

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6428402号
(P6428402)

(45) 発行日 平成30年11月28日(2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日(2018.11.9)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 R 31/36 (2006.01)	GO 1 R 31/36 Z H V A
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 1 M 10/48 P
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 1 M 10/48 3 O 1
	HO 2 J 7/00 P

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-52901 (P2015-52901)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成27年3月17日 (2015. 3. 17)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2016-173281 (P2016-173281A)		愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地
(43) 公開日	平成28年9月29日 (2016. 9. 29)	(74) 代理人	100121821
審査請求日	平成29年11月17日 (2017.11.17)		弁理士 山田 強
		(74) 代理人	100139480
			弁理士 日野 京子
		(74) 代理人	100125575
			弁理士 松田 洋
		(74) 代理人	100175134
			弁理士 北 裕介
		(72) 発明者	加藤 真也
			愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電池エネルギー予測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2次電池(20a)の電池モデルに基づいて、前記2次電池の残存エネルギーを予測する電池エネルギー予測装置において、

前記電池モデルは、

前記2次電池の直流抵抗(Rs)を表す直流抵抗モデルと、

前記2次電池の反応抵抗を表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある反応抵抗パラメータ()を含む反応抵抗モデルと、

抵抗とキャパシタとの並列接続体を含むRC等価回路モデルであって、前記2次電池の拡散抵抗を表す拡散抵抗モデルとを含み、

前記電池モデルに基づいて、現在から規定時間経過するまでの期間に渡って前記2次電池から要求電力を出力し続けたと仮定した場合の前記2次電池の端子間電圧である予測電圧を算出する電圧予測手段と、

前記2次電池の充電率及び前記2次電池の温度のそれぞれが低くなるほど前記予測電圧が低くなるように、前記充電率、前記2次電池の温度及び前記予測電圧が予め関係付けられた関係情報を記憶する記憶手段(31)と、

前記2次電池の現在の充電率及び前記2次電池の現在の温度のそれぞれを入力として前記関係情報から導かれた前記予測電圧と、前記電圧予測手段によって算出された前記予測電圧とのずれを一致させるように前記関係情報を補正する補正手段と、

前記補正手段によって補正された前記関係情報において前記予測電圧が前記2次電池の

端子間電圧の許容下限値となる場合の前記充電率を下限充電率と定義し、補正された前記関係情報に基づいて、前記 2 次電池の現在の充電率が前記下限充電率に低下するまでに利用可能な前記 2 次電池のエネルギーを前記残存エネルギーとして予測するエネルギー予測手段とを備えることを特徴とする電池エネルギー予測装置。

【請求項 2】

前記関係情報は、前記充電率及び前記予測電圧の関係が前記 2 次電池の温度毎に規定されたマップ情報である請求項 1 に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 3】

前記関係情報は、前記予測電圧を従属変数とし、前記充電率及び前記 2 次電池の温度のそれぞれを独立変数とする関数化されたマップ情報である請求項 1 に記載の電池エネルギー予測装置。

10

【請求項 4】

前記関係情報は、前記予測電圧及び前記充電率のそれぞれを軸とする直交 2 軸座標系において、前記 2 次電池の基準温度に対して前記予測電圧及び前記充電率が関係付けられた基準情報を含むとともに、前記座標系において、前記予測電圧の軸と平行な方向における前記基準情報の第 1 移動量、及び前記充電率の軸と平行な方向における前記基準情報の第 2 移動量のそれぞれが前記 2 次電池の温度に応じて定められており、

前記補正手段は、前記ずれを一致させるように、前記第 1 移動量及び前記第 2 移動量のそれぞれを補正する請求項 3 に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 5】

20

前記関係情報は、前記予測電圧及び前記充電率のそれぞれを軸とする直交 2 軸座標系において、前記 2 次電池の基準温度に対して前記予測電圧及び前記充電率が関係付けられた基準情報を含むとともに、前記座標系において、前記予測電圧の軸と平行な方向における前記基準情報の第 1 倍率、及び前記充電率の軸と平行な方向における前記基準情報の第 2 倍率のそれぞれが前記 2 次電池の温度に応じて定められており、

前記補正手段は、前記ずれを一致させるように、前記第 1 倍率及び前記第 2 倍率のそれぞれを補正する請求項 3 又は 4 に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 6】

前記エネルギー予測手段は、前記 2 次電池の満充電容量を $A h f$ 、前記 2 次電池の現在の充電率を $S O C r$ 、前記下限充電率を $S m i n$ 、補正された前記関係情報において前記現在の充電率及び前記 2 次電池の現在の温度に対応する前記予測電圧を $V f f$ とすると、前記残存エネルギー E を

30

【数 1】

$$E = Ahf \int_{S_{min}}^{SOCr} V_{ff} \cdot dSOC$$

に基づいて予測する請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 7】

当該電池エネルギー予測装置は、走行動力源となる主機回転電機及び主機エンジンのそれぞれと、前記主機エンジンを始動させるための補機回転電機とを備える車両に適用され、

前記要求電力は、前記主機回転電機のみを前記車両の走行動力源としている状況下において、前記主機エンジンを始動させるために前記補機回転電機に供給する電力に設定されている請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の電池エネルギー予測装置。

40

【請求項 8】

当該電池エネルギー予測装置は、走行動力源となる主機回転電機を備える車両に適用され、

前記要求電力は、前記主機回転電機のみを前記車両の走行動力源としている状況下において、前記車両を加速させるために前記主機回転電機に供給する電力に設定されている請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 9】

前記電圧予測手段は、

50

前記 R C 等価回路モデルの回路定数を含む式であって、前記拡散抵抗モデルの現在の分極電圧を算出する離散式に基づいて、前記現在の分極電圧を算出する第 1 分極電圧算出手段と、

前記回路定数を含む式であって、前記現在の分極電圧が時間経過とともに減少して現在から前記規定時間経過後に残る前記分極電圧である残電圧を予測する連続時間式に、前記現在の分極電圧を入力することにより前記残電圧を予測する残電圧予測手段と、

現在から前記規定時間経過後に新たに生じる前記拡散抵抗モデルの将来の分極電圧を予測する連続時間式に基づいて、前記将来の分極電圧を予測する第 2 分極電圧算出手段とを含み、前記残電圧と前記将来の分極電圧との合計値、前記直流抵抗モデルにおける電位差、及び前記反応抵抗モデルにおける電位差に基づいて、前記予測電圧を算出する請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の電池エネルギー予測装置。

10

【請求項 10】

前記 R C 等価回路モデルは、N 個 (N は 1 以上の整数) の前記並列接続体にて構成されたモデルであり、

前記拡散抵抗モデルにおいて、前記 R C 等価回路モデルを構成する m 番目 (m は正の整数) の前記並列接続体の前記抵抗の抵抗値を R_{wm} 、前記キャパシタの容量を C_{wm} と定義し、

前記残電圧予測手段は、前記規定時間を T_{ff} 、前記現在の分極電圧を V_{wm} と定義すると、前記残電圧 V_{wr} を

【数 2】

$$V_{wr} = \sum_{m=1}^N \left[V_{wm} \cdot \exp \left(- \frac{T_{ff}}{C_{wm} \cdot R_{wm}} \right) \right]$$

20

に基づいて予測し、

前記第 2 分極電圧演算手段は、現在から前記規定時間経過するまでの期間に渡って前記 2 次電池から放電する電流を I_p と定義すると、前記将来の分極電圧 V_{ws} を

【数 3】

$$V_{ws} = \sum_{m=1}^N (I_p \times R_{wm}) \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{T_{ff}}{C_{wm} \times R_{wm}} \right) \right\}$$

30

に基づいて予測する請求項 9 に記載の電池エネルギー予測装置。

【請求項 11】

前記電圧予測手段は、前記反応抵抗パラメータを α 、定数を γ 、前記 2 次電池から放電される電流を I_p 、前記 2 次電池の温度を T と定義すると、前記反応抵抗における電位差 V_{bv} を

【数 4】

$$V_{bv} = \frac{\alpha}{\gamma} T \cdot \sinh^{-1} (\beta \cdot \gamma \cdot I_p)$$

に基づいて算出する請求項 9 又は 10 に記載の電池エネルギー予測装置。

40

【請求項 12】

前記電圧予測手段は、現在から前記規定時間経過後の前記 2 次電池の出力可能な電力が、前記要求電力以上であってかつ前記要求電力に最も近くなる前記 2 次電池の放電電流を、所定の探索法に従って探索する探索手段を含み、現在から前記規定時間経過するまでの期間に渡って前記探索手段によって探索された放電電流を前記 2 次電池から放電し続けたと仮定した場合の前記 2 次電池の端子間電圧を前記予測電圧として算出する請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の電池エネルギー予測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、2次電池の電池モデルに基づいて、前記2次電池の残存エネルギーを予測する電池エネルギー予測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、下記特許文献1に見られるように、車載主機であるモータジェネレータ単独で車両を走行させるEV走行モードが、どの程度継続可能であるかを把握するための技術が知られている。この技術では、まず、2次電池の充電率(SOC)を0~100%までの様々な値に仮設定した場合のそれぞれについて、現在から規定時間に渡って要求出力を2次電池から出力し続けたと仮定したときにおける2次電池の端子間電圧が充電率と関係付けられて算出される。ここで、端子間電圧の算出には、内部抵抗を直流抵抗でモデル化した電池モデルが用いられる。

10

【0003】

そして、充電率と関係付けられて算出された2次電池の端子間電圧のうち、2次電池の端子間電圧の許容下限値に対応する充電率が下限充電率として算出される。そして、2次電池の現在の充電率が、下限充電率よりも高い閾値充電率に低下するまでに利用可能な2次電池のエネルギーが、エネルギー余裕量として予測される。このエネルギー余裕量によれば、EV走行モードがどの程度継続可能であるかを把握できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-103131号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、上記特許文献1に記載された電池モデルは、2次電池の電流-電圧の非線形領域の特性を表現できる構成にはなっていない。詳しくは、2次電池の電流-電圧の非線形特性は、2次電池が低温になるほど支配的になり、特に0以下の領域では、非線形特性が無視できない。したがって、上記特許文献1に記載された技術では、2次電池の低温時におけるエネルギー余裕量の予測精度が低下し、EV走行モードがどの程度継続可能かの把握精度が低下し得る。

30

【0006】

本発明は、2次電池の低温時においても、2次電池の残存エネルギーの予測精度を向上させることができる電池エネルギー予測装置を提供することを主たる目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

以下、上記課題を解決するための手段、及びその作用効果について記載する。

【0008】

本発明は、2次電池(20a)の電池モデルに基づいて、前記2次電池の残存エネルギーを予測する電池エネルギー予測装置において、前記電池モデルは、前記2次電池の直流抵抗(R_s)を表す直流抵抗モデルと、前記2次電池の反応抵抗を表すモデルであって、バトラーボルマー式から導かれ、交換電流密度と相関のある反応抵抗パラメータ()を含む反応抵抗モデルと、抵抗とキャパシタとの並列接続体を含むRC等価回路モデルであって、前記2次電池の拡散抵抗を表す拡散抵抗モデルとを含み、前記電池モデルに基づいて、現在から規定時間経過するまでの期間に渡って前記2次電池から要求電力を出力し続けたと仮定した場合の前記2次電池の端子間電圧である予測電圧を算出する電圧予測手段と、前記2次電池の充電率及び前記2次電池の温度のそれぞれが低くなるほど前記予測電圧が低くなるように、前記充電率、前記2次電池の温度及び前記予測電圧が予め関係付けられた関係情報を記憶する記憶手段(31)と、前記2次電池の現在の充電率及び前記2次電池の現在の温度のそれぞれを入力として前記関係情報から導かれた前記予測電圧と、前記電圧予測手段によって算出された前記予測電圧とのずれを一致させるように前記関係情報

40

50

を補正する補正手段と、前記補正手段によって補正された前記関係情報において前記予測電圧が前記2次電池の端子間電圧の許容下限値となる場合の前記充電率を下限充電率と定義し、補正された前記関係情報に基づいて、前記2次電池の現在の充電率が前記下限充電率に低下するまでに利用可能な前記2次電池のエネルギーを前記残存エネルギーとして予測するエネルギー予測手段とを備えることを特徴とする。

【0009】

上記発明において、現在から規定時間経過するまでの期間に渡って2次電池から要求電力を出力し続けたと仮定した場合の2次電池の端子間電圧を予測電圧と定義する。上記発明では、2次電池の充電率及び2次電池の温度のそれぞれが低くなるほど予測電圧が低くなるように、充電率、2次電池の温度及び予測電圧が予め関係付けられた関係情報が記憶手段に記憶されている。そして、関係情報において予測電圧が2次電池の端子間電圧の許容下限値となる場合の充電率を下限充電率と定義し、関係情報に基づいて、2次電池の現在の充電率が下限充電率に低下するまでに利用可能な2次電池のエネルギーを残存エネルギーとして予測する。

10

【0010】

ここで、2次電池の劣化の進行や2次電池の個体差等に起因して、記憶手段に記憶されている関係情報が、2次電池の実際の特徴を表した関係情報からずれ得る。この場合、関係情報に基づく2次電池の残存エネルギーの予測精度が低下する懸念がある。

【0011】

そこで上記発明では、まず、電圧予測手段によって予測電圧を算出する。ここで予測電圧の算出には、直流抵抗モデル及び拡散抵抗モデルに加え、反応抵抗モデルを含む電池モデルが用いられる。反応抵抗モデルは、バトラーボルマー式の交換電流密度と相関のあるパラメータであって、2次電池の温度と相関を持たせた反応抵抗パラメータを含む。この反応抵抗モデルを電池モデルに含むことにより、例えば上記特許文献1に記載された電池モデルでは表現できなかった低温時における電流-電圧の非線形特性を精度よく表すことができる。このため上記発明では、2次電池の低温時においても予測電圧の算出精度を向上できる。

20

【0012】

そして上記発明では、2次電池の現在の充電率及び現在の温度のそれぞれを入力として関係情報から導かれた予測電圧と、電圧予測手段によって算出された予測電圧とのずれを一致させるように関係情報を補正する。関係情報が補正されることにより、下限充電率が更新される。2次電池の低温時においても予測電圧の算出精度を向上できるため、関係情報の補正精度を向上させることができる。

30

【0013】

そして、補正された関係情報に基づいて、2次電池の現在の充電率が、更新された下限充電率に低下するまでに利用可能な2次電池のエネルギーを残存エネルギーとして予測する。これにより、2次電池の低温時においても、2次電池の残存エネルギーの予測精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1実施形態にかかる電池パックの構成図。

【図2】電池ECUの処理を示すブロック図。

【図3】電池モデルを示す図。

【図4】直流抵抗電圧算出部の処理を示すブロック図。

【図5】反応抵抗電圧算出部の処理を示すブロック図。

【図6】反応抵抗パラメータと電池温度との関係を示す図。

【図7】反応抵抗における電流-電圧特性の温度依存性を示す図。

【図8】分極電圧算出部の処理を示すブロック図。

【図9】定電力特性マップを示す図。

【図10】定電力特性マップを用いた残存エネルギーの予測手法を示す図。

40

50

【図 1 1】定電力特性マップの補正処理を示すフローチャート。

【図 1 2】各電圧の推移を示すタイムチャート。

【図 1 3】定電力特性マップの補正手法を示す図。

【図 1 4】第 2 実施形態にかかる定電力特性マップの補正手法を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

(第 1 実施形態)

以下、本発明を具体化した第 1 実施形態について、図面を参照しつつ説明する。本実施形態は、例えば、車載主機としての回転電機（モータジェネレータ）及びエンジンを備える車両（例えば、ハイブリッド車）や、車載主機としてモータジェネレータのみを備える車両（例えば、電気自動車）に適用される。

10

【0016】

図 1 に示すように、電池パック 10 は、組電池 20 と、電池 ECU 30 とを備えている。組電池 20 は、複数の電池セル 20 a の直列接続体から構成され、図示しないモータジェネレータ等と電力の授受を行う。電池セル 20 a は、2 次電池であり、本実施形態では、リチウムイオン 2 次電池を用いている。

【0017】

電池パック 10 は、電圧センサ 21、温度センサ 22、及び電流センサ 23 を備えている。電圧センサ 21 は、各電池セル 20 a の端子間電圧を検出する電圧検出手段である。温度センサ 22 は、組電池 20（各電池セル 20 a）の温度を検出する温度検出手段である。電流センサ 23 は、組電池 20（各電池セル 20 a）に流れる充放電電流を検出する電流検出手段である。

20

【0018】

電池 ECU 30 は、CPU、記憶手段としてのメモリ 31、及び図示しない I/O 等を備えるコンピュータとして構成されている。CPU は、複数の電池セル 20 a のそれぞれに対応した単セル演算部 32 と、エネルギー予測部 33 とを含む。電池 ECU 30 には、電圧センサ 21、温度センサ 22 及び電流センサ 23 の検出値が入力される。

【0019】

電池 ECU 30 は、組電池 20 の残存エネルギーを予測する処理を行う。以下、この予測処理について、単セル演算部 32 及びエネルギー予測部 33 の順に説明する。

30

【0020】

< 1. 単セル演算部 32 の処理 >

図 2 を用いて、各単セル演算部 32（CPU）のそれぞれが行う処理の概要について説明する。単セル演算部 32 は、直流抵抗電圧算出部 34、反応抵抗電圧算出部 35、分極電圧算出部 36、及び SOC 変換部 37 等を備えている。

【0021】

各算出部 34 ~ 36 は、図 3 に示す電池セル 20 a の各パラメータを推定する。ここで、図 3 は、各電池セル 20 a の内部インピーダンス等を表現する電池モデルを示す。本実施形態において、電池モデルは、直流抵抗モデル、反応抵抗モデル、及び拡散抵抗モデルの直列接続体として表されている。図 3 において、「 R_s 」は、溶液中や電極の通電抵抗を表す直流抵抗を示し、「 V_s 」は直流抵抗 R_s における電位差（以下、直流抵抗電圧）を示す。「 V_{bv} 」は、正極及び負極における電極界面反応を表す反応抵抗における電位差（以下、反応抵抗電圧）を示す。「 R_{w1} , R_{w2} , R_{w4} , R_{w4} 」は、活物質中や溶液中のイオン拡散を表す拡散抵抗における抵抗成分項を示し、「 C_{w1} , C_{w2} , C_{w3} , C_{w4} 」は、経過時間とともに抵抗が変化することを表現するための容量成分項を示し、「 V_{w1} , V_{w2} , V_{w3} , V_{w4} 」は、各拡散抵抗における分極電圧を示す。本実施形態において、拡散抵抗は、抵抗成分及び容量成分の並列接続体が複数個（本実施形態では 4 個）直列に接続された構成とする。抵抗成分と容量成分の並列接続による等価回路は、フォスター型等価回路と呼ばれる。

40

【0022】

50

なお、本実施形態において、図3に示す反応抵抗モデルは、便宜的に直流抵抗のみで表され、モデルにおける時定数が無視されている。これは、本実施形態において、単セル演算部32(CPU)の1処理周期が、反応抵抗における時定数よりも十分長く設定されているためである。

【0023】

まず、図4を用いて、直流抵抗電圧算出部34について説明する。

【0024】

直流抵抗電圧算出部34において、Rs算出部34aは、温度センサ22によって検出された電池温度Tsに基づいて、直流抵抗Rsを算出する。直流抵抗Rsの算出に電池温度Tsを用いるのは、直流抵抗Rsが電池セル20aの温度に依存するためである。本実施形態では、直流抵抗Rs及び電池温度Tsが予め関係付けられたRsマップを用いて、直流抵抗Rsを算出する。本実施形態では、電池温度Tsが高いほど、直流抵抗Rsが低くなるようにRsマップが適合されている。本実施形態において、Rsマップは、メモリ31に記憶されている。

10

【0025】

第1乗算部34bは、Rs算出部34aによって算出された直流抵抗Rsと、電流センサ23によって検出された電流(以下、検出電流Is)との乗算値として、直流抵抗電圧Vsを算出する。ちなみに本実施形態では、電池セル20aの放電電流を負の値で表す。このため本実施形態において、直流抵抗電圧Vsは、電池セル20aの放電時において負の値となる。

20

【0026】

続いて、図5を用いて、反応抵抗電圧算出部35について説明する。

【0027】

反応抵抗電圧算出部35において、算出部35aは、電池温度Tsに基づいて、反応抵抗パラメータを算出する。反応抵抗パラメータの算出に電池温度Tsを用いるのは、反応抵抗パラメータが電池セル20aの温度に依存するためである。本実施形態では、反応抵抗パラメータの自然対数「ln」と電池温度Ts(絶対温度)とが予め関係付けられたマップを用いて、反応抵抗パラメータを算出する。以下、反応抵抗パラメータについて説明する。

【0028】

電気化学におけるバトラーボルマー式は、下式(eq1)で表される。

30

【0029】

【数1】

$$i = i_o \left\{ \exp\left(\frac{\alpha_s n F \eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{-(1-\alpha_s) n F \eta}{RT}\right) \right\} \dots (eq1)$$

上式(eq1)において、「i」は電流密度を示し、「io」は交換電流密度を示し、「 α_s 」は電極反応の移動係数(酸化反応)を示し、「n」は電荷数を示し、「F」はファラデー定数を示し、「 η 」は過電圧を示し、「R」は気体定数を示し、「T」は絶対温度を示す。

40

【0030】

上式(eq1)において、簡素化のために正負極を等価(すなわち、充放電効率が同一)として「 $\alpha = \alpha_s = 1 - \alpha_s$ 」とすると、上式(eq1)は下式(eq2)となる。

【0031】

【数2】

$$i = i_o \left\{ \exp\left(\frac{anF\eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{-anF\eta}{RT}\right) \right\} \dots (eq2)$$

双曲線正弦関数と指数関数との関係を用いて、上式(eq2)を下式(eq3)のように変形する。

50

【 0 0 3 2 】

【数 3】

$$i = 2 \cdot i_o \cdot \sinh\left(\frac{anF\eta}{RT}\right) \dots (eq3)$$

上式 (e q 3) を過電圧 η について解くと、下式 (e q 4) となる。

【 0 0 3 3 】

【数 4】

$$\eta = \frac{RT}{anF} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{2 \cdot i_o} i\right) \dots (eq4)$$

10

一方、過電圧 η と反応抵抗電圧 V_{bv} との関係を、比例定数 γ を用いて下式 (e q 5) で表す。また、電流密度 i と電池セルに流れる電流 I との関係を、比例定数 β を用いて下式 (e q 6) で表す。

【 0 0 3 4 】

【数 5】

$$\eta = \gamma \cdot V_{bv} \dots (eq5)$$

【 0 0 3 5 】

【数 6】

$$i = \gamma \cdot I \dots (eq6)$$

20

上式 (e q 4) に上式 (e q 5) , (e q 6) を代入すると、下式 (e q 7) が導かれる。

【 0 0 3 6 】

【数 7】

$$\gamma \cdot V_{bv} = \frac{RT}{anF} \sinh^{-1}\left(\frac{1}{2 \cdot i_o} \gamma \cdot I\right) \dots (eq7)$$

ここで、上式 (e q 7) を下式 (e q 8) のように整理する。

30

【 0 0 3 7 】

【数 8】

$$V_{bv} = \frac{\alpha}{\gamma} T \cdot \sinh^{-1}(\beta \cdot \gamma \cdot I) \dots (eq8)$$

ただし、 $\alpha = \frac{R}{anF}$, $\beta = \frac{1}{2 \cdot i_o}$

上式 (e q 8) において、「 α 」は上記反応抵抗パラメータを示し、「 β 」は定数を示し、「 γ 」は適合定数を示し、電池セルに流れる充放電電流 I と反応抵抗電圧 V_{bv} とを反応抵抗パラメータ α によって関係付けることが可能なことを示している。上式 (e q 8) からわかるように、バトラーボルマー式から導かれる反応抵抗パラメータ α は、電池セルに流れる電流を独立変数とし、反応抵抗電圧 V_{bv} を従属変数とする逆双曲線正弦関数において、逆双曲線正弦関数と反応抵抗電圧 V_{bv} との関係を定める係数となる。

40

【 0 0 3 8 】

ここで、交換電流密度 i_o が電池温度 T に依存することから、反応抵抗パラメータ α も電池温度 T に依存する。このため、本実施形態では、アレニウスプロットに従って、反応抵抗パラメータ α の自然対数を、電池温度 T_s の逆数、又は電池温度 T_s に対する 1 次式となる形で適合した マップをメモリ 3 1 に記憶させている。ここで図 6 には、反応抵抗パラメータ α の自然対数を、電池温度 T_s の逆数に対する 1 次式となる形で適合した マップを例示した。

50

【 0 0 3 9 】

先の図5の説明に戻り、算出部35aによって算出された反応抵抗パラメータは、電位差算出部35bに入力される。電位差算出部35bは、反応抵抗パラメータと、検出電流 I_s とを入力として、上式(eq8)に基づいて、反応抵抗電圧 V_{bv} を算出する。上式(eq8)は、図7に示すように、低温になると電流に対して反応抵抗電圧 V_{bv} が非線形になる式である。電池セルの温度が低い場合には、反応抵抗パラメータを用いることにより、電流-電圧の非線形特性を精度よく表現した反応抵抗電圧 V_{bv} を算出することができる。

【 0 0 4 0 】

続いて、図8を用いて、分極電圧算出部36について説明する。分極電圧算出部36は、拡散抵抗に係るパラメータを算出する。以下、拡散抵抗に係るパラメータについて説明した後、分極電圧の算出手法について説明する。

10

【 0 0 4 1 】

電気化学における拡散方程式に基づいて、拡散抵抗に係るワールブルグインピーダンス Z を導出する。ここで、インピーダンス Z を下式(eq9)によって表す。

【 0 0 4 2 】

【数9】

$$Z = \frac{\Delta v}{\Delta i} = \frac{\frac{RT}{nF} \cdot \frac{\Delta C|_{x=0}}{C_0}}{-nFD \frac{\partial \Delta C}{\partial x} \Big|_{x=0}} \quad \dots \quad (eq9)$$

20

上式(eq9)において、分子は、起電圧が物質の表面濃度の自然対数に比例することを示すネルンストの式に基づくものである。分子において、「 C_0 」は平均濃度を示し、「 C 」は平均濃度 C_0 に対する濃度変化を示し、「 x 」は電極からの位置を示す。分母は、単位時間に単位面積を通過する物質量が濃度勾配に比例することを示すフィックの第1法則に基づくものである。分母において、「 D 」は拡散係数を示す。

【 0 0 4 3 】

上式(eq9)を整理すると、下式(eq10)が導かれる。

【 0 0 4 4 】

【数10】

$$Z = \frac{RT}{n^2 F^2 D C_0} \cdot \frac{\Delta C|_{x=0}}{-\frac{\partial \Delta C}{\partial x} \Big|_{x=0}} \quad \dots \quad (eq10)$$

30

ここで、電極に交流電圧を印加した場合において、電圧が正弦波で変化すると、濃度も正弦波で変化すると仮定する。このとき、濃度変化 C を虚数 j と角速度 ω を用いて下式(eq11)で表すこととする。

【 0 0 4 5 】

【数11】

$$\Delta v = |\Delta v| \exp(j\omega t), \quad \Delta C = |\Delta C| \exp(j\omega t) \quad \dots \quad (eq11)$$

40

上式(eq11)において、 $|\Delta v|$ 、 $|\Delta C|$ は複素振幅を示す。ここで、フィックの第2法則は下式(eq12)で表される。

【 0 0 4 6 】

【数12】

$$\frac{\partial \Delta C}{\partial t} = \frac{\partial^2 \Delta C}{\partial x^2} \quad \dots \quad (eq12)$$

上式(eq12)の左辺は、上式(eq11)の時間微分値であるので「 $j \omega C$ 」と

50

なる。このため、上式 (eq 12) の一般解は、定数 k_1 , k_2 を用いて下式 (eq 13) で表わされる。

【0047】

【数13】

$$\Delta C = k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}x\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}x\right) \quad \dots \quad (eq13)$$

ここで、「L」を拡散長として定義する。「 $x = L$ 」となる場合に濃度変化 C が 0 になるとの条件を課すと、上式 (eq 13) は下式 (eq 14) となる。

【0048】

【数14】

$$0 = k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right)$$

$$\rightarrow k_2 = -k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}2L\right) \quad \dots \quad (eq14)$$

したがって、濃度変化 C は、下式 (eq 15) で表される。

【0049】

【数15】

$$\Delta C = k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}x\right) - k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}2L\right) \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}x\right)$$

$$= k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) \left\{ \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}(x-L)\right) - \exp\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}(x-L)\right) \right\}$$

$$= 2 \cdot k_1 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) \cdot \sinh\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}(x-L)\right) = k \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) \cdot \sinh\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}(x-L)\right) \quad \dots \quad (eq15)$$

上式 (eq 15) を x で偏微分すると、下式 (eq 16) となる。

【0050】

【数16】

$$\frac{\partial \Delta C}{\partial x} = \sqrt{\frac{j\omega}{D}} \cdot k \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) \cdot \cosh\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}(x-L)\right) \quad \dots \quad (eq16)$$

上式 (eq 15) , (eq 16) を上式 (eq 10) に代入すると、上式 (eq 10) の一部が下式 (eq 17) のように表される。

【0051】

【数17】

$$\frac{\Delta C|_{x=0}}{-\frac{\partial \Delta C}{\partial x}|_{x=0}} = \frac{k \cdot \sinh\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right)}{-\sqrt{\frac{j\omega}{D}} \cdot k \cdot \cosh\left(-\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right)} = \sqrt{\frac{D}{j\omega}} \cdot \tanh\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}}L\right) \quad \dots \quad (eq17)$$

したがって、上式 (eq 10) のワールブルグインピーダンス Z は、ラプラス演算子 s ($= j\omega$) を用いて、下式 (eq 18) で表すことができる。

【0052】

10

20

30

40

【数 18】

$$Z = \frac{RT}{n^2 F^2 D C_0} \cdot \sqrt{\frac{D}{j\omega}} \tanh\left(\sqrt{\frac{j\omega}{D}} L\right) = \frac{RTL}{n^2 F^2 D C_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{L^2}{D} s}} \tanh\left(\sqrt{\frac{L^2}{D} s}\right)$$

$$= \frac{Rd}{\sqrt{\tau d \cdot s}} \tanh(\sqrt{\tau d \cdot s}) \quad \dots \quad (eq18)$$

$$\text{ただし、 } Rd = \frac{RTL}{n^2 F^2 D C_0}, \quad \tau d = \frac{L^2}{D}$$

本実施形態では、「Rd」を第1パラメータと称し、「d」を第2パラメータと称することとする。ここで、拡散係数Dは下式(eq19)で表される。

【0053】

【数 19】

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad \dots \quad (eq19)$$

上式(eq19)において、「D₀」は温度に依存しない定数を示し、「E」は活性化エネルギーを示す。上式(eq19)を用いると、第1,第2パラメータRd, dは、下式(eq20)で表される。

【0054】

【数 20】

$$Rd = \frac{RTL}{n^2 F^2 C_0} \cdot \frac{1}{D_0} \exp\left(\frac{E}{RT}\right), \quad \tau d = \frac{L^2}{D_0} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad \dots \quad (eq20)$$

上式(eq20)は、第1,第2パラメータRd, dが電池温度Tに依存することを示している。上式(eq20)の自然対数をとると、下式(eq21)が導かれる。

【0055】

【数 21】

$$\ln(Rd) = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln\left(\frac{RTL}{n^2 F^2 C_0} \cdot \frac{1}{D_0}\right), \quad \ln(\tau d) = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln\left(\frac{L^2}{D_0}\right) \quad \dots \quad (eq21)$$

本実施形態では、アレニウスプロットに従って、第1,第2パラメータRd, dの自然対数を、電池温度Tの逆数、又は電池温度Tsに対する1次式となる形で適合したRdマップ, dマップをメモリ31に記憶させている。

【0056】

分極電圧算出部36において、Rd算出部36aは、上述したRdマップと電池温度Tsとを用いて、第1パラメータRdを算出する。d算出部36bは、上述したdマップと電池温度Tsとを用いて、第2パラメータdを算出する。

【0057】

抵抗成分算出部36cは、第1パラメータRdに基づいて、拡散抵抗を構成する第1~第4抵抗の各抵抗値Rw1~Rw4を下式(eq22)によって算出する。

【0058】

【数 22】

$$R_{wm} = \frac{8 \cdot Rd}{(2m-1)^2 \pi^2} \quad \dots \quad (eq22)$$

上式(eq22)において、「m」は正の整数(本実施形態では、m=1,2,3,4)を示す。容量成分算出部36dは、第1,第2パラメータRd, dに基づいて、拡散抵抗を構成する第1~第4キャパシタの各容量Cw1~Cw4を下式(eq23)によ

10

20

30

40

50

て算出する。

【 0 0 5 9 】

【 数 2 3 】

$$C_{wm} = \frac{\tau d}{2 \cdot R_d} \quad \dots \quad (eq23)$$

上式 (e q 2 2) , (e q 2 3) によって第 m 抵抗の抵抗値 R_{wm} , 第 m キャパシタの容量 C_{wm} を算出できるのは、上式 (e q 1 8) によって表されるワールブルグインピーダンスに合致する等価回路と、ワールブルグインピーダンスと等価になる級数化された等価回路の定数の法則性とを、本発明者らが文献等によって調べた結果に基づくものである。なお、上記文献としては、例えば、「Modelling Ni-mH battery using Cauer and Foster structures. E. Kuhn et al. JOURNAL of Power Sources 158 (2006)」がある。

10

【 0 0 6 0 】

第 1 電圧算出部 3 6 e は、検出電流 I_s と、抵抗成分算出部 3 6 c によって算出された第 1 抵抗値 R_{w1} と、容量成分算出部 3 6 d によって算出された第 1 容量 C_{w1} とに基づいて、拡散抵抗における第 1 分極電圧 V_{w1} を算出する。本実施形態では、拡散抵抗モデルを構成する抵抗とキャパシタとの並列回路を表す伝達関数を離散化した式に基づいて、現在の第 1 分極電圧 V_{w1} を逐次算出する。具体的には、本実施形態では、前回の処理周期で算出された第 1 分極電圧 V_{w1} と、前回の処理周期の検出電流 I_s と、現在 (今回の処理周期) の検出電流 I_s とを入力として、下式 (e q 2 4) を用いて、第 1 分極電圧 V_{w1} を算出する。

20

【 0 0 6 1 】

【 数 2 4 】

$$V_{w1}(t) = -a_1 \cdot V_{w1}(t-1) + b_1 \cdot I_p(t) + b_1 \cdot I_p(t-1) \quad \dots \quad (eq24)$$

$$\text{ただし、} \quad a_1 = \frac{\Delta T - 2 \cdot R_{w1} \cdot C_{w1}}{\Delta T + 2 \cdot R_{w1} \cdot C_{w1}}, \quad b_1 = \frac{\Delta T \cdot R_{w1}}{\Delta T + 2 \cdot R_{w1} \cdot C_{w1}}$$

上式 (e q 2 4) において、「 T 」は 1 処理周期を示す。なお、第 2 , 第 3 , 第 4 電圧算出部 3 6 f , 3 6 g , 3 6 h も、第 1 電圧算出部 3 6 e と同様に、抵抗値 R_{w2} , R_{w3} , R_{w4} と、容量 C_{w2} , C_{w3} , C_{w4} と、電池セル 2 0 a に流れる電流 I_p とに基づいて、現在の第 2 , 第 3 , 第 4 分極電圧 V_{w2} , V_{w3} , V_{w4} を算出する。なお本実施形態において、第 1 ~ 第 4 電圧算出部 3 6 e ~ 3 6 h が「第 1 分極電圧算出手段」に相当する。

30

【 0 0 6 2 】

先の図 2 の説明に戻り、第 1 加算部 3 8 は、各電圧算出部 3 6 e ~ 3 6 h によって算出された各分極電圧 V_{w1} ~ V_{w4} の加算値として、合計分極電圧 V_{wt} を算出する。第 2 加算部 3 9 は、直流抵抗電圧 V_s 、反応抵抗電圧 V_{bv} 、及び合計分極電圧 V_{wt} の加算値を算出する。開放端電圧算出部 4 0 は、電圧センサ 2 1 によって検出された電池セル 2 0 a の端子間電圧 CCV から第 2 加算部 3 9 の出力値を減算することで、電池セル 2 0 a の開放端電圧 OCV を算出する。

40

【 0 0 6 3 】

SOC 変換部 3 7 は、開放端電圧算出部 4 0 によって算出された開放端電圧 OCV に基づいて、電池セル 2 0 a の充電率 SOC_r を算出する。本実施形態では、開放端電圧 OCV 及び SOC_r が予め関係付けられた SOC マップを用いて、充電率 SOC_r を算出する。本実施形態において、SOC マップは、メモリ 3 1 に記憶されている。

【 0 0 6 4 】

< 2 . エネルギー予測部 3 3 の処理 >

続いて、エネルギー予測部 3 3 が行う組電池 2 0 の残存エネルギーの予測処理について説明

50

する。この処理は、現在から規定時間 T_{ff} 経過するまでの期間に渡って組電池 20 から要求電力 P_{tgt} を出力し続けたと仮定した場合の組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} [Wh] を予測するための処理である。予測対象をエネルギーとするのは、車両走行制御に利用しやすいためである。ここで要求電力 P_{tgt} は、先の図 1 に示すように、例えば以下のように設定することができる。

【0065】

電池 ECU30 がハイブリッド車に搭載される場合の具体例について説明する。この場合、要求電力 P_{tgt} は、主機としてのエンジン及び第 1 モータジェネレータのうち、第 1 モータジェネレータのみを回転駆動させて車両を EV 走行モードで走行させている状況下において、エンジンを始動させるための第 2 モータジェネレータに要求される電力に設定される。この場合、残存エネルギー E_{bat} を予測することにより、エンジン始動用のエネルギーを確保した上で、EV 走行モードでどの程度走行できるかを把握できる。

10

【0066】

電池 ECU30 が電気自動車に搭載される場合の具体例について説明する。この場合、要求電力 P_{tgt} は、EV 走行モードで車両を走行させている状況下において、車両を加速させるために主機モータジェネレータに要求される電力に設定される。

【0067】

本実施形態において、組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} は、メモリ 31 に記憶されている定電力特性マップを用いて予測される。定電力特性マップは、各電池セル 20a に対応して設けられている。定電力特性マップは、図 9 に示すように、電池セル 20a の充電率 SOC 及び電池温度 T のそれぞれが低くなるほど予測電圧 V_{ff} が連続的に低くなるように、充電率 SOC 及び予測電圧 V_{ff} の関係が電池温度 T 毎に規定されたマップ情報である。図 9 には、電池温度 T として、-30、-20、25、50、60 を例示した。ここで予測電圧 V_{ff} とは、現在から規定時間 T_{ff} 経過するまでの期間に渡って組電池 20 から要求電力 P_{tgt} を出力し続けたと仮定した場合の電池セル 20a の端子間電圧のことである。定電力特性マップによれば、充電率 SOC を様々な値に仮設定して予測電圧 V_{ff} を都度算出する必要がないことから、CPU の演算負荷を低減できる。

20

【0068】

エネルギー予測部 33 は、まず、現在の電池温度 T_s を入力として、現在の電池温度 T_s に対応する充電率 SOC 及び予測電圧 V_{ff} の関係を規定するマップ情報を定電力特性マップから選択する。そして、図 10 に示すように、電池セル 20a の充電率が現在の充電率 SOC_r から下限充電率 S_{min} に低下するまでに利用可能な各電池セル 20a のエネルギー E_{cell} を下式 (eq25) によって算出する。ここで、下限充電率 S_{min} とは、予測電圧 V_{ff} が電池セル 20a の端子間電圧の許容下限値 (以下、許容下限電圧 V_{min}) となる充電率のことである。なお、図 10 には、電池温度 T_s が -20 となる場合の残存エネルギー E_{cell} を示す領域を例示した。

30

【0069】

【数 25】

$$E_{cell} = Ahf \int_{S_{min}}^{SOC_r} V_{ff}(SOC_r, T_s) dSOC \quad \dots \quad (eq25)$$

40

上式 (eq25) において、「 Ahf 」は電池セル 20a の満充電容量を示す。満充電容量 Ahf は、電池温度 T_s に依存する。満充電容量 Ahf は、例えば上記特許文献 1 に記載されているように、電池セル 20a の充電率が第 1 充電率 PA となってから第 2 充電率 PB となるまでの期間における電池セル 20a の充放電電流の時間積分値を、第 1 充電率 PA と第 2 充電率 PB との差の絶対値で除算することにより算出すればよい。

【0070】

そして、上式 (eq25) を用いて算出した各電池セル 20a の残存エネルギー E_{cell} の合計値として、組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} を予測する。

【0071】

ここで、電池セル 20a の劣化の進行や、電池セル 20a の個体差に起因して、メモリ

50

31に予め記憶されている定電力特性マップが、電池セル20aの実際の実績特性を表した定電力特性マップからずれ得る。この場合、組電池20の残存エネルギーEbatの予測精度が低下する懸念がある。そこで本実施形態では、定電力特性マップを補正する補正処理を行う。以下、補正手法について説明する。

【0072】

図11に、定電力特性マップの補正処理の手順を示す。この処理は、エネルギー予測部33によって実行される。

【0073】

この一連の処理では、まずステップS10において、現在の電池温度Tsを取得する。

【0074】

続くステップS11では、現在から規定時間Tff経過するまでの期間に渡って組電池20から要求電力Ptgtを出力し続けたと仮定した場合の各電池セル20aのそれぞれの予測電圧Vfaを算出する。

【0075】

詳しくは、まず、現在から規定時間Tff経過するタイミングにおける組電池20の電力Prが、要求電力Ptgt以上であってかつ要求電力Ptgtに最も近くなる各電池セル20aの放電電流Ipを探索する処理を行う。本実施形態では、放電電流Ipの探索範囲として、0から許容上限電流までの範囲を設定する。特に本実施形態では、この探索に二分法を用いる。

【0076】

探索処理で様々な値に仮設定される放電電流Ipと、現在の電池温度Tsとに対応する電池セル20aの端子間電圧Vaは、下式(eq26)によって算出できる。

【0077】

【数26】

$$Va = OCV + Vs + Vbv + Vwr + Vws + \Delta OCV \quad \dots \quad (eq26)$$

上式(eq26)において、開放端電圧OCVは、先の図2の開放端電圧算出部40によって算出された値を用いる。直流抵抗電圧Vsは、先の図4の直流抵抗電圧算出部34において、第1乗算部34bに入力する電流を、検出電流Isに代えて、仮設定された放電電流Ipとすることで算出された値を用いる。反応抵抗電圧Vbvは、先の図5の反応抵抗電圧算出部35において、電位差算出部35bに入力する電流を、検出電流Isに代えて、仮設定された放電電流Ipとすることで算出された値を用いる。なお、上式(eq26)の右辺において、「Vs + Vbv + Vwr + Vws + OCV」が先の図10のVに相当する。

【0078】

また、上式(eq26)における「Vwr」は、現在から規定時間Tff経過するタイミングにおける合計残電圧を示す。本実施形態では、合計残電圧Vwrを、各電池セル20aのそれぞれについて、下式(eq27)にて表される連続時間式に基づいて、合計残電圧Vwrを予測する。

【0079】

【数27】

$$Vwr = \sum_{m=1}^4 \left[Vwm \cdot \exp \left(- \frac{Tff}{Cwm \cdot Rwm} \right) \right] \quad \dots \quad (eq27)$$

上式(eq27)において、現在の第1, 第2, 第3, 第4分極電圧Vw1, Vw2, Vw3, Vw4は、仮設定された放電電流Ipと現在の電池温度Tsとを入力として第1, 第2, 第3, 第4電圧算出部36f, 36g, 36hによって算出されたものである。本ステップでは、各分極電圧Vw1 ~ Vw4のそれぞれについて残電圧を予測し、予測した各残電圧の合計値として、合計残電圧Vwrを算出する。合計残電圧Vwrは、上式(eq27)からわかるように、時間とともに減少する。なお本実施形態において、合計残

10

20

30

40

50

電圧 V_{wr} を予測する処理が「残電圧予測手段」に相当する。

【0080】

また、上式 (eq 26) において、「 V_{ws} 」は、拡散抵抗モデルを構成する各キャパシタ C_{wm} に電荷の蓄積がないと仮定した場合において、現在から規定時間 T_{ff} 経過するタイミングにおいて新たに生じる将来の分極電圧 (以下、将来分極電圧) を示す。将来分極電圧 V_{ws} は、下式 (eq 28) にて表される連続時間式に基づいて予測する。なお本実施形態において、将来分極電圧 V_{ws} を予測する処理が「第2分極電圧算出手段」に相当する。

【0081】

【数28】

$$V_{ws} = \sum_{m=1}^4 (I_p \times R_{wm}) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{T_{ff}}{C_{wm} \times R_{wm}}\right) \right\} \dots \text{ (eq28)}$$

上式 (eq 27) に基づいて予測される合計残電圧 V_{wr} と、上式 (eq 28) に基づいて予測される将来分極電圧 V_{ws} との合計値が、現在から規定時間 T_{ff} 経過するタイミングの分極電圧を表す。

【0082】

さらに、上式 (eq 26) において、 OCV は、現在から規定時間 T_{ff} 経過するまでの期間に渡って電池セル 20a に放電電流 I_p を流すと仮定した場合の開放端電圧 OCV の変化量 (以下、開放端電圧変化量) を示す。開放端電圧変化量 OCV は、例えば、開放端電圧算出部 40 によって算出された現在の開放端電圧 OCV に基づいて算出すればよい。具体的には例えば、まず、現在から規定時間 T_{ff} 経過するまでの期間に渡って仮設定された放電電流 I_p を流すと仮定した場合において、各電池セル 20a のそれぞれについて、現在から規定時間 T_{ff} 経過するまでの期間における SOC の変化分を算出する。上記 SOC の変化分は、放電時において負の値となる。そして、 SOC 変換部 37 によって算出された現在の充電率 SOC_r に上記 SOC の変化分を加算し、この加算値を SOC マップを用いて開放端電圧に変換する。そして、変換された開放端電圧から現在の開放端電圧 OCV を減算することで、開放端電圧変化量 OCV を算出する。

【0083】

ちなみに、予測電圧 V_{fa} に対する開放端電圧変化量 OCV の割合が小さい場合、上式 (eq 26) の右辺から開放端電圧変化量 OCV の項を除去してもよい。

【0084】

図 12 に、電池セル 20a の端子間電圧 V_a の予測手法の概要を示す。図 12 (a) は電池セル 20a に流れる電流 I_p の推移を示し、図 12 (b) は端子間電圧 V_a の推移を示し、図 12 (c) は分極電圧 V_{wt} 、合計残電圧 V_{wr} 、将来分極電圧 V_{ws} の推移を示す。

【0085】

図示されるように、端子間電圧 V_a の予測には、合計残電圧 V_{wr} が用いられる。合計残電圧 V_{wr} は、拡散抵抗における現在の分極電圧が時間経過とともに減少し、現在から規定時間 T_{ff} 経過するタイミングに残る分極電圧のことである。つまり、拡散抵抗モデルを構成する第 m キャパシタに現在電荷が蓄積されている場合、拡散抵抗における現在の分極電圧の影響は、規定時間 T_{ff} 経過後においても残る。このため、合計残電圧 V_{wr} を算出しておくことで、第 m キャパシタの蓄積電荷量の影響を加味することができ、電池セル 20a の状態が過渡状態となる場合における予測電圧 V_{fa} の算出精度の向上を図ることができる。

【0086】

仮設定された放電電流 I_p と現在の電池温度 T_s とを入力として上式 (eq 26) に基づいて算出した各電池セル 20a の端子間電圧 V_a の合計値と、仮設定された放電電流 I_p とを乗算することにより、仮設定された放電電流 I_p に対応した組電池 20 の電力 P_r を算出する。探索処理において放電電流 I_p を様々な値に仮設定することにより、各放電

10

20

30

40

50

電流 I_p に対応した組電池 20 の電力 P_r を算出できる。そして、組電池 20 の電力 P_r が、要求電力 P_{tgt} 以上であってかつ要求電力 P_{tgt} に最も近くなる各電池セル 20 a の放電電流 I_p を探索する。そして、探索された放電電流 I_p に対応する各電池セル 20 a の端子間電圧 V_a を、各電池セル 20 a の予測電圧 V_{fa} として算出する。すなわち、予測電圧 V_{fa} は、現在から規定時間 T_{ff} に渡って、探索された放電電流 I_p を電池セル 20 a から放電し続けたと仮定した場合の端子間電圧となる。

【0087】

先の図 11 に戻り、続くステップ S12 では、算出した予測電圧 V_{fa} に基づいて、各電池セル 20 a に対応する定電力特性マップを補正する。詳しくは、図 13 に示すように、まず、現在の電池温度 T_s に対応するマップ情報を選択し、選択したマップ情報のうち現在の充電率 $SOCr$ に対応する予測電圧 V_{ff} を算出する。そして、定電力特性マップから算出した予測電圧 V_{ff} と、ステップ S11 で算出した予測電圧 V_{fa} との差を 0 とするように、現在の電池温度 T_s に対応するマップ情報を更新する。図 13 には、充電率 SOc 及び予測電圧 V_{ff} のそれぞれを軸とする直交 2 軸座標系において、電池温度が 25 に対応するマップ情報を、予測電圧 V_{ff} の軸と平行な方向に移動させるようにして上記差を 0 とする例を示した。このようにして定電力特性マップを補正できるのは、各電池温度に対応するマップ情報が、互いに略相似の関係にあるためである。

【0088】

定電力特性マップは、現在の電池温度 T_s と関係付けられて補正及び更新される。そして更新された定電力特性マップに基づいて、上述した組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} を予測する。

【0089】

このように、本実施形態では、電池セル 20 a の現在の充電率 $SOCr$ 及び現在の電池温度 T_s のそれぞれを入力として定電力特性マップから算出された予測電圧 V_{ff} と、先の図 11 のステップ S11 の処理によって算出された予測電圧 V_{fa} との差を 0 とするように、定電力特性マップを都度補正した。そして、補正した定電力特性マップ、現在の充電率 $SOCr$ 、及び現在の電池温度 T_s に基づいて、組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} を予測した。このため、エンジン始動用のエネルギーや、車両の加速のためのエネルギーを除外した形で組電池 20 の残存エネルギー E_{bat} を都度予測できる。さらに、各電池セル 20 a の劣化度合い及び各電池セル 20 a の温度が加味されて残存エネルギー E_{bat} を予測できる。これにより、残存エネルギー E_{bat} の予測精度を向上でき、EV 走行モードでの程度走行を継続できるかを精度よく把握することができる。

【0090】

特に本実施形態では、電池モデルに、反応抵抗パラメータを含む反応抵抗モデルを含めたことが、予測電圧 V_{fa} の算出精度を向上させることに寄与している。また、上式 (eq 27)、(eq 28) を用いて分極電圧を算出したことが、電池セル 20 a の過渡状態における予測電圧 V_{fa} の算出精度を向上させることに寄与している。予測電圧 V_{fa} の算出精度の向上により、定電力特性マップの補正精度を向上させることができ、ひいては残存エネルギー E_{bat} の予測精度を向上させることができる。

【0091】

(第 2 実施形態)

以下、第 2 実施形態について、上記第 1 実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態にかかる定電力特性マップは、図 14 に示すように、予測電圧 V_{ft} 及び充電率 $SOct$ のそれぞれを軸とする直交 2 軸座標系において、電池セル 20 a の基準温度 (例えば 25) に対して予測電圧 V_{ft} 及び充電率 $SOct$ が関係付けられた基準情報を含む。本実施形態では、この基準情報を下式 (eq 29) の 4 次の多項式によって表す。

【0092】

10

20

30

40

【数 29】

$$V_{ff} = a \cdot SOC^4 + b \cdot SOC^3 + c \cdot SOC^2 + d \cdot SOC + e \quad \dots \quad (eq29)$$

上式 (eq 29) において、 a 、 b 、 c 、 d 、 e は定数を示す。基準情報は、例えば、上記第 1 実施形態で説明した定電力特性マップの元となるデータであって、電池温度毎に充電率及び予測電圧が関係付けられたデータから作成される。

【0093】

そして、下式 (eq 30)、(eq 31) に示すように、上記座標系において、予測電圧 V_{ft} の軸と平行な方向における基準情報の第 1 移動量 y 、及び充電率 SOC_t の軸と平行な方向における基準情報の第 2 移動量 x のそれぞれが、電池温度 T に応じて定められている。各移動量 x 、 y は、電池温度 T と関係付けられてメモリ 31 に記憶されている。

10

【0094】

【数 30】

$$V_{ft} = V_{ff} - y \quad \dots \quad (eq30)$$

【0095】

【数 31】

$$SOC_t = SOC - x \quad \dots \quad (eq31)$$

以下、メモリ 31 に記憶された各移動量 x 、 y の初期値について説明する。基準温度と電池温度 T_s とが一致する場合、各移動量 x 、 y を 0 とする。一方、基準温度に対して電池温度 T_s が高いほど、予測電圧 V_{ft} が高くなる方向への基準情報に対する第 1 移動量 y を大きくし、また、充電率 SOC_t が低くなる方向への基準情報に対する第 2 移動量 x を大きくする。他方、基準温度に対して電池温度 T_s が低いほど、予測電圧 V_{ft} が低くなる方向への基準情報に対する第 1 移動量 y を大きくし、また、充電率 SOC_t が高くなる方向への基準情報に対する第 2 移動量 x を大きくする。ここで、現在の充電率 SOC_r は、上式 (eq 31) の SOC_t に入力される。

20

【0096】

本実施形態の定電力特性マップによれば、複数の電池温度のそれぞれに対応するマップ情報をメモリ 31 に記憶させる必要がなく、メモリ 31 に記憶されるマップ情報量を低減できる。

30

【0097】

続いて、本実施形態にかかる定電力特性マップの補正手法について説明する。本実施形態では、現在の充電率 SOC_r 及び現在の電池温度 T_s のそれぞれを入力として、上式 (eq 29) ~ (eq 31) を用いて算出された予測電圧 V_{ft} と、先の図 11 のステップ S11 で算出された予測電圧 V_{fa} との差を 0 とするように、第 1 移動量 y 及び第 2 移動量 x のそれぞれを現在の電池温度 T_s と関係付けて補正する。これにより、各移動量 x 、 y のそれぞれがその初期値から更新される。なお、図 14 には、基準温度と電池温度 T_s が一致する場合の各移動量 x 、 y が補正される例を示した。

【0098】

以上説明した本実施形態によっても、上記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

40

【0099】

(第 3 実施形態)

以下、第 3 実施形態について、上記第 2 実施形態との相違点を中心に図面を参照しつつ説明する。本実施形態では、先の図 14 に示す座標系において、予測電圧 V_{ft} の軸と平行な方向における基準情報の第 1 倍率 A 、及び充電率 SOC_t の軸と平行な方向における基準情報の第 2 倍率 B のそれぞれが電池温度 T に応じて定められている。各倍率 A 、 B (> 0) は、電池温度 T と関係付けられてメモリ 31 に記憶されている。

【0100】

50

【数 3 2】

$$V_{ft} = A \cdot V_{ff} \quad \dots \quad (eq32)$$

【 0 1 0 1】

【数 3 3】

$$SOC_t = 100 - B(100 - SOC) \quad \dots \quad (eq33)$$

以下、メモリ 3 1 に記憶された各倍率 A , B の初期値について説明する。基準温度と電池温度 T_s とが一致する場合、各倍率 A , B を 1 とする。一方、基準温度に対して電池温度 T_s が高いほど、各倍率 A , B を大きくする。この場合、各倍率 A , B は 1 よりも大きい値とする。他方、基準温度に対して電池温度 T_s が低いほど、各倍率 A , B を小さくする。この場合、各倍率 A , B は 0 よりも大きくてかつ 1 未満の値とする。

10

【 0 1 0 2】

続いて、本実施形態にかかる定電力特性マップの補正手法について説明する。本実施形態では、上式 (e q 2 9) ~ (e q 3 1) によって算出された予測電圧 V_{ft} と、先の図 1 1 のステップ S 1 1 で算出された予測電圧 V_{fa} との差を 0 とするように、第 1 倍率 A 及び第 2 倍率 B のそれぞれを現在の電池温度 T_s と関係付けて補正する。これにより、各倍率 A , B のそれぞれがその初期値から更新される。

【 0 1 0 3】

以上説明した本実施形態によっても、上記第 2 実施形態と同様の効果を得ることができる。

20

【 0 1 0 4】

(その他の実施形態)

なお、上記各実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

【 0 1 0 5】

・上記第 2 , 第 3 実施形態において、基準情報を表す数式は、上式 (e q 2 9) に限らず、他の数式であってもよい。

【 0 1 0 6】

・上記第 2 実施形態で説明した第 1 , 第 2 移動量 x , y と、上記第 3 実施形態で説明した第 1 , 第 2 倍率 A , B とを組み合わせることで定電力特性マップを表してもよい。

30

【 0 1 0 7】

・上記第 1 実施形態において、放電電流 I_p を探索する探索法としては、2 分法に限らず、黄金分割法等、他の探索法であってもよい。

【 0 1 0 8】

・拡散抵抗モデルとしては、抵抗とキャパシタとの並列接続体が 4 つ直列接続された RC 等価回路モデルに限らず、上記並列接続体が複数 (4 つ以外) 接続された RC 等価回路モデルであってもよい。また、拡散抵抗モデルとしては、抵抗とキャパシタとの並列接続体が複数接続された RC 等価回路に限らず、簡素化のために上記並列接続体が 1 つの RC 等価回路であってもよい。

【 0 1 0 9】

・2 次電池としては、リチウムイオン 2 次電池に限らず、ニッケル水素電池等、他の 2 次電池であってもよい。

40

【 0 1 1 0】

・上記各実施形態において、各処理に用いる電池温度としては、温度センサ 2 2 の検出値に限らず、何らかの手法によって推定された電池温度であってもよい。

【 0 1 1 1】

・本発明が適用される車両としては、所定の自動停止条件が成立する場合に主機エンジンを自動停止させ、その後所定の再始動条件が成立する場合に主機エンジンを再始動させるアイドルストップシステムを備える車両であってもよい。この場合、現在から規定時間に渡って、エンジン始動用のスタータ駆動に要求される電力をスタータに接続された

50

バッテリーから出力すると仮定した場合の残存エネルギー E_{bat} を予測する。そして、残存エネルギー E_{bat} を、バッテリーからスタータへと流れる電流と、バッテリー電圧とのそれぞれで除算することにより、エンジンを自動停止できる時間を把握することができる。

【0112】

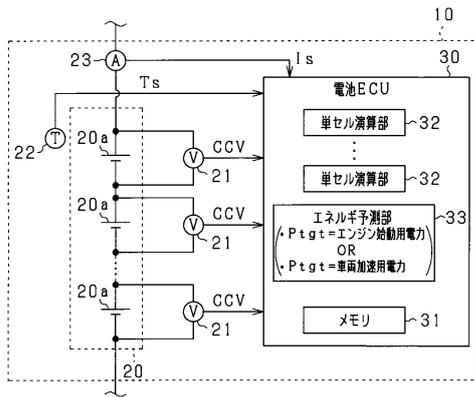
・本発明の適用対象としては、車両に限らない。

【符号の説明】

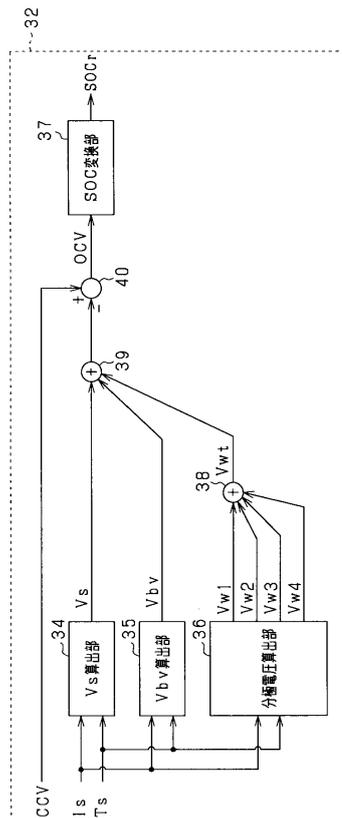
【0113】

20a ... 電池セル、30 ... 電池 ECU。

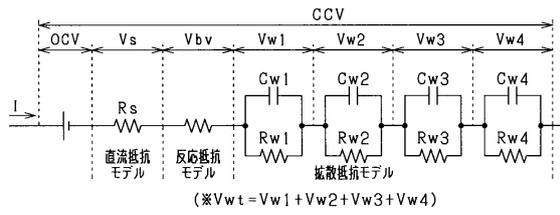
【図1】



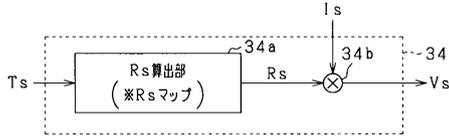
【図2】



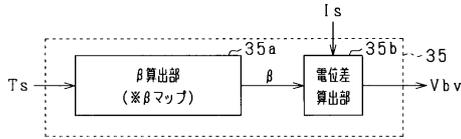
【図 3】



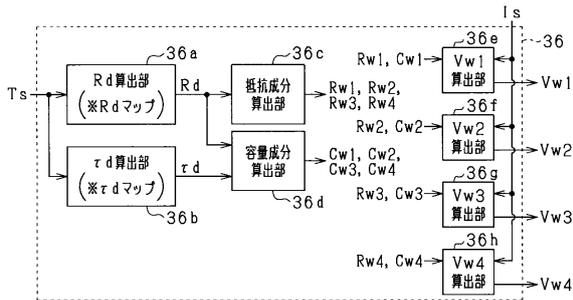
【図 4】



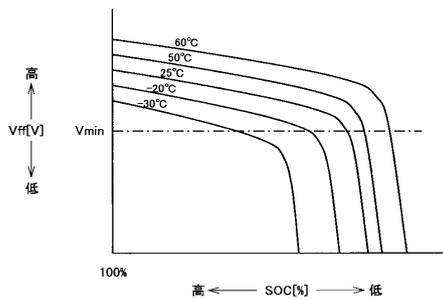
【図 5】



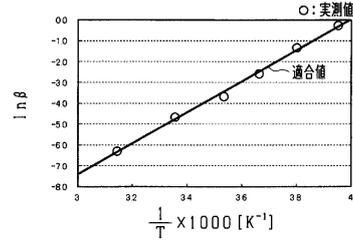
【図 8】



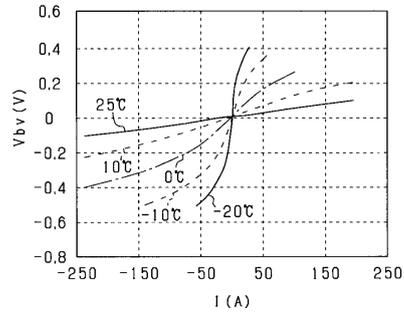
【図 9】



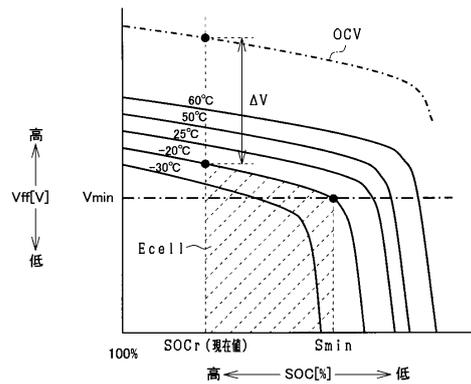
【図 6】



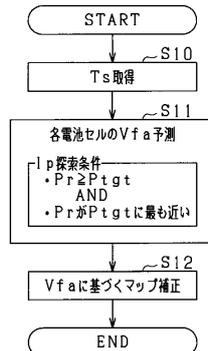
【図 7】



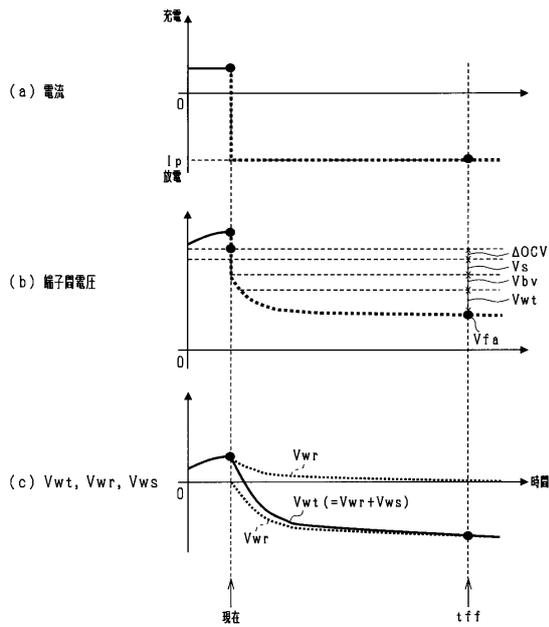
【図 10】



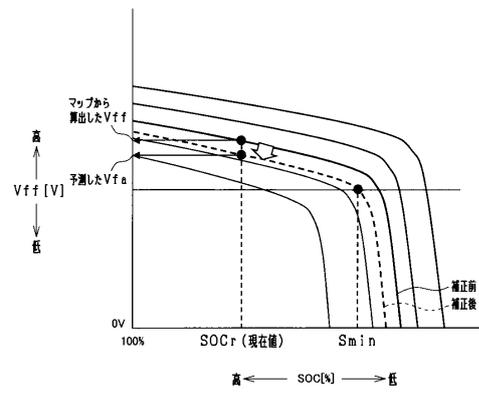
【図 11】



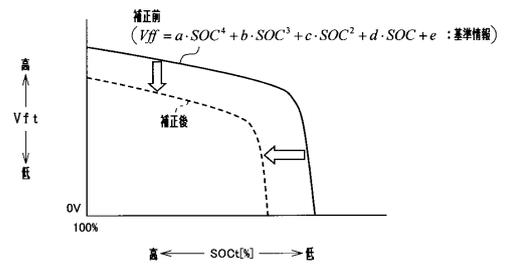
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 河合 利幸
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 續山 浩二

(56)参考文献 特開2012-103131(JP,A)
特開2003-157912(JP,A)
特開2004-163360(JP,A)
特開2009-244179(JP,A)
特開2010-169609(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01R 31/36
H01M 10/48
H02J 7/00