## 旋回流動場におけるフランジ付き電極の点火特性および燃焼特性

日大生産工(院) ○小島 信也 日大生産工(院) 大原 智彦 日大生産工 山﨑 博司 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

#### 1. 緒言

自動車用火花点火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,燃焼容器内の静止混合気場 および旋回流動混合気場に円板形フランジ付き電 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, 点 火エネルギーを低減できることを明らかにしてき た1). 本研究では同様の旋回流動燃焼容器において, 点火特性改善効果がより高いと考えられる種々の フランジ形状を用いて点火実験を行い,その効果の 機構解明を目的とする.フランジがない電極(以降, 通常電極),円筒形フランジ付き電極および円筒円 板組み合わせ形フランジ付き電極(以降,組み合わ せ形電極)を用いて, 既報<sup>2)</sup>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 動特性の検討を行い、点火時のシュリーレン撮影, 点火実験を行った. 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



Fig.1 Experimental apparatus for spark ignition



Fig.2 Combustion chamber

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 焼容器側面にはシュリーレン撮影用に石英ガラス 製の観察窓(厚さ 15 mm), 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. 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 (肉厚 0.5 mm),高さ 6 mm のパイプを用いた円筒形と,高さ 4 mm の円筒形フランジに直径 9 mm,厚さ 1.6

## Ignition and Burning Characteristics of Flanged Electrodes in Swirling Flow Fields

Shinya KOJIMA, Tomohiko OHARA Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE mm の円板形フランジを組み合わせた組み合わせ形電極(隙間 2 mm)の2種類とした.

数値解析には CHAM 社の PHOENICS Ver 3.6.0 を使用した.解析領域はFig.4 に示すように, 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・e 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 ジ周辺部の流れを検証した.

点火実験は燃焼容器内,配管,エアーシリンダー を一旦真空にしてプロパン-空気予混合気を充填 した後に,一定圧力でエアーシリンダーを押し出し て旋回流を生成させ,火花間隙位置の流速が最大と なるときに点火を行い,同時に,電流プローブで電 流遮断式点火装置の一次電流を計測した.可変抵抗 によって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流と定義した.最小一次 電流と火花間隙位置における平均流速との関係を 調査することにより,これを点火特性の評価方法と した.計測条件は当量比:0.75,シングルノズル, 火花間隙位置は燃焼容器中心より 20 mm の位置 とし,電極の種類と流量弁開度を 0~3%の範囲で変 化させた.

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 フランジ付き電極の点火特性

3.1.1 流速抑制効果

通常電極と円筒形フランジ付き電極および組み 合わせ形電極を用いた数値解析における火花間隙 位置とフランジ間の流速の関係を Fig.5 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% のときの平均流速を示した. 図から通常電極 において燃焼容器外周壁面に近づくにつれて平均 流速が大きくなっていることがわかる.



(a) Cylindrical flanged electrode



(b) Cylindrical and disc flanged combination electrode

Fig.3 Flanged electrodes







Fig.5 Flow velocity control effect

フランジを設置した場合,通常電極と比べてフラ 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外壁面に対して垂直 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.組み合わせ形電 極の火花間隙位置における流速抑制効果が高いの は、円筒形フランジに比べより大きくフランジ内部 を囲っているためと考えられる.

#### 3.1.2 最小一次電流低減効果

通常電極と円筒形フランジ付き電極および組み 合わせ形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.6 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 円筒形フランジ付き電極、組み合わせ形電極は、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 Fig.7 のシュリーレン写真に示すよ うに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.通常電極の場合(Fig.7(a)), 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(Fig.7(b)), 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り, 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.

旋回流動場においても、フランジ付き電極は通常 電極に比べ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. また, 組み合わせ形電極は円 筒形フランジ付き電極に比べ最小一次電流が高く なっている. 組み合わせ形電極はより高い衝撃波エ ネルギーの回収効果や流速抑制効果を期待し考案 された.しかし、それらの効果より熱損失増大の効 果が上回ったため,円筒形フランジ付き電極に比べ 組み合わせ形電極の方が最小一次電流は高くなっ たと考えられる.

## 3.1.3 火炎核成長過程の撮影

通常電極および円筒形フランジ付き電極の流量



Fig.6 Minimum primary current change



Fig.7 Schlieren photograph of shock wave





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.8 に示す.図から,通常 電極で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,円筒形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,フランジ間領域において流速が低減されると いう数値解析の結果を裏付けている.組み合わせ形 電極においても同様と推察される.

円筒形フランジ付き電極は通常電極に比べ,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.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している.ことから特にフ ランジ表面積が大きい組み合わせ形フランジへの 熱損失の影響を無視できないことが示唆される.

#### 3.2 フランジ付き電極の燃焼特性

#### 3.2.1 火炎伝播促進効果

Fig.8 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も推察されるように,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.9 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.これは,フランジ が障壁として働いていることが考えられる.

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. Fig.10 に,数値解析によって求められた組み合わせ形電極 の流量弁開度 2.0% の条件における乱流エネルギ 一分布図を示す. 図から,旋回流はフランジに衝突 することによりフランジ周辺部において乱流エネ ルギーの高い領域を形成していることがわかる.ま た,フランジの下流においても乱流エネルギー分布 が広く形成されていることが確認できる. 円筒形フ ランジ付き電極においても同様の現象が確認され ている. このことから,火炎核が成長してフランジ の外部に出た後には乱れの増大と相まって火炎伝 播の促進に寄与したものと考えられる.

### 4. 結言

静止場および旋回流動場において,フランジ付き 電極の点火特性および燃焼特性について調査した 結果,以下の結論を得た.

(1)円筒形および円筒円板組み合わせ形フランジ付 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.



Fig.9 Effect of mean flow velocity on burning time



Fig.10 Turbulence energy distribution chart

- (2) 静止場および旋回流動場において、円筒形および円筒円板組み合わせ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、平均流速が大きい領域ほど最小一次電流の低減効果は大きい.
- (3) 旋回流動場において、円筒形および円筒円板組み 合わせ形フランジ付き電極は、フランジ端部のエ ッジ効果による乱れの増大があり、火炎伝播の促 進に寄与する.
- (4) 円筒形および円筒円板組み合わせ形フランジには 最小一次電流低減効果の他に、障壁となるという 負の作用も存在する.

#### 参考文献

- 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
- 2) 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