

プラズマジェットを使用したハイブリッドロケット用イグナイタの研究

○加藤 和茂<sup>\*1</sup>、那賀川 一郎<sup>\*2</sup>

※1 東海大学大学院工学研究科航空宇宙学専攻修士課程

※2 東海大学工学部航空宇宙学科 教授

## 1. 序論

ハイブリッドロケットエンジンは固体の燃料と液体もしくは気体酸化剤を有するロケットエンジンのことである(以下、ハイブリッドロケットとする)。ハイブリッドロケットは再着火が可能であり、固体ロケットエンジンのように燃料が火薬で無いため爆発の危険性がないといった特徴がある<sup>1)</sup>。そのため、液体ロケットエンジンとは異なり安全にロケットの軌道修正が可能である。しかし、現存のハイブリッドロケットのイグナイタは、固体ロケットモータと同様に火薬を用いている場合が多い。これは火薬のイグナイタは簡素であり、数多くの研究がなされているため信頼性があるといった利点からである。しかし、火薬を用いるイグナイタは再着火が困難かつ爆発などによりロケット自体の損傷に繋がる可能性があるため、ハイブリッドロケットの特徴の 1 つである安全性を損なってしまっている。これらのことから、求められるハイブリッドロケットのイグナイタとして、1) 複

数回の使用が可能、2) 非火薬、3) 簡素且つ小型の 3 つが挙げられる。

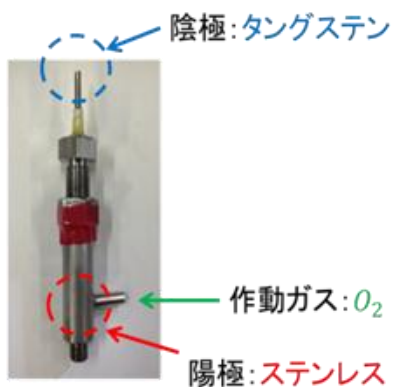
この 3 つの条件を満たすため、本研究ではプラズマトーチ(PT)をハイブリッドロケットのイグナイタとして使用することを提案した。プラズマトーチは複数回の作動が可能のため、再着火が可能になると考えられる。またプラズマトーチは電気を用いて作動させるため、従来のイグナイタとは異なり火薬を用いない。そして、プラズマトーチは構造が簡素なためイグナイタとして小型化が可能である。さらに、ガス温度が高いため着火が容易に行われると考えられる<sup>2)</sup>。

本研究では 3 台の電源装置と 1 台の電源装置を用いて自作プラズマトーチを正常に作動が行えるかを確認した。さらに、3 つの電源装置を使いプラズマトーチを作動させハイブリッドロケットの燃料である WAX 燃料にプラズマトーチの高温ジェットを吹きかけ着火特性を観察した。

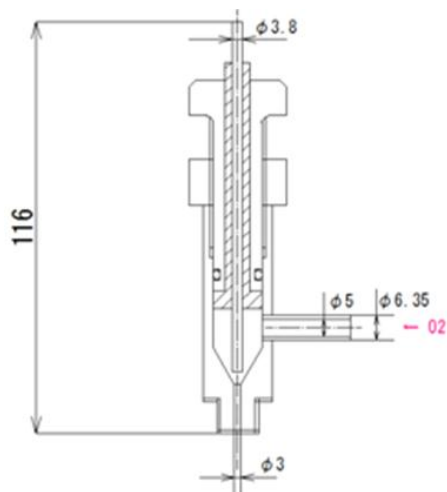
## 2. 実験方法

### 2.1 PT 作動実験 (電源装置 : 3 台)

Fig.1 に自作したプラズマトーチを示す。本研究で使用したプラズマトーチは陽極が酸化に強い性質を持つステンレス、陰極はタングステンを使用した。また、作動ガスはハイブリッドロケットに酸化剤として使用される  $O_2$  を使用した。



(a) 実験供試体



(b) 概要図

Fig.1 自作したプラズマトーチ

Fig.2 に実験装置の概要図を示す。高压高周波電源は作動ガスがアーク放電を開始するためスターターとして使用し、外部抵抗器はアーク放電電流の調整用として使用した。また、作動ガスの流量は  $3.0[L/min]$  とした。

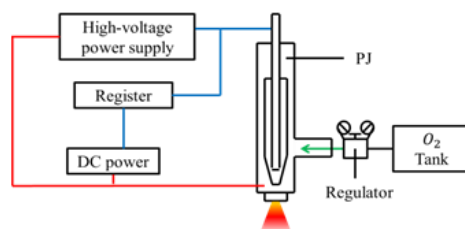


Fig.2 電源装置概要図

### 2.2 PT を使用した WAX 燃料着火実験

Fig.3 にプラズマジェットを使用した着火実験の概要図を示す。

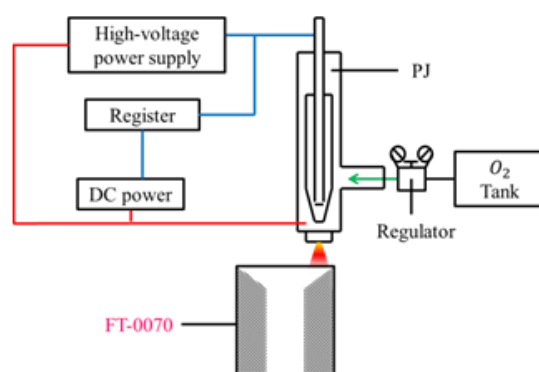


Fig.3 PJ を使用した着火実験

次に、Fig.4 に実験に使用した WAX 燃料 (FT-0070) の概要図を示す。斜線部が WAX 燃料であり、厚さ  $5.0[mm]$  のアクリルパイプに入れ、着火が行われ易いよう  $45^\circ$  の面取りを施している。

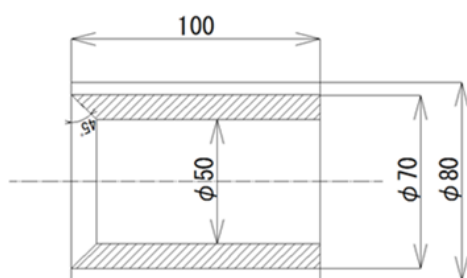


Fig.4 WAX 燃料(FT-0070)の概要図

また、作動ガスの流量を 3.0[L/min], 5.0[L/min]の 2 ケースで行った。

### 2.3 PJ 作動実験

Fig.5 にプラズマ切断機用電源装置を用いた実験概要図を示す。実験で使用したエアープラズマ切断機は電源装置が前述の装置より小型化できる。また、作動ガスの流量は 16.7[L/min]とした。

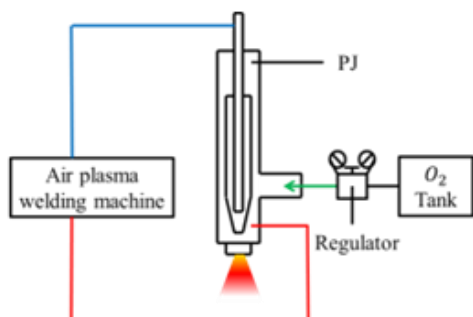


Fig.5 プラズマ切断機用電源装置を使用した実験概要図

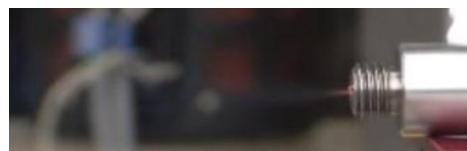
## 3. 実験結果と考察

### 3.1 PT 作動実験

Fig.6 にプラズマトーチの作動の様子を示す。(c)にあるようにプラズマジェットが確認できた。



(a) PT 作動 0.0[s]~1.5[s]



(b) PT 作動 1.5[s]~2.0[s]



(c) PT 作動 2.0[s]~10.0[s]

Fig.6 PJ 作動の様子(電源装置：3台)

(c)より、自作のプラズマトーチの作動は正常に 8 秒間行われたが、正常に作動するには(a), (b)の 2 ステップがあることが確認できた。(a)よりプラズマトーチ作動直後は高温ジェットが不安定であることが確認できた。また、(b)より高温ジェットを確認することが出来なかった。これはアークジェットが不安定なため高温ジェットが確認できなかつたと推測できる。

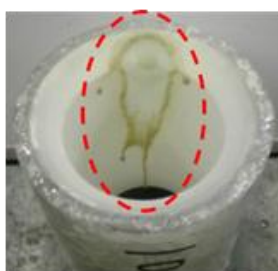
### 3.2 PT を使用した WAX 燃料着火実験

Fig.7 に実験後の燃料を示す。(a), (b)より、プラズマトーチの高温ジェットを吹きかけることにより燃料カートリッジ内から発生する輝炎の発生や WAX 燃料の着火を確認でき、作動ガスの流量に比例して燃料の輝度や熔融する面積が大き

くなった。これは作動ガス O<sub>2</sub> の流量が多いほど、プラズマが多く生成され高温ジェットが大きくなるからであると推測できる。



(a) 流量 3.0[L/min]



(b) 流量 5.0[L/min]

Fig.7 実験後の燃料

Fig.8 に上述のすべての実験経過後の陰極のタングステンの損傷の様子を示す。これは作動ガスが酸素でありタングステンが酸化しやすいため陰極が損傷したものと考えられる。



Fig.8 タングステンの変化

### 3.3 PT 作動実験

Fig.9 にプラズマトーチの作動の様子を示す。アークプラズマ切断機用電源を使用しても自作プラズマジェットを作動させることができた。しかし、プラズマジェットの作動をこの実験以降確認することができなかった。次に、Fig.10 に実験終了後のプラズマトーチの内部を示す。本体がステンレスであるプラズマトーチの内部に黒いススのようなものが確認できる。これは消耗したタングステン陰極から発生した酸化タングステンが付着したものと考えられ、この酸化タングステンにより導電性が悪くなった結果アークジェットが飛ばなくなりプラズマトーチが作動しなくなったと推測できる。



Fig.9 PT 作動の様子(プラズマ切断  
機用電源装置)

今後はプラズマジェットを安定に作動させるため、酸化タングステンの付着を除去しやすい陽極に取り替え実験を行う。

#### 参考文献

- 1) ジョージ P サットン(著)・望月 昌(監訳)：ロケット推進工学，山海堂，pp.453-454，1995
- 2) 木村 逸郎：ロケット工学，養賢堂，pp.217-228，pp297-300，1993



Fig.10 実験後の PJ の内部

## 4. 結言

プラズマジェットを使用し、ハイブリッドロケット用のイグナイタに適用可能化を確認するため、自作プラズマトーチが正常に作動可能かを確認し、プラズマトーチを作動させ WAX 燃料の着火特性を観察したところ、下のようになった。

- ・自作のプラズマジェットを 2 種類の電源を使用して作動させることが確認できた
- ・プラズマジェットを用いて WAX 燃料の着火を確認できた