

Fig. 1 Typical records of ion-gap signal with different aluminum plate thickness.

下のイオンギャップの通電時間差をパルス発生回路を通じて2台のデジタルオシロスコープ(ニコレー社製PRO60, サンプルング時間5 ns/point)で測定した。

図1に代表的な測定例を示す。

通過時間  $t$  ( $\mu\text{s}$ ) と板厚  $L$  (mm) の関係を  $t = a + bL + cL^2$  の放物線式で近似して最小自乗法を用

いて  $a, b, c$  を求めると、

$$t = 0.148 + 0.145L + 3.98 \times 10^{-4}L^2 \text{ が得られた。}$$

アルミ板上端面から距離  $L$  点における瞬間衝撃波速度 ( $U_{s, Al}$  [mm/ $\mu\text{s}$ ]) は上式から距離を時間で微分すると求まる。

$$U_{s, Al} = dL/dt = 1 / (0.145 + 7.96 \times 10^{-4}L) \quad (1)$$

次に、アルミ板中を通過する衝撃波を一次元に近似し、アルミ板内の粒子速度を  $U_{p, Al}$  とすると、使用したアルミ板のニゴニオ式 (2) <sup>6)</sup> が適用できる。

$$U_{s, Al} = 5.35 + 1.34U_{p, Al} \quad (2)$$

この (1), (2) 式と一次元衝撃波の運動量保存式 (3) を用いて、アルミ板中の衝撃波圧力  $P_{Al}$  (GPa) と板厚  $L$  の関係を求める。この関係を表1に示す。

$$P = \rho U_s U_p \quad (3)$$

ここで、 $P$ : 衝撃波圧力,  $\rho$ : 密度,  $U_s$ : 衝撃波速度,  $U_p$ : 粒子速度である。

### 2.1.2 カードギャップ試験<sup>3)</sup>

長さ50mm内径37mmの32A炭素鋼鋼管に注型した推進薬試料を前項で使用した鉄板の上に置き、6号電気雷管で起爆させたベントライトの衝撃波をアルミ板を介して入射させた。Up and down法にてギャップ長を5mm間隔で増減して推進薬試料の爆発率が0/3の点を取り、推進薬試料の爆発限界ギャップ長とした。

## 2.2 爆轟特性

### 2.2.1 爆速測定

衝撃によって推進薬が爆轟した際の爆轟特性を知るために爆速測定を実施した。固体推進薬の爆速  $D$  (mm/ $\mu\text{s}$ ) は、長さ200mm内径37mmの32A炭素鋼鋼管に注型

Table 1 Shock velocity, particle velocity and shock pressure in aluminum plate

$L$ [mm]	$U_{s, Al}$ [mm/ $\mu\text{s}$ ]	$U_{p, Al}$ [mm/ $\mu\text{s}$ ]	$P_{Al}$ [GPa]
50	5.41	0.0455	0.666
40	5.66	0.228	3.48
35	5.79	0.325	5.08
30	5.92	0.426	6.82
25	6.06	0.533	8.73
20	6.21	0.645	10.8
15	6.37	0.763	13.1
10	6.54	0.887	15.7
5	6.71	1.02	18.4

$L$ : aluminum plate thickness,  $U_{s, Al}$ : shock velocity in aluminum plate  
 $U_{p, Al}$ : particle velocity in aluminum plate,  $P_{Al}$ : shock pressure in aluminum plate

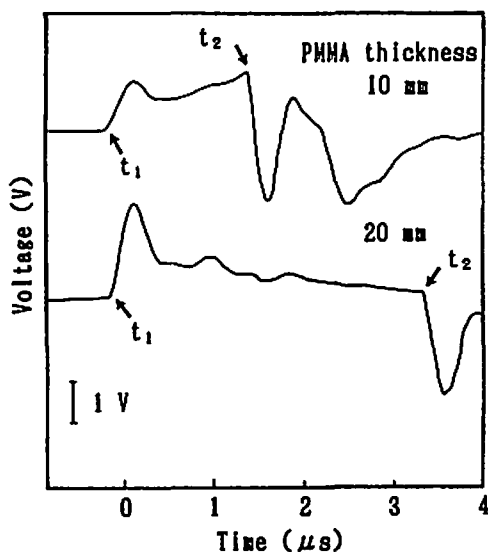


Fig. 2 Typical records of shock-induced polarization signal with different PMMA plate thickness.

した推進薬試料に50mmおきに3本のイオンギャップを挿入し、イオンギャップの通電時間差から求まる二つの値の平均とした。起爆は、2.1.1項に示す6号電気雷管とベントライトで実施した。

### 2.2.2 爆轟圧測定

固体推進薬が爆発に至った場合に放出するエネルギーの程度を知るため、爆轟圧測定を実施した。測定にはアクリル樹脂の衝撃波通過に伴う誘電分極を応用した<sup>7,8,9)</sup>。

固体推進薬の爆轟による衝撃波のアクリル樹脂板内通過時間は、長さ50mm内径37mmの32A炭素鋼管に注型した推進薬試料を厚さ約10mmと約20mmの上下面に導電塗料を塗布し電極を埋め込んだアクリル樹脂板(50mm×50mm、密度1.186g/cm<sup>3</sup>)の上にセットし、2.1.1項の方法で起爆させ、衝撃波によるアクリル樹脂板の誘電分極信号を51Ωの抵抗を介してデジタルオシロスコープで計測した<sup>8)</sup>。

図2に代表的な測定例を示す。衝撃波は $t_1$ でアクリル樹脂板に入射し、 $t_2$ で通過しており、この間の時間が通過時間である。この時間とアクリル樹脂板の厚さの関係から、衝撃波の平均速度 $U_{s, PMMA}$ が求まる。アクリル樹脂板内を伝わる衝撃波の粒子速度 $U_{p, PMMA}$ はアクリル樹脂板の厚さの1次関数として減衰するので、測定された平均速度に対応する粒子速度は厚さの1/2点における粒子速度に対応する。測定された $U_{s, PMMA}$ を下に示すPMMAのユゴニオ式<sup>6)</sup>に代入すると平均粒子速度が得られる。平均粒子速度と板厚( $L_{PMMA}$ )とは直線関係にあるので、板厚ゼロに

外挿することによって推進薬試料表面でのアクリル樹脂板内粒子速度が得られる。

$$U_{s, PMMA} = 2.561 + 1.553 U_{p, PMMA} \quad (U_{p, PMMA} \leq 2.318)$$

$$U_{s, PMMA} = 3.224 + 1.267 U_{p, PMMA} \quad (U_{p, PMMA} \geq 2.318)$$

爆轟圧 $P_{CJ}$ (GPa)、粒子速度 $U_{p, CJ}$ (mm/μs)、膨張係数 $\gamma$ は、次式に爆速や板厚ゼロの時の衝撃波速度及び粒子速度などを代入して算出した。

$$P_{CJ} = U_F(1.186 U_s + \rho D) / 2 \quad U_{p, CJ} = P_{CJ} / \rho D$$

$$\gamma = \rho D^2 / P_{CJ}$$

## 2.3 着火性

### 2.3.1 静電気火花感度試験

推進薬等の火薬類の着火性は、製造及び各種加工工程での事故が静電気に基づく火花によって生起されていることから静電気火花感度試験として評価する場合がある<sup>10, 11, 12)</sup>。一般に、人体に蓄積される可能性がある静電気容量は0.1Jであることから<sup>10)</sup>、0.17J<sup>11)</sup>や0.2J<sup>10)</sup>以下では無反応であることが判定基準とされている。ここでは、これらの試験方法と異なる装置によって試験しているため、参考文献に記載されている印加エネルギー値との比較は行わない。

内径4mmのテフロン管に粉末状にした推進薬試料20mg(充填密度約0.55g/cm<sup>3</sup>)を入れ、容量0.1795μFのコンデンサーに接続した電極で挟み(電極間隙1mm)、電極間にかかる電圧を調整することによって爆点を求めた<sup>13)</sup>。爆点の判定は、テフロン管が破裂することを基準とした。

着火エネルギー、 $E_m$ (Joule)は、 $E_m = 1/2 \gamma C V^2$ で得られる。ここで、 $\gamma$ :効率係数、 $C$ :コンデンサー容量、 $V$ :付加電圧である。

なお、電極の材質、形状、距離等によって、付加電圧と実際に試料に印加される電圧が異なるため、効率係数は着火エネルギー測定には重要な要因であるが<sup>10, 11)</sup>、

Table 2 Propellant Composition

No.	NC	NG	DEP	GAP	PbSt	CB
1	35	50	5	10	—	—
2	35	50	5	10	3	0.6
3	45	40	5	10	3	0.6
4	45	40	7.5	7.5	3	0.6

NC:nitrocellulose, NG:nitroglycerin,  
DEP:diethyl phthalate,  
GAP:glycidyl azide polymer binder,  
PbSt:lead stearate, CB:carbon black

Table 3 Sensitivity test results

No.	Em	Ti	$\rho$	P	D	Us	Up	P <sub>CJ</sub>	Up, CJ	$\Gamma$	Grad.
1	10.7±0.3	492	1.51	10.8	7.20	5.39	2.17	19.4	1.79	4.03	-0.0436
2	10.8±1.7	486	1.50	8.73	7.23	5.92	2.16	19.3	1.78	4.06	-0.0454
3	13.6±2.0	477	1.50	6.82	7.14	5.91	2.15	19.0	1.78	4.02	-0.0490
4	25.5±1.1	477	1.49	8.73	7.07	5.73	2.04	17.7	1.68	4.21	-0.0380

Em: minimum ignition energy[J], Ti: ignition temperature[K],

$\rho$ : density[g/cm<sup>3</sup>], P: critical shock wave pressure for no explosion[GPa]

D: detonation velocity[mm/ $\mu$ s], Us: shock velocity in PMMA[mm/ $\mu$ s],

Up: particle velocity in PMMA[mm/ $\mu$ s], P<sub>CJ</sub>: detonation pressure at C-J plane[GPa]

Up, CJ: particle velocity at C-J plane,  $\Gamma$ : expansion coefficient,

Grad.: gradient of the particle velocity with PMMA thickness,

ここでは、着火特性の相対比較に重点があり、試料形状、充填密度及び電極間隙が一定であることから1.0とした。

### 2.3.2 発火点試験<sup>1)</sup>

推進薬試料をクルップ式発火点試験器に投入後約4秒で発火(音及び光を伴う試料の爆発または燃焼を言う。)する温度を発火点とした。700K程度まで加熱した試験器を温度降下速度を2K/min.以下に調整した後、試料約20mgを投入後発火までの時間を異なる温度40点で繰り返し測定し、得られた温度と時間との関係から、発火待ち時間4秒の時の温度を算出した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 NC/NGの影響

試料組成を表2、試験結果を表3に示す。試料3と試料4を比較すると、NC/NG=45/40の場合、GAP量が減少すると理論比推力の低下に伴って衝撃感度(P)も低くなるのが分かる。一方、DEP/GAP量を一定とした場合、試料2と試料3からNC/NG比の低下によって理論比推力の上昇及び衝撃感度(P)の低下が認められる。NGがNCとゲル化してマトリックスを形成しているのとは異なり、アジ化ポリマーは架橋作用及び可塑剤的作用をしているが、相溶性に差があるため添加量に比例して感度も高くなっている。NGはNCとのゲル化によって粘弾性に寄与するため、推進薬として実用上限の50%までは衝撃感度に対して悪影響を及ぼしていない。しかし、NGの増加に伴って爆速は増加している。

また、試料1と試料2との比較から微粉鉛塩は衝撃感度を低下させることが分かった。同様に、表3に示す衝撃波速度Usが試料1で最も小さいのは、衝撃波が推進薬内を通過する際に触媒近傍でホットスポットを生じ、その化学エネルギーが衝撃波を加速するためと考えられる。ステアリン酸鉛は、ダブルベース推進薬の燃焼性を向上するために使用され推進薬の実用化

には不可欠なものであるが、衝撃感度を低下させることから、添加量や配合法について検討する必要がある。

試料3と試料4との比較から、GAP量を減らしてDEP/GAP=7.5/7.5とすると、粒子速度式は、 $U_p=2.15-0.0490L_{PMMA}$ から $U_p=2.04-0.0380L_{PMMA}$ のように、その傾きが小さくなっている。これは、C-J面での吸熱と発熱のバランスが吸熱分解するDEP増加によって吸熱側に傾くためと考えられる。一方、NCとNGの場合、NCとNGがともに発熱に対して作用する物質であるため、両者の比率が変化してもこのバランスに対して寄与していない。触媒もC-J面での反応に対して不活性であるため、爆轟性に対して寄与していない。これらカードギャップ試験と爆轟圧測定の試験結果の違いは、試験の性格の違いによるものと考えられる。両者とも推進薬が発生する衝撃波の挙動を観察する測定手段ではあるが、カードギャップ試験では衝撃波発生初期段階を観察しているのに対し、爆轟圧測定では、推進薬試料の爆発限界衝撃波圧力よりもはるかに高い衝撃波を与えており、衝撃波発生から爆轟に至る終末段階を観察している<sup>7)</sup>ためである。

表3に、着火エネルギー(Em)及び発火点(Ti)を示す。発火点は、NCとNGとの比率によって左右されている。NC/NG=35/50では約490Kであり、NC/NG=45/40は477Kと、NG量が低下するにつれて発火点も下がっている。これは、NGの気化しやすい性質によって試料への熱流入が阻害され、また、試験器中の空間容積も試料量と比較すると大きいので、気相中のNGの発火は律速段階となり得ず、NG量が多いほど気化熱を奪うため発火に至る時間が長くなったものと考えられる。一方、Emは、NG量が多いほど小さくなる傾向にある。これは、静電気火花による着火は火花による熱分解で発生した可燃性物質が気相で更にエネルギーを与えられることによって生起するとされており<sup>1)</sup>、NGの気化に若干のエネルギーは費や

Table 4 Propellant Composition

No.	TMETN	GAP	B/T	AMMO	B/A	B/N	HMX	AP	TAGN	AN	Cr
5	—	—	25	—	—	—	75	—	—	—	—
6	—	—	25	—	—	—	70	5	—	—	—
7	—	—	25	—	—	—	70	—	5	—	—
8	—	—	25	—	—	—	65	10	—	—	—
9	—	—	—	—	25	—	65	10	—	—	—
10	—	—	—	—	25	—	15	—	—	60	2
11	—	—	—	25	—	—	15	5	—	55	—
12	—	—	—	24	—	—	76	—	—	—	—
13	20	20	—	—	—	—	—	—	—	60	—
14	—	—	—	—	—	25 <sup>1</sup>	75	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	25 <sup>2</sup>	75	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	25 <sup>3</sup>	75	—	—	—	—

TMETN: trimethylolethane trinitrate, B/T: 3,3-bis(azidomethyl)oxetane/tetrahydrofuran (6/4) copolymer binder, AMMO: 3-azidomethyl-3-methyloxetane binder, B/A: 3,3-bis(azidomethyl)oxetane/3-azidomethyl-3-methyloxetane (7/3) copolymer binder, B/N<sup>1</sup>: 3,3-bis(azidomethyl)oxetane/3-nitratomethyl-3-methyloxetane (7/3) copolymer binder, B/N<sup>2</sup>: (6/4) copolymer binder, B/N<sup>3</sup>: (8/2) copolymer binder, HMX: cyclotetramethylenetetranitramine, AP: ammonium perchlorate, TAGN: triaminoguanidinium nitrate, AN: ammonium nitrate, Cr: chromium oxide

Table 5 Sensitivity test results

No.	Em	Ti	$\rho$	P	D	Us	Up	P <sub>CJ</sub>	Up, CJ	$\Gamma$	Grad.
5	10.0±0	625	1.64	6.82	7.97	6.48	2.53	26.3	2.01	3.96	-0.0483
6			1.64	8.73	7.99	6.59	2.60	27.2	2.08	3.85	-0.0574
7	5.0±1.7	619	1.64	6.82	7.93	6.44	2.50	25.8	1.98	4.00	-0.0541
8	3.3±0.8	606	1.63	8.73	7.88	6.39	2.47	25.2	1.96	4.02	-0.0439
9				8.73	7.60						
10				15.7	no	no	no	no	no	no	no
11				18.4	no	no	no	no	no	no	no
12	6.2±1.8	678									
13	18.4±1.7	606		18.4	no	no	no	no	no	no	no
14			1.66	8.73	7.77	6.38	2.46	25.1	1.95	3.99	-0.0535
15			1.66	8.73	7.65	6.51	2.54	25.9	2.04	3.75	-0.0689
16			1.66	6.82	7.86	6.42	2.48	25.7	1.97	4.00	-0.0572

no: no detonation or no shock wave was observed.

されるものの比較的密閉度の高いテフロン管中にNGが拡散するので、火花による着火が起りやすいためと考えられる。

鉛塩添加によって、ストランド燃焼速度は増加するが<sup>10)</sup>、発火点及びEmは変化していない。鉛塩添加によって、NC分解が促進され、NO<sub>2</sub>等の反応生成物が関与する反応系が促進されることによって燃焼速度が増加するとされているが<sup>11) 10)</sup>、発火点や静電気着火性の律速段階にはNGが強く関与しているため、NCに作用する鉛塩の影響は認められなかったものと考えら

れる。

このように、ダブルベース推進薬の感度に対するNG量の影響は大きく、NG量増加につれて、衝撃感度は低くなり、着火性、発火温度及び爆速は高くなる傾向にある。また、少量の規模で不感特性の傾向を知るスクリーニング試験として、カードギャップ試験と静電気火花感度試験が適していると考えられる。

### 3.2 分子構造の影響

バインダーの分子構造の影響について、B/T, B/A及びB/N共重合体(モル比6/4, 7/3, 8/2)の5種の

BAMO共重合体を使って検討した。アジ化ポリマーの共重合化は共重合体中に占めるアジド成分の量に応じて理論比推力や燃焼速度等を制御できること、また、組み合わせる高分子の特徴をうまく引き出せることから、盛んに研究されている。共重合体には下に示す構成単位が使用され、モル比を変えて共重合化されている。B/Nでは、3種のモル比を使用し、ここではそれぞれ、6/4、7/3、8/2と呼ぶ。共重合体は、各構成単位がモル比どおりランダムに配列して結晶性の高い比較的剛性の高い分子鎖と柔軟性に富む分子鎖の組み合わせとなっており<sup>1)</sup>、引張り試験で使用される50mm/minの歪速度では、このようなバインダー分子構造の影響は大きい<sup>16)</sup>。ここでは、引張り試験と比べ、はるかに大きい時定数下での現象に対して及ぼす影響をHMXを主酸化剤として調べた。

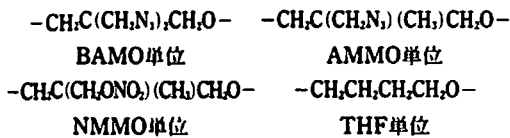


表4に試料組成、表5に試験結果を示す。試料5 (B/T)、試料14 (7/3)、試料15 (6/4) 及び試料16 (8/2) ではその衝撃感度はB/T、8/2が7/3、6/4より高くなっている。また、試料8及び試料9の比較から、B/TとB/Aに有意差は認められない。BAMO共重合体では、衝撃感度、爆轟性ともに分子構造による差が若干認められる。アジド窒素原子含有量は、B/T:39%、6/4:32%、7/3:36%、8/2:41%、B/A:46%であり、この比率が多いほど理論比推力も高いが、衝撃感度はこれに比例している。分子構造が衝撃感度に及ぼす影響は、推進薬におけるバインダーの含有量そのものが25%程度と少ないため、縮小されるが、有意差が認められた。しかし、B/Tは8.73GPaの衝撃波圧力で1/3の爆であり、B/A同様、試料16 (8/2) より感度は低い。これは、分子鎖構造に起因する結晶性の影響が大きく、8/2のように結晶性が高いアジ化ポリマーでは粘度も高く酸化剤粒子との濡れも悪くなり、ホットスポットを生じやすくなるためと考えられる。このように、先に示した共重合単位のような微視的構造に加え、結晶化度や粘度、相溶性等の性質も大きな要因となっており、8/2のように対称性が高いために結晶性や粘度が高いものの感度が低下する傾向にあると考えられる。

### 3.3 酸化剤の影響

試料5は高性能爆薬にも使用されているHMXを主成分としているため、爆薬に近い爆発限界衝撃波圧力を示すと予想したが、産業爆薬の値 $1.0 \pm 0.1 \text{GPa}$ <sup>20)</sup>

と比較して、爆発に至るまでには約10倍の衝撃波圧力が必要であることが分かった。推進薬は気泡等の欠陥を含んでいないために比較的low感度となったと考えられる。試料6や試料8のように、HMXの一部をAPと置換することによって衝撃感度は低下している。一方、試料7に示すようにTAGNを5%使うと感度は若干高くなっている。表5に示す衝撃波圧力に違いはないが、8.73GPaで試料5は1/3の爆、試料7は3/3の爆であった。分解温度で比較すると、HMX:約550K、AP:約630K、TAGN:約510Kであることから、TAGNの分解反応がHMXより早期に起こることが衝撃感度が高くなることの一因であると考えられる。また、TAGNは分解過程においてHNO<sub>3</sub>やNH<sub>3</sub>ラジカル等を発生しHMX分解反応を加速する作用が知られており<sup>21)</sup>、この作用もこれに影響していると考えられる。APはHMXと比べ酸素を大量に含有する酸化剤であるが、衝撃に対しては比較的の不活性であることが分かった。

AP5%添加によって、C-J面における粒子速度及び爆轟圧は大きくなっている。これは、C-J面における吸熱と発熱のバランスが発熱側に傾いたためと考えられるが、AP量が10%の場合、粒子速度及び爆轟圧共に低下している。APは融解・気化など相転移に伴う吸熱、結合解離による吸熱及び再結合や二次反応による発熱をC-J面で行うが、反応速度で比較するとAPのそれはHMXより遅いと予想され、10%添加によってC-J面での反応速度が遅くなり、爆轟性が低下したと考えられる。TAGNはHMXの反応を促進する働きがあるため<sup>21)</sup>、粒子速度式の傾きは若干大きくなっている。

表3及び表5の比較から、HMX系コンポジット推進薬はダブルベース推進薬の静電気火花感度と同等の感度を有していることが分かる。HMX系コンポジット推進薬は、ロケットモータにおいて点火装置に工夫を要するなどその着火性には問題があるとされている<sup>22)</sup>。従って、着火性の良いダブルベース推進薬より比較的大きな着火エネルギーが必要と予想したが、発火点での差のような顕著な違いは認められなかった。HMXは強力な爆薬であるため、部分的な反応でもテフロン管が裂けるほどの力を発生し、ここで使用した判定法では有意差が生じなかったものと考えられる。また、分解を基準としても差は生じていない。HMXの一部をTAGNやAPに置換すると、Emは低下している。これも前述したように分解促進によるものと考えられる。APは、強可燃性 (Highly flammable) とされているが<sup>23)</sup>、Em及び発火点の試験結果もこれを裏付けている。

HMX系推進薬の燃焼性を改善するための酸化剤添加は一般的であるが、TAGNは衝撃感度、着火性ともに悪化させ、APは衝撃感度には不活性であるが、着火性を悪くすることが分かった。

AN系推進薬は低感度が特徴であり<sup>2)</sup>、試料13のように比較的大きな着火エネルギーが必要であることが分かる。これは、ANは分解温度は低い融解及び昇華によって液層及び気相で分解反応するために、静電気火花からのエネルギーが融解及び昇華に消費されるためと考えられる。また、試料10、試料11及び試料13から、HMXの55%から60%をANと置換することによって、爆轟性が消滅していることが分かる。同時に、AN系推進薬の燃焼性及び製造性を向上するため、HMX、AP、硝酸エステル類（例えば、トリメチロールエタントリナイトレート）を添加しても、低感度を維持できることが分かった。

#### 4. まとめ

アジ化ポリマー推進薬についてカードギャップ試験等を実施した結果、以下のことが分かった。1) ダブルベース推進薬では、着火性、発火点、爆速はNG量が多くなるにつれて高くなるが、衝撃感度はNG量が多いほどマトリックスの粘弾性が向上するため低い傾向にある。2) ダブルベース推進薬でも爆轟に至った場合は産業爆薬<sup>20)</sup>より爆速が速いため、周辺に対し強い影響を及ぼす。3) BAMO共重合体では、分子構造が感度に影響し、理論比推力が高いほど衝撃感度も高い傾向にある。4) 結晶性が高い分子構造では、酸化剤表面との濡れや柔軟性が影響するため、衝撃感度が高くなる傾向にある。5) APはHMX系推進薬の衝撃感度に対して不活性であるが、TAGNはHMXに対する化学作用のために感度を低下させる。6) ここで評価したアジ化ポリマー推進薬の多くが爆轟に至るには10GPa以上の衝撃波圧力が必要であった。7) ここで使用したカードギャップ試験と静電気火花感度試験は、推進薬の不感特性のスクリーニング試験に適していることが分かった。

今後は、これらのデータとクックオフ試験や銃撃感度試験結果とを比較することによって不感特性評価の指標を求める予定である。

#### 謝 辞

衝撃感度及び爆轟性の試験に際し、日本油脂(株)加藤幸夫、村田健司、中下吾郎各氏、ダイセル化学工業(株)山崎和宏、井神清隆両氏、旭化成工業(株)原田忠昌、阿南敏行両氏及び着火性の試験に際し、細谷火工(株)細谷文夫、木滑清一、水島容二郎各氏のご協力、ご助言をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) R. J. Heaston, "DoD Insensitive Munitions Program," NTIS AD-A210765 (1987).
- 2) U. S. Navy Munitions Office, "Insensitive Munitions Advanced Development FY89 Program Plan," NTIS AD-A206512 (1989).
- 3) R. J. Spear and L. M. Davis, "An Australian Insensitive Munitions Policy: A Working Paper Prepared for the Australian Ordnance Council," MRL-GD-0029, NTIS AD-A207950 (1989).
- 4) Military Standard, "Hazard Assessment Tests for Non-nuclear Munitions," MIL-STD-2105 A (19 June 1990).
- 5) 工業火薬協会規格Ⅲ, 工業火薬協会 (1988).
- 6) S. P. Marsh, "LASL Shock Hugoniot Data," University of California Press, Berkeley (1980).
- 7) A. von der Steen and R. Verbeek, Prop. Explos. Pyrotech., 15, 19 (1990).
- 8) 加藤幸夫, H. N. Presles, 工業火薬協会秋期発表会, 57 (1988).
- 9) R. R. Ijsselstein, Combust. Flame, 66, 27 (1986).
- 10) 中野義信, 田中幸雄, 日下部正夫, 工業火薬, 24, 351 (1963).
- 11) H. S. Napadensky, et al., "Development of Hazards Classification Data on Propellants and Explosives," NTIS AD-A064138 (1978).
- 12) H. S. Napadensky, et al., "Recommendation Hazard Classification Procedures for Inprocess Propellant and Explosive Material," NTIS AD-A090674 (1980).
- 13) F. Hosoya, K. Shiino and K. Itabashi, Prop. Explos. Pyrotech., 16, 119 (1991).
- 14) A. M. Mellor, D. R. Stoop, T. P. Rudy and R. W. Hermsen, *ibid.*, 15, 1 (1990).
- 15) 大弓義夫, 防衛庁技術研究本部技報, 第6374号 (1992.10).
- 16) T. Mill et al., "Sensitivity Fundamentals," NTIS AD-022704 (1975).
- 17) R. A. Fifer and J. A. Lannon, Combust. Flame, 24, 369 (1975).
- 18) L. Dauerman and Y. A. Tajima, AIAA J., 6, 678 (1968).
- 19) E. Kimura, Y. Oyumi, H. Kawasaki, Y. Maeda, and T. Anan, Prop. Explos. Pyrotech., to be published.
- 20) 松本 栄, 田中雅夫, 吉田 正, 工業火薬, 37,

- 173 (1976).
- 21) Y. Oyumi and T. B. Brill, *J. Phys. Chem.*, **89**, 4325 (1985).
- 22) J. E. Flanagan, M. B. Frankel and D. O. Woolery, "HMX Combustion Modification," AFRPL-TR-84-044, NTIS AD-A 145071 (1984).
- 23) Proceedings of 1990 Joint Government/Industry Symposium on Insensitive Munitions Technology," ADPA March 13-14, 1990.
- 24) 広崎義一, 石田俊夫, 服部勝英, 酒井 洋, *工業火薬*, **43**, 323 (1982).

---

## Initiation and Detonation Properties of Azide Polymer Propellants

by Yoshio OYUMI\*, Eishu KIMURA\* and Kiyokazu NAGAYAMA\*

Azide polymer propellants with different polymer units and oxidizers have been compared for their initiation and detonation properties. The investigations showed that the properties of oxidizers predominated the initiation of the propellants. Most propellants tested here was initiated by the shock pressure of more than 10 GPa. The high energy copolymers showed the higher sensitivities for the initiation and the detonation in the five different BAMO copolymers. Although AP less influenced the shock sensitivity of HMX composite propellants, TAGN has lowered it because of its chemical effects on HMX decomposition reaction.

(\*Third Research Center, TRDI, Japan Defense Agency 1-2-10 Sakae, Tachikawa, Tokyo 190, Japan)