

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2016年9月15日(15.09.2016)



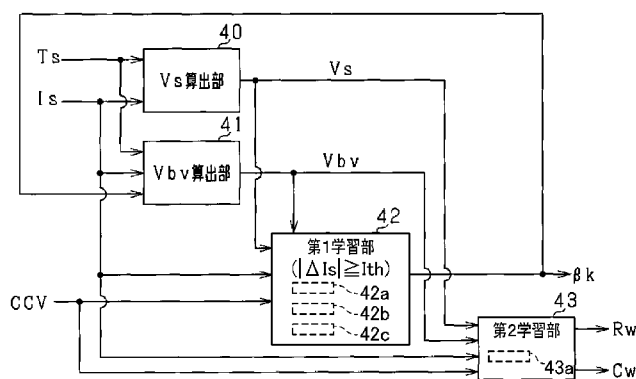
(10) 国際公開番号  
WO 2016/143728 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01R 31/36 (2006.01) H02J 7/00 (2006.01)  
H01M 10/48 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/056932
- (22) 国際出願日: 2016年3月7日(07.03.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2015-045161 2015年3月6日(06.03.2015) JP  
特願 2015-231112 2015年11月26日(26.11.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー(DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 河合 利幸(KAWAI, Toshiyuki); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 加藤 恵一(KATO, Keiichi); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 小池 佑治(KOIKE, Yuuji); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 菊地 保宏(KIKUCHI, Yasuhiro); 〒1600003 東京都新宿区本塩町18番地4 MY K四ツ谷 2階 よつや国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: BATTERY STATE ESTIMATION DEVICE

(54) 発明の名称: 電池状態推定装置



- 40 Vs detection unit
- 41 Vbv detection unit
- 42 First learning unit
- 43 Second learning unit

(57) Abstract: Provided is a battery state estimation device comprising an update unit. On the basis of the amount of change in the detected value of current that flows through a secondary battery, the update unit updates a charge transfer impedance model in a battery model for the secondary battery configured from a DC resistance model, the charge transfer impedance model, and a serial connection body for a diffusion impedance model so that a first relation between the current flowing through the secondary battery and the potential difference of a charge transfer resistor as defined by the Butler-Volmer equation approaches a second relation between the current value actually flowing through the secondary battery and the actual value of the potential difference of the charge transfer resistor. A state estimation unit estimates the state of the secondary battery on the basis of the battery model comprising the charge transfer impedance model that has been updated by the update unit.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/143728 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

---

電池状態推定装置は、更新部を有している。この更新部は、直流抵抗モデル、電荷移動インピーダンスモデル、および拡散インピーダンスモデルの直列接続体により構成された2次電池の電池モデルにおける前記電荷移動インピーダンスモデルを、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量に基づいて、バトラーボルマー式によって規定される前記2次電池に流れる電流及び前記電荷移動抵抗の電位差間の第1の関係を、前記2次電池に実際に流れる電流値及び前記電荷移動抵抗の実際の電位差の値の間の第2の関係を近づけるように、更新する。状態推定部は、更新部によって更新された前記電荷移動インピーダンスモデルを含む前記電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する。

## 明 細 書

**発明の名称**：電池状態推定装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、2次電池の電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する装置に関する。

### 背景技術

[0002] 2次電池の状態を推定する装置としては、下記特許文献1に開示された装置がある。この特許文献1に開示された装置は、1つの抵抗および1つのRC並列回路が直列接続された等価回路として表現された2次電池の電池モデルを表すパラメータの値を、適応デジタルフィルタを用いて一括推定する。そして、この装置は、推定した各パラメータの値に基づいて、2次電池の充電率を推定する。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-75518号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 一般的な2次電池は、その低温領域において、非線形な電流－電圧特性を有している。残念ながら、上記特許文献1に記載された電池モデルの構成は、RC並列回路の時定数が小さいため、2次電池の電流－電圧特性が非線形に変化する場合において、該電流－電圧特性を表すことは困難である。特に、0℃以下の低温領域では、非線形変化の度合いが無視できないほど大きくなる。このため、上記特許文献1に記載された電池モデルでは、2次電池の低温領域において、2次電池の状態の推定精度が低下するおそれがある。

[0005] 本発明は、2次電池の低温時においても、2次電池の状態の推定精度の低下を回避できる電池状態推定装置を提供することを主たる狙いとする。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明における例示態様に関わる電池状態推定装置は、2次電池（20a）の直流抵抗（ $R_s$ ）を表す直流抵抗モデル、前記2次電池の電荷移動インピーダンスを表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある電荷移動抵抗パラメータ（ $\beta$ ）を含む電荷移動インピーダンスモデル、および抵抗とキャパシタとの並列接続体を含むRC等価回路モデルであって、前記2次電池の拡散インピーダンスを表す拡散インピーダンスモデル、の直列接続体により構成された当該2次電池の電池モデルにおける前記電荷移動インピーダンスモデルを、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量に基づいて、前記バトラーボルマー式によって規定される前記2次電池に流れる電流及び前記電荷移動抵抗の電位差間の第1の関係を、前記2次電池に実際に流れる電流値及び前記電荷移動抵抗の実際の電位差の値の間の第2の關係に近づけるように、更新する処理を行う更新部（30）を備えている。また、電池状態推定装置は、前記更新部によって更新された前記電荷移動インピーダンスモデルを含む前記電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する状態推定部（30）を備えている。

[0007] 2次電池の内部インピーダンスは、直流抵抗、電荷移動インピーダンス、及び拡散インピーダンスに大きく分けられる。このため、上記発明の例示態様では、電池モデルを、直流抵抗モデル、電荷移動インピーダンスモデル、及び拡散インピーダンスモデルの直列接続体を含むモデルとしている。

[0008] ここで、2次電池の低温時には、電荷移動インピーダンスに起因する電流－電圧の非線形特性が支配的となる。このため、上記発明の例示態様では、電荷移動インピーダンスモデルを、電気化学におけるバトラーボルマー式から導かれ、2次電池の非線形特性を表現するモデルとする。詳しくは、このモデルは、バトラーボルマー式の交換電流密度に相当するパラメータであって、2次電池の温度と相関を持たせた電荷移動抵抗パラメータを含む。電荷移動抵抗パラメータが2次電池の温度に依存することから、上記発明の例示態様では、例えば上記特許文献1に記載された技術では表現できなかった低温時における電流－電圧の非線形特性を精度よく表すことができる。

- [0009] ここで、上記電荷移動抵抗パラメータは、例えば、2次電池の劣化により変化したり、電荷移動インピーダンスモデルのモデル誤差や温度検出誤差によって適切な値からずれたり、2次電池の個体差によって異なったりし得る。この場合、電池モデルに基づく2次電池の状態の推定精度が低下する懸念がある。
- [0010] そこで上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置によれば、更新部により、2次電池に流れる電流検出値の変化量に基づいて、バトラーボルマー式によって規定される2次電池に流れる電流及び電荷移動抵抗の電位差の関係を、2次電池に流れる電流及び電荷移動抵抗の電位差の実際の関係に近づけるように電荷移動インピーダンスモデルを更新する。2次電池に流れる電流及び電荷移動抵抗の電位差の関係は、電荷移動抵抗パラメータに依存する。このため、更新部による電荷移動インピーダンスモデルの更新により、2次電池の状態の推定に用いる電荷移動抵抗パラメータとその実際の値とのずれを抑制できる。そして上記発明の例示態様では、更新された電荷移動インピーダンスモデルを含む電池モデルに基づいて、2次電池の状態を推定する。これにより、電池モデルに基づく2次電池の状態の推定精度の低下を回避することができる。
- [0011] 上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置において、具体的には、前記更新部は、所定の演算周期に基づいて前記電荷移動インピーダンスモデルを更新し、前記状態推定部は、前記所定の演算周期に基づいて前記2次電池の状態を推定している。
- [0012] そして、上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、以下に示す具体的な構成を有することが可能である。すなわち、具体的な構成は、今回の演算周期における前記2次電池に流れる電流検出値と、前回の演算周期における前記2次電池に流れる電流検出値との偏差である第1偏差を算出する第1偏差算出部(30)と、前記電荷移動インピーダンスモデルに基づいて推定した今回の演算周期における前記2次電池に流れる推定電流と、前記電荷移動インピーダンスモデルに基づいて推定した前回の演算周期における前記

2次電池に流れる推定電流との偏差である推定電流偏差、又は前記推定電流偏差に応じた値のいずれかである第2偏差を算出する第2偏差算出部(30)と、前記第1偏差及び前記第2偏差のそれぞれに基づいて、前記第2偏差を前記第1偏差に近づけるための補正係数( $\beta k$ )を逐次最小2乗法により推定するパラメータ推定部(30)と、を備えている。そして、前記更新部は、前記電荷移動インピーダンスモデルを更新する処理として、前記パラメータ推定部によって推定された前記補正係数に基づいて、前記電荷移動抵抗パラメータを更新する処理を行う。

[0013] 上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、今回の演算周期における2次電池に流れる電流検出値と、前回の演算周期における2次電池に流れる電流検出値との偏差である第1偏差を算出することが可能である。また、発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、電荷移動インピーダンスモデル(具体的には例えば、直流抵抗モデル及び電荷移動インピーダンスモデル)に基づいて推定された今回の演算周期における2次電池に流れる推定電流と、電荷移動インピーダンスモデル(具体的には例えば、直流抵抗モデル及び電荷移動インピーダンスモデル)に基づいて推定された前回の演算周期における2次電池に流れる推定電流との偏差である推定電流偏差、又は上記推定電流偏差に応じた値のいずれかである第2偏差を算出することが可能である。直流抵抗モデル、電荷移動インピーダンスモデル及び拡散インピーダンスモデルが直列接続されていることから、例えば、2次電池が劣化していなかったり、電荷移動インピーダンスモデルのモデル誤差がなかったりする場合、第2偏差は第1偏差に近い値となる。一方、例えば、2次電池が劣化したり、上記モデル誤差があったりする場合、第2偏差と第1偏差とのずれが大きくなる。

[0014] そこで上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、第1偏差及び第2偏差のそれぞれに基づいて、第2偏差を第1偏差に近づけるための補正係数を逐次最小2乗法により推定することができる。そして、電池状態推定装置は、推定された補正係数に基づいて、電荷移動抵抗パラメータを補正する

。このため、2次電池の劣化や温度検出誤差で電荷移動抵抗パラメータの読み取り誤差が発生してもモデル誤差を小さくすることが可能である。これにより、電池モデルに基づく2次電池の状態の推定精度の低下を回避することができる。

[0015] さらに上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置では、電荷移動インピーダンスモデルが、電流－電圧の非線形特性を精度よく表す。このため、補正係数を推定可能な機会が、低温時に2次電池に流れる電流の大きさが0 A近辺に限定されることなく、制約を受けない。これにより、2次電池に流れる電流の大きさにかかわらず、補正係数を推定し、常に電荷移動抵抗パラメータを更新することができる。

[0016] 上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置において、前記バトラーボルマー式には、該バトラーボルマー式の前記電荷移動抵抗の電位差方向における拡大又は縮小を規定する第1係数 ( $\gamma_v$ ) と、該バトラーボルマー式の前記2次電池に流れる電流方向における拡大又は縮小を規定する第2係数 ( $\gamma_i$ ) とが含まれている。前記電池状態推定装置は、前記2次電池に流れる電流検出値の絶対値が閾値未満であることを条件として、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量と、前記2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小2乗法により、前記2次電池に流れる電流及び前記電荷移動抵抗の電位差間の第1の関係を規定する1次式の傾きの相関値として前記電荷移動抵抗パラメータを同定する第1同定部 (30) と、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量と、前記2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小2乗法により前記第1係数を同定し、前記第1係数を同定した演算周期の次の演算周期において、同定した前記第1係数を前記第2係数に適用する第2同定部 (30) と、を備えることが可能である。このとき、前記更新部は、前記更新する処理として、前記第1同定部によって同定された前記電荷移動抵抗パラメータと、前記第2同定部によって同定された前記第1係数及び前記第2係数とに基づいて、前記電荷移動インピーダンスモデルを更新する処理を行うことが可能である。

- [0017] 2次電池に流れる電流検出値の絶対値が閾値未満となる低負荷時においては、2次電池に流れる電流及び電荷移動抵抗の電位差の関係を、2次電池に流れる電流及び2次電池の電圧のうち、一方を従属変数とし、他方を独立変数とする1次式で近似できる。この場合、この1次式の傾きは、電荷移動抵抗パラメータと相関を有する。そして、1次式の傾きは、2次電池に流れる電流検出値の変化量と、2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて算出することができる。
- [0018] この点に鑑み、上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、2次電池に流れる電流検出値の絶対値が閾値未満であることを条件として、2次電池に流れる電流検出値の変化量と、2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小2乗法により、2次電池に流れる電流及び電荷移動抵抗の電位差間の第1の関係を規定する1次式の傾きの相関値として電荷移動抵抗パラメータを同定する。
- [0019] 一方、バトラーボルマー式には、この式の電荷移動抵抗の電位差方向における拡大又は縮小を規定する第1係数と、バトラーボルマー式の2次電池に流れる電流方向における拡大又は縮小を規定する第2係数が含まれている。ここで、第1係数及び第2係数も、例えば、2次電池の劣化により変化したり、電荷移動インピーダンスモデルのモデル誤差や温度検出誤差によって適切な値からずれたり、2次電池の個体差によって異なったりし得る。
- [0020] この点に鑑み、上記発明の例示態様に関わる電池状態推定装置は、2次電池に流れる電流検出値の変化量と、2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小2乗法により第1係数を同定する。そして、第1係数を同定した演算周期の1演算周期後において、同定した第1係数を第2係数に適用する。このようにして同定された電荷移動抵抗パラメータ、第1係数、及び第2係数に基づいて、電荷移動インピーダンスモデルを更新する。これにより、電荷移動インピーダンスモデルを含む電池モデルに基づく2次電池の状態の推定精度の低下を回避することができる。

## 図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の第1実施形態に係る電池システムの構成図。

[図2]図1に示す電池システムにおけるSOC算出処理を示すブロック図。

[図3]本発明の第1実施形態に係る電池モデルを示す図。

[図4]本発明の第1実施形態に係る電荷移動抵抗パラメータと電池温度との関係を示すグラフ。

[図5]本発明の第1実施形態に係る電荷移動抵抗における電流－電圧特性の温度依存性を示すグラフ。

[図6]本発明の第1実施形態に係る第1，第2学習処理を示すブロック図。

[図7]本発明の第1実施形態に係る、電流が急変する場合の直流抵抗電圧、電荷移動抵抗電圧及び分極電圧の推移を示すタイムチャート。

[図8]本発明の第1実施形態に係る、図1に示す電池セルの端子間電圧及び電流の推移を示すタイムチャート。

[図9]本発明の第1実施形態に係る、電荷移動抵抗パラメータが適切な場合の検出電流偏差と推定電流偏差との関係を示す図。

[図10]本発明の第1実施形態に係る、電荷移動抵抗パラメータが不適切な場合の検出電流偏差と推定電流偏差との関係を示す図。

[図11]本発明の第1実施形態に係る、検出電流偏差と電荷移動抵抗電圧の変化量との関係を示す図。

[図12]本発明の第1実施形態に係る、第1学習処理の効果を示すタイムチャート。

[図13]本発明の第1実施形態に係る、第2学習処理で用いる電池モデルを示す図。

[図14]本発明の第2実施形態に係る、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 及び適合係数 $\gamma_v$ 、 $\gamma_i$ の同定処理を示すブロック図。

[図15]本発明の第2実施形態に係る、初期パラメータ $\beta_{map}$ と補正係数 $\beta_k$ との関係を示すグラフ。

[図16]本発明の第2実施形態に係る、バトラーボルマー式と0A近傍の近似式とを示すグラフ。

[図17]本発明の第2実施形態に係る、電池セルを流れる電流が急変する場合の端子間電圧の推移を示すタイムチャート。

[図18]本発明の第2実施形態に係る、バトラーボルマー式と適合係数 $\gamma$ との関係を示すグラフ。

[図19]本発明の第2実施形態に係る、選択部の処理の手順を示すフローチャート。

[図20]本発明の第2実施形態に係る、電池セルの端子間電圧検出値、推定電圧、及び電圧誤差の推移を示すグラフ。

[図21]本発明の第2実施形態に係る、検出電流に対する端子間電圧検出値及び推定電圧の相関を示すグラフ。

### 発明を実施するための形態

[0022] (第1実施形態)

以下、本発明に係る第1実施形態について、図面を参照しつつ説明する。以下の図面においては、同一の参照符号は、同一の対応する構成要素を識別するものとして用いられる。

[0023] 図1は、本発明の第1実施形態に関わる電池システム10を示す。この電池システム10は、2次電池、すなわち、組電池（バッテリパック）20、の状態を表すパラメータを推定する装置を含んでいる。この電池システム10は、組電池20の電力を外部装置（例えば、モータジェネレータ等の車載主機としての回転電機を備える車両）に供給することが可能である。また、電池システム10は、アイドルストップシステムなど補機電池を活用する車載システムにおける電池システムとして適用されることも可能である。

[0024] 図1に示すように、電池システム10は、上記組電池20と、電池ECU( Electronic Control Unit)30とを備えている。組電池20は、複数の電池セル20aの直列接続体から構成されている。この組電池20は、モータジェネレータ等の発電機を含む図示しない電気負荷に接続されており、電気負荷との間で電力の授受を行う。第1の実施形態では、各電池セル20aとして、リチウムイオン2次電池セル等の2次電池セルを用いている。

本技術分野の当業者であれば熟知しているように、各電池セル20aは、正電極、負電極、電解質、および前記電解質内において前記正電極および負電極を分離するセパレータを有している。各電池セルの電解質内における電気化学反応により、組電池20に接続されている電気負荷に対して電流を流すことができる。

[0025] 上記のように構成された電池セル20aは、本質的に内部インピーダンスを有している。この内部インピーダンスは、例えば、直流インピーダンス、電荷移動インピーダンス、および拡散インピーダンスを含んでいる。

直流インピーダンスは、正極および負極それぞれの抵抗、および電池セル20a内の電解質の抵抗を含んでいる。

電荷移動インピーダンスは、互いに並列接続された一对の電荷移動抵抗および電気二重層容量から構成されたRC並列回路を含んでいる。電荷移動抵抗および電気二重層容量は、例えば、電解質内のイオン（リチウムイオン）と正電極内の電荷との間における界面での反応、および電解質内のイオンと負電極内の電荷との間における界面での反応に基づくものである。

拡散インピーダンスは、互いに並列に接続された拡散抵抗および拡散容量から構成されたRC並列回路を含んでいる。拡散抵抗および拡散容量は、例えば、電解質内のイオン拡散、および各正および負電極内の活物質内のイオン拡散に基づくものである。拡散容量は、拡散抵抗が時間とともに変化することを表している。

[0026] 電池システム10は、複数の電圧センサ21、温度センサ22、及び電流センサ23を備えている。これらのセンサは、組電池20の様々な物理的特性を測定可能なセンサの一例である。

電圧センサ21は、それぞれ対応する電池セル20aの端子間電圧CCVを検出し、対応する電池セル20aの端子間電圧CCVを表す検出信号を電池ECU30に出力する電圧検出部である。

温度センサ22は、組電池20の温度Ts、すなわち各電池セル20aの温度Ts、を検出し、対応する電池セル20aの温度Ts（以下、セル温度

T<sub>s</sub>とする)を表す検出信号を電池ECU30に出力する温度検出部である。

電流センサ23は、組電池20(各電池セル20a)に流れる電流I<sub>s</sub>、すなわち充電電流あるいは放電電流、を検出し、検出した電流I<sub>s</sub>を表す検出信号を電池ECU30に出力する電流検出部である。

なお、検出電流I<sub>s</sub>の極性は、該検出電流I<sub>s</sub>が組電池20から出力されて各電池セル20aが放電される際に負となり、該検出電流I<sub>s</sub>が組電池20に入力されて各電池セル20aが充電される際に正となる。

[0027] 電池ECU30は、CPU30a、記憶装置、すなわちメモリ31、図示しないI/O、および他の周辺機器等を備える周知のコンピュータとして構成されている。

メモリ31には、組電池20の様々な特性パラメータに関連する情報VTIが記憶されている。

CPU30aは、複数の電池セル20aのそれぞれに対応した複数のセル演算部32を含む。電池ECU30には、電圧センサ21、温度センサ22及び電流センサ23の検出信号が入力される。

[0028] 第1の実施形態において、各演算部32は、対応する電池セル20aの充電率を算出する充電率算出処理と、第1の実施形態に係る特徴的構成である第1および第2の学習処理とを行う。以下、充電率算出処理、第1学習処理、及び第2学習処理の順に説明する。

[0029] <1. 充電率算出処理>

図2を用いて、各演算部32における対応する電池セル20aの充電率算出処理について説明する。

各演算部32は、充電率算出処理を行うための状態推定部60として、OCV変換部33、電圧偏差算出部34、電流推定部35、及びSOC算出部36を備えている。

[0030] OCV変換部33は、後述するSOC算出部36によって算出された前回の演算周期における電池セル20aの充電率(State of Charge, SOC

)に基づいて、電池セル20aの開放端電圧OCVを算出する。本実施形態では、OCV変換部33は、SOC及び開放端電圧OCVが予め関係付けられたOCVマップを用いて、各電池セル20aの開放端電圧OCVを算出する。本実施形態において、OCVマップは、例えば、上記情報VT1の一部としてメモリ31に記憶されている。

[0031] 電圧偏差算出部34は、電圧センサ21によって検出された電池セル20aの端子間電圧CCVから、OCV変換部33によって算出された開放端電圧OCVを減算した値を出力する。電流推定部35は、電圧偏差算出部34の出力値と、温度センサ22によって検出された電池セル20aの温度（以下、電池温度Ts）とに基づいて、電池セル20aに流れる電流を推定する。以下、電流推定部35における電流推定手法について説明する。

[0032] まず、図3を用いて、電池セル20aに流れる電流を推定するために電流推定部35により用いられる、電池セル20aの等価回路モデル（電池モデル）38、すなわち電池セル20aの内部インピーダンス等を表現することにより、電池セル20aの電気化学的挙動（electrochemical behavior）を等価的に模擬する電池モデル38について説明する。

[0033] 図3に示すように、第1実施形態に関わる電池モデル38は、基本的には、電源38a、直流抵抗モデル38b、電荷移動インピーダンスモデル38c、及び拡散インピーダンスモデル38dの直列接続体として表されている。

図3において、直流抵抗モデル38bは、電池セル20aにおける上述した直流抵抗Rs（抵抗値Rs）を有し、この直流抵抗Rsにおける電位差（以下、直流抵抗電圧）をVsとして表す。

電荷移動インピーダンスモデル38cは、電池セル20aにおける上述した電荷移動インピーダンスを表す電荷移動抵抗（Rrを示し、この電荷移動抵抗Rrにおける電位差（以下、電荷移動抵抗電圧）をVbvとして表す。なお、本実施形態において、図3に示す電荷移動インピーダンスモデルは、便宜的に直流抵抗である電荷移動抵抗Rrのみで表され、電気二重層容量が

無視されている。これは、本実施形態において、演算部 32 (CPU 30a) における電池セル 20a の充電率算出処理の 1 演算周期が、電荷移動インピーダンスにおける RC 並列回路の時定数よりも十分長く設定されているためである。

拡散インピーダンスモデル 38d は、電池セル 20a における上述した拡散インピーダンスを有している。すなわち、拡散インピーダンスモデル 38d は、拡散抵抗 (抵抗値  $R_w$ ) および拡散容量 (容量値  $C_w$ ) から構成された RC 並列回路を備えている。この RC 並列回路 38d における電位差を分極電圧  $V_w$  として表す。

[0034] 上記直流抵抗モデル 38b について説明する。本実施形態では、直流抵抗モデル 38b の直流抵抗電圧  $V_s$  を、下式 (eq1) で表す。

$$[0035] \quad V_s = R_s \cdot I \quad \dots \quad (eq1)$$

上式 (eq1) において、 $I$  は電池セル 20a に流れる電流を示す。直流抵抗  $R_s$  は、電池セル 20a の温度に依存する。本実施形態では、直流抵抗  $R_s$  及び電池温度  $T_s$  が予め関係付けられた  $R_s$  マップが、例えば、上記情報  $V_{T1}$  の一部としてメモリ 31 に記憶されている。 $R_s$  マップは、電池温度  $T_s$  が高いほど、直流抵抗  $R_s$  が低くなるように適合されている。電流推定部 35 は、電池温度  $T_s$  及び  $R_s$  マップに基づいて、直流抵抗  $R_s$  を算出する機能を有する。

[0036] 続いて、電荷移動インピーダンスモデル 38c について説明する。以下、本実施形態に係る電荷移動インピーダンスモデル 38c の電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  の導出手法について説明する。

[0037] 電気化学における各電池セル 20a に対するバトラーボルマー式は、下式 (eq2) で表される。

$$[0038] \quad i = i_0 \left\{ \exp\left(\frac{\alpha_s n F \eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{-(1-\alpha_s) n F \eta}{RT}\right) \right\} \quad \dots \quad (eq2)$$

上式 (eq2) において、「 $i$ 」は電流密度を示し、「 $i_0$ 」は交換電流密度を示し、「 $\alpha_s$ 」は電極反応の移動係数 (酸化反応) を示し、「 $n$ 」は

電荷数を示し、「F」はファラデー定数を示し、「 $\eta$ 」は過電圧を示し、「R」は気体定数を示し、「T」は電池セル20aの温度（絶対温度）を示す。

[0039] 上式（eq2）において、簡素化のために正負極を等価（すなわち、充放電効率が同一）として「 $a = \alpha_s = 1 - \alpha_s$ 」とすると、上式（eq2）は下式（eq3）となる。

$$[0040] \quad i = i_0 \left\{ \exp\left(\frac{anF\eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{-anF\eta}{RT}\right) \right\} \dots (eq3)$$

双曲線正弦関数と指数関数との関係を用いて、上式（eq3）を下式（eq4）のように変形する。

$$[0041] \quad i = 2 \cdot i_0 \cdot \sinh\left(\frac{anF\eta}{RT}\right) \dots (eq4)$$

上式（eq4）を過電圧 $\eta$ について解くと、下式（eq5）となる。

$$[0042] \quad \eta = \frac{RT}{anF} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{2 \cdot i_0} i\right) \dots (eq5)$$

一方、過電圧 $\eta$ と電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ との関係を、比例定数 $\gamma$ を用いて下式（eq6）で表す。

$$[0043] \quad \eta = \gamma \cdot V_{bv} \dots (eq6)$$

また、電流密度 $i$ と電池セル20aに流れる電流 $I$ との関係を、比例定数（適合定数） $\gamma$ を用いて下式（eq7）で表す。

$$[0044] \quad i = \gamma \cdot I \dots (eq7)$$

上式（eq5）に上式（eq6），（eq7）を代入すると、下式（eq8）が導かれる。

$$[0045] \quad \gamma \cdot V_{bv} = \frac{RT}{anF} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{2 \cdot i_0} \gamma \cdot I\right) \dots (eq8)$$

ここで、上式（eq8）を下式（eq9）のように整理する。

[0046]

$$V_{bv} = \frac{\alpha}{\gamma} T \cdot \sinh^{-1}(\gamma \cdot \beta \cdot I) \quad \dots \quad (eq9)$$

$$\text{ただし、} \quad \alpha = \frac{R}{anF}, \quad \beta = \frac{1}{2 \cdot i_0}$$

上式 (eq9) において、「 $\beta$ 」は、上記電荷移動抵抗  $R_r$  に関わるパラメータである電荷移動抵抗パラメータを示し、「 $\alpha$ 」は物理定数を示し、「 $\gamma$ 」は上記適合係数を示す。上式 (eq9) は、電池セル 20a に流れる充放電電流  $I$  と電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  とを電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  によって関係付けることが可能なことを示している。本実施形態では、検出電流  $I_s$  を電池セル 20a を流れる電流  $I$  としている。

具体的には、上記 (eq9) 式は、バトラーボルマー式から導かれる電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  が、電池セル 20a に流れる電流  $I$  を独立変数とし、電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  を従属変数とする逆双曲線正弦関数において、逆双曲線正弦関数と電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  との関係を定める係数となることを表している。

[0047] 当業者は熟知しているように、交換電流密度  $i_0$  は、電池セル 20a の絶対温度  $T$  に対して下式 (eq10) に従う。なお、下式 (eq10) において「 $K_t$ 、 $i_a$ 」は定数を示す

$$[0048] \quad i_0 = i_a \cdot C \cdot \exp\left(-\frac{K_t}{T}\right) \quad (eq10)$$

電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  が交換電流密度  $i_0$  の逆数に比例することから、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の温度特性は下式 (eq11) で表すことができる。

$$[0049] \quad \beta \propto \frac{1}{i_0} \propto \beta_0 \cdot \exp\left(\frac{K_t}{T}\right) \quad \dots \quad (eq11)$$

なお、 $\beta_0$  は定数である。

すなわち、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  は、絶対温度  $T$  に依存する。上式 (eq11) の両辺を対数化することにより、次式 (eq12a) を得ることができる。

[0050] 
$$\ln(\beta) = \ln(\beta_0) + K_t \times \left( \frac{1}{T} \right) \quad (\text{e q 12 a})$$

この (e q 12 a) 式は、次式 (e q 12 b) で示される直線式と同一の形式を有している。

$$Y = AX + B \quad (\text{e q 12 b})$$

ここで、Aは $K_t$ であり、Bは、 $\ln(\beta_0)$ である。

[0051] 上記関係に基づいて、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値と、電池セル20aの絶対温度Tにおける対応する値との関係を、上記自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値をy切片とし、 $1/T$ をx切片としてプロットしたグラフを図4に示す。本実施形態では、プロットされた上記電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値に適合する、絶対温度Tの逆数に対する線形関数LFを求める(図4参照)。これにより、上記自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値を、上記線形関数LFのy切片として求めることができ、また、 $K_t$ の値を、上記線形関数LFの傾きとして求めることができる。

[0052] したがって、メモリ31は、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の自然対数 $\ln(\beta_0)$ における電池セル20aの絶対温度Tに対する上記線形関数LF、すなわち、y切片 $\ln(\beta_0)$ および傾き $K_t$ のセットを、前記情報VT1の一部の情報である $\beta$ マップ情報として記憶している。

すなわち、電流推定部35は、温度センサ22により検出された電池温度 $T_s$ に基づく絶対温度Tの値に基づいて $\beta$ マップを参照し、絶対温度Tの逆数に対応する電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値を $\beta$ マップから抽出する。そして、電流推定部35は、抽出された、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の自然対数 $\ln(\beta_0)$ の値を指数関数展開することにより、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の値を算出する。

[0053] 図5は、上式(e q 5)に基づく、電流Iと電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ との関係を、電池セル20aの子異なる温度(25℃、10℃、0℃、-10℃、および-20℃)をパラメータとしてそれぞれ表すグラフである。

図5に示すように、上式（eq 5）で算出された電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  は、電池セル20aの電池温度  $T_s$  が低温領域、例えば  $0^\circ\text{C}$  以下の温度領域の範囲内である場合には、電流  $I$  の変化により非線形に変化する。すなわち、上式（eq 5）、言い換えれば、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を用いて電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  を算出することにより、例えば  $0^\circ\text{C}$  以下の低温領域における電池セル20aの実際の電流  $I$  と電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  との間の非線形特性に適合する非線形な電流－電圧特性を有する電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  を算出することができる。

[0054] 続いて、拡散インピーダンスモデル38dについて説明する。本実施形態では、拡散インピーダンスモデル38dの分極電圧  $V_w$  を下式（eq 13）のように表す。

[0055] 
$$V_w(t) = -A \cdot V_w(t-1) + B \cdot I_s(t) + B \cdot I_s(t-1) \quad (\text{eq 13})$$

ただし、 $A$  は、次式（eq 13A）で表され、 $B$  は、次式（eq 13B）で表される。

$$A = \frac{\Delta T - 2 \cdot R_w \cdot C_w}{\Delta T + 2 \cdot R_w \cdot C_w} \quad (\text{eq 13A})$$

$$B = \frac{\Delta T \cdot R_w}{\Delta T + 2 \cdot R_w \cdot C_w} \quad (\text{eq 13B})$$

[0056] 上式（eq 13）は、RC並列回路38dの伝達関数を双一次変換で離散化した式であり、「 $\Delta T$ 」は、演算部32の1演算周期を示す。また、上式（eq 13）における分極電圧  $V_w$  およびパラメータ  $B \cdot I_s$  それぞれに付けられた  $(t)$  は、当該分極電圧  $V_w$  およびパラメータ  $B \cdot I_s$  が演算部32における今回の演算周期における値であることを示している。また、上式（eq 13）におけるパラメータ  $(-A \cdot V_w)$  およびパラメータ  $B \cdot I_s$  それぞれに付けられた  $(t-1)$  は、当該パラメータ  $B \cdot I_s$  が演算部32における前回の演算周期における値であることを示している。

[0057] ここで本実施形態では、RC並列回路38dの抵抗成分項の抵抗値  $R_w$  及

び容量成分項の静電容量 $C_w$ のそれぞれに関する情報（拡散インピーダンス情報）が、温度センサ22により検出された電池温度 $T_s$ に基づく絶対温度 $T$ と関係付けられ、情報 $V_{T1}$ の一部としてメモリ31に記憶されている。抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ のそれぞれに関する情報が、拡散インピーダンス情報として、温度センサ22により検出された電池温度 $T_s$ に基づく絶対温度 $T$ と関係付けられているのは、抵抗値 $R_w$ 及び静電容量 $C_w$ のそれぞれが電池温度 $T$ に依存するためである。電流推定部35は、温度センサ22により検出された電池温度 $T_s$ に基づく絶対温度 $T$ および上記メモリ31に記憶された拡散インピーダンス情報に基づいて、拡散インピーダンスにおける抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ を算出する機能を有する。

[0058] 先の図2の説明に戻り、電圧偏差算出部34の出力値は、上述した直流抵抗電圧 $V_s$ 、電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、及び分極電圧 $V_w$ の加算値となる。電流推定部35で行われる処理は、上記加算値「 $V_s + V_{bv} + V_w$ 」を生じさせる電流を推定電流 $I_e$ として算出する処理となる。

[0059] 詳しくは、電流推定部35は、まず、電池温度 $T$ に基づいて、直流抵抗 $R_s$ 、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 、RC並列回路38dの抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ のそれぞれを算出する。そして、電流推定部35は、上式（eq1）、（eq9）および（eq13）のそれぞれの右辺の加算値が、電圧偏差算出部34の出力値と一致するような電流を、推定電流 $I_e$ として算出する。この算出処理においては、上式（eq13）の右辺において、 $I_s(t-1)$ として、前回の演算周期で算出された推定電流 $I_e$ を用いればよい。

[0060] SOC算出部36は、電流推定部35によって算出された推定電流 $I_e$ に基づいて、電池セル20aのSOCを算出する。本実施形態では、SOCの初期値である初期SOC0、SOCが初期SOC0である時からの電流推定部35によって算出された推定電流 $I_e$ の積算値、及び電池セル20aの定格容量 $Ah_0$ に基づいて、電池セル20aの状態を表すパラメータの一例と

して、SOC [%] を算出する。具体的には、SOC算出部36は、例えば、下式 (eq14) によってSOCを算出すればよい。

$$[0061] \quad SOC = SOC0 + \frac{\sum I_e \cdot dt}{Ah0} \times 100 \quad \dots \quad (eq14)$$

なお、SOC算出部36は、初期SOC0を、例えば以下のように算出すればよい。詳しくは、SOC算出部36は、組電池20の充放電が停止されていることを条件として電池セル20aの端子間電圧を電圧センサ21によって開放端電圧OCVとして検出する。そして、SOC算出部36は、検出された開放端電圧OCVを入力として、上記OCVマップを用いて初期SOC0を算出する。

[0062] <2. 第1学習処理>

図6を用いて、各演算部32における対応する電池セル20aについての第1学習処理について説明する。

この第1学習処理は、電池セル20aの劣化等に起因して電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ が適切な値（例えば、設計時に想定した値）からずれる恐れがあることに対処するものである。すなわち、第1学習処理は、電流推定部35で用いられる電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を学習するための処理である。これにより、電池セル20aに劣化等が生じた場合であっても、先の図2に示した処理によるSOCの推定精度の低下の回避を図ることができる。

[0063] 図6を用いて、第1学習処理について説明する。各演算部32は、第1学習処理を行うための処理部として、Vs算出部40、Vbv算出部41、及び第1学習部42を備えている。Vs算出部40は、電池温度Tsから算出された直流抵抗Rsと、電流センサ23によって検出された電流（以下、検出電流Is）とに基づいて、上式 (eq1) で表される直流抵抗電圧Vsを算出する。

[0064] Vbv算出部41は、電池温度Tsから算出された電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 、検出電流Is、及び前回の演算周期で算出された補正係数 $\beta_k$ に基づいて、上式 (eq9) で表される電荷移動抵抗電圧Vbvを算出する。ここ

で、補正係数 $\beta_k$ は、対応する電池セル20aの劣化等によって適切な値からずれた電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を補正するために、第1学習部42によって学習されるパラメータであり、下式(eq15)で表される。

$$[0065] \quad \ln(\beta) = \ln(\beta_0) + \ln(\beta_k) + K_i \times \frac{1}{T} \quad \dots \quad (eq15)$$

すなわち、 $\ln(\beta_k)$ は図4のアレニウスプロットのY切片の変化量を表す。

[0066] 第1学習部42は、 $V_s$ 算出部40によって算出された直流抵抗電圧 $V_s$ 、 $V_{bv}$ 算出部41によって算出された電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、検出電流 $I_s$ 、及び端子間電圧CCVに基づいて、補正係数 $\beta_k$ を学習する。本実施形態において、第1学習部42が、「第1偏差算出部42a」、「第2偏差算出部42b」、及び「第1パラメータ推定部42c」を含む。以下、第1学習部42による学習手法(学習処理)について説明する。なお、第1学習部42は、第1更新部32aの機能として実現されていてもよく、また、第1更新部32aとは異なる機能として実現されていてもよい。

[0067] この学習処理は、まず、補正係数 $\beta_k$ を考慮して、上式(eq9)を下式(eq16)のように変形する。

$$[0068] \quad I = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0 \times \beta_k} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}\right) \quad \dots \quad (eq16)$$

上式(eq16)では、「 $\beta = \beta_0 \times \beta_k$ 」としている。上式(eq16)は、電池セル20aの絶対温度 $T$ の逆数と電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ とを独立変数に含み、電池セル20aに流れる電流 $I$ を従属変数とする双曲線正弦関数を表す。上式(eq16)において、今回の演算周期 $t$ で求められた検出電流 $I_s(t)$ の値と前回の演算周期( $t-1$ )で求められた検出電流 $I_s(t-1)$ との差分を下式(eq17)で表す。

$$[0069] \quad I_s(t) - I_s(t-1) = \left[ \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t)\right) - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t-1)\right) \right] \times \frac{1}{\beta_k} \quad \dots \quad (eq17)$$

上式(eq17)の左辺は、今回の演算周期の検出電流 $I_s(t)$ と、前回の演算周期の検出電流 $I_s(t-1)$ との差である検出電流偏差 $\Delta I_s$ (

t) (「第1偏差」に相当)を示す。上式 (eq 17) の右辺は、推定電流偏差  $\Delta F(t)$  (「第2偏差」に相当)を示す。上式 (eq 17) の右辺で示され今回の演算周期 (t) の電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}(t)$  を、下式 (eq 18) にて表す。

$$[0070] \quad V_{bv}(t) = CCV(t) - V_s(t) - V_w(t) - OCV(t) \quad \dots \quad (eq18)$$

ただし、 $CCV(t)$  は、今回の演算周期 (t) における端子間電圧  $CCV$ 、 $V_s(t)$  は、今回の演算周期 (t) における直流抵抗電圧  $V_s$ 、 $V_w(t)$  は、今回の演算周期 (t) における分極電圧  $V_w$ 、および  $OCV(t)$  は、今回の演算周期 (t) における開放端電圧  $OCV$  をそれぞれ示す。

[0071] ここで、分極電圧  $V_w$  や開放端電圧  $OCV$  の影響を少なくし電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  の影響を顕著に測定できるのは、車両の加速時等において検出電流偏差  $\Delta I_s$  の絶対値が大きい場合である。これは、直流抵抗電圧  $V_s$  及び電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  のそれぞれは、検出電流偏差  $\Delta I_s$  に応じた値に変化するのに対して、分極電圧  $V_w$  の1演算周期分の変化量は、時定数が存在するため非常に小さく無視できるためである。

[0072] 図7に示すように、検出電流偏差  $\Delta I_s$  の絶対値が大きい場合、電池セル 20a に流れる電流  $I$  の急変によって分極電圧  $V_w$  が変化し始める時刻  $t_2$  から、分極電圧  $V_w$  が収束するまでに一定の時間を要するものの、直流抵抗電圧  $V_s$  と電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  とのそれぞれが瞬時に変化するためである。また、同様に開放端電圧  $OCV$  の変化量も1演算周期で考えると無視できるほど小さくなる。なお、図7では、1演算周期を、時刻  $t_1$  から時刻  $t_3$  までの時間間隔として表した。

[0073] したがって、上式 (eq 17) の補正係数  $\beta_k$  を効率よく補正するには、右辺の電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}(t)$ 、 $V_{bv}(t-1)$  の演算周期が短いことを前提とし、検出電流偏差  $\Delta I_s$  の絶対値が所定値  $I_{th} (>0)$  以上であることが必要である。

[0074] ここで、図8に、電池セル 20a に劣化が生じておらず、また、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の初期値が適切な値である場合における低温時 (例えば一

15℃)の検出電流 $I_s$ 及び端子間電圧 $CCV$ の計測結果を示す。そして、図9に、この計測結果に基づいて算出した推定電流偏差 $\Delta F$ と検出電流偏差 $\Delta I_s$ とのそれぞれをプロットした図を示す。推定電流偏差 $\Delta F$ は、上式(e q 18)に基づいて算出した電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ を用いて、上式(e q 17)の右辺を算出した値のことである。

[0075] 図9に示すように、電池セル20aに劣化が生じておらず、また、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の初期値が適切な値である場合、検出電流偏差 $\Delta I_s$ に対する推定電流偏差 $\Delta F$ の直線性が確保され、さらに各プロット $\Delta I_s$ および $\Delta F$ は、傾きが1( $\beta k = 1$ )となる相関を有する。

[0076] これに対し、電池セル20aの劣化が進行したり、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の初期値が適切な値からずれたりする場合には、図10に示すように、検出電流偏差 $\Delta I_s$ に対する推定電流偏差 $\Delta F$ の直線性が確保されているものの、各プロット $\Delta I_s$ および $\Delta F$ は傾きが1から大きくずれた相関を有することとなる。このように、検出電流偏差 $\Delta I_s$ と推定電流偏差 $\Delta F$ とを用いることにより、検出電流偏差 $\Delta I_s$ に対する推定電流偏差 $\Delta F$ の直線性を確保することができ、 $\beta$ マップに規定された電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ が、実際の電荷移動抵抗を表す値からどの程度ずれているかを把握することができる。この点に鑑み、第1学習部42は、推定電流偏差 $\Delta F$ を検出電流偏差 $\Delta I_s$ に一致させるための補正係数 $\beta k$ を学習する。

[0077] ちなみに、先の図8の計測結果に基づいて、上式(e q 17)を用いることなく、検出電流偏差 $\Delta I_s$ を横軸とし、上式(e q 18)を用いて電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ の1演算周期における変化量 $\Delta V_{bv}$ を縦軸にプロットしたものを図11に示す。上述したように、低温時には、電池セル20aにおいては、その電流-電圧特性の非線形性が強くなる。このため、図11に示すように、検出電流偏差 $\Delta I_s$ に対する電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ の変化量 $\Delta V_{bv}$ の直線性が確保されていない。したがって、低温時には、検出電流偏差 $\Delta I_s$ と電荷移動抵抗電圧の変化量 $\Delta V_{bv}$ とに基づいて学習を行う機会は、検出電流偏差 $\Delta I_s$ に対する上記変化量 $\Delta V_{bv}$ の直線性が

確保される0近傍の電流領域のみとなり、大きく制限される。

[0078] ここで上式 (eq 17) において、各パラメータを下式 (eq 19) のように表す。

[0079]

$$\left. \begin{aligned} y1(t) &= Is(t) - Is(t-1) \\ \phi1^T(t) &= \left[ \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T(t)} Vbv(t)\right) - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T(t-1)} Vbv(t-1)\right) \right] \\ \theta1(t) &= \frac{1}{\beta_k} \end{aligned} \right\} \dots \text{ (eq19)}$$

これにより、第1学習部42は、逐次最小2乗法から導かれた下式 (eq 20) に基づいて、第1パラメータ推定値  $\theta 1 (t)$  を演算周期毎に算出することができる。

[0080]

$$\theta1(t) = \theta1(t-1) + \frac{P1(t-1)\phi1(t)}{\lambda1 + \phi1^T(t)P1(t-1)\phi1(t)} \varepsilon1(t) \dots \text{ (eq20)}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \varepsilon1(t) &= y1(t) - \phi1^T(t)\theta1(t-1) \\ P1(t) &= \frac{1}{\lambda1} \left\{ P1(t-1) - \frac{P1(t-1)\phi1(t)\phi1^T(t)P1(t-1)}{\lambda1 + \phi1^T(t)P1(t-1)\phi1(t)} \right\} \end{aligned}$$

上式 (eq 20) において、「P1」は共分散行列を示し、「ε1」は推定誤差を示し、「λ1」は忘却係数を示す。

[0081] 第1学習部42は、補正係数  $\beta k (t)$  の逆数「 $1 / \beta k (t)$ 」として第1パラメータ推定値  $\theta 1 (t)$  を算出する。そして、Vbv算出部41を含む演算部32は、電池温度  $T s$  に対応するβマップの電荷移動抵抗パラメータβに補正係数βk、すなわち第1パラメータ推定値  $\theta 1 (t)$  に基づいて算出された補正係数  $\beta k (t)$ 、を乗算することにより、電荷移動抵抗パラメータβを更新する。これにより、更新された電荷移動抵抗パラメータβが、Vbv算出部41及び電流推定部35において用いられる。すなわち、本実施形態において、演算部32は、上記電荷移動抵抗パラメータβの更新処理を行う「第1更新部(更新部)32a」を含んでいる。言い換えれば、本実施形態において、演算部32は、上記電荷移動抵抗パラメータβの更新処理を行う「第1更新部(更新部)32a」として機能する。

[0082] 図12を用いて、第1学習処理の効果について説明する。図12は、低温時（例えば $-15^{\circ}\text{C}$ ）における電池セル20aの端子間電圧CCVの真値及び推定値のそれぞれの推移を示す。ここで、上記推定値とは、OCV変換部33によって算出された開放端電圧OCV、 $V_s$ 算出部40によって算出された直流抵抗電圧 $V_s$ 、 $V_{bv}$ 算出部41によって算出された電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、及び上式（eq13）に基づいて算出された分極電圧 $V_w$ の加算値に相当する。

[0083] 図12に示される例では、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の初期値が、電荷移動インピーダンスモデルを表す適切な値からずれている。このため、第1学習処理を開始してからの一定の期間においては、端子間電圧CCVの推定値はその真値から大きくずれている。しかしながら、その後、第1学習処理によって電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ が逐次更新されることにより、端子間電圧CCVの推定値は、その真値と一致するようになる。

[0084] <3. 第2学習処理>

図6を用いて、各演算部32における対応する電池セル20aについての第2学習処理について説明する。

この第2学習処理は、拡散インピーダンスモデル38dにおける抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ を学習するための処理である。各演算部32は、第2学習処理を行うための処理部として、図6に示すように、 $V_s$ 算出部40及び $V_{bv}$ 算出部41に加えて、第2学習部43を備えている。第2学習部43は、直流抵抗電圧 $V_s$ 、電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、検出電流 $I_s$ 、及び端子間電圧CCVに基づいて、抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ を学習する。本実施形態において、第2学習部43が「第2パラメータ推定部43a」を含む。以下、第2学習部43による学習手法（学習処理）について説明する。

[0085] 図13に、本実施形態に係る抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ を学習するために第2学習部43で用いられる回路モデルLMを示す。この回路モデルLMは、抵抗成分項 $R_w$ 及び容量成分項 $C_w$ の並列接

続体に直接接続された誤差抵抗を含んでいる。図13には、誤差抵抗の抵抗値を「 $R_E$ 」にて示している。誤差抵抗は、電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  及び直流抵抗電圧  $V_s$  のそれぞれに誤差が含まれ得ることに鑑みて設けられるものである。

[0086] ここで、図13に示す回路モデルLMの印加電圧  $V_{in}$  を下式 (eq21) にて表す。

$$[0087] \quad V_{in}(t) = CCV(t) - OCV(t) - V_s(t) - V_{bv}(t) \quad \dots \quad (eq21)$$

上記印加電圧  $V_{in}$  の1演算周期における変化量 (以下、電圧変化量  $\Delta V_{in}$ ) を下式 (eq22) にて表す。

$$[0088] \quad \Delta V_{in}(t) = V_{in}(t) - V_{in}(t-1) \quad \dots \quad (eq22)$$

また、電圧変化量  $\Delta V_{in}$  を下式 (eq23) のように表す。

$$[0089] \quad \Delta V_{in}(t) = -a1 \cdot \Delta V_{in}(t-1) + b0 \cdot \Delta I_s(t) + b1 \cdot \Delta I_s(t-1) \\ = [\Delta V_{in}(t-1) \quad \Delta I_s(t) \quad \Delta I_s(t-1)] \begin{bmatrix} -a1 \\ b0 \\ b1 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (eq23)$$

ただし、

$$a1 = \frac{\Delta T - 2R_w \cdot C_w}{\Delta T + 2R_w \cdot C_w}, \quad b0 = \frac{\Delta T(R_E + R_w) + 2R_E \cdot R_w \cdot C_w}{\Delta T + 2R_w \cdot C_w}, \quad b1 = \frac{\Delta T(R_E + R_w) - 2R_E \cdot R_w \cdot C_w}{T + 2R_w \cdot C_w}$$

上式 (eq23) の導出は、例えば特開2011-122951号公報に記載されている手法を用いることができる。すなわち、図13に示す回路モデルにおける端子間インピーダンスを、ラプラス演算子  $s$  を用いて表し、この端子間インピーダンスを  $z$  変換で離散化し、変形することにより、上式 (eq23) が得られる。

ここで上式 (eq23) において、各パラメータを下式 (eq24) のように表す。

$$[0090] \quad \left. \begin{aligned} y2(t) &= \Delta V_{in}(t) - \Delta V_{in}(t-1) \\ \varphi2^T(t) &= [\Delta V_{in}(t-1) \quad \Delta I_s(t) \quad \Delta I_s(t-1)] \\ \theta2(t) &= \begin{bmatrix} -a1 \\ b0 \\ b1 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (eq24)$$

これにより、第2学習部43は、逐次最小2乗法から導かれた下式（eq25）に基づいて、第2パラメータ推定値 $\theta_2(t)$ を算出することができる。

$$[0091] \quad \theta_2(t) = \theta_2(t-1) + \frac{P_2(t-1)\varphi_2(t)}{\lambda_2 + \varphi_2^T(t)P_2(t-1)\varphi_2(t)} \varepsilon_2(t) \quad \dots \quad (eq25)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \varepsilon_2(t) &= y_2(t) - \varphi_2^T(t)\theta_2(t-1) \\ P_2(t) &= \frac{1}{\lambda_2} \left\{ P_2(t-1) - \frac{P_2(t-1)\varphi_2(t)\varphi_2^T(t)P_2(t-1)}{\lambda_2 + \varphi_2^T(t)P_2(t-1)\varphi_2(t)} \right\} \end{aligned}$$

上式（eq25）において、「 $P_2$ 」は共分散行列を示し、「 $\varepsilon_2$ 」は推定誤差を示し、「 $\lambda_2$ 」は忘却係数を示す。

[0092] 第2学習部43は、算出した第2パラメータ推定値 $\theta_2(t)$ 及び下式（eq26）に基づいて、抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 、容量成分項の静電容量 $C_w$ 、及び誤差抵抗の抵抗値 $R_E$ を算出する。

$$[0093] \quad R_w = \frac{2(b_1 - a_1 \cdot b_0)}{1 - a_1^2}, \quad C_w = \frac{\Delta T(1 - a_1)^2}{4(b_1 - a_1 \cdot b_0)}, \quad R_E = \frac{b_0 - b_1}{1 - a_1} \quad \dots \quad (eq26)$$

[0094] 電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 及び直流抵抗電圧 $V_s$ の誤差を吸収するための誤差抵抗の抵抗値 $R_E$ は、0近傍の値となり、場合によっては負の値となり得る。演算部32は、電池温度 $T_s$ （絶対温度 $T$ ）と関係付けられた状態でメモリ31に記憶されている抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ と容量成分項の静電容量 $C_w$ とに関する拡散インピーダンス情報を、第2学習部43により算出、すなわち学習された抵抗値 $R_w$ および静電容量 $C_w$ に基づいて、更新する。そして、更新された情報が電流推定部35において用いられる。すなわち、本実施形態において、演算部32が上記拡散インピーダンス情報の更新処理を行う「第2更新部32b」を含む。言い換えれば、本実施形態において、演算部32は、上記拡散インピーダンス情報の更新処理を行う「第2更新部32b」として機能する。

なお、第2学習部43は、該第2学習部43に入力されるパラメータ $V_s$ 、 $V_{bv}$ 、 $I_s$ 、および $CCV$ の全てに、学習すべきRC並列回路の時定数

に見合うローパスフィルタ（LPF）を適切に施してもよい。これにより、学習された抵抗値 $R_w$ および静電容量 $C_w$ を安定した値とすることができる。

[0095] なお、演算部32の例えばSOC算出部36は、電圧センサ21によって検出された電池セル20aの端子間電圧CCVから、誤差抵抗の抵抗値 $R_E$ 及び検出電流 $I_s$ の乗算値、直流抵抗電圧 $V_s$ 、電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、並びに分極電圧 $V_w$ の加算値を減算することにより、開放端電圧OCVを算出してもよい。そして、SOC算出部36は、算出した開放端電圧OCV及びOCVマップに基づいて、電池セル20aのSOCを算出してもよい。

[0096] 以上説明した本実施形態によれば、以下の効果が得られるようになる。

[0097] 電池ECU30は、電荷移動インピーダンスモデルを、バトラーボルマー式の交換電流密度に相当するパラメータであって、電池温度 $T_s$ （あるいは絶対温度 $T$ ）と相関する電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を含むモデルとした。このため、低温時においても、各電池セル20aの電流－電圧の非線形特性を精度よく表すことができる。そして、電池ECU30は、逐次最小2乗法を用いた第1学習処理により、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を逐次更新した。このため、各電池セル20aが劣化したり、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の初期値が適切な値からずれたりする場合であっても、該電池セル20aのSOCの推定精度の低下を回避することができる。

[0098] 電池ECU30は、検出電流偏差 $\Delta I_s$ の絶対値が所定値 $I_{th}$ 以上である場合に第1学習処理を行った。このため、電池セル20aの電圧変動の挙動が非線形特性を示す電荷移動抵抗が支配的になるときを判定し、この判定時において、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を補正するための補正係数 $\beta_k$ を算出できる。これにより、分極電圧 $V_w$ の影響による補正係数 $K$ の誤学習を回避できる。

[0099] 電池ECU30は、RC並列等価回路モデル38dに直列接続された誤差抵抗を用いた第2学習処理により、RC並列等価回路モデル38dにおける抵抗成分項の抵抗値 $R_w$ 及び容量成分項の静電容量 $C_w$ を逐次更新した。こ

のため、直流抵抗電圧  $V_s$  及び電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  に含まれる誤差が分極電圧  $V_w$  の算出に及ぼす影響を抑制することができる。これに対し、誤差抵抗を設けない場合には、推定された抵抗成分項の抵抗値  $R_w$  に上記誤差の影響が含まれることとなり、抵抗値  $R_w$  の推定精度が低下する懸念がある。

[0100] (第2実施形態)

以下、第2実施形態について、上記第1実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。

本実施形態に関わる各演算部32は、対応する電池セル20aの状態の推定に用いる上式(eq9)において、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ に加えて、適合係数 $\gamma$ を適応デジタルフィルタによって逐次同定して更新する。これは、電池セル20aの劣化等に起因して、適合係数 $\gamma$ が適切な値(例えば、設計時に適合した値)からずれる恐れがあることに鑑みたものである。

[0101] 図14を用いて、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 及び適合係数 $\gamma$ を同定するための処理について説明する。図14に、各演算部32に設けられた、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 及び適合係数 $\gamma$ を同定するための処理部61を示す。この処理部61は、上記第1実施形態で説明した第1学習部42に相当する構成である。

すなわち、処理部61において同定された電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 及び適合係数 $\gamma$ が、上記状態推定部60を構成する電流推定部35において推定電流 $I_e$ の算出に用いられる。詳しくは、電流推定部35は、入力された各パラメータ $\beta$ 、 $\gamma$ で、推定電流 $I_e$ の算出に用いられる上式(eq9)の右辺に含まれる各パラメータ $\beta$ 、 $\gamma$ を更新する。

図14に示すように、処理部61は、パラメータ同定部50を備えている。パラメータ同定部50は、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を同定する第1同定部51と、適合係数 $\gamma$ を同定する第2同定部52とを含む。

[0102] まず、本実施形態に係る電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ の同定手法について説明する。

[0103] 電荷移動抵抗パラメータの初期値(以下「初期パラメータ $\beta_{map}$ 」とい

う。)を下式 (eq 27) にて表す。

$$[0104] \quad \beta_{map} = \beta_0 \cdot \exp\left(\frac{K_t}{T}\right) \quad \dots \quad (eq27)$$

本実施形態では、初期パラメータ  $\beta_{map}$  が、図15の実線及び下式 (eq 28) に示すように、初期パラメータ  $\beta_{map}$  の自然対数を電池温度  $T_s$  の逆数に対する1次式となる形で数式化され、情報VTIの一部としてメモリ31に記憶されている。このため、電池温度  $T_s$  を把握できれば、初期パラメータ  $\beta_{map}$  を定めることができる。これにより、電池ECU30の起動時において、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の初期値、すなわち初期パラメータ  $\beta_{map}$  を正確に設定することができる。

$$[0105] \quad \ln(\beta_{map}) = \frac{K_t}{T_s} + \ln(\beta_0) \quad \dots \quad (eq28)$$

ここで本実施形態では、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を下式 (eq 29) のように定義する。

$$[0106] \quad \beta = \beta_k \times \beta_{map} = \beta_k \times \beta_0 \times \exp\left(\frac{K_t}{T}\right) \quad \dots \quad (eq29)$$

ここで、上式 (eq 29) において、「 $\beta_k$ 」は、第1同定部51の同定対象となる補正係数を示し、本実施形態ではその初期値が1に設定されている。上式 (eq 29) の両辺を対数化すると、下式 (eq 30) が導かれる。なお、補正係数  $\beta_k$  が1の場合、下式 (eq 30) における  $\ln(\beta_k)$  は0となる。すなわち、図15に示す実線と一点鎖線とが一致する。

$$[0107] \quad \ln(\beta) = \frac{K_t}{T_s} + \ln(\beta_0) + \ln(\beta_k) \quad \dots \quad (eq30)$$

本実施形態では、各演算部32は、電池温度  $T_s$  を入力として、メモリ31に上式 (eq 28) の形で記憶されている数式に基づいて、電池温度  $T_s$  に対応する自然対数値を算出する。この算出機能は、例えば、図14に示す電流推定部35に備えられている。すなわち、電流推定部35は、算出部として機能する。電流推定部35は、算出した自然対数値  $\ln(\beta_{map})$  を

指数関数に変換して初期パラメータ  $\beta_{map}$  を求め、上式 (eq 29) に示されるように、初期パラメータ  $\beta_{map}$  に補正係数  $\beta_k$  を乗算して電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を算出する。

[0108] 電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  は、上式 (eq 28) に示すように、電池セル 20a の温度に対して指数関数的に変化するパラメータであり、具体的には例えば、電池セル 20a の使用温度範囲において先の図 4 に示すように桁が大きく変わるような変化をし得る。このため、適応デジタルフィルタを用いる際は、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を直接の同定対象とせず、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を規格化した値である補正係数  $\beta_k$  を同定対象とすることが望ましい。これは、各演算部 32 における最小演算単位 (Least Significant Bit : LSB) に起因した電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の同定精度の低下を回避するためである。

[0109] 詳しくは、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  を直接の同定対象とする構成を考える。電池セル 20a の使用温度によって電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  が大きく異なるため、車両の走行中に温度が変化したり、季節によって電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  が収束する時間が変化したりして、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の同定精度が低下する懸念がある。これに対し、補正係数  $\beta_k$  は、正規化されているので、安定した補正係数  $\beta_k$  を演算することが可能になる。また、補正係数  $\beta_k$  を正規化することにより、桁落ちなどの懸念点も回避できるため、電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$  の同定精度の低下を回避できる。

[0110] また本実施形態では、上式 (eq 28) で表される形で初期パラメータ  $\beta_{map}$  がメモリ 31 に記憶されている。このため、電池セル 20a の使用温度範囲における  $\ln(\beta_{map})$  の変化幅を小さくできる。これにより、初期パラメータ  $\beta_{map}$  の精度を高めることができる。

[0111] 電池セル 20a の劣化等に起因して、図 15 に一点鎖線にて示すように、メモリ 31 に記憶されている初期パラメータ  $\beta_{map}$  は、実線にて示す設計時の適合値からずれ得る。このずれは、補正係数  $\beta_k$  により修正できる。詳しくは、図 15 に示すように、劣化等に起因してアレニウスプロットの Y 切

片が変化するため、本実施形態では、この変化を補正係数 $\beta_k$ によって補正する。なお、上式(eq28)において、 $K_t$ は物理定数から定まる定数を示す。このため、図15の実線及び一点鎖線の傾きは、電池セル20aの劣化等の前後で変化しない。

[0112] ここで本実施形態では、上式(eq9)をそのまま用いて上式(eq16)を導く上記第1実施形態の手法とは異なり、上式(eq9)にマクローリン展開を適用する手法を採用する。詳しくは、上式(eq9)の右辺を電池セル20aに流れる電流 $I$ についてマクローリン展開し、電流 $I$ の1次式まで採用すると、下式(eq31)の近似式が導かれる。

$$[0113] \quad V_{bv} = (\alpha \cdot T \cdot \beta) \times I \quad \dots \quad (eq31)$$

上式(eq31)に上式(eq29)を代入すると、下式(eq32)が導かれる。

$$[0114] \quad V_{bv} = (\alpha \cdot T \cdot \beta_{map} \cdot \beta_k) \times I \quad \dots \quad (eq32)$$

上式(eq32)は、図16に示すように、電池セル20aに流れる電流 $I$ の0A近傍で近似できる式であり、電流 $I$ に対する電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ の1次式である。上式(eq32)において「 $\alpha \cdot T \cdot \beta_{map} \cdot \beta_k$ 」は抵抗の次元を有し、 $\alpha$ は物理定数であり、電池セル20aの絶対温度 $T$ は既知である。このため、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ により、電流 $I = 0$ A近傍の傾きを適合することができる。

[0115] 一方、電圧センサ21によって検出された今回の演算周期の端子間電圧 $CCV(t)$ と、前回の演算周期の端子間電圧 $CCV(t-1)$ との差を検出電圧偏差 $\Delta V(t)$ とする。検出電圧偏差 $\Delta V(t)$ は、上式(eq18)を参照すると、下式(eq33)で表される。

$$[0116] \quad \begin{aligned} \Delta V(t) &= \{OCV(t) - OCV(t-1)\} + \{Vs(t) - Vs(t-1)\} + \{V_{bv}(t) - V_{bv}(t-1)\} + \{V_w(t) - V_w(t-1)\} \\ &= \Delta OCV(t) + \Delta Vs(t) + \Delta V_{bv}(t) + \Delta V_w(t) \quad \dots \quad (eq33) \end{aligned}$$

電流センサ23及び電圧センサ21のそれぞれの検出値に含まれるオフセット誤差、及び開放端電圧 $OCV$ の誤差の影響を除くため、前回の演算周期

t - 1 から今回の演算周期の時刻 t までの間において、各演算部 3 2 は、検出電流  $I_s$  が大きく変化する場合の検出電圧偏差  $\Delta V(t)$  及び検出電流偏差  $\Delta I(t)$  を用いて補正係数  $\beta_k$  を逐次同定する。ここで、図 17 の符号 (a) に電池セル 20 a の端子間電圧の推移を示し、図 17 の符号 (b) に電池セル 20 a に流れる電流  $I$  の推移を示す。図 17 に示すように、無負荷状態である時刻 t 1 の後、一定の負荷を電池セル 20 a に与える。この場合、上述したように、時定数の大きい電圧降下量  $\Delta V_w$  は、時定数の無い電圧降下量「 $\Delta V_s + \Delta V_{bv}$ 」より十分小さい。また、開放端電圧 OCV の変化量  $\Delta OCV$  も、上記電圧降下量「 $\Delta V_s + \Delta V_{bv}$ 」より十分小さい。このため、十分に短い 1 演算周期における各変化量  $\Delta OCV(t)$ 、 $\Delta V_w(t)$  は無視できる。したがって、上式 (eq 30) は下式 (eq 34) として表すことができる。

$$[0117] \quad \Delta V(t) = \Delta V_s(t) + \Delta V_{bv}(t) \quad \dots \quad (eq34)$$

このように、各演算部 3 2 は、検出電圧偏差  $\Delta V$  の中から、直流抵抗電圧  $V_s$  及び電荷移動抵抗電圧  $V_{bv}$  を抽出できる。また、各変化量  $\Delta OCV(t)$ 、 $\Delta V_w(t)$  を無視することにより、各演算部 3 2 における演算負荷を削減できる。

[0118] 上式 (eq 34)、上式 (eq 32) から下式 (eq 35 a) および (eq 35 b) が導かれる。

$$[0119] \quad \Delta V_{bv}(t) = \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t) \quad (eq 35 a)$$

$$\rightarrow \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t) = (\alpha \cdot T \cdot \beta_{map} \cdot \beta_k) \times \Delta I(t) \quad (eq 35 b)$$

ここで上式 (eq 35 b) において、各パラメータを下式 (eq 36) のように表す。

$$[0120] \quad \left. \begin{aligned} y_a(t) &= \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t) \\ \varphi_a^T(t) &= (\alpha \cdot T \cdot \beta_{map}) \times \Delta I(t) \\ \theta_a(t) &= \beta_k \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (eq36)$$

上式 (eq 36) において、 $y_a$  は観測値を示す。また、モデル推定値  $y$

a e s t と推定誤差  $\varepsilon_a$  とは、下式 ( e q 3 7 ) で表される。

$$[0121] \quad \left. \begin{aligned} y_{aest}(t) &= \varphi_a^T(t) \theta_a(t-1) \\ \varepsilon_a(t) &= y_a(t) - y_{aest}(t) \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq37)$$

各演算部 3 2 は、推定誤差  $\varepsilon_a$  を最小化するように、下式 ( e q 3 8 ) に基づく逐次最小 2 乗法により、パラメータ推定値  $\theta_a$  を逐次同定する。

$$[0122] \quad \theta_a(t) = \theta_a(t-1) + G_a(t) \varepsilon_a(t) \quad \dots \quad (eq38)$$

ただし、

$$G_a = \frac{P_a(t-1) \varphi_a(t)}{\lambda_a + \varphi_a^T(t) P_a(t-1) \varphi_a(t)}$$

$$P_a(t) = \frac{1}{\lambda_a} \left\{ P_a(t-1) - \frac{P_a(t-1) \varphi_a(t) \varphi_a^T(t) P_a(t-1)}{\lambda_a + \varphi_a^T(t) P_a(t-1) \varphi_a(t)} \right\}$$

上式 ( e q 3 8 ) において、「 $G_a$ 」は適応ゲインを示し、「 $P_a$ 」は共分散行列を示し、「 $\lambda_a$ 」は忘却係数を示す。

[0123] パラメータ同定部 5 0 は、検出電圧偏差  $\Delta V(t)$ 、検出電流偏差  $\Delta I(t)$  及び直流抵抗  $R_s$  によって定まる観測値  $y_a(t)$  を入力として、上式 ( e q 3 7 )、( e q 3 8 ) に基づく逐次最小 2 乗法により、パラメータ推定値  $\theta_a$  を逐次同定し、同定したパラメータ推定値  $\theta_a$  から補正係数  $\beta_k$  を算出する。

[0124] 先の図 1 4 に戻り、第 1 同定部 5 1 は、検出電圧偏差  $\Delta V(t)$ 、検出電流偏差  $\Delta I(t)$  及び電池温度  $T_s$  から算出された直流抵抗  $R_s$  に基づいて、観測値  $y_a(t)$  を算出する。第 1 同定部 5 1 は、観測値  $y_a$  を入力として、上式 ( e q 3 7 )、( e q 3 8 ) に基づく逐次最小 2 乗法によりパラメータ推定値  $\theta_a$  を逐次同定し、同定されたパラメータ推定値  $\theta_a$  から補正係数  $\beta_k$  を算出する。

[0125] 処理部 6 1 は、パラメータ同定部 5 0 に加えて、電流変化量算出部 5 3、電圧変化量算出部 5 4、および選択部 5 5 を有している。検出電流偏差  $\Delta I(t)$  は、電流変化量算出部 5 3 によって算出され、検出電圧偏差  $\Delta V(t)$  は、電圧変化量算出部 5 4 によって算出される。また、直流抵抗  $R_s$  は、上述した  $R_s$  マップに基づいて算出される。

[0126] 続いて、本実施形態に係る適合係数 $\gamma$ の同定手法（同定処理）について説明する。

[0127] 適合係数 $\gamma$ は、電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ と電池セル20aに流れる電流 $I$ との関係を規定する比例係数である。適合係数 $\gamma$ を可変することにより、電流 $I=0$ A近傍の傾きを変えることなく、図18に示すように、電流 $I$ が大きい領域の電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ を適合することができる。なお、電池セル20aが充電される場合の適合係数 $\gamma_c$ と、電池セル20aが放電される場合の適合係数 $\gamma_d$ とを分けて設定してもよい。充電側の適合係数 $\gamma_c$ は例えば0.25に設定され、放電側の適合係数 $\gamma_d$ は例えば0.14に設定される。これら適合係数 $\gamma_d$ 、 $\gamma_c$ は、メモリ31に予め記憶されている。

[0128] 下式（eq39）に示すように、処理部61は、時刻 $t-1$ から時刻 $t$ の間で電流 $I$ が大きく変化する場合の検出電圧偏差 $\Delta V(t)$ と検出電流偏差 $\Delta I(t)$ との関係から適合係数 $\gamma$ を逐次同定する。

$$\begin{aligned} \Delta V_{bv}(t) &= \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t) \\ &= \frac{\alpha}{\gamma_v} T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t)) - \frac{\alpha}{\gamma_v} T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t-1)) \quad \dots \quad (eq39) \end{aligned}$$

上式（eq39）において、 $\gamma_v$ は、バトラーボルマー式における電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 方向における拡大又は縮小を規定する適合係数である第1係数を示し、 $\gamma_i$ は、バトラーボルマー式における電池セル20aに流れる電流 $I$ の方向における拡大又は縮小を規定する適合係数である第2係数を示す。また、第1係数 $\gamma_v$ と第2係数 $\gamma_i$ とは基本的に「 $\gamma_v = \gamma_i$ 」である。しかし、上式（eq39）の逆双曲線正弦関数の独立変数に第2係数 $\gamma_i$ が含まれているため線形式に変換できず、第1係数 $\gamma_v$ 及び第2係数 $\gamma_i$ を同時に同定することはできない。このため本実施形態では、処理部61は、時刻 $t$ において第1係数 $\gamma_v$ を同定し、その1演算周期後において同定した第1係数 $\gamma_v$ を第2係数 $\gamma_i$ に適用する。

[0130] ここで上式（eq39）において、各パラメータを下式（eq40）のよう

[0131]

$$\left. \begin{aligned} y_b(t) &= \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t) \\ \varphi_b^T(t) &= \alpha \cdot T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t)) - \alpha \cdot T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t-1)) \\ \theta_b(t) &= \frac{1}{\gamma_v(t)} \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq40)$$

上式 (eq40) において、 $y_b$  は観測値を示す。また、モデル推定値  $y_{best}$  と推定誤差  $\varepsilon_b$  とは、下式 (eq41) で表される。

[0132] 
$$\left. \begin{aligned} y_{best}(t) &= \varphi_b^T(t) \theta_b(t-1) \\ \varepsilon_b(t) &= y_b(t) - y_{best}(t) \end{aligned} \right\} \dots \quad (eq41)$$

処理部61は、推定誤差  $\varepsilon_b$  を最小化するように、下式 (eq42) に基づく逐次最小2乗法により、パラメータ推定値  $\theta_b$  を逐次同定する。そして、処理部61は、パラメータ推定値  $\theta_b$  の逆数をとることにより、第1係数  $\gamma_v$  を算出する。

[0133] 
$$\theta_b(t) = \theta_b(t-1) + G_b(t) \varepsilon_b(t) \quad \dots \quad (eq42)$$
  
ただし、

$$G_b = \frac{P_b(t-1) \varphi_b(t)}{\lambda_b + \varphi_b^T(t) P_b(t-1) \varphi_b(t)}$$

$$P_b(t) = \frac{1}{\lambda_b} \left\{ P_b(t-1) - \frac{P_b(t-1) \varphi_b(t) \varphi_b^T(t) P_b(t-1)}{\lambda_b + \varphi_b^T(t) P_b(t-1) \varphi_b(t)} \right\}$$

上式 (eq42) において、「 $G_b$ 」は適応ゲインを示し、「 $P_b$ 」は共分散行列を示し、「 $\lambda_b$ 」は忘却係数を示す。時刻  $t$  で第1係数  $\gamma_v(t)$  を同定した場合、処理部61は、その1演算周期後の時刻  $t+1$  において、下式 (eq43) のように、同定した第1係数  $\gamma_v$  を第2係数  $\gamma_i$  に適用する。

[0134] 
$$\gamma_i(t+1) = \gamma_v(t) \quad \dots \quad (eq43)$$

具体的には、処理部61の第2同定部52は、検出電圧偏差  $\Delta V(t)$ 、検出電流偏差  $\Delta I(t)$  及び直流抵抗  $R_s$  に基づいて、観測値  $y_b(t)$  を算出する。第2同定部52は、観測値  $y_b$  を入力として、上式 (eq41)、(eq42) に基づく逐次最小2乗法により、パラメータ推定値  $\theta_b$  を逐次同定する。第2同定部52は、パラメータ推定値  $\theta_b$  の逆数をとること

より第1係数 $\gamma_v$ を算出する。第2同定部52は、同定した第1係数 $\gamma_v$ を第2係数 $\gamma_i$ に適用する。

[0135] ここで、第1同定部51における補正係数 $\beta_k$ の同定は、電池セル20aに流れる電流 $I$ が小さい（例えば、所定値より小さい）場合に行われる。一方、第2同定部52における第1および第2係数 $\gamma_v$ および $\gamma_i$ の同定は、電池セル20aに流れる電流 $I$ が大きい（例えば前記所定値より大きい）場合に行われる。このため本実施形態において、演算部32は、現在の演算周期において、電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 及び適合係数 $\gamma$ のうちいずれを同定するかを選択する選択部55を備えている。以下、図19を用いて、選択部55を含む処理部61によって実行される選択処理について説明する。この処理は、処理部61によって例えば所定の演算周期で繰り返し実行される。

[0136] この一連の処理では、まずステップS10において、選択部55は、検出電流偏差 $\Delta I(t)$ の絶対値が規定値 $I_d$ 以上であるか否かを判定する。この処理は、上式(eq34)で示したように、各変化量 $\Delta OCV$ および $\Delta Vw$ が無視できる状況であるか否かを判定するための処理である。

[0137] ステップS10において肯定判定した場合には、選択処理は、ステップS11に進む。ステップS11において、選択部55は、今回の演算周期における検出電流 $I_s(t)$ の絶対値が閾値 $I_r$ 未満であるとの第1の条件、及び前回の演算周期における検出電流 $I_s(t-1)$ の絶対値が閾値 $I_r$ 未満であるとの第2の条件の論理積が真であるか否か、すなわち、第1の条件および第2の条件が共に成立するか否かを判定する。

[0138] 本実施形態において、閾値 $I_r$ は、先の図16に示すように、上式(eq9)で表されるバトラーボルマー式を上式(eq31)の近似式で近似できる電流範囲 $S_1$ の $1/2$ の値であって、電池温度 $T_s$ が高いほど大きく設定される値である。ここで、電池温度 $T_s$ が高いほど閾値 $I_r$ が大きく設定されるのは、先の図5に示すバトラーボルマー式において、電池セル20aに流れる電流 $I$ が0A近傍となる場合の傾きが電池セル20aの温度が高くなるほど小さくなり、形状がより線形になっていくためである。

- [0139] ステップS 1 1において肯定判定した場合には、選択処理はステップS 1 2に進む。ステップS 1 2において、第1同定部5 1は、補正係数 $\beta_k$ を同定する。一方、ステップS 1 1において否定判定した場合には、選択処理はステップS 1 3に進み、第2同定部5 2は、第1係数 $\gamma_v$ 及び第2係数 $\gamma_i$ を同定する。
- [0140] 上述した選択処理により、補正係数 $\beta_k$ を同定する機会と、第1、第2係数 $\gamma_v$ 、 $\gamma_i$ を同定する機会とを適正に確保することができる。
- [0141] 先の図1 4に戻り、パラメータ同定部5 0により同定された補正係数 $\beta_k$ と、第1係数 $\gamma_v$ 及び第2係数 $\gamma_i$ とは電流推定部3 5に入力される。電流推定部3 5において、補正係数 $\beta_k$ に基づいて電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ が更新される。電流推定部3 5は、更新された電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ 、第1係数 $\gamma_v$ 及び第2係数 $\gamma_i$ に基づいて、推定電流 $I_e$ を算出する。
- [0142] 図2 0に、例えば電池システム1 0が電池システムとして車両に適用された場合における当該車両の所定の走行モードにおいて検出された端子間電圧 $CCV$ 、端子間電圧の推定値 $V_e$ 、及び推定値 $V_e$ と端子間電圧 $CCV$ との誤差 $\Delta V_{rr}$ の推移を示す。ここで上記推定値 $V_e$ は、 $OCV$ 変換部3 3によって算出された開放端電圧 $OCV$ 、 $V_s$ 算出部4 0によって算出された直流抵抗電圧 $V_s$ 、更新された電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を用いて算出された電荷移動抵抗電圧 $V_{bv}$ 、及び上式(e q 1 3)に基づいて算出された分極電圧 $V_w$ の加算値に相当する。なお、図2 0における所定の走行モードは、LA # 4モード(排気ガス測定のための走行パターンの1つ)である。
- [0143] 図2 0に示されている例は、誤差 $\Delta V_{rr}$ が大きくなりやすい低温時(例えば $-20^\circ\text{C}$ )における上記端子間電圧 $CCV$ 、端子間電圧の推定値 $V_e$ 、及び推定値 $V_e$ と端子間電圧 $CCV$ との誤差 $\Delta V_{rr}$ の推移を示す。低温時においても、誤差 $\Delta V_{rr}$ が非常に小さい状態に維持されている。このため図2 0では、端子間電圧 $CCV$ の推移とその推定値 $V_e$ の推移とがほぼ重なっている。
- [0144] なお図2 1に、図2 0において示したデータ期間における検出電流 $I_s$ と

端子間電圧CCVの推定値（ $V_e$ で示す）および端子間電圧CCVの検出値（CCVで示す）との相関図を示した。このように本実施形態では、低温時においても、検出電流 $I_s$ 及び端子間電圧CCVの推定値 $V_e$ の間の非線形特性を高精度に表現でき、電池セル20aの端子間電圧CCVを高精度に推定できる。これに対し、抵抗及びコンデンサを組合せただけの従来の電池モデルでは、上記非線形特性を表現することは困難である。

[0145] 以上説明した本実施形態によっても、電荷移動インピーダンスモデルを適正に更新することができる。これにより、端子間電圧CCVの推定電圧 $V_e$ の算出精度を高めることができる。

[0146] （その他の実施形態）

なお、上記各実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

[0147] 上記第1実施形態において、上式（eq 17）に代えて、下式（eq 44）に基づいて、補正係数 $\beta_k$ を用いることなく電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を直接同定してもよい。

[0148] 
$$I_s(t) - I_s(t-1) = \left[ \frac{1}{\gamma} \sinh \left( \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t) \right) - \frac{1}{\gamma} \sinh \left( \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t-1) \right) \right] \cdot \frac{1}{\beta} \quad \dots \quad (eq 44)$$
 ただし、  $\theta_1(t) = \frac{1}{\beta}$

拡散抵抗モデルとしては、抵抗とキャパシタとの並列接続体を1つ備えるRC等価回路モデルに限らず、上記並列接続体が複数直列接続されたRC等価回路モデルであってもよい。

[0149] 上記第1実施形態では、電池セル20aの状態として、SOCを推定したがこれに限らない。例えば、規定時間に渡って電池セル20aから放電可能な最大電力を推定したり、電池セル20aの劣化状態を推定したりしてもよい。

[0150] 上記第1実施形態において、第2学習処理は必須ではない。

[0151] 上記第2実施形態において、上式（eq 27）に従う形で初期パラメータ $\beta_{map}$ を、例えば情報VTIの一部としてメモリ31に記憶してもよい。

[0152] 上記第2実施形態では、初期パラメータ $\beta_{map}$ の自然対数を電池温度T

sの逆数に対する1次式となる形で数式化し、例えば情報V T Iの一部としてメモリ31に記憶したがこれに限らない。例えば、初期パラメータ $\beta_{map}$ の自然対数を電池温度T sの逆数に対する1次式となる形でマップ化して、例えば情報V T Iの一部としてメモリ31に記憶してもよい。この場合、各演算部32は、記憶されている初期パラメータ $\beta_{map}$ の自然対数値の中から、電池温度T sに対応する自然対数値を選択する。そして、各演算部32は、選択した自然対数値を初期パラメータ $\beta_{map}$ に変換し、上式(e q 29)の「 $\beta = \beta_k \times \beta_{map}$ 」なる関係に基づいて電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ を算出する。なお、初期パラメータ $\beta_{map}$ の自然対数をマップ化してメモリ31に記憶させる構成を採用する場合、電池温度T sを少なくとも3点計測することにより、この計測された少なくとも3つの電池温度T sの値に基づいて、該マップを作成することができる。このため、マップの適合作業を容易に行うことができる。

[0153] 上記第2実施形態の図19において、0 A近傍の直線性が保たれているなら電池セル20aが充電される場合と放電される場合とで閾値I rを異なる値に設定してもよい。また、電池セル20aの使い方で、放電電流及び充電電流のそれぞれの大きさが異なるような場合、0 A近傍の直線性が保たれない領域でも成立する第1実施形態と、第2実施形態の第2同定部52とを組み合わせる形態を採用してもよい。さらに、一般的に電池セル20aが充電される場合の適合係数 $\gamma_c$ と、電池セル20aが放電される場合の適合係数 $\gamma_d$ とが異なる場合が多いので、充電時と放電時とでそれぞれ $\gamma_c$ と $\gamma_d$ を分けて同定すると精度向上に有効である。

[0154] 上記第2実施形態において、図19のステップS11で肯定判定された場合にも、第1、第2係数 $\gamma_v$ 、 $\gamma_i$ を同定する機会を確保してもよい。

[0155] 上記第2実施形態において、電流推定部35で用いられる抵抗成分項の抵抗値R w及び容量成分項の静電容量C wを、上記第1実施形態の図6で説明した第2学習部43によって学習してもよい。

[0156] 電池セル20aとしては、リチウムイオン2次電池に限らず、ニッケル水

素電池等、他の2次電池であってもよい。

[0157] 上記各実施形態において、各処理に用いる電池温度としては、温度センサ22の検出値に限らず、様々な公知の電池温度推定手法の何れかを用いることhにより推定された電池温度であってもよい。

[0158] 本発明の適用対象としては、車両に限らない。

### 符号の説明

[0159] 20a…電池セル、30…電池ECU。

## 請求の範囲

[請求項1] 2次電池（20a）の直流抵抗（ $R_s$ ）を表す直流抵抗モデル、前記2次電池の電荷移動インピーダンスを表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある電荷移動抵抗パラメータ（ $\beta$ ）を含む電荷移動インピーダンスモデル、および抵抗とキャパシタとの並列接続体を含むRC等価回路モデルであって、前記2次電池の拡散インピーダンスを表す拡散インピーダンスモデル、の直列接続体により構成された当該2次電池の電池モデルにおける前記電荷移動インピーダンスモデルを、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量に基づいて、前記バトラーボルマー式によって規定される前記2次電池に流れる電流及び前記電荷移動抵抗の電位差間の第1の関係を、前記2次電池に実際に流れる電流値及び前記電荷移動抵抗の実際の電位差の値の間の第2の關係に近づけるように、更新する処理を行う更新部（30）と、

前記更新部によって更新された前記電荷移動インピーダンスモデルを含む前記電池モデルに基づいて、前記2次電池の状態を推定する状態推定部（30）と、を備えることを特徴とする電池状態推定装置。

[請求項2] 前記更新部は、所定の演算周期に基づいて前記電荷移動インピーダンスモデルを更新し、前記状態推定部は、前記所定の演算周期に基づいて前記2次電池の状態を推定しており、

今回の演算周期における前記2次電池に流れる電流検出値と、前回の演算周期における前記2次電池に流れる電流検出値との偏差である第1偏差を算出する第1偏差算出部（30）と、

前記電荷移動インピーダンスモデルに基づいて推定した今回の演算周期における前記2次電池に流れる推定電流と、前記電荷移動インピーダンスモデルに基づいて推定した前回の演算周期における前記2次電池に流れる推定電流との偏差である推定電流偏差、又は前記推定電流偏差に応じた値のいずれかである第2偏差を算出する第2偏差算出

部（30）と、

前記第1偏差及び前記第2偏差のそれぞれに基づいて、前記第2偏差を前記第1偏差に近づけるための補正係数（ $\beta k$ ）を逐次最小2乗法により推定するパラメータ推定部（30）と、を備え、

前記更新部は、前記電荷移動インピーダンスモデルを更新する処理として、前記パラメータ推定部によって推定された前記補正係数に基づいて、前記電荷移動抵抗パラメータを更新する処理を行う請求項1に記載の電池状態推定装置。

[請求項3]

前記電荷移動抵抗パラメータ $\beta$ は、定数を $\alpha$ 、 $\gamma$ 、前記2次電池に流れる電流を $I$ 、前記2次電池の温度を $T$ 、前記電荷移動抵抗の電位差を $V_{bv}$ と定義すると、以下の第1式

$$I = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}\right)$$

（第1式）

を満たすパラメータである請求項2に記載の電池状態推定装置。

[請求項4]

前記第2偏差算出部は、今回の演算周期において算出した前記電荷移動抵抗の電位差を $V_{bv}(t)$ 、前回の演算周期において算出した前記電荷移動抵抗の電位差を $V_{bv}(t-1)$ と定義すると、今回の演算周期における前記第2偏差 $\Delta F(t)$ を以下の第2式

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t)\right) - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta} \sinh\left(\frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t-1)\right)$$

（第2式）

に基づいて算出し、

前記パラメータ推定部は、定数を $\beta_0$ 、前記補正係数を $\beta k$ と定義すると、前記第1偏差が、前記定数 $\beta_0$ および補正係数 $\beta k$ で表された以下の第3式に基づく前記第2偏差と一致するような前記補正係数を逐次最小2乗法により推定する請求項3に記載の電池状態推定装置

。

$$\left[ \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh \left( \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t) \right) - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\beta_0} \sinh \left( \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{1}{T} V_{bv}(t-1) \right) \right] \cdot \frac{1}{\beta_k}$$

(第3式)

[請求項5] 前記第2偏差算出部は、前記2次電池に流れる電流の検出値の1演算周期における変化量が所定値以上であることを条件として、前記2次電池の端子間電圧検出値から前記直流抵抗の電位差を減算することにより、前記電荷移動インピーダンスの電位差を算出する請求項4に記載の電池状態推定装置。

[請求項6] 前記パラメータ推定部を第1パラメータ推定部とし、  
前記更新部を第1更新部とし、  
前記RC等価回路モデルを構成する前記並列接続体に誤差抵抗を直列接続したモデルに基づいて、前記RC等価回路モデルを構成する前記抵抗の抵抗値及び前記キャパシタの静電容量を逐次最小2乗法により推定する第2パラメータ推定部(30)と、  
前記第2パラメータ推定部によって推定された前記抵抗の抵抗値及び前記キャパシタの静電容量で、前記RC等価回路モデルを構成する前記抵抗の抵抗値及び前記キャパシタの静電容量を更新する第2更新部(30)と、をさらに備える請求項2～5のいずれか1項に記載の電池状態推定装置。

[請求項7] 前記バトラーボルマー式には、該バトラーボルマー式の前記電荷移動抵抗の電位差方向における拡大又は縮小を規定する第1係数( $\gamma v$ )と、該バトラーボルマー式の前記2次電池に流れる電流方向における拡大又は縮小を規定する第2係数( $\gamma i$ )とが含まれており、  
前記2次電池に流れる電流検出値の絶対値が閾値未満であることを条件として、前記2次電池に流れる電流検出値の変化量と、前記2次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小2乗法により、前記2次電池に流れる電流及び前記電荷移動抵抗の電位差間の第

1 の関係を規定する 1 次式の傾きの相関値として前記電荷移動抵抗パラメータを同定する第 1 同定部 (30) と、

前記 2 次電池に流れる電流検出値の変化量と、前記 2 次電池の端子間電圧検出値の変化量とに基づいて、逐次最小 2 乗法により前記第 1 係数を同定し、前記第 1 係数を同定した演算周期の次の演算周期において、同定した前記第 1 係数を前記第 2 係数に適用する第 2 同定部 (30) と、を備え、

前記更新部は、前記更新する処理として、前記第 1 同定部によって同定された前記電荷移動抵抗パラメータと、前記第 2 同定部によって同定された前記第 1 係数及び前記第 2 係数とに基づいて、前記電荷移動インピーダンスモデルを更新する処理を行う請求項 1 に記載の電池状態推定装置。

[請求項 8] 前記電荷移動抵抗パラメータは、前記 2 次電池に流れる電流を独立変数とし、前記電荷移動抵抗の電位差を従属変数とする逆双曲線正弦関数において前記 2 次電池に流れる電流と前記電荷移動抵抗の電位差との間の第 1 の関係を定めるパラメータであって、かつ、前記 2 次電池の温度の逆数を独立変数とする指数関数で規定されるパラメータである請求項 7 に記載の電池状態推定装置。

[請求項 9] 前記電荷移動抵抗パラメータ  $\beta$ 、前記第 1 係数  $\gamma_v$  及び前記第 2 係数  $\gamma_i$  は、定数を  $\alpha$ 、前記 2 次電池に流れる電流を  $I$ 、前記 2 次電池の温度を  $T$ 、前記電荷移動抵抗の電位差を  $V_{bv}$  と定義すると、以下の第 4 式

$$V_{bv} = \frac{\alpha}{\gamma_v} T \cdot \sinh^{-1}(\gamma_i \cdot \beta \cdot I)$$

(第 4 式)

満たすパラメータである請求項 8 に記載の電池状態推定装置。

[請求項 10] 上記第 4 式を前記 2 次電池に流れる電流についてマクローリン展開した式であって、前記 2 次電池に流れる電流を独立変数とし、前記電

荷移動抵抗の電位差を従属変数とする 1 次式が近似式として定義されており、

前記閾値は、上記第 4 式で表される前記電荷移動抵抗の電位差を前記近似式から定まる前記電荷移動抵抗の電位差で近似できる前記電流の範囲に基づいて設定されており、

前記 2 次電池の温度と関係付けられて前記電荷移動抵抗パラメータに係る情報が記憶されている記憶部 (31) と、

前記 2 次電池の温度検出値と、前記記憶部に記憶されている前記電荷移動抵抗パラメータに係る情報とに基づいて、当該電荷移動抵抗パラメータに係る情報における前記温度検出値に対応する情報を算出する算出部 (35a) と、を備え、

前記第 1 同定部は、

前記電荷移動抵抗パラメータに係る情報を  $\beta_{map}$ 、前記電荷移動抵抗の電位差の変化量を  $\Delta V_{bv}$  と定義すると、前記電流検出値の変化量  $\Delta I$  及び前記端子間電圧検出値の変化量  $\Delta V$  に基づいて、逐次最小 2 乗法により、以下の第 5 式を満たす補正係数  $\beta_k$  を同定する補正係数同定部 (35b) と、

$$\Delta V_{bv} = [\alpha \cdot T \cdot \beta_{map} \cdot \Delta I] \times \beta_k$$

(第 5 式)

前記補正係数同定部により同定された前記補正係数に基づいて、前記算出部により算出された、前記電荷移動抵抗パラメータに係る情報における前記温度検出値に対応する情報を補正する補正部 (35c) と、を含む請求項 9 記載の電池状態推定装置。

[請求項 11]

前記電荷移動抵抗パラメータに係る情報  $\beta_{map}$  は、予め適合された前記電荷移動抵抗パラメータであって、以下の第 6 式で表される初期パラメータであり、

$$\beta = \beta_{map} \times \beta_k$$

(第6式)

前記記憶部は、定数を  $K_t$ ,  $\beta_0$  と定義すると、以下の第7式に従う形で前記2次電池の温度の逆数と関係付けて前記初期パラメータを記憶している請求項10記載の電池状態推定装置。

$$\ln(\beta_{map}) = \frac{K_t}{T_s} + \ln(\beta_0)$$

(第7式)

[請求項12] 前記第2同定部は、今回の演算周期における前記電流検出値を  $I(t)$ 、前回の演算周期における前記電流検出値を  $I(t-1)$  と定義すると、逐次最小2乗法により、以下の第8式を満たす前記第1係数  $\gamma_v$  を同定する請求項11に記載の電池状態推定装置。

$$\Delta V_{bv}(t) = \left[ \alpha \cdot T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t)) - \alpha \cdot T \cdot \sinh^{-1}(\beta_{map} \cdot \beta_k \cdot \gamma_i \cdot I(t-1)) \right] \times \frac{1}{\gamma_v}$$

(第8式)

[請求項13] 前記第1同定部は、前記電流検出値の1演算周期における変化量が規定値以上であることを条件として、前記補正係数を同定し、

前記第2同定部は、前記電流検出値の1演算周期における変化量が前記規定値以上であることを条件として、前記第1係数を同定する請求項10～12のいずれか1項に記載の電池状態推定装置。

[請求項14] 前記第1同定部は、前記直流抵抗を  $R_s$  と定義すると、以下の第9式で表される観測値  $y(t)$  を逐次最小2乗法による前記補正係数の同定に用い、

$$y(t) = \Delta V(t) - R_s \cdot \Delta I(t)$$

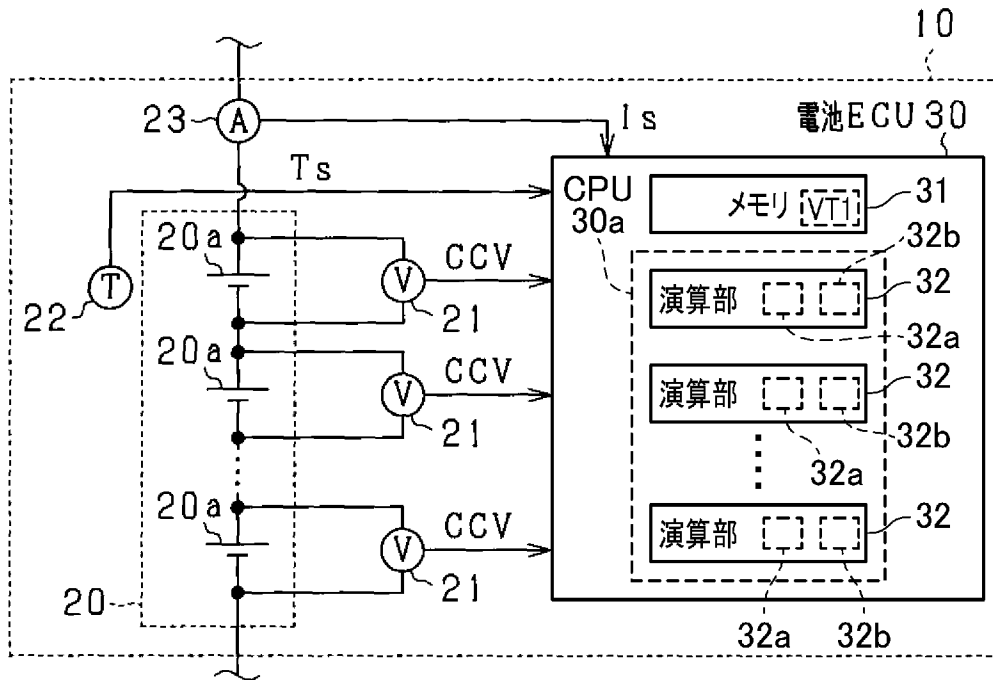
(第9式)

前記第2同定部は、上記第9式で表される前記観測値  $y(t)$  を逐次最小2乗法による前記第1係数の同定に用いる請求項13記載の電池状態推定装置。

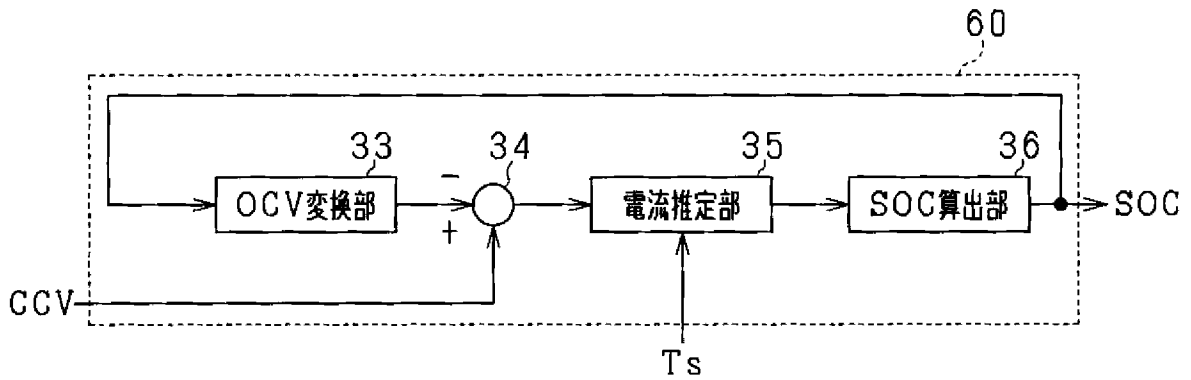
[請求項15] 前記第2同定部は、前記2次電池に流れる電流検出値の絶対値が前記閾値以上であることを条件として、前記第1係数を同定する請求項

7～14のいずれか1項に記載の電池状態推定装置。

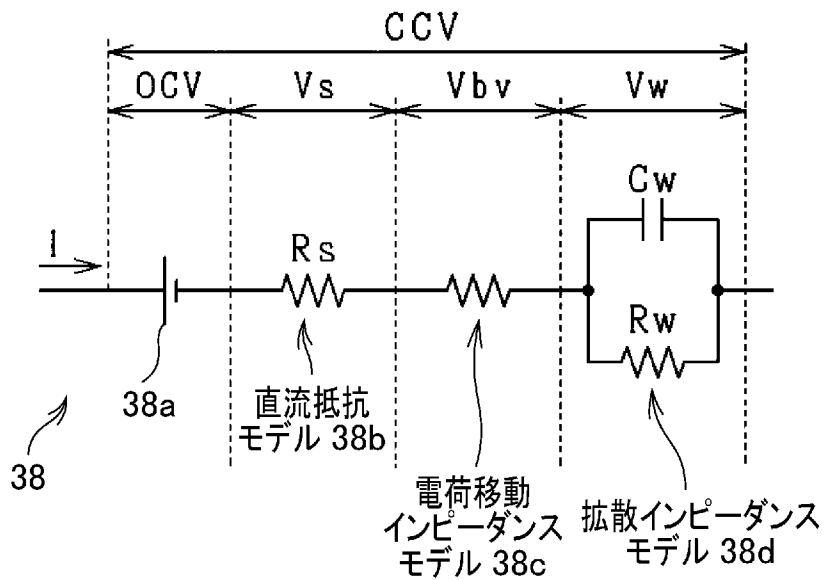
[図1]



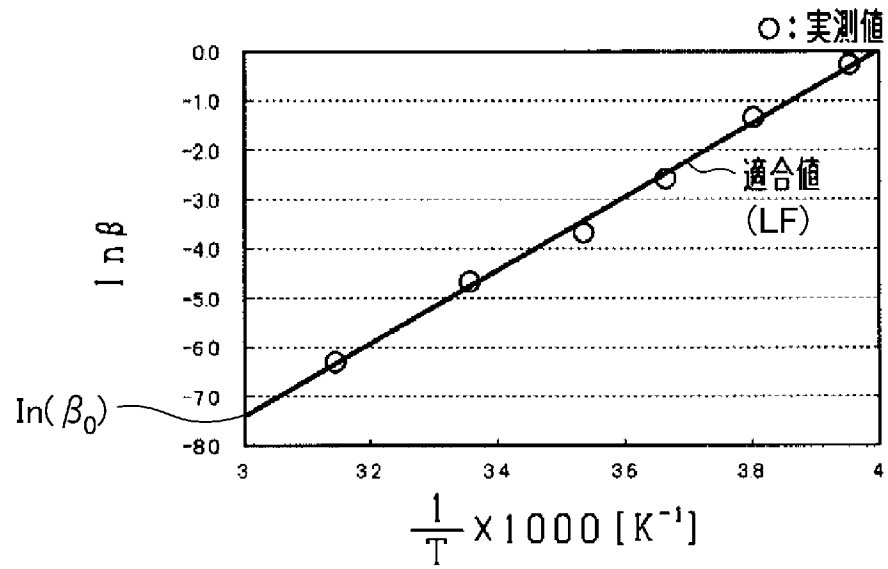
[図2]



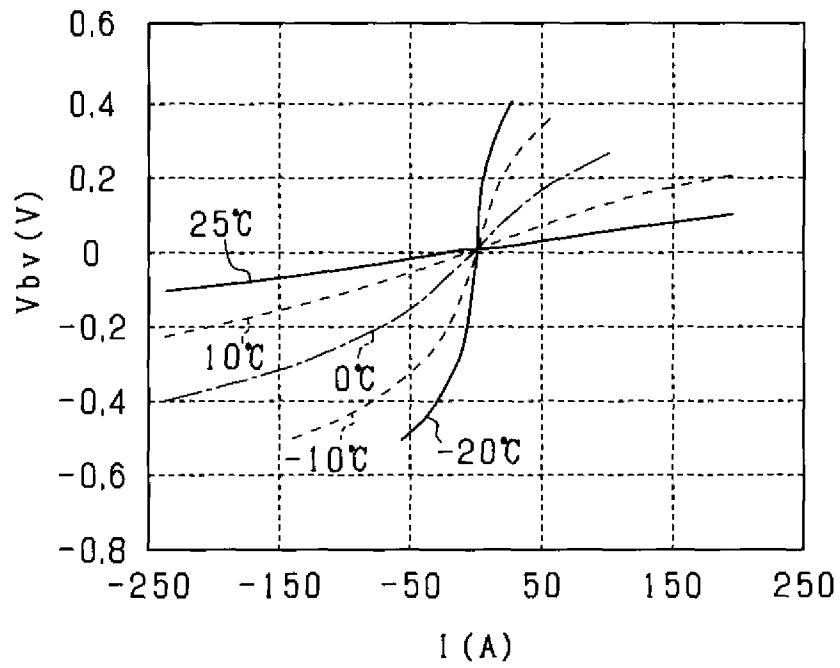
[図3]



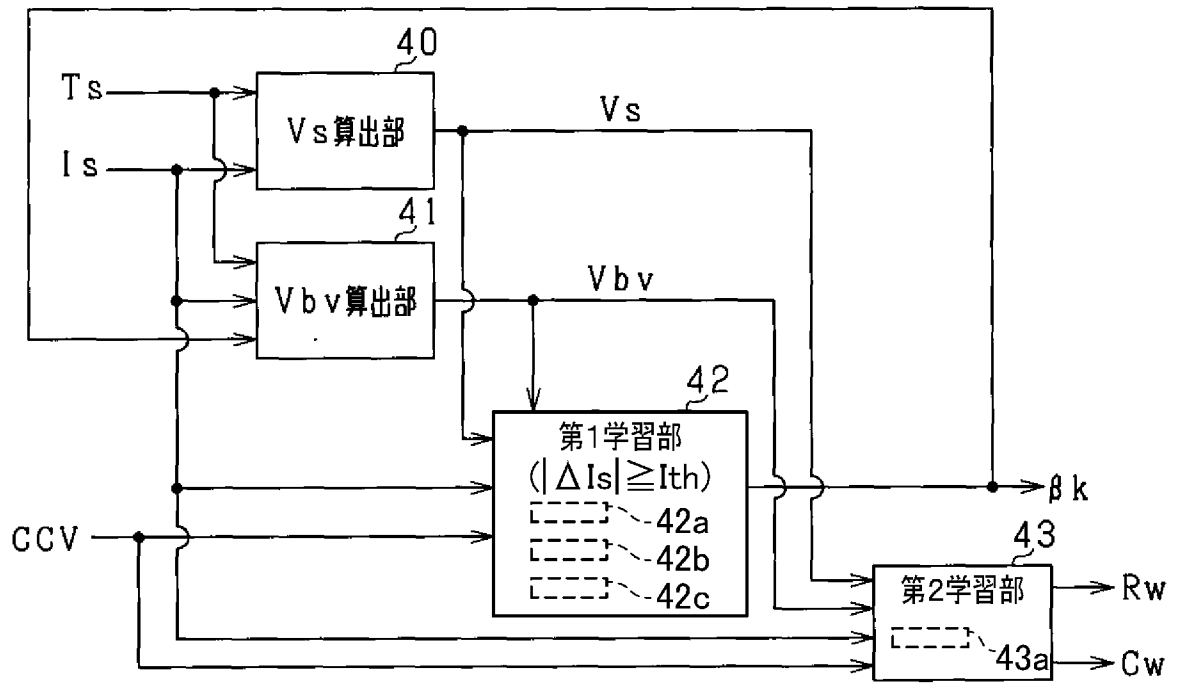
[図4]



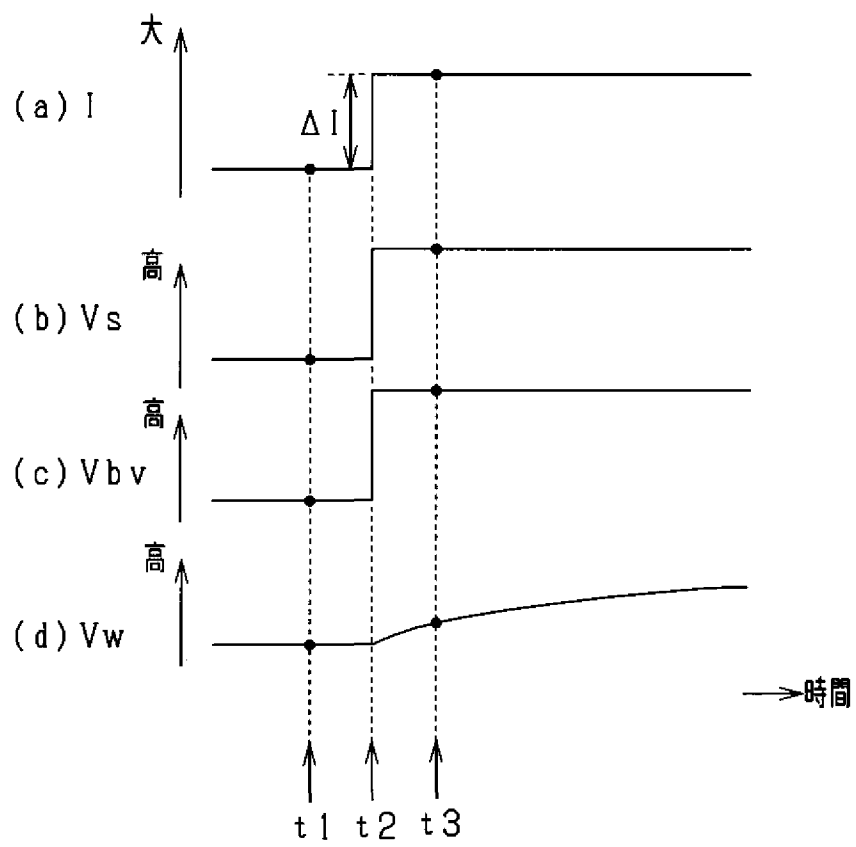
[図5]



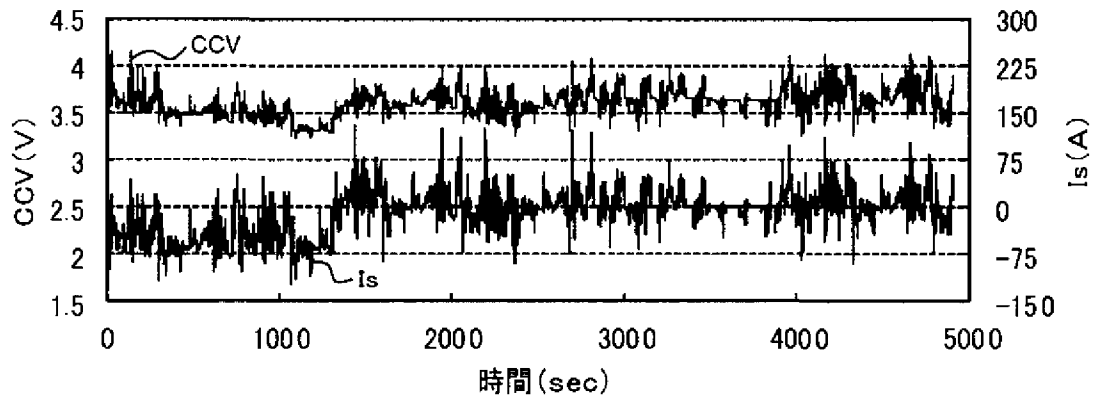
[図6]



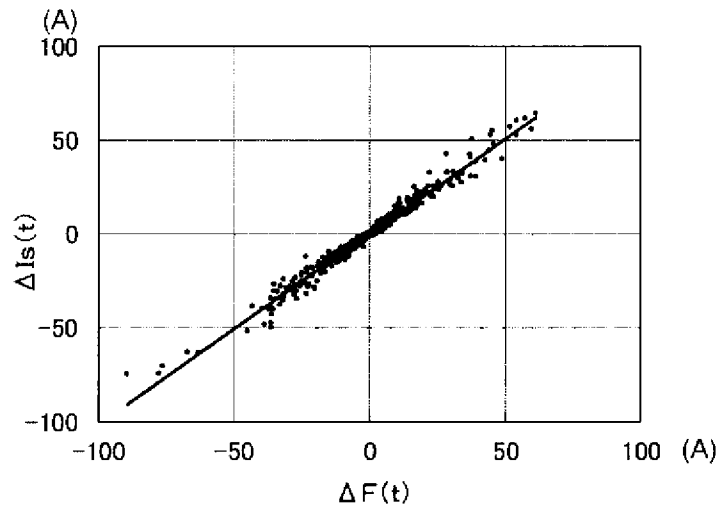
[図7]



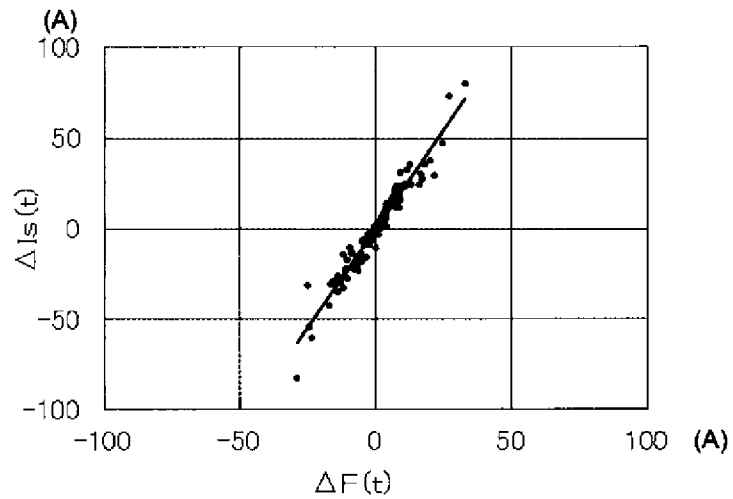
[図8]



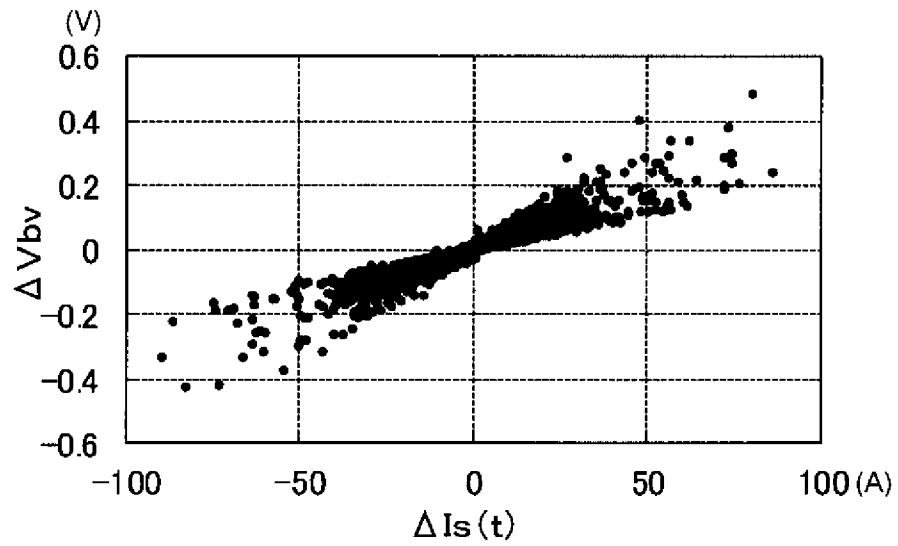
[図9]



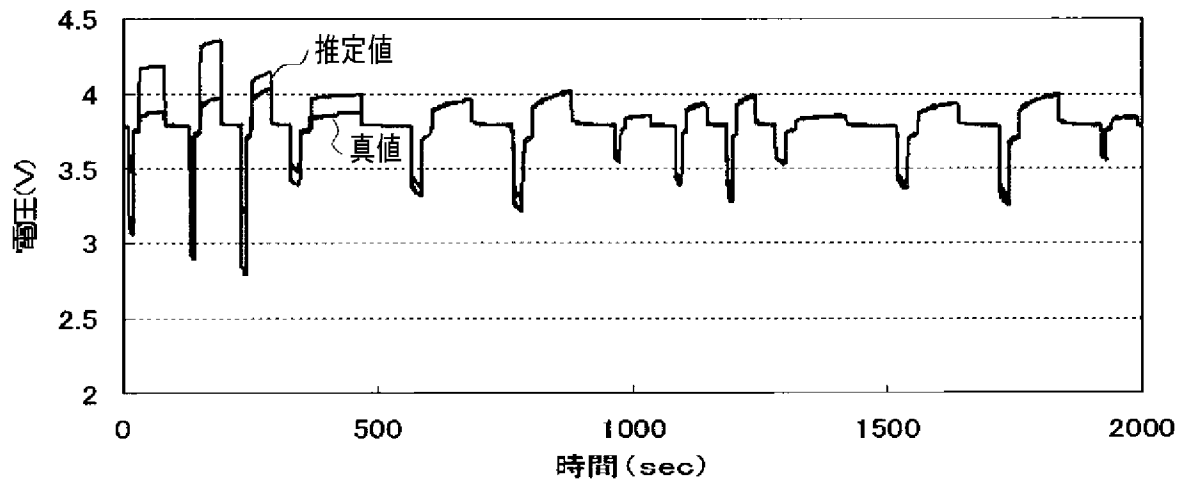
[図10]



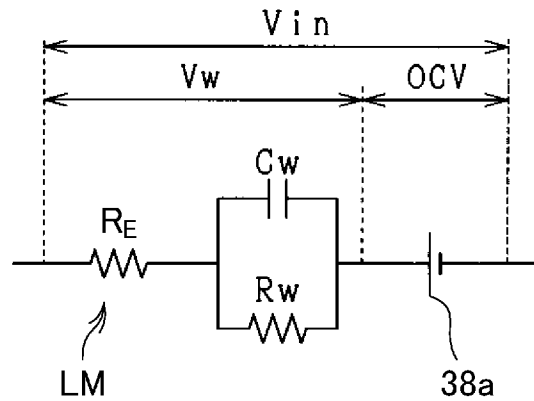
[図11]



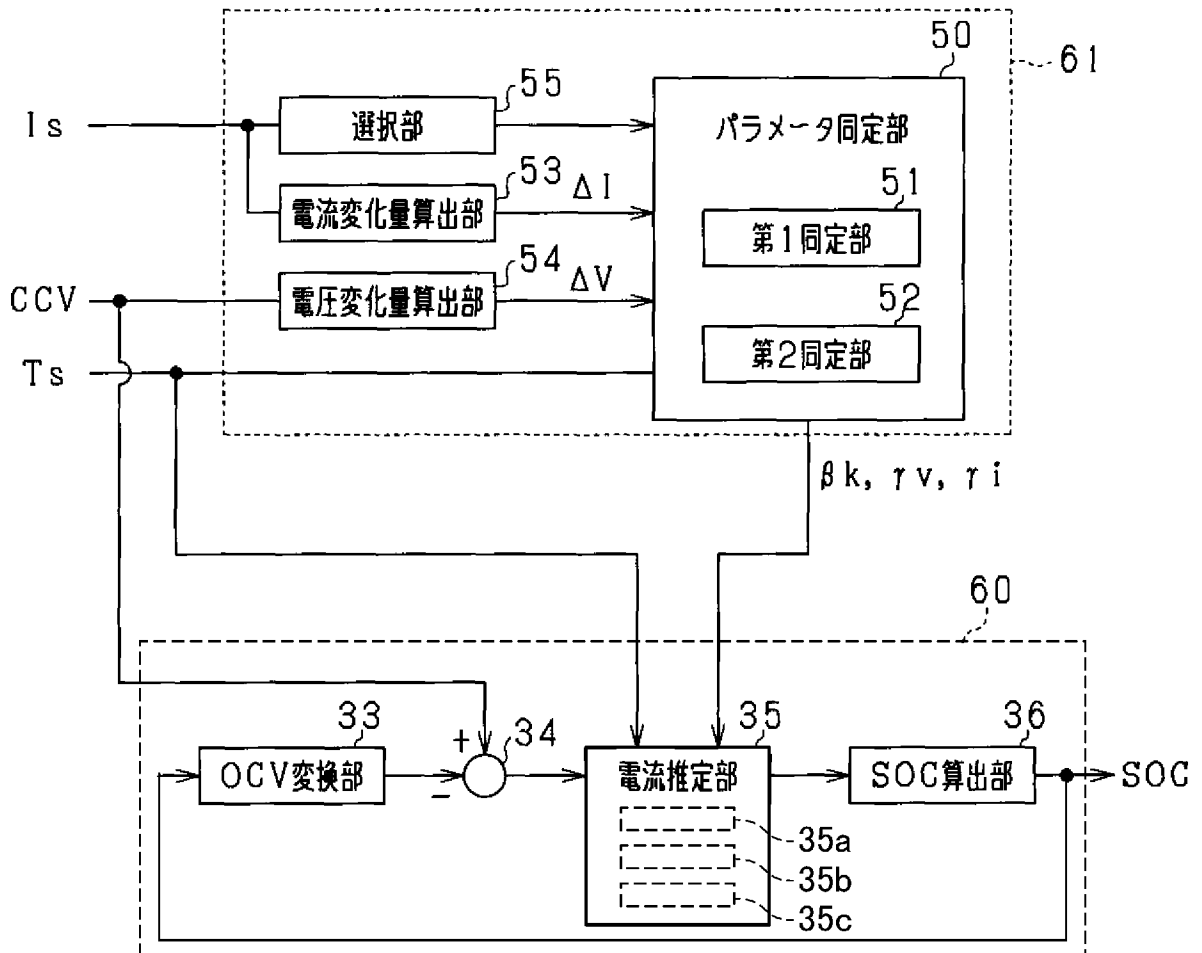
[図12]



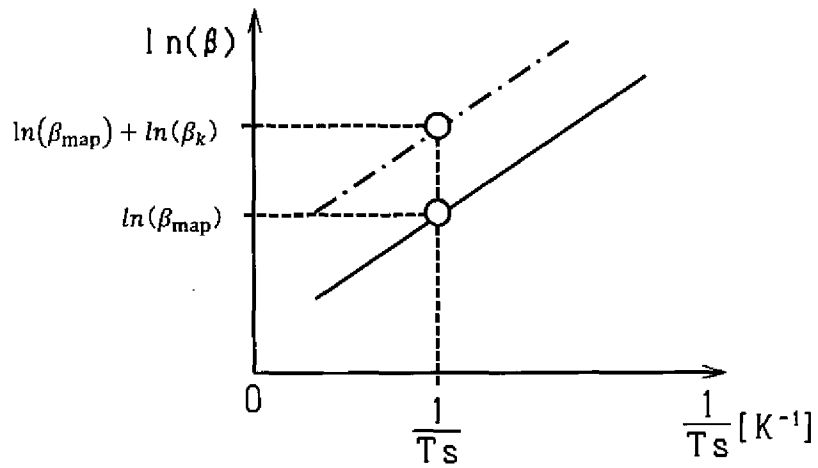
[図13]



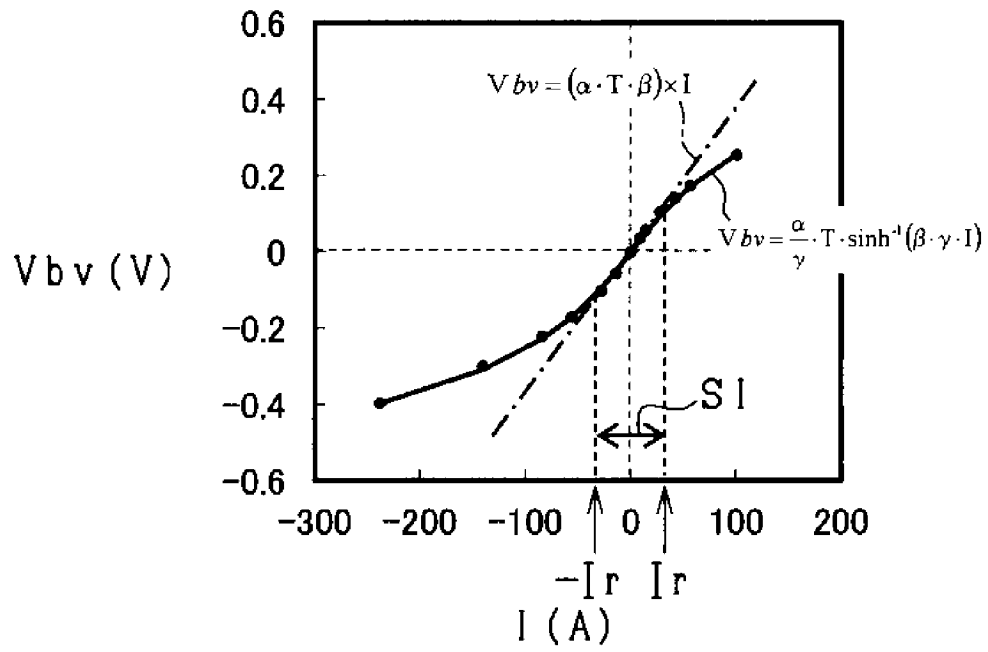
[図14]



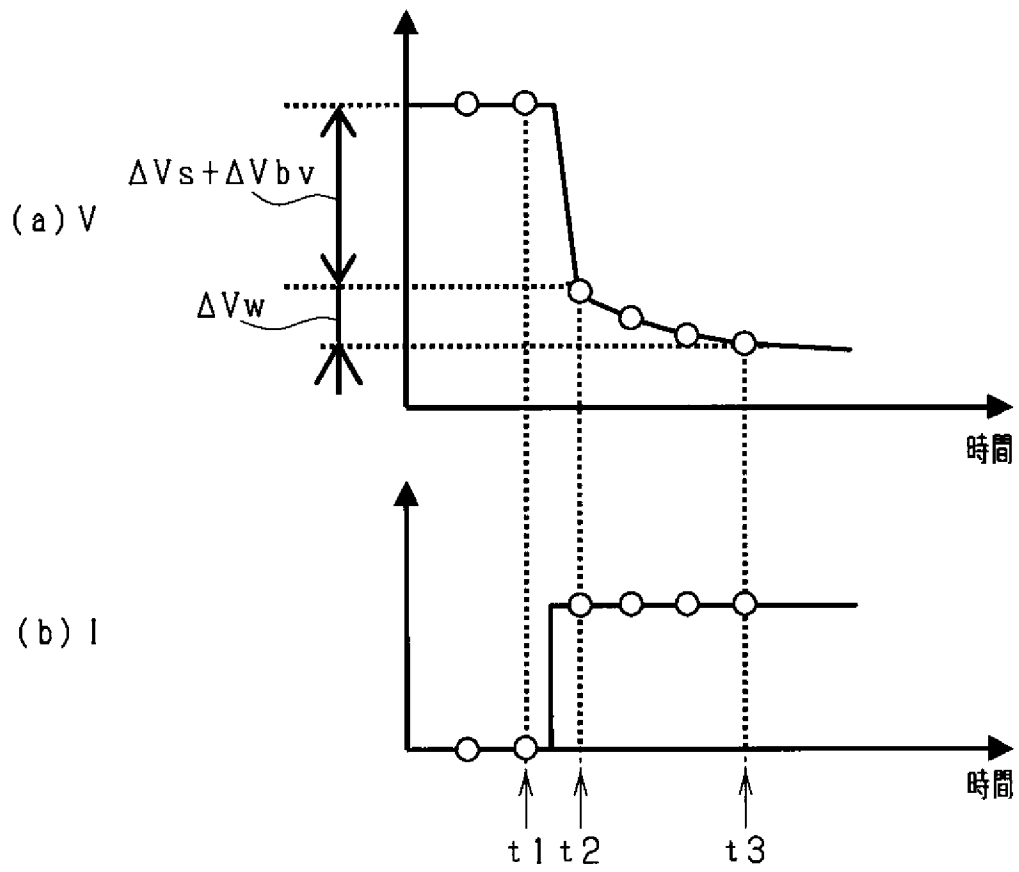
[図15]



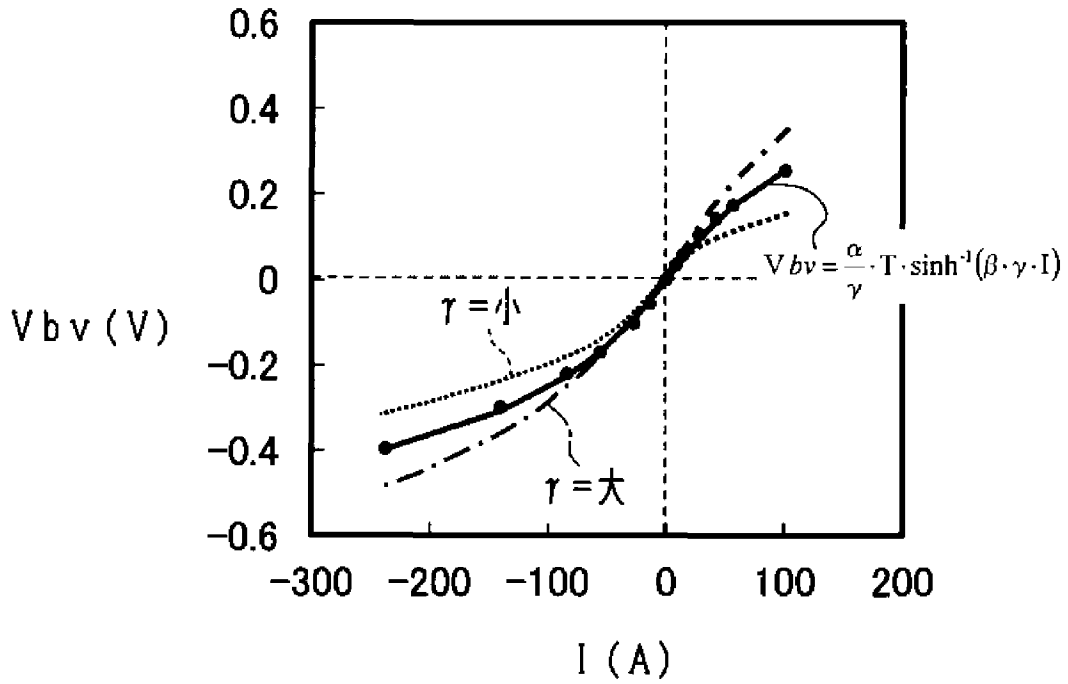
[図16]



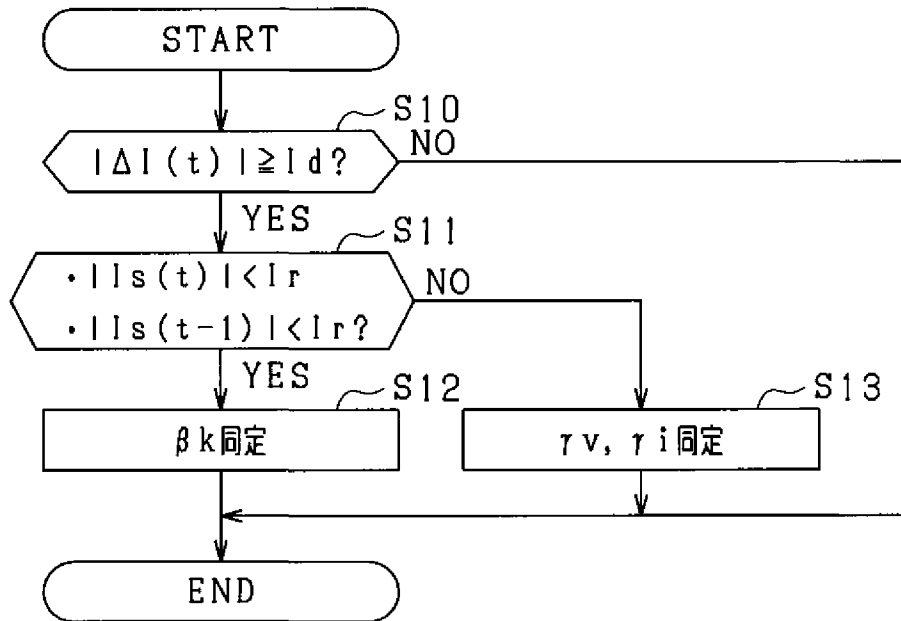
[図17]



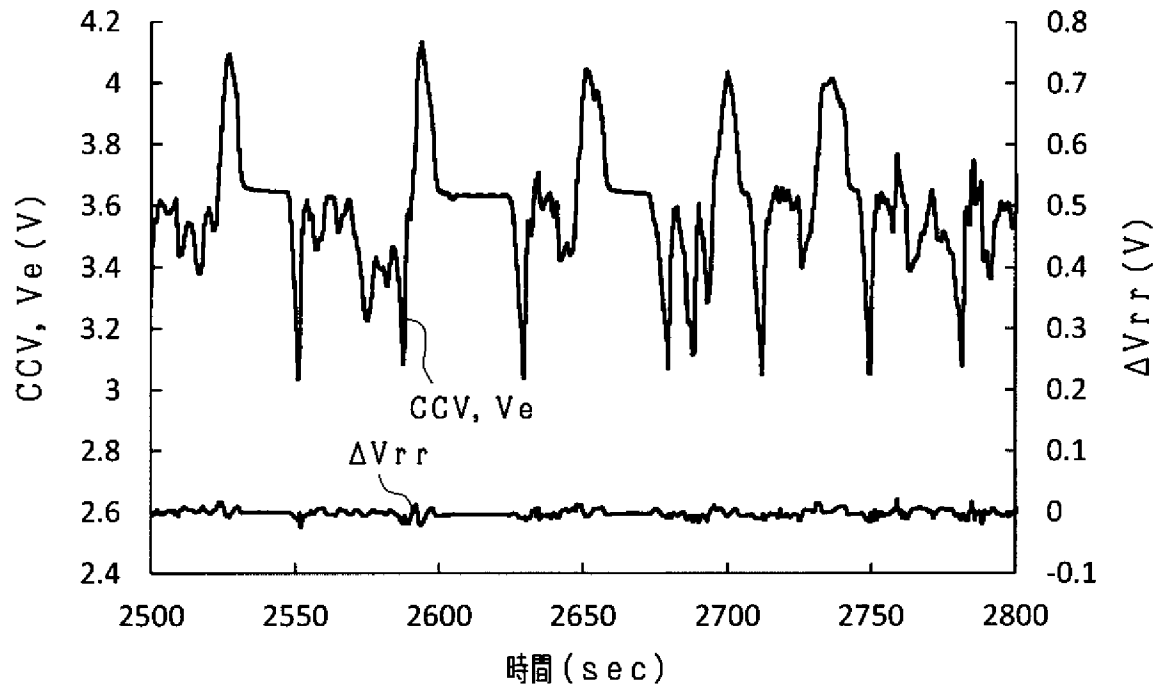
[図18]



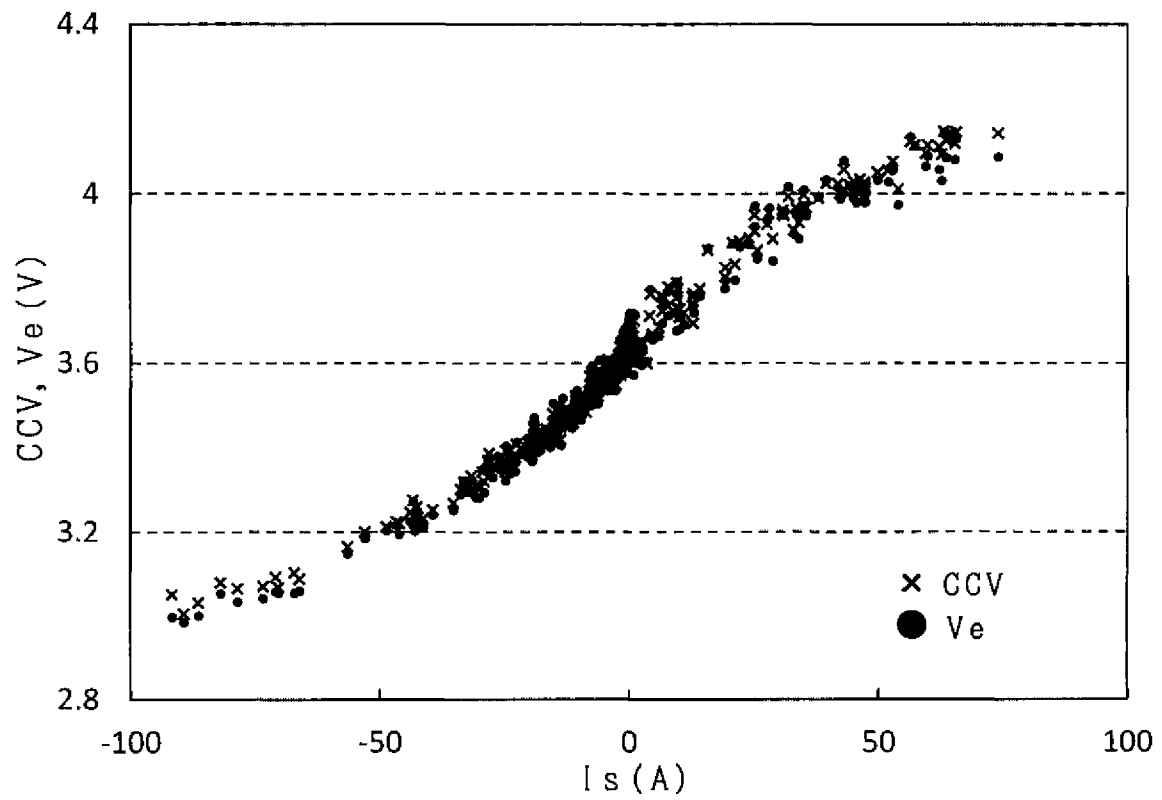
[図19]



[図20]



[図21]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2016/056932

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01R31/36(2006.01)i, H01M10/48(2006.01)i, H02J7/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01R31/36, H01M10/48, H02J7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011/118080 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 29 September 2011 (29.09.2011), entire text; all drawings	1-15
A	JP 2008-058278 A (Toyota Motor Corp.), 13 March 2008 (13.03.2008), entire text; all drawings	1-15
P, X P, A	US 2016/0039419 A1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC), 11 February 2016 (11.02.2016), paragraphs [0046] to [0061]; fig. 3 to 4	1 2-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 April 2016 (26.04.16)	Date of mailing of the international search report 17 May 2016 (17.05.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2016/056932

WO 2011/118080 A1	2011.09.29	US 2013/0110429 A1 EP 2551687 A1
JP 2008-058278 A	2008.03.13	US 2009/0276172 A1 WO 2008/029572 A1 EP 2063280 A1 KR 10-2009-0057300 A CN 101512365 A
US 2016/0039419 A1	2016.02.11	US 2015/0321572 A1 DE 102015106545 A CN 105093117 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. G01R31/36(2006.01)i, H01M10/48(2006.01)i, H02J7/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. G01R31/36, H01M10/48, H02J7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2016年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2016年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2011/118080 A1（古河電気工業株式会社）2011.09.29 全文、全図	1-15
A	JP 2008-058278 A（トヨタ自動車株式会社）2008.03.13 全文、全図	1-15
P, X P, A	US 2016/0039419 A1（GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC） 2016.02.11, 段落 0046-0061、FIG.3-Fig.4	1 2-15

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 26.04.2016	国際調査報告の発送日 17.05.2016
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 續山 浩二 電話番号 03-3581-1101 内線 3216
	2 S 4 4 5 4

WO 2011/118080 A1	2011. 09. 29	US 2013/0110429 A1 EP 2551687 A1
JP 2008-058278 A	2008. 03. 13	US 2009/0276172 A1 WO 2008/029572 A1 EP 2063280 A1 KR 10-2009-0057300 A CN 101512365 A
US 2016/0039419 A1	2016. 02. 11	US 2015/0321572 A1 DE 102015106545 A CN 105093117 A