

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18316

研究課題名（和文）金属ナトリウム及び水を用いた自己着火式スラスタの研究

研究課題名（英文）Research on hypergolic thruster with sodium and water

研究代表者

畑井 啓吾（Hatai, Keigo）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究開発員

研究者番号：80747808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000 円

研究成果の概要（和文）：金属ナトリウムを、融点である98℃以上に加熱して液化させ、水と反応させる方式のスラスタについての実験的研究を行った。初めに実施した衝突型インジェクタ（噴射器）の試験では、未反応のまま飛散するナトリウムが多くみられたため、ナトリウムを中心軸1点から噴射し、それを取り囲むように4方向から水を斜めに衝突させることで、気化・混合しにくい金属ナトリウムを効率的に水と反応させることを可能とした。このタイプのインジェクタを用いて、最終的にスラスタ形態での噴射に成功し、スラスタとしての実現性を実証した。

研究成果の概要（英文）：An experimental research was conducted on bi-propellant thruster which uses sodium and water as propellant. Sodium was liquified by heating up to 98 degrees celsius, which is its melting point. In the experiment of injector, much amount of non-reacted sodium was observed in the chamber after injection. In order to promote the reaction of these two propellant, water was injected from multiple injector holes toward one liquid sodium column. Using this type of injector, sodium-water bipropellant thruster was successfully fired.

研究分野：推進系

キーワード：スラスタ 自己着火 ナトリウム 水

## 1. 研究開始当初の背景

人工衛星の姿勢制御や軌道変換に使用するスラスタ (小型ロケットエンジン) の推薬として、現在ヒドラジンと四酸化二窒素の組合せが主に使用されている。これらの推薬は、混合するだけで着火する自己着火性推薬であり、点火器が不要で信頼性が高い点から、世界の多くの人工衛星で使用されている。しかし、ヒドラジンや四酸化二窒素は共に有毒性であり、その蒸気も有害であることから、特殊な空気供給型保護スーツを着用するなど作業性の悪化やコスト増を招いている。

また近年開発が盛んな小型衛星では、上記のような推薬の毒性や推進システムの高コストが大きなハードルとなり、ほとんどの小型衛星で推進システムが搭載されていないのが現状である。安全で手軽な推進システムを小型衛星に適用できれば、実施可能なミッションの幅を飛躍的に拡大させることが可能となる。

本研究では、低毒性で取扱いやすい新たな推進方法として、金属ナトリウムと水を反応させるスラスタに注目する。金属ナトリウムはアルミよりもイオン化傾向が高く、水に触れると爆発的に反応することは広く知られており、学校の実験等でも使用されている。金属ナトリウムの融点は 98℃ で熱伝導も良いため、加熱し液体化することで他の液体推薬と同様に扱うことが可能であり、逆に加熱さえしなければ外部に漏えいするといった問題も起こらない。また水とは接触するだけで反応するため、ヒドラジン/四酸化二窒素と同様の自己着火性推薬としての扱いが可能であると考えられる。

## 2. 研究の目的

水と金属ナトリウムの組合せの推進系は過去に例が無く、インジェクタによる微粒化やスラスタ形態での噴射などは実例がない。そのため、以下の2点を目的とした研究を行

う。

インジェクタによる衝突・微粒化の特徴の把握と、最適噴射方式の検討

実際に水と金属ナトリウムをインジェクタで噴射し、その衝突・微粒化の様子を観察することで、衝突や微粒化の特徴の把握や、金属ナトリウムと水の組合せに適した噴射方法などを明らかにする。

## スラスタ形態での噴射の実証

自己着火スラスタとしての成立性を明確に示すために、噴射器に燃焼室やノズルを繋げたスラスタ形態での噴射試験を実施し、スラスタとして成立することを確認する。また課題点や改善点を洗い出し以降の研究課題として明確にする。

## 3. 研究の方法

### (1)

2 液衝突型のインジェクタにより、液化させた金属ナトリウムと水を衝突させ、その様子を高速度カメラで撮影した。

液化した金属ナトリウムの供給方法については、流動パラフィン内に固体の金属ナトリウムを入れ、それを 100℃ ~ 150℃ 程度に加熱することで、金属ナトリウムを空気に触れさせることなく液化させ、インジェクタに供給することを可能とした (図 1)。パラフィンと液体ナトリウムはお互いに混ざり合わないために、比重の軽いナトリウムが容器内で下に沈み、それを容器の底の近くまで延ばした配管によりインジェクタまで圧送した。インジェクタまでの配管はリボンヒータにより加熱し金属ナトリウムが固化しないようにしている。またインジェクタの上流には電磁弁を設け噴射の制御を行ったが、これには通常使用の電磁弁を用いている。

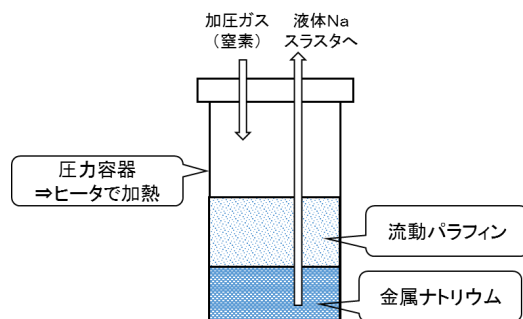


図1: 金属ナトリウムの供給方式

## (2) スラスタ噴射試験

2液衝突型のインジェクタおよび燃焼室のノズルを組み合わせたスラスタ形態での噴射試験を行った。噴射試験は大気中で行った。ノズル部に設けた燃焼室圧力ポートで燃焼室圧力を計測し、また流量については事前に計測したインジェクタのCd値とインジェクタ差圧から算出することとした。また、今回は燃焼室を耐熱性合金等で製作していないため、1秒～2秒程度の短秒時の噴射試験を行うこととした。



図2: スラスタ外観図

## 4. 研究成果

### (1)

2点衝突型インジェクタで金属ナトリウムの噴射に成功し、水との衝突・混合の様子を高速度カメラで観察することに成功した。

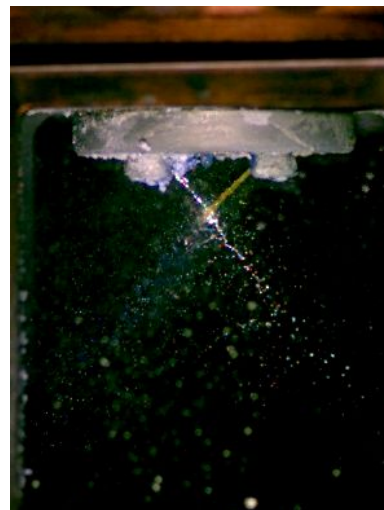


図3: 衝突・微粒化する金属ナトリウムと水の様子

課題点として、2点衝突型のインジェクタでは、水とナトリウムが十分に混合・反応しないまま飛散し、燃焼室壁面に未反応の金属ナトリウム固形物が多く堆積する事象が観察された。水とナトリウムはお互いに混ざらず、またナトリウムはほとんど気化もしないため、液体状態のままで強制的に水と混合させるインジェクタ形態が必要であることが明らかとなった。

### (2) スラスタ形態での噴射の実証

衝突型インジェクタを用いたスラスタ形態での噴射試験に成功し、噴射中の燃焼室圧計測などを行った。図4に噴射時の様子を示す。このような金属ナトリウムと水の組合せのスラスタ例は世界的に見ても初めての試みであり、スラスタ形態での噴射を実証したことは大きな成果である。

インジェクタについては、前項の結果を踏まえ、中心軸に金属ナトリウムを1本噴射し、それを囲むような形で4方向から斜めに水を衝突させる方式のインジェクタを採用した。これにより金属ナトリウムを効率良く水と反応させ、未反応のナトリウムをほとんど残さず噴射することに成功した。

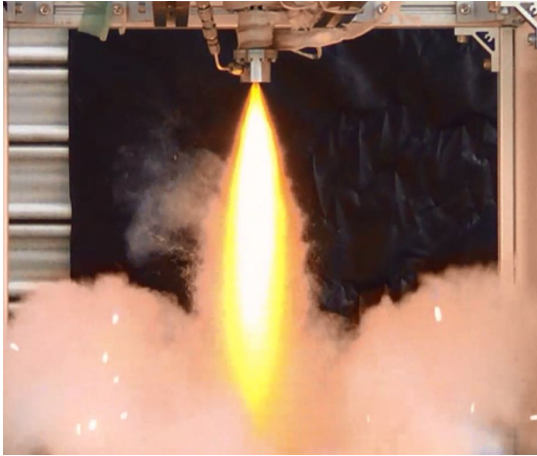


図4：スラスト噴射の様子

課題点として、金属ナトリウムの酸化被膜と思われる固形物がインジェクタ穴孔を塞ぎ、液化したナトリウムが噴射されないという事象が何度か発生した。この現象は酸素の無い宇宙空間では起きることは無いと考えられるが、地上で試験を行う際には、ナトリウムが噴射できない、想定インジェクタ差圧に対して流量が十分に流れない、といった問題を招くため、今後解決策の検討が必要である。

#### 5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

(2018年度以降に発表予定)

〔学会発表〕(計2件)

1) Testuo Hiraiwa, Hideshi Kagawa, Keigo Hatai, "Alkali metal-water propellant combination for rocket propulsion: experimental assessment for its capability" Space Propulsion Conference, 2016

2) 平岩徹夫、香河英史、畑井啓吾 “アルカリ金属－水推進薬によるロケット燃焼試験結果について” 平成28年度宇宙科学連合講

演会，2016

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6．研究組織

##### (1) 研究代表者

畑井 啓吾 (KEIGO, Hatai)

宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究開発員

研究者番号：80747808