

環境対応ディーゼルエンジンのエコサイレント燃焼技術

Eco-silent Combustion Technology of Environmental Engine



福澤 順博*1
Yorihiro Fukuzawa

沼田 明*2
Akira Numata

山田 太郎*3
Taro Yamada

小田 裕司*4
Yuji Oda

遠藤 浩之*5
Hiroyuki Endo

1. はじめに

当社は熱効率が高く経済性に優れるディーゼルエンジンを4 kWから50 MWまで幅広く揃え社会インフラを支えている。近年CO₂による地球温暖化，窒素酸化物（NO_x）による酸性雨，光化学オキシダントなどの環境問題が社会的な問題になってきており自動車をはじめ，産業用機械についても高効率化，排出ガス抑制が強く求められている。特にディーゼルエンジンはNO_xと共に粒子状物質（PM）が問題となっている。当社では排出ガス規制や騒音規制などに適合する環境対応型エンジンの研究開発を進めている。

本稿では，厳しくなる環境規制に対応する為，新たに開発した50 kWから2 MWの産業用ディーゼルエンジンに関する低公害低騒音燃焼技術について述べる。なお，本燃焼技術を“エコサイレント燃焼技術”^{（注）}と称する。

注：商標登録申請中

2. 排出ガスなどの規制動向と対応技術

排出ガス規制は日米欧をはじめ各国の社会環境事情にあわせた規制がある。EPA（Environmental Protection Agency：アメリカ環境保護庁）によるオフロードディーゼルエンジンの排出ガス規制は1996年から導入され，現在では，二次規制が開始されている。図1に示すEPAの排出ガス規制スケジュール，規制値の例の通り^{（1）-（4）}，逐次規制値が厳しくなっている。

一方，騒音規制としては欧州の建設機械，発電機などの屋外機器を対象とした騒音指令（2000/14/EC）がある。騒音レベル規制値を段階的に下げており，2006年から第二段階の規制に入る。当社ディーゼルエンジンは規制対象となる屋外機器に幅広く使用されており，エンジン自体の騒音，振動の低減が求められている。

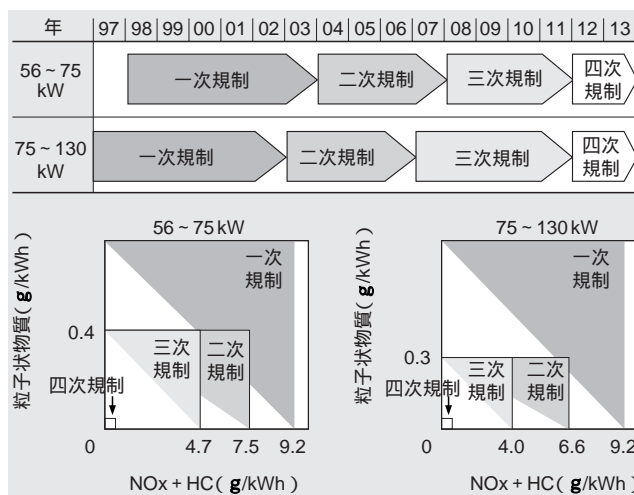


図1 米国EPAオフロードエンジン排出ガス規制スケジュールと規制値

2.1 エコサイレント燃焼技術

排出ガス規制対策として，一次規制，二次規制については，燃料噴射タイミングの遅延，燃焼の最適化，吸気冷却などで対応してきた。2006年以降段階的に導入される三次規制については，コモンレール式燃料噴射システム^{（2）}などの電子制御高圧燃料噴射装置が必要となる。図2にコモンレール式燃料噴射システム付きエンジンの概念図を示す。

エコサイレント燃焼とは，燃料の多段噴射をベースにした燃焼技術である。燃料の一部をパイロット噴射することによりNO_xの生成を抑制し，またメイン噴射後にポスト噴射を行うことで，PMの生成抑制を図っている。図3に多段燃料噴射時の熱発生率パターンを示す。また，パイロット噴射によりあらかじめ筒内のガス温度を上昇させることでメイン噴射時の着火遅れ時間を短縮できるため，急激な筒内圧力上昇を抑制する。この結果，燃焼騒音を抑制することが可能となった。さらに実験計画法により多段噴射のパラメータを最適化し，ロバスト性の高い噴射パターンを採用した。多段噴射と実験計画法による排ガス低減例を図4

*1 汎用機・特車事業本部エンジン技術部長

*2 汎用機・特車事業本部エンジン技術部次長

*3 汎用機・特車事業本部エンジン技術部小型エンジン設計課長

*4 技術本部長崎研究所内燃機・油機研究推進室長

*5 技術本部長崎研究所内燃機・油機研究推進室 工博

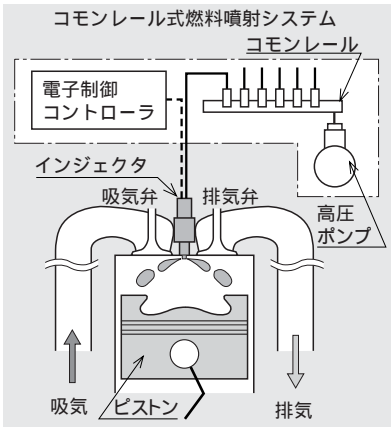


図2 コモンレール式燃料噴射システム付きエンジンの概念図

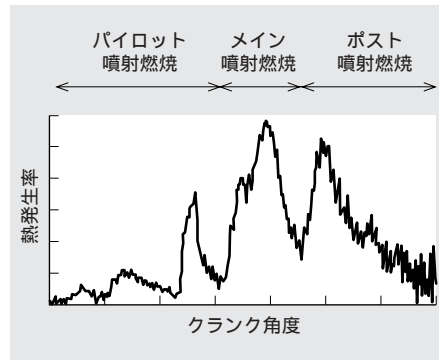


図3 多段燃料噴射時の熱発生率パターン

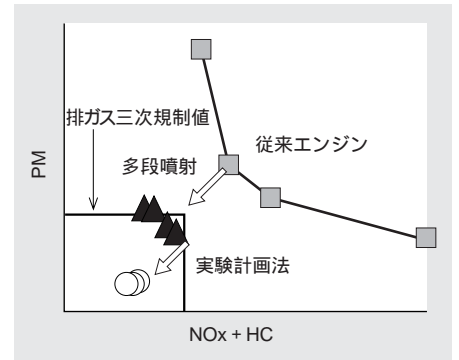


図4 多段燃料噴射と実験計画法による排ガス低減例

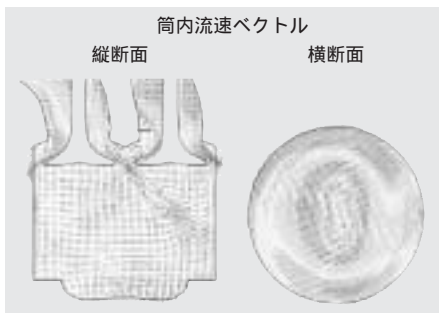


図5 シミュレーション解析事例

に示す。これらの多段噴射を利用した燃焼法は従来の機械式燃料噴射装置では、実現困難であり、コモンレール式燃料噴射システムを用いることで実現可能となった。排出ガス三次規制対応としては、外部EGR (Exhaust Gas Recirculation) を用いることなくエンジン仕様をまとめる目処をつけることができた。建設機械などにエンジンを搭載する上で、搭載スペースに余裕ができてレイアウト、メンテナンスが容易となる。

2.2 シミュレーション技術

排出ガス低減を図っていく上で筒内の流動及び燃焼状態を把握することが重要である。エンジン燃焼性能向上のための解析ツールとしては、吸排気流動解析、三元燃焼解析などがある。吸排気流動解析においては、シリンダヘッド吸気ポートの吸気流動解析及びシリンダ内燃焼解析を行うことで燃焼性能の予測を行った。図5に吸気流動解析事例を示す。

3. ま と め

次期規制である排出ガス三次規制、欧州騒音規制に対応する生産準備を開始している。

一方、EPAの2011年以降適用となる排出ガス四次規制値は三次規制値の概ね1/10と大変厳しい規制値であり、エンジン単体での技術だけでなく、後処理装置も含めた総合的な排出ガス対策を推進していく必要

がある。当社は幅広い技術を製品開発に活かすことで、熱効率の高いディーゼルエンジンの環境対応力を磨き、社会に貢献していく所存である。

本稿の燃料多段噴射技術開発については、経済産業省の補助金を得て、(財)石油産業活性化センターが実施する技術開発事業の一環として実施したものであり、関係する多くの方々から御協力、御支援を得たことに対して、ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) EPA, Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines; Final Rule, EPA Federal Register 40 CFR Parts 9, 86, and 89 (1998), <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/frm1998/nr-fr.pdf>
- (2) M.Miyaki, et al., Development of New Electronically Controlled Fuel Injection System ECD-U2 for Diesel Engines, SAE Paper 910252 (1992)
- (3) Endo, H. et al., The Three Dimensional Combustion Simulation for Low Speed 2 Stroke Diesel Engine, Proceeding of CIMAC congress 2001, Vol.2 (2001) p.665
- (4) EPA, Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines and Fuel, EPA Federal Register 40 CFR Parts 9, 69, et al., (2004), <http://www.epa.gov/otaq/url-fr/fr29jn04.pdf>



福澤順博



沼田明



山田太郎



小田裕司



遠藤浩之