

低圧縮比クリーンディーゼル エンジンの開発

マツダ株式会社

代表取締役社長 小飼 雅道

マツダ(株)	エンジン性能開発部	中井 英二
マツダ(株)	エンジン性能開発部	森永 真一
マツダ(株)	エンジン性能開発部	志茂 大輔
マツダ(株)	走行・環境性能開発部	片岡 一司
マツダ(株)	走行・環境性能開発部	和田 知行

はじめに

ディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンと比べて熱効率が高くCO₂排出量削減の有力手段となり得るが、排出ガス(NO_x、煤)の汚さ、振動の大きさなどのネガティブ面が、特に国内市場ではクローズアップされ、乗用車用パワートレインとして市場から姿を消していた。近年、最新の厳しい排ガス規制に適合したクリーンディーゼル乗用車が市場に再導入され始めたものの、NO_x低減のための排気後処理装置に伴うコスト高や燃費を犠牲にした燃焼方式の影響で商品としての魅力が十分ではなく、国内市場での普及率は低迷していた。そこで弊社は、クラストップの低燃費、NO_x排気後処理装置無しで規制に適合するクリーン排気、加えて伸びやかな加速による走る歓びの体現という高い目標を掲げ、その達成手段として自動車用量産ディーゼルで世界一の低圧縮比14.0と高効率過給を組合せたクリーンディーゼルエンジンの開発に取り組んだ。

開発のねらい

従来ディーゼルエンジンは、圧縮比が高く燃料も着火しやすいので燃料が十分混ざる前に着火してNO_xや煤が多く排出されるという欠点があった。この問題を解決するため、低圧縮比に



図1 低圧縮比クリーンディーゼルエンジン

して空気と燃料が良く混ざるまで着火しないようにし、希薄化と低温燃焼を実現してNO_xと煤を同時低減することを目的に開発した。低圧縮比化の課題として極冷間の始動性、着火安定性を確保する必要があり、冷間時のみ高圧縮比と同じ温度、圧力を実現する手段が必要であった。この課題に対して、多段噴射、アフターグロー等の従来技術に、ディーゼルエンジン初の排気2度開き可変バルブリフト(残留ガス利用)、過給技術を組み合わせて着火安定性をブレークスルーした。その結果、高効率、低排出ガス、高トルクなエンジンを開発できた。

装置の概要

図1に開発した低圧縮比クリーンディーゼルエンジンを示す。NO_x後処理装置無しで、平成21年排気規制(国内ポスト新長期排気規制)に適合している。

技術上の特徴

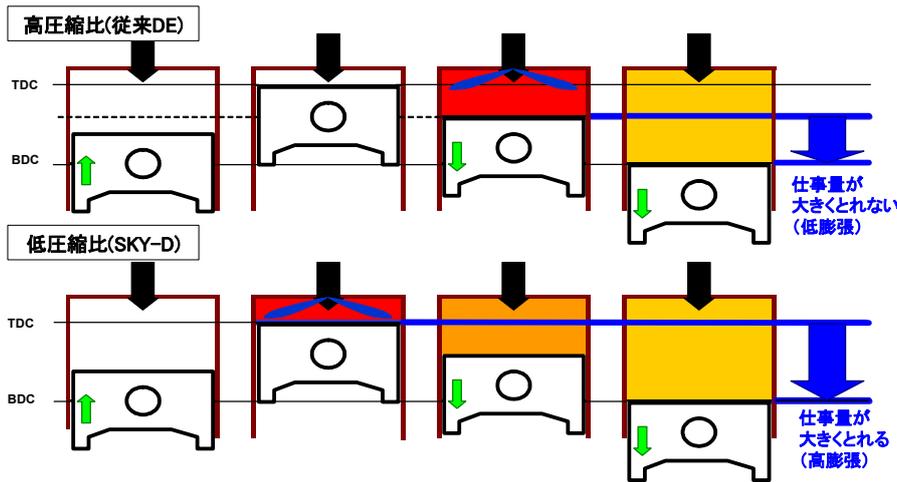


図2 従来DEと低圧縮DEの燃焼の様子

図2に従来クリーンディーゼルエンジン(DE)と低圧縮比DEの燃焼の様子を示す。従来DEは圧縮比が高いため、ピストン上死点における圧縮温度、圧力が非常に高くなっている。この状態で燃料を噴射すると、空気と十分混ざる前に自己着火し、NO_xや煤が発生する。そのため、圧力、温度が下がるのを待って燃焼せざるをえず、燃費が悪くなっていた。圧縮比を下げた場合、ピストン上死点における圧縮温度、圧力が低くなり、上死点付近で燃料を噴射しても十分なミキシング時間が確保でき、酸素が充足された状態で燃えるので、NO_xと煤が減少する。また、上死点付近での噴射と燃焼が可能であるため、実質の仕事量(膨張比)は従来DEよりも大きくとれて高効率である。

このように低圧縮化すれば多くのメリットがあることから、DEの圧縮比は年々低下傾向にあったが、圧縮比14.0の実現は困難であった。これは、極冷間時に着火安定性が確保できない、低外気温時や冷間状態の時に着火遅れが大きく延びて着火安定性を損なうなどの課題があったためである。本エンジンではこれら課題を下記に説明する技術によってブレークスルーして、世界初の圧縮比14.0を実現した。

<極冷間の始動・着火安全性の確保>

着火性を確保するには、着火可能な混合気濃度、筒内圧力、筒内温度を作れば良い。極冷間でのこの着火性の確保を、以下により達成した。

- ・多噴孔ノズルおよびピエゾインジェクタを活用した近接マルチパイロット噴射
- ・2ステージターボチャージャーを活用した過給能力の向上
- ・セラミックグロープラグ
- ・排気2度開きによる残留ガス量の増加

図3に近接マルチパイロット噴射により着火可能な混合気濃度を増大させた例を示す。

多噴孔かつ多段噴射にすることで、噴霧の到達距離が短くでき、着火可能なリッチ雰囲気の混合気濃度を増大できる。過給能力の向上によっても筒内の圧縮圧力と温度が上がると共に、噴霧の到達距離が短くなり着火安定性が改善できる。本エンジンでは、高効率過給を行うために、大型・小型の2つのターボを装備したシリアルシーケンシャル2ステージターボチャージャーを採用しており、この小ターボで着火安定性が確保しにくい無負荷領域でも過給する能力を与えることで着火性を改善している。

図4に、排気バルブ2度開き機構を示す。上の図が通常の排気機構、下の図が可変バルブリフト付き排気バルブ2度開き機構である。排気バルブ2度開き機構は、吸気行程で排気バルブを微小リストさせ、排気ガスを再度シリンダ内に導入して筒内温度を上昇させるもので、排気動弁系にカムプロフィールを切替える方式の可変バルブリフトをディーゼルエンジンで初めて採用している。排気バルブ2度開きで排気を還流させることで、極冷間無負荷状態でグロープラグを用いなくても安定して運転可能な領域を拡大した。これら着火安定技術と機械抵抗低減によるクランキング回転数の増加の組合せにより、本エンジンは圧縮比14.0で、40セタ燃料を使用して外気温-30℃以下で始動でき、その後も安定した着火と燃焼が確保できることを確認している。

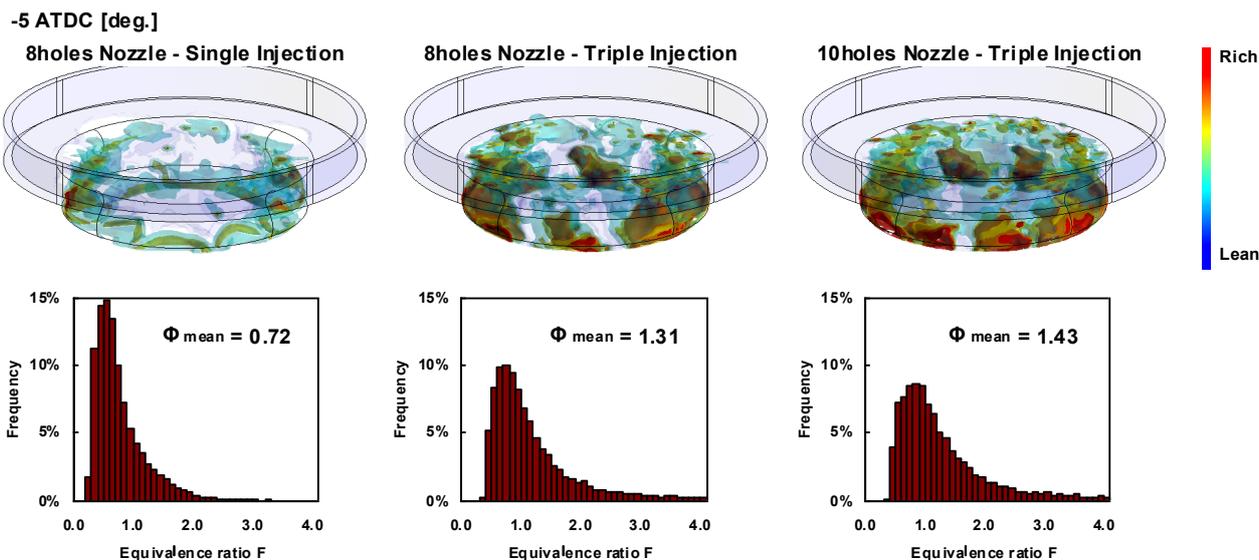


図 3 近接マルチパイロット噴射の当量比改善効果

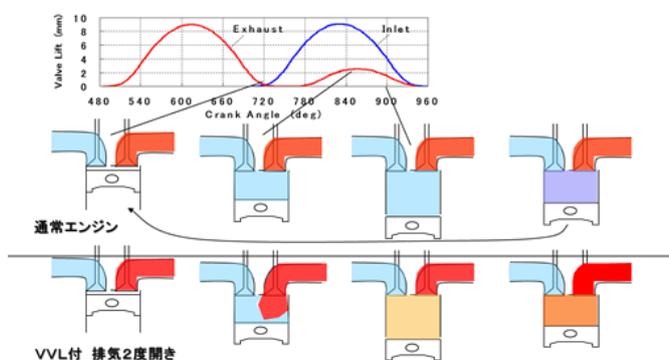


図 4 排気 2 度開き機構

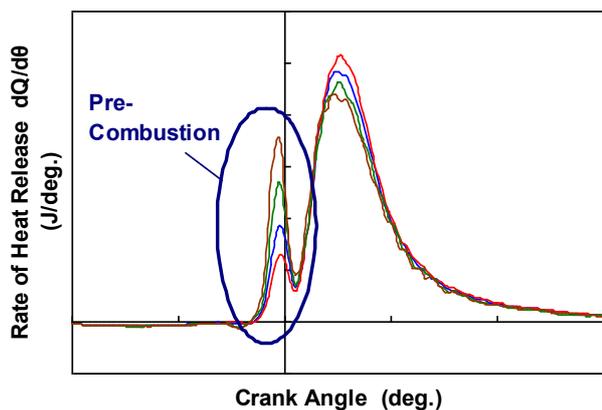


図 5 プリ燃焼制御

< 拡散燃焼領域の着火安定性の確保 >

低圧縮比にすると着火遅れ期間が伸び燃焼安定性が弱まる。特に低外気時やエンジンの冷間状態時には着火遅れが大きく伸び、燃焼安定性を損なう。本エンジンでは拡散燃焼領域において、メイン燃焼に先駆けて一定以上の発熱量

になるように制御したプリ燃焼により着火安定性を確保している(図 5)。プリ燃焼実現には、近接マルチパイロット噴射を使った多段噴射を行っており、運転条件によって使い分けている。図 6 にマップの一例を示す。

< 性能 >

シリアルシーケンシャル2ステージターボチャージャによるワイドレンジ過給と、往復回転系部品の軽量化・機械抵抗低減で、最高出力129kWを4500rpmで出し、5200rpmまでスムーズに回りきる出力特性を達成した(図 7)。また最大トルク420Nmを2000rpmで出し1500rpm以下のトルクを旧型エンジン比20-45%改善した(図 8)。

< 燃費低減の効果 >

本エンジンは、国内ポスト新長期/欧州EUR06 適合レベルまでNOxを低減しながら、欧州市場で導入していた旧型エンジン比で燃費を15~20%程度改善した。特に軽~中負荷の燃費改善により、実用燃費の改善を達成している(図 9)。

実用上の効果

環境問題への対応に加えて、グローバルな自動車市場の動向、自動車産業がおかれた外部環境の変化などを踏まえて策定された経済産業省の次世代自動車戦略2010において、政府は次世代自動車(乗用車)の普及率目標を掲げている。この中で、クリーンディーゼル自動車には

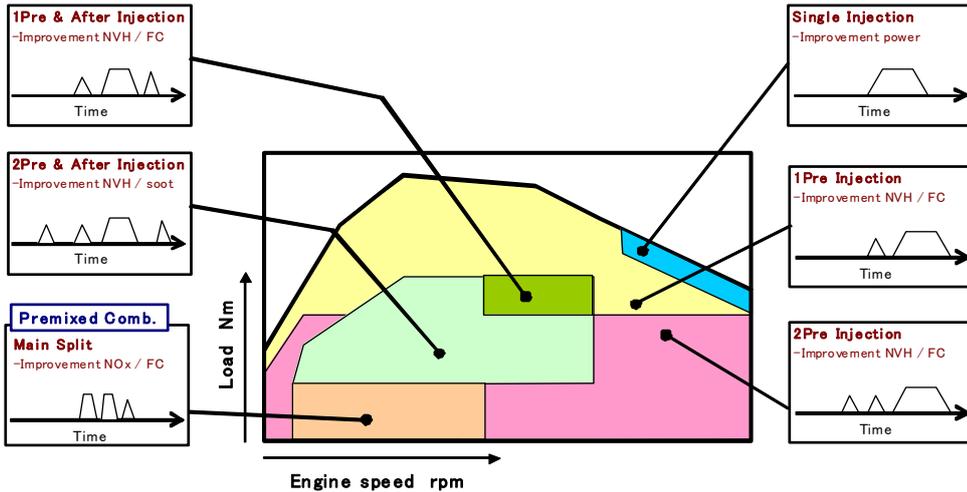


図6 近接マルチパイロット噴射パターン

2020年での全販売台数に対する普及率最大5%の目標が課せられている。これに対して、本エンジン(2012年2月発売)の発売前後の2011年から2012年での、全新車販売台数におけるクリーンディーゼルの普及率は0.4%から1.9%に急増した。この中で、本エンジンは1.3%を占めている。以上より、

本エンジンは国内市場へのディーゼル乗用車の普及に大きく貢献するとともに、政府目標の達成に向けて大きな方向付けを実現している。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許 特許出願公開 2010-121483号
名称：ディーゼルエンジンの燃焼室構造
概要：燃焼室形状
- ② 日本国特許 特許出願公開 2012-012949号
名称：自動車搭載用ディーゼルエンジン
概要：VVL着火性
- ③ 日本国特許 特許出願公開 2012-031845号
名称：ディーゼルエンジン及びディーゼルエンジンの制御方法
概要：2段燃焼着火性

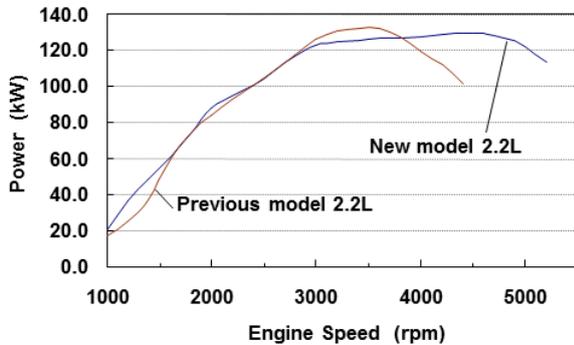


図7 出力性能

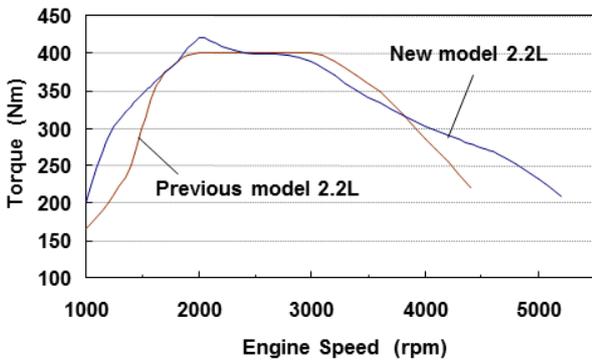


図8 トルク性能

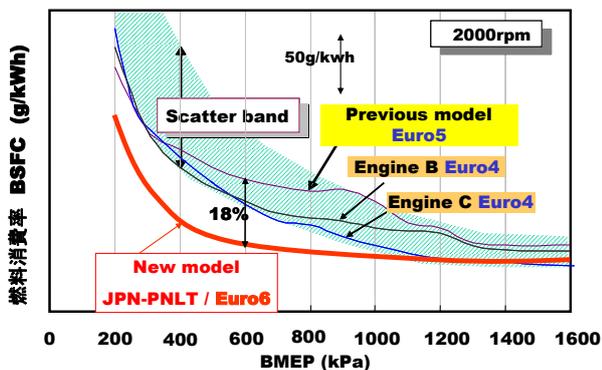


図9 燃費性能

むすび

燃費、走り、環境性能を高次元で両立させた本エンジン技術は、非常に展開性の高い要素技術で構成されており、全ての車種に展開可能である。