

新型電池電力貯蔵システム

— 開発の現状 —

Advanced Battery Electric Power Storage System

— Present Situation of the Development —

大 高 英 司*・岡 崎 進**
Eiji Ōtaka Susumu Okazaki

1. はじめに

電力はその貯蔵が困難であり、従って電力事業においては需要と供給の同時性が大きな特徴となっている。一方、現代の高度に発達した工業化社会、情報化社会においては極めて高品質な電力供給が要求されており、このために最大需要に応じた発電設備を建設し、負荷の変動に応じて発電量を調整することにより需要の変化に対応している。

しかしながら、我国における電力需要の日間格差は、空調設備の普及、昼間操業業種の比率増加等により極めて大きなものとなっている。図-1に電力の日間負荷パターンの典型的な例を示す。図からも明らかなように、格差の著しい夏季においては深夜率（日間最小負荷/日間最大負荷）は40%台にまで落ち込み、比較的格差の小さい春季、秋季においてすら50%程度でしかない。この大きな日間格差は、需要の季節間変動と相俟って発電設備の年負荷率（年間平均電力/最大電力）の低下を招いており、昭和40年度において70.9%であったものが昭和59年度には59.3%となり、今後もこの低下傾向はさらに持続するものと予想されており、発電設備の利用率の向上は極めて重要な課題となっている。

現在、この負荷変動に対応するために、原子力発電、石炭火力発電、LNG火力発電等のベース用電源による一定出力に加え、主に石油火力発電による出力を増減することにより調整機能を持たせている。一方、我国の電源構成の中で、原子力発電の比率は年々高まり、石炭火力発電、LNG火力発電とあわせると定常運転による一定負荷電源、つまりベース電源による発電設備は、出力比で昭和59年度39%であったものが昭和70

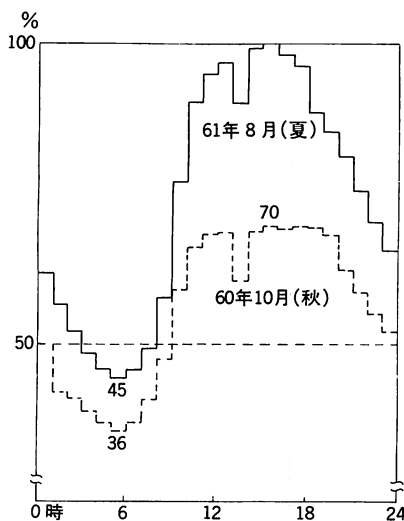


図-1 典型的な電力の日間負荷パターン (9電力合計)

年度には54%に達すると見込まれている一方で、逆に現在負荷調整用として用いられている石油火力発電は38%から24%に低下すると予測されている。ここにおいて、需要の大きな日間格差を考えると深夜余剰対策が不可欠となることは改めて言うまでもない。

従って、図-2に示すように、夜間に余剰電力を適切に貯蔵し、昼間の需要増大時にこれを放出することにより需要の変動に対応することのできる電力貯蔵システムによる負荷平準化が行われれば、発電設備の効率的運用に関しその抜本的解決が可能となり、省エネルギーの面から大きな効果が得られるとともに、石油代替電源の導入促進に大きく資することができる。このため、現在実用化されている揚水発電の他にも種々の新たな電力貯蔵技術の研究開発がなされている。これらと同じく研究開発中の発電端における負荷調整技術とともに図-3に示す。大容量、高性能新型二次電池による電池電力貯蔵システムは、これらの中で最も実用化が

* 通産省工業技術院ムーンライト計画推進室研究開発官

〒100 東京都千代田区霞が関1-3-1

** 通産省工業技術院ムーンライト計画推進室研究開発官付

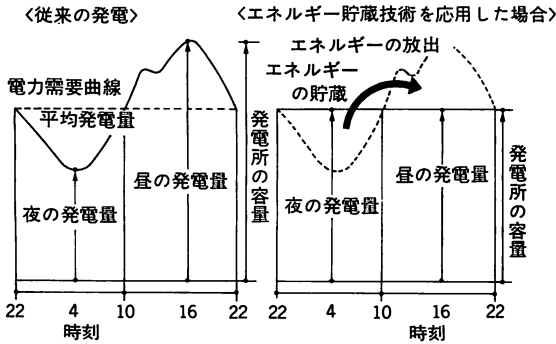


図-2 電力貯蔵システムによる負荷平準化

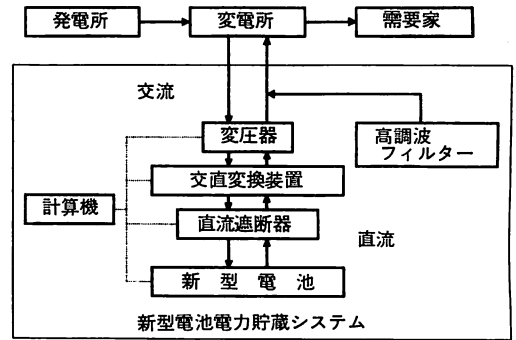


図-4 新型電池電力貯蔵システムの基本構成

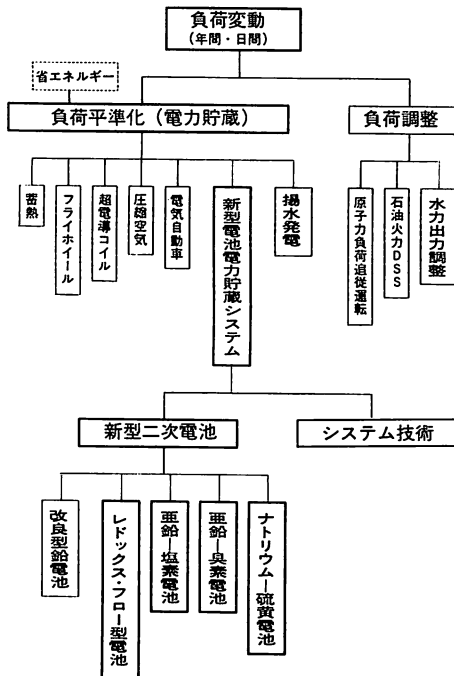


図-3 負荷の大きな日間格差、季節間格差に対応するため研究開発中の電力貯蔵技術及び発電側における負荷調整技術。このうち、揚水発電、水力出力調整はすでに稼働中、また需要化用小規模蓄熱は実用化。

近いと考えられており、通産省工業技術院によるムーンライト計画の一環として活発に研究開発がなされている。ここではこのムーンライト計画における新型電池電力貯蔵システムの研究開発について具体的に紹介する。

2. 新型電池電力貯蔵システムの特徴

新型電池電力貯蔵システムは、大容量、高性能の二次電池と、直流系の電池システムと交流系の商用系統とを接続するインバータ(交直変換器)とを基本構造と

して有するものであり、これらを用いて電力需要のオフピーク時の電力を電気化学反応によって貯蔵(充電)し、これをピーク時に放出(放電)するものである。この基本構成を図-4に示す。

二次電池においては物質として電気エネルギーを貯蔵するため、水の位置エネルギーとして貯蔵する揚水発電と比較するとそのエネルギー密度、出力密度が格段に高いという大きな特徴を有する。従って、システムの設置には大面積を必要とせず、都市近傍あるいは都市市内での設置が可能であり、電池電力貯蔵システムを一次変電所、配電用変電所構内等に設置することにより、省エネルギー効果、石油代替エネルギー導入促進効果以外にも以下のような利点が期待できる。

- 設置面積が小さく、揚水発電のように大規模な水没地を伴うことがなく、環境面からくる立地上の制約を考慮する必要が全くない。
- 発電所から電池電力貯蔵システムへの送電は、需要の少なくなった夜間に行われるため、既存の送変電設備が利用できる。従って、長距離にわたる大規模な送電経路の新設が不要であり、送変電設備など流通設備の削減あるいは建設繰り延べ効果が期待できる。
- 電池電力貯蔵システムは需要地内に設置されるため送電距離は短かく、揚水発電に見られるような長距離送電に伴うエネルギー損失を考慮する必要がない。
- 需要地内あるいはその近傍における多数電源の分散配置により供給信頼度が大幅に向上し、電力供給の高品質化がはかられる。

またこの他、負荷追従性が極めて良いこと、起動・停止特性に優れていること、建設工期が短かいなどの特徴を有し、以下のような優れた機能も期待される。

- AFC(自動周波数調整)運転、フリッカ負荷対応が

可能である。

- ・瞬時予備力として使用できる。
- ・需要増対応が容易である。

新型電池電力貯蔵システムは、これまでに述べてきたような供給側における電力事業用のみでの使用にとどまらず、需要家側、特に電鉄事業、電気化学工業等特に直流電源を必要とするような事業所等における負荷平準化、ピークカットに対しても有効に使用できる。また、太陽光発電、風力発電等の自然エネルギーに基づいた間欠的発電システムにおけるバックアップ用電源としても有望であり、さらには、夜間充電を前提とし大きな負荷平準化効果の期待できる電気自動車への応用にも興味深いものがある。

3. 新型電池電力貯蔵システムの研究開発

これまでに述べてきた新型電池電力貯蔵システムを開発し、実用化に至るまでには図-3に示されるようにふたつの大きな開発課題がある。ひとつは、システムの中核ともなるべき大容量・高性能新型二次電池そのものの開発であり、ひとつは直流系統である電池電力貯蔵システムと、交流系統である商用系統間とで自由に電力をやりとることができることが可能となる接続技術、システム技術の開発である。

ムーンライト計画においても、これらの開発課題を

基本構造とし、(1)新型電池の研究開発、(2)システム技術の研究開発、(3)パイロットプラント試作運転研究、(4)トータルシステムの研究の4項目よりなる「新型電池電力貯蔵システムの研究開発」プロジェクトを昭和55年度に11年計画で発足させ、現在も将来における実用化を目指し、活発な研究開発を展開中である。本プロジェクトにおける研究開発スケジュールを表1に示す。この計画においては、新型電池の研究開発とシステム技術の研究開発の成果をあわせ使い、8時間充電-8時間放電を基準として、交流入出力端におけるエネルギー効率70%以上（電池補機動力及びインバータにおけるエネルギー損失も考慮して）、充放電サイクル寿命1500回以上（耐用年数約10年）の基本性能を有する新型電池電力貯蔵システムパイロットプラントを建設し、その試作・運転研究を通して1990年頃までに実用化への目途をつけることとなっている。

3.1 新型電池の研究開発

本研究開発においては、将来電力貯蔵用として特に有望であると思われるナトリウム-硫黄電池、亜鉛-塩素電池、亜鉛-臭素電池、及び鉄-クロムレドックス・フロー型電池の4種の新型電池を対象としており、これまで、それぞれの開発課題に基づき並行開発の形で研究開発を進めてきた。

昭和55年度よりそれぞれの電池に対し、電極、電解

表1 新型電池電力貯蔵システム研究開発計画表

→ 一般会計
 ⇨ 特別会計 (単位: 百万円)

| 研究項目 | 年度 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 備考 |
|--|--|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|----|----|----|----|-------------------|
| 1) 新型電池の研究開発 (Na-S, Zn-Cl ₂ , Zn-Br ₂ , レドックス・フロー型電池) | 要素研究 | | | | | | | | | | | | 補助金 開発費 開発費 |
| | 設計 | | | | | | | | | | | | |
| | 製作(1kW級) | | | | | | | | | | | | |
| | 製作(10kW級) | | | | | | | | | | | | |
| (レドックス・フロー型電池→要素技術) | 要素研究 | | | | | | | | | | | | 開発費 |
| 設計 | | | | | | | | | | | | | |
| (電池性能評価) | 評価方法の研究 | | | | | | | | | | | | 開発費 |
| システム解析 | | | | | | | | | | | | | |
| 2) システム技術の研究開発 システム解析, システム試験施設・装置 サンプル蓄電池 | 設計 | | | | | | | | | | | | 補助金 |
| | 試験方法の確立 | | | | | | | | | | | | |
| 3) パイロットプラント試作運転研究 (1,000kW級新型電池) | 試験施設建設 | | | | | | | | | | | | 補助金 |
| | システム試験 | | | | | | | | | | | | |
| 4) トータルシステムの研究 | 大型化技術の研究 | | | | | | | | | | | | 補助金 |
| | 製作 運転 研究 | | | | | | | | | | | | |
| | 負荷形態の解析, 最適容量, 環境適合性, 安全性, 所要面積, 経済性, 運転管理 | | | | | | | | | | | | 補助金 |
| 所要資金 | | 352 | 646 | 858 | 1,103 | 1,290 | 2,201 | 3,170 | | | | | 総額 |
| 一般会計 | | [51] | [242] | [249] | [383] | [119] | [151] | [146] | | | | | 約170億円 |
| 特別会計 | | [301] | [404] | [609] | [720] | [1,171] | [2,050] | [3,024] | | | | | |

(注) 所要資金には研究開発管理費を含む。

質、集電体、電槽等の電池構成材料の開発、それに基づいた電池構造の最適化など要素技術の確立を目指した基礎研究を開始した。昭和58年度には1kW級新型電池を試作し、これに対する第1次中間評価試験を通して各電池の特徴を明らかにするとともに、性能面等での次の開発ステップにおける技術的課題抽出を行った。これらの研究成果を踏まえ、昭和59年度からは10kW級新型電池の開発へと移行し、高性能電極材料、電解質材料の開発等電池の高性能化の研究とともに、電極の大面積化の研究等にも着手した。さらに、この10kW級新型電池においては、電池温度制御、各種ポンプ等諸々の補機を含めた電池システム全体を開発対象とし、1kW級電池の開発ではあまり考慮されなかった電池補機システムの最適化も重要な開発課題となっている。昭和59年度、60年度の両年度にわたる10kW級新型電池1号機、2号機の試作研究を経て、昭和61年秋までに、これまでの電池研究開発の集大成として評価用10kW級新型電池の製作を終えた。開発された電池の外観を写1～写4に示す。これらの電池に対し第2次中間評価を行い、新型電池電力貯蔵システムの経済性並びに各電池の性能、特性に基づいた実用化時の適性等について明らかにしていくとともに、本開発プロジェクトにおける新型電池電力貯蔵システムパイロットプラント建設に移行する電池を見極めるための基礎

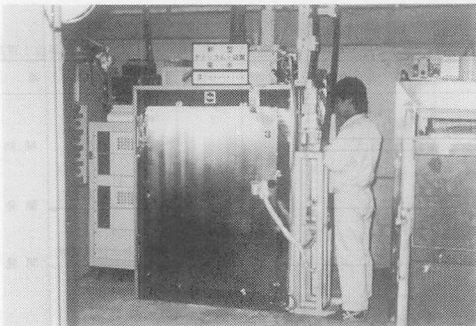
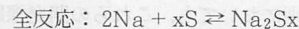
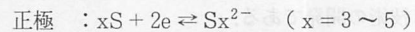
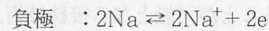
資料とする。このため、昭和61年10月より、大阪工業技術試験所においてこれら4種の評価用新型電池に対する性能評価試験を実施してきた。現在、産業技術審議会省エネルギー技術開発部会評価分科会において評価作業中であるが、昭和61年度中には報告書としてその結果が取りまとめられる運びとなっている。

以下、各新型電池についてその概要を紹介する。

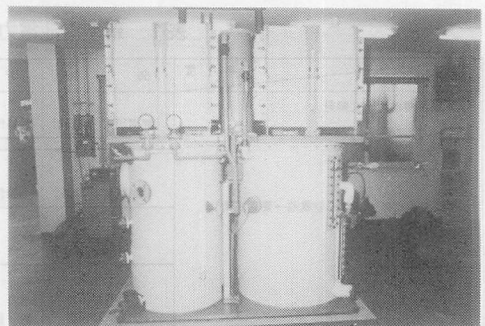
(1) ナトリウム-硫黄電池

ナトリウム-硫黄電池は、図-5に示すような円筒密閉型式の単電池を最小単位とし、その集合体として電池システムを構成しているが、作動温度が350°Cであるため、写1に示されているような保温構造体中に格納されている。負極は活物質である熔融ナトリウム金属と集電体のメタルウィック、正極は活物質である熔融硫黄と集電体のグラファイトフェルトより成り、ナトリウムイオン伝導体であるβ'-アルミナ固体電解質がセパレータとしての役目を同時に持ちながらこれらを区分している。また、電槽は対硫黄耐食性を有するクロム拡散鋼を用いている。

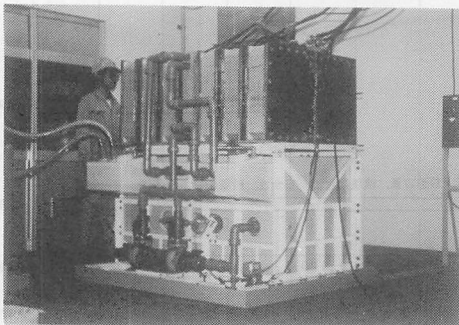
電池反応は以下のように表わされ、起電力は2.1Vである。



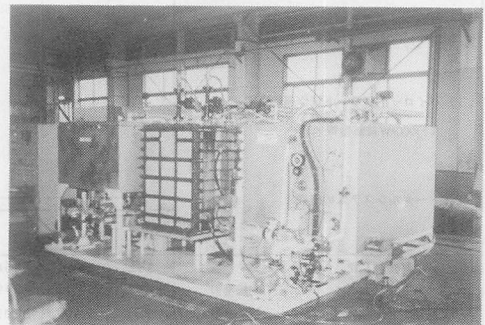
写1 10kW級ナトリウム-硫黄電池



写2 10kW級亜鉛-塩素電池



写3 10kW級亜鉛-臭素電池



写4 10kW級レドックス・フロー型電池

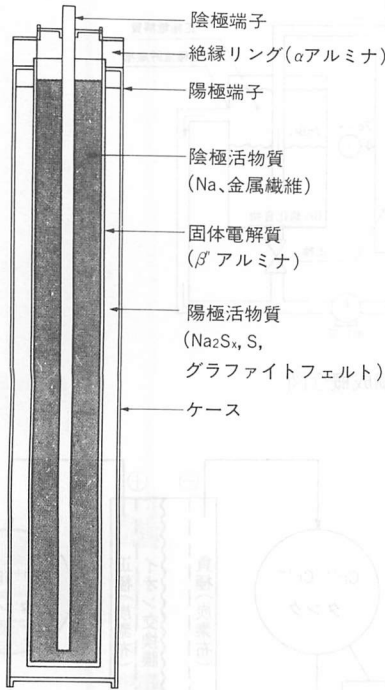


図-5 ナトリウム-硫黄電池の単電池構造

ここで、右向きの反応は放電に、左向きの反応は充電に対応している(以下同じ)。この単電池を計 280 本用いて、開路電圧 58.0 V、8 時間放電基準で 12.5 kW の電池を構成しているが、エネルギー効率が特に高い、コンパクトである、負荷応答特性に優れている等の特徴を有している、また、この電池は電力貯蔵用に限らず、諸外国においては電気自動車用としての開発も盛んに進められている。

(2) 亜鉛-塩素電池

亜鉛-塩素電池は図-6 に示されるような電解液循環スタック型式をとり、大きくわけて、電極スタック部、電解液タンク、塩素貯蔵槽、液循環部より成る。この電池はセパレータを用いず液式の構造を採用しており、コンポジットグラッシーカーボンを用いたバイポーラ板片面の亜鉛極、スペーサ、多孔質グラファイトを用いた塩素極、集電体、バイポーラ板のもう一方の片面で 1 組の電池を構成しているが、この繰り返しで電池を積層しスタックを形成している。電解液は塩化亜鉛水溶液であり、導電率向上剤、無機系のデンドライト抑制剤等を添加している。

この電池は塩素貯蔵を除き常温作動型であるが、電池反応は以下のように表わされ、その超電力は 2.1 V である。

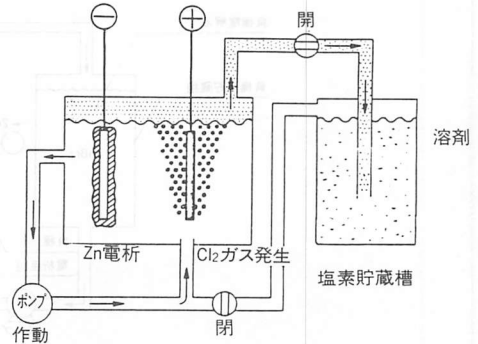
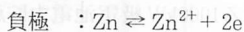
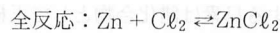
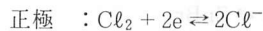


図-6 亜鉛-塩素電池の基本構成概念図



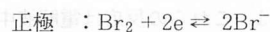
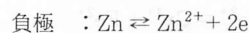
ここで、充電時発生する塩素は気液分離器を経て冷却により有機系溶剤に吸収させ貯蔵し、逆に放電時は加熱により溶剤から塩素を放出させ、これを電解液に溶かし込む。また亜鉛は充電時バイポーラ板上に析出し放電時は電解液中に溶解する。現在のところ、亜鉛の溶解析出に伴うデンドライト発生を防止するため充電前に完全放電操作を行っているが、この完全放電操作の頻度を低減あるいは解消していくことが課題のひとつとなっている。

写 2 に示している 11.8 kW (8 時間放電基準) の電池は、2800cm³ の電極で 24 直列 × 4 並列の積層構造を有しており、その開回路電圧は 50.9 V である。この電池には、大規模化に適している、充放電電圧が平坦、起動停止時間が短い、隔膜が不要、等の特徴がある。

(3) 亜鉛-臭素電池

亜鉛-臭素電池も液循環スタック型式をとり、図-7 に示されるように、電極スタック部、ふたつの電解液タンク、液循環部より成る。電極部は、プラスチックカーボンを用いたバイポーラ板片面の亜鉛極、スペーサ、多孔質ポリエチレンセパレータ、スペーサ、臭素極であるカーボンクロスを貼り付けたバイポーラ板のもう一方の片面で 1 組の電池を構成し、この繰り返し積層により直列結合の電極スタックを構成するものである。電解液は臭化亜鉛水溶液であり、導電率向上剤、有機・無機複合デンドライト抑制剤、さらに正極液には臭素を錯化合物として電解液中に安定に溶解させるための錯化剤を添加している。

この電池は全くの常温作動型であるが、電池反応は以下のように表わされ、その起電力は 1.8 V である。



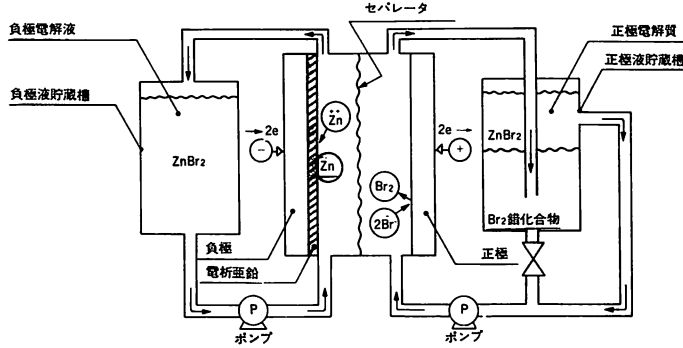
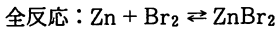


図-7 亜鉛-臭素電池の基本構成概念図



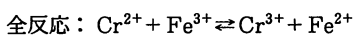
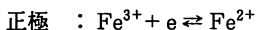
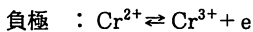
ここで、充電時発生する臭素は錯化合物として正極液中に安定に貯蔵され(電解液中で相分離する)、また、亜鉛は充電時パイポラ板上に析出し、放電に伴ない電解液中に溶解する。この電池も現在のところデンドライト発生防止のための完全放電操作を行っており、このことは前述の亜鉛-臭素電池同様に解決すべき課題のひとつとなっている。

写3に示した電池は、8時間放電基準で10.0kW、開回路電圧43.8Vであるが、これは電極面積1600cm²の電極を24直列×12並列で計288枚用いて構成したものである。この電池には、起動停止時間が短い、コストが低い、貯蔵・取り扱いが容易、メンテナンスフリー化が容易、等の特徴がある。

(4) レドックス・フロー型電池

レドックス・フロー型電池も液循環スタック型式をとり、図-8に示されるように電極スタック部、ふたつの電解液タンク、液循環部、そしてこの電池に特有なリバランスシステム、電解液濃度モニター部よりなる。電極スタック部は、グラシーカーボンを用いたパイポラ電極の片面にカーボンフェルトを貼り付けたクロム極、陽イオン交換膜、パイポラ電極のもう一方の面に同じくカーボンフェルトを貼り付けた鉄極で1組の電池を構成し、この繰り返しの積層により直列結合の電極スタックを構成する。電解液は負極が塩化クロム水溶液、正極が塩化鉄水溶液であり、このいずれも塩酸及び臭素酸との混合水溶液になっている。

この電池は40℃に制御され作動するが、電池反応は以下のように表わされ、その起電力は1.0Vである。



ここで特徴的なことは、これらの反応は電解液中にお

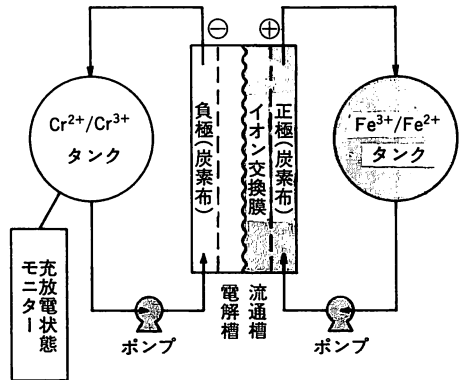


図-8 レドックス・フロー型電池の基本構成概念図

けるイオンの価数の変化のみを伴うものであり、電極自体は全く変化しないということである。これに基づき、この電池は、不規則充放電が可能である、長寿命・耐久性に優れる、容量可変であり大規模化も容易である、等の長所を有している。しかしながら一方で、この電池は充電末期に負極で発生する水素生成の副反応に起因する正負両極液間での充電状態の不均一を補正するためのリバランスシステムを必要としている。

写4に示した8時間放電基準で10.4kW、開回路電圧62.0Vの電池は、電極面積6000cm²の電極を30直列×2直列で、計60枚用いている。

以上、鉛電池とともにこれら4種の電池の原理、特徴をまとめて表2に示す。

3.2 システム技術の研究開発

商用電力系統と電力貯蔵用新型電池とを適正に連結する交流-直流系統の接続技術、運転制御技術、保護技術等のシステム技術を確認することを目的として、すでに普及実用化されている鉛蓄電池の改良型を用いた自動式インバータによる1000kW級電池電力貯蔵シ

表2 4種の新型電池及び鉛電池の構成と特徴

| | ナトリウム-硫黄電池 | 亜鉛-塩素電池 | 亜鉛-臭素電池 | レドックス・フロー型電池 | 鉛電池 |
|-----------|--|--|---|--|--|
| 電極活物質 | ナトリウム(液) 硫黄(液) | 亜鉛(固) 塩素(溶) | 亜鉛(固) 臭素(溶) | クロム二価イオン(溶) 鉄三価イオン(溶) | 鉛(固) 二酸化鉛(固) |
| 電池反応 | β -アルミナ(固) | 塩化亜鉛(水溶液) | 臭化亜鉛(水溶液) | 塩酸, 臭素酸(水溶液) | 硫酸(水溶液) |
| 負極 | $2Na=2Na^++2e$ | $Zn=Zn^{2+}+2e$ | $Zn=Zn^{2+}+2e$ | $Cr^{2+}=Cr^{3+}+e$ | $Pb+SO_4^{2-}=PbSO_4$ |
| 正極 | $xS+2e=xS^{2-}$ | $Cl_2+2e=2Cl^-$ | $Br_2+2e=2Br^-$ | $Fe^{3+}+e=Fe^{2+}$ | $PbO_2+4H^++SO_4^{2-}$ $=PbSO_4+2H_2O$ |
| 全反応 | $2Na+xS=Na_2S_x$ | $Zn+Cl_2=ZnCl_2$ | $Zn+Br_2=ZnBr_2$ | $Cr^{2+}+Fe^{3+}$ $=Cr^{3+}+Fe^{2+}$ | $Pb+PbO_2+2H_2SO_4$ $=2PbSO_4+2H_2O$ |
| 開回路電圧 (V) | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 1.0 | 2.1 |
| 作動温度 (°C) | 350 | 30 | 30 | 40 | 常温 |
| 構造 | 円筒密閉型式 | 液循環スタック型式 | 液循環スタック型式 | 液循環スタック型式 | 箱型密閉型式 |
| 主な補機 | ヒータ | 液・ガスポンプ 冷却器 | 液ポンプ | 液ポンプ リバランシングシステム | ガスポンプ(改良型) |
| 特徴 | コンパクトである 負荷応答特性に優れる エネルギー効率が高い 運転操作が容易である | 大規模化に適している 充放電電圧が平坦 起動停止時間が短い 一液式で隔膜が不要 | メンテナンスフリー 一化が容易 貯蔵・取り扱いが容易 コストが低い 起動停止時間が短い | 大規模化が容易である 不規則充放電が可能 長寿命耐久性に優れる 安全上特に問題無し | 開発に100年の歴史 信頼性が高い コストが高い 負荷応答特性に優れる |

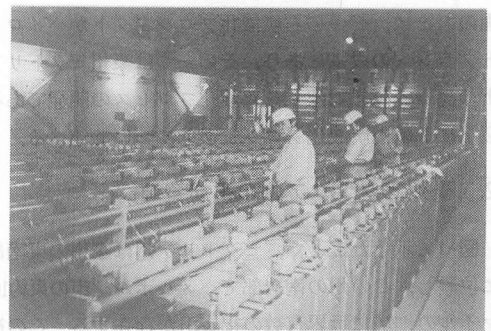
システムを関西電力異変電所内に建設し、昭和61年10月よりシステム試験を開始した。用いた鉛電池はクラッド式、2V、7500Ahのものであり、これを526個直列結合し、1052V、4時間放電基準で1000kWの貯蔵システムを構成した。写5にシステムにおける貯蔵用電池群を示す。

このシステムを用いて、基本特性、限界性能特性等の基本性能、無効電力制御を含む各種負荷パターン下での定常運転特性、出力急変試験、フリッカ負荷対応、AFC(自動周波数調整)運転等の動特性、高調波特性、保護特性、環境適合性等の電池電力貯蔵システムの諸制御特性を明らかにし、次項に述べる新型電池電力貯蔵システムパイロットプラント試作運転研究のための基礎データを得る。

3.3 パイロットプラント試作運転研究

新型電池の研究開発で行ってきた10kW級新型電池の研究開発成果を踏まえ、昭和62年度より1000kW級電池システムにおいて基本単位となる60kW級モジュール電池に対し、モジュール構成の最適化、信頼性・安全性の向上、コストダウン、モジュール連系作動特性等の大型化技術の研究を行い、パイロットプラント建設に必要なモジュール技術を確立する。

さらに、この大型化技術の研究及び第2次中間評価結果に基づいて適当と認められる新型電池については、昭和63年度下期より1000kW級パイロットプラントを都市内あるいは都市近郊の変電所内に建設し、その製作及び運転研究を通して実用化へ向けての課題を明らかにし、その見通しを得る計画である。



写5 1000kW級システム試験用電池電力貯蔵システムにおける改良型鉛電池群

3.4 トータルシステムの研究開発

以上の研究開発を支援するため、電力負荷の形態と電力貯蔵システムの所要性能、最適容量、最適配置、またその経済性等についての総合的な研究を行っている。

4. おわりに

本プロジェクト開始以来すでに7年が経過した。この間貯蔵用電池に対する技術は飛躍的な発展をとげ、我国はすでに米国を抜いて世界最高水準にあるといっても過言ではない。プロジェクトは基礎的、要素的技術の確立を終え、昭和62年度より、パイロットプラント試作運転研究へと移行し、大きな節目を迎えている。今後共、このプロジェクトを強力に推進することにより、新しい電力貯蔵というひとつの大きな革新的技術を実現することは我々の責務である。