

平成30年6月12日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06681

研究課題名(和文) 電流遮断法によるリチウムイオン二次電池の劣化早期診断システムの開発

研究課題名(英文) Early Detection System of LiSB Deterioration by Current Interrupt Method

研究代表者

仁科 辰夫(Nishina, Tatsuo)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60172673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：リチウム電池の劣化を知るには、電池動作時の内部状態を合理的に把握する必要があり、定電流充放電時に10分の電流遮断をかけ、電池過電圧の緩和過程を解析することが有望である。著者は、単純だが十分な精度の電池モデルとして2段分布定数回路を提案し、その基礎式と解析解を求めたところ、正極側は低性能型、負極側は高性能型の応答を示し、電流遮断時の応答を1mV以内の残差で表現できた。ACインピーダンスではmHz以下の周波数での計測が必要になり、現実的ではない。

電流遮断時の過渡応答は、マイクロショートによる微小な電圧変化を検出することもでき、満充電時に発生し、半分放電時でも解消しないことが解った。

研究成果の概要(英文)：Mathematical modelling of overvoltage relaxation and EIS response for batteries has been carried out by applying dual transmission line as an equivalent circuit of electrode for commercially available batteries. Derived functions were quite complicated. However, we succeeded to express the overvoltage relaxation after current interruption and the EIS spectra. For the EIS spectra, the increase of real part impedance at lower frequency range than 1 mHz was successfully obtained by applying dual transmission line model. For the overvoltage relaxation, we succeeded to obtain the accurate response within a 1 mV residuals for 10 minutes relaxation by simply connecting two dual transmission line in series.

研究分野：電気化学

キーワード：電気自動車 リチウムイオン二次電池 電流遮断法 2段分布定数回路 マイクロショート 金属リチウム析出 劣化診断 インピーダンス

### 1. 研究開始当初の背景

電気自動車(EV)の実用化が本格的に進行しつつある。これはリチウムイオン二次電池の高性能化に負うところが大きい。特に著者が提案した電池の急速充放電化によりリチウムイオン二次電池の電気自動車への応用に道が開け、現在の電気自動車ブームのきっかけとなっている。

しかしながら、電気自動車実用化に向けた問題点は、電池の劣化を実使用時に診断・管理するバッテリーマネジメントシステムの構築である。All JAPAN 体制による NEDO の RISING プロジェクトによる、SPRING8 の強力放射光を用いた電池内部の解析技術の進歩には目を見張るものがあるが、これを EV に実装する訳にはいかない。実際の電池充放電装置に簡単に適用可能なものが実用化には必須である。このために、RISING プロジェクトでは AC インピーダンスの活用が検討されているが、インピーダンスの周波数スペクトルのフィッティングによる再現に終始し、電池モデルの議論は皆無に等しく、EV の充放電装置としての直流機器に交流を扱う高価な周波数応答解析装置を追加するようなことにもなり、実用上好ましくない。

### 2. 研究の目的

著者は、直流充放電装置をそのまま利用できる電流遮断法に注目し、単純な分布定数回路をモデルとして高精度に電池電圧の緩和過程を表現できることを見出した。これをさらに進めるため、

- (1) 劣化により新たに生じる時定数が 0.2 秒程度の内部抵抗要素が何に起因するか、小型電池を使用して電池の解体分析を併用して解析する。
- (2) 電気自動車(EV)への電池マネジメント技術につながる解析システムのハード、ソフト開発を行い、これを 5Ah 程度の中型電池に適用して、その妥当性を評価する。
- (3) 実使用時に発生しうる高電圧パルスノイズの影響を上記技術で検証し、安全性への指針とする。このとき、特に劣化により新たに生じる時定数が 0.2 秒程度の内部抵抗要素がどのようなか注視する。

### 3. 研究の方法

- (1) 劣化により新たに生じる 0.2 秒程度の時定数の内部抵抗要素が何に起因するか、携帯電話用小型電池を使用して電池の解体分析(ICP-MS が有望)を併用して解析する。
- (2) 2.5Ah 程度の容量を持つ 18650 型電池にも適用範囲を広げる。同時に、 $\sqrt{t}$  に比例して 200 点程度が収録できるデータロガー装置と制御・解析ソフト開発を、小型で安価な PIC18F2553 型マイコンをベースとして実施する。
- (3) 電気自動車(EV)への電池マネジメント技術につながる解析システムのハード、ソフト開発を行い、これを 5Ah 程度の中型電池に適用して、その妥当性を評価すると共に、実使用時に発生しうる高電圧パルスノイズの影

響を上記技術で検証し、安全性への指針とする。

### 4. 研究成果

#### (1) 1 段分布定数回路による電池劣化の解析

##### 1 段分布定数回路の妥当性

電極モデルとして 1 段分布定数回路を適用し、その解析関数を用いて検討し、3~4 時定数系の直列接続によって 1mV 以内の精度で全過電圧変化を表現できた。しかしながら、電池の劣化挙動に対して良好な相関が得られたものは集電体との接触抵抗に関するものだけであり、その他のパラメータは劣化に対する相関が弱いものであった。すなわち、1 段分布定数回路では電池のモデルとしては不十分であり、分布定数回路の単純な直列接続では物理化学的な根拠が薄弱である。

そこで、電池モデルとして妥当な 2 段分布定数回路を採用する必要があり、その基礎式の導出から解析解を求めることに方針を変更した。

##### 電池の解体分析

劣化電池は合材電極層の構造的劣化が激しく、特に負極側は、原型をとどめることができずにぼろぼろと崩れ落ちるほど構造的な劣化が激しい。正極側は集電体との密着性が崩れ、剥がれている部分があるが、負極ほどの構造破壊までは至っていなかった。ICP-MS による電池内  $\text{Li}^+$  の分布解析では、劣化に伴って負極に残留する  $\text{Li}^+$  が増加し、正極側の  $\text{Li}^+$  量が減少する。充電による負極への  $\text{Li}^+$  の挿入により負極が体積膨脹するが、これにより負極合材電極層の構造破壊が進行し、導電ネットワークの断裂が起こり、電池反応に寄与しなくなるためと考えられた。

##### 電池内マイクロショートを検出

1000 サイクルの充放電試験を行った電池では、サイクル終盤に金属 Li の析出に伴う正極と負極の電池内マイクロショートの影響を確認した。これは本研究では想定外のものであったが、電流遮断後の電池電圧緩和過程の測定により検出できたものであり、AC インピーダンス法では検出不能なものである。そこで、この現象を注意深く見たところ、

- i) マイクロショートは満充電側で発生する。しかも充電深度が高いほど発生しやすく、過充電状態ではさらに発生しやすい。
- ii) 電池の劣化が合材電極層の構造的な破壊にあるという解体試験の結果は、この構造破壊が特に負極側で激しく、導電ネットワークの断裂が起こっているであろうことを考えれば、負極の実容量が減少し、満充電状態で負極が過充電状態になるためと考えるのは妥当である。
- iii) 満充電時に発生したマイクロショートは、電池を放電状態に切り替えても直ぐには解消せず、半分の容量まで放電しても短絡状態は続いたままであった。マイクロショート状態の消失は完全放電状態まで放電した際

に確認できた程度であり、一旦マイクロショートが発生すると電池容量の急激な低下が避けられない。

- iv) 完全放電によりマイクロショートが消失すると、満充電状態にまで充電過程が進まない

とマイクロショートは発生しない。

ことが分かった。これは安全性と長寿命化に対する電池の使い方の視点から重要な示唆を与えるものであり、SOC=80%までの長寿命運転モードの原理的な妥当性を与えるものであった。

### 0.2 秒程度の新たな時定数系の出現

劣化の進行に伴って 0.2 秒程度の新たな時定数系が出現するが、この由来については明快な回答を得られない。現象としては、

- i) 劣化に伴い、大きな過電圧要素として現れる。
- ii) どの充電残量状態でも観察される。
- iii) 完全放電時の過電圧応答にみられる挙動と類似しているように見える。これは活物質側の擬似容量が小さくなった場合に相当する。

というものが、先に示したマイクロショートの挙動とは相関性が無い。おそらく合材電極層の構造的な破壊に伴い、活物質への導電パスが切れ、時定数が小さな部分ができるためであろうと推測しているが、1 段分布定数回路による解析では、電池モデルとしての不完全性が大きく、議論に値するレベルまでの情報を引き出すことは困難であった。

### (2) 2 段分布定数回路による電池劣化の解析

#### モデルと基礎式の導出

1 段分布定数回路による解析では、電池モデルとしての不完全性が大きく、議論に値するレベルまでの情報を引き出すことは困難であった。そこで、真面目に電池の等価回路を考察すると、一番単純なものでも、やはり図 1 に示した 2 段分布定数回路を考えなければならない。この等価回路の基礎方程式をキルヒホッフの法則、オームの法則、電荷バランスなどを考慮して求めると(1)式が得られる。このままでは上段と下段の項が入り混じり、解析的に求めることは不可能であるが、電池系では電解液側の擬似容量  $C_{el}$  と活物質側の擬似容量  $C_{am}$  が  $C_{am} \gg C_{el}$  であるから、これを使って整理すると(2)となり、上段と下段をそれぞれ個別に扱うことが可能となる。

この(2)式をラプラス変換し、定常充放電状態の初期条件と適切な境界条件を基にラプラス空間での解を求めると、双曲線関数が複数入った形になり、そのままでは逆ラプラス変換が困難である。そこで、双曲線関数の部分分数展開式を使って整理し、逆ラプラス変換することにより、電流遮断法の過電圧過渡応答として図 2 に示した解を得た。これは、2 段分布定数回路の過渡応答に対する解析解として世界で初めて成功したものである。

この解析解から、電流遮断後の過電圧応答関数 FDTML を計算したところ、図 3 に示したよう

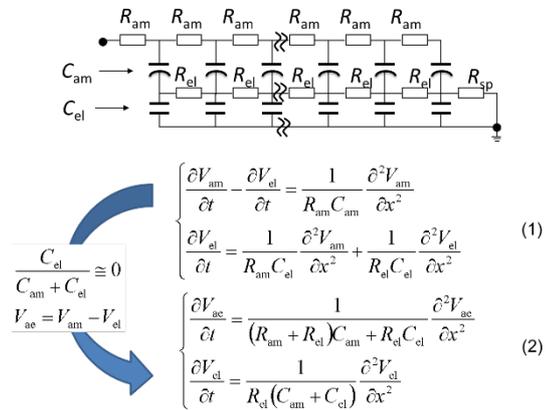


図 1 電極応答のモデルとしての 2 段分布定数回路とその基礎方程式

$$V_{el}|_{x=0} = \frac{I^0 R_{el} l}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 t}{4l^2 \tau_{el}}\right] + \frac{I^0 R_{el} l}{\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 t}{4l^2 \tau_{el}}\right] + \frac{I^0 R_{el} l}{\alpha} \sec(\sqrt{\alpha}) \exp\left(-\frac{\alpha t}{l^2 \tau_{el}}\right) - \frac{I^0 R_{el} l}{\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (2n+1)}{(2n+1)^2 - \frac{4\alpha}{\pi^2}} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 t}{4l^2 \tau_{el}}\right]$$

$$V_{ae}|_{x=0} = I^0 R_{am} l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2 t}{l^2 \tau_{ae}}\right) + I^0 R_{el} l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2 t}{l^2 \tau_{ae}}\right) + I^0 R_{el} l \left[ \frac{\tau_{el}}{\alpha \tau_{ae}} - \sqrt{\frac{\tau_{el}}{\alpha \tau_{ae}}} \operatorname{cosec}\left(\sqrt{\frac{\alpha \tau_{ae}}{\tau_{el}}}\right) \exp\left(-\frac{\alpha t}{l^2 \tau_{el}}\right) \right] - I^0 R_{el} l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2 - \frac{\alpha \tau_{ae}}{\pi^2}} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2 t}{l^2 \tau_{ae}}\right)$$

$$\alpha = \frac{l}{l_{sp}}, \quad \tau_{el} = R_{el}(C_{am} + C_{el}), \quad \tau_{ae} = R_{am} C_{am} + \tau_{el}$$

図 2 2 段分布定数回路をモデルとした電流遮断時の電池電圧過渡応答の解析解

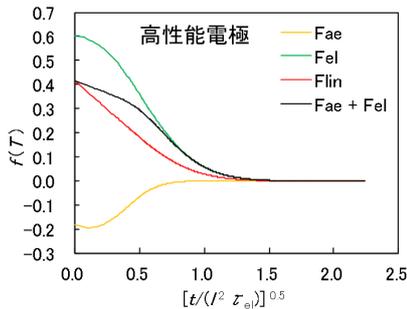
に、高性能電極と低性能電極の応答の違いが明確になり、やはり真面目に 2 段分布定数回路を扱わなければ、電池系の応答を正しく表現することはできないものである。

2 段分布定数回路の実電池系への適用  
この(2)式の関数は電極としての応答を表現したものであり、実電池系では正極と負極が直列接続されているので、上記関数は正極と負極に対して夫々 1 ずつ必要であり、その和として電池系が表現できるものと考えられる。そこで、これを実電池系の解析に適用した。その結果を図 4 と図 5 に示した。図 4 は一般的な電池で図 5 は高出力型の電池の場合であるが、どちらも 2 段分布定数回路を 2 つだけ直列接続したもので、1mV 以内の精度(残差)でフィッティングできることが分かった。すなわち、

- i) 電子伝導性に乏しい酸化物が合材電極体積の大半を占める正極は低性能電極型の応答になり、電子伝導性に優れた黒鉛が合材電極体積の大半を占める負極は高性能電極型の応答になる。
- ii) 夫々の電極毎に、合材電極の厚さ  $l$  とセパレータの厚さ  $l_{sp}$  及びその比、合材電極内の溶液抵抗  $R_{el}$  と電子抵抗  $R_{am}$ 、活物質の擬似容量  $C_{am}$  と電解液の擬似容量  $C_{el}$  を求めることができる。
- iii) 電流遮断直後の電圧ジャンプは正極側の合材層とアルミ集電体との接触抵抗による  $iR$  ジャンプと考えられる(日置電機製の多点式四端子法による測定結果)。

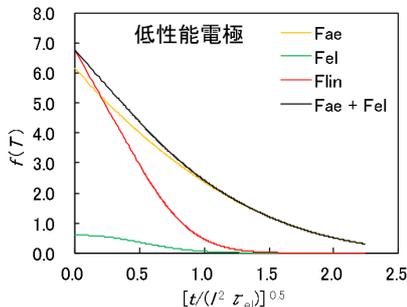
この2段分布定数回路の解析解を求めたことにより、正極側と負極側の過渡応答の分離が可能となり、その物理化学的な意味が明確に議論できるようになった。これを電池の劣化に応用しようと準備を進めていたところだが、残念ながら研究期間が満了してしまった。今後もこの解析を続けていく予定である。

ちなみに、18650型やモバイルバッテリーに搭載されている高出力型の大容量電池も、時定数は一般用携帯電話用電池と変わらないことが分かった。これは、合材電極層の厚塗りは合材層の割れを引き起こしやすいため、電極合材層の厚さは一般用も大容量型も変わらず、ただ面積を大きくしているためであると考えられる。



$$\alpha = \frac{l}{l_{sp}} = 10, \frac{\tau_{ae}}{\tau_{el}} = 1.2, R_{am} = 0.2R_{el}$$

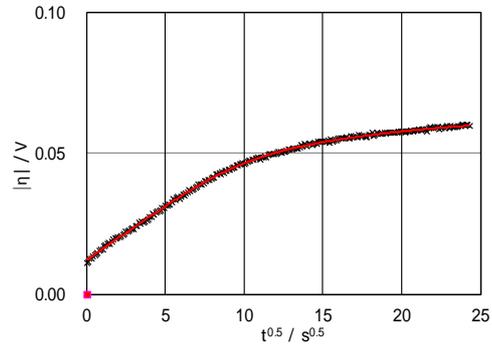
(a) 高性能電極



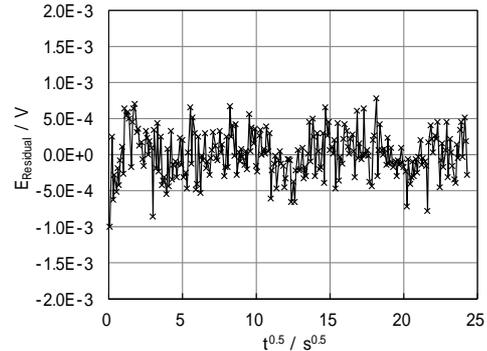
$$\alpha = \frac{l}{l_{sp}} = 10, \frac{\tau_{ae}}{\tau_{el}} = 20, R_{am} = 19R_{el}$$

(b) 低性能電極

図3 2段分布定数回路をモデルとした電流遮断時の電池電圧過渡応答関数の形状変化

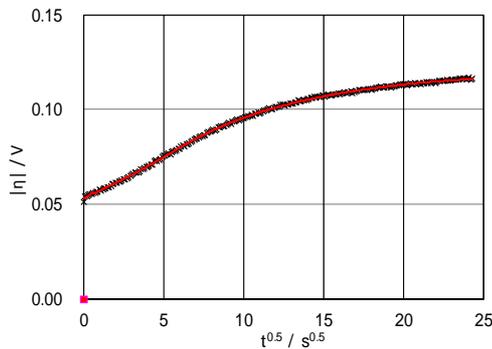


(a) 過渡応答のフィッティング

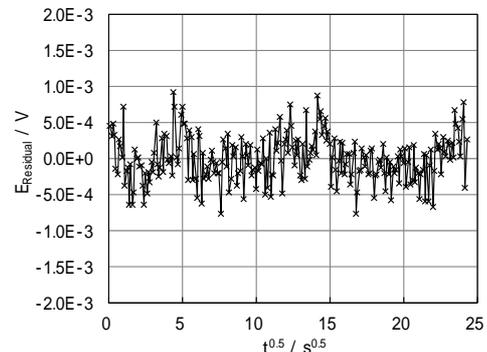


(b) フィッティングの残差

図4 2段分布定数回路をモデルとした一般電池の過渡応答とフィッティング結果



(a) 過渡応答のフィッティング



(b) フィッティングの残差

図5 2段分布定数回路をモデルとした高出力電池の過渡応答とフィッティング結果

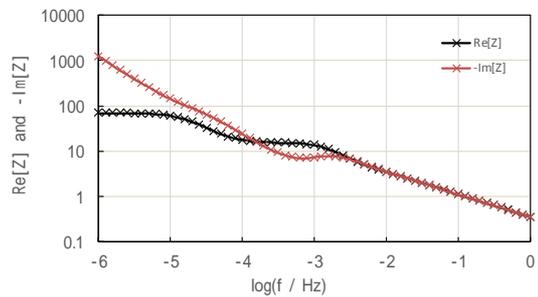
2段分布定数回路のACインピーダンス法への応用展開  
電池解析法の研究では、電池のACインピー

ダンスを測定することで電池の劣化や内部情報を引き出せると考えている研究者や技術者が多く、本研究のように電流遮断法等の過渡応答を時間軸上で解析しようという例は稀である。ではACインピーダンスの応用を探索している研究者たちは、電池の物理化学的なモデルを明確に提示し、データ解析を行っているのかといえそうではなく、物理化学的にその意味が曖昧な定位置相要素を導入してフィッティング精度をあげることに躍起になっており、 $m$  オーダーの低抵抗で大きな擬似容量をもつ電池系に対して100kHz等の高周波領域まで測定し、このような高周波領域で観察されるインダクタンス成分について電池性能との関係で議論しようとしている。これは徒勞とまでは言わないが、電池系の応答を明確に表現する物理化学的なモデルを抜きにして議論していることに、我が国の研究レベルの低下を危惧している。インピーダンスの解析解を求める際には、ラプラス空間での周波数に相当するパラメータ  $s$  を  $j\omega$  に書き換えるだけで逆ラプラス変換が終了することから、解析解を求める作業は電流遮断法の場合よりもはるかに簡単ではなく、簡単であるにも関わらず、である。

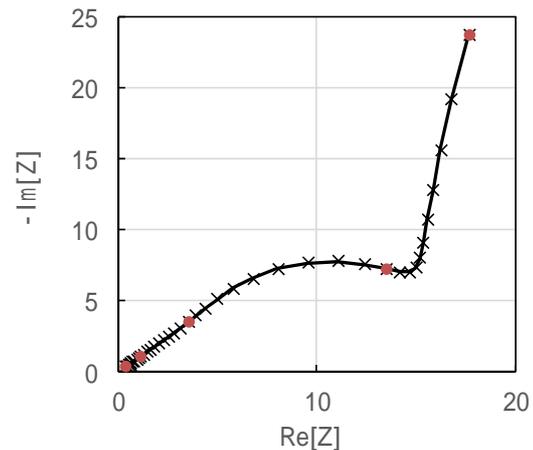
そこで、この2段分布定数回路をモデルとして、実電池系のインピーダンス応答がどのようなものか、解析解を求めて確認した。基礎方程式は電流遮断法と同じであり、初期条件と境界条件が変わる。得られた解析解を以下に示す。まさに双曲線関数のオンパレードであるが、それでもなお、逆ラプラス変換の容易さは電流遮断法の比ではない。この関数を用い、電流遮断法の解析で得られたパラメータを適用して計算したインピーダンス特性を図6と図7に示した。

図6は正極側のインピーダンス特性で、Nyquistプロットは1Hzから0.1mHzまでプロットしている。活物質側の電子抵抗が大きい正極側では、Nyquistプロットにおいて1mHz付近で有限拡散によるNernstインピーダンスのような半円弧部分がみられるが、すぐに容量性の虚数軸への立ち上がりが見られる。図7は負極側のインピーダンス特性で、Nyquistプロットは1Hzから6.31mHzまでプロットしている。活物質側の電子抵抗が小さい負極側では、正極で見られたNyquistプロットでの半円弧成分は見られず、電気二重層キャパシタのような挙動になっている。正極側も負極側も0.1mHz以下では実軸側のインピーダンスの上昇が見られ、多くの研究者が説明できなかったこの超低周波域の挙動が本質的なものであることが2段分布定数回路によってはじめてわかった。

$$\begin{aligned}
 f_{\text{EIS}} &= \frac{Z}{R_{\text{el}} l} \\
 &= \frac{R_{\text{am}} \coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}})}{R_{\text{el}} l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}} + \frac{1}{CT} \left[ \frac{\coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})}{l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}}} - \frac{\coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}})}{l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}} \right] \\
 &\quad + \frac{\text{cosech}(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})}{CT [l_{\text{sp}}\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}} + \coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})]} \left[ \frac{\text{cosech}(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}})}{l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}} - \frac{\text{cosech}(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})}{l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}}} \right] \\
 CT &= \left( 1 + \frac{R_{\text{el}}}{R_{\text{am}}} \frac{\tanh(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}})}{\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}} + \frac{R_{\text{el}}}{R_{\text{am}}} \left[ 1 - \frac{\text{sech}(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}) \text{cosech}(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})}{l_{\text{sp}}\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}} + \coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})} \right] \right) \\
 &\quad + \frac{R_{\text{el}} C_{\text{el}}}{R_{\text{am}} C_{\text{am}}} \sqrt{\frac{\tau_{\text{ac}}}{\tau_{\text{el}}}} \tanh(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{ac}}}) \left[ \coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}}) - \frac{\text{cosech}^2(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})}{l_{\text{sp}}\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}} + \coth(l\sqrt{j\omega\tau_{\text{el}}})} \right]
 \end{aligned}$$

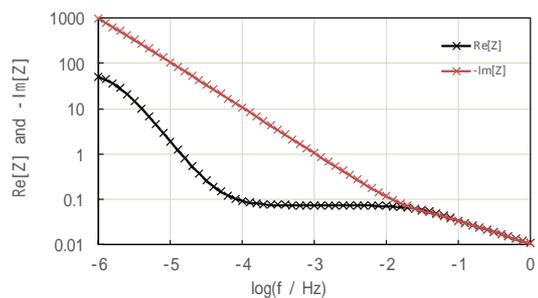


(a) Bode プロット

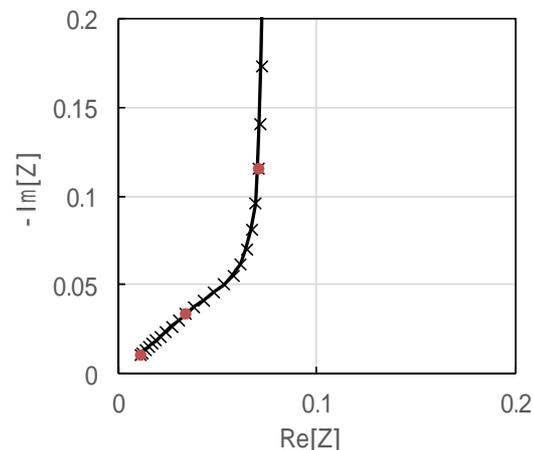


(b) Nyquist プロット

図6 2段分布定数回路による正極側インピーダンス特性



(a) Bode プロット



(b) Nyquist プロット

図7 2段分布定数回路による負極側インピーダンス特性

(3)  $\sqrt{t}$ 比比例サンプリングデータロガーの開発とパルス印加による安全性試験

当初予定していたPIC18F2553型マイコンでは、ノイズ耐性とサンプリング精度を満足できなかったため、Cypress社のPSOC<sup>®</sup> 5LPに変更し、バロック状態での動作確認を行うところまで実施した。一方、パルス印加による安全性試験は実施することができなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

仁科 辰夫、伊藤 智博、立花 和宏、LiSB電流遮断後の過電圧緩和過程のモデル化、科学・技術研究、査読有、5(2)巻、2016、217-223

ISSN:2186-4942

Shinya ONODERA, Naoki KATO, Tomoyuki ITO, Tomohiro ITO, Kazuhiro TACHIBANA, and Tatsuo NISHINA, The Effect of Dispersion Degree of Positive Electrodes Containing Carbon Nanotubes with Identical Composition on Contact Resistance in Lithium Ion Secondary Batteries, 査読有, 83, 2015, 386-388  
<http://dx.doi.org/10.5796/electrochemistry.83.386>

〔学会発表〕(計 44件)

仁科 辰夫、2段分布定数回路をモデルとした実用電池応答の解析関数に関する考察、第49回溶融塩化学討論会、2B01, 2017

赤間 未行、仁科 辰夫、立花 和宏、伊藤 智博、今井 直人、水溶液系電池のためのバインダーのイオン透過性のインピーダンス測定による評価、第58回電池討論会、2E16, 2017

伊藤 智博、黒澤 大輝、立花 和宏、仁科 辰夫、3D CADを使った合材電極設計と有限要素法を使った状態分布解析、第58回電池討論会、2I08, 2017

仁科 辰夫、伊藤 智博、立花 和宏、2段分布定数回路をモデルとしたリチウムイオン二次電池のインピーダンス応答関数の導出、第58回電池討論会、1I27, 2017

赤間 未行、黒澤 大輝、石川 智士、仁科 辰夫、立花 和宏、伊藤 智博、水系電解液による酸素発生とリチウムイオン二次電池正極活物質の関係、2017年電気化学秋季大会、1J32, 2017

仁科 辰夫、伊藤 智博、立花 和宏、LiSB電流遮断後の過電圧緩和過程のモデル化、電気化学会第84回大会、3O07, 2017

赤間 未行、黒澤 大輝、仁科 辰夫、立花 和宏、伊藤 智博、水の存在下でのリチウムイオン電池に使われるバインダーの働き、電気化学会第84回大会、3N02, 2017

D. Kurosawa, T. Ito, K. Tachibana, and T. Nishina, The Effect on the Reaction Rate by the Binder Contact with the Cathode Active Material for 2V Class Water Based Lithium Ion Battery, The Joint International Meeting of 230<sup>th</sup> Meeting of the Electrochemical Society, 2016 Fall Meeting of the Electrochemical Society of Japan, and 2016 Fall Meeting of the Korean Electrochemical Society, 2016

T. Ito, K. Tachibana, T. Nishina, and T. Kawahira, Analysis on Overvoltage Relaxation of Lithium Secondary Batteries after Current Interruption, The Joint International Meeting of 230<sup>th</sup> Meeting of the Electrochemical Society, 2016 Fall Meeting of the Electrochemical Society of Japan, and 2016 Fall Meeting of the Korean Electrochemical Society, 2016

S. Ishikawa, T. Ito, K. Tachibana, and T. Nishina, Investigation on the High-Rate Recharging Mechanism in LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> by Primary Particle Analysis, The Joint International Meeting of 230<sup>th</sup> Meeting of the Electrochemical Society, 2016 Fall Meeting of the Electrochemical Society of Japan, and 2016 Fall Meeting of the Korean Electrochemical Society, 2016

M. Sekiguchi, T. Ito, K. Tachibana, and T. Nishina, Study of the Aluminum Anode Oxide Film and Cathode Material Interface of Conductive Polymer Aluminum Oxide Solid Electrolytic Capacitor, The Joint International Meeting of 230<sup>th</sup> Meeting of the Electrochemical Society, 2016 Fall Meeting of the Electrochemical Society of Japan, and 2016 Fall Meeting of the Korean Electrochemical Society, 2016

Tomohiro Ito, Takahiro Hamatsu, Shinya Onodera, Kazuhiro Tachibana, Tatsuo Nishina, Development of the Battery Management System Focusing on IoT by Using Machine to Machine Communication, 56<sup>th</sup> Battery Symposium, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仁科 辰夫 (NISHINA, Tatsuo)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60172673