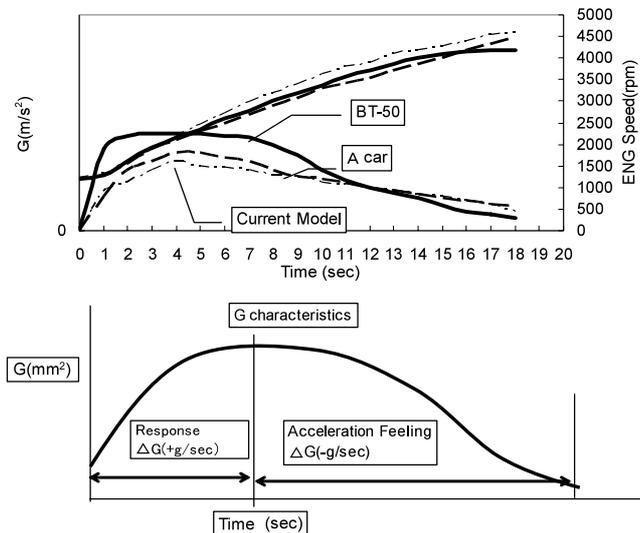


Fig.12 Characteristics of Response at Accel. Phase

一方、加速性の指標である全開加速性能も、競合他車を上回るZoom-Zoomな性能を実現している (Fig.13)

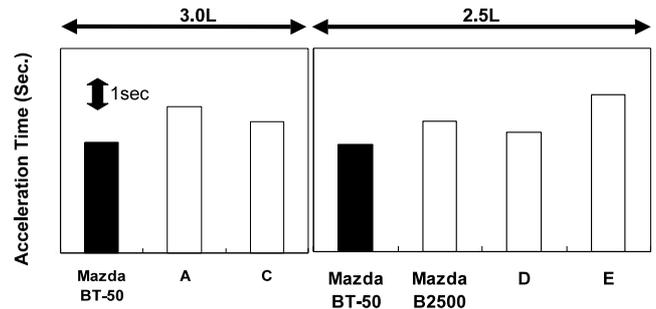


Fig.13 Acceleration Performance (3rd:60-80km/h)

(2) Economy

燃費性能はEMやノック音がBICレベルでありながら、現行車以上で他銘柄車とも競合力がある燃費を確保している (Fig.14)

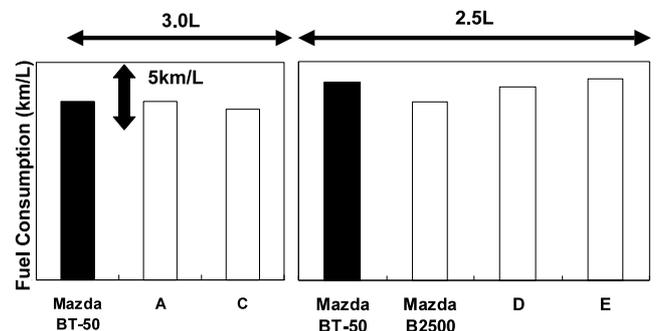


Fig.14 Characteristics of Fuel Consumption (Constant:90km/h)

(3) Quietness

Fig.15は軽負荷時のパイロット噴射回数によるエンジン音圧レベル (SPL : Sound Pressure Level) の変化である。燃焼行程において2パイロット噴射の採用により、SPLの大幅な改善が可能である。

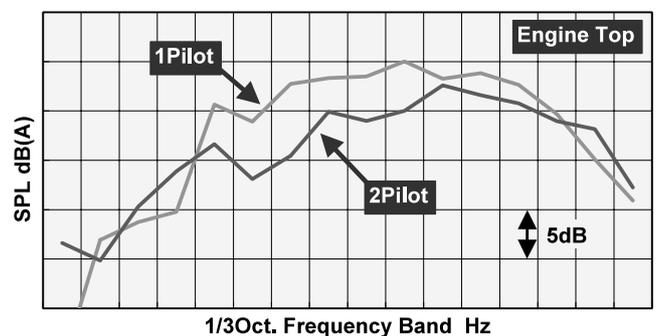


Fig.15 Improvement of Knocking Noise

このようにパイロット噴射の回数等のチューニングを実施した結果をFig.16のように、低回転から高回転までほぼ全回転数領域で、競合車に対してアドバンテージを得ている。また、エンジン回転数に対しても、リニアでフィーリングのよい特性が作りこめている。

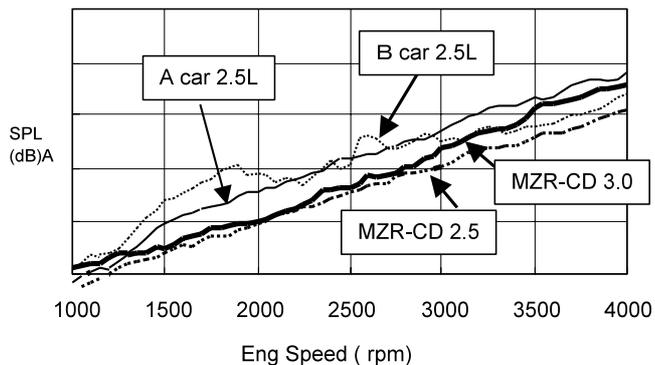


Fig.16 Sound Pressure Level at No Load Racing

4. 結 論

- (1) BT-50用として、新エンジンMZR-CD 2.5/3.0を開発し、2006年5月のタイをはじめとして販売を開始した。
- (2) 新エンジンはBICのパフォーマンス・静粛性と欧州Stage4のEM規制に適合するクリーンな性能の両立を実現した。
- (3) 特にフィーリングを重視して開発を行い、車両コンセプトを実現するエンジンとすることができた。

著 者



松江浩太



石原 力



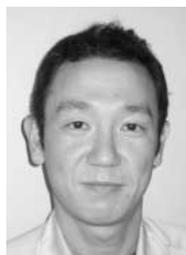
岡田雄三



加藤 修



秀衡佳裕



池添 明