

二方向撮影による流動により 延伸した火花放電路長さの計測に関する研究

日大生産工(院) ○傳 建華 日大生産工 今村 宰
日大生産工 秋濱 一弘 日大生産工 山崎 博司

1. はじめに

パリ協定による世界的な二酸化炭素の低減方向性から、モビリティの主要な動力源としての利用の継続が予測される内燃機関では、更なる熱効率の向上が求められている。社会基盤を支えているガソリンエンジンにおいては、リーンバーンが熱効率の向上策として期待され、強い流動に合わせて点火時期が進角することから安定的な点火が困難となってくる。リーンバーンにおいては良く知られている点火モデルが1995年SAEでKimらによって発表された点火モデル (Kim式) [1]である。Kim式では、電極間の放電路長を加味した以下のような電圧、電流の関係式が用いられることが多い。

$$V_{gc} = 40.46 I_{spk} i_s^{-0.32} p^{0.51} \quad (1)$$

V_{gc} , I_{spk} , i_s , p は、各々、ギャップ間の電圧、放電路長さ、電流、圧力を表す。本報では、直交撮影による火花放電路の変形を観察し、座標系を用いた放電路長さの計測を基にKimらの放電路長さの見積り方法と比較し、3次元性の評価を試みたので、その概要を以下に報告する。

2. 実験装置および方法

本研究では、放電路長さを計測するため2台のカメラを用い、直交撮影で火花放電を撮影した。実験装置の概略図をFig. 1に示す。試験期間中に用いたカメラは Vision Research Inc. の高速カメラ Phantom M310 と Phantom v2512 の機種である。Fig. 1にプラグ正面に設置した Camera (Front) とプラグ底面に設置した Camera (Bottom) はそれぞれ Phantom M310 と Phantom v2512 である。2台のカメラを35000fpsで撮影し、その際の解像度は Phantom M310 が320x240, Phantom v2512 が640x480ピクセルであった。本報では取り扱う3種類の作動流体はそれぞれバッファータンクに1MPaの空気、窒素ガスおよびプロパン窒素予混合気であり、燃焼室上流に設置されたバッファータンクから、電磁弁を開くことで流動を生じさせた。試験期間中のオリフィス径は8mmである。燃焼室にある点火プラグの付

近での平均流速は18.5 m/sであり、圧力は0.5 MPaである。点火プラグはNGK社製のPSPEプラグであり、点火プラグと接続しているイグニッションコイルは4 msで充電し放電を行った。

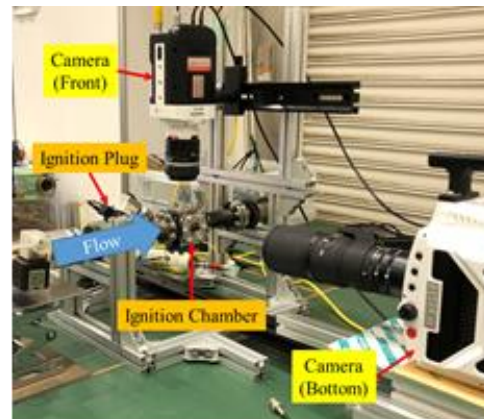
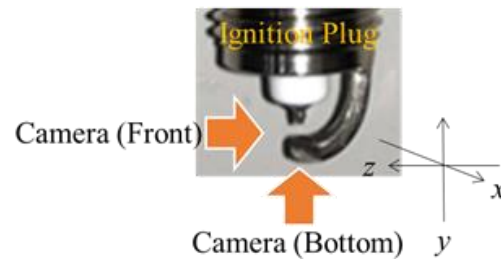


Fig. 1 The experimental apparatus of two orthogonal cameras

3. 実験結果および考察

高流動場における火花放電は放電路が流動によって引き伸ばされ、場合によって放電が維持できなくなり、放電路が短絡したり、再放電する現象が観察されている。Fig. 2 には2台のカメラを用いて典型的な火花放電路の挙動を観察したものを示す。Fig. 2の①から③まではそれぞれ、空気、窒素ガスおよび当量比 $\Phi = 0.2$ 相当プロパン窒素予混合気 ($\Phi = 0.2$ のプロパン空気予混合気の酸素を窒素で置換したもの) の火花放電路の流動による3次元的な変形を示した図である。高速カメラ Phantom v2512 から撮影された画像により、放電路が流動により点火プラグから大きく引き伸ばされるとともに、放電路と電極の接触場所も大きく変形する

A Study of Measurement of Elongated Spark Discharge Path in Flow Field
Using Two-Direction Observation

Chien-hua FU, Osamu IMAMURA, Kazuhiro AKIHAMA and Hiroshi YAMASAKI

ことが観察された。これにより放電路が流動とともに 3 次元的な変形があることが確認された。

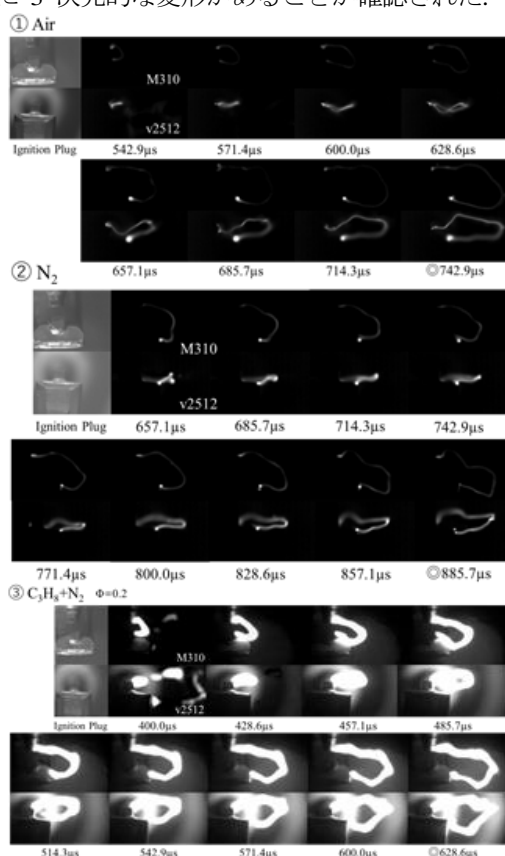


Fig. 2 The behavior of spark discharge (in flow field)

本報では、まず 2 次元の座標から火花放電路長さの計測を試みた。Phantom M310 (プラグ正面から見た画像) で得られた画像から原点 (絶対座標) をプラグのカソード上に定め、絶対座標の流動 x 方向に対し、放電路を 0.2mm 間隔で (x, y) 座標をプロットする。プラグのギャップから最遠点の座標のみは直前の点との間 0.2mm 間隔となっていない。Phantom v2512 (プラグの下方向からみた画像) に関しては、Phantom M310 で定められた原点から同じ流動の流れ方向 x 軸に対し、0.2mm 間隔で座標 (x, z) をプロットする。Z 軸は放電路の奥行方向を示す軸である。プロットされた両カメラの画像を座標系と共に Fig. 3 に示す。プロットされた点を折れ線で結ぶことで放電路長さを算出した。その総和長さについて、Phantom M310 (x, y) の場合は空気、窒素ガスおよびプロパン窒素予混合気の放電路長さがそれぞれ 8.295mm, 6.770mm, 8.236mm であった。Phantom v2512 (x, z) の場合における放電路長さは 7.770mm, 5.620mm, 7.697mm であった。3 次元 (x, y, z) 放電路長さに関しては、空気、窒素ガス、プロパン窒素予混合気の場合において、それぞれ 8.748mm, 7.374mm, 8.872mm であった。Kim らの研究では、放電路長さに関する見積もりはプラグのギャップから最遠点まで矩形の形で長さを計測した。流動の流れ方向を x 軸とし、点火プラグのギャップから最遠点の x の距離を計測し、Kim らによる放電路長さは空気、窒素、プロパン窒素予混合気の場合において、それぞれ 8.952mm, 6.921mm, 9.238mm となった。

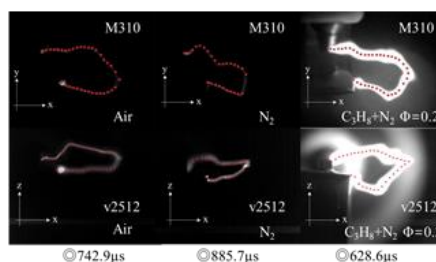


Fig. 3 The measurement of spark discharge path (at 0.2mm interval)

Table 1 は空気、窒素ガス、プロパン窒素予混合気に関して (x, y) , (x, z) , Kim 式のモデリングによる放電路長さが (x, y, z) に対するパーセンテージを示すものである。Table 1 にある 3 次元長さ (x, y, z) を 100% とし、各座標系または Kim 式の見積もりが 3 次元座標計算に対し、誤差があると見られる。座標系 (x, y) と (x, z) は (x, y, z) に対して、単一方向から観察しているため、観察の奥行方向への変化については観察できず、放電路長さの見積もりには誤差が生じると考えられる。また、2 次元計測が放電路の湾曲部分と重なる部分に関して、正確に長さを測定するのは困難であり、Table 1 に示すように 2 次元 (x, y) と (x, z) の長さが 3 次元 (x, y, z) の長さに対し、全体的に短い傾向がある。特に Phantom v2512 (x, z) の視野では、放電路の重なる部分が多く、3 次元 (x, y, z) に対しその誤差が大きく生じることから、Phantom v2512 (x, z) の視野から得られた情報は 3 次元空間を構築する時のみ使えるデータであり、点火モデルの放電路長さを議論する際には長さとして取り扱うことが不適切な情報と判明した。

Table 1 Relative percentage of spark discharge path (Air, Nitrogen, Propane nitrogen premixture $\Phi = 0.2$)

	Air	Nitrogen	Propane nitrogen premixture, $\Phi = 0.2$
(x, y)	94.8 (8.295mm)	91.8 (6.770mm)	92.8 (8.236mm)
(x, z)	88.8 (7.770mm)	76.2 (5.620mm)	86.8 (7.697mm)
(x, y, z)	100 (8.748mm)	100 (7.374mm)	100 (8.872mm)
Kim 式	102.3 (8.952mm)	93.9 (6.921mm)	104.1 (9.238mm)

4. まとめ

Kim らの方法は実際の放電路の変形を考慮しなかったため、本報で取り扱う座標系の計算と参照すると、多少の誤差があり、今後は点火モデルの放電路長さに座標を用いた計算を含めた点火モデルの式を改めて議論する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Jaehong Kim and Richard W. Anderson, Spark Anemometry of Bulk Gas Velocity at the Plug Gas of a Firing Engine, SAE 952459 (1995)