

K2-73

酸化剤にH₂Oを用いたガスハイブリッドロケットの燃焼特性における Mg-Al 粒子径の影響 Effect of Mg-Al Particle Size on Combustion Characteristics of Gas Hybrid Rocket using H₂O as oxidizer

○佐藤 堯¹, 北野 紘大¹, 桑原 卓雄²* Yutaka Sato¹, Kodai Kitano¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: We have studied the gas hybrid rocket using H₂O as an oxidizer and Mg-Al as a fuel. We understand from previous studies that it is necessary to make H₂O dissociate for combustion of Mg-Al. However, H₂O hardly ever dissociates in more than 1.0 of oxidizer to fuel, *O/F*. Thus, we changed Mg-Al particle size because the larger specific surface area becomes, the larger value of movement of heat that makes H₂O dissociate becomes. As a result, the combustion efficiency of C* was 60 % in 1.9-2.1 of *O/F*, when Mg-Al particle size was 98 μm. The combustion efficiency of C* was 70-90 % in 1.2-1.8 of *O/F* when Mg-Al particle size were 40 μm and 13 μm.

1. 背景

現在, 惑星間探査で化学推進ロケットを用いた研究^[1]が進められている. しかし, 化学推進ロケットは酸化剤と燃料が尽きると, 運用することができない. そこで惑星現地で酸化剤と燃料を調達することにより, 長期間の惑星間探査を可能にする.

惑星現地で調達できるものとして酸化剤に液体の水(H₂O)が挙げられる. H₂Oは月や火星の土壤に含まれている. また, 他の惑星では氷の状態が存在が確認されている. 燃料には惑星において存在率が高い金属^[2]が挙げられる. 金属には着火性の良いマグネシウム(Mg)と比較的発熱量が高いアルミニウム(Al)が存在する. このことから, MgとAlの両方の特性を持つマグナリウム(Mg-Al)を用いる.

燃料には金属を多量に含有できるパイロラント Mg-Al/Teflon/Viton^[3]が適している. テフロン(Teflon)はフッ素を含むため Mg-Al との酸化力に優れており, バイトン(Viton)はバインダーの役割を持つ.

酸化剤に液体の H₂O, 燃料に固体の Mg-Al/Teflon/Viton を用いる化学推進ロケットとしてガスハイブリッドロケットがある. ガスハイブリッドロケットの構造図を Fig. 1 に示す.

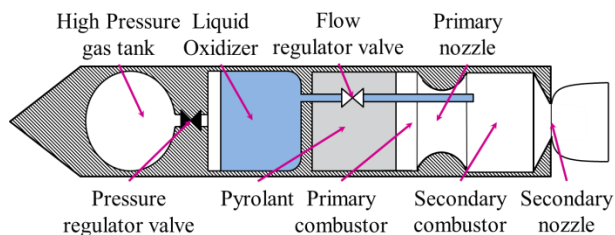


Figure 1 Gas Hybrid Rocket

ガスハイブリッドロケットは 1 次燃焼室内でパイロラントを燃焼させ, 燃料過剰ガスを 2 次燃焼室内に噴射する. そして, 2 次燃焼室内で液体酸化剤と混合し燃焼させることで推力を得る. また, 酸化剤流量と燃料流量の比(*O/F*)をかえることで推力の調整ができる.

過去の研究^[3]から, *O/F* が 1.0 以上において C*燃焼効率は 90 % から 60 % に低下することが得られている. また, *O/F* が 1.0 以上において, H₂O の解離割合が 90 % から 60 % に低下することから, H₂O が十分に解離できていないことが得られている. このことから, Mg-Al と H₂O を燃焼させるためには, H₂O を O と H に解離させる必要がある.

そこで, 2 次燃焼室に入る Mg-Al 粒子から H₂O への熱の移動量を増加させることにより, H₂O の解離を促す. 熱移動量を増加させるために, 熱移動する面積を増やせばよい. したがって, Mg-Al 粒子を小さくすることで, 比表面積を大きくし, 熱移動量を増加させる.

2. 目的

Mg-Al 粒子の比表面積が C*燃焼効率に及ぼす影響を求めた.

3. 理論

C*燃焼効率 η_{C^*} は次式^[2]で求める.

$$\eta_{C^*} = \frac{C_{exp}^*}{C_{th}^*} \times 100 \quad (1)$$

C_{th}^* は理論値の特性排気速度であり, 化学平衡計

算ソフト NASA-CEA^[4]で求めた、 C_{exp}^* は実験値の特性排気速度であり、次式^[2]で求められる。

$$C_{exp}^* = \frac{P_c A_t}{\dot{m}} \quad (2)$$

P_c は 2 次燃焼室内圧力、 A_t は 2 次ノズルスロート断面積、 \dot{m} は燃料と酸化剤の質量流量である。

4. 実験方法・実験装置

燃焼実験の実験条件を Table 1，実験装置を Fig. 2 に示す。

Table 1 Experimental conditions

Mg-Al/Teflon/Viton [mass%]	79.2/8.8/12
Mg-Al [-]	50-50
Mg-Al average particle size [μm]	13, 40, 98
H ₂ O initial temperature [K]	300
Oxidizer to fuel ratio (O/F) [-]	0.5-2.6
Secondary nozzle throat diameter [mm]	4, 5, 5.8, 6.2

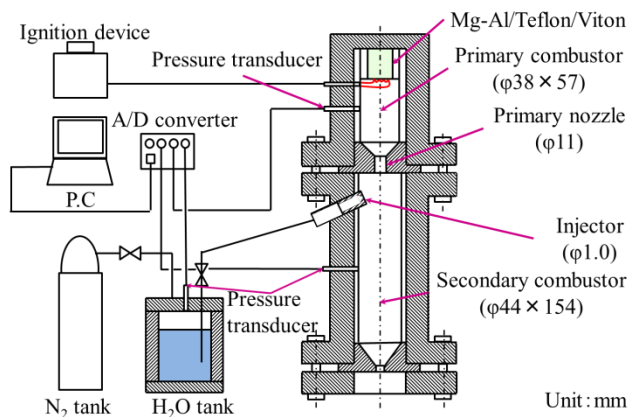


Figure 2 Experimental apparatus

5. 実験結果・考察

Fig. 3 には、各粒子径における O/F と C^* 燃焼効率の関係を示す。

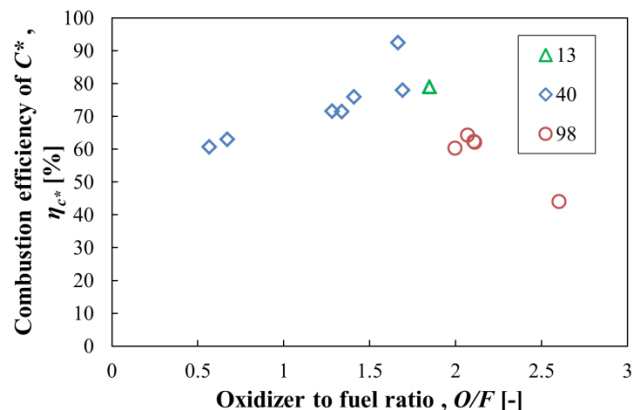


Figure 3 Experimental result

Fig. 3 より、Mg-Al 平均粒子径 13 μm では $O/F = 1.8$ において 79 %，Mg-Al 平均粒子径 40 μm では $O/F = 1.6$ において極大値 92 %，Mg-Al 平均粒子径 98 μm では $O/F = 2.1$ において極大値 64 % が得られた。

このことから、Mg-Al 平均粒子径 98 μm では C^* 燃焼効率が低い領域であることから、解離させることができなかったと考えられる。

また、Mg-Al 平均粒子径 13 μm と 40 μm では、 C^* 燃焼効率が高い領域がある。この領域において、Mg-Al 平均粒子径 40 μm 以下では十分に H₂O を解離させることができたと考えられる。

6. 結論

比表面積を変化させることで、 C^* 燃焼効率 η_{C^*} に影響を及ぼした。

7. 参考文献

- [1] 荒川政彦 他，イプシロンロケットを中心とした惑星 探査ミッションの将来像への提言—理学系—，日本惑星科学会将来計画委員会 小型惑星探査 WG 最終案，2013.
- [2] 桑原卓雄，ロケットエンジン概論，産業図書，pp. 116-117, pp. 51-53, 2009.
- [3] 加藤美紀生，酸化剤に H₂O を用いたガスハイブリッドロケットの燃焼特性，平成 25 年度日本大学大学院 理工学研究科航空宇宙工学専攻修士論文，2014.
- [4] Gordon S. and McBride B.，Computer Program for Calculation of Complex Equilibrium Combustions and Applicants, NASA RP-1331, 1994.