

K2-71

ダクテッドロケットに用いる金属燃料の二酸化炭素雰囲気での着火特性

Ignition Characteristics of Metal fuels for Ducted Rockets in the Carbon Dioxide

茶木 誉¹, 〇山中朝加¹, 桑原卓雄²Taka Chaki¹, Tomoka Yamanaka¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: Ducted rockets are proposed as the one of propulsion systems for the transportation in Mars. Ducted rockets can use the carbon dioxide(CO₂) in the atmosphere of Mars. There is undulating landscape in Mars, and pressure of CO₂ which flows into the secondary combustor is changed by the flight altitude. The purpose of this study is to clarify the effect of pressure changes gives to ignition delay time of metal particles. As a result of experiment, considering the effect of pressure, Mg is easier to ignite than Al, Mg-Al, Si and Ti in CO₂.

1. 研究背景

近年火星は人類の移住先として注目をあびており、様々な探査が行われている。火星は、大気成分の 95% が二酸化炭素(CO₂)であり、この CO₂を酸化剤として利用できる推進機関を用いれば、移住した際に火星内の物資輸送を効率良く行うことができる。また、火星ではダストストームなどの外乱が起きるため、それを通過するために高速飛翔が求められる。

そこで推進機関の 1 つとして、ラムジェットエンジンの一種であり超音速飛翔をするダクテッドロケットが適していると考えた。ダクテッドロケットは火星大気のコ₂を酸化剤に用いることで、他のロケットエンジンより搭載する酸化剤を減らすことができる。また固体ロケットより高い比推力を得ることができる。そして、高温の可燃性ガスを用いるため、他のラムジェットエンジンより燃焼を容易に行える。^[1]

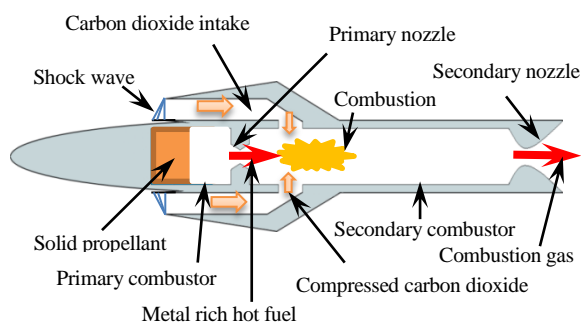


Figure 1 Fundamental structure of a ducted rocket

Figure 1 にダクテッドロケットの構造を示す。ダクテッドロケットは 1 次燃焼室、1 次ノズル、2 次燃焼室、2 次ノズル、大気吸込口、固体推進薬で構成される。

ダクテッドロケットの固体推進薬には AP/HTPB /Metal, Metal/Teflon/Viton が挙げられる。今回大気吸込口の圧縮方式は 3 重ランプ、ロケットの質量 1t, 胴体

直径 2m, 吸込口は 2 個で胴体断面積の 0.2 倍とする。

また推進薬組成を質量比で AP /HTPB/Mg=60/20/20, Mg/Teflon/Viton=79.2/8.8/12 とし、この条件での抗力と重量に対する余剰推力を表すスラストマージン TM を Figure 2 に示す。スラストマージンは推力を F, 抗力と重量の合成した力を R として、次式で求めた。

$$TM = F - R \quad (1)$$

火星内での輸送機関として用いるので、作動範囲がひろい Metal/Teflon/Viton が推進薬に適している。

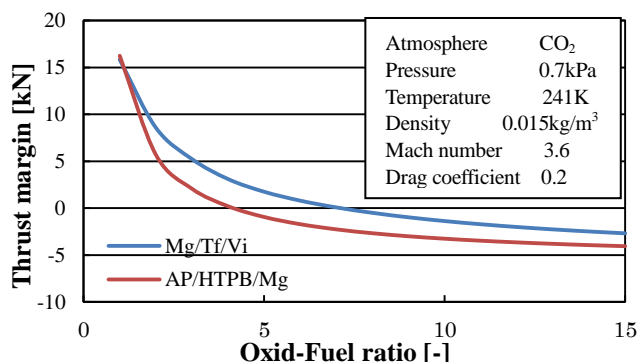


Figure 2 Relationship between O/F and thrust margin

ダクテッドロケットは 2 次燃焼室内の可燃性ガスの滞留時間が短いことが問題である。また、起伏が激しい火星内で飛ばすことを考え、飛翔高度を変化させる必要がある。この高度変化によって 2 次燃焼室内の圧力は変化するので、圧力変化による金属粒子の着火特性を明らかにすることが重要である。

本研究では 2 次燃焼室内を模擬し、飛翔高度の変化による圧力変化が金属粒子の着火遅れ時間に与える影響を明らかにする。

2. 実験内容・実験装置

Table 1 に使用する金属の候補を CO₂ との燃焼熱が高

い順に示す。Be は毒性を持ち、Li、Ca は反応性の高さから取り扱いが難しい。また B は着火しにくいことから、Al、Mg、Si、Ti 及び Mg と Al の長所を併せ持つマグナリウム合金(Mg-Al)の中から 5 種類を選定した。

Table 1 Combustion heat with CO₂

Metal	Combustion heat [kJ/g]
Beryllium(Be)	35.0
Lithium(Li)	22.7
Boron(B)	19.5
Aluminum(Al)	15.3
Magnesium(Mg)	13.1
Silicon(Si)	12.0
Calcium(Ca)	8.81
Titanium(Ti)	8.01

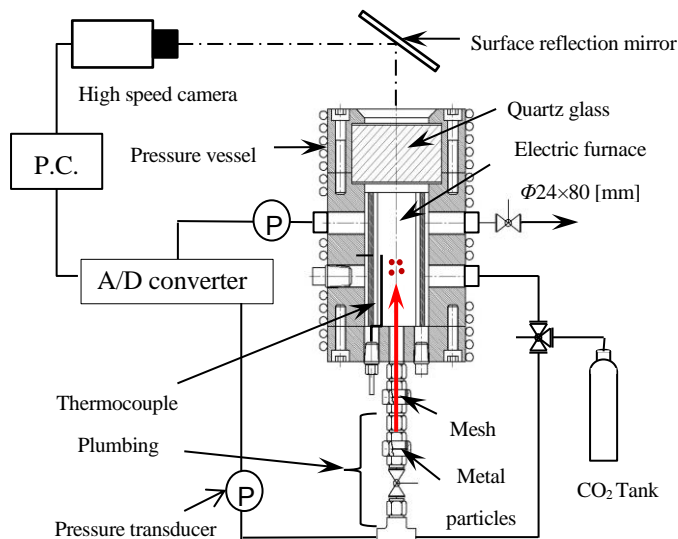


Figure 3 Experimental device

金属粒子の着火遅れ時間、燃焼時間を測定するために用いた実験装置を Figure 3 に示す。金属粒子を投入する方法は、圧力容器内と配管内の圧力差を利用した。

実験条件は圧力差 0.2MPa、炉内雰囲気温度 1223K、撮影速度 8000fps、炉内圧力 0.03、0.05、0.07 MPa でそれぞれ 20 個の粒子を観察した。

また粒子が炉内に投入されてから輝炎が発生するまでの時間を着火遅れ時間とした。

3. 実験結果・考察

金属粒子の着火遅れ時間は、粒子が反応開始温度に至るまでの物理的着火遅れ時間と、化学反応を開始し着火に至るまでの化学的着火遅れ時間に分けられる。

物理的過程では化学反応は含まないので着火は起きない。なので、物理的遅れ時間は着火が起きる確率が 0% の時間である。^[2]

着火遅れ時間と物理的、化学的着火遅れ時間をそれぞれ Figures 4,5,6 に示す。

CO₂ の熱伝導率は圧力が高くなるにつれて小さくなり、ピオ数が小さくなる。そのため物理的着火遅れ時間は圧力が上がるにつれて短くなると考えられる。また化学的着火遅れ時間は金属と CO₂ の反応速度によって異なってくる。圧力が上がるにつれて CO₂ の密度が増えるため反応しやすくなり、金属との反応速度が速くなり、化学的着火遅れ時間も短くなると考えられる。

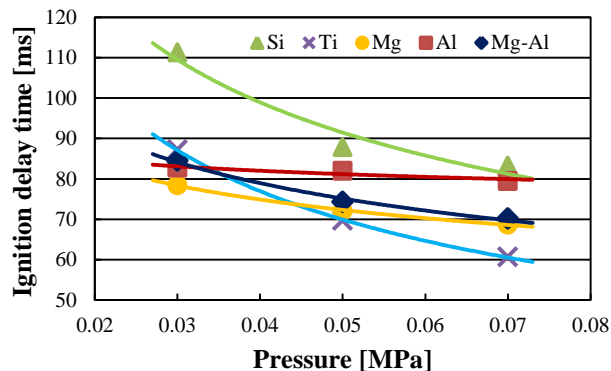


Figure 4 Ignition delay time

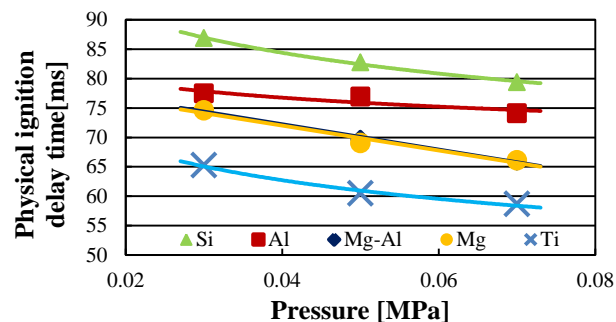


Figure 5 Physical ignition delay time

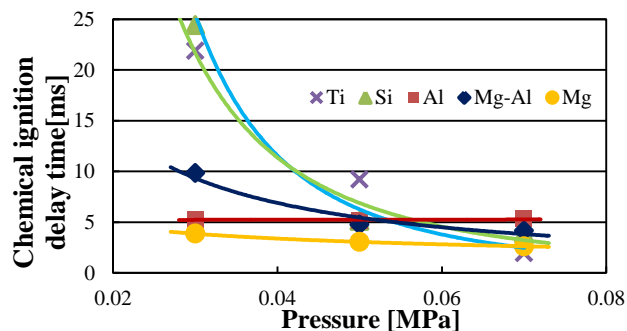


Figure 6 Chemical ignition delay time

4. 結論

二酸化炭素雰囲気では、金属 5 種類の中で着火しやすい圧力変化の影響が少ないのは Mg である。

5. 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] 熊谷清一郎, 燃焼, 岩波書店, 1976.