

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6881154号
(P6881154)

(45) 発行日 令和3年6月2日(2021.6.2)

(24) 登録日 令和3年5月10日(2021.5.10)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 R 31/392 (2019.01)	GO 1 R 31/392	
GO 1 R 31/389 (2019.01)	GO 1 R 31/389	
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 2 J 7/00	P
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 2 J 7/00	Q
HO 1 M 10/42 (2006.01)	HO 1 M 10/48	P
請求項の数 5 (全 30 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2017-159955 (P2017-159955)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成29年8月23日 (2017.8.23)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2019-39700 (P2019-39700A)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(43) 公開日	平成31年3月14日 (2019.3.14)	(72) 発明者	芳賀 伸烈 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1年12月20日 (2019.12.20)	(72) 発明者	浜口 寛 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		(72) 発明者	金田 亮 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 二次電池の劣化状態推定方法および二次電池システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両に搭載された制御装置により実行される、二次電池の劣化状態推定方法であって、前記車両に搭載された前記二次電池の電圧値および電流値を前記車両の運転中の所定期間に複数回取得してメモリに格納するステップと、

前記所定期間における、前記二次電池の電流変化幅、前記二次電池の温度変化幅および前記二次電池のSOC変化幅を算出するステップと、

前記所定期間における前記二次電池の温度、電流またはSOC毎に定められた、前記電流変化幅の許容上限を示す許容電流変化幅、前記温度変化幅の許容上限を示す許容温度変化幅、および、前記SOC変化幅の許容上限を示す許容SOC変化幅を、前記所定期間における前記二次電池の平均温度、平均電流または平均SOCと、前記許容電流変化幅、前記許容温度変化幅および前記許容SOC変化幅との対応関係を参照することによって取得するステップと、

前記電流変化幅が前記許容電流変化幅を下回るとの電流条件、前記温度変化幅が前記許容温度変化幅を下回るとの温度条件、および、前記SOC変化幅が前記許容SOC変化幅を下回るとのSOC条件がいずれも成立する場合に、前記メモリに格納された前記二次電池の前記複数回の電圧値および電流値の周波数変換を行なうことにより、周波数変換された電圧値および電流値から前記二次電池の周波数域毎のインピーダンス成分を算出するステップと、

前記周波数域毎のインピーダンス成分を用いて、各前記周波数域に応じた劣化モードの

前記二次電池の劣化状態を推定するステップとを含む、二次電池の劣化状態推定方法。

【請求項 2】

前記周波数域毎のインピーダンス成分のうち、前記二次電池の劣化が進行しやすい周波数域のインピーダンス成分ほどインピーダンス成分の算出頻度を高くする、請求項 1 に記載の二次電池の劣化状態推定方法。

【請求項 3】

前記所定期間に前記二次電池の温度分布の偏り、前記二次電池の電解液中における塩濃度分布の偏り、および、前記二次電池の活物質中の電荷輸送物質の濃度分布の偏りのうちの少なくとも 1 つを示すパラメータが基準値を上回った場合には、前記電流条件、前記温度条件および前記 SOC 条件がいずれも成立したとしても前記周波数域毎のインピーダンス成分の算出を禁止するステップをさらに含む、請求項 1 または 2 に記載の二次電池の劣化状態推定方法。

10

【請求項 4】

前記電流条件、前記温度条件および前記 SOC 条件がいずれも成立し、かつ、前記パラメータが前記基準値よりも低い他の基準値を下回った場合には、前記周波数域毎のインピーダンス成分の算出を再開するステップをさらに含む、請求項 3 に記載の二次電池の劣化状態推定方法。

【請求項 5】

車両に搭載されて用いられる二次電池システムであって、
二次電池と、
メモリを含み、前記二次電池の劣化状態を推定するように構成された推定装置とを備え

20

前記推定装置は、

前記二次電池の電圧値および電流値を前記車両の運転中の所定期間に複数回取得して前記メモリに格納し、

前記所定期間における、前記二次電池の電流変化幅、前記二次電池の温度変化幅および前記二次電池の SOC 変化幅を算出し、

前記所定期間における前記二次電池の温度、電流または SOC 毎に定められた、前記電流変化幅の許容上限を示す許容電流変化幅、前記温度変化幅の許容上限を示す許容温度変化幅、および、前記 SOC 変化幅の許容上限を示す許容 SOC 変化幅を、前記所定期間における前記二次電池の平均温度、平均電流または平均 SOC と、前記許容電流変化幅、前記許容温度変化幅および前記許容 SOC 変化幅との対応関係を参照することによって取得し、

30

前記電流変化幅が前記許容電流変化幅を下回るとの電流条件、前記温度変化幅が前記許容温度変化幅を下回るとの温度条件、および、前記 SOC 変化幅が前記許容 SOC 変化幅を下回るとの SOC 条件がいずれも成立する場合に、前記メモリに格納された前記二次電池の前記複数回の電圧値および電流値の周波数変換を行なうことにより、周波数変換された電圧値および電流値から前記二次電池の周波数域毎のインピーダンス成分を算出し、

前記周波数域毎のインピーダンス成分を用いて、各前記周波数域に応じた劣化モードの前記二次電池の劣化状態を推定する、二次電池システム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、二次電池の劣化状態推定方法および二次電池システムに関し、より特定的には、車両に搭載された二次電池の劣化状態を推定するための二次電池の劣化状態推定方法、および、車両に搭載されて用いられる二次電池システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、走行用の二次電池が搭載された車両の普及が進んでいる。これらの車両に搭載された二次電池は、使用方法または使用環境に伴い、あるいは時間の経過に伴い劣化し得る

50

ため、二次電池の劣化状態を高精度に推定することが求められている。そこで、二次電池のインピーダンス（内部抵抗）に基づいて二次電池の劣化状態を推定する方法が提案されている。

【0003】

たとえば、特開2005-221487号公報（特許文献1）に開示された方法によれば、周期性を持たない多様な波形の充放電電流が二次電池を流れる状態で電流値および電圧値が測定される。そして、測定された電流値および電圧値のフーリエ変換を行なうことにより、フーリエ変換後の電流値および電圧値から所定周波数におけるインピーダンスが算出される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-221487号公報

【特許文献2】特開2015-190918号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

二次電池のインピーダンス（周波数域毎のインピーダンス成分）は、電流依存性、温度依存性およびSOC（State Of Charge）依存性を有し得る。そのため、フーリエ変換では、データ（電圧値および電流値）を所定の期間、取得することが求められるところ、データ取得中に二次電池の電流、温度またはSOCに変化する可能性がある。このような場合には、電流依存性、温度依存性またはSOC依存性の影響がインピーダンスに正確に反映されず、高精度にインピーダンスを算出することができなくなる可能性がある。その結果、二次電池の劣化状態の推定精度が低下してしまう可能性がある。

【0006】

本開示は上記課題を解決するためになされたものであって、その目的は、車両に搭載された二次電池の劣化状態を推定するための劣化状態推定方法において、二次電池の劣化状態の推定精度を向上させることである。

【0007】

また、本開示の他の目的は、車両に搭載可能に構成された二次電池システムにおいて、二次電池の劣化状態の推定精度を向上させることである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

（1）本開示のある局面に従う二次電池の劣化状態推定方法は、車両に搭載された制御装置により実行される。二次電池の劣化状態推定方法は、第1～第5のステップを含む。第1のステップは、上記車両に搭載された二次電池の電圧値および電流値を車両の運転中の所定期間に複数回取得してメモリに格納するステップである。第2のステップは、所定期間における、二次電池の電流変化幅、二次電池の温度変化幅および二次電池のSOC変化幅を算出するステップである。第3のステップは、所定期間における二次電池の温度、電流またはSOC毎に定められた、電流変化幅の許容上限を示す許容電流変化幅、温度変化幅の許容上限を示す許容温度変化幅、および、SOC変化幅の許容上限を示す許容SOC変化幅を二次電池の温度、電流またはSOCから取得するステップである。第4のステップは、電流変化幅が許容電流変化幅を下回るとの電流条件、温度変化幅が許容温度変化幅を下回るとの温度条件、および、SOC変化幅が許容SOC変化幅を下回るとのSOC条件がいずれも成立する場合に、メモリに格納された二次電池の複数回の電圧値および電流値の周波数変換（フーリエ変換）を行なうことにより、周波数変換された電圧値および電流値から二次電池の周波数域毎のインピーダンス成分を算出するステップである。第5のステップは、周波数域毎のインピーダンス成分を用いて、各周波数域に応じた劣化モードの二次電池の劣化状態を推定するステップである。

【0009】

10

20

30

40

50

(6) 本開示の他の局面に従う二次電池システムは、車両に搭載されて用いられる。二次電池システムは、二次電池と、メモリを含み、二次電池の劣化状態を推定するように構成された推定装置とを備える。推定装置は、二次電池の電圧値および電流値を車両の運転中の所定期間に複数回取得してメモリに格納し、所定期間における、二次電池の電流変化幅、二次電池の温度変化幅および二次電池のSOC変化幅を算出し、所定期間における二次電池の、電流またはSOC温度毎に定められた、電流変化幅の許容上限を示す許容電流変化幅、温度変化幅の許容上限を示す許容温度変化幅、および、SOC変化幅の許容上限を示す許容SOC変化幅を二次電池の温度、電流またはSOCから取得し、電流変化幅が許容電流変化幅を下回るとの電流条件、温度変化幅が許容温度変化幅を下回るとの温度条件、および、SOC変化幅が許容SOC変化幅を下回るとのSOC条件がいずれも成立する場合に、メモリに格納された二次電池の複数回の電圧値および電流値の周波数変換を行なうことにより、周波数変換された電圧値および電流値から二次電池の周波数域毎のインピーダンス成分を算出し、周波数域毎のインピーダンス成分を用いて、各周波数域に応じた劣化モードの二次電池の劣化状態を推定する。

10

【0010】

(2) 好ましくは、取得するステップ(第3のステップ)は、所定期間における二次電池の平均温度、平均電流または平均SOCと、許容電流変化幅、許容温度変化幅および許容SOC変化幅との対応関係(たとえばマップ)を参照することによって、二次電池の平均温度、平均電流または平均SOCから許容電流変化幅、許容温度変化幅および許容SOC変化幅を取得するステップを含む。

20

【0011】

上記方法または構成によれば、所定期間中に電流条件、温度条件およびSOC条件がいずれも成立する場合に二次電池のインピーダンス(周波数域毎のインピーダンス成分)が算出される。言い換えれば、所定期間中に二次電池の電流、温度およびSOCのうち少なくとも1つが対応する許容変化幅よりも大きく変化した場合には、その所定期間に取得された電圧値および電流値は周波数変換の対象から外され、インピーダンスの算出には用いられない。これにより、インピーダンスの算出結果にインピーダンスの電流依存性、温度依存性およびSOC依存性の影響を適切に反映させることが可能になるので、二次電池の劣化状態の推定精度を向上させることができる。

【0012】

30

(3) 好ましくは、制御装置は、周波数域毎のインピーダンス成分のうち、二次電池の劣化が進行しやすい周波数域のインピーダンス成分ほどインピーダンス成分の算出頻度を高くする。

【0013】

上記方法によれば、二次電池の劣化が進行しやすい周波数域のインピーダンス成分ほどインピーダンス成分の算出頻度を高くすることにより、劣化が進行しやすい周波数域のインピーダンス成分を、より重点的に監視することができる。

【0014】

(4) 好ましくは、二次電池の劣化状態推定方法は、所定期間に二次電池の抵抗に影響を与える以下の3つの分布の偏り(二次電池の温度分布の偏り、二次電池の電解液中における塩濃度分布の偏り、および、前記二次電池の活物質中の電荷輸送物質の濃度分布の偏り)のうち少なくとも1つを示すパラメータが基準値を上回った場合には、電流条件、温度条件およびSOC条件がいずれも成立したとしても周波数域毎のインピーダンス成分の算出を禁止するステップをさらに含む。

40

【0015】

(5) 好ましくは、二次電池の劣化状態推定方法は、電流条件、温度条件およびSOC条件がいずれも成立し、かつ、パラメータが基準値よりも低い他の基準値を下回った場合には、周波数域毎のインピーダンス成分の算出を再開するステップをさらに含む。

【0016】

上記方法によれば、上記パラメータが基準値を上回った場合には、二次電池内の温度分

50

布に偏りが生じたり、電解液中における塩濃度分布の塩濃度分布に偏りが生じたり、活物質中の電荷輸送物質の濃度分布の偏りが生じている可能性が高いとして、周波数域毎のインピーダンス成分の算出が禁止される。その後、上記パラメータが他の基準値を下回ると、上記各分布の偏りは時間の経過とともに緩和されたとして、インピーダンス成分の算出が再開される。これにより、周波数域毎のインピーダンス成分の算出時には、上記各分布の偏りが生じていないことが担保されるので、インピーダンス成分の算出精度を向上させることができる。また、必要に応じてインピーダンス成分の算出が再開されるので、インピーダンス成分の算出機会を十分に得ることができる。

【発明の効果】

【0017】

本開示によれば、二次電池の劣化状態の推定精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】実施の形態1に係る二次電池システムが搭載された車両の全体構成を概略的に示す図である。

【図2】バッテリーおよび監視ユニットの構成をより詳細に説明するための図である。

【図3】車両の走行中におけるバッテリーの電流、温度およびSOCの時間変化の一例を示す図である。

【図4】バッテリーのインピーダンス成分を説明するための図である。

【図5】バッテリーのインピーダンス成分の周波数依存性を説明するための図である。

【図6】フーリエ変換による周波数域毎のインピーダンス成分の算出手法を説明するための概念図である。

【図7】実施の形態1におけるバッテリーの劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。

【図8】あるデータ取得期間におけるデータ（電圧、電流および温度）の時間変化の一例を示す図である。

【図9】マップの一例を示す図である。

【図10】インピーダンス成分の算出結果の一例を示す図である。

【図11】実施の形態1の変形例1におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。

【図12】実施の形態1の変形例1におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態1の変形例2におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。

【図14】車両1の走行中におけるバッテリーの電流の時間変化の一例を示す図である。

【図15】実施の形態2におけるバッテリーの劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。

【図16】実施の形態3における各周波数域のインピーダンス成分の算出頻度の設定手法を説明するための図である。

【図17】実施の形態3におけるバッテリーの劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。

【図18】劣化速度の補正手法を説明するための図である。

【図19】実施の形態3の変形例におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。

【図20】実施の形態3の変形例における他のデータ取得手法を説明するための概念図である。

【図21】実施の形態3の変形例におけるさらに他のデータ取得手法を説明するための概念図である。

【図22】実施の形態4におけるバッテリーの劣化状態の判定方法を説明するためのタイムチャートである。

10

20

30

40

50

【図 2 3】禁止しきい値および再開しきい値未満を設定するためのマップの一例を示す図である。

【図 2 4】実施の形態 4 におけるバッテリーの劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

【0020】

[実施の形態 1]

<二次電池システムの構成>

図 1 は、実施の形態 1 に係る二次電池システムが搭載された車両の全体構成を概略的に示す図である。図 1 を参照して、車両 1 は、代表的にはハイブリッド車両である。しかし、本開示に係る電池システムは、ハイブリッド車両（プラグインハイブリッド車を含む）に限らず、二次電池システムから供給される電力を用いて動力を発生させる車両全般に適用可能である。そのため、車両 1 は、電気自動車またな燃料電池車であってもよい。

【0021】

車両 1 は、二次電池システム 2 と、パワーコントロールユニット（PCU：Power Control Unit）30 と、モータジェネレータ 41、42 と、エンジン 50 と、動力分割装置 60 と、駆動軸 70 と、駆動輪 80 とを備える。二次電池システム 2 は、バッテリー 10 と、監視ユニット 20 と、電子制御装置（ECU：Electronic Control Unit）100 とを備える。

【0022】

エンジン 50 は、空気と燃料との混合気を燃焼させたときに生じる燃焼エネルギーをピストンおよびロータなどの運動子の運動エネルギーに変換することによって動力を出力する内燃機関である。

【0023】

動力分割装置 60 は、たとえば、サンギヤ、キャリア、リングギヤの 3 つの回転軸を有する遊星歯車機構（図示せず）を含む。動力分割装置 60 は、エンジン 50 から出力される動力を、モータジェネレータ 41 を駆動する動力と、駆動輪 80 を駆動する動力とに分割する。

【0024】

モータジェネレータ 41、42 の各々は、交流回転電機であり、たとえば、ロータに永久磁石（図示せず）が埋設された三相交流同期電動機である。モータジェネレータ 41 は、主として、動力分割装置 60 を経由してエンジン 50 により駆動される発電機として用いられる。モータジェネレータ 41 が発電した電力は、PCU 30 を介してモータジェネレータ 42 またはバッテリー 10 に供給される。

【0025】

モータジェネレータ 42 は、主として電動機として動作し、駆動輪 80 を駆動する。モータジェネレータ 42 は、バッテリー 10 からの電力およびモータジェネレータ 41 の発電電力の少なくとも一方を受けて駆動され、モータジェネレータ 42 の駆動力は駆動軸 70 に伝達される。一方、車両の制動時や下り斜面での加速度低減時には、モータジェネレータ 42 は、発電機として動作して回生発電を行なう。モータジェネレータ 42 が発電した電力は、PCU 30 を介してバッテリー 10 に供給される。

【0026】

バッテリー 10 は、複数のセル 11 を含んで構成される。各セル 11 は、たとえばリチウムイオン二次電池またはニッケル水素電池などの二次電池である。バッテリー 10 は、モータジェネレータ 41、42 を駆動するための電力を蓄え、PCU 50 を通じてモータジェネレータ 41、42 へ電力を供給する。また、バッテリー 10 は、モータジェネレータ 41、42 の発電時に PCU 30 を通じて発電電力を受けて充電される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 7 】

監視ユニット 2 0 は、電圧センサ 2 1 と、電流センサ 2 2 と、温度センサ 2 3 とを含む。電圧センサ 2 1 は、複数のセルからなるブロック（モジュール）の電圧 V_B を検出する。電流センサ 2 2 は、バッテリー 1 0 に入出力される電流 I_B を検出する。温度センサ 2 3 は、セル 1 1 毎の温度 T_B を検出する。各センサは、その検出結果を示す信号を E C U 1 0 0 に出力する。なお、バッテリー 1 0 および監視ユニット 2 0 の構成については図 2 にて、より詳細に説明する。

【 0 0 2 8 】

P C U 3 0 は、E C U 1 0 0 からの制御信号に従って、バッテリー 1 0 とモータジェネレータ 4 1 , 4 2 との間で双方向の電力変換を実行する。P C U 3 0 は、モータジェネレータ 4 1 , 4 2 の状態を別々に制御可能に構成されており、たとえば、モータジェネレータ 4 1 を回生状態（発電状態）にしつつ、モータジェネレータ 4 2 を力行状態にすることができる。P C U 3 0 は、たとえば、モータジェネレータ 4 1 , 4 2 に対応して設けられる 2 つのインバータと、各インバータに供給される直流電圧をバッテリー 1 0 の出力電圧以上に昇圧するコンバータ（いずれも図示せず）とを含んで構成される。

【 0 0 2 9 】

E C U 1 0 0 は、C P U (Central Processing Unit) 1 0 0 A と、メモリ (R O M (Read Only Memory) および R A M (Random Access Memory)) 1 0 0 B と、各種信号を入出力するための入出力ポート（図示せず）とを含んで構成される。E C U 1 0 0 は、各センサから受ける信号ならびにメモリ 1 0 0 B に記憶されたプログラムおよびマップに基づいて、車両 1 を所望の状態に制御するための各種処理を実行する。

【 0 0 3 0 】

具体的には、E C U 1 0 0 は、バッテリー 1 0 の S O C (State Of Charge) を推定する。S O C の推定には、電流積算法などの公知の手法を用いることができる。また、E C U 1 0 0 は、エンジン 5 0 および P C U 3 0 を制御することにより、バッテリー 1 0 の充電電を制御する。さらに、E C U 1 0 0 は、バッテリー 1 0 のインピーダンス（内部抵抗）を算出する。バッテリー 1 0 のインピーダンスは、電圧 V_B と電流 I_B （の絶対値）との比（ $= V_B / I_B$ ）から算出することができる。インピーダンスの算出については後に詳細に説明する。

【 0 0 3 1 】

図 2 は、バッテリー 1 0 および監視ユニット 2 0 の構成をより詳細に説明するための図である。図 1 および図 2 を参照して、バッテリー 1 0 においては、複数のセル 1 1 が並列接続されてブロック 1 0 1 ~ 1 0 M を構成し、複数のブロック 1 0 1 ~ 1 0 M が直列接続されてバッテリー 1 0 を構成する。より具体的には、バッテリー 1 0 は、直列接続された M 個のブロック 1 0 1 ~ 1 0 M を含む。各ブロックは、並列接続された N 個のセル 1 1 を含む。なお、M , N は、2 以上の自然数である。

【 0 0 3 2 】

電圧センサ 2 1 1 は、ブロック 1 0 1 の電圧を検出する。すなわち、電圧センサ 2 1 1 は、ブロック 1 0 1 を構成する N 個のセルの電圧 V_B を検出する。電圧センサ 2 1 2 ~ 2 1 M についても同様である。電流センサ 2 2 は、各ブロック 1 0 1 ~ 1 0 M に流れる電流 I_B を検出する。

【 0 0 3 3 】

なお、電圧センサの監視単位はブロックに限定されず、セル 1 1 毎であってもよいし、隣接する複数（ブロック内のセル数未満の数）のセル 1 1 毎であってもよい。また、バッテリー 1 0 の内部構成が特に影響せず、ブロック 1 0 1 ~ 1 0 M を互いに区別したり複数のセル 1 1 を互いに区別したりしなくてよい場合には、包括的にバッテリー 1 0 と記載する。

【 0 0 3 4 】

以上のように構成された車両 1 が走行中の場合、バッテリー 1 0 の電圧 V_B , 電流 I_B , 温度 T_B および S O C は、時間の経過とともに変化し得る。なお、車両 1 が「走行中」とは、車両 1 がイグニッションオンされて走行可能な状態であればよく、車両 1 が一時的に

10

20

30

40

50

停止した状態も含み得る。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、車両 1 の走行中におけるバッテリー 10 の電流 I_B 、温度 T_B および $SO C$ の時間変化の一例を示す図である。図 3 および後述する図 8 において、横軸は経過時間を示す。縦軸は、上から順に、電流 I_B 、温度 T_B および $SO C$ を示す。なお、電圧 V_B も電流 I_B と同様に不規則に変化し得るが、図面が煩雑になるのを防ぐため、以下では電圧 V_B については図示を省略する。

【 0 0 3 6 】

図 3 に示すように、温度 T_B および $SO C$ の変化にはある程度の時間を要するため、温度 T_B および $SO C$ が滑らかに変化する。これに対し、車両 1 の走行中には、電流 I_B が不規則に変化する可能性がある。このように不規則に変化する電流 I_B を用いてバッテリー 10 のインピーダンスを算出する際に、本実施の形態では、以下に説明するように、インピーダンス成分の周波数依存性が考慮される。

【 0 0 3 7 】

< インピーダンスの算出 >

図 4 は、バッテリー 10 のインピーダンス成分を説明するための図である。図 4 には、バッテリー 10 (セル 11) の正極、負極およびセパレータの等価回路図の一例が示されている。一般に、二次電池のインピーダンスは、直流抵抗と、反応抵抗と、拡散抵抗とに大別される。

【 0 0 3 8 】

直流抵抗とは、正極と負極との間でのイオンおよび電子の移動に関連するインピーダンス成分である。直流抵抗は、二次電池に高負荷が印加された場合 (高電圧が印加されたり大電流が流れたりした場合) の電解液の塩濃度分布等の偏りによる増加する。なお、直流抵抗は、等価回路図において、正極の活物質抵抗 R_{a1} 、負極の活物質抵抗 R_{a2} およびセパレータの電解液抵抗 R_3 として表される。

【 0 0 3 9 】

反応抵抗とは、電解液と活物質界面との界面 (正極活物質および負極活物質の表面) における電荷の授受 (電荷移動) に関連するインピーダンス成分である。反応抵抗は、高 $SO C$ 状態の二次電池が高温環境下にある場合に活物質 / 電解液界面に被膜が成長することなどにより増加する。反応抵抗は、等価回路図において、正極の抵抗成分 R_{c1} および負極の抵抗成分 R_{c2} として表される。

【 0 0 4 0 】

拡散抵抗とは、電解液中での塩または活物質中の電荷輸送物質の拡散に関連するインピーダンス成分である。拡散抵抗は、高負荷印加時の活物質割れなどにより増加する。拡散抵抗は、正極に発生する平衡電圧 V_{eq1} と、負極に発生する平衡電圧 V_{eq2} と、セル内に発生する塩濃度過電圧 V_{ov3} (セパレータ内で活物質の塩濃度分布が生じること起因する過電圧) とから定まる。

【 0 0 4 1 】

このように、バッテリー 10 のインピーダンスには様々なインピーダンス成分が含まれ、各インピーダンス成分が異なる劣化モードに対応する。インピーダンス成分毎に、電流 I_B に対する応答に要する時間 (応答時間) が異なる。応答時間が相対的に小さいインピーダンス成分は、電圧 V_B の高周波数での変化に追従可能である。一方、応答時間が相対的に大きいインピーダンス成分は、高周波数での電圧 V_B の変化には追従することができない。したがって、以下に説明するように、低周波域、中周波域および高周波域の周波数域毎に、その周波数域において支配的なバッテリー 10 のインピーダンス成分 (あるいは劣化モード) を切り分けることができる。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、バッテリー 10 のインピーダンス成分の周波数依存性を説明するための図である。図 5 において、横軸は電流 I_B (または電圧 V_B) の周波数を示し、縦軸はバッテリー 10 のインピーダンスを示す。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

図5に示すように、電流 I_B の周波数が高周波域に含まれる場合に測定されるインピーダンス成分（以下「高周波インピーダンス成分」と称する）には、主としてバッテリー10の直流抵抗が反映される。

【 0 0 4 4 】

電流 I_B の周波数が中周波域に含まれる場合に測定されるインピーダンス成分（以下「中周波インピーダンス成分」と称する）には、主としてバッテリー10の反応抵抗と直流抵抗とが反映される。そのため、たとえば、中周波インピーダンス成分と高周波インピーダンス成分との差分から反応抵抗を求めることができる。

【 0 0 4 5 】

電流 I_B の周波数が低周波域に含まれる場合に測定されるインピーダンス成分（以下「低周波インピーダンス成分」と称する）には、バッテリー10の反応抵抗、直流抵抗および拡散抵抗がいずれも反映される。そのため、たとえば、低周波インピーダンス成分と中周波インピーダンス成分との差分から拡散抵抗を求めることができる。

【 0 0 4 6 】

このように、周波数域毎にインピーダンス成分を算出することにより、直流抵抗、反応抵抗および拡散抵抗のうちのどの抵抗が増加したかを特定することができる。そして、たとえば、現時点での抵抗（直流抵抗、反応抵抗および拡散抵抗のいずれか）がバッテリー10の初期状態における抵抗からどの程度増加したかを求めることによって、バッテリー10の劣化の要因（劣化の種類）を推定したり、要因毎の劣化の進行度合いを推定したりすることが可能になる。つまり、各劣化モードに対応するバッテリー10の劣化状態を高精度に推定することができる。周波数域毎のインピーダンス成分の算出にはフーリエ変換が用いられる。

【 0 0 4 7 】

図6は、フーリエ変換による周波数域毎のインピーダンス成分の算出手法を説明するための概念図である。図6に示すように、電流 I_B （および電圧 V_B ）にフーリエ変換を施すことにより、電流 I_B を低周波成分と中周波成分と高周波成分とに分解することができる。このように分解された電圧 V_B および電流 I_B に基づいて、周波数域毎にインピーダンス成分を算出することができる。

【 0 0 4 8 】

なお、以下では、電圧 V_B および電流 I_B に対して高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）を実施することによりインピーダンス成分を算出する例について説明する。ただし、フーリエ変換のアルゴリズムはFFTに限定されず、離散フーリエ変換（DFT：Discrete Fourier Transform）であってもよい。

【 0 0 4 9 】

フーリエ変換の精度を確保するためには、ある程度の期間、データ（電圧 V_B および電流 I_B ）を取得してECU100のメモリ100Bに格納した上でフーリエ変換を実施することが求められる。フーリエ変換を実施するためのデータを取得する期間を「データ取得期間」とも記載する。データ取得期間は、本開示に係る「所定期間」に相当する。

【 0 0 5 0 】

ここで、バッテリー10のインピーダンス（各周波数域のインピーダンス成分）は、電流依存性、温度依存性およびSOC依存性を有し得る。そのため、あるデータ取得期間中にバッテリー10の電流 I_B 、温度 T_B およびSOCのいずれかが過度に変化した場合には、そのデータ取得期間中のある期間（変化前の期間）と別の期間（変化後の期間）とでは依存性（電流依存性、温度依存性またはSOC依存性）の影響が異なるにもかかわらず一括してフーリエ変換が実施されることになるので、高精度にインピーダンスを算出することができなくなる可能性がある。

【 0 0 5 1 】

そこで、本実施の形態においては、フーリエ変換の対象とするデータには、データ取得期間中にバッテリー10の電流 I_B 、温度 T_B およびSOCがいずれも大きく変化していな

10

20

30

40

50

いと条件を課すこととする。以下、本実施の形態におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法について詳細に説明する。

【0052】

<バッテリーの劣化状態判定>

図7は、実施の形態1におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。図7ならびに後述する図12、図15、図17および図24に示す各フローチャートは、車両1の走行中に所定周期が経過する度にメインルーチンから呼び出されて実行される。各ステップ(Sと略す)は、基本的にはECU100によるソフトウェア処理によって実現されるが、ECU100内に作製された電子回路によるハードウェア処理によって実現されてもよい。

10

【0053】

図7を参照して、S102~S106の処理は、各センサ等から取得されたデータをインピーダンスの算出に使用するか否かを判定する準備のための処理であるため、以下では「判定準備処理」と記載する場合がある(S100)。より具体的には、S102において、ECU100は、あるデータ取得期間 P_n (n は自然数)において、バッテリー10の監視ユニット20内の各センサから予め定められたサンプリング周期で電圧 V_B 、電流 I_B および温度 T_B を取得する。データ取得期間 P_n の長さは、たとえば数秒~数十秒程度に設定することができる。また、ECU100は、所定の周期でバッテリー10のSOCを推定する。そして、ECU100は、すべてのデータ(電圧 V_B 、電流 I_B 、温度 T_B の取得結果およびSOCの算出結果)をメモリ100Bに一時的に格納する。

20

【0054】

S104において、ECU100は、データ取得期間 P_n における電流 I_B の変化幅を示す電流変化幅 I_B を算出する。また、ECU100は、データ取得期間 P_n における温度 T_B の変化幅を示す温度変化幅 T_B を算出する。さらに、ECU100は、データ取得期間 P_n におけるバッテリー10のSOCの変化幅を示すSOC変化幅 SOC を算出する。

【0055】

図8は、データ取得期間 P_n 、 P_{n+1} におけるデータの時間変化の一例を示す図である。図8に示すように、電流変化幅 I_B は、データ取得期間 P_n におけるバッテリー10の充電方向および放電方向の両方向を考慮した上で、電流 I_B の変化幅から算出することができる。温度変化幅 T_B は、データ取得期間 P_n における最高温度(温度 T_B の最高値)と最低温度(温度 T_B の最低値)との差分から算出することができる。SOC変化幅 SOC は、データ取得期間 P_n における最高SOCと最低SOCとの差分から算出することができる。

30

【0056】

図7に戻り、S106において、ECU100は、メモリ100Bに予め不揮発的に記憶されたマップMP1を参照することによって許容電流変化幅 $I_{B_{max}}$ を取得する。許容電流変化幅 $I_{B_{max}}$ とは、S102にてメモリ100Bに格納されたデータをインピーダンス算出に使用するか否かの判定基準となるパラメータであり、電流変化幅 I_B の許容上限を示すものである。さらに、ECU100は、温度変化幅 T_B およびSOC変化幅 SOC についても同様に、マップMP1を参照することによって許容温度変化幅 $T_{B_{max}}$ および許容SOC変化幅 SOC_{max} をそれぞれ取得する。

40

【0057】

図9は、マップMP1の一例を示す図である。図9に示すように、マップMP1においては、データ取得期間 P_n におけるバッテリー10の平均温度 $T_{B_{ave}}$ の範囲毎に、データ取得期間中 P_n における許容電流変化幅 $I_{B_{max}}$ 、許容温度変化幅 $T_{B_{max}}$ および許容SOC変化幅 SOC_{max} が定められている。図9に示した具体的な数値は、マップMP1の理解を容易にするための例示に過ぎないことに留意すべきである。

【0058】

なお、マップMP1は、本開示に係る「対応関係」に相当する。しかし、「対応関係」

50

はマップに限定されず、たとえば関数または変換式であってもよい。また、平均温度 $T_{B_{ave}}$ に代えて、たとえば最高温度または最低温度を用いてもよいし、温度 T_B の最頻値を用いてもよい。さらに、詳細な説明は繰り返さないが、温度 T_B (平均温度 $T_{B_{ave}}$ 、最高温度、最低温度または最頻温度) に代えて、電流 I_B (たとえば平均電流、最高電流、最低電流) または SOC (たとえば平均 SOC 、最高 SOC 、最低 SOC) を用いてもよい。また、マップ $MP1$ では、温度 T_B 、電流 I_B および SOC のうちの2つまたは3つを組み合わせて用いてもよい。

【0059】

図7に戻り、 $S110$ において、 $ECU100$ は、電流変化幅 I_B が許容電流変化幅 $I_{B_{max}}$ 未満であるか否かを判定する。さらに、 $ECU100$ は、温度変化幅 T_B が許容温度変化幅 $T_{B_{max}}$ 未満であるか否かを判定するとともに、 SOC 変化幅 SOC が許容 SOC 変化幅 SOC_{max} 未満であるか否かを判定する。

10

【0060】

電流変化幅 I_B 、温度変化幅 T_B および SOC 変化幅 SOC がいずれも対応する許容変化幅未満である場合、すなわち、 $I_B < I_{B_{max}}$ との電流条件が成立し、かつ、 $T_B < T_{B_{max}}$ との温度条件が成立し、かつ $SOC < SOC_{max}$ との SOC 条件が成立する場合 ($S110$ において YES)、 $ECU100$ は、 $S102$ にてメモリ $100B$ に格納されたデータ(電圧 V_B および電流 I_B) に対して FFT を実施する ($S120$)。さらに、 $ECU100$ は、周波数域にインピーダンス成分を算出する ($S130$)。各周波数域のインピーダンス成分は、その周波数域の電圧 V_B と電流 I_B との比 (V_B / I_B) により算出することができる(インピーダンス成分の詳細な算出式については、たとえば特許文献1を参照)。

20

【0061】

図10は、インピーダンス成分の算出結果の一例を示す図である。図10において、横軸は、周波数を対数目盛りで示す。低周波域は、たとえば 0.001 Hz 以上かつ 0.1 Hz 未満の周波数域である。中周波域は、たとえば 1 Hz 以上かつ 10 Hz 未満の周波数域である。高周波域は、たとえば 100 Hz 以上かつ 1 kHz 未満の周波数域である。図10の縦軸は、インピーダンスを示す。

【0062】

図10に示すように、各周波数域において、周波数が異なる多数のインピーダンス成分が算出される。そのため、 $ECU100$ は、低周波域、中周波域および高周波数域の各々について、多数のインピーダンス成分からインピーダンス成分の代表値を決定する。

30

【0063】

たとえばインピーダンス成分の最大値を代表値とする場合には、 $ECU100$ は、低周波域におけるインピーダンス成分の最大値を低周波インピーダンス成分 Z_L に決定する。また、中周波域におけるインピーダンス成分の最大値を中周波インピーダンス成分 Z_M に決定するとともに、高周波域におけるインピーダンス成分の最大値を高周波インピーダンス成分 Z_H に決定する。なお、最大値を代表値とすることは一例であり、各周波数域内における多数のインピーダンス成分の平均値を代表値としてもよい。

【0064】

なお、インピーダンス成分の算出では以下の要因による誤差が生じ得る。すなわち、電圧センサ21からの信号および電流センサ22からの信号の各々にホワイトノイズが重畳し得る。また、電圧センサ21からの信号の $ECU100$ による取得タイミングと、電流センサ22からの信号の取得タイミングとが完全には一致せず、ずれが生じ得る。

40

【0065】

このようなノイズの影響を低減するための対策として、連続する複数のデータ取得期間に取得されたデータから算出されたインピーダンス成分の間で、周波数毎にインピーダンス成分の平均化処理を行なうことが好ましい。たとえば、データ取得期間 P_n に取得されたデータから算出されたある周波数のインピーダンス成分と、データ取得期間 P_{n+1} に取得されたデータから算出された同じ周波数のインピーダンス成分との平均値を算出する

50

。一例として、周波数 0.01 Hz に関し、2つのデータ取得期間 P_n, P_{n+1} におけるインピーダンス成分の平均値を算出する。このように平均値を算出した後に、上記した代表値の算出（たとえば、各周波数域内で周波数が異なる多数のインピーダンス成分の平均化処理）を行なうことができる。

【0066】

また、この平均化処理に用いられるデータのデータ取得期間について、連続するデータ取得期間であると説明した。これは、連続するデータ取得期間であれば、バッテリー10の使用条件、すなわち電流 I_B 、温度 T_B および $SO C$ が同等である可能性が高いためである。しかし、同等の使用条件下（電流 I_B 、温度 T_B および $SO C$ の差がいずれも所定値以下との条件下）で取得されたデータであれば、データ取得期間が連続していることは必須ではない。たとえば、ある日の走行中に取得されたデータと次の日の走行中に取得されたデータとを用いて平均化処理を行なってもよい。

10

【0067】

図7に戻り、各波数域におけるインピーダンス成分の算出後には、 $ECU100$ は、メモリ100Bに格納されたデータを破棄（消去）する（ $S140$ ）。

【0068】

これに対し、 $S110$ において電流変化幅 I_B 、温度変化幅 T_B および $SO C$ 変化幅 $SO C$ のうちの1つでも対応する許容変化幅よりも大きい場合、すなわち、 I_B 、 $I_{B_{max}}$ 、 T_B 、 $T_{B_{max}}$ および $SO C$ 、 $SO C_{max}$ のうちの少なくとも1つの関係式が成立する場合（ $S110$ において NO ）には、 $ECU100$ は、 $S120$ 、 $S130$ の処理をスキップして処理を $S140$ に進め、メモリ100Bに格納されたデータを破棄する。

20

【0069】

$S190$ において、 $ECU100$ は、 $S130$ にて算出された各周波数域内でのインピーダンス成分に基づいて、バッテリー10の劣化状態を判定するための処理を実行する（ $S190$ ）。以下、この処理を「劣化判定処理」とも称する。

【0070】

より具体的には、 $S192$ において、 $ECU100$ は、バッテリー10の劣化状態を判定することが可能か否かを判定する（ $S192$ ）。たとえば、バッテリー10の劣化状態を高精度に推定するために推定に複数回のインピーダンス成分の算出結果が用いられる場合には、必要回数の算出結果が得られているときにバッテリー10の劣化状態が判定可能であると判定される。バッテリー10の劣化状態を判定可能な場合（ $S194$ において YES ）、 $ECU100$ は、各周波数域におけるバッテリー10の劣化状態を判定する（ $S194$ ）。バッテリー10の劣化状態が判定可能でない場合（ $S194$ において NO ）には、 $ECU100$ は、各周波数域におけるバッテリー10の劣化状態を判定することなく、処理をメインルーチンへと戻す。

30

【0071】

バッテリー10の劣化状態の判定後の $ECU100$ は、劣化状態に応じた制御をさらに実行してもよい。一例として、各周波数域におけるインピーダンス成分には、第1の基準値と、第1の基準値よりも高い第2の基準値とが予め定められている。いずれかの周波数域においてインピーダンス成分が第1の基準値よりも高い場合には、 $ECU100$ は、バッテリー10の劣化が進行しつつある（バッテリー10の劣化がある程度進行している）と判定する。この場合、 $ECU100$ は、たとえばバッテリー10の充放電を抑制することができる。具体的には、 $ECU100$ は、インピーダンス成分が第1の基準値未満の場合と比べて、バッテリー10の充放電電力の制限上限値（充電電力制御上限値および放電電力制御上限値）を低く設定する。これにより、バッテリー10の劣化のさらなる進行を抑制したり、バッテリー10の劣化速度を低減したりすることができる。

40

【0072】

また、いずれかの周波数域においてインピーダンス成分が第2の基準値よりも高い場合には、 $ECU100$ は、バッテリー10が大きく劣化していると判定する。そのため、 EC

50

U100は、バッテリー10の充放電を速やかに停止するための制御を実行する。たとえば、ECU100は、車両1をフェールセーフモードへと遷移させ、ディーラまたは修理工場等へと車両1を持ち込んで適切な点検を受けるように車両1のユーザに報知する。

【0073】

劣化判定処理の実行後には、図7に示した一連の処理が所定周期毎に実行される。その結果、今回のデータ取得期間 P_n の以降のデータ取得期間 P_{n+1} 、 P_{n+2} 、・・・(図8参照)においても同様の処理が繰り返し実行されることになる。

【0074】

以上のように、実施の形態1によれば、バッテリー10のインピーダンスが電流依存性、温度依存性およびSOC依存性を有する点に着目し、データ取得期間中にバッテリー10の電流 I_B 、温度 T_B およびSOCがいずれも大きく変化していない場合にインピーダンスが算出される。言い換えれば、データ取得期間中にバッテリー10の電流 I_B 、温度 T_B およびSOCのうちの少なくとも1つが対応する許容変化幅(I_{Bmax} 、 T_{Bmax} 、 SOC_{max})よりも大きく変化した場合には、そのデータ取得期間に取得されたデータ(電圧 V_B および電流 I_B)はFFTの対象から外され、インピーダンスの算出には用いられない。これにより、バッテリー10のインピーダンスの算出結果に電流依存性、温度依存性およびSOC依存性を適切に反映させることが可能になるので、バッテリー10の劣化状態の推定精度を向上させることができる。

【0075】

なお、実施の形態1では、ハイブリッド車である車両1の走行中に生じる不規則な電流波形(および電圧波形)を用いてバッテリー10のインピーダンス成分を算出する構成について説明した。図示しないが、車両1がプラグインハイブリッド車または電気自動車である場合、すなわち、車両外部に設けられた電源(外部電源)から供給される電力によりバッテリー10を充電可能な構成(いわゆる外部充電が可能な構成)を車両1が有する場合には、外部充電時に外部電源から供給される電流波形によりインピーダンス成分を算出してもよい。外部電源からの一定の電流波形の電力を供給するのに代えて、周波数域が低周波域～高周波域に亘る電流波形(サイン波、矩形波または三角波など)とすることによって、各周波数域におけるインピーダンス成分を算出することが可能になる。

【0076】

温度 T_B が低い場合(たとえば氷点下の場合)には、劣化速度 DL 、 DM 、 DH の電流依存性およびSOC依存性の影響が大きくなり得る。そうすると、電流およびSOCのわずかな誤差に伴い、インピーダンスの算出結果が大きく変化することになり、インピーダンスの算出精度が低くなる可能性がある。

【0077】

そこで、たとえば、車両1のバッテリー10に昇温装置(たとえば図示しない電気ヒータ)が設けられている場合には、インピーダンス成分の算出に先立ち昇温装置を動作させることによって、バッテリー10の温度 T_B を上昇させてもよい。あるいは、バッテリー10にリップル電流を印加し、それに伴うバッテリー10の発熱(ジュール熱の発生)により、バッテリー10の温度 T_B を上昇させてもよい。これにより、インピーダンスの電流依存性およびSOC依存性の影響が減少するので、インピーダンスの算出精度を向上させることができる。

【0078】

[実施の形態1の変形例1]

高周波域のインピーダンス成分を算出するためには、データのサンプリング周期を短くすることを要する。たとえば、周波数1kHzにおけるインピーダンス成分を算出する場合、サンプリング周期は1ms以下(好ましくは0.5ms以下)に設定される。一方、低周波域のインピーダンス成分の算出には、長期間データを取得(サンプリング)してメモリ100Bに格納することが要求される。たとえば、周波数10mHzにおけるインピーダンス成分を算出するためには、少なくとも100秒のデータをメモリ100Bに格納しなければならない。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 9 】

高周波域のインピーダンス成分および低周波域のインピーダンス成分の両方の算出が求められる場合、たとえば1ms以下のサンプリング周期で取得された100秒以上のデータをメモリ100Bに格納することも考えられる。しかしながら、その場合、大容量のメモリ100Bが必要になり、部材コストが増大してしまう可能性がある。このような課題に対処するため、実施の形態1の変形例1においては、メモリ100Bの記憶容量を削減可能な構成について説明する。

【 0 0 8 0 】

図11は、実施の形態1の変形例1におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。図11において、横軸は経過時間を示し、縦軸はバッテリー10の電流IBを示す。図11では、車両1の走行中に電流IBが図11(A)に示すように不規則に変化した場合を例に説明する。

10

【 0 0 8 1 】

高周波インピーダンス成分ZHを算出するためには、サンプリング周期を密にしなければならない一方で、長時間のデータ取得は必要とされない。逆に、低周波域のインピーダンス成分の算出には、長時間のデータ取得が要求される一方で、サンプリング周期は密でなくてよい。そのため、本変形例では、図11(B)に示すように、データ取得期間Pn中に高周波数で密に取得されたデータ(電圧VBおよび電流IBの測定結果)がメモリ100Bに格納される。そして、データ取得期間Pnが経過した時点で、データ取得期間Pn中に取得されたデータに基づいて高周波インピーダンス成分ZHが算出される。

20

【 0 0 8 2 】

その後、密なサンプリング周期で取得されたデータを所定の規則に従って部分的に破棄することによってデータ量を削減する処理、いわばデータの間引き処理が実行される。具体例を挙げて説明すると、サンプリング周期1msで取得されたデータに対して、たとえば1個のデータを残しつつ、そのデータに続く999個のデータについては破棄する処理を繰り返す。これにより、サンプリング周期が1msである密なデータを、サンプリング周期が1秒である疎なデータへと変換することができる。そして、変換後のデータ(間引き処理後のデータ)がメモリ100Bに格納される。

【 0 0 8 3 】

続くデータ取得期間Pn+1~Pn+k(kは自然数)においても上述の手法と同様にデータの間引き処理が行なわれ、間引き処理後のデータがメモリ100Bに格納される(図11(C)参照)。そして、データ取得期間Pn~Pn+kにメモリ100Bに格納された間引き処理後のデータに基づいて、低周波インピーダンス成分ZLが算出される。低周波インピーダンス成分ZLの算出後には、すべてのデータが破棄される。

30

【 0 0 8 4 】

なお、たとえば図2に示したように、バッテリー10の温度TBおよびSOCは、電圧VBおよび電流IBと比べて、不規則な変化が起こりにくい。そのため、温度TBおよびSOCについてはサンプリング周期を十分に長くすることができる。

【 0 0 8 5 】

以下では、サンプリング周期が密なデータ(間引き処理前のデータ)に基づいて中周波インピーダンス成分ZMが算出される例について説明する。しかし、中周波インピーダンス成分ZMは、サンプリング周期が疎なデータ(間引き処理後のデータ)に基づいて算出されてもよい。

40

【 0 0 8 6 】

図12は、実施の形態1の変形例1におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。図12を参照して、このフローチャートは、S120~S140の処理に代えてS220~S260の処理を含む点において、実施の形態1におけるフローチャート(図7参照)と異なる。S200の判定準備処理は、実施の形態1における判定準備処理(S100の処理)と同等である。

【 0 0 8 7 】

50

S 2 1 0において、E C U 1 0 0は、S 2 0 0の判定準備処理の結果に基づいて、すべての変化幅（ $I B$ ， $T B$ ， $S O C$ ）が対応する許容変化幅（ $I B_{m a x}$ ， $T B_{m a x}$ ， $S O C_{m a x}$ ）未満であるか否かを判定する。電流変化幅 $I B$ 、温度変化幅 $T B$ および $S O C$ 変化幅 $S O C$ のうち少なくとも1つが対応する許容変化幅以上である場合（S 2 1 0においてNO）には、E C U 1 0 0は、F F Tを実施することなく、判定準備処理にてメモリ1 0 0 Bに格納されたデータ（電圧 $V B$ 、電流 $I B$ 、温度 $T B$ の取得結果および $S O C$ の算出結果）を破棄する（S 2 6 0）。その後、処理はS 2 9 0に進められ、劣化判定処理が実行される。劣化判定処理（S 2 9 0の処理）は、実施の形態1における劣化判定処理（S 1 9 0の処理）と同等である。

【 0 0 8 8 】

電流変化幅 $I B$ 、温度変化幅 $T B$ および $S O C$ 変化幅 $S O C$ がいずれも対応する許容変化幅未満である場合、すなわち、 $I B < I B_{m a x}$ かつ $T B < T B_{m a x}$ かつ $S O C < S O C_{m a x}$ との関係式が成立する場合（S 2 1 0においてYES）、E C U 1 0 0は、判定準備処理にてメモリ1 0 0 Bに格納されたデータに対してF F Tを実施する（S 2 2 0）。さらに、E C U 1 0 0は、中周波インピーダンス成分 $Z M$ と、高周波インピーダンス成分 $Z H$ とを算出する（S 2 2 2）。

【 0 0 8 9 】

S 2 3 0において、E C U 1 0 0は、高周波数のサンプリング周期で取得されたデータ（以下「高周波数データ」とも称する）の間引き処理を実行する。そして、E C U 1 0 0は、間引き処理後の低周波数のサンプリング周期のデータ（以下「低周波数データ」とも称する）をメモリ1 0 0 Bに格納する。この処理については図1 1にて詳細に説明したため、説明は繰り返さない。

【 0 0 9 0 】

S 2 4 0において、E C U 1 0 0は、必要量の低周波数データがメモリ1 0 0 Bに格納されているか否かを判定する。必要量の低周波数データが格納されている場合、たとえば図1 1に示した例では、データ取得期間 $P_n \sim P_{n+k}$ に亘る低周波数データが格納されている場合（S 2 4 0においてYES）、E C U 1 0 0は、その低周波数データに対してF F Tを実施する（S 2 5 0）。さらに、E C U 1 0 0は、低周波インピーダンス成分 $Z L$ を算出する（S 2 5 2）。インピーダンス成分 $Z L$ の算出後に、E C U 1 0 0は、メモリ1 0 0 Bに格納された低周波数データを破棄する（S 2 5 4）。

【 0 0 9 1 】

なお、S 2 4 0にて必要量の低周波数データがメモリ1 0 0 Bに格納されていない場合（S 2 4 0においてNO）には、E C U 1 0 0は、S 2 5 2～S 2 5 6の処理をスキップする。これにより、低周波数データが必要量に達するまで、以降のデータ取得期間に高周波数データの間引き処理（S 2 3 0の処理）が繰り返し実行される。

【 0 0 9 2 】

以上のように、実施の形態1の変形例1によれば、実施の形態1と同様に、データ取得期間中にバッテリー1 0の電流 $I B$ 、温度 $T B$ および $S O C$ のうち少なくとも1つが対応する許容変化幅よりも大きく変化した場合には、そのデータ取得期間に取得されたデータはF F Tの対象から外され、インピーダンスの算出には用いられない。これにより、インピーダンスの算出精度を向上させ、その結果、バッテリー1 0の劣化状態の推定精度を向上させることができる。

【 0 0 9 3 】

さらに、実施の形態1の変形例1によれば、高周波インピーダンス成分 $Z H$ の算出のために密なサンプリング周期で取得されたデータ（高周波数データ）に対して間引き処理が実行され、間引き処理後のデータ（低周波数データ）がメモリ1 0 0 Bに格納される。そして、複数のデータ取得期間に亘ってメモリ1 0 0 Bに格納された低周波数データに基づいて、低周波インピーダンス成分 $Z L$ が算出される。これにより、低周波インピーダンス成分 $Z L$ の算出のためにメモリ1 0 0 Bに格納されるデータ量が削減される。したがって、メモリ1 0 0 Bの記憶容量を削減し、部材コストの増大を抑制することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 4 】

[実施の形態 1 の変形例 2]

低周波域、中周波域および高周波域のすべての周波数域のインピーダンス成分を常に算出することは必須ではない。実施の形態 1 の変形例 2 においては、いずれかの周波数域のインピーダンス成分について算出が行なわれない期間が設けられている構成について説明する。

【 0 0 9 5 】

図 1 3 は、実施の形態 1 の変形例 2 におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。図 1 3 を参照して、変形例 2 において、低周波インピーダンス成分 Z_L は、定常的に算出される。低周波インピーダンス成分 Z_L しか算出されないデータ取得期間においては、サンプリング周期が比較的長く（粗に）設定される。

10

【 0 0 9 6 】

一方、高周波インピーダンス成分 Z_H は、たとえば m （ m は 2 以上の自然数）回のデータ取得期間が経過する毎に 1 回だけ算出される。高周波インピーダンス成分 Z_H の変化が生じるのに要する時間が長いほど、定数 m を大きく設定することができる。高周波インピーダンス成分 Z_H が算出されるデータ取得期間（図 1 3 では P_{n+2} ）においては、低周波インピーダンス成分 Z_L しか算出されないデータ取得期間（図 1 3 では P_n, P_{n+1} ）と比べて、サンプリング周期が短く（密に）設定される。

【 0 0 9 7 】

なお、図示しないが、中周波インピーダンス成分 Z_M は、低周波インピーダンス成分 Z_L のように定常的に算出されてもよいし、高周波インピーダンス成分 Z_H のように非定常的（定期的）に算出されてもよい。

20

【 0 0 9 8 】

以上のように、実施の形態 1 の変形例 2 によれば、高周波インピーダンス成分 Z_H は、 m 回のデータ取得期間毎にしか算出されない。これにより、高周波インピーダンス成分 Z_H を算出するためにサンプリング周期を常に高く設定しなくてもよくなるので、メモリ 100 B に格納されるデータ量が削減される。したがって、メモリ 100 B の記憶容量を削減し、部材コストの増大を抑制することができる。

【 0 0 9 9 】

[実施の形態 2]

車両 1 の走行中における電流 I_B は基本的に不規則であるものの、電流波形には車両 1 の走行状況が反映され得る。実施の形態 2 においては、車両 1 の走行状況に応じて、データのサンプリング周期を切り替える構成について説明する。実施の形態 2 における車両の全体構成および二次電池システムの構成は、実施の形態 1 における構成（図 1 および図 2 参照）と同等であるため、詳細な説明は繰り返さない。

30

【 0 1 0 0 】

図 1 4 は、車両 1 の走行中におけるバッテリー 10 の電流 I_B の時間変化の一例を示す図である。図 1 4 では、横軸に経過時間が示され、縦軸に電流 I_B が示されている。

【 0 1 0 1 】

図 1 4 を参照して、車両 1 が、たとえば市街地を走行している場合には、電流 I_B の充電方向（負方向）への変化と放電方向（正方向）への変化とが短期間に繰り返されることが多い。このようにバッテリー 10 の充放電が頻りに切り替わる場合の電流波形には高周波成分が多く含まれているので、高周波インピーダンス成分 Z_H の算出に適している。

40

【 0 1 0 2 】

これに対し、車両 1 が、たとえば高速道路を走行している場合には、車両 1 が市街地を走行している場合と比べて、バッテリー 10 の充放電が切り替わりにくいとの特徴があり、比較的狭い電流範囲内での充放電が長期間継続しやすい。このときの電流波形には低周波成分が多く含まれているので、低周波インピーダンス成分 Z_L の算出に適している。

【 0 1 0 3 】

図 1 5 は、実施の形態 2 におけるバッテリー 10 の劣化状態の判定方法を示すフローチャ

50

ートである。図15を参照して、このフローチャートは、S220～S254の処理に代えてS320～S374の処理を含む点において、実施の形態1の変形例1におけるフローチャート(図12参照)と異なる。S300, S310, S380, S390の処理は、実施の形態1の変形例1におけるS200, S210, S260, S290の処理とそれぞれ同等である。

【0104】

S310にて電流変化幅IB、温度変化幅TBおよびSOC変化幅SOCがいずれも対応する許容変化幅未満である場合(S310においてYES)、ECU100は、処理をS320に進め、データ取得期間 P_n における電流変動回数を算出する。電流変動回数とは、電流IBが所定の電流範囲(図14参照)から外れた回数である。

10

【0105】

電流変動回数が所定数以上である場合(S330においてYES)、ECU100は、車両1が市街地を走行しており、高周波インピーダンス成分ZHの算出に適した電流波形が得られるとして、メモリ100Bに格納されたデータ(電圧VB、電流IB、温度TBの取得結果およびSOCの算出結果)に対してFFTを実施する(S340)。さらに、ECU100は、中周波インピーダンス成分ZMと、高周波インピーダンス成分ZHとを算出する(S342)。その後、ECU100は、メモリ100Bに格納された高周波数データを破棄する(S344)。

【0106】

これに対し、S430にて電流変動回数が所定数未満である場合(S330においてNO)、ECU100は、車両1が高速道路を走行しており、低周波インピーダンス成分ZLの算出に適した電流波形が得られるとして、高周波数データの間引き処理を実行する(S350)。この間引き処理は、実施の形態1の変形例1にて説明した処理(図11参照)と同等である。ECU100は、間引き処理後の低周波数データをメモリ100Bに格納する。以下のS360～S374の処理は、実施の形態1の変形例1におけるS240～S254の処理とそれぞれ同等である。よって、詳細な説明は繰り返さない。

20

【0107】

以上のように、実施の形態2によれば、判定準備処理およびそれに続く許容変化幅との比較処理(S300, S310, S380の処理)により、実施の形態1(および変形例1, 2)と同様に、バッテリー10の劣化状態の推定精度を向上させることができる。さらに、実施の形態2によれば、電流IBの変動(電流変動回数の大小)に基づいて、取得された電流波形が高周波インピーダンス成分ZHおよび低周波インピーダンス成分ZLのいずれの算出に適しているかが判定される。これにより、インピーダンス成分の算出精度が向上するので、バッテリー10の劣化状態の推定精度を一層向上させることができる。

30

【0108】

なお、実施の形態2では、電流変動回数に基づいて車両1の現在地が市街地であるか高速道路であるかを判定する例を説明した。しかし、車両1にカーナビゲーションシステム(図示せず)が搭載されている場合には、カーナビゲーションシステムの地図データおよびGPS(Global Positioning System)機能を用いて車両1の現在地を特定してもよい。また、車両1の周囲の他の車両(または設備)との通信により、車両1の現在地を特定してもよい。

40

【0109】

[実施の形態3]

実施の形態3においては、バッテリー10のインピーダンスの算出頻度が周波数域毎に設定される構成について説明する。なお、インピーダンスの算出頻度とは、所定期間にインピーダンス(ある周波数域のインピーダンス成分)が算出される回数を意味する。実施の形態3における車両の全体構成および二次電池システムの構成は、実施の形態1における構成(図1および図2参照)と同等であるため、詳細な説明は繰り返さない。

【0110】

図16は、実施の形態3における各周波数域のインピーダンス成分の算出頻度の設定手

50

法を説明するための図である。図 1 6 および後述する図 1 8 において、横軸は経過時間の平方根を示す。縦軸は、インピーダンス成分 Z_L , Z_M , Z_H の増加率（インピーダンス増加率）を示す。インピーダンス増加率とは、初期状態におけるインピーダンス成分に対する（ある時点での）インピーダンス成分の比を意味する。

【 0 1 1 1 】

図 1 6 を参照して、横軸を経過時間の平方根にとると、インピーダンス増加率は直線により表される。ただし、横軸を経過時間の平方根にとることは例示に過ぎず、横軸は、グラフ上にプロットした場合にインピーダンス増加率が直線により表されるように適宜設定される。

【 0 1 1 2 】

図 1 6 に示すような直線の関係が成立する場合、低周波インピーダンス成分 Z_L の増加率を示す直線の傾きを低周波域におけるバッテリー 1 0 の「劣化速度」と定義し、劣化速度 D_L と記載する。同様に、中周波インピーダンス成分 Z_M の増加率を示す直線の傾きを、中周波域におけるバッテリー 1 0 の劣化速度 D_M と記載する。また、高周波インピーダンス成分 Z_H の増加率を示す直線の傾きを、高周波域におけるバッテリー 1 0 の劣化速度 D_H と記載する。

【 0 1 1 3 】

劣化速度 D_L , D_M , D_H の各々は、事前の測定により求められ、メモリ 1 0 0 B に記憶されている。一般に、バッテリーの劣化の進行度合いは、バッテリーの使用条件（使用環境）に応じて異なる。たとえば、車両が高温地域を走行する場合には、車両が穏やかな気候の地域または寒冷地域を走行する場合と比べて、バッテリーの劣化が進行しやすい。そのため、実施の形態 3 では、バッテリー 1 0 の使用条件（温度 T_B 、電流 I_B および SOC ）と劣化速度との対応関係が劣化速度 D_L , D_M , D_H 毎に測定される。そして、この対応関係の測定結果に基づいて、劣化速度の温度依存性、電流依存性および SOC 依存性を示すマップ（図示せず）が作成され、メモリ 1 0 0 B に記憶される。これにより、車両 1 の使用条件に応じた適切な劣化速度を用いて、インピーダンス成分の算出頻度を周波数域毎に設定することが可能になる。

【 0 1 1 4 】

実施の形態 3 においては、低周波インピーダンス成分 Z_L の算出頻度を F_L と記載し、中周波インピーダンス成分 Z_M の算出頻度を F_M と記載し、高周波インピーダンス成分 Z_H の算出頻度を F_H と記載する。各算出頻度 F_L , F_M , F_H は、劣化速度が速いほど高くなるように設定される。

【 0 1 1 5 】

より具体的には、算出頻度 F_L , F_M , F_H は、劣化速度 D_L , D_M , D_H にそれぞれ比例するように設定することができる。この場合、所定の係数 α を用いて、算出頻度 $F_L = \alpha \times D_L / (D_L + D_M + D_H)$ と表し、算出頻度 $F_M = \alpha \times D_M / (D_L + D_M + D_H)$ と表し、算出頻度 $F_H = \alpha \times D_H / (D_L + D_M + D_H)$ と表すことができる。図 1 6 に示す例では、劣化速度について $D_L < D_M < D_H$ との関係があるので、算出頻度 F_L , F_M , F_H との間には $F_L < F_M < F_H$ との関係が成立する。なお、 $D_L < D_M < D_H$ との関係は例示に過ぎないことを確認的に記載する。

【 0 1 1 6 】

図 1 7 は、実施の形態 3 におけるバッテリー 1 0 の劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。図 1 7 を参照して、 $S410$ において、 $ECU100$ は、前回の低周波インピーダンス成分 Z_L の算出時から所定の期間 T_L が経過したか否かを判定する。

【 0 1 1 7 】

前回の低周波インピーダンス成分 Z_L の算出時から期間 T_L が経過している場合（ $S410$ において YES ）、 $ECU100$ は、サンプリング周期を S_L に設定するとともに、データ取得期間の長さ（データ取得期間長）を P_L に設定する（ $S412$ ）。

【 0 1 1 8 】

前回の低周波インピーダンス成分 Z_L の算出時から期間 T_L が経過していない場合（ S

10

20

30

40

50

410においてNO)、ECU100は、処理をS420に進め、前回の中周波インピーダンス成分ZMの算出時から所定の期間TMが経過したか否かを判定する。前回の中周波インピーダンス成分ZMの算出時から期間TMが経過している場合(S420においてYES)、ECU100は、サンプリング周期をSM(ただし、 $SM < SL$)に設定するとともに、データ取得期間長をPM(ただし、 $PM < PL$)に設定する(S422)。

【0119】

前回の中周波インピーダンス成分ZLの算出時から期間TLが経過していない場合(S420においてNO)、ECU100は、処理をS430に進め、前回の高周波インピーダンス成分ZHの算出時から所定の期間THが経過したか否かを判定する。前回の高周波インピーダンス成分ZHの算出時から期間THが経過している場合(S430においてYES)、ECU100は、サンプリング周期をSH(ただし、 $SH < SM < SL$)に設定するとともに、データ取得期間長をPH(ただし、 $PH < PM < PL$)に設定する(S432)。

10

【0120】

S412, S422, S432の処理のいずれかが終了すると、ECU300は、処理をS440に進め、判定準備処理を実行する。この判定準備処理は、実施の形態1における判定準備処理(図7のS100の処理)と基本的に同等である。より詳細に説明すると、ECU100は、S412, S422, S432の処理にて設定されたデータ取得期間長(PL, PM, PHのいずれか)だけ、設定されたサンプリング周期(SL, SM, SHのいずれか)で電圧VB、電流IBおよび温度TBを取得する。また、ECU100は、所定の間隔でバッテリー10のSOCを推定する。そして、ECU100は、すべてのデータ(電圧VB、電流IB、温度TBの取得結果およびSOCの算出結果)をメモリ100Bに一時的に格納する。さらに、ECU100は、データ取得期間における電流変化幅IB、温度変化幅TBおよびSOC変化幅SOCを算出する。そして、ECU100は、マップMP1(図9参照)を参照することによって、許容電流変化幅 IB_{max} 、許容温度変化幅 TB_{max} および許容SOC変化幅 SOC_{max} を取得する。

20

【0121】

電流変化幅IB、温度変化幅TBおよびSOC変化幅SOCがいずれも対応する許容変化幅(IB_{max} , TB_{max} , SOC_{max})未満である場合(S450においてYES)、ECU100は、S460にてFFTを実施する。さらに、ECU100は、S410~S430にて選択された周波数域のインピーダンス成分を算出する(S462)。より詳細には、S410にて低周波域が選択され、S412の処理が実行された場合には、ECU100は、低周波インピーダンス成分ZLを算出する。S420にて中周波域が選択され、S422の処理が実行された場合には、ECU100は、中周波インピーダンス成分ZMを算出する。S430にて高周波域が選択され、S432の処理が実行された場合には、ECU100は、高周波インピーダンス成分ZHを算出する。

30

【0122】

その後、ECU100は、メモリ100Bに格納されたデータを破棄する(S464)。そして、ECU100は、バッテリー10の劣化状態を判定するための劣化判定処理を実行する(S490)。劣化判定処理は、実施の形態1における劣化判定処理(S190の処理)と同等であるため、詳細な説明は繰り返さない。

40

【0123】

図16では、劣化速度DL, DM, DHに事前の測定結果から求められた値を用いる例を説明したが、劣化速度DL, DM, DHが固定値であることは必須ではない。たとえば車両1のユーザの運転傾向によっては、劣化速度DL, DM, DHの車両1上での実際の算出値と設定値(事前の測定により求められた値)との間に誤差に生じる可能性がある。このような場合には、以下に説明するように、劣化速度DL, DM, DHを適宜補正することができる。

【0124】

図18は、劣化速度DH, DM, DLの補正手法を説明するための図である。図18を

50

参照して、ここでは、ある時刻 t_0 において、低周波インピーダンス成分 Z_L の設定値が Z_{L1} であったのに対し、実際の算出値が Z_{L2} であった場合を例に説明する。低周波インピーダンス成分 Z_L の誤差 ($Z_{L2} - Z_{L1}$) が所定値よりも大きい場合には、低周波インピーダンス成分 Z_L の増加率を示す直線の傾き (劣化速度 D_L) が実際の算出値に基づいて補正される。

【0125】

なお、ここでは低周波インピーダンス成分 Z_L の絶対誤差 ($Z_{L2} - Z_{L1}$) に基づく補正を説明したが、実際の算出値と設定値との相対的な誤差 ($Z_{L2} - Z_{L1}$) / Z_{L2} による補正も可能である。

【0126】

以上のように、実施の形態3によれば、周波数域毎に、劣化速度が速いほどインピーダンス成分の算出頻度が高く設定される。すなわち、インピーダンス成分の増加速度が速いほどインピーダンス成分が高頻度に算出される。これにより、たとえばインピーダンス成分が急激に増加した場合であっても、その増加を速やかに検出することができる。その結果、インピーダンス成分の過度の増加を抑制するための制御を適切なタイミングで実行することが可能になる。

【0127】

逆の視点から説明すると、劣化速度が比較的遅い場合にはインピーダンス成分の急激な増加も起こりにくいので、インピーダンス成分を高頻度に算出しなくてもよい。そのため、実施の形態3によれば、劣化速度が比較的遅い場合にはインピーダンス成分の算出頻度が低く設定される。これにより、ECU100の演算負荷を低減し、ECU100の計算資源(リソース)を効果的に用いることができる。

【0128】

[実施の形態3の変形例]

実施の形態3では、各周波数域におけるインピーダンス成分の算出対象がバッテリー10である旨を説明した。しかし、これは説明を容易にするためであり、バッテリー10には、図2に示したように複数のセル11が含まれる。一般に、車両に搭載される二次電池システムに含まれるセル数は、数十~数百程度もある。そのため、すべてのセル11について、実施の形態3にて説明したようなインピーダンスの算出を並行して実行することは、ECU100の計算資源あるいはコストの面から難しい。そこで、実施の形態3の変形例においては、たとえばブロック101~10M単位でインピーダンス成分が順次算出される。

【0129】

図19は、実施の形態3の変形例におけるデータ取得手法を説明するための概念図である。図19を参照して、実施の形態2の変形例では、まずブロック101について、各周波数域のインピーダンス成分が算出される。続いて、ブロック102について各周波数域のインピーダンス成分が算出される。その後、残りのブロック103~10Mについても同様に各周波数域のインピーダンス成分が算出される。図示しないが、ブロック10Mのインピーダンス成分の算出が終了すると、ブロック101のインピーダンス成分の算出が再び行なわれる。

【0130】

図20は、実施の形態3の変形例における他のデータ取得手法を説明するための概念図である。図20において、横軸はブロック番号を示す。縦軸は、上から順に、ブロック101~10Mのインピーダンス(周波数域毎のインピーダンス成分のうち少なくとも1つ)および算出頻度を示す。

【0131】

図20に示すように、ブロックのインピーダンスが高いほど、そのブロックのインピーダンスの算出頻度を高く設定してもよい。図20に示す例では、ブロック101, 102, 10Mのうちブロック101のインピーダンスが最も高いので、ブロック101のインピーダンスの算出頻度が最も高く設定される。ブロック10Mのインピーダンスが次に高

10

20

30

40

50

いので、ブロック 10M のインピーダンスの算出頻度が 2 番目に高く設定される。ブロック 102 のインピーダンスが最も低いので、ブロック 102 のインピーダンスの算出頻度が最も低く設定される。

【0132】

このように、インピーダンスが高いほどインピーダンスの算出頻度を高く設定することにより、インピーダンスが高くなったブロックを、より重点的に監視することができる。したがって、たとえば、インピーダンスが高くなったブロックのインピーダンスがさらに増加した場合には、その増加を速やかに検出して、インピーダンスの過度の増加を抑制するための制御を実行することが可能になる。

【0133】

図 21 は、実施の形態 3 の変形例におけるさらに他のデータ取得手法を説明するための概念図である。図 21 において、横軸はブロック番号を示す。縦軸は、上から順に、ブロックの温度 TB およびインピーダンスの算出頻度を示す。

【0134】

図 21 を参照して、バッテリー 10 内のブロックの間には、温度分布の偏りが生じていたり SOC 分布の偏りが生じていたりする可能性がある。ブロック間に温度分布の偏りが生じていた場合、温度が高いブロックほど劣化の進行が速い可能性が高いので、インピーダンスの算出頻度が高く設定される。図 21 に示す例では、ブロック 101, 102, 10M のうちブロック 102 の温度 TB が最も高いので、ブロック 102 のインピーダンスの算出頻度が最も高く設定される。ブロック 101 の温度 TB が次に高いので、ブロック 101 のインピーダンスの算出頻度が 2 番目に高く設定される。ブロック 10M の温度 TB が最も低いので、ブロック 10M のインピーダンスの算出頻度が最も低く設定される。

【0135】

このように、高温のブロックほどインピーダンスの算出頻度を高く設定することにより、温度上昇に伴い劣化が進行しやすくなったブロックを、より重点的に監視することができる。

【0136】

ここでは、ブロック間の温度分布に偏りが生じた例を説明したが、ブロック毎の SOC の違いに応じてインピーダンスの算出頻度を設定してもよい。まず、事前の測定により、SOC と劣化の進行度合いとの相関関係が求められる。そして、劣化の進行が速くなりやすい SOC のブロックほど（典型的には高 SOC のブロックほど）インピーダンスの算出頻度を高くする。

【0137】

また、図 2 では電流センサ 22 がバッテリー 10 に 1 つだけ設けられた構成を例に説明した。しかし、バッテリー 10 内に複数の電流センサが設けられた構成の場合には、電流センサの検出値に応じてインピーダンスの算出頻度を設定してもよい。まず、事前の測定により、電流との劣化の進行度合いとの相関関係が求められる。そして、劣化の進行が速くなりやすい電流が流れているブロックまたはセル（典型的には大電流が流れているブロックまたはセル）ほどインピーダンスの算出頻度が高く設定される。

【0138】

さらに、図 19 ~ 図 21 では、ブロック単位でインピーダンスを算出する例について説明したが、算出単位はブロックに限定されない。たとえば、隣接する複数のブロック単位でインピーダンス成分を算出してもよい。その場合、インピーダンスの算出に用いる電圧としては、複数のブロックの電圧 VB の平均値（最大値または最小値であってもよい）が用いられる。また、セル数を均等に分割する必要はなく、ブロックとは異なる単セルまたは 2 以上のセル単位でインピーダンスを算出してもよい。

【0139】

実施の形態 3 の変形例においても、実施の形態 1 の図 10 での説明と同様に、複数のデータ取得期間のデータから算出されたインピーダンス成分の間で、ノイズの影響を低減するための平均化処理（時間的な平均化処理）を行なうことができる。また、ブロック単位

10

20

30

40

50

またはセル単位でインピーダンス成分が算出される場合には、複数のブロックまたは複数のセルの間でインピーダンス成分の平均化処理（空間的な平均化処理）を行なうことで、ノイズの影響を一層低減することができる。その場合、二次電池の劣化に影響を与える重要なパラメータが温度であるところ、隣接する複数のブロック（またはセル）の間では温度が近いことが多いので、隣接する複数のブロック（またはセル）を平均化処理の単位とすることが好ましい。

【0140】

[実施の形態4]

一般に、バッテリーに大電流が一定期間流れると、バッテリーの発熱によりバッテリー内の温度分布に偏りが生じ得るとともに、バッテリー内（より詳細にはセル内）における電解液中の塩濃度分布または活物質中の電荷輸送物質の濃度分布（以下、「濃度分布」と包括的に示す）にも偏りが生じ得る。このような偏りが生じた状態でのインピーダンスの算出結果は、偏りがほとんど生じていない状態での算出結果とは異なる可能性がある。つまり、温度分布または濃度分布に偏りが生じた状態では、インピーダンス成分の算出精度が低下する可能性がある。実施の形態4においては、温度分布および濃度分布の偏りの影響を考慮して周波数域毎のインピーダンス成分を算出する構成について説明する。なお、実施の形態4における車両の全体構成および電池システムの構成は、実施の形態1における構成（図1参照）と同等であるため、詳細な説明は繰り返さない。

【0141】

図22は、実施の形態4におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法を説明するためのタイムチャートである。図22において、横軸は経過時間を示す。縦軸は、上から順に、バッテリー10の電流 I_B および電流積算値 I_{int} を示す。積算電流値 I_{int} とは、直近の所定期間における電流 I_B が積算された値（単位： $A \cdot s$ ）を意味する。積算電流値 I_{int} は、本開示に係る「パラメータ」に相当する。積算電流値 I_{int} には、禁止しきい値 $TH1$ と、禁止しきい値 $TH1$ よりも小さな再開しきい値 $TH2$ とが設定されている。

【0142】

図23は、禁止しきい値 $TH1$ および再開しきい値 $TH2$ 未満を設定するためのマップMP2の一例を示す図である。図23に示すように、たとえば、バッテリー10の平均温度 T_{ave} の範囲毎に、禁止しきい値 $TH1$ および再開しきい値 $TH2$ を定めることができる。なお、具体的な数値は、マップMP2の理解を容易にするための例示である。

【0143】

図22に戻り、時刻 $t1$ において積算電流値 I_{int} が禁止しきい値 $TH1$ 以上になると、周波数域毎のインピーダンス成分の算出が禁止される。より具体的には、データの変化幅（ I_B , T_B , SOC ）の算出も許容変化幅（ I_{Bmax} , T_{Bmax} , SOC_{max} ）の算出も行なわれなくなるので、それらのデータに対するFFTも実施されなくなる。

【0144】

その後、インピーダンス成分の算出が禁止された状態が続く。しかし、大電流により生じた二次電池の温度分布または塩濃度分布の偏りの大部分は一時的なものであり、電流 I_B が一定程度弱まると、時間の経過とともに緩和（解消）され得る。そのため、時刻 $t2$ において積算電流値 I_{int} が再開しきい値 $TH2$ 未満になると、インピーダンス成分の算出が再開される。なお、禁止しきい値 $TH1$ は本開示に係る「基準値」に相当し、再開しきい値 $TH2$ は本開示に係る「他の基準値」に相当する。

【0145】

図24は、実施の形態4におけるバッテリー10の劣化状態の判定方法を示すフローチャートである。図24を参照して、S510において、ECU100は、所定期間における電流 I_B を積算することによって積算電流値 I_{int} を算出する。また、S512において、ECU100は、マップMP2（図23参照）を参照することによって、上記所定期間における平均温度 T_{ave} から禁止しきい値 $TH1$ および再開しきい値 $TH2$ を算出

する。

【 0 1 4 6 】

S 5 2 0 において、E C U 1 0 0 は、積算電流値 $I_{i n t}$ が禁止しきい値 T H 1 以上であるか否かを判定する。積算電流値 $I_{i n t}$ が禁止しきい値 T H 1 未満である場合 (S 5 2 0 において Y E S)、E C U 1 0 0 は、バッテリー 1 0 の温度分布または濃度分布の偏りは生じていないとして、以下の S 5 2 2 , S 5 3 0 , S 5 3 2 の処理をスキップして処理を S 5 4 0 に進め、判定準備処理を実行する。この判定準備処理は、実施の形態 1 における判定準備処理 (図 7 の S 1 0 0 の処理) と同等である。

【 0 1 4 7 】

一方、積算電流値 $I_{i n t}$ が禁止しきい値 T H 1 以上である場合 (S 5 2 0 において Y E S)、E C U 1 0 0 は、バッテリー 1 0 の温度分布または濃度分布の偏りが生じている可能性が高いため、バッテリー 1 0 の周波数域毎のインピーダンス成分の算出を禁止する (S 5 2 2) 。

10

【 0 1 4 8 】

S 5 3 0 において、E C U 1 0 0 は、積算電流値 $I_{i n t}$ が再開しきい値 T H 2 未満であるか否かを判定する。積算電流値 $I_{i n t}$ が再開しきい値 T H 2 以上である場合 (S 5 3 0 において N O) には、E C U 1 0 0 は、処理を S 5 2 2 に戻し、周波数域毎のインピーダンス成分の算出が禁止された状態を維持する。

【 0 1 4 9 】

積算電流値 $I_{i n t}$ が再開しきい値 T H 2 未満になると (S 5 3 0 において Y E S)、E C U 1 0 0 は、バッテリー 1 0 の温度分布および濃度分布の偏りが緩和されたとして、バッテリー 1 0 の周波数域毎のインピーダンス成分の算出を再開可能であると判定する (S 5 3 2) 。そして、E C U 1 0 0 は、処理を S 5 4 0 に進め、判定準備処理を実行する。

20

【 0 1 5 0 】

以上のように、実施の形態 4 によれば、積算電流値 $I_{i n t}$ が禁止しきい値以上 T H 1 を上回った場合には、バッテリー 1 0 内 (セル 1 1 内) の温度分布に偏りが生じたり濃度分布に偏りが生じたりしている可能性が高いとして、周波数域毎のインピーダンス成分の算出が禁止される。その後、積算電流値 $I_{i n t}$ が再開しきい値未満 T H 2 を下回ると、温度分布の偏りおよび濃度分布の偏りは時間の経過とともに緩和されたとして、インピーダンス成分の算出が再開される。これにより、周波数域毎のインピーダンス成分の算出時には、バッテリー 1 0 内の温度分布の偏りおよび塩濃度分布の偏りが生じていないことが担保されるので、インピーダンス成分の算出精度を向上させることができる。その結果、バッテリー 1 0 の劣化状態の推定精度を向上させることが可能になる。

30

【 0 1 5 1 】

なお、実施の形態 4 では、バッテリー 1 0 内の温度分布または濃度分布の偏りが生じているか否かの判定に積算電流値 $I_{i n t}$ が用いられる例について説明した。しかし、たとえば、バッテリー 1 0 に複数の温度センサが設けられている場合には、それらのセンサの検出値に基づいて温度分布の偏りの程度を判定してもよい。また、詳細は説明しないが、濃度分布に偏りが生じているか否かについても、流体力学等を用いた公知のシミュレーション手法を用いることによって判定することができる。

40

【 0 1 5 2 】

今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 符号の説明 】

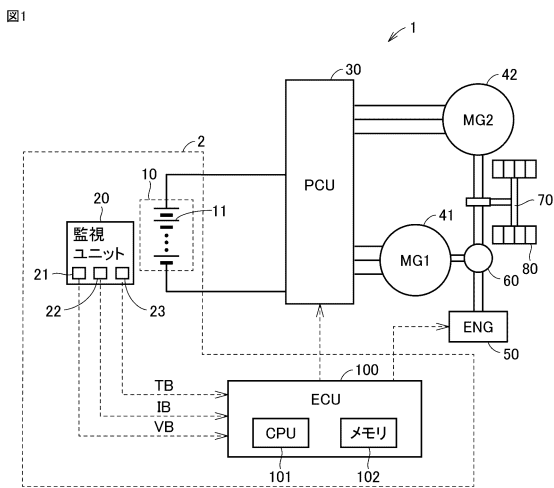
【 0 1 5 3 】

1 車両、2 二次電池システム、10 バッテリー、101 ~ 10M ブロック、11 セル、20 監視ユニット、21, 211 ~ 21M 電圧センサ、22 電流センサ、23 温度センサ、41, 42 モータジェネレータ、50 エンジン、60 動力分割

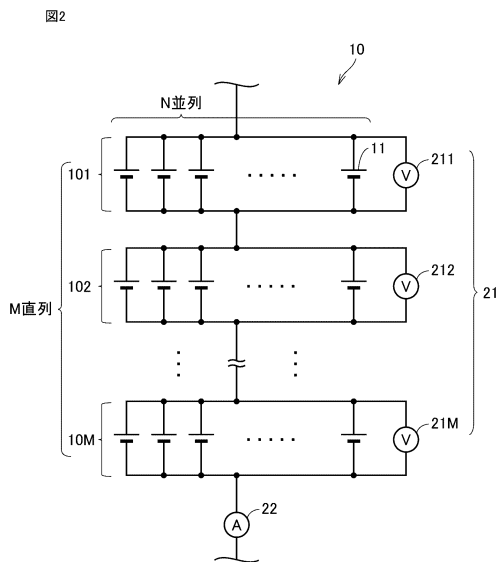
50

装置、70 駆動軸、80 駆動輪、100 ECU、100A CPU、100B メモリ。

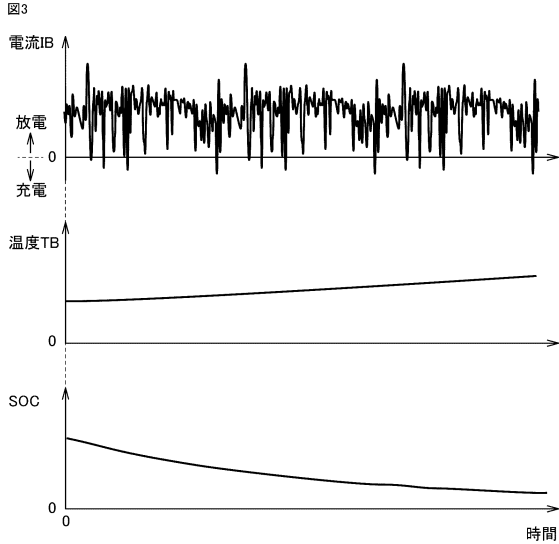
【図1】



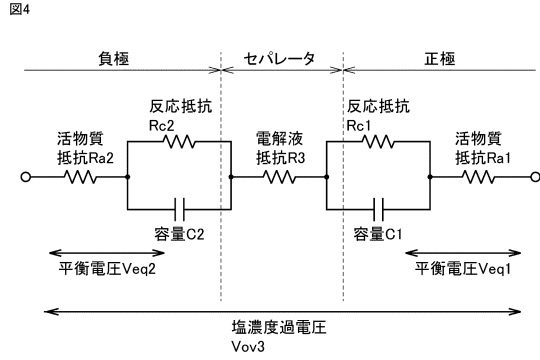
【図2】



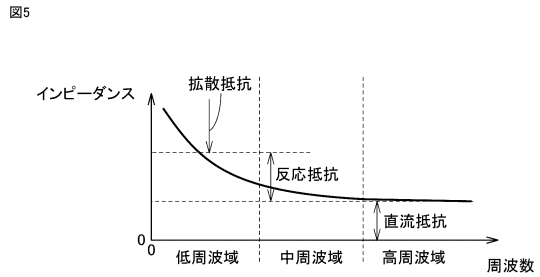
【図3】



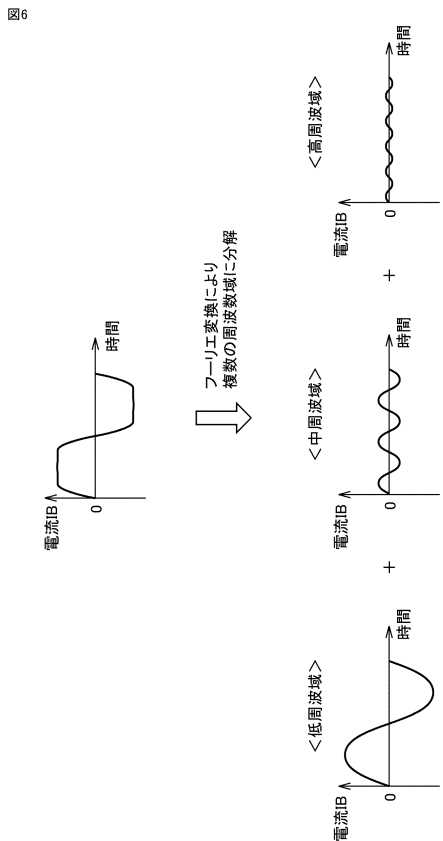
【図4】



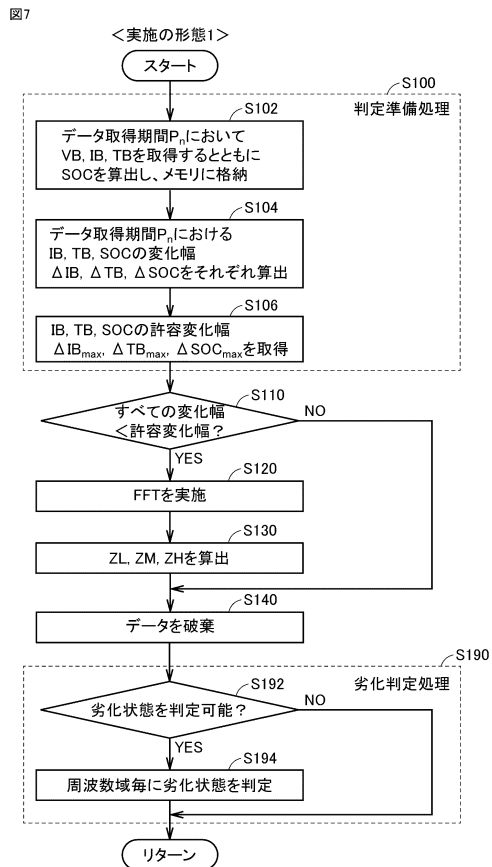
【図5】



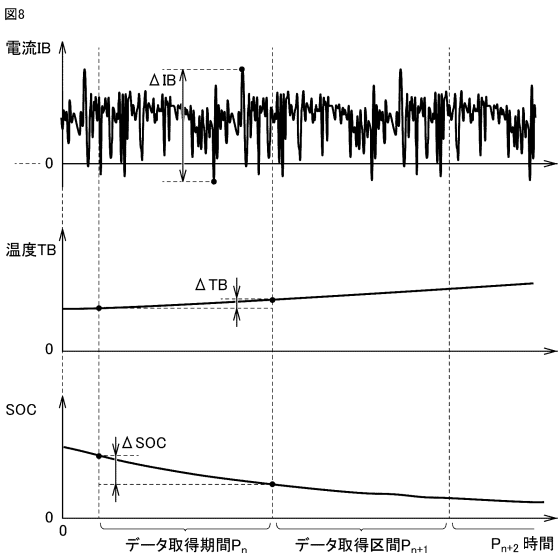
【図6】



【図7】



【図8】

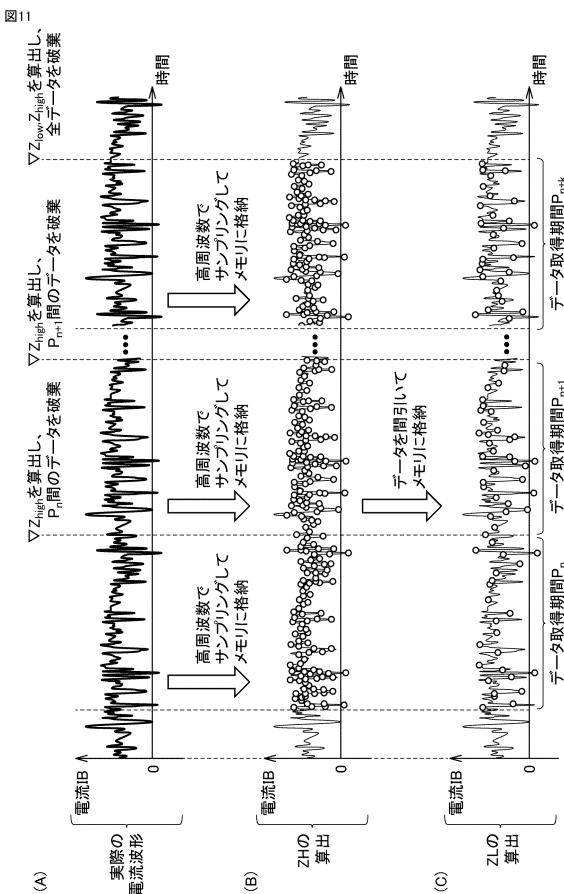


【図9】

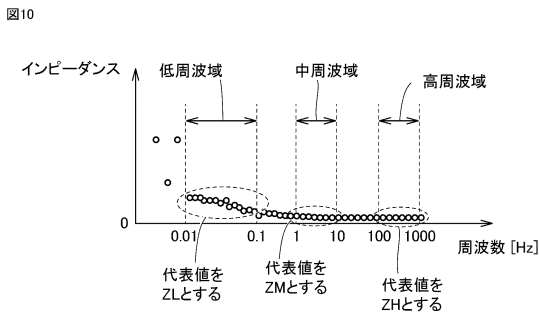
MP1

平均温度TB _{ave}	...	-10°C ~0°C	0°C ~10°C	10°C ~20°C	...
許容電流変化幅ΔIB _{max}	...	20A	30A	40A	...
許容温度変化幅ΔTB _{max}	...	5°C	10°C	15°C	...
許容SOC変化幅ΔSOC _{max}	...	4%	6%	8%	...

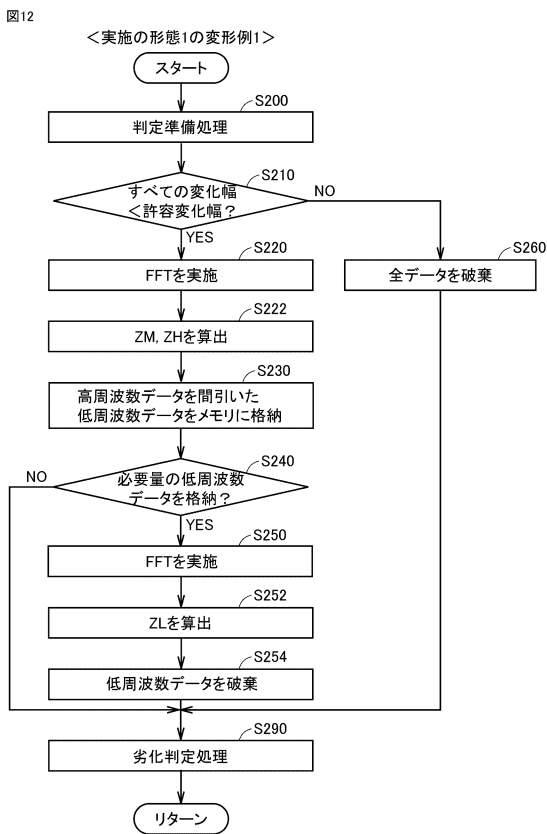
【図11】



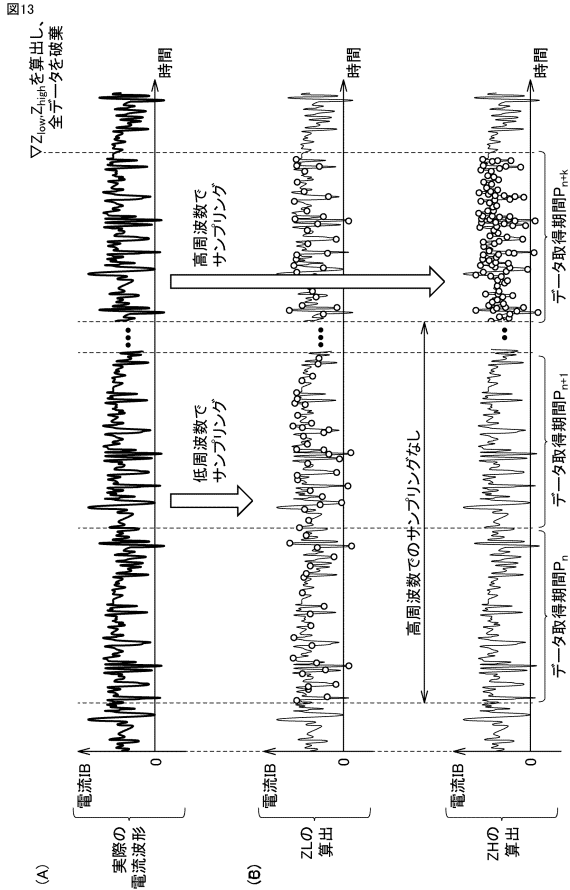
【図10】



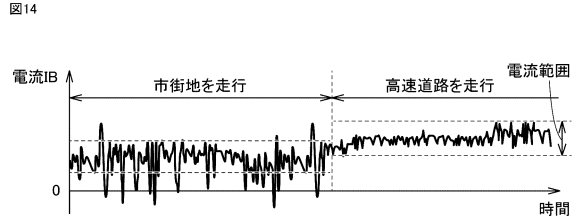
【図12】



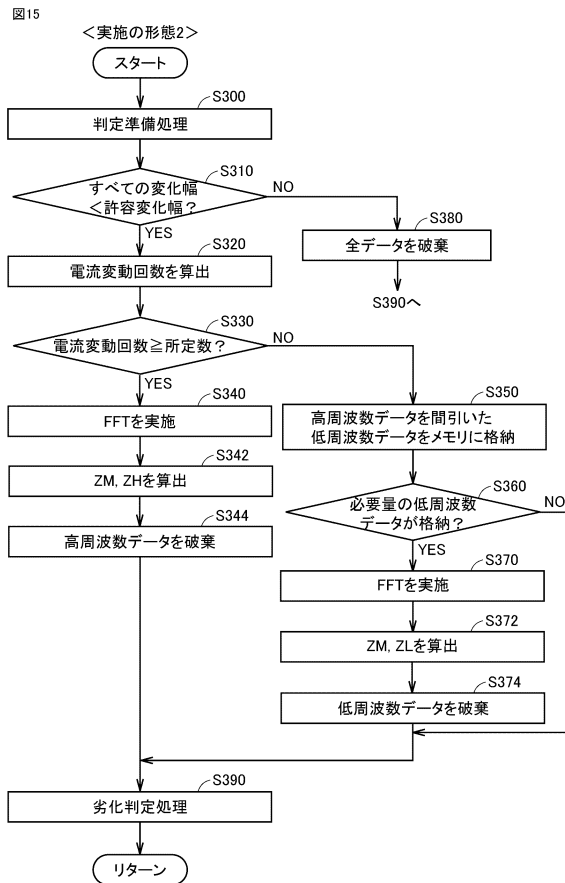
【図13】



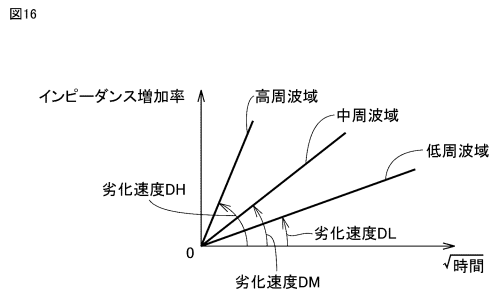
【図14】



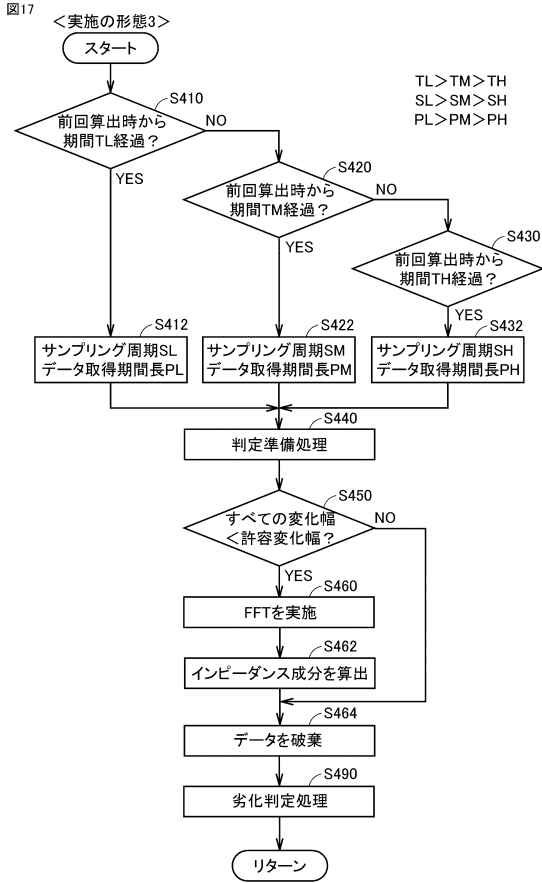
【図15】



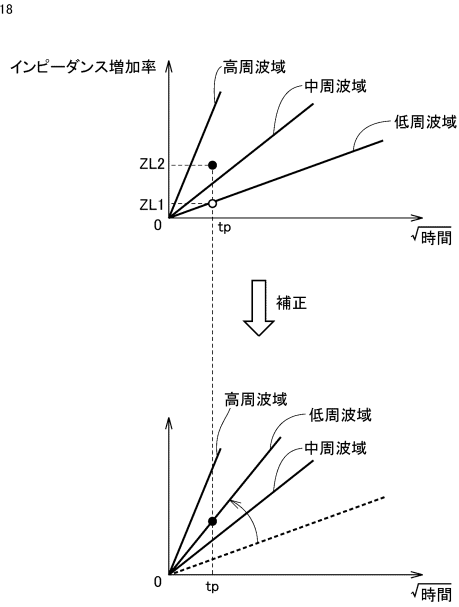
【図16】



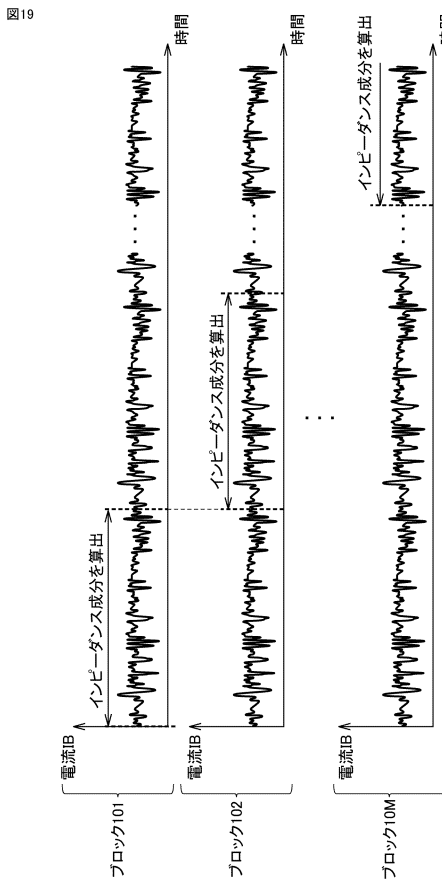
【図17】



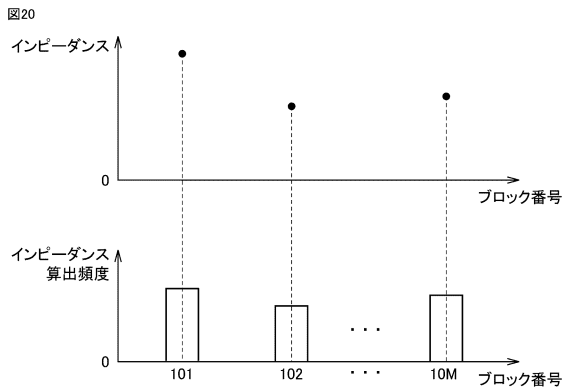
【図18】



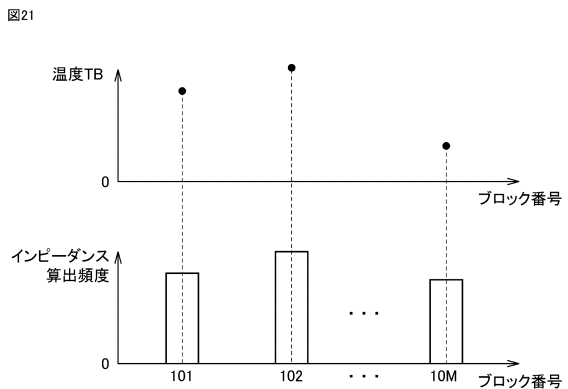
【図19】



【図20】

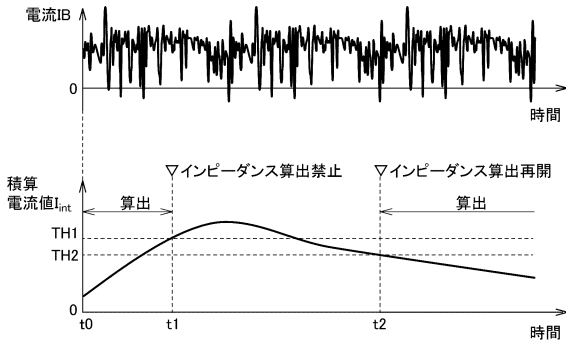


【図21】



【図22】

図22



【図23】

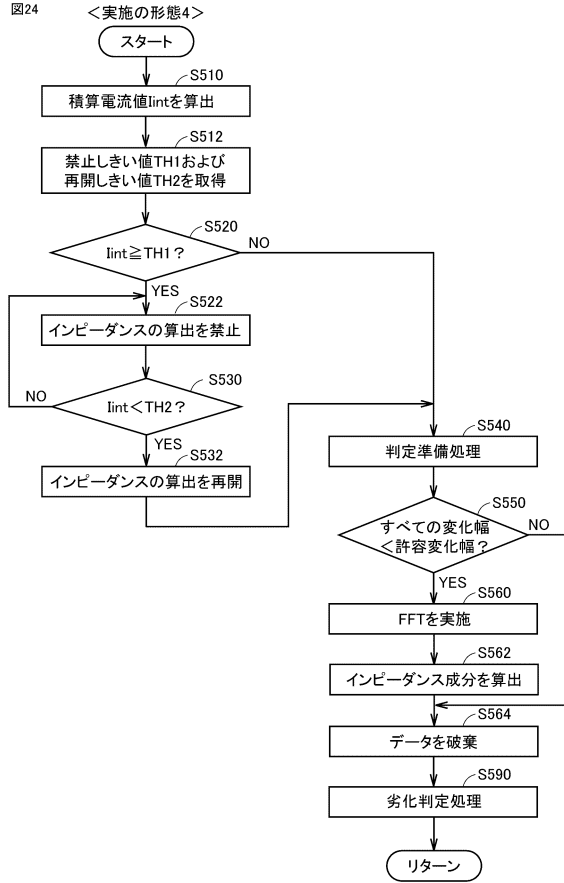
図23

↙ MP2

平均温度 $T_{B_{ave}}$...	-10°C ~0°C	0°C ~10°C	10°C ~20°C	...
禁止しきい値 TH1 [A·s]	...	80	100	120	...
再開しきい値 TH2 [A·s]	...	40	50	60	...

【図24】

図24



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 M 10/42 P
H 0 1 M 10/48 3 0 1

(72)発明者 副島 崇礼
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 永井 皓喜

(56)参考文献 国際公開第2017/047192(WO,A1)
特開2013-195232(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0311736(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 1 R 3 1 / 3 9 2
G 0 1 R 3 1 / 3 8 9
G 0 1 R 3 1 / 3 6
G 0 1 R 2 7 / 0 2
H 0 1 M 1 0 / 4 2
H 0 1 M 1 0 / 4 8
H 0 2 J 7 / 0 0