

## 報 文

## 火薬類の爆速に関する研究 (III)

(昭和18年7月10日受理)

日 野 熊 雄※

## (3) 二成分系火薬類の爆速

## 1. 従来の研究

A. Majrich<sup>40)</sup>及 F. Storm

氏等は四硝酸ペンタエリトリットにアルミニウム粉を種々の割合に混合して爆速を測定せり。其の結果次の如し、装填密度は記述なし。

薬 種	アルミニウム粉 %	爆 速 m/sec
四硝酸ペンタエリトリット		8075
# 316+アルミニウム粉51	14.6	7556
# 984+ "	43.6	7016
# 316+ "	21.6	6798

T. Urbanski<sup>70)</sup> 及 T. Galas

氏等はヘキソゲン、四硝酸ペンタエリトリット等に種々の非爆発性液體を混合し一定の装填密度  $\Delta$  に於て混合率と爆速の関係を測定しヘキソゲンにアセトンを混合し  $\Delta = 1.35$  の時アセトンの混合率 10% までは爆速増加し之以上にては降下し又四硝酸ペンタエリトリットにイソアミルアルコールを混合し  $\Delta = 1.35$  とすれば同様の関係あることを實驗せり。ヘキソゲンにグリセリンを混合せる場合は 10% にては爆速少しく降下し 30% にて極大となり其れ以上にては爆速降下する事を報告せり。

ヘキソゲン 70% の場合の極大を與ふる液體に對し實測値次の如し。

液 體 名	装填密度 g/cm <sup>3</sup>	爆 速 m/sec
クロロホルム	1.45	7390
イソアミルアルコール	1.35	7310
ヒ マ シ 油	1.40	7620
グ リ セ リ ン	1.40	7875

四硝酸ペンタエリトリット80%の時爆速の

※ 現在日本化薬厚俣作業所

極大を與ふる液體に對する實測値次の如し。

液 體 名	装填密度 g/cm <sup>3</sup>	爆 速 m/sec
クロロホルム	1.45	7675
ア リ ニ ム ン	1.45	7735
グ リ セ リ ン	1.40	7825

J. F. Roth<sup>71)</sup> 氏はニトロベンゾールとテトラニトロメタンを種々の割合に混合して其の爆速を測定せり。

M. A. Parisot<sup>72)</sup> 氏は硝酸アンモンにテトリール及ピクリン酸を混合し混合物の装填密度を  $1\text{g/cm}^3$  に一定し爆速を實測し後者の混合に從ひ爆速は直線的に降下することを述べたり。

以上の他 山本祐徳教授<sup>73)</sup> は組成の極めて複雑なる工業爆薬に對し詳細なる研究を行へり。

前記の諸研究を考察するに J. F. Roth の實驗は共に爆発性を有する液體を混合せる溶液なるを以て各成分は分子狀にて混合し居る均一系にしてむしろ單體火薬類と考ふべきにして爆發熱の異なる混合物が大體爆速大なる傾向を示せり。M. A. Parisot は爆発性を有する二種の固體を混合し混合物の装填密度を一定として爆速を測定せるも爆速小なる成分の混合率増加に從ひ爆速は略直線的に減少するものと認めらる。氏は此の場合直線的關係よりも複雑な關係あることを述べたるも少數の實驗にて又種々の條件に依り誤差を伴ふ事大なる爆速測定値に基きて測定曲線の微小の變化より一般的結論を導くは適當ならず。

A. Majrich, F. Storm は爆発性成分に發熱體たるアルミニウム粉を混合せる場合其の混合率の増加に從ひ爆速の低下することを實驗せるも混合せられたる物質の物理化学性質及其の混合率と二成分系火薬類の爆速の關

係に付ては何等一般的關係を見出し居らず。T. Urbanski 及 T. Galas は爆發性固體成分に非爆發性液體を混合せるものを一定の装填密度に於て爆速を測定し爆速の極大點に於ては爆發性成分の爆速よりも液體内の音速に相當する量だけ増加することを述べたるも非爆發性成分の混合率と二成分系火薬類の爆速の關係は明かならず。又以上總ての研究に於ては爆發性成分に非爆發性成分を混合したる二成分系火薬類の装填密度を變化せしめたる場合

爆速は如何なる變化をなすやは何等系統的に實驗され居らず。筆者は先づ此の點を實驗し又装填密度を一定として混合率と爆速の關係を系統的に實驗せり。混合すべき非爆發性成分としては其の物理化學的性質の相違せるもの特に燃焼發熱量、真比重、比熱、音速、反應性の廣範圍に變化せるものを使用し其の爆速に及ぼす影響を實驗せり。使用せる試料の物理化學的性質は表 14 に示す如し。

表 14. 非爆發性試料の性質

番號	試料名	真比重 g/cm <sup>3</sup>	燃焼熱 cal/g	細粉度 mm	音速 m/sec	比熱 cal/g
1	パラフィン	0.893	11400		1300	0.775
2	ナフタリン	1.182	9628	0.15 mm 不通 0.25 mm 全通		0.31 (常溫)
3	木粉	1.496	4200	0.14 mm 50%通過 0.50 mm 阻跡不通	1000—1700	0.4
4	アルミニウム粉	2.70	7800	0.04 mm 全通	5105	0.264 (500°C)
5	マグネシウム粉	1.75	6100	0.075 mm 全通	4600	0.223 (500°C)
6	タルク	2.706	0		390	0.2

## 2. 装填密度と爆速

## a. 實驗

二成分系火薬類に對し種々の装填密度に於ける爆速を測定せり。又 II(2)の爆速式に依り爆速を計算し實測値と比較せり。以下の圖に於ては計算値を實線にて示し測定値を・にて示せり。二成分火薬類の組成は表 15 に示す如し。

表 15

番號	成分	重量百分率
1	{ ヂニトロナフタリン + ナフタリン	95% 5%
2	{ ヂニトロナフタリン + ナフタリン	85% 15%
3	{ ヂニトロナフタリン + 木粉	85% 15%
4	{ ヂニトロナフタリン + 木粉	70% 30%

## 1. ヂニトロナフタリン(95%) + ナフタリン(5%)

實驗結果は圖 11 に示す如し。即ち爆速と装填密度は略直線的關係にあり。又先に II. (2)に於て導きたる理論式に依り計算せる爆速は表に示し又圖 11 の實線に示せる如く實驗誤差の範圍内に於て實測値と良く一致す。使用せる爆速式次の如し。

$$Dg = \frac{Dm}{\Delta m + a} \left\{ \frac{(100-x) \Delta g dm}{100 dm - x \Delta g} + a \right\}$$

## 2. ヂニトロナフタリン(85%) + ナフタリン(15%)

圖 11 に示す如し。即ち爆速と装填密度は略直線的關係にあり。又筆者の導出せる理論式に依り計算せる爆速と實測値は良く一致す。

## 3. ヂニトロナフタリン(85%) + 木粉(15%)

圖 11 に示す如し。即ち爆速と装填密度は略直線的關係にあり。又計算せる爆速と實測値は良く一致す。

## 4. ヂニトロナフタリン(70%) + 木粉(30%)

圖 11 に示す如し。即ち爆速と装填密度は略直線的關係にあり。又爆速の計算値と實測値は良く一致す。

## b. 考察

前記の實驗結果と爆速式に依る計算結果を比較し次の如く考察し得。

(一) 二成分系火薬類の爆速は装填密度増加に従ひ略直線的に増加す。

(二) 二成分系火薬類の爆速と装填密度の關係は先に理論的に導出せる次の爆速式に依り良く計算し得。

$$Dg = \frac{Dm}{\Delta m + a} \left\{ \frac{(100-x) \Delta g dm}{100 dm - x \Delta g} + a \right\}$$

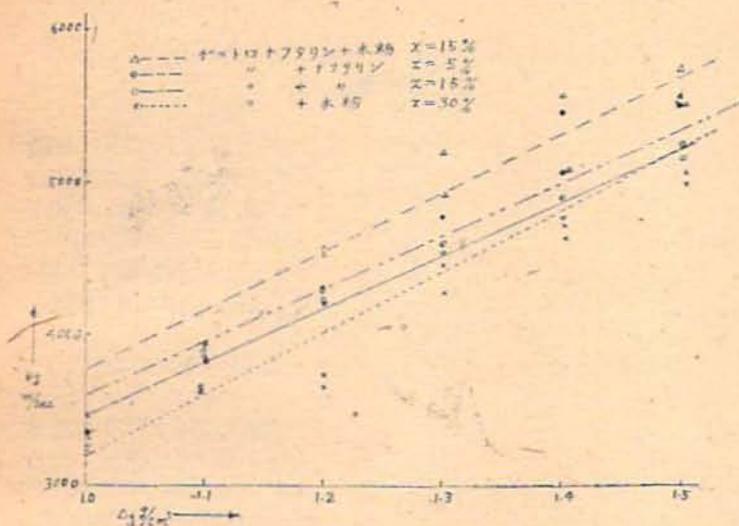


図 11

(三) 従て上記の爆速式を導出せる際の基礎的假定は妥當なるものと考へらる。即ち混合せられたる非爆發性成分は爆轟波面に於ては反應せず。其の熱焓熱量、比熱、反應性等は爆速に關係せず。其の眞比重が爆速に影響し二成分系火薬類の爆速は非爆發性成分の占有する空間を除きて計算せる爆發性成分の實裝填密度に對する其の爆速に依り決定さる。従て Roth の行へる如く全成分が爆轟波面に於て反應に與るものとして爆發熱等を算出し之より爆速及爆轟壓力を算出せんとする方法は適當ならず。

### 3 混合率と爆速

二成分系火薬類の成分混合率と爆速の關係を實驗せんとするに先に II. (2) に於て理論的に考察せる如く鑄造又は空隙なき場合と空隙を有する混合粉體なる場合とは其の性状著しく異なるを以て以下此の二種に大別して實驗せり。

#### 1. 鑄造

##### a. 實驗

1. ビクリン酸 + タルク  
ビクリン酸にタルクを 10, 20, 30% 混合し鑄造せるもの、爆速實驗結果は圖 12 に示す如し。即ち爆速はタ

ルクの混合率に殆ど關係なく一定にしてビクリン酸單體を鑄造せるもの爆速に等し。従て先に II. (2) に於て理論的考察に依り得たる次の關係成立す、

$$D_g = D_m$$

2. トリニトロトルオール + タルク

實驗結果は圖 12 に示す如し。即ち爆速はタルクの混合率に殆ど關係なく一定にしてトリニトロトルオール單體を鑄造せるもの爆速に等し。従て II. (2) の理論的豫想と一致す。

ビクリン酸の場合もトリニトロトルオールの場合も

タルクの如き不活性物質を 30% の大量まで混合するも爆速が減少せざるは注目すべき事なり。

#### 3. ビクリン酸 + アルミニウム

實驗結果圖 12 に示す如し。即ち爆速はアルミニウムの混合率に殆ど關係なく II. (2) の理論的豫想と一致す。

#### 4. トリニトロトルオール + アルミニウム

實驗結果は圖 13 に示す如し。即ち爆速はアルミニウムの混合率に殆ど關係なく II. (2) の理論的豫想と一致す。

#### 5. トリニトロトルオール + マグネシウム

實驗結果は圖 13 に示す如し、即ち爆速は

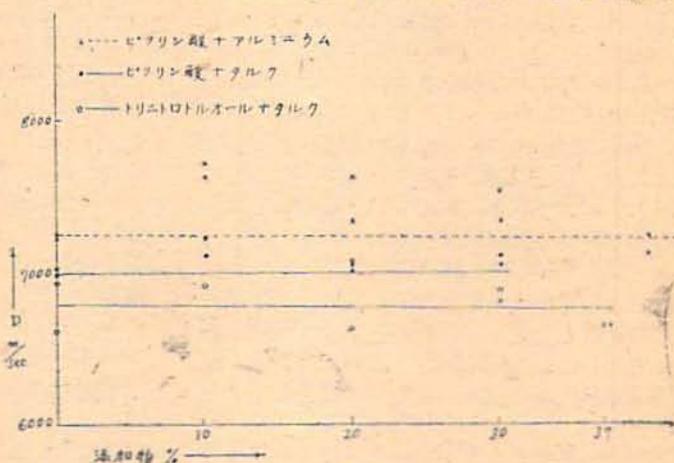


図 12

マグネシウムの混合率に殆ど関係なく II (2) の理論的豫想と一致す。

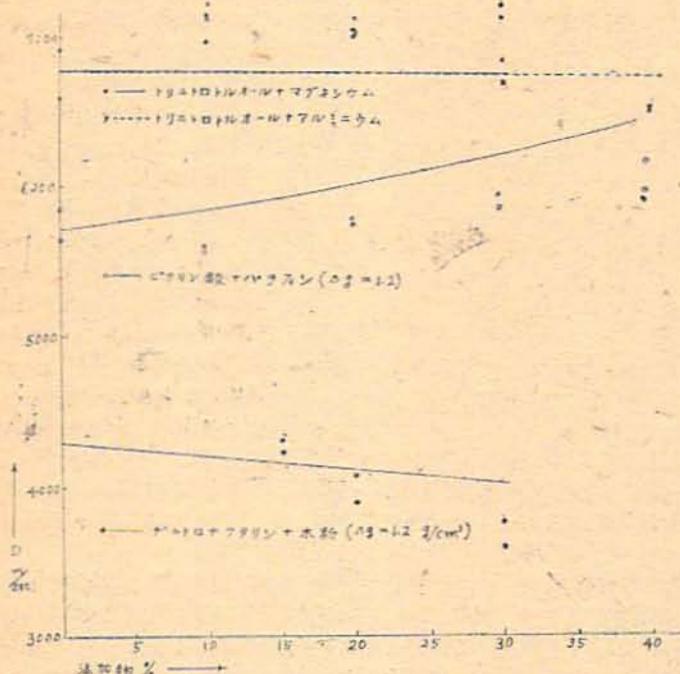


圖 13

#### b. 考察

前記の實驗結果より次の如く考察し得。

(一) 鑄造の場合二成分系火薬類の爆速は非爆發性成分の混合率に殆ど関係せず其の爆速は爆發性成分単體の爆速に等し。即ち

$$D_g = D_m$$

(二) タルクの如く化學的に極めて不活性なる物質とアルミニウム及マグネシウムの如く化學的反應性に富み且燃燒熱量大なる物質が二成分系火薬類の爆速に對し同一の影響を與ふる實驗結果より考ふるに之等の成分は爆轟波面に於て反應に與らざるものと認めらる。即ち II. (2) の理論的考察は前記の實驗結果より考ふるも妥當なり。従て Roth 等の行へる如く全成分が爆轟波面に於て反應に與れるものとして爆發熱等を計算し之より爆速及爆轟壓力等を算出せんとする方法は適當ならず。

(三) タルクとアルミニウム及マグネシウム内の音速は著しく相違するも其の二成分系火薬類の爆速に對する影響は同一なり。従て

Urbanski の音速に基く説は妥當ならず。

#### ロ. 混合爆藥

##### a. 實驗

先に II. (2) に於て理論的に考察せる如く粉體混合の二成分系火薬類の爆速と混合率の關係は裝填密度に依り其の傾向を著しく變化し鑄造の場合に比し複雑なり。

##### 1. チニトロナフタリン + 木粉

實驗結果は圖 13 に示す如し。即ち裝填密度  $\Delta_g = 1.2$  一定に於て非爆發性成分たる木粉の混合率増加に従ひ爆速は略直線的に減少す。先に II. (2) に於て理論的に導出せる爆速式を用ひて計算せる値も圖 13 に於て實線にて示せるも大略實測値に近し。使用せる爆速式は次の如し。

$$D_g = \frac{D_m}{\Delta_m + a} \left\{ (d_m + a) + \frac{10x d_m (\Delta_g - d_m)}{100 d_m - x \Delta_g} \right\}$$

此の場合には先に II. (2) 4. ㊦ に於ける  $\Delta_g < d_m$  の場合にして爆速は混合率  $x$  の増加に従て減少す。

##### 2. 四硝酸ペンタエリトリット + パラフィン ( $\Delta_g = 0.8$ )

實驗結果は圖 14 に示す如し。即ち I. (2) の理論的考察に於ける

$$\Delta_g < d_m$$

の場合にして爆速は非爆發性成分たるパラフィンの混合率増加に従ひ略直線的に減少す。先に II. (2) に於て導出せる爆速式に依る計算値を圖 14 に於て實線を以て示せるも大略實測値に近し。

##### 3. 四硝酸ペンタエリトリット + パラフィン ( $\Delta_g = 1.0$ )

實驗結果は圖 14 に示す如し。此の場合には

$$\Delta_g > d_m$$

にして又  $\Delta_g$  は  $d_m$  に近きを以て爆速はパラフィンの混合率増加に従ひ殆ど變化せず。II. (2) の爆速式に依る計算値も大略實測値

に近し。

4 四硝酸ペンタエリトリット + パラフィン ( $\Delta g = 1.2$ )

実験結果は圖 14 に示す如し。此の場合は  $\Delta g > dm$

にして爆速はパラフィンの混合率増加に従ひ増加す。

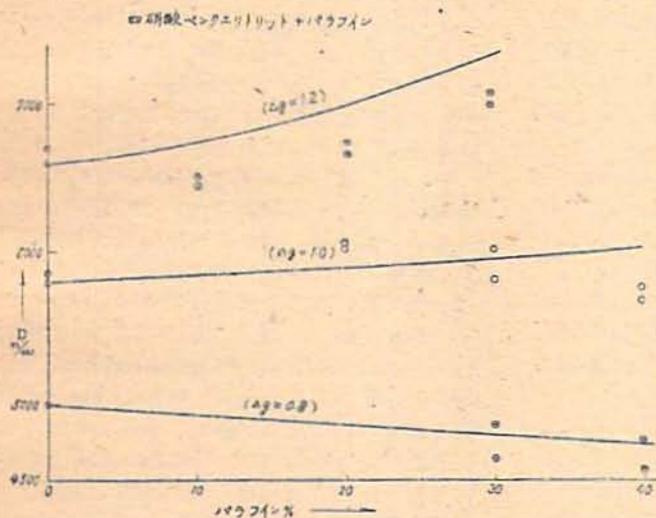


圖 14

5 ビクリン酸 + パラフィン  $\Delta g = 1.2$

実験結果は圖 13 に示す如し。即ち

$\Delta g > dm$

の場合にして爆速はパラフィンの混合率増加

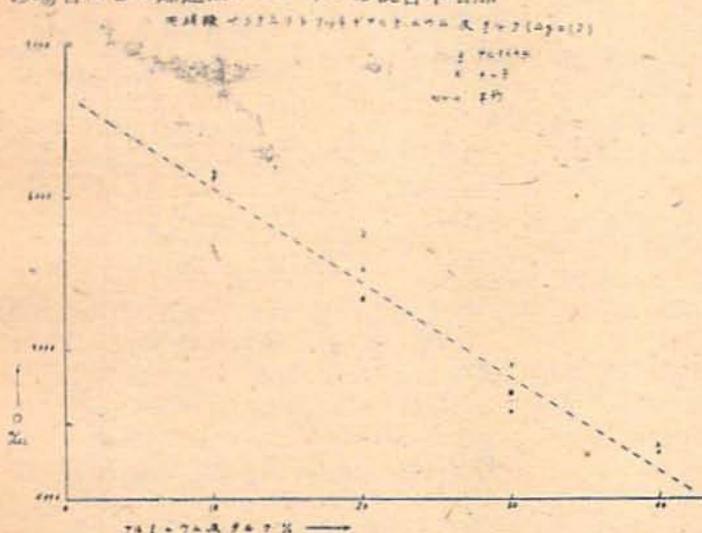


圖 15

に従ひ増加す。

6. 四硝酸ペンタエリトリット + アルミニウム及タルク ( $\Delta g = 1.2$ )

前記の 1—5 の実験に依り二成分系火薬類の爆速に對しては非爆發性成分の眞比重が決定的影響を有することを明にし得たり。此の結論を更に確むる爲眞比重殆ど同一にして化學的反應性、燃燒熱量、爆速の甚だしく相異なるアルミニウム及タルクを四硝酸ペンタエリトリットに混合し、其の裝填密度を一定にし爆速を測定せり。其の實驗結果は圖 15 に示す如し。即ちアルミニウム及タルクを混合せるものは殆ど同一の爆速を示し II (2) の理論的考察の基礎假定の正しきことを明にし得たり。

b. 考察

前記の實驗結果より次の如く考察し得。

(一) 二成分系火薬類の爆速と非爆發性成分の混合率の關係は裝填密度の大小に依り其の傾向を全く異にす。其の何れの場合に於ても先に II. (2) に於て理論的に導出せる爆速式に依り爆速を計算し得。

(二)  $\Delta g < dm$  の場合は非爆發性成分の混合率増加に従ひ爆速は減少す。

(三)  $\Delta g = dm$  の場合は非爆發性成分の混合率に關係なく爆速は一定なり。

(四)  $\Delta g > dm$  の場合は非爆發性成分の混合率増加に従ひ爆速は増加す。

(五) 上記の爆速式を導出せる際の基礎假定は前記の實驗範圍に於ては妥當なるものと考へらる。即ち混合せられたる非爆發性成分は爆轟波面に於て反應に參與せず。其の空間占有効果即ち眞比重が爆速に決定的影響を有し二成分系火薬類は非爆發性成分の占

有する空間を除きて計算せる爆發性成分の實裝密度に對する其の爆速を以て爆轟す。従て Roth 等の行へる如く全成分が爆轟波面に於て反應に參與すと假定して爆速等の動的特徴數を計算する方法は適當ならず。

#### 4. 爆速式に関する考察

二成分火薬類に對する以上の實驗結果を見るに先に II (2) に於て導出せる爆速式は裝填密度と爆速の關係、混合率と爆速の關係を可成り正しく示す事を知る。從來之等の關係は其の定性的傾向も殆ど不明にして時には逆方向の推論が行はれたる事は先に II (2) 1 及 III (3) 1 に於て述べたる如し。

前記の爆速式は混合率増加に依り爆速が増加する事も又減少することも又變化せざることもある事を一式にて表し得たるものにして從來行はれたる斷片的研究及推論は何れも上記の爆速式の示す結果の特殊の場合のみを實驗し論じたるものにして本研究の理論的考察及實驗に依り之等の狀況ははじめて系統的に明にされたるものなり。

特に發熱量、比熱、音速、反應性の甚だしく異なるアルミニウム粉とタルクが其の眞比重殆ど同一なる爲爆速に對し殆ど同一の効果を及ぼす事は先に III (3) の實驗に依り明になりたる著しき事實にして先の爆速式の理論的根據が正しき事を示すものなり。

次に二成分系火薬類の混合物と爆速の關係に對しははじめて定量的なる理論を提出せる Urbanski の音速説を考察せんとす。氏に依れば二成分系火薬類の爆速  $V_0$  と混合物を無しとして計算せる爆發性成分の裝填密度に於ける爆速  $V_r$  と混合物中の音速  $C$  の和に等しと推論せり。氏の計算値と實測値の差は 320 ~ 250 m/sec 程度なり。其數値は先に III (3) 1. に述べたり。即ち

$$V_0 - V_r = C$$

然し氏は混合率と爆速の關係は理論的に解説せず。上記の關係は爆速が最大となる混合率に於てのみ成立す。此の理論は次の如く批判し得。

イ、アルミニウム粉とタルクの如く音速の 13 倍近く異なる混合物が爆速に同一の効果を與へる事實は氏の説にては全然説明し得ず。筆者の爆速式に依りはじめて説明し得。

ロ、氏の説は實用上必要なる混合率と爆速の關係を何等説明し得ず。筆者の爆速式に依

り計算すれば氏の示せる混合率と爆速の關係を混合率零より爆速の極大値に至る間に於て説明し得。II (2) の爆速式に依る計算値と實測値の比較は表 16 に示す如し。即ち略一致す。又極大値以降爆速が降下するは先に述べたる混合物の第二次的空間占有効果即ち遮斷効果が第一効果に勝つ爲なり。尙極大點が混合物の種類に依り例へばヘキサジエン-グリセリンに於ては後者の 30%、ヘキサジエン-アセトンに於ては後者の 10% にあるが如き著しき差はグリセリンの眞比重 1.226、アセトンの眞比重が之に對し 0.792 なる事實より筆者の爆速式に依りはじめて説明し得。

ハ、氏は其の爆速式の誘導解説に於て混合物無き場合の裝填密度に對する爆發性成分の爆速  $V_1$  に音速を加へたるも爆轟の熱力學理論より考察すれば混合物の占有空間を除きたる空間に對する爆發性成分の實裝密度に對する爆發性成分の實裝密度に對する爆速  $V_r'$  を用ふべきなり。即ち氏の説は爆轟波に對する分子の占有容積又はコボリウムの影響等に關する物理化學的通説に對し甚だ矛盾せり上記の如き  $V_r$  に對し  $C$  を加へたるものが  $V_0$  となるものと推論する方が遙に合理的なり。かくして爆速式を導き實測と比較するに何れも甚しく相違するのみならず定性的傾向すら示し得ず。

表 16

四硝酸ベンクエリトリット+液體(Urbanski)

成分 %	液體裝填密度 眞比重 g/cm <sup>3</sup>	裝填密度 g/cm <sup>3</sup>	爆速 (實測)(計算)	
			m/sec	m/sec
四硝酸ベンクエリトリット 90	1.35	0.812	7350	7530
イソアミールアルコール 20	1.479	1.45	7575	7470
クロロホルム 20	1.022	1.45	7735	8140
アリニオン 20	1.226	1.10	7825	7500

次に多成分系火薬類の特徴數の計算法に關し考察するに前記の實驗及考察に依り明になりたる如く非爆發性成分が爆速波面に於て反應に參與するものとして動力學的特徴數を計算せんとする Roth 式の方法は適當ならず。即ち爆速、爆轟壓力等の動力學的特徴數の計算は特殊の考慮を要す。

#### IV. 爆轟波の微細構造

## (1) 一般

火薬類は一旦起爆せしむれば其の全薬幹を一定の速度を以て爆轟が傳はる事實は古くより知られたる著明の事實にして此の經驗的事實に基き歸納的に定常爆轟波の熱力學的爆轟理論を樹て得る事は先にII.に於て述べたり。此の平衡理論に於ては連続的に現象が生起するものとして種々の連続的力學法則を基礎として考察せるも火薬類の爆轟に於ては未分解層が爆轟生成ガス分子の衝撃に依り活性化せられ次に分解してガスとなり爆轟波面に於てエネルギーを遊離放出し爆轟生成ガスは不連続的様相を示し未分解層は不連続的に活性化せらる。又爆轟波面は熱力學的に爆轟理論に於て假定せる如くには完全なる不連続面に非ずして火薬類結晶粒子の間隙、高温ガス分子の擴散等の爲連続的層を有するものと考へらる。かくして長時間に亘つて火薬幹の爆轟を觀測すれば爆轟は一定速度を以て進行するも極めて短時間内の狀況を觀測すれば前記の不連続性を示すを以て高速度回轉寫眞機に依り爆轟波の狀況特に爆轟理論上極めて重要な爆波面直後の爆轟生成ガスの流速を觀測し得るものと考へ實驗を行ひたるに所期の結果を得たり。其の一例を圖 16 に示せり。

従來爆轟波直面後の爆轟生成ガスの流速測定は爆轟の理論的研究の見地及爆轟爆轟壓力測定上極めて重要視<sup>74</sup>せられ其の必要を痛感され居りたるものなるも未だ成功せるものなし。R. Becker<sup>75</sup>は火薬を爆轟せしめ之を高速度回轉寫眞機にて撮影し通常の方法にて爆速を測定したる際火薬の末端(起爆點の反對端)より真空中に放出するガスの流速を測定し之を爆轟生成ガスの流速  $W$  と考へたるも爆轟理論に於て重要な  $W$  は火薬類の爆轟しつつある際の爆轟波面直後のガス流速にし

て R. Becker の測定せるものは全火薬幹が爆轟し終りたる後の膨脹放出速度にして爆轟理論に於て求めらる  $W$  とは別箇のものなり。

尙高速度回轉寫眞に依り氣體爆發の際の爆轟波面の微細構造を明にし爆轟の機構を明にせんとする實驗研究は詳細に行はれ居り。殊に爆轟波面に於ける構造の觀測に依り所謂爆轟スピンを實驗研究せるものに C. Campbell<sup>76</sup>, D. W. Woodhead, W. A. Bone<sup>77</sup>, R. P. Fraser, W. H. Wheeler 等あり。又之等の實驗結果を理論的に考察せるものに K. Shtsholkin<sup>78</sup>, R. Becker<sup>79</sup>, W. Jost<sup>80</sup> の研究あり。

## (2) 高速度回轉寫眞機による實測

先に III. (1) に於て述べたる爆速測定用の高速度回轉寫眞機を用ひ爆轟波の進行狀況を觀測せり。實驗はテトリール及トリニトロトルオールに付行ひたり。

高速度回轉寫眞に依りテトリールの薬幹を爆轟せしめたる狀況を撮影したる一例は前掲の如し。

寫眞に於て左上方が起爆端にして之と反對端なる右下方の薬幹最末端より爆轟ガスが爆

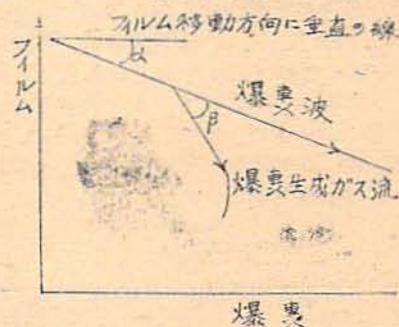


圖 17



圖 16

速に近き(爆速より大なる部もあり)高速度にて噴出膨脹する状況が寫眞上に良く認めらる。測定條件次の如し。

薬種 テトリール 薬量 2.1 cm 装填密度 1.4g/cm<sup>3</sup> 薬長 40 cm 薬量 102.9g 容器 セロファン包装 フィルム線速度 60m/sec 撮影像縮小率 =  $\frac{\text{撮影薬長}}{\text{実薬長}} = \frac{16}{400}$

表 17 テトリール及トリニトロトルオール  
の爆轟生成ガス流速

薬種	装填密度 g/cm <sup>3</sup>	フィルム線速度 m/sec	爆速D m/sec	爆轟生成ガス流速 Wm/sec
テトリール	1.3	75	6900	2250
〃	1.4	76	6940	2220
〃	1.5	75	7330	2050
トリニトロトルオール	1.3	75	6000	2080
〃	1.4	76	6300	2010

圖 17 の角度 $\alpha$ 及 $\beta$ を實測し又フィルム線速度及撮影像縮小率を用ひ爆速D及爆轟波面直後の生成ガス流速Wを得。

A. Schmidt<sup>21</sup> は Abel-Noble 状態方程式を用ひ熱力學的爆速理論式を導き爆薬の分解生成物、爆発熱は實驗値を用ひ爆速の計算結果と W. Friederich の爆速測定値より逆に Abel-Noble 式のロボリウムを求めたるも其の際テトリール及トリニトロトルオールに對し次の如く生成ガス流速 W を算出せり。Abel-Noble 式を使用する場合は W は装填密度には直接には無關係となる。

$$W = \sqrt{\frac{RT^2}{kM}}$$

薬種	装填密度 (實測)	爆速 (實測)	爆轟生成ガス流速計算
テトリール	1.0	5480	1010
〃	1.23	6510	1005
〃	1.45	7220	1007
〃	1.54	7375	999
〃	1.61	7470	1000
トリニトロトルオール	1.0	4700	897
〃	1.29	5900	900
〃	1.49	6500	896
〃	1.59	6900	891

次に生成ガス流速Wが從來熱力學的計算に依り推算せられたる値より約100%大なる理由に付考察せんとす。

火薬類の爆速は數 1000 m/sec にして爆轟波面は極めて短時間に火薬分子層を通過す。一方爆轟波面直後に於ける爆轟生成ガスの密度は熱力學理論の示す如く元の火薬類の装填密度より大なり。此の二つの理由に依り生成ガス分子の運動の自由度はガス分子が緩漫に相互作用し且濃度稀薄なる場合に比し相當減少す。此の爲生成ガスの爆轟波面直後に於ける比熱は通常の状態に於ける比熱に比し相當小となり従つて爆轟温度  $T_2$  は之に相當して高くなり生成ガス流速Wは大となり爆轟波面に於ける壓縮も更に強度となり爆轟壓力は増加す。此の自由度の減少に依る比熱の減少は分子音響學<sup>22</sup>に於ける音波の分散に相當するものと考ふるを得べし。

### (3) 爆轟スピニに關する考察

先に述べたる筆者の固體爆薬に關する高速度回轉寫眞に依る觀測に依り認められたる爆轟波の不連続的構造は從來氣體の爆轟に於て觀察せられたる爆轟スピニに相當するものと考へらる。従て氣體の爆轟スピニに關する從來の考察を火薬類の場合に對して批判考察することが可能なり。以下主なる見解に就き述べんとす。尙火薬類の爆轟スピニに類似すると認めらる、研究には Urbanski 及 Parisot の研究あるも何れも不詳明にして不規則的なるものにして筆者の觀察せる火薬類の爆轟スピニとは甚しく異れり。

#### 1. 不整齊分解説

Tadeusz Urbanski<sup>23</sup> 氏は硝酸アンモンとニトログリセリンの混合物及硝酸アンモンとトリニトロトルオールの混合物を硝子管内にて爆轟せしめ之を高速度寫眞機にて撮影し爆轟波面は螺旋狀の運動をなす事を認めたり。氏は此の現象を次の如く説明せり。即ち火薬類の分解には種々の様式あり高温ガスは光強く低温ガスは弱し。又衝擊波は正弦曲線的の傳播を爲す爲起爆が對稱的に一樣ならず。即ち氏の考へは薬の分解が薬管軸に對し不整齊に生ずる爲爆轟スピニが生ずとの説を見做し得。

#### 2. 回轉説

M. A. Parisot<sup>24</sup> 氏は硝酸アンモンとヘキサソージンの混分物及ピクリン酸の爆轟狀況を

高速度回轉寫眞にて測定し螺旋狀に發光することを認め爆轟の限界に近き時即ち爆速の小なる時此の螺旋狀傳播が生ずることを認めたるも其の原因は不明なりと述べ液體を圓筒内に流す場合其の粒子は螺旋狀運動をなし其の流速が速き程ピッチが大なる事に言及せり。従つて氏の考へは爆轟ガスの回轉説に屬するものと認めらる。

K. Shtsholkin<sup>65</sup>氏は爆轟生成ガスを非壓縮性理想流體と假定して流體の螺旋運動を流體力學に依り計算し之に依り氣體の爆轟スピンを算出し Bone, Fraser の實測スピンの數と比較し二、三の場合を除き計算と實測が略一致することを述べたり。

### 3. 不連続反應説

W. Jost<sup>66</sup>氏は氣體の爆轟スピンを次の如く説明せり。爆轟波面に於ける化學反應は連続的に行はれず不連続的に生ず。圖 18 に於て爆轟波面は A に於て未分解層と接すとすれば波面が AB を進行したる後に AB 間に化學反應を生ず其れ迄は何等エネルギーの發生は無き爲衝擊力は弱められ減速さる。しかる後急激に化學反應が AB 間に生ずる爲エネルギーが衝擊波の波面に與へられ衝擊波は AB の前後に加速さる。此の間波面は更に次の BC に進むも化學反應は未だ生ぜず波は減速され次に突然化學反應を生じ波は加速さる。かくして高速度回轉寫眞に依り爆轟を觀測すれば圖 14 下部の如く爆轟スピンの稱せらるゝ現象を生ず。後述する R. Becker の説明も之に類似のものなるも R. Becker の説は出發

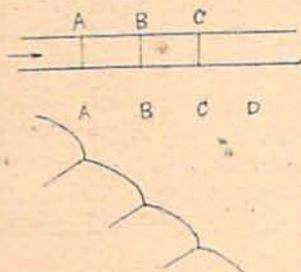


圖 18

點を異にし又衝擊波の前方に於て發火すると考ふるに反し Jost の説は既に衝擊波の通過せる部分に於て反應が生ずるものと考ふ。此の考察によれば爆轟的化學反應が生ずる迄に波面が進行すべき距離 AB は反應系が不活性の程大なるべし。不活性なる CO-O<sub>2</sub> 系爆轟は

ピッチ大なる従て周波數小なるスピンを實驗的に示し爆轟氣體 H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> 系に於ては反應の不活潑なる濃度限界に於てのみスピンの實驗的に認めらるゝ事實あり。分解能の更に大なる寫眞機を用ふれば活性反應系に於てもスピンの見出さるゝ筈なり。但しスピンのピッチが管の直徑に略比例する事實及管壁に時として螺旋狀の軌跡が淺る事實は此の不連続反應説にては説明し得ず。更に爆速安定の熱力學理論と上記の考察が調和し得るや又平均爆速と安定爆速とは規則的な差異を示すや否やは尙今後の研究を要すと論じたり。

R. Becker<sup>67</sup>氏は氣體爆轟の熱力學的理論の基礎式なる Hugoniot 式を P-V 座標に表したる所謂 Hugoniot 曲線を用ひて氣體の爆轟スピンを次の如く解説せり。圖 19 に示せる Hugoniot 曲線の B 點に於て生じたる爆轟は安定爆速を示す J 點に向つて移動し弱化する事は熱力學理論の證明する所なり。B に於て強制的に生ずる爆轟に於て溫度は J に於けるより遙に高き爲化學反應速度は十分大なり。B より J に向つて爆轟の弱まる際爆轟が消滅する事となり得るも消滅は J 點の極めて僅か上方の點に於て生じ爆轟は極めて短時間消滅するも急激なる反應に依り生じたる衝擊波は波面の直前に新に爆轟を生じ此の新しく生じたる爆轟は又直ちに弱化して消滅す。かくて律動的なる現象を生ず。Bone, Fraser, Wheeler は 5,000 V/cm の電壓を爆轟波面の自由電子が未分解層に向つて追出さるゝ方向に作用せしむれば爆轟が消滅し之と反対方向に作用せしむれば爆轟が少しく増加する事を實驗したるも之は化學反應に自由電子が必要なる爲自由電子を衝擊波の波面と燃燒波面の中間の部分の反應帯に向つて加速せしむれば反應が促進せしめられるものとして説明し得。

### 4. 超音速流説

火薬類の爆轟は媒質内の音速以上に高速度にて進行す。一方流體を音速以上の速度にて流出せしむる時は流速と音速の關係に依り其の傾斜の定まる斜の條紋を生ずる事は既に流體工學に於て良く知られたる處にして理論的<sup>68</sup>及實驗的に此の現象は能く解説せられたり H. Muraour<sup>69</sup>は此の類推に着目し先に Urbanski の撮影せる火薬類爆轟の際の不規則的發光現象を之に依り解説せんとせり。

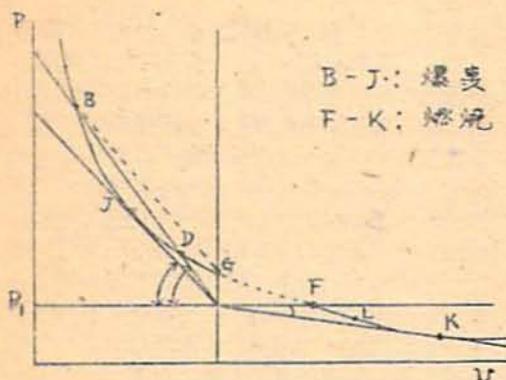


圖 19

以上爆轟スピン及其れと類似の現象に對する従来の諸説を概略述べたるも之等に對する考察次の如し。

Urbanski, Parisotの撮影せる火薬類の爆轟波の不規則狀況は Bone 等が氣體爆轟に於て又筆者が爆薬類に就て撮影觀察せる極めて規則的な爆轟スピンに比すれば甚だ相違し爆轟スピンとは確め難くむしろ火薬類の不完全分解等に依りものと考へらる。又氣體の爆轟スピンを爆轟生成ガスの回轉に依り説明せんとする K. Shishokin の計算は熱力學的に矛盾し又不壓縮性理想氣體の假定を基とし合理的と認め難し。又若し爆轟生成ガスが高速度にて回轉し居るものとすれば全薬幹が爆轟し終りたる後の噴出ガスは慣性に依り此の回轉を若干繼續すべきなるも筆者の火薬類に於ける實驗に依りて明かなる如く此の現象は認められず。

高度の壓縮を受くる氣體には Jost 及 Becker の不連続反應説は極めて興味ある假説なるも其の假説は現在の處氣體爆轟の速度の計算と實驗の極めて良好な一致を與ふる熱力學的理論の基礎と調和せず。又衝擊波が爆轟波の反應面即ち反應より先行して此の衝擊波が化學反應を生ぜしむるものと假定せるも反應波の速度は極めて早く未分解氣體中の音速より極めて大なる爲此の未分解氣體中の彈性波は反應波に先行し得ずと考ふべきなり。又火薬類に於ても之等の事情は同様なり。氣體に於ては其の未分解層の彈性的壓縮に依り發火點迄に達し得るも火薬類に於ては之は不可能なる事は從來良く認められたる<sup>10)</sup>處なり。即ち之等の不連続反應説は火薬類の爆轟機構の解説として最も古く現在一般に認められざる

Berthelot の衝擊波の斷熱壓縮説と一貫通するものなり。氣體爆轟に於ては或は可なりとするも火薬類に於ては不合理なり。

Muraour の超音速流速は Urbanski の不規則的爆轟に類推せるも爆轟に於ては音速以上の流れの存在は認められず。むしろ全薬幹が爆轟し終りたる後の生成ガスの噴出に於て此の超音速流に特有の條紋を生ずべきものと期待せるも筆者の火薬類に對する實驗に於て明かなる如く此の現象は観測されず。

5. 火薬類の爆轟スピンに關する考察  
爆轟スピンに對する筆者の見解は次の如し。

先に II. (1) 3. に於て考察せる如く火薬類は其の一端を起爆せしめらるゝや爆轟波面に於ける爆轟生成ガスは極めて高温、高壓、高密度にして其の分子は運動エネルギー大にして之が未分解層を衝擊し火薬分子は活性化エネルギーを得て次々に爆轟が傳播するものなり。今火薬類の結晶粒子を或る裝填密度に裝填せる薬幹の爆轟を考ふるに爆轟生成ガス分子の平均速度は其の高温高壓なる爲甚だ大なるも其の速度は Maxwell 速度分布則<sup>1)</sup>に従て此の平均速度より極めて大なる速度を有する分子若干を含む。其のエネルギーが火薬分子を活性化せしむるに十分なるガス分子は火薬分子に衝突するや直ちに之を活性化し分解せしむるも火薬類の結晶間隙あるを以て極めて高速度にして爆轟波面より大なる速度を有する若干の分子は爆轟波面又は反應面に先行す。之を先行ガスと稱することとす。ガス分子は重複配列されたる結晶に妨げられ爆轟波面より若干の距離のみ先行す。此の先行ガス及爆轟波面に於ける生成ガスの衝擊に依り之等に依り圍まれたる未分解結晶は急激に分解し強く發光す。此の先行距離を先行ガス層と稱することとす。此の先行ガス層は其の内の未分解結晶急激に分解する迄或る時間爆轟波面よりは弱き發光をなす。之は未分解結晶が高温の先行ガスの發する光を遮斷する爲なり。

即ち筆者の見解に依れば未分解の爆薬結晶の活性化は彈性波に依るものに非ずして爆轟生成ガス分子の衝擊に依るものなり。しかし常に先行ガス層が次々に氣體化して爆轟生成ガスとなり爆轟波は  $P_2, V_2, T_2$  の氣體内の爆轟波として進行す。尙粉體火薬類に非ざる液體及鑄造火薬類に於ては此の先行ガス層の

厚さが極限値として零に近づけるものにして爆轟の機構は粉体火薬類と同様なり。

尙筆者の上記の爆轟スピンの理論に於て想定せる先行ガスの存在は物理化学的に合理的のみならず全薬粒が爆轟し終りたる時最末端より大気に噴出する爆轟生成ガスの發光せるもの、速度が爆速より大なる事實は筆者の撮影せる寫眞により明かなる實驗的事實にして、此の先行ガスの存在は實驗的にも證明せられたるものと考ふ。爆轟の熱力學的理論に於ける爆轟生成ガス流速 $W$ は之と別箇のものにして爆轟波面直後の生成ガスの群速度なり。

以上述べたる筆者の爆轟スピンに對する新しき解説は熱力學的理論と矛盾せず又分子運動論的にも合理的にして實驗せられたる現象を最も合理的に説明し得るものと考ふ。

#### V. 火薬類の猛度

##### (1) 一般

先に述べたる如く爆轟波面直後の爆轟生成ガスの流速 $W$ に對する筆者の實測値と A. Schmidt の計算値 II. (1), 1. (ハ) を比較するに前者は後者の約 100% 大なり。一方爆轟の基礎式より

$$W = (v_1 - v_2) \sqrt{\frac{P_2 - P_1}{v_1 - v_2}}$$

$$D = v_1 \sqrt{\frac{P_2 - P_1}{v_1 - v_2}}$$

從て

$$\frac{W}{D} = 1 - \frac{v_2}{v_1}$$

從て爆轟波面に於ける壓縮は從來の計算に依る推測に比し相當大なり。又上式より爆轟波面に於ける壓力  $P_2$  は  $P_2 > P_1$  なる故  $P_1$  は無視し

$$P_2 = \Delta DW \quad \text{但し} \quad \Delta = \frac{1}{v_1}$$

$W$  の實測値は A. Schmidt の計算推定値より約 100% 大にして  $\Delta$  = 装填密度及  $D$  = 爆速は容易に實測せるを以て爆轟壓力は筆者の  $W$  の實測に依り從來の推定計算値より約 100% 大となる。

從來火薬類の猛度を表はすに爆轟波に依る衝動量の式

$$i_1 = P_2 - P_1 + \rho_2 W^2 = \Delta DW + \rho_2 W^2$$

の式中第二項は小なりとの理由に依り

$$B = \Delta DW$$

を猛度とするを最も適當と考<sup>22)</sup>へられたり。全衝動量  $i$  は又次の如く表し得。

$$i = P_2 - P_1 + \rho_2 W^2 = \Delta DW \frac{D}{D - W}$$

先の猛度式を提出せる R. Becker はトリートロトルオールに對し  $\frac{D}{D - W} = \frac{7000}{6000} = 1.17$

と認め  $i = B$  とせるものなり。其の後 A. Schmidt, J. F. Roth 等も同様に取扱へるも先に筆者の實驗に依り明になりたる如く  $W$  は  $D$  に比し從來推察せられ居りたるより約 100% 大にして  $\rho_2 W^2$  の項は  $\Delta DW$  に比し無視するは合理的ならざる事を知れり。從て猛度式としては次の全衝動量を用ふべきなり。殊に火薬類の猛度は著しき方向性を有することは衆知の事實にして此の性質は從來の如く靜壓力  $P_2$  のみを猛度と見做しては表はし得ざる處にして此の猛度の著しき方向性は爆轟生成ガス流速のみに依る項  $\rho_2 W^2$  を考察してはじめて表はし得るものなり。尙火薬類の爆轟機構の説明として此のガス流速に依る未分解層の火薬分子の活性化が重視される、點は以上の考察と關連して注目すべき點なり。即ち

$$B = \Delta DW \frac{D}{D - W}$$

尙 C. Beyling<sup>20)</sup> 及 K. Drekopf は  $\frac{W}{D}$  を  $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{7}$  と考へ其の平均値  $\frac{1}{6}$  をとり

$$P_2 = \frac{1}{6} \Delta D^2$$

に依り  $P_2$  を算出せり。氏の計算値は次の如。

薬名	装填密度 g/cm <sup>3</sup>	爆速 m/sec	爆轟壓力 kg/cm <sup>2</sup>
スプレングセラチン	1.63	7800	168000
ダイナマイト 1	1.53	6500	110000
アンモニセラチン 1	1.53	6150	98000
アンモニツト 1	1.1	4850	41000
クロフチツト 3	1.6	3350	30500
ウニツテルデトニツト B	1.05	3100	17100
ウニツテルザリツト A	1.1	3350	20400
ウニツテルノベリツト B	1.7	5650	92200

氏の計算方法を考察するに先に述べたる筆者の  $W$  の實測に依り明かなる如く  $W$  は殆ど  $D$  に

無關係に一定なるを以て  $W = \frac{D}{6}$  と假定するは適當ならず又  $W$  は氏の假定値の約倍なるを以て氏の算出せる爆轟壓力は小に過ぐるものと考へらる。

### (2) 全衝動量の計算

先に述べたる如く火薬類の猛度  $B$  は波面に於ける全衝動量  $i$  を以て表はすべきものにして従來の如く爆轟壓力  $P_2$  を以て表はすは適當ならず。

全衝動量  $B$  は

$$B = \frac{\Delta W D^2}{D - W}$$

又爆速  $D$  と装填密度  $\Delta$  の關係は

$$D = D_m \frac{\Delta + a}{\Delta_m + a}$$

従て

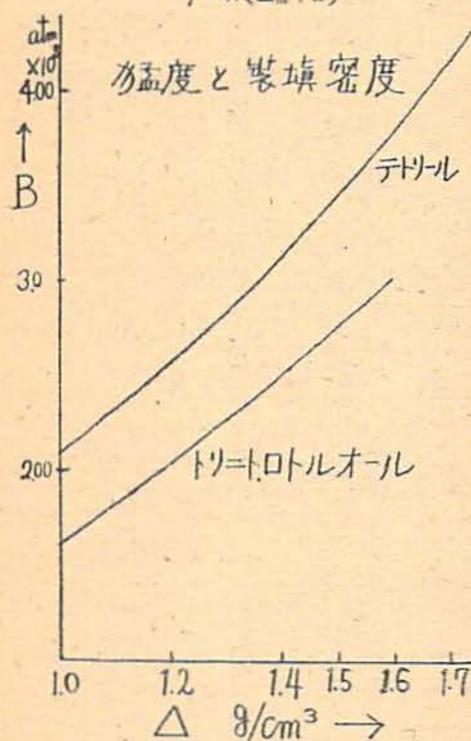
$$B = \frac{a \Delta (\Delta + a)^2}{\beta (\Delta + a) - \gamma}$$

但し  $a, \beta, \gamma$  は各火薬類に個有の常數にして

$$a = W D_m^2$$

$$\beta = D_m (\Delta_m + a)$$

$$\gamma = W (\Delta_m + a)^2$$



同 20

先に IV (2) に於て爆轟波面直後の生成ガスの流速  $W$  を實測せる結果に依れば  $W$  の値は火薬類の装填密度に殆ど關係せずテトリールに於ては約 2200 m/sec, トリニトロフェールに於ては約 2000 m/sec なり。此の値と先に III. (2) に於て實測により決定せる爆轟式とより種々の装填密度に於ける全衝動量即ち猛度を計算せる結果は表 18 及圖 20 の如し。

テトリールの装填密度と猛度

$$B \text{ atm} = \frac{1.48 \times 10^5 \Delta (\Delta + 0.724)^2}{2.0 (\Delta + 0.724) - 1.32}$$

トリニトロフェール

$$B = \frac{0.902 \times 10^5 \Delta (\Delta + 0.697)^2}{1.55 (\Delta + 0.697) - 1.04}$$

表 18

装填密度	衝 動 量 atm	
	テトリール	トリニトロフェール
1.0	$2.10 \times 10^5$	$1.62 \times 10^5$
1.2	2.56	2.05
1.4	3.56	2.50
1.5	—	2.74
1.59	—	2.98
1.6	3.70	
1.73	4.24	

### VI. 總 括

本研究に依り主要火薬類の單體及二成分系に於ける爆速を理論的及實驗的に明にし爆轟波面直後に於ける生成ガスの流速の實測に依り衝動量を明にし火薬類の猛度の實用的計算式を得たり。其の概要次の如し。

(1) 爆轟生成ガス状態式として分子間の反撥力を重視せる状態式を用ひ熱力分理論に依り單體火薬類の爆速は装填密度増加に従ひ略直線的に増加し此の關係は爆發熱の大小に無關係に成立することを明にせり。

(2) 爆轟波面に於て利用せらるゝ熱量  $Q_a$  と火薬類の爆發熱  $Q_e$  と一致するや否やは火薬分子の活性化エネルギーと爆轟生成ガス分子の衝擊エネルギーの相關關係に依り定り活性化エネルギー及生成ガス分子數の大差なき場合は一般に爆發熱大なる火薬類に於ては  $Q_a$  は  $Q_e$  に近く従て (1) の關係成立し定常

爆轟波成立するも爆發熱極めて小なる火薬類に於ては波面に於ける活性化不十分の爲  $Q_a$  は  $Q_e$  より甚しく小となり定常爆轟波は成立し得ず。前者を第 I 型後者を第 II 型に分類す。

(3) 爆速と装填密度の關係を實測し主なる火薬類を次の如く分類せり。

第 I 型 1. 四硝酸ペンタエリトリット  
2. テトリール 3. ピクリン酸 4. トリニトロトルオール 5. ピクリン酸アンモン  
6. 硝酸纖維素(N=10.90%) 7. チニトロベンゾール 8. チニトロアニソール 9. チニトロトルオール 10. チニトロナフタリン  
11. チニトロフェノール 12. 硝酸纖維素(N=8.66%)

第 II 型 1. 硝酸グアニチン 2. 過鹽素酸アンモン 3. 硝酸アンモン

(4) 装填密度の増加に従て爆速が極大値を経て遂に爆轟せざるに至る所謂死壓の現象は第 II 型の火薬類にのみ生ずる現象にして従て眞の定常的爆轟波の生じ得ざるが如き爆發熱小の火薬類に起るものなる事を論じ實驗に依り此の考察を確めたり。

(5) 一定速度を以て爆轟し得る火薬類即ち第 I 型の火薬類に於ては熱力學理論の示す如く爆速と装填密度は略直線的關係を示す事を實驗に依り明にし其の直線式の係数を決定せり。

$$D = D_m \frac{\Delta + a}{\Delta_m + a}$$

但  $\Delta$  = 装填密度  $g/cm^3$   $\Delta_m$  = 最大密度

$D$  = 爆速  $m/sec$   $D_m$  = 最高爆速

(6) 單體火薬類の爆速理論を擴張し爆轟性成分と非爆轟性成分とより成る二成分系火薬類の爆速は爆轟性成分の實装填密度(非爆轟性成分の占有空間を除きて算出せる装填密度)に於ける爆速に依り主として決定される事を論じ此の考察より次の爆速式を導出せり。

$$D_0 = \frac{D_m}{\Delta_m + a} \left\{ \frac{(100-x)\Delta_0 d_m}{100d_m - x\Delta_0} + a \right\}$$

但  $x$  = 非爆轟性成分の重量百分率 %

$\Delta_0$  = 二成分系火薬類の装填密度  $g/cm^3$

$d_m$  = 非爆轟性成分の眞比重  $g/cm^3$

即ち次の事項を明にせり。

イ. 二成分系火薬類の爆發は装填密度の増加に従て略直線的に増加す。

ロ. 非爆轟性成分の混合に依り二成分火薬類の爆速は増加する事もあり變化せざる事あり、又減小する事もあり。

ハ. 非爆轟性成分の比重、音速、發熱量、反應性は爆速に影響せず。眞比重が決定的の影響を有す。

(7) 物理化學的性質の甚だしく異なる種々の物質を混合せる二成分系火薬類の爆速を實測し(6)の式が一般に定量的に良く一致し又混合物の二次的効果に依る偏差の存在する場合も(6)の式は良く定性的一致を示す事を明にせり。之に依り従來種々の矛盾せる推論の行はれたる二成分系火薬類の爆速に對し統一の見解を得たり。

(8) 高速度回轉寫眞機に依りテトリール及トリニトロトルオールの爆轟波の微細構造を觀察し火薬類の爆轟理論上極めて重要にしてしかも従來測定不可能なりし爆轟波面直後の生成ガス流速  $W$  を實測し従來の推定計算値より約 100% 大なる事を明にせり。

(9) 前記(8)の結果と先の(5)の爆速式を統合しテトリール及トリニトロトルオールの衝動量式を得火薬類の猛度は衝動量に依り表すべき事を論じ猛度を數量的に明にせり。

(10) 火薬類の爆轟スピンの機構を考察せり。

本研究に於ける實驗に際しては小澤好夫、山崎隆重、浜田功、清田信行諸氏の助力を得たことを感謝する。(1942年5月脱稿)

#### 文 献

- (69) A. Majrich und F. Storm; Z. S. S. 30 (1935) 337  
 (70) T. Urbanski et T. Galas; Compt. rend. 209 (1939) 558  
 (71) J. F. Roth; Z. S. S. 36 (1941) 4, 28, 52  
 (72) M. A. Parisot 前出 (60)  
 (73) 山本祐徳; 火薬協會誌 3 (昭和 17 年 3 月) 285  
 (74) G. Beyling und K. Drekopf; Sprengstoffe und Zundmittel (1936) 56  
 (75) R. Becker; Z. tech. Phys. 3 (1922) 249  
 Jahresbericht VI der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (1927) 95  
 (76) C. Campbell 及 D. Woodhead; Journal Chem. Soc. (1926) 3010 同 (1927) 1572 同 (1928) 2094  
 (77) W. A. Bone, R. P. Fraser; Phil. Trans. Roy. Soc. London A. 228 (1929) 197  
 W. A. Bone, R. P. Fraser, W. H. Wheeler; Phil. Trans. Roy. Soc. London A 235 (1935) 29

- (78) K. Shtsholkin; *Phy. Z. Sowjet.* 6 (1934) 176
- (79) R. Becker; *Z. Elektrochem.* 42 (1936) 457
- (80) W. Jost; *Z. Phys. Chem.* 42 (1939) 136  
尙氣體の爆轟スピニに關する綜合的記述は  
W. Jost; *Explosions- und Verbrennungs- vorgehen in Gasen.* (1939) 190, B. Lewis and G. v. Elbe; *Combustion, Flames and Explosions of gases* (1938) 250
- (81) A. Schmidt; 前出 (12)
- (82) E. Grossmann; *Ultraakustik; Handbuch der Experimental Physik.* 17 (1934) 500
- (83) H. Muraour; *Chimie et Industrie* 42 (1939) 604 T. Urbanski, *Z. S. S.* 22 (1927) 270
- (84) M. A. Parisot; 前出 (50)
- (85) K. Shtsholkin; 前出 (78)
- (86) W. Jost; 前出 (80)
- (87) R. Becker; *Z. Elektrochem.* 42 (1936) 457
- (88) J. Ackeret; *Gasdynamik. Handbuch der Physik.* Band 7 (1927) 320
- (89) H. Muraour; 前出 (83)
- (90) M. Berthelot; 前出 (38) 52  
H. Muraour; *Chim. Ind.* 39 (1933) 507, *Z. S. S.* 30 (1935) 1  
W. Taylor 及 A. Wenle; *Proc. Roy. Soc.* 138 (1932) 92  
R. Becker; *Z. für Physik* 8 (1922) 360  
V. ant Hoff; *Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie.* Erstes Heft (1901) 246  
W. Nernst; *Theoretische Chemie* (1898) 619, 625  
W. Nernst (L. W. Gidd 英譯) *Theoretical Chemistry* (1923) 780
- (91) R. G. J. Fraser; *Molecular Rays* (1931) 71
- (92) R. Becker; *Z. tech. Physik.* 3 (1922) 249  
其の他の猛度式は山家信次: 爆轟論講義前出 (9) 337
- (93) C. Beyling, K. Drekopf; 前出 (74) 56

終

## 化合火薬類の發火點と發火機構 (I)

(昭和23年3月20日受理)

疋 田 強 彦

### 要 旨

この研究は數種の化合火薬類の熱發火過程を種々の角度より實驗検討して爆發性物質の發火機構を解明し、發火點試驗に對し或る基準を與へんとしたもので、從來の測定性に加へて、新しい發火點試驗器を試作して發火壓力曲線を測定し又發火の限界量曲線を求め各火薬類の發火特性を明かにした。その一連の研究結果に基いて從來の發火理論を検討し考察を加へた。

### 1. 實驗装置及方法

從來火薬類の發火點を測定する方法として(1)試料を漸次加熱して行き發火する温度を見る方法(油浴法)<sup>1)</sup>、(2)一定温度の試験器に試料を投入して發火待時間を見る方法(Krupp法又は坩堝法)<sup>2)</sup>が主に用ひられて來た。

油浴法では試料への熱分配が均一に行はれ低温分解生成物による接觸反應も充分に生ずるので安定度特に精製度の試験には良いが揮發性物質には適用し難い缺點がある。尙又温度が常に變化するので理論的に取扱ひたい場

合には不便である。

坩堝法は鋼鐵又はガラス製容器を恒溫とし少量の試料(10—30mg)を投入して發火待時間を讀み、溫度—待時間曲線を求めるもので待時間零の溫度を瞬間發火點と呼ぶ。待時間の小なる所では試料の熱分配は不均一であり又最初から高次の分解も生じ低温分解物による觸媒作用が明瞭でなくなるので精製度の試験には適しない。又容器の材質、形狀、試料の量、粒度等の影響が可成りあるので條件を充分吟味せねばならぬ。しかし本法の最も大きい利點は爆發性物質は勿論、他の通常物質に對しても酸素氣流を通ずる事によつて殆ど凡ての物質(發火性の)の發火點を測定し得る事である。

著者は原理的にはこの坩堝法による事とし常法に若干の改良を加へた二個の装置を製作した。

第一法は圖1に略圖を示した如く、鐵管に

※東京大學第一工學部火薬學教室