

2価金属と水素イオンの反応に 関する教材開発 反応ギブズエネルギーと 反応進行度の関係

日本理科教育学会第75回全国大会

日時：2025年8月24日，14:15-14:30

2S3-01

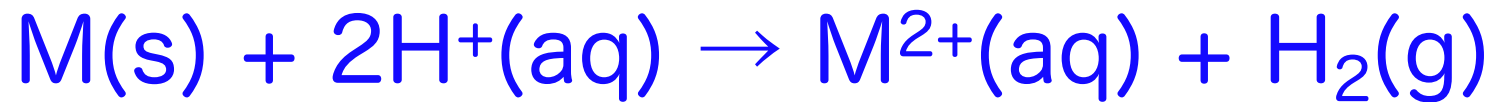
会場：富山大学五福キャンパス

○中川 徹夫

(神戸女学院大学生命環境学部)

2価金属と水素イオンの反応

2価金属と水素イオン H^+ の化学反応



$M(s)$: 2価金属 (固体) $M = Cu, Zn, Mg$

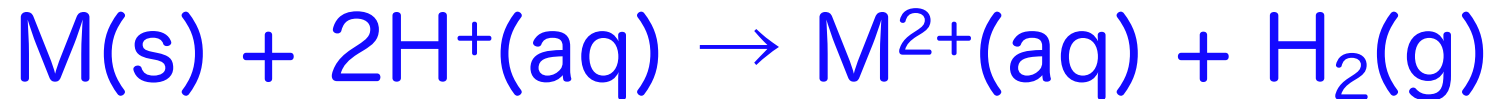
$H^+(aq)$: 水素イオン(水溶液中)

$M^{2+}(aq)$: 2価金属イオン(水溶液中)

$Cu(s)/H^+(aq)$ 、 $Zn(s)/H^+(aq)$ 、 $Mg(s)/H^+(aq)$

化学反応とエネルギー 4

- ・ 2価金属と水素イオン H^+ の化学反応



において、データブックを使用して、標準状態 (298.15 K 10^5 Pa) における ΔH° 、 ΔS° 、 ΔG° を算出 (混合の効果考慮せず)。

- ・ ΔG° : 反応の自発性の有無
 $\Delta G < 0$: 自発変化が生じる $\rightarrow$ 反応が起こる
 $\Delta G > 0$: 自発変化が生じない $\rightarrow$ 反応が起こらない

ΔH° 、 ΔG° と ΔS° の推算値

	$\Delta H^\circ/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\Delta G^\circ/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\Delta S^\circ/\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
Cu(s)/H ⁺ (aq)	64.8	65.5	-2.1
Cu(s)/[H ⁺ (aq) + H ₂ O ₂ (aq)]	-315.6	-274.3	-136.7
Zn(s)/H ⁺ (aq)	-153.9	-147.1	-23.0
Mg(s)/H ⁺ (aq)	-466.9	-454.8	-40.1

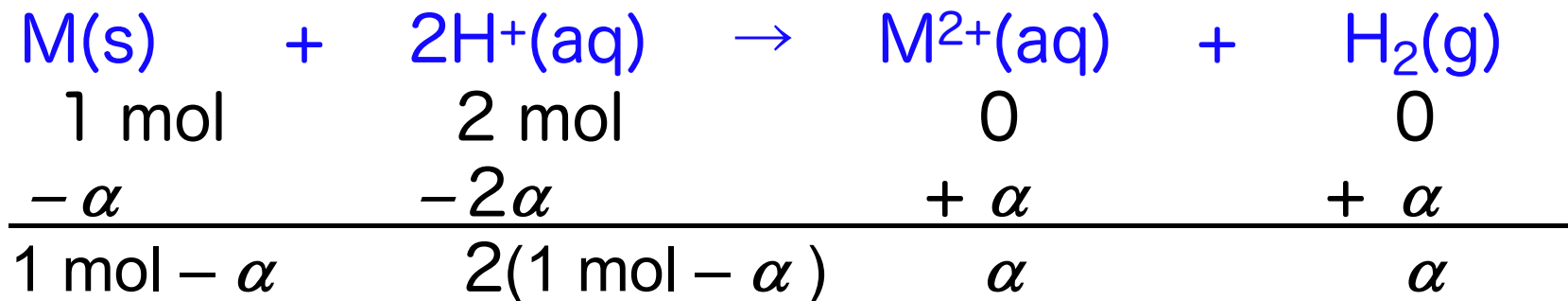
青： $\Delta G < 0 \Rightarrow$ 自発変化が起こる

赤： $\Delta G > 0 \Rightarrow$ 自発変化が起こらない

理想溶液モデル 1



M(s)、H⁺(aq)、M²⁺(aq)、H₂(g) を、それぞれ成分1、2、3、4とする。 $\Delta_f G_1^\circ = \Delta_f G_2^\circ = \Delta_f G_4^\circ = 0$, $a_1 = a_4 = 1$, $a_i = x_i$



$$n_2 = 2(1 \text{ mol} - \alpha), \quad n_3 = \alpha, \quad n = n_2 + n_3 = 2 \text{ mol} - \alpha$$

$$x_2 = 2(1 - \alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol}), \quad x_3 = (\alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol})$$

$\Delta_f G_i^\circ$: 標準生成ギブズエネルギー、 a_i : 活量、 x_i : モル分率、

α : 反応進行度 ($0 \text{ mol} \leq \alpha \leq 1 \text{ mol}$)

n_i : 水和イオンの物質量、 n : 水和イオンの物質量の総計

理想溶液モデル 2

$$\begin{aligned} G &= n_3 \Delta_f G_3^\circ + RT [n_2 \ln x_2 + n_3 \ln x_3] \\ &= \alpha \Delta_f G_3^\circ + RT [2(1 \text{ mol} - \alpha) \ln (2(1 - \alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol})) \\ &\quad + (\alpha/\text{mol}) \ln ((\alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol}))] \\ &= G^\circ + RT [2(1 \text{ mol} - \alpha) \ln (2(1 - \alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol})) \\ &\quad + (\alpha/\text{mol}) \ln ((\alpha/\text{mol})/(2 - \alpha/\text{mol}))] \end{aligned}$$

G : 系のギブズエネルギー (混合を考慮)

G° : 系のギブズエネルギー (混合を考慮せず)

α : 反応進行度 ($0 \text{ mol} \leq \alpha \leq 1 \text{ mol}$)

$\Delta_f G_3^\circ$: 成分3($\text{M}^{2+}(\text{aq})$)の標準生成ギブズエネルギー

R : 気体定数, T : 絶対温度

理想溶液モデル 3

$$\begin{aligned}\Delta G &= \left(\frac{\partial G}{\partial \alpha} \right)_{T,P} \\ &= \Delta_f G_3^\circ + RT \ln [(\alpha/\text{mol})(2 - \alpha/\text{mol})/(4(1 - \alpha/\text{mol})^2)] \\ &= \Delta G^\circ + RT \ln [(\alpha/\text{mol})(2 - \alpha/\text{mol})/(4(1 - \alpha/\text{mol})^2)] \\ &= \Delta G^\circ + RT \ln Q\end{aligned}$$

$\Delta_f G_3^\circ$: 成分3($\text{M}^{2+}(\text{aq})$)の標準生成ギブズエネルギー

ΔG : 標準反応ギブズエネルギー (混合を考慮)

ΔG° : 標準反応ギブズエネルギー (混合を考慮せず)

α : 反応進行度 ($0 \text{ mol} \leq \alpha \leq 1 \text{ mol}$)

Q : 反応商、 K : 平衡定数

理想溶液モデル 4

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$Q = (\alpha/\text{mol})(2 - \alpha/\text{mol}) / (4(1 - \alpha/\text{mol})^2)$$

化学平衡時は $\Delta G = 0$ であり、そのときの Q を K とすると、

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$K = (\alpha_e/\text{mol})(2 - \alpha_e/\text{mol}) / (4(1 - \alpha_e/\text{mol})^2)$$

$$\alpha_e = 1 - 1/(4K + 1)^{1/2}$$

ΔG : 標準反応ギブズエネルギー (混合を考慮)

ΔG° : 標準反応ギブズエネルギー (混合を考慮せず)

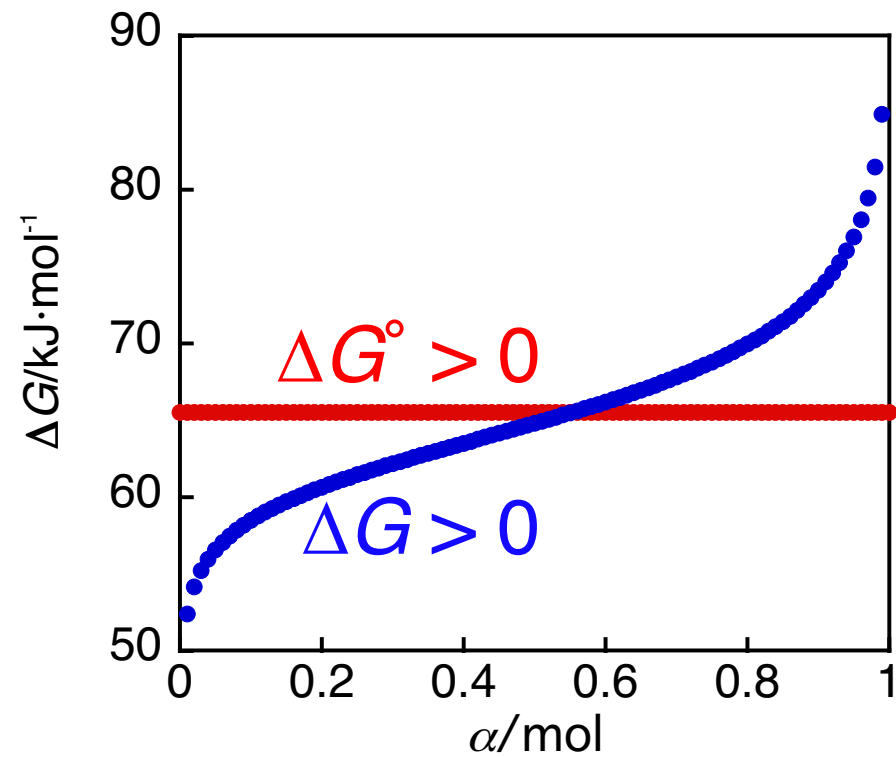
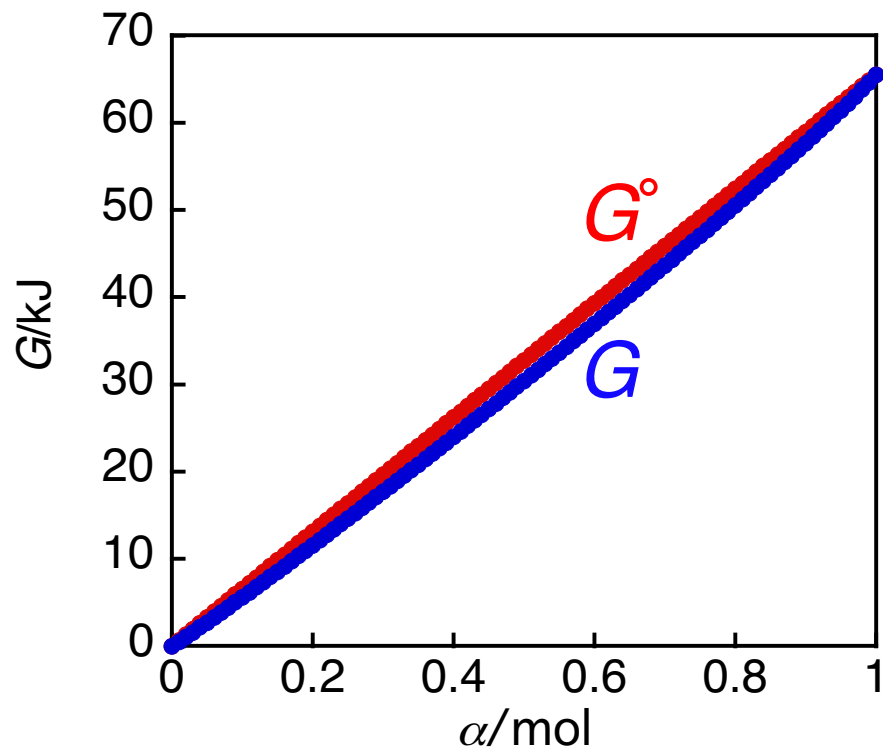
α : 反応進行度 ($0 \text{ mol} \leq \alpha \leq 1 \text{ mol}$)

α_e : 化学平衡時の反応進行度 ($0 \text{ mol} \leq \alpha \leq 1 \text{ mol}$)

Q : 反応商、 K : 平衡定数

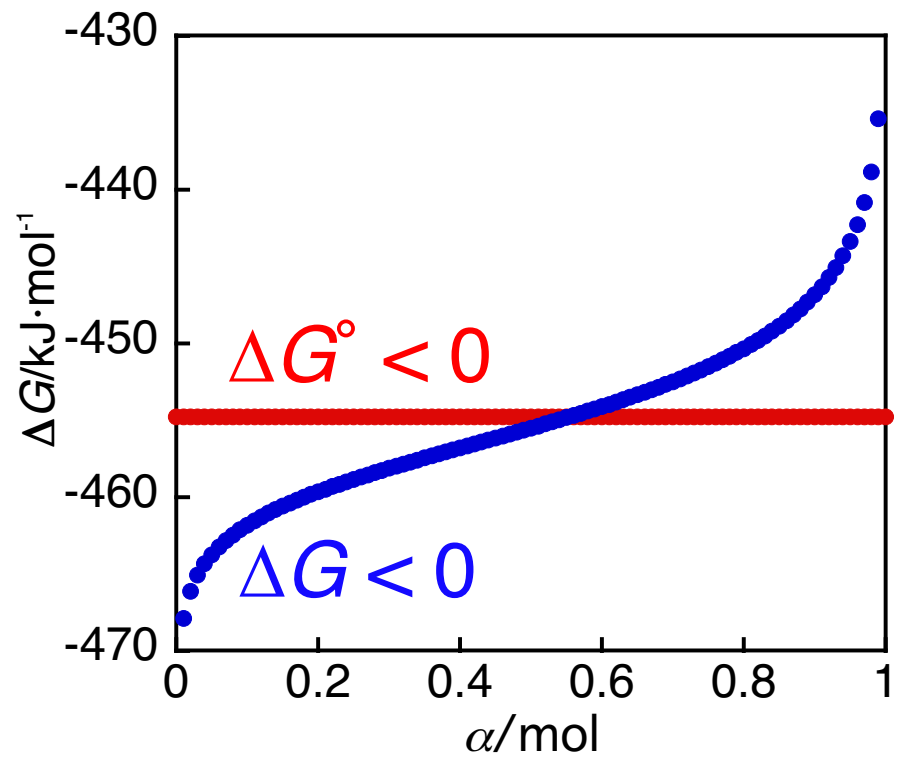
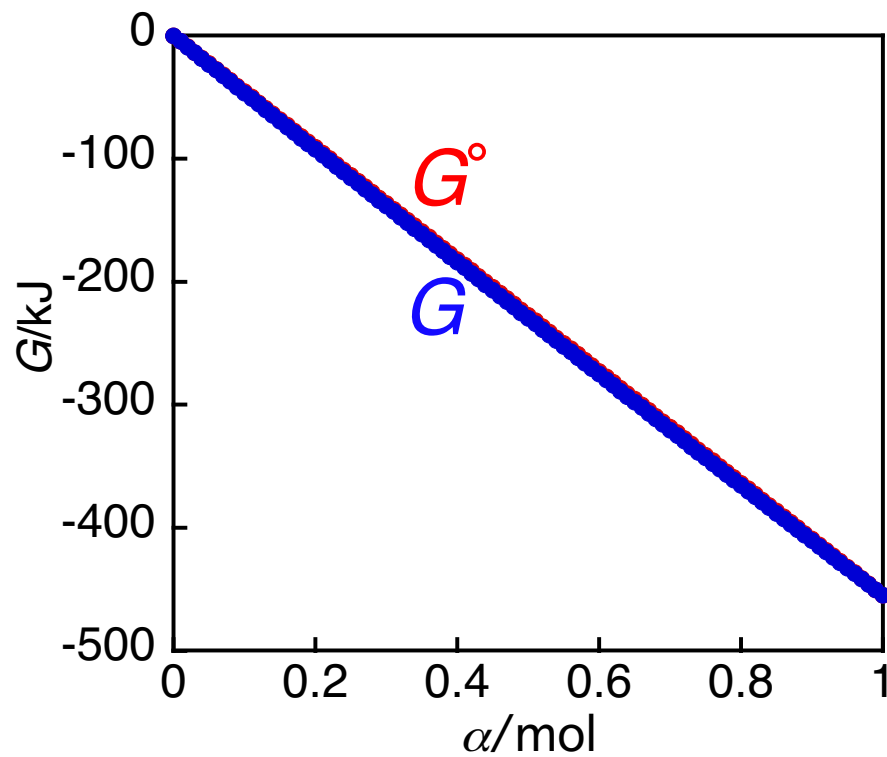
G と ΔG 1

$\text{Cu(s)}/\text{H}^+(\text{aq})$



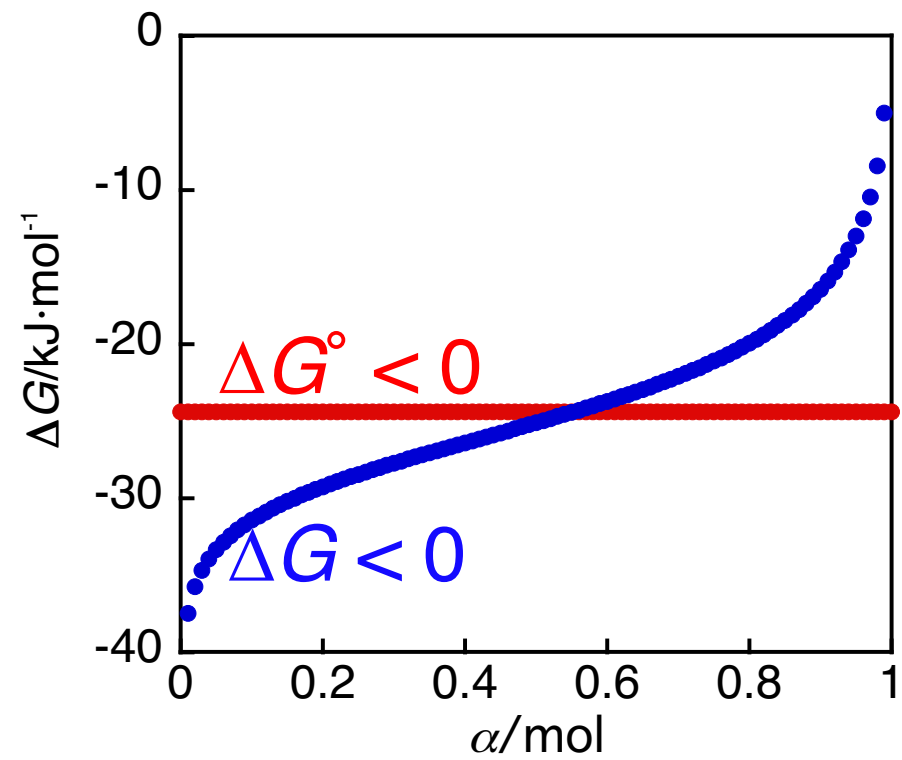
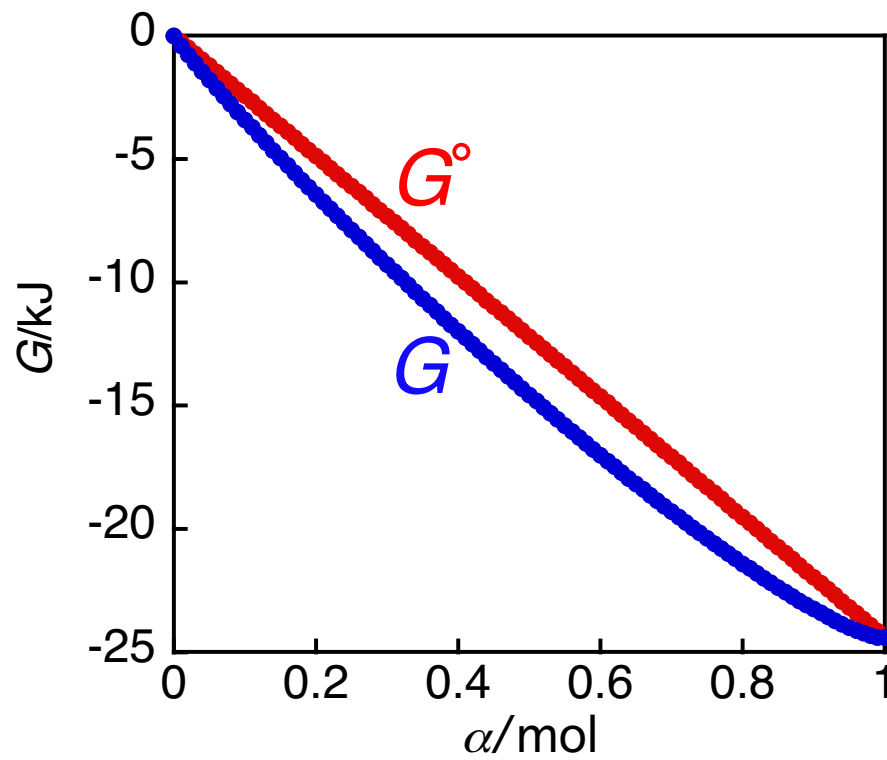
G と ΔG 3

Mg(s)/H⁺(aq)

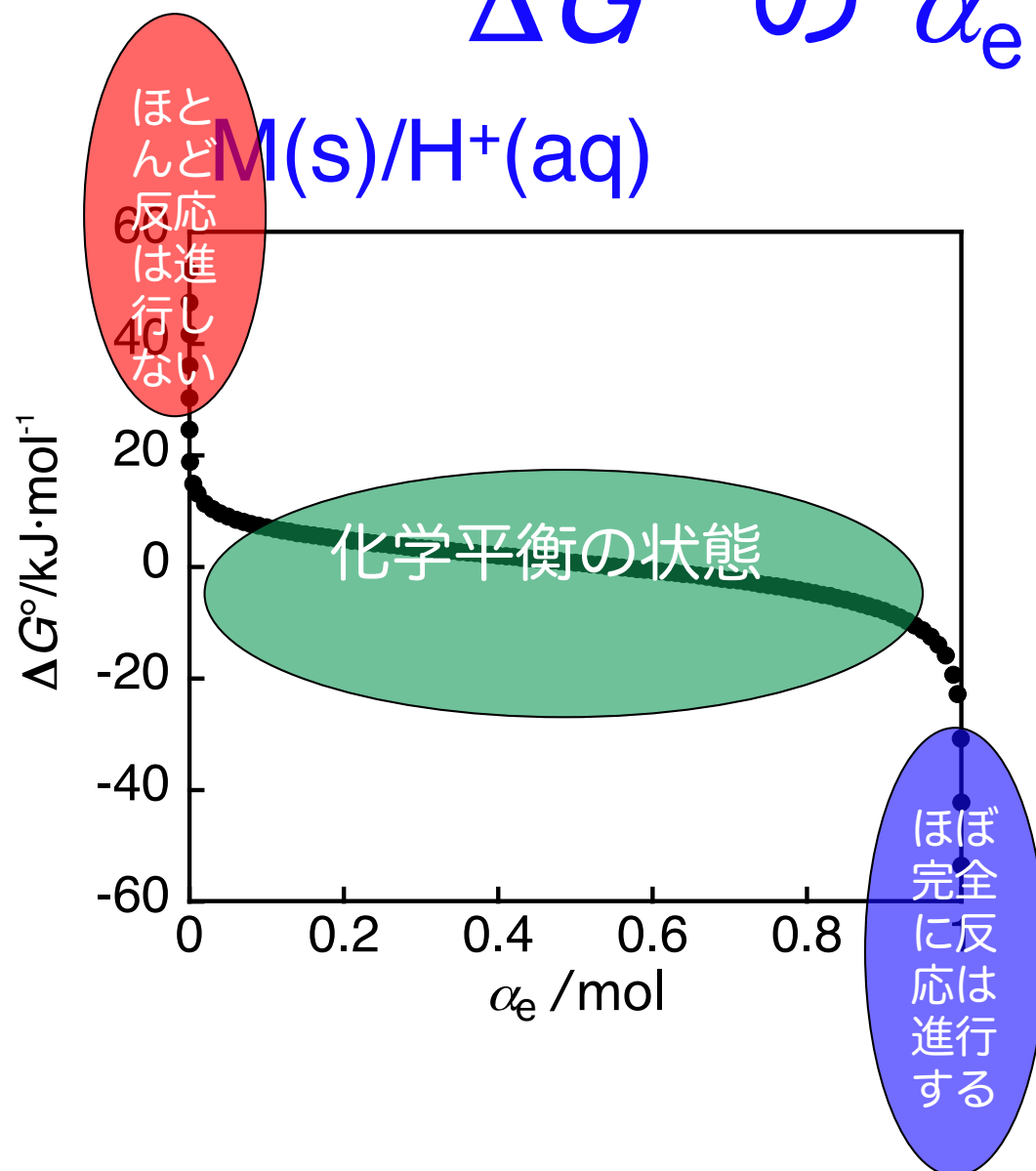


G と ΔG 5

$\text{Pb(s)}/\text{H}^+(\text{aq})$



ΔG° の α_e 依存性



α_e/mol	$\Delta G^\circ/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
1.000000×10^{-8}	47.4
1.000000×10^{-7}	41.7
1.000000×10^{-6}	36.0
1.000000×10^{-5}	30.3
0.999000	-30.8
0.999900	-42.2
0.999990	-53.6
0.999999	-65.1

ΔG° 、 K と α_e の推算値

	$\Delta G^\circ/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	K	α_e/mol
Cu(s)/H ⁺ (aq)	65.5	3.35×10^{-12}	6.69×10^{-12}
Zn(s)/H ⁺ (aq)	-147.1	5.90×10^{25}	≈ 1.00
Mg(s)/H ⁺ (aq)	-454.8	4.76×10^{79}	≈ 1.00
Sn(s)/H ⁺ (aq)	-27.2	5.82×10^4	9.98×10^{-1}
Pb(s)/H ⁺ (aq)	-24.4	1.88×10^4	9.96×10^{-1}

青： $\Delta G < 0 \Rightarrow$ 自発変化が起こる

緑： $\Delta G < 0 \Rightarrow$ 自発変化が起こる (α_e まで)

赤： $\Delta G > 0 \Rightarrow$ 自発変化が起こらない