

The result of the analysis of seismograms in the experiment shows that the mechanism of the reduction of ground vibrations can be interpreted by the interference theory (Fish, Langefors et al., etc.) and not by the division theory (Hartmann et al., Leet (1960), etc), or the decoupling theory (D'Anselm, Deffet et al., Leet (1949), etc.).

The interference theory can be transformed in the frequency domain. In this case, the reduction ratio of ground vibrations, which are assumed to take sine-wave form, is:

$$K(\omega) = \sum_{i=0}^{N-1} C_i^m \exp(-j\omega i \Delta t)$$

where C_i is the charge weight of the i -th shot, Δt is the delay time between shots, ω is the angular frequency, and m is a constant. The reduction ratio increases with the decrease of Δt or the increase of N .

The theoretical $K(\omega)$ agrees with the $K(\omega)$ calculated from experimental seismograms. In routine operations, this theory is also effective.

無煙火薬の帯電に関する研究 第2報

帯電した火薬の自然放電に就いて

植竹 万太郎・佐藤 寛*

目 次

1. 緒 言
2. 帯電並びに放電の理論式
3. 帯電導体が高抵抗を通して放電する場合
4. 帯電不導体が放電する場合
5. 結 び

1. 緒 言

前報¹⁾において報告したように飽和帯電量は発生する電気量と放電する電気量が平衡に達した時に起る。帯電体は電気抵抗 (R) を通して放電する。無煙火薬が不導体であつても電気抵抗が無限大でない限り放電現象はあるはずである。この報に於いては帯電体の自然放電に関する二、三の実験を行ったので報告する。

2. 帯電並びに放電の理論式

火薬が器具又は装置と接触摩擦して帯電すれば、火薬と接触する物体にも必ず異符号、等量の電荷が発生する。今この電荷が放電する場合を考えると大地と器具又は装置との間の静電容量を (C)、抵抗を (R) とすればその回路は Fig. 1 のようになりその放電の理論式は一般に良く知られている²⁾ ように

$$V = A e^{-\frac{t}{CR}} \quad \textcircled{1}$$

電流で表示すれば

$$I = V/R = A/R \cdot e^{-\frac{t}{CR}}$$

で表わされる。 A は①式から明らかなように $t=0$ 即ち放電開始時の電圧である。

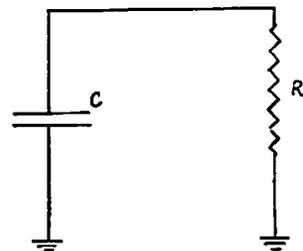


Fig Discharge circuit

又一方火薬の帯電に就いて考えるなら前報で報告したように薬量と帯電量は一定の操作であれば比例する。このことは火薬を一定操作で取扱えば発生電気量は一定の速度になることを示すものである。つまり発生電気量は

昭和36年11月28日受理
旭化成工業株式会社市工場 大分県北高郡都賀ノ市町

$$\frac{dQ_1}{dt} = K \quad (2)$$

(但し $K = \text{Const}$)

放電電流は放電抵抗を R とすれば

$$\frac{dQ_2}{dt} = \frac{V}{R} \quad (3)$$

即単位時間当り蓄積される電気量 Q は ②-③ であるから

$$\frac{dQ}{dt} = K - \frac{V}{R} = \frac{d(CV)}{dt} = C \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

④式に於いて $K - \frac{V}{R} = \alpha$ と置き変数分離して積分すると

$$-\frac{t}{CR} = \log \alpha + \log A$$

(但し $\log A$ は積分常數)

書き直して

$$A \left\{ K - \frac{V}{R} \right\} = e^{-\frac{t}{CR}} \quad (5)$$

⑤式に於いて $t=0$ の時 $V=0$ であるから $A=1/K$ となり、飽和帯電々圧の方程式は

$$V = KR \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right\} \quad (6)$$

即火薬を一定条件で操作する場合、火薬と接触摩擦する器具又は装置の容量を接地抵抗を R とすればその帯電々圧は⑥式で表はされる。⑥式で明らかのように $t=\infty$ に於いて電圧 V は KR となる値で飽和し器具又は装置の接地を充分行つて抵抗を小さくすれば蓄積電気量は容易に零に近ずき器具又は装置と大地間の火花放電を防止出来ることが判る。導体の帯電防止の最も簡単で確実な方法は接地を確実に行うことである。

Table 1 Drop of voltage by leakage (metal)

No.	time	0 min	1 min	3 min	5 min	7.5 min	10 min	15 min
1		1300V	1240V	1130V	1040V	958V	890V	763V
2		1300V	1240V	1137V	1053V	960V	880V	742V
3		1300V	1243V	1125V	1030V	945V	863V	730V
4		1300V	1240V	1130V	1053V	956V	880V	755V
5		1300V	1245V	1125V	1030V	947V	883V	743V
6		1300V	1238V	1113V	1047V	963V	905V	778V
X		1300V	1241V	1130V	1042V	955V	884V	752V
	log V	3.1139	3.0938	3.0531	3.0179	2.9800	2.9465	2.8762
	$t + \beta$	25	26	28	30	32.5	35	40
	log ($t + \beta$)	1.398	1.415	1.447	1.477	1.512	1.544	1.602

note. capacity 150P.F $\beta=25$. humidity 68%

3. 帯電導体が高抵抗を通して放電する場合

放電の理論式が①式で表はされることは既に述べた通りであるが電気抵抗が非常に大きい場合はこの理論式の成立しない場合がある。以下その実験結果並びに考察を示す。

3.1 放電実験式

Fig. 2 の装置を使用して火薬を落下衝突させて導体である金属板を帯電させその儘放置すると漏洩に依り徐々に電圧が低下する。電圧と放電時間の関係を示すと Tab. 1 の通りである。

Tab. 1 の $\log V$ と時間 t の関係は Fig. 3 のように直線とならない。つまり実験結果は理論式 $V = Ae^{-\frac{t}{CR}}$ に一致しない。このことは電流が電圧に比例しないか又は電気抵抗が一定でない等理論式の基礎仮定に問題のあることを暗示している。即高度の不導体の場合は

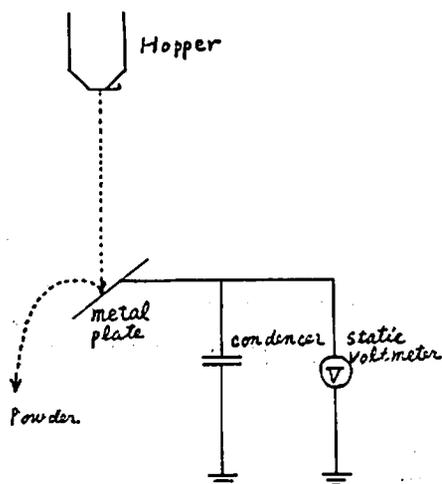


Fig 2 Apparatus for discharge measurements

Ohm の法則 $I = \frac{V}{R}$ が成立しないのではないかと思はれる。尚電圧降下に依る静電々計自体の容量変化は極微量であつてその補正を行つても実験結果に影響

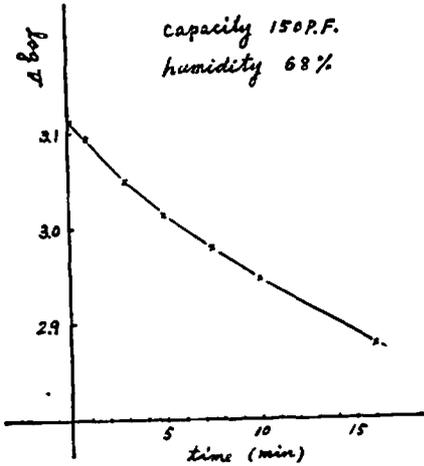


Fig 3 Drop of voltage by leakage (log V-t curve)

しない。使用した電圧計は前報に於いて説明した。Tab. 1 の結果より実験式を求める為 $\log V$ と $\log(t+\beta)$ の値をグラフ化すると Fig. 4 のように直線である。即実験式は $V = \alpha(t+\beta)^{-\gamma}$ で表はされる。今 Tab. 1 の実験データから α, β, γ の値を求める次のようになる。 $\alpha = 55450, \beta = 25, \gamma = 1.16$ これ等の常数の物理的意味に就いては次に述べる。

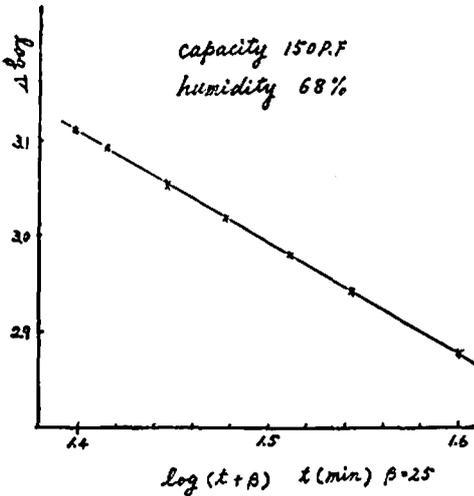


Fig 4 Drop of voltage by leakage (log V-log(t+beta) curve)

3.2 実験式に関する考察

放電実験式 $V = \alpha(t+\beta)^{-\gamma}$ の理論的意味は式より微

分方程式を求めると直ぐ判る。今抵抗 R が一定値でなく時間 t によつて変化し $R = a+bt$ なる一次式に従うものとする。放電の式は

$$-\frac{dQ}{dt} = -C \frac{dV}{dt} = \frac{V}{R} = \frac{V}{a+bt} \quad (7)$$

即ち

$$-C \frac{dV}{V} = \frac{dt}{a+bt}$$

両辺を積分して

$$-C \log V = \frac{1}{b} \log(a+bt) + \log A$$

(但し $\log A$ は積分常数)

即ち

$$\left. \begin{aligned} V &= \alpha'(a+bt)^{-\gamma} \\ V &= \alpha(t+\beta)^{-\gamma} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\text{但し} \left\{ \begin{aligned} \alpha' &= A^{-\frac{1}{c}} \\ \gamma &= \frac{1}{bC} \\ \alpha &= A^{-\frac{1}{c}} \times b^{-\gamma} \\ \beta &= \frac{a}{b} \end{aligned} \right.$$

即ち実験式に一致する。⑧式で示される様に $\gamma = \frac{1}{bC}$ で容量 C と実験式の γ は反比例し β は容量に無関係でなければならない。ことを確める為に各容量に於ける放電の電圧降下を求めたものが Tab. 2 である。

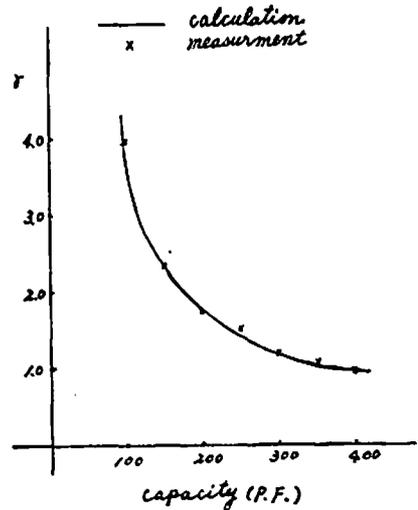


Fig 5 Change of δ by capacity

Tab. 2 より実験式の各係数を求めたものが Tab. 3 である。Tab. 3 より $r \times c$ の平均を求め双曲線を描き、Tab. 2 の r の値をプロットすれば Fig. 5 の通りで

ある。Fig. 5 に示すように r は C に反比例し又 β は一定である。これは抵抗 R が時間の一次式として変化することを証明するものである。

Table 2 Drop of voltage by leakage at each capacity

time capacity	min 0	min 1	min 3	min 5	min 7.5	min 1.0	min 15
100P. F.	1300V	1072V	780V	589V	461V	394V	327V
150	1300V	1152V	952V	775V	622V	530V	410V
200	1300V	1182V	1022V	899V	747V	645V	511V
250	1300V	1202V	1042V	926V	791V	690V	568V
300	1300V	1230V	1110V	1018V	916V	812V	672V
350	1300V	1239V	1121V	1035V	937V	842V	705V
400	1300V	1248V	1149V	1065V	977V	902V	766V

note n=2 humidity 60%

Table 3 Capacity of β , r and $r \times c$ at each capacity

capacity	β	r	$r \times c$	$(r \times c)/c$
100 P. F.	20	3.959	395.9	3.708
150	20	2.318	347.7	2.472
200	20	1.727	345.4	1.854
250	20	1.562	390.5	1.483
300	20	1.181	354.3	1.236
350	20	1.095	383.4	1.059
400	20	0.946	378.4	0.927

4. 帯電不導体が放電する場合

帯電したた不導体つまり帯電した無煙火薬の放電現象に関する実験を行う為には静電々圧計の漏洩に依る電圧降下を測定したのでは火薬の放電現象を知ること

は出来ない。例へば Fig. 6 装置で電圧測定用受器に水を入れた場合と入れない場合の漏洩に依る電圧降下は全く相等しい。従つて火薬の如き不導体の放電に別の方法で測定する必要がある。我々は以下示すような方法で実験を行つた。

4.1 放電実験式

実験装置は Fig. 7 に示す通りで従来の帯電実験装置を改良したものである。図の樋に火薬を流して帯電させ帯電した火薬を樋の先端に停止させ停止時間と電圧の関係を求めると Tab. 4 のようになる。Tab. 4 に於いては勿論 $\log V$ と時間 t は直線にならない。前述のように $\log(t+\beta)$ と $\log V$ をグラフ化すると Fig. 8 に示すように時間 t の小さな場合を除き直線となる。即ち実験式は t の大きな部分では $V = \alpha(t+\beta)^{-1}$ となる。

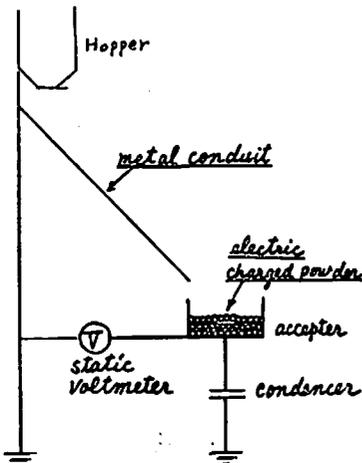


Fig 6 Apparatus for discharge measurement

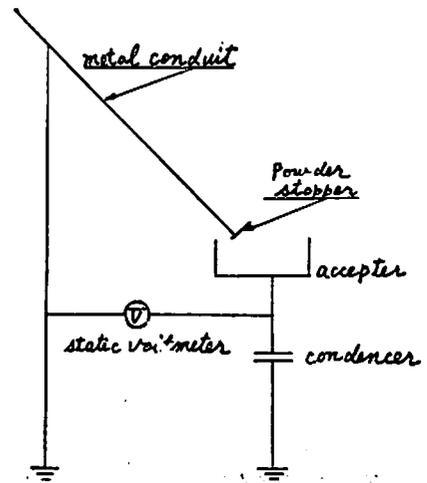


Fig 7 Apparatus for discharge measurement

Table 4 Drop of voltage by leakage (Powder)

time	in 0	in 0.5	in 1.0	in 3.0	in 6.0	in 1.00	in 15.0
voltage	1088V	805V	705V	583V	500V	425V	380V
log V	3.037	2.908	2.848	2.766	2.699	2.628	2.580
log(t+β)	0.301	0.398	0.47	0.699	0.903	1.079	1.230

note wt. of powder β=2.0 n=10 capacity 170P.F.

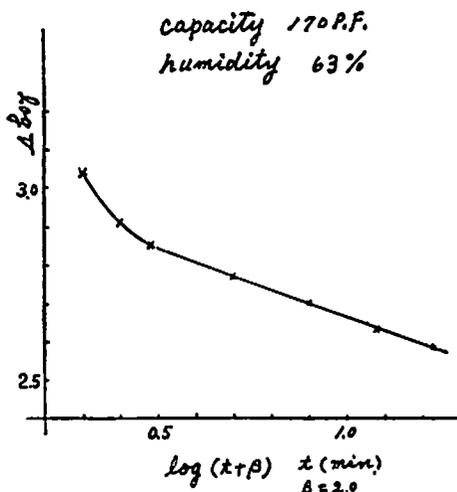


Fig 8 Drop of voltage by leakage (logV-log(t+β) curve)

Fig. 8 に於いて t の小さな部分で直線にならない部分に就いては前出の実験式に $+εe^{-δt}$ の補正を行う

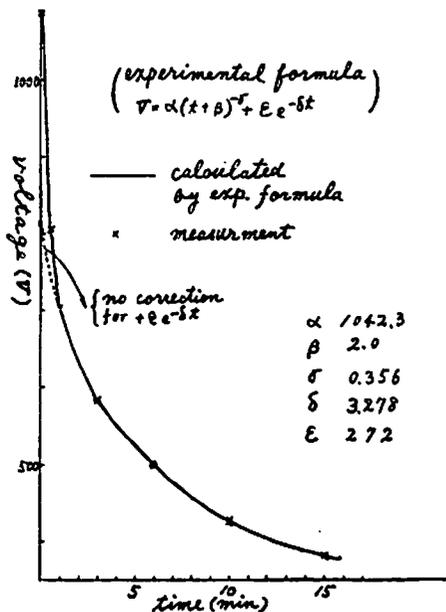


Fig 9 Drop of voltage by leakage

と Fig. 9 のようになり実験値と充分一致する実験式が得られる。即実験式は

$$V = \alpha(t + \beta)^{-r} + \epsilon e^{-\delta t} \quad \textcircled{9}$$

で表示される。

4.2 放電実験式の吟味

前記実験式⑨の $\epsilon e^{-\delta t}$ 部分 (右辺第二項) の物理的意味を求める為次ぎの実験を行った。Fig. 10 の方法で静電圧計を自然放置して漏洩に依る電圧降下を求める場合帯電火薬に接地体を直接接した場合はと接させない場合を比較実験した。Fig. 6 で説明したように容器に水を入れた場合と入れない場合の放電曲線は全く相等的。従つて Fig. 10 に於ける (A) の場合と (B) の場合放電曲線を比較すればその差が接地体と火薬の接触に依る放電である。このようにして行つた実験結果を示したものが Fig. 11 であり放電の実験式は次ぎの通りである。

A 接地体のない場合

$$V = 5888.4(t + 20)^{-1.273}$$

B 接地体のある場合

$$V = 3467.4(t + 6)^{-0.589} + 90e^{-1.387t}$$

尚この実験に於いて ε の値は接地体の接触面積と正の相関のあること等考へると⑨式の右辺第二項は火薬が直接導体と接触した為の放電部分と推定される。

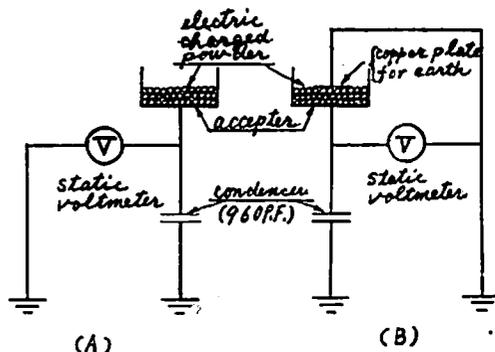


Fig 10 Apparatus for comparing leakage

4.3 放電実験式に対する考察

⑨式は帯電した火薬の放電が二つのコンデンサー部

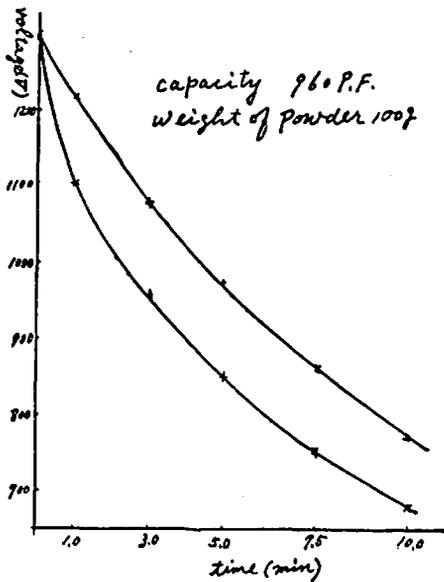


Fig 11 Comparison of leakage

分で別々に行はれていることを示している。即ち $\alpha(t+\beta)^{-1}$ 部分は抵抗が時間と共に変化する部分でその変化は時間の一次式で表はされることは既に述べた通りである。第二項 $ee^{-\gamma t}$ 部分は火薬が直接接地された部分の放電でその電気抵抗値は一定である。放電回路を予想すると Fig. 12 のようになる。

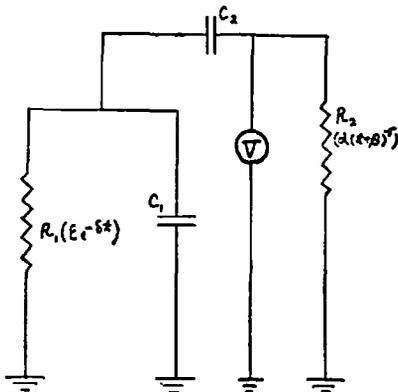


Fig 12 Discharge circuit

Study on the Electrostatic Charge of the Smokeless Powder (II)

On the Leakage of Electrostatic Charge of the Smokeless Powder

M. Uetake and H. Sato

As continuation of the previous paper, we experimented and considered with the saturated electrostatic charge on smokeless powder. The charge is shown as follow.

$$V = KR \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right\} \quad (1)$$

Where V = voltage

K = generated charge per second

C_1, R_1 は帯電火薬が直接接地されている部分で C_2, R_2 は高抵抗を通じて間接的に接地されている部分である。この回路に於いて C_1 と C_2 に残存している電気量を合計して測定すればその電圧は①式に従って減少する。Fig. 12 に於ける R_1 の内容し就いてははつきり判らないが次の事項が推定される。

- 1) 火薬その他不導体表面に附着した微少水滴
- 2) 空中に存在するイオン

更に R_2 の変化について推定されることは

1) 電導に寄与するイオン数が放電に依って減少し電気抵抗が増大する。

2) イオンが導体との接触点で折出されて電池となり分極に依り逆起電力を発生する。

3) 上記の原因が重なった場合

これらの諸問題を解決する為には更に充分な実験的裏付けが必要である。然かし本研究の目的とかけはなれるので実験はこの程度で打切った。

5. 結 び

この報告の最初に示したように導体の帯電を除去する安全で確実な方法は接地である。従って接地に依り導体間の火花放電は防止し得る。問題は不導体の場合にある。この場合の接地は不導体であるから直接火薬(不導体)に接触した場分のみが帯電を除去出来る。他の部分は間接的に徐々にしか放電されない。(Fig. 11 参照) 従って接地部分の面積を出来るだけ大きくした方がよい。但しグリットその他針状の面積の小さい導体で帯電火薬に接地することは感応電荷の表面密度を大にし局部的にコロナ放電の可能性がある。このような接触は接触面積も小で放電量も極微量であるからコロナ放電防止の意味で行はない方がよい。雷雲中に避雷針を立てる様なものである。コロナ放電並びに火花放電に依る火薬への着火条件に就いては第3報で報告の予定である。

文 献

- 1) 植竹, 佐藤 工火 22巻 (1961)
- 2) 森 藤 義 雜 過渡現象計算法 p.15 (産業図書)

(constant)

C=electric capacity

R=electric resistance

t=time

Then formula of leakage, by Ohm's law, is as follow.

$$V = Ae^{-\frac{t}{CR}} \quad (2)$$

But, in case of material with high electric resistance as smokeless powder, we obtained

the following experimental formula,

$$V\alpha = (t + \beta)^{-\gamma} + \epsilon e^{-\delta t} \quad (3)$$

And we concluded from formula(3), the leakage of charge on smokeless powder is caused by two leaky circuits. One of them contacts the powder with earth directly and another indirectly, and electric resistance of latter circuit increases linearly with time as below.

$$R = a + bt$$

グリセリン硝化作業の発熱量に就いて

南 坊 平 造*

グリセリン硝化作業の発熱量を反応熱と混酸中の濃硫酸分の稀釈熱の双方より計算し、ダイナマイト工場に於ける実績と対比し、冷却装置設計の基礎的データとした。

1) グリセリン硝化反応熱

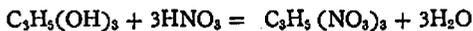
反応関係物質の生成熱は下の如く取った、

$C_3H_5(OH)_3$ 158 kcal/mol

$C_3H_5(ONO_2)_3$ 83.71¹⁾ "

HNO_3 41.404²⁾

H_2O 68.3174²⁾



量的	92g	3×63	227	3×18
計算	100	205.4	46.7	58.7

熱量計算 $-158 - 3 \times 41.4 + 83.7 + 3 \times 68.3$

$= +6.4 \text{ kcal}$

$$6.4 \div 0.092 = 70 \text{ kcal/kg}$$

2) Free SO₃の溶解熱

近時のNG混酸中には遊離のSO₃を含んでいるものがある。Thomsenによれば



SO₃の分子量80.07より、SO₃1kgの溶解熱は

$$21.3 \div 0.080 = 266 \text{ kcal/kg}$$

となる。

3) 濃硫酸の稀釈熱

Landolt, Börnstein: Physikalisch chemische Tabellenより表1の値を得た。

表1 硫酸稀釈熱表

m*	Cs*	溶解熱 kcal/mol			著者計算値 kcal/kg
		Thomsen	Pf	Berthelot	
0.5	91.7	—	+3.666	+3.75	31.8
1.0	84.4	+6.379	6.776	6.71	52.1
1.5	78.2	—	8.680	8.79	66.1
2.0	73.2	+9.418	9.998	10.02	—
2.5	68.5	—	10.955	—	83.8
3.0	64.4	+11.137	11.784	—	90.7

$$m = H_2SO_4 / (H_2SO_4 + mH_2O)$$

$$* Cs = H_2SO_4 / (H_2SO_4 + H_2O)$$

表2 硫酸稀釈熱計算表

H ₂ SO ₄ % Q ₃ kcal/kg	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
	0	5	10	15	20	25	30	34	38	42
H ₂ SO ₄ % Q ₃ kcal/kg	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
	46	50	54	57	60	64	68	72	76	79
H ₂ SO ₄ % Q ₃ kcal/kg	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
	82	85	88	90	93	95	97	100	103	106

4) グリセリン硝化の発熱量計算例

著者は昭和24年当会誌P26~33に混酸、廃酸の組成とNGの収量との相関的計算について発表した。その中から若干の組成を引例して次に示す。量はグリセリン100kgに対するものである。

表1より作成した図表により表2を作る。

昭和36年12月1日受理

*日本化薬株式会社