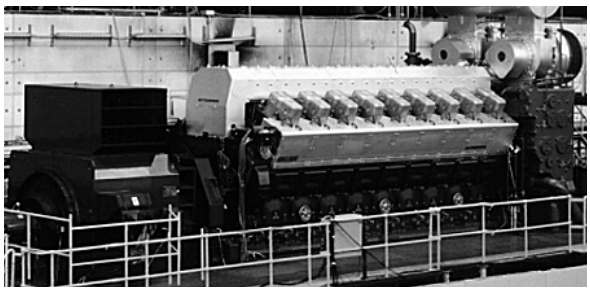
特 集 論 文

新開発定置発電用ディーゼルエンジン



Newly-Developed Diesel Engines for Generator Set

角 田 明　沼 田 明　高 石 龍 夫

当社では単機出力で180 kW～15 000 kWと幅広い定置発電用ディーゼルエンジンをラインアップしており，分散型電源として幅広く利用されている．昨今，環境規制の強化と電力供給の規制緩和を背景にディーゼルエンジンに対する排ガス低減と経済性，熱効率向上の両立が一層厳しく要求されるようになり，これらの要求に対応するべく当社では高効率，低排出ガスの新型定置発電用エンジンSU3及びMARK-30B（KU30B）を開発した．本稿では従来機関に対しNOx，スモーク等排ガスを従来レベルとしながら大幅な熱効率向上と出力アップを達成し，メンテナンス間隔の延長を可能にしたSU3及びMARK-30Bの最新技術について述べる．

1．は じ め に

地球温暖化，CO_2削減など環境問題や電力供給の規制緩和という変革の流れに沿って，従来の大規模集中電源から，需要地に密着し熱と電気を同時に有効利用する分散型電源がエネルギーの有効利用の点で注目されてきた．分散電源としてはガスタービン，ガス・ディーゼルエンジン及び燃料電池などの新エネルギーが利用されているが，中でもディーゼルエンジンは設置スペースが小さく，電力需要に合わせた発停，負荷調整が容易であるばかりでなく，発電比率が高く，電気と排熱利用を合わせた総合効率も高いことから産業，業務用を始め中小規模消費者まで幅広く普及している．

本稿では，当社発電用ディーゼルエンジンのラインナップを始め，窒素酸化物（NOx）を従来機関と同等に保ちながら熱効率向上を達成したSU3及びMARK（MITSUBISHI Advanced & Revolutionary KU）-30Bエンジンの最新技術を紹介する．さらに，ますます厳しくなる排ガス規制に対応すべく開発を進めている排ガス低減技術についても述べる．

2．当社発電用ディーゼルエンジンのラインアップ

当社では多様なニーズに対応するべく，単機出力で180 kW～15 000 kWまでの幅広い発電用ディーゼルエンジンをラインアップしている．**図1**に当社発電用エンジンの出力レンジを示す．SB～SRは主に店舗やビルなどの屋内外に簡便に設置できる小規模な発電パッケージとして利用されており，当社独自の防音構造を採用した70 dB超低騒音パッケージもラインナップしている．SUシリーズ，MARK-30Bはこれより電力需要の多い大規模店舗，ビルあるいは産業用などにコジェネレーション設備として採用されており，最近では電力供給の規制緩和を受けて発電事業者にも利用されるようになっている．KU34，KU44はディーゼルエンジンとしては比較的大規模な産業，事業用として利用されており，KUシリーズでは実績の50 %以上がC重油を使用している．

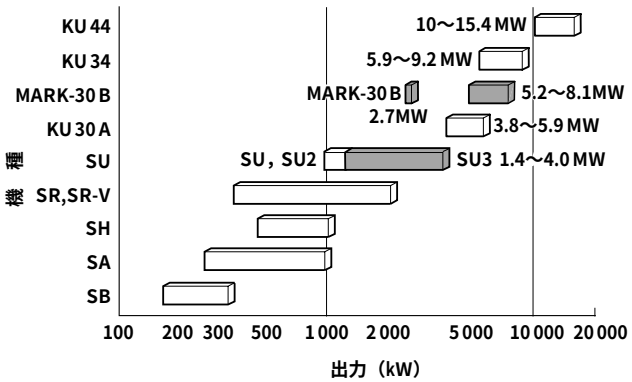


図1　三菱重工の定置発電用ディーゼルエンジン　当社発電用ディーゼルエンジンの出力レンジとラインナップを示す．

当社では，高効率，環境規制の一層の客先要求に対応するべく，今回，最新型ディーゼル機関であるSU3及びMARK-30Bをリリースした．

SU3は1.4～4.0 MW，MARK-30Bは5.2～8.1 MW及び新たにラインナップした直列6気筒2.7MWの出力レンジをカバーし，従来型に比べ出力，熱効率を向上している．MARK-30Bでは発電端熱効率46.8 %，SU3では44.1 %と各々クラス世界最高レベルの効率を実現している．また，主要部品のメンテナンス間隔を従来に対し1.5～2倍に延長するなど，メンテナンスコストの大幅削減をねらっている．

両エンジンの主要目を**表1**に示す．

両エンジンとも**図2**に示すとおり従来機関に対し，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の共通した設計思想により出力と効率の向上を同時に達成している．

3．SU3

(1) 機関本体の基本的構造

高効率化に伴う筒内最高圧力，高熱負荷に耐え，耐久性も同時に向上するべく種々の最新技術を導入したエンジン

表１　SU3及びMARK-30Bの主要目

SU３エンジンの主要目

シリンダ径×ストローク（mm）	240×320				
機関回転数（rpm）	900/1000				
周波数（Hz）	50/60				
シリンダ数	L６	V８	V12	V16	
発電機出力（kW）	1350/1500	1800/2000	2700/3000	3600/4000	

MARK-30B エンジン の主要目

シリンダ径×ストローク（mm）	300×420				
機関回転数（rpm）	750/720				
周波数（Hz）	50/60				
シリンダ数	L６	V12	V14	V16	V18
発電機出力（kW）	2700/2590	5400/5180	6300/6050	7200/6910	8100/7780

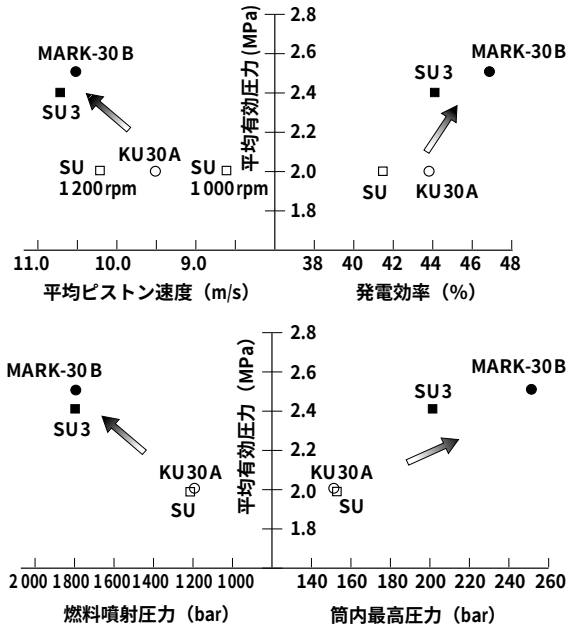


図２　SU3及びMARK-30Bの代表性能値　従来型と新型の熱効率，噴射圧，シリンダ内最高圧など代表性能値を比較している．

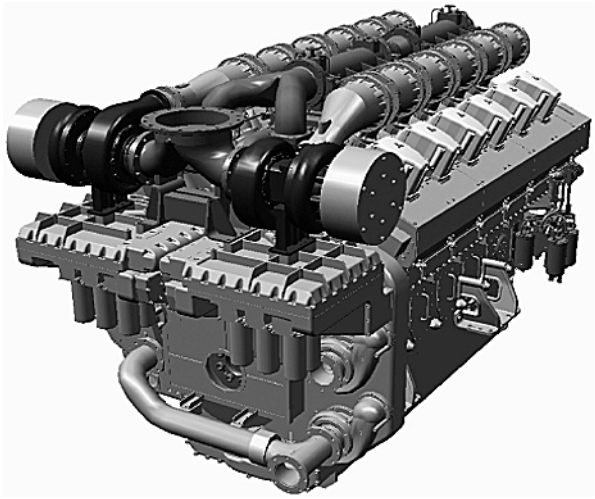


図３　ＳＵ３エンジンの外観　Ｖ型１２シリンダ：3 000 kW×1 000 rpm.

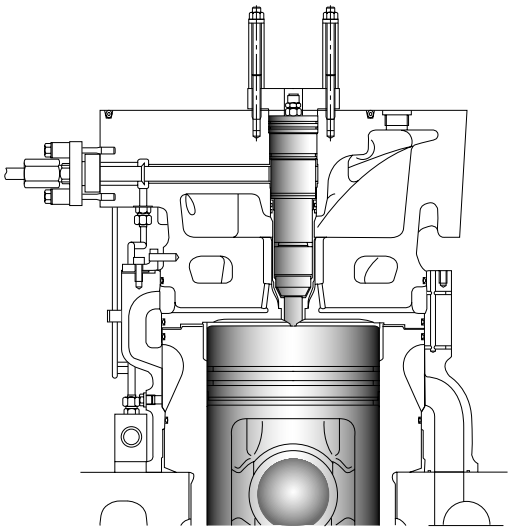


図４　SU3とMARK-30Bの燃焼室構造　バーミキュラ鋳鉄製シリンダヘッド，アンチポリッシュリング，３本リングを採用．

の外観を**図３**に，燃焼室構造の特徴を**図４**に示す．

シリンダヘッドには強度と熱伝導率にバランスの良い特性を持つバーミキュラ鋳鉄を採用，最も高温となる吸排気バルブ間をボアクーリングし，筒内最高圧力下の強度確保と燃焼室温度の低減を達成している．また，シリンダライナはアンチポリッシュリングの装備を標準としており，ピストントップランドへのカーボン付着を抑制してカーボンポリッシュを防止，潤滑油消費を低減している．ピストンリングはオイルリングを含めて３本構成を採用，耐摩耗性に優れたクロムセラミック材をリングフェースにコーティングし，筒内最高圧力下でも良好なしゅう動性能，耐摩耗性を得ている．

これらは，800台以上の納入実績を持つSUエンジンの信頼性・耐久性に優れた基本設計を踏襲するとともに，各種シミュレーション計算を用いた最適設計を実施している．さらに社内での連続耐久試験やオンサイト発電による実機試験をとおして高い信頼性・耐久性を確立している．

(2)　補機ユニット

また，潤滑油・冷却水系統など補機類（ポンプ，フィルタ，クーラ等）をモジュール化してエンジン上に搭載，外部配管を極力低減することにより機器の脱着のみで保守点検，交換が可能なよう配慮した設計としている．

図５にSU3の補機構成を示す．潤滑油系統はエンジン付の潤滑油ポンプから温調弁，冷却器，潤滑油フィルタを経由してエンジンに入るまで効率良く内部配管されている．

冷却水系統も同様に内部配管され，さらに潤滑油冷却器上に過給機を搭載，Ｖバンクの間に空気冷却器を配置し，給排気系統もコンパクトに効率良く収められている．これら補機類をエンジンに搭載することで，プラント設備との取合い配管も低減することができ，エンジン据付けの容易さ，設備の簡素化にも寄与している．

4．MARK-30B

(1) 機関本体

10万時間に及ぶ稼働実績を持つKU30シリーズエンジンをベースにSU3と同様の設計方針を5 000～8 000 kWクラスに適用することで，世界最高の46.8 %の発電効率を達成した．タイトル図にMARK-30Bの外観を，**図6**に当社長崎造船所のオンサイト発電所（初号機を適用し，平成15年1月6日より稼働中）を示す．

SU3と同様に潤滑油関係補機を機関付とし，エンジン据付工期の大幅な短縮を図ることができた．また，防振ベットを標準とし，振動を最小化している．

(2) 総合効率向上

MARK-30Bのヒートバランスを**図7**に示す．出力，熱効率の向上に加え，高／低温水回収を含めると総合熱効率80 %以上となり，高い総合効率を達成している．

(3) MARK-30B-MT（Mini-Twin，Mini-Trio）

MARK-30BではESCO事業者ニーズに対応すべく，2 700 kWクラスの2～3台プラント用に直列6シリンダバージョンも開発した．

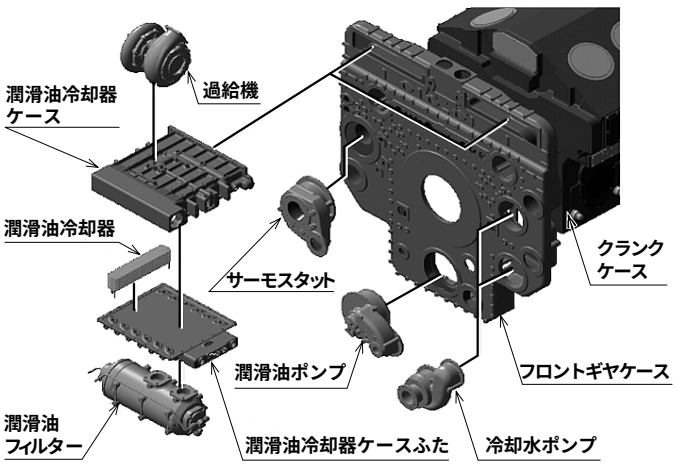
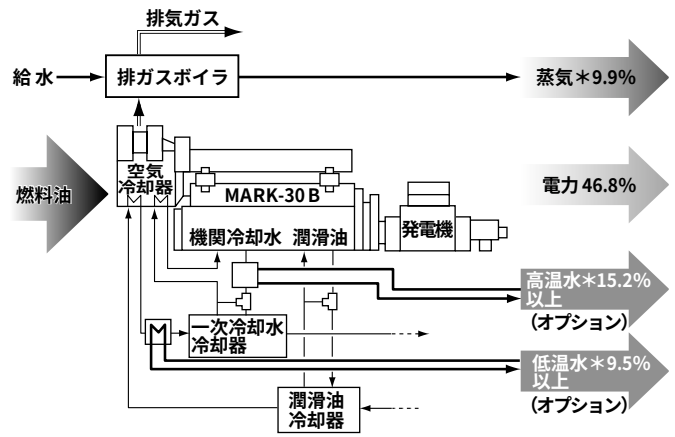


図5　SU3の補機構成　エアクーラ，LOクーラ，過給機，ポンプ類をモジュール化して搭載．MARK-30Bは燃料，冷却水ポンプを除きモジュール化．



＊蒸気もしくは高温水で吸収冷凍機(オプション)を運転し，冷水を得ることもできる

図7　MARK-30Bのヒートバランス　発電効率46.8%，温水回収を含め総合効率80%以上に達する．

コンパクトな標準配置としているので工期短縮が可能であり，大口径少数シリンダ機関であるため高効率でメンテナンス費用が低く抑えられる利点もある．

5．発電用ディーゼルエンジンの環境対応技術

高い経済性と排ガス規制に対応したクリーンで“地球に優しい”環境対応型ディーゼルエンジンを目指し，当社では種々の技術の開発を進めている．

中速ディーゼルエンジンでは，筒内への初期噴射を抑え，初期燃焼を緩慢にすることでNOx生成を抑制する一方，その後の燃焼はスモークの生成や熱効率に影響するので，主噴射を高圧化し，噴射期間を短縮することが望ましい．

当社では，上述の噴射パターンを実現するため，電子制御噴射ポンプを始めとする噴射率制御技術の実用化を進めている．**図8**において，2つの電磁弁の閉時期をずらし，プランジャ内の圧力上昇を制御して初期噴射量を抑え，適切な時期

図6　当社長崎造船所内のオンサイト発電所　当社長崎造船所オンサイト発電にて7月現在2 000H順調に稼働中．

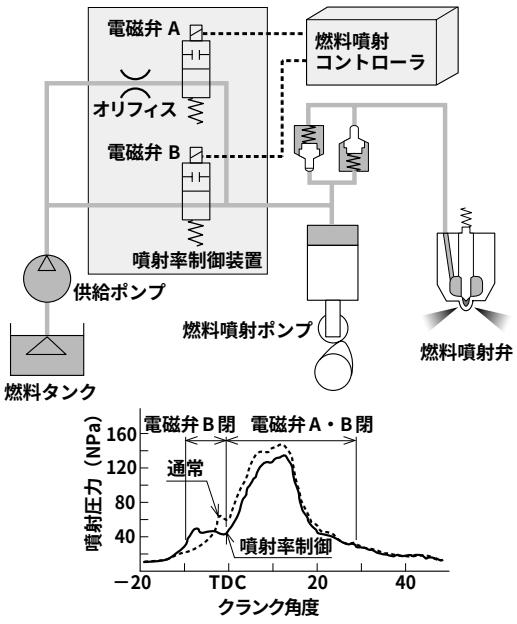


図8　電子制御噴射ポンプと噴射率制御(NOx15％減)　2つの電磁弁A，Bの閉タイミングを制御することで初期噴射率を制御する．

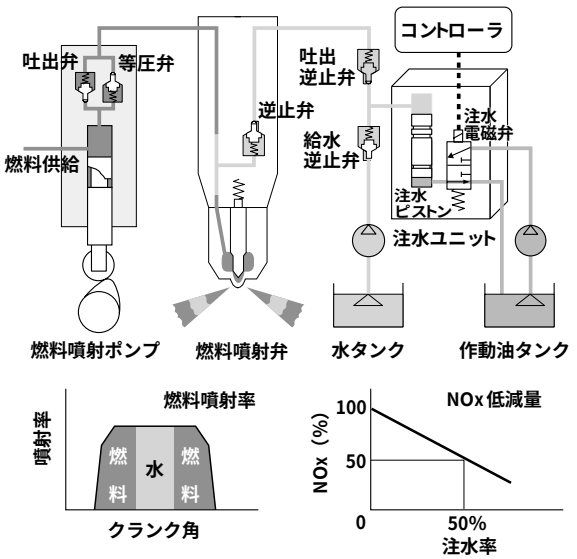


図9　層状水噴射装置の構成　注水ユニットにて直接燃料弁に水を供給．燃料・水・燃料の順で層状に噴射．

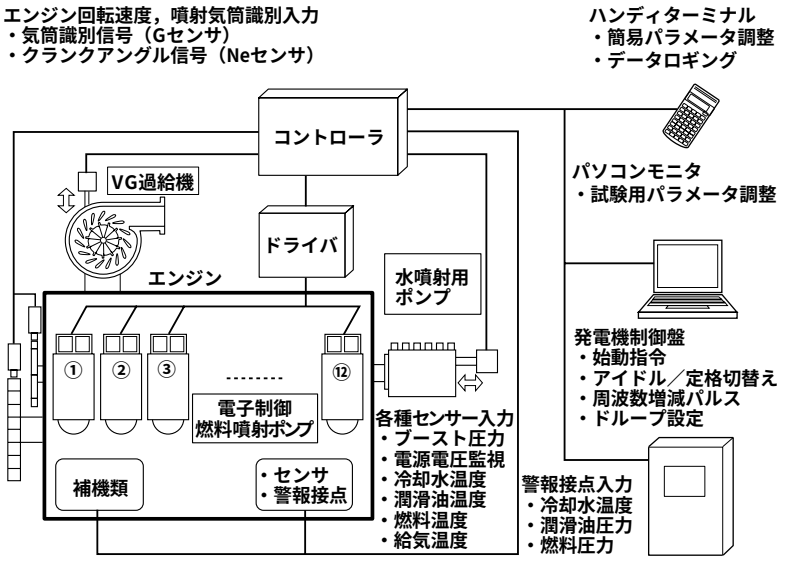


図10　電子制御システムの構成　電子制御噴射ポンプ，層状水噴射，VG過給機を搭載した電子制御システム．運転条件に合わせた最適制御が可能．

に通常の高圧主噴射に移行することにより熱効率を低下させることなくNOx略15 %の低減が可能であることを確認している．

一方，燃料・水エマルジョン，筒内直接水噴射，層状水噴射を代表とする水添加によるNOx低減技術も注目されている．層状水噴射は当社独自の技術で，熱効率の悪化を最小限にとどめながら大幅なNOx低減が可能であり，また，水添加量の調整，水添加の切替えが容易という特徴がある．**図9**に水噴射システムの構成を示す．

燃料量に対し50 %水添加することにより，略50 %のNOx低減が可能である．層状水噴射はKUシリーズエンジンにて既に実用化されており，50 000時間を超える商用運転の実績を有し，高いNOx低減効果が実証されている．

これらの技術は近年急速に発達しつつある電子制御技術によるところが大きいが，今後の性能向上，環境規制対応には上述の技術を組み合わせ，総合的に最適制御することが必要になるものと考えられる．**図10**にはエンジンの総合電子制御システムの一例を示している．電子制御噴射ポンプの燃料噴射と層状水噴射量を制御し，噴射パターンやタイミングを最適に制御することが可能となる．また，外気条件やエンジン各種圧力，温度を検知して過給圧力や燃料噴射をコントロールし，エンジンの最適状態を維持することができる．さらに，異常を検知して適正な運転モードに移行したり，補機類を制御する，あるいは上流側の発電機制御盤や中央制御室などからこれらをモニタしたり，調整するなど幅広いエンジン制御が可能となる．

6．ま　と　め

当社では幅広い出力レンジのディーゼルエンジンをラインナップし，定置発電用として多くのユーザに納入してきた．これらの多くの実績をフィードバックし開発したSU3及びMARK-30Bエンジンは高い熱効率と信頼性を有しており，安定した電力供給の一翼を担うものと考えている．

今後ますます厳しくなる環境規制に対応する新技術の開発を進め，クリーンで地球に優しいディーゼルエンジンを目指していく所存である．

SU3，MARK-30Bの高熱効率，低公害化研究開発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され，その成果がいかされており，ここに深く感謝の意を表します．

参　考　文　献

（1） 小田直芳ほか，三菱重工における分散型電源，三菱重工技報　Vol.39　No.3（2002-5）p.152
（2） 黒石卓司ほか，未来へつなぐ原動機の顧客サービス，三菱重工技報　Vol.40　No.2（2003-3）p.86
（3） 武知和志ほか，IT技術を駆使したエンジン製品のサービス技術，三菱重工技報　Vol.40　No.2（2003-3）p.96

角田明
横浜製作所
原動機技術部次長

沼田明
汎用機・特車事業本部
エンジン技術部主席技師

高石龍夫
技術本部
長崎研究所
内燃機・油器研究推進室長