

ダイナマイト製造の安全化

山末 健・長谷川清一*

ニトログリセリン（以下NGとする）の取扱いを含めたダイナマイト製造の安全化のためには色々な要因が考えられるが、NGならびにダイナマイト自身を安全化することが最も重要であると考えられるので、本報告ではもっぱらこの点について述べる。

I NGの純化

NGの取扱いを安全化することは、純化剤を加えて純化することにより達成することができる。このNGの純化剤にはダイナマイトの成分になるものとならないものがある。

§1. ダイナマイトの成分にならないNGの純化剤

NGの純化剤でダイナマイトの成分にならないものには、水、メタノール¹⁾、酢酸エチル²⁾、ジエチレングリコール³⁾、ポリグリコール⁴⁾などがあるが、これらはNGに他のドーブを混合する前に分離して除かねばならない。これらの純化剤のうち水以外はNGの分離に手数を要し、ダイナマイト製造においては実用にはならない。

水はNGを溶解しないため強い攪拌などによりエマルジョン化する必要がある。この水エマルジョンにしてNGを安全輸送する方法が色々研究され、既に実用されている。

たとえばBiazzi社は、運搬車によるNG輸送の事故をなくするために、NGをジェットポンプで輸送し⁵⁾、また、NAB, Biazziなどの連続製造装置においては洗浄器へのNGの送り込みおよび洗浄器より貯槽などへのNGの輸送にジェットポンプを使用している。さらにNobel-Bozel S.A.のAllen工場、Norsk Sprengstoffindustri A.B., Italy Udine工場、Hercules社のKenvil工場などにおいてはNGのジェットポンプ輸送を実施している⁶⁾。また、日本化薬厚狭作業所においては、昭和35年9月より同37年7月まで異状なくNGのジェット輸送を実施していた。

NGの水エマルジョンにおいて大切なことは、2工室間をエマルジョン輸送中に片方の工室で爆発を生じても、他工室に爆発を伝えないことである。この水エ

マルジョンの爆発性に関し、従来ならびに筆者らの実験およびジェットポンプによるNGの水エマルジョン輸送装置を設置していた、日本化薬の洗浄工室の爆発事故（昭和37年4月25日）の爆発原因ならびに対策について述べる。

1. 従来の実験

1.1 Médard氏⁷⁾は少量の界面活性剤を使用して、NG-水エマルジョンの爆轟伝達について詳細な実験を行ない、このエマルジョンが爆轟を伝えないためには、

弱い束縛条件（内径35mmのアルミ管体）下では
NG：水=75：100=0.75（重量）

強い束縛条件（内径31mmの鉄管体）下では
NG：水=100：150=0.67（重量）

であり、また、内径25mmの鉛管中でインジェクターで8kg/cm²のフィード圧力を有するNG：水=1：3=0.33（容積）のエマルジョンは爆轟を伝播し得ないことを見出した。

1.2 L. Alexander氏ら⁸⁾はNGの安全輸送として次の方法を発明した。

インジェクターで30%の水を含有するNGエマルジョンを作り、パイプ中を91.5cm/sec以上の流速で流し、このエマルジョンの長さは23mを越えてはならない。そしてその直後に水を流す。この水の長さは6m以上であること。すなわち、エマルジョンと水とを交互に流すことを特徴としている。

1.3 Biazzi社のG. S. Biasutti氏によると、NGを水でエマルジョン化して2工室間をパイプ輸送する場合、1工室が爆発しても他工室への伝播を防止するためには、水：NGの容積比を2：1以上にし、流速は1m/sec以上に保ち、パイプの内径は28mm以下でなければならない。たとえば、ヘッド8m、距離100mをパイプ輸送するためには8kg/cm²の水圧を用いる。

1.4 DAGのSchlebusch工場のRiedner W. Lyman氏によると、NG-水エマルジョンを安全に輸送するためには、輸送パイプ径1インチ、NG：水=80：100（重量）（NG：水=1：1が最低）、流速1m/sec以上。

昭和43年3月16日受理

* 日本化薬株式会社厚狭作業所 山口県厚狭郡山陽町

1.5 吉富氏⁹⁾ は分離直後の酸性ニトログリセリンによるエマルジョン輸送の安全性について検討し、酸性NGの水によるエマルジョンは精製NGと水とのエマルジョンより不安定で爆轟を伝播し易いが、ある種の界面活性剤がエマルジョンの安定化に役立つことを示した。

2. 筆者らの実験

2.1 界面活性剤を使用した場合

水中油型のエマルジョンを安定化する界面活性剤を使用し、NG-水エマルジョンを作製してその粒度を測定し、さらに爆発実験を行なった。

(1) NG-水エマルジョンの作製と粒度の測定

図1に示す如き実験装置を使用した。エマルジョンの作製に用いたジェットポンプは高島氏¹⁰⁾の方法で設計した。

まず、NG槽中のNG（ニトログリコールを約40%含有、以下これと同じ）に非イオン系界面活性剤（たとえばノイゲン ET170）を約0.1%混入する。次いで第一流体（水）の圧力 P_n を一定とし、NG槽中の第二流体（NG）の吸引をはじめたら、NG槽および受槽の液面を刻々測定記録し、同時にサイクロンを溢流する液量を測定する。また、溢流液および下部排出液を3度づつ50ccのメスシリンダーにとつて組成を求めるとともに、エマルジョンの粒径を顕微鏡写真により測定した。

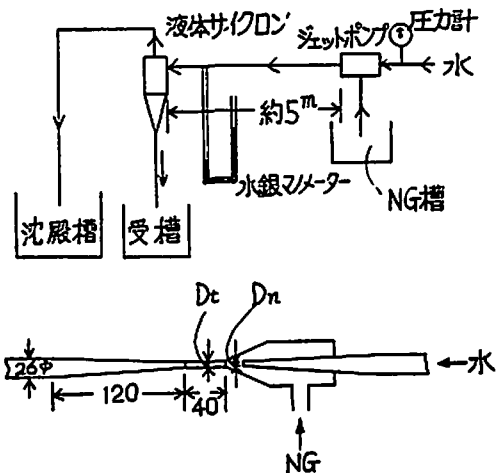


図1 NG-水エマルジョンの作製実験装置

すなわち、輸送パイプ内径26mm

$$\frac{D_c^2}{D_n^2} = 0.21 \sim 0.40$$

NG : 水 = 0.08 ~ 1.29 (重量)

駆動水圧 1~3 kg/cm²

におけるエマルジョンの平均粒径は 12~55 μ で、各粒度は 5~120 μ の範囲に分布していることがわかった。

(2) NG-水エマルジョンの爆発実験

(1)の実験により、ジェットポンプを使用してエマルジョンを作成した場合の粒径とほぼ同等の値を有するエマルジョンを、ジェットポンプを使用しないで水とNGの混合物を振蕩して作製し、爆発実験を行なった。

すなわち、ポリエチレン製 1l 瓶に水と NG 合計 200cc を入れ、非イオン系界面活性剤（たとえば、ノイゲン ET170）を NG に対し 0.1% 加えてよく振蕩し水中油型のエマルジョンとする。直ちにこれを 1 ϕ のポリエチレンパイプに移して起爆した。

その結果を次表に示す。

実験番号	NG : 水 (重量)	平均粒径 (単位: ミクロン)	起爆方法	結果
1	0.3	15	6号雷管のみ	不燃
2	0.3	28	"	"
3	0.3	33	6号雷管およびコンボジションB50g	"
4	1.0	26	6号雷管のみ	"
5	1.0	57	6号雷管およびコンボジションB50g	"

備考 1. 平均粒径は顕微鏡写真より求めた

2. 爆発実験要領は次図の通り



ポリエチレン管 1 ϕ (内径 27mm, 厚さ 3.6)

以上より平均粒径 60 μ 以下で NG : 水 (重量比) が 1 以下のエマルジョンは起爆 (6号電気雷管および伝爆薬) できないことを確認した。

2.2 界面活性剤を使用しない場合

界面活性剤を使用しないで、実用に近い NG-水エマルジョンを作製して爆発実験を行なった。

NG-水エマルジョンの伝爆に大きく影響する因子としては、NG-水の混合比、エマルジョンの粒径、エマルジョン輸送管の管径、同じく密閉効果、起爆源などが問題になると考えられる。

これらの効果をすべて実験的に検討しつくすことは、莫大な労力、費用、時間を要するので、NG-水エマルジョン輸送において予想される条件で伝爆性を調べた。ただし、ジェットポンプを実際運転の際 NG-水

の混合比の多少の変化が考えられるので、予定よりも高い濃度のものについて伝爆を検討した。

工業的に NG-水エマルジョンをパイプ輸送する場合に予想される諸元は、

輸送管 内径 28mm 肉厚 3mm のポリエチレン管
NG : 水 = 1 : 2.5 (容積) (重量比に換算すると 1 : 1.6)

輸送管中のエマルジョンの平均粒径 (次項で定義した \bar{D}_p) $120 \pm 20 \mu$

(1) NG-水エマルジョンの作製と粒径の測定

(a) エマルジョンの粒度測定の基本式

液体中の固体微粒子の粒度分布は、粒子の沈降堆積する速度から推定できる。

液-液エマルジョンの場合には、粒子の沈降中に粒子どうしの集合による粒子の生長が生ずると考えられる。従つて固体粒子のような粒度分布の推定はできない。しかし平均的に粒子が大きいか小さいかは比較することができる。

図 2 に示す如く、沈降分離の初期には分離 NG の高さ S は時間 t に対し直線的に増加する。また、分離の初期には粒子どうしの合-は生じないと仮定した。

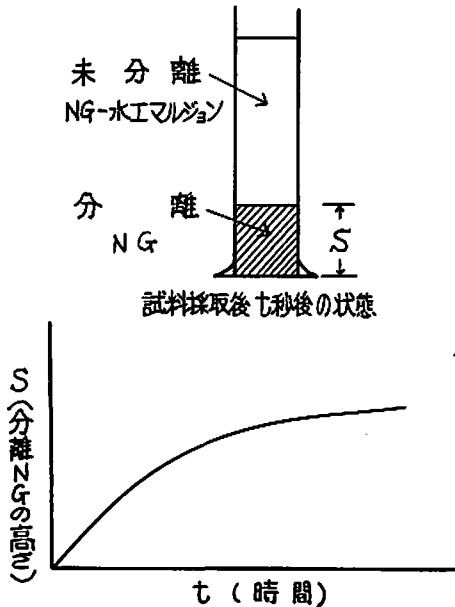


図 2 NG-水エマルジョンより NG の分離実験

水の中の NG 粒子の沈降は Stokes の法則を適用する。

すなわち粒子の沈降速度 u は、

$$u = \frac{D_p^2 (\rho_o - \rho_w) g}{18\mu} \quad (1)$$

ただし、 D_p : 粒子径

ρ_o : NG の密度

ρ_w : 水の密度

μ : 水の粘度

g : 重力の加速度

粒子の径が一定の場合

$$r' = \frac{\text{NG (容量)}}{\text{水 + NG (容量)}}$$

A : シリンダーの断面積

シリンダー中で t 時間に沈降分離した NG の高さを S とし、これが $(t + \Delta t)$ 時間に $(s + \Delta s)$ に増加し、NG と水の界面の上昇により水は $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ の速度で上方に移動していると見做すと、

NG 粒子のシリンダーに対する速度 :

$$u - \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Δt 時間に分離する NG :

$$r' \left\{ \left(u - \frac{\Delta s}{\Delta t} \right) \cdot \Delta t + \Delta s \right\} A = \Delta s \cdot A$$

より $\frac{\Delta s}{\Delta t} = r' \cdot u$ 従つて $u = \frac{1}{r'} \cdot \frac{ds}{dt}$ これを (1) に代入すると、

$$D_p = \sqrt{\frac{1}{r'} \cdot \frac{18\mu}{(\rho_o - \rho_w)g} \cdot \frac{ds}{dt}} \quad (2)$$

粒子の径が分布する場合

分布密度函数を $\varphi(D_p)$ とすれば、

$$\int_0^\infty \varphi(D_p) dD_p = 100\% \text{ (質量で)}$$

径が一定の場合と同様の考察を経て

$$\frac{ds}{dt} = r' \int_0^\infty u \varphi(D_p) dD_p \quad (3)$$

$$\bar{D}_p^2 = \int_0^\infty D_p^2 \varphi(D_p) dD_p \quad (4)$$

とおけば、

(1), (3), (4) より

$$\frac{ds}{dt} = r' \cdot \frac{(\rho_o - \rho_w)}{18\mu} \cdot \bar{D}_p^2 \cdot g \quad (5)$$

従つて

$$\bar{D}_p = \sqrt{\frac{1}{r'} \cdot \frac{18\mu}{(\rho_o - \rho_w)g} \cdot \frac{ds}{dt}} \quad (6)$$

(6) より (4) で定義した \bar{D}_p を計算することができる。この \bar{D}_p は「質量荷重平均表面積径」とも呼ばれるべき一種の平均粒径を示す。

(b) ジェットポンプによつて作製した NG-水エマルジョンの平均粒径 (\bar{D}_p) の測定

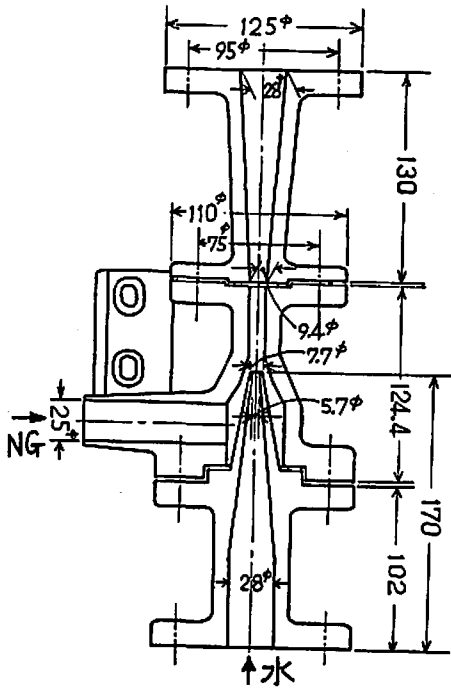


図 3 ジェットポンプ

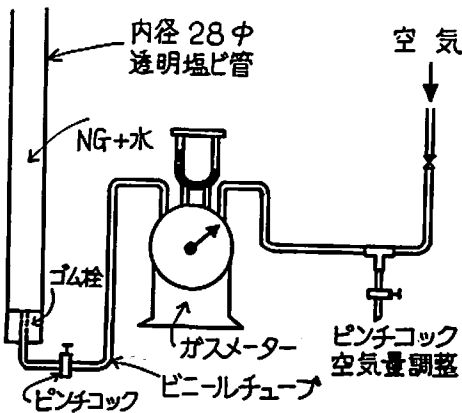


図 4 空気による NG エマルジョンの
作製実験装置

使用したジェットポンプは図3の通りである。
 駆動水圧 4kg/cm^2 で NG : 水 = 1 : 2.5 (容積) の
 エマルジョンを作製してメスシリンダーに採取し、
 (a) の方法で \bar{D}_p を計算した。その詳細は (c) と同
 様であるからここでは結果のみ記載する。
 エマルジョンの平均粒径 (\bar{D}_p) は

ジェットポンプの出口 $100 \pm 20\mu$
 分離器の入口 $120 \pm 20\mu$

(c) 圧縮空気によりエマルジョンを作製した場合
 の NG-水エマルジョンの平均粒径 (\bar{D}_p) の測定
 図4の装置を使用してエマルジョンを作製した。

エマルジョンの粒径に対する試料の量、通気時間、
 試料の温度、NG と水との混合比および通気速度の影
 響を調べるため実験計画法により、まず試料の温度、
 NG と水の混合比および通気速度を一定として、試料
 の量および通気時間の影響を調べた。

試料の温度 8.5°C

$$\gamma = \frac{\text{NG 量 (容積)}}{\text{水量 (容積)}} = 0.4$$

A_1 = 通気時間 5分

A_2 = " 10分

B_1 = 試料 (NG+水) の量 280cc

B_2 = " 140cc

実験割付は

		A	
		B_1	B_2
B	A_1	5	7
	A_2	3	6
		8	1
		2	4

実験

実験 No.	水量	NG 量	通気時間
1	100cc	40cc	5分
2	200	80	10
3	200	80	10
4	100	40	10
5	200	80	5
6	100	40	10
7	100	40	5
8	200	80	5

測定値

実験 1		2		3		4		5		6		7		8	
読み	時間	読み	時間	読み	時間	読み	時間	読み	時間	読み	時間	読み	時間	読み	時間
mm	sec	mm	sec	mm	sec	mm	sec	mm	sec	mm	sec	mm	sec	mm	sec
10	24	5	14	10	24	5	13	10	20	10	20	10	19	10	20
20	36	10	21	20	34	10	19	20	27	20	28	20	24	20	26
30	49	20	31	30	45	20	22	30	34	30	38	30	36	30	32
40	67	30	40	40	58	30	37	40	42	40	54	40	51	40	41
50	95	40	53	50	70	40	52	50	50	50	89	50	81	50	48
55	131	50	64	60	81	50	84	60	60	55	155	55	135	60	58
		60	75	70	93	55	154	70	69					70	66
		70	85	80	107			80	79					80	77
		80	99	90	120			90	91					90	88
		90	112	100	136			100	106					100	105
		100	124	110	168			110	131					110	130
		110	147	120	245			120	205					120	195
		120	194	124	420			123	275					122	250
125	307														

備考 読みはエマルジョンが沈降し分離した NG の高さ、時間は静置時間

解析結果

$$\bar{D}_p = 3.33 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{ds}{dt}} \text{ (cm)}$$

実験 No.	$\frac{ds}{dt}$	\bar{D}_p
1	0.0785 cm/sec	110 μ
2	0.0893	118
3	0.0825	113
4	0.0667	102
5	0.1200	136
6	0.0913	119
7	0.0960	122
8	0.1300	142

分散分析表

要因	S	ϕ	$s/\phi=V$	F_0
A	420.5	1	420.5	6.8
B	391.5	1	391.5	6.33
A×B	162.5	1	162.5	2.63
e	247	4	61.8	
T	1221.5	7		

\bar{D}_p は次の計算により求めた。

(6) 式より

$$\bar{D}_p = \sqrt{\frac{1}{kr} \cdot \frac{ds}{dt}}$$

$$k = \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{18\mu}$$

ただし、 $\rho_s = 1.55 \text{ g/cm}^3$

$\rho_w = 1.00$

$g = 980 \text{ cm/sec}^2$

$\mu = 1.33 \times 10^{-2} \text{ poise (8.5}^\circ\text{C)}$

$r = 0.4$

$r' = 0.286$

従つて

$$k = 2260$$

分散分析の結果、試料の量と通気時間によりエマルジョンの粒径に有意差があるとは云えないことがわかつた。

▲温度の変化がエマルジョンの粒径に如何なる影響を及ぼすかを調べた。

試料の量 180cc

通気時間 10分

NG : 水 = r = 0.4

通気速度 400cc/10秒

A₁ NG+水の温度 11°C

A₂ " 15°C

前の実験と同様に測定して、解析し分散分析した結果、温度によりエマルジョンの粒径に有意差があるとは云えないことが判明した。

▲NG と水の混合比 (r) と通気速度によるエマルジョンの粒径の変化を調べた。

試料の量 180cc
 通気時間 10分

	NG	水	全量	r
A ₁	130cc	50cc	180cc	0.385
A ₂	110	70	180	0.637
A ₃	100	80	180	0.8
B ₁	0.4l/10秒			
B ₂	0.5 "			
B ₃	0.7 "			

前の実験と同様に測定して、解析し分散分析した結果、通気速度は5%の危険率で有意となった。従つてエマルジョンの粒径は通気速度により変化することがわかった。

この実験において \hat{D}_p の推定値 $\hat{\mu}$ は、
 (A₁B₁) $\hat{\mu}$ = 131.3 ± 6.0 ミクロン
 (A₁B₂) $\hat{\mu}$ = 122.6 ± 6.0
 (A₁B₃) $\hat{\mu}$ = 109.0 ± 6.0
 (A₂B₁) $\hat{\mu}$ = 128.3 ± 6.0
 (A₂B₂) $\hat{\mu}$ = 119.6 ± 6.0
 (A₂B₃) $\hat{\mu}$ = 106.0 ± 6.0
 (A₃B₁) $\hat{\mu}$ = 125.3 ± 6.0
 (A₃B₂) $\hat{\mu}$ = 116.6 ± 6.0
 (A₃B₃) $\hat{\mu}$ = 103.0 ± 6.0

(2) NG-水エマルジョンの爆発実験

(a) 実験装置および実験条件

図5の如き大型試験坑道内に、ポリエチレン管に入れた試料(図6)をつるし、起爆用雷管には10号電気雷管を使用した。

NG と水エマルジョンの平均径 (\hat{D}_p) が 120 ± 20 μ になるために (1) 項の実験より、

通気速度 50cc/秒

通気時間 10分

とした。また、NG と水との量を次表の如くして

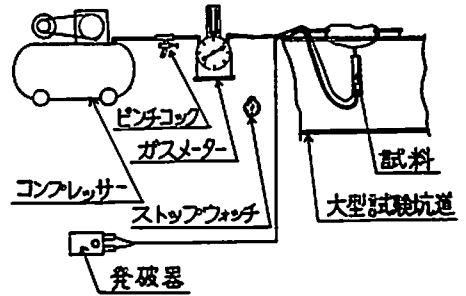


図5 NG-水エマルジョンの爆発実験装置

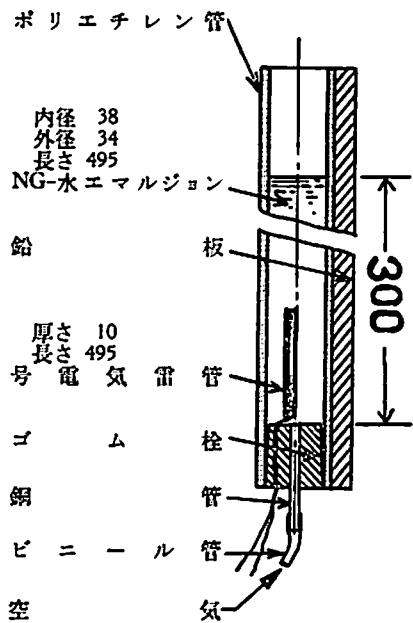


図6 NG-水エマルジョン試料

試料 No.	NG量	水量	混合液量	NG : 水		試料数
				容量比	重量比	
A ₁	50cc(78g)	130cc	180cc	1:2.6	1:1.67	5
A ₂	70 (108)	110	180	1:1.57	1:1.02	5
A ₃	80 (124)	100	180	1:1.25	1:0.81	5

通気停止後5秒で起爆した。

(b) 実験結果

実験 No.	NG	水	通気量	通気時間	気 温	液 温	伝爆距離*
1	50cc	130cc	500cc/10秒	10分	7.0°C	11.0°C	43 mm
2	"	"	"	"	8.0	12.5	40
3	"	"	"	"	9.5	13.0	0
4	"	"	"	"	10.0	14.0	0
5	"	"	"	"	9.5	12.5	0
6	70	110	"	"	9.0	12.5	58
7	"	"	"	"	8.5	13.0	60
8	"	"	"	"	5.5	8.5	55
9	"	"	"	"	6.5	8.5	45
10	"	"	"	"	6.0	9.0	50
11	80	100	"	"	7.0	9.2	68
12	"	"	"	"	7.0	10.0	60
13	"	"	"	"	7.5	11.0	95
14	"	"	"	"	8.0	12.5	68
15	"	"	"	"	8.0	13.0	85

注 * 雷管先端より PE パイプ破壊 (PE パイプのまくれ) 点までの距離 (図7 参照) を示す。この距離はエマルジョンの完全爆発ではなく、不完全に爆発し、爆発が停止するに至った距離を表わしている。

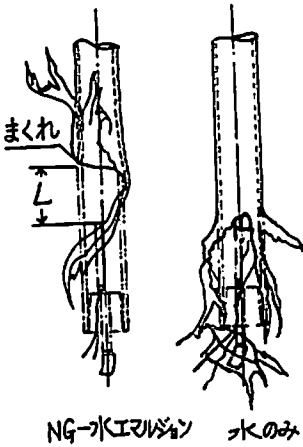


図7 伝爆距離 (パイプ破壊長 L)

伝爆距離の解析

	1	2	3	4	5
A_1	43	40	0	0	0
A_2	58	60	55	45	50
A_3	68	60	95	68	85

分散分析表

要因	S	ϕ	V	F_0
A	8784.7	2	4392.4	17.3**
c	3041	12	254	
T	11825.7	14		

従つて伝爆距離と NG の量は高度に有意である。

伝爆距離の推定値 $\hat{\mu}$

$$(\hat{A}_1)\hat{\mu}=16.6 \pm 15.6 \text{ mm}$$

$$(\hat{A}_2)\hat{\mu}=53.6 \pm 15.6$$

$$(\hat{A}_3)\hat{\mu}=75.2 \pm 15.6$$

これを図8に示す。

次に上記の爆発実験において NG がどの程度爆発したかを判定するために、NG 1.5g および 3.1g を図9の如く10号雷管の先端に接触したポリエチレンパイプに仕込み、隙間を水で充填した場合と、ゴム栓と PE パイプの隙間に NG を 1.5g および 3.1g 充填した場合とについてそれぞれ起爆試験を行なつた。隙間に

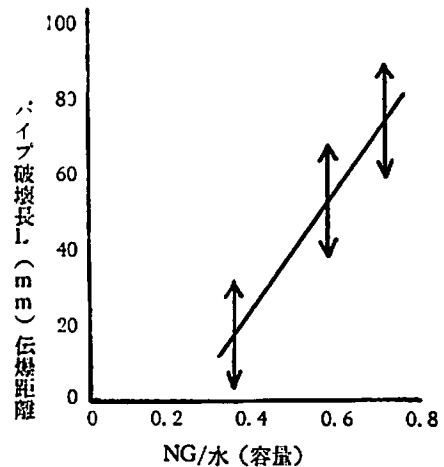


図8 L とエマルジョンの混合比との関係

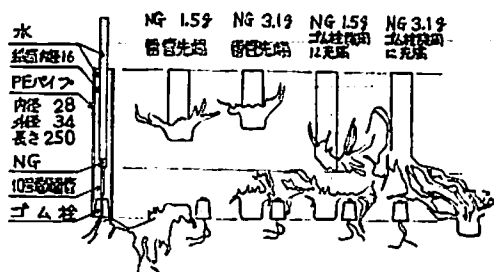


図9 比較試験

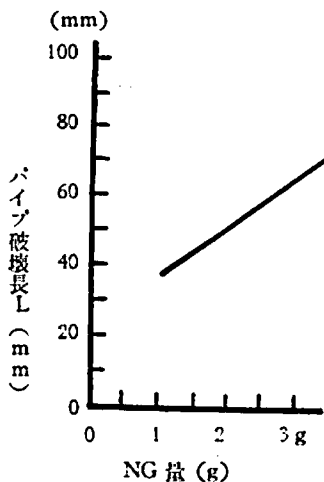


図10 L と NG 量との関係

入れた場合は L (伝爆距離) はほとんど 0 で、先端に置いた場合の L と NG との関係を図示したものは 10 図の通りである。

(c) 実験結果の考察

120±20μ の平均粒径 (\bar{D}_p) においては、

▲混合比 1 : 2.6 のものはエマルジョン中の NG 不燃と判定されるものは 3/5, NG の一部起爆の認められるもの 2/5 (L の平均 42mm) で、起爆 NG の相当量は約 1.5g (図10より判定)。

▲混合比 1 : 1.6 のものはエマルジョン中の NG の一部起爆の認められるもの 5/5 (L の平均 54mm) で、起爆 NG の相当量は約 2.3g

▲混合比 1 : 1.3 のものはエマルジョン中の NG の一部起爆の認められるもの 5/5 (L の平均 75mm) で、起爆 NG の相当量は約 3.5g

すなわち雷管付近の少量の NG の起爆は認められるが、何れも伝爆はしないことが確認された。

3. 日本化薬における NG 洗浄工室の爆発事故の検討

日本化薬厚狭作業所において、洗浄工室より配合工

室に NG を輸送するため、NG-水エマルジョン輸送装置 (ジェットポンプ) を設置していた洗浄工室で、昭和37年4月25日発生した爆発事故の詳細については既に発表¹¹⁾済みであるから、ここでは概要を述べる。

3.1 爆発時の状況

洗浄工室には NG 容量 925 kg の洗浄槽が 5 槽あり、部屋の側面に設置したジェットポンプへの連絡は 1" の軟質ゴム管を結合して行なっていた。1槽のジェット輸送が終ると、その槽よりゴム管を外し次の槽にゴム管を結合するようになっていた。爆発当時 NG は 4号槽に 925kg 3号槽に 140kg 存在し、他槽は空であった。爆発前に 3号槽の輸送が開始せられ、配合工室よりの連絡で輸送を一時停止した数分後に爆発を生じて、工室ならびに装置は完全に破壊され、室内にいた作業員 1 名は災害後遺体の一部 (肉片) しか発見できなかった。

3.2 想定される爆発原因と防止対策

NG の安定度起因する原因、排風機起因する原因、熱源に接する原因、電気設備起因する原因、静電気による原因などは何れも災害の原因とは考えられない。作業者の操作上の過誤は本人が死亡しているので不確かである。次にジェットポンプが原因となるか否かについて詳細に検討実験した結論について以下述べる。

災害時における洗浄工室のジェットポンプの取扱いにおける特異な点は、NG 吸入管 (洗浄槽—ジェットポンプ) にピンチコックを装着し、これを締めて NG の輸送を停止した後も約 4 kg/cm² の水圧で駆動水を通じていたと推定される。この状況下ではピンチコックよりジェットポンプ吸引部間を連絡するゴム管は高度の減圧状態となり、ゴム管は大気圧で押し潰された形状になる。この際その間に存在する NG は減圧にさらされるため、溶解する気体や水が気泡あるいは水蒸気泡として発生することが想像される。このような気泡を有する NG は衝撃に対する感度が高く、比較的小さい衝撃でも起爆される可能性がある。

この衝撃の可能性として、ピンチコックの急激な破壊、駆動圧力水中の水泡による衝撃および輸送管中の水の逆流による衝撃が考えられるが、何れもその可能性は少なく、むしろそのゴム管を上段の床から下に落とすとか、あるいは踏みつけるとか、机などの器物をその上に転倒さすなどの人為的な原因が考えられる。

次にジェットポンプを使用しながら (駆動水を通じながら) ピンチコックを使用して NG の輸送開始あるいは停止を行なうことは、ジェットポンプ内にキャビテーションを発生して事故を生ずる可能性があると考えられるが、この爆発事故は NG の輸送を停止して致

分後に発生したものであるから、キャビテーションが爆発の原因であった可能性は少ない。

爆発事故防止の対策として色々考えられるが、最も重要なことは、ジェットポンプの吸入側において高度の減圧を発生する原因を排除することである。このためには、まず吸入側のゴム管に取り付けたピンチコックを除く他、吸入側が何等かの原因で閉塞された場合に吸入側に設けた安全弁から空気を供給し、高度の真空の発生することを未然に防止することである。

§2 ダイナマイトの成分になる NG の鈍化剤

そのままダイナマイトの成分になり得る NG の鈍化剤としては、珪藻土、木粉、小麦粉などの吸収剤および綿葉などの膠化剤が従来考えられていたが、低融点ニトロ化合物が最も有効であることを見出したので、以下これらの鈍化剤について述べる。

1. 従来の鈍化剤

珪藻土、木粉、小麦粉および綿葉の含有量と落錘試験結果は次表の通りである。

NG 混合物に対する鈍化剤(%)		0	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60
5kg 落錘不燃点 (cm)	珪藻土	2						5	5	8	8	10	
	木粉	2						7	8	6			
	小麦粉	2						12	15	13	9	13	30
	綿葉	2	13	13	13	24	23	33	10				

備考 1. 珪藻土は 250 メッシュの篩を通過したもの

2. 木粉は比容 6.5, 水分 3%

3. 小麦粉は強力小麦粉で水分 3%

4. 綿葉は蜜葉量12.0%, アセトン比粘度3.0, 水分 5%, 綿葉の含有率が20%の場合10%に比し鋭敏となっているのは過剰のため綿葉自体の影響が出てきたためである。

2. 低融点芳香族ニトロ化合物

NG と容易に混合する低融点の芳香族ニトロ化合物は、NG の感度を著しく鈍化する。このニトロ化合物は、実用性を考慮すると、トルエン、キシレン、ナフタリンの硝化物あるいはその混合物が考えられるが、ここではモノニトロトルエン (MNT)、液状ジニトロトルエン (DNT) および DNT とモノニトロナフタリン (MNN) の混合物について述べる。

2.1 MNT

工業的に得られるいわゆる回収 MNT(オルソ MNT 約 45%, パラ MNT 約 35%, 2,4 DNT 15.0% および 2,6 DNT 5.0%) で凝固点 -10°C 以下のものを NG と混合し、次のような成績を得た。

(1) 落錘試験

MNT (%)	10	15	20	30
5kg 落錘不燃点 (cm)	5	5	50	150
MNT (%)	40	50	60	70
5kg 落錘不燃点 (cm)	150以上	150以上	150以上	150以上

(2) 8号雷管による起爆試験

MNT を 50% 以上混合したものを図11の要領で、8号雷管で起爆しても不爆であった。

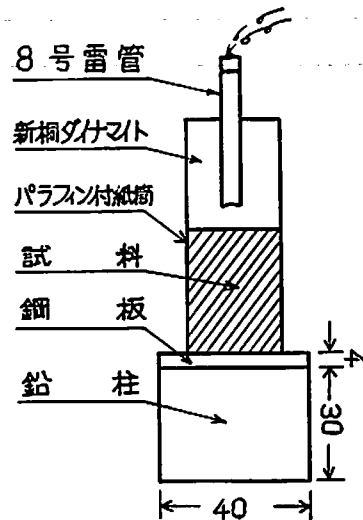


図 11 8号雷管および伝爆薬による鉛柱圧潰試験

2.2 DNT

工業的に得られた DNT (凝固点 57°C) を強制攪拌しながら 40°C に冷却した後に、遠心分離機で分離して得られた液状 DNT (凝固点 32°C) を NG と混合し次の成績を得た。

(1) 落錘試験

DNT (%)	20	30	40	50	60	70	80
5kg 落錘不燃点 (cm)	10	40	50	150	150以上	150以上	150以上

(2) 8号雷管による起爆試験
DNT を 60% 以上含有すると 8号雷管でも起爆できない。

2.3 DNT と MNN の混合物

混 合 比 (%)	DNT	100	80	70	60	50	40	30	20	0
	MNN	0	20	30	40	50	60	70	80	100
凝 固 点 (°C)		57	37	28	18	10	17	24	43	52

(1) 凝固点

工業的に得られた DNT と MNN の混合物は、その混合比による凝固点を次の如く変更することができる。

(2) NG+混合物 (DNT 50%+MNN 50%) の結晶析出温度

混 合 比 (%)	NG	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
	混合物	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
結晶析出温度 (°C)		12	-3 +4	-18 -15	DNT+MNN の結晶を種子として投入後 -18°C に 2 時間冷却しても結晶の成長を認めない							

(3) NG+混合物 (DNT 50%+MNN 50%) の落錘試験

混 合 物 の %	10	20	30	40	50
5kg 落錘不燃点 (cm)	6以下	13	100	150	150以上

(4) NG+混合物 (DNT 50%+MNN 50%) の 8号雷管による起爆試験

混合物を50%以上含有すると 8号雷管でも起爆できない。

(5) 加熱発火試験

750cc のブリキ缶 (ミルク缶) に試料 (NG 60% + DNT (60%) MNN (40%) 40%) を 500g 入れ、蓋をした後グリセリンパスで 1 分間に 2.5~3.0°C の割合で温度を上昇させると、170°C 付近で発火し、黒煙を発生して数秒間燃焼した。燃焼後ミルク缶は原形のまま位置も変わらず、蓋は近くに落ちていたが変形せず、また、アルミ製のグリセリンパスも原形のままであった。

2.4 上記の低融点ニトロ化合物の NG に対する鈍化性 (落錘試験値) を図12に示す。

すなわち鈍化剤の混入量が 15~20% で急に感度が低下しているが、これは D. Levine 氏ら¹²⁾の特殊落錘試験機を使用し、鈍化剤 (トリアセチン、ジブチルフターレートおよびジメチルフターレート) の NG に対する影響を試験し、その混入率が 16% を越すと急に鈍化するという結果と大体一致している。

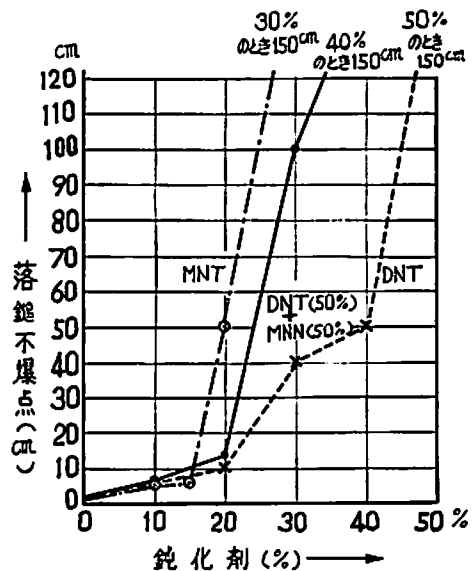


図 12 ニトロ化合物の含有量 (%) と落錘 (5kg) 不燃点との関係

3. 各種鈍化剤の NG に対する鈍化性の比較

前記の各種鈍化剤の NG に対する鈍化性を落錘試験値で示したものを図13に示す。ただし、低融点ニトロ化合物は DNT 50%+MNN 50% のみを示した。

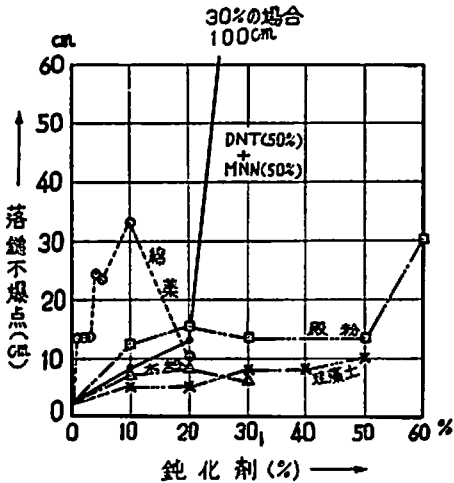


図 13 鈍化剤の含有量 (%) と落錘 (5kg) 不爆点との関係

すなわち鈍化能力は

DNT(50%)+MNN(50%) > 綿葉 > 澱粉
> 木粉, 珪藻土

の順で、10%の含有量では綿葉が最高である。

綿葉を用いて NG を膠化し鈍化しているダイナマイトにおける NG と綿葉の混合物に対する綿葉の含有量は 2~8% である。8% の場合の感度の低下はニトロ化合物 (DNT と MNN の等量混合物) の含有量 22%

に相当しているから、この数値以上にニトロ化合物を加えることにより綿葉の場合より感度を鈍化させることが可能である。

II 低融点ニトロ化合物を NG の鈍化剤として使用した場合のダイナマイト製造の安全化

§ 1 NG の運搬

たとえば NG の洗浄工室で、NG に前章で記述したような低融点ニトロ化合物を混合すると、NG の取扱運搬を極めて安全に行なうことができる。また、洗浄工室より直接安全に次工室へパイプ輸送することも可能となる。

§ 2 配合膠化工室の廃止

次に配合膠化工室を廃止し、直接捏和工室で比較的 safety に他のドーブを混合できるようになる。

また、たとえば洗浄工室で低融点ニトロ化合物を混合しない場合は、前章の方法で NG を水とエマルジョンを形成しながら混合工室までパイプ輸送し、そこで分離した NG を混合パンに仕込み、次いで低融点ニトロ化合物を加えた後のドーブを混合する。

§ 3 混合 (捏和) 以降のダイナマイト製造作業の安全化

1. NG を低融点ニトロ化合物で鈍化したものに他のドーブを加えて混合 (捏和) したダイナマイトの組成と性能

低融点ニトロ化合物で鈍化した NG は他のドーブを加えると、この鈍化剤を使用しない通常のダイナマイトとほぼ同等の威力を呈するが、落錘感度は鈍感になつているため、混合、填薬、圧伸、成型包装作業を比較的安全に実施することができる。

たとえば、

組成 (%)	区分	NG	DNT 60% + MNN 40%	DNT	綿葉	硝安	木粉	澱粉	塩化カリ塩	その他
	1	4.8	3.2			73.6	4.9	1.5	12.0	
(参考) 1'	8.0				0.2	70.9	6.5	2.4	12.0	
2	18.0			7.0	0.7	69.1	0.5	2.7		2.0
(参考) 2'	25.0				1.1	63.4	0.5	8.0		2.0

性能	区分	砂上初爆	猛度 (鉛柱圧潰値)	鉛錘最大値	爆速	弾道板子	落錘不爆点 (5kg)
	1	3.5倍	12.0mm	290cc	4,000m/sec	65mm	31cm
(参考) 1'	4.0	11.0	283	3,200	67	25	
2	3.0	16.0	380	5,500	82	30	
(参考) 2'	4.0	16.5	380	5,700	82	25	

備考 組成および性能で、区分の番号の同一のものは、同一の試料に対するものである。

2. NG 滲出に関する実験ならびに考察

NG は綿薬で膠化されても液状（未膠化部分）の部分若干含有し、これが滲出して爆発事故を起し易いと考えられるので、NG の滲出に関し試験した。

2.1 NG 滲出試験

(1) 加圧試験

前述の組成区分 1 及び区分（参考）1' の試料各 5g を図14の如き沓紙にはさみ、シリンダーに入れた後、重錘 1kg をのせ 2 時間（32°C）放置した後沓紙に付着した薬の重量を測定した。

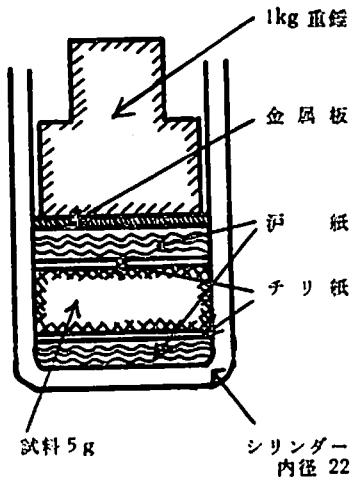


図 14 加圧試験

組成区分 1 0.014g

組成区分（参考）1' 0.013

（参考）組成区分（参考）2' 0.026

(2) 加温試験

径30mm、重量100gの試料を沓紙で巻いてライファン筒に入れ、恒温槽内で昼間 40°C で 4~5 時間加温し、夜間放冷する。この操作を 6 日間繰返した後、沓紙に吸収された薬の重量を測定した。

組成区分 1 0.215g

組成区分（参考）1' 0.192

2.2 上記(2)の試料（組成区分 1）を分析した結果

NG 56.04%

DNT+MNN 43.96

2.3 考 察

鈍化剤を使用したダイナマイトは綿薬を使用しなかったため、NG 混合物の滲出は綿薬を使用した通常のダイナマイトよりやや多い傾向はあるが、滲出した NG 混合物は初めの組成に近いものであるから、この種の鈍化剤を使用したダイナマイトは綿薬を使用しなくても保安上安全であると考えられる。

3. 混合以降の製造作業の安全化に関する考察

通常混合以降の製造作業で最も危険なものは、NG が滲出して機械的衝撃を受けることである。ところが低融点ニトロ化合物で鈍化された NG はたとえ滲出しても既に鈍化された混合液が滲出するので、製造作業における安全度を著しく向上することができる。

さらにこの鈍化された NG を混合したダイナマイトは、鈍化剤を使用しない同等の威力を有するダイナマイトに比し、一般に感度が鈍化されて製造作業を安全に行ない得る利点がある。

III NG の衝撃感度に関する考察

F. P. Bowden 氏¹³⁾、M. Zippermayer 氏¹⁴⁾ らは、NG などの液体爆薬の感度は気泡の存在によつて鋭敏になることを詳細な実験により立証している。Bowden 氏は発火は気泡の断熱圧縮に起因すると考察した。

この気泡の断熱圧縮に関する大谷氏¹⁵⁾の特殊感度試験機による試験結果は次の通りである。

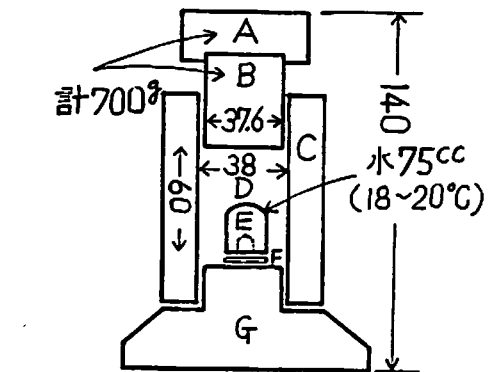
(1) 試験法

試料は NG に DNT (70%) + MNN (30%) の混合物を加えた液状試料。

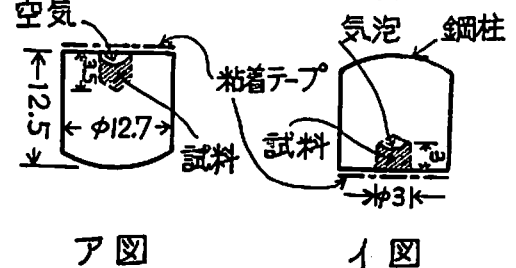
試験装置は図15に示す。

A : ピストン保護冠（鋼）

B : ピストン（鋼）



上図のピストンEの説明図

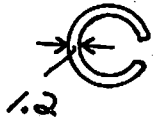


ア図

イ図

図 15 特殊落錘感度試験装置

- C : シリンダー (銅)
 D : シリンダー内を満した水
 E : 試料を入れた銅柱
 F : 水が出入し得る如く折り曲げた銅輪
 (ϕ 1.2mm)



G : 台 (鋼)

図に示す如く、銅柱Eに試料孔を穿ち、気泡0.01ccが存在する如く粘着テープで封塞する。台(G)上に銅輪(F)を置き、この上に試料(E)を置いてシリンダー(C)を装着し、内部に気泡が存在しないように水を入れ、ピストン(B)を挿入して空気を除き装置を落錠試験機の中央に置き、錠を適當の高さよりA上に落下する。Eの気泡は断熱圧縮を受け試料を起爆する。爆発はリング(F)が伸びる。ピストンの隙間よりガスが出る。錠、ピストンおよび(A)の反撥が大、爆発ガスの臭気などにより確認される。

(2) 試験結果

試料		落錠不爆点 (cm)
NG+	DNT (70%) + MNN (30%)	
100		7
90	10	15
80	20	50
70	30	130
60	40	(140)

備考 落錠は 2kg, ただし, 5kg を使用した場合の試験値は () 内に示す。気泡の大きさは 0.01cc
 参考として気泡の大きさを 0.002cc にした場合は, NG の不爆点 (5kg の落錠) は 100cm であつた。

従つて、断熱圧縮による起爆は気泡が小さくは効果の少ないことがわかる。

また、気泡は NG を鋭敏にすることは確かであるが、低融点ニトロ化合物を混合することにより、この影響を相当防止できることがわかる。

IV 総括

NG の鈍化剤には、ダイナマイトの成分として使用されないものと使用できるものがある。前者には種

々なものがあるが、水以外は実用にならない。NG と水エマルジョンの工業的パイプ輸送条件についてその安全性に関し詳細な実験を行なつた。また、ジェットポンプにより NG を水エマルジョンにして輸送していた日本化薬の NG 洗淨工室の爆発事故 (昭和37年4月25日) の原因について検討した。次にダイナマイトの成分として実用できる NG の鈍化剤には珪藻土、木粉、殿粉、綿葉などがあるが、低融点ニトロ化合物が著しい効果のあることを見出し、このニトロ化合物で鈍化された NG を使用したダイナマイトは、通常のダイナマイトに比し感度は鈍化されているが、同等の威力を示し、その上 NG が浸出してもこの NG 中に鈍化剤を含有しているので製造、取扱いが安全であり、製造工程を安全に短縮化することが可能である。

さらに NG の感度に及ぼす気泡の影響を試験し、気泡は確かに NG の感度を増加するが、ニトロ化合物の混入によりその影響を相当防止できることを見出した。

本研究の作成に関し、御指導をいただいた吉川英吉氏、実験を担当していただいた竹中重夫、大谷敬之、吉富規矩男、大和敏夫、坂本芳松の諸氏にそれぞれ深甚な謝意を表する。

文 献

- 1) A. Le Boux, Mém. poudres, 35, 67 (1953)
- 2) A. Le Boux, *ibid.*, 35, 65 (1953)
- 3) R. F. Preckel (Hercules), USP 2, 648, 698 (1953)
- 4) Dynamit Nobel A. G., Berg. P. 616, 720 (1962)
- 5) A. Stettbacher, Explosivstoffe, 1959, 67
- 6) 吉川, 欧米出張報告
- 7) L. Médard, Mém. Poudres, 35, 59 (1953)
- 8) L. Alexander 他 (Du Pont) USP 2, 694, 404 (1954), Belg. P. 529, 430 (1954), FP 1, 107, 524 (1956), Br. P. 775, 368 (1957)
- 9) 吉富, 橋本, 工火, 28, 113 (1967)
- 10) 高島, 化工, 17, 372 (1958)
- 11) 吉川, 山末, 長谷川, 工火, 25, 364 (1964)
- 12) D. Levine and C. Boyars, Combustion and Flame, 9, 131 (1965)
- 13) F. P. Bowden and A. D. Yoffe, "The Initiation and Growth of Explosives in Liquids and Solids", Cambridge, 1952, 29
- 14) M. Zippermayer, Explosivstoffe, 1955, 25
- 15) 日化厚研 E₁, 1956-22

Consideration on Keeping Safety in Manufacture of Dynamite

by K. Yamasue and S. Hasegawa

(1) Nitroglycerine desensitizers are classified into two groups. Water, methanol, ethylacetate, diethylenglycol and etc. belong to first group. Among them, only water can be used practically to desensitize nitroglycerine by emulsifying it.

Kieselguhr, wooden meal, flour, nitrocellulose and etc. belonging to another group had been used as ingredients of dynamite but some nitro aromatic compounds were found to have big faculty of desensitizing nitroglycerine.

(2) Although the dynamite including nitroglycerine desensitized with the nitro compounds has lower sensibility, it has equal explosion power in comparison with common dynamite.

As the nitroglycerine exuded from the former contains the nitro compounds enough to desensitize, the dynamite can be safely manufactured and handled.

(3) Nitroglycerine is surely sensitized by including air bubble, but the effect can be decreased by adding the nitro compounds to it.