

# エネルギーシステム・要素論

## 第6回 電池4

### 燃料電池および 二次電池のモデル化

平成25年11月29日

## 燃料電池

- 特長
  - 燃料と酸化剤を供給し電力を取り出す化学電池
  - 化学エネルギーから電気エネルギーへの直接変換
    - 発電効率が高い
  - 騒音や振動少ない
- 種類
  - 固体高分子形燃料電池 (PEFC)
  - アルカリ電解質形燃料電池(AFC)
  - リン酸形燃料電池 (PAFC)
  - 熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)
  - 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

# 固体高分子形燃料電池 (PEFC)

- 燃料極(負極)、固体高分子膜(電解質)、空気極(正極)を一体化した膜／電極接合体を、反応ガスの供給流路を形成するバイポーラプレートで挟んだ単セルを積層し、直列接続したセルスタックで発電
- 燃料極反応  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$  (プロトンと電子に分解)
- 空気極反応  $4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O$  (水を生成)
- 固体高分子膜 燃料極で生成したプロトンを空気極へ移動
- 水を使用するため0°C以下、または100°C以上での使用が困難
- 電極触媒(白金)使用 CO被毒
  - 改質器
    - 都市ガス
      - 発電効率30数%
      - 発電と熱供給を併せた総合熱効率80%程度
    - ガソリン
    - メタノール
      - 直接メタノール方式(DMFC)
      - メタノール改質方式

# アルカリ電解質形燃料電池(AFC)

- アルカリ電解液を電極間のセパレータにしみこませてセルを構成
- 構造が簡単
- 安価な電極触媒(ニッケル酸化物等)
- 燃料に炭化水素が混入していると劣化
- 酸化剤に高純度の酸素を必要
- アポロ計画で使用

# リン酸形燃料電池 (PAFC)

- 電解質 リン酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )水溶液
- 動作温度 200°C程度
- 発電効率は 約40%LHV
- 白金触媒利用(CO被毒)
- 工場、ビル用(100/200kW級)

# 熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)

- 火力発電所の代替用途
- 白金触媒を用いない内部改質方式
  - 水素イオン( $\text{H}^+$ )の代わりに炭酸イオン( $\text{CO}_3^{2-}$ )を用いる
- 電解質 熔融炭酸塩(炭酸リチウム、炭酸カリウム)
- 燃料 水素, 天然ガス, 石炭ガス
- 動作温度 600°C~700°C程度
- 発電効率 約45%LHV
- 燃料極側排ガスの二酸化炭素濃度は80%程度
  - $\text{CO}_2$ 回収

# 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

- 動作温度は700～1000℃程度
  - 排熱の利用に有利
  - 高耐熱の材料が必要
  - 起動停止時間長い
- 電解質 イオン伝導性セラミックス(安定化ジルコニア,ランタン・ガリウムのペロブスカイト酸化物)
- 空気極で生成した酸化物イオン( $O_2^-$ )が電解質を透過し、燃料極で水素と反応
- 水素, 天然ガス, 石炭ガスを燃料として用いることが可能。
- 1～10kW級
- 発電効率 56.1%LHV
- 改質器は不要

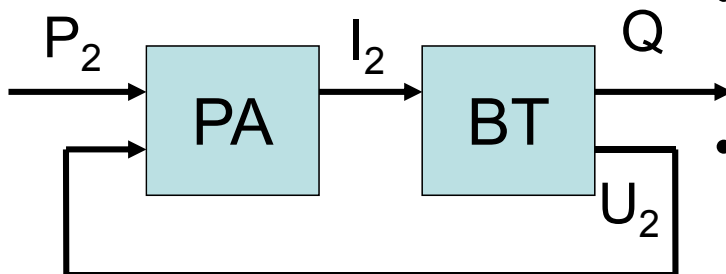
2013/11/29

エネルギーシステム・要素論

7

## 二次電池の準定常モデル1

BT:二次電池反応  
PA:内部変数変換



- 入力変数
  - 端子出力電力 $P_2(t)$
- 出力変数
  - 電池の電荷量 $Q(t)$
- 内部変数
  - 端子電圧 $U_2(t)$
  - 端子電流 $I_2(t)$

$$I_2(t) = \frac{P_2(t)}{U_2(t)}$$

2013/11/29

エネルギーシステム・要素論

8

## 二次電池の準定常モデル2

- 電池の容量はAhで表す
  - 一定電流の充電・放電で評価
    - 定電流放電試験
      - 満充電時 開放端子電圧Uoc
      - 放電終了電圧まで定電流I2で放電(例Uocの80%)
      - 放電時間tf
      - 依存関係はPeukertの式で表される

$$t_f = \text{const} \cdot I_2^{-n}$$

- » n:ポイカート指数  
1~1.5(鉛電池で1.35程度)
- » 電池の容量は充放電電流に依存する

## 二次電池の準定常モデル3

- 放電電流I2\*に対する容量Q0\*
  - 放電電流が異なると容量も変化する
    - 非線形性

$$Q_0^* = I_2^* t_f^* = I_2^* \cdot \text{const} \cdot I_2^{*-n} = \text{const} \cdot I_2^{*1-n}$$

$$Q_0 = I_2 t_f = \text{const} \cdot I_2^{1-n}$$

$$\frac{Q_0}{Q_0^*} = \frac{\text{const} \cdot I_2^{1-n}}{\text{const} \cdot I_2^{*1-n}} = \left( \frac{I_2}{I_2^*} \right)^{1-n}$$

- 修正Peukert式
  - Kc:定数

$$\frac{Q_0}{Q_0^*} = \frac{K_c}{1 + (K_c - 1) \left( \frac{I_2}{I_2^*} \right)^{n-1}}$$

# 二次電池の準定常モデル4

- 電池の容量の表現

- Cレート

- 1Cレート

- 電池の全容量を一時間で充放電する電流値

- » 自動車用では100Cレート(1/100時間で放電)で評価するのが一般的

- 電池容量 $Q_0$  (Ah)

- 放電電流 $I_0$ (A)

$$c(t) = \frac{I_2(t)}{I_0} \quad I_0 = \frac{Q_0}{1}$$

- $C=1/x$ で表す

- $x$ (h)は電池を放電するのに要する時間

# 二次電池の準定常モデル5

- 充電状態(SoC: State of charge): $q(t)$

- 定格電池容量 $Q_0$ に対する出力可能な電荷量の比

$$q(t) = \frac{Q(t)}{Q_0}$$

- 電荷残量 $Q$ は通常測れない

- 電荷量変化と放電電流の関係

$$\dot{Q}(t) = -I_2(t)$$

- 充電電流は全部充電電荷とはならない

- 充電損失

$$\dot{Q}(t) = -\eta_c I_2(t)$$

- $\eta_c$ :クーロン効率