

液滴群燃焼ダイナミクス研究チーム活動報告

菊池政雄、末松孝章、山本信（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部）

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（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, Takaaki Suematsu¹, Shin Yamamoto¹, Akira Umemura², Hideaki Kobayashi³, Yasuhiro Ogami³, Hiroshi Nomura⁴, Masato Mikami⁵, Osamu Moriue⁶, 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, ground-based microgravity experiments have been performed as well as numerical simulation. Also, preliminary planning of space experiment candidates has been performed to establish next space experiment, following previous 2 flight projects. Japan-Europe cooperative experiment “PHOENIX” employing TEXUS rocket, which was established as the first flight experiment from activity of this WG, was successfully performed by TEXUS#46 in November 2009. In addition, consideration on next-generation simulation technique for spray combustion has been discussed.

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チームの立案・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 落下塔実験、数値シミュレーションなどによる地上研究の実施
- ② 地上研究成果を踏まえた宇宙実験計画の立案
- ③ 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

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、MGLAB 落下塔を利用する微小重力実験を中心とした研究を実施中である。

- ・部分分子蒸発液滴列の燃焼特性解明（JAXA）
- ・噴霧の乱流微粒化機構の理論検証（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）
- ・液滴直径・間隔の不均一性が液滴群の燃え広がりを与える影響の解明（山口大学）
- ・高圧下における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・協力を密にすすめている。

②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、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。

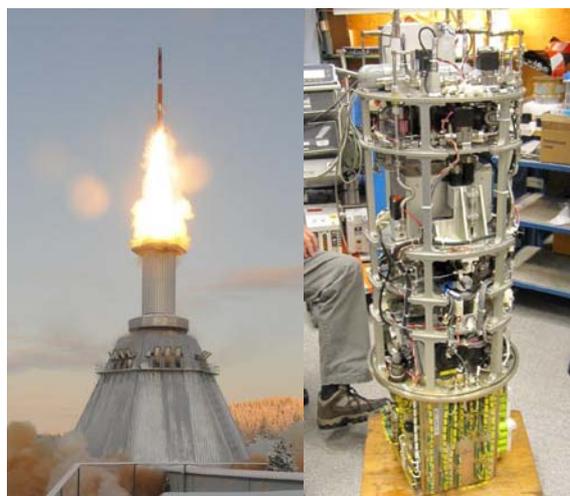
「PHOENIX」については、2009年11月22日にスウェーデン宇宙公社(SSC)エスレンジ射場から打上げられたTEXUSロケット46号機によりフライト実験が実施された(図1(a)参照)。JAXAが開発した液滴列燃焼実験装置(DCU: Droplet Array Combustion Unit)をコアとする燃焼実験モジュール(JCM: Japanese Combustion Module: 図1(b)参照)は順調に作動し、約6分間の微小重力時間中に予定していた4条件の燃焼実験のうち、実験装置以外のシステム不具合により実験実施できなかった4条件目を除き、重要度の高いほうから3条件について所期の実験データを全て取得することができた。現在、日欧研究者チームにより実験データの詳細な解析が行われている。

また「Group Combustion」については、実験計画の詳細化作業、供試体の概念設計作業等が現在行われており、「きぼう」に搭載される「多目的実験ラック/燃焼実験チャンバ」を利用した軌道上実験の実施に向けた準備が進んでいる。

今年度は、これら2つのフライト実験テーマに続く意義の高い実験テーマを創出すべく、新たに発出された「きぼう」2期(後半)利用公募への宇宙実験提案の立案作業を行った。現時点ではまだ提案の評価・選定プロセス中のため個別の提案内容について言及は避けるが、科学的意義が高く、且つ微小重力利用が本質的な重要性を持つ実験提案を立案・応募することができたと考えている。

③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進めている。本 WG で各研究課題を推進しているメンバーには、微小重力実験と並行し、噴霧の微粒化、単一あるいは少数液滴の蒸発・着火・燃焼、直線上液滴列・2次元あるいは3次元液滴群の火炎燃え広がり・燃焼挙動の数値シミュレーションを実施しているメンバーが複数含まれている。噴霧燃焼を構成する様々なレベル(階層)での要素について、実験と数値計算を連携した研究を展開でき、且つそれらの研究課題が相互に情報交換・議論できる場(WG)がある

ことは、極めて重要と考えている。



(a) Launch of TEXUS46 (b) Appearance of JCM

Fig.1 Pictures related to PHOENIX by TEXUS 46.

今後の方向性としては、微小重力実験結果との比較を通じた検証および高度化が JAXA 宇宙科学研究本部を中心として進められている液滴群燃焼解析コード³⁾、また本 WG における研究成果を活用し、名古屋大学と JAXA 研究開発本部を中心として構築・高度化が図られている微粒化解析コード⁴⁾などの特徴・利点も十分に活用しつつ、次世代の噴霧燃焼解析技術構築に向けた具体策を引き続き検討していきたいと考えている。

なお今年度の WG 会合は、本稿執筆時点で1回を開催済みであり、年度内にあと2回程度開催予定である。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、宇宙実験計画の詳細化に係る議論等を行う予定である。宇宙実験計画の詳細化においては、宇宙実験用装置開発メーカーのエンジニアの助言を得つつ、実験提案が採択された際に短期間で装置の概念設計を完了させられるよう予備検討を着実に進める予定である。

参考文献

- 1) 菊池、菅野、依田；TEXUS ロケット利用日欧共同燃焼実験，日本マイクロ重力応用学会誌，Vol.25，No.1，pp.40-49，2008.
- 2) <http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/>
- 3) 菊池、山本、依田；宇宙航空研究開発機構研究報告，JAXA-RR-05-026，2006.
- 4) 新城、松山、溝渕、梅村；液体燃料一次微粒化過程の詳細数値計算，第47回燃焼シンポジウム講演論文集，pp.172-173，2009.