(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
2023年1月19日(19.01.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/286452 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 31/367 (2019.01) *G01R 31/392* (2019.01)
G01R 31/387 (2019.01) *H01M 10/42* (2006.01)
G01R 31/389 (2019.01) *H01M 10/48* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/021067

(22) 国際出願日： 2022年5月23日(23.05.2022)

(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 2021-117063 2021年7月15日(15.07.2021) JP

(71) 出願人：株式会社豊田中央研究所(**KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO KENKYUSHO**) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道４１番地の１ Aichi (JP).

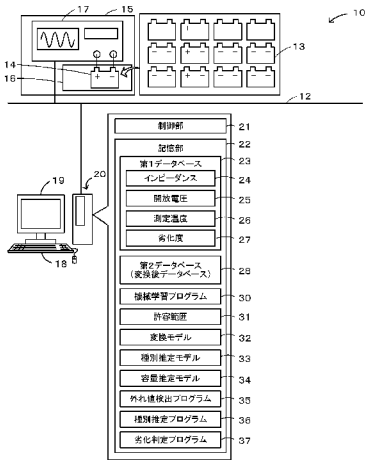
(72) 発明者： 間 広文 (**HAZAMA Hirofumi**); 〒4801192 愛知県長久手市横道４１番地の１ 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 近藤 広規 (**KONDO Hiroki**); 〒4801192 愛知県長久手市横道４１番地の１ 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).

(74) 代理人：弁理士法人アイテック国際特許事務所 (**ITEC INTERNATIONAL PATENT FIRM**); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦二丁目１６番２６号ＳＣ伏見ビル Aichi (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, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, 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, 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.

(54) **Title:** EVALUATION DEVICE, EVALUATION SYSTEM, EVALUATION METHOD, AND PROGRAM THEREFOR

(54) 発明の名称： 評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラム



21 Control unit
22 Storage unit
23 First database
24 Impedance
25 Open circuit voltage
26 Measured temperature
27 Degree of deterioration
28 Second database (post-conversion database)
30 Machine learning program
31 Acceptable range
32 Conversion model
33 Type estimation model
34 Capacity estimation model
35 Outlier detection program
36 Type estimation program
37 Deterioration assessment program

(57) **Abstract:** This evaluation device comprises: a first database including, as data, a measured factor for a first type of accumulation device; a second database including, as data, a measured factor for a second type of accumulation device different from the first type; and a conversion model for converting data through machine learning. The evaluation device acquires a post-conversion database by increasing the number of data points in the second database through the use of the conversion model to convert the first database data into second database data. The evaluation device uses the post-conversion database to evaluate the second type of accumulation device.

(57) 要約：評価装置は、第１種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第１データベースと、第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第２データベースと、機械学習によりデータを変換する変換モデルと、を有し、変換モデルを用いて第１データベースのデータを第２データベースのデータへ変換して第２データベースのデータ点数を増加した変換後データベースを取得し、変換後データベースを用いて第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する。

WO 2023/286452 A1

［続葉有］

(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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

明　細　書

発明の名称 ：

評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラム

技術分野

[0001] 本明細書では評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラムを開示する。

背景技術

[0002] 従来、蓄電デバイスの評価方法としては、例えば、交流インピーダンス法とパターン分類アルゴリズムを用いた機械学習によるリチウムイオン二次電池の劣化診断方法が提案されている（例えば、特許文献１参照）。この評価方法では、リチウムイオン電池等の劣化判定を高速に行うことができるとしている。また、蓄電デバイスの容量劣化の推定方法としては、交流インピーダンスの測定結果で重回帰分析による容量劣化診断を行う方法が提案されている（例えば、特許文献２参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、リチウムイオン電池、ニッケル・カドミウム電池およびニッケル水素電池の種別を検出し、それぞれの充電制御方式の充電時間、例えば、リチウムイオン電池は定電流充電（ＣＣ）時間で容量劣化を推定するものが提案されている（例えば、特許文献３参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、電圧と電流の測定値から等価回路により解析し、その値を基に鉛電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、ニッケル・カドミウム電池のいずれかであることを特定するものが提案されている（例えば、特許文献４参照）。この方法では、手法はニューラルネットワーク、サポートベクターマシンを推奨している。

[0003] また、蓄電デバイスの評価方法としては、電池サイクリング機器を使用して訓練データセット（電圧、電流、温度、内部抵抗など）を収集し、機械学習により電池セル動作特性を予測するものが提案されている（例えば、特許文献５参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、定電流（ＣＣ）充

電を行い、Ｖｃに達したら定電圧（ＣＶ）充電に切り替え、その時点から時間ｔだけ経過した充電電流値Ｉｔを用いて容量を推定する方法が提案されている（例えば、特許文献６参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、放電時の磁場を測定して容量劣化を評価する方法が提案されている（例えば、特許文献７参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、ひずみゲージにより体積変化を感知し、容量劣化がない領域でも電池の膨張による劣化を推定できるものが提案されている（例えば、特許文献８参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、正負のパルス電流を印加し、正負それぞれの電圧値の関係から抵抗劣化を推定するものが提案されている（例えば、特許文献９参照）。また、蓄電デバイスの評価方法としては、温度、電流、電圧から内部抵抗と残容量（State Of Charge：ＳＯＣ）を算出し、それらにより劣化評価を行うものが提案されている（例えば、特許文献１０参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１６－９０３４６号公報

特許文献2：特開２０１４－４４１４９号公報

特許文献3：特開平１１－３２９５１２号公報

特許文献4：特開２０１４－１７８２１３号公報

特許文献5：特開２０１９－１１３５２４号公報

特許文献6：特開２００１－２５７００８号公報

特許文献7：特開２０１４－８９８１９号公報

特許文献8：特開２０２０－２４８０８号公報

特許文献9：特開２０２０－２０７１５号公報

特許文献10：特開２０１０－２６１８０７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上述の特許文献１、２では、交流インピーダンス法と機械

学習の組み合わせで電池の劣化診断を行っているが、参照するデータベースが十分なデータ量を有しなければ予測精度が上がらず、十分な参照データベースを用意する必要があった。また、特許文献３～８においても、参照するデータベースのデータ量が十分でないと予測精度が上がらないため、十分な参照データベースを用意する必要があった。特に、複数の種別の電池の劣化診断を行う場合、電池種の同定およびその劣化診断を行うために、十分な各電池種の参照データベースを用意する必要があった。

[0006] 本開示は、このような課題に鑑みなされたものであり、より効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる新規な評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラムを提供することを主目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上述した目的を達成するために鋭意研究したところ、本発明者らは、データ点数の少ない種別のデータベースに対して、種別の異なるデータベースを機械学習を用いて転用するものとすれば、データ測定などをより低減するなど効率をより高め、且つ精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができることを見いだし、本明細書で開示する発明を完成するに至った。

[0008] 即ち、本明細書で開示する評価装置は、

複数の種別を含む蓄電デバイスの評価を実行する評価装置であって、

第１種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第１データベースと、前記第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第２データベースと、蓄電デバイスの測定因子を用い機械学習によりデータを変換する変換モデルと、を有し、前記変換モデルを用いて前記第１データベースのデータを前記第２データベースのデータへ変換して前記第２データベースのデータ点数を増加した変換後データベースを取得し、該変換後データベースを用いて前記第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する制御部、を備えたものである。

[0009] 本明細書で開示する評価システムは、

蓄電デバイスの測定因子の測定結果を得る測定装置と、

上述した評価装置と、を備え、

前記制御部は、前記測定装置から前記蓄電デバイスの測定結果を取得するものである。

[0010] 本明細書で開示する評価方法は、

複数の種別を含む蓄電デバイスの評価を実行する評価方法であって、

第１種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第１データベースと、前記第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第２データベースと、蓄電デバイスの測定因子を用い機械学習によりデータを変換する変換モデルと、を有し、前記変換モデルを用いて前記第１データベースのデータを前記第２データベースのデータへ変換して前記第２データベースのデータ点数を増加した変換後データベースを取得する変換ステップと、

前記変換後データベースを用いて前記第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する評価ステップと、

を含むものである。

[0011] 本明細書で開示するプログラムは、上述した評価方法の各ステップを１又は複数のコンピュータに実現させるものである。このプログラムはコンピュータが読み取り可能な記録媒体（例えばハードディスク、ＲＯＭ、ＦＤ、ＣＤ、ＤＶＤなど）に記録されていてもよいし、伝送媒体（インターネットやＬＡＮなどの通信網）を介してあるコンピュータから別のコンピュータへ配信されてもよいし、その他どのような形で授受されてもよい。

発明の効果

[0012] 本開示の評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラムでは、より効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる。本開示がこのような効果を奏する理由は、以下のように推察される。例えば、蓄電デバイスの性能を精度よく推定するためには、蓄電デバイスの測定データなど、測定因子を充実させることが求められる。本開示では、既に準備してあるデータベースを、データ点数が不十分なデータベースに機械学習を用

いて転用することにより、データベースを拡充するものとする。このため、充実したデータベースを用意することなく、蓄電デバイスの劣化診断のための異常値検出や、種別の判定、更に、蓄電江波イスの容量や抵抗の推定などを精度よく実行可能になる。その結果、例えば、蓄電デバイスの劣化診断なども高精度化できる。したがって、本開示では、より効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる。ここで、「種別」には、例えば、鉛蓄電池や、ニッケル水素電池、リチウムイオン二次電池など、蓄電デバイス自体の種別に加え、同一の蓄電デバイス種別での製品種別も含むものとする。また、「製品種別」には、同一の蓄電デバイス種別（例えば、リチウムイオン二次電池）において、異なる種別（Ａ社のブランドａ及びブランドｂや、Ａ社製品及びＢ社製品など）を含むものとする。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]評価システム１０の一例を示す説明図。

[図2]変換処理ルーチンの一例を示すフローチャート。

[図3]推定モデル構築処理ルーチンの一例を示すフローチャート。

[図4]劣化度判定処理ルーチンの一例を示すフローチャート。

[図5]診断結果を表す表示画面４０の説明図。

[図6]変換処理と外れ値検出と劣化推定との関係を説明するスキーム。

[図7]リチウムイオン二次電池（ＬＩＢ）の新品と劣化電池の測定結果。

[図8]劣化電池とＬＯＦの評価値との関係図。

[図9]新品電池と劣化電池のインピーダンス実部の周波数依存性を示す測定結果。

[図10]新品及び劣化電池のインピーダンス虚部の周波数依存性を示す測定結果。

[図11]容量実験値と容量予測値との関係図。

[図12]容量実験値と抵抗予測値との関係図。

[図13]周波数（Ｈｚ）と測定時間（ｓ）との関係図。

[図14]測定点数とＲＭＳＥ（ｍＡｈ）との関係図。

[図15]インピーダンスの直接測定と電流ステップ法による間接測定との関係図。

[図16]単独種又は３種混合で予測した容量実験値と容量予測値との関係図。

[図17]予測モデルを用いた予測値と実測値との関係図。

[図18]ＳＯＣ５０％、温度２０℃における新品電池のインピーダンスの例。

[図19]変換モデルにより予測したインピーダンスの予測値と実験値との関係図。

[図20]異常データを加えた第２電池のデータＮｏ．とＬＯＦとの関係図。

[図21]３本の第２電池の容量とそれぞれに対応した第１電池の容量との関係図。

[図22]変換後データベースの予測モデルによる実測及び予測容量値との関係図。

[図23]変換後データベースを用いて劣化電池の容量を予測した結果図。

[図24]ＬＯＦの小さい順にソートを行った結果図。

[図25]ＬＯＦと頻度との関係図。

発明を実施するための形態

[0014] （評価装置）

本明細書で開示する評価装置の実施形態を図面を参照しながら以下に説明する。図１は、評価システム１０の一例を示す概略説明図である。評価システム１０は、例えば、使用済みの蓄電デバイス１３を回収する回収施設などに備えられており、蓄電デバイス１３の劣化度などの特性を評価するシステムである。この評価システム１０は、回収した蓄電デバイス１３の劣化度を推定して、リユース可能かリサイクルすべきかについての判定を行う。リユース可能な蓄電デバイス１３は、再調整されて出荷され、リサイクルすべき蓄電デバイス１３はリサイクルされる。この評価システム１０は、測定装置１５と、評価装置２０とを備えている。評価システム１０は、ＬＡＮやインターネットなどを含むネットワーク１２を介して測定装置１５と評価装置２０との間で情報をやりとりする。

[0015] 蓄電デバイス１３は、例えば、ハイブリッドキャパシタ、疑似電気二重層キャパシタ、リチウムやナトリウムのアルカリ金属二次電池、アルカリ金属イオン電池、空気電池などが挙げられる。このうち、蓄電デバイス１３としては、リチウム二次電池、特にリチウムイオン二次電池が好ましい。ここでは、蓄電デバイス１３がリチウムイオン二次電池であるものとして主として説明する。蓄電デバイス１３は、例えば、正極と、負極と、正極及び負極の間に介在しキャリアイオンを伝導するイオン伝導媒体と、を備えるものとしてもよい。正極は、正極活物質として、遷移金属元素を含む硫化物や、リチウムと遷移金属元素とを含む酸化物などを含むものとしてもよい。正極活物質は、例えば、基本組成式を$Li_{(1-x)}MnO_2$（０＜ｘ＜１など、以下同じ）や$Li_{(1-x)}Mn_2O_4$などとするリチウムマンガン複合酸化物、基本組成式を$Li_{(1-x)}CoO_2$などとするリチウムコバルト複合酸化物、基本組成式を$Li_{(1-x)}NiO_2$などとするリチウムニッケル複合酸化物、基本組成式を$Li_{(1-x)}Ni_aCo_bMn_cO_2$（ａ＋ｂ＋ｃ＝１）などとするリチウムニッケルコバルトマンガン複合酸化物などを用いることができる。なお、「基本組成式」とは、他の元素を含んでもよい趣旨である。負極は、負極活物質として炭素材料やリチウムを含む複合酸化物などを含むものとしてもよい。負極活物質は、例えば、リチウム、リチウム合金、スズ化合物などの無機化合物、リチウムイオンを吸蔵放出可能な炭素材料、複数の元素を含む複合酸化物、導電性ポリマーなどが挙げられる。炭素材料としては、例えば、コークス類、ガラス状炭素類、グラファイト類、難黒鉛化性炭素類、熱分解炭素類、炭素繊維などが挙げられる。このうち、人造黒鉛、天然黒鉛などのグラファイト類が好ましい。複合酸化物としては、例えば、リチウムチタン複合酸化物やリチウムバナジウム複合酸化物などが挙げられる。イオン伝導媒体は、例えば、支持塩を溶解した電解液とすることができる。支持塩としては、例えば、$LiPF_6$や$LiBF_4$、などのリチウム塩が挙げられる。電解液の溶媒は、例えば、カーボネート類、エステル類、エーテル類、ニトリル類、フラン類、スルホラン類及びジオキソラン類などが挙げられ、これらを単独又は混合して用いることが

できる。具体的には、カーボネート類としてエチレンカーボネートやプロピレンカーボネート、ビニレンカーボネート、ブチレンカーボネート、クロロエチレンカーボネートなどの環状カーボネート類や、ジメチルカーボネート、エチルメチルカーボネート、ジエチルカーボネート、エチル－ｎ－ブチルカーボネート、メチル－ｔ－ブチルカーボネート、ジ－ｉ－プロピルカーボネート、ｔ－ブチル－ｉ－プロピルカーボネートなどの鎖状カーボネート類等が挙げられる。また、イオン伝導媒体は、固体のイオン伝導性ポリマーや、無機固体電解質あるいは有機ポリマー電解質と無機固体電解質の混合材料、若しくは有機バインダーによって結着された無機固体粉末などを利用することができる。固体電解質やこの蓄電デバイス１３は、正極と負極との間にセパレータを配置してもよい。

[0016] 測定装置１５は、蓄電デバイス１３の測定因子の測定結果を得る装置である。測定因子は、蓄電デバイスの特性に関するものとすることができ、例えば、交流インピーダンスの実部Ｚ’や虚部Ｚ”、その測定温度Ｔ、開放電圧Ｖ、時間ｔ経過後の充電電流値Ｉｔ、放電時の磁場、セルの体積変化、正負のパルス電流を印加したときの電圧値、内部抵抗と残容量ＳＯＣなどが挙げられる。この測定装置１５は、測定因子として、交流インピーダンスを直接又は間接的に測定し、測定温度Ｔでのインピーダンスの実部Ｚ’と虚部Ｚ”とを求める装置とする。また、測定装置１５は、蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖ（Ｖ）を測定可能とする。この測定装置１５は、処理対象１４としての蓄電デバイス１３を測定温度Ｔに調節して収容する恒温槽１６と、処理対象１４に電気的に接続し交流電流を印加する交流インピーダンスアナライザ１７とを備える。また、測定装置１５は、交流インピーダンスを直接求めるものとしてもよいが、例えば、電流ステップ法や電圧ステップ法、電流パルス法などによって交流インピーダンスを間接的に求めるものとしてもよい。電流ステップ法では、所定の電流（例えば、０．１Ｃなど）、所定時間（例えば０．０１ｓなど）、印加したときの電圧の振る舞いを測定し、このときの電流と電圧を用いて、ラプラス変換により所定の周波数（例えば、１００Ｈ

ｚ）における実部Ｚ’や虚部Ｚ”を求めることができる。測定装置１５はネットワーク１２を介して測定結果を評価装置２０へ出力する。

[0017] 評価装置２０は、劣化度が既知である蓄電デバイスを測定した結果から得られた特性推定モデル３４を利用し、劣化度が不明の処理対象１４を測定した結果からこの処理対象１４の劣化度を推定する劣化度推定処理を行う装置である。また、評価装置２０は、種別が既知である蓄電デバイスを測定した結果から得られた種別推定モデル３３を利用し、種別が不明の処理対象１４を測定した結果からこの処理対象１４の種別を推定する種別推定処理を行う装置である。また、評価装置２０は、上記推定処理を行う際に用いられるデータベースにおいて、測定因子のデータ点数が少ないデータベースに対し、データ点数の多いデータベースのデータを変換モデルを用いて機械学習によって増加させる処理を行う。ここで、「種別」には、正極活物質や負極活物質の違いなど蓄電デバイス自体のカテゴリが相違する種別のほか、同一カテゴリ（例えば「リチウムイオン二次電池」など）における製造会社や型番の違いなどを含む製品種別も含まれる。また、評価装置２０は、処理対象１４の測定結果を用い、所定の外れ値検出手法を用いてこの測定結果が外れ値であるときには、その旨出力する外れ値出力処理を実行する。なお、評価装置２０は、劣化推定処理、種別推定処理及び外れ値出力処理において、同じ測定因子を用いてもよいし、それぞれ異なる測定因子を用いてもよいが、同じ測定因子を用いることが効率よく好ましい。評価装置２０は、制御部２１と、記憶部２２と、入力装置１８と、表示装置１９と、を備える。入力装置１８は、各種入力を行うマウスやキーボードなどを含む。表示装置１９は、画面を表示するものであり、例えば液晶ディスプレイである。

[0018] 制御部２１は、ＣＰＵを中心とするマイクロプロセッサとして構成されており、装置全体を制御する。また、制御部２１には、機能ブロックとして、測定装置１５から測定結果を取得する取得部と、取得した測定結果と種別推定モデル３３とから蓄電デバイス１３の種別を推定する種別推定部と、測定結果から許容範囲３１を用いて外れ値を検出する検出部と、測定結果と特性

推定モデル３４とから容量及び／又は抵抗を導出して劣化度を推定する劣化推定部と、推定した劣化度から処理対象１４である蓄電デバイス１３のリユースの可否を判定する判定部と、を有する。この機能ブロックは、制御部２１が外れ値検出プログラム３５、種別推定プログラム３６及び劣化判定プログラム３７を実行することによって実現される。

[0019] 記憶部２２は、例えば、ＨＤＤなど、大容量の記憶装置として構成されており第１データベース２３や、第２データベース２８、変換後データベース２９、機械学習プログラム３０、許容範囲３１、変換モデル３２、種別推定モデル３３、特性推定モデル３４、外れ値検出プログラム３５、種別推定プログラム３６、劣化判定プログラム３７などが記憶されている。第１データベース２３は、特定の製品種別である第１種別の劣化度が既知である蓄電デバイス１３の測定結果である測定因子をデータとして含む。この第１データベース２３は、種別推定モデル３３や特性推定モデル３４を構築するために用いられるものとしてもよい。この第１データベース２３には、測定結果としてインピーダンス２４、開放電圧２５、測定温度２６、劣化度２７などが含まれる。インピーダンス２４には、実部Ｚ’や虚部Ｚ”が含まれる。劣化度２７は、蓄電デバイス１３が劣化した度合いを示すものであり、例えば、容量や抵抗などの値を用いて導出することができる。劣化度２７は、例えば、初期の最大放電容量を１００％とした場合において、連続又は断続的に使用されたあと、劣化により低減した最大放電容量の割合として定義することができる。あるいは、劣化度２７は、例えば、初期の抵抗を１００％とした場合において、連続又は断続的に使用されたあと、劣化により増加した抵抗の割合として定義することができる。

[0020] 第２データベース２８は、例えば、第１データベース２３の第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイス１３における測定結果の測定因子をデータとして含む。この第２データベース２８は、例えば、新規製品種別など、第１データベース２３に比してデータ点数が少ないデータ点を含むものとしてもよい。また、第２データベース２８は、後述する変換処理により変換後デー

タベースに更新される。変換後データベースは、第２データベース２８と同じ製品種別の蓄電デバイス１３に対応付けられ、第１データベース２３を用いて機械学習によってデータ点数を増加して作成されたものである。ここで、第１データベース２３は、第２データベース２８よりも多いデータ点数を有するものとしてもよい。第１データベース２３は、該当する種別の蓄電デバイス１３がより以前からあり、所定の期間を経て蓄積されてより多いデータ点数を含むものとしてもよい。例えば、第１データベース２３は、第２データベース２８に対して５倍以上、より好ましくは１０倍以上、更に好ましくは５０倍以上、あるいは１００倍以上のデータ点数を含むものとしてもよい。データを拡充するのに用いられる第１データベース２３は、データ点数がより多いことが好ましく、例えば、１０００点以上、３０００点以上、５０００点以上、あるいは１００００点以上などが好ましい。一方、データが拡充される第２データベース２８は、データ点数がより少ないことが測定に要する手間及び時間の観点からは好ましく、例えば、１０００点以下、５００点以下、３００点以下、あるいは１００点以下などが好ましい。なお、記憶部２２には、第１データベース２３と第２データベース２８とが記憶されているものとしたが、第３種別の蓄電デバイス１３の第３データベースや、第４種別の蓄電デバイス１３の第４データベースなど、その他のデータベースを記憶するものとしてもよい。なお、ここでは第１データベース２３や第２データベース２８を「データベース」と総称する。

[0021] 機械学習プログラム３０は、制御部２１により実行され、第１データベース２３や第２データベース２８から機械学習を利用して変換モデル３２や種別推定モデル３３、特性推定モデル３４を構築するプログラムである。例えば、機械学習には、統計分析ソフトＲやＰｙｔｈｏｎ（登録商標）、ＳＱＬ、Ｅｘｃｅｌ（登録商標）などを用いることができ、手法として、線形回帰、カーネルリッジ、サポートベクター、ＸＧＢｏｏｓｔ、ニューラルネットワーク（ｎｎｅｔ）及びランダムフォレスト（ＲＦ）のうち１以上を用いることができる。機械学習の手法としては、ランダムフォレストが、評価値の

精度がより高く、好ましい。

[0022] 許容範囲３１は、例えば、蓄電デバイスの測定因子を用い所定の外れ値検出手法に基づいて構築された閾値である。測定因子としては、第１データベース２３や第２データベース２８のインピーダンス２４の実部Ｚ’とその測定温度Ｔ、この蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖなどが挙げられ、更にインピーダンス２４の虚部Ｚ”などを含んでもよい。外れ値検出手法としては、例えば、ＬＯＦ(Local outlier factor)や、ホテリング理論、Ｋ近傍法、１クラスサポートベクターマシーンなどが挙げられ、このうち、ＬＯＦが好ましい。

[0023] 変換モデル３２は、蓄電デバイス１３の測定因子を用い機械学習によりデータを変換するものであり、データ点数の少ないデータベースを他のデータベースのデータで拡充する変換処理を行うモデルである。変換モデル３２は、第１データベース２３や第２データベース２８などのインピーダンス２４の実部Ｚ’に少なくとも基づいて構築されているものとしてもよい。また、変換モデル３２は、インピーダンス２４と、その測定温度Ｔ、この蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに少なくとも基づいて構築されている。この変換モデル３２は、更に、インピーダンスの虚部Ｚ”に基づいて構築されることがより好ましい。特に、変換モデル３２は、インピーダンス２４の実部Ｚ’と虚部Ｚ”と、インピーダンス２４の測定温度Ｔと、蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに基づいて構築されていることが最も好ましい。

[0024] 種別推定モデル３３は、蓄電デバイス１３の種別を推定するモデルである。この種別推定モデル３３は、既知の蓄電デバイス１３の種別における第１データベース２３のインピーダンス２４の実部Ｚ’とその測定温度Ｔ、この蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに少なくとも基づいて構築されているものとしてもよい。この種別推定モデル３３は、更に、インピーダンスの虚部Ｚ”に基づいて構築されることがより好ましい。特に、種別推定モデル３３は、インピーダンス２４の実部Ｚ’と虚部Ｚ”と、インピーダンス２４の測定温度Ｔと、蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに基づいて構築されていること

が最も好ましい。

[0025] 特性推定モデル３４は、蓄電デバイス１３の種別ごとに構築され、この蓄電デバイス１３の特性（例えば、容量や抵抗）を導出し、得られた特性から劣化度を導出する推定モデルである。特性推定モデル３４は、第１データベース２３のインピーダンス２４の実部Ｚ’とその測定温度Ｔ、この蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに少なくとも基づいて構築されているものとしてもよい。この特性推定モデル３４は、更に、劣化度が既知である蓄電デバイス１３のインピーダンスの虚部Ｚ”に基づいて構築されることがより好ましい。特に、特性推定モデル３４は、インピーダンス２４の実部Ｚ’と虚部Ｚ”と、インピーダンス２４の測定温度Ｔと、蓄電デバイス１３の開放電圧Ｖとに基づいて構築されていることが最も好ましい。

[0026] この変換モデル３２や種別推定モデル３３、特性推定モデル３４は、10^{-2}Ｈｚ以上10^{4}Ｈｚ未満の範囲のインピーダンスに基づいて構築されることが好ましく、10^{-1}Ｈｚ以上10^{3}Ｈｚ以下の範囲のインピーダンスに基づいて構築されることがより好ましい。また、測定温度Ｔは、例えば、－３０℃以上としてもよいし、－２０℃以上としてもよいし、－１０℃以上としてもよい。また、測定温度Ｔは、例えば、６０℃以下としてもよいし、５０℃以下としてもよいし、４０℃以下としてもよい。この測定温度Ｔは、－２０℃以上５０℃以下の範囲が好ましい。インピーダンスの測定温度Ｔは、蓄電デバイス１３の使用環境などに基づいて適宜設定すればよい。

[0027] 外れ値検出プログラム３５は、制御部２１によって実行され、測定装置１５で得られた測定因子の測定結果のうち、許容範囲３１を用いて外れ値を検出するプログラムである。この外れ値検出プログラム３５は、例えば、測定装置１５から取得した少なくとも、処理対象である蓄電デバイス１３のインピーダンスの実部Ｚ’と、その測定温度Ｔと、開放電圧Ｖとを用いて、外れ値検出手法により評価値を導出するものとしてもよい。外れ値検出プログラム３５は、更に、インピーダンスの虚部Ｚ”をも取得し、評価値を導出してもよい。また、外れ値検出プログラム３５は、10^{-2}Ｈｚ以上10^{4}Ｈｚ未満の

範囲、より好ましくは、10^{-1}Ｈｚ以上10^{3}Ｈｚ未満の範囲の処理対象１４のインピーダンスを取得するものとしてもよい。外れ値検出プログラム３５は、例えば、評価値を導出するインピーダンスの測定点が１０以下の範囲としてもよい。このインピーダンスの測定点は、３点以上がより好ましく、４点以上であることがより好ましい。また、この測定点は、８点以下であることがより好ましく、６点以下としてもよい。この測定点は、３点以上１０以下の範囲では、外れ値の検出精度をより高めることができ好ましい。また、外れ値検出プログラム３５は、下端範囲として10^{-2}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ以下の範囲で１点、上端範囲として10^{2}Ｈｚを超え10^{4}Ｈｚ未満の範囲で１点、中間範囲として10^{0}Ｈｚ以上10^{2}Ｈｚ以下の範囲で１点を少なくとも含む測定点でのインピーダンスを取得することが好ましい。下端範囲と上端範囲で少なくとも１点の測定点を含むことが、外れ値の検出精度をより高めることができ好ましい。また、この下端範囲は、10^{-1}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ未満の範囲であることがより好ましい。低周波数帯では、測定時間がより長くなるため、外れ値検出プログラム３５では、低周波数帯の中でもより高い周波数での測定点を用いることがより好ましい。

[0028] 種別推定プログラム３６は、制御部２１により実行され、処理対象１４の測定結果と種別推定モデル３３とにより処理対象１４の種別を推定し、その種別に応じた特性推定モデル３４を設定する際に実行される。この種別推定プログラム３６は、例えば、測定装置１５から取得した少なくとも、処理対象である蓄電デバイス１３のインピーダンスの実部Ｚ’と、その測定温度Ｔと、開放電圧Ｖとを説明変数として用いて、種別推定モデル３３から蓄電デバイスの種別を推定するものとしてもよい。種別推定プログラム３６は、更に、インピーダンスの虚部Ｚ”をも取得し、説明変数として用いて処理対象１４の種別を推定するものとしてもよい。また、種別推定プログラム３６は、10^{-2}Ｈｚ以上10^{4}Ｈｚ未満の範囲、より好ましくは、10^{-1}Ｈｚ以上10^{3}Ｈｚ未満の範囲の処理対象１４のインピーダンスを取得するものとしてもよい。種別推定プログラム３６は、例えば、処理対象１４の種別の推定を行う

インピーダンスの測定点が１０点以下の範囲としてもよい。このインピーダンスの測定点は、３点以上がより好ましく、４点以上であることがより好ましい。また、この測定点は、８点以下であることがより好ましく、６点以下としてもよい。この測定点は、３点以上１０点以下の範囲では、種別の推定の精度をより高めることができ好ましい。また、種別推定プログラム３６は、下端範囲として10^{-2}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ以下の範囲で１点、上端範囲として10^{2}Ｈｚを超え10^{4}Ｈｚ未満の範囲で１点、中間範囲として10^{0}Ｈｚ以上10^{2}Ｈｚ以下の範囲で１点を少なくとも含む測定点でのインピーダンスを取得することが好ましい。下端範囲と上端範囲で少なくとも１点の測定点を含むことが、種別の推定精度をより高めることができ好ましい。また、この下端範囲は、10^{-1}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ未満の範囲であることがより好ましい。低周波数帯では、測定時間がより長くなるため、種別推定プログラム３６では、低周波数帯の中でもより高い周波数での測定点を用いることがより好ましい。

[0029] 劣化判定プログラム３７は、制御部２１により実行され、処理対象１４の測定結果と特性推定モデル３４とにより処理対象１４の劣化度を推定し、そのリユースが可能かを判定するプログラムである。この劣化判定プログラム３７は、例えば、測定装置１５から取得した少なくとも、処理対象である蓄電デバイス１３のインピーダンスの実部Ｚ’と、その測定温度Ｔと、開放電圧Ｖとを説明変数として用いて、特性推定モデル３４から蓄電デバイスの劣化度を推定するものとしてもよい。劣化判定プログラム３７は、更に、インピーダンスの虚部Ｚ”をも取得し、取得したものを説明変数として用いて処理対象１４の劣化度を判定するものとしてもよい。また、劣化判定プログラム３７は、10^{-2}Ｈｚ以上10^{4}Ｈｚ未満の範囲、より好ましくは、10^{-1}Ｈｚ以上10^{3}Ｈｚ未満の範囲の処理対象１４のインピーダンスを取得するものとしてもよい。劣化判定プログラム３７は、例えば、処理対象１４の劣化判定を行うインピーダンスの測定点が１０点以下の範囲としてもよい。このインピーダンスの測定点は、３点以上がより好ましく、４点以上であることがよ

り好ましい。また、この測定点は、８点以下であることがより好ましく、６点以下としてもよい。この測定点は、３点以上１０点以下の範囲では、劣化度の推定の精度をより高めることができ好ましい。また、劣化判定プログラム３７は、下端範囲として10^{-2}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ以下の範囲で１点、上端範囲として10^{2}Ｈｚを超え10^{4}Ｈｚ未満の範囲で１点、中間範囲として10^{0}Ｈｚ以上10^{2}Ｈｚ以下の範囲で１点を少なくとも含む測定点でのインピーダンスを取得することが好ましい。下端範囲と上端範囲で少なくとも１点の測定点を含むことが、劣化度の推定精度をより高めることができ好ましい。また、この下端範囲は、10^{-1}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ未満の範囲であることがより好ましい。低周波数帯では、測定時間がより長くなるため、劣化判定プログラム３７では、低周波数帯の中でもより高い周波数での測定点を用いることがより好ましい。

[0030]（評価方法）

次に、こうして構成された本実施形態の評価装置２０の動作、特に、評価装置２０が実行する評価方法について説明する。この評価方法は、複数の種別を含む蓄電デバイス１３の評価を実行する方法である。この評価方法は、例えば、変換モデル３２を用いて機械学習によって第１データベース２３のデータを第２データベース２８のデータへ変換して第２データベース２８のデータ点数を増加した変換後データベースを取得する変換ステップと、変換後データベースを用いて第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する評価ステップと、を含むものとしてもよい。更に、この評価方法は、例えば、機械学習によって許容範囲３１、種別推定モデル３３、特性推定モデル３４を構築する構築ステップ、を更に含むものとしてもよい。なお、この評価方法において、既に構築した許容範囲３１、種別推定モデル３３及び特性推定モデル３４を用いて上記構築ステップを省略してもよい。

[0031]（変換ステップ）

ここでは、まず、測定因子のデータ点数が少ないデータベースを他のデータベースで拡充する変換処理について説明する。この変換処理では、変換モ

デル３２を用いて機械学習によって第１データベース２３のデータを第２データベース２８のデータへ変換して第２データベース２８のデータ点数を増加した変換後データベースを取得する。この処理において、機械学習によって第１種別と第２種別との測定因子を一対一で対応させて変換モデル３２を構築するものとしてもよい。なお、ここでは、説明の便宜のため、第２種別の第２データベース２８よりも多いデータ点数を有する第１種別の第１データベース２３を用いて第２種別の変換後データベースを取得する処理を主として説明する。この変換処理の機械学習には、例えば、統計分析ソフトＲやＰｙｔｈｏｎ（登録商標）、ＳＱＬ、Ｅｘｃｅｌ（登録商標）などを用いることができ、手法として、線形回帰、カーネルリッジ、サポートベクター、ＸＧＢｏｏｓｔ、ニューラルネットワーク（ｎｎｅｔ）及びランダムフォレスト（ＲＦ）のうち１以上を用いることができる。機械学習の手法としては、精度がより高いことから、ランダムフォレストが好ましい。

[0032] 図２は、制御部２１により実行される変換処理ルーチンの一例を示すフローチャートである。このルーチンは、記憶部２２に記憶され、使用者の指示に応じて実行される。制御部２１は、このルーチンを実行すると、まず、機械学習に用いる測定因子を設定する（Ｓ１００）。制御部２１は、測定因子として、インピーダンスの実部Ｚ’、虚部Ｚ”、測定温度Ｔ及び開放電圧Ｖを設定することができる。次に、制御部２１は、拡充元のデータベースと拡充するデータベースとを記憶部２２から読み出して取得する（Ｓ１１０）。ここでは、例えば、データ点数の少ない第２データベース２８を拡充するものとし、データ点数の多い第１データベース２３を拡充元とする。続いて、制御部２１は、変換モデル３２を用い、機械学習により拡充元のデータベース（第１データベース２３）から拡充するデータベース（第２データベース２８）のデータを拡充する（Ｓ１２０）。制御部２１は、変換モデル３２を用いて機械学習により、第１データベース２３のデータを第２データベース２８のデータへ変換して第２データベース２８のデータ点数を増加する処理を実行する。このとき、制御部２１は、第２種別の蓄電デバイス１３の測定

因子を第１種別の蓄電デバイス１３の測定因子に一対一で対応させる処理を行う。例えば、制御部２１は、第１種別の蓄電デバイス１３のインピーダンスを目的変数とし、説明変数には第２種別の蓄電デバイス１３のインピーダンスおよび測定温度Ｔ、開放電圧Ｖとして機械学習を行うものとしてもよい。そして、制御部２１は、データ点数を増加したデータベースを変換後データベースとして記憶部２２に記憶させ（Ｓ１４０）、このルーチンを終了する。制御部２１は、その後、ここで得られた変換後データベースを第２データベース２８として用い、第２種別の蓄電デバイス１３の評価に用いる。

[0033] （構築ステップ）

次に、許容範囲３１を構築する処理について説明する。この構築処理では、使用者が既知種別及び既知劣化度の複数の蓄電デバイス１３を用意し、評価システム１０が測定因子としてのインピーダンス２４や、開放電圧２５、測定温度２６を含む第１データベース２３や第２データベース２８を用い、所定の外れ値検出手法を用いて評価値を導出し、外れ値を適正に検出可能な閾値を求め、この閾値の範囲を許容範囲３１として設定する処理を行う。例えば、外れ値検出手法としてＬＯＦを用いると、適正な評価値の範囲と、明らかに外れ値である評価値の分布が得られる（後述図８参照）。この評価値の分布から、誤検出無しに外れ値を判定できる閾値を設定することができる。

[0034] 次に、種別推定モデル３３及び特性推定モデル３４を構築する処理について説明する。この構築処理では、第１データベース２３や、機械学習でデータ点数を増加した第２データベース２８に含まれる測定因子としてのインピーダンス２４や、開放電圧２５、測定温度２６を用い、種別推定モデル３３や特性推定モデル３４を構築する。図３は、制御部２１により実行される推定モデル構築処理ルーチンの一例を示すフローチャートである。このルーチンは、記憶部２２に記憶され、使用者の指示に応じて実行される。制御部２１は、このルーチンを実行すると、まず、種別及び劣化度が既知である蓄電デバイス１３の測定因子をデータベースから取得し（Ｓ１５０）、取得した

測定因子に該当する蓄電デバイス１３の測定結果を取得する（Ｓ１６０）。ここでは、インピーダンス２４や、開放電圧２５、測定温度２６が測定因子として設定される。制御部２１は、処理対象１４を取り替えながら、測定装置１５が測定した開放電圧Ｖやインピーダンスの測定結果をリアルタイムで直接取得してもよいし、測定済の開放電圧Ｖやインピーダンスの測定結果を第１データベース２３から間接的に取得してもよい。また、インピーダンスの測定結果には、実部Ｚ’のほか、虚部Ｚ”などを含むものとしてもよい。Ｓ１６０のあと、制御部２１は、全ての既知蓄電デバイス１３の測定結果を取得したか否かを判定し（Ｓ１７０）、全ての測定結果を取得していないときには、Ｓ１６０以降の処理を繰り返し実行する。一方、Ｓ１７０で全ての測定結果を取得したときには、制御部２１は、機械学習により種別推定モデル３３を構築して記憶部２２に記憶し（Ｓ１８０）、機械学習により特性推定モデル３４を構築して記憶部２２に記憶し（Ｓ１９０）、このルーチンを終了する。

[0035] 劣化した蓄電デバイス１３のインピーダンスと劣化度とは、その劣化の態様によってリニアな関係性を有さず、周波数帯域ごとに初期セルに対して劣化セルのインピーダンス値が高く出る場合もあれば、低く出る場合もある（後述図９参照）。ここでは、機械学習を利用して、インピーダンスＺ’，Ｚ”やその測定温度Ｔ、開放電圧Ｖから劣化度を推定することが可能な特性推定モデル３４を構築するのである。また、蓄電デバイス１３は、その種別に応じて、そのインピーダンスの変化や開放電圧Ｖの変化に一定の傾向を有する。ここでは、機械学習を利用して、インピーダンスＺ’，Ｚ”やその測定温度Ｔ、開放電圧Ｖから蓄電デバイス１３の種別を推定することが可能な種別推定モデル３３を構築するのである。制御部２１は、例えば、種別推定モデル３３や特性推定モデル３４の構築には統計分析ソフトＲやＰｙｔｈｏｎ（登録商標）、ＳＱＬ、Ｅｘｃｅｌ（登録商標）などを用いることができ、手法として、線形回帰、カーネルリッジ、サポートベクター、ＸＧＢｏｏｓｔ、ニューラルネットワーク（ｎｎｅｔ）及びランダムフォレスト（ＲＦ）

のうち１以上、好ましくは、ランダムフォレストを用いることができる。

[0036]（評価ステップ）

この評価ステップでは、処理対象１４である蓄電デバイス１３の測定因子の測定結果を説明変数として用い種別推定モデル３３からこの処理対象１４の種別を推定し、推定した種別に該当する特性推定モデル３４から測定結果を説明変数として用いてこの処理対象１４の蓄電デバイス１３の容量及び／又は抵抗を導出し、劣化度を判定する処理を行う。また、この評価ステップでは、処理対象１４である蓄電デバイス１３の測定因子の測定結果を用いて外れ値検出手法によって評価値を導出し、この評価値が許容範囲３１外であるものを外れ値として出力する処理を行う。また、評価値が許容範囲３１内である測定結果を説明変数として用いて特性推定モデル３４から該蓄電デバイス１３の容量及び／又は抵抗を導出し、劣化度を判定する処理を行う。この評価ステップにおいて、測定因子は、インピーダンスの実部Ｚ’及び／又は虚部Ｚ”、その測定温度Ｔ、開放電圧Ｖとして説明する。また、種別推定モデル３３及び特性推定モデル３４は、第１データベース２３や第２データベース２８などのデータベースに基づいてそれぞれの種別ごとに構築されているものとする。

[0037] 図４は、制御部２１により実行される劣化判定処理ルーチンの一例を示すフローチャートである。このルーチンは、記憶部２２に記憶され、使用者の指示に応じて実行される。使用者は、許容範囲３１、種別推定モデル３３及び特性推定モデル３４を構築したのち、処理対象１４（蓄電デバイス１３）を交流インピーダンスアナライザ１７へ接続したのち、このルーチンを実行させる。このルーチンを実行すると、制御部２１は、処理対象１４の測定因子を取得し（Ｓ２００）、処理対象１４の測定因子の測定結果を取得する（Ｓ２１０）。ここでは、測定因子として、測定因子の種別（Ｚ’，Ｚ”，Ｔ，Ｖなど）のほか、インピーダンスの測定点（周波数の点数）についても取得するものとする。測定点は、例えば、特定の周波数帯において３点以上１０点以下の範囲、より好ましくは、４点以上８点以下の範囲に設定されてい

る。また、測定点は、上述したように、下端範囲として10^{-2}Ｈｚ以上10^{0}Ｈｚ以下の範囲で１点、上端範囲として10^{2}Ｈｚを超え10^{4}Ｈｚ未満の範囲で１点、中間範囲として10^{0}Ｈｚ以上10^{2}Ｈｚ以下の範囲で１点を少なくとも含むものとすることが好ましい。この範囲に測定点が少なくとも３点含まれるものとすれば、処理対象１４の種別や劣化度をより精度よく推定することができる。この測定点は、例えば、０．０１Ｈｚ以上１００００Ｈｚ以下の周波数範囲に含まれるものとしてもよい。具体的には、測定点は、０．０１Ｈｚ、０．１Ｈｚ、１Ｈｚ、１０Ｈｚ、１００Ｈｚ、１０００Ｈｚ、１００００Ｈｚ、１００００Ｈｚなどを含むものとしてもよい。また、測定点は、０．０５Ｈｚ、０．５Ｈｚ、５Ｈｚ、５０Ｈｚ、５００Ｈｚ、５０００Ｈｚ、５００００Ｈｚや、０．０２Ｈｚ、０．２Ｈｚ、２Ｈｚ、２０Ｈｚ、２００Ｈｚ、２０００Ｈｚ、２００００Ｈｚなどを含むものとしてもよい。測定点は、例えば、０．１Ｈｚ、１Ｈｚ、１０Ｈｚ、１００Ｈｚ、１０００Ｈｚを含むことが好ましい。測定温度Ｔは、例えば、上述したように、－３０℃～６０℃の範囲で適宜定めるものとしてもよい。測定装置１５は、設定された測定温度Ｔに恒温槽１６を制御し、設定された測定点で交流インピーダンスアナライザ１７によってインピーダンスを測定する。

[0038] 次に、制御部２１は、全ての測定結果を取得したか否かを判定し（Ｓ２２０）、全ての測定点のデータを取得していないときには、Ｓ２１０以降の処理を実行する。制御部２１は、Ｓ２１０では、取得していない次の測定点を設定する。一方、Ｓ２２０で全ての測定結果を取得したときには、制御部２１は、インピーダンスの実部Ｚ’及び／又は虚部Ｚ”と開放電圧Ｖと、更には測定温度Ｔを用い、外れ値検出手法を用いて評価値を算出する（Ｓ２３０）。制御部２１は、例えば、ＬＯＦを用いて評価値を算出する。次に、制御部２１は、評価値が許容範囲３１内であるか否かを判定し（Ｓ２４０）、許容範囲３１内でないとき、即ち評価値が許容範囲３１外であるときには、外れ値情報を出力する（Ｓ２５０）。外れ値情報には、処理対象１４の測定結果が異常値である旨の内容を含むものとしてもよい。外れ値情報の出力は、

例えば、表示装置１９への表示出力としてもよいし、図示しないスピーカから音声出力してもよいし、図示しない印刷装置から印刷出力してもよいし、記憶部２２へ記憶出力してもよい。使用者は、この外れ値情報を確認すると、処理対象１４の接続などを確認し、測定装置１５で再測定させるなどの作業を行う。

[0039] 一方、Ｓ２４０で評価値が許容範囲３１内であるときには、制御部２１は、測定結果を用いて、種別推定モデル３３から処理対象１４の種別を推定する処理を実行する（Ｓ２６０）。制御部２１は、全測定点の説明変数の測定値に最も適合する種別を種別推定モデル３３を用いて導出する。種別推定モデル３３は、機械学習によって構築されており、極めて高い確率で処理対象１４の種別を推定することができる。次に、制御部２１は、推定した種別に応じた特性推定モデル３４を設定し（Ｓ２７０）、測定結果を用いて、この特性推定モデル３４から処理対象１４の劣化度を推定する（Ｓ２８０）。制御部２１は、全測定点の説明変数の測定値に最も適合する劣化度を特性推定モデル３４を用いて導出する。特性推定モデル３４は、機械学習によって構築されており、極めて高い確率で処理対象１４の劣化度を推定することができる。続いて、制御部２１は、推定された劣化度が所定の閾値内であるか否かを判定する（Ｓ２９０）。この閾値は、例えば、処理対象１４の蓄電デバイス１３が再調整によってリユース可能である下限値に基づいて経験的に設定されているものとする。

[0040] 処理対象１４の劣化度が所定の閾値内であるときには、制御部２１は、リユース可能である旨の表示を出力する（Ｓ３００）。一方、処理対象１４の劣化度が所定の閾値外であるときには、制御部２１は、リサイクルすべき旨の表示を出力する（Ｓ３１０）。図５は、診断結果を表す表示画面４０の説明図である。図５に示すように、リサイクル、リユースのほか、分解して資源活用するリビルドの判定を行ってもよいし、診断結果として、残存容量や抵抗増加度などの情報を付記してもよい。

[0041] Ｓ３００のあと、またはＳ３１０のあと、あるいは、Ｓ２５０のあと、制

御部２１は、Ｓ３００、Ｓ３１０、Ｓ２５０の判定結果を記憶すると共に、次の処理対象１４の蓄電デバイス１３があるか否かを判定する（Ｓ３２０）。次の処理対象１４があるときには、制御部２１は、Ｓ２００以降の処理を繰り返し実行する一方、Ｓ３２０で次の処理対象１４がないときには、制御部２１は、このルーチンを終了する。このように、評価装置２０では、蓄電デバイス１３の交流インピーダンスの実部Ｚ’及び／又は虚部Ｚ”と開放電圧Ｖと、更には測定温度Ｔを用い、外れ値を検出してこれを除外し、種別推定モデル３３や特性推定モデル３４から処理対象１４の劣化度を推定することにより、蓄電デバイス１３のリユースの可否を判定する。

[0042] 図６は、データベースを拡充する処理と、外れ値検出と劣化推定との関係を説明するスキームである。評価装置２０では、まず、モデル構築用の測定を行い、データベースを準備する。この際に、測定データに対して外れ値検出を実行するものとしてもよい。新機製品種別のデータベースなど測定因子のデータ点数が少ないデータベースに対して、データ点数が十分であるデータベースのデータを変換モデルを用いて拡充する。そして、データ点数が所定の閾値を超えたデータベースを用いて、種別推定モデルや特性推定モデルを構築する。そして、処理対象である、未知の蓄電デバイスに対して診断用の測定を行う。まず測定が正しく実行されているかを判断し、外れ値検出されたときには、測定不良として再測定する。外れ値検出にはもう一つ役目がある。診断モデル構築に使用したデータベースとは異質のデータとして検知した場合、その蓄電デバイスの詳細な測定を行い、診断用データベースに繰り込み、種別推定モデルや特性推定モデルをアップデートしていくことができる。外れ値検出で、正常値とみなされた場合は、測定値を用いて蓄電デバイスの種別の推定を行う。回収された蓄電デバイスが複数の種別からなる場合は、この種別推定を行う方がより好ましい。蓄電デバイスの種別が特定できたら各蓄電デバイスの種別に応じた特性推定モデルを用いて劣化推定を行うことによって、より高い精度で劣化判定を行うことができる。

[0043] 以上説明した本実施形態の評価装置２０及び評価システム１０では、より

効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる。本開示がこのような効果を奏する理由は、以下のように推察される。例えば、蓄電デバイスの性能を精度よく推定するためには、蓄電デバイスの測定データなど、測定因子を充実させることが求められる。例えば、蓄電デバイスであるリチウムイオン２次電池の主な劣化としては「正極劣化」、「負極劣化」および「正負極の容量ずれ」の３つの劣化モードが知られており、どの製品種別の電池も共通である。そのため、劣化に対する応答の感度は、電池の製品種別により変化はするが（劣化に対してインピーダンスが増加するなど）、その応答の傾向はおおよそ変化しない。このため、データベースの軸、例えば、高レート充放電サイクル劣化や高温保存劣化などのインピーダンスの２軸など、を調整することにより、電池種別の異なるデータの変換が可能となり、データベースの転用も可能となると推察される。本開示では、既に準備してあるデータベースを、データ点数が不十分なデータベースに機械学習を用いて転用することにより、データベースを拡充する。このため、充実したデータベースを用意することなく、蓄電デバイスの劣化診断のための異常値検出や、種別の判定、更に、蓄電デバイスの容量や抵抗の推定などを精度よく実行可能になる。その結果、例えば、蓄電デバイスの劣化診断なども高精度化できる。したがって、本開示では、より効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる。

[0044] また、劣化判定を行う蓄電デバイス１３は、例えば、同種であっても製造会社が異なるなど、細かな点で異なることがある。このような場合、全ての蓄電デバイス１３から劣化判定を行う推定モデルを構築するのに比して、各種別ごとに推定モデルを構築した場合の方が、より高精度な劣化判定を行うことができる。また、蓄電デバイスの種別を特定するアルゴリズムを導入することによって、蓄電デバイスの種別を高精度に推定し、劣化判定の精度をより高めることができる。更に、測定不良の結果など、外れ値を用いて蓄電デバイスの劣化度を推定すると、間違った判断をすることがあり得る。一方、本開示では、所定の外れ値検出手法の評価値を用いて事前にこのような外

れ値のデータを報知するから、誤った判定を低減することができる。また、劣化推定の推定モデル構築に使用したデータベースにはない新規現象などで外れ値として検出されたセルの詳細を調べ、それを推定モデル構築用データベースに繰り込むことにより、新規現象に対応した予測が行えるようになり、予測精度を向上することができる。

[0045] なお、本開示は上述した実施形態に何ら限定されることはなく、本開示の技術的範囲に属する限り種々の態様で実施し得ることはいうまでもない。

[0046] 例えば、上述した実施形態では、評価システム１０は、測定装置１５と評価装置２０とを備えるものとしたが、特にこれに限定されず、交流インピーダンスや開放電圧などの測定因子の測定結果を外部から取得するものとして測定装置１５を省略してもよい。この評価装置２０においても、より効率よく、精度をより向上して蓄電デバイスを評価することができる。

[0047] 上述した実施形態では、測定因子を交流インピーダンスやその測定温度、開放電圧として説明したが、蓄電デバイス１３を評価可能な因子であれば、特にこれに限定されない。例えば、蓄電デバイス１３の評価を特許文献６～１０で示された処理で行うものとしてもよい。測定因子としては、例えば、定電流（ＣＣ）充電を行いＶｃに達したら定電圧（ＣＶ）充電に切り替えその時点から時間ｔだけ経過した充電電流値Ｉｔや、放電時の磁場、ひずみゲージにより測定したセルの体積変化、正負のパルス電流を印加したときの正負それぞれの電圧値の関係、内部抵抗と残容量ＳＯＣなどのうち１以上が挙げられる。この場合、機械学習する対象をこの測定因子とし、変換モデル３２や種別推定モデル３３、特性推定モデル３４を構築すればよい。

[0048] 上述した実施形態では、本開示を評価システム１０や評価装置２０、評価方法として説明したが、例えば、評価方法を実行するためのプログラムとしてもよい。このプログラムは、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（例えばハードディスク、ＲＯＭ、ＦＤ、ＣＤ、ＤＶＤなど）に記録されていてもよいし、伝送媒体（インターネットやＬＡＮなどの通信網）を介してあるコンピュータから別のコンピュータへ配信されてもよいし、その他どのよう

な形で授受されてもよい。このプログラムを１つのコンピュータに実行させるか又は複数のコンピュータに各ステップを分担して実行させれば、上述した評価方法の各ステップが実行されるため、この評価方法と同様の作用効果が得られる。

実施例

[0049] 以下には、本開示の評価方法及び評価装置を具体的に検討した例を実験例として説明する。なお、実験例１～１９は参考例に相当する。

[0050] 中古電池の評価としての劣化診断の検討として、パナソニック製リチウムイオン電池ＮＣＲ１８６５０を用い、診断にはインピーダンス、開放電圧、測定温度の結果を用いた。インピーダンス、開放電圧、測定温度の測定には、ソーラートロン社製ＣＥＬＬＴＥＳＴ－８Ｔ（７ｃｈ：１Ａ仕様、１ｃｈ：２５Ａ仕様）を用いて、測定時の電流は５ｍＡとし、測定温度Ｔは測定セルの入っている恒温槽の温度を用いた。新品電池７本、劣化電池３５本の測定を行った。劣化電池としては、２．５Ｖから４．２Ｖの間を２０℃で２Ｃ充電し０．１Ｃ放電を繰り返したものや、６０℃で０．５Ｃ充電し０．１Ｃ放電を繰り返したもの、６０℃で保管し続けたもの、など、劣化モードの異なるものを用意した。また、種別の異なるリチウムイオン二次電池として、ＬＧ製１８６５０－Ｍ２６、プラタ販売ｂ１８６５０－０１を用い、劣化モードとして、２０℃、２Ｃでそれぞれ１２、２４、３０、３６、４２、４８、５４回充放電サイクルを行った電池を用意した。まず、測定データに含まれる外れ値の検討及び、劣化度の判定を行ったのち、種別の推定について検討した。インピーダンスおよび開放電圧は、電池の残容量ＳＯＣや測定温度で変化するので、ＳＯＣは１０％刻みで０～１００％、測定温度は１０℃刻みで－２０～５０℃の範囲で測定した。また、劣化度の指標として、電池容量を用い、各電池に対してアスカ電池社製５Ｖ／１０Ａ－８０ＣＨを用いて、電池容量を０．１ＣのＣＶ放電の放電容量とした。測定条件は、４２本の電池容量と各電池８８条件（ＳＯＣ１１条件×測定温度８条件）とした。表１～４に各実験例の測定条件をまとめて示した。

[0051] 図７は、パナソニック製リチウムイオン二次電池（ＬＩＢ）の測定結果であり、図７Ａが新品電池と劣化電池の容量、図７Ｂが新品電池と劣化電池の抵抗の違いを示す。図７に示すように、劣化電池では、新品電池に対して容量が減少すると共に、抵抗が増加することがわかる。ここでは、各電池に対してアスカ電池社製５Ｖ／１０Ａ－８０ＣＨを用いて、２０℃、０．１ＣのＣＣＣＶ放電の放電容量を測定し、それを電池容量とした。また、２０℃、ＳＯＣ５０％で交流インピーダンスを詳細に測定し、図７Ｂに示すｃｏｌｅ－ｃｏｌｅプロットにおいて、正負極の電荷移動抵抗が二つの円弧として現れたのち交流インピーダンスの虚部Ｚ”が極小値を取るときの実部Ｚ’を、この電池の特徴的な抵抗Ｒ１と定義し、容量とともに劣化の指標とした。抵抗Ｒ１は、比較的応答が早い抵抗成分からなり、直流抵抗と正負極の電荷移動抵抗とを足し合わせた抵抗の指標となる。

[0052] まず、測定データの外れ値について検討した。外れ値を検知するための機械学習には、統計分析ソフトＲを用い、手法としてＬＯＦ(Local outlier factor)を用いた。図８は、劣化電池（パナソニック製ＬＩＢ）とＬＯＦの評価値との関係図の一例である。ここでは、交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’と虚部Ｚ”と、開放電圧（Ｖ）と、測定温度（℃）とをＬＯＦを計算するパラメータとして用いたため、１２次元空間で評価している。ＬＯＦのスコアが高いと空間に対するデータの密度が少ないことを意味し、外れ値とみなすことができる。図８では、ハイパーパラメータｋをｋ＝１５として計算しており、横軸は電池データの管理番号を意味している。例えば、図８のＬＯＦのスコアが６以上の４個のデータ点のデータを確認してみると、インピーダンスの測定値が異常な値を示し、同じ測定温度でかつ近い開放電圧の正常なデータと比較すると一桁以上小さかった。このように、診断のための測定結果を診断モデル構築に使用したデータベースと合わせて計算し、許容範囲（例えばＬＯＦのスコアが４以下）を用いることで、測定不良や異質の測定結果を抽出することができることがわかった。

[0053] 次に、リチウムイオン電池の劣化診断について検討した。図９は、ＳＯＣ５０％、測定温度２０℃における新品電池と劣化電池のインピーダンス実部Ｚ’の周波数依存性を示す測定結果である。図１０は、ＳＯＣ５０％、測定温度２０℃における新品電池と劣化電池のインピーダンス虚部Ｚ”の周波数依存性を示す測定結果である。図９、１０に示すように、新品電池では、インピーダンスはほぼ同じ形状、値を示した。一方、劣化電池は、新品電池と異なるインピーダンスの形状及び値を示した。また、劣化電池では、その劣化モードの違いにより、例えば、10^{1}Ｈｚ以下の周波数帯では、新品電池の上下に劣化電池のＺ’があり、10^{2}Ｈｚ～10^{4}Ｈｚの周波数帯では新品電池よりも上に劣化電池のＺ’があり、10^{5}Ｈｚではいずれの電池も同じＺ’を示すなど、一様の傾向は得られなかった。このため、容量の劣化度に対するインピーダンスの変化量は、単純なモデルでは説明できないことがわかった。そこで得られたデータセットを用いて機械学習から電池容量を予測した。

[0054] 機械学習には統計分析ソフトＲを用い、パッケージとしてｃａｒｅｔを使用し、手法としてランダムフォレスト（ＲＦ）、ニューラルネットワーク（ｎｎｅｔ）を検討した。予測精度を、実験値と予測値との平均平方二乗誤差ＲＭＳＥにより評価した。このＲＭＳＥは、その値が低いほど予測精度が高いことを表す。今回は、推定モデルの汎用性を評価するため、１０分割交差検証を行い、１０回推定モデルを構築しており、その１０回の平均のＲＭＳＥで比較評価した。表１に各モデルで電池容量を予測した結果を示す。表１において、インピーダンスの実部Ｚ’は、０．０１、０．１、１、１０、１００、１０００、１００００、１０００００Ｈｚの各周波数の値を用いた。また表１には、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔも検討した結果をまとめた。表１に示すように、機械学習の手法にかかわらず、説明変数に開放電圧Ｖを入れると、予測精度が向上することがわかった。また、開放電圧Ｖに加えて、測定温度Ｔを入れると、さらに予測精度が増すことがわかった。また機械学習の手法としては、ｎｎｅｔよりＲＦの方が予測精度が高いことがわかった。

[0055] 表２にＲＦで電池容量を予測した結果の使用周波数帯依存性をまとめた。

表２に示すように、全ての周波数のデータを用いればよいというわけではなく、予測精度を向上させるための最適な周波数帯が存在することが推察された。例えば、１００００Ｈｚ近傍の周波数帯では容量変化によるインピーダンスの変化量がノイズや電池の個体差と同程度になるため、予測精度を上げるために周波数帯を制限する必要がある。電池容量を判定するためのインピーダンスの測定周波数帯の上限範囲は、好ましくは１００Ｈｚより大きく１００００Ｈｚ未満、さらに好ましくは１００Ｈｚより大きく１０００Ｈｚ以下である。下限範囲に関しては、０．０１Ｈｚから０．１Ｈｚに変更しても予測精度がほとんど同じであり、０．１Ｈｚより低い周波数帯では周波数を低下させるにつれ測定時間が急激に増大することから、好ましくは０．１Ｈｚ以上となる。表３にインピーダンスの虚部Ｚ”を加えて説明変数の組合せを変更しＲＦで電池容量を予測したＲＭＳＥを示す。表３に示すように、Ｖを考慮し、更にＴを考慮することが好ましく、更にＺ”を考慮することがより好ましく、Ｚ’，Ｚ”，Ｖ，Ｔの全て考慮するほうが予測精度を向上することがわかった。また、虚部Ｚ”，Ｖ，Ｔを説明変数とした場合も（実験例１４）、実部Ｚ’，Ｖ，Ｔを説明変数とした場合（実験例１１）と同等の結果が得られることから、虚部Ｚ”と開放電圧Ｖとを説明変数としても、実部Ｚ’のみや虚部Ｚ”のみを説明変数とするものに比して、より高い精度で劣化度を推定できるものと推察された。

[0056] 図１１は、説明変数としてインピーダンスの実部Ｚ’，虚部Ｚ”，開放電圧Ｖ，測定温度Ｔを用い（実験例１２）複数の劣化モードで劣化した電池の容量実験値と容量予測値との関係図である。図１２は、説明変数としてインピーダンスの実部Ｚ’，虚部Ｚ”，開放電圧Ｖ，測定温度Ｔを用い（実験例１２）複数の劣化モードで劣化した電池の容量実験値と抵抗予測値との関係図である。図中には、全体の９０％のデータが含まれる誤差ラインを示した。図１１に示すように、どの劣化モードの電池においても高い精度で容量予測ができていることがわかった。特に、３０００ｍＡｈ程度の電池容量に対して±２５ｍＡｈの誤差で９０％以上のデータが予測できていることがわか

った。また、図１２に示すように、どの劣化モードの電池においても高い精度で抵抗予測ができていることがわかった。

[0057] 図１３は、各周波数（Ｈｚ）と測定時間（ｓ）との関係図である。電池診断は、短時間で行うことが望まれる。この点において、近い周波数のインピーダンス同士は強い相関があることから、ある程度測定するデータ点を間引いても劣化診断には影響しないことが予想される。このため、測定するデータ点を少なくすることが考えられる。例えば、０．０１～１００００ＯＨｚのインピーダンスを周波数のログスケールで均等に８５点取った場合、測定時間が１１７０ｓであったが、８点（０．０１、０．１、１、１０、１００、１０００、１００００、１０００００Ｈｚ）にすると、２０２ｓと１／５程度の測定時間で済むことがわかった。直接的に電池容量を０．１Ｃで測定した場合、測定時間は最低でも１０時間かかることから、インピーダンスの測定時間は電池容量測定時間に比べて圧倒的に短く、劣化診断向きであった。

[0058] 次に、表４にインピーダンスの虚部Ｚ”を加えてＲＦで電池容量を予測した結果の使用周波数帯依存性を示す。図１４は、測定点数とＲＭＳＥ（ｍＡｈ）との関係図である。表４、図１４に示すように、データの測定点数に関しては、使用周波数に対応する測定点数は、３点以上が好ましく、４点以上で高い予測精度を示すことがわかった。また、測定点数が６点の場合と３点の場合とで予測精度がほぼ同じことから、測定点数をこれ以上増やしても予測精度は向上しにくいと推測された。データの測定点数が増えると、診断時間がかかることから、望ましくは、測定点数は８点以下、さらに望ましくは６点以下であると推察された。

[0059] 劣化診断時の測定は直接インピーダンスを測定するものとしてもよいが、間接的に測定する場合についても検討した。その一例として、電流ステップ法を検討した。図１５は、測定温度２０℃ でのＺ’の周波数依存性と、電流ステップ法により求めた各周波数におけるＺ’の対応関係を示した説明図である。図１５には、電流ステップ法で０．１Ｃの電流を０．０１ｓ印加した

時の電圧の振る舞いを付記した。この電流と電圧を用いて、ラプラス変換により図中の劣化電池（残容量ＳＯＣ５０％、測定温度２０℃）の１００Ｈｚにおける Z’ を求めた。図１５に示すように、電流ステップ法で求めたインピーダンス Z’ は、直接インピーダンスを求めた測定結果に非常によい精度で対応することがわかった。この結果から、劣化診断の手法としては、電流ステップ法以外に電圧ステップ法や、電流パルス法でも良好な結果が得られるものと推察された。

[0060] [表1]

実験例	機械学習手法	説明変数	RMSE (mAh)
1	nnet	Z’	71.52
2	nnet	Z’, V	68.83
3	nnet	Z’, V, T	65.48
4	RF	Z’	74.43
5	RF	Z’, V	57.88
6	RF	Z’, V, T	54.76
7	RF	V, T	109.5

Z’:インピーダンスの実部　nnet:ニューラルネットワーク
V:開放電圧(V)　RF:ランダムフォレスト
T:測定温度(℃)
Z’の使用周波数は、10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3},10^{4},10^{5}Hz

[0061] [表2]

実験例	説明変数	Z’の使用周波数 (Hz)	RMSE (mAh)	測定時間 (sec)
6	Z’, V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3},10^{4},10^{5}	54.76	202
8	Z’, V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3},10^{4}	50.52	194
9	Z’, V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}	44.67	189
10	Z’, V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2}	48.35	184
11	Z’, V, T	10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}	45.62	49

機械学習手法はRF

[0062]

[表3]

実験例	説明変数	RMSE (mAh)
11	Z', V, T	45.62
12	Z', Z", V, T	41.22
13	Z', Z", V	41.80
14	Z", V, T	46.61

1) Z',Z"の使用周波数は、10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}Hz
2) 機械学習手法はRF

[0063] [表4]

実験例	説明変数	Z',Z"の使用周波数 (Hz)	RMSE (mAh)	測定時間 (sec)
12	Z', Z", V, T	10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}	41.22	49
15	Z', Z", V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}	41.73	189
16	Z', Z", V, T	10^{0},10^{1},10^{2},10^{3}	41.72	35
17	Z', Z", V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3},10^{4},10^{5}	51.52	202
18	Z', Z", V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3},10^{4}	44.87	194
19	Z', Z", V, T	10^{-2},10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2}	44.44	184

1) 機械学習手法はRF

[0064] 次に、リチウムイオン二次電池の種別の影響について検討した。電池の種別の特定を行うために、統計分析ソフトＲでランダムフォレスト（ＲＦ）を用い、分類を行った。ハイパーパラメータｎｔｒｅｅ、ｍｔｒｙをそれぞれｎｔｒｅｅ＝１００００、ｍｔｒｙ＝５として計算した。１０分割交差検証を採用し、１０回推定モデルを構築しており、その１０回の平均のＡｃｃｕｒａｃｙ（正答率）で評価した。説明変数に交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’及び虚部Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔを使用し、データ点数はそれぞれパナソニック製ＬＩＢが３６９６点、ＬＧ製ＬＩＢが７９２点、プラタ販売のＬＩＢが５２８点で評価した。その結果、Ａｃｃｕｒａｃｙは、０．９９８と、ほぼ１００％の確率で３つの種別に分離できていることを確認できた。なお、測定因子や種別特定の手法は、表１～４などに示したように、上記内容とすることが好ましいこと

が推察された。このように前もって電池の種別を特定できることによる利点を以下に示す。

[0065] 電池の容量および抵抗を推定するために、統計分析ソフトＲでランダムフォレストを用い、種別推定モデルを構築した。ハイパーパラメータｎｔｒｅｅ、ｍｔｒｙをそれぞれｎｔｒｅｅ＝１０００、ｍｔｒｙ＝５として、交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔの測定結果で電池の容量および抵抗を予測した。単一の種別（パナソニック製ＬＩＢ）の結果は、前述の図１１、１２に示した。次に、上記３種別の電池の測定結果を全て用いて推定モデルを構築した場合と、各種別で測定結果を分けて推定モデルを構築した場合とを比較した。図１６は、単独種又は３種混合で予測した容量実験値と容量予測値との関係図である。図１６はＬＧ製ＬＩＢの容量の実験値と予測値とを比較した結果である。３種別の電池の測定結果を全て用いて推定モデルを構築した場合、単独種の電池のデータベースの場合と比較して一部の予測値が実験値に対して大きく外れる結果となった。この結果は、パナソニック製ＬＩＢやプラタ販売のＬＩＢでも同様のことが起きていた。つまり、予測精度を上げるには単独種の電池の測定結果だけで推定モデルを構築したほうが良好な結果が得られることがわかった。電池の種別が特定できない場合、複数の種別の電池のデータベースを混合して推定モデルを作るしかないので、前もって電池の種別を特定することは予測精度を向上させることにつながることが明らかとなった。

[0066] （異なる製品種のデータセット転用についての検討）

中古電池の劣化診断の検討として、パナソニック製リチウムイオン電池（ＬＩＢ）ＮＣＲ１８６５０を第１電池とし、ＬＧ製１８６５０－Ｍ２６を第２電池として用い、診断には交流インピーダンスＺ、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔの測定結果を用いた。インピーダンス、開放電圧、測定温度の測定には、ソーラートロン社製ＣＥＬＬＴＥＳＴ－８Ｔ（７ｃｈ：１Ａ仕様、１ｃｈ：２５Ａ仕様）を用いて、測定時の交流電圧振幅は５ｍＶとした。パナソニック製ＬＩＢの劣化電池として、２０℃で２Ｃ（Ｃレート）充電、０．１Ｃ放

電を繰り返したもの（高レート電池とも称する）と、残容量ＳＯＣを１００％（４．２Ｖ）に調整した電池を長期保存したもの（高温保存電池とも称する）とを用意した。インピーダンスおよび開放電圧は、電池のＳＯＣや測定温度で変化することから、ＳＯＣは１０％刻みで０～１００％、測定温度は１０℃刻みで－２０～５０℃の範囲で測定した。劣化度の指標として、電池容量を今回考慮した。今回は各電池に対してアスカ電池社製５Ｖ／１０Ａ－８０ＣＨを用いて、２０℃で０．１ＣのＣＣＣＶ放電の放電容量を測定し、それを電池容量とした。得られたデータベースを基に機械学習により、温度－２０～５０℃、ＳＯＣが０～１００％の範囲で、交流インピーダンスＺ（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）、開放電圧Ｖ（Ｖ）、測定温度Ｔ（℃）の測定結果から容量を予測できるようにした。

[0067] 電池の容量を推定するために、統計分析ソフトＲでランダムフォレスト（ＲＦ）を用い、予測モデルを構築した。ハイパーパラメータｎｔｒｅｅ、ｍｔｒｙをそれぞれｎｔｒｅｅ＝１００００、ｍｔｒｙ＝８として、交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）、開放電圧、測定温度の測定結果でパナソニック製ＬＩＢの容量を予測した。新品電池７本、高レート電池２１本、高温保存電池８本で、８８条件（温度８条件×ＳＯＣ１１条件）の実測データを取得し、その内、異常値を除いた３１６４データ点を含むデータベースから予測モデルを構築した。図１７は、予測モデルを用いた予測値と実測値との関係図である。図１７には、測定結果の９０％が含まれる境界ラインも載せて示した。この検討では、１０分割交差検証を行ったことから、１０回予測モデルをトレーニングデータにより構築しており、その１０回のテストデータの平均のＲＭＳＥ、すなわち$RMSE_{CV}$も図１７に示した。ここで検討した予測モデルの$RMSE_{CV}$は、４６．３０ｍＡｈであった。図１７に示すように、第１電池のデータベースを用いて予測した予測値（容量）が実測値に対して良好な対応関係を示しており、この予測モデルが実測値に近い予測を実行可能であることが確認された。

[0068] 次に、第１電池としてのパナソニック製ＬＩＢのインピーダンスを、第２

電池としてのＬＧ製ＬＩＢのインピーダンスに変換する変換モデルを機械学習により構築し、上記予測モデルの構築に使用したデータベースを転用することを検討した。第２電池の新品電池１本、高レート電池１本、高温保存電池１本を、第１電池のそれらに一対一で対応させた。図１８は、ＳＯＣ５０％、温度２０℃における新品電池のインピーダンス（実部Ｚ’、虚部Ｚ”）の例である。図１８に示すように、第１電池の測定結果を、第２電池の測定結果に変換することが可能であると予測された。次に、それぞれ８８条件のデータを、統計分析ソフトＲでランダムフォレストを用い、ハイパーパラメータをｎｔｒｅｅ＝１００００、ｍｔｒｙ＝５として、インピーダンス変換モデルを構築した。第２電池の周波数ｆ（ｆ＝０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）におけるＺ’（ｆ）およびＺ”（ｆ）を目的変数とし、説明変数には第１電池の周波数ｆにおけるＺ’（ｆ）およびＺ”（ｆ）と、温度Ｔ、開放電圧Ｖとした。図１９は、変換モデルを用いて予測したインピーダンスの予測値と実験値との関係図であり、図１９Ａが実部Ｚ’、図１９Ｂが虚部Ｚ”である。ここでは、変換モデルによる２６４データ点（電池３本×８８条件）の予測結果を示した。ここでは、構築した変換モデルを用いて、第１電池の３１６４データ点を第２電池のインピーダンスに変換した。即ち、第２電池の２６４データ点を含む第２データベースと変換モデルとにより、第２電池のデータベースを３１６４データ点に増やした変換後データベースを得た。図１９に示すように、変換モデルを用いてデータ点数を増加した変換後データベースを用いた場合、実測値と予測値とは良好に対応することがわかった。なお、図１９Ｂでは、Ｌｏｇスケールで示しており、3×10^{-4}以下の領域での対応関係が不良に見えるが、これは略値０の領域であり、特に対応関係に支障はないものと判断した。

[0069]（異常値判定の検討）

次に、この構築された変換モデルにより拡充させた変換後データベースを異常値判定に用いた場合について検討した。第２電池の２６４データ点に異常データを加え、および変換モデルで得られた３１６４データ点に異常デー

タを加えて異常値検出を試みた。異常データは、新品の第２電池の２０℃、ＳＯＣ５０％のデータのインピーダンスのみを意図的に二桁小さくした値とした。異常値検出を行う機械学習には、統計分析ソフトＲを用い、手法として局所外れ値因子法（ＬＯＦ）を用いた。図２０は、異常データを加えた第２電池のデータＮｏ．とＬＯＦとの関係図であり、図２０Ａが第２電池の実測値のみのデータベースを用いた検出結果であり、図２０Ｂが変換モデルによりデータ点を拡充した変換後データベースを用いた検出結果である。ここでは、交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’と虚部Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔをパラメータとして用いてＬＯＦを計算したため、１２次元空間で評価している。ＬＯＦのスコアが高いと、空間に対するそのデータの周りのデータ密度が少ないことを意味し、異常値とみなすことができる。図２０では、ハイパーパラメータｋ＝５として計算しており、横軸は電池データの管理番号である。図２０Ａに示すように、第２電池の生データである２６４データ点では、異常データのＬＯＦが２程度を示し、他の正常データと同程度の値をとり、異常データを発見することはできなかった。一方、インピーダンス変換モデルで得られた３１６４データ点を参照する変換後データベースを用いると、異常データのＬＯＦが２０以上を示し、所定の閾値（例えばＬＯＦのスコアが１０以上や１５以上など）を用いることで、測定不良や異質の測定結果を抽出することができることがわかった。図２０Ａに示すように、参照するデータベースが充実していない場合には異常値検出は困難であり、本手法を用いることで参照するデータベースを充実させることができる。この場合の本手法とは、特定の電池種と他の電池種のインピーダンスを一対一で対応させて、変換モデルを構築することである。なお、機械学習には統計分析ソフトＲを用いたが、ｐｙｔｈｏｎ、ｍａｔｌａｂ、ｅｘｃｅｌなどの環境下でも同様の結果が得られるものと推察された。また、変換モデルを構築する手法としてランダムフォレスト（ＲＦ）を用いたが、線形回帰、ニューラルネットワーク、サポートベクターマシーン、ブースティングなどでも同様の結果が得られるものと推察さ

れた。

[0070]（電池種判定の検討）

次に、第２電池の２６４データ点および変換モデルで得られた第１電池の３１６４データ点を加えた変換後データベースを用いて、電池種の同定を試みた。統計分析ソフトＲでランダムフォレストを用い、説明変数として交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’と虚部Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔを使用し、ハイパーパラメータｎｔｒｅｅ＝１００００、ｍｔｒｙ＝５として分類を行った。１０分割交差検証を採用しており、その１０回の平均の正答率で評価した。その正答率は、生データの２６４データ点のみを用いた場合が０．９９４であったが、変換モデルで得られた３１６４データ点を用いた場合は０．９９９であり、正答率が大きく改善した。このように、予測に用いているデータベースが充実していない場合は、電池種の同定の正答率が落ちるが、本手法を用いることで参照するデータベースを充実させることができ、正答率を向上させることができることがわかった。

[0071]（容量判定の検討）

上述したように、第２電池のデータベースよりもデータ点数の多い第１電池のデータベースを変換モデルにより変換してデータ点数を拡充させた第２電池の変換後データベースでは、より正確な異常値判定及び電池種判定が可能であることがわかった。次に、この変換後データベースを用いて容量の予測モデルを構築した場合について検討した。図２１は、３本の第２電池の容量とそれぞれに対応した第１電池の容量との関係図である。各第１電池の容量を第２電池の容量へ図２０の線形補間を用いて換算した。第２電池の容量をｙ、第１電池の容量をｘとすると、高レート電池の場合は、ｙ＝１．４１ｘ－２０９１であり、高温保存電池の場合は、ｙ＝０．５６ｘ＋８２１であった。変換後データベースを用いて、統計分析ソフトＲ、ランダムフォレスト（ＲＦ）で、説明変数に交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’と虚部Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔを使用し

、ハイパーパラメータｎｔｒｅｅ＝１００００、ｍｔｒｙ＝８として容量の予測モデルを構築した。図２２は、変換後データベースを用いて構築した予測モデルによる実測容量値と予測容量値との関係図である。この予測モデルを用いて、評価用として用意した高レート電池（２３２２ｍＡｈ）、高温保存電池（２６０４ｍＡｈ）の容量を予測した。図２３は、変換後データベースを用いて構築した予測モデルを用いて劣化電池の容量を予測した結果図であり、図２３Ａが高レート電池、図２３Ｂが高温保存電池の予測結果である。変換データベースを使用した予測モデルでは、図２２に示すように、ＲＭＳＥ$_{CV}$＝７４．０１ｍＡｈ程度の誤差で予測できることがわかった。表５に変換データベースを用いた予測モデルと第２電池の２６４データ点（生データ）のみから構築した予測モデルの高レート電池（２３２２ｍＡｈ）、高温保存電池（２６０４ｍＡｈ）の容量予測の８８条件（温度８条件×ＳＯＣ１１条件）の平均誤差をまとめて示した。変換後データベースを用いた予測モデルでは、ＲＭＳＥ$_{CV}$は小さく、第１電池のデータを転用してデータベースを拡充することによって予測精度を向上させることができることがわかった。また、図２３に示すように、予測結果が極めて良好な領域や、予測結果が良好な領域など、予測精度の分布を取得することができた。なお、このデータベースの変換による転用に関して、本実施例では、交流インピーダンスＺ’，Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度Ｔを用いたが、直流電流、電圧応答、磁場、ひずみゲージなどを用いた劣化推定でも本手法は有効であることが推察された。

[0072] [表5]

	実測値	平均誤差（実測値との差）	
		変換後データベース使用	実測データベース使用
20℃－2Cサイクル電池	2322mAh	100.97mAh	181.65mAh
60℃保存電池	2604mAh	40.14mAh	62.29mAh

[0073] 次に、使用されているデータベースが変換後データベースであるか否かを定量的に評価する手法を検討した。変換後データベースは、拡充元のデータ

ベース（第１電池のデータベース）の空間に対するデータのばらつき度合いが近いものとなる。但し、拡充元のデータベースと変換後データベースの空間に対するデータのばらつき度合いは、表６のように一見で明確に区別することは困難である。表６は、拡充元の第１電池であるパナソニック製ＬＩＢの３１６４データ点からなるデータベースと、それを第２電池としてのＬＧ製ＬＩＢに転用した３１６４データ点からなる変換後データベースの一部を示した。まず、データベース内の各データのＬＯＦをハイパーパラメータｋ＝１５として計算した。交流インピーダンス（０．１、１、１０、１００、１０００Ｈｚ）の実部Ｚ’と虚部Ｚ”、開放電圧Ｖ、測定温度ＴをＬＯＦを計算するパラメータとして用い、１２次元空間で評価した。ＬＯＦのスコアが高いと、空間に対するそのデータの周りのデータ密度が少ないことを意味する。図２４は、ＬＯＦの小さい順にソートを行った結果図である。横軸は電池データの管理番号を意味している。拡充元データベースと変換後データベースはよく似た傾向を示すことがわかった。図２４には、第２電池の生データのみによる実測データベースの結果も示した。この場合の第２電池の実測データベースとは、新品電池２本、２０℃－２Ｃサイクル電池７本、６０℃保存電池４本で、８８条件（温度８条件×ＳＯＣ１１条件）の測定を行いデータベースを作成し、その内、異常値を除いた１１３９データ点を基に、３回重複させて３４１７点としたものを指す。次に、それぞれのデータベースにおける計算したＬＯＦのヒストグラムを計算した。ＬＯＦの始点を０．８９とし、０．００３刻みに１０１点でヒストグラムを作成した。図２５は、ＬＯＦと頻度との関係図である。第２電池の実測データベースは、ＬＯＦが０．９８付近の最強ピークに対して０．９５付近の頻度の適合率が低く見られた。ヒストグラムの１０１点を用いて、変換後データベースおよび第２電池の実測データベースが拡充元データベースにどれだけ似ているかを相関係数で評価し、ヒストグラム（データのばらつき度合い）を定量評価した。その結果を表７に示す。相関係数が１に近いほどデータベースが近似することを意味し、明らかに変換後データベースは実測データベースに比して、拡

充元データベースに近似していることがわかった。拡充元データベースと変換後データベースとの結果を示したが、変換後データベース同士でも当然データのばらつき度合いが近似するため、相関係数は高くなることは容易に想像できる。以上のことから、例えば装置内の電池Ａ、電池Ｂのデータベースを比較し、上記の相間係数が０．９５以上である爆合は、変換後データベースであるというように、本発明の実施を発見することができる。また、装置が違っていても装置Ａの電池Ａと、装置Ｂの電池Ｂとのそれぞれのデータベースの相関係数が０．９５以上である場合は、変換後データベースであると判断することができる。即ち、本発明を実施していると判断することができる。

[0074] [表6]

変換元データベース									
開放電圧	温度	インピーダンス実部Z'						虚部Z"	
(V)	(℃)	10^{3}Hz	10^{2}Hz	10^{1}Hz	10^{0}Hz	10^{-1}Hz	・・・	10^{3}Hz	・・・
2.8879	-10	0.0754	0.103	0.141	0.224	0.391	・・・	-0.0150	・・・
3.3682	-10	0.0689	0.0933	0.127	0.189	0.303	・・・	-0.0133	・・・
4.1792	-10	0.0598	0.0915	0.131	0.184	0.273	・・・	-0.0157	・・・
3.494	-10	0.0630	0.0847	0.115	0.172	0.316	・・・	-0.0116	・・・
3.5674	-10	0.0604	0.0812	0.111	0.168	0.317	・・・	-0.0109	・・・
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

変換後データベース									
開放電圧	温度	インピーダンス実部Z'						虚部Z"	
(V)	(℃)	10^{3}Hz	10^{2}Hz	10^{1}Hz	10^{0}Hz	10^{-1}Hz	・・・	10^{3}Hz	・・・
2.8879	-10	0.0616	0.0827	0.112	0.177	0.314	・・・	-0.00651	・・・
3.3682	-10	0.0556	0.0715	0.112	0.152	0.328	・・・	-0.00612	・・・
4.1792	-10	0.0484	0.0666	0.105	0.130	0.221	・・・	-0.00492	・・・
3.494	-10	0.0556	0.0701	0.0926	0.150	0.276	・・・	-0.00597	・・・
3.5674	-10	0.0488	0.0693	0.0912	0.150	0.218	・・・	-0.00515	・・・
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

[0075]

[表7]

	データ点数	相関係数
変換後データベース	3164	0.96
実測データベース	264	0.89

[0076] なお、本明細書で開示した評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラムは、上述した実施例に何ら限定されることはなく、本開示の技術的範囲に属する限り種々の態様で実施し得ることはいうまでもない。

[0077] 本出願は、２０２１年７月１５日に出願された日本国特許出願第２０２１－１１７０６３号を優先権主張の基礎としており、引用によりその内容の全てが本明細書に含まれる。

産業上の利用可能性

[0078] 本明細書で開示した評価装置、評価システム、評価方法及びそのプログラムは、蓄電デバイスの特性を評価する技術分野に利用可能である。

符号の説明

[0079] １０ 評価システム、１２ ネットワーク、１３ 蓄電デバイス、１４ 処理対象、１５ 測定装置、１６ 恒温槽、１７ 交流インピーダンスアナライザ、１８ 入力装置、１９ 表示装置、２０ 評価装置、２１ 制御部、２２ 記憶部、２３ 第１データベース、２４ インピーダンス、２５ 開放電圧、２６ 測定温度、２７ 劣化度、２８ 第２データベース、３０ 機械学習プログラム、３１ 許容範囲、３２ 変換モデル、３３ 種別推定モデル、３４ 特性推定モデル、３５ 外れ値検出プログラム、３６ 種別推定プログラム、３７ 劣化判定プログラム、４０ 表示画面。

請求の範囲

[請求項1] 複数の種別を含む蓄電デバイスの評価を実行する評価装置であって、

第１種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第１データベースと、前記第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第２データベースと、蓄電デバイスの測定因子を用い機械学習によりデータを変換する変換モデルと、を有し、前記変換モデルを用いて前記第１データベースのデータを前記第２データベースのデータへ変換して前記第２データベースのデータ点数を増加した変換後データベースを取得し、該変換後データベースを用いて前記第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する制御部、を備えた評価装置。

[請求項2] 前記制御部は、機械学習によって前記第１種別と前記第２種別との前記測定因子を一対一で対応させて前記変換モデルを構築する、請求項１に記載の評価装置。

[請求項3] 前記制御部は、前記第２データベースよりも多いデータ点数を有する前記第１データベースを用いて前記変換後データベースを取得する、請求項１又は２に記載の評価装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記第２種別の蓄電デバイスの容量及び／又は抵抗を含む特性を推定する特性推定モデルを、前記変換後データベースに含まれる前記測定因子を用いて機械学習によって構築する、請求項１～３のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項5] 前記制御部は、処理対象である蓄電デバイスの測定因子の測定結果を取得し、取得した測定因子を説明変数として用いて前記特性推定モデルから該処理対象である蓄電デバイスの特性を推定する、請求項４に記載の評価装置。

[請求項6] 前記制御部は、前記推定した特性に基づいて前記処理対象である蓄電デバイスの劣化度を判定する、請求項５に記載の評価装置。

[請求項7] 前記制御部は、前記第２種別の蓄電デバイスの種別を推定する種別推定モデルを、前記変換後データベースに含まれる前記測定因子を用いて機械学習によって構築する、請求項１～６のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項8] 前記制御部は、処理対象である前記第２種別の蓄電デバイスの測定因子の測定結果を取得し、取得した測定因子を説明変数として用いて前記種別推定モデルから該処理対象である蓄電デバイスの種別を推定する、請求項７に記載の評価装置。

[請求項9] 前記制御部は、前記変換後データベースに含まれる前記測定因子を用いて、前記第２種別の蓄電デバイスに関する所定の外れ値検出手法の評価値を導出し、該評価値に基づいて前記第２種別の蓄電デバイスに対する外れ値の許容範囲を構築する、請求項１～８のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項10] 前記制御部は、処理対象である前記蓄電デバイスの測定因子の測定結果を取得し、取得した測定因子を用いて前記外れ値検出手法によって得られた評価値が前記許容範囲から外れた測定結果を除外した前記測定因子を説明変数として用い、該処理対象である蓄電デバイスに関する評価を実行する、請求項９に記載の評価装置。

[請求項11] 前記制御部は、前記外れ値検出手法としてＬＯＦ（Ｌｏｃａｌ　Ｏｕｔｌｉｅｒ　Ｆａｃｔｏｒ）を用いる、請求項９又は１０に記載の評価装置。

[請求項12] 前記制御部は、前記機械学習の手法としてランダムフォレストを用いる、請求項１～１１のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項13] 前記測定因子は、蓄電デバイスのインピーダンスの実部及び／又は虚部と、該蓄電デバイスの開放電圧と、前記インピーダンス及び開放電圧の測定温度と、を少なくとも含む、請求項１～１２のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項14] 前記測定因子は、10^{-2}Ｈｚ以上10^{4}Ｈｚ未満の範囲のインピーダ

ンスを含む、請求項１～１３のいずれか１項に記載の評価装置。

[請求項15] 蓄電デバイスの評価を行う評価システムであって、

蓄電デバイスの測定因子の測定結果を得る測定装置と、

請求項１～１４のいずれか１項に記載の評価装置と、を備え、

前記制御部は、前記測定装置から前記蓄電デバイスの測定結果を取得する、評価システム。

[請求項16] 複数の種別を含む蓄電デバイスの評価を実行する評価方法であって、

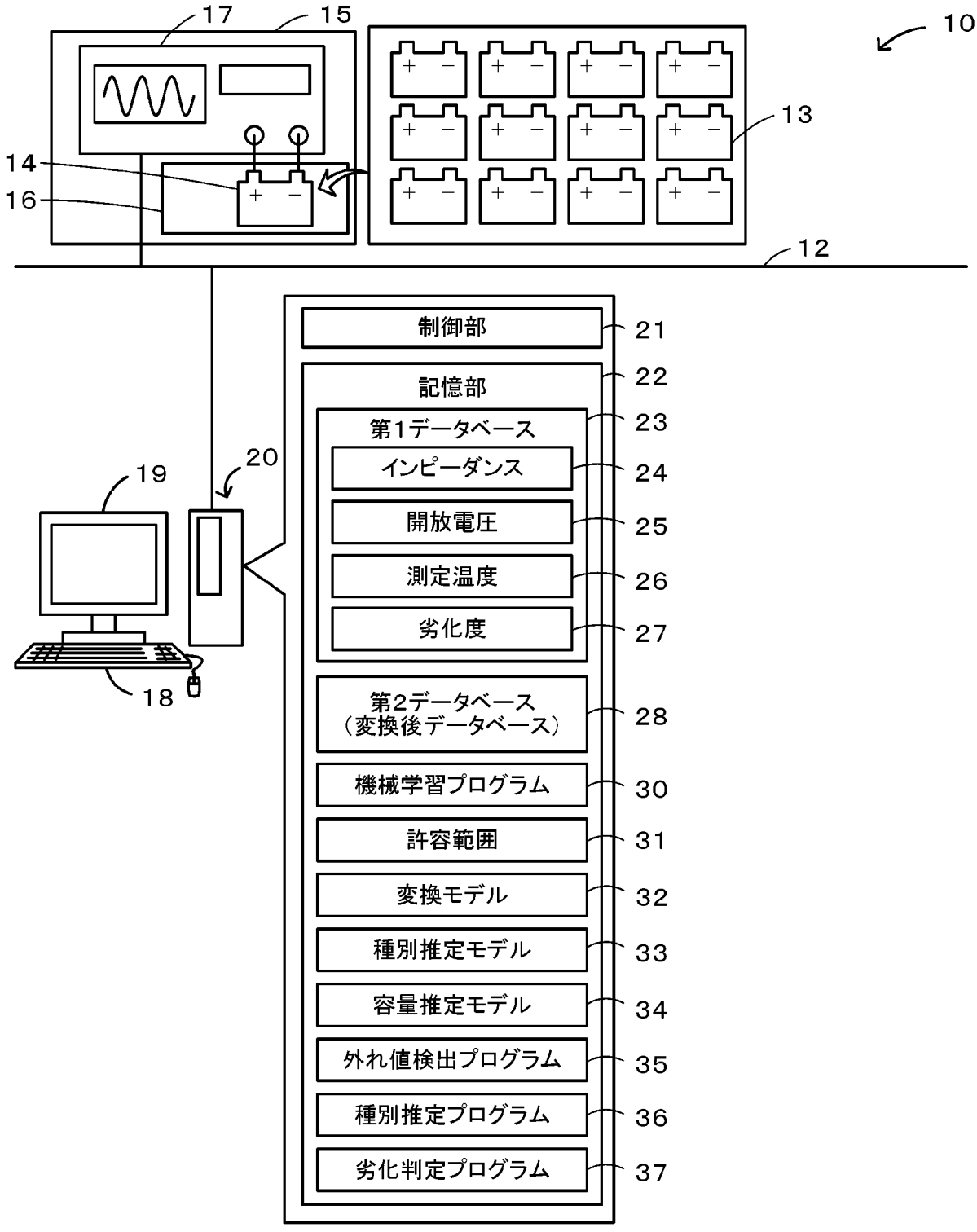
第１種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第１データベースと、前記第１種別とは異なる第２種別の蓄電デバイスの測定因子をデータとして含む第２データベースと、蓄電デバイスの測定因子を用い機械学習によりデータを変換する変換モデルと、を有し、前記変換モデルを用いて前記第１データベースのデータを前記第２データベースのデータへ変換して前記第２データベースのデータ点数を増加した変換後データベースを取得する変換ステップと、

前記変換後データベースを用いて前記第２種別の蓄電デバイスに関する評価を実行する評価ステップと、

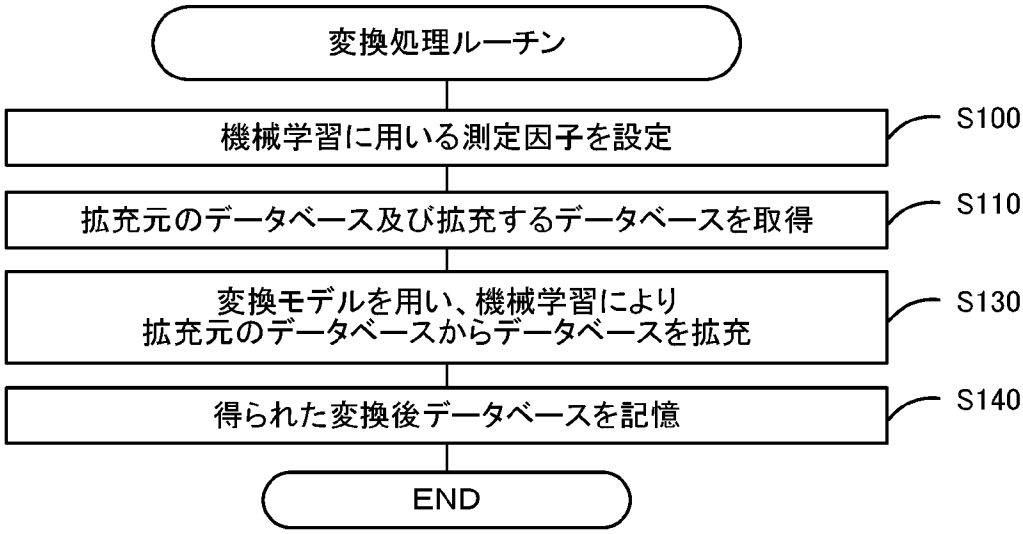
を含む評価方法。

[請求項17] 請求項１６に記載の評価方法のステップを１又は複数のコンピュータに実現させる、プログラム。

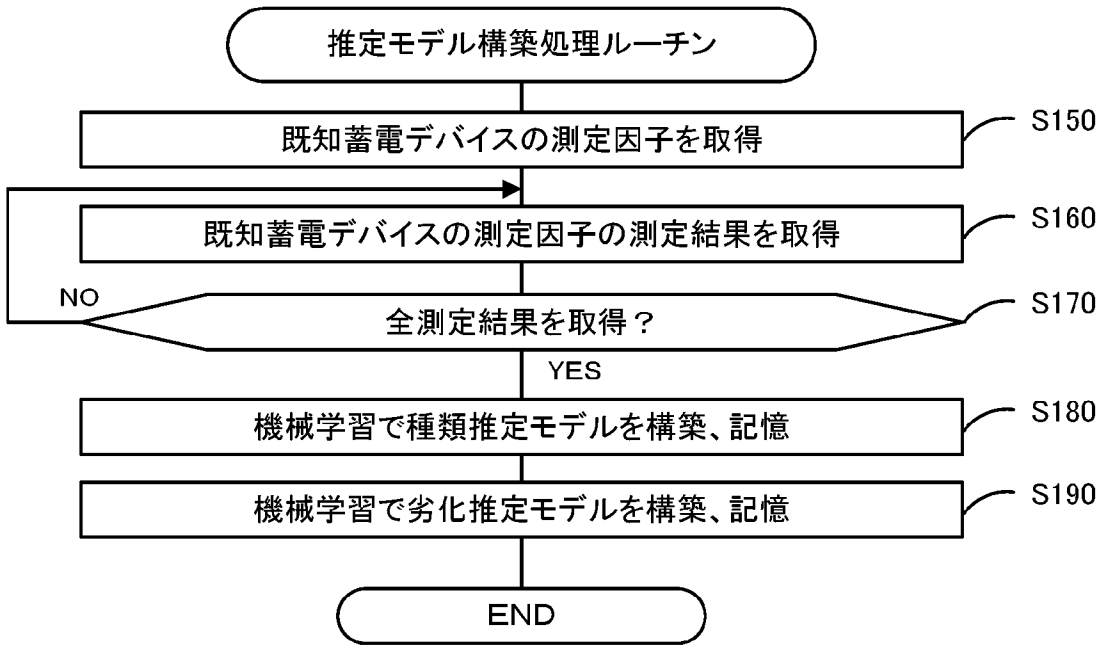
[図1]


17
15
10
13
14
16
12
制御部
21
記憶部
22
第1データベース
23
インピーダンス
24
開放電圧
25
測定温度
26
劣化度
27
第2データベース
（変換後データベース）
28
機械学習プログラム
30
許容範囲
31
変換モデル
32
種別推定モデル
33
容量推定モデル
34
外れ値検出プログラム
35
種別推定プログラム
36
劣化判定プログラム
37
19
20
18

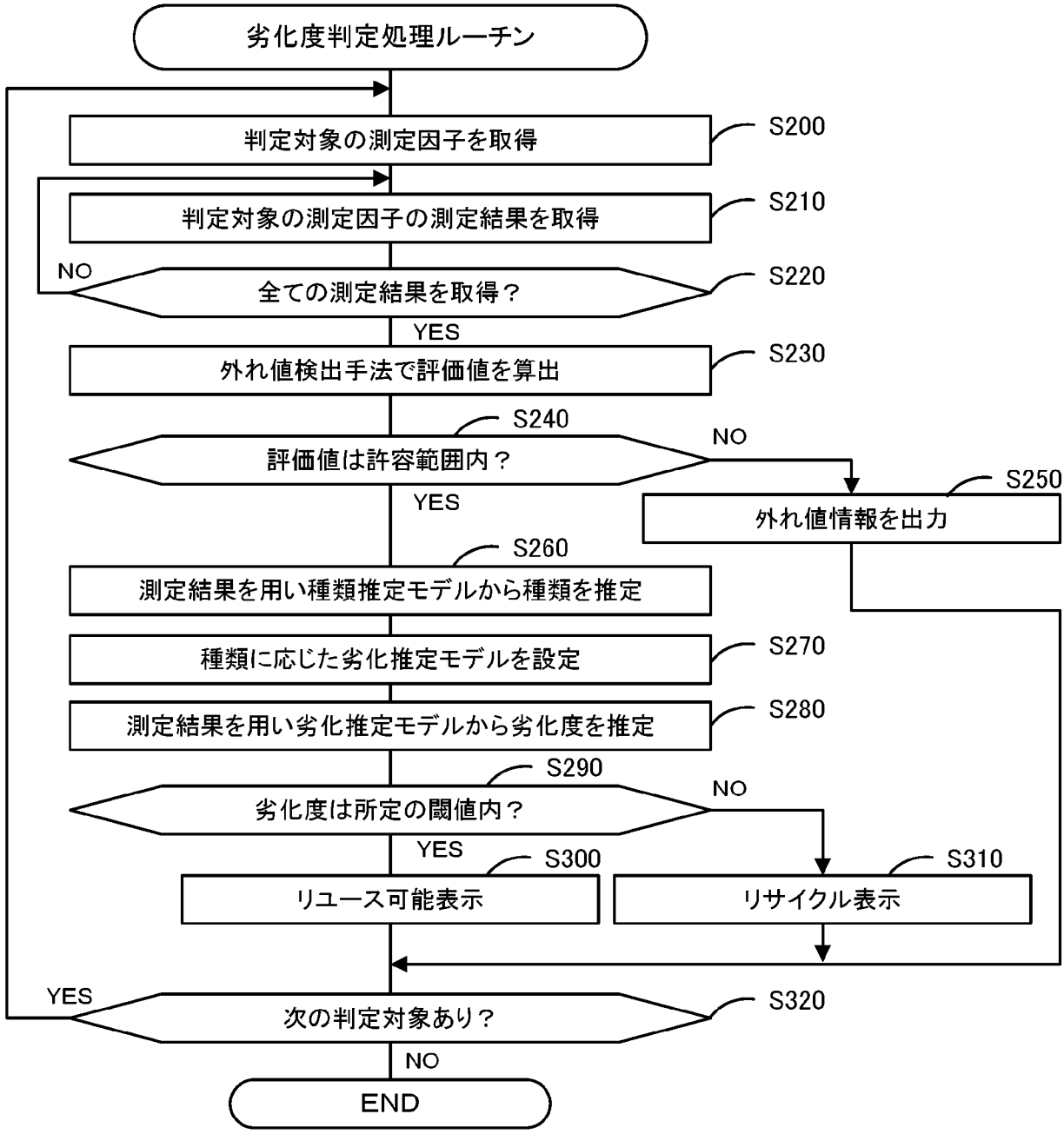
[図2]


変換処理ルーチン
機械学習に用いる測定因子を設定
S100
拡充元のデータベース及び拡充するデータベースを取得
S110
変換モデルを用い、機械学習により
拡充元のデータベースからデータベースを拡充
S130
得られた変換後データベースを記憶
S140
END

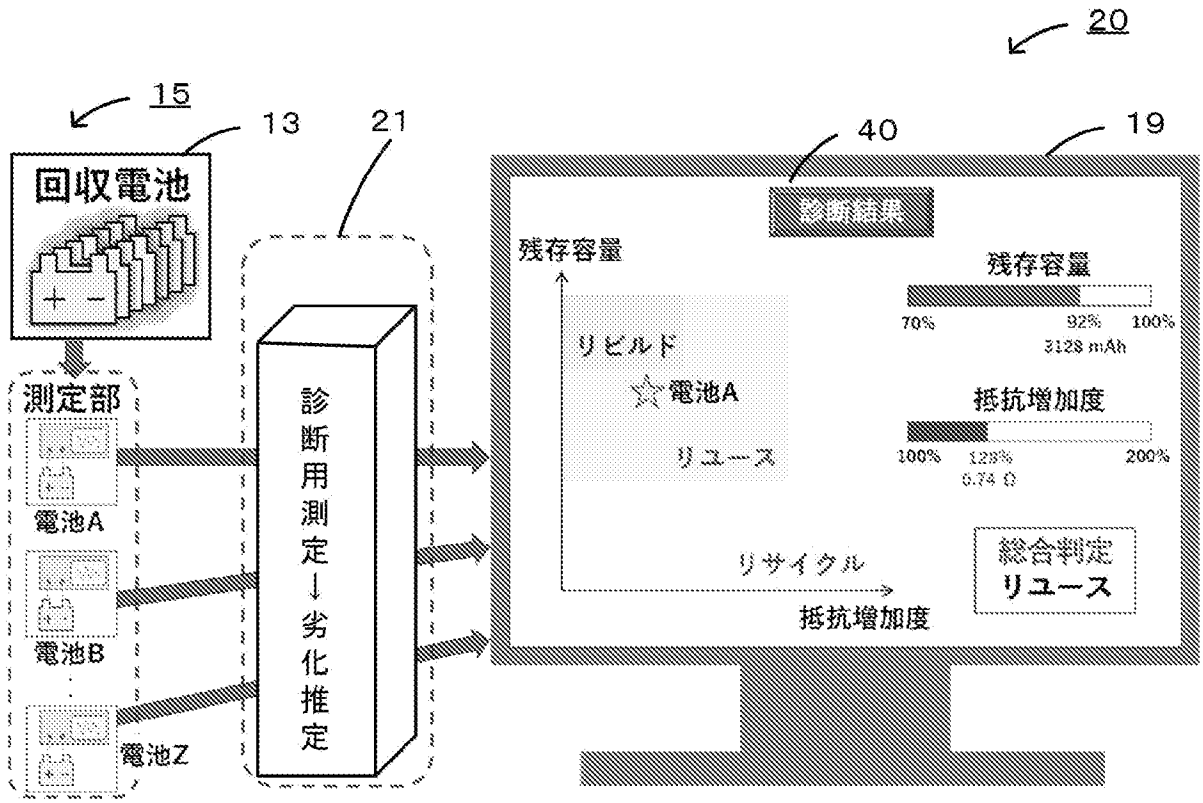
[図3]


推定モデル構築処理ルーチン
既知蓄電デバイスの測定因子を取得
S150
既知蓄電デバイスの測定因子の測定結果を取得
S160
NO
全測定結果を取得？
S170
YES
機械学習で種類推定モデルを構築、記憶
S180
機械学習で劣化推定モデルを構築、記憶
S190
END

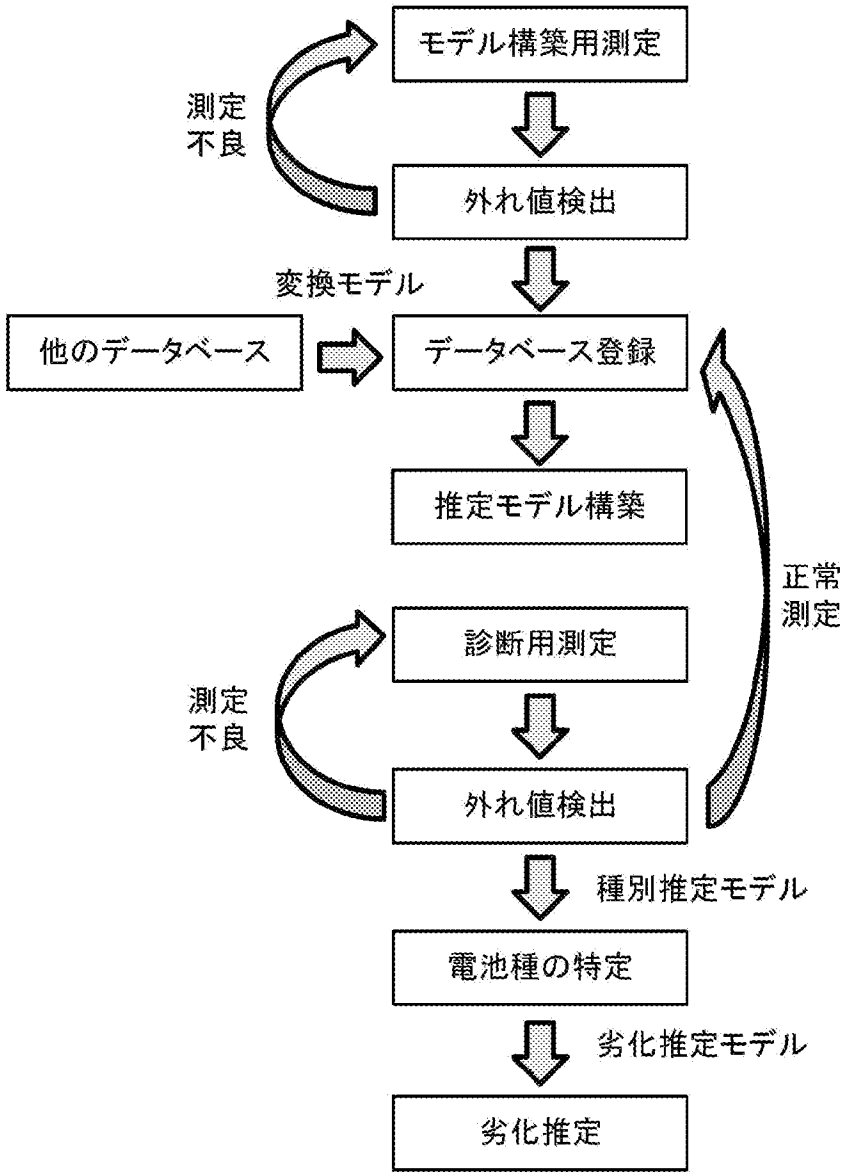
[図4]


劣化度判定処理ルーチン
判定対象の測定因子を取得
S200
判定対象の測定因子の測定結果を取得
S210
NO
全ての測定結果を取得？
S220
YES
外れ値検出手法で評価値を算出
S230
S240
評価値は許容範囲内？
NO
S250
外れ値情報を出力
YES
S260
測定結果を用い種類推定モデルから種類を推定
種類に応じた劣化推定モデルを設定
S270
測定結果を用い劣化推定モデルから劣化度を推定
S280
S290
劣化度は所定の閾値内？
NO
YES
S300
リユース可能表示
S310
リサイクル表示
YES
次の判定対象あり？
S320
NO
END

[図5]

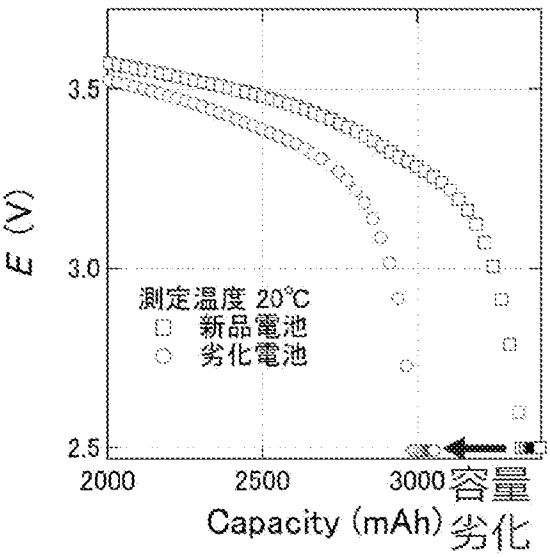

20
15
13
21
40
19
回収電池
測定部
電池A
電池B
電池Z
診断用測定↓劣化推定
診断結果
残存容量
リビルド
☆電池A
リユース
リサイクル
抵抗増加度
残存容量
70%
92%
100%
3128 mAh
抵抗増加度
100%
128%
200%
0.74 Ω
総合判定
リユース

[図6]

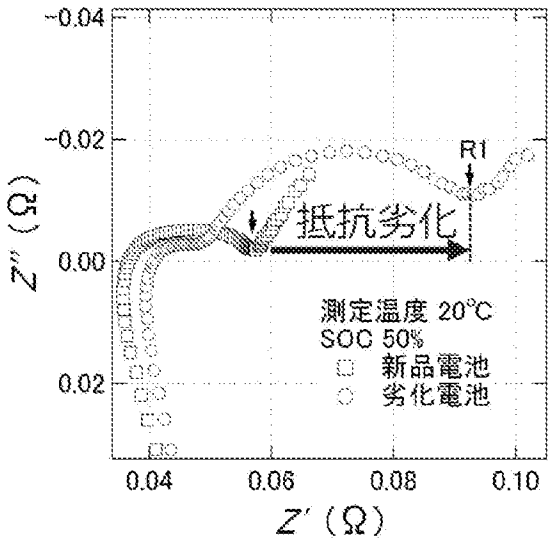

モデル構築用測定
測定
不良
外れ値検出
変換モデル
他のデータベース
データベース登録
推定モデル構築
正常
測定
診断用測定
測定
不良
外れ値検出
種別推定モデル
電池種の特定
劣化推定モデル
劣化推定

[図7]

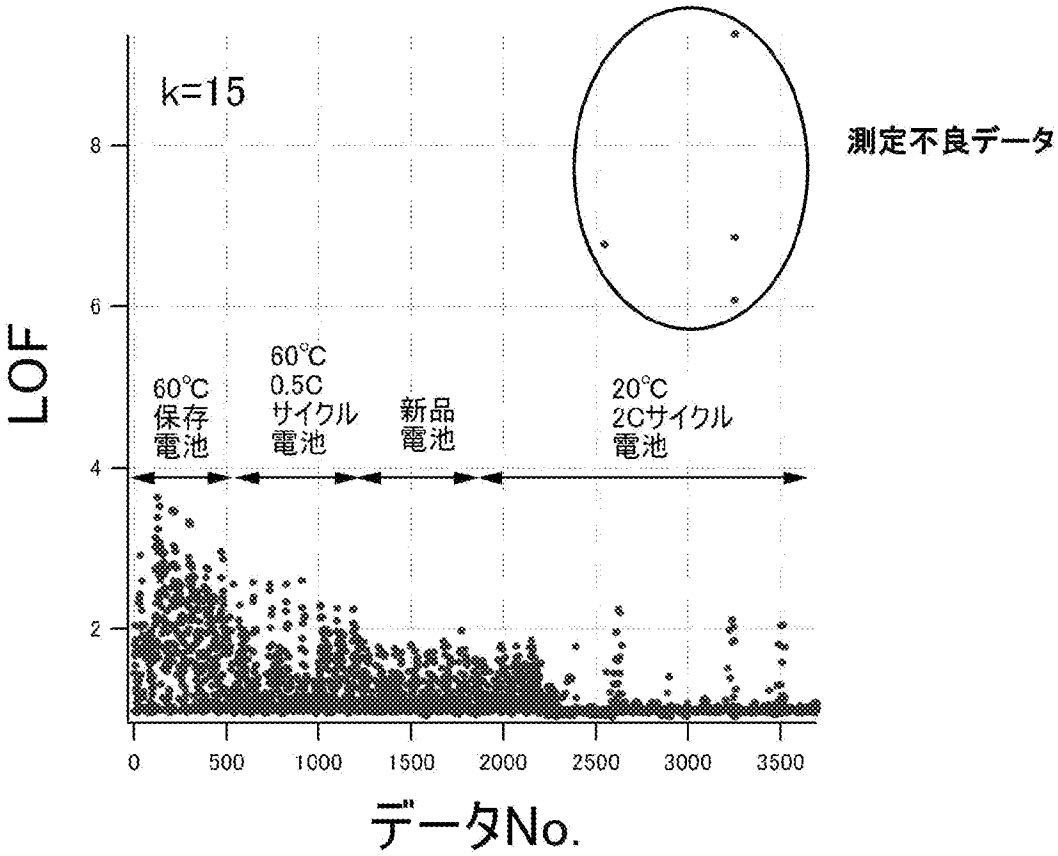
【図7A】


3.5
3.0
2.5
E (V)
測定温度 20℃
新品電池
劣化電池
2000
2500
3000
Capacity (mAh)
容量劣化

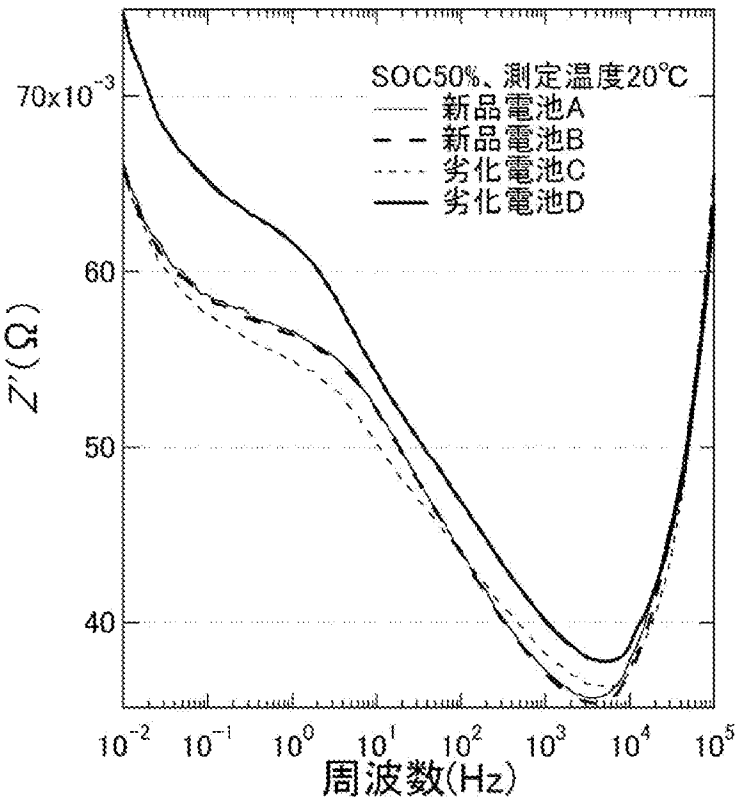
【図7B】


-0.04
-0.02
0.00
0.02
-Z'' (Ω)
R1
抵抗劣化
測定温度 20℃
SOC 50%
新品電池
劣化電池
0.04
0.06
0.08
0.10
Z' (Ω)

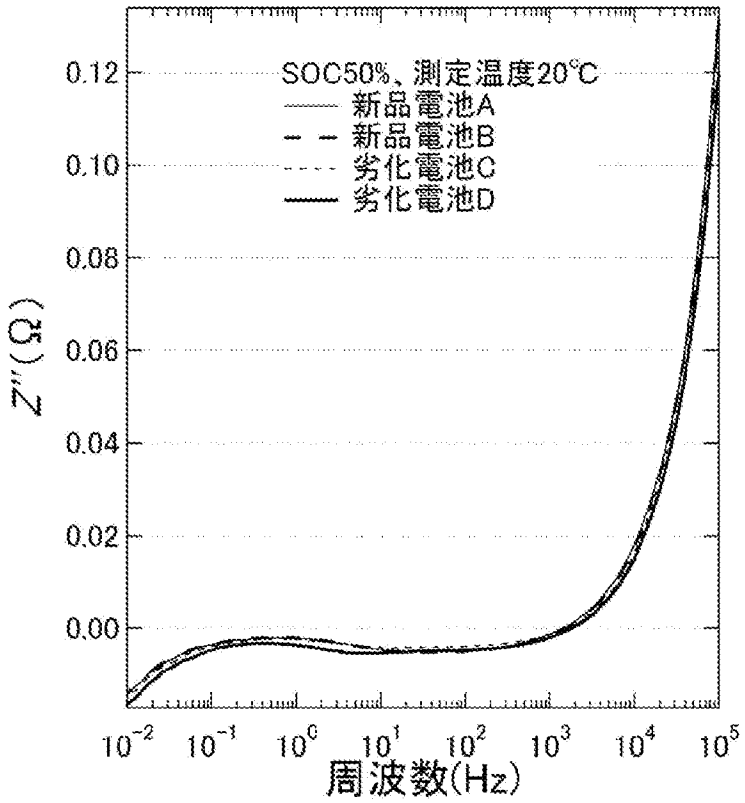
[図8]


k=15
測定不良データ
LOF
60℃
保存
電池
60℃
0.5C
サイクル
電池
新品
電池
20℃
2Cサイクル
電池
8
6
4
2
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
データNo.

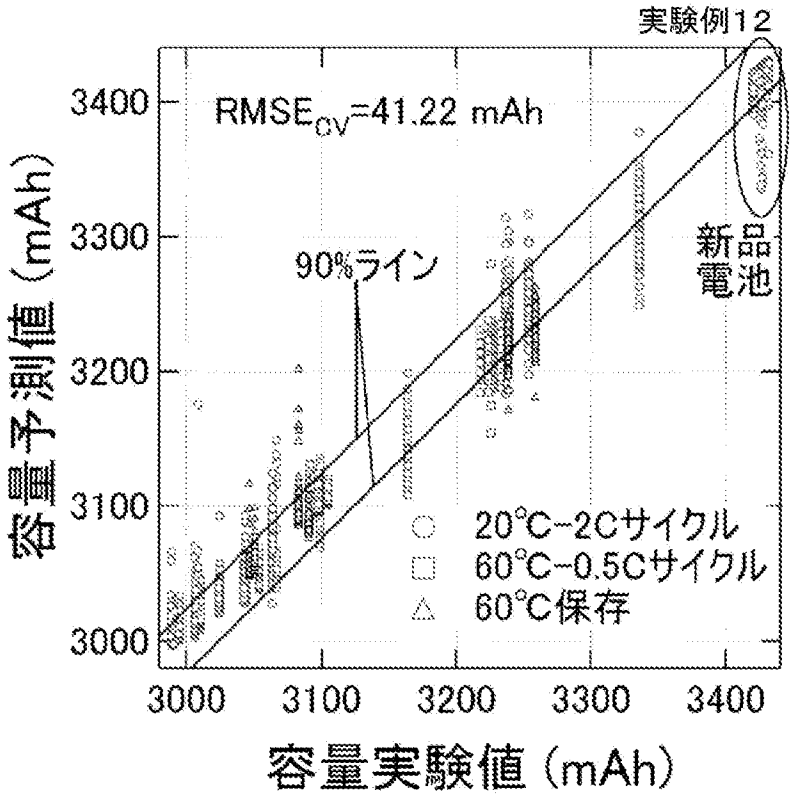
[図9]


SOC50%、測定温度20℃
新品電池A
新品電池B
劣化電池C
劣化電池D
70x10⁻³
60
50
40
Z'(Ω)
10⁻²
10⁻¹
10⁰
10¹
10²
10³
10⁴
10⁵
周波数(Hz)

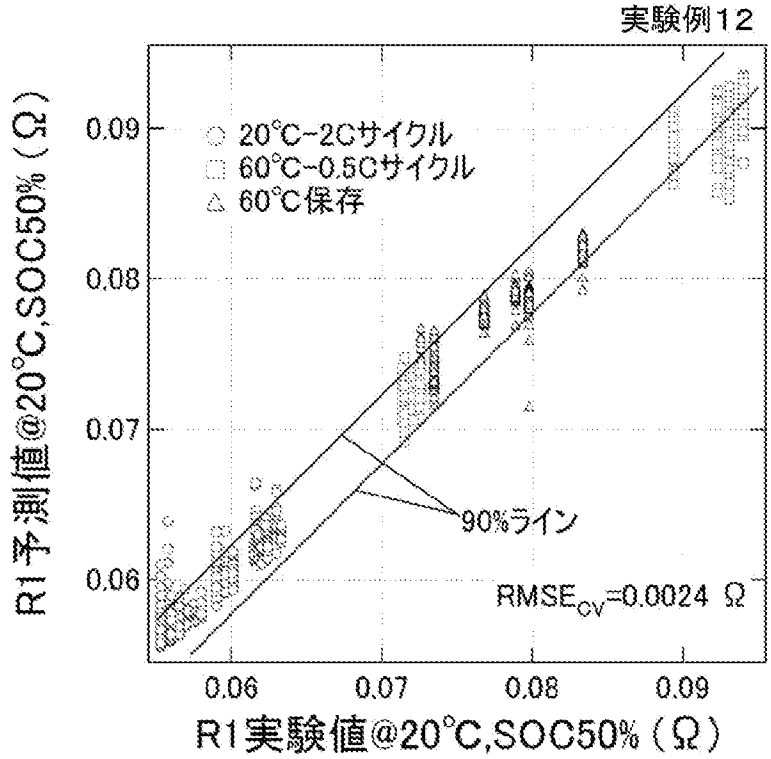
[図10]


SOC50%、測定温度20℃
新品電池A
新品電池B
劣化電池C
劣化電池D
Z''(Ω)
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
10^{-2} 10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{4} 10^{5}
周波数(Hz)

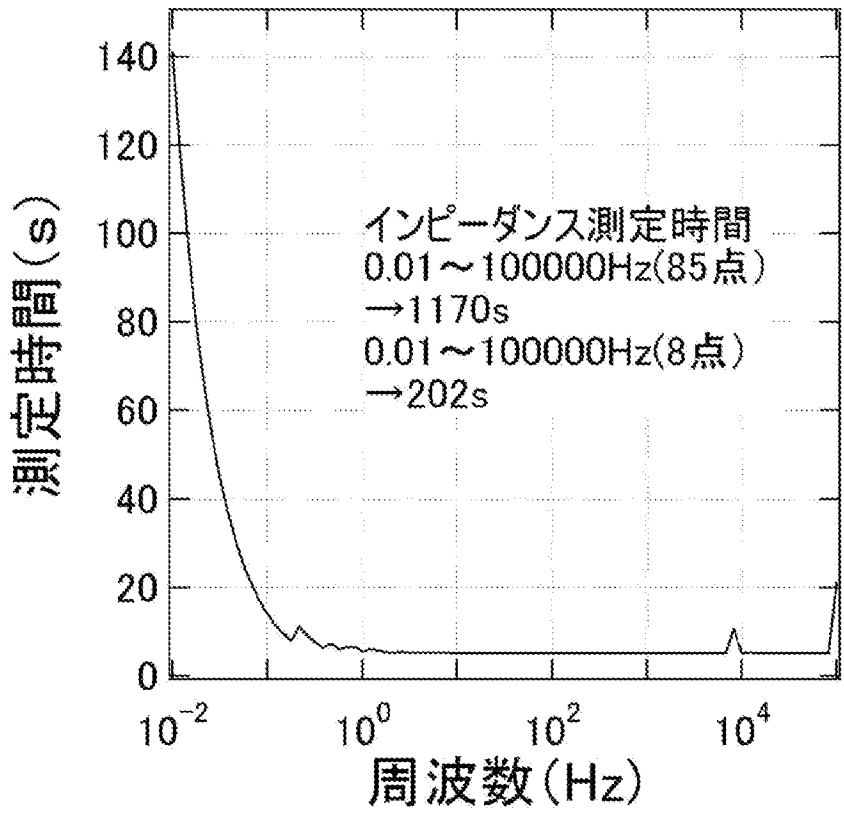
[図11]


実験例12
RMSE$_{CV}$=41.22 mAh
90%ライン
新品電池
20℃-2Cサイクル
60℃-0.5Cサイクル
60℃保存
容量予測値 (mAh)
3400
3300
3200
3100
3000
3000 3100 3200 3300 3400
容量実験値 (mAh)

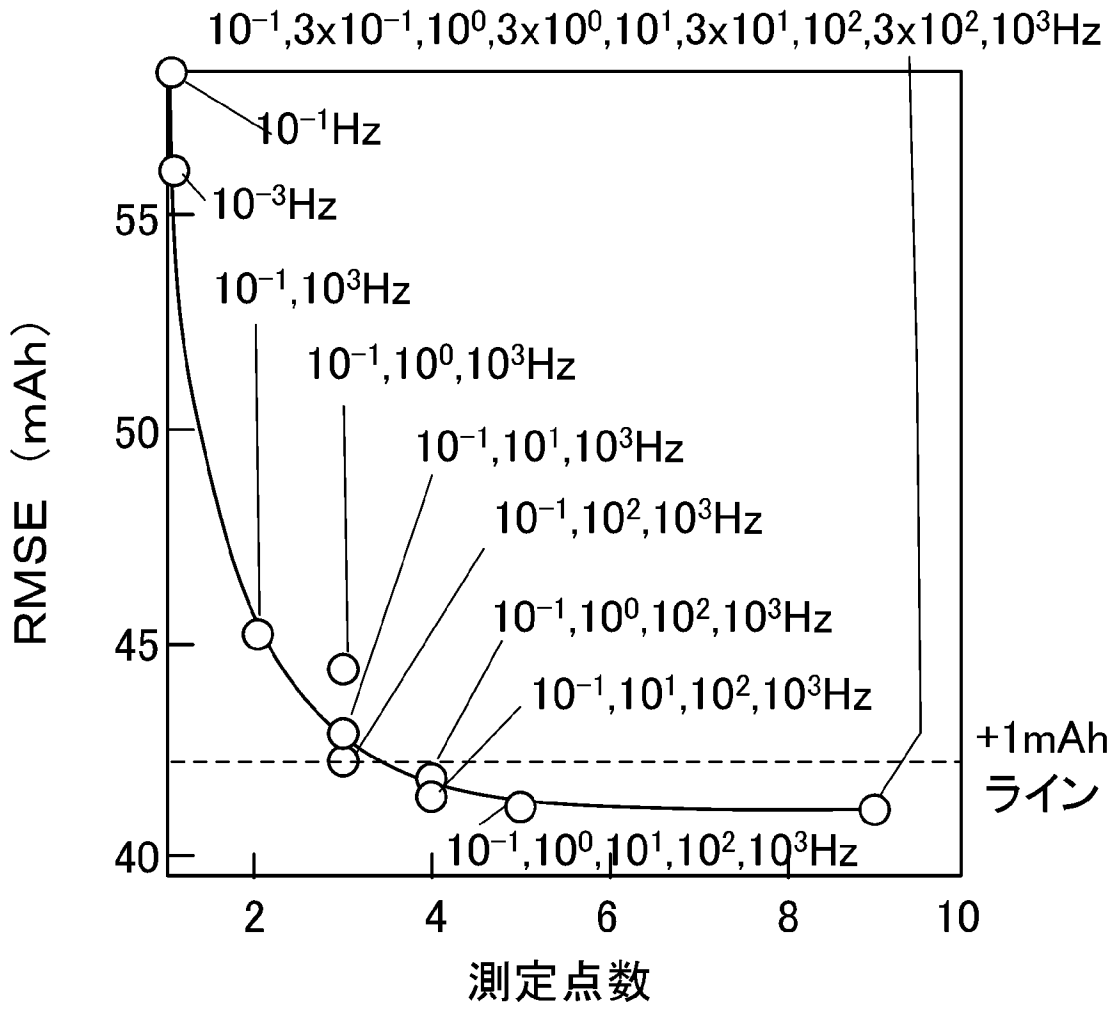
[図12]


実験例12
20℃-2Cサイクル
60℃-0.5Cサイクル
60℃保存
90%ライン
RMSE$_{CV}$=0.0024 Ω
R1予測値@20℃,SOC50%（Ω）
R1実験値@20℃,SOC50%（Ω）
0.06
0.07
0.08
0.09

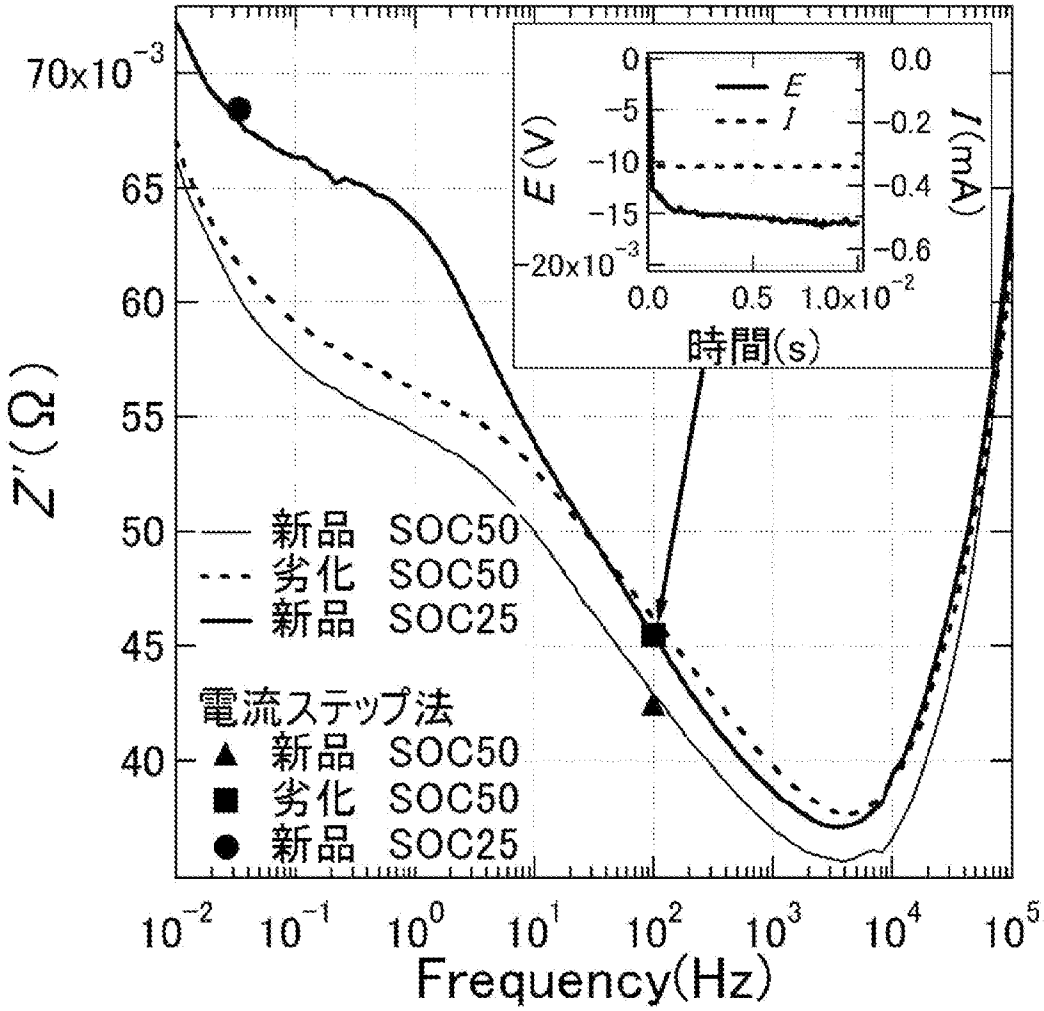
[図13]


インピーダンス測定時間
0.01～100000Hz(85点)
→1170s
0.01～100000Hz(8点)
→202s
測定時間（s）
周波数（Hz）
0
20
40
60
80
100
120
140
10^{-2}
10^{0}
10^{2}
10^{4}

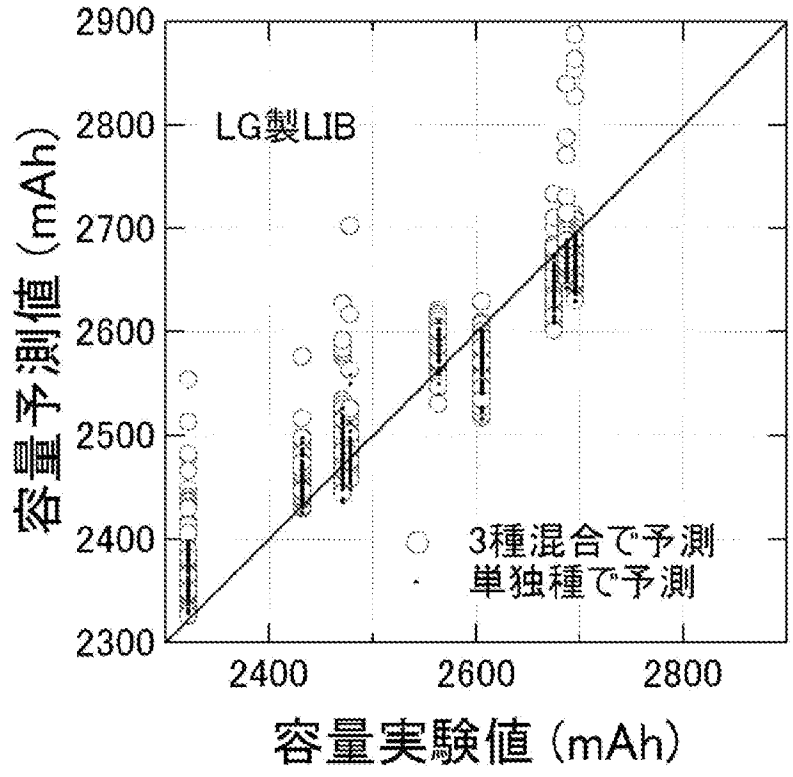
[図14]


10−1,3x10−1,100,3x100,101,3x101,102,3x102,103Hz
10−1Hz
10−3Hz
10−1,103Hz
10−1,100,103Hz
10−1,101,103Hz
10−1,102,103Hz
10−1,100,102,103Hz
10−1,101,102,103Hz
10−1,100,101,102,103Hz
+1mAh
ライン
RMSE（mAh）
55
50
45
40
2
4
6
8
10
測定点数

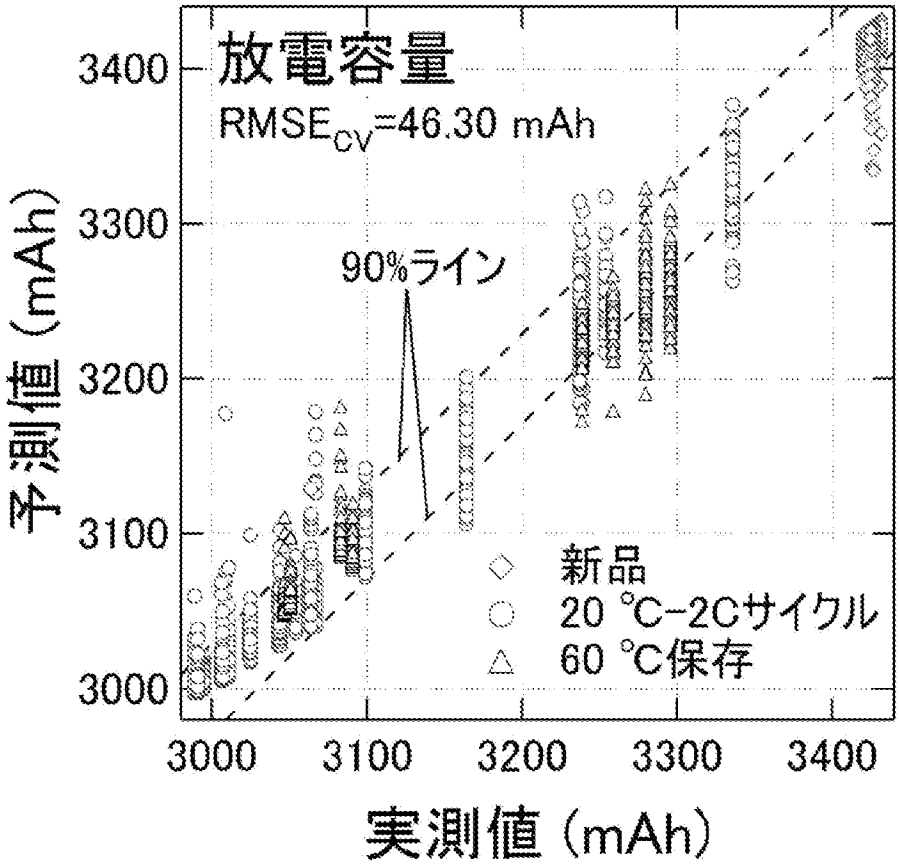
[図15]


70x10^-3
65
60
55
50
45
40
Z'(Ω)
新品 SOC50
劣化 SOC50
新品 SOC25
電流ステップ法
新品 SOC50
劣化 SOC50
新品 SOC25
10^-2 10^-1 10^0 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5
Frequency(Hz)
E
I
E(V)
I(mA)
0
-5
-10
-15
-20x10^-3
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
0.0 0.5 1.0x10^-2
時間(s)

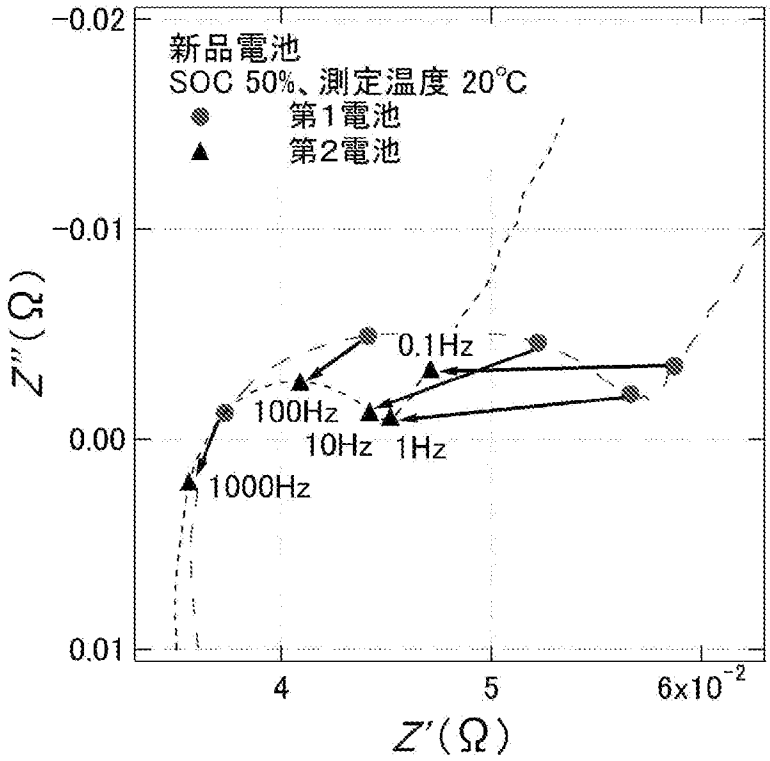
[図16]


2900
2800
2700
2600
2500
2400
2300
容量予測値 (mAh)
LG製LIB
3種混合で予測
単独種で予測
2400 2600 2800
容量実験値 (mAh)

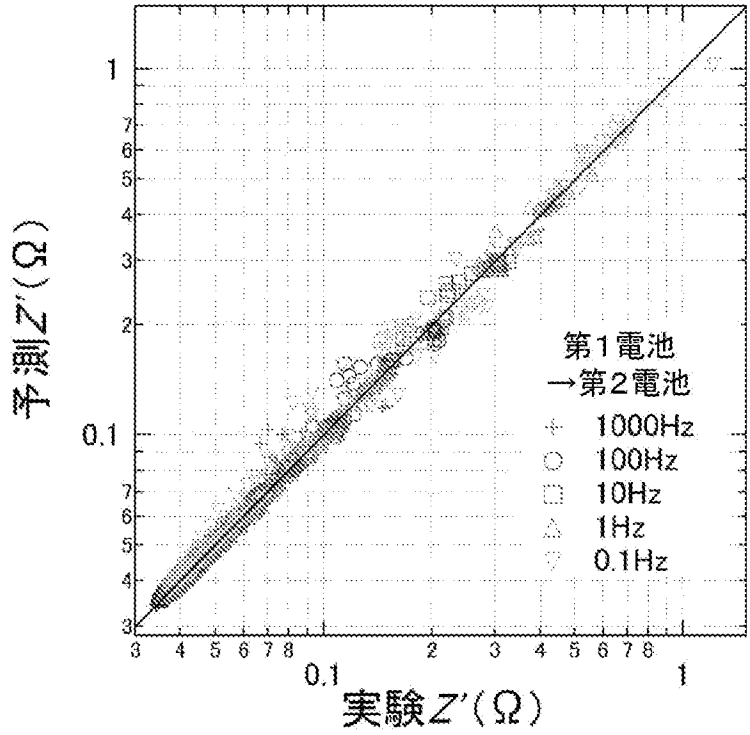
[図17]


放電容量
RMSE$_{CV}$=46.30 mAh
90%ライン
新品
20 ℃-2Cサイクル
60 ℃保存
予測値 (mAh)
実測値 (mAh)
3000
3100
3200
3300
3400

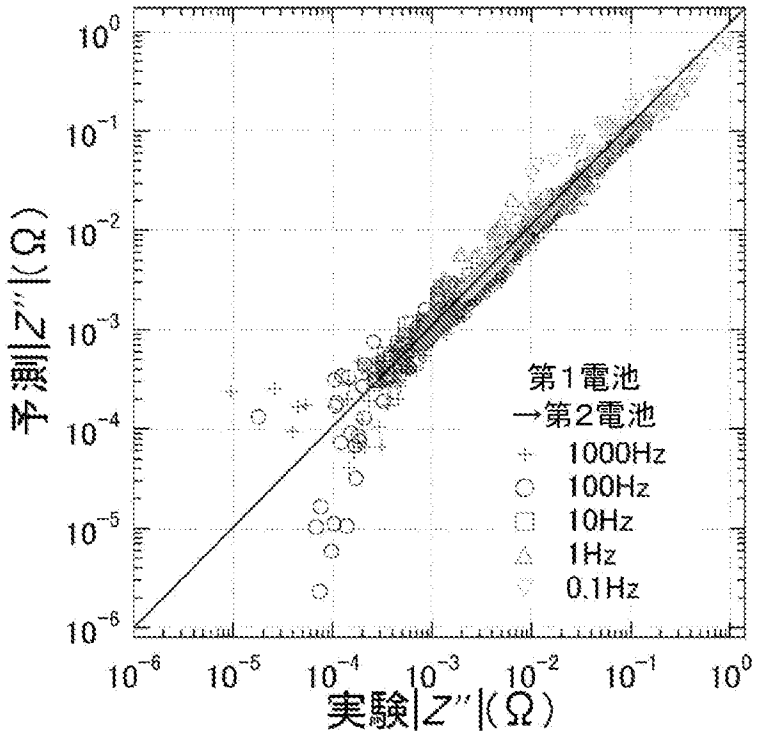
[図18]


新品電池
SOC 50%、測定温度 20℃
第1電池
第2電池
0.1Hz
100Hz
10Hz
1Hz
1000Hz
−Z''(Ω)
Z'(Ω)
−0.02
−0.01
0.00
0.01
4
5
6x10^{-2}

[図19]

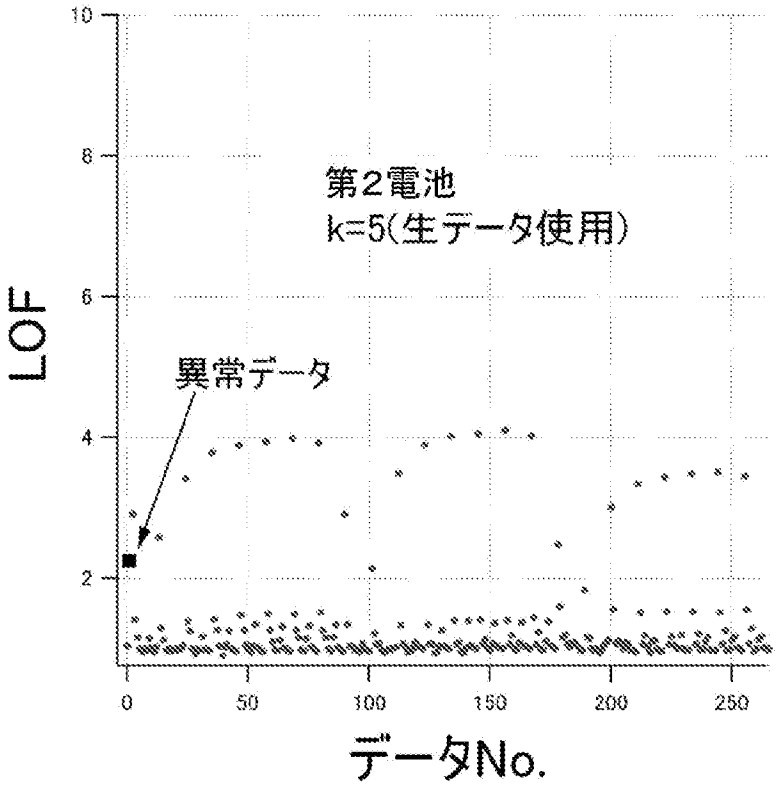

(Ω)'Z測定
実験Z'(Ω)
第1電池
→第2電池
1000Hz
100Hz
10Hz
1Hz
0.1Hz

【図19B】

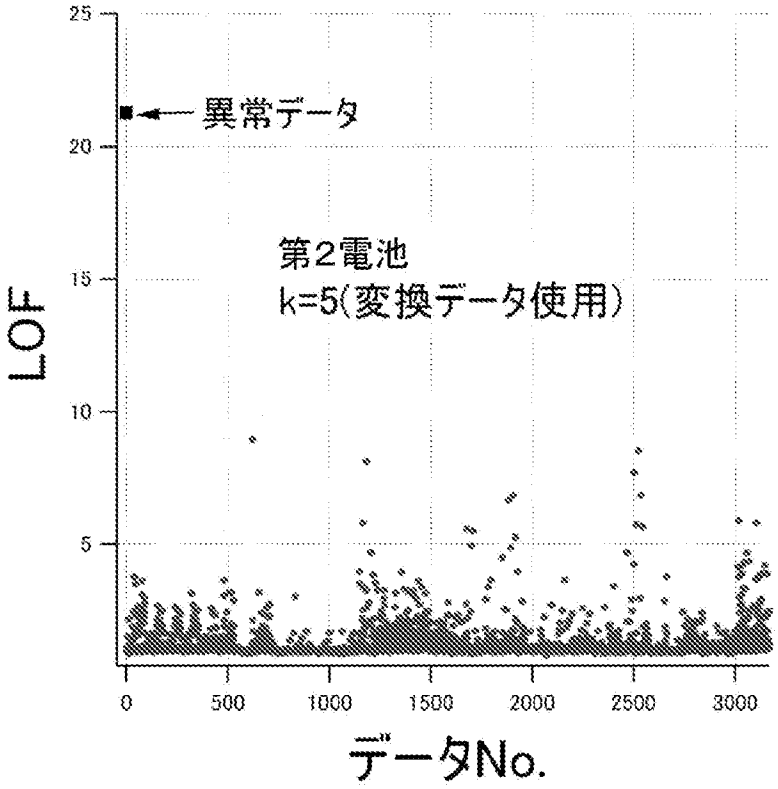

(Ω)|''Z|測定
実験|Z''|(Ω)
第1電池
→第2電池
1000Hz
100Hz
10Hz
1Hz
0.1Hz

[図20]

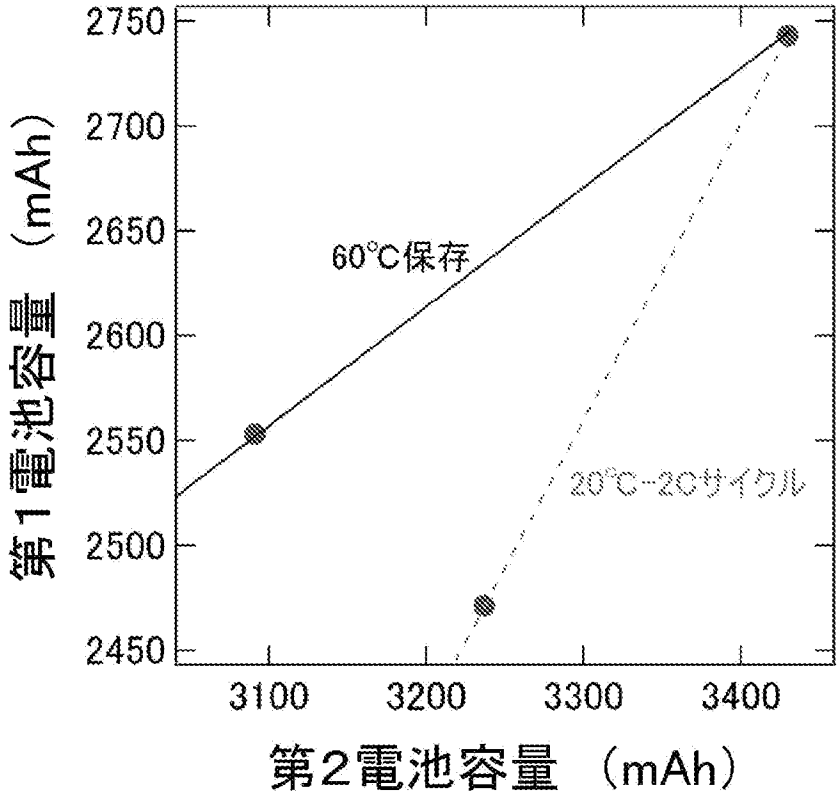
【図20A】



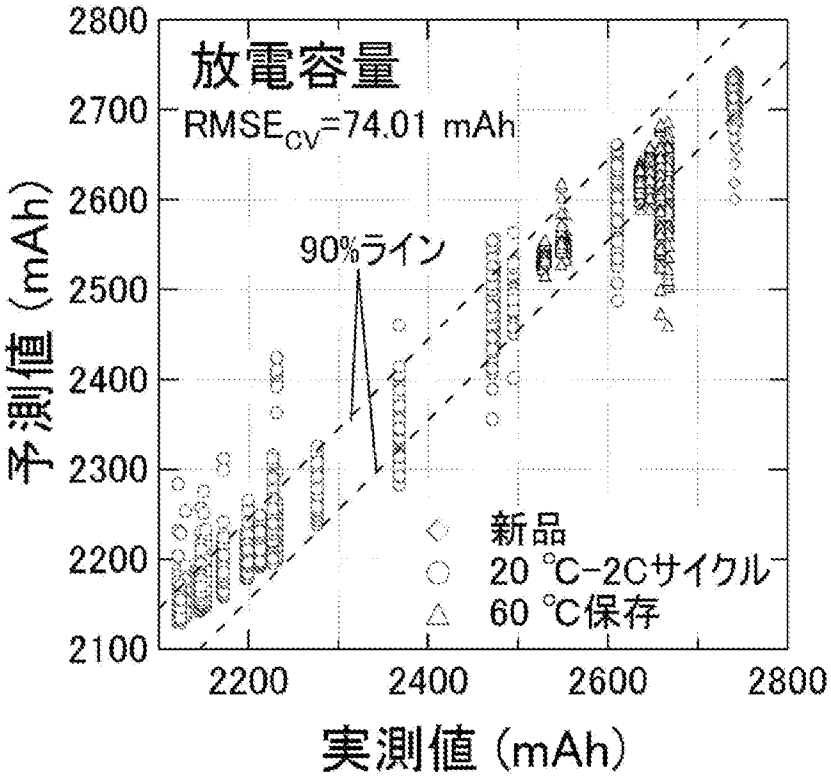
【図20B】



[図21]

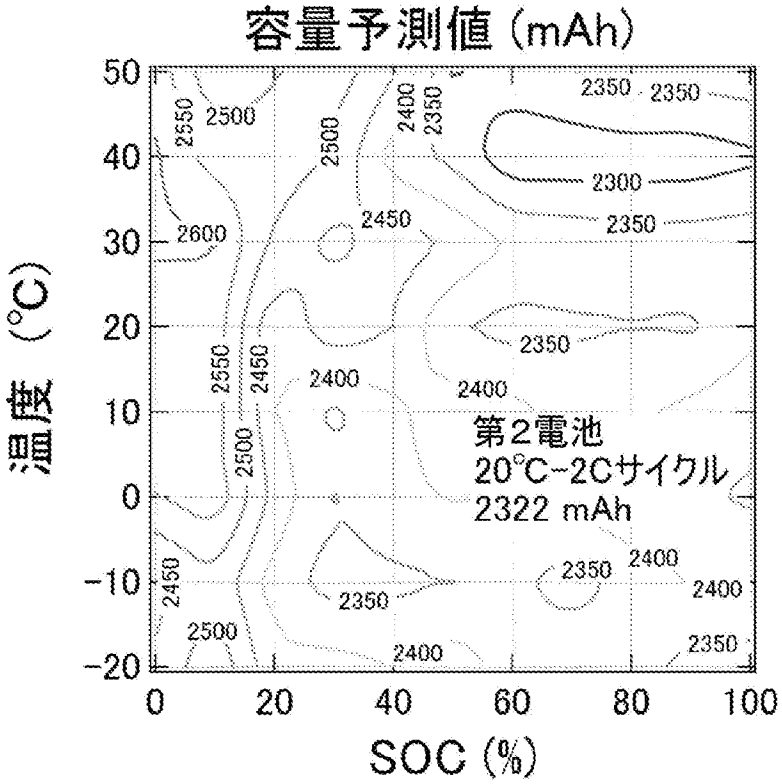

2750
2700
2650
2600
2550
2500
2450
第1電池容量 (mAh)
60℃保存
20℃-2Cサイクル
3100
3200
3300
3400
第2電池容量 (mAh)

[図22]

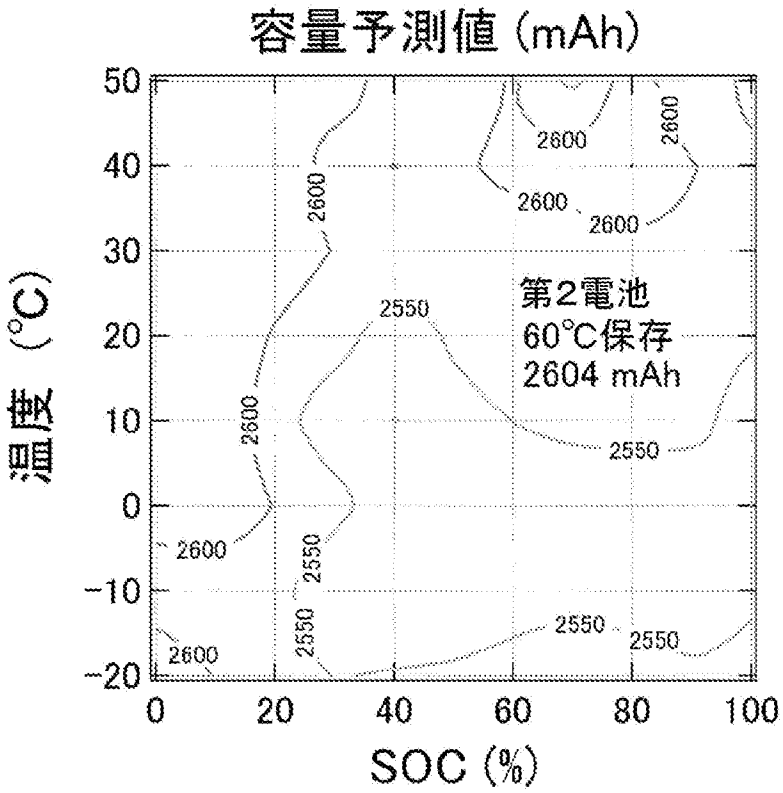

放電容量
RMSE$_{CV}$=74.01 mAh
90%ライン
新品
20 ℃-2Cサイクル
60 ℃保存
2800
2700
2600
2500
2400
2300
2200
2100
予測値 (mAh)
2200
2400
2600
2800
実測値 (mAh)

[図23]

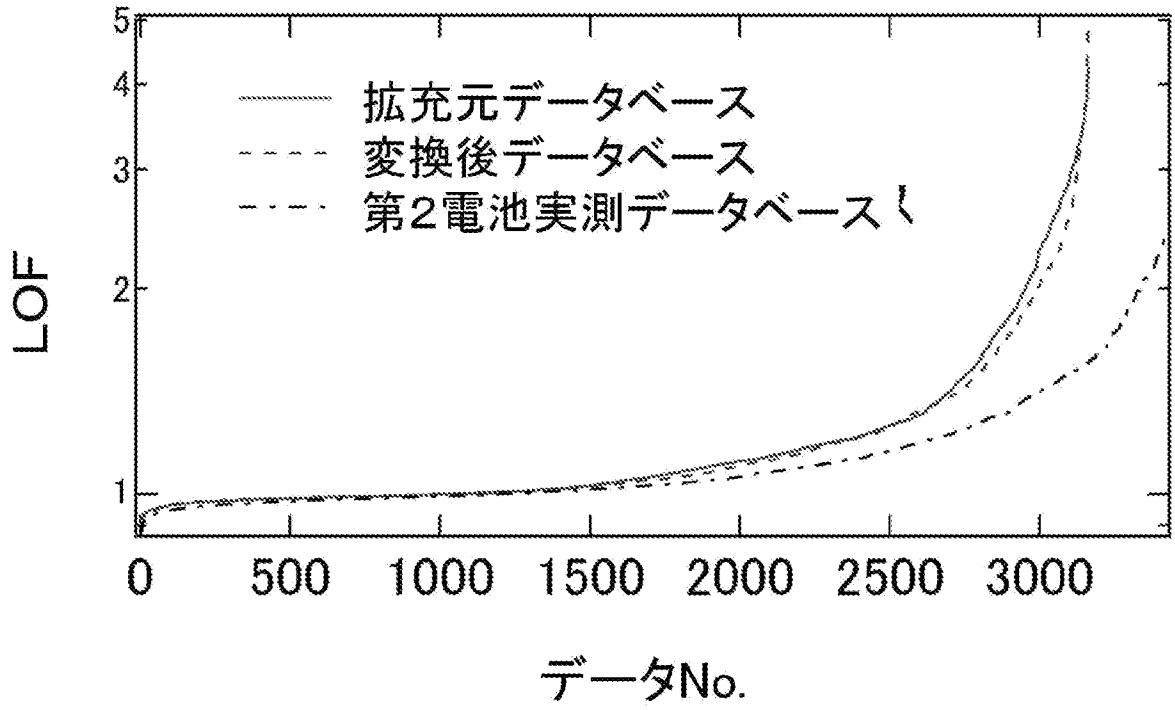
【図23A】



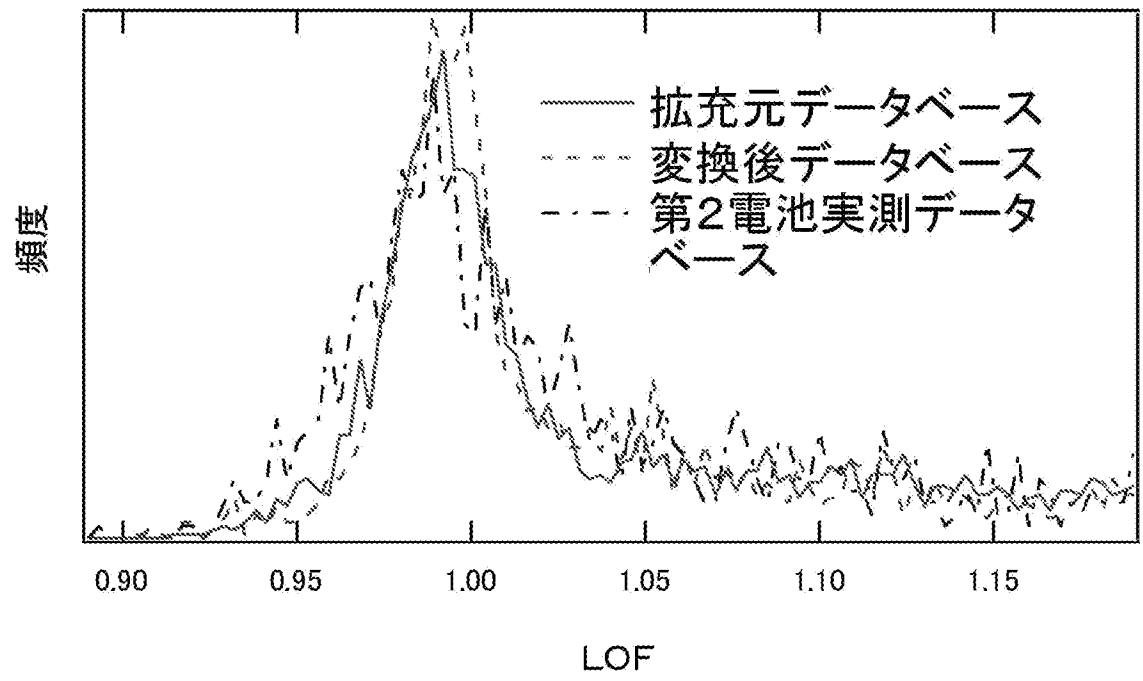
【図23B】



[図24]


LOF
5
4
3
2
1
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
データNo.
拡充元データベース
変換後データベース
第2電池実測データベース

[図25]


頻度
0.90
0.95
1.00
1.05
1.10
1.15
LOF
拡充元データベース
変換後データベース
第2電池実測データベース

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/021067

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/367(2019.01)i; ***G01R 31/387***(2019.01)i; ***G01R 31/389***(2019.01)i; ***G01R 31/392***(2019.01)i; ***H01M 10/42***(2006.01)i; ***H01M 10/48***(2006.01)i
FI: G01R31/392; G01R31/367; G01R31/387; G01R31/389; H01M10/42 P; H01M10/48 P; H01M10/48 301

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)

G01R31/367; G01R31/387; G01R31/389; G01R31/392; H01M10/42; H01M10/48

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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	JP 2013-516614 A (PANASONIC CORP.) 13 May 2013 (2013-05-13) paragraph [0080]	1-17
A	WO 2020/045033 A1 (HONDA MOTOR CO., LTD.) 05 March 2020 (2020-03-05) entire text, all drawings	1-17
A	WO 2020/234980 A1 (HONDA MOTOR CO., LTD.) 26 November 2020 (2020-11-26) entire text, all drawings	1-17
A	WO 2020/152901 A1 (HITACHI, LTD.) 30 July 2020 (2020-07-30) entire text, all drawings	1-17
A	US 2019/0317152 A1 (BLOOM ENERGY CORPORATION) 17 October 2019 (2019-10-17) entire text, all drawings	1-17
A	US 2017/0184680 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 29 June 2017 (2017-06-29) entire text, all drawings	1-17

☑ 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	Date of mailing of the international search report
21 July 2022	**02 August 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/021067

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-537702 A (DEUTSCHE TELEKOM AG) 01 December 2016 (2016-12-01) paragraphs [0001]-[0005]	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/021067

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2013-516614 A	13 May 2013	US 2013/0085696 A1 paragraph [0103] WO 2011/160258 A1 CN 102959418 A	
WO 2020/045033 A1	05 March 2020	US 2021/0300272 A1 entire text, all drawings CN 112534671 A	
WO 2020/234980 A1	26 November 2020	CN 113826263 A	
WO 2020/152901 A1	30 July 2020	EP 3916884 A1 entire text, all drawings	
US 2019/0317152 A1	17 October 2019	(Family: none)	
US 2017/0184680 A1	29 June 2017	KR 10-2017-0078387 A	
JP 2016-537702 A	01 December 2016	US 2016/0239753 A1 paragraphs [0002]-[0006] WO 2015/043823 A1 EP 2854045 A1 ES 2568052 T3 KR 10-2016-0058891 A CN 105765563 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/021067

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01R 31/367(2019.01)i; G01R 31/387(2019.01)i; G01R 31/389(2019.01)i; G01R 31/392(2019.01)i; H01M 10/42(2006.01)i; H01M 10/48(2006.01)i
FI: G01R31/392; G01R31/367; G01R31/387; G01R31/389; H01M10/42 P; H01M10/48 P; H01M10/48 301

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））

G01R31/367; G01R31/387; G01R31/389; G01R31/392; H01M10/42; H01M10/48

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２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	JP 2013-516614 A (パナソニック株式会社) 13.05.2013 (2013-05-13) 段落0080	1-17
A	WO 2020/045033 A1 (本田技研工業株式会社) 05.03.2020 (2020-03-05) 全文、全図	1-17
A	WO 2020/234980 A1 (本田技研工業株式会社) 26.11.2020 (2020-11-26) 全文、全図	1-17
A	WO 2020/152901 A1 (株式会社日立製作所) 30.07.2020 (2020-07-30) 全文、全図	1-17
A	US 2019/0317152 A1 (BLOOM ENERGY CORPORATION) 17.10.2019 (2019-10-17) 全文、全図	1-17
A	US 2017/0184680 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 29.06.2017 (2017-06-29) 全文、全図	1-17
A	JP 2016-537702 A (ドイッチェ テレコム アーゲー) 01.12.2016 (2016-12-01) 段落0001-0005	1-17

☐ 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	国際調査報告の発送日
21.07.2022	02.08.2022

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）
島田　保 2S 4004

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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/JP2022/021067

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2013-516614 A	13.05.2013	US 2013/0085696 A1 段落0103 WO 2011/160258 A1 CN 102959418 A	
WO 2020/045033 A1	05.03.2020	US 2021/0300272 A1 全文、全図 CN 112534671 A	
WO 2020/234980 A1	26.11.2020	CN 113826263 A	
WO 2020/152901 A1	30.07.2020	EP 3916884 A1 全文、全図	
US 2019/0317152 A1	17.10.2019	（ファミリーなし）	
US 2017/0184680 A1	29.06.2017	KR 10-2017-0078387 A	
JP 2016-537702 A	01.12.2016	US 2016/0239753 A1 段落0002-0006 WO 2015/043823 A1 EP 2854045 A1 ES 2568052 T3 KR 10-2016-0058891 A CN 105765563 A	