

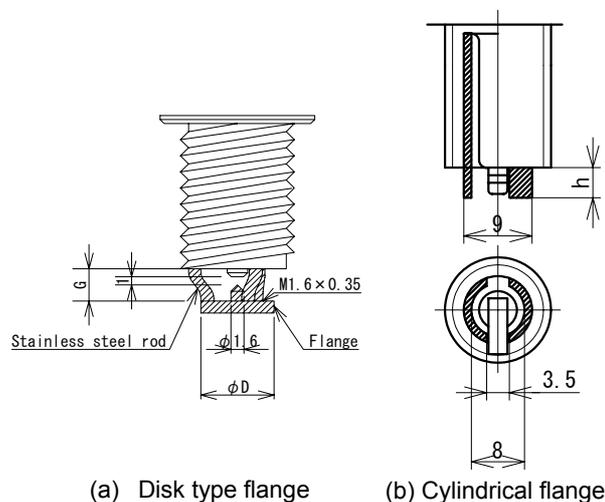
# 天然ガスエンジンにおける円筒形フランジ付き点火プラグの 点火特性改善効果

日大生産工(院) ○大橋 仁 日大生産工(院) 岡本 健一  
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

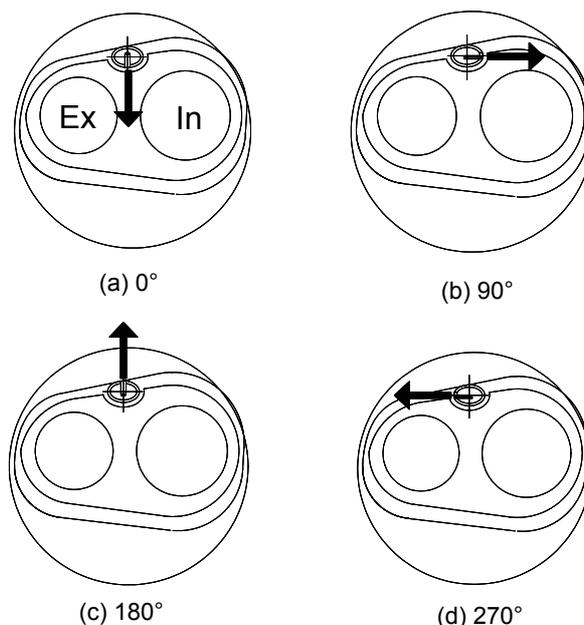
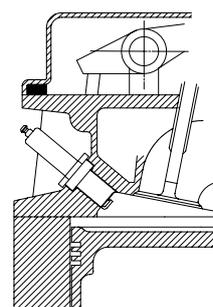
## 1 緒言

今日、自動車用火点機関において、燃料消費率の向上や排出ガス中の有害物質低減の目的から、希薄燃焼が指向されている。希薄燃焼を行う上で、燃焼室内の乱れは火炎伝播速度促進に有効である反面、火炎核の熱損失の増大から点火にとっては不利な条件となる。対策として、実機では失火を回避するために点火エネルギーを増加させているが、点火系の早期劣化および電磁波障害 (EMI) の影響が懸念される。これら相反する問題を解決するために、本研究では火花放電時に発生する衝撃波と、火花電極周辺の乱れ抑制に着目した。過去の研究において、三森ら<sup>(1),(2)</sup>は火花放電時に発生する衝撃波に注目し、先端に2枚のフランジを並行に設置した火花電極を用いて定容燃焼容器内で点火実験をおこなった。その結果から、火花放電時に発生する衝撃波の持つエネルギーの反射・回収による最小点火エネルギー低減の可能性を指摘している。また、鳥居ら<sup>(3)</sup>は、市販の点火プラグ (NGK製 B8EVX) にフランジを設置して、定容燃焼容器内の静止混合気場において点火実験を行うことで、フランジによる衝撃波エネルギーの回収効果を確認した。

そこで、本研究では鳥居ら<sup>(3)</sup>の製作したフランジ付き点火プラグを実機で用い、フランジが点火確率におよぼす影響について調べた。さらに、フランジの形状を変えることで、従来のフランジ付き点火プラグにおける問題点の改善を目的とした新形状の円筒形フランジ付き点火プラグを製作し、その効果を調べた。



(a) Disk type flange (b) Cylindrical flange  
Fig.2 Flanged spark plug



(a) 0° (b) 90°  
(c) 180° (d) 270°  
Fig.3 Direction of earth electrode

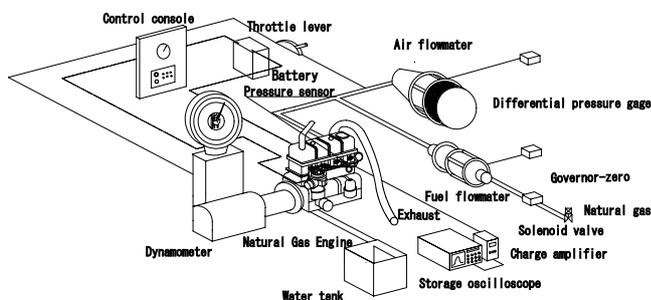


Fig.1 Experimental apparatus

## Improvement of Ignition Characteristics using Cylindrical Flanged Spark Plug in Natural Gas Engine

Hitoshi OOHASHI, Kenichi OKAMOTO,  
Hiroshi NOMURA, Hiroshi YAMASAKI and Yasushige UJIIE

## 2 実験装置および実験方法

### 2.1 エンジンおよび計測装置

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。実験装置は、エンジン、動力測定装置、燃料系、点火装置、計測装置の 5 系統で構成されている。供試機関は日産工機製 H25 型エンジンに天然ガス (13A) を燃料として用いた。供試機関の主な諸元は直列 4 気筒、排気量 2472cc、ボア×ストローク 92.0mm×93.0mm、圧縮比 8.7 である。動力測定装置には日大工研式渦電流型電気動力計を用いた。燃料系は混合器、天然ガスを大気圧と同じ圧力に調圧する Governor zero、燃料流量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、コイル内蔵型フルトランジスタ式点火装置を用いており、プラグにて合成火花を発生させる。計測装置は燃焼室内圧力センサ、層流型空気流量計、層流型燃料流量計から構成される。圧力センサは、エンジンの 2 番シリンダー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を通し、ストレージオシロスコープに燃焼室内の圧力波形を表示した。圧力センサからの信号はチャージアンプを用いて増幅している。

### 2.2 円板形フランジ付き点火プラグ

Fig. 2 にフランジ付き点火プラグを示す。(a) は鳥居らの製作したフランジ付き点火プラグを実機に使用できるように改良した円板形フランジ付き点火プラグである。市販の点火プラグ (NGK 製 B4ES) から接地電極を取り去り、新たに直径 1.6mm のステンレス棒 3 本をフランジの固定用として取り付けただけのもので、ステンレス棒とフランジには、フランジの脱落を防ぎフランジ間隔の調整をしやすくするために、M1.6、ピッチ 0.35 のネジを切って固定している。点火プラグとフランジの接合には銀ロウを用いており、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、加工性を考慮して、SUS303 を使用した。フランジ直径  $D$  を 9mm とし、フランジ間隔  $G$  を 2, 3, 4, 5, 6mm と変化させて、各々の点火確率の計測を行うことで、フランジ間隔が点火確率に及ぼす影響について調べた。

### 2.3 円筒形フランジ付き点火プラグ

Fig. 2 (b) には円筒形フランジ付き点火プラグを示す。これは、位高らの報告<sup>(4)</sup>を参考に、反射衝撃波からのエネルギー回収量を増やすとともに、乱れ抑制効果を得るための形状となっている。このプラグは、市販の点火プラグ (NGK 製 B4ES)

のネジ部内側の筒状になった部分に、加工したステンレスパイプを差し込み銀ロウ付けしたものである。フランジとなるステンレスパイプに縦に切り込みを入れることで、接地電極とパイプの干渉を防ぐとともに、火炎の伝播を阻害しない構造とした。フランジの材質は耐久性・耐熱性を考慮して SUS304 とした。(a) に示す円板形フランジ付き点火プラグでは、既存の接地電極は取り外して新たに設置していたが、(b) のプラグでは接地電極をそのまま使用することで、電極の耐久性を向上させた。また、銀ロウによる接合面積を増やすことで、フランジ脱落の危険を減らした。実験では、フランジの切り込みの幅を 3.5mm とし、プラグねじ部端面からのフランジ高さ  $h$  を 3, 4, 5, 6mm で変化させて、各々の点火確率の計測を行うことで、フランジ高さが点火確率に及ぼす影響について調べた。

### 2.4 実験方法

圧力センサにより得られた燃焼室内の圧力履歴から、2MPa 以上を点火、2MPa 未満を失火と判断して、放電回数 300 回中の点火回数から点火確率を求めた。さらに、層流型空気流量計と層流型燃料流量計で、吸入空気および天然ガスの流量を測定し、当量比を算出した。また、エンジンの初期回転速度を 1500~3000rpm まで 500rpm ごとに変化させた。通常プラグと円筒形プラグにおいては、燃焼室内における接地電極の方向が点火確率に及ぼす影響を確認するために、接地電極の向きを Fig. 3 に示すように 90° おき 4 通りに変化させて、それぞれに計測をおこなった。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 円板形フランジ付き点火プラグ

フランジ直径 9mm の当量比と点火確率の関係を Fig. 4 に示す。横軸に当量比、縦軸に点火確率を示し、副変数としてフランジ間隔を用いた。このグラフから、フランジ間隔 2mm のプラグを除いたいずれのフランジ間隔でも、通常プラグに比べ当量比の低い条件で点火確率の向上が確認できた。また、フランジ間隔 3, 4, 5, 6mm の範囲ではフランジ間隔は点火確率に大きな影響を与えないことがわかった。点火確率向上の理由としては、火花放電時に発生した衝撃波をフランジによって反射したことで火炎核周辺の雰囲気断熱圧縮され、保温効果が得られたためと考えられる。鳥居ら<sup>(3)</sup> の実験においてはフランジ間隔 2mm のプラグを用いたとき、最も低い点火エネルギーで高い点火確率が得ら

れた。これは、衝撃波の散逸領域の減少と進行距離の短縮がその理由とされているが、本実験においてフランジ間隔 2mmの点火確率は他のフランジ間隔よりも低くなった。鳥居ら<sup>(3)</sup>は、フランジ間隔 2mm未満ではフランジ間隔が消炎距離になってしまい、ほとんど点火しないと報告している。よって、本実験では静止場における実験よりも当量比が低かったため、フランジ間隔 2mmで急激に点火確率が低下したと推測される。また、三森ら<sup>(1),(2)</sup>の実験では、フランジ間隔が狭くなるにつれ点火確率が高くなるという結果が得られているが、本実験では、フランジ間隔と点火確率は一様な関係になっておらず、点火確率の一部にばらつきが見られた。その原因として、三森ら<sup>(1),(2)</sup>の研究では電極の両端にフランジを設置していたのに対し、本研究では接地電極側にのみフランジを設置しているため、中心電極側ではプラグのねじ部端面と中心電極絶縁体によって衝撃波が複雑な反射を起こしたものと考えられる。

### 3.2 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と通常プラグを用いた実験における当量比と点火確率の関係を Fig.5 に示す。このグラフは接地電極方向 90° のもので、副変数としてフランジ高さをを用いた。このグラフから、初期回転速度 1500rpm, 2000rpm では通常プラグとフランジ付き点火プラグの点火確率に大きな差は見られなかった。しかしながら、初期回転速度 2500rpm, 3000rpm においては h=3mm 以外の全てのフランジ高さで、通常プラグよりも低い当量比で高い点火確率となっているのが確認できた。

さらに、円筒形フランジ付き点火プラグと、通常プラグを用いた実験における機関初期回転速度と点火確率の関係を Fig.6 に示す。横軸に初期回転速度、縦軸に当量比 0.60 のときの点火確率を示し、副変数としてフランジ高さ h を用いた。図の(a), (b), (c), (d)はそれぞれ接地電極の方向となっている。このグラフから、ほぼ全ての実験条件において h=6mm のフランジ付きプラグは、通常プラグと同等もしくは高い点火確率を示すことがわかった。特に顕著に 2 つのプラグの点火確率の差が表れるのは、(b)の接地電極方向 90° の場合で、回転速度が大きくなるにつれてフランジ付きプラグと通常プラグの点火確率の差が大きくなっている。これは、燃焼室内混合気流動の増大による失火が原因と考えられる。接地電極方向 90° の場合、吸気バルブと点火プラグの位置関係から、火花間隙部はスワールおよびスキッシュによる強い乱れを受ける。この

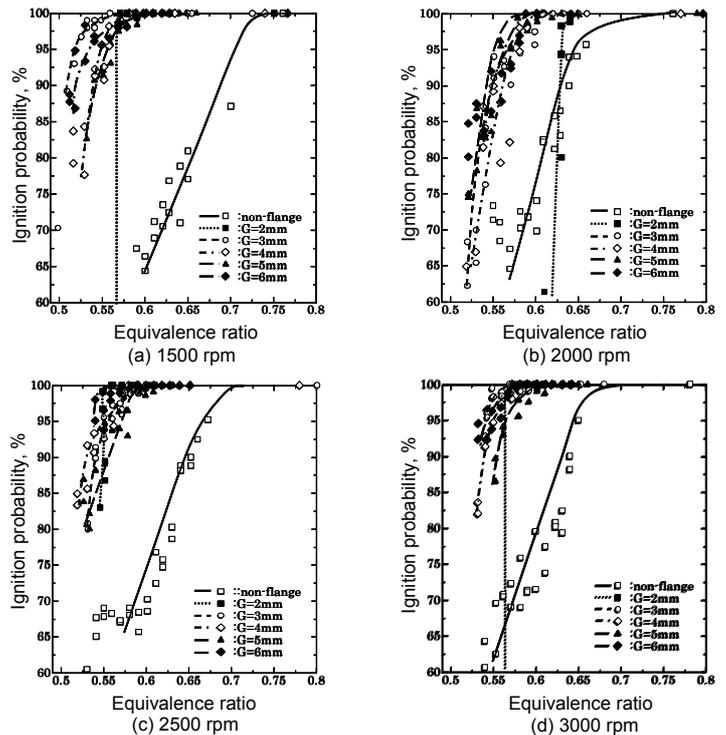


Fig.4 Relation between equivalence ratio and ignition probability (Disk type)

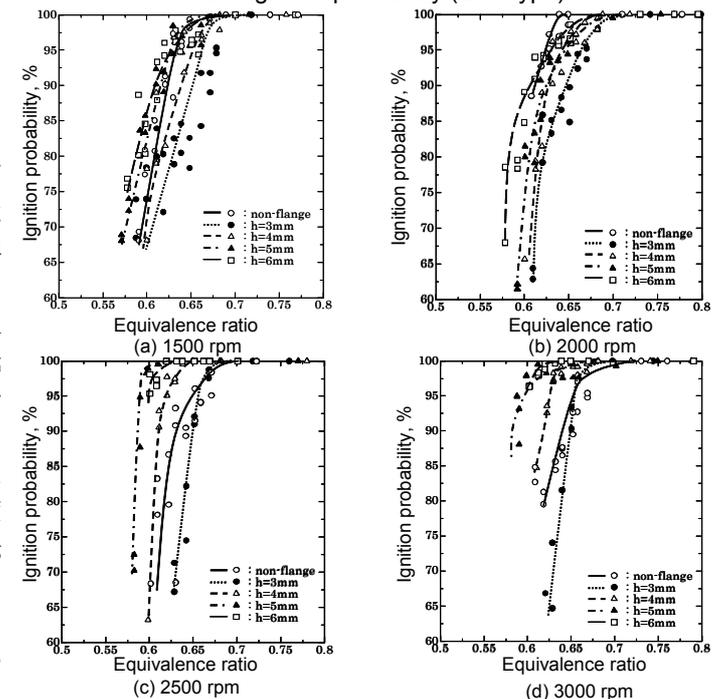


Fig.5 Relation between equivalence ratio and ignition probability (Cylindrical flange)

乱れ場による予混合気への熱損失の増大が失火の原因と考えられる。さらに、乱れにより火炎核が燃焼室壁面方向に飛ばされることで、壁面への熱損失が増大していると思われる。フランジ付き点火プラグは、この乱れの影響をフランジにより遮ることで火炎核を保炎し、失火を防ぐ効果があると推察される。

90° 以外の電極方向においては、回転速度増加

に伴う通常プラグの点火確率低下が見られない。これは、接地電極が乱れを遮っているのが原因と考えられる。(a)の電極方向  $0^\circ$  においてはスキッシュの影響が少ないため、火炎核からの予混合気および燃焼室壁面への熱損失が抑えられる。(c)の電極方向  $180^\circ$  では、電極間隙へのスキッシュの流入は発生するが、背面の接地電極により燃焼室壁面への熱損失が抑えられる。(d)の電極方向  $270^\circ$  では、接地電極によりスワールが遮られるため、予混合気への熱損失が低下する。

フランジ付き点火プラグの中でも、 $h=3, 4\text{mm}$  のものは回転速度が大きくなるにつれて点火確率が低下している。これは、フランジの高さが低いために、十分な乱れ抑制効果が得られないからと考えられる。また、過去の中垣<sup>(5)</sup>らの研究においてフランジ付き電極付近で乱れ強さが大きくなることが報告されている。これは、フランジに衝突した噴流がフランジ端部で巻き込むことが原因とされているが、本実験の円筒形フランジでも、下端部で噴流が巻き込む現象が起きていると推察される。

円板形フランジ付き点火プラグを用いた場合には、当量比  $0.55$  において  $95\%$  以上の点火確率が得られている。しかしながら、円筒形フランジの実験では、同一の条件で全てのプラグが点火確率  $0\%$  となり、エンジンは停止した。これは、円筒形フランジは円板形フランジと比較して火炎核からフランジまでの距離が大きくなったために、衝撃波からのエネルギー回収効果が充分に得られなかったことが原因と推察される。

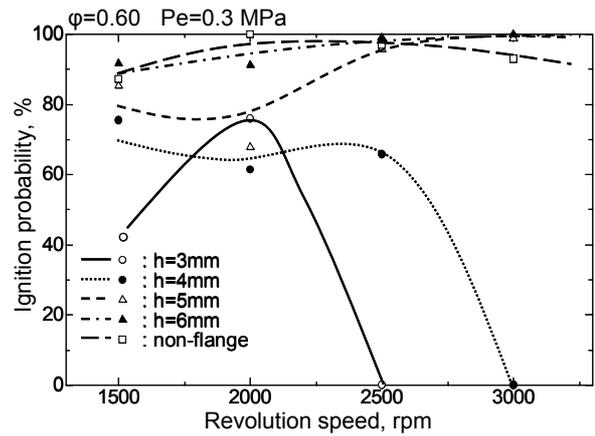
#### 4 結言

実機に円板形と円筒形のフランジ付き点火プラグを用いた場合の点火確率に及ぼす影響を調べた結果、以下の結論を得た。

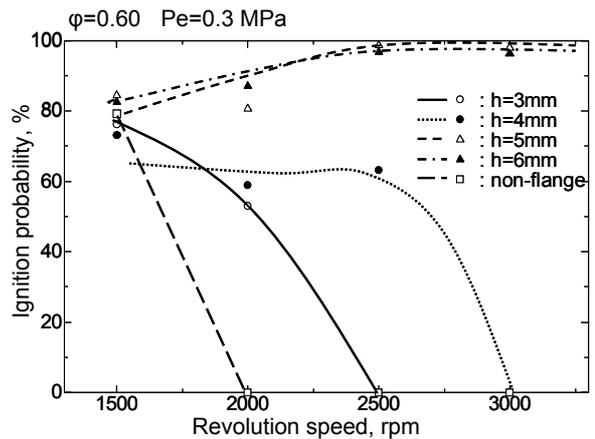
- (1) 本実験範囲においては、円板形フランジ付き点火プラグが最も低い当量比で高い点火確率を得た。
- (2) 円筒型では接地電極方向  $90^\circ$  において、フランジによる燃焼室内乱れの抑制により点火確率が向上する。
- (3) 円筒型ではフランジ高さ  $h=4\text{mm}$  以下では、十分な乱れ抑制効果が得られない。
- (4) 円筒形フランジは、円板形フランジと比較して衝撃波の反射によるエネルギー回収効果は小さい。

#### 参考文献

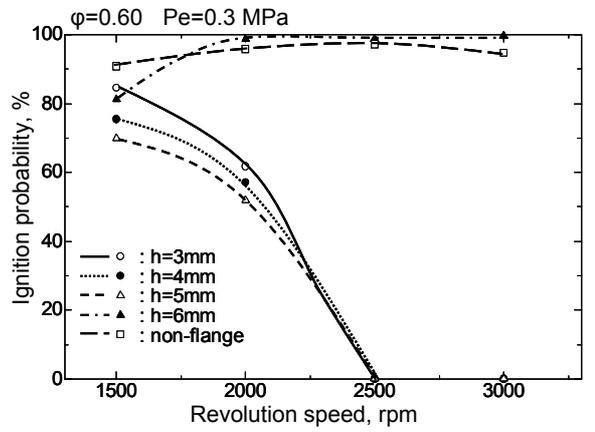
- (1) 三森・氏家ほか, 機講論ⅢNo.96-1: 559-560 (1996)
- (2) 三森・氏家ほか, 機講論ⅢNo.97-1: 43-44 (1997)
- (3) 鳥居・氏家ほか, 第38回燃焼シンポジウム講演論文集, pp423-424 (2000)
- (4) 位高・高山, 機講論 B Vol.61: 122-127 (1995)
- (5) 中垣・氏家ほか, 第41回燃焼シンポジウム講演論文集, pp263-264 (2003)



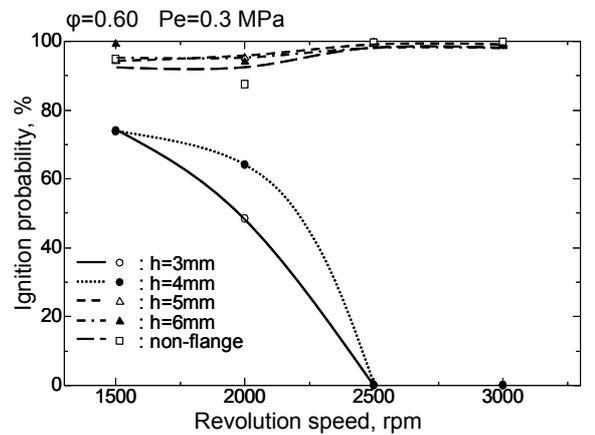
(a)  $0^\circ$



(b)  $90^\circ$



(c)  $180^\circ$



(d)  $270^\circ$

Fig.6 Relation between revolution speed and ignition probability (Cylindrical flange)