

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7616101号  
(P7616101)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 R 31/378(2019.01)	G 0 1 R 31/378
G 0 1 R 31/367(2019.01)	G 0 1 R 31/367
G 0 1 R 31/3842(2019.01)	G 0 1 R 31/3842
H 0 1 M 10/48 (2006.01)	H 0 1 M 10/48 P
H 0 1 M 4/58 (2010.01)	H 0 1 M 4/58

請求項の数 1 (全12頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2022-6288(P2022-6288)	(73)特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22)出願日	令和4年1月19日(2022.1.19)	(74)代理人	110000017 弁理士法人アイテック国際特許事務所
(65)公開番号	特開2023-105454(P2023-105454 A)	(72)発明者	西 勇二 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(43)公開日	令和5年7月31日(2023.7.31)	(72)発明者	藤原 麻衣 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
審査請求日	令和6年3月20日(2024.3.20)	審査官	永井 皓喜

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 SOC推定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

リン酸鉄リチウムにより形成された正極を含むリン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを推定するSOC推定方法であって、

少なくとも、前記リン酸鉄リチウムイオン電池の電圧の測定値と、前記リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCとOCVとの関係を規定するように予め定められた第1マップから取得されたOCVとに基づいて、前記正極の反応による過電圧を算出し、

前記正極の反応による過電圧と、前記リン酸鉄リチウムのリチウム組成と前記正極のOCVとの関係に基づいて予め定められた第2マップとを用いて、前記正極がそれぞれリチウムを含む複数の粒子により構成されていると仮定したときの各粒子の過電圧を算出し、

前記各粒子の過電圧に基づいて前記各粒子の電流密度を算出し、

前記各粒子の電流密度に基づいて前記リン酸鉄リチウムイオン電池の推定電池電流を算出し、

前記推定電池電流に基づいて前記リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを推定するSOC推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、リン酸鉄リチウムにより形成された正極を含むリン酸鉄リチウムイオン電池のSOC推定方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、電気自動車（BEV）やハイブリッド車両（HEV）に搭載される二次電池や、車両に搭載される鉛蓄電池（12Vバッテリー）の代替品として、例えばLiFePO<sub>4</sub>等のリン酸鉄リチウムにより形成された正極（以下、適宜「LiFePO正極」という。）を含むリン酸鉄リチウムイオン電池が採用されつつある。リン酸鉄リチウムイオン電池のLiFePO正極は、メモリ効果や経路依存性、充電時と放電時とでOCV（開回路電圧）が変化する電圧ヒステリシスといった特異な挙動（分極挙動）を示すものである。また、LiFePO正極の挙動を説明するためのモデルとしては、LiFePO正極が互いに電子的およびイオンのに接続された粒子半径の異なる多数の球状粒子により構成されていると仮定した多粒子モデル（Many-Particle Model）が知られている（例えば、非特許文献1参照）。かかる多粒子モデルを用いることで、LiFePO正極の挙動を包括的に捉えることができる。

10

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0003】

【文献】Comprehensive Study of the Polarization Behavior of LiFePO<sub>4</sub> Electrodes Based on a Many-Particle Model Hiroki Kondo, Tsuyoshi Sasaki, Pallab Barai and Venkat Srinivasan Journal of The Electrochemical Society, Volume 165, Number 10 Published 6 July 2018

20

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

ここで、三元系リチウムイオン電池等においては、一般に、電流の測定値を積算してSOCを推定する電流積算法と、SOCとOCVとの関係を用いた推定手法とを組み合わせるとSOCが推定される。これに対して、リン酸鉄リチウムイオン電池では、高SOC域および低SOC域以外の広い範囲でSOCの変化に対するOCVの変化率が非常に小さくなり、しかも上記電圧ヒステリシス等が存在するので、SOCとOCVとの関係からSOCを精度よく推定することは困難である。このため、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを精度よく推定する手法が求められているが、上記非特許文献1には、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCの推定手法が何ら記載されていない。

30

## 【0005】

そこで、本開示は、リン酸鉄リチウムにより形成された正極を含むリン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを精度よく推定可能にすることを主目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

本開示のSOC推定方法は、リン酸鉄リチウムにより形成された正極を含むリン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを推定するSOC推定方法であって、少なくとも、前記リン酸鉄リチウムイオン電池の電圧の測定値と、前記リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCとOCVとの関係を規定するように予め定められた第1マップから取得されたOCVとに基づいて、前記正極の反応による過電圧を算出し、前記正極の反応による過電圧と、前記リン酸鉄リチウムのリチウム組成と前記正極のOCVとの関係に基づいて予め定められた第2マップとを用いて、前記正極がそれぞれリチウムを含む複数の粒子により構成されていると仮定したときの各粒子の過電圧を算出し、前記各粒子の過電圧に基づいて前記各粒子の電流密度を算出し、前記各粒子の電流密度に基づいて前記リン酸鉄リチウムイオン電池の推定電池電流を算出し、前記推定電池電流に基づいて前記リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを推定するものである。

40

## 【0007】

本開示のSOC推定方法は、リン酸鉄リチウムにより形成された正極がそれぞれリチウムを含む複数の粒子により構成されていると仮定する多粒子モデルを利用するものである

50

。リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCの推定に際しては、少なくとも、リン酸鉄リチウムイオン電池の電圧の測定値と、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCとOCVとの関係を規定するように予め定められた第1マップから取得されたOCVとに基づいて、正極の反応による過電圧が算出される。更に、正極の反応による過電圧と、リン酸鉄リチウムのリチウム組成と正極のOCVとの関係に基づいて予め定められた第2マップとを用いて、正極を構成する複数の粒子の各々の過電圧が算出される。そして、複数の粒子の各々の過電圧に基づいて複数の粒子の各々の電流密度が算出され、複数の粒子の各々の電流密度からリン酸鉄リチウムイオン電池の推定電池電流が算出される。これにより、第1マップから取得されたOCVと実際のOCVとのずれを相殺するように算出された推定電池電流に基づいてリン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを推定することができる。この結果、メモリ効果や経路依存性、電圧ヒステリシスといった特異な挙動を示すリン酸鉄リチウムにより形成された正極を含むリン酸鉄リチウムイオン電池のSOCを精度よく推定することが可能となる。

10

## 【0008】

また、前記リン酸鉄リチウムイオン電池の電圧の測定値から、少なくとも前記第1マップから取得された前回のSOCに対応した前回のOCVを減じて前記正極の反応による過電圧を算出してもよく、前記正極の反応による過電圧と、前記第2マップから取得された前記各粒子の基準電圧とから、前記各粒子の過電圧を算出してもよく、前回のSOCと、前記推定電池電流と、電池容量とから前記リン酸鉄リチウムイオン電池の今回のSOCを推定すると共に、前記第1マップから今回のSOCに対応した今回のOCVを取得してもよい。これにより、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCの推定を繰り返し実行することで当該SOCの推定値を実際の値に収束させていくことが可能となる。

20

## 【0009】

更に、前記第1マップは、SOCごとに、前記正極の2つのスピノーダル点の平均電圧から前記リン酸鉄リチウムイオン電池の負極のOCVを減じることにより作成されてもよく、前記第2マップは、前記リン酸鉄リチウムのリチウム組成と前記正極のOCVとの関係を前記正極の2つのスピノーダル点の平均電圧が0ボルトになるようにオフセットすることにより作成されてもよい。これにより、正極の反応による過電圧と、第2マップとを用いて、複数の粒子の各々の過電圧をより適正に算出することが可能となる。

## 【0010】

30

また、前記各粒子の電流密度に基づいて前記各粒子のリチウム濃度の変化量を算出すると共に、前回のリチウム濃度と前記変化量とから今回のリチウム濃度を算出してもよく、前記第2マップから前回のリチウム濃度に基づくリチウム組成に対応した前記各粒子の基準電圧が取得されてもよい。これにより、複数の粒子の各々の基準電圧ひいては過電圧をより適正に算出することが可能となる。

## 【0011】

更に、前記リン酸鉄リチウムイオン電池の電圧の測定値から、前回のOCVと、塩濃度過電圧と、前記リン酸鉄リチウムイオン電池の電流の測定値と内部抵抗との積値とを減じて、前記正極の反応による過電圧を算出してもよい。これにより、演算負荷を低減しつつ、正極の反応による過電圧をより適正に算出することが可能となる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0012】

【図1】本開示のSOC推定方法が適用されるリン酸鉄リチウムイオン電池を含むバッテリーを搭載した車両の概略構成図である。

【図2】リン酸鉄リチウムのリチウム組成と、LiFePO<sub>4</sub>正極のOCVとの関係を示す図表である。

【図3】(a)は、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCと正極のOCVの平均電圧との関係を示す図表であり、(b)は、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCと負極のOCVとの関係を示す図表であり、(c)は、リン酸鉄リチウムイオン電池のSOCとOCVとの関係を規定した第1マップの一例を示す図表である。

50

【図 4】本開示の SOC 推定方法を説明するためのフローチャートである。

【図 5】本開示の SOC 推定方法において用いられる第 2 マップの一例を示す図表である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

次に、図面を参照しながら、本開示の発明を実施するための形態について説明する。

【0014】

図 1 は、本開示の SOC 推定方法が適用されるリン酸鉄リチウムイオン電池を含むバッテリー 1 を搭載した車両 V を示す概略構成図である。同図に示す車両 V は、バッテリー 1 に加えて、インバータ等を含む電力制御装置（図示省略）を介してバッテリー 1 に接続されると共に当該バッテリー 1 と電力をやり取りして走行用の動力や回生制動力を出力可能なモータジェネレータ（三相交流電動機）MG を含む電気自動車（BEV）あるいはハイブリッド車両（HEV、PHEV）である。

10

【0015】

バッテリー 1 は、例えば直列に接続される複数の電池モジュールを含む電池スタックと、当該電池スタックを収容するケースとを含む、いわゆる高電圧バッテリーであり、各電池モジュールは、例えば直列に接続されると共にモジュールケース内に収容される複数の電池セル 2 を含むものである。電池モジュールを構成する電池セル 2 は、本実施形態では、LiFePO<sub>4</sub> であるオリビン型の結晶構造を有するリン酸鉄リチウムにより形成された正極（LiFePO 正極）と、黒鉛系炭素材料等により形成された負極とを含むリン酸鉄リチウムイオン電池であり、正極および負極は、セパレータや有機溶媒等である電解液と共に外装体の内部に収容される。

20

【0016】

図 2 は、実験により得られた、リン酸鉄リチウムのリチウム組成  $x$ （ $\text{Li}_x\text{FePO}_4$  における“ $x$ ”）と、LiFePO 正極の OCV（開回路電圧）との関係を示す図表である。同図に示すように、リン酸鉄リチウムイオン電池が充放電される際、LiFePO 正極では、Li-rich 相と、Li-poor 相と、当該二相が共存する領域とが存在する状態で反応が進行する。また、LiFePO 正極の OCV は、図示するように、Li-rich 相側のスピノーダル点と、Li-poor 相側のスピノーダル点との間でリチウム組成  $x$  の減少に概ね比例して減少し、2つのスピノーダル点間の電圧差は、およそ 20 mV となる。更に、2つのスピノーダル点の平均電圧（Li-rich 相および Li-poor 相の共存相における平衡電圧）は、およそ 3.43 V となる。

30

【0017】

ここで、メモリ効果や経路依存性、電圧ヒステリシスといった LiFePO 正極の特異な挙動（分極挙動）を考慮して、LiFePO 正極が互いに電子のおよびイオンのに接続された粒子半径の異なる  $N$  個の球状粒子により構成（形成）されると仮定する多粒子モデル（Many-Particle Model）を導入した場合、図 2 より、複数の粒子の各々のリチウム組成  $x$  から各粒子の OCV を得ることができる。また、LiFePO 正極の反応による過電圧が発生すると、当該 LiFePO 正極を構成する複数の粒子の各々は、リチウム組成に応じた過電圧  $\eta_j$  をもつ（ただし、“ $j$ ” は、1 から  $N$  までの整数である。）。更に、過電圧  $\eta_j$  は、リン酸鉄リチウムイオン電池の充放電時における LiFePO 正極の反応による過電圧を“ $V_{MPM}$ ”とし、図 2 から得られる  $j$  番目の粒子の OCV を“ $OCV_j$ ”とし、上記 2つのスピノーダル点の平均電圧を“ $V_{AVE}$ ”とすれば、次式（1）のように表され、 $N$  個の粒子の過電圧  $\eta_j$  の平均値は、過電圧  $V_{MPM}$  に一致する。

40

【0018】

【数 1】

$$\eta_j = \Delta V_{MPM} - (OCV_j - V_{AVE}) \quad \cdots (1)$$

【0019】

50

また、過電圧  $\eta_j$  をもった  $j$  番目の粒子の電流密度を “  $i_j$  ” とすれば、電流密度  $i_j$  は、次式 ( 2 ) のように表され、  $\text{LiFePO}$  正極に印加される電流の推定値すなわちリン酸鉄リチウムイオン電池の推定電池電流を “  $I_{app}$  ” とすれば、推定電池電流  $I_{app}$  は、次式 ( 3 ) のように表される。ただし、式 ( 2 ) において、“  $F$  ” は、ファラデー定数であり、“  $k$  ” は、反応の速度定数であり、“  $c_j$  ” は  $j$  番目の粒子のリチウムイオン濃度であり、“  $c_e$  ” は、電解液のリチウムイオン濃度 ( 本実施形態では、予め定められた一定値 ) であり、“  $c_{max}$  ” は、活物質中の最大リチウム濃度であり、“  $R$  ” は、気体定数であり、“  $T$  ” は、電池温度 ( 電池セルの温度 ) であり、陽極反応および陰極反応の電荷移動係数は、  $0.5$  である。また、式 ( 3 ) における “  $S_j$  ” は、  $j$  番目の粒子の表面積であり、  $j$  番目の粒子の粒子半径を “  $r_j$  ” とすれば、  $S_j = 4 \pi r_j^2$  である。これにより、図 2 に示すリチウム組成  $x$  と  $\text{LiFePO}$  正極の  $\text{OCV}$  との関係と、多粒子モデルとを利用することで、メモリ効果や経路依存性、電圧ヒステリシスといった  $\text{LiFePO}$  正極の特異な挙動を考慮したリン酸鉄リチウムイオン電池の推定電池電流  $I_{app}$  を算出することができる。

【 0 0 2 0 】

【数 2】

$$i_j = F \cdot k \cdot c_j^{0.5} \cdot c_e^{0.5} \cdot (c_{max} - c_j)^{0.5} \cdot \left[ \exp\left(\frac{0.5 \cdot F}{RT} \cdot \eta_j\right) - \exp\left(\frac{-0.5 \cdot F}{RT} \cdot \eta_j\right) \right] \cdots (2)$$

$$I_{app} = \sum_{j=1}^N S_j \cdot i_j \cdots (3)$$

10

20

【 0 0 2 1 】

一方、リン酸鉄リチウムイオン電池の充放電時における  $\text{LiFePO}$  正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  は、リン酸鉄リチウムイオン電池 ( 電池セル ) の充放電時における電圧 “  $V(t)$  ” とし、リン酸鉄リチウムイオン電池の  $\text{OCV}$  の前回値を “  $\text{OCV}(t-1)$  ” とし、電解液の塩濃度過電圧を “  $dV_{dce}$  ” とし、リン酸鉄リチウムイオン電池の充放電時における電流を “  $I(t)$  ” とし、リン酸鉄リチウムイオン電池の内部抵抗を “  $R_d$  ” とすれば、次式 ( 4 ) のように表すことができる。また、式 ( 4 ) における電圧  $V(t)$  および電流  $I(t)$  としては、それぞれ実測値 ( 測定値 ) を用いることが可能であり、塩濃度過電圧  $dV_d$   $c_e$  は、次式 ( 5 ) に基づいて算出することができる。

30

【 0 0 2 2 】

【数 3】

$$\Delta V_{MPM} = V(t) - \text{OCV}(t-1) - dV_{dce} - I(t) \cdot R_d \cdots (4)$$

$$dV_{dce}(t) = (1 - \alpha) \cdot dV_{dce}(t-1) + \beta \cdot I(t-1) \cdots (5)$$

【 0 0 2 3 】

従って、リン酸鉄リチウムイオン電池の  $\text{OCV}$  の前回値  $\text{OCV}(t-1)$  を得ることで、式 ( 4 ) から  $\text{LiFePO}$  正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  を容易に算出することが可能となる。また、上述のように、図 2 に示すリチウム組成  $x$  と  $\text{LiFePO}$  正極の  $\text{OCV}$  との関係と、多粒子モデルとを利用することで、  $\text{LiFePO}$  正極の特異な挙動を考慮した推定電池電流  $I_{app}$  を算出することができる。これらを踏まえて、本実施形態では、  $\text{LiFePO}$  正極の  $\text{OCV}$  に関して当該  $\text{LiFePO}$  正極の反応 ( 分極 ) が無視され、図 3 ( a ) に示すように、  $\text{LiFePO}$  正極の  $\text{OCV}$  は、  $\text{SOC}$  に拘わらず上記平均電圧  $V_{AVE}$  ( 一定値 ) になるとみなされる。そして、本実施形態では、当該平均電圧  $V_{AVE}$  からリン酸鉄リチウムイオン電池の負極の  $\text{OCV}$  ( 図 3 ( b ) 参照 ) を減じることにより、図 3 ( c ) に示すような  $\text{SOC}$  とリン酸鉄リチウムイオン電池の  $\text{OCV}$  との関係を規定する第 1 マップが用意され、当該第 1 マップからリン酸鉄リチウムイオン電池の  $\text{OCV}$  の前回値  $\text{OCV}(t-1)$  が取得される。

40

50

## 【 0 0 2 4 】

なお、本実施形態では、多粒子モデルにおける粒子の総数  $N$  は、例えば 200 個から 2000 個であり、粒子半径の平均サイズは、例えば 100 nm であり、粒子半径は、標準偏差が例えば 80 nm の対数正規分布で分布するものとした。また、多粒子モデルでは、LiFePO 正極を形成する複数の粒子の重心がリン酸鉄リチウムイオン電池の SOC に対応し、複数の粒子の重心に応じた SOC と LiFePO 正極の OCV との関係も、図 2 に示すものと同様の特徴を有するものとなり、2 つのスピノーダル点間の電圧差がおよそ 20 mV となり、かつ 2 つのスピノーダル点の平均電圧がおよそ 3.43 V となる。更に、多粒子モデルでは、SOC ごとに粒子の分布状態が複数存在し得ることから、高 SOC 域および低 SOC 域では、正極の OCV が 20 mV 程度の幅をもつことになる。従って、多粒子モデルにおいても、リン酸鉄リチウムイオン電池の SOC の変化に対する LiFePO 正極の OCV の変化率は高 SOC 域および低 SOC 域以外の広い範囲で非常に小さくなり、SOC と OCV との関係からリン酸鉄リチウムイオン電池の SOC を精度よく推定することは困難となる。

10

## 【 0 0 2 5 】

続いて、図 4 および図 5 を参照しながら、バッテリー 1 に含まれる各電池セル 2 の SOC を推定する手順について詳細に説明する。図 4 は、バッテリー 1 を管理するために車両 V に搭載された電子制御装置 10 (以下、「ECU10」という。)により実行される SOC 推定ルーチンの一例を示すフローチャートである。図 4 の SOC 推定ルーチンは、車両 V がシステム起動されている間に ECU10 により例えば 10 - 100 ms おきに繰り返し実行される。

20

## 【 0 0 2 6 】

図 4 の SOC 推定ルーチンの開始に際して、ECU10 は、まず、変数  $m$  すなわちバッテリー 1 に含まれる複数の電池セル 2 の番号を値 1 に設定する (ステップ S100)。また、ECU10 は、図示しない電圧センサにより測定された  $m$  番目の電池セル 2 (以下、「電池セル  $2_m$ 」という。)の電圧 (端子間電圧)の今回 (現在)の測定値  $V(t)$ 、図示しない電流センサにより測定された電池セル  $2_m$  の電流の今回 (現在)の測定値  $I(t)$ 、塩濃度過電圧  $dV_{dce}$ 、電池セル  $2_m$  の OCV の前回値  $OCV(t-1)$ 、電池セル  $2_m$  の LiFePO 正極が複数の粒子により構成されると仮定したときの各粒子のリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$ 、図示しない温度センサにより検出された電池セル  $2_m$  の温度  $T$  といった当該電池セル  $2_m$  の SOC の推定に必要な情報を取得する (ステップ S110)。塩濃度過電圧  $dV_{dce}$  は、上記式 (5) に基づいて別途算出されたものであり、電池セル  $2_m$  の OCV の前回値  $OCV(t-1)$  と、各粒子のリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  は、SOC 推定ルーチンの前回実行時に算出されたものである。

30

## 【 0 0 2 7 】

次いで、ECU10 は、上記式 (4) に従って、ステップ S110 にて取得した電圧および電流の測定値  $V(t)$ 、 $I(t)$  および塩濃度過電圧  $dV_{dce}$  に対応した LiFePO 正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  を算出する (ステップ S120)。また、ECU10 は、ステップ S120 にて算出した過電圧  $V_{MPM}$  と、ステップ S110 にて取得したリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  と、図 5 に示す第 2 マップとを用いて、多粒子モデルにおける複数の粒子の各々の過電圧  $v_j$  を算出する (ステップ S130)。ステップ S130 において、ECU10 は、リチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  に基づいて各粒子のリチウム組成  $x_j (= C_j(t-1) / C_{max})$  を算出した上で、第 2 マップからリチウム組成  $x_j$  に対応した基準電圧を取得する。図 5 に示す第 2 マップは、図 2 に示すリン酸鉄リチウム ( $Li_xFePO_4$ ) のリチウム組成  $x$  と LiFePO 正極の OCV との関係を示す平均電圧  $V_{AVE}$  が 0 ボルトになるようにオフセットすることにより作成されたものである。すなわち、第 2 マップから取得される基準電圧は、各粒子のリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  に基づくリチウム組成  $x_j$  に対応した OCV  $v_j$  から平均電圧  $V_{AVE}$  を減じたものに相当する。更に、ステップ S130 において、ECU10 は、取得した基準電圧を過電圧  $V_{MPM}$  から減じることにより多粒子モデルにおける複数の粒子の各々の過電圧  $v_j$  を算出する。

40

50

## 【 0 0 2 8 】

ステップ S 1 3 0 の処理の後、E C U 1 0 は、上記式 ( 2 ) に従い、ステップ S 1 1 0 にて取得した過電圧  $\eta_j$  とリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  と温度  $T$  とに基づいて多粒子モデルにおける複数の粒子の各々の電流密度  $i_j$  を算出する (ステップ S 1 4 0 )。更に、E C U 1 0 は、上記式 ( 3 ) に従い、ステップ S 1 4 0 にて算出した各粒子の電流密度  $i_j$  と各粒子の表面積  $S_j$  とに基づいて電池セル 2  $m$  の推定電池電流  $I_{app}$  を算出する (ステップ S 1 5 0 )。そして、E C U 1 0 は、算出した推定電池電流  $I_{app}$  を電池容量  $C$  で除した値を S O C 推定ルーチンの前回実行時に算出した電池セル 2  $m$  の S O C である前回値  $S O C(t-1)$  に加算することにより、電池セル 2  $m$  の S O C の今回値  $S O C(t)$  を算出する (ステップ S 1 6 0 )。

10

## 【 0 0 2 9 】

また、E C U 1 0 は、図 3 ( c ) に示す第 1 マップから電池セル 2  $m$  の S O C の今回値  $S O C(t)$  に対応した電池セル 2  $m$  の O C V の今回値  $O C V(t)$  を取得する (ステップ S 1 7 0 )。更に、E C U 1 0 は、次式 ( 6 ) に従い、ステップ S 1 4 0 にて算出した電流密度  $i_j$  に基づいて各粒子のリチウム濃度の変化量  $\Delta C_j / \Delta t$  を算出すると共に、算出した変化量  $\Delta C_j / \Delta t$  を S O C 推定ルーチンの前回実行時に算出されたりチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  に加算して各粒子のリチウム濃度の今回値  $C_j(t)$  を算出する (ステップ S 1 8 0 )。ただし、式 ( 6 ) において、“ $V_j$ ” は、 $j$  番目の粒子の体積 ( $= 4 / 3 \cdot \pi \cdot r_j^3$ ) である。ステップ S 1 7 0 にて算出された電池セル 2  $m$  の O C V の今回値  $O C V(t)$  は、S O C 推定ルーチンの次回実行時に O C V の前回値  $O C V(t-1)$  として用いられ、ステップ S 1 8 0 にて算出された各粒子のリチウム濃度の今回値  $C_j(t)$  は、S O C 推定ルーチンの次回実行時にリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  として用いられる。

20

## 【 0 0 3 0 】

## 【数 4】

$$\frac{\partial C_j}{\partial t} = - \frac{S_j \cdot i_j}{F \cdot V_j} \dots (6)$$

30

## 【 0 0 3 1 】

ステップ S 1 8 0 にて各粒子のリチウム濃度の今回値  $C_j(t)$  を算出した後、E C U 1 0 は、変数  $m$  をインクリメントし (ステップ S 1 9 0 )、変数  $m$  がバッテリー 1 における電池セル 2 の総数  $M$  を上回っているか否かを判定する (ステップ S 2 0 0 )。E C U 1 0 は、変数  $m$  が総数  $M$  以下であると判定した場合 (ステップ S 2 0 0 : N O )、上記ステップ S 1 1 0 - S 1 9 0 の処理を再度実行する。また、変数  $m$  が総数  $M$  を上回っていると判定した場合 (ステップ S 2 0 0 : Y E S )、E C U 1 0 は、その時点で、図 4 のルーチンを一旦終了させる。

## 【 0 0 3 2 】

以上説明したように、リン酸鉄リチウムイオン電池であるバッテリー 1 の各電池セル 2 の S O C の推定に際しては、リン酸鉄リチウム ( $\text{LiFePO}_4$ ) により形成された  $\text{LiFePO}$  正極がそれぞれリチウムを含む複数の粒子により構成されていると仮定する多粒子モデルが利用される。また、各電池セル 2 の S O C の推定に際しては、少なくとも、電池セル 2  $m$  の電圧の測定値  $V(t)$  と、リン酸鉄リチウムイオン電池 (電池セル 2  $m$ ) の S O C と O C V との関係の規定するように予め定められた第 1 マップから取得された電池セル 2  $m$  の O C V の前回値  $O C V(t-1)$  とに基づいて、 $\text{LiFePO}$  正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  が算出される (ステップ S 1 2 0 )。更に、 $\text{LiFePO}$  正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  と、図 2 に示すリン酸鉄リチウム ( $\text{Li}_x\text{FePO}_4$ ) のリチウム組成  $x$  と  $\text{LiFePO}$  正極の O C V との関係に基づいて予め定められた図 5 に示す第 2 マップとを用いて、 $\text{LiFePO}$  正極を構成する複数の粒子の各々の過電圧  $\eta_j$  が算出される (ステップ S 1 3 0 )

40

50

）。そして、当該複数の粒子の各々の過電圧  $v_j$  から、複数の粒子の各々の電流密度  $i_j$  が算出され（ステップ S 1 4 0）、当該複数の粒子の各々の電流密度  $i_j$  から電池セル  $2_m$  の推定電池電流  $I_{app}$  が算出される（ステップ S 1 5 0）。

#### 【 0 0 3 3 】

より詳細には、電池セル  $2_m$  の電圧の測定値  $V(t)$  から、少なくとも第 1 マップから取得された SOC の前回値  $SOC(t-1)$  に対応した OCV の前回値  $OCV(t-1)$  を減じて正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  が算出される（ステップ S 1 2 0）。また、正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  と、第 2 マップから取得された複数の粒子の各々の基準電圧とから、複数の粒子の各々の過電圧  $v_j$  が算出される（ステップ S 1 3 0）。更に、SOC の前回値  $SOC(t-1)$  と、推定電池電流  $I_{app}$  と、電池容量  $C$  とから電池セル  $2_m$  の SOC の今回値  $SOC(t)$  が算出（推定）されると共に（ステップ S 1 4 0 - S 1 6 0）、第 1 マップから今回値  $SOC(t)$  に対応した OCV の今回値  $OCV(t)$  が取得される（ステップ S 1 7 0）。

#### 【 0 0 3 4 】

これにより、第 1 マップから取得された電池セル  $2_m$  の OCV の前回値  $OCV(t-1)$  と実際の値とのずれを相殺するように算出された推定電池電流  $I_{app}$  に基づいて電池セル  $2_m$  の SOC を推定することが可能となる。すなわち、第 1 マップから取得された前回値  $OCV(t-1)$  が実際の OCV よりも小さい場合、ステップ S 1 2 0 にて算出される過電圧  $V_{MPM}$  が大きくなることで推定電池電流  $I_{app}$  が OCV のずれを相殺するように大きく算出され、第 1 マップから取得された前回値  $OCV(t-1)$  が実際の OCV よりも大きい場合、ステップ S 1 2 0 にて算出される過電圧  $V_{MPM}$  が小さくなることで推定電池電流  $I_{app}$  が OCV のずれを相殺するように小さく算出される。従って、電池セル  $2_m$  の SOC の推定が繰り返し実行されることで当該 SOC の推定値すなわち今回値  $SOC(t)$  を実際の値に収束させていくことができる。この結果、メモリ効果や経路依存性、電圧ヒステリシスといった特異な挙動を示すリン酸鉄リチウム ( $LiFePO_4$ ) により形成された  $LiFePO$  正極を含む各電池セル  $2$  の SOC を精度よく推定することが可能となる。

#### 【 0 0 3 5 】

更に、上記実施形態において、第 1 マップは、SOC ごとに、 $LiFePO$  正極の 2 つのスピノーダル点の平均電圧  $V_{AVE}$  からリン酸鉄リチウムイオン電池の負極の OCV を減じることにより作成され、第 2 マップは、リン酸鉄リチウム ( $Li_xFePO_4$ ) のリチウム組成  $x$  と正極の OCV との関係性を平均電圧  $V_{AVE}$  が 0 ボルトになるようにオフセットすることにより作成される。これにより、正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  と、第 2 マップとを用いて、複数の粒子の各々の過電圧  $v_j$  をより適正に算出することが可能となる。

#### 【 0 0 3 6 】

また、上記実施形態では、複数の粒子の各々の電流密度  $i_j$  に基づいて各粒子のリチウム濃度の変化量  $C_j / t$  が算出されると共に、リチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  と変化量  $C_j / t$  とからリチウム濃度の今回値  $C_j(t)$  が算出され（ステップ S 1 8 0）、図 4 のステップ S 1 3 0 では、第 2 マップからリチウム濃度の前回値  $C_j(t-1)$  に基づくリチウム組成  $x_j$  に対応した複数の粒子の各々の基準電圧が取得される。これにより、複数の粒子の各々の基準電圧ひいては過電圧  $v_j$  をより適正に算出することが可能となる。

#### 【 0 0 3 7 】

更に、図 2 のステップ S 1 2 0 では、電池セル  $2_m$  の電圧の測定値  $V(t)$  から、OCV の前回値  $OCV(t-1)$  と、塩濃度過電圧  $dV_{dce}$  と、電池セル  $2_m$  の電流の測定値  $I(t)$  と内部抵抗  $R_d$  との積値とを減じて、 $LiFePO$  正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  が算出される。これにより、演算負荷を低減しつつ、正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  をより適正に算出することが可能となる。ただし、図 2 のステップ S 1 2 0 では、電池セル  $2_m$  の電流の測定値  $I(t)$  を用いることなく、電池セル  $2_m$  の電圧の測定値  $V(t)$  から、OCV の前回値  $OCV(t-1)$  と塩濃度過電圧  $dV_{dce}$  とを減じて正極の反応による過電圧  $V_{MPM}$  と内部抵抗  $R_d$  による過電圧との和  $V_{MPM+IR}$  が算出されてもよい。そして、この場合には、 $|V_{MPM+IR} - (V_{MPM} + I_{app} \cdot R_d)|$  を最小にする過電圧

10

20

30

40

50

$V_{MPPM}$ と推定電池電流  $I_{app}$ とがイタレーションにより導出されてもよい。

【0038】

なお、リン酸鉄リチウムイオン電池である電池セル2を複数含むバッテリー1は、モータジェネレータMGと電力をやり取りする高電圧バッテリーに限られるものではない。すなわち、バッテリー1は、補機バッテリー(12Vバッテリー)といった低電圧バッテリーとして構成されてもよい。

【0039】

また、本開示の発明は上記実施形態に何ら限定されるものではなく、本開示の外延の範囲内において様々な変更をなし得ることはいうまでもない。更に、上記実施形態は、あくまで発明の概要の欄に記載された発明の具体的な一形態に過ぎず、発明の概要の欄に記載された発明の要素を限定するものではない。

10

【産業上の利用可能性】

【0040】

本開示の発明は、リン酸鉄リチウムイオン電池の製造分野等において利用可能である。

【符号の説明】

【0041】

1 バッテリー、2 電池セル、10 電子制御装置(ECU)、MG モータジェネレータ、V 車両。

20

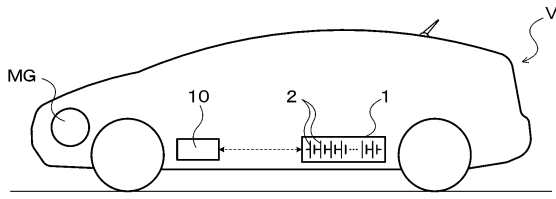
30

40

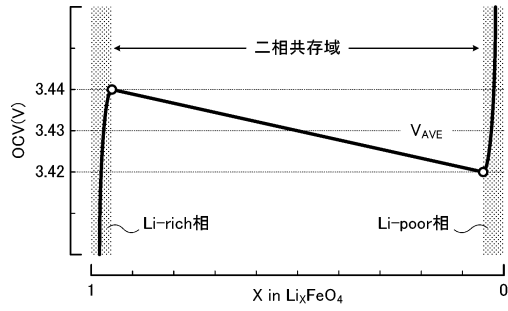
50

【図面】

【図 1】

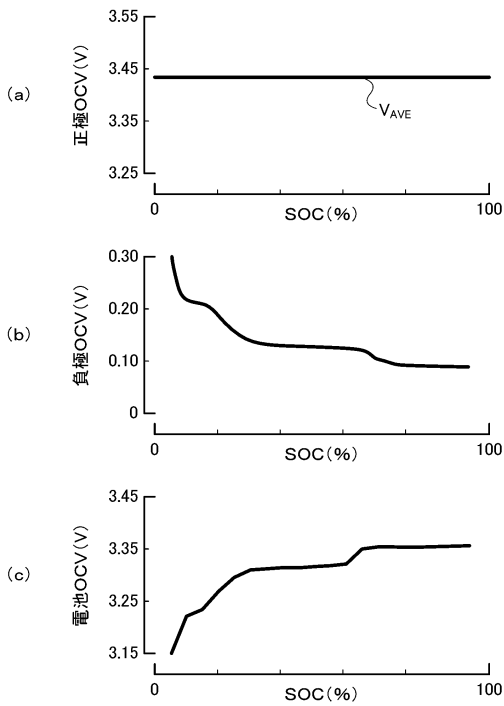


【図 2】

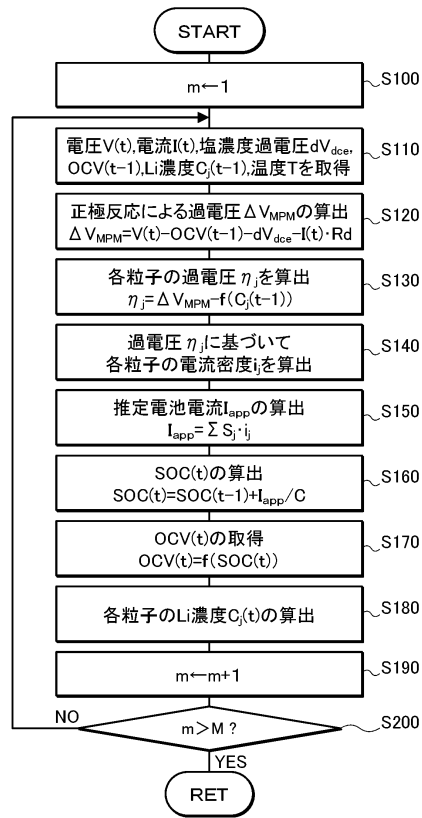


10

【図 3】



【図 4】



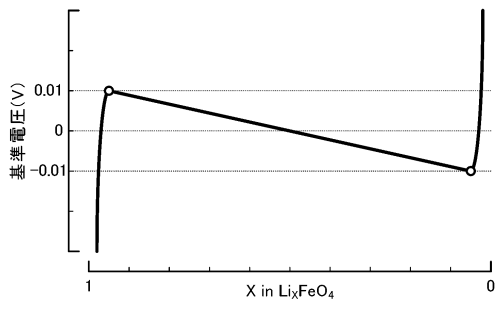
20

30

40

50

【図 5】



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 (2006.01) H 0 2 J 7/00 X

(56)参考文献 特開 2 0 1 3 - 7 2 6 5 9 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 1 5 / 0 1 9 4 8 2 ( W O , A 1 )  
特開 2 0 1 9 - 9 2 2 7 6 ( J P , A )  
特開 2 0 1 8 - 6 3 1 9 1 ( J P , A )  
特開 2 0 1 9 - 1 4 4 0 3 9 ( J P , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
G 0 1 R 3 1 / 3 6  
H 0 1 M 1 0 / 4 8  
H 0 1 M 4 / 5 8  
H 0 2 J 7 / 0 0