

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6284824号
(P6284824)

(45) 発行日 平成30年2月28日 (2018. 2. 28)

(24) 登録日 平成30年2月9日 (2018. 2. 9)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 M 10/48 (2006. 01)

H O 1 M 10/48 P

G O 1 R 31/36 (2006. 01)

G O 1 R 31/36 Z H V A

H O 2 J 7/00 (2006. 01)

H O 2 J 7/00 X

H O 2 J 7/00 Q

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2014-100741 (P2014-100741)
 (22) 出願日 平成26年5月14日 (2014. 5. 14)
 (65) 公開番号 特開2015-219980 (P2015-219980A)
 (43) 公開日 平成27年12月7日 (2015. 12. 7)
 審査請求日 平成29年1月27日 (2017. 1. 27)

(73) 特許権者 509186579
 日立オートモティブシステムズ株式会社
 茨城県ひたちなか市高場2 5 2 0 番地
 (74) 代理人 110002365
 特許業務法人サンネクト国際特許事務所
 (72) 発明者 米元 雅浩
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内
 (72) 発明者 河原 洋平
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内
 (72) 発明者 井上 健士
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二次電池監視装置、二次電池劣化予測装置、および、二次電池の電池容量の予測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二次電池の使用状態を表す負荷パラメータの推移を記憶する使用状態記憶装置と、
 前記二次電池の電池容量の経時変化を予測関数に基づいて予測する電池容量予測装置と
 を備え、

前記予測関数は、前記二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、前記二次電池の
 電解質に含まれる前記被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、

前記電池容量予測装置は、前記使用状態記憶装置で記憶する前記負荷パラメータの推移
 に基づいて前記予測関数の係数を決定し、前記係数が決定した前記予測関数によって前記
 二次電池の前記電池容量の経時変化を予測する二次電池監視装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の二次電池監視装置において、

前記予測関数は、前記被膜の厚みの成長速度が前記二次電池の電解液中の前駆体濃度
 に比例するとともに前記被膜の厚みに反比例し、前記被膜の厚みが増すにつれて前記前駆体
 濃度が減少し、前記被膜の厚みに比例して前記電池容量が低下する物理モデルを表す二次
 電池監視装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の二次電池監視装置において、

前記予測関数は、前記二次電池の電池容量を $Q(t)$ とし、前記二次電池の初期容量を $Q_{\max, ini}$
 とし、被膜厚みを $D(t)$ とし、電池容量 $Q(t)$ の容量低下量を初期容量 $Q_{\max, ini}$ で規格化

20

した無次元の関数を $X(t)$ とし、前記係数を A および τ とすると、

【数 1】

$$\text{【数 1】} \quad Q(t) = Q_{\max,ini} - \gamma \times D(t) = Q_{\max,ini} - Q_{\max,ini} \times X(t) \quad \cdots (11)$$

【数 2】

$$\text{【数 2】} \quad \int \frac{dt}{\tau(t)} = -\ln\left(1 - \frac{X(t)}{A}\right) - \frac{X(t)}{A} \quad \cdots (19)$$

で表される二次電池監視装置。

【請求項 4】

10

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載の二次電池監視装置において、

前記負荷パラメータは、前記二次電池の温度、前記二次電池の充電状態 (SOC)、前記二次電池の電圧、および、前記二次電池に流れる電流のうちの少なくともいずれか 1 つを含む二次電池監視装置。

【請求項 5】

コンピュータが実行する二次電池の電池容量の予測方法であって、

二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、前記二次電池の電解質に含まれる前記被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた前記二次電池の電池容量の予測関数を用い、

前記二次電池の使用状態を表す負荷パラメータの推移に基づいて前記予測関数の係数を決定し、前記係数が決定した前記予測関数によって前記二次電池の前記電池容量の経時変化を予測する二次電池の電池容量の予測方法。

20

【請求項 6】

二次電池の電池容量を検出する電池容量検出装置と、

前記二次電池の使用時間を計時する計時装置と、

前記電池容量検出装置で検出した前記二次電池の電池容量と、前記計時装置で計時した前記二次電池の使用時間との関係を記憶する電池容量記憶装置と、

前記二次電池の前記電池容量の経時変化を予測関数に基づいて予測する電池容量予測装置とを備え、

前記予測関数は、前記二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、前記二次電池の電解質に含まれる前記被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、

30

前記電池容量予測装置は、前記電池容量記憶装置で記憶する前記二次電池の電池容量と使用時間との関係に基づいて前記予測関数の係数を決定し、前記係数が決定した前記予測関数によって前記二次電池の前記電池容量の経時変化を予測する二次電池劣化予測装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の二次電池劣化予測装置において、

前記予測関数は、前記被膜の厚みの成長速度が前記二次電池の電解液中の前駆体濃度に比例するとともに前記被膜の厚みに反比例し、前記被膜の厚みが増すにつれて前記前駆体濃度が減少し、前記被膜の厚みに比例して前記電池容量が低下する物理モデルを表す二次電池劣化予測装置。

40

【請求項 8】

請求項 7 に記載の二次電池劣化予測装置において、

前記予測関数は、前記二次電池の電池容量を $Q(t)$ とし、前記二次電池の初期容量を $Q_{\max,ini}$ とし、被膜厚みを $D(t)$ とし、電池容量 $Q(t)$ の容量低下量を初期容量 $Q_{\max,ini}$ で規格化した無次元の関数を $X(t)$ とし、前記係数を A および τ とすると、

【数 3】

$$\text{【数 3】} \quad Q(t) = Q_{\max,ini} - \gamma \times D(t) = Q_{\max,ini} - Q_{\max,ini} \times X(t) \quad \cdots (11)$$

【数 4】

$$\int \frac{dt}{\tau(t)} = -\ln\left(1 - \frac{X(t)}{A}\right) - \frac{X(t)}{A} \quad \cdots (19)$$

で表される二次電池劣化予測装置。

【請求項 9】

コンピュータが実行する二次電池の電池容量の予測方法であって、

二次電池の電池容量を検出し、

前記二次電池の使用時間を計時し、

前記二次電池の前記電池容量の経時変化を予測する予測関数の係数を前記二次電池の検出した電池容量と前記二次電池の使用時間との関係に基づいて決定し、 10

前記予測関数は、前記二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、前記二次電池の電解質に含まれる前記被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、

前記係数が決定した前記予測関数によって前記二次電池の前記電池容量の経時変化を予測する二次電池の電池容量の予測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、二次電池監視装置、二次電池劣化予測装置、および、二次電池の電池容量の予測方法に関する。 20

【背景技術】

【0002】

二次電池を電源とする装置、たとえば、二次電池を車両走行モータの電源として用いる電動車両においては、二次電池の劣化状態を正確に把握し、電池劣化による不具合が生じる前に二次電池を交換するなどの処置を施すことが重要である。二次電池の容量劣化状態を検知する装置として、たとえば、特許文献 1 に記載されているような予測システムが知られている。特許文献 1 には、容量劣化状態を予測する方法として、ルート則モデルを用いる方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】 30

【0003】

【特許文献 1】特開 2013 - 089424 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上述した特許文献に記載の予測システムで用いるルート則モデルでは、長期間の容量劣化挙動を精度良く予測することが難しい。

【課題を解決するための手段】

【0005】

(1) 請求項 1 の発明による二次電池監視装置は、二次電池の使用状態を表す負荷パラメータの推移を記憶する使用状態記憶装置と、二次電池の電池容量の経時変化を予測関数に基づいて予測する電池容量予測装置とを備え、予測関数は、二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、二次電池の電解質に含まれる被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、電池容量予測装置は、使用状態記憶装置で記憶する負荷パラメータの推移に基づいて予測関数の係数を決定し、係数が決定した予測関数によって二次電池の電池容量の経時変化を予測する。 40

(2) 請求項 5 の発明による二次電池の電池容量の予測方法は、コンピュータが実行する二次電池の電池容量の予測方法であって、二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、二次電池の電解質に含まれる被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた二次電池の電池容量の予測関数を用い、二次電池の使用状態を表す負荷パラメータの推移に基づい 50

て予測関数の係数を決定し、係数が決定した予測関数によって二次電池の電池容量の経時変化を予測する。

(3) 請求項6の発明による二次電池劣化予測装置は、二次電池の電池容量を検出する電池容量検出装置と、二次電池の使用時間を計時する計時装置と、電池容量検出装置で検出した二次電池の電池容量と、計時装置で計時した二次電池の使用時間との関係を記憶する電池容量記憶装置と、二次電池の電池容量の経時変化を予測関数に基づいて予測する電池容量予測装置とを備え、予測関数は、二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、二次電池の電解質に含まれる被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、電池容量予測装置は、電池容量記憶装置で記憶する二次電池の電池容量と使用時間との関係に基づいて予測関数の係数を決定し、係数が決定した予測関数によって二次電池の電池容量の経時変化を予測する。

10

(4) 請求項9の発明による二次電池の電池容量の予測方法は、コンピュータが実行する二次電池の電池容量の予測方法であって、二次電池の電池容量を検出し、二次電池の使用時間を計時し、二次電池の電池容量の経時変化を予測する予測関数の係数を二次電池の検出した電池容量と二次電池の使用時間との関係に基づいて決定し、予測関数は、二次電池の電極表面に形成される被膜の成長と、二次電池の電解質に含まれる被膜の前駆体成分の減少との関係から導かれた関数であり、係数が決定した予測関数によって二次電池の電池容量の経時変化を予測する。

【発明の効果】

20

【0006】

本発明によれば、二次電池の電池容量の経時変化を精度良く予測できる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施の形態に係る電池制御システムを含む電池システムとその周辺の構成を示す図である。

【図2】単電池制御部の回路構成を示す図である。

【図3】単電池の構造を模式的に示す図である。

【図4】電池容量関数 $Q(t)$ の時間的な挙動を示すグラフである。

【図5】所定の負荷条件における単電池の電池容量の経時変化の実測値と、容量劣化関数による電池容量の予測曲線とを併記したグラフである。

30

【図6】評価期間の全期間の終了後の単電池の容量の低下量と、容量劣化関数による予測値との差を示すグラフである。

【図7】評価期間の全期間の終了後の単電池の容量の低下量と、従来のルートt則に基づく容量の予測値との差を示すグラフである。

【図8】係数の決定区間の長さと容量予測誤差との関係を示すグラフである。

【図9】各単電池の電池容量の経時変化の予測処理の動作を示すフローチャートである。

【図10】本発明を電池容量の経時変化の評価試験装置に適用した場合の装置の構成図である。

【図11】評価試験装置における被検電池の電池容量の経時変化を予測する処理の動作を示すフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【0008】

- - - 第1の実施の形態 - - -

以下、本発明の第1の実施の形態を図面に基づいて説明する。以下の実施の形態では、ハイブリッド自動車(HEV)の電源を構成する電池システムに対して本発明を適用した場合を例に挙げて説明する。

【0009】

なお、以下の実施の形態では単電池を直列に接続して組電池を構成しているが、単電池を並列接続したものを直列接続して組電池を構成してもよいし、直列接続した単電池を並

50

列接続して組電池を構成してもよい。また、１つの単電池のみを用いて組電池を構成してもよい。

【００１０】

図１は、本発明の第１の実施の形態に係る電池制御システム１２０を含む電池システム１００とその周辺の構成を示す図である。電池システム１００は、リレー３００と３１０を介してインバータ４００に接続される。電池システム１００は、組電池１１０と電池制御システム１２０を備える。電池制御システム１２０は、単電池制御部１２１ａ、１２１ｂと、電流検知部１３０と、総電圧検知部１４０と、組電池制御部１５０と、記憶部１８０とを備える。

【００１１】

組電池１１０は、複数の単電池（電池セル）１１１からそれぞれ構成された単電池群１１２ａ、１１２ｂを直列に接続して構成されている。単電池制御部１２１ａおよび１２１ｂは、単電池群１１２ａ、１１２ｂとそれぞれ接続されており、これらの単電池群を構成する各単電池１１１のセル電圧（両端電圧）や温度を検知して、その検知結果を示す信号を、信号通信路１６０および絶縁素子１７０を介して組電池制御部１５０に送信する。なお、絶縁素子１７０には、たとえばフォトカプラが用いられる。

【００１２】

電流検知部１３０は、組電池１１０において直列に接続された各単電池１１１を流れる電流を検知してその電流値を測定する。総電圧検知部１４０は、組電池１１０の両端電圧、すなわち組電池１１０において直列接続された単電池１１１の総電圧を検知する。

【００１３】

組電池制御部１５０は、単電池制御部１２１ａ、１２１ｂから送信された信号に基づいて、各単電池１１１のセル電圧および温度を取得する。また、電流検知部１３０からは組電池１１０に流れる電流値を、総電圧検知部１４０からは組電池１１０の総電圧値をそれぞれ受け取る。これらの情報に基づいて、組電池制御部１５０は、組電池１１０の状態を検知する。組電池制御部１５０による組電池１１０の状態検知の結果は、単電池制御部１２１ａ、１２１ｂや車両制御部２００に送信される。

【００１４】

組電池１１０は、電気エネルギーの蓄積および放出（直流電力の充放電）が可能な１つまたは複数の単電池１１１を電氣的に直列に接続して構成されている。組電池１１０を構成する単電池１１１は、状態の管理・制御を実施する上で、所定の単位数ごとにグループ分けされている。グループ分けされた各単電池１１１は、電氣的に直列に接続され、単電池群１１２ａ、１１２ｂを構成している。なお、単電池群１１２を構成する単電池１１１の個数は、全ての単電池群１１２において同数でもよいし、単電池群１１２毎に単電池１１１の個数が異なってもよい。本実施形態では、説明を簡略化するために、図１に示すように、４個の単電池１１１を電氣的に直列接続して単電池群１１２ａと１１２ｂをそれぞれ構成し、これらの単電池群１１２ａと１１２ｂをさらに電氣的に直列接続することで、合計８個の単電池１１１を組電池１１０が備えることとした。

【００１５】

なお、組電池１１０の各単電池１１１には、過充電状態となって内圧が上昇した場合に電流を遮断してそれ以上の内圧の上昇を防ぐための防爆機構が設けられている。

【００１６】

ここで、組電池制御部１５０と、単電池制御部１２１ａおよび１２１ｂとの間の通信方法について説明する。単電池制御部１２１ａおよび１２１ｂは、それぞれが監視する単電池群１１２ａおよび１１２ｂの電位の高い順にしたがって直列に接続されている。組電池制御部１５０から送信された信号は、絶縁素子１７０および信号通信路１６０を介して単電池制御部１２１ａに入力される。単電池制御部１２１ａの出力は、信号通信路１６０を介して単電池制御部１２１ｂに入力される。最下位の単電池制御部１２１ｂの出力は、絶縁素子１７０および信号通信路１６０を介して組電池制御部１５０へと伝送される。なお、本実施形態では、単電池制御部１２１ａと単電池制御部１２１ｂの間には絶縁素子が設

10

20

30

40

50

けられていないが、絶縁素子を介してこれらの間で信号を送受信することもできる。

【0017】

記憶部180は、組電池制御部150の制御に応じて各種の情報を読み書き可能な記憶素子である。たとえば、EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)やフラッシュメモリ等の不揮発性の記録媒体を用いて、記憶部180が構成されている。この記憶部180には、組電池制御部150が組電池110の制御を行うための情報として、組電池110を構成する各単電池111の状態に関する様々な情報が記憶されて格納される。たとえば、各単電池111の充電状態(SOC: State Of Charge)に関する情報や、各単電池111の内部抵抗に関する情報などが、記憶部180に格納されている。また、記憶部180には、各単電池111に流れる電流や環境温度、SOCなどの負荷履歴に基づき算出された劣化量積算結果が格納される。なお、劣化量積算結果については後に詳述する。

10

【0018】

組電池制御部150は、単電池制御部121a、121b、電流検知部130、総電圧検知部140、および車両制御部200からそれぞれ受け取った情報や、記憶部180に格納されている情報などを用いて、組電池110を制御するための各種の処理や演算を実行する。たとえば、組電池110を構成する各単電池111のSOCや劣化状態(SOH: State of Health)の演算、組電池110において充放電可能な許容電力の演算、組電池110の異常状態の判定、組電池110の充放電量を制御するための演算などを実行する。そして、これらの演算結果に基づいて、組電池110の制御に必要な情報を単電池制御部121a、121bや車両制御部200に出力する。なお、組電池制御部150と車両制御部200は、CAN(Controller Area Network)と呼ばれる車両内の通信ネットワークにそれぞれ接続されており、これを介して互いの情報を送受信することができる。

20

【0019】

車両制御部200は、組電池制御部150から送信される情報を用いて、リレー300と310を介して電池システム100と接続されたインバータ400を制御する。車両走行中には、電池システム100はインバータ400と接続される。インバータ400は、電池システム100において組電池110に蓄えられているエネルギーを用いて、モータジェネレータ410を駆動する。

30

【0020】

電池システム100を搭載した車両システムが始動して走行する場合には、車両制御部200の管理のもとで、電池システム100はインバータ400に接続される。そして、組電池110に蓄えられているエネルギーを用いて、インバータ400によりモータジェネレータ410が駆動される。一方、回生時には、モータジェネレータ410の発電電力により組電池110が充電される。

【0021】

リレー320、330を介して電池システム100が充電器420に接続されると、充電器420から供給される充電電流により、組電池110が所定の条件を満たすまで充電される。充電によって組電池110に蓄えられたエネルギーは、次の車両走行時に利用されると共に、車両内外の電装品等を動作させるためにも利用される。さらに、必要に応じて、家庭用の電源に代表される外部電源へも放出される場合がある。なお、充電器420は、家庭用電源、または電気スタンドに代表される外部の電源に搭載されている。電池システム100を搭載した車両がこれらの電源に接続されると、車両制御部200が発信する情報に基づき、電池システム100と充電器420が接続される。

40

【0022】

図2は、単電池制御部121aの回路構成を示す図である。図2に示すように、単電池制御部121aは、セル電圧検知部122、制御回路123、信号入出力回路124、および温度検知部125を備える。なお、図1の単電池制御部121aと単電池制御部12

50

1 b は、同様の回路構成を有している。そのため、図 2 ではこれらを代表して、単電池制御部 1 2 1 a の回路構成を示している。

【 0 0 2 3 】

セル電圧検知部 1 2 2 は、各単電池 1 1 1 のセル電圧（両端電圧）を測定する。制御回路 1 2 3 は、セル電圧検知部 1 2 2 および温度検知部 1 2 5 から測定結果を受け取り、信号入出力回路 1 2 4 を介して組電池制御部 1 5 0 に送信する。なお、図 2 では図示を省略しているが、単電池制御部 1 2 1 a には、自己放電や消費電流のばらつき等に伴い発生する単電池 1 1 1 間の電圧や SOC のばらつきを均等化するための周知の回路構成が設けられている。この回路の動作は、制御回路 1 2 3 によって制御される。

【 0 0 2 4 】

図 2 において、温度検知部 1 2 5 は、単電池群 1 1 2 a の温度を測定する機能を有する。温度検知部 1 2 5 は、単電池群 1 1 2 a の全体に対して 1 つの温度を測定し、単電池群 1 1 2 a を構成する各単電池 1 1 1 の温度の代表値としてその温度を取り扱う。温度検知部 1 2 5 による温度測定結果は、組電池制御部 1 5 0 において、単電池 1 1 1、単電池群 1 1 2 a、および組電池 1 1 0 の状態を検知するための各種演算に用いられる。このとき、温度検知部 1 2 5 が測定した温度は、単電池群 1 1 2 a の温度だけでなく、単電池群 1 1 2 a の各単電池 1 1 1 の温度としても扱われる。さらに、単電池制御部 1 2 1 a の温度検知部 1 2 5 で測定された単電池群 1 1 2 a の温度と、単電池制御部 1 2 1 b の温度検知部 1 2 5 で測定された単電池群 1 1 2 b の温度とに基づいて、たとえばこれらを平均化することで、組電池制御部 1 5 0 において組電池 1 1 0 の温度を求めてもよい。

【 0 0 2 5 】

なお、図 2 では、単電池制御部 1 2 1 a に 1 つの温度検知部 1 2 5 を設けた例を示している。これ以外にも、単電池 1 1 1 毎に温度検知部 1 2 5 を設けて、単電池 1 1 1 毎に温度を測定し、その測定結果に基づいて組電池制御部 1 5 0 が各種演算を実行することもできる。しかし、このようにした場合は、温度検知部 1 2 5 の数が増える分、単電池制御部 1 2 1 a の構成が複雑となる。あるいは、組電池 1 1 0 の全体に対して 1 つの温度検知部 1 2 5 を設けてもよい。

【 0 0 2 6 】

なお、図 2 では温度検知部 1 2 5 を簡易的に 1 つのブロックで示しているが、実際は、温度測定対象である単電池群 1 1 2 a に対して温度センサが設置されており、この温度センサが温度情報を電圧信号として出力する。この電圧信号に基づいて、制御回路 1 2 3 により単電池群 1 1 2 a の温度を演算することで、単電池群 1 1 2 a の温度測定結果が得られる。制御回路 1 2 3 が演算した温度測定結果を信号入出力回路 1 2 4 に送信すると、信号入出力回路 1 2 4 は、その温度測定結果を単電池制御部 1 2 1 a の外に出力する。この一連の流れを実現するための機能が、単電池制御部 1 2 1 a に温度検知部 1 2 5 として実装されている。なお、温度センサから出力される電圧信号の測定を、セル電圧検知部 1 2 2 において行ってもよい。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、本実施の形態で用いられる単電池 1 1 1 を示している。本実施の形態の単電池 1 1 1 は、カーボン負極を用いた円筒形リチウムイオン二次電池である。単電池 1 1 1 の電池容器 2 6 には、複合リチウム酸化物を活物質とする正極板 1 1 とリチウムイオンを保持する材料を活物質とする負極板 1 2 とをセパレータ 1 3 を介して、渦巻き状に捲回し作製された電極捲回群 2 2 が、所定の電解液とともに収容されている。

【 0 0 2 8 】

正極板 1 1 に塗布された正極活物質としては、たとえば、コバルト酸リチウムおよびその変性体（コバルト酸リチウムにアルミニウムやマグネシウムを固溶させたものなど）、ニッケル酸リチウムおよびその変性体（一部ニッケルをコバルト置換させたもの）、マンガニ酸リチウムおよびその変性体、およびこれらの複合酸化物（ニッケル、コバルト、マンガニ、鉄、アルミ、モリブデン、）を挙げることができる。またオリピン系化合物やスピネル型リチウムマンガニ化合物を単独、以上の化合物を複合した酸化物も用いることが

10

20

30

40

50

できる。

【0029】

正極用導電材としては、たとえば、アセチレンブラック、ケッチェンブラック、チャンネルブラック、ファーネスブラック、ランプブラック、サーマルブラックなどカーボンブラックや各種グラファイトを単独、あるいは組み合わせて用いることができる。

【0030】

正極用結着剤としては、たとえば、ポリフッ化ビニリデン(PVdF)、ポリフッ化ビニリデンの変性体、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、アクリレート単位を有するゴム粒子結着剤などを用いることができ、この際に反応性官能基を導入したアクリルモノレートモノマー、またはアクリレートオリゴマーを結着剤中に混入させることも可能である。

10

【0031】

次に負極板12に塗布された負極活物質としては、各種天然黒鉛、人造黒鉛、シリサイドなどのシリコン系複合材料、各種金属塑性材料を用いたり、前記天然黒鉛、前記人造黒鉛、前記シリコン系複合材料、および前記各種金属塑性材料に非晶質炭素(難黒鉛化炭素、易黒鉛化炭素)を混合した材料を用いることができる。

【0032】

負極用結着剤としては、PVdFおよびその変性体をはじめ各種バインダーを用いることができるが、リチウムイオンの受け入れ性向上の観点から、スチレン-ブタジエン共重合体(SBR)およびその変性体に、カルボキシメチルセルロース(CMC)をはじめとするセルロース系樹脂などを併用、もしくは少量添加するのがより好ましい。

20

【0033】

このとき負極用導電材としては、たとえば、アセチレンブラック、ケッチェンブラック、チャンネルブラック、ファーネスブラック、ランプブラック、サーマルブラックなどカーボンブラックや各種グラファイトを単独、あるいは組み合わせて用いることができる。

【0034】

セパレータについては、リチウムイオン二次電池の使用範囲内に耐えうる組成であれば、特に限定されないが、ポリエチレンやポリプロピレンなどのオレフィン系の微多孔フィルムを単層あるいは複合して用いるのが一般的であり、また、態様として好ましい。このセパレータの厚みに限定されないが、10~40μmが好ましい。

30

【0035】

電解液に関しては、電解質塩として、LiPF₆およびLiBF₄などの各種リチウム化合物を用いることができる。また、溶媒としてエチレンカーボネート(EC)、ジメチルカーボネート(DMC)ジエチルカーボネート(DEC)を単独もしくは組み合わせて用いることができる。また、正極電極および負極電極上に良好な被膜を形成させ、過充放電時の安定性を保証するためにビニレンカーボネート(VC)やシクロヘキシルベンゼン(CHB)およびその変性体を用いることが好ましい。

【0036】

本実施形態における電極捲回群の形状は、断面が真円である真円筒形状、断面が楕円である長円筒形状、あるいは、断面が長方形である角柱形状でも良い。

40

【0037】

また、電極捲回群を充填する電池容器は、特に限定されるものではないが、耐腐食のために鉄にメッキを施した電池容器、ステンレス鋼製電池容器など、強度、耐腐食性、加工性に優れるものが好ましい。また、アルミニウム合金や各種エンジニアリングプラスチックと金属の併用も可能である。

【0038】

本実施の形態では、組電池制御部150が各単電池111の寿命、すなわち容量の低下を後述するように予測する。そして、組電池制御部150での各単電池111の寿命の予測結果の情報は、たとえば記憶部180に格納される。記憶部180に格納された各単電池111の寿命の予測結果の情報は、たとえば組電池制御部150および車両制御部20

50

0 を介して読み出されて、車両に搭載された不図示の表示装置に表示される。また、記憶部 180 に格納された各単電池 111 の寿命の予測結果の情報は、たとえば、車両の整備時に、整備工場などで車両に接続される不図示の診断装置に組電池制御部 150 および車両制御部 200 を介して出力される。

【0039】

- - - 寿命予測のための容量劣化関数の導出について - - -

カーボン負極を用いたリチウムイオン電池の劣化は、負極表面での副反応により生成される SEI 被膜 (Solid-Electrolyte Interface, 固体-電解液界面膜) の成長が主要因であると考えられている。このため、SEI 被膜の厚みの増加に比例して電池容量が低下する。従来の劣化モデルでは、SEI 被膜の厚みは、電池使用時間の平方根に比例するとされている。

10

【0040】

ルート t 則では、電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ が常に一定 ($g(t) = g_0$) であり、電解液中の SEI 前駆体が SEI 被膜を拡散して負極表面に到達することで、SEI 生成反応が生じる物理モデルを仮定している。この物理モデルにおいて、被膜厚み $D(t)$ の成長速度 $D'(t)$ は式 (1) に示すように、電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ に比例し、被膜厚み $D(t)$ に反比例する。式 (1) において、 α は電池仕様 (電解液組成, 電解液量, 正極材料, 負極材料, 電極塗工条件など) や負荷パラメータ (温度, SOC, 電流など) によって変化する比例係数である。

【0041】

20

【数 1】

$$\text{【数 1】} \quad D'(t) = \frac{dD(t)}{dt} = \alpha \times \frac{g(t)}{D(t)} \quad \dots (1)$$

【0042】

式 (1) の微分方程式を電解液中の SEI 前駆体濃度が一定 ($g(t) = g_0$) と仮定して解くと被膜厚み $D(t)$ は式 (2) のように時間の平方根に比例する関数となる。

【0043】

【数 2】

$$\text{【数 2】} \quad D(t) = \sqrt{2 \times \alpha \times g_0 \times t} \quad \dots (2)$$

30

【0044】

電池容量 $Q(t)$ が、被膜厚み $D(t)$ の増加分に比例して低下する場合、電池容量 $Q(t)$ は式 (3) で表わされる。式 (3) において、 γ は被膜厚み $D(t)$ と低下容量に対応した比例係数であり、電池仕様 (電解液組成, 電解液量, 正極材料, 負極材料, 電極塗工条件など) によって変化する。式 (3) はルート t 則が表す関数である。

【0045】

【数 3】

$$\text{【数 3】} \quad Q(t) = Q_{\max, \text{ini}} - \gamma \times D(t) \quad \dots (3)$$

40

【0046】

次に、本発明で提案する改良劣化関数の物理モデルを述べる。本物理モデルは、ルート t 則と同様に、電解液中に存在する SEI 前駆体が電極表面での反応により SEI 被膜として生成・成長する物理モデルである。従来のルート t 則では、電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ は時間的に一定と仮定している。しかし、SEI 被膜が成長した分、SEI 前駆体が消費されるので電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ は減少し、式 (4) のように表現される。本発明で提案する改良劣化関数では、SEI 前駆体濃度 $g(t)$ の時間変化をモデル化した。式 (4) において、 β は $D(t)$ の増加と $g(t)$ の減少に対応した比例係数であり、電池仕様 (電解液組成, 電解液量, 正極材料, 負極材料, 電極塗工条件など) によって変化する。

【0047】

50

【数 4】

$$\text{【数 4】} \quad g(t) = g_0 - \beta \times D(t) \quad \cdots (4)$$

【0048】

式(4)を式(1)に代入して変形し、式(8)を得る。

【0049】

【数 5】

$$\text{【数 5】} \quad \frac{dD(t)}{dt} = \alpha \times \frac{g_0 - \beta \times D(t)}{D(t)} \quad \cdots (5)$$

10

【0050】

【数 6】

$$\text{【数 6】} \quad dt = \frac{D(t)}{\alpha \times g_0 - \alpha \times \beta \times D(t)} \times dD(t) \quad \cdots (6)$$

【0051】

【数 7】

$$\text{【数 7】} \quad dt = \left(\frac{g_0}{\alpha \times \beta \times g_0 - \alpha \times \beta^2 \times D(t)} - \frac{1}{\alpha \times \beta} \right) \times dD(t) \quad \cdots (7)$$

20

【0052】

【数 8】

$$\text{【数 8】} \quad dt = \left(\frac{\frac{g_0}{\alpha \times \beta^2}}{\frac{g_0}{\beta} - D(t)} - \frac{1}{\alpha \times \beta} \right) \times dD(t) \quad \cdots (8)$$

【0053】

式(8)の両辺を積分し、式(10)を得る。

【0054】

30

【数 9】

$$\text{【数 9】} \quad t = -\frac{g_0}{\alpha \times \beta^2} \times \ln \left(\frac{g_0}{\beta} - D(t) \right) + \frac{g_0}{\alpha \times \beta^2} \times \ln \left(\frac{g_0}{\beta} \right) - \frac{D(t)}{\alpha \times \beta} \quad \cdots (9)$$

【0055】

【数 10】

$$\text{【数 10】} \quad t = \frac{g_0}{\alpha \times \beta^2} \times \left(-\ln \left(1 - \frac{\beta \times D(t)}{g_0} \right) - \frac{\beta \times D(t)}{g_0} \right) \quad \cdots (10)$$

40

【0056】

電池容量 $Q(t)$ は初期容量 $Q_{\max, ini}$ と被膜厚み $D(t)$ とで示されるが、初期容量 $Q_{\max, ini}$ で規格化した無次元の関数 $X(t)$ で表現すると式(11)のように表わされる。

【0057】

【数 11】

$$\text{【数 11】} \quad Q(t) = Q_{\max, ini} - \gamma \times D(t) = Q_{\max, ini} - Q_{\max, ini} \times X(t) \quad \cdots (11)$$

【0058】

式(11)から得られる $D(t)$ と $X(t)$ の関係を式(10)に代入すると式(12)が得られる。なお、式(12)では、記載の便宜上、左辺を t として記載している。

50

【 0 0 5 9 】

【数 1 2】

$$\text{【数 1 2】} \quad t = \frac{g_0}{\alpha \times \beta^2} \times \left(-\ln \left(1 - \frac{\beta \times Q_{\max, \text{ini}} \times X(t)}{g_0 \times \gamma} \right) - \frac{\beta \times Q_{\max, \text{ini}} \times X(t)}{g_0 \times \gamma} \right) \cdots (12)$$

【 0 0 6 0 】

式(12)を、式(13)、式(14)のように係数をまとめて整理すると、式(15)が得られる。式(15)において、Aと τ は α 、 β 、 γ 、 g_0 、 $Q_{\max, \text{ini}}$ から成る定数項を単純化するために置換した係数である。このとき、係数Aは電池仕様（電解液組成、電解液量、正極材料、負極材料、電極塗工条件など）の違いによって変化し、負荷パラメータによって変化しない。また、係数 τ は電池仕様（電解液組成、電解液量、正極材料、負極材料、電極塗工条件など）や負荷パラメータ（温度、SOC、電流など）の違いによって変化する。

10

【 0 0 6 1 】

【数 1 3】

$$\text{【数 1 3】} \quad A = \frac{g_0 \times \gamma}{\beta \times Q_{\max, \text{ini}}} \cdots (13)$$

【 0 0 6 2 】

【数 1 4】

$$\text{【数 1 4】} \quad \tau = \frac{g_0}{\alpha \times \beta^2} \cdots (14)$$

20

【 0 0 6 3 】

【数 1 5】

$$\text{【数 1 5】} \quad \frac{t}{\tau} = -\ln \left(1 - \frac{X(t)}{A} \right) - \frac{X(t)}{A} \cdots (15)$$

【 0 0 6 4 】

以上が、SEI前駆体の電解液中濃度 $g(t)$ の時間変化を取り込んだ物理モデルの定式化方法である。本劣化モデルによれば、電池容量関数 $Q(t)$ は、式(15)および式(11)で示すように、 $X(t)$ に比例して減少する。 $Q(t)$ の時間的な挙動としては図4に示すように、初期容量 $Q_{\max, \text{ini}}$ から容量が減少し、 $Q_{\max, \text{ini}} \times (1-A)$ に収束する関数である。

30

【 0 0 6 5 】

- - - 容量劣化関数による電池容量予測の精度について - - -

このようにして算出した容量劣化関数による電池容量の予測の誤差について説明する。図5は、所定の負荷条件における単電池111の電池容量の経時変化の実測値と、容量劣化関数による電池容量の予測曲線とを併記したグラフである。図5では、電池容量予測の精度の評価期間の全期間にわたり、所定の負荷条件における単電池111の電池容量の経時変化を実測して、プロットしている。

【 0 0 6 6 】

40

図5に実線で示したグラフは、式(15)の容量劣化関数による電池容量の予測曲線である。この予測曲線の算出に際して、電池容量予測の精度の評価期間の全期間に対する5分の1の期間を係数の決定区間とした。そして、この決定区間の実測値のプロットに対して式(15)の容量劣化関数による予測値の誤差の二乗和が最小となるようにフィッティングして、上述した係数Aおよび係数 τ を決定した。図5に示すように、評価期間の全期間に対する5分の1の期間の実測値のデータに基づいて係数Aおよび係数 τ を決定しても、電池容量の予測曲線は、評価期間の全期間にわたって容量の実測値とよい一致を見る。

【 0 0 6 7 】

また、図6は、評価期間の全期間の終了後の単電池111の容量の低下量と、本実施の形態の容量劣化関数による予測値との差を示すグラフである。図6の横軸は、評価期間の

50

全期間の終了後の単電池 1 1 1 の容量の低下量（以下、「全期間の最終低下容量」と呼ぶ）であり、単電池 1 1 1 の初期容量と、評価期間の全期間が終了した後の単電池 1 1 1 の容量との差である。図 6 の縦軸は、全期間の最終低下容量と、式(15)の容量劣化関数による予測値との差（以下、「容量予測誤差」と呼ぶ）である。なお、図 6 では、電池容量予測の精度の評価期間の全期間を係数の決定区間として係数 A および係数 τ を決定している。

【 0 0 6 8 】

図 6 に示すように、式(15)の容量劣化関数によって電池容量を予測した場合、全期間の最終低下容量の大小に関わらず、容量予測誤差が一定の範囲に収まっている。

【 0 0 6 9 】

図 7 は、評価期間の全期間の終了後の単電池 1 1 1 の容量の低下量と、従来のルート t 則に基づく容量の予測値との差を示すグラフである。図 7 の各プロットにおいては、電池容量の予測値を従来のルート t 則に基づく以下の式(16)を用いて算出している。なお、以下の式(16)において、係数 k は、電池容量予測の精度の評価期間の全期間の実測値に対して式(16)による予測値の誤差の二乗和が最小となるようにフィッティングして決定した係数である。また、係数 a は、寿命試験開始時において既に形成された SEI 厚みの影響を補正する係数である。

【 0 0 7 0 】

【数 1 6】

$$\text{【数 1 6】} \quad Q(t) = Q_{\max, ini} \times \left(1 - \sqrt{k \times t + a}\right) \quad \cdots (16)$$

【 0 0 7 1 】

図 7 に示すように、従来のルート t 則に基づいて電池容量を予測した場合、全期間の最終低下容量が大きくなるにつれて、容量予測誤差が大きくなる傾向が見られる。

【 0 0 7 2 】

図 8 は、係数の決定区間の長さや容量予測誤差との関係を示すグラフである。図 8 で丸印のプロットは、本発明に係る式(15)の容量劣化関数についての容量予測誤差を示すものであり、四角印のプロットは、従来のルート t 則に係る式(16)の容量劣化関数についての容量予測誤差を示すものである。

【 0 0 7 3 】

図 8 から明らかなように、本発明に係る式(15)の容量劣化関数、および、従来のルート t 則に係る式(16)の容量劣化関数のいずれで電池容量を予測した場合であっても、係数の決定区間の長さが長くなるにつれて容量予測誤差は小さくなる。しかし、係数の決定区間の長さが同じであれば、容量予測誤差の大きさは、本発明に係る式(15)の容量劣化関数の方が、従来のルート t 則に係る式(16)の容量劣化関数よりも小さい。すなわち、本発明に係る式(15)の容量劣化関数の方が従来のルート t 則に係る式(16)の容量劣化関数よりも容量予測精度が高い。

【 0 0 7 4 】

- - - 寿命予測のための基本データについて - - -

本実施の形態の電池システム 1 0 0 では、各単電池 1 1 1 の寿命、すなわち電池容量の経時変化の予測のための基本データが、たとえば記憶部 1 8 0 にあらかじめ格納されている。各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化の予測のための基本データは、式(15)の容量劣化関数と、係数 A および係数 τ についての情報とを含む。

【 0 0 7 5 】

なお、記憶部 1 8 0 にあらかじめ格納される係数 A および係数 τ についての情報は、次のようにしてあらかじめ求められている。まず、電流パターン $I(t)$ 、環境温度 $T(t)$ 、SOC 動作範囲 $SOC(t)$ 等の負荷パラメータを組み合わせた複数の試験条件における寿命試験を行う。その際、適当な間隔で電池容量を測定し、負荷パラメータに対応した寿命試験経過時間と電池容量の関係を表すプロットデータを得る。この時、試験条件である負荷パターンは、寿命試験経過時間に対して常に一定となるか、または、周期的となる負荷パターン

10

20

30

40

50

とする。そして、試験条件毎に寿命試験データに対して、試験期間の全期間を係数の決定区間とするフィッティングを行って係数Aおよび係数 τ を決定する。このとき、係数Aは負荷パラメータ（温度、SOC、電流など）の違いによって変化せず、電池の仕様が同じであれば、同一の値となるようにフィッティングする。また、係数 τ は負荷パラメータ（温度、SOC、電流など）の違いによってそれぞれ異なる値を持つ。

【0076】

これらの各試験条件に対応する係数 τ がたとえば、各負荷パラメータとの関係で以下のように関数化されて、係数 τ についての情報として記憶部180にあらかじめ格納されている。また、係数Aは電池毎の固有値として記憶部180にあらかじめ格納されている。

【0077】

10

【数17】

$$\text{【数17】} \quad A = \text{constant} \quad \cdots (17)$$

【0078】

【数18】

$$\text{【数18】} \quad \tau(t) = f\tau(I(t), T(t), SOC(t)) \quad \cdots (18)$$

【0079】

【数19】

$$\text{【数19】} \quad \int \frac{dt}{\tau(t)} = -\ln\left(1 - \frac{X(t)}{A}\right) - \frac{X(t)}{A} \quad \cdots (19)$$

20

【0080】

組電池制御部150は、計算ステップ毎に各単電池111に流れる電流や環境温度、SOCなどの各負荷パラメータの履歴と、上述した式(18)に基づいて $\tau(t)$ を算出する。そして、算出した係数 $\tau(t)$ を用いて式(19)の左辺に相当する劣化量積算結果を算出し、記憶部180に格納させる。その後、劣化量積算結果と式(19)から $X(t)$ を求める。求めた $X(t)$ と式(11)から各単電池111の電池容量の経時変化を算出する。式(19)は、式(15)を負荷パラメータの変動に対応するために変形した数式である。式(19)の左辺 τ が算出された各単電池111の電池容量の経時変化、すなわち、各単電池111の寿命の予測結果の情報は、上述したように、たとえば記憶部180に格納される。記憶部180に格納された各単電池111の寿命の予測結果の情報は、上述したように、たとえば組電池制御部150および車両制御部200を介して読み出されて、車両に搭載された不図示の表示装置に表示される。

30

【0081】

- - フローチャート - - -

図9は、各単電池111の電池容量の経時変化の予測処理の動作を示すフローチャートである。たとえば、電池容量の経時変化の予測処理を行うためのトリガが組電池制御部150に入力されると、図9に示した処理を行うプログラムが起動して組電池制御部150で実行される。なお、電池容量の経時変化の予測処理を行うためのトリガは、たとえば、数週間毎に電池容量の経時変化の予測処理を行うようにあらかじめ設定されている場合には、予測処理を行う時期に到達すると組電池制御部150に入力される。また、電池容量の経時変化の予測処理を行うように何らかの操作がなされたときに、電池容量の経時変化の予測処理を行うためのトリガが組電池制御部150に入力されるように構成してもよい。

40

【0082】

ステップS1において、記憶部180に格納されている各単電池111に流れる電流や環境温度、SOCなどの各負荷パラメータの履歴を読み込んでステップS3へ進む。ステップS3において、ステップS1で読み込んだ各単電池111に流れる電流や環境温度、SOCなどの各負荷パラメータの履歴と、上述した式(17)、(18)に基づいて係数Aおよ

50

び係数 τ を算出してステップ S 5 へ進む。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 5 において、ステップ S 3 で算出した係数 A および係数 τ と、上述した式 (15) の容量劣化関数によって各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化を算出してステップ S 7 へ進む。ステップ S 7 において、ステップ S 5 で算出した各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化の情報を記憶部 1 8 0 に格納して本プログラムを終了する。なお、ステップ S 7 において、ステップ S 5 で算出した各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化の情報を、たとえば、電池システム 1 0 0 が搭載された車両の不図示の表示装置に表示するようにしてもよい。

【 0 0 8 4 】

10

本実施の形態の電池システム 1 0 0 では、次の作用効果を奏する。

(1) SEI 被膜の成長による電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ の減少を考慮した関数に基づいて、電池容量の経時変化を予測するようにした。これにより、SEI 被膜の成長による電解液中の SEI 前駆体濃度 $g(t)$ の減少を考慮しない従来のルート t 則に基づいて電池容量の経時変化を予測した場合と比べて、電池容量の経時変化の予測精度を向上できる。したがって、長期間にわたって使用される電池システム 1 0 0 での各単電池 1 1 1 の寿命を精度よく予測できるので、電池システム 1 0 0 を長期間にわたって安定的に使用するのに資する。

【 0 0 8 5 】

20

(2) 負極の表面に形成される SEI 被膜の厚みの増加に比例して電池容量が低下する物理モデルであって、被膜厚みの成長速度が電解液中の SEI 前駆体濃度に比例するとともに、被膜厚みに反比例し、SEI 被膜の厚みが増すにつれて電解液中の SEI 前駆体濃度が減少する物理モデルに基づいて、電池容量の経時変化を予測する関数を導出した。これにより、SEI 被膜が電池容量に及ぼす影響をより詳細に反映した物理モデルに基づいた電池容量の経時変化の予測関数を導き出せるので、たとえば、電池容量の測定期間が短くても電池容量の予測曲線を正確に算出できるなど、リチウムイオン二次電池の開発および利用に資する。

【 0 0 8 6 】

(3) 電池容量の経時変化の予測関数が上述した式 (11) および式 (19) で示されるので、電池容量の経時変化を算出しやすい。したがって、電池容量の経時変化の予測の際に組電池制御部 1 5 0 での演算負荷を抑制できるので、高性能な演算装置等を必要とせず、電池システム 1 0 0 のコスト増を抑制できる。

30

【 0 0 8 7 】

(4) 電流パターン $I(t)$, 環境温度 $T(t)$, SOC 動作範囲 $SOC(t)$ 等の各負荷パラメータとの関係で係数 A および係数 τ を決定して、電池容量の経時変化を算出するように構成した。これにより、電池システム 1 0 0 の使用環境に対応して各単電池 1 1 1 の寿命を精度よく予測できるので、組電池 1 1 0 の交換時期を最適化でき、組電池 1 1 0 を効率的に利用できる。

【 0 0 8 8 】

- - - 第 2 の実施の形態 - - -

40

第 2 の実施の形態では、リチウムイオン二次電池の開発の際の電池容量の経時変化の予測に本発明を適用する例について説明する。

【 0 0 8 9 】

リチウムイオン二次電池の開発の際、所定の負荷条件における電池容量の経時変化を長期間にわたって実測することは煩わしい。しかし、第 1 の実施の形態で説明したように、短い期間の実測値のデータに基づいて係数 A および係数 τ を決定しても、電池容量の予測曲線は、電池容量予測の精度の評価期間の全期間にわたって容量の実測値とよい一致を見ることが分かっている。

【 0 0 9 0 】

すなわち、リチウムイオン二次電池の開発の際に本発明を適用することで、電池容量の

50

経時変化の評価試験に要する期間を大幅に短縮できる。

【 0 0 9 1 】

図 1 0 は、本発明を電池容量の経時変化の評価試験装置に適用した場合の装置の構成図である。本実施の形態の評価試験装置 1 は、短い期間の実測値のデータに基づいて被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化を予測する試験装置であり、電池情報取得部 1 1 と、充放電制御部 1 2 と、記憶部 1 3 と、予測部 1 4 と、充放電部 1 5 と、出力部 1 6 とを備えている。電池情報取得部 1 1、充放電制御部 1 2、および予測部 1 4 の機能は、制御回路 1 0 の CPU 1 0 a が記憶部 1 3 に格納された所定のプログラムを実行することによって実現される。

【 0 0 9 2 】

電池情報取得部 1 1 は、被検電池 1 1 1 A の電圧や温度、電池容量など、被検電池 1 1 1 A の状態を検出して被検電池 1 1 1 A の情報として取得する機能ブロックである。たとえば、電池情報取得部 1 1 で取得した被検電池 1 1 1 A の電圧や温度の情報は、充放電制御部 1 2 に送信される。たとえば、電池情報取得部 1 1 で取得した被検電池 1 1 1 A の電池容量の情報は、試験開始からの経過時間の情報とともに記憶部 1 3 に格納される。

【 0 0 9 3 】

充放電制御部 1 2 は、充放電部 1 5 による被検電池 1 1 1 A の充放電サイクルを制御する機能ブロックである。充放電制御部 1 2 は、被検電池 1 1 1 A の試験条件である充電電流、充電時間、放電電流、放電時間、充放電休止時間などを制御する。また、充放電制御部 1 2 は、被検電池 1 1 1 A の試験中に、充放電部 1 5 を制御して被検電池 1 1 1 A の容量測定を行う。充放電制御部 1 2 には、充放電部 1 5 から送信される被検電池 1 1 1 A の充電状態 (SOC : State Of Charge) や、充放電の制御状態などの信号が入力される。なお、充放電部 1 5 は、被検電池 1 1 1 A を充放電するための電源や負荷を備えている。

【 0 0 9 4 】

記憶部 1 3 は、充放電制御部 1 2 における充放電制御の制御プログラムや、評価試験の負荷パターン (充放電パターン)、充放電制御部 1 2 からの電池容量測定結果、後述する予測部 1 4 での演算結果等を記憶する記憶装置である。なお記憶部 1 3 は、不図示の RAM や ROM、不揮発性メモリなどの記憶媒体を有している。また、記憶部 1 3 は、第 1 の実施の形態で述べた、式 (19) の容量劣化関数等をあらかじめ記憶している。

【 0 0 9 5 】

予測部 1 4 は、記憶部 1 3 に記憶された容量劣化関数や電池容量測定結果に基づいて被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化を予測する機能ブロックである。予測部 1 4 では、電池容量測定結果に対して式 (15) の容量劣化関数によるフィッティングを行うことで、上述したように被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化の予測曲線を得る。予測部 1 4 で得られた被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化についての情報は、出力部 1 6 に出力される。

【 0 0 9 6 】

出力部 1 6 は、たとえば、被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化についての情報を表示する表示装置や、被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化についての情報を外部に出力するインターフェースを備えている。

【 0 0 9 7 】

このように構成される評価試験装置 1 では、次のようにして被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化について、評価試験を実施する。評価試験装置 1 に被検電池 1 1 1 A が接続されて、評価試験が開始されると、記憶部 1 3 にあらかじめ格納された充放電パターンによる充放電が被検電池 1 1 1 A で行われるように、充放電制御部 1 2 が充放電部 1 5 を制御する。この被検電池 1 1 1 A の充放電は、評価試験の試験期間中繰り返し実行される。

【 0 0 9 8 】

評価試験の試験期間中、電池情報取得部 1 1 は、被検電池 1 1 1 A の電池容量を適宜測定して取得する。電池情報取得部 1 1 で取得した被検電池 1 1 1 A の電池容量の情報は、上述したように、試験開始からの経過時間の情報とともに記憶部 1 3 に格納される。この

10

20

30

40

50

ようにして、試験期間中に適当な間隔で複数回、被検電池 1 1 1 A の電池容量が測定される。

【 0 0 9 9 】

あらかじめ設定された試験期間中、充放電および電池容量の測定が繰り返されると、予測部 1 4 は、被検電池 1 1 1 A の電池容量と試験開始からの経過時間との関係を表す情報を記憶部 1 3 から読み込む。この情報は、上述した図 5 における係数の決定区間におけるプロットデータに相当する。予測部 1 4 は、読み込んだ被検電池 1 1 1 A の電池容量と試験開始からの経過時間との関係を表す情報に対して、上述した式(15)の容量劣化関数による予測値の誤差の二乗和が最小となるようにフィッティングして、上述した係数 A および係数 τ を決定する。

10

【 0 1 0 0 】

そして、予測部 1 4 は、決定した係数 A および係数 τ を用いて、式(15)および式(11)から、被検電池 1 1 1 A についての電池容量の予測曲線を算出する。予測部 1 4 での算出結果は、記憶部 1 3 に格納されるとともに、たとえば係数 A および係数 τ の値や予測曲線のグラフなどが出力部 1 6 の表示装置等に出力される。

【 0 1 0 1 】

- - - フローチャート - - -

図 1 1 は、本実施の形態の評価試験装置 1 における被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化を予測する処理の動作を示すフローチャートである。たとえば、電池容量の経時変化の評価試験の開始を指示する不図示の操作スイッチが操作されると、図 1 1 に示した処理を行うプログラムが起動して制御回路 1 0 の CPU 1 0 a で実行される。ステップ S 2 1 において、記憶部 1 3 にあらかじめ格納されている評価試験の負荷パターンに基づいて被検電池 1 1 1 A の充放電を開始してステップ S 2 3 へ進む。

20

【 0 1 0 2 】

ステップ S 2 3 において、試験開始時間を計時する経過時間タイマを起動してステップ S 2 5 へ進む。ステップ S 2 5 において、電池容量の測定間隔を規定する測定用タイマを起動してステップ S 2 7 へ進む。ステップ S 2 7 において、ステップ S 2 5 で起動した測定用タイマがタイムアップするまで待機した後、ステップ S 2 9 へ進み、電池容量を測定してステップ S 3 1 へ進む。

【 0 1 0 3 】

ステップ S 3 1 において、ステップ S 2 9 で測定した電池容量と、ステップ S 2 3 で起動した経過時間タイマの経過時間とを関連づけて記憶部 1 3 に格納してステップ S 3 3 へ進む。ステップ S 3 3 において、ステップ S 2 3 で起動した経過時間タイマがタイムアップしたか否かを判断する。

30

【 0 1 0 4 】

ステップ S 3 3 が否定判断されるとステップ S 2 5 へ戻る。ステップ S 3 3 が肯定判断されるとステップ S 3 5 へ進み、ステップ S 2 1 で開始した被検電池 1 1 1 A の充放電を停止してステップ S 3 7 へ進む。

【 0 1 0 5 】

ステップ S 3 7 において、繰り返し実行されたステップ S 3 1 で記憶部 1 3 に格納した電池容量と経過時間タイマの経過時間との関係を示す情報を記憶部 1 3 から読み込んでステップ S 3 9 へ進む。ステップ S 3 9 において、ステップ S 3 7 で読み込んだ電池容量と経過時間タイマの経過時間との関係を示す情報に基づいて、上述したように係数 A および係数 τ を決定してステップ S 4 1 へ進む。

40

【 0 1 0 6 】

ステップ S 4 1 において、ステップ S 3 9 で決定した係数 A および係数 τ を用いて、記憶部 1 3 に格納されている式(15)および式(11)から、被検電池 1 1 1 A についての電池容量の予測曲線、すなわち、電池容量の経時変化を算出してステップ S 4 3 へ進む。ステップ S 4 3 において、ステップ S 4 1 で算出した電池容量の予測曲線、および、ステップ S 3 9 で決定した係数 A , τ を記憶部 1 3 に格納してステップ S 4 5 へ進む。

50

【 0 1 0 7 】

ステップ S 4 5 において、ステップ S 4 1 で算出した電池容量の予測曲線の情報、および、ステップ S 3 9 で決定した係数 A, τ の情報を出力部 1 6 の表示装置に表示させて本プログラムを終了する。

【 0 1 0 8 】

第 2 の実施の形態では、第 1 の実施の形態の作用効果に加えて、次の作用効果を奏する。すなわち、被検電池 1 1 1 A の充放電を繰り返し行いつつ、電池容量を測定し、得られた電池容量と試験開始からの経過時間との情報に基づいて、係数 A および係数 τ を決定するように構成した。そして、決定した係数 A および係数 τ を用いて、式 (15) および式 (11) から、被検電池 1 1 1 A についての電池容量の予測曲線を算出するように構成した。これにより、電池容量を実測して取得する期間が短くても、正確な電池容量の予測曲線が得られるので、電池容量の経時変化の評価試験に要する期間を大幅に短縮できる。

10

【 0 1 0 9 】

- - - 変形例 - - -

(1) 上述した第 1 の実施の形態では、係数 A および係数 τ についての情報が式 (17), (18) で表される関数として記憶部 1 8 0 に格納されているが、本発明はこれに限定されない。たとえば、あらかじめ実施された各試験条件に対応して、係数 A および係数 τ についての情報がデータテーブルとして記憶部 1 8 0 に格納されていてもよい。そして、各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化を算出する際に、記憶部 1 8 0 に格納されている各単電池 1 1 1 に流れる電流や環境温度、SOC などの各負荷パラメータの履歴と、上述したデータテーブルとに基づいて係数 A および係数 τ を算出するようにしてもよい。

20

【 0 1 1 0 】

(2) 上述した第 1 の実施の形態では、各単電池 1 1 1 に流れる電流や環境温度、SOC などの各負荷パラメータの履歴と、上述した式 (17), (18) とに基づいて係数 A および係数 τ を算出するように構成した。そして、算出した係数 A および係数 τ を用いた式 (19) の容量劣化関数によって各単電池 1 1 1 の電池容量の経時変化を算出するように構成したが、本発明はこれに限定されない。たとえば、未実施の試験条件における被検電池 1 1 1 A の容量の経時変化の予測に本発明を適用してもよい。

【 0 1 1 1 】

具体的には、たとえば、未実施の試験条件に対応する被検電池 1 1 1 A の各負荷パラメータの挙動をあらかじめ決定する。そして、各単電池 1 1 1 に流れる電流や環境温度、SOC などの各負荷パラメータの履歴に代えて、決定した各負荷パラメータの挙動を上述した式 (17), (18) に適用することで、係数 A および係数 τ を算出する。このようにして算出した係数 A および係数 τ を用いることで、式 (19) の容量劣化関数から未実施の試験条件に対応する被検電池 1 1 1 A の電池容量の経時変化を算出できる。

30

【 0 1 1 2 】

(3) 上述した各実施の形態および変形例は、それぞれ組み合わせてもよい。

【 0 1 1 3 】

本発明は、上記の各実施形態や変形例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

40

【 0 1 1 4 】

また、上記の各構成や各機能は、それらの全部または一部を、例えば集積回路等を用いたハードウェアとして実現することもできるし、プロセッサにより実行されるプログラムやソフトウェアとして実現することもできる。各機能を実現するためのプログラムやテーブルなどの情報は、メモリやハードディスクなどの記憶装置、IC カード、DVD などの記憶媒体に格納することができる。

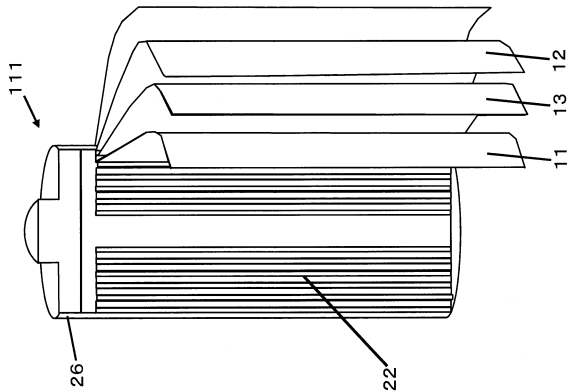
【 符号の説明 】

【 0 1 1 5 】

1 評価試験装置、10 制御回路、10a CPU、11 電池情報取得部、12 充放電制御部、13 記憶部、14 予測部、15 充放電部、16 出力部、100 電

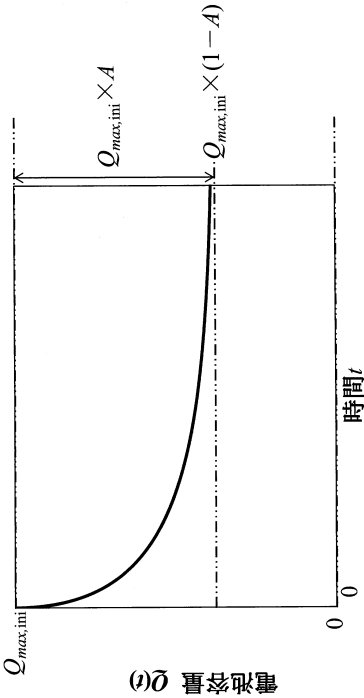
50

【図 3】



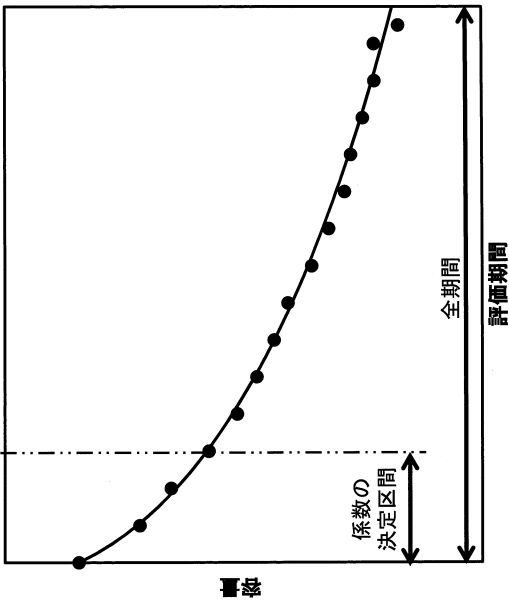
【図3】

【図 4】



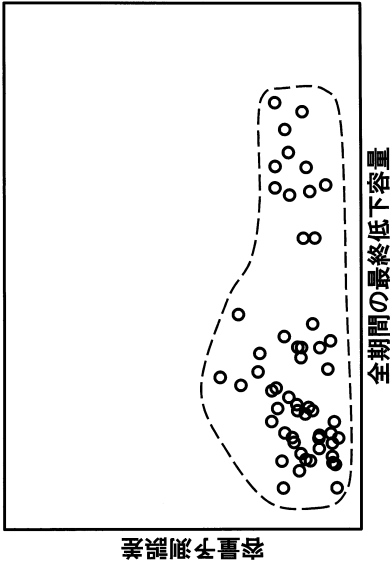
【図4】

【図 5】



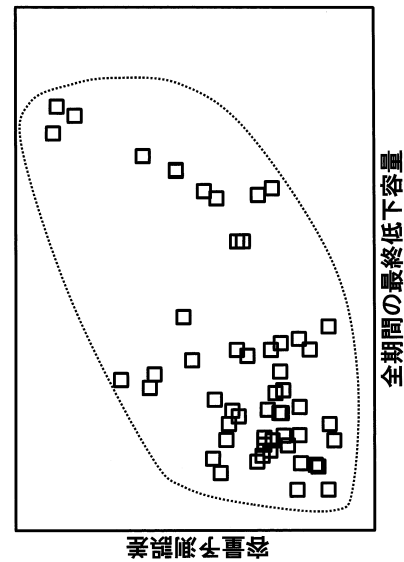
【図5】

【図 6】



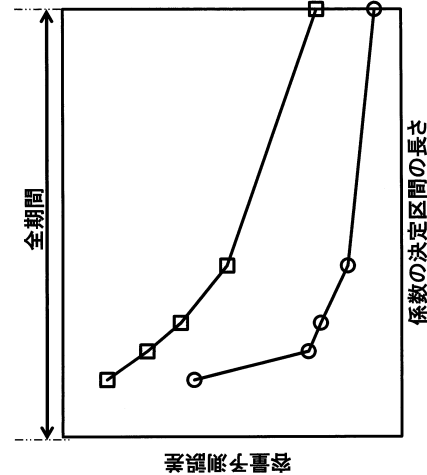
【図6】

【図 7】



【図7】

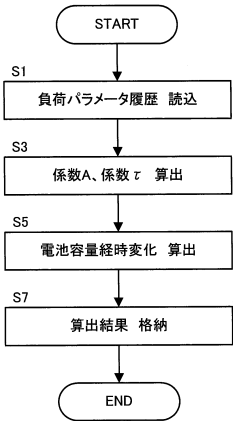
【図 8】



【図8】

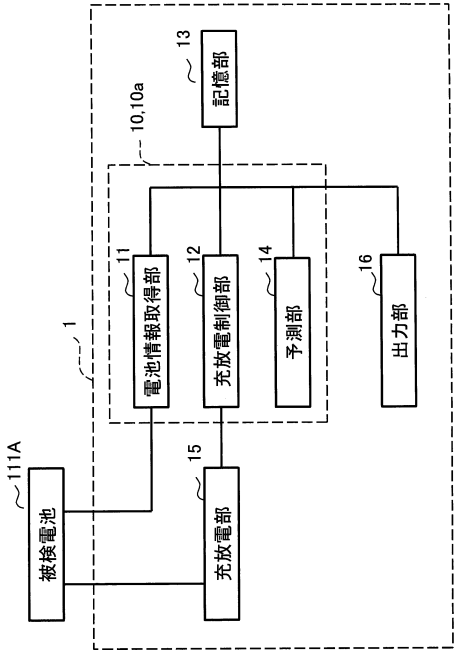
【図 9】

【図9】



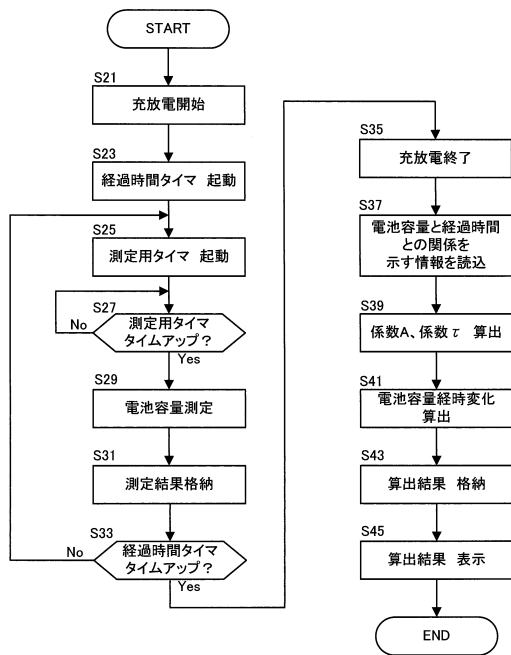
【図 1 0】

【図10】



【図 11】

【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 大川 圭一朗

茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

審査官 緑川 隆

(56)参考文献 国際公開第2014/064349(WO, A1)

特開2013-254710(JP, A)

特開2013-089424(JP, A)

国際公開第2012/150384(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 10/42 - 10/48

G01R 31/36

H02J 7/00 - 7/12, 7/34 - 7/36