単気筒天然ガスエンジンにおけるフランジ付き点火プラグの燃焼特性

日大生産工 野村 浩司 日大生産工 山崎 博司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年,環境問題の深刻化により内燃機関への早 急な対策が求められている.火花点火機関におい て,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,希薄燃焼は燃焼速度の 低下により有効仕事の減少を伴う.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 れを発生させ火炎伝播速度の促進を図るが,これ らの強い乱れにより火炎核での熱損失が増大し,

失火が起こりやすくなる.このため、点火エネル ギーを増大させることで失火を防げるが、これら は点火系の早期劣化や電磁波障害といった問題を 招いてしまう.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という、相反 する問題の両立が重要な課題である.

本研究ではこの双方の問題の両立を目指し,火 花放電時に発生する衝撃波エネルギーの回収と火 花間隙周辺の流動抑制に着目した.これらを実現 させるために,市販の点火プラグの先端にフラン ジを取り付けたフランジ付き点火プラグを数種類 製作した.今回,1500rpmにおける燃焼実験より, 熱発生率を算出し,各フランジ付き点火プラグの 燃焼傾向について述べる.

2. 実験装置

2.1. 供試機関および装置

実験装置の概略を Fig.1 に示す.実験装置の大ま かな構成は以前用いていた 4 気筒天然ガスエンジ ン¹⁾のものと同様に供試機関,燃料系,点火装置, 計測装置,動力測定装置からなる.供試機関は Honda 製 EM6000 型天然ガス発電機のエンジン本 体のみを使用する.主な諸元は単気筒,排気量 389cc,ボア×ストローク 88.0mm×64.0mm,圧縮 比 8.0 である.冷却方法はシロッコファンを用いた 強制空冷式である.



日大生産工(院) ○宮里 真吾



燃料供給装置は、天然ガスの供給・停止用電磁弁, 天然ガスを大気圧に調整する Governor zero,当量 比を変化させるために燃料流量の調整を行うアジ ャスト・スクリューで構成される. 点火装置は標 準装備のマグネット方式およびフランジ付き点火 プラグを使用する. 燃焼圧力測定装置は圧力セン サ,チャージアンプ,スリーブ,ウォータージャ ケットから構成される. 圧力センサ (Kistler 6052A) はエンジンのシリンダヘッドに穴を開けてスリーブ に差し込んで取り付けてある. 圧力波形は増幅器を 通してストレージオシロスコープに記録する. 流量 計測装置は層流型空気流量計および層流型燃料流 量計を使用する. 動力測定装置は、日大工研式渦 電流型電気動力計,コントロールコンソール,ス ロットルレバーから構成される.

2.2. フランジ付き点火プラグ

2.2.1. 円筒形フランジ付き点火プラグ

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,通常の点火プ ラグ(NGK 製 BPR6ES)のねじ部内側の筒状にな った部分に内径 8 mm のステンレスパイプを銀ロ ウ付けして製作した.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 去の研究で最も点火確率の優れたフランジ高さ h=6 mm のものを比較対象とした.

Combustion Characteristics of Flanged Spark Plugs in Single Cylinder Natural Gas Engine Shingo MIYAZATO Hiroshi NOMURA, Hiroshi YAMASAKI and Yasushige UJIIE

2.2.2. 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通常の点火プラ グから接地電極を取り去り、 \$\phi.6 mm のステンレ ス棒 3 本を用いて円板形フランジを支持した. そ して、フランジの中心に \$\phi.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、過去の研究で最も点火確 率の優れたフランジ直径 D=9 mm,フランジ間 隔 G=4 mm のものを比較対象とした.

2.2.3. 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通常の点火プラグ (NGK 製 BPR6ES) のねじ部内側に内径 8 mm, 肉 厚 0.5 mm の円筒形フランジ (SUS304) を差し込 み,外側に ϕ 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 ϕ 1.6 mm のステンレス棒を取り付け,火花間隙を 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,円筒 形フランジの高さhは,過去の研究²⁾で最も点火確 率の優れた 5 mm 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.

2.2.4. 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 円筒円板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¢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穴は d=5 mm とした. 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端部4 箇所 90°おきに 2.5 mm の穴を開けた.接地電極は通常の点火プラグ のものをそのまま使用した.

2.2.5. ドーム形点火プラグ

ドーム形点火プラグを Fig.6 に示す²⁾. SUS304 を 用いて,切削加工にてドーム形フランジを製作し, 通常の点火プラグに銀ロウ付けした.寸法は半球



Fig.2 Cylindrical flanged spark plug.



Fig.3 Disk flanged spark plug.



Fig.4 Cylindrical and disk flanged combination spark plug.



Fig.5 Cavity spark plug.



(a) Dome flanged spark plug (dome D=3).



(b) Dome flanged spark plug (dome D=5).



(c) Dome flanged spark plug (dome $D=3 \times 3$).

Fig.6 Dome flanged spark plug.

部直径 9mm, 肉厚 0.5mm, 穴位置は頭頂部に D=\$mmおよび\$5mm の2 種類のものを製作した. なお,キャビティ形と同様に新気と既燃ガスの交 換が不十分なため,半球体側面にガス交換用の穴 を 90°おきに 4 箇所開けた. (a)の寸法は\$1.5mm, (b)では\$2.5mm とした. 接地電極は市販品のままで ある. (c)は接地電極を取り払い新たに接地電極と して\$1.6mm のステンレス棒を取り付け,火花間隙 を 1.0mm とし, 穴の開口面積低減とガス交換作用 のバランスを考慮して, 120°おきに D=3mm の穴 を半球体の側面寄りに 3 ヶ所開けた.

3. 実験方法

3.1. 燃焼実験

まず,エンジンを暖気運転した後,圧力履歴が 安定していることを確認し,コントロールコンソ ールにて動力計の負荷を 3kgf(29.4N)に合わせる. 次に当量比およびエンジン回転数を設定値に合わ せる.オシロスコープより燃焼圧力,燃焼時間を 読み取り 10 回ずつ測定する.その平均を算出し各 点火プラグごとにデータを比較,考察する.

3.2. 熱発生率の算出

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(\kappa p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} \right)$$
 3.1

κ:作動流体の比熱比
p:燃焼室圧力
V:燃焼室容積
本研究では取得データから算出するため,式 3.2
で与える近似式を使用した.

$$\frac{dQ_{i}}{dt_{i}} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(\kappa p_{mi} \left(\frac{V_{i} - V_{i-1}}{t_{i} - t_{i-1}} \right) + V_{i} \left(\frac{p_{i} - p_{i-1}}{t_{i} - t_{i-1}} \right) \right)_{3.2}$$

4. 実験結果および考察

各フランジ付き点火プラグの燃焼圧力および熱 発生率を Fig.7 から Fig.14 に示す. さらに, 各点火 プラグの熱発生率を一つにまとめたグラフを Fig.15 に示す.時刻 0ms が点火時期となっている. フランジ付き点火プラグは通常形点火プラグと比 べて急激に熱発生率が上昇する傾向がある. そし て, 円板形点火プラグの熱発生率のピークが一番 大きくなった. 過去の研究より³⁾円板形点火プラグ はフランジ付き点火プラグの中で点火確率の面で はそれほど優位性はなかった. しかしながら Fig.9 を見ると熱発生率は大きく、火炎伝播が促進され るため、希薄域におけるエンジンのトルク低減を 抑制することができていると考えられる. ドーム 形点火プラグ(D=3×3)は点火確率の面では他のフ ランジ付き点火プラグよりも優れているが³⁾, Fig.14 を見ると熱発生率は平均的な経過を示して いる.よって、ドーム形点火プラグ(d=3×3)は点 火可能な希薄域を大きく広げ、エンジンのトルク 低減を緩和することが可能な点火プラグといえる. 円筒形点火プラグは他のフランジ付き点火プラグ と比べて熱発生率が一番小さくなった. これは拡 散的に広がる火炎伝播を円筒形状が阻害し、熱損 失につながったのではないかと考えられる. 組み 合せ形点火プラグとキャビティ形点火プラグにも 円筒状のフランジがついているが新気と既燃ガス 交換用の穴が空いているため、その穴から火炎伝 播が促進され、熱損失があまり大きくならなかっ たことと同時に衝撃波エネルギーの回収効果が有 効に働いたものと考えられる.



Fig.7 Combustion pressure and heat release rate of the conventional



Fig.8 Combustion pressure and heat release rate of the cylindrical





Fig.12 Combustion pressure and heat release rate of the dome D=3





5. 結言

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

- 円板形点火プラグはフランジ面が少ないため 火炎伝播が阻害されにくく、フランジへの熱 損失が小さい.
- ドーム形点火プラグは希薄域での点火可能範囲を広げ、エンジンのトルク低減を抑制できる可能性が示唆された.

参考文献

- 末岡・氏家ほか,第47回燃焼シンポジウム講演 論文集,pp.354-355 (2009)
- 佐藤・氏家ほか,機学 関東支部 第18 期総会講 演論文集, pp.241-242(2012)
- 3. 宮里・氏家ほか,第50回燃焼シンポジウム講演 論文集, pp.120-121(2012)