

コーティングノズルを用いたプラズマトーチ

山本 洋司・橋 武史*

Plasma Torch with Coating Nozzle

Yohji YAMAMOTO and Takeshi TACHIBANA

Abstract

Although hydrazine is commonly used as a propellant for arcjet thrusters, alternative non-toxic propellants are desired because of the request for greenness in space development. The authors proposed dimethyl ether (DME) as one with physical properties suitable for space use and conducted experiments with an original DME arcjet thruster, but it was found that unstable arc discharge owing to soot deposition on the nozzles and electrodes must be solved. Presuming that a platinum coating to nozzles and feed channels would promote pre-decomposition and avoid carbon solidification due to the catalytic effect of platinum and reduce the nozzle wear, the effectiveness was experimentally examined using a plasma torch, which has essentially the same structure as an arcjet thruster. The results showed that platinum coating could help reduce soot formation and some nozzle wear.

Keywords : Arcjet Thruster, Dimethyl Ether, Plasma Torch, Platinum Coating

1. 緒言

人工衛星や宇宙探査機に搭載されている推進機の多くは、比推力の大きい電気推進機である。中でも比較的推力の高いアークジェットスラスタは、一般的に人工衛星の南北制御に用いられているが、その推力の大きさを利用した迅速性を必要とするミッションに対応するための推進機として、今後需要が増えることが予想される。アークジェットスラスタの推進剤（プロペラント）には一般的にヒドラジン（ N_2H_4 ）が用いられているが、凝固点が高い、触媒に関わる物性上の欠点等がある上、強い毒性を持つので、宇宙開発に於いてもグリーン性が求められる今日ではその代替プロペラントが求められている。筆者らは代替プロペラントとしてジメチルエーテル（ CH_3OCH_3 : DME）を提案し、研究を行ってきた¹⁾。DMEは燃焼させてもすすがほとんど発生しない、セタン価が高い等の特徴を持つため、燃焼分野においてはディーゼルエンジンの代替燃料として研究されてきた。凝固点が $-142^\circ C$ と低く、蒸気圧が常温で $0.6 MPa$ と貯蔵性、取り扱い性に優れているため、宇宙推進機のプロペラントに適している。これまでの研究の結果、DMEは N_2H_4 の代替プロペラントとして十分な可能性を秘めていることを示したが、実用化に向けてはノズルや電極にすすが付着することによる放電の不安定性の問題の解消が必要なが分かった。DMEに水を添加し、すすを酸化させ除去する方法で問題を解決したが^{2,3)}、プロペラントの供給装置が複雑になる等、新たな問題も発生した。

そこで、ノズルや供給流路部品に白金コーティングを施すことで、白金による触媒効果により事前分解を促進し、アーク放電部での分解プロセスの負担を低減して、低電力でも迅速、効率的に有効ジェットが得られることや、炭素の固化を回避できると考えた。さらにコーティングによりノズルの損耗の低減も期待できる。

本研究では、アークジェットスラスタと基本的に同じ構造であるプラズマトーチを用い、白金コーティングによるすす付着や損耗の低減効果を検証したので報告する。

2. 実験装置および実験方法

図1にプラズマトーチの概略図を示す。DMEはマスフローコントローラ（SEC-N122MGM、堀場エステック）により所定の流量にてトーチの側面から供給され、焼結金属を通して反応室（直径 $10 mm$ 、長さ $10 mm$ ）に送られる。陽極であるC1020製のノズル（スロート直径 $1 mm$ ）と点火プラグ（C8E）の中心電極を直径 $2 mm$ のタングステン棒で延長した陰極の間でアーク放電させ、そこにDMEを通過させ電力を投入することで加熱し、ノズルからプラズマジェットを噴射する。放電電源には定電流直流電源（M-3500、ダイヘン）を用いた。放電ギャップは $1 mm$ とした。

白金 $5 g/L$ 含有のめっき液（No. 122F024、日進化成）を用いて、小型めっき装置（MM-10、花山産業）でノズルの白金コーティング（Ptめっき）を行った。

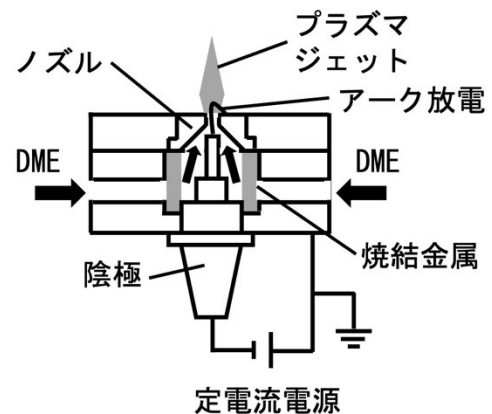


図1 プラズマトーチ概略図

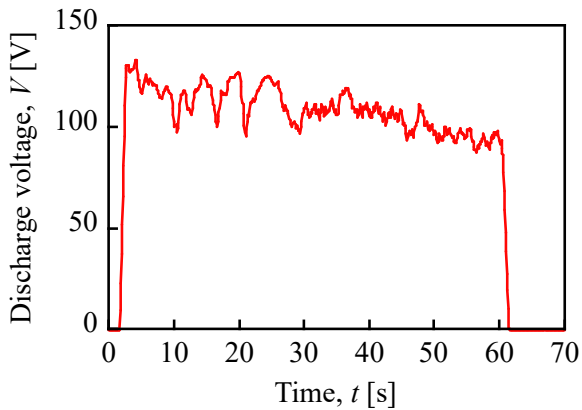
3. 実験結果

図2はDME流量 $3 L/min$ 、放電電流 $20 A$ でDMEプラズマトーチを1分間作動させたときのノズルと陰極の写真である。ノズルと焼結金属にPtめっきを施した場合（Ptめっき）、めっきを

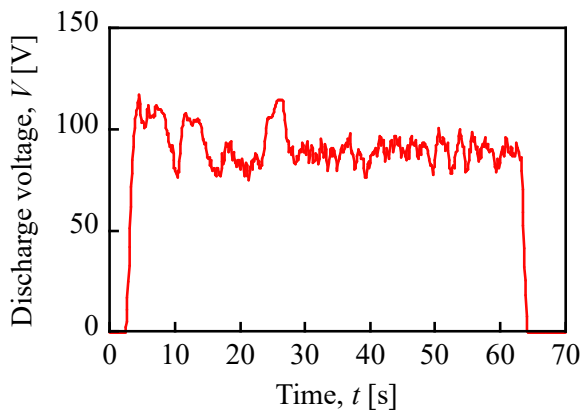
* 特命教授/九州工業大学名誉教授



図2 プラズマトーチ作動後のノズルと陰極
(DME流量3 L/min, 放電電流25 A, 1 min作動)



(a) めっきなし



(b) Ptめっき

図3 放電電圧の時間履歴
(DME流量3 L/min, 放電電流25 A)

施さない場合(めっきなし)に比べ、陰極へのすすの付着が少ない。ノズルの損耗に関しては、放電開始時にアーク柱が付着する部分の損耗は大きな違いは見られなかったが、スロート部に関してはPtメッキを施した方が損耗が少ないように思われる。

図3にプラズマトーチ作動時の放電電圧の時間履歴を示す。どちらも放電開始から30秒までは電圧が安定しないが、それ以降は安定している。しかし、めっきなしの場合は時間とともに電圧が低下している。これは、図2(a)で示したように、陰極にすすが付着し、放電ギャップが短くなったためと思われる。このすすは不規則に成長、脱落を繰り返すことで放電が不安定となる。

Ptめっき場合、すすの付着が少ない理由として、白金は



のような炭化水素を酸化する効果があるため、すすの前駆物質と考えられているアセチレン(C_2H_2)や多環芳香族炭化水素(PAH)を二酸化炭素(CO_2)に変換し、すすの生成が減少すると思われる。この触媒効果を得るためには、Ptめっき部が高温度であることと、酸素が豊富にあることが必要である。しかし、作動直後はめっき部は常温であり、また、フィードストックがDMEのみなので、アーク放電により解離したOラジカルや酸素はあるものの多くは存在しないため、十分な触媒効果が得られていない。さらにすす生成を抑制するには、DMEをプラズマトーチに供給する前に予熱し、触媒効果を向上させることが必要である。

4. 結言

本研究では、DMEアークジェットスラスタの欠点である、すすの生成とノズルの損耗を低減させるため、ノズルや流路にPtめッキを施す方法を考案し、プラズマトーチを用いて検証した。その結果、Ptめッキを施した方がすすの生成が抑制され、ノズルの損耗がわずかながら低減された。フィードストックを予熱させることで、すすの生成をさらに減少させることができると考えられるので、今後試作するアークジェットスラスタでは予熱式を採用することとする。

謝辞

本研究は、オートレース(公益財団法人JKAの機械振興補助事業 研究補助)の補助を受けて実施しました。

参考文献

- 1) Kakami, A., Beppu, S., Maiguma, M., Tachibana, T., Performance of Dimethyl Ether Arcjet Thrusters and Its Dependence on Electrode Configurations, Journal of Propulsion and Power, Vol. 28, No. 3, pp. 603-608, 2012.
- 2) Tachibana, T., Yamamoto, Y., Effect of adding water to the propellant of DME arcjet thruster, 36th International Electric Propulsion Conference, Vienna, IEPC-2019-A703, 2019.
- 3) Yamamoto, Y., Tachibana, T., Performance Characteristics of a Water/Dimethyl-Ether Propellant Arcjet, Journal of Propulsion and Power, Vol. 36, No. 4, pp. 639-641, 2020.

(2022年 11月 1日 受理)