(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8月10日(10.08.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/149011 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 31/392 (2019.01) *H01M 10/42* (2006.01)
G01R 31/367 (2019.01) *H01M 10/48* (2006.01)
G01R 31/389 (2019.01) *H02J 7/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/035710

(22) 国際出願日： 2022年9月26日(26.09.2022)

(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 2022-016957 2022年2月7日(07.02.2022) JP

(71) 出願人: 株式会社デンソー (**DENSO CORPORATION**) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: 吉田 周平 (**YOSHIDA Shuhei**); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 下西 裕太(**SHIMONISHI Yuta**); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP). 滝沢 和哉(**TAKIZAWA Kazuya**); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP).

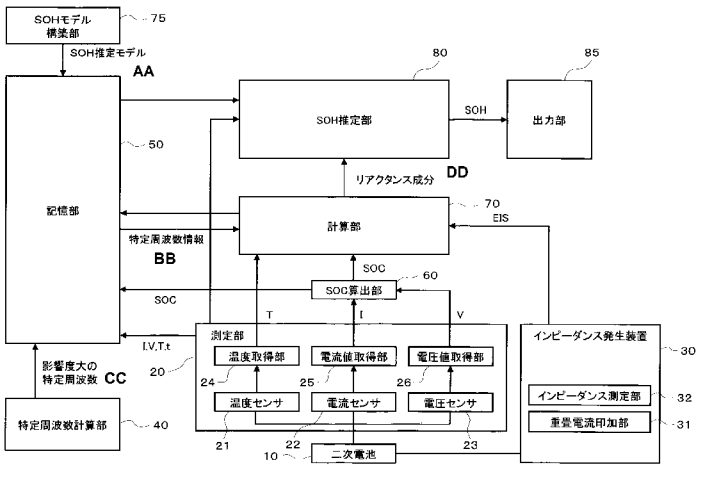
(74) 代理人: 特許業務法人かいせい特許事務所(**KAISEI PATENT FIRM**); 〒4500003 愛知県名古屋市中村区名駅南一丁目２１番１９号 名駅サウスサイドスクエア１１階 Aichi (JP).

(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,

(54) **Title:** SECONDARY BATTERY STATE DETECTING DEVICE, TRAINING UNIT, AND SECONDARY BATTERY STATE DETECTING METHOD

(54) 発明の名称： 二次電池状態検出装置、学習部、二次電池状態検出方法

[図1]



10 Secondary battery
20 Measuring unit
21 Temperature sensor
22 Current sensor
23 Voltage sensor
24 Temperature acquiring unit
25 Current value acquiring unit
26 Voltage value acquiring unit
30 Impedance generating device
31 Superimposed current applying unit
32 Impedance measuring unit
40 Specific frequency calculating unit
50 Storage unit
60 SOC computing unit
70 Calculating unit
75 SOH model building unit
80 SOH estimating unit
85 Output unit
AA SOH estimation model
BB Specific frequency information
CC Specific frequency having high impact
DD Reactance component

(57) **Abstract:** This secondary battery state detecting device for estimating an SOH indicating a degree of deterioration of a secondary battery (10) comprises: a detecting unit (20, 30, 60, 70) for detecting information indicating a battery state of the secondary battery; a training unit (75) for training an SOH estimation model for estimating the SOH; a storage unit (50) in which the SOH estimation model is stored; a computing unit (80) for computing the SOH using the information indicating the battery state of the secondary battery, detected by the detecting unit, and the SOH estimation model stored in the storage unit; and an output unit (85) for outputting an estimated result of the SOH obtained by the computing unit. The SOH estimation model trained by the training unit is built by synthesizing a regression model employing a variance-covariance matrix, using SOH information and information that indicates the battery state and that has a high correlation with the SOH, from among the information indicating the battery state of the secondary battery, as training

WO 2023/149011 A1

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CV, 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, 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, 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：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

data, using the SOH information as an output, and using the information that indicates the battery state and that has a high correlation with the SOH as an input.

(57) 要約：二次電池（１０）の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出装置であって、二次電池の電池状態を示す情報を検出する検出部（２０、３０、６０、７０）と、ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを学習する学習部（７５）と、ＳＯＨ推定モデルが記憶される記憶部（５０）と、検出部で検出される二次電池の電池状態を示す情報と、記憶部に記憶されたＳＯＨ推定モデルと、を用いてＳＯＨの演算を行う演算部（８０）と、演算部で得られたＳＯＨの推定結果を出力する出力部（８５）と、を有する。学習部によって学習されるＳＯＨ推定モデルは、ＳＯＨ情報と、二次電池の電池状態を示す情報のうちのＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとし、ＳＯＨ情報を出力とし、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより構築される。

明　細　書

発明の名称 ：

二次電池状態検出装置、学習部、二次電池状態検出方法

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、２０２２年２月７日に出願された日本特許出願２０２２－０１６９５７号に基づくもので、ここにその記載内容を援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、二次電池状態検出装置、学習部、二次電池状態検出方法に関する。

背景技術

[0003] 従来、二次電池の劣化状態を評価する方法が、例えば特許文献１で提案されている。劣化状態は、ＳＯＨ（State of Health）である。

[0004] 特許文献１では、まず、所定の周波数域の交流を使用して、二次電池のインピーダンススペクトルを測定する。次に、インピーダンススペクトルを、実数軸及び虚数軸で規定される複素平面上に、円弧状部を含む線図で表した場合の、円弧状部の頂点の座標を求める。つまり、座標は、インピーダンスの実部と虚部とで表される。

[0005] そして、インピーダンスの実部と虚部との比、すなわちｔａｎθが算出される。二次電池の劣化状態とｔａｎθとの間には、単純な近似式で近似される相関関係が存在する。よって、算出された角度θと近似式とに基づいて、二次電池の劣化状態が評価される。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第２０１２／０９５９１３号

発明の概要

[0007] しかしながら、上記従来の技術では、所定の周波数域のインピーダンスを全て取得しているので、全てのデータを取得し終わるまでに長い時間が掛か

る。このため、劣化状態の診断時間が長くなってしまう。

[0008] また、二次電池の劣化状態を評価するために、インピーダンスの実部が必須になっている。インピーダンスの実部は、配線の影響を受けやすい。例えば、二次電池によって構成される組電池の配線、インピーダンスが測定される環境、配線の金属抵抗、配線の直流抵抗等の様々な影響が、測定誤差としてインピーダンスの実部に含まれてしまう。このため、インピーダンスの実部を用いた評価では、二次電池の劣化状態の推定精度が低下してしまう。

[0009] さらに、二次電池の劣化状態とｔａｎθとが単純な近似式で近似されているが、二次電池は実際には単調に劣化しない。このため、単純な近似式による評価では、二次電池の劣化状態の推定精度が低下してしまう。

[0010] 本開示は上記点に鑑み、ＳＯＨの診断時間を短く、かつ、ＳＯＨを高精度に推定することができる二次電池状態検出装置及び学習部を提供することを第１の目的とする。また、二次電池状態検出方法を提供することを第２の目的とする。

[0011] 本開示の第１態様によると、二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出装置であって、検出部、学習部、記憶部、演算部、及び出力部を含む。

[0012] 検出部は、二次電池の電池状態を示す情報を検出する。学習部は、ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを学習する。記憶部は、ＳＯＨ推定モデルが記憶される。演算部は、検出部で検出される二次電池の電池状態を示す情報と、記憶部に記憶されたＳＯＨ推定モデルと、を用いてＳＯＨの演算を行う。出力部は、演算部で得られたＳＯＨの推定結果を出力する。

[0013] そして、学習部によって学習されるＳＯＨ推定モデルは、ＳＯＨ情報と、二次電池の電池状態を示す情報のうちのＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとし、ＳＯＨ情報を出力とし、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより構築される。

[0014] 本開示の第２態様によると、二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する二

次電池状態検出装置に適用されると共に、ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを構築する学習部であって、ＳＯＨ情報と、二次電池の電池状態を示す情報のうちのＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとし、ＳＯＨ情報を出力とし、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することによりＳＯＨ推定モデルを構築する。

[0015] 本開示の第３態様によると、二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出方法であって、ＳＯＨ情報を取得する第１ステップと、二次電池の電池状態を示す情報を取得すると共に、二次電池の電池状態を示す情報のうちのＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を取得する第２ステップと、第１ステップで取得されるＳＯＨ情報を出力とし、第２ステップで取得されるＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより、ＳＯＨ推定モデルを構築する第３ステップと、第３ステップで構築されたＳＯＨ推定モデルに、現在の二次電池の電池状態を示す情報を入力して二次電池のＳＯＨを推定する第４ステップと、を含む。

[0016] これによると、ＳＯＨ推定モデルに二次電池の電池状態を示す情報を入力することでＳＯＨを演算している。よって、二次電池のＳＯＨの診断時間を短くすることができる。また、分散共分散行列を用いた回帰モデルは非線形モデルであるので、単調な線形モデルよりも二次電池の劣化状態の推定精度が高い。よって、二次電池のＳＯＨを高精度に推定することができる。

図面の簡単な説明

[0017] 本開示についての上記及び他の目的、特徴や利点は、添付図面を参照した下記詳細な説明から、より明確になる。添付図面において、

[図1]図１は、一実施形態に係る二次電池状態検出装置の構成を示した図であり、

[図2]図２は、モデル構築とＳＯＨ推定の内容を説明するための図であり、

[図3]図３は、複素インピーダンスＺを説明するための図であり、

[図4]図４は、実験室環境と車載環境における二次電池の複素インピーダンスＺのナイキストプロットを示した図であり、

[図5]図５は、図４に示されたナイキストプロットのうちの実数成分Ｚｒｅａｌを示した図であり、

[図6]図６は、図４に示されたナイキストプロットのうちのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを示した図であり、

[図7]図７は、二次電池のＳＯＨを推定する方法を示した図であり、

[図8]図８は、各周波数とリアクタンス成分Ｚｉｍａｇとの関係を温度毎に測定した結果を示した図であり、

[図9]図９は、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータを補間する前のナイキストプロットを示した図であり、

[図10]図１０は、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータを補間した後のナイキストプロットを示した図であり、

[図11]図１１は、二次電池状態検出装置の各機能がモビリティの内部に配置される例を示した図であり、

[図12]図１２は、二次電池状態検出装置の各機能がモビリティの内部及び外部に配置される例を示した図であり、

[図13]図１３は、二次電池状態検出装置の各機能がモビリティの内部及び外部に配置される例を示した図であり、

[図14]図１４は、二次電池状態検出装置の各機能がモビリティの外部に配置される例を示した図であり、

[図15]図１５は、二次電池状態検出装置の各機能がモビリティの外部に配置される例を示した図であり、

[図16]図１６は、第２実施形態において、ＳＯＨ推定モデルの更新を説明するための図であり、

[図17]図１７は、第３実施形態において、学習データの入力データとＳＯＨの推定精度を示した図であり、

[図18]図１８は、第４実施形態において、入出力制限のパラメータを更新す

る内容を示した図であり、

[図19]図１９は、第４実施形態において、充放電制御の一例を示した図であり、

[図20]図２０は、第４実施形態において、充放電制御の一例を示した図であり、

[図21]図２１は、図２０において、二次電池の使用可能容量の可変を示した図であり、

[図22]図２２は、第４実施形態において、認証の内容を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下に、図面を参照しながら本開示を実施するための複数の形態を説明する。各実施形態において先行する実施形態で説明した事項に対応する部分には同一の参照符号を付して重複する説明を省略する場合がある。各実施形態において構成の一部のみを説明している場合は、構成の他の部分については先行して説明した他の実施形態を適用することができる。各実施形態で具体的に組合せが可能であることを明示している部分同士の組合せばかりではなく、特に組合せに支障が生じなければ、明示してなくとも実施形態同士を部分的に組み合せることも可能である。

[0019] （第１実施形態）

以下、第１実施形態について図を参照して説明する。本実施形態に係る二次電池状態検出装置は、二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する装置である。また、二次電池状態検出方法は、二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する方法である。

[0020] 図１に示されるように、二次電池状態検出装置は、二次電池１０に対して設けられる。二次電池１０は、複数の電池セルが直列に接続された電池モジュールを構成する。個々の電池セルは、例えばリチウムイオン二次電池である。二次電池１０は、電気自動車やハイブリッド車等の電動車両の電源部を構成する。なお、電池モジュールは、各電池セルが並列接続される構成も含

まれる。

[0021] 図２に示されるように、二次電池状態検出装置は、二次電池１０のＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを構築する機能と、ＳＯＨ推定モデルを用いてＳＯＨを演算する機能と、を備える。モデル構築では、学習データとして二次電池１０の電池容量の実測値と、二次電池１０のインピーダンスの実測値と、が用いられる。ＳＯＨ推定では、モデル構築によって得られたＳＯＨ推定モデルに、測定値と条件に基づく計算が行われることでＳＯＨが演算される。測定値は、二次電池１０のインピーダンスの虚部Ｚｉｍａｇである。条件は、二次電池１０の温度Ｔ、ＳＯＣ、特定周波数ｆである。

[0022] 図１に示されるように、二次電池状態検出装置は、測定部２０、インピーダンス発生装置３０、特定周波数計算部４０、記憶部５０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０、ＳＯＨモデル構築部７５、ＳＯＨ推定部８０、及び出力部８５を含む。

[0023] 測定部２０は、二次電池１０の電池状態を示す情報として、二次電池１０の温度、電流、電圧を取得する。測定部２０は、温度センサ２１、電流センサ２２、電圧センサ２３、温度取得部２４、電流値取得部２５、及び電圧値取得部２６を含む。

[0024] 温度センサ２１は、二次電池１０の温度を測定する。温度センサ２１は、二次電池１０に設置される。電流センサ２２は、二次電池１０の電流値を測定する。電流センサ２２は、二次電池１０に接続される。電圧センサ２３は、二次電池１０の電圧値を測定する。電圧センサ２３は、二次電池１０に接続される。各センサ２１～２３は、随時、検出信号を各取得部２４～２６に出力する。

[0025] 温度取得部２４、電流値取得部２５、及び電圧値取得部２６は、二次電池１０の温度、電流値、及び電圧値の各データを定期的に取得するためのデータ取得部である。

[0026] 温度取得部２４は、温度センサ２１によって測定される二次電池１０の温度Ｔの情報を定期的に取得する。二次電池１０の温度は、ＳＯＨとの相関が

高い電池状態を示す情報である。例えば、温度取得部２４は、一定期間で取得された二次電池１０の温度の分布から温度Ｔを算出する。例えば、温度Ｔは、一定期間で取得された二次電池１０の温度の度数分布から算出された平均値とすることができる。温度取得部２４は、二次電池１０の温度Ｔの情報を計算部７０に出力する。

[0027] なお、温度Ｔとして、計算負荷低減のため、一定期間で取得された二次電池１０の温度の平均値等を採用することも可能である。

[0028] 電流値取得部２５は、電流センサ２２によって測定される二次電池１０の電流Ｉの情報を定期的に取得する。例えば、電流値取得部２５は、一定期間に取得された二次電池１０の電流の分布から電流Ｉを算出する。例えば、電流Ｉは、一定期間に取得された二次電池１０の電流の度数分布から算出された平均値とすることができる。電流値取得部２５は、二次電池１０の電流Ｉの情報を計算部７０に出力する。

[0029] なお、電流Ｉとして、計算負荷低減のために、一定期間に取得された二次電池１０の電流の平均値等を採用することも可能である。

[0030] 電圧値取得部２６は、電圧センサ２３によって測定された二次電池１０の電圧Ｖの情報を定期的に取得する。例えば、電圧Ｖは、一定期間に取得された二次電池１０の電圧値の度数分布から算出された平均値とすることができる。電圧値取得部２６は、二次電池１０の電圧Ｖの情報を計算部７０に出力する。

[0031] なお、電圧Ｖとして、計算負荷低減のために、一定期間に取得された二次電池１０の電圧の平均値等を採用することも可能である。

[0032] また、測定部２０は、温度取得部２４で取得される温度Ｔの情報、電流値取得部２５で取得される電流Ｉの情報、電圧値取得部２６で取得される電圧Ｖの情報、それぞれの測定時間ｔを時系列データとして記憶部５０に格納する。

[0033] さらに、測定部２０は、直流電流に基づいて二次電池１０の電池容量を測定する。例えば、測定部２０は、測定を開始した時点から二次電池１０が満

充電状態に達する時点までの期間に充電された直流電流を積算することで二次電池１０の電池容量を測定する。なお、電池容量を測定する方法として、他の測定方法を用いることも可能である。

[0034] 測定部２０は、ＳＯＨ推定時に二次電池１０の電池状態を示す情報を取得するために用いられる。測定部２０は、モデル構築時に二次電池１０の電池状態を示す情報を取得するために用いられても良い。

[0035] インピーダンス発生装置３０は、電気化学インピーダンス分光法（Electrochemical Impedance Spectroscopy：ＥＩＳ）によって二次電池１０のインピーダンスを取得する装置である。インピーダンスは、二次電池１０の劣化度に応じて変化する物理量である。インピーダンスデータＥＩＳは、インピーダンス発生装置３０によって測定されるセンシングデータである。インピーダンス発生装置３０は、重畳電流印加部３１及びインピーダンス測定部３２を有する。

[0036] 重畳電流印加部３１は、複数の周波数成分が重畳された重畳電流を二次電池１０に印加する。重畳電流を用いることにより、複数の周波数の電流を二次電池１０に印加したときの電池電圧をまとめて取得することができる。

[0037] 重畳電流として、例えば多重正弦波を採用することができる。重畳電流として、矩形波、鋸波、三角波を用いることもできる。ここで、重畳周波数としての基本周波数に対する高調波は、次数が高まるごとに電流値が大幅に低減するのに対し、多重正弦波では低減しない。このため、重畳電流として多重正弦波を採用することで、高い測定精度を維持できる。多重正弦波において、重畳する周波数は特に限定されず、任意に設定することができる。

[0038] インピーダンス測定部３２は、重畳電流印加部３１によって二次電池１０に印加される重畳電流の電流値を取得する。また、インピーダンス測定部３２は、重畳電流が二次電池１０に印加されたときの応答電圧を取得する。したがって、インピーダンスは、二次電池１０に印加される交流電流に対応する応答電圧が測定された後、絶対値と位相の情報を持った複素数として応答電圧を交流電流で割る割り算を行うことによって算出される複素インピーダ

ンスである。

[0039] つまり、図３に示されるように、複素インピーダンスＺは、Ｚ＝Ｒ＋ｊＸと表される。Ｒは複素インピーダンスＺの実部であり、抵抗成分である。Ｘは複素インピーダンスＺの虚部であり、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇである。θは実部と虚部との位相である。

[0040] 例えば、インピーダンス測定部３２は、離散フーリエ変換を用いて、複数の周波数成分毎の二次電池１０の複素インピーダンスＺを算出する。重畳電流印加時の電流値と電圧値は、電流センサ２２及び電圧センサ２３の検出値を用いることができる。離散フーリエ変換としては、高速離散フーリエ変換（ＦＦＴ）を採用することができる。

[0041] インピーダンス発生装置３０は、算出した複数の周波数成分毎の複素インピーダンスＺのインピーダンスデータＥＩＳを計算部７０に出力する。なお、インピーダンス発生装置３０は、インピーダンスデータＥＩＳを記憶部５０に記憶しても良い。

[0042] インピーダンス発生装置３０は、例えば、車載用のパワーコントロールユニットを構成する電力変換装置を利用して構成することができる。これにより、重畳電流の生成部を含むインピーダンス発生装置３０を、別途設ける必要がない。また、大電流の重畳電流を生成することができる。よって、車載用の二次電池１０のオンボード診断に適した装置構成とすることができる。あるいは、図示しない車載用の充電装置または外部に設けられる充電装置に、重畳電流の生成部を配置する構成とすることもできる。

[0043] 特定周波数計算部４０は、二次電池１０のＳＯＨを推定するために必要な特定周波数の情報を事前に電気化学インピーダンス分光法によって取得するための装置である。特定周波数計算部４０は、車上に実装されていても良いし、車上に実装されていなくても良い。

[0044] 特定周波数は、事前に取得された二次電池１０のインピーダンスデータＥＩＳを用いた機械学習によって決定された周波数である。また、特定周波数は、二次電池１０のＳＯＨに対する影響度の大きい周波数である。

[0045] 二次電池１０のＳＯＨに対する影響度は、複素インピーダンスの虚数成分ＺｉｍａｇｅとＳＯＨとの相関の強さに対応する。すなわち、二次電池１０のＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇ及び特定周波数は、二次電池１０のＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報である。特定周波数は、例えば１Ｈｚよりも大きな周波数の範囲、望ましくは１０Ｈｚよりも大きな周波数の範囲のうちの特定の周波数である。

[0046] 二次電池１０は搭載される電動車両に応じて構成が異なる。このため、二次電池１０の特性は例えば車種によって異なる。したがって、特定周波数は、二次電池１０の構成に応じて異なっている。特定周波数計算部４０は、電動車両に搭載される二次電池１０に対応した特定周波数を取得するために用いられる。特定周波数の取得方法は後で説明する。

[0047] 特定周波数は、次元削減法によって予め限定される。具体的には、図１に示された二次電池１０と同じ構成のものを用意して特定周波数を決定する。

[0048] １つ目の処理では、Ｎ次元における各特定周波数のＳＯＨと複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇとの相関を計算する。このため、事前に種々の条件で二次電池１０を劣化させる。劣化条件は、例えば、温度やＳＯＣを異ならせて保存する場合や、温度やＳＯＣ等を異ならせて充放電を繰り返す場合等である。また、二次電池１０の寿命が尽きるまでのＳＯＨの推移や複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇをデータとして取得する。

[0049] これにより、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分ＺｉｍａｇとＳＯＨとの関係性と、一定の範囲の周波数と、の相関が得られる。複素インピーダンスＺのリアクタンス成分ＺｉｍａｇとＳＯＨとの関係性を示す値は、大きいほど重要度が高い。

[0050] ここで、一定の範囲の全ての周波数をＳＯＨの推定に用いるとオーバーフィッティングになりうるので、外挿領域の誤差が増大してしまう。よって、周波数の数すなわち次元数が大きいほど良いわけではない。そこで、機械学

習の一つであるＳＩＳＳＯでＮ次元までの特定周波数の組み合わせを計算する。つまり、一定の範囲の周波数の中でどの周波数をＳＯＨの推定に用いるかを決める。これにより決定される周波数が特定周波数となる。ＳＯＨの推定に用いる周波数をいくつかに特定することで、特定周波数の汎用性を高めることができる。

[0051] 上記の機械学習により、次元数と特定周波数との組み合わせが導かれる。２次元の場合、特定周波数は２つの周波数に決定される。同様に、３次元の場合は３つの周波数に決定される。４次元や５次元等の場合も同様に、複数の周波数が決定される。

[0052] 記憶部５０は、例えば書き換え可能な不揮発性のメモリである。記憶部５０は、測定部２０、インピーダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０、及びＳＯＨ推定部８０を制御するためのプログラムを記憶する。記憶部５０は、測定部２０の測定結果、ＳＯＣ算出部６０の算出結果、計算部７０の計算結果を記憶する。これらの情報は、ＳＯＨ推定部８０の学習データとして用いられる。

[0053] また、記憶部５０は、ＳＯＨモデル構築部７５で取得されたＳＯＨ推定モデルを記憶する。ＳＯＨ推定モデルは、ＳＯＨ推定部８０においてＳＯＨ推定時にＳＯＨを演算する際に用いられる。

[0054] さらに、記憶部５０は、インピーダンス発生装置３０において電気化学インピーダンス分光法の測定で用いられる周波数の範囲のうちの複数の特定周波数の情報を記憶する。複数の特定周波数の情報は、特定周波数計算部４０から事前に入力されている。

[0055] ＳＯＣ算出部６０は、二次電池１０の電池状態を示す情報として、二次電池１０の電池残量を示す充電率を算出する。二次電池１０の充電率は、二次電池１０の満充電容量に対する残容量の比が百分率で表される。二次電池１０の充電率は、ＳＯＣ（State Of Charge）である。二次電池１０のＳＯＣは、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報である。

[0056] 例えば、ＳＯＣ算出部６０は、電流値取得部２５で取得された二次電池１

０の電流値の積算値を算出すると共に、積算値に基づいて二次電池１０の充電率を算出する。ＳＯＣ算出部６０によって算出されたＳＯＣの情報は、記憶部５０に格納されると共に、計算部７０に出力される。なお、ＳＯＣ算出部６０は、測定部２０や計算部７０の一部として構成されていても良い。ＳＯＣ算出部６０は、モデル構築時にＳＯＣを取得するために用いられても良い。

[0057] 計算部７０は、二次電池１０の電池状態を示す情報として、二次電池１０に印加される特定周波数の交流電流に基づいて、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを演算する。すなわち、計算部７０は、特定周波数に対応する交流電流を二次電池１０に流したときの複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを取得する。特定周波数が４つの場合、計算部７０は４つのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇ（ｘ１，ｘ２，ｘ３，ｘ４）を取得する。

[0058] また、計算部７０は、温度変換モデル及びＳＯＣ変換モデルにより、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇが取得される際の二次電池１０の温度及びＳＯＣに基づき、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを所定の温度及び所定のＳＯＣに対応する演算値に演算する。特定周波数が４つの場合、演算値Ｚｉｍａｇ（ｘ１，ｘ２，ｘ３，ｘ４）は、観測時点の二次電池１０の温度及びＳＯＣと、観測値であるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇ（ｘ０１，ｘ０２，ｘ０３，ｘ０４）と、に基づき、所定の温度および所定のＳＯＣに変換される。

[0059] 所定の温度は、例えば２５℃である。所定のＳＯＣは、例えば５０％である。これにより、二次電池１０が置かれる環境や二次電池１０の状態に依存しないＳＯＨを推定することができる。また、温度やＳＯＣの補正によるモデル誤差を低減できる。

[0060] ここで、予め取得された二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと二次電池１０の温度との関係が線形モデルで表される。また、予め取得された二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍ

ａｇと二次電池１０のＳＯＣとの関係が線形モデルで表される。よって、計算部７０は、予め取得された二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと、二次電池１０の温度及びＳＯＣと、の線形モデルに基づき、演算値であるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを演算する。

[0061] 計算部７０は、モデル構築時にリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを取得するために用いられても良い。

[0062] ＳＯＨモデル構築部７５は、ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを学習する。ＳＯＨモデル構築部７５は、二次電池１０のＳＯＨ情報と、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとして用いる。また、ＳＯＨモデル構築部７５は、二次電池１０のＳＯＨ情報を出力とし、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより、ＳＯＨ推定モデルを構築する。ＳＯＨモデル構築部７５は、学習済みのＳＯＨ推定モデルを記憶部５０に出力する。

[0063] 本実施形態では、ＳＯＨ情報は、電流に基づいて測定される二次電池１０の電池容量である。電池容量は、測定部２０や他の測定器によって測定される。また、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報は、特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇである。リアクタンス成分Ｚｉｍａｇは、測定部２０及び計算部７０や他の測定器によって測定される。

[0064] ここで、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを特徴量としていることについて説明する。図４に示されるように、二次電池１０の複素インピーダンスＺは、実数成分Ｚｒｅａｌを横軸とし、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを縦軸とするナイキストプロットとして表される。そして、二次電池１０を実験室に配置した実験室環境と、二次電池１０を車両に搭載した車載環境と、では、複素インピーダンスプロットが異なっている。

[0065] 具体的には、複素インピーダンスＺの実数成分Ｚｒｅａｌについては、図５示されるように、車載環境での実数成分Ｚｒｅａｌが実験室環境での実数

成分Ｚｒｅａｌよりも０．２ｍΩほど小さい値になる。これは、二次電池１０のセル間の接触抵抗やセル内部の集電抵抗等が影響しているからである。

[0066] これに対し、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇについては、図６に示されるように、車載環境でのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと実験室環境でのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇとの差が小さい。これは、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇが二次電池１０の測定環境に影響しないことを意味する。よって、二次電池１０のＳＯＨを推定するために、複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを特徴量とする。

[0067] 分散共分散行列を用いた回帰モデルについて説明する。前提として、モデル構築用のサンプルの数をｎとし、ｎ＋１個目のサンプルの目的変数ｙの値を推定したいとする。ｎ個のサンプルについては、ｙの値と説明変数Ｘの値があり、ｎ＋１個目のサンプルについては、Ｘの値のみがある。なお、「Ｘ」は、図３に示された複素インピーダンスＺの虚部Ｘとは無関係である。

[0068] 第１段階において、ｂを回帰係数として、ｙ＝Ｘｂの線形のモデルを仮定する。線形のモデルは、以下の式（１）のように表される。

[0069] [数1]

$$\underset{\mathbf{y}}{\begin{bmatrix} y^{(1)} \\ \mathrm{M} \\ y^{(i)} \\ \mathrm{M} \\ \mathrm{M} \\ y^{(n)} \end{bmatrix}} = \underset{\mathbf{X}}{\begin{bmatrix} x_1^{(1)} & \mathrm{L} & x_j^{(1)} & \mathrm{L} & x_m^{(1)} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ x_1^{(i)} & \mathrm{L} & x_j^{(i)} & \mathrm{L} & x_m^{(i)} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ x_1^{(n)} & \mathrm{L} & x_j^{(n)} & \mathrm{L} & x_m^{(n)} \end{bmatrix}} \underset{\mathbf{b}}{\begin{bmatrix} b_1 \\ \mathrm{M} \\ b_j \\ \mathrm{M} \\ b_m \end{bmatrix}} \quad \cdots (1)$$

式（１）において、ｎはサンプル数であり、ｍは説明変数の数である。また、ｙ$^{(n)}$が推定されるＳＯＨに対応する。ｘ$_n$$^{(n)}$は、任意の特定周波数に

おけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇに対応する。なお、ＬやＭには値が入らない。

[0070] 第２段階において、サンプル間のｙの関係は、サンプル間のＸの関係によって決まることを示す。

[0071] また、ｎ個のサンプルのｙにおける正規分布について、$y^{(i)}$の正規分布の平均をm_iとし、$y^{(i)}$の正規分布の分散をσ_{yi}^2とし、$y^{(i)}$の正規分布と$y^{(j)}$の正規分布との共分散を$\sigma_{yi,j}^2$とする。σ_{yi}は$\sigma_{yi,i}$と同じである。これにより、平均ベクトルｍは、以下の式（２）で表される。

[0072] [数2]

$$\mathbf{m}=\begin{bmatrix} m_1 \\ \mathrm{M} \\ m_i \\ \mathrm{M} \\ m_n \end{bmatrix} \quad \cdots(2)$$

そして、分散共分散行列Σは、以下の式（３）で表される。

[0073] [数3]

$$\mathbf{\Sigma}=\begin{bmatrix} \sigma_{y1,1}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{y1,j}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{y1,n}^2 \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \sigma_{yi,1}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{yi,j}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{yi,n}^2 \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \sigma_{yn,1}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{yn,j}^2 & \mathrm{L} & \sigma_{yn,n}^2 \end{bmatrix} \quad \cdots(3)$$

このように、分散共分散行列Σはリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを用いて表現される。

[0074] 第３段階において、カーネルトリックにより非線形モデルに拡張する。線形モデルすなわち元の空間は$y^{(i)}=x^{(i)}b$で表されるので、$x\rightarrow\phi(x)$とすることで高次元空間へ写像する。よって、非線形モデル関数すなわち高次元空間は、以下の式（４）で表される。

[0075] [数4]

$$y^{(i)}=\phi\left(\mathbf{x}^{(i)}\right)\mathbf{b} \qquad \cdots(4)$$

また、共分散$\sigma_{y_{i,j}}^{2}$は、以下の式（５）で表される。

[0076] [数5]

$$\sigma_{yi,j}{}^{2}=\sigma_{b}{}^{2}\mathbf{x}^{(i)}\mathbf{x}^{(j)\mathrm{T}} \qquad \cdots(5)$$

よって、共分散$\sigma_{y_{i,j}}^{2}$は、カーネル関数Ｋを用いて、以下の式（６）で表される。

[0077] [数6]

$$\begin{aligned}\sigma_{yi,j}{}^{2}&=\sigma_{b}{}^{2}\phi\left(\mathbf{x}^{(i)}\right)\phi\left(\mathbf{x}^{(j)}\right)^{\mathrm{T}}\\&=K\left(\mathbf{x}^{(i)},\mathbf{x}^{(j)}\right)\end{aligned} \qquad \cdots(6)$$

ここで、カーネル関数Ｋは、以下の式（７）で表される。

[0078] [数7]

$$K\left(\mathbf{x}^{(i)},\mathbf{x}^{(j)}\right)=\theta_{0}\exp\left\{-\frac{\theta_{1}}{2}\left\|\mathbf{x}^{(i)}-\mathbf{x}^{(j)}\right\|^{2}\right\}+\theta_{2} \qquad \cdots(7)$$

他のカーネル関数Ｋとして、以下の（８）を用いても良い。

[0079] [数8]

$$K\left(\mathbf{x}^{(i)},\mathbf{x}^{(j)}\right)=\theta_{0}\exp\left\{-\frac{\theta_{1}}{2}\left\|\mathbf{x}^{(i)}-\mathbf{x}^{(j)}\right\|^{2}\right\}+\theta_{2}+\theta_{3}\sum_{k=1}^{m}x_{k}{}^{(i)}x_{k}{}^{(j)} \qquad \cdots(8)$$

あるいは、他のカーネル関数Ｋとして、以下の（９）を用いても良い。

[0080] [数9]

$$K\left(\mathbf{x}^{(i)},\mathbf{x}^{(j)}\right)=\theta_0\exp\left\{-\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{m}\theta_{1.k}\left(x_k^{(i)}-x_k^{(j)}\right)^2\right\}+\theta_2 \quad \cdots(9)$$

式（７）～（９）に示された各カーネル関数Ｋは一例であり、他の式を用いても良い。ＳＯＨの推定精度が最も高くなるカーネル関数Ｋを採用することが望ましい。

[0081] そして、非線形モデルにおける平均ベクトルｍは、以下の式（１０）で表される。

[0082] [数10]

$$\mathbf{m}=\begin{bmatrix}m_1\\ \mathrm{M}\\ m_i\\ \mathrm{M}\\ m_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ \mathrm{M}\\ 0\\ \mathrm{M}\\ 0\end{bmatrix} \quad \cdots(10)$$

また、非線形モデルにおける分散共分散行列Σは、以下の式（１１）で表される。

[0083]

[数11]

$$\boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{y1,1}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{y1,j}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{y1,n}^{\ 2} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \sigma_{yi,1}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{yi,j}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{yi,n}^{\ 2} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \sigma_{yn,1}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{yn,j}^{\ 2} & \mathrm{L} & \sigma_{yn,n}^{\ 2} \end{bmatrix}$$

$$= \sigma_{b}^{\ 2} \begin{bmatrix} \mathbf{x}^{(1)}\mathbf{x}^{(1)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(1)}\mathbf{x}^{(j)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(1)}\mathbf{x}^{(n)\mathrm{T}} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \mathbf{x}^{(i)}\mathbf{x}^{(1)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(i)}\mathbf{x}^{(j)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(i)}\mathbf{x}^{(n)\mathrm{T}} \\ \mathrm{M} & & \mathrm{M} & & \mathrm{M} \\ \mathbf{x}^{(n)}\mathbf{x}^{(1)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(n)}\mathbf{x}^{(j)\mathrm{T}} & \mathrm{L} & \mathbf{x}^{(n)}\mathbf{x}^{(n)\mathrm{T}} \end{bmatrix} \quad \cdots(11)$$

このように、分散共分散行列Σにおいては、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇがカーネル関数Ｋを用いて表現される。

[0084] 第４段階において、ｙには測定誤差であるノイズが含まれていることから、ノイズの大きさを仮定して、再び上述の第２段階における関係を求める。

[0085] 第５段階において、第４段階からｎ個のサンプルのＸと、ｎ＋１個目のサンプルのＸとの間の関係を求め、さらにｎ個のｙの値を用いて、ｎ＋１個目のｙすなわちＳＯＨの推定値を限定していく。

[0086] また、ＳＯＨ推定部８０は、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成する際、前回リアクタンス成分Ｚｉｍａｇが取得されてから今回リアクタンス成分Ｚｉｍａｇが取得されるまでに一定以上の時間間隔が存在する場合、間のデータを補間する。これにより、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇのデータ数が増えるので、二次電池１０のＳＯＨの推定精度が向上する。

[0087] ＳＯＨ推定部８０は、二次電池１０の電池状態を示す情報と、記憶部５０に記憶されたＳＯＨ推定モデルと、を用いてＳＯＨの演算を行う。具体的に

は、ＳＯＨ推定部８０は、記憶部５０に記憶されたＳＯＨ推定モデルと、測定部２０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０で取得されたリアクタンス成分Ｚｉｍａｇ、特定周波数、ＳＯＣ、温度を用いて、二次電池１０のＳＯＨを推定する。ＳＯＨ推定部８０は、ＳＯＨの演算結果を出力部８５に出力する。

[0088] 出力部８５は、ＳＯＨ推定部８０で得られたＳＯＨの推定結果を出力する。出力部８５は、例えば、ユーザの携帯情報端末や、電動車両のナビゲーションパネルやメーターパネルなどの画面である。

[0089] 以上が、二次電池状態検出装置の全体構成である。二次電池状態検出装置において、測定部２０、インピーダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０、ＳＯＨモデル構築部７５、記憶部５０、ＳＯＨ推定部８０、及び出力部８５は、それぞれ独立して構成される。すなわち、測定部２０、インピーダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０、ＳＯＨモデル構築部７５、記憶部５０、ＳＯＨ推定部８０、及び出力部８５は、それぞれ専用のモジュールとして構成される。

[0090] 例えば、測定部２０及びインピーダンス発生装置３０が電動車両に搭載され、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０、記憶部５０、及びＳＯＨ推定部８０がクラウドに配置されることも可能である。もちろん、どのモジュールをどこに配置するかは適宜設定すれば良い。このように、各モジュールが独立していることで、毎回、モデルを更新せずに電池診断が可能となる。

[0091] なお、インピーダンス発生装置３０は測定部２０に含まれていても良い。ＳＯＣ算出部６０は、測定部２０に含まれていても良いし、計算部７０に含まれていても良い。あるいは、ＳＯＣ算出部６０及び計算部７０は、測定部２０に含まれていても良い。あるいは、ＳＯＣ算出部６０及び計算部７０は、ＳＯＨ推定部８０に含まれていても良い。

[0092] 次に、ＳＯＨモデル構築部７５におけるＳＯＨ推定モデルの学習方法について説明する。ＳＯＨ推定モデルの学習は、図２の上段に示されるように、二次電池１０の実測値を学習データとして取得することで行う。通常、ＳＯＨモデル構築は、二次電池状態検出装置が電動車両に適用される前に実験室

等で行う。

[0093] 図７に示されるように、第１工程では、二次電池状態検出装置では、測定部２０によって二次電池１０の電池状態を示す情報として電流Ｉ、電圧Ｖ、温度Ｔ、及びこれらの計測時間ｔをそれぞれ計測し、記憶部５０にメモリする。

[0094] また、測定部２０によって定期的にＳＯＨ情報として電池容量を測定する。ここで、様々な劣化水準で二次電池１０を劣化させる。これにより、各劣化水準における電池容量を取得することができる。測定部２０で測定される電池容量は、推定されるＳＯＨの答え合わせの答え、つまり分散共分散行列Σを用いた回帰モデルの出力として利用される。

[0095] 第２工程では、所定期間をカウントする。所定期間は、例えば半年や１年等の比較的長い時間である。

[0096] 続いて、第３工程では、測定部２０によって二次電池１０の電池状態を示す情報として電流Ｉ、電圧Ｖ、温度Ｔ、及びこれらの計測時間ｔをそれぞれ計測し、記憶部５０にメモリする。また、計算部７０によって特定周波数における複素インピーダンスＺを算出すると共に、二次電池１０の電池状態を示す情報として特定周波数毎のリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを抽出する。これにより、各劣化水準における各条件のリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを取得することができる。リアクタンス成分Ｚｉｍａｇは、二次電池１０の電池状態を示す情報のうちのＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報である。

[0097] 第４工程では、所定区間Ｎのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを温度変換モデルにより任意の温度に対応するリアクタンス成分Ｚｉｍａｇに補正する。所定区間Ｎは、例えば１日や１週間等の時間である。

[0098] 具体的には、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを取得する際の二次電池１０の温度に基づき、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを所定の温度に対応する演算値に演算する。このため、図８に示されるように、二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと、二次電池１０の温度と、の関係を予め取得しておく。

[0099] そして、予め取得した二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと、二次電池１０の温度と、の線形回帰モデルに基づき、演算値を演算する。つまり、観測時点の二次電池１０の温度と観測値であるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇとの一次関数の関係により、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを任意の温度に対応する値ＺｉｍａｇＡ（Ｔｓｔｄ）に補正する。任意の温度は、例えば、２５℃である。

[0100] 第５工程では、第４工程と同様に、予め取得した二次電池１０の各周波数におけるリアクタンス成分Ｚｉｍａｇと、二次電池１０のＳＯＣと、の線形回帰モデルに基づき、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを所定のＳＯＣに対応する演算値ＺｉｍａｇＢ（Ｔｓｔｄ，ＳＯＣｓｔｄ）に演算する。

[0101] 第４工程及び第５工程によってリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを任意の温度及びＳＯＣに対応する値に補正することで、モデル誤差を低減することができる。以下の工程では、任意の温度及び任意のＳＯＣに対応するリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢ（Ｔｓｔｄ，ＳＯＣｓｔｄ）を用いる。

[0102] 第６工程では、所定期間をカウントする。すなわち、第６工程では、前回リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを取得してからどれくらいの時間が経過したかをカウントする。例えば、前回リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを取得してからの日数をカウントする。リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータ数が少ない場合、次の第７工程においてデータ数を補間するためである。

[0103] 第７工程では、第６工程でカウントしている所定期間において、所定区間ＮからＮ＋１の日数が開いている場合、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを補間する。すなわち、前回リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを取得してから今回リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを取得するまでに一定以上の時間間隔が存在する場合、既に取得したリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを用いて、前回のリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢと今回のリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢとの間を補間する。つまり、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータ数を増やす。所定の日数は、例えば５０日や１００日である。所定の日数は、欲しいデータ数に応じて適宜設定すれば良い。

[0104] 例えば、図９に示されるように、９０日目、１８０日目、２７０日目、３３０日目、４２０日目でリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢが取得される。そして、９０日と１８０日との間のリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢが、前後の時系列でのリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを用いて補間される。他の区間も同様に、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータが補間される。データの補間は、線形回帰モデルによって行われる。リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータ数が増えるので、ＳＯＨの推定精度が向上する。

[0105] これにより、図１０に示されるように、例えば９０日目と１８０日目との間に１５０日目のリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータが補間される。他の区間も同様に、リアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータが補間される。

[0106] 第８工程では、第１工程において定期的に測定したＳＯＨ情報としての電池容量と、第３工程において取得したＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報としての特定周波数におけるリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢと、による、分散共分散行列Σを用いた回帰モデルを合成する。分散共分散行列Σを用いた非線形モデルは、機械学習の手法であるガウス過程回帰（Gaussian Process Regression；ＧＰＲ）に基づく。

[0107] 第９工程では、第８工程の回帰モデルより取得した特定周波数におけるリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢを用いて二次電池１０のＳＯＨを推定する。第７工程においてリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータを補間しない場合、第５工程までに取得したリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータに基づいて二次電池１０のＳＯＨを推定する。第７工程においてリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータを補間した場合、補間後のデータに基づいて二次電池１０のＳＯＨを推定する。

[0108] 以上のようにして、ＳＯＨ推定モデルを構築する。この後、ＳＯＨ推定モデルは、記憶部５０に格納される。なお、ＳＯＨ推定モデルを構築するための出力データとして、電流に基づいて測定される二次電池１０の抵抗を用いても良い。抵抗には、静的な抵抗と動的な抵抗が含まれる。出力データとしての抵抗は、静的抵抗と動的抵抗のどちらを用いても良い。

[0109] 続いて、ＳＯＨ推定モデルを用いたＳＯＨの推定方法について説明する。ＳＯＨは、図２の下段に示されるように、二次電池１０の電池状態を示す情報をＳＯＨ推定モデルの関係式に入力することでＳＯＨを演算することができる。すなわち、ＳＯＨ推定部８０は、ＳＯＨ推定モデルに、現在の二次電池１０の電池状態を示す情報を入力して二次電池１０のＳＯＨを推定する。

[0110] ＳＯＨ推定部８０は、現在の測定値として、二次電池１０のＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇの実測値を用いる。ＳＯＨ推定部８０は、条件として、特定周波数ｆ、ＳＯＣ、温度Ｔを用いる。

[0111] ＳＯＨ推定部８０は、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇが取得される際の二次電池１０の温度及びＳＯＣに基づき、リアクタンス成分Ｚｉｍａｇを所定の温度及び所定のＳＯＣに対応する演算値に演算されたデータを計算部７０から取得しても良い。ＳＯＨ推定部８０は、基準ＳＯＣ及び基準温度のリアクタンス成分ＺｉｍａｇＢのデータをＳＯＨ推定モデルの関係式に入力することでＳＯＨを演算しても良い。これにより、ＳＯＣ及び温度に影響されないＳＯＨを演算することができる。

[0112] ＳＯＨ推定部８０は、推定したＳＯＨを出力部８５に出力する。出力部８５は、取得したＳＯＨをユーザに報知したり、二次電池１０の充放電制御等に利用したりする。

[0113] 以上説明したように、二次電池１０のＳＯＨを推定するに際し、一定の範囲の全ての周波数ではなく、特定周波数の交流電流に基づいて複素インピーダンスＺのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを演算する。このため、一定の範囲の全ての周波数に対応するリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを演算するよりも演算時間を短くすることができる。また、ＳＯＨ推定モデルに二次電池の電池状態を示す情報を入力することでＳＯＨを演算することができる。したがって、二次電池１０のＳＯＨの診断時間を短くすることができる。

[0114] また、二次電池１０のＳＯＨを推定するために分散共分散行列Σを用いた非線形モデルを用いている。このため、単調な線形モデルよりも二次電池１

０の劣化状態の推定精度を向上させることができる。したがって、二次電池１０のＳＯＨを高精度に推定することができる。

[0115] 上述の通り、二次電池状態検出装置の各機能は、それぞれ独立して構成される。すなわち、二次電池状態検出装置が適用される対象に応じて各機能を適宜配置することができる。

[0116] 例えば、図１に示された構成では、ＳＯＨモデル構築部７５以外の少なくとも一部が、車両に搭載されて用いられる。また、ＳＯＨモデル構築部７５が、電動車両等のモビリティの外部に設けられていても良い。図１１～図１５に具体例を示す。なお、特定周波数計算部４０も電動車両等のモビリティの外部に設けられていても良い。

[0117] 図１１に示されるように、ＳＯＨモデル構築部７５を除いた各機能がモビリティの内部に収納されても良い。図１１に示された例では、計測部及びＳＯＨモデル記憶／演算部が二次電池１０のパッケージに収容されている。計測部はセル監視回路（Cell Supervising Circuit：ＣＳＣ）であり、例えば測定部２０及びインピーダンス発生装置３０に対応する。ＳＯＨモデル記憶／演算部は、バッテリマネジメントシステム（Buttery Management System：ＢＭＳ）であり、例えばＳＯＣ算出部６０、計算部７０、記憶部５０、ＳＯＨ推定部８０に対応する。ＳＯＣ算出部６０や計算部７０は、ＣＳＣに配置されても良いし、ＢＭＳに配置されても良い。出力部８５は、ＢＭＳに含まれていても良いし、二次電池１０のパッケージに設けられていても良い。

[0118] 図１２及び図１３に示されるように、二次電池状態検出装置の各機能は、モビリティの内部と外部とに設けられていても良い。

[0119] 図１２に示された例では、計測部はＣＳＣまたはＢＭＳとして構成されると共に、モビリティに配置される。ＳＯＨモデル記憶／演算部はクラウドに配置される。出力部８５は、ＰＣ、タブレット、携帯情報端末等に配置される。ＳＯＨの演算結果は、ＡＰＩサービスを通じて、利用者や事業者に提供される。これにより、利用者は、高精度の電池残量や走行可能範囲を知ることが可能になる。事業者は、遠隔モニタリングや高効率オペレーションを行

うことが可能になる。

[0120] 図１３に示された例では、モビリティである電動車両が充電器や充電ステーションで充電を行う場合である。この場合、ＳＯＨモデル記憶／演算部は充電器や充電ステーションに配置される。あるいは、ＳＯＨモデル記憶／演算部はクラウドに配置されても良い。

[0121] 図１４及び図１５に示されるように、二次電池状態検出装置の各機能は、モビリティの外部に設けられていても良い。

[0122] 図１４の例は、例えば修理工場や回収バッテリを再生する工場等において、二次電池１０がモビリティから分離された場合である。この場合、計測部（ＣＳＣ）は計測機器として構成される。ＳＯＨモデル記憶／演算部は、エネルギーマネジメントシステム（Energy Management System：ＥＭＳ）として構成される。あるいは、ＳＯＨモデル記憶／演算部はクラウドに配置されても良い。出力部８５は、測定部２０に設けられていても良いし、他の電子機器に配置されていても良い。

[0123] 図１５の例は、二次電池状態検出装置が急速充電システムに適用される場合である。急速充電システムは、統合制御施設によって太陽光発電や電線からの電力を大型蓄電施設に蓄電する制御を行い、パワーキャビネット及び充電スタンドを介して電力をモビリティの二次電池１０に充電する。この場合、計測部は、充電スタンドに設けられる。ＳＯＨモデル記憶／演算部は、例えば記憶部５０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０に対応し、クラウドに配置されている。ＳＯＨ推定部８０は、ＥＭＳに設けられる。ＳＯＨ推定部８０は、クラウドに設けられても良い。出力部８５は、モビリティやユーザの電子機器に設けられている。出力部８５は、ＥＭＳに設けられていても良い。

[0124] なお、本実施形態の測定部２０、インピーダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０が「検出部」に対応する。ＳＯＨモデル構築部７５が「学習部」に対応する。ＳＯＨ推定部８０が「演算部」に対応する。

[0125] また、測定部２０、インピーダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０によって実行される手段が「第１ステップ」に対応する。インピー

ダンス発生装置３０、ＳＯＣ算出部６０、計算部７０によって実行される手段が「第２ステップ」に対応する。ＳＯＨモデル構築部７５によって実行される手段が「第３ステップ」に対応する。さらに、ＳＯＨ推定部８０によって実行される手段が「第４ステップ」に対応する。

[0126] （第２実施形態）

本実施形態では、主に第１実施形態と異なる部分について説明する。本実施形態では、二次電池状態検出装置の運用開始後に得られる市場データで学習データを増やし、積み増しされた学習データを用いてＳＯＨ推定モデルを再構築し、ＳＯＨ推定部８０で用いられるＳＯＨ推定モデルを更新する。

[0127] 市場データは、二次電池１０が実際に利用されることで蓄積されていくデータである。すなわち、市場データは、二次電池１０の使用時の実測インピーダンス諸特性と電池容量のデータである。実測インピーダンス諸特性には、複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇ、特定周波数、温度、ＳＯＣの各データが含まれる。

[0128] なお、電池容量のデータは、充電器を用いた実測値だけでなく、モデル等を用いた演算値でも良い。また、市場データではなく、実験室等で取得されたインピーダンス諸特性及び電池容量の各データが学習データとして用いられても良い。この場合、ｎ増し評価等が採用されても良い。実験室等で取得されるデータも、二次電池１０が実際に利用されることで取得されるデータである。電池容量のデータではなく、抵抗のデータを用いても良い。

[0129] 例えば、図１６に示されるように、充電器での充電量に基づいて電池容量が実測される。電池容量のデータは充電器からクラウドに送信されると共に、クラウドに格納される。一方、電動車両に搭載された計測部（ＣＳＣ）及びＳＯＨ推定部８０（ＢＭＳ）からインピーダンス諸特性の各データがクラウドに送信されると共に、クラウドに格納される。

[0130] クラウドでは、ＳＯＨモデル構築部７５によって、インピーダンス諸特性及び電池容量の各データに基づいてＳＯＨ推定モデルが再構築される。再構築されたＳＯＨ推定モデルは記憶部５０に格納されることで、記憶部５０の

ＳＯＨ推定モデルが最新のモデルに更新される。記憶部５０は各構成から独立しているので、電動車両の記憶部５０が交換されることで、電動車両で最新のＳＯＨ推定モデルが使用可能になる。

[0131] あるいは、記憶部５０に記憶されたＳＯＨ推定モデルは、ＯＴＡ（Over the Air）等の通信を利用して更新されても良い。これにより、記憶部５０そのものを交換せずに、記憶部５０のデータを更新することができる。

[0132] （第３実施形態）

本実施形態では、主に第１、第２実施形態と異なる部分について説明する。本実施形態では、ＳＯＨ推定モデルを構築するための入力データとして、複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇとは異なるデータを用いる。

[0133] 図１７の中段に示されるように、充電中の電圧は時間の経過と共に上昇する。また、二次電池１０の劣化に応じて、充電電圧曲線が異なってくる。よって、二次電池１０の充電時の所定電圧間における充電時間、電圧、温度を学習データの入力データとして用いることができる。これらのデータは、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報である。

[0134] また、図１７の下段に示されるように、充電休止後の電圧は時間の経過と共に減少する。また、二次電池１０の劣化に応じて、電圧緩和曲線が異なってくる。よって、二次電池１０の充電後の所定休止時間における休止時間、電圧、温度を学習データの入力データとして用いることができる。これらのデータは、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報である。

[0135] 二次電池１０として例えばＮＣＭ系の正極活物質を採用した場合のＳＯＨの推定精度は、インピーダンスの場合が２．７％の誤差、充電中の電圧変化の場合が１．１％の誤差、充電休止後の電圧変化の場合が３．２％の誤差だった。各入力データにおいて、誤差に差はなかった。よって、ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報としていずれのデータを用いても良い。

[0136] 入力データとして、充電中の電圧変化と充電休止後の電圧変化を用いる場合、二次電池１０のインピーダンスを測定するための装置や回路が不要にな

る。このため、計測部及び演算部があればＳＯＨを推定することが可能になるので、二次電池状態検出装置の搭載対象に対する搭載自由度を向上させることができる。この場合、例えば充電器に二次電池状態検出装置を組み込むことも可能である。

[0137] （第４実施形態）

本実施形態では、主に上記各実施形態と異なる部分について説明する。本実施形態では、ＳＯＨ推定モデルによって演算されたＳＯＨの推定結果の利用について説明する。

[0138] まず、ＳＯＨの推定結果に基づいて、二次電池１０の電池制御パラメータを更新することができる。電池制御として、例えば充電制御に利用することができる。

[0139] 図１８の左側に示されるように、従来は二次電池１０の劣化を考慮して初期設定として二次電池１０の入出力制限を行っていた。二次電池１０の入力（Ｗｉｎ）と出力（Ｗｏｕｔ）は、温度及びＳＯＣのマップに示された各数値で制御される。各数値は、二次電池１０の劣化を考慮して予め小さい値に設定されている。入出力制限パラメータは、例えばＢＭＵに格納されている。

[0140] これに対し、図１８の右側に示されるように、ＳＯＨの推定結果に基づいて、ＢＭＵの入出力制限パラメータを更新することができる。具体的には、温度及びＳＯＣのマップの各数値を初期値よりも高い値に更新する。なお、学習データの入力データとして複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを用いる場合、ＳＯＨとインピーダンス（抵抗）の変動に応じて、二次電池１０の入出力制限を更新しても良い。

[0141] 別の電池制御として、例えば充放電制御に利用することができる。充放電制御として、図１９及び図２０に示されたＥＶ－ＶＰＰ（Virtual Power Plant）システムに適用することができる。

[0142] 図１９に示された例では、太陽光を利用した再生エネルギー発電では、発電量が昼間に集中することで、施設での電力使用量を超える。そこで、昼間

に発電した電力の余剰分を電動車両の二次電池１０や定置の二次電池に充電し、再生エネルギー発電の発電量が低下する夜間に二次電池１０の電力を施設で利用する。このように、再生エネルギー発電の余剰分を二次電池１０にシフトさせて使い切ることで、CO_2の排出と電力コストを削減することができる。

[0143] 図２１に示されるように、従来はＳＯＨに誤差マージンを上乗せしていたため、ＳＯＨの誤差が例えば±１０％であった。しかし、ＳＯＨ推定結果に応じて二次電池１０の使用可能量を可変させることができる。例えば、二次電池１０のＳＯＨの誤差が例えば±５％に減少する。このように、二次電池１０の誤差マージンを最小化することができると共に、使用可能容量を増加させることができる。

[0144] 図２０に示された例では、電池ＥＭＳにおいて二次電池１０の充放電を管理することができる。この場合、充電が可能なＶ１Ｇ方式や充放電が可能なＶ２Ｇ方式が用いられる。上記と同様に、二次電池１０の使用可能容量が増加するので、充放電器の高効率域を活用することができる。したがって、二次電池１０の電力を効率良く使うことができる。

[0145] 二次電池１０のＳＯＨ推定結果は、二次電池１０が使用される装置や施設から分離された二次電池１０に利用することができる。この場合、二次電池１０は、例えば電動車両の交換バッテリである。

[0146] 例えば、新車販売時では電動車両はバッテリ無しの価格とし、その後のＳＯＨ推定結果に応じて保険利率を変更することができる。交換バッテリの交換作業時では、ＳＯＨ推定結果に応じて二次電池１０の全体ではなく部分メンテナンスを行うことができる。二次電池１０の再利用の際では、ＳＯＨ推定結果に応じて二次利用先を決定することができる。

[0147] 二次電池１０の交換時間については充電済なので短時間で交換可能である。交換の際、二次電池１０の使用用途に応じて、充電時間及び電池パックを選定することができる。電池パックは二次電池１０である。交換場所については自家用の場合はコンビニエンスストア等で交換が可能である。ＳＯＨの

誤差に応じて、電池パックの組み合わせを決定することができる。中古車販売においては、バッテリ査定の必要が無くなる。ＳＯＨ推定結果に基づいて残価値を決定することができる。

[0148] 二次電池１０のＳＯＨ推定結果は、電池パックの認証に利用することができる。図２２に示されるように、ＳＯＨを推定するための入力データと出力データとを組み合わせ、電池パック／車両の認証に使用する。

[0149] つまり、二次電池１０の劣化の履歴を暗号化して利用する。算出されるＳＯＨが同じ数値だったとしても劣化の履歴が異なるので、異なる電池パックであることを判定することができる。

[0150] 図２２に示された例は、複素インピーダンスのリアクタンス成分Ｚｉｍａｇを用いる場合である。充電中の電圧変化や充電休止後の電圧変化の場合も同様に、二次電池１０の劣化の履歴を用いて認証を行うことができる。

[0151] 本開示は上述の実施形態に限定されることなく、本開示の趣旨を逸脱しない範囲内で、以下のように種々変形可能である。

[0152] 例えば、二次電池１０は、電動車両に搭載される場合に限られず、所定の場所に設置される場合も含まれる。また、二次電池１０のＳＯＨは、二次電池１０の全体のＳＯＨに限られず、二次電池１０を構成する電池セルの単体のＳＯＨあるいは複数のＳＯＨであっても良い。

[0153] ＳＯＨモデル構築部７５は、ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを構築する学習部として、単独で構成されても良い。

[0154] 二次電池状態検出装置は、サーバ等を介して記憶や演算、推定をシステム連携することができる。つまり、二次電池状態検出装置は、各構成が分散されて配置されていても良い。これに対し、二次電池状態検出装置は、二次電池１０に対して他の構成を周囲に配置することで１つの装置内で完結した構成としても良い。また、二次電池１０は再利用が可能である。そこで、二次電池１０の再利用を考慮した場合、再利用の二次電池１０に対して二次電池１０以外の構成を機能配置させても良い。すなわち、再利用の二次電池１０とＳＯＨ推定部８０等の他の構成とを再構築して二次電池状態検出装置を構

成しても良い。この場合、上述のように、二次電池状態検出装置をシステム連携の構成としても良いし、１つの装置内で完結した構成としても良い。

[0155] 本開示は、実施例に準拠して記述されたが、本開示は当該実施例や構造に限定されるものではないと理解される。本開示は、様々な変形例や均等範囲内の変形をも包含する。加えて、様々な組み合わせや形態、さらには、それらに一要素のみ、それ以上、あるいはそれ以下、を含む他の組み合わせや形態をも、本開示の範疇や思想範囲に入るものである。

請求の範囲

[請求項1] 二次電池（１０）の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出装置であって、

前記二次電池の電池状態を示す情報を検出する検出部（２０、３０、６０、７０）と、

前記ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを学習する学習部（７５）と、

前記ＳＯＨ推定モデルが記憶される記憶部（５０）と、

前記検出部で検出される前記二次電池の電池状態を示す情報と、前記記憶部に記憶された前記ＳＯＨ推定モデルと、を用いて前記ＳＯＨの演算を行う演算部（８０）と、

前記演算部で得られた前記ＳＯＨの推定結果を出力する出力部（８５）と、

を有し、

前記学習部によって学習される前記ＳＯＨ推定モデルは、

ＳＯＨ情報と、前記二次電池の電池状態を示す情報のうちの前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとし、

前記ＳＯＨ情報を出力とし、前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより構築される、二次電池状態検出装置。

[請求項2] 前記分散共分散行列においては、前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報がカーネル関数を用いて表現される、請求項１に記載の二次電池状態検出装置。

[請求項3] 前記学習部は、前記分散共分散行列を用いた前記回帰モデルを合成する際、前回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報が取得されてから今回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報が取得されるまでに時間間隔が存在する場合、既に取得された前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を用いて、前回の前記ＳＯＨとの相関

が高い電池状態を示す情報と今回の前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報との間を補間し、補間後のデータを入力データとして用いる、請求項１または２に記載の二次電池状態検出装置。

[請求項4] 前記ＳＯＨ情報は、電流に基づいて測定される前記二次電池の電池容量または抵抗である、請求項１ないし３のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項5] 前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報は、

前記二次電池の前記ＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分、前記特定周波数、ＳＯＣ、温度、

または、

前記二次電池の充電時の所定電圧間における充電時間、電圧、温度、

または、

前記二次電池の充電後の所定休止時間における休止時間、電圧、温度、

のいずれかである、請求項１ないし４のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項6] 前記検出部は、前記二次電池の電池状態を示す情報として、前記二次電池の温度、ＳＯＣ、前記ＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分を取得し、

前記演算部は、前記リアクタンス成分が取得される際の前記二次電池の前記温度及び前記ＳＯＣに基づき、前記リアクタンス成分を所定の温度及び所定のＳＯＣに対応する演算値に演算し、前記演算値及び前記ＳＯＨ推定モデルに基づいて前記ＳＯＨの演算を行う、請求項１ないし５のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項7] 前記演算部は、予め取得された前記二次電池の各周波数における前

記リアクタンス成分と、前記二次電池の前記温度及び前記ＳＯＣと、の線形モデルに基づき、前記演算値を演算する、請求項６に記載の二次電池状態検出装置。

[請求項8] 前記検出部、前記学習部、前記記憶部、前記演算部、前記出力部は、それぞれ独立して構成される、請求項１ないし７のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項9] 前記学習部以外の少なくとも一部が、車両に搭載されて用いられ、

前記学習部が、前記車両の外部に設けられている、請求項１ないし８のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項10] 前記学習部は、前記記憶部に記憶される前記ＳＯＨ推定モデルを更新する、請求項１ないし９のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項11] 前記学習部は、前記ＳＯＨ推定モデルを更新するための前記学習データとして、前記二次電池が実際に利用されることで前記検出部によって取得される前記二次電池の電池状態を示す情報を用いる、請求項１０に記載の二次電池状態検出装置。

[請求項12] 前記二次電池は、前記演算部から出力される前記ＳＯＨの推定結果に基づき、電池制御パラメータが更新される、請求項１ないし１１のいずれか１つに記載の二次電池状態検出装置。

[請求項13] 二次電池（１０）の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出装置に適用されると共に、前記ＳＯＨを推定するためのＳＯＨ推定モデルを構築する学習部であって、

ＳＯＨ情報と、前記二次電池の電池状態を示す情報のうちの前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と、を学習データとし、

前記ＳＯＨ情報を出力とし、前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより前記ＳＯＨ推定モデルを構築する、学習部。

[請求項14] 前記分散共分散行列においては、前記ＳＯＨとの相関が高い電池状

態を示す情報がカーネル関数を用いて表現される、請求項１３に記載の学習部。

[請求項15] 前記分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成する際、前回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報が取得されてから今回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報が取得されるまでに時間間隔が存在する場合、既に取得された前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を用いて、前回の前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と今回の前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報との間を補間し、補間後のデータを入力データとして用いる、請求項１３または１４に記載の学習部。

[請求項16] 前記ＳＯＨ情報は、電流に基づいて測定される前記二次電池の電池容量または抵抗である、請求項１３ないし１５のいずれか１つに記載の学習部。

[請求項17] 前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報は、

前記二次電池の前記ＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分、前記特定周波数、ＳＯＣ、温度、

または、

前記二次電池の充電時の所定電圧間における充電時間、電圧、温度、

または、

前記二次電池の充電後の所定休止時間における休止時間、電圧、温度、

のいずれかである、請求項１３ないし１６のいずれか１つに記載の学習部。

[請求項18] 前記ＳＯＨ推定モデルを更新する、請求項１３ないし１７のいずれか１つに記載の学習部。

[請求項19] 前記ＳＯＨ推定モデルを更新するための前記学習データとして、前

記二次電池が実際に利用されることで取得される前記二次電池の電池状態を示す情報を用いる、請求項１８に記載の学習部。

[請求項20] 二次電池の劣化度を示すＳＯＨを推定する二次電池状態検出方法であって、

前記二次電池のＳＯＨ情報を取得する第１ステップと、

前記二次電池の電池状態を示す情報を取得すると共に、前記二次電池の電池状態を示す情報のうちの前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を取得する第２ステップと、

前記第１ステップで取得される前記ＳＯＨ情報を出力とし、前記第２ステップで取得される前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を入力とした、分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成することにより、ＳＯＨ推定モデルを構築する第３ステップと、

前記第３ステップで構築された前記ＳＯＨ推定モデルに、現在の前記二次電池の電池状態を示す情報を入力して前記二次電池の前記ＳＯＨを推定する第４ステップと、

を含む、二次電池状態検出方法。

[請求項21] 前記第３ステップでは、前記分散共分散行列における前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報がカーネル関数を用いて表現される、請求項２０に記載の二次電池状態検出方法。

[請求項22] 前記第３ステップでは、前記分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成する際、前回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を取得してから今回前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を取得するまでに時間間隔が存在する場合、既に取得した前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報を用いて、前回の前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報と今回の前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報との間を補間し、補間後のデータを入力データとして用いる、請求項２０または２１に記載の二次電池状態検出方法。

[請求項23] 前記第１ステップでは、前記ＳＯＨ情報として、電流に基づいて測

定される前記二次電池の電池容量または抵抗を取得する、請求項２０ないし２２のいずれか１つに記載の二次電池状態検出方法。

[請求項24] 前記第２ステップでは、前記ＳＯＨとの相関が高い電池状態を示す情報として、

前記二次電池の前記ＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分、前記特定周波数、ＳＯＣ、温度、

または、

前記二次電池の充電時の所定電圧間における充電時間、電圧、温度、

または、

前記二次電池の充電後の所定休止時間における休止時間、電圧、温度、

のいずれかを取得する、請求項２０ないし２３のいずれか１つに記載の二次電池状態検出方法。

[請求項25] 前記第４ステップでは、現在の前記二次電池の電池状態を示す情報として、前記二次電池の温度、ＳＯＣ、前記ＳＯＨとの相関が高い特定周波数の交流電流に基づいて演算される複素インピーダンスのリアクタンス成分を取得し、

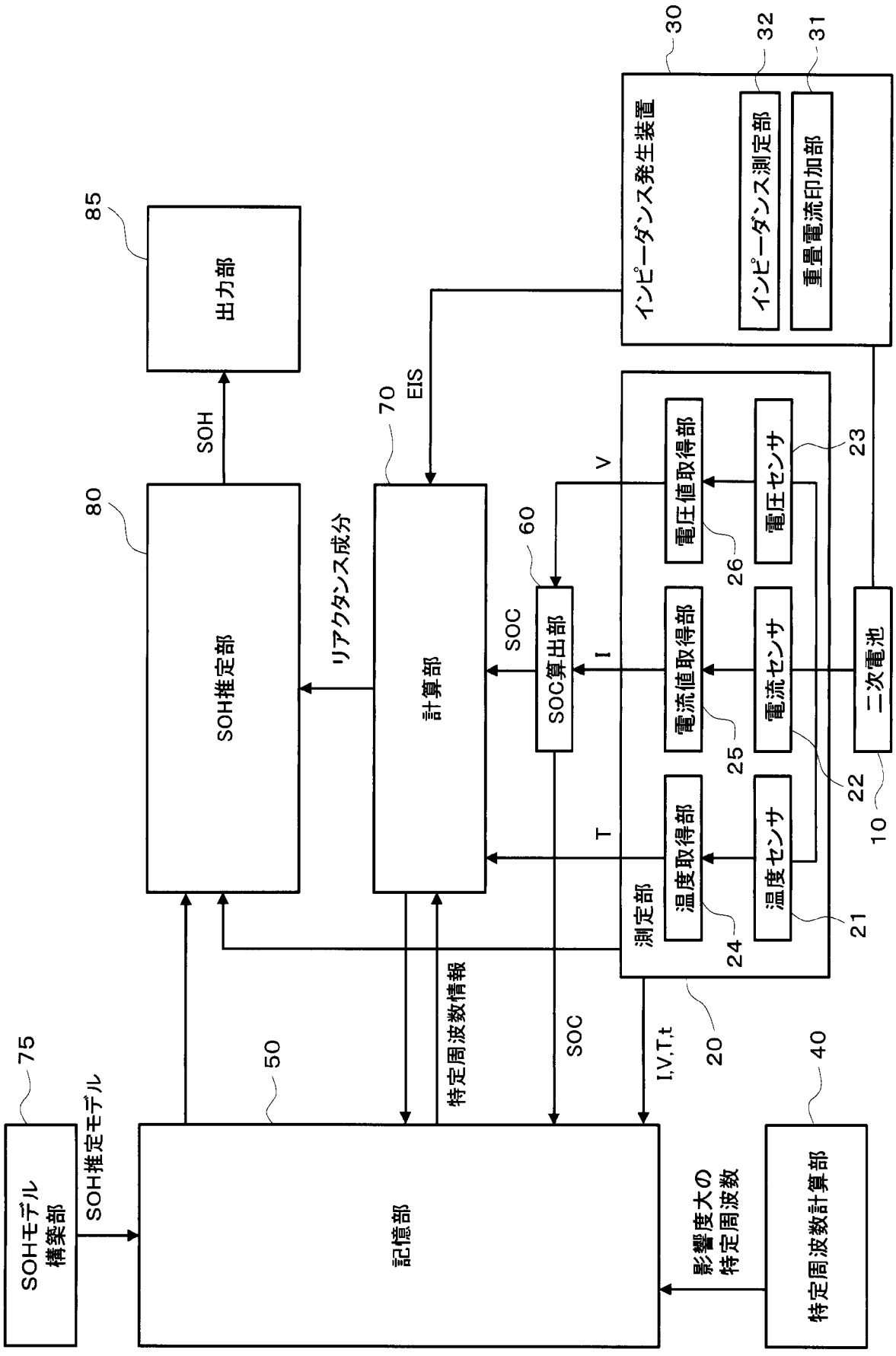
前記リアクタンス成分を取得する際の前記二次電池の前記温度及び前記ＳＯＣに基づき、前記リアクタンス成分を所定の温度及び所定のＳＯＣに対応する演算値に演算し、前記演算値及び前記ＳＯＨ推定モデルに基づいて前記ＳＯＨの演算を行う、請求項２０ないし２４のいずれか１つに記載の二次電池状態検出方法。

[請求項26] 前記第４ステップでは、予め取得された前記二次電池の各周波数における前記リアクタンス成分と、前記二次電池の前記温度及び前記ＳＯＣと、の線形モデルに基づき、前記演算値を演算する、請求項２５に記載の二次電池状態検出方法。

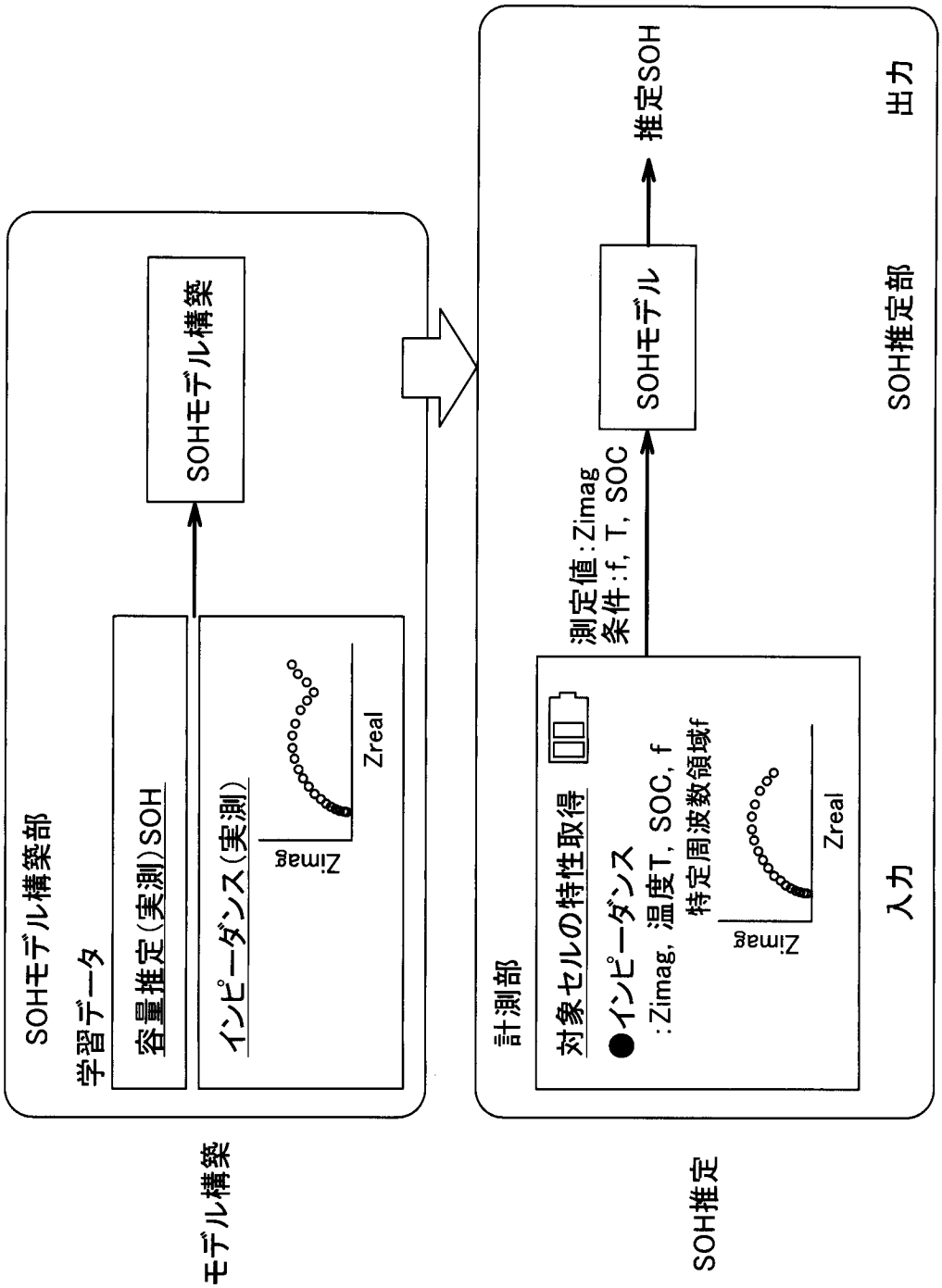
[請求項27] 前記第３ステップでは、前記ＳＯＨ推定モデルを更新する、請求項２０ないし２６のいずれか１つに記載の二次電池状態検出方法。

[請求項28] 前記ＳＯＨ推定モデルを更新するための前記学習データとして、前記二次電池が実際に利用されることで取得される前記二次電池の電池状態を示す情報を用いる、請求項２７に記載の二次電池状態検出方法。

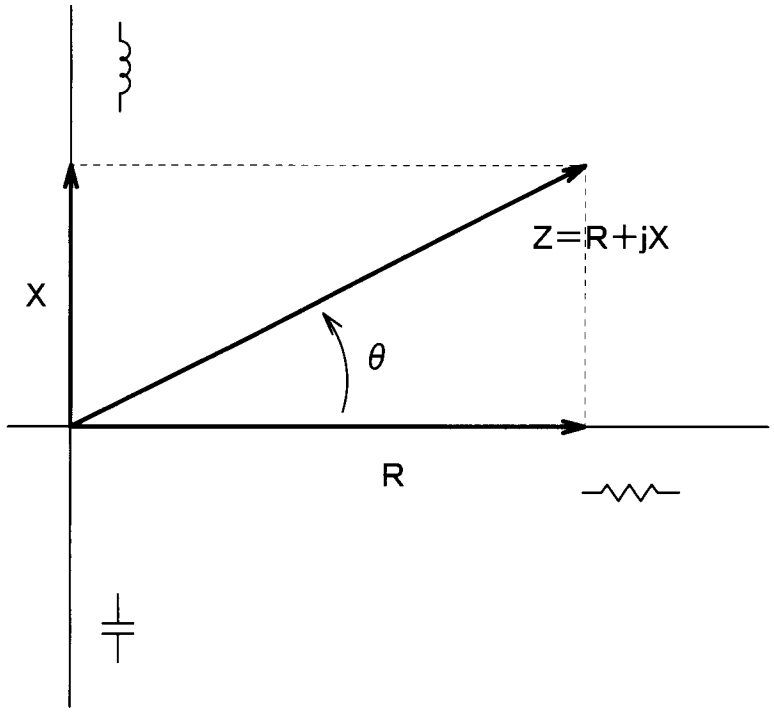
[図1]


SOHモデル構築部
75
SOH推定モデル
記憶部
50
特定周波数情報
SOC
I,V,T,t
20
影響度大の特定周波数
特定周波数計算部
40
測定部
温度取得部
24
温度センサ
21
電流値取得部
25
電流センサ
22
電圧値取得部
26
電圧センサ
23
二次電池
10
SOC算出部
60
V
I
T
SOC
計算部
70
EIS
リアクタンス成分
SOH推定部
80
SOH
出力部
85
インピーダンス発生装置
30
インピーダンス測定部
32
重畳電流印加部
31

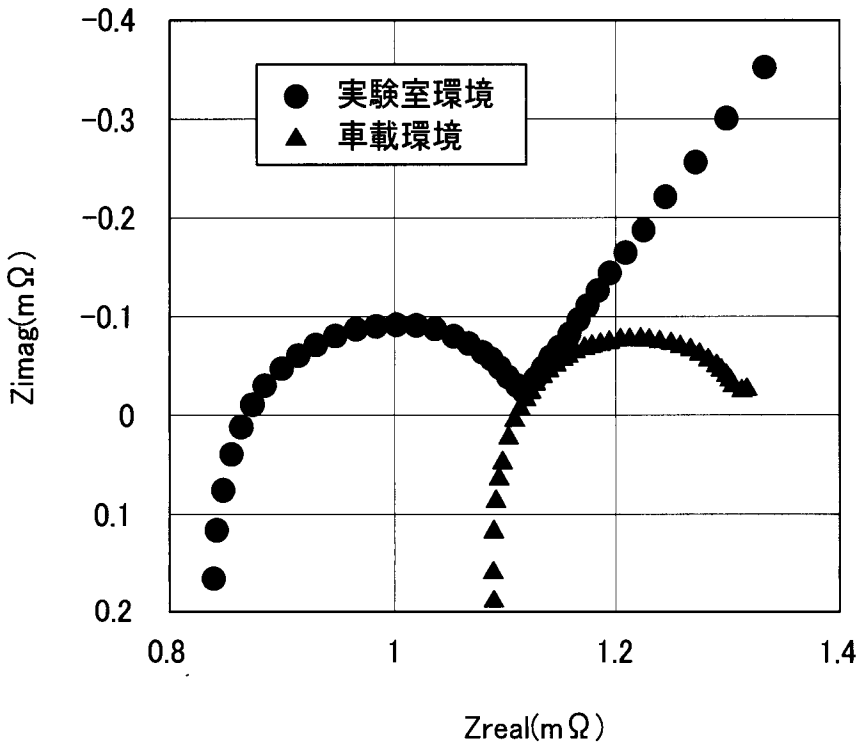
[図2]


SOHモデル構築部
学習データ
容量推定(実測)SOH
インピーダンス(実測)
Zimag
Zreal
SOHモデル構築
モデル構築
計測部
対象セルの特性取得
●インピーダンス
:Zimag, 温度T, SOC, f
特定周波数領域f
Zimag
Zreal
入力
測定値:Zimag
条件:f, T, SOC
SOHモデル
推定SOH
出力
SOH推定部
SOH推定

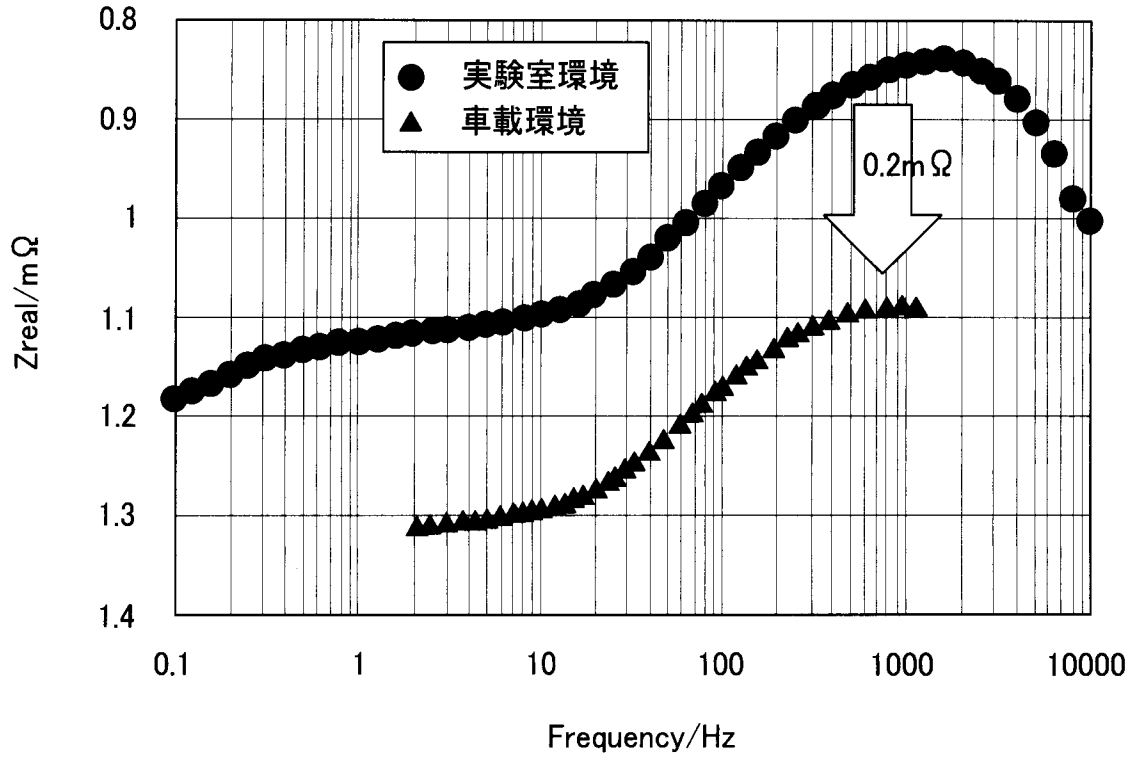
[図3]


Z=R+jX
X
θ
R

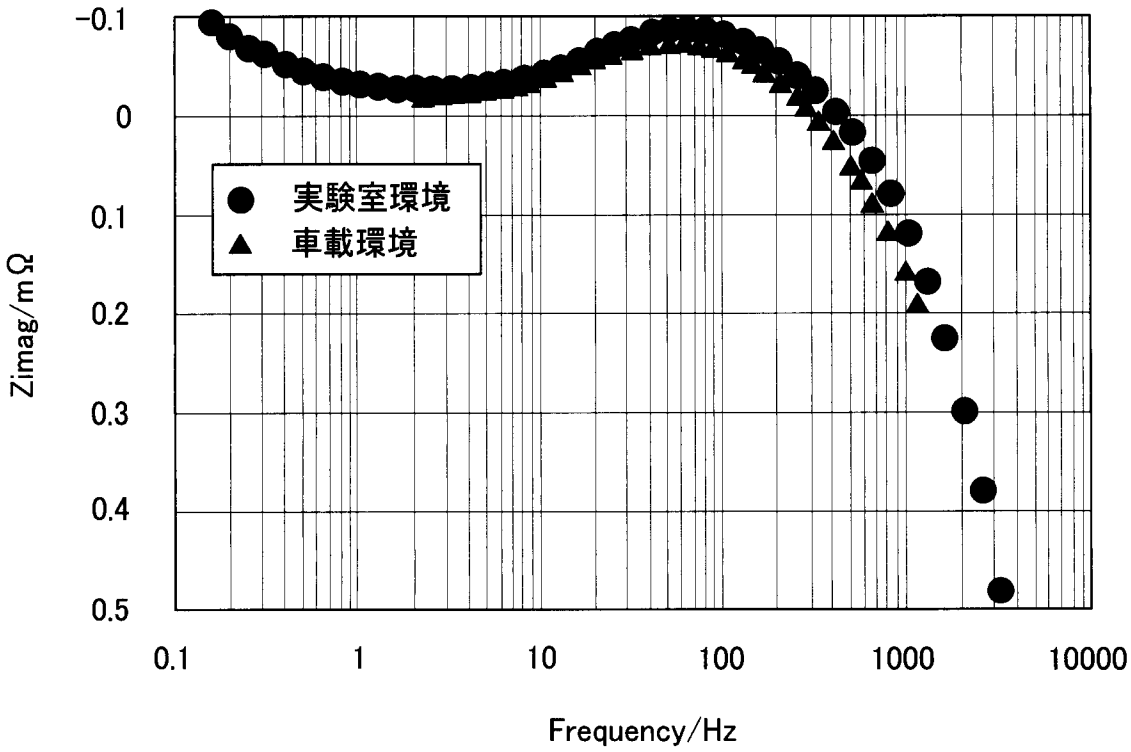
[図4]


実験室環境
車載環境
-0.4
-0.3
-0.2
-0.1
0
0.1
0.2
0.8
1
1.2
1.4
Zimag(mΩ)
Zreal(mΩ)

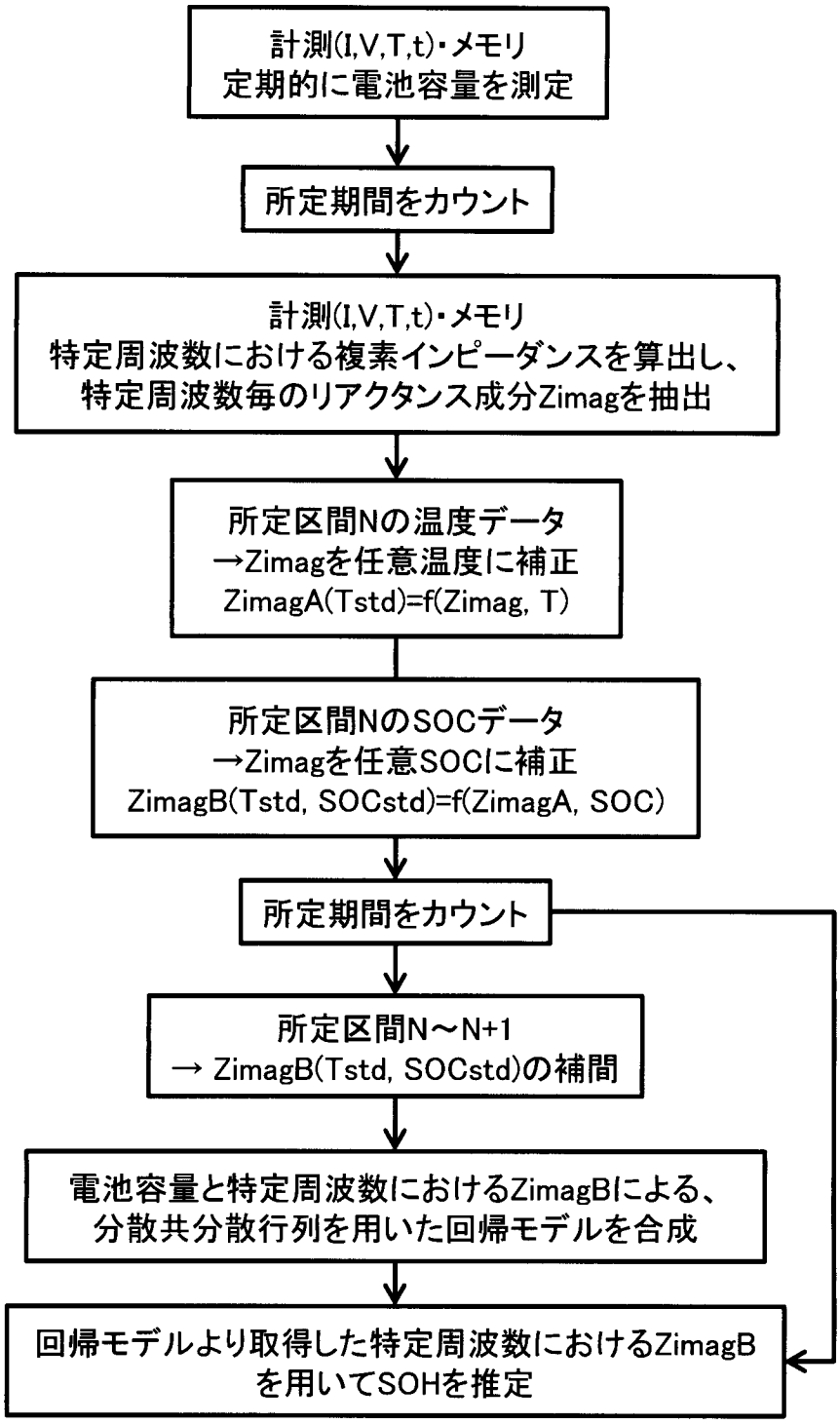
[図5]


0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
Zreal/mΩ
実験室環境
車載環境
0.2mΩ
0.1
1
10
100
1000
10000
Frequency/Hz

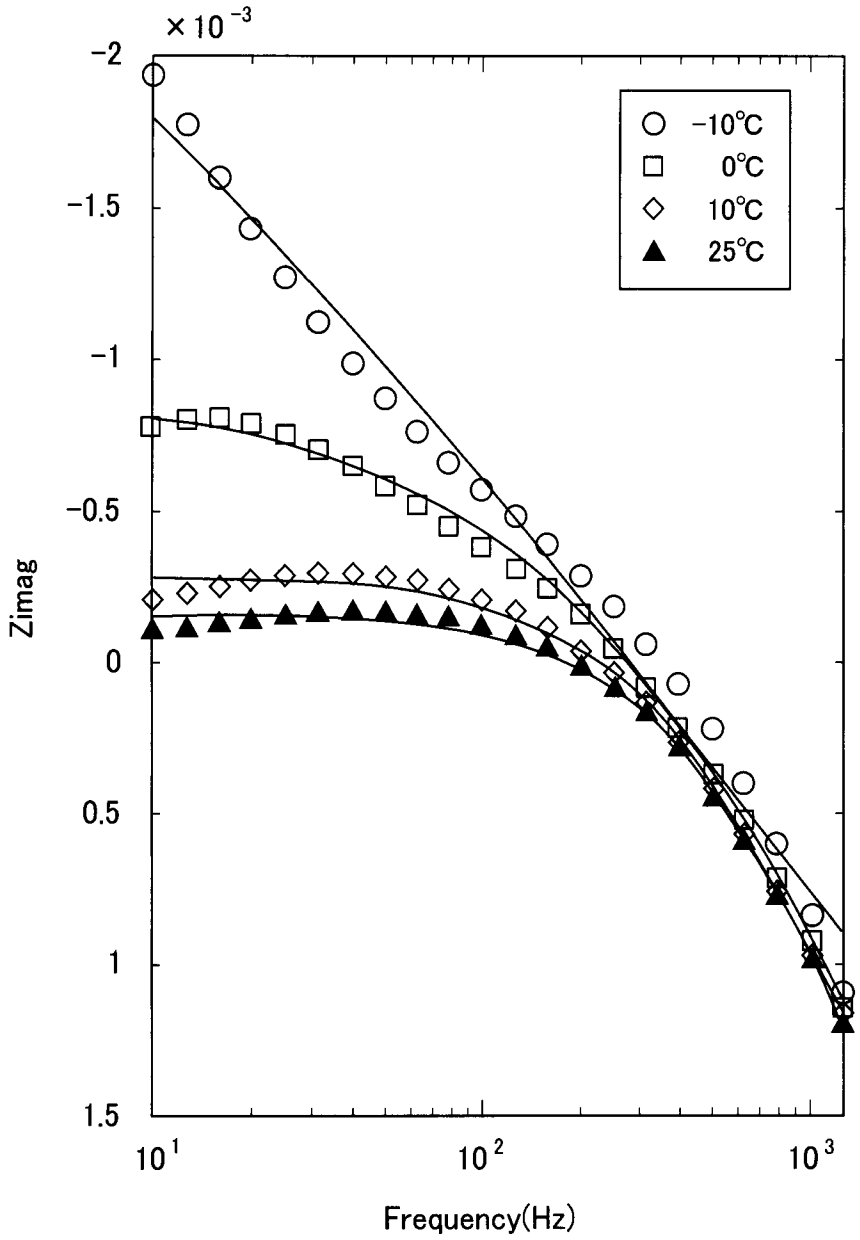
[図6]


-0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
Zimag/mΩ
実験室環境
車載環境
0.1
1
10
100
1000
10000
Frequency/Hz

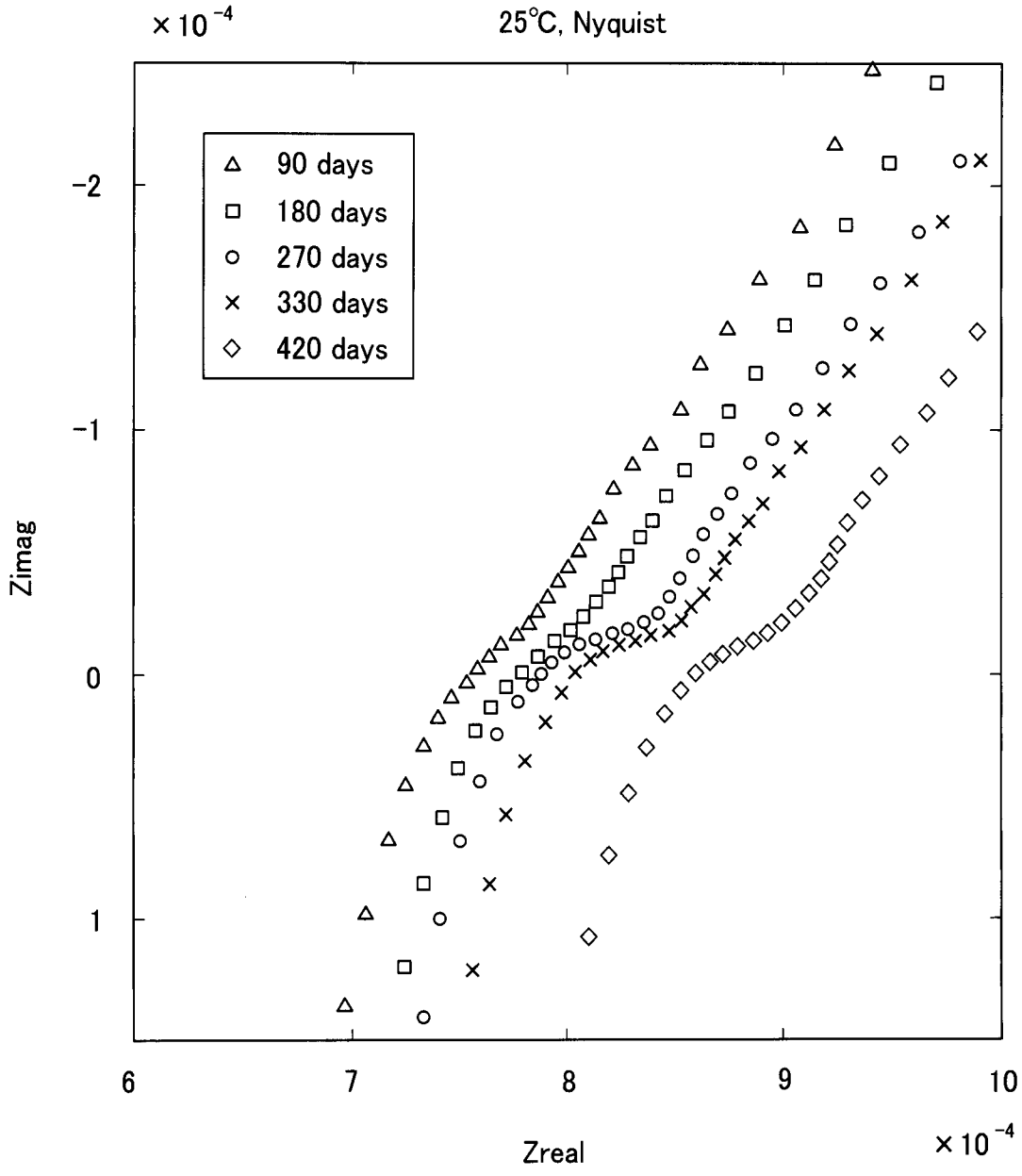
[図7]


計測(I,V,T,t)・メモリ
定期的に電池容量を測定
所定期間をカウント
計測(I,V,T,t)・メモリ
特定周波数における複素インピーダンスを算出し、
特定周波数毎のリアクタンス成分Zimagを抽出
所定区間Nの温度データ
→Zimagを任意温度に補正
ZimagA(Tstd)=f(Zimag, T)
所定区間NのSOCデータ
→Zimagを任意SOCに補正
ZimagB(Tstd, SOCstd)=f(ZimagA, SOC)
所定期間をカウント
所定区間N～N+1
→ ZimagB(Tstd, SOCstd)の補間
電池容量と特定周波数におけるZimagBによる、
分散共分散行列を用いた回帰モデルを合成
回帰モデルより取得した特定周波数におけるZimagB
を用いてSOHを推定

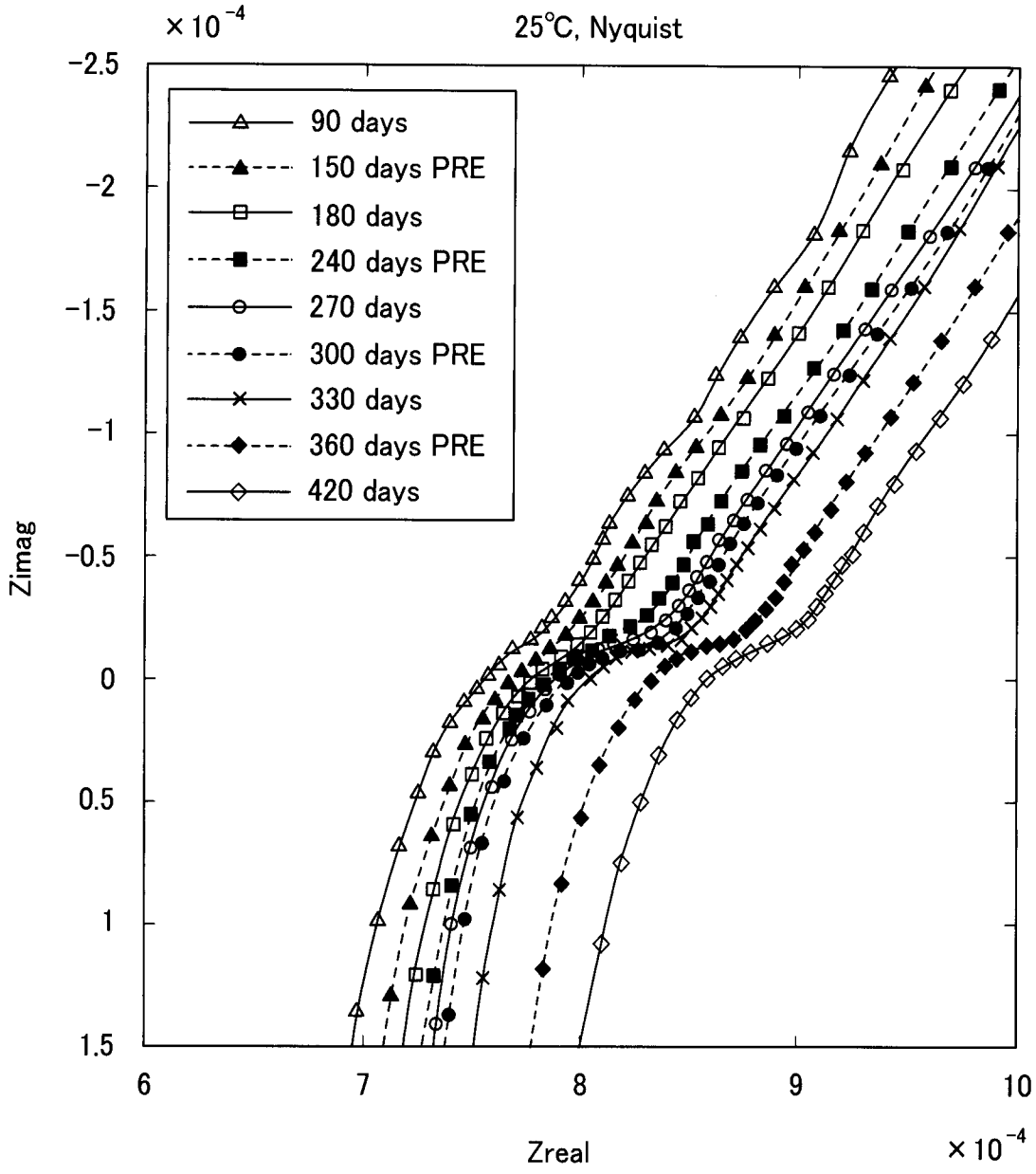
[図8]



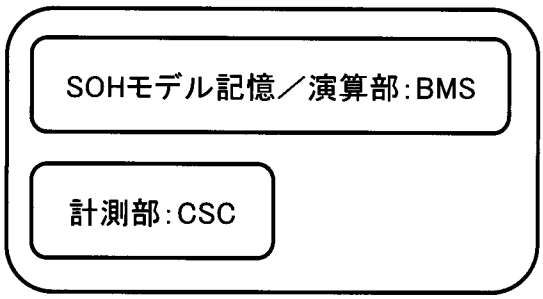
[図9]


×10 -4
25℃, Nyquist
90 days
180 days
270 days
330 days
420 days
-2
-1
0
1
Zimag
6
7
8
9
10
Zreal
×10 -4

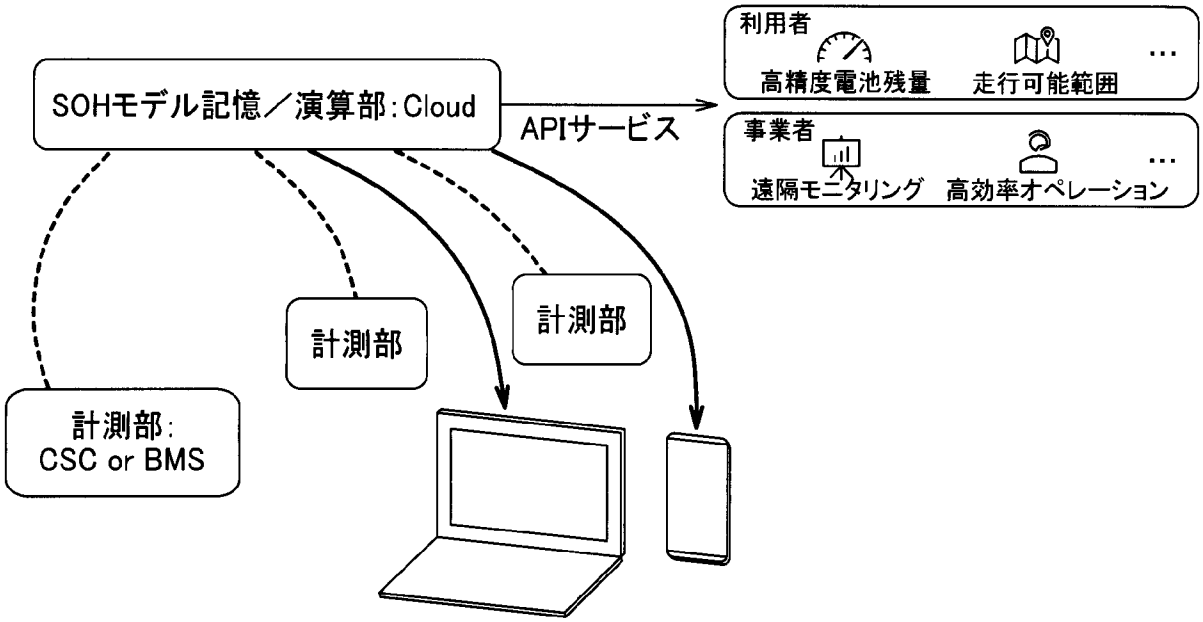
[図10]


×10⁻⁴
25℃, Nyquist
90 days
150 days PRE
180 days
240 days PRE
270 days
300 days PRE
330 days
360 days PRE
420 days
Zimag
Zreal
×10⁻⁴
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
6
7
8
9
10

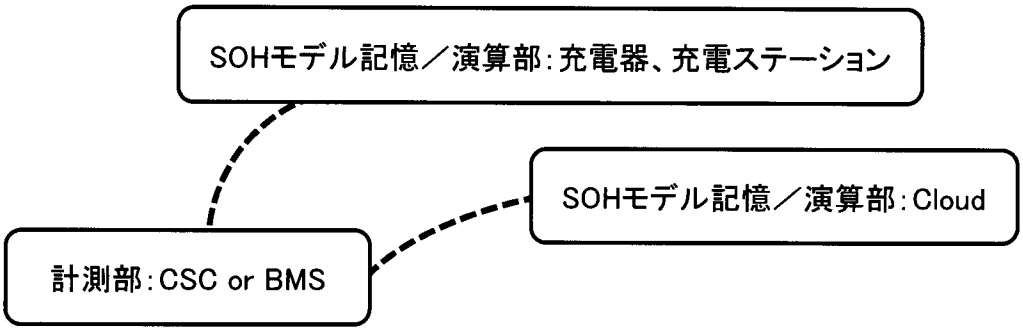
[図11]


SOHモデル記憶／演算部:BMS
計測部:CSC

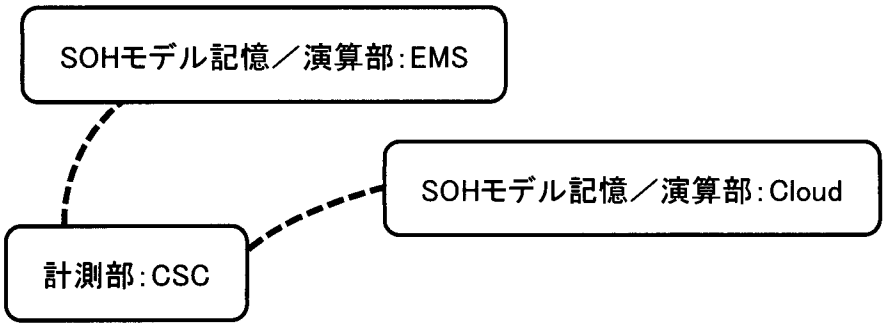
[図12]


SOHモデル記憶／演算部：Cloud
APIサービス
利用者
高精度電池残量
走行可能範囲
…
事業者
遠隔モニタリング
高効率オペレーション
…
計測部
計測部
計測部：
CSC or BMS

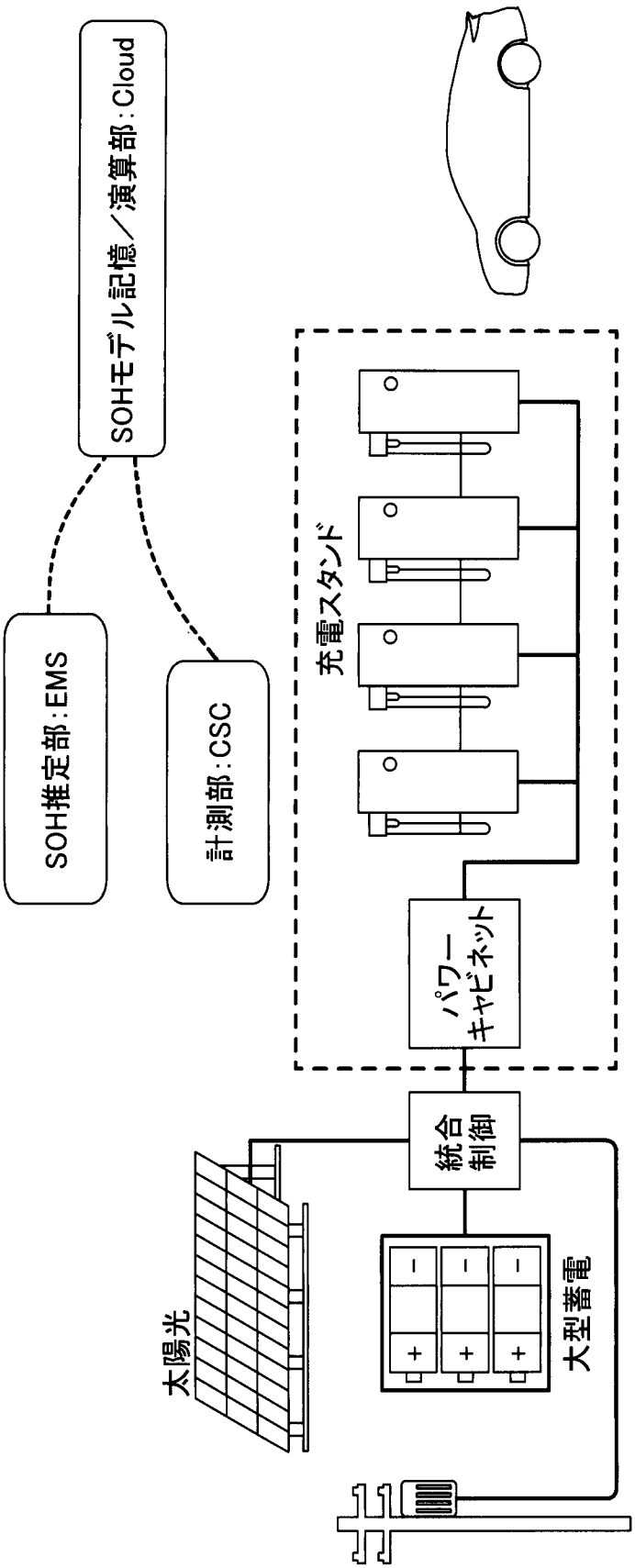
[図13]


SOHモデル記憶／演算部：充電器、充電ステーション
SOHモデル記憶／演算部：Cloud
計測部：CSC or BMS

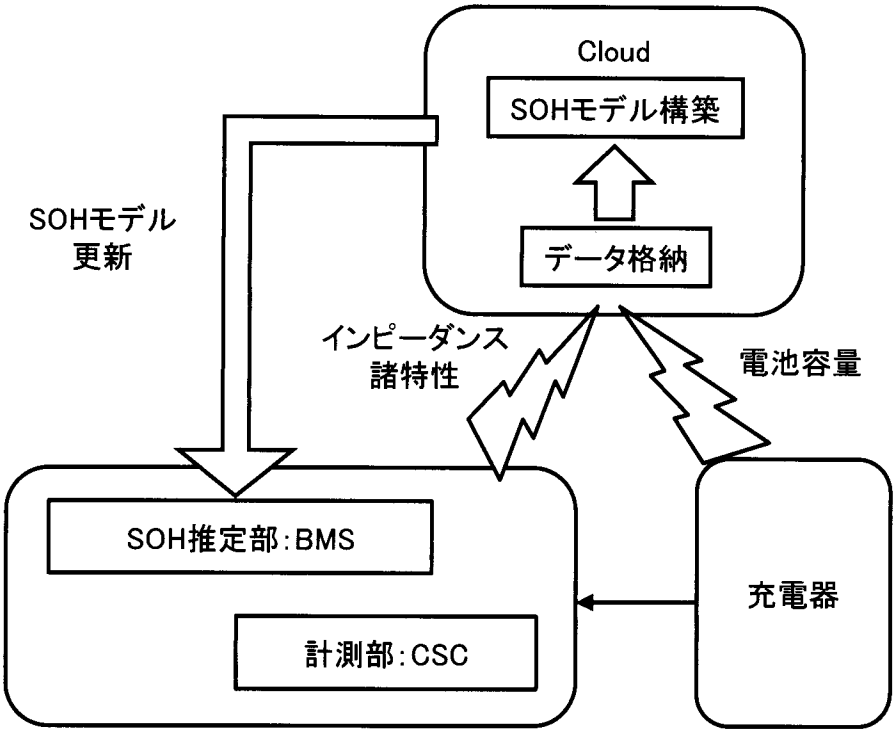
[図14]


SOHモデル記憶／演算部：EMS
SOHモデル記憶／演算部：Cloud
計測部：CSC

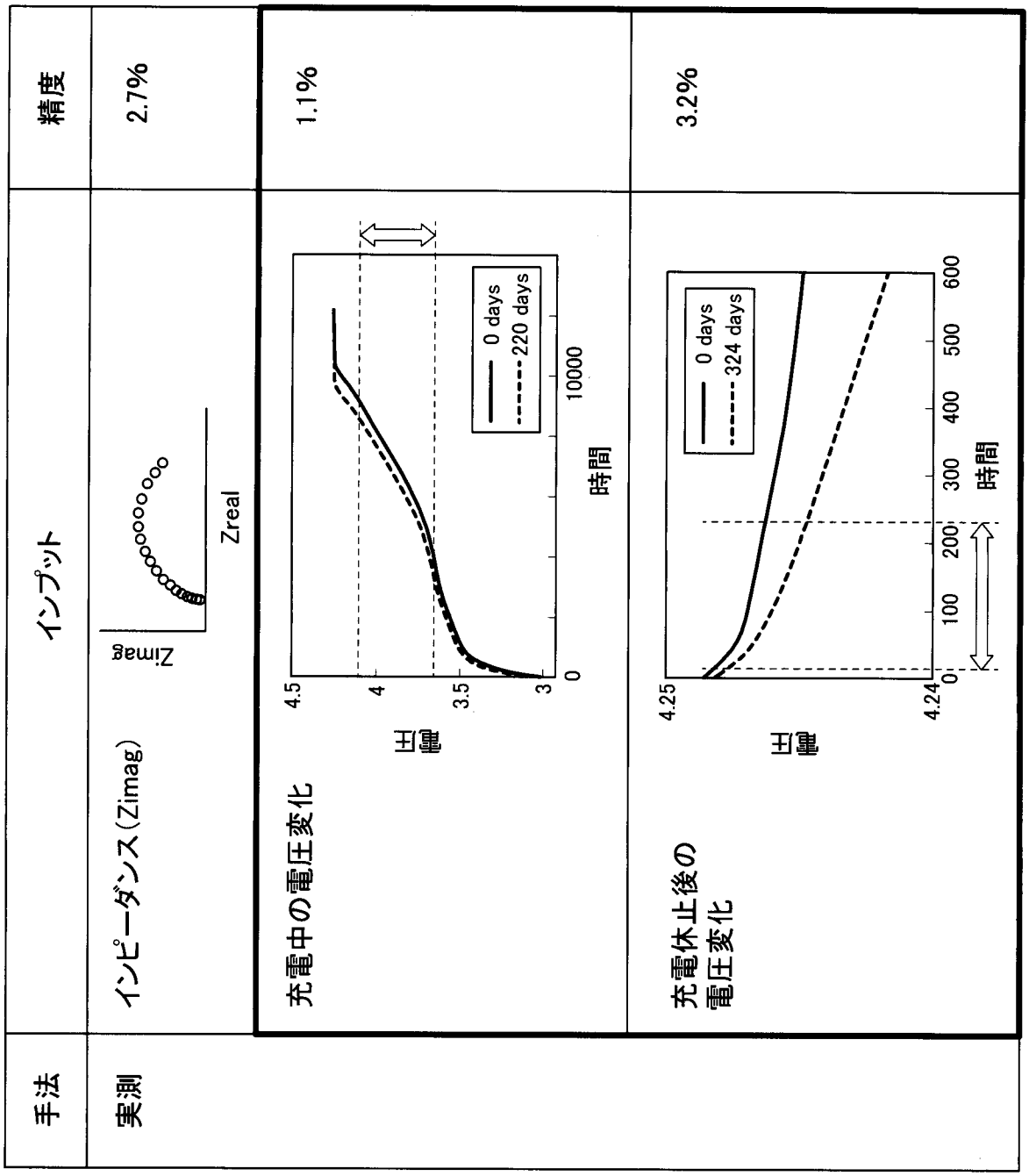
[図15]


SOHモデル記憶／演算部：Cloud
SOH推定部：EMS
計測部：CSC
充電スタンド
パワーキャビネット
統合制御
太陽光
大型蓄電

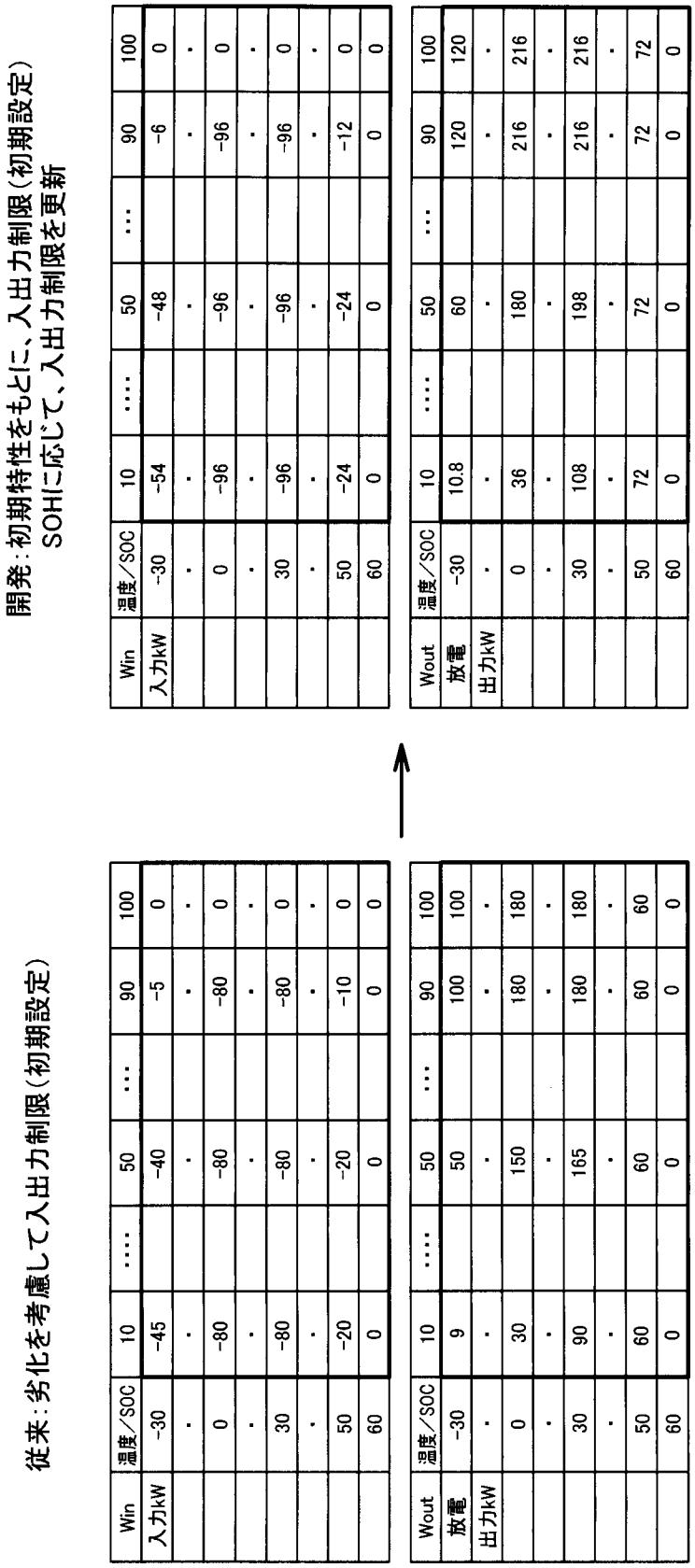
[図16]


Cloud
SOHモデル構築
データ格納
SOHモデル
更新
インピーダンス
諸特性
電池容量
SOH推定部:BMS
計測部:CSC
充電器

[図17]


手法
実測
インプット
精度
2.7%
インピーダンス(Zimag)
Zimag
Zreal
1.1%
充電中の電圧変化
電圧
時間
0 days
220 days
4.5
4
3.5
3
0
10000
3.2%
充電休止後の
電圧変化
電圧
時間
0 days
324 days
4.25
4.24
0
100
200
300
400
500
600

[図18]



従来：劣化を考慮して入出力制限（初期設定）

Win	温度／SOC	10	....	50	...	90	100
入力kW	-30	-45		-40		-5	0
	・	・		・		・	・
	0	-80		-80		-80	0
	・	・		・		・	・
	30	-80		-80		-80	0
	・	・		・		・	・
	50	-20		-20		-10	0
	60	0		0		0	0

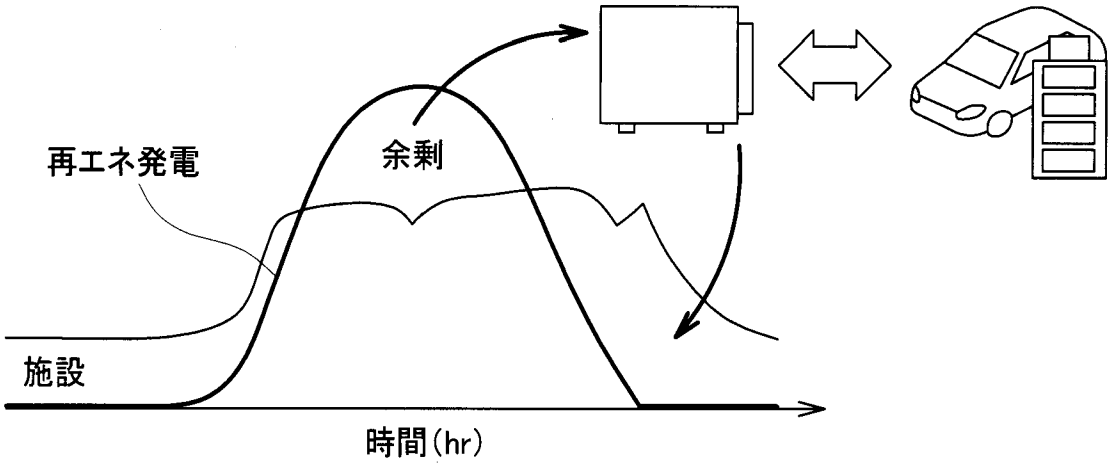
Wout	温度／SOC	10	....	50	...	90	100
放電	-30	9		50		100	100
出力kW	・	・		・		・	・
	0	30		150		180	180
	・	・		・		・	・
	30	90		165		180	180
	・	・		・		・	・
	50	60		60		60	60
	60	0		0		0	0

開発：初期特性をもとに、入出力制限（初期設定）
SOHに応じて、入出力制限を更新

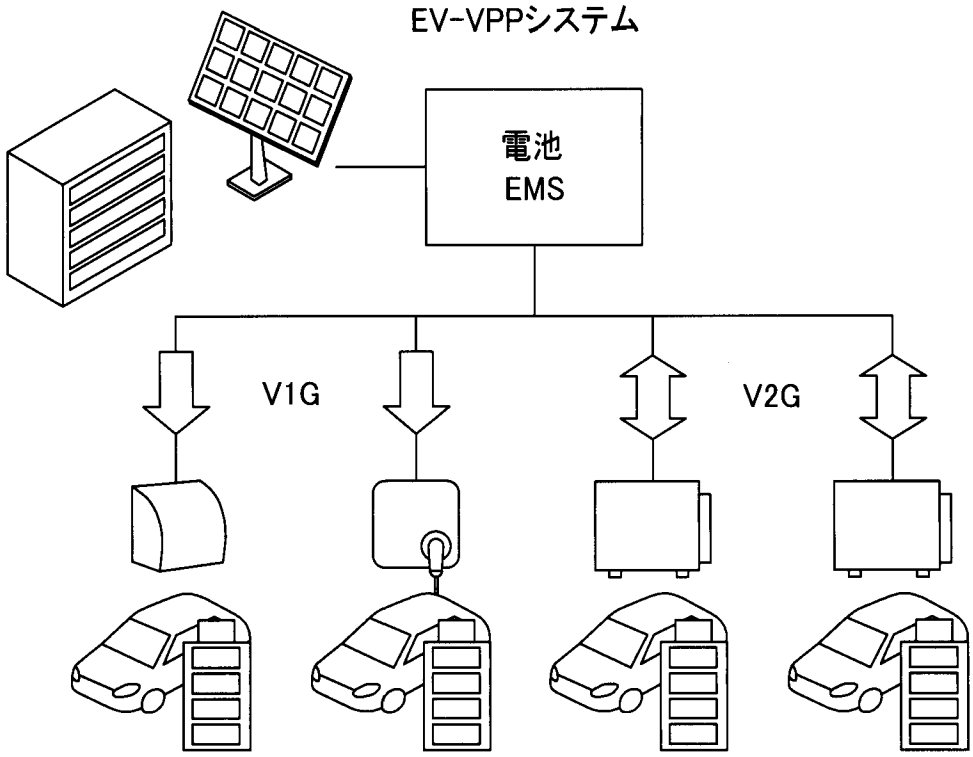
Win	温度／SOC	10	....	50	...	90	100
入力kW	-30	-54		-48		-6	0
	・	・		・		・	・
	0	-96		-96		-96	0
	・	・		・		・	・
	30	-96		-96		-96	0
	・	・		・		・	・
	50	-24		-24		-12	0
	60	0		0		0	0

Wout	温度／SOC	10	....	50	...	90	100
放電	-30	10.8		60		120	120
出力kW	・	・		・		・	・
	0	36		180		216	216
	・	・		・		・	・
	30	108		198		216	216
	・	・		・		・	・
	50	72		72		72	72
	60	0		0		0	0

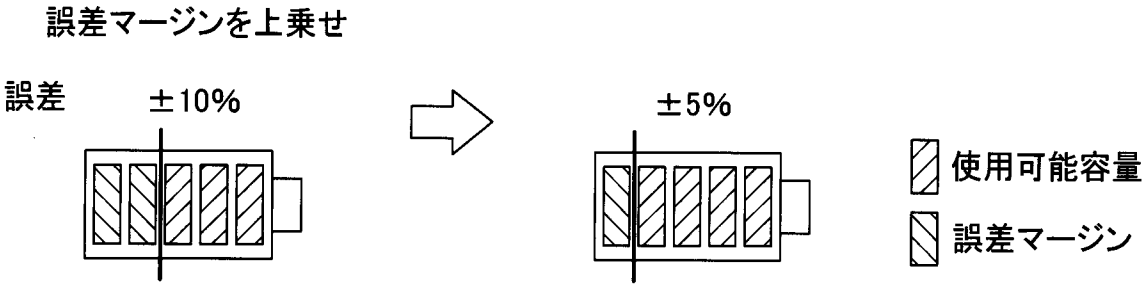
[図19]


再エネ発電
余剰
施設
時間(hr)

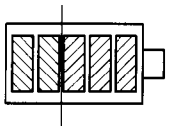
[図20]


EV-VPPシステム
電池
EMS
V1G
V2G

[図21]


誤差マージンを上乗せ
誤差
±10%
±5%
使用可能容量
誤差マージン

[図22]



出力 入力

SOH ＝ f(Zimag, 周波数, 温度, SOC, …)

出力	SOH	90%				
入力	周波数		5Hz	100Hz	400Hz	800Hz
	Zimag		0.2	0.6	0.4	0.1
	温度		25℃	25℃	25℃	25℃
	SOC		50%	50%	50%	50%

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/035710

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/392(2019.01)i; ***G01R 31/367***(2019.01)i; ***G01R 31/389***(2019.01)i; ***H01M 10/42***(2006.01)i; ***H01M 10/48***(2006.01)i; ***H02J 7/00***(2006.01)i
FI: G01R31/392; G01R31/367; H01M10/42 P; H01M10/48 P; H01M10/48 301; H02J7/00 Q; G01R31/389

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)

G01R31/392; G01R31/367; G01R31/389; 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 1971-2022
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.
X	JP 2016-90346 A (ENNET CO LTD) 23 May 2016 (2016-05-23) paragraphs [0001]-[0004], [0028]-[0083], fig. 1-6	1-4, 8-11, 13-16, 18-23, 27-28
Y		12
A		5-7, 17, 24-26
Y	WO 2021/044132 A1 (SIEMENS PLC) 11 March 2021 (2021-03-11) column 1, lines 6-7, column 1, line 38 to column 2, line 7, fig. 1	12
A	JP 2021-185354 A (ENVISION AESC JAPAN LTD.) 09 December 2021 (2021-12-09) entire text, all drawings	1-28
A	WO 2021/186593 A1 (TOSHIBA KK) 23 September 2021 (2021-09-23) entire text, all drawings	1-28
A	WO 2019/240182 A1 (GS YUASA INT LTD) 19 December 2019 (2019-12-19) entire text, all drawings	1-28

☑ 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
31 October 2022	**15 November 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/JP2022/035710

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-132666 A (PRIMEARTH EV ENERGY CO LTD) 08 August 2019 (2019-08-08) entire text, all drawings	1-28
A	JP 2020-101399 A (TOYOTA MOTOR CORP) 02 July 2020 (2020-07-02) entire text, all drawings	1-28
P, A	WO 2022/080377 A1 (SHOWA DENKO KK) 21 April 2022 (2022-04-21) entire text, all drawings	1-28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/035710

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2016-90346 A	23 May 2016	(Family: none)	
WO 2021/044132 A1	11 March 2021	GB 2586654 A fig. 1, column 1, lines 6-7, column 1, line 38 to column 2, line 7	
JP 2021-185354 A	09 December 2021	WO 2021/241115 A1 entire text, all drawings	
WO 2021/186593 A1	23 September 2021	US 2021/0405120 A1 entire text, all drawings	
WO 2019/240182 A1	19 December 2019	US 2021/0255251 A1 entire text, all drawings CN 112368904 A	
JP 2019-132666 A	08 August 2019	US 2019/0235027 A1 entire text, all drawings	
JP 2020-101399 A	02 July 2020	US 2020/0200826 A1 entire text, all drawings CN 111352033 A	
WO 2022/080377 A1	21 April 2022	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/035710

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; G01R 31/367(2019.01)i; G01R 31/389(2019.01)i; H01M 10/42(2006.01)i; H01M 10/48(2006.01)i; H02J 7/00(2006.01)i
FI: G01R31/392; G01R31/367; H01M10/42 P; H01M10/48 P; H01M10/48 301; H02J7/00 Q; G01R31/389

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; G01R31/367; G01R31/389; 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	１９７１－２０２２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
X	JP 2016-90346 A (エンネット株式会社) 23.05.2016 (2016-05-23) 段落[０００１]－[０００４], [００２８]－[００８３], [図１]－[図６]	1-4,8-11,13-16,18-23,27-28
Y		12
A		5-7,17,24-26
Y	WO 2021/044132 A1 (SIEMENS PLC) 11.03.2021 (2021-03-11) 第１欄第６行－７行, 第１欄３８行－第２欄第７行, FIG.1	12
A	JP 2021-185354 A (株式会社エンビジョンＡＥＳＣジャパン) 09.12.2021 (2021-12-09) 全文, 全図	1-28
A	WO 2021/186593 A1 (株式会社　東芝) 23.09.2021 (2021-09-23) 全文, 全図	1-28
A	WO 2019/240182 A1 (株式会社ＧＳユアサ) 19.12.2019 (2019-12-19) 全文, 全図	1-28

☑ 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
31.10.2022	15.11.2022

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）
永井　皓喜 2S 5701

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 2019-132666 A（プライムアースＥＶエナジー株式会社）08.08.2019（2019-08-08） 全文，全図	1-28
A	JP 2020-101399 A（トヨタ自動車株式会社）02.07.2020（2020-07-02） 全文，全図	1-28
P，A	WO 2022/080377 A1（昭和電工株式会社）21.04.2022（2022-04-21） 全文，全図	1-28

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/JP2022/035710

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-90346 A	23.05.2016	（ファミリーなし）	
WO 2021/044132 A1	11.03.2021	GB 2586654 A FIG.1，第１欄第６行－７行，第１欄３８行－第２欄第７行	
JP 2021-185354 A	09.12.2021	WO 2021/241115 A1 全文，全図	
WO 2021/186593 A1	23.09.2021	US 2021/0405120 A1 全文，全図	
WO 2019/240182 A1	19.12.2019	US 2021/0255251 A1 全文，全図 CN 112368904 A	
JP 2019-132666 A	08.08.2019	US 2019/0235027 A1 全文，全図	
JP 2020-101399 A	02.07.2020	US 2020/0200826 A1 全文，全図 CN 111352033 A	
WO 2022/080377 A1	21.04.2022	（ファミリーなし）	