

旋回流動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) ○増島 慶 日大生産工(院) 牧 正悟

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、火炎伝ば速度の減少を抑制するため、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。¹⁾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。

本研究では実機を模擬した旋回流動場において点火実験を行い、火炎伝ば過程の撮影と燃焼圧力履歴よりフランジ付き点火プラグの優位性を検証することが目的である。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）、ドーム形フランジ付き点火プラグ（以降、ドーム形プラグ）および今年度新たに製作した新ドーム形

フランジ付き点火プラグ（以降、新ドーム形プラグ）を用い、点火実験を行った。併せて汎用流体解析ソフトでフランジ周りの流動特性を調べ、フランジ形状が流動抑制に及ぼす影響を考察した。

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。燃焼容器はステンレス鋼 (SUS303) 製で、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、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。点火には CDI 方式を使用する。エアシリンダのスタート信号を遅延装置に送り所期のタイミングで点火火花を生成できるように、遅延時間を調整した。

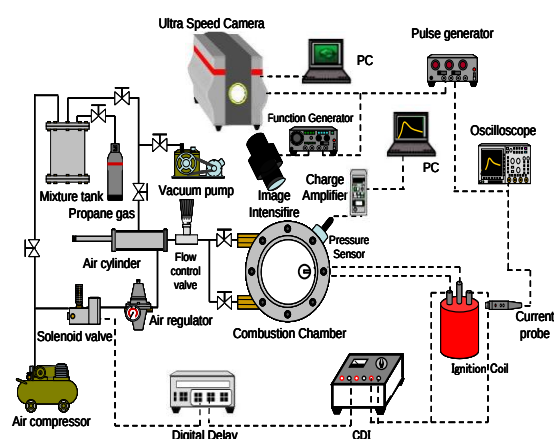


Fig.1 Experimental apparatus for spark ignition test

Ignition And Combustion Characteristics Of Flanged Spark Plug In Swirling Flow Field

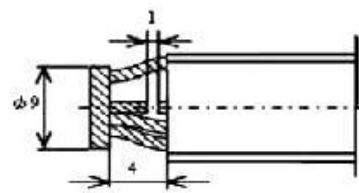
Kei MASUJIMA, Syougo MAKI, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

使用したフランジ付き点火プラグの概略を Fig.2 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²⁾で報告された中で最適なものとした. 円板形 Fig.2(a) は直径 $D=\phi 9\text{mm}$, フランジ間隔 $G=4\text{mm}$, 円筒形 Fig.2(b) は内径 $d=8\text{mm}$, 高さ $h=6\text{mm}$, ドーム形 Fig.2(c) は半球部内直径 $d=8\text{mm}$, 肉厚 0.5mm , 頭頂部に直径 3mm の穴をあけている. 新ドーム Fig.2(d) 半球部内直径 $d=8\text{mm}$ 肉厚 0.5mm , 側面に直径 3mm の穴を 120° 間隔に3ヶ所あけた4種類を使用した.

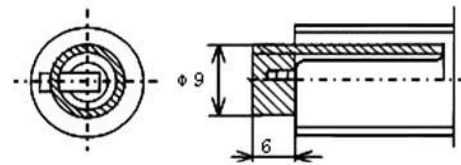
数値解析には, FLUENT ASIA PACIFIC 社製の FLUENT Ver6.3.26 を使用し, 計算格子作成には, 同社製の GAMBIT Ver2.3.16 を使用した. 解析領域は, 燃焼室と同寸法とした. 計算格子は GAMBIT に搭載された直交格子と三角形のハイブリット機能である TGrid タイプを用いた. 乱流モデルは $k-\omega$ sst モデルを使用し, 差分法は一次精度風上差分法を用いた. 燃焼容器内旋回流動場は解析領域内の入口ノズル中心軸延長線上に流速を与える, Velocity Inlet を配置して旋回定常流動場を形成させた. この旋回流動場内に実験と同寸法, 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最大となるとときに点火を行なった.

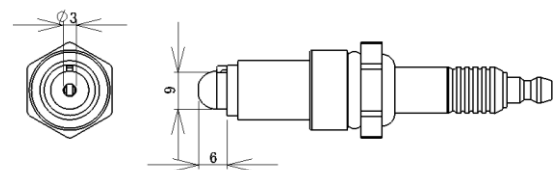
火炎伝ば過程の撮影には, nac 社製 ULTRANAC FS501 にイメージインテンシファイアを取り付け, 直接写真を撮影した. 実験条件は当量比 0.89 火花エネルギーの平均実測値 50mJ で一定, 火花間隙位置は燃焼容器中心より 20mm の位置とし, 点火プラグの種類と流量弁開度を $0.5\sim 2.5\%$ (平均流速 $1.5\sim 19\text{m/s}$) の範囲で変化させた. どのプラグにおいても確実に燃焼を終えている時間にするため, 撮影終了時間を 19.2ms とし, 点火から第1フレームまでの遅れ時間を 0.9ms , 露光時間は常に 0.1ms , その後のインターフレームは 1.3ms



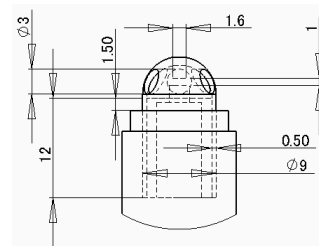
(a) Disk flanged spark plug



(b) Cylindrical flanged spark plug



(c) Dome flanged spark plug



(d) New dome flanged spark plug

Fig.2 Flanged spark plugs

とし,撮影枚数は15枚である.

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 フランジ周辺部の速度ベクトル

Fig.3 に点火プラグ近傍の2次元速度ベクトル分布を示す.(計算は3次元であるが, 紙面の関係で Fig.3 では2次元表示のみ) Fig.3(a)に円筒形プラグ, fig.3(b)に新ドーム形プラグを示す. 円筒形プラグはフランジ外周面に衝突した旋回流は面に沿って流れ, フランジ内部での流れは滞留して

おり、火花間隙位置であるフランジ中心部においては流速が低減されていることが確認できる。新ドーム形プラグはフランジ外周に衝突した旋回流はフランジ面にそって流れ、側面の穴から入った流れはフランジ内で速度が低下しているが円筒形に比べ滞留していないことが確認できた。

3.2 点火実験

各流速での燃焼時間を Fig.4 に示す。図の横軸は平均流速、縦軸は燃焼時間を表す。

3.2.1 通常点火プラグ

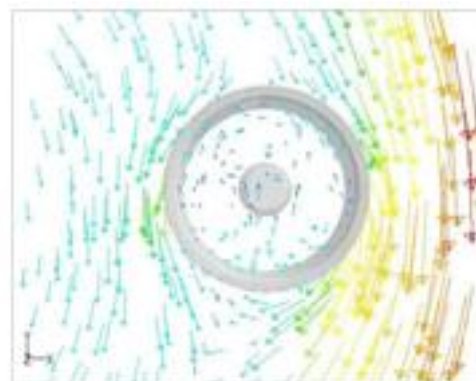
流速 3.7m/s の流速が低い状態では最も燃焼時間が短いことがわかる。これはフランジが付いていないため火炎核の成長が阻害されずに燃え広がることができたと考えられる。しかし、流速抑制効果がないため流速 12m/s まででしか点火することができなかった。

3.2.2 円板形フランジ付き点火プラグ

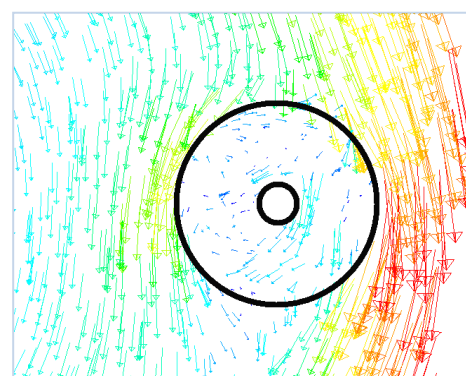
流速 12m/s で最も燃焼時間が短くなっているが、通常プラグと同様に 12m/s より速い流速では点火することができなかった。よって、円板形プラグは流速 12m/s 近傍までは優れた燃焼時間短縮効果があるが、流動抑制効果は小さいのでこれ以上の流速では失火する。

3.2.3 円筒形フランジ付き点火プラグ

流速 19m/s まで点火することができたが、どの流速においても燃焼時間は最も長くなっている。円筒形プラグはフランジで電極を覆う形になっているため流速抑制効果が高く流速が速い状態でも点火できるが、フランジの形状から火炎核からフランジへの熱損失が大きく、また、成長過程の火炎核が観察窓に衝突して温度低下を来し、火炎核の成長が遅くなったと考えられる。これは Fig.5(b)で通常形や円板に比べ、初期火炎を確認できる時間が遅くなっていることから裏付けられる。



(a)Cylindrical flanged spark plug



(b)New dome flanged spark plug

Fig.3 Velocity map around flanged plug

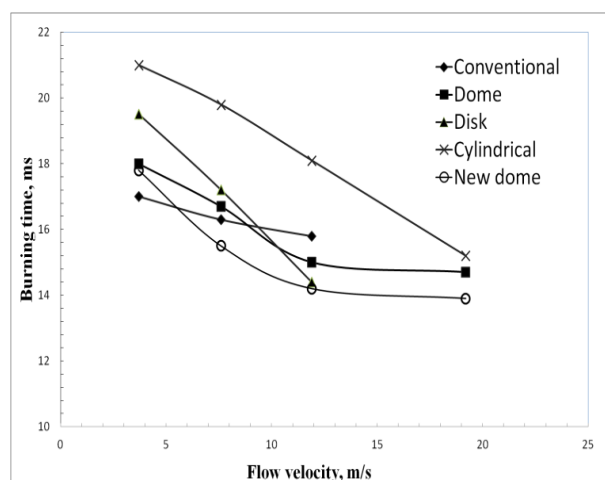


Fig.4 Relationship between flow velocity and burning time

3.2.4 ドーム型フランジ付き点火プラグ¹⁾

火花間隙部を覆う形状から流動抑制効果が高く、19m/s まで点火可能であった。Fig.5(c)をみると火炎を確認できた時間が最も遅いが、Fig.4 では燃焼時間は流速が速くなるにつれて短くなっており、円筒形プラグに比べ優位性を示している。これは、フランジ形状から、衝撃波エネルギーの回収効果²⁾が大きいためだと考えられる。

3.2.5 新ドーム型フランジ付き点火プラグ

流速 19m/s まで点火することができ、流速 7.2m/s 以降他の点火プラグより燃焼時間が短い。また、ドーム形に比べ Fig.5(d)での燃焼を確認できる時間が 2.3ms と早くなっている。これは、側面に穴をあけたことにより衝撃波エネルギー回収効果²⁾、流動抑制効果および流れの吹き抜けが有効に作用したためだと考えられる。

4. 結言

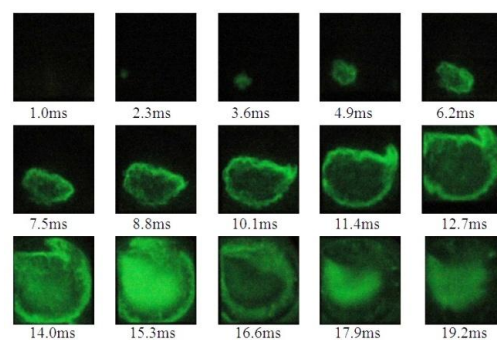
旋回流動場においてフランジ付き点火プラグの流動、点火および燃焼特性について検証した結果、以下の結論を得た。

- (1) 円板形プラグは火炎が広がり始めるのは遅いが、流動抑制効果が低く、流速が速いと失火する。
- (2) 円筒形、ドーム形プラグのように電極を覆うと高速域まで点火できるものの火炎がフランジ内にとどまる時間が長くなる。
- (3) 新ドーム形は流動抑制効果、衝撃波エネルギー回収効果および流れの吹き抜け作用が有効に働いたため広い流速範囲で点火が成立し、燃焼時間も短縮された。

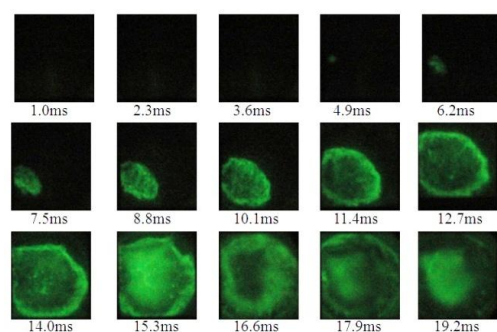
参考文献

1)佐藤, 野村, 山崎, 氏家, 天然ガス機関におけるフランジ付き点火プラグの点火特性改善, 機械学会 関東支部 第 18 期総会講演論文集, pp.241-242(2012)

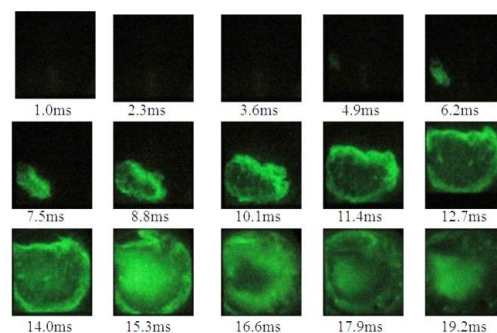
2)氏家, 江間, 野村, 鳥居, フランジ付き点火プラグ基本特性と天然ガスエンジンへの応用, 機械学会論文集(B 編)70 巻 694 号(2004)



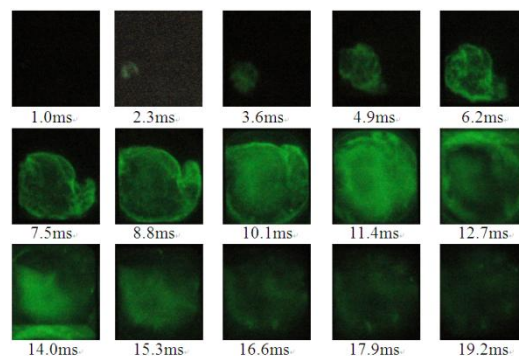
(a) Disk flanged spark plug



(b) Cylindrical flanged spark plug



(c) Dome flanged spark plug



(d) New dome flanged spark plug

Fig.5 High-speed photography