

# HAN系低毒性1液推進剤の電気分解およびレーザー一点火に関する実験的研究

櫻井雄太, 野口耕平 (長岡技術科学大学院工学研究科)  
勝身俊之, 門脇敏 (長岡技術科学大学)

## Experimental Study on Electrolysis and Laser-ignition of HAN-based Green Monopropellant

Yuta Sakurai, Kohei Noguchi  
(Graduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology),

Toshiyuki Katsumi, Satoshi Kadowaki  
(Nagaoka University of Technology)

### Abstract

HAN系液体推進剤を用いた1液スラスタのために予熱が不要なく起動時間の短縮が期待できる電気分解&レーザー一点火に着目した。本研究では、電気分解特性およびレーザーによる着火特性を評価するため、電気分解&レーザー一点火実験を実施した。また同時に、電気分解の電極材の適合性・耐久性を評価した。その結果、電気分解とレーザー一点火を組み合わせることによって、HAN系1液推進剤に着火可能であることが明らかとなり、新たな燃焼制御手法の実現可能性が示された。

### 1. 序論

宇宙機の反動制御システム(RCS)としてヒドラジン( $N_2H_4$ )を推進剤とした触媒式1液スラスタが使用されているが、ヒドラジンの高い毒性と発がん性が問題視されており、近年、ヒドラジンに代わる低毒性推進剤の研究が盛んに行われている。日本国内では、取扱性、貯蔵性、入手性及び推進性能の高さから硝酸ヒドロキシルアンモニウム(HAN: $NH_3OHNO_3$ )を主成分とした人体に害のないHAN系低毒性1液推進剤の研究が進められている。本研究では、HAN系低毒性1液推進剤の中で

も宇宙航空研究開発機構(JAXA)によって開発されたSHP163(HAN/硝酸アンモニウム(AN: $NH_4NO_3$ )/水( $H_2O$ )/メタノール( $MeOH:CH_3OH$ )=73.6/3.9/6.2/16.3[mass%]) [1]に着目した。Table 1にヒドラジンとSHP163の特性値を示す。

SHP163は、毒性が低い反面、燃焼反応を伴うため分解反応のみのヒドラジンと比較して比推力や火炎温度が高いことがわかる。HAN系低毒性1液推進剤を用いたスラスタでは、ヒドラジンスラスタと同様、触媒点火方式が採用されている場

合が多く[2,3], SHP163 の燃焼に伴う高温酸化雰囲気において触媒の劣化や破損の懸念がある. 加えて, 室温や低温において有効な触媒が発見されていないため, 触媒の予熱が必須であり機動性に劣る. 本研究では, 触媒点火方式に代わる燃焼制御法として, 高温酸化雰囲気での耐久性が高く, 予熱の必要がない電気分解およびレーザー点火[4]に着目し HAN 系低毒性 1 液推進剤の電気分解特性およびレーザー点火特性について明らかにすることを目的とした.

Table 1 ヒドラジンと SHP163 の特性値

\*計算条件:  $P_c=0.7\text{MPa}$ ,  $C_F=1.875$  [5]

	$\text{N}_2\text{H}_4$	SHP163	
Density [g/mL] @20°C	1.0	1.4	
Freezing point [°C]	1.4	<-30	
Specific impulse $I_{sp}$ [s]*	233	276	
Flame temperature [°C]	598	2121	
Toxicity [mg/kg]	LD <sub>50</sub> Oral	60	500-2000
	LD <sub>50</sub> Skin	91	> 2000

## 2. 実験方法

Fig.1 に電気分解実験およびレーザー点火実験を行う際に使用した実験装置の概略図を示す. また, 実験条件を Table 2 に示す. 実験では, 試料容器に SHP163 を 1.5ml 入れ, 電極を推進剤に浸した状態で密閉容器内に設置する. 密閉容器内を窒素置換し, 電気分解によって推進剤をガス化させた後, ガス化した推進剤に対しレーザーを照射した. 照射には Nd:YAG パルスレーザー (波長: 532nm) と平凸レンズ (焦点距離: 120mm) を用い, 密閉容器の中心でブレイクダウンを生じさせて点火を試みた. これらと同時に, 密閉容器内

圧力, 試料温度, 密閉容器内雰囲気温度, レーザー照射タイミング, 印加電圧/電流を計測した. 実験後には, 燃焼の有無を判定するため, ガス検知管を用いて密閉容器内の二酸化炭素と窒素酸化物の濃度を測定した.

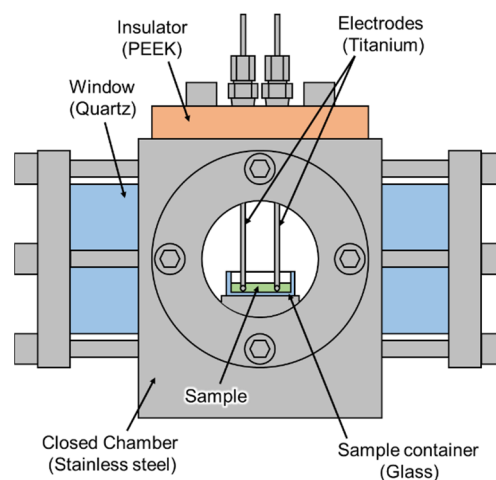


Fig. 1 電気分解&レーザー点火実験装置

Table 2 実験条件

推進剤	SHP163	
試料量	1.5 mL	
電極	接液部長さ	15 mm
	直径	1 mm
	間隔	5 mm
	材料	チタン (TR270)
印加電圧	60 V	
最大電流	5 A	
レーザー出力	60 mJ	

また, 電極材の適合性・耐久性を確認するため, 室温 (25°C) で7日間の浸漬実験を行い, 質量変化を調べるとともに, 電気分解&レーザー点火実験前後の系全体 (推進剤を含む閉回路) の抵抗値を測定し, 電気抵抗値がどのように変化するかを調べた. ここでは, 評価対象の電極材質として, チタン (TR270) だけでなく, ス

テンレス鋼 (SUS316L) およびハステロイ (Alloy C22) を採用した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 電気分解・レーザー一点火特性

実験において点火に成功したケースの圧力および温度の結果を Fig.2 に示す。通電開始後徐々に温度が上昇し、およそ 660s 後から明らかな発熱が確認され、圧力も徐々に上昇した。その後、約 1040s 後に急激な発熱と同時に圧力上昇が確認された。これをもってガス化したことを確認し、レーザーを照射した (t = 1068s)。その結果、観察にて発光を確認し、同時に急激な温度上昇と圧力上昇が確認された。

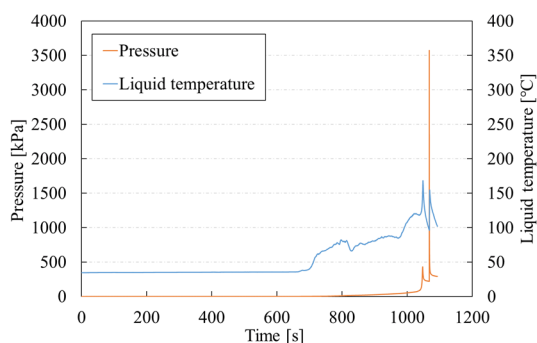


Fig. 2 燃焼した場合の圧力と温度の変化

また、実験後に実施したガス分析の結果、窒素酸化物と二酸化炭素ともに生成されていることが確認され、SHP163 の分解反応および燃焼反応が生じたことがわかった。

#### 3.2 電極材の適合性・耐久性

まず、チタン (TR270)、ステンレス鋼 (SUS316L)、ハステロイ (Alloy C-22) の 3 種類について、適合性を確認するため、7 日間の浸漬実験 (25°C) を実施し、実験の前後で質量を測定した。その結果を Table 3 に示す。結果として、いずれの材料も質量変化が見られなかったため、溶

解や酸化はないものと考えられる。

次に、それぞれの電極材の組み合わせで電気分解&レーザー一点火実験を 3 回実施した後、実験前後の全系 (推進剤を含む閉回路) の電気抵抗値をそれぞれ計測した。その結果を Table 4 に示す。9 種類の組み合わせのうち、陽極に SUS316L、陰極に Alloy C-22 の組み合わせのときにもっとも抵抗値の変化が小さく (約 5%)、耐久性が高い組み合わせと言える。また、Alloy C-22/Alloy C-22 の組み合わせも抵抗値の変化が比較的小さい (約 20%) ことがわかる。

Table 3 浸漬実験前後の電極材質量変化

	質量 [g]		
	実験前	実験後	差
TR270	0.554	0.554	0.00
SUS316L	0.996	0.996	0.00
Alloy C-22	1.119	1.119	0.00

Table 4 実験前後の電気抵抗値\*\*

\*\*推進剤を含む閉回路

電極材 (陽極/陰極)	抵抗値 [MΩ]	
	実験前	実験後
TR270/TR270	6.8	2.0
SUS316L/SUS316L	13.5	1.7
Alloy C-22/Alloy C-22	4.8	5.8
TR270/SUS316L	27.5	68.9
SUS316L/TR270		9.6
TR270/Alloy C-22	16.9	218.1
Alloy C-22/TR270		4.3
Alloy C-22/SUS316L	7.8	10.2
SUS316L/Alloy C-22		7.4

### 4. 結論

HAN 系 1 液推進剤 SHP163 を用いたスラスタのための新たな燃焼制御手法として電気分解およびレーザー一点火に着目し、その電気分解特性およびレーザー一点火特

性の取得を実験的に行い、実現可能性を確認した。その結果として明らかになった事柄を以下に示す。

- ・ HAN系1液推進剤 SHP163 の電気分解によってガス化反応を生じさせることが可能である。
- ・ HAN系1液推進剤 SHP163 の電気分解によって生成されたガスにパルスレーザーを照射することによって燃焼反応を開始することが可能である。
- ・ チタン，ステンレス鋼，ハステロイの3種類のうち，電気分解用電極としてもっとも適合性・耐久性に優れる材料は，陽極にハステロイ（Alloy C-22），陰極にステンレス鋼（SUS316L）の組み合わせであった。

#### 参考文献

- [1] Togo, S., Hori, K., Shibamoto, H., “Improvement of HAN-Based Liquid Monopropellant Combustion Characteristics”, International Conference HEMs-2004, September, Belokurikha, Russia (2004).
- [2] T. Katsumi, H. Kodama, T. Matsuo, J. Nakatsuka, K. Hasegawa, K. Kobayashi, H. Ogawa, N. Tsuboi, S. Sawai, K. Hori, “Combustion characteristics of HAN-based liquid monopropellant - Combustion mechanism and application to thruster-”, Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol.45, No.4 (2009), pp.442-453.
- [3] T. Katsumi, K. Hori, “HAN based green propellant. Application and its combustion mechanism”, Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol.48, Issue5 (2012), pp.536-543.
- [4] 平等拓範, 常包正樹, 金原賢治, 森島信悟, 田口信幸, 杉浦明光, “ジェイアントパルスマイクロレーザーによるエンジン点火の可能性”, J. Plasma Fusion Res., Vol.89, No.4 (2013), pp.238-241.
- [5] 勝身俊之, “Hydroxylammonium nitrate系一液推進剤のレーザー点火に関する研究”, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR15-004 (2016), pp.9-14.