

## ISUZU D-MAX・MU-X搭載

### 2.2L RZ4Fディーゼルエンジンについて

2.2L RZ4F Diesel Engine for New ISUZU D-MAX and MU-X

清水 祐多\*  
Yuuta Shimizu

藤原 智洋\*  
Tomohiro Fujiwara

渡邊 正人\*\*  
Masato Watanabe

原 正敏\*\*  
Masatoshi Hara

山澤 昌之\*\*  
Masayuki Yamazawa

鎌田 剛史\*\*\*  
Tsuyoshi Kamada

平野 秀一\*\*\*  
Shuuichi Hirano

関根 元輝\*\*\*  
Genki Sekine

木村 治毅\*\*\*\*  
Haruki Kimura

木村 優介\*  
Yuusuke Kimura

#### 要 旨

いすゞは、新開発の2.2Lディーゼルエンジン「RZ4F」と8速オートマチックトランスミッションを搭載した1トン積みピックアップトラック「ISUZU D-MAX」及び7人乗りSUV「ISUZU MU-X」の新モデルを、2024年11月20日にタイで発表し、同月28日より同国内で販売を開始した。本稿では、RZ4Fエンジンの特徴及び採用技術の概要について述べる。

#### Abstract

ISUZU unveiled new models of the 1-ton pickup truck "ISUZU D-MAX" and the 7-seater SUV "ISUZU MU-X," equipped with the newly developed 2.2L diesel engine "RZ4F" and an 8-speed automatic transmission, in Thailand on November 20, 2024, and began sales in the country on November 28. This paper describes the features of the RZ4F engine and the outline of the technology adopted.

#### 1 はじめに

ISUZU D-MAX及びMU-Xは、力強いデザイン、優れた悪路走破性、そしてディーゼルエンジンによる高い燃費性能により、グローバル市場で高い評価を得てきた。一方で、自動車業界は現在、地球環境問題への対応としてカーボンニュートラル社会実現に向けた大きな転換点にあり、内燃機関にもより一層の環境性能と高効率化が求められている。

本開発では、こうした時代の要請に応えるべく、高効率かつ高出力を両立した2.2L新型ディーゼルエンジン「RZ4F」(図1)を開発し、8速ATとの組み合わせによりISUZU D-MAX・MU-X(以下、「D-MAX・MU-X」)(図2)に搭載した。本エンジンは、従前モデルを大きく上回る発進加速性能と燃費性能を実現し、高い商品性を損なうことなく、CO<sub>2</sub>削減を通じたカーボンニュートラル社会を実現するパワートレインとして仕上がっている。

本稿では、RZ4Fエンジンの開発経緯と主要技術について紹介する。



図1 RZ4Fエンジンの外観



図2 ISUZU D-MAX・MU-X

\*PT 商品企画・設計第二部

\*\*PT 実験第一部

\*\*\*PT 実験第二部

\*\*\*\* エンジン装置設計部

## 2 開発の狙い

D-MAX・MU-X搭載RZ4Fエンジンは高い商品力の確保を目指し、次の項目に注力した。

- ① 高出力・高トルク化
- ② 発進加速性能の向上
- ③ 低燃費
- ④ 信頼性確保

### 2.1 主要諸元

新開発2.2 Lディーゼルエンジンと従前モデルの比較諸元を表1に、性能線図を図3に示す。

表1 エンジン諸元

気筒配列	新型 RZ4F	従前型 RZ4E
	直列4気筒ディーゼル	
総排気量 (cc)	2,164	1,898
内径 x 行程 (mm)	83.0 x 100.0	80.0 x 94.4
出力/トルク (kW/Nm)	120 / 400	110 / 350
圧縮比	15.9	
ピストン	アルミ(新燃焼室)	アルミ
シリンダブロック	浅底ウオータジャケット	深底ウオータジャケット
シリンダヘッド	アルミ(新冷却回路)	アルミ
動弁システム	DOHC <sup>*1</sup>	
フライホイール	大径シングルマスフライホイール	シングルマスフライホイール
過給システム	新型電制VGSターボ	電制VGSターボ
燃料噴射システム	コモンレール式	
EGRシステム	U-フロー式 COOLER 負圧式バイパスバルブ ポペット式EGRバルブ	I-フロー式 COOLER 負圧式バイパスバルブ ポペット式EGRバルブ
インテークマニホールド	低圧損 樹脂製インマニ	VSS <sup>*2</sup> 付アルミ製インマニ
後処理システム	DOC + CSF	
対応排出ガス法規	Euro5	

\*1 DOHC (Double Overhead Camshaft)  
\*2 VSS (Variable Swirl control System)

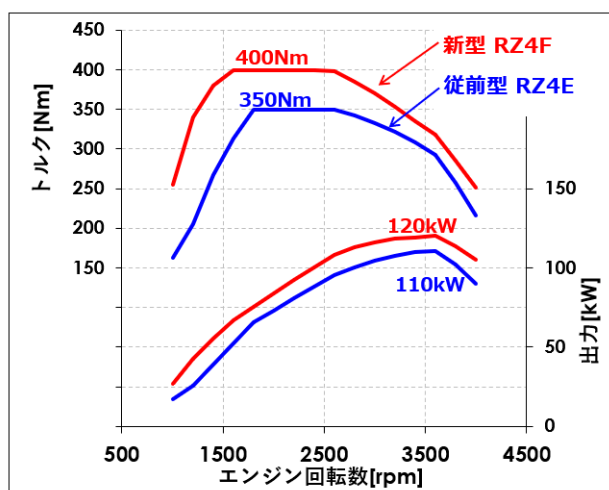


図3 性能線図

ピックアップトラックには、積載時でも粘り強く高い動力性能を発揮することが求められており、特に高出力仕様へのニーズが高い。こうした市場要求に応えるため、本エンジンでは、120kW/400Nmへの高出力・高トルク化を図った。

更に、発進加速性能と燃費の両立を目指し、MBD(モデルベース開発: Model Based Development)を活用して排気量最適化を行い、2.2Lとした。ボアピッチは従前と共通化し、車両パッケージへの影響を最小限に抑えている。

高出力化に伴う課題(燃費・騒音・耐久性)に対しては、燃焼最適化、運動系部品の強化、冷却系部品の改良などで対応し、優れたBMEP(正味平均有効圧: Brake Mean Effective Pressure)と耐久性を両立した。また、Pmax(最高筒内圧)及び、慣性力増大に起因する騒音についても、次期加速走行騒音規制(UN R51.03 Phase3)にも対応可能な設計とした。

排出ガス後処理は、将来の高次排出ガス規制を見越した拡張性のあるレイアウト構成とし、各国の規制に対応可能なシステムとした。

これらの開発により、従前型1.9Lモデルを大きく上回る発進加速性と出力を実現し、業界トップクラスのパワフルな新型エンジンを実現した。

### 2.2 最適排気量の検討

世界各国で排出ガス規制の高度化が進む中、排出ガスの評価モードは、従前のNEDC(New European Driving Cycle)から、より実走行に近いWLTC(Worldwide-harmonized Light Vehicles Test Cycle)へと移行が進んでいる。更に、Euro 6d以降の規制では、RDE(Real Driving Emissions)による実路走行時の排出ガス評価が追加され、排出ガス試験環境は大きく変化している。こうした動向に対応しつつ、車両に求められる動力性能とのバランスを図るため、本開発ではMBDを用いて最適な排気量を検討した。

図4にWLTCモード・120kW仕様における燃費/CO<sub>2</sub>シミュレーション結果を示す。各排気量でCO<sub>2</sub>排出量が最小となるようファイナルギヤ比を最適化した結果、2.2L仕様が最も優れた燃費性能を示した。

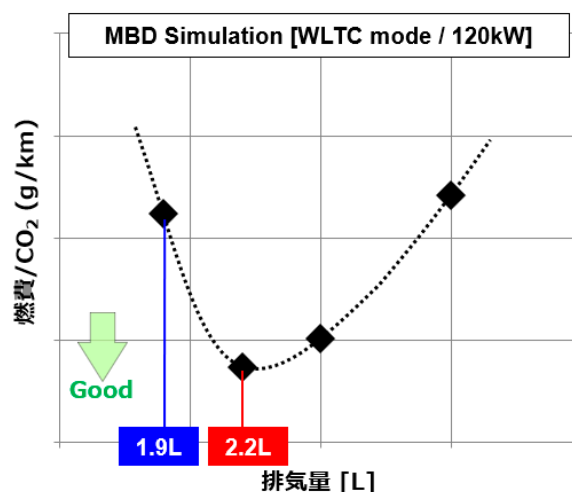


図4 最適排気量シミュレーション結果:燃費

図5に動力性能のシミュレーション結果を示す。排気量の増加により動力性能は向上する傾向があり、従前型1.9L仕様と比較して、2.2L仕様は平地・高地の双方で性能向上を確認した。

以上より、燃費と動力性能の両面で最もバランスの取れた仕様として、2.2Lを最適排気量に設定した。

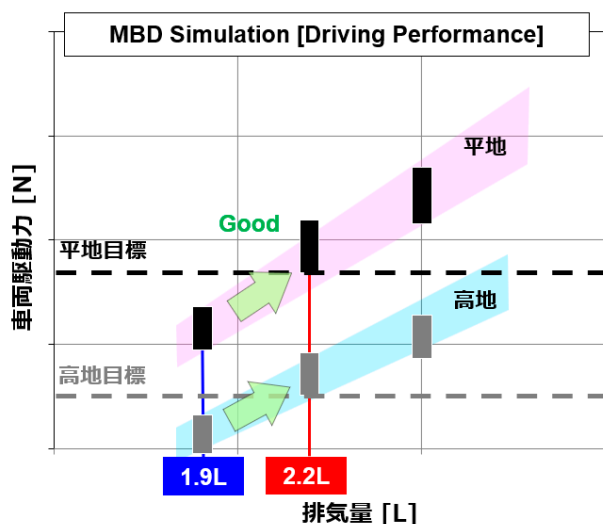


図5 最適排気量シミュレーション結果：動力性能

### 3 注力技術概要

#### 3.1 高出力・高トルク化

本エンジンでは、積載・登坂などの高負荷条件下でも安定した動力性能を確保するため、出力及びトルクの向上を図った。

具体的には、Pmaxと排気量を従前比で増加させ、燃焼及び過給系の仕様を最適化した(図6)。これにより、全回転域にわたって高いトルク特性を実現し、従前モデルを上回る出力性能を達成した。

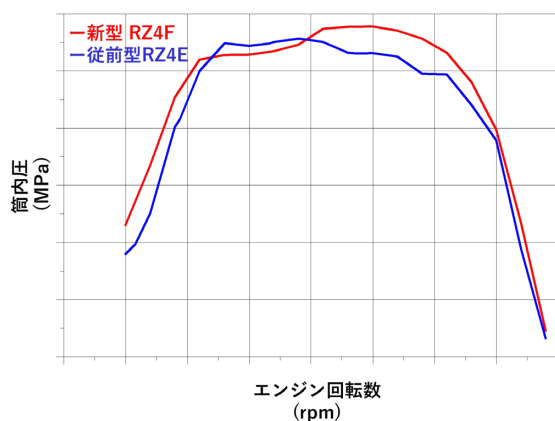


図6 最高筒内圧 (Pmax)

#### 3.2 発進加速性(エアマネージメント改良)

従前車及び競合車を上回る発進加速性能を実現する

ため、過給応答の改善、吸気損失の低減、並びに評価手法の見直しを実施した。

まず、ターボチャージャには翼車径の拡大と内部ベアリングの低フリクション化を施すとともに、新規開発VGS(可変ジオメトリーシステム：Variable Geometry System)と高精度制御が可能なCAN(Controller Area Network)通信対応のE-ACT(Electric Actuator)を採用した(図7)。これにより、低回転域での過給応答を大幅に改善した。

加えて、インテークマニホールドは軽量化を目的に樹脂化し、圧損低減のために形状を最適化し空気供給効率を向上させた(図8)。

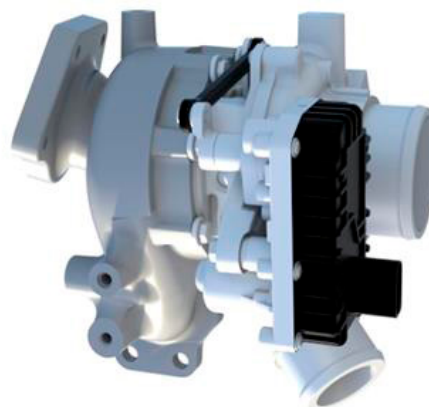


図7 新型ターボチャージャ

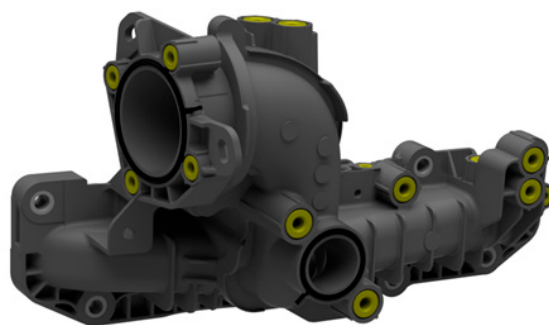


図8 樹脂インテークマニホールド

次に、発進加速性能に関する車両性能目標値の明確化と評価手法の再構築を行った。従前は官能評価が主体であり、定量的な比較をもとにした、設計フィードバックが困難であった。そこで、過去のプロジェクト及びベンチマーク結果をもとに、発進加速性能に寄与する特性値を定義・定量化し、車両性能目標として設定した。更に、これらの性能目標を単体エンジンベンチで評価可能な代用特性値に変換することで、車両非搭載状態でも発進加速性能の検証を可能とした。これにより、車両搭載前においてもキャリブレーションの最適化及びハード仕様の影響評価を迅速に行える手法を構築した。

これらの取り組みにより、従前車及び競合車を上回る発進加速性能を実現した(図9)。

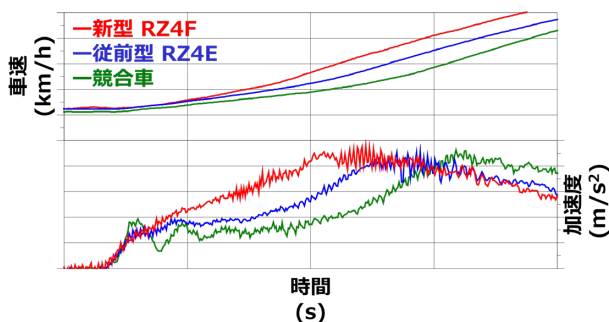


図9 発進加速性能

### 3.3 低燃費

燃費性能の向上を図るために、燃焼の最適化と低速トルクアップによるファイナルギヤ比のハイギヤード化を実施した。

燃焼の最適化は、燃焼解析に基づき、ピストン燃焼室形状とインジェクタ仕様を最適に選定することで達成した。ピストン燃焼室形状は、従前型に近い形状と、燃焼室口元径を拡大しリップ形状を縮小して改善を図った新形状を検討した(図10)。

- 従前型 RZ4E
- - - 新型 RZ4F リップ改善前
- 新型 RZ4F リップ改善後



図10 ピストン燃焼室形状

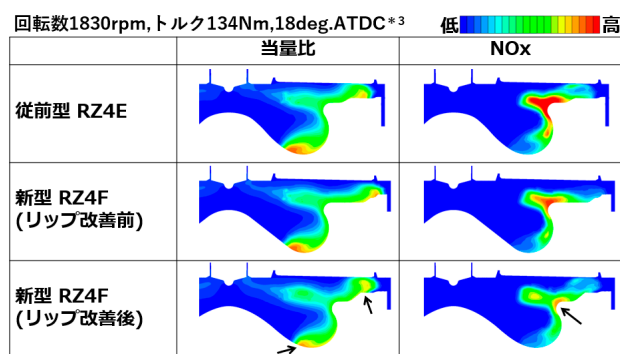
インジェクタは、最適な噴口数と噴孔径を選定し、微少多段噴射を用いた噴射制御の適正化を行った。更に指示噴射量と実噴射量との乖離(かいり)を適宜学習しフィードバック補正することで、燃焼効率・排出ガス性能・燃焼音のバランス化及び車両寿命を通じて安定した性能を実現した。

図11に選定した燃焼室とインジェクタでの燃焼解析結果を示す。リップ形状を改善することにより、燃焼室側とスキッシュ側双方に燃料が拡散しやすくなり、従前型比当量比とNOxが改善していることが分かる。これにより排出ガスを抑えつつ低燃費化が実現できている。

ハイギヤード化は排気量アップと新型ターボ採用により不足する低速トルクを補うことで、同車速を低回転で得られ、燃費向上が可能となった。新型ターボはエンジン低回転における過給圧上昇の応答性に優れているが、背反としてターボVG(可変ジオメトリー: Variable Geometry)のベーン閉じ側制御では、タービン入口圧が増加しやすく、ポンピングロス悪化によって、燃費悪化を招くおそれがある。そのため、ハイギ

ヤード化を成立させるには、過渡トルクの制御が重要となる。本開発過程において、過給圧上昇時におけるベーン開度を負荷に応じてきめ細かく制御することで、ポンピングロスの増大を防ぎ、過渡トルクの改善を図った(図12)。これにより、従前型比で低速トルクと過渡トルクの双方を向上させ、ハイギヤード設定が可能となった。

以上により、従前車を上回る高出力化を実現しつつ、主力市場であるタイの2026年税制優遇条件(CO<sub>2</sub>排出量185g/km以下)を全車両で満たす燃費性能を確保した。



\*3 ATDC: 上死点後(After Top Dead Center)

図11 燃焼解析結果

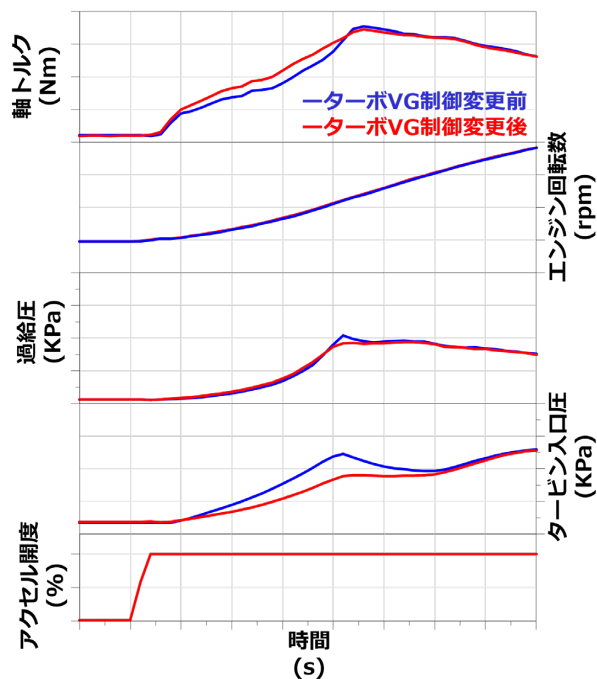


図12 過渡トルク制御

### 3.4 信頼性確保

高出力・高トルク化のためのPmax増加は、耐久・騒音への影響が懸念される。そのため構造部品及び運動系部品、並びに騒音寄与度の高い部品に対して効率的かつ重点的な評価を実施した。

構造・運動系部品の強度検証には、CAE (Computer-Aided Engineering)解析と実機によるひずみ測定との相関を活用し、必要強度を確保しつつ軽量化を図った。騒音寄与度の高い部品に対しては、設計初期段階でCAE解析と1Dシミュレーション(各加振力・構造特性から放射音を予測)<sup>(1)</sup>を組み合わせることでエンジン単体騒音の目標設定とめど立てを実施し、効率的な作り込みを行った。また、ピックアップ用途に即した耐久信頼性の確保を目的として、積み重ねてきたグローバル市場のデータに基づく評価手法を導入し、評価工数を削減しつつ長期耐久性を確保した。

これらの検証・評価により、シリンダブロック及びシリンダヘッドは従前と同等の重量を維持しながら、幅広い使用環境で高い信頼性を備えたエンジンを実現した。

## 4 要素技術

### 4.1 シリンダブロック

シリンダブロックは、燃焼室周辺の熱マネジメント最適化と、生産性向上の両立を図るために、WJ(ウォータージャケット)形状を浅型とした新設計を採用した(図13)。

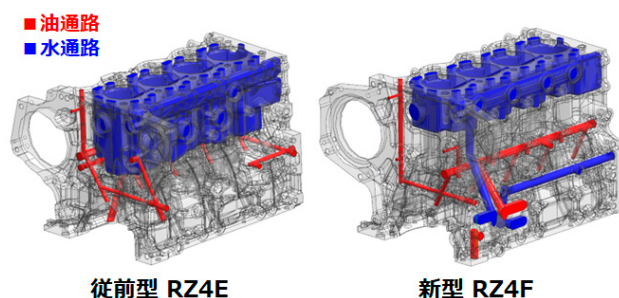


図13 シリンダブロック概要CAE

WJの浅型化により、ボア壁面の上部の温度を抑制しつつ、従来冷えすぎていた下部を適正温度に維持し、ボア全体の温度分布均一化を実現している(図14)。図に示す温度分布結果からも、従前モデル(RZ4E)に比べて上下面の温度差が大幅に縮小し、1stピストンリング付近の最高温度を約30℃低減することが可能となった。

この温度分布の均一化により、燃焼負荷時におけるボアの熱変形(円筒度)を抑制し、ピストンとボア間に生じるフリクションの増加を最小限に抑えている(図15)。その結果、排気量増加によるフリクション悪化の影響を抑制しつつ、効率的な熱マネジメントが可能となった。

また、生産性の面では、WJの浅型化に伴い、鋳造型の構成を簡素化することで、WJ中子とシリンダヘッドへ接続するバイパス通路中子の一体成形が可能となっ

た。これにより、鋳造工程の効率化と製品品質の安定化を両立している。

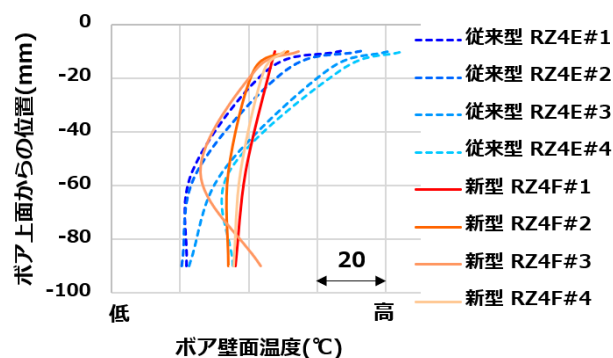


図14 ボア壁面温度(従前型VS新型)

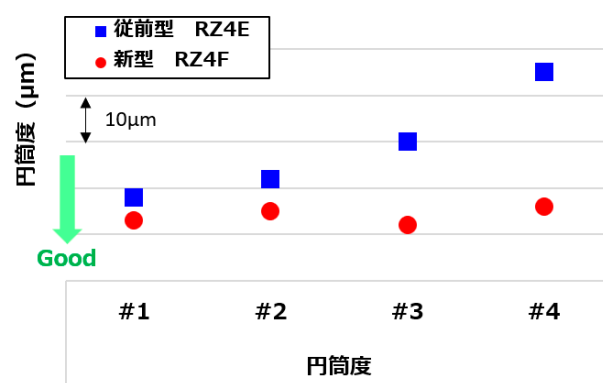


図15 ボア変形量(熱負荷時)

### 4.2 運動系部品

排気量の増加に伴い、運動系部品(ピストン・コンロッド・クランクシャフト・フライホイール)を刷新した。

ピストンについては、燃焼解析により最適な燃焼室形状を選定したうえで、MBDによるピストン最高温度予測解析を実施し、走行条件下での最高温度を見積もった。これにより、性能と耐熱性を両立する設計を確立した。

また、低速域でのPmaxを従前比で高めたことにより、燃焼由来のクランク軸上の回転変動の増加が懸念された。この対策として、クランク系の慣性モーメント(イナーシャ)を最適化し、特にフライホイールの慣性を増加させることで対処した。

その結果、図16に示すように、従前モデルと同等レベルの回転変動特性を維持し、NV(振動・騒音)性能及び運動系部品の信頼耐久性を確保した。

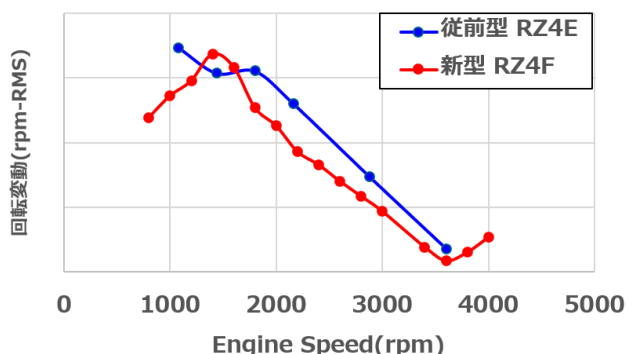


図16 エンジン回転変動

### 4.3 後処理システム

本エンジンは、排出ガス規制Euro 5に適合するために、近接配置型DPD(Diesel Particulate Diffuser)と筒内ポスト噴射を組み合わせたシステム採用した(図17)。併せて、DPD昇温及び再生制御の最適化を実施した。

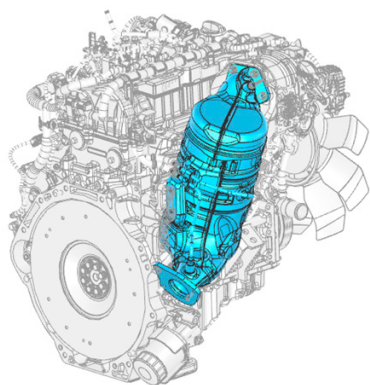


図17 近接配置型DPD搭載位置

用途が広いトラック向けエンジンでは、DPD再生時の排気昇温手段として排気スロットルを用いたポンピングロス制御が用いられる。しかしながら、本エンジンでは、排気スロットルを非搭載としたため、アイドル停車時などの低負荷運転領域において、排気温度の確保が課題であった。

これに対し、ターボチャージャのVG開度とインテークスロットルの協調制御を導入した。具体的には、VGを全閉近傍に制御して意図的にポンピングロスが発生させ、増加する吸入空気量をインテークスロットルで抑えることで、排気温度を適切に維持できるようにした。この協調制御により、アイドル状態でもDPD再生を可能とした。

DPD再生には、走行中に自動的に行われる「自動再生」と、停車状態でユーザーが任意に行う「手動再生」がある。従前は自動再生が不可能な状況が継続すると、車両を停止して、手動再生を行う必要があり、稼働時間停止が課題となっていた。

このような運用上の課題に対しては、モデルベース制御を用いた「再生切り替えシステム」を新たに導入

した。本システムは、DPD内のPM堆積量をモデルで推定し、走行条件及び堆積状況に応じて、自動再生と手動再生を適切に切り替える制御を行っている。これにより、不要な停車再生の抑制とPM(微粒子状物質：Particulate Matter)過捕集によるDPD破損のリスク低減を両立している。

以上の改良により、多様な使用環境・運転条件においても、DPD再生を確実に完了させ、利便性も向上させた排出ガス後処理システムを構築した。

## 5 バリエーション展開とグローバル拡張性

本エンジンは、いすゞのLCV(Light Commercial Vehicle)エンジンポートフォリオにおける中核機種として、モジュール構想に基づき開発された。エンジン基本骨格は共通化しつつ、後処理装置の構成を変更することで、低EUROから高EUROまでの多様な排出ガス規制に対応可能な仕様展開を実現している。

また、グローバル市場への展開を前提とし、寒冷地・高地・熱帯地域など、さまざまな過酷環境下でも、始動性・動力性能・排出ガス性能を安定して確保できるエンジンとして開発された。

更に、商用車で広く用いられる冷凍機用ポンプ及びHEV(ハイブリッド車：Hybrid Electric Vehicle)に対応可能な高容量オルタネータなどの各種補機への対応も考慮し、従前と同等の高い汎用性を維持したレイアウト設計を採用している。

## 6 おわりに

本エンジンの開発にあたっては、自動車業界が大きな変革期を迎える中で、「この時代に新たな内燃機関が本当に必要なのか」という問いと向き合うこととなった。こうした葛藤の中で、多くの関係者から貴重なご意見とご支援をいただきながら、ひとつひとつの課題に真摯に向き合い、開発を進めてきた。

その結果、CO<sub>2</sub>削減を通じたカーボンニュートラル社会の実現に貢献し得る、いすゞの新たなグローバル基幹エンジンを世に送り出す機会を得られたことを、心より深く感謝申し上げます。

本プロジェクトは若手技術者が主体となって取り組んだものであり、彼らの情熱と努力が結実した成果である。このエンジンが世界で活躍し、近い将来、若手技術者たちが誇りを持って「自分たちの内燃機関」と呼べる存在になることを、心から願っている。

### 参考文献

- (1) 山岸 誠弥 ほか：企画段階に適用するディーゼルエンジン放射音予測1D-CAEツールの開発、いすゞ技報 No.132(2020), p.72-78