

日本産業機械工業会会長賞 「Dual Fuel バイオガス発電システム (6EY26LDF)」 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

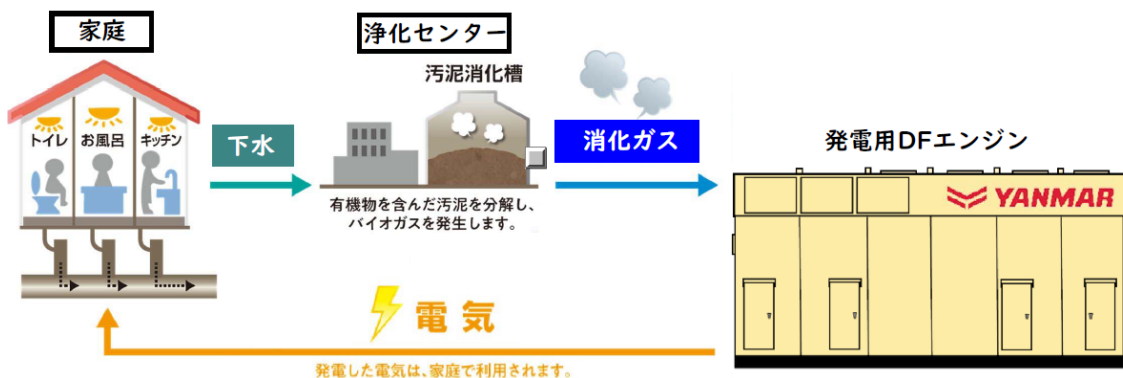
1. 装置の詳細説明

本システムは、大規模な下水処理施設や食品工場などで発生する下水汚泥や食品残渣などをメタン発酵させて得られるバイオガスを燃料として、デュアルフューエルエンジン（以下、DFエンジン）でMW級の発電を行うシステムである（図表1及び図表2参照）。

バイオガスは、下水汚泥や食品残渣から生成されるため、燃焼時に排出される二酸化炭素(CO₂)は生物由来の炭素としてカーボンニュートラルな燃料に位置づけられており、温室効果ガス(GHG)の削減に貢献する手段として注目されている。持続可能なエネルギー源であるバイオガスの有効活用は、環境問題の解決に向けた重要な対策となり得ると考えられる。

しかしながら、バイオガスは生物由来のため、ガス組成の変動が生じやすい。従来のエンジンではガス組成の変動幅を制御することが困難であり、その結果、エンジン制御対応範囲を超える変動が生じると、始動不能などの深刻な問題が発生する可能性があった。

本装置は、この課題を解決するために、DFエンジンを導入した。DFエンジンは、ディーゼル燃料とガス燃料の2種類の燃料供給系を併せ持つことを特徴としている。ディーゼル燃料のみで運転するディーゼル運転モードと、ガス燃料を主燃料とするガス運転モードの二つの運転モードが存在し、任意に切り替えて運転することが出来る。ガス運転モードでは微量のディーゼル燃料を火種（着火源）として噴射するため、ガス運転モード専用のマイクロパイロットディーゼルインジェクタを備えている。燃焼が不安定となる冷機時や始動時はディーゼル運転モードで運転し、燃焼状態が安定した後にガス運転モードに切り替える。燃料組成変動の大きいバイオガスに対して安定した運転を行うことで、その課題を解決した。図表3にDFエンジンの運転パターンの例を示す。



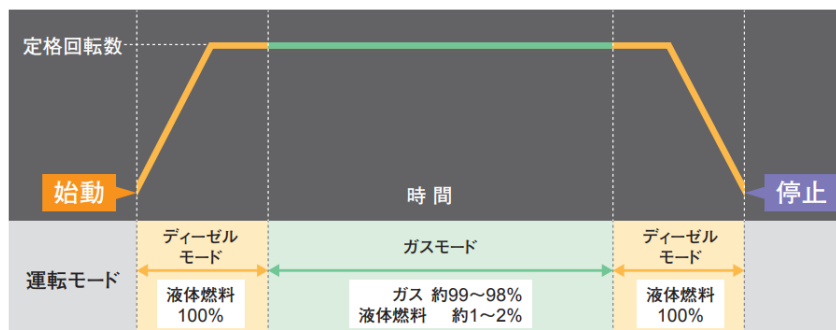
図表1 本装置の活用イメージ

図表 2 本装置の主要目

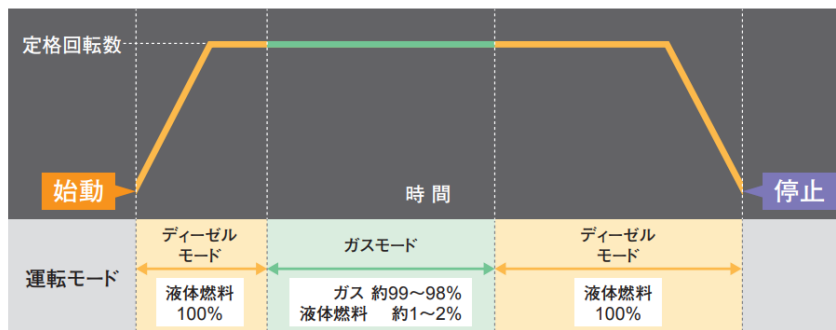
		形 式	6EY26LDF			
項 目		単 位	別置ラジエータ冷却仕様			
発電ユニット	発電機	周波数	Hz	50 60		
		定格出力	kW	990		
		形 式	-	ブラシレス三相交流同期発電機		
		電 圧	V	6600 (3300、440、400、220、200)		
		極 数	P	8	10	
		力 率	-	0.8 (遅れ)		
	エンジン	定格出力	kW	1075		
		形 式	-	立形直列水冷4サイクル デュアルフェューエルエンジン		
		シリンダ数	-	6		
		内径 × 行程	mm	Φ260 × 385		
		回 転 数	min ⁻¹	750	720	
		回 転 方 向	-	出力軸 (ハズミ車) より見て右		
		使用燃料	ディーゼルモード	-	A重油 (JIS1種2号相当以上、セタン指数≥45) 軽油 (JIS2号相当以上、セタン指数≥45)	
			ガスモード	主燃料	バイオガス CH ₄ 濃度: 50~65%、水分≤100ppm、硫化水素≤10ppm、シロキサン≤0.1ppm 供給圧力0.4MPa以上 (0.4MPa未満の場合はガス圧縮機が必要です)	
		副燃料		-	A重油 (JIS1種2号相当以上、セタン指数≥45) 軽油 (JIS2号相当以上、セタン指数≥45)	
		潤滑油	-	APIサービス分類 CD級		
始動方式	-	エアモータ式				
燃 焼 方 式	-	直接噴射方式 (ディーゼルモード) / 希薄燃焼パイロット着火方式 (ガスモード)				
潤滑方式	-	歯車ポンプによる自動注油式				
冷 却 方 式	-	別置電動ポンプによる強制循環清水冷却式				
過 給 方 式	-	排気ガスタービン (空気冷却器付)				
大気汚染防止法	-	適用				
発電ユニット質量 (水、油含)		kg	37500 (エンジン+発電機+共通台床)			

■ 運転イメージ

通常運転時



通常運転時、
ガス供給に支障が
発生した場合



ガス供給に支障が発生した場合、瞬時にディーゼルモードへ切替

図表 3 本装置の運転イメージ

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

これまで弊社になかった1MW級のバイオガスラインナップに加えることを早期に実施すべく、既に実績のある船用補機の転用化を図り開発を完了させた。

1) 開発目標

- ① 耐久性
- ② 燃焼安定性の確保
- ③ バイオガス熱量低下や供給量不足時（大規模長時間停電時）でも継続した定格出力運転可能な装置

2) 開発日程

2020年6月	開発要望書提出、審議
2020年12月	単気筒エンジンによる試験開始
2021年5月	商品化開始
2022年11月	第1号機納入

(2) 共同開発

本装置は、ヤンマーエネルギーシステム株式会社とヤンマーパワーテクノロジー株式会社が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は、次のとおりである。

- ・ヤンマーエネルギーシステム株式会社：
開発要望、システム設計、受注、納入、工事、試運転
- ・ヤンマーパワーテクノロジー株式会社：
特殊仕様審議会、試験、商品化審査会、付帯システム設計、製作

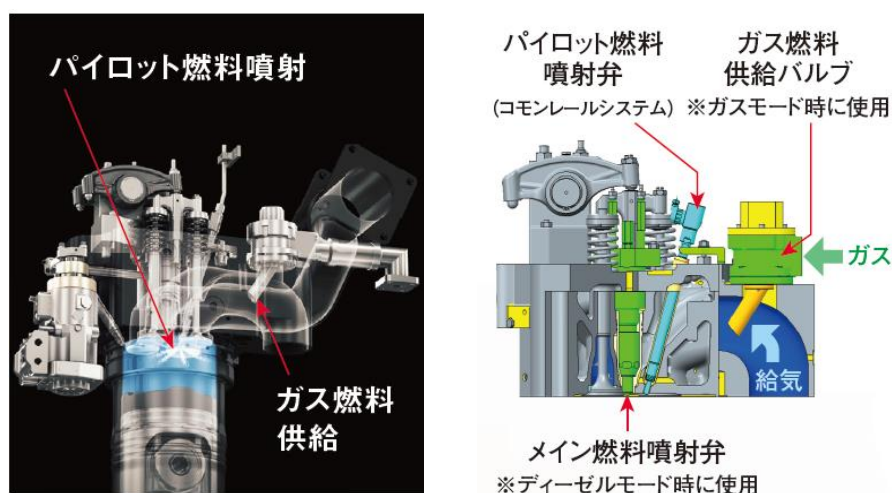
3. 独創性

(1) パイロット噴射弁の採用

本装置ならではの特徴として、これまでは着火に点火プラグを採用していたが、液体燃料をパイロット化し着火する仕組みを採用した(図表4)。パイロット燃料噴射によるディーゼル着火は、ガス燃料への強力な着火性を有し、燃焼機能を安定させている。

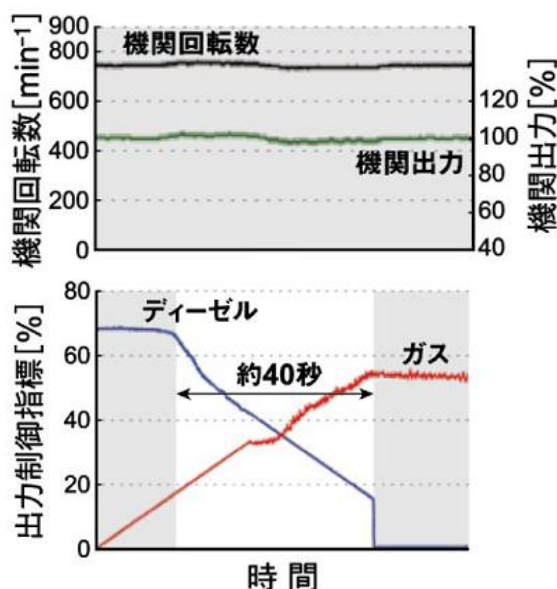
(2) 燃料切替え機能

本装置には、ディーゼル燃料とガス燃料の2つの燃料を使い分けて運転することが可能であり、出力などに制限がなくディーゼルモードからガスモードへの切替えが可能である。(図表5)



図表4 ディーゼルエンジン内部

◎ディーゼル▶ガス切替時



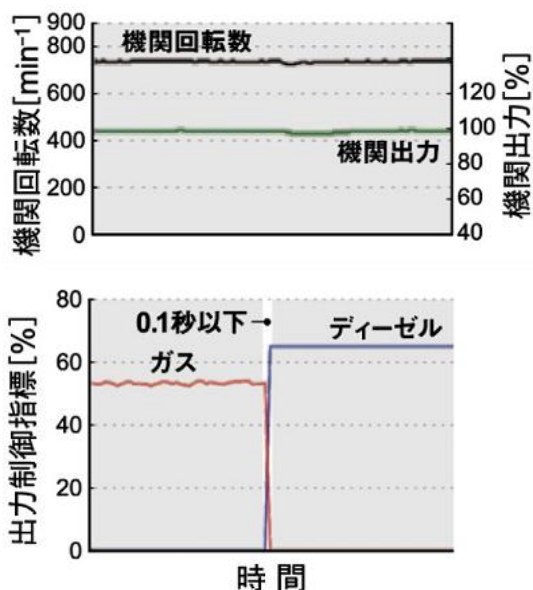
図表5 燃料切替時の機関回転数及び出力制御

また緊急時（災害時など）にはガスモードからディーゼルモードへ安全かつ瞬時に出力などを制限することなく移行することができる。（図表 6）

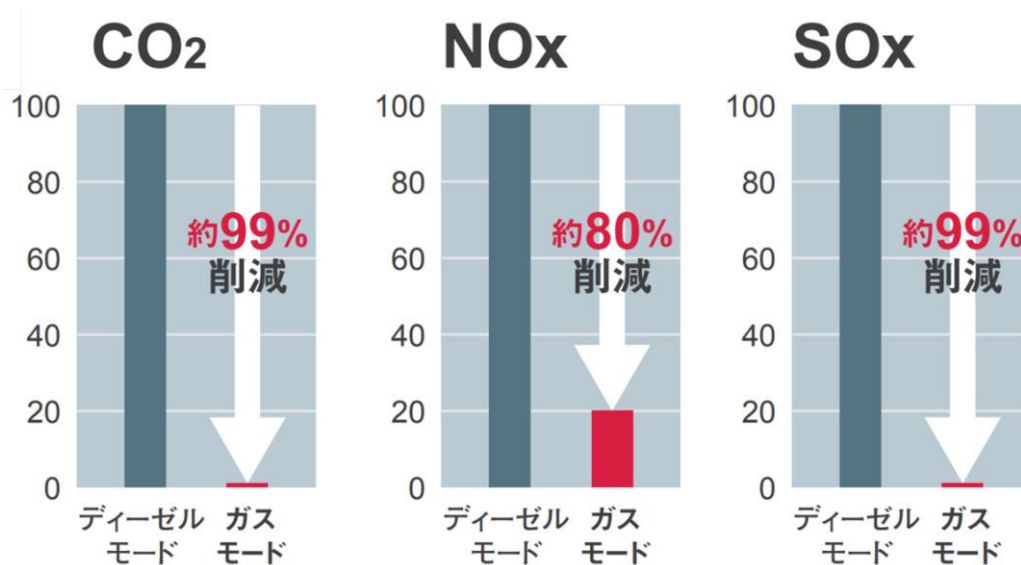
（3）環境負荷低減に貢献

ガス運転モードはディーゼルエンジンモードと比べ、CO₂を98～99%、NO_xを75～80%、SO_xを98～99%低減することができる（図表 7）。

◎ガス▶ディーゼル緊急切替時



図表 6 緊急切替時の機関回転数と出力制御



図表 7 ディーゼル運転モードを100とした時のガス運転モードの各排出量
(6EY26LDF 冷却塔仕様の場合)

4. 特許

なし

5. 性能

(1) DF バイオガス性能

本システムの耐久性に関しては、「安定した運転で故障しにくいこと」と「ガス運転継続不能時でも運転が可能」という点である。起動性能としてディーゼルエンジンによる始動のため、気温・湿度などの環境による影響を受けず、どのような環境でも始動ができる。またパイロット噴射によるディーゼル着火は、ガス燃料への強力な着火性を有し、安定した燃焼性能を実現するため、始動させる際の始動不能や燃焼の不安定性などのトラブルが少ないことは高い耐久性を持っているといえる。

災害時などによりガス運転継続不能な状況では、瞬時にディーゼルモードに切替えし、発電電力を確保することができる。すなわちエンジン出力を低下させることなく発電出力を維持することができるといえる。

さらにディーゼルモードの他にも混焼モードでの運転継続が可能である。ディーゼル燃料とガス燃料の両方を同時に使うことで、ガス燃料の不足時であっても、ディーゼル燃料の不足時であってもいずれかの燃料配分を制御して対応することが可能である。これまでバイオガス発生量によって出力が制限されたり、エンジンでの使用困難な際にフレアスタックによる余剰燃焼を行ってきたが、バイオガスの有効かつ継続的な消費が可能になった。

(2) 従来の点火プラグ方式から見た DF 機の優位性

従来の点火プラグ方式と比べ DF 機のエンジンの優位性を図表 8 に示す。

図表 8 性能等比較表

項目	本システム	スパークインジェクション バイオガス仕様
起動性能	○：ディーゼルエンジンによる正確な始動	×：熱量および季節(気温、湿度)変動の影響により、軌道不能に至る可能性あり
発電端効率	○：中速によるメカロス小 ➡大ボアによる体積効率高	×：高速の為メカロス大 ➡小ボアにより体積効率小
発熱量変動による 燃焼安定性	○：高エネルギー点火による着火及び燃焼安定性の改善が可能	×：スパークプラグ点火エネルギー限界による燃焼安定性改善が困難
ガス運転 継続不能時	○：①ディーゼルモードによる運転継続 ➡発電電力確保が可能 ②混焼モードで運転継続 ➡バイオガスの継続的な消費可能	×：エンジン重故障 ※複数台設置の場合は、スタンバイ機起動 ※エンジン起動ができない場合、バイオガス燃焼器によって焼却

6. 経済性

パイロット着火方式の特徴は、従来の点火プラグでの着火に替えパイロットインジェクタから微量の液体燃料を噴射し、筒内のガスへ着火させることである。パイロット燃料は微量であるが点火プラグに対して約8,000倍という強力な着火エネルギーを有するため、確実な着火性に加え、燃焼が安定し、効率が向上する。パイロット着火用燃料弁は、点火プラグの寿命が1,000～2,000時間であるのに対し、約6,000時間のメンテナンスで対応可能である。これにより、点火プラグの交換費用が掛からないため、メンテナンス費用を大幅に削減できる（図表9）。

イニシャルコストが従来設備と比べて高額だが、確実な着火による発電機会損失削減や発電機効率向上により10～15年でコスト回収を目指す。

7. 将来性

当社には同型式で気筒数の異なるエンジンがあり、またシリンダボアが220mmのものもある。これらのDF化も短期間に開発できるものと考えており、販路拡大を目指していきたい。

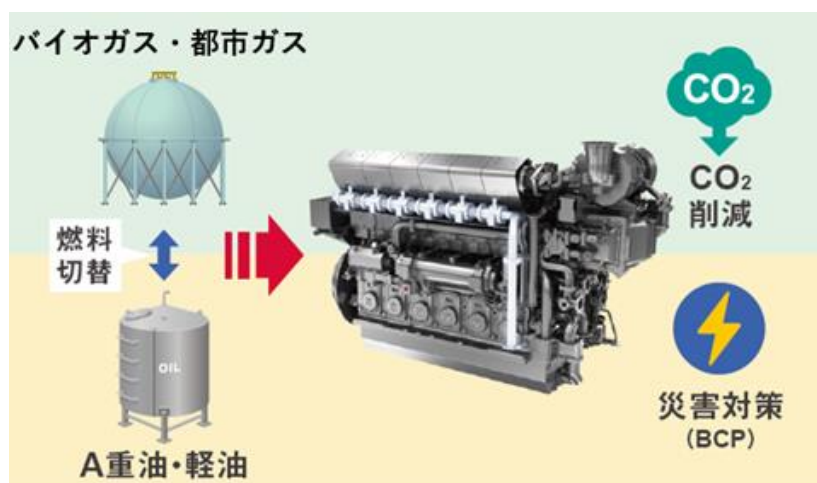
さらに事業継続計画（BCP）や停電災害時に、都市ガス入手困難な場合でもエンジンを駆動させることが可能であることから、バイオガス燃料だけでなく新たな市場での普及を目指せると考えている（図表10）。

図表9 従来システムと本システムの経済性比較（年間4,000時間稼働）

	従来システム (火花点火式ガスエンジン)	本システム (デュアルフューエルエンジン)
売電料金	100	119
燃料費	100	79
ランニングコスト	100	60

※燃料ガス（消化ガス）：80円/m³N、液体燃料（A重油）：70円/L、売電：39円/kWhとする。

※システム毎に消化ガス消費量が異なるため同量換算とした。



図表10 本システムの運用イメージ