

繰返し充放電時における 鉛蓄電池の性能評価試験



小幡 信夫*



市倉 庸宏**

当社の踏切用鉛蓄電池は、2011年3月に東京電力(株)が実施した輪番停電のように短時間で充電・放電を繰り返す使い方を想定しておらず、必要な充電量を確保できるか、寿命への影響などの知見がなかった。そこで繰返し充放電時における踏切用鉛蓄電池の性能を試験により評価した。その結果、試験環境では実際の輪番停電サイクルにおいて約5.5ヶ月間継続使用可能であることを確認した。また、充電器が均等充電を行った場合は蓄電池の劣化が見られなかったことから、均等充電方式の有効性を再確認した。

また、放電状態で放置した場合の劣化度合いの知見を得るため、蓄電池を満充電状態から7日間放置する過放電試験を実施した結果、充電容量が試験前に対し約7%程度低下したものの継続使用が可能であることを確認した。

●キーワード：鉛蓄電池、輪番停電、踏切

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響による電力需給逼迫により、東京電力(株)による輪番停電が実施されたが、現行の踏切用鉛蓄電池は輪番停電のように短時間で充電・放電を繰り返す使い方を想定しておらず、必要な充電量を確保できるか、寿命への影響などの知見がなかった。そこで踏切用鉛蓄電池において、輪番停電のように充放電を繰り返す使い方をした場合の性能を評価した。具体的には、踏切負荷を模擬した試験設備を構築し、実際に輪番停電と同じ停電パターンにより充放電を繰返し実施する試験を行い、試験中の電流電圧などの推移を確認した。また、放電状態で放置した場合の劣化度合いの知見を得るため、過放電試験も実施した。なお本試験における蓄電池の使用法はメーカー保証外であり、異常時を想定したあくまで当社独自の試験という位置付けである。

2. 試験概要

2.1 事前試験

2.1.1 残存10HR容量試験(中古蓄電池のみ)

残存10HR容量試験とは電池に残っている電力量が10時間率の容量で何Ahかを確認する試験であり、使用されていた電池に残っている容量を把握するために実施した。試験条件は以下の通りである。なお本試験は中古蓄電池(実際に踏切保安設備用として使用していたもの)に対し実施し、新品は出荷時と同じ満充電状態であることが分かっているため実施していない。

放電電流：9.6A (PS-96の10時間率：96Ah/10h)

放電終止電圧：21.6V (1.8V/セル)

試験温度：25℃

回復充電：実容量×130%

2.1.2 固有10HR容量試験

固有10HR容量試験とは満充電状態の電池容量が10時間率の容量で何Ahかを確認する試験であり、電池固有の実力容量を把握するために実施した。試験条件は残存10HR容量試験と同じである。本試験は中古蓄電池のほか、新品についても実施した。

2.2 サイクル寿命試験

2.2.1 実施場所

試験計画当時は東京電力(株)による輪番停電が実施されていたことから、試験場所は輪番停電の影響のない(対象区域外又は独自電源系統)場所であることを最優先条件に検討した結果、電力の安定供給と試験スペース確保の両方が可能なJR東日本研究開発センター実験棟信号通信試験室とした。

また、試験場所が室内であり24時間連続して無人で試験を実施することから、試験設備の発熱量および試験室の換気量の計算を事前に行い安全性に問題がないことを確認した。

2.2.2 期間

2011年5月10日～2011年9月12日

当時予想されていた夏期輪番停電に備え、5月初旬に試験開始した。その後、夏期輪番停電は回避されたが試験を継続し試験期間4ヶ月(輪番停電5.5ヶ月分)を確保した。

2.2.3 条件

- (1) 対象蓄電池は、当社の踏切用蓄電池で最も多く使用されているPS形とした。
- (2) 充電方式は、踏切保安設備で充電器として使用している定電圧整流器の仕様にあわせ、均等充電(充電開始後8時間で浮動充電に移行)と浮動充電のみの二通りとした。

- (3) 蓄電池の経年は、新品のほか、3年使用品と5年使用品（いずれも実際に踏切用として使用していたもの）を準備した。
- (4) 試験条件は、(2)、(3)の組み合わせにより、
- ① 均等充電+新品蓄電池
 - ② 浮動充電+新品蓄電池
 - ③ 均等充電+3年使用蓄電池
 - ④ 浮動充電+5年使用蓄電池
- の4種類とした。
- (5) 停電サイクルは、2011年3月に東京電力(株)により実施された輪番停電と同じサイクル（7回/5日）とした。但し、実際の輪番停電は土日には実施されなかったが、土日も連続して実施されることを想定し実施しない日を設けずに試験を行った。停電サイクルを図1に示す。

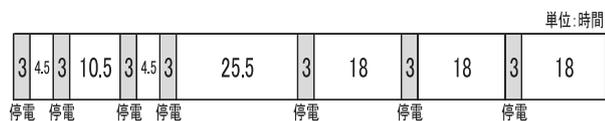


図1 停電サイクル

- (6) 試験室内の気温は、外気導入により可能な限り外気温に近づけた気温とした。一般に鉛蓄電池は温度による性能変化が大きく定格性能は25℃で定義されているため、一定温度で試験を実施したほうが考察しやすいメリットがあるが、本試験では屋外の器具箱内という実際の使用条件にできるだけ近づけた試験条件とした。
- (7) 試験終了条件は、蓄電池からの出力電圧DC21.6V（DC24.0Vの90%）未満とした。試験期間終了後、定電圧整流器からのDC出力をOFFとし蓄電池を定抵抗放電状態で33.5hr放置し試験終了とした。事後処理として、すべての試験条件において均等充電を24時間実施した後、浮動充電状態を維持し事後試験を実施した。

2.2.4 試験設備

- (1) 蓄電池は、PS-96×4個 4セットとした。使用した蓄電池の諸元を表1に示す。

表1 蓄電池諸元

| | 条件① | 条件② | 条件③ | 条件④ | |
|------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|
| 使用状態 | 新品 | 新品 | 3年使用* | 5年使用* | |
| 充電方法 | 均等+浮動 | 浮動のみ | 均等+浮動 | 浮動のみ | |
| 製造年月 | 2011年2月 (8セル) | | 2007年7月 (4セル) | 2005年6月 (2セル) | 2005年7月 (2セル) |

※：3年・5年使用品：踏切にて運用されていた回収品

- (2) 蓄電池の充電に使用する整流器は、均等充電機能を持つ定電圧整流器4台とした。蓄電池が96Ahであることから定常電流 a は、 $96\text{Ah}=8\text{時間}\times a$ $a=12\text{A}$ である。また

充電電流は $0.1\text{CA}=96\text{Ah}\times 0.1=9.6\text{A}$ である。所要整流器出力は $12\text{A}+9.6\text{A}=21.6\text{A}$ であることから同容量の整流器を選定した。

- (3) 擬似負荷装置は、DC24Vで定常電流12Aのため、2Ω抵抗を常時負荷とした。
- (4) 測定箇所は、試験条件ごとに、蓄電池電圧、蓄電池電流、抵抗電流とした。また停電時間を確認するため整流器へのAC電流も測定した。
- (5) 電源は、停電サイクルをタイマーセットしたシーケンサにより電源切替器の接点ON、OFFの切換制御を行い、停電/充電の切換は自動的に行った。
- 試験設備設置状況および試験回路図を図2~4に示す。



図2 試験設備設置状況（実験棟信号試験室）

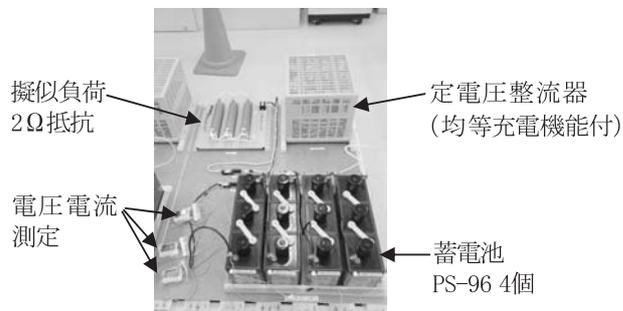


図3 試験設備設置状況

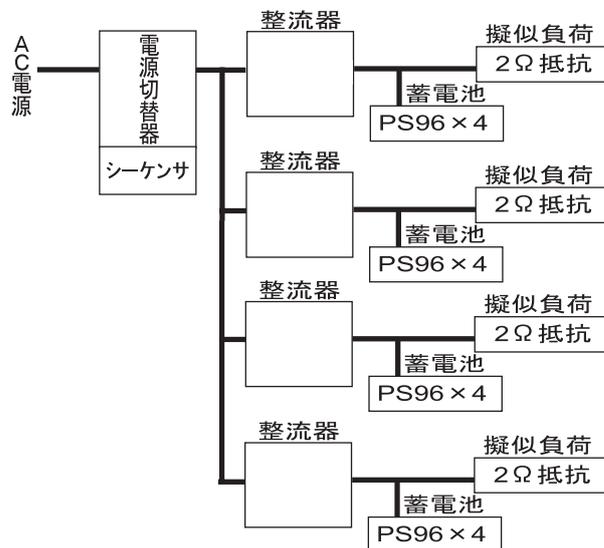


図4 試験回路図

2.3 事後試験

サイクル寿命試験終了後の4種類の蓄電池に対し、事前試験結果と比較するため残存10HR容量試験、固有10HR容量試験を実施した。試験条件は事前試験と同様である。但し、サイクル試験終了時は放電状態であったことから、残存10HR容量試験は2.2.3 (7) の通り事後処理を行った後に実施した。

3. 試験結果

3.1 蓄電池からの出力電圧（放電末期電圧）

蓄電池は放電が進むと出力電圧が低下していくことから、停電⇒充電に移行する瞬間の放電末期電圧の推移を確認した。その結果約25サイクル（約5.5ヶ月分に相当）継続し、4条件とも常に試験終了条件（蓄電池からの出力電圧DC21.6V未満）を上回っていることを確認した。図5、6に放電末期電圧の推移を示す。

図5、6により、以下のことが分かった。

- ・均等充電の2条件（①均等+新品、③均等+3年）は放電末期電圧推移に目立った変化なし
- ・浮動充電の2条件（②浮動+新品、④浮動+5年）は放電末期電圧の低下を確認
- ・④浮動+5年は低下傾向が顕著

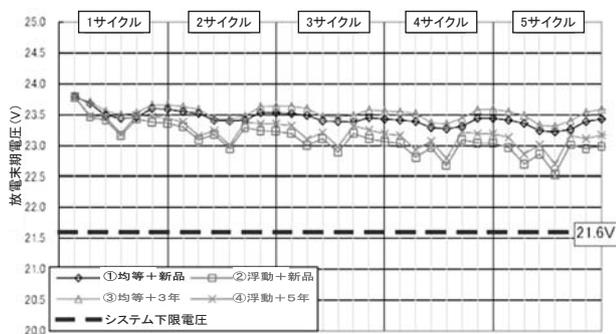


図5 放電末期電圧の推移（開始当初5サイクル）

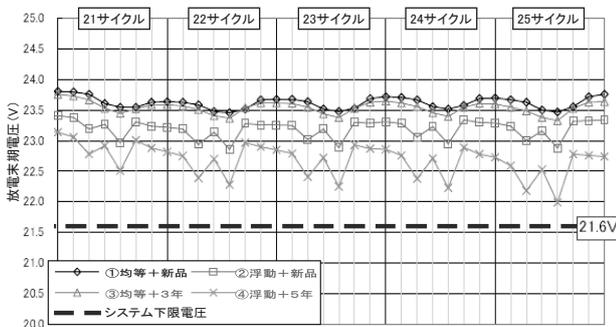


図6 放電末期電圧の推移（終了前5サイクル）

3.2 定抵抗放電試験

サイクル寿命試験終了後、約33.5時間放電状態とため、これを定抵抗放電試験と位置付け試験終了条件（DC21.6V）を下回るまでの時間を計測した。事前試験の固有10HR容量試験と比較した結果を表2に示す。なお試験方法が異なるため、比較用に条件①均等+新品を100%として持続時間の比率を求めた。

表2により、放電末期電圧の推移と同様の傾向であることが分かった。

表2 定抵抗放電試験結果

| | ①均等+新品 | ②浮動+新品 | ③均等+3年 | ④浮動+5年 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| 定抵抗放電持続時間 | 10h-00m | 6h-50m | 9h-10m | 3h-50m |
| 条件①比 | 100% | 68% | 92% | 38% |
| 試験前固有10HR | 12h-20m | 12h-16m | 11h-35m | 11h-29m |
| 条件①比 | 100% | 99% | 94% | 93% |

浮動充電の2条件（②浮動+新品、④浮動+5年）で確認された放電末期電圧、及び定抵抗放電持続時間の低下原因として充電不足と劣化による容量低下が考えられる。それについては次項の容量試験により原因を考察することとした。

3.3 容量試験

サイクル寿命試験前後の残存・固有10HR放電試験結果を表3に示す。

表3 残存・固有10HR放電試験結果

| | | ①均等+新品 | ②浮動+新品 | ③均等+3年 | ④浮動+5年 |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 事前試験 | 残存10HR | ※ | ※ | 11h-20m | 11h-18m |
| | 固有10HR | 12h-20m | 12h-16m | 11h-35m | 11h-29m |
| 事後試験 | 残存10HR | 13h-30m | 13h-18m | 10h-41m | 7h-06m |
| | 固有10HR | 14h-21m | 13h-43m | 11h-42m | 8h-54m |

※試験前の容量試験は、水準①、②は新品のため固有10HR放電のみ実施

①均等+新品、②浮動+新品、及び③均等+3年の3条件は固有10HR容量が低下せず劣化のないことを確認した。なお新品2条件（①均等+新品、②浮動+新品）については固有10HR容量が試験後に増加しているが、これは鉛蓄電池は新品時には未活性な活物質が残っていて、それらが使用中の充電により活性化し若干容量が増加する性質を有しているためであり、正常な結果である。

④浮動+5年は残存・固有とも試験前に比べ試験前より試験後の低下が顕著であることを確認した。

4. 考察

4.1 総括

蓄電池は使用環境（周囲温度、負荷電流、設定電圧等）により劣化状態が大きく変化する。また本試験ではサンプル数も少なかったことから、実際の使用状況すべてに本試験結果が当てはまるわけではないが、輪番停電実施に備え、取替や容量増などの緊急対策が不要であることが確認できた。

4.2 蓄電池の劣化

各試験条件に対する試験結果から、以下のことが確認できた。

- ・条件①均等+新品 は放電末期電圧の推移、容量試験共に試験後の低下が見られず劣化の兆候はない。
- ・条件②浮動+新品 は放電末期電圧が低下したが容量試験では試験後の低下が見られなかった。したがって、均等充電を行えば回復が可能であり、充電不足ではあるが劣化の兆候はない。
- ・条件③均等+3年 も①同様放電末期電圧の推移、容量試験共に試験後の低下が見られず劣化の兆候はない。
- ・条件④浮動+5年については、放電末期電圧の推移より輪番停電約25サイクル程度であれば使用が可能であるが、容量試験において低下したことから、均等充電を行っても回復の見込みがないことを確認した。

4.3 蓄電池の容量

停電時の放電電気量の割合（放電深度）を小さくすることにより、充放電サイクルによる劣化を抑制することが可能である。そのため、施工標準通りの保持時間（踏切の場合8時間）を満たす容量を確認すると共に、可能であれば蓄電池容量を増やすことも輪番停電対策として有効である。

4.4 整流器

均等充電2条件（①新品、③3年）は容量の低下が見られなかったことから、均等充電の有効性が確認できた。現状、踏切用整流器のすべてが均等充電機能を有してはいないため、踏切用整流器の取替・改良などに合わせ、故障検知機能に加え均等充電機能を持つ整流器の採用が有効である。

また、今回の試験で使用した定電圧整流器は、均等充電中に停電および復電が発生した場合均等充電タイマーがリセットされず、復電後の均等充電時間が不足する仕様であることが判明した。通常使用時における交流電源側の一時的停電を考慮した仕様であるためであるが、輪番停電に備えることを考慮すると、均等充電中に停電が発生した場合でも復電後の均等充電時間をタイマー設定通りに確保する仕様への見直しも有効である。

5. 過放電試験

一般に鉛蓄電池を放電状態で放置すると劣化するとされているが、その劣化度合いについてもこれまで知見がなかった。そこでこれについても試験により検証を行った。試験条件は下記の通りである。

- ・新品蓄電池1個（公称電圧6V）で実施
- ・満充電状態から定抵抗放電で7日間放置
- ・放置後、均等充電8時間、浮動充電48時間実施

放置前後で固有10HR容量試験を実施し比較したところ、試験前13.93hに対し試験後12.33hであった。約7%程度の容量低下が見られたが、新品時は継続使用の可能性のあることを確認した。試験状況を図7に示す。

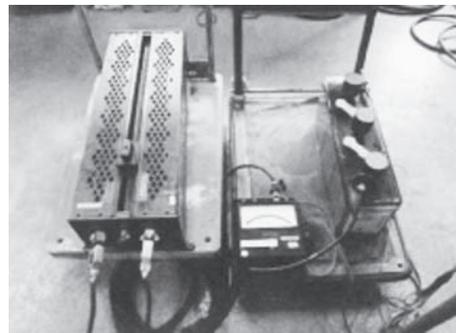


図7 過放電試験

6. おわりに

踏切で使用する鉛蓄電池において、輪番停電のようなメーカー保証外である充放電を繰り返す使い方をした場合の性能を評価した。試験の結果、7回/5日の実際の輪番停電サイクルを約25回（約5.5ヶ月分）連続して実施した場合、蓄電池が新品、または充電器が均等充電を行った場合には蓄電池の劣化が見られないことを確認した。また浮動充電かつ蓄電池経年が5年の場合は劣化が確認されたが、上記期間は継続使用が可能であることを確認した。したがって、輪番停電実施に備え、取替や容量増などの緊急対策が不要であることを確認した。

蓄電池の劣化を抑制する対応として、放電深度を小さくするためには容量増加が有効である。また均等充電方式の有効性を再確認したことから、踏切用整流器の取替・改良などに合わせ、故障検知機能に加え均等充電機能を持つ整流器の採用が有効である。