

# 急速充放電時の二次電池の発熱挙動

## Thermal Behavior of Rechargeable Battery during Rapid Charge and Discharge Cycles

伝正 \*荒木 拓人 (豊技大) 福田 健一 (豊技大)  
大森 吉剛 (豊技大) 機正 恩田 和夫 (豊技大)

Takuto Araki, Kenichi Fukuda, Yoshitake Ohmori and Kazuo Onda  
Dept. of EEE, Toyohashi Univ. of Tech., 1-1 Tempaku, Toyohashi, Aichi 441-

The secondary batteries for the electric vehicle (EV) generate much heat during rapid charge and discharge cycles, when the EV starts quickly consuming the battery power and stops suddenly recovering the inertia energy. The generated heat increases significantly the cell temperature and causes possibly bad influences on the battery performance and the safety requirement. So we have studied the thermal behavior of nickel/metal hydride (Ni/MH) battery during rapid charge and discharge cycles. The heat sources by the entropy change, the hydrogen occlusion and the side reaction have been referred to the published data, and the overpotential resistance and the current efficiency, the ratio of main reaction current to charge current, have been measured experimentally through the rapid charge and discharge characteristics with constant current. By using these data our thermal model for Ni/MH battery has estimated its temperature increase, which agrees well with the measured temperature rise, with the root mean square error of 1.5°C and 2.1°C for charge and discharge cycles, respectively.

*Key Words* : Nickel metal hydride battery, rapid charge and discharge, thermal behavior model

### 1. 緒言

環境汚染とエネルギー資源の多様化への課題から、電気自動車 (EV) やハイブリッド車 (HEV) の開発、実用化が重要となっている<sup>(1)</sup>。これらの駆動電源として搭載される二次電池に求められる性能として、エネルギー密度や出力密度が高いことに加え、長寿命サイクル特性や高信頼性も重視される。その妨げと考えられるのが、電池の発熱である。電池内部に温度分布が生じて電流分布が偏ると、部分的に過充電や過放電が起き、局所劣化する恐れがある。また、EV や HEV に搭載される電池は大容量化、大型化しているとともに、発進時やエネルギー回生時に大きな充放電電流が流れるため発熱量は増大しており、電池の温度上昇は大きくなり易い。このように、電池の発熱は重要な問題であり、電池の発熱挙動は明確にされておく必要がある。

そこで我々は市販の小型ニッケル水素電池を対象に、急速充放電時の発熱挙動を解析した。発熱項として過電圧発熱やエントロピ発熱、水素吸蔵・放出熱、副反応による水電解・生成熱を推定し、自然対流下で室温一定における電池内温度分布を考慮した電池温度上昇モデルを作成し、実測との比較を行ったので報告する。

### 2. 発熱挙動モデルと電池の諸特性の測定

#### 2.1 発熱要因 ニッケル水素電池の発熱は主に、電気化学

的平衡からずれることによる過電圧発熱、電気化学反応のエントロピ変化による発熱、水素吸蔵熱や発生酸素の再結合反応のエントルピ変化による発熱からなる。これらをまとめると次式になる。

$$Q_{cell} = I^2 R_p + \sum_i T_{cell} \frac{\Delta S_i}{n_i F} I_i + \sum_j \frac{\Delta H_j}{n_j F} I_j \quad (1)$$

ここで  $I$  は充放電電流、 $R_p$  は過電圧抵抗、 $T_{cell}$  は電池温度、 $\Delta S_i$  はエントロピ変化、 $\Delta H_j$  はエントルピ変化、 $I_i$  と  $I_j$  は反応  $i, j$  に関わる反応電流である。 $I_i$  と  $I_j$  は実測した電流効率より推定し、 $\Delta H_j$  は文献値<sup>(2)</sup>を参照した。

2.2 電池特性の計測 双子型熱量計 (C-80, SETARAM) を用いて、電池の熱容量  $C_{cell}$  を測定した。図 1 に示すように電池温度 60 付近から熱容量が下がる特異な変化が現れたが、熱容量測定後に行った残存容量の測定で、約 DOD (放電深度) 6% の残存容量の減少が確認できたため、温度上昇に伴う電池の自己放電の影響であると考えられる。 $C_{cell}$  は電池の自己放電による発熱の影響が無く、電池温度変化が一定とできる範囲で、一時遅れを補正した熱量から電池温度  $T$  の一次関数として近似した。

熱伝達率は電池温度上昇試験と同じ環境で、温めた電池を放熱させ、その温度下降曲線から図 2 に示す外気への熱伝達率を決定した。解析では水平円筒に対する熱伝達率の整理式

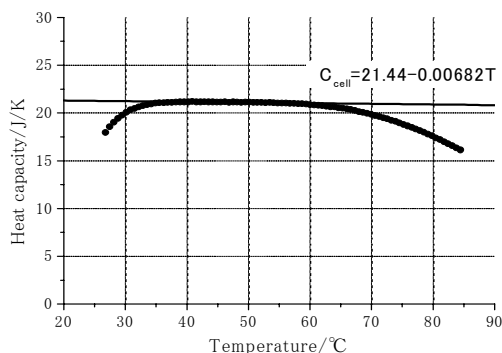


Fig.1 Change of heat capacity by cell temperature

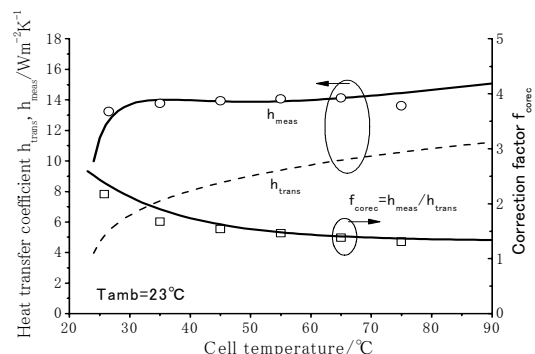
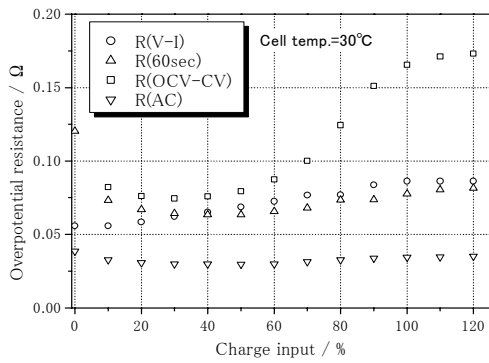


Fig.2 Measured heat transfer coefficient and its correction factor



(a) During charge cycle

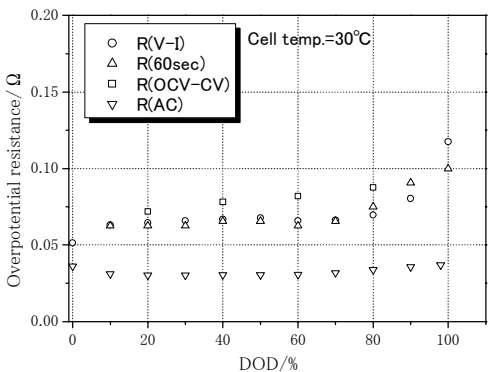


Fig. 3. Comparison of overpotential resistances by four methods during discharge cycle at 30 °C

に、側面やリード線等の影響を考慮するための補正係数を掛けて表し、周囲温度の関数として求められるようにした。

発熱因子の一つである過電圧抵抗は、 $V-I$ 特性による抵抗  $R(V-I)$ 、間欠充放電による抵抗  $R(60sec)$ 、開回路電圧とセル電圧の差による抵抗  $R(OCV-CV)$ 、そして交流インピーダンス計による抵抗  $R(AC)$ の合計4種類の方法で測定した。30 放電、充電それぞれにおける各過電圧を図3に示す。過電圧抵抗を慎重に検討したのは、電流の大きい急速充放電時では過電圧発熱が電池電流の二乗に比例し、他の発熱要因に比べより大きな温度上昇を与えるためである。

### 3. 電池温度の計算と実測結果との比較

前章で計測した電池の諸特性を用いて、電池シート方向の電流密度分布を考慮した電池半径方向の温度分布の解析<sup>(3)</sup>を行った。2C 充電時の温度分布変化は図3に示すように、電池中心と表面の温度差は充電終了時に最大で 1.0 となり、1C を越える急速充放電時でも、本研究のような小型電池で

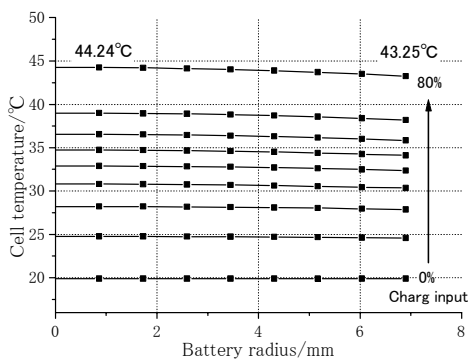


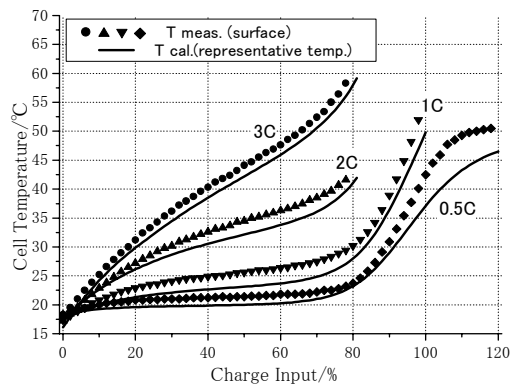
Fig. 4. Radial distribution of calculated cell temperature.

あれば電池内温度分布は小さいことが分かった。この温度分布を確認するため、シース径 1mm の熱電対を電池中心に差し込み、電池表面中央部にハンダ付けした素線径 0.1mm の熱電対で測定した電池中心温度を測定した。電池表面温度と比較すると、2C 充電時には解析値と実測温度は良く一致した。

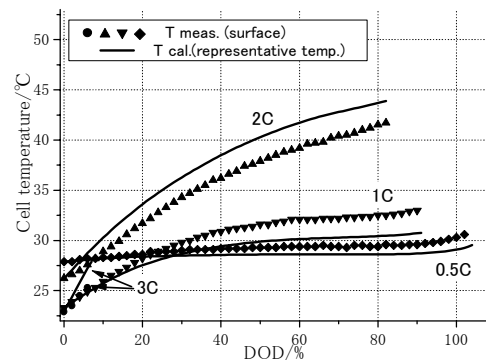
急速充放電時の温度変化を電池熱挙動モデルと、電池表面のとをを比較して図5に示す。それぞれ(a)が放電時、(b)が充電時である。全体的にみると、急速に充放電を行うほど温度上昇は大きく、エントロピー変化が発熱に働く充電中の温度が高い。また、充電末期に温度が急上昇しているのは、主に正極でOHが酸素に電気分解され、負極で水となる副反応によるものと考えられる。以上のような傾向も含めて、充放電共に解析温度は測定電池温度に良く一致し、本研究による解析法によって Ni/MH 電池の熱挙動を精度良く予測できることが分かる。ただし、2-3C 放電時の計算温度は測定よりもやや高く、全ての充電時と1C以下の放電時では逆に計算値は測定値よりもやや低い結果となった。なお、図5では2.2節で述べた過電圧抵抗は  $R(V-I)$ を用いた計算結果を示したが、 $R(OCV-CV)$ や  $R(60sec)$ 、 $R(AC)$ を用いた計算結果は、測定温度に対する  $R(V-I)$ による計算温度の平均温度偏差(充電時全体で 2.1、放電時全体で 1.5)より大きかった。つまり、本研究の実験範囲では  $R(V-I)$ が最も測定値に近い電池温度を与える過電圧抵抗であると言える。今後は、これらの差を検討し、より内部温度分布が大きくなると思われる大型電池の熱挙動を正確に予測できる解析法を開発する必要がある。

### 参考文献

- (1) 山田修司・他、第43回電池討論会、(2002)、222-223.
- (2) S. G. Bratsch, J. Phys. Chem. Ref. Data, 18-1, (1989), 1-21. 他
- (3) 高野清南・他、電総研彙報、1.60-12, (1996), 817-824.



(a) During charge cycle



(b) During discharge cycle

Fig. 5. Comparison of calculated and measured cell temperatures.