

# リチウムイオン電池の急速充放電時の発熱挙動

福田 健一<sup>\*</sup>, 中山 正人, 大森 吉剛, 若原 健二  
荒木 拓人, 恩田 和夫 (豊橋技術科学大学)

Thermal Behavior of Lithium-Ion Battery during Rapid Charge and Discharge Cycles  
Kenichi Fukuda, Masato Nakayama, Yoshitake Ohmori, Kenji Wakahara,  
Takuto Araki, Kazuo Onda (Toyohashi University of Technology)

## 1. 緒言

近年, 環境汚染や資源枯渇の懸念から電気自動車や負荷平準化に伴う電力貯蔵用に大型の二次電池が期待されている. これらの用途に用いる電池は大電流で発熱を伴う条件で使用されることが予想され, その挙動を十分に把握しておく必要がある.

我々はこれまで, リチウムイオン電池のいくつかの電池発熱因子を測定し, それらを発熱モデルに代入することで電池温度の上昇を解析し, 実測した電池温度上昇と比較してきた<sup>(1)</sup>. 今回, それらの解析および測定の放電範囲を 4C (0.25 時間率) まで拡大, 解析と測定が比較的良好に一致したため, これらを報告する.

## 2. 熱挙動解析モデル

2.1 代表電池温度モデル 電池温度が代表的な一つの温度  $T_{cell}$  で表せれば,  $T_{cell}$  はエントロピー変化に伴う発熱  $Q_S$  と過電圧抵抗による発熱  $Q_P$ , 周囲への放熱  $Q_B$  を用いた以下の熱収支式により記述される. ただし  $C_{cell}$  は電池の熱容量である.

$$C_{cell} \frac{dT_{cell}}{dt} = Q_P + Q_S - Q_B \quad (1)$$

代入する発熱因子 (過電圧抵抗, エントロピー変化, 熱容量, 熱伝達率) は, それぞれ実験的に求めた.

2.2 電流・温度分布モデル<sup>(2)</sup> 充放電時の電池内部の温度分布を推定するため, 半径方向の 1 次元温度分布モデルにより解析した. スパイラル電池の正負極, 電解質シートを広げた状態の等価回路を考え, 電流や充電状態 (SOC) の分布状態を解析する. これらを軸対称 1 次元として半径方向の温度分布を記述する以下の非定常熱伝導式 (2) を数値解析し, 電池内部の温度分布を計算した.

$$c\rho \frac{\partial T_{cell}}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T_{cell}}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial T_{cell}}{\partial R} \right) + (Q_S + Q_P) \quad (2)$$

## 3. 発熱因子の測定

測定には市販の小型リチウムイオン電池, SONY 社製の US18650G3 を用いた.

3.1 過電圧抵抗 簡易的に抵抗を求めるために, 様々な温度における定電流充放電特性を測定し, それらの結果を SOC および DOD (放電深度,  $1 - SOC$ ) をパラメータとして, 図 1 のように V-I 特性にプロットする. このとき, 電圧と電流はほぼ線形関係を示すため, この勾配を図 2 のように過電圧抵抗とした.

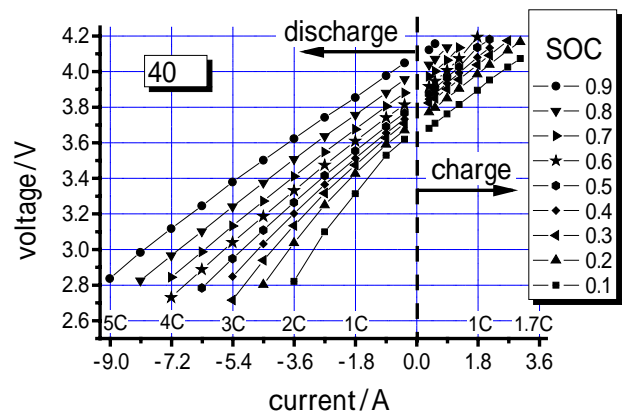


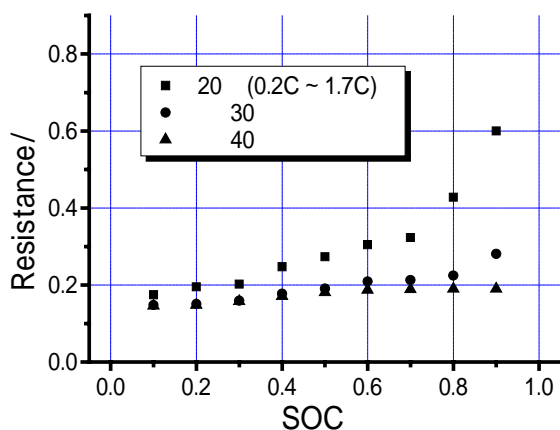
図 1 SOC をパラメータとした V-I 特性

Fig. 1. V-I characteristics with SOC parameters.

3.2 エントロピー変化 エントロピー変化は (3) 式に示すように, 開回路電圧の温度による変化を測定することで求められる. 十分に電圧が安定した電池を恒温水槽に浸し, 温度を変えて, 電池電圧の変化を測定した. 測定は電池の SOC を様々に変えて行った.

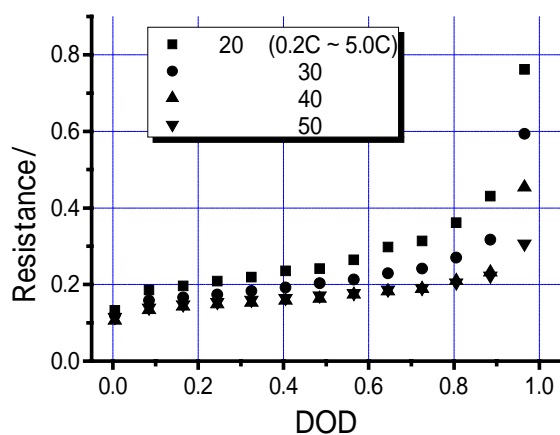
$$\Delta S = - \frac{\partial \Delta G}{\partial T_{cell}} = n \cdot F \cdot \frac{\partial E_{emf}}{\partial T_{cell}} \quad (3)$$

3.3 熱容量 熱容量は双子型熱量計 (C-80, SETARAM) を用いて測定した<sup>(3)</sup>. 電池温度を 20 から 90 まで 0.4 /min で等速昇温させ, 電池の熱容量を測定した. この測定系は一次遅れを持つと仮定し時定数を求め<sup>(4)</sup>, 測定された熱量の遅れを補正し, 熱容量を電池温度の関数として求めた.



(a) 充電時

(a) During charge cycle.



(b) 放電時

(b) During discharge cycle.

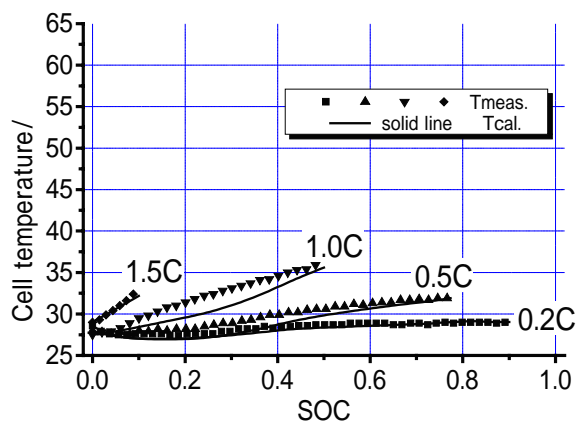
図2 V-I特性による過電圧抵抗

Fig. 2. Overpotential resistance.

3・4 熱伝達率 恒温水槽で90 に加熱したリード線付き電池を、室温一定の自然対流下で水平円筒状態になるように吊りし、電池の温度降下を測定した。測定結果を80から10 間隔で区切り、リード線を含んだ各温度範囲での電池の熱伝達率を求めた。この結果と、空気中の水平円筒に対する熱伝達整理式との比を求め、リード線も含めた水平円筒に対する熱伝達補正係数を求めた。この補正熱伝達率は電池温度と周囲温度の関数とした。

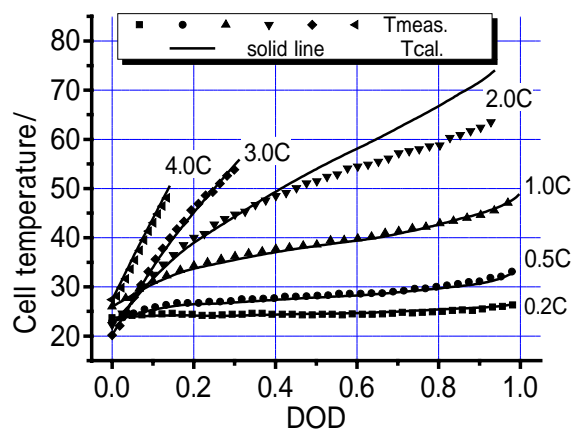
#### 4. 解析温度と実測温度の比較

電流と温度の分布を解析したところ、電池中心と表面の温度差が最大となるのは、3C 放電末期で約1.6 となり、電池内部の温度分布はほとんど無いことが分かった。この結果より、今回試験したような小型の電池であれば、分布



(a) 充電時

(a) During charge cycle.



(b) 放電時

(b) During discharge cycle.

図3 解析と測定電池温度の比較

Fig. 3. Comparison of calculated and measured cell temperatures.

を考慮しない代表電池温度によって熱挙動を記述できることが分かった。従って、表面温度と代表電池温度モデルによる計算値と比較する。図3に定電流充放電時の電池温度の測定と計算を比較して示す。両者は良く一致し、1.5C 充電および4C 放電までのこのモデルが充分適用できることが分かった。

#### 文献

- (1) 大島 他：電学論 B,124,12,pp.1521-1527 (2004)
- (2) 高野 他：電総研彙報,Vol.60,No.12,pp.817-824 (1996)
- (3) 斎藤 他：電総研彙報,Vol.60,No.12,pp.763-769 (1996)
- (4) 斎藤 他：電総研彙報,Vol.60,No.12,pp.771-778 (1996)