

硝酸アンモニウムを添加した GAP 液滴の分解特性

Decomposition Characteristics of GAP Droplets with AN

伊丹真衣¹, ○徳田浩希¹, 桑原卓雄²Mai Itami¹, *Hiroki Tokuda¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: We focused on Glycidyl Azide Polymer (GAP) with easy handling as a next-generation monopropellant. When GAP burns, carbon graphite is generated for the low oxygen balance of GAP. The combustion efficiency of GAP decreased. To improve it, we considered adding AN to GAP. We performed an experiment to check AN influenced the decomposition of GAP. As a result of measuring ignition delay time of GAP and GAP/AN droplets by making the concentration of AN into a parameter, it turned out AN prevented the decomposition of GAP.

1. はじめに

人工衛星のような宇宙飛行体には、姿勢制御や軌道修正を行うために、一液式スラスタが多く使用されている。推進薬を一液式で使用することでエンジンの構造を単純化でき、着火の信頼性を高くできる。

一液性推進薬として主に用いられているものは、ヒドラジンである。ヒドラジンは、これまでに多くの成功例があるため信頼性が高いが、腐食性と強い毒性を有するため、取り扱いが困難であるという欠点がある。そこで我々は取り扱いが容易である次世代一液性推進薬としてグリシジルアジ化ポリマー(GAP)に着目した。

GAP は低毒性である、他の推進薬と比べて極めて高い生成熱(957 kJ/kg)を持つ、自己分解特性を有しているという特徴を持つ。しかし、GAP は酸素バランスが低いいため、燃焼時にカーボングラファイトを生成し、燃焼効率が下がってしまう。そこで、燃焼効率を改善するために GAP に酸化剤を添加する。近年、GAP に酸化剤として過塩素酸アンモニウム(AP)を添加した研究が多く行われてきた。しかし、本研究では硝酸アンモニウム(AN)を酸化剤として選定した。AN は AP の 1/10 のコストであることと、分子量が小さいこと、沸点、融点が AP よりも低いという利点がある。沸点、融点が低いため、GAP の分解よりも早く AN が分解し、GAP 単体と比べて着火するまでの時間を早めることができるものと考えられる。

本研究では、AN が GAP の分解に与える影響を調べるために、推進薬の組成比と着火遅れ時間の関係を求めた。

2. 実験装置及び実験方法

GAP に添加した AN が GAP の分解に与える影響を求めするために、雰囲気温度一定(600 K)の炉の中に液滴

を挿入して、液滴の内部温度履歴を計測した。初期温度 298 K, 圧力 1 MPa, 開口比 100 の条件で理論計算すると、GAP に AN を 40 mass% 添加するとカーボングラファイトをなくすことができる。しかし、粘度測定を行ったところ、GAP:AN=60:40 の粘度が大きすぎたため液体燃料として不適であり、組成比は GAP : AN=100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 の 4 種類で実験を行った^[1]。

Table 1 に実験条件、Figure 1 に実験装置の概略図を示す。

Table 1 . Experimental Conditions

Propellant	GAP, GAP/AN
Ambient Atmosphere	Nitrogen
Ambient Pressure	Atmospheric Pressure
Ambient Temperature [K]	600
Initial Radius of Droplet, d [mm]	1.5 ±0.15
Mass Fraction of AN [mass%]	0, 10, 20, 30

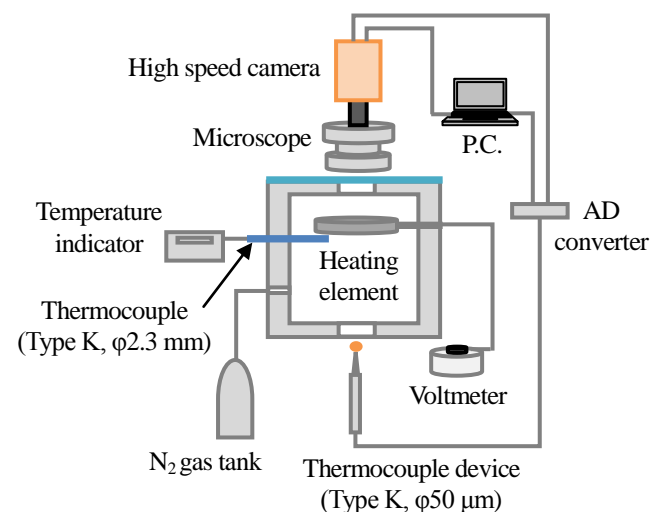


Figure 1. Experimental apparatus

温度測定には熱電対(K 型, $\phi = 50 \mu\text{m}$)を用い, 液滴挙動は顕微鏡を通して高速度カメラで撮影した. 高速度カメラの撮影速度は 300 fps に設定した. 液滴初期温度は 300 K とし, 組成比ごとに 3 回ずつ行った. 液滴径は $1.5 \pm 0.15 \text{ mm}$ とした. Figure 2 に液滴内部温度履歴から算出した着火遅れ時間(τ_{ig})の定義を示す. 本研究では, 炉の中に液滴を挿入し, 温度上昇が始まった瞬間を $t = 0 \text{ s}$ と定め, 液滴の内部温度の時間変化 dT/dt が急激に上昇するまでの時間を着火遅れ時間(τ_{ig})と定義し, さらにその着火遅れ時間を物理的遅れ時間(τ_p)と化学的着火遅れ時間(τ_c)に分けた. 実験より取得した液滴内部温度履歴に接線 1 及び接線 2 を引く. 接線 1 は初期温度から温度履歴が立ち上がる際の傾きを表し, 接線 2 は一定になった温度傾斜の傾きを表している. $t = 0 \text{ s}$ から, 時間軸に対し垂直に降ろした接線 1 及び接線 2 の交点までの時間を物理的遅れ時間(τ_p)と定義する. また, 温度履歴の終盤に急激な温度上昇が見られる. 接線 1 及び接線 2 の交点から急激な温度上昇が開始するまでの時間を化学的着火遅れ時間(τ_c)と定義する^[2].

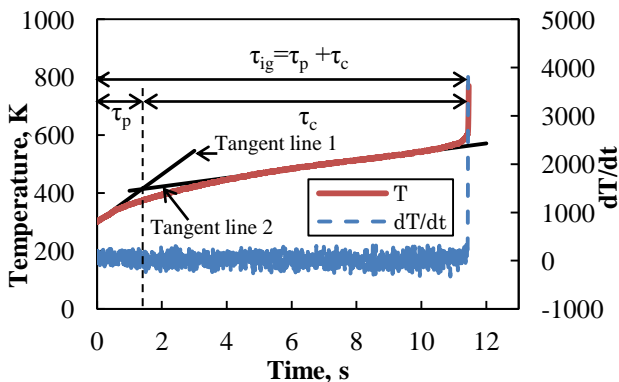


Figure 2. Definition of Ignition Delay Time (GAP:AN=100:0)

3. 実験結果及び考察

Figure 3 は, 雰囲気温度一定 (600 K) の炉の中に液滴を入れ, 温度が急激に上昇するまでの液滴の温度変化を表したものである. GAP のみの液滴に比べ, AN を添加した液滴の着火遅れ時間は増加傾向にあることが分かる. これは, AN が熱分解するうえで, 吸熱反応を起こすためだと考えられる^[3]. $t = 500 \text{ K}$ 付近で AN を添加した液滴とそうではない液滴で温度履歴に差があることから, AN の吸熱反応が起こっていると考えられる. また, Figure 4, 5 は AN の添加量ごとに τ_p と τ_c をまとめたものである. AN の添加量を増加させていくと, τ_c は長くなっている. τ_p は多少長くなっているが, ほぼ一定である. このことから, 添加量に関係なく τ_p はほ

ぼ変化せず, τ_c に依存して τ_{ig} が変化する. τ_c については AN の吸熱反応によって時間が伸びているのだと考えられる.

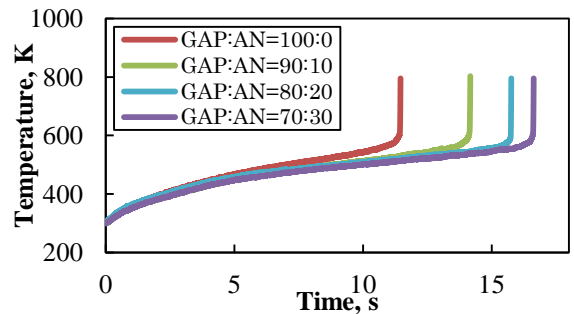


Figure 3. Temperature Histories of the GAP and GAP/AN Droplets

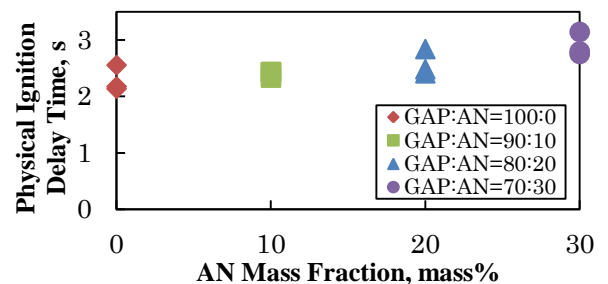


Figure 4. Physical Ignition Delay Time of the GAP and GAP/AN Droplets

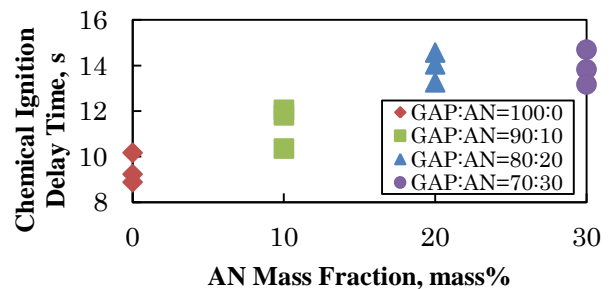


Figure 5. Chemical Ignition Delay Time of the GAP and GAP/AN Droplets

4. まとめ

- AN の添加量を増やすことで着火遅れ時間が長くなったため, AN は GAP の分解を妨げている.

参考文献

- [1] 川田裕郎, 「改訂 粘度」, 株式会社コロナ, pp.70-85, 1958.
- [2] R. Kaya, Y. Okuda, G. Tamura, M. Tanabe, and T. Kuwahara, “Decomposition and Combustion characteristics of Liquid GAP”, AIAA paper 2010-426.
- [3] 松永浩貴 他 4 名, 「熱分析および分光分析によるアンモニウムジニトラミドの経時変化機構の検討」, 宇宙航空研究開発機構研究開発資料, 2011.