

令和元年6月13日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14606

研究課題名（和文）アルコール燃料の燃焼特性に及ぼす雰囲気条件の影響

研究課題名（英文）Effects of ambient slow flow conditions on combustion characteristics of alcohol fuel

研究代表者

片岡 秀文（KATAOKA, Hidefumi）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：10548241

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：排気再循環（EGR）技術を用いた際のアルコール燃料の燃焼特性を理解するために、微速流中において1-ブタノール液滴の燃焼実験を行った。実験の結果、微速流の流速および温度が上昇するにともない瞬時液滴燃焼速度は上昇することがわかった。また、微速流中の二酸化炭素濃度が上昇すると瞬時液滴燃焼速度は減少することがわかった。瞬時液滴燃焼速度比はレイノルズ数を用いて整理できることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

噴霧燃焼法は多くの内燃機関で採用されていますが、燃料の微粒化、流動と混合、蒸発、着火、燃焼、活性化学種の生成および消滅などの多くの素過程からなる複雑な現象であるため、その効率化には単一液滴の燃焼特性を詳細に理解することが重要となります。また、内燃機関の高効率化には排気再循環（EGR）技術やアルコール燃料の利用が重要となります。本研究では、微速流中における単一アルコール燃料液滴の燃焼特性に及ぼす流速、温度、組成の影響は無次元数を用いることにより整理できることを明らかにしました。

研究成果の概要（英文）：The combustion experiments of 1-butanol droplet were conducted in ambient slow flows in order to understand the combustion characteristics of alcohol fuel when using the exhaust gas recirculation (EGR) technique. The instantaneous droplet burning rate increased with increase of the velocity and temperature of ambient slow flow. The instantaneous droplet burning rate decreased as the carbon dioxide concentration in the ambient slow flow increased. It was suggested that the normalized instantaneous droplet burning rate can be estimated using Reynolds number.

研究分野：燃焼工学

キーワード：液滴燃焼 熱工学 燃焼工学 液滴 燃焼速度 内燃機関

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーは、エネルギー変換装置の製造から、変換、そしてエネルギー利用の全工程で排出される二酸化炭素のうち、化石燃料起源の排出量を減らすことができるため、近年注目されている。また、身近に存在し、枯渇する恐れも少ないことから、エネルギーセキュリティ面でも必要とされている。このような背景から、再生可能エネルギーの一つであるバイオマス由来のアルコール燃料と、環境負荷物質低減が期待される排気再循環 (Exhaust Gas Recirculation, EGR) 技術[1]に着目した。

噴霧燃焼法は、燃料の微粒化、流動と混合、蒸発、着火、燃焼、活性化学種の生成および消滅などの多くの素過程からなる複雑な現象である。そのため、噴霧燃焼法を用いる内燃機関の高効率化には、噴霧を構成する要素の最小単位である単一液滴の燃焼特性を詳細に理解することが重要である。EGR ガス中には二酸化炭素および水蒸気が含まれているため、それらが液滴燃焼特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。また、噴霧燃焼法を用いた内燃機関の代替燃料となることを念頭におき、アルコール燃料として、化石燃料と発熱量および沸点の差異が小さい1-ブタノールに着目した。Nakaya らは1-ブタノール単一液滴の燃焼挙動に関して微小重力環境を用いた実験的研究を行っており、瞬時液滴燃焼速度は瞬時液滴径および雰囲気組成により変化することが報告されている[2]。しかしながら、液滴周りに微速流がある場においての研究例は少ない。

2. 研究の目的

本研究では、微速流中の液滴燃焼特性に瞬時液滴直径、流速、温度、組成が及ぼす影響を、レイノルズ数等の無次元数を用いて評価することを目的としている。

3. 研究の方法

実験装置概略図を図1に示す。気体流量は浮式流量計またはマスフローコントローラを用いて所定の値に設定した。気体はアルミハニカム、メッシュにより整流され、ノズル出口から微速流として噴出する。また、実験装置はヒータにより所定の温度まで加熱することができるように設計されている。液滴の観察には高速度カメラを用い、液滴の影画像を250 fpsで撮影した。液滴を拡大撮影するため、高速度カメラにはレンズとクローズアップレンズ2枚を用いた。液滴の燃焼の様子はデジタルビデオカメラを用いて撮影した。図2に懸垂液滴とヒータの概略図を示す。線径14 μm のSiCファイバ2本を交差させ、交点に液滴を懸垂した。線径0.15 mmの鉄クロム線をループ状にしたヒータを液滴側部に液滴を挟むように2つ配置して、ヒータに通電し赤熱させることで液滴を加熱し、着火した。加熱から一定時間後にロータリーソレノイドによってヒータを退避させた。

解析の際、液滴の影画像に輝度値による補正を行って液滴の境界面を鮮明にした。その後、設定した閾値により画像を二値化した。以上の画像処理を行った液滴の影画像は、垂直方向を回転軸とする回転体の影画像と考えると表面積を求め、それと等価の表面積を持つ球の直径を液滴直径 d とした。得られた液滴直径二乗値 d^2 の経時変化について、15点を抽出しそれらに対して2次関数近似を行った。その近似式を微分した式に対して中央の点にあたる8番目の点の時刻 t を代入して得られた値を瞬時液滴燃焼速度 K とした。これを全ての点に対して行った。

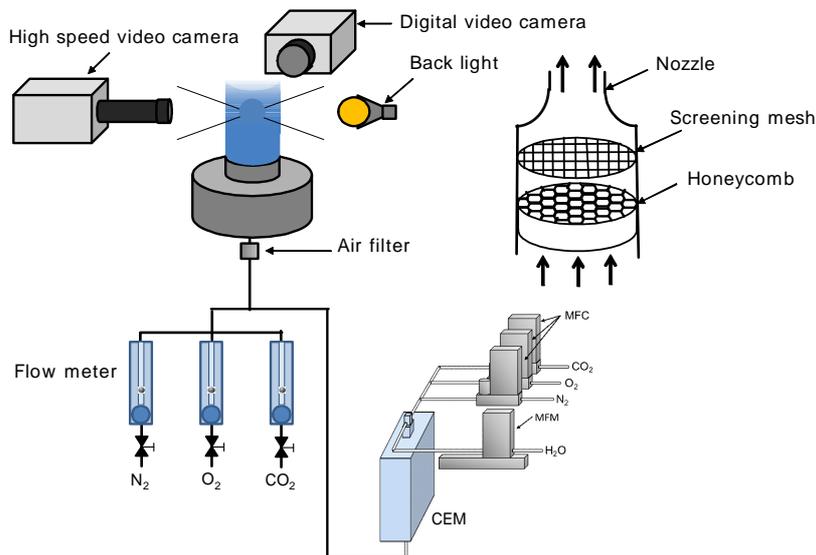


図1 実験装置概略図

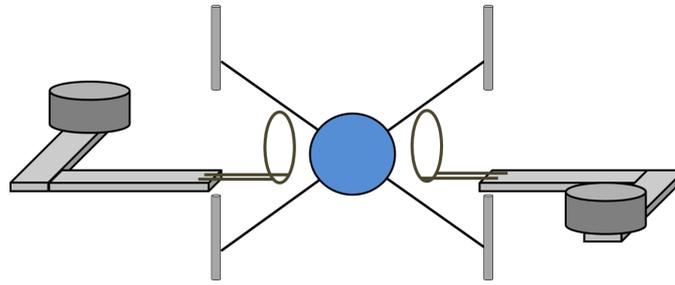


図2 ヒータ概略図

4. 研究成果

図3に微速流（強制対流）がない条件における，時間 t と液滴直径二乗値 d^2 のグラフを示す．なお本研究では，液滴の影画像から液滴の着火が確認されたときを $t = 0$ s とし，そのときの d を初期液滴直径 d_0 とする．図より，時間と液滴直径二乗値はほぼ比例関係となり，概ね d^2 則に従うと考えられる．

図4に，微速流（強制対流）がない条件における，液滴直径二乗値 d^2 と瞬時液滴燃焼速度 K の関係を示す．図中の実線は Nakaya らによって得られた微小重力下における液滴直径二乗値と瞬時液滴燃焼速度の関係を表す式である．図より，液滴燃焼速度は着火後急激に増加したのち，0.7 mm²/s 程度の値をとることが確認できる．本研究で得られた通常重力下における液滴燃焼速度は，上記の微小重力下における液滴燃焼速度よりもやや大きいことがわかる．これは，通常重力下では自然対流の影響により，燃焼が促進されるためであると考えられる．

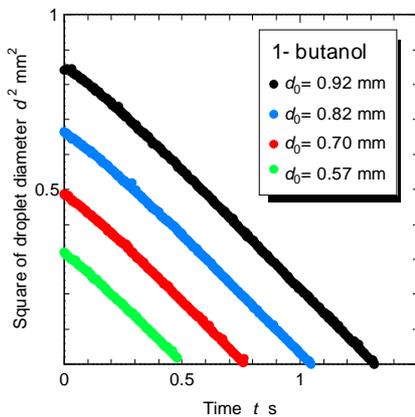


図3 液滴直径二乗値の経時変化 ($U = 0$ m/s)

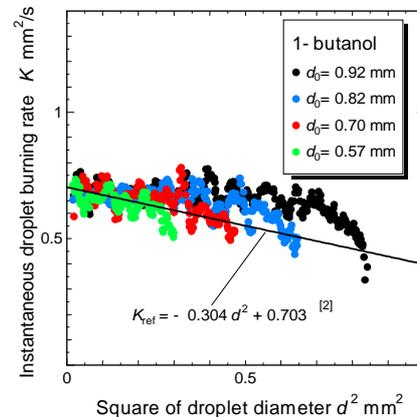


図4 瞬時液滴燃焼速度 ($U = 0$ m/s)

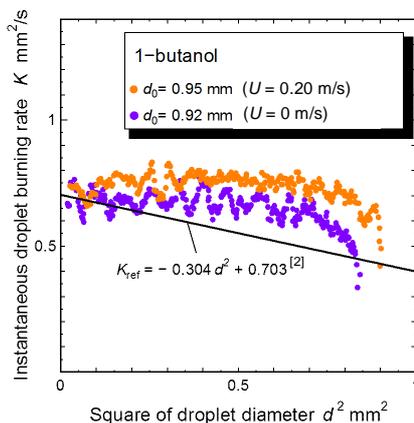


図5 瞬時液滴燃焼速度に及ぼす流速の影響

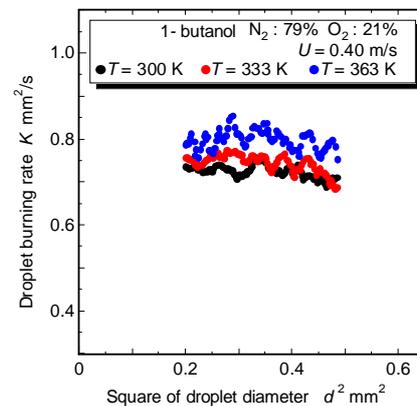


図6 瞬時液滴燃焼速度に及ぼす温度の影響

図5に，模擬空気（窒素79%，酸素21%）微速流流速0.2 m/sにおける液滴直径二乗値 d^2 と瞬時液滴燃焼速度 K の関係を示す．図中には前述の微速流流速なしおよび Nakaya らの微小重力実験の結果を合わせて示している．図より同一瞬時液滴直径において，微速流中における瞬時液滴燃焼速度は微速流がない場合に比べて大きな値になることがわかる．また，瞬時液滴直径が小さくなるとともにその差は小さくなっている．

図6に瞬時液滴燃焼速度に及ぼす微速流温度の影響を示す．図より同一瞬時液滴直径におい

て、微速流温度の上昇にともない瞬時液滴燃焼速度が上昇していることがわかる。

図7に瞬時液滴燃焼速度に及ぼす二酸化炭素の影響を示す。微速流中の酸素濃度は21 vol. %に固定し、窒素の一部を二酸化炭素に置き換えている。図より同一瞬時液滴直径において、二酸化炭素濃度の上昇にともない瞬時液滴燃焼速度が上昇していることがわかる。

図8に液滴燃焼速度比に及ぼすレイノルズ数の影響を示す。強制対流における単一液滴燃焼実験で液滴燃焼速度定数 K_0 とプラントル数 Pr 、レイノルズ数 Re の関係は(1)式のように整理されている[3]。ここで K_0 は対流が0の場合の液滴燃焼速度定数である。

$$K_c/K_0 = 1 + 0.276 Pr^{1/3} Re^{1/2} \quad (1)$$

本研究では、Nakaya らによって得られた微小重力下での液滴燃焼速度 K_{ref} を(1)式の K_0 に適用し、(1)式を(2)式へと変換した。なお、ここでは $Pr^{1/3} = 1$ としている。また、 K は瞬時液滴燃焼速度である。(2)式を図8中に示している。

$$K/K_{ref} = 1 + 0.276 Re^{1/2} \quad (2)$$

図より 実験値の傾きは(2)式で得られる傾きと概ね一致していることがわかる。しかしながら、(2)で得られる値は1割程度過大評価している。現時点では過大評価になる原因は不明であり、今後の課題としたい。

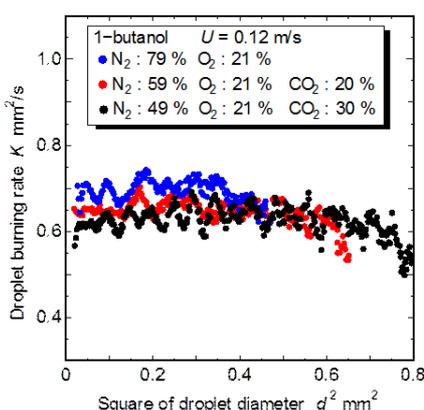


図7 瞬時液滴燃焼速度に及ぼす CO_2 の影響

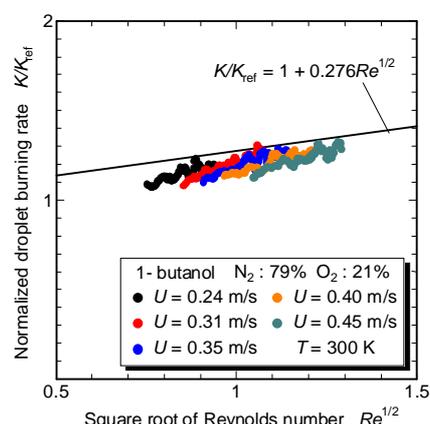


図8 液滴燃焼速度比に及ぼすレイノルズ数の影響

<引用文献>

1. A. Alagumalai, Internal combustion engines: Progress and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 38, 2014, 561-571
2. S. Nakaya, K. Fujishima, M. Tsue, M. Kono, and D. Segawa, Effects of droplet diameter on instantaneous burning rate of isolated fuel droplets in argon-rich or carbon dioxide-rich ambiances under microgravity, Proceedings of the Combustion Institute, 34, (2013), 1601-1608
3. C. K. Law, and F. A. Williams, Kinetics and convection in the combustion of alkane droplets, Combust. Flame, 19, 1972, 393-405.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 2件)

1. T. Myoga, H. Kataoka, D. Segawa, S. Nakaya, M. Tsue, Study on effects of carbon dioxide in slow ambient flows on droplet burning rate, The 9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC9), TFEC9-1553, (2017).
2. 米田充輝, 明賀俊樹, 片岡秀文, 瀬川大資, 1-ブタノール単一液滴の燃焼実験, 自動車技術会関西支部学生自動車研究会第34回卒業研究発表講演会(2018)。

[その他]

ホームページ

<http://www2.me.osakafu-u.ac.jp/ecel/>

6. 研究組織

(1)研究分担者: なし

(2)研究協力者:なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。