

機関番号：15301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560194

研究課題名 (和文) マイクロスケールでの未燃予混合ガス自着火機構およびスス生成の解明

研究課題名 (英文) Understanding of auto-ignition mechanism and soot formation of unburned premixed mixture under micro-scale

研究代表者

河原 伸幸 (KAWAHARA NOBUYUKI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：30314652

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、火炎伝ばにより圧縮される未燃予混合ガスでの自着火発生メカニズムならびにスス生成メカニズムを詳細に把握することを目的としている。このため、1回だけの燃焼が可能な圧縮膨張機関を用いて、以下に示す項目を行った。(1) 燃料に炭素を一切含まない水素を用い、火炎伝ばにより圧縮される未燃ガスの着火特性を調査した。(2) ノッキング時に生じる輝炎発光の原因を探るべく、前炎反応 (低温酸化反応) とススの関係、燃料種の影響、予混合圧縮自着火時におけるスス発生の関係、圧力波による壁面近傍からのスス生成の様子を調査した。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this study is to investigate auto-ignition mechanism and soot formation of unburned mixture compressed by propagating flame. Compression-expansion machine were used. I investigated as follows; (1) auto-ignition of unburned mixture of hydrogen compressed by propagating flame were visualized, (2) soot formation under low-temperature chemistry, effect of fuel component on soot formation, soot formation during premixed charge compression ignition, soot formation near wall due to pressure wave, were investigated in order to understand luminous flame during engine knocking.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：省エネルギー、熱機関、自着火、スス生成、エネルギー効率化

## 1. 研究開始当初の背景

熱機関における予混合ガスの圧縮自着火過程着火メカニズム解明に関する研究が数多く行われている。火花点火機関では、点火プラグから伝ばした予混合乱流火炎により未燃ガス部は断熱圧縮される。断熱圧縮された未燃ガスは、圧力・温度が上昇し、自着火温度に達する。未燃ガスは、わずかな着火遅れの期間後、正常な伝ば火炎の到着を待たずに自着火する。この未燃ガスの自着火火炎の火炎速度は非常に大きく、衝撃的圧力上昇をともしやう。この局所的に急激な圧力上昇により圧力波が発生し、異常燃焼といわれるノッキングの原因となる。ノッキング時にはススが多く生成することは 1930 年ごろから知られている。ただノッキング時のスス生成メカニズムに関して、まったく解明されていなかった。

申請者は、これまで火炎伝ばにより圧縮される未燃予混合ガスでの自着火発生位置ならびに未燃ガスでの化学反応過程を調べてきた。未燃ガス部で自着火が発生する際、伝ば火炎形状に極端な凹部が生じていることがわかった。また、未燃ガス部では自着火が生じる前に、OH\*ラジカル、HCO\*ラジカルと非常に微量な HCHO\*ラジカルの発生がみられる。エンドガス部は伝ば火炎により圧縮されることで温度が上昇し、低温酸化反応が行われていると考えられる。また、ノッキング発生時にはススが多く生成されていることが分かった。

## 2. 研究の目的

本研究では、火炎伝ばにより圧縮される未燃予混合ガスでの自着火発生メカニズムならびにスス生成メカニズムを詳細に把握す

ることを目的としている。燃料種を変化させ、低温酸化反応の違いが未燃予混合ガスでの自着火ならびにスス生成メカニズムに与える影響を調査する。また、レーザー誘起蛍光法を適用することで、未燃予混合ガスでの自着火までの PAH などのスス前駆物質の検出を行い、スス生成メカニズムを解明する。

## 3. 研究の方法

火炎伝ばにより圧縮される未燃予混合ガスでの自着火発生メカニズムならびにスス生成メカニズムを詳細に把握するため、1 回だけの燃焼が可能な圧縮膨張機関を用いて、以下に示す項目を行った。

(1)燃料に炭素を一切含まない水素を用い、火炎伝ばにより圧縮される未燃ガスの着火特性を調査した。高速度カメラにより火炎伝ばと未燃ガスでの自着火との関係を可視化した。また、カメラ速度 1Mfps である超高速度カメラを用いて、未燃ガスの自着火により生じる圧力波の様子を可視化した。さらに、ICCD 付分光器により未燃ガスの自着火火炎ならびに圧力波の発生による輝炎の分光測定を行なった。

(2)ノッキング時に生じる輝炎発光の原因を探るべく、前炎反応(低温酸化反応)とススの関係、燃料種の影響、予混合圧縮自着火時におけるスス発生との関係、圧力波による壁面近傍からのスス生成の様子を調査した。

## 4. 研究成果

ノッキング燃焼および圧力振動を伴う HCCI 燃焼を再現した。高速度カラーカメラを用いることでノッキング時の輝炎の発生位置および時期を検出した。さらに圧力波の可視化によって圧力波とスス生成との関係を検討した。これにより、以下の知見を得た。

(1)自着火が発生してもノック強度が大きくない場合には輝炎は観察されずススは生成されていない。(2)ノッキング時の輝炎発光は圧力波によって潤滑油やその他不純物や隙間部で顕著に存在する壁面消炎層中の燃料が剥離・燃焼したものであると考えられる。(3)HCCI 燃焼における輝炎もまた火花点火機関におけるノッキング同様、圧力波によるピストン頂面近傍の未燃の燃料や不純物の剥離・燃焼によるものであると考えられる。

圧力振動を伴う HCCI 燃焼を再現した。HCCI 燃焼時における中間生成物である OH/HCHO の生成・消滅過程を紫外～可視光吸収法により計測した。また、最終生成物である CO<sub>2</sub> の生成過程を赤外吸収法により調査した。これにより、以下の知見を得た。

(1)HCCI 燃焼における輝炎もまた火花点火機関におけるノッキング同様、圧力波によるピストン頂面近傍の未燃の燃料や不純物の剥離・燃焼によるものであると考えられる。(2)HITRAN データベースにより HCHO の吸収スペクトルの同定を行なった。(3)低温酸化反応時期から HCHO は生成し、熱着火準備期間で消費している。逆に OH は熱着火準備期間から生成され、熱着火で最大値を示し、その後消費されている。(4)最終生成物である CO<sub>2</sub> は熱着火により生成されている。

また、水素を燃料として同様の機関により自着火を発生させ、ノッキング時に生じる圧力波の様子を観察した。これにより、以下の知見を得た。(1)ノッキング強度が高い場合、初期圧力波伝播速度も早くなる。(2)圧力波の伝播周期は、振動の第1モードと代2モードが混在している。(3)自着火部における発光スペクトルより、自着火により境界層にある潤滑油が燃焼し、輝炎を発生していることがわかった。この潤滑油の燃焼がスス生成に影響を与えている。

5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計2件)

(1) Mithun Kanti Roy, Nobuyuki Kawahara, Eiji Tomita, Visualization of Knocking Combustion in a Hydrogen Spark-Ignition Engine, 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 - WHEC2010 Proceedings, Parallel Sessions Book 6: - Stationary Applications - Transportation Applications, 査読：有, vol.78-6, 2010, pp.141-148

(2) Kawahara, N., Tomita, E., Visualization of Auto-ignition and Pressure Wave during Knocking in a Hydrogen Spark-Ignition Engine, International Journal of Hydrogen Energy, 査読：有, vol.34, 2009, pp.3156-3163

〔学会発表〕(計6件)

(1) Kawahara, N., Tomita, E., *In situ* CO<sub>2</sub> Concentration Measurement inside a Combustion Chamber Using Infrared Laser Absorption Technique, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2011.1.6, USA

(2) 河原伸幸, 富田栄二, 吉永靖男, 火花点火機関におけるノッキング燃焼時のスス生成挙動の可視化, 第20回内燃機関シンポジウム, 2009.9.3, 東京

(3) Nobuyuki Kawahara, Eiji Tomita, Mithun Kanti Roy, Visualization of Auto-Ignited Kernel and Propagation of Pressure Wave during Knocking Combustion in a Hydrogen Spark-Ignition Engine, SAE 2009 Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting, 2009.6.15, イタリア

(4) 河原伸幸, 富田栄二, 吉永靖男, ノッキング燃焼におけるスス生成過程の可視化, 第46回燃焼シンポジウム, 2008.12.3, 京都

(5) Kawahara, N., Tomita, E., Masatsuki, H., Soot formation during knocking combustion in a

spark-ignition engine, Int. Symp. on Combustion,  
2008.8.4, Canada

(6) Kawahara, N., Tomita, E., Yoshitomi, M.,  
Knock in a Hydrogen Spark-Ignition Engine, Int.  
Symp. on Combustion, 2008.8.4, Canada

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河原 伸幸 (KAWAHARA NOBUYUKI)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：30314652