

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400535

研究課題名(和文)非平衡プラズマジェットによる予混合圧縮着火燃焼の燃焼制御

研究課題名(英文)Control of the combustion in Homogeneous Charge Compression Ignition with the use of non-equilibrium plasma jet

研究代表者

村瀬 英一 (Murase, Eiichi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60150504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：非平衡プラズマによる予混合気の点火燃焼実験を行った結果、圧力の立ち上がりは早くなった。放電開始直後はプラグ内に火炎が保持され、その後火炎が多量に流出するため、火炎の拡がりも早くなった結果と考えられる。また非平衡プラズマの放電時の発光分析を行った結果、通常のスパーク点火の発光スペクトルと同様となった。このことから、非平衡プラズマ放電由来による燃焼促進効果はないと思われる。

また、パルスジェット(PFJ)点火による予混合圧縮着火燃焼(HCCI燃焼)の燃焼制御を試みた結果、HCCI燃焼の課題である着火時期の制御、運転領域の拡大に対してPFJが有効であることを示した。

研究成果の概要(英文)：As a result of the ignition and combustion experiment of premixed mixture by the non-equilibrium plasma, the pressure rise became fast. Just after the spark discharge in the igniter, the flame was maintained in the plug hole, and then a large amount of flame flowed out from the plug hole. As a result, the spread of the flame has become faster. Also a result of emission analysis of a non-equilibrium plasma discharge, was similar to the emission spectrum of normal spark ignition. Therefore, there exists no unique combustion acceleration effect from the non-equilibrium plasma discharge.

In addition, the pulsed flame jet (PFJ) was used for controlling the combustion of homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion. It was shown that PFJ was effective to control in the ignition and the expansion of the operation area.

研究分野：熱工学

キーワード：非平衡プラズマ 予混合圧縮点火 着火時期

1. 研究開始当初の背景

石油資源の枯渇と地球温暖化問題は、人類が直面している最大の課題である。これらのエネルギー問題と環境問題に、大きな影響を直接及ぼす熱機関の選択は非常に重要である。現在、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ガスタービンなどの様々な熱機関が実用化されている。予混合圧縮着火(HCCI)エンジンは、それらのどれにも属さない新しい燃焼方式の熱機関として、最近注目されており、その実用化が大いに期待されている。HCCIエンジンは、予混合気を圧縮して燃料の自己着火で燃焼させるものであり、予混合気を使用する点ではガソリンエンジンと同じであり、燃料の自己着火で燃焼させる点ではディーゼルエンジンと同じである。ガソリンエンジンからのアプローチとしては、火炎伝播が不可能な超希薄混合気の利用により、窒素酸化物の低減と熱効率の向上が期待される。一方、ディーゼルエンジンからのアプローチとしては、希薄予混合気を使用する事により、窒素酸化物とすすなどの微粒子の同時低減、特に微粒子の劇的な低減が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、現在までの研究結果を進展させ、確実な着火時期の制御と燃焼の安定性向上をねらい、非平衡プラズマにより低エネルギーで確実な点火をキャビティ内で行わせ、オリフィスから噴出するジェットにより、HCCI燃焼の着火時期の直接制御を行うと共に、分光分析を行う。そして、着火に関与するラジカルを解明して、化学反応計算と比較検討を行うことにより、着火機構の解明を行う。

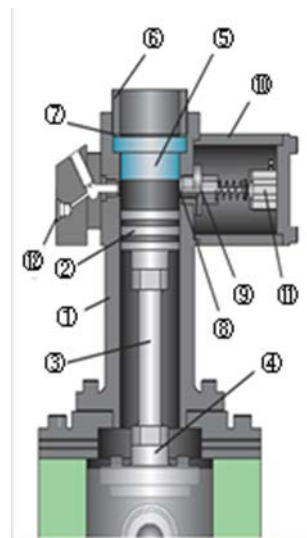
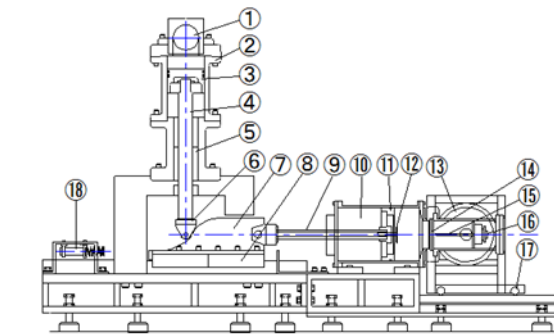
3. 研究の方法

まず、非平衡プラズマジェットを発生させるイグナイタとその回路を設計、製作する。それを使い予混合気の点火・燃焼特性をカムを利用した急速圧縮装置で行う。次に、予混合圧縮着火(HCCI)燃焼の燃焼制御を、急速圧縮膨張装置を利用して行う。

4. 研究成果

実験に使用した、カムを利用した急速圧縮装置と急速圧縮膨張装置を示す。非平衡プラズマによる予混合気の点火燃焼実験を行った結果、

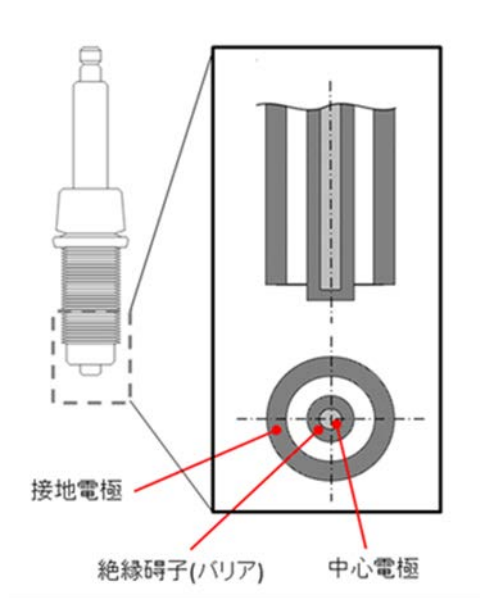
(1) 圧縮比 10.3、流速 15m/s において、当量比 0.7、0.8 とともにストリーマ点火の方が圧力立ち上がりは早くなる。放電開始直後はプラグ内に火炎が保持されるが、その後火炎が多量に流出するため、プラグ形状による保炎を伴い、火炎の拡がりも早くなる。



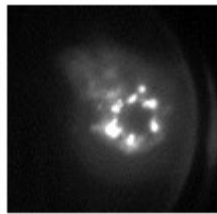
(2) 圧縮比 10.3 において、非平衡プラズマ点火による燃焼促進効果は流速 30m/s の当量比 0.7 の場合に大きい。これは、プラグに保持された火炎を強い気流が巻き込み、燃焼室内へより早く多量に流出するためである。また、燃焼速度が小さいため、スパーク点火と比べて体積的点火と火炎流出の効果が大きい。

(3) 圧縮比 14.6、流速 20m/s において、当量比 0.8 では火炎の流出が遅くなるため、スパーク点火より火炎の拡がり遅くなる。一方当量比 0.7 では、燃焼速度が遅くなることから火炎流出後の圧力立ち上がりは早くなる。

(4) 圧縮比 14.6、流速 35m/s において、当量比 0.7、0.8 とともに非平衡プラズマ点火による燃焼促進効果が確認できた。しかし、当量比 0.7 については点火が不安定となった。これは、非平衡プラズマ点火では一つの放電エネルギーが小さく、高圧高気流場に



非平衡プラズマジェットイグナイタ



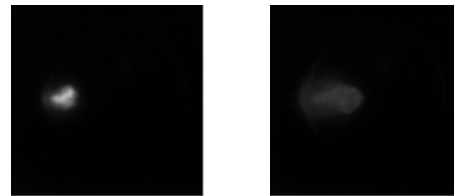
非平衡プラズマジェット点火

においては十分に放電できないこと、または気流による吹き消えであると考えられる。

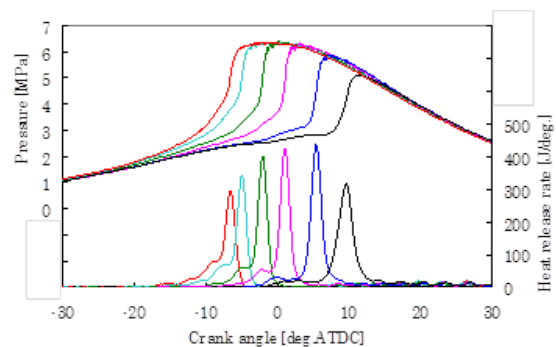
(5) 非平衡プラズマ点火装置の放電時、発光分析を行った結果、スパーク点火装置の発光スペクトルと同様になった。このことから、非平衡プラズマ放電由来による燃焼促進効果は得られていないと思われる。

(6) 非平衡プラズマ点火とスパーク点火では、火炎の広がり方が異なる。これは、体積的点火とプラグの形状による影響が大きいと考えられる。

また、パルスジェット (PFJ) 点火による予混合圧縮着火燃焼 (HCCI 燃焼) の燃焼制御を試みた結果、PFJ を利用することで熱発生時期を早める方向にのみ着火時期を制御できる。また PFJ を用いた場合、PFJ 供給領域の瞬間的な発光、発光領域からの半径方向への発光の拡大、壁面付近に残存する混合気の多点同時着火という画像が得られた。圧力上昇と同期した結果、初期燃焼領域からの発光領域の拡大は熱発生と対応していると考えられた。その後壁面付近に残存する混合気は、冷炎および熱炎を伴って燃焼することが確認された。これらより、HCCI 燃焼の課題である着火時期の制御、運転領域の拡大に対して PFJ が有効であることを示した。



P F J 点火



P F J による着火時期制御の例

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

① Eiichi Murase, Osamu Moriue, Hideki Hashimoto, Fumihiro Nakashima, Yoshinobu Komai, Studies on the Direct Control of the Start of HCCI Combustion with Rapid Compression Expansion Machine, International Journal of Engine Research, 査読有、Feb、2014

② 村瀬 英一、森上 修、橋本 英樹、松崎 伊生、初期燃焼速度に着目した最小点火エネルギーの当量比依存性に関する研究、日本機械学会論文集 (B 編) 査読有 79、805 号、2013、pp.1839-1847

③ 村瀬英一、ジェット点火による希薄混合気の燃焼、機械の研究、査読有、64、9 号、2013、pp.198-203

[学会発表] (計 17 件)

① Osamu Moriue, Takeru Iwamoto, Kota Sugihara, Hideki Yone, Hideki Hashimoto, Eiichi Murase, Hiroshi Nomura, Effects of Droplet Interaction on Heat-Release Locations around a Fuel Droplet Pair in Hot Air in Microgravity, The 30th International Symposium on Space Technology and Science, 2015.

②森上 修、米康太、岩本武尊、杉原正興、橋本 英樹、村瀬 英一、野村浩司、点火限界近傍の二液滴の自然点火における液滴間干渉、第52回伝熱シンポジウム、2015

③川添裕三、橋本 英樹、森上 修、村瀬 英一、消炎限界付近の火炎温度の計測に関する研究、第53回燃焼シンポジウム、2015

④奥村叡、川北晋一郎、近藤和吉、西島義明、橋本 英樹、森上 修、村瀬 英一、パルスジェットを用いた希薄混合気の点火に関する研究、第25回内燃機関シンポジウム、2014

⑤ Eiichi Murase、 Overview of the history of engine ignition leading to laser ignition, The 2nd Laser Ignition Conference 2014, 2014

⑥小林篤人、香川良二、唐津雄一、橋本英樹、森上 修、村瀬 英一、可視化ロータリーエンジンによる燃焼観測、第24回内燃機関シンポジウム、2013

[図書] (1件)

村瀬英一 他、革新的燃焼技術による高効率内燃機関開発最前線、2015

6. 研究組織

(1)研究代表者

村瀬 英一 (MURASE Eiichi)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：60150504

(2)研究分担者

森上 修 (MORIUE Osamu)
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：70363124