

BAMO/NMMO/AN系推進薬の感度特性

川崎秀俊*, 御手洗善昭*

BAMO/NMMO/AN系推進薬の燃焼性能を向上させるために、バインダーにエネルギー可塑剤を加え、更に、ANの一部をHMXやBGに置き換えた推進薬について感度特性と燃焼特性を評価した。その結果、エネルギー可塑剤は推進薬の比推力及び燃焼速度の向上に有効であり、その作用はエネルギー可塑剤の酸素バランスに比例して増大する傾向にあった。また、HMXは推進薬の耐衝撃性を著しく低下させ、BGは推進薬の感度を上げることなく、燃焼速度の向上及び圧力指数の低下に寄与することを見出した。

1. はじめに

固体推進薬の実用上極めて重要な性能は燃焼性と物性である。現用の固体推進薬の中で、過塩素酸アンモニウム(AP)を酸化剤とするコンポジット推進薬は、これらの優れた性能により現在広く利用されている。一方、固体推進薬の開発において、ロケットモータの安全性を向上させる目的で、火災や衝撃に対して爆轟等の衝撃的な挙動をしない不感特性が、燃焼性と物性に加え重要な課題となっている。しかし、一般に推進薬の感度特性はそのエネルギーレベルと密接な関係がある¹⁾ことから、不感特性の向上は推進薬の最も重要な性能である燃焼特性に直接影響を与える。

近年、硝酸アンモニウム(AN)を酸化剤とし、アジ化ポリマーをバインダーとする組み合わせが、燃焼性能の低下を抑え、且つ、不感特性を満足する推進薬として期待され研究されている²⁻⁴⁾。しかし、この種のアジ化ポリマー/AN系推進薬を実用化するためには、更に、比推力及び燃焼速度の向上が必要である。

この報告では、3, 3-ビス(アジドメチル)オキセタン(BAMO)と3-ニトラトメチル-3-メチルオキセタン(NMMO)を7対3のモル比で共重合させたプレポリマーを主成分とするバインダーとANを組み合わせた、BAMO/NMMO/AN系推進薬の燃焼性能の向上を目的として、バインダーに高エネルギー含有可塑剤(エネルギー可塑剤)を加え、更に、ANの一部をシクロテトラメチレンテトラニトラミン(HMX)やダブ

ルベース系のベースグレイン(BGの組成はNC/NG/触媒等=69.2/18.7/12.1)に置き換えた推進薬の感度特性及び燃焼特性について述べる。

2. 実験

2.1 試料

実験に用いた推進薬は Table 1 に示す組成で製造した。BAMO/NMMO(7/3)バインダーは、BAMOとNMMOを7対3のモル比で共重合させたプレポリマーに、架橋剤、硬化剤としてヘキサントリオール(HT)、イソホロンジイソシアネート(IPDI)を加えたもので、更に、エネルギー可塑剤としてニトログリセリン(NG)、ビスジニトロプロピルアセタールとビスジニトロプロピルフォーマルの50/50の混合品(BDNPFA)、BAMO/NMMO(7/3)可塑剤(平均分子量が800程度のBAMO/NMMOオリゴマーの末端水酸基をアセチル基に置換したもの)の3種類の中から一つを選択し添加した。ANは平均粒径が170 μ mと15 μ mのものを50/50の重量比で使用した。また、推進薬の燃焼性能を向上させる目的で、ANの一部をHMXやBGに置き換えた試料も作製した。尚、全ての推進薬に燃焼触媒として亜クロム酸銅を添加した。

2.2 理論燃焼性能

推進薬の比推力を求めるために理論燃焼計算を実施した。計算にはGordonらの化学平衡計算プログラム⁵⁾を使用した。

2.3 カードギャップ試験

推進薬の感度特性はカードギャップ試験により評価を行った。カードギャップ試験は火薬学会規格⁶⁾に準じて実施した。試料は長さ50mm、内径37mmの32A炭素鋼管に注型したものをを用い、ギャップ材として ϕ 60mmのアルミニウム板を使用した。判定は、試料の

1997年10月13日受理

*旭化成工業(株)大分工場

〒870-0303 大分県大分市大字里2620番地

TEL 0975-92-2145

FAX 0975-92-2263

Table 1 Propellant compositions

No	BAMO/NMMO	NG	BDNPFA	BNPL	AN	HMX	BG	CuC
1	19.3	10.7	—	—	55	15	—	3
2	19.3	—	10.7	—	55	15	—	3
3	19.3	—	—	10.7	55	15	—	3
4	19.3	10.7	—	—	70	—	—	3
5	19.3	10.7	—	—	55	—	15	3
6	19.3	10.7	—	—	45	—	25	3

BAMO/NMMO: BAMO/NMMO(7/3)binder, NG: nitroglycerine, BDNPFA: bis-dinitro-propylacetal/bis-dinitropropyl-formal=50/50, BNPL: BAMO/NMMO(7/3)plasticizer, AN: ammonium nitrate, HMX: cyclotetramethylene tetranitramine, BG: NC/NG/catalysts=69.2/18.7/12.1, CuC: copper chromite

下に敷いた厚さ 2 mm の鉄板に亀裂や穴が生じた場合を爆、生じない場合を不爆とし、3 回とも不爆となる最小の厚みを限界ギャップ長として求めた。また、この時の衝撃波圧力はイオンギャップを使って求めた⁷⁾アルミ板中の衝撃波速度と粒子速度を用いてユゴニオの式⁸⁾(1)から計算した。

$$P = \rho U_s U_p \quad (1)$$

ここで、 P =衝撃波圧力、 ρ =アルミ板の密度、 U_s =衝撃波速度、 U_p =粒子速度

2.4 燃焼速度測定

推進薬の燃焼速度は田葉井製作所製ストランド試験装置を用い、5, 7, 9, 11MPaの窒素加圧下で推進薬を燃焼させて測定した。試料は断面が $\phi 7$ mm、長さ70mmの円柱状とし、20℃に調温したものを使用した。

3. 結果及び考察

3.1 理論燃焼性能

通常、ANを酸化剤として用いた推進薬は、製造上、物性上の理由から酸化剤を最適含有させることが困難である。この酸化剤の不足は、推進薬の燃焼効率を低下させ、燃焼ガスの温度を下げるとともに平均分子量を上げることから低比推力の原因となっている。Table 2にBAMO/NMMO/AN系推進薬の圧力15MPaにおける理論比推力を示す。本研究で用いた推進薬はANの酸化力不足を補う目的で、バインダー成分にBAMO/NMMO、エネルギー可塑剤といった酸素バランスの高い物質を使用しているため、いずれの推進薬も高い比推力を有している。また、HMXは推進薬の比推力の向上に有効な物質として知られているが、酸化剤がAN単独であってもNGを可塑剤として用いたNo. 4が240s以上の高い比推力を示すことから、エネルギー可塑剤を有効に利用することによりHMXの添加と同等の効果が発現できるといえる。

Table 2 Theoretical specific impulse at 15MPa of propellants

No	Isp(sec)
1	247.5
2	239.4
3	230.5
4	244.2
5	240.8
6	238.3

3.2 感度特性

BAMO/NMMO/AN系推進薬のカードギャップ試験の結果をTable 3に示す。No. 1はNGを可塑剤、AN/HMXを酸化剤として用いた推進薬であるが、本研究に用いた6種類の推進薬の中で最も高い感度を示した。一方、NGを可塑剤に用いた推進薬であっても、酸化剤がAN単独であるNo. 4は、No. 2, 3と比べ理論比推力は大きい低い感度を保っている。これらの結果から、HMXが衝撃波に対する感度の支配要因として作用していることが確認された。

また、No. 4, 5, 6の比較から、BGは推進薬中の比率が25%の範囲であれば、推進薬の耐衝撃性に影響を及ぼさないことが分かった。一方、文献²⁾では、ニトロセルロース(NC)が推進薬の耐衝撃性を悪くしていると報告している。これに対しBGが低感度である理由は、BGの場合、NCがNGとのゲル化によって生じる粘弾性が衝撃波の吸収に重要な役割を果たしていると考えられる。

3.3 燃焼特性

BAMO/NMMO/AN系推進薬の燃焼速度と燃焼圧力の関係をFig. 1～3に示す。Fig. 1はエネルギー可塑剤の効果を示した。この図から推進薬の燃焼速度は、添加したエネルギー可塑剤の種類によって大きく変化し、エネルギー可塑剤の酸素バランスの増加に伴い推

Table 3 Results of card gap test

No	Card gap length (mm)	Judgement	Critical gap length (mm)	Critical shock pressure (GPa)
1	15	×××	15	11.65
	10	○○○		
2	10	×××	10	13.44
	5	○○○		
3	10	×××	10	13.44
	5	××○		
4	5	×××	5	15.36
	0	○○○		
5	5	×××	5	15.36
	0	○○○		
6	5	×××	5	15.36
	0	○○○		

○:detonation ×: no detonation

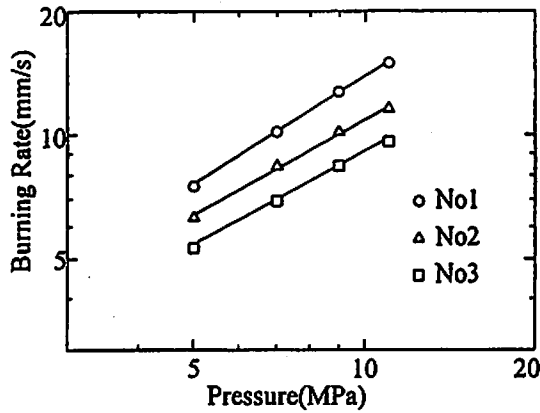


Fig. 1 Effect of energetic plasticizers on the burning rates of BAMO/NMMO/AN/HMX propellants

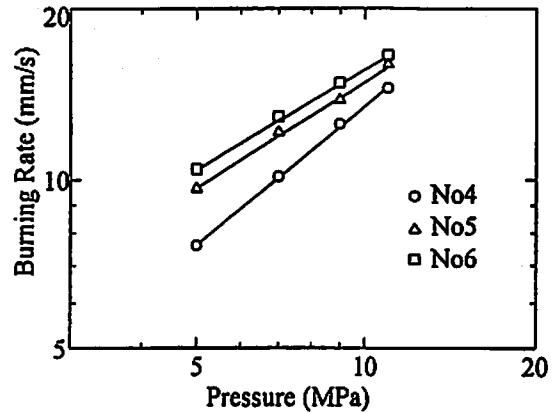


Fig. 3 Burning rates of BAMO/NMMO/AN propellant and BAMO/NMMO/AN/BG propellants

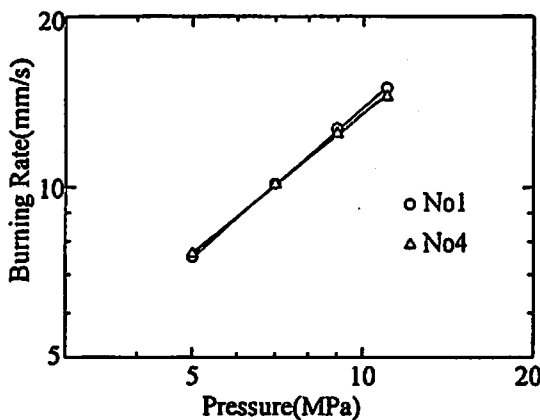


Fig. 2 Burning rates of BAMO/NMMO/AN propellant and BAMO/NMMO/AN/HMX propellant

進薬の燃焼速度も増大する傾向にあることが分かった。特に、この試験に用いた3種類のエネルギー可塑性剤の中で、NGは推進薬の燃焼速度増大の効果が最

も高く、11MPaにおいて15mm/s程度の燃焼速度を示した。

Fig. 2, 3にHMX及びBGの効果を示した。HMXの効果について、ANの15%をHMXに置換しても推進薬の燃焼速度及び圧力指数にほとんど変化は認められない。一方、BGの場合は、その添加量が増すにつれ燃焼速度は低圧側で37%、高圧側で15%増加し、圧力指数は0.82から0.59まで低下している。これらの結果から、BGは推進薬の感度を上げることなく燃焼特性を向上させる効果を持っていることが見出された。

4. 結 論

本研究により、BAMO/NMMO/AN系推進薬の感度特性と燃焼特性について以下の結論を得た。

- (1) エネルギー可塑性剤は推進薬の比推力及び燃焼速度の向上に有効である。また、その作用はエネルギー可塑性剤の酸素バランスに比例して増大する傾向にある。

(2) HMXは推進薬の比推力を増大させるが、燃焼速度及び圧力指数への効果はなく、また、推進薬の耐衝撃性を著しく低下させる。

(3) BGは推進薬の感度を上げることなく、燃焼速度の向上及び圧力指数の低下に寄与する。

ここで試験した推進薬の中で、BAMO/NMMO/AN/BG推進薬は優れた耐衝撃性と燃焼特性を示した。

謝 辞

本研究を進めるにあたり貴重な御指導、御助言をいただいた防衛庁技術研究本部第三研究所大弓義夫室長に厚く御礼申し上げます。

文 献

1) G. K. Gautam, H. Singh, K. R. K. Rao, Indian J.

Technol., 25, 75 (1987)

2) Y. Oyumi, E. Kimura, S. Hayakawa, G. Nakashita, and K. Kato, Propellants, Explos., Pyrotech., 21, 271 (1996)

3) 加藤一成, 中下吾郎, 火薬学会誌, 56, 130 (1995)

4) 木村栄秀, 大弓義夫, 火薬学会誌, 57, 14 (1996)

5) S. Gordon and B. J. McBride, NASA SP-273, N71-37775 (1971)

6) 火薬学会規格 (IV), 火薬学会 (1996)

7) 大弓義夫, 木村栄秀, 長山清和, 火薬学会誌, 55, 194 (1994)

8) S. P. Marsh, "LASL Shock Hugonio Data", University of California Press, Berkeler (1980)

Sensitive characteristics of BAMO/NMMO/AN propellants

by Hidetoshi KAWASAKI* and Yoshiaki MITARAI*

Burning and sensitive characteristics of BAMO/NMMO/AN propellants were investigated. In order to improve the burning characteristics of BAMO/NMMO/AN propellants, energetic plasticizers, HMX and base-grain (BG) were added. Energetic plasticizers were effective to increase specific impulse and burning rate of propellants. The effect was proportional to the oxygen balance of energetic plasticizers. Card gap sensitivity of propellants were dominated by HMX. The higher burning rate and the lower pressure exponent were accomplished by addition of BG without increasing card gap sensitivity.

(*Oita Plant, Asahi Chemical Industry Co., Ltd., 2620, Oaza-Sato, Oita-city, Oita 870-0303, Japan)