

レーザーブレイクダウン支援火花放電点火(LBALDI)の放電長が 燃焼特性に及ぼす影響

日大生産工(院) ○坂本 隼 池本 崇記
日大生産工 岩田 和也 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、希薄燃焼技術の向上、高過給技術や燃焼室内に排ガスを再循環させる高EGR技術の向上、燃焼室内にスワール流やタンブル流を生成し燃焼を促進させる筒内流動場の活用などが挙げられる。その対策のひとつである希薄燃焼技術の向上により、熱効率の向上やNO_xなどの有害な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速度が低下することや、従来の点火方法である火花点火方式を用いた場合、点火不良が生じる懸念があり、これらを改善するためには点火の強化が必要になる。従来の取り組みとして、放電エネルギーの強化やレーザーによる点火など様々な点火方式の研究が行われてきた。レーザー点火は、電極が不要であるため、初期火炎核の成長時に電極への熱損失がない利点を有するが、ブレイクダウンポイントからの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[1,2]。

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[3]。しかし、このレーザーブレイクダウンを用いて形成した長尺放電を希薄混合気の点火に用いた詳細な研究は行われていない。

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メートル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、開発を目指している。

2 実験装置および方法

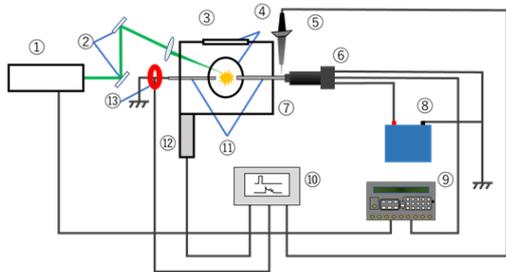
本報では、LBALDIの特徴である長尺放電の形成を生かし、当量比毎に圧力履歴の電極間距離依存性を取得することによって、燃焼期間への影響を調べた。図1に定容容器を用いた実験装置概略図を示す。電極 (直径3mm) を対向させて配置した。Nd:YAGレーザーパルス (波長532nm, パルス幅7ns) を凸レンズ (焦点距離 $f=100\text{mm}$) により電極間に集光し、レーザーブレイクダウンプラズマを形成した。これまでは、レーザーを電極の中央に垂直方向から入射していたが、本報告ではレーザーを図1に示すように電極の斜め方向から入射させて、プラズマの長軸方向を電極に平行とすることで放電可能距離の拡大を図るとともに、電極形状はレーザー光が電極に当たらないように先端を尖らせた。燃料にはメタンを用い、定容容器内の充填圧力は、0.1MPaとした。

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ニッションコイル (DENSO製 90919-02244) と自動車用バッテリーを電源とし、火花放電を起こした。LBALDIの電極間距離は、レーザーが電極に当たらない最小の電極間距離8mmから本実験系の最大放電距離となる15mmとした。LBALDI用のレーザー入射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。本研究では、先行研究[4]にて最も長尺放電が可能となった点火コイルの容量成分の高電圧タイミングにレーザー入射時刻を合わせ、 $\Delta t = 11\mu\text{s}$ とした。放電エネルギーは、オシロスコープにより取得した電流波形と電圧波形から算出した。

Effect of discharge lengths on combustion characteristic
by Laser Breakdown Assisted Long-distance Discharge Ignition(LBALDI)
Shun SAKAMOTO, Takaki IKEMOTO, Kazuya IWATA, Osamu IMAMURA,
Yasunori OHKUMA, Hiroshi YAMASAKI, Hirohide FURUTANI,
Eiichi TAKAHASHI, and Kazuhiro AKIHAMA

点火の判断は、圧力履歴の変化から点火したと判断した。

レーザーのエネルギーは定容容器を真空でレーザーブレイクダウンが形成されない状態での測定とガス充填時の透過エネルギーを比較して算出したレーザーのプラズマによる吸収エネルギーである。レーザーのエネルギーを17mJ、一方、放電エネルギーを44mJとした。



①Nd:YAG laser ②Mirror ③Lens ④Window ⑤HV Probe ⑥Igniter ⑦Vessel ⑧Battery
⑨Delay Generator ⑩Oscilloscope ⑪Spark Plug ⑫Strain Gauge ⑬Current Probe

図1 燃焼特性実験図

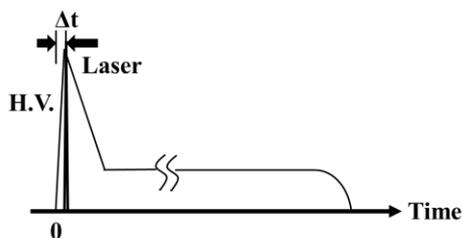


図2 レーザー入射と高電圧印加タイミング

3 実験結果および考察

図3に当量比 $\phi=0.55$ 、図4に当量比 $\phi=0.50$ における電極間距離8mmおよび15mmの圧力履歴の比較を示す。この圧力履歴は4~7回の試行の平均である。なお、高電圧を時間軸の0秒で印加した。これら図からわかるように、本実験で最も希薄な条件である図4の $\phi=0.50$ においては電極間距離 $D=15\text{mm}$ の圧力履歴(赤の実線)に対して、 $D=8\text{mm}$ の圧力履歴(青の破線)は明らかに立ち上りも遅く、到達圧も低くなっていることがわかる。図3に示した当量比が $\phi=0.55$ においては、電極間距離8mmと15mmで圧力履歴においてほとんど差が見られなくなるという結果を得た。

電極間距離が長いことは初期火炎核の体積の拡大につながると考えられる。LBALDIは、レーザーブレイクダウンを電極間に形成し、その予備電離プラズマを種として電極間に長尺な放電の形成を行う。このため点火に関しては、1次元線状放電路からの火炎核成長に加え、レーザーブレイクダウンプラズマが誘起する流動が点火の影響を及ぼすと考えられる。

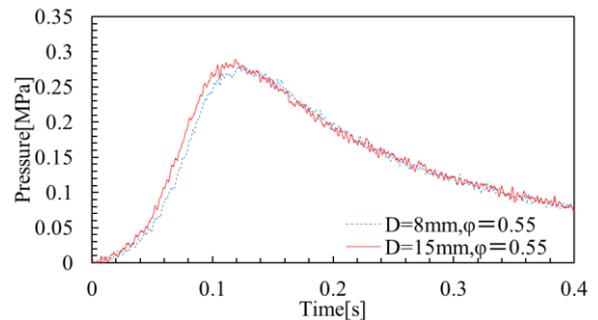


図3 当量比 $\phi=0.55$ における圧力履歴

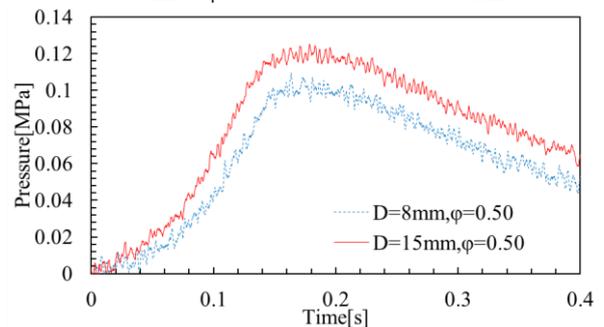


図4 当量比 $\phi=0.50$ における圧力履歴

4 結言

今回、LBALDIの実験配置を用いて、最大放電可能距離15mmおよび最小電極間距離8mmを用いた点火実験を行った。圧力履歴の比較を希薄な当量比 $\phi=0.55, 0.50$ において行い、その結果、以下の知見を得ることができた。

- (1) LBALDIの放電路長の燃焼に対する影響は当量比に依存し、予混合気の希薄側で顕著となることが分かった。
- (2) LBALDIによる点火において放電路長を伸ばすことは希薄化が進むにつれて燃焼期間を短縮することができることが分かった。

5 参考文献

- 1) Briggs, T., Alger, T., and Mangold, B., "Advanced Ignition Systems Evaluations for High-Dilution SI Engines" 7(4):201413, doi:10.4271/2014271/201413-01-2625.
- 2) Zhang, A., Cung, K., Lee, S.-Y., Naber, J., Huberts, G., Czekala, M., and Qu, Q., "The Impact of Spark Discharge Pattern on Flame Initiation in a Turbulent Lean and Dilute Mixture in a Pressurized Combustion Vessel," SAE Tech. Pap. 201312-01-1627, 201312, doi:10.4271/201312-01-1627
- 3) 「レーザー誘起型火花放電点火装置」特開 2009-97427, (2009).