

氏名	KAZI MOSTAFIJUR RAHMAN		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	工学		
学位授与番号	博甲第	5735	号
学位授与の日付	平成30年 3月23日		
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Experimental Investigation and CFD Simulation of Mixture Formation and Combustion in Hydrogen Direct Injection Spark-Ignition Engine (水素直噴火花点火機関における混合気形成と燃焼の実験的研究と CFD シミュレーション)		
論文審査委員	教授 富田 栄二	教授 柳瀬眞一郎	教授 堀部 明彦
<b>学位論文内容の要旨</b>			
<p>The primary objective of this study was to investigate mixture formation process in a jet guided direct injection hydrogen spark ignition engine through simultaneous application of high speed visualization and spark-induced breakdown spectroscopy (SIBS). A new spark plug sensor is developed from a commercially available spark plug embedded with an optical fiber. The experimental works are conducted in a compression-expansion machine (CEM) and later in a direct-injection hydrogen spark-ignition research engine. Both CEM and research engine allow optical access for the visual investigation of jet penetration, mixture formation and flame propagation. Visualization of hydrogen flame and local air excess ratio measurement are carried out simultaneously. For experiment in CEM, results clearly indicate that presence of higher fuel concentration in the vicinity of spark gap leads to higher breakdown voltage which made spark discharge difficult to sustain over a long time and both continuum background emission (i.e. emission from spark plasma) and atomic emission intensity of the spectral distribution declines. As expected, lower the preset air excess ratio, resulted in higher intensity ratio of H<math>\alpha</math>/N due to presence of higher concentration of hydrogen fuel compared to that of nitrogen. Therefore, a change in the discharge energy lead to a corresponding change in the relationship between atomic emission intensity ratio and excess air ratio. For experiment in a research engine, main focus was to improve the accuracy of the SIBS measurements by taking into account the pressure dependency of atomic emissions. Experimental results lead to the following remarks: 1. Variation in ambient pressure inside the engine cylinder due to spark timing variation has greatly influenced spark discharge behaviour and plasma formation. With retarded spark timing (i.e. higher ambient pressure at the ignition site), cooling of expanding plasma became quicker due to collisional processes with the surrounding gas, leading to lower spectral line intensities as well as weaker background emissions. 2. Local stratification of the fuel mixture in the vicinity of the spark gap location associated with direct injection strategies was confirmed through newly developed spark plug sensor. Accuracy of the measurements of local air excess ratio through the spark plug sensor can be improved significantly when the pressure dependency of atomic emissions is taken into account. Numerical simulation performed through commercial 3D-CFD software ANSYS Forte to obtain a deepened understanding of hydrogen jet characteristics and mixture formation in hydrogen direct-injection engines. Influences of injection timing (i.e. start of injection) relative to spark timing on hydrogen jet structure and local fuel concentration data of both CEM and research engine are compared and validated by means of numerical results obtained from 3-D CFD simulation.</p>			

## 論文審査結果の要旨

本研究は水素直噴火花点火機関内の混合気形成過程を調べるために、高速度カメラによる可視化および火花誘起絶縁分光（SIBS）法による点火栓近傍の水素/空気混合比の計測および3次元CFDシミュレーションを行った。

本研究では、通常の点火栓に追加工して電極部に光ファイバを埋め込み、点火栓型SIBSセンサとした。まず、圧縮-膨張機関において、次に直接噴射連続運転試験用機関において、点火栓近傍の燃料濃度を計測した。点火栓近傍の水素濃度が高い方が、要求電圧が高くなるとともに、火花放電しにくくなり、連続背景光やスペクトル強度が小さくなった。空気過剰率が小さくなるにつれて水素の割合が多くなるために、原子発光比 $H\alpha/N$ の割合は大きくなる。よって、放電エネルギーが変化することによって原子発光と空気過剰率の関係が変化する。試験用機関における実験では、原子発光の圧力依存性を考慮することによって、SIBS法の精度向上を目指した。その実験結果によると、(1) 点火時期が変わることによるエンジンシリンダ内圧力の変化は、火花放電挙動やプラズマ生成に大きな影響を与える。点火時期を遅角すると雰囲気圧力が大きくなり、プラズマの冷却が周囲ガスとの衝突効果によって速くなり、背景光とともに発光スペクトル強度が弱くなる。(2) 水素直接噴射機関における点火栓付近の局所的な燃料濃度の偏りが、新しく開発された点火栓型SIBSセンサによって確認することができた。点火栓付近の局所的な空気過剰率の計測は、原子発光の圧力依存性を考慮することによって、精度が向上することが分かった。

3D-CFD を用いてシリンダ内現象をシミュレーションすることによって、直接噴射式機関におけるシリンダ内水素噴流による混合気形成過程をより良く理解することができた。点火時期に対する水素噴射時期を変化させた場合でも、水素噴流の挙動、成長過程等が CFD シミュレーションにより理解することができ、点火栓近傍燃料濃度に関しては、圧縮-膨張機関および試験用機関の両方において SIBS によって得られた計測結果と CFD シミュレーションの結果が比較的良く一致した。