

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760143

研究課題名（和文） 噴霧流におけるマイクロ爆発発生メカニズムの解明

研究課題名（英文） Micro-explosion mechanisms in spray flow

研究代表者

渡部 弘達（WATANABE HIROTATSU）

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：40551825

研究成果の概要（和文）：

ハイスピードカメラとシャドウイメージングを用いることで、50 μm 程度のエマルジョン燃料噴霧のマイクロ爆発およびパuffing挙動の可視化に成功した。マイクロ爆発やパuffingといった二次微粒化が噴霧の粒径分布を大幅に改善することが明らかになった。また、油中水滴径の増加に伴い噴霧滴の微粒化特性が向上することが示され、噴霧流におけるパuffingやマイクロ爆発挙動は、油中水滴径の影響を強く受けることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

Secondary atomization behavior was observed by a high-speed video camera with shadow imaging method. As a result, puffing and micro-explosion behaviors of spray droplets around 50 μm were clearly visualized. Visualization shows that secondary atomization significantly improves spray characteristics. Moreover, large dispersed water droplets improved the intensity of secondary atomization and provided a finer spray flow. The initial size of the dispersed water droplets played an important role in the spray characteristics of the emulsified fuel spray.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
23 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：マイクロ爆発，エマルジョン燃料，噴霧燃焼

1. 研究開始当初の背景

液体燃料を微細な霧状にする噴霧プロセスは、各種エンジン、噴霧燃焼炉、重質油ガス化炉などに幅広く用いられている。微粒化特性は燃焼およびガス化特性と密接に関係しており、微粒化特性の向上は重要な課題で

ある。高純度で利用しやすい燃料は次第に枯渇し、低品位燃料の燃焼・ガス化プロセスが要求されていくと考えられ、微粒化特性の向上は今後ますます重要になることが予想される。水と油の乳化物であるエマルジョン燃料滴を加熱するとマイクロ爆発やパuffin

グが発生する。マイクロ爆発とは、図1に示すように、エマルジョン燃料液滴内部の油中水滴で生成した蒸気が急激に膨張し、エマルジョン燃料液滴自体が微細な液滴に分裂し、四方に飛散する現象を指す。パuffingとは、水エマルジョン燃料液滴内部の油中水滴で生成した蒸気が、水エマルジョン燃料液滴の表面から吹き出し、それに伴い水エマルジョン燃料液滴の一部が微細液滴として分裂する現象を指す。マイクロ爆発やパuffingは微粒化特性の向上に大きく寄与するだけでなく、燃料と周囲ガスの混合も促進する。仮にすべての噴霧滴がマイクロ爆発を起こしたならば、ガス燃焼並みのクリーンな噴霧燃焼が実現できる可能性がある。しかしながら、噴霧流におけるマイクロ爆発およびパuffingの発生メカニズムはいまだ未解明な点が多い。既往の研究として、液滴径が1 mm程度の単一液滴を使用した実験は現象を観察しやすいという利点を有しているため、数多く行われている既往の単一液滴実験の問題点として、得られた知見が噴霧滴に適用できるかどうか検討の余地があった。つまり、噴霧流におけるマイクロ爆発は、可視化された

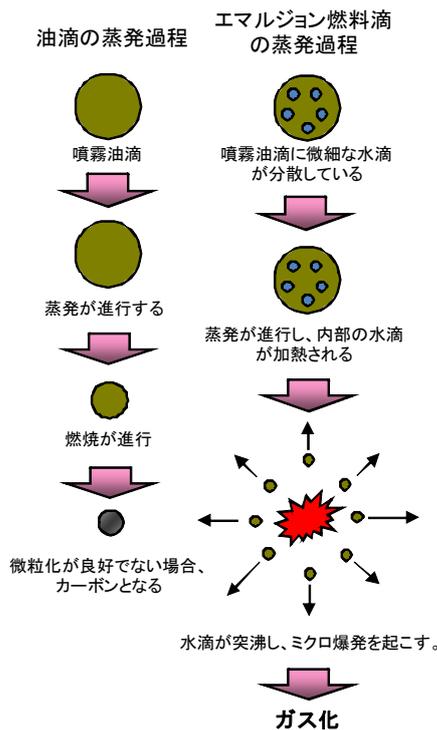


図1 マイクロ爆発の概略

例が極めて希少であり、その発生メカニズムはほとんど明らかにされていない。

2. 研究の目的

噴霧流におけるエマルジョン燃料のマイクロ爆発およびパuffing挙動を観察でき

る計測手法を開発する。マイクロ爆発およびパuffingを直接観察し、その発生メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、シャドウイメージングという可視化手法を用いて、エマルジョン燃料噴霧滴のマイクロ爆発およびパuffing挙動の可視化を行う。シャドウイメージングの概略を図2に示す。噴霧流の後方から、強力なバックライト照明を行い、そのシャドウをハイスピードカメラにより撮影する。

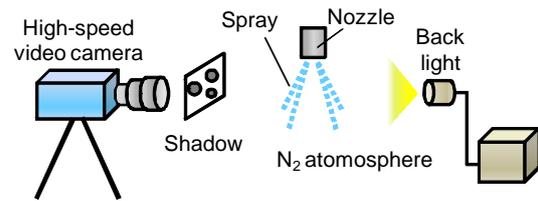


図2 シャドウイメージングの概略図

この手法により、噴霧滴のマイクロ爆発やパuffing挙動を詳細に観察できる。図3に本測定により得られた画像を示す。噴霧滴が鮮明に捉えられている。ハイスピードカメラの撮影範囲は1.22 mm×0.61 mmであるため、噴霧流全体の特性を把握するためには、数点を計測する必要がある。

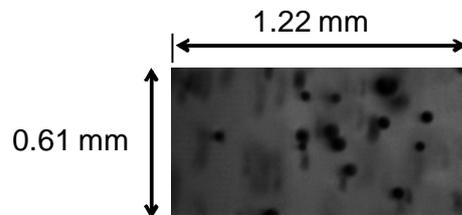


図3 噴霧滴のシャドウイメージング画像

本研究では、雰囲気温度の制御が容易である不活性高温ガス中において、エマルジョン燃料噴霧の二次微粒化特性の解明を行う。

4. 研究成果

エマルジョン燃料は、*n*-ドデカンに水を10 vol. %を界面活性剤のソルビタンモノオレート(エマゾール O-10V, HLB 値, 花王)を0.75 vol. %加え、ホモジナイザーで10分間攪拌混合して調整した。図4に使用した実験装置を示す。エマルジョン燃料は炉上部から導入され、噴霧前に燃料温度が上昇するのを防ぐため、水冷管内部を通して供給されている。ノズルはホロコーン型の圧力噴霧ノズ

ルを使用しており、ノズルへの印加圧を 0.7 MPa としている。電気炉内にステンレス製の炉心管を設置し、電気炉壁面を加熱することで、炉心管を加熱する。炉心管内部にエマルジョン燃料を噴霧し、その噴霧挙動をハイスピードカメラ (FASTCAM-SA4, Photoron) により撮影する。フレームレートは、125,000 fps とした。

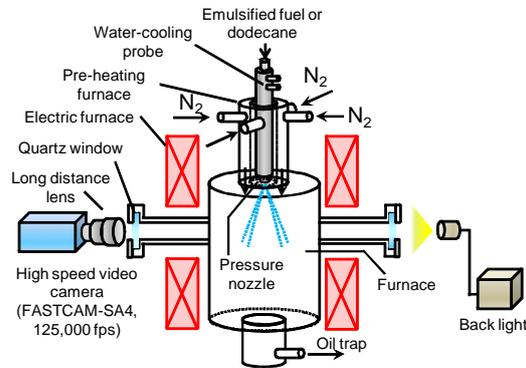


図 4 実験装置

撮影には、光学倍率 3 倍のレンズを使用しており、粒径が $20\ \mu\text{m}$ 程度の噴霧滴の粒径計測も可能である。高温の不活性ガス (N_2) の流量は $1.0\ \text{lmin}^{-1}$ とした。電気炉の壁面温度は $550\ ^\circ\text{C}$ と設定し、雰囲気ガス温度は $400\ ^\circ\text{C}$ であった。不活性ガスは、炉心管の予熱部において予熱されており、高温のガスと壁面からのふく射により噴霧滴が急激に加熱される。本実験では、不活性ガス中で加熱するため、噴霧滴は着火せず、加熱条件が一定の下で二次微粒化挙動を検討できる。

さらに、軸方向に $5\ \text{mm}$ 間隔、半径方向に $2\ \text{mm}$ 間隔で計測を行い、WinRoof による画像解析により、噴霧滴の粒径計測も行った。またエマルジョン燃料だけでなく、エマルジョン化する前の n -ドデカンも噴霧し、その粒径分布も把握し、粒径分布をを比較することで、取得も行った。

図 5 に本実験で得られた噴霧流におけるシャドウイメージングの高速度写真と、同じエマルジョン燃料を使用した粒径 $1\ \text{mm}$ 程度の単一液滴実験結果を示す。シャドウイメージングにより噴霧滴のひとつひとつが鮮明に捉えられており、 $50\ \mu\text{m}$ 程度の噴霧滴がパuffing (蒸気吹き出し) を起こしていることが示されている。この挙動は粒径の異なる単一液滴実験のパuffing と同様であり、粒径の大きさにかかわらず、パuffing が発生することが示されている。パuffing と同様に、液滴の一部が分裂する部分的なマイクロ爆発も観察されたが、発生頻度は、パuffing の方が非常に高かった。ここでは、発生頻度ではなく、画像解析により得られた粒径分布で、二次微粒化効果を議論する。

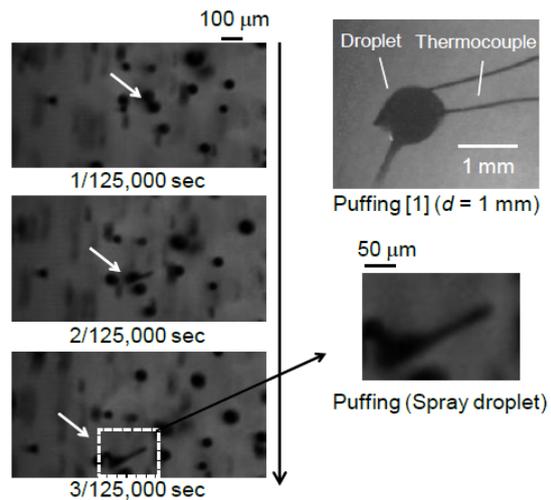


図 5 エマルジョン燃料噴霧滴と単一液滴 ($d=1\ \text{mm}$) におけるパuffing 挙動の比較 ([1] Watanabe, H. et al., The characteristics of puffing of the emulsified fuel, Int. J. Heat Mass Transfer, 52 (2009) 3676-3684.)

図 6 に、 n -ドデカンと n -ドデカンのエマルジョン燃料の噴霧の粒径分布の比較を示す。エマルジョン化することで、液体の粘度が上昇するため、噴霧位置から $5\ \text{mm}$ の位置 ($x=5\ \text{mm}$) では、エマルジョン燃料噴霧の方の粒径が大きいが、下流に向かうに従い、エマルジョン燃料噴霧の粒径が大幅に減少し、 $x=15\ \text{mm}$ の位置では、 n -ドデカンよりも、エマルジョン燃料噴霧の方が、粒径が小さくなっている。これは、噴霧が加熱されることで、パuffing やマイクロ爆発といった二次微粒化が発生したためと考えられる。このことから、二次微粒化が噴霧流に与える影響が非常に大きいことが示された。

次に、エマルジョン燃料における水の体積分率を変化させずに、油中水滴径を増加させたエマルジョン燃料を用い、二次微粒化挙動に及ぼす油中水滴径の影響について、検討を行った。その結果、油中水滴径の増加に伴い噴霧滴の微粒化特性が向上することが明らかになった。単一液滴では、マイクロ爆発までの時間スケールが長く、油中水滴が凝集する。それに対し、噴霧では、 $30\ \text{ms}$ 程度で二次微粒化が発生し、水滴が凝集しない可能性がある。噴霧流におけるパuffing やマイクロ爆発挙動は、油中水滴径の影響を強く受けることが明らかになった。

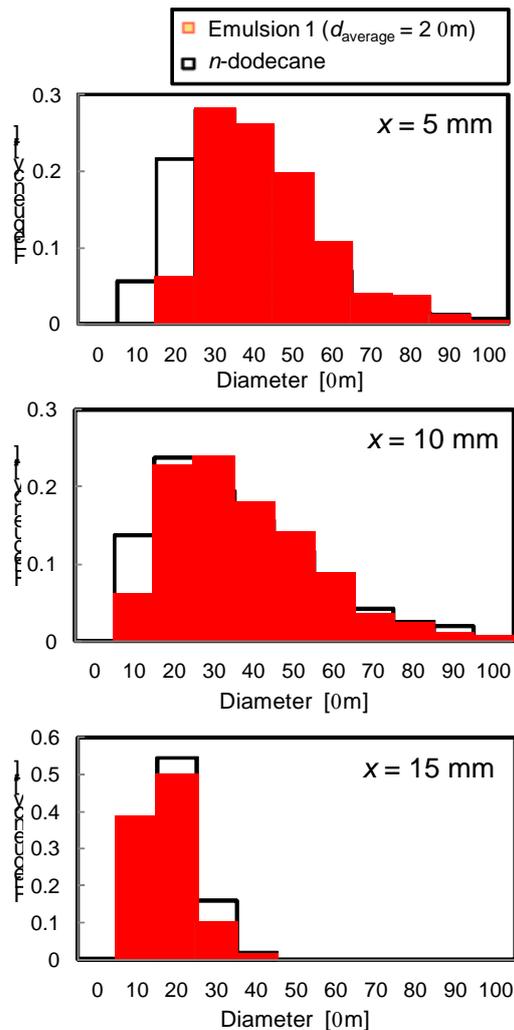


図6 n-ドデカンとエマルジョン燃料の噴霧滴の粒径分布の比較

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)

[学会発表] (計 4 件)

[1] Hirotsu Watanabe, Ken Okazaki, Visualization of secondary atomization in emulsified-fuel spray flow by shadow imaging, 34th International Symposium on Combustion, Warsaw(Poland), 2012 年 8 月 2 日.

[2] 渡部弘達, 神沢圭, 岡崎健, シャドウイメージングによるエマルジョン燃料噴霧の二次微粒化特性の検討, 熱工学コンファレンス 2011, 静岡, 2011 年 10 月 29 日

[3] 渡部弘達, 神沢圭, 岡崎健, シャドウイメージングによる噴霧流におけるマイクロ爆発の直接可視化, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演, 岡山, 2011 年 6 月 3 日

[4] 渡部弘達, 神沢圭, 岡崎健, エマルジヨ

ン燃料噴霧におけるマイクロ爆発特性の評価, 熱工学コンファレンス 2010, 長岡, 2010 年 10 月 29 日

[その他]

<http://www.mech.titech.ac.jp/~ep1>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部 弘達 (WATANABE HIROTATSU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 40551825