

## 小型風洞内の高流動場中における 火花放電路の計測に関する研究

日大生産工 (院) ○柴田 亮 傅 建華  
日大生産工 今村 幸 秋濱 一弘 山崎 博司

### 1. まえがき

2015年のパリ協定以降、特に1.5°C目標が叫ばれるようになってから、世界的な排出CO<sub>2</sub>の低減が厳しく求められている。このような環境下で次世代自動車等の内燃機関においては、更なる熱効率の向上、また排ガス規制への適応が求められている。ガソリンエンジンにおいては、熱効率の向上策として、リーンバーンまた更に希薄な予混合気を想定したスーパーリーンバーンが有望視されている。リーンバーンでは層流燃焼速度が低下するため乱流燃焼速度を高めて燃焼期間を短縮する必要があるが、空気過剰率の増加に伴って要求される流動が強くなり、あわせて点火時期が進角することから、安定して点火することが困難になってくる。特に流動がある場合には、放電した放電路が流動によって引き伸ばされ、場合によっては放電が維持できなくなり、放電路が短絡し、再放電する現象が観察されている。流動による放電路の変形は放電路の抵抗値の増加をもたらす、電流、電流プロファイルが変化する他、放電路の変形により、点火位置や初期火炎の拳動に影響を及ぼすことが考えられる。ガソリンエンジンにおける筒内の燃焼をモデル化する上で、このような放電路の伸長と再放電を含めた点火のモデリングが必要であり、そのモデル化を目指して、様々な研究が行われてきている。この中で放電路の電気特性を考慮するにあたり、放電路の長さを考慮しているものがあり、一定の成功を収めている。本報告では、より詳細に電気特性を表現できるパラメータの検索を目指して、放電路の径を含んだ形状計測の検討を行ったので、以下にその概要を示す。

### 2. 実験方法

本報告では、露光時間を変化させた実験を実施して放電路の径(太さ)の把握を試みた。高

速気流にて放電を生じさせ、その様子を高速度カメラとして、Phantom VEO1310を用いて観察を行った。他に使用したカメラとのスペックの比較を表Table 1に示す。このようにBinnedのモードを用いることで他に使用したカメラに対して、感度よく撮影可能であり、露光時間を変化させて撮影を実施することが可能となった。実験は空気気流で行い、主流速14.2m/s、圧力0.43~0.85MPaである。撮影条件は40000fps、解像度680×480pixelで、露光時間を24, 10, 4  $\mu$ sと3通りに変化させて実験を実施した。なお放電はコイル1つで実施している。

Table 1 Specs of High-Speed Cameras in this study

Spec \ Camera	Phantom MiroM310	Phantom v2512	Phantom VEO1310
Maximum Resolution	1280 x 800	1280 x 800	1280 x 960
Maximum Frame Rate at Maximum Resolution	3,260 fps	25,700 fps	10,860fps
Sensor Size	25.6mm x 16.0mm	35.8mm x 22.4mm	23mm x 17.2 mm
Minimum Exposure	1 $\mu$ s	1 $\mu$ s (Standard)	1 $\mu$ s (Standard)
ISO (12232 STD)	13,000 Mono	100,000 (Mono)	80,000 (Mono)
Tungsten			125,000 (Binned)

### 3. 実験結果および考察

Fig. 1 には、異なる露光時間により撮影された放電画像を示す。各々が異なる風試であるが、画像は放電開始後125  $\mu$ sのものである。このように露光時間を変化させて放電路が観察され、変形の様子も同様な傾向を示していることがわかる。以下比較のためにFig. 2に示すように気流方向にx軸を定義する。またFig. 2に示すように放電路が電極から最も離れた部分に対して、x方向の放電路太さをTipとして定義する。また放電路の先端と放電路が電極に接触している部分の中点を通るように、y方向の放電路太さを各々Ground side, Cathode sideとして定義する。

## Study on the Diameter Estimation of Spark Discharge Channel in the Flow Field Using Small Wind Tunnel

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

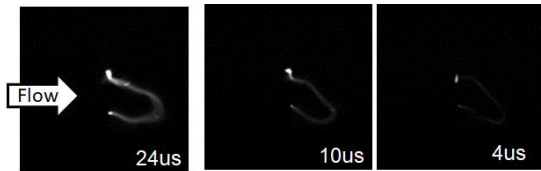


Fig. 1 Discharge images taken with different exposure times ( $t=125\mu s$ )

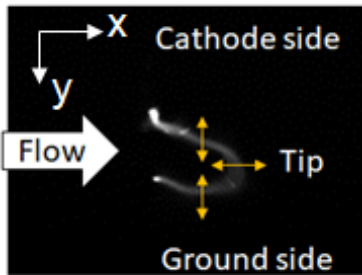


Fig. 2 Definition of xy-axis and discharge path thickness indication locations

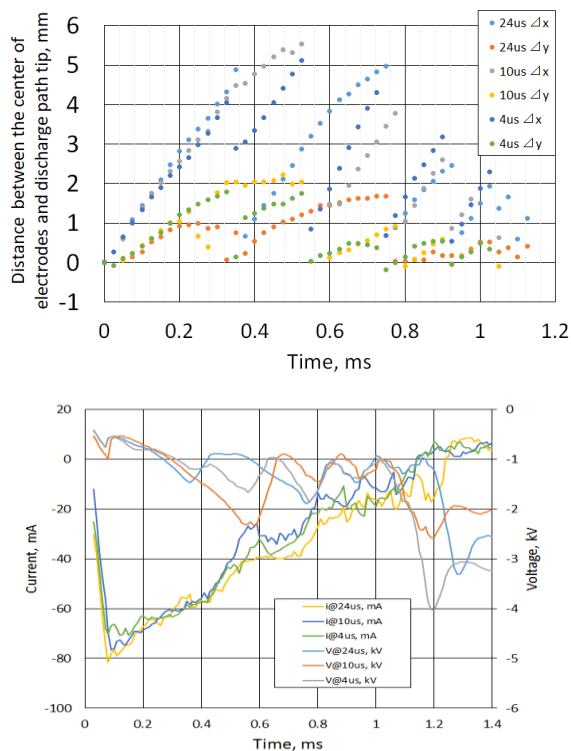


Fig. 3 Time history of distance between electrodes and the tip of the discharge path at different exposure times (upper figure) and time history of current and voltage (bottom figure)

Fig. 3には露光時間が異なる場合における放電路先端の移動距離と電流、電圧の時間履歴を示す。この図に示されるように、放電開始から0.2ms程度くらいまでは、異なる風試ではあるが、電流、電圧のプロファイル、放電路先端に移動位置に大きな差がないことがわかる。このため放電開始から0.2msまでを中心に露光時間を変えた実験の比較を行った。またFig. 3の上図から放電路先端の移動速度を見積もってみると、図における傾きが移動速度に相当するから、x方向(気流方向)では13.3m/s、y方向では5.0m/s程度と見積もることができる。この速度で常に放電路が動いているとすると、露光時間が $24\mu s$ では、x方向に $13.3\text{m/s} \times 24\mu s = 0.32\text{mm}$ 、y方向に $5.0\text{m/s} \times 24\mu s = 0.12\text{mm}$ 、動いていることになる。Fig. 4は露光時間が $24\mu s$ のときの放電路太さの時間履歴である。放電路太さは撮影された放電画像から目視にて読み取った。図には露光時間中、Fig. 3から読み取れる速度で放電路が移動しているとして、その移動距離を合わせて示してある。このようにx方向に移動していると思われるtip、y方向に移動していると思われるCathode side、Ground sideが各々が、その方向の移動距離とほぼ同一であり、露光時間が $24\mu s$ のときには、その露光時間中の放電路の移動の影響を強く受けているものと予測される。

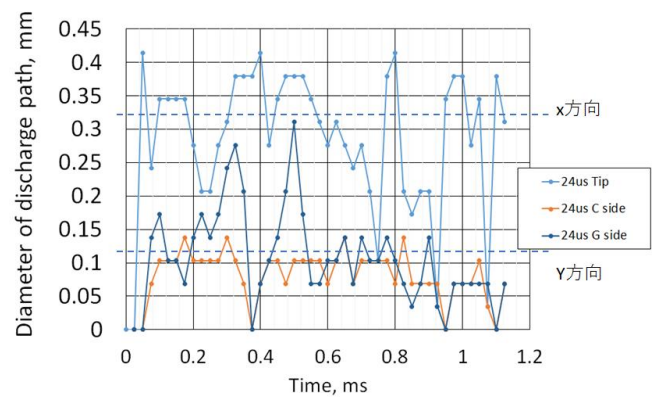


Fig. 4 Time history of discharge path thickness (tip, Cathode side, Ground Side) (exposure time  $24\mu s$ )

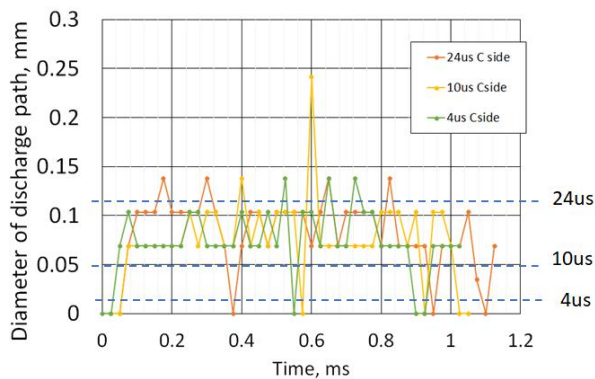


Fig. 5 Time history of discharge path thickness on the Cathode side

Fig. 5はCathode side の放電路の太さの時間履歴を示しおり、異なる露光時間について示されている。あわせてその露光時間中に移動すると思われる距離も点線で示してある。この図から、Cathode side の露光時間が $10\mu\text{s}$ 、 $4\mu\text{s}$ については、露光時間中に移動すると予測される距離に比べて、観察される放電路太さ十分に太く、放電路の太さをとらえることができているものと推察される。

もう少し考察深めるために、放電路の太さ方向に輝度分布を示したものがFig. 6である。このように輝度分布して表すと、例えば放電路太さに対して半値幅を考えると、そこに放電路太さの露光時間の依存性を確認することができる。輝度分布をガウス分布と近似して、露光時間期間中、Fig. 3で観察された速度(y方向に $5.0\text{m/s}$ )でその分布が移動していると仮定し、得られた輝度分布をもとに露光時間 $1\mu\text{s}$ (単位時間)の輝度分布を予測した。そのフィッティングの様子がFig. 7であり、この過程に基づき、単位時間あたりの輝度分布の取得を行った。この半値幅から、放電路太さの電流依存性を算出したが、電流への強い依存性は見られなかった。

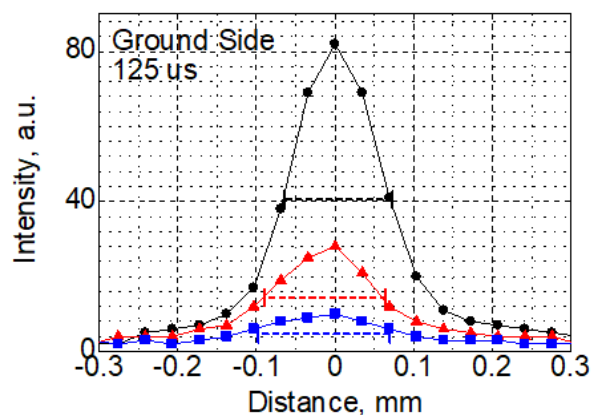
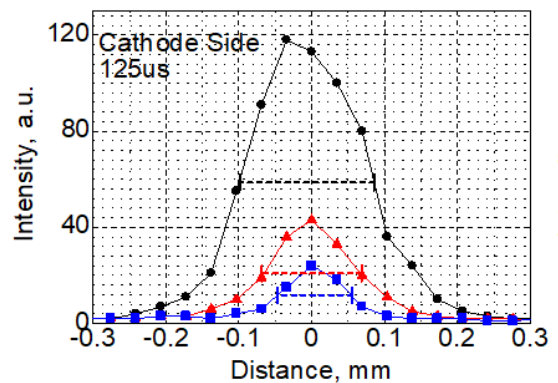


Fig. 6 Luminance distribution in the vertical direction of the discharge path with different exposure times

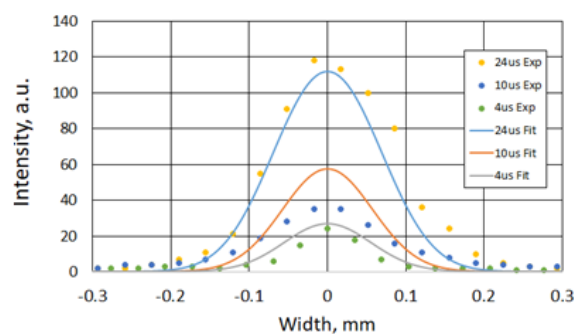


Fig. 7 Luminance distribution in the vertical direction of the discharge path according to the exposure time

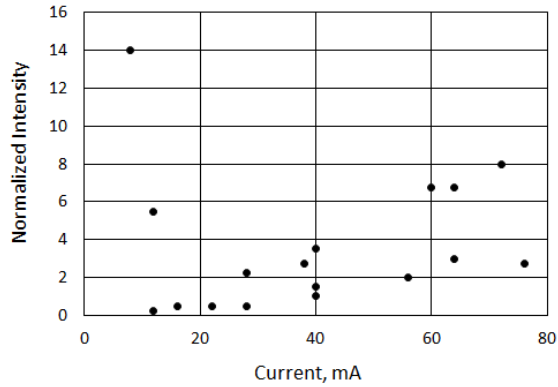


Fig. 8 Current dependence of normalized discharge path center brightness

代替えとして、正規化した輝度分布の最大値を電流の関数として表したものがFig. 8である。このように、この観測では放電路の太さよりも、放電路の輝度と電流値との相関がみられると結果となった。以前に得られた結果とは、コイルの条件などが異なり直接の比較が難しいものの、放電路輝度についても考慮する必要があることが明らかとなった。これはプラズマ温度に依存していることが予測されるため、今後、その温度の計測の試みが必要であることが示唆された。

#### 4. まとめ

火花放電における電気特性を表現する特性として、放電路太さに着目して検討を行った。露光時間を変化させることで放電路太さの見積もりを実施したが、露光時間中に放電路が移動する効果を考慮すると、放電路太さに顕著な差異は見受けられなかった。このため、今後は放電路の輝度など他の特性を検討する必要があることが明らかとなった。