

# 高効率ガスエンジンの燃焼信頼性向上技術

## Technology for Improving Combustion Reliability on High Speed Engine



古川 雄太\*<sup>1</sup>  
Yuta Furukawa

田村 太郎\*<sup>2</sup>  
Taro Tamura

小森 大輔\*<sup>2</sup>  
Daisuke Komori

北村 陽昌\*<sup>2</sup>  
Yosuke Kitamura

柚木 晃広\*<sup>3</sup>  
Akihiro Yuki

竹本 大育\*<sup>4</sup>  
Daisuke Takemoto

高効率化と高出力化の市場要求に応えるため新型発電用ガスエンジン G16NB の開発を実施している。三菱重工技報 Vol.52 にて性能面(発電効率 44.7%以上達成等)の成果を紹介したが、本稿では耐久検証状況及び燃焼信頼性向上技術について以下の成果を紹介する。(1)累計検証運転時間 4700 時間達成(2016 年 11 月時点)、(2)過負荷・過回転耐久試験後の点検結果良好、(3)ノッキング検知精度約 30~40%向上、(4)燃焼変動 20%低減、(5)副室ガス供給弁の高信頼性化(逆流量 76%低減)。

## 1. はじめに

近年、発電用ガスエンジンは高効率化と高出力化が同時に求められており、その市場要求に応えるため新型発電用ガスエンジン G16NB の開発を実施している。高効率化、高出力化には燃焼圧力・温度の上昇が不可欠であるが、あわせて構造・摺動・燃焼面での信頼性確保が必要である。

三菱重工技報 Vol.52 では G16NB の開発に関して性能面を中心に以下の成果を紹介した。

- ・二段過給システムの採用や燃焼最高圧力の上昇により機関の発電効率が+4ポイント%向上し、クラス世界最高レベルである 44.7%以上を達成
- ・正味平均有効圧力が現行機種に対し+0.5MPa 上昇  
(同排気量・同回転数にて出力が 33%増加)

本稿では G16NB 開発の続報として、耐久検証状況及び以下の燃焼信頼性向上技術について紹介する。

- ・ノッキング(異常燃焼)検知・抑制技術
- ・燃焼変動抑制技術
- ・副室燃料ガス供給弁信頼性向上技術

尚、エンジンの主要諸元は表1の通りである。

\*1 三菱重工エンジン&ターボチャージャ(株)エンジン・エナジー事業部技術部 技術士(機械部門, 総合技術監理部門)

\*2 三菱重工エンジン&ターボチャージャ(株)エンジン・エナジー事業部技術部

\*3 総合研究所 主席プロジェクト統括

\*4 総合研究所燃焼研究部

表1 G16NB 主要諸元

シリンダ径	mm	170
ストローク長	mm	220
定格回転数	min <sup>-1</sup>	1500
シリンダ数	—	16
定格出力(発電機端)	kW	2000
点火方式	—	火花点火

## 2. 検証状況

現在、単体試験機及び発電セット試験機にて耐久検証を実施しており、合計4700時間の運転実績がある。(2016年11月11日時点)

特に単体試験機では過負荷・過回転条件にて耐久検証を実施しており、その後の開放点検にて各部品の状態が良好であることを確認した。耐久後の点検結果の例として、主摺動部であるクランクピンメタル、メインメタル、シリンダライナの写真を図1に示す。

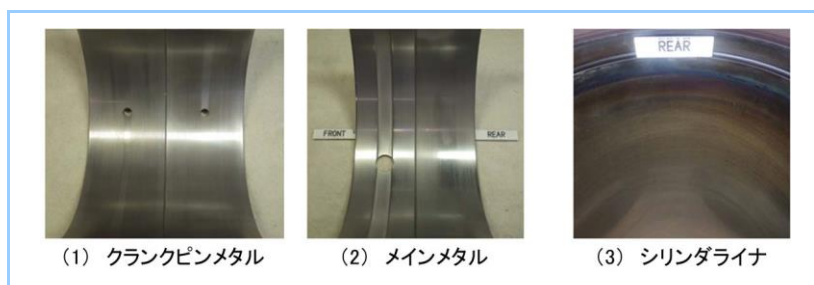


図1 G16NB 部品点検状況

また、発電セット試験機は弊社工場に電力及び蒸気を供給するコージェネレーション設備として実用運転をしながら検証しており、デマンドレスポンスへの対応等により工場のエネルギー運用の効率化に貢献している。

引き続き各試験機を用いて長時間運転による信頼性検証を実施中である。

## 3. 信頼性向上技術

### 3.1 ノッキング(異常燃焼)検知・抑制技術

ガスエンジンでは一般的にノッキングと呼ばれる異常燃焼が発生することがある。熱効率が高い運転条件ほどノッキングが発生し易いことが知られており、機関損傷を引き起こす可能性があるためノッキングの検知・抑制が高効率化には不可欠である。2MWクラスのガスエンジンでは一般的に加速度センサにてノッキング検知を実施している。従来機種ではノッキング検知システムに自社製ではない購入品を使用していたが、より高度な検知及び制御を実施する目的でノッキング検知・制御機能を含む自社製コントローラを開発し G16NB に採用した。システム概要図を図2に示す。

自社製コントローラでは検知精度の向上を目的に、構造解析による加速度センサの配置位置選定、内部回路の最適化、ロバストな検知ロジックの導出を実施している。ノッキング検知精度の検証として筒内圧センサを用いて検知した値(ノッキング真値※と呼ぶ)と加速度センサによって検知した値との相関を確認した結果を図3に示す。自社製コントローラによる検知の方がノッキング真値との相関係数が30~40%程度高く、ノッキングの検知精度が高い結果を得た。負荷、点火タイミング、燃料種、機関仕様などの各種条件下に対しても良好な検知精度を確認している。これにより信頼性を確保しつつ高効率で運転が可能となる目途を得た。

※筒内圧による検知は燃焼室内の圧力を直接的に計測しているためノッキングの検知精度が高い。

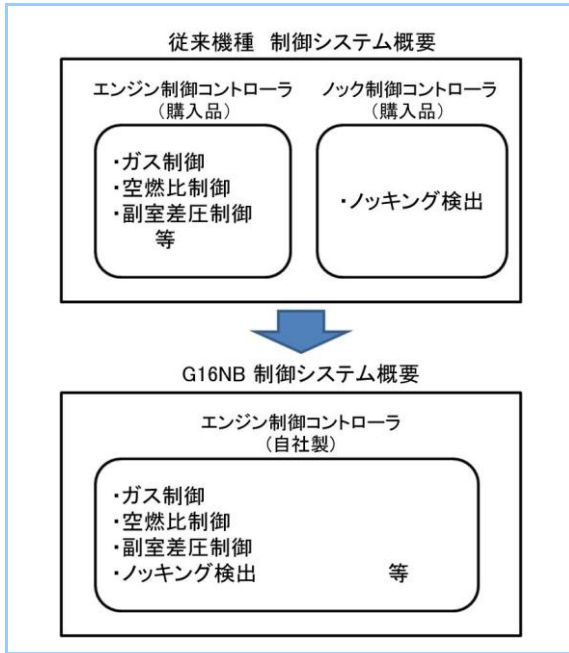


図2 G16NB 制御システム

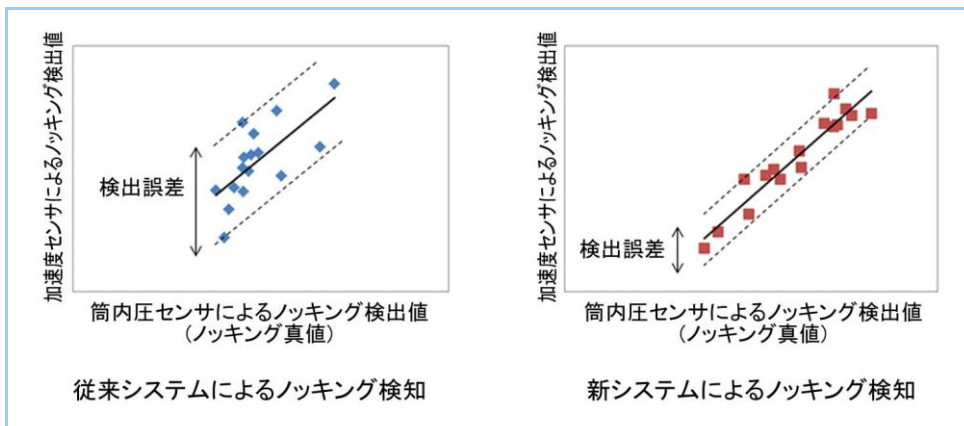


図3 ノッキング検知精度比較

### 3.2 燃焼変動抑制技術

一般的にガスエンジンはディーゼルエンジンと比較し、サイクルごとの燃焼最高圧力の変動が大きい。この燃焼変動は失火やノッキングの原因となる可能性があり、また効率向上を阻害するため、燃焼変動の抑制が信頼性確保には不可欠である。

G16NB では副燃焼室(以下副室とする)式の燃焼方式を採用しており、副室内の燃焼を安定化することで燃焼変動の抑制が可能である。副室の構成を図4に、副室式の燃焼方式を図5に示す。副室式ガスエンジンでは“①副室内に燃料ガスを供給する過程”“②副室内に主燃焼室(以下主室)の希薄混合気が流入し理論混合比の混合気を形成する過程”“③点火プラグで点火し副室内で混合気が燃焼する過程”“④副室内の火炎が主室に噴出し主室内の希薄混合気を燃焼させる過程”を1サイクルとして燃焼を繰り返している。燃焼の安定化には副室内流動の安定化が重要となるため、副室内の燃焼流動解析に基づき副室形状の最適化を実施した。

燃焼変動評価試験の結果を図6に示す。初期設計形状と比較し、より安定した副室内での混合気の形成を実現する形状を採用することで、燃焼変動の割合を20%低減した。また、長期稼働による形状変化を模擬した部品にて検証試験を実施し8000時間以上燃焼変動が悪化しない目途を得た。

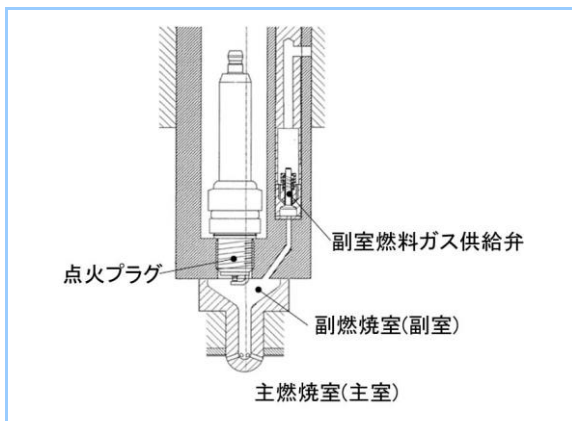


図4 副室構造

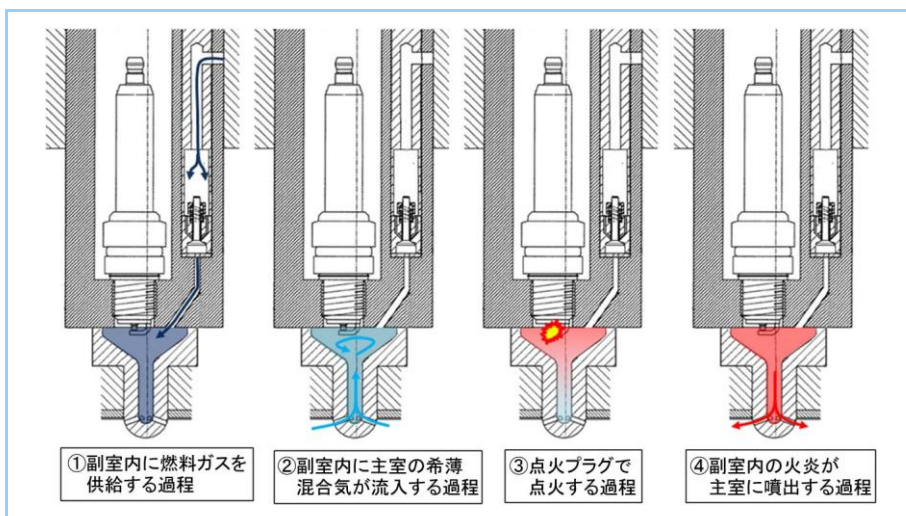


図5 副室式燃焼方式



図6 燃焼変動低減

### 3.3 副室燃料ガス供給弁信頼性向上技術

高効率・高出力ガスエンジンでは燃焼室の圧力や温度が高く、燃焼室構成部品の信頼性確保が重要となる。特に副室内では主室と比較し理論混合比に近い混合気が燃焼するため、より温度が高くなり副室内に配置される部品の信頼性には特に留意が必要である。副室内に配置される部品として、副室燃料ガス供給弁(以下、逆止弁)がある。逆止弁の構造を図7に示す。上述の3.2項の燃焼過程①に記載の通り、副室内には燃料供給が必要であるが、燃料供給ラインに燃焼ガスが逆流しないために逆止弁を設置している。逆止弁はばねで駆動するため、応答遅れ等により燃焼ガスの逆流が発生し得るが、逆流が発生すると上流にあるばねの温度上昇や、摺動部へのすす付着により、破損又は動作不良の原因となる。この逆止弁の挙動を解析し、逆止弁各設計パラメータの最適化を実施した。



挙動解析の結果を図8に示す。逆支弁最適化設計仕様では初期設計仕様と比べ弁の応答が改善し、逆流量が76%低減した。

また、稼働後の点検状況を図9に示す。初期設計仕様と比較し、上流のすす付着がほぼ無いことを確認した。

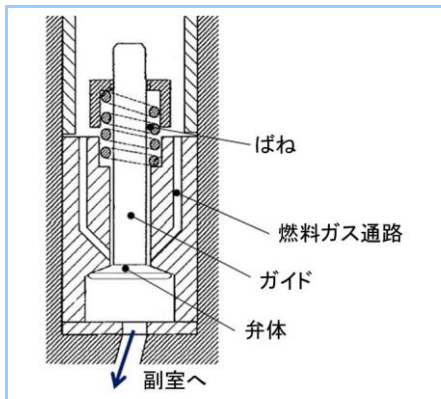


図7 副室ガス供給弁構造

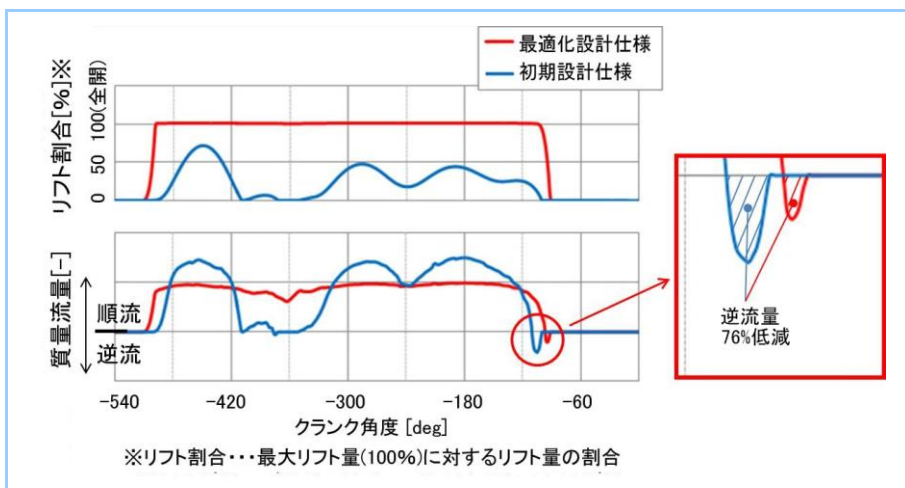


図8 副室ガス供給弁シミュレーション結果



図9 副室式燃焼方式

## 4. まとめ

発電用ガスエンジン G16NB の信頼性検証として以下を実施し良好な結果を得た(現在継続して検証中)。

- ・単体試験機, 発電セット試験機での合計 4700 時間の運転
- ・過負荷・過回転条件での耐久運転及び運転後の点検

また燃焼信頼性向上技術の開発により以下の結果を得た。

- ・ノッキング検知精度向上 (筒内圧による検知値に対する相関係数約 30~40%向上)
- ・燃焼変動抑制 (副燃焼室形状改善により 20%低減)
- ・副室ガス供給弁高信頼化 (副室供給ガス逆流量低減 76%低減)

引き続き検証を実施し, 新型発電用ガスエンジン G16NB を市場投入する予定である。