2価金属と水素イオンの反応に関する教材開発
反応エンタルピー、反応エントロピーと反応進行度の関係

日本理科教育学会近畿支部大会2025
日時：2025年11月29日，10:45-11:00
B-3
会場：和歌山大学教育学部附属中学校

○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

$M(s) + 2H^+(aq) \rightarrow M^{2+}(aq) + H_2(g)$

$M(s)$：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)

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

$\Delta H°$、$\Delta G°$と$\Delta S°$の推算値

	$\Delta H°$/kJ·mol^{-1}	$\Delta G°$/kJ·mol^{-1}	$\Delta S°$/J·K^{-1}·mol^{-1}
Cu(s)/H^+(aq)	64.8	65.5	-2.1
Cu(s)/[H^+(aq) + H_2O_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：自発変化が起こる
緑：自発変化が起こる（化学平衡の時点まで）
赤：自発変化が起こらない

理想混合モデル 1

$$M(s) + 2H^+(aq) \rightarrow M^{2+}(aq) + H_2(g)$$

$M(s)$、 $H^+(aq)$ 、$M^{2+}(aq)$ 、$H_2(g)$ を、それぞれ成分1、 2、 3、 4とする。$\Delta_f G_1^\circ = \Delta_f G_2^\circ = \Delta_f G_4^\circ = 0$, $a_1 = a_4 = 1$, $a_i = x_i$

$M(s)$	+	$2H^+(aq)$	$\rightarrow$	$M^{2+}(aq)$	+	$H_2(g)$
1 mol		2 mol		0		0
$-\alpha$		-2α		$+\alpha$		$+\alpha$
1 mol $-\alpha$		2(1 mol $-\alpha$)		α		α

$n_2 = 2(1\ \mathrm{mol} - \alpha)$、$n_3 = \alpha$ 、$n = n_2 + n_3 = 2\ \mathrm{mol} - \alpha$

$x_2 = 2(1 - \alpha/\mathrm{mol})/(2 - \alpha/\mathrm{mol})$ 、$x_3 = (\alpha/\mathrm{mol})/(2 - \alpha/\mathrm{mol})$

$\Delta_f G_i^\circ$：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（$0\ \mathrm{mol} \leq \alpha \leq 1\ \mathrm{mol}$）

n_i：水和イオンの物質量、n：水和イオンの物質量の総計

理想混合モデル 2

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

ΔG : 標準反応ギブズエネルギー（混合を考慮）
$\Delta_f G_3^\circ$: 成分3(M^{2+}(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（混合を考慮せず）
Q : 反応商
α : 反応進行度（0 mol ≤ α ≤ 1 mol）

理想混合モデル 3

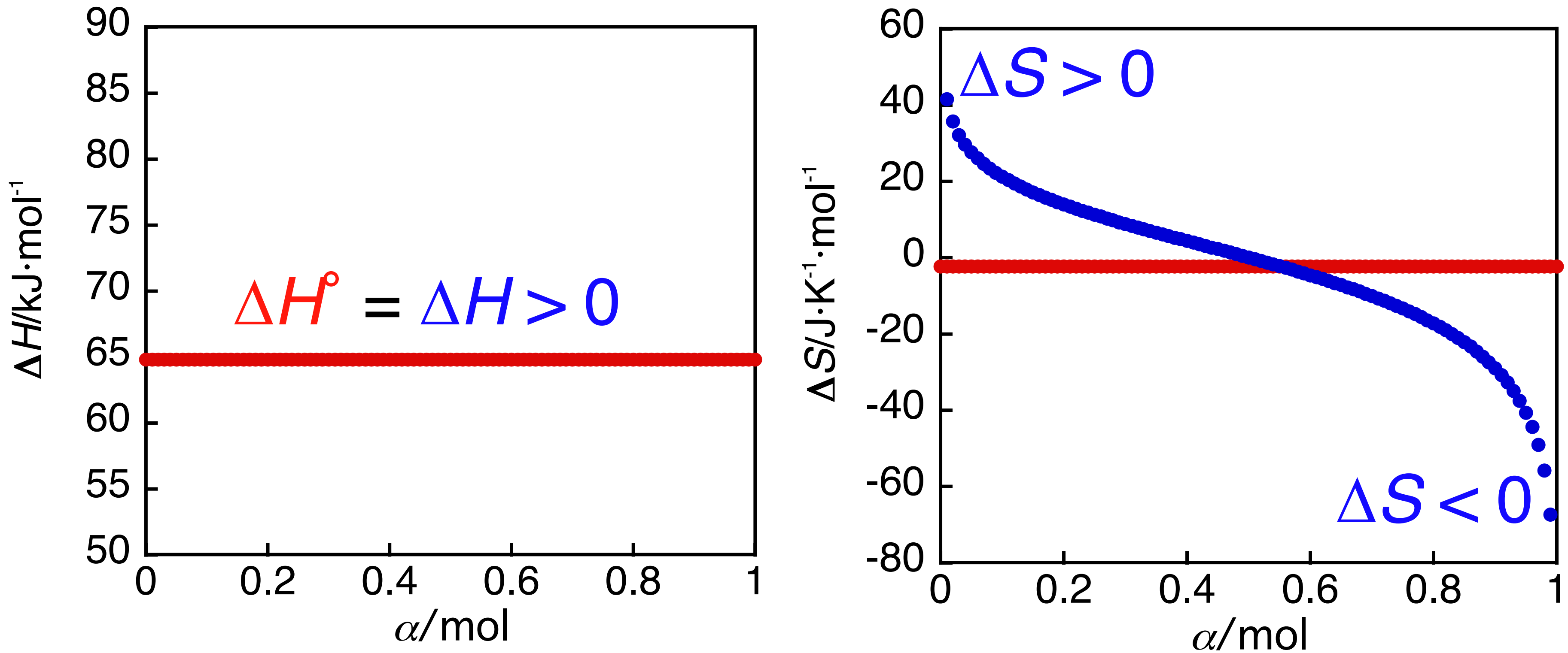
$$\Delta H = \Delta H^\circ$$

$$\begin{aligned}\Delta S &= (\Delta H - \Delta G)/T = (\Delta H^\circ - (\Delta G^\circ + RT \ln Q))/T \\ &= (\Delta H^\circ - \Delta G^\circ)/T - R \ln Q \\ &= \Delta S^\circ - R \ln Q \\ &= \Delta S^\circ - R \ln [(\alpha/\mathrm{mol})(2 - \alpha/\mathrm{mol})/(4(1 - \alpha/\mathrm{mol})^2)]\end{aligned}$$

$\Delta H = \Delta H^\circ$: 反応エンタルピー、標準反応エンタルピー
ΔS : 反応エントロピー（混合を考慮）
ΔS° : 標準反応エントロピー（混合を考慮せず）

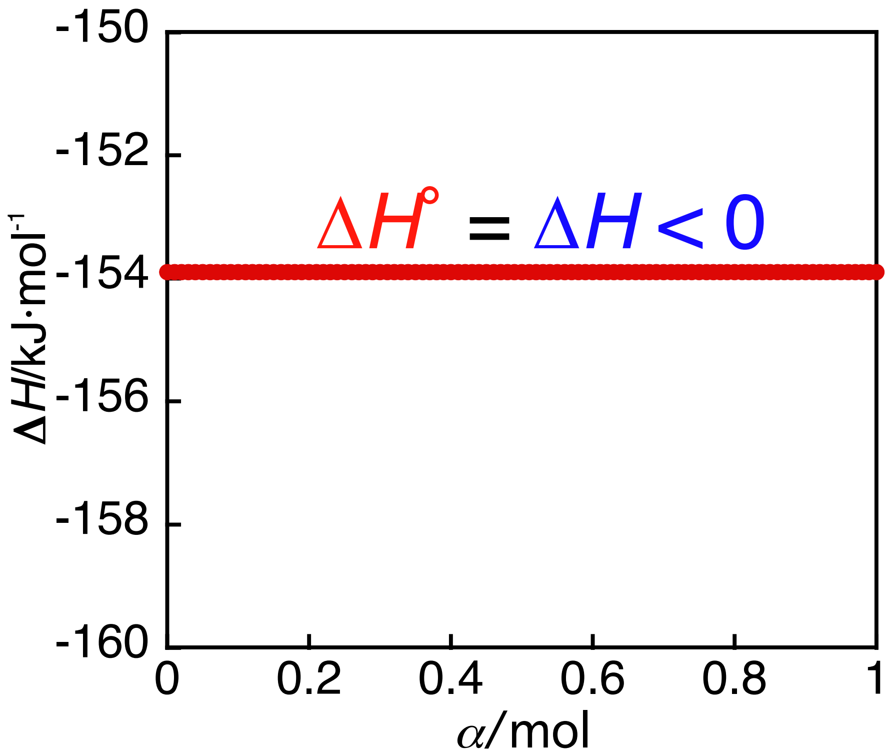
ΔH と ΔS 1

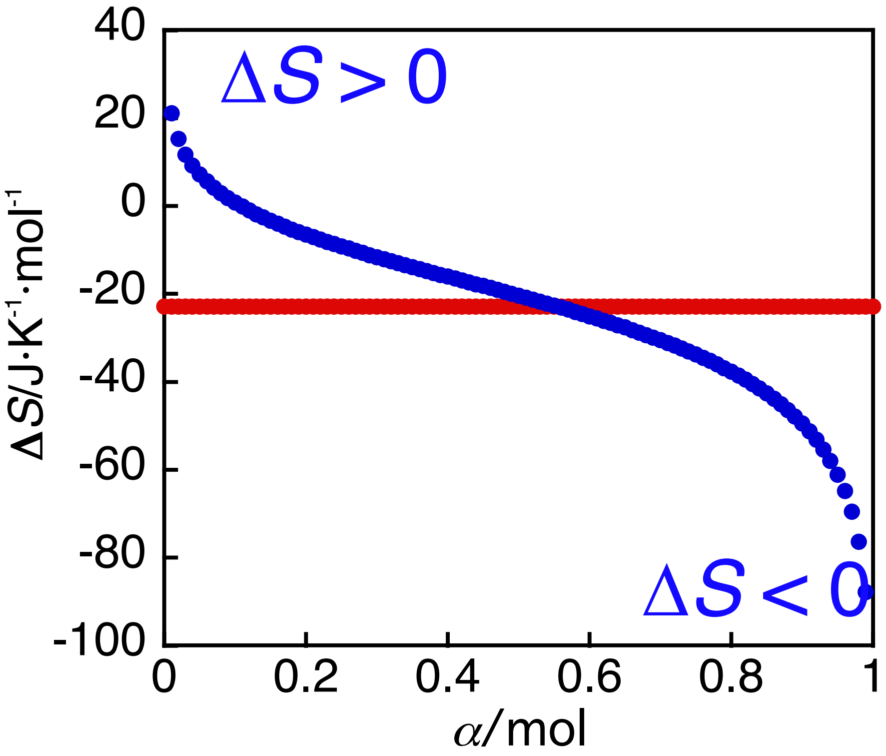
Cu(s)/H$^+$(aq)



ΔH と ΔS 2

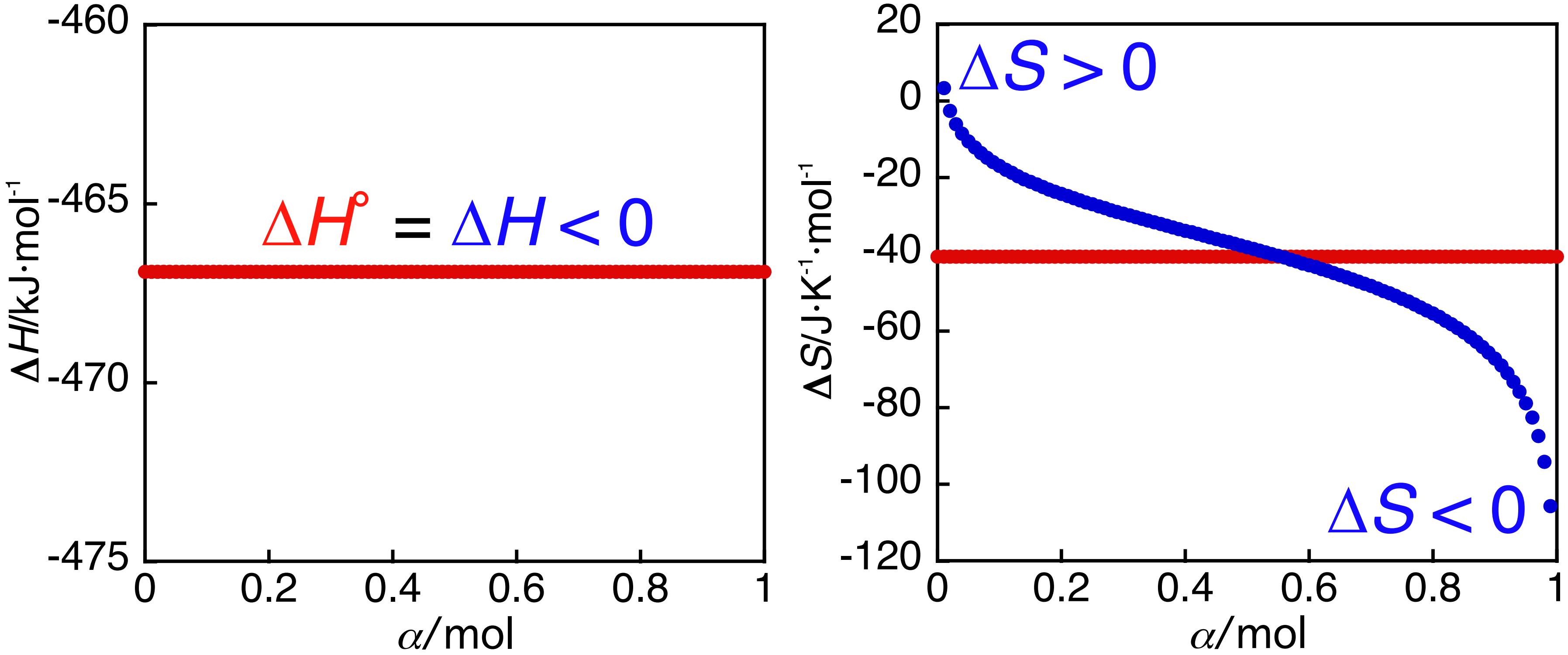
Zn(s)/H^{+}(aq)





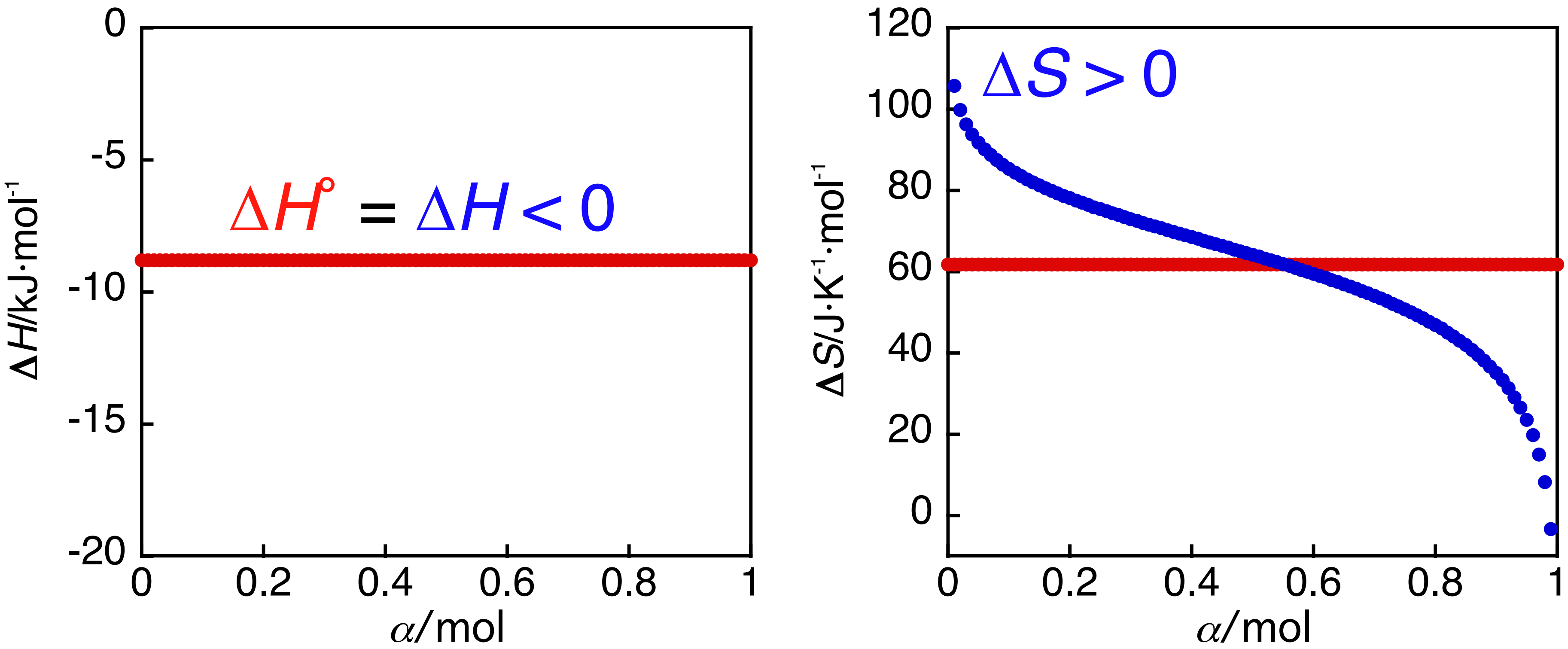
ΔH と ΔS 3

$Mg(s)/H^+(aq)$



ΔH と ΔS 4

$Sn(s)/H^+(aq)$



ΔH と ΔS 5

Pb(s)/H^+(aq)