

旋回流場を用いたドーム型フランジ付き点火プラグの容積諸元が火炎伝播に及ぼす影響

日大生産工(院) ○吉田 涼一

日大生産工 菅沼祐介 日大生産工 野村浩司

1. 緒言

現代の地球環境における気温上昇の主たる原因は、人間活動による温室効果ガスの増加である可能性が極めて高いと考えられている。その温室効果ガスの中でも最も温暖化への影響が大きい物質として二酸化炭素が挙げられ、地球温暖化の進行を抑えるべく脱炭素社会の実現が推し進められている。この動きが顕著に見られるのは自動車等の運輸部門である。自動車用火花点火機関の更なる性能改善が急務とされており、熱効率向上のため、超希薄燃焼は性能改善手法の1つである。この手法は、燃焼ガスの温度を下げ冷却損失を低減し結果的に熱効率を向上させることに繋がる。しかしながら、超希薄化することにより火炎伝播速度の低下により有効仕事が増加する。その対策として燃焼室内にスワールやタンブルによる強い旋回流を発生させ火炎伝播を促進させることが有効である。しかしながら、燃焼が不安定になり燃え広がらない、点火しないなどの課題がある。そこで点火エネルギーを増大させることなく高流動場において点火可能なフランジ付き点火プラグを開発した。これは既存の接地電極を取り払い点火プラグ先端部に半球型ドーム形フランジを取り付けたものである。先行研究[1]より点火プラグに半球状のドーム形フランジを取り付けることにより、火花間隙近傍の流動抑制と、火花放電時に発生する衝撃波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。また、ガス交換用の穴径、穴数が点火燃焼特性に与える影響について調査し 120°おきに穴径 2.4mm の穴を三つ設けたプラグが点火確率、火炎伝播の面から最適であることが示めされた。本研究では高流動かつ希薄な条件でこのフランジ形状をベースに通常の点火プラグとの燃焼特性差異について、火炎伝播の様子をハイスピードカメラで撮影することにより検証、観察し比較する。また、穴数をさらに増やした調査はされていない。そのため、穴数を増やしたプラグを2種類用意し、穴数を増やしたことによる影響と通常の点火プラグとの差異を点火確率の取得により検証する。

2. 実験装置・方法

実験装置概略を Fig.1 に示す。実験装置は4系統で構成されており、旋回流生成装置系、点火装置系、計測装置系、光学装置系からなる。旋回流生成装置系は定容燃焼容器、プロパンガスボ

ンベ、空気ポンプ、真空ポンプ、混合気タンク、ソレノイドバルブ、エアシリンダから構成されている。定容燃焼容器の内寸は直径 60mm、幅 26mm であり、燃焼現象観察用に石英ガラス製の観察窓を設けた。点火装置系は点火時期調節を行うことを目的とし、CDI 式点火装置、イグニッションコイル、DC パワーサプライから構成されている。計測装置系は圧力センサ、電流プローブ、チャージアンプ、オシロスコープ、シーケンサーから構成される。光学装置系はハイスピードカメラ (NAC, Q1V, 撮影速度 4000fps) を用いて点火と燃焼過程の撮影を行う。

実験方法は混合気タンクにプロパンおよび空気を導入する、この際、分圧法を用いて実験条件の当量比に合わせてガスを充填し、スターを用いて5時間以上攪拌する。燃焼容器内、配管、エアシリンダを真空ポンプで真空にしたのち、混合気タンクより混合気を経路内に充填し、エアシリンダを作動させて燃焼容器内に混合気を噴出させ旋回流を生成した。点火プラグ挿入位置での旋回流速度を流量調整弁で調整し、シーケンサーを使いエアシリンダ制御、ハイスピードカメラの録画、点火時期を一括制御し点火タイミングを旋回流速度が最大となるところで放電するようになっている。また、燃焼時に定容燃焼容器内に発生する燃焼による圧力を燃焼容器に取り付けてある圧力センサから計測しオシロスコープにて圧力履

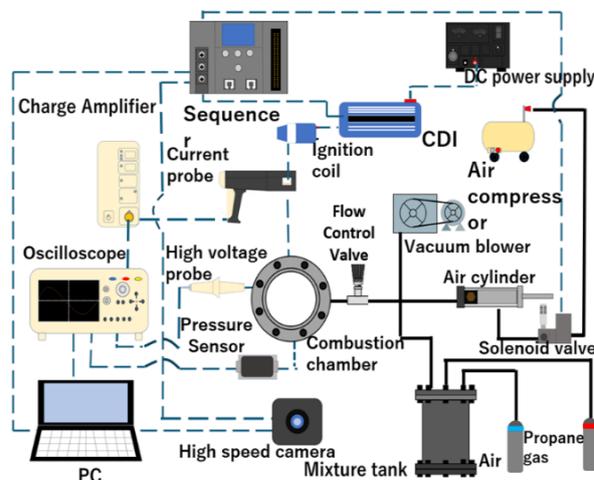


Fig.1 Schematic diagram of experimental

Effects of Volumetric Characteristics of Domed Flanged Spark Plugs on Flame Spread in Swirling Flow Field.

Ryoichi YOSHIDA, Yusuke SUGANUMA and Hiroshi NOMURA

歴を取得する。また、ハイスピードカメラにより撮影、取得した火炎燃え広がり様子は画像解析ソフト Image J により火炎の輝度解析を行う。さらに、点火確率は各点火プラグで当量比 $\phi=0.6, 0.7, 0.8$ の3条件で、巡回流速は 12m/s と 18m/s で実施した。点火回数を火花放電回数で除したものを点火確率と定義し、各点火プラグで 30 回実験を行うことで算出した。

3. 供試点火プラグ

本報では、汎用の点火プラグと、3種類のドーム形フランジ付き点火プラグについて実験し比較を行った。汎用の点火プラグの中心電極はイリジウム製であり直径は 0.2 mm であり、火花間隙は 0.8 mm である。以下このプラグを No.0 プラグとする。ドーム形フランジ付き点火プラグは No.0 の接地電極を取り除き、ドーム状の覆いを取り付けた。ドームは 3D プリンタで製作し、材質は SUS316、外直径 11 mm、板厚 1 mm である。ドームには導通孔が設けられており、直径 2.4 mm で 3個が 120°等間隔に配置されている。また導通孔の中心軸は火花間隙中心に向かって開けられている。火花間隙は 0.8 mm である。以下このプラグを No.1 プラグとする。この形状をもとにドーム導通孔の直径を 1.9 mm で 5個が 72° 間隔のものを用意し、以下それぞれのプラグを、No.2、No.3 プラグとする。Fig.2 に点火プラグの詳細を示す。

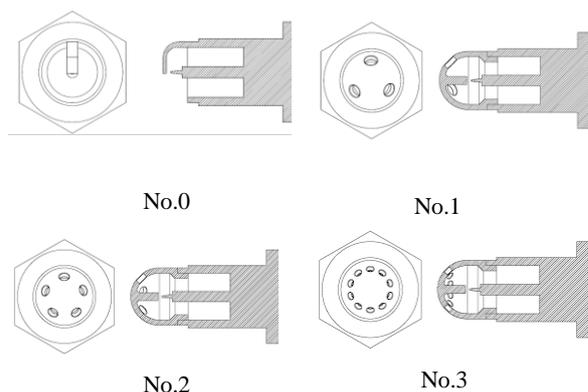


Fig.2 Detail of flanged dome

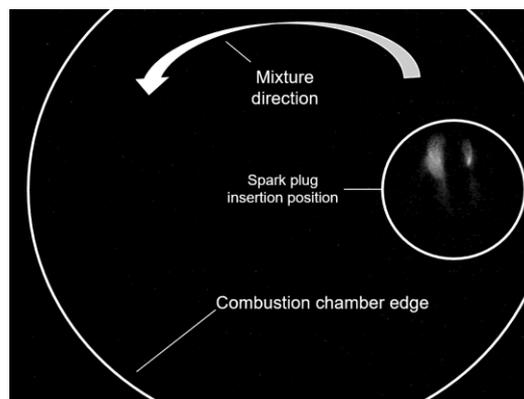


Fig.3 Inside combustion chamber

4. 実験結果・考察

4.1 輝度解析について

ハイスピードカメラによって取得された画像における、燃焼容器内壁、点火プラグ挿入位置および巡回流方向をFig.3に示す。プラグは燃焼容器右側の挿入位置に設置して実験を行った。火炎伝

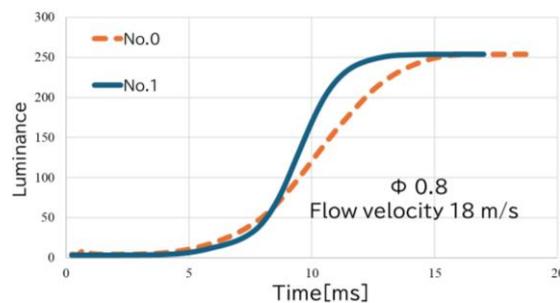


Fig.5 Time history of combustion field luminance

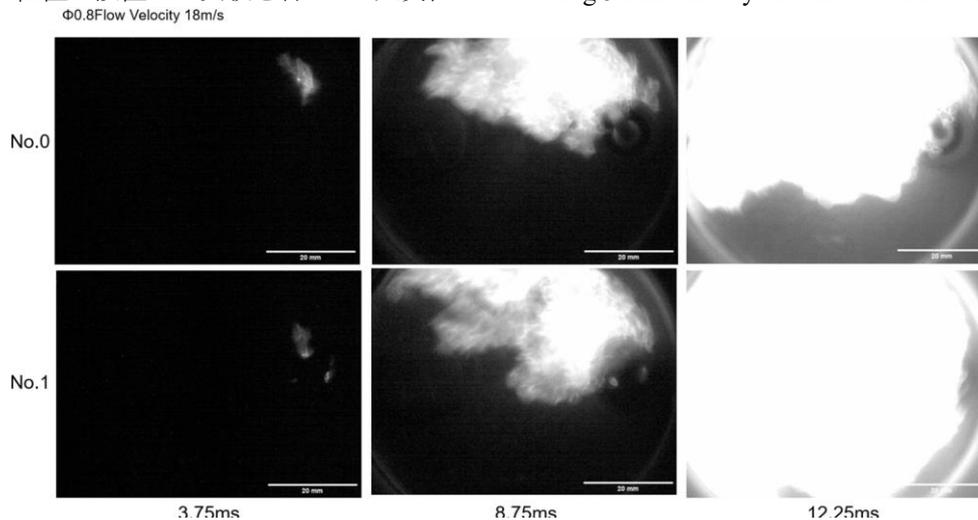


Fig.4 High speed camera image of combustion

播の連続画像を、Fig4に示す。時刻の0秒はCDIへの通電時刻である。3.75 msの画像より、No.0プラグでは初期火炎が旋回流に流されている様子が確認できる。同時刻のドーム形フランジを取り付けたNo.1プラグはフランジ上部に設けた導通孔から火炎が噴出していることが確認できる。No.0プラグはドーム形フランジがないため、初期火炎はNo.0プラグの方が大きく見える。以降の火炎伝播の様子を比べると、No.1の方が早く火炎が燃焼容器全体に広がっている。火炎が広がる様子を数値化するため、画像全域の平均輝度についてImageJを用いて解析した。平均輝度の時刻歴をFig.5に示す。ドーム形フランジを取り付けたNo.1プラグは従来型のNo.0プラグに比べ、立ち上がりは早くなった。これは、ドーム形フランジを設けたことによって導通孔から火炎が噴出し、放電による線の点火源から体積的な点火源となり火炎伝播が促進されたと考えられる。燃焼中期の火炎が燃え広がっていく範囲における輝度増大の傾きを比べるとNo.1プラグの方が大きく、傾きがおおむね一定となっている区間で比べると、その傾きは約1.5倍となった。導通孔から噴き出す火炎の大きさが、燃焼時間の短縮に寄与していると考えられる。

4.2 点火確率について

各点火プラグの当量比と点火確率の関係をFig. 6に示す。すべてのフランジ付き点火プラグがNo.0プラグよりも高い点火確率を示した。点火間隙付近をドーム形フランジで覆うことで流動抑制効果が働いたと考えられる。No.1, No.2, No.3プラグについて検証する。流速12 m/s, 18 m/s, $\phi=0.7$ の条件においてNo.1プラグは他のプラグに対して点火確率が高いことが明らかとなった。これら3つのプラグドーム内表面積はほぼ同一としている。これはドーム内部に形成された火炎からドームへの熱の移動を同一条件にするためである。一方で、導通孔が小さくなったことにより、火炎が導通孔を通過する際の熱損失が大きくなり、失火してしまうことが考えられる。圧力および当量比に対する消炎距離について整理し導通孔仕様を決定することで、点火性能の高いドーム形フランジ付きプラグを設計できると考える。

5. 結言

高流動かつ希薄な条件でドーム型フランジ形状をベースに通常の点火プラグとの燃焼特性差異について、火炎伝播の様子をハイスピードカメラで撮影することにより検証、比較した結果、以下の知見を得た。

1. ドーム型フランジを取り付けることによって、点火エネルギーを増大させることなく、燃焼時間を短縮できることがわかった。
2. ImageJ を使い火炎の燃え広がり方を定量的に評価することができた。

3. 当量比が低く旋回流速が早い領域において、No.1 の3つ穴のドーム形フランジ付き点火プラグが最も優れた点火特性を示した。
4. 導通孔が小さくなることで熱損失が大きくなり点火性能が低下することがわかった。

参考文献

- 1) 桂 拓未, 野村 浩司, 山崎 博司, 氏家 康成 日本機械学会 2016年度年次大会 2016巻 G0700304

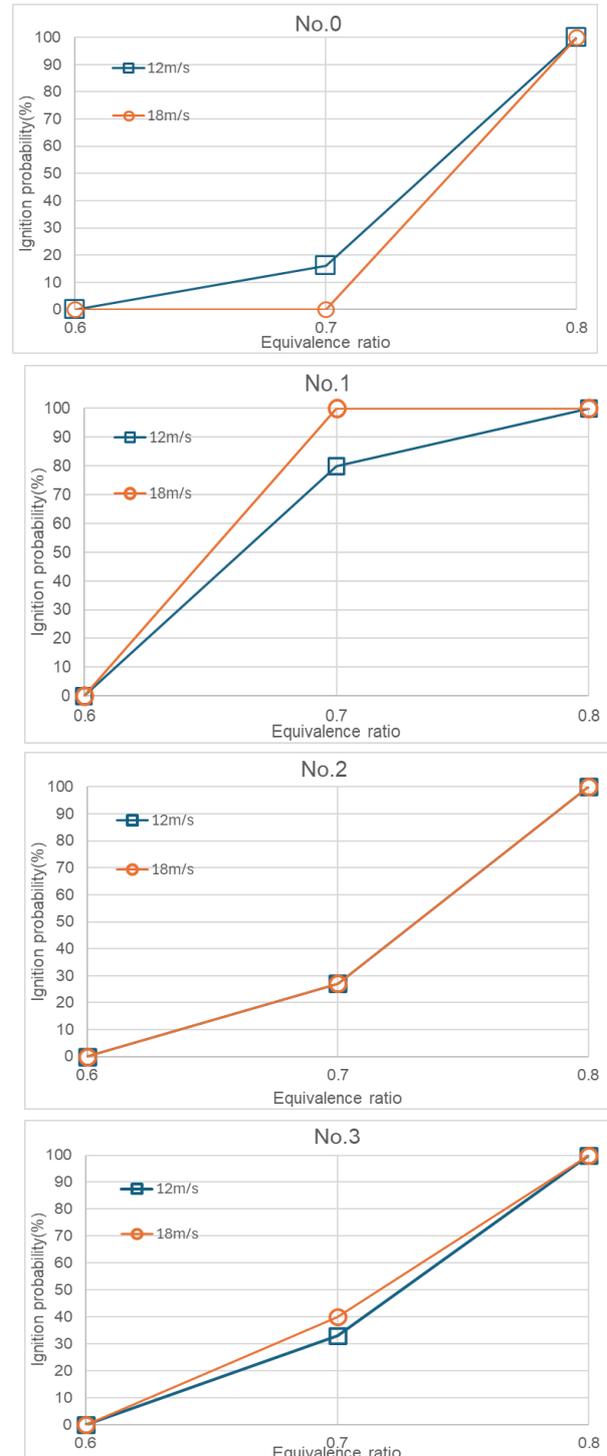


Fig. 6 Relationship between ignition probability and equivalence ratio