



商 品 名	組	成
エマルゲン 104P	ポリオキシエチレンラウレルエーテル	
エマルゲン 106		
エマルゲン 109P		
エマルゲン 903	ポリオキシエチレンノニルフェニルエーテル	
エマルゲン 905		
エマルゲン 909		
エキセパール BP-DL	ポリオキシエチレンビスフェノールAラウリン酸	エステル
ビニサイザー 80	フタル酸ジ-エチルヘキシル	
ビニサイザー 126	フタル酸エステル	
トリメックス T-08	トリメリット酸2-エチルヘキシル	

TDIを加えて攪拌する。攪拌終了後、これをアルミ製型枠に密装填し、定温真空乾燥機内に定置して、60℃、48時間以上で硬化させる。

2.2 引張試験、摩擦感度試験、発火点試験、および落軸感度試験

標記の試験はいずれも第1報<sup>1)</sup>と同じ方法で行った。

### 2.3 爆速測定

爆速測定は、流しカメラ法<sup>1)</sup>とイオンギャップ法により行った。イオンギャップ法は、概ね工火協規

格ES-41(2)爆速試験方法(2)に従った。爆薬充填管は硬質塩化ビニール管(内径20mm、外径26mm、長さ200mm)で、爆速測定孔(1.5mm径)が正確に100mm間隔で2点開けてある。エナメル線は0.43mm径のものを使用した。爆薬(PBX)の起爆には6号電気雷管1本と伝爆薬(テトリル)5gを使用した。

計時装置には、岩通電子製ユニバーサルカウンターSC-7203型(計時最小単位0.1μs)を使用した。

### 2.4 細径爆薬爆発試験による爆発限界巾の検討

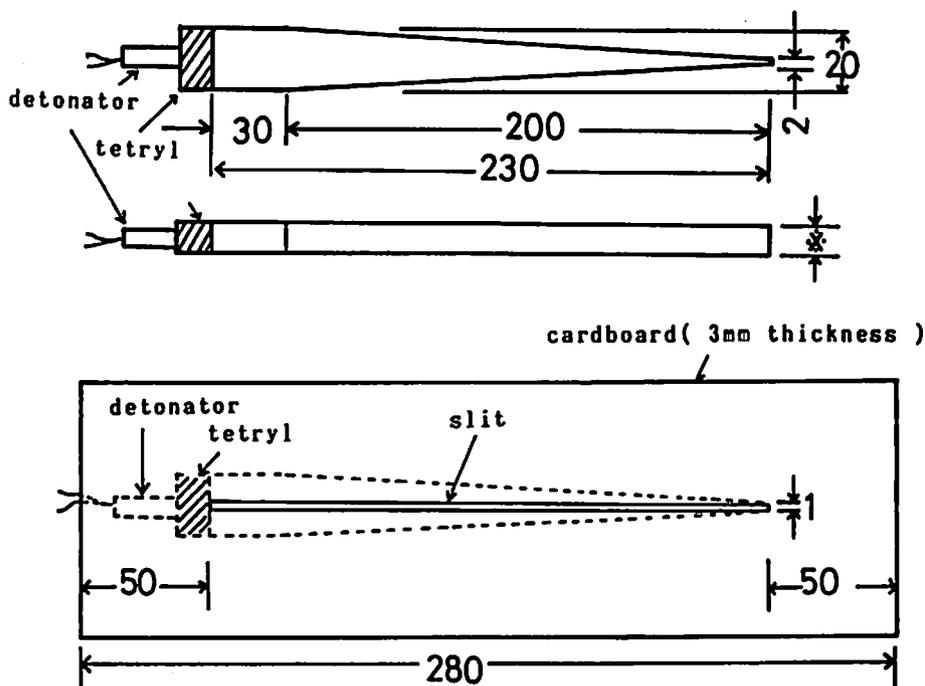


Fig 1 Experimental set-up for measurement of critical width for detonation (unit: mm)  
\*: thickness 3mm, 5mm or 8mm

試料の形状をFig. 1に示す。測定に使用したPBXはHMX配合比が60%, 75%, 90%の3種類である。HMX配合比が低くなると、伝爆性が悪くなり、爆発限界巾が大きくなる。試料の厚さは各組成につき、3mm, 5mm, 8mmの3種類とした。

試料を厚さ3mmの鋼板上に置き、6号電気雷管(日本化薬製)と伝爆薬(テトリル)で起爆し、鋼板上に示された爆痕からPBXの爆発伝播性を検討した。

なお、伝爆薬量は試料の厚さ3mm, 5mm, 8mmに対して、それぞれ1.4g, 1.9g, 3.8gとした。

また、厚さ2mmの厚紙に1mm巾で、試料長(230mm)と同じ長さのスリットを作り、試料PBXの中心軸とスリットが合うように設置して爆発させ、これを流しカメラ(日立高速度流しカメラSP-1型、掃引速度0.5~4mm/ $\mu$ s)により観測、試料全体の爆発状態を爆痕と併せて検討した。

### 2.5 雷管起爆感度

測定した試料は、HMXの配合比が60~90%のPBXである。HMXの配合比が低くなると、雷管起爆感度も低下する。実験は試料PBXを硬質塩化ビニール管(内径20mm, 外径26mm, 長さ200mm)に充填し、これを鋼板(3mm厚)上に置き、伝爆薬なしで6号電気雷管(日本化薬製)1本で起爆した。鋼板上に生じた爆痕よりPBX爆発の有無を調べた。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 硬化状態の観察

HMXの配合比が高くなるとPBXは高爆速になるが、可塑性が失われる。そこでHMX/バインダの配合比を90/10と一定にし、添加剤をバインダに対して0.5%添加して、PBXを作成することとした。これを引張試験材と同じダンベル型に成形して、その硬化状態を観察した。

エマルゲン104P, 106及び109Pを添加したPBXの成形品は脆性が強く、手で触るだけで簡単に形が崩れ、試料に亀裂が入りやすかった。エマルゲン903, 905及び909を添加したPBXも、成形品は脆く、崩れやすかった。

エキセパールBP-DL添加のPBX成形品は全体的に自己支持性充分であり、硬化状態良好と判断された。また成型枠より容易に取り出すことができた。

ビニサイザー80及び126を添加したPBX成形品は成型枠から取り出しが容易であり、全体的に硬く、弾力性があった。

トリメックスT-08添加のPBX成形品も全体的に硬く、弾力性に富んでいた。

なおHMX/バインダの配合比90/10で添加剤を添加しない場合はPBXの硬化状態が悪く、試料全体がぼろぼろして粉状化の傾向を示し、ダンベル型に成

Table 1 Effect of additives on mechanical properties of the PBX(HMX 90%)

additive		tensile strength(MPa)		elongation(%)	
name	quantity (wt. %/binder)	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$
Emulgen 104P	0.5	0.049	-	1.3	-
Emulgen 109P	0.5	0.045	-	1.2	-
Emulgen 903	0.5	0.040	-	1.1	-
Emulgen 905	0.5	0.040	0.004	1.8	-
Emulgen 909	0.5	0.043	0.001	2.2	0.17
	1.0	0.059	0.020	2.1	0.16
Vinsizer 80	0.5	0.105	0.008	1.0	0.10
	1.0	0.060	0.003	2.6	0.50
Vinsizer 126	0.5	0.090	0.006	1.9	0.13
	1.0	0.036	0.009	2.9	0.29
Trimex T-08	0.5	0.097	0.011	1.7	0.21
	1.0	0.052	0.012	3.4	0.48
Exepal BP-DL	0.5	0.050	0.010	2.0	0.22
	1.0	0.065	0.008	2.3	0.34

Table 2 Effect of additives on sensitivity of the PBX (HMX 90%)

additive		BAM friction test 1/6 explosion point (kg)	ignition point test. 4sec. (°C)	drop hammer test 1/6 explosion point (cm)
name	quantity (wt. %/binder)			
—	0	14.4	359	10.5
Vinysizer 80	0.5	17.1	383	8.3
	1.0	17.4	367	11.0
Trimex T-08	0.5	16.2	393	10.2
	1.0	15.6	366	12.0
Exepal BP-DL	0.5	16.8	399	7.1
	1.0	15.2	376	10.0

形したものと取り出すことができなかった。PBXの硬化状態に対する添加剤の効果は上記結果より明白である。

### 3.2 引張試験

HMX/バインダの配合比90/10において、添加剤をバインダに対して0.5%添加したPBXについて引張試験を行った。その試験結果より特に効果の認められたもの4種類およびエマルゲンの中から1種類(エマルゲン909)を、バインダに対して1.0%添加したPBXについて引張試験を行った。試験結果をTable 1に示す。

Table 1から分かるように、添加剤を0.5%添加の場合、ビニサイザー80、126及びトリメックスT-08を添加したPBXの引張強さが大きかった。

添加剤1.0%の場合には、ビニサイザー126を添加したPBXの引張強さが低かった。以上の結果より、ビニサイザー80とトリメックスT-08の添加が引張強さを大きくすることが分かる。すなわち、ベンゼン核に水酸基が2乃至3ついた酸の2-エチルヘキシルアルコールとのエステルがよかった。

### 3.3 摩擦感度試験

HMX/バインダ=90/10と一定にしたPBXについて、エキセパールBP-DL、ビニサイザー80及びトリメックスT-08を0%、0.5%または1.0%添加した場合の摩擦感度を測定し、1/6爆点を求めた。Table 2に試験結果を示す。

Table 2より、添加剤を添加したPBXの摩擦感度は添加剤なしのPBXのそれよりも鈍感になっていることが分かる。

樹脂添加剤の添加量は爆薬全体に対して、せいぜい0.1%である。従って、樹脂添加剤の添加によるHMXの配合比の減少およびそれに起因する感度の変化は誤差の範囲と見做してよい。このことは、3.6に記す爆速についても言えるであろう。

### 3.4 発火点試験

摩擦感度試験の場合と同じ試料PBXについて発火点を測定した。

結果をTable 2に併記した。添加剤の有無によるPBXの発火点を比較した場合、添加剤を加えたPBXの発火点は、添加剤なしのそれに比べて若干高くなっている。これは添加剤を添加したPBXは熱に対して鈍感になっているものと考えられる。

### 3.5 落槌感度試験

落槌感度も摩擦感度試験の場合と同種のPBXについて測定した。結果を同じくTable 2に記した。

添加剤を添加したPBXの落槌感度は、添加剤なしの場合と比較して、僅かではあるが、鋭感になったものも、鈍感になったものもあった。この結果より、添加剤による落槌感度の鈍感化はあまり期待出来ないことが分かる。しかし、添加量1.0%のPBXは0.5%添加のものより鈍感になっている。

### 3.6 爆速測定

本研究に用いた各種添加剤の中で、硬化状態、材料試験、摩擦感度において効果が著しいと見られるビニサイザー80とトリメックスT-08について、これらを0.5%または1.0%添加したPBXを作成し、イオンギャップ法により爆速測定を行った。

測定結果をTable 3に示す。また、理論最大密度 $\rho_{TM}(g/cm^3)$ における爆速値 $D(km/s)$ を次式<sup>2)</sup>によって計算し、表中に示した。

$$D = D_0 + (\rho_{TM} - \rho_0) \times 3.0$$

ここに $D_0$ はPBXの充填密度 $\rho_0(g/cm^3)$ における爆速測定値である。添加剤の添加によって、PBXの爆速は添加剤なしのものに比較して若干低下するが、その低下率は最大でも1.4%であった。従って添加剤の爆速に与える影響は殆どないものと考えて良い。

### 3.7 細径爆薬爆発試験による爆発限界

Table 3 Detonation velocity of the PBXes (HMX 90%)

additive		measured		calculated
name	quantity (wt. %/binder)	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_0$ (kg/s)	D (kg/s)
—	0	1.62	7.83	8.37
Vinysizer 80	0.5	1.61	7.78	8.35
	1.0	1.62	7.82	8.36
Trimex T-08	0.5	1.59	7.65	8.28
	1.0	1.63	7.74	8.25

$\rho_{TM} : 1.80 \text{ g/cm}^3$

Table 4 Critical detonable width of the PBX cartridges

HMX/binder (wt. %)	additive	thickness of PBX sample		
		3mm	5mm	8mm
		critical width (mm)		
60/40	—	20<	5	2>
	Vinysizer 80 1.0wt. %	20<	8	3
	Trimex T-08 1.0wt. %	20<	9	4
75/25	—	4	2>	2>
	Trimex T-08 1.0wt. %	4	2>	2>
90/10	—	2>	2>	2>
	Trimex T-08 1.0wt. %	2>	2>	2>

この試験における爆発限界は鋼板上の爆痕と、流しカメラ法による観測から確認した。

流しカメラ法による写真の一例をFig. 2に、また、測定値をTable 4に示す。

HMX 60%のPBXでは、添加剤の添加により3種の薬厚のうち5mmと8mmではPBXの爆発限界巾が大きくなった。その順序はトリメックスT-08>ビニサイザー80>添加剤なし、であった。

HMX 75%及び90%のPBXについては、HMX 60%の場合に大きな影響を与えたトリメックスT-08添加と、添加剤なしのPBXについて爆発巾を比較した。しかし、いずれのPBXも最小巾まで完爆し、添加剤の有無による相違は認められなかった。

以上の結果より、PBX中のHMXの配合比が低くなるに従い、添加剤の爆発巾に対する影響が大きくなることが認められた。

### 3.8 雷管起爆感度

バインダに対して1%のトリメックスT-08を添加したPBXについて、雷管起爆感度試験を行い、添加

剤なしのPBXのそれと比較した。結果をTable 5に示す。

HMX 75%以上の場合は添加剤の有無にかかわらず、PBXは全て完爆し、添加剤の影響は見られなかった。

HMX 60~70%のPBXでは、添加剤は起爆及び伝爆性に影響を及ぼすことが分かる。

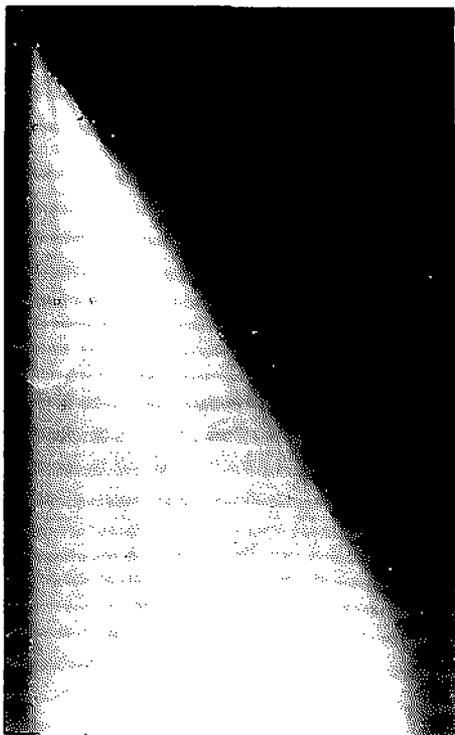
### 4. 結論

HMXとBDNPA/Fを含むウレタン系PBXにおいて、バインダの組成は一定にし、HMXにはA級4:E級1の混合物を使用した。HMX/バインダの配合比を60/40~90/10にとり、バインダに対して0~1%の添加剤を配合したPBXについて、硬化状態の観察、引張試験、爆薬的性能試験等を行い、添加剤のPBXに対する効果を検討した。

その結果、以下の結論を得た。

- (1) HMXの配合比が高いHMX/バインダ=90/10のPBXにおいて、添加剤を配合しない場合に、硬化物は粉状に近く、可塑性が認められなかったが、添加剤(10種)を添加したPBXでは、いずれ

(1)



(2)



Fig 2 Streak photographs of PBX samples ( 1 ) completely exploded, and ( 2 ) not completely exploded.

Table 5 Detonability of th PBXes  
(Additive: Trimex T-08)

HMX/binder (wt. %)	additive (wt. %/binder)	density ( g / $cm^3$ )	detonability
60/40	0	1.54	×
	1.0	1.58	×
65/35	0	1.48	○
	1.0	1.58	×
70/30	0	1.56	×
	1.0	1.67	×
75/25	0	1.64	○
	1.0	1.59	○
80/20	0	1.62	○
	1.0	1.65	○
90/10	0	1.53	○
	1.0	1.53	○

○ : completely detonated

× : not detonated

も可塑性が認められた。

- (2) 引張試験において、ビニサイザー80、トリメックスT-08を添加したPBXは、引張強さに大きな値を示した。添加剤なしのPBXでは、可塑性がないため、試料片の作成が出来なかった。
- (3) 添加剤の添加により、PBXの摩擦感度は、添加剤のない場合に比較して鈍感になり、発火点は高くなった。落錘感度は両者に差が見られなかった。
- (4) 添加剤の添加により、PBXの爆速は、添加剤のない場合よりも極く僅かながら低下した。また、細径爆薬を用いた爆発限界巾は若干大きくなり、

雷管起爆感度は多少鈍化した。

本実験を行なうにあたり、火薬工業技術奨励会の研究助成金を使用させていただき、中因化薬綱から種々御援助を賜った。また、防衛大学校本科学学生玉井隆司氏と中野聡氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 文 献

- 1) 佐藤純一, 渋谷幹, 米村ゆかり, 中原正二, 工業火薬, 53(2), 59(1992)
- 2) L. R. Rothstein and R. Petersen, *Propellants and Explosives*, 4, 56(1979)

---

## Explosive properties of urethan-based PBXes containing HMX and BDNPA/F (Ⅲ)

### Effect of additives for plastics

by Jun'ichi SATO\*, Miki SHIBUYA\*, Yukari YONEMURA\*  
Katuo NAKAMURA\* and Shoji NAKAHARA\*

In the urethan-based PBXes containing HMX (a mixture of class A HMX 4: Class E HMX 1) and BDNPA/F, written in the preceding reports, some additives were added 0~1 % of the binder.

Effects of the additives on explosive properties of the PBXes were examined.

The following conclusions were obtained.

- (1) When the weight ratio of HMX/binder is 90/10, a PBX containing no additive does not indicate plasticity, but PBXes containing the additives shows plasticity.
- (2) PBXes, containing additives Vynysizer 80 or Trimex T-08 have higher tensile strength than others.
- (3) By adding the additives in the PBX, friction sensitivity of the PBX becomes lower, ignition temperature becomes higher and impact sensitivity by drop hammer test doesn't change.
- (4) By adding the additives in the PBXes, detonation velocity of the PBX becomes a little lower, critical width for detonation becomes slightly larger, and cap sensitivity becomes lower.

(\*The National Defense Academy, YOKOSUKA, 239 JAPAN)