K2-57

ダクテッドロケットに用いる空気雰囲気での金属燃料の着火特性
- Al, Mg, Mg-Al, Si, Ti -

Ignition Characteristics of Metal fuels for Ducted Rockets in the Air
- Al, Mg, Mg-Al, Si, Ti -

○ 渡邊紫穂[1]，四反田翔平[1]， 桑原卓雄[2]
Shiho Watanabe[1] , Shouhei Sitanda[1], Takuo Kuwahara[2]

Abstract: Ducted rockets are one kind of ramjet engines. Ducted rockets can use the oxygen in the atmosphere of Earth. The pressure of the air which flows into a secondary combustor is changed by the flight altitude. The purpose of this study is to obtain the ignition delay time of metal particles on the pressure. As a result of the experiment, considering the effect of the pressure, Titanium (Ti) is easier to ignite than Aluminum (Al) and Silicon (Si) in the air.

1. 研究背景

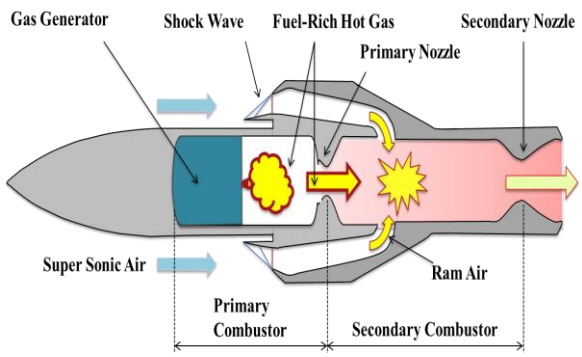

Figure 1 Fundamental structure of a ducted rocket

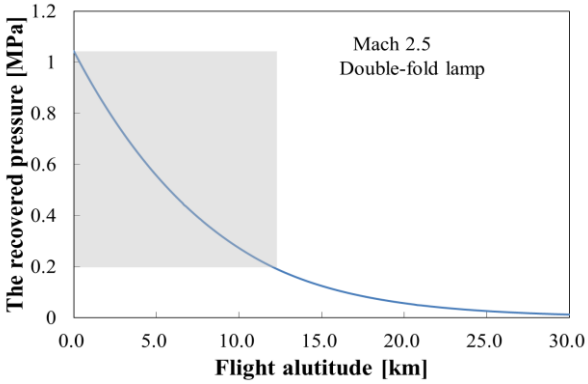

Figure 2　The pressure in the secondary combustor

Figure 1 にダクテッドロケットの基本構造を示す．ダクテッドロケットは一次燃焼器，二次燃焼器，一次ノズル，二次ノズル，空気取入口から構成されている．一次燃焼器で燃料過剰ガスを生成し，二次燃焼器において，衝撃波により昇温，昇圧された空気と燃料過剰ガスが混合され燃焼する．燃焼ガスが二次ノズルより高速で噴出されることでダクテッドロケットは推力を得る．

ダクテッドロケットは酸素との燃焼熱が高い金属粒子を添加する事により比推力の向上が可能である．

また，ダクテッドロケットは飛翔する高度，マッハ数，圧縮方式によって二次燃焼室内の圧力は決定する．二次燃焼器に流入する圧力と飛翔高度の関係を Figure 2 に示す．

Figure 2 より，ダクテッドロケットが Mach 2.5 で飛行した際，高度 0～12km での二次燃焼器内へ流入する空気の圧力は 0.20～1.04 MPa と大きく変化することがわかる．金属粒子の着火，燃焼過程は二次燃焼室に流入する大気の状態に影響されると考えられることから，圧力による金属粒子の着火特性を明らかにすることは重要である．

本研究では各飛翔高度の 2 次燃焼室内の圧力を模擬し，金属粒子の着火遅れ時間と圧力の関係を明らかにする．

2. 実験方法・実験装置

Table 1 に使用する金属の候補を空気と燃焼熱が高い順に示す．Beryllium (Be)は毒性を持ち，Lithium (Li)は反応性の高さから取扱いが難しい．また Boron (B)は着火しにくいことから，Aluminum (Al)，Silicon (Si)，Titanium (Ti)の 3 種類を選定した．

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．金属粒子は圧力容器内と配管内の圧力差を利用して投入した．

実験条件は，撮影速度 8113 fps， 炉内圧力 0.2，0.4，0.6 MPa，炉内雰囲気温度は，選定した全金属粒子の着火限界温度を満たす 1190 K とした．

1：日大理工・学部・航宇　　2：日大理工・教員・航宇

Table 1 Combustion heat in air

Metal	Combustion heat [kJ/g]
Beryllium (Be)	24.3
Lithium (Li)	20.0
Boron (B)	18.3
Aluminum (Al)	16.4
Silicon (Si)	15.1
Titanium (Ti)	11.8

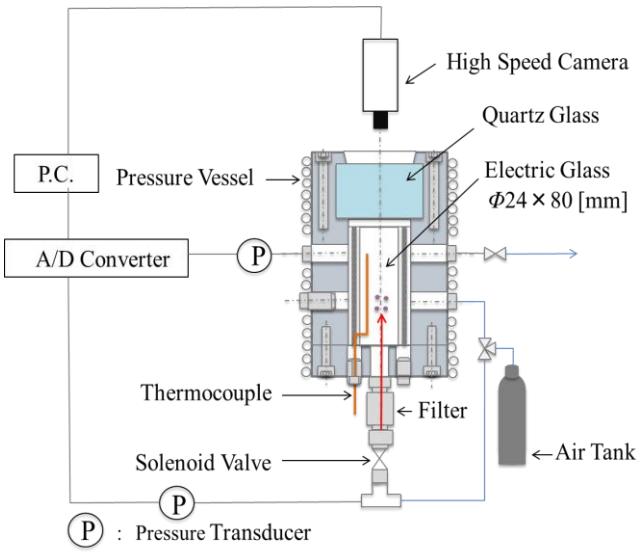

Figure 3 Experimental device

また，金属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，それぞれ 20 個の粒子を観察した．

3. 実験結果・考察

金属粒子の着火遅れ時間は，金属粒子が着火可能な状態になるまでの物理的着火遅れ時間と，それから化学反応が進んで着火に至るまでの化学的着火遅れ時間に分けられる．

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．

圧力が上がることから分子間距離が短くなり，熱伝導率が増加し，物理的着火遅れ時間が短くなると考えられる．

金属の燃焼方式には表面燃焼と気相燃焼がある．Si, Ti は表面燃焼をし， Al は気相燃焼である．表面燃焼は空気が金属粒子の表面に直接接触してその表面で燃焼が起こることである．このことから圧力が上がるにつれて空気密度が増え，反応速度が速くなる．よって表面燃焼である Si と Ti は化学的着火遅れ時間が短くなると考えられる．

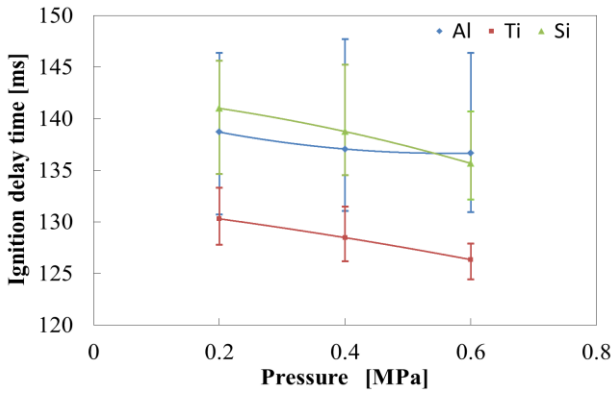

Figure 4 Ignition delay time

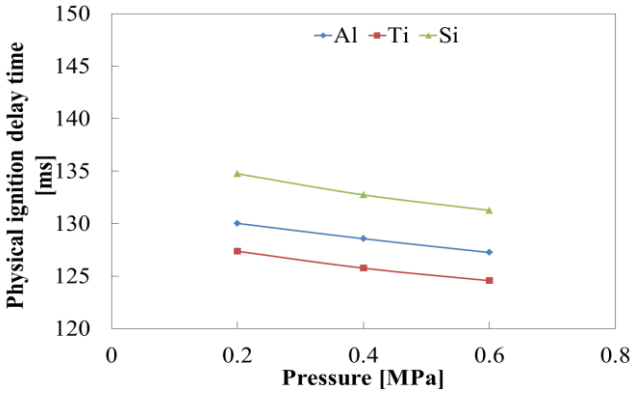

Figure 5 Physical ignition delay time

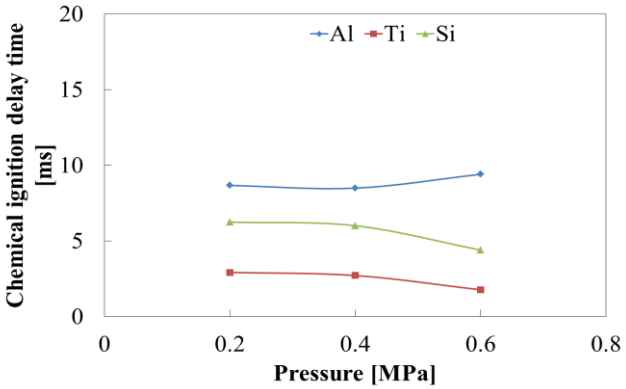

Figure 6 Chemical ignition delay time

4. 結論

空気雰囲気で，金属 3 種類の中で着火しやすい金属は Ti である．

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，pp. 120-140 1996.
[2]熊谷清一郎，燃焼，岩波書店，pp. 64-68 1976.