

点火プラグのフランジ形状が天然ガス機関において 点火および燃焼特性に及ぼす影響

日大生産工(院) ○佐藤 宗一郎

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、環境問題の深刻化や化石燃料の枯渇が懸念されており、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は排気ガス中の有害物質の低減や燃料消費率の改善には希薄燃焼が有効であると考えられているが、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。しかし、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、その結果、点火系の早期劣化や電磁波障害といった問題が生じる。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。その手法として、通常の点火プラグの先端に数種類のフランジを取り付けたフランジ付き点火プラグを製作し、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、検討してきたが、この度供試機関の整備性向上およびより正確にフランジ付き点火プラグの効果を判定するために従来使用してきた4気筒天然ガスエンジン（以下4気筒）に加え、新たに単気筒天然ガスエンジン（以下単気筒）のテストベンチを製作し、両者で得られた結果を比較した。

2. 実験装置

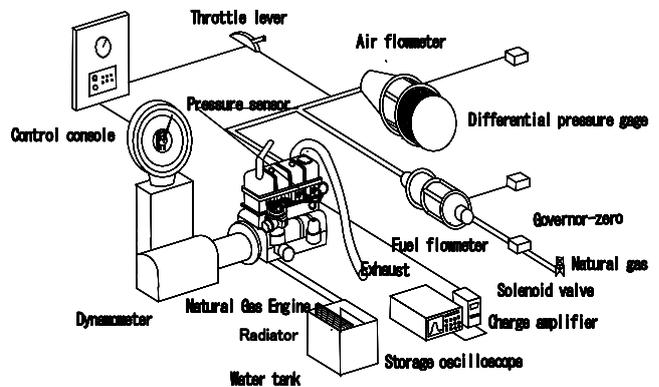


Fig.1 Experimental apparatus of a 4-cylinders natural gas engine.

2.1. 供試機関および装置

2.1.1 4気筒天然ガスエンジン

実験装置の4気筒の概略図をFig.1に示す。実験装置は供試機関、燃料系、点火装置、計測装置および動力測定装置より構成されている。供試機関は4気筒については日産工機製H25型エンジンで、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。また、冷却方法は水冷式でラジエーターを用いて冷却液を循環させる方法を用い、さらにラジエーターを水槽に入れ冷却した。燃料系は混合器、当量比を変化させるために燃料流量を調整するメイン・アジャスト・スクリュー、天然ガスを大気圧と同じ圧力に調整するGovernor zeroで構成される。点火装置はフランジ付き点火プラグ、コイル内蔵型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、層流型燃料流量計で構成される。圧力センサ(Kistler 6052A)はエンジン

**Effects of Shape of Flange in Spark Plug on Natural Gas Engine
on Ignition and Combustion Characteristics
Soichiro SATO
Hiroshi NOMURA, Hiroshi YAMASAKI and Yasushige UJIIE**

のシリンダヘッドの1つに穴を開けてスリーブを差し込んで取り付け、増幅器を通してストレージオシロスコープに圧力波形を出力した。使用する点火プラグはNGK製B4ESである。

2.1.2 単気筒天然ガスエンジン

実験装置の単気筒の概略図を Fig.2 に示す。供試機関は本田技研製 EM6000GN 型天然ガス発動機のエンジンを用い、主な諸元は単気筒、排気量 389cc、ボア×ストローク 88.0mm×64mm、圧縮比 8.0 である。冷却方法は強制空冷式で、クランクシャフトに取り付けられたシロッコファンによってエンジン全体を冷却する。燃料系は4気筒と同様にメイン・アジャスト・スクリューおよび Governor zero で構成されている。点火装置はトランジスタマグネット式点火回路を用いている。計測装置も4気筒と同様に圧力センサ、層流型空気流量計、層流型燃料流量計で構成される。圧力センサ (Kistler 6052A) はエンジンのシリンダヘッドカバーに穴を開けて、水冷のためウォータージャケットを介して取り付け、増幅器を通してストレージオシロスコープに圧力波形を出力した。使用する点火プラグは NGK 製 BPR6ES である。

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.3 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。

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.4 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、そこ

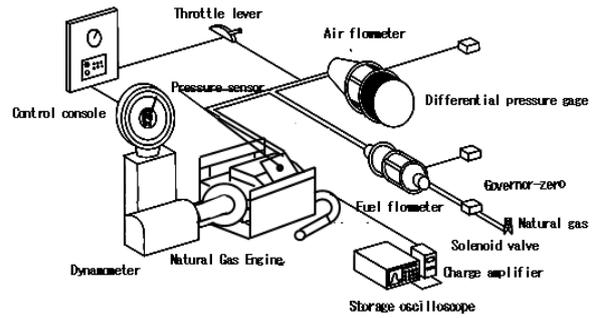


Fig.2 Experimental apparatus of a Single cylinder natural gas engine.

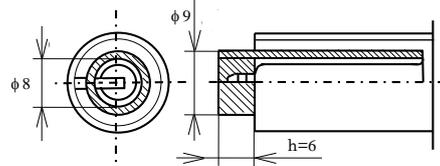


Fig.3 Cylindrical flanged spark plug

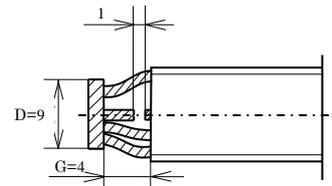


Fig.4 Disk flanged spark plug

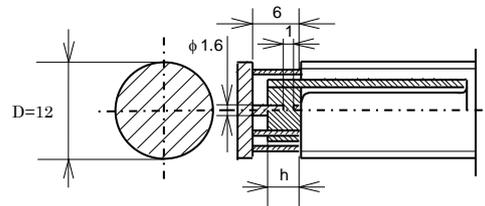


Fig.5 Cylindrical and Disk flanged spark plug

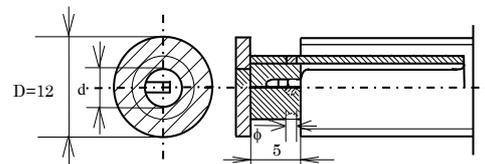


Fig.6 Cavity flanged spark plug

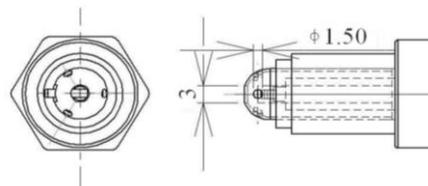


Fig.7 Dome flanged spark plug

に $\phi 1.6$ 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 $\phi 1.6$ 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.5 に示す。接地電極を取り去った通常の点火プラグ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 $\phi 1$ 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 $\phi 1.6$ 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 , 円筒形フランジの高さ h は、過去の研究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.6 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 $\phi 1.25$ 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 5 mm の穴を開けた。これだけでは既燃ガスと新気の交換が不十分なので、円筒形フランジの下部端 4 箇所 90° おきに $\phi 1.5$ 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 ドーム型点火プラグ

ドーム型点火プラグを Fig.7 に示す。これはキャビティ形点火プラグと同様に切削加工にて製作した内部がドーム型のフランジを取り付けている。ドーム天頂部の中心に $d=3$ mm, 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十分なので、ドーム側面の下部端 4 箇所 90° おきに $d=3$ mm には $\phi 1.5$ mm, $d=5$ mm には $\phi 2.5$ 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。

3. 実験方法

通常の点火プラグおよび各フランジ付き点火プラグを用いて点火実験を行った。初期回転速度を 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 % となる任意の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 秒間の放電回数における点火回数の割合として点火確率を算出した。その中で点火確率が 99 %以上持続可能な最小当量比をフランジ付き点火プラグごとに比較した。

4. 実験結果および考察

4 気筒における各フランジ付き点火プラグと点火確率が 99 %以上持続可能な最小当量比の関係を Fig.8 に、単気筒におけるものを Fig.9 に示す。どちらの供試機関においても通常の点火プラグは回転数が大きくなるにつれ点火可能な最小当量比は大きくなるが、各フランジ付き点火プラグは小さくなった。ここで円板形フランジ付き点火プラグおよび円筒形フランジ付き点火プラグは過去の研究データから、最も点火確率が優れた $G=4$ mm および $h=6$ mm のプラグを比較対象とした。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。どちらの回転速度においてもフランジ付き点火プラグは通常の点火プラグより希薄領域での確実な点火に優れている。円筒円板組み合

わせ形点火プラグは他のフランジ付き点火プラグと比較し、低速回転速度と高速回転速度の両方において優れた結果が得られた。これは、フランジ面が多いことにより衝撃波エネルギー回収効果と、流動抑制効果が有効に働いたためと考えられる。キャビティ形点火プラグは低速回転速度、高速回転速度ともに最小当量比は他のフランジ付き点火プラグと比較してあまり優れた結果が得られなかった。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と考えられる。最後に、ドーム形点火プラグは低速回転速度、高速回転速度ともに優れた結果が得られた。これは内部がドーム型になっているために発生した衝撃波エネルギーの効率的な回収に成功したためと考えられる。全体的な傾向として低速回転速度においては、フランジへの熱損失の影響が大きくなることから、フランジ付き点火プラグと通常の点火プラグには顕著な差が見られなかったが、本実験範囲において回転速度が大きくなるほど差は大きくなり、フランジ付き点火プラグでは、運転範囲がより希薄域まで拡大された。これは、火炎核がフランジ内部に長時間存在しないことによる火炎核からフランジへの熱損失の低減や、混合気の流動抑制効果が有効に働いたためであると考えられる。

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点火特性と燃焼特性を調べた結果、以下の結論を得た。

1. フランジ付き点火プラグは通常の点火プラグより薄領域での確実な点火に優れている。
2. 本実験範囲において、通常の点火プラグは回転速度が大きくなるほど希薄運転領域が狭まるのに対し、フランジ付き点火プラグは運転範囲がより希薄域まで拡大された。
3. 新たに採用したドーム形点火プラグは点

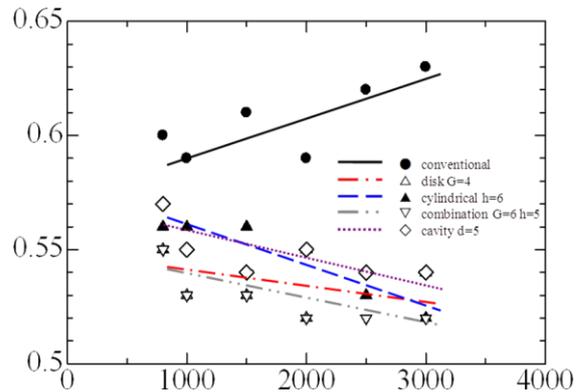


Fig.8 Minimum equivalence ratio for various flanged spark plug of 4-cylinders engine

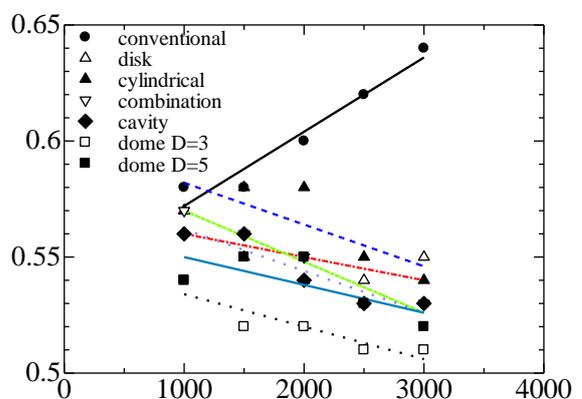


Fig.9 Minimum equivalence ratio for various flanged spark plug of single cylinder engine

火特性の観点からは最も優れた結果が得られた。

4. 点火の成否が安定した運転に敏感に影響する単気筒エンジンにおいても、フランジ付き点火プラグの点火特性改善効果が実証された。

謝辞

単気筒天然ガスエンジンは、本田技術研究所のご厚意によるものであり、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

1. 菊池・氏家ほか、第46回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.468-469 (2008)
2. 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)
3. 佐藤・氏家ほか、第48回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.132-133 (2010)