

# 微小重力環境を利用した均一分散燃料噴霧の燃焼実験

日本大学 野村浩司

日本大学大学院 相原秀紀

JAXA 菊池政雄

## Combustion experiments on mono-dispersed fuel spray using microgravity conditions

Hiroshi Nomura

Nihon Univ., Narashino, Chiba 275-8575

E-Mail: nomura.hiroshi@nihon-u.ac.jp

Hideki Aihara

Nihon Univ.

Masao Kikutch

Japan Aerospace Exploration Agency

Abstract: Mono-dispersed fuel spray with narrow droplet diameter distribution (uniform spray) has been studied with several experimental apparatuses for microgravity. Spherical flame propagation was observed with the constant-pressure chamber and constant-volume chamber, and flame propagation speed and maximum burning pressure were measured with varying mean droplet diameter, total equivalence ratio, liquid equivalence ratio, gas equivalence ratio and pressure. Detailed observations of a flame stabilized in a uniform spray stream were performed with the uniform spray burners. The size of the uniform spray burner has been reduced to fit the combustion experimental module for ISS.

Key words; Spray Combustion, Uniform Spray, Flame, Burner

### 1. 研究背景と目的

部分予蒸発燃料噴霧の燃焼機構を解明することは、ディーゼル機関のノッキング制御やガソリン機関の燃焼における残留燃料液滴の影響解明、予蒸発希薄予混合ガスタービンの予蒸発管における逆火防止などに有用な知見が得られると考えられる。噴霧燃焼の研究において、空間に均一に分散させた液滴直径分布を極力狭くした燃料液滴群（均一噴霧）を実験対象とするアプローチは、実験結果の考察を容易にする有効な手段である。また、噴霧燃焼と基礎研究

で対象とされることが多い単一液滴燃焼・液滴列燃焼・液滴マトリックス燃焼と実機の噴霧燃焼の間を補完する研究として、均一噴霧の燃焼を対象とする研究は重要である。

凝縮法を利用して燃料蒸気-空気予混合気中に均一な燃料液滴群を生成し、部分予蒸発予混合燃料噴霧の基礎的な燃焼実験を行う試みは、Hayashi と Kumagai<sup>(1)</sup>によって始められた。著者らも、同じ凝縮法を利用し、かつ生成された均一噴霧が重力により偏在するのを防止するために微小重力環境を利用し、

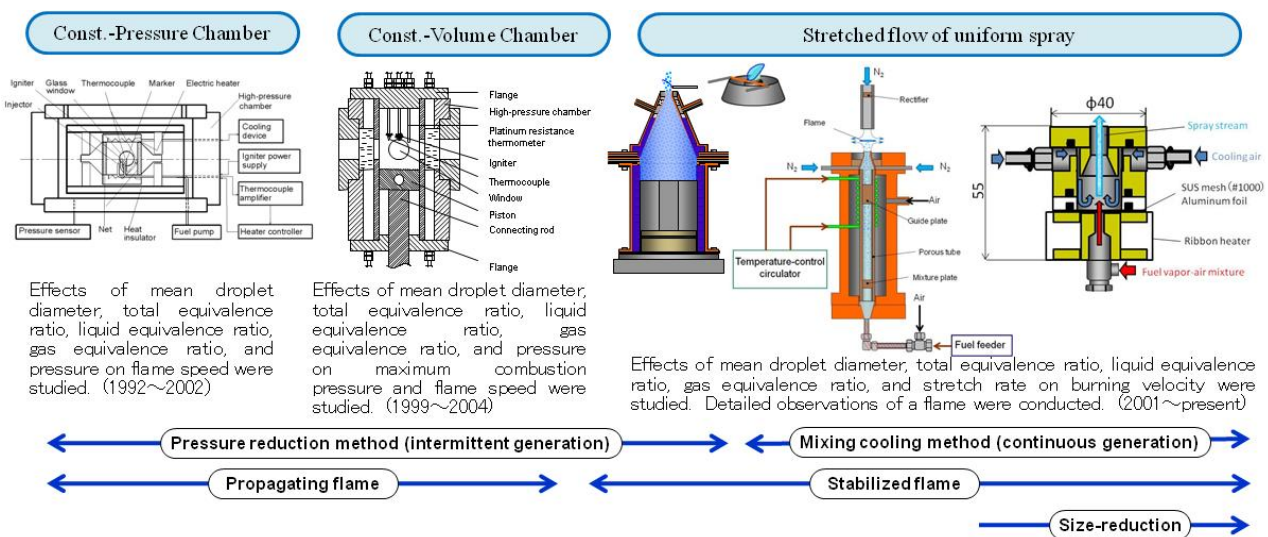


Fig. 1 Schematics of experimental apparatus for uniform spray combustion.

燃料蒸気-空気予混合気中の均一噴霧の燃焼実験を行ってきた。Fig. 1 にこれまで使用してきた微小重力実験装置の一覧を示す。全ての実験装置で噴霧生成法には凝縮法を用いたが、左3つの実験装置では飽和燃料蒸気-空気混合気の急速減圧により温度降下を起こさせ、燃料蒸気の一部を噴霧に凝縮させた。右2つの実験装置では、燃料蒸気-空気混合気に冷却した空気を混合することにより、燃料蒸気の一部を噴霧に凝縮させた。また、左2つの実験装置は球状火炎伝播を対象とする研究で用い、右3つの実験装置は定在火炎を対象とする火炎詳細観察の研究に用いた。現在研究に使用している右端の実験装置は、軌道上実験を目指して小型化を図っている実験装置である。本報では、これら実験装置で得られて成果の概要を紹介する。

## 2. 成果

噴霧の平均液滴直径、総当量比、液体当量比、気体当量比および圧力を実験パラメータとし、均一噴霧の球状火炎伝播を対象とした研究を行った<sup>(2)・(3)</sup>。代表的な結果を Fig. 2 に示す。火炎伝播速度と総当量比の関係を示している。同一総当量比の予混合気の場合と比較して、総当量比が1を下回る均一噴霧（燃料希薄噴霧）では火炎伝播速度が大きくなり、総当量比が1を上回る均一噴霧（燃料過濃噴霧）では逆に小さくなるのがわかった。その他の噴霧性状に対する火炎伝播速度の依存性をまとめて Table 1 に示す。実機への知見の適用に重要な最大燃焼圧の測定は、定容燃焼容器を用いて行った。予混合気より火炎伝播速度が大きくなる噴霧の条件で、最大燃焼圧も予混合気より高くなるのがわかり、燃焼室内の燃料の一部を微細噴霧として存在させることで、80%程度の燃料消費率で同じ出力が得られる可能性を示唆した。

火炎伝播を対象とした実験で得られた結果を詳細に考察するため、火炎と燃料液滴の干渉を詳細に観察することを目的とし、均一噴霧バーナを用いて液滴の挙動観察や燃焼速度の測定を行った<sup>(4,5)</sup>。その結果、平均液滴直径および流れの伸長率が液滴の火炎貫通度に及ぼす影響や、噴霧流の伸長率と燃焼速度の関係が明らかになった。現在、噴霧流生成に長い時間を要する平均液滴直径が大きい噴霧流の燃焼データが不足している。均一噴霧バーナの小型化を図り、ISS軌道上実験を提案する予定である。

## 参考文献

- (1) Hayashi, S. and Kumagai, S. : Flame Propagation in Fuel Droplet-Vapor-Air Mixtures, Proc. Combust. Inst. 15 (1975), 445-452.
- (2) Nomura, H., Koyama, M., Miyamoto, H., and Ujiie, Y. : Microgravity Experiments of Flame Propagation

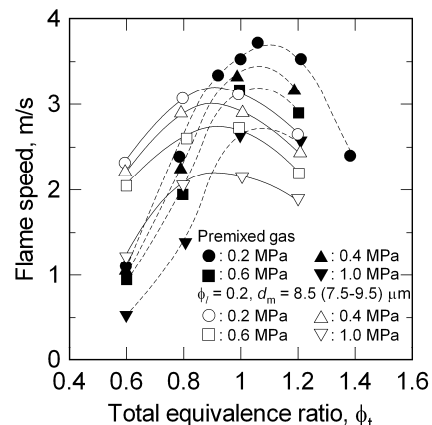


Fig. 2 Effect of pressure on the relation between the flame speed and the total equivalence ratio.

Table 1 The effects of the mean droplet diameter and the liquid equivalence ratio on the flame speed.

Parameter	Range	Condition	Vapor density (supposed)	Flame speed
Mean droplet diameter	7 to 45 $\mu\text{m}$	$\phi = 0.8$ $\phi = 0.3, 0.41$	$\nearrow$ $\searrow$	$\nearrow$ $\searrow$
	7.5 to 11 $\mu\text{m}$	$\phi < 1.1$ $\phi = 0.3$ $\phi > 1.1$ $\phi = 0.3$	$\nearrow$	$\nearrow$ $\searrow$
Liquid equivalence ratio	0 to 0.52	$\phi = 0.8$ $d_m = 7.5, 11 \mu\text{m}$	$\nearrow$ $\searrow$	$\nearrow$ $\searrow$
		$\phi = 1.4$ $d_m = 11 \mu\text{m}$	$\searrow$	$\searrow$ $\nearrow$
	0.15 to 0.48	$\phi = 0.8$ $d_m = 23, 28, 40 \mu\text{m}$	$\searrow$	$\searrow$
0.2 to 0.3	$\phi > 0.8$ $d_m = 11 \mu\text{m}$	$\searrow$	$\nearrow$	

in Ethanol Droplet - Vapor - Air Mixture, The Proc. Combust. Inst., 28(2001), 999-1005.

- (3) Nomura, H., Hamasaki, T., et al. : Fundamental Study on Effects of Residual Fuel Droplets on Flame Propagation In SI Engines, SAE Transactions Journal of Engines, Section 3, 112(2004), 843-850.
- (4) Nomura, H., Hayasaki, M., and Ujiie, Y. : Effects of fine fuel droplets on a laminar flame stabilized in a partially-prevaporized spray stream, The Proc. Combust. Inst., 31 (2007), 2265-2272.
- (5) 及川, 野村, 氏家 : 対向流バーナを用いた液滴混在予混合気の燃焼速度に及ぼす伸長の影響に関する研究, 日本液体微粒化学会誌微粒化, Vol. 18 (2009), 68-74.