ドーム形フランジ付き点火プラグのフランジ形状と開口部の向きが点火・燃焼特性に与える影響 日大生産工(院) 
の市東 竜太朗 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

近年,ガソリンを代表とする化石燃料の燃焼か ら動力を得る自動車用内燃機関は,エネルギー資 源枯渇の懸念や,排出される二酸化炭素による地 球温暖化問題など,様々な課題を抱えている.次 世代のクリーンな動力源として,水素自動車や燃 料電池自動車などの研究・開発が盛んに行われて いるが,未だ普及には至っていない.そのため, 自動車用内燃機関は今後も発展の必要があり,特 に燃料消費率低減はエネルギー資源枯渇の懸念, 地球温暖化の両者に関係する重要な課題である.

現在,自動車用内燃機関として主として利用されている火花点火機関の理論熱効率向上の方法の一つとして希薄燃焼が知られている.しかし,燃料濃度が低いために火炎伝ば速度低下による有効仕事の減少や失火といった問題がある.前者に関しては筒内の混合気に強い乱れを与えることで燃焼を促進することができるが,火花放電によってできた火炎核から未燃混合気への熱損失が増大するために,より失火の可能性を高めることが考えられる.したがって,希薄燃焼による理論熱効率向上には確実に点火することが重要となる.

過去の研究<sup>1), 2)</sup>により,通常の点火プラグに半 球状のフランジを取り付けることによって,点火



プラグの火花間隙間の流動抑制と,火花放電時に 散逸エネルギーとして生じる衝撃波のエネルギー を回収することで点火確率が向上する知見を得た. それを元に,従来では半球状のフランジに三つのガ ス交換用の穴を設けたドーム形フランジ付き点火 プラグのみ実験を行ってきたが,穴の個数を二つ, 四つと変更したドーム形フランジ付き点火プラグ を新たに製作した.それらのドーム形フランジ付き 点火プラグを,実機を模擬した旋回流動場において 点火確率の算出,燃焼過程の直接撮影および燃焼圧 力測定の実験を行い,ドーム形フランジ付き点火プ ラグの優位性とガス交換用の穴が点火確率に与え る影響について検討した.



Effect of the shape and direction of flange on the ignition and combustion characteristics of the spark plug with a dome-shaped flange Ryutaro SHITO Hiroshi YAMASAKI , Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

## 2 実験装置および方法

本実験で使用した実験装置概略を Fig.1 に示す. 実験装置は旋回流生成装置系, 点火装置系, 計測装 置系,光学系から構成されている. 燃焼容器には石 英ガラスの観察窓と旋回流を生成するためのノズ ルが設けられている.実験で使用したドーム形フラ ンジ付き点火プラグを Fig.2 に示す. NGK 社製 BPR6EIX をベースに、フランジの寸法、ガス交換 用の穴の径は全て統一し、穴の個数のみを変えて製 作した. 実験方法は燃料にプロパンを使用し、タ ンクに混合気を作成後,火花間隙位置での旋回流速 を流量調整弁で制御し, 点火時期を旋回流速が最大 となるタイミングで火花放電するようにした. 燃焼 容器内, 配管, エアシリンダを真空ポンプで一旦真 空にし,混合気に置換した後,エアシリンダを作動 させて旋回流の生成を行い, 点火の成否と圧力履歴 を取得した. なお、フランジの向きが点火・燃焼特 性に影響を及ぼす可能性を考え, Fig.3 に示すよう に旋回流をフランジ側面に衝突させる場合と旋回 流が直接フランジ内に流入する場合の二通り実験 を行った. 燃焼過程の撮影には超高速度カメラ(nac 社製 ULTRANAC FS501) にイメージインテンシフ ァイアを取り付け,超高速度カメラと圧力測定の同 期を取って撮影を行った.

実験は各点火プラグで当量比 0.85, 0.87, 0.90 の 条件で,旋回流速は 3.7m/s, 7.6m/s, 11.9m/s の条件 で実験を行った.点火成功回数を火花放電回数で除 したものと点火確率と定義し,各点火プラグで 20 回以上実験を行うことで算出した.また,燃焼時間 を火花放電時から燃焼圧力が最大となるまでの時 間と定義し,フランジ形状が燃焼時間に及ぼす影響 について検討した.

3 実験結果および考察

旋回流がドーム形フランジ付き点火プラグのフ ランジ側面に衝突する向きで点火実験を行った際 の点火確率をFig.4 に,旋回流がフランジ内に直接 流入する向きで点火実験を行った際の点火確率を Fig.5 に示す.

通常の点火プラグでは当量比の低下にともない, どの流速でも点火確率は低下している.また,当量 比0.85 ではほとんど点火されなかった.

ドーム形フランジ付き点火プラグD3×2, D3×3 はどの向き,流速,当量比でも通常の点火プラグ より点火確率は高くなった. D3×2 では流動抑制 効果が強く働くことで,フランジ内部の流れがよ



Fig.4 Relationship between ignition probability and equivalence ratio (Non-direct for swirling flow)



Fig.5 Relationship between ignition probability and equivalence ratio (Direct for swirling flow)

どんでいるため、通常の点火プラグよりも未燃混 合気への熱損失が低下していることが考えられ る.また、火花電極を大きく覆うようなフランジ 形状であることにより、衝撃波エネルギーの回収 効果が大きいため、衝撃波によって火炎核周りの ガスを断熱圧縮することでエネルギー回収も有 効に行われていることが考えられる.D3×3 でも D3×2 と同様のことが言えるが、D3×2 に比べて ガス交換用の穴が多いことで、火炎核からフラン ジへの熱損失が低下している分、D3×3 の方が高 い点火確率を示したと考えられる.

ドーム形フランジ付き点火プラグD3×4 では 当量比0.9 では通常の点火プラグよりも点火確 率は低くなっている場合がある.しかし,当量比 を下げていくにつれて,通常の点火プラグより点 火確率は高くなっている.D3×4 ではドーム形フ ランジがついていることによって衝撃波のエネ ルギー回収は少なからず作用しているが,D3×2, D3×3 に比べて流動抑制効果が低く,フランジ内 の乱れが強いことが予想される.そこで,D3×4 のフランジ内の流体解析し,流速7.6m/s におけ る火花間隙中央の半径方向断面における流速分 布をFig.6(a)(b) に示す.図右側が上流,左側が下 流である.

Fig.6(a) の旋回流がフランジ側面に衝突する 場合では火花間隙での流速は0~1.1m/s の範囲内 にあることが分かる.しかし、上流側二つのガス 交換用の穴から流入してきたガスは, 下流側のフ ランジ内壁に向かう流れが見られる.火花放電に よって生成された火炎核はフランジ内壁に衝突 または接近したことが予想され、 火炎核からのフ ランジへの熱損失が高くなったことによって失 火に繋がったと考えられる. これによって, D3×4 ではFig.4 の当量比0.9 の条件で通常の点火プラ グより点火確率が低い領域ができている.しかし, Fig.4 の流速11.9m/s の点火確率に着目すると, 他の流速に比べ点火確率が高くなっている. 11.9m/s におけるフランジ内の流れをFig.6(c) に 示す. Fig.6(a) と比較すると、上流のガス交換用 の穴から流入したガスは下流の穴へと吹き抜け ている様子が分かる. そのため, 火炎核がフラン ジ内壁に接近しにくくなり, 点火確率が向上した と考えられる.

Fig.6(b) の旋回流がフランジ内に直接流入してくる場合には,火花間隙での流速は6.7~7.8m/sの範囲内にあり,流動抑制効果があまり作用して



(a) Non-direct for swirling flow (7.6m/s)



(b) Direct for swirling flow (7.6m/s)



(c) Non-direct for swirling flow (11.9m/s)

Fig.6 Flow velocity map around Dome flanged spark plug (D3×4)

いないことが分かる.火花間隙の流速がフランジ 内の流れに比べて高いが,これは上下に接地電極, 中心電極があるために,流路断面積が狭くなるた め火花間隙での流速が増大している<sup>3</sup>.しかし, 衝撃波のエネルギー回収が行われているため, Fig.5 の低い当量比では通常の点火プラグより点 火確率は高くなっている.

各点火プラグの燃焼過程の直接撮影写真を Fig.7 に示す. 1.0ms で見える円が燃焼容器内径 の縁であり,点火プラグは燃焼容器中心から左側 に設置している.旋回流は反時計回りに流れてい る. 撮影と同期を取って取得した圧力履歴をFig.8 に示す. 当量比0.87, 旋回流速7.6m/s の条件で実 験を行った.

Fig.7(a)の通常の点火プラグでは2.3ms で火炎 核が確認できる.ドーム形フランジ付き点火プラ グではFig.7(b)のD3×3のみ3.6ms に火炎核がは っきり確認できる.この二つを7.5ms で火炎の大 きさを比較すると通常の点火プラグよりもD3×3 の方が大きい.これはドーム形フランジ内の流れ がよどんでいるため、フランジ内を火炎伝ばして いき、下流側に流出した火炎の他に、燃焼容器中 心側のガス交換用の穴から流出する火炎がある ためである.Fig.8の圧力履歴で比較をすると通常 の点火プラグよりも旋回流がフランジ側面に衝突 する向きでのD3×3の方が早く圧力上昇し始め、最 高燃焼圧力も高いことから点火確率の向上と燃焼 促進に効果があることが分かる.

Fig.7(b) と(c) を比較すると,(b)のD3×2,D3×4 では6.2ms で火炎核が確認でき,(c)ではどの条件 でも4.9msの時点で火炎核が確認できる.D3×2, D3×4 の場合,旋回流が直接フランジ内に流入する 向きで点火した方が燃焼促進には効果があること が分かる.これはD3×2 では衝撃波エネルギーの回 収効果が大きいが,火花間隙を大きく覆うようなフ ランジのため,火炎がフランジ外に伝ばしにくい. そのため,フランジ内の乱れがある(c)の方が早期 に火炎がフランジ外に流出しやすい.D3×4 では火 炎核が乱れによってフランジ内陸に接近しやすい ため,旋回流が直接フランジ内に流入する向きの方 が,火炎核が形成された後,下流に流れる際にフラ ンジに接近せずにフランジ外に流出するため,火炎 の観察される時期が早いと考えられる.

## 4 結言

実機を模擬した旋回流動場においてドーム形 フランジ付き点火プラグの点火・燃焼特性につい て調べた結果,以下の知見を得た.

- (1) 通常の点火プラグに適切なドーム形フランジを取り付けることで、特に希薄域において点火確率の向上が望める.
- (2) ドーム形フランジの向きにより燃焼過程 は異なり、ドーム形フランジ付き点火プラ グD3×2, D3×4 では旋回流が直接フラン ジ内に流入する向きの方が早期に火炎核 が観察された.
- (3) ドーム形フランジ付き点火プラグ D3×3 ではドーム形フランジ側面に旋回流を衝 突させる向きで点火することで,燃焼時間 の短縮と,点火確率の向上が望めることが 分かった.







(c) Direct for swirling flow

Fig.7 High speed photography of

Dome flanged spark plugs





参考文献

1) 増島・山崎・野村・氏家ほか,第50回燃焼シンポジウム講演論文集,pp.46-47 (2012).
 2) 市東・山崎・野村・氏家ほか,第51回燃焼シンポジウム講演論文集,pp.440-441 (2013)
 3) 石井・大西,自動車技術会論文集,34巻,4号,pp.13-18 (2003)