

旋回流動混合気場におけるフランジ付き点火プラグの点火特性

日大生産工(院) ○佐藤 崇

日大生産工 山崎 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必要がある。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する以外に有効な技術的提案はなく、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¹⁾。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)、円筒形フランジ付き点火プラグ(以降、円筒形プラグ)および円筒円板組み合わせ形フランジ付き点火プラグ(以降、組み合わせ形プラグ)を用い既報¹⁾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を検討し、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、燃焼室幅25mm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15mm)、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。

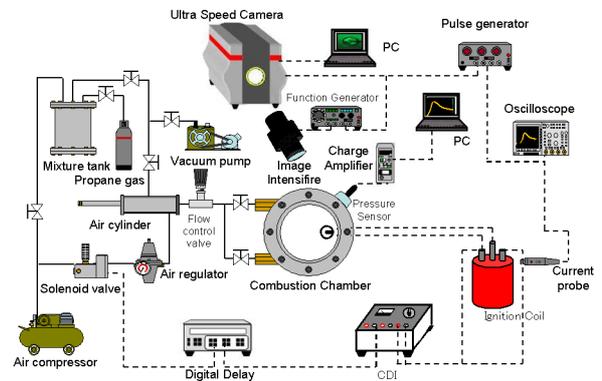


Fig.1 Experimental apparatus for spark ignition test

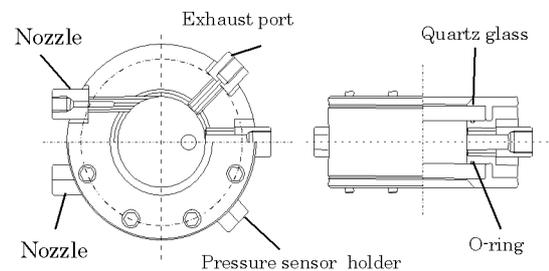


Fig.2 Combustion chamber

Effect of Flanged Spark Plugs on Ignition property in Swirling Mixture Flow Fields

Takeru SATOH, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

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、点火コイルを介して、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³⁾で報告された中で最適なものとした。円板形 (Fig.4(a)) は直径 $D=\phi 9$, フランジ間隔 $G=4$ mm, 円筒形 (Fig.4(b)) は内径 $d=8$ mm, 高さ $h=6$ mm, 組み合わせ形 (Fig.4(c)) は円板部の直径 $D=\phi 12$ mm, 円筒部の高さ $h=5$ mm, フランジ間隔 $G=6$ mm の 3 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 $k-\omega$ 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

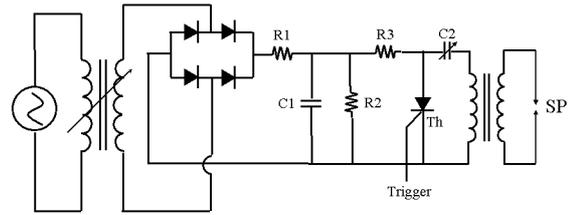
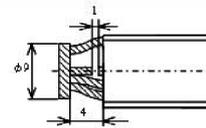
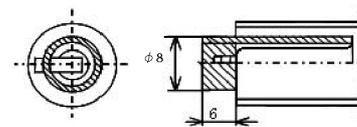


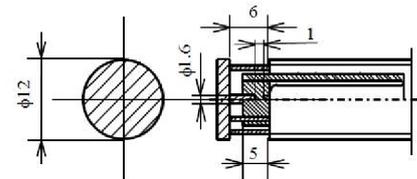
Fig.3 Circuit of CDI



(a) Disk flanged spark plug



(b) Cylindrical flanged spark plug



(c) Disk and cylindrical combination flanged plug

Fig.4 Flanged spark plugs

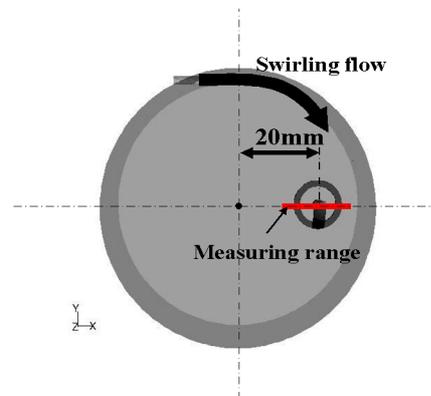


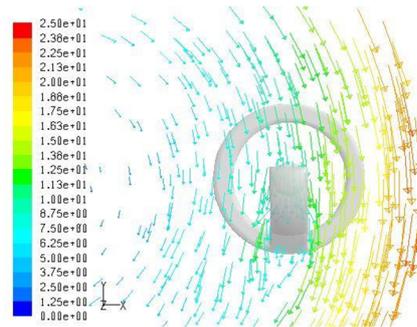
Fig.5 Numerical domain

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。

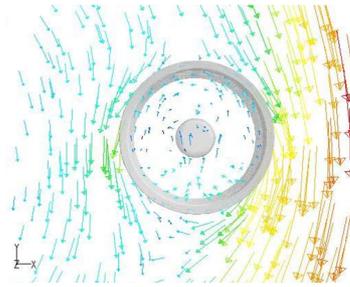
3. 実験結果および考察

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。



(a) Conventional plug



(b) Cylindrical flanged plug

Fig.6 Velocity map around flanged plug

3.2 流速抑制効果

通常プラグと円板形プラグ、円筒形プラグおよび組み合わせ形プラグを対象とし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、円筒形プラグおよび組み合わせ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。

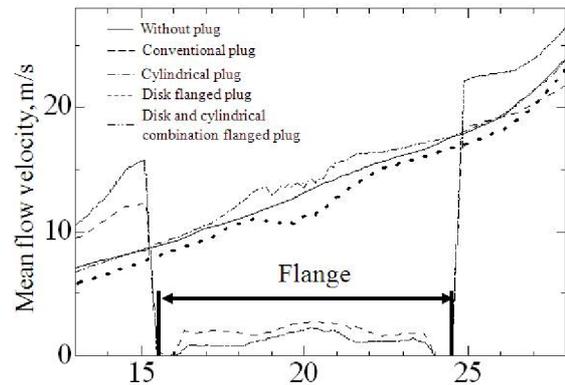


Fig.7 Flow velocity control effect

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、円筒形プラグおよび組み合わせ形プラグでは、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。

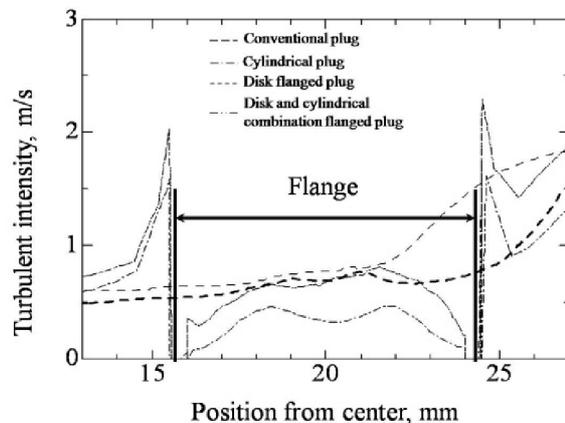


Fig.8 Turbulence intensity control effect

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、円筒形プラグおよび組み合わせ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^{1,3)}。通常プラグを模擬した電極の場合、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、円筒形フランジ付き電極では、Fig.10(b)に示されるように衝撃波が $9\mu\text{s}$ でフランジ内壁に反射して、 $13\mu\text{s}$ では中心部に向かって進行しているのがみてとれる。さらに $17\mu\text{s}$ ではフランジ内面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れ、火炎核の保炎作用が働いていると推察される。

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、組み合わせ形フランジ付き点火プラグは流速を抑制する効果がある。
- (2) 旋回流動場において、フランジ付き点火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。また、その効果はフランジ形状に影響される。

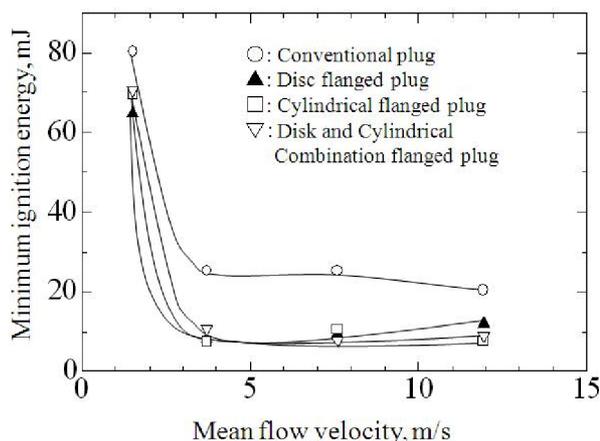


Fig.9 Minimum ignition energy change

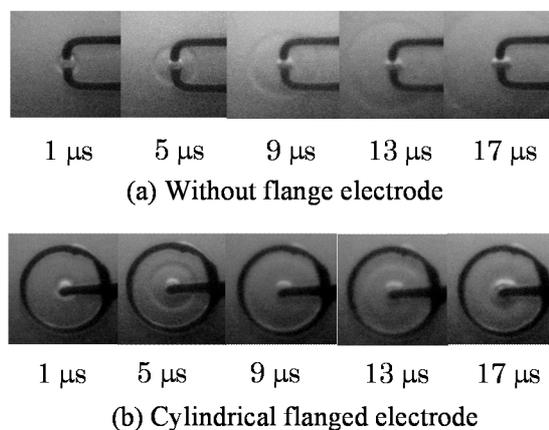


Fig.10 Schlieren photograph of shock wave

参考文献

- 1) 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
- 2) 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