

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および燃焼特性

日大生産工(院) ○須藤 賢志 日大生産工(院) 大原 智彦 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 横国大・工 石井 一洋

1. 緒言

自動車用火花点火機関において燃料消費率および有害排出物の低減を目的として指向されている希薄燃焼技術では、旋回流に伴う強い乱れを用いて火炎伝播速度の促進を図っている。しかし、強い乱れにより火炎核の熱損失が増大し、失火する可能性が大きくなる。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影響が懸念される。こ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)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)を用いた既報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。さらに燃焼時間の測定、イメージ・インテンシファイア付き超高速カメラによる燃焼過程の観察を行い、フランジ付きプラグの火炎伝播促進効果についても併せて検討した。

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150 mm、燃焼室直径60 mm、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。

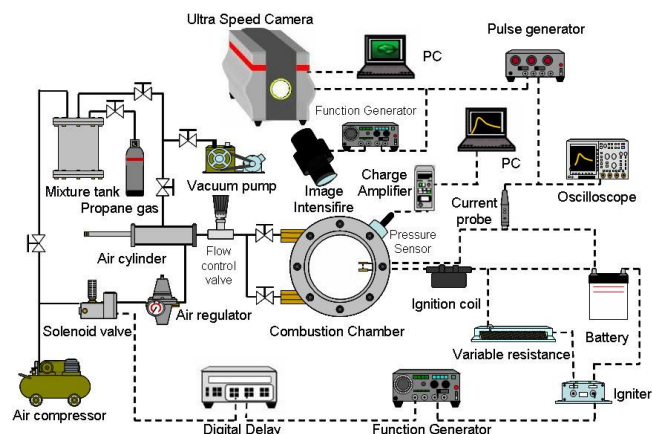


Fig.1 Experimental apparatus for spark ignition

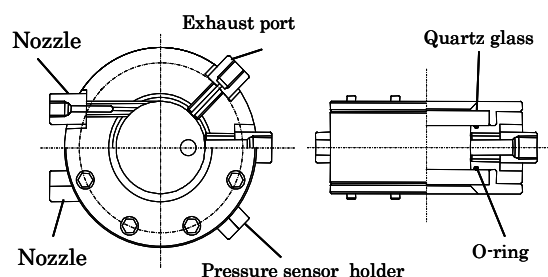


Fig.2 Combustion chamber

Ignition and Combustion Characteristics of Flanged Spark Plugs in Swirling Flow Fields

Satoshi SUDOH, Tomohiko OHARA, Hiroshi YAMASAKI
Hiroshi NOMURA, Yasushige UJIE and Kazuhiro ISHII

使用したフランジ付き点火プラグの概略を Fig.3 に示す。本研究で用いるフランジ付き点火プラグは市販の 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.3(a)) は直径 $D=\phi 8$, フランジ間隔 $G=4$ mm, 円筒形 (Fig.3(b)) は内径 $d=8$ mm, 高さ $h=6$ mm の 2 種類とした。数値解析には CHAM 社の PHOENICS Ver. 3.6.0 を使用した。解析領域は Fig.4 に示すように、燃焼室と同寸法とした。計算格子は三次元直交格子であり、乱流モデルには単純 k - ϵ モデルを使用した。差分法は二次精度風上差分法を用いて、壁関数には乱流モデルで使用される対数則を用いた。格子数は、X、Y、Z 方向に 80、30、80 とした。燃焼容器内旋回流動場は解析領域内のノズル中心軸延長線に速度場を与える Fan 関数を配置して、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設置し、フランジ周辺部の流れを検証した。

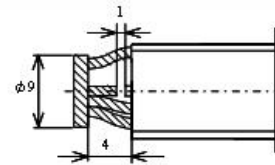
点火実験は燃焼容器内、配管、エアシリンダーを一旦真空にしてプロパン-空気予混合気を充填した後に、一定圧力でエアシリンダーを押し出して旋回流を生成させ、火花間隙位置の流速が最大となるときに点火を行い、電流プローブで電流遮断式点火装置の一次電流を計測した。可変抵抗によって一次電流を変化させて、点火確率 50% となる一次電流を最小一次電流と定義した。最小一次電流と火花間隙位置における平均流速との関係を調査することにより、これを点火特性の評価方法とした。当量比は 0.75 で一定、火花間隙位置は燃焼容器中心より 20 mm の位置とし、点火プラグの種類と流量弁開度を 0~3% の範囲で変化させた。また、燃焼時間は、火花放電時から燃焼容器内の圧力が最大となるまでの時間と定義し、フランジ形状および平均流速が燃焼時間に及ぼす影響について考察した。

3. 実験結果および考察

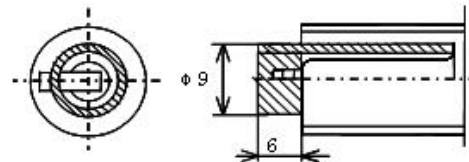
3.1 フランジ付き点火プラグの点火特性

3.1.1 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



(a) Disk flanged spark plug



(b) Cylindrical flanged spark plug

Fig.3 Flanged spark plugs

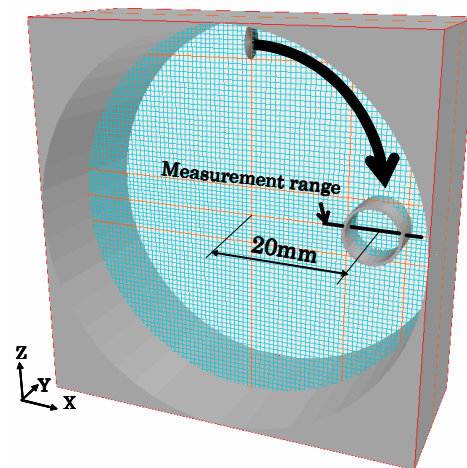


Fig.4 Numerical domain

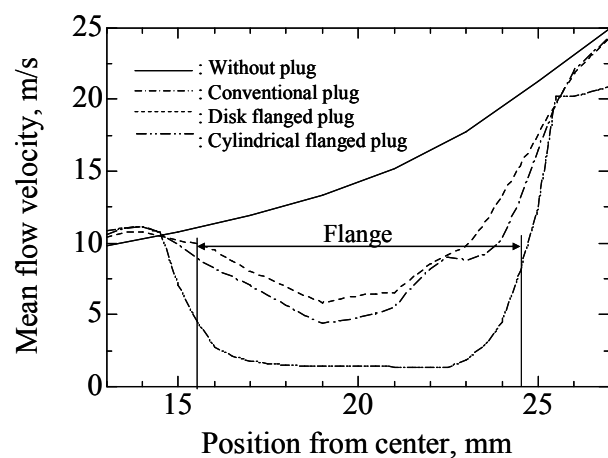


Fig.5 Flow velocity control effect

とフランジ間の流速の関係を Fig.5 に示す。横軸に燃焼容器中心からの距離、縦軸に流量弁開

度 2%のときの平均流速を示した。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、フランジ間への流入を防ぎ流速が抑制されたと考えられる。

3.1.2 最小一次電流低減効果

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点火実験における平均流速と最小一次電流の関係を Fig.6 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、縦軸に最小一次電流を示した。静止場において通常プラグでは本実験装置の一次電流(約 8A) では点火確立 50%を保つことができなかった。しかし、円板形および円筒形フランジを設けることにより点火に必要なエネルギーが低減され、点火確立 50%を保つことができた。これは Fig.7 のシュリーレン写真に示すようにフランジによる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⁾。通常プラグの場合、(Fig.7(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と考えられる。しかし、フランジ付きプラグでは、(Fig.7(b))のように衝撃波がフランジ間で反射され火炎核に干渉し、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。これが静止場において最小一次電流を低減できた理由と考えられる。

旋回流動場においても、フランジ付きプラグは通常プラグに比べ最小一次電流を相当に低減でき、その効果流速の増加と共に拡大していることがわかる。また、全般的に流速がやや大きい場合に最小一次電流が低い傾向が見られる。これは火炎核が電極部の近くに長時間存在しないことによる火炎核から電極部への熱損失の低減、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

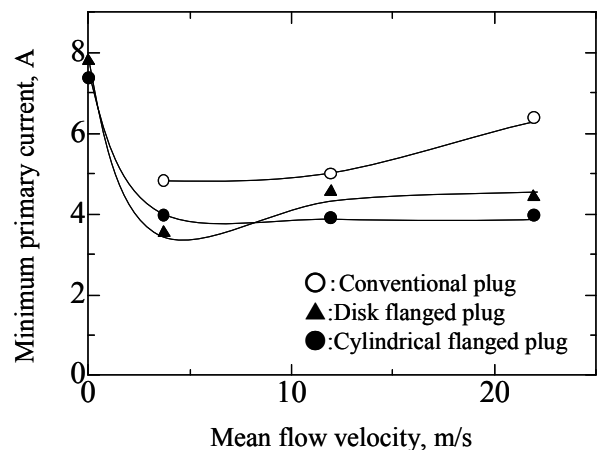


Fig.6 Minimum primary current change

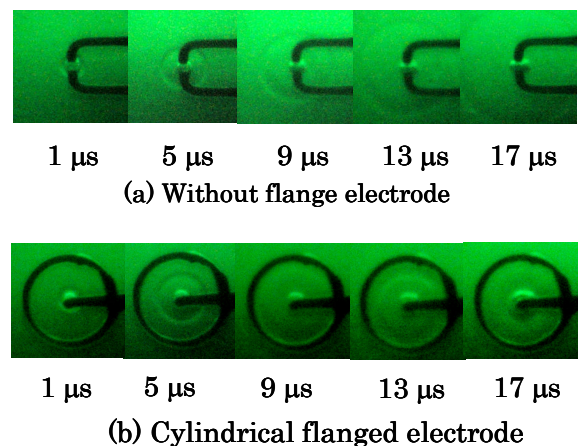


Fig.7 Schlieren photograph of shock wave

極部への熱損失の低減、衝撃波エネルギーの回収等が効果的に表れたためと考えられる。また、円板型プラグと円筒形プラグを比較すると流速が 4m/s 付近では円筒形プラグより円板形プラグのほうが最小一次電流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、流速が低い場合には火炎核が電極部の近くに長時間存在してしまい、フランジや電極部への熱損失が大きいためであると考えられる。

3.2 フランジ付き電極の燃焼特性

3.2.1 火炎伝播促進効果

既報¹⁾において報告されたフランジの逆効果の一つである障壁としての作用を確認するため、燃焼容器内の圧力履歴から燃焼時間を求めた。その結果を Fig.8 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，縦軸は燃焼時間を示した．図から，旋回流動場において通常プラグよりもフランジ付きプラグのほうが燃焼時間は短くなっていることがわかる．これは旋回流がフランジに衝突して発生する乱れの影響が考えられる．Fig.9に，数値解析によって求められた円板形プラグの流量弁開度 2% の条件における乱流エネルギー分布図を示す．図から，旋回流はフランジに衝突することによりフランジ周辺部において乱流エネルギーの高い領域を形成していることがわかる．また，フランジの下流においても乱流エネルギー分布が広く形成されていることが確認できる．また，Fig.10 にイメージ・インテンシファイア付き超高速カメラを用いて火炎伝播過程を撮影した画像を示す．撮影条件は流量弁開度 2% である．この図からもわかるように，燃焼室全体に広がっていく火炎には乱れの発生による多くのしわが確認される．このことから，火炎核が成長してフランジの外部に出た後にはフランジ端部のエッジ効果による乱れの増大と相まって火炎伝播の促進に寄与したものと考えられる．このことから，フランジ形状は火花エネルギー低減効果と火炎伝播促進効果の両立を考慮する必要性が示唆される．

4. 結言

静止場および旋回流動場においてフランジ付き点火プラグの点火特性および燃焼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ある．
- (2) 静止場および旋回流動場において，円板形および円筒形フランジ付きプラグによる最小一次電流の低減効果が得られた．また，平均流速が大きい領域ほど最小一次電流の低減効果は大きい．
- (3) 旋回流動場において円板形フランジ付きプラグは，フランジ端部エッジ効果による乱れの増大があり，火炎伝播の促進に寄与する．

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

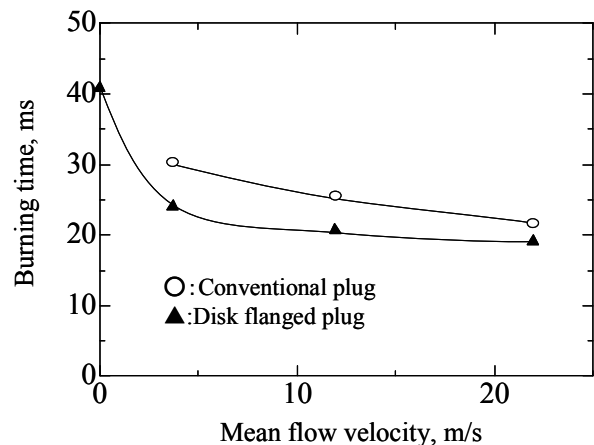


Fig.8 Effect of mean flow velocity on burning time

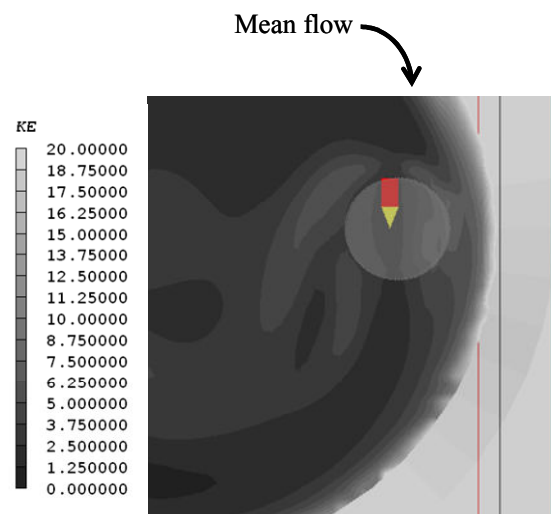


Fig.9 Turbulence energy distribution chart

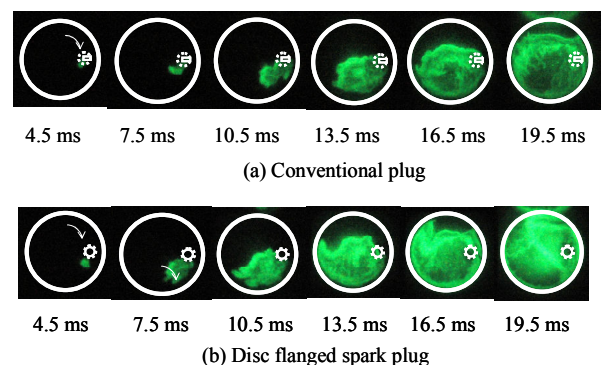


Fig.10 Photograph of flame propagation

- 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