

高効率・高出力ガスエンジン 22AG の開発

Development of High Density Gas Engine 22AG

後 藤 悟 新潟原動機株式会社 技術センター技術開発グループ開発設計チーム マネージャー
 西 栄 文 新潟原動機株式会社 技術センター技術開発グループ開発設計チーム
 中 山 貞 夫 新潟原動機株式会社 技術センター技術開発グループ開発設計チーム
 高 橋 伸 輔 新潟原動機株式会社 技術センター技術開発グループ開発設計チーム マネージャー

正味平均有効圧力 2.0 MPa, 発電端熱効率が 40%を上回る高効率・高出力のガスエンジン 22AG を開発した。本エンジンは新しいマイクロパイロット着火方式を採用している。マイクロパイロット着火方式は強力な着火エネルギーが得られるため、従来の火花点火方式に比べ、10%の熱効率アップと 30%の出力アップが実現できる。また、強力な着火エネルギーによって、低発熱量のガスを燃焼させることができ、熱分解ガスやバイオガスなどの低カロリーガスの有効利用に寄与することが期待できる。

Niigata Power Systems Co., Ltd. has launched strategic sales activity of the newly developed gas engine "22AG" with high BMEP of 2.0 MPa, and high electric thermal efficiency of 40% or more. This engine adopts the new micro-pilot compression ignition system which provides powerful ignition energy, compared with the conventional spark ignition system, so 30% of output increase and 10% of thermal efficiency increase are realizable. Moreover, gas of low calorific value can be used to contribute to effective use of low calorie gas, such as pyrolysis gas and bio-gas.

1. 緒 言

新潟原動機株式会社（以下、NPS と呼ぶ）は、正味平均有効圧力（以下、BMEP と呼ぶ）2.0 MPa, 発電端熱効率が 40%を上回る高効率・高出力のガスエンジン 22AG を開発した。本エンジンはマイクロパイロット着火方式を採用している。マイクロパイロット着火方式は、さまざまなガスを燃料ガスとして使用できる大きな利点も兼ね備えている。

本稿では、マイクロパイロット着火方式ガスエンジンの熱効率および出力アップの状況について述べるとともに、熱分解ガスやバイオガスなどの低カロリーガスを燃料とした実証試験結果について述べる。

2. マイクロパイロット着火方式

22AG エンジンは、新しいマイクロパイロット着火方式を採用している。このマイクロパイロット着火方式は、全熱量の約 1%に相当するパイロット油、すなわちディーゼル油を着火源として使用したものであり、従来の火花点火方式に比べ、より強力な着火エネルギーを得ることができる。

強力な着火エネルギーは、希薄混合気の素早く確実な燃

焼を実現した。この結果、燃焼開始から完全燃焼までの燃焼期間は非常に短くなる。このため、従来の火花点火方式ガスエンジンに比べ、10%の熱効率アップと 30%の出力アップが実現できる。

着火方式は異なるが、燃焼システムは従来と同様の希薄燃焼方式を採用しているため、排気ガス中の NO_x 排出量は従来のガスエンジン同様に低い値を維持している。 NO_x 排出量は、主としてパイロット油の量に左右されるが、使用するパイロット油が微小であるため、低い NO_x レベルを維持することができ、大気汚染防止法に定める排出基準を満足する。

また、強力な着火エネルギーによって、熱分解ガスや下水汚泥ガスのような非常に低い発熱量のガスも燃料ガスとして使用することができる。

3. 22AG エンジンの紹介

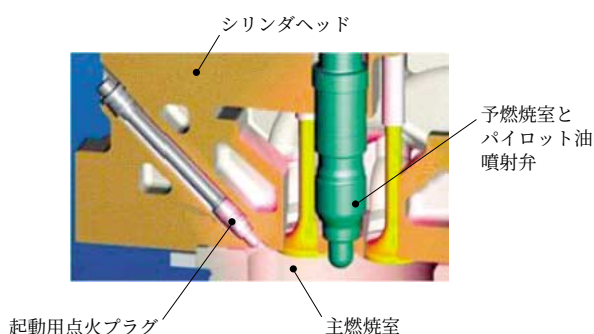
3.1 22AG エンジンの概要

22AG エンジンには、第 1 表に示すシリンダ数の異なる 5 機種がある。また、22AG エンジンで採用している点火プラグを用いた起動方式（第 1 図）は NPS の独自の方式であり、起動確率が高く、マイクロパイロット着火方式の

第 1 表 22AG 主要目
Table 1 General specifications

エンジン型式	6L22AG	8L22AG	12V22AG	16V22AG	18V22AG
シリンダ数	6	8	12	16	18
シリンダ径 (mm)	220				
ストローク (mm)	300				
排気量 (l)	11.4 (シリンダ 1 本当たり)				
正味平均有効圧力 (MPa)	1.96				
発電機出力 *1 (kW)	1 050	1 400	2 120	2 850	3 200
発電機出力 *2 (kW)	950	1 260	1 910	2 560	2 880
着火方式	マイクロパイロット				

(注) *1 : 50 Hz, 1 000 min⁻¹
*2 : 60 Hz, 900 min⁻¹

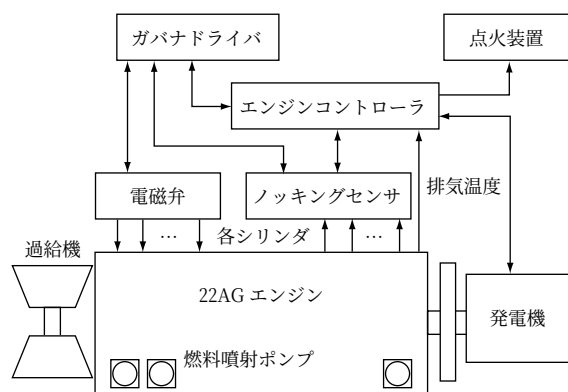


第 1 図 点火プラグ起動方式
Fig. 1 Spark start system

起動方式としては最も優れているものである。この方式は、すでにアメリカの特許 6209511 を取得しており、日本、欧州にも出願している。

第 2 図に 22AG エンジンの制御ブロックダイヤグラムを示す。少量の液体燃料（パイロット油）を供給するために、新しく開発された燃料噴射ポンプは、ディーゼルエンジンのポンプとの部分共通化を図り、単純な構造となっているため、メンテナンス性に優れている。

燃料ガスは、エンジン・コントローラ、ガバナドライバ、



第 2 図 エンジン制御ブロックダイヤグラム
Fig. 2 Engine control block diagram

および各シリンダに備えた電磁弁から成る EFI（電子燃料噴射装置）システムによってエンジンに供給される。エンジン・コントローラは、最良の性能を維持するために燃料ガスの供給タイミング、供給量を最適に制御する。各シリンダの排気温度は、この EFI システムによって自動的にコントロールされる。

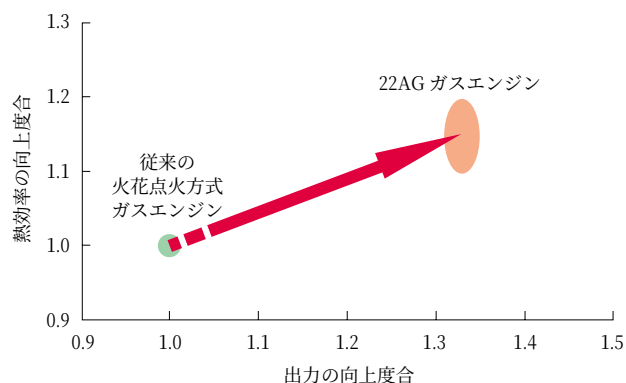
また、ノッキング制御システムも装備されている。シリンダにノッキングが発生した場合、これを検知し、当該シリンダへの燃料ガス供給量はエンジン・コントローラによって自動的に減少され、ノッキングを回避する。このシステムによって、安定した連続運転を維持することができる。

3.2 22AG エンジンの熱効率および出力

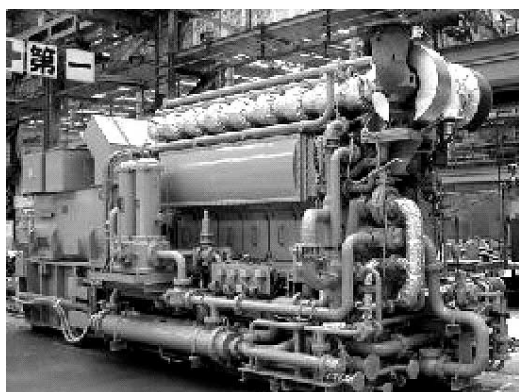
第 3 図は、従来の火花点火方式ガスエンジンに対する 22AG エンジンの熱効率、出力の向上度合を示したものである。マイクロパイロット着火方式による強い着火エネルギーは、従来の火花点火方式に比べ迅速な燃焼を実現する。一般に、従来の火花点火方式によるガスエンジンの熱効率は約 32~38%であるが、22AG エンジンでは 40%以上であり、従来の点火方式に比べ 10~20%の効率アップが得られる。

3.3 22AG エンジンの実績

第 4 図に 22AG エンジン初号機の 8L22AG の外観を示す。本エンジンは国内化学工場のコージェネレーションシステムとして、2002 年の夏から 3 台が稼働している。エンジン出力は 1 260 kW であり、3 台ともに連続常用運転を行っている。現在に至るまでの総運転時間は約 10 000 時間であり、この間大きなトラブルは発生していない。



第 3 図 熱効率と出力の向上度合
Fig. 3 Progress of output and thermal efficiency



第4図 初号機 8L22AG (1 260 kW × 3 台)
Fig. 4 First delivered 8L22AG (1 260 kW × 3)

4. 低カロリーガスの利用

廃棄物をガス化することによって得られる生成ガスは、ガス変換方式、廃棄物の種類・性状、プラント運転条件の違いで、その組成や発熱量が異なる。代表的な例は、CO、H₂ および CO₂ が各々 30 ～ 35 vol% 含まれ、真発熱量（以下、発熱量と呼ぶ）は約 7.5 MJ/m³_N であり、13A 都市ガスの 5 分の 1 に相当する。また、CO₂ は消火剤として用いられるように燃焼の抑制効果を与える。このため、着火の確実性と火炎伝ば時間の短縮が生成ガスの燃焼に対して不可欠の技術となる。

4.1 試験装置（単気筒供試エンジン）および試験方法

単気筒供試エンジンの外観を第5図に示し、主要目を次に示す。

型 式	1-26HX-AG
シ リ ン ダ	260 mm
ストローク	275 mm
定格回転数	1 000 min ⁻¹
排 気 量	14.6 l (シリンダ1 本当たり)



第5図 単気筒供試エンジンの外観
Fig. 5 Single cylinder test engine (1-26HX-AG)

燃焼試験はLNG、および熱分解ガスあるいは消化ガスを模擬した混合ガスを使用し、4 サイクル単気筒エンジンで実施した。

本試験に使用した燃料ガス（以下、疑似ガスと呼ぶ）は、生成ガス性状を模擬するものとして、CO、H₂、CO₂ または N₂ を混合調整したものである。その成分濃度、発熱量を第2表に示す。

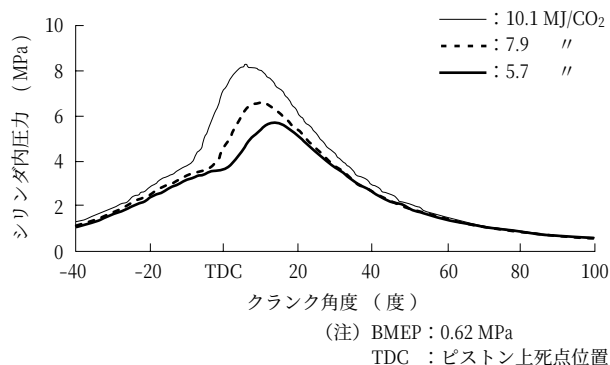
4.2 試験結果と考察

BMEP を 0.62 MPa で、同一パイロット油の噴射時期で運転したときのシリンダ内における CO₂ ベース疑似ガスの燃焼圧力波形を第6図に示す。圧力上昇の開始時期は発熱量が低くなる（疑似ガス中の CO₂ 濃度が高くなる）に従って遅くなり、シリンダ内の最高圧力（以下、P_{max} と呼ぶ）も発熱量の低下に呼応して下がることが分った。

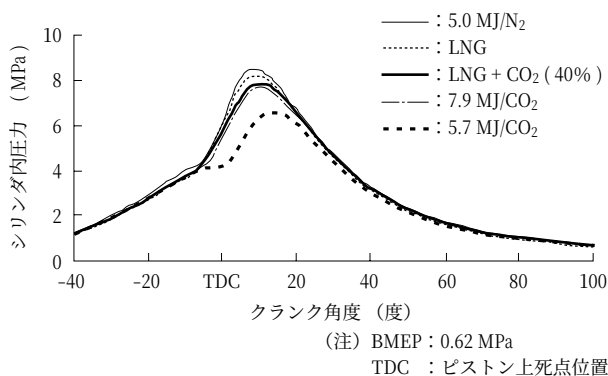
第7図に示す各種疑似ガスの燃焼圧力波形では、5.7 MJ/CO₂ の場合を除いてピストン上死点前 4 度のクランク角度（4° CABTDC）で圧力上昇を始めている。5.0 MJ/N₂、5.7 MJ/CO₂ および LNG の燃焼圧力波形を比較すると、5.0 MJ/N₂ は発熱量が 5.7 MJ/CO₂ や LNG よりも低いにもかかわらず、P_{max} の値はほかのものより高い。また、5.7

第2表 試験ガスの成分濃度と発熱量
Table 2 Composition and lower heating value of test gas

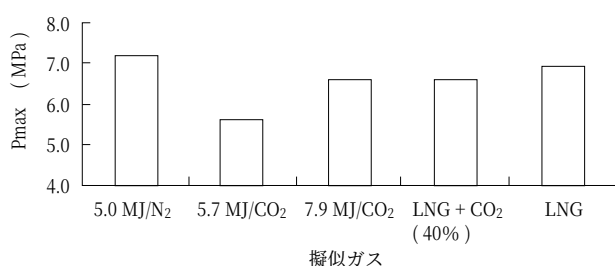
疑似ガス名称	ガス成分濃度 (vol%)					低位発熱量 (MJ/m ³ _N)	備 考
	H ₂	CO	CO ₂	N ₂	メタン系炭化水素		
7.9 MJ/CO ₂	32	35	33	0	0	7.9	CO ₂ ベース
5.7 MJ/CO ₂	26	23	51	0	0	5.7	"
10.1 MJ/CO ₂	46	40	14	0	0	10.1	"
5.0 MJ/N ₂	23	20	0	57	0	5.0	N ₂ ベース
LNG	0	0	0	0	100	41.0	
LNG + CO ₂	0	0	40	0	60	21.0	



第6図 CO₂ ベース疑似ガスの燃焼圧力波形
Fig. 6 Pressure curves of CO₂ base fuels



第7図 各種疑似ガスの燃焼圧力波形
Fig. 7 Pressure curves of various fuels

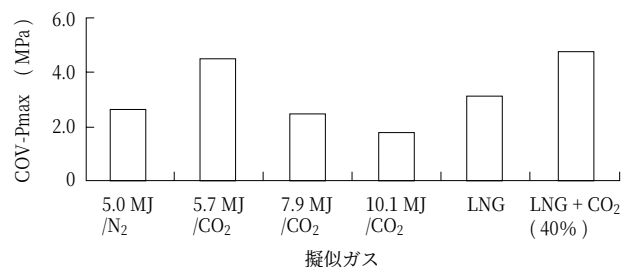


第8図 各種疑似ガスのシリンダ内最高圧力 (Pmax)
Fig. 8 Pmax of various fuels

MJ/CO₂ の Pmax の値は最も低い結果となっている (第8図)。つまり、N₂ ベースの疑似ガスは、CO₂ ベースの疑似ガスに比べ圧力上昇の開始が早く、Pmax の値は高い。このため、着火タイミングが同じ場合でも、圧力上昇の開始時期と Pmax の値は異なることになる。以上の結果から、CO₂ は N₂ より燃焼抑制効果があるものといえる。

また、LNG + CO₂ (40%) の Pmax の値は、LNG 使用時より若干低い値を示すが、これらの燃焼圧力波形にはそれほど差異がない。つまり、マイクロパイロット着火方式の強力な着火エネルギーは、CO₂ の燃焼抑制の影響を受けていない。

第9図は、各種疑似ガスの燃焼変動割合 (以下、COV-Pmax と呼ぶ) を示す。COV-Pmax の値は、200 サイクル中の Pmax 標準偏差値を Pmax の平均値で割ることで得られる比率を示したものである。各種疑似ガスの COV-Pmax の値は約 2~5% である。これらの 200 サイクル中にはミス着火は発生しなかった。COV-Pmax の値は、都市ガスまたは天然ガスの場合と同等であり、商用運転可能と判断で



第9図 各種疑似ガスの燃焼変動割合 (COV-Pmax)
Fig. 9 COV-Pmax of low-calorie gas

第3表 着火方式の違いによる調整差異と CO₂ 濃度限界
Table 3 Difference between spark ignition and pilot ignition for bio-gas

着火方式	火花点火方式	マイクロパイロット着火方式
BMEP (MPa)	0.62	0.62
圧縮比	10	12
着火タイミング*1 (deg. CABTDC)	24 (火花点火時期)	20 (噴射開始時期)
CO ₂ (%)	45 (限界値)	74

(注) *1: ピストン上死点前クランク角度

きる。

第3表は、火花点火方式とマイクロパイロット着火方式を比較したものである。両方式における安定燃焼が可能な CO₂ 濃度の限界点を試験によって把握した。火花点火方式の場合、CO₂ 濃度が 45% に達した際に燃焼サイクル中にミス着火が発生した。これに対し、マイクロパイロット着火方式では、70% の CO₂ 濃度でさえミス着火は確認されていない。したがって、燃料ガスに CO₂ のような燃焼抑制効果を含んでいても、マイクロパイロット着火方式では安定した燃焼を実現できる。

5. 結 言

マイクロパイロット着火方式を採用した 22AG エンジン は、正味平均有効圧力 2.0 MPa、発電端熱効率が 40% を上回る高効率・高出力 of ガスエンジンであり、ディーゼルエンジンと同等の性能を実現している。

さらに、マイクロパイロット着火方式は 70% CO₂ 濃度のような低い発熱量の燃料ガスの使用も可能である。このため、廃棄物をガス化することによって得られる生成ガスのような、低カロリーガスの有効利用に寄与することが期待できる。