

## ストリーマ放電点火による初期火炎の可視化 Visualization of Initial Flame by a Streamer Discharge Ignition

○伊藤直也<sup>1</sup>, 島田貴司<sup>1</sup>, 山田将徳<sup>1</sup>, 佐原純輝<sup>1</sup>, 飯島晃良<sup>2</sup>, 浅井朋彦<sup>3</sup>, 田辺光昭<sup>4</sup>, 吉田幸司<sup>2</sup>, 庄司秀夫<sup>2</sup>  
\*Naoya Ito<sup>1</sup>, Shimada Takashi<sup>1</sup>, Masanori Yamada<sup>1</sup>, Junki Sahara<sup>1</sup>  
Akira Iijima<sup>2</sup>, Tomohiko Asai<sup>3</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>4</sup>, Koji Yoshida<sup>2</sup>, Hideo Shoji<sup>2</sup>

**Abstract:** This study investigated the effect of streamer discharge on autoignition and combustion in a Spark Ignition (SI) engine. A continuous streamer discharge was generated in the spark plug of the combustion chamber of a 2-stroke optically accessible engine that allowed visualization of the entire bore area. The experimental results showed that the flame formation and propagation was initiated and grew from the vicinity of the electrode under the application of a streamer discharge. Additionally, the results indicated that raising discharge voltage increased the light emission intensity at 306.4 nm corresponding to the OH radical and advanced onset of initial flame.

### 1. 諸元

近年, 自動用ガソリンエンジンの燃費低減がより一層求められ, 高効率化の有力な手段として, 大量 EGR・超希薄燃焼が注目されている. しかしながら, 初期火炎核吹き飛びによる燃焼変動率の増大, 安定点火が困難等の課題が存在する. 課題解決のために新たな点火方式として非平衡プラズマ<sup>[1]</sup>の利用が検討されており<sup>[2]</sup>, 非平衡プラズマ中の高温電子が空気中の N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 又は燃料と衝突反応することで, 活性化学種 (イオン・ラジカル) が生成し, 連鎖反応が促進され, 体積的な着火等の燃焼促進の効果が期待できる. 本研究では, ストリーマ放電 (非平衡プラズマ) が点火, 燃焼に及ぼす影響を筒内可視化撮影・分光学的手法を用いて調査し, 既存の点火方式である火花放電 (熱平衡プラズマ) との比較を行った結果を述べる. この際, 出力電圧が点火, 燃焼に及ぼす影響を併せて検討した.

### 2. 実験装置及び方法

表 1 に本研究に用いたエンジン諸元および実験条件を示す. 供試機関にはシリンダヘッド上部に石英観測窓を設けた 2 ストローク単気筒エンジンを使用し,

**Table 1.** Specifications of test engine and test condition

2-Stroke Air Cooled Single Cylinder Gasoline Engine	
Scavenging Type	Schnürle
Bore × Stroke	72 mm × 60 mm
Displacement	244 cc
Effective Compression Ratio	8.0 : 1
Engine Speed	1200 rpm
Equivalence ratio	0.75
Test Fuel	PRF (90 RON)
Streamer Discharge Voltage	4 kV, 6 kV, 10 kV
Frame Rate	10000 fps (0.720 deg./frame)

全ボア領域においてハイスピードカメラでの撮影を行った. 筒内圧力はシリンダヘッド側部に取り付けた水晶圧力変換器により測定した. また, 主燃焼時における発光挙動を観測するために分光学的手法である発光法を用いた. ボア方向の筒内発光を採取し, 光ファイバにより分光器へと導入し, OH ラジカルに相当する波長である 306.4 nm に分光した後, 光電子増倍管により透過光強度として検出した. 本研究では, ストリーマ放電 (非平衡プラズマ) 状態を形成するために, インバータ回路で構成されるパルス電源を用いて交流・高電圧を出力した. 放電時の出力電圧はパルス電源に印加する直流電圧を変更し, 任意の電圧に設定した (出力電圧 V<sub>out</sub> = 4 kV, 6 kV, 10 kV). 周波数は約 20 kHz である. 本研究では, 接地電極を取り除いた点火プラグを用いて, 連続的にストリーマ放電を発生させた. 図 1 にストリーマ放電の様子を示す.



**Figure 1.** Photograph of spark plug during streamer discharge

### 3. 実験結果及び考察

燃料に PRF (90 RON) を用い, 当量比  $\phi = 0.75$ , 有効圧縮比 8:1, 掃気温度 T<sub>SC</sub> = 335 K 一定条件の下, 火花放電, ストリーマ放電 (V<sub>out</sub> = 4 kV, 6 kV, 10 kV) を発生させた際の筒内圧力, 306.4 nm の発光強度を図 2 に示す. 火花放電 (点火時期 = -10 deg.) は, 膨張行程

中に緩やかな圧力上昇が確認できるが、ストリーマ放電では、 $V_{out}=4\text{ kV}$  を除き、筒内圧力最大値 ( $P_{max}$ ) が高まり、かつ  $306.4\text{ nm}$  の発光強度が明確に確認できる。さらに、出力電圧が高いほど、 $P_{max}$  及び発光強度のピーク値は共に大きくなるのが分かる。

以上の結果を踏まえ、筒内可視化結果から点火及び燃焼特性の相違を調査した。図 3 に、図 2 の各圧力履歴に対応する可視化画像を示す。火花放電は、放電部から初期火炎の発光が観察でき (Region A)、またその後の火炎伝播速度は非常に遅い。一方、ストリーマ放電 ( $V_{out}=6\text{ kV}$ ) では放電部近傍において初期火炎が確認でき (Region B)、また、火花放電と比較して、急速に火炎が伝播している様子が観察できる。さらに、 $V_{out}=10\text{ kV}$  では、最初に火炎が観察される時期が早期化し、火炎伝播と連続していない独立した火炎が観察できる (矢印)。即ち、詳細なメカニズムは解明できないが、ストリーマ放電は火花放電と比較し、初期化炎形成メカニズムが異なることを示唆している。

4. 結論

1. ストリーマ放電では独立した初期火炎が発現する様子が観察され、初期火炎形成メカニズムが異なる可能性を示した。

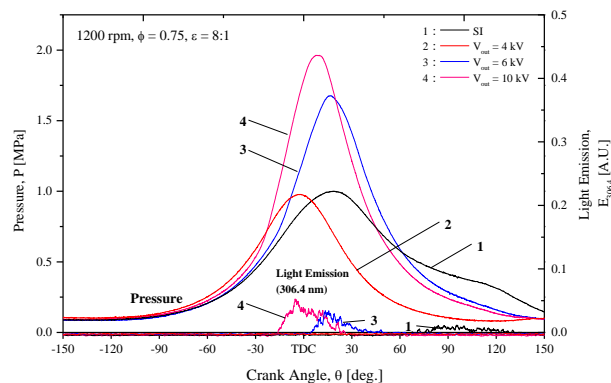


Figure 2. In-cylinder pressure and light emission

2. 出力電圧増加が高いほど、 $306.4\text{ nm}$  の発光強度のピークは大きくなり、初期火炎の発生は早期化することがわかった。

5. 謝辞

本研究は、日本大学理工学部シンボリックプロジェクトの一環として実施された。

6. 参考文献

[1] 電気学会大学講座:「プラズマ工学」電気学会 1997  
 [2] 田上公俊, 牛丸浩二, 管雅裕[他]: 日本燃焼学会誌 56(175), 59-66, 2014-02

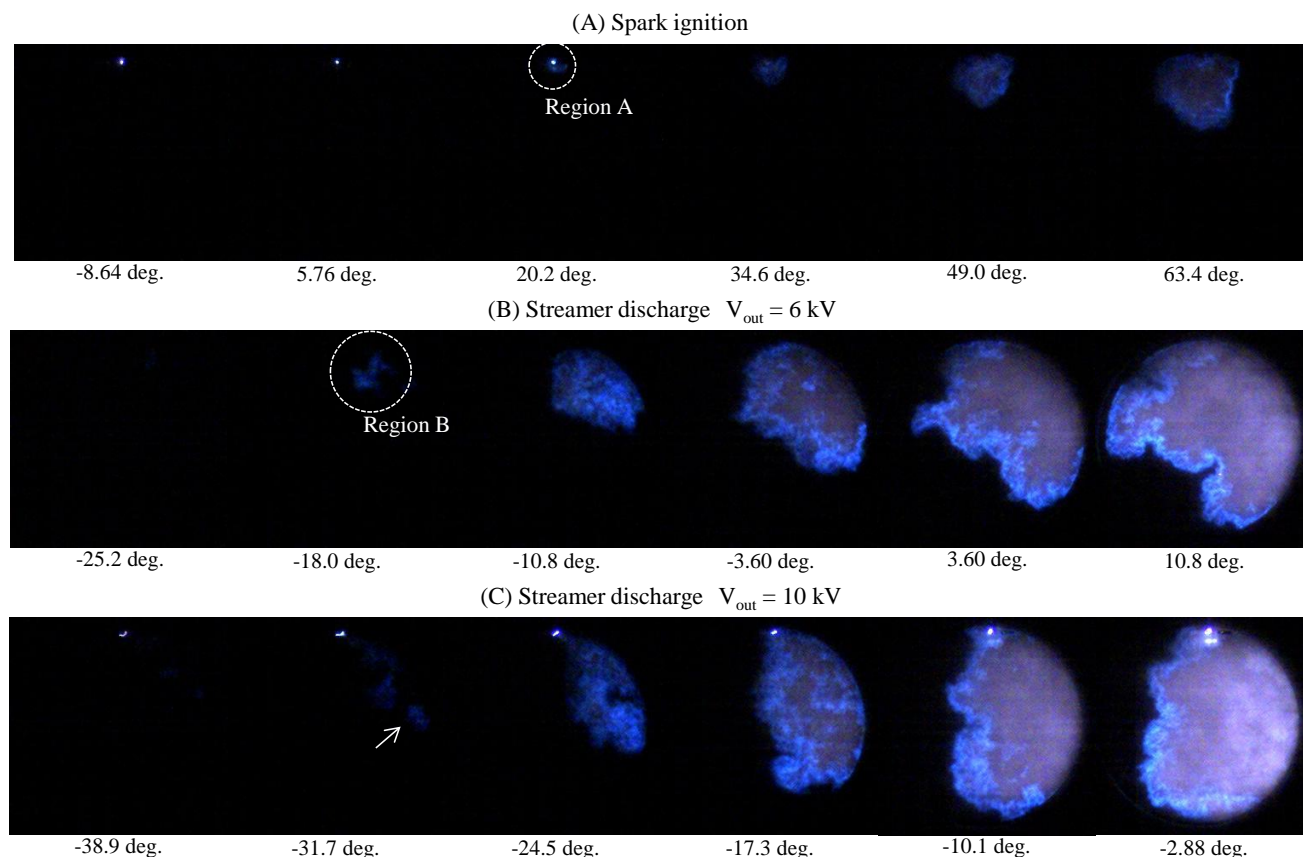


Figure 3. Visualization of flame formation and propagation (A) spark ignition (B) streamer discharge  $V_{out} = 6\text{ kV}$  (C)  $10\text{ kV}$