

明 細 書

発明の名称：

電池パックの診断方法、セルの診断方法、電池パックの診断装置及びセルの診断装置

技術分野

[0001] 本発明は、電池パックの診断方法、セルの診断方法、電池パックの診断装置及びセルの診断装置に関する。

背景技術

[0002] 電気自動車（EV）等には、複数のセルで構成されている電池パックが内蔵されている。このような電池パックは、適切な時期に交換する必要があるため、電池パックの寿命を正確に予測する技術が求められている。

[0003] 特許文献1には、放電終止電圧に至るまでに各セルが放電可能な充電容量と最低保証出力発揮終止電圧に至るまでに組電池が放電可能な充電容量とに基づいて、組電池の残存容量を演算し、表示する装置が開示されている。

[0004] なお、本明細書においては、電池パック内の各セルの充電率（State of Charge）を「SOC」と呼ぶ。また、開回路電圧（Open Circuit Voltage）は、「OCV」と呼ぶ。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-210284号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 電池パックのエネルギー容量の算出には、電池パック内の各セルのSOCの情報が必要となる。

[0007] EV等からの通信データには、電池パックの代表SOCとして、1つのセルのSOCの情報のみを含み、他のセルのSOCの情報が含まれていない場合が多い。バ

バッテリーマネジメントユニットは、電池パック内にあるセルのうちいずれかのセルを選択してSOCを計測しているが、どのセルを選択しているかが不明であるためである。

[0008] このため、電池パック内のセルの電圧が揃っていない状態（すなわちアンバランス状態）で電池パックの代表SOCを用いた電池パックのエネルギー容量を計算すると、エネルギー容量の計算誤差が大きくなる課題があった。

[0009] 本発明の目的は、アンバランス状態であっても、正確に電池パックのエネルギー容量を算出することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の電池パックの診断方法は、複数のセルが直列に接続された構成を有する電池パックの電流及び温度並びにそれぞれのセルの電圧を含む検出データを得るシステムを用いて電池パックを診断する方法であって、電流及び温度並びにそれぞれのセルの電圧、OCVのSOC関数及び抵抗テーブルを用いて、それぞれのセルの電荷容量及びSOCを算出し、電池パックを満充電にした場合におけるそれぞれのセルのSOCの推定値であるアンバランス量及び抵抗を算出する工程と、電荷容量、アンバランス量及び抵抗を用いて、電池パックのエネルギー容量を算出する工程と、を含む。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、アンバランス状態であっても、正確に電池パックのエネルギー容量を算出することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]第1の実施形態に係る電池パック診断システムの一例を示す概略構成図である。

[図2]EVに内蔵されている電池パックの例を示す構成図である。

[図3]EVからサーバーへの通信内容の例を示す表である。

[図4]図1の電池テーブルの一例を示す模式構成図である。

[図5]図1のSOC計算手段107における処理の例を示すフロー図である。

[図6]図1の電池パックエネルギー容量計算手段108における処理の例を示

すフロー図である。

[図7A]電池パックにアンバランス状態における各セルの電圧を示すグラフである。

[図7B]電池パックのアンバランス状態を解消した後の状態における各セルの電圧を示すグラフである。

[図8]電池パック診断システムにおける電池テーブルのOCVの設定方法の例を示すフロー図である。

[図9]放電曲線解析を利用して電池テーブルのOCVを関数近似する例を示す図である。

[図10]電池パックの交換時期の計算方法の例を示すフロー図である。

[図11]電池容量テーブルの例を示す表である。

[図12]電池診断結果テーブルの例を示す表である。

発明を実施するための形態

[0013] 本開示においては、テーブルの自動生成と、電池パックのエネルギー容量の算出と、を行う。本開示は、EVに内蔵されている電池パックのデータをサーバーに転送し、サーバーにおいて電池パックの劣化を診断する方法等に関するものを含む。

[0014] なお、本診断方法を実施する装置に関しては、サーバーで計算するパターンと、EV内の端末のみで計算するパターンと、サーバーとEV内の端末の両方で計算するパターンとがある。そして、これらの一連の手段は、サーバー内でのプログラムとして実施するか、または、EV内の端末のみのプログラム、又はEVの端末及びサーバーの両方のプログラムを用いて実施してもよい。

[0015] ただし、本開示は、以下の実施の形態に限定されることなく、本開示の技術的な概念の中で種々の変形例や応用例をもその範囲に含むものである。例えば、以下に説明する電池パック診断システムはEVのみならず、HEMS (Home Energy Management Systems)、BEMS (Building Energy Management Systems)、FEMS (Factory Energy Management Systems)、鉄道、建設機械用の電池パックにも適用できる。

[0016] 以下、図面を用いて、本開示における実施形態を詳述する。

[0017] (第1の実施形態)

図1は、本実施形態に係る電池パック診断システムの一例を示す概略構成図である。

[0018] 本図において、電池パック診断システムは、サーバー100(「演算装置」又は「診断装置」ともいう。)と、複数の電気自動車101(EV)と、それぞれのEV内の通信デバイス102(例えば、スマートフォン等の携帯端末、Wi-Fi(登録商標)ルータ、カーナビゲーションシステム等の車内常設コンピュータ等)と、を構成要素としている。サーバー100は、各EVから通信デバイス102を経由して集められたEV通信データ(データの種別は後述する。)を蓄積する記憶装置103(第一の記憶装置)と、電池テーブル104を保存する第二の記憶装置と、テーブル設定手段105(テーブル設定部)と、運用中電池パックエネルギー計算手段106(運用中電池パックエネルギー計算部)と、を備えている。運用中電池パックエネルギー計算手段106は、SOC計算手段107(SOC計算部)と、電池パックエネルギー容量計算手段108(電池パックエネルギー容量計算部)と、SOCデータ群109を保存する第三の記憶装置と、を含む。

[0019] 即ち、初期設定のフェーズ(テーブル自動設定のテーブル設定手段105)と、運用中のフェーズ(SOC及びエネルギー容量を計算する運用中電池パックエネルギー計算手段106)との2つのフェーズで構成される。初期設定のフェーズは、詳しくは第2の実施形態と第3の実施形態で説明する。運用中のフェーズは、第1の実施形態の中で説明する。予め電池の電気特性を測定し算出することにより、OCVテーブル、充電抵抗テーブル及び放電抵抗テーブルの3つが設定されているならば、初期設定のフェーズは不要で、運用中のフェーズのみとなる。

[0020] なお、本実施形態と図1ではサーバーで計算する例であるが、車載BMU内や車載スマートフォンなどエッジで計算してもよいし、サーバーと車載BMU内や車載スマートフォンなどエッジでも計算してもよい。サーバーと車載BMUや車

載スマートフォンの両方で計算する場合には、クラウドで大量データから構築および改善した診断方式をエッジ側に送り込んでもよい。

[0021] 本診断方法においては、充電器で電池パックを充電している間に得られる通信データを用いて、OCVテーブルと充電抵抗テーブルにより各セルのSOCを算出する。この場合、OCVテーブルは、OCV に対するSOC の値を対応させた表であり、「OCVのSOC関数」と呼べるものである。通信データは、通信デバイスを介してEVから取得した検出データである。そして、各セルのSOCを用いて、各セルの電荷容量（以下「Ah容量」という。）、電池パックを満充電にした場合における各セルのSOCの推定値（以下「アンバランス量」という。）、及び抵抗を求める。

[0022] なお、図1においては、電池パックは、EVに内蔵されている場合であるが、本開示は、これに限定されるものではなく、電池パックは、定置式の蓄電装置として固定されていてもよい。また、診断装置は、EVの外部に限定されるものではなく、EVの内部に設置されていてもよい。

[0023] 図2は、EVに内蔵されている電池パックの例を示す構成図である。

[0024] 電池パックは、L個のセル201が並列に接続されたセル群203がN個直列接続された構成を有する。ここで、セル群203は、一つの電池セルとみなす。そして、選択されたM個のセル群203にはそれぞれ、温度センサ202が1個ずつ取り付けられている。言い換えると、電池パックには、M個の温度センサ202が配置されている。

[0025] また、EVには、電池パックを管理するバッテリーマネジメントユニット205（BMU）が内蔵されている。BMUは、並列に接続されたセル群203それぞれの電圧と、電流計204（電流センサ）で計測された電流と、M個の温度センサ202で計測された温度と、をEV内のネットワーク206（LAN）を介して収集し、電池パックの代表SOCを計算する。そして、BMUは、LANを介して、電流、電圧、温度、電池パックの代表SOC等の情報（検出データ）を通信デバイス102に送信することができるようになっている。通信デバイス102は、それらの情報を受け取り、サーバー100（図1）に送信する。この

送信は、EVのイグニッションがオンにされている間、定期的にサーバーに情報を通信する。この通信間隔は、例えば約1秒であってもよく、5秒以上の長い間隔であってもよい。

[0026] まとめると、検出データは、5秒未満の時間間隔で取得してもよく、5秒以上の時間間隔で取得してもよい。

[0027] 次に、通信デバイスからサーバーに送られる通信の内容について説明する。

[0028] 図3は、EVからサーバーへの通信内容の例を示す表である。

[0029] 本図においては、No.1の車両IDはEVの識別IDを示す。No.2の時刻は、送信時刻でなく、電池の電流、電圧及び温度を計測した時刻を示す。No.3の位置は、電池の電流、電圧及び温度を計測した時刻におけるEVの位置の経度及び緯度を示す。No.4の車両状態フラグは、EVが充電中、停車中又は走行中であることを示すフラグである。No.5の電池パック電流は、この例では充電側を+とした値であり、No.2の時刻における電流を示す。No.6の電池パックのSOCは、電池パックの代表SOCを示す。No.7の電池パック内直列数Nは、図2に示すセルの直列数である。No.8の電池パック内温度センサ数Mは、図2に示す温度センサの数である。No.9の電池パックカタログAhは、図2に示すセルのカタログAh×並列数Lの値を示す。No.10の電池パックカタログkWhは、セルのカタログエネルギー容量×直列数N×並列数Lの値をkWhに直したものである。No.11からNo.N+10までは、図2に示す並列数Lのセルの電圧を示す。No.N+11からNo.N+M+10までは、それぞれの温度センサの温度を示す。なお、電圧及び温度は、No.2の時刻に計測した値である。No.3及びNo.6～No.10は、必ずしも通信に必須のものではない。No.7～No.10が無い場合には、サーバー側に各EVのNo.7～No.10の情報があるものとする。

[0030] 図1に示す記憶装置103には、図3に示すような一定時間間隔の通信のデータ（EV通信データ）が蓄積されている。

[0031] 図4は、図1の電池テーブルの一例を示す模式構成図である。

[0032] 図1において、電池テーブル104は、予め設定するか、テーブル設定手

段105により設定されるテーブルであり、運用中電池パックエネルギー計算手段106で参照される。第1の実施形態では、設定されているものとして説明する。詳細な設定方法については、第2の実施形態及び第3の実施形態で説明する。

[0033] 図4に示すように、電池テーブル104は、OCVテーブル401と、充電抵抗テーブル402と、放電抵抗テーブル403と、を含む。ここで、充電抵抗及び放電抵抗は、SOC及び温度の関数である。

[0034] OCVテーブル401は、SOC毎に対応する値を有する関数である。放電抵抗テーブル403は、この例では、25℃での値をSOC毎に有し、温度感度を有する。

[0035] ここで、セル温度 T_{cell} [℃]における放電抵抗 $R_d(T_{cell})$ は、下記式(1)で表される。

[0036] [数1]

$$R_d(T_{cell}) = \exp\{B/(T_{cell} + 273.15) - B/(25 + 273.15)\} \times R_d(25^\circ\text{C}) \quad \dots (1)$$

[0037] 式中、 $R_d(25^\circ\text{C})$ は、 $T_{cell} = 25^\circ\text{C}$ における放電抵抗 $R_d(T_{cell})$ である。また、 B は、温度感度である。

[0038] 充電抵抗も、放電抵抗 $R_d(T_{cell})$ と同様に表現する。

[0039] 次に、電池パックの劣化を診断する方法について述べる。ここで、劣化の診断は、図1の運用中電池パックエネルギー計算手段106における処理であり、端的には電池パックのエネルギー容量を求めることである。

[0040] まず、サーバー側で各セルのSOCを求め、その後、各セルの電荷容量と、アンバランス量と、電池パックの現時点のエネルギー容量とアンバランスを解消した状態（電池パックを満充電にしたとき、全ての電池のSOCが100%になった状態）におけるエネルギー容量を算出する。

[0041] 最後に、電池パックのエネルギー容量と時間のペアのデータ群より、時間を引数とする近似関数を推定し、その近似関数を時間軸で外挿して、電池パックの交換すべきエネルギー容量に到達する時期を算出し、交換時期を通知

する。

[0042] 以下、具体的に、図1に示す運用中電池パックエネルギー計算手段106について説明する。

[0043] 運用中電池パックエネルギー計算手段106の運用フェーズは、2つのフェーズに分かれている。

[0044] 最初に、SOC計算手段107で各セルのSOCを求めて、SOCデータ群109のデータベース(DB)にSOCデータを蓄積する。そして、電池パックエネルギー容量計算手段108により、SOCデータ群109を用いて電池パックのエネルギー容量を求める。運用中電池パックエネルギー計算手段106は、電池テーブル104及び記憶装置103のデータを元に計算する。

[0045] 以下、SOC計算手段107及び電池パックエネルギー容量計算手段108それぞれについて説明する。

[0046] SOC計算手段107は、通信データの時間間隔が密(例えば1s以下)の場合ならば、走行ごと、充電毎のデータの区切りとする。一方、通信データの時間間隔が長い場合には、充電器で充電中のデータ区切りとする。

[0047] 図5は、図1のSOC計算手段107のフロー図を示す。

[0048] 図5においては、SOC計算手段107における処理は、S51の充電中データ抽出ステップと、S52の充電番号初期設定ステップと、S53のセル番号初期設定ステップと、S54のSOC求解ステップと、S56のセルループ終了判定ステップと、S57のセル番号アップステップと、S58の充電番号終了判定ステップと、S59の充電番号アップステップと、を含む。

[0049] 本図に示すように、ステップS51において、充電器で充電中のデータ(電流、各セル電圧、温度)を取得する。これらのデータをそれぞれ、 $I(t, k)$ 、 $V_j(t, k)$ 、 $Temp(t, k)$ とする($j=1, \dots, N$)。ここで、 t は充電器で充電を開始してから時間、 k は充電器で充電した回数を示す。 j はセル番号を示す。温度センサはM個あるため、 $Temp$ はM個のセンサの平均値を用いてもよい。

[0050] 次に、ステップS52において、一番古い充電番号(充電器で充電中の間のデータ) k を1とセットする。そして、ステップS53において、セル番号

jを1とセットする。

[0051] ステップS 5 4においては、下記式（2）で表され、下記式（3）、（4）及び（5）を用いて、セルjの推定電圧 $V_{est_j}(t)$ とセルjの実電圧 $V_{real_j}(t)$ との差の二乗和を最小化するパラメータ $P_j(k)$, $Q_j(k)$, $SOCI(j, k)$, $Q_{max}(j, k)$ を求める。

[0052] [数2]

$$\underset{P_j(k), Q_j(k), SOCI(j, k), Q_{max}(j, k)}{\operatorname{argmin}} \int |V_{est_j}(t) - V_{real_j}(t)|^2 dt \quad \dots (2)$$

[0053] [数3]

$$V_{real_j}(t) = OCV(SOC_j(t)) + R_c(\text{Temp}, SOC_j(t)) \times I(t) \quad \dots (3)$$

[0054] [数4]

$$R_c(\text{Temp}, SOC) = \{P_j(k) \times R_c(SOC) + Q_j(k)\} \times \exp\{B / (\text{Temp} + 273.15) - B / (25 + 273.15)\} \quad \dots (4)$$

[0055] [数5]

$$SOC_j(t) = SOCI(j, k) + 100 \times \frac{\int I(t) dt}{Q_{max}(j, k)} \quad \dots (5)$$

[0056] ここで、 $P_j(k)$ は、各セルの充電抵抗の係数である。 $Q_j(k)$ は、各セルの充電抵抗の係数である。 $SOCI(j, k)$ は、k回充電したセルjのSOCの初期値である。 $Q_{max}(j, k)$ は、セルjの電荷容量（Ah容量）である。 $R_{fc}(SOC)$ は、充電側の25℃標準抵抗関数である。 R_c は、各セルの充電抵抗である。上記式（2）の argmin は、最小値を与えるパラメータを求める関数を意味する。 argmin を求めるための実際の解法は、準ニュートン法を用いてもよい（岸根健彦ほか「サイジング効果付き記憶制限準ニュートン法」，2001年日本オペレーションズリサーチ学会、秋季研究発表会）

次に、ステップS 5 5にて、セルjのアンバランス量（電池パックが満充電になった時の各セルのSOC）の（以下 $SOC_u(j, k)$ と記載する。）を計算する。

[0057] セルjが満充電になるときの電荷（充電）は、次の式で表される。 $SOCI_j$ は

セルjの初期SOCであり、 $Q_{\max_j}$ はセルjの電荷容量（Ah容量）である。

$$[0058] \quad (1 - \text{SOCI}_j \div 100) \times Q_{\max_j}$$

電池パックとしては、どれか一つのセルが満充電になった場合、電池パックが満充電であるため、次の式で表される電荷 Q_f が充電されたときに、電池パックが満充電となる。

$$[0059] \quad Q_f = \min [(1 - \text{SOCI}_j \div 100) \times Q_{\max_j}]$$

このため、電池パックが満充電になった時の各セルのSOCは、次の式で表される。

$$[0060] \quad \text{SOC} = \text{SOCI}_j + 100 \times Q_f / Q_{\max_j}$$

このときのセルjのSOCがアンバランス量（ $\text{SOC}_u(j)$ と表記する。）となる。アンバランス状態が解消した場合には、このアンバランス量は全てのセルで100%となる。これは全てのセルのアンバランス量が100%のとき、電池パックのエネルギー容量が最大になる。

[0061] したがって、この計算式は、下記式（6）及び式（7）で表される。セルjのアンバランス量 $\text{SOC}_u(j, k)$ は、電池パックを満充電にした際の各セルのSOCである。 $Q_f(k)$ は、電池パックが満充電、すなわち、いずれかのセルが満充電になるまでの電荷（Ah）である。

[0062] [数6]

$$\text{SOC}_u(j, k) = 100 \frac{Q_f(k)}{Q_{\max}(j, k)} + \text{SOCI}(j, k) \quad \dots (6)$$

[0063] [数7]

$$Q_f(k) = \min_j \left\{ Q_{\max}(j, k) \times \left(1 - \frac{\text{SOCI}(j, k)}{100} \right) \right\} \quad \dots (7)$$

[0064] 次に、ステップS 5 6において、セル番号jがセル直列数Nになったかどうかを判定する。セル番号がNになったときには、ステップS 5 8に処理を移す。そうでない場合は、ステップS 5 7において、セル番号を一つ増やし、ステップS 5 4を繰り返す。ステップS 5 8においては、充電番号が最新の充電かどうかを判定し、Yesならば、ステップS 5 9に処理を移し、ステップS

53に移る。そうでない場合には、処理を終了する。

[0065] 図5の処理は、定期的に、例えば一日毎に行う。また、既に処理の終わっている充電データは対象外とする。本図は、一台の車両についての処理を示したものであるが、車両が複数台ある場合には、その台数分処理をする。

[0066] 本図の処理の後に、各セルのSOC時系列のみならず、SOCの充電毎の初期値、抵抗の係数 $P_j(k)$ 、 $Q_j(k)$ 及び $Q_{\max}(j, k)$ が求められる。 $P_j(k)$ 及び $Q_j(k)$ は、上記式(4)における定数である。これらの情報をSOCデータ群109のDBに蓄積する。

[0067] 次に、一定電流で放電した際、各セル j が放電停止になるSOC ($SOC_e(j)$ と表記する。)を求める。なお、電池パックの放電終了は、いずれか一つのセルが最低電圧 V_m になった時となるため、次の非線形方程式を解くことにより、 $SOC_e(j)$ が求められる。

$$[0068] \quad V_m = OCV(SOC_e(j)) - I_d \times R_d(SOC_e(j))$$

式中、 I_d は放電電流であり、 R_d は現時点の放電抵抗であり、SOCによる関数である。

つまり、 R_d は、電池テーブル104に格納された放電抵抗テーブルの標準値に、前述した抵抗の係数 P_j をかけて Q_j を足したものである。放電する際の初期値を $SOC_u(j)$ とすると、 $SOC_e(j) = SOC_u(j) - 100 \times Q / Q_{\max_j}$ の関係となるため、セル j の放電電荷 $Q_d(j)$ は、次の式で表される。

$$[0069] \quad Q_d(j) = \{SOC_u(j) - SOC_e(j)\} \times Q_{\max_j} \div 100$$

どれか一つのセルが最低電圧になったら電池パックとしては放電を停止するため、次の式で表される Q_d が放電されたら、電池パックは放電停止となる。

$$[0070] \quad Q_d = \min[\{SOC_u(j) - SOC_e(j)\} \times Q_{\max_j} \div 100]$$

したがって、セル j のSOCの範囲は、 $SOC_u(j)$ から $SOC_u(j) - 100 \times Q_d / Q_{\max_j}$ までとなる。このSOCの積分範囲でセル j の電圧 $v_j(t)$ の平均値 V_{a_j} は、下記式(8)で表される。

[0071] [数8]

$$V_{a_j} = \int \{OCV(SOC_j(t)) - I_d \times R_d(SOC_j(t))\} dt \quad \dots (8)$$

[0072] これにより、電池パックのエネルギー容量 $P_{\max}$ は、下記式（９）を用いて計算できることになる。

[0073] [数9]

$$P_{\max} = \sum V_{a_j} \times Q_{\max_j} \quad \dots (9)$$

[0074] 以上の計算結果を現時点の電池パックエネルギー容量とする。そして、SOC₀(j)を100として同様に計算し、アンバランス解消後の電池パックエネルギー容量を算出する。これらの値を計算し、ユーザに通知することができる。

[0075] 以上の原理の下、図１の電池パックエネルギー容量計算手段１０８における処理の例を示すフロー図を図６に示す。

[0076] 本図の処理は、図５の処理と同期している必要はなく、ユーザが電池パックのエネルギー容量を知りたいときに計算してもよいし、一日に一度又は一週間に一度計算してもよい。

[0077] 本図の処理は、Ｓ６１の移動平均ステップと、Ｓ６２の充電番号初期設定ステップと、Ｓ６３のセル番号初期設定ステップと、Ｓ６４の現時点での電池パックエネルギー容量計算ステップと、Ｓ６５のバランスング解消後エネルギー容量計算ステップと、Ｓ６６のセルループ終了ステップと、Ｓ６７のセル番号アップステップと、を含む。

[0078] まず、ステップＳ６１において、SOCデータ群１０９に蓄積されている $Q_{\max}(j, k)$ を k に対して移動平均値を算出する。この際、下記式（１０）及び（１１）は、“SOCの分散×データ数”の比とした。“SOCの分散×データ数”の比とした理由は、SOC変化幅の小さなデータ又は数の少ないデータは、誤差が大きくなるため、この誤差の大きなデータの重み w_k を小さくするためである。また、ステップＳ６１は、省略してもよい。

[0079] [数10]

$$Q_{\max} = \sum_k Q_{\max}(k) w_k \quad \dots (10)$$

[0080]

[数11]

$$w_k = \frac{\sum_{t \in N(k)} (\text{SOC}(k, t) - \overline{\text{SOC}(k)})^2}{\sum_k \sum_{t \in N(k)} (\text{SOC}(k, t) - \overline{\text{SOC}(k)})^2}$$

式中、 $N(k)$ は、充電データ k に含まれる時刻集合

... (11)

$\overline{\text{SOC}(k)}$ は、時刻集合 $N(k)$ における $\text{SOC}(k, t)$ の移動平均値

[0081] ステップS 6 1においては、 $P_j(k)$ 、 $Q_j(k)$ 及び $\text{SOC}_u(j)$ についても、上記式 (1 0) 及び (1 1) と同様の方法により移動平均値を算出する。

[0082] 次に、ステップS 6 2において、充電番号 k を1にセットし、ステップS 6 3において、 $P_j(k)$ 及び $Q_j(k)$ から、25℃、SOC50%における各セルの現時点の充電抵抗が、25℃、SOC50%の標準充電抵抗に対して何倍になっているかという倍率を求める。この倍率は、放電抵抗の倍率と同じものとみなし、放電時の電池パックのエネルギー容量を求める際に用いる。

[0083] これは、25℃での標準抵抗テーブル $R_f(\text{SOC})$ を用い、 $P_j(k) + Q_j(k) / R_f(\text{SOC}50\%)$ として求めることができる。SOC50%としているが、必ずしもSOC50%である必要はなく、放電抵抗と充電抵抗とが一致しているようなSOCの値ならどの値でもよい。

[0084] 次に、ステップS 6 4で現行の電池パックエネルギー容量を計算する。これは各セルが温度Temp、一定放電 I_d で放電した場合に、セル j が最低電圧 V_m に到達した時のSOC (以下 $\text{SOC}_e(j)$ と記載する。) を求める。なお、 SOC_e は、 SOC_u から求めることができる。具体的には、各セルを放電する際には、 $\text{SOC}_u(j, k) - 100Q / Q(j, k)$ として各セルのSOCが求められる。ここで、 Q は、電池パックの放電Ah容量である。そして、各セルの電圧は、 $\text{OCV}(\text{セル}j\text{のSOC}) - I \times \text{放電抵抗}(\text{温度}, \text{セル}j\text{のSOC})$ のため、これが V_m となる方程式を解けばよい。この場合における放電抵抗は、25℃の標準抵抗テーブルに前述した充電抵抗の倍率をかけたものである。

[0085] そして、 $\text{SOC}_e(j)$ から $\text{SOC}_u(j)$ までの間のセル電圧を積分したものに、 $Q_{\max}(j, k)$ をかけたものの総和とする。

[0086] ここで、この電池パック充電電荷の計算について説明する。

- [0087] 図7Aは、電池パックにアンバランス状態が生じている状態における各セルの電圧を示すグラフである。横軸に電池パック全体の放電量、縦軸に各セルの電圧を示している。
- [0088] 本図においては、各セル j ($j=1, \dots, N$) の曲線 $SOC_u(j)$ が示されている。通常、曲線 $SOC_u(j)$ は、それぞれの曲線の左端及び右端が一致していない。これがアンバランス状態である。
- [0089] 本図に示すように、各セルのアンバランス状態が生じているため、電池パックが満充電になったときには、各セルの SOC_u は同じでなく、ばらばらの値である。そして、電池パックが空になった時の各セルの SOC は SOC_e となる。このため、各セルの電圧を SOC_e から SOC_u までの間の積分値（本図において灰色に塗りつぶした部分）が各セルのエネルギー容量となる。電池パック全体のエネルギー容量は、各セルのエネルギー容量の総和として計算される。
- [0090] 図6のステップS65においては、アンバランス解消後のエネルギー容量を計算する。これは、アンバランス状態を解消したとしたときに ($SOC_u(j)100\%$)、電池パックエネルギー容量を同様に計算したものである。
- [0091] 図7Bは、電池パックのアンバランス状態を解消した後の状態における各セルの電圧を示すグラフである。
- [0092] 本図に示すように、アンバランス状態を解消すると、各セルの電圧を SOC_e から SOC_u までの間の積分値が増加するため、電池パック全体として使用可能なエネルギー容量が増えることになる。
- [0093] 図6のステップS66においては、最新の充電になっているかを判定し、なっていない場合は、ステップS67において充電番号を一つ増やし、ステップS63に処理を移す。最新の充電番号になったとき、処理を終了する。
- [0094] これらの電池パックのエネルギー容量とアンバランス状態が解消した後の電池パックのエネルギー容量とは、ユーザに通知される。
- [0095] （第2の実施形態）
本実施形態は、図1のテーブル設定手段105を説明する。テーブルには、OCVテーブル、充電抵抗テーブル、放電抵抗テーブルの3つがある。初めに

0CVテーブルの設定手段を述べ、次に、充電抵抗テーブル、放電抵抗テーブルの設定手段を述べる。

- [0096] これは、通信データの中に電池パックの代表SOCの有無のパターン、新車の電池パックの容量確認試験をするかしないかのパターン、正負極の材料が判っているかどうかのパターン毎にテーブルの設定手段が変わる。ここで、電池パックの容量確認試験とは、電池パックを満充電にした後に、微小一定電流で電池パックが空になるまで放電する試験をいう。
- [0097] テーブルの自動生成の方法は、初めに新車の満充電試験の通信データを用いて0CVテーブルを作成する。また、電池パックの代表SOCが通信データにある場合には、過去の駐車前後の各セル電圧及び電池パックSOCの情報により0CVテーブルを作成する。0CVテーブルが得られた後、もし放電抵抗テーブル、充電抵抗テーブルが無ければ、新車の満充電試験の通信データ（電池パックの電流、各セルの電圧、温度の時系列）を用いて放電抵抗テーブルを作成する。また、蓄えられていた通信データを検索し、電池パックの代表SOCと、充電器で充電中の電流、各セルの電圧及び温度データから、充電抵抗テーブルを作成する。
- [0098] ここで、電池パックの代表SOCとは、電池パックに含まれる複数のセルからBMUが一つセルを選択しており、その選択されたセルのSOCのことを指す。BMUがどのセルを選択しているかは不明である。
- [0099] 初めに、電池パックの代表SOCが通信データにあり、かつ、新車の電池パックの容量確認試験をする場合について説明する。この場合には、新車からある程度走行し、電池パックのエネルギー容量はまだ計算できないが、EVのデータが蓄積されている状態とする。
- [0100] この場合には、新車の状態から暫く走行した状態に至る範囲における通信データの中で、駐車直後（充電器で充電した後、例えば1000秒後、1500秒後であってもよい。）の各セル電圧を抽出する（EV以外では入荷後に暫く運用し、蓄電システムの充放電を停止している前後のデータとなる）。そして、横軸にその時のSOC、縦軸に各セル電圧をプロットする。実際には、ソフトウ

エアによる処理であるため、プロットは要しないが、説明のためにプロットと表現している。ここで、電池パックの代表SOCの値自体に誤差があること、及び電池パックの代表SOCの値であることから、各セルのSOCの値ではない。

[0101] このように、各セル電圧データと電池パックの代表SOCとを全てプロットしたグラフにおいては、データが散らばる。言い換えると、相関係数が低くなる。この散らばったデータより、SOCに対してOCVが得られる関数であるOCV(SOC)を同定する。この操作を「関数近似」と呼ぶ。関数近似の種類としては、スプライン関数を用いる方法、各点を通るように区分線形とする方法、及びニューラルネットを用いる方法がある。このほか、 $F(x;a)$ （例えば $F=ax^2-10$ ）のように、引数及び不明パラメータを規定した関数を用いて、データと関数で得られた値との二乗誤差や絶対値誤差が最小になるように不明パラメータ a を決め、関数を同定する方法がある。

[0102] 以下、スプライン関数を用いる場合と $F(x;a)$ で引数及び不明パラメータを規定した関数で関数を同定する方法、それぞれについて説明する。

[0103] まず、スプラインで関数近似する方法について述べる。

[0104] 同じ電圧でのデータだけでSOCの平均を取ること、または同じSOCのデータだけで電圧の平均を取ることにより、SOCとOCVとの関係テーブルを作成してもよい。この場合には、スプラインにてOCVとSOCとを関数近似してもよい。

[0105] 次に、 $F(x;a)$ で引数及び不明パラメータを規定した関数で関数を同定する方法について述べる。別途、正負極の材料が判っているならば、正負極の放電量毎の電位が判るため、その正負極電位差をOCVとして関数近似すればよい。

[0106] 以上の原理を元に、電池パック診断システムにおける電池テーブルのOCVテーブルの設定方法の例を示すフロー図を図8に記す。図8においては、スプラインによる関数近似と $F(x;a)$ で引数及び不明パラメータを規定した関数で関数を同定する方法のそれぞれを説明している。

[0107] 本図においては、電池テーブル中のOCVテーブルの設定方法は、S81の駐車直後のデータ抽出ステップと、S82のデータプロットステップと、S8

3の平均化ステップと、を含む。

- [0108] 本図に示すように、ステップS 8 1において、EV通信データのログより、駐車直後の各セル電圧及び電池パックの代表SOCのデータを抽出する。ここで、セルのアンバランス状態が起こっている可能性があるため、スミルノフグラブス検定（竹内啓ほか「統計学辞典」，東洋経済新報社）又はディクソンの検定法（G.K. カンジ「逆引き統計学」，講談社2015年8月20日第3刷）により、外れ値と判断される電圧データを取り除くものとする。
- [0109] 次に、ステップS 8 2において、駐車直後（充電器で充電終了後例えば1500秒後であってもよい。）の各セル電圧及びその時の電池パックの代表SOCをプロットする。実際には、プログラムで自動処理するため、このステップは、実行されないが、説明のためにこのステップを設けている。
- [0110] 次に、ステップS 8 3において、電圧データ範囲を区切り、それぞれの範囲内でのデータで平均を取る。図中、ステップS 8 3のグラフにおける黒丸がその平均データである。ここでは、SOC及び電圧の両方の平均を取っている。そして、黒丸がOCV(SOC)のデータとして設定する。ここで、もし、SOC0%の電圧及びSOC100%の電圧が提供されているならば、それらのデータをSOCに追加する。
- [0111] この黒丸をスプライン又は区分線形で補間し、関数OCV(SOC)を規定する。
- [0112] 本図の方法は、関数OCVが不明の場合の処理である。
- [0113] 次に、もし別途、正負極の材料が判り、正負極の単独材料毎の電位テーブルが判っている場合には、関数OCVが規定できるため、ステップS 8 3は関数近似となる。この場合において、電位テーブルを用いる際には、電位テーブルの各SOC に対する放電抵抗の倍率と正負極の放電のずれ量とを未知パラメータとして関数OCVを関数近似により求める。
- [0114] この処理の概要について、図9を用いて説明する。
- [0115] 図9は、放電曲線解析を利用して電池テーブルのOCVを関数近似する例を示す図である。
- [0116] 本図の上段においては、正極電位の関数 $F_p(x)$ 及び負極電位の関数 $F_n(x)$ がそ

れぞれ、個別のグラフとして示されている。横軸 x は放電量[Ah/g]、縦軸は電位[V]である。 $F_p(x)$ 及び $F_n(x)$ は、テーブルデータとして与えられる。

[0117] ここで、放電のずれを考慮すると、所定の計算により正極容量、負極容量及びLi損失が得られる。また、 x とSOCとは、線形の関係になる。

[0118] よって、関数OCVは、次の式で表されることになる。 a_p, s_p, a_n, s_n は定数である。

$$[0119] \quad OCV = F_p(a_p \times x - s_p) - F_n(a_n \times x - s_n)$$

ここで、SOCと放電量 x との関係は線形の関係であるため、仮に $x = p \times SOC + q$ (p 及び q は定数である。)とおくと、OCVは、次の式で表すことができる。

$$[0120] \quad OCV(SOC) = F_p(a_p \times (p \times SOC + q) - s_p) - F_n(a_n \times (p \times SOC + q) - s_n)$$

この関数OCVは、 $B_p = a_p \times q - s_p$, $A_p = -a_p \times p$, $B_n = a_n \times q - s_n$, $A_n = -a_n \times p$ とおくことにより、下記式(12)のように書き直すことができる。

[0121] [数12]

$$OCV(SOC) = F_p(B_p - A_p \times SOC) - F_n(B_n - A_n \times SOC) \quad \dots (12)$$

[0122] また、上記式(12)のSOCに0又は100を代入することにより、下記式(13)及び(14)が得られる。

[0123] [数13]

$$OCV(0) = F_p(B_p) - F_n(B_n) \quad \dots (13)$$

[0124] [数14]

$$OCV(100) = F_p(B_p - 100A_p) - F_n(B_n - 100A_n) \quad \dots (14)$$

[0125] 式中、OCV(0)は、SOC0%時のOCVで与えられる値である。また、OCV(100)は、SOC100%時のOCVで与えられる値である。

[0126] 本図の下段においては、正極電位 F_p 、負極電位 F_n 及び $F_p - F_n (=OCV)$ を1つのグラフに表している。上記式(12)、(13)及び(14)において、OCV(0)及びOCV(100)はそれぞれ、SOC0%、SOC100%における電位で制約される。言い換えると、曲線 $F_p - F_n$ の左端及び右端の値により制約される。

[0127] OCV(0)及びOCV(100)の値が与えられているため、OCVは、パラメータ B_p , B_n , A_p , A_n の4つの不定パラメータのうち実質2つのパラメータが消え、2つの不定パラメータを持つ関数となる。残りの2つのパラメータの不定性を同定するため、OCV(SOC, 不明パラメータ)の関数近似を実施する。

[0128] 具体的には、OCV(SOC)の実データを $OCV_{real}(SOC)$ とおき、例えば下記式(15)で定義される関数 E を最小化するような不明パラメータを探索する。

[0129] [数15]

$$E = \sum [OCV_{real}(SOC) - OCV(SOC, \text{不明パラメータ})]^2 \quad \dots (15)$$

[0130] 上記式(15)は、同一のSOCに対しての二乗誤差を示すが、上記式(12)により与えられる曲線とOCV及びSOCのペア実データとの距離を尺度として最小化してもよい。

[0131] ここで、 $OCV(0) = F_p(B_p) - F_n(B_n)$ であることから、不明パラメータ B_p は、次の式で B_n により表される。

$$B_p = F_p^{-1}(OCV(0) + F_n(B_n))$$

同様に、OCV(100)の式(上記式(14))より、 A_p が B_p , B_n 及び A_n で表される。

[0133] B_p が B_n で表されるため、 A_p は、 B_n 及び A_n で表されることになる。すなわち、 B_n 及び A_n の2つが不明パラメータとなる。また、 A_p 及び B_p を不明パラメータとしてもよい。 F_p^{-1} は、 F_p の逆関数である。 F_p は、データで表される関数であり、例えばスプライン関数で表現されるため、逆関数は、スプライン関数を用いて容易に算出することができる。なお、以下の説明において、他の関数 f についても、 f^{-1} は、 f の逆関数を表すものとする。

[0134] そのようにして決めた上記式(12)より、SOCの値を0から100まで値を振って計算したそれぞれのOCVの数値を電池テーブル内のOCV(SOC)にセットする。

[0135] なお、ここではSOC0%とSOC100%での電圧が固定された場合を示すが、SOC100%時の電圧のみ固定された場合もあり得る。この場合には、不明パラメータ

を A_n 、 B_n 及び A_p の3つとしてもよいし、 A_n 、 B_n 及び B_p の3つとしてもよい。

[0136] さらに、データ中に充電器で充電した電荷容量（これを $Q[Ah]$ とする。）の情報がある場合には、次の制約条件が付け加えられることになる。

[0137] $OCV^{-1}(\text{充電後各セル電圧}) - OCV^{-1}(\text{充電前各セル電圧}) = 100 \times Q \div (\text{各セルの } Q_{max})$

この場合には、上記式（15）の代わりに、極力、この制約条件に近づくように、上記の制約条件の式の左辺と右辺との差の2乗である、次の式が最小になるように、不明パラメータ A_n 、 B_n 及び各セルの Q_{max} を求めて、得られた A_n 及び B_n を用いてもよい。

[0138] $\{OCV^{-1}(\text{充電後各セル電圧}) - OCV^{-1}(\text{充電前各セル電圧}) - 100 \times Q \div (\text{各セルの } Q_{max})\}^2$

次に、OCVテーブルが設定された後に、充電抵抗テーブル及び放電抵抗テーブルの2通りを作成する方法について述べる。

[0139] 初めに、充電抵抗テーブル（関数の引数はSOCである。）の設定方法を述べる。ここで、初めに各セルのSOCを求める必要があるが、これは電池パックの代表SOCが得られているものとする。

[0140] 次に、充電器により、充電中の電流、電圧及び温度のデータを取得し、これらを元に、横軸にSOC、縦軸にセル充電抵抗をプロットする。ここで、セル充電抵抗は、次の式で表される。

[0141] セル充電抵抗 = (セル電圧 - OCV(SOC)) ÷ 充電電流

なお、各セル電圧で、アンバランス状態が起きている場合もあるため、前述したようにスミルノフグラブス検定やディクソンの検定で外れ値の電圧データは除去しておく。また、抵抗のパラメータには温度が含まれているため、3次元のグラフとしてプロットしてもよい。この場合、x軸にSOC、y軸に温度、z軸にセル充電抵抗をプロットする。

[0142] 次に、関数近似にて、下記式（16）を仮定する。

[0143] [数16]

$$R_c(\text{SOC}, T_{\text{cell}}) = \exp\{B / (T_{\text{cell}} + 273.15) - B / (25 + 273.15)\} \times R_c(\text{SOC}, 25^\circ\text{C}) \quad \dots (16)$$

- [0144] 上記式（１６）は、アレニウスの式で、 B をここでは温度感度と呼ぶことにする。 T_{cell} はセルの温度とする。 R_c は充電抵抗を示す。この仮定により、 B がわかれば、実際の充電抵抗データとセルの温度 T_{cell} より、温度 25°C の充電抵抗のデータに換算することができる。このようにして 25°C のデータに換算した後に、OCVを同定する場合と同様にして、充電抵抗テーブルを設定してもよい。
- [0145] ここで、 B を設定する必要があるため、同じSOCのデータのみを集める。具体的には、例えばSOC32.5%以上SOC37.5%未満のデータをSOC35%のデータとみなし、それをSOC5%からSOC95%まで集計する。その同じSOCとみなしたデータを用いて、横軸を温度、縦軸を充電抵抗としたデータを得、上記式（１６）の温度関数と仮定して、 B を最小二乗法により同定する。SOC5%からSOC95%までのそれぞれの B の平均値を用いてもよい。
- [0146] 続いて、電池パックの代表SOCがない場合の充電抵抗の設定方法について述べる。この場合には、新車の電池パックの容量確認試験を実施するものとする。
- [0147] 容量確認試験の場合には、SOC0%からSOC100%までの充電を実施した後、OCVテーブルより、各セルの充電前及び充電後のSOCが得られる。充電中の電流より、充電した電荷量が得られるため（この充電した電荷量を Q とする。）、 Q を充電前後のSOCの差で割ることにより、各セルの電荷容量が算出できる。
- [0148] このようにして得られた各セルの電荷容量 Q_{max_i} （ i はセル番号）を用いて、以降の充電器による充電中の各セルのSOCが上記式（１）により算出できる。
- [0149] SOCが判るならば、前述した方法と同じく、電池パックのSOCの代わりに、このSOCを利用すればよい。ここで、電池は劣化するため、 Q_{max_i} の値は下がるものの、数か月は、 Q_{max} の値が変わらないと仮定する。
- [0150] 次に、正負極の材料が判っており、かつ、正極の充電抵抗及び放電抵抗のテーブル、負極の充電抵抗及び放電抵抗のテーブル、並びに正極及び負極の温度感度 B が判っている場合について説明する。
- [0151] この場合には、前述した放電曲線解析で得られた A_n, B_n, A_p, B_p と、セル標準正極抵抗を $R_p(x)$ 及びセル標準負極抵抗を $R_n(x)$ （ R_p, R_n は、予め材料の特性デー

タで与えられる関数)とを用いて、下記式(17)によりセル標準25℃抵抗 R_s (SOC, 25℃)を算出する。これは標準25℃の抵抗である。

[0152] [数17]

$$R_s(\text{SOC}, 25^\circ\text{C}) = R_p(B_p - A_p \times \text{SOC}) + R_n(B_n - A_n \times \text{SOC}) \quad \dots (17)$$

[0153] もし最初に0CVが与えられた場合には、逆に、0CVテーブル及び $F_p(x)$ 、 $F_n(x)$ より A_n 、 B_n 、 A_p 、 B_p を求める。

[0154] ただし、上記式(17)のセル標準25℃抵抗 $R_s(\text{SOC}, 25^\circ\text{C})$ は抵抗のバイアスを考慮していないこと、抵抗は絶対値としては不定であること、並びに劣化分の表現、セル毎のばらつき及び温度感度があることから、実際には、セル毎の抵抗 $R_{\text{cell}}(T_{\text{cell}})$ は、各セル定数A及びCを用いて、下記式(18)で表す。これは、放電曲線解析に限らず、前述した通信データから抵抗を同定した場合でも同様である。

[0155] [数18]

$$R_{\text{cell}}(T_{\text{cell}}) = \{A \times R_{\text{cell}}(25^\circ\text{C}) + C\} \times \exp\{B / (T_{\text{cell}} + 273.15) - B / (25 + 273.15)\} \quad \dots (18)$$

[0156] 上記式(18)の各セル定数A及びCは、ここでは未定として使用する。同定方法は、前述したようにSOCの算出過程での最適化で同定することになる。

[0157] (第3の実施形態)

第3の実施形態では、第2の実施形態において0CVテーブルを設定する際、通信データに電池パックの代表SOCが無い場合、かつ新車の電池パックの容量確認試験を実施する場合における0CVテーブル設定処理と放電抵抗テーブルの設定処理について説明する。

[0158] なお、この試験は、電池パックのエネルギー容量を確認するためのものであるため、その後再び充電して、充放電装置に繋いで放電試験を実施してもよい。

[0159] 初めに電池パックの電荷容量確認試験を実施する。EVをライトやエアコンディショナ(空調機)を付け、電池パックが空になるまで放電させる。

[0160] 次に、休止時間(例えば20分以上)を置き、充電器に接続して電池パック

を満充電する。この際に、各セルの電圧と電池パックのパック電流を通信で取得する。充電終了後、電池パックの電流を時間積分して電池パックの電荷容量 $Q_{\text{pack, max}}$ が求められる。その $Q_{\text{pack, max}}$ より、今度は、ライトやエアコンディショナで一定時間放電し、その後休止を繰り返し、電池パックのSOCを0にする。

[0161] ここで、休止時間を置く理由は、次のとおりである。電池の充放電を行うと、分極による電圧変動が起き、OCVとずれる。この分極は、電池の充放電を止めてから長い時間（電池によるが1000秒が目安）を経過して0Vに到達する。このため、1000秒程度（およそ20分以上）の休止を入れることにより、電圧をOCVに一致させる。

[0162] この試験終了後に、通信データのログを用い、電池パック電流を積分して、横軸に休止終了時の電池パック電流積分（満充電時を初期値0とする。）、縦軸に休止終了直前の各セル電圧をプロットする。横軸を $\text{SOC} = 100 - 100 \times \text{電流積分} \div \text{電流積分最終値}$ とすることで、SOCに変換できる。この変換後のグラフのデータを関数近似することにより、OCVテーブルを作成する。別途正負極の材料が判っているならば、同様に、正負極電位差をOCVの関数として関数近似してもよい。

[0163] まとめると、OCVの関数データは、電池パックの充放電のない休止状態前後のそれぞれのセルの電圧及びSOCを用いて、関数近似により求めることができる。

[0164] この場合、前述した新車の電池パックの容量確認試験を実施するものとする。このときに、セルの電荷容量は、電池パックのSOC0%から100%までの充電時に判る。アンバランス状態が発生しているセルは、満充電の時に電圧が低くなるため、そのセルは、集計から除外する。このため、各セルのSOCを $100 \times \text{充電電流の積分} \div \text{セルの満充電容量}$ とする。

[0165] また、エアコンディショナ及びライトで一定時間放電している間の電圧をそのままOCVとしてもよい。

[0166] この効果として、SOCの情報が通信データにない場合でも、OCVを設定する

ことが可能になる。

- [0167] 次に、OCVテーブルを同定できた後に、充電抵抗テーブル及び放電抵抗テーブルを作成する方法について述べる。
- [0168] 初めに、充電抵抗テーブル（関数の引数はSOC）の設定方法を述べる。ここで、初めに各セルのSOCを求めることが望ましいが、電池パックの代表SOCが得られる場合には、この値を代用してもよい。電池パックの代表SOCが得られない場合は、前述した新車の電池パックの容量確認試験を実施するものとする。この場合には、セルの電荷容量は、電池パックのSOC0%から100%までの充電時に判るため（アンバランス状態が発生しているセルは、満充電の時に電圧が低くなるため、このセルは集計から除外する。）、各セルのSOCを $100 \times \text{充電電流の積分} \div \text{セルの満充電容量}$ とする。
- [0169] 次に、充電中のデータを元に、横軸にSOC、縦軸に充電抵抗をプロットする。ここで、充電抵抗は、 $(\text{セル電圧} - \text{OCV}(\text{SOC})) \div \text{充電電流}$ を計算することにより求める。この充電抵抗は、一定電流で充電した場合の条件下の抵抗であり、過渡状態での抵抗とは異なる。
- [0170] 次に、前述した方法と同様に、関数近似により、SOCを引数とする充電抵抗テーブルを作成する。もし正負極の単独材料毎の充電抵抗テーブル（電荷容量の関数）があるならば、前述した方法と同様に、充電抵抗の関数近似を実施する。ここで、OCVの関数近似との違いは、液抵抗が不明であるが、これはSOCによらない一定の定数であるため、これをバイアスBとして関数近似の対象とすればよい。
- [0171] なお、OCVを正極電位と負極電位で関数近似した後、抵抗テーブルは、正極の抵抗テーブルに横方向の倍率をかけた関数と、負極の抵抗テーブルに横方向の倍率をかけて正負極ずれ量をシフトした関数を足して合成することにより求めてもよい。
- [0172] 続いて、SOCを引数とする放電抵抗テーブルの設定方法を述べる。
- [0173] この放電抵抗テーブルは、後述する電池パックのエネルギー容量を計算する際に必要となる。高いSOC（例えばSOC20%以上）のデータは必要ない。また

、一定電流又はほぼ一定電流になるように放電する時の抵抗が望ましい。

[0174] 前述した新車の電池パックの容量確認試験を実施したものとするならば、最初に、エアコンディショナやライトをつけてSOC0%まで放電するときのデータを用い、その間における電流及び各セル電圧を用い、充電抵抗と同様の方法で、放電抵抗テーブルが得られる。なお、運用中に、EVが走行していたときの蓄積データより推定する方法もあるが、この場合には、電池の通信データの時間間隔がほぼ1秒以下の場合に限られる。

[0175] (第4の実施形態)

第1の実施形態において、アンバランス状態の解消後に、将来のエネルギー容量（以下「アンバランス解消後の容量」と呼ぶ。）を推定し、現時点の電池パックの交換時期を予測する。このためには、過去のアンバランス解消後の容量時系列を記憶して、その時系列を元に未来予測をし、アンバランス解消後の容量が交換基準（例えばカタログエネルギー容量の80%や70%）に到達する日時を計算することによって得られる。この日時が電池パックの交換時期となる。

[0176] 図10は、電池パックの交換時期の計算方法の例を示すフロー図である。

[0177] まず、ステップS101において、過去のアンバランス解消後の容量時系列により、劣化を関数近似する。ここで、近似により得られた関数を「電池パックの劣化を示す関数」という。

[0178] この未来予測の方法としては、線形で近似してもよく、ARMA（自己回帰移動平均）若しくはワイブル分布で近似してもよい。

[0179] 線形で時間に対する傾き（「劣化の傾き」と呼ぶことにする。）を近似した場合、時間に対する傾きは、急速充電頻度、電池の平均温度、平均SOC、駐車時間頻度、走行距離、日々平均充電Ah等の影響を受けることになる。このため、同じ型番の電池パックで、様々な車両を集計し、時間に対する劣化傾きを、急速充電頻度、電池の平均温度、平均SOC、駐車時間頻度、走行距離、日々平均充電Ahで関数近似する。この関数近似の方法としては、線形としてもよいし、ニューラルネットを使ってもよい。

[0180] そのようにして作成した劣化の傾きの関数を元に、同じ型番の電池で、他の車両の寿命予測関数を作成してもよい。具体的には、他の車両での急速充電頻度等は決まるため、そのパラメータを元に傾きを決まる。

[0181] そして、現時点のパックのエネルギー容量と劣化の傾きと交換基準のエネルギー容量とにより、交換時期が決まる。言い換えると、寿命予測関数＝（交換基準のエネルギー容量）の方程式を解くことにより、交換時期を決定する（ステップS102）。

[0182] この交換時期は、ドライバーに通知される（ステップS103）。

[0183] また、劣化の傾きの関数にて傾きに寄与する要因（例えば急速充電頻度）を抽出して、その要因をユーザに通知してもよい。ユーザは、通知された要因を元に、例えば急速充電頻度を下げるといった行動をとり、電池の寿命を延ばすようにすることになり、いわば電池寿命延長のガイダンスとなる。また、急に劣化の傾きが大きくなった場合には、ドライバーに通知する。言い換えると、劣化の傾き（進行速度）が所定の値以上となった場合には、ドライバーに通知する。この通知により、ユーザに電池が突然使用不能となる予兆を知らせることになる。

[0184] ここで、ARMAを用いた時には、各ARMAの係数を同様に急速充電頻度等で関数近似すればよい。アンバランス解消後の容量の劣化をワイブル分布で近似した場合には、電池パックのエネルギー容量 $P_{\max}$ は、下記式（19）又は（20）により近似する。

[0185] [数19]

$$P_{\max} = P_{\max, \text{ini}} \times \exp\{-(t/\tau)^m\} \quad \dots (19)$$

[0186] 式中、 m は、正の定数であり、 $m < 1$ のとき、最初に急に減少し、その後緩やかに減少する。また、 $m > 1$ のときは、初めは緩やかに減少し、後に急に0に近づき、突然使用不能となる。 τ は、時定数である。 $P_{\max, \text{ini}}$ は、電池パックのエネルギー容量の初期値である。

[0187]

[数20]

$$P_{\max} = P_{\max, \text{ini}} \times \exp\{-(t/\tau_1)^m\} \times \exp\{-(t/\tau_2)^n\} \quad \cdots (20)$$

[0188] 式中、 m 、 n は、正の定数であり、 $m < 1$ 、 $n > 1$ である。 τ_1 、 τ_2 は、時定数である。

[0189] 上記式(19)は、普通のリチウムイオン電池にみられるような初期に急に減少する関数、若しくは、負極にシリコンを用いたリチウムイオン電池のように、負極の膨張収縮による機械劣化で突然使用不能となるタイプの劣化を示す関数を示す。

[0190] 上記式(20)は、その2つの特性を示す関数として合成したものである。

[0191] 上記式(19)を用いた場合には、 m 及び τ を過去のアンバランス解消後の容量時系列で同定することになる。そして、急速充電頻度等で更に m 及び τ を関数近似することになる。

[0192] 上記式(20)を用いる場合では、 m 、 n 、 τ_1 、 τ_2 を過去のアンバランス解消後の容量時系列で同定することになる。そして、さらに、 m 、 n 、 τ_1 、 τ_2 を急速充電頻度等で関数近似すればよいことになる。

[0193] なお、上記式(20)を用いた場合には、 τ_1 により、突然使用不能となるタイミングを知ることができる。具体的には、時間 t が τ_1 になってからが突然使用不能となるタイミングとなる。

[0194] (第5の実施形態)

第1の実施形態において、電池パックのエネルギー容量(以下「アンバランス解消前容量」と呼ぶ。)およびアンバランスが解消した後の電池パックのエネルギー容量(以下「アンバランス解消後の容量」と呼ぶ。)が推定された際、ユーザへの通知方法について説明する。

[0195] 図11は、電池容量テーブルの例を示す表である。

[0196] 本図においては、No.1の車両IDは、EVの識別番号IDを示す。No.2の電池IDは、車両IDのEVに内蔵されている電池の識別番号IDを示す。No.3の電池型式

は、No.2の電池の型式を示す。No.4の初期容量は、初期の電池パックのエネルギー容量又は定格容量を示す。No.5の初期航続走行距離は、EVに内蔵されている初期の電池が満充電の時に航続走行可能な距離を示す。No.6の使用開始年月日は、車両が出荷販売され使用開始した日付を示す。

[0197] No.7の「通知1：アンバランス解消前容量」は、ユーザに通知を行う際のアンバランス解消前容量の閾値条件を示す。No.8の「通知2：アンバランス解消後の容量」は、ユーザに通知を行う際のアンバランス解消後の容量の閾値条件を示す。No.9の「通知3：アンバランス容量」は、ユーザに通知を行う際のアンバランス容量の閾値条件を示す。ここで、アンバランス容量とは、アンバランス解消後の容量とアンバランス解消前容量との差の値である。No.10の「通知4：査定価格の差」は、EV用査定価格と定置用査定価格との差の条件値である。

[0198] ここで、EV用査定価格とは、電池パックをEVに用いる場合の査定価格をいう。また、定置用査定価格とは、電池パックをEV以外に用いる場合の査定価格をいい、分散型エネルギーを蓄積するための蓄電装置等に電池パックを適用する場合の電池パックの査定価格である。

[0199] 本図の各項目は、ユーザからの入力により予め設定される。

[0200] No.7～No.10は、ユーザに通知をするための条件を表しており、入力により変更されることもある。

[0201] 本図のNo.7～No.10のような通知をするための条件は、アンバランス解消前容量、アンバランス解消後の容量、アンバランス解消前容量の変化率、アンバランス解消後の容量の変化率、EVの走行距離、電池パックの急速充電回数、電池の温度閾値超過回数、EV用査定価格、定置用査定価格の値を条件として設定される。ここで、電池の温度閾値超過回数は、電池パック又は電池パックを構成するセルのいずれかの温度が閾値を超えた回数である。

[0202] これらの他にも、複数の条件のAND条件またはOR条件として追加することもできる。例えば、アンバランス解消前容量が78.0以下かつアンバランス解消後の容量が80.0以下という条件を満たすとき、走行距離が30万km以上かつア

ンバランス解消後の容量が80.0以下という条件を満たすとき、急速充電回数が3000回以上かつアンバランス解消後の容量が80.0以下という条件を満たすとき、温度閾値超過回数が1000回以上またはアンバランス解消後の容量が80.0以下という条件を満たすとき、などである。また、No.7のアンバランス解消前容量やNo.8のアンバランス解消後の容量の条件は、No.4の初期容量に対する割合・パーセントで設定することもできるし、No.5の初期航続走行距離に対する現時点の可能な航続走行距離の割合・パーセントという条件で設定することもできる。現時点の可能な航続走行距離は、現時点のアンバランス解消前容量から計算できるからである。

[0203] また、現時点のアンバランス解消後の容量と、アンバランス解消後の容量の変化率とから、未来の、例えば半年後のアンバランス解消後の容量を計算し、通知することもできる。また、未来のアンバランス解消後の容量を計算することにより、値が予め設定した閾値、例えば80.0未満になる時期を予測し、その時期を通知することもできる。

[0204] 図12は、電池診断結果テーブルの例を示す表である。

[0205] No.1の車両IDは、EVの識別番号IDを示す。No.2の電池IDは、車両IDのEVに内蔵されている電池の識別番号IDを示す。No.3の最初の計算時刻は、この車両の電池診断計算が初めてなされた時の日時を示す。No.4の最後の計算時刻は、この車両の電池診断計算が最後になされた時の日時を示す。

[0206] No.5～No.12は、最後の計算時に設定される。

[0207] No.5のアンバランス解消前容量、及びNo.6のアンバランス解消後の容量は、電池パックのエネルギー容量に関する計算結果である。

[0208] No.7～No.9は、電池パックのエネルギー容量計算時にEVから通信によりサーバーが入手した車両または電池の履歴データであり、No.7が走行距離、No.8が急速充電回数、No.9が温度閾値超過回数である。ここで、温度閾値超過回数とは、車載電池に取り付けられた温度センサの温度値が、予め定められたある閾値温度（例えば65℃）以上になった回数をいう。

[0209] No.10のEV用査定価格は、現時点車両に内蔵されている電池を外してEV用電

池として販売する価格を推定計算した値、No. 11の定置用査定価格は、現時点車両に内蔵されている電池を外して定置用電池として販売する価格を推定計算した値、No. 12のステータスは、計算結果が通知すべき状態にある項目を示すものである。

[0210] ある車両に設置され電池のアンバランス解消前容量およびアンバランス解消後の容量が計算された際、図 1 のサーバー 100 の結果通知手段（図示していない。）は、図 12 の電池診断結果テーブルをその車両のNo. 1の車両IDで検索し、No. 4の計算終了時刻を現時点時刻で更新し、No. 5のアンバランス解消前容量、No. 6のアンバランス解消後の容量も更新する。さらに、EVから通信によりサーバーが入手したNo. 7の走行距離、No. 8の急速充電回数、No. 9の温度閾値超え回数も更新する。さらに、No. 6のアンバランス解消後の容量、No. 7の走行距離、No. 8の急速充電回数、No. 9の温度閾値超え回数から計算し、No. 10のEV用査定価格、No. 11の定置用査定価格も更新する。

[0211] この計算は、過去にEV用電池として販売されたデータ、定置用電池として販売された価格データと、その販売された電池の履歴、つまりNo. 6アンバランス解消後の容量、No. 7走行距離、No. 8急速充電回数、No. 9温度閾値超え回数との相関関数として計算される。

[0212] 上記更新の後、結果通知手段は、図 11 の電池容量テーブルをその車両のNo. 1の車両IDで検索し、No. 7～No. 9の通知条件を調べる。図 12 の電池診断結果テーブルの更新値が通知条件に一致するなら、ユーザに対して通知する。通知は、画面表示、メール通知、メッセージ通知などの通常の計算機または計算機間の通知手段を用いる。また、通知したことを、No. 12のステータスに表示する。

[0213] 例えば、図 12 では、No. 5のアンバランス解消前容量が77.8kWh、No. 6のアンバランス解消後の容量が80.8kWh、No. 10のEV用査定価格が808,000円、No. 11の定置用査定価格が716,400円と計算されたとする。これらの結果は、図 11 のNo. 7の通知 1 の条件が78.0kWh以下であるため、通知 1 が通知される。また、図 11 のNo. 10の通知 4 の条件が $808,000 - 716,400 = 91,600$ 円と100,000

円以下であるため、通知4が通知され、図12のNo.12のステータスにも表示されている。

[0214] 以下、本開示から得られる効果についてまとめて説明する。

[0215] バッテリーマネジメントユニット（BMU）内には、balancing回路が組み込まれているため、アンバランス状態が起こっても、いずれはbalancing回路により回復する。よって、アンバランスが解消された状態におけるエネルギー容量（真の実力値）を算出すれば、電池パックの交換時期を正確に推定することができる。

[0216] EVの電池パックの現時点のエネルギー容量のみならず、アンバランス状態が解消された状態におけるエネルギー容量をも計算する手段を提供することができる。

[0217] エネルギー容量のトレンドを鑑み、電池パックをいつ交換すべきかを通知する手段を提供することができる。

[0218] テーブル作成のために電池の状態を測定するという操作を不要とすることができる。また、セル毎に満充電時におけるSOCのばらつきと電荷容量とを計算することにより、セル電圧が揃っていない状況（balancingがうまく働かない状況）、又はセルの電荷容量が揃っていない状況下でも、電池パックとしてのエネルギー容量を求めることができる。

符号の説明

[0219] 100：サーバー、101：電気自動車、102：通信デバイス、103：記憶装置、104：電池テーブル、105：テーブル設定手段、106：運用中電池パックエネルギー計算手段、107：SOC計算手段、108：電池パックエネルギー容量計算手段、109：SOCデータ群、201：セル、202：温度センサ、203：セル群、204：電流計、205：バッテリーマネジメントユニット、206：ネットワーク、401：OCVテーブル、402：充電抵抗テーブル、403：放電抵抗テーブル、S51：充電中データ抽出ステップ、S52：充電番号初期設定ステップ、S53：セル番号初期設定ステップ、S54：SOC求解ステップ、S56：セルループ終了判定ステップ

プ、S 5 7 : セル番号アップステップ、S 5 8 : 充電番号終了判定ステップ、S 5 9 : 充電番号アップステップ、S 6 1 : 移動平均ステップ、S 6 2 : 充電番号初期設定ステップ、S 6 3 : セル番号初期設定ステップ、S 6 4 : 現電池パックエネルギー容量計算ステップ、S 6 5 : バランシング解消後エネルギー容量計算ステップ、S 6 6 : セルループ終了ステップ、S 6 7 : セル番号アップステップ、S 8 1 : 駐車直後のデータ抽出ステップ、S 8 2 : データプロットステップ、S 8 3 : 平均化ステップ。

請求の範囲

- [請求項1] 複数のセルが直列に接続された構成を有する電池パックの電流及び温度並びにそれぞれの前記セルの電圧を含む検出データを得るシステムを用いて前記電池パックを診断する方法であって、
- 前記電流及び前記温度並びにそれぞれの前記セルの前記電圧、OCVのSOC関数及び抵抗テーブルを用いて、それぞれの前記セルの電荷容量及びSOCを算出し、前記電池パックを満充電にした場合におけるそれぞれの前記セルのSOCの推定値であるアンバランス量及び抵抗を算出する工程と、
- 前記電荷容量、前記アンバランス量及び前記抵抗を用いて、前記電池パックのエネルギー容量を算出する工程と、を含む、電池パックの診断方法。
- [請求項2] 複数のセルが直列に接続された構成を有する電池パックの電流及び温度並びにそれぞれの前記セルの電圧を含む検出データを得るシステムを用いて前記電池パックを診断する方法であって、
- 前記電流及び前記温度並びにそれぞれの前記セルの前記電圧、OCVのSOC関数及び抵抗テーブルを用いて、それぞれの前記セルの電荷容量及びSOCを算出し、前記電池パックを満充電にした場合におけるそれぞれの前記セルのSOCの推定値であるアンバランス量及び抵抗を算出する工程を含む、セルの診断方法。
- [請求項3] 前記検出データは、5秒未満の時間間隔で取得する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項4] 前記検出データは、5秒未満の時間間隔で取得する、請求項2記載の診断方法。
- [請求項5] 前記検出データは、5秒以上の時間間隔で取得する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項6] 前記検出データは、5秒以上の時間間隔で取得する、請求項2記載の診断方法。

- [請求項7] 前記電池パックの前記エネルギー容量は、現時点の前記エネルギー容量及びアンバランス解消後の前記エネルギー容量の両方を算出する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項8] それぞれの前記セルの推定電圧と実電圧との差の二乗和を最小化するそれぞれの前記セルの前記電荷容量、前記SOCの初期値及び前記抵抗の係数を求める、請求項1記載の診断方法。
- [請求項9] 前記セルの前記SOCの初期値及び前記電荷容量並びに前記セルのいずれかが満充電になるまでの電荷を用いて、前記電池パックが満充電になった時のそれぞれの前記セルの前記SOCを求める、請求項1記載の診断方法。
- [請求項10] 前記電池パックを満充電から放電し、前記セルのいずれかが最低電圧になった時を前記電池パックの放電終了時として、前記最低電圧、放電電流、OCVテーブル及び放電抵抗テーブルを用いて、それぞれの前記セルの放電終了SOCを求め、前記満充電になった時から前記放電終了時までのそれぞれの前記セルの平均電圧を求め、前記平均電圧とそれぞれの前記セルの前記電荷容量との積の総和を現時点の前記エネルギー容量とする、請求項1記載の診断方法。
- [請求項11] 前記電池パックの前記エネルギー容量についての閾値条件を満たすか否かを判定した結果をユーザに通知する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項12] 前記電池パックの前記エネルギー容量のデータを用いて、前記電池パックの劣化を示す関数を求め、
この関数から前記電池パックの交換時期を予測し、
前記交換時期をユーザに通知する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項13] 前記劣化を示す関数から、前記劣化の進行速度が所定の値以上となる時期を予測し、その時期をユーザに通知する、請求項12記載の診断方法。
- [請求項14] アンバランス解消後の前記エネルギー容量は、前記現時点の前記エ

エネルギー容量の算出の際に用いる前記積の前記総和の算出と同様の計算により求める、請求項 10 記載の診断方法。

- [請求項15] それぞれの前記セルについての前記OCVの関数データを得る工程と、
- 、
- 前記関数データ及び前記検出データを用いて、それぞれの前記セルの前記抵抗テーブルを作成する工程と、を更に含む、請求項 1 記載の診断方法。
- [請求項16] 前記関数データは、前記電池パックの充放電のない休止状態前後のそれぞれの前記セルの前記電圧及び前記SOCを用いて、関数近似により求める、請求項 15 記載の診断方法。
- [請求項17] 前記検出データは、前記電池パックの代表SOCを含み、
- 前記SOCとしては、前記代表SOCが用いられる、請求項 15 記載の診断方法。
- [請求項18] 前記セルの前記抵抗テーブルは、前記関数データ及び前記代表SOC並びに前記検出データのうちの過去のものを用いて、前記温度毎及び前記SOC毎に対応させた前記セルの充電時における前記抵抗のデータを、前記OCVと前記セルの前記電圧との差を前記セルの前記電流で割った値として、関数近似により求める、請求項 15 記載の診断方法。
- [請求項19] 前記電池パックの容量確認試験を実施することにより、それぞれの前記セルの前記電圧を測定し、
- その電圧の値を用いて、前記OCVの前記関数データを求める、請求項 15 記載の診断方法。
- [請求項20] 前記セルの正極材料及び負極材料が既知である場合は、
- 前記正極材料及び前記負極材料の電位テーブルを用いて、前記OCVの前記関数データを関数近似により求める、請求項 15 記載の診断方法。
- [請求項21] 前記抵抗テーブルは、前記関数近似により求めた前記OCVの前記関数データと正極及び負極の抵抗テーブルとを用いて作成する、請求項

20記載の診断方法。

- [請求項22] 前記電池パックは、電気自動車に内蔵され、
前記検出データは、前記電気自動車の内部又は外部に設置された診断装置に送信され、
前記診断装置が前記電池パックのエネルギー容量を算出する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項23] 前記診断装置は、前記電気自動車の外部に設置され、複数の前記電気自動車の前記検出データを受信し、それぞれの前記電気自動車の前記電池パックの前記エネルギー容量を算出する、請求項22記載の診断方法。
- [請求項24] 前記電池パックは、電気自動車に内蔵され、
前記電気自動車の走行距離、前記電池パックの急速充電回数、前記電池パックの前記温度が閾値を超えた回数、前記電池パックを前記電気自動車に用いる場合の査定価格、及び前記電池パックを前記電気自動車以外に用いる場合の査定価格のうち少なくとも1つを閾値条件として満たすか否かを判定した結果をユーザに通知する、請求項1記載の診断方法。
- [請求項25] SOC計算部と、電池パックエネルギー容量計算部と、抵抗テーブルを有する記憶装置と、を備え、
前記SOC計算部は、複数のセルが直列に接続された構成を有する電池パックの電流及び温度並びにそれぞれの前記セルの電圧、OCVのSOC関数及び前記抵抗テーブルを用いて、それぞれの前記セルの電荷容量及びSOCを算出し、前記電池パックを満充電にした場合におけるそれぞれの前記セルのSOCの推定値であるアンバランス量及び抵抗を算出し、
前記電池パックエネルギー容量計算部は、前記電荷容量、前記アンバランス量及び前記抵抗を用いて、前記電池パックのエネルギー容量を算出する、電池パックの診断装置。

- [請求項26] SOC計算部と、抵抗テーブルを有する記憶装置と、を備え、
- 前記SOC計算部は、複数のセルが直列に接続された構成を有する電池パックの電流及び温度並びにそれぞれの前記セルの電圧、0CVのSOC関数及び前記抵抗テーブルを用いて、それぞれの前記セルの電荷容量及びSOCを算出し、前記電池パックを満充電にした場合におけるそれぞれの前記セルのSOCの推定値であるアンバランス量及び抵抗を算出する、セルの診断装置。