

新エネルギーの鍵を握るリチウムイオン電池

京都府中小企業特別技術指導員の長岡直人氏(同志社大学理工学部教授)に上記テーマで寄稿いただきました。

はじめに

電気エネルギーは我々の生活や産業活動に必要な不可欠なエネルギーで、2011年3月11日に発生した大地震以降、電力インフラ安定運用の重要性が再認識されました。さらに、省エネルギー性を高め、温暖化ガス排出を削減することも地球規模の命題で、早急に取り組む必要があります。

我が国は、化石燃料をはじめとする発電エネルギー源のほとんどを海外に依存しており、エネルギー安全保障の観点からも自然エネルギーの有効利用は必須命題です。安定性に難がある自然エネルギー発電の有効利用には、2次電池を用いた電力貯蔵が効果的です。これは、電力需要と発電量のバランスが崩れると、系統周波数が不安定となり、大停電に至る場合があるためです。

現在自動車をはじめ各所で用いられている鉛電池も改良が加えられ大容量蓄電への応用が期待されており、ナトリウム硫黄(NAS)電池などは大容量蓄電池として実用化され系統に設置されています。一方、リチウムイオン電池は小型携帯機器の電源として実用化されましたが、近年は電気自動車など大容量蓄電デバイスとして注目されています。リチウムイオン電池はその適用範囲が広いことから、大量生産によるコストダウンが見込め、今後蓄電デバイスの主流となると推測されます。

大容量リチウムイオン電池の特性

リチウムイオン電池の端子電圧は、充電率(SOC)の関数で、SOCの上昇により端子電圧が上昇します。また、電池は少なからず内部抵抗を有しており、大電流充電・放電の際にはこの抵抗による電圧降下が無視できません。しかしながら、この電池の動作電圧は厳格に定められており、高SOC領域では必ずしも最大電流で充電することはできず、

低SOC領域では最大電流で放電できません。すなわち、電池の最適動作点はSOCと充放電電流両者を考慮して定める必要があります。後に述べる鉄道用電力補完装置に用いた60Ah大容量産業用リチウムイオン電池による最大充放電電流特性を図1に示します。充電時には電池内部抵抗により電池電圧が上昇するため、最大電流600Aで充電できるのはSOCが約36%以下の領域となります。しかし、この領域では、電池最低電圧の制限により最大電流で放電することはできません。例えば、放電電流を300Aに制限すればSOC20%から36%の領域で電池を利用することができます。このように、大容量電池を用いたシステムの運用にはSOCを正確に知る必要があります。

電池端子開放電圧はSOCの関数となるため、この電圧からSOC推定が可能です。機器の動作を停止し電流を零として測定する必要があります。さらに、電池の端子電圧は電流変化に対して遅れがあり、電流を零とした直後にはSOCを表す開放電圧を得ることができません。したがって、機器動作時にSOCを高精度に推定する手法の開発が待たれています。

また、ユーザからは電池の交換時期を知りたいとの要求があります。民生用機器であれば、電池容量の低下、いわゆる『電池の持ちが悪くなった』ことを感じた後に電池を交換することも可能ですが、系統用の電力貯蔵などインフラ設備においては、残存寿命を予測することは極めて重要な技術要素となります。各電池の公称充放電回数に達した際に交換することも一手法ですが、この回数はある充放電条件における最低充放電回数を示すもので、必ずしも電池寿命を表すものではありません。寿命よりも早期に交換すれば、コスト高になるばかりでなく、廃棄物が増加することになり、蓄電装置の目的のひとつである自然エネルギーを利用した環境に優しい社会の構築に反することになります。また、寿命を超えた電池の運用は、インフラ設備の使命である安定な運用に反します。

以上の観点から、新エネルギーの有効利用には、リチウムイオン電池のSOC推定と劣化検出は喫緊の課題です。同志社大学は、NEDOからの委託を受け、これらの技術の開発を行っています。この技術は、西日本旅客鉄道(株)と同志社大学が、直流電気鉄道の架線電圧安定化のため、リチウムイオン電池を用いた電力補完装置を世界に先駆け開発した技術を礎にしています。

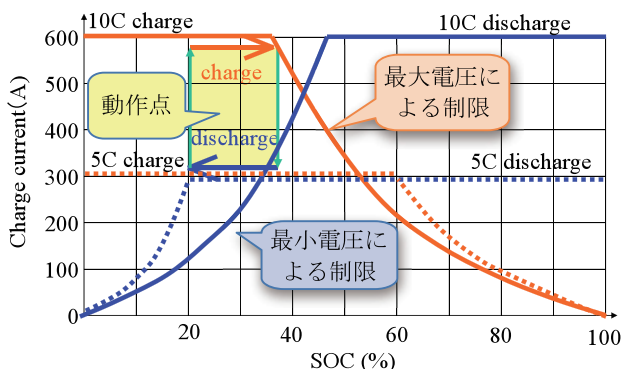


図1 充放電電流とSOC

鉄道用蓄電装置

近年投入されている電車には、電車の運動エネルギーを利用してモータを発電機として使い発電しブレーキをかける回生ブレーキが装備されています。これは、ハイブリッド・電気自動車にも応用され、エネルギーの有効利用に貢献しています。電気鉄道では、回収したエネルギーは他の電車に架線を介して供給しますが、電気鉄道ではその取り扱う電流が極めて大きいことが特徴で、図2に示すように、発電により生じた電流が架線に流れると、架線抵抗により電圧が上昇します。たとえば、1600Aの回生電流が発生すると、変電所までの架線抵抗がわずか0.2Ωであっても160V（10%）電圧が上昇します。架線電圧が過大となると機器の絶縁不良などの問題が生じるため、電気ブレーキを使うことができず、回生エネルギーが利用できなくなります。そこで、回生エネルギーをリチウムイオン電池に貯蔵する電力補完装置を開発しました。充電したエネルギーは、電車の力行（加速）時に使用し、エネルギーを有効利用するのみならず、機械式ブレーキの使用頻度が低下することから電車の保守を容易としています。回生電力の貯蔵装置は車載することも可能ですが、全ての車両に搭載されるまで完全な電圧安定化を達成することができないため、本電力補完装置は地上設置方式を採用し、電圧安定化を即時実現すると共に、保守作業を低減しました。

本蓄電装置は、前項で述べた大電流充放電を可能とするSOC領域を用いる充放電制御法を適用することにより効果的な架線電圧安定化を実現すると共に、電池劣化を低減する制御により長期運用を可能としました。また、電池の動作特性は電池の内部抵抗に大きく依存します。そこで、運転時に電池内部抵抗を測定するマイコンを用いた回路を開発し、内部抵抗を常時観測しています。また、内部抵抗は電池の劣化パラメータの一つで、この経年変化を観測することにより、劣化進行を監視しています。屋外設置である電力補完装置は過酷な運転条件となりますが、現在のところ電池劣化は観測されておらず、高信頼性が要求される鉄道において、安定な運転を継続していることを確認しています。

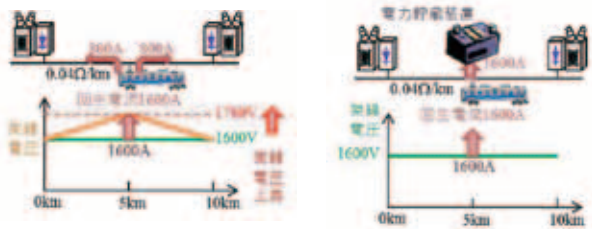


図2 電力貯蔵装置による架線電圧安定化

SOC 推定と劣化診断法

鉄道用電力補完装置の開発により、いくつかの新たな知見

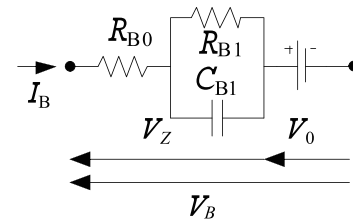


図3 電池等価回路モデル

が得られました。その一つが、電池等価回路モデルです。従来の電池等価回路は内部抵抗 R_{B0} と SOC により定まる電圧を発生する内部起電圧（開放電圧） V_0 の直列接続回路でしたが、本装置の開発過程で、電池の過渡特性を表現する高精度電池モデルが得られました（図3）。

これは電池の内部インピーダンスを、内部抵抗 R_{B0} に加え、過渡応答を表す RC 回路で表現するもので、電池の過渡応答を表現することができます。すなわち、測定可能な端子電圧 V_B ・電流 I_B が知られば、これらから内部インピーダンス電圧降下 V_Z を計算により求め、電池内部起電圧 $V_0 = V_B - V_Z$ を電池の動作時に推定することができます。これより、SOC の動的推定が可能となると共に、内部インピーダンスのパラメータ変化から、電池の劣化診断をすることが可能となります。この方法は、従来の電流積分して SOC を求める動的手法と比して初期値を要することなく SOC を推定することができます。

おわりに

自然エネルギーによる発電のみならず電力の利用効率を上昇させることも求められています。たとえわずかな効率向上であっても、地球規模の視点からは、極めて大きな省エネルギー効果が得られます。蓄電技術は現在検討されている高効率直流配電システムとの相性も良く、太陽光や風力などの新エネルギーの有効利用、省エネルギー性向上の鍵を握る技術です。また、この技術は携帯電子機器などの民生品から大電力貯蔵のインフラ設備に至るまで広く応用可能で、我が国にイノベーションを巻き起こす鍵ともなり得ます。鉄道用電力補完装置と同様、産官学の連携を通して、蓄電技術が進化発展することを願っております。

長岡 直人（ながおか なおと）氏 プロフィール



同志社大学 理工学部 電気工学科 教授
 リエゾンオフィス・知的財産センター 所長
 インフラストラクチャー研究センター 副所長
 日本EMTP委員会 委員長
 京都府中小企業特別技術指導員
 専門：電力工学

【お問い合わせ先】

京都府中小企業技術センター
 企画連携課 情報・デザイン担当

TEL:075-315-9506 FAX:075-315-9497
 E-mail:design@mtc.pref.kyoto.lg.jp