

## 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26日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560217

研究課題名（和文） エレクトロスプレー法を用いたマイクロLPP 燃焼技術の開発

研究課題名（英文） Development of Micro LPP Combustion Technique Using Electro spray

研究代表者

三上 真人 (MIKAMI MASATO)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20274178

研究成果の概要（和文）：

超小型高密度エネルギー発生装置，高効率小型ヒータとして微小空間で燃焼を行うマイクロコンバスタの研究が多くなされてきている．マイクロコンバスタにエネルギー密度の高い液体燃料を用いるには，小さい燃焼器内において短時間で液体燃料の蒸発と空気との混合・燃焼を行う必要がある．本研究ではエレクトロスプレー法と金属メッシュを組み合わせたマイクロコンバスタを製作し，小径管内での液体燃料の安定燃焼を実現させた．

研究成果の概要（英文）：

Many researchers have studied micro combustors, which burn fuels in a small space and are used as very small power generators with high energy density or small heaters with high efficiency. In order to use liquid fuels, whose energy density is relatively high, in micro combustors, it is necessary to complete vaporization of liquid fuel, mixing with air and burning in a small combustor. This research succeeded to stably burn liquid fuels in a narrow glass tube.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：燃焼工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：燃焼，液体燃料，エレクトロスプレー，マイクロコンバスタ

## 1. 研究開始当初の背景

マイクロコンバスタとはコインサイズの超小型の燃焼器のことであり，携帯機器用の超小型高密度エネルギー発生装置として期待されている．液体燃料を用いた場合，その

エネルギー密度はリチウムイオン電池の数十倍にもなるため，液体燃料を用いたマイクロコンバスタの研究・開発は非常に重要である．また，マイクロコンバスタは電気ヒータに代わる省エネルギーの小型ヒータとして

も期待されている。マイクロコンバスタに関する研究は世界的に多くの研究者により行われている。しかしながら、気体燃料より密度が高く携帯性に優れている反面その適用には技術的に高いレベルが必要である液体燃料をマイクロコンバスタに適用している研究者は極めて少ない。

## 2. 研究の目的

本取組では、まずマイクロコンバスタへの液体燃料適用時の鍵となる微細噴霧生成技術として、電界制御技術を用いたエレクトロスプレー技術を構築する。次に、それを用いた予蒸発予混合 (LPP) 燃焼を微小空間で実現すべく、微細噴霧流の超過エンタルピ燃焼特性を評価する。最後に、燃焼振動領域において燃焼制御を試みる。

## 3. 研究の方法

### (1)エレクトロスプレー特性試験

エレクトロスプレー用のノズルおよび電極配置を設計、製作し、エレクトロスプレーのモードおよび噴霧特性について、レーザーシート法による噴霧外形観察、短時間バックライトと高速度ビデオカメラを用いた過渡特性調査、位相ドップラー粒子分析計(PDPA)による液滴径および液滴速度測定などにより調査を行った。図1にエレクトロスプレー試験装置の概略図を示す。供試液体には電気伝導率の比較的高いエタノールと電気伝導率の比較的低いヘプタンの混合液体を用いた。マイクロコンバスタへの適用を考慮し、噴霧角が小さく、かつ、安定した微細噴霧の形成可能なコーンジェットモードの形成条件の把握を主として行った。形成された噴霧の空間分布は流路内に設置した複数の電極により制御した。電極位置および電位差を変化させ、電極への噴霧付着条件の検討も行った。

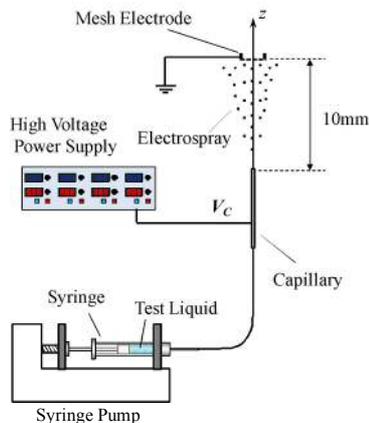


図1 エレクトロスプレー試験装置

### (2)小径管内燃焼試験

図2に本研究で製作したマイクロコンバスタの図を示す。マイクロコンバスタは内径3.5mmの石英管と間に挿入されたステンレス製リングおよびステンレス製メッシュ、中心に設置された燃料供給用キャピラリーから構成される。キャピラリーおよびリングにはそれぞれ電圧が印加されており、メッシュは接地されている。キャピラリー・リング間の電界により空気流中に静電噴霧が形成され、リング・メッシュ間の電界によりエレクトロスプレーが移動され、メッシュに捕集される。用いた液体燃料はエタノール30%、ヘプタン70%の混合液体である。なお、本マイクロコンバスタでは燃焼を促進する触媒や外部加熱を用いていない。比較のため、気体燃料のプロパンを用いた場合についても実験を行った。

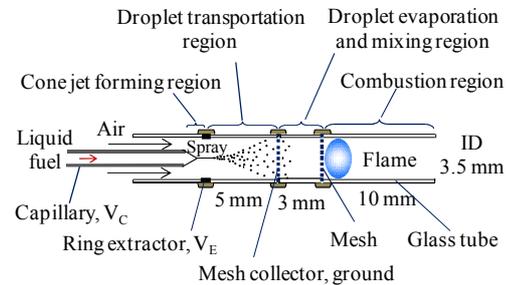


図2 エレクトロスプレーを用いたマイクロコンバスタ

## 4. 研究成果

### (1)エレクトロスプレー特性

印加電圧およびヘプタン混合割合に依って、噴霧モードが変化した。図3に異なる印加電圧に対する噴霧形状の代表例を示す。ヘプタン混合割合70%を境に、混合液体の噴霧モード発生条件および平均液滴径に異なる傾向が現れた。

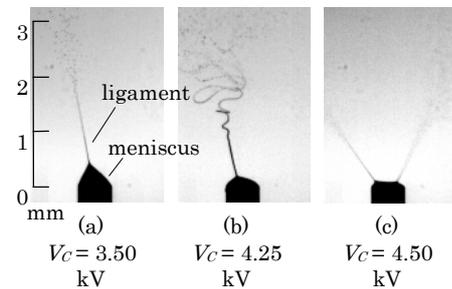


図3 エレクトロスプレー短時間露光像

ヘプタン混合割合70%以下においてコーンジェットを形成し始める印加電圧であるオンセット電圧はヘプタン混合割合の増加に従って低下した。この混合割合範囲では、液体表面に十分な電荷密度が存在しており、ヘ

プタン混合割合増加による表面張力低下によりオンセット電圧が低下したと考えられる。

ヘプタン混合割合 80%以上ではコーンジェットモードが形成されるオンセット電圧は増加した。電気伝導率の低下に伴い電荷密度が減少し、そのためにオンセット電圧が増加したと考えられる。

## (2) 小径管内燃焼試験

小径ガラス管内にステンレスメッシュを挿入した燃焼器について、燃料としてプロパンを用い、空気および燃料の流量を変化させ、管内・外における燃焼条件を調べた。ガラス管の内径として、従来の消炎直径より大きい場合、消炎直径に近い場合、消炎直径より小さい場合の3種類を対象とした。図4に内径が3.5mmの場合と2.5mmの場合の管内定在火炎を示す。内径2.5mmは従来言われている消炎直径より小さい。本実験の結果、外部加熱無しでも管内のメッシュ近傍で火炎が定在化する当量比および流速条件が存在することが明らかになった。図5に内径が3.5mmの場合について、ガラス管端燃焼の吹飛び限界、逆火限界、また、ガラス管内のメッシュ付近における火炎定在限界を示す。逆火不可能条件および、逆火可能でもメッシュで消炎する条件においても、初期条件を他の定在可能条件から徐々に変化させることで、メッシュ付近での火炎が定在可能であり、燃焼ガスからガラス管壁を通して未燃混合気に熱が移動する再生予熱効果が示唆された。

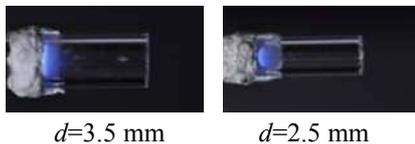


図4 小径ガラス管内のメッシュ付近で定在する火炎（プロパン/空気）

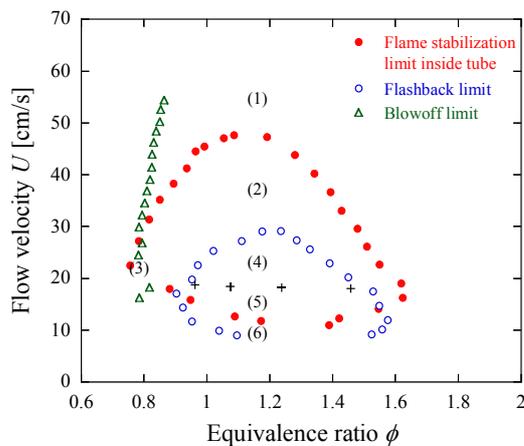


図5  $d=3.5\text{mm}$  のガラス管内および管端燃焼モードマップ（プロパン/空気）

気体燃料を用いた実験と並行して、液体燃料を用いた場合の小径ガラス管内での噴霧形成条件および燃焼特性について実験を行った。実験の結果、気体燃料の場合と同様にメッシュを挿入することで、外部加熱無しにガラス管内に噴霧が壁面付着することなく火炎が長時間定在可能な条件が存在することが明らかになった。図6に液体燃料を用いた場合の管内定在火炎の代表的な写真を示す。また、管内火炎定在限界条件をガス流速と当量比に対して図7に示す。当初予想された希薄域および過濃域での振動火炎は発生しなかった。メッシュには静電気力による噴霧の捕獲と再生予熱の促進の役割があると考えられる。図7では両者の役割を一つのメッシュで担った場合と、二つのメッシュで担った場合とを比較して示している。二つのメッシュを用いた方が噴霧と火炎の接触が生じないことから、管内火炎定在可能領域が広いことがわかる。なお、ある燃料流量以上ではガラス管内壁へ燃料付着が生じ、長時間の燃焼器運転が困難となることも明らかになった。図7より、気体燃料を用いた場合より液体燃料を用いた場合の方が管内火炎定在可能領域が狭いが、それは主に管内壁への燃料付着によるものであることがわかる。燃料付着の防止が管内火炎定在領域拡大を行ううえでの今後の課題である。

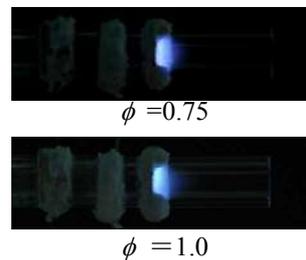


図6 小径ガラス管内のメッシュ付近で定在する火炎（エレクトロスプレー）

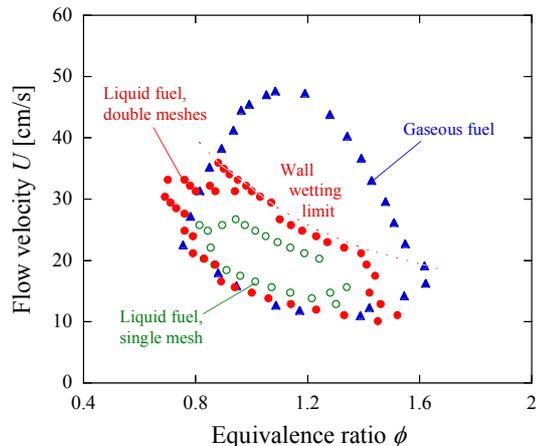


図7  $d=3.5\text{mm}$  のガラス管内におけるエレクトロスプレー/空気の火炎定在限界

## 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 2 件)

- ① Yuliati, L., Seo, T., Mikami, M., Liquid-fuel Combustion in a Narrow Tube Using an Electro-spray Technique, Combustion and Flame, Brief Communication, Vol. 159, Issue 1, 2012, pp. 462-464
- ② 寒川博司, Lilis YULIATI, 瀬尾健彦, 三上真人, エタノール/ヘプタン混合液体の混合割合が静電微粒化の噴霧特性に及ぼす影響, 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, 第 77 巻第 773 号, 2011 年, pp. 129-137

[学会発表] (計 9 件)

- ① Mikami, M., Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-scale Tubes with Wire Mesh, 34<sup>th</sup> International Symposium on Combustion, 2012 年 8 月 1 日, Warsaw, Poland
- ② 前田敬之, 小径管内における静電噴霧火炎の定在性, 第 49 回燃焼シンポジウム, 2011 年 12 月 6 日, 慶応義塾大学日吉キャンパス 横浜市
- ③ Lilis, Y., Study on Electro-sprayed Liquid Fuel Combustion in a Narrow Tube: Flammability Limit and Flame Visualization, ILASS-Europe 2011, 2011 年 9 月 7 日, Estoril, Portugal
- ④ 松井啓一郎, 小径石英ガラス管内におけるプロパン/空気予混合火炎の定在性に関する一検討, 第 48 回燃焼シンポジウム, 2010 年 12 月 1 日, 福岡ガーデンパレス 福岡市
- ⑤ Yuliati, L., Combustion Characteristics of Ethanol-n-Heptane Mixture in a Cylindrical Microcombustor, The 33rd International Symposium on Combustion, Work-in-Progress Posters, 2010 年 8 月 6 日, Beijing, China
- ⑥ リリスユリアティ, キャピラリー/リング/メッシュ電極を用いたエタノールの静電噴霧モードおよび噴霧特性, 第 18 回微

粒化シンポジウム, 2009 年 12 月 18 日, 九州大学 福岡市

- ⑦ 松井啓一郎, 加熱された小径管内におけるプロパン/空気混合気の燃焼特性, 熱工学コンファレンス, 2009 年 11 月 7 日, 山口大学 宇部市
- ⑧ Yuliati, L., Electro-spray Characteristics of Ethanol with Various Electrode Configuration, 13th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems-Asia, 2009 年 10 月 15 日, WuXi, China
- ⑨ Kangawa, H., A Study on Electro-spraying of Ethanol-Heptane Mixture, 13th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems-Asia, 2009 年 10 月 15 日, WuXi, China

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三上 真人 (MIKAMI MASATO)  
山口大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 20274178

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

瀬尾 健彦 (SEO TAKEHIKO)  
山口大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 00432526

田之上 健一郎 (TANOUE KENICHIRO)  
山口大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 70293892

南 和幸 (MINAMI KAZUYUKI)  
山口大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 00229759