

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420155

研究課題名(和文) 高圧・高温雰囲気における組成が複雑な自由微小液滴の蒸発挙動の観察

研究課題名(英文) Observation of vaporization of free small droplet with complexed component under high pressure and high temperature environment

研究代表者

榎本 啓士(enomoto, hiroshi)

金沢大学・機械工学系・准教授

研究者番号：40316005

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：高圧・高温雰囲気を実現する小型装置と、それに内蔵できる小型微小液滴生成装置を作成し、超臨界状態で微小液滴の蒸発、燃焼挙動を観察する装置を完成させた。この装置で組成の複雑な液体燃料の挙動に関するデータベース構築の準備ができた。その結果、単一液滴から輝炎が生成される様子や、レーザーにより分裂する様子が確認された。

研究成果の概要(英文)：A small chamber for high pressure/high temperature environment and an injector unit for the small chamber are manufactured. This experimental equipments could create a supercritical environment and small droplet evaporation and combustion could be observed. This equipments will make database for complexed component fuel combustion. As a result, a luminous flame from single droplet and an explosion of small droplet with laser were observed.

研究分野：燃焼工学

キーワード：微小液滴 臨界条件 蒸発末期

1. 研究開始当初の背景

シェールガス、シェールオイルなど非在来型燃料が市場に供給され、在来型燃料とあわせて燃料の埋蔵量・産出量ともに大幅に増える一方、日本では原子力発電所事故による電源不足を補うため、大量の燃料を輸入せざるを得ない状態になっている。この状況を打開するため、政府が策定する“グリーンイノベーション”の一環で、国内で算出されるバイオマスなどの再生可能燃料活用計画が進んでいる。

これら再生可能燃料の組成は在来型燃料と比較して複雑であり、これまで利用されている燃料と異なる燃焼形態を示すことが多い。一方、昨今の高効率内燃機関は燃焼室に直接燃料を噴射する“直噴システム”が主流となっている。一般に、内燃機関では、高温・高圧雰囲気中で燃焼させるほど熱効率がよいことがわかっている。この高温・高圧雰囲気のため、燃料噴霧の蒸発、燃焼過程を直接観察した例は少ない。特に、微粒化された燃料液滴の直径はせいぜい数十マイクロメートルしかないため、詳細な観察を行うために大変複雑、高価な観察系を用いざるを得ない。

2. 研究の目的

今後利用拡大が見込まれる、複雑な組成を持った非在来型液体燃料(バイオマス由来の液体燃料など)の微小液滴が、高効率内燃機関の燃焼室雰囲気=高圧(20MPa 以上)・高温(1000K 以上)でどのような蒸発挙動を示すのか、を明らかにする。このとき用いる液滴は実機のそれに匹敵する直径 10 マイクロメートルから 30 マイクロメートル程度とし、蒸発現象を複雑にする支持棒などを用いない自由液滴とする。これまでの研究では、このような高圧・高温雰囲気での噴霧全体の燃焼現象観察を実施した例はあるが、単一自由液滴(空間に浮遊する液滴)を詳細に観察した例はない。

3. 研究の方法

研究代表者は、ピエゾ押出法による高精度の再現性を有する微小液滴生成に成功している。同じ大きさの液滴を同じ場所、同じ速度で生成することができるので、ストリークカメラの原理と同様の手法を用いることにより、高温・高圧雰囲気の蒸発過程や燃焼過程を簡単に観察することが可能となる。

ピエゾ押出法によって生成された微小液滴が高温雰囲気中で蒸発する様子を観察した。高精度で同一の液滴を生成することができるので、撮像時刻を変化させることで、連続的に観察することができていることがわかる。このとき、液滴の移動速度は数 m/sec である。空間分解能 0.1 マイクロメートルを保証するためには、撮像時間は1コマあたり数十ナノ秒、秒間数千万コマの高速度ビデオカメラが必要になる。本研究では、半値幅 100 ナノ秒程度の閃光装置と市販のカメラ、フ

ンクションジェネレータを組み合わせることでストリークカメラの原理を満足させることができる。

本研究で開発されるピエゾ押出法を構成する装置は大変小さいので、高圧容器を小さくすることができる。噴射装置が小さいため、反応容器も小さく作ることができるので、直接噴射型内燃機関の反応雰囲気である高圧(20MPa 以上)・高温(1000K 以上)を簡単、安全に実現できる。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は大きく 1) 高圧・高温雰囲気での単一液滴燃焼状態(輝炎)の観察、2) 紫外レーザーによる分裂現象の観察、の二つである。

図 1 に高温・高圧雰囲気での単一液滴燃料状態を示す。この連続写真から、液滴が蒸発する様子、輝炎が生成する様子などがわかった。この現象の微細構造を知るためには高速度カメラや強力光源などを用いた計測が必要である。

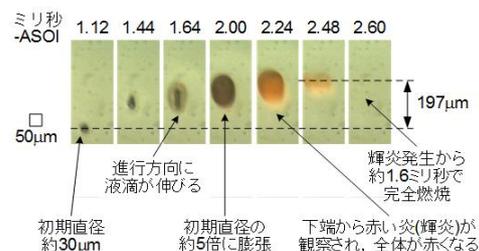


図 1 高圧雰囲気での蒸発、点火、燃焼

雰囲気圧力 6MPa、電熱帯温度 900K. 液滴は軽油. ASOI : After signal of injection 噴射開始信号を基準とする時刻. 懸垂線がないので、点火前に液滴が膨張、混合する様子や、赤い光を伴って燃焼する様子が明確に観察される。特に燃焼末期の状態(2.48 ミリ秒-ASOI)はこれまで確認されていないものである。

この輝炎は市販されている軽油、灯油で顕著に現れた。各組成の影響を考慮するため、脂肪酸としてヘキサデカン、芳香族として α -キシレンを用いて検証した。その結果、 α -キシレンのほうが鮮やかな輝炎を生じた。芳香族によるすす生成が予想される。

図 2 に紫外レーザーによる分裂現象を示す。軽油、灯油だけでなく、ヘキサデカンや α -キシレンでも分裂することがわかる。ただし、分裂形態は異なっている。レーザー光を吸収することによって生じる現象か、透過・集光(レンズ効果)によって生じる現象か、詳しく検証する必要がある。なお、この現象はアセトンでも観察されている。アセトンあるいは灯油を用いたレーザー誘起蛍光法(LIF)による光学計測でも強力な紫外レーザーを用いることが多い。本研究の結果はこれら LIF な

どの光学計測が場に擾乱を与える可能性を示している。

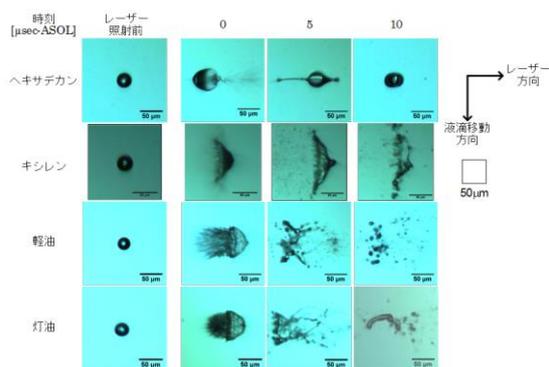


図2 レーザーによる分裂現象

ASOL : After Signal Of Laser (レーザー照射信号を基準とする時刻). パルス YAG レーザー(第四高調波(波長 266nm), 閃光時間 7 ナノ秒, ビーム直径 5 ミリメートル, レーザー光強度 15mJ)を用いる. 液滴直径は約 30 マイクロメートル. 市販燃料である軽油(ディーゼルエンジンの燃料)や灯油(ジェットエンジンの燃料)で顕著な分裂現象が観察される. 軽油や灯油の主成分の一つであるキシレンも同様の分裂現象を示す.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Hiroshi Enomoto, Naoki Iwafune, Masaya Morii, Ryo Honda, Noboru Hieda, Yoshikazu Teraoka, Effect of Xylene ratio on the secondary atomization with UV laser, SAE paper 2015-32-0796, 2015, 査読あり, doi:なし.
2. 榎本啓士, 澤崎俊祐, 野末浩隆, 岩舟尚樹, 稗田登, ブタン拡散火炎に投入された微小液滴列による輝炎の光学温度計測, 日本機械学会論文集, Vol. 81 (2015) No. 827 p.14-00589, 査読あり, DOI:10.1299/transjsme.14-00589.
3. Hiroshi Enomoto, Shogo Kunioka, Lukas Mangalla, Noboru Hieda, Small Kerosene droplet evaporation near butane diffusion flame, SAE paper 2013-32-9116, 2013, 査読あり, doi:なし.
4. Hiroshi Enomoto, Kosuke Nishioka, Shunsuke Sawasaki, Lukas Mangalla, Noboru Hieda, Observation of Kerosene droplet evaporation under high pressure and high temperature environment, SAE paper 2013-32-9117, 2013, 査読あり, doi:なし.

5. Hiroshi Enomoto, Shogo Kunioka, Noboru Hieda, 拡散火炎近傍でのキシレン/ヘキサデカン混合物による輝炎観察, 自動車技術会論文集, 45 巻, 253-258, 2013, 査読あり, doi:なし.
6. Hiroshi Enomoto, Shogo Kunioka, Noboru Hieda, Behavior of small fuel droplet near butane diffusion flame, SAE paper 2013-32-9123, 2013, 査読あり, doi:なし.

[学会発表] (計 9 件)

1. Hiroshi Enomoto, Secondary atomization of small hydrocarbon droplet by fourth harmonic generation of Nd:YAG pulsed laser, 36th international symposium on combustion, Aug. 1, 2016, Seoul, Korea.
2. 岩舟尚樹, 榎本啓士, 稗田登, 不定干渉縞および平行干渉縞を用いた微小液滴範囲の温度分布計測, 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会・講演会, 新潟工科大学, 新潟, Mar. 7, 2015.
3. 岩舟尚樹, 榎本啓士, 森井昌也, 澤崎俊祐, 村上諒介, 寺岡喜和, 稗田登, マッハツェンダー干渉計を用いた微小領域の温度分布計測, 日本機械学会第 92 期流体工学部門講演会, 富山大学, 富山, Oct., 25, 2014.
4. 澤崎俊祐, 榎本啓士, 稗田登, 二色法を用いた熱面近傍で単一微小液滴が生成する輝炎温度計測, 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会・講演会, 新潟工科大学, 新潟, Mar. 7, 2015.
5. 澤崎俊祐, 榎本啓士, 野末浩隆, 岩舟尚樹, 森井昌也, 村上諒介, 稗田登, 高圧雰囲気における単一炭化水素液滴の熱面着火に及ぼす熱面温度の影響, 自動車技術会 2014 秋季大会, 仙台国際センター, 宮城, Oct., 23, 2014.
6. 榎本啓士, 岩舟尚樹, 澤崎俊祐, 野末浩隆, 稗田登, 紫外レーザーによる炭化水素微小液滴の二次微粒化, 自動車技術会 2014 秋季大会, 仙台国際センター, 宮城, Oct., 23, 2014.
7. Hiroshi Enomoto, Shogo Kunioka, Observation of Luminous flame with fuel droplet array, Small Engine Technology Conference 2013, Taipei, Taiwan, Oct., 9, 2013.
8. Hiroshi Enomoto, Shogo Kunioka, Noboru Hieda, 拡散火炎近傍でのベンゼン環添加燃料の輝炎生成挙動, 自動車技術会学術講演会 2013 秋季大会, 名古屋国際会議場, 愛知, Oct., 24, 2013.
9. 澤崎俊祐, 榎本啓士, 稗田登, ヘキサデカン単一液滴の蒸発速度に及ぼす圧力の影響, 第 51 回燃焼シンポジウム, 大田区産業プラザ, 東京, Dec., 5, 2013.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎本 啓士 (Hiroshi Enomoto),
金沢大学・機械工学系・准教授
研究者番号：40316005

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：