

## 大気球を利用した微小重力燃焼実験

○菊池政雄，石川毅彦（ISAS/JAXA），山本信（㈱IHIエスキューブ），  
澤井秀次郎，丸祐介，橋本樹明，坂井真一郎，坂東信尚，清水成人  
（ISAS/JAXA），小林弘明（ARD/JAXA），吉光徹雄，菅勇志，水島隆成  
（ISAS/JAXA），福山誠二郎（㈱AES），岡田純平，依田眞一，  
福家英之，梯友哉（ISAS/JAXA）

### 1. 目的

本研究ではターンアラウンドタイムが短くかつ良好な G 環境が得られる手段として気球を利用した微小重力実験システムの構築を行っている。本書では、実験システムおよび最初の実験として行う燃焼実験の概要と、平成 25 年度の射場作業結果について報告する。

### 2. 実験システム概要

平成 16 年度から 21 年度にかけて学術創成研究費によって微小重力実験システム（BOV）の構築が進められた（代表研究者：JAXA 宇宙科学研究本部宇宙探査工学研究系橋本教授）[1]。この実験システムでは、落下させる供試体を二重カプセル構造とし、内側のカプセルと外側のカプセルを非接触状態に保つドラッグフリー制御を行うことによって最良の G 環境を得る構成を用いた。2 回の放球実験によって  $10^{-4}G$  レベルの微小重力環境が 30 秒程度維持され、新たな実験手段として活用できることが示されている。ただし、このシステムでは微小重力実験装置が利用できる内カプセルは直径 30cm 程度の球であり、この中に電源・実験制御系を含めたすべてを納める必要があった。今後、観測機器を初めとする微小重力実験装置要素の小型化を進めれば、このスペースで実施可能な実験も増加すると考えられるが、航空機・落下塔用装置の流用など実験者のアクセスの容易性を考えると、より多くのスペースが必要となると考えられた。

本研究では学術創成研究の成果（機体設計等）を継承し、これを発展させることにより新しい実験システムの確立を行う。新システムの特徴は

- 1) 落下させる機体は、学術創成研究同様の形状とする。
- 2) 3 軸のドラッグフリー制御は行わず、微小重力実験部のスペースを増大させる。
- 3) リニアスライダーにより鉛直方向のみドラッグフリー制御を適用し、 $10^{-3}G \sim 10^{-4}G$  の微小重力環境を 30 秒程度確保する。

というものである（図 1 参照）。

### 3. 液滴燃焼実験

新実験システム（iBOV）を利用する最初の実験として燃焼研究分野の「液滴列の火炎伝播挙動の観察実験」を実施する。ISS 科学プロジェクト室では、液滴を直線上に等間隔配置した燃料液滴列の火炎伝播メカニズム解明研究（図 2 参照）を理論検討・数値シミュレーション・微小重力実験を用いて実施している。

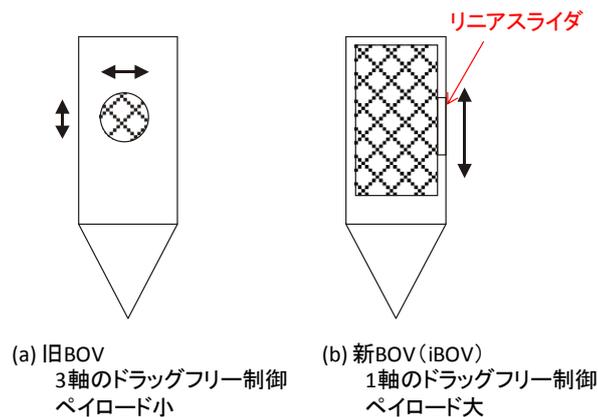


図1 新実験システムの概要。ハッチ部が微小重力実験部、それを囲む長方形が機体断面  
(Ambient temperature  $T$ )

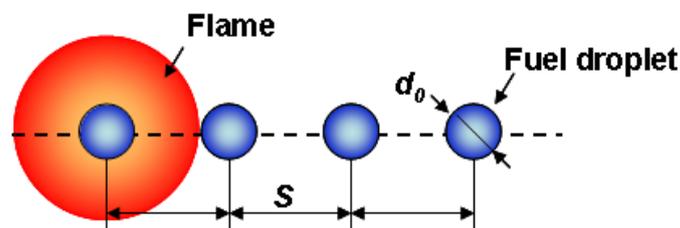


図2 液滴間火炎伝播メカニズム研究における液滴列モデル：液滴径  $d_0$ 、液滴間隔  $S$  及び  
雰囲気温度  $T$  を実験パラメータとする。

落下塔を利用したこれらの短時間微小重力実験の結果を基にして、ESAのTEXUSロケットを利用した微小重力実験を2009年11月に実施した。この実験では、予蒸発進行度の誤差低減および現象の観察を容易にするために初期直径の比較的大きな液滴 ( $d_0 = 1.5 \text{ mm}$ ) を用い、予蒸発時間 ( $t_w$ ) をパラメータとした3回の燃焼実験を行った。その結果、液滴列に沿った  $V_f$  は、予蒸発の進行に伴う液滴列周囲の可燃混合気層の発達に伴い急激に大きくなるが、予蒸発が一定以上進行した場合はほぼ一定値をとることが示唆された。また、液滴の僅かな予蒸発が燃え広がり速度に非常に大きな影響を与えることが分かった。落下塔実験では、数秒の微小重力時間中に燃焼現象の観察を行うために、予蒸発を促進する目的で比較的小径の小さい液滴を使用している。このため、生成された燃料液滴径のばらつきが比較的大きく、燃え広がり速度の実験誤差も比較的大きくなる欠点がある。

そこで、大気球を利用する本実験においては、TEXUSロケット実験と同じ  $d_0 = 1.5 \text{ mm}$  の比較的大きな液滴を用いつつ、落下塔実験で実施可能な  $t_w$  と TEXUSロケット実験で取得された条件で最小の  $t_w$  である  $5 \text{ s}$  の中間域の  $t_w$  を実験条件とした実験を行い、 $V_f$  に関する高精度データの取得を行うことを計画している[2]。

#### 4. 実験装置の製作

学術創成研究で製作した供試体の資産を極力活かすべく、学術創成研究の代表研究者及び開発を担当された方の協力を得て、当初想定された平成24年夏の放球に向け機体 (iBOV) および搭載実験装置の準備を行った。機体は、学術創成研究で製作した実験機体

を基本として、これをアップグレードした機体を製作した。また、一昨年の気球実験において喪失された電気系を新規製作した。以前の機体からの主な変更点は

- ・ 微小重力実験部と機体をリニアスライダで結合する。
- ・ 大型の微小重力実験部へのアクセスパネルの追加。
- ・ 1軸のドラッグフリー制御とするため、ガスジェットの簡素化。

である。機体の全景写真を図3に示す。



図3 実験機体 (iBOV) の全景

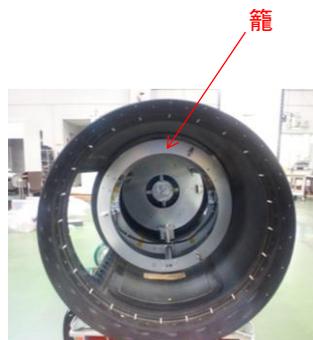
燃焼実験装置は、TEXUS ロケット実験用に製作した実験装置の EM をベースに改修製作した。主な変更点は以下の通りである。

- ・ 燃焼容器内部加熱等に使用するためのバッテリーの搭載 (TEXUS ロケット実験においては、ロケット側の所掌だった)
- ・ 実験装置の制御装置の搭載 (同上)
- ・ 燃焼現象を観察するカメラ類の更新

実験装置は、機体とリニアスライダで結合されている“籠”と呼ばれる部材に収納固定される。籠と実験装置が一体となり、機体胴体内部を機軸方向に滑らかに移動可能となっている。燃焼実験装置、籠を搭載した胴体内部、実験装置搭載状態でアクセスパネルを開いたところの写真を図4 (a)、(b)、(c)にそれぞれ示す。



(a) 燃焼実験装置



(b) 籠を搭載した胴体部



(c) 実験装置搭載状態でアクセスパネルを開いたところ。

図4 燃焼実験装置等の写真

## 5. 射場作業結果

北海道大樹町の大気球実験場にて平成24年夏季に実施が予定された本実験であったが、放球条件を満たす気象条件が整わず、放球が見送られていた。その後、実験機体・装置をJAXA相模原キャンパス/筑波宇宙センターに持ち帰り、必要な整備および試験等を実施のうえ、平成25年春季に再度射場作業に臨んだ。実験チームは5月15日に大樹町入りし、昨年度と同様に輸送後機能試験、機体と燃焼実験装置の最終インテグレーションおよび試験等の実験準備を進めた。最短で5月24日の放球が予定されていたが、風の状態がなかなか整わず、機体を放球台から降ろし、格納庫内での保管状態として5月29日に一旦撤収した。その後6月3日に再度射場に移動し、放球に向けた作業を再開した。6月4日の午後、翌日(5日)早朝の放球実施に向けた最終作業を進めることが決定した。同日の深夜より放球に向けた作業が進められ、5日の早朝には機体を設置済の放球台車の格納庫外への移動、気球へのガス注入等が深い霧の中行われた。放球時セッティングの機体および放球直前の気球の写真を図5および6にそれぞれ示す。



図5 放球時セッティングの機体



図6 放球直前の気球

順調に進んでいた放球準備作業であったが、6月5日午前4時11分頃、突然、気球のみが放球される事象が発生した。放球された気球部は、直後に実験場がある大樹町多目的航空公園内の敷地に

に着地した。この際、搭載機器部(ゴンドラ)および実験機体は放球台車上で静止したままだったため、機器の損傷等の影響は受けなかった。直後の調査により、本事象は気球部とゴンドラ間の切り離しロープカッターが誤動作したためと判明した。本不具合の原因究明と対策に時間を要するため、今年度の大型気球による実験は本実験を含め見送られる結果となった。

### 参考文献

- [1] 橋本樹明ほか：高々度気球を用いた微小重力実験システムの開発、日本マイクログラフィティ応用学会誌 26(2009), 9
- [2] 石川毅彦ほか：大気球を利用した微小重力燃焼実験、平成24年度大気球シンポジウム講演論文集、isas12-sbs-023, 2012