# フランジ付き電極の点火特性改善効果に関する数値解析

日大生産工(院) 大原 智彦 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

現在,自動車用火花点火機関において,環 境問題や化石燃料枯渇といった観点から,燃 料消費率および有害排出物を低減させること が急務とされている.それらに有効な対策の 一つとして希薄燃焼があげられる.この希薄 燃焼では、火炎伝播速度が低下し有効仕事が 減少するので,それを防止するためにスワー ル,タンブル流に伴う強い乱れを利用するこ とが常道となっている.しかし,この強い乱 れにより火炎核の熱損失が増大し,点火が困 難になり失火に至る可能性が高まる.これに 際し, 点火エネルギーの増大により失火を回 避することが考えられるが, 点火系の早期劣 化や電磁波障害等の影響が懸念される.以上 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,なおかつ確実な点火をさせる ことが重要な課題となっている.

既報において定容燃焼容器内の静止混合気 場,主流のない乱れ場および旋回流動場にフラ ンジ付き電極を設置して点火実験を行い,火花 放電時に発生する衝撃波のエネルギーをフラ ンジによって反射,回収すること,および主流 を抑制することが点火エネルギーの低減に有 効であることが示された<sup>1)-3)</sup>.

本報は旋回流動場に配置したフランジ付き 電極の点火特性改善機構解析を目的とし,旋回 流動燃焼容器内の流れ場を LDV(Laser Doppler Velocimetry) および汎用熱流体解析ソフトを用 いて検討を行った.数値解析によって求められ



Fig.1 Combustion chamber

た旋回流動場内にフランジがない電極(以降, 通常電極),円板形フランジ,円筒形フランジ 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)を用いてフランジ 周りの流動特性および伝熱特性の比較,検討を 行った.

#### 2. 実験装置および数値解析手法

旋回流動燃焼容器を Fig.1 に示す.燃焼容 器はステンレス鋼(SUS303) 製で,外形 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)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配置した.ノズルの数(シ ングルノズル,ツインノズル)を変えること で二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.

フランジ付き電極の概略を Fig.2 に示す. 通電部には直径1 mm のステンレス線,絶縁

Numerical Analysis of Flanged Electrode's Improvement Effects on Ignition Properties Tomohiko OOHARA, Shinya KOJIMA, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE 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 筒形および前述の円板形フランジと高さ 4 mm の円筒形フランジを組み合わせた円筒円 板組み合わせ形(隙間 2mm)の三種類とした.

LDVを用いた流速測定実験における実験装 置を Fig.3 に示す.エアシリンダにより空気 を燃焼室内に押し出し旋回流を生成した後, LDV により二次元流速計測を行った.燃焼室 に電極を設置しない状態で,燃焼容器内の複 数の測定点で計測を行い,旋回流動場を検証 した.測定範囲は燃焼容器中心から半径方向 25mm までとした.エアシリンダへの供給空 気圧は 0.54 MPa とし,流量弁開度は 0% ~ 3.0% とした.本実験では,燃焼容器内に噴射 を開始してから火花間隙位置における流速が 最大になるまでの時間を点火のための規定時 間と定義し規定時間を点火開始時間とした.

数値解析には、FLUENT ASIA PACIFIC 社製 FLUENT Ver.6.3.26 を使用し、計算格子の作成 には、同社製 GAMBIT Ver.2.3.16を使用した. 乱流モデルは単純 k- モデルを使用し、差分 法は一次精度風上差分法を用いた.Fig.4 に数 値解析における流れの概略と、フランジ周辺 部の流速測定範囲を示す.解析領域の寸法は 旋回流動燃焼容器の燃焼室と同寸法とした. 燃焼容器内旋回流動場は、解析領域内のノズ ル中心軸延長線上に速度流入口を配置した. この解析領域に、実験と同寸法、同配置でフ ランジを設置し、フランジ間領域の流れを非 定常条件にて計算した.

フランジへの伝熱特性を調査するため,規 定時間(点火時刻)において火花間隙位置に 直径1mmの球状熱源を設置し,約9mJのエ ネルギーを与え,その後2ms間におけるフラ ンジへの伝熱(熱損失量)を比較,検討した.





Fig.3 Experimental setup of flow measurement



Fig.4 Schematic diagram of flow and measurement range

## 3. 結果および考察

## 3.1 旋回流動場

旋回流動燃焼容器内の平均流速は半径方向, 周方向の二次元流れと仮定し,規定時間の ± 50 msの平均値を用いた.範囲内の半径方向 流速および周方向流速をそれぞれ平均した. その平均した半径方向流速 u<sub>x</sub> および周方向 流速 u<sub>y</sub> より(1)式で求めた.

$$u = \sqrt{\boldsymbol{u}_x^2 + \boldsymbol{u}_y^2} \tag{1}$$

なお数値解析結果においても,半径方向流速 および周方向流速の二成分の合成速度を平均 流速として旋回流動場の検討を行った.

Fig.5 に数値解析により求められた旋回流 動場の速度分布の結果を示す.図には流量弁 開度 1.0,2.0,3.0%のLDV測定結果も示 されている.横軸に燃焼器中心からの距離, 縦軸に測定値および数値解析による平均流速 を示した.図から,流速は燃焼容器外周壁面 に近づくにつれて高くなっており,流量弁開 度を上げることにより,平均流速の高い旋回 流動場を生成できていることが確認できる. 数値解析で求められた速度分布は測定結果と 比較的一致していることから,本研究で用い た計算手法,条件により実験で得られる旋回 流動場が数値的に実現されていることが確認 できる.

## 3.2 流速抑制効果

Fig.6 に組み合わせ形フランジの火花間隙部 近傍三次元速度ベクトル分布を示す.Fig.6 (a) に正面図,Fig.6 (b) に左側面図を示した.正面 図から,旋回流はフランジ外周面に垂直にあた った後,面に沿った流れとなり,フランジ下部 にて合流することがわかる.左側面図から,フ ランジ内部では流れが旋回,滞留していること がわかる.また火花間隙位置にあたるフランジ 中心部では相当に流速が低減されていること が確認できる.









(b) Left side view

Fig.6 Vector map around flanged electrode





Fig.7 に流量弁開度 2% の条件における通 常電極,円板形,円筒形および組み合わせ形 フランジ付き電極を用いた三次元解析の、火 花間隙位置とフランジ近傍の流速を示す.横 軸は燃焼容器中心からの距離、縦軸は流速と した.フランジを設置した場合,通常電極に 比べてフランジ間の流速は小さく、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.特に組み合わせ形フラン ジにおいては,その開口部面積の少なさが大 きな流速抑制効果につながったと考えられる。 円板形フランジはフランジ間において火花間 隙位置がもっとも流速が高いことに対し,円 筒形フランジは比較的平坦な分布,組み合わ セ形フランジは火花間隙位置で最も流速が抑 制されていることが確認される、組み合わせ 形フランジは火花間隙位置の流速は低く抑え られるが、火炎核がフランジ外へ成長しづら い形状のため,障壁として作用する負の効果 が大きいことが示唆される.

## 3.3 フランジへの熱損失

Fig.8 に流量弁開度 2% の条件において,火 花間隙位置に直径 1mm の球状熱源を設置し, 約 9mJ を与えた場合の円板形,円筒形および 組み合わせ形フランジへの熱の移動の様子を 示す.横軸は規定時間からの経過時間,縦軸は フランジへの損失熱流量とした.円板形フラン ジは損失の立ち上がりが最も早い.これは熱源 とフランジとの距離が円筒形フランジは 4mm であることに対し,円板形フランジは 2mm で あるためと考えられる.しかし火花間隙位置の 流速が高いために高温ガス核が早めにフラン ジ外へと移動することから,総損失量は小さい ものとなった.円筒形フランジは,高温部がフ ランジ内に留まりやすい傾向があり,損失の最



various flanged electrodes

大値は最も大きい値となったが,時間経過に伴 って高温部がフランジ領域外に流されるので, 急激に減少する.組み合わせ形フランジはフラ ンジ内の流速が低いことから損失の立ち上が りは遅いが,高温部がフランジ外に移動しづら いために損失は2ms以降も長時間にわたり, 結果として損失は少なくないことが示唆され る.

## 4 結言

フランジ付き電極の点火特性改善効果につ いて,流動抑制と高温ガス核からフランジへ の熱損失に着目し,数値解析を用いて検討し た結果,以下の結論を得た.

- 円板形,円筒形,組み合わせ形フランジに 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.
- フランジへの熱損失は、フランジ間の流速、 フランジの形状、熱源とフランジとの距離 が大きく影響する。

## 参考文献

- 岡本,山崎,氏家ほか,第42回燃焼シン ポジウム講演論文集,pp.487-488(2004)
- 2. 遠藤,山崎,氏家ほか,第43回燃焼シン ポジウム講演論文集,pp.216-217(2005)
- 小島,山崎,氏家ほか,第44 回燃焼シン ポジウム講演論文集,pp.80-81(2006)