

平成20年3月27日

平成19年度「液滴群燃焼ダイナミクス研究班 WG」活動報告書

代表者所属 JAXA ISS科学プロジェクト室 氏名 菊池 政雄

1. 構成メンバ

氏名	所属
菊池政雄	JAXA ISS 科学プロジェクト室
菅野瓦泰	JAXA ISS 科学プロジェクト室
梅村 章	名古屋大学大学院工学研究科
藤田 修	北海道大学大学院工学研究科
野村浩司	日本大学生産工学部
三上真人	山口大学大学院理工学研究科
森上 修	九州大学大学院工学研究院

の数値シミュレーションコードの構築・高度化を進めている。

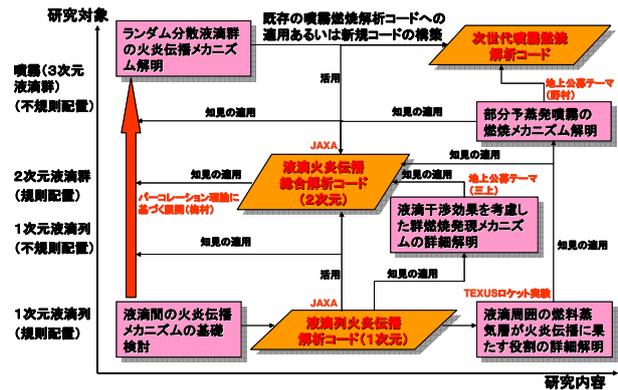


図1 本WGの研究の方向性

2. 本年度WG 会合開催実績

- (1) 第1回：平成19年9月4日
- (2) 第2回：平成20年2月4日

3. 活動目的

本WGの活動目的は、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である。

4. 活動内容

本WGにおける研究の方向性は、相互干渉を有する最も単純な液滴群である液滴列を基点とし、2次元液滴マトリクスへの展開を図り、最終的にはランダム分散した3次元液滴群の火炎伝播メカニズムを解明するというものである(図1参照)。その過程の中で、燃料蒸気拡散場や液滴-混合気間の相対速度などの影響についても研究を実施していく。さらに、各段階における研究成果を具現化するものとして

本WGは平成15年度から活動を継続している。燃料液滴列や液滴マトリクス等を研究対象として、火炎伝播メカニズムを中心とする噴霧燃焼メカニズムの解明を目指した様々なアプローチで要素研究を実施してきた。また、WG活動における議論を基に公募地上研究などの競争的研究費制度に応募し、昨年度までに以下の複数のテーマが採択された実績を有している。

<地上研究公募>

1.

テーマ名：2次元燃料液滴群の群燃焼発現メカニズムの解明

代表研究者：三上 准教授 (山口大学)

研究期間：FY16~18 (第7回地上研究公募採択)

2.

テーマ名：微小重力実験用連続生成均一噴霧バーナの開発と部分予蒸発噴霧火炎の構造に関する研究

代表研究者：野村 教授 (日本大学)

研究期間：FY17~18 (第8回地上研究公募採択)

<科学研究費補助金>

1.

テーマ名：微小重力実験と非定常数値解析の併用による部分予蒸発液滴火炎の局所構造の解明

代表研究者：菊池 主任開発員 (JAXA)

研究期間：FY19～20 (若手研究 (B))

これらの研究成果も踏まえつつ、今年度は主に以下の研究活動を行なった。

- ① TEXUS ロケット利用実験に向けた準備作業
- ② 落下塔実験、数値シミュレーションなどによる地上研究
- ③ JEM搭載「多目的実験ラック」利用燃焼実験テーマの検討・推進

①は、本WGとESAが支援する欧州のCPS(Combustion Properties of Partially Premixed Spray Systems)トピカル研究チームとの研究協力に基づく、日欧共同TEXUS ロケット実験計画に関するものである。本実験計画では、JAXA-ESA間で締結するアグリーメントに基づき、JAXAが搭載実験装置を開発するのと引き換えにESAがTEXUSロケットによる実験機会を提供することとなっている。本実験では、予蒸発により液滴周囲に形成された燃料蒸気層の発達度が火炎の燃え広がり・伝播にどのような影響を与えるかを調べるため、部分予蒸発液滴列の火炎伝播挙動の観察を行う。また、全液滴燃焼後の燃焼ガス採取・回収を行い、地上においてガス成分分析を行う計画である。

宇宙環境利用科学委員会における評価を踏まえ18年度にプロジェクト化された本計画について、2009年の実験実施を目指した実験要求・運用要求の詳細化等の準備作業を、JAXA ISS科学プロジェクト室およびCPSチームなどと連携・協力しつつ進めた。TEXUSロケットに搭載する実験装置開発については、詳細設計を進めるとともに、エンジニアリングモデル(EM)を利用した航空機実験を今年度実施し、実験装置の各機器が良好に動作することを確認した。今回の航空機実験においては、微小重力環境下での液滴列燃焼後の燃焼ガス採取もはじめて行い、液滴列予蒸発進行度の違いにより燃焼ガス中の窒素

酸化物(NO_x)濃度などが変化することが確認された。また、振動試験を行い、装置がTEXUSロケット打上時の振動環境に十分耐えることを確認した。

TEXUSロケットに搭載する液滴列燃焼実験装置(DCU)のEM外観を図2に示す。DCUの開発については、来年度早々に詳細設計審査(CDR)を実施のうえフライトモデル(FM)の製作に着手予定である。

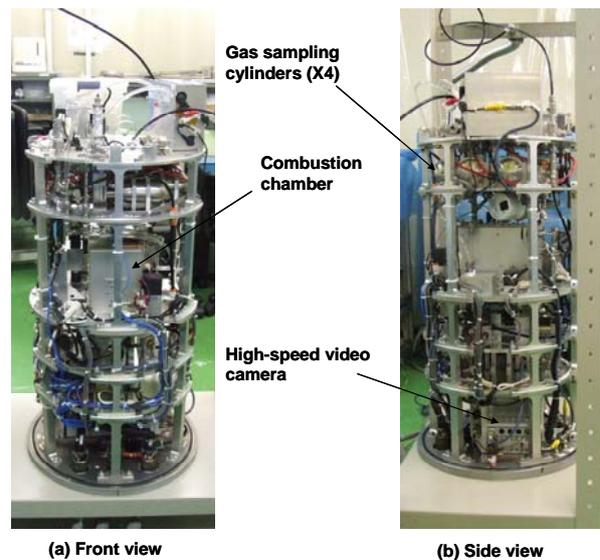


図2 TEXUS ロケット実験装置 EM 外観

②の地上研究については、以下の研究課題についてMGLAB落下塔を利用した微小重力実験を実施した。

- ・部分予蒸発液滴列の火炎燃え広がり (JAXA)
- ・液滴混在予混合気の燃焼 (日本大学)
- ・2次元液滴マトリクスの火炎燃え広がり (山口大学)
- ・燃料液滴および液滴群における冷炎観察 (九州大学)

部分予蒸発液滴列の火炎燃え広がりに関する研究は、TEXUSロケット実験の実験条件最適化の観点からも重要な役割を担っている。また、液滴混在予混合気の燃焼に関する研究は、液滴列の周囲に予混合気が存在している条件下で周囲気体当量比が火炎燃え広がりを与える影響を調べるものである。2次元液滴マトリクスの火

炎燃え広がりに関する研究は、直線状の液滴列に関する研究成果をランダム分散液滴群の燃え広がり現象に拡張するものである(図3参照)。なお本課題については、これまでの地上研究成果を踏まえ2007年7月に発出されたJEM2期利用公募への応募を行い、採択された。燃料液滴および液滴群における冷炎観察実験は、液滴の自着火時に低温酸化反応により誘起される「冷炎」に関する研究である。いずれの研究課題についても実験は順調に実施され、実験結果の詳細な解析および成果の公表準備が進められている。



図3 2次元液滴マトリクスの火炎燃え広がり写真

③のJEM搭載「多目的実験ラック」利用燃焼実験テーマの検討・推進については、先に触れたとおり、三上 准教授を代表研究者とする「ランダム分散液滴群の燃え広がり」と群燃焼発現メカニズムの解明がJEM2期利用テーマとして採択された。本テーマにおいては、パーコレーション理論および短時間微小重力実験の結果得られたランダム分散液滴群の燃え広がりに関する仮説を大スケールの液滴群について検証し、燃え広がりによる群燃焼の発現を記述するパーコレーションモデルの構築を目的としている。

実験は、JEM搭載に向け開発予定の「多目的実験ラック」に装置を搭載して行う予定である。本実験は、少数液滴燃焼と噴霧燃焼を理論的に結びつけるという燃焼学的意義に加え、噴霧の安定燃焼を図るための設計指針を提示する工学的意義を有し、着実な実施が期待される。本テーマは2年

程度の短期間で実験装置開発を行うことが想定されているため、研究チームによる実験要求の詳細化作業とともに、多目的実験ラックと装置とのインターフェース調整作業にも並行して着手している。来年度は実験計画の作成作業を本格的に進める予定である。

今年度開催した2回のWG会合においては、これらの活動方針・内容などについて議論を行なった。さらに、欧州CPSチームメンバーとの国際トピカルチーム会合(ITTM)を2007年10月に奈良で開催した。ITTMにおいては日欧共同TEXUSロケット実験計画の進捗確認を行なったほか、より一層の科学的成果創出を図るため、DCU EMを利用するブレーメン大学ZARM落下塔実験の実施についても合意した。2008年夏のZARM落下塔実験実施に向け、現在準備を進めている。また、多目的実験ラックを利用する宇宙実験について、日欧共同実験提案を目指すことで合意するなど、研究協力の一層の拡大を図ることができた。

5. 成果

原著論文・学会発表

- (1) M. Kikuchi, S. Yamamoto, S. Yoda, and M. Mikami, Flame spread of n-decane droplet array with pre-evaporation in microgravity, *J. Jpn. Soc. Microgravity Appl.*, Vol.24, No.3, pp.241-245 (2007).
- (2) M. Kikuchi, N. Sugano, S. Yoda, and M. Mikami, Effects of pre-vaporization on flame spread of a linear fuel droplet array in microgravity, *Proc. 6th Asia-Pacific Conference on Combustion*, pp.639-642 (2007).
- (3) K. Moesl, T. Sattelmayer, M. Kikuchi, and S. Yoda, Preparations of NO_x measurements for the combustion of an n-decane droplet array under microgravity conditions, *3rd International Symposium on Physical Sciences in Space*, in press.
- (4) 菅沼祐介、野村浩司、氏家康成、菊池政雄、依田真一、三上真人、燃料液滴列の火炎燃え広がり及び気相燃料蒸気濃度の影響と気相火炎伝播に及ぼす燃料液滴列の影響、*日本機械学会論*

文集B編、Vol.74、No.737、pp.212-220 (2008).

- (5) 菅野互泰、菊池政雄、依田真一、三上真人、不等間隔液滴列の火炎燃え広がりに関する数値解析、第45回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.474-475 (2007).
- (6) 岩崎拓史、野村浩司、氏家康成、菊池政雄、依田真一、三上真人、液滴周囲の燃料蒸気-空気予混合気が液滴列燃え広がり火炎に与える影響、第45回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.420-421 (2007).
- (7) M. Kikuchi, N. Sugano, S. Yoda, Y. Suganuma, and H. Nomura, Numerical Study on Flame Spread of a Linear Fuel Droplet Array in Fuel Vapor-Air Mixture, *21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems*, in press.
- (8) 藤山智彰、八木一記、三上真人、小嶋直哉、微小重力場における二次元不等間隔液滴群要素の燃え広がり実験、第45回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.472-473 (2007).
- (9) 八木一記、藤山智彰、三上真人、小嶋直哉、液滴の予蒸発が不等間隔正デカン液滴列の燃え広がりを与える影響、第45回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.418-419 (2007).

など

競争的研究資金獲得・応募状況

- (1) 菊池政雄、微小重力実験と非定常数値解析の併用による部分予蒸発液滴火炎の局所構造の解明、科研費 若手研究 B (19-20年度)