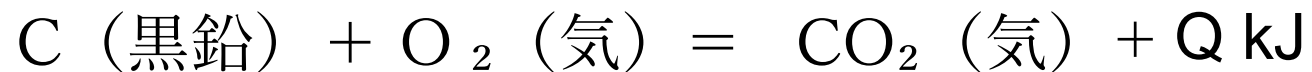


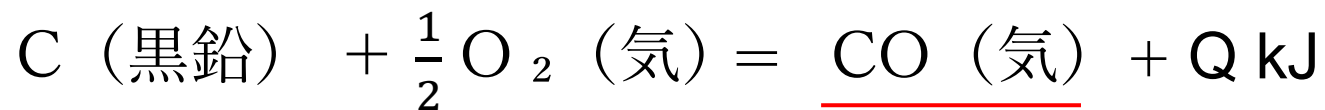
反応熱


化学反応によって出入りする熱量。一般に、25°C, 1.013 × 10⁵ Paにおける、物質1molあたりの熱量 [kJ/mol] で表す。

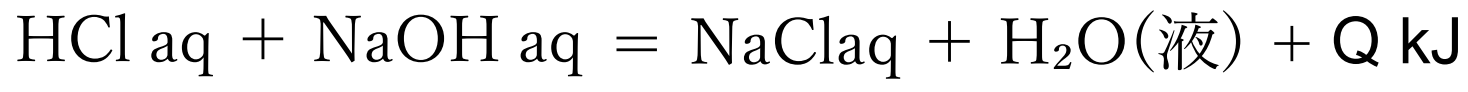
燃焼熱  物質1 molが完全燃焼するときに発生する熱量




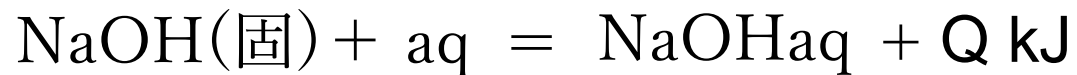
生成熱  物質1 molがその成分元素の単体から生成するときに出入りする熱量



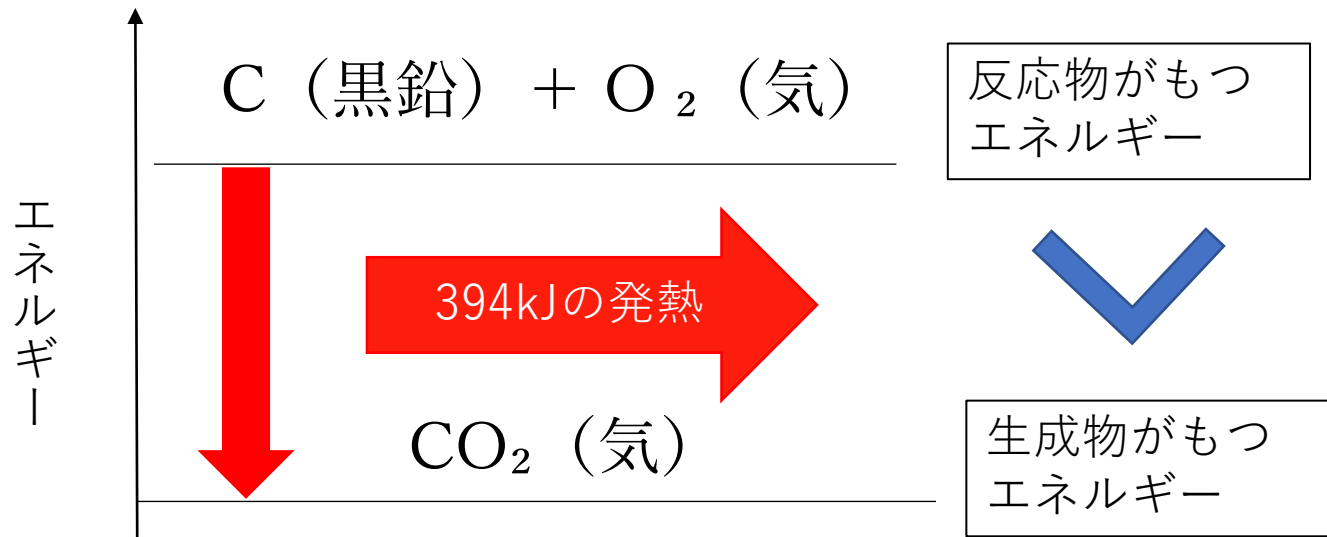
中和熱  酸と塩基の水溶液の中和で水1 molが生じるときに発生する熱量



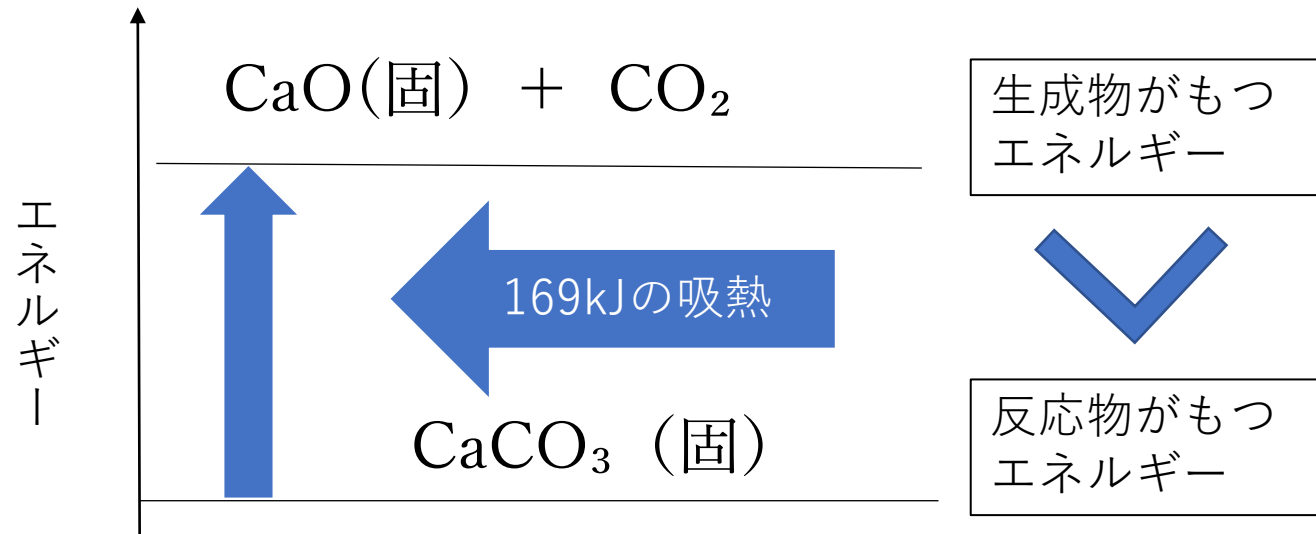
溶解熱  物質1 molが多量の水に溶解するときに出入りする熱量



発熱反応

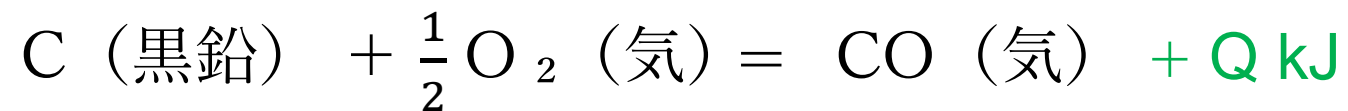
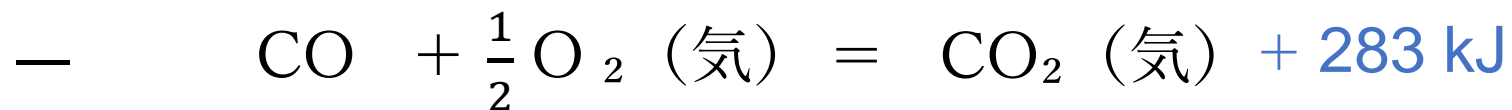
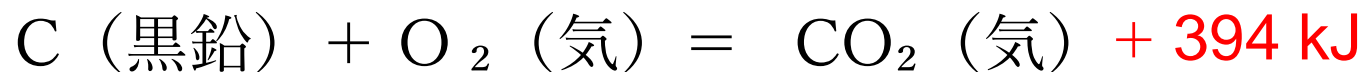
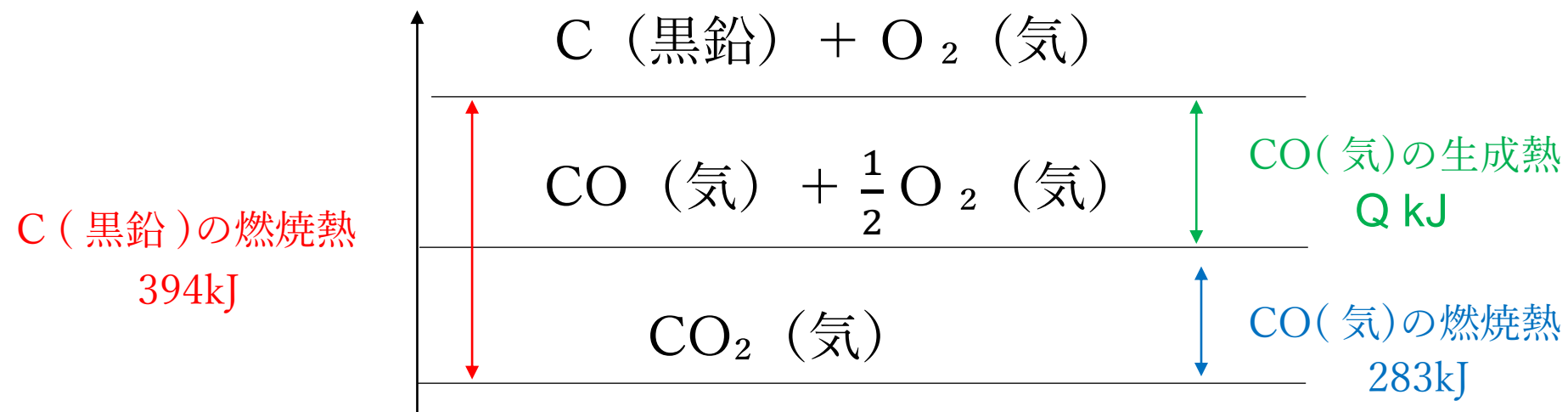


吸熱反応

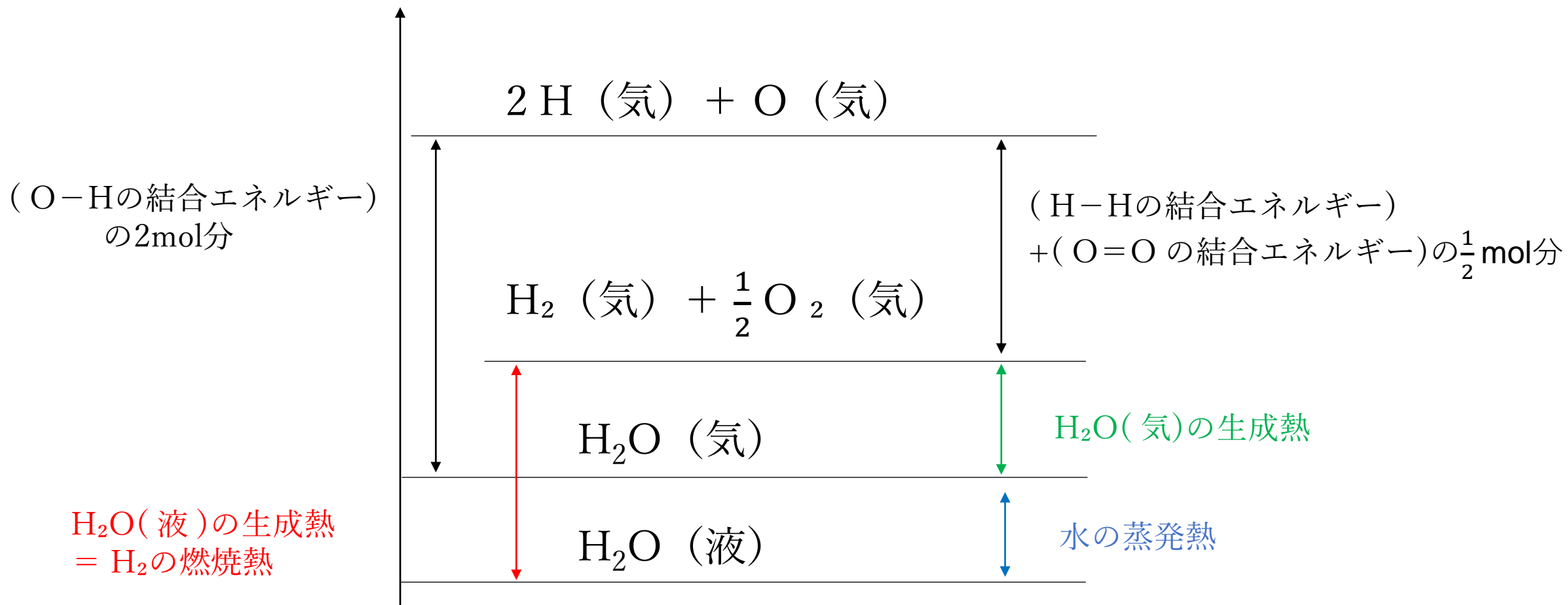


ヘスの法則

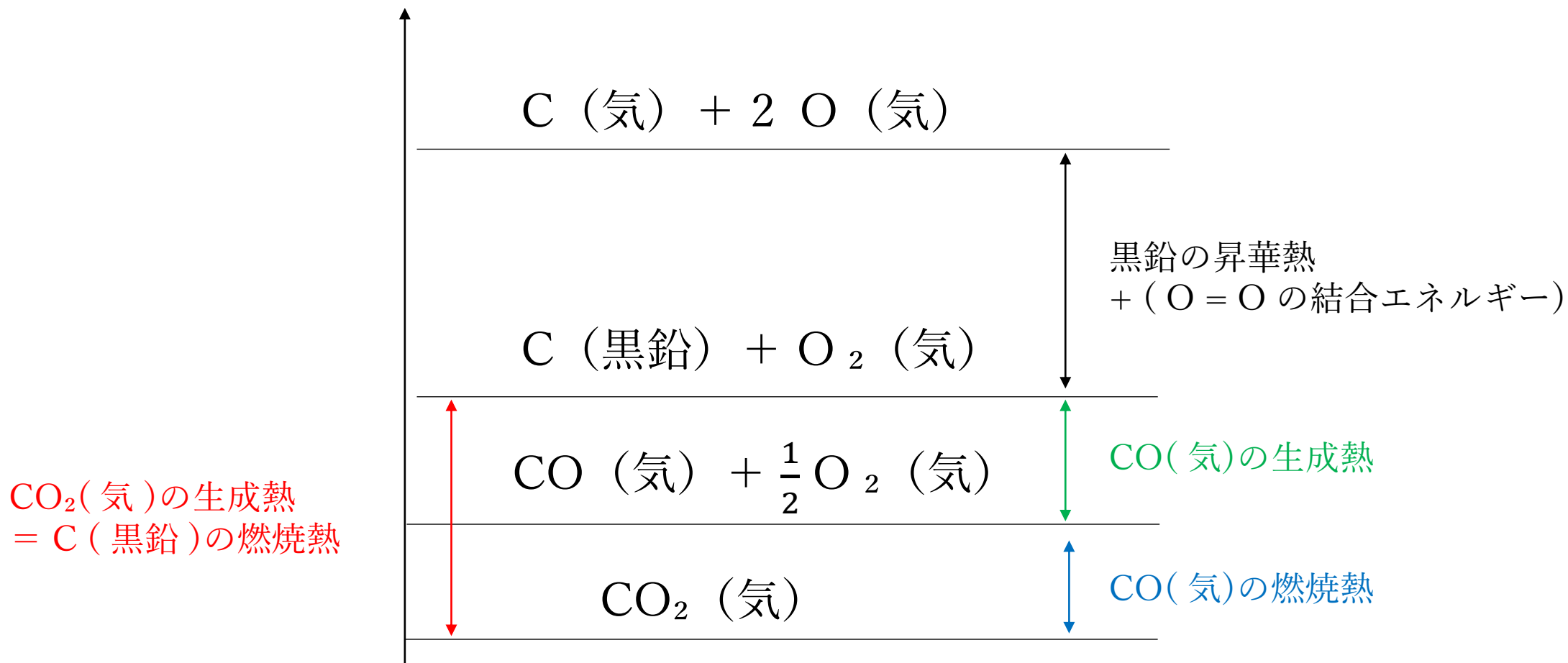
反応の最初と最後の状態が定めれば、全体の反応熱(出入りする熱量)の総和は反応の経路によらず一定である。



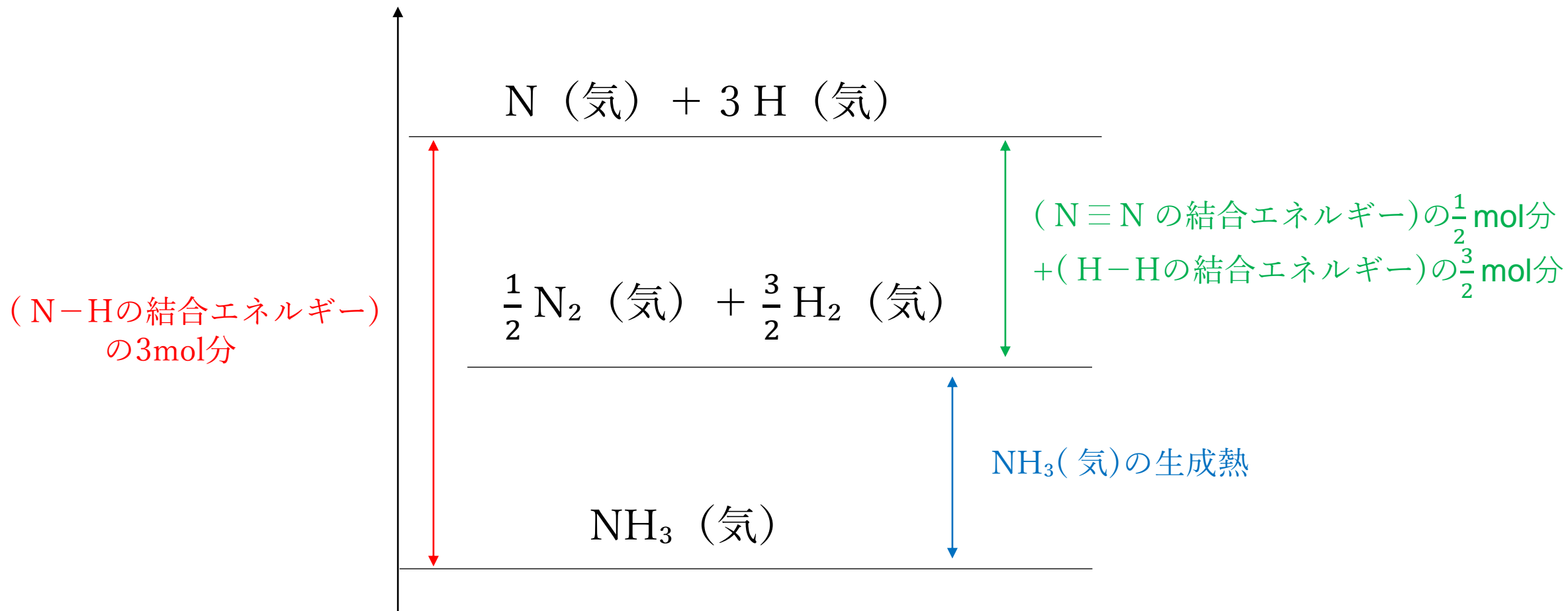
H₂Oのエネルギー図



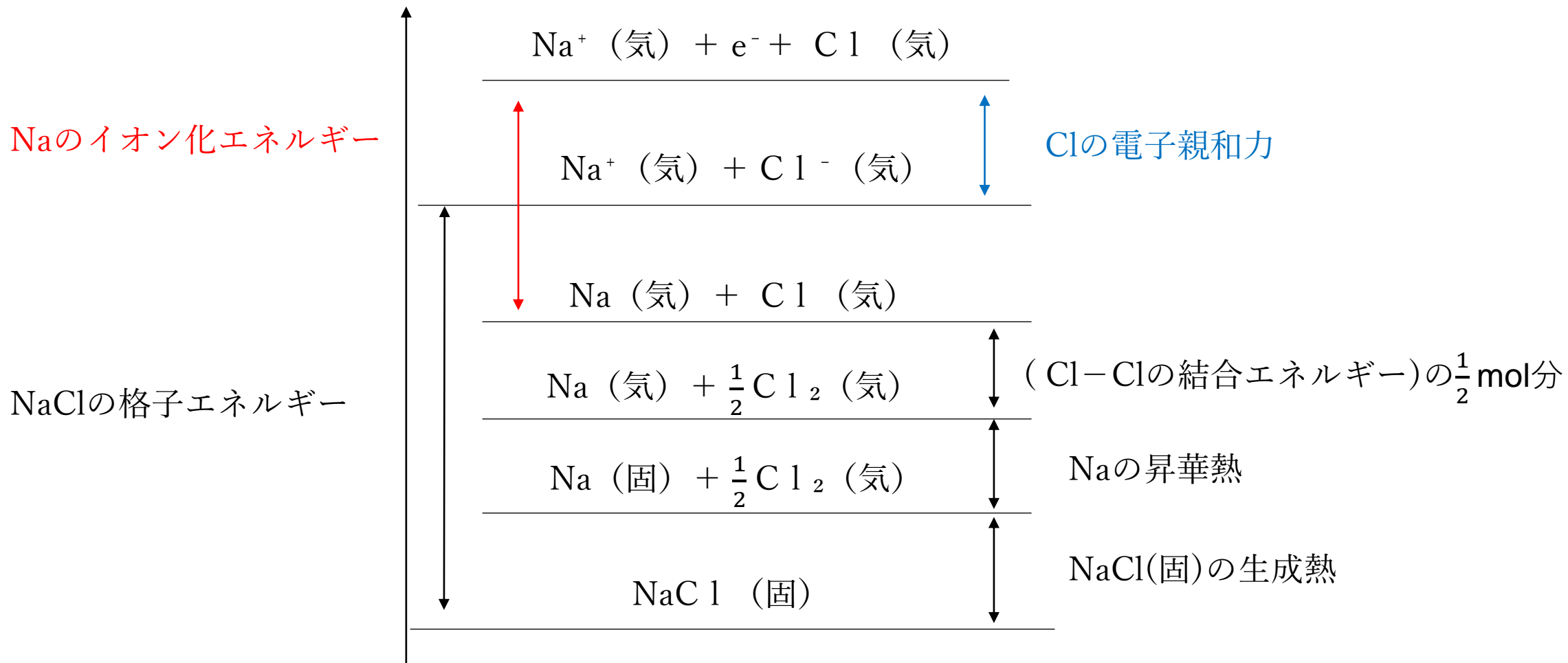
CO₂のエネルギー図

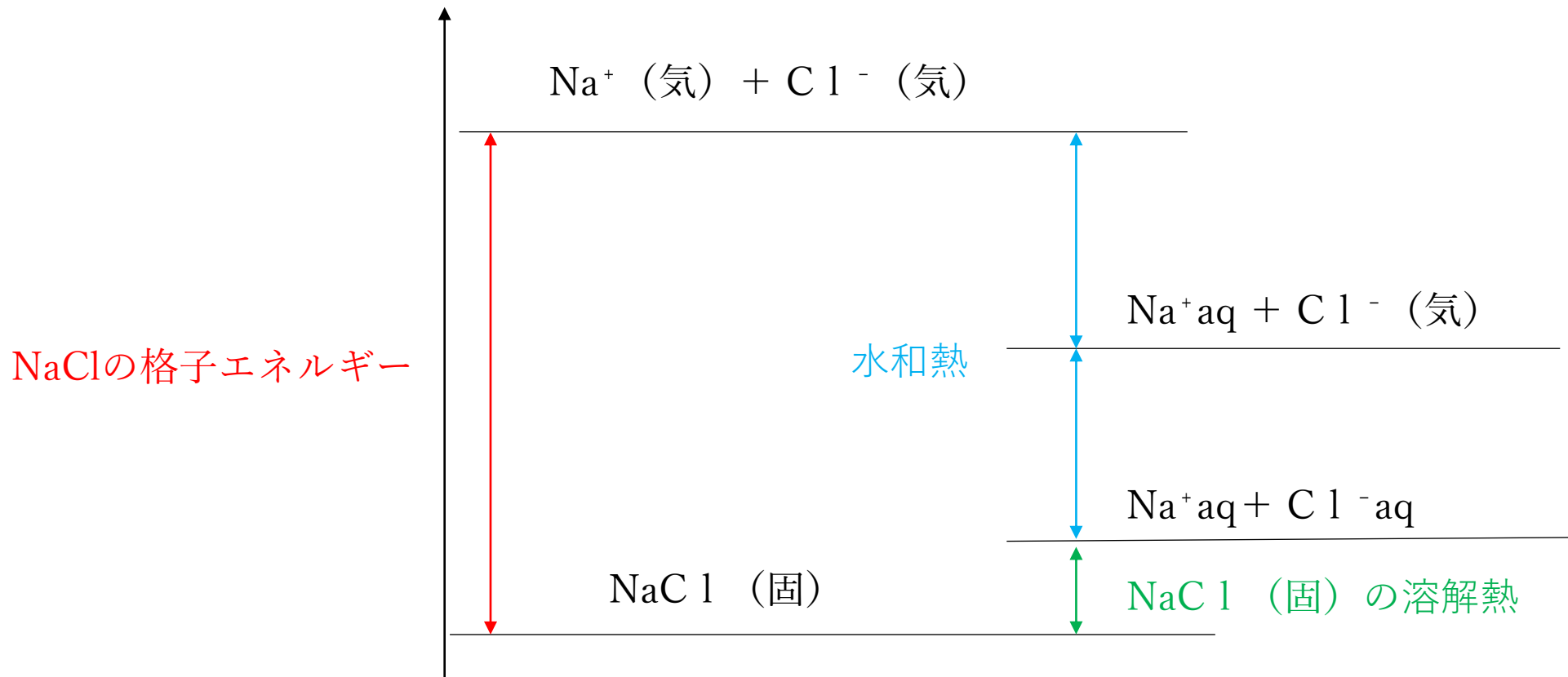


NH₃のエネルギー図



NaClの格子エネルギー





格子エネルギー > 水和熱 → 溶解熱 吸熱

格子エネルギー < 水和熱 → 溶解熱 発熱

熱の問題を解く時の優先順位

第1位 生成物と反応物の 生成熱 or 結合エネルギーがわかっているとき

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の生成熱の総和}) - (\text{反応物の生成熱の総和})$$

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の結合エネルギーの総和}) - (\text{反応物の結合エネルギーの総和})$$

第2位 エネルギー図

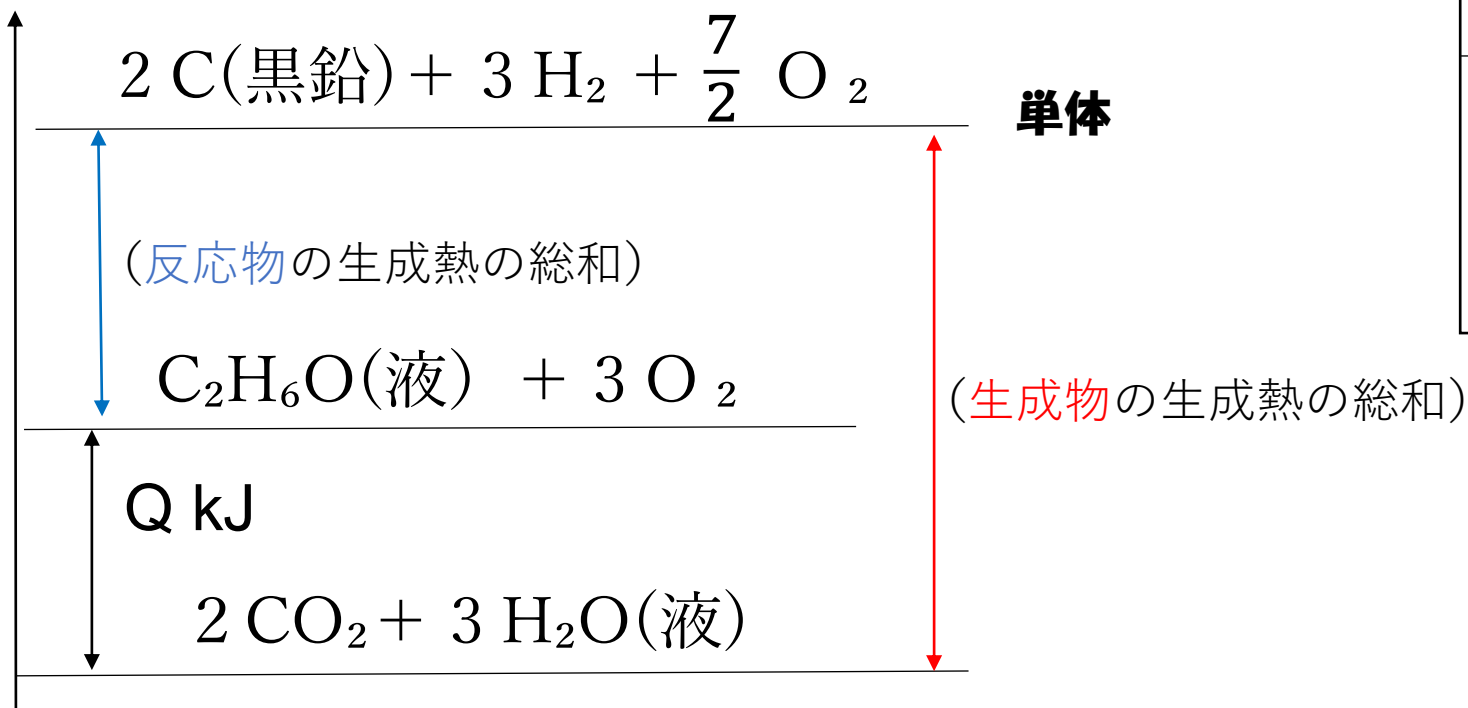
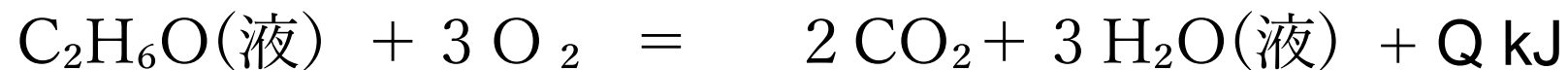
覚える!

H₂O CO₂ NH₃ NaClの格子エネルギー

第3位 熱化学方程式をたす、ひく・・・

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の生成熱の総和}) - (\text{反応物の生成熱の総和})$$

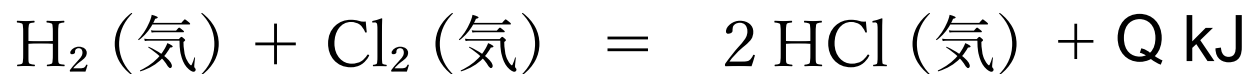
エタノールの燃焼熱を表す熱化学方程式は



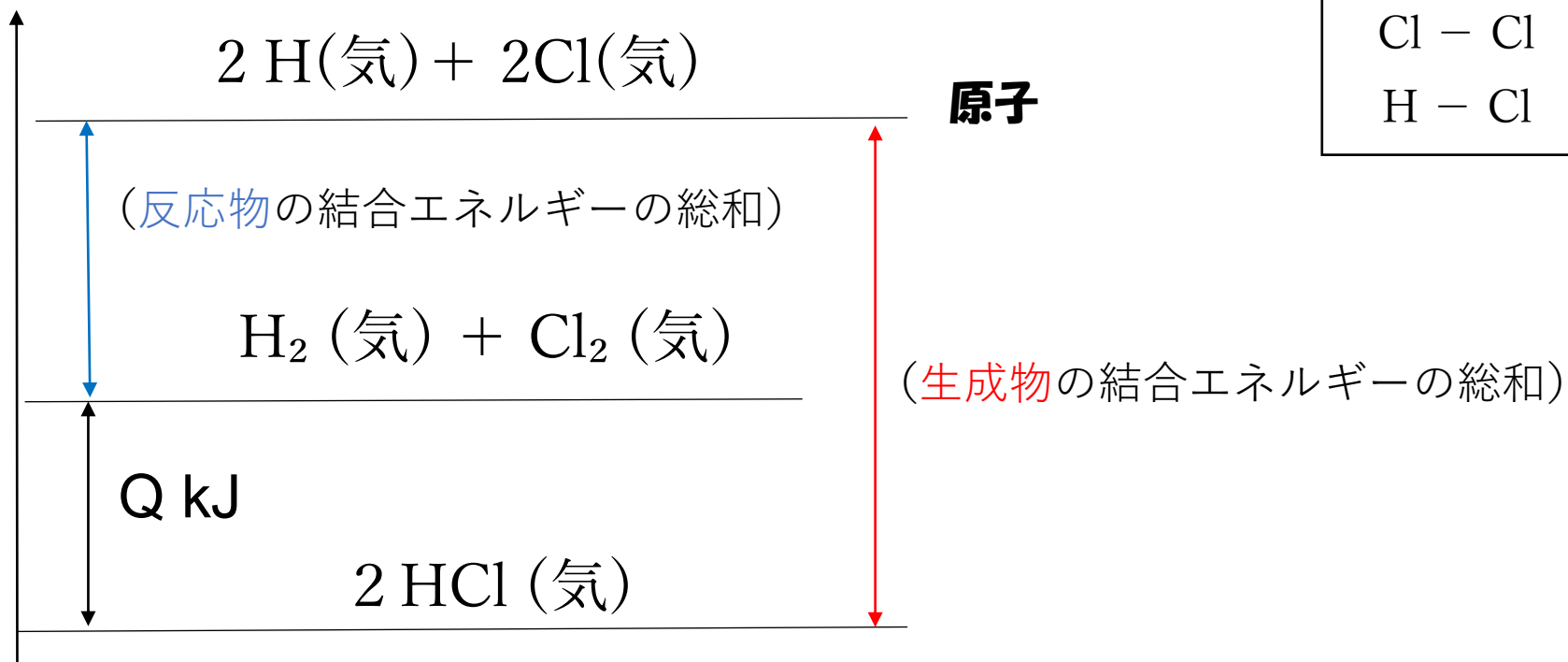
物質	生成熱
C ₂ H ₆ O(液)	277 kJ/mol
CO ₂	394 kJ/mol
H ₂ O(液)	286 kJ/mol

$$(\text{反応熱}) = (\text{生成物の結合エネルギーの総和}) - (\text{反応物の結合エネルギーの総和})$$

H₂とCl₂から塩化水素HClを生じるときの熱化学方程式は



結合	結合エネルギー
H - H	436 kJ/mol
Cl - Cl	243 kJ/mol
H - Cl	432 kJ/mol



解答に必要があれば、以下の値を用いなさい。

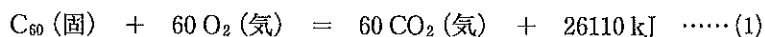
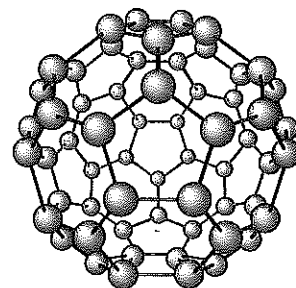
原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, S = 32.1, Cl = 35.5, K = 39.1, Ti = 47.9,

Fe = 55.9, 気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{Pa}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, アボガドロ定数： $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$,

$\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$

2 つぎの文を読み、以下の各問いに答えなさい。ただし、燃焼熱、昇華熱は 25°C 、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ のときの値である。

ダイヤモンドや黒鉛は、炭素の同素体としてよく知られている。近年、アと呼ばれる新たな炭素の同素体が発見され、その燃焼熱が測定された。代表的なアである C_{60} 分子は、右図に示すようなサッカーボール型の構造をとっており、その燃焼は、つぎの熱化学方程式(1)で表される。



ここで、ダイヤモンドの燃焼熱は 396 kJ/mol 、黒鉛の燃焼熱は 394 kJ/mol であるので、黒鉛から C_{60} をつくる反応を表す熱化学方程式はイとなる。また、1モルの炭素原子に含まれる化学エネルギーの絶対値は、 C_{60} とダイヤモンドでウ kJ 異なっていることがわかる。

また、炭素(黒鉛)の昇華は、つぎの熱化学方程式(2)で表される。



以上のことより、ダイヤモンドの C-C 原子間の結合エネルギーは、エ kJ/mol と求められる。

問1 空欄アに当てはまる最も適切な語句をカタカナで解答欄に書きなさい。

問2 空欄イに当てはまる熱化学方程式を解答欄に書きなさい。

問3 空欄ウに当てはまる最も適切な値を a～f の中から一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。

a. 2 b. 39 c. 2074 d. 2076 e. 2468 f. 25714

問4 空欄エに当てはまる最も適切な値を a～f の中から一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。

a. 198 b. 358 c. 394 d. 396 e. 718 f. 26110

解答に必要があれば、次の値を用いなさい。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Cl = 35.5, I = 127, Cs = 133

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$, アボガドロ定数： $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

東海2016

- 2 塩化セシウムの結晶では、セシウムイオンと塩化物イオンが交互に規則的に配列し、下図のような単位格子をつくっている。セシウムイオンは立方体の中心に、塩化物イオンは立方体の各頂点に位置しており、最近接のイオンは互いに接する球とする。

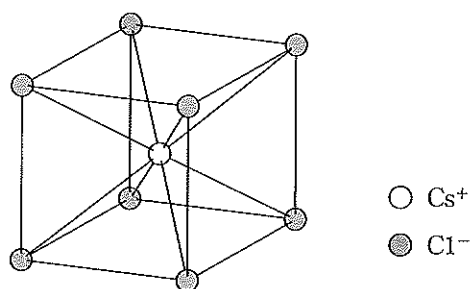


図 塩化セシウムの結晶の単位格子

以下の各問いに答えなさい。

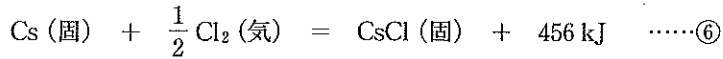
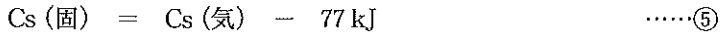
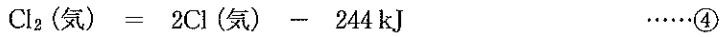
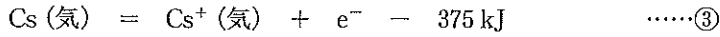
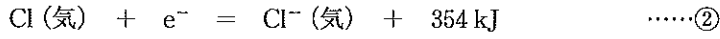
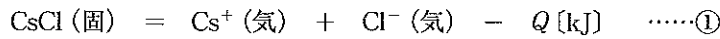
問1 塩化セシウムの結晶中で塩化物イオンに配位しているセシウムイオンは何個あるか。次の中から最も適切なものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 1個 B. 2個 C. 4個 D. 6個 E. 8個 F. 12個

問2 セシウムイオンの半径は 1.82×10^{-8} cm、塩化物イオンの半径は 1.64×10^{-8} cm である。塩化セシウムの密度は何 g/cm^3 か。次の中から最も近いものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。ただし、 $\sqrt{3} = 1.73$ とする。

- A. 3.3 g/cm^3 B. 3.6 g/cm^3 C. 4.4 g/cm^3 D. 4.9 g/cm^3 E. 5.4 g/cm^3

問3 イオン結晶1 molを、気体状態のばらばらのイオンにするのに必要なエネルギーを格子エネルギーという。塩化セシウムの格子エネルギー Q は熱化学方程式①で表され、熱化学方程式②～⑥を用いて求めることができる。



次の(1), (2)に答えなさい。

(1) Cs (気) と Cl (気) から 1 mol の CsCl (固) を得るとき、反応熱は何 kJ/mol か。次の中から最も適切なものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 257 kJ/mol の発熱 B. 655 kJ/mol の発熱 C. 777 kJ/mol の発熱
D. 257 kJ/mol の吸熱 E. 655 kJ/mol の吸熱 F. 777 kJ/mol の吸熱

(2) 塩化セシウムの格子エネルギーは何 kJ/mol か。次の中から最も適切なものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 278 kJ/mol B. 634 kJ/mol C. 676 kJ/mol D. 756 kJ/mol
E. 798 kJ/mol

化	学
---	---

必要なら次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, Mg = 24, Al = 27, S = 32, Cl = 35, Fe = 56, Cu = 64, Zn = 65, アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$, 気体定数 R ： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ 。すべての気体は理想気体として扱うものとする。

第2問 熱化学反応に関する各問いに答えなさい。

[解答番号 ~]

問1 H_2O (液)の生成熱は 286 kJ/mol であり、 C (黒鉛)からの CH_4 (気)と CO_2 (気)の生成熱はそれぞれ 75.0 kJ/mol および 394 kJ/mol である。 CH_4 (気)の燃焼熱 [kJ/mol]はいくつか。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。ただし、生じた H_2O はすべて液体とする。 kJ/mol

- ① 319 ② 469 ③ 605 ④ 680
 ⑤ 819 ⑥ 871 ⑦ 891 ⑧ 1041

問2 体積 1.0 L の容器に C (黒鉛)を入れ、これを酸素と窒素の混合気体で満たすと 27°C で 175500 Pa を示した。全ての黒鉛を燃焼させた後、温度 27°C で圧力を測定したところ 300000 Pa であった。また、燃焼時に発生した熱量は 70.1 kJ であった。初めに容器に入れた黒鉛の質量は何 g か。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。ただし、 CO (気)の黒鉛からの生成熱は 110 kJ/mol とし、窒素は反応しないものとする。また、黒鉛の体積は無視して良い。 g

- ① 2.4 ② 2.6 ③ 3.0
 ④ 3.7 ⑤ 4.6 ⑥ 5.2

問3 共有結合を切断して原子にするのに必要なエネルギーをその共有結合の結合エネルギーという。 H_2 (気)の結合エネルギーを $A \text{ [kJ/mol]}$ 、 O_2 (気)の結合エネルギーを $B \text{ [kJ/mol]}$ とすると、 H_2O (気)中の1つの $\text{H}-\text{O}$ 結合の結合エネルギー [kJ/mol]を示す式として最もふさわしいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。ただし、 H_2O (気)の生成熱を $Q \text{ [kJ/mol]}$ とする。

kJ/mol

- ① $\frac{1}{2}(A + \frac{B}{2} + Q)$ ② $A + \frac{B}{2} + Q$
 ③ $\frac{1}{2}(A + \frac{B}{2} - Q)$ ④ $A + \frac{B}{2} - Q$
 ⑤ $\frac{1}{2}(A - \frac{B}{2} + Q)$ ⑥ $A - \frac{B}{2} + Q$

問 4 次の表にそれぞれの気体分子の結合エネルギー [kJ/mol] を示した。この表と問 1 で示された値を用いて黒鉛 60 g を原子に分解するのに必要なエネルギー [kJ] を求めた。最も近い値を①～⑧の中から一つ選びなさい。ただし、水の蒸発熱は 44 kJ/mol とする。 4 kJ

分子(気体)	結合エネルギー [kJ/mol]
H ₂ O	926
H ₂	436
CO ₂	1608

- ① 359 ② 718 ③ 3590 ④ 4080
 ⑤ 4690 ⑥ 5130 ⑦ 7180 ⑧ 8550

問 5 濃度未知の塩酸 200 mL と濃度未知の水酸化ナトリウム水溶液 200 mL を混ぜたところ混合水溶液の pH は 1.0 となり、その時に上昇した温度は 6.72 K であった。この時用いた塩酸の濃度 [mol/L] として最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし、実験は 25 °C で行い、中和熱は 25 °C で 56.5 kJ/mol であり、この混合水溶液の比熱は 4.20 J/(g・K) で密度は 1.00 g/cm³ とする。 5 mol/L

- ① 0.300 ② 0.540 ③ 0.600
 ④ 0.700 ⑤ 1.00 ⑥ 1.20

解答に必要があれば、次の値を用いなさい。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.0, Ni = 59.0, Cu = 63.5, Zn = 65.0, Ba = 137

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$, アボガドロ定数： $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

2 酸と塩基とが中和反応して水 1 mol が生成するときの反応熱を一般に中和熱という。強酸の希薄水溶液を強塩基の希薄水溶液で中和して塩の希薄水溶液が得られる場合、その中和熱は酸と塩基の種類によらず一定の値 56.5 kJ/mol となる。^(a) 一方、弱酸や弱塩基が関わる中和反応の中和熱はこの値からずれる。この値と、表 1 および表 2 に示した物質の生成熱と溶解熱の値を用いて、以下の各問いに答えなさい。ただし、溶液はすべて希薄水溶液とし、表 2 のアンモニアの水への溶解熱は、アンモニアが電離していないときのものである。

表 1 いくつかの物質の生成熱

物質	生成熱 [kJ/mol]
HCl (気)	92.3
NaOH (固)	425.6
NaCl (固)	411.1
H ₂ O (液)	285.8
NH ₃ (気)	45.9
NH ₄ Cl (固)	313.4

表 2 いくつかの物質の水への溶解熱

物質	溶解熱 [kJ/mol]
HCl (気)	74.9
NaCl (固)	-3.9
NH ₃ (気)	34.2
NH ₄ Cl (固)	-14.8

問 1 下線部 (a) で述べた強酸の希薄水溶液と強塩基の希薄水溶液の中和反応に共通な熱化学方程式を、解答欄に書きなさい。

問 2 固体の水酸化ナトリウム 1 mol を希塩酸で直接中和すると、その反応熱は何 kJ の発熱あるいは吸熱となるか。

次の中から最も近いものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 25 kJ の発熱 B. 50 kJ の発熱 C. 75 kJ の発熱 D. 100 kJ の発熱
E. 25 kJ の吸熱 F. 50 kJ の吸熱 G. 75 kJ の吸熱 H. 100 kJ の吸熱

問 3 固体の水酸化ナトリウム 1 mol を大量の水に溶かすと、その反応熱は何 kJ の発熱あるいは吸熱となるか。次の中から最も近いものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 5 kJ の発熱 B. 20 kJ の発熱 C. 30 kJ の発熱 D. 45 kJ の発熱
E. 5 kJ の吸熱 F. 20 kJ の吸熱 G. 30 kJ の吸熱 H. 45 kJ の吸熱

問4 アンモニア 1 mol を溶かしたアンモニア水を希塩酸で中和すると、その反応熱は何 kJ の発熱あるいは吸熱となるか。次の中から最も近いものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。ただし、アンモニア水中のアンモニアは電離していないものとする。

- A. 25 kJ の発熱 B. 50 kJ の発熱 C. 75 kJ の発熱 D. 100 kJ の発熱
E. 25 kJ の吸熱 F. 50 kJ の吸熱 G. 75 kJ の吸熱 H. 100 kJ の吸熱

問5 水溶液中でアンモニア 1 mol が、水分子と反応してアンモニウムイオンと水酸化物イオンとに電離したとすると、その反応熱は何 kJ の発熱あるいは吸熱となるか。次の中から最も近いものを一つ選んで、解答欄の記号にマークしなさい。

- A. 5 kJ の発熱 B. 20 kJ の発熱 C. 30 kJ の発熱 D. 45 kJ の発熱
E. 5 kJ の吸熱 F. 20 kJ の吸熱 G. 30 kJ の吸熱 H. 45 kJ の吸熱

化 学

必要があれば、以下の数値を用いよ。

原子量	H : 1.00	C : 12.0	N : 14.0	O : 16.0	Na : 23.0	P : 31.0	Cl : 35.5
気体定数 R	$8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$						
水のイオン積	$1.0 \times 10^{-14} \text{ (mol/L)}^2$						
0°C	273 K						
対数値	$\log_{10} 2 = 0.30$		$\log_{10} 3 = 0.48$				

[I] 文章を読んで問いに答えよ。

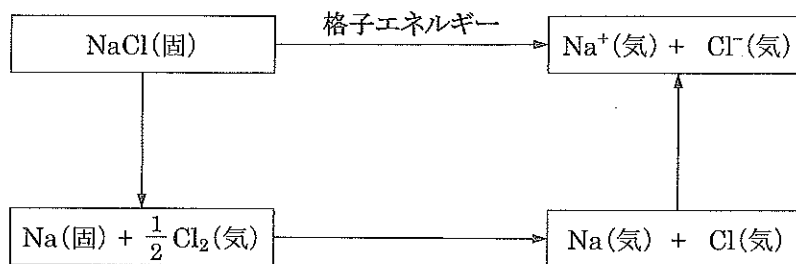
塩化ナトリウム NaCl と水酸化ナトリウム NaOH の結晶は、 Na^+ が Cl^- や OH^- と静電引力によって結合したイオン結晶である。

1 mol のイオン結晶中のイオン結合を切断し、互いに遠く引き離して静電引力を及ぼさない状態にするのに必要なエネルギーを格子エネルギーという。 NaCl および NaOH の格子エネルギーは表 1 に示すように非常に大きく、これらの結晶中で陽イオンと陰イオンが強く結合していることがわかる。

表 1 格子エネルギー (25°C , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$)

物質	[kJ/mol]
NaCl (固)	787
NaOH (固)	900

NaCl (固) から Na^+ (気) と Cl^- (気) を得るために、図のように、まず NaCl (固) を Na (固) と Cl_2 (気) に分解して、さらに気体状の Na 原子と Cl 原子とし、それらの原子からイオンを生成する過程を経たと仮定したとき、その全過程に要するエネルギーは NaCl の格子エネルギーと等しい。この関係を用いて、 NaCl (固) の生成熱および格子エネルギー、 Na (固) の昇華熱、 Cl_2 分子の結合エネルギー、 Na 原子のイオン化エネルギーから Cl 原子の ア を求めることができる。

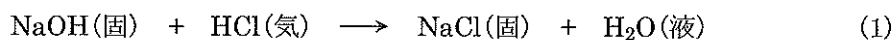


図

NaCl や NaOH の結晶は、水に入れると陽イオンと陰イオンに電離して溶解する。特に NaOH の結晶は空気中に放置するだけでも (a) 水分を吸収して溶解する。イオン結晶の水への溶解は、例えば NaCl では、結晶表面の Na^+ に水分子の 原子が、 Cl^- に水分子の 原子がそれぞれ引きつけられて生成する水和イオンが水中に拡散していくことで起こる。

イオン結晶が水に溶解するときの溶解熱は、1 mol のイオン結晶を構成する陽イオンと陰イオンがすべて水和イオンになるときに発生または吸収する熱である。一方、気体状態のイオンが水に溶解して水和イオンになるときの反応熱がイオンの水和熱に相当する。したがって、NaCl と NaOH のそれぞれについて、格子エネルギーと溶解熱を用いて陽イオンと陰イオンの水和熱の合計量を求めることができ、それらを比較すると、 Cl^- と OH^- では の方が (b) 水和熱が大きい ことがわかる。

また、NaOH と塩化水素 HCl の 1 mol ずつが (1) のように反応するときの反応熱 (25°C, 1.0×10^5 Pa) は kJ である。



以上の各エネルギーの関係にもとづくと、(2) の反応熱 (25°C, 1.0×10^5 Pa) は kJ と求められる。

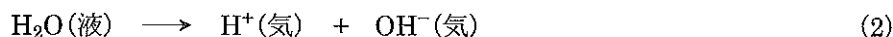


表2 各種エネルギー (25℃, 1.0×10⁵ Pa)

エネルギーの種類	物質	[kJ/mol]
生成熱	NaCl(固)	411
	NaOH(固)	425
	HCl(気)	92
	H ₂ O(液)	286
溶解熱*	NaCl(固)	-4
	NaOH(固)	45
	HCl(気)	75
結合エネルギー	H-H	436
	H-Cl	432
	Cl-Cl	244
イオン化エネルギー	Na(気)	502
	H(気)	1318
昇華熱	Na(固)	107

* 溶媒が水のときの値

必要ならば表 1 および表 2 の各値を用いよ。

問 1 の名称を書け。また、Cl 原子 1 mol あたりの の値を kJ 単位で求めよ。

問 2 下線(a)の現象の名称を漢字 2 文字で書け。

問 3 および に適する元素記号を書け。

問 4 に入るイオンの名称を書け。また、下線(b)が生じる原因となる の性質を 1 つ挙げて 15 字以内で書け。

問 5 の値を求めよ。

問 6 の値を求めよ。