K2-59

AP/HTPB 系コンポジット推進薬に含まれる AI 粒子の燃焼特性 -圧力の効果-

Burning characteristics of aluminum particles in AP/HTPB composite propellants —Effect of the pressure—

安部美咲 ¹, ○佐野貴章 ¹, 桑原卓雄 ² Misaki Abe¹, *Takaaki Sano¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: The Al particles are used as metal fuels in composite propellants of solid rockets to improve the propulsive performance. However, the Al particles agglomerate at the burning surface of the composite propellants. The diameter of agglomerated Al particles increases the burning time and decreases the combustion efficiency. In this study we obtained about the relation between the burning time and the diameter of Al particles. We obtained that the evaporation coefficient increased with increasing the pressure.

1. 背景

現在,日本では惑星探査や小型衛星の打ち上げなど に固体推進薬を用いた固体ロケットが使われてい る.

結晶状の酸化剤,固体粒子の金属燃料,高分子樹脂のバインダーから構成されるコンポジット推進薬が多く使用され,固体ロケットでは,推進性能の向上と燃焼安定のために金属燃料としてAl粒子を添加する.しかし,Al粒子は初期粒径が10~30[μm]の場合,推進薬の燃焼表面で100~200[μm]以上に集塊する.集塊した粒子は体積が増加することで燃焼器内で完全燃焼に至らず,燃焼効率が低下し,推進性能が低下する原因となっている.したがって,ロケットモーター内で燃焼効率向上のために集塊したAl粒子の燃焼特性を知ることは重要である.

本研究では推進薬から離脱した Al 粒子に着目した. 燃焼圧力を変えた時の推進薬から離脱した粒子の粒子径と燃焼時間の関係を求めることで, 圧力が集塊粒子の蒸発速度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする.

2. 理論

2.1 推進薬

本研究では、貯蔵性や価格などを考慮し、以下に示したもの使用して推進薬製造を行った. その特徴を示す.

- (1) AP (NH4ClO4) (平均粒子径50 [μm], 200 [μm]) 酸素を多量に含有し、金属との燃焼性が高い.
- (2) HTPB (C7.075H10.650O0.233N0.063) 貯蔵性に優れている.
- (3) AI(平均粒子径30 [µm], 融点933 [K], 沸点2792 [K]) 固体推進薬の推進性能向上用添加金属として用いられる. 金属粒子の中で酸素との燃焼熱が高く, 低コストである.

本実験での組成をTable 1に示す.

Table 1. Composition of propellants [parts].

Sample name	AP	HTPB	Al
Al 20	85	15	20

2.2 燃焼時間

気相中のAI粒子はストークスの式に従い移動すると、燃焼時間は以下の式で算出される.

^{1:}日大理工・学部・航宇 2:日大理工・教員・航宇

$$t = \frac{l}{u} \tag{1}$$

lは推進薬表面からの距離 [mm], uは噴流速度 [mm/s] である.

2.3 Becksteadの式⁽¹⁾

燃焼時間と粒子径との関係を次に示す.一般に \mathbf{D}^2 則と呼ばれている.

$$t = kD^2 \tag{2}$$

tは燃焼時間 [ms], kは蒸発係数 [ms/ μ m²],Dは平均粒子径 [μ m]である.

3. 実験方法及び実験装置

実験条件をTable 2に示し,推進薬形状の詳細を Figure 1に示す。

Table 2. Experimental condition.

Atmosphere gas	N_2
Temperature in the chamber [K]	293
Pressure in the chamber [MPa]	0.4 , 0.6
A amilia aantainan [mm]	Cylinder
Acrylic container [mm]	Ø25 × 108

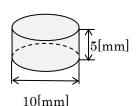


Figure 1. The shape of propellants

3.1 回収実験

Figure 2に実験装置を示す.推進薬を下向きに設置し、燃焼時に推進薬から離脱するAI粒子を水を入れたアクリル容器で回収する.また、推進薬表面から100 [mm] と150 [mm]の距離でそれぞれ回収を行う.

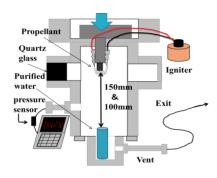


Figure 2. Experimental apparatus of collecting Al particles.

4. 実験結果および考察

回収実験の結果をTable 3に示す.

Table 3. The relation between the mean diameter of Al and the pressure.

Pressure [MPa] Distance [mm]	0.4	0.6
100	26.1	15.1
150	9.09	7.38

圧力を上げると集塊粒径が小さくなることがわかる. Al 集塊粒子径は圧力を上げると推進薬表面で集塊し、粒径が小さくなることが知られている. よって、回収した集塊粒子径は推進薬表面で集塊した粒子径の影響を受けていると考えられる.

燃焼時間と Beckstead の式を用いて得られた蒸発 係数を Table 4 に示す.

Table 4. The relation between the evaporation coefficient and the pressure.

	The evaporation	
	coefficient [ms/µm ²]	
Pressure at 0.4 [MPa]	0.003	
Pressure at 0.6 [MPa]	0.008	

5. 結論

・燃焼圧力を上げると蒸発速度が遅くなる.

参考文献

[1] M. W. Beckstead, A Summary of Aluminum Combustion, RTO/VKI Special Course on Internal Aerodynamics in Solid Rocket Propulsion, **2004**, RTO