充放電電流と電圧のラプラス変換による電池インピーダンスの測定

学生員 中山 正人* 学生員 福田 健一*
 非会員 大森 吉剛* 学生員 若原 健二*
 正員 荒木 拓人* 正員 恩田 和夫*

Battery Impedance Measurement by Laplace Transformation of Charge or Discharge Current/Voltage

Masato Nakayama*, Student Member, Kenichi Fukuda*, Student Member, Yoshitake Ohmori*, Non-member,
 Kenji Wakahara*, Student Member, Takuto Araki*, Member, Kazuo Onda*, Member

Impedance spectroscopy of $Z(\omega)$ is often used in the electrochemical field to analyze electrode reactions and to calculate transient responses. Our previous study measured the overpotential resistance for our thermal behavior model to calculate the temperature rise of Nickel/metal-hydride battery or Lithium-ion battery during charge and discharge cycles. However, the $Z(\omega)$ measured by AC impedance meter did not agreed with the ones induced by charge/discharge characteristics. Therefore, we focus on the impedance measurement method by Takano et al, who obtained $Z(\omega)$ for Lithium-ion battery at wide frequency region by the Laplace transformation of both signals of the voltage-step input and its current response. We have extended this method to the Laplace transformation of current-step or current-pulse input signal and its voltage response signal to get $Z(\omega)$ for any charge/discharge current of Nickel/metal-hydride battery or Lithium-ion battery. We can get almost the same $Z(\omega)$ by the three different methods, and the measured $Z(\omega)$ does not depend on both charge/discharge current and the state of charge or the charge input. Moreover, $Z(\omega)$ including Warburg impedance at low frequencies gets near the overpotential resistance that can estimate well the battery temperature rise in our battery thermal behavior model.

キーワード：複素インピーダンス解析，ラプラス変換，リチウムイオン電池，ニッケル水素電池

Keywords: complex impedance analysis, laplace transformation, lithium-ion battery, nickel metal/hydride battery

1. はじめに

近年のユビキタスネットワークや、環境負荷の少ない省エネルギー機器を普及させようとする社会にあって、二次電池は重要なキーデバイスで、携帯用機器からハイブリッド自動車まで広い分野で電源として活躍し、現在でも更なる発展が望まれている⁽¹⁾。我々はこれまでニッケル水素やリチウムイオン電池を中心に、電池の大型化や高出力化において課題となる発熱挙動について研究してきた⁽²⁾⁽³⁾。電池の主な発熱因子は、エントロピー変化や水素吸蔵による吸発熱と、副反応や電池過電圧による発熱である。特に急速充放電時には、電流の二乗に比例して過電圧発熱が大きくなるので、過電圧抵抗を正確に推定する必要がある⁽²⁾⁽³⁾。それを推定する際、直流電流で測定した各種過電圧抵抗と、

交流インピーダンス計による複素インピーダンス $Z(\omega)$ (ω は角周波数) の比較が難しいことが分かった。つまり、低周波域での $Z(\omega)$ は活物質の拡散による Warburg インピーダンス Z_W で記述されるが、 Z_W のどの ω までの発熱に寄与する過電圧抵抗とすれば良いかが問題となる。複素インピーダンス解析は電気化学の分野では、電極反応⁽⁴⁾や過渡特性⁽⁵⁾などを解析する際良く使われるので、両者が簡単に比較できることが望ましい。ところで、充放電電流を流した二次電池の $Z(\omega)$ を交流インピーダンス計で計ろうとすると、電池の充電状態 (SOC) が刻々変わり、それに従い $Z(\omega)$ も変わるので正確に測定できない。

そこで、交流インピーダンス計以外に充放電時の $Z(\omega)$ を計る方法として、我々は高野らのラプラス変換法⁽⁶⁾に着目した。これは、電圧ステップ入力に対する電流応答を測定し、それぞれをラプラス変換し、その逆伝達関数から周波数に対する $Z(\omega)$ を求める方法である。この電圧ステップ法では充放電電流や SOC を規定することが難しいので、我々はこれを発展させ、電流ステップや電流パルス入力に対す

* 豊橋技術科学大学 電気・電子工学系
 〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
 Electrical and Electronic Eng., Toyohashi University of Technology
 1-1, Hibarigaoka, Tenpaku-cho, Toyohashi 441-8580

図2 定電圧制御と定電流制御の出力応答例

Fig. 2. Examples of output voltage/current and response current/voltage of Constant Voltage/Current Mode.

図3 VSCA法の測定例（リチウムイオン電池）

Fig. 3. Measurement example of VSCA (Lithium ion battery).

US186500GR, 1800 mAh) と、ニッケル水素電池 (Panasonic HHR-3GPS, 1600 mAh) を使用した。リチウムイオン電池はその電池自身の正確なインピーダンスを測定対象とするため、正極側封口にある PTC 素子を短絡させた⁽⁵⁾。電池は絶縁ビニルシートに包み恒温水槽に沈め、電池温度を 30°C に維持して測定した。

〈3・2〉電圧ステップ法⁽⁶⁾ (VSCA: Voltage-Step Chrono-Amperometry) による測定 図3に入力電圧 $v(t)$ 、応答電流 $i(t)$ の測定結果を、4.0 V から 4.1 V にリチウムイオン電池の電圧を上昇させた場合を例に示す。電圧ステップ幅は充放電ともに 0.1 V とした。図3のように、0.1 V の電圧ステップを正に加えると、はじめ大きな充電電流が流れるが、凡そ 2 時間で電流はほぼ 0 になるため、ステップ印加時間は 2 時間とした。

図3の信号に対して、サンプリング間隔を変え 5 種類の解析期間 T (0.164 sec, 2.13 sec, 41.0 sec, 614 sec, 4096 sec) に対し信号を解析した。結果をボード線図として示すと、各 T に対応し図4のようなインピーダンス曲線が得られる。

 図4 VSCA法による $Z(\omega)$ のボード線図

Fig. 4. Bode diagram of impedance obtained by VSCA.

 図5 SVSCA法による $Z(\omega)$ の Cole-Cole プロット

Fig. 5. Cole-Cole plot obtained by SVSCA from 3.5 to 4.2 V with 0.1 V step voltage.

ただし、 $Z(\omega)$ の実部を $\text{Re}(Z)$ 、虚部を $\text{Im}(Z)$ とする。ここで、各 T の低周波域には近似式 (4) に伴う誤差が生じ、高周波数域にはサイドバンドとノイズによると思われる誤差が生じる⁽⁶⁾。これらを除けば低周波域から高周波域まで連続した $Z(\omega)$ を描くことができた。

次に 3.5 V から 0.1 V の電圧ステップを与え、4.2 V まで充電状態を変えながら測定 (SVSCA: Staircase Voltage-Step Chrono-Amperometry⁽⁶⁾) した $Z(\omega)$ の変化を図5に示す。このように全体としては低電圧、すなわち SOC が低い程 $Z(\omega)$ は大きく、充電が進み SOC が高くなるにつれ、小さくなる $Z(\omega)$ が高野らの結果⁽⁶⁾ と同様に測定された。また、3.9 V 付近からは $Z(\omega)$ の円弧の大きさの減少が鈍くなり、低周波域での $\text{Im}(Z)$ の値が大きくなった。

〈3・3〉電流ステップ法 (CSCP: Current-Step Chrono-Potentiometry) による測定 $Z(\omega)$ を SOC や充放電電流の関数として測定するため、入力信号を電流ステップとする方法を新たに試みた。リチウムイオン電池に定電流ステップを与え、SOC にして 0.1 の容量を充電した例を図6

図 6 CSCP 法の測定例
Fig. 6. Measurement example of CSCP.

図 8 CPCP 法の測定例
Fig. 8. Measurement example of CPCP.

図 7 CSCP 法による $Z(\omega)$
Fig. 7. $Z(\omega)$ obtained by CSCP.

に示す。電圧は最初大きく立ち上がり、その後もなだらかに上昇する。電流と電圧を VSCA 法と同様に測定し、ラプラス変換し、インピーダンスを求めた。

得られた $Z(\omega)$ を図 7 に示す。VSCA 法と同様に SOC が上昇する程 $Z(\omega)$ が小さくなる。我々が測定した電池では SOC = 0.1 程度で、電池の無負荷電圧は 3.7 V 近くになり、図 5 と同様に $Z(\omega)$ は急に小さくなる。その後は SOC が上昇しても電圧上昇は僅かで、 $Z(\omega)$ が図 5 と同様に徐々に減少した。しかし、本 CSCP 法は電流を流しながら測定するので、常に SOC が変化する。つまり測定期間を長くすることができず、十分な低周波数域の測定ができない。よって VSCA 法で測定された低周波数域での $\text{Im}(Z)$ の上昇が測定できなかった。なお、本 CSCP 法では 0.2C, 1C, 3C の充放電電流で測定したが、電流が大きい程 SOC を 0.1 充放電する時間が短くなるために低周波域が採れず、また、電流が大きい程早く終止電圧（充電時 4.2 V, 放電時 2.7 V）に達するため、広い SOC 範囲を測定できなかった。

〈3・4〉 電流パルス法 (CPCP : Current-Pulse Chronopotentiometry) による測定 SOC の変化を最小限に留

めるため、電流をパルス状に流し、それに対する電圧応答を低周波域の解析に必要な長い測定期間 T の間で測定する方法を次に同じリチウムイオン電池で試みた。図 8 に 0.2C 充電電流を 30 秒間流した例を示す。CSCP 法は図 6 のように電流印加時間と解析期間 T が同じなのに対し、CPCP 法は図 8 のように T が充分長く採れる。CPCP 法では印加電荷量を小さくできるので、最終的に電圧変化は僅かである。しかし、印加電流とパルス印加時間の積である電荷量があり小さいと、十分な電圧応答が得られず、低周波域でインピーダンスの誤差が大きくなってしまう。そこで、最終的な電圧変化が僅かで、同時に十分な電圧応答が得られる充放電電荷量の目安として、0.2C においては 30 秒、1C においては 5 秒、5C においては 1 秒の条件を設定し、低周波域まで誤差が少なく、かつ SOC の変化を 0.002 未満に抑えた測定を行った。

本 CPCP 法では 0.2 間隔で全ての SOC 範囲を 0.2C, 1C, 5C の充放電電流で測定した。このとき SOC や電流によっては終止電圧を超えるが、その時間は短いので、電池に特に支障はなかった。SOC = 1 と 0 に対する結果を図 9(a),(b) に示す。 $Z(\omega)$ の SOC に対する変化は、CSCP や VSCA と SOC を合わせての比較はできないが、SOC が大きい程 $Z(\omega)$ は小さく、SOC = 0.4 程度以上では低周波域の $\text{Im}(Z)$ が大きくなり、CSCP や VSCA と同様であった。一方、 $Z(\omega)$ の充放電電流による変化は SOC = 1 を含め殆どの SOC で、電流の大きさ、電流の向きに因らず、図 9(a) のように殆ど変化しなかった。しかし、SOC = 0 では例外的に図 9(b) に示すように、充電パルス電流が小さい程、また、充電よりも放電パルス電流による $Z(\omega)$ の実部が大きくなった。

〈3・5〉 リチウムイオン電池における各種測定法の比較

図 10 には以上のラプラス変換を用いて測定した $Z(\omega)$ をまとめて比較する。また同図には、交流インピーダンス計 (Solartron 1280B) で、周波数を掃引させながら 70 mA(rms) の微小正弦波電流を、直流充放電電流 = 0 の電池に印加して測定した $Z(\omega)$ も示す。同図で、CSCP 法による $Z(\omega)$ は

(a) SOC = 1.0

(b) SOC = 0

図9 CPCP法による SOC = 1, 0 に対する $Z(\omega)$ Fig. 9. $Z(\omega)$ obtained by CPCP for SOC = 1, 0. 図10 各種測定法による $Z(\omega)$ の比較Fig. 10. Comparison of $Z(\omega)$ measured by various methods.

高周波域で CPCP 法による $Z(\omega)$ と一致したが、低周波域のデータが足りないため、省略している。測定は SOC = 1.0 のリチウムイオン電池に対し、まず CPCP 法で 5 秒間 1C 充電し、次に 5 秒間 1C 放電し、続いて交流インピーダ

図11 Ni-MH の CPCP 法による $Z(\omega)$ Fig. 11. $Z(\omega)$ of Ni-MH measured by CPCP.

ス計で $Z(\omega)$ を測定し、最後に VSCA 法で 0.1 V ステップ放電を、次に 0.1 V ステップ充電を行った。低周波域で多少の差が見られるものの、どの方法による $Z(\omega)$ も良く一致している。なお、このような比較測定は SOC と開回路電圧が同時に規定できる SOC = 1.0 と 4.2 V でしか行っていないが、これらが凡そ一致する範囲では図 5, 図 7, 図 9 で示したように $Z(\omega)$ はほぼ等しい軌跡を描いている。

何れの方法でも同じ $Z(\omega)$ が得られることから、測定法の操作性を考えれば、CPCP 法が最も優れていると思われる。すなわち、①ラプラス変換による特徴の一つである広い周波数域でインピーダンスを一度に計れること、②SOC や、電流の大きさと充放電電流の向きを規定できること、③測定中の SOC が殆ど変わらないこと、④電荷量を小さく抑えて電流印加パルス時間を適当に選択すれば、低周波域でも少ない誤差で測定できること、などが優位点として挙げられる。

〈3・6〉 ニッケル水素電池の測定 ニッケル水素電池の $Z(\omega)$ を CSCP 法と CPCP 法で測定した。両方法共にリチウムイオン電池と同じように計れば、 $Z(\omega)$ が得られることが分かった。つまり、電荷量を小さく抑えて、5C の充放電電流までパルス印加時間を適当に選べば、ごく浅い充電状態を除き、電流の大きさと向きに因らず、2.4 mHz まで低周波域の $Z(\omega)$ が測定できることが分かった。

図 11 に、1C 電流で 5 秒間充電した CPCP 法による $Z(\omega)$ を、電池の充電入力量 (Charge Input)⁽²⁾ をパラメータに示す。充電入力量が小さい場合 (リチウムイオン電池の小さい SOC に対応)、 $Z(\omega)$ が他の充電入力量の場合に比べて極めて大きい。しかし、その後は充電入力量が増えるに従い $Z(\omega)$ は急に下がり、副反応が起こる充電入力量当たりから $Z(\omega)$ は少しずつ大きくなった。

4. 等価回路の作成と過電圧抵抗との比較

〈4・1〉 等価回路の作成 測定された $Z(\omega)$ は電池内の反応系を良く反映できると考えられる図 12 のような等価

図 12 電池の等価回路
Fig. 12. Equipment circuit of battery.

回路で近似した。ここで、それぞれの回路素子に対応する電池の構成素子は次のように考えられる⁽⁸⁾。

L0：電池のスパイラル構造などに起因するインダクタンス

Rs：電解質抵抗や活物質，集電体などの電子抵抗を合わせた直列抵抗

C1, C3, R1, R3：正負極界面に生じる保護皮膜などの半導体層の容量と抵抗

C2, C4：正負極界面の反応に伴う電気二重層容量
R2とW2, R4とW4：

正負極界面の反応に伴うファラデーインピーダンスで，R2, R4：電荷移動抵抗，W2, W4：拡散に関連する Warburg インピーダンス Z_W

C0：電池の容量

図 11 のような $Z(\omega)$ の Cole-Cole プロットの半円部は R と C の並列回路で記述される。我々が測定した二次電池では，正負極の RC 並列回路の時定数が異なるため，半円の描かれる周波数が異なり，円弧が横に伸びる。電池の SOC や充電入力量が変わると円弧の大きさや形状が変わるのは，電池の SOC や充電入力量の変化に伴い，以上の 4 種類の抵抗と容量のいずれか，もしくは複数が変化するためである。個々の回路素子の帰属を決めるためには，実際に正負極の各素子を個別に変えて測定する必要がある。しかし，ここでは帰属は決めず，図 12(a), (b) のような等価回路のみを検討した。

電極反応が拡散律速となる場合，Cole-Cole プロットの低周波域に表れる傾き 45° の直線部は次式のような Z_W で記述される⁽⁴⁾。

$$Z_W = \sigma \omega^{-1/2} - j \sigma \omega^{-1/2} \dots \dots \dots (6)$$

ここで， σ は酸化体や還元体の濃度や拡散係数などで決まる値を表す。我々が測定した電池の Cole-Cole プロットでは，低周波域における傾きが 45° を超えている。これは Z_W 以外に電池の容量成分 C0 を加えることにより表すことができた。特にリチウムイオン電池では，低周波域の $Z(\omega)$ に

合わせるため，低周波域で大きい時定数を持つ図 12(b) のような C0 と R5 の RC 並列回路を加えることにより，実測 $Z(\omega)$ に合わせることができた。

1C 電流で 5 秒間充放電させる CPCP 法により測定された $Z(\omega)$ を，図 12 の等価回路で ω を変えて最小二乗近似したところ，ニッケル水素電池，リチウムイオン電池共に，全ての充電入力量，SOC に対し等価回路による $Z(\omega)$ と実測値 $Z(\omega)$ との平均二乗誤差は 1% 未満であった。図 12 に充電入力量 = 40%，SOC = 0.4 に対して得られた回路素子の値を一例として示した。

〈4・2〉 発熱挙動解析に用いた過電圧抵抗との比較 以上のように等価回路で近似した $Z(\omega)$ の抵抗成分を，発熱挙動解析で用いた充放電特性から求めた過電圧抵抗⁽²⁾⁽³⁾と比較してみる。図 13(a) にリチウムイオン電池の放電時の比較を，図 13(b) にはニッケル水素電池の充電時の比較を示す。ここで， $R(\text{OCV-CV})$ は開回路電圧 (OCV) と電池電圧 (CV) の差をその時の充放電電流で割った抵抗を， $R(\text{V-I})$ は各充放電電流での電池電圧の推移を V-I 特性に整理し，その傾きから求めた抵抗を，そして， $R(60 \text{ sec})$ は充放電中に 60 秒間の休止を挟んだ電圧変化をその時の充放電電流で割った抵抗を表す。

図 13 には $Z(\omega)$ の抵抗成分として，等価回路で Z_W が表れる低周波域を除いた抵抗 ($R_s + R_1 + R_2 + R_3 + R_4$) ($Z(\omega)$ の円弧の右端に相当，周波数は約 1 Hz) と，最低測定周波数 2.4 mHz における Z_W を含めた $\text{Re}(Z)$ もプロットした。 $Z(\omega)$ のいずれの抵抗成分も $R(\text{V-I})$ などの過電圧抵抗より小さくなった。しかし， Z_W が (6) 式で近似されることから，更に低い周波数まで Z_W を測定すれば， $\text{Re}(Z)$ が過電圧抵抗に近づくと予想される。 $R(60 \text{ sec})$ が $\text{Re}(Z)$ に近い値を示すのは， $R(60 \text{ sec})$ が充放電中に 60 秒の休止を挟んで得られる電圧変動の時間変化に対応し， $\text{Re}(Z)$ も早い時間に対応する抵抗を表すためと考えられる。一方，発熱挙動を最も良く記述した $R(\text{V-I})$ は実際の発熱が起こる電流推移に近い状態で測定されたので，電池の発熱が起こる時間変化と比較的良好に一致していたためと考えられる。

(a) Li-ion during discharge

(b) Ni-MH during charge

図 13 過電圧抵抗との比較

Fig. 13. Comparison for overpotential resistance.

以上のように電池の等価回路がある程度推定できるようになったので、後は電池起電力が電池の状態量 (SOC や温度など) の関数として推定できるようになれば、等価回路の発熱量を計算することができよう。今後、このような考えを基に過電圧抵抗の推定法の研究を更に続けたい。

5. まとめ

リチウムイオン電池とニッケル水素電池における発熱挙動を解析した際、発熱因子として重要な過電圧抵抗の測定で、交流インピーダンス計による電池インピーダンスは充放電電流で測定した過電圧抵抗と一致しなかった。そこで、高野らの電圧ステップを印加するラプラス変換によるインピーダンス測定法を発展させ、CSCP 法や電流の大きさや向きが変えられる CPCP 法を考案し、実際にリチウムイオン電池やニッケル水素電池の充放電インピーダンスを測定した。その結果、三つの方法によるインピーダンスは交流インピーダンス計も含め良く一致し、CSCP 法は低周波域のインピーダンスの測定に限界があることが分かった。また、充電初期を除いて殆どの充電状態や充電入力量で、充放電の向きや電流の大きさに因らず CPCP 法によるインピーダンスは殆ど変わらないことを得た。また、十分に低周波

域まで測定すれば、Warburg インピーダンスを含めたインピーダンスは過電圧抵抗に近づくが、電池の熱挙動を良く説明した過電圧抵抗よりまだ小さいことが分かった。今後、電池起電力の変化を考慮した等価回路を検討し、両者の差を詰める研究を続けたい。VSCA 法によるインピーダンス測定に際し、(独)産業技術総合研究所の高野清南氏と齋藤喜康氏に多大なご指導を頂いた。ここに感謝の意を表す。また本研究の一部は文部科学省 21 世紀 COE プログラム「インテリジェントヒューマンセンシング」の援助により行われた。

(平成 17 年 2 月 22 日受付, 平成 17 年 5 月 23 日再受付)

文 献

- (1) 辰巳国昭:「ユビキタス情報時代における二次電池技術」, *IEEE J.*, Vol.125, No.1, pp.34-37 (2005)
- (2) M. Nakayama, K. Fukuda, T. Araki, and K. Onda: "Thermal Behavior of Nickel-Metal Hydride Battery during Rapid Charge and Discharge Cycles", *IEEE Trans. PE*, Vol.125, No.2, pp.213-220 (2005-2) (in Japanese)
中山正人・福田健一・荒木拓人・恩田和夫:「ニッケル水素電池の急速充放電時の発熱挙動」, *電学論 B*, **125**, 2, pp.213-220 (2005-2)
- (3) T. Ohshima, M. Nakayama, K. Fukuda, T. Araki, and K. Onda: "Thermal Behavior of Small Lithium-Ion Secondary Battery during Rapid Charge and Discharge Cycles", *IEEE Trans. PE*, Vol.124, No.12, pp.1521-1527 (2004-12) (in Japanese)
大島孝昌・中山正人・福田健一・荒木拓人・恩田和夫:「小型リチウムイオン電池の急速充放電時の発熱挙動」, *電学論 B*, **124**, 12, pp.1521-1527 (2004-12)
- (4) 板垣昌幸:「電気化学インピーダンスでわかる固/液界面の物性」, *材料科学*, Vol.39, No.2, pp.50-53 (2002-4)
- (5) K. Takano, K. Nozaki, Y. Saito, A. Negishi, K. Kato, and Y. Yamaguchi: "Simulation study of electrical dynamic characteristics of lithium-ion battery", *J. Power Sources*, Vol.90, pp.214-223 (2000)
- (6) K. Takano, K. Nozaki, Y. Saito, K. Kato, and A. Negishi: "Impedance Spectroscopy by Voltage-Step Chronoamperometry Using the Laplace Transform Method in a lithium-ion battery", *J. Electrochemical Society*, Vol.147, No.3, pp.922-929 (2000)
- (7) D.J. Wilcox: "Numerical Laplace Transformation and Inversion", *Int. J. Elect. Enging Educ.*, Vol.15, pp.247-265 (1978)
- (8) K. Takano, K. Nozaki, Y. Saito, and Y. Yamaguchi: "Analysis of Electrical Characteristics of Batteries by Laplace Transform", National Convention Record IEE Japan, 7-315, pp.315-316 (1998) (in Japanese)
高野清南・野崎 健・齋藤善康・山口由雄:「電池電気特性のラプラス変換による解析法」, 平成 6 年電気学会全国大会, 7-315, 第 7 分冊, pp.315-316 (1998)

中山正人 (学生員) 1980 年 9 月 23 日生。2003 年 3 月豊橋技術科学大学工学部電気電子工学課程卒業。2005 年 3 月同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了。主として、二次電池に関する研究に従事。

福田健一 (学生員) 1981 年 5 月 30 日生。2004 年 3 月豊橋技術科学大学工学部電気電子工学課程卒業。現在同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程に在学中。主として、二次電池に関する研究に従事。

大 森 吉 剛 (非会員) 1981 年 8 月 22 日生。2004 年 3 月仙台電波工業高等専門学校専攻科電子システム工学専攻修了。現在同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程に在学中。主として、二次電池に関する研究に従事。

荒 木 拓 人 (正員) 1975 年 5 月 2 日生。2003 年 3 月京都大学大学院工学研究科博士課程修了。2004 年 1 月豊橋技術科学大学助手 (電気電子工学系)。主として、燃料電池、水電解、二次電池、放電脱硝に関する研究に従事。電気化学会、機械学会、伝熱学会会員。工学博士。

若 原 健 二 (学生員) 1982 年 10 月 16 日生。2004 年 3 月豊橋技術科学大学工学部電気電子工学課程卒業。現在同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程に在学中。主として、二次電池に関する研究に従事。

恩 田 和 夫 (正員) 1941 年 6 月 20 日生。1966 年 3 月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年 10 月電子技術総合研究所入所。1995 年 9 月豊橋技術科学大学教授 (電気電子工学系)。主として、燃料電池、二次電池などの研究に従事。電気化学会、応用物理学会、エネルギー・資源学会会員。工学博士。