

## 一液性スラスタにおける GAP の噴霧燃焼特性

## The Spray Combustion Characteristics of GAP Used as Liquid Monopropellant Thruster

○林孝治<sup>1</sup>, 元井健人<sup>1</sup>, 桑原卓雄<sup>2</sup>\*Koji Hayashi<sup>1</sup>, Kento Motoi<sup>1</sup>, Takuo Kuwahara<sup>2</sup>

Abstract: Glycidyl Azide Polymer (GAP) is researched as the next generation monopropellant. To use GAP as a liquid monopropellant, it is necessary to spray combustion. However the spray combustion characteristics of GAP are not cleared. In this research, to clear the spray combustion characteristics of GAP, we investigated the relation between spray droplet diameter and  $C^*$  combustion efficiency.  $C^*$  combustion efficiency increases with decreasing the droplet diameter.

## 1. 背景

現在, 人工衛星や探査機などの宇宙機では, 軌道投入, 姿勢制御の細かい動作が求められるため, 一液性スラスタが使用されている。

この一液性スラスタの推進薬として一般的に使われているのがヒドラジンである。ヒドラジンは, 触媒で容易に分解し, 比推力も大きいという利点から長年用いられてきた。しかし, 毒性和腐食性が非常に強いため, 取扱いには難がある。そこで我々は, 毒性が弱く, 取り扱いが容易な次世代一液性推進薬としてグリシジルアジ化ポリマー (GAP) に着目した。GAP はヒドラジンよりも同一燃焼条件での理論真空比推力が大きく, 自己熱分解性を有する高エネルギー物質である<sup>[1]</sup>。

燃焼室特性長  $L^*$  を 1 m とした一液性スラスタで GAP を推進薬として使用する場合, 燃焼室内で燃焼完結するためには, 液滴径を数 10  $\mu\text{m}$  まで微細化して燃焼させなければならないため, GAP を噴霧し燃焼させる必要がある。しかし, 噴霧した GAP の燃焼特性は明らかになっていない。

本研究では, 噴霧時の粒度分布を変化させた時の  $C^*$  燃焼効率を取得し, 噴霧した GAP の燃焼特性を明らかにした。

## 2. 実験装置及び方法

噴霧した GAP の燃焼特性を明らかにするために, マイクロスラスタを用いて燃焼実験を行い  $C^*$  燃焼効率を取得した。Figure 1 に実験装置を示す。また, Table 1 に実験条件を示す。本実験において, マイクロスラスタの燃焼室内は, 大気圧下でノズルより窒素ガスを一定時間噴射することで窒素置換を行う。燃焼室内部に設置されたマイクロセラミックヒーターに GAP を噴

霧し燃焼させる。GAP 燃焼時における燃焼室内圧力は, 圧力計を用いて取得し, A/D コンバータを介し P.C. に記録した。

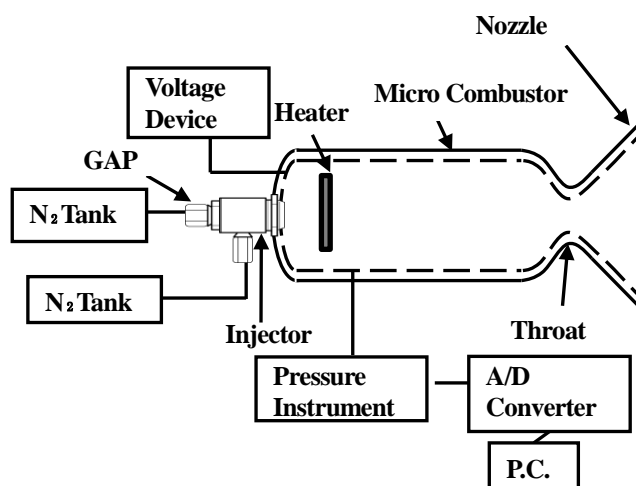


Figure 1 Experimental Apparatus of Micro Combustor

Table 1 Experimental Condition

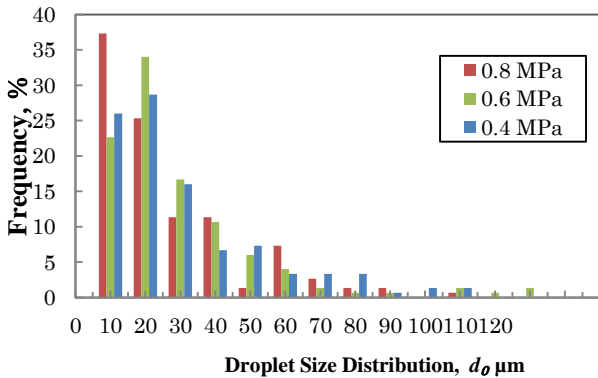
Detail of Experiment	
Ambient Atmosphere	Nitrogen
Heater Temperature, K	773
Characteristic Length, m	1
Nozzle Throat Diameter, mm	3.1
Sampling Frequency, kHz	1
Initial Pressure, MPa	0.1

本研究では GAP の噴射圧を変える事により, 噴霧した GAP の粒度分布を変化させた。なお, この粒度分布は液浸法を用いて測定した。シリコンオイルに GAP を噴霧し補足した液滴を撮影, 画像を解析することで平均液滴径と粒度分布を求めた。サンプル数は 150 個とした。Table 2 に噴射圧に対する平均液滴径  $d_0$  を示す。ま

た、Figure 2 に各噴霧時の粒度分布を示す。

**Table 2 Relations of the Injection Pressure and the Mean Droplet Diameter**

Injection Pressure, MPa	Mean Droplet Diameter, $d_o$
	$\mu\text{m}$
0.4	27.4
0.6	25.3
0.8	22.4



**Figure 2 Distribution of Each Droplet Diameter**

3. 実験結果及び考察

本研究では特性排気速度( $C_{exp}^*$ )は(3-1)<sup>2</sup>式より求めた。

$$C_{exp}^* = \frac{A_i P_c}{\dot{m}} \quad (3-1)$$

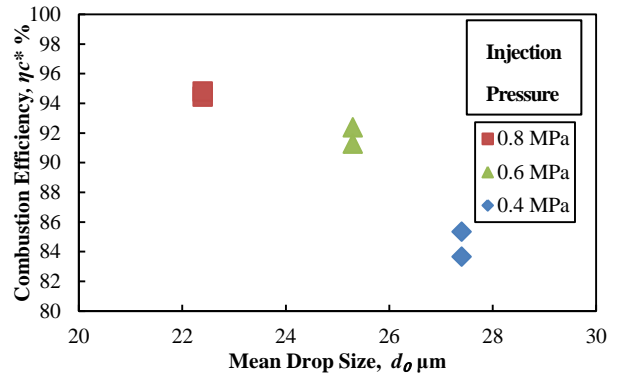
ここで、 $A_i$ はノズルスロート断面積、 $P_c$ は燃焼器内圧力、 $\dot{m}$ は質量流量である。また、 $P_c$ は燃焼時間における燃焼器内の平均圧力とし、 $\dot{m}$ は噴射した推進薬の質量から燃焼残渣の質量を引いたものを、燃焼時間で除したものである。添え字「exp」は実験値を示している。 $C_{exp}^*$ はマイクロスラスタを用いて取得した。また、 $C^*$ 燃焼効率( $\eta_{c^*}$ )は(3-2)<sup>2</sup>式より算出した。

$$\eta_{c^*} = \frac{C_{exp}^*}{C_{th}^*} \times 100 \quad (3-2)$$

添え字「th」は理論値を意味している。理論特性排気速度 $C_{th}^*$ は化学平衡計算ソフト NASA-CEA<sup>[3]</sup>を用いて求めた。

4. 実験結果及び考察

Figure 3 にGAPをマイクロスラスタ内に噴霧した時の平均液滴径に対する $\eta_{c^*}$ を示す。液滴径 $d_o$ が小さくなると、 $\eta_{c^*}$ が上昇していることが分かる。



**Figure 3 Relationships of  $\eta_{c^*}$  and Mean Droplet Diameter  $d_o$**

燃焼室特性長  $L^*$ を 1 m とした一液性スラスタの場合 GAP の滞留時間 $\tau_c$ は(4-1)<sup>2</sup>式より 20.3 ms である。

$$\tau_c = L^* \sqrt{\frac{M}{\gamma R_0 T_c}} \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (4-1)$$

ここで、 $M$ は分子量、 $\gamma$ は比熱比、 $R_0$ は一般ガス定数である。この滞留時間 $\tau_c$ から燃焼器内で燃焼が完結する液滴の割合は、噴射圧力 0.8 MPa, 0.6 MPa, 0.4 MPa でそれぞれ 94.0 %, 88.4 %, 82.8 % である。また燃焼時間を Table 3 に示す。燃焼時間は Table 3 のように短くなったことから、液滴径が小さくなったことにより燃焼時間が短くなり燃焼器内で燃焼が完結する GAP 液滴の割合が増加し、 $\eta_{c^*}$ が上昇したと考えられる。

**Table 3 Relations of the Injection Pressure and the Combustion time**

Injection Pressure, MPa	Combustion time, ms
0.4	80
0.6	72
0.8	69

5. 結論

GAP を噴霧した時の液滴径を小さくすることにより、 $C^*$ 燃焼効率は上昇する。

6. 参考文献

[1] 久保田浪之介他, 「プロペラントハンドブック」, 社団法人火薬学会, pp.299-310, 2005.  
 [2] 桑原卓雄, 「ロケットエンジン概論」, 産業図書, pp.51-54, 2009.  
 [3] Gordon S. and McBridge B, “Computer Program for Calculation of Equilibrium Chemical Constants and Applicable”, NASA RP-1331, (1994).