# 旋回流動場におけるフランジ付き点火プラグのフランジ形状が 点火および燃焼特性に及ぼす影響

日大生産工(院) ○須藤 賢志 日大生産工(院) 佐藤 崇 日大生産工 山﨑 博司 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

## 1. 緒言

現在,環境問題や化石燃料枯渇といった観点 から,自動車用火花点火機関の燃料消費および 有害排出物低減が急務である.その対策の一つ として指向されている希薄燃焼では,火炎伝播 速度の減少を抑制するため,スワール,タンブ ル流に伴う強い乱れを生成することが常道とな っている.しかし,この強い乱れにより火炎核 の熱損失が増大し,失火に至る可能性が高まる. 現状では火花エネルギーの増大によって失火を 回避しているが,点火系の早期劣化や電磁波障 害の問題が懸念される.以上のことから希薄燃 焼技術では,火花エネルギーを低減させ,なお かつ確実に点火させることが重要な課題となる.

過去の研究において,定容燃焼容器内の静止 混合気場および旋回流動混合気場に種々のフ ランジ付き電極を設置して点火実験を行い,衝 撃波に消費されるエネルギーをフランジで反 射,回収することによって、点火エネルギーを 低減できることを明らかにしてきた.また,燃 焼時間の測定,火炎核成長の様子を観察するこ とによりフランジ形状が燃焼特性に及ぼす影 響を検討してきた<sup>1)</sup>.本研究では同様の燃焼容 器内に電極より実機に近いフランジ付き点火プ ラグを用いて点火実験を行い、その効果の機構 解明を目的とする.フランジがない点火プラグ (以降,通常プラグ),円板形フランジ付き点火 プラグ(以降,円板形プラグ)および円筒形フ ランジ付き点火プラグ(以降,円筒形プラグ) を用い既報 2) における汎用流体解析ソフトを

用いてフランジ周りの流動特性の検討し, 点火 実験を行った.

#### 2. 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置はFig.1に示されるように、旋回流動生成装置系、点火装置系、計測装置系および光学系の4系統で構成される.定容燃焼容器をFig.2に示す.材質はステンレス鋼(SUS303)製で,外径150mm,燃焼室直径60mm,







Fig.2 Combustion chamber

# Effects of Flange Shape in Flanged Spark Plugs on Ignition and Combustion Characteristics in Swirling Flow Field

Satoshi SUDOH, Takeru SATOH, Hiroshi YAMASAKI Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE 燃焼室幅 25 mm の円筒形である. 燃焼容器側面に は石英ガラス製の観察窓(厚さ 15 mm), 旋回流を 生成するためのノズルは燃焼室円周面に沿うよう に設けてある.

Fig.3 に CDI 方式の点火回路を示す. 交流 100V をスライダック,トランスで昇圧し,ダイオード ブリッジで整流する。整流した後,コンデンサ C1, および抵抗 R1 で平滑し,可変コンデンサ C2 に充 電する.その後,サイリスタにトリガー信号を入 力するとサイリスタが導通して,電極間隙間に衝 撃電圧が加わり,絶縁破壊を生じて,C2 に蓄えら れた高圧電荷が放電する.可変コンデンサ C2 の容 量およびスライダックによる可変コンデンサへの 印加電圧を変化させることで火花エネルギーを変 化させることができる.

使用したフランジ付き点火プラグの概略を Fig.4 に示す.本研究で用いるフランジ付き点火プ ラグは通常の NGK 製 B4ES を基本に製作した.フ ランジ付き点火プラグの各寸法は既報<sup>3)</sup>で報告さ れた中で最適なものとした.円板形(Fig.3(a)) は直径 D= \$\phi 9, フランジ間隔 G=4 mm,円筒形 (Fig.3(b)) は内径 d=8mm,高さ h=6 mm の2種 類とした.

数値解析には、FLUENT ASIA PACIFIC 社製 の FLUENT Ver6.3.26 を使用し、計算格子作成 には、同社製の GAMBIT Ver2.3.16 を使用した. 解析領域は Fig.5 に示すように、燃焼室と同寸 法とした.計算格子は GAMBIT に搭載された 直交格子と三角形のハイブリット機能である TGrid タイプを用いた.乱流モデルは k-o sst モデルを使用し、差分法は一次精度風上差分法 を用いた.燃焼容器内旋回流動場は解析領域内 の入口ノズル中心軸延長線上に流速を与える、 Velocity Inlet を配置して旋回定常流動場を形 成させた.この旋回流動場内に実験と同寸法、 同配置でフランジ付き点火プラグを配置し、フ ランジ周りの流動特性を検討した.

点火実験は燃焼容器内,配管,エアシリンダ を一旦真空にしてプロパン-空気予混合気を充 填した後に,一定圧力でエアシリンダを押し出 して旋回流を生成させ,火花間隙位置の流速が





## Fig.5 Numerical domain

最大となるときに点火を行なった. 点火エネル ギーを変化させて,点火確率50%となる点火エ ネルギーを最小点火エネルギーと定義した. 最 小点火エネルギーと火花間隙位置における平 均流速との関係を調査することにより,これを 点火特性の評価方法とした. 当量比は0.89 で一 定,火花間隙位置は燃焼容器中心より 20 mm の位置とし,点火プラグの種類と流量弁開度を 0.5~2 %(平均流速 1.5 ~12 m/s)の範囲で変化 させた.

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 フランジ周辺部の速度ベクトル分布

Fig.6 に火花間隙部近傍三次元速度ベクト ル分布を示す. Fig.6(a) に通常プラグ, Fig.6 (b) に円筒形プラグを示した.フランジ外周 面に衝突した旋回流は面に沿って流れ,フラ ンジ下部にて合流することがわかる.フラン ジ内部での流れは旋回,滞留しており,火花 間隙位置であるフランジ中心部においては相 当に流速が低減されていることが確認できる.

#### 3.2 流速抑制効果

通常プラグと円板形プラグおよび円筒形プ ラグを用いた数値解析における火花間隙位置 とフランジ間の流速の関係を Fig.7 に示す.流 速 12 m/s の条件において,横軸に燃焼容器中心 からの距離,縦軸に平均流速を示した.図から 通常プラグにおいて燃焼容器外周壁面に近づ くにつれて平均流速が大きくなっていること がわかる.

円板形プラグを設置した場合,通常プラグと 比べてフランジ間の平均流速に大きな変化は 得られなかった.しかし,円筒形プラグを設置 した場合には通常プラグと比べてフランジ間 の平均流速は小さく,流れが抑制されているこ とがわかる.これは旋回流の主流がフランジ端 面の開口部に沿って流れるので,フランジ間へ の主流の流入を防ぎ流速が抑制されたと考え られる.

## 3.3 フランジの乱れ抑制効果

Fig.7 と同条件における火花間隙位置とフラ ンジ間の乱れ強さの関係を Fig.8 に示す. 横軸 に燃焼容器中心からの距離,縦軸に数値解析に よる乱れ強さを示した. 図から通常プラグ,円 板形および円筒形プラグでは,火花間隙での乱 れ強さはほぼ同等であった. しかし,円筒形プ ラグではフランジ周辺部で乱れ強さが増大して いることがわかる. これは,フランジ面に対し



(b) Cymanour mangou prug

Fig.6 Velocity map around flanged plug



Fig.8 Turbulence intensity control effect

て垂直に流れる主流が、フランジに衝突したた めだと考えられる.

## 3.4 最小点火エネルギー低減効果

通常プラグ,円板形プラグおよび円筒形プラ グを用いた点火実験における平均流速と最小 点火エネルギーの関係を Fig.9 に示す. 横軸 に点火プラグがない状態における火花間隙位 置の平均流速,縦軸に最小点火エネルギー(電 圧と静電容量から求めた計算値)を示した. 図 から,フランジ付きプラグは通常プラグに比べ 最小点火エネルギーを相当に低減できている ことがわかる.この1つの理由として火花間隙 位置におけるフランジの流速抑制効果による 火炎核から混合気および電極部への熱損失の 低減が考えられる.さらにもう1つの理由とし て Fig.10 に示すように衝撃波エネルギーの回 収効果によるものと考えられる<sup>1)</sup>. 通常プラグ の場合, Fig.10(a)のように衝撃波は時間経過 に伴い球状に発達していく様子が観察される. しかし, フランジ付きプラグでは, Fig.10(b) から衝撃波が 9µs でフランジに反射している のがみてとれる. さらに 17µs ではフランジ間 で反射された衝撃波が中心部に集まり,火炎核 に干渉している様子が観察される.この時点で 断熱圧縮が起こり,火炎核の保炎作用が働いて いると推察される.また、円板型プラグと円筒 形プラグを比較すると流速が 3.5 m/s 以下では円 板形プラグより円筒形プラグの方が最小点火エ ネルギーが低いことがわかる. これは円筒形プ ラグのほうが円板形プラグに比べ流動抑制効果 が高く、衝撃波の反射面積が大きいので、その エネルギー回収効果が大きいためと考えられる.

## 4. 結言

旋回流動場においてフランジ付き点火プラグ の流動特性および点火特性について調査した結 果,以下の結論を得た.

- (1) 円筒形フランジ付きプラグは流速を抑制 する効果が大きい.
- (2) 旋回流動場において、円板形および円筒形



Fig.9 Minimum ignition energy change





1 μs 5 μs 9 μs 13 μs 17 μs (b) Cylindrical flanged electrode

### Fig.10 Schlieren photograph of shock wave

フランジ付きプラグによる最小点火エネル ギーの低減効果が得られた.

#### 参考文献

- 小島、山崎、氏家ほか、旋回流動場におけるフランジ付き電極の点火および燃焼特性,第40回学術講演機械部会,2007, pp.211-214
- 岡本、山崎、氏家ほか、旋回流動場におけるフランジ付き周りの流動特性、第42回 燃焼シンポジウム講演論文集,2004, pp.487-488
- 3) 太田,氏家ほか,天然ガスエンジンを用いた円筒形フランジ付き点火プラグの点火特性改善効果,第44回燃焼シンポジウム 講演論文集,2006, pp.82-83