

エルフミオ搭載RZ4Eエンジン開発

Development of RZ4E Engines for Domestic ELFmio

近藤 壮一郎*

Soichiro Kondo

西内 健**

Takeshi Nishiuchi

辻田 悟**

Satoru Tsujita

小田原 嗣**

Yotsugu Odawara

高倉 裕太郎***

Yutaro Takakura

三津山 元基***

Motoki Mitsuyama

要 旨

日本の物流業界ではトラックドライバーの人手不足及び高齢化が深刻化している中、小口配送の増加等の「ラストワンマイル」の課題解決が急務となっている。運転免許制度も2017年の改定以降、普通免許で運転できる車両は車両総重量3.5t以下となった。

いすゞは、このような物流課題解決の一翼を担うため、小型トラックのエルフシリーズとして、新たにGVW 3.5t未満の車両「エルフミオ」を市場投入した。本稿ではエルフミオ搭載RZ4Eエンジンの特徴及び採用した技術の概要について述べる。

Abstract

In the logistics industry of Japan, the solution of the problem of "last one mile" such as the increase of the small-lot delivery becomes urgent, while manpower shortage and aging of truck drivers become serious. The license system also became 3.5 t or less in gross vehicle weight for vehicles which can be driven by the ordinary license after the revision in 2017.

To shoulder a part of such physical distribution problem solution, ISUZU put "ELFmio" on the market as a vehicle of GVW 3.5 t or less as ELF series of small trucks. This paper describes the features of the RZ4E engine with ELF Mio and the outline of the technology adopted.

1 はじめに

日本の物流業界ではトラックドライバーの人手不足及び高齢化が深刻化している中、時間外労働の上限が課されたことで、ドライバーの労働力不足が一段と加速している。その一方でeコマース(電子商取引)の普及などによって宅配貨物をはじめとした小口配送の取り扱い量は年々増加しており、これらは「ラストワンマイル」の課題として対応が急務となっている。

更に運転免許制度に目を向けると、2017年の改定以降、普通免許で運転できる車両区分はGVW(車両総重量)3.5t未満の車両(図1)となっていることに加え、AT限定免許取得者は増加を続け約3割を超えてきており(図2)、配送業者様で所有しているGVW3.5t超え車両を扱えない人口が増加している。

いすゞは、このような物流課題解決の一翼を担うため、小型トラックのエルフシリーズとして、新たにGVW 3.5 t未満の車両「エルフミオ」を市場投入した。AT限定普通免許で運転できることはもちろんのこと、老若男女問わず扱いやすく、誰もが安心して運転できる『だれでもトラック』を商品コンセプトとして掲げ、2024年7月より販売を開始した。

GVW3.5t未満に抑えるためには、GVW5t(積載2t)

の従前主力車に対して大幅な軽量化が必須であり、本格トラックとしての強みを生かしつつも乗用車感覚で運転できるエンジンが求められた。そこで、海外向けのLCV(Light Commercial Vehicle)で2016年の登場以来、約100万台以上の実績がある1.9Lディーゼルエンジン『RZ4E』をベースに、国内向け商用車の用途に合わせた専用開発を行った。

RZ4Eエンジンの開発にあたっては、環境性能への対応(平成30年度排出ガス規制・2022年度中量車燃基準達成)はもとより、商品コンセプトに適う動力性能を追求した。本稿ではRZ4Eエンジンの特徴や採用した技術の概要について述べる。

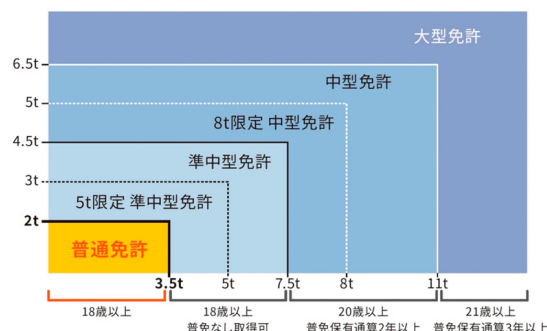


図1 2017年改正以降の免許区分

*PT 商品企画設計第二部

**PT 実験第一部

***PT 実験第二部

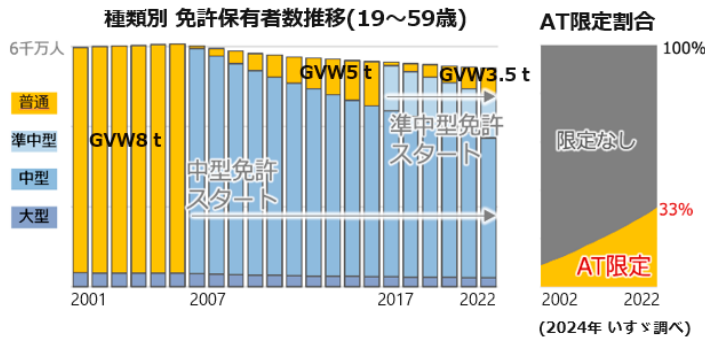


図2 免許保有者数推移及びAT限定割合

2 開発の狙い

エルフミオの商品コンセプト『だれでもトラック』は、だれでも乗れる(乗用車感覚で運転しやすい)、だれでも扱いやすい(トラック運転未経験者でも安心安全な走行・運転席の快適性)、かつ、商用車で求められるさまざまな架装と使われ方に対応できる車両を意味する。

車両商品コンセプトを受けて、本車両に搭載するエンジンは、海外向けピックアップトラックで市場実績のある『RZ4E』をベースに、いすゞで保有するエンジン開発技術とハードのポテンシャルを最大限活用して国内向けに刷新することで、次の①~④を開発の狙いとした。

- ① 国内法規対応
 - ・平成30年度排出ガス規制(PPNLT: Post-Post New Long Term)適合
 - ・2022年度中量車燃費基準：ディーゼルエンジン単一車型のみで達成
 - ・加速騒音規制(UN R51-03 Phase2)適合
静粛性と音質の向上にも配慮
 - ② 商用車として求められる動力性能(発進/加速)と乗用車感覚で運転できるスムーズな走行性能
 - ③ 軽量かつ架装性を考慮したコンパクトなパッケージ
 - ④ お客様の稼働を支える耐久信頼性確保、ライフサイクルコストを考慮したメンテナンス性
- 今回開発したRZ4Eエンジン搭載車両(図3)、及びエンジン外観(図4)、をそれぞれ以下に示す。



図3 エルフミオ(RZ4E搭載車)



図4 RZ4E Engine ASM

3 エンジン概要

本エンジンの主要諸元(表1)及び エンジン性能曲線(図5)を示す。

表1 エンジン主要諸元

項目	GVW 3.5t未満車
	国内向け
エンジン型式	RZ4E
種類、シリンダ数、配置	ディーゼル4サイクル、直列4気筒、縦置き
ボア×ストローク	80×94.4 mm
排気量	1,898 cc
圧縮比	15.9
最高出力	88 kW/3,000-3,200 rpm
最大トルク	320 Nm/1,600-2,000 rpm
排出ガス規制	平成30年度排出ガス規制(PPNLT)に適合
燃費基準	2022年度中量車燃費基準に適合
燃料噴射方式	コモンレール式 高圧燃料噴射システム
最大噴射圧力	250 MPa
過給方式	電子制御式 VGS ^{*1} ターボ
EGRシステム	COOLED EGR ^{*2} システム HOTバイパス付
吸気スロットル	DCモータ
吸気マニホールド	可変スワールシステム
後処理	近接DPD ^{*3} + 尿素SCR ^{*4}
変速方式	6速AT

*1 VGS : Variable Geometry System

*2 EGR : Exhaust Gas Recirculation

*3 DPD : Diesel Particulate Diffuser

*4 SCR : Selective Catalytic Reduction

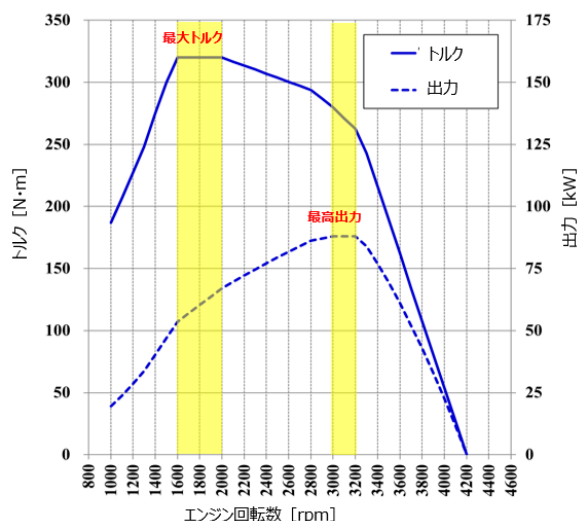


図5 RZ4Eエンジン出力・トルクカーブ

4 主な採用技術

開発の狙いを満足するために、いすゞの既存技術である①燃料噴射システム、②電子制御式ターボ、③EGRシステム、④排出ガス後処理システムのポテンシャルを最大限活用し、排出ガス低減と燃費の最適化を行った。RDE(Real Driving Emission)においては、さまざまなお客様の走り方を想定し、いすゞ独自に開発した走行パターン作成ツールから Worst Case Patternを抽出、排出ガスシミュレーションを行い、目標達成目途立てを開発初期段階で実施した。

4章では、本開発にて採用した主要要素技術を説明する。

4.1 燃料噴射システム

排出ガス性能、燃費性能の両立のため、最大噴射圧250 MPa対応の燃料噴射システムを採用した。

本システムは、運転状況に合わせ最適な噴射パターン(図6)を選定することで、燃焼の最適化を行い出力確保、排出ガス抑制、燃焼音低減を達成した。

また、微少噴射量学習により指示噴射量と実噴射量との乖離をフィードバック補正することで、車両寿命を通じた排出ガスと燃焼音の安定化が可能となった。

更に今後施行される OBFCEM(On-Board Fuel Consumption Monitoring)も先行して対応した。

OBFCEMとは、WLTC走行における実際の燃料消費量とインパネ上に出る燃料消費量との差が±5%以内となる噴射量精度が要求される法規であり、下記①～③の補正を実施することで基準を満足させた。

- ① 多段噴射において前段や後段噴射で発生する脈動による噴射量のずれを補正
- ② 燃料温度違いによる噴射量のずれを補正
- ③ 微少噴射量時の精度向上のため、微少噴射量学習を実施)

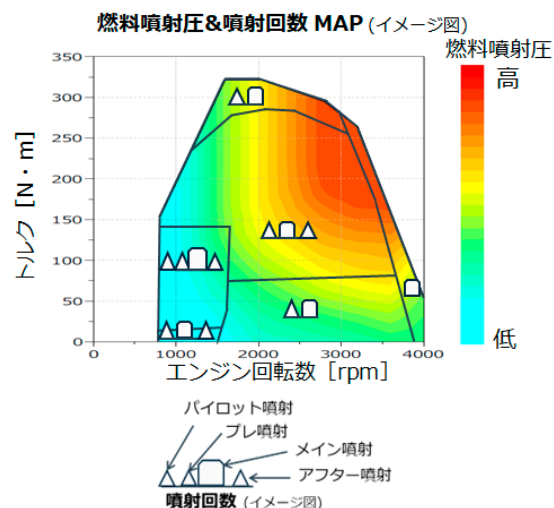


図6 全負荷トルクに対する燃料噴射パターン

4.2 電子制御式VGSターボ

電子制御式アクチュエータにより排気側ノズル開度を無段階制御し過給圧の最適化を行った(図7、図8)。

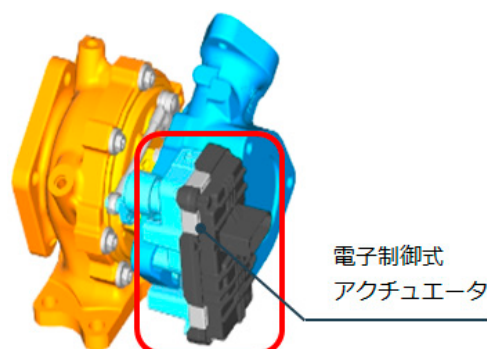


図7 ターボ外觀



図8 アクチュエータ制御(イメージ)

4.3 EGRシステム

バイパス機能を備えたCOOLED EGRシステムを採用した。このシステムは、COOLEDとHOTの2系統を設定し、通常のCOOLED EGRに加え、HOTバイパスのEGRを設定することで、エンジン暖気の促進、低温時の排出ガスの低減とドライバビリティ確保を行った。併せて、エンジン運転状態によって、排出ガス量は刻々と変化するため、排出ガスのロバスト性向上が必要となり、EGR制御にモデルベース制御を採用した。

制御は、NOx排出量と吸気O₂濃度に相関があることを活用し次の①②を実施した。

- ① エンジンの状態量(吸気O₂濃度・EGRガス量)を理論方程式で推定
- ② センサで測定した排気O₂値と①で推定した状態量の差分からEGR制御をフィードバック補正

その結果、排出ガス(NO_x)ロバスト性を向上させることができた。

4.4 排出ガス後処理システム

本エンジンの排出ガス後処理システムは、排出ガス浄化率と架装性から、近接DPDと尿素SCRシステム(床下)を採用している(図9)。

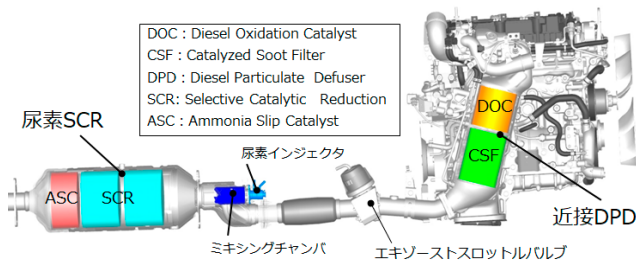


図9 後処理システム

エンジン直下に近接配置されたDPDを昇温する方法として、筒内ポスト噴射を採用した。筒内ポスト噴射は、排気温度を制御対象としたフィードバック制御を行っている。そのため、エンジンの運転条件によって特性が変化し、非線形となることで制御が難しくなるという課題があった。この課題を克服するため、制御対象を排気温度から排気のエンタルピに変換することで、制御の入出力関係が線形の特性となり、制御性が向上した(図10)。その結果、最適な燃料噴射制御によってポスト噴射制御のもう1つの大きな懸念点であるオイル希釈が改善され、更には燃費向上にも寄与している。

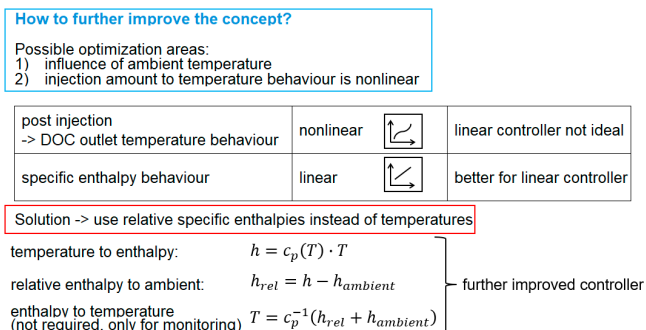


図10 温度・相対比エンタルピ変換

長年の国内小型トラック市場をリードしてきた実績からDPD再生の運用ノウハウを背景に、自動再生制御(走行時)と手動再生制御(アイドリング運転時のみ可能)を使い分けている。手動再生制御はPMの堆積量が過多の場合に行われ、再生制御時の過剰な温度上昇を抑制し、DPDの破損の防止を図っている。アイドリング運転では再生に必要な排気温度の確保が難しいため、エンジン回転数アップと排気スロットを設定した。回転数アップは、排気温度とメカニカルノイズの両者を成立させる最適解を決定した。その効果により、ポンピングロスが増加し排気温度が上昇した。背反は排気音であり、排気管出口部の流速と密接な関係があるため、エンジン運転状態に応じて開放タイミングを制御して急激な排気からの音を抑制した。

5 開発の成果

5.1 法規対応

5.1.1 排出ガス法規の適合

国内中量貨物車(1.7 t < GVW ≤ 3.5 t)の平成30年度排出ガス規制値を表2に示す。このシャシダイナモメーターでの排出ガス規制と併せて、RDE(Real Driving Emission)への規制対応として実車を使った走行試験でオフサイクル領域での排出ガス低減も要求されている。

表2 排出ガス規制値

			国内
排出ガス法規			平成30年度排出ガス (PPNLT)規制
走行モード			WLTC *5 3Phase
規制値	NOx	[g/km]	0.240
	CO	[g/km]	0.630
	PM	[g/km]	0.007
	PN	[Nb/km]	6×10 ¹¹
	NMHC	[g/km]	0.024
HC+NOx			—
RDE CF値 (NOx)			2.0

*5 WLTC(Worldwide-harmonized Light vehicles Test Cycle : 世界統一試験サイクル)とは、法規に則って車両の前面投影面積から走行抵抗を算出し、その値をシャシダイナモメーターの走行負荷として設定し、法規で定められた走行モード(市街地・郊外路・高速道路の3モード)中の排出ガス測定を行う

エンジン本体の最適化(4.1節~4.3節)と後処理システムによるエンジン排出ガスの浄化率確保(4.4節)を行い、規制値をクリアした(図11)。

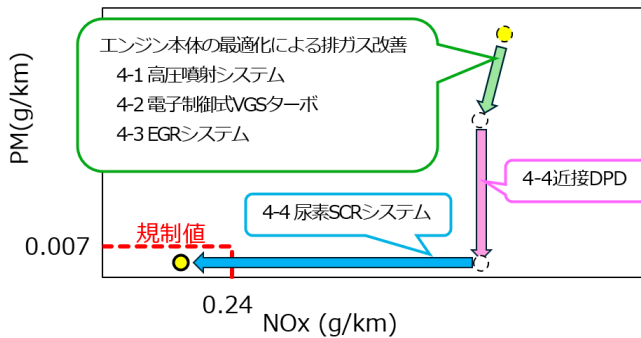


図11 排出ガス規制値達成状況(イメージ)

5.1.2 中量車燃費基準の達成

中量車燃費基準値を表3に示す。本基準は、従前の中量貨物車(トラック・ディーゼルエンジン・AT)の燃費基準(2015年度目標)と比較して、平均46%程度の燃費改善が必要な基準となっており、非常に高い水準である。

表3 中量車燃費基準値

燃費規制	中量車燃費		
走行モード	JC08*6 モード		
エンジン	ディーゼル		
T/M	AT		
車両重量(kg)	1,871~1,990	1,991~2,100	2,101~
規制値(km/L)	13.5	13.3	13.0

*6 JC08モード：走行抵抗測定法に基づき実車を用いて試験路で走行抵抗を測定し、標準大気状態における走行抵抗を算出した値をシャシダイナモメーターの走行負荷として設定し、法規で定められた走行モード中の燃料消費量の測定を行う。

燃費改善については、エンジンでは燃焼最適化のほかにもクランクベアリング(メイン&スラスト)の低フリクション化を採用、車両全体では空力改善、低燃費タイヤ、アイドリングストップシステム、ATシフト制御の最適化などを採用し基準達成した(図12)。

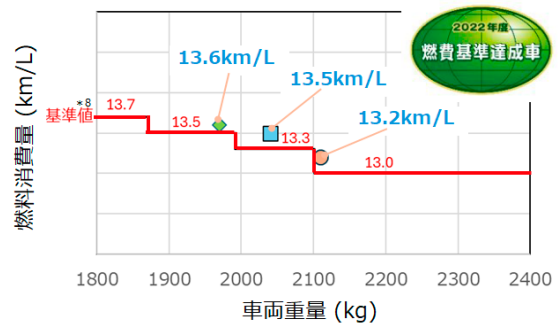
➤ 燃費向上アイテム

エンジン	燃焼最適化	ピストン燃焼室形状見直し
		超高圧噴射インジェクタ採用
		電子制御式VGSターボ採用
車両	フリクション低減	低フリクションベアリング採用
		キャブ形状改良
		低転がり抵抗タイヤ
制御	燃料消費量低減	ファイナルギア ハイギヤ化
		eco ストップ採用(アイドリングストップ)
		ATシフト制御最適化

➤ 2022年度中量車燃費試験結果 (JC08モード)

*エンジン、ミッション、車両重量*7に対する燃費基準値の設定

試験車両：ディーゼルエンジン・AT・2WD・平ボディ



燃費性能を追求し、クラストップの燃費性能を実現、2WD車で中量車燃費基準を達成

*7 車両重量=非積載状態車両+運転者+積載可能な重量に積載率28%

*8 基準値：ディーゼルエンジン、AT車条件

図12 中量車燃費達成状況

5.1.3 騒音低減

燃焼加振力に対して高いポテンシャルに作り込んだLCV用RZ4Eエンジンの基本構造を活用し、車両全体で加速走行騒音規制(UN R51-03 Phase2)73dBAに準拠できる騒音レベルを確保した。

エンジンは、噴射制御の最適化により、燃費及び排出ガスとの両立を図りつつ燃焼音を低減させている。更にアイドリング時の騒音レベルは、従前エンジンに比べ低減し、ディーゼルエンジン特有の音質である変動感も低減が図れた。図13に示すフィーリング評価に沿う音質評価指数の結果からも、従前エンジンに比べ音質が改善されドライバーの負担軽減に寄与していることが確認できた。

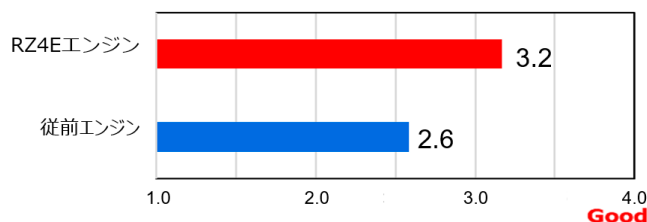


図13 音質評価指数(当社指標)

5.2 車両動力性能

燃料噴射システム・電子制御式VGSターボの採用により、排出ガス流量の少ないエンジン低回転域から過給効果を発揮し、流量増加に合わせきめ細やかに吸気ノズル開度を調節して幅広い回転域で最適過給が可能となった。その結果、ディーゼルエンジンの特徴である太い低速トルクと小排気量を活かしたスムーズな回転の伸びを生かし、積車状態でも力強い発進性と加速性を確保している。

併せて、6速AT採用によりエンジン回転数とトルクに合わせた最適なギヤ段を選択する協調制御の効果により、小排気量ながら最大積載時でも坂路発進性及び加速発進性に優れたディーゼル車らしい力強い走破性を確保し、かつ初めて運転する方でもストレスなく扱いやすい動力性能に仕上がった(図14)。

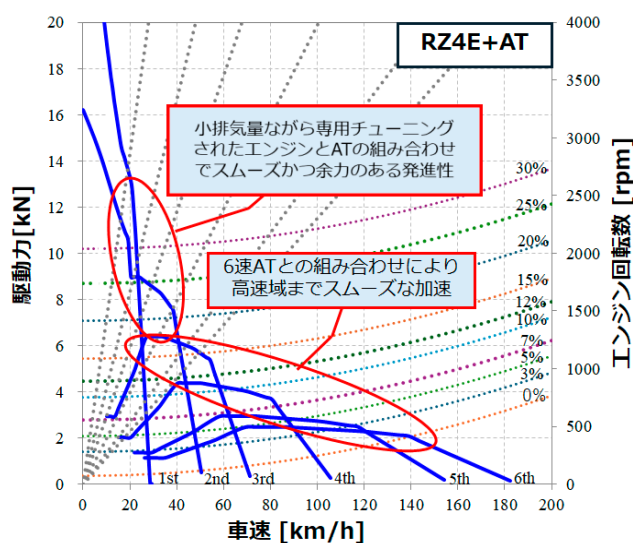


図14 走行性能曲線図

5.3 軽量化/架装性を考慮したコンパクト化

5.3.1 軽量化

従前主力車より軽量化は、本プロジェクトにおいて重要な課題であった。この課題に応えるため、エンジンは最小排気量RZ4Eを採用した。これにより従前エンジンと比べ約120kg軽量化できた(図15)。

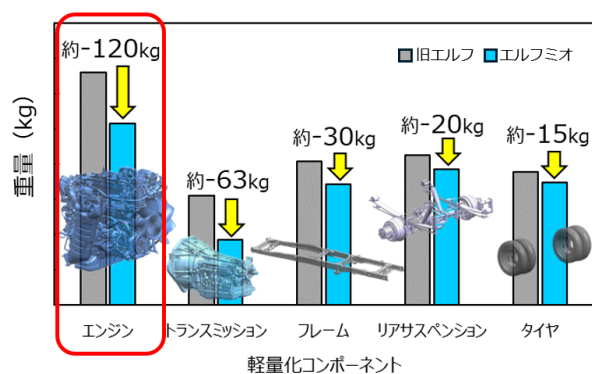


図15 各コンポーネントの軽量化

5.3.2 コンパクト化

- ① 近接DPDシステム、及び、床下配置した尿素SCR(従前車両と共通化)の組み合わせでキャブ後方の架装容積を最大限確保した(図16)。

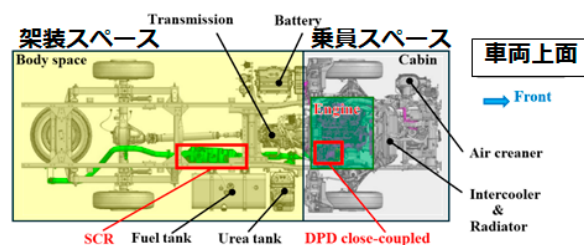


図16 車両架装スペース

- ② 冷凍バン架装のニーズに対応するため、冷凍機コンプレッサ仕様をオプション設定した(図17)。

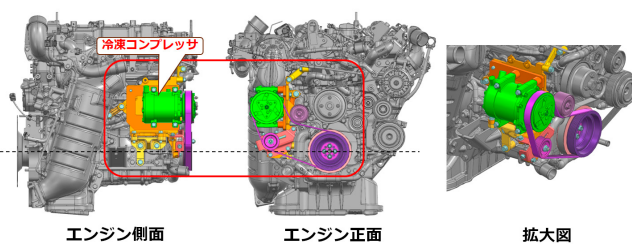


図17 冷凍バン架装仕様 エンジンレイアウト

5.4 耐久信頼性確保とメンテナンス性

信頼性確保のため、次の①～③の手法で耐久信頼性評価を実施した。

- ① 国内市場におけるエルフの使われ方を分析し、エンジンに対するストレスを検討し、各種耐久信頼性試験の項目と評価基準を決定
- ② 主要装置/部品については、設計チームによるD-FMEAを活用した故障モード分析の結果を特性値評価表に落とし込む事で、評価の漏れを防止

- ③ 従来の評価法でエルフミオに対する耐久信頼性の確保が困難と考えた項目に関しては、新たな評価法を導入する事で、耐久信頼性を確保

またメンテナンスコストを最小限に抑えることも重要な商品特性と位置付け、エンジンオイル交換インターバルに着目して次の①、②の開発を行った。

- ① ブローバイ性能を向上（オイル持ち去りによるLOC低減）のためピストンリングの形状を見直すことでブローバイガス排出量を低減させた。その結果、オイルの劣化抑制やDPD再生インターバル延長にも寄与している。
- ② オイル劣化推定ロジックを採用し、オイル劣化状況に応じた交換時期をメーターパネルのインジケーターに表示する仕組みで、お客様ごとの交換時期が分かるようになり、利便性が向上した。

6 おわりに

いすゞは、エルフミオ(GVW3.5t車)を2024年7月に市場投入し販売を開始した。本車両に搭載したRZ4Eエンジンは、環境性能確保はもとより、商品コンセプトにふさわしい動力性能、及び耐久信頼性を確保できた。

本車両及びエンジンの開発に際しては、社内外のさまざまな方々に多大なるご支援をいただいた。この場を借りて、深い感謝の意を表す。

RZ4Eエンジン搭載エルフミオが、現在の日本が抱える物流課題解決の一助となり、今後さまざまな場面で活躍していくのを期待して、本稿の結びとしたい。

参考文献

- (1) 増子 智一 ほか：新型エルフミオの開発について、いすゞ技報No.136号(2004)、p54-59
- (2) Eck, C. et al. : Robust DPF Regeneration Control for Cost-Effective Small Commercial Vehicles, SAE Technical Paper 2017-24-0123, 2017, doi:10.4271/2017-24-0123.

◇いすゞ歴史の一こま



KA(ライトエルフ)(1967年ごろ)