

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6311746号
(P6311746)

(45) 発行日 平成30年4月18日(2018.4.18)

(24) 登録日 平成30年3月30日(2018.3.30)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 R	31/36	(2006.01)	GO 1 R	31/36	A
HO 1 M	10/42	(2006.01)	HO 1 M	10/42	P
HO 2 J	7/00	(2006.01)	HO 2 J	7/00	Q
HO 1 M	10/44	(2006.01)	HO 1 M	10/44	P
HO 1 M	10/48	(2006.01)	HO 1 M	10/48	P

請求項の数 3 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2016-122555 (P2016-122555)
 (22) 出願日 平成28年6月21日(2016.6.21)
 (65) 公開番号 特開2017-227494 (P2017-227494A)
 (43) 公開日 平成29年12月28日(2017.12.28)
 審査請求日 平成29年3月23日(2017.3.23)

(73) 特許権者 000003137
 マツダ株式会社
 広島県安芸郡府中町新地3番1号
 (74) 代理人 110001427
 特許業務法人前田特許事務所
 (72) 発明者 楊 殿宇
 広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ
 株式会社内
 審査官 名取 乾治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リチウムイオン電池の診断装置及び制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

正極と負極の初期容量が相違し、該正極及び負極のうちの初期容量が大きい一方の電極の容量劣化の進行が他方の電極の容量劣化の進行よりも速いリチウムイオン電池の診断装置であって、

上記リチウムイオン電池が充電されたときに、該リチウムイオン電池のSOCが所定の高SOC範囲になった否か、又は該リチウムイオン電池の電池電圧Vが所定の高電圧範囲になった否かを検出する検出部と、

上記検出部によって、上記SOCが上記高SOC範囲になったこと、又は上記電池電圧Vが上記高電圧範囲になったことが検出されたとき、上記電池電圧Vの変化量dVに対する電池容量Qの変化量dQの割合であるdQ/dV、又は電池容量Qの変化量dQに対する上記電池電圧Vの変化量dVの割合であるdV/dQを算出する算出部と、

上記リチウムイオン電池の充電回数の増大に伴って上記dQ/dVが増大していく状態から減少していく状態への逆転、又は上記リチウムイオン電池の充電回数の増大に伴って上記dV/dQが減少していく状態から増大していく状態への逆転を検出し、当該逆転を生ずる時点で上記正極と負極の実容量の大きさが逆転すると判定する診断部とを備えていることを特徴とするリチウムイオン電池の診断装置。

【請求項2】

正極と負極の初期容量が相違し、該正極及び負極のうちの初期容量が大きい一方の電極の容量劣化速度が他方の電極の容量劣化速度よりも速いリチウムイオン電池の制御装置で

あって、

請求項 1 記載の検出部、算出部及び診断部を備えるとともに、上記リチウムイオン電池の充放電を制御する制御部を備え、

上記制御部は、上記診断部によって上記逆転が検出されたときに、当該逆転を生ずる時点以降の上記充放電の制限を当該時点前に比べて厳しくすることを特徴とするリチウムイオン電池の制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、

上記 dQ/dV 又は dV/dQ についての上記逆転を生ずると見込まれる標準逆転時期が予め設定されており、

上記制御部は、上記リチウムイオン電池が上記標準逆転時期まで使用された後に上記逆転を生ずることが上記診断部によって検出されたときは、当該逆転を生ずる時点以降の上記リチウムイオン電池の充放電を第 1 の基準で制限し、上記リチウムイオン電池が上記標準逆転時期まで使用される前に上記逆転を生ずることが上記診断部によって検出されたときは、当該逆転を生ずる時点以降の上記リチウムイオン電池の充放電を上記第 1 の基準よりも厳しい第 2 の基準で制限することを特徴とするリチウムイオン電池の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はリチウムイオン電池の診断装置及び制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

リチウムイオン電池の劣化状態の推定に、リチウムイオン電池の電池電圧 V の変化量 dV に対する電池容量 Q の変化量 dQ の割合である dQ/dV を用いることが知られている。例えば、特許文献 1 には、電池電圧 V と dQ/dV との関係を表す $V-dQ/dV$ 曲線上に現れる特異部分に基づいて、リチウムイオン電池の劣化状態を推定することが記載されている。上記曲線上の特異部分の位置 (dQ/dV 値, 電池電圧 V 値) が充放電サイクル数に応じて変化していくことを利用して、リチウムイオン電池の劣化度合いを推定するというものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 139897 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、リチウムイオン電池の容量劣化の進行は必ずしも一定ではない。正極と負極ではその容量劣化速度が異なるのが通常であるため、容量劣化の進行が速い一方の電極の初期容量が他方の電極よりも大きくされる (容量リッチ)。その場合、図 3 に例示するように、一方の電極は、初期容量は大きい、容量劣化の進行が速いため、途中で、実容量 (残容量) が他方の電極の実容量よりも小さくなる。一方、電池性能は容量が低い方の電極に支配される。従って、当該電池は、はじめは初期容量が小さい電極の容量劣化速度で電池の容量劣化が進行し、途中から、正極と負極の実容量が逆転する結果、初期容量が大きい電極の容量劣化速度で電池の容量劣化が進行することになる。つまり、電池の使用を開始してある期間を経過した時点 P から、電池の容量劣化の進行がそれまでよりも速くなるという現象が起きる。

【0005】

そうして、電池の容量劣化の進行が途中で速くなる現象は、電池に異常が発生したためではなく、上述の如く、電池が元々備えている特性であり、当該現象を生じた後も電池の使用は可能である。

10

20

30

40

50

【0006】

従って、電池の劣化状態についての誤判定の防止、電池の残寿命の判定、電池の適切な制御等の観点から、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点を捉えることが要望される。

【0007】

しかし、電池の状態からは正極及び負極各々の状態を把握することはできないという問題がある。例えば、正極と負極の相対的な関係である電池電圧 V や電流値 I 、電池容量 Q は把握することができるが、正極及び負極の電極容量の絶対値は把握することができない。電池の充放電特性から電池内部の正極及び負極の状態を推定することも考えられるが、それには膨大な参照データが必要になる。

10

【0008】

そこで、本発明は、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点を簡便に判定できるようにする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

リチウムイオン電池の充放電を繰り返していくと、その充放電サイクルの増大に伴って電池容量が小さくなっていくため、 dQ/dV 値が基本的には小さくなっていく。

【0010】

ところが、本発明者が、SOC(充電率) - dQ/dV 曲線を詳細に調べたところ、高SOC範囲では、充放電サイクルの増大に伴って、はじめは dQ/dV 値が増大していき、途中から減少に転ずるという現象を見出した。そして、この現象をさらに検討し、 dQ/dV 値が増大から減少に転ずる時点が、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点に当たることを見出した(この点は後に詳述する)。

20

【0011】

本発明は、上記知見に基づいて完成されたものである。

【0012】

ここに開示するリチウムイオン電池の診断装置は、正極と負極の初期容量が相違し、該正極及び負極のうちの初期容量が大きい一方の電極の容量劣化の進行が他方の電極の容量劣化の進行よりも速いリチウムイオン電池を対象とし、

上記リチウムイオン電池が充電されたときに、該リチウムイオン電池のSOCが所定の高SOC範囲になった否か、又は該リチウムイオン電池の電池電圧 V が所定の高電圧範囲になった否かを検出する検出部と、

30

上記検出部によって、上記SOCが上記高SOC範囲になったこと、又は上記電池電圧 V が上記高電圧範囲になったことが検出されたとき、上記電池電圧 V の変化量 dV に対する電池容量 Q の変化量 dQ の割合である dQ/dV 、又は電池容量 Q の変化量 dQ に対する上記電池電圧 V の変化量 dV の割合である dV/dQ を算出する算出部と、

上記リチウムイオン電池の充電回数の増大に伴って上記 dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態への逆転、又は上記リチウムイオン電池の充電回数の増大に伴って上記 dV/dQ が減少していく状態から増大していく状態への逆転を検出し、当該逆転を生ずる時点で上記正極と負極の実容量の大きさが逆転すると判定する診断部とを備えていることを特徴とする。

40

【0013】

この診断装置によれば、 dQ/dV 又は dV/dQ についての上記逆転の検出により、リチウムイオン電池の容量劣化特性が変化する時点がわかる。すなわち、当該逆転を生ずる時点をもって正極と負極の実容量(残容量)の大きさが逆転し、その結果、当該時点以降は、当該電池の容量劣化が初期容量が大きい一方の電極の速い容量劣化速度でもって進行していく(当該電池の容量劣化の進行が速くなる)ことがわかる。

【0014】

これにより、例えば、電池容量が単に推定値よりも小さくなったことをもって電池に異常を生じたと誤判定することが避けられる。また、上記逆転を生ずる時点以降は電池の容

50

量劣化が速くなるから、そのことを踏まえて当該電池の寿命（電池の交換時期）を精度良く決定することが可能になる。或いは、当該時点以降の電池の充放電の制御を変更して電池寿命を伸ばすことが可能になる。

【0015】

上記 dQ/dV 又は dV/dQ の算出は、当該電池の SOC が 92% 以上の高い SOC 範囲において行なうこと、或いは当該電池の満充電電圧の 90% 以上の高い電圧範囲において行なうことが、上記逆転の検出のために適切である。この逆転を確実に検出する上では、SOC が 95% 以上の高 SOC 範囲、或いは満充電電圧の 95% 以上の高電圧範囲で上記算出を行なうことが好ましい。

【0016】

上記診断部は、実際に dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態に変わったことをもって、又は実際に dV/dQ が減少していく状態から増大していく状態に変わったことをもって、上記逆転を検出するものであっても、充電回数の増大に伴って dQ/dV が増大していくデータ、又は充電回数の増大に伴って dV/dQ が減少していくデータを用いて算出される回帰曲線を外挿することによって、上記逆転を検出する（上記逆転時期を予測する）ものであってもよい。

【0017】

また、ここに開示するリチウムイオン電池の制御装置は、正極と負極の初期容量が相違し、該正極及び負極のうちの初期容量が大きい一方の電極の容量劣化の進行が他方の電極の容量劣化の進行よりも速いリチウムイオン電池を対象とし、

請求項 1 記載の検出部、算出部及び診断部を備えるとともに、上記リチウムイオン電池の充放電を制御する制御部を備え、

上記制御部は、上記診断部によって上記逆転が検出されたときに、当該逆転を生ずる時点以降の上記充放電の制限を当該時点前に比べて厳しくすることを特徴とする。

【0018】

先に述べたとおり、 dQ/dV 又は dV/dQ について上記逆転を生ずると、それ以降の電池の容量劣化の進行は、容量劣化の進行が速い一方の電極に支配される。従って、当該逆転後の電池の充放電制御を逆転前と同じ条件で継続すると、電池の容量劣化の進行が速くなる。これに対して、上記制御装置によれば、上記逆転を生ずる時点が検出されたときに、当該時点以降の上記充放電の制限を当該時点前に比べて厳しくするから、電池の容量劣化の進行が速くなることが抑えられ、該電池の長命化に有利になる。充放電の制限を厳しくするとは、例えば、満充電電圧を下げる、充放電電圧を下げる、或いは単位時間当たりの充放電電流値を下げる、すなわち、当該電池の使用制限をすることを意味する。

【0019】

上記制御装置の好ましい実施形態では、上記 dQ/dV 又は dV/dQ についての上記逆転を生ずると見込まれる標準逆転時期が予め設定されており、上記制御部は、上記リチウムイオン電池が上記標準逆転時期まで使用された後に上記逆転を生ずることが上記診断部によって検出されたときは、当該逆転を生ずる時点以降の上記リチウムイオン電池の充放電を第 1 の基準で制限し、上記リチウムイオン電池が上記標準逆転時期まで使用される前に上記逆転を生ずることが上記診断部によって検出されたときは、当該逆転を生ずる時点以降の上記リチウムイオン電池の充放電を上記第 1 の基準よりも厳しい第 2 の基準で制限することを特徴とする。

【0020】

リチウムイオン電池が上記標準逆転時期まで使用される前に上記逆転を生ずるケースとしては、初期容量が小さい電極の容量劣化の進行が想定よりも遅いケースと、初期容量が大きい電極の容量劣化の進行が想定よりも速いケースが考えられる。仮に後者のケースであれば、電池の容量劣化の進行が想定よりも速いということであるから、フェイルセーフの観点からは、このときは、当該逆転を生ずる時点以降の電池の充放電を第 1 の基準よりも厳しい第 2 の基準で制限し、電池が短命になることを防止するものである。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

【0021】

本発明に係るリチウムイオン電池の診断装置によれば、充電回数の増大に伴って dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態への逆転、又は充電回数の増大に伴って dV/dQ が減少していく状態から増大していく状態への逆転を検出するから、当該電池の容量劣化速度が変化する時点を把握することができ、電池の容量劣化状態についての誤判定防止、当該電池の寿命の精度良い判定、或いは、当該電池の延命など、電池の利用に有利になる。

【0022】

また、本発明に係るリチウムイオン電池の制御装置によれば、上記逆転が検出されたときに、当該逆転を生ずる時点以降の電池の充放電の制限を当該時点前に比べて厳しくするから、電池の不慮の容量ダウン防止ないしは電池の延命に有利になる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】車両用電源制御装置の電気的構成を示す回路図。

【図2】制御システムを示すブロック図。

【図3】リチウムイオン電池の正極容量及び負極容量の経年劣化を示すグラフ図。

【図4】リチウムイオン電池のSOC - dQ/dV 特性線の充放電サイクルの増大に伴う変化を示すグラフ図。

【図5】高SOC範囲での充放電サイクル0cy - 1950cyのV - dQ/dV 特性線を示すグラフ図。

【図6】高SOC範囲での充放電サイクル2200cy - 3300cyのV - dQ/dV 特性線を示すグラフ図。

【図7】SOCが95%であるときと96%であるときの充放電サイクルの増大に伴う dQ/dV の変化を示すグラフ図。

【図8】リチウムイオン電池のSOCと電極の開放電位との関係、並びに正極リッチの場合の電池の容量劣化に伴う上限電圧での電極電位の推移を示すグラフ図。

【図9】正極リッチにおいて電池電圧がV変化するときの電極電位の変化の勾配が電池の容量劣化に伴って変化することを概略的に示すグラフ図。

【図10】電池電圧VがVだけ変化するときの電池容量Qの変化量 ΔQ を示す説明図。

【図11】リチウムイオン電池のSOCと電極の開放電位との関係、並びに負極リッチの場合の電池の容量劣化に伴う上限電圧での電極電位の推移を示すグラフ図。

【図12】負極リッチにおいて電池電圧がV変化するときの電極電位の変化の勾配が電池の容量劣化に伴って変化することを概略的に示すグラフ図。

【図13】LiB診断・制御装置の検出部及び算出部のフローを示す図。

【図14】規定回数RNo及び所定回数CNoの設定フローを示す図。

【図15】LiB診断・制御装置の診断部及び制御部のフローを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明を実施するための形態を図面に基づいて説明する。以下の好ましい実施形態の説明は、本質的に例示に過ぎず、本発明、その適用物或いはその用途を制限することを意図するものではない。

【0025】

<車両用電源制御装置>

図1は車両用電源制御装置の電気的構成を示す回路図である。この車両は、ガソリンエンジン（以下、単に「エンジン」という）から動力を得て発電する通常発電と車両減速時の減速回生発電とが可能である発電機としてのB-ISG（ベルト駆動式インテグレートッド・スタータ/ジェネレータ）1と、B-ISG1と電気的に接続され、B-ISG1で発電された電力を蓄えるバッテリー2及びリチウムイオン電池（LiB）3と、B-ISG1で発電された電力を降圧するDC/DCコンバータ4と、電力を消費する各種電装品からなる電気負荷5と、エンジンの始動時に駆動されてエンジンをクランキングするスタ

10

20

30

40

50

ータ6とを備えている。

【0026】

B - I S G 1は、プーリベルトを介してエンジンの出力軸と連結されており、エンジンの出力軸と連動して回転するロータを磁界中で回転させることにより発電をする。本例のB - I S G 1は、磁界を発生されるフィールドコイルへの印加電流の増減に応じて最大25Vまでの範囲で発電電力を調節することが可能である。車両の減速時には、エンジンへの燃料供給及び点火はなく、エンジンがエンジンブレーキとして機能する一方、B - I S G 1が発電機として機能し、回生制動が行なわれる。また、B - I S G 1には、発電された交流電力を直流電力に変換する整流器が内蔵されている。つまり、B - I S G 1で発電された電力は、この整流器で直流に変換された後に各部に送電される。逆に、B - I S G 1は、L i B 3から電力の供給を受けることでスタータとして動作してエンジンを始動させることができる。

10

【0027】

バッテリー2は、車両用の蓄電装置として一般的な公称電圧12Vの鉛バッテリーである。このようなバッテリー2は、化学反応によって電気エネルギーを蓄えるものであるため、急速な充放電には不向きであるが、充電容量を確保し易いため、比較的多量の電力を蓄えることができるという特性がある。

【0028】

L i B 3は、基本単位であるリチウムイオンバッテリーセルを複数個連結して大容量化したもので、最大25Vまで充電することが可能である。このようなL i B 3は、バッテリー2とは異なり、リチウムイオンの物理的な吸着によって電気を蓄えるものであるため、比較的急速な充放電が可能で、内部抵抗も少ないという特性がある。

20

【0029】

D C / D Cコンバータ4は、内蔵するスイッチング素子のON / OFF (スイッチング動作)によって電圧を変化させるスイッチング方式のものである。なお、本実施形態において、D C / D Cコンバータ4は、B - I S G 1又はL i B 3の側から電気負荷5又はバッテリー2の側に(つまり図中左側から右側に)供給される電力の電圧をスイッチング動作により降圧する機能を有しているが、これ以外の機能、例えば上記とは反対方向への(つまり図中右側から左側への)電力の供給を許容したり、電圧を昇圧したりする機能は有していない。

30

【0030】

B - I S G 1とL i B 3とは給電用の第1ライン7を介して互いに接続されている。第1ライン7からは第2ライン8が分岐しており、この第2ライン8の途中にD C / D Cコンバータ4が介設されている。第2ライン8からは第3ライン9が分岐しており、この第3ライン9を介してバッテリー2と第2ライン8とが互いに接続されている。第3ライン9からは第4ライン10が分岐しており、この第4ライン10を介してスタータ6とバッテリー2とが互いに接続されている。

【0031】

第1ライン7における第2ライン8との分岐点からL i B 3までの間の部位には、B - I S G 1とL i B 3との接続を断続するためのL i B遮断リレー12が設けられている。L i B遮断リレー12は、B - I S G 1からL i B 3への給電を許可するオン状態(閉:接続状態)と、同給電を遮断するオフ状態(開:遮断状態)とに切り替え可能とされている。

40

【0032】

第1ライン7からは第2ライン8と並列にバイパスライン11が分岐しており、このバイパスライン11はD C / D Cコンバータ4よりも出力側に位置する第2ライン8の途中部に接続されている。つまり、バイパスライン11は、B - I S G 1と電気負荷5とをD C / D Cコンバータ4を介さずに接続するとともに、バッテリー2とL i B 3とをD C / D Cコンバータ4を介さずに接続するものである。これらの接続を断続するために、バイパスライン11にはバイパスリレー13が設けられている。バイパスリレー13は、バイパ

50

スライン 11 を通じた (DC / DC コンバータ 4 をバイパスした) 給電を許可するオン状態 (閉: 接続状態) と、同給電を遮断するオフ状態 (開: 遮断状態) とに切り替え可能とされている。

【0033】

電気負荷 5 には、ドライバによるステアリング操作を電気モータ等の動力を用いてアシストする電動式のパワーステアリング機構 (以下、「EPAS」と略称する) 21 の他、エアコン 22、オーディオ 23 等が含まれている。これら EPAS 21、エアコン 22、オーディオ 23 等の電気負荷は、DC / DC コンバータ 4 が設けられた第 2 ライン 8 か、又は DC / DC コンバータ 4 が設けられていないバイパスライン 11 を介して、第 1 ライン 7 と接続されている。

10

【0034】

本実施形態の電気負荷 5 には、EPAS 21 等の電気負荷以外に、グロープラグ 26 も含まれている。グロープラグ 26 は、エンジンの冷間始動時に通電加熱によりエンジンの燃焼室を温めるためのヒータである。グロープラグ 26 は、スタータ 6 と並列にバッテリー 2 に接続されているが、PTC ヒータ 25 は、通電加熱により室内を暖房するためのヒータであり、最大 25 V でも安定して作動するので、DC / DC コンバータ 4 に対して B - ISG 1 及び LiB 3 側に配置されている。

【0035】

< 制御系統 >

図 2 に制御系統をブロック図で示すように、上述した B - ISG 1、DC / DC コンバータ 4、スタータ 6、LiB 遮断リレー 12、バイパスリレー 13、電気負荷 5 (EPAS 21、エアコン 22、オーディオ 23、...) 等の部品は、各種信号線を介してコントローラ 30 と接続されており、コントローラ 30 からの指令に基づき制御される。コントローラ 30 は、従来周知の CPU、ROM、RAM 等からなるマイクロコンピュータであり、後述する LiB 診断・制御装置の「検出部」、「算出部」、「補助充電部」、「診断部」及び「制御部」を構成する。

20

【0036】

また、コントローラ 30 は、車両に設けられた各種センサ類と信号線を介して接続されている。本実施形態の車両には、電圧センサ SN 1、電流センサ SN 2、スタートスイッチセンサ SN 3、及び温度センサ SN 4 等が設けられており、これらのセンサ類により検出された情報がコントローラ 30 に逐次入力されるようになっている。

30

【0037】

電圧センサ SN 1 は、図 1 にも示すように、LiB 3 の電圧を検出するセンサである。電流センサ SN 2 は、図 1 にも示すように、LiB 3 の電流を検出するセンサである。スタートスイッチセンサ SN 3 は、エンジンを始動又は停止する際にドライバにより操作されるイグニッションキーがエンジン始動位置に操作されたことを検出するセンサである。温度センサ SN 4 は、ラジエータの水温を検出するセンサである。

【0038】

コントローラ 30 は、各センサ類 SN 1 ~ SN 4 からの入力情報に基づいて、B - ISG 1 による電力発電量及びスタータとしての動作、DC / DC コンバータ 4 による降圧動作、電気負荷 5 及びスタータ 6 の駆動 / 停止、リレー 12、13 のオン / オフ操作等を制御するとともに、LiB 3 の容量劣化状態の診断及び LiB 3 の充放電の制御を行なう。

40

【0039】

< リチウムイオン電池 (LiB) の診断・制御 >

[リチウムイオン電池の容量劣化について]

リチウムイオン電池の容量劣化は容量維持率の減少として捉えることができる。図 3 にリチウムイオン電池の正極容量及び負極容量の経年劣化をグラフで概略的に示す。一般に、リチウムイオン電池は、正極リッチ又は負極リッチのいずれかで製造されており、正極及び負極の初期容量は相違する。また、正極及び負極の容量維持率は互いに独立に経年劣化する。図 3 は正極リッチで且つ正極の容量劣化の進行が負極の容量劣化の進行よりも

50

速いケースである。このケースでは、リチウムイオン電池の使用開始からある期間を経過した時点Pで、正極と負極の実容量の大きさが逆転している。リチウムイオン電池の容量維持率は、正極及び負極のうち容量が低い方に制限される。すなわち、図3のケースでは、リチウムイオン電池の容量劣化については、その使用開始からP時点までは負極容量の劣化が支配的となり、P時点以降は正極容量の劣化が支配的となる。

【0040】

従って、上記正極と負極の実容量（残容量）の逆転時点Pを検出することができれば、リチウムイオン電池の劣化状態についての誤判定の防止、電池の残寿命の判定、電池の適切な制御等に有利になる。

【0041】

[SOC - dQ / dV 特性線の充放電サイクルの増大に伴う変化]

図4は実施形態に係るリチウムイオン電池のSOCとdQ / dVとの関係であるSOC - dQ / dV 特性線の、充放電サイクルの増大に伴う変化を示す。dQ / dVは、電池電圧Vの変化量dVに対する電池容量Qの変化量dQの割合である。図4によれば、充放電サイクルが増大するに従って、基本的にはdQ / dVが次第に小さくなっているが、SOCが少なくとも93%を超える高SOC範囲ではdQ / dVが必ずしも小さくなっていない。

【0042】

そこで、上記高SOC範囲でのSOC - dQ / dV 特性線を見ると、図5に充放電サイクル0cy - 1950cyのSOC - dQ / dV 特性線を示すように、0cyから1700cyまでは、充放電サイクルの増大するに伴って、dQ / dVが次第に大きくなっている。1950cyになると、dQ / dVが1700cyよりも少し小さくなっている。一方、図6に上記高SOC範囲での充放電サイクル2200cy - 3300cyのSOC - dQ / dV 特性線を示すように、2690cyと2800cyの間で逆転が見られるものの、充放電サイクルの増大するに伴って、dQ / dVが次第に小さくなっている。

【0043】

図5及び図6によれば、当該リチウムイオン電池の場合は、0cyから充放電サイクルの増大するに伴ってdQ / dVが次第に大きくなっていき、1700cyないし1950cy付近でdQ / dVがピークになり、それ以降は充放電サイクルの増大するに伴ってdQ / dVが次第に小さくなっている。すなわち、上記高SOC範囲では、充放電サイクルが増大していくとき、dQ / dVが増大していく状態から減少していく状態への逆転が見られる。

【0044】

図7は実施形態に係るリチウムイオン電池のSOCが95%であるときのdQ / dV、並びに96%であるときのdQ / dVの、充放電サイクルの増大に伴う変化特性（経時変化）を示す。同図によれば、充放電サイクルの増大に伴って、dQ / dVが次第に増大していき、1800cy付近でピークになり、その後は充放電サイクルの増大に伴ってdQ / dVが次第に減少していることがわかる。

【0045】

なお、図4乃至図7のデータはリチウムイオン電池の充放電を該電池の劣化を生じにくい温度条件（20℃付近）で行なった場合のものである。これよりも充放電時の温度を低くした場合、或いは高くした場合は、いずれにおいても、dQ / dVがピークになる充放電サイクル数は少なくなる。

【0046】

[上記逆転を生ずる理由の検討]

図8にリチウムイオン電池のSOCと正極及び負極の開放電位との関係の一例を示す。充電していくと、正極電位は上昇していく一方、負極電位は降下していく。正極電位と負極電位の差が電池電圧である。予め設定した上限電圧になると、正極電位の上昇及び負極電位の降下が停止するが、上限電圧での正極電位及び負極電位は電池の容量劣化によって推移する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

正極リッチの場合、電池が劣化していない初期状態（例えば電池製造直後の状態）のときの上限電圧付近では、正極電位はSOCの変化に対する電位変化の勾配が小さい「1」位置となり、負極電位は当該勾配が大きい「1」位置となる。すなわち、図9（A）に模式的に示すように、電池電圧VがVだけ変化するとき、正極電位は小さな勾配で変化し、負極電位は大きな勾配で変化する。

【 0 0 4 8 】

ここに、図8から明らかなように、当該勾配が大きくなるほど、電極電位が変化するときの電極容量の変化量が小さくなる。従って、図10に示すように、電池電圧VがVだけ変化するときの電池容量Qの変化量Qは、正極電位及び負極電位各々の上記勾配に応じて変化する面積（グレー部分）に対応するとみなすことができる。要するに、当該勾配が大きくなるほど dQ/dV が小さくなる。

10

【 0 0 4 9 】

電池の劣化が進むと、図8に示すように、上限電圧付近の正極電位及び負極電位は上記「1」位置から「2」位置、「3」位置へと次第にシフトしていく。

【 0 0 5 0 】

「2」位置に近くなると、図9（B）に示すように、正極電位の勾配は「1」位置よりも若干大きくなる程度であまり変わらず、負極電位の勾配は、「1」位置よりも小さくなる。従って、「2」位置の手前では、上記Qは、「1」位置よりも大きくなる。

【 0 0 5 1 】

「2」位置を超えると、図9（C）に示すように、正極電位の勾配が大きくなっていくが、負極電位の勾配は、「2」位置よりもさらに小さくなる。従って、「2」位置に近いところでは、Qは、「2」位置手前と殆ど変わらない。そうして、「3」位置になると、図9（D）に示すように、負極電位の勾配はさらに小さくなるが、正極電位の方は勾配が大きくなる。従って、Qは、「1」位置と同様に大きくなる。

20

【 0 0 5 2 】

以上のように、電池の上限電圧付近では、電池電圧VがVだけ変化するときの電池容量Qの変化量Qは、電池の初期状態から該電池の劣化が進むに従って次第に大きくなっていくが、途中で逆転して、電池の劣化が進むに従って次第に小さくなっていく。

【 0 0 5 3 】

そうして、図8及び図9（A）～（D）から明らかなように、初期状態の「1」位置から「2」位置に至るまでは、負極の容量劣化に伴って負極電位の上記勾配が変化することに起因して、上記Qが次第に大きくなっているから、負極容量が電池容量を支配している、換言すれば、負極の容量劣化が電池の dQ/dV を支配していることがわかる。一方、「2」位置から「3」位置までは、正極の容量劣化に伴って正極電位の勾配が変化することに起因して、上記Qが次第に大きくなっているから、正極容量が電池容量を支配している、換言すれば、正極の容量劣化が電池の dQ/dV を支配していることがわかる。

30

【 0 0 5 4 】

以上によれば、図5乃至図7に示すように、高SOC範囲において、充放電サイクルが増大していくとき、 dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態への逆転が見られるのは、電池容量の支配が負極から正極に入れ替わるためであるということが出来る。従って、当該逆転を検出することにより、電池の容量劣化特性の変化、すなわち、正極と負極の実容量の大きさが逆転して電池の容量劣化の進行が速くなる時点Pを捉えることができることになる。

40

【 0 0 5 5 】

図11は負極リッチの場合の電池の容量劣化に伴う電池上限電圧での電極電位の推移を示す。負極リッチの場合は、上記初期状態のときの上限電圧付近では、正極電位はSOCの変化に対する電位変化の勾配が大きい「1」位置となり、負極電位は当該勾配が小さい「1」位置となる。すなわち、図12（A）に模式的に示すように、電池電圧VがVだけ変化するとき、正極電位は小さな勾配で変化し、負極電位は大きな勾配で変化する。

50

【 0 0 5 6 】

電池の劣化が進むと、上限電圧付近の正極電位及び負極電位は上記「 1 」位置から「 2 」位置、「 3 」位置へと次第にシフトしていく。

【 0 0 5 7 】

「 2 」位置に近くなると、図 1 2 (B) に示すように、正極電位の勾配は「 1 」位置よりも小さくなる一方、負極電位の勾配は、「 1 」位置よりも若干大きくなる程度であまり替わらない。従って、「 2 」位置の手前では、上記 Q は、「 1 」位置よりも大きくなる。

【 0 0 5 8 】

「 2 」位置を超えると、図 1 2 (C) に示すように、正極電位の勾配はさらに小さくなっていく一方、負極電位の勾配は、「 2 」位置よりも少し大きくなる。従って、「 2 」位置に近いところでは、 Q は、「 2 」位置手前と殆ど変わらない。そうして、「 3 」位置になると、図 1 2 (D) に示すように、正極電位の勾配はさらに小さくなるが、負極電位の方は勾配が大きくなる。従って、 Q は、「 1 」位置と同様に大きくなる。

【 0 0 5 9 】

以上のように、電池の上限電圧付近では、電池電圧 V が V だけ変化するときの電池容量 Q の変化量 Q は、電池の劣化が進むに従って次第に大きくなっていくが、途中で逆転して、電池の劣化が進むに従って次第に小さくなっていく。すなわち、高 SOC 範囲においては、充放電サイクルが増大していくとき、 dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態への逆転を生じ、充電サイクルの増大に伴う dQ/dV の変化の傾向は正極リッチと同じである。

【 0 0 6 0 】

従って、負極リッチの場合も、充電サイクルの増大に伴って dQ/dV が増大していく状態から減少していく状態への逆転を検出することにより、正極と負極の実容量の大きさが逆転して電池の容量劣化の進行が速くなる時点 P を捉えることができることになる。

【 0 0 6 1 】

[Li B の診断・制御装置]

Li B 診断・制御装置は、以上を踏まえて、Li B 3 の容量劣化状態を診断し、該 Li B 3 を制御するように構成されている。すなわち、この診断・制御装置は、Li B 3 の SOC が充電によって所定の高 SOC 範囲になった否かを検出する検出部、SOC が上記高 SOC 範囲になったときの充電又は放電に伴う dQ/dV を算出する算出部、 dQ/dV に基づいて Li B 3 の容量劣化状態を診断する診断部、並びに当該診断に基づいて Li B 3 の充放電を制御する制御部を備えている。さらに、当該診断・制御装置は、補助充電部を備えている。以下、当該診断・制御装置を具体的に説明する。

【 0 0 6 2 】

検出部は、Li B 3 が B - I S G 1 の減速回生発電によって充電されたとき、電圧センサ SN 1 から得られる電池電圧 V に基づいて SOC を取得し、該 SOC が所定 SOC 以上の高 SOC 範囲になったか否かを検出する。ここに、高 SOC 範囲とは、上記 dQ/dV の漸増から漸減への逆転の検出に適した SOC 範囲であり、例えば、SOC が 9 2 % 以上（好ましくは 9 5 % 以上）の SOC 範囲である。なお、検出部は、Li B 3 の電池電圧 V が所定電圧以上の高電圧範囲になったか否かを検出するものであってもよく、その場合の高電圧範囲とは、電池電圧 V が、例えば、Li B 3 の満充電電圧の 9 0 % 以上（好ましくは 9 5 % 以上）の電圧範囲である。

【 0 0 6 3 】

算出部は、Li B 3 の放電時に電圧センサ SN 1 及び電流センサ SN 2 から電池電圧 V 及び電流 I を取得し、電池電圧 V の変化量 dV と電池容量 Q の変化量 dQ を算出し、これらに基づいて dQ/dV を算出する。本実施形態の算出部は、さらに、上記減速回生発電による充電回数 R_N が規定回数 R_{N0} に達するたびに、該規定回数 R_{N0} の間に得られた dQ/dV の平均値を算出する。例えば、規定回数 R_{N0} が 1 0 0 回であり、この 1 0 0 回の間に dQ/dV が 4 0 回算出されたときは、その 4 0 回分の dQ/dV の平均値（相

10

20

30

40

50

加平均値)を算出することになる。

【0064】

また、算出部は、LiB3が所定期間Po使用されたときは、以後の上記平均値を算出するための上記規定回数RNoを少なくする(例えば、半減する。)。ここに、上記所定期間Poとしては、当該LiB3の正極と負極の実容量の大きさが逆転すると予測される標準逆転時期までの使用期間よりも少し短い期間が設定される。端的に言えば、上記標準逆転時期に近づいたら、上記規定回数RNoを少なくするということである。上記標準逆転時期は予め設定されてROMに記憶される。

【0065】

補助充電部は、上記減速回生発電による充電が終了した時点のSOCが所定SOCo以上の高SOC範囲になっていないことが、連続して所定回数CNo(例えば、10回)連続して生じたとき、エンジンによってB-ISG1を駆動することによってLiB3の充電を行なう。このエンジンによるB-ISG1の発電は、SOCが所定SOCo以上になった時点で終了する。すなわち、減速回生発電による充電ではSOCがSOCo以上にならないことが連続して所定回数CNoあったときは、エンジン動力による発電によってSOCをSOCo以上に上昇させてdQ/dVを算出できるようにするものである。

10

【0066】

また、補助充電部は、LiB3が所定期間Po使用されたときは、以後のエンジンによってB-ISG1を駆動するための上記所定回数CNoを少なくする(例えば半減する)。当該所定期間Poは、上記算出部の上記規定回数RNoを少なくする契機となる所定期間Poと同じ期間を採用することができる。すなわち、上記標準逆転時期に近づいたら、上記所定回数CNoを少なくするものである。

20

【0067】

診断部は、上記dQ/dVの平均値の今回値と前回値とを比較することにより、LiB3の充電回数の増大に伴ってdQ/dVが次第に増大していく状態から次第に減少していく状態への逆転を生じたか否かを検出する。そして、当該逆転を検出したとき、当該逆転時点で正極と負極の実容量の大きさが逆転した、すなわち、LiB3の容量劣化の進行が速くなったと判定する。

【0068】

制御部は、上記診断部によって上記逆転が検出されたときに、当該逆転時点P以降のLiB3の充放電の制限を当該時点前に比べて厳しくする。ここに、充放電の制限は、満充電電圧の低減、充放電電圧の低減、及び単位時間当たりの充放電電流値の低減という3つの制限態様から選択されるいずれか一つを、又は二以上を組み合わせる実行する。

30

【0069】

また、制御部は、上記逆転検出時期に応じて上記充放電の制限の厳しさの度合を変更する。すなわち、LiB3が上記標準逆転時期まで使用された後(標準逆転時期を経過した後)に上記逆転が検出されたときは、当該逆転時点P以降のLiB3の充放電を第1の基準で制限し、LiB3が上記標準逆転時期まで使用される前に上記逆転が検出されたときは、当該逆転時点P以降のLiB3の充放電を上記第1の基準よりも厳しい第2の基準で制限する。例えば、第1の基準では、上記3つの制限態様のうちのいずれか一つでもって上記充放電を制限し、第2の基準では、上記3つの制限態様のうちから選ばれる複数の制限態様を組み合わせる上記充放電を制限する。

40

【0070】

[LiBの診断・制御のフロー]

図13に減速回生時のdQ/dVの算出フローを示す。スタート後のステップS1で減速回生条件(車両速度が減速状態であること、燃料噴射カット中であること等)が成立しているか否かが判定される。減速回生条件が成立するときは、ステップS2に進んで、減速回生によるLiB3の充電回数RNをカウントするカウンタのインクリメントが行なわれる。次いで、ステップS3でB-ISG1による減速回生発電によってLiB3への充電が行なわれる。

50

【 0 0 7 1 】

ステップ S 3 に続くステップ S 4 では、L i B 3 の S O C が所定 S O C o 以上になっているか否かが判定される。S O C = S O C o であるときは、ステップ S 5 に進んで後述の回数 C N のカウンタが零にリセットされ、続くステップ S 6 で $d Q / d V$ が算出される。次いで、ステップ S 7 では減速回生による充電回数 R N が規定回数 R N o に達したか否かが判定される。R N が R N o に達したときは、ステップ S 8 に進んで、規定回数 R N o の間に算出された $d Q / d V$ の平均値が算出され、続くステップ S 9 で充電回数 R N のカウンタが零にリセットされる。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 4 において、S O C が所定 S O C o に達していないときは、ステップ S 1 0 10 に進んで、減速回生が終了したか否かが判定される。減速回生が未終了であるときはステップ S 3 に戻る。減速回生が終了しているときはステップ S 1 1 に進んで、連続して S O C が所定 S O C o に達しなかった (S O C < S O C o) 回数 C N をカウントするカウンタのインクリメントが行なわれる。次いで、ステップ S 1 2 で当該 S O C < S O C o の連続回数 C N が所定回数 C N o に達したか否かが判定される。C N が C N o に達したときは、ステップ S 1 3 に進んで、B - I S G 1 のエンジン動力による発電によって L i B 3 への充電が行なわれる。

【 0 0 7 3 】

図 1 2 に $d Q / d V$ 平均値算出のための規定回数 R N o 、並びにエンジン動力による発電を行なうための所定回数 C N o の設定フローを示す。スタート後のステップ A 1 で R i 20 B 3 の使用年月が所定期間 P o を経過したか否かが判定される。所定期間 P o を経過していないときは、ステップ A 2 に進んで、規定回数 R N o は「 1 0 0 」に、所定回数 C N o は「 1 0 」にそれぞれ設定される。所定期間 P o を経過しているときは、ステップ A 3 に進んで、規定回数 R N o は「 5 0 」に、所定回数 C N o は「 5 」にそれぞれ設定される。

【 0 0 7 4 】

図 1 3 に $d Q / d V$ 平均値に基づく L i B 3 の診断及び制御フローを示す。スタート後のステップ B 1 で $d Q / d V$ 平均値の前回値と今回値が比較される。続くステップ B 2 で $d Q / d V$ 平均値の減少 (今回値が前回値よりも小さい) が判定されると、ステップ B 3 30 に進んで、正極と負極の実容量の大きさが逆転したと診断される。続くステップ S 4 において、予め設定された標準逆転時期 (当該 L i B 3 の正極と負極の実容量の大きさが逆転すると予測される時期) を経過しているか否かが判定される。標準逆転時期を経過しているときはステップ B 5 に進んで、R i B 3 の充放電が第 1 の基準で制限される。標準逆転時期を経過していないときはステップ B 6 に進んで、R i B 3 の充放電が第 1 の基準よりも厳しい第 2 の基準で制限される。

【 0 0 7 5 】

上記実施形態によれば、上述の構成により以下の効果が得られる。

【 0 0 7 6 】

R i B 3 の充放電回数が増大していくときの高 S O C 範囲での $d Q / d V$ の変化を監視することによって、該電池の経年劣化に伴って正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点を簡便に検出することができる。よって、電池の容量劣化状態についての誤判定防止、40 当該電池の寿命の精度良い判定、或いは、当該電池の延命など、電池の利用に有利になる。

【 0 0 7 7 】

正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点の検出に、減速回生発電による充電回数が規定回数に達するたびに、該規定回数の中に得られる、S O C が所定 S O C 範囲になったときの $d Q / d V$ の平均値を用いるから、減速回生によって S O C が所定の高 S O C 範囲まで上昇しないことがあっても、上記逆転時点を高い信頼性をもって検出して電池の診断を行なうことができる。

【 0 0 7 8 】

減速回生発電による充電によって S O C が所定 S O C o 以上にならないことが連続して 50

所定回数 CNO 生じたときは、エンジン動力を利用した発電による充電によって SOC を上昇させて dQ/dV を算出するから、診断用データとしての dQ/dV の平均値の信頼性が高くなり、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点を実際に検出すること、そして、診断の信頼性を高くすることに有利になる。また、エンジン動力による発電は、減速回生発電によっては SOC が所定 SOC_0 以上にならないことが連続して所定回数 CNO 生じたときのみ限定的に行なうから、車両の燃費の悪化は避けられる。

【0079】

$RiB3$ の使用によって標準逆転時期が近づいたら、 dQ/dV 平均値を算出するための規定回数 RNO を減ずるから、上記診断のためのデータの抽出頻度が高くなる結果、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点高精度良く検出することができる。

10

【0080】

$RiB3$ の使用によって標準逆転時期が近づいたら、エンジン動力による発電を行なうための上記所定回数 CNO を減ずるから、 dQ/dV が長く算出されない状態になることが避けられ、正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点高精度良く検出する上で有利になる。

【0081】

正極と負極の実容量の大きさが逆転する時点が検出されたとき、当該逆転時点以降の $RiB3$ の充放電の制限を厳しくするから、 $RiB3$ の不慮の容量ダウン防止ないしは $RiB3$ の延命に有利になる。 $RiB3$ が標準逆転時期まで使用される前に上記逆転を生ずることが検出されたときは、当該時点以降の $RiB3$ の充放電の制限を第2の基準で厳しくするから、 $RiB3$ の不慮の容量ダウン防止、すなわち、フェイルセーフになる。

20

【0082】

なお、上記実施形態では、 $RiB3$ の容量劣化診断及び充放電の制御に dQ/dV を用いたが、電池容量 Q の変化量 dQ に対する上記電池電圧 V の変化量 dV の割合である dV/dQ を用いてもよい。この場合は、 $RiB3$ の充電回数の増大に伴って上記 dV/dQ が減少していく状態から増大していく状態への逆転を検出することにより、正極と負極の実容量の大きさを逆転を判定することができる。

【0083】

また、上記実施形態では、リチウムイオン電池の SOC が所定の高 SOC 範囲になった否かを検出するようにしたが、リチウムイオン電池の電池電圧 V が所定の高電圧範囲になった否かを検出するようにしてもよい。

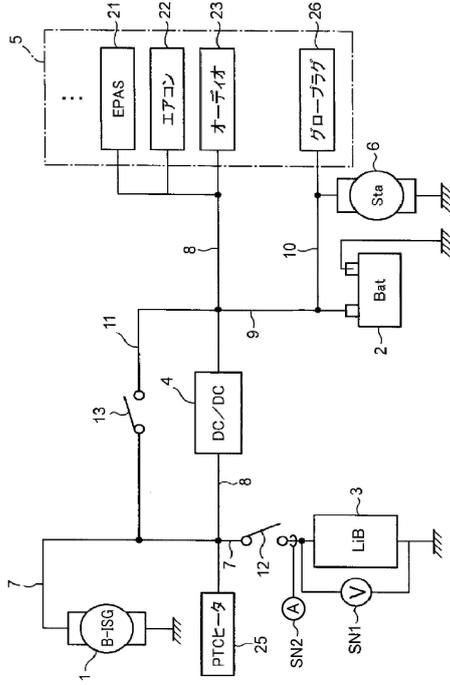
30

【符号の説明】

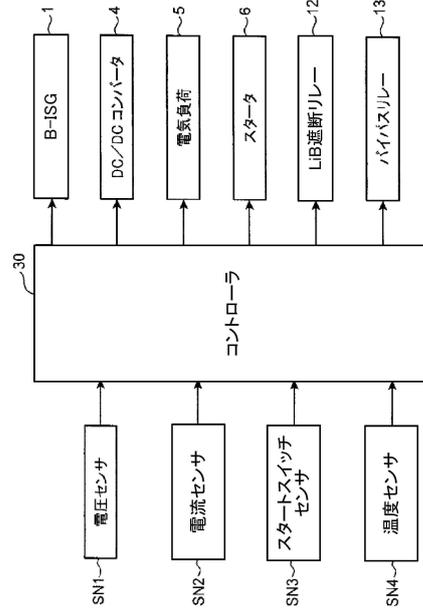
【0084】

- 3 RiB (リチウムイオン電池)
- 30 コントローラ (検出部, 算出部, 診断部, 制御部)

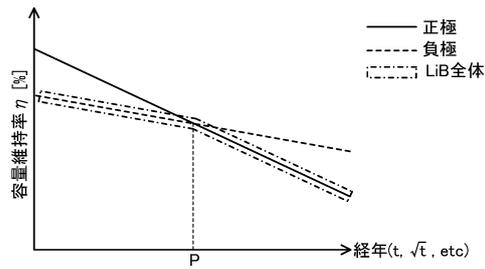
【図1】



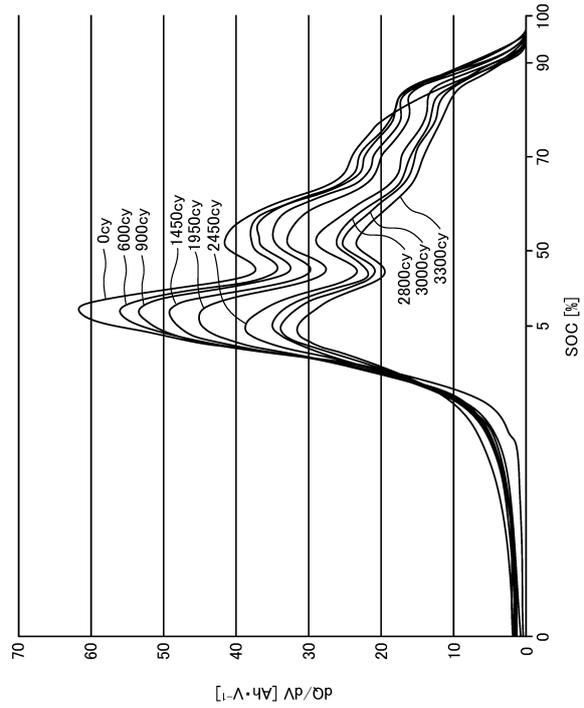
【図2】



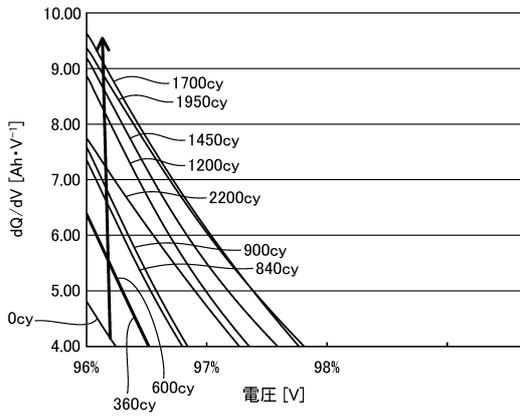
【図3】



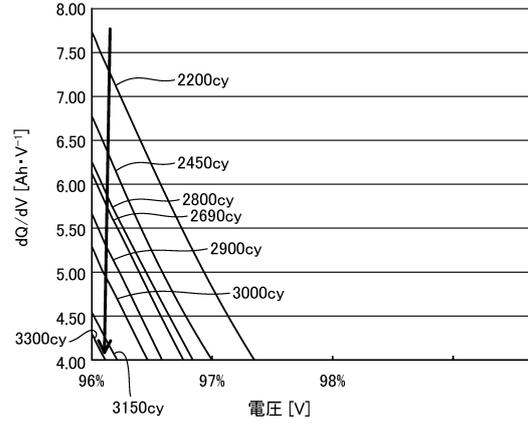
【図4】



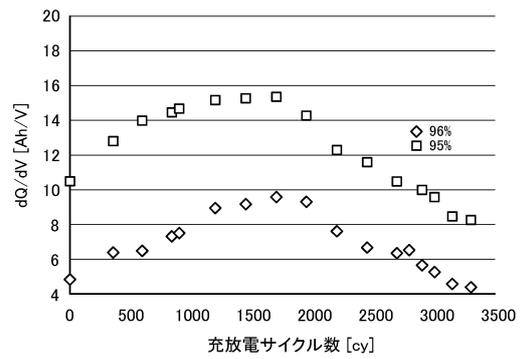
【図5】



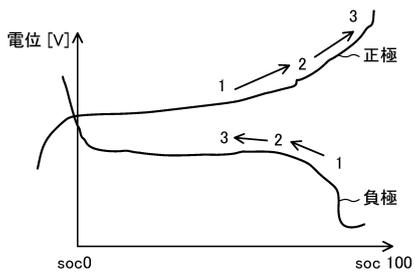
【図6】



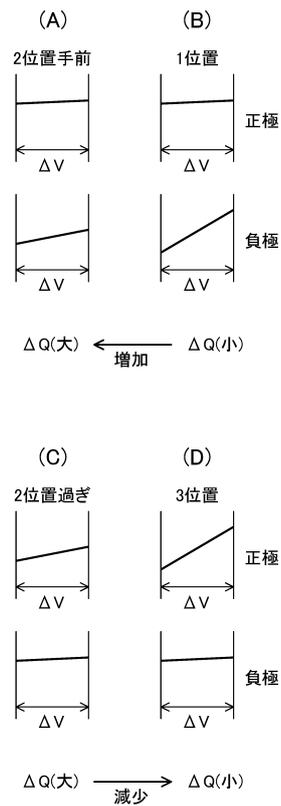
【図7】



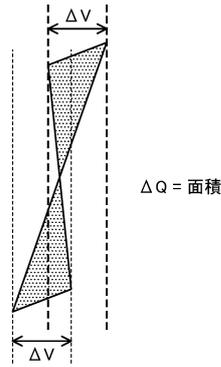
【図8】



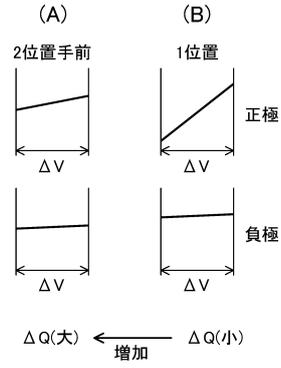
【図9】



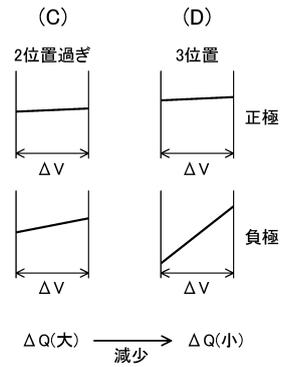
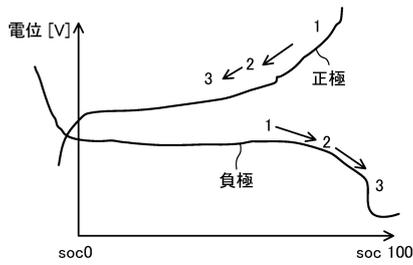
【図10】



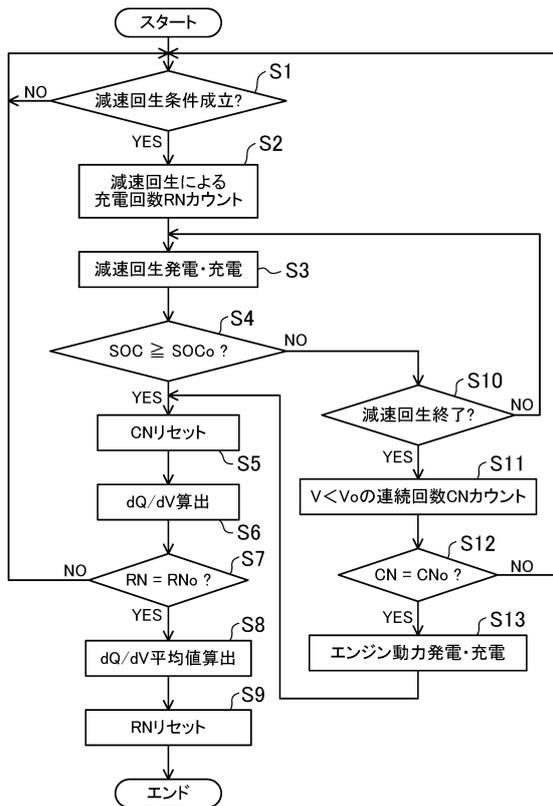
【図12】



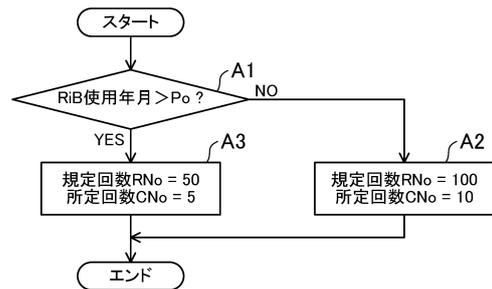
【図11】



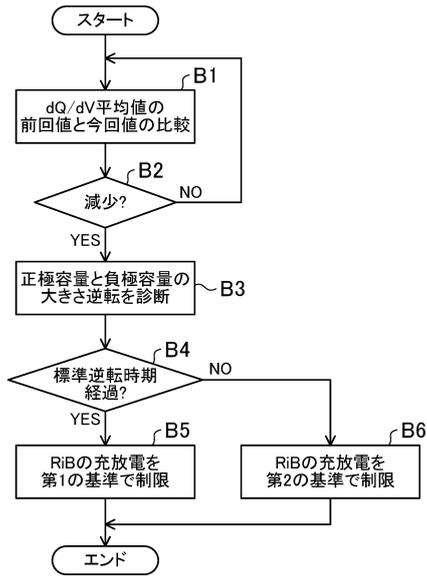
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2017-228389(JP,A)
特開2017-118780(JP,A)
特開2017-116481(JP,A)
特開2015-65119(JP,A)
特開2013-81357(JP,A)
特開2013-19730(JP,A)
特開2012-135168(JP,A)
特開2011-40198(JP,A)
特開2010-272365(JP,A)
特開2009-252381(JP,A)
特開2010-249797(JP,A)
特開2007-323999(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R	31/36
H01M	10/42
H01M	10/44
H01M	10/48
H02J	7/00