

液滴群燃焼ダイナミクス研究チーム活動報告

菊池政雄、山本信（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）、梅村章（名古屋大学）
小林秀昭、大上泰寛（東北大学）、野村浩司（日本大学）、三上真人、瀬尾健彦（山口大学）
森上修（九州大学）、新城淳史（宇宙航空研究開発機構・研究開発本部）
久康之（IHI エスキューブ）

Activity Report of Research Team on Combustion Dynamics of Fuel Droplets

Masao Kikuchi¹, Shin Yamamoto¹, Akira Umemura², Hideaki Kobayashi³, Yasuhiro Ogami³,
Hiroshi Nomura⁴, Masato Mikami⁵, Takehiko Seo⁵, Osamu Moriué⁶, Junji Shinjo⁷,
Yasuyuki Hisashi⁸

1:Japan Aerospace Exploration Agency/ISAS, 2:Nagoya University, 3:Tohoku University,
4:Nihon University, 5:Yamaguchi University, 6:Kyushu University,
7:Japan Aerospace Exploration Agency/ARDD, 8: IHI Scube Co., Ltd.

E-Mail: kikuchi.masao@jaxa.jp

Abstract: This paper describes activity report of Research Team(WG) on Combustion Dynamics of Fuel Droplets. In accordance with the objectives of this WG, normal gravity and ground-based microgravity experiments have been performed as well as numerical simulation. Also, discussion on next-generation simulation technique for spray combustion has been discussed. It should be emphasized that a proposal on microgravity experiment for validation of the new atomization concept, which was prepared by Prof. Umemura, was newly selected as a candidate for KIBO experiment. The investigation is the 3rd space experiment, derived from our WG activities, following previous 2 space experiments.

Key words: Combustion, Fuel Droplets, Flame Propagation, Microgravity Experiments

1. WG の概要

噴霧燃焼はディーゼルエンジンやガスタービンなどの燃焼機器において広く使用されている燃焼方式であるが、燃料の微粒化、蒸発、燃料蒸気の拡散、着火、火炎伝播などの素過程が同時に進行する極めて複雑な現象であるため、本質的な燃焼メカニズムの解明あるいは信頼性のある数値シミュレーションの構築等が十分進んでいないのが現状である。微小重力環境は自然対流の排除、観察する燃焼現象の時空間スケールの拡大、液滴粒子の沈降の抑制等により、これらの素過程を詳細に解明するための理想的な実験場を提供する。また、微小重力実験により得られる高精度実験データとの比較により、数値シミュレーションにおいて使用される様々なモデルの妥当性検証を行うことも可能になる。

このような背景を踏まえ、本 WG においては、微小重力実験による素過程の詳細解明に基づく噴霧燃焼メカニズムの体系的解明ならびに素過程に立脚した次世代の噴霧燃焼数値シミュレーションの構築を最終的な目的とした研究計画の議論と落下塔実験などによる地上研究を実施している。さらに、地上研究・予備検討成果に基づき、国際宇宙ステーション（ISS）などを利用するフライト実験テーマの立案・検討作業も行っている。

2. WG の活動内容と成果

本 WG の今年度の主な活動内容は、以下のとおりである。

- ① 短時間微小重力実験、数値シミュレーションなどによる地上研究の実施
- ② 次世代の噴霧燃焼数値シミュレーション技術構築に向けた議論・検討
- ③ 地上研究成果を踏まえた宇宙実験計画の検討

①の地上研究については、以下の6つの研究課題について、微小重力実験を含めた研究を実施中である。

- ・部分予蒸発液滴列の燃焼特性解明（JAXA）
- ・噴霧の乱流微粒化機構の解明（名古屋大学）
- ・変動速度場における液滴の非定常燃焼特性解明（東北大学）
- ・伝播火炎と液滴の干渉効果解明（日本大学）
- ・ランダム分散液滴群の燃え広がりメカニズム解明（山口大学）
- ・液滴群の自発点火特性解明（九州大学）

これらの研究課題はすべて、本 WG の最終目標の一つである、素過程の詳細解明に基づく噴霧燃焼メカニズムの体系的解明のために重要なものであり、WG 会合等における相互連携・協力を密にしつつ研究を進めている。

今年度の代表的な微小重力実験は、JAXA/山口大学/日本大学/九州大学が共同で実施した航空

機実験である。実験は、2010年12月にダイヤモンドエアサービス (DAS) 社のMU-300型航空機を用いて実施した。数個の液滴から構成される液滴群要素および150個以上の液滴から構成される液滴群について、微小重力下での火炎燃え広がり・燃焼挙動の観察を行った。これほど多数の液滴を用いて燃え広がり挙動の観察を微小重力下で行った例は著者の知る限り無く、極めて貴重な実験データが得られた。今回の実験で得られた各種の実験データおよび技術データは、後述される「きぼう」での液滴群燃焼実験の実験計画作成および供試体の開発にも役立てられる予定である。航空機実験において撮影された火炎の燃え広がり画像の例を図1に示す。

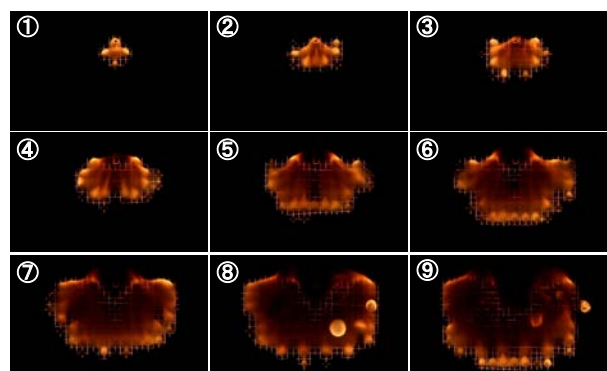


Fig.1 Example of flame spread images of droplet clouds obtained in the parabolic flight experiment

なお、短時間微小重力実験機会に関しては、2010年に日本無重量総合研究所 (MGLAB) が閉鎖されたことに伴い、我々の研究活動も非常に大きな影響を受けた。燃焼現象は重力変動に敏感であるため、高精度な実験データの取得には良質の微小重力環境を実現できる落下実験設備が必要不可欠である。約4.5秒の微小重力環境を提供するMGLABにおける落下実験は、これまでの燃焼研究に非常に大きな役割を果たしており、その喪失は余にも大きい。

我々のWGでも、これまでMGLABでの落下実験を中心的な微小重力実験機会として活用してきたが、今年度は落下実験の実現手段の大幅な見直しにも取り組まざるを得なかった。現時点において、国内の落下実験設備で最長の微小重力時間を実現できるのは、北海道赤平市にあるコスモトール落下塔である。コスモトールでは、約2.5秒の微小重力実験が可能であるが、MGLABに比べて落下カプセルに搭載可能な実験装置の容積・重量はかなり小さく、また地理的な問題もあり、誰もが実験を容

易に行うのは困難である。

本WGにおいては、コスモトール落下塔による微小重力実験への対応を本格化させつつ、各大学に所在する小型落下塔の利用を併用することにより、今後も微小重力利用研究を継続できるよう努力している。もちろん、実験の種類によっては航空機実験も積極的に活用していく。

②については、現状の噴霧燃焼数値シミュレーションにおける課題の整理、計算手段の高速化や大容量化も踏まえた今後の展望、微小重力実験が有効性を発揮できる課題と具体的なアプローチは?などの観点からWG会合における議論を引き続き進めている。

③の宇宙実験計画立案に関しては、本WG活動を基にして、既に2つのフライト実験テーマ創出をこれまで達成してきた実績がある。1つは、2009年に実施された日欧共同のTEXUSロケット利用液滴列燃焼実験「PHOENIX」¹⁾であり、もう1つは「きぼう」2期(前半)利用公募に採択されたランダム分散液滴群の燃焼実験「Group Combustion」²⁾である。

今年度は、「きぼう」2期(後半)利用公募に応募していた液体の微粒化に関する実験提案^{2,3)}(代表:梅村 章 教授)が、フライト候補テーマとして新たに採択された。この実験は、噴霧の微粒化メカニズムの革新的概念を宇宙実験により詳細検証するものであり、現在、実験計画の詳細化と供試体の概念検討を行っている。なお、「Group Combustion」については2010年にシステム定義審査(SDR)を通過し、2013年度の打上げを目指し、2011年度から本格的な供試体開発が開始される予定である。

WG会合については、本稿執筆時点で1回を開催済みであり、年度内にあと2回開催予定である。これらのWG会合では、今年度の地上研究成果のまとめに関する議論、噴霧燃焼数値シミュレーション技術の構築に向けた議論などを行う予定である。

参考文献

- 1) 菊池; TEXUS ロケット 46号機による液滴列燃焼実験, 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.27, No.3, pp.128-136, 2010.
- 2) <http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/>
- 3) 梅村、川那辺、小鹿、陳、新城; 低速噴射水分裂の微小重力実験から得られた知見, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.58, No.680, pp.245-253, 2010.