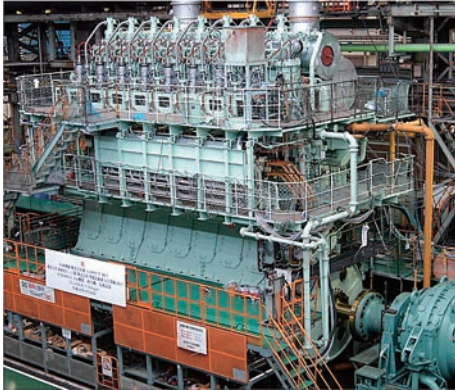


## 特 集 論 文

ディーゼル・ガスエンジンによる  
高効率化への取組み

## Approach on High Efficiency Diesel and Gas Engine

高石 龍夫\*<sup>1</sup>  
Tatsuo Takaishi沼田 明\*<sup>2</sup>  
Akira Numata中野 良治\*<sup>3</sup>  
Ryouji Nakano阪口 勝彦\*<sup>4</sup>  
Katsuhiko Sakaguchi

地球温暖化防止の点から CO<sub>2</sub> 排出削減に直接的に寄与するエンジンの熱効率向上に対する社会的ニーズはますます高くなっている。当社はエンジンの総合メーカーとして、排出ガスのクリーン化とともに CO<sub>2</sub> 削減へ向けて環境・エネルギー問題への強い要求に対応すべく各種の技術開発に取り組んでいる。本論文では人類の貴重な財産である石油及び天然ガスをクリーンに有効利用可能な小型から大型までのディーゼルエンジン及びガスエンジンの高熱効率化に向けた取組みの概要について紹介する。

## 1. エンジンの開発概要並びに高効率特性

当社は、1 kW 未満の小型ガソリンエンジンから 68 MW クラスの大型低速ディーゼルエンジンまで世界で最も広い出力範囲のピストンエンジンを開発・生産し、また主要コンポーネントである排気ターボ過給機や燃料噴射装置も製品化しているエンジンの総合メーカーである。その用途として、車両や船舶等の輸送用機械、移動する各種産業用機械、コージェネレーション・発電用装置など幅広い各種製品の原動機として、経済社会の発展を支える重要な役割を果たしている。

その一方で、ピストンエンジンは環境に悪影響を及ぼす成分を含む排出ガスによる大気汚染や化石燃料の大量消費ひいては CO<sub>2</sub> 排出による地球温暖化等の環境・エネルギー問題に直面している。これらの諸問題の解決へ向けて総合技術力の活用・展開に努め、ますます多様化・高度化するお客様のニーズに応えるエンジンの開発に取り組んでいる。

ピストンエンジンは CO<sub>2</sub> 低減に直結する熱効率向上の視点から見れば、本来有利な作動原理・特性である。すなわち、ピストンエンジンは圧縮・燃焼・膨張等のサイクルの各過程をすべて一つのシリンダの中で行い、高温・高圧サイクルを描き、この間欠非常燃焼ゆえにシリンダ内作動ガスの最高温度の制約がそれほど厳しくなく、また後述するようにシリンダ内のガス流動が小さいことにより熱損失を低くでき、高い熱効率実現につながっている。この結果、図1に示すように小型から中型の原動機分野では最も高い熱効率を

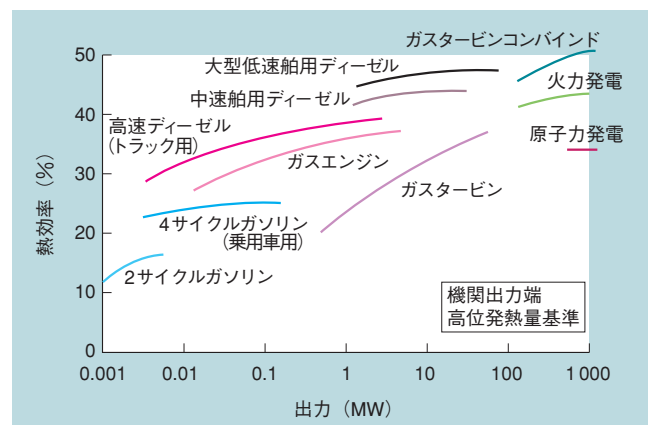


図1 各種原動機の熱効率  
ディーゼル・ガスエンジンは小型から中型の原動機では最も高い熱効率である。

実現している。

以下ではディーゼルエンジン及びガスエンジンに関する高熱効率化への取組みの概要を述べる。

## 2. ディーゼルエンジンの高熱効率化

## 2.1 発電用・産業用4サイクルディーゼルエンジン

当社では多様なニーズに対応すべく、単機出力で5 kW ~ 15 MW までの幅広い4サイクルディーゼルエンジンをラインアップしている<sup>(1)</sup>。その使用燃料としては、軽油、灯油、A重油、C重油と広範囲な石油燃料である。最近の原油高騰の影響もあり、お客様の強いニーズであるランニングコスト低減を満足する上からも燃料消費率低減・熱効率向上は必須な技術課題である。このような高熱効率化、環境適合化の一層の要

\*<sup>1</sup> 技術本部長崎研究所技監・主幹 工博\*<sup>2</sup> 汎用機・特車事業本部エンジン技術部主幹\*<sup>3</sup> 横浜製作所原動機技術部次長\*<sup>4</sup> 神戸造船所船用ディーゼル事業ユニット次長

求に応えるべく、当社では発電用中型ディーゼルエンジンの高熱効率化を図っている。

SU3 機関は 2.0 ～ 4.0 MW、MARK30B 機関は 5.2 ～ 8.1 MW 及び新たにラインアップした直列 6 気筒 2.7 MW の出力レンジをカバーしており、従来型に比べ出力、熱効率が向上している。SU3 機関では発電端効率は 44.1 %、MARK30B 機関では 46.8 % を達成し、このクラスのディーゼルとしては世界トップレベルの高効率を実現している。高熱効率化のため、両エンジンとも図 2 に示すとおり従来エンジンに対し、筒内最高圧力、燃料噴射圧力の上昇、ロングストローク化、高圧力比過給機など共通した設計思想により熱効率と出力の向上を同時に達成している。また、燃料噴射系を中心に電子制御技術を導入し、高熱効率化や高出力化といった経済性のニーズのみならず、同時に NOx、煤塵低減等の環境適合にも配慮したディーゼルを目指している。

今後更なる CO<sub>2</sub> 削減・熱効率向上を図るためには、機関単体の燃焼性能向上のみならず、①ピストンリング等の摩擦損失低減、②サイクル効率改善、③排気エネルギー損失回収などのブレークスルー技術を追及することも必要である。

## 2.2 船舶用低速 2 サイクルディーゼルエンジン

船舶用低速 2 サイクルディーゼルエンジンでは、これまでの船舶運航の経済性の重視（燃料消費率低減並びに相対的に安価な重質燃料利用）とともに、地球環境保全・海洋汚染防止の点からこれらに悪影響を及ぼ

す成分を含む排出ガスの大幅な低減及び地球温暖化防止の点から CO<sub>2</sub> 排出低減も強く要求される時代・社会となっており、これらに対応すべく各種の技術開発を進めている。

元々、船舶用の大型低速 2 サイクルディーゼルエンジンは熱効率 50 %（低位発熱量基準）を超えるレベルであり、単体原動機としては最高の熱効率を有している。この熱効率の高さは大シリンダ径、ロングストローク、高空気過剰率、低速回転数などの要因に支えられ、各種損失の減少が得られ熱力学的にもより理想に近いサイクルの実現が図られているためと考えられる。これを燃焼面から改めて見れば、ピストンエンジンでは静圧的な圧縮・膨張が可能なためにシリンダ内でのガス流動が小さいことにより、作動ガスそのものは高温・高圧であるものの、熱損失を低くできる特性を有している。特に低速 2 サイクルディーゼルエンジンでは、非定常燃焼の時間的制約が小型高速ディーゼルエンジンに比べて少なく、シリンダ内でのガス流動速度を相対的に小さくでき、熱損失低減の面で有利であり、高い熱効率を実現している。

このような背景・経緯を踏まえて、船舶用の大型低速ディーゼルエンジンへの各種ニーズに対応するため、新たに電子制御技術を導入し UEC Eco-Engine を開発した<sup>(2)</sup>。本エンジンは、燃料噴射系、排気動弁系、始動系、シリンダ注油系を中心に従来の機械式から電子制御式への変更を行い、機関負荷や周囲条件、燃料性状に応じた作動タイミング、燃料噴射率の自由な設定変更が可能となる。この結果、図 3 に示すとおり NOx 排出量と燃料消費率のトレードオフ関係を大幅に改善できる。すなわち、本エンジンで① NOx 優先モード選択の場合には従来カム方式に比べ燃費率一定のまま NOx 排出量を 10 ～ 15 % 低減でき、② 一方燃費優先モード選択の場合 NOx 排出量一定のまま燃費率を 1 ～ 2 % 改善することが可能となる。このよ

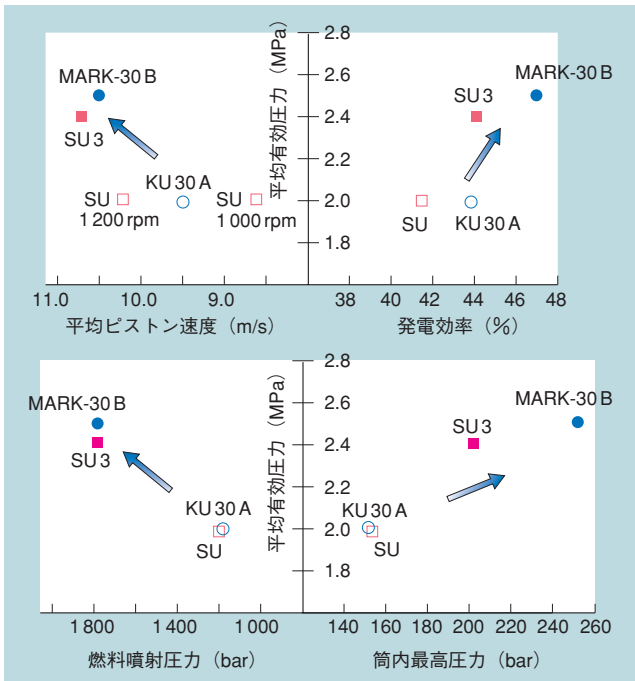


図 2 SU3 及び MARK-30B の代表性能値  
従来型と最新型の熱効率、平均有効圧力、噴射圧力、筒内最高圧力など代表性能値を比較している。

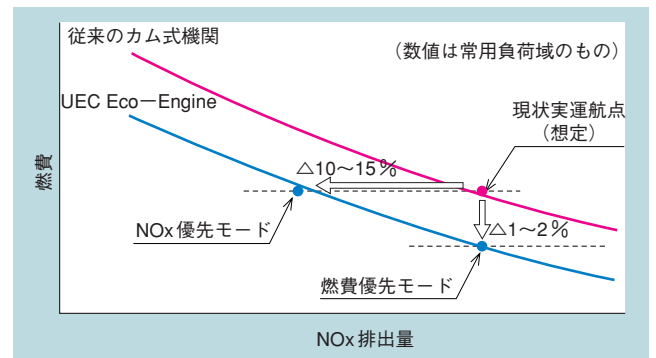


図 3 燃費率と NOx 排出量の関係  
従来カム式と電子制御式での燃費率と NOx 排出量のトレードオフ関係を比較し電子制御式の優位性を示している。

うに、地球環境問題に配慮しながらお客様の強いニーズである経済性確保も同時に満足することが可能な船舶用ディーゼルエンジンを提供できる。

今後更なる CO<sub>2</sub> 削減を図るためには、機関単体の熱効率向上のみならず、排気損失の回収や排出ガス・冷却水からの廃熱回収なども検討する必要がある。当社では排気ターボ過給機を生産しているメリットをいかしてハイブリッド過給機開発にも取組んでいる。

### 3. ガスエンジンの高効率化

天然ガスや都市ガスを燃料とするガスエンジンは、地球温暖化の原因とされる CO<sub>2</sub> や環境に悪影響を及ぼす成分を含む排出ガス (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, 煤塵, PM) の排出量が少なく環境適合型のエンジンである。

当社では小出力の GSA 機関から大出力の MACH-30G 機関までの広い出力範囲の低 NO<sub>x</sub> リーンバーン方式のガスエンジンを製品化している<sup>(3)</sup>。

GSR 機関は 280 ~ 845 kW をカバーし、ミラーサイクルを適用し、このクラスでは世界最高レベルの発電端効率 41.5 % を達成している。一方、MACH-30G 機関は 3 650 ~ 5 750 kW をカバーし、点火プラグ方式に代わりパイロット着火方式を採用し、さらにミラーサイクルを適用し、発電端効率 44.5 % を達成している。

#### 3.1 高速ガスエンジン GSR

発電出力 1 000 kW 以下のガスエンジンに世界で初めてリーンバーン (希薄燃焼) 方式とミラーサイクル機構を適用し、図 4 に示すとおり当社従来機種比で 12 % の CO<sub>2</sub> 排出低減を図り、ディーゼルエンジンに比較しても CO<sub>2</sub> 排出量は更に 3/4 になる。ガスエンジン発電では、コージェネレーションシステムを取り入れて温水や蒸気の需要が多いお客様及び発電効率向上により発電主体のお客様にも満足していただく、CO<sub>2</sub> 削減のニーズに応えることができる。

今後とも更なる改良を加えて高熱効率化と高信頼性の両立を一層確保し、地球温暖化防止と経済性向上への寄与を目指していく。

#### 3.2 中速ガスエンジン MACH-30G

発電出力 1 000 kW 以上の大型クラスでも高熱効率化と低 NO<sub>x</sub> 化を達成できるリーンバーン方式のガスエンジンのニーズは高い。本エンジンでは、電子制御コモンレール噴射装置を採用したパイロット着火方式により希薄混合気に対しても安定な燃焼を実現している。

発電効率の向上に加えて、高/低温水回収を含めた総合効率では 80 % 以上を達成し、お客様のニーズに応えている。

今後、更なる発電効率向上を進めるとともに、多様なガス (バイオガス、廃棄物ガス等) に対応した発電

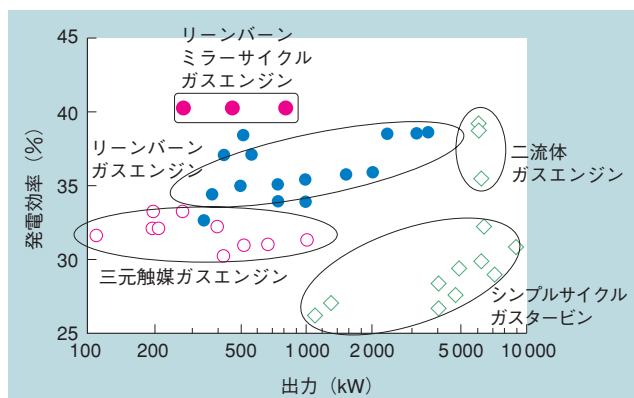


図 4 ガスエンジンの効率向上  
ガスタービンなどに比べて効率が高いリーンバーンガスエンジンをミラーサイクル化することで発電効率 40 % を達成。

プラントへの展開も検討しながら地球温暖化防止への寄与を目指していく。

### 4. ま と め

以上のように、地球温暖化防止のため CO<sub>2</sub> 排出削減に直接的に寄与するディーゼル・ガスエンジンの高熱効率化へ向けた技術開発を述べてきたが、今後の世界のエネルギー需要の伸び、経済発展を想定すれば CO<sub>2</sub> 排出量低減に向けての取り組みをより一層強化・加速することが重要である。今後ともエンジン総合メーカーとしての長い間の技術蓄積を活かすとともに、先端技術の導入や総合技術の高度化により社会・時代の要請にこたえる製品を提供し、地球環境と豊かな社会との調和を目指して、お客様の信頼にこたえるべく確かなエンジン技術開発に注力していく。

#### 参 考 文 献

- (1) 角田明ほか, 新開発定置発電用ディーゼルエンジン, 三菱重工技報 Vol.40 No.4 (2003)
- (2) 阪口勝彦ほか, 環境対応ディーゼル機関 “UEC Eco-Engine”, 三菱重工技報 Vol.41 No.1 (2004)
- (3) 角田明ほか, 世界最高効率三菱リーンバーンガスエンジン, 三菱重工技報 Vol.40 No.4 (2003)



高石龍夫



沼田明



中野良治



阪口勝彦