

ドーム形フランジ付き点火プラグの耐久性試験

日大生産工(院) ○中村 和貴 日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司
東電(株) 梅沢 修一 東電(株) 杉田 勝彦 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年の自動車の普及に伴う地球温暖化や化石燃料枯渇に対して、希薄燃焼が有効とされている。しかし、火炎伝ば促進を目的として燃焼室内に生成した強い流動は、点火の成立には相当不利に働き、点火確率を低下させている。そのため、現在の自動車用点火プラグには高い点火性能が求められている。これに対し、本研究グループでは、ドーム形フランジ付き点火プラグを提案し、強い流動を持つ希薄混合気中においても低い火花エネルギーで確実な点火が可能であることを明らかにしてきた^{1),2)}。

一方、コージェネ用天然ガス機関では、高圧縮、過給に伴う高い要求電圧に対して、火花間隙を狭くすることで対策を図っているが、この際の消炎作用により点火性の悪化が問題となる。現状では、高い火花エネルギーにて確実な点火を行っているが、このため使用されている点火プラグの寿命は 2000 時間程度と短く、連続稼働時間の拡大やエネルギー利用効率の向上をねらった点火プラグの耐久性向上が求められている。これに対し、ドーム形フランジ付き点火プラグでは、火花エネルギー低減効果が働くため、高い点火性と耐久性の両立を実現できると考えた。

本稿では、燃焼室内を模擬した高圧高温環境にて火花放電を継続させ、火花エネルギー低減効果や接地電極形状が火花電極の耐久性に与える影響について検討した。

2. 実験装置および方法

2.1. 点火実験

耐久性試験を行う前段階として、静止混合気中にて点火実験を行った。点火実験用装置の概略図を Fig.1 に示す。この装置は、内容積 56.5cc の円筒形定容燃焼容器を中心に、混合気供給装置、点火装置、計測装置から構成

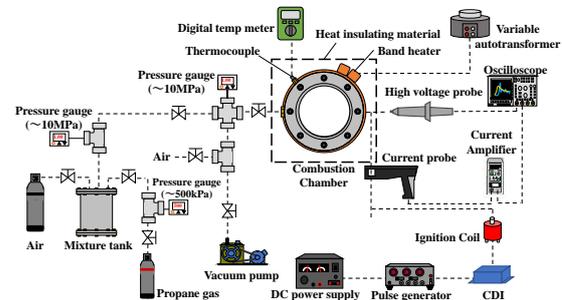


Fig.1 Ignition experimental apparatus

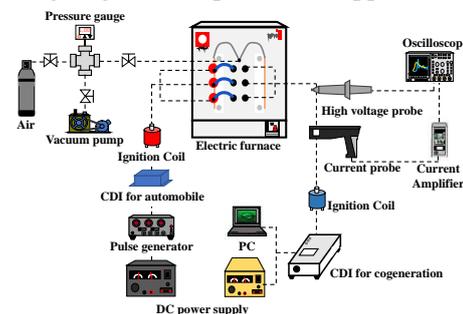


Fig.2 Experimental apparatus for durability test

される。また、点火装置には与える火花エネルギーの大きさに応じてコージェネ用 CDI と自動車用 CDI の 2 種類を用いた。

実験時には、バンドヒーターにて燃焼容器内温度を 100℃ に保ち、真空ポンプにて燃焼容器および混合気供給経路内を真空にしたのち、容器内圧力が 1.0MPa になるよう混合気タンクに作成した当量比 $\phi = 1.0$ の空気-プロパン混合気を供給した。そして、点火装置にて放電を行い、点火の成否を確認した。点火の成否は、燃焼容器に取り付けた熱電対の温度上昇にて判断した。また、高電圧プローブおよび電流プローブを用いて 1 回の放電毎に火花エネルギーを測定した。

2.2. 耐久性試験

耐久性試験用装置の概略図を Fig.2 に示す。この装置は、扉内側に高圧チャンバーを取り付けた電気炉、空気供給装置、点火装置、計測装置から構成される。また、高圧チャンバ

Durability Test of Dome Flanged Spark Plugs

Kazuki NAKAMURA, Yusuke SUGANUMA, Hiroshi NOMURA,
Shuichi UMEZAWA, Katsuhiko SUGITA and Yasushige UJIIE

一は 2 枚のステンレス板および銅製ガスケットから構成され、点火プラグ取り付け部を 6 か所設けてある。

実験時には、炉内温度を 600°C、チャンバー内圧力を 2.2MPa（または 1.5MPa）に設定し、この環境にて放電周波数 130Hz で火花放電を継続させた。そして、デジタルマイクロスコープにて撮影した耐久性試験前後の火花電極写真や規定時間毎に測定した火花エネルギーおよびブレイクダウン電圧のデータを基に、火花電極の消耗具合を比較した。

2.3. ドーム形フランジ付き点火プラグ

本研究では、実際のコージェネ用天然ガス機関で使用されている標準接地電極をもつ点火プラグ N（火花間隙 0.35mm，中心電極径 1.1mm）と同心円状接地電極をもつ点火プラグ F（火花間隙 0.25mm，中心電極径 2.7mm）の 2 種類をベースとしたドーム形フランジ付き点火プラグを 3 種類製作した。

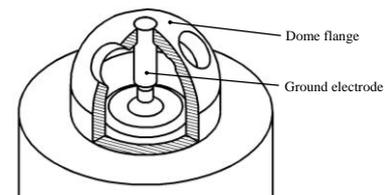
ドーム形フランジ付き点火プラグの構造を Fig.3 に示す。(a) のタイプでは、接地電極を取り払ったベースプラグに、φ1.6mm の棒状接地電極およびドーム形フランジが装着されている。(b) のタイプでは、接地電極を取り払ったベースプラグに、接地電極を支持するための円筒部および中心電極に対して同心円状の接地電極、ドーム形フランジが装着されている。Table.1 に各点火プラグの接地電極形状および火花間隙、使用した点火装置を示す。また、以降は点火プラグの種類を Table.1 に記載した番号で表す。

ベースプラグの火花電極にはイリジウム合金が用いられているが、ドーム形フランジを設置した点火プラグ②、③には白金、点火プラグ⑤にはイリジウム合金を接地電極材として用いた。

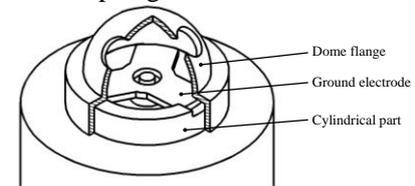
3. 実験結果および考察

3.1. 点火実験

点火実験の結果を Table.2 に示す。点火プラグ①において、コージェネ用 CDI を用いた場合には、75mJ 程度の火花エネルギーが与えられており、確実な点火が可能であった。これに対し、ドーム形フランジを設置した点火プラグ②では、自動車用 CDI を用いて火花エネルギーを 11mJ 程度に抑えた場合においても点火確率 100% を示した。これは、火花



(a) Rod-shaped ground electrode



(b) Concentric ground electrode

Fig.3 Structure of dome flanged spark plugs

Table.1 Spark plug specifications and ignition device

No.	Spark plug	Ground electrode	Spark gap [mm]	Ignition device
①	Conventional	Standard	0.35	Cogeneration
②	N Dome flange	Rod-shaped	0.50	Automobile
③		Concentric	0.50	Automobile
④	F Dome flange	Concentric	0.25	Cogeneration
⑤		Concentric	0.40	Automobile

Table.2 Result of ignition experiment

Spark plug	Spark energy [mJ]	Breakdown voltage [kV]	Ignition probability [%]
①	75	9.0	100
②	11	11.2	100
③	6	10.0	100
④	70	9.5	80
⑤	5	9.6	100

間隙を広げたことにより消炎作用が低減されたことやドーム形フランジの設置により衝撃波エネルギー回収効果が働いたためであると考えられる。

同心円状接地電極を持つ点火プラグ④では、70mJ の火花エネルギーを与えた場合においても点火確率は 80% 程度であった。これは火花間隙が 0.25mm と非常に狭いことや同心円状接地電極では火炎核との接触面積が増大することで火花電極による消炎作用が大きく影響したためであると考えられる。一方で、ドーム形フランジを設置し、火花間隙を 0.50mm に広げた点火プラグ③と 0.40mm に広げた点火プラグ⑤では、棒状接地電極をもつドーム形フランジを設置した点火プラグ②の場合と同程度の火花エネルギーにおいても点火確率 100% を示した。このことから、消炎作用の影響が大きい同心円状接地電極においても、点火特性の向上に対してドーム形フランジが有効であることが明らかになった。ただし、火花間隙を広げることで要求電圧はわずかに上昇している。

3.2. 耐久性試験

本研究では、通常点火プラグ①およびドーム形フランジ付き点火プラグ②、③、⑤を用い、750rpm の実機運転にて 8000h (点火プラグ⑤のみ 15000h) 相当の耐久性試験を行った。Fig.4 に火花エネルギーの推移、Fig.5 にブレイクダウン電圧の推移を示す。Fig.6 には、火花電極写真から算出した中心電極の消耗量を示すが、これは耐久性試験前の火花電極状態におけるイリジウム合金質量に対する割合として表してある。また、Fig.7~13 には、各点火プラグの耐久性試験前後の火花電極状態を示す。

まず、点火プラグ①と②を比較する。実機で与えられている 70~80mJ 程度の火花エネルギーにて放電を継続した点火プラグ①では、中心電極エッジ部が丸みを帯び、軸方向に大きく消耗している様子が Fig.7 にて確認された。また、火花間隙は 0.55mm 程度にまで拡大しており、この消耗に伴いブレイクダウン電圧が著しく上昇したと考えられる。一方、点火プラグ②では、①と同様に中心電極のエッジ部が丸みを帯びている様子が Fig.8 から確認されたが、軸方向への消耗はほとんどみられない。Fig.9 に示した接地電極では、中心電極に対向する面に溶融痕があったものの、大きく消耗している様子は確認されなかった。また、この点火プラグの中心電極の消耗量は、点火プラグ①と比較して 1/6 程度であることが Fig.5、Fig.6 から確認でき、火花間隙の拡大は点火プラグ①と比較して微小なものであると考えられる。したがって、ドーム形フランジによる火花エネルギー低減効果は耐久性向上に対して有効であると考えられる。

次に、接地電極形状が異なる点火プラグ②、③を比較する。点火プラグ②については前述した内容に加え、時間経過とともに誘導成分の電圧値に上昇がみられ、火花エネルギーの若干の上昇が Fig.4 にて確認された。一方、点火プラグ③では、Fig.10 にて中心電極エッジ部の消耗が激しいようにみられたものの、軸方向への消耗はみられず、その消耗量は点火プラグ②と同程度であった。接地電極では、Fig.11(b) に示した放電面の拡大写真にて、初期状態では見られなかった突起部が確認された。これは、放電により白金が溶融し、それが再凝固して形成されたものと考えられる。

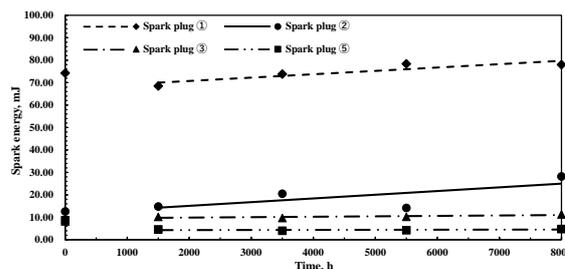


Fig.4 History of spark energy

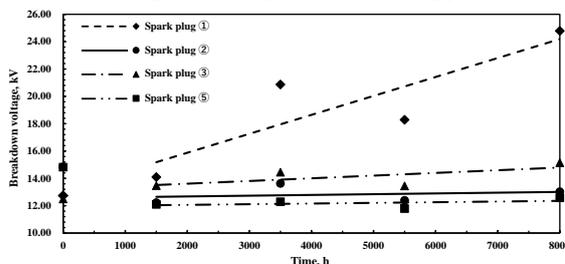


Fig.5 History of breakdown voltage

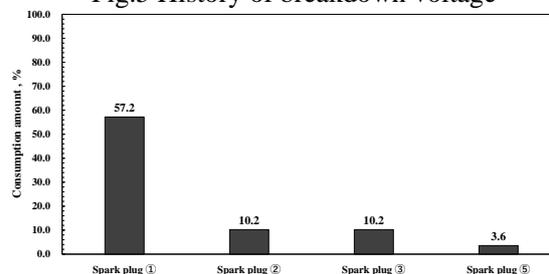


Fig.6 Consumption amount of the center electrode

また、中心電極部にも溶融飛散した白金が付着している様子が確認された。耐久性試験前後の火花電極径の変化量は、中心電極径が 0.1mm 程度、接地電極穴径は突起部を考慮して測定するとほとんど変化がないことから火花間隙の拡大は微小であると考えられる。これに加え、接地電極放電面に形成された突起部や中心電極に付着した白金により不平等電界が高まったことも要因となり、Fig.4、Fig.5 にて電極消耗による火花エネルギーおよびブレイクダウン電圧の大幅な上昇がみられなかったと考えられる。したがって、この点火プラグは点火プラグ②と比較して、同等またはわずかに優位な程度の耐久性を有していると考えられる。

これに対して、15000h 相当の耐久性試験を行った点火プラグ⑤では、中心電極エッジ部および軸方向への消耗は Fig.12 から目視では明確に確認されず、その消耗量は他の点火プラグと比較して微小なものであることが Fig.6 から確認された。また、接地電極部でも Fig.13 に示したように溶融および再凝固によって形成される突起部はみられない。耐久性試験前後の火花電極径の変化量は、中心電

極径が0.08mm程度,接地電極穴径が0.09mm程度と非常に小さく,火花間隙の拡大は極めて微小なものであり,火花エネルギー,ブレイクダウン電圧ともにほぼ横ばいで推移していることがFig.4, Fig.5から確認された.これは,接地電極材に白金よりも融点の高いイリジウム合金を用いていることや点火プラグ③よりも中心電極径が太く,表面積が増大していることで放電経路の形成箇所が多くなったためであると考えられる.したがって,火花放電を長期間継続させるためには,火花間隙の拡大を防ぎ,ブレイクダウン電圧を低く保ち続ける必要があることから,本研究にて比較した点火プラグの中では,点火プラグ⑤が最も優れた耐久性を有していると言える.

以上より,耐久性向上には電極材にイリジウム合金を用いた太い中心電極および同心円状接地電極が有効であると考えられる.また,これに伴う消炎作用の増大に対して,ドーム形フランジによる火花エネルギー低減効果が有効に作用することで,高い点火特性および耐久性を実現できることが示唆された.

4. 結言

燃焼室内を模擬した高圧高温環境にて火花放電を継続させ,火花エネルギー低減効果や接地電極の形状が火花電極の耐久性に与える影響について検討し,以下の知見を得た.

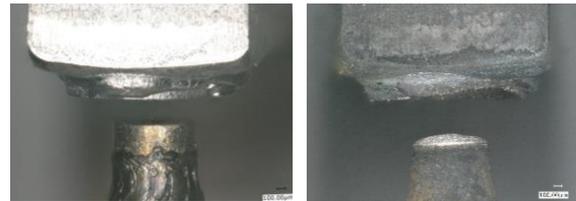
1. 消炎作用の影響が大きい同心円状接地電極においても,ドーム形フランジによる点火特性の向上効果は有効である.
2. ドーム形フランジ付き点火プラグでは,火花エネルギー低減効果により火花電極の消耗量を低減できる.
3. 耐久性向上には,電極材にイリジウム合金を用いた太い中心電極および同心円状接地電極が有効である.

謝辞

画像記録は(株)キーエンス東氏のご厚意によるものである.ここに記し,厚く御礼申し上げる.

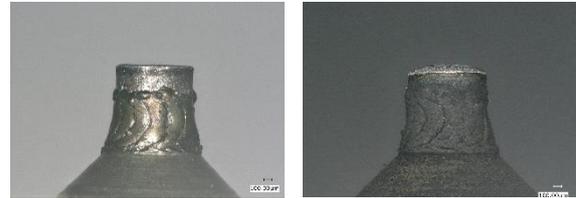
参考文献

1. 中村・桂・野村・氏家,第54回燃焼シンポジウム講演論文集, D331(2016)
2. 桂・中村・野村・梅沢・氏家,第54回燃焼シンポジウム講演論文集, D332(2016)



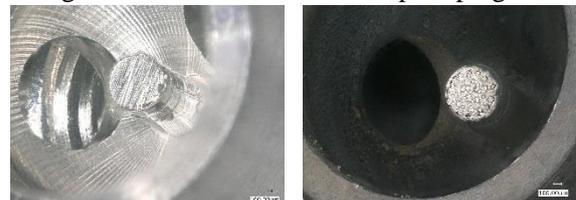
(a) 0h (b) 8000h

Fig.7 Spark electrode state of spark plug ①



(a) 0h (b) 8000h

Fig.8 Center electrode state of spark plug ②



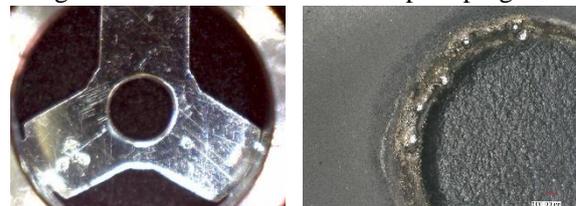
(a) 0h (b) 8000h

Fig.9 Ground electrode state of spark plug ②



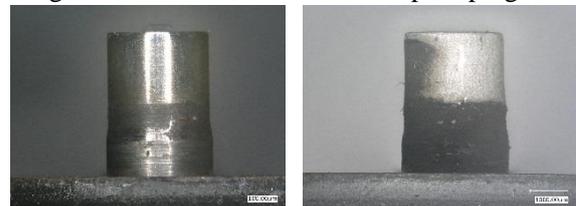
(a) 0h (b) 8000h

Fig.10 Center electrode state of spark plug ③



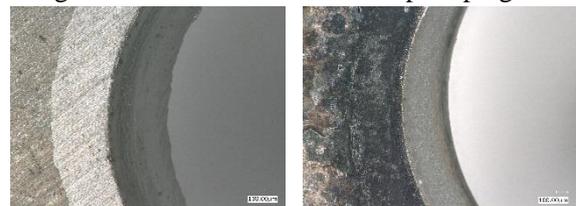
(a) 0h (b) 8000h

Fig.11 Ground electrode state of spark plug ③



(a) 0h (b) 15000h

Fig.12 Center electrode state of spark plug ⑤



(a) 0h (b) 15000h

Fig.13 Ground electrode state of spark plug ⑤