

リチウムイオン二次電池のシミュレーション

豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 助教授 乾 義尚

Associate Professor Yoshitaka Inui
Department of Electrical and Electronic Engineering,
Toyohashi University of Technology



はじめに

リチウムイオン二次電池は、小型のものは既に実用化され、高起電力かつ高エネルギー密度という優れた特長を生かして、よくご存じのように、ノートパソコンや携帯電話等の携帯電子機器用電源として現在広く普及している。さらに、この電池は、上記の特長に加えて充放電効率が高いという利点を併せ持つので、今後は大型化して電気自動車やハイブリッド自動車、小型分散電源用の蓄電装置としても広く普及するものと期待されている。

従来のように、この電池を携帯電子機器の電源として使用する場合には、電池の端子電圧がデジタルLSIの動作可能範囲内に入ってさえいれば機器は正常に動作するので、これまでは電池の端子電圧や負荷電流の過渡特性が問題となることはほとんどなかった。しかし、この電池を自動車や小型分散電源用の蓄電装置に適用するためには、時々刻々変化する負荷の要求電力を正確かつ応答よく出力する必要がある。従って、電池の端子電圧や充放電電流の過渡応答を正確に計算することができるシミュレーション手法の確立が求められている。

また、電池を大型化すると、通電にともなう発熱の放散が悪くなるため、充放電時の電池温度の上昇が顕著となり、電池性能劣化の問題が発生するのみならず、最悪時には電池が熱暴走する可能性もある。従って、充放電時の電池内温度分布の過渡上昇を正確に計算することができるシミュレーション手法の確立も求められている。

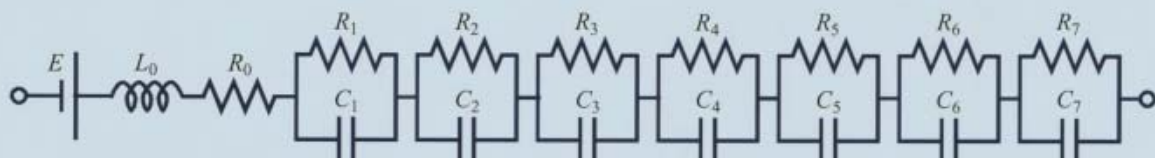
筆者らの研究室では、上記の両シミュレーション手法の確立を目指して、リチウムイオン二次電池のシミュレーションに関する研究を行っている。しかし、この研究は、一般にはあまりなじみがないと思われるので、本稿ではその研究内容について簡単に紹介したい。

電圧過渡応答のシミュレーション

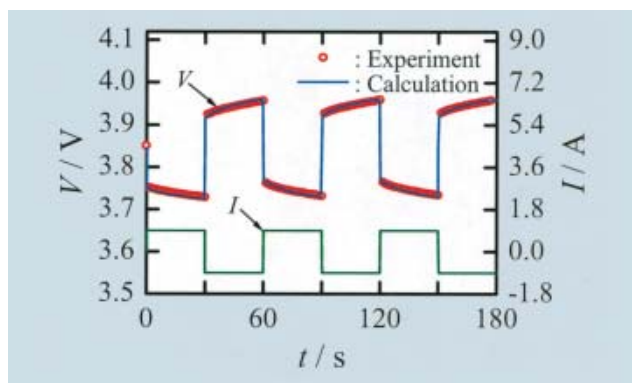
筆者らは、リチウムイオン二次電池を等価回路で表し、それを用いた電池の過渡応答シミュレーションを試みている。等価回路には、起電力を表す直流電圧源、集電体や電解液の抵抗が含まれるのは説明するまでもないが、それ以外に電池内の各所に存在する界面(活物質や集電体の表面等)にできる電気二重層を表す抵抗とコンデンサの並列回路が多数含まれ、それらが電池の過渡応答を支配している。さらに、高周波領域では回路のインダクタンス成分も無視できない。以上を考慮して作成した、筆者らが現在供試電池として実験に用いているS社製電池US18650G3(定格容量1.8Ah、公称電圧3.6V、直径18mm、高さ65mmの標準的な円筒型電池)の等価回路を第1図に示す。

筆者らのシミュレーション手法では、図中の各素子の回路定数は、電池の交流インピーダンス特性(内部インピーダンスの周波数特性)および開回路時の電圧過渡応答の測定結果を利用して推定するが、電池の特性は温度と充電状態(State of Charge、SOC、満充電時と完全放電時をそれぞれ1と0として電池の残容量を規格化した値)に依存して大幅に変化することを考慮して、それらを温度と充電状態の関数として表している。この工夫が、温度や充電状態が大幅に変化する長時間現象の高精度シミュレーションを可能にしている。

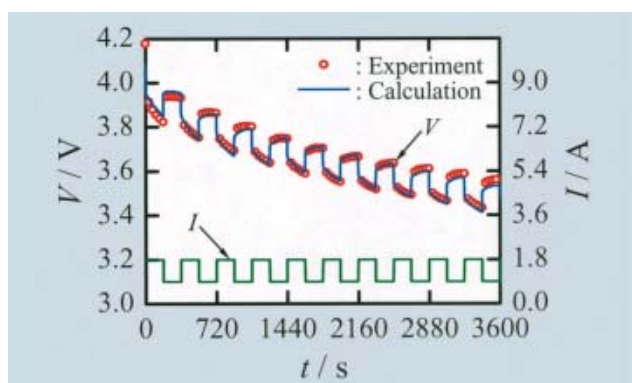
シミュレーション結果の例として、供試電池を対象として、温度と充電状態が20 と0.6で±0.9A定電流の充放電を60s周期で繰り返した場合および満充電状態から1.8Aと0.9A定電流の放電を360s周期で繰り返した場合の、電圧過渡応答の実測および計算結果を第2図および第3図に示す。なお、第3図の計算では、温度は実測値



第1図 リチウムイオン二次電池の等価回路



第2図 60s周期の充放電電流に対する電圧過渡応答



第3図 360s周期の放電電流に対する電圧過渡応答

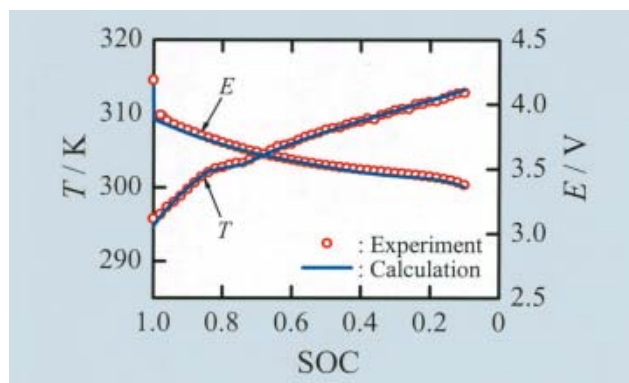
を用いている。両図より、開発したシミュレーション手法は十分な精度を有していることが確認できる。

電池内温度分布の過渡上昇シミュレーション

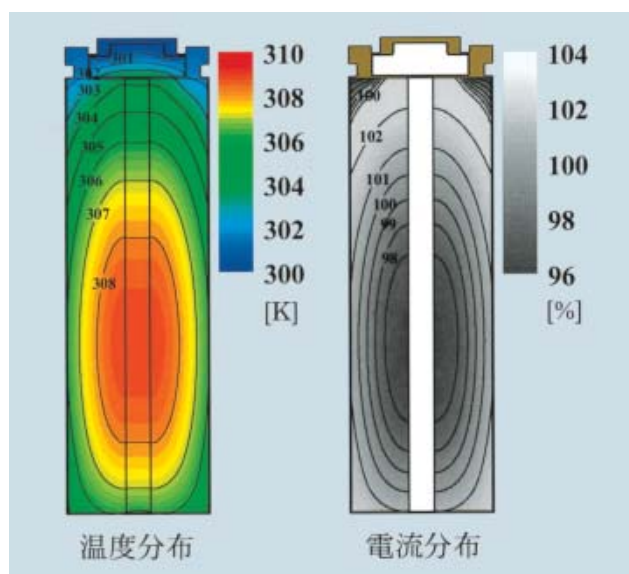
筆者らは、リチウムイオン二次電池内部の発熱量を推定し、それを考慮した熱伝導方程式を解くことにより、電池内温度分布の過渡上昇シミュレーションを試みている。電池内の発熱には、電池反応時のエントロピー変化に起因するものと、電池の等価内部抵抗(オーム抵抗と反応抵抗の和)に起因するものがあり、前者は電流に比例し充放電時で吸発熱が逆転するのに対して、後者は電流の2乗に比例し常に発熱である。

筆者らのシミュレーション手法では、これらのうち、エントロピー変化は、開放電圧の温度依存性を測定することにより推定し、充電状態の関数として表したものをを用いており、等価内部抵抗は種々の電流値での定電流放電曲線を測定することにより推定し、温度と充電状態の関数として表したものをを用いている。

シミュレーション結果の一例として、供試電池を室温空間中に吊して、満充電状態から1.8A定電流放電を行った場合の、電池表面温度と端子電圧の過渡変化の実測および計算結果を第4図に示す。なお、図では、時間の経過を充電状態の変化で表している。図より、開発したシミュレーション手法は十分な精度を有していることが確認できる。さらに、本手法は、大型電池で問題となる



第4図 放電時の電池表面温度と端子電圧の過渡変化



第5図 電池内温度および電流分布

電池内部の温度や電流分布の非一様性も、一例を第5図に示す(電流分布は平均値で規格化して示している)ように、シミュレートすることができるので、電池の熱管理用の強力なツールになるものと期待している。

おわりに

本稿では、筆者らの研究室で行っている、リチウムイオン二次電池のシミュレーションに関する研究の一端を紹介した。今後は、ここで紹介した2種類のシミュレーション手法を統合することにより、より汎用性の高いシミュレーション手法の確立を目指していく予定である。

乾 義尚(いぬい よしたか)氏 略歴

昭和56年3月 京都大学工学部電気工学科卒業
 昭和58年3月 京都大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了
 昭和59年4月 京都大学工学部電気工学科助手
 昭和63年1月 京都大学工学博士
 平成4年4月 京都大学工学部電気工学科講師
 平成11年4月 豊橋技術科学大学電気・電子工学系助教授
 現在、エネルギー変換、燃料電池、二次電池、自然エネルギー等に関する研究に従事。