

希薄領域におけるストリーマ放電点火燃焼の特性 Characteristics of Streamer Discharge Ignition Combustion under Lean Condition

○高橋優己¹, 竹田幸太郎¹, 田中祥平¹, 吉田裕貴², 林智敏², 島田貴司²,
山田将徳², 佐原純輝³, 飯島晃良⁴, 浅井朋彦⁵, 田辺光昭⁶, 庄司秀夫⁴
*Yuki Takahashi¹, Kotaro Takeda¹, Shohei Tanaka¹, Yuki Yoshida², Chibin Rin², Takashi Shimada²,
Masanori Yamada², Junki Sahara³, Akira Iijima⁴, Tomohiko Asai⁵, Mitsuaki Tanabe⁶, Hideo Shoji⁴

Abstract: This study investigated the effect of streamer discharge on ignition and combustion in a internal combustion 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 firing performance improves by rising discharge.

1. 序論

近年, 自動車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 (Exhaust Gas Recirculation)・超希薄燃焼が注目されている. しかしながら従来の火花点火では, 初期火炎の吹き飛び等による失火や燃焼変動率の増大が課題である. そこで, 課題解決の手段としてストリーマ放電等のプラズマ^[1]を利用した点火手法が検討されている. ストリーマ放電は, 高温電子が気体分子 (N_2 , O_2), 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) を生成し, 燃焼促進の効果が期待できる^[2]. 本研究では, ストリーマ放電が着火, 燃焼に及ぼす影響を筒内可視化撮影を用いて調査し, 火花放電との比較を行った.

2. 実験装置及び実験条件

供試機関仕様及び本実験で用いた点火条件を表 1 に示す. 供試機関には, シュニーレ掃気方式の 2 ストローク空冷単気筒ガソリン機関を用いた. ストリーマ放電の生成には高電圧・高周波の印加が必要である. 本研究では, 周波数 20 kHz 一定, 直流電源の印加電圧を任意に変更することで出力電圧を設定した (6 kV, 8 kV, 9.5 kV). また, 放電電極には接地電極を取り除いた点火プラグを用い, ストリーマ放電型の低温プラズマを連続的に発生させる点火システム (Streamer Assisted Ignition, 以下 SAI) を設置し実験を行った. 図 1 に本実験で用いた可視化エンジンの概略図を示す. シリンダヘッド上部に石英観察窓 ($\phi = 84$ mm) を設けることで, 全ボア領域を可視化し, ハイスピードカメラにより撮影を行った. なお, 撮影速度は 10000 fps

(frame/sec), 解像度は 256×256 pixel とした.

希薄条件における SAI の着火特性を調査するため, 一般的な火花放電において火炎が失火に至ってしまった当量比 0.4, 掃気温度 ($T_{sc}[K]$) 329 K の条件で SAI により点火し, 筒内可視化画像と併せて考察した. また, 出力電圧の変化が希薄領域での着火, 燃焼に及ぼす影響も併せて調査した.

Table 1. Specifications of test engine and test conditions

2-stroke Air-cooled Single Cylinder Gasoline Engine	
Type of Scavenging System	Schnuerle
Bore $\times$ Stroke	72 $\times$ 60 mm
Displacement	244 cm ³
Engine Speed	1200 rpm
Effective Compression Ratio	8.0 : 1
Equivalence Ratio	0.4
Test Fuel	PRF 90
Ignition Method	
Spark Ignition	
Streamer Discharge	6 kV, 8 kV, 9.5 kV

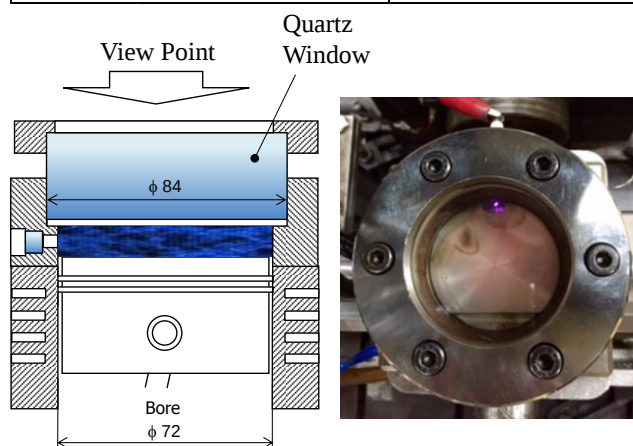


Fig.1 Configuration of optically accessible engine

3. 実験結果及び考察

供試燃料にはガソリン相当のリサーチオクタン価である PRF (90 RON)を用いた. 掃気温度 $T_{sc} = 329\text{ K}$ 一定, 当量比 0.4 一定において, 火花放電, SAI ($V_{out} = 6\text{ kV}, 8\text{ kV}, 9.5\text{ kV}$) での筒内圧力履歴を図 2 に示す.

図 2 より, 火花放電では筒内圧力は TDC を境に膨張行程中に減少しているのに対し, SAI では出力電圧が 9.5 kV において, TDC を超えても圧力は上昇し続け, 最大圧力 P_{max} には明らかな差が確認できた. しかし, 出力電圧 6 kV, 8 kV での SAI では失火してしまい, 火花放電の波形との差は見られなかった.

以上の結果を踏まえた上で, 図 3 に示す可視化画像を比較する. 火花放電では, 点火プラグ近傍で失火しているのに対し, SAI ($V_{out} = 9.5\text{ kV}$) では明らかに火炎伝播していることが確認できる. また, 図 3 の X 付近において通常の火炎伝播に見られないような燃え方が確認できる. 初期火炎形成時に発生した微弱な火炎核がガス流動により流されながら, 通常の火花放電による燃焼よりも長い時間をかけて形成され, 電極から離れた位置で成長し自立した火炎伝播に至ったと思われる.

以上より, 通常の火花放電では失火してしまう希薄領域でも SAI を用いることで着火および火炎の形成が可能であることが検証できた. SAI には優れた着火性、及び燃焼促進効果があり, 希薄燃焼領域拡大の可能性が示唆される. また, 今回の実験では連続放電のため, 着火時期の制御が困難である. そのため, 今後は燃焼タイミングの制御などの対策が必要である.

4. 結論

- (1) SAI を用いると, 火花放電では失火してしまう希薄領域でも着火, 火炎伝播が可能であることが確認できた.
- (2) ストリーマ放電電極への印加電圧を上げることで着火性能が向上する.
- (3) SAI は火花放電点火と異なる火炎伝播の形成をすることが確認できた.

5. 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] 白石泰介, 漆原友則, 「低温プラズマによる HCCI 燃焼自着火促進技術に関する研究」自動車技術会論文集 42(6), 1361-1366, 2011

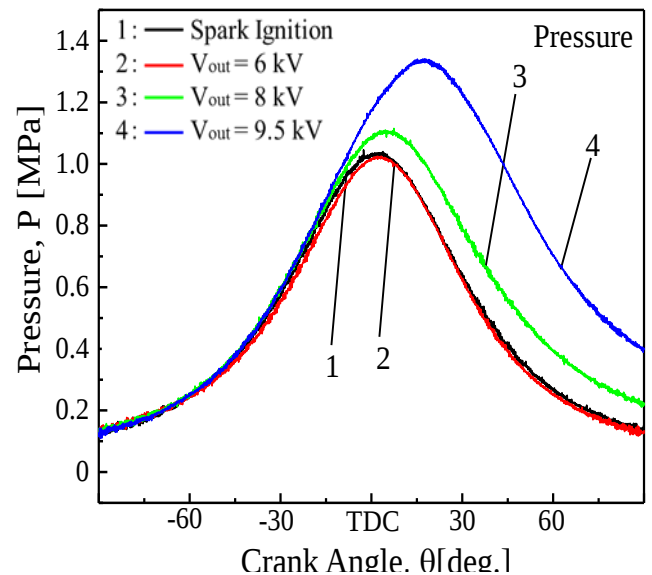


Fig. 2 Measured waveforms

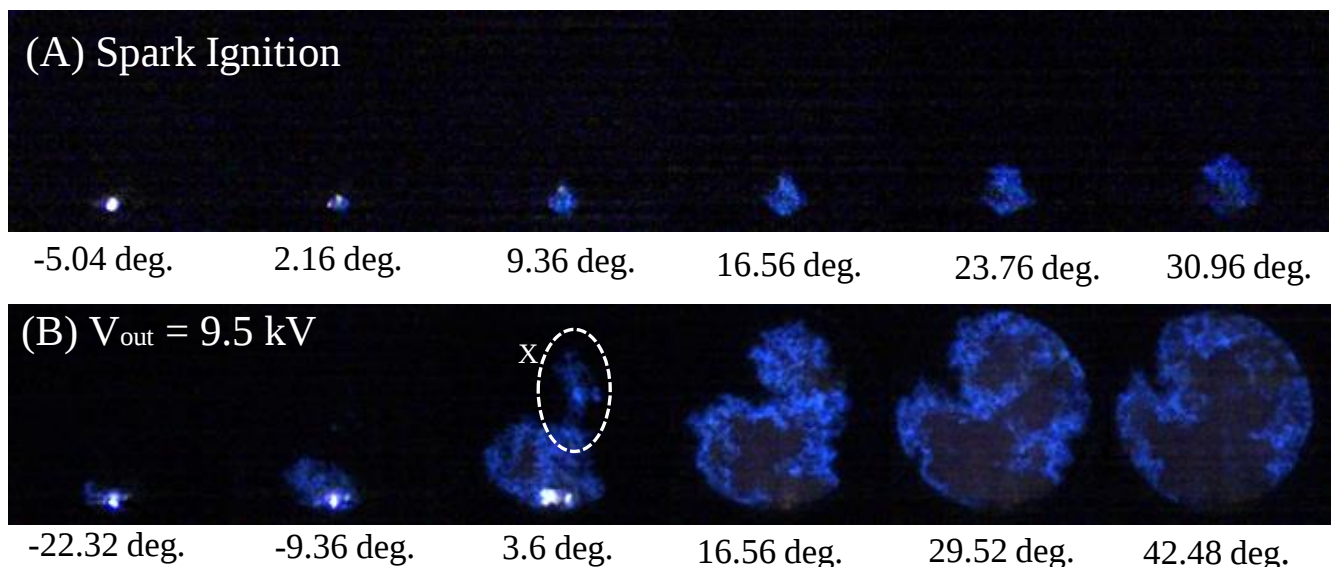


Fig.3 Visualization of flame formation and propagation (A) spark ignition (B) steamer discharge $V_{out} = 9.5\text{ kV}$