

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7280161号
(P7280161)

(45)発行日 令和5年5月23日(2023.5.23)

(24)登録日 令和5年5月15日(2023.5.15)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 1 R	31/392 (2019.01)	G 0 1 R	31/392
H 0 1 M	10/48 (2006.01)	H 0 1 M	10/48 P
G 0 1 R	31/396 (2019.01)	H 0 1 M	10/48 3 0 1
G 0 1 R	31/374 (2019.01)	G 0 1 R	31/396
H 0 2 J	7/00 (2006.01)	G 0 1 R	31/374
請求項の数 14 (全16頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2019-182417(P2019-182417)	(73)特許権者	000005108
(22)出願日	令和1年10月2日(2019.10.2)		株式会社日立製作所
(65)公開番号	特開2021-60198(P2021-60198A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43)公開日	令和3年4月15日(2021.4.15)	(74)代理人	110002572
審査請求日	令和4年4月7日(2022.4.7)		弁理士法人平木国際特許事務所
		(72)発明者	ミフタフラティブ エムハ パユ
			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	河野 亨
			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
		審査官	島 崎 純一
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 電池状態推定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の電池セルを有する電池システムの状態を推定する電池状態推定装置であって、

前記電池セルの放電直後の休止期間における出力電圧の時間微分、前記休止期間における前記電池セルの温度、および前記電池セルの劣化状態の間の対応関係を記述した対応関係データを格納する記憶部、

前記対応関係データを用いて前記電池セルの劣化状態を算出する演算部、

を備え、

前記演算部は、前記複数の電池セルの出力電圧と電池温度の測定結果を記述した測定データを取得し、

前記演算部は、前記測定データが記述している測定結果のなかから、前記電池システムが有する第1電池セルの第1出力電圧を取得するとともに、前記第1電池セルの第1温度を取得し、

前記演算部は、前記測定データが記述している測定結果のなかから、前記電池システムが有する第2電池セルの第2出力電圧を取得するとともに、前記第2電池セルの第2温度を取得し、

前記演算部は、前記第1出力電圧の時間微分と前記第1温度を用いて前記対応関係データを参照することにより、前記第1電池セルの第1劣化状態を推定し、

前記演算部は、前記第2出力電圧の時間微分と前記第2温度を用いて前記対応関係データを参照することにより、前記第2電池セルの第2劣化状態を推定し、

前記演算部は、前記第 1 劣化状態と前記第 2 劣化状態を用いて、前記第 1 劣化状態と前記第 2 劣化状態との間の差分に対応する、前記電池システム全体の劣化状態を評価するパラメータを求めることにより、前記電池システム全体の劣化状態を推定する

ことを特徴とする電池状態推定装置。

【請求項 2】

前記演算部は、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も大きい最大電圧、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も小さい最小電圧、または、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧の平均電圧、

のうちいずれかを前記第 1 出力電圧として取得するとともに、残り 2 つのうちいずれかを前記第 2 出力電圧として取得し、

10

前記演算部は、前記第 1 出力電圧の時間微分と前記第 2 出力電圧の時間微分を用いて前記対応関係データを参照することにより、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化していないもの、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化しているもの、または、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態の平均、

のうち少なくとも 2 つを取得し、それらを用いて前記電池システム全体の劣化状態を推定する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【請求項 3】

20

前記演算部は、

前記複数の電池セルそれぞれの温度のうち最も高い最高温度、

前記複数の電池セルそれぞれの温度のうち最も低い最低温度、または、

前記複数の電池セルそれぞれの温度の平均温度、

のうちいずれかを前記第 1 温度として取得するとともに、残り 2 つのうちいずれかを前記第 2 温度として取得し、

前記演算部は、前記第 1 温度と前記第 2 温度を用いて前記対応関係データを参照することにより、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化していないもの、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化しているもの、または、

前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態の平均、

のうち少なくとも 2 つを取得し、それらを用いて前記電池システム全体の劣化状態を推定する

30

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【請求項 4】

前記演算部は、前記第 1 劣化状態と前記第 2 劣化状態を用いて、前記電池システム全体の劣化状態を表す評価パラメータを求め、

前記演算部は、前記評価パラメータを用いて、前記電池システムが、初期劣化状態、偶発劣化状態、または摩耗劣化状態のうちいずれにあるのかを推定する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

40

【請求項 5】

前記演算部は、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も大きい最大電圧、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も小さい最小電圧、または、

前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧の平均電圧、

のうちいずれかを前記第 1 出力電圧として取得するとともに、残り 2 つのうちいずれかを前記第 2 出力電圧として取得し、

前記演算部は、前記第 1 電池セルが第 3 劣化状態から第 4 劣化状態に到達するまでに要する第 1 充放電サイクル数を取得し、

前記演算部は、前記第 2 電池セルが前記第 3 劣化状態から前記第 4 劣化状態に到達する

50

までに要する第 2 充放電サイクル数を取得し、

前記演算部は、前記第 1 充放電サイクル数と前記第 2 充放電サイクル数を用いて、前記評価パラメータを算出する

ことを特徴とする請求項 4 記載の電池状態推定装置。

【請求項 6】

前記演算部は、

前記複数の電池セルそれぞれの温度のうち最も高い最高温度、

前記複数の電池セルそれぞれの温度のうち最も低い最低温度、または、

前記複数の電池セルそれぞれの温度の平均温度、

のうちいずれかを前記第 1 温度として取得するとともに、残り 2 つのうちいずれかを前記第 2 温度として取得し、

前記演算部は、前記第 1 電池セルが第 3 劣化状態から第 4 劣化状態に到達するまでの間は、前記第 1 電池セルが前記第 1 温度の時間平均値を有すると仮定して、前記評価パラメータを算出し、

前記演算部は、前記第 2 電池セルが前記第 3 劣化状態から前記第 4 劣化状態に到達するまでの間は、前記第 2 電池セルが前記第 2 温度の時間平均値を有すると仮定して、前記評価パラメータを算出する

ことを特徴とする請求項 4 記載の電池状態推定装置。

【請求項 7】

前記演算部は、前記第 1 劣化状態と前記第 2 劣化状態を用いて、前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態の分布を推定し、

前記演算部は、前記分布を用いて、前記電池システムの故障率を推定する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【請求項 8】

前記演算部は、前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も大きい最大電圧を前記第 1 出力電圧として取得し、

前記演算部は、前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧のうち最も小さい最小電圧を前記第 2 出力電圧として取得し、

前記演算部は、前記複数の電池セルそれぞれの出力電圧の平均電圧を第 3 電圧として取得し、

前記演算部は、前記最大電圧の時間微分を用いて前記対応関係データを参照することにより、前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化しているものを前記第 1 劣化状態として取得し、

前記演算部は、前記最小電圧の時間微分を用いて前記対応関係データを参照することにより、前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態のうち最も劣化していないものを前記第 2 劣化状態として取得し、

前記演算部は、前記平均電圧の時間微分を用いて前記対応関係データを参照することにより、前記複数の電池セルそれぞれの劣化状態の平均を第 3 劣化状態として取得し、

前記演算部は、前記第 1 劣化状態、前記第 2 劣化状態、および前記第 3 劣化状態を用いて、前記分布を推定する

ことを特徴とする請求項 7 記載の電池状態推定装置。

【請求項 9】

前記演算部は、前記第 1 劣化状態、前記第 2 劣化状態、および前記第 3 劣化状態を用いて、少なくとも前記分布の最頻値を算出することにより、前記分布を推定する

ことを特徴とする請求項 8 記載の電池状態推定装置。

【請求項 10】

前記演算部は、前記分布を用いて、前記電池セルの劣化状態の上限許容値と下限許容値を算出し、

前記演算部は、前記複数の電池セルのうち前記上限許容値を超えたものまたは前記下限許容値を下回ったものの割合にしたがって、前記電池システムの故障率を推定する

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 7 記載の電池状態推定装置。

【請求項 1 1】

前記演算部は、前記分布のうち前記上限許容値を超えた部分の第 1 面積と、前記分布のうち前記下限許容値を下回った部分の第 2 面積とを算出し、

前記演算部は、前記分布の面積に対する前記第 1 面積の割合と、前記分布の面積に対する前記第 2 面積の割合とを用いて、前記複数の電池セルのうち前記上限許容値を超えたものまたは前記下限許容値を下回ったものの割合を算出する

ことを特徴とする請求項 1 0 記載の電池状態推定装置。

【請求項 1 2】

前記電池状態推定装置はさらに、前記電池システムの劣化状態の推定結果を出力する出力部を備える

10

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【請求項 1 3】

前記電池システムは、定置型の電池システムである

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【請求項 1 4】

前記演算部は、前記電池システムから前記測定データを通信により取得する

ことを特徴とする請求項 1 記載の電池状態推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0 0 0 1】

本発明は、2 次電池セルの状態を推定する技術に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

2 次電池の状態（例えば劣化状態（State of Health: SOH））を電池運用時において推定することは、蓄電池システム、電気自動車、その他同様の電池関連システムにおいて重要である。電池の寿命予測も電池の残寿命を推定するために重要である。

【0 0 0 3】

電池状態測定において、電池の特性は電池温度と強い関係を有している。蓄電池システムにおいて、電池セルの温度は変化する。したがって、電池温度を考慮した測定方法が必要である。具体例としては、電池温度に依拠する電池インピーダンスの温度特性をあらかじめ記録しておき、これを用いて電池状態を推定するものがある（特許文献 1 と 2）。

30

【0 0 0 4】

電池システムは複数の電池セルを有しており、各電池セルの SOH は製造工程によってばらつきがある。このばらつきは電池セル内のサブモジュールの温度分布によってさらに大きくなる。この温度分布は電池セルの劣化を加速させる要因となる。温度が高い電池セルは温度が低い電池セルよりも速く劣化する。SOH が最も低い電池セルは抵抗値が最も高いので、温度上昇をさらに加速する。その結果、電池システム全体の性能は最低 SOH の電池セルによって引き下げられることになる。SOH の分布を測定せず平均 SOH のみを測定する場合、電池システムが急激に損耗する可能性がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 5】

【文献】特開 2 0 1 8 - 0 9 1 7 1 6 号公報

特開 2 0 1 9 - 0 3 9 7 6 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

特許文献 1 と 2 は、電池温度は電池システム内で均一であると想定している。またこれら文献は、インピーダンス測定のために正弦波または矩形波を必要とするので、回路構成

50

が複雑になる。さらに、インピーダンスの温度特性を測定するために周波数応答を処理する必要があるので、分析処理が複雑である。

【 0 0 0 7 】

温度に依存するパラメータを用いて S O H を推定する場合、測定時に電池温度を知る必要がある。特許文献 1 と 2 のように既知の関数を用いて電池状態を推定する方法は、温度が均一な電池セルの状態を個別に推定する際には有用である。しかし電池システム内の S O H 分布を推定するためには、電池システム内の温度分布も考慮する必要があると考えられる。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記のような課題に鑑みてなされたものであり、電池セルの S O H 分布を考慮して、電池システム全体の劣化状態を正確に推定することができる電池状態推定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明に係る電池状態推定装置は、電池セルの休止期間における出力電圧の時間微分と電池温度との間の対応関係を用いて電池セルの S O H を推定し、複数の電池セルの S O H を用いて電池システム全体の劣化状態を推定する。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る電池状態推定装置によれば、電池セルの温度分布を S O H の推定結果に対して反映することができる。これにより、電池セルの S O H 分布を考慮して、電池システム全体の劣化状態を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】実施形態 1 に係る電池状態推定装置 1 0 0 の構成図である。

【図 2】演算部 1 1 0 が電池システム 2 0 0 の劣化状態を推定する手順を説明するフローチャートである。

【図 3】電池電圧の経時変化を例示するグラフである。

【図 4】対応関係データ 1 2 1 の例である。

【図 5】評価パラメータ E a を算出する手順を説明するグラフである。

【図 6】E a と充放電サイクルの経時変化を示すグラフである。

【図 7】実施形態 2 において演算部 1 1 0 が電池システム 2 0 0 の劣化状態を推定する手順を説明するフローチャートである。

【図 8】電池システム 2 0 0 内における各電池セル 2 1 0 の S O H の分布の例である。

【図 9】S O H 分布に対して下限閾値と上限閾値をセットした例である。

【図 1 0 A】S O H が閾値を逸脱していく過程を模式的に示す図である。

【図 1 0 B】S O H が閾値を逸脱することによる S O H 分布の変化を模式的に示す図である。

【図 1 0 C】故障率を簡易的に求める例を説明する模式図である。

【図 1 1】故障率曲線の例である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

< 本発明の基本的な考え方について >

定置型の蓄電池システムは通常、バランスコントローラによって電池システム全体の容量を均一化する。このバランスコントローラにより、劣化した電池セルの真の劣化状態が隠される可能性がある。またバランスコントローラにより、各電池セルの出力電圧のなかで最大のもの (V_{max})、各電池セルの出力電圧のなかで最小のもの (V_{min})、各電池セルの出力電圧の平均 (V_{ave}) は、ほぼ一定に保たれる。

【 0 0 1 3 】

本発明者は、電池セルの放電後の休止期間において、 V_{max} 、 V_{min} 、 V_{ave}

10

20

30

40

50

v e の間の差分が顕著となることを発見した。そこで本発明は、休止期間における電池電圧と電池温度との間の関係を用いて、電池システムの劣化状態を推定することを提案するものである。

【0014】

本発明者は、電池セルのSOHが、休止期間における電圧遷移特性と電池温度に対して強く関連していることを発見した。この電圧遷移特性は、温度依存である。休止期間における電圧遷移特性と電池温度との間の対応関係を用いることにより、電池セルのSOHを推定することができる。電圧遷移特性は、電圧の時間微分 (V/t) として表すことができる。これは休止期間の2つの時刻間における電圧差として計算できる。

【0015】

例えば最大温度の電池セルのSOHと最低温度の電池セルのSOHをそれぞれ経時的にモニタリングすることにより、電池セルの活性化エネルギー (E_a) と類似する評価パラメータを、電池システム全体の劣化状態評価指標として算出することができる。 E_a を用いて電池システム全体の劣化状態を分類することができる。詳細は実施形態1において説明する。

【0016】

さらに、 V_{max} 、 V_{min} 、 V_{ave} のうち少なくとも2つを用いて、電池セルのSOH分布を推定することができる。SOH分布のうち閾値を逸脱する部分の割合を用いて、電池システムの故障率を推定することができる。推定した故障率が劣化曲線のうちのどの部分に位置しているのかを特定することにより、電池システムの将来状態を予測することができる。詳細は実施形態2において説明する。

【0017】

<実施の形態1>

図1は、本発明の実施形態1に係る電池状態推定装置100の構成図である。電池状態推定装置100は、電池システム200の劣化状態を推定する装置である。電池システム200は、例えば定置型蓄電池システムである。電池状態推定装置100と電池システム200との間は、通信回線によって接続されている。通信回線としては、有線・無線いずれであってもよい。例えば適当な通信線、インターネットなどの通信ネットワーク、などを用いることができる。

【0018】

電池システム200は、電池セル210とバッテリー管理部220を備える。各電池セル210は、それぞれ測定回路を備える。測定回路は電池セル210の出力電圧と電池温度と電池電流を測定し、バッテリー管理部220に対して送信する。バッテリー管理部220は、各電池セル210から出力電圧と電池温度と電池電流を取得する。

【0019】

バッテリー管理部220は、各電池セル210の出力電圧のなかで最大のもの (V_{max})、各電池セルの出力電圧のなかで最小のもの (V_{min})、各電池セルの出力電圧の平均 (V_{ave})、を取得する。バッテリー管理部220はさらに、各電池セル210の電池温度のなかで最高のもの (T_{max})、各電池セル210の電池温度のなかで最低のもの (T_{min})、各電池セル210の電池温度の平均 (T_{ave})、を取得する。バッテリー管理部220はさらに、電池システム200の総電流 (I_{tot}) を取得する。 I_{tot} は各電池セル210の電池電流の総和として算出できる。バッテリー管理部220はこれら7つの値を記述した測定データ230を出力する。

【0020】

電池状態推定装置100は、演算部110と記憶部120と出力部130を備える。演算部110は通信回線を介して測定データ230を取得する。記憶部120は、後述する対応関係データ121を格納する記憶装置である。演算部110は、後述する手順にしたがって、測定データ230と対応関係データ121を用いて、電池システム200の劣化状態を推定する。出力部130は、その推定結果を出力する。

【0021】

10

20

30

40

50

図 2 は、演算部 110 が電池システム 200 の劣化状態を推定する手順を説明するフローチャートである。演算部 110 は、例えば所定周期ごとに本フローチャートを実施することができる。以下図 2 の各ステップについて説明する。

【0022】

(図 2：ステップ S201)

演算部 110 は、測定データ 230 を取得する。演算部 110 は、 I_{tot} の符号によって、電池システム 200 が放電期間後の休止期間であるか否かを判定できる。すなわち、 I_{tot} が正であれば放電期間であり、負であれば充電期間である。 I_{tot} が $0 \pm$ (は適当な判定閾値) であれば休止期間である。演算部 110 はこれらにしたがって、放電期間後の休止期間であるか否かを判定できる。演算部 110 は、 V_{ave} が判定閾値 V_{thres} 未満であればステップ S202 へ進み、それ以外であれば本フローチャートを終了する。

10

【0023】

(図 2：ステップ S202)

演算部 110 は、変数 $time$ に現在時刻 t_0 をセットする。

【0024】

(図 2：ステップ S203)

演算部 110 は、時刻 t_0 における V_{max} と時刻 $(t_0 + t)$ における V_{max} をそれぞれ取得する。演算部 110 は、これらの差分を時間 t によって除算することにより、 V_{max} の時間微分 (dV_{max}/dt) を算出する。演算部 110 は、 V_{min} と V_{ave} についても同様に時間微分 (dV_{min}/dt) と (dV_{ave}/dt) をそれぞれ算出する。各時間微分の関係については図 3 で例示する。

20

【0025】

(図 2：ステップ S204)

演算部 110 は、S203 において求めた各時間微分を用いて対応関係データ 121 を参照することにより、対応する電池セル 210 の SOH を算出する。 V_{max} に対応する電池セル 210 は SOH_{min} を有し、 V_{min} に対応する電池セル 210 は SOH_{max} を有し、 V_{ave} に対応する電池セル 210 は SOH_{ave} を有するものとする。対応関係データ 121 の例については図 4 で説明する。

【0026】

30

(図 2：ステップ S205)

演算部 110 は、S204 において求めた 3 つの SOH (SOH_{max} 、 SOH_{min} 、 SOH_{ave}) のうち少なくとも 2 つを用いて、電池システム 200 の劣化状態を表す評価パラメータ Ea を算出する。 Ea は例えば電池セル 210 の活性化エネルギーと同様の考え方にしたがって算出することができる。算出手順の具体例については図 5 で説明する。

【0027】

(図 2：ステップ S206)

演算部 110 は、S205 において算出した評価パラメータ Ea にしたがって、電池システム 200 の劣化状態を表す SOH ゾーンを推定する。SOH ゾーンの例については図 6 で説明する。

40

【0028】

図 3 は、電池電圧の経時変化を例示するグラフである。電池電圧の時間微分は放電期間後の休止期間において大きく変化する。また時刻 $t \sim t + t_0$ における 3 つの時間微分 dV_{max}/dt 、 dV_{min}/dt 、 dV_{ave}/dt は、それぞれ異なる値を有する。

【0029】

図 4 は、対応関係データ 121 の例である。電池電圧の時間微分 dV/dt と SOH との間の関係は、1 次関数 (図 4 の点線) によって近似することができる。ただし関数の傾きは電池温度ごとに異なる。そこで対応関係データ 121 は、図 4 の対応関係を表す関数

50

を電池温度ごとに記述することとした（または電池温度ごとの傾きを計算するための数式を併せて記述してもよい）。演算部 110 は、まず電池温度を用いて関数の傾きを特定することにより、図 4 の関数を確定する。演算部 110 は、確定した関数に対して、S203 で求めた時間微分を代入することにより、対応する SOH を求める。

【0030】

演算部 110 は、V_{max} を出力する電池セル 210 が T_{min} のもとで劣化すると仮定する。したがって演算部 110 は、T_{min} を用いて特定した関数に対して dV_{max}/dt を代入することにより、SOH_{max} を求める。演算部 110 は、V_{min} を出力する電池セル 210 が T_{max} のもとで劣化すると仮定する。したがって演算部 110 は、T_{max} を用いて特定した関数に対して dV_{min}/dt を代入することにより、SOH_{min} を求める。演算部 110 は、V_{ave} を出力する電池セル 210 が T_{ave} のもとで劣化すると仮定する。したがって演算部 110 は、T_{ave} を用いて特定した関数に対して dV_{ave}/dt を代入することにより、SOH_{ave} を求める。

10

【0031】

図 5 は、評価パラメータ E_a を算出する手順を説明するグラフである。ここでは SOH_{max} を有する電池セル 210 と SOH_{min} を有する電池セル 210 を用いる例を説明する。

【0032】

SOH_{max} を有する電池セル 210 が SOH1 から SOH2 へ劣化するまでの充放電サイクル数を N_{max} とし、SOH_{min} を有する電池セル 210 が SOH1 から SOH2 へ劣化するまでの充放電サイクル数を N_{min} とする。電池セル 210 の活性化エネルギーを E_a とすると、アレニウスの式から下記式 1 が成立する。k はボルツマン定数である。T_{max_ave} は、SOH1 から SOH2 までにおける T_{max} の平均値である。T_{min_ave} は、SOH1 から SOH2 までにおける T_{min} の平均値である。さらに式 1 から E_a を求めると、下記式 2 が得られる。

20

【0033】

【数 1】

$$\frac{\Delta N_{\min}}{\Delta N_{\max}} = \exp \left(-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{\max_ave}} - \frac{1}{T_{\min_ave}} \right) \right) \quad (1)$$

30

【0034】

【数 2】

$$E_a = -k \times \left(\frac{\ln(\Delta N_{\min}) - \ln(\Delta N_{\max})}{\left(\frac{1}{T_{\max_ave}} - \frac{1}{T_{\min_ave}} \right)} \right) \quad (2)$$

【0035】

式 2 は、SOH_{max} と SOH_{min} から算出したものであるから、電池システム 200 全体の状態を統計的に表していると仮定することができる。したがって式 2 の E_a は、電池システム 200 全体が仮想的に有する、活性化エネルギー類似の評価パラメータとして用いることができると考えられる。そこで S205 において演算部 110 は、E_a を電池システム 200 の劣化状態評価パラメータとして算出することとした。

40

【0036】

図 6 は、E_a と充放電サイクルの経時変化を示すグラフである。電池セル 210 の活性化エネルギーは、充放電サイクルを繰り返すのにもなって、図 6 のように経時変化することが知られている。電池システム 200 全体の劣化状態を表す E_a も同様に経時変化すると考えられる。そこで演算部 110 は S206 において、E_a の算出結果にしたがって

50

電池システム 200 の劣化状態を推定することができる。例えば図 6 に示すように、劣化状態を 3 つのゾーンに区分し、電池システム 200 が現在どのゾーンにあるのかを推定することができる。

【0037】

<実施の形態 1：まとめ>

本実施形態 1 に係る電池状態推定装置 100 は、測定データ 230 から 2 つ以上の電池セル 210 について電池電圧と電池温度を取得し、それらを用いて対応関係データ 121 参照することにより、それら電池セル 210 の SOH を求める。電池状態推定装置 100 はその SOH を用いて、電池システム 200 全体の劣化状態を推定する。これにより、 dV/dt の温度特性を考慮して、劣化状態を推定することができる。また 2 つ以上の電池セル 210 の SOH を用いることにより、電池システム 200 全体の劣化状態を推定することができる。

10

【0038】

本実施形態 1 に係る電池状態推定装置 100 は、SOH_{max} と SOH_{min} から評価パラメータ E a を算出する。E a は電池セル 210 の活性化エネルギーと同様の考え方にしたがって算出したものである。劣化状態を表している。また E a は SOH_{max} と SOH_{min} から算出したものである。電池システム 200 全体の状態を表している。これにより、電池システム 200 の温度特性を考慮して、電池システム 200 全体の劣化状態を推定することができる。

【0039】

20

<実施の形態 2>

実施形態 1 においては、活性化エネルギー類似の評価パラメータ E a を用いて、電池システム 200 全体の劣化状態を推定することを説明した。本発明の実施形態 2 では、E a に代えて、電池システム 200 内の各電池セル 210 の SOH の分布を推定し、その分布にしたがって電池システム 200 の故障率を推定する例を説明する。電池状態推定装置 100 と電池システム 200 の構成は実施形態 1 と同様である。

【0040】

図 7 は、本実施形態 2 において演算部 110 が電池システム 200 の劣化状態を推定する手順を説明するフローチャートである。S201 ~ S204 は図 2 と同じである。演算部 110 は、S205 ~ S206 に代えて S701 ~ S702 を実施する。

30

【0041】

(図 7：ステップ S701)

演算部 110 は、S204 において求めた 3 つの SOH (SOH_{max}、SOH_{min}、SOH_{ave}) のうち少なくとも 2 つを用いて、電池システム 200 内における各電池セル 210 の SOH の分布を推定する。推定手順の具体例については図 8 で説明する。

【0042】

(図 7：ステップ S702)

演算部 110 は、S701 において算出した SOH 分布にしたがって、電池システム 200 の故障率を推定する。故障率を推定する手順の例については、図 9 ~ 図 11 で説明する。

40

【0043】

図 8 は、電池システム 200 内における各電池セル 210 の SOH の分布の例である。演算部 110 は、3 つの SOH (SOH_{max}、SOH_{min}、SOH_{ave}) のうち少なくとも 2 つを用いることにより、各電池セル 210 の SOH の度数分布 (または確率分布) を推定することができる。図 8 においては 3 つの SOH を用い、下記定義にしたがって分布を推定した結果を示した。

【0044】

- ・ SOH の平均値 = SOH_{ave}
- ・ SOH の中央値 = (SOH_{max} + SOH_{min}) / 2

50

・SOHの最頻値 = $3 \times \text{中央値} - 2 \times \text{平均値} (= \text{SOH_mod})$

【0045】

上記例においては、3つのSOHを用いてSOH分布を推定しているが、少なくとも2つのSOHがあればSOH分布を推定することができる。例えばSOH分布が正規分布であると仮定すれば、SOH_maxとSOH_minを用いてSOH分布を推定できる。さらに、 $\text{SOH_ave} = (\text{SOH_max} + \text{SOH_min}) / 2$ と仮定することにより、SOH_aveとSOH_maxまたはSOH_aveとSOH_minを用いてSOH分布を推定できる。

【0046】

図9は、SOH分布に対して下限閾値と上限閾値をセットした例である。演算部110は例えば下記式にしたがって、SOH分布に対して下限閾値と上限閾値をセットする。SOH分布がいずれかの閾値を逸脱した場合、その逸脱部分に対応する電池セル210の劣化状態が異常であると推定することができる。Cpkは定数であり、例えばCpk = 1.33である。

【0047】

上限閾値 = $\text{SOH_mod} + (\text{SOH_max} - \text{SOH_mod}) * Cpk$

下限閾値 = $\text{SOH_mod} - (\text{SOH_max} - \text{SOH_mod}) * Cpk$

【0048】

図10Aは、SOHが閾値を逸脱していく過程を模式的に示す図である。時間経過とともに、3つのSOH(SOH_max、SOH_min、SOH_ave)のうちいずれかが閾値を逸脱する場合がある。図10AにおいてはSOH_minが下限閾値を逸脱する例を示した。演算部110は、測定データ230をサンプリングするごとに図8～図9で説明したSOH分布と上下限閾値を算出し、SOHが閾値を逸脱したか否かをそのサンプリングごとに判定する。

【0049】

図10Bは、SOHが閾値を逸脱することによるSOH分布の変化を模式的に示す図である。例えば図10AのようにSOH_minが下限閾値を逸脱すると、SOH分布が全体的に下限閾値側へ移動し、SOH分布の一部が下限閾値未満の領域へ突出する。SOH分布の面積に対するこの突出部分(図10Bの斜線部)の面積比を、電池システム200の故障率とみなすこととする。演算部110はこの面積比を算出することにより、電池システム200の故障率を算出する。

【0050】

図10Cは、故障率を簡易的に求める例を説明する模式図である。図10BにおいてはSOH分布の面積を用いて故障率を算出する例を示したが、SOH分布の形状を三角形で近似することにより、故障率計算を簡易化できる。例えばSOH_maxからSOH_minまでを底辺とし、SOH_modを頂点とする三角形を、SOH分布の近似形状とみなす。演算部110はこの三角形のうち閾値を逸脱した部分の面積比を、電池システム200の故障率として求めることができる。

【0051】

図11は、故障率曲線の例である。演算部110は、電池システム200の故障率と故障率曲線を用いることにより、電池システム200の劣化状態(例：摩耗故障期にあるか否か)を判定することができる。演算部110は、電池システム200の故障率と、これを用いて判定した劣化状態を、出力部130から出力する。

【0052】

<実施の形態2：まとめ>

本実施形態2に係る電池状態推定装置100は、3つのSOH(SOH_max、SOH_min、SOH_ave)のうち少なくとも2つを用いることにより、各電池セル210のSOHの度数分布を推定する。電池状態推定装置100は、推定したSOH分布を用いて、電池システム200の劣化状態を推定する。SOH分布を推定する際に、対応関係データ121を参照してSOHを取得することにより、実施形態1と同様にdV/dt

10

20

30

40

50

の温度特性を考慮して、劣化状態を推定することができる。また2つ以上の電池セル210のSOHを用いることにより、電池システム200全体の劣化状態を推定することができる。

【0053】

本実施形態2に係る電池状態推定装置100は、SOH分布のうち閾値を逸脱した部分の割合を算出することにより、電池システム200の故障率を算出する。これにより、電池システム200の温度特性を考慮しつつ、電池システム200全体が摩耗故障期にあるか否かなどを判定することができる。

【0054】

<本発明の変形例について>

本発明は、前述した実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

【0055】

以上の実施形態において、SOH_{max}とSOH_{min}を用いてE_aを算出する例を説明したが、SOH_{ave}を用いることもできる。すなわち、3つのSOH(SOH_{max}とSOH_{min}とSOH_{ave})のうち任意の2つの組み合わせを用いることもできるし、3つのSOHを全て用いることもできる。例えば3つのSOHのうち任意の2つの組み合わせをピックアップしてE_aを求め、その他の組み合わせについても同様にE_aを求め、それらを平均するなどの手法が考えられる。

【0056】

以上の実施形態において、対応関係データ121はあらかじめ記憶部120内に格納しておいてもよいし、電池状態推定装置100の外部から取得して記憶部120に格納してもよい。いったん格納した対応関係データ121を更新してもよい。

【0057】

以上の実施形態において、演算部110はその機能を実装した回路デバイスなどのハードウェアによって構成することもできるし、その機能を実装したソフトウェアをCPU(Central Processing Unit)などの演算装置が実行することによって構成することもできる。

【0058】

以上の実施形態において、出力部130は任意の形式で推定結果を出力することができる。例えば表示装置上に画面表示する、推定結果を記述したデータを出力する、などの形態が考えられる。

【0059】

以上の実施形態においては、電池システム200の例として定置型蓄電池システムを説明したが、その他電池システムにおいても本発明を適用することができる。例えば車載バッテリーシステムなどが考えられる。また電池システム200が備える電池セルとして2次電池を例示したが、2次電池の例としては例えばリチウムイオン電池、鉛蓄電池、ニッケル水素電池、電気2重層キャパシタ、などが考えられる。

【符号の説明】

【0060】

- 100：電池状態推定装置
- 110：演算部
- 120：記憶部
- 121：対応関係データ
- 130：出力部
- 200：電池システム

10

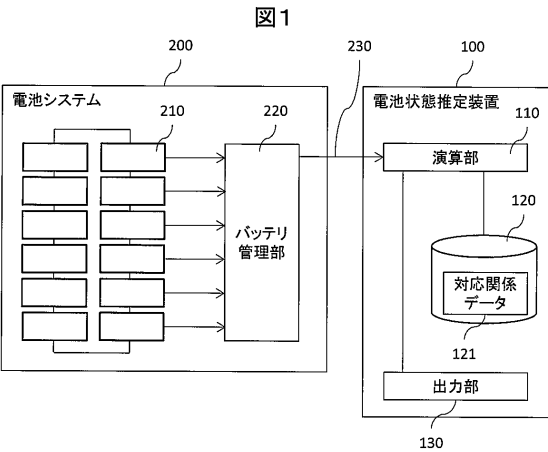
20

30

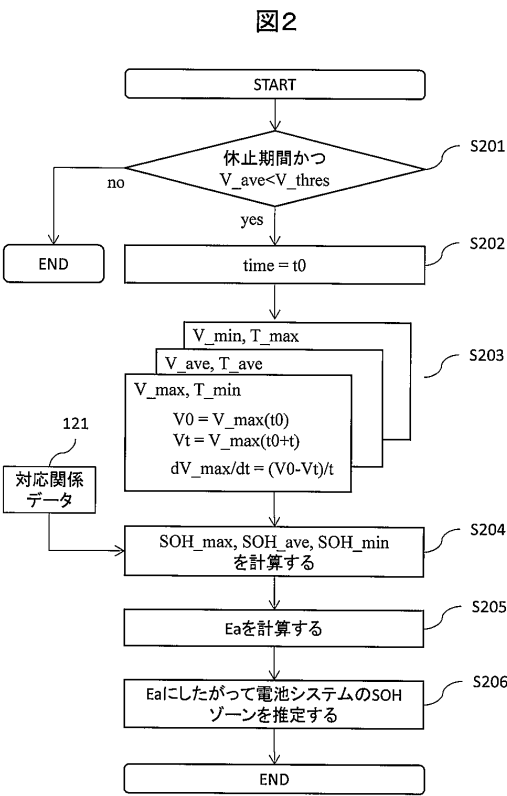
40

50

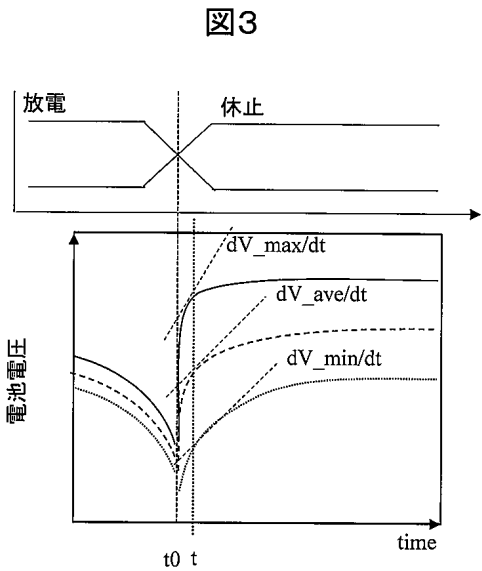
2 1 0 : 電池セル
2 2 0 : バッテリ管理部
2 3 0 : 測定データ
【図面】
【図 1】



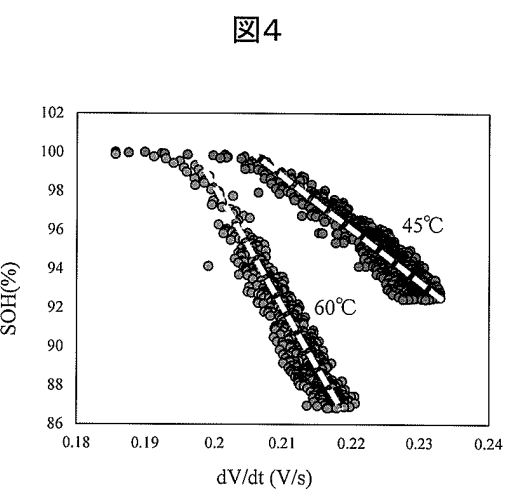
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

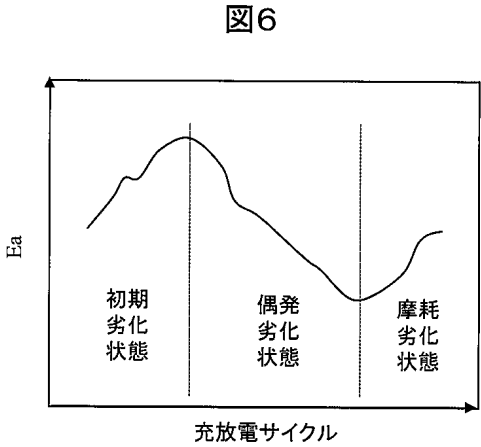
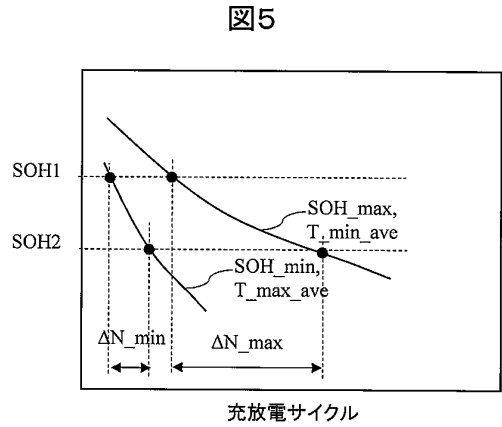
30

40

50

【図5】

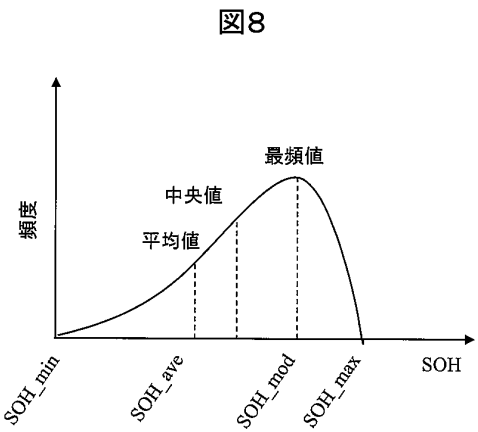
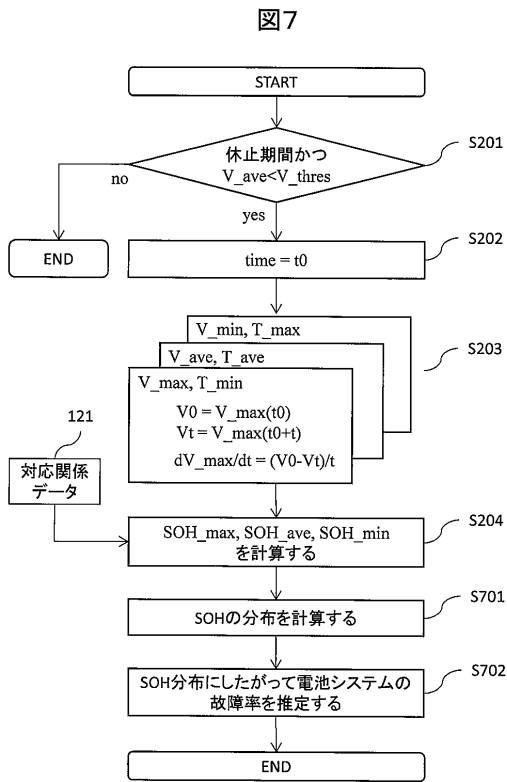
【図6】



10

【図7】

【図8】



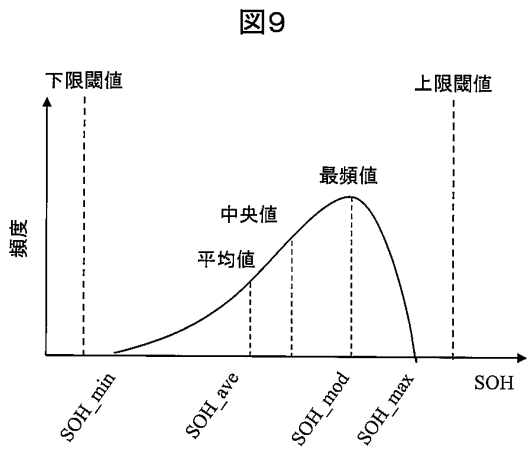
20

30

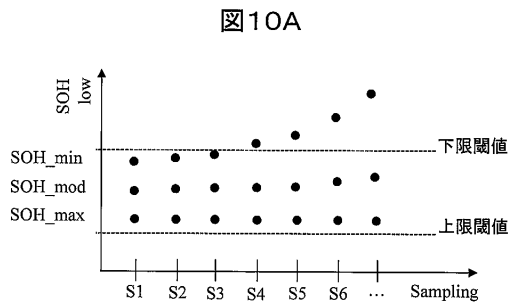
40

50

【図 9】

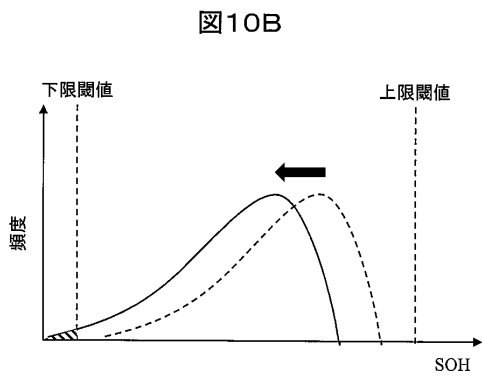


【図 10 A】

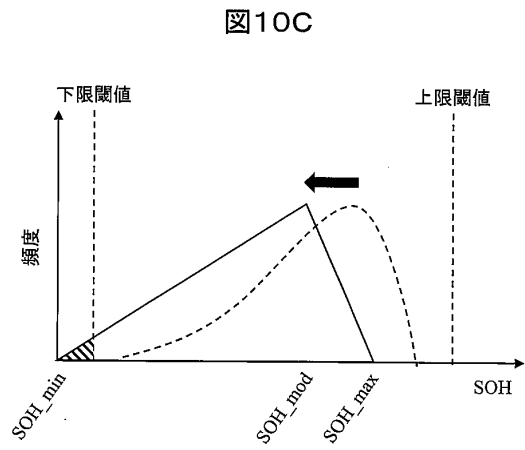


10

【図 10 B】



【図 10 C】



20

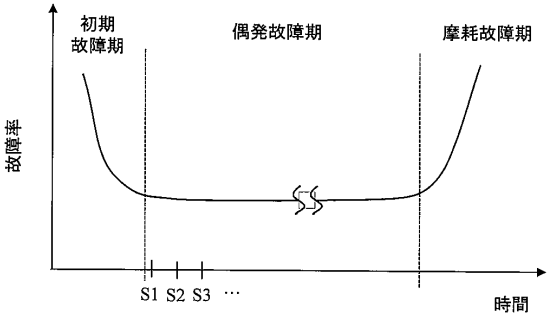
30

40

50

【図 1 1】

図 1 1



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 J

7/00

Y

(56)参考文献

特開 2 0 1 4 - 0 6 3 6 9 3 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 3 1 2 4 4 3 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 6 / 1 3 5 9 1 3 (W O , A 1)

特開 2 0 1 9 - 1 1 5 0 8 8 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 0 4 3 4 6 0 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 9 / 1 8 1 7 6 4 (W O , A 1)

特開 2 0 0 4 - 3 5 4 0 5 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 1 R 3 1 / 3 9 2

H 0 1 M 1 0 / 4 8

G 0 1 R 3 1 / 3 9 6

G 0 1 R 3 1 / 3 7 4

H 0 2 J 7 / 0 0