



マイクロ波加熱による火薬類の起爆

辻江和夫*, 渡辺信経*, 中原正二*
大井幸一**, 岡田文明**

6種類の2次および3次爆薬についてマイクロ波起爆実験を行なった。照射時間と起爆エネルギー測定により、概して鋭感な順に硝安, テトリル, PETN, RDX, HMX, TNTであることが分かった。起爆エネルギーは試料, 入射電力により異なるが, 今回の実験条件では, 数kJであった。本実験では試料のマイクロ波に対する整合をとることにより低照射電力で起爆できた。ビデオ観察によると, 試料は融解した後起爆した。試料の温度測定から試料はその融点付近より急速に加熱され5秒発火点付近で起爆することが分かった。

1. 緒言

起爆薬を用いずに二次爆薬を直接起爆するためマイクロ波の利用について研究し, 前報¹⁾では, 硬質アルミナ管に充填した爆薬にマイクロ波を照射し起爆試験を行なった。その結果, 大入射電力2.5kWでC・H・N・O爆薬が起爆でき, さらに, シリコンカーバイド, 活性炭などの添加物の添加により低電力1.5kWでも起爆できた。また, ダイナマイトは添加物なしで1.5kWで起爆できた。しかし, 使用した硬質アルミナ管は肉厚が厚いためマイクロ波が有効に試料に吸収されず不利であった。試料に吸収されたエネルギーの測定や起爆機構についても未検討であった。本報では, 試料管材質を肉厚が薄く, マイクロ波吸収の比較的小さいテフロンおよび軟質ガラスとし試料に吸収されるエネルギーを増加させて低電力での起爆を行なうとともに, エネルギー量の測定も試みた。また, 接着剤利用の密閉法を改めることで, 試料管が高温に耐えるようになり照射時間を長くできた。整合器を使用して, より低出力での起爆を試みた。さらに, 試料が加熱され起爆するまでの様子のビデオ撮影, 試料の温度変化の熱電対, 赤外線温度計による測定などから起爆機構解明の基礎資料を得た。

2. 実験方法

被加熱体の単位体積当りの誘電発熱電力 P は, 次式で与えられる²⁾。

$$P = (5/9) f E^2 \epsilon' \tan \delta \times 10^{-10} \text{ (W/m}^3\text{)} \quad (1)$$

ここで, f は周波数 (Hz), ϵ' は複素比誘電率の実数部, $\tan \delta$ は誘電損失, そして E は電界の強さ (V/m) である。従って, f と E を一定にすると P は $\epsilon' \cdot \tan \delta (= \epsilon'')$, 複素比誘電率の虚数部) によって決まる。ただし, この ϵ' および $\tan \delta$ は, 周波数および温度によって変る可能性がある。電力反射率 $|\Gamma|^2$ は入射電力を P_0 (kW), 反射電力を P_0' (kW) とすると,

$$|\Gamma|^2 = (P_0'/P_0) \times 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

で表わされ³⁾, また起爆エネルギーは

$$(P_0 - P_0') \times t \text{ (kJ)} \quad (3)$$

となる。ただし, t は照射時間 (s) である。

爆, 不爆の判定は, 爆音がし試料の大部分が消失しガラス管が砕けているものを爆とし, 他を不爆とした。また, 照射開始から爆までに要した時間を起爆遅れ時間とする。試料管自体の温度上昇は起爆遅れ時間内では, 別に実験したところ, 小さいので考慮しなかった。

2.1 試料

6種類の火薬類0.2gを試料管の中に密閉した。使用した火薬類はすべて市販品を粉碎後, 48~100メッシュにふるい分けし45°C, 5時間乾燥した。起爆試験に使用した試料の仮比重は, いずれの場合も硝安1.3g/cm³, テトリル1.0g/cm³, PETN1.0g/cm³, RDX0.9g/cm³, HMX1.1g/cm³, TNT0.9g/cm³であった。使用した火薬類とその性質をTable 1に示す。

試料管材質はテフロンと軟質ガラスである。前報¹⁾で使用したアルミナ管は外径が大きく(15mm)厚い(4.5mm)ため, マイクロ波が有効に試料に吸収されないことが分かったので, 誘電体損失が小さく入手と

昭和60年8月5日受理

*防衛大学校化学教室

〒239 横須賀市走水 1-10-20

TEL 0468-41-3810 内線 2409

**防衛大学校電気工学教室

〒239 横須賀市走水 1-10-20

TEL 0468-41-3810 内線 2261

Table 1 Properties of samples

Sample	ϵ'	ϵ'' ($\times 10^{-4}$)	$\tan \delta$ ¹⁾ ($\times 10^{-4}$)	Loading density (g/cm ³)	Drop hammer test, 2kg, 1/10 ³ (cm)	Ignition temperature, 5 sec ⁴⁾ (°C)	Melting point ⁵⁾ (°C)	Electric spark sensitivity ⁶⁾ (J)	Laser initiation ⁷⁾ (J)	Order of pendulum friction sensitivity ⁸⁾
AN	4.5	28	6.2	1.09	100 [*]	325	169.6	—	—	6
Tetryl	2.3	13	5.5	0.92	26	257	129.45	4.38-4.68	0.39-1.0	4
PETN	2.1	63	30	0.98	17	225	141.3	0.21	0.84-0.85	1
RDX	2.5	17	6.7	1.04	33	260	204.1	—	0.99-1.2	2
HMX	2.4	0.7	0.29	1.11	32	335	276-277	—	—	3
TNT	2.0	2.4	1.2	0.86	100	475	80.75	4.38-4.68	—	5

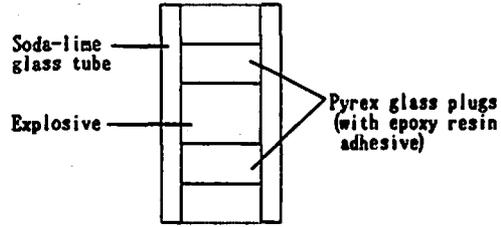


Fig. 1 Sample tube configurations

加工が容易な、肉厚の薄いテフロン管と軟質ガラス管（外径 8 mm，内径 6 mm，長さ 28 mm）を使用した。

密閉に使用した栓の材質は、パイレックスガラス、テフロン、シリコンゴムであった。試料管の形式は、前報¹⁾の試料管と同方法であるが硬質アルミナ管の代わりに軟質ガラス管を用いた形式 1 (Fig. 1), 同方法でテフロン管を用いた形式 2, 軟質ガラス管にシリコンゴム栓を使用した形式 3 軟質ガラス管にパイレックスガラス栓を接着剤を使用せずに内栓として挿入し、シリコンゴム外栓をした形式 4, 形式 4 の内栓をテフロンとした形式 5 とした。Table 2 に各材料の特性を示す。

2.2 実験装置

装置の構成の概要を Fig. 2 (破線内を除く) に示す。前報¹⁾とはパワーモニター付方向性結合器 1 が加わった点が異なった。マイクロ波発生装置は東京電子技研製で、周波数 2450 ± 50 MHz，最大発振出力 5 kW であった。

アプリケーションは、前報¹⁾のアプリケーションの両側面にビデオ観察および赤外線温度計用に内径 6 mm の孔を開けたものを使用した。また、導波管の方へ爆風、破片の影響が及ばないようにテフロン板（厚さ 5 mm）をアプリケーションとの間に装着した。

2.3 起爆エネルギーの測定方法

通常の方法における起爆エネルギーは、試料管部分で失われた総エネルギーで、(3)式で表わされる。

マイクロ波の出力調整は、マイクロ波発生装置のマグネトロン陽極電流を調整し、電力分割器を変化させ各陽極電流に対応した最大電力を試料に照射した。

整合器を使用した起爆の場合には、Fig. 2 の破線部分を含めた構成（ビデオ、温度測定装置を除く）とし、スタブ整合器と方向性結合器 2 を加えた。スタブ整合器は、試料とマイクロ波発生装置間の整合をとり、マイクロ波を効率良く吸収させるための装置である。試料管（形式 5）にまず HMX を充填し、陽極電流を 0.1 A とし、方向性結合器 1 の入射電力および方向性結合器 2 の入射電力を測定し、方向性結合器 1 の反射電力を小さく、方向性結合器 2 への入射電力が大

Table 2 Properties of containers

Material	ϵ'	$\tan \delta$ ($\times 10^{-4}$)	Maximum usable temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Tensile strength ¹³⁾ (kgf/mm^2)
Alumina	8~11 ⁹⁾	1~10 ⁹⁾	1500 ¹²⁾	12.0~12.6
Soda—lime glass	7~14 ¹⁰⁾	100~170 ¹⁰⁾	550~600 ¹²⁾	4.5~9.0
Pyrex glass	4.6 ¹¹⁾	56.5 ¹¹⁾	821 ¹¹⁾	—
Quartz glass	3.8 ¹⁰⁾	1.7 ¹⁰⁾	1530 ¹¹⁾	30~80
Teflon	2.01 ¹⁰⁾	2.4 ¹⁰⁾	288 ¹³⁾	1.41~8.16
Silicone rubber	3.1 ¹⁰⁾	540 ¹⁰⁾	175~250 ¹³⁾	0.2~1.0

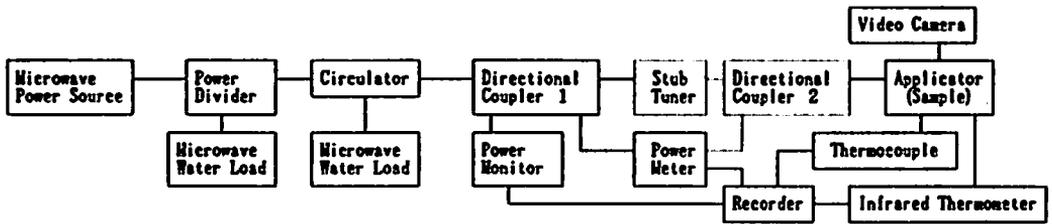


Fig. 2 Block diagram of the equipment
 ○ : for matching initiation experiment

きくなるようにスタブを調節して整合をとり、同条件で各試料について起爆試験を行なった。起爆エネルギーの計算方法および試料への照射方法は、通常の起爆方法と同じである。

2.4 ビデオ観察

試料管（形式5）中の試料がどのような状況で起爆するかを、アプリータの側面孔よりビデオカメラ（ナショナルNV-150, Vz-C70）で観察した。

2.5 試料の温度測定

熱電対（クロメル/アルメル線、直径0.3mm）による温度測定は、試料管はパイレックスガラス管とし、測定点は試料管の中心にくるようにし、ガラス管の熱電対線の入った穴は鉛ガラスで溶着した。測定点を包むように試料を入れテフロン内栓およびシリコンゴム外栓で密着した後、マイクロ波の影響を乱さず、かつ放電の起きないようにアプリータ中に横一線に熱電対を通した。

赤外線温度計（ジャパン、センサー、コーポレーション TSS-3P）による方法では、試料管（形式5）と軟質ガラス管の代わりに、パイレックスガラス管と

した場合の測定も行なった。

起爆温度が200 $^{\circ}\text{C}$ 近傍の場合、測定レンジ切り換えにより、また起爆前後は温度変化が急なため、ともに多少の誤差は避けられない。また100 $^{\circ}\text{C}$ 以下は測定範囲外のためTNTの融点は測れなかった。

いずれも陽極電流0.3Aで測定した。

3. 実験結果

3.1 起爆エネルギー

形式1と2の試料管の結果をTable 3に示す。起爆遅れ時間は概してテフロン管の場合最も長く、軟質ガラスが最も短かった。

形式3の試料管の結果をTable 4に示す。起爆遅れ時間は、接着剤を使用した場合（形式1, 2）より短かく、起爆エネルギーは2~4kJである。しかし、TNTのように起爆遅れ時間が長い場合には、シリコンゴム栓が溶けて、測定できなかった。

形式4の試料管の結果をTable 5に示す。低出力（0.5A）による試料の起爆の可能性について調べたもので、起爆遅れ時間は1.1Aの場合よりも長くなったが、試料の起爆状況の差はほとんど認められなかつ

Table 3 Initiation delay time (Anode current : 1.1 A)

Sample tube material	Sample	AN	Tetryl	PETN	RDX	HMX	TNT
Soda—lime glass		6	7	9	11	13	13
Teflon		—	10	13	13	15	53
Alumina ¹⁾		—	8	13	8	13	—

Table 4 Initiation energy in the sample tube (Type 3)

Anode current (A)	Sample	Incident power P_0 (kW)	Reflected power P_0' (kW)	Reflectivity P_0'/P_0 (%)	Initiation delay time t (sec)	Initiation energy $(P_0 - P_0') \times t$ (kJ)
1.1	AN	3.5	3.23	92.3	3*	—
	Tetryl	3.5	3.14	89.7	6	2.16
	PETN	3.5	3.16	90.3	8	2.72
	RDX	3.5	3.13	89.4	9	3.33
	HMX	3.5	3.23	92.3	14	3.78
	TNT	3.4	3.07	90.3	15*	—

*: The sample disappeared without rupturing a sample tube.

た。起爆エネルギーは5~11kJである。

形式5の試料管について陽極電流1.1A, 0.8A, 0.5A, 0.3Aで試験した結果をTable 6に示す。どの試料も起爆遅れ時間は、出力が小さくなるにつれ増加した。反射率は、出力により若干のばらつきはあったが、試料間の平均値での差はあまりなかった。起爆エネルギーは出力により異なるが、平均数kJであった。形式4より起爆エネルギーは小さかった。いずれの条件でも起爆遅れ時間は短い順に硝安、テトリル、PETN、RDX、HMX、TNTとなった(ただし0.5AのときHMXとTNTが逆転)。平均起爆エネルギーは硝安、PETN、テトリル、RDX、HMX、TNTの順となった。

3.2 整合をとった場合

陽極電流0.1AでHMXについて整合をとり、同条件での他の試料の起爆試験結果をTable 6(*印)に示す。入射電力は陽極電流0.1Aで、整合をとらない場合の0.3kW前後に対し、整合をとった場合には0.60kW~0.70kWと増加した。整合をとらない場合、HMXに0.1Aのマイクロ波を5分以上照射しても起爆しなかったので整合の効果があった。起爆エネルギーは、PETN 2.2kJ~HMX 7.1kJで、通常測定の平均値よ

り概して若干小さかった。

3.3 ビデオ観察と起爆状況

照射開始から融解開始までの時間と起爆遅れ時間をTable 7に示す。ほとんどの試料が溶けた後起爆した。最も早く溶け始めたのはTNTで次にテトリル、PETN、硝安、RDX、HMXの順で、これは融点の低い順と同じであった。

溶け始めてすぐ起爆したのはRDX、HMX、硝安であった。最も顕著なのはRDXで、各出力とも、溶けた直後に激しい爆音がし、軟質ガラス管が粉々になった。HMXは試料の一部が残った。硝安は、融解開始時間はテトリル、PETNとさほど変わらないが、溶け始めるとすぐ起爆し、試料の一部が残った。

テトリルとPETNは、融解後しばらくして起爆した。この両試料は、融点が10°C程しか違わないためほぼ同様な時間で溶け始めるが(0.3Aの場合はテトリルが早い)、テトリルの方が、5秒発火点が高いにもかかわらず若干早く起爆した。起爆の状況は、テトリルは爆音がRDXより小さく、管が完全に粉々にはならなかった。PETNは、0.8Aと0.5AのときRDXと同様な大きな爆音がし試料管は粉々になった。TNTは融解後かなりの時間をおいて起爆した。融点が低い

Table 5 Initiation energy in the sample tube (Type 4)

Anode current (A)	Sample	Incident power P_0 (kW)	Reflected power P_0' (kW)	Reflectivity P_0'/P_0 (%)	Initiation delay time t (sec)	Initiation energy $(P_0 - P_0') \times t$ (kJ)
0.5	Tetryl	1.8	1.49	82.8	18	5.58
	PETN	1.75	1.43	81.7	20	6.40
	RDX	1.8	1.50	83.3	25	7.50
	HMX	1.75	1.46	83.4	38	11.02
	TNT	1.75	1.46	83.4	31	8.99

Table 6 Initiation energy in the sample tube (Type 5)

Sample	Anode current I (A)	Incident power P_n (kW)	Reflected power P_0' (kW)	Reflectivity P_0'/P_n (%)	Initiation delay time t (sec)	Initiation energy ($P_0 - P_0'$) $\times t$ (kJ)
AN	1.1	3.60	3.23	89.7	7	2.6
	0.8	2.70	2.43	90.0	6	1.6
	0.5	1.75	1.50	85.7	18	4.5
	0.3	0.92	0.83	90.2 (88.9)	38	3.4 (3.0)
	0.1*	0.65	0.58	99.2	70	4.9
Tetryl	1.1	3.50	3.26	93.1	8	1.9
	0.8	2.70	2.42	89.6	12	3.4
	0.5	1.75	1.38	78.9	22	8.1
	0.3	0.95	0.83	87.4 (87.3)	40	4.8 (4.6)
	0.1*	0.65	0.61	93.8	61	2.4
PETN	1.1	3.50	3.12	89.1	9	3.4
	0.8	2.70	2.40	88.9	14	4.2
	0.5	1.75	1.46	83.4	23	6.7
	0.3	0.92	0.85	92.4 (88.5)	46	3.2 (4.4)
	0.1*	0.60	0.57	95.0	72	2.2
RDX	1.1	3.50	3.01	86.0	11	5.4
	0.8	2.70	2.38	88.1	16	5.1
	0.5	1.75	1.48	84.6	30	8.1
	0.3	0.92	0.85	92.4 (87.8)	63	4.4 (5.8)
	0.1*	0.65	0.61	93.8	88	3.5
HMX	1.1	3.50	3.07	87.7	14	6.0
	0.8	2.70	2.42	89.6	19	5.3
	0.5	1.75	1.46	83.4	41	11.9
	0.3	0.92	0.85	92.4 (88.3)	63	4.4 (6.9)
	0.1*	0.65	0.61	93.8	88	3.5
TNT	1.1	3.50	3.18	90.9	16	5.1
	0.8	2.70	2.38	88.1	21	6.7
	0.5	1.75	1.47	84.0	34	9.5
	0.3	0.92	0.83	90.2 (88.3)	92	8.2 (7.4)
	0.1*	0.70	0.63	90.0	100	7.0

() : The average initiation energy from 1.1 A to 0.3 A

0.1* : The matching device was used.

ためすぐに溶け始め、間もなく全体が完全に液状になり沸騰するのが認められた。爆音はテトリルと同様に小さく、試料管はやや大きな破片になった。

3.4 試料の温度測定

試料温度が急に上昇始めた時の温度 (T_s) と温度上昇がさらに激しくなり測定不能になった時の温度 (T_e)

Table 7 Irradiation time for melting and initiation

Sample	Anode current		Irradiation time (sec)						IT-MP (°C)
	1.1 A		0.8 A		0.5 A		0.3 A		
	Melting	Initiation	Melting	Initiation	Melting	Initiation	Melting	Initiation	
AN	?	7	?	6	16.8	18	36	38	128
Tetryl	?	8	9	12	16	22	33.5	40	84
PETN	5	9.1	9	14	16	23	35	46	60
RDX	11	11.2	15	16	29	30	62	63	59
HMX	14	14.3	16	19	40	41	—	64	394
TNT	3	16	5	21	9	34	20	92	155

IT-MP : The difference between ignition temperature (5sec) and melting point.

? : The melting of the sample was not clearly observed.

— : The sample did not melt.

と照射時間を Table 8 に示す。熱電対による測定では、硝安は 100°C を越えると急激に温度が上昇、273°C 付近で起爆した。テトリルは 110°C 付近から急激に温度が上昇し 237°C 付近で起爆した。PETN は 120°C 付近から温度が急に上昇を始め、207°C 付近で起爆した。両方とも融点近傍で急激に温度が上昇し、発火点よりやや低い温度で起爆した。HMX は時間と共にほぼ直線的に温度が上昇し、238°C 付近で起爆した。TNT は 80°C 付近で一度温度が上昇し 200°C 付近でやや上昇がゆるやかになり 300°C を過ぎて再び急上昇して 338

°C 付近で起爆した。

赤外線温度計による測定では、軟質ガラス試料管の場合、硝安は 120°C 付近から温度が急上昇し、287°C 付近で起爆した。テトリルは 120°C 付近で温度が上昇し、200°C 付近で起爆した。PETN は 135°C 付近から温度上昇が急になり、193°C 付近で起爆した。RDX は 168°C 付近から温度が急上昇し、200°C 以上で起爆した。この温度上昇は他の爆薬に比べて最も急激であった。HMX は時間とほぼ比例して温度が上昇し、254°C 付近で起爆した。TNT は直線的に温度上昇し、337

Table 8 Sample temperature and irradiation time (Anode current : 0.3 A)

Method	Tube material	Sample	Sample					
			AN	Tetryl	PETN	RDX	HMX	TNT
Thermocouple	Pyrex glass	T_r (°C)	120	110	120	—	?	80
		it (sec)	45	85	79	—	?	52
		T_e (°C)	273	237	207	—	238	338
		it (sec)	50	90	91	—	258	183
Infrared thermometer	Soda-lime glass	T_r (°C)	120	120	135	168	?	—
		it (sec)	33	36	41	54	?	—
		T_e (°C)	287	200	193	200	254	337
		it (sec)	37	38	48	55	78	61
	Pyrex glass	T_r (°C)	118	110	132	168	?	—
		it (sec)	46	49	57	91	?	—
		T_e (°C)	270	200	195	200	205	—
		it (sec)	51	51	61	92	120	—

T_r : The temperature at which the sample temperature rose rapidly.

T_e : The temperature above which the temperature rise became too fast to be measured.

it : Irradiation time

— : The results could not be obtained.

? : No observation was made

℃付近で起爆した。パイレックスガラス試料管の場合、照射時間は長くなったが、測定温度はHMXを除きほとんど変らなかつた。なお、赤外温度計の測定値は、熱電対による試料温度との差が小さいことから、試料の温度とみなしてよいであろう。

4. 考察

4.1 起爆エネルギー

起爆エネルギー測定は試料の $\epsilon' \cdot \tan \delta (= \epsilon'')$ が小さいためマイクロ波吸収は悪く、入射電力の差が小さいため誤差が大きくなりやすい。

起爆エネルギーは一般に起爆遅れ時間の順位と同じ硝安、テトリル、PETN、RDX、HMX、TNTの順でいずれも数kJで起爆した。しかし、形式5の0.5Aと0.3Aでは上記の順位と異なつた。この順位が ϵ'' の順位と異なるのは ϵ'' が試料の温度により変化するためであろう。硝安の鋭感さが、前報¹⁾で2号履ダイナマイトが鋭感となつた一因であろう。またこの順位はレーザによる爆薬の起爆感度順²⁾テトリル、PETN、RDX、HMX、TNT(硝安を除く)と一致した。しかし、起爆エネルギーとレーザおよび放電着火エネルギー³⁾とは大きな差があつた。この原因は、(1)レーザ、放電は局部的加熱であるのに対し、マイクロ波は爆薬全体を加熱する、(2)レーザ、放電では照射時間が短い、マイクロ波では長いので、試料管およびその外部への熱損失が大きい、(3)試料管自体も加熱される、などの理由のためである。従つて、得られた起爆エネルギーは物質固有の値ではない。

また、落槌感度⁴⁾や振子摩擦感度⁵⁾の鋭感な爆薬は一般にマイクロ波により起爆され易い傾向を示した。

4.2 整合をとつた場合

マグネトロン発振スペクトラム等から微小出力(数mW)での整合条件を大出力に適用できないことが分かつたので、本実験ではHMXを基準試料として0.1Aで整合をとつた。整合条件は試料により異なるが、鋭感な爆薬は整合調整中に爆発の危険性があるため大出力での個々の整合はとらなかつたが、個々に整合をとればさらに低エネルギーでの起爆が可能であろう。

4.3 ビデオ観察

Table 7に見られるように、一般に5秒発火点と融点の温度差の大きいものが、融解開始から起爆までの時間差が大きかつた。PETNとテトリルの場合のように、融点の低いテトリルの方が5秒発火点が高いにもかかわらず早く起爆する場合があつた。RDXとHMXはこの温度差が相対的に小さい(約60℃)ためか融解と起爆がほぼ同時であつた。硝安は温度差は大きい、融解と起爆の時間差は小さかつた。また、マイクロ波

起爆で最も威力が大であつたのは、RDX、次いでPETNであつた。HMXは比較的弱かつた。

4.4 試料の温度測定

同じ試料管(形式5)の場合、照射時間がビデオ観察結果とほぼ一致していることから、 T_c は融点、 T_e は起爆直前の温度と言つてよい。他の試料の T_e がほぼ5秒発火点付近であるのに対しHMXの T_e は著しく低かつた。 β -HMXは160~164℃から融点までに δ -HMXになるといわれている¹⁴⁾ので δ -HMXに移転して起爆したことも考えられる。

5. 結論

6種類の火薬類についてマイクロ波起爆に要する起爆エネルギー、整合器利用による低出力での起爆の可能性、ビデオカメラによる起爆の状況、更に起爆までの温度変化について調べ、以下に示すような結論を得た。

(1)起爆エネルギーは、物質固有の数値ではないが、今回の実験条件では、いずれの火薬類も約数kJで、入射電力により多少異なることもあるが、概して硝安が最も小さく、次に、テトリル、PETN、RDX、HMX、TNTの順となつた。

(2)マイクロ波起爆に要する時間は、硝安、テトリル、PETN、RDX、HMX、TNTの順に長かつた。爆発威力はRDXが最大で、次にPETN、テトリルの順で硝安、HMX、TNTはほぼ同等で小さかつた。

(3)試料の入射波に対する整合をとれば、低出力で起爆できることが分かつた。

(4)ほとんどの火薬類で、試料温度は、融点付近までゆるやかに上昇した後、急激に上昇し起爆した。起爆温度は5秒発火点よりやや低かつた。

文 献

- 1) 蓮江和夫、田辺雅美、中原正二、田代新二郎、岡田文明、工業火薬、46、87(1985)
- 2) 鈴木清、「マイクロ波回路の基礎」、p.206(1971)、啓学出版
- 3) 岡田文明、「最新のマイクロ波工学入門と応用」、アイビーシー、第3章、p.13(1984)
- 4) "Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd Edition", vol. 8, p.632(1963), Interscience Publishers
- 5) 工業火薬協会、「工業火薬ハンドブック」、pp.508-510(1973)、共立出版
- 6) F. W. Brown, D. J. Kusler and F. C. Gibson, U. S. Bureau of Mines, Rept. of Invest., RI 3852(1946)
- 7) 蓮江和夫、門馬達也、中原正二、守本純、田平憲一郎、宮川次、工業火薬、44、281(1983)

- 8) 蓮江和夫, 菊川俊宏, 平野誠司, 小川優一, 岡崎一正, 中原正二, 工業火薬, 44, 289 (1983)
- 9) "Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition", vol. 15, p. 503 (1981), Interscience Publishers
- 10) 阿部英太郎, 「マイクロ波技術」, p. 33 (1983), 東京大学出版会
- 11) "Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition", vol. 11, p. 830 (1980), Interscience Publishers
- 12) 電気学会, 「電気工学ポケットブック」, p. 337 (1966), オーム社書店
- 13) 日本化学会, 「化学便覧, 基礎編 II」, pp. 1176—1178 (1975), 丸善
- 14) "Encyclopedia of Explosives and Related Items, vol. 3, p. C606 (1966), Picatinny Arsenal

Initiation of Explosives by Microwave Heating

by Kazuo HASUE*, Nobutune WATANABE*, Shoji NAKAHARA*,
Koichi OHWI**, and Fumiaki OKADA**

Microwave heating of ammonium nitrate (AN), tetryl, PETN, RDX, HMX, and TNT was carried out at the frequency of 2450 MHz with and without a matching device.

After several configurations of sample tubes were tried, the samples were confined in a soda-lime glass tube with teflon and silicon rubber plugs. The order of the initiation delay time was AN, tetryl, PETN, RDX, HMX, and TNT. Also, the order of the initiation energy of samples was the same when the anode currents of microwave power source were 1.1 A and 0.8 A. Using a matching device, the samples were initiated by lower incident power. The initiation processes of samples were recorded on videotapes which showed that the samples generally melt before initiated.

The sample temperatures were measured by a chromel-alumel thermocouple and an infrared thermometer. The sample temperatures started to rise rapidly when the temperatures neared the melting points of samples and the samples initiated near their ignition temperatures of five second delay.

(*Department of Chemistry, The National Defense Academy,
1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa, 239, Japan.

**Department of Electrical Engineering, The National Defense
Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa, 239, Japan.)