

# 電力貯蔵用電池の開発の現状

Current Status of the Development of Batteries for Utility Load-Leveling

高橋 祥夫\*

Sachio Takahashi

## 1. はじめに

電力は貯蔵が困難なため、需給の同時性が特徴とされてきた。そのため年間のピーク負荷に見合う発電設備が必要となるが、近年、図-1に示すように負荷率（平均電力と最大電力の比）が低下し続けており、今後もこの傾向が続くものと予想されている。一方、電源構成は従来の石油火力を中心としたものから、原子力を主力としたものに移行しつつある。このことは、経済性と高効率維持の両面から一定の出力を保っての発電が必要とされる設備が増えてきたことを意味する。このようなことから、電力貯蔵設備を電力システムに導入することによって、発電設備の効率的使用ならびに全発電システムの運用効率の向上を図ることが要請されるようになってきた。

工業技術院ではこのようなニーズに応じて、昭和55年度から『新型電池電力貯蔵システム』プロジェクトを実施している。この研究開発の内容については本誌の今年の第2号に大高英司、岡崎 進両氏により詳しく紹介されている<sup>1)</sup>ので、ご参照頂きたい。

このプロジェクトにおいて、昭和61年度は図-2にスケジュールを示すように、10kW級新型電池の開発が終了し、1000kW級パイロットプラントの試作運転研究へと開発ステージが移行する時期に当たる\*<sup>1</sup>。そのため、プロジェクト全体について第2次中間評価が行われることになった\*<sup>2</sup>。この中で最も重要な新型電池の研究開発に関しては、並行して開発が進められてき

脚注\*<sup>1</sup>: 上記解説<sup>1)</sup>の原稿が作成されて以降に、当初65年度までの予定であったプロジェクトの開発期間が1年間延長されることに決まった。

\*<sup>2</sup>: 昭和58年度には1kW級から10kW級への新型電池開発が移行する時期であったため、第1次中間評価が行われた<sup>2)</sup>。

\* 工業技術院大阪工業技術試験所無機機能材料部電池研究室長  
〒563 池田市緑丘1-8-31

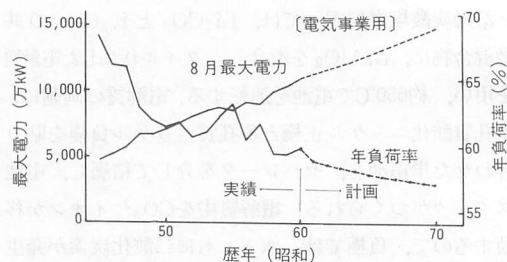


図-1 我国の電気事業における年負荷率と最大電力の推移

たナトリウム-硫黄、亜鉛-塩素、亜鉛-臭素及びレドックス・フロー型の4方式の電池について評価試験を行い、得られた技術的データに基づき、スケールアップや開発目標達成の可能性を評価することが必要となった。このような背景のもとで、各10kW級新型電池の評価試験が、61年10月から12月にかけて大阪工業技術試験所で実施された（寿命試験は現在も電池開発先で継続中）。

本稿では上記解説<sup>1)</sup>との記述内容の重複をできるだけ避けて、この評価試験結果を中心に本プロジェクトの進捗状況を述べ、また海外での開発状況についても紹介する。

## 2. 新型電池の第2次中間評価試験結果

第2次評価試験に供された4種の新型電池の概略仕様を表1に、外観を写1～写4に示し、また使用した評価試験システムを写5に示した。

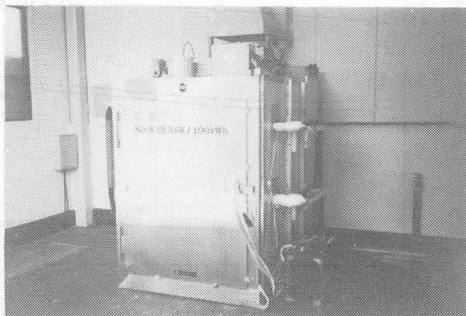
第2次中間評価試験の結果をプロジェクトの最終開発目標性能と対比して表2に示した。また、表3には、エネルギー効率の定義と算出法を示した。さらに、電池効率、総合エネルギー効率、体積当たりエネルギー密度及び重量当たりエネルギー密度と負荷率との関係を図-3～6に示した。これらにみられるように試験結果は各電池とも概ね良好であり、現在までの開発が順調に推移していることを示している。これらの試験結果、経済性及び1000kWパイロットプラントの概念設

| 研究項目   | 年度   | 一般会計  |          |                                 |           |           |                   |                  |        |    |    |    | 備考  |     |      |
|--|------|---|----------|---------------------------------|-----------|-----------|-------------------|------------------|--------|----|----|----|-----|-----|------|
|  |      | 55  | 56       | 57                              | 58        | 59        | 60                | 61               | 62     | 63 | 64 | 65 |     | 66  |      |
| 1) 新型電池の研究開発<br>(Na-S, Zn-Cl <sub>2</sub> , Zn-Br <sub>2</sub> ,<br>レドックス・フロー型の4種の電池)<br>(レドックス・フロー型電池→要素技術)<br>(電池性能評価) | 要素研究 | 設計  | 製作(1kW級) |                                 | 設計・試作     | 製作(10kW級) |                   |                  |        |    |    |    |     |     | 補助金  |
|  | 要素研究 | 設計  | 製作(1kW級) | 第<br>一<br>次<br>中<br>間<br>評<br>価 | 要素技術の研究   |           |                   | 信頼性向上のための支援研究    |        |    |    |    |     | 開発費 |      |
|  |      | 評価試験方法の研究                                   |          |                                 | 評価試験方法の研究 |           |                   | 性能評価技術の研究・寿命評価試験 |        |    |    |    |     | 開発費 |      |
|  |      |   |          |                                 |           |           |                   |                  |        |    |    |    |     |     |      |
| 2) システム技術の研究開発<br>システム解析, システム試験施設・装置<br>サンプル蓄電池   |      | システム解析                                      | 設計       | 試験方法の確立                         | 試験施設建設    | システム試験    |                   |                  |        |    |    |    |     |     | 補助金  |
| 3) パイロットプラント試作運転研究<br>(1,000kW級新型電池)   |      |   |          |                                 |           |           | 大型化技術の研究 製作 運転 研究 |                  |        |    |    |    | 補助金 |     |      |
| 4) トータルシステムの研究   |      | 負荷形態の解析, 最適容量, 環境適合性, 安全性, 所要面積, 経費性, 運転管理等 |          |                                 |           |           |                   |                  |        |    |    |    | 補助金 |     |      |
| 所要資金   |      | 352   | 646      | 858                             | 1103      | 1290      | 2201              | 3170             | 2204   |    |    |    |     |     | 総額   |
| 一般会計   |      | {51}  | {242}    | {249}                           | {383}     | {119}     | {151}             | {146}            | {77}   |    |    |    |     |     | 約170 |
| 特別会計   |      | {301}                                       | {404}    | {609}                           | {720}     | {1171}    | {2050}            | {3024}           | {2128} |    |    |    |     |     | 億円   |

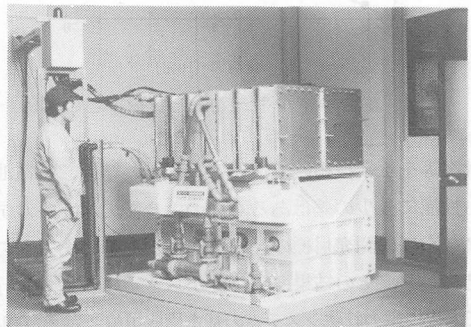
図-2 「新型電池電力貯蔵システム」プロジェクトのスケジュール

表1 第2次中間評価試験用電池の構成諸元

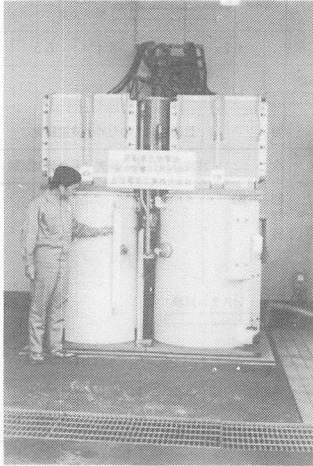
| 電池名        | ナトリウム-硫黄  | 亜鉛-塩素  | 亜鉛-臭素  | レドックス・フロー型   |
|------------|---|--|--|--|
| 電池構成       | (7直×10並)×4直<br>= 280  | (24直×2並)×2並<br>= 96  | (24直×3並)×4並<br>= 288   | (30直)×2直<br>= 60   |
| ユニットセル     | 495cm <sup>3</sup> *, 50.5mA/cm <sup>2</sup><br>1.8V, 200Ah/8HR | 2800cm <sup>3</sup> , 22.0mA/cm <sup>2</sup><br>1.95V, 495Ah/8HR | 1600cm <sup>3</sup> , 13.0mA/cm <sup>2</sup><br>1.67V, 166Ah/8HR | 6000cm <sup>3</sup> , 30.8mA/cm <sup>2</sup><br>0.9V, 1480Ah/8HR |
| 開路電圧       | 58.0V   | 50.9V  | 43.8V  | 62.0V  |
| 最高充電電圧     | 67.2V   | 60.0V  | 50.0V  | 73.0V  |
| 充電電力       | 15.0kW  | 14.9kW   | 12.7kW   | 12.8kW   |
| 放電電力(8時間率) | 12.5kW  | 11.6kW   | 10.0kW   | 10.0kW   |
| 放電電力(6時間率) | 16.0kW  | 14.5kW   | 13.0kW   | 12.8kW   |
| 放電電力(4時間率) | 22.5kW  | 20.0kW   | 19.0kW   | 17.4kW   |
| 備考         | * 45φ×400L mm<br>(有効45φ×350L mm)                                |  |  |  |



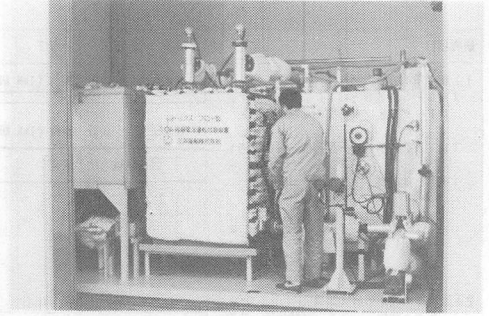
写1 10kW級ナトリウム-硫黄電池



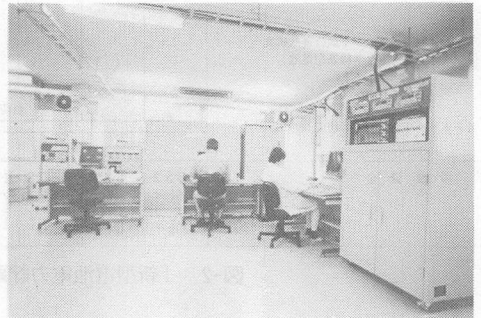
写2 10kW級亜鉛-臭素電池



写3 10kW級亜鉛-塩素電池



写4 10kW級レドックス・フロー型電池



写5 10kW級新型電池評価試験システム

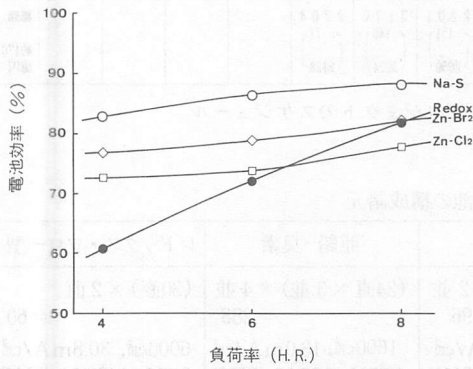


図-3 電池効率と負荷率との関係

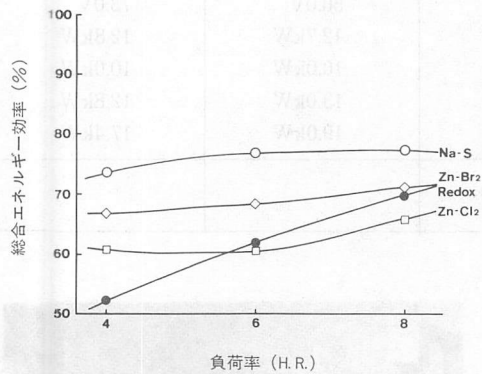


図-4 総合エネルギー効率と負荷率との関係

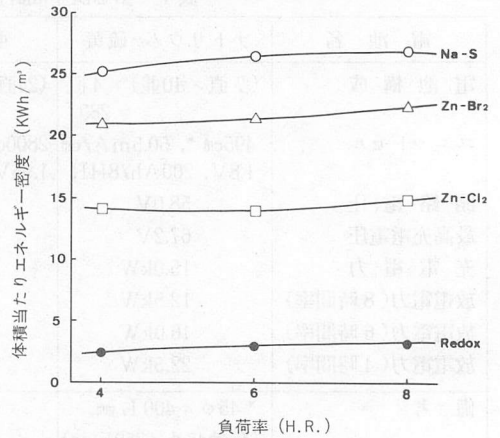


図-5 体積当たりエネルギー密度と負荷率との関係

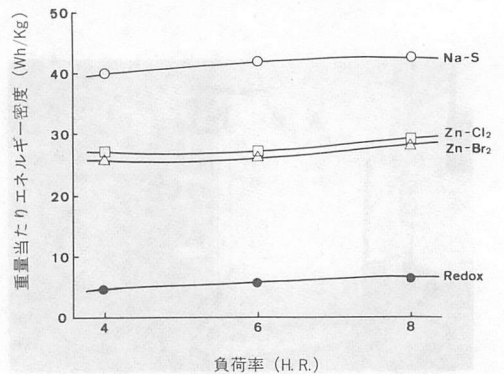


図-6 重量当たりエネルギー密度と負荷率との関係

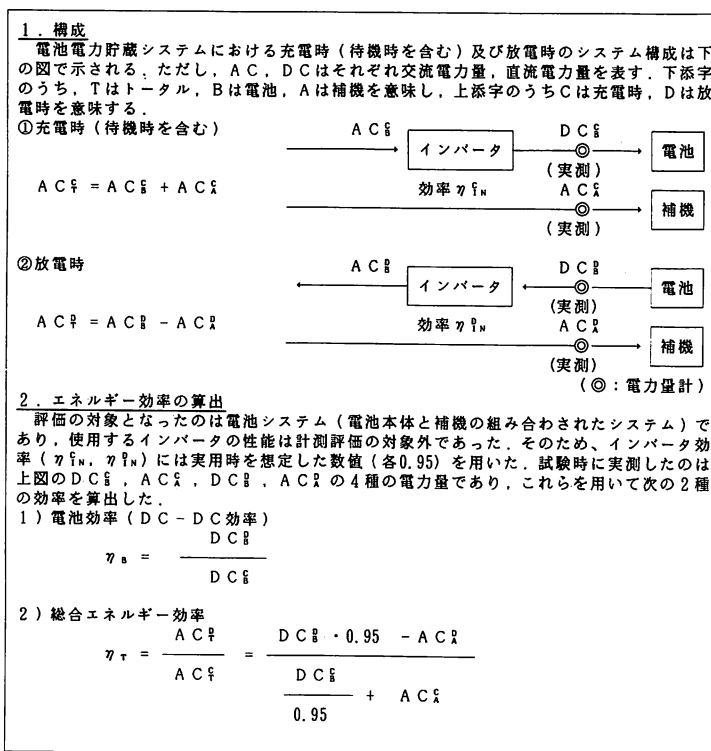
計案等を工業技術院で慎重に評価した結果、各電池とも性能に多少の差はあるものの、今後のスケールアップならびに開発目標の達成可能性が充分にあるものと結論した。その結果、62年度からさらに4方式並行して大規模電力貯蔵システムの基本構成単位となる60kW級モジュール電池の開発に進むことになった。開発が

表2 「新型電池電力貯蔵システム」プロジェクトの主な最終目標性能と第2次中間評価試験結果との対比表

| 評価項目        | 最終目標性能  | 第2次中間評価試験結果   |   |   |  | 評価結果要約   |
|-------------|---|---|---|---|--|--|
|             |   | ナトリウム-硫黄電池  | 亜鉛-塩素電池   | 亜鉛-臭素電池   | レドカガ型電池  |  |
| 1. 容量       |   |   |   |   |  |  |
| 基準充放電時間     | 各8時間  | 充電8時間<br>放電8時間  | 充電8時間<br>放電8時間  | 充電8時間<br>放電8時間  | 充電8時間<br>放電8時間   | 各電池とも8時間の充電、8時間の放電が可能。   |
| 2. エネルギー効率  | 70%以上<br>80%以上<br>80%以上   | 77.1%<br>100.0%<br>88.0%  | 65.7%<br>86.5%<br>90.2%   | 71.1%<br>93.0%<br>88.6%   | 充電69.4%<br>放電95.9%<br>85.2%  | 充電において70%を下回った2種の電池もその後の社内試験の結果、亜鉛-塩素71.8%、レドカガ型70.2%と目標性能を超えた。            |
| 3. エネルギー密度* | 設置面積当たり (Wh/m <sup>2</sup> )<br>体積当たり (Wh/m <sup>3</sup> )<br>重量当たり (Wh/kg) | 52.4<br>26.8<br>42.6  | 33.6<br>14.9<br>29.1  | 37.5<br>22.4<br>28.0  | 5.0<br>3.3<br>6.3  | 各電池とも設置可能。ただし、レドカガ型については電解液槽の地下設置などの工夫が必要。                                 |
| 4. 寿命特性     | 充放電サイクル数  | 75サイクルにおいて<br>η <sub>T</sub> = 77.5%<br>(62年3月31日現在<br>133サイクル継続中)<br>95.6サイクル(継続中) | 75サイクルにおいて<br>η <sub>T</sub> = 65.8%<br>(62年3月31日現在<br>140サイクル継続中)<br>671サイクル | 75サイクルにおいて<br>η <sub>T</sub> = 68.8%<br>(62年3月31日現在<br>138サイクル継続中)<br>540サイクル | 75サイクルにおいて<br>η <sub>T</sub> = 66.5%<br>(62年3月31日現在<br>115サイクル継続中)<br>788サイクル(継続中) | 十分な試験期間がなかったため75サイクルの時点での評価となったが、各電池とも劣化は認められなかった。1kWh級電池についてはそれぞれ目標値を超えた。 |
| 5. 自己放電率    | 放電容量減少率   | 0.0%  | 4.5%  | 7.4%  | 5.4%   | 亜鉛-臭素及びレドカガ型については低減努力が必要。  |
| 6. 起動・停止時間  | 起動時間<br>停止時間  | 1秒以内<br>1秒以内  | 2分以内<br>1秒以内  | 1秒以内<br>1秒以内  | 1秒以内<br>1秒以内   | 各電池とも十分な速度で負荷に対応可能。  |
| 7. 負荷応答性**  | 暖機状態で<br>10%/秒以上  | 暖機状態で<br>10%/1.2ms<br>以上  | 暖機状態で<br>10%/0.9ms<br>以上  | 暖機状態で<br>10%/0.9ms<br>以上  | 暖機状態で<br>10%/1.1ms<br>以上   | 各電池とも十分な速度で負荷に対応可能。  |
| 8. 絶縁性      | 直流絶縁耐力  | DC3000V, 1分間の印加に耐えること   | DC3000V, 1分間の印加に耐えること   | DC3000V, 1分間の印加に耐えた。(補機電源用配線及び各種センサ用ケーブルを取り外した状態で試験)                          | DC3000V, 1分間の印加に耐えた。(補機電源用配線及び各種センサ用ケーブルを取り外した状態で試験)                               | 各電池とも絶縁性については向上努力が必要である。   |
| 9. 負荷率      | 6時間率<br>4時間率  | 対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 76.8%)<br>対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 73.6%)                | 対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 60.5%)<br>対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 60.6%)          | 対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 68.3%)<br>対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 66.5%)          | 対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 61.6%)<br>対応可能<br>(η <sub>T</sub> = 52.3%)               | 各電池とも4及び6時間率の放電には十分対応可能  |
| 10. 待機エネルギー | 暖待機時<br>冷待機時  | 19.4%<br>0.0%   | 0.7%<br>0.0%  | 0.0%<br>0.0%  | 25.1%<br>0.0%  | ナトリウム-硫黄及びレドカガ型との両電池は加熱のためのエネルギーの低減が必要                                     |

注 \*1: 基準となる容量 = 放電容量 - 放電時の補機動力量  
\*2: 2台の試験電池のうち、良い方のデータ  
\*3: 出力が定格の10%から90%に到達する時間の8分の1の値 (放電時の充放電試験装置の応答時間を含む値)

表3 エネルギー効率の定義及び算出法



順調に進めば、これらの中から2種の電池を選んで63年度後半からいよいよ1000kW級のパイロットプラントの試作を開始し、65年度から2年間にわたって、運転研究を実施することになる予定である。

3. システム試験

本プロジェクトの中で、電池を電力貯蔵用に使用する場合の運転制御特性の検証や保守管理手法の確立を目的として、システム技術の研究開発が実施されている。そのためのシステム試験施設が関西電力㈱の巽変電所内に設置され、61年10月から1000kW（4000kWh）の鉛蓄電池を用いて交流系統との連系試験が行われている。ここで使用された改良型鉛蓄電池の仕様と予定されているシステム試験の内容を表4及び表5に示した。現在までにすでに基本性能、定常運転特性、高調波特性などのデータが順調に出つつある。これらは65年度から予定されている新型電池のパイロットプラントの試作運転研究を円滑に実施する上で大いに役立つことが期待される。

4. 海外における開発状況

電力貯蔵用を目指して海外で開発されている主な新

表4 工業技術院のシステム試験用改良型鉛蓄電池の仕様

|     |                |         |
|-----|----------------|---------|
| 単電池 | 公称電圧 (V)       | 2       |
|     | 公称容量 (Ah/10HR) | 7500    |
|     | 大きさ (mm)       | 高さ 1150 |
|     |                | 幅 505   |
|     |                | 奥行 375  |
|     | 重量 (kg)        | 560     |
|     | エネルギー効率 (%)    | 87      |
| 組電池 | 寿命 (サイクル)      | 1500以上  |
|     | エネルギー密度 (Wh/l) | 68      |
|     | 公称電圧 (V)       | 1052    |
|     | 公称容量 (MWh)     | 4.2     |
|     | 定格直流出力 (MW)    | 1.05    |
| 池   | 構成単電池数 (直列)    | 526     |
|     | 設置スペース (m)     | 高さ 5    |
|     |                | 幅 12    |
|     |                | 奥行 21   |

型電池には、ナトリウム-硫黄、亜鉛-塩素、亜鉛-臭素及びレドックス・フロー型などがある。これらの開発状況及び開発機関を電気自動車用も含めて表6にまとめて示した。開発された電池の規模としては、Energy Development Associates社で製作され、1984年にBEST (Battery Energy Storage Test) 施設で試験された500kWhの亜鉛-塩素電池が最大であり、Beta Power社 (Ford社とCeramatec社との合弁会社) の100kWhのナトリウム-硫黄電池(675サ

表5 システム試験の内容 (関西電力㈱作成資料より抜粋)

| 試験項目      | 評価項目           | 評価基準              |
|-----------|----------------|-------------------|
| 耐久性 (寿命)  | サイクル           | 1500サイクル相当 (加速試験) |
| システム効率    | エネルギー効率        | 70% (電池の補機動力を含む)  |
| 運転特性の安定性  | 制御精度           | 実運用上の基準           |
| 応答特性      | 応答時間           | 実運用上の基準           |
| 故障率       | 故障頻度           | MTBF (システム停止)     |
| 保護システム機能  | 正動作率           | 実運用上の基準           |
| 系統への影響度合  | 高調波電圧歪率        | 許容値 (総合5%)        |
| 復旧作業の容易性  | 復旧時間           | 実運用上の基準           |
| 運転の容易性    | 操作所要時間         | 実運用上の基準           |
| 安全性       | 正動作率           | 実運用上の基準 (耐震性を含む)  |
| 建設費       | kWh, kW当たりのコスト | 設計目標              |
| 運転保守費     | kWh, kW当たりのコスト | 設計目標              |
| スペース性     | kWh, kW当たりの面積  | 設計目標              |
| 環境適合性     | 環境, 保安規則対象の測定値 | 環境規制値, 保安規定 (法令値) |
| 新增設工事の容易性 | 工事所要日数         | 実運用上の基準           |

表6 海外の新型電池技術開発動向 (1987年3月現在)

| 国 | 電池種        | 開発主体                            | 用途                           | 技術の現状   |
|---|------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| 米 | ナトリウム-硫黄   | Beta Power (Ford + Ceramatic)   | ロードレベリング<br>電気自動車            | ・セル特性 (容量150Ah, 250Wh, 効率75%, 5時間放電, 7時間充電), 100kWh電池で675サイクルの寿命試験実施<br>・セル特性 (容量32.5Ah, 66Wh, 効率85%, 3時間充放電) |
|   |            | Wright Patterson Air Force Base | 人工衛星                         | ・セル容量38Ah, 5~22時間充電, 0.75~1.2時間放電で700サイクルの寿命試験実施  |
|   |            | Dow Chemical                    | 電気自動車                        | ・固体電解質としてβ-アルミナの代わりにガラスを使用した電池の基礎研究   |
| 国 | 亜鉛-塩素      | Energy Development Associates   | ロードレベリング                     | ・500kWh電池をBEST施設で試験 (800サイクルの平均効率59%)<br>・2MW/6MWh (Flex Power) を設計 (目標効率60%), 25MWhの概念設計                     |
|   |            | Exxon Research and Engineering  | 電気自動車                        | ・30kWh電池をフォード車で試験 (効率50~60%), 目標エネルギー密度60Wh/kg, Johnson Control に開発主体を移転                                      |
|   |            |                                 | ロードレベリング                     | ・80kWh電池の設計   |
|   |            | Energy Research Corp.           | ロードレベリング                     | ・25セル (1kW) 電池は192サイクルでストップ, 5セル (200W) 電池は100サイクルを越え効率64%と安定, 25MWhの設計完了                                     |
| 独 | βドックス型     | NASA Lewis Research Center      | ロードレベリング<br>間欠電源             | ・5セルスタックで電流密度80mA/cm <sup>2</sup> , 温度65℃の電池について基礎研究を行った。   |
|   |            | Chloride Silent Power           | 電気自動車                        | ・小型セル (容量12Ah, エネルギー密度240W/kg) を組み合わせて5kWhの電池を開発  |
| 英 | Beta R & D |                                 | ロードレベリング                     | ・小型セルを造った10MWhの電池の概念設計  |
|   |            | 電気自動車                           | ・サイズ160mmのセルの開発試験, 電池容量25kWh |   |
| 西 | ナトリウム-硫黄   | Brown Boveri & Cie              | 電気自動車                        | ・40Ahセル 224個を用いた14kWhの電池モジュール2組を用いた実走行テストを実施 (8時間充電, 効率50~60%, エネルギー密度50Wh/kg)                                |
|   |            | ロードレベリング                        |                              |   |
| 独 | βドックス型     | Siemens                         | 太陽光発電                        | ・60W (6セル) 電池の効率65% (70~77%まで向上を見込んでいる). 500W/2kWh電池を開発予定   |

サイクルの寿命試験実施) やGEL社で製作されDuke Power社で試験された 80kWhの亜鉛-臭素電池 (約200サイクルの寿命試験実施) がそれに次ぐ。その他の電池はまだ開発が小規模の段階に止まっている。

一方、鉛蓄電池を使用した研究用ないしは実用電力貯蔵設備に関しては、次のような状況にある。米国では 500kWhの鉛蓄電池が1986年からBEST施設で試験されている。またEPRI (電力研究所) のプロ

表7 鉛蓄電池を用いた電力貯蔵プラント

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1. 工業技術院の鉛蓄電池を用いたシステム試験用1MW(4MWh)電力貯蔵プラント                            |                                |
| ◎交流出力・・・・・・1MW,  | ◎出力電圧・・AC6600V, DC1052V        |
| ◎出力電流・・・・・・DC1000A,  | ◎8時間率容量・・・・・・4MWh              |
| ◎電池の推定寿命・3000サイクル  |                                |
| 2. 西ベルリンの鉛蓄電池を用いた17MW(14.4MWh)の電力貯蔵プラント                              |                                |
| 西ベルリンの電力系統は孤立しており、電源脱落時の瞬動予備力や周波数制御用電源設備の必要性が高い。そのため、下記のような設備が設置された。 |                                |
| ◎周波数調整容量・・・・8.5MW,   | ◎スピニングリザーブ容量・・・・17MW           |
| ◎電池電圧・・・・・・120V,   | ◎5時間率容量・・・・・・14.4MWh           |
| ◎工事期間・1985.1~1987.1,   | ◎総工事費・・・・・・2200万マルク<br>(約18億円) |
| 3. 米国の南カリフォルニアエジソン社の10MW(50MWh)電力貯蔵プラント                              |                                |
| EPRI(電力研究所)のプロジェクトとして、鉛蓄電池を用いた電力貯蔵プラントが1987年12月の実系統連系を目指して建設されている。   |                                |
| ◎交流出力・・・・・・10MW,   | ◎出力電圧・・・・・・AC13.8kV            |
| ◎電池容量・・・・・・52.6MWh,  | ◎電池の目標寿命・・・・・・2000サイクル         |

プロジェクトの一つとして、現在南カリフォルニアエジソン電力会社の変電所構内に10MW(50MWh)の電力貯蔵設備が建設されており、1987年12月から実系統連系試験が開始される予定になっている。また西ベルリン電力会社では17MW(14.4MWh)の電力貯蔵設備を建設した。これは西ベルリンの電力系統が孤立した状態にあるため、電源脱落時の瞬動予備力及び周波数制御用として実用を目指したものであり、現在試運転が行われている模様である。これら鉛蓄電池を用いた電力貯蔵プラントの概略仕様を工業技術院のシステム試験用施設と対比して表7に示した。

## 5. おわりに

米国からかなり遅れて始まった我が国の電力貯蔵用を目指した新型電池の開発もすでに約7年を経過した。

米国では技術政策の変更による開発の停滞があったとはいえ、我国の電力貯蔵用新型電池の開発技術水準はすでに米国のそれを上回ったように見受けられる。

これら新型電池の開発が順調に進み、信頼性、安全性、環境適合性及び経済性が確立されれば、本来の電力貯蔵用として実用化されるだけでなく、電気自動車の動力源、無停電電源などへの適用も可能となろう。

## 参考文献

- 1) 大高英司, 岡崎 進; 新型電池電力貯蔵システム—開発の現状—, エネルギー・資源, 8巻, 2号(1987), 185~191.
- 2) 樋口俊一, 岡崎 進, 荻野 勲, 中村 治, 高田怡行, 高橋祥夫; 「新型電池電力貯蔵システムの研究開発」における第一次中間評価試験結果, 大阪工業技術試験所季報, 36巻, 2号(1985), 100~108.

