

## 非自燃性固体推進薬を用いたハイブリッド推進機の提案

○石橋 拓也(九工大・院), 高木 匠太(九工大・工), 下田 真之(九工大・院)  
各務 聡(宮崎大・工院), 橘 武史(九工大・工院)

## 1. 序論

近年の人工衛星開発は、より安価に開発が可能な小型衛星に注目が集まり、同時に推進機の小型化も要求されている。また、衛星の打ち上げ、運用には多大な費用がかかることから、推進機には高い信頼性が欠かせない。これらの要求を満たす推進機として、本研究では固体推進機に着目し研究を行ってきた。

固体推進機は、構造が単純なことから小型化が容易であり、推進薬漏れの危険がなく信頼性も高い。一方で、固体推進機は燃焼の中断・再着火などの燃焼の制御が難しい。

そこで、本研究では固体推進薬の燃料と酸化剤の配合比を燃料過多にすることで自律燃焼性（自燃性）を抑制した非自燃性固体推進薬を使用し、プラズマジェット(P.J.)により燃焼の ON/OFF 制御を可能とする固体(燃料)と気体(酸化剤)のハイブリッド推進機を提案する。固体推進薬の配合比を燃料過多としたことで比推力は 200 秒程度まで低下するのだが、Fig.1 に示すように  $N_2O$  を混合することで比推力は最大で約 290 秒まで向上する。比推力は、化学平衡計算プログラム NASA-Chemical Equilibrium with Application(CEA)を用いて算出した<sup>[1]</sup>。

本年度では、P.J.により着火し、 $N_2O$  供給により燃焼制御をするハイブリッド推進機を試作し、燃焼室圧力測定により燃焼の ON/OFF 制御の可否や性能を調べた。

## 2. 実験装置

Fig.2, Fig.3 に試作した推進機概略図、実験装置概略図をそれぞれ示す。燃焼室圧力を計測することで着火、消炎の判断を行った。また、実験は大気圧中で行った。

## 2.1. P.J.着火器

今回、確実に推進薬を着火出来る装置として P.J. を用いた。P.J.は、陰極と陽極の電極間に供給された作動流体が、放電によるジュール加熱でプラズマ化した高温のガスジェットである<sup>[2]</sup>。今回は酸化剤も兼ねる  $N_2O$  を作動流体として用いる。固体推進薬の着火時は放電により P.J.を発生させ、着火後は放電を止めることで  $N_2O$  の供給装置としても機能する。

## 2.2. 非自燃性固体推進薬

以前の研究において、燃焼制御可能な固体推進薬を特定してきた。本研究では、その中でも特に燃焼制御性が良好であった HTPB/AP=30/70 wt% で配合したコンポジット固体推進薬を用いた。バインダである HTPB の配合比を過多にすることで非自燃性を実現している。形状は縦 12 mm×横 12 mm×高さ 20 mm のものを用いた。

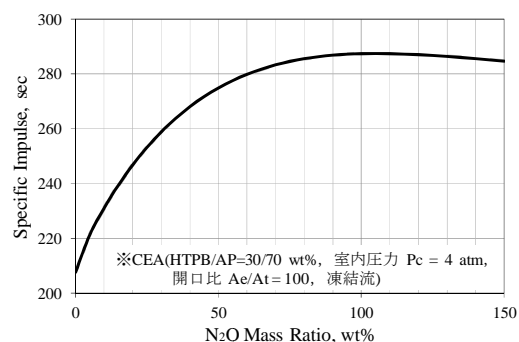
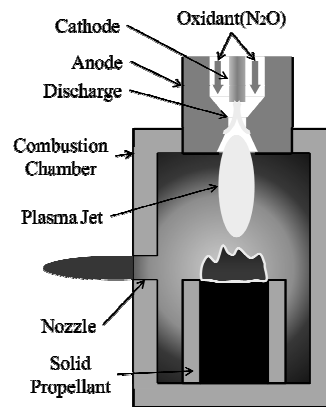
Fig.1  $N_2O$  混合による比推力の変化

Fig.2 推進機概略図

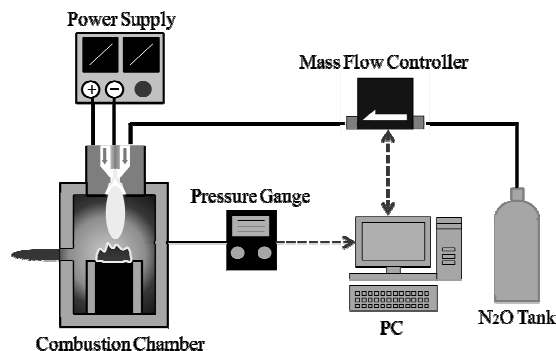


Fig.3 実験装置概略図

### 3. 実験結果

#### 3.1. 作動実験

Fig.4 に燃焼室圧力, N<sub>2</sub>O 供給量の測定データを示す. P.J.による着火後, P.J.の作動を停止し N<sub>2</sub>O のみを供給し続けた. この時の燃焼室圧力は 100 kPa 付近で安定しており, 推進機の作動を確認することができた. 以上の結果から, P.J.による着火後, 非自燃性固体推進薬の燃焼を酸化剤(N<sub>2</sub>O)の供給のみで維持できることが確認できた.

#### 3.2. 燃焼停止・再着火実験

Fig.5 に燃焼室圧力, N<sub>2</sub>O 供給量の測定データを示す. 3.1.作動実験と同様に, P.J.による着火後, P.J.の作動を停止し, 酸化剤(N<sub>2</sub>O)の供給のみで燃焼を維持させている. 燃焼を維持させている途中で, N<sub>2</sub>O の供給を止めると, 同時に燃焼室圧力も急激に下降している. その後, 再度 P.J.により着火し, 同様に燃焼が維持できている. 以上の結果から, 酸化剤(N<sub>2</sub>O)の供給停止と共に固体推進薬の燃焼を停止させ, 再着火までを行う燃焼の ON/OFF 制御が可能であることが確認できた.

### 4. 考察

「3.1.作動実験」の結果において燃焼効率の指標となる C\*効率を算出すると, N<sub>2</sub>O 供給量に関わらず C\*効率は約 80 %であった.

性能低下の原因としては, 推進機への熱損失, 供給した N<sub>2</sub>O が未反応のまま排出されたこと等が考えられる. よって, 今後は排ガスの組成や量を理論値と比較して反応の度合を調べることで, 推力測定を行うことでより厳密に性能を評価する必要がある.

また, 「3.1.作動実験」において N<sub>2</sub>O 供給量をパラメータとして実験を行った. その際の, 燃焼室圧力, 固体推進薬消費量についての計測結果を Fig.6 に示す. この結果をみると, N<sub>2</sub>O 供給量が増加すると燃焼室圧力, 固体推進薬消費量も比例して増加している. このことから, 本推進機は推力が可変式の推進機としても期待できる.

### 5. 結論

- P.J.による着火後, 非自燃性固体推進薬の燃焼を酸化剤(N<sub>2</sub>O)の供給のみで維持できることが確認できた.
- 酸化剤(N<sub>2</sub>O)の供給停止と共に固体推進薬の燃焼を停止させ, 再着火までを行う燃焼の ON/OFF 制御が可能であることが確認できた.
- N<sub>2</sub>O 供給量が増加すると燃焼室圧力, 固体推進薬消費量も比例して増加したことから, 推

力が可変式の推進機としても期待できる.

### 参考文献

- [1] Gordon, S., and McBride, B. J., "Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications," NASA RP-1311, 1994
- [2] 木村 逸郎, ロケット工学, 養賢堂, 1993, pp226-229

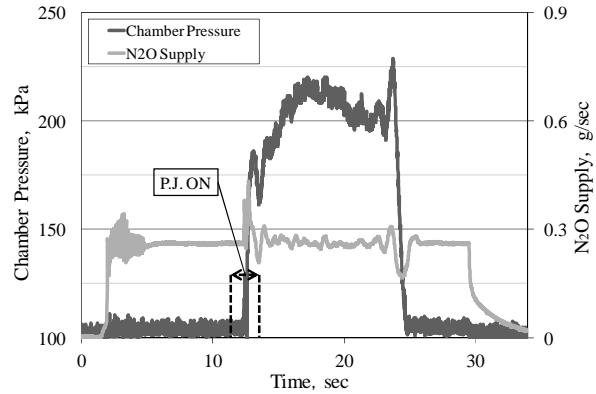


Fig.4 作動実験結果

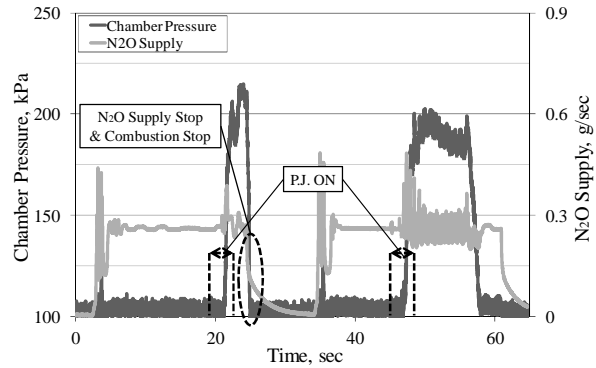


Fig.5 燃焼停止・再着火実験

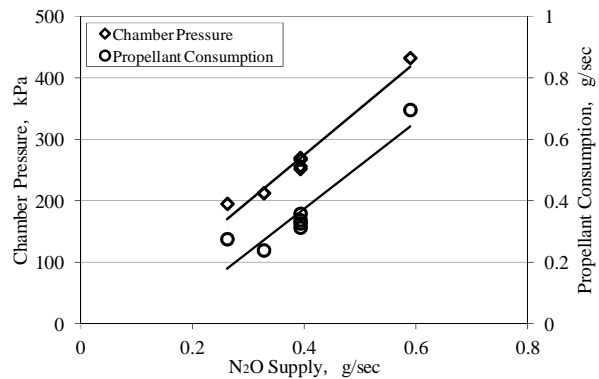


Fig.6 N<sub>2</sub>O 供給量, 燃焼室圧力, 固体推進薬消費量の関係