K2-38

固体推進薬において Al_2O_3, Mg が k 値に与える影響

Effects of mixing materials to the aluminum particle combustion and Magnesium-Aluminum particle combustion in solid composite propellants –Al_2O_3 and Mg－

星野友芙 [1]，○加藤秀一朗 [1]，桑原卓雄 [2]
Yuhu Hoshino[1], *Shuuichirou Katou[1], Takuo Kuwahara[2]

Metal particles like Al or Mg are used in solid rockets for increasing the propulsion performance. The evaporation time is important factor in the rocket motor. However, the influences due to the difference in the boiling points are not investigated. In this study, we obtained the constant k when the concentration of Al_2O_3 or Mg changed. As a result¸ the constant k is increased with increasing the concentration of the Al_2O_3. The constant k is decreased with increasing the concentration of Mg.

1.　背景

固体ロケットとは固体推進薬を燃焼させて推力を得るロケットであり，その固体推進薬には推力向上のために Al, Mg などの金属粒子を混合している[1, 2].

金属粒子がモーター内で完全燃焼しない場合，燃焼効率の低下につながる．これを防ぐためには金属粒子の蒸発時間を求める必要がある．蒸発時間 t は次に示す式で表される．

$$t = kD_0^{\ 2} \tag{1}$$

しかし粒径 D_0 が一定であるとき粒子の蒸発時間 t にはばらつきがあり[3, 4], これは式(1)中の k 値のばらつきに起因すると考えられる．また，Al 粒子に関しては酸化物である Al_2O_3 が粒子表面に生成する．しかし，酸化物は金属粒子よりも沸点が高いことは知られているが，酸化物による蒸発時間 t への影響はこれまでに検討されていない．したがってモーターの燃焼効率を向上させるためには，沸点の異なる金属粒子の k 値を評価し，粒径 D_0 が一定であるときにばらつきが発生する要因を解明することによって正確な蒸発時間 t を求めることが重要である．

本研究では Al と Mg-Al に着目し， Al_2O_3 の混合量によって変化する Al の k 値，及び Mg の混合量によって変化する Mg-Al の k 値を求めることを目的とする．

2. 理論

2.1 推進薬の選定

本研究では酸化剤として過塩素酸アンモニウム (AP)，バインダーとして末端水酸基ポリブタジエン (HTPB)，金属粒子に Al と Mg-Al を用いる．特徴は次に示す通りである．

(1) AP (NH_4ClO_4) (平均粒子径 50 [μm]，200 [μm])
酸素を多量に含有し，金属との燃焼性が良い．

(2) HTPB ($C_{7.075}H_{10.650}O_{0.233}N_{0.063}$)
製造性，及び貯蔵性が良い．

(3) Al (平均粒子径 30 [μm])
Al は固体推進薬の燃焼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，低コストで安全性が高い．

(4) Mg-Al (平均粒子径 30 [μm])
Mg と Al を 5:5 の比率で混ぜた合金である．Mg を含有しているため単体の Al と比較して着火性が良い．

本実験での組成を Table 1 に示す．

Table 1. Composition of Propellants [parts].

Prop.	AP	HTPB	Al	Mg	Mg-Al
1	80	20	20	-	-
2	85	15	20	-	-
3	92.5	7.5	20	-	-
4	85	15	-	20	-
5	85	15	-	-	20

1：日大理工・学部・航宇　2：日大理工・教員・航宇

3.　実験方法及び実験装置

Figure 1 に示す実験装置を用いて燃焼後の粒子の回収を行う．NASA-CEA[4]より蒸発時間 t を算出する．また，回収した粒子を電子顕微鏡で撮影し粒子径 D_0 を測定した後，式(1)より k 値を算出する．

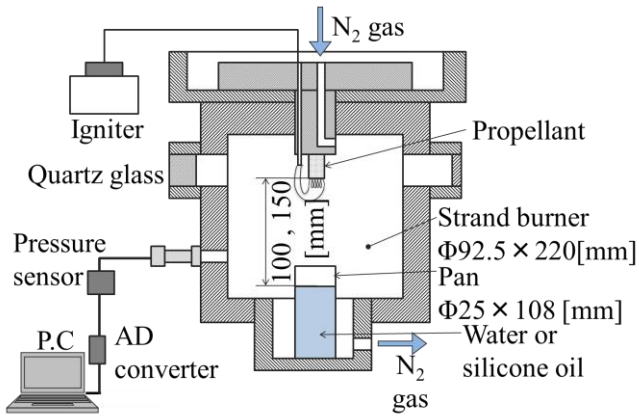

Figure 1. Experimental apparatus for collecting metal particles

4.　理論解析

NASA-CEA[4]を用いて AP/HTPB/Al=85/15/20 の場合において，金属粒子が Al のみのときの Al_2O_3 の混合率を 0 %，金属粒子が Al_2O_3 のみのときの Al_2O_3 の混合量を 100 %とする．

Figure 2 より，Al_2O_3 の混合量の増加に伴い比推力 *Isp* が減少している．Al_2O_3 が酸化剤として作用していた場合，比推力は増加するため Al_2O_3 は酸化剤としてはたらいていないと言える．

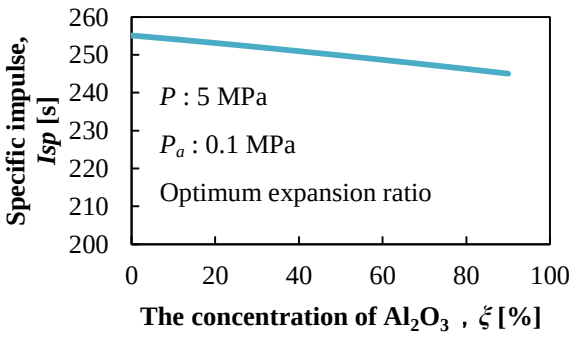

Figure 2. *Isp* with varying concentrations of Al_2O_3 in the Al particles

5.　実験結果

Figure 3 より Al_2O_3 の混合量が増加すると Al の k 値は増加し，Mg が増加すると Mg-Al の k 値は減少する．

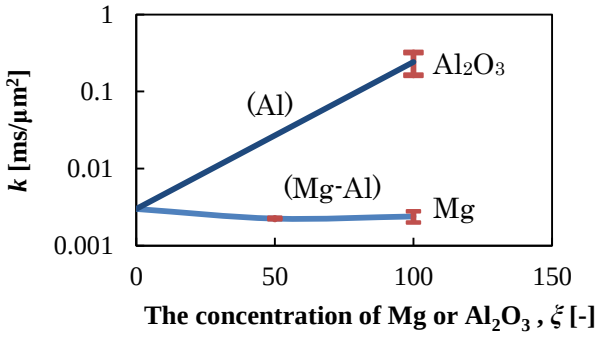

Figure 3. The relation between the constant k and the concentration of Mg or Al_2O_3

6.　結論

Al_2O_3 の混合量が増えると Al の k 値は 100 倍近く増加し，Mg の混合量が増えると Mg-Al の k 値は 0.003 から 0.002 [ms/μm^2]と幾分減少する．

参考文献

[1] H. Habu, Application of Magnalium to Solid rocket propellant, Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 58, No.4, 2008, pp.162-166.

[2] M. W. Beckstead, A Summary of Aluminum Combustion, RTO/VKI Special Course on Internal Aerodynamics in Solid Rocket Propulsion, 2004, RTO-EN-023, pp. 5. 1-5. 46.

[3] Misaki Abe and Kenshou Sano, “Evaporation characteristics of aluminum particles in AP/HTPB composite propellants”, 2015, Graduation thesis.

[4] S. Gordon and B. J. McBride, “Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions and applications”, NASA Reference Publication, NASARP-1311, 1994.