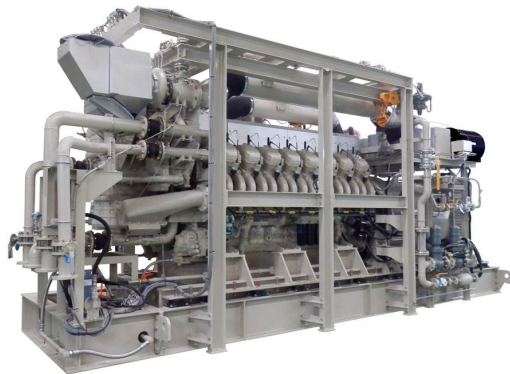


ガスエンジンの副室形状改良による サイクル間燃焼変動低減コンセプトの提案

A Concept for Less Combustion Variation by Improving Pre-chamber Shape



古賀 智大*¹
Tomohiro Koga

竹本 大育*¹
Daisuke Takemoto

今森 祐介*²
Yusuke Imamori

柚木 晃広*³
Akihiro Yuki

遠藤 浩之*⁴
Hiroyuki Endo

古川 雄太*⁵
Yuta Furukawa

ガスエンジン市場における高効率化・高出力化の要求に応えるには、サイクル間の燃焼変動の抑制は重要な課題の一つである。本報では、従来解析手法⁽¹⁾よりも高次のシミュレーション技術 (LES: Large-Eddy Simulation) を用いて導出した燃焼変動抑制コンセプトを紹介する。LES 技術を活用し、従来手法では困難であったサイクルごとに変動する現象を捉えることで、要因分析・コンセプト設計が可能となり、燃焼変動抑制技術の開発に貢献した。

1. はじめに

近年、天然ガス価格低下や低炭素社会に対するニーズから市場が拡大中のガスエンジンにおいて、特に 1~2MW クラスの需要が高い。現在当社の 2MW クラスの G16NB ガスエンジン発電セットの発電効率は 44.7%を達成している⁽²⁾が、環境負荷低減に向けて更なる高効率化が求められている。ガスエンジンの効率向上を妨げる要因として、燃焼変動が挙げられる。これは、サイクルごとに燃焼室内の最高圧力 (以下、 P_{max}) が変動する現象であり、点火タイミングにおける燃料ガスと空気の混合具合が安定しないこと等に起因するものである。熱効率には P_{max} の平均値が影響するが、信頼性限界は P_{max} の最大値で決まるため、燃焼変動を抑える、すなわち P_{max} の最大値と P_{max} の平均値の差を小さくすることで効率向上が実現可能となる。

燃焼変動低減のためには、燃焼室内の現象を詳細に把握し要因を明確にした上で、燃焼変動低減コンセプトを見出す必要がある。計測のみでは燃焼室内の現象を把握することは難しいため、CFD (Computational Fluid Dynamics) を併用するが、従来手法である RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations) ではすべての渦をモデル化して解いているため燃焼室内の現象が変動する様子を捉えることができない。そこで、メッシュで解像できる渦を直接解くことで、変動現象を捉えることが可能な解析手法である LES を適用し、燃焼変動の要因把握と燃焼変動低減コンセプトの提案と実証に取り組んだ。

2. 燃焼変動の要因分析

はじめに、燃焼変動の要因分析のため G16NB の現行副室形状を対象に、LES を用いた非燃焼の流動解析を実施した。副室形状を [図1](#) に示す。副室は点火プラグが設置されている副室本

*1 総合研究所 燃焼研究部

*2 総合研究所 燃焼研究部 主席研究員

*3 総合研究所 燃焼研究部 室長

*4 三菱重工エンジン&ターボチャージャ(株) エンジン・シナジー事業部 技術開発室 室長 工学博士

*5 三菱重工エンジン&ターボチャージャ(株) エンジン・シナジー事業部 技術開発室
技術士(機械部門, 総合技術監理部門)

体と、副室本体とノズルとをつなぐスロート部により構成されている。図2に流速ベクトルの結果を示す。-70deg.ATDC (ATDC: After Top Dead Center)では、副室内部の流動はスロートからの流れに沿って形成されている。圧縮が進むとスロートからの流れは左側に曲げられ(-60deg.ATDC, -45deg.ATDC), 再度スロートに沿った流れへと変換し(-30deg.ATDC, -20deg.ATDC), 現行形状ではスロートから副室へ向かう流れが変動していることが分かる。このような変動の要因として、図3に示すようなスロートからの流れと副室内で生じる旋回流との干渉が挙げられる。副室内で流動の変動が点火位置付近での燃料濃度の変動を招き、燃焼変動が起きていると推定される。そのため、このような変動を抑制する副室形状が燃焼変動への対策となる。

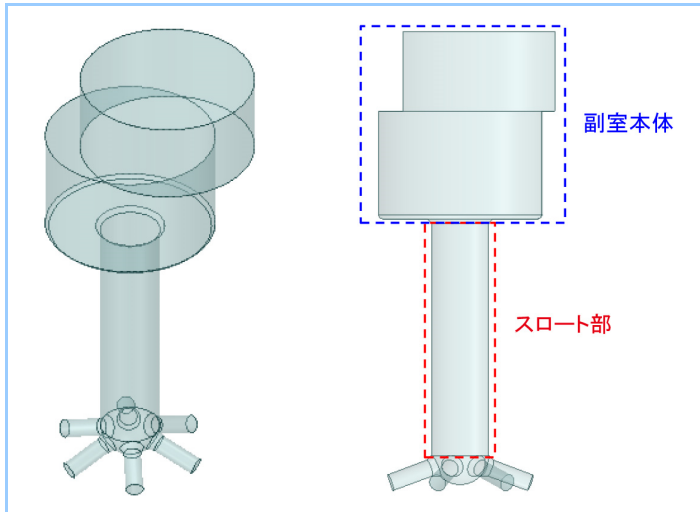


図1 G16NB 機関の現行副室形状

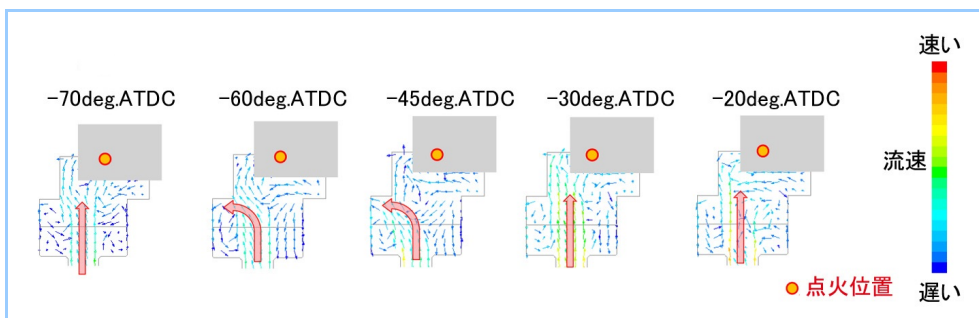


図2 圧縮行程中の副室本体内流速ベクトル(現行形状)

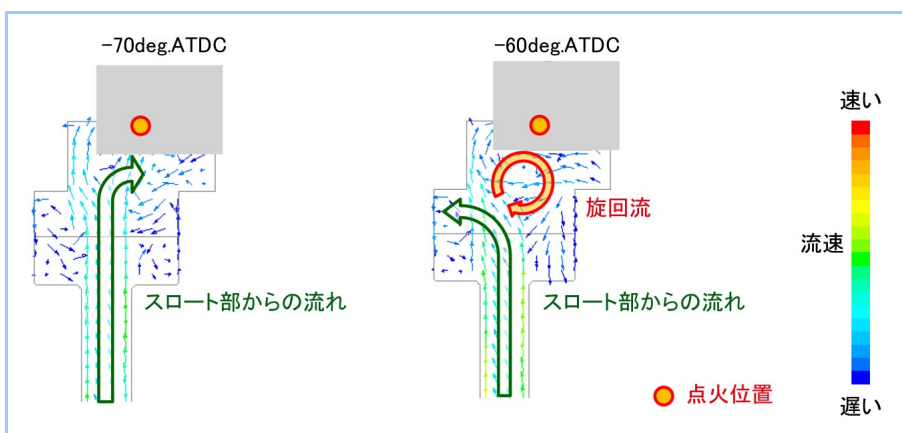


図3 現行副室形状における流動変動のメカニズム

3. 燃焼変動抑制コンセプトの提案と実証

前項にて明らかになった燃焼変動の要因を元に、副室内流動の変動を抑制する副室形状コンセプトを考案した。図4に示す改良形状では、副室本体を偏心させスロートと副室本体の壁面に

段差をなくす構造とし、スロートからの流れが左側に曲げられないようにした。この対策により、スロートから副室に向かう流れの変動抑制が期待できる。図5に現行形状と改良形状を対象としたLES 非燃焼流動解析の結果を示す。現行形状では、圧縮行程中にスロートからの流れが変動する一方で、改良形状では変動は確認されず、意図した効果が得られた。図6に点火プラグ付近の燃料濃度の時間変化を示す。副室内流動の変動抑制により、改良形状では燃料濃度分布の変動も抑制されており、着火の安定化と燃焼変動抑制が期待できる。

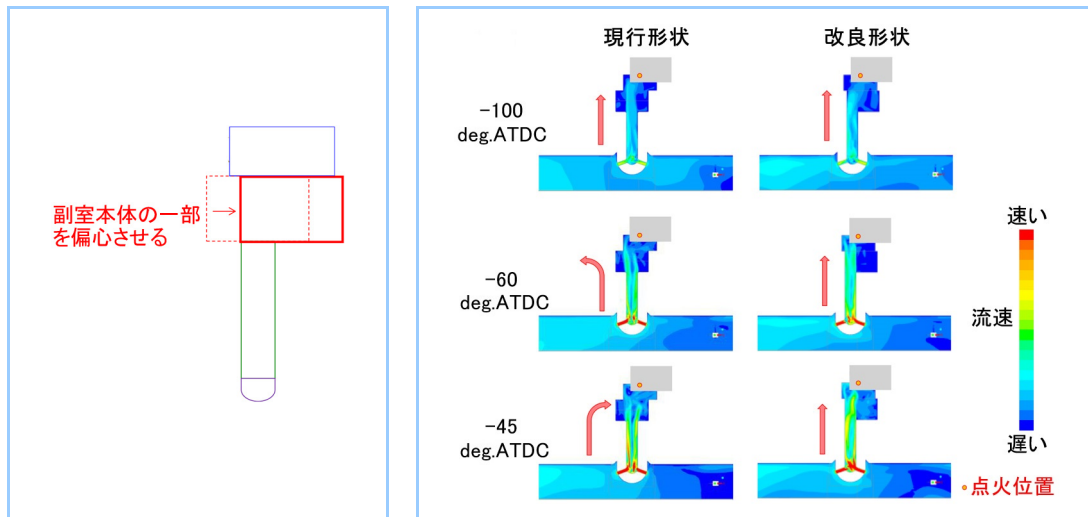


図4 改良副室形状の模式図

図5 副室内流動の比較

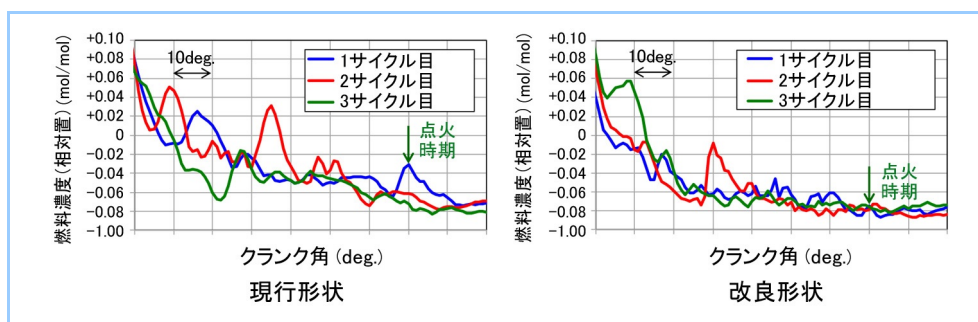


図6 点火プラグ近傍燃料濃度分布の時間変化比較

次に、LES 燃焼解析を用いて改良形状の効果を確認した。燃焼解析では解析対象を燃焼室のみとし、異なる初期流動での解析を複数実施することで連続サイクル計算を模擬した。燃焼変動の評価指標として副室内圧力が主室内圧力を超えるタイミング、すなわち主室燃焼が始まるタイミングのバラつきを選定した。図7に副室と主室の差圧の時間変化を示す。差圧が0を超えるタイミングのバラつきを比較すると、現行形状が2.4deg.であるのに対して、改良形状では1.0deg.でありバラつきが約58%低減している。点火位置周りの安定した混合気形成が燃焼変動の抑制につながったと考えられる。

LES を用いて提案した燃焼変動低減コンセプト形状の効果を試験にて確認した。図8に結果を示す。100 サイクルのエンジン筒内圧履歴から、今回提案した改良形状にて最高圧力の変動が37.5%低減した。今回の試験では、主室燃焼が始まるタイミングとしてエンジン筒内の熱発生量積算値が0を超えるタイミングのバラつきを評価指標に選定した。図9に総熱発生量の時間変化比較を示す。副室形状の変更により、バラつき幅は3.5deg.から2.0deg.に減少している。改良形状では、点火位置周りの安定した混合気形成により主室の燃焼開始タイミングのバラつきが低減し、最終的に筒内最高圧力の変動抑制につながったと考える。図10に解析と試験における燃焼変動低減量の比較結果を示す。燃焼変動の低減効果は解析にて過大評価されているものの、定性的な傾向は再現できている。

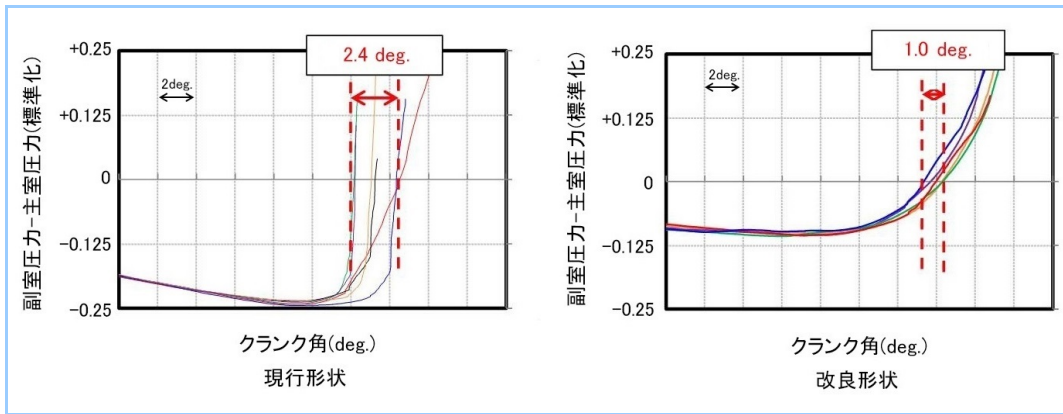


図7 副室—主室差圧の時間変化比較

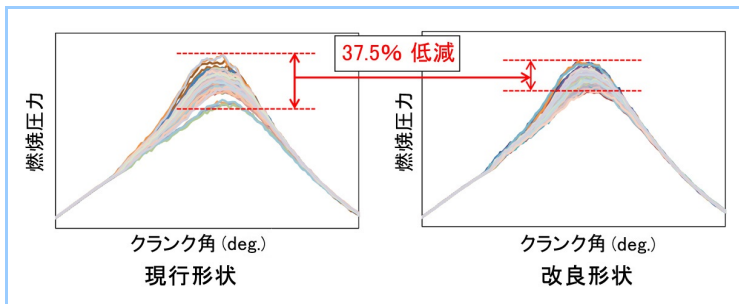


図8 100 サイクル分のエンジン筒内圧履歴の比較

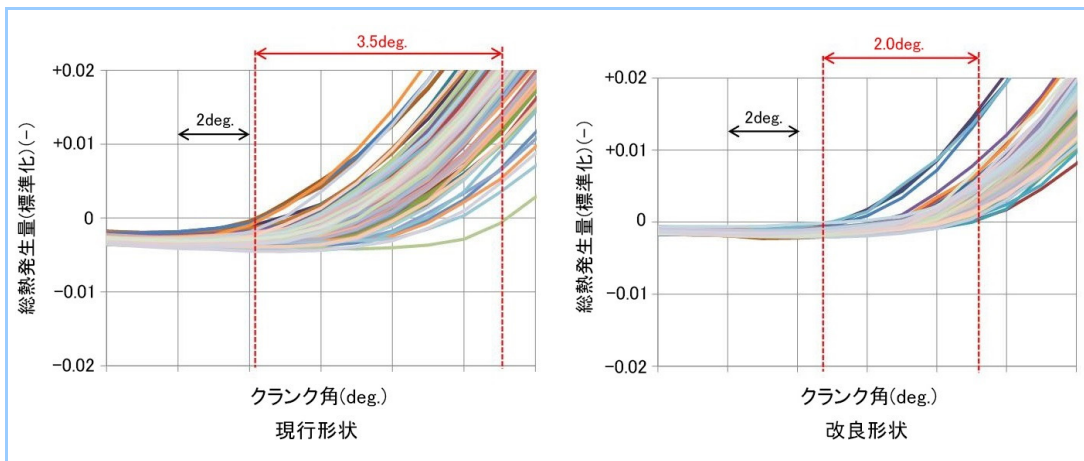


図9 総熱発生量の時間変化比較

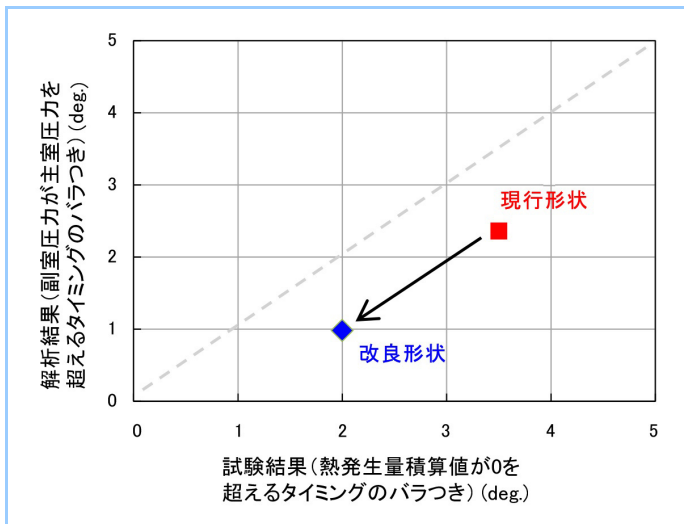


図10 燃焼変動低減量の比較

4. まとめ

LES を用いることで現行形状の燃焼変動要因を明らかにし、燃焼変動低減コンセプトを元に改良副室形状を提案した。提案した改良形状について、解析・試験の両方で燃焼変動低減効果を確認した。現状は定性的傾向の評価にとどまっているが、今後は連続サイクルシミュレーションの適用等により流動の変動だけでなく未燃ガスやガス供給の変動等も考慮した解析を実施し、燃焼変動低減効果の定量的な評価が可能になるよう技術開発を進めていく。

参考文献

- (1) 藤村 皓太郎ほか, 三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 燃焼研究部, 日本燃焼学会誌, 第 57 巻 182 号 (2015), p.286~294
- (2) 古川雄太ほか, 二段過給システムを用いた高効率ガスエンジンの開発, 三菱重工技報 Vol.52 No.1 (2015) p.70~75