

K2-39

## 酸化剤に HAN/HNO<sub>3</sub> を用いたガスハイブリッドロケットの推進特性 Propulsion Characteristics of HAN/HNO<sub>3</sub> as Oxidizer for Gas Hybrid Rockets

○阪上郁<sup>1</sup>, 野口涼<sup>1</sup>, 桑原卓雄<sup>2</sup>\*Kaoru Sakaue<sup>1</sup>, Ryo Noguchi<sup>1</sup>, Takuo Kuwahara<sup>2</sup>

Abstract : We studied propulsion characteristics for gas hybrid rocket that uses HAN as an oxidizer. However the specific impulse of HAN / GAP is lower than 300[s]. We mixed HAN and other oxidizer to improve the specific impulse. We chose HNO<sub>3</sub> as the second oxidizer because it had oxidizability as high as other oxidizer and goodness for the ecology. We computed the specific impulse with various oxidizer-fuel ratio (O/F) and concentration of HNO<sub>3</sub>. When we mixed HNO<sub>3</sub> to HAN, the specific impulse improves and we found that the specific impulse of the propulsion with 90% HNO<sub>3</sub> is better than it with 69%.

### 1. 背景

ハイブリッドロケットとは、固体ロケットと液体ロケットの特性を備えた推進機関である。固体ロケットに比べ推進性能が高く、液体ロケットに比べ推力が大きいのが特徴である<sup>[1]</sup>。しかし、固体燃料と液体酸化剤を用いていることにより燃焼効率が低いこと、形状により充填率が低いという問題点が存在する。

この問題点を改善するために開発されたのがガスハイブリッドロケットである。ガスハイブリッドロケットの構造図を Figure 1 に示す。

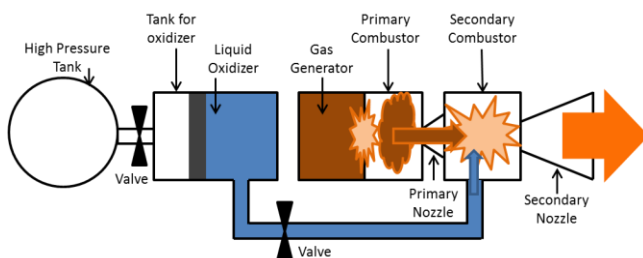


Figure 1. Gas Hybrid Rocket

一次燃焼室で固体推進薬を燃焼させて高温の燃料過剰ガスを発生し、その燃料過剰ガスを二次燃焼室で液体酸化剤と混合することで燃焼させて推力を得るので、燃焼効率と充填率を向上できる。

ここで、他の酸化剤に比べ安定性が高く、また毒性が低いことから酸化剤に硝酸ヒドロキシルアンモニウム(HAN: NH<sub>2</sub>OHNO<sub>3</sub>)を用いる事を決定した。HANは、結晶状の固体であるが、潮解性が強いので通常水に溶かして液体酸化剤として用いる<sup>[1]</sup>。

また、HANは他の酸化剤と比較して比推力が低い。そのため、他の酸化剤と混合させることで比推力の向上を図る。

### 2. 理論計算および測定

酸化剤燃料比(O/F)と比推力の関係や組成を化学平衡ソフト NASA-CEA を用いて計算した<sup>[2]</sup>。計算条件は、燃焼器内圧力  $P_c=50[\text{bar}]$ 、開口比  $A_e/A_t=100$ 、外気圧は真空とする。このとき、燃料は GAP とする。、HAN と他の酸化剤の混合割合を変化させた時の pH 値の変化を測定した。

### 3. 結果および考察

#### 3-1. 酸化剤の比較

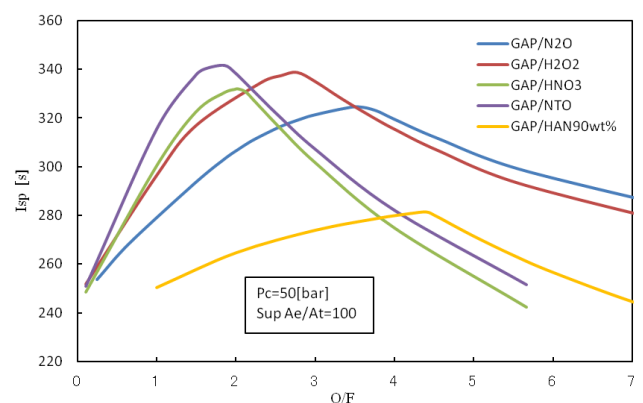


Figure 2. Relationship between Fuel-Oxidizer Ratio and Specific Impulse

Figure 2 に、燃料にグリシジルアジ化ポリマー(GAP)を用いたときの 5 種類の酸化剤の、O/F と比推力の関係を示す。ここで、Figure 2 において高い比推力を示す四酸化二窒素(NTO)や過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)は環境への負荷が大きいことで知られている。よって比較的環境により硝酸(HNO<sub>3</sub>)を HAN に加え、推進特性を求め。

#### 3-2. 推進特性

Figure 3 に、酸化剤に HAN を用いたとき、HAN と硝酸の混合物を用いたときの、O/F と比推力の関係を示す。このとき、硝酸の濃度は 100% とし、HAN と

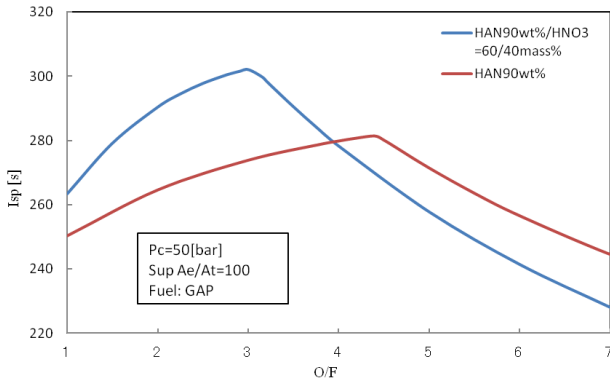


Figure 3. Relationship between O/F and Specific Impulse

硝酸の割合は HAN/HNO<sub>3</sub>=60/40 mass%とした。これより、HAN に硝酸を加えると比推力の極大値が上昇し、O/F が低い値でその極大値をとることがわかる。このことから、必要な燃料の量が多くなる。

100%硝酸は入手が困難であり、扱いづらいことから実際には使用できないと考える。一般的に扱われる濃度 69%と、濃度 90%硝酸について、硝酸の濃度をパラメータとして比推力の計算を行った。酸化剤中の硝酸の割合と比推力の関係を Figure 4 に示す。

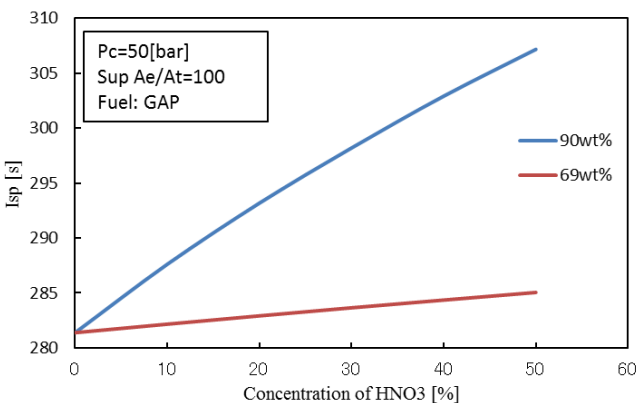


Figure 4. Relationship between Concentration of HNO<sub>3</sub> in Oxidizer and Specific Impulse

酸化剤中の硝酸の割合を増やした時、90%硝酸の比推力は 69%硝酸に比べ大きく上昇する。HAN/HNO<sub>3</sub>=50/50 mass%にしたときを例にとると、90%硝酸を用いた場合、水は酸化剤全体の 10%を占める。一方、69%硝酸を用いた場合は、水の割合は約 20%となる。このことより、濃度の濃い硝酸を用いた場合の方が混合される水が少ないため、酸化剤の酸化性能が高い。そのため、比推力も、硝酸の濃度によって大きな差が生じたと言える。よって、より高い比推力を得るために、これ以降 90%硝酸を用いることとする。

Figure 5 に、O/F を変化させた時の燃焼後の生成物の割合を示す。このとき、酸化剤は HAN と 90%硝酸の

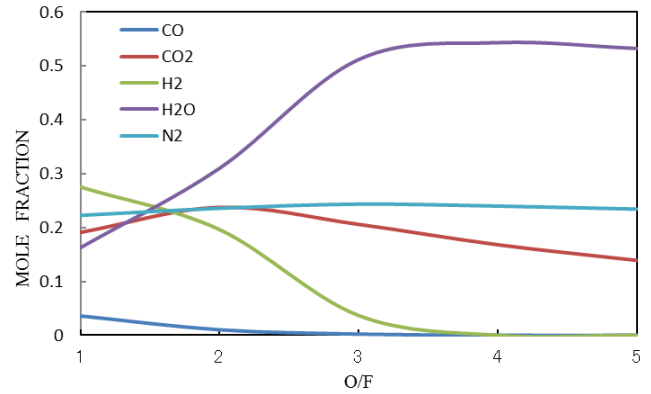


Figure 5. Product Material after Combustion

混合物とし、その割合は HAN/HNO<sub>3</sub>=60/40 mass%とした。それぞれの生成物の割合は O/F=2 を境に大きく変化する。また、水素の生成割合が、O/F=3 を過ぎたあたりで 0 となり、それと同時に水の生成割合も上昇しなくなる。

次に、酸化剤中の硝酸の割合を変化させた時の pH の値の変化について述べる。硝酸の濃度は 90%とする。酸化剤中の硝酸の割合を 0%から 100%まで変化させたときの pH の値の変化を測定した。HAN に硝酸を加えていくと、pH の値は緩やかに減少していった。硝酸の割合が 40%を超えたところで pH は極小値をとり、その後は再び増加していった。

また、これらの pH 値は中性を示す 7 より十分小さい値である。

#### 4. まとめ

- HAN に硝酸を加えることで比推力の極大値が上昇する。
- 高い濃度の硝酸を用いることで、より高い比推力を得られる。
- 酸化剤燃料比の値を大きくすると水の生成量が増え、水素の生成量が減少する

#### 5. 参考文献

- [1]桑原卓雄, ロケットエンジン概論, 産業図書, p72-74, p86, 2009
- [2]Gordon, S. and McBride, B.J., NASA RP-1311, 1994
- [3]井上明, 松田竜太, 勝身俊之, 堀恵一, HAN 系液体推進剤の燃焼特性, 火薬学会誌, Vol.70, No.1, pp. 27-32, 2009