

## 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 -

日大生産工(院) ○池本 崇記 日大生産工 今村 幸 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や地球温暖化、大気汚染の観点から燃費向上と環境負荷低減は必須となって来ている。その対策として、希薄可燃限界の向上、高過給技術や高EGR技術の向上、筒内流動場の活用などがある。その対策のひとつである希薄可燃限界の向上により、熱効率の向上やNO<sub>x</sub>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になってくる。従来の取り組みとして、新点火法のひとつであるレーザー一点火による多点点火を用いたとしても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。従って、局所的な点状点火ではない体積的な点火を実現する方法が必要と考えられる。

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、点火装置への応用が検討されている<sup>1)</sup>。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、開発をめざしている<sup>2)</sup>。

LBALDIは長尺かつ体積的な放電・点火が可能であるため、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と考えている。

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明らかにする必要がある。そこで本報では、流動場で放電実験を行える対向電極を取り付けた矩形断面アクリル製流路を用いて、LBALDI及び火花放電の流動場における放電確率の電極間距離依存性を明らかにした。

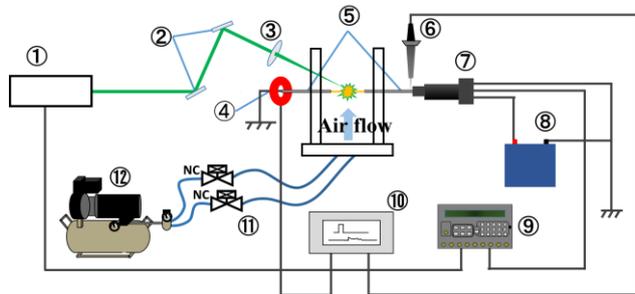
## 2 実験装置および方法

本実験では、放電確率の流速依存性を調べた。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 (Φ1) は流れに対して垂直方向に対向させて配置した。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。

火花放電で用いた放電装置は、一般に使用されているイグナイター (DENSO製90919-02244) とバッテリーを電源とし、火花放電を発生させた。電極間距離に関して、実験始めは一般の点火プラグを想定し電極間を2mmとし、その後放電しなくなるまで電極間距離を伸ばしていった。なお、イグナイターの最大印加電圧は約8~18kV、最大放電エネルギーは40mJ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、ブレイクダウンを生成させた。また、レーザーと放電用電圧印加の時間差を $\Delta t$ と定義し、図2にそのタイミングチャートを示す。本実験では $\Delta t = -50, 0, 11\mu s$ を用いた。電極間距離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10mmから始め、その後放電しなくなるまで電極間距離を伸ばしていった。なお、レーザーエネルギーは90mJとした。

放電の有無はオシロスコープによる電流波形から判断した。



①Nd:YAG laser ②Mirror ③Lens ④Current Probe ⑤Spark Plug ⑥HV Probe ⑦Igniter  
 ⑧Battery ⑨Delay Generator ⑩Oscilloscope ⑪Solenoid Valve ⑫Compressor

図1 流動場放電特性実験図

Laser Breakdown Assisted Long Discharge Ignition (LBALDI)  
 - Discharge characteristics in flow field -

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

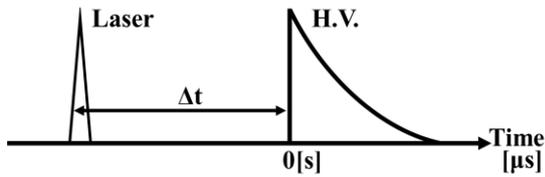


図2 レーザー照射と高電圧印加タイミング

### 3 実験結果および考察

従来の火花放電およびLBALDIに対して、流動場における放電確率の電極間距離依存性を調べた。図3は流動場における従来の火花放電の放電確率を示しており、縦軸は放電確率、横軸は電極間距離である。図中の○, □, △はそれぞれ流速0, 9, 38m/sの結果を示している。また、放電エネルギーは40mJ一定とした。図3より、電極間距離が10mmまでは流速の影響は受けず放電確率が100%であることがわかる。

図4~6はそれぞれ $\Delta t = -50, 0, 11\mu s$ において流速を変えた場合のLBALDIの放電確率を示す。なおレーザーエネルギーは90mJ, 放電エネルギーは40mJである。

図3の従来の火花放電と比較すると、電極間距離15mmにおいても放電可能で放電距離の拡大が確認できた(LBALDIの $\Delta t = -50\mu s$ , 流速38m/sの条件を除く)。

図4の $\Delta t = -50\mu s$ , 図5の $\Delta t = 0\mu s$ の条件では電極間距離15mm以下で安定した放電を形成するが、図6の $\Delta t = 11\mu s$ の条件では電極間距離18mmでも安定した放電を形成できることがわかった。さらに、図4~6と比較すると $\Delta t = -50, 0, 11\mu s$ の順に流速の影響を受けにくくなり、放電可能な電極間距離も伸びていることがわかる。このことから、 $\Delta t = -50, 0, 11\mu s$ の順に長尺かつ流速の影響を受けにくい放電を形成することが可能であることが確認でき、流動に対して最適な $\Delta t$  (本実験では $11\mu s$ )の存在が明らかになった。また、流速に対する放電確率の変化を考慮すると、 $\Delta t = -50\mu s$ と $11\mu s$ では放電形成機構が異なることが推察され、今後可視化実験により流動場における放電の様子を観察し、放電形成機構の解明を行いたいと考える。

### 4 結言

火花放電とLBALDIの手法を用いて、流速0, 9, 38m/sの流動場における放電特性として放電確率の電極間距離依存性を得られ、以下の知見を得た。

- (1) 本実験系では従来の火花放電の放電可能な電極間距離は10 mmであった。
- (2) LBALDIの放電可能な電極間距離は15~18 mmであり、流動場においても従来の火花放電に比べて放電距離の拡大が可能であることがわかった。
- (3) LBALDIにおいて $\Delta t = -50, 0, 11\mu s$ の順に長尺かつ流速の影響を受けにくい放電を形成可能であることが確認でき、最適な $\Delta t$ の存在が明らかになった。

### 5 参考文献

- 1) 「レーザー誘起型火花放電点火装置」, 特開2009-97427, (2009).
- 2) Fukumi, Y., Imamura, O., Akihama, K., Takahashi, E. and Furutani, H., "Laser breakdown-assisted long-distance discharge ignition", SAE Paper 01-1897, (2015).

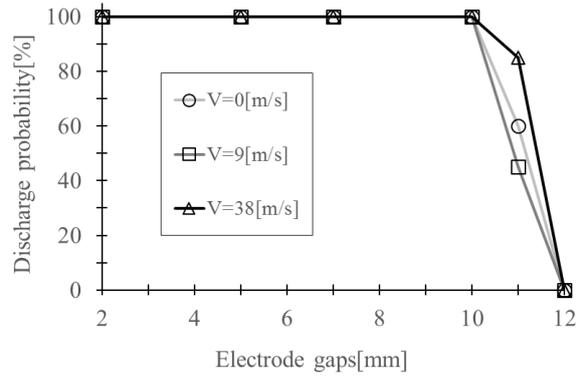


図3 火花放電の放電確率と電極間隙の関係

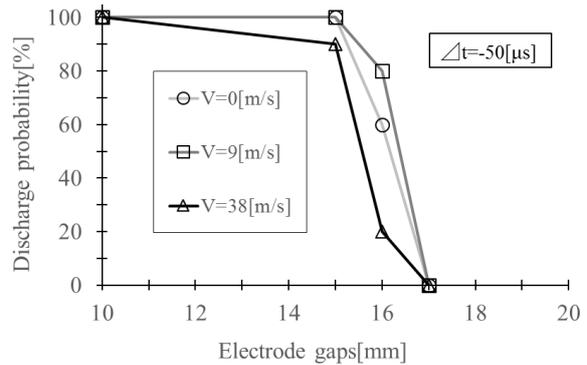


図4 LBALDI( $\Delta t = -50$ )の放電確率と電極間隙の関係

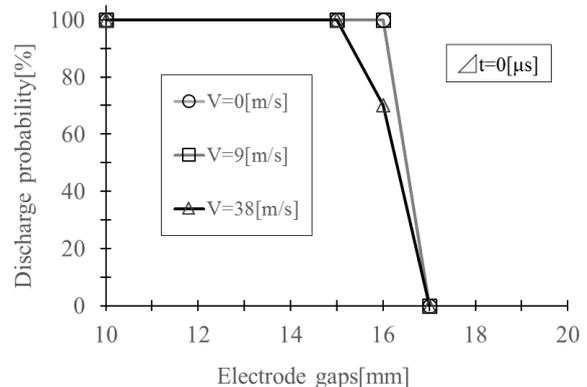


図5 LBALDI( $\Delta t = 0$ )の放電確率と電極間隙の関係

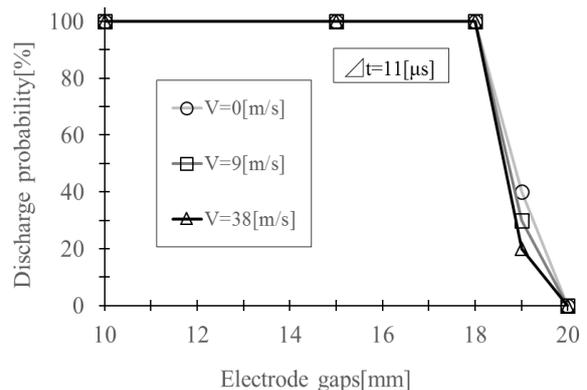


図6 LBALDI( $\Delta t = 11$ )の放電確率と電極間隙の関係