

## 低温下におけるニッケル水素蓄電池の熱的モデルの開発

### -変動充放電電流試験による表面温度特性のモデル化-

#### Establishment of Thermal Model of Ni-MH Battery under Low Temperature

#### - Modeling of Surface Temperature Characteristics by Fluctuating Charge and Discharge Current Examination -

○笹谷俊太<sup>1</sup>, 西川省吾<sup>2</sup>

\*Shunta Sasaya<sup>1</sup>, Shogo Nishikawa<sup>2</sup>

Abstract: We have been studying performance of a renewable energy system at Showa Base in Antarctica. An ambient temperature influences performance of battery, and a performance of battery decreases under low temperature. The purpose of this study is establishment of simple thermal insulation technology and modeling of surface temperature of battery with insulation material during charge or discharge. This manuscript describes modeling of surface temperature characteristics by fluctuating charge and discharge current examination.

### 1. はじめに

南極の昭和基地では現在、必要な熱や電気エネルギーの大半を化石燃料で賄っている。しかし今後、消費電力の増加が予想されるため、太陽光発電や風力発電の活用が考えられている。しかし、これらは出力変動が激しく、昭和基地の小規模な電気系統に連系すると周波数変動が懸念される。その対策として蓄電池の適用が考えられるが、低温下において性能低下が懸念されるため保温する必要がある。

本研究の目的は、昭和基地で使用する蓄電池の簡易な保温技術を確立することである。本稿では、その前段階としてニッケル水素蓄電池の変動充放電電流試験時の表面温度を測定し、熱的モデルを作成したので報告する。

### 2. 試験条件

今回の供試体はニッケル水素蓄電池で、定格電圧は 1.2V、定格容量は 10Ah である。表面温度測定のための熱電対の貼付位置は供試体の全長の中央部分とした。

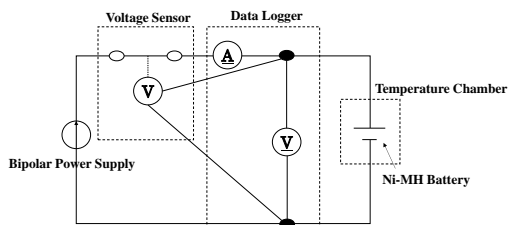


Fig1. Test Circuit

Figure1 は試験回路である。恒温槽内にニッケル水素蓄電池を入れて測定した。そしてデータロガーで電池電圧と電池表面温度等を記録した。

### 3. 試験方法

恒温槽内にニッケル水素蓄電池を入れ、槽内温度を 20, 0, -10, -15°C の 4 パターンに設定し、変動充放電試験を行い、熱電対を用いて電池表面温度を測定した。Figure2 に試験の流れを示す。電流変化条件は周囲温度 20°C と 0°C では、1 分間における電池電圧変化  $\Delta V_{\min}$  が 0.001V 以下、周囲温度 -10°C と -15°C では、 $\Delta V_{\min}$  が 0.002V 以下になった場合とした。

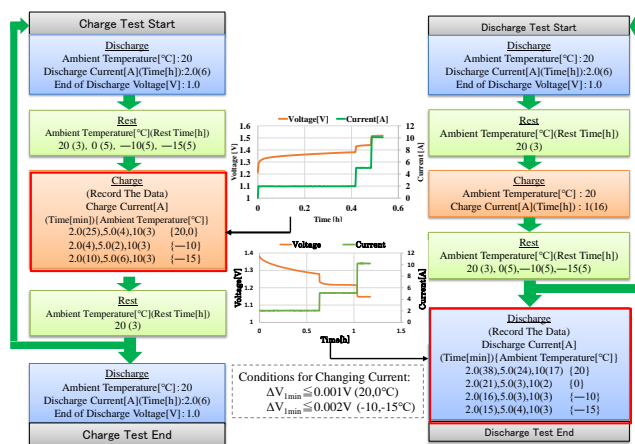


Fig2. Test Procedure

### 4. 試験結果

電池表面温度特性の実測値とモデル値を Figure3 と Figure4 に示す。Figure3 は変動充電電流試験、Figure4 は変動放電電流試験である。横軸の SOC とは、公称容量に対して充電された割合、DOD は定格容量に対して放電された割合を表している。試験結果より、電流値や周囲温度ごとに試験開始時からの表面温度上昇  $\Delta T$  が異なっている。また、同じ電流でも充電と放電では温度上昇が異なることが分かる。

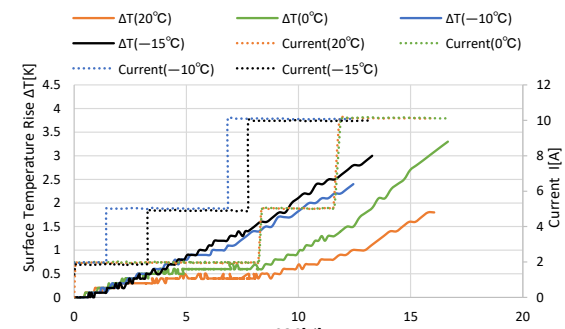


Fig3. Test Result (Charge)

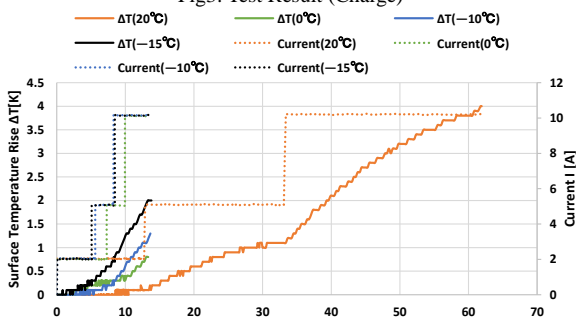


Fig4. Test Result (Discharge)

この要因を蓄電池の熱回路を用いて説明する。熱回路を Figure5 に示す。

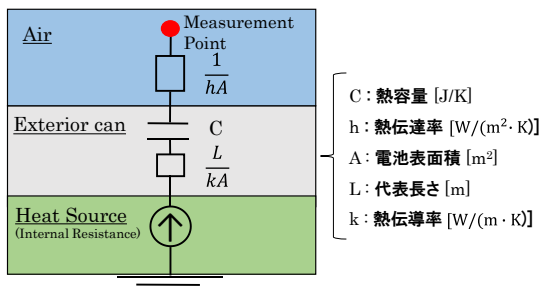


Fig5. Thermal Circuit of Battery

電池の発熱要因は内部抵抗のジュール熱と考えた。他に水素吸蔵合金の反応熱が考えられるが、別の試験結果より発熱が微小だったため、含まないこととした。内部抵抗は実際に測定し、最小二乗法により近似式を示す。

$$R = (1.0 \times 10^{-4}T^2 - 2.1 \times 10^{-3}T + 0.043)e^{a \times SOC} \quad \dots(1)$$

ただし、a は

$$1.6 \times 10^{-3}T + 0.128 \quad (T < -15) \quad \dots(2)$$

$$-0.2 \times 10^{-3}T + 0.108 \quad (-15 \leq T < 10) \quad \dots(3)$$

$$3.6 \times 10^{-3}T + 0.071 \quad (10 \leq T) \quad \dots(4)$$

とする。T は周囲温度 [°C] である。

熱伝達率 h はヌセルト数、レイノルズ数、プラントル数を用いて算出した<sup>[1]</sup>。熱伝導率 k は供試体における物性値を用いて算出した。熱容量 C は、時定数(RC)を実験値より算出した<sup>[2]</sup>。

以上を組み合わせ、温度上昇 ΔT のモデル式を示す。

$$\Delta T = \frac{Q}{Ah} \left( 1 - e^{-\left(\frac{1}{RC}\right) \times t} \right) \quad \dots(5)$$

ただし、Q[W]は発熱量、t[s]は経過時間とする。式(5)を用いた計算結果を Figure6 に示す。

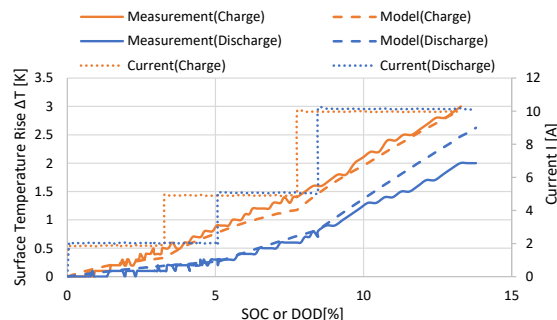


Fig6. Measurement and Model (-15°C)

### 5. 精度評価

モデル式の精度評価には式(6)を用いた。

$$RMSE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta T_i - \Delta T_i')^2 \right)^{1/2} \quad \dots(6)$$

ただし ΔT<sub>i</sub> : i 番目のモデル値 [K], ΔT<sub>i</sub>' : i 番目の実測値 [K], N : データ数とし、算出値を Table1 に示す。

Current [A]	Ambient Temperature [°C]							
	Charge				Discharge			
	20	0	-10	-15	20	0	-10	-15
2	0.04	0.10	0.05	0.08	0.15	0.07	0.08	0.05
5	0.04	0.20	0.06	0.10	0.12	0.06	0.13	0.06
10	0.22	0.80	0.04	0.09	0.48	0.10	0.13	0.12
2~10	0.08	0.28	0.05	0.08	0.25	0.07	0.10	0.14

RMSE は 0.5K 以内にはほとんど収まっているため、精度は良い。現段階では SOC20%以内で試験を行っているため、内部抵抗のみが温度上昇に影響を与えていると考えられる。温度上昇の立ち上がり部分の精度も良いため、電流変動を細かく行った場合でも精度が保たれると推測できる。ただし、SOC80%以降になると充電試験の場合、内部ガス圧力上昇等の影響による温度上昇も計算を取り入れる必要がある。

### 6. まとめ

低温時の簡易保温技術を明らかにする前段階として、ニッケル水素蓄電池の表面温度特性の熱的モデルを作成し、その精度を評価した。その結果、実測値と計算値の偏差の RMSE は 0.5K 以内に収まり、電池の発熱の大きな要因は内部抵抗によるジュール熱と考えられる。今後は様々な変動電流試験も行い、モデル式の精度が保たれるかを確認していく。

### 7. 参考文献

[1] JSME テキストシリーズ伝熱工学, (社)日本機械学会, 2005 年  
 [2] 熱設計と数値シミュレーション, 国峯尚樹, (株)オーム社, 2015 年