

落下塔を用いた液滴列冷炎燃焼実験の装置製作

日大生産工(院) ○磯野 航

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

1. 緒言

地球温暖化や気候変動の原因として温室効果ガスである二酸化炭素の排出量増加が挙げられる。そこで、日本では二酸化炭素の排出量と吸収量を均衡させて排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを2050年までに目指すことが宣言された。日本における各部門の二酸化炭素排出量のうち、運輸部門は19.2%を占めている⁽¹⁾。運輸部門の85.7%である自動車では電動化によってカーボンニュートラルが進められている。しかしながら、航空分野においてはエネルギー密度の観点から電動化には多くの課題があり、当面は液体燃料の使用が継続される見通しである。そこで、カーボンニュートラル達成に向けて持続可能な航空燃料(SAF: Sustainable Aviation Fuel)が注目され、導入が進められている。二酸化炭素排出削減には、燃料の転換だけでなく内燃機関自体の性能向上も必要である。そこでジェット機関に用いられている噴霧燃焼に着目した。噴霧燃焼において、SAFの成分でもある炭化水素系燃料では冷炎と呼ばれる低温酸化反応が生じることがある。冷炎は熱炎の発生位置や発生時間に影響することが分かっているが、噴霧燃焼は複数の現象が同時多発的に進行するため詳細なメカニズムは解明されていない。そのため、冷炎現象解明のために多くの研究が行われている。

本研究はJAXAが主導する2023年度国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」日本実験棟の船内利用フラッグシップミッションに採択され、長時間微小重力環境を活用して自発点火限界近傍の液滴列冷炎燃焼実験を行う計画である。このミッションは日本大学理工学部／生産工学部、九州大学、ブレーメン大学の研究チームで構成される。日本大学生産工学部は実験装置の開発を担当する。宇宙実験を行う前段階として、落下塔を用いた短時間微小重力環境で観測装置の検証、実験条件の選定を行う必要があり、設計、製作を進めている。本報では、現在製作中の落下塔に搭載可能な、燃焼実験装置の概略と、進捗状況について述べる。

2. 実験装置

実験装置は先行研究⁽²⁻⁴⁾で用いられている落下塔実験装置を参考に新規製作を行った。Fig.1にSolidWorksで作成した実験装置のモデルを示す。実験装置は高压容器、光学観察系、制御系、通信系、電源系から構成される。実験装置の概略図をFig.2に示す。高压容器は超々ジュラルミン (A7075) 製で、最大5 MPaの耐圧性を有している。四方には合成石英ガラスがはめ込まれており、外部から観察できるようにしている。高压容器の内部には実験モジュールを挿入する。内部モジュールは燃焼容器、液滴列支持装置、液滴列生成装置、液滴列移動装置、燃料供給装置から構成されている。内部モジュールの下部には電源・通信用のコネクタを設けており、高压容器の内部で気密コネクタを介して外部と接続されている。光学観察系は、高速度カメラ (IDT製, CCM3510)、中赤外カメラ (NIT製, TACHYON 16k Plus)、バックライトから構成される。高速度カメラはバックライトと組み合わせ、燃焼中の液滴直径計測を行う。中赤外カメラは冷炎燃焼時に発生する水蒸気および二酸化炭素の発光を検出し、冷炎の燃焼挙動を計測する。制御系はプログラムコントローラ (キーエンス製, KV-7500) と各種ユニットか

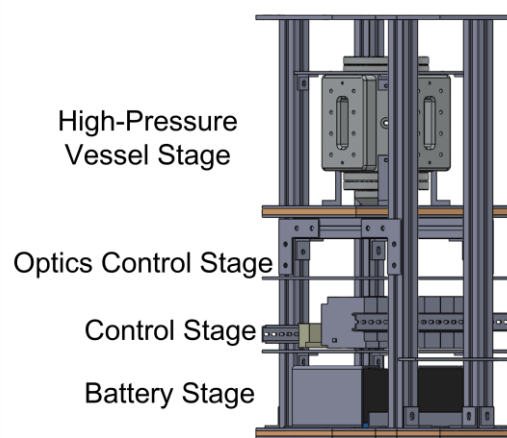


Fig.1 3D CAD model of the experimental apparatus

Fabrication of an Apparatus for Experiments on Cool Flame Combustion of a Droplet Array in a Drop Tower

Wataru ISONO, Yusuke SUGANUMA and Hiroshi NOMURA

ら構成され、IO出力、温度計測等を行う。通信系は光学系計測系および制御系と接続され、無線通信で外部の操作系と接続される。電源系は鉛蓄電池を組み合わせる構成され、落下実験時の電源供給を行う。

実験は内部モジュールの燃焼容器の外で液滴生成を行い、液滴移動装置を用いて燃焼容器内に挿入し、液滴自発点火させる。その際の燃焼挙動を光学観察系で記録する。液滴は熱的影響を小さくするため、炭化ケイ素線（SiC、線径14 μm ）に付着させる。実験条件として、燃焼容器の温度は500~650 Kが計画されている。燃料液滴の直径は0.8~1.2 mm、燃料種は直鎖炭化水素燃料であるヘプタン、オクタン、デカンが計画されている。雰囲気は、空気またはヘリウム/酸素混合気、キセノン/酸素混合気で、圧力は0.1~0.2 MPaでの実験が計画されている。

3. 現在の進捗

実験装置モデルで主要な構成部品の寸法と形状を確認して各部品の購入を行った。現在は装置全体の組み立てを進行している。また、必要に応じて部品の加工を行っている。Fig.3に主要部品を取り付けて仮組みを行った際の装置写真を示す。この仮組みでは各階層に配置する装置を選定して位置決めを行い、各階層のスペース確保と干渉の有無を確認した。その結果、先行研究の装置で使用されている高压容器階層の支持方法を本実験装置ではスペースの問題から採用することが出来なかった。そのため新たな支持方法を考案し必要となる部品の加工を行った。各階層の進捗については、バッテリー階では部品の加工、取り付け作業が終了し完成している。高压容器階では支持部品の加工が終わりもう一度仮組みを行っている。制御装置階では配線に必要となるスペースを確保するためにアルミ板に穴あけ加工を行いアルミ板を装置に取り付けた。

4. まとめ

落下塔を用いた実験装置の新規製作にあたり、現在は装置の組み立て、部品の加工を行っている。

今後の計画として、各階層の構築を進めながら適宜仮組みを行い、主要装置の配置を確認し必要な加工を行っていく。また、高压容器内部モジュールに構成される各装置の構築を行う。各階層の組み立てと装置の配置が完了次第、配線接続作業を行う。

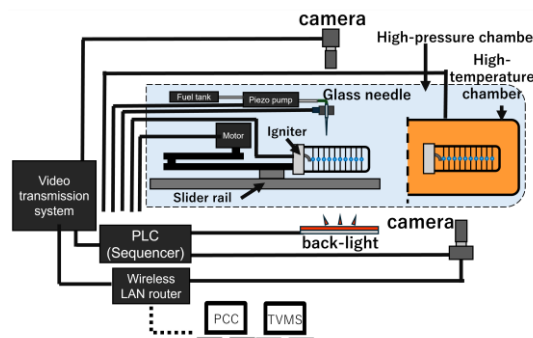


Fig.2 Module overview

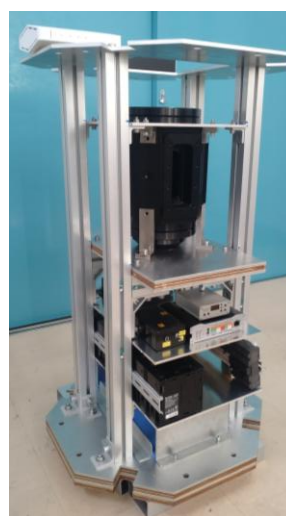


Fig.3 Photograph of the experimental apparatus

参考文献

- 1) 国土交通省，運輸部門における二酸化炭素排出量，（2025），https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html，（参照:2025-10-14）
- 2) 藤枝佑毅，微小・通常重力場における燃料液滴列の冷炎燃え広がり，令和5年度修士論文
- 3) 中川光葉，再生可能燃料を含めた炭化水素燃料の液滴蒸発非定常性に関する研究，令和5年度修士論文
- 4) 高橋智，正デカン燃料液滴列の火炎燃え広がりモードに及ぼす初期液滴直径の影響，令和6年度修士論文