

# 宇宙機用2液スラスタにおける推進薬噴射時の過渡特性に関する研究

藤井, 剛

<https://hdl.handle.net/2324/5068227>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



氏 名 : 藤井 剛

論 文 名 : 宇宙機用 2 液スラスタにおける推進薬噴射時の過渡特性に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

宇宙機用 2 液スラスタは、インジェクタから噴出した燃料と酸化剤が燃焼室内で混合し、自己着火する。生成した高温の燃焼ガスがノズルから高速に噴出することで推力を得る。2 液スラスタの噴射条件には、主に宇宙機の軌道制御に用いる連続噴射と、宇宙機の姿勢制御やランデブードッキング、重力天体への離着陸などの精密軌道制御に用いられるパルス噴射がある。連続噴射とパルス噴射の大きな違いは、噴射時の定常状態と過渡状態の長さである。すなわち、連続噴射は定常状態が長く、バルブ ON 時間に対する過渡状態の割合が小さいため、連続噴射性能を算出するにあたって過渡状態はほぼ無視できる。対して、パルス噴射は定常状態が短く ON 時間に対する過渡状態の割合が大きく、パルス性能を算出するにあたっては過渡状態を無視できない。スラスタの定常特性については理論的なモデルと燃焼室内部の燃焼やフィルム伸展挙動の物理現象に関する先行研究があるものの、定常に至る前後の過渡特性については物理現象を実験で定量的に明らかにした研究はない。

本研究の目的は、スラスタ燃焼が定常に至る前後の過渡特性の物理現象の把握ができていない点が課題であるとして、以下の 2 点を目的とした。

- ① 複数パルス噴射時にスラスタ燃焼が定常に至る前後の過渡特性に関する物理現象（特にパルス噴射時の燃焼室内部、およびフィルム伸展挙動が定常に至るまでの過渡特性）を実験で定量的に明らかにすること。
- ② 得られた結果から、複数パルス噴射時にスラスタ燃焼が定常に至る前後の過渡シナリオを明らかにすること。

本論文は、以下の構成となっている。

第 1 章の序論では、本研究の背景として 2 液スラスタの実際の運用方法には連続噴射とパルス噴射があること、およびパルス噴射においては定常状態前後の過渡状態が占める割合が多く過渡特性の把握が重要であることを述べる。そのうえで、パルス性能との相関は現状ではその大部分が定性的な理解にとどまっており、その原因がスラスタ内部で起こる過渡的な物理現象の把握が限定的である点を明確化し、本研究の目的に繋げる。

第 2 章では、研究の方法として、本研究で実施した可視化燃焼試験の詳細について説明する。スロート有する石英ガラス燃焼器を用いた可視化試験を実施し、インジェクタから燃焼室内に推進薬が噴出するところからインピンジ点で衝突、微粒化して着火し、定常燃焼に至った後にカットオフするまでの燃焼室内部の物理現象についてパルスごとに直接観察した。実機スラスタで発生する物理現象により近づけて物理現象を把握するため、実機スラスタ形状、容積の石英ガラス製燃焼器を用いたこと、実機スラスタの推進薬であるモノメチルヒドラジン(MMH)と四酸化二窒素(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)を用いたこと、および ON 時間や周期が異なるパルスモードで 3 パルスの試験を実施したことを説

明する。

第3章では、スラスタの過渡特性としてパルス噴射時の燃焼室内部の燃焼過渡特性を可視化燃焼試験結果から明らかにする。その結果、パルスとパルス間の **OFF** 時間にインジェクタのドリブルボリュームに残留する推進薬の状態が次のパルスの着火特性に影響することを実験的に示した。またバルブ **OFF** 時間が長いほど蒸気圧が高い酸化剤がドリブルボリュームから蒸発するため、バルブ **ON** 時に蒸気圧が低い燃料が先行して噴出して爆発的な燃焼を引き起こすことを実験で示した。

第4章では、スラスタの過渡特性を決めるもう一つの因子であるフィルム伸展の過渡特性を明らかにする。フィルムは燃焼ガス的高速気流との間の剪断力により駆動されることが先行研究により知られているが、フィルム表面に波立ちを発生しながら下流に伸展していく様子を可視化試験により直接観測し、そのフィルム伸展特性、そして減圧沸騰によるフィルムの消失を定量的に明らかにした。

第5章では、3章と4章の考察により明らかにした複数パルス時にスラスタ内部が定常に至るまでの物理現象と過渡シナリオをまとめた。バルブ **ON** から着火までの過渡特性は主にドリブルボリューム内の推進薬流動が、また着火から定常に至るまでは主にインジェクタから噴出する推進薬流動、およびフィルムの流れの推進薬流動がスラスタの過渡特性を決めており、それを図で示した。

第6章の結論では、本研究の成果をまとめる。そのうえで、本研究成果が実際の宇宙機用スラスタ開発に貢献する具体例を示す。

〔作成要領〕

1. 用紙はA 4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。  
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。  
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」  
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。