

# アンモニウムジニトラミド系イオン液体推進剤の レーザー着火性に及ぼす色素混合の影響

早田 葵<sup>\*1</sup>, 塩田 謙人<sup>\*1</sup>, 伊里 友一朗<sup>\*1,2</sup>,  
松永 浩貴<sup>\*3</sup>, 羽生 宏人<sup>\*4</sup>, 三宅 淳巳<sup>\*1,2</sup>

## Prediction of ignition delay of ADN-based ionic liquid propellants using thermal analysis

Mamoru Hayata<sup>\*1</sup>, Kento Shiota<sup>\*1</sup>, Yu-ichiro Izato<sup>\*1,2</sup>, Hiroki Matsunaga<sup>\*3</sup>, Hiroto Habu<sup>\*4</sup>, and Atsumi Miyake<sup>\*1,2</sup>

### ABSTRACT

Ammonium dinitramide based ionic liquid propellants (ADN-based EILPs) are promising monopropellants in terms of specific impulse and low toxicity compared with hydrazine. Currently, laser ignition has been considered as ignition method of ADN-based EILPs. However, ADN-based EILPs do not have high absorbance efficiency at the range of visible and near-infra-red. Therefore, chemical dyes were mixed with ADN-based EILPs to improve laser absorb efficiency. The purpose of this study is the investigation of laser ignition behavior of ADN-based EILPs including chemical dyes.

**Keywords: Ammonium dinitramide, Ionic liquids, Laser ignition, Chemical dyes**

### 概 要

現在我々は、アンモニウムジニトラミド系イオン液体推進剤（ADN系 EILPs）の点火方法の一つとしてCWレーザーによる点火システムを有力視している。CWレーザーによる点火システムを実現するにはレーザー光を推進剤に吸収させる必要があるが、ADN系 EILPs単独では可視～近赤外領域に高い吸収率を持たない。そこで、本研究では固体エネルギー物質のレーザー点火に関する既往の研究を参考に、推進剤に色素を添加することでレーザー光吸収効率向上を図った。ADN系 EILPs/色素混合系に対してレーザー点火試験を行った結果、適切な色素を混合することでADN系 EILPsが点火することが明らかとなった。

---

doi: 10.20637/JAXA-RR-17-008/0003

\* 平成29年11月27日受付 (Received November 27, 2017)

<sup>\*1</sup> 横浜国立大学 大学院 環境情報学府  
(Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University)

<sup>\*2</sup> 横浜国立大学 先端科学高等研究院  
(Institute of Advanced Sciences, Yokohama National University)

<sup>\*3</sup> 福岡大学 工学部 化学システム工学科  
(Department of Chemical Engineering, Fukuoka University)

<sup>\*4</sup> 宇宙科学研究所 宇宙飛行工学研究系  
(Division for Space Flight Systems, Institute of Space and Astronautical Science)

## 1. はじめに

アンモニウムジニトラミド系イオン液体 (ADN 系 EILPs) は比推力、毒性の観点から次世代のスラスト用一液式推進剤として実用化に向けた研究が進められている<sup>1)</sup>。現在我々は、点火手法の一つとしてレーザー点火を有力視している。レーザー点火は主に加熱、ブレイクダウン、光反応を利用したものに大別される<sup>2-4)</sup>。中でも加熱を利用したレーザー点火システムは、レーザー光を連続発振させる CW レーザーを利用するため、断続的にレーザー光を発振させるパルスレーザーと比較しトータルのエネルギー流入量が多い。EILPs の点火には多量のエネルギーを液相に流入させ熱分解による温度上昇を引き起こさせることが重要である。従って、本研究では加熱を利用したレーザー点火システムを検討した。加熱を利用したレーザー点火システムの多くは近赤外波長の CW レーザーを利用するが、ADN 系 EILPs 単独では近赤外領域に高い吸収率を持たない。そのため、本研究では固体エネルギー物質のレーザー点火に関する既往の研究<sup>5)</sup>を参考に、推進剤に色素を添加することでレーザー光吸収効率向上を試みた。本稿では、ADN 系 EILPs/色素混合系に対してレーザー点火試験を行ったのでその結果を報告する。

## 2. 実験・解析方法

### 2.1 試料

試料として特に低融点であることが見込まれている ADN/モノメチルアミン硝酸塩 (MMAN)/Urea=40:40:20 wt.%を選定した。ADN は細谷火工製、Urea は和光純薬工業製を用いた。MMAN に関しては、和光純薬工業製メチルアミン溶液 (40 wt.%) と硝酸 (60 wt.%) を混合、一時間程攪拌の後、減圧乾燥することで合成した。

### 2.2 色素の選定

色素は光記録媒体の分野において多種多様な色素が利用されてきた<sup>6)</sup>。中でも、CD-R に用いられる色素はフタロシアニン系、シアニン系など赤外波長付近に吸収帯をもつものが多く存在する。本研究では、使用するレーザー波長 (励起レーザー波長 785 nm) 付近に極大吸収波長を有する、東京化成工業製フタロシアニン銅 (II) β 型 (極大吸収波長:789-791 nm (硫酸中)) を選定し、試料に外割で任意の量混合した。

### 2.3 半導体レーザー点火試験

Fig.1 にレーザー点火試験の実験系を示す。レーザーは KAISER 製 RXN1 付属の半導体レーザー (励起波長 785 nm, レーザー強度最大 400 mW) を用いた。アクリル板にハンドドリルを用いて直径 2 mm の穴をあけ、そこに約 2.5 μL の試料を充填した。ジャッキの高さを調節し、焦点までの距離を調節した。着火遅れ時間をレーザー照射開始から火花が観測さ

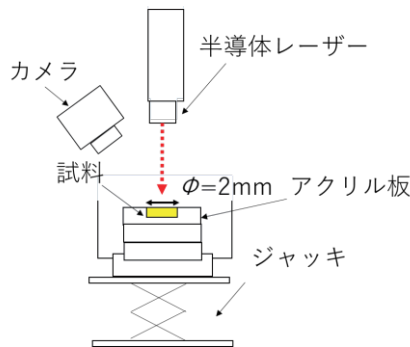


Fig.1 半導体レーザー一点火試験実験系

れるまでの時間と定義し、着火遅れ時間をストップウォッチで計測した。

## 2.4 着火遅れ予測

既往の研究より Lambert-Beer の法則と基礎的な熱伝導の式からレーザー強度と着火遅れ時間の関係を表す式 (1) が提案されている<sup>5)</sup>。

$$t_{ign} = \frac{\pi}{4K} [k(T_{ign} - T_0)]^2 \frac{1}{q^2}, \quad or \quad t_{ign} \approx \frac{1}{P^2} \quad (1)$$

$t_{ign}$ :着火遅れ時間,  $K$ :温度拡散率,  $k$ :熱伝導率,  $T_{ign}$ :着火温度,  $T_0$ :初期温度,  $q$ :熱流束,  $P$ :レーザー強度  
式 (1) は着火遅れ時間がレーザー強度二乗に反比例していることを表しており、低出力レーザーを用いて高出力レーザーを使用した場合の着火遅れ時間の予測が可能となる。

## 3. 結果・考察

### 3.1 半導体レーザー一点火試験実験結果

レーザー強度を 400 mW に設定し実験を行った結果、フタロシアニン銅(II)を 10 wt.%混合した試料に関してはレーザー照射直後ガス化が観測され、4~8 s 程度で火花が生じ着火が観測された。Fig.2 に着火時の様子を示す。また、Fig.3 にフタロシアニン銅(II)濃度と着火遅れ時間の関係を示す。着火遅れ時間は再現性が低いため 10 回測定した値の平均値をプロットした。色素を 1 wt.%混合した試料は着火が観測されなかったが、3 wt.%以上混合した試料については着火が確認された。色素が 5 wt.%以上混合した試料は着火遅れ時間がほぼ一定の値に収束していったことから本実験条件では 5 wt.%付近に最適な濃度が存在すると考えられた。また、Fig.4 にレーザー強度と着火遅れ時間の関係を示す。着火遅れ時間は再現性が低いため 10 回測定した値の平均値をプロットした。また、図中に(1)式に基づき、着火遅れ時間がレーザー強度の二乗に反比例するとしてフィッティングを行った。その結果、 $t_{ign} = 1.6 \times 10^6 / P^2$  という関係式が得られた。得られた関係式によると、18 W 以上の強度レーザー

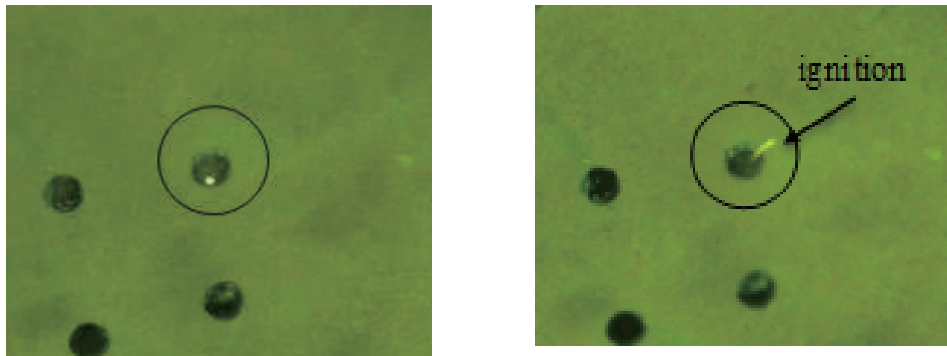


Fig.2 ADN 系 EILPs/フタロシアニン銅(II)混合系の着火の様子

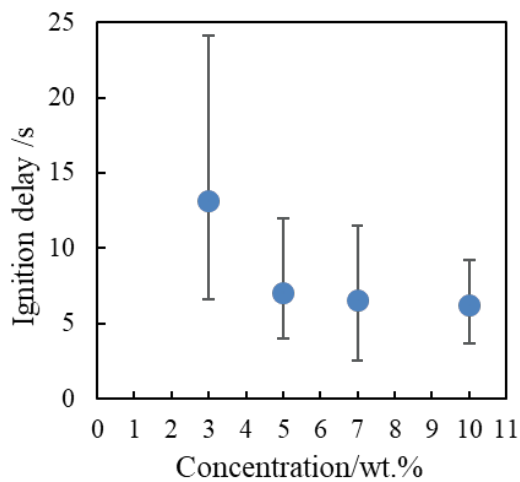


Fig.3 フタロシアニン銅 (II) 濃度と着火遅れ時間

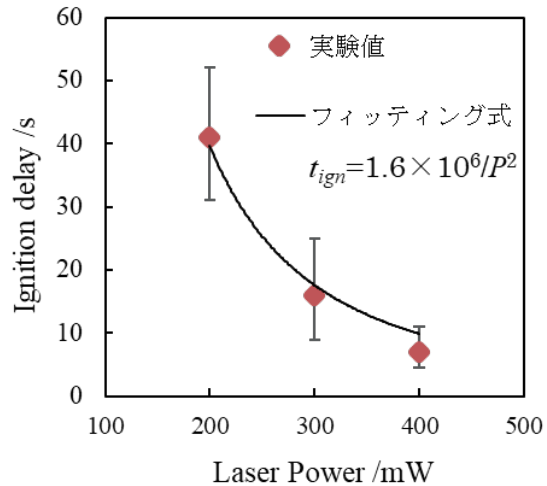


Fig.4 レーザー強度と着火遅れ時間

一を用いればヒドラジン系推進剤の着火遅れ時間である 5 ms 以下の着火遅れ時間を達成することが可能となる。

### 3. まとめ

本研究では、レーザー光吸収効率向上を目的として ADN 系 EILPs に色素を混合し、レーザー点火試験を行った。その結果、適切な色素を ADN 系 EILPs に混合することで、ADN 系 EILPs は着火することが明らかとなった。また、数十 W の強度のレーザーを用いれば ms オーダーで点火させることが可能であることが示された。

## 参考文献

- 1) 松永浩貴, 板倉正昂, 塩田謙人, 伊里友一朗, 勝身俊之, 羽生宏人, 野田賢, 三宅淳巳, イオン液体を用いた高性能低毒性推進剤の研究開発, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-15-004(2016), pp.1-8
- 2) 松永浩貴, 塩田謙人, 伊里友一朗, 勝身俊之, 羽生宏人, 野田賢, 三宅淳巳, イオン液体を用いた新規ロケット推進剤の研究開発, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-16-006(2017), pp.1-6
- 3) S. A. O'Birnt, Sreenath. B. Gupta, Subith. S. Vasu, Review: laser ignition for aerospace propulsion, Propulsion and power reserch, 5(2016), pp.1-21
- 4) M. H. Morsy, Review and recent developments of laser ignition for internal combustion engines applications, Renewable and sustainable energy reviews, 16(2012), pp.4849-4875
- 5) X. Fang, S. R. Ahmad, Laser ignition of an optically sensitized secondary explosive by a diode laser, Central european journal of energetic materials, 13, pp.103-115(2016)
- 6) 照田尚, 有機合成化学協会誌, 光記録媒体用色素, 66, pp.468-476(2008)