フランジ付き点火プラグのフランジ形状が点火特性および燃焼特性に及ぼす影響

日大生産工(院) 〇太田 一貴 日大生産工(院) 菊池 孝之 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年,環境問題の深刻化や化石燃料の枯渇に 伴い内燃機関への早期対策が求められている. 火花点火機関においては,排気ガス中の有害物 質の低減や燃料消費率の改善に希薄燃焼が有効 であると考えられている.しかし,希薄燃焼に よる燃焼速度の低下は有効仕事の減少を招く. その対策として,燃焼室内にスワールやタンブ ルに伴う強い乱れを発生させることで火炎伝播 速度の促進を図っているが,この強い乱れによ って火炎核での熱損失は増大し失火が起きやす くなる.このため,点火エネルギーを増大させ ることで失火を防いでいるが,点火系の早期劣 化や電磁波障害といった問題が発生する.した がって,希薄燃焼においては,点火エネルギー の低減と確実な点火の両立が重要な課題である.

本研究ではこの相反する問題の両立を目指し, 火花放電時に発生する衝撃波の反射と火花間隙 周辺の流動抑制に着目した. 衝撃波エネルギー の回収効果と混合気の流動抑制効果の向上を目 的として, 市販の点火プラグの先端にフランジ を取り付けて点火実験を行った. 既報の実験(1-3) では,通常プラグと比較して,円板形および円 筒形フランジ付き点火プラグが優位な場合があ ることを確認できたが、フランジ形状にはさら に工夫の余地が残されていることが示唆された. そこで、新形状として円筒円板組み合わせ形点 火プラグとキャビティ形点火プラグを製作した. 通常プラグと各フランジ付き点火プラグにおい て, 点火確率改善効果, 点火時の平均燃焼時間 および平均最大燃焼圧力を調べ、各フランジ形 状が点火特性と燃焼特性に及ぼす効果を比較,



検討した.

2 実験装置および実験方法

2.1 供試機関および計測装置

実験装置の概略図を Fig.1 示す.実験装置は, エンジン,燃料系,点火装置,計測装置,動力 測定装置から構成される. エンジンは日産工機 製 H25 型エンジンで, 燃料には天然ガス(13A) を使用している.供試機関の主な諸元は直列 4 気筒, 排気量 2472 cc, ボア×ストローク 92.0 mm ×93.0 mm , 圧縮比 8.9 である. 冷却方法 は,水タンクを用いて水道水を循環させる方法 を用いた.燃料系は混合器,天然ガスを大気圧 と同じ圧力に調整する Governor zero,燃料流料 を調整することで当量比を変化させるメイン・ アジャスト・スクリューで構成される. 点火装 置には、コイル内臓型のフルトランジスタ式点 火回路を用いた. 計測装置は, 圧力センサ, 層 流型空気流量計,層流型燃料流量計から構成さ れる. 天然ガスおよび吸入空気の流量を層流型 流量計により測定し,所定の当量比に調整した. エンジンの2番シリンダのヘッド部分に穴を開 けてスリーブを入れ、その中に圧力センサ

Effects of Shape in Flanged Spark Plug on Ignition and Combustion Characteristics Kazuki OOTA, Takayuki Kikuchi Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE (Kistler 6052A)を取り付け,ストレージオシロ スコープに圧力波形を出力した.これより,点 火確率,燃焼時間および最大燃焼圧力求めてい る.動力測定装置は日大工研式渦流型電気動力 計を用いた.

2.2 円筒形フランジ付き点火プラグ

本研究で用いる円筒形フランジ付き点火プラ グを Fig.2 に示す.円筒形フランジ付き点火プラ グは,市販の点火プラグ (NGK 製 B4ES)のね じ部内側の筒状になった部分に,外形 9 mm の ステンレスパイプを銀ロウ付けして作成した. 円筒形フランジの材質は,耐久性,耐熱性を考 慮して SUS304 を使用し,過去の研究で最も良 い結果を得られたフランジ高さ h=6 mm のもの を比較対象とした.

2.3 円板形フランジ付き点火プラグ

円板形フランジ付き点火プラグを Fig.3 に示 す.円板形フランジ付き点火プラグは,市販の 点火プラグから接地電極を取り去り,そこに \$\phi1.6 mm のステンレス棒3本を設置し,フラン ジを支持した.また,フランジの中心に\$\phi1.6 mm のステンレス棒を取り付け,新たな接地電極と した.フランジ,ステンレス棒および接地電極 の材質は耐久性や耐熱性を考慮して,円筒形フ ランジと同様の SUS304を使用した.点火プラグ とフランジは銀ロウ付けし,過去の研究で最も 良い結果を得られたフランジ直径 D=9 mm,フ ランジ間隔 G=4 mm のものを比較対象とした.

2.4 円筒円板組み合わせ形点火プラグ

円筒円板組み合わせ形点火プラグを Fig.4 に 示す. 接地電極を取り去った市販の点火プラグ のねじ部内側に外形9 mm, 肉厚 0.5 mm の円筒 形フランジ (SUS304) を差し込み,外側に 4 1 mm のステンレス棒3 本を設置して円板形フラ ンジ(SUS303) を支持した. 円板形フランジの円 板中心には新たな接地電極として 4 1.6 mm のス テンレス棒を取り付け,電極間距離を 1.0 mm と した. また,円板形フランジのフランジ直径 D=12 mm およびフランジ間隔 G=6 mm を一定



Fig.5 Cavity spark plug.

とし、円筒形フランジの高さhを3mm,4mm,
5mm としたものを製作した. 接合方法には銀ロ
ウ付けを使用した.

2.5 キャビティ形点火プラグ

キャビティ形点火プラグを Fig.5 に示す. これ は組み合わせ形点火プラグと同様に円筒形フラ ンジを差し込み,上部にフランジ直径 D=12 mm の円板形フランジを取り付けた.取り付け方法 は,円筒形フランジの上部 3 箇所と円板形フラ ンジの上面端 3 箇所に 4 1.25 mm の穴を開け,そ の穴に針金を通して固定し,銀ロウ付けで接合 した.円板形フランジの中心部に d= 3,5 mm と 2 種類の穴を開けた.これだけでは既燃ガスと 新気の交換が不充分なので,円筒形フランジの 下部端 4 箇所に 4 1.5 mm, 4 2.5 mm の穴を開け た.接地電極は市販品のままである.

2.6 実験方法

新形状の円筒円板組み合わせ形点火プラグと キャビティ形点火プラグを用いて点火実験を行 った.供試機関の平均有効圧力を 0.3 MPa に合わせ,初期回転速度を 800,1000 ~3000 rpm までを 500 rpm ごとに変化させて実験を行った. 各回転速度において,点火確率が 100%となる最も低い当量比に調整し,そこから当量比を 0.01 刻みずつ下げていった.これをエンジンの停止 寸前まで行い,ストレージオシロスコープに出力された圧力波形を基に 10 秒間の点火回数を放電回数で除して点火確率を算出した.なお, 圧力履歴において 2 MPa 以下を失火と判定した.

さらに,各フランジ付き点火プラグにおいて 上記の実験条件の1 つである 2000 rpm 時の燃 焼時間と最大燃焼圧力を当量比�=0.70 と�=0.57 について 20 回ずつ計測し,その平均を求めた. 当量比�=0.57 においては,失火の場合はデータ からはずした.

3. 実験結果及び考察

3.1 フランジ形状が点火確率に及ぼす影響

各フランジ付き点火プラグについて当量比と 点火確率の関係を Fig.6 に示す.本実験範囲にお いて (a) 1000 rpm を低速回転速度とし, (b) 3000 rpm を高速回転速度とする.円筒円板組み合わ せ形点火プラグは円筒部高さが高いほど点火確 率が向上した. その理由として, フランジ面の 増大による衝撃波エネルギー回収効果の向上と, 流動抑制効果の向上によるものと考えられる. キャビティ形点火プラグは d=5 のとき,低速回 転速度において点火確率が通常プラグと同等, またはそれよりも低い結果になった.これは, 混合気の流動抑制効果が過大となり、火炎核が キャビティ内に滞留する期間が長く、フランジ への熱損失が増大したためと考えられる. 高速 回転時には強い流れとなるため、流動抑制効果 が有効に働いて点火確率が向上したと考えられ る. d=3 のキャビティでは上記の d=5 よりも消 炎効果が強いため、それよりも点火確率が低下 する傾向が見られた.

3.2 フランジ形状が燃焼特性に及ぼす影響

各フランジ付き点火プラグと燃焼時間の関係





を Fig.7 に, 最大燃焼圧力の関係を Fig.8 にそれ ぞれ示す. 全体として, 燃焼時間が短くなるほ ど最大燃焼圧力が高い傾向にあることがわかる. 円板形フランジ付き点火プラグにおいては当量 比ϕ=0.70 とϕ=0.57 の両方で燃焼時間が短く, 最 大燃焼圧力が高くなった.これは,火炎伝播を 阻害しにくい形状と、衝撃波エネルギーの回収 効果により、燃焼時間が短縮したと考えられる. キャビティ形点火プラグの場合は、前述の熱損 失増大のため、全体として燃焼時間は長く、最 大燃焼圧力は低い傾向を示した.ただし、d=3、 **∮=0.70** のときは、燃焼時間が最短で、最大燃焼 圧力は最大を示した.これは、パルスジェット イグナイタと同様の効果で、小孔から火炎が噴 出し, 乱流燃焼の度合いが強まったためと考え られる. Fig.6 で円筒円板組み合わせ形点火プラ グの G=6, h=5 は最も高い点火確率を示したが, 燃焼時間を見ると全体の平均的な位置となって

いる.したがって,点火確率と点火後の火炎成 長過程には相関がないことが示唆された.円筒 円板組み合わせ形点火プラグの場合,流動抑制 と衝撃波エネルギー回収効果が有効に働いて, フランジ内部で火炎核が成長するものの,円板 形フランジ単独の場合より,円筒形フランジに 囲まれているために火炎伝播を阻害しているも のと考えられる.その影響は円筒部高さが高く なるほど大きいと考えられる.しかしこの場合 でも,通常プラグと比較して火炎伝播は促進さ れている.

4 結言

天然ガスエンジンを用いてフランジ付き点火 プラグの点火特性と燃焼特性を調べた結果,以 下の結論を得た.

- 円筒円板組み合わせ形点火プラグは、円筒部 高さが高い方がどの回転速度においても高 い点火確率が得られる.
- 円筒円板組み合わせ形点火プラグは円筒部 高さが高くなるほど燃焼時間が長くなり,最 大燃焼圧力は小さくなる.
- キャビティ形点火プラグは、高すぎる流動抑 制効果および消炎効果のため、高い点火確率 を得られなく、点火後の燃焼促進にもあまり 有効ではない。
- 本実験範囲において、円板形フランジ付き点 火プラグは燃焼時間が短く、高い最大燃焼圧 力を得られた。
- 5. 点火確率と火炎伝播の促進効果に強い相関 はない.

参考文献

- 大橋・氏家ほか,第41回燃焼シンポジウム 講演 論文集,pp.169-170(2003)
- 大橋・氏家ほか,第42回燃焼シンポジウム 講演 論文集,pp.489-490(2004)
- 氏家・野村・江間・鳥居、フランジ付き点火プラ グの基本特性と天然ガスエンジンへの応用、機論(B 編)70巻694号 No.03-0280, pp218-23(2004)



Fig.7 Relation between various flanged spark plug and burning time.







Fig.8 Relation between various flanged spark plug and maximum combustion pressure.