

AP を添加した液状 GAP の燃焼特性 Combustion Characteristics of Liquid GAP with AP

○山内慎太¹, 桑原卓雄²*Shinta Yamauchi¹, Takuo Kuwahara²

Abstract: Hydrazine used for liquid monopropellant thrusters is toxic and difficult to handle. We focus on GAP as the next generation monopropellant, because the GAP is easy to handle. It becomes clear that GAP increase the combustion efficiency by the addition of AP. However the combustion process of GAP with AP is not clear. In this study, we evaluated the combustion process of GAP with AP. We obtained the part of AP starting the combustion in the liquid phase of GAP, and then the other AP burns at the same time as the micro explosion of GAP. And the maximum combustion chamber pressure increases with increasing addition of AP.

1. はじめに

人工衛星などの宇宙飛翔体は、姿勢制御や軌道修正を行うために、低推力の制御が可能な一液性スラスタを搭載している。現在主に一液性スラスタに用いられている一液性推進薬はヒドラジンである。しかし、ヒドラジンは人体に有毒な物質であり不純物と接触すると、空気中で自然発火するため危険が伴い、取り扱いが非常に困難である。したがって、ヒドラジンに代わる低毒性かつ取り扱いが容易な次世代一液性推進薬が求められている。

そこで、毒性が低く、常温常圧において安定な物質であることから、取り扱いが容易である Glycidyl Azide Polymer (GAP)を次世代一液性推進薬の候補として研究を進めている。GAP は生成熱が高く、自己燃焼特性を有する高エネルギーポリマーである^[1]。

GAP を一液性スラスタの推進薬として用いる際、多量に発生する燃焼生成物 C(gr)が推進性能を低下させる原因となっている^[2]。そのため、GAP に酸素分子を多く含んだ酸化剤を添加することで C(gr)発生量の低減による推進性能の向上が考えられる。過去の研究より、GAP に過塩素酸アンモニウム(AP)を添加することで燃焼効率が向上することが分かっている^[3]。AP を添加した GAP の燃焼効率向上には、AP が燃焼することで大きく変化した燃焼室内圧力が影響していると考えられる。しかし、燃焼室内圧力が変化した時の GAP に添加された AP の燃焼過程は明らかでない。

本研究では、一部可視化できる燃焼器を用いて燃焼試験を行い、燃焼器内圧力及び燃焼時の映像を取得し、GAP に添加された AP の影響及び燃焼過程を評価した。

2. 実験装置及び実験方法

GAP に添加された AP の影響及び燃焼過程を調べるために、一部可視化したマイクロスラスタを用いて燃

焼試験を行い、圧力履歴、燃焼映像を取得した。Figure 1 に実験装置の概略図、Table 1 に実験条件を示す。マイクロスラスタにニクロム線で作成された着火装置が設けられており、ニクロム線に GAP 液滴(0.0385[g])を懸垂しニクロム線への通電加熱により GAP 液滴を着火した。GAP 液滴燃焼時における燃焼器内圧力は、圧力計を用いて取得し、A/D コンバータを介し P.C. に記録した。カメラの撮影速度は 300[fps]に設定した。

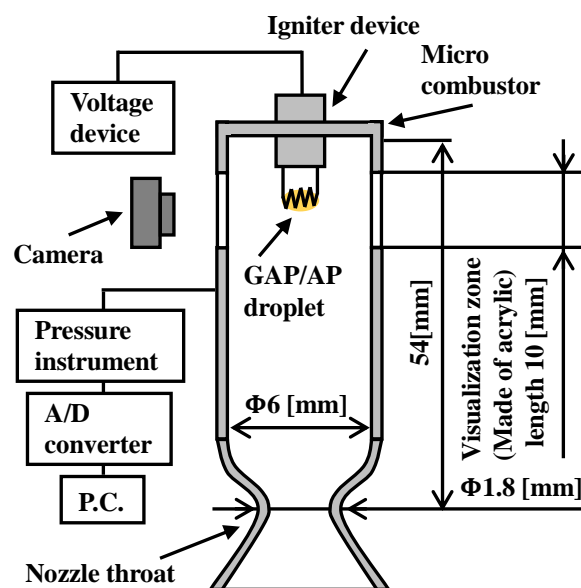


Figure 1. Experimental Apparatus of Micro Combustor

Table 1. Experimental Condition

Detail of experimental	
Propellant	GAP, GAP/AP
Micro Combustor Pressure [MPa]	0.1
Atmospheric gas	Nitrogen
Characteristic length [m]	0.8
Nozzle throat diameter [mm]	1.8
Droplet mass [g]	0.0385
Mass fraction of AP [mass%]	0, 20, 40
Pressure instrument setting	
Sampling frequency [kHz]	1

3. 実験結果及び考察

Figures 2, 3 に各推進薬の燃焼映像を示す. GAP は加熱すると分解反応を始め, 分解反応時には高温ガス(N₂)を発生する. その後, 液滴が飛散し気化するマイクロ爆発(以下 M.E.)を発生する^[2]. GAP の燃焼映像で M.E.発生を確認できたので, 本研究における GAP の着火は M.E.発生時とした. また, AP を添加した GAP は M.E.発生前に火炎を発生した. そこで, AP を添加した GAP の着火は火炎発生時とした. GAP は着火直前(a)から 0.003[s]後に M.E.を発生し, 高温ガスを発生している(b). 対して GAP:AP=80:20 は着火直前(c)から 0.003[s]後に推進薬一部から火炎が発生し(d), 徐々に火炎範囲が広がり(e), M.E.を発生している(f). これは M.E.発生前に分解反応によって GAP 液滴内で発生した高温ガスが AP の燃焼に寄与している. 高温ガスによって一部の AP が燃焼を開始し, その後, M.E.発生と同時に大きな火炎を発生していることで, 残りの AP が燃焼したと考えられる. GAP:AP=60:40 の推進薬も同様に M.E.発生前に一部の AP が燃焼を開始し, その後, M.E.発生と同時に大きな火炎を発生し, 残りの AP が燃焼していることを確認した.

次に, AP を添加した GAP の燃焼室内圧力履歴を Figure 4 に示す. 燃焼室内圧力が推進薬燃焼により増

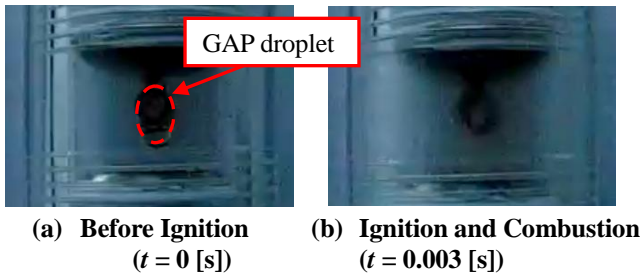


Figure 2. Combustion Process of GAP

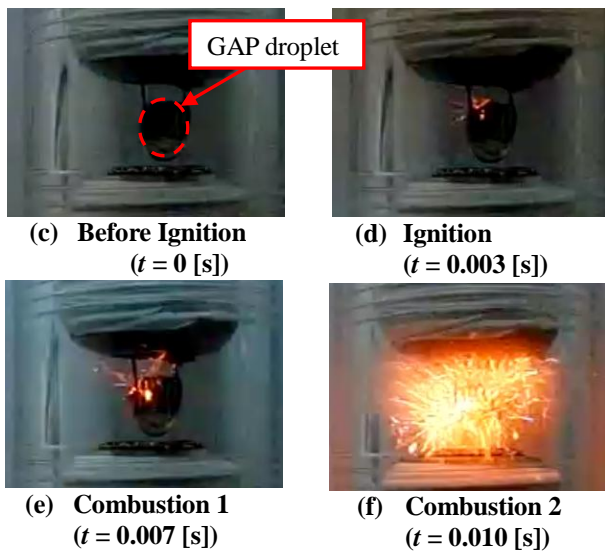


Figure 3. Combustion Process of GAP:AP = 80:20

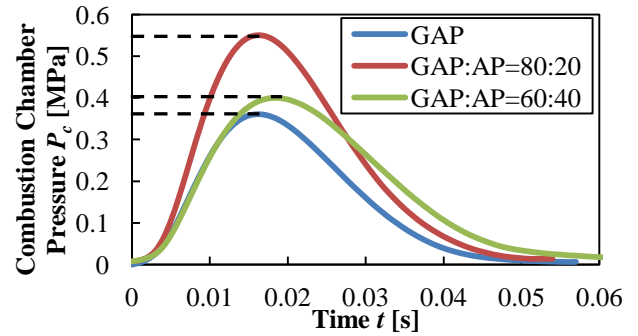


Figure 4. Combustion Chamber Pressure History by the Addition of AP

大し, 元の大気圧まで復帰するまでの時間は各推進薬共に 0.05~0.06[s]程度で大きな変化はない. しかし, GAP:AP=80:20 の最大燃焼室内圧力は GAP の約 1.5 倍を示している. また, M.E.発生による圧力の立ち上がりは早くなっている. これは AP が GAP の分解反応によって発生する高温ガスによって燃焼したことで, C(gr)発生量を低減し, ガスの生成量を増加したことによるものだと考えられる. また, GAP:AP=60:40 の最大燃焼室内圧力は GAP の約 1.1 倍を示している. GAP と AP の量論比は 2.96 であるため, AP の添加量を 20[mass%]から 40[mass%]にすることで最大燃焼室内圧力は増加すると考えられた. しかし, 最大燃焼室内圧力は AP 添加量 20[mass%]で極大値を示し, 40[mass%]で減少し始めた. これは GAP の分解反応による高温ガスの発生量が減少したため, GAP/AP の分解反応が完全に完結せず, 燃焼残渣となったことが考えられる. そのため, AP の燃焼によって発生するガスの生成量が減少し, 最大燃焼室内圧力が減少したと考えられる.

4. まとめ

- ・ GAP に添加された AP は GAP の M.E.発生前に燃焼を開始し, M.E.発生と同時に残りの AP が燃焼する.
- ・ AP を添加することで GAP の最大燃焼室内圧力は増加する.

5. 参考文献

- [1] N. Kubota, et al, "PLOPELLANT HANDBOOK", pp.299-306, 2005.
- [2] R. Kaya, M. Tanabe and T. Kuwahara, "Ignition Characteristics of Liquid GAP-Influence of Ignition Delay Time Due to Mix AP Particle-", Symposium on Space Transport, 2009.
- [3] S. Yamauchi and T. Kuwahara, "Ignition and Combustion Characteristics of Liquid GAP with Metals and Oxidizer", AIAA Paper 2012-3972, 2012.