

世界最高効率ガスエンジン –グリーンガスエンジン– Gas Engine with World Highest Generating Efficiency –Green Gas Engine–



杉本 智彦① Tomohiko Sugimoto
 酒井 能成② Yoshishige Sakai
 服部 崇③ Takashi Hattori
 堀江 尚④ Takashi Horie
 野中 洋輔⑤ Yosuke Nonaka

2007年より高効率ガスエンジンであるグリーンガスエンジンの供給を始めた。開発当初から世界最高レベルの発電効率を達成していたグリーンガスエンジンであるが、さらに発電効率を伸長すべく開発を行ってきた。これらの成果はすでに市場へ投入され、当社神戸工場の神戸パワーセンターをはじめとして、国内最大級の110MW級大型発電プラントにも活用されている。

Since 2007, we have supplied green gas engines as high-efficiency gas engines. They exhibit the world's highest class of power generation efficiency, as development efforts have been devoted to further improving power generation efficiency. The results obtained from these efforts have been utilized in the market, being used at the Kobe Power Center of our Kobe Works and Japan's largest 110 MW class large-scale gas engine power generation plants.

まえがき

近年、系統電源の供給力不安から、電源バックアップを含めた自家発電や分散型発電市場が活性化している。特に、クリーンで効率の良いガスエンジンに市場の注目が集まっている。

当社では、高効率のグリーンガスエンジン（KGシリーズ）を2007年に開発し^{1) 2) 3)}、2010年にはさらに効率改善を図ったKG-Vシリーズを加えて、世界最高レベルの発電効率を維持し続けている。また、エンジン製造においても、市場の要求に応えるため、サプライチェーンや製造能力の強化に取り組み、月産4台体制を整えた。

このグリーンガスエンジンは、高い発電効率ならびに高い環境性能といった特長から受注を伸ばしており、2011年には国内外より28台を受注した。

表1 グリーンガスエンジンのラインアップ
Table 1 Green gas engine product lineup

型 式	KG-12	KG-18	KG-12-V	KG-18-V
シリンダ径 (mm)	300		300	
回 転 数 (min ⁻¹)	50Hz	750	750	
	60Hz	720	720	
発電出力 (kW)	50Hz	5,200 7,800	5,200	7,800
	60Hz	5,000 7,500	5,000	7,500
発電効率 (%)	48.5		49	
NOx (ppm) (O ₂ =0%換算)	200		200	
可能運転領域	30~100%負荷		30~100%負荷	

このような状況の中、市場における発電効率での優位性をさらに伸長するために、グリーンガスエンジンの性能改善に継続して取り組んでいる。

1 概 要

(1) ラインアップ

開発当初より、グリーンガスエンジンは発電効率48.5%を達成し、発電効率では同クラスのガスエンジンにおいて世界最高レベルであった。エンジンの型式は、出力別に5,000kW級の12気筒エンジン（KG-12）と7,500kW級の18気筒エンジン（KG-18）の2タイプがある。

2010年には、さらに高効率なKG-Vシリーズをラインアップに加え、計4機種としている（表1）。

(2) 特 長

グリーンガスエンジンには、以下のような特長がある。

- 世界最高レベルの発電効率49%を有する。
- 排出ガス中のNOx（窒素酸化物）値は200ppm以下と低く、環境性能においてもトップクラスである。
- 50%の部分負荷においても45%の高い発電効率を維持できる。
- 大気温度、高度による出力への影響が少なく、夏期の全負荷対応が可能である。
- 起動から10分以内に100%負荷に到達でき、30~100%の広い負荷範囲の運転が可能である。また、これにより柔軟な運用を可能としている。

2 発電効率改善に対する取り組み

グリーンガスエンジンは、発売以降も世界最高レベルの発電効率を維持すべく開発を行ってきた。本章では発電効率改善に対する取り組みを紹介する。

(1) 可変ノズル型過給機 (VTA) の採用

2010年に、当社神戸工場の電源設備として、12気筒エンジンを採用した神戸パワーセンターを設置した。本センターは工場電源として使用するだけでなく、発電効率改善の場として活用しており、過給機仕様を変更したエンジンの開発を行った。従来は給気圧を排気バイパス弁で制御していたが、過給機自体に可変ノズル(VTA: Variable Turbine nozzle Area)を採用して給気圧の制御に用いることで、発電効率を従来の48.5%から49.0%へ向上させることができた。標準仕様(KG型と称す)と高効率仕様(KG-V型と称す)との過給方式の違いを図1に示す。KG型では給気圧の制御に排気バイパス弁を設けて、排気エネルギーの一部を放出することで制御を行っている。一方、KG-V型は排気バイパス弁を廃し、代わりに過給機に可変ノズルを設けることで過給制御を行っている。可変ノズルの採用で過給機前の排気筒内の圧力を下げることができ、給排気行程における、ポンプ仕事を増やすことによって効率を改善することができた。

可変ノズル型過給機を採用したエンジンは、2010年より神戸パワーセンターにて実証試験を行っており、年間を通じて安定した性能であることを確認した。

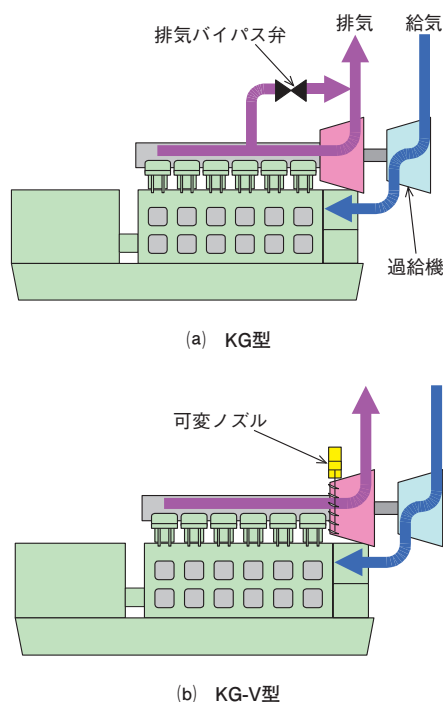


図1 過給方式
Fig.1 Turbocharger system

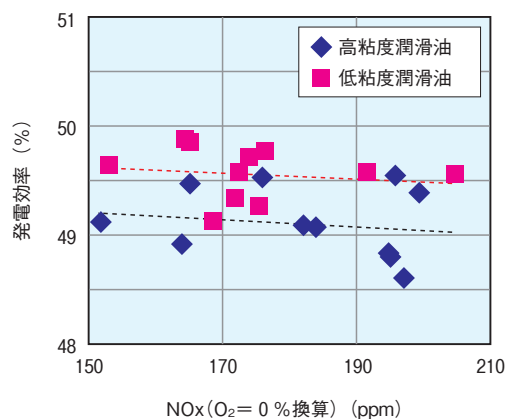


図2 潤滑油変更による発電効率改善
Fig.2 Improvement in efficiency through use of different lubricant

(2) 新型潤滑油の採用

近年、ガスエンジン用の潤滑油性能が向上し、低粘度潤滑油においてもエンジンが高温状態となった場合の粘度を確保できるようになった。

低粘度潤滑油の採用によりエンジンの機械損失を減らすことが可能となり、発電効率の向上が期待できる。当社でもガスエンジンへの適合を確認するため、神戸パワーセンターで従来の高粘度潤滑油から低粘度潤滑油へ変更し、確認運転を実施した。低粘度潤滑油使用下で1,000時間以上の運転を行い、発電効率の確認、および軸受けなどの機械摺動部品の信頼性を確認した。

発電効率については、従来の高粘度潤滑油を使用した場合より約0.5ポイント改善できた。また、試験後の解放点検において、軸受などの信頼性に問題のないことを確認した。潤滑油変更による効率改善の結果を図2に示す。現在、低粘度潤滑油は、従来機種へのオプションとしても対応している。

(3) 給気温度の変更

従来、ガスエンジンは主にコージェネレーションに用いられ、熱供給と電力供給の性能を両立させるように設備計画を行ってきた。しかしながら、昨今の電力事情に対する市場要求の変化から、発電性能のみに注力する案件の引き合いも増加している。このような市場の状況に対応すべく、熱利用よりも発電効率に重点を置いたエンジンの開発に着手した。

従来は熱利用のため、エンジンから取り出せる冷却水温度を高くして、温水としての熱回収率を高めることとしていた。今回は、取り出す冷却水の温度を高くする必要がないため、冷却系統を見直し、給気温度を下げることで性能改善を図った。

ガスエンジンは燃料の点火時期を早くする(進角)と燃焼時の圧力が上昇し効率が向上する。しかし、点火時期を早くし過ぎるとエンジンの運転を妨げるノッキングが多く発生する結果となる。今回は給気温度を下げることで、高

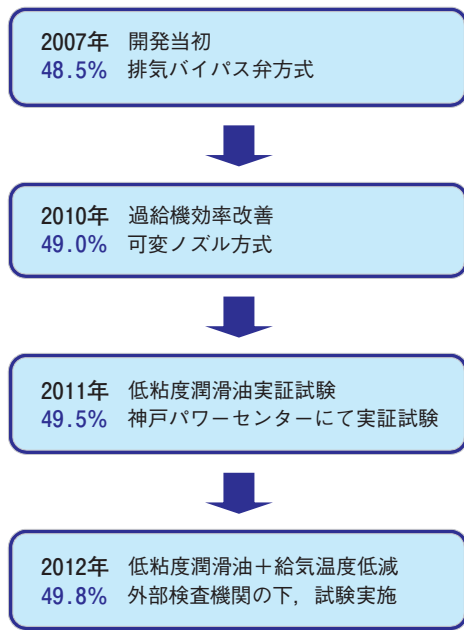


図3 発電効率改善の歩み
Fig. 3 Progress in improvement of power generation efficiency

効率化の妨げとなるノッキングに対するマージンを確保することができた。結果として、点火時期が進角可能となり発電効率改善が可能となった。実機での運転を通じ約0.2ポイントの発電効率の改善を確認した。

最終的に上記(1)-(3)の効率改善を組み合わせ、49.8%の発電効率を外部検査機関立ち会いの下で確認した。

グリーンガスエンジンの発電効率改善の歩みを図3に示す。

3 運用性の改善

ガスエンジンは一般的に連続運転可能負荷の下限が50%程度であるものが多く、発電効率は高いものの、実際の運転に対しては運用域が狭いという評価を受けていた。グリーンガスエンジンでは、発電効率だけでなく実際の運用においても扱いやすい発電設備にするために、運転領域の拡大に取り組んできた。神戸パワーセンターにおいて長時間の低負荷運転を実施し、エンジン運転範囲の検証を行った。

一般的に、ガスエンジンの長時間におよぶ低負荷運転では燃焼室に潤滑油などの燃焼残渣が発生してノッキングの発生要因となり、運転信頼性を妨げる結果となる。これに対し、神戸パワーセンターでの長時間の低負荷運転試験において、燃焼室内に発生する燃焼残渣が少ないことを実証

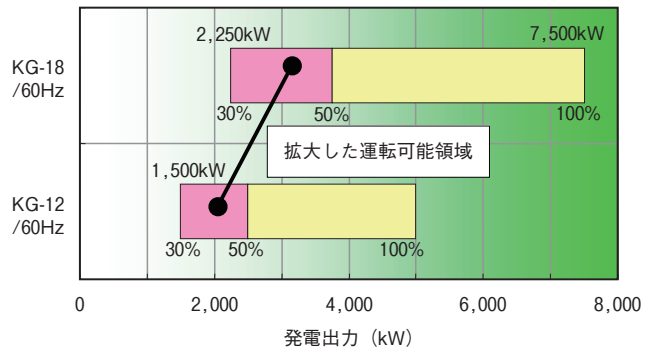


図4 グリーンガスエンジン運転可能領域
Fig. 4 Operation-fit domain for green gas engines

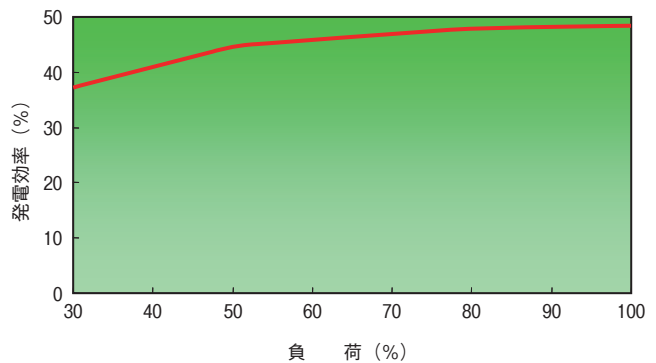


図5 部分負荷時における発電効率
Fig. 5 Power generation efficiency under partial load

し、グリーンガスエンジンの燃焼性能の高さを確認した。さらに、長時間の運転を通じ、グリーンガスエンジンの運転下限が従来のガスエンジンより低い30%まで設定できることを確認した。周波数が60Hz域でのエンジンの連続運転可能な発電出力の幅を図4に示す。また低負荷における発電効率減少も少ないことを確認した(図5)。

4 製造体制強化の取り組み

当社ではグリーンガスエンジンの性能改善と合わせ、高まる市場の要求に応えるべく2011年より製造体制の強化に取り組んできた。特に、大型工作機械(プラノミラー)の導入など工場の生産設備強化を行うとともに、組み立てラインや工場試運転設備の整備を実施した(図6)。その結果として、2012年は月産4台の製造能力を持つに至った。

グリーンガスエンジンの試運転場の全景を図7に示す。工場試運転設備としては3レーンを有し、うち2レーンは常設の試験発電機を備え付け、週1台の試験運転が実施可能である。また残る1レーンは、顧客に納入するエンジンと発電機ならびに補機を含めた総合試運転を可能とする試運転場として運用し、顧客のさまざまな試験要求に応えることができる。この試験設備には10,000 kWの乾式負荷装置を備え、エンジンと発電機を組み合わせたさまざまな負荷試験が可能である。

テーブル移動量 (m)	13.0
テーブル最大積載質量 (t)	200
門幅 (m)	5.5
門の高さ (m)	6.1



図6 生産設備 (プラノミラー)
Fig.6 Large-scale planomiller

あとがき

グリーンガスエンジンは、100年以上の往復運動エンジンの歴史と各種機器・プラントで磨かれてきた当社の最新制御技術をベースとして開発した。

当社は、ガスエンジン発電所として国内最大級である日本テクノ(株)110MW級発電所「袖ヶ浦グリーンパワー」(図8)を受注した。この発電所は今回の効率改善で実証された可変ノズル型過給機や低粘度潤滑油をいち早く採用するなどにより、発電効率49.5%で運用されている。

今後も、高効率かつ環境負荷の低いグリーンガスエンジンを供給することで、豊かな社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 桜井：“川崎重工の8 MW級大型ガスエンジン”，クリーンエネルギー (2007)
- 2) 桜井, 杉本, 徳岡：“8 MW級大型ガスエンジンについて”，コージェネシンポジウム (2007)
- 3) 桜井, 杉本, 徳岡, 野中, 橋本：“世界最高の発電効率と環境性能を達成 -カワサキグリーンガスエンジン-”，川崎重工技報, No.167, pp.6-11 (2008)



図7 工場試験設備
Fig.7 Factory test facility



図8 日本テクノ(株)110MW級発電所
Fig.8 110 MW class power station delivered to Nihon Techno Co., Ltd.



杉本 智彦



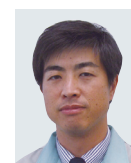
酒井 能成



服部 崇



堀江 尚



野中 洋輔