

## 固体推進薬への負触媒添加による上段ロケットモータの高性能化

日大生産工(院) ○長町 大気 日大生産工 松本 幸太郎  
宇宙航空研究開発機構 羽生 宏人

### 1. まえがき

固体ロケットの推進性能は固体推進薬の密度と比推力に依存することから、固体推進薬自体の密度とエネルギーを高めることが効果的である。これらの目標を達成する方法の1つは、固体推進薬に含まれる金属燃料であるAlの量を増やすことである。しかし、Alの量を増やすと固体推進薬の燃焼速度が上昇し、燃焼ガスの発生量が増える。これにより、モータークースの内圧が上昇し、モータークースの破壊に繋がることから、モータ全体の設計変更が必要になる。設計変更は打ち上げコストの増大に繋がることから、好ましくない。モータの設計変更を最小限に抑えながら推進性能を向上させる方法として、固体推進薬に高密度な負触媒を添加する方法の検討を行った。少量の高密度な負触媒を添加することにより、燃焼速度の増加を抑えながら固体推進薬全体の密度が上昇する。先行研究<sup>1)</sup>では、固体推進薬に負触媒を添加した際の有効性を調べるために、燃焼速度を実験的に測定し、化学平衡計算によって理論推進性能の向上の模索を行った。

本研究では、小型ロケットモータへの実用化を目指し、小型固体ロケットモータの全推力の推定を行った。

### 2. 推進薬組成

固体推進薬の組成をTable 1に示す。APは酸化剤の過塩素酸アンモニウム(Ammonium Perchlorate), HTPBはバインダの末端水酸基ポリブタジエン(Hydroxyl-Terminated Polybutadiene), Alは金属燃料のアルミニウム(Aluminum)である。SP-1は負触媒を添加していないAP : HTPB : Al = 68 : 12 : 20の組成であり、SP-2は負触媒の添加がないかつAP : HTPB : Al = 68 : 14 : 18の組成である。SP-1に負触媒を5 parts外割で添加した組成をSP-naとした。SP-1負触媒を10 parts外割で添加した組成をSP-nbとした。SP-1負触媒を5 partsずつ2種類を組み合わせて外割で添加した組成をSP-ncとした。負触媒はCaCO<sub>3</sub>, LiF, Al(OH)<sub>3</sub>, AlF<sub>3</sub>を選定した(n = 3 ~ 6)。

Table 1 推進薬組成。

Sample	AP [wt%]	HTPB [wt%]	Al [wt%]	負触媒 [parts]
SP-1	68	12	20	0
SP-2	68	14	18	0
SP-na	68	12	20	5
SP-nb	68	12	20	10
SP-nc	68	12	20	5 / 5

### 3. ノズルスロートの材質

ロケットモータにはFig. 1 の赤枠で囲った箇所のようにノズルスロートがある。ノズルスロートは固体推進薬の燃焼が進むにつれノズルスロートの焼損が発生する。これにより、ノズルスロート径が大きくなり、ノズル開口比が小さくなる。ノズル開口比が小さくなると比推力も小さくなる<sup>2)</sup>ため、ノズルスロート焼損を考慮する必要がある。先行研究<sup>1)</sup>では、ノズルスロートの焼損を考慮していなかったため、ノズルスロートの焼損を考慮した理論的な推進性能の推定を行った。ノズルスロートの材質には実際に広く採用されている3D C/C コンポジット<sup>3)</sup>を採用した。3D C/C コンポジットの焼損速度は0.025 mm/s<sup>3)</sup>である。

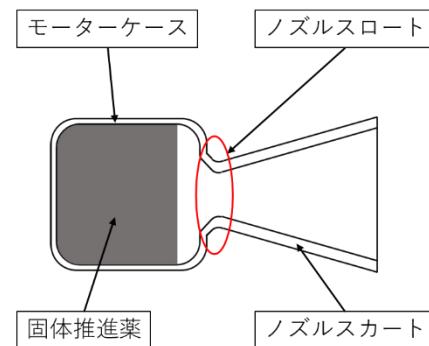


Fig. 1 ロケットモータの模式図。

### 4. 解析結果及び考察

解析の結果をFig. 2 ~ 4に示す。すべての図において負触媒の添加のない組成であるSP-1と

Improving the Performance of Upper Stage Rocket Motors by Adding Negative Catalysts to Solid Propellants

Daiki NAGAMACHI, Kotaro MATSUMOTO and Hiroto HABU

SP-2の全推力を比較している。また、図中の黒色の横の実線はSP-2組成での全推力の最大値を示しており、実線より上の箇所において全推力が上昇していると言える。Fig. 2は負触媒を5 parts添加した組成での解析結果を示している。解析の結果、SP-2と比べて約1～3%の推進性能の向上が見られた。Fig. 3は負触媒を10 parts添加した組成での解析結果を示している。解析の結果、SP-2と比べて約8～9%の推進性能の向上が見られた。Fig. 4は負触媒を5 partsずつ2種類添加した組成での解析結果を示している。解析の結果、SP-2と比べて約7～8%の推進性能の向上が見られた。

以上のことから、高密度負触媒の添加により、モータ設計の変更を最小限に抑えながら固体ロケットの推進性能を向上できることがわかる。

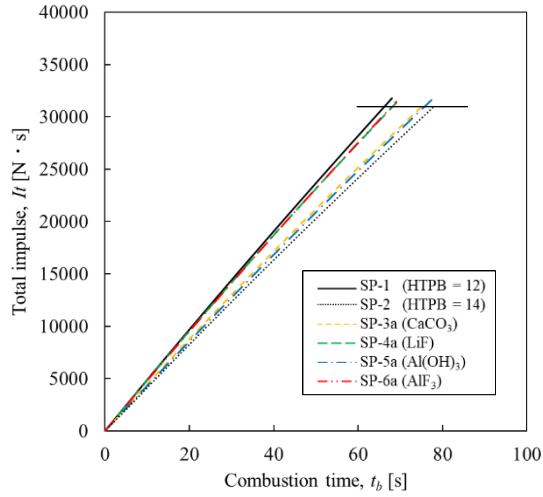


Fig. 2 燃焼時間と全推力の関係 (5 parts).

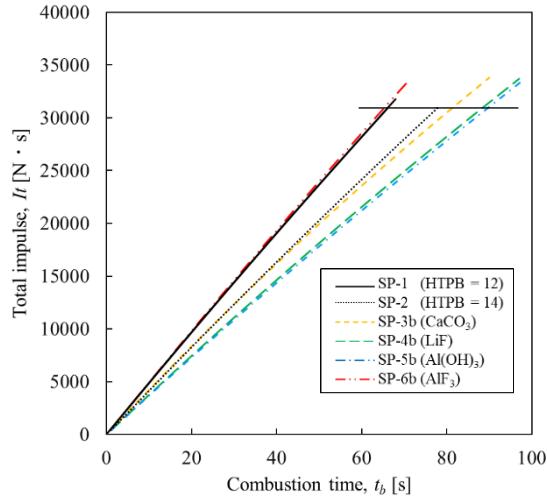


Fig. 3 燃焼時間と全推力の関係 (10 parts).

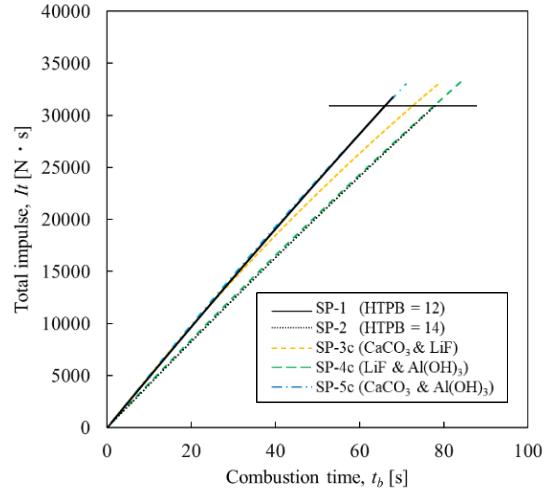


Fig. 4 燃焼時間と全推力の関係  
(5 parts ずつ 2種類).

## 5. まとめ

本研究では、小型ロケットモータへの実用化を目指し、小型固体ロケットモータの全推力の推定を行った。解析ではノズルスロートの焼損を考慮して、より実際のロケットモータを想定した解析を行った。解析の結果、高密度負触媒の添加により、モータ設計の変更を最小限に抑えながら固体ロケットの推進性能を向上できることがわかった。

## 参考文献

- 1) 長町大気、松本幸太郎、羽生宏人、高密度低燃焼速度化を狙った固体推進薬への負触媒の添加、火薬学会2023年度春季研究発表会12, 2023.
- 2) 新岡嵩、三谷徹、高橋守、泉川宗男、岸和男、檜田敏寛、上段用後方点火方式ロケットにおける推進薬の低燃速化(負触媒添加法)、航空宇宙技術研究所報告, TR-805, 1984.
- 3) G. P. Sutton, "ROCKET PROPULSION ELEMENTS", p.573, WILEY (2017).