旋回流動場におけるフランジ付き点火プラグの希薄混合気に対する点火特性

	日大生	E産工(院) C)市東 竜	貢太朗
日大生産工(院)	増島 慶	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,自動車は我々の生活に無くてはならない ものである.しかし,自動車で使用されているガ ソリンを始めとする化石燃料の枯渇が懸念されて いる.そのため,化石燃料に替わる代替燃料や燃 料電池の研究が盛んに行われている.しかし,こ れらは未だ広く普及しておらず,既存の火花点火 機関の熱効率向上が必要となっている.火花点火 機関の熱効率向上方法のひとつとして希薄燃焼が 挙げられる.しかし,同時に火炎伝播速度の低下 によって,熱効率向上の効果が薄れる問題,また,

ノッキング発生の問題がある.そこで、旋回流に より燃焼室内に強い乱れを生成し、火炎伝播を促 進する方法が考えられるが、一方、点火の面では 火炎核から点火プラグの火花電極および未燃混合 気への熱損失が増大することにより、失火の可能 性が高まる. 失火の可能性を低減する対策として 点火エネルギーの増大と点火プラグの形状を変更 する方法がある. 点火エネルギーの増大では失火 を回避することはできるが、点火プラグの早期劣 化や電磁波障害が懸念される. したがって, 点火 系では点火エネルギーの低減および確実な点火が 重要な課題である. そこで、実機を模擬した旋回 流動場において、通常の点火プラグにフランジを 装着したフランジ付き点火プラグを製作した.フ ランジを付けることにより、火花放電時に生じる 衝撃波をフランジで反射させることで、衝撃波エ ネルギーの回収効果と、フランジによって火花間 隙部の流動を抑制することで点火確率の向上を狙 っている.

本研究では点火確率の算出および燃焼過程の撮 影と燃焼圧力の測定を同時に行い,フランジ付き 点火プラグの優位性を検討した.

2. 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置の概略をFig.1 に示す.



Fig.1 Experimental apparatus for spark ignition



Fig.2 Disk flanged spark plug



Fig.3 Cylindrical flanged spark plug

Ignition Characteristics for Lean Mixture of Flanged Spark Plug in Swirling Field

Ryutaro SHITO, Kei MASUJIMA, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

実験装置は旋回流生成装置系, 点火装置系, 計測 装置系および光学系の4 系統から構成されてい る. 燃焼容器はステンレス鋼(SUS303) 製で, 燃 焼室直径60mm,燃焼室幅25mmの円筒形である. 燃焼容器には石英ガラスの観察窓と旋回流を生 成するためのノズルが設けられている. 使用した フランジ付き点火プラグの概略図をFig.2 から Fig.5 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 (以降通常プラグ) を基本に製作した.フランジ付き点火プラグの各 寸法は次の通りである.円板形点火プラグFig.2 は直径9mm,フランジ間隔4mm,円筒形点火プ ラグFig.3 は直径9mm, フランジ高さ6mm, ドー ム形点火プラグ(D3×1) Fig.4 は半球部直径9mm, 頭頂部に直径3mm の穴をあけられている. ドー ム形点火プラグ(D3×3) Fig.5 は半球直径9mm, 側面に直径3mm の穴を120度間隔で三か所あけ られている.

2.1 点火実験

点火実験はプロパン - 空気予混合気を作成し, 燃焼容器内,配管,エアシリンダを一旦真空にし て,空気と予混合気を置換する.予混合気をエア シリンダに充填した後に,それを駆動して燃焼容 器内に旋回流を生成する.混合気の流速は流量調 整弁の流量弁開度を変更することで制御してい る.このとき点火プラグが無い状態で,火花間隙 位置での流速が最大となる時間にデジタルタイ マーで点火タイミングを調整し,点火を行い,点 火の成否と圧力履歴を取得した.

燃焼過程の撮影には, nac社製ULTRANAC FS501にイメージインテンシファイアを取り付 けることで直接撮影を可能とした.デジタルタイ マーを利用して点火タイミングと同期を取り,燃 焼容器の観察窓より燃焼過程の直接写真を撮影 した.

火花間隙位置は燃焼容器中心より半径方向 20 mmの位置とし、点火プラグの種類と流量弁開度を1.0~2.0%(平均流速3.7~11.9 m/s)の範囲で変化させた. どのプラグにおいても点火から燃焼終了までの期間を記録するため、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1.2ms とし、撮影枚数は15枚とした. なお、燃焼過程の撮影を行う際には、同時に燃焼容器に取り付けられた圧力センサー



Fig.4 Dome flanged spark plug(D3×1)



Fig.5 Dome flanged spark plug(D3×3)

Table.1 Ignition probability of spark plugs

a=0.80	Flow velocity (m/s)				
φ–0.89	3.7	7.6	11.9	Ignitic	n nrohabilitu V
Dome flanged spark plug (D3 × 3)	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc		X=100%
Dome flanged spark plug (D3 × 1)	\times	X	\times		80%≤X<100%
Cylindrical flanged spark plug	\times	\times	\times		50%≤X<80%
Disk flanged spark plug	\triangle	0	\triangle		0% <x<50%< td=""></x<50%<>
Conventional spark plug	\triangle	0	\bigcirc		

によって圧力履歴を取得した.

2.2 点火確率および燃焼時間

点火実験において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た.各プラグ,各 旋回流の流速で20回以上点火実験を行うことで 算出した.また,燃焼時間を火花放電時から燃焼 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 点火確率

各点火プラグの流速別の点火確率を Table.1 に示す. 当量比は 0.89 である.

ドーム形点火プラグ(D3×3) は実験を行ったす べての混合気流速において点火確率が 100% と なった.これは半球状のフランジ形状により火炎 核に集中するように衝撃波が反射するため,衝撃 波エネルギーの回収効果が十分に得られたこと および,流動抑制効果が作用した結果,点火確率 の向上に繋がったと考えられる.

ドーム形点火プラグ(D3×1) と円筒形点火プラ グの二つの点火プラグは通常プラグより点火確 率が低い結果となった.これは点火プラグの火花 電極を覆うようにフランジが装着されているた め,火花放電によって形成された火炎核がフラン ジ内に長時間留まり,フランジへの熱損失が増大 したために失火に至ったとことが考えられる.ま た、ドーム形点火プラグ(D3×3)とドーム形点火プ ラグ(D3×1) は同じ半球状のフランジ形状である が、ドーム形点火プラグ(D3×3) は側面にガス交 換用の穴が設けられているため, 旋回流の上流に 位置する穴から混合気がフランジ内に流入し,衝 撃波エネルギーを回収後,下流に位置する穴から 火炎核が早期に流出したために、フランジへの熱 損失がドーム形点火プラグ(D3×1)に比べて小さ いために、点火確率が向上したと考えている.

円板形点火プラグは 3.7m/s, 7.6m/s の範囲で は通常プラグと大きく点火確率は変わらないが, 11.9m/s で点火確率が低くなっている.低い混合 気流速では衝撃波エネルギーの回収効果を得る ことが出来ているが,フランジへの熱損失の影響 が大きく,点火確率の向上に寄与しなかったこと が考えられる.11.9m/s ではフランジが旋回流を 妨げる方向に取り付けられていないことにより 流動抑制効果が得られないことが要因となって いる.

3.2 直接写真および圧力履歴

Fig.6, Fig.7 に特に点火確率の向上が見られた ドーム形点火プラグ(D3×3)の当量比 0.89,混合 気流速 11.9m/s 時における燃焼過程の直接写真 と圧力履歴および熱発生率を示す.また,比較の ために Fig.8, Fig9 に通常プラグの直接写真と圧 力履歴を示すおよび熱発生率を示す.ドーム形点



Fig.7 Pressure history and heat release of dome flanged spark plug(D3×3)



Fig.8 High speed photography of conventional spark plug

火プラグ(D3×3) は Fig.6 より 2.3ms において 初期火炎核を確認することができる.通常プラグ では Fig.8 より 6.2ms において確認することが でき,約 4ms 程度早くドーム形点火プラグ (D3×3)の方が火炎の成長が促されていることが 分かる.また,Fig.7,Fig.9 を比較して,最大圧 力はほぼ等しいが,燃焼時間はドーム形点火プラ グ(D3×3)が 14.2ms,通常プラグが 19.0ms とド ーム形点火プラグ(D3×3)の方が 4.8ms 早く最高 圧力に達している.このことより,フランジを取 り付けることにより,燃焼時間の短縮に繋がって いることが分かる.

3.3 総発熱量

Fig.7 および Fig.9 の熱発生率を積分して算出 したドーム形点火プラグ(D3×3) と通常プラグの 総発熱量を Fig.10 に示す. ドーム形点火プラグ (D3×3) は 2.69×10³ (kJ),通常プラグは 2.71×10³ (kJ) と通常プラグとほぼ同等の値となっている. 点火プラグにフランジを取り付けることで,フラ ンジへの熱損失が生じ,ドーム形点火プラグ (D3×3) はフランジ壁面での消炎により,総発熱 量が通常プラグに比べて若干低下することが考 えられるが,両者の間に有意差はなく,燃焼した 燃料質量はほぼ同等であることが分かる.

3.4 希薄混合気に対する点火特性

ドーム形点火プラグ(D3×3) と通常プラグを使 用し、当量比を徐々に下げていき、点火できる最 少の当量比を求めた.その結果を Fig.11 に示す. 黒のプロットはドーム形点火プラグ(D3×3) の結 果を示し、白のプロットは通常プラグの結果を示 している.ドーム形点火プラグ(D3×3) は当量比 0.82 まで点火することができており、通常プラ グは当量比 0.83 まで点火することができている. したがって、ドーム形点火プラグ(D3×3) はより 点火できる範囲が通常プラグよりも希薄側へと シフトしていることが分かる.

4. 結言

- 通常の点火プラグに適当なフランジを付けることで点火確率の向上が期待できる.また、 燃焼時間の短縮の効果も期待できる.
- 円筒形点火プラグ、ドーム形点火プラグ (D3×1)のような過度に火花電極を覆うよう なフランジ形状では火炎核の熱損失が増大

Fig.10 Heat release of conventional spark plug and dome flanged spark plug $(D3 \times 3)$

Fig.11 Relationship of ignition probability and equivalent ratio of conventional spark plug and dome flanged spark plug (D3×3)

するために点火確率は低下する場合がある.

 適当なフランジ形状のフランジ付き点火プ ラグでは、点火できる領域が通常プラグより もより希薄側に拡大することができる.

参考文献

- 佐藤、山崎、氏家ほか、旋回流動場におけるフランジ付き点火プラグの点火特性、第 48回燃焼シンポジウム講演論文集、2010、 pp.130-131
- 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の応 用,機械学会論文集(B編)70巻 694 号 (2004-6)