

微小重力環境における水レジストジェットスラスタの 液滴蒸発評価および推進性能モデル

– Evaluation of Droplet Evaporation and Modeling of Thrust Performance

for the Water Resistojet Thruster in Microgravity –

学生証番号 47176080 氏名 服部 旭大
(指導教員 小泉 宏之 准教授)

Key Words: Water, Resistojet, Thruster, Microgravity, Evaporation,

1. はじめに

現在世界中で小型衛星、超小型衛星の開発が活発化し、宇宙業界全体で新しいパラダイムの構築がなされている。小型衛星の特徴として、大型衛星に比べて費用が格段に安く失敗のリスクが小さい、相乗り衛星としてのロケット搭載が可能であるため打ち上げの機会が多い、短い開発期間ゆえにフィードバックが次の衛星に早く活かせるなど、宇宙開発の発展につながる利点が多い。また開発主体に関しても、高い開発コストがネックとなり大型衛星開発には手が出なかった民間企業を、低開発コストの小型衛星の普及が参入を後押しし、宇宙開発に関わる企業は年々増えている¹。

小型衛星の打ち上げ数はここ10年で10倍の成長を見せており、2020年には年間500機もの宇宙機の打ち上げが予想されている²。この中には代表的なCubeSatと呼ばれる規格化された超小型衛星が多数を占める。打ち上げやすさを強みとし、これまで様々なミッションを達成してきた。今後さらなる軌道維持、軌道遷移などが必要となる高度なミッションの要求を満たしていくために推進機は不可欠である。現状、推進機の需要がある中で、要求を満たした小型推進機の研究開発は遅れをとっている。研究に際し、ペイロードとして打ち上げられることの多いCubeSatに搭載される推進機には、厳しい安全審査の基準が設けられているため、推進剤の選定が重要である。

小型衛星の推進剤として水は、安全性が高い、取り扱いが簡単、常温常圧で液体貯蔵ができるため高圧ガス系統が不要、研究開発での入手が簡単、地球外の惑星でも入手できる可能性が高い、などの理由から注目されている。本研究ではこの水を用いたレジストジェットスラスタを扱う。これは図1

で示したように、タンクから気化部に噴射された水を気化させ、ノズルから排出して推力を得るというシンプルな機構である³。

水レジストジェットスラスタに提案された気化部の役割である気液分離には、潜熱の大きい水の蒸発を伴うため、効率的な熱伝達が必要不可欠である。液体状態から常温蒸発を伴う水レジストジェットスラスタは、熱環境の違いにより蒸発過程に差が出る可能性があるため、地上と軌道上での性能差の検討が課題となっている。そこで本研究では、気化室を搭載した水レジストジェットスラスタの軌道上における性能向上を目指し、微小重力環境での液滴の蒸発評価と軌道上性能予測を目的とした。

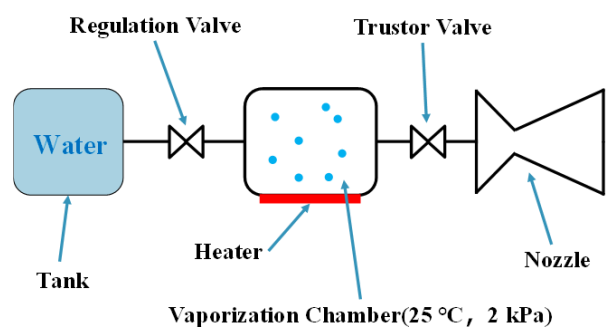


図1 水レジストジェットスラスタの概念図
Vaporization Chamberが気化室である。タンクから噴射された水を加熱し、気化させる。

2. 落下塔での μ G実験

2-1 実験系

本研究の μ G環境実験は落下塔を用いて行った。落下塔の緒言を表1に示す。

表1 東京大学の落下塔の緒言

長さ, 落下距離	約10m、約10m
カプセルタイプ	2重カプセル方式
重力レベル	$>10^{-4} G_0$
微小重力時間	1 sec (10mdrop)

また, 落下塔に搭載する装置の概念図を図2に示す. 水噴射バルブを開けると, 推進剤に差圧がかかり水タンクから気化部へと推進剤が噴射される. バルブの開閉時間で噴射量を変化させた. 落下塔の実験中は真空引きを行えないため, 下流には水蒸気キャッチ用の排気タンクを備え, 実験ごとに内部を真空引き下. 排気タンクは38 Lあり, 1 s程度の落下中に背圧を保つには十分な用量である.

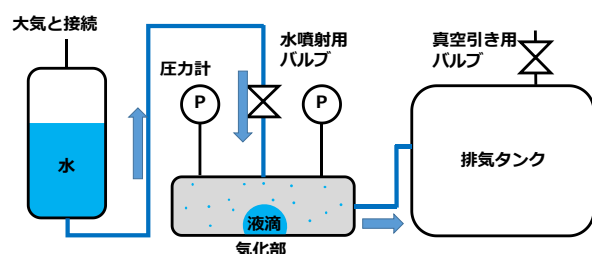


図2 落下塔実験装置模式図

2-1 実験結果

噴射量ごとに圧力計から算出された流量の結果を平均したものが図3である. また, 撮影した液滴挙動を比較したものを図4に示す.

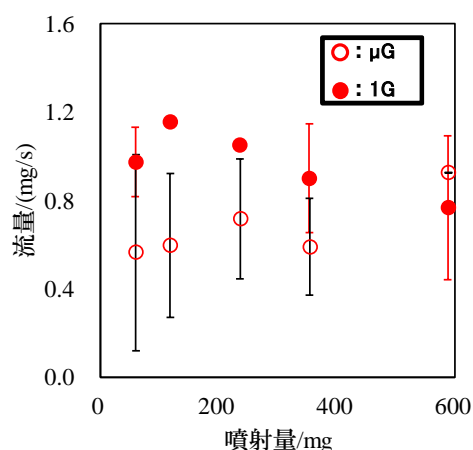


図3 噴射量に対する1G, μGでの流量

2-2 実験考察

図3より, 600 mg噴射以外では流量がμGより1Gのほうが大きい. これはμG環境の対流, 液滴形状所以のものと考えられる. また, 噴射量によらず壁面付着面積が一定で入熱量が一定である可能性が

示唆される.

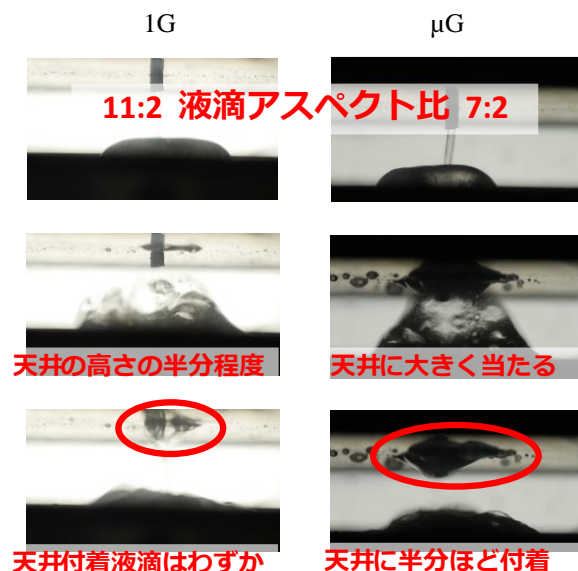


図4 1G, μGでの液滴挙動の比較

図4より, μGでも噴射直後が球形にならないことから, 接触角のピン止め現象が起きている可能性が高い. つまり, 噴射速度を大きくして, 水の飛散率を上げれば, 熱伝達効率は良くなると考えられる.

実験結果とノズルを用いた推力測定の結果を用いて, 本実験で得られたμGと1Gの流量を用いての推力比を算出したところ, 1Gでの性能に対するμG性能は平均40 %減となった.

4. まとめ

- μG (落下塔) での流量測定では多くの噴射時間において流量は1G > μGであった
- 気化部下面温度に近いデータでは, μGでの流量は1Gでの流量の50%以上減少した
- 流量から算出した軌道上性能結果は, 1Gでの性能に対するμG性能は平均40 %減となった

参考文献

- 1) Bhavya Lal et al. Global Trends in Small Satellites. (2017).
- 2) Poghosyan, A. & Golkar, A. CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. Prog. Aerosp. Sci. 88, 59–83 (2017).
- 3) ASAKAWA, J. et al. Fundamental Ground Experiment of a Water Resistojet Propulsion System: AQUARIUS Installed on a 6U CubeSat: EQUULEUS. Trans. JAPAN Soc. Aeronaut. Sp. Sci. Aerosp. Technol. JAPAN 16, 427–431 (2018).