

(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
2022年11月17日(17.11.2022)



(10) 国際公開番号

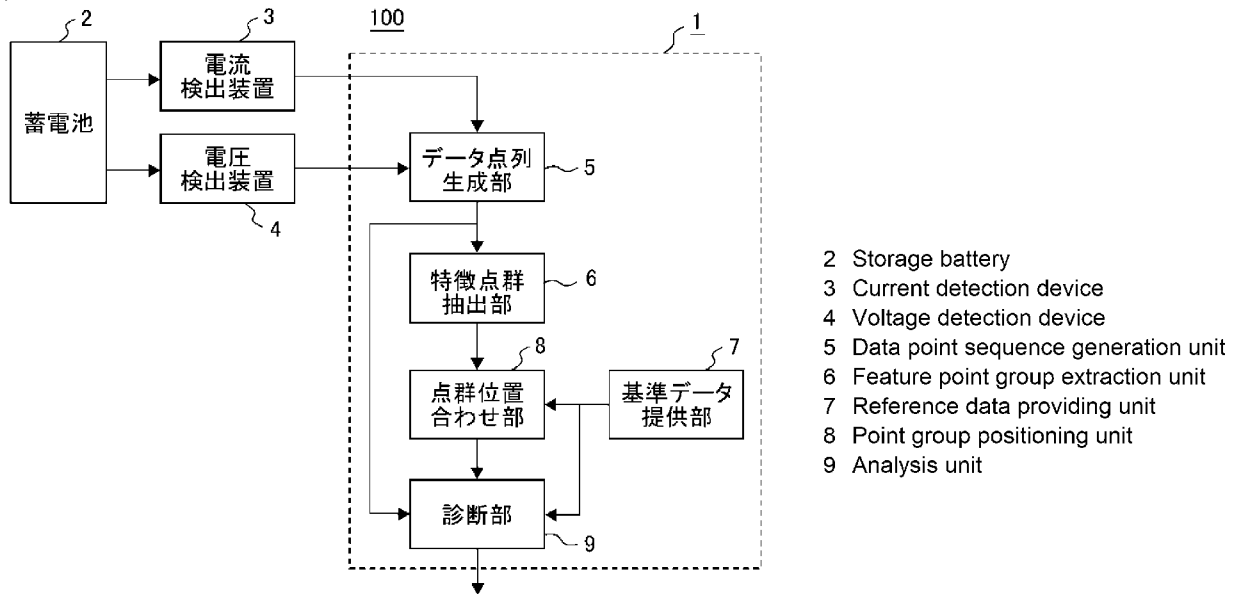
WO 2022/239188 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 31/392 (2019.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/018216
- (22) 国際出願日: 2021年5月13日(13.05.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 竹上 智己 (TAKEGAMI Tomoki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人:弁理士法人ぱるも特許事務所(PALMO PATENT FIRM, P.C.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘3丁目35番8号 Hyogo (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: STORAGE BATTERY ANALYSIS DEVICE AND STORAGE BATTERY SYSTEM

(54) 発明の名称: 蓄電池診断装置および蓄電池システム

図 1



(57) Abstract: A storage battery analysis device including: a data point sequence generation unit (5) that uses, as a basis, current of a storage battery (2) detected by a current detection device and voltage of the storage battery (2) detected by a voltage detection device to generate a data point sequence containing a Z-order differential curve line indicated by Z-order derivative voltage or Z-order derivative capacitance using a real number Z; a reference data providing unit (7) that provides a reference data point sequence of a reference storage battery or electrode; a point group positioning unit (8) that performs positioning of a point group between the data point sequence and the reference data point sequence generated by the data point sequence generation unit (5); and an analysis unit (9) that estimates parameters indicating a state of degradation of the storage battery or the electrode on the basis of the result of the point group positioning unit (8),



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

wherein, the positioning of the point group allows accurate correspondence between the generated data point sequence and the reference data, thereby enabling highly-accurate degradation analysis of the storage battery.

(57) 要約: 電流検出装置が検出する蓄電池(2)の電流と電圧検出装置が検出する蓄電池(2)の電圧とに基づいて、実数ZによるZ階微積分電圧またはZ階微積分容量で表されるZ階微積分曲線を含むデータ点列を生成するデータ点列生成部(5)、基準となる蓄電池または電極の基準データ点列を提供する基準データ提供部(7)、データ点列生成部(5)で生成されたデータ点列と基準データ点列との間で、点群位置合わせを行なう点群位置合わせ部(8)、点群位置合わせ部(8)の結果に基づいて、蓄電池または電極の劣化の状態を示すパラメータを推定する診断部(9)、を備えた蓄電池診断装置であり、点群位置合わせを行うことにより、生成されたデータ点列と基準データとの対応関係を正確に行うことができ、高精度の蓄電池の劣化診断が可能である。

明 細 書

発明の名称：蓄電池診断装置および蓄電池システム

技術分野

[0001] 本願は、蓄電池診断装置および蓄電池システムに関する。

背景技術

[0002] 環境負荷低減のため、EV（電気自動車：Electric Vehicle）、HEV（ハイブリッド電気自動車：Hybrid Electric Vehicle）、PHV（プラグインハイブリッド自動車：Plug-in Hybrid Vehicle）などの電動車両が実用化されている。さらには電動航空機などの開発も進んでいる。また、再生可能エネルギーの活用のための定置用蓄電システムも普及している。

[0003] これらの機器には、リチウムイオン電池などの蓄電池が用いられている。蓄電池は使用とともに劣化が進行し、性能が低下することが知られている。このため、蓄電池の性能、あるいは交換時期の把握および寿命予測のためには、蓄電池の劣化診断を行うことが必要となる。

[0004] 蓄電池の非破壊の劣化診断方法として、電圧を容量で微分した微分電圧、あるいは容量を電圧で微分した微分容量を利用するというような微分曲線解析法が知られている。この劣化診断方法は、蓄電池の電圧が正極と負極の電位の合成で表わされるという性質を利用して、微分により曲線形状特徴をより明瞭にしたうえで特徴点（極大点、極小点、変曲点など）の高さ、位置、位置関係などに基づきさまざまな劣化モードの診断を試みるものである。一般に、正極および負極それぞれの微分電圧曲線上の特徴点の高さ、位置、位置関係などは、蓄電池の使用とともに、劣化に応じて変化する。それゆえ、ある基準データと取得データの特徴点を比較することで蓄電池の劣化診断が可能となる（例えば、特許文献1参照）。

[0005] 特許文献1に記載の二次電池システムでは、取得した微分電圧曲線、あるいは微分容量曲線において、ある特徴点に至ったかどうかを判断する判断手段を備え、ある特徴点に至ったと判断した場合に、推定した蓄電量に基づい

て当該特徴点における基準蓄電量を補正する、などの診断を行なう。

[0006] また、充電データが複数の特徴点に至ったと判断した場合に、ある2つの特徴点間の蓄電量の差に関し、推定値に基づいて基準値を補正する、などの診断を行なう。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2009-252381号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、特許文献1に記載の二次電池システムのような、微分曲線解析法をベースとした特徴点に基づく診断においては、ある特徴点に至ったかどうかを判断する、言い換えれば基準データと取得データの特徴点の対応関係を正確に把握する、ということは容易ではない。

[0009] その理由として、蓄電池の電圧曲線および微分電圧曲線上の特徴点は、劣化とともに、位置と高さを変えていくということが挙げられる。多くの場合、電極が劣化すると、電極内部でリチウムイオン濃度の分布が大きくなるなどの理由により、微分電圧曲線のピーク形状が緩やかになっていくことが知られている。そして、劣化が進行すると、微分電圧曲線上の特徴点が消失するといったことも起こりうる。

[0010] また、充放電電流のレート、温度、充放電履歴などに対し依存性を有するため、劣化度が同じでも特徴点の位置と高さは変動しうる。

[0011] また、計測誤差及び／又は量子化誤差の影響により、存在しないはずの特徴点を誤って検出し、さらに検出した特徴点自体が誤差を有するものとなる可能性がある。とくに、微分計算を含む場合には誤差が増幅されるため、この傾向が顕著となる。また逆に、誤差を低減するための平滑化処理により特徴点が消えてしまい、検出すべき特徴点を検出できないという非検出のリスクもある。

[0012] また、現実の蓄電池使用においては、限られた充電率（SOC: State of charge）の範囲での部分充電データしか得られないケースが多いため、取得したい特徴点がなかなか取得できないという事態も起こりうる。

[0013] また、実使用環境においては、対象蓄電池の現在のSOC自体が推定誤差を含んでいることも多いため、検出した特徴点がある特徴点であるかどうかを、SOCを基準として判断すると失敗することがある。

[0014] 本願は、上述のような問題を解決するためになされたもので、基準データと取得データの特徴点の対応関係を正確に把握することができ、高精度の蓄電池の劣化診断が可能な蓄電池診断装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 本願に開示される蓄電池診断装置は、

電流検出装置が検出する蓄電池の電流と電圧検出装置が検出する蓄電池の電圧とに基づいて、実数 Z による Z 階微積分電圧または Z 階微積分容量で表される Z 階微積分曲線を含むデータ点列を生成するデータ点列生成部、

基準となる蓄電池または電極の基準データ点列を提供する基準データ提供部、

データ点列生成部で生成されたデータ点列と基準データ点列との間で、点群位置合わせを行なう点群位置合わせ部、

点群位置合わせ部の結果に基づいて、蓄電池または電極の劣化の状態を示すパラメータを推定する診断部、
を備えている。

発明の効果

[0016] 本願に開示される蓄電池診断装置によれば、点群位置合わせを行うことにより、生成されたデータ点列と基準データとの対応関係を正確に行うことができ、高精度の蓄電池の劣化診断が可能である。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]実施の形態1に係る蓄電池診断装置の構成図である。

[図2]実施の形態1に係る蓄電池診断装置のコントローラのハードウェア構成

図である。

[図3]蓄電池の劣化モードの分類イメージを説明する図である。

[図4]NMC系の正極及びグラファイトの負極を備えたりチウムイオン電池における正極の電位曲線及び微分電位曲線の一例を示した特性図である。

[図5]NMC系の正極及びグラファイトの負極を備えたりチウムイオン電池における負極の電位曲線及び微分電位曲線の一例を示した特性図である。

[図6]実施の形態1に係る蓄電池診断装置において、ICPを用いたときの診断フローチャートである。

[図7]劣化セルの電圧、一階微分電圧、および二階微分電圧の特徴点を示した図である。

[図8]シグモイド曲線と、その一階微分曲線、および二階微分曲線の特徴点を示す図である。

[図9]新セルの電圧、一階微分電圧、および二階微分電圧の特徴点を示す図である。

[図10]実施の形態1に係る一次元ICPのフローチャートである。

[図11]一次元ICPによる点群位置合わせの結果のRMSEの推移を示す図である。

[図12]参照データと推定パラメータの比較を示す図である。

[図13]非線形最適化手法の繰り返し計算により正極パラメータを推定した結果を示す図である。

[図14]実施の形態1に係る蓄電池診断装置による、フル充電時の新セル、劣化セルの正極、負極、セルの推定結果を示す図である。

[図15]蓄電池の部分的な充電データ、一階微分曲線、および二階微分曲線の特徴点を示す図である。

[図16]一次元ICPによる点群位置合わせを行なった結果を説明する図である。

[図17]実施の形態1に係る蓄電池診断装置による、部分的な充電時の新セル、劣化セルの正極、負極、セルの推定結果を示す図である。

[図18]実施の形態1に係る蓄電池診断方法による処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図19]実施の形態に係る蓄電池診断装置を用いた蓄電池システムの概念図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本願を実施するための実施の形態に係る蓄電池診断装置について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一符号は同一もしくは相当部分を示している。

[0019] 実施の形態1.

〈全体構成の概略説明〉

図1は、実施の形態1に係る蓄電池診断装置1を含む蓄電池診断システム100の構成例を示す図である。蓄電池診断システム100は、図1に示すように、蓄電池診断装置1と、蓄電池2と、電流検出装置3と、電圧検出装置4とを備える。

[0020] 蓄電池診断装置1は、蓄電池2を診断する装置である。診断とは、蓄電池2の性能、内部状態または劣化状態の診断を含み、蓄電池2のSOC、容量または劣化の程度、進行状況、蓄電池2の満充電容量低下の程度、並びに蓄電池2の劣化の程度の指標となる劣化パラメータの推定なども含む概念である。

[0021] 診断対象の蓄電池2は、リチウムイオン電池の他に、鉛蓄電池、ニッケル水素蓄電池、全固体蓄電池など、でもよい。また、診断対象の蓄電池2は、単一セルの蓄電池の他に、複数のセルが直列接続された蓄電池モジュール、又は複数のセルが並列接続された蓄電池モジュールでもよい。

[0022] 診断対象のリチウムイオン電池の例は、正極にNMC（Nickel-Manganese-Cobalt）系の材料、負極にグラファイトを使用したリチウムイオン電池である。なお、他の材料系で構成されるリチウムイオン電池に加え、正極と負極とを有し、かつ充電及び放電が可能な一般的な蓄電池が含まれていてもよい。

[0023] <蓄電池診断装置の構成>

次に、実施の形態 1 に係る蓄電池診断装置 1 の構成について、図 1 及び図 2 を参照して説明する。図 2 は、実施の形態 1 に係る蓄電池診断装置 1 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[0024] 蓄電池診断装置 1 は、図 1 に示すように、データ点列生成部 5 と、特徴点群抽出部 6 と、基準データ提供部 7 と、点群位置合わせ部 8 と、診断部 9 とを備える。

[0025] 図 2 には、蓄電池診断装置 1 のハードウェア構成の例が示されている。図 2 において、蓄電池診断装置 1 は、コントローラ 20 を備えている。コントローラ 20 は、プロセッサ 20a と、記憶装置 20b とを備えている。蓄電池診断装置 1 を構成する各部の機能、即ちデータ点列生成部 5、特徴点群抽出部 6、基準データ提供部 7 及び点群位置合わせ部 8 の機能は、ソフトウェア、ファームウェア、又はそれらの組み合わせにより実現される。

[0026] ソフトウェア及びファームウェアは、プログラムとして記述されており、記憶装置 20b に格納されている。プロセッサ 20a は、記憶装置 20b に記憶されたプログラムを読み出して、そのプログラムを実行することにより、蓄電池診断装置 1 の各部の機能を実現する。

[0027] 図 1 の説明に戻る。電流検出装置 3 は、蓄電池 2 の電流を検出し、検出電流 I をデータ点列生成部 5 に出力する。電圧検出装置 4 は、蓄電池 2 の電圧を検出し、検出電圧 V をデータ点列生成部 5 に出力する。

[0028] 以下の説明では、時系列データのサンプリング周期は t_s 秒であるとする。ただし、サンプリング周期は t_s 秒で固定されている必要はなく、可変であってもよい。

[0029] 本明細書においては、特に明示しない限り、診断対象の蓄電池 2 は単一の蓄電池セルであり、また、単一の蓄電池セルは、単一セルのリチウムイオン電池である場合を想定した説明とする。なお、蓄電池 2 が複数の蓄電池である場合、電流検出装置 3 及び電圧検出装置 4 は、それぞれ単位蓄電池ごとの電流及び電圧を検出するものであってもよい。その場合、以下の各部は、対

象とする蓄電池 2 の数だけ同じ動作をすることになる。但し、単位蓄電池とは、蓄電池セルであってもよいし、蓄電池セルの直列接続又は並列接続の組み合わせによる蓄電池モジュールであってもよい。

[0030] データ点列生成部 5 は、入力された電流値 I の時系列データ $\{I_k, k = 0, 1, \dots, N\}$ と、サンプリング周期 t_s とに基づいて、容量 q_k の時系列データ $\{q_k, k = 0, 1, \dots, N\}$ を算出する。

[0031] 具体的には、例えば、更新式

[数1]

数1

$$q_{k+1} = q_k + t_s I_k \quad (1)$$

により算出できる。

[0032] なお、初期容量 q_0 は 0 でもよい。あるいは、SOC 推定値を取得可能な場合は、たとえば初期 SOC 推定値 S_0 と所定の満充電容量 q_{max} から以下のように算出しても良い。

[数2]

数2

$$q_0 = q_{max} \cdot S_0 \quad (2)$$

[0033] あるいは、蓄電池 2 の SOC と OCV（開回路電圧、Open circuit voltage）との関係

[数3]

数3

$$SOC = f(OCV) \quad (3)$$

が既知であるならば、これを利用して初期電圧 V_0 と予め定められた満充電容量 q_{max} から以下のように算出してもよい。

[数4]

数4

$$q_0 = q_{max} f(V_0) \quad (4)$$

[0034] また、データ点列生成部5は、入力された電圧値Vの時系列データ $\{V_k, k = 0, 1, \dots, N\}$ と、算出した容量の時系列データ $\{q_k, k = 0, 1, \dots, N\}$ とに基づいて、微分電圧の時系列データ $\{V^{(1)}_k, k = 0, 1, \dots, N\}$ を算出する。ただし、 $V^{(1)}_k$ は以下のように定義される。

[数5]

数5

$$V_k^{(j)} := \left. \frac{d^j V}{dq^j} \right|_{q=q_k} \quad (5)$$

[0035] 微分電圧の算出には、さまざまな数値微分の方法を用いることが可能である。例えば、時刻kでの微分電圧は以下のようにして計算できる。

[数6]

数6

$$V_k^{(1)} = \frac{V_{k+1} - V_{k-1}}{q_{k+1} - q_{k-1}} \quad (6)$$

[0036] 定電流充電または定電流放電のデータにおいては、定数 $\Delta q := t_s I$ を用いて

[数7]

数7

$$V_k^{(1)} = \frac{V_{k+1} - V_{k-1}}{2\Delta q} \quad (7)$$

を用いても微分電圧を算出できる。この場合、各時刻で分母の値が変動しないため、微分電圧をより安定的に計算できる。

[0037] なお、こうした数値微分により微分電圧を計算した場合、取得した電流及び／又は電圧に含まれる誤差が増幅されるという問題がある。この問題の対策として、取得した電流及び／又は電圧に対し平滑化などによるノイズ除去をしてもよい。ノイズ除去の方法としては、ローパスフィルタ、フーリエ解析、ウェーブレット解析などを用いることができる。ローパスフィルタとしては、移動平均フィルタ、ガウシアンフィルタ、Kolmogorov-Zurbenkoフィルタ、Savitzky-Golayフィルタ、アクティブフィルタなど様々なフィルタが知られている。

[0038] なお、データ点列生成部5が出力する時系列データは、一度の充放電における時系列データのみならず、過去の充放電時の時系列データを含んでもよい。

[0039] なお、ここでは微分電圧の時系列データを用いて説明しているが、容量 q の電圧 V による微分である微分容量 $q^{(1)}_k$ の時系列データを用いても良い。

[0040] なお、一階微分ではなく、二階以上の微分による時系列データを算出してもよい。

[0041] なお、非整数階微分を含む分数階微分による時系列データを算出してもよい。

[0042] なお、複数の異なる種類（たとえば、微分容量と微分電圧）、及び／又は異なる階数の微分による時系列データを算出してもよい。

[0043] 特徴点群抽出部6は、入力されたデータ点列 $\{(q_k, V^{(j)}_k), k=0, 1, \dots, N\}$ から特徴点群を抽出する。特徴点とは、データ点列の形状特徴をよ

く表す点のことであり、変曲点、極値点、ゼロクロス点などである。ただし、特徴点がこれに制限されるわけではない。上記の特徴点の検出には、公知の技術を用いることが可能である。

[0044] データ点列の変曲点の検出には、たとえば、データ点列の二階微分のゼロクロス点を検出する。あるいは、元のデータ点列から直接変曲点を検出するには、たとえば、以下の非特許文献1に記載の方法などを用いることができる。変曲点の検出において、典型的には、データ点列が凸（下に凸）から凹（上に凸）に切り替わる場合の凹変曲点と、データ点列が凹（上に凸）から凸（下に凸）に切り替わる場合の凸変曲点とを区別して検出する。

[0045] 非特許文献1：A. Pikaz and I. Dinstein, "Using simple decomposition for smoothing and feature point detection of noisy digital curves," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 16, no. 8, pp. 808-813, Aug. 1994

[0046] データ点列の極値点の検出には、たとえば、データ点列の一階微分のゼロクロス点を検出する。あるいは、元のデータ点列から直接極値を検出するには、いわゆるピーク検出技術として知られるさまざまなアルゴリズムを用いることができる。極値点の検出において、極大点と極小点とを区別して検出する。

[0047] データ点列のゼロクロス点の検出には、たとえば、データ点の正負が切り替わるような二点を見つけることで検出する。ゼロクロス点の検出において、データ点を負から正に切り替わる場合の正ゼロクロス点と、正から負に切り替わる場合の負ゼロクロス点とを区別して検出する。

[0048] 一般的に、ある曲線の変曲点を微分すると極値点となり、極値点を微分すると変曲点になることから、特徴点の検出にはこうした性質が利用可能である。なお、異なる階数の複数のデータ点列に対し、特徴点群を検出してもよい。

[0049] 基準データ提供部7は、特徴点群抽出部6で抽出した特徴点群との比較対象となるような基準特徴点群データを提供する。また、診断部9で蓄電池2

を診断するうえで基準となる基準蓄電池データをさらに提供してもよい。

[0050] 基準特徴点群は、例えば、蓄電池 2 と同種の新品蓄電池の、横軸を容量、縦軸を充電放電電圧としたデータ点列から取得した特徴点群である。

[0051] 基準蓄電池データは、たとえば、蓄電池 2 と同じ電極の単極試験時の、横軸を容量、縦軸を充放電電圧としたデータ点列、及び／又は、蓄電池 2 と同種の新品蓄電池の、横軸を容量、縦軸を充放電電圧及び／又は充放電 OCV としたデータ点列である。

[0052] 基準データ提供部 7 が提供する基準データ（基準特徴点群データ及び／又は基準蓄電池データ）は、外部、蓄電池診断装置 1 を搭載した蓄電池搭載システム内の他の部位、及び／又はデータセンター、及び／又はクラウドなどから取得してもよいし、基準データ提供部 7 の内部に保存されていてもよい。基準データ提供部 7 が提供する基準データの取得元は、特定の取得元に制限されない。

[0053] 点群位置合わせ部 8 は、抽出された蓄電池 2 の特徴点群と、取得した基準特徴点群とに基づき、蓄電池 2 の特徴点群と基準特徴点群とのあいだで点群位置合わせ (Point set registration) を行なう。

[0054] 点群位置合わせを行なうとは、2 つの点群間で各点同士の正しい対応づけを行ないつつ、一方の点群をある変換パラメータにより変換することで対応する各点同士の誤差に基づく評価関数を最小化するような変換パラメータを求めることに相当する。

[0055] ここでいう変換とは、一方の点群に対し、たとえば、線形変換、アフィン変換、非線形変換、剛体変換、非剛体変換などを施すようなものである。線形変換は、回転・拡大縮小・鏡映・せん断の変換を含む。アフィン変換は、線形変換に加え、平行移動の変換を含む。非線形変換は、アフィン変換に加え、局所的な形状変化などを可能とするような任意の変換を含む。剛体変換は、回転・平行移動を含み、また、鏡映及び／又は拡大縮小を含んで指すこともある。非剛体変換は、アフィン変換を含み、点群位置合わせの文脈では、非線形変換を指すことが多い。

[0056] また、ここでいう誤差とは、対応する点間のユークリッド距離で定義されるが、この定義に制限されるわけではない。たとえば、点間の距離は0以上の任意の実数 p による p ノルムで定義してもよいし、自分で定義した距離を用いてもよい。また、ここでいう評価関数とは、点間のユークリッド距離の二乗の和で定義されるが、この定義に制限されるわけではない。たとえば、0以上の任意の実数 p による p ノルムの和でもよいし、ペナルティ項を加えたものでもよいし、定義された誤差に基づくさまざまな評価関数を定義することが可能である。

[0057] 点群位置合わせを行なうにあたっては、さまざまな手法を用いることが可能である。たとえば、以下に挙げた非特許文献2に説明された、ICP (Iterative closest point)を用いることができる。ICPは、点同士の対応付けのための探索ステップと、位置合わせのための変換パラメータの推定ステップを、交互に繰り返すことにより点群位置合わせを行なう手法である。この他にも、非特許文献2にある通り、点群位置合わせの問題を、位置合わせ状態を表す誤差関数の最小化問題と捉え、非線形最適化手法を適用するようなアプローチも可能である。

[0058] 非特許文献2：増田健 “ICP アルゴリズム（パターン認識・メディア理解）.” 電子情報通信学会技術研究報告 109.182 (2009): 151-158.

[0059] また、さらに別の方法として、以下の非特許文献3に説明される、CPD (Coherent point drift)を用いることもできる。CPDは、一方の点群の各点を混合ガウスモデルの中心点群と捉え、点群のトポロジー構造を保ちつつ、EMアルゴリズムにより混合ガウスモデルの事後確率を最大化するようにして、他方の点群との対応付けと位置合わせを行なう。

[0060] 非特許文献3：Myronenko, Andriy, and Xubo Song. "Point set registration: Coherent point drift." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 32.12 (2010): 2262-2275.

[0061] 他にも、RPM (Robust point matching)、KC (Kernel correlation)、またはSuperGlueなど、さまざまな方法が知られている。また、

こうした各手法のなかにも、さまざまなバリエーションが存在する。

[0062] 蓄電池 2 のデータ点列の位置合わせにおいては、拡大縮小・平行移動の変換を行なう。そして、たとえば、拡大縮小変換は、蓄電池電圧及び／又は電極電位曲線の劣化による縮小を反映し、平行移動変換は、容量（あるいは SOC）の推定誤差及び／又は正極電位と負極電位の容量バランスのずれを反映する。

[0063] 診断部 9 は、点群位置合わせ部 8 の点群位置合わせの結果に基づき、蓄電池 2 を診断する。その際、データ点列生成部 5 の出力を利用してもよい。また、特徴点群抽出部 6 を利用してもよい。また、基準データ提供部 7 で取得した基準データを基準として蓄電池 2 を診断してもよい。例えば、点群位置合わせの結果得られた拡大縮小パラメータに基づき、蓄電池 2 または蓄電池 2 の正極または負極の劣化度を算出し、平行移動パラメータに基づき、蓄電池 2 または蓄電池 2 の正極または負極の容量及び／又は SOC を推定する。

[0064] <蓄電池の劣化および劣化を反映するモデルの説明>

以下、蓄電池の劣化および劣化を反映するモデルと、上述の蓄電池診断装置 1 による診断の一例を、数式および図を用いて説明する。まず、蓄電池の劣化および劣化を反映するモデルについて数式および図を用いて説明する。

[0065] 図 3 に、縦軸を電圧または電位、横軸を規格化容量としたときの蓄電池の劣化モードの分類イメージを示す。図 3（a）（左上図）の新品に対し、図 3（b）（右上図）が正極劣化、図 3（c）（左下図）が負極劣化、図 3（d）（右下図）がリチウムイオン消費劣化が起こったときのセル電圧曲線と電極電位曲線の変動を表わしている。ただし、破線は新品時の電圧曲線または電位曲線を表わしている。

[0066] また、セルの満充電容量は上限電圧 V_{max} と下限電圧 V_{min} で規定されている。セル電圧は正極電位と負極電位の差で表されることから、正極電位曲線または負極電位曲線が劣化して縮小すると、セル電圧曲線にもその影響が現れる。

[0067] また、 Li イオンが副反応で消費されることで正極と負極の間で容量バラ

ンスが変わると、右下図のように一方の電極電位曲線を基準としたときに他方の電極電位曲線が横にシフトし、セル電圧曲線もその影響を受けて満充電容量が低下する。こうした電極電位曲線のシフトは、おもに負極充電時（つまりセル充電時）にSEI（Solid electrolyte interface）が成長したり、リチウムが析出する過程でLiイオンが消費されることが原因とされ、それゆえに負極電位曲線を基準としたときに正極電位曲線が左にずれることが多い。

[0068] 以上の内容を踏まえると、基準セル電圧モデルは以下のように表現される。

[数8]

数8

$$V(q) = U_p(q) - U_n(q) + RI \quad (8)$$

[0069] ここで、 q は蓄電池の容量、 U_p は正極電位、 U_n は負極電位、 R は蓄電池の内部抵抗である。容量 q は、データの扱い方に応じて規格化された容量（規格化容量）を用いても良い。そして、劣化セル電圧モデルは上式を基準としたとき、劣化パラメータ群 $\Theta := [\theta_p, \delta_p, \theta_n, \delta_n, \theta_r]^T$ を用いて以下のように表現される。

[数9]

数9

$$V(q; \Theta) = U_p(\theta_p^{-1}q + \delta_p) - U_n(\theta_n^{-1}q - \delta_n) + \theta_r RI \quad (9)$$

[0070] ここで、 θ_p は正極容量維持率、 δ_p は正極側の容量バランスずれ、 θ_n は負極容量維持率、 δ_n は負極側の容量バランスずれ、 θ_r は抵抗増加率に関するパラメータである。

[0071] あるいは、電極電位情報を保有している場合には、蓄電池容量 q に対し以下のように表現することも可能である。

[数10]

数10

$$V(q) = U_p \left(\frac{q + q_{p,0}}{q_{p,max}} \right) - U_n \left(\frac{q + q_{n,0}}{q_{n,max}} \right) + RI \quad (10)$$

[0072] ここで、添字 e で添字 p または添字 n を表すとき、 $q_{e,0}$ は電極の初期容量（蓄電池の容量 q が 0 のときの電極容量）、 $q_{e,max}$ は電極の満充電容量である。

[0073] 図 4 は、NMC（Nickel-Manganese-Cobalt）系の正極及びグラファイトの負極を備えたりチウムイオン電池における正極の電位曲線及び微分電位曲線を示した特性図である。図 4 において、横軸は正極の規格化容量であり、左の縦軸は電位、右の縦軸は微分電位である。実線は電位曲線、破線は微分電位曲線を表している。図 4 から分かるように、NMC を始めとした多くの材料の正極電位曲線は、緩やかに電位変化する形状となっている。

[0074] 図 5 は、NMC 系の正極及びグラファイトの負極を備えた一般的なリチウムイオン電池における負極の電位曲線及び微分電位曲線を示した特性図である。図 5 において、横軸は負極の規格化容量であり、左の縦軸は電位、右の縦軸は符号を反転させた微分電位である。実線は電位曲線、破線は微分電位曲線を表している。図 5 から分かるように、グラファイトの電位曲線には平坦な領域と急峻に変動する領域があり、微分電位曲線をみると、矢印に示すように急峻なピーク形状が複数存在する。

[0075] このように、電極の電位曲線の形状特徴は電極材料により異なったものとなる。こうした電位曲線の階段状（シグモイド状）の電位変化、言い換えれば微分電位におけるピーク形状は、電極粒子内部の相変化現象に由来するとされる。正極においても、緩やかではあるものの電位変動しており、これも相変化現象に由来するとされる。

[0076] <蓄電池診断装置による診断の一例>

次に、上述の蓄電池診断装置 1 による診断の一例を、数式および図を用い

て説明する。

図6は、蓄電池診断装置1において、ICPを用いたときの診断フローチャートの一例である。なお、新セルと劣化セルの区別のため、新セルのデータに関する点は右肩にアスタリスク(*)を付している。

[0077] まず、ある劣化セルの、たとえば定電流充電時の電流と電圧データを取得する。ここでは、正極に三元系NMC、負極にグラファイトを用いたセルを想定し、SOC=0%から上限電圧4.2Vまで定電流充電したときのデータを用いた。

[0078] 次に、そこから容量と電圧の時系列データ $\{(q_0, V_0), \dots, (q_m, V_m)\}$ を生成する(ステップS1)。

[0079] 次に、容量と電圧の時系列データを入力として、データ平滑化を行ない(ステップS2)、一階微分および二階微分の時系列データを作成する(ステップS3)。

[0080] 次に、特徴点 $z^d \in S^d$ を抽出する(ステップS4)。ここで、 d は特徴点の種類毎のナンバリングであり、この例では、 $d=1, 2, 3, 4$ がそれぞれ極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点に対応する。 S^d は特徴点の種類 d の順序集合を表わし、 z^d は S^d に属する特徴点を縦に並べたベクトルである。後述するように、この例においては一次元のICPを考えるため、 z^d および S^d の各要素は種類 d の各特徴点の横軸位置に対応する値となる。

[0081] 図7に、劣化セルの電圧(図7(a))と一階微分電圧(図7(b))、二階微分電圧(図7(c))をプロットした図を示す。ただし、横軸の q は、新品時の満充電容量を1とした規格化容量である。図7(a)と図7(b)では、生データと平滑化後のデータをプロットし、図7(c)では、平滑化後のデータのみプロットしている。なお、図7(c)の二階微分の生データは、計測誤差と量子化誤差の影響で概形が捉えられないほどとびとびの値となるため、省略した。また、図7(a)と図7(b)の平滑化後の曲線上に、極大点・極小点・正ゼロクロス点・負ゼロクロス点の4通りの特徴点を

プロットした。

[0082] 図7より、平滑化の結果、元の曲線の形状特徴を保存しつつ計測データの誤差を低減できていることがわかる。また、特徴点の抽出により、一階微分曲線と二階微分曲線の形状特徴を捉えた特徴抽出ができていることがわかる。特に、図7(c)の二階微分曲線においては、図7(b)の一階微分曲線の極大点に対応する負ゼロクロス点、極小点に対応する正ゼロクロス点に加え、一階微分曲線の凹変曲点に対応する極大点、凸変曲点に対応する極小点も検出できており、同じ種類の特徴点を抽出していても、図7(c)の二階微分曲線のほうがより多くの特徴を抽出できている。

[0083] 図8に、シグモイド曲線 y (図8(a))とその一階微分曲線 dy/dx (図8(b))、および二階微分曲線 d^2y/dx^2 (図8(c))を例示した図を示す。図8(a)のシグモイド曲線上の変曲点は、図8(b)の一階微分曲線上の極大点、および図8(c)の二階微分曲線上の負ゼロクロス点に対応している。また、図8(b)の一階微分曲線上の凹変曲点と凸変曲点は、それぞれ、図8(c)の二階微分曲線上の極大点と極小点に対応している。このように、凹変曲点を微分すると極大点、極大点を微分すると負ゼロクロス点となり、凸変曲点を微分すると極小点、極小点を微分すると正ゼロクロス点となることが知られている。ゆえに、電圧曲線及び／又は異なる階数の微分曲線のあいだで、対応する特徴点の存在を確かめることで、特徴点抽出のロバスト性を上げることも可能である。

[0084] 図7をみると、確かに、図7(b)の一階微分曲線の極値点と図7(c)の二階微分曲線のゼロクロス点の横軸が一致していることを確認できる。また、蓄電池の電極電位曲線は既述のとおり、相変化により階段状に電位変化することから、シグモイド関数の和を含む関数で表現することが可能である。ゆえに、図8をシグモイド曲線における微分と特徴点の関係として捉え、微分階数に応じ、対象データから抽出される特徴点の種類の順番がシグモイド関数の和として捉えた場合に矛盾のない順番となっているかを確認することで、ロバスト性を上げることも可能である。

[0085] 次に、基準となる新セルデータの特徴点 $z^{*d} \in T^d$ を抽出する（図 6 中、ステップ S 5）。新セルデータも劣化セルデータと同様に、SOC = 0% から上限電圧 4.2 V に到達するまでの定電流充電データを用いた。ここで、 d は特徴点の種類毎のナンバリングであり、劣化セルのときと同様に、 $d = 1, 2, 3, 4$ がそれぞれ極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点に対応する。 T^d は新セルデータにおける特徴点の種類 d の集合を表わし、 z^{*d} は新セルデータにおける特徴点の種類 d に属する特徴点を縦に並べたベクトルである。

[0086] 図 9 に、新セルの電圧（図 9（a））と一階微分電圧（図 9（b））、二階微分電圧（図 9（c））をプロットした図を示す。図の説明は図 7 と同じであるため省略する。図 7 の劣化セルと比較して、平滑化後の一階微分曲線（図 9（b））および二階微分（図 9（c））の曲線の形状特徴がより明瞭となっており、より多くの特徴点が抽出されている。見方を変えれば、劣化セルのデータにおいては、劣化により、曲線上のいくつかの特徴点が消失してしまっている。これは、課題において説明したとおり、電極が劣化したことで、電極内部のリチウムイオン濃度の分布が大きくなったためと考えられる。一方で、こうした形状特徴の平滑化または局所的な消失が見られるにも関わらず、二階微分曲線の形状および特徴点を図 9（c）の新セルと図 7（c）の劣化セルのあいだで見比べると、依然として形状特徴の対応関係が残っていることが見て取れる。

[0087] 以上のようにして抽出された一階微分曲線および二階微分曲線の特徴点は、グラフィットに由来するものと考えられる。このことは、図 7 および図 9 と、図 4 の三元系 NMC の微分電位曲線および図 5 のグラフィットの微分電位曲線の形状とを見比べることでわかる。

[0088] まず、図 7（b）と図 9（b）の一階微分電位曲線をみると、図 4 のような緩やかな正極微分電位曲線と図 5 のような急峻な負極微分電位曲線の合成となっている。さらに、図 7（c）と図 9（c）の二階微分電位曲線をみると、図 7（b）、図 9（b）の一階微分電位曲線における正極に由来する低

周波成分が微分により低減され、逆に、負極に由来する高周波成分が微分により強調されたことで、負極に由来する特徴形状が支配的な曲線が抽出されたとみることができる。そして、特徴点についても、図5、図7、図9から、正極曲線の影響で縦横のずれは一部生じているものの、全ての特徴点が負極由来のものと判断できる。

[0089] 図7(c)、図9(c)の二階微分曲線において、全て、あるいは多くの特徴点が一方の電極由来であるならば、新セルと劣化セルのあいだで、特徴点群の位置合わせをすることが、その電極の劣化パラメータを推定することになると考えられる。つまり、図7(c)の劣化セルの二階微分曲線上の特徴点群を、拡大縮小パラメータと平行移動パラメータを用いつつ点群位置合わせすることにより、拡大縮小パラメータから電極容量維持率、平行移動パラメータから電極容量ずれまたはSOC推定誤差を推定することが可能となる。

[0090] ここでは、一例として、ICPにより点群位置合わせをすることを考える。さらに、一例として、横軸のみの誤差を考える一次元ICPを考える。こうすることにより、変換パラメータの推定が線形最小二乗法に帰着され、数値計算の速度と安定性が増す。さらに、蓄電池の二階微分電圧曲線が劣化により緩やかになるという性質は、特徴点の(縦軸の)値を大きく変動させる一方で、(横軸の)位置はあまり変動させないため、一次元ICPは蓄電池劣化の性質に対応した方法といえる。

[0091] 図10は、一次元ICPのフローチャートである。入力データの特徴点として、 $u^d \in U^d$ が与えられ(図10中、ステップS61)、参照データの特徴点として、 $z^d \in Z^d$ が与えられたとする(ステップS62)。ここまでの例においては、劣化セルの特徴点が入力データの特徴点に対応し、新セルの特徴点が参照データの特徴点に対応する。

[0092] まず、 $k=0$ においては(ステップS63)、第一要素を拡大縮小パラメータ、第二要素を平行移動パラメータとした推定パラメータ $p_k := [p_{1,k}, \dots, p_{2,k}]^T$ に対し、初期値 p_0 を与える。

[0093] 次に、入力データの各特徴点 $u^d \in U^d$ を、推定パラメータ p_k で以下のように変換する（ステップ S 6 4）。

[数11]

数11

$$u_k^d = p_{1,k} u^d + p_{2,k} \quad (11)$$

[0094] そして、集合 Z^d と集合 U_k^d を比較し、最近傍特徴点群 W_k^d を以下のように求める（ステップ S 6 5）。

[数12]

数12

$$W_k^d = C(Z^d, U_k^d) \quad (12)$$

[0095] ここで、 $C(x, y)$ は、一例として、順序集合 x と y に対し、順序集合 y の各要素とのユークリッド距離での誤差の二乗和が最小になるような順序集合 x の部分順序集合を求める関数である。ただし、誤差の測り方はユークリッド距離以外であってもよいし、必ずしも二乗和である必要もない。ここでは、点群同士の対応付けを行なっている。

[0096] 蓄電池の n 階微分電圧曲線は、図 7 と図 9 でみたとおり、劣化するほど緩やかになり特徴点の数は減っていくことから、診断対象となる劣化セルデータ（ここでの入力データ）のほうが、基準セルデータ（ここでの参照データ）よりも各特徴点の総数が少なくなる傾向にある。上式で参照データ Z^d の部分順序集合 W^d を求める操作は、こうした蓄電池の特性を自然に反映したものとなっている。なお、最近傍点群の取得には、全探索を用いても良いし、既存のアルゴリズムを用いても良い。

[0097] つぎに、繰り返し回数 $k + 1$ での推定パラメータ p_{k+1} を計算することを考える。最初に、パラメータ p と既に求めた W_k^d との間の関係を以下のように表現する。

[数13]

数13

$$w_k^d = p_1 u^d + p_2 + \varepsilon^d \quad (13)$$

[0098] ここで、 ε^d は誤差を表すベクトルである。このとき、 $d = 1, 2, 3, 4$ における上式の間係をまとめると以下のように表される。

[数14]

数14

$$w_k = Ap + \varepsilon \quad (14)$$

[0099] ここで、

[数15]

数15

$$w_k := [w_k^{1\top}, w_k^{2\top}, w_k^{3\top}, w_k^{4\top}]^\top, \varepsilon := [\varepsilon^{1\top}, \varepsilon^{2\top}, \varepsilon^{3\top}, \varepsilon^{4\top}]^\top$$

であり、 A は、

[0100] [数16]

数16

$$A := \begin{bmatrix} u^1 & 1^1 \\ u^2 & 1^2 \\ u^3 & 1^3 \\ u^4 & 1^4 \end{bmatrix} \quad (15)$$

と定義される係数行列である。ただし、 1^d は、 d 番目の特徴量と同じ次元で要素が全て1のベクトルである。すると、式(8)は線形最小二乗問題であるから、二乗誤差の和が最小になるような解を得ることができ、推定値 p^{k+1} は、

[0101] [数17]

数17

$$p_{k+1} = (A^T A)^{-1} A^T w_k \quad (16)$$

と計算される（ステップS 6 6）。なお、 ε の各要素が互いに独立で、平均0の、ある正規分布に従うとき、導出した解は最尤推定値に等しくなることが知られている。提案方式では線形最小二乗法を用いるため、各ステップでのパラメータ推定で繰り返し計算が不要であり、かつ初期値に依存せず一意に最適解を求めることができるという利点を有する。

[0102] 最後に、推定パラメータ p_{k+1} と p_k が同じ値であることを比較することで収束判定する（ステップS 6 7）。比較の結果、同じ値であれば終了し、異なっていれば、同じ値をとるまで $k \leftarrow k + 1$ としてこれまでの計算を繰り返す（ステップS 6 8）。途中で算出される最近傍特徴点群と線形最小二乗解は、いずれも点群間の二乗和誤差を最小化するものである。ゆえに、いずれの計算ステップでも二乗和誤差は単調非増加となり、繰り返し計算により極小値に収束することが保証される。

[0103] 以上のような方法で、初期パラメータを $p_0 = [0.1, 0.2]^T$ として点群位置合わせを行なった。この初期パラメータは、説明の便宜上、恣意的に大きな誤差をもたせたものである。

[0104] 図11に、一次元ICPによる点群位置合わせの結果のRMSE（Root mean square error）の推移を示す。横軸が繰り返し回数となっており、点群対応付け（マッチング）のステップの結果と変換パラメータ推定のステップの結果のRMSEを両方ともプロットしている。ただし、変換パラメータ推定のRMSEは、第kステップで計算した p_{k+1} を変換パラメータとして用いたときのものである。点群対応付けと変換パラメータ推定を交互に行なうことで、破線で結んだように、単調非増加でRMSEが小さくなっている。

[0105] 図12に、参照データと $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ のときの p_k による入

力データの変換結果を示す。ただし、特徴点群のマーカーは、参照データおよび p_5 による入力データの変換結果においてのみプロットし、対応付けされた特徴点同士を実線で結んでいる。入力データの変換結果は、初期のものが参照データと大きくずれているのに対し、 k が大きくなるにつれて、参照データに近づいていき、最後の $k = 5$ で、参照データにおける対応する特徴点との誤差は非常に小さくなっている。

[0106] その結果、参照データと入力データのあいだで曲線の緩やかさに大きな違いはあるものの、特徴点および曲線の概形がよく一致したものとなっている。パラメータ推定結果は、 $p_0 = [1.0205, -0.0038]^T$ であった。この推定結果を負極パラメータとして捉えると、負極容量維持率が98.0%、規格化容量の誤差が-0.38%であった。負極容量維持率の100%に近い推定結果は、図7と図9の一階微分曲線および二階微分曲線の対応する特徴点間の距離がほぼ変わっていないという目視による結果と矛盾しない。また、新セルと劣化セルのデータは規格化容量を予め調整されたものであったため、規格化容量の誤差が0%に近いという推定結果は想定される通りのものであった。

以上が、一例として次元ICPを用い、基準セルと劣化セルの二階微分電圧データの特徴点群に対する点群位置合わせを行なったときの計算過程である。

[0107] 次に、図6に戻り、内部抵抗 R を推定する（ステップS7）。ここからは診断部9の内部動作の一例でもある。内部抵抗 R は、後述する正極パラメータ推定のときにパラメータの一つとして推定してもよい。ここでは、内部抵抗 R のみ独立して取得する場合を考える。

内部抵抗 R を取得するには、一例として、入力された充放電データ点列のうち、充放電を開始する直前の休止中の第 k_0 秒と、充放電開始後 N 秒間経過後の第 $k_0 + N$ 秒での電流と電圧に基づき、 N 秒間での内部抵抗を以下のように計算する。

[数18]

数18

$$R_N = \frac{V_{k_0+N} - V_{k_0}}{I_{k_0+N} - I_{k_0}} \quad (17)$$

[0108] 理想的には、N秒間の定電流充電または定電流放電のデータを用いる。また、内部抵抗に数秒～数百秒の長い時定数をもつ拡散抵抗まで含まれるよう、Nの値は60秒から300秒程度とするのが望ましい。ただし、秒数を長くとりすぎるとOCVの変動による誤差が大きくなるため注意する。

[0109] なお、より高度な方法として、内部抵抗を直流成分の電解液抵抗、電荷移動抵抗、拡散抵抗などの要素に分けて等価回路モデルなどを構築し、各素子のパラメータを推定してもよい。もし、蓄電池2を搭載する蓄電池システムが別途内部抵抗を取得しているならば、その値を用いてもよい。

[0110] 次に、劣化セルの正極（劣化）パラメータの推定方法を説明する（ステップS9）。正極パラメータの推定においては、まず、劣化セルのデータ点列と、既に求めた負極パラメータと内部抵抗に基づき、蓄電池電圧曲線の式（9）より、蓄電池電圧から負極電位曲線と内部抵抗による過電圧成分を減算することで劣化セルの正極電位曲線を算出する（ステップS10）。ここで用いる劣化セル負極電位曲線の算出には、予め保有している負極電位に関する情報を用いる（ステップS8）。たとえば、蓄電池2と同種の蓄電池、または負極が蓄電池2と同種であるような蓄電池の、単極電位曲線のデータまたはモデルを保有していれば、それと負極パラメータから劣化セルの負極電位曲線を作成できる。

[0111] 同様にして、新セル電圧データから、新セルの内部抵抗による過電圧成分と、データまたはモデルによる負極電位曲線を差し引くことで、新セル正極電位曲線を算出する（ステップS10）。

[0112] このようにして算出された新セル正極電位曲線と劣化セル正極電位曲線の

あいだで、誤差が小さくなるようにして正極パラメータを推定する。ここでは、正極パラメータとして、式（９）の θ_p と δ_p を推定するが、内部抵抗 R を前段階で取得し差し引いていなかった場合には、抵抗パラメータの θ_r も推定パラメータに含めて推定する。

[0113] なお、容量 0 の付近は負極電位曲線の変動が大きく、その影響により、算出される正極電位曲線にも誤差が乗りやすいことから、容量 0 の付近の正極電位曲線は算出していない。

新セル及び／又は劣化セルの正極電位曲線がデータ点列の場合、たとえば、各データを補間することで、一定の横軸の刻み幅毎に、縦軸の値を算出のうえ誤差を評価する。補間には、線形補間またはスプライン補間など、さまざまな方法を用いることができる。

[0114] 一方、新セル及び／又は劣化セルの正極電位曲線が関数モデルの場合は、たとえば、一定の横軸の刻み幅毎に、関数モデルに従って縦軸の値を算出すればよい。正極パラメータ推定においては誤差に基づく評価関数を用いるが、評価関数には既に述べたようにさまざまな定義のものを用いることが可能である。ここでは、各点ごとの誤差の二乗和を用いる。

[0115] 正極パラメータ推定の具体的な手法としては、非線形最適化理論に基づくさまざまな既存の手法を用いることが可能である。たとえば、ガウス・ニュートン法、レーベンバーグ・マーカート法、ペナルティ関数法、逐次二次計画法、GRG法（Generalized reduced gradient method）など、さまざまな手法が知られており、特定の手法に制限されることはない。

[0116] 図13に、ある非線形最適化手法の繰り返し計算により正極パラメータを推定した結果を示す。図13（a）の左軸は評価関数、右軸は評価関数の 10 を底とした対数値、図13（b）の縦軸は正極パラメータの推定値、図13（a）、図13（b）とも横軸は繰り返し回数である。図13より、繰り返し計算の過程でパラメータ推定値が一定値に収束し、それに伴い評価関数も一定値に収束している。評価関数の対数値をみても、たしかに一定値に収束している。パラメータ推定値より、正極容量維持率は 88.6% 、容量の

ずれは11.9%であった。

[0117] このように、負極パラメータの推定と正極パラメータの推定を別々に行なうことにより、一回に推定すべきパラメータ数が減り、推定の難易度が下がり、かつ計算速度も向上する。

[0118] 図14に、新セル、劣化セルそれぞれの正極、負極、セルのデータおよび推定結果を示す。最終的に、劣化セルの充電データと、劣化セルの各劣化パラメータの推定により再構築した充電曲線がほぼ一致していることがわかる。

[0119] 以上のようにして、蓄電池2の劣化に関わる正極パラメータ、負極パラメータ、および抵抗劣化パラメータを推定し、それらを用いて劣化セルの充電データを再構築することができた。なお、ここまでは説明のため、広い容量範囲に渡る充電データを用いたが、部分充電データに対しても本実施の形態の技術は適用可能である。

[0120] 図15に、同じ蓄電池の部分的な充電データに対し平滑化処理を行ない、特徴点を抽出した結果を示す。図15の説明は図7および図9と同様であるため省略する。図15(b)の一階微分電圧曲線においては3個の特徴点しか取得していない一方で、図15(c)の二階微分電圧曲線からは9個の特徴点を取得しており、もとの電圧曲線のわずかな形状特徴から豊富な情報を取得できている。

[0121] 図16に、新セルと劣化セルのあいだで次元ICPによる点群位置合わせを行なった結果を示す。図16の説明は図12と同様であるため省略する。図15(c)の二階微分電圧曲線から抽出した豊富な特徴点から総合的に判断し、特徴点群の位置合わせができている。負極パラメータの推定結果は、負極容量維持率が98.8%、SOC誤差が0.07%であり、先程のフル充電データに対する推定結果とよく一致した。

[0122] 図17に、図14のフル充電時と同様に、新セル、劣化セルそれぞれの正極、負極、セルのデータおよび推定結果を示す。正極パラメータの推定結果は、正極容量維持率が91.6%、容量のずれが14.3%となり、こちら

もフル充電データに対する推定結果と近い値となった。また、再構成したセルOCV曲線も類似の形状となった。以上が、本実施の形態に係る蓄電池診断装置1の適用例である。

[0123] <蓄電池診断方法の処理手順>

次に、実施の形態1に係る蓄電池診断方法による処理手順について、図18を参照して説明する。図18は、実施の形態1に係る蓄電池診断方法による処理手順の一例を示すフローチャートである。

[0124] まず、データ点列生成部5は、電流検出装置3から取得した検出電流と、電圧検出装置4から取得した検出電圧とに基づき、電流と電圧の時系列データを取得する（ステップS1051）。

[0125] データ点列生成部5は、取得データを用いて、容量と電圧の時系列データを算出する。0より大きい実数ZによるZ階微分電圧曲線の時系列データを1個または異なるZに対する複数個を算出する（ステップS1052）。

[0126] 特徴点群抽出部6は、ステップS1052で取得した、電圧及び／又はZ階微分電圧のデータ点列から、特徴点群を抽出する（ステップS1061）。特徴点群は、既述のとおり変曲点、極値点、ゼロクロス点であるが、これに限定されるものではなく、場合によっては、前ステップで取得したデータ点列の全データ点であってもよい。

[0127] 基準データ提供部7は、基準データを取得し、送信する（ステップS1071）。ただし、基準データは取得済みのものであってもよい。

[0128] 点群位置合わせ部8は、送信されてきた基準データに合うようにして、抽出された特徴点群に対し点群位置合わせを行ない、点群同士の対応付けと変換パラメータの推定を行なう（ステップS1081）。

[0129] 診断部9は、少なくとも点群位置合わせにより推定した変換パラメータに基づき、蓄電池2の劣化パラメータを推定する（ステップS1091）。また、基準データを利用することで、診断部9においてさらに劣化パラメータを推定してもよい。本実施の形態においては、負極パラメータが、変換パラメータに基づいて推定された蓄電池2の劣化パラメータに相当し、正極パラ

メータおよび抵抗パラメータが基準データを利用してさらに推定された劣化パラメータに相当する。

なお、図 18 に示す処理の順序は一例であり、この順序に限定されない。

[0130] 〈本願の特徴と効果のまとめ（その他の実施の形態を含む）〉

上述した実施の形態の説明に追加して、本願の特徴ごとに、その他の実施の形態および効果を補足的に説明する。

〈特徴 1〉

上述した実施の形態 1 では、微分曲線に基づいて説明したが、実数 Z による微積分（微分または積分）によって算出される Z 階微積分電圧曲線または Z 階微積分容量曲線であるような Z 階微積分曲線を対象に、蓄電池の性能診断及び／又は容量などの内部状態推定の問題の少なくとも一部を、点群位置合わせの問題に帰着させてもよい。そして、点群位置合わせ技術により対象蓄電池のデータ点列を参照（基準）データ点列に合わせ、データ点列同士で点群位置合わせを行うことで、点群同士の対応付けと変換パラメータの推定を行なう。そして、推定された変換パラメータに基づき、蓄電池の性能診断及び／又は容量などの内部状態推定のための蓄電池パラメータを計算する。

[0131] なお、容量とはある蓄電池のある時点での満充電容量を基準に規格化されたものであってもよく、その蓄電池自身のそのときの満充電容量を基準として規格化された容量は充電率または充電状態と呼ばれる。

[0132] なお、 Z は任意の実数であることから、実数 Z による微積分とは、 $Z > 0$ のとき微分、 $Z = 0$ のとき電圧曲線そのもの、 $Z < 0$ のときの積分による演算を意味する。また、 Z が非整数の場合は、分数階微分または分数階積分の演算を意味する。

[0133] a を基点とする分数階積分は、以下のコーシーの公式、

[数19]

数19

$$f^{(-\alpha)}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x (x-t)^{\alpha-1} f(t) dt \quad (18)$$

により効率的に計算することが可能である。通常の整数階の積分においても、同じ式で計算することが可能である。コーシーの公式を用いると、 n 階積分の数値計算においても n 回積分計算を繰り返すことなく、コーシーの公式に従って 1 回積分計算をすることで値が求まるという意味で効率的である。

[0134] α 階分数階微分の場合はいくつかの定義が存在するが、例えば、 α を自然数 n_α と $0 < \beta < 1$ であるような実数 β を用いて $\alpha = n_\alpha - \beta$ と書き直すと、

[数20]

数20

$$f^\alpha(x) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_a^x (x-t)^{\beta-1} f^{n_\alpha}(\tau) dt \quad (19)$$

により計算することができ、これはCaputo微分と呼ばれる。つまり、 n_α 階整数階微分した曲線に対して β 階分数階積分する操作をすればよい。

[0135] 分数階微積分の定式化方法および計算方法については、公知の分数階微積分学における知見を利用することが可能である。また、数値積分についても、公知の手法を用いれば良い。なお、 Z 階微積分曲線は電圧の容量微分による Z 階微積分電圧曲線または容量の電圧微分による Z 階微積分容量曲線のいずれであってもよい。また、横軸は容量としてもよいし、電圧としてもよいし、時間としてもよい。 Z 階微積分電圧曲線の横軸には容量を用い、 Z 階容量微積分曲線の横軸には電圧を用いるが、これらに制限されるものではない。

[0136] また、蓄電池の電圧曲線は、図3で説明したとおり、正極電位曲線と負極電位曲線の合成による曲線であることから、電圧曲線の拡大縮小およびずれ

には正負極両方の劣化の影響が含まれている。

[0137] しかしながら、電圧曲線に一方の電極の劣化が支配的に現れている、または、両方の電極の劣化の影響が同じように現れることもある。あるいは、電圧曲線の特定の領域、たとえば一方の電極の変動が相対的に大きい領域などに着目した場合、一方の電極電位曲線の影響が支配的に現れていることもある。こうした場合には、蓄電池の電圧曲線同士で点群位置合わせをするのみであっても、そこで求められた変換パラメータ、およびそこから計算される値が、蓄電池の劣化を精度よく表すようなパラメータとなりうる。

[0138] 一方で、高階微分または高階積分をすることで、一方の電極電位曲線の変動を抽出することも可能である。たとえば、図4と図5で説明したように、正極電位曲線が緩やかで、負極電位曲線が急峻であるような蓄電池の場合、高階微分により負極電位曲線の高周波成分を抽出できるし、逆に高階積分すれば、正極電位曲線の低周波成分を抽出できる。このように微積分演算をしたあとで、点群位置合わせによる変換パラメータを求めれば、そこで得たパラメータは正極または負極のパラメータと対応したものとなる。

[0139] 点群位置合わせ問題を解くことの利点は、既存のICP、CPDなどの実績ある技術を適用可能となる点が挙げられる。また、点群同士の比較をするというアプローチであれば、蓄電池及び／又は電極のモデルの取得または構築が全部または一部不要となる。診断においてモデルを構築するプロセスが存在すると、モデルとデータとの誤差などを原因としてモデル化の失敗、または診断結果が不確かなものとなるリスクがある。これに対し、本アプローチは、与えられたデータ点群同士を、適宜リサンプリングしさえすれば、そのまま適用可能なものである。

[0140] 〈特徴2〉

点群位置合わせ技術により対象蓄電池のデータ点列を基準データ点列に合わせる際に、点群位置合わせ Z_D 階微分曲線同士の点群位置合わせ、または Z_I 階積分曲線同士の点群位置合わせを行なってもよい（ Z_D と Z_I は別の変数で、0より大きい実数）。一般的に微分すると低周波成分が減衰され

高周波成分が増幅されるのに対し、積分すると高周波成分が減衰され低周波成分が増幅される。そして、微積分の階数が大きくなるほどにその傾向は顕著となる。したがって、蓄電池パラメータを推定するうえでもまた、 Z_D 階微分曲線と Z_I 階積分曲線それぞれで蓄電池パラメータの種類に応じた推定しやすさが異なってくる。それゆえ、対象蓄電池のデータ点列の Z_D 階微分曲線と基準データ点列の基準 Z_D 階微分曲線、あるいは、対象蓄電池のデータ点列の Z_D 階積分曲線と基準データ点列の基準 Z_I 階積分曲線、で点群位置合わせを行ない、それぞれの点群位置合わせ結果から、推定パラメータを取得すれば、より多くの蓄電池パラメータを推定でき、より精度よく蓄電池パラメータを推定することが可能となる。

なお、用いる基準データ点列は、蓄電池のデータ点列でもよいし、電極のデータ点列でもよい。

なお、上述で、 Z_D 階、 Z_I 階の表記を使用するのは、 Z 階で表記すると、微分曲線も積分曲線も同じ回数（たとえば、 $Z=3.2$ なら 3.2 階微分曲線かつ 3.2 階積分曲線）という意味に解釈されないように別の変数であることを明記するためである。別の変数であることを明記する必要がない場合は、微分曲線および積分曲線をそれぞれ、 Z 階（ Z は 0 より大きい実数）で表記することとする。

[0141] 〈特徴3〉

Z_D 階微分曲線同士の点群位置合わせ結果から一方の電極パラメータを推定し、 Z_I 階積分曲線同士の点群位置合わせの結果から他方の電極パラメータを推定する。図4、5にあるとおり、電極材料により、電位曲線の支配的な周波数成分が高周波、または、低周波となる。このため、 Z_D 階微分曲線と Z_I 階積分曲線それぞれで異なる電極の電位曲線が強調され、抽出されたと解釈すれば、それぞれの点群位置合わせの結果から対応する電極パラメータを推定することが可能である。このようなアプローチをとることで、電極毎に別々にパラメータを推定することが可能となり、より多くの蓄電池パラメータを推定でき、より精度よく蓄電池パラメータを推定することが可能と

なる。

[0142] 〈特徴４〉

データ点列をそのまま用いるのではなく、データ点列の特徴点群を抽出し、特徴点群同士で点群位置合わせを行なう。特徴点群を用いることで、点群位置合わせの計算コストが低下する。また、適切に特徴点群を抽出することで、点群位置合わせのロバスト性が向上する。さらに、従来の微分電圧解析法と比較しても、点群位置合わせを用いることで、一部の特徴点が消失する、あるいは特徴点の位置及び／又は高さを変えたとしても、複数または全ての特徴点を用いて総合的に位置合わせを行なうことで、一部の特徴点の消失及び／又は変動の影響を受けにくいロバストで高精度な点群位置合わせを自動で行なうことが可能である。

[0143] 〈特徴５〉

凹変曲点、凸変曲点、極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点のうち少なくとも２つを含む特徴点群を抽出することを特徴としている。微分電圧解析法においては、微分電圧曲線上の２つのピーク（極大点）間の距離から劣化診断を行なうが、極大点以外も含む計６種類の特徴点から少なくとも２つを利用して、点群位置合わせを行なう。このため、２つ以上の極大点が存在しない部分充電時のデータ点列であっても、わずかな曲線形状の変化を特徴点群として抽出し、点群位置合わせによる診断が可能となる。

[0144] 〈特徴６〉

特徴５をより具体的にすると、２つ以上の相異なる２階微分曲線を利用して一括で点群位置合わせを行なう。このようにすることで、点群位置合わせのロバスト性が向上する。たとえば、１階微分曲線上で一部の特徴点が検出されず、逆に本来存在しないところで誤差の影響で誤検出してしまった場合にも、２階微分曲線上でその特徴点を正しく抽出できていれば、両方の曲線を利用している分、検出失敗の影響を受けにくくなる。また、点群の誤った対応付けをしている場合、２つの曲線の両方で誤差が発生することから、偶然誤差が小さくなったために誤った点群の対応付けに収束した、というよう

な失敗が起こりにくくなると考えられる。

[0145] 〈特徴 7〉

2つ以上の各微分曲線上で抽出される特徴点群同士を比較して、整合性を確認することで、特徴点抽出のロバスト性を上げ、結果として点群位置合わせおよび診断の精度を上げる。具体的には、例えば、図8のとおり、 Z_D 階微分曲線上の凹変曲点／凸変曲点の位置は、 $Z_D + 1$ 階微分曲線上の極大点／極小点の位置に対応しているという関係が利用可能である。

[0146] 例えば、 Z_D 階微分曲線上で凸変曲点が検出されたにも関わらず、 $Z_D + 1$ 階微分曲線上で極小点が検出されなかった場合、いずれかが検出ミスであったと分かる。それゆえ、検出方法または検出時の設定パラメータを変えて再度検出を試みる、または、 $Z_D + 2$ 階微分曲線上で正ゼロクロス点が検出されるかどうかを確認するなどして、検出ミスを突き止めて補正することが可能である。

[0147] 〈特徴 8〉

特徴7と同様に2つ以上の相異なる Z 階微分曲線上で抽出した特徴点群同士の整合性を確認し補正するが、その際に蓄電池の電極電位曲線が相変化によりシグモイド状に電位変化する性質を利用する。図8のように、一般にシグモイド曲線は、微分するとピーク曲線となり、さらに微分すると極大点と極小点を1点ずつもつような曲線となり、以下、微分するごとに極値点が1ずつ増えていき、変曲点が2ずつ増えていくような性質を有する。

[0148] それゆえ、シグモイド曲線を0以上の整数 N により N 階微分した場合の種類毎の特徴点の数が分かる。実際の電極電位曲線、およびその合成で表現される蓄電池の電圧曲線が複数の相変化を有する場合も、シグモイド曲線の重ね合わせにより表現可能である。このように考えると、蓄電池の電圧曲線からは、実施の形態で説明した特徴点種類の中では、相変化中心位置で凹変曲点が存在し、ある相変化と別の相変化とのあいだで凸変曲点が存在すると考えられる。このように、蓄電池電圧曲線がシグモイド曲線の和で表現されること、およびシグモイド曲線とその微分曲線上の特徴点の数と種類に基づい

て特徴点抽出結果の整合性を確認することが可能である。

[0149] 〈特徴 9〉

基準データ提供部 7 が、基準データ点列をそのまま提供するのではなく、平滑化した基準データ点列を提供する。通常、計測誤差および量子化誤差を低減する目的での平滑化は必要最小限に留められ、誤差以外のもとの曲線形状をなるべく保存するように為される。しかしながら、本特徴は、平滑化強度を上げることで基準データ点列の曲線形状をあえて緩やかにすることで、診断対象の劣化した蓄電池のデータ点列の曲線形状に近づける。またその結果、抽出される特徴点数も減り、診断対象の蓄電池のデータ点列から抽出される特徴点数に近づく。

[0150] 一般に、蓄電池の電圧曲線が劣化すると、曲線形状が緩やかになっていき、それに応じて極値点などの特徴点は消失していく傾向がある。それゆえ、新セルと劣化セルの電圧および電極電位の 2 階微積分曲線上の特徴点数は、劣化セルの劣化が進行しているほど乖離が存在すると考えられる。一方で、点群位置合わせを行なうことを考えると、特徴点数に乖離があると、点群同士に対応付けの可能な組み合わせ数が増大することから、正しい対応付けに失敗するリスクが上がることになる。したがって、可能であれば、予め不要な特徴点は取り除いておくことが望ましい。また、特徴点群同士ではなくデータ点列同士で点群位置合わせをする場合も、曲線形状の異なりが大きいと、位置合わせの失敗要因となるため、曲線形状は近いほうが望ましい。

[0151] 劣化により電極電位曲線が緩やかになる要因は、電極内に存在する多数の粒子のあいだで、劣化度が異なる、あるいは、劣化により抵抗が増大していくことで、充放電中の粒子毎の SOC に分布が生じやすくなるためと考えられる。粒子間で分布が生じると、粒子毎の相変化による電位変化のタイミングがずれるため、電極電位はこれらの異なる電位の分布の平均をとったような値になると考えられる。こうした内部の劣化度の異なり、およびイオン分布を厳密に再現することは困難であるが、基準となる新品時などの曲線を平滑化することで、近似的に表現することが可能である。適切な強度と方法に

よる平滑化により、基準データ点列からのみ検出されていた僅かな形状変化に由来する特徴点は検出されなくなり、基準蓄電池の曲線から劣化セルの曲線と共通の特徴点が選択的に抽出されることが期待される。

[0152] 平滑化には、たとえばノイズ除去の方法として説明したような手法を用いればよい。平滑化強度は、通常、各手法におけるハイパーパラメータの設定などで調整可能である。たとえば、移動平均フィルタを用いる場合、平滑化強度を強めるためには平滑化点数を増やせば良い。また、たとえば、ガウシアンフィルタを用いる場合は、平滑化強度を強めるためには、平滑化点数だけでなく、分散パラメータを調整することも可能である。

[0153] 〈特徴 10〉

特徴 9 をより具体化する。基準データ点列を平滑化することで抽出される特徴点群の点数が少なくなるように、平滑化強度を調整する。曲線形状が十分に緩やかになったかどうかは、抽出される特徴点群の点数が少なくなったかどうか、あるいはどれだけ少なくなったかを指標として確認することができる。とくに、特徴点群に対する点群位置合わせを行なう場合は、上述の不要な特徴点を削減するという意味をもつため、点群位置合わせを高精度に行なううえでも効果を有する。

[0154] 〈特徴 11〉

点群位置合わせで用いる変換パラメータとして、拡大縮小パラメータと平行移動パラメータを含むと指定したうえで、点群位置合わせの結果として推定された変換パラメータから、少なくとも一方の電極の満充電容量維持率と、該電極の容量ずれまたは蓄電池の容量誤差とを含む電極パラメータを推定する。

[0155] 式 (9) と式 (11) を見比べると明らかなように、蓄電池電極電位曲線の等式における電極パラメータと点群位置合わせにおける変換パラメータとは明確な対応関係を有する。それゆえ、Z 階微積分曲線において、一方の電極の曲線形状が他方の電極の曲線形状と比較して支配的である場合に、そこから点群位置合わせにより得られる変換パラメータから、一方の電極パラメ

ータを算出することが可能である。この場合、点群位置合わせという問題を解くことと電極パラメータを推定するという蓄電池における問題が直接結びつくことになる。

[0156] 〈特徴 1 2〉

特徴 1 1 の内容をより具体化する。一方の電極が負極でかつグラファイトであり、かつ Z 階微積分曲線として 2 階微分電圧曲線を含むとされる。負極がグラファイトである場合、多くの正極材料と比較して急峻な変動を有する電位曲線となっており、二階微分電圧曲線上では正極に由来する成分は減衰し、負極に由来する成分が支配的となることから、二階微分曲線およびそこから抽出される特徴点群はおもに負極由来のものとなる。それゆえ、そこでの点群位置合わせの結果推定される拡大縮小パラメータと平行移動パラメータを含む変換パラメータは、負極グラファイトの満充電容量維持率および容量ずれに対応したものとなる。

[0157] 〈特徴 1 3〉

蓄電池診断装置が、両方の電極パラメータを推定するものとなっている。具体的には、まず、一方の電極に関する基準電極電位曲線と、点群位置合わせの結果に基づき算出された一方の電極パラメータと、に基づき、一方の電極の電位曲線を生成する。そして、蓄電池の電圧曲線から一方の電極の電極電位曲線を差し引けば、他方の電極の電位曲線が算出される。よって、上述した実施の形態で説明したように、他方の電極の電位曲線と他方の電極の基準電位曲線とを比較し、誤差が小さく（最小に）なるようにして電極パラメータを推定することで、他方の電極の電極パラメータも算出することができる。他方の電極の基準電極電位曲線を保有していない場合でも、蓄電池の基準電圧曲線から一方の電極の基準電位曲線を差し引くことで算出可能である。

[0158] このようにすることで、両方の電極の電極パラメータを推定し、より詳細な劣化診断が可能となる。また、一括で両方の電極の電極パラメータを推定するような手法と比較して、電極毎のパラメータを別々に推定している分、

パラメータ数が少なく済む、これにより、計算負荷が軽くなり、計算のロバスト性及び精度が向上することが期待される。

[0159] 〈特徴 1 4〉

点群位置合わせに ICP を用いる。ICP は考え方が分かりやすいうえに様々な分野で用いられている信頼性の高い技術である。

[0160] 〈特徴 1 5〉

ICP において、特徴点の種類毎に別々に点群対応付けを行なう。このようにすることで、点群対応付けをよりロバストに行なうことが可能である。

[0161] 〈特徴 1 6〉

特徴 1 5 をより具体化し、特徴点群を対象に、横軸の誤差のみを考慮した一次元 ICP を用いる。一次元 ICP の詳細は実施の形態 1 で説明したとおりであり、蓄電池電圧曲線が劣化により緩やかになっていくことの影響を受けにくい点、変換パラメータの推定を線形最小二乗法に帰着できる点、などの利点を有する。線形最小二乗法に帰着されることで、非線形最適化で必要であった繰り返し計算が不要となり、かつ、そのステップにおいて初期値に依存しない一意の解が得られる。ゆえに、パラメータチューニング不要となり、また、計算処理も高速化される。

[0162] 〈特徴 1 7〉

点群位置合わせに CPD を用いる。CPD は、点群の位置関係を歪ませるなどの非線形な変換も柔軟に行なうことが可能である。この意味では、劣化により曲線が緩やかになっていく蓄電池のデータ点列同士であっても、柔軟に点群位置合わせを行なうことができるという利点を有する。

[0163] より具体化して説明すると、CPD による点群位置合わせによる点群同士の対応付けの結果に基づき、前記特徴点群と前記基準特徴点群との差が小さくなるようにして、拡大縮小パラメータと平行移動パラメータとを含むパラメータを推定することで少なくとも一方の電極の電極パラメータを推定する。このようにすることで、CPD において拡大縮小パラメータと平行移動パラメータが用いられていない、あるいは非線形変換を伴う場合においても、

こうしたパラメータを取得することが可能である。ここでは、点群同士の対応付けはC P Dにより取得済であることから、対応する点同士、または特徴点同士の誤差が最小になるように、非線形最適化手法などにより拡大縮小パラメータと平行移動パラメータとを含むパラメータを推定すればよい。

[0164] 〈蓄電池システム〉

上述した特徴1から17を有する蓄電池診断装置1を、蓄電池2を使用する車両、あるいは住居などの定置用途に使用した蓄電池システム200の一例を図19に示す。上述した蓄電池診断装置1の診断結果を表示する表示装置10および診断結果に基づいて蓄電池2を制御する制御部11を備える。蓄電池診断装置1により推定される蓄電池2の劣化情報に基づいて、制御部11は、蓄電池2の性能および寿命予測を行い、蓄電池2の交換時期を表示装置10に表示する。また、車両であれば、蓄電池の寿命または性能に応じた車両の運転の仕方を運転者に促すような表示を行っても良い。

[0165] なお、制御部11は、図2で示したのと同様、プロセッサと記憶装置から構成され、記憶装置はランダムアクセスメモリ等の揮発性記憶装置と、フラッシュメモリ等の不揮発性の補助記憶装置とを具備する。また、フラッシュメモリの代わりにハードディスクの補助記憶装置を具備してもよい。プロセッサは、記憶装置から入力されたプログラムを実行することにより、蓄電池診断装置1の結果に基づいて上述した制御を行う。この場合、補助記憶装置から揮発性記憶装置を介してプロセッサにプログラムが入力される。また、プロセッサは、演算結果等のデータを記憶装置の揮発性記憶装置に出力してもよいし、揮発性記憶装置を介して補助記憶装置にデータを保存してもよい。

[0166] 本願は、例示的な実施の形態が記載されているが、実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

従って、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形す

る場合、追加する場合または省略する場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0167] 1 : 蓄電池診断装置、2 : 蓄電池、3 : 電流検出装置、4 : 電圧検出装置、5 : データ点列生成部、6 : 特徴点群抽出部、7 : 基準データ提供部、8 : 点群位置合わせ部、9 : 診断部、20 : コントローラ、20a : プロセッサ、20b : 記憶装置、100 : 蓄電池診断システム、200 : 蓄電池システム。

請求の範囲

- [請求項1] 電流検出装置が検出する蓄電池の電流と電圧検出装置が検出する前記蓄電池の電圧とに基づいて、実数 Z による Z 階微積分電圧または Z 階微積分容量で表される Z 階微積分曲線を含むデータ点列を生成するデータ点列生成部、
- 基準となる蓄電池または電極の基準データ点列を提供する基準データ提供部、
- 前記データ点列生成部で生成されたデータ点列と前記基準データ点列との間で、点群位置合わせを行なう点群位置合わせ部、
- 前記点群位置合わせ部の結果に基づいて、前記蓄電池または前記電極の劣化の状態を示すパラメータを推定する診断部、
- を備える蓄電池診断装置。
- [請求項2] 前記データ点列生成部で生成される前記 Z 階微積分曲線は、 Z_D 階微分曲線と Z_I 階積分曲線とを含み、
- 前記基準データ提供部の前記基準データ点列は、基準 Z_D 階微分曲線および基準 Z_I 階積分曲線の少なくとも一部を含み、
- 前記点群位置合わせ部は、前記 Z_D 階微分曲線と前記基準 Z_D 階微分曲線のデータ点列同士で点群位置合わせを行ない、前記 Z_I 階積分曲線と前記基準 Z_I 階積分曲線のデータ点列同士で点群位置合わせを行うことを特徴とする請求項1に記載の蓄電池装置、ただし、 Z_D 、 Z_I は0より大きい実数である。
- [請求項3] 前記電極の劣化の状態を示すパラメータを推定する場合に、前記診断部は、前記 Z_D 階微分曲線と前記基準 Z_D 階微分曲線のデータ点列同士の点群位置合わせの結果から前記蓄電池の負極および正極の内の一方の電極の劣化の状態を示す電極パラメータを推定し、前記 Z_I 階積分曲線と前記基準 Z_I 階積分曲線のデータ点列同士の点群位置合わせの結果から他方の電極の劣化の状態を示すパラメータを推定することを特徴とする請求項2に記載の蓄電池診断装置。

- [請求項4] 前記データ点列から特徴点群を抽出し、前記基準データ点列から基準特徴点群を抽出する、特徴点群抽出部をさらに備え、
前記点群位置合わせ部は、前記特徴点群と前記基準特徴点群との間で点群位置合わせを行なうことを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項5] 前記特徴点群抽出部が抽出する前記特徴点群および前記基準特徴点群は、凹変曲点、凸変曲点、極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点の特徴点のうち少なくとも2つを含むことを特徴とする請求項4に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項6] Z_D 階微分曲線を含むデータ点列を生成する場合、2つ以上の相異なる階数の微分曲線を含むことを特徴とする請求項5に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項7] Z_D 階微分曲線を含むデータ点列を生成する場合、前記特徴点群抽出部で抽出された前記特徴点群または前記基準特徴点群は、2つ以上の相異なる階数の微分曲線の間で、前記特徴点群または前記基準特徴点群の位置が整合することを特徴とする請求項5に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項8] Z_D 階微分曲線を含むデータ点列を生成する場合、前記特徴点群抽出部で抽出された前記特徴点群または前記基準特徴点群における、2つ以上の異なる Z_D 階微分曲線の間で、前記蓄電池の電極電位曲線の相変化によるシグモイド状の電位変化に基づき前記特徴点群または前記基準特徴点群の位置を整合することを特徴とする請求項5に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項9] 前記基準データ提供部は、前記基準データ点列を平滑化することを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項10] 前記基準データ提供部は、前記基準データ点列を平滑化し、平滑化における平滑化強度を調整し、前記特徴点群抽出部において、基準データ点列から抽出される基準特徴点群よりも、平滑化された基準デー

タ点列から抽出される基準特徴点群のほうが特徴点の数が少なくなるようにすることを特徴とする請求項4に記載の蓄電池診断装置。

[請求項11] 前記点群位置合わせ部は、拡大縮小パラメータと平行移動パラメータとを含む変換パラメータを算出し、前記診断部は、前記変換パラメータに基づき、前記電極の満充電容量維持率と、前記電極の容量ずれまたは前記蓄電池の容量誤差とを含む電極パラメータを算出することを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の蓄電池診断装置。

[請求項12] 前記点群位置合わせ部は、拡大縮小パラメータと平行移動パラメータとを含む変換パラメータを算出し、前記診断部は、前記変換パラメータに基づき、前記電極の満充電容量維持率と、前記電極の容量ずれまたは前記蓄電池の容量誤差とを含む電極パラメータを算出し、前記Z₂D階微分曲線を含むデータ点列を生成する場合、前記Z₂D階微分曲線は二階微分曲線であり、前記電極のうち、負極はグラファイトであることを特徴とする請求項2または3に記載の蓄電池診断装置。

[請求項13] 前記基準データ提供部は、前記蓄電池の基準データ点列および前記蓄電池の正負の電極のうち少なくとも一方の電極の基準データ点列を提供し、

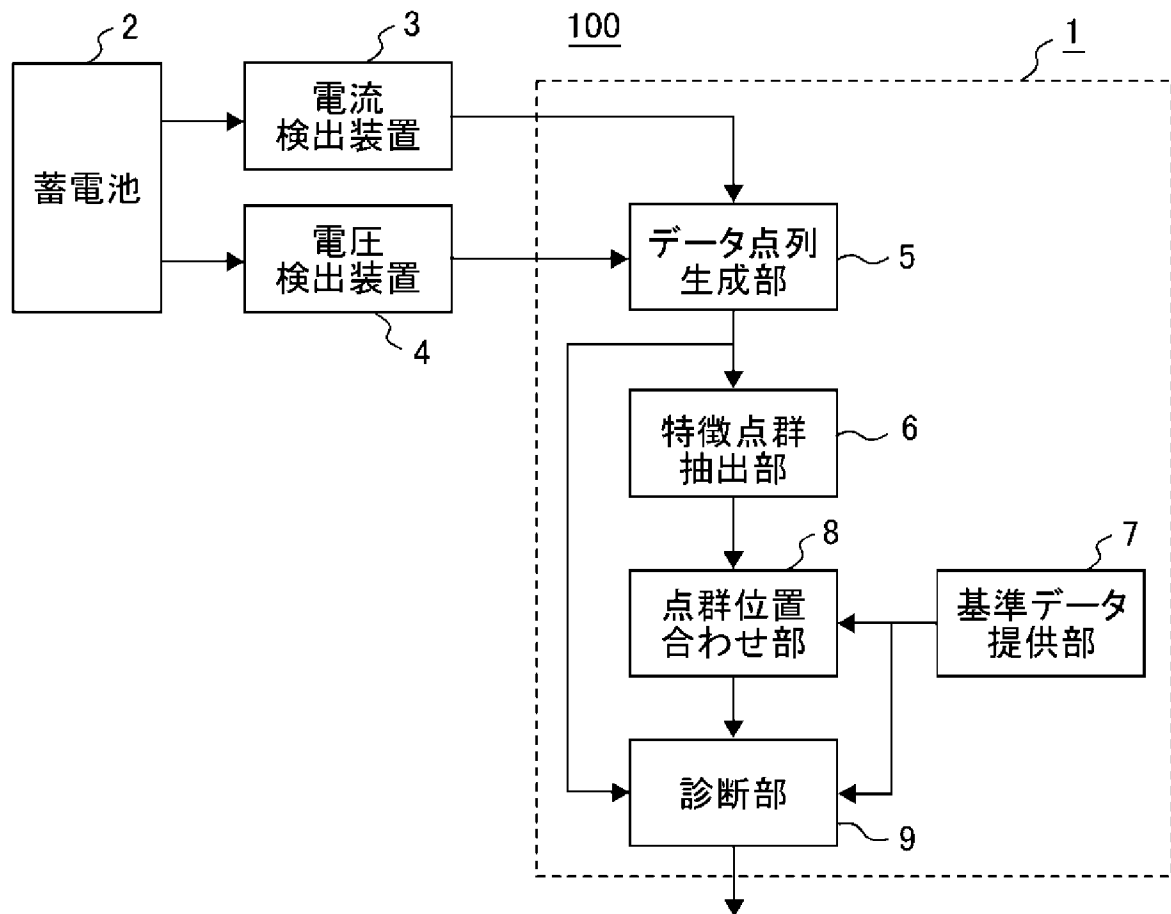
前記診断部は、前記一方の電極の電極パラメータと前記基準データ点列とに基づき、前記一方の電極の電極電位曲線を生成し、前記蓄電池の基準データ点列から減算することで、他方の電極の電極電位曲線を生成し、前記他方の電極電位曲線と前記他方の電極の基準データ点列との比較にして、該他方の電極の電極パラメータを求め、

前記診断部は、該他方の電極の基準データ点列が前記基準データ提供部から提供されない場合は、該蓄電池の基準データ点列と該電極の基準データ点列との差分に基づき、該他方の電極の基準データ点列を算出することを特徴とする請求項11または12に記載の蓄電池診断装置。

- [請求項14] 前記点群位置合わせ部は、ＩＣＰにより点群位置合わせを行なうことを特徴とする請求項１から１３のいずれか１項に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項15] 前記点群位置合わせ部は、ＩＣＰにより点群位置合わせを行ない、特徴点群内の特徴点の種類毎に別々に前記ＩＣＰによる点群対応付けを行なうことを特徴とする請求項４または５に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項16] 前記ＩＣＰは、特徴点群に対する一次元ＩＣＰであることを特徴とする請求項１４または１５に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項17] 前記点群位置合わせ部は、ＣＰＤにより点群位置合わせを行うことを特徴とする請求項１から１３のいずれか１項に記載の蓄電池診断装置。
- [請求項18] 請求項１から１７のいずれか１項に記載の蓄電池診断装置と、前記蓄電池診断装置の出力を表示する表示装置と、前記蓄電池診断装置の出力に基づいて前記蓄電池を制御する制御部と、を備えた蓄電池システム。

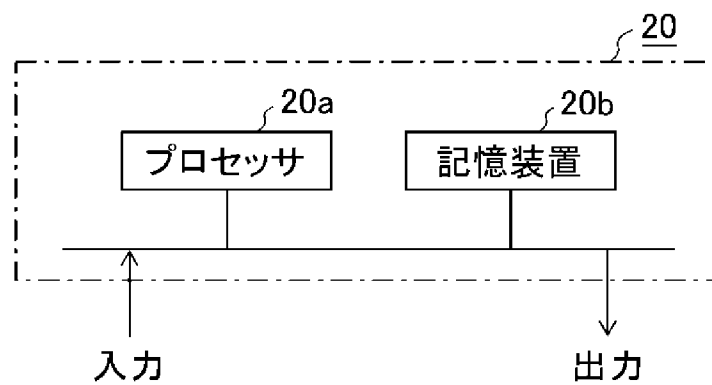
[図1]

図 1



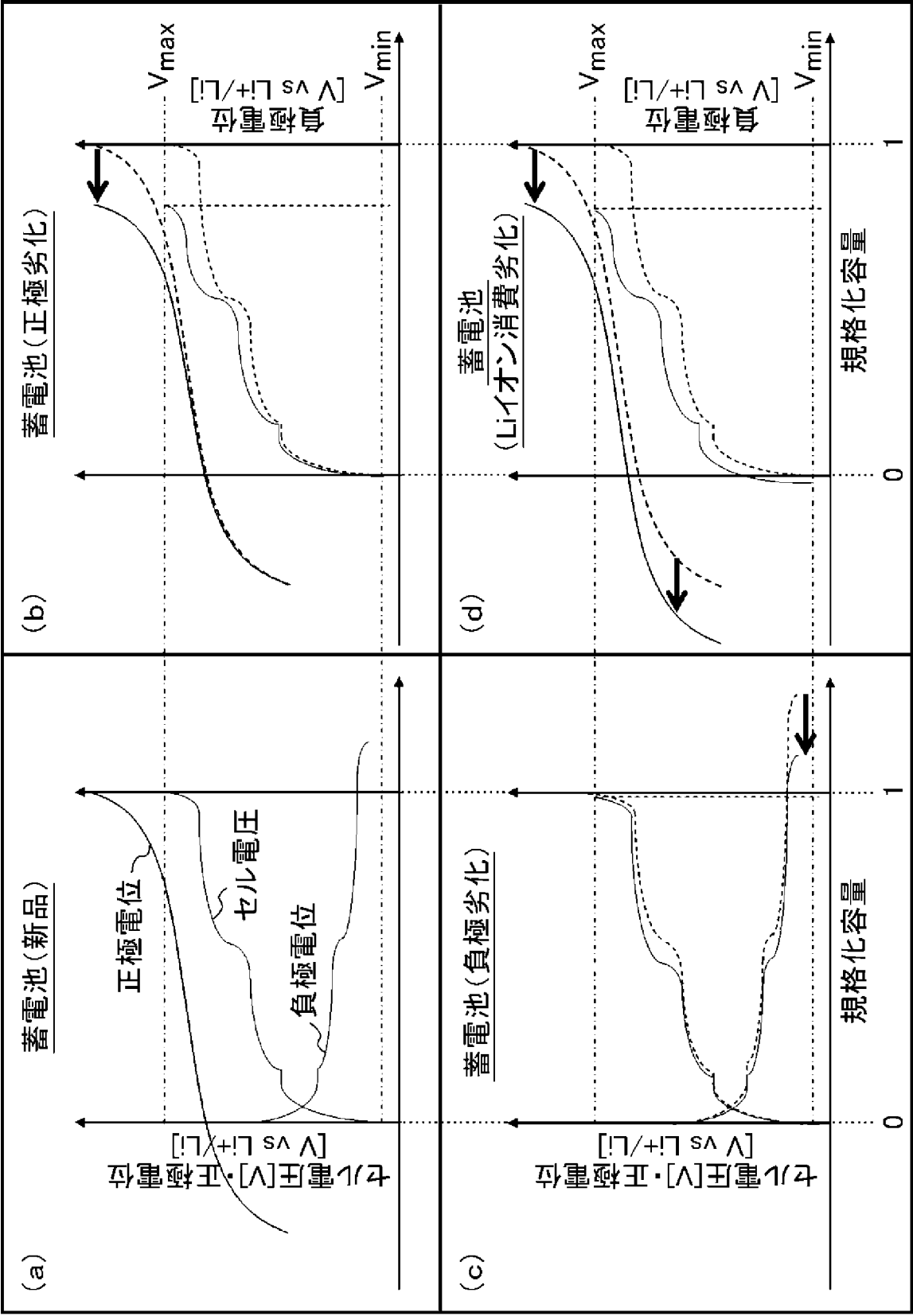
[図2]

図 2



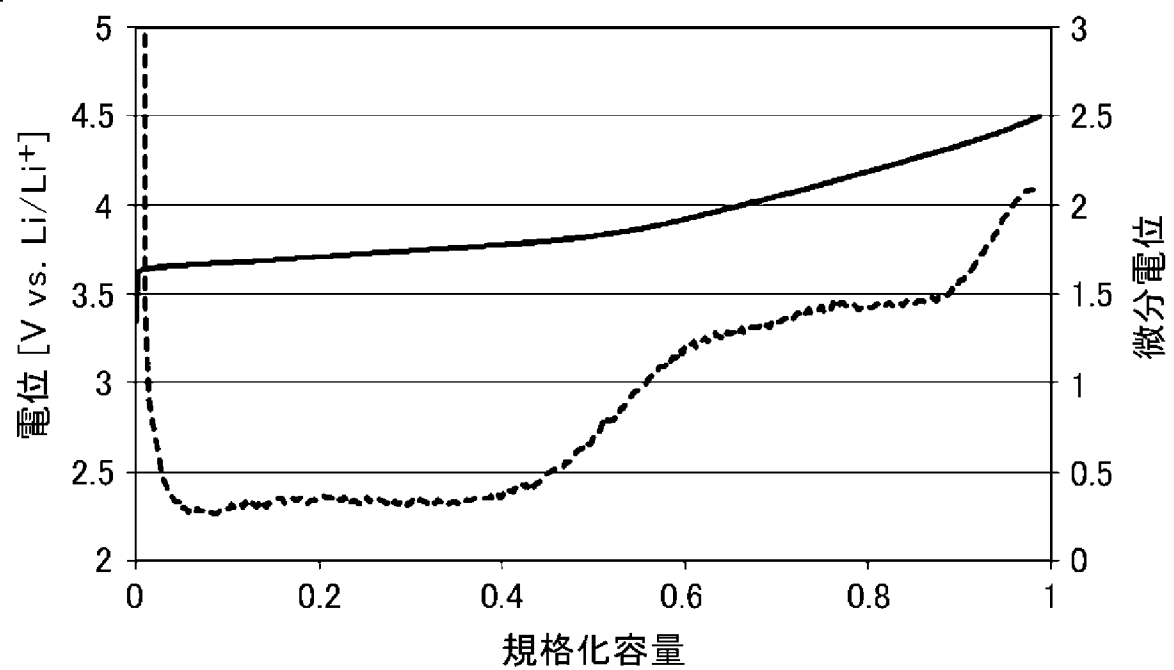
[図3]

図 3



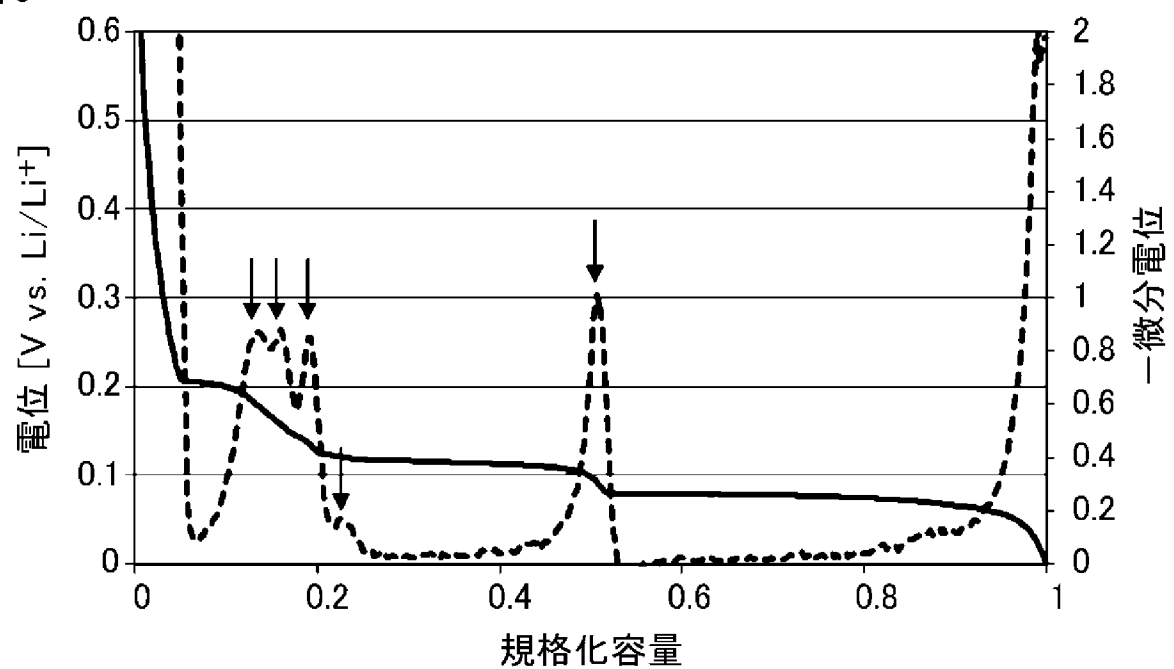
[図4]

図 4



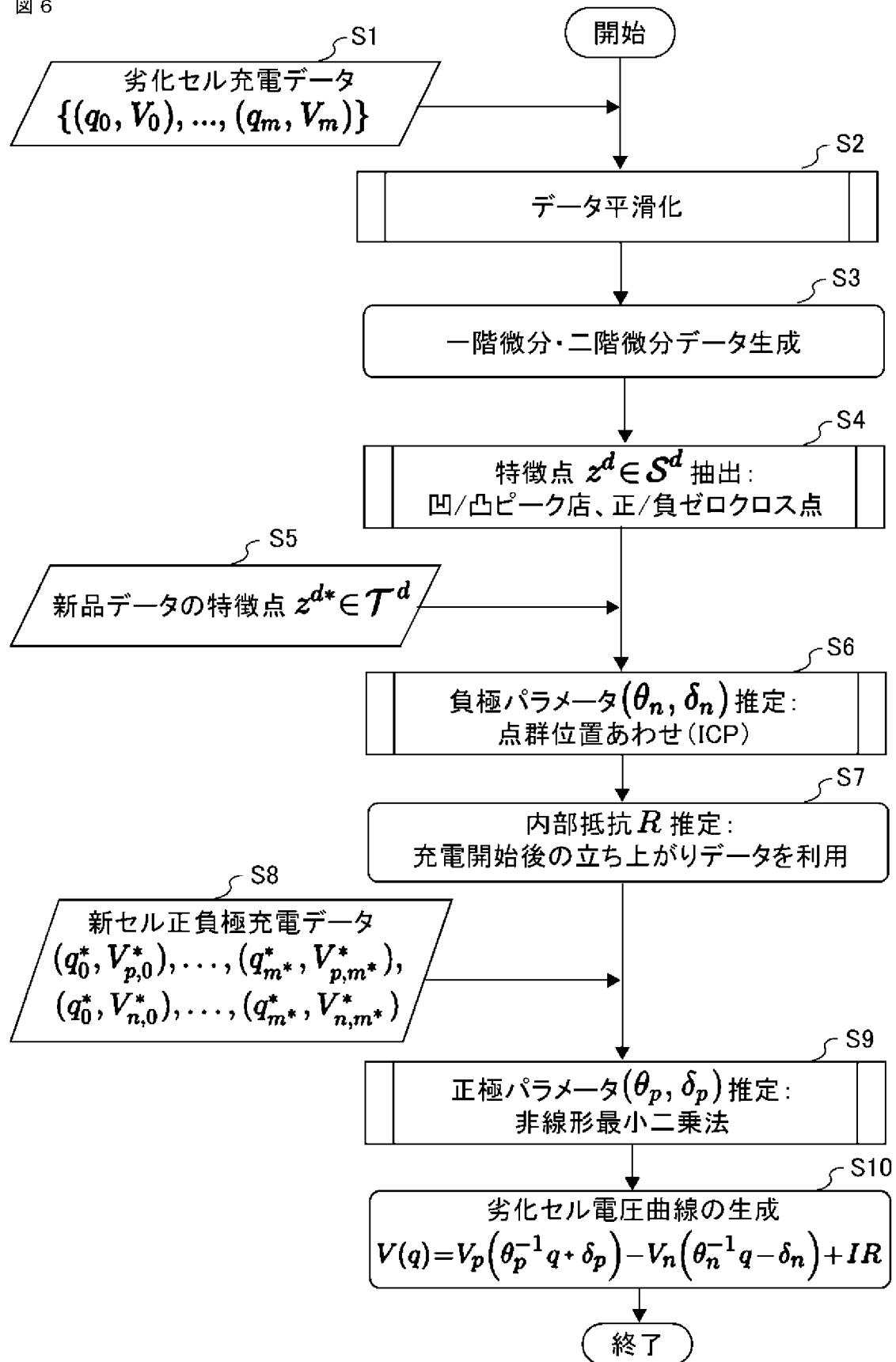
[図5]

図 5



[図6]

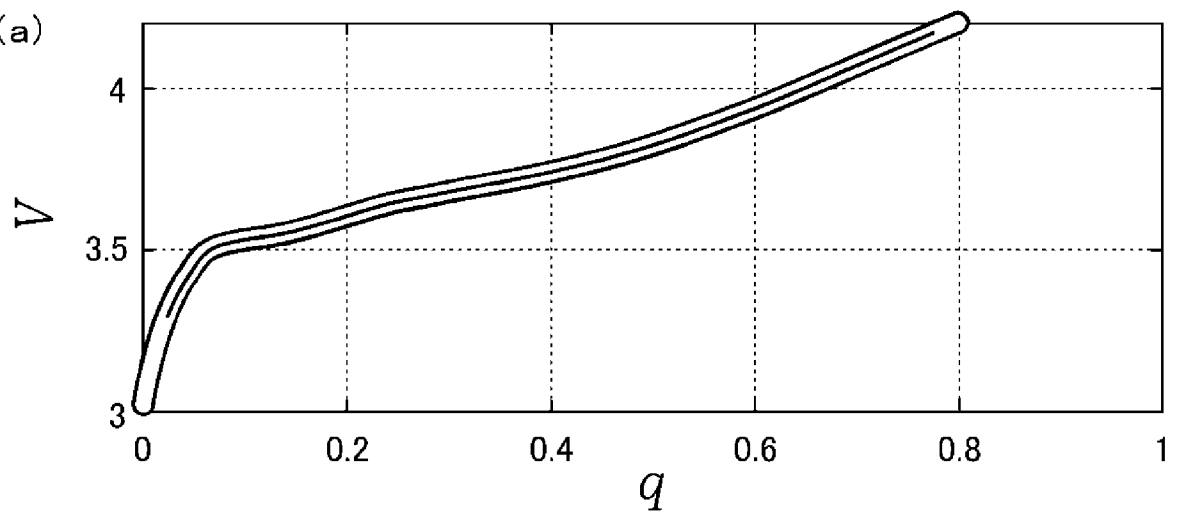
図 6



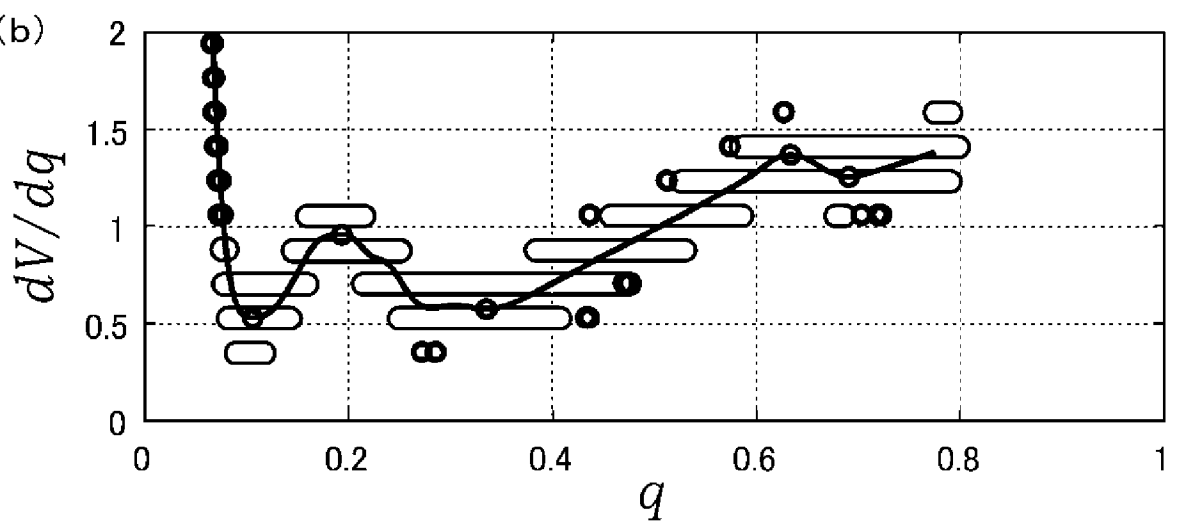
[図7]

図 7

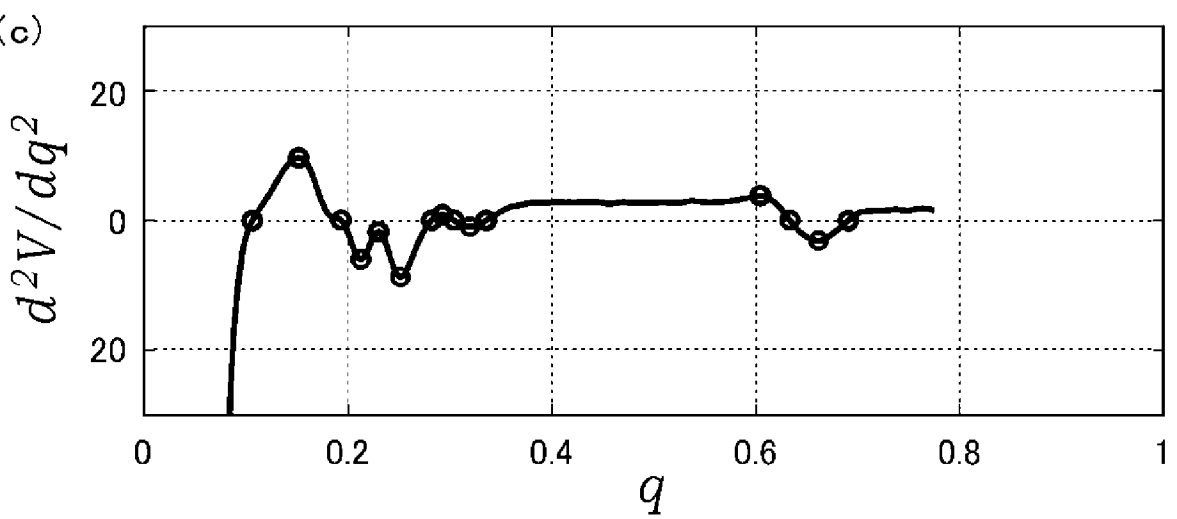
(a)



(b)

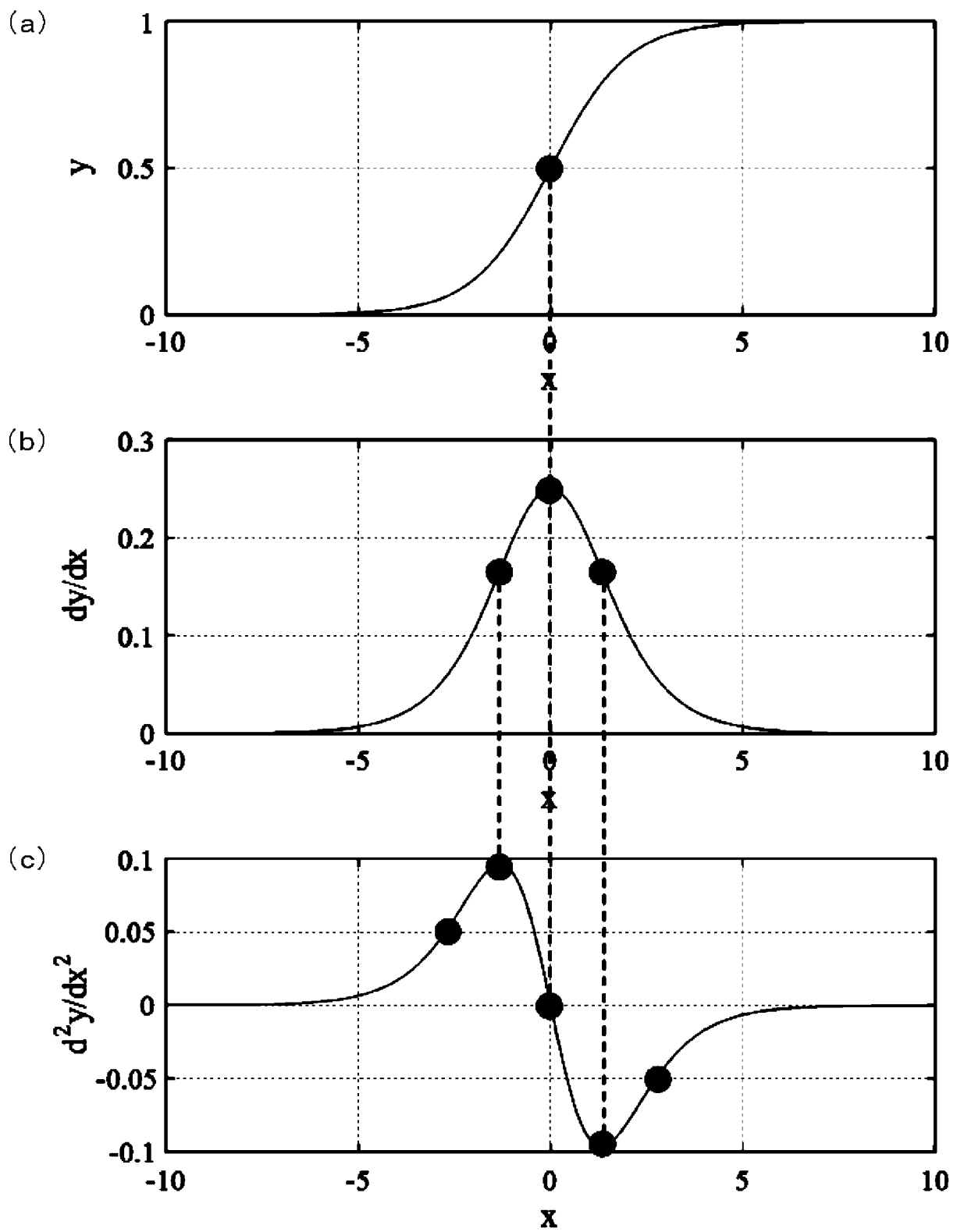


(c)



[図8]

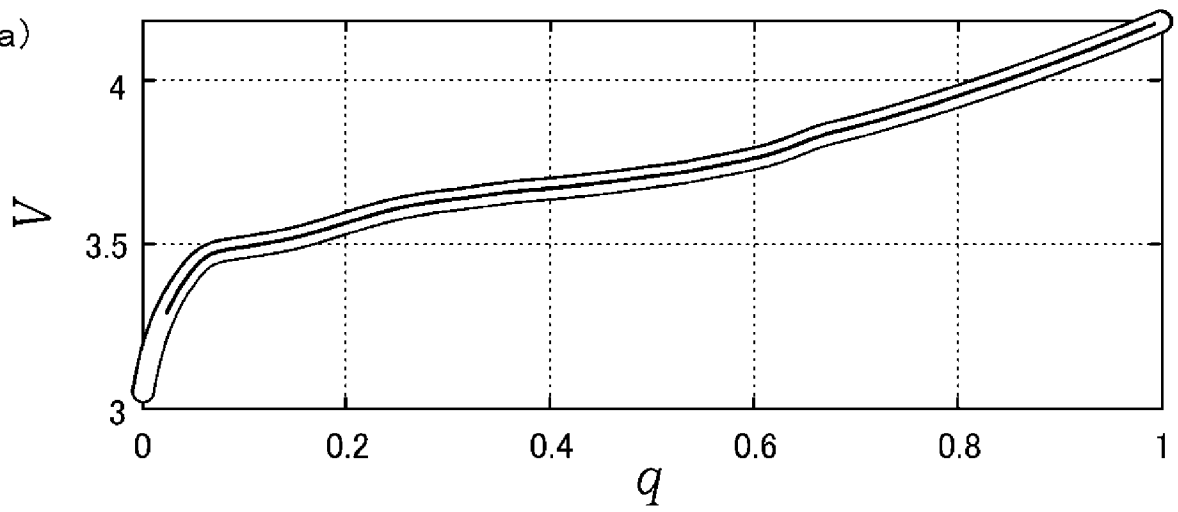
図 8



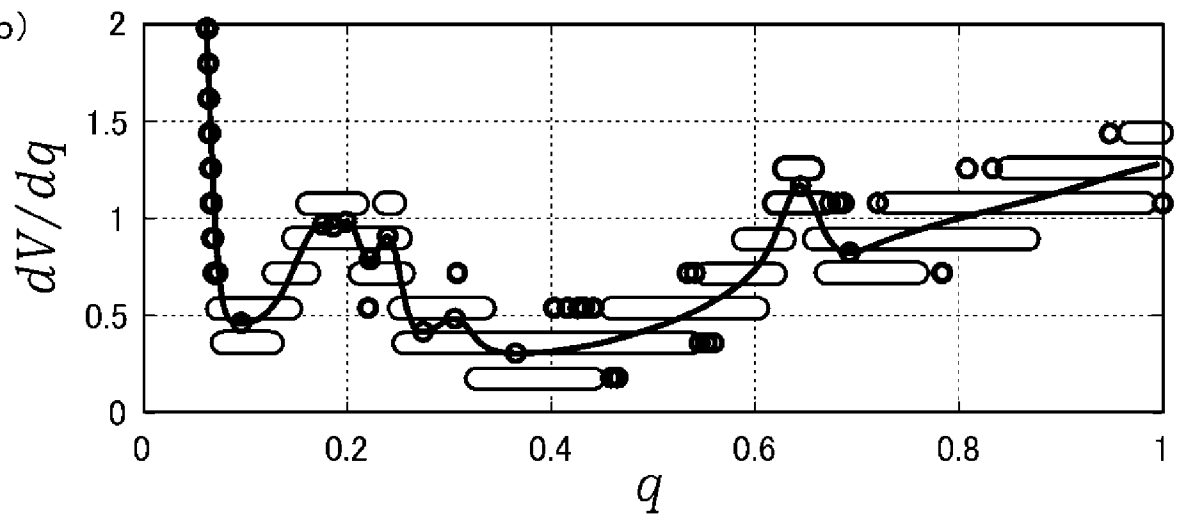
[図9]

図 9

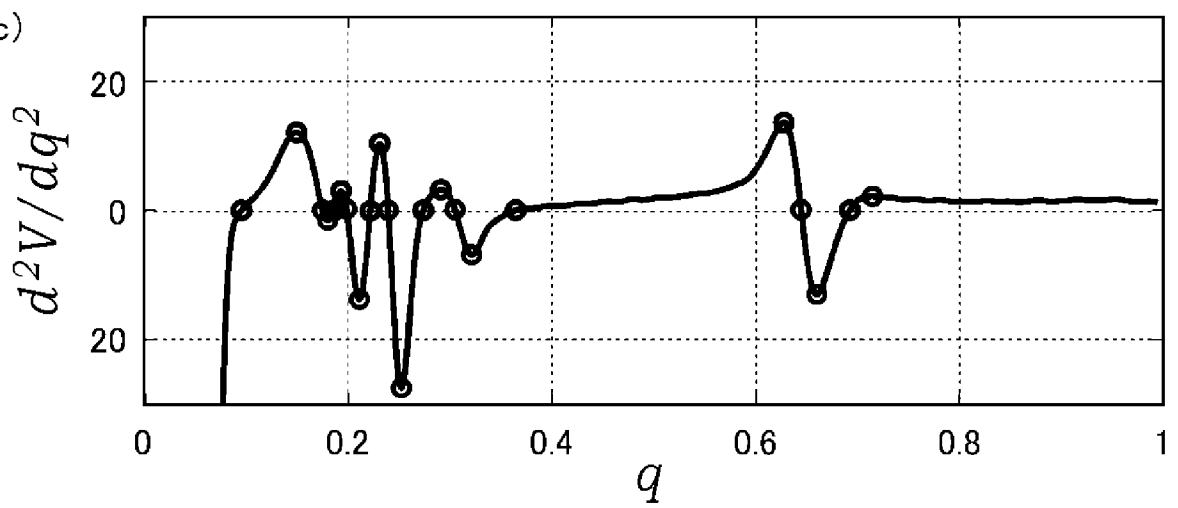
(a)



(b)

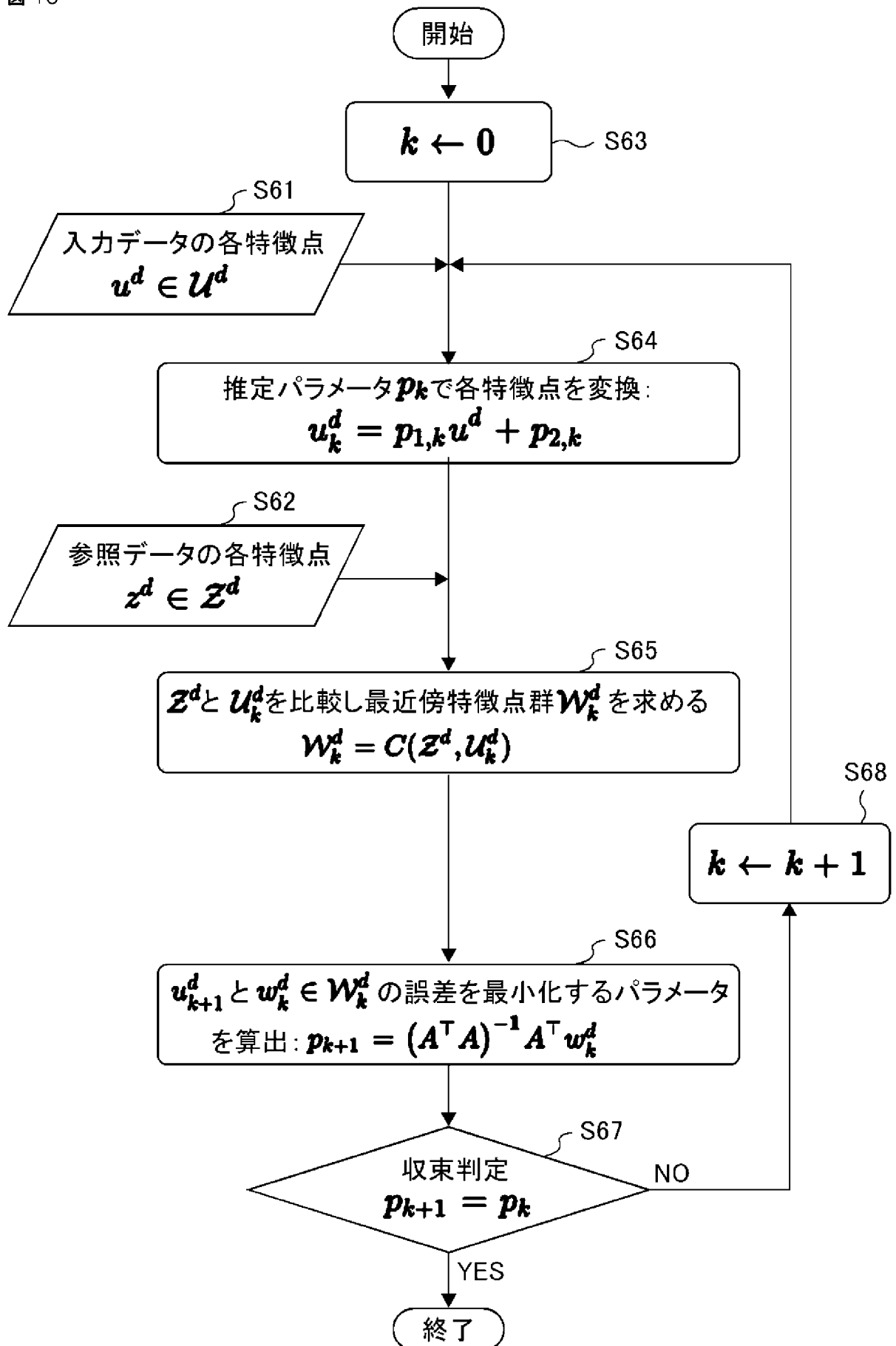


(c)



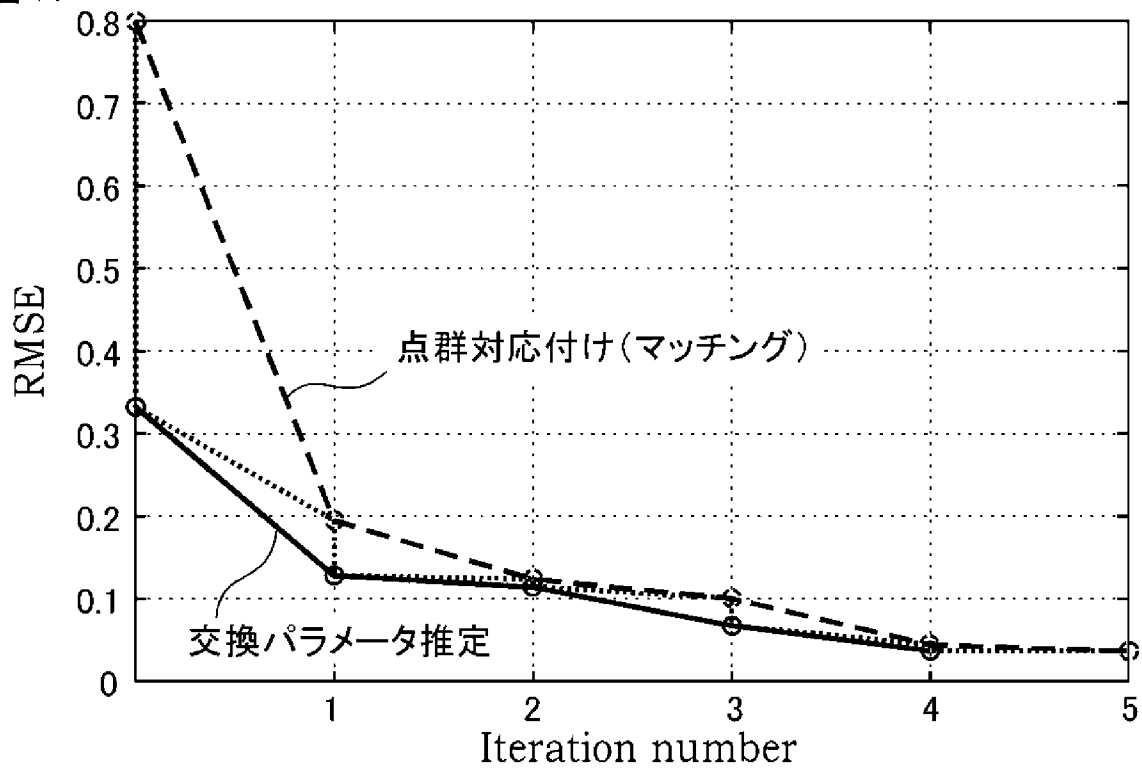
[図10]

図 10



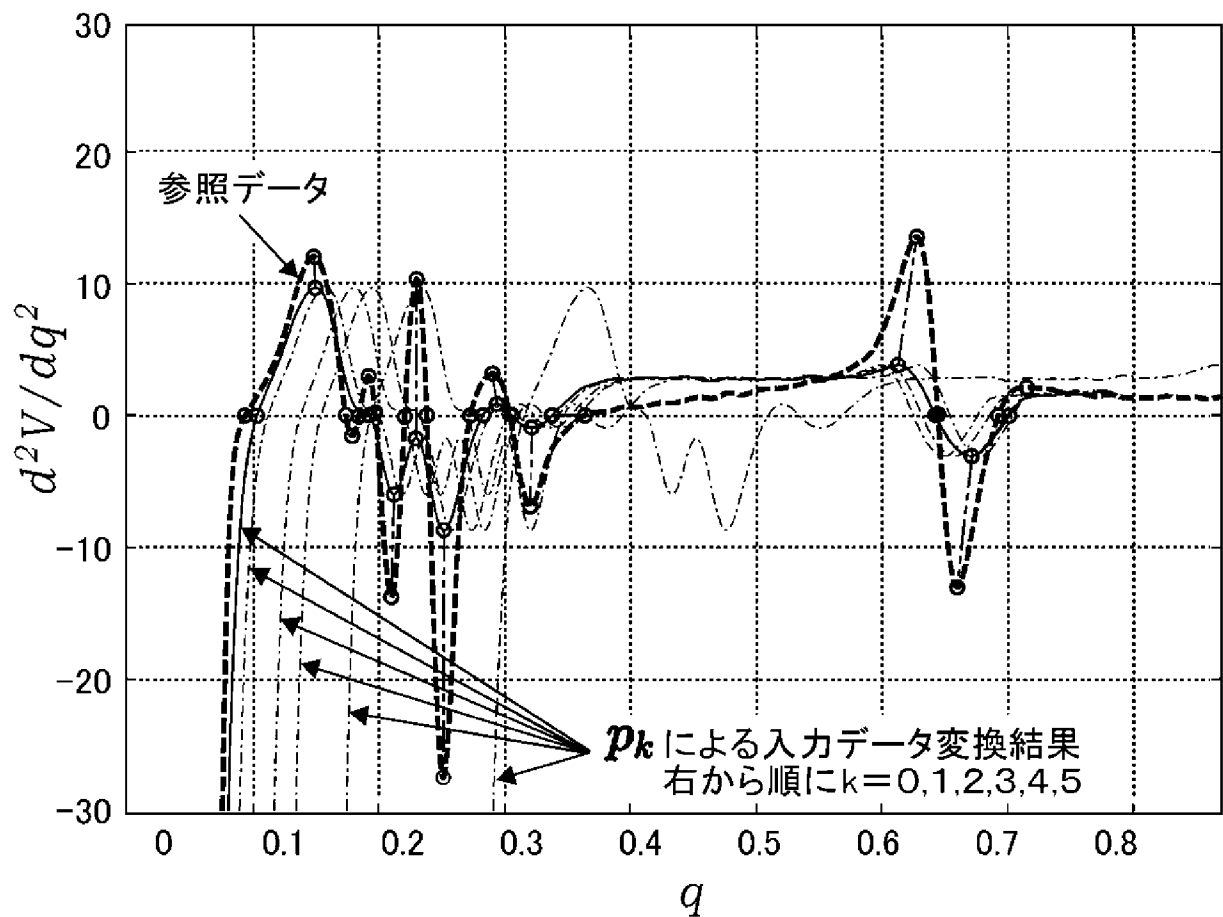
[図11]

図 11



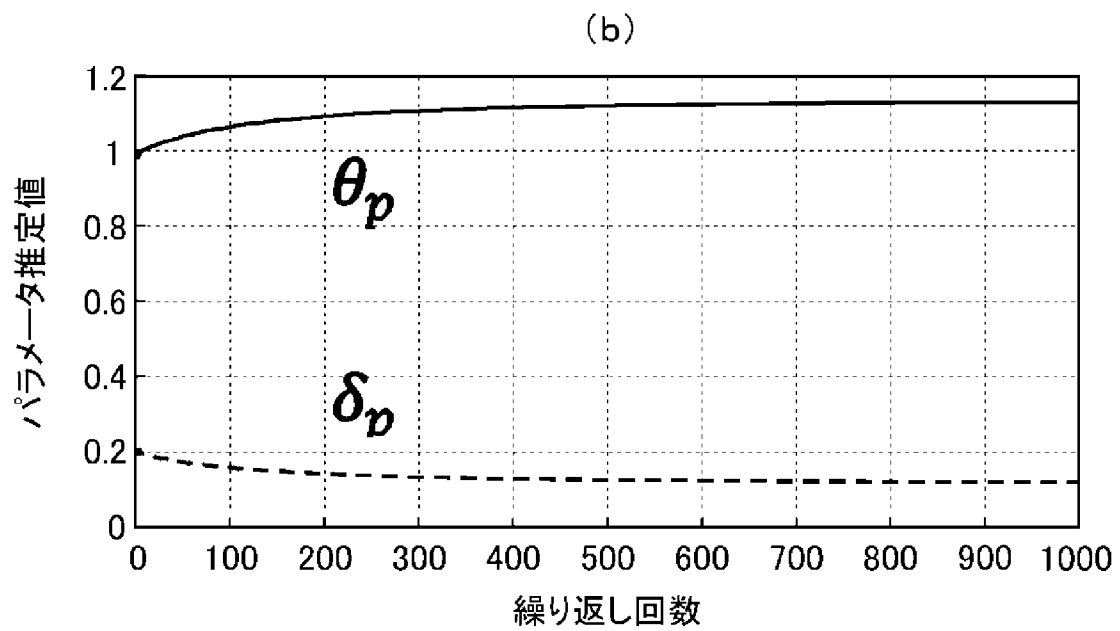
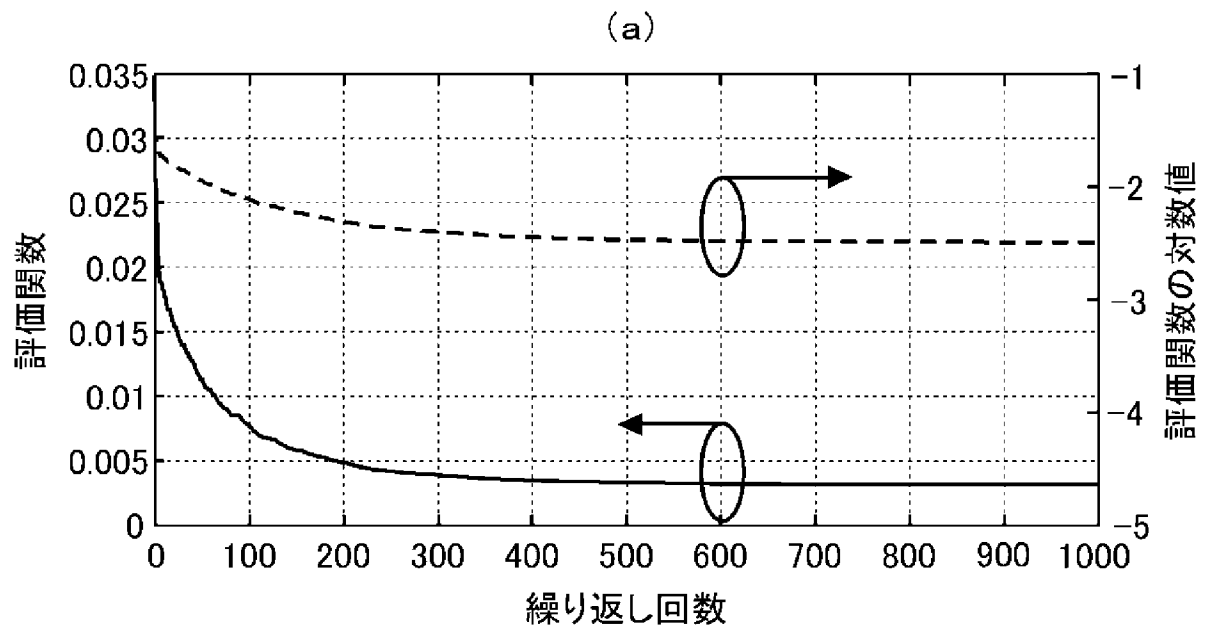
[図12]

図 12



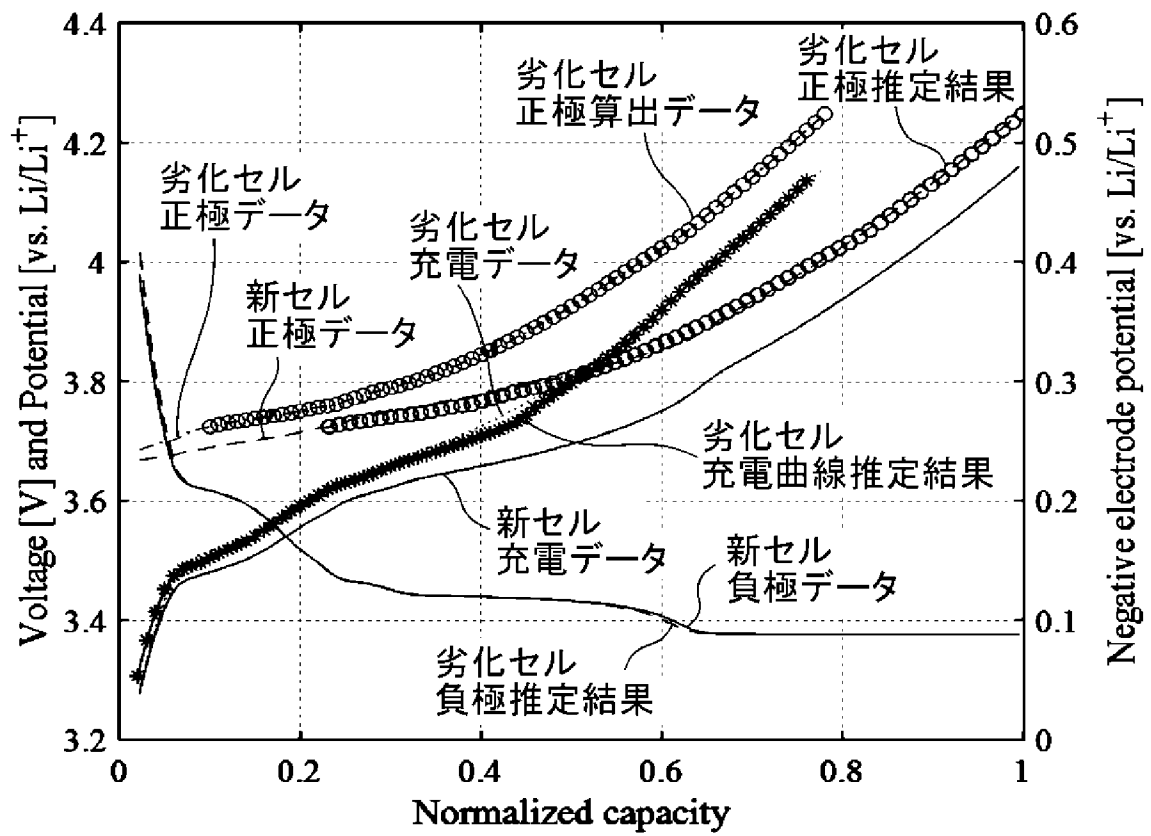
[図13]

図 13



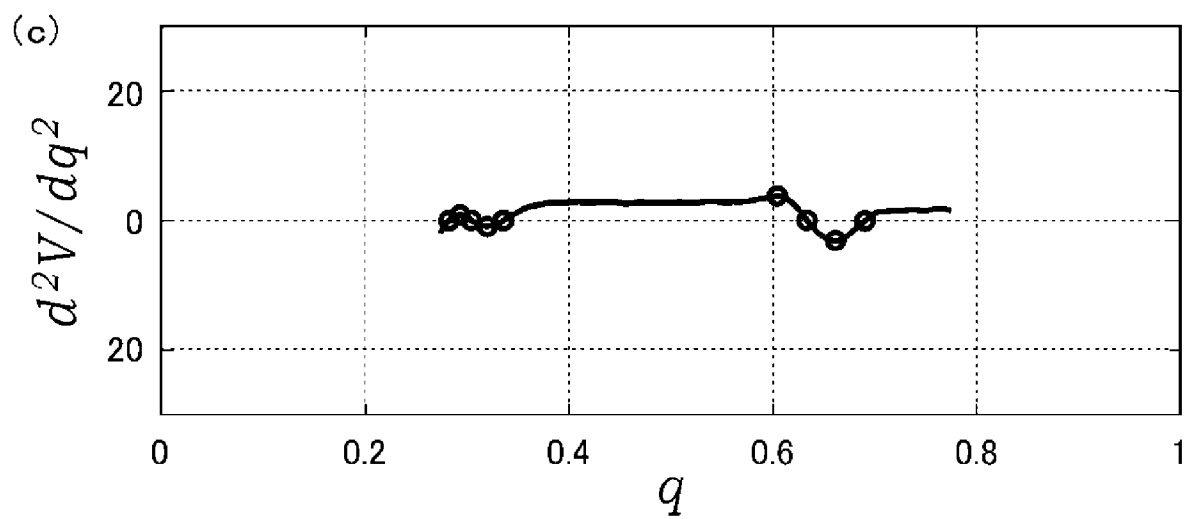
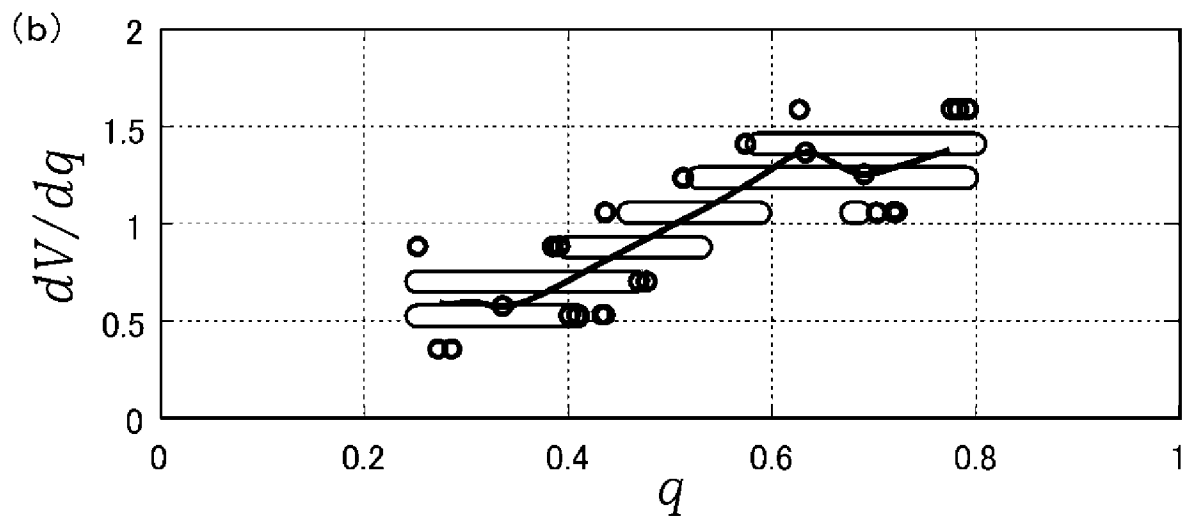
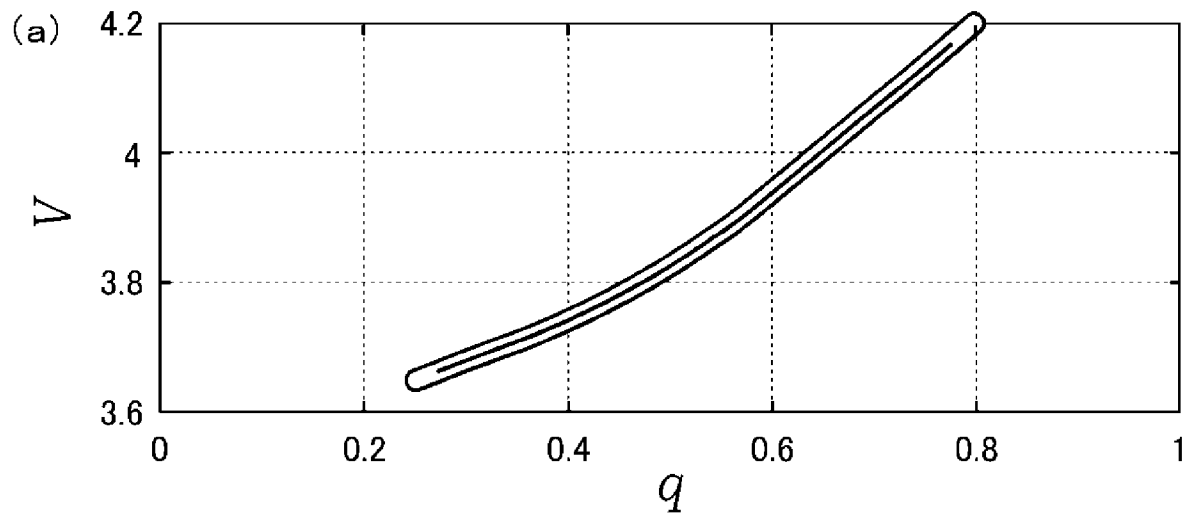
[図14]

図 14



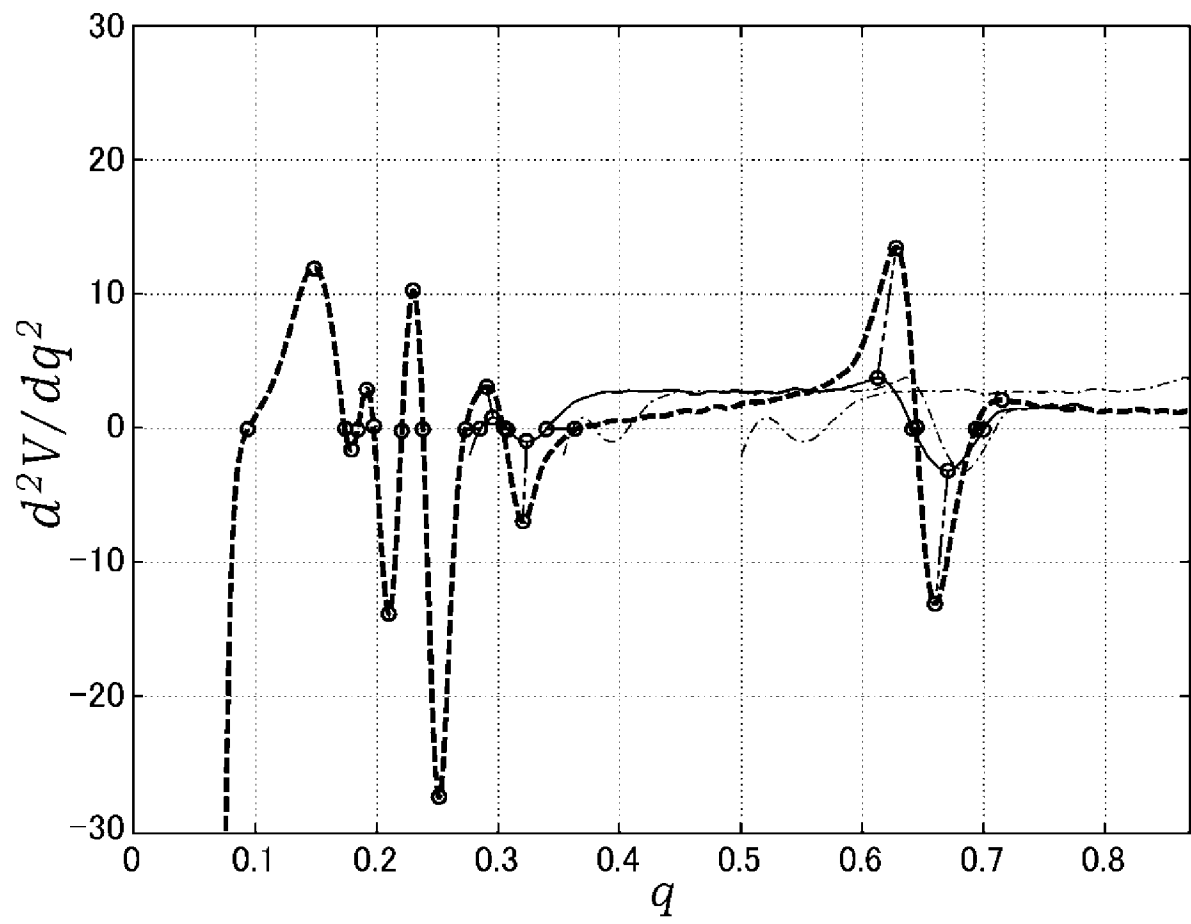
[図15]

図 15



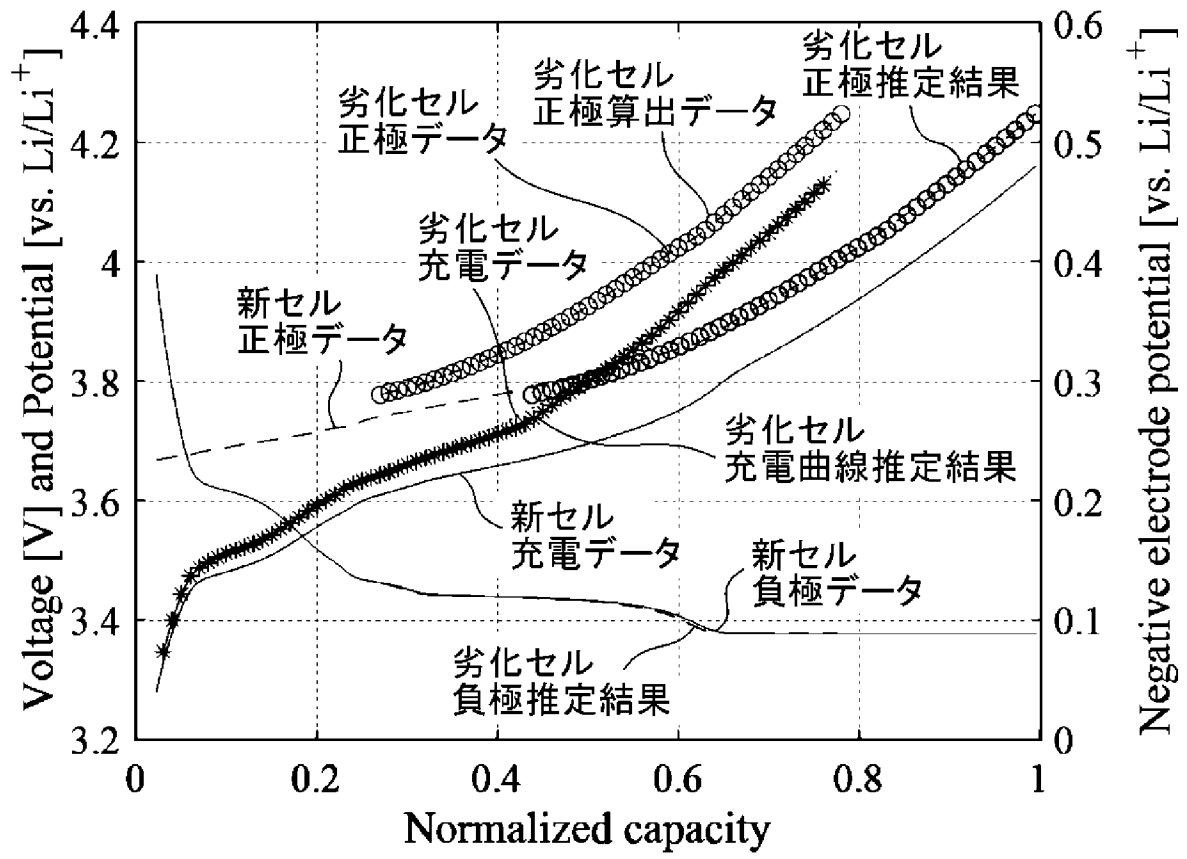
[図16]

図 16



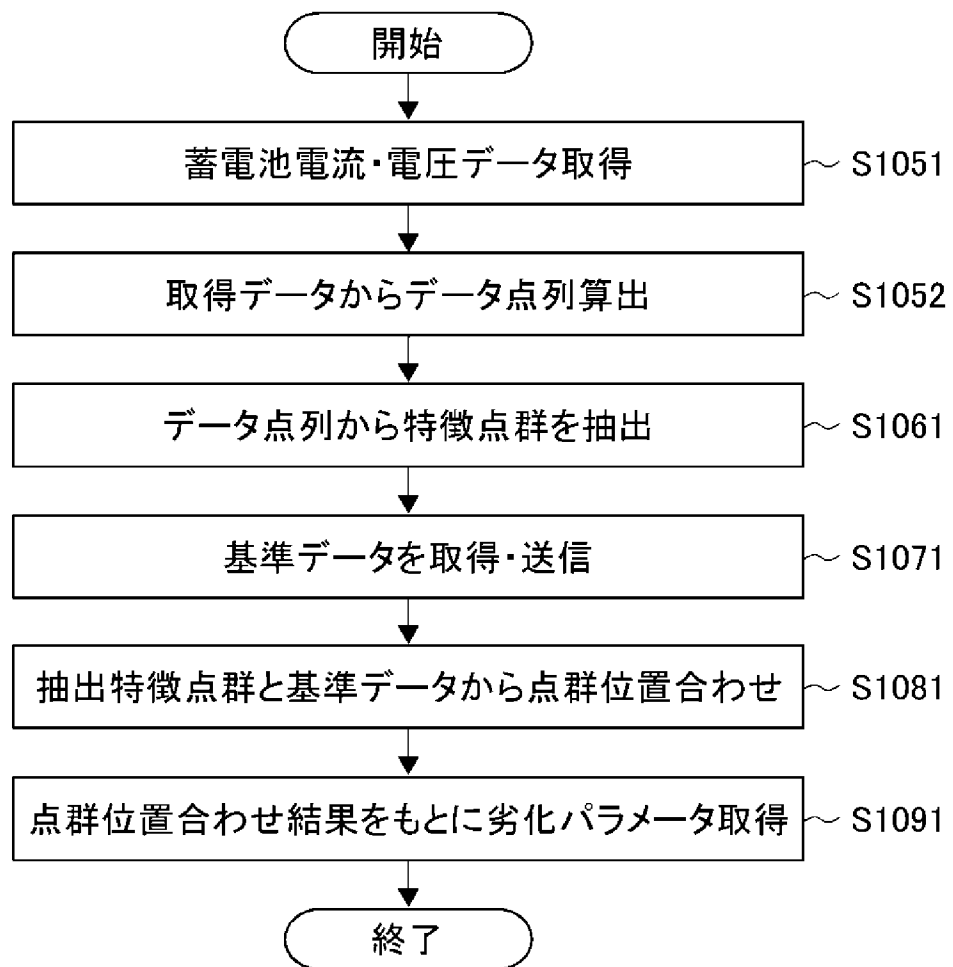
[図17]

図 17



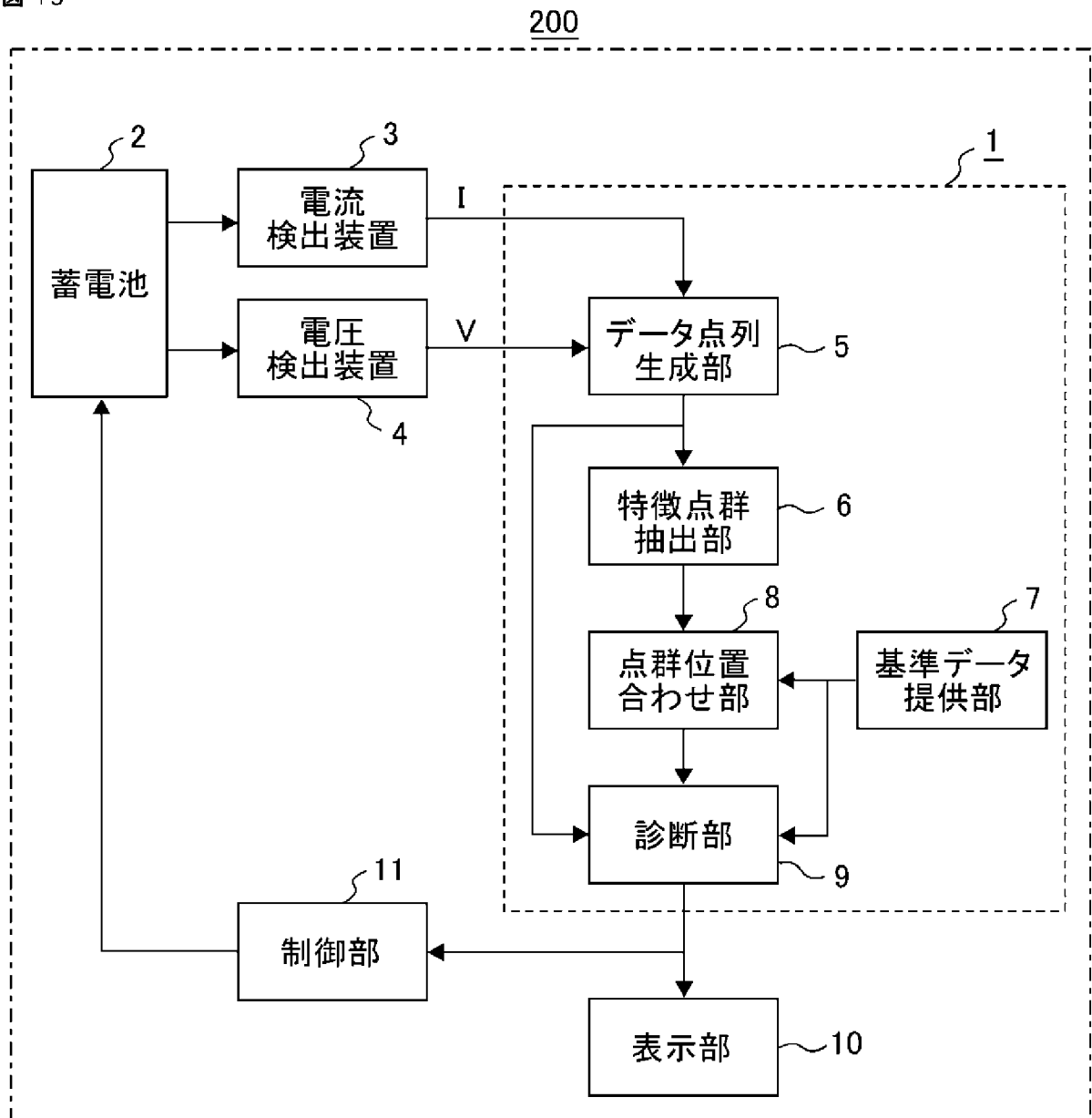
[図18]

図 18



[図19]

図 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/018216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01R31/392(2019.01)i
FI: G01R31/392

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)

Int.Cl. G01R31/392, G01R31/36, H01M10/42, H01M10/48, H02J7/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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.
X	JP 2017-129493 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP.) 27 July	1, 4
Y	2017 (2017-07-27), paragraphs [0001], [0052]-	18
A	[0057], fig. 5(a), 5(b), 5(c)	5-11, 13-17
Y	JP 2012-212513 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 01 November 2012 (2012-11-01), paragraphs [0001], [0043]-[0047], fig. 3, 4	18
A	WO 2016/203655 A1 (HITACHI, LTD.) 22 December 2016 (2016-12-22), entire text, all drawings	1, 4-11, 13-18
A	WO 2019/069435 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 11 April 2019 (2019-04-11), entire text, all drawings	1, 4-11, 13-18
A	JP 2013-247003 A (SONY CORP.) 09 December 2013 (2013-12-09), entire text, all drawings	1, 4-11, 13-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 June 2021

Date of mailing of the international search report

13 July 2021

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

International application No.

PCT/JP2021/018216

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2015/0002162 A1 (BLACKBERRY LIMITED) 01 January 2015 (2015-01-01), entire text, all drawings	1, 4-11, 13-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/018216

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17 (2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

(I) Claim 2 includes the recitation "performing point set registration between data point sequences of the Z_I order integral curve and the reference Z_I order integral curve ...".

On examining this invention-defining matter, the detailed description of the invention (in particular, refer to paragraphs [0076]-[0122] and [0140], and fig. 6 and 16) indicates that feature points obtained from a first or second order derivative voltage curve obtained by performing first or second order differentiation on a voltage V - capacity q characteristic curve, i.e., the concave point of inflection, convex point of inflection, maximum point, minimum point, positive zero cross point, and negative zero cross point are used as a data point sequence, and point set registration is performed using the data point sequence formed of the feature points, i.e., the concave point of inflection, convex point of inflection, maximum point, minimum point, positive zero cross point, and negative zero cross point, and

that generally speaking, differentiation attenuates a low frequency component and amplifies a high frequency component, whereas integration attenuates a high frequency component and amplifies a low frequency component.

However, the description does not at all indicate what feature points are obtained from the Z_I order integral curve, or what feature points obtained from the Z_I order integral curve are used as the data point sequence. Thus the point set registration between data point sequences using the Z_I order integral curve cannot be carried out.

A similar evaluation applies to the feature recited in claim 3 of "estimating, on the basis of the result of the point set registration between data point sequences of the Z_I order integral curve and the reference Z_I order integral curve, a parameter indicating the status of deterioration of the other electrode".

Accordingly, the detailed description of the invention of this application does not disclose the invention of claims 2 and 3, and the invention of claim 12 citing claims 2 and 3 alone in a manner sufficiently clear and complete for the inventions to be carried out by a person skilled in the art.

(ii) As above, the invention of claims 2-3 and 12 is not disclosed in a manner sufficiently clear and complete for the invention to be carried out, and thus cannot be examined as to novelty and inventive step in a meaningful manner.

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCTPCT/JP2021/018216

JP 2017-129493 A	27 July 2017	US 2017/0212170 A1 fig. 5(a), 5(b), 5(c), paragraphs [0002], [0090]-[0098] EP 3196663 A1 CN 107064805 A
JP 2012-212513 A	01 November 2012	(Family: none)
WO 2016/203655 A1	22 December 2016	(Family: none)
WO 2019/069435 A1	11 April 2019	CN 111164824 A entire text, all drawings
JP 2013-247003 A	09 December 2013	US 2013/0314050 A1 entire text, all drawings CN 103457003 A
US 2015/0002162 A1	01 January 2015	US 2013/0069658 A1 entire text, all drawings

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01R 31/392(2019.01)i FI: G01R31/392		
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）） G01R31/392; G01R31/36; H01M10/42; 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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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
X	JP 2017-129493 A（横河電機株式会社）27.07.2017（2017-07-27） 段落 [0001]、[0052] - [0057]、[図5]（a）（b）（c）	1,4
Y		18
A		5-11,13-17
Y	JP 2012-212513 A（トヨタ自動車株式会社）01.11.2012（2012-11-01） 段落 [0001]、[0043] - [0047]、[図3]、[図4]	18
A	WO 2016/203655 A1（株式会社日立製作所）22.12.2016（2016-12-22） 全文、全図	1,4-11,13-18
A	WO 2019/069435 A1（三菱電機株式会社）11.04.2019（2019-04-11） 全文、全図	1,4-11,13-18
A	JP 2013-247003 A（ソニー株式会社）09.12.2013（2013-12-09） 全文、全図	1,4-11,13-18
A	US 2015/0002162 A1（BLACKBERRY LIMITED）01.01.2015（2015-01-01） 全文、全図	1,4-11,13-18
☐ 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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “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 “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） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “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 “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 “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 30.06.2021		国際調査報告の発送日 13.07.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 永井 皓喜 2S 5701 電話番号 03-3581-1101 内線 3216

第Ⅱ欄

請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項
は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☒ 請求項 2-3, 12
は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
(i) 請求項 2 には「前記 Z_I 階積分曲線と前記基準 Z_I 階積分曲線のデータ点列同士で点群位置合わせを行う…」と記載されている。
この発明特定事項について検討すると、発明の詳細な説明には、電圧 V－容量 q 特性曲線に対して、一階微分、あるいは、二階微分を実施した一階微分電圧曲線、二階微分電圧曲線により得られる特徴点である凹変曲点、凸変曲点、極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点をデータ点列とし、当該特徴点である凹変曲点、凸変曲点、極大点、極小点、正ゼロクロス点、負ゼロクロス点をからなるデータ点列を用いて、点群位置合わせを行うこと、
一般的に微分すると低周波成分が減衰され高周波成分が増幅されるのに対し、積分すると高周波成分が減衰され低周波成分が増幅されることが記載されている（特には、段落[0076]－[0122]，[0140]，[図6]－[図16]を参照）。
しかしながら、Z_I 階積分曲線により、どのような特徴点が得られるのか、また、Z_I 階積分曲線により得られるどのような特徴点を、データ点列とするのか、何ら記載されておらず、当該 Z_I 階積分曲線を用いたデータ点列同士の点群位置合わせを実施することができない。
請求項 3 に記載の「前記 Z_I 階積分曲線と前記基準 Z_I 階積分曲線のデータ点列同士の点群位置合わせの結果から他方の電極の劣化の状態を示すパラメータを推定する」についても同様である。

したがって、この出願の発明の詳細な説明は、当業者が、請求項 2、3 に係る発明、及び、当該請求項 2、3 のみを引用する請求項 1 2 に係る発明を実施することができる程度に明確かつ十分に記載されたものでない。

(ii) 上記のように、請求項 2－3、1 2 に係る発明は、発明を実施することができる程度に明確かつ十分に記載されたものでないから、新規性、進歩性の有意義な審査を行うことができない。
3. ☐ 請求項
は、従属請求の範囲であって PCT 規則 6.4(a) の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/018216

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-129493	A	27.07.2017	US 2017/0212170 A1 FIG. 5(a)(b)(c), 段落 [0002], [0090]–[0098] EP 3196663 A1 CN 107064805 A	
JP	2012-212513	A	01.11.2012	(ファミリーなし)	
WO	2016/203655	A1	22.12.2016	(ファミリーなし)	
WO	2019/069435	A1	11.04.2019	CN 111164824 A 全文, 全図	
JP	2013-247003	A	09.12.2013	US 2013/0314050 A1 全文, 全図 CN 103457003 A	
US	2015/0002162	A1	01.01.2015	US 2013/0069658 A1 全文, 全図	