



GAP/AN推進薬の燃焼速度特性

加藤一成*, 中下吾郎*

燃焼生成物の中の塩化水素量を低減した推進薬として、酸化剤に硝酸アンモニウム (AN), バインダにグリシジルアジドポリマ (GAP) を用いた推進薬を実用化するために、燃焼速度特性を改良する研究を実施した。その結果、少量の過塩素酸アンモニウム (AP) を添加すると燃焼速度が増大し、APとANとの重量比がAP/AN=1.0になると、4 MPa以上では、APによる拡散火炎が燃焼速度律速段階となり、圧力指数が0.37に低下することがわかった。また、GAP/AN/AP推進薬に酸化鉄を添加すると、燃焼速度および5 MPa以下の圧力指数が増大し、高圧側では圧力指数が低下する。これは、酸化鉄がAPの熱分解速度増大に作用しているものと考えられる。

1. 緒言

ロケットから排出される燃焼生成物の環境に対する影響、特に固体ロケットでは酸化剤の過塩素酸アンモニウム (以後APと略記) から生成される塩化水素の環境への影響について種々報告されている¹⁾。そこで、APを硝酸アンモニウム (以後ANと略記) に代えて塩化水素を生成しないようにすることが考えられる²⁾。しかし、従来のAN系推進薬は、低燃焼温度、低比推力、低燃焼速度なので、バインダを末端水酸基ポリブタジエン (以後HTPBと略記) でなく高エネルギーポリマーであるグリシジルアジドポリマー (以後GAPと略記) として改善することが報告されている³⁾。

しかし、このようなGAP/AN系推進薬は、それでも、従来のHTPB/AP推進薬と比べて、実用化するためには、燃焼速度が低い、圧力指数が高い、燃焼温度が低いためにアルミニウム (AL) の燃焼効率が低いなどの問題点がある。

本研究の目的は、塩化水素の発生を低減したGAP/AN系推進薬の燃焼速度特性上の問題点を改善して実用化するために、少量のAPおよび燃焼触媒添加による効果を把握することである。

2. 理論性能

Fig. 1 にアルミニウム (AL) を添加したGAP/AN

系推進薬の理論比推力 (I_{sp}), 理論燃焼温度 (T_f), 生成物平均分子量 (M_n) を示す。計算にはSP-273プログラムを使用した。Fig. 2 には、AL量と燃焼生成物量との関係を示す。

Fig. 3 には、APを添加した場合の理論値を示す。AP添加により、燃焼温度と平均分子量共に増加するが、燃焼温度の増加割合が平均分子量の増加割合より優るため、比推力も増大する。Fig. 4 に、AP添加量と塩化水素生成量との関係を示す。APとANとの重量比がAP/AN=20/53になると、酸化剤をすべてAP

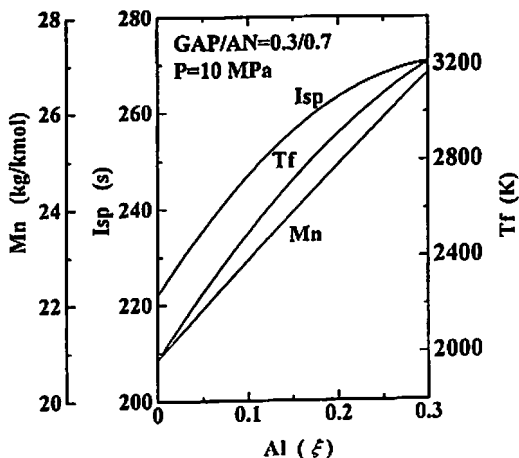


Fig. 1 Combustion Characteristics of GAP/AN/AL Propellants.

1995年3月14日受理

*日本油脂(株)愛知県事業所武豊工場研究開発部
〒470-23 愛知県知多郡武豊町字北小松谷61-1
TEL 0569-72-1954
FAX 0569-73-7376

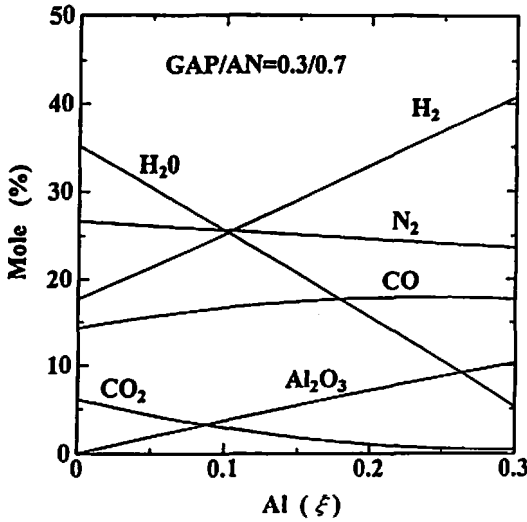


Fig. 2 Combustion products of GAP/AN/AL Propellants.

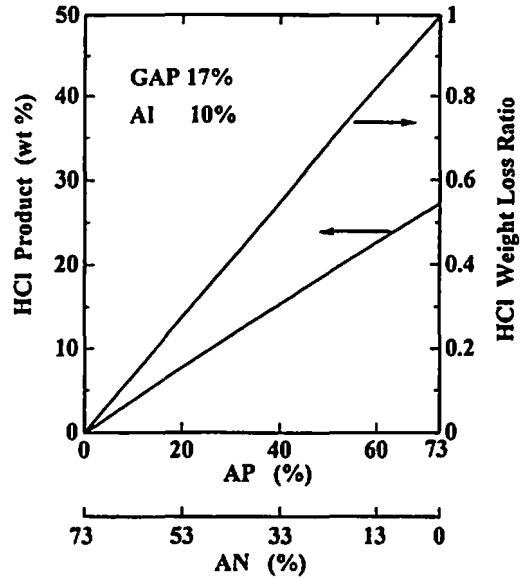


Fig. 4 AP Content vs. HCl Product

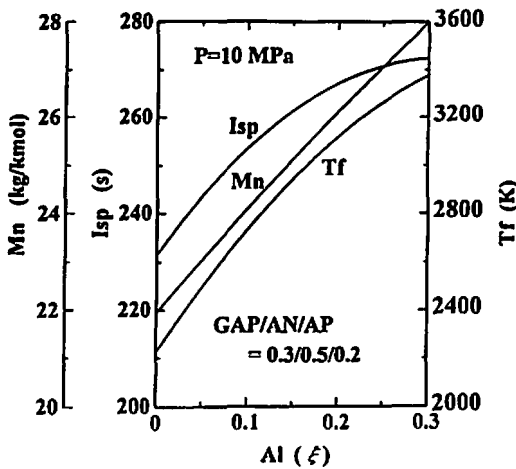


Fig. 3 Combustion Characteristics of GAP/AN/AP/AL Propellants.

Table 1 Burning rate measurement Samples Formulation

Sample No.	単位 Wt%				
	GAP	AN	AP	AL	Cat.
A-1	25	60	0	15	0
A-2	25	50	10	15	0
A-3	25	40	20	15	0
A-4	25	30	30	15	0
B-1	25	55	20	0	0
B-2	25	55	20	0	0.5
B-3	25	55	20	0	1
B-4	25	55	20	0	3

とした場合に比べて塩化水素発生量は30%にまで減少している。

3. 実験方法

実験に用いた推進薬組成を表1に示す。推進薬の機械的特性を考慮して、ANには相安定化剤として硝酸カリウム (KN) を10%含有した平均粒径約180 μ のANKNを使用した。

まず、AP添加の効果を求めるために、GAP25%をバインダとした推進薬で、AP/AN比を0.0から1.0まで変化させた場合の燃焼速度を求めた。APは粒径約200 μ のものを使用した。また、推進薬の高エネルギー化のために粒径5 μ のALを15%添加した推進薬も用

いた。

燃焼速度は、6 mm \times 6 mm \times 130 mmの試料をクロフォード型ストランド燃焼器を用いて測定した。

また、燃焼容器に設けてある透過窓を通して、燃焼状況を調べるために、線径50 μ または5 μ の白金-白金10%ロジウム熱電対を用いて、燃焼中の温度分布を測定した。この実験ではGAPバインダー量は30%とした。

GAP/AL/AN推進薬の燃焼速度およびALの燃焼効率を更に増大させるためには、少量のAPを添加する必要があるが、AP添加量をなるべく少なくするために、AP20%系で燃焼速度を増大させるための触媒の効果を確認した。GAP/AP系では、Fig. 5に示すように酸化鉄に効果があることが筆者らの実験から解っているので、本研究でも酸化鉄について調べた。燃焼

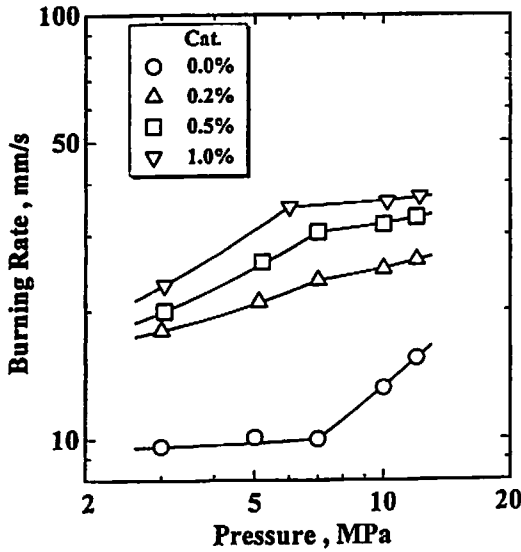


Fig. 5 Effect of Catalyst on GAP/AP Propellants

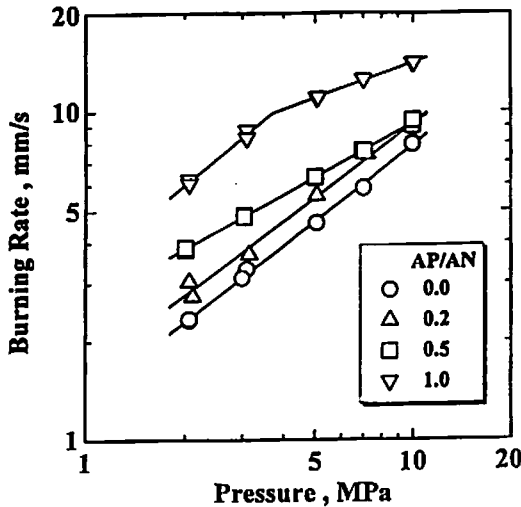


Fig. 6 Burning Rates of GAP/AN/AP/AL

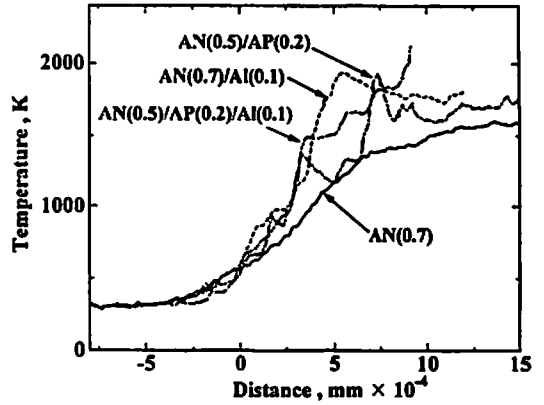


Fig. 7 Effect of the Addition of AP or AL on the temperature Profile in the Combustion Wave of GAP/AN Propellant

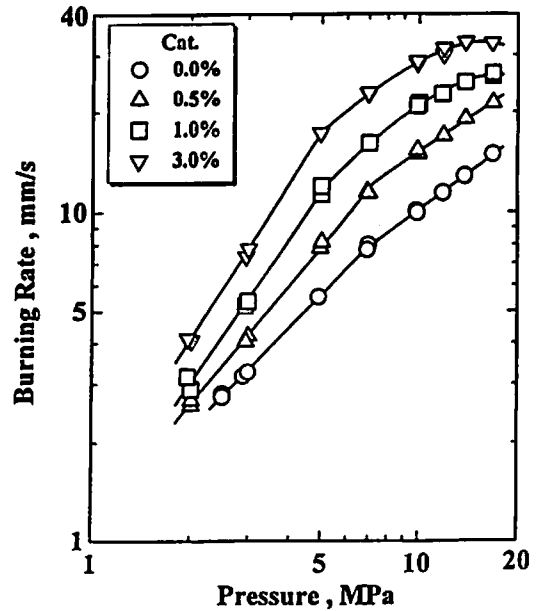


Fig. 8 Effect of Catalyst on GAP/AN/AP

速度機構にはALはほとんど寄与していないことを確認しているため、この実験に用いた推進薬にALは添加していない。

4. 実験結果

APを添加した場合の実験結果を燃焼速度と圧力の関係としてFig. 6に示す。

熱電対による温度プロファイル測定結果をFig. 7に示す。

燃焼触媒の効果を燃焼速度と圧力との関係としてFig. 8に示す。

5. 考察

5.1 AP添加の効果

Fig. 6に示すように、GAP/AL/AN推進薬にAPを添加すると、燃焼速度が増大し、APとANとの重量比がAP/AN=0.5になると圧力指数の低下も見られる。AP/AN比が0.2から0.5においては、燃焼速度の増大は急激ではないが、AP/AN=1.0になると、燃焼速度は大きく増加し、4 MPa以上になると圧力指数が0.37と低下する。AP系コンポジット推進薬では圧力指数が0.3-0.4であることが知られており、AP/AN=1.0で4 MPa以上になるとAPが全体の燃焼速度特性を決定していることがわかる。

ANは約440Kで融解し、分解し始めるが、APは約630Kで分解する。従って、AP分解開始前にANが融

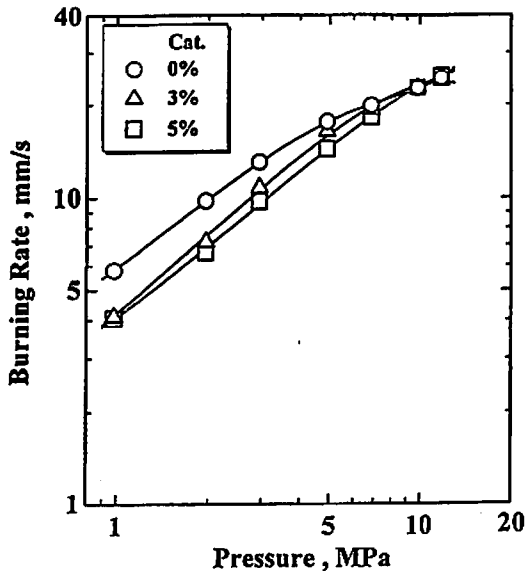


Fig. 9 Effect of Catalyst on GAP Binder

解して燃焼表面を覆ってしまう。しかし、Fig. 7から解るようにAPを添加することで燃焼表面近傍（ $\sim 5 \times 10^{-4}$ mm離れた付近）の温度が増大しており、火炎の輝度も増大している。本実験からAP添加量が多くなるとAPによる拡散火炎が燃焼速度律速段階となっており、Summerfieldの粒状拡散火炎モデルが適用できるといえる。

5.2 燃焼触媒添加の効果

Fig. 8に示すように、GAP/AN/AP系でも酸化鉄に触媒効果があることが解る。GAP/AP系と同様に、酸化鉄含有量を増大させると燃焼速度および5 MPa以下の圧力指数は増大するが、高圧側の圧力指数は低下する。

GAPは自己燃焼性を有するが、Fig. 9に示すように、GAPに酸化鉄を含有させると燃焼速度は低下する。すなわち、酸化鉄はGAPに作用することはなく、単に不活性な添加物として作用し、エネルギー低下による燃焼速度低下の効果を示しているだけである。ま

た、酸化鉄がANにほとんど作用しないことも確認している。

Fig. 8に示す推進薬はAP/AN=0.36であり、酸化鉄がAP熱分解速度増大に作用していることが明確となった。なお、APに対する酸化鉄の触媒効果については、過去に数多くの論文が発表されている^{6) 7)}ので、ここではその詳細については省略する。

6. 結 論

- (1) GAP/AN推進薬にAPを添加して、APとANとの重量比がAP/AN=1.0になると、4 MPa以上でAPによる拡散火炎が燃焼速度律速段階となり、4 MPa以上の圧力指数が0.37に低下する。
- (2) GAP/AN/AP推進薬に酸化鉄を添加すると、燃焼速度および5 MPa以下の圧力指数が増大し、高圧側の圧力指数が低下することがわかった。これは、酸化鉄がAPの熱分解速度増大に作用していると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導、御助言を戴きました防衛庁技術研究本部第3研究所久保田浪之介所長にお礼申し上げます。

文 献

- 1) A. J. McDonald, AIAA92-1660 (1992)
- 2) 宮内一夫、久保田浪之介、防衛技術、8、(1988)
- 3) 得猪治輔、岩間 杉、森本国雄、斉藤岳男、堀恵一、工業火薬協会秋季研究発表会要旨集、pp. 63 (1989)
- 4) 加藤一成、中下吾郎、工業火薬協会秋季研究発表会要旨集、pp. 67 (1989)
- 5) K. Kubota, K. Kato and G. Nakashita, Proceedings of ICT(1991)
- 6) K. Kishore and M. R. Sunitha, AIAA Journal, Vol.17, No.10, pp.1118 (1979)
- 7) E. W. Price and J. K. Sambamurthi, Proceedings of JANNAF Combustion Meeting, p.213 (1984)
- 8) 加藤一成、火薬学会年会講演要旨集、pp.147 (1994)

Burning rate characteristics of GAP/AN propellant

by Kazushige KATO*and Goro NAKASHITA*

The burning rate characteristics of reduced hydrogen chloride propellant which contains ammonium nitrate(AN) as oxidizer and glycidyl azide polymer as binder was studied in order to modify its burning rate characteristics for practical use. The burning rate is increased when a small amount of ammonium perchlorate(AP) is added. When the weight ratio of AP/AN is 1.0, the diffusion flame of AP becomes the rate determining step over 4MPa pressure and the pressure exponent of the burning rate decreases 0.37. When ferric oxide is added to GAP/AN/AP propellant, the burning rate and the pressure exponent below 5MPa pressure increase, and the pressure exponent decreases at higher pressure. This is caused by the thermal decomposition rate of AP increased by the ferric oxide.

(*NOF Corporation, Aichi works, Taketoyo plant, Research and development department, 61-1 Kitakomatsudani, Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi 470-23, Japan)
