



定置用蓄電池のリアルタイム劣化診断技術

Real-Time Deterioration Diagnosis Technology for Stationary Storage Batteries

吉田 翔治*

Shoji Yoshida

大嶋 涼

Ryo Ohshima

沖田 優人

Masato Okita

再生可能エネルギーの有効利用や災害時の電力供給を目的として、リチウムイオン電池を適用した定置用蓄電池の導入が拡大している。充放電や経年に伴い劣化していく蓄電池の健全性や特性を把握することはシステムを運用していく上で非常に重要であり、オンライン&リアルタイムで蓄電池を診断することを目的に、電池固有の過渡応答特性に基づく電池劣化診断技術を開発中である。本稿では、過渡応答解析による電池劣化診断の特長と、定置用蓄電池への適用に関する検証結果について紹介する。

Stationary storage batteries using lithium-ion batteries are expanding for the effective utilization of renewable energy and for power supply during disasters. Understanding the health and characteristics of these batteries, especially in relation to degradation from charging, discharging, and aging, is extremely important for stable system operation. To diagnose the storage battery on-site and in real-time, we are developing a battery deterioration diagnosis technology based on the transient response characteristics unique to the batteries. This paper introduces the features of battery degradation diagnosis using transient response analysis and the results of verification related to its application in stationary storage batteries.

キーワード：電池劣化診断、リチウムイオン電池、リアルタイム、運用データ、過渡応答解析

1. 緒 言

カーボンニュートラルの実現に向け、再生可能エネルギーの導入拡大とエネルギーの効率的な運用に向けた取り組みが加速している。太陽光や風力は発電量が天候に左右されるため、安定供給の確保が課題となっており、その解決策として蓄電池の導入が進んでいる。特に系統用蓄電池は、電力系統の安定化や需給調整などの調整力として重要な役割を担っている。また、蓄電池は脱炭素社会の実現に向け、余剰電力の貯蔵や自然災害時の非常用電源としての利用など、多方面で需要が拡大している。

定置用蓄電池に用いられる電池は、リチウムイオン電池が主流となっている。その背景として、リチウムイオン電池が持つ高いエネルギー密度や優れた寿命特性、高い充放電効率、そして入出力性能などがあり、幅広い用途で使用されている。

リチウムイオン電池は化学電池であるため、充放電の繰り返しや、設置からの経年に伴い劣化が進行する。特に定置用では、長期間にわたり安定した運用が求められることから、劣化状態を把握することは非常に重要である。電池の劣化診断を行うことで、交換時期の把握や、延命化を目的とした運用の見直しにつながる。

本稿では、リチウムイオン電池の劣化診断技術を定置用蓄電池に適用するための、当社の取り組みについて紹介する。

2. 電池劣化診断技術

定置用に限らず小型民生用や車載用を含めリチウムイオン電池の劣化状態を診断することを目的に、多くの手法が試みられている。

高精度で蓄電池の劣化状態を把握するための最も一般的な手法は容量確認試験であり、蓄電池を満充電・完全放電させたときの放電容量 (Ah) を計測する。しかしながら、容量確認試験を行うためには定置用蓄電池の運用を長時間停止して電池メークに試験を依頼する必要があり、診断コストも高額になる。

また、材料の劣化を含む内部状態を推定可能な充電曲線解析法⁽¹⁾がある。充電曲線解析法は電池の充電曲線の形状の変化を解析する手法であり、容量確認試験よりも詳細に劣化状態を診断できるが、低電流での充放電が必要となることから容量確認試験と同等もしくはそれ以上の運用停止が必要となる。

比較的短時間で診断が可能な手法として、交流インピーダンス法⁽²⁾がある。交流インピーダンス法は、蓄電池に周波数の異なる微小な交流電流／電圧を印加し、電圧／電流の応答を測定した後、得られたデータに対して等価回路を用いたフィッティング解析を行う手法である。こちらも詳細な劣化状態を診断できるが、個別電池セルの診断に用いられる手法であり、大量の電池セルが組み込まれた定置用蓄電池の診断に活用するには課題が多い。

その他に、オンライン&リアルタイム性に優れた手法として、容量積算法がある。容量積算法は、蓄電池の放電時の電流容量を積算し、公称容量で割ることで疑似的な充放電サイクル数を算出し劣化を推定する手法である。但し、浅い充放電を繰り返した場合と深い充放電を繰り返した場合など、充放電の条件によって劣化に対する影響が大きく異なることから、実測されたサイクル寿命と積算容量から算出されたサイクル寿命は一致しないことが多く、精度に課題がある。

定置用蓄電池において、劣化診断のために運用を停止することは売電機会の損失といった経済的な影響はもちろんのこと、停止中に停電発生すると事業継続計画 (BCP^{※1}) が実行できなくなり、運用を停止することなくオンライン & リアルタイムで精度よく劣化状態を診断できる技術の開発が求められる。

3. 過渡応答解析による電池劣化診断の検証

上記課題を解決するため、リチウムイオン電池固有の過渡応答特性に基づく等価回路解析により劣化診断を行う過渡応答解析技術^③を開発した。過渡応答解析技術は充放電に伴うリチウムイオン電池の過渡応答特性から z 変換を用いて等価回路上の内部インピーダンスを算出する技術である。運用中の充放電データを活用し、リチウムイオン電池の劣化に伴い変化する内部インピーダンスを観察することで劣化診断が可能となる。そこで、過渡応答解析技術を定置用蓄電池の劣化診断へ適用するため基礎検証と定置用蓄電池での検証を実施した。

3-1 過渡応答解析技術の基礎検証

定置用蓄電池に使用される角型のリチウムイオン電池セルを加速劣化させ、劣化度の異なる電池セル（4セル）を用意し、容量確認試験と過渡応答解析を行うことで相関性を確認した。また、他の劣化診断手法との比較を行うため、交流インピーダンス測定も併せて実施した。

容量確認試験では、25°C 下で 1.0C の C レート^{※2}で満充電・完全放電を行ったときの放電容量 (Ah) を測定し、未劣化時の放電容量に対する試時の放電容量の割合を SOH^{※3} として算出した。

容量確認試験後、25°C 下で電池を充電率 (SOC^{※4}) 50% まで充電し、1 時間休止を挟んだ後に 1.0C で 10 秒間パルス放電試験を実施し、過渡応答解析のためのデータを取得し、図1の等価回路を用いた過渡応答解析により内部抵抗 R_i を算出した。

更に、25°C、SOC50%での交流インピーダンス測定を実施し、得られたデータに対してフィッティング解析を行い、内部抵抗値 R を得た。

過渡応答解析と交流インピーダンス測定の両手法で算出した内部抵抗と、容量確認試験結果を基に算出した SOH との相関性を図2に示す。適用されている等価回路、解析対

象時間、およびサンプリング間隔等が異なるため、それぞれの手法で算出した内部抵抗値は完全に同じ値とはならないが、どちらの手法でも SOH の減少に依存した内部抵抗値の増加が示された。これらの結果から、過渡応答解析法による内部抵抗値 R_i の算出により、リチウムイオン電池の劣化を診断できることが確認された。

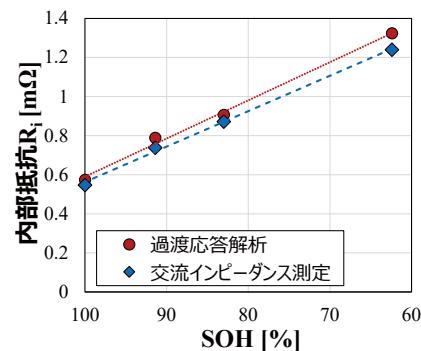


図2 SOHと内部抵抗の相関性

3-2 電池劣化診断の試作基板

前節で、同一条件で実施したパルス放電試験データの過渡応答解析により算出した内部抵抗値 R_i が SOH と相関することを確認した。しかしながら、実際の運用時にパルス放電波形のような理想的な充放電データが得られるのは稀であり、様々な充放電波形が想定される。したがって、運用中のデータを活用して劣化診断を行う場合、異なる波形でもばらつきの少ない安定した内部抵抗を得ることが重要である。

過渡応答解析は、充放電が行われていない待機状態から急峻な充電又は放電電流が印加された時の電流データと電圧の過渡応答データに基づいて解析を行っている。

そこで、計測センサによって取得した計測データのロギング機能、過渡応答解析技術に基づく劣化診断機能、そして過渡応答解析に適した充放電データを抽出するデータ抽出機能を搭載した試作基板（写真1）を開発した。試作基板

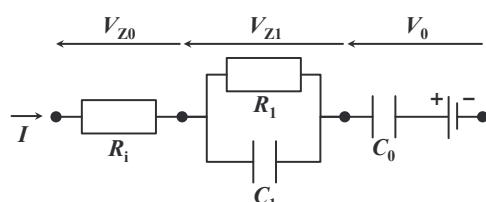


図1 リチウムイオン電池の解析用等価回路



写真1 開発した電池劣化診断の試作基板

は定置用蓄電池のコンテナ内に設置可能なコンパクトなサイズ (W200mm × D160mm) となっている。

3-3 定置用蓄電池での検証

写真2に示す社内の定置用蓄電池 (27.4kWhのリチウムイオン電池を搭載) を対象に、開発した試作基板を用いた過渡応答解析技術による劣化診断の検証を行った。



写真2 検証を行った社内の定置用蓄電池

試作基板と併せて計測センサを蓄電池コンテナ内のリチウムイオン電池セルに設置し、2022年6月～2025年2月までの間に計測センサで計測したデータの中から所定の条件を満たす充放電データを抽出し、過渡応答解析を行った。蓄電池コンテナ内の温度変化により、電池セルの温度も変化するため、予め内部抵抗値 R_i の温度依存性を評価した上で温度補正式を算出し、25°Cの内部抵抗値 $R_{i@25deg}$ として補正した。図3に示す通り検証期間中の内部抵抗の増加は確認できなかったものの、算出した内部抵抗値 $R_{i@25deg}$ の9割以上が誤差率±5%以内となり安定した内部抵抗が得られることを確認した⁽⁴⁾。尚、一部の期間 (2023年3月～12月、2024年11月～2025年1月) でデータが空白となっているのは、試作基板の改良等により検証を一時中断したためである。

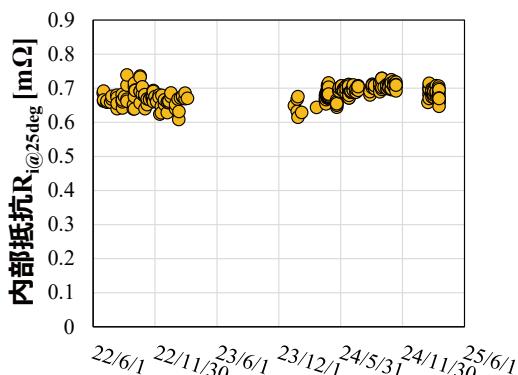


図3 計測センサで取得したデータでの過渡応答解析結果

計測センサで計測したデータを活用して過渡応答解析を行う場合、計測データの精度が高いことから、内部抵抗値 R_i のばらつきも抑えられる。但し、計測センサの設置はコストアップ等の課題がある。

一方、リチウムイオン電池を適用した定置用蓄電池にはBMS^{※5}が搭載されており、BMSでも電池の電流・電圧・温度を計測している。BMSデータを活用できれば、劣化診断が容易になることから、社内の定置用蓄電池を用いて、BMSデータ活用の可能性について検証した。

社内の定置用蓄電池では、BMSデータの分解能および測定間隔は計測センサで計測したデータよりも1桁ほど荒い仕様となっている。また、記録された時刻が同期されておらず、充放電による電流データと電圧データの変化のタイミングが必ずしも一致しないといった問題がある。その結果、BMSの生データに対して過渡応答解析を行うと、算出された内部抵抗 R_i が異常値を示し、劣化診断可能な精度が得られなかった。

そこで、過渡応答解析を行う前にBMSの生データに対して電流と電圧の同期処理などの補正処理を行った。補正処理による効果を確認するため、まずは過渡応答解析に適した波形であるパルス充電を定期的に印加して得られたデータに対して過渡応答解析を実施し、算出された内部抵抗 $R_{i@25deg}$ を確認した。尚、比較として、計測センサで取得したデータでの過渡応答解析も行った。補正したBMSデータに対する過渡応答解析の結果、図4に示す通り、計測センサで取得したデータでの結果より値はばらついたものの、平均値に対して±10%程度の一定のばらつきの範囲内で内部抵抗を算出できていることを確認した。

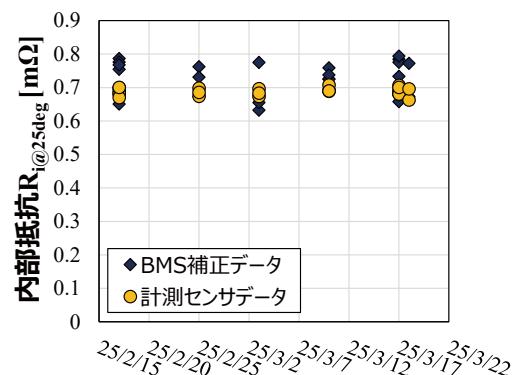


図4 補正処理したBMSデータでの過渡応答解析結果

4. 結 言

定置用蓄電池のBMSから取得したデータを活用し、過渡応答解析による劣化診断の可能性について検証した。従来は計測センサを設置して得られたデータでの劣化診断を検討していたが、BMSデータを活用することで劣化診断が

容易になることから、パルス充電データだけでなく、運用中の様々な充放電波形でも安定した内部抵抗が得られるよう、引き続き検討を進める。

また、近年採用実績が増えているリチウムイオン電池を搭載した定置用蓄電池での検証を2025年4月から社外で開始した。こちらも、計測センサとBMSの2種類のデータを取得し、過渡応答解析による劣化診断の検証を進めている。今後は種類の異なるリチウムイオン電池に対して、過渡応答解析による劣化診断の有用性を確認する。

用語集

※1 BCP

Business Continuity Plan：災害等の緊急事態が発生した時に、企業が受ける影響や損害を最小限に抑えつつ、中核となる事業を継続または早期復旧させるための計画。

※2 Cレート

電流の大きさを相対的に示したものであり、充電または放電の速度を示す指標。満充電された電池の全容量を1時間で放電させる電流値を1Cと定義。

※3 SOH

State Of Health：蓄電池の健全度や劣化状態を表す指標。初期の容量に対する現在の容量の割合。

※4 SOC

Stage Of Charge：充電率。電池の満充電容量に対して充電されている割合。

※5 BMS

Battery Management System：蓄電池を安全かつ効率的に監視・制御するシステム。

参考文献

- (1) 森田朋和 他、「内部状態の推定により電池の健全性を可視化する充電曲線解析法」、東芝レビュー Vol.68, No.10 (2013)
- (2) 明神正雄 他、「リチウムイオン電池の劣化要因解析—保存試験後の内部抵抗増加要因—」、JARI Research Journal (2014.2)
- (3) 大嶋涼 他、「環境配慮を支えるスマート電力供給システム (SPSS)」、日新電機技報 Vol.69, No.2 (2024.11)
- (4) 吉田翔治 他、「過渡応答解析技術による電池劣化診断の実証」、令和6年電気学会全国大会

執筆者

吉田 翔治*：日新住電エネルギーシステム開発センター



大嶋 涼：日新住電エネルギーシステム開発センター
グループ長



沖田 優人：日新住電エネルギーシステム開発センター



*主執筆者