

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7371966号
(P7371966)

(45)発行日 令和5年10月31日(2023.10.31)

(24)登録日 令和5年10月23日(2023.10.23)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 1 R	31/392 (2019.01)	G 0 1 R	31/392	
G 0 1 R	31/367 (2019.01)	G 0 1 R	31/367	
G 0 1 R	31/389 (2019.01)	G 0 1 R	31/389	
H 0 1 M	10/48 (2006.01)	H 0 1 M	10/48	P
H 0 2 J	7/00 (2006.01)	H 0 2 J	7/00	Q
請求項の数 9 (全16頁)				
(21)出願番号	特願2022-86528(P2022-86528)	(73)特許権者	515090628	
(22)出願日	令和4年5月27日(2022.5.27)		株式会社スリーダムアライアンス	
(65)公開番号	特開2023-13954(P2023-13954A)		東京都港区赤坂一丁目7番1号	
(43)公開日	令和5年1月26日(2023.1.26)	(74)代理人	110000165	
審査請求日	令和4年5月27日(2022.5.27)		弁理士法人グローバル・アイピー東京	
(31)優先権主張番号	特願2021-117244(P2021-117244)	(72)発明者	山田 悠登	
(32)優先日	令和3年7月15日(2021.7.15)		神奈川県横浜市神奈川区守屋町三丁目9	
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		番地 株式会社スリーダム内	
		審査官	島▲崎▼ 純一	
最終頁に続く				

(54)【発明の名称】 二次電池評価装置及び二次電池評価方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

予測対象となる二次電池の等価回路における要素値として第1種パラメータを取得する第1種パラメータ取得部と、

予測対象となる前記二次電池の構成を示す、前記二次電池の正極種別および開放電圧を含む第2種パラメータを取得する第2種パラメータ取得部と、

前記第1種パラメータおよび前記第2種パラメータと前記二次電池の劣化度を入力として学習した数理モデルに対して、予測対象となる前記二次電池の前記第1種パラメータおよび前記第2種パラメータを入力値として設定することにより、予測対象となる前記二次電池の劣化度を推定する劣化推定部と、

を有する二次電池評価装置。

【請求項2】

第2種パラメータ取得部は、更に初期電池容量を含む前記第2種パラメータを取得する、請求項1に記載の二次電池評価装置。

【請求項3】

前記等価回路は、第1抵抗およびワールブルグインピーダンスを直列に接続した成分と、C P E (Constant Phase Element) 成分の並列回路に対して、第2抵抗を直列に接続した回路であり、

前記第1種パラメータ取得部は、前記第1抵抗の抵抗値、前記第2抵抗の抵抗値、前記ワールブルグインピーダンスおよび前記C P E の要素値を前記第1種パラメータとして取

得する、

請求項 1 又は 2 に記載の二次電池評価装置。

【請求項 4】

前記数理モデルは、機械学習モデルである、

請求項 1 又は 2 に記載の二次電池評価装置。

【請求項 5】

予測対象となる二次電池の等価回路における要素値として第 1 種パラメータを取得し、

予測対象となる前記二次電池の構成を示す、前記二次電池の正極種別および開放電圧を含む第 2 種パラメータを取得し、

前記第 1 種パラメータおよび前記第 2 種パラメータと前記二次電池の劣化度を入力として学習した数理モデルに対して、予測対象となる前記二次電池の前記第 1 種パラメータおよび前記第 2 種パラメータを入力値として設定することにより、予測対象となる前記二次電池の劣化度を推定する、

二次電池評価方法。

【請求項 6】

更に初期電池容量を含む前記第 2 種パラメータを取得する、

請求項 5 に記載の二次電池評価方法。

【請求項 7】

前記等価回路は、第 1 抵抗およびワールブルグインピーダンスを直列に接続した成分と、C P E (Constant Phase Element) 成分の並列回路に対して、第 2 抵抗を直列に接続した回路であり、

前記第 1 種パラメータは、前記第 1 抵抗の抵抗値、前記第 2 抵抗の抵抗値、前記ワールブルグインピーダンスおよび前記 C P E の要素値である、

請求項 5 又は 6 に記載の二次電池評価方法。

【請求項 8】

前記二次電池のインピーダンス測定を行い、

前記二次電池のインピーダンス測定の結果に基づいて、前記二次電池の前記等価回路における前記要素値を算出することにより、前記二次電池の前記第 1 種パラメータを取得する、

請求項 5 又は 6 に記載の二次電池評価方法。

【請求項 9】

前記数理モデルは、機械学習モデルである、

請求項 5 又は 6 に記載の二次電池評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、二次電池の性能を計測するための技術に関する。

【背景技術】

【0002】

二次電池の市場は順調に拡大を続けている。電気自動車 (E V : Electric Vehicle) 、モバイル端末、電動アシスト自転車、無停電電源装置など、二次電池を利用する製品は幅広い。二次電池の特徴は、充放電を繰り返すことにより長期間にわたって使用できることである。二次電池は、小型で低価格のものから大型で高価格なものまで用途に応じてさまざまである。

【0003】

二次電池の開発競争は活発化しており、二次電池の劣化の抑制、いいかえれば、二次電池の長寿命化が今度もいっそう進む。二次電池が長寿命化していくと、二次電池の流通が本格化する。たとえば、公共交通機関の業務用 E V で二次電池を一次利用し、二次電池の S O H (State of Health) がある程度下がったところでこの二次電池を別のユーザが家庭用蓄電池として二次利用することも考えられる。二次電池のもともとのエネルギー密度

10

20

30

40

50

が高い場合には、そのSOHが多少下がったとしても家庭用蓄電池として十分に使えることがある。

【0004】

二次電池の流通を促す上では二次電池のSOHを計測する技術が重要となる。一般的には、充放電測定試験によってSOHを求めるが、充放電測定には半日から1日程度の時間がかかる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2013-26114号公報

10

【文献】特開2016-90346号公報

【文献】国際公開第2020/261799号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1では、インピーダンス測定により、二次電池の等価回路モデルにおける回路定数を求めている。インピーダンス測定は、充放電測定ほど時間がかからない。特許文献1では、回路定数に基づいて二次電池の劣化度を推定する方法が提案されている。

ただし、特許文献1においては、二次電池の種類が同一であることを前提としている。

【0007】

20

本発明は、上記課題認識に基づいて完成された発明であり、その主たる目的は、さまざまな二次電池の劣化度を簡易かつ高速に推定するための技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1の観点は、

予測対象となる二次電池の等価回路における要素値として第1種パラメータを取得する第1種パラメータ取得部と、

予測対象となる前記二次電池の構成を示す第2種パラメータを取得する第2種パラメータ取得部と、

前記第1種パラメータおよび前記第2種パラメータと、前記二次電池の劣化度との相関関係を示す数理モデルに対して、予測対象となる前記二次電池の前記第1種パラメータおよび前記第2種パラメータを入力値として設定することにより、予測対象となる前記二次電池の劣化度を推定する劣化推定部と、

30

を有する二次電池評価装置である。

【0009】

本発明の第2の観点は、

前記第2種パラメータは、前記二次電池の正極種別、初期電池容量、開放電圧のうちの少なくとも1つである、

第1の観点に記載の二次電池評価装置である。

【0010】

40

本発明の第3の観点は、

実験対象となる前記二次電池の前記第1種パラメータおよび前記第2種パラメータを入力値とし、実験対象となる前記二次電池の劣化度を出力値として与えることにより前記数理モデルを調整する学習部、を更に有する、

第1又は第2の観点に記載の二次電池評価装置である。

【0011】

本発明の第4の観点は、

前記等価回路は、第1抵抗(R1)およびワールブルグインピーダンス(ZW)を直列に接続した成分と、CPE(Constant Phase Element)成分の並列回路に対して、第2抵抗(R0)を直列に接続した回路であり、

50

前記第 1 種パラメータ取得部は、前記第 1 抵抗 (R_1) の抵抗値、前記第 2 抵抗 (R_0) の抵抗値、前記ワールブルグインピーダンス (Z_W) および前記 C P E の要素値を前記第 1 種パラメータとして取得する、

第 1 ~ 第 3 のいずれかの観点に記載の二次電池評価装置である。

【0012】

本発明の第 5 の観点は、

前記数理モデルは、機械学習モデルである、

第 1 ~ 第 4 のいずれかの観点に記載の二次電池評価装置である。

【0013】

本発明の第 6 の観点は、

予測対象となる二次電池の等価回路における要素値として第 1 種パラメータを取得し、

予測対象となる前記二次電池の構成を示す第 2 種パラメータを取得し、

前記第 1 種パラメータおよび前記第 2 種パラメータと、前記二次電池の劣化度との相関関係を示す数理モデルに対して、予測対象となる前記二次電池の前記第 1 種パラメータおよび前記第 2 種パラメータを入力値として設定することにより、予測対象となる前記二次電池の劣化度を推定する、

二次電池評価方法である。

【0014】

本発明の第 7 の観点は、

前記第 2 種パラメータは、前記二次電池の正極種別、初期電池容量、開放電圧のうちの少なくとも 1 つである、

第 6 の観点に記載の二次電池評価方法である。

【0015】

本発明の第 8 の観点は、

実験対象となる前記二次電池の前記第 1 種パラメータおよび前記第 2 種パラメータを入力値とし、実験対象となる前記二次電池の劣化度を出力値として与えることにより前記数理モデルを調整する、

第 6 又は第 7 の観点に記載の二次電池評価方法である。

【0016】

本発明の第 9 の観点は、

前記等価回路は、第 1 抵抗 (R_1) およびワールブルグインピーダンス (Z_W) を直列に接続した成分と、C P E (Constant Phase Element) 成分の並列回路に対して、第 2 抵抗 (R_0) を直列に接続した回路であり、

前記第 1 種パラメータは、前記第 1 抵抗 (R_1) の抵抗値、前記第 2 抵抗 (R_0) の抵抗値、前記ワールブルグインピーダンス (Z_W) および前記 C P E の要素値である、

第 6 ~ 第 8 のいずれかの観点に記載の二次電池評価方法である。

【0017】

本発明の第 10 の観点は、

前記二次電池のインピーダンス測定を行い、

前記二次電池のインピーダンス測定の結果に基づいて、前記二次電池の前記等価回路における前記要素値を算出することにより、前記二次電池の前記第 1 種パラメータを取得する、

第 6 ~ 第 9 のいずれかの観点に記載の二次電池評価方法である。

【0018】

本発明の第 11 の観点は、

前記数理モデルは、機械学習モデルである、

第 6 ~ 第 10 のいずれかの観点に記載の二次電池評価方法である。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、さまざまな二次電池の劣化度を推定しやすくなる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】予測モデルを説明するための模式図である。

【図 2】各種パラメータの特定方法を説明するための模式図である。

【図 3】予測モデルの学習および予測の流れを説明するための模式図である。

【図 4】二次電池評価装置の機能ブロック図である。

【図 5】S O H の予測過程を示すフローチャートである。

【図 6】二次電池のインピーダンスの周波数特性図である。

【図 7】二次電池の等価回路図である。

【図 8】使用するパラメータを変えた際の S O H の予測精度を示す表である。

10

【図 9】使用するパラメータを変えた際の決定係数を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

図 1 は、予測モデル 2 0 0 を説明するための模式図である。

本実施形態における予測モデル 2 0 0 は、後述する 8 種類の入力値に基づいて二次電池の S O H、いいかえれば、二次電池の劣化度を予測する数理モデルである。本実施形態における予測モデル 2 0 0 は、機械学習モデルである。具体的には、予測モデル 2 0 0 は、勾配ブースティング決定木 (G B D T) を用いる。

予測モデル 2 0 0 における 8 種類の入力値 (パラメータ) は、第 1 種パラメータ、及び、第 2 種パラメータに分類できる。

20

【 0 0 2 2 】

第 1 種パラメータは、二次電池の等価回路モデルにおける要素値である。第 1 種パラメータには、R 0、R 1、C P 1、C P 2 および W (ワールブルグ係数) の 5 種類のパラメータ (要素値) が含まれるが、詳細は後述する。

【 0 0 2 3 】

第 2 種パラメータは、二次電池の構成を示すパラメータである。第 2 種パラメータには、C T D、C A P および V M の 3 種類のパラメータが含まれる。

C T D は、正極種別を示す。本実施形態においては、N C M (三元系正極) に「 1」、L F P (リン酸鉄リチウム) に「 0」を割り当てる。C A P は、二次電池の初期容量を示す。二次電池のサイズによって、二次電池内部の抵抗値と電気二重層の容量値は異なる。本実施形態においては、二次電池の仕様書 (型番情報) から得られる初期公称容量が C A P 値となる。C A P 値には、電極表面積および電極の厚みが反映される。V M 値は、インピーダンス測定を行うときの電圧値 (開放電圧) を示す。

30

【 0 0 2 4 】

予測モデル 2 0 0 は、第 1 種パラメータに加えて、二次電池の構成 (個性) を示す第 2 種パラメータを入力値として取り込むことができるので、高い精度で二次電池の S O H を予測できる。

【 0 0 2 5 】

S O H は「満充電容量 / 初期公称容量」として定義される。すなわち、S O H は初期の満充電容量 (初期公称容量) に対する、劣化時の満充電容量の比である。二次電池の劣化が進むと満充電容量が低下する。いいかえれば、S O H は二次電池の劣化度を示す。上述したように、予測モデル 2 0 0 は、最大 8 種類のパラメータ (入力値) により、二次電池の劣化度 (S O H) を予測する。なお、満充電容量の方が満放電容量よりも少し上回ることが多いが、両者の値は実質的に同一となる。したがって、満充電容量の代わりに満放電容量を用いて各種計算を行ってもよい。以下においては、満放電容量を基準として説明する。

40

【 0 0 2 6 】

図 2 は、各種パラメータの特定方法を説明するための模式図である。

第 1 種パラメータ (R 0、R 1、C P 1、C P 2、W) は、インピーダンス測定により得られる。二次電池にさまざまな周波数 f の交流電流を流しながら、二次電池のインピー

50

ダンス $Z(f)$ を測定する。二次電池のインピーダンス Z (測定値)から、5種類の要素値、すなわち第1種パラメータを算出できる。一般的には、二次電池のインピーダンス Z (測定値)から等価回路モデルの要素値を算出することを「フィッティング(Fitting)」とよぶ。本実施形態における等価回路モデルについては後述する。インピーダンス測定に要する時間は5分程度である。

【0027】

第2種パラメータ(CTD、CAP)は、二次電池の構成を示すデータであるため、二次電池の仕様書から確認できる。また、第2種パラメータ(VM)は、開放電圧であり測定で得られる。また、インピーダンス測定を行うときの電圧値は実質的に開放電圧と等しいため、これを流用してもよい。

10

【0028】

図3は、予測モデル200の学習および予測の流れを説明するための模式図である。

予測モデル200の運用には、「学習」と「予測」の2つの段階が含まれる。

学習段階においては、複数の実験用の二次電池(以下、「実験電池202」ともよぶ)について、インピーダンス測定および充放電測定を行う。異なる種類の実験用の実験電池202で学習を行うことが好ましい。

【0029】

ここで、充放電測定は、二次電池に実際に充放電を行うことでSOHを求める試験である。具体的には、まず、試験対象の二次電池を一定の電流値CCにて所定の第1電圧値VTに至るまで充電する(CC充電)。次に、第1電圧値VTを維持するように二次電池に電流を流し続ける(CV充電)。二次電池の性質上、CC充電のみでは満充電にはなりにくいため、CC充電容量およびCV充電容量の合計を満充電容量とみなす。

20

【0030】

充電完了後、第2電圧(放電終止電圧)に至るまで、一定の電流値CCにて二次電池を放電させる(CC放電)。このときの放電電流値CCおよび放電時間を乗算することにより、満放電容量を算出する。満放電容量を求めることにより、SOHが算出される。

充放電測定は、二次電池を実際に充放電させるため、SOHを正確に求めることができる。一方、充放電測定には、上述したように、半日から1日程度の長い時間がかかる。

ここで求めたSOHは、学習のために用いる。

【0031】

実験電池202の第1種パラメータ、及び、第2種パラメータを予測モデル200の入力値に設定し、実験電池202の充放電測定により得られたSOHを予測モデル200の出力値に設定し、予測モデル200におけるハイパーパラメータを調整する。このような制御方法により、多数の実験電池202を対象として予測モデル200をトレーニングする。

30

【0032】

予測段階においては、予測対象となる二次電池(以下、「対象電池204」ともよぶ)のインピーダンス測定を行う。

【0033】

対象電池204については、時間のかかる充放電測定は行わない。予測モデル200に対象電池204の第1種パラメータ(等価回路の5種類の要素値)、第2種パラメータ(対象電池204の構成を示すCTD、CAP、VM)を入力値として設定することにより、予測モデル200は、対象電池204のSOH(劣化度)を予測する。

40

【0034】

図4は、二次電池評価装置100の機能ブロック図である。

二次電池評価装置100の各構成要素は、CPU(Central Processing Unit)および各種コプロセッサ(co-processor)などの演算器、メモリやストレージといった記憶装置、それらを連結する有線または無線の通信線を含むハードウェアと、記憶装置に格納され、演算器に処理命令を供給するソフトウェアによって実現される。コンピュータプログラムは、デバイスドライバ、オペレーティングシステム、それらの上位層に位置する各種ア

50

アプリケーションプログラム、また、これらのプログラムに共通機能を提供するライブラリによって構成されてもよい。

以下に説明する各ブロックは、ハードウェア単位の構成ではなく、機能単位のブロックを示している。

【0035】

二次電池評価装置100は、ユーザインタフェース処理部102、データ処理部104およびデータ格納部106を有する。

ユーザインタフェース処理部102は、ユーザからの操作を受け付けるほか、画像表示や音声出力など、ユーザインタフェースに関する処理を担当する。データ格納部106は、予測モデル200など各種情報を格納する。データ処理部104は、ユーザインタフェース処理部102により取得されたデータ、および、データ格納部106に格納されているデータに基づいて、各種処理を実行する。データ処理部104は、ユーザインタフェース処理部102およびデータ格納部106のインタフェースとしても機能する。

10

【0036】

ユーザインタフェース処理部102は、入力部108および出力部110を有する。出力部110は、ユーザからの各種操作を受け付ける。出力部110は、画像、音声等により各種情報を出力する。

【0037】

入力部108は、二次電池の第1種パラメータを取得する第1種パラメータ取得部112、及び、第2種パラメータを取得する第2種パラメータ取得部114を有する。第1種パラメータ取得部112は、インピーダンス測定を実行するインピーダンス測定部130を有する。実験電池SOH取得部116は、実験電池202の充放電測定の結果に基づいて実験電池202のSOH(測定値)を取得する。ユーザは、予測モデル200の学習および予測に際して、各種パラメータ値を二次電池評価装置100に入力する。

20

【0038】

データ処理部104は、学習部118および劣化推定部120を有する。

学習部118は、学習段階において、複数の実験電池202のデータに基づいて予測モデル200をトレーニングする。劣化推定部120は、予測段階において、予測モデル200に対象電池204の各種パラメータを設定することにより、対象電池204のSOHの予測値を計算する。

30

【0039】

図5は、SOHの予測過程を示すフローチャートである。

インピーダンス測定部130は、対象電池204のインピーダンス測定を実行する(S10)。第1種パラメータ取得部112は、インピーダンス測定の結果から第1種パラメータを後述の方法により算出する(S12)。第2種パラメータ取得部114は、対象電池204の第2種パラメータを取得する。

【0040】

劣化推定部120は、第1種パラメータ、及び、第2種パラメータを予測モデル200の入力値として設定する(S14)。劣化推定部120は、予測モデル200からの出力値を対象電池204のSOH(予測値)として取得する(S16)。SOHの予測値は、出力部110により出力される。

40

【0041】

図6は、二次電池のインピーダンスの周波数特性図である。

インピーダンス測定においては、二次電池にさまざまな周波数 f の交流電流を流し、そのインピーダンス $Z(f)$ を測定する。インピーダンス $Z(f)$ は、実数成分 Re と虚数成分 Im を含む。図6に示す周波数特性図は、さまざまな周波数 f のインピーダンス $Z(f)$ について、実数成分と虚数成分をプロットしたものである。

【0042】

グラフAは、新品の二次電池の周波数特性を示す。グラフBは、この二次電池の劣化後の周波数特性を示す。このように、二次電池の周波数特性は、劣化によって変化すること

50

が知られている。いいかえれば、インピーダンス測定により対象電池 204 の周波数特性を調べることににより、対象電池 204 の劣化度を推定できると考えられる。

【0043】

図 7 は、二次電池の等価回路図である。

本実施形態においては、二次電池を R0（抵抗成分：第 2 抵抗）とインピーダンス回路 206 を直列接続した回路とみなす。インピーダンス回路 206 は、R1（抵抗成分：第 1 抵抗）およびインピーダンス成分（ZW）の直列回路と、インピーダンス成分（ZCPE）とを並列接続した回路である。インピーダンス測定においては、端子 T1、T2 にさまざまな周波数 f の交流電流を流すことで、二次電池のインピーダンス Z を測定する。

【0044】

R0 成分および R1 成分は、どちらも抵抗成分（実数成分）であり、二次電池の劣化により大きくなることが知られている。R0 成分および R1 成分は、放電電圧に影響する。

【0045】

ZW は、二次電池のイオン拡散係数の変化を示すために導入されるワールブルグインピーダンスである。ワールブルグインピーダンス ZW は、下記の式（1）により定義される。

【数 1】

$$ZW = \sqrt{\frac{W}{\omega}} (1 - i) \quad \dots(1)$$

【0046】

ω は角周波数（ $\omega = 2\pi f$ ）、 i は虚数を示す。W は、ワールブルグ（Warburg）係数である。二次電池の劣化が進むとイオン拡散係数が低下し、ワールブルグインピーダンス ZW が増加することが知られている。式（1）に示すように、ワールブルグインピーダンス ZW は、ワールブルグ係数 W の関数となる。ワールブルグ係数 W は、二次電池の電極構造の変化、電極表面の皮膜、電極材料の原子配列変化などを変動要因として定義される係数である。

【0047】

ZCPE は、二次電池の電気二重層の容量変化を示すために導入される CPE インピーダンスである。CPE インピーダンス ZCPE は、下記の式（2）により定義される。

【数 2】

$$ZCPE = \frac{1}{CP1 \cdot (i\omega)^{CP2}} \quad \dots(2)$$

【0048】

式（2）に示すように CPE インピーダンス ZCPE は、CP1 成分と CP2 成分を変数とする関数となる。二次電池の劣化が進むと、電気二重層の形状が変化する。

【0049】

インピーダンス回路 206（ZCPE、ZW、R1）のインピーダンスを Z1 とすると、抵抗成分 R1、ワールブルグインピーダンス ZW、CPE インピーダンス ZCPE およびインピーダンス Z1 の間には、下記の式（3）の関係が成立する。

【数 3】

10

20

30

40

50

$$\frac{1}{R1 + ZW} + \frac{1}{ZCPE} = \frac{1}{Z1} \quad \dots(3)$$

【 0 0 5 0 】

式 (3) を展開すると、インピーダンス $Z1$ は下記の式 (4) に示す通りとなる。

【 数 4 】

$$Z1 = \frac{ZCPE \cdot (R1 + ZW)}{R1 + ZW + ZCPE} \quad \dots(4) \quad 10$$

【 0 0 5 1 】

抵抗成分 $R0$ と合わせると、二次電池のインピーダンス Z は下記の式 (5) の通りとなる。

【 数 5 】

$$Z = R0 + \frac{ZCPE \cdot (R1 + ZW)}{R1 + ZW + ZCPE} \quad \dots(5) \quad 20$$

【 0 0 5 2 】

すなわち、二次電池のインピーダンス Z は、式 (6) に示すように、未知の $R0$ 、 $R1$ 、 $CP1$ 、 $CP2$ 、 W と角周波数 ω の関数として表現される。

【 数 6 】

$$Z = f (R0, R1, CP1, CP2, W, \omega) \quad \dots(6)$$

30

【 0 0 5 3 】

上述したように、インピーダンス測定においては、交流電流の周波数 f (角周波数 ω) を変化させながら、二次電池のインピーダンス $Z (\omega)$ を測定する。多数の角周波数 ω について得られたインピーダンス $Z (\omega)$ に基づいて、「フィッティング」とよばれる既知の計算処理を実行することにより、第 1 種パラメータ ($R0$ 、 $R1$ 、 $CP1$ 、 $CP2$ 、 W) を求めることができる。このように、インピーダンス測定の結果に基づいて、二次電池の等価回路モデルに含まれる各要素値を算出できる。

【 0 0 5 4 】

[実施例]

図 8 は、使用するパラメータを変えた際の SOH の予測精度を示す。

40

本発明者は、13種類の二次電池に基づいて、充放電試験による SOH の実測値と、予測モデル 200 による SOH の予測値を比較した。精度確認用の二次電池は、電池 $ID = E1 \sim E13$ により識別される。多数の実験電池 202 により、予測モデル 200 の学習処理は完了している。

【 0 0 5 5 】

まず、二次電池 ($E1$) について、インピーダンス測定および充放電測定を実行する。充放電測定に基づいて SOH を計測したところ、二次電池 ($E1$) の SOH (実測値) は約 79.0 (%) となった。すなわち、この二次電池 ($E1$) は、初期公称容量に比べて約 21.0 (%) ほど満充電容量が低下 (劣化) している。

【 0 0 5 6 】

50

次に、二次電池（E 1）のSOHを予測モデル200により予測する。二次電池の等価回路モデルにおける要素値である合計5種類の第1種パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E 1）のSOHを約76.0（%）と予測した。

【0057】

他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。次に、予測モデルによる予測の精度を、下記式（7）で求まる決定係数 R^2 で評価した。

【数7】

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{13} (y_i - g_i)^2}{\sum_{i=1}^{13} (y_i - u)^2} \quad \dots(7) \quad 10$$

【0058】

式（7）において、 y はSOHの実測値、 u は実測値の平均値、 g はSOHの予測値を示す。第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）のみを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.683」となった。

【0059】

二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP）の6パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E 1）のSOHを約77.3（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP）の6パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.836」となった。

【0060】

二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CTD）の6パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E 1）のSOHを約77.2（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CTD）の6パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.832」となった。

【0061】

二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（VM）の6パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E 1）のSOHを約77.9（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（VM）の6パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.883」となった。

【0062】

二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、CTD）の7パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E 1）のSOHを約77.9（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E 1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、CTD）の7パラメータを使用したときのSOH

10

20

30

40

50

の実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.843」となった。

【0063】

二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、VM）の7パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E1）のSOHを約75.9（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、VM）の7パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.870」となった。

【0064】

二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CTD、VM）の7パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E1）のSOHを約77.0（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CTD、VM）の7パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.897」となった。

【0065】

二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、CTD、VM）の8パラメータを使用した場合、予測モデル200は、二次電池（E1）のSOHを約77.6（%）と予測した。他の二次電池についても、同様にして実測値と予測値を特定した。

また、二次電池（E1）について、第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）および第2種パラメータ（CAP、CTD、VM）の8パラメータを使用したときのSOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 は「0.919」となった。

【0066】

図9は、使用するパラメータを変えた際の決定係数を示すグラフである。第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）のみを使用した場合と比較して、少なくとも一つの第2種パラメータ（CAP、CTD、VM）を更に使用した場合、SOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 が大きくなることが分かった。特に、全ての第2種パラメータ（CAP、CTD、VM）を更に使用した場合、SOHの実測値および予測値の決定係数 R^2 が最も大きくなることが分かった。これより、使用する第2種パラメータ（CAP、CTD、VM）が増えるにつれて、より高い予測精度が得られることを確認できた。

【0067】

以上、実施形態に基づいて、二次電池評価装置100を説明した。

予測モデル200は、二次電池の第2種パラメータ、すなわち、二次電池の構成を示すパラメータを入力値としてSOHを予測する。このため、予測モデル200は、単一種類の二次電池に限定することなく、複数種類の二次電池のSOHを予測できる。

【0068】

また、上述したように、第1種パラメータのみを使用する場合に比べて、第1種パラメータおよび第2種パラメータの双方を入力値とすることで、SOHの予測精度が高くなることも確認できた。これは、二次電池の構成を示す第2種パラメータ（CTD、CAP、VM）が、二次電池の等価回路モデルにおける要素値である第1種パラメータ（R0、R1、CP1、CP2、W）を補うことにより、SOHの予測精度が高くなったものと考えられる。

【0069】

インピーダンス測定およびフィッティングに要する時間は、充放電測定に比べると格段に短い。二次電池評価装置100は、充放電測定を実行しなくても、対象電池204のSOHを高精度にて予測できる。また、実験電池202を増やすことにより、予測モデル200のいっそうの精度向上が可能となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

なお、本発明は上記実施形態や変形例に限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化することができる。上記実施形態や変形例に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることにより種々の発明を形成してもよい。また、上記実施形態や変形例に示される全構成要素からいくつかの構成要素を削除してもよい。

【 0 0 7 1 】

[変形例]

予測モデル 2 0 0 は、G B D T 等の機械学習モデルに限らず、他の数理モデルでもよい。たとえば、予測モデル 2 0 0 は、重回帰分析等の多変量解析モデルでもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 2 】

- 1 0 0 二次電池評価装置
- 1 0 2 ユーザインタフェース処理部
- 1 0 4 データ処理部
- 1 0 6 データ格納部
- 1 0 8 入力部
- 1 1 0 出力部
- 1 1 2 第 1 種パラメータ取得部
- 1 1 4 第 2 種パラメータ取得部
- 1 1 6 第 3 種パラメータ取得部
- 1 1 8 学習部
- 1 2 0 劣化推定部
- 1 3 0 インピーダンス測定部
- 2 0 0 予測モデル
- 2 0 2 実験電池
- 2 0 4 対象電池
- 2 0 6 インピーダンス回路

10

20

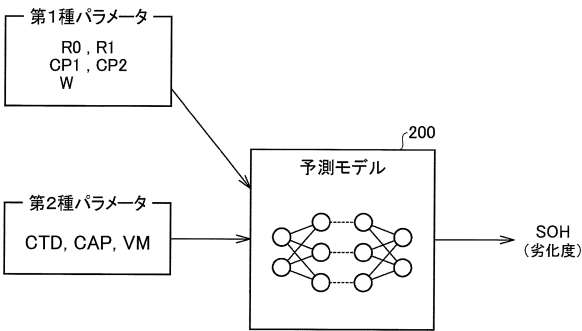
30

40

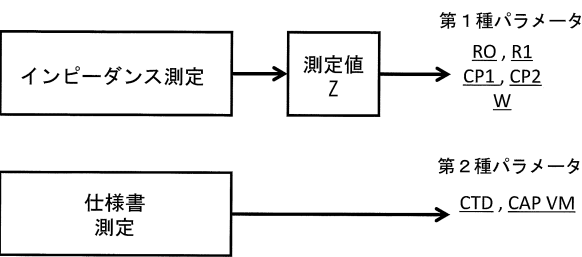
50

【 図 面 】

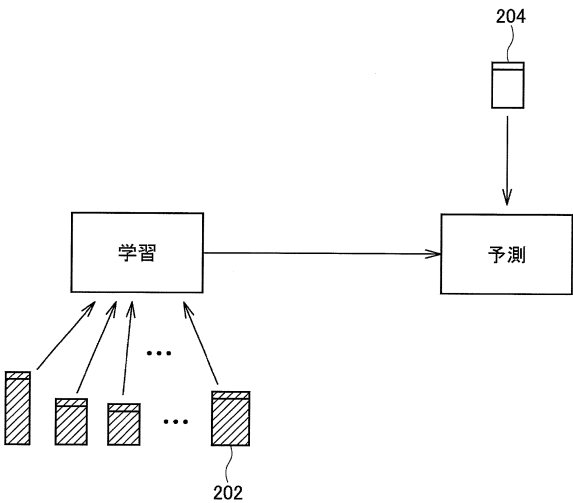
【 図 1 】



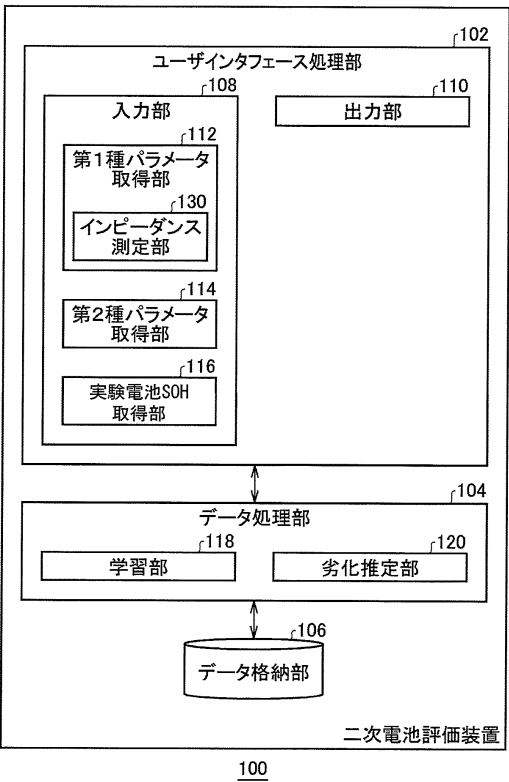
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



10

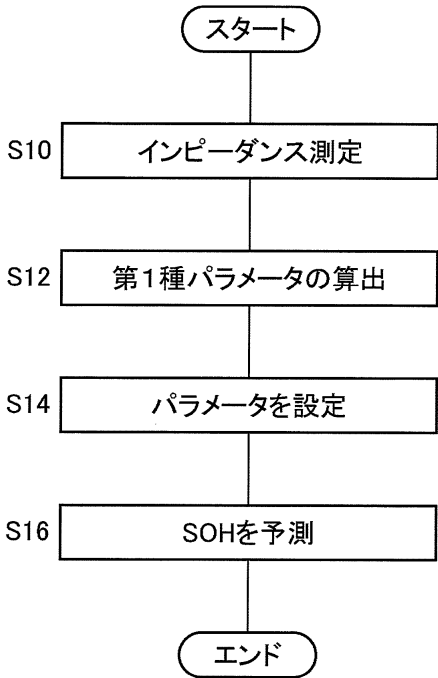
20

30

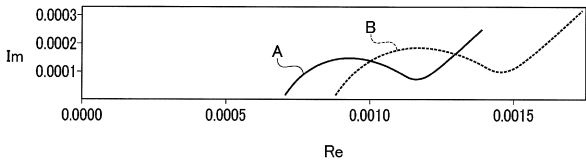
40

50

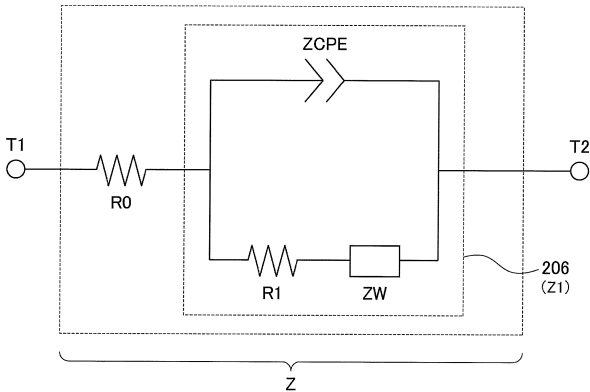
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

電池 ID	SOH 検測 (%)	SOH 予測 (%)									
		等価回路のみ	+CAP	+CTD	+VM	+CAP, CTD	+CAP, VM	+CTD, VM	+CAP, CTD, VM		
E1	79.04681966	0.68300	0.83645	0.83197	0.88337	0.84269	0.86599	0.89651	0.91870	77.6354	77.6354
E2	79.37475295	75.98504	77.25485	77.17589	77.92613	77.93071	75.89518	76.99763	77.08365	77.57634	77.57634
E3	81.88250382	78.08411	77.94478	77.98859	77.87379	75.25602	77.32785	76.43418	75.42188	79.67477	79.67477
E4	81.21865762	82.36918	79.81373	80.53047	80.45650	79.23316	81.25075	80.98576	78.29466	93.75040	93.75040
E5	78.12417469	78.62261	79.02004	80.20186	80.53164	79.19494	78.40556	77.74549	89.01051	91.43535	91.43535
E6	92.99774085	86.35331	90.70178	91.24260	93.34884	92.65830	88.17952	86.53670	89.39461	82.55280	82.55280
E7	92.35070006	84.95796	96.55613	95.60649	85.46069	84.38578	88.40041	86.53670	86.53670	68.50349	68.50349
E8	92.09529887	82.33031	84.27758	82.53233	91.09322	91.85194	92.97620	86.25467	89.39461	72.44743	72.44743
E9	81.50418809	79.75449	79.09485	80.26619	78.38433	79.90782	79.64884	82.55280	81.61090	88.24859	88.24859
E10	67.38769067	69.96456	69.33529	69.19905	69.36620	68.58862	71.03688	66.94154	66.94154	91.24152	91.24152
E11	71.39217459	71.45287	72.69638	71.78842	70.21426	70.48117	73.09665	72.44743	72.44743	86.04184	86.04184
E12	92.50031711	90.04285	90.91790	91.60367	90.55243	91.87507	92.56779	88.24859	88.24859	86.84040	86.84040
E13	85.12777604	85.80011	87.87806	86.83605	83.75326	87.34471	88.76131	86.04184	86.04184		

10

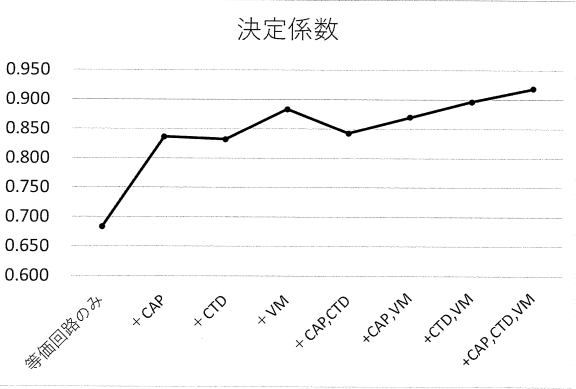
20

30

40

50

【図 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 0 5 7 3 8 5 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 2 7 7 0 1 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 0 8 8 1 5 6 (J P , A)
特開 2 0 2 1 - 0 6 1 1 2 1 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 0 1 3 4 5 6 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 1 0 1 3 9 9 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 9 0 3 4 6 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 R 3 1 / 3 9 2
G 0 1 R 3 1 / 3 6 7
G 0 1 R 3 1 / 3 8 9
H 0 1 M 1 0 / 4 8
H 0 2 J 7 / 0 0