

液滴群燃焼ダイナミクス研究WG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）
 大島伸行（北海道大学）、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 WG on Combustion Dynamics of Fuel Droplets

Masao Kikuchi¹, Shin Yamamoto¹, Akira Umemura², Hideaki Kobayashi³, Yasuhiro Ogami³,
 Hiroshi Nomura⁴, Masato Mikami⁵, Takehiko Seo⁵, Nobuyuki Oshima⁶, Osamu Moriue⁷,
 Junji Shinjo⁸, Yasuyuki Hisashi⁹

1:Japan Aerospace Exploration Agency/ISAS, 2:Nagoya University, 3:Tohoku University,
 4:Nihon University, 5:Yamaguchi University, 6:Hokkaido University, 7:Kyushu University,
 8:Japan Aerospace Exploration Agency/ARDD, 9: IHI Scube Co., Ltd.

E-Mail: kikuchi.masao@jaxa.jp

Abstract: This paper describes activity report of the research Working Group (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.

Key words; Combustion, Fuel Droplets, Microgravity Experiments, Numerical Simulations

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。

- ・部分予蒸発液滴群の燃焼特性解明（JAXA）
- ・液系の微粒化理論の高度化（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）
- ・火炎と液滴運動の相互作用解明（日本大学）
- ・液滴群の燃え広がり特性の解明（山口大学）
- ・液滴群の自発点火における干渉効果の解明（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 が中心となり山口大学、日本大学、九州大学と共同で実施予定の航空機実験である。実験は2012年2月下旬にダイヤモンドエアサービス（DAS）社のG-11型航空機を用いて実施予定である。数個の液滴から構成される液滴群要素について、干渉燃焼する2液滴から次の液滴への燃え広がり挙動を液滴の配置および液滴間距離等をパラメータとして調べ

る予定である。小型落下塔による実験では微小重力時間の制約により困難な条件について実験を行う。

液滴群の燃え広がり特性の解明に向けた研究については、山口大学の小型落下塔を用いた短時間微小重力実験を今年度実施した。実験では、図1に示すような実験装置を用いて格子状の SiC ファイバ（直径約 $14\mu\text{m}$ ）格子上に直径 0.5mm 程度の正デカン液滴を生成する。液滴の配置は、図2に示すように、着火用液滴 I、干渉燃焼する2液滴 A と B、および燃え広がり限界距離探索用の液滴 L から構成される。液滴 L については、液滴 A からの距離 S_{AL} および X 軸方向からの角度 θ を変数として実験を行った。

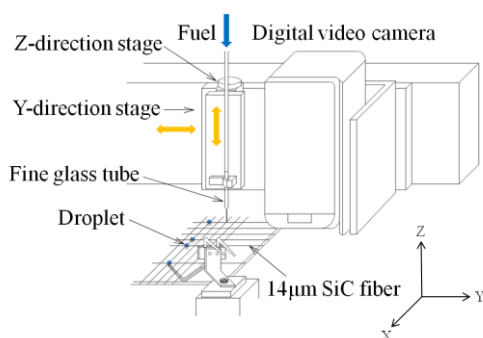


Fig. 1 Schematic of experimental set-up for experiments on flame spread of droplet clouds.

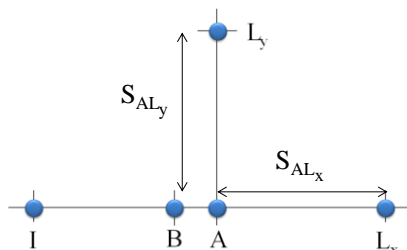


Fig. 2 Schematic of droplets arrangement.

実験の結果、X 方向と Y 方向では液滴 A から L への燃え広がり限界距離が異なり、Y 方向への限界距離が X 方向のそれに比べ大きいことが分かった。また、液滴 A から L に燃え広がるのに要する時間についても、Y 方向の方が短いことが分かった¹⁾。今後、数値シミュレーションとの比較も行いつつ、液滴群の燃え広がり特性の解明に向けた研究を進めていく。

また、液滴群の自発点火に関する研究についても、落下塔による短時間微小重力実験を行った。図3は、実験に使用した装置の概略図である。2本の SiC ファイバの交点上に直径約 1mm の正デカン液滴を生成・支持し、隣接配置された2個の液滴を高温空

気に挿入した際の自発点火挙動を観察した。実験においては、液滴近傍に熱電対を配置し、視認できない冷炎の発生を検知した。

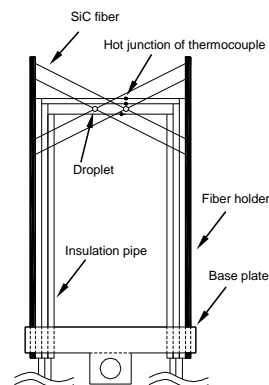


Fig. 3 Schematic of experimental set-up for binary droplets autoignition experiment.

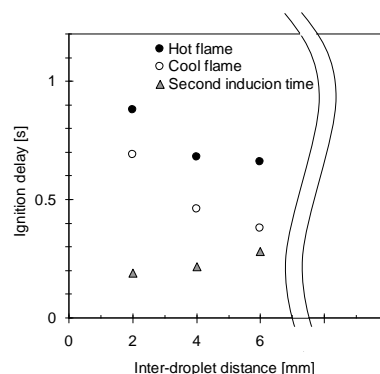


Fig. 4 Ignition delay as a function of inter-droplet distance.

実験結果の一例を図4に示す。2液滴の間隔が近くなるにつれて、冷炎の点火遅れ時間が大きくなる一方、冷炎発生から熱炎発生までの遅れ時間は短くなる²⁾ことが明らかにされた。

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、地上実験の進捗確認および数値シミュレーション技術に関する議論を行った。WG 会合は年度内にあと2回開催予定である。また、今後の地上研究およびフライト実験における協力について、欧州の研究者との議論を今年度行い、来年度に ITT 会合を開催することで合意した。

参考文献

- 1) 廣瀬、瀬尾、三上、菊池；第20回微粒化シンポジウム講演論文集、2011。
- 2) 加藤、末本、森上、橋本、村瀬；第49回燃焼シンポジウム講演論文集、2011。