

鉄道車両用バッテリー状態監視システムの開発

Development of Battery Monitoring System for the Auxiliary Power Source of Electric Train

長谷川 和則^{*1}
Kazunori Hasegawa

江黒 高志^{*2}
Takashi Eguro

Abstract

The battery monitoring system was developed for the electric train equipped with the auxiliary power source, in particular, incorporating NiCd battery. Both SOC and SOH of the battery was detected so automatically that overdischarge troubles were preventable through the alarming system, which was demonstrated by the bench and field tests.

This development was conducted for Advanced Commuter Train system of JR East Corporation under the collaboration with JRE R&D Center.

1. はじめに

鉄道車両用バッテリーは、停電時の予備灯・列車無線・各種制御機器など DC 負荷のバックアップと、SIV (Stastic Invertor : 静止形逆変換装置) 起動といった重要な役割を担っている。しかしながら、従来の鉄道車両ではこのバッテリーの状態を監視する手段として電圧を測定し表示する程度の手段しかなかったため、過去において停電時にバッテリーを過放電し、停電復旧後に SIV を起動することができず、輸送障害を招いた事例があった。

このような輸送障害の発生を未然に防ぐため、バッテリーの残存容量や状態を監視し、的確な情報の伝達と警報の報知を行う手段が求められている。今回の報告では 2002 年から東日本旅客鉄道株式会社で行われている AC トレイン (Advanced Commuter Train : E993 系車両) の研究開発の一環として、これらの課題解決の手段として実施したバッテリー状態監視システムの開発について述べる。

2. システムの位置付け

図 1 に鉄道車両電源系統におけるバッテリー状態監視装置の位置付けについて概略を示す。

鉄道車両用バッテリーは補助電源回路の補助整流

装置に DC 負荷と共に並列に接続されていて、通常の運行時には補助整流装置から DC 負荷への出力と共に浮動充電 (定電圧充電) が行われ、停電時にはバッテリーから DC 負荷へ電力供給が行なわれる。また、起動時には、バッテリーから各種制御装置へ DC 電源が供給され、SIV が起動し架線への接続が行われる。開発したバッテリー監視装置はこの DC 電源により動作し、バッテリーの状態監視、残存容量判定、容量警報出力、異常警報出力を行う。

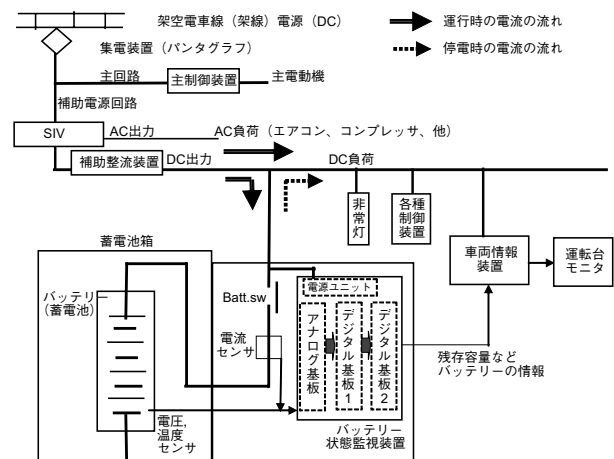


図 1 鉄道車両電源系統におけるバッテリー状態監視装置の位置付け

Fig.1 Electric power supply system incorporating the auxiliary power source and battery monitoring system.

*1 産業機器事業部 アルカリ電池部

*2 LE チーム

3. システムの構成

図2に開発したバッテリー状態監視装置のシステム構成の概略を示す。

3.1 電源ユニット

電源ユニットは、バッテリー電源を入力として+5V及び±15Vを他のユニットに供給する。

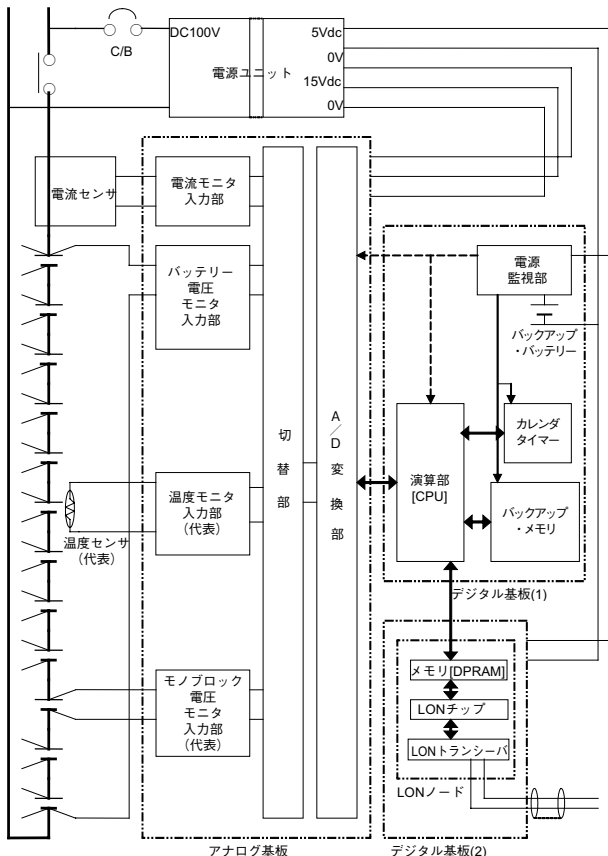


図2 システム構成の概要
Fig.2 Schematic diagram of monitoring system.

3.2 アナログ基板

アナログ基板上にはバッテリーの入出力(充放電)電流を測定する電流モニタ入力部と、バッテリーの電圧を測定する電圧モニタ入力部、バッテリー温度と周囲温度を測定する温度モニタ入力部がある。測定した電流・電圧・温度のバッテリー情報はAD変換器でデジタル化されてデジタル基板(1)に出力される。

3.3 デジタル基板(1)

デジタル基板(1)には電源監視部、CPU、ROM、カレンダータイマー、バックアップメモリがある。AD変換器でデジタル化された電流・電圧・

温度のバッテリー情報と、カレンダータイマーの時間データ、ROMに収録された制御用プログラムと各種パラメータのデータテーブルにより、CPUにおいて、演算・補正・解析が行われ、バッテリーの残存容量やバッテリーの異常の有無の判定が行われる。そしてバックアップメモリとデジタル基板(2)に判定結果が出力される。バックアップメモリには最新の残存容量と時間データが記憶され再起動時の自己放電補正演算に使用される。

3.4 デジタル基板(2)

デジタル基板(2)には、メモリ、通信制御部、送受信部があり、送受信部は図1の車両情報装置との間で各種データを送受信し、送信された残存容量などのデータや容量警報などが運転台のモニタに表示される。

4. システムの機能

表1にバッテリー状態監視装置の主要諸元と機能を、図3に車両に艤装された外観を示す。

4.1 モニタ機能

本バッテリー状態監視装置は、バッテリー電圧、モノブロック電圧、バッテリー電流、バッテリー温度、収納箱内部温度をモニタし出力する機能を有する。

バッテリー電圧は、12個が直列接続されたモノブロック電池全体(72セル)の電圧、モノブロック電圧は各々の(6セル)モノブロック電池の電圧である。

バッテリー電流は、バッテリーとバッテリーSWの間に設置したDCCT電流センサによって電圧データに変換したものである。

バッテリー温度は、所定のモノブロック電池の接続板に設置したサーミスタ温度センサにより温度に応じた抵抗値/電圧データに変換したものである。収納箱内部温度センサは、収納箱奥中央部に設置されている。各々の一連のモニタは、100msec周期で行われる。

表 1 バッテリー監視装置主要仕様
Table.1 Major specification of the monitoring system

| 項 目 | 内 容 | |
|----------|-----------|--|
| 適用蓄電池 | 種 類 | 鉄道車両用ベント形アルカリ蓄電池 (80Ah) |
| 計測項目 | バッテリー電圧 | 計測範囲 : 0V ~ 150V 計測点数 : 1 点 |
| | モノブロック電圧 | 計測範囲 : 0V ~ 10.0V 計測点数 : 12 点 |
| | バッテリー電流 | 計測範囲 : -100A ~ 0 ~ +100A 計測点数 : 1 点 |
| | バッテリー温度 | 計測範囲 : -20 ~ 80°C 計測点数 : 1 点 |
| | 収納箱温度 | 計測範囲 : -20 ~ 80°C 計測点数 : 1 点 |
| | 精度・モニタ周期 | 精度 : 1% FSR モニタ周期: 100msec |
| モニタリング項目 | 容量状態 | 0 ~ 100%、1% / bit |
| | 給電可能時間 | 容量状態 (残存容量) と放電電流から給電可能時間を求める |
| | 容量警報 | 3 段階 (給電停止警報、容量低警報 (1)、容量低警報 (2)) |
| | 異常警報 | 充電電圧異常、電池電圧異常、電池温度異常、充電電流異常 |
| | 寿命報知 | 経年劣化予測による寿命予測計算 |
| | 出力方式 | LON メモリ結合ノードによる通信 |
| 記録 | バックアップメモリ | 電源 OFF 時に、カレンダーデータ、容量状態を保存 |
| その他機能 | 入力電源 | DC70 ~ 125V |
| | 環境温度 | 作動中: -10°C ~ +60°C、非作動中: -20°C ~ +70°C |



図 3 艦装されたバッテリー (左) とバッテリー状態監視装置 (右)
Fig.3 Ni-Cd monoblock batteries (left) and monitoring system (right).

4.2 SOC 判定機能

鉄道車両に多く用いられているアルカリ蓄電池は、放電電圧特性が平坦で、放電中の内部抵抗の変化も極めて小さく、電池電圧や内部抵抗による SOC 判定は精度が低い。一方、充放電 Ah 収支を積算する方式は、演算の精度は良いが演算の繰返しにより充放電効率などの誤差が蓄積し実際の残存容量からずれてしまう問題がある。

そこで、精度が良く、なおかつ信頼性の高い

SOC 判定方式として以下の方式を採用した。

- 1) Ah 方式により残存容量を演算する
- 2) 演算した残存容量を電流・温度により定めた補正係数で補正し放電可能容量を求める
- 3) 放電末期には電池電圧検出により容量低警報をバックアップする (4.3 項)
- 4) 充放電電気量収支演算で蓄積された演算誤差は、電流検出方式による容量補正機能によって補正する (4.4 項)

4.3 容量低警報機能

SOC 判定で演算された放電可能容量を基に、次の3段階のレベルで容量低警報が発令される。

- (a) 給電停止警報：車両を再起動するのに必要な最少のバッテリー残存容量まで低下し、蓄電池からの給電を直ちに停止する必要があるレベル
- (b) 容量低警報 (1)：給電停止警報が間もなく出ることの予告が必要なレベル
- (c) 容量低警報 (2)：残存容量が少なくなっていることの注意が必要なレベル

容量低警報の内、「給電停止警報」と「容量低警報 (1)」は、バックアップ機能として電圧検出による警報発令機能を付加されている。

図4にベンチ及び実車における停電試験データを示す。

停電試験前の開回路状態での容量状態（放電可能容量）は98%であったが、停電開始直後にバッテリー電流と温度により定められた放電係数により、容量状態は82%に補正された。

その後、容量状態はほぼ一定の割合で減少し、残り25%（放電可能時間35分）の時点で「容量低警報2」が、残り16%（放電可能時間23分）の時点で「容

量低警報1」が出力された。最後に残り9%、放電可能時間13分の時点で「給電停止警報」が出力され、試験を終了した。この停電試験と同一条件によるシミュレーションをベンチ評価において実施した結果を、図4中の点線の電圧挙動で示す。ベンチ評価において確認した「給電停止警報」出力時の放電可能容量は14%で放電可能時間は20分であり、実車評価におけるSOC判定の誤差は-5%であることを検証した。これは開発目標を満足する結果であった。

4.4 容量補正機能

長期にわたり残存容量の充放電 Ah 収支演算を繰返す間に、充放電効率や補正係数の誤差が蓄積するため、適宜、残存容量を補正する必要がある。

鉄道車両においてバッテリーは、浮動充電（定電圧充電）が行なわれており、初期に大きな電流が流れ、充電の進行と共に電流が減少する。

そこで、この特性を利用し、所定の条件で放電が行なわれた時に容量補正機能を作動させ、充電電流が所定値に達したか否かを検出し、バッテリー電流とバッテリー電圧、及び温度により予め定めた容量状態に更新する方式を採用した。

この容量補正機能の実車評価における検証結果を

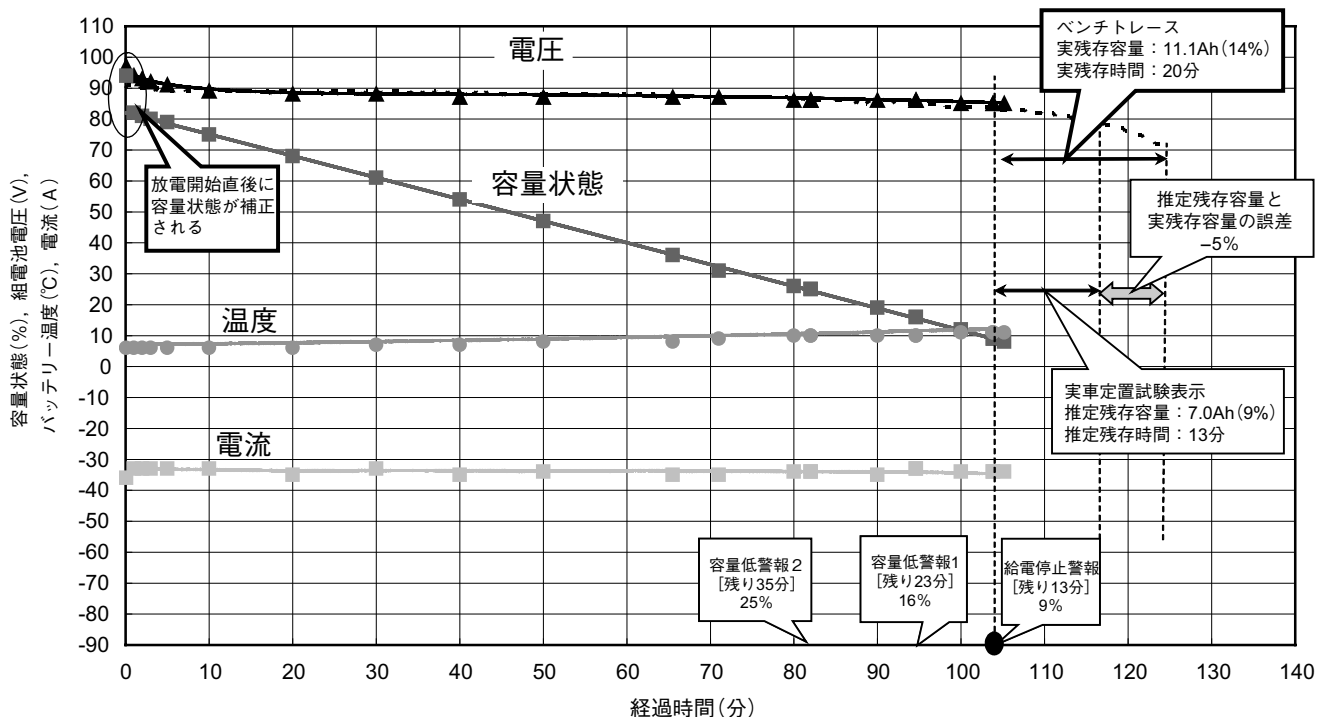


図4 停電試験における残存容量判定精度の検証

Fig.4 Verification of the accuracy of remaining discharge capacity (SOC) of battery in case of main power supply interruption.

図5に示す。評価の結果、容量補正機能が正しく行なわれることを確認した。

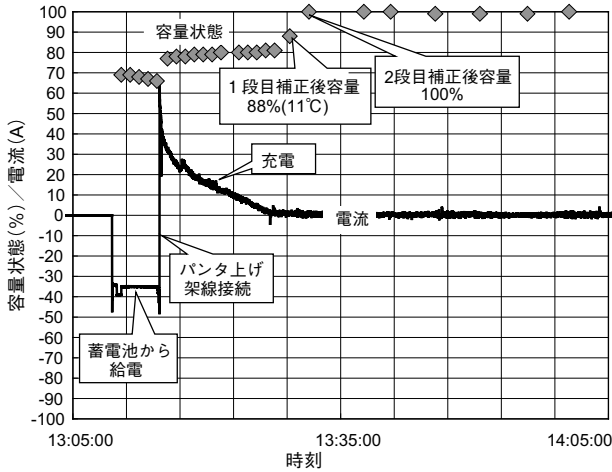


図5 実車試験における容量補正機能の検証
Fig.5 Verification of the capacity correcting function during charging after discharge.

4.5 自己放電・寿命劣化補正機能

本バッテリー状態監視装置では、起動直後に、休車・放置されていた間の自己放電量の補正が行われる。自己放電補正は休車前の残存容量と時間データ(年月日)、及び起動直後の時間データ(年月日)から推定される気温変動を考慮して演算を行う。

寿命劣化補正は、鉄道車両用のような浮動充電用途ではバッテリーは長期間の間にゆっくりと劣化するため、年率劣化予測による補正を行なっている。

4.6 異常警報機能

バッテリーの状態異常としては、電圧異常、温度異常、電流異常があり、バッテリーの故障(短絡、液涸れ、接続不良)や寿命劣化(容量低下、内部抵抗増加、ばらつき増加)、充電電圧の異常(補助整流装置の故障)などが原因となって引起される。

ベンチ評価においてこれらの異常を模擬したシミュレーションを実施し、それぞれの異常を検知し、所定の警報を出力することを確認した。

5. まとめ

Ah 収支演算により残存容量を演算し、放電電流と温度係数による放電係数で補正し、更に復電時の充電電流検出による容量補正により演算の誤差を適宜補正するSOC判定方式を備えたバッテリー状態

監視装置を開発し、鉄道車両用バッテリーの残存容量を±5%の精度で把握することができた。

このSOC判定機能と判定結果に基づいた容量警報出力機能を、ベンチ評価、実車評価によって検証し、バッテリーの過放電による輸送障害を確実に防ぎ得る機能であることを検証した。

バッテリー電圧、バッテリー温度、通電電流の状態を診断しバッテリーの寿命・故障などによる異常を検知し、輸送障害の可能性を事前に知らせることができる機能を有することを確認した。

謝辞

本研究は東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター殿との共同研究により実施されたものであり、本研究の遂行にあたり、多大なご指導とご教示をいただいた東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター殿に厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 神孫子博、安井義隆、長谷川和則、江黒高志：第39回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集、論文番号501(2002)