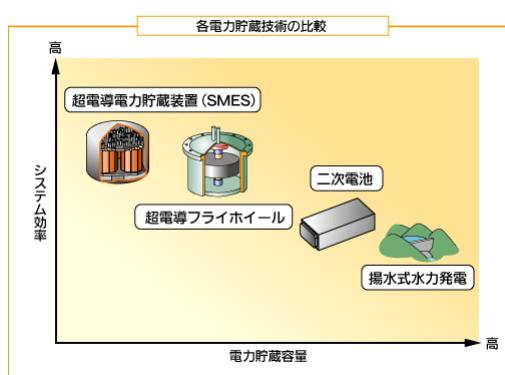


# 応用電力変換工学

## 第一回 電源技術(電力貯蔵)

平成20年10月1日

## 電力貯蔵



<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey10/index.html>

電力変換技術が利用されている

# 揚水発電

- 電力貯蔵としての効率約70%
  - 水の位置エネルギー  $\Leftrightarrow$  水の運動エネルギー  
 $\Leftrightarrow$  水車の回転(運動)エネルギー  $\Leftrightarrow$  発電機の電気エネルギー
- 方式
  - 別置式 水車とポンプを別個に配置
  - タンデム式 電動発電機の同軸に水車・ポンプを接続
  - 可逆式 ポンプ水車を利用

2008/10/1

応用電力変換工学

3

## 揚水発電に用いられるパワエレ技術

- 従来型揚水発電
  - 発電 ガバナーで出力調整可
  - 揚水 同期速度で電動機を回転。揚水電力一定
- 可变速揚水発電
  - 揚水 電動機を可变速駆動する事により、揚水電力を可変可能
    - 深夜の可変負荷として重要
  - 水車運転時とポンプ運転時の最高効率となる回転数が異なるため、夫々に合わせて運転する事で損失を低減可能
  - サイクロコンバータによる回転子励磁。回転子速度可変、固定子出力周波数一定
  - 1992年 関西電力大河内発電所

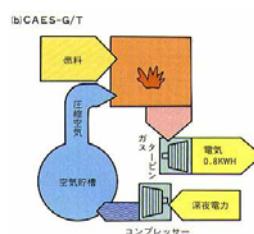
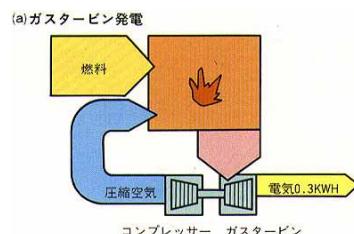
2008/10/1

応用電力変換工学

4

# 圧縮空気貯蔵

CAES-G/T(Compressed Air Energy Storage Gas Turbine)発電



- ガスタービン発電の特長と課題
  - 電力負荷への追従性に優れている
  - 立地条件の制約が少ない
  - 建設費が安い
  - 空気圧縮機を駆動して高圧空気を作りながら発電を行う
  - 燃料の約2/3が空気の圧縮に消費される→効率悪い
- CAES-G/T発電の特長
  - ガスタービン発電の空気圧縮を余剰電力で行う
  - 同じ発電出力を得るために必要な化石燃料が約1/3になる。→高効率

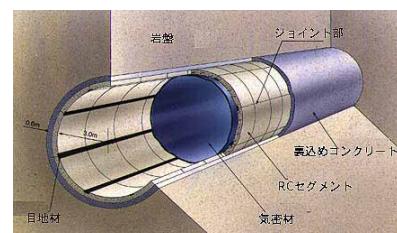
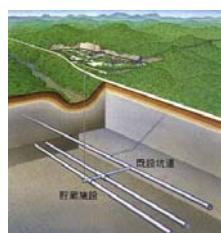
<http://www.gel.civil.nagasaki-u.ac.jp/text/example/ex55/ex55-j.html>

2008/10/1

応用電力変換工学

5

## 新エネルギー財団/圧縮空気貯蔵ガスタービン (CAES-G/T)パイロットプラント



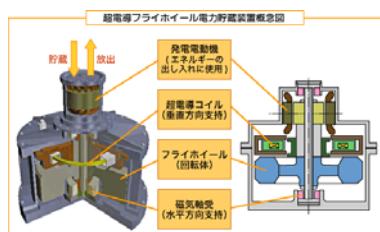
- 海外の事例
  - 1978年に旧西独フントルフ(29万kW)
  - 1991年には米国マッキントッシュ
- 圧縮空気の貯蔵に岩塩層空洞を利用
  - 高い気密性が確保できる
  - 空洞建設が経済的に行える
- 圧縮空気貯蔵ガスタービン(CAES-G/T)パイロットプラント
  - 平成2年度～
  - 所在地: 北海道空知郡砂川市上砂川町
  - 高圧空気貯蔵空洞をいかに経済的に建設するかが課題

2008/10/1

応用電力変換工学

6

# フライホイール



- 運動エネルギーとして貯蔵
  - 大きなエネルギーの貯蔵
    - 大きな質量のフライホイール
    - 速い速度でフライホイールを回転させる
- 回転損低減
  - 風損低減(真空化)
  - 磁気軸受け
- 可变速駆動

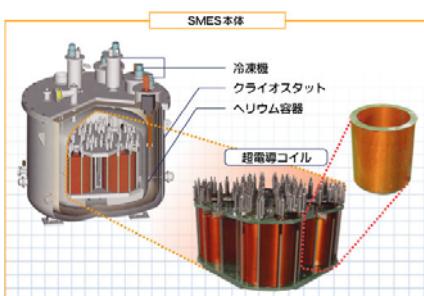
<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey10/index.html>

2008/10/1

応用電力変換工学

7

## SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) 超電導電力貯蔵装置



- 磁気エネルギーとして貯蔵
  - $L_i^2/2$
  - 超伝導を利用
- パワーを大きく取れる
  - $L di/dt$ に比例
- 効率70%を目標
  - 揚水発電所
- 直流出力
  - インバータ必要

<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey10/index.html>

2008/10/1

応用電力変換工学

8

## SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) 超電導電力貯蔵装置

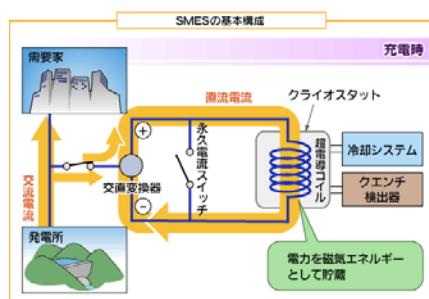
- 超伝導コイル

- 電流源

- 電流型インバータ
      - サイリスタインバータ
      - 逆耐圧が必要
    - DC/DCコンバータによる電流源-電圧源変換して電圧型変換器の利用

- クエンチ

- 線材の改良
    - 保護



<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey10/index.html>

2008/10/1

応用電力変換工学

9

## 電池とコンデンサ

- 電池

- 物理電池

- 太陽電池
    - 熱電対

- 化学電池

- 一次電池 放電のみ可能
    - 二次電池 充電可能
    - 燃料電池

- コンデンサ

- EDLC (Electric double layer capacitor)

2008/10/1

応用電力変換工学

10

# 電池の歴史



肖像  
wikipediaより

Alessandro Volta  
1745年2月18日 - 1827年3月5日

Sanyo HPより

2008/10/1



応用電力変換工学

- ボルタの電池

- 1800年頃発明

- オリジナル

- 銀, 錫, 食塩水

- 一般には銅と亜鉛

- 乾電池は日本人の発明

- 1885年 屋井先藏

11

# 一次電池

- マンガン乾電池

- 正極 二酸化マンガン
  - 負極 亜鉛
  - 電解液 塩化亜鉛
  - 電圧 1.5V

- アルカリマンガン乾電池

- 正極 二酸化マンガンと黒鉛粉末
  - 負極 亜鉛、水酸化カリウム
  - 電解液 塩化亜鉛
  - 電圧 1.5V

- オキシライド乾電池(製造中止)

- 正極 オキシ水酸化ニッケル, 二酸化マンガン, 黒鉛
  - 負極 亜鉛
  - 電圧 1.5V(1.7V)

- 酸化銀電池(ボタン電池)

- 正極 酸化銀
  - 負極 ゲル化亜鉛
  - 電解液 水酸化カリウムor水酸化ナトリウム

- 水銀電池(昔のボタン電池)

- 正極 酸化水銀
  - 負極 亜鉛
  - 電解液 水酸化カリウム+酸化亜鉛

- その他

- ニッケル系一次電池
    - ニッケル水素電池とアルカリ電池の合成
    - 正極 オキシ水酸化ニッケル
    - 負極 は亜鉛
    - 電解液 水酸化カリウム
  - 空気亜鉛電池(補聴器用)
    - 正極 酸素
    - 負極 亜鉛
    - 電解液 アルカリ金属水酸化物or水酸化カリウム
  - リチウム電池(メモリーバックアップ用)
    - 正極 二酸化マンガン他
    - 負極 金属リチウム
    - 電解液 有機溶媒+リチウム塩
  - 海水電池
    - 負極 マグネシウム
    - 正極 酸化鉄or酸化銀
    - 電解質 海水

2008/10/1

応用電力変換工学

12

## 二次電池

- 一般型
  - 鉛蓄電池
  - リチウムイオン二次電池
  - リチウムイオンポリマーニー<sup>2</sup>電池
  - ニッケル・水素蓄電池
  - ニッケル・カドミウム蓄電池
  - ニッケル・鉄蓄電池
  - ニッケル・亜鉛蓄電池
  - 酸化銀・亜鉛蓄電池
- 液循環型
  - レドックス・フロー電池
  - 亜鉛・塩素電池
  - 亜鉛・臭素電池
- メカニカルチャージ型(負極取換式)
  - アルミニウム・空気電池
  - 空気・亜鉛電池
  - 空気・鉄電池
- 高温動作型
  - ナトリウム・硫黄電池
  - リチウム・硫化鉄電池
  - ゼブラ電池
    - (名称:ゼオライト電池研究アフリカプロジェクトに由来)
    - ナトリウム塩化ニッケル(Na/NiCl<sub>2</sub>)電池
    - 深い放電サイクルに強い

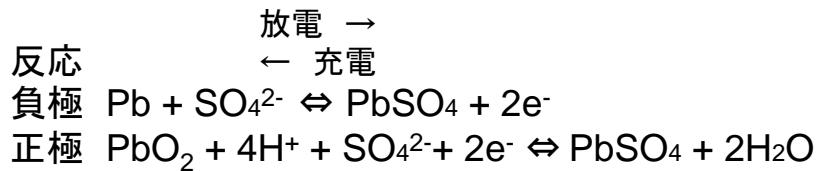
2008/10/1

応用電力変換工学

13

## 鉛蓄電池

- 正極 二酸化鉛
- 負極 鉛
- 電解液 希硫酸
- 電圧 2V
- 安価
- 重い
- 大電流放電可能
- メモリー効果無し
- サルフェーション(負極板表面に硫酸鉛結晶が発生)



2008/10/1

応用電力変換工学

14

# リチウムイオン電池

- 1990年旭化成、ソニーが実用化
- 1998年リチウムイオンポリマー電池(ゲル状ポリマー電解質)
- 日本メーカーのシェアが高い
- 高い電圧
- 高いエネルギー密度
  - 短絡時には急過熱、発火
  - 保護回路必要
- メモリー効果小さい
  - 繰り返し充電
- デンドライトが析出しない
- 満充電状態で保存すると電池が劣化
- 小容量機器から大容量機器へ
- 充放電制御が必要
  - 過充電
    - 負極側に金属リチウム析出
    - 正極の酸化状態が高まって危険な状態になる
  - 過放電
    - 正極のコバルト溶出
    - 負極の集電体の銅溶出
- 構成
  - 様々
    - 負極 炭素等
    - 正極 リチウム遷移金属酸化物
    - 電解質 有機溶媒(炭酸エチレン、炭酸ジエチル)+リチウム塩(六フッ化リン酸リチウム)

2008/10/1

応用電力変換工学

15

# ニッケル水素電池 (NiMH: Nickel metal hydride)

- 正極 水酸化ニッケル
- 負極 水素吸蔵合金
- 電解液 水酸化カリウム水溶液
- 電圧1.2V
- NiCd電池との比較
  - ニカド電池より容量密度が高い
  - カドミウムを含まない
  - 自然放電が多い
  - メモリ効果
  - 過充電に弱い
- リチウム電池との比較
  - 大電流時放電特性に優れる
  - 単純な回路で充放電が可能
  - 安全性
- 用途
  - ハイブリッド自動車
    - 電池の安全性
    - トヨタ、ホンダ
  - デジカメ
  - おもちゃ
  - ラジコン

2008/10/1

応用電力変換工学

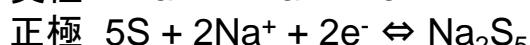
16

## ナトリウム・硫黄電池

- 負極 ナトリウム
- 正極 硫黄
- 電解質  $\beta$ -アルミナ
- ナトリウム・硫黄が溶融状態で動作
- $\beta$ -アルミナ電解質のイオン伝導性を高めるために高温(約300~350°C)で運転
- 鉛蓄電池に比べて体積・重量が3分の1程度
- ヒーターによる加熱と放電時の発熱を用いて、作動温度域(300°C程度)に温度を維持
- 日本ガイシと東京電力

放電 → ← 充電

反応



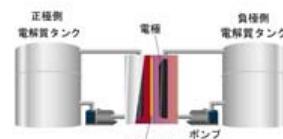
2008/10/1

応用電力変換工学

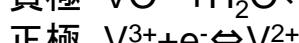
17

## レドックスフロー電池

- 反応部と貯蔵部が分離
  - 出力と容量を別個に設計可能
- 負極 カーボン
- 正極 カーボン
- 電解質 硫酸バナジウム水溶液
- 他 イオン交換膜, セパレータ
- 電解質をポンプで循環する必要あり
- 住友電工・関西電力
  - 中止
- バナジウム系レドックスフロー電池
  - 出力電圧が鉄-クロム系に比べて高い
  - 電極反応が早い
  - 電解質が混合しても問題ない



反応 放電 → ← 充電



2008/10/1

応用電力変換工学

18

# 太陽電池

- 動作原理

- pn接合形
  - pnダイオードを光励起する
- 色素増刊形
  - 二酸化チタンに吸着した色素中の電子を励起

- 種類

- シリコン系
- 化合物系
- 有機系

- シリコン膜構造

- 単結晶シリコン形
  - シリコン使用量大
  - エネルギー, コスト大
- 多結晶シリコン形
  - 純度, 効率低い
  - エネルギー, コスト良
- 微結晶シリコン形
  - 薄膜をCVDで作る
- アモルファス形
  - CVDで製膜
  - エネルギーギャップ大
  - 低照度でも動作

2008/10/1

応用電力変換工学

19

# 太陽電池

- 化合物系

- GaAs
  - 高い変換効率
- CIS
  - 薄膜多結晶
  - Cu,In,Ga,Al,Se,Sからなるカルコパライライト系I-III-VI族化合物
  - 禁制帯幅を材料で変える
- CdTe-CdS系
  - Cd化合物薄膜をガラスで挟みこむ

- 有機系

- 色素増感太陽電池
  - 透明電極にルテニウム錯体等の色素を吸着させたに酸化チタン層と電解質を挟み込む
  - 構造簡単
  - 低コスト
- 有機薄膜太陽電池
  - 導電性ポリマー, フラーレンから成る有機薄膜半導体を利用
  - 変換効率向上の課題

2008/10/1

応用電力変換工学

20

# 太陽電池

- 課題
  - 温度特性
    - 温度上昇で出力低下
    - アモルファスシリコンでは電圧低下の影響が少ない
  - 劣化
    - アモルファスシリコンは強い光の照射によって導電率が劣化
- 出力制御
  - 入射する太陽光の変動
    - 最大電力追従制御(MPPT)
    - モジュールに対する部分影
    - 多峰性ピーク

2008/10/1

応用電力変換工学

21

# 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)
  - 溶融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)
  - 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

2008/10/1

応用電力変換工学

22

# 燃料電池

- 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

2008/10/1

応用電力変換工学

23

# 燃料電池

- 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
- アボロ計画

- リン酸形燃料電池 (PAFC)

- 電解質 リン酸(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)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)

2008/10/1

応用電力変換工学

24

# 燃料電池

- 溶融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)
  - 火力発電所の代替などの用途が期待されている。水素イオン(H<sup>+</sup>)の代わりに炭酸イオン(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)を用い、
  - 電解質 溶融した炭酸塩(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
  - 白金触媒を用いない
  - 内部改質方式
  - 燃料極側排ガスの二酸化炭素濃度は80%程度
    - CO<sub>2</sub>回収
- 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)
  - 動作温度は700~1000°C程度
    - 排熱の利用に有利
  - であるが、高耐熱の材料が必要となる。また、起動停止時間も長くなりがちである。
  - 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<sub>2</sub><sup>-</sup>)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

2008/10/1

応用電力変換工学

25