

希薄条件下における開口部を持つドーム形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) ○桂 拓末

日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

現在, 化石燃料の枯渇の懸念や地球温暖化問題から, 自動車用火点火機関の性能改善が急務とされている. 火花点火機関を希薄燃焼させると高熱効率化する反面, 失火や火炎伝ば速度の低下による有効仕事の減少といった問題が生じる. これらへの対策として燃焼室内に強い乱れを発生させ火炎伝ばを促進する手法があるが, 火花電極や未燃混合気への熱損失の増大といった別の問題が生じる. また火花エネルギーの増大は点火系の早期劣化や電磁波障害といった問題を引き起こす. そこで点火エネルギーを増大させることなく, 希薄かつ強い乱れ場における確実な点火手法を検討した.

過去の研究 [1], [2] より, 点火プラグに半球状のフランジを取り付けることによって, 火花間隙近傍の流動抑制と, 火花放電時に発生する衝撃波エネルギーを回収することで点火確率が向上する知見を得た. これらの効果は, フランジにガス交換用に同径の三つの穴を開けたものが最も効果的であると示唆された. これらの経緯を踏まえ, 穴径の異なる三つ穴のプラグを三種類製作して実験を行い, 通常の点火プラグとの点火確率および燃焼特性の差異について検証を行った.

2. 実験装置・方法

本実験で使用した実験装置概略を Fig. 1 に示す. 実験装置は旋回流生成装置系, 点火装置系, 計測装置系, 光学系から構成されており, 燃焼容器には旋回流を生成するためのノズルと石英ガラスの観察窓が設けられている. 本実験ではノズルを一本のみ使用し, 実機におけるスワールを模擬した旋回流動場で点火実験を行った. 実験で使用したドーム形フランジ付き点火プラグを Fig. 2 に示す. NGK 社製 BPR6EIX をベースに, フランジの内径は 8mm, 外径は 9mm に統一し, 穴の径と個数を変えて製作した. ドーム形のフランジに $d=3\text{mm}$ の穴を三つ開けたフランジ付き点火プラグ (D3×3), $d=2.4\text{mm}$ の穴を三つ開けたフランジ付き点火プラグ (D2.4×3), $d=1.8\text{mm}$ の穴を三つ開けたフランジ付き点火プラグ (D1.8×3), の三種類である. なおフランジの向きが点火・燃焼特性に影響を及ぼす可能性を考え, Fig. 3 に示すように旋回流をフランジ側面に衝突させる場合 (A-type), 直接フランジ内に流入する場合 (B-type) の二通り実験を行った.

実験方法は燃料にプロパンを使用し, タンクに混合気を作成後, 火花間隙位置での旋回流速を流量調整弁で制御し, 点火時期を旋回流速が最大となるタイミングで放電するようにした. 燃焼容器内, 配管, エアシリンダを真空ポンプで一旦真空にし, 混合気に置換した後, エアシリンダを作動させて旋回流を生成し, 点火の成否の確認と圧力履歴を取得した. 火炎伝ば過程は超高速度カメラ (nac 社製 ULTRANAC FS501) にイメージインテンシファイアを取り付け, 圧力測定と同期を取って撮影した.

実験は各点火プラグで当量比 0.79 から 0.90 の範囲で, 旋回流速は 7.6m/s と 11.9m/s で実施した. 点火回数を火花放電回数で除したものを点火確率と定義し, 各点火プラグで 20 回以上実験を行うことで算出した. また, 燃焼時間を火花放電時から燃焼圧力が最大となるまでの時間と定義し, フランジ形状が燃焼時間に及ぼす影響について検討した.

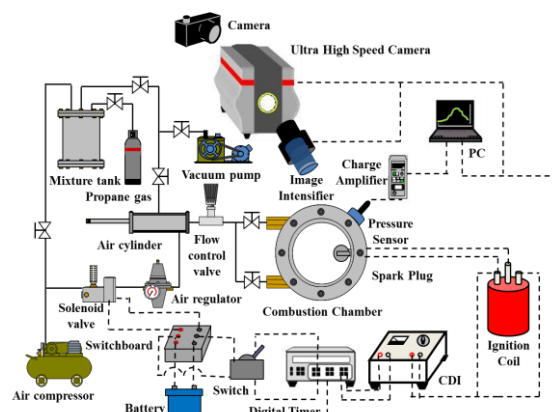


Fig. 1 Experimental apparatus for spark ignition test

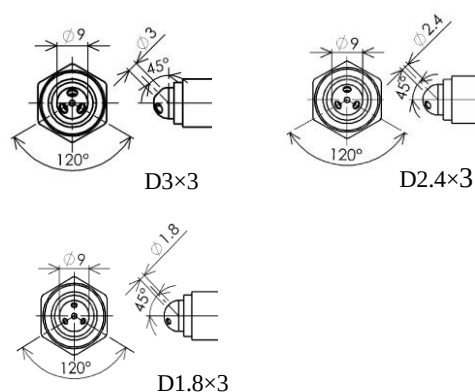


Fig. 2 Dome flanged spark plugs

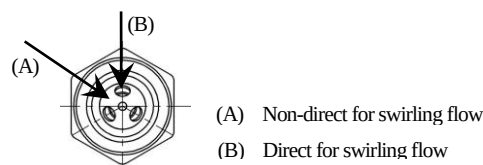


Fig. 3 Direction of Dome flanged spark plug for swirling flow

Ignition and Combustion Characteristics of Dome with holes
Flanged Spark Plug in Lean Condition
Takumi KATSURA, Hiroshi NOMURA, Yasushige UJIIE

3. 実験結果・考察

3.1. 点火確率について

各点火プラグの当量比と点火確率の関係を Fig. 4 に示す。Fig. 4 よりすべてのフランジ付き点火プラグが通常の点火プラグよりも高い点火確率を示した。フランジの流動抑制効果および衝撃波エネルギー回収効果が有効に働いたと考えられる。D3×3, D2.4×3, D1.8×3 について検証する。流速 11.9m/s, 当量比 0.81 において D2.4×3, D1.8×3 はいずれの向きでも 100% 点火した。特に D1.8×3 は希薄域において他のプラグに対して大きな優位性が認められた。この傾向はフランジ内の表面積と相関があると考えられ、D1.8×3 は今回使用したフランジ付き点火プラグの中で最もフランジ内の表面積の値が大きい。火炎核からフランジへの熱損失の影響よりも、衝撃波エネルギー回収効果がより強く働いたことが示唆された。フランジの旋回流に対する向きについては、D1.8×3 では特段の違いはなかった。これはフランジに開いた穴径が小さく、穴部分での流動抑制が強く働くためフランジの指向性の影響が弱まったと考えられる。D3×3 と D2.4×3 については流速が早い領域において A-type と B-type で点火確率に差が生じるが、どちらか一方に特段の優位性は見られなかった。D3×3 と D2.4×3 は流動抑制が D1.8×3 ほど強くなく、フランジ内が僅かに乱れている。火炎核から電極やフランジへの熱損失が増大し、D1.8×3 と比較して点火確率が低下した理由と考えられる。

3.2. 燃焼特性について

各点火プラグを当量比 0.85, 流速 7.6m/s の条件で点火させたときの燃焼圧力履歴を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、燃焼の立ち上がりに着目すると D2.4×3 と D3×3 が通常の点火プラグよりも早く立ち上がっていることがわかる。また、どちらも B-type の方が燃焼が促進されていることから、火花間隙近傍においては旋回流を減速しつつ、初期火炎核をフランジ外に流出させることがより速い火炎伝ばに有効であることが示唆された。最大燃焼圧力は通常の点火プラグがもっとも大きい値を示しており、フランジ付き点火プラグは火炎核から未燃混合気へ火炎伝ばする過程でフランジへの熱損失の影響があると考えられる。また、D1.8×3 は他のフランジ付き点火プラグや通常の点火プラグより燃焼の立ち上がりが遅く、最大燃焼圧力も低い。これは他のフランジ付き点火プラグと比べ、火炎核からフランジへの熱損失が大きいことが理由として考えられる。穴径の小径化は、吹き出し効果による火炎伝ばの促進に有効であると期待されたが、本実験では逆の効果も見られた。

4. 結言

旋回流動場においてドーム形フランジ付き点火プラグの点火および燃焼特性について調べた結果、以下の知見を得た。

1. 当量比が低く旋回流速が早い領域において、三つ穴のドーム形フランジ付き点火プラグ D1.8×3 が最も優れた点火特性を示した。しかし熱損失の影響により火炎伝ばの面では有効ではない。
2. ドーム形フランジ付き点火プラグにおいて、旋回流を減速しつつフランジ内に取り入れ、初期火炎核をフランジ外に流出させることが、火炎核から未燃混合気への火炎伝ばの促進に寄与することがわかった。

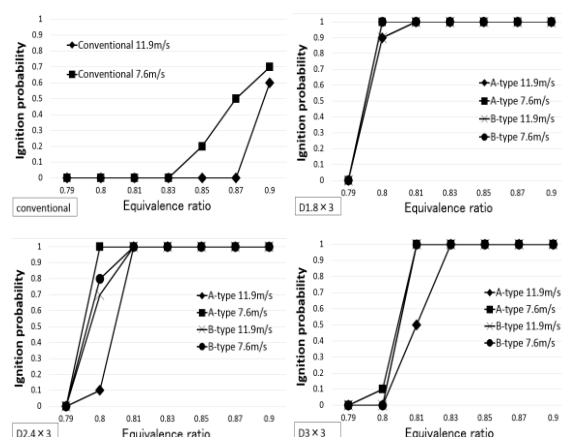


Fig. 4 Relationship between ignition probability and equivalence ratio

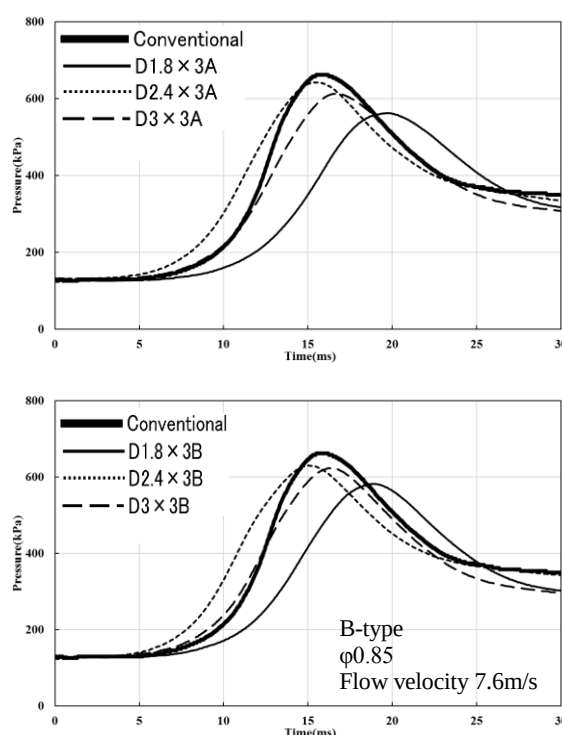


Fig. 5 Combustion pressure history

3. ガス交換用の穴径は、点火確率と火炎伝ば促進の双方の関係から最適値の存在が示唆された。

参考文献

1. 増島・山崎・野村・氏家ほか、第 50 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 46-47 (2012).
2. 桂・市東・野村・氏家ほか、日本機械学会 2015 年度年次大会 DVD 論文集, G0700704 (2015)