

工業爆薬の爆發溫度計算に於ける比熱値に就て

會 員 隅 山 嵩 雄*

摘 要

(1) 氣體の場合

定容 (平均) 分子熱 $\bar{C}_v = \left(A - \frac{B}{T} \right)$ gcal/mol 但し T は絕對溫度 ($^{\circ}K$) で A, B は 夫々

種 別	2000~3000 $^{\circ}K$		3000~4000 $^{\circ}K$	
	A	B	A	B
CO ₂	12.353	7207	12.562	7834
H ₂ O	12.873	12062	13.962	15293
二原子瓦斯	6.551	3461	6.723	3974
H ₂	6.428	3528	6.644	4176

(2) 固體の場合

定 壓	(平均) 分子熱	$\left(\bar{C}_p = A - \frac{B}{T} \right)$ gcal/mol
K ₂ CO ₃	2000~3000 $^{\circ}K$	A=52.03, B=33600
Na ₂ CO ₃	3000~4000 $^{\circ}K$	A=57.42, B=49820

目 次

I 緒 言	17	V K ₂ CO ₃ 及 Na ₂ CO ₃ の場合	24
II CO ₂ の平均分子熱の計算	18	VI 爆發溫度計算例	25
III H ₂ O の平均分子熱の計算	20	VII 總 括	26
IV 二原子瓦斯及 H ₂ の平均分子熱	21		

I. 緒 言

爆薬の爆發溫度を計算する際に、其の爆發生成物の比熱 (分子熱) の値を如何に選ぶかに依つて、其の溫度は著しく相違して来る。

爆薬が爆發した場合に適用出来る比熱値、即ち 3000~4000 $^{\circ}K$ の高溫度迄適合する比熱値としては、今迄諸學者に依つて色々な値が提出され、しかも其の數値たるや提出者に依つて相當相違して居り、爆發溫度を計算するに當つて何れを選ぶべきか迷ふ状態に在る。然しながら筆者は 3000 $^{\circ}K$ 附近或はそれ以上の高溫度迄適合する比熱式としては、Planck-Einstein 及び Nernst-Lindemann の函數より導き出した計算式が最も真に近いとの考への許に、工業爆薬の爆發溫度計算に最も關係の深い CO₂, H₂O, 二原子瓦斯¹⁾ (N₂, O₂, CO 尙ほ HCl も之と大差なし) 及び

* 日本窒素火薬株式会社技師

1) 山家信次：火研乙第 61 號氣體及固體の比熱第二編應用。

K_2CO_3 , Na_2CO_3 の比熱を、該式より導きて近似式を得た。以下その計算経過を報告する。

II. CO_2 の平均分子熱の計算

定容分子熱式

$$\frac{5}{2}R + 2\varphi\left(\frac{960}{T}\right) + 2\varphi\left(\frac{3400}{T}\right) \dots \dots \dots (1)$$

但し φ は Planck-Einstein の函数で

$$\varphi\left(\frac{\theta}{T}\right) = R \cdot \frac{\left(\frac{\theta}{T}\right)^2 \cdot e^{\theta/T}}{(e^{\theta/T} - 1)^2}$$

此の式から計算した各温度 (°K) に於ける分子熱値を示せば、(單位 g cal/mol)

2000°K (11.408) ¹⁾	2400°K	2800°K	3000°K (11.705) ¹⁾	3200°K	3600°K	4000°K (11.780) ¹⁾	1600°K
12.007	12.245	12.411	12.477	12.522	12.600	12.650	11.58
1250°K	1000°K	875°K	750°K	625°K	500°K	288°K	
11.00	10.35	9.85	9.37	8.80	8.10	6.66	

これ等の數値を基礎として、温度上昇に要する總熱量を近似法に依つて計算すると、15°C (288°K) 即ち常温から 2000°K 迄上昇せしむるに要する總熱量は、17593 g cal/mol となる。

次に上記分子熱中 2000~4000°K のものは $C_v = A_0 - \frac{B_0}{T}$ なる形で近似的に示すことが出来る。即ち 2000~3000°K の範囲内では $A_0 = 13.407$, $B_0 = 2789$ 又 3000~4000°K の範囲内では $A_0 = 13.224$, $B_0 = 2246$ なる數値を與へる時は、 C_v の値は

2000°K	2400°K	2800°K	3000°K	3200°K	3600°K	4000°K
—	—	—	12.477	—	—	—
12.013	12.245	12.412	12.475	12.522	12.600	12.662

となりさきの計算値と極めて近似せしめる事が出来る。2000°K から以上を上昇せしめる爲に消費される熱量は、この関係を利用して求める。例へば 2000°K から 2400°K 迄に費される熱量は

$$\int_{2000}^{2400} \left(A - \frac{B}{T} \right) dT = \left[A_0 T - B_0 \log_e T \right]_{2000}^{2400}$$

$$= 13.407 \times (2400 - 2000) - 2789 \log_e \frac{2400}{2000} = 4853 \text{ g cal/mol}$$

1) 括弧内數値は Bjerrum が Nernst-Lindemann 式より見出せる定容比熱式から算出せる數値なり (山家信次: 火兵學會誌第 16 卷, 瓦斯の比熱) 尙ほ Mathias Pier 氏は 2100° 迄の實驗に於て次の實驗式を得た。

$$\text{定容比熱式} = 4.780 + 8.25 \times 10^{-5} T - 3.13 \times 10^{-6} T^2 + 0.4 \times 10^{-8} T^3$$

之から算出した比熱値を参考迄に記すれば

絕對溫度 (°K)	1000	2000	3000	3000
比熱值 (kcal/mol)	10.300	11.960	12.160	12.580

斯くして、一定温度迄上昇せしめる (288°K から) に要する總熱量及平均分子熱値は

温度 (°K)	所要總熱量	平均分子熱
2000	17590 gcal/mol	8.795 gcal/mol
2400	22443	9.350
2800	27376	9.779
3000	29866	9.955
3200	32366	10.114
3600	37391	10.386
4000	42441	10.611

今 $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ なる式で、2000~3000°K の範囲内に於て、 $A=12.353, B=7207$, 3000~4000°K の範囲内に於ては、 $A=12.562, B=7834$ なる數値を採れば、

2000°K に於ける平均分子熱	8.750 gcal/mol
2400	9.350
2800	9.780
3000	9.951
3200	10.114
3600	10.386
4000	10.603

となり、前記分子熱値を近似的に $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ なる形で示し得ることが分る。
尙ほ参考迄に諸學者に依り提出された分子熱値を表 1 に掲げる。

表 1. CO₂ の平均分子熱 (gcal/mol)

温度	山家教授 ¹⁾	Beyling ²⁾	山本助教授 ³⁾	Nernst-Wohl (1) 式 ⁴⁾	(1) 式 ⁵⁾
2000	12.189	10.82	11.190	10.80	8.795
2400	13.165	11.14	11.344	11.10	9.350
2800	14.142	11.37	11.527	11.40	9.779
3000	14.631	11.48	11.599	11.55	9.955
3200	15.118	11.54	11.662	11.71	10.114
3600	16.093	11.68	11.768	12.00	10.386
4000	17.070	11.79	11.852	12.31	10.611

1) 山家信次：火兵學會誌第 33 卷第 4 號，爆薬特徴數の計算，CO₂ の比熱近似式 = $(7.976 + 0.00244t)$ kcal/mol に依る計算値なり。但し其の原式たる (1) 式から算出せる定容比熱値より求めた平均分子熱の値が (5) である。

2) Beyling-Drekopf: Sprengstoffe u. Zündmittel 1936 S.43. $\left(12.75 - \frac{3,800}{T}\right)$

3) 山本祐徳：工業爆薬 111 頁 $\left(12.614 - \frac{3,046}{T}\right)$

4) W. Nernst 及 K. Wohl は分光器に依り測定して 2500° 迄の比熱を理論的に計算した (Ztschri. techn. Physik 10, 608, 1929)。それ以上の温度に於ける比熱値は之を基礎として Lehalleur が算出せる數字である (Pepin Lehalleur: Traité des Poudres Exp. et Artifices, 1935)。尙ほ Kast は、諸家の實驗値から平均分子比熱を求め、CO₂ に對して下記の如き數値を與へてをる。(H. Kast: Spreng. u. Zündstoffe, 1921)。

温度 (°K)	2000	2400	2800	3000
平均分子熱	10.16	10.41	10.66	10.74

III. H₂O の平均分子熱の計算

内容分子熱式

$$3R+5\varphi\left(\frac{5500}{T}\right)^{1)} \dots\dots\dots(2)$$

これから、各温度に於ける分子熱を計算して見ると

温度 (°K)	分子熱 (gcal/mol)	温度 (°K)	分子熱 (gcal/mol)
2000	11.430	1600	10.05
2400	12.495	1250	8.45
2800	13.215	1000	7.25
3000	13.505	875	6.74
3200	13.760	750	6.37
3600	14.155	625	6.12
4000	14.450	500	6.00
		288	5.96

此等の分子熱値を $C_p = A_0 - \frac{B_0}{T}$ なる形にすると、2000~3000°K の範囲内では $A=17.537$, $B=12096$, 3000~4000°K の範囲内では $A=17.316$, $B=11380$ となり逆に $A - \frac{B}{T}$ から算出した値は次の如く上記計算値と極めて良く一致する。

温度 (°K)	分子熱 (gcal/mol)	温度 (°K)	分子熱 (gcal/mol)
2000	11.487	3200	13.760
2400	12.495	3600	14.155
2800	13.216	4000	14.470
3000	{ 13.504 13.523		

これ等の數値を基礎として、温度上昇に要する總熱量を CO₂ の場合と同様にして計算すれば、(單位 gcal/mol)

温度 (°K)	288°K より同温度迄上昇せしむるに要する熱量	平均分子熱
2000	14020	7.010
2400	18829	7.847
2800	23960	8.565
3000	26650	8.883
3200	29378	9.183
3600	34966	9.714
4000	40692	10.173

今 $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ なる式に於て、2000~3000°K の範囲内では $A=12.873$, $B=12062$, 3000~4000°K の範囲内では $A=13.962$, $B=15293$ と置く時は、

1) 山家信次: Proc. Imp. Acad. IV, No. 3 (1928). 尙ほ Pier 氏 (Z. s. f. Electrochem. 1909) は 2350°K の實驗結果より次式を出せり。

$$\text{定容比熱} = 5.776 + 1.18 \times 10^{-3} T - 0.655 \times 10^{-6} T^2 + 0.8 \times 10^{-9} T^3$$

該式から算出すると 1000°K=7.101, 2000°K=11.916.

2000°K	6.842 gcal/mol	3200°K	9.183 gcal/mol
2400	7.847	3600	9.714
2800	8.565	4000	10.139
3000	8.852 8.864		

となり、前記の計算値に極めて近似せしめる事が出来る。

従来諸學者に依つて發表せられて來た數値を表 2 に擧げる。

表 2. H₂O の平均分子熱 (gcal/mol)

温度	山家教授 ¹⁾	Beyling ²⁾	山本祐徳教授 ³⁾	Nernst-Wohl ⁴⁾	(2) 式	Kast ⁵⁾
2000	11.917	8.09	8.762	8.10	7.010	7.89
2400	13.789	8.50	9.449	8.50	7.847	8.57
2800	15.6°8	9.57	9.942	8.80	8.565	9.63
3000	16.608	10.07	10.138	8.95	8.883	10.08
3200	17.538	10.50	10.310	9.09	9.183	
3600	19.408	11.22	10.596	9.34	9.714	
4000	21.278	11.80	10.826	9.55	10.173	

IV. 二原子瓦斯及 H₂ の平均分子熱

定容分子熱式

$$\text{二原子瓦斯} \quad \frac{5}{2}R + \varphi \left(\frac{4200}{T} \right)^{6)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{H}_2 \quad \frac{5}{2}R + \varphi \left(\frac{5000}{T} \right)^{7)} \dots\dots\dots (4)$$

先づ二原子瓦斯に就て、本式より算出せる數値及 $A_0 - \frac{B_0}{T}$ (但し 2000~3000°K に於て $A_0 = 7.238$, $B_0 = 1748$, 3000~4000°K に於ては $A_0 = 7.163$, $B_0 = 1526$ とす) なる式から計算せる數値を示せば、表 3⁸⁾ の如くなる。

- 1) 山家信次：火兵學會誌第 33 卷第 4 號爆薬特徴數の計算 ($C_2 = 3.838 + 0.00468t$).
- 2) Beyling-Drekoff: Sprengstoffe u. Zündmittel. 1936. S. 43. $\left(17.00 - \frac{20800}{T} \right)$
- 3) 山本祐徳：工業爆薬 111 頁. $\left(12.890 - \frac{8255}{T} \right)$
- 4) W. Nernst u. K. Wohl: Ztschr. tech. Physik 10, 608, 1929.
- 5) H. Kast: Spreng. u. Zündstoffe, 1921.
- 6) 山家信次: Proc. Imp. Acad. IV. No. 3 (1928). A. Eucken は特に HCl につきこの式を用ひた. (A. Eucken u. O. Mücke: Zs. Phys Chem. B5, 413, 1929).
- 7) Eucken u. F. Fried: Zs. Physik 24, 36 (1924).
- 8) Pier 氏 (Zs. f. Electrochem. 16, (1910)) は 2500° 迄の實驗から次の比熱式を得たり

$$\text{二原子瓦斯の定容真比熱} = 4.654 + 0.0009 T$$

之から計算すると

温度 (°K)	1000	1600	2000	2400
比熱 (kcal/mol)	5.554	6.094	6.454	6.814

表 3. (3) 式及 $(A_0 - \frac{B_0}{T})$ 式より計算せる二原子瓦斯の分子熱 (單位 gcal/mol)

溫度 (°K)	(3) 式	$A - \frac{B}{T}$	溫度 (°K)	(3) 式	$A - \frac{B}{T}$
2000	6.355	6.364	3200	6.686	6.686
2400	6.510	6.510	3600	6.739	6.739
2800	6.614	6.614	4000	6.775	6.781
3000	6.653	$\begin{cases} 6.655 \\ 6.654 \end{cases}$			

同様にして H_2 の場合を表 4¹⁾ に掲げる. 但しこの場合の A_0 は, 7.287 及 7.184 (2000~3000°K 及 3000~4000°K), B_0 は 2218 及 1901 に採る.

表 4. (4) 式及 $(A_0 - \frac{B_0}{T})$ 式より計算せる H_2 の分子熱

溫度 (°K)	(4) 式	$A - \frac{B}{T}$	溫度 (°K)	(4) 式	$A - \frac{B}{T}$
2000	6.172	6.178	3200	6.590	6.590
2400	6.363	6.363	3600	6.656	6.656
2800	6.495	6.495	4000	6.710	6.709
3000	6.544	$\begin{cases} 6.548 \\ 6.550 \end{cases}$			

尙ほ 2000°K 以下に於ける (3) 及 (4) 式より計算せる分子熱値は

種別	1600°K	1250	1000	875	750	625	500	288
二原子瓦斯	6.12	5.80	5.55	5.43	5.25	5.08	5.00	4.963
H_2	5.87	5.55	5.30	5.23	5.12	5.06	5.00	4.963

これ等の數値を基として算出せる分子熱値 (平均) を表 5 及表 6 に示す.

表 5. 二原子瓦斯の平均分子熱 (gcal/mol)

(2000~3000°K に於ては $A=6.551, B=3461$)
(3000~4000°K " " $A=6.723, B=3974$)

溫度 (°K)	288°K より同溫度迄上昇せしむるに要する熱量	(3) 式	$A - \frac{B}{T}$
2000	9680	4.840	4.820
2400	12257	5.109	5.109
2800	14882	5.315	5.315
3000	16209	5.403	$\begin{cases} 5.397 \\ 5.398 \end{cases}$
3200	17543	5.481	5.481
3600	20229	5.619	5.619
4000	22933	5.733	5.729

1) Pier 氏の測定に依れば 2500° 迄の比熱値は次式から得られる.

$$H_2 \text{ 瓦斯の定容眞比熱} = 4.454 + 0.00097T$$

又 Bjerrum 氏 (Stahler, Arbeitmethoden. S.1354) は次式を比熱式として提出せり.

$$H_2 \text{ 瓦斯の定容眞比熱} = 4.475 + 0.00087T$$

此等の式から計算して見ると

	溫度 (°K)	1000	1600	2000	2400
(1) 比熱 (kcal/mol)		5.354	5.894	6.254	6.614
(2) " "		5.275	5.755	6.075	6.395

表 6. H₂ の平均分子熱 (gcal/mol)

(但し 2000~3000°K に於ては A=6.428, B=3528)
 3000~4000°K " " A=6.644, B=4176)

温度 (°K)	288°Kより同温度迄上昇せしむるに要する熱量	(4) 式	$A - \frac{B}{T}$
2000	9390	4.695	4.664
2400	11901	4.958	4.958
2800	14474	5.168	5.168
3000	15778	5.259	5.252 5.252
3200	17092	5.339	5.339
3600	19742	5.484	5.484
4000	22415	5.604	5.600

次に諸學者に依つて提出され來つた平均分子熱値を 表 7 及び 表 8 に記す。

表 7. 二原子瓦斯の平均分子熱

温度	山家教授 ¹⁾	Beyling ²⁾ *	山本助教授 ³⁾ *	Nernst ⁴⁾ Wohl	(3) 式	Kast ⁵⁾
2000	6.453	5.89	5.857	5.80	4.840	5.58
2400	6.814	6.01	6.003	6.00	5.109	5.71
2800	7.174	6.08	6.107	6.10	5.315	5.93
3000	7.354	6.12	6.148	6.23	5.403	5.96
3200	7.534	6.15	6.185	6.32	5.481	
3600	7.893	6.20	6.245	6.49	5.619	
4000	8.254	6.24	6.294	6.69	5.733	

表 8. H₂ の平均分子熱

温度	山家教授 ¹⁾	Beyling ²⁾	山本助教授 ³⁾	Nernst ⁴⁾ Wohl	(4) 式
2000	6.059	5.39	5.410	5.36	4.695
2400	6.339	5.54	5.554	5.52	4.958
2800	6.619	5.64	5.657	5.66	5.168
3000	6.759	5.68	5.698	5.72	5.259
3200	6.898	5.72	5.734	5.81	5.339
3600	7.179	5.78	5.793	5.94	5.484
4000	7.460	5.83	5.841	6.09	5.604

*) N₂ の場合を示す。

1) 山家信次：火兵學會誌第 33 卷第 4 號爆薬特徴数の計算。

二原子瓦斯の比熱=4.900+0.0009 t, H₂ の比熱=4.850+0.0007 t

2) Beyling Drekkoff: Sprengstoffe u Zündmittel, 1936.

$$N_2 \text{ の比熱} = 6.58 - \frac{1372}{T}, H_2 \text{ の比熱} = 6.26 - \frac{1730}{T}$$

3) 山本祐徳：工業爆薬

$$N_2 \text{ の比熱} = 6.731 - \frac{1748}{T}, H_2 \text{ の比熱} = 6.272 - \frac{1723}{T}$$

4) W. Nernst u. K. Wohl: Ztschr. tech. Physik, 10, 1929.

5) H. Kast: Spreng u. Zündstoffe, 1921.

V. K_2CO_3 及 Na_2CO_3 の場合

定壓分子熱式

$$21\varphi_L\left(\frac{980}{T}\right) + 8 \times 10^{-5} T^{3/2} \dots \dots \dots (5)$$

但し φ_L は Nernst-Lindemann の函数で

$$\varphi_L\left(\frac{\theta}{T}\right) = \frac{R}{2} \left[\frac{(\theta/T)^2 \cdot e^{\theta/T}}{(e^{\theta/T} - 1)^2} + \frac{(\theta/2T)^2 \cdot e^{\theta/2T}}{(e^{\theta/2T} - 1)^2} \right]$$

この式より計算せる分子熱値及 $A_0 - \frac{B_0}{T}$ (但し 2000~3000°K にては $A_0 = 68.55, B_0 = 42670$, 3000~4000°K に於ては $A_0 = 81.84, B_0 = 82940$ とす) なる式より算出した數値を 表 9 に示す。

表 9. K_2CO_3, Na_2CO_3 の分子熱 (cal/mol)

温度 (°K)	(5) 式	$A_0 - \frac{B_0}{T}$	温度 (°K)	(5) 式	$A_0 - \frac{B_0}{T}$
2000	48.369	47.21 ²⁾	3200	55.919	55.92
2400	50.770	50.77	3600	58.798	58.80
2800	53.313	53.31	4000	61.677	61.11
3000	54.610	{54.32 54.19}			

尚ほ 2000°K 以下に於ける Nernst-Lindemann 函数から計算せる分子熱値は、

温度 (°K)	1600	1250	1000	750	500	394	288
	分子熱 (cal/mol)	46.40	44.40	42.40	39.80	35.65	32.38

これ等の數値を基礎として算出した平均分子熱値が 表 10 で、表中の $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ 欄は、2000~3000°K にて $A = 52.03, B = 33600$, 3000~4000°K に於ては $A = 57.42, B = 49820$ として $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ 式から算出した數値を示す。

表 10 K_2CO_3, Na_2CO_3 の平均分子熱 (cal/mol)

温度 (°K)	288°K より同温度迄上昇せしむるに要する熱量	平均分子熱	$A - \frac{B}{T}$
2000	71624	35.81	35.23 ³⁾
2400	91266	38.03	38.03
2800	112114	40.03	40.03
3000	122874	40.96	{40.83 40.81}
3200	133884	41.85	41.85
3600	156858	43.58	43.58
4000	180854	45.21	44.97

即ち A, B なる恒數を適當に選ぶ事に依つて $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ 式からの算出値をして、原式よりの計算値 (平均分子熱) に極めて近似せしめる事が出来る。

- 1) 山家信次：火研報乙第 61 號，氣體及固體の比熱，第 2 編。
- 2) 原式より求めたる數値より約 2.5% の相違有り。
- 3) 原式よりの計算値とは約 2% 相違する。

VI. 爆発温度計算例

前述の様にして得た平均分子熱値に依つて爆発温度を計算して見る。但し KNO_3 , NaNO_3 等は全部 K_2CO_3 , Na_2CO_3 に變るものと考へる。勿論 $3000\sim 4000^\circ\text{K}$ の高温下では、これ等固体の一部或は全部が熔融するものと考へられるけれども、熔融状態下これ等の比熱値は不明であるから、略近的に固体の場合の比熱に等しいものと見做すことにする。

又炭素は K_2CO_3 とする外は悉く CO_2 となり、水素はすべて H_2O 、窒素及残存酸素は全部其の儘の状態にて存在するものと考へる。

(1) 櫻ダイナマイト：

$$\begin{array}{ll} \text{組成} & N/G = 58\%, \quad C/C = 2.2\% \\ & KNO_3 = 31.8\% \quad \text{木粉} = 8\% \end{array}$$

炭素、水素、酸素、窒素及 K の原子数を求めると、

$$A_c = \frac{1}{100}(1.321 \times 58 + 2.283 \times 2.2 + 4.165 \times 8) = 1.1495$$

$$A_h = \frac{1}{100}(2.202 \times 58 + 2.976 \times 2.2 + 5.992 \times 8) = 1.8223$$

$$A_o = \frac{1}{100}(3.964 \times 58 + 3.6 \times 2.2 + 2.967 \times 31.8 + 2.749 \times 8) = 3.5415$$

$$A_n = \frac{1}{100}(1.321 \times 58 + 0.855 \times 2.2 + 0.989 \times 31.8) = 1.0998$$

$$A_k = \frac{1}{100}(0.989 \times 31.8) = 0.3145$$

従つて

$$\text{K}_2\text{CO}_3 \text{ の mol 数} = 0.3145 \times \frac{1}{2} = 0.1573$$

$$\text{CO}_2 \quad \text{,,} \quad = 1.1495 - 0.1573 = 0.9922$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \text{,,} \quad = 1.8223 \times \frac{1}{2} = 0.9111$$

$$\text{O}_2 \quad \text{,,} \quad = \frac{1}{2}[3.5415 - (0.1573 \times 3 + 1.1495 \times 2 + 0.9111)] = 0.0872$$

$$\text{N}_2 \quad \text{,,} \quad = 1.0998 \times \frac{1}{2} = 0.5499$$

次に爆薬の生成熱を求めると、

$$N/G \quad 366.8 \times 58 = 21274$$

$$C/C \quad 678.0 \times 2.2 = 1492$$

$$\text{KNO}_3 \quad 1182 \times 31.8 = 37588$$

$$\text{木粉} \quad 1050 \times 8 = 8400$$

$$\text{計} \quad \sum p = 68754$$

又生成物の生成熱は

$$\text{CO}_2 \quad 94410 \times 0.9922 = 93692$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 57840 \times 0.9111 = 52698$$

$$K_2CO_3 \quad 274960 \times 0.1573 = 43772$$

$$\text{計} \quad \sum f = 190062$$

従つて爆發に依つて發生する爆發熱の總量は

$$\sum f - \sum p = 190062 - 68754 = 121308$$

扱て $\left(A - \frac{B}{T}\right)$ 式の A, B を求めると、

$$A_{CO_2} = 0.9923 \times 12.56 = 12.47$$

$$A_{H_2O} = 0.9111 \times 13.96 = 12.72$$

$$A_{\text{原子}} = 0.6371 \times 6.723 = 4.284$$

$$A_{K_2CO_3} = 0.1573 \times 57.42 = 9.033$$

$$\text{計} \quad \sum A = 38.51$$

$$B_{CO_2} = 0.9923 \times 7834 = 7773$$

$$B_{H_2O} = 0.9111 \times 15290 = 13930$$

$$B_{\text{原子}} = 0.6371 \times 3974 = 2531$$

$$B_{K_2CO_3} = 0.1573 \times 49820 = 7836$$

$$\text{計} \quad \sum B = 32070.$$

となる。而して $\left(A - \frac{B}{T}\right)T = (\text{爆發熱總量})$ なる關係あれば、

$$T = \frac{121308 + 32070}{38.51} = 3983^\circ K$$

$$\therefore t = 3983^\circ - 273^\circ = 3710^\circ C$$

(2) 2 號櫻ダイナマイト:

$$\text{組成} \quad N/G = 50\%, \quad C/C = 2\%$$

$$KNO_3 = 38'', \quad \text{木粉} = 10''$$

前項櫻ダイナマイトの場合と同様な計算を行つて

$$T = \frac{115697 + 32550}{38.83} = 3818^\circ K$$

$$t = 3818^\circ - 273^\circ = 3545^\circ C$$

VII. 總 括

$\left(A - \frac{B}{T}\right)$ なる式に於て、 A, B の恒數を適當に選ぶ事に依つて、Planck-Einstein 函數及び Nernst-Lindemann 函數よりの分子熱計算式からの算出値と極めて近似せる平均分子熱値を求める事を得る。

恒數 A, B の選び方に就ては、2000~3000°K の場合及び 3000~4000°K の場合と二段に分けた。之は極力原式よりの算出値と一致せしめんが爲であつて、1000~4000°K の如く廣範圍に涉つて同一恒數を使用する時は、其の偏差が相當大きくなつて来る。 A, B の恒數を二通りに採つて計算することは、一見著しく煩雜となる如きも、實は大した變りはない。と言ふのは、工業爆薬に在つては炭礦用以外の膠質ダイナマイト及びカーリット等では、其の爆發溫度が大體 3000~4000°K の範圍内であり、硝ダイ及び硝爆系爆薬は何れも 2000~3000°K の範圍内に在るからである。

最後に、筆者の提示した此等の比熱式に依つて、櫻ダイナマイト及び2號櫻ダイナマイトの爆発温度を計算して見た。其の結果は従來考へられて來た爆発温度よりも可成り高温にある。

尙ほ K_2CO_3 , Na_2CO_3 等の固體の生成は、爆発温度に相當影響する事が認められる。

附表 $(A - \frac{B}{T})^n$ 式より計算せる平均分子熱表

温度 (°K)	CO ₂	H ₂ O	二原子瓦斯	H ₂	K ₂ CO ₃ Na ₂ CO ₃
2000	8.750	6.842	4.820	4.604	35.23
2400	9.350	7.847	5.109	4.958	38.03
2800	9.780	8.565	5.315	5.168	40.03
3000	{9.951 9.951	{8.852 8.864	{5.397 5.398	{5.252 5.252	{40.83 40.81
3200	10.114	9.183	5.481	5.339	41.85
3600	10.386	9.714	5.619	5.484	43.58
4000	10.603	10.139	5.729	5.600	44.97

(單位 gcal/mol)

15°C (=288°K) から T(°K) まで上昇せしめる場合の平均分子熱値は、前記の如きものであるが、参考までに 0°K から温度度上昇せしむる場合の平均分子熱値を求めると、下表のようになる。

0.→T(°K) まで上昇せしむる場合の平均分子熱値 (單位 cal/mol).

T°(K)	CO ₂	H ₂ O	二原子瓦斯	H ₂
2000	9.591	7.868	5.554	5.410
2400	10.013	8.560	5.703	5.554
2800	10.346	9.179	5.825	5.680
3000	10.486	9.455	5.879	5.736
3200	10.612	9.717	5.929	5.788
3600	10.829	10.189	6.016	5.881
4000	11.008	10.602	6.091	5.961

*) A, B の値は摘要に記載した。