

レーザーブレイクダウン支援火花放電点火 (LBALDI) に関する研究

- 高速度可視化による気流中の長尺放電現象観察 -

日大生産工 岩田 和也 今村 宰 日大生産工(院) ○池本 崇記 坂本 隼
大熊 康典 山崎 博司 秋濱 一弘
産総研 古谷 博秀 高橋 栄一

1 緒言

近年、自動車を始めとする内燃機関では化石燃料の有効利用、地球温暖化、大気汚染防止の観点から燃費向上と環境負荷低減が必須となって来ている。その対策として、希薄燃焼、高過給技術、高EGR技術筒内流動場の活用などの研究が行われている。それらの一つである希薄可燃限界の向上により、熱効率の向上やNO_xなどの有害排ガスの低減が期待される。しかし、希薄燃焼では火炎伝播が困難なことや点火不良の課題があり、これらを改善するためには点火の強化が必要となる。また、新点火法とされるレーザー点火は電極に対する熱損失が無い希薄予混合気への点火が可能であるが、局所的な点状の点火であるため希薄点火限界は強化された火花点火に及ばない状況であった¹⁾。

一方、レーザーによる誘雷実験やレーザートリガースパークギャップスイッチなどのようにレーザーによって電離チャンネルを生成することで長距離放電が可能であることは知られており²⁾、点火装置への応用が検討されている³⁾。そこで本研究では、レーザーにより電極間にブレイクダウンを生成すると共に高電圧を印加することで長尺放電を可能にした。これは従来では不可能であった数十ミリオーダーの放電を可能にし、この手法による新しい体積的な点火技術としてレーザーブレイクダウン支援火花放電点火法 (Laser breakdown-assisted long-distance discharge ignition: LBALDI) を提案し研究を行ってきた。

LBALDIは長尺かつ体積的な放電が可能であるため、エンジン実機内にある電極や壁面による冷却損失の低減や希薄燃焼の向上が可能になることが期待される。これまでに同手法による希薄点火限界の拡大などについて報告した。

実際のエンジン筒内での点火を想定するとガス流動による影響を考慮する必要があるため、前報では気流中のLBALDI及び火花放電の放電確率の電極間距離依存性を把握した⁴⁾。本報では、電極が設置されたアクリル製流路に最高流速~38m/sの空気流れを生成し、LBALDI及び火花放電の可視化像と電圧・電流波形を取得した。

2 実験装置および方法

本実験では、気流中の放電時における可視化像と電圧・電流波形を取得し、気流中の放電挙動を調べた。図1にアクリル製流路 (10 mm × 40 mm 矩形断面) を用いた実験装置概略図を示す。電極 (Φ2.5) は流れに対して垂直対向に配置した。流速は熱線流速計 (アネモマスターModel6113) を用いて流路出口にて計測したものをを用いた。

火花放電で用いた放電用装置は、イグニッションコイルを3つ用いて並列に接続し火花放電を起こした。なお、電極間隔は2, 5mm, イグナイターの最大印加電圧は約8~16kVである。

LBALDI用のNd:YAGレーザー (波長532nm, パルス幅7ns) を凸レンズ (焦点距離f=150mm) により電極間にレーザー光を集光し、ブレイクダウンを形成させた。また、レーザーと放電用電圧印加の時間差を Δt と定義し、図2にそのタイミングチャートを示す。電圧の印加開始時刻を基準の0 sと定義した。本実験では $\Delta t =$ およそ13~50 μ s (容量成分放電期間中にレーザー照射時刻を合わせた条件)、-50, 0 μ sを用いた。なお、電極間隔はレーザーブレイクダウンプラズマが電極に当たらない距離である10, 15mmとし、レーザーエネルギーは80mJとした。

放電の判断はオシロスコープによる電流波形の発生の有無及び可視化像により判断した。

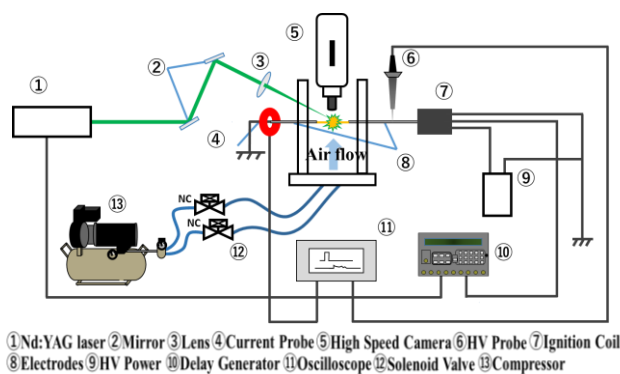


図1 実験装置概略図

Laser breakdown-assisted long-distance discharge ignition (LBALDI)
- Observation of long-distance discharge phenomena in air flow by high-speed
visualization -

Takaki IKEMOTO, Shun SAKAMOTO,
Kazuya IWATA, Osamu IMAMURA, Yasunori OHKUMA, Hiroshi YAMASAKI,
Hirohide FURUTANI, Eiichi TAKAHASHI and Kazuhiro AKIHAMA

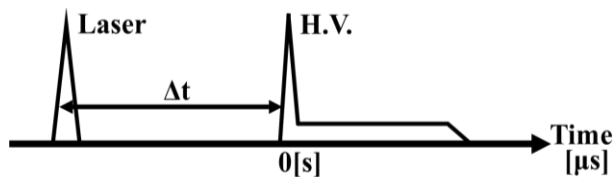


図2 レーザー照射と高電圧印加タイミング

3 実験結果および考察

火花放電およびLBALDIの気流中における放電時の可視化像と電圧・電流波形を取得した。図3に流速38m/s、電極間隔2mmの火花放電の電圧・電流波形および可視化された放電像を示しており、縦軸は電圧[kV]・電流[mA]、また撮像速度は25000fpsとした。撮像されたゲート時間0.144~0.184ms、および0.264~0.304msの画像において、リストライク（再放電）が見られる。このとき電圧は急激に低下すると同時に、電流がオーバースケールする著しい増大が見られた。このように流速38m/sにおけるこの火花放電においてはリストライクが2回生じていることが確認できた。また、放電形成からリストライクまでの時間を放電維持時間と定義すると、この火花放電では0.131msとなった。

一方、図4に流速38m/s、電極間隔15mmのLBALDI ($\Delta t = 18\mu s$) の電圧・電流波形および可視化された放電像を示しており、縦軸は電圧[kV]・電流[mA]、また撮像速度は50000fpsとした。可視化像よりLBALDIでは放電路はリストライクを形成せず、流れに乗って大きく伸長していることがわかる。また、このときの放電維持時間は図3の火花放電に比べて倍近い値となる

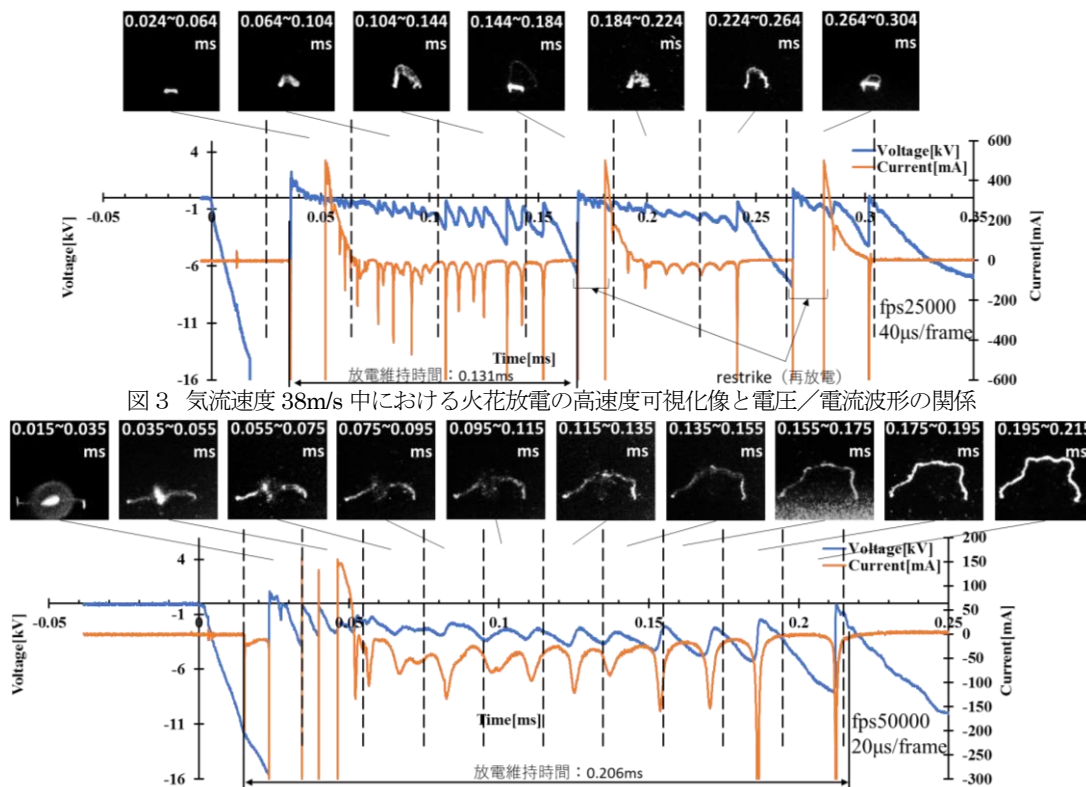


図3 気流速度 38m/s 中における火花放電の高速度可視化像と電圧／電流波形の関係

図4 気流速度 38m/s 中における LBALDI ($\Delta t = 18\mu s$) の高速度可視化像と電圧／電流波形の関係

0.206msとなった。

以上のことから、リストライクを起こす要因の一つに流れにより伸長された放電路の曲率の影響があると考えられる。つまり、LBALDIにより放電可能距離を長くすることによって放電路は時間的に緩やかな曲率を有したまま伸張されるようになる。このことによりリストライクを起こし難い放電の形成が可能になったと考えられる。また、リストライクを起こし難い放電であるほど、流動下にある同一の混合気に対して継続してエネルギーを供給することが可能であるため、LBALDIは高流動下でも点火性能が高くなると期待される。

4 参考文献

- 1) Briggs, T., Alger, T., and Mangold, B., "Advanced Ignition Systems Evaluations for High-Dilution SI Engines", SAE Int. J. Engines Vol. 7, No.4, (2014) p.1802-1807
- 2) Dougal, R.A. and Williams, P.F., "Fundamental processes in the laser-triggered electrical breakdown of gases: Unconventional geometries", Journal of Applied Physics, Vol. 60, No. 12 (1986) p. 4240-4247
- 3) "レーザー誘起型火花放電点火装置" 特開 2009-97427 (2009)
- 4) 池本崇記, 今村宰, 大熊康典, 山崎博司, 古谷博秀, 高橋栄一, 秋濱一弘, "レーザーブレイクダウン支援火花放電点火 (LBALDI) に関する研究 - 流動場における放電特性 -" 第54回燃焼シンポジウム講演論文集, (2016) p.221