

二方向撮影による流動中における火花放電の放電経路の変形の観察

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

近年では地球温暖化対策としては温室効果ガスである二酸化炭素, メタン, 一酸化二窒素などの排出量を抑制する規制が厳しくなっている. 国連気候行動サミット2019によると, 温室効果ガスを2050年までにゼロ・エミッションを達成するために, 各国に具体的かつ実現的な計画を求めている. このような産業の全面的な改革において, 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. 内燃機関であるガソリンエンジンの熱効率の向上策としてはリーンバーンが有望視されているが, リーンバーンでは燃焼速度が低下するため, 流動を強めて燃焼時間を短縮することが多く, 進角化も伴って強い流動下における安定した点火が求められる. このような観点から, 近年では流動中における火花放電路の変形に対して, 小型風洞実験[1], 渦流式の燃焼室を用いた実験[2], 放電路の直径に関する考察[3]などが行われている. 本研究では, 強い流動中における火花放電の放電経路の変形のモデル化によりガソリンエンジンの熱効率向上に資することを目的として, 直交撮影手法で放電現象を3次元で観察したので, その概要について以下の述べる.

2. 実験装置および方法

本研究では, 高速度カメラ2台をもちいて直交二方向から火花放電を同時に撮影した. 実験装置概略図をFig. 1に示す. 用いた高速度カメラは, Vision Research Inc. のPhantom M310とPhantom v2512である. 2台のカメラを31000fpsで同期させて撮影を行った. 撮影時の解像度は, Phantom M310が320x240, Phantom v2512が1024x768ピクセルであった. 本報では作動流体は空気であり, 燃焼室上流に設置されているバッファータンクから, 急開弁を開くことで流動を生じさせた. 点火プラグ付近の圧力は1.0[MPa], 平均流速は18.5[m/s]で試験期間中, ほぼ一定である. 点火プラグに接続されているイグニッションコイルに4[ms]ほど充電を行うことで, 放電させた. なお放電経路の

撮影と同時に放電中のギャップ間の電流と電圧の計測をテクトロニクス社のTCPA300及びP6015Aを用いて計測している. 用いた点火プラグについては, NGK社製のPSPEプラグである. 点火プラグはプラグのギャップがちょうど直径25mmの流路の中心になるように設置されている. また点火プラグの中心から18mm下流の内壁に圧力孔を設け, そこでの圧力を燃焼室の圧力として計測した.

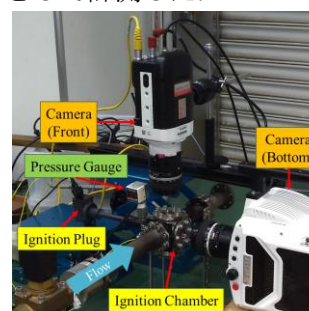


Fig. 1 The experimental apparatus of two orthogonal cameras

3. 実験結果および考察

放電路は流動により大きく引き伸ばされる. この現象を, 直交2方向に配置した2台のカメラから撮影した画像の例をFig. 2に示す. 観察された火花放電の放電現象は放電路が点火プラグの電極に接触した場所が常に大きく変動し, 流動による放電路の変形もある. また放電を維持できなくなるほど放電路長が延伸すると, 放電路が途中で繋ぎ変わったり, 放電路が一度完全に断絶し点火プラグのギャップ間で再度放電するような現象が現れることをFig. 3に示す. このような現象の3次元的な特性を把握するために, まずは座標軸をFig. 4のように定義した. 放電路が電極に接触しているグランド側をL点, その反対側をT点とし, 点火プラグのギャップから放電経路が最も延伸している点をI点として定義し, 座標軸の方向として, x軸に対して放電経路が原点の右側に移動することをプラスとし, 左側に移動することをマイナスとする. y軸に対して点火プラグのギャップの下端にある電極(原点)から上端の電極への方向をプラスとし, 下端にある電極の以

Observation of Deformation of Discharge Path of Spark Discharge in the Flow Field Using Orthogonal Photograph Method

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

下に移動することをマイナスとする。z軸に対して原点より上に移動することをプラスとし、原点より下に移動することをマイナス方向と定義する。これらの座標を算出することを試みた。2台のカメラから認識できる共通の原点を点火プラグのギャップの下端にある電極に定め、その点からx, y, z 方向への変分について調べた。

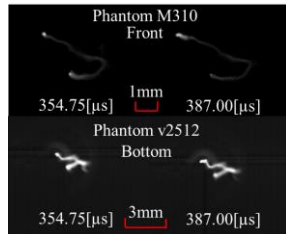


Fig. 2 The deformation of discharge path

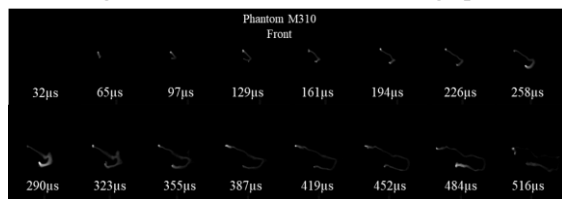


Fig. 3 The behavior of discharge path

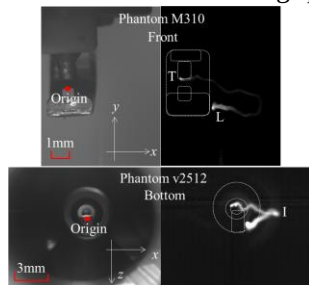


Fig. 4 The definition of coordinate axes

直交撮影によって得られた画像を合わせて参照し、その3次元放電経路の挙動を観察した。放電現象を3次元グラフで表現した図をFig. 5に示す。時間に対してそれぞれのT, L, I点の3次元座標 (x, y, z) の原点からの距離を計算し、方向を与えることで放電現象の現象を解明した。2台の高速カメラを65[μs], 194[μs], 290[μs], 387[μs], 484[μs]で撮った画像を3次元化しFig. 4に示す。Fig. 5にあるT, L, I点を参照すると、T点は時刻65[μs], 194[μs], 290[μs], 387[μs], 484[μs]に対して原点から0.75[mm], 0.98[mm], 0.94[mm], 1.02[mm], 0.82[mm]で移動し、概ね原点から同じ距離で放電していることを示した。時刻が387[μs]と484[μs]の時、T点の座標は各々(-0.48, 0.59, 0.32)と(-0.28, 0.84, 0.50)であり、原点からの距離が、1.02[mm]と0.82[mm]の所に放電し、二つの時刻のT点までの距離の差が0.20[mm]であった。これに対し、L点が時刻65[μs]と484[μs]の時、原点からL点までの距離がそれぞれ0.47[mm], 2.66[mm]であった。L点が

常に移動していることが明らかである。時刻が387[μs]と484[μs]の時、L点の座標は(1.47, -1.25, -1.13)と(1.38, -1.25, -1.90)で原点から2.24[mm]と2.66[mm]の所に放電し、二つの時刻のL点の距離の差が0.42[mm]であった。点火プラグのギャップにある原点から放電経路の最遠点であるI点は流動によって引き伸ばされているが、時刻387[μs]と484[μs]の時のI点の座標は、(4.11, -0.63, -0.63)と(4.89, -1.04, -0.68)であり、原点からの距離は4.21[mm]と5.05[mm]であった。片方のカメラのみで得られた2次元的情報から、時刻387[μs]と484[μs]の最遠点I点の原点から距離を算出すると、4.11[mm]と4.89[mm]であった。仮に3次元平面の画像が基準値とし、2次元で得られたI点の誤差が-5%であることが判明した。

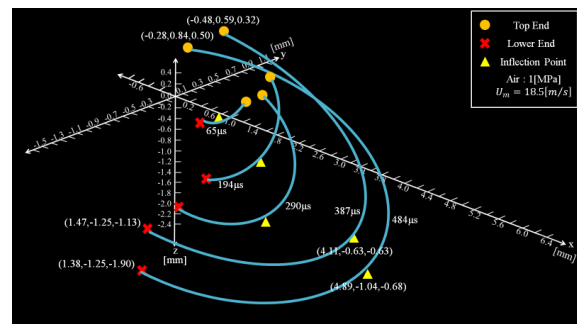


Fig. 5 Three dimensional coordinates of discharge path

4. まとめ

ガソリンエンジンの火花放電を対象に、高流動によって引き伸ばされる放電経路のモデル化を目指して、放電経路を直交2方向から得られた画像を3次元空間で表示し、点火プラグのギャップから最遠点まで距離について調べた。その値を基に1台のカメラから得た情報から算出した値と比べたところ、誤差が約5%であることが判明した。

参考文献

- 1) 今村 幸, 文 鉦太, 岩田 和也, 秋濱 一弘, 小型風洞を用いた高速気流中における火花放電の放電特性に関する研究, 自動車技術会論文集 50(3), 737-742 (2019).
- 2) 佐山 勝悟, 木下 雅夫, 政所良行, 増田 糧, 冬頭 孝之: 高速流条件での放電経路の短縮化現象のモデル化 (第1報) 点火現象の可視化による定量解析, 第28回内燃機関シンポジウム講演番号 94, 94-20178077(2017).
- 3) 傅 建華, 今村 幸, 秋濱 一弘, 山崎 博司, ガソリンエンジン用点火プラグにおける流動により延伸した火花放電の直径に関する考察, 第43回静電気学会全国大会講演番号 12pA-6 (2019)