

## ニトラミンコンポジット推進薬の感度について

加藤一成\*, 清水治昭\*, 福田孝明\*  
米田園昭\*\*, 浅羽哲郎\*\*

ニトラミン含有コンポジット推進薬の衝撃起爆感度を主としてカードギャップテストを用いて求めた。

HMX 含有量, HMX の粒径と推進薬を起爆させるのに必要な臨界衝撃波圧力, 限界薬径との関係, 及び推進薬の密度が起爆感度に及ぼす影響について調べた。

これらの実験結果から, コンポジット推進薬に添加する HMX の量が10%前後ならば, 安全性の見地から問題ないと思われる。

### 1. 緒言

ニトラミン含有コンポジット推進薬は, 酸化剤の過塩素酸アンモニウム (以後 AP と略記) の一部を HMX, RDX などのニトラミンで置換したもので,

- (1) 高比推力が得られる。
- (2) 火炎温度が低い。
- (3) 低燃速が達成できる。

などの特徴を持ち, 将来の宇宙ロケット用上段モーターに適用することが予定されている。

しかし, 高性能爆薬であるニトラミンを成分として含むために, 製造上, 消費上その保安管理技術について検討する必要がある。そのために, 従来, 落錘感度試験, 摩擦感度試験などが行なわれてきたが, 今回, 更に定量的な起爆感度を得るためにカードギャップテスト等の試験を行なった。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験概要

Fig. 1 にカードギャップテスト装置を示す。ドナー爆薬は RDX 及び NG を主成分とする高性能爆薬で内径 28mm, 長さ 50mm の塩ビパイプに装填した。装填密度 1.57g/cm<sup>3</sup> の爆速を呈し, 爆轟圧は約 240 kbar と推定される。このドナー爆薬を厚さ 2mm のアルミニウム飛翔板を用いて起爆させた。飛翔板を駆動させた爆薬はドナー爆薬と同一のもの (内径 28mm, 高さ 10mm の塩ビパイプに装填し薬量約 17g) で, 駆動距離は 30mm である。ギャップ材は, 従来よく使用されてい

\*日本油脂株式会社 化学研究所  
〒470-23 愛知県知多郡武豊町宇西門 82  
TEL 05697-2-1221

\*\*東京大学工学部反応化学科  
〒113 東京都文京区本郷 7-3-1  
TEL 03-812-2111 内線 7297

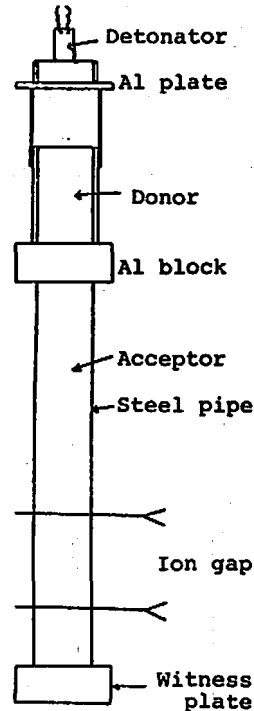


Fig. 1 Card gap test apparatus

るアクリルは衝撃特性が種々報告されており<sup>1)2)</sup>, Liddiard の求めた特性式は高压側と低压側とで 2 段になっているが, この現象に対する十分な解明もされていない。そこで, 本実験ではギャップ材にアルミニウム (1100) を用いた。試料推進薬は内径 35mm, 長さ 200mm の鉄管に注型し, 硬化させた。また, 試料推進薬が爆轟した場合の爆速測定法として, イオンギャップ法及び連続抵抗線法を用いた<sup>3)</sup> (Fig. 2)。連続抵抗

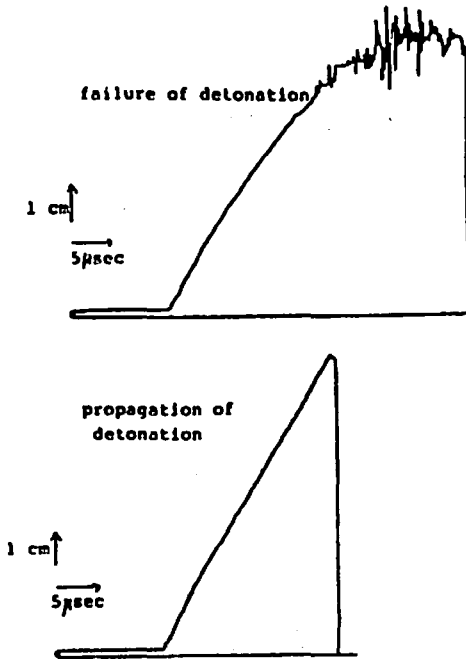


Fig. 2 Oscillograms showing the continuous rate measuring probe response

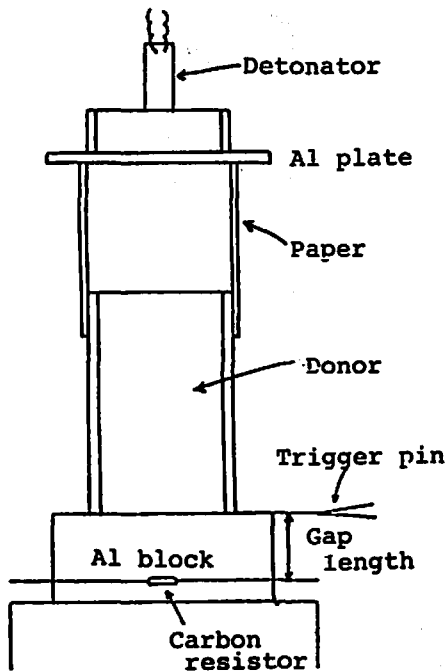


Fig. 3 Apparatus to get calibration curve

線によるオシログラムは鉄管の破壊状況と共に試料の燃・不燃の判定にも用いた。

## 2.2 圧力較正曲線

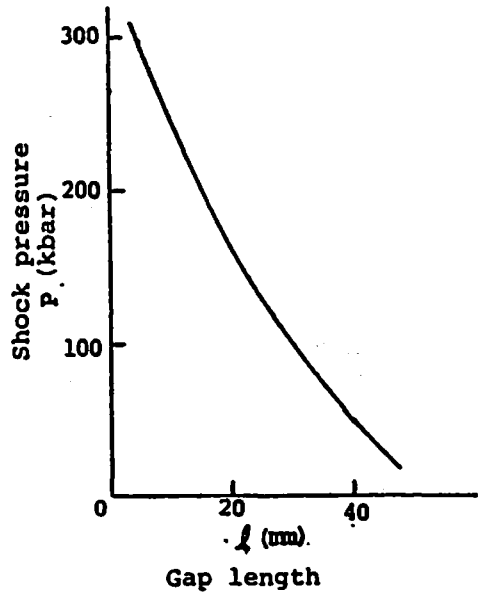


Fig. 4 Shock pressure versus gap length

本実験システムの衝撃波圧力較正曲線を得るために、Fig. 3 に示すような実験を行なった。アルミブロック中にカーボン抵抗を埋め込み、衝撃波がアルミ中を距離  $l$  (mm) だけ進むのに要する時間  $t$  ( $\mu\text{sec}$ ) を測定した。カーボン抵抗を用いたのは、衝撃波圧力による抵抗値の変化を測定しようとしたからである。定電圧をかけ抵抗値の変化から衝撃波圧力を求める測定法<sup>4)</sup>を参考に、今回の実験で得られたアルミニウム中の衝撃波圧力をインピーダンス整合法によりカーボンに射した圧力に換算し、この圧力と抵抗変化の関係を求めようとしたわけであるが、この結果については本論から外れるので触れないこととする。実験結果を最小自乗法で二次式に近似すると、次のようになった。

$$t = -0.007883 + 0.1303l + 5.3835 \times 10^{-4}l^2 \quad (1)$$

従って衝撃波速度  $U_S$  (mm/ $\mu\text{sec}$ ) は

$$U_S = \frac{1}{0.1303 + 0.001077l} \quad (2)$$

となる。衝撃波を一次元と仮定すると、運動量保存則から衝撃波圧力  $P$ 、初期密度  $\rho_0$ 、衝撃波速度  $U_S$ 、粒子速度  $U_P$  の間には

$$P = \rho_0 U_S U_P \quad (3)$$

の関係がある。アルミニウム 1100 は密度が  $2.712\text{g}/\text{cm}^3$  で

$$U_S \text{ (mm}/\mu\text{sec}) = 5.38 + 1.34 U_P \quad (4)$$

なる衝撃特性を示すので、(2)、(3)、(4)式から

$$P \text{ (kbar)} = \frac{6.050 - 0.1173l}{(0.1303 + 0.001077l)^2} \quad (5)$$

となる。この関係を図示したのが Fig. 4 である。また、カーボン抵抗の厚みは 2.4mm であり、この厚みによる圧力の測定精度は 10kbar 程度である。

この校正曲線が使用できるのはギャップ長が 50mm 以下の時である。また、この圧力はアルミ中の衝撃波の圧力であり、ギャップと試料との界面での値とは異なることに注意しなければならない。

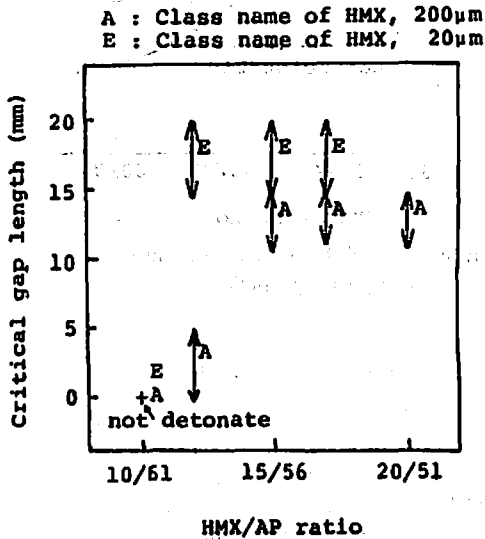


Fig. 5 Critical gap length of the propellants containing HMX

### 3. 実験結果

#### 3.1 HMX 量及び HMX の粒径の効果

Fig. 5 に HMX 量と臨界ギャップ長との関係を示す。試料推進薬は末端水酸基ポリブタジエン (以後 HTPB と略) バインダー系で、基準組成は

HTPB バインダー/Al/AP=11/18/71

で、AP の一部を HMX で置換したものである。図中で A, E とあるのは HMX の粒径を表す記号で、それぞれ平均粒径が約 200 $\mu$ m 及び 20 $\mu$ m である。臨界ギャップ長を衝撃波圧力に換算し、図示すると Fig. 6 のようになる。この図から次のようなことがわかる。

①クラス A の HMX 含有率が 12% から 15% に変化すると、臨界衝撃波圧力が約 100kbar (Al 中での値) 低くなる。また、クラス E の HMX を 10% 含有する推進薬はギャップなしで爆轟しないが 12% 含有する推進薬は爆轟する。このことから、HMX 含有量が 10% から 15% に変化すると衝撃起爆感度に大きな差があると言える。

②粒径の細かい HMX を含む推進薬の方が、粗い HMX を含むものよりも衝撃起爆感度が高い。

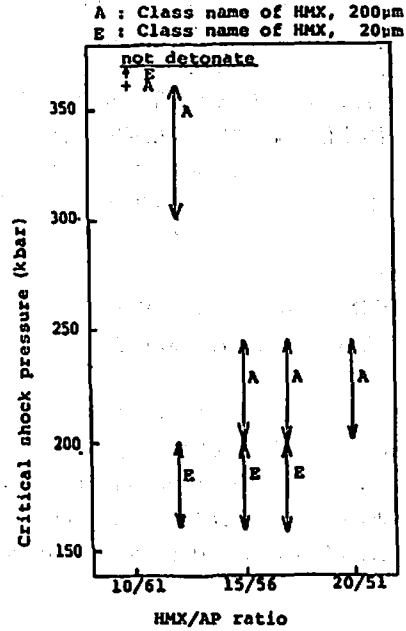


Fig. 6 Critical shock pressure in aluminum alloy barrier for the composite propellants containing HMX

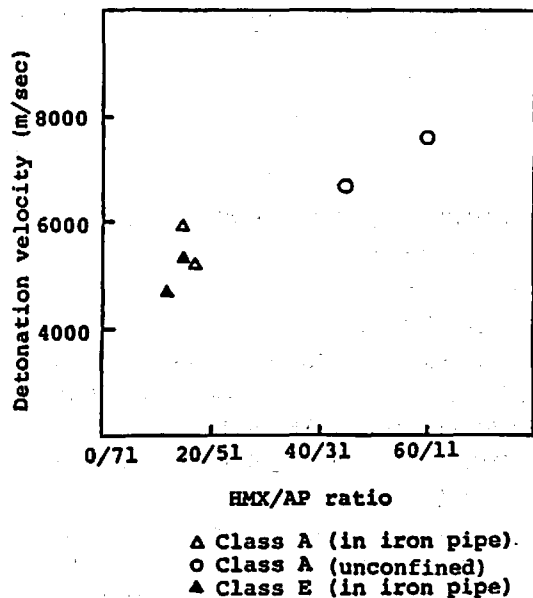


Fig. 7 Detonation velocity of the nitramine composite propellants

③HMX 含有量がクラス A, E でそれぞれ 15~20%, 12~17% の所では衝撃起爆感度に大きな変化が見られない。

不均一爆薬の衝撃起爆過程は、衝撃波面上あるいは

その背後でホットスポットが生じ、その化学反応エネルギーが衝撃波を加速し爆轟に至ると解されている。しかし、ホットスポットの生成の原因については、密度不連続の点での衝撃波の相互作用、衝撃波面背後での弾性-塑性変化、衝撃波による相変化、結晶中の欠陥などの諸説があり、いまだ定説はない。ただ、本実験により、HMX を多量に含む推進薬は分解速度が速く、ホットスポットが生じやすくなり、起爆感度が高くなるといえる。

また、HMX の粒径の違いがこの起爆過程に何らかの変化をもたらしていると言えるが、詳細についてはわからない。

HMX 含有推進薬が爆轟した場合の爆速であるが、Fig. 7 に示すように HMX を15%程度含有する場合（初期密度1.75g/cm<sup>3</sup>、薬径35mm、厚さ2mmの鉄管中）で5500m/sである。裸包ではあるが、HMX を45%、60%含む場合の爆速はそれぞれ6700m/s、7600m/s

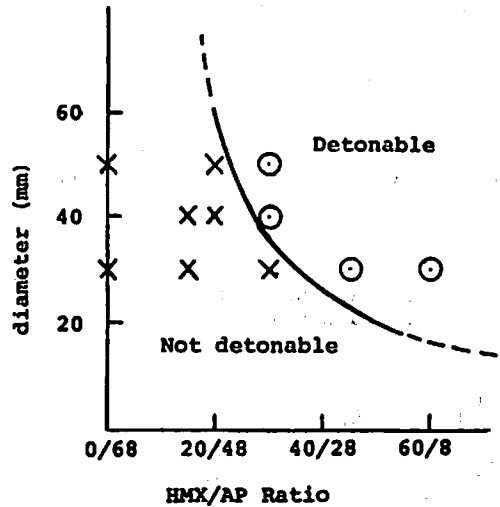


Fig. 8 Critical diameter of the nitramine composite propellants

Table 1 Detonability of the nitramine composite propellant with voids  
Binder/Al/AP/HMX (E) = 14/18/56/15

| glass micro-balloon content (%) | propellant density (g/cm <sup>3</sup> ) | detonability  |
|---------------------------------|---|---------------|
| 0                               | 1.75                                    | not detonable |
| 0.5                             | 1.74                                    | not detonable |
| 1.0                             | 1.73                                    | detonable     |
| 2.0                             | 1.71                                    | detonable     |

となり HMX 量が増加するにつれて爆発威力も増大することが確認された。

### 3.2 限界薬径

推進薬の薬径が起爆感度に及ぼす影響を見るために、種々の組成・薬径の推進薬にドナー爆薬の爆轟圧を直接入射させ、その爆否を調べた。推進薬の基準組成は、

HTPB バインダー/Al/AP=14/18/68

で、HMX はクラス A のものを用い、推進薬は裸包である。実験結果を Fig. 8 に示す。

図中に大略の限界薬径曲線を引いてあるが、HMX 含有率が20%以下の所で急激に上昇しており、HMX を少量含む場合の限界薬径を外挿することは困難である。

### 3.3 推進薬密度

推進薬の密度が起爆感度に及ぼす影響を調べるために、推進薬にガラスマイクロバルーン (G. M. B) を加えて、Fig. 1 に示す装置でギャップ材を置かずにドナー爆薬の爆轟圧を直接試料に入射させた。試料は裸包とし、薬径は28mmである。

実験結果を Table 1 に示す。G. M. B. を1~2%加

えると推進薬中に空隙が生じ、そこでの衝撃波の相互作用によりホットスポットが生じ易くなり、起爆感度が高くなると思われる。

### 3.4 その他の試験結果

その他の試験として、次のような実験を行なった。

#### ①熱分解特性試験

HMX 含有 (クラス E, 10%) コンポジット推進薬、通常のコンポジット推進薬及び HMX 単体について DT A 試験を行なった。

#### ②落錘感度試験

5kgハンマーを用いて通常のコンポジット推進薬、HMX 含有コンポジット推進薬 HMX, AP について1/6 爆点を求めた。

#### ③摩擦感度試験

山田式摩擦試験機を用いて、発火する荷重を求めた。

①の結果を Fig. 9 に示す。HMX 含有コンポジット推進薬は通常のコンポジット推進薬と比較して、分解温度が約65℃低くなっており、HMX 単体の分解温度とほぼ一致している。このことは、カードギャップテ

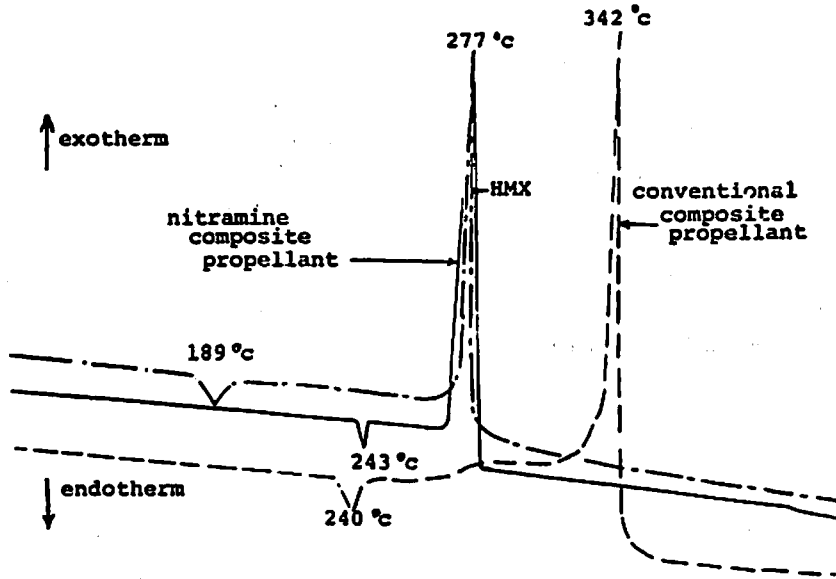


Fig. 9 DTA curves of the propellants and HMX

Table 2 Mechanical impact sensitivity and friction sensitivity  
the weight of the hammer is 5 kg

| Sample                                    | Test | Drop hammer test<br>height (cm) | Friction test<br>load (kg) |
|---|------|---------------------------------|----------------------------|
| Conventional<br>propellant                |      | 10~15                           | 520                        |
| propellant with HMX<br>(A) content of 15% |      | 10~15                           | 400                        |
| propellant with HMX<br>(E) content of 15% |      | 10~16                           | 400                        |
| HMX (A) 200 $\mu$ m                       |      | 10~15                           | 200                        |
| HMX (E) 20 $\mu$ m                        |      | 10~15                           | 200                        |
| Ammonium<br>perchlorate 200 $\mu$ m       |      | 15~20                           | 400                        |
| Ammonium<br>perchlorate 20 $\mu$ m        |      | 15~20                           | 400                        |

ストの結果から HMX を添加することによりホットスポットが生じ易くなるという推定を裏付けると言える。

②, ③の結果を Table 2 に示すが, HMX 含有コンポジット推進薬と通常のコンポジット推進薬との落錠感度はほぼ同等であり, HMX の粒径の違いによる影響も見られない。また, 推進薬の落錠感度と HMX, AP 単品の落錠感度もほぼ同等であると言える。

摩擦感度は HMX を含有する方がやや高くなっているが, ここでも HMX の粒径の影響は出ていない。

②, ③の試験結果とカードギャップテストの結果とが, 若干, 定性的に一致しないのは, 各試験法で与えた刺

激の形態が異なるために起爆過程の起構にも違いがあるからであろう。

#### 4. 結論

以上の実験結果から次のようなことがわかった。

- (1) カードギャップテストから, HMX の粒径によらず, 含有率が約 12% を越えると衝撃起爆感度が大きく変化し, 鋭感となる。
- (2) 細粒の HMX を含む推進薬の方が衝撃起爆感度が高い。
- (3) HMX (クラス A) の含有率が 20% 以下になると, 限界薬径は急激に大きくなり 50mm 以上となる。

(4)熱感度、摩擦感度においては、HMX含有コンボジット推進薬は通常のコンボジット推進薬よりも幾分鋭感であるが、落穂感度については両者はほぼ同等である。

これらを総合すると、安全性の見地からコンボジット推進薬に添加するHMXの量は10%前後におさえることが望ましいと首える。

#### 文 献

- 1) T. P. Liddiard, Jr., Proceedings 4th Symp. (International) on Detonation, 213 (1965)
- 2) W. J. Halpin and R. A. Graham, *ibid*, 222

(1965)

- 3) J. Ribovich, R. W. Watson and F. Gibson AIAA Journal, 6, 1260 (1968)
- 4) R. W. Watson, Rev. Sci. Instrum, 38, 978 (1967)
- 5) S. P. March, "LASL Shock Hugoniot Data", P. 165 (1980), University of California Press.
- 6) S. J. Jacobs, T. P. Liddiard, Jr and B. E. Drimmer, 9th Symp. (International) on Combustion, 517 (1963)

---

### Detonability of a Composite Propellant Containing Nitramine

by Kazushige KATO\*, Haruaki SHIMIZU\*, Takaaki FUKUDA\*  
Kuniaki YONEDA\*\*, Tetsuro ASABA\*\*

The authors examined sensitivity of composite propellant containing nitramine by means of card gap test and other tests.

The critical shock pressure and critical diameter required to initiate detonation in the test propellant were examined as a function of content of HMX and particle size of HMX. And the effect of porosity of propellant on the sensitivity was examined.

From these experimental results, there is no marked difference in sensitivity between the composite propellant with HMX content of 10% and the conventional composite propellant.

(\*Nippon Oil and Fats Co.Ltd., Taketoyo Plant, 82, Nishimon,  
Taketoyo-Cho, Chita-Gun, Aichi-Ken 470-23

\*\*Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering, University  
of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113)