

水平対向ディーゼルエンジンの開発

富士重工業株式会社
代表取締役社長 森 郁夫

富士重工業(株)	エンジン設計部	部長	前田	聡
富士重工業(株)	エンジン設計部	主査	植木	恵一
富士重工業(株)	エンジン設計部	主査	播磨	健司
富士重工業(株)	パワーユニット研究実験第1部	課長	斎藤	陽一
富士重工業(株)	パワーユニット研究実験第2部	主査	大林	辰美

はじめに

富士重工業は、1950年代から水平対向ガソリンエンジンを搭載した乗用車を、単なる移動手段ではない快適で楽しい移動空間としてお客様に提供してきました。2008年からは従来のガソリンエンジンのラインアップに「水平対向ディーゼルエンジン」を新たに加えて、欧州の自動車市場に展開しています。

開発のねらい

今回開発した水平対向（ボクサー）ディーゼルエンジンは、従来のディーゼルエンジンに対するイメージに対してひと味異なる、運転する楽しさと快適な移動空間を提供するものです。本エンジンは最新の燃料噴射技術、過給技術、排気ガス後処理技術を従来から持っていた水平対向ガソリンエンジン技術と融合することにより、「水平対向ディーゼルエンジン」として完成させました。

特に、水平対向構造の特徴を活かすべく、以下の4項目に重点を置き開発を行いました。

- ・低騒音、低振動、スムーズな回転性能
- ・高レスポンス性
- ・軽量コンパクト、高剛性、低重心
- ・クラストップレベルの燃費性能

装置の概要

図1に水平対向ディーゼルエンジンの外観、図2にエンジン性能を示します。乗用車用として開発した2.0リッター水平対向4気筒ディーゼルエンジンは、最高出力：110 kW、最大トルク：350 N・mの出力性能、CO₂排出量：148g/kmの燃費性能を有しています。さらに、本エンジンが持つ水平対向構造という特徴を最大限に活かして、低振動・低騒音でかつガソリンエンジンと同じプラットフォームに搭載可能なコンパクトなエンジンとしています。



図1 水平対向ディーゼルエンジンの外観

高圧燃料システムには、最新コモンレールシステムを採用し、エンジン下置きの可変ターボチャージャー、ターボ直付け排気ガス浄化装置、大型EGR（排気ガス再循環）クーラーと合わせて、欧州のお客様の要望と法規制に応えるエ

エンジンとしています。

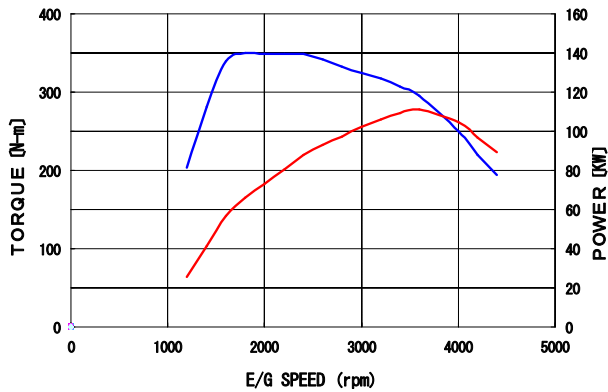


図2 エンジン性能

本エンジンの開発の狙いを実現するために、以下の各技術を採用しました。図3にエンジンの各採用技術を示します。

- ・エンジンのコンパクト設計化
- ・高剛性シリンダブロック&クランクシャフト
- ・低フリクション&低イナーシャモーメント化
- ・燃料噴射圧1800bar コモンレールシステム
- ・軽量コンパクト専用ソレノイドインジェクタ
- ・エンジン下置きの変ターボチャージャー
- ・ターボ直付け排ガス浄化装置

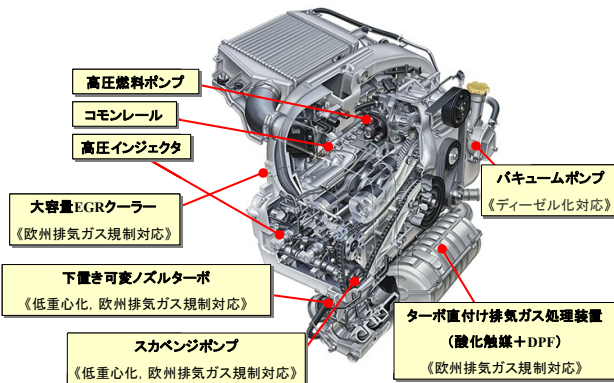
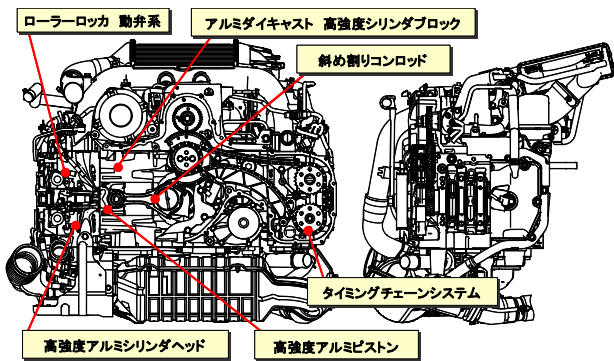


図3 エンジンの各採用技術

技術上の特徴

水平対向エンジンの基本構造は、直列4気筒（略称：L4）エンジンと比べて、小型・軽量・高剛性な設計が可能であり、優れた振動・騒音性能、動力性能、燃費性能を実現できます。

図4に水平対向エンジンの全体構造を示します。本ディーゼルエンジンはストロークを延長しつつエンジン全幅をガソリンエンジンと同じにするため、水平対向構造独自のピストン組み付け作業用のサービスホールを廃止し、斜め割りコンロッドを採用してオイルパン面からコンロッドキャップを組み付ける方法を採用しました。これにより、シリンダブロック高さの増加を最小限に抑えることができました。

また、高強度アルミ合金製ピストンを採用し、クーリングチャンネルでの強制油冷却によりピストン温度低減を図る等により、ピストン高さを短縮化しました。シリンダヘッド高さの低減も併せて、ガソリンエンジンと全幅が同等のコンパクトなエンジンを実現しました。

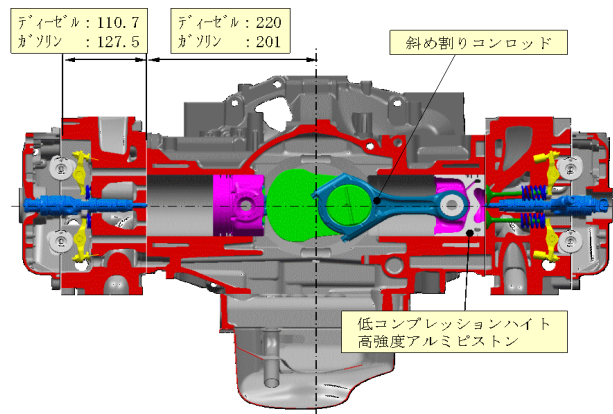


図4 水平対向エンジンの全体構造

図5にシリンダブロック構造を示します。シリンダブロックは左右ブロックの締結で構成されるために、水平対向構造は直列・V型で採用されるジャーナルキャップを必要とせず、軽量・高剛性な構造となっています。さらに、強度・剛性を高めるために、ガソリンエンジンで実績のある鉄系鋳込みジャーナルピースを全てのジャーナルに採用しました。

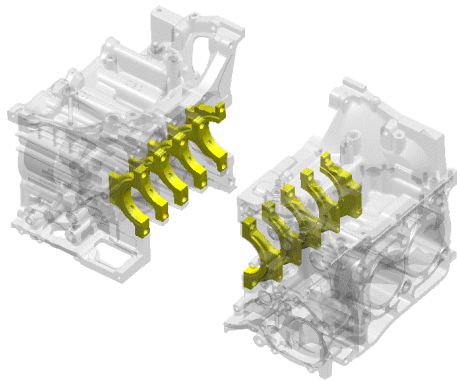


図5 シリンダブロック構造
(鉄系鋳込みジャーナルピース)

図6にクランクシャフト剛性比較を示します。本エンジンのクランクシャフトは、荷重を受けるメインジャーナルのスペンが短いため、高い燃焼圧が発生した時のクランク軸のたわみが直列エンジンに対して小さいのが特徴です。そのため、油膜厚さが最も薄くなる軸受け端部の荷重を軽減でき、直列エンジンに対して狭い軸受け幅で高い信頼性を確保しています。

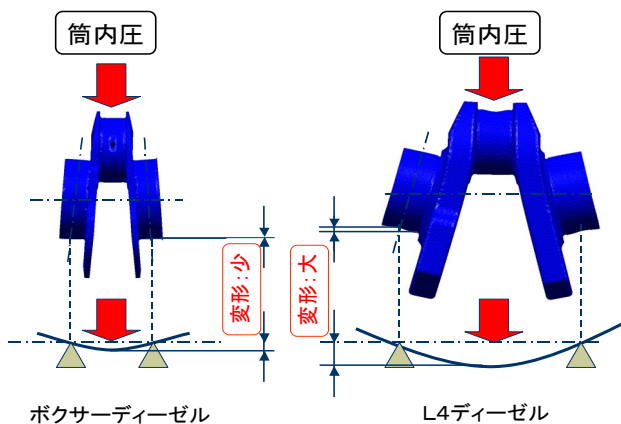


図6 クランクシャフト剛性比較

実用上の効果

図7に車内の騒音レベルを示します。本エンジンはディーゼル特有の振動・騒音を水平対向構造のもつ高いポテンシャルで最大限に低減し、アイドリングから高速走行までの全運転領域で、振騒・騒音が小さく滑らかで爽快な走りを実現しています。

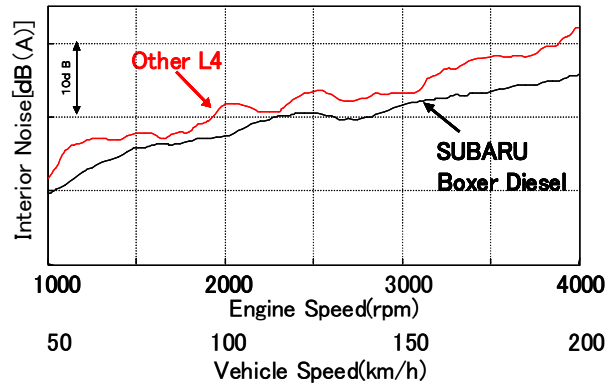


図7 車内の騒音レベル

また、図8にエンジン振動(2次)を示します。水平に対向するピストン運動により、爆発力とピストンの往復運動の慣性力をバランスさせています。クランクシャフト中心の回転モーメントによる振動が左右のシリンダブロック・ヘッドイナーシャで減衰しているため、2次バランサーを必要とせず、バランサー付き直列4気筒(L4)と比較しても低回転から高回転域までエンジン回転2次振動が小さいのが特長となっています。

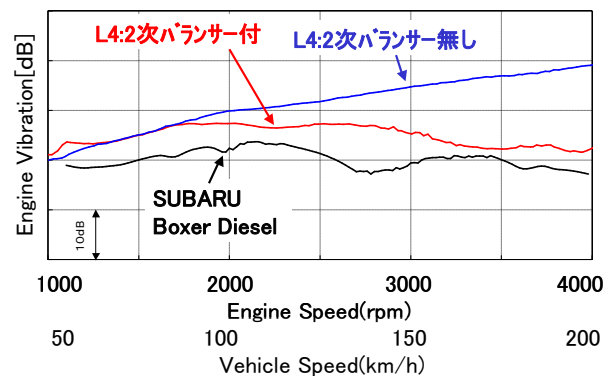


図8 エンジン振動(2次)

さらに、図9にエンジン振動(6次)を示します。直列4気筒(L4)と比較して、クランクシャフト全長を短くし、クランク剛性を高くしています。剛性が低い場合には、クランクのねじり共振が高速域で発生し振動となって現れますが、本エンジンのクランクは剛性が高く、ねじり共振が高速域では発生しません。そのため、高速域までにごり感の無い車内音を実現しています。

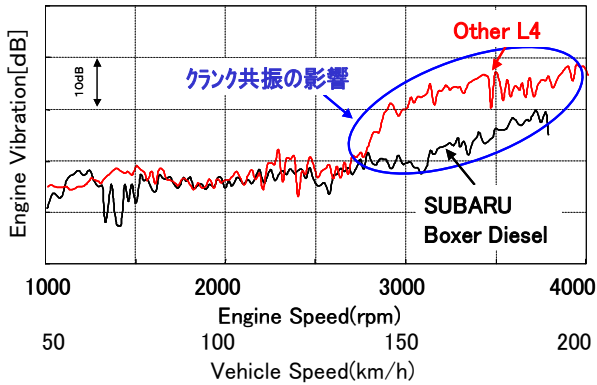


図9 エンジン振動(6次)

図10にエンジンのフリクション比較を示します。本エンジンはピストン系の往復慣性質量による2次振動を打ち消し合うため、バランスシャフトやそれを駆動するシステムが不要となりフリクションを低減することができます。また、高いクランク軸剛性と軸受け剛性が確保できるため、ガソリン車並みの小さな軸受け面積で、信頼性を確保することができます。さらに、動弁系ヘローラロッカーアーム等も採用し、クラストップレベルの低フリクション性能を実現しています。

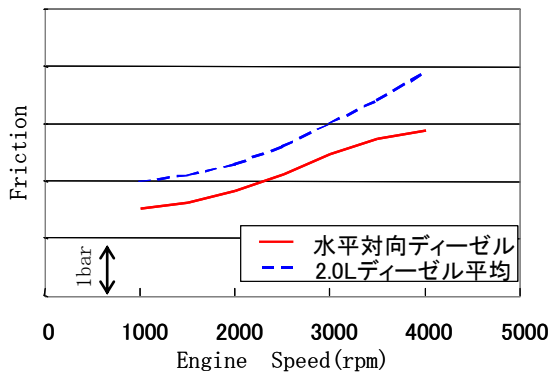


図10 フリクション比較
(2.0リッターディーゼル比較)

図11にエンジン燃費率マップを示します。エンジンのフリクション性能改善に加えて、燃費と各性能をバランスして成立させるようにエンジンの制御を最適化し、運転全域での燃費率の低減を図っています。

その結果、CO₂排出量：148g/km (セダン) を実現しました。満タン時の走行可能距離は

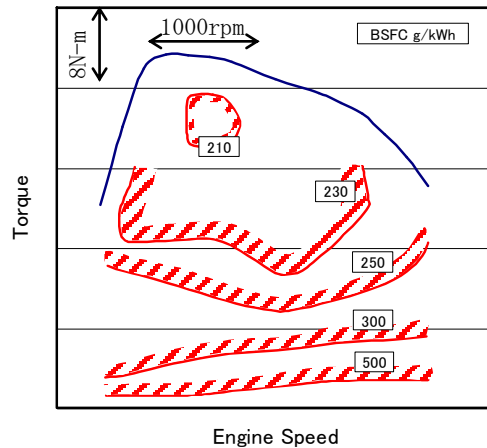


図11 エンジン燃費率マップ

1,000km以上(走行環境により異なる場合有り)であり、優れた長距離航続性能を有していません。

工業所有権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は、国内出願計4件、国内登録計1件であり、公開特許は下記の通りです。

① 日本国特許第2006-226173号

名称：ブローバイガス処理装置

概要：エンジン気液分離装置について、ブローバイガス中のオイル成分を効率的かつ安価に低減できる構造とし、ディーゼルエンジンの排気ガス低減や機能信頼性向上に貢献

むすび

世界初の乗用車用水平対向ディーゼルエンジンを量産化し、2008年より欧州のお客様に提供を開始しています。出力性能や応答性だけでなく、低騒音・低振動と低燃費を高いレベルでバランスさせています。

今後は欧州に加え、グローバル展開を検討し、水平対向ディーゼルの魅力を世界のお客様に伝えていきたいと考えています。