

蓄電池診断装置の開発

Development of SOH Monitoring System for Industrial VRLA Battery String

高橋清*
Kiyoshi Takahashi渡壁雄一*
Yuichi Watakabe**Abstract**

There is ever-growing demand for the highly reliable power backup system in order to support the advanced information technology and its applications. From its maintenance-free advantage, VRLA (valve-regulated lead-acid) battery has been replacing flooded-type battery in the market nowadays. Owing to its relatively short history in the market, battery life detection (SOH diagnosis) has not been fully developed.

Here is a compact, accurate and automated remote battery monitoring system to be installed at the vicinity of battery string which continuously measures internal impedance, cell voltage and temperature without system stop and sends the results and the battery life judgment instantaneously at any remote station as required and put it on the market. After more than 1 year of operation tests in the field, the system proved very effective and reliable in monitoring industrial VRLA battery system.

1. はじめに

VRLA 電池（制御弁式鉛蓄電池）は、液式（Flooded）電池と異なり、補水、比重測定など手のかかる保守が不要なため急速に市場で採用されてきた。しかし、取り扱いが容易な反面、劣化状態——即ち SOH (State of Health) を把握する簡便な方法が無く、80 年代の本格実用化当初から問題視されてきた¹⁾。今日、実用化されている方法は部分放電法（ロードテスター）と内部抵抗法（インピーダンス法またはコンダクタンス法）に大別される。前者は組電池全体あるいは部分的に大電流で放電して電圧変化を計測する方法であるが、特殊な専門技能を要するばかりでなく電池のバックアップを一時的に解除せざるを得ないため、測定のタイミングが限られるなど実用上の制約がある。しかし、信頼性を重視する用途では、伝統的な計測法として広く使われている²⁾。後者は小電流の交流を印加して測定する方法が一般的で、小型のテスターを用いてより簡便にマニュアル点検が行われている。しかし、テスター機種や作業条件などにより測定値が変動し易く、周囲のノイズの影響も

受け易いなどの課題もある^{3), 4)}。この測定は連続計測が原理的には可能であるが、経済性を含めて実用レベルに達したとは言い難い。

また、最近の情報通信技術の発展に伴って、バックアップ電源の利用形態も分散化、屋外・遠隔地配置へと急速に変化してきており、電池の状態監視を遠隔地から行いたいという要望も高まっている⁵⁾。弊社でも電池電圧と温度による異常を検知する機能を組み込んだ電源監視システムを上市している⁶⁾。しかし、VRLA 電池の劣化状態をより正確に測定するには、上記の内部抵抗を高精度に連続測定する技術の開発が必要である。このたび、内部抵抗、電圧、温度などをオンラインで連続測定してデータ蓄積するとともに、IT 技術を応用して遠隔地から監視することもできる「蓄電池診断装置」を開発したので、その概要を報告する。

2. 蓄電池の劣化

MSE 形 VRLA 電池の容量・内部抵抗の使用期間による推移の典型例を図 1 に示す。蓄電池容量は使用開始から数年間は、若干の増加傾向を示すが、そののち、時間の経過と共に次第に減少していく。そ

* RM チーム

して寿命期になると急速に落ち込む傾向にある。この特性は、温度などの環境条件や充放電頻度などにより大きく異なる。一方、内部抵抗はセル間のばらつきはあるが、使用の初期段階では変化はほとんど見られず、ある時期から上昇傾向を示し、寿命が近づくと急速に上昇する。この内部抵抗を継続的に計測することにより個々の蓄電池の状態を把握することが可能となる。また、そのトレンドから蓄電池容量（劣化の状態）が予測でき、結果として適切な時期に蓄電池の計画的な更新が行えることになる。

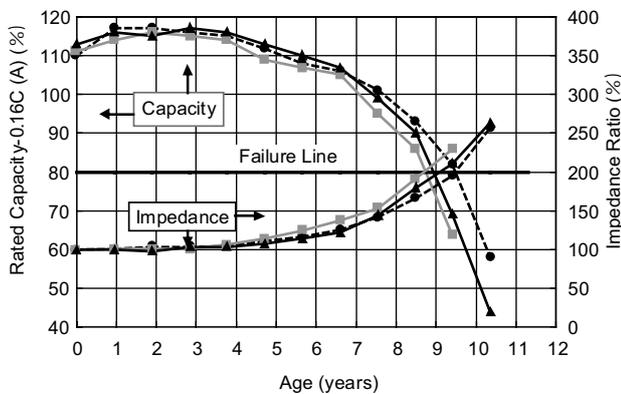


図1 MSE 形鉛蓄電池の使用期間と内部抵抗・容量の関係
Fig.1 Change of capacity and impedance on MSE battery through the life

3. 蓄電池診断装置に求められる機能

3.1 計測

図1に示したようにMSE形蓄電池の内部抵抗は、容量の減少と共に上昇するため、初期値の約2倍を劣化レベルとして寿命としているが、その1年前は約1.7倍である。内部抵抗により劣化状態を予測するには、この値を十分に確認できる計測精度・分解能・安定性を有した内部抵抗計が必要となる。

また、電源システムの信頼性を高めるためにセル電圧と温度の計測も同時に行う。蓄電池は直列に接続して使用されるため、蓄電池全体の容量を支配するのは、最低容量セルの値となる。健全なセルで容量を表すと、最低容量セルは過放電になり、蓄電池のみでなく設備を損傷する可能性がある。このため、高信頼性を要求する設備では、全てのセルの内部抵抗を計測して状態を把握することが望ましい。

劣化時期に入りつつある蓄電池については、事前

に内部抵抗や周囲温度を計測して容量の低下傾向にあるセルを重点的に選択してパイロットセル計測を行うこともできる。この場合、偶発的な蓄電池異常の発生には対応できないため、計測していない蓄電池の状態確認は別途行うことが必要となる。

3.2 監視

蓄電池の諸特性を計測するだけでなく、その状態がわかりやすく、かつ簡単に監視できる仕組みが必要である。設置場所での確認はもとより、遠隔地でも通信により確認できること、計測データが保存できること、さらにはそのデータをパソコンなどで容易に解析できること等が求められる。

最近通信インフラの整備と低コスト化が進んでいる。特にユビキタスネットワーク社会の到来に対応するため、インターネットに代表されるネットワークでの監視ができる機能を持つことは、今後必須条件となる。

3.3 構造

蓄電池の監視は、設置当初から行うのが望ましいが、すでに実使用中の蓄電池を監視する例も多いと思われる。そのため監視機器は、既存整流器の改造などを行う必要が無く、小型で、容易に設置でき、しかも低コストであることが望ましい。

4. システム構成

蓄電池診断装置は図2のブロック図のように、蓄電池センサーユニットとシステムコントローラより構成している。それぞれの機器の連携は、マルチドロップ通信で行っている。

4.1 蓄電池センサーユニット

蓄電池センサーユニットでは、内部抵抗・セル電圧・温度を計測している。セル電圧や温度の計測は、既存技術の応用で容易に実現できたが、内部抵抗をオンラインで精度良く安定して計測するには、以下のような課題があった。

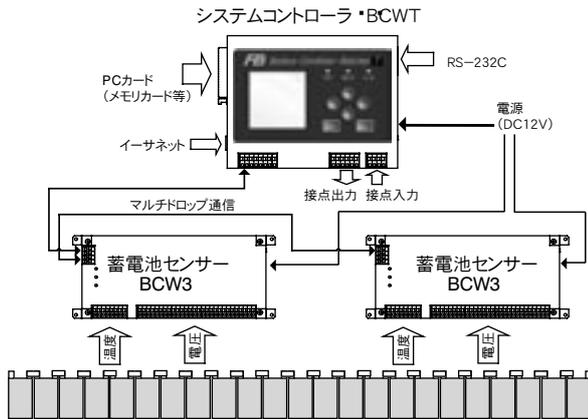


図2 蓄電池診断装置の構成例
Fig.2 System configuration of BCW (Battery Condition Watcher)

1)蓄電池の内部抵抗は非常に低い

例えばMSE500形蓄電池(500Ah)の初期値は0.3mΩ程度であり、仮に計測のために1Aの電流を流しても0.3mVの電位差しか得られない。この微少な電位差を精度良く安定して計測する必要がある。

2)充電器や接続機器から流入/流出する電流により、雑音電圧が発生する

3)計測する蓄電池以外のセルや接続機器等に分流し、計測誤差が生じる。

これらの課題を解決するため、以下の方策を実施した。

①交流四端子計測法

微小抵抗を計測するため、交流四端子計測法を用いた。また、計測端子の固定方法や配線方式を改善して計測精度を高めた。

②計測周波数

1kHz程度の周波数の電流を印加して計測している例があるが、この周波数は商用電源等からの高調波の影響を受けやすい。本装置ではこれら外乱の影響を受けにくい計測周波数を選択した。

③フィルタの採用

外部ノイズによる計測への影響を防ぎ、計測周波数成分のみを精度よく検出するため、特殊なフィルタを採用した。

④計測電流

フィルタでの計測信号分離を容易にするため正弦波を使用した。

蓄電池センサーユニットの主な仕様を表1に、また外観写真を図3にそれぞれ示す。

表1 蓄電池センサーユニット仕様
Table.1 Specifications of battery sensor unit

項目	仕様
蓄電池セル電圧計測	測定範囲 / 分解能 : 0 ~ 2.500V (typ) / 0.001V 計測点数 : 連続接続時 13点 任意接続時 7点
蓄電池内部抵抗計測	計測範囲 : 0.000 ~ 2.500mΩ / 0.001mΩ 計測点数 : 連続計測セル 13点 任意接続時 7点
蓄電池温度計測	計測範囲 : -20 ~ 70℃ (センサー) 計測点数 : 4点
通信 インターフェース	マルチドロップ
表示ランプ	LED (運転 : 緑 計測 : 黄 通信 : 赤)
機器設置環境条件	温度 : -10 ~ +50℃ 湿度 : 80%以下 (結露無きこと)
電源	DC10 ~ 15V
寸法	W : 219mm x H : 99mm x D : 25mm (取付部含まず)
質量	約 350g (接続ケーブルを除く)

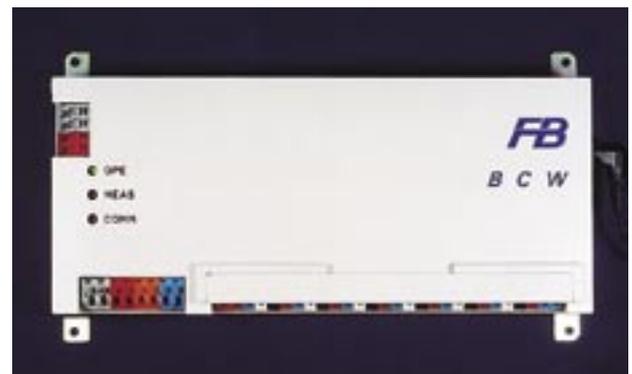


図3 蓄電池センサーユニット
Fig.3 Outside view of battery sensor unit

4.2 システムコントローラ

蓄電池診断装置の主制御部で、電池センサーの計測制御・データの蓄積・画面表示・警報制御・外部機器との通信等を行っている。

1)回路構成

システムコントローラのブロック図を図4に示す。高性能32bitRISC型CPUをコアに、グラフィックパネル回路・メモリー・通信用インターフェース回路・接点入出力回路・リアルタイムクロック・PCカードインターフェースおよび電源回路等より構成している。特にPCカードインターフェースは、ハードウェア変更をせずに様々な機能の追加が出来る長所がある。メモリ

ーカードやモデムカードの他に、今後普及するであろう bluetooth や無線 LAN も PC カード型が一般に市販されており、基本的にソフトウェアのみの対応で接続が可能である。

2)ソフトウェア構成

リアルタイム OS 上で、計測・表示・警報・ネットワーク通信 (TCP/IP・HTTPd・SMTP 制御等)・ファイルシステム等のタスクを走らせている。計測タスクを最優先順位とし、ネットワーク通信を下位とした。

3)監視形態

状態をわかりやすく、かつ簡単に監視を行えるようにするため、以下のように行った。

①設置場所での確認

液晶表示器で、最新の計測値と過去の計測履歴を表示する。計測値が規定値を逸脱した場合、警報ランプが点灯し警報内容を液晶表示器に表示する。

過去の計測データは、CSV 形式ファイルで保存が可能となっており、フラッシュ ATA 型の PC カードをシステムコントローラのソケットに挿入することで実行される。CSV 形式のファイルは EXCEL 等の表計算ソフトにて読み込めるため、そこからトレンドグラフ等への展開が可能で、劣化状態の確認を視覚的に容易に行える。

②遠隔地での確認

本装置のイーサネット (10BASE-T) のコネクタに接続することにより、web 上で監視ができる。表示には特別なソフトは不要で、ブラウザ (IE またはネットスケープ) で表示を行うことができる。液晶表示と同様に、最新の計測値と過去の計測履歴を表示する。また、警報の発生項目・警報の履歴も表示できる。過去の計測データはホームページの表示以外に、CSV 形式ファイルでダウンロードできるしくみとした。ホームページの表示例を図 5 に示す。

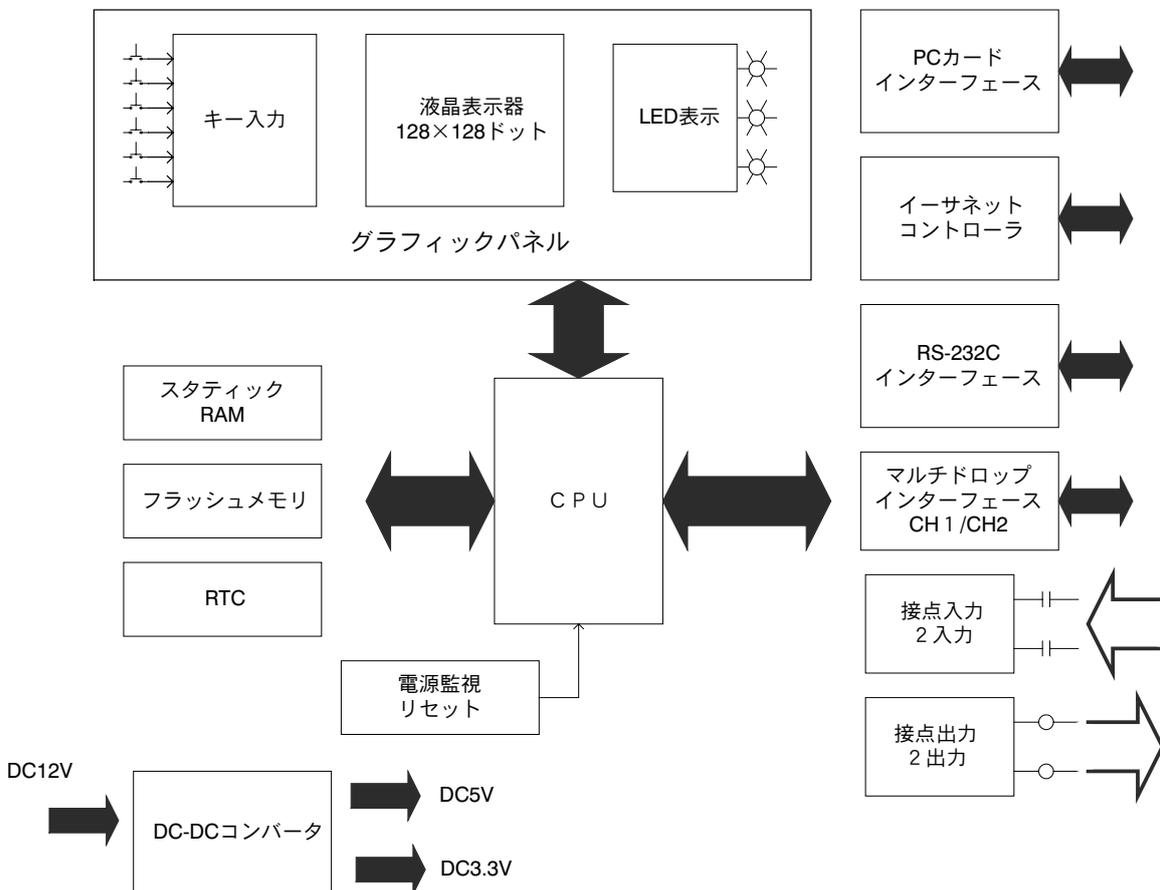


図 4 システムコントローラブロック図
Fig.4 Block diagram of system controller



図5 ホームページ表示例
Fig.5 Example of homepage displays

システムコントローラ的主要仕様を表2に、外観写真を図6に示す。

表2 システムコントローラ仕様一覧
Table.2 Specifications of system controller

項目	仕様	
液晶表示	液晶表示器	STN形 128 × 128 ドットグラフィック LCD, バックライト付き
	表示内容	最新計測値・計測履歴・警報・警報履歴・設定変更
データロギング	セル電圧計測値 内部抵抗計測値 温度計測値	時間データ (24 時間) の表示, 日平均データの記憶
	警報	警報の発生と復旧を記憶
警報監視項目	蓄電池セル電圧低下 蓄電池温度上昇 蓄電池内部抵抗異常等	
通信	インターフェース	イーサネット (10BASE-T), RS-232C, マルチドロップ
	アプリケーション	HTTPd, SMTP
蓄電池センサー接続可能数	1 ~ 7 台 (Max91 セル)	
表示ランプ	LED (運転, 計測, 警報)	
外付け記憶デバイス	PC カード (フラッシュ ATA またはコンパクトフラッシュ)	
機器設置環境条件	温度: 0 ~ 50 °C 湿度: 80 % 以下 (結露無きこと)	
電源	DC10 ~ 15V	
寸法	185mm × 145mm × 36mm (取付含まず)	
質量	約 500g	



図6 システムコントローラ外観
Fig.6 Outside view of system controller

5. フィールド試験状況

本装置は、多くのユーザーのご協力のもとで、計測精度・装置の異常の有無、監視方式の不具合の有無等を検証するため、1年以上にわたりフィールド試験を行ってきた。

本装置で計測したデータの具体例を以下に示す。図7は、蓄電池設置後6年を経過した蓄電池の内部抵抗・電圧・温度のトレンドグラフである。内部抵抗は上昇傾向にあるが、変化の割合は約1年間で10%以下と少ない。前記第2項に示した弊社の「図1 MSE 形鉛蓄電池の使用期間と内部抵抗・容量の関係」データと照合すると、蓄電池はまだ劣化状態に達していないことがわかる。

図8は、設置後9年を経過した蓄電池の内部抵抗のトレンドグラフである。設置して5ヵ月間ではあるが、その間10%以上変化している。この傾向から判断すると年間20~50%の上昇となるためこの蓄電池は劣化状態と判断される。

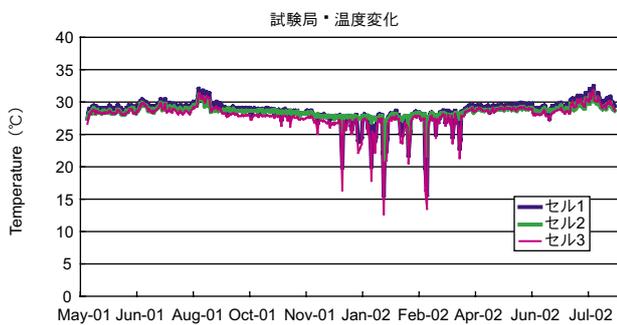
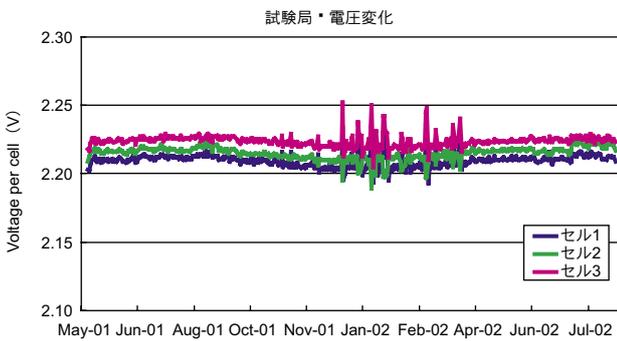
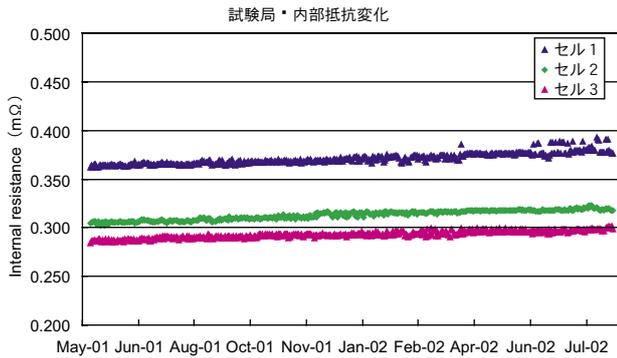


図7 市場電池データ (MSE 形蓄電池 設置後 6 年経過)
Fig.7 Results of customer site test-1

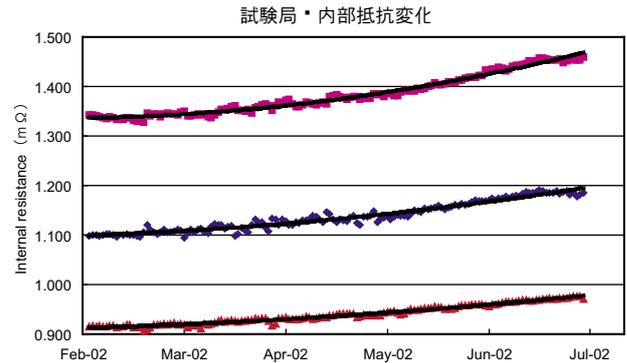


図8 市場電池データ (MSE 形蓄電池 設置後 9 年経過)
Fig.8 Results of customer site test-2

フィールドテストでは、いずれも良好に蓄電池の監視を行うことができ、これらのデータを基に寿命劣化診断を確実にかつ容易に実現するという目的は、ほぼ達成できたと考えている。

また、その他にフィールドテストでは以下に示すように数々の貴重なデータも採取されている。

- ① 蓄電池の収納方法により温度差を生じ、その結果、温度の高い蓄電池の劣化速度が速くなっていく現象が確認された。特に換気の悪い蓄電池箱へ収納した場合に顕著に現れる。
- ② 内部抵抗値は温度により変動する。設置場所が温度管理されていない場合の劣化状態判定には蓄電池内部抵抗の温度補正を行う必要がある。
- ③ 接続する機器から常時大きなリップル電流が蓄電池に印加される場合や、過大な放射ノイズを発生する場合には、その影響を受け、計測誤差が目標値に収まらないことがあった。これら機器への対応を可能にするためには、特殊な蓄電池センサーを検討する必要がある。

7. まとめ

IT 技術を駆使した蓄電池監視の試みは、始まったばかりである。弊社は蓄電池メーカーとして、高い品質の蓄電池の開発と供給に専念してきたが、さらに高信頼度の蓄電池開発のためには、フィールドデータの収集、解析は不可欠であると考えている。そのような観点で、機器メーカーの診断装置とは一線を画したシステムに育成していきたいと考えている。

謝辞

本装置の開発・評価についてご指導をいただきました，ドコモエンジニアリング北海道株式会社の皆様に深く感謝いたします。

また，蓄電池の導入計画，メンテナンスを担当されているユーザーの皆様から，システムのレベルアップに対する有意義なご助言，ご示唆をいただき，深く感謝致します。

弊社からは保守などに関する情報をお客様に提供して，より良いパートナーシップを構築していきたいと念願しております。

(参考文献)

- 1) D.O.Feder, FB テクニカルニュース, No.56, 3 (2000)
- 2) I.Kiyokawa, K.Niida, T.Tsujikawa and T.Motozu, INTELEC2000, 703 (2000)
- 3) H.A.Jongerius and D.C.Cox, INTELEC2001, 313 (2001)
- 4) H.Dupendant and R.Ferger, INTELEC2001, 416 (2001)
- 5) J.Hoover, INTELEC2000, 103 (2000)
- 6) 高橋清, FB テクニカルニュース, No.56, 76 (2000)