

補助事業番号 2022M-228

補助事業名 2022年度 白金族元素コーティングノズルによるグリーンプロペラント
ークジェットスラスタの高性能化 補助事業

補助事業者名 北九州工業高等専門学校 山本洋司

1 研究の概要

ークジェットスラスタの推進剤(プロペラント)に、一般的に用いられている毒性のあるヒドラジンに替えてグリーン性のあるジメチルエーテル(DME)を用いた場合、陰極やノズルへのすすの付着による放電の不安定化やノズルの損耗による寿命の問題がある。そこで、白金族元素をノズルにコーティング(めっき)することによりプロペラントの反応性を促進することですすの付着の抑制やノズルの耐久性を向上させ、高性能・高寿命化を目指した。その結果、DMEに亜酸化窒素を添加したプロペラントを予熱し、白金(Pt)コーティングしたノズルを用いることにより、すすが付着せず放電が安定し比推力が向上した。また、ノズルの損耗も抑えられた。

2 研究の目的と背景

人工衛星に搭載されている推進機の多くは電気推進機であり、その中でも比較的推力が高いークジェットスラスタは短時間対応ミッション等の新たな用途を達成するために、今後需要が高まることが予想される。実用化されているークジェットスラスタのプロペラントにはヒドラジンが用いられているが、毒性を有しており、取り扱いが困難で安全性の問題がある。そこで本研究グループではグリーン性、貯蔵性、安全性等に優れたDMEを代替プロペラントとして提案しているが、すすの発生による放電の不安定化、含有している酸素原子によるノズルの損耗等の問題がある。そこで、ノズルに白金族元素をコーティング(めっき)することにより、触媒効果による反応促進と高融点で酸化に強いことによる損耗の低減によって、高性能化、高寿命化を目指した。

3 研究内容

(1)白金族元素コーティングの触媒効果検証

白金族元素コーティングによる反応促進効果を検証するため反応計算を行い、DMEに適したコーティングの種類を検討した。その結果、DMEの分解を促進させるためには、0ラジカルが有効であり、DME (CH_3OCH_3) から0ラジカルを素早く生成させるためには、炭化水素の酸化反応を促進させる効果がある白金(Pt)が有効ではないかとの結論に至った。また、Ptは融点が高いためーク放電によるノズルの損耗防止にも効果があると考えられる。

(2)ノズル流体解析

DMEの分解は熱分解反応をスタートとするが、初期温度が高いほどその分解は起こりやすい。また、白金族元素による触媒効果を得るためにはプロペラントを白金族元素との

接触時間を長くし、さらに高温に保つ必要がある。そこで、ノズル周りにDMEを通過させることにより接触時間を長くしつつ予熱させることとした。効率よく予熱を行うための予熱室の形状の検討を流体解析にて簡易的な計算を行ったところ、予熱室の容積が小さい方が短時間で温度上昇することが分かった。また、プロペラントをノズル周りに通過させることで、ノズルの冷却効果も期待できる。

次に、予熱が性能に及ぼす効果を確認するため化学平衡プログラムによる比推力計算を行ったところ、僅かではあるが比推力が上昇するとの結果を得た。

(3) コーティングノズルによる放電特性把握

白金 (Pt) めっきを施したノズルによる放電特性を把握するため、プラズマトーチを用いた独自の実験装置を製作し、これを用いて放電実験を行った。放電の安定性やすすの付着状態をコーティングしていないノズルの場合と比較したところ、Ptコーティングノズルの方が陰極へのすすの付着が少なく、ノズルの損耗も小さかった。また、放電電圧の時間履歴を見ると、Ptコーティングノズルの方が安定していた。

(4) 実機による性能実験

これまでの結果を基に、図1に示す予熱式アークジェットスラスタを製作し、推力測定を通して性能試験を行った。Ptコーティングノズルを施しても比推力はほとんど変わらなかったが、僅かながらすすの付着は少なくなった。DMEの反応を促進させるために、これもまたグリーンプロペラントの候補となる亜酸化窒素 (N_2O) をDMEに添加したところ、すすが付着せず放電が安定し、図2に示すように比推力も向上した。



図1 予熱式アークジェットスラスタ

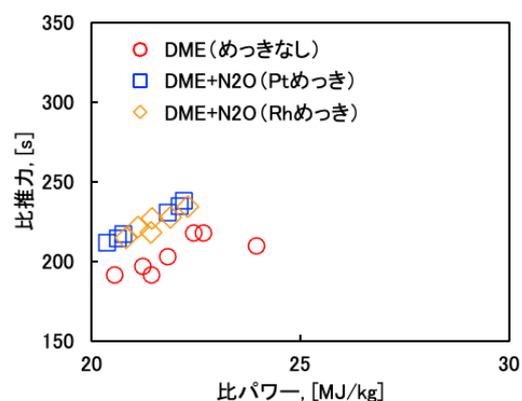


図2 比推力比較

Ptコーティングノズルの場合、10回連続作動させてもノズルが損耗せず、スロート部の直径は1 mmを保った (図3)。Rhコーティングノズルでは、6回作動でノズルが大きく損

耗した。今後は N_2O を添加することによる動作安定の要因を検証し、最適な混合比等を決定する予定である

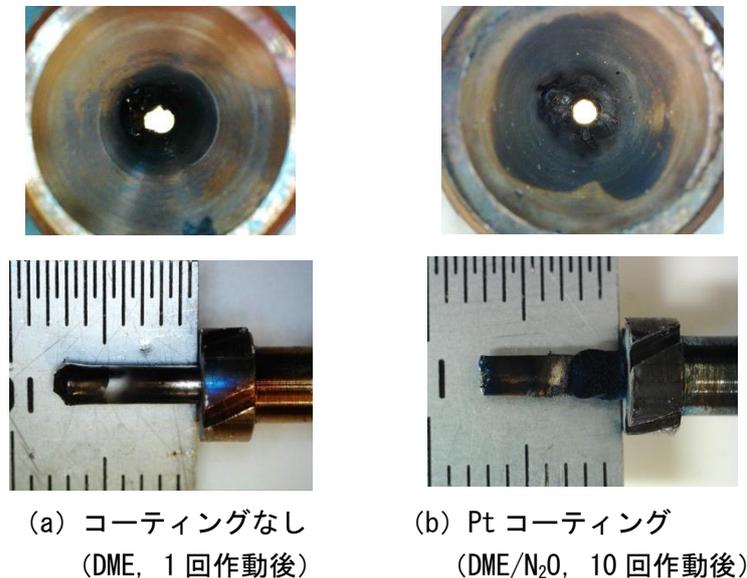


図3 アークジェット作動後のノズルと陰極
(プロペラント流量150 mg/s, 放電電流25 A, 90秒作動)

<https://www.kct.ac.jp/news/topics/archives/79>

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

現在、各種宇宙用電気推進機のプロペラントには毒性のあるヒドラジンや希ガスであるキセノンが用いられているため、これらに変わるグリーンプロペラントの研究が進められている。そこでPtノズルを用い、グリーン性があり、入手性もよく、取り扱いが容易なDMEに N_2O を添加したものを次世代グリーンプロペラントとすることにより推進機開発のハードルが下がり、宇宙開発の幅が広がる。本技術は他方式の推進機、例えばレジストジェットに適用できるので、DMEがプロペラントとして広く用いられることが見込まれる。また、水などにも応用できると考えられ、グリーンプロペラントの選択枠が増える。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

DMEは優れた燃焼、着火特性を持っているので、ディーゼルエンジンの排ガス浄化を目的とした研究等、次世代エネルギー源としての利用を検討してきたが、実用化となると大量に用いるためにはインフラなどの問題が立ちはだかり進んでいないのが実情であった。そこで物性的特性から宇宙推進機への適用において有用性が発揮されるのではないかと考え研究を進めてきたが、問題点も明らかになった。今回の研究では問題点を解決するための手法に効果が見られたので、この技術が確立すれば、DMEは推進機のプロペラントとして今後需要が見込まれる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ・第66回宇宙科学技術連合講演会講演集（2022年11月）
オーガナイズセッション2 代替推進剤が電気推進にもたらず改革
「アークジェットへの新規代替プロペラント適用を目的としたデザイン検討」
- ・北九州工業高等専門学校研究報告56 (2023年1月)
「コーティングノズルを用いたプラズマトーチ」

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

なし。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 独立行政法人国立高等専門学校機構 北九州工業高等専門学校
(ドクリツギョウセイハウジンコクリツコウトウセンモンガッコウキコウ
キタクシュウコウギョウコウトウセンモンガッコウ)

住 所： 〒802-0985

福岡県北九州市小倉南区志井5-20-1

担 当 者： 研究企画主任 柳 諒(ヤナギ リョウ)

担 当 部 署： 総務課研究企画係

E - m a i l: s-kenkyu@kct.ac.jp

U R L: <https://www.kct.ac.jp>