

旋回流動場におけるフランジ付き電極のフランジ形状が点火特性に及ぼす影響

日大生産工(院) ○小島 信也 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

自動車用火点機関において燃料消費率および有害排出物の低減を目的として採用されている希薄燃焼技術では、旋回流に伴う強い乱れを用いて火炎伝播速度の促進を図っている。しかし、強い乱れにより火炎核の熱損失が増大し、失火する可能性が大きくなる。現状では火花エネルギーの増大によって失火を回避しているが、点火系の早期劣化や電磁波障害の影響が懸念される。このことから希薄燃焼技術では、火花エネルギーを低減させ、なおかつ確実に点火させることが重要な課題となる。

過去の研究において、定容燃焼容器内の静止混合気場および主流のない乱れ場にフランジ付き電極を設置して点火実験を行い、衝撃波に消費されるエネルギーをフランジで回収することによって、火花エネルギーを低減できることを明らかにしてきた。本研究はより実機に近い旋回流動混合気場におけるフランジ付き電極の点火特性改善機構の解明を目的とする。フランジがない電極(以降、通常電極)、円板形フランジおよび円筒形フランジ付き電極を用いて点火特性を調べ、実験結果をもとに点火時のシュリーレン撮影、LDV を用いた流速測定実験、既報¹⁾における汎用流体解析ソフトを用いた数値解析によるフランジ周りの流動特性の検討を行った。さらに燃焼時間の測定を行い、フランジ付き電極の火炎伝播促進効果についても併せて検討した。

2. 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置は Fig.1 に示されるように、旋回流動生成装置系、点火装置系、シュリーレン光学系および計測装置系の 4 系統で構成される。旋回流動燃焼容器を Fig.2 に示す。燃焼容器はステンレス鋼(SUS303)製で、外径 150 mm、燃焼室直径 60 mm、燃焼室幅 25 mm の円筒形である。燃焼容器側面には流速測定用に石英ガラス製の観察窓(厚さ 15 mm)、燃焼室には圧力測定用の圧力センサーを設置し、旋回流を生成するためのノズルは燃焼室円周面に沿うように設けてある。ノズルの数(シン

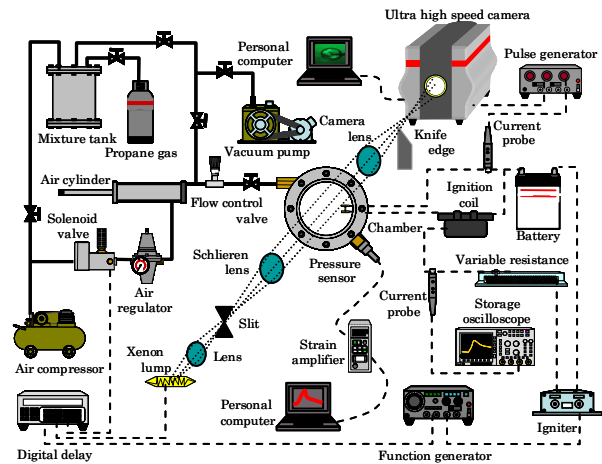


Fig.1 Experimental apparatus

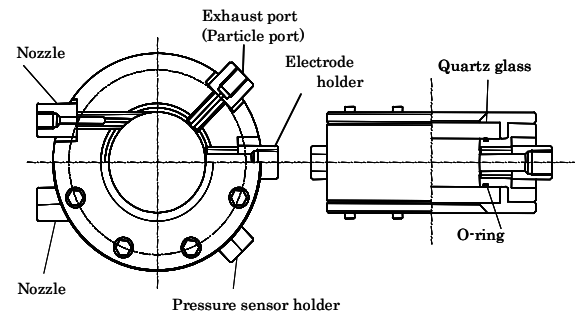


Fig.2 Combustion chamber

グルノズル, ツインノズル) を変えることで 2 種類の旋回流を生成することができるが、本報ではシングルノズルについてのみ報告する。使用したフランジ付き電極の概略を Fig.3 に示す。通電部には直径 1 mm のステンレス線、絶縁部には直径 10 mm の碍子を用いて、火花間隙は 1 mm とした。フランジは黄銅製で直径 9 mm、厚さ 1.6 mm の円板形と、直径 9 mm (肉厚 0.5 mm)、高さ 6 mm のパイプを用いた円筒形の 2 種類とした。

点火実験における実験装置および方法は既報²⁾と同様である。電流遮断式点火装置の一次電流を変化させて点火確率 50% となる一次電流を最小一次電

Effects of Flange Shape on Ignition Properties of Flanged Electrode in Swirling Flow Field

Shinya KOJIMA

Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

流と定義し、最小一次電流と平均流速との関係を調査した。計測条件は当量比：0.75，火花間隙位置は燃焼容器中心より 20 mm の位置とし、電極の種類を変えた。流量弁開度は 0～3% の範囲内で 0.5% おきに変化させ計測を行った。

シュリーレン光学系は、光源にはキセノンランプを用い、撮影には超高速カメラを使用した。撮影は点火と同時に開始した。電流遮断式点火装置の 2 次側に電流プローブを設置し、パルスジェネレーターを介して超高速カメラにトリガーを入力することにより、点火とのタイミングを合わせた。

LDV を用いた流速測定実験における実験装置および方法は既報りと同様である。Fig.4 には流れの概略と流速測定における測定範囲を示す。流速範囲は燃焼容器中心から火花間隙を通る 13～27 mm の範囲とした。また数値解析には CHAM 社の PHOENICS Ver 3.5.1 を使用した。解析領域は燃焼室と同寸法とした。計算格子は三次元直交格子であり、乱流モデルには単純 $k\text{-}\epsilon$ モデルを使用した。差分法は二次精度風上差分法を用いて、壁関数には乱流モデルで使用される対数則を用いた。格子数は、X, Y, Z 方向に 80, 30, 80 とした。燃焼容器内旋回流動場は解析領域内のノズル中心軸延長線に速度場を与える Fan 関数を配置して、旋回定常流動場を形成させた。この旋回流動場内に、実験と同寸法、同配置でフランジ付き電極を設置し、フランジ間領域の流れを検証した。

燃焼時間は、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、フランジ形状および平均流速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 フランジが最小一次電流に及ぼす影響

3.1.1 最小一次電流の測定

通常電極と円板形および円筒形フランジ付き電極を用いた点火実験における平均流速と最小一次電流の関係を Fig.5 に示す。横軸に電極がない状態における火花間隙位置の平均流速、縦軸に最小一次電流を示した。図から、静止場において円板形および円筒形フランジ付き電極は、通常電極より最小一次電流を低減できていることがわかる。これはフランジによる衝撃波エネルギーの回収効果によるものと考えられる。旋回流動場においても、円板形および円筒形フランジ付き電極は、通常電極より最小一次電流を相当に低減でき、その効果が拡大していることがわかる。また、全般的に流速がやや大きい場合に最小一次電流が低い傾向が見られる。これは火炎核が電極の近くに長時間存在しないことによる火炎核から電極への熱損失の低減、火花間隙位置における

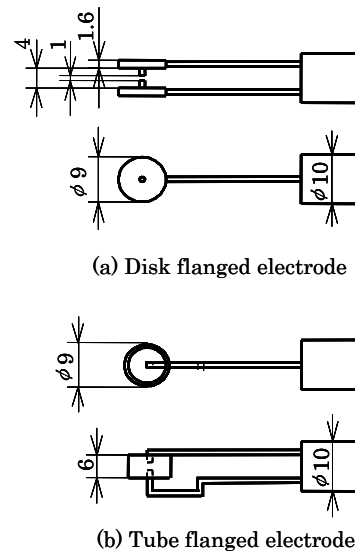


Fig.3 Flanged electrode

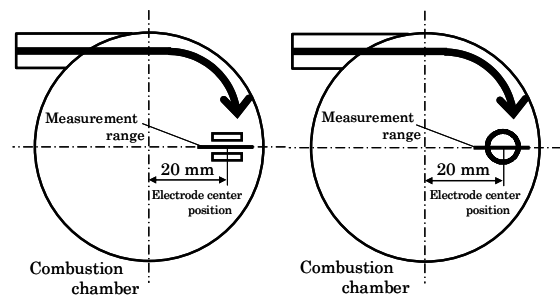


Fig.4 Schematic diagram of flow and measurement range

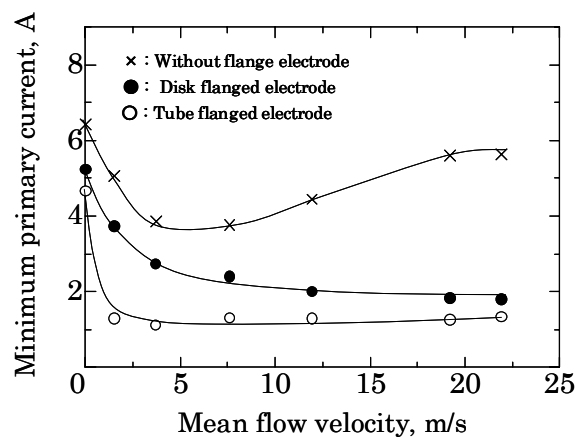


Fig.5 Minimum primary current change

フランジの流速抑制効果による火炎核から混合気および電極部への熱損失の低減、衝撃波エネルギーの回収等が効果的に表れたためと考えられる。

3.1.2 衝撃波成長形態の撮影

通常電極およびフランジ付き電極が静止場における衝撃波のシュリーレン写真を Fig.6 に示す。通常電極の場合、衝撃波は時間経過に伴い球状に発達していく様子が観察される。フランジ付き電極では、

衝撃波がフランジ間で反射され火炎核に干渉している様子が観察される。この時点で断熱圧縮が起これ、火炎核の保炎作用が働いていると推察される。これが静止場において最小一次電流を低減できた理由と考えられる。通常電極では、火花放電時に衝撃波を発生させるエネルギーは Fig.6・(a) の写真からもわかるように周囲に放散されるが、フランジでその一部を熱エネルギーとして回収していると考えている。

円板形フランジと円筒形フランジを比較すると、円板形フランジではフランジにより反射された衝撃波は点火後 9 μs で火花間隙位置に戻り、火炎核に干渉している様子が観察される。一方、円筒形フランジでは円板形フランジに比べ、衝撃波の進行距離が長く点火後 17 μs で火炎核に干渉している。このことから、円板形フランジにおいて衝撃波は多く反射を繰り返し火炎核と干渉すると考えられるが、円筒形フランジの方が衝撃波の反射面が大きく、反射波の集束度が高い。そのため、円筒形フランジは衝撃波エネルギーの回収効果が大きくなり、静止場においてもっとも最小一次電流を低減できたと考えられる。

3.1.3 フランジの流速抑制効果

通常電極と円板形および円筒形フランジ付き電極を用いた流速測定実験における火花間隙位置とフランジ間の流速の関係を Fig.7 に示す。横軸に燃焼容器中心からの距離、縦軸に流量弁開度 2.0% のときの測定値および数値解析による平均流速を示した。図から数値解析による速度分布と測定結果はほぼ一致しており、数値的に流れ場を模擬できていることがわかる。

フランジを設置した場合、フランジがない状態と比べてフランジ間の平均流速は小さく、いずれのフランジ形状においても同等に流れが抑制されていることがわかる。これは旋回流の主流がフランジ面に対して垂直方向に流れるので、フランジ間への主流の流入を防ぎ流速が抑制されたと考えられる。

3.1.4 フランジの乱れ抑制効果

Fig.7 と同条件における火花間隙位置とフランジ間の乱れ強さの関係を Fig.8 に示す。横軸に燃焼容器中心からの距離、縦軸に測定値および数値解析による乱れ強さを示した。図から数値解析による乱れ強さの分布と測定結果を比べると、絶対値は異なるが同様の傾向を示している。

円板形フランジはフランジがない状態に比べ、火花間隙付近、フランジ周辺部ともに乱れ強さは増大している。これはフランジ面に対して垂直に流れる主流が、フランジに衝突して間隙部に巻き込まれ乱れを増大したと考えられる。しかし円筒形フランジでは、火花間隙付近においてフランジがない状態と同等に乱れ強さが抑えられている。このことは、点

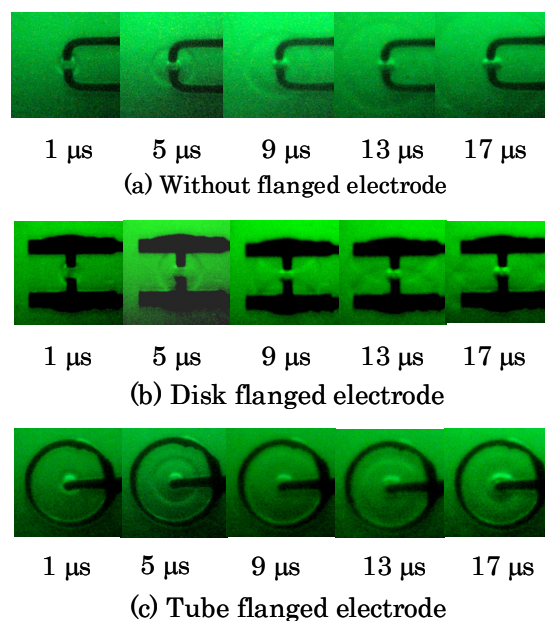


Fig.6 Schlieren photographs of shock wave

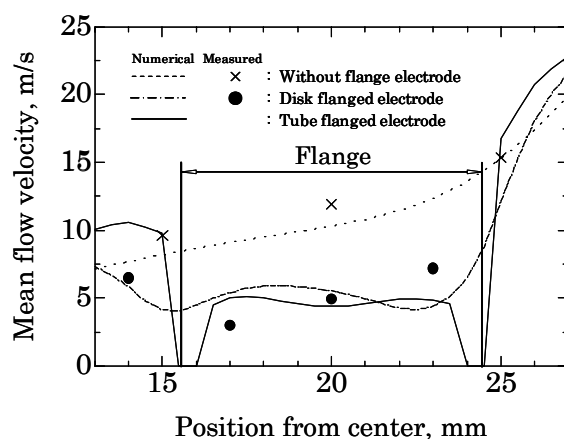


Fig.7 Flow velocity control effect

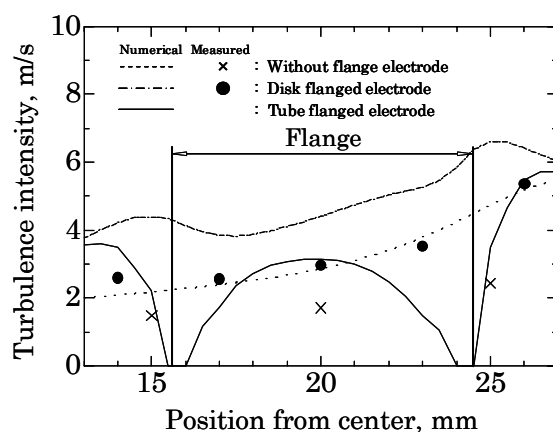


Fig.8 Turbulence intensity control effect

火実験で円筒形フランジの最小一次電流低減効果が著しいという結果を裏付けている。

3.1.5 火炎核成長形態の撮影

通常電極およびフランジ付き電極の流量弁開度 2.0% における火炎核の成長形態を撮影したシュリーレン写真を Fig.9 に示す。図から、通常電極は火炎核が主流に流されるように成長しており、火炎核表面のしわは少ないことが観察される。一方、フランジ付き電極における火炎核はフランジ間で成長していることが観察される。このことは、流速抑制効果の検証結果を裏付けている。

円板形フランジは円筒形フランジに比べ、乱れの発生による火炎核表面のしわが多く、時間経過に伴い火炎面の表面積が増大し火炎伝播が促進されていることがわかる。これは、前述した円板形フランジには乱れを増大させる効果が存在するという結果の裏付けとなっている。しかし、火炎核の成長は時間経過に伴いフランジにより大きく抑制され、フランジ面に接する面積が増加することからフランジへの熱損失の影響を無視できないことが示唆される。

3.2 フランジが燃焼時間に及ぼす影響

Fig.9 において火炎核の成長がフランジによって抑制されていることから推察されるように、フランジの逆効果の一つとして障壁としての働きが危惧される。そこで燃焼容器内の圧力履歴から燃焼時間を求め、フランジおよび主流の平均流速が燃焼時間に及ぼす影響について調べた結果を Fig.10 に示す。横軸は平均流速、縦軸は燃焼時間を表す。静止場における燃焼時間は、通常電極よりもフランジ付き電極の方が長くなっている。しかし、旋回流動場では逆に通常電極よりもフランジ付き電極の方が燃焼時間は短くなっている。本実験では、各電極の燃焼時間を比較するため、一次電流を 7 A 一定に設定した。前述のようにフランジには火炎核から熱を奪い、また障壁となるという負の作用もあるが、火炎核が成長してフランジの外に出た後には、乱れの増大と相まって火炎伝播の促進に寄与するものと考えられる。

4. 結言

静止場および旋回流動場において、フランジ付き電極が最小一次電流に及ぼす影響と燃焼時間に及ぼす影響について調査した結果、以下の結論を得た。

- (1) 静止場および旋回流動場において、円板形および円筒形フランジ付き電極による最小一次流の低減効果が得られた。また、平均流速が大きいほど最小一次電流の低減効果は大きい。
- (2) 円板形および円筒形フランジ付き電極は流速を抑制する効果がある。また流速抑制効果はフランジ形状に影響される。
- (3) 旋回流動場において、円板形および円筒形フランジ付き電極周辺部の乱れは増大する傾向があ

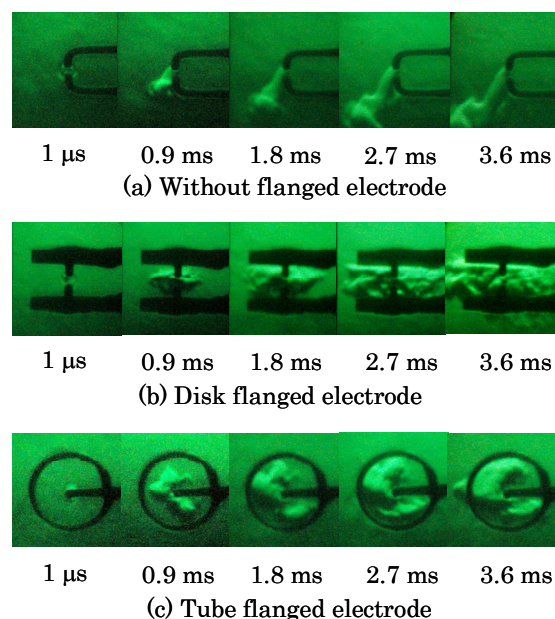


Fig.9 Schlieren photographs of flame kernels

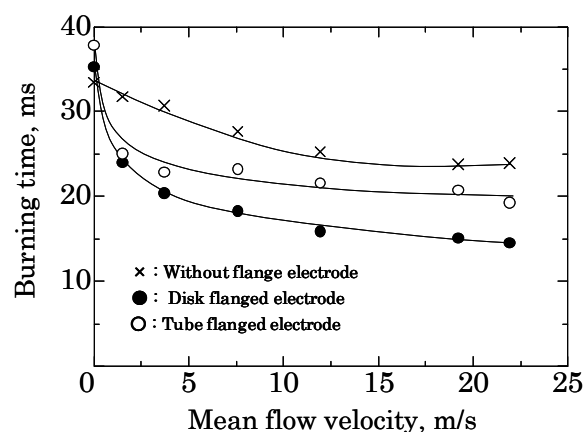


Fig.10 Effect of mean flow velocity on burning time

る。フランジ間の乱れは、フランジ形状に影響される。

- (4) 本実験範囲では、旋回流動場における円板形および円筒形フランジ付き電極は、火炎伝播を促進する効果がある。
- (5) 円板形および円筒形フランジには最小一次電流低減効果の他に、障壁となるという負の作用もある。

参考文献

1. 岡本, 山崎, 氏家ほか, 旋回流動場におけるフランジ付き電極周りの流動特性, 第 42 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2004, pp.487-488
2. 遠藤, 山崎, 氏家ほか, 旋回流動燃焼容器におけるフランジ付き電極の点火特性, 第 43 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2005, pp.216-217