

## ニトラミン系コンポジット推進薬の燃焼特性

中塚漢二\*, 澄川研二\*, 鈴木直久\*, 福田孝明\*

無煙性で腐食性のない燃焼ガスが要求されるガスジェネレータ用推進薬の1つとして、ニトラミン系コンポジット推進薬をとりあげ、その燃焼特性を実験的に調査した。

ストランド燃焼試験により、HMX系のもは、RDX系のものより低燃速となることがわかった。特にHTPEs/HMX=30/70の組成では、圧力70kgf/cm<sup>2</sup>で1.7mm/sという低燃焼速度が得られた。

一方、小型ロケットモータの燃焼試験において、温度感度は、RDX系のもで、0.393%/℃、HMX系のもで、0.353%/℃が得られ、両者とも、ガスジェネレータ用推進薬として適用できる見通しを得た。

## 1. 緒言

ガスジェネレータへ適用される推進薬に必要な特性に、燃焼ガスが無煙性で腐食性のないこと、燃焼温度が低いこと、燃焼速度が低いことなどがある。特に燃焼温度は、サーボ装置の各種部品への熱的な制限から、低く抑える必要がある。そのため、一般的に、推進薬には、燃焼温度が800~1500℃のものが使用されている。

ガスジェネレータ用推進薬として、今まで、過塩素酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub>)系推進薬(以下AP系コンポジット推進薬)および硝酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)系推進薬(以下AN系コンポジット推進薬)が用いられてきた。AP系コンポジット推進薬については、腐食性ガスの発生、AN系コンポジット推進薬については吸湿性、使用温度範囲内におけるANの結晶相転移による密度変化の問題がある。

したがって、ここではガスジェネレータ用推進薬としての必要な諸特性を有し、比較的、問題点の少ないと考えられるニトラミン系コンポジット推進薬をとりあげる。ニトラミンは、正の生成熱を有する高エネルギー物質であり、AP、ANと異なり、低酸素バランスである。このため、主要生成ガスはH<sub>2</sub>、CO、N<sub>2</sub>となり、平均分子量を低下させ、ひいては生成ガスボリュームを増大させることになる。この特性を活かし、火砲用発射薬への応用も期待されている。

このように、ガスジェネレータ用推進薬として種々

の利点を有するニトラミン系コンポジット推進薬の燃焼機構に関する研究が盛んに行なわれている。久保田<sup>1)</sup>は、推進薬表面近傍の燃焼波内の温度分布を計測し、RDX系コンポジット推進薬の燃焼表面近傍はAP系コンポジット推進薬よりダブルベース系推進薬に近い燃焼波構造であることを示した。またCohen<sup>2)3)</sup>らは、火炎構造の検討とともに、燃焼表面近傍の燃焼波構造の解析モデルをもとに、ニトラミン系コンポジット推進薬に特徴的な圧力指数のシフトを示した。

しかし、ニトラミン系コンポジット推進薬の燃焼特性を実験的に系統だてて行なった例は、ほとんどないのが現状である。

そこで、本報においては、ニトラミン系コンポジット推進薬の燃焼特性を、ストランド試験および小型ロケットモータ試験により明らかにし、ガスジェネレータ用推進薬への適用可能性について検討を行なった。

## 2. 供試薬及び試験法

## 2.1 供試推進薬組成および特性値

供試薬の組成をTable 1に示した。バインダは、末端水酸基ポリエステルを主顔とするポリウレタンバインダ(以下HTPEs)に絞って検討した。使用したニトラミンはRDXとHMXであり、RDXの平均粒子径は大粒120μm、小粒5μm、HMXはそれぞれ200μm、20μmである。

HTPE<sub>0</sub>/RDX系の理論燃焼性能をTable 2に示した。バインダ量は20~35%まで変化させている。断熱火炎温度( $T_f$ )、特性排気速度( $C^*$ )、及び比推力( $I_{sp}$ )は、バインダ量を増加すると低下する。一方生成ガスの平均分子量は組成に関係なく約20g/mol

昭和59年10月5日受理

\*日本油脂㈱ 武豊工場化薬研究所  
〒470-23 愛知県知多郡武豊町西門 82  
TEL 05697-2-1221

Table 1 Propellant formulations tested in this study.

Propellant	HTPEs	RDX (Coarse/Fine)	HMX (Coarse/Fine)
A-1	20	80 (7/3)	—
A-2	25	75 (7/3)	—
A-3	30	70 (7/3)	—
A-4	30	70 (10/0)	—
A-5	30	—	70 (7/3)
A-6	30	—	70 (10/0)

Table 2 Theoretical burning performance ( $P_c=70\text{kgf/cm}^2$ )

HTPEs/RDX	20/80	25/75	30/70	35/65	
$T_f$ , K	1947	1602	1407	1344	
$M_g$ , g/mol	20.20	19.40	19.49	20.13	
$C^*$ , m/s	1347	1250	1196	1159	
$I_{sp}$ , s	216.8	206.7	199.8	194.0	
Products	C (S)	0.0	0.0	0.0	5.0
Composition	CH <sub>4</sub>	0.0	2.0	2.6	3.8
mol%	CO <sub>2</sub>	2.7	2.1	2.1	3.1
	H <sub>2</sub> O	8.5	5.0	3.5	4.8
	CO	38.4	40.4	41.5	36.7
	H <sub>2</sub>	28.4	32.4	31.5	29.4
	N <sub>2</sub>	22.0	19.8	18.7	17.5

であり、1 kgの推進薬が燃焼すれば約50モルのガスが発生する。これは発生ガス量としては十分大きなものといえる。生成ガス組成はCO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>Oの発生が極めて少ない点の特徴であり、将来赤外線不感型の無煙性コンボジット推進薬の開発要求に対しても対応は可能と考えられる。

ガスジェネレータ用組成としては燃焼温度は低いほど好ましいが、バインダ35%となると生成ガス中に遊

離の固体カーボンが 5.0 %発生し、燃焼ガスのクリーンさを考慮すれば、ポリエステル系バインダは30%付近が好ましいことが明らかである。

## 2.2 小型ロケットモータによる燃焼試験

供試推進薬は外径 80mm、内径 40mm、長さ 140mmの両端面内面燃焼型であり、比較的フラットな燃焼カーブとなる。イグナイタは、黒色火薬 1gおよびボロン硝石 9gから成るものを使用した。チャンバの概略

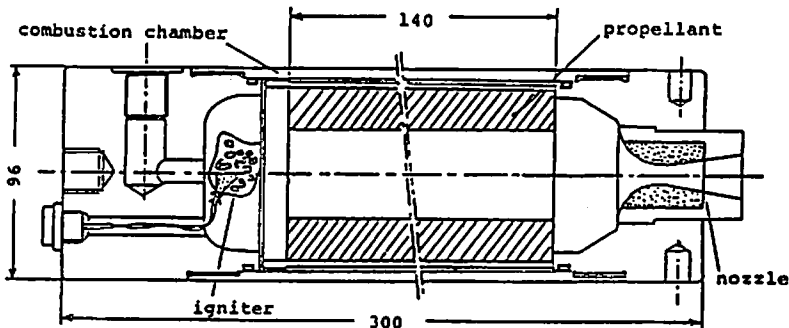


Fig.1  $\phi 80$  small size rocket motor

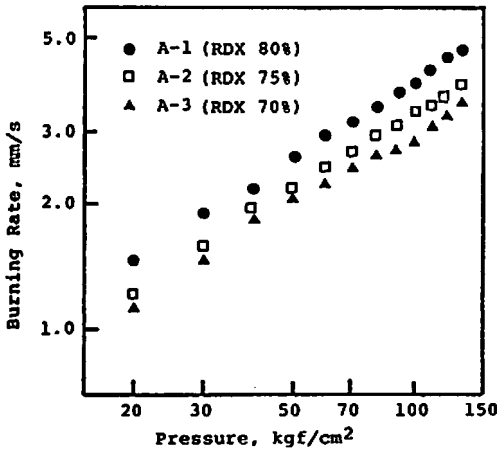


Fig. 2 Effect of nitramine content on burning rate

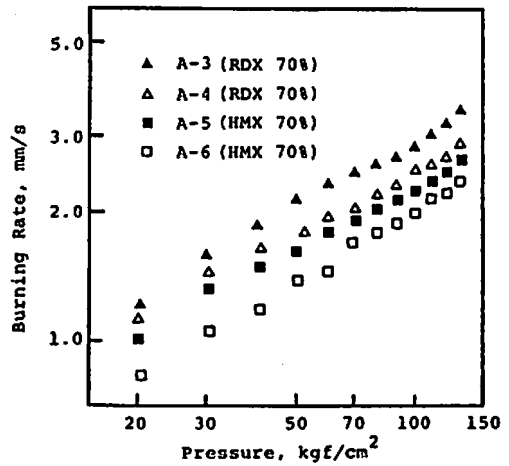


Fig. 3 Effect of particle size on burning rate

Table 3 Burning test data of HTPEs/RDX (A-3) propellant

No.	1	2	3	4	5
$W_p$ , kg	0.790	0.790	0.792	0.790	0.790
$K_N$	1104	1499	1653	2006	2217
$\bar{P}_b$ , kgf/cm <sup>2</sup>	38.0	67.7	80.4	108.0	134.8
$t_b$ , s	10.39	7.90	7.38	6.60	5.88
$C^*$ , m/s	1159	1154	1166	1160	1175
$r$ , mm/s	1.85	2.44	2.59	2.91	3.28

$$r = 0.371 \bar{P}_b^{0.443}$$

図を Fig. 1 に示した。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 ストランド燃焼試験

##### 3.1.1 ニトラミン含有量の効果

Fig. 2 に RDX 含有量と燃焼速度の関係を示した。ニトラミンの含有量が増加すると、燃焼速度は増大する。ここで RDX が 80% 含有する薬種では、圧力 70 kgf/cm<sup>2</sup> において 3.1 mm/s であり、ダブルベース系

や AP 系のものにくらべ低燃速である。この低燃速の特性は、一般にガスジェネレータの設計においてグレインデザインがシンプルとなるため好ましい。各推進薬の圧力指数は 0.5~0.6 であった。

##### 3.1.2 ニトラミンの種類および粒子径の効果

Fig. 3 に RDX と HMX の差および粒子径の効果を示した。バインダは HTPE。30% 系である。RDX と HMX を比較すれば HMX の方が低燃速となる。RDX

Table 4 Burning test data of HTPEs/HMX (A-5) propellant

No.	1	2	3	4	5
$W_p$ , kg	0.822	0.825	0.816	0.822	0.824
$K_N$	1194	1655	1998	2469	2839
$\bar{P}_b$ , kgf/cm <sup>2</sup>	34.5	65.2	86.7	119.6	163.2
$t_b$ , s	12.59	9.46	8.39	7.60	6.45
$C^*$ , m/s	1132	1156	1150	1158	1174
$r$ , mm/s	1.53	2.03	2.30	2.54	2.98

$$r = 0.347 \bar{P}_b^{0.421}$$

Table 5 Temperature sensitivity data of HTPEs/RDX (A-3) propellant

No	1	2	3
Temp, °C	-20	+20	+60
$W_p$ , kg	0.794	0.792	0.789
$K_N$	1655	1653	1656
$\bar{P}_b$ , kgf/cm <sup>2</sup>	69.3	80.4	94.9
$t_b$ , s	8.52	7.38	6.29
$r$ , mm/s	2.25	2.59	3.04
$C^*$ , m/s	1150	1166	1179

$$\pi_k = 0.393 \%/^{\circ}\text{C}$$

Table 6 Temperature sensitivity data of HTPEs/HMX (A-5) propellant

No.	1	2	3
Temp, kg/°C	-20	+20	+60
$W_p$ , kg	0.822	0.816	0.818
$K_N$	1990	1998	1990
$\bar{P}_b$ , kgf/cm <sup>2</sup>	74.6	86.7	98.9
$t_b$ , s	9.77	8.39	7.45
$r$ , mm/s	1.98	2.30	2.59
$C^*$ , m/s	1148	1150	1177

$$\pi_k = 0.353 \%/^{\circ}\text{C}$$

と HMX はほとんど似た熱力学的性質である事から融点の差によるものと考えられる。

粒度は大粒のみの場合低燃速となる。HMX が大粒のみの場合、圧力 70kgf/cm<sup>2</sup>において 1.7mm/s と非常に低燃速が可能となる。

### 3.2 小型ロケットモータによる燃焼特性

#### 3.2.1 $K_N$ の変化によるモータ燃焼性能

Table 3 に HTPE<sub>0</sub>/RDX=30/70 系の燃焼試験結果を示した。 $K_N$  は 1104~2217 まで変化させ、平均圧力は 38.0~134.8kgf/cm<sup>2</sup> の範囲で試験した。なお薬温はすべて +20°C で行なった。特性排気速度  $C^*$  の平均値は 1163m/s であり理論計算値 (Table 2) の 1196m/s の 97.2% であった。燃焼速度をチャンバ内平均圧力の指数関数で表わすと

$$Y = 0.371 \bar{P}_b^{0.443}$$

となる。圧力指数は 0.443 が得られた。この圧力指数は設計上問題ない値と考えられる。

一方、HTPE<sub>0</sub>/HMX=30/70 の燃焼試験結果を Table 4 にまとめた。HMX 系は RDX 系より低燃速速度であるため高い  $K_N$  により燃焼試験を実施してい

る。平均圧力 163.2kgf/cm<sup>2</sup> においても良好な燃焼性能を示した。圧力指数は 0.421 であり RDX 系より若干低い。また  $C^*$  についてもわずかながら HMX の方が低い事がわかった。これは RDX が HMX より単位重量当りの生成熱が若干高いためであると考えられる。RDX 系、HMX 系ともに圧力振動などの異常燃焼は観察されなかった。また燃焼排出ガスをビデオにより観察した結果、排出ガスはクリーンであり、燃焼後のチャンバ内には、ほとんど残渣は見られなかった。

また、RDX 系は 38kgf/cm<sup>2</sup>、HMX 系は 34.5kgf/cm<sup>2</sup> という低圧下で良好な燃焼性能を示し、ガスジェネレータとして比較的広い圧力領域における使用が可能であることがわかった。

#### 3.2.2 温度感度

同一の薬種について温度感度試験を実施した。Table 5 に HTPE<sub>0</sub>/RDX 系の結果を示している。 $K_N$  をほぼ一定として行ない、温度は -20~+60°C の範囲である。その結果  $\pi_k = 0.393\%/^{\circ}\text{C}$  となり充分実用性のある温度感度の値を示している。

一方HTPE<sub>s</sub>/HMX系の結果は Table 6 に示し、 $\pi_k = 0.353\%/^{\circ}\text{C}$  を得た。RDX 系と HMX 系を比較すると HMX 系の方が若干低い温度感度を示した。以上に示したように、ニトラミン系コンポジット推進薬のグレインデザインのための基礎データの取得が出来たので今後実用化への検討に際し、明るい見通しを得た。

#### 4. 結 論

ニトラミン系コンポジット推進薬の燃焼試験結果より以下に示す事項が明らかとなった。

- (1) 理論燃焼性能から、ガスジェネレータ用推進薬として適していることがわかった。すなわち排出ガスがクリーンであり、腐食性ガスの発生がなく、燃焼温度の低いにもかかわらず大量のガスを発生させる事が可能であり、さらにニトラミンを使用する事により耐環境性も向上すると考えられる。
- (2) ストランド燃焼試験結果から、RDX系はHMX系より高燃速となり、また使用するニトラミンの粒子径は大粒のものほど低燃焼速度となることがわかった。

(3) HMX (平均粒子径  $200\mu$ ) を70%含有し、ポリエステルを主鎖としたバイнда系において、圧力  $70\text{kgf}/\text{cm}^2$  で、燃速  $1.7\text{mm}/\text{s}$  と非常に低燃速が可能となる。

(4) HTPE<sub>s</sub>/RDX=30/70系およびHTPE<sub>s</sub>/HMX=30/70系の小型ロケットモータ燃焼試験結果から、温度感度はそれぞれ  $\pi_k = 0.393\%/^{\circ}\text{C}$ 、 $\pi_k = 0.353\%/^{\circ}\text{C}$  が得られ、ガスジェネレータ用推進薬として実用化の可能性が高まった。

#### 文 献

- 1) Kubota, N., "Combustion Mechanisms of Nitramine Composite Propellants" Eighteenth Symposium (International) on Combustion, p. 187, The Combustion Institute, (1981)
- 2) Cohen, N. S. and Price, D. F., "Combustion of Nitramine Propellants", AIAA 13th Aerospace Science Meeting, AIAA Paper, No. 75-238, AIAA, New York N. Y. (1975).
- 3) Cohen, N. S., "Review of Composite Propellant Burn Rate Modeling", AIAA J. Vol. 18, p. 277 (1980).

---

## Combustion Characteristics of Nitramine Composite Propellants

by Kanji NAKATSUKA\*, Kenji SUMIKAWA\*  
Naohisa SUZUKI\*, Takaaki FUKUDA\*

Nitramine composite propellants are suitable for gas generating composition because they give out neither smoke nor corrosive gas. Combustion characteristics of these propellants are examined by using the strand burner and the small rocket motors. Strand burning test data show that propellants containing RDX have higher burning rates than those containing HMX. Significantly low burning rate,  $1.7\text{ mm}/\text{s}$  was obtained in a HTPE<sub>s</sub>/HMX=30/70 formulation at  $70\text{ kgf}/\text{cm}^2$ . Burning test data using small rocket motors indicated that temperature sensitivity as low as  $\pi_k = 0.393\%/^{\circ}\text{C}$  (for HTPE<sub>s</sub>/RDX) and  $\pi_k = 0.353\%/^{\circ}\text{C}$  (for HTPE<sub>s</sub>/HMX) could be achieved.

These aspects of combustion characteristics can be utilized for designing gas generators.

(\*Chemicals & Explosives Laboratory, Taketoyo plant, Nippon Oil and Fats Co., Ltd., 82 Nishimon, Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi-ken, 470-23 Japan)