

# ADN/AN の燃焼速度特性

松本 幸太郎<sup>\*1</sup>, 高橋 賢一<sup>\*1</sup>, 桑原 卓雄<sup>\*1</sup>, 芝本 秀文<sup>\*2</sup>, 羽生 宏人<sup>\*3</sup>

## Burning rate characteristics of ADN/AN

Koutarou Matsumoto<sup>\*1</sup>, Kenichi Takahashi<sup>\*1</sup>, Takuo Kuwahara<sup>\*1</sup>,  
Hidefumi Shibamoto<sup>\*2</sup> and Hiroto Habu<sup>\*3</sup>

### Abstract

High performance and Low environmental impact is required for the future solid propellants. Many of high energy material (HEMs) compose without halogen atoms. Additionally, the propellants that used HEMs indicate high theoretical propulsion performance through the calculation. Ammonium dinitramide (ADN) is one of the candidates of the new oxidizer for the advanced solid propellant. However, the combustion characteristics of ADN should be understood deeply for the practical use. In this study, the burning rate characteristics of the ADN/AN mixture pellet were investigated to understand the effects of AN mass ratio in the mixture. The results show that the burning rate of the ADN/AN pellet was decreased with increasing the mass ratio of AN in the pellet. Additionally, the burning rate of ADN/AN pellet (AN mass ratio, 20 mass%) was decreased 40 % compared with ADN at 2 MPa.

Keyword : Ammonium dinitramide, Ammonium nitrate, burning rate, Solid propellant

### 概要

本研究ではアンモニウムジニトラミド(ADN)に硝酸アンモニウム(AN)を混合することで、ADN/ANのAN混合量に対する燃焼速度特性を調べた。その結果、AND/ANの燃焼速度はAN混合量に比例して減少することがわかった。また、雰囲気圧力0.1 MPa及び1 MPaではAN混合量10 mass%で約30%低下し、20 mass%で約50%低下した。雰囲気圧力2 MPaでは、AN混合量20 mass%で約40%低下した。雰囲気圧力0.6 MPa及び1 MPaと比較して2 MPaではAN混合量に対する燃焼速度の減少が抑制された。

---

\*1 日本大学理工学部 航空宇宙工学科  
(Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University)

\*2 細谷火工株式会社  
(Hosoya Pyro-Engineering CO., LTD.)

\*3 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 宇宙輸送工学研究系  
(Division for Space Propulsion and Propellants, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency)

## 1. はじめに

現在、世界中で様々な高エネルギー物質に関する研究が行われている。高エネルギー物質はハロゲンフリーであり、将来の固体推進薬への適用が期待されている。したがって、今後の固体推進薬分野を発展させていくためにも、高エネルギー物質に関する研究は非常に重要である<sup>1)-11)</sup>。

ADN( $\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$ )は高エネルギー物質の一つであり、酸化剤としての理論性能が高く、将来の固体推進薬の主成分を担う物質として期待されている。ADNは低融点であり、燃焼表面で融解し、凝縮相を形成することが知られている<sup>12)-13)</sup>。しかし、ADNの燃焼特性については未だに不明な点が多い。ADNと同様に燃焼表面で融解する酸化剤としてANが挙げられる。ADNにANを混合した場合、融点や発熱量が変化する。また、ADNにANを混合することで燃焼速度が変化するが、詳細は調べられていない。本研究では、ADN/ANの燃焼速度特性に対するANの影響を調べるためにAN混合量を変化させて燃焼実験を行った。

## 2. 実験

燃焼実験に用いたADN/ANペレットの組成をTable 1に示す。ADN/ANペレットはADN/AN粉末を圧縮することで $\phi 7 \times 10$  mmに成型した。燃焼速度取得実験に用いたストランド燃焼器をFig. 1に示す。燃焼器内は窒素( $\text{N}_2$ )で置換及び加圧されている。燃焼の様子はビデオカメラ(300 fps)によって撮影し、燃焼器内圧力は圧力センサを用いて計測し、PCに記録した。

Table 1 Sample compositions [mass%].

Sample	ADN	AN
ADN	100	0
ADN90AN10	90	10
ADN80AN20	80	20

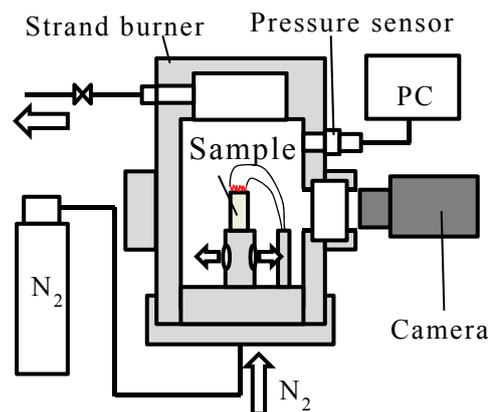


Figure 1 Strand burner.

## 3. 実験結果及び考察

Figure 2に燃焼器内圧力に対するADN/ANペレットの燃焼速度を示す。Figure 3にAN混合量に対するADN/ANペレットの燃焼速度の相対変化量を示す。

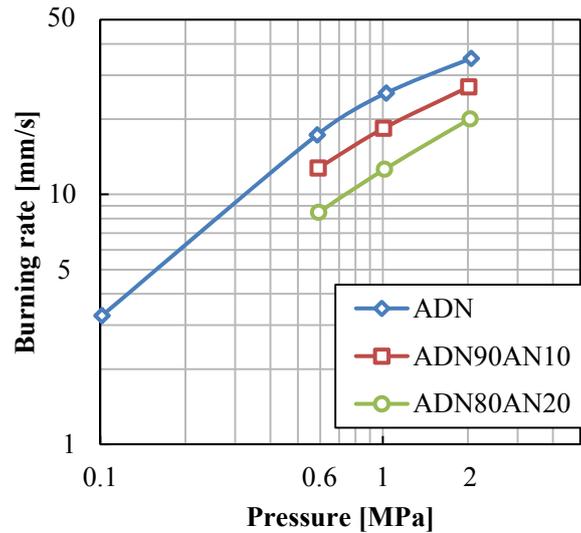


Figure 2 Burning rate of the ADN/AN pellets.

Figure 2 より，ADN に AN を混合することで燃焼速度が低下することがわかった．固体推進薬の燃焼速度は燃焼表面の熱平衡によって決まり，以下の式で表すことができる<sup>14)</sup>．

$$r = \frac{\lambda_g \phi_{g,s}}{\rho_p c_p (T_s - T_0 - Q_s / c_p)} \quad (1)$$

ここで  $\lambda$  は熱伝導率， $c$  は比熱， $T$  は温度である．また，添字  $p$  は推進薬， $s$  は燃焼表面， $g$  は気相を示す．式(1)より，固体推進薬の燃焼速度は気相より表面への温度傾斜  $\phi_{g,s}$ ，表面温度  $T_s$ ，表面における発熱量  $Q_s$  によって変化する．燃焼速度が低下した原因の一つとして，AN を混合したことで ADN/AN 表面での熱分解による発熱量が低下したことが考えられる．また，ADN 単体は大気圧下で燃焼するが，ADN90AN10 及び ADN80AN20 は大気圧下では燃焼しなかった．燃焼器内を加圧したとき，ADN90AN10 は約 0.2 MPa，ADN80AN20 は約 0.3 MPa で燃焼した．この結果から，AN 混合量に比例して ADN/AN の燃焼速度が低下し，可燃限界圧力が高くなることがわかった．

Figure 3 より，燃焼器内圧力 0.6 MPa 及び 1.0 MPa で ADN/AN ペレットの燃焼速度は AN を 10 mass% 混合することで約 30 % 低下し，20 mass% 混合すると約 50 % 低下した．燃焼器内圧力 2 MPa で ADN/AN ペレットの燃焼速度は AN 混合量 20 mass% で約 40% 低下した．以上より，燃焼器内圧力が高いほど燃焼速度の低下が抑えられることがわかる．

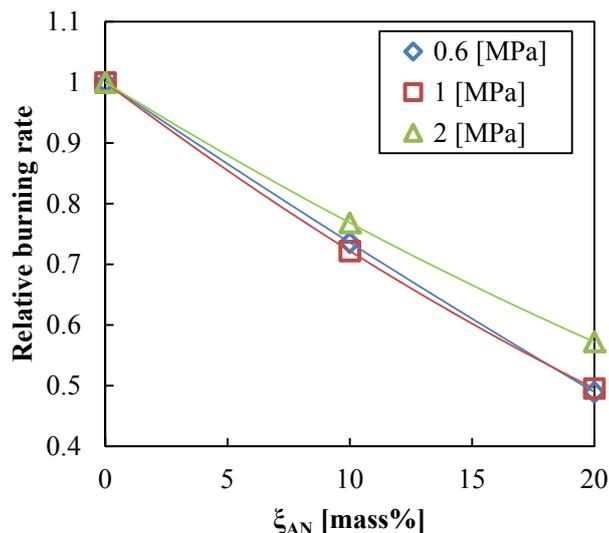


Figure 3 Relationship between  $\xi_{AN}$  and relative burning rate of ADN/AN.

Figure 4 に ADN/AN ペレットの燃焼の様子を示す. Figure 4 より, ADN ペレットは, 0.6 MPa 及び 2 MPa 下で輝炎が確認できる. しかし, ADN/AN ペレットは 0.6 MPa 下では輝炎が発生せず, 2 MPa 下で輝炎が確認できた. このことから, Fig.3 に示される燃焼速度低下が抑えられた原因の一つとして, 燃焼表面近傍での輝炎の発生による表面への熱のフィードバックが増加したことが考えられる.

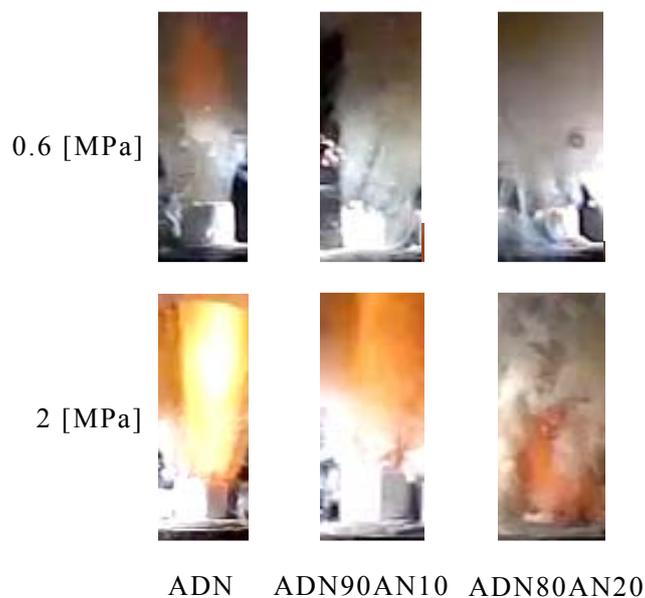


Figure 4 Combustion of the ADN/AN pellets

#### 4. まとめ

- ADN/AN ペレットの燃焼速度は AN 混合量を増加させると低下する.
- 燃焼器内圧力 0.6 MPa 及び 1 MPa で ADN/AN ペレットの燃焼速度は AN 混合量 10 mass% で約 30 % 低下し, AN 混合量 20 mass% では約 50 % 低下した. また, 2 MPa では AN 混合量 20 mass% で約 40% 低下した.

#### 参考文献

- 1) K. Matsumoto, etc, "Ignition characteristics of ADN/AN composite propellants", JAXA Research and Development Report, JAXA-RR-11-005, (2012), pp.25-32.
- 2) K. Matsumoto, etc, "Ignition characteristics of Mg-Al Particles in ADN/AN based Propellants", JAXA Research and Development Report, JAXA-RR-12-005, (2012), pp.23-31.
- 3) K. Fujisato, etc, "Combustion of ADN (Ammonium Dinitramide) Composite propellants", Autumn of 2010 Conference of Research Society of Explosives, Japan Explosives Society, (2010), pp.25-28.
- 4) Thomas Heintz, etc, "Ammonium Dinitramide (ADN)-Prilling, Coating, and Characterization", Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 34, (2009), pp.231-238.
- 5) Oleg P. Korobeinichev, etc, "Flame Structure of ADN/HTPB Composite Propellants", Combustion and Flame, 127, (2001), pp.2059-2065.
- 6) Oleg P. Korobeinichev. etc, "COMBUSTION OF AMMONIUM DINITRAMIDE / POLYCAPROLACTONE PROPELLANTS", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 29, (2002), pp.2955-2961.
- 7) Oleg P. Korobeinichev. etc, "Study of Combustion Characteristics of Ammonium Dinitramide / Polycaprolactone Propellants" Journal of PROPULSION AND POWER Vol. 19, (2003), No. 2.
- 8) David E. G. Jones, etc, "Characterization of ADN and ADN-Based Propellants", Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 30, No2, (2005), pp.140-147.
- 9) John de Flon. etc, "Solid Propellants based on ADN and HTPB", 47<sup>th</sup> AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint propulsion Conference, AIAA paper 2011-6136.
- 10) Satyanarayanan R. Chakravarthy. etc, "Combustion of Propellants with Ammonium Dinitramide", Propellants, Explosives, Pyrotechnics 29, No. 4, (2004), pp.220-230.
- 11) Klaus Menke. etc, "Formulation and Properties of ADN/GAP Propellants", Propellants Explosives, Pyrotechnics 34, (2009), pp.218-230.
- 12) V. A. Strunin. etc, "Combustion of Ammonium Dinitramide", Combustion and Flame vol.177, (1999), pp.429-434.
- 13) K. Fujisato, etc, "Combustion mechanism of ammonium dinitramide", Autumn of 2012 Conference of Research Society of Explosives, Japan Explosives Society, (2012), pp.73-74.
- 14) N. Kubota, etc, *Propellant handbook*, Japan Explosives Society, **2005**, pp. 300-342.