

## 液体爆薬の爆轟に関する研究 (第3報)

### 硝酸ヒドラジン—飽水ヒドラジン系均質液体爆薬の爆性

日下部正夫\*, 藤原修三\*, 椎野和夫\*, 田中克己\*

硝酸ヒドラジン(HN)を飽水ヒドラジンに溶かした均質液体爆薬の物理的性質及び20℃における爆薬としての特性を、硝酸ヒドラジンの濃度を変えて系統的にしらべた。即ち密度・音速・燃焼熱などと爆轟可能な組成範囲・高爆速爆轟(HVD)の伝爆限界薬厚・爆速の薬径による変化などである。これから20℃における理想爆速値を、濃度の異なる5種の溶液に対して求めた。この値は爆轟特徴数計算によって得た爆速値とよく一致した。

これらの均質爆薬は落穂感度は鈍感であるが、爆速値が高く強力な爆薬である。そのうちの高濃度にHNを含むものではHVDのほかLVD(低爆速爆轟)をも呈する。このLVDは伝爆限界径がHVDの限界径より大きく、また爆発時の発光が弱いなど、ニトログリセリンなどで従来から知られたLVDとは異なった特質を示し、LVD現象の複雑さを暗示している。

#### 1. 緒論

硝酸ヒドラジン(hydrazinium-mononitrate, 略してHN)は強力な固体爆薬であり、その爆性は多くの研究者によって調べられている<sup>1)2)</sup>。またHNは水・ヒドラジン・液体アミンなどの極性液体に大量に溶けることが知られており、これらの溶液の爆性についても報告されている<sup>3)4)</sup>。

“HN—ヒドラジン—水”の三成分系は7,000m/secから8,000m/sec 台に及ぶ高い爆速をもつ優秀な液体爆薬であり、特に炭素原子を含んでいない点で特徴のあるものである。また感度や爆速などの爆性が、組成によってある程度まで調節出来る便利さをもっていて、爆轟現象の研究対象としても、また実用上の可能性からも興味ある均質液体爆薬である<sup>5)6)</sup>。前報<sup>10)</sup>では飽水ヒドラジン(ヒドラジンの一水化物)の91.24%

水溶液にHNを溶解させて出来る三成分系についての爆速測定結果を報告したが、本報ではより水分の少ない系、即ちHNの飽水ヒドラジン溶液についてその爆性を系統的に研究した結果をまとめる。

#### 2. HNの調製

HNは次のようにして調製した。

ヒドラジン水溶液(90%) 380g及びメタノール200mlをビーカーに入れて混合し、氷浴中で冷す。次いで700gの硝酸(61%)を滴下し攪拌しつつ混合する。この間混合液の温度は50℃以下に維持する。混合し終わった液を冷凍機中で約-15℃に冷す。24hrs後、沈澱したHN結晶を濾過して分離し、冷したメタノールで2~3回洗滌する。こうして得られた沈澱を乾燥し、減圧デシケーター中に貯蔵する。このプロセスで得られるHNの総合収率は90%を超える。

Table 1 Properties of Hydrazinium-mononitrate and Hydrazine-hydrate.

	Hydrazinium-nitrate	Hydrazine-hydrate
MOLECULAR FORMULA	$(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_2$	$(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
MOLECULAR WEIGHT	95.06	50.05
MELTING POINT	70.7°C	-40°C
BOILING POINT	—	118.5°C
DENSITY	1.685	1.031 (at 20°C)

昭和54年8月3日 受理

\*化学技術研究所

〒305 茨城県筑波郡谷田部町東 1-1

Table 1は得られたHN(α相)と液体爆薬の溶媒として用いた飽水ヒドラジン(ヒドラジンの一水化

物、略してHH)の性質を示す

### 3. HN/HH混合溶液の物理的・化学的性質

#### 3.1 HNのHHへの溶解度

HNはHHに発熱溶解する。約10gのHHに過剰のHNを混じ、一定の温度に保っておく、こうして出来た飽和溶液の適当量を小ビーカーに注ぎ、総質量を化学天秤で正確に秤量する。ビーカー中のHHを減圧下で完全に蒸発させた後、残渣として残ったHN量を再び秤量する。こうしてHNのHHへの溶解度が求められた。Fig. 1はこうして得られた溶解度を温度に対してプロットしたものである。20℃では100gのHHに370gほどのHHが溶解し、約78%の濃厚液となる。

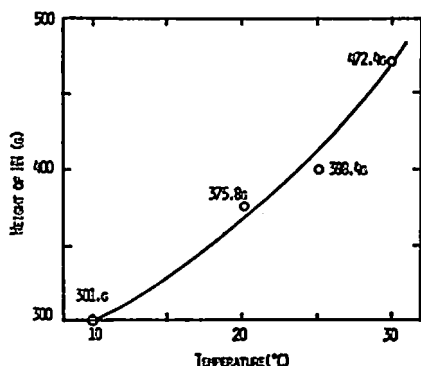


Fig. 1 Solubility of HN in 100g of HH

#### 3.2 HN/HH混合溶液の密度

HN/HH混合溶液の20℃における密度を、濃度を変えて測定した。測定には Digital Precision Densimeter, Model 10 (Anton Paar, KG., Austria)を用いた。試料溶液は、HNとHHを夫々適当量ずつ秤量し、混合し所期の濃度のものを調製した。こうして得

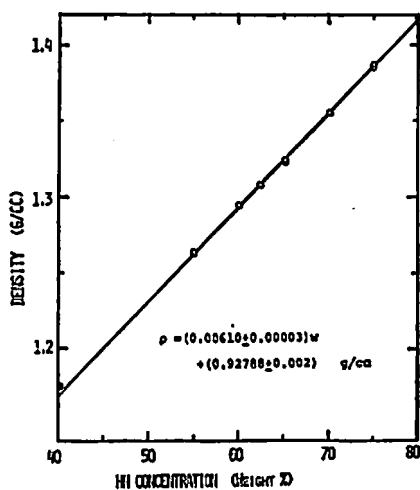


Fig. 2 Densities of HN solutions with HH at 20°C

られる試料溶液の濃度の精度は±0.1%(重量百分率)以内で正確である。Fig. 2は溶液密度 $\rho$ (g/cm<sup>3</sup>)をHN濃度W(重量%)を横軸として画いたものである。図に示すように、 $\rho$ -W間には直線関係がある。これに最小自乗近似を適用して実験式

$$\rho = (0.0061 \pm 0.0003)W + (0.9278 \pm 0.002)$$

が得られた。20℃での飽和溶液の密度は1.404である。この実験式は密度を測定することによって濃度を求める為に利用出来る。前記の密度測定装置によって比較的容易に高精度の測定が出来るから、この方法で濃度を決定する方がより実際的である。

#### 3.3 HN/HH混合溶液の燃焼熱及び生成熱と音速

HN/HH混合溶液のうち、HN濃度40, 60, 80%の3種類につきボンベカロリメーターによって燃焼熱を実測した結果、夫々2.214, 1.891, 1.561kcal/gを得た。Fig. 3に示すように燃焼熱及びこれから導びかれた生成熱はHN濃度が増加すると直線的に減少する。

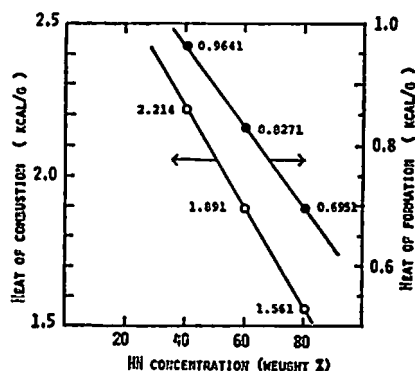


Fig. 3 Heats of Combustion and Formation of HN solutions with HH

また、HN濃度55, 60, 75%の溶液について、Sing around方式による装置で、20℃における溶液の音速Cを測定した。(Table 3の第3列)

#### 4. HN/HH混合溶液の爆性

##### 4.1 HN/HH混合溶液の伝爆性と衝撃感度

HN/HH混合溶液は、HN濃度がある限界値以下になると伝爆しなくなる。この限界値は液温・薬径・薬包の密閉度(容器の材質やその厚さ)などの条件によって変化する。ここでは実験条件を次のように設定して伝爆可能な組成の範囲を決定した。内径20mm, 肉厚1mm, 長さ120mmの真鍮管の一端に2mm, 厚5cm角のPMMA板をボンド付けして出来る容器を、鉛ブロック(50×50×25mm<sup>3</sup>)の上に立て、これに試料溶液を滴す。この液体薬包の温度が20℃に達してから、上部においた10gのテトリルペレット(径20mm, 比重:

1.6g/cm<sup>3</sup>)で起爆する。爆否は鉛ブロック上の爆痕で判定した。その結果40~45% (重量)以上の濃厚溶液では爆轟することを確めた。

これらの爆轟可能な溶液 (45%以上)について、落槌感度試験を行ったが、落高60cmでは全ての組成範囲に亘って、混合溶液は爆発は勿論、反応もしなかった。落槌重量は5kg、試料アセンブリの作り方は、第1報<sup>12)</sup>でニトロメタン系の液体爆薬に対して採用した方法と同じである。

#### 4.2 爆轟 (HVD) 伝播の臨界薬厚

HN溶液の爆轟伝播の臨界薬厚を Wedge 法で求めた。Fig. 4に示すように、精密仕上げした一対のアルミニウム平板 (幅: 25mm, 厚さ: 10mm, 長さ: 210mm) を、一方に適当な厚さ (5~10mm) の PMMA 小片を狭んで Wedge 型に固定し、その両側面に厚さ5mmの PMMA 板をボンド付けして水密性の容器とする。PMMA 小片の中央に開けたドリル孔から試料溶液を注入し、温度を20℃に保っておき、Fig. 4 下図に示してあるように、薬包の右端から2gのプラスチック爆薬 (PETN を主成分とする爆薬, 爆速: 7.2km/sec, 密度: 1.4g/cm<sup>3</sup>) をブースターとして用いて起爆した。

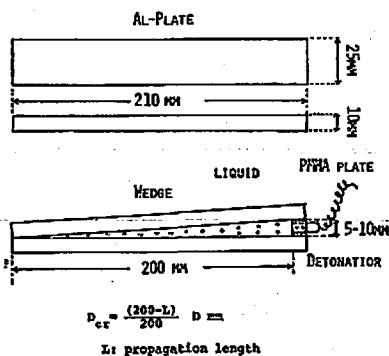


Fig. 4 Schematic diagram of wedge charge

爆轟中断点は、爆発後回収したアルミニウム板上に残された爆痕から明確に判定される。アルミニウム板上で測った Wedge 末端から中断点までの距離と、Wedge 頂角とから中断点での薬厚、すなわち臨界薬厚が求められる。

濃度の違う3種類の溶液に対して、2~3回実験して得た平均の臨界薬厚をFig. 5に示す。測定点を通る垂直線はデーターの範囲を示す。図には比較の為、同じ方法で求めたニトロメタンの20℃での臨界薬厚の範囲を示しておく。図で分るように、濃厚溶液ほど伝爆性がよく、HN50%程度の溶液でニトロメタンと同程度の臨界薬厚をもち、60%以上の濃厚液ではニトロメ

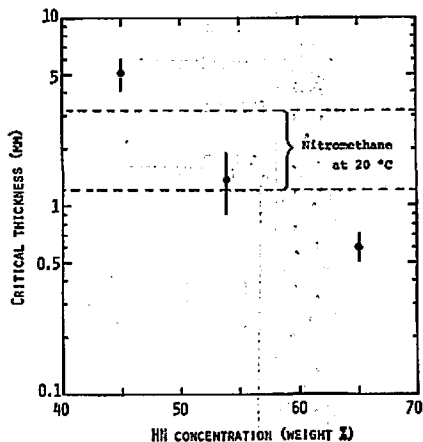


Fig. 5 The relationship between critical thickness and HN concentration (at 20°C)

タンよりはるかに小さい薬厚で伝爆している。

#### 4.3 爆速に及ぼす温度の影響

液体爆薬の爆速は一般に温度が高くなると減少する<sup>13)</sup>。例えばニトロメタンでは1℃当り3.96m/sec爆速が低下する<sup>13)</sup>。前報<sup>10)</sup>では、HN/HH/water=68/29.1/2.9,  $\rho^{20^\circ} = 1.3416$ の組成物について10℃から60℃の温度範囲に亘って爆速を測定し、この組成物に対する“爆速-温度”関係として実験式

$$D(\text{km/sec}) = -0.0032 T(^\circ\text{C}) + 8.13$$

を得た。

この結果を今回の HN/HH 混合溶液の爆速の温度補正に用いることにした。Brochet<sup>14)</sup>らの研究によりニトロメタンの各種不活性液との混合液体の爆速の温度係数が、溶液間で大差がないことが分っている。このことから類推して、この特定溶液の爆速の温度係数を HN/HH 混合液の補正に流用しても、大きな誤差の原因とはならないものと考えられる。

#### 4.4 HN/HH 混合溶液の爆速 (HVD)

爆速は一般に流しカメラなどを用いる光学的な方法、或いはイオンギャップ法などの電気的な方法で精密測定される。この HN/HH 混合溶液では爆発光が他の爆薬に比べて弱く、我々のドラムカメラで記録し難く光学的な爆速測定は出来なかった。そこで爆速測定は専ら電気的な方法によって行った。Fig. 6はこの方法の説明図である。

Fig. 6に示すように、厚さ2mmの硬質塩化ビニール管を旋盤で長さ50mmに精密加工したものを4本重ね、各管の間及び底板として用いた PMMA 板との間の4ヶ所にはイオンギャップを直径方向にピンと張って狭み、夫々をボンド付けして試料溶液の容器とした。各イオンギャップはパルス発生回路に接続されており、

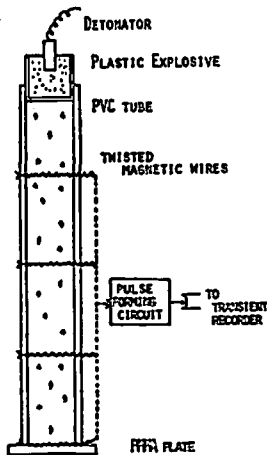


Fig. 6 Experimental assembly for measuring HVD velocity

この回路からは、イオンギャップが爆轟波で次々に短絡することによって鋭い電圧パルスが発生し、同軸ケーブルで接続した Biomation 8100 型 トランジェントレコーダーに記録される。このようにして得られる各区間ごとの爆速を平均してその溶液の爆速値を求めた。起爆直前に液温を測定しておき、4.3 項の爆速の温度依存係数、 $-3.2 \text{ m/sec. } ^\circ\text{C}$  を適用して  $20^\circ\text{C}$  における爆速値に換算した。このようにして得られた爆速値は  $\pm 0.2\%$  以内の精度をもつ。

Table 3 Summary of the experimental results of HN solutions with HH at  $20^\circ\text{C}$

COMPOSITION (HN/HH, Wt%)	$\rho$	C	D ( $\phi=31$ )	$\frac{A}{dD/d(1/\phi)}$	$D_0$	Dcal.
40/60	1.1760	—	—	—	—	7312
55/45	1.2668	2.04	7747.1	-139.5	7792.7	—
60/40	1.2930	2.08	7893.3	-180.9	7952.1	7904
65/35	1.3248	—	8050.0	-58.9	8058.3	—
75/25	1.3870	2.18	8327.1	-27.9	8339.2	—
80/20	1.4213	—	8473.5	-37.7	8491.9	8363

$\rho$  : density (g/cc)

C : sound velocity (km/sec)

D : observed detonation velocity in PVC tube having 31mm inner diameter. (km/sec)

$dD/d(1/\phi)$  : diameter dependence of detonation velocity. (m · cm/sec)

$D_0$  : experimental ideal detonation velocity. (m/sec)

Dcal. : calculated detonation velocity. (m/sec)

HN/HH 混合液の爆轟特徴数を HN : 40%, 60%, 80% の溶液について計算した。爆轟生成物の状態方程式として木原・疋田の式<sup>10)</sup>を用いた。算出した爆轟特徴数 (Chapman-Jouguet Parameters) を Table 4 に示す。また爆速計算値は Table 3 の第 7 列にも示した。計算によれば、主な爆轟生成物は  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  である。爆発光が弱いことから予想した通り、爆轟温

Table 2 Charge diameter tested for each composition

Composition (HN/HH, Wt%)	Charge diameters tested (mm)		
55/45	25	31*	41*
60/40	16	20	31*
65/35	10	20	31*
75/25	10	20	31*
80/20	10	20	31*

\* In case of these thick tube, numbers of measuring intervals are reduced to 2 from 3 in thin tube, in order to reduce the amount of explosive within the shot capacity of cite.

以上のような測定を、各濃度の溶液に対して Table 2 に示す各薬径 (容器内径) について行った。爆速 D と薬径  $\phi$  との間には

$$D = D_0 - A \cdot (1/\phi)$$

で表わされる直線関係が知られている<sup>10)</sup>。各濃度液に対して、この式に基づいて最小自乗近似を行い、薬径依存係数  $A = dD/d(1/\phi)$ 、及び理想爆速  $D_0$  とを求めた。得られた結果を Table 3 の第 5, 第 6 列に示す。表中の HN/HH = 80/20 の溶液は  $20^\circ\text{C}$  では過飽和になる。しかし爆速の実測は  $20^\circ\text{C}$  以上の温度で行われたものである。

#### 4.5 爆轟特徴数の計算

度  $T_{CJ}$  は低く、夫々  $503^\circ\text{C}$ ,  $945^\circ\text{C}$ ,  $1374^\circ\text{C}$  と算出された。Fig. 1 は一連の実験から求めた理想爆速  $D_0$  と、算出した C J 爆速とを、HN 濃度を横軸にしてプロットしたものである。 $D_0$  は組成に対して直線的に変化しており、したがって密度  $\rho$  に対しても直線関係をもっている。この  $\rho$  に対する変化率  $dD/d\rho$  は  $4.526 \text{ m/sec} \cdot (\text{g/cc})$  と一般の CHNO 爆薬での値  $3,000 \text{ m/sec} \cdot (\text{g/}$

Table 4 Calculated CJ-Parameters Of HN solutions with HH

COMPOSITION	HN/HH=80/20	HN/HH=60/40	HN/HH=40/60
DENSITY(20°C)	1.416*	1.295	1.176
Q (kcal/kg)**	996.6	790.9	524.7
D (m/sec)	8363	7904	7312
P <sub>CJ</sub> (kbar)	223.5	181.4	133.6
T <sub>CJ</sub> (°K)	1647	1218	776
$\tau$	3.431	3.457	3.705

\* at a super cooled state.

\*\* Heats of Detonation.

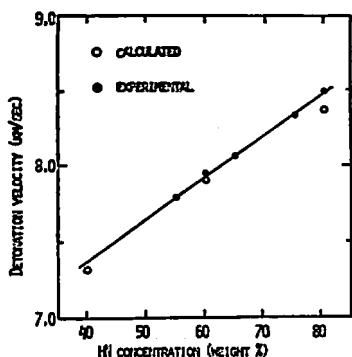


Fig. 7 Experimental ideal detonation velocities and calculated velocities of HN-HH solutions at 20°C. (The solution of HN/HH = 80/20 in at super cooled state.)

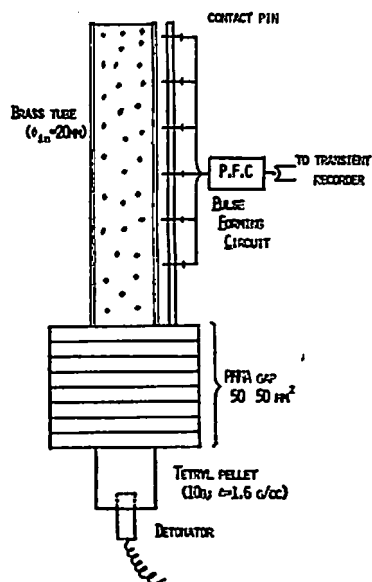


Fig. 8 Initiation and velocity measurement of LVD

cc)<sup>13)</sup>台に比べて特に高い。この為か、1.3g/cc 台の比較的  
低密度のものでも 8,000m/sec を超す高爆速を呈し  
ている。

#### 4.6 HN/HH 混合溶液の低爆速爆轟 (LVD)

HN/HHの高HN濃度溶液では、特定の条件の下で所謂低爆速爆轟(LVD)を呈する。真鍮管(内径20mm, 外径22mm, 長さ130mm)に入れ薬温20°Cのとき、Fig. 8のように、PMMA板を重ねた減衰板を通過したHVDのおこらぬような弱い衝撃波で起爆すると、HNを70%以上含む高濃度溶液ではLVDを呈し、70%以下の溶液ではLVDが起らず不爆となる。このことは、70%以下の濃度の溶液では、LVDの伝爆限界径が、HVDの伝爆限界径よりも大きいという可能性をも暗示している。そこでこれを確かめるために次のギャップテストを行った。

Fig. 9は、20°Cにおいて75%HN溶液について行ったギャップテストの結果を示す。テストは種々の内径のアルミニウム管(長さ100mm)に溶液を入れ、各薬径で、PMMAギャップ板の厚さ(ギャップ長)を変えて起爆した。Fig. 9に示すように、内径10mm以下では、小ギャップ長ではHVDをおこし、ギャップ長

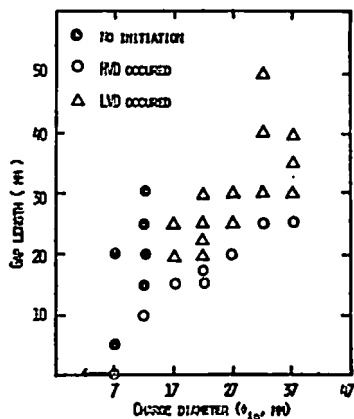


Fig. 9 Results of gap tests for the HN solution (HN/HH=75/25) at 20°C  
donor explosive; tetryl(10g,  $\phi=20$ mm,  $\Delta=1.6$ )  
attenuator; PMMA plate (50x50mm<sup>2</sup>)  
container; Al tube ( $l=100$ mm)

が大きくて起爆衝撃波が弱くなると不爆となる。しかし薬径が17mm以上になると、起爆衝撃波を弱くしてHVDがおこななくなっても不爆とはならずLVDをおこなうようになる。以上のことから、75%HN溶液では、20℃でLVDの伝播限界径は10mmと17mmとの間にあり、HVDのそれは7mm以下となっており、明らかにHVDの限界径がLVDのそれより小さくなっている。

さらに75%HN溶液のLVDは、20℃で内径30mmもの大薬径のPMMA管中でも伝播しないが、HVDは内径10mm以下のPMMA管でも伝播することが、追加実験で確かめられた。このことから考え、20mm径の真鍮管でLVDを呈さない低濃度液も、より大薬径ではLVDを呈する可能性が大きい。

#### 4.7 HN/HH混合溶液のLVDの伝播速度測定

75%HN溶液のLVDの伝播速度をピンコンタクト法で測定した。この液のLVDは過塩素酸尿素-ニトロメタン-水の3成分系のLVD<sup>10)</sup>と同様に発光が弱く、ドラムカメラによる光学的測定が不可能であった。また通常のイオンギャップ法は、LVDでは爆轟圧が低く、ギャップのスイッチング作用が不安定で測定が不確実となる。そこでLVDや、低比重低爆速爆薬<sup>10)</sup>の爆速測定にはピンコンタクト法が適している。

測定は、Fig.8に示すように、内径20mm、外径22mm、長さ130mmの真鍮管を容器とし、2mm厚のPMMA板に垂直に貫通固定した6対のピン(木綿針)を、その先端が真鍮管の外壁から0.1mm~0.2mmの一定間隔を保って保持しておく。各対は2本のピンを、真鍮管の断面に平行に僅かに隔てて並べて固定されている。各対間の距離を20mmとした。

LVDが管中を伝播し、真鍮管が膨脹すると、各対の2本のピン間が順次短絡され、図のパルス発生回路(P.F.C.)が動作し各対のスイッチング時刻に対応したパルス列がトランジェントレコーダーに送られる。この方法で75%HN溶液のLVDの伝播速度として、20℃では0.8kg/sec~0.9km/sec、40℃では1.1km/sec~2.8km/secが得られた。

#### 5. 考察

HN/HH混合溶液は機械的な打撃に鈍感である。したがって、少なくとも室温では取扱上特に危険なものではない。一方その爆速は、比重が低くしかも爆発熱も小さい(Table 4)にも拘らず、Table 3に示すようにCHNO爆薬に比べて非常に高い。(例えばニトログリセリン<sup>10)</sup>、 $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ では、 $D=7.6\text{km/sec}$ 、硝酸メチル<sup>10)</sup>、 $\rho=1.21\text{g/cm}^3$ では $D=6.7\text{km/sec}$ )

計算結果に示されるように、この高爆速は主として爆発生成ガスの平均分子量が、CHNO爆薬に比べて

小さいことによるものと思われる。これはこの爆薬が炭素を含まない利点と思われる。またこの系統での $\partial D/\partial \rho$ が $4,526\text{m/sec}\cdot(\text{g/cm}^3)$ と異常に高いのも、生成ガスの平均分子量効果によるものであろう。

計算爆速値 $D_{c_j}$ はFig.7に示すように実験値とよく一致している。この系の爆轟温度 $T_{c_j}$ (計算値)は比較的 low、Finger et al<sup>11)</sup>による同じ爆薬の温度と一致している。HN/HH混合溶液の爆轟の発光が弱いのは、このように爆轟温度が低いためと考えられる。ただUrtiew et al<sup>12)</sup>は同様な液体爆薬について、爆轟温度として $2,200\sim 4,000^\circ\text{K}$ と観測して我々の結果と喰い違いを示している。そこで爆轟温度については更に確認実験を行うことが望ましい。

70%以上HNを含む濃厚溶液では、20mm径の真鍮管内で20℃においては、HVDとLVDの2様の爆轟を呈する。このLVDは、ニトログリセリン<sup>10)</sup>や硝酸メチルにおけるLVD<sup>10)</sup>とは違って、その伝播限界径がHVDのそれより大きい。また伝播速度もある程度にひろがっていて、硝酸メチルでのような一定値をとらない。さらに爆発光が弱く光学観測が困難である点もニトログリセリンや硝酸メチルのLVDと異なる点である。

ニトログリセリンや硝酸メチルにおけるLVDでは、伝播限界径はHVDよりも小さく、爆発光はHVDの場合よりはっきりと強くドラムカメラではHVD光より明るく撮影される。また少なくとも硝酸メチルにおいてはその伝播速度は、一定値を保っている。このように今回のHN/HH溶液のLVDは、少なくとも我々の実験条件の下で得られたものは、現象的に色々の面で従来知られたLVDと異なった様相を示している。しかし実験条件が異なれば、別の様相を呈することもありうる。

James et al<sup>13)</sup>は熔融HNや、75℃という高い薬温でHN-HH-水の三成分系をWedge型容器で爆発させたとき、薬厚が小さくなるとHVDからLVDへと転移がおこることを報告している。これは我々の得た結果と逆の結果である。この相違は薬温の違いによるものと考えられる。LVD伝播の難易は薬温に大きく依存し、温度が上昇するとHVDの伝爆性も向上するがLVDがより以上伝爆しやすくなるためと思われる。

HN/HH混合溶液のLVDの伝播速度は、40℃近傍で2.8km/secまでの速度を示したが、20℃では0.8~0.9km/secと小さい値であった。この値はこの溶液中の音速以下の低い値であり、この爆発は真の意味でのLVDであるとは言えないものかも知れない。

均質液体爆薬のLVDについては、その伝爆のメカニズム、反応の形式について色々な説があるが、LVDの現象は多岐であって、その発現時の様相は、組成・

含気泡率・薬温などの薬自身の要因，薬径・容器の材質・容器の厚さ・起爆の強弱等の外的要因など多元要因に左右されるものであって，これらの要因の組合せで，全く異なった様相を呈することもあるものと考えられる。したがって LVD の全容を明らかにするには以上の要因をカバーした地道な実験の積み重ねが必要であろう。

謝辞 この研究に当り，実験の一部で村田重夫・吉田正典両氏に協力して戴いた。ここに両氏に感謝の意を表する。

#### 文 献

- 1) T. Urbanski ; "Chemistry and Technology of Explosives", vol. 2, P.464, Pergamon Press, (1965)
- 2) D. Price et al., NOLTR, 66-31, (1966)
- 3) B.T.Fedoroff and O.E.Sheffield, "Encyclopedia of Explosives and Related Items" vol. 7, H196, Picatinny Arsenal, (1975)
- 4) H.K. James, Y.Miron and H.E.Perlee, I.C., NO 8452, Bureau of Mines, (1970)
- 5) P.A.Urtiew et al., Acta Astronautica, 3, 555 (1976)
- 6) U.S.Patent, 3419433 (1968)
- 7) L.B.Seely et al., Fifth Symposium (Intern.) on Detonation, p.89, NOL (1970)
- 8) K.Scribner et al., Sixth Symposium (Intern.) on Detonation, p.466, NOL (1976)
- 9) J.B.Ramsay et al., *ibid.*, p.723
- 10) 村田・藤原・日下部・椎野；工火誌，37，316 (1976)
- 11) 日下部・藤原；工火誌，40，109 (1979)
- 12) A.W.Campbell et al., J. Appl. Phys., 27, 963 (1956)
- 13) W.C.Davis et al., Phys. Fluids, 8, 2169(1965)
- 14) C.Brochet et al., Fifteenth Symp. on Combustion, p.29, The Combustion Institute (1974)
- 15) C.H.Johanson and P.A.Persson, "Detonics of High Explosives", P.8, Academic Press, (1970)
- 16) H.Kihara and T.Hikita ; Fourth Symp on Combustion, p.458, The Combustion Institute (1953)
- 17) 日下部・藤原・椎野；工火誌，40，177 (1979)
- 18) 疋田強他：「低爆速爆薬の研究」p.6, 日本産業火薬会資料編集部，(1973)
- 19) C.H.Johanson and P.A.Persson ; "Detonics of High Explosives", p.8, Academic Press, (1978)
- 20) M.Kusakabe and S.Fujiwara ; "Fifth Symp. (Intern.) on Detonation p.267, NOL, (1970)
- 21) M.Finger et al., Sixth Symp. (Intern.) on Detonation, P.710, NOL, (1976)
- 22) J.Taylor, "Detonation in Condensed Explosives" p.156, Clarendon Press, (1952)

---

### Study on the detonation of liquid explosives (III) Liquid explosives containing hydrazinium-mnonitrate and hydrazine-hydrate.

by Masao KUSAKABE\*, Shuzo FUJIWARA\*,  
Kazuo SHIINO\*, and Katsumi TANAKA\*

Both physical and explosive properties of the hydrazinium-mnonitrate (HN) solutions with hydrazine-hydrate (HH) were investigated at 20°C. They are density, sound velocity, heat of formation, range of detonable compositions, critical thickness for HVD propergation, temperature dependence of detonation velocity, diameter effect on detonaion velocity, ideal detonation velocity, and LVD of the HN solutions.

The HN solutions with HH were insensitive to impact, but powerful liquid explosives. The HVD velocities calculated were in good accordance with experimental ideal ones. LVD was obtained in the solutions containing more than 70% of HN and it had different nature from that in the usual liquid explosives.

(\*National Chemical Labartory for Industry, Tsukuba Research Centar, IBARAGI)