

燃料液滴列の自発点火限界近傍の点火挙動に関する研究チームの 2015 年度活動報告および展望

森上 修 (九州大), 野村 浩司 (日本大学), 菊池 政雄 (JAXA), 三上 真人 (山口大), 田辺 光昭 (日本大), 菅沼 祐介 (日本大)

The 2015 activity report and prospects of the research team on spontaneous ignition of fuel droplet array near ignitable limit

Osamu Moriue*, Hiroshi Nomura, Masao Kikuchi, Masato Mikami, Mitsuaki Tanabe, Yusuke Suganuma

*Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395

E-Mail: moriue@mech.kyushu-u.ac.jp

Abstract: Two researches will be conducted with the COSMOTORRE drop tower. One is spontaneous ignition of two fuel droplets. The other is evaporation of an isolated fuel droplet. Japan-Germany research project on cool flame ignition of a *n*-decane droplet array has been prepared to apply TEXUS rocket (sounding rocket) campaign. Cool flame ignition near the ignition limit conditions is focused on, which takes long time compared with the ignition at high temperatures. Trial versions of some modules were fabricated in Japan. An image intensified high-speed video camera to detect UV-emission from a cool flame was tested at microgravity in Germany.

Key words: Cool flame, Ignition, Combustion, Droplet array, Microgravity, Sounding rocket

1. はじめに

著者らは2014年度まで「共通微小重力実験装置を用いる高圧環境下における点火・燃焼」WGとして活動してきた。WGの目的は、高圧燃焼実験技術の集約、宇宙実験に向けての共通微小重力実験装置の提案、および高圧下燃焼に関する知見の共有と統合を試みることであった。WGでは、大別して下記のテーマで実験・研究を行ってきた。1. 高圧下における燃料噴霧の自発点火のモデル構築を目指した素過程のデータベース確立 (九州大) 2. 高温・高圧雰囲気における燃料液滴蒸発の非定常性の解明 (日本大) 3. 高圧雰囲気における液滴間燃え広がり (山口大) 4. 高圧環境下における音場での二次流れの解明 (日本大) それらの中から、テーマ1、2.をベースとして研究継続し、ドイツDLR、ブレーメン大学との共同研究で、「自発点火限界近傍条件における冷炎発生機構に与える液滴間干渉効果の解明」のテーマでTEXUSロケット実験を目指している。また、今年度、JAXA宇宙環境利用専門委員会の短時間微小重力実験募集に「燃料液滴列の自発点火限界近傍の点火挙動に関する研究チーム」として応募し、採択された。ここでは、これらの活動について報告する。

2. 研究チームの活動概要

これまでに会議は2度行われた。年度内にもう一度会議が行われる予定である。また、外部資金の獲得により「液体燃料分散系の燃焼開始過程における二次元不均一性の影響の解明」のテーマで九州大学

が2016年3月14~18日にHASTIC 50m落下塔にて8回の落下実験を実施予定である。また、JAXA宇宙環境利用専門委員会の短時間微小重力実験募集の採択により「高温高圧雰囲気における燃料液滴の蒸発の微小重力実験」のテーマで日本大学が2016年2月24~29日にHASTIC 50m落下塔にて10回の落下実験を実施予定である。

3. 小型ロケットを用いた微小重力実験のプロジェクト申請に向けた準備

単一液滴の知見を実際の噴霧に拡張するには液滴間干渉の影響の調査が必要である。液滴の実験では、時間的・空間的分解能を確保するために直径1mm程度の粗大液滴が使用されるが、実際の噴霧を構成するような微小液滴に対しては浮力の影響はほとんど無い。このため、単一液滴の実験においても微小重力場が必要であるが、複数液滴の実験においては液滴間干渉を自然対流に埋没させないよう微小重力場の利用がより重要である。落下塔では微小重力時間の制約から、点火遅れの長くなる自発点火限界近傍の低い温度での知見が得られていない。このため、日本のJAXAとドイツのDLRとの間の国際共同研究としてTEXUSロケット利用微小重力燃焼実験の遂行を著者らのグループは計画している。点火限界近傍における点火遅れ、冷炎の発生位置、冷炎の拡がり挙動を取得し、点火限界近傍から高温域までの広範囲にわたる液滴列の自発点火のメカニズム解明を目指す。サイエンス面、技術面に関して日独間のディスカッションを終え、実験条件の詳細を確定した。

装置を2セット用意し、1回のフライトで複数液滴の液滴間隔と温度を変じて10条件のデータを取得予定である。燃料は正デカンとし、大気圧下で雰囲気温度は570 K, 580 Kとする。日本側では落下塔を利用した予備試験を行っており、また、複数液滴生成部を試作済である。ドイツでは低温酸化反応により生じ発光をほとんど伴わない冷炎を観測するためのインテンシファイドカメラを使用した観測系を整備中であり、地上で試験を開始している。2017年度打上に向けてLOA締結のための作業を行っている。

4. 液体燃料分散系の燃焼開始過程における二次元不均一性の影響の解明

九州大学が担当するテーマである。二液滴を対象とし、液滴の自発点火過程に及ぼす液滴間干渉の影響について調査している。炭化水素系燃料の自発点火においては、高温酸化反応に由来し主となる熱発生である熱炎の前に、冷炎と呼ばれる部分的な熱発生があることが知られている。冷炎は低温酸化反応に由来し、低温酸化反応はある程度温度が上昇すると抑制されるため、冷炎は1000K以下の低い温度を持つ。この冷炎、熱炎という二段点火過程に留意した解析が自発点火の研究には必要である。落下塔実験では、点火遅れが短い条件でのデータを蓄積している。昨年度末に実施された正デカン二液滴の落下実験結果を解析したところ、冷炎は局所温度の高い二液滴の外側で発生する。その後冷炎が広がって二液滴を囲む。局所燃料濃度の高い二液滴の内側で局所の冷炎の温度が高くなっている。(冷炎の温度は当量比に大きく依存する。条件によるが当量比6~8程度で最高となる。)冷炎の温度が高い二液滴の内側で熱炎が発生する。というメカニズムが確認された。以上、干渉作用は冷炎の発生を遅らせるが、冷炎の温度を上昇させ、冷炎の発生から熱炎の発生までの期間を短くする。また、今年度の3月の落下塔実験に向けて準備中である。

5. 高温高圧雰囲気における燃料液滴の蒸発の微小重力実験

日本大学が担当するテーマである。液滴の自発点火遅れ時間は、蒸発によって形成される燃料蒸気/空気混合気層の構造と成長速度に依存する。本テーマの目的は、液滴列の自発点火実験結果を解析・考察し、物理モデルを構築するために必要な液滴蒸発データを取得することである。今年度は2月の落下塔実験への準備として、図1に示されるように液滴懸垂装置の改良を行った。液滴を高温容器内の実験位置へ移動させる時間を短縮するため、液滴移動に伴う懸垂線の振動を抑制できる構造に懸垂線支持棒を改良した。新たに開発した液滴支持棒を用いることで、直径0.4 mm ± 5%の正ヘキサデカン液滴を

0.090 sで高温容器内の実験部に移動させることができた。また、高温雰囲気挿入前液滴温度を統一するため、高温室の断熱材の改良および液滴生成部への送風冷却システムの導入を行った。また、前年度までのWGでの研究を引き続き行った。液滴生成部の温度を 328 ± 5 Kの範囲で一定とした条件で、通常重力環境、雰囲気圧力0.10 ~ 4.0 MPa、雰囲気温度473 ~ 873 Kの範囲で変化させ、正ヘキサデカンの蒸発速度係数(図2)および正規化95vol%液滴寿命を取得した。次年度は、複数正デカン液滴を用いた液滴蒸発の干渉に関する知見を蓄積する計画である。

謝辞

本研究チームは、「宇宙環境利用専門委員会」から研究費の補助を受けて落下塔実験を行う予定である。ここに感謝の意を表す。

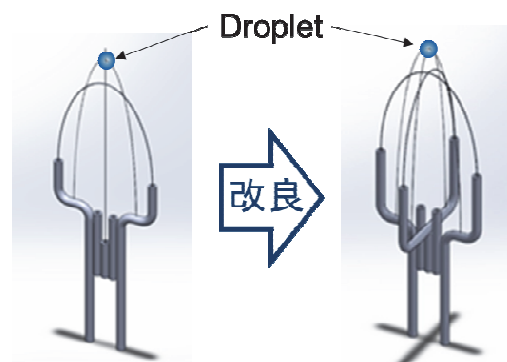


Fig.1 Modification of droplet suspender.

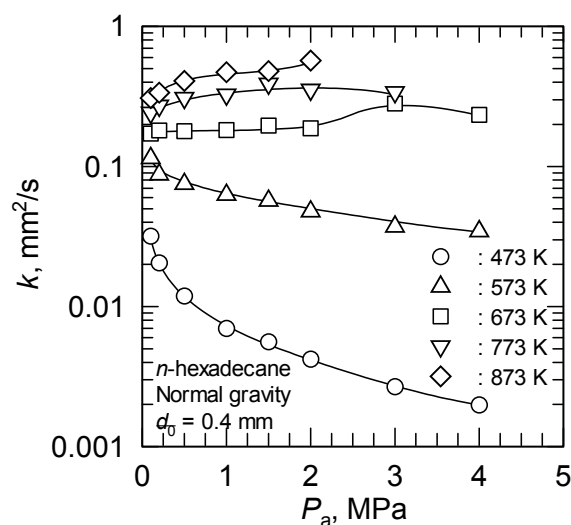


Fig.2 Evaporation rate constants of isolated n-hexadecane droplets