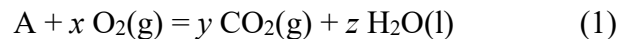


## 問題 4 燃料電池における水素ガスの利用

発電の方法のひとつとして、燃料(水素ガスやメタノールなど)の燃焼で発生する熱を用いて液体の水を蒸発させるというものがある。生じた蒸気でタービンを回転させることにより、発電機を駆動する。このようなプロセスでは、化学エネルギーがまず熱エネルギーに、その後機械エネルギーに、そして最後に電気エネルギーに変換される。どの変換ステップにおいてもエネルギーの漏れ(主として熱の散逸による)により 100%変換されず、結果としてプロセス全体の効率が低下する。これに対し、燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換することができる。

1 当量の燃料 A の燃焼に関して、両辺の釣り合った化学反応式は以下のように書ける。



反応(1)における標準反応エンタルピー、標準反応ギブズエネルギーをそれぞれ $\Delta_{\text{comb}}H^\circ(\text{A})$ 、 $\Delta_{\text{comb}}G^\circ(\text{A})$ とする。

### 水素燃料電池

水素燃料電池における全反応は、 $\text{H}_2$  の燃焼反応と同じである。この問題では、水素燃料電池を構成する物質はすべて 298 K で標準状態にあるものとする。

1. アノードとカソードにおける酸化還元半反応の反応式を書き下せ。水素ガス 1 当量に対する全反応の、両辺が釣り合った化学反応式を書け。
2. この燃料電池の開放電圧を計算せよ。
3. この燃料電池を用いて水素ガス 1 mol から回収できる電気エネルギーの理論上の最大値を計算せよ。
4. 電気自動車は 100 km あたり 10 から 20 kWh の電気エネルギーを消費する。圧力 1.0 bar において、20 kWh の電気エネルギーを発生するために必要な水素ガスの体積を計算せよ。

燃料電池の熱力学効率は次のように定義される。

$$\gamma_{\text{thermo}} = \frac{\Delta_{\text{r}}G^\circ}{\Delta_{\text{r}}H^\circ}$$

ここで、 $\Delta_{\text{r}}G^\circ$ と $\Delta_{\text{r}}H^\circ$ はそれぞれ標準反応ギブズエネルギーおよび標準反応エンタルピー(いずれも注目している燃料電池の全反応に対するもの)である。

5. 298 K における水素ガスの燃焼反応の標準反応エンタルピー $\Delta_{\text{comb}}H^\circ_{298\text{K}}(\text{H}_2(\text{g}))$ を計算せよ。水素燃料電池の熱力学効率を推定せよ。

系のエンタルピー変化があるため、熱力学効率は 1 より小さくなる。

6. 298 K における水素ガスの燃焼反応の標準反応エンタルピー $\Delta_{\text{comb}}S^\circ_{298\text{K}}(\text{H}_2(\text{g}))$ を計算せよ。

7. 求めた標準反応エントロピーの符号は、両辺の釣り合った化学反応式と矛盾しないか。はいかいいえで答えよ。量論係数を用いた短い計算でその答えを正当化せよ。

### 液体メタノール燃料電池

水素ガスは単位体積あたりのエネルギー密度が小さく、保存には高い圧力を必要とする。このため、他の燃料を用いる燃料電池の開発が求められてきた。液体メタノールを燃料として用いる燃料電池においては、全反応はメタノールの燃焼反応と等しい。

8. メタノールと二酸化炭素の炭素原子の酸化状態をそれぞれ決定せよ。
9. アノードとカソードにおける酸化還元半反応の反応式を書き下せ。液体メタノール 1 当量に対する全反応の、両辺が釣り合った化学反応式を書け。
10. この燃料電池の熱力学効率を計算せよ。それを水素燃料電池の熱力学効率と比較せよ。
11. 20 kWh の電気エネルギーを発生するために必要な液体メタノールの体積を計算せよ。この値を、先の問題で計算した水素ガスの体積と比較せよ。
12.  $\text{H}_2$  を理想気体と仮定する。20 kWh を発生するために必要な水素ガスを、同じだけの電気エネルギーを発生するために必要なメタノールと同じ体積(問題 11)で保存するために必要な圧力を決定せよ。

データ:

### 298 K における標準生成エンタルピー $\Delta_f H^\circ$ (単位: $\text{kJ mol}^{-1}$ )

化学種	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{CO}_2(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$
$\Delta_f H^\circ$	0.0	-394.0	-241.8	-239.0

定圧モル熱容量  $C_p^\circ$  (単位:  $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )。これらの値は温度によらないと仮定する。

化学種	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
$C_p^\circ$	33.6	75.3

### 373 K における水の標準潜熱

$$\Delta_{\text{vap}} H^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40.66 \text{ kJ mol}^{-1}$$

### 25 °C における標準電位 (標準水素電極 (SHE) 基準)

$$E^\circ(\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = 1.23 \text{ V /SHE}$$

$$E^\circ(\text{CO}_2(\text{g})/\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})) = 0.03 \text{ V /SHE}$$

### 液体メタノールの密度

$$\rho_{\text{methanol}} = 0.79 \text{ g cm}^{-3}$$