

K2-37

ダクテッドロケット推進薬に用いられる金属粒子の燃焼特性 ホウ素粒子, マグナリウム粒子

Combustion Characteristics of metal particles for Ducted Rockets Propellant Boron particles, Magnalium particles

小俣孝明¹, ○坂井祥子¹, 桑原卓雄²Takaaki Omata¹, *Shoko Sakai¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: Boron(B) is the most suitable for propellant of ducted rockets because of its high combustion heat with oxygen. However B has high melting point and high ignition temperature. Therefore combustion of the metal particle is difficult in the secondary combustor. To solve this problem, we add magnalium(Mg-Al) to the propellant. It is thought that luminous flame diameter of Mg-Al has an effect on ignition of B. We measured luminous flame diameters of them when the ratio of B and Mg-Al are changed. As a result of this experiment, luminous flame diameter of Mg-Al and B changed.

1. 背景

固体ロケットエンジンは、燃料に対して多量の酸化剤を自蔵しなければならない。一方、大気を酸化剤とする空気吸込式エンジンであるラムジェットエンジンは大気中の酸素を酸化剤として使用することで、高い比推力が得られる。また、衝撃波を利用して空気を圧縮するので、タービン等が必要なくなり、構造が単純になる。ここで図 1 にダクテッドロケットの基本構造を示す。

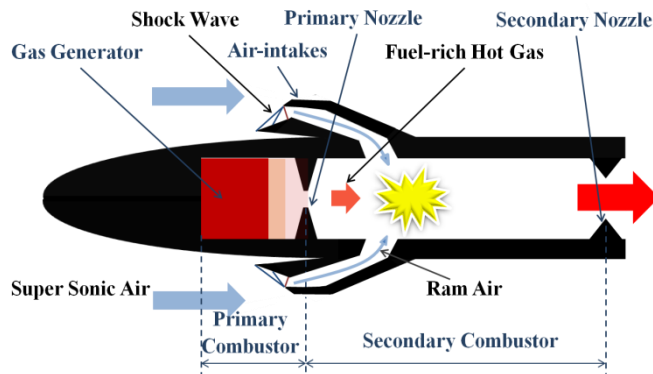


Figure 1. Fundamental Structure of Ducted Rocket

ダクテッドロケットはラムジェットエンジンの一種で、一次燃焼室でガスジェネレータを燃焼させ、二次燃焼室にて発生した高温の燃料過剰ガスを、吸い込んだ空気と燃焼させることで推進する機関である。液体、固体ラムジェットエンジンと比べ燃焼室内を高温に保てるため、高い燃焼効率を得られる。しかし、二次燃焼室内の流速が大きくなると混合ガスの滞留時間が短くなる。また、流速が大きくなると二次燃焼器内の滞留時間が短くなり、着火、燃焼を継続することが難しい。これを解決するには金属粒子などを用いて高温部を形成させることによる保

炎が必要となる。そこで、酸素との単位質量当りの燃焼熱の高いホウ素(B)を用いることとした。しかしながら、B は高融点であり、二次燃焼室内での着火、燃焼が難しい。そのため、高い燃焼効率を得るには B の周りに高温領域を形成し、B を強制着火させる必要がある。高温領域は金属粒子の燃焼で生じる影響径内で形成することができる。ここで、影響径とは、金属粒子が燃焼した際にできる高温部分の径である。そこで影響径が大きいという特徴があり、マグネシウム(Mg)とアルミニウム(Al)の合金であるマグナリウム(Mg-Al)を添加し、B を強制着火させる。Mg-Al は着火性に優れる Mg と燃焼熱の高い Al の両方の特性を持つ。影響径が大きければ、高温領域も広くなり、B の着火、燃焼が容易になると考えられる。燃焼効率は二次燃焼室内で B 粒子の着火、燃焼が完結することで向上する。B 粒子が Mg-Al の影響径によって着火し、自身も影響径を形成した後燃焼を終えるとすると、B 粒子の燃焼には Mg-Al の影響径、B の影響径が関係していると考えられる。しかし、従来の研究で B 粒子単体が燃焼する際の影響径は雰囲気温度によって変化しないことが得られている^[2]。

2. 目的

本研究では B 粒子、Mg-Al 粒子の着火、燃焼特性として今回は影響径に着目した。B と Mg-Al の割合を変える事によって B と Mg-Al の影響径にどのような変化が起きるかを確認する。

3. 実験方法・実験装置

図 2 に今回使用した実験装置の概略図を示す。

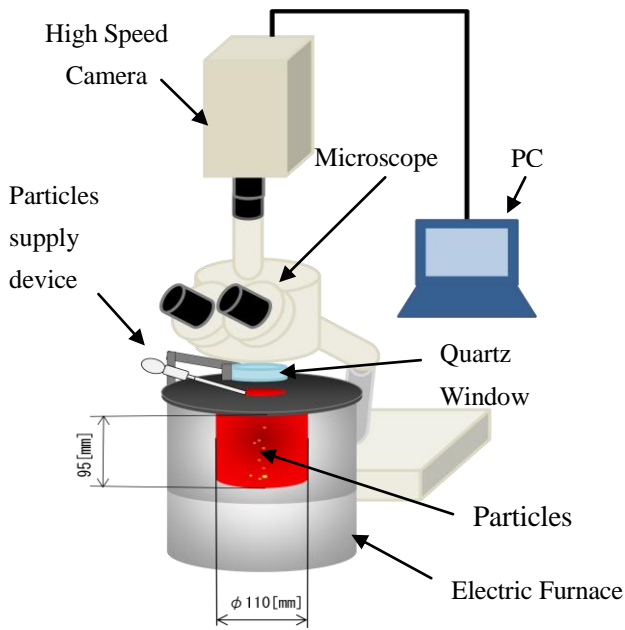


Figure 2. Experimental Apparatus

B 粒子 (平均粒径 $3.0\mu\text{m}$), Mg-Al 粒子 (平均粒径 $26\mu\text{m}$) を以下の表の割合で電気炉に落とした.

Table 1. The ratio of B and Mg-Al

B:Mg-Al [%]
100:0
80:20
65:35
50:50
35:65
20:80
0:100

B, Mg-Al の輝炎径を顕微鏡とハイスピードカメラ (撮影速度 4000fps) を用いて測定した. 電気炉の炉内温度を 1200K で設定し, 粒子を粒子噴射器で噴出し, それぞれの割合で 5 回ずつ測定を行った. 今回は, 燃焼時に発する輝炎を高温領域と考え, 輝炎が最大の時の直径を影響径とした.

4. 実験結果・考察

図 3 に Mg-Al 粒子の影響径と B, Mg-Al 粒子の添加量との関係を図 4 に B 粒子の影響径と B, Mg-Al 粒子の添加量との関係を示す. 図 3, 4 から分かるように, B と Mg-Al の割合を変えると Mg-Al, B 共に輝炎径は変化した. 輝炎径が変化したということは影響径も変化していると考えられる. また, B35% の時に Mg-Al の影響径は最大の値をとっており, B20% の時に最小の値をとっている. B の影響径は Mg-Al20% の時に最大の値をとっており、Mg-Al50%

の時に最小の値をとっている.

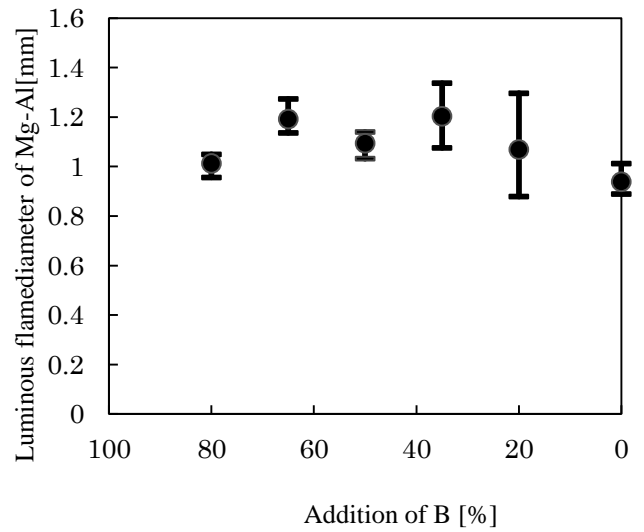


Figure 3. Relationship between Luminous flame diameter of Mg-Al and the ratio of B and Mg-Al

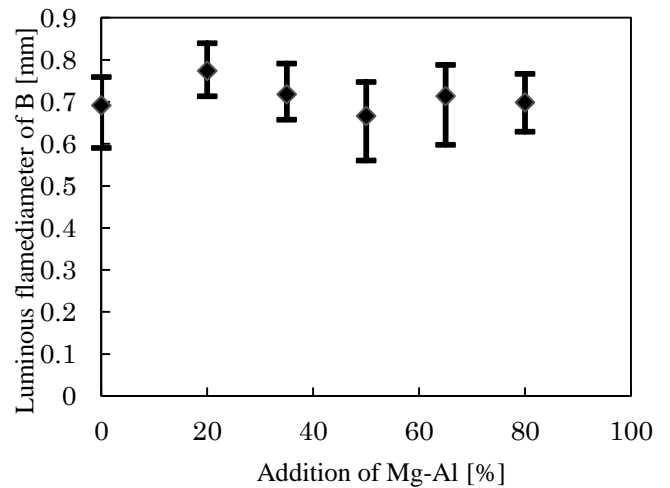


Figure 4. Relationship between Luminous flame diameter of B and the ratio of B and Mg-Al

5. まとめ

- B の影響径は $0.561[\text{mm}] \sim 0.840[\text{mm}]$ まで変化した.
- Mg-Al の影響径は $0.880[\text{mm}] \sim 1.34[\text{mm}]$ まで変化した.
- B の影響径は Mg-Al20% の時に最大の値を Mg-Al50% の時に最小の値をとった.
- Mg-Al の影響径は B35% の時に最大の値をとり, B20% の時に最小の値をとった.

6. 参考文献

- [1] 久保田浪之介, 桑原卓雄:「ラムジェット工学」, 日刊工業新聞社, 1996.
- [2] 風岡佑志, 高島大耕: 日本大学理工学部航空宇宙工学科卒業論文, 2009.