

表 5 輸入硝安被覆剤(無機質)全分析結果 (%)

水分	灼減	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	計
1.70	4.11	84.87	5.76	2.86	0.24	存在せず			97.84

火薬類の爆速に関する研究 (I)

(昭和18年7月10日受理)

會員 日野 熊 雄*

III 爆速の實驗的研究

(1) 爆速の測定法

火薬類の爆速測定法には次のものあり。

(イ) プーランジェの檢速機を用ふる方法
M. Berthelot³⁹⁾は爆速の測定に現在彈道測定に使はれつゝある装置と同原理のプーランジェ檢速機を使用せり。

藥幹の軸方向の距離 l の二點の第一點を爆轟波が通過する際電氣的に金屬棒が落下し始め第二點を爆轟波が通過する際電氣的に第二の金屬棒が落下し之が記録装置を作動せしめて第一の金屬棒上に第一印を記録せしむ。又第一、第二の金屬棒を電氣的に同時に落下せしめ第二印を記録せしむ。此の第一、第二印の距離より距離 l を爆轟するに要する時間 t

を自由落下の法則より得、之より爆速 $D = \frac{l}{t}$ を得。

(ロ) コンデンサー³⁹⁾の電壓降下を測定する方法

第一點を爆轟波が通過する際コンデンサーを放電し始め第二點の通過にて放電を停止せしめ得る回路を使用し C をコンデンサー容量、最初の電壓を V_0 、殘存電壓を V_t として抵抗を R とせば

$$t = R \cdot C \ln \frac{V_0}{V_t}$$

*現在日本化薬株式会社厚狭作業所

V_0/V_t はガルバノメーターにより讀み得。

又之に類似した方法として第一點にて一定電壓の回路に電流を通ぜしめ第二點にて之を切斷し此の間の衝撃電流をガルバノメーターにて測定し此の電流が時間 t に比例することを利用して t を求むる方法あり。

(ハ) メテガング法⁴¹⁾

高速度にて廻轉せる円筒上に第一點、第二點等を爆轟波が通過する際に電氣的に火花を飛ばしめて記録す。円筒の廻轉速度と此の火花の記録せられたる距離より t を得。

Friederich⁴²⁾は電氣的方法に依らず第一點より導爆線を爆轟せしめ其の他端に爆轟が到達せる時之に依り円筒上に小孔を生ぜしめ同様に第二點を円筒上に記録し之より t を求めたり。

(ニ) 廻轉寫眞法⁴³⁾

火薬類の爆轟の像を藥幹と平行の軸を有する回轉円筒上に寫眞的に記録し此の像の傾斜と円筒の回轉速度より t を得。

(ホ) ドートリツシユ法⁴⁴⁾

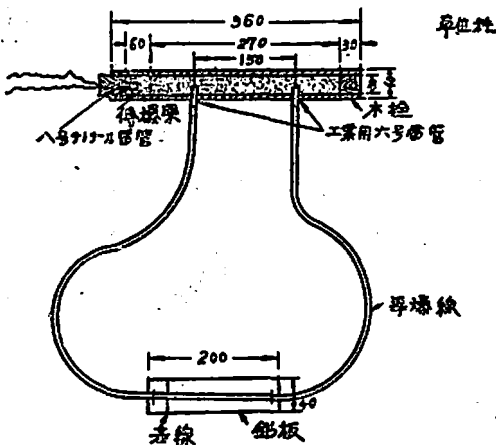
第一點及第二點に一本の導爆線を連結し爆轟の通過に依り此の兩端より導爆線は爆轟し始め此の爆轟波は導爆線の中央點より第二點に近き點にて相會す。この相會する點と中央點の距離 d を鉛板上に記録せしめ別に導爆線の爆速を測定したる値を用ひて d より t を計算す。

以上の諸方法中プーランジェ檢速機は爆速測定に對しては長藥幹を要し適當ならず。

電気的方法たるコンデンサー法は爆薬容器に金属を用ひ得ざる事と温氣の影響を受くること大なる爲使用に便利ならず。メテガング法は長薬幹を要し又爆轟波面通過後のガスはイオン化し電導度大なる等の爲誤差大なり。又以上の方法は何れも二點間の爆速平均値を與ふるに過ぎず。回轉寫眞法は爆轟進行の各過程の速度を與へ基礎的研究には最も適當なるも多數の實驗を迅速に行ふには適當ならず之に反しドートリツシュ法⁴⁵⁾は其の精度も相當高く迅速に多數の實驗を行ひ得る點は他の方法の匹敵し得ざる處なり。依て本研究に於てはドートリツシュ法を主用し之に用ふる導爆線の爆速は回轉寫眞法に依り測定し又基準としても此の寫眞法を利用せり。

以下特に記せざる場合は次記の如き條件にてドートリツシュ法に依り爆速を測定せるものなり。

圖5 ドートリツシュ法に依る爆速測定



容器 鋼管内徑 30mm 外徑 40mm.

長さ 360mm

起爆 八号テトリール電気雷管

傳爆薬 テトリール、壓搾、裝填密度

1.4g/cm³ 藥量 60g

回轉寫眞法は圖6に示す如き裝置を使用せり。

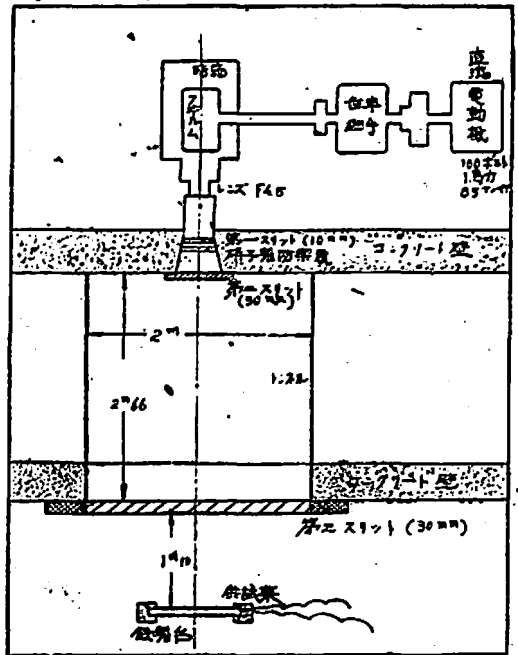
(2). 單體火薬類の爆速

1. 従來の研究

(イ) 裝填密度と爆速

火薬類の裝填密度と爆速に関する斷片的の實驗は古くより行はれたり。

圖6 回轉寫眞法に依る爆速の測定



M. Berthelot⁴⁶⁾は綿藥、硝化澱粉、ニトロマンニツトを種々の金屬性管に裝填し裝填密度を種々に變化せしめて其の爆速を測定せり又、液体ニトログリセリン等の爆速を測定せり。測定結果は相當偏差大なるも氏は之を一樣の内徑の容器を得られざる事、容器が爆轟完了前に破壊される事に歸したり。

H. Kast⁴⁷⁾はピクリン酸、トリニトロトルオール等の裝填密度と爆速との關係を測定せり。

J. F. Roth⁴⁸⁾は長さ約3cmの短薬幹に對し氏の爆速計を用ひ四硝酸ペンタエリトリツト、ピクリン酸、テトリール、トリニトロトルオール、過塩素酸メチルアミン、雷汞、窒化鉛の爆速を測定せり。

W. Friederich⁴⁹⁾はニトロペンタ導爆線を用ひドートリツシュ法に依つて四硝酸ペンタエリトリツト、ニトロヘキサノール、テトリール、ピクリン酸、ニトロペンタノン、トリニトロトルオールの裝填密度と爆速の關係を精確に測定せり。

M. A. Parisot⁵⁰⁾は主として低密度に於てヘキソゲン、四硝酸ペンタエリトリツト、ピクリン酸の裝填密度と爆速の關係を回轉寫

る場合の綿薬等の爆速を測定し容器の強度弱くなれば爆速の低下することを實驗し、之は爆轟に対する抵抗小となり其の爲爆轟が十分完全に實現せず其の爲爆速は低下すと考へたり。

パンクラスチット ($CS_2 + N_2O_4$) を種々の厚さのガラス管内にて爆轟せしめ其の爆速を求めたる結果次の如し。

ガラス管内径	厚さ	爆速
mm	mm	m/sec
8	4.5	2482
3	2.0	2191
3	1.0	1890

W. Friederich⁵⁷⁾ はトリエトロトルオール⁵⁷⁾の爆速は容器なき場合に比し銅、鋼、ガラス等の容器ある場合は一様に大なることを實驗せり。

M. A. Parisot⁵⁸⁾ は内径 6.9~7 mm のガラス管の厚さを變化しヘキソゲンの装填密度 0.9g/cm³ に於ける爆速を測定し次の實驗結果を得たり。

ガラス管厚 mm	爆速 m/sec
0.3	4850
0.7	5050
0.9	4990
1.0	4940

以上火薬類の爆速に関する従來の主なる實驗研究の結果を述べたるも之を次の如く總括考察し得。

装填密度と爆速

M. Berthelot, H. Kast, W. Friederich, L. R. Carl の實驗結果は単体火薬類は装填密度増加に従ひ爆速は増加することを示す。M. A. Parisot の測定結果は装填密度-爆速の關係曲線には極大値が一個又は二個あり極小値が一個ある事を示せるも氏の測定は主として極めて低密度の狭き範囲にて行はれるものにして其の結果には疑問あり又實用上重要な装填密度 1.1~1.6 附近の測定には非ざるを以て余り重要性なし。従て目下の處従來の研究に依れば装填密度増加に従ひ爆速は略直線的に増加するものと考へらる。然し従來の研究は未だ十分系統的實驗に非ず。即ち殆

ど全部爆發熱大なる高猛度火薬類に付て行はれ爆發熱が順次に低下し低猛度火薬類に至り更に爆發性を失ふに至る一系列に對して上記の直線的關係が成立するや否やは實驗されて居らず、即ち装填密度と爆速の直線的關係が火薬全部に對して成立するや否や又は其の成立する範圍如何等の問題は實驗され居らざるを以て火薬類の實用上の資料とするにも満足すべきものならず更に火薬類の爆轟の機構、爆速式の基礎的検討を爲すには従來の實驗にては不十分なりと言はざるべからず。

依て筆者は爆發熱極めて大なる火薬類より順次爆發熱の小なる火薬類の一系列に對し装填密度と爆速との關係を實驗し遂に爆轟せざる範圍に迄其の研究を及ぼし之に依て火薬類爆轟の機構を考察するに必要な基礎資料を得且簡單にして妥當と認めらるる實用的爆速式を導き之を用ひて多成分系火薬類の爆速式を求め火薬類の實用計畫上の基礎資料を得んとせり。

薬温と爆速

A. Kling, D. Florentin, L. V. Clark の實驗に依れば薬温は甚だ低くとも常温なりとも火薬類の爆速殆んど變化なし。

C. B. Gawthrop の實驗に依れば硝酸アンモンは薬温の上昇に依り爆速を著しく増加す。

之等従來の研究も未だ十分系統的ならず薬温の爆速に對する一般的關係を明にするには不十分なるを以て筆者は爆發熱極めて大なる火薬類、爆發熱小なる火薬に對し薬温と爆速との關係を實驗せり。

容器の強度と爆速

M. Berthelot の實驗, W. Friederich のトリエトロトルオールに関する實驗に依れば容器の強度の増加に従ひ、爆速は増加するも M. A. Parisot のヘキソゲンに関する實驗に依れば爆速は容器の強度に殆ど關係せず従來の研究は何れも断片的なるを以て一般的の法則を確立するには不十分なり。筆者は爆發熱の順次に減少する火薬類に付系統的に此の關係を實驗せり。

2. 装填密度と爆速

使用せる火薬の主要性質は表 3 に示せる如し。

る場合の綿薬等の爆速を測定し容器の強度弱くなれば爆速の低下することを實驗し、之は爆轟に対する抵抗小となり其の爲爆轟が十分に實現せず其の爲爆速は低下すと考へたり。

パンクラスチット ($CS_2 + N_2O_4$) を種々の厚さのガラス管内にて爆轟せしめ其の爆速を求めたる結果次の如し。

ガラス管内径	厚さ	爆速
mm	mm	m/sec
3	4.5	2482
3	2.0	2191
3	1.0	1890

W. Friederich⁵⁷⁾ はトリニトロトルオール
の爆速は容器なき場合に比し銅、鋼、ガラス等の容器ある場合は一様に大なることを實驗せり。

M. A. Parisot⁵⁸⁾ は内径 6.9~7 mm のガラス管の厚さを變化しヘキソゲンの装填密度 $0.9g/cm^3$ に於ける爆速を測定し次の實驗結果を得たり。

ガラス管厚 mm	爆速 m/sec
0.3	4850
0.7	5050
0.9	4990
1.0	4940

以上火薬類の爆速に関する従來の主なる實驗研究の結果を述べたるも之を次の如く總括考察し得。

装填密度と爆速

M. Berthelot, H. Kast, W. Friederich, L. R. Carl の實驗結果は単体火薬類は装填密度増加に従ひ爆速は増加することを示す。M. A. Parisot の測定結果は装填密度-爆速の關係曲線には極大値が一個又は二個あり極小値が一個ある事を示せるも氏の測定は主として極めて低密度の狭き範囲にて行はれるものにして其の結果には疑問あり又實用上重要な装填密度 1.1~1.6 附近の測定には非ざるを以て余り重要性なし。従て目下の處従來の研究に依れば装填密度増加に従ひ爆速は略直線的に増加するものと考へらる。然し従來の研究は未だ十分系統的實驗に非ず。即ち殆

ど全部爆發熱大なる高猛度火薬類に付て行はれ爆發熱が順次に低下し低猛度火薬類に至り更に爆發性を失ふに至る一列に對して上記の直線的關係が成立するや否やは實驗されて居らず、即ち装填密度と爆速の直線的關係が火薬全部に對して成立するや否や又は其の成立する範圍如何等の問題は實驗され居らざるを以て火薬類の實用上の資料とするにも満足すべきものならず更に火薬類の爆轟の機構、爆速式の基礎的検討を爲すには従來の實驗にては不十分なりと言はざるべからず。

依て筆者は爆發熱極めて大なる火薬類より順次爆發熱の小なる火薬類の一列に對し装填密度と爆速との關係を實驗し遂に爆轟せざる範圍に迄其の研究を及ぼし之に依て火薬類爆轟の機構を考察するに必要な基礎資料を得且簡單にして妥當と認めらるる實用的爆速式を導き之を用ひて多成分系火薬類の爆速式を求め火薬類の實用計量上の基礎資料を得んとせり。

薬温と爆速

A. Kling, D. Florentin, L. V. Clark の實驗に依れば薬温は甚だ低くとも常温なりとも火薬類の爆速殆んど變化なし。

C. B. Gawthrop の實驗に依れば硝酸アンモンは薬温の上昇に依り爆速を著しく増加す。

之等従來の研究も未だ十分系統的ならず薬温の爆速に對する一般的關係を明にするには不十分なるを以て筆者は爆發熱極めて大なる火薬類、爆發熱小なる火薬に對し薬温と爆速との關係を實驗せり。

容器の強度と爆速

M. Berthelot の實驗, W. Friederich のトリニトロトルオールに関する實驗に依れば容器の強度の増加に従ひ、爆速は増加するも M. A. Parisot のヘキソゲンに関する實驗に依れば爆速は容器の強度に殆ど關係せず従來の研究は何れも斷片的なるを以て一般的の法則を確立するには不十分なり。筆者は爆發熱の順次に減少する火薬類に付系統的に此の關係を實驗せり。

2. 装填密度と爆速

使用せる火薬の主要性質は表 3 に示せる如し。

表 3

番 號	薬 種	分子量	融 點 °C	真比重 g/cm ³	生成熱 cal/g	5kg 落 鏡感度 不燃點 cm	爆 發 熱 cal/g
1	四硝酸ヘンタ エリトリット	316	253	1.77	330.7	11	1471
2	テトリール	287	130.2	1.73	-10.75	11	1212 (P=atm 48.4 × 10 ⁵)
3	ピクリン酸	229	121.4	1.68	220.7	13	1030 (P=29 × 10 ⁵)
4	トリニトロ トルオール	227	90.8	1.67	66.65	17	1072 (P=20 × 10 ⁵)
5	ピクリン酸 アンモン	246.08	259.83 ~275.30 (分解ス)	1.71	360	15	693 (P=1 × 10 ⁵)
6	硝酸纖維素 (N=10.96%)			1.67	750	25	647
7	デニトロ トルオール (2.4)	182.07	69.82 ~71.14	1.513	33	29	654 (P=0.89 × 10 ⁴)
8	デニトロ アニソール (2.4)	198.07	94.00 ~96.23	1.547	180	19	626 (P=0.68 × 10 ⁴)
9	デニトロ ベンゾール	168.05	61.33 ~81.98	1.545	24	29	714 (P=0.16 × 10 ⁵)
10	デニトロ フェノール (2.4)	184.11	104.68 ~109.62	1.646	-228	23	718 (P=1 × 10 ⁵)
11	デニトロ ナフタリン (α:β=1:3)	218.07	105 ~142	1.494	α, β/ 平 均 1.86	22	533 (P=0.21 × 10 ⁴)
12	硝酸纖維素 (N=8.66%)			1.65	900		370
13	硝 酸 グアニジン	122.08	211.5	1.43	766	41	425
14	過塩素酸 アンモン	117.5		1.89	678.3	33	295
15	硝 酸 アンモン	80.05		1.72	1099.3	42	388

$\frac{D_m}{\Delta_m + a}$	3880	3860	2930	2980	4300	3760	3570	4220	3660	3470	3220	3730
c	0.510	0.724	0.750	0.697	0.007	0.460	0.094	0.091	0.146	0.288	0.130	0.214

以上の火薬類に於ては装填密度と燃速の直線的関係が成立するを以て之等の火薬類を第I型として分類し此の関係の成立せざる以下の火薬類を第II型として分類す。

b. 第II型の火薬類

1. 硝酸グアニチン

実験結果は圖7に示す如し。即ち燃速Dは装填密度の増加に従ひ $\Delta = 1.0$ 迄は増加するも其れ以上となればDは反て減少し $\Delta = 1.3$ 以上に於ては爆轟せず。

2. 過塩素酸アンモン

実験結果は表5圖8に示す如し。即ち燃速は装填密度に對し極大値を有し $\Delta = 1.6$ 以上に於ては爆轟せず。

〃	3530	3670	〃	〃
1.2	3300		30	〃
〃	3740	3870	27	傳爆薬 140g
1.3	3830		28	〃 30g
〃	3840	3900	33	〃 18.5g
1.4	3910		27	〃 140g
〃	3890	3850	〃	〃 59g
1.5	3050		〃	〃 60g
〃	3640		〃	〃 〃
1.6	不爆		〃	〃 〃
1.7	不爆		〃	〃 〃

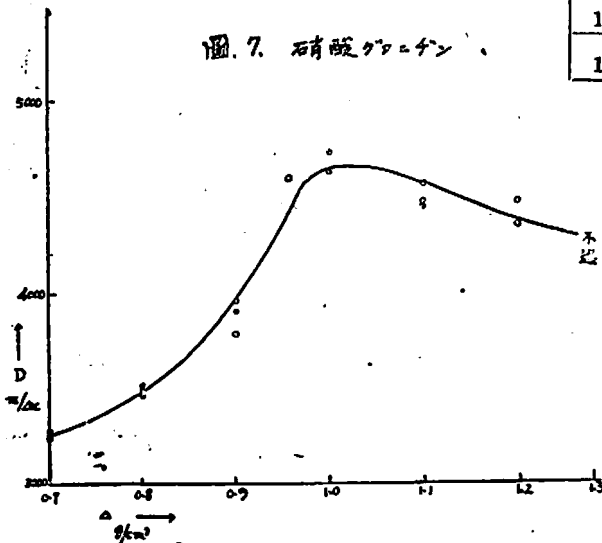


圖7. 硝酸グアニチン

過塩素酸アンモンの如き爆發熱小なる火薬類は先にII 3の理論的考察に於て述べたる如く純然たる爆轟の成立は困難にして、むしろ熱焼的性質が著し。従て果して上記の実験に於て定常爆轟波が成立し居るや否やは疑問なり。依て高速度回轉寫眞法に依り其の状況を實測せり。此の點は或る距離の平均燃速を示すドートリツシュ法にては確むるを得ず。

本体爆薬の起爆端より 30mm 毎に區切り各區間の燃速を測定せるに其の結果圖 9a の如し。

測定條件

傳爆薬 テトリール 60g 裝填密度 1.48g/cm³
 過塩素酸アンモン 裝填密度 1.10g/cm³
 容器 内徑30mm 外徑42mm 鋼管長330mm

表5 過塩素酸アンモン

裝填密度 g/cm ³	燃速 m/sec	同平均 m/sec	藥長 cm	記 事
1.0	3210	3230	30	傳爆薬ナシ
〃	3260		〃	傳爆薬テトリール (密度1.48g/cm ³) 140g
1.1	3620	3600	27	同上 60g

上記の結果より見るに燃速は起爆端より遠ざかるに従ひ明に減少す。即ち定常爆轟波は成立し居らず。尙ドートリツシュ法は區間5~10の平均燃速を與ふ。上記の値より區間

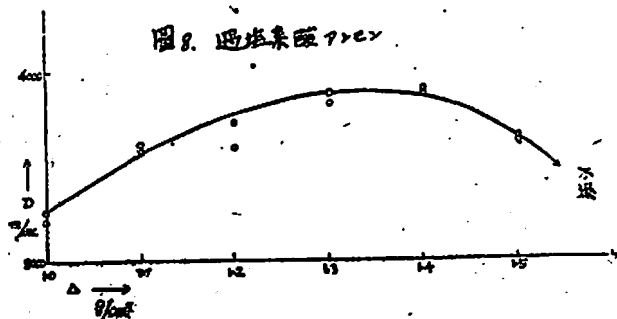


圖8. 過塩素酸アンモン

(5~10)の平均爆速を求めれば、3575 m/secなり。

更に長さ薬幹に對し起爆端より90mm以後100mm毎に區切り各區間の爆速を測定せるに其の結果圖9bの如し。

測定條件

傳爆藥 テトリール60g 裝填密度1.48g/cm³
過塩素酸アンモン裝填密度1.40g/cm³
容器 内徑30mm 外徑24mm 鋼管長1250mm

上記の結果より見るに起爆端より遠ざかるに従ひ爆速は相當減衰し遂に起爆端より790mm以上の薬幹は爆轟せず。此の場合も明かに定常爆轟波は成立し居らず。前記の實驗に於ては十分強力なる傳爆藥を用ひ容器も強きものなるを以て上記の實驗結果より単体過塩素酸アンモンは爆轟し得ざるものと旨ふを得べし。IIの3に述べたる理論的考察に依れば其の原因は爆發熱小なる爲爆發生成ガス分子の運動エネルギーが未分解層を迅速に活性化せしむるに十分ならざることによる。之にアルミニウム粉の如き高發熱体を加へ生成ガス分子中の過剰酸素と反應せしめ爆發熱を大たらしむれば前記のエネルギー關係は改良せられ定常爆轟波の成立を見るべき事豫想せらる。依て過塩素酸アンモンにアルミニウム粉を混合し其の爆速の變化を起爆點より離れたる種々の位置に於て高速度回轉寫眞法に依り測定せる結果表6の如し。測定區間は30mm毎なり

測定條件

傳爆藥 テトリール 60g
容器 内徑 30mm 外徑 42mm
鋼管

上記の結果より考ふるに此の場合には爆發熱大にして定常爆轟波の成立せるを見る。

3. 硝酸アンモン

硝酸アンモンも其の爆發熱の小なる點より考へて過塩素酸アンモンと類似の性質を示すべし。其の

裝填密度を變化しドートリツシユ法に依り平均爆速を求めたる結果は圖10に示す如し。即ちDとdの關係は過塩素酸アンモンに類似

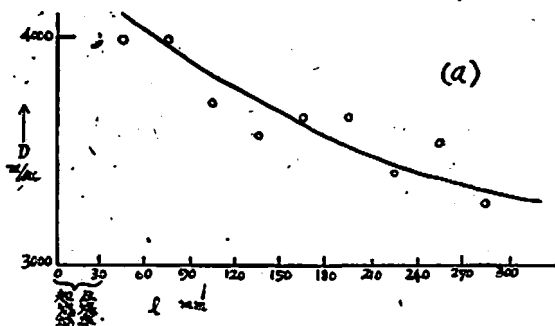
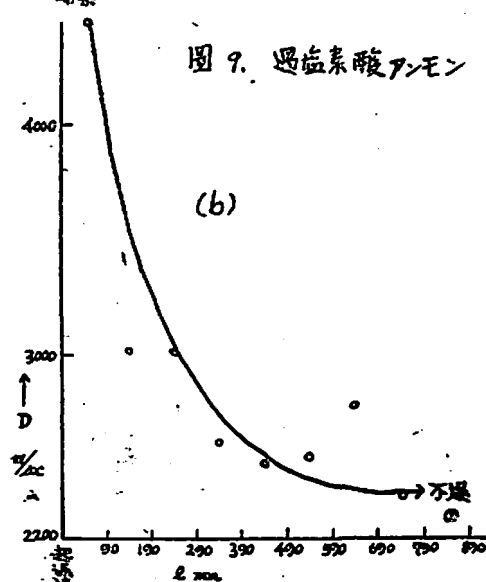


圖9. 過塩素酸アンモン



す。

測定條件

傳爆藥 テトリール 60g
容器 内徑 30mm 外徑 42mm 鋼管
藥長 270mm
溫度 20~29°C

表 6

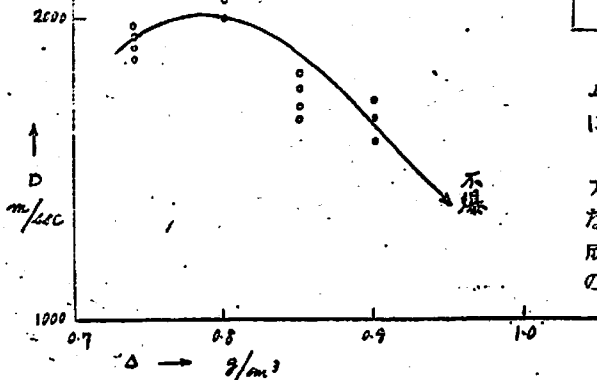
薬種 過塩素酸アンモン 80%+アルミニウム粉 20%

装填密度 g/cm ³	距離 60mm	90	120	150	180	210	240	270
1.00	爆速 m/sec 3520	3520	3460	3510	3550	3460	3470	3460
1.10	3520	3750	3700	3700	3600	3610	3500	3610
1.20	3820	4050	3760	3720	3890	3730	3900	3890
1.30	4400	4000	4310	4180	4080	4360	3930	4270

表8

装填密度 g/cm ³	爆速 m/sec	同平均 m/sec	温度 °C	記 事
1.2	3040	3040	23	傳爆薬テトリール 60g
〃	3030		22	〃
〃	3050		23	〃

圖 10. 硝酸アゼン



上記の實驗結果より見るにアルミニウム粉を加へ爆發熱を大ならしめたる場合には定常爆轟波が成立せるを見る。

以上の如く硝酸グアニチン、過塩素酸アンモン、硝酸アンモンは其の爆發熱小なる爲何れも単体としては定常爆轟波を成立せしむるに至らず。即ち之等第II型の火薬類は其れ自身にては爆轟性を有せず。

3. 薬温と爆速

爆發熱極めて大なる四硝酸ペンタエリトリット、テトリール及爆發熱極めて小なる過塩素酸アンモンの薬温を 15°C より 75°C に變化し爆速を測定せる結果は表9に示す如し。即ち何れも此の温度範圍に於ては爆速に變化なし。之は爆速は先に理論的考察に於て論じたる如く本質的には爆轟生成ガス流速等の力學的性質に依り根本的に定まり爆轟は力學的現象にして化學反應及其の速度は二次的的關係を有するに過ぎざる爲なり。

爆發熱の中位なるデニトロトルオールは熔融點低きを保温中一部熔融し上記試料と同一の温度範圍に於ける爆速の測定は行ひ得ざりしも 15°C より 50°C の範圍に於て測定せる結果に依れば爆速の變化なし。又過塩素酸アンモンは定常爆轟波の成立し居らざるものなるを以て其の爆速は其の他の火薬類の爆速と本質的に其の意義を異にするも過塩素酸アンモンに於ける減衰的爆轟波も薬温に依り殆ど其の速度を變化せざることを知る。然し更に

以上の實驗結果より考ふるに硝酸アンモンは殆ど爆轟性なきものと見るべく其の理由は過塩素酸アンモンに於けると同様なり。

次に之にアルミニウム粉を加へたるもの、爆速變化を高速度回轉寫眞法に依り種々の位置に於て測定せり。各區間は距離 60mm なり。

表 7 硝酸アンモン90%+アルミニウム粉 10%

距離 mm	120	180	140	
爆速 m/sec	3140	2920	3180	平均 3080

測定條件

- 傳爆薬 テトリール 60g
- 容器 内徑 30mm 外徑 42mm 鋼管
- 温度 27°C

ドートリツシユ法に依る 2~5 間の平均爆速は表 8 の如し。

溫度を百數十度に上昇せしむれば Gawthrop 當増加するものと考へらる。
 が确实に關し實測せる如く見掛けの爆速は相

表 9 薬 温 と 爆 速

薬 種	装填密度 g/cm ³	爆 速 m/sec				
		15°C	35°C	50°C	65°C	75°C
四硝酸ペンタ エリトリット	1.0	5810	6100	5880	5850	5990
〃	〃	5360	5930	6060	5870	5930
テ ト リ ー ル	〃	5690	5710	5770	5850	5800
〃	〃	5650	5720	5830	5890	5860
過塩素酸アンモン	1.3	3520	3470	3580	3590	3570
〃	〃	3520	3510	3620	3630	3620

4. 容器の強度と爆速

爆發熱の極めて大なる四硝酸ペンタエリトリット及順次爆發熱の小なる火薬類の爆速と容器の強度の關係を測定せる結果は表10に示す如し。

表 10

薬 種	装填密度 g/cm ³	爆 速	
		銅 管	紙 筒
四硝酸ペンタエリ トリット	1.0	5310	5880
テ ト リ ー ル	〃	5690	5650
硝酸纖維素 (N=10.96%)	〃	5330	4930
トリニトロトル オール	〃	5930	4570
チニトロフエ ノール	〃	4450	不完爆
硝酸纖維素 (N=8.66%)	〃	4350	不完爆
過塩素酸アンモン	〃	3520	不完爆

銅管 内徑 30mm 長 360mm 厚 6mm
 紙筒 白ボール紙 10オンス 抗張力 14.3kg
 伸長 1.8mm 厚 0.5mm

5. 火薬類の死壓に關する考察

以上述べたる實驗結果に依り先に II. (1) に於て考察せる如く単体火薬類の爆速は装填密度の増加に従ひ略直線的に増加する事を確め得たり。又 II. (1) 3 に於て考察せる如く此の直線的關係の成立せざる場合は爆發熱極めて小なる場合にして此の場合直線式の成立せざるは純然たる爆轟が成立し得ざる爲なる

事を推論せるも其の推論は III. (2) 2. の第II型の火薬類の爆速測定に依り確められたり。即ち直線式が成立せずして或る装填密度以上に於て外見上爆速が减小し遂に不爆に至る現象即ち從來死壓と稱せられたる現象は單体にては定常爆轟波の成立し得ざるが如き爆發熱小なる火薬類に於て生ずる外見上の現象にしていやしくも定常爆轟波の成立し得る火薬類に於ては装填密度と爆速の直線的關係が成立す。

即ち死壓の現象を示す第II型の火薬類は燃燒又は爆然し得るも爆轟し得ざるものにして從來の爆速測定値は減衰爆燃速度の或距離に於ける平均値にして第I型火薬類の爆速とは其の本質を異にするものなり。此の死壓に關しては從來諸説あり、其の主なるもの次の如し。尙雷采を壓搾する時は點火に依り爆轟せざるに至り之を從來死壓と稱せるも之は強力なる起爆作用を與ふれば尙爆轟し得るもの⁶⁰にして本研究に於ては第II型の火薬類の如く高装填密度に於て十分なる起爆作用を與ふるも本体火薬幹の爆速が低下し遂に爆轟せざる現象を死壓と定義す。

イ. C. Herlin⁶¹⁾ 氏に依れば火薬類の爆速は装填密度に依り變化せざるも爆波に對する物理的抵抗が或る装填密度に於て極小値を有する爲爆速は装填密度に對し極大點を有す。

ロ. R. Becker⁶²⁾ 氏は爆轟に依るエントロピー變化が装填密度の増加に依り減少する爲死壓を生ずるものと考へたり。

化学反応が恒壓の下に等温的に生じ得るや否やの問題は Nernst の定理を用ひて極大仕事を計算すれば解決さる。之に反し或る火薬類が爆轟し得るや否やはエントロピーの変化の計算により定まる。此の計算を行ふには火薬類 (壓力 P_1 , 温度 T_1 , 容積 v_1) を可逆的に爆轟生成ガス (P_2 , T_2 , v_2) に變化せしむ。此の過程は次の三段に分たる。

- 第1 等温的且等壓下に於ける化学的變化
- 第2 容積 v_2 に至る迄の等温的壓縮
- 第3 等容積に於て T_1 より T_2 に至る迄の加熱

第1及第3に於けるエントロピー變化は火薬類の装填密度に殆ど關係せず。之に反し第2段に於ては $-\int_{v_1}^{v_2} P dv$ の仕事が発せられ之と同等の熱が外部に放出さる。

従つて第2段に於ては次の如きエントロピーの損失あり。

$$\frac{1}{T} \int_{\rho_0}^{\rho_2} \frac{P}{\rho^2} d\rho = R \int_{\rho_0}^{\rho_2} \left(\frac{1}{\rho} + k e^{k\rho} \right) d\rho$$

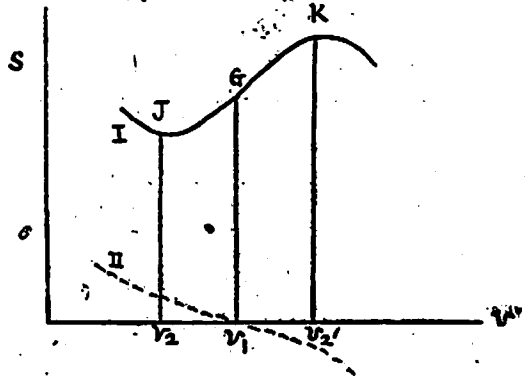
$$= R \left(\ln \frac{\rho_2}{\rho_0} + e^{k\rho_2} - e^{k\rho_0} \right)$$

従て第2段に於けるエントロピーの損失は爆轟生成ガス密度 ρ_2 の増加に從て指數函數的に激増す。此の結果火薬類の装填密度増加に從ひ爆轟に伴ふエントロピー増加は減少し強く壓縮せる火薬類は遂に爆轟し得ざるに至る。

氏⁶³⁾は以上の考察を再び次の如く解説せり。火薬類の \lg に就ての容積 v を横軸にとり各の状態に於けるエントロピーを縦軸に取れば容積とエントロピーの關係は圖11の如くなる。但し v_2 は爆轟直後の容積 v_2' は最高速度の燃焼に對する値にして v_1 は元の火薬類の値なり。 v_1G は等容に於て外部との熱交換なしに化学反応が生じたる時のエントロピー増加なり。 v_2J 及 v_2K はそれぞれ爆轟及燃焼に伴ふエントロピー變化なり。

今 v_1G が比較的小なる時は v_2J が負となり得。従て爆轟は熱力學的に生じ得ざるも燃焼は起り得。爆轟波面に於て化学變化が生ぜざる時は爆轟波は通常の音波に類化し J, G, K, v_2, v_2' は v_1 と一致しエントロピー變化は點線 II にて表はされ v_1 は其の變曲點にして曲線 II は v 軸に切す。即ち壓縮波はエントロピー増加を伴ふ。

圖 11.



ハ. W. Taylor⁶⁴⁾及 Weale

氏は火薬類の爆轟は結晶相互の摩擦に依り表面分子が活性化さるゝ事に依り生ずるとなす摩砕化学の立場より火薬類の装填密度を大ならしめたる時は結晶が相互運動をなし得べき余地を失ふ爲爆轟し難くなるものと論ぜり。

ニ. H. Muraour⁶⁵⁾氏は爆轟は Perrin の分子感應現象に依り生ずるものとし火薬類を強く壓縮すれば衝撃を與ふるも分子が變位する余地なく從て十分大なる運動エネルギーを得ず。其の結果分子感應現象に依る活性化も不十分となり爆轟せざるに至ると考へたり。

ホ. C. C. Andreev⁶⁶⁾氏は火薬類の爆轟は連鎖反應に依り傳播するものと考へ火薬類を壓縮すれば結晶間の間隙小となり連鎖の環となるべきエネルギーに富む中間生成物が結晶表面に衝突して失活する機會大となる。即ち結晶表面が連鎖反應に對し壁の役をなす爲壓縮に依り爆轟し得ざるに至るものと述べたり。

以上の諸説を考察するに之等の説は系統的なる實驗的根據を有せず。死壓の現象は筆者の實驗及考察に依り明かなる如く元々定常爆轟波の成立し得ざる火薬に於て生ずる外見上の現象にして本來定常爆轟波の成立し得る火薬類に於ては理論的に考ふるも装填密度と爆速の直線的關係成立し之け實驗的に確められたり。即ち死壓を示し此の直線的關係が成立せざる第II型の火薬類は単体にては定常爆速を以て爆轟し得ざるものなり。

C. Herlin の説は物理的抵抗なる不明瞭の概念を導きたるのみなり。W. Taylor, A. Weale, H. Muraour, C. C. Andreev の説

はむしろ装填密度の増加に従ひ起爆し難くなることを説明せんとせるものなり。

R. Becker の説は極めて興味ある説にして従來の死壓の解説中最も注目すべき理論なり然し氏の考察も元來定常爆轟波の成立し得る火薬類が其の装填密度大となるに及んで始めて爆轟し能はざるに至るものと推論せるものなるも、先に筆者が第II型の火薬類に関する実験及考察に於て明にしたる如く死壓の現象は元來定常的爆轟をなし得ざる爆發熱小なる火薬類に於て生ずる現象なり。即ち元來爆轟し得る火薬類には死壓の現象なく元來定常爆轟波を生じ得ず爆燃し得るのみなる火薬類に於てのみ死壓の現象あることは筆者の研究に依りはじめて明になりたるものにして従來の諸研究諸説は死壓をあらゆる爆薬共通の一般的現象ならんと推論したる所に其の缺點を有するものなり。

尙従來単体爆薬は装填密度増加に従ひ爆速増加するも混合爆薬は然らずして爆速の極大點ありと認むる説あり³⁷⁾。之は混合爆薬の主体たる火薬類が先に述べたる第II型に屬する爲にして又第I型の火薬類と不活性物質の混合より成る火薬類に於ても爆轟波面に於て利用さるべき爆發熱極めて小なる時は第II型に屬する性質を示す爲なり。

混合爆薬に於ても上記の二條件の何れにも屬せざる時は爆速は装填密度増加に従ひ略直線的に増加するは次の III. (3) 2. に於ける筆者の実験に依り明かなり。

先に II. (1) 3 に於て理論的に考察し又 III に於て實驗的に明にせる如く火薬類の死壓は爆發熱小なる第II型の火薬類に於て生ずる現象にして其の原因は爆轟生成ガス温度低く未分解層を迅速に活性化し得ざる爲爆轟波面に於て遊離し利用さるべき熱量が爆發熱の一部に過ぎず従て更に次の未分解層の活性化及分解が不完全となりかくして爆轟波は減衰的となる點にあり。かく考ふれば同様の現象は氣體爆轟に於ても生じ得べきものなり。爆發性氣體混合物は均一系を形成し其の成分の調節に依り爆轟温度を適當に變化し得。

R. Wendlandt³⁸⁾ は1氣壓の水素—空氣の混合物に於て H₂ が 19.6%, 18.8% 及 17.6% の場合其の爆速として 1620m/sec., 1480 m/sec, 1050m/sec を實測し H₂ が或%以下となれば爆轟波は定常的とならず減衰的とな

り更に H₂ %を減少すれば焰は起爆點より若干進行せる後消え後は壓縮波のみ進行し、化學變化は生ぜざる事を実験せり。之等の現象の原因は先に考察せる火薬類の死壓と同様なり。(續く)

文 獻

- (37) 爆速測定法の一般的記述は：
H. Selle ; Z. S. S. 32 (1937) 197
- (38) M. Berthelot ; Sur la force des Matières Explosives d'après la Thermochimie, Tome Premier (1883) 141
M. Berthelot ; (C. N. Hake & W. Macnab 英譯)
Explosives and Their Power. (1892) 93.
本書には原著發行當時以後の Berthelot の研究結果を追加しあるを以て以下 Berthelot に因する引用は本書を参照せり。
- (39) E. Jones ; Safety in Mines Research Board Paper 22 (1926)
H. Rumpf ; Z. S. S. 24 (1929) 13
R. Wendlandt. Z. f. phys. Chemie 110 (1924) 637
- (40) J. F. Roth ; Z. S. S. 28 (1933) 42
- (41) Kast ; Z. S. S. 8 (1913) 156
Kast und Selle ; Z. S. S. 33 (1938) 217
- (42) W. Friederich ; Z. S. S. 26 (1931) 231
- (43) R. Becker ; Z. f. tech. Phys. 3 (1922) 152
W. Payman, W. D. F. Shepherd, D. W. Woodhead ; Safety in Mines Research Board, Paper No. 99 (1937)
W. Payman, H. Robinson ; Safety in Mines Research. Paper No. 29 (1929)
M. Patry ; Combustion et detonation des substance explosives. (1933)
- (44) Dautriche ; Comptes rendus 143 (1906) 641, 144 (1907) 1030
Kast und Gunther ; Z. S. S. 14 (1919) 81
H. Selle ; Z. S. S. 24 (1939) 426
W. Friederich ; Z. S. S. 26 (1931) 184
- (45) H. Selle ; 前出 (37) 183
H. Selle に依れば 爆速測定法の精度は ± 1% よりも良好なりと稱せらるゝも火薬類の爆速は時間測定法以外の原因例へば装填密度の不均一等の原因に因り相當大なる偏差を示すを以て爆速値を余りに正確に求めんとするは適切ならず。
- (46) M. Berthelot ; 前出 (33) 546
- (47) H. Kast ; Z. S. S. 8 (1913) 174 ; 同 Spreng-u. Zündstoffe (1931) 71

- (48) J. F. Roth ; Z. S. S. 28 (1933) 42 (60) H. Muraour ; Z. S. S. 30 (1935) 1
 (49) W. Friederich ; Z. S. S. 28 (1933) 2, 51, 80 (61) C. Heilin ; Z. S. S. 23 (1913) 448
 (50) M. A. Parisot ; Memorial de l' Artillerie Francaise 18 (1939) 500 (62) R. Becker ; Z. Elektrochem. 23 (1917) 40
 (51) L. R. Carl. ; 前出 (19)
 (52) M. Berthelot. 前出 (38) 543
 (53) A. Kling & D. Florentin ; Compt. rend. 156 (1913) 694 ; Mém. Poudre Salp 17 (1913/14) 154
 (54) D. B. Gawthrop ; Army Ordnance ; 6 (1925) 47
 (55) L. V. Clark ; Z. S. S. 28 (1933) 845
 此の實驗の結果に依れば爆速は薬温に依り殆ど變化せざるも起爆感度は甚だしく變化す。
 (56) M. Berthelot ; 前出 (38) 549
 (57) W. Friederich 前出 (42)
 (58) M. A. Parisot 前出 (50)
 (59) 山家信次 ; 爆薬特徴の計算 : 火兵學會誌 23 (昭和14年3月) 512 & 33 (昭和14年5月)
 (60) H. Muraour ; Z. S. S. 30 (1935) 1
 (61) C. Heilin ; Z. S. S. 23 (1913) 448
 (62) R. Becker ; Z. Elektrochem. 23 (1917) 40
 (63) R. Becker ; Z. f. Physik 8 (1922) 322
 (64) W. Taylor and A. Weale ; Proc. Roy. Soc. 138 A. (1932) 93
 (65) H. Muraour ; Chimie et Ind. 29 (1933) 507 ; Z. S. S. 30 (1935) 1
 (66) C. C. Andreev ; Bul. Soc. Chim. France, 2 (1935) 2138
 (67) H. Brunswig ; Explosivstoffe ; (1923) 57, 58
 H. Dautriche ; Compt. Rendus 143 (1906) 641
 H. Kast ; Z. S. S. 8 (1913) 136
 R. Förg ; Z. S. S. 11 (1916) 38
 H. Muraour ; Trans. Faraday Soc. 34 (1928) Discussion, 1003
 (68) R. Wendlandt ; Z. Phys. Chem 110 (1924) 637 ; 116 (1925) 227

木粉木炭の發火燃燒性と無機鹽類の影響 (續報)

(昭和22年5月20日受理)

會員 正 田 強*

I. 坩堝法による發火待時間の測定

1) 装置及び方法

本法は定温度の坩堝に試料を投入し發火に至る時間を測る簡単な坩堝法で電気爐加熱用のものと直列につないだニクロム線を空気送入口内に挿入し加熱空気を送る。熱電対は直接坩堝底に接觸せしめ少量(40mg)の試料を投入して着火又は發火するに至る時間を測る。

空気流速は140 cc/min一定。同一温度にて數回の測定し平均値をとり發火時間—温度曲線を作る。坩堝はニツケル製、容量45cc、徑39mm、一回毎によく掃除する。

2) 實驗結果

試料は前報と同一のものを使用した。活性炭、油煙、黑色木炭及び木粉の各粒度のものに就て發火時間—温度曲線を求めたが、こゝには曲線は省略し結果のみを要約する。

曲線が温度軸と交叉する點を瞬間發火點と

*東京大學第一工學部火薬學教室

呼ぶ事とする。

(1) 活性炭油煙の發火時間—温度曲線は非常に急勾配であり不發火域と瞬間發火點との間隔が短い。即ち約560°C以下では長く放置しても燃燒は散發的で可視光線を發する燃燒とはならぬ。

(2) 黑色木炭では曲線の勾配が緩かとなるが矢張り上記と同じく310°C以下では發火に至らぬ。粒度の影響が連續秤量法による場合に比し良く現はれており細粒のもの程發火時間が少い。但し瞬間發火點は大差ない。

(3) 褐色木炭と木粉はこの方法でも良く似た結果を示し黑色木炭、活性炭とは様相が異なる。即ち發火時間がうんと伸びて来るが之は有機物の分解が最初起り次第に試料が炭化して表面燃燒を行ふに至る迄を發火時間として測定した爲である。或る温度以上になると分解ガスに點火して發焰燃燒を行ふ。この兩者は異なる現象であるので曲線には折點が生じて来る。(乾溜ガス發火試驗参照)