

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4265629号
(P4265629)

(45) 発行日 平成21年5月20日(2009.5.20)

(24) 登録日 平成21年2月27日(2009.2.27)

(51) Int.Cl.	F 1	
HO 2 J 7/00 (2006.01)	HO 2 J 7/00	B
GO 1 R 31/36 (2006.01)	HO 2 J 7/00	Z H V P
HO 1 M 10/44 (2006.01)	HO 2 J 7/00	3 O 2 D
HO 1 M 10/48 (2006.01)	GO 1 R 31/36	A
B 6 O L 11/14 (2006.01)	HO 1 M 10/44	P
請求項の数 8 (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2006-209751 (P2006-209751)
 (22) 出願日 平成18年8月1日(2006.8.1)
 (65) 公開番号 特開2008-42960 (P2008-42960A)
 (43) 公開日 平成20年2月21日(2008.2.21)
 審査請求日 平成19年6月8日(2007.6.8)

(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
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100112852
 弁理士 武藤 正
 (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
 (72) 発明者 山内 友和
 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】 二次電池の充放電制御装置およびそれを搭載したハイブリッド車両

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負荷との間で電力を授受可能に構成された二次電池の充放電制御装置であって、
 二次電池に設けられたセンサによる検出値に基づき、二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルに従って該二次電池の状態推定値を逐次的に算出するための電池状態推定手段と、

前記電池状態推定手段により推定された現時点での前記状態推定値に基づき、前記二次電池が所定電力を現時点から継続的に入出力した場合における該二次電池の劣化率を予測するための劣化率予測手段と、

前記負荷への動作要求に基づき、前記劣化率予測手段により予測された劣化率を考慮して前記負荷の動作指令を生成する負荷制御手段とを備える、二次電池の充放電制御装置。

【請求項 2】

前記劣化率予測手段は、複数個の前記所定電力について、前記劣化率をそれぞれ予測する、請求項 1 記載の二次電池の充放電制御装置。

【請求項 3】

前記センサによる検出値に基づき、前記二次電池の劣化度または余寿命を推定する劣化度推定手段をさらに備え、

前記負荷制御手段は、

前記劣化度推定手段により推定された前記劣化度または前記余寿命を考慮して、現時点において許容される劣化率範囲を求める手段と、

前記劣化率予測手段により予測された劣化率が前記劣化率範囲内となるような前記二次電池の充放電電力範囲内に制限して、前記負荷の動作指令を生成する手段とを含む、請求項 1 記載の二次電池の充放電制御装置。

【請求項 4】

前記二次電池は、リチウムイオン電池で構成され、

前記状態推定値は、該二次電池内部でのリチウムイオン濃度分布を含む、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の二次電池の充放電制御装置。

【請求項 5】

車両の駆動力を発生可能に構成された内燃機関および電動機と、

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項による二次電池の充放電制御装置とを備え、

前記二次電池は、前記電動機を前記負荷とするように構成され、

前記負荷制御手段は、前記負荷の動作指令として、前記電動機のトルク指令値を生成し

10

、
前記車両全体での要求駆動力が確保されるように、前記内燃機関および前記電動機がそれぞれ出力する駆動力を決定するための制御手段をさらに備える、ハイブリッド車両。

【請求項 6】

車両の駆動力を発生可能に構成された内燃機関および電動機と、

前記車両全体での要求駆動力が確保されるように、前記内燃機関および前記電動機がそれぞれ出力する駆動力を決定する制御装置と、

前記電動機との間で電力を授受可能に構成された二次電池と、

前記二次電池の充放電制御装置とを備え、

前記充放電制御装置は、

前記二次電池に設けられたセンサによる検出値に基づき、前記二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルに従って前記二次電池内部の電池状態を示す状態推定値を逐次的に算出するとともに、推定された現時点での前記状態推定値に基づいて、前記二次電池が所定電力を現時点から継続的に入出力した場合における該二次電池の劣化率を予測し、

前記制御装置は、前記充放電制御装置により予測された前記劣化率に基づいて、前記二次電池の劣化が著しく進行しないような前記二次電池の充放電電力範囲内に制限して前記電動機の入出力許容電力を設定するとともに、前記電動機の入出力電力が前記入出力許容電力の範囲内となるように制限して前記電動機のトルク指令値を決定する、ハイブリッド

20

30

【請求項 7】

前記充放電制御装置は、複数個の前記所定電力について、前記劣化率をそれぞれ予測し

、
前記制御装置は、前記複数個の所定電力について予測された前記劣化率に基づいて前記電動機の入出力許容電力を設定する、請求項 6 記載のハイブリッド車両。

【請求項 8】

前記充放電制御装置は、前記センサによる検出値に基づき、前記二次電池の劣化度または余寿命をさらに推定し、

前記制御装置は、前記充放電制御装置により推定された前記劣化度または前記余寿命を考慮して、現時点において許容される劣化率範囲を求めるとともに、予測された劣化率が前記劣化率範囲内となるように制限して前記二次電池の充放電電力範囲を決定する、請求項 6 記載のハイブリッド車両。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、二次電池の充放電制御装置およびそれを搭載したハイブリッド車両に関し、より特定的には、電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルを用いた二次電池の充放電制御に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

充放電可能な二次電池によって負荷機器へ電源を供給し、かつ必要に応じて当該負荷機器の運転中にも当該二次電池を充電可能な構成とした電源システムが用いられている。代表的には、二次電池によって駆動される電動機を駆動力源として備えたハイブリッド自動車や電気自動車等がこのような電源システムを搭載している。たとえば、電気自動車は、この二次電池に蓄えられた動力を用いて電動機を駆動して車両を駆動する。また、ハイブリッド自動車は、この二次電池に蓄えられた電力を用いて電動機を駆動して車両を駆動したり、電動機によりエンジンをアシストとして車両を駆動したりする。燃料電池車は、燃料電池による電力を用いて電動機を駆動して車両を駆動したり、この燃料電池による電力に加えて二次電池に蓄えられた電力を用いて電動機を駆動して車両を駆動したりする。

10

【 0 0 0 3 】

特に、車両に搭載された内燃機関により発電機を駆動して電力を発生し、これを二次電池に充電することができる形式のハイブリッド自動車においては、二次電池が回生電力を受けられるように、また要求があれば直ちに電動機に対して電力を供給できるようにするために、その充電量（SOC：State Of Charge）は満充電の状態（100%）と、全く充電されていない状態（0%）のおおよそ中間付近（50～60%）に制御する必要がある。

【 0 0 0 4 】

また、二次電池は過充電あるいは過放電を行なうと電池性能を劣化させ寿命を短くすることになるため、二次電池の充電量を把握して充放電を制御する必要がある。一般的には、二次電池の充電電力および放電電力の上限値を示す入出力可能電力（Win, Wout）を電池状態に応じて適切に設定することにより、過剰な充放電を制限するような充放電制御が行なわれる。

20

【 0 0 0 5 】

また、二次電池の充放電制限の一形態として、特開2005-137091号公報（特許文献1）には、車両に搭載された二次電池の寿命を延ばすように、回生制動時における電池状態に応じて回生制動による充電電力量を制限する制御構成が開示されている。具体的には、車両の回生制動時には、回生制動時の充電による二次電池の劣化の度合を予測するとともに、予測された劣化の度合に基づいて回生制動時の充電電力量が制限される。

【 0 0 0 6 】

また、二次電池の内部状態に基づいて残存容量（SOC）を精度良く推定して充放電制御を行なう手法として、たとえばリチウムイオン電池において電池内部の電気化学反応を推定可能な電池モデルにより、電池状態を推定するためのモデリングが提案されている（たとえば非特許文献1）。

30

【特許文献1】特開2005-137091号公報

【非特許文献1】グおよびワン（W.B.Gu and C.Y.Wang）著、「リチウムイオン電池の熱-電気化学結合モデリング（THERMAL-ELECTROCHEMICAL COUPLED MODELING OF A LITHIUM-ION CELL）」、ECS Proceedings Vol.99-25 (1),2000、（米国）、電気化学学会(ECS)、2000年、pp 743-762

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、上記特許文献1に開示された二次電池の制御装置および制御方法では、回生制動時等の特定条件時に限定して、劣化の進行度合いを予測してこの予測値に基づく充放電制限を行なうので、過充電および過放電の確実な防止の面からは改善の余地がある。

【 0 0 0 8 】

また、上述した一般的な構成のように、充放電電力の上限値としての入出力可能電力（Win, Wout）のみを設定する充放電制限では、長期的な観点で電池性能を最大限発揮するような充放電制御を行なうことが困難である。

50

【 0 0 0 9 】

この発明は、このような問題を解決するためになされたものであって、この発明の目的は、過充電および過放電の発生を防止した上で電池性能を最大限に発揮可能なように充放電制御を実行することが可能な二次電池の充放電制御装置およびそれを搭載したハイブリッド車両を提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

この発明による二次電池の充放電制御装置は、負荷との間で電力を授受可能に構成された二次電池の充放電制御装置であって、電池状態推定手段と、入出力可能時間予測手段と、負荷制御手段とを備える。電池状態推定手段は、二次電池に設けられたセンサによる検出値に基づき、二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルに従って電池状態を示す状態推定値を逐次的に算出するように構成される。入出力可能時間予測手段は、電池状態推定手段により推定された現在での状態推定値に基づき、二次電池が所定電力を現時点から継続的に入出力可能な時間を予測するように構成される。負荷制御手段は、負荷への動作要求に基づき、入出力可能時間予測手段により予測された時間を考慮して、二次電池の過充電および過放電を回避するように負荷の動作指令を生成するように構成される。

10

【 0 0 1 1 】

上記二次電池の充放電制御装置によれば、二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルによって算出された現在の状態推定値を用いて、現時点から所定電力での充放電を継続的に実行可能な入出力可能時間を予測することができる。この結果、現時点での二次電池の内部状態に基づいて、入出力電力に対する入出力可能時間の特性を求めることができる。したがって、この特性に基づいて、過充電および過放電を回避しかつ電池性能を最大限に発揮させるように充放電制限を段階的に設定した充放電制御を行なうことができる。

20

【 0 0 1 2 】

好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置では、入出力可能時間予測手段は、複数個の所定電力について、現時点から継続的に入出力可能な時間をそれぞれ予測するように構成される。

【 0 0 1 3 】

このような構成とすることにより、現時点での二次電池の内部状態を反映した、入出力電力 - 入出力可能時間の特性を詳細に求めて、充放電制限に活用することができる。

30

【 0 0 1 4 】

また好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置では、入出力可能時間予測手段は、所定周期で起動されて、各起動時において、二次電池が所定電力をその時点から継続的に入出力可能な時間を予測するように構成される。

【 0 0 1 5 】

このような構成とすることにより、所定周期で入出力電力 - 入出力可能時間特性を逐次更新することによって、各時点での二次電池の内部状態を適切に反映して、充放電制御を行なうことができる。

【 0 0 1 6 】

あるいは好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置では、入出力可能時間予測手段は、二次電池が所定電力を現時点から継続的に入出力した場合における該二次電池の出力電圧の推移を予測する電圧推移予測手段と、電圧推移予測手段による予測に基づき、現時点から出力電圧が二次電池の上限電圧または下限電圧に達するまでの時間を予測する時間予測手段とを含むように構成される。

40

【 0 0 1 7 】

このような構成とすることにより、継続的な所定電力の充放電によって二次電池の出力電圧が上限電圧または下限電圧に達するまでの時間を入出力可能時間として予測できるので、二次電池が上限電圧または下限電圧を超えることがないように充放電制御を実行することができる。

50

【0018】

あるいは、この発明による二次電池の充放電制御装置は、負荷との間で電力を授受可能に構成された二次電池の充放電制御装置であって、電池状態推定手段と、劣化率予測手段と、負荷制御手段とを備える。電池状態推定手段は、二次電池に設けられたセンサによる検出値に基づき、二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルに従って該二次電池の状態推定値を逐次的に算出するように構成される。劣化率予測手段は、電池状態推定手段により推定された現時点での状態推定値に基づき、二次電池が所定電力を現時点から継続的に入出力した場合における該二次電池の劣化率を予測するように構成される。負荷制御手段は、負荷への動作要求に基づき、劣化率予測手段により予測された劣化率を考慮して負荷の動作指令を生成するように構成される。

10

【0019】

上記二次電池の充放電制御装置によれば、電池モデルに基づき二次電池の内部状態を逐次推定するとともに、電池モデルによる状態推定値を用いて、所定電力を継続的に充放電した場合における予測劣化率を求めることができる。したがって、各時点での二次電池の内部状態を適切に反映して、二次電池の過放電あるいは過充電により劣化が急速に進行しないように考慮して、二次電池の充放電制限を行なうことが可能となる。

【0020】

好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置では、劣化率予測手段は、複数個の所定電力について、劣化率をそれぞれ予測するように構成される。

【0021】

このような構成とすることにより、複数ケースの所定電力について予測劣化率を求めることによって、現時点の二次電池の内部状態を反映した、現時点での入出力電力 - 予測劣化率の特性を詳細に求めて、充放電制限に活用することができる。

20

【0022】

また好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置は、センサによる検出値に基づき、二次電池の劣化度または余寿命を推定する劣化度推定手段をさらに備える。そして、負荷制御手段は、劣化度診断手段により推定された劣化度または余寿命を考慮して、現時点において許容される劣化率範囲を求める手段と、劣化率予測手段により予測された劣化率が劣化率範囲内となるような二次電池の充放電電力範囲内に制限して、負荷の動作指令を生成する手段とを含むように構成される。

30

【0023】

このような構成とすることにより、現時点での二次電池の劣化度または余寿命に基づいて許容される劣化率の範囲を変更することができる。したがって、現時点での二次電池の劣化度を反映して、劣化を急速に進行させて電池寿命が短くならないように考慮した二次電池の充放電制限を行なうことが可能となる。

【0024】

好ましくは、上記二次電池の充放電制御装置では、二次電池は、リチウムイオン電池で構成され、状態推定値は、該二次電池内部でのリチウムイオン濃度分布を含む。

【0025】

上記二次電池の充放電制御装置によれば、電池内部でのリチウムイオン濃度の分布状態によってその出力特性が異なってくるリチウムイオン電池が制御対象であるので、本発明のように、電池の内部反応を電池モデルによって推定した上で充放電制御を行なうことにより、過充電および過放電を回避しかつ電池性能を最大限に発揮させるという効果を有効に享受できる。

40

【0026】

この発明によるハイブリッド車両は、車両の駆動力を発生可能に構成された内燃機関および電動機と、上記いずれかの二次電池の充放電制御装置と、制御手段とを備える。二次電池は、電動機を負荷とするように構成され、負荷制御手段は、負荷の動作指令として、電動機のトルク指令値を生成する。さらに、制御手段は、車両全体での要求駆動力が確保されるように、内燃機関および電動機がそれぞれ出力する駆動力を決定するように構成さ

50

れる。

【0027】

上記ハイブリッド車両では、二次電池の過充電または過放電、あるいは急速な劣化の進行が発生しないように考慮して電動機を負荷とする二次電池の充放電制限を行なった上で、車両全体での要求駆動力を確保することが可能となる。

【発明の効果】

【0028】

この発明による二次電池の充放電制御装置によれば、過充電および過放電の発生を防止した上で、電池性能を最大限に発揮可能なように充放電制御を実行することが可能である。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下において、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下では図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は原則として繰返さないものとする。

【0030】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態に従う二次電池の充放電制御装置によって制御される二次電池を含む電源システムの構成を説明する概略ブロック図である。

【0031】

20

図1を参照して、電源システム5は、二次電池10と、負荷20と、二次電池の冷却ファン40と、電子制御ユニット(ECU : Electronic Control Unit) により構成される、バッテリー ECU 50 および制御装置70とを備える。各 ECU は、代表的には予めプログラムされた所定シーケンスおよび所定演算を実行するためのマイクロコンピュータおよびメモリ(RAM : Random Access Memory , ROM : Read Only Memory 等) で構成される。バッテリー ECU 50 および制御装置70により、以下に説明するような充放電制限を実行する「充放電制御装置」が実現される。

【0032】

充放電可能な二次電池10としては、代表的にはリチウムイオン電池が用いられる。リチウムイオン電池は、電池内部でのリチウムイオン濃度の分布状態によってその出力特性が異なってくることから、本発明の適用に適している。

30

【0033】

二次電池10には、バッテリー温度 T_b を測定する温度センサ30と、二次電池10の入出力電流 I_b (以下、バッテリー電流 I_b とも称する)を測定する電流センサ32、ならびに、正極および負極間の端子間電圧 V_b (以下、バッテリー出力電圧 V_b とも称する)を測定する電圧センサ34が設けられている。

【0034】

冷却ファン40は、冷媒通路41を介して二次電池10と接続され、「冷媒」である冷却風45を冷媒通路41へ供給する。図示しないが、二次電池10には、冷媒通路41を介して供給された冷却風45によって二次電池10の各セルを冷却可能なように、冷媒路が適宜設けられている。冷却ファン40の作動/停止および作動時の供給冷媒量は、バッテリー ECU 50 によって制御される。

40

【0035】

負荷20は、二次電池10からの出力電力によって駆動される。また、図示しない発電・給電要素が、負荷20に含まれるように設けられ、あるいは、負荷20とは別個に設けられるものとし、二次電池10は、当該発電・給電要素からの充電電流によって充電可能であるものとする。したがって、二次電池10の放電時にはバッテリー電流 $I_b > 0$ であり、二次電池10の充電時にはバッテリー電流 $I_b < 0$ である。

【0036】

バッテリー ECU 50 は、電池モデル部60および挙動予測部65を含んで構成される。

50

ここで、電池モデル部 60 および挙動予測部 65 の各々は、たとえば、バッテリー ECU 50 による所定プログラムの実行により実現される機能ブロックに相当する。電池モデル部 60 は、二次電池 10 に設けられたセンサ群 30, 32, 34 からの検出値に基づき、二次電池 10 の内部状態を動的に推定可能な電池モデルに従って、電池状態を示す状態推定値を所定周期毎に逐次算出する。

【0037】

挙動予測部 65 は、電池モデル部 60 によって算出される状態推定値を用いた所定の予測演算によって、二次電池 10 を所定電力で継続的に充放電した場合における予測情報を生成して、制御装置 70 へ出力する。実施の形態 1 では、この予測情報は、ある所定電力を現時点から継続的に入力（充電）または出力（放電）した際の、予測される入出力可能時間を示す。

10

【0038】

制御装置 70 は、負荷 20 への動作要求に基づき、かつ、バッテリー ECU 50 からの予測情報を考慮して二次電池 10 の過充電あるいは過放電が発生しないように充放電制限した上で、負荷 20 の動作指令を生成する。

【0039】

次に、二次電池の構成およびそのモデルについて詳細に説明する。

図 2 を参照して、二次電池 10 を構成する各電池セル 10 は、負極 12 と、セパレータ 14 と、正極 15 とを含む。セパレータ 14 は、負極 12 および正極 15 の間に設けられた樹脂に電解液を浸透させることで構成される。

20

【0040】

負極 12 および正極 15 の各々は、球状の活物質 18 の集合体で構成される。負極 12 の活物質 18 の界面上では、リチウムイオン Li^+ および電子 e^- を放出する化学反応が行なわれる。一方、正極 15 の活物質 18 の界面上では、リチウムイオン Li^+ および電子 e^- を吸収する化学反応が行なわれる。

【0041】

負極 12 には電子 e^- を吸収する電流コレクタ 13 が設けられ、正極 15 には電子 e^- を放出する電流コレクタ 16 が設けられる。負極の電流コレクタ 13 は、代表的には銅で構成され、正極の電流コレクタ 16 は、代表的にはアルミで構成される。電流コレクタ 13 には負極端子 11n が設けられ、電流コレクタ 16 には正極端子 11p が設けられる。セパレータ 14 を介したリチウムイオン Li^+ の授受によって、電池セル 10 では充放電が行なわれ、充電電流 $I_b (> 0)$ または放電電流 $I_b (< 0)$ が生じる。

30

【0042】

図 3 は、電池モデル部 60 における二次電池のモデリングを説明する概念図である。

図 3 を参照して、電池モデル式では、各電池セル 10 の負極 12 および正極 15 のそれぞれにおいて、各活物質 18 でのリチウムイオン Li^+ の挙動が共通であるものと仮定して、負極 12 および正極 15 のそれぞれについて、代表的に 1 個ずつの活物質 18n および 18p を想定する。

【0043】

放電時には、負極活物質 18n 表面での電極反応により、活物質 18n 内のリチウム原子 Li が、電子 e^- の放出によりリチウムイオン Li^+ となってセパレータ 14 中の電解液に放出される。一方、正極活物質 18p 表面の電極反応では、電解液中のリチウムイオンが Li^+ が取込まれて電子 e^- を吸収する。これにより、正極活物質 18p の内部にリチウム原子 Li が取込まれる。負極活物質 18n からのリチウムイオン Li^+ の放出および正極活物質 18p でのリチウムイオン Li^+ の取込によって、正極電流コレクタ 16 から負極電流コレクタ 13 に向けて電流が流れる。

40

【0044】

反対に、二次電池の放電時には、負極活物質 18n 表面での電極反応により電界液中のリチウムイオン Li^+ が取込まれ、正極活物質 18p 表面での電極反応では、電界液へリチウムイオン Li^+ が放出される。

50

【 0 0 4 5 】

電池モデル式では、充放電時における活物質 18 p , 18 n の表面での電極反応、活物質 18 p , 18 n 内部でのリチウムイオンの拡散（径方向）および電解液中のリチウムイオンの拡散や、各部位での電位分布をモデリングする。

【 0 0 4 6 】

以下に、電池モデル部 60 で用いられる二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデルの一例について説明する。この電池モデルは、電池モデル式 (M1) ~ (M15) により構成される。

【 0 0 4 7 】

図 4 には、下記の電池モデル式 (M1) ~ (M15) 内で用いられる変数および定数の一覧表が示される。図 4 に示された、電池温度 T（電池内部）、各電位、リチウムイオン濃度等の変数が、本発明における「状態推定値」に対応する。

10

【 0 0 4 8 】

【数 1】

$$/i_n = i_o \left[\exp\left(\frac{\alpha_j F}{RT} \eta\right) - \exp\left(-\frac{\alpha_c F}{RT} \eta\right) \right] \quad \dots (M1)$$

$$\eta = \phi_s - \phi_e - U - /i_n R_f \quad \dots (M2)$$

20

$$U = U_0 + (T - T_0) \frac{\delta U}{\delta T} \quad \dots (M3)$$

【 0 0 4 9 】

式 (M1) ~ (M3) は、バトラーボルマーの式と呼ばれる、電極反応を示す式である。式 (M1) において交換電流密度 i_o は、活物質 18 の界面におけるリチウムイオン濃度の関数で与えられる（詳細は非特許文献 1 参照）。式 (M2) には式 (M1) 中の η の詳細が示され、式 (M3) には式 (M2) 中の U の詳細が示される。

【 0 0 5 0 】

【数 2】

$$\frac{\delta(\varepsilon_e c_e)}{\delta t} = \nabla(D_e^{eff} \nabla c_e) + \frac{1-t_+^o}{F} j^{Li} - \frac{\vec{i}_e \nabla t_+^o}{F} \quad \dots (M4)$$

$$D_e^{eff} = \frac{D_e \varepsilon_e}{\tau} \quad \dots (M5)$$

$$j^{Li} = a_s \cdot /i_n \quad \dots (M6)$$

30

【 0 0 5 1 】

式 (M4) ~ (M6) には、電界液中でのリチウムイオン保存則が示される。式 (M5) においては電界液中での実効拡散係数の定義が示され、式 (M6) では、反応電流 j^{Li} が電極の単位体積あたりの活物質表面積 a_s と式 (M1) に示された輸送電流密度 $/i_n$ との積で与えられることが示されている。なお、反応電流 j^{Li} の電極全体での体積積分は、バッテリー電流 I b に対応する。

40

【 0 0 5 2 】

【数3】

$$\frac{\delta(\varepsilon_s c_s)}{\delta t} = \nabla D_s \nabla c_s \approx D_s \left[\frac{\delta^2 c_s}{\delta r^2} + \frac{2}{r} \frac{\delta c_s}{\delta r} \right] \quad \dots (M7)$$

$$a_s = \frac{3\varepsilon_s}{r_s} \quad \dots (M8)$$

【0053】

10

式(M7)および(M8)には、固相中でのリチウムイオン保存則が示される。式(M7)では球体である活物質18中での拡散方程式が示され、式(M8)では、電極単位体積あたりの活物質表面積 a_s が示される。

【0054】

【数4】

$$\nabla(\kappa^{eff} \nabla \phi_e) + \nabla(\kappa_D^{eff} \nabla \ln c_e) + j^{Li} = 0 \quad \dots (M9)$$

$$\kappa^{eff} = \frac{\kappa}{\tau} \quad \dots (M10)$$

20

$$\kappa_D^{eff} = \frac{2RT\kappa^{eff}}{F} (t_+^o - 1) \left(1 + \frac{d \ln f_{\pm}}{d \ln c_e} \right) \quad \dots (M11)$$

【0055】

式(M9)～(M11)には電界液中での電荷保存則より、電界液中での電位を示す式が導かれる。

【0056】

式(M10)には実効イオン伝導率 κ^{eff} 、式(M11)には電界液中での拡散導電係数 κ_D^{eff} が示されている。

30

【0057】

【数5】

$$\nabla(\sigma^{eff} \nabla \phi_s) - j^{Li} = 0 \quad \dots (M12)$$

$$\sigma^{eff} = \varepsilon_s \sigma \quad \dots (M13)$$

【0058】

式(M12)および(M13)では、活物質での電荷保存則より固相中での電位を求める式が示される。

40

【0059】

【数6】

$$\frac{\delta(\rho c_p T)}{\delta t} = \nabla \lambda \nabla T + q \quad \dots (M14)$$

$$q = a_s / i_n \left(\phi_s - \phi_e - U + T \frac{\delta U}{\delta T} \right) + \sigma^{eff} \nabla \phi_s \nabla \phi_s \\ + \left(\kappa^{eff} \nabla \phi_e \nabla \phi_e + \kappa_D^{eff} \nabla \ln c_e \nabla \phi_e \right) \quad \dots (M15)$$

10

【0060】

式(M14)および(M15)では熱エネルギー保存則が表現される。これにより、充放電現象による二次電池内部への局所的な温度変化を解析することが可能となる。

【0061】

なお、これらの電池モデル式(M1)～(M15)は上記非特許文献1に基づくものであるので、各モデル式の詳細な説明については、非特許文献1を援用する。

【0062】

式(M1)～(M15)の電池モデル式を、活物質18p, 18nおよび電界液中の各点において、境界条件を適宜設定した差分方程式を逐次解くことにより、図4に示した各変数、すなわち二次電池10の状態推定値を逐次的に算出して、二次電池の内部反応を反映した電池状態の時間推移を推定できる。なお、各活物質18p, 18n内でのリチウムイオン濃度は、活物質内の半径rの関数とされ、その周方向ではリチウムイオン濃度は一様なものとして扱われる。

20

【0063】

上記電池モデルにおいて、SOCは、負極活物質18n内のリチウム原子数により求められる。また、活物質18p, 18n内部のリチウムイオン濃度分布を推定することにより、過去の充放電履歴を反映した電池状態の予測が可能となる。たとえば、現在のSOCが同一であっても、充電により現SOCとなった後に放電する場合には、放電により現SOCとなった後さらに放電する場合と比較して、出力電圧が相対的に低下し難くなるが、このような現象の予測を行なうことが可能となる。具体的には、充電直後には負極活物質18n内のリチウムイオン濃度が表面側で相対的に高くなる一方で、放電時には、負極活物質18n内リチウムイオン濃度が表面側で相対的に低下しているため、活物質内でのリチウムイオンの濃度分布を反映して、上記のような予測が可能となる。

30

【0064】

図5は、実施の形態1による二次電池の充放電制御装置における、電池モデル部および挙動予測部の動作タイミングを説明する概念図である。

【0065】

図5を参照して、電池モデル部60は、所定周期毎に作動して、センサ群30, 32, 34からの検出値に基づき、上述の電池モデル式に従って逐次的に状態推定値を算出する。実際には、前回の推定演算時からの差分が演算されて、状態推定値が更新される。これにより、二次電池の状態推定値は、二次電池の使用状況を示すセンサ群30, 32, 34からの検出値に基づき、初期値を始点として逐次的に更新される。

40

【0066】

このように、二次電池の内部状態が逐次推定されていく中で、所定周期Tcごとに、挙動予測部65により挙動予測ルーチンが実行される。この所定周期Tcは、電池モデル部の作動周期以上に設定される。

【0067】

たとえば、図5に示すように、時刻taにおいて、その時点における電池モデル部60による状態推定値を用いて、図6に示す挙動予測ルーチンに従った挙動予測が実行される

50

。上記のように、挙動予測部 65 は、ある所定電力を現時点から継続的に入力（充電）または出力（放電）した際の入出力可能時間を予測する。入出力可能時間の予測は、所定周期 T_c ごと、図 5 の例では、時刻 t_a から T_c 経過後の時刻 t_b および、さらに T_c 経過後の時刻 t_c において、それぞれの時点での電池モデル部 60 による状態推定値を用いて実行される。

【0068】

図 6 は、挙動予測部 65 が作動時に実行する挙動予測ルーチンを説明するフローチャートである。図 6 に示したフローチャートは、バッテリー ECU 50 内に予め格納されたプログラムを所定周期（ T_c ）ごとに実行することにより、図 1 に示した挙動予測部 65 の機能として実現される。

10

【0069】

図 6 を参照して、挙動予測部 65 は、ステップ S100 では、電池モデル部 60 により電池モデル式に従って逐次推定されたその時点での状態推定値を取得する。たとえば、ステップ S100 で考慮される状態推定値としては、この時点での SOC、内部温度、リチウムイオン濃度分布、電位分布等が挙げられる。さらに、挙動予測部 65 は、ステップ S110 により、所定電力を現時点から継続的に充電あるいは放電したときのバッテリー出力電圧の挙動を予測する。

【0070】

図 7 に示すように、負荷への最大出力電力 W_{omax} 、負荷からの最大入力電力 W_{imax} および現在の入出力電圧 W_c による充放電が現時点から継続的に実行された場合における、バッテリー電圧 V_b の予測値が予め作成されたモデルに従って算出される。なお、後程説明する図 8 に点線で示すように、上記最大出力電力 W_{omax} 、最大入力電力 W_{imax} および現在の入出力電圧 W_c 以外の規定電力（たとえば、最大出力電力 W_{omax} ~ 最大入力電力 W_{imax} 間で 5 kW 刻みに設定）についても、入出力可能時間を予測するために、上記モデルに従ってバッテリー電圧 V_b の予測値を算出してもよい。

20

【0071】

このバッテリー電圧挙動予測モデルとしては、たとえば、入出力電力が一定であることを考慮して上記電池モデル式（M1）～（M15）を単純化したものを用いることができる。あるいは、ステップ S100 で求めた状態推定値および充放電される所定電力を変数とした、バッテリー電圧挙動（たとえば、 dV_b/dt ：単位時間当たりのバッテリー電圧変化量）を予測する関数式を別途定義してもよい。

30

【0072】

上記のようなバッテリー電圧挙動予測モデルに基づき、二次電池 10 からの入出力電圧が W_{omax} （最大出力電力：放電）、 W_{imax} （最大入力電力：充電）および現在の入出力電力 W_c を継続的に入出力した際に、バッテリー電圧 V_b が、下限電圧 V_{min} に到達するまでの時間（放電時）、あるいは上限電圧 V_{max} に到達するまでの時間（充電時）が求められる。この際の到達までの所要時間 $T_1 \sim T_3$ が、 W_{omax} 、 W_{imax} および W_c を現時点から継続的に二次電池 10 から入出力した際に予測される入出力可能時間である。ここで、上限電圧 V_{max} および下限電圧 V_{min} は、二次電池 10 の最高定格電圧および最低定格電圧、あるいは負荷の動作可能（保証）電圧等に従って決定される。

40

【0073】

すなわち、入出力時間 T_1 は、現時点より、バッテリー電圧 V_b が下限電圧 V_{min} まで低下することなく最大出力電力 W_{omax} を継続的に放電可能な最大時間を示す。同様に、入出力時間 T_2 は、現時点より、バッテリー電圧 V_b が上限電圧 V_{max} まで上昇することなく最大入力電力 W_{imax} にて継続的に充電可能な最大時間を示す。また、入出力時間 T_3 は、現時点より、バッテリー電圧 V_b を上限電圧 V_{max} ~ 下限電圧 V_{min} の範囲内に維持して、現在の入出力電力による二次電池 10 の充放電が継続可能な最大時間を示す。このようにして、挙動予測部 65 は、各時点において、所定入出力電力に対する入出力可能時間を予測することができる。

【0074】

50

特に、図 8 に示すように、最大出力電力 $W_{o\max}$ 、最大入力電力 $W_{i\max}$ および現在の入出力電力 W_c 、あるいは、さらに他の所定電力を含む複数ケースの所定電力（たとえば、最大出力電力 $W_{o\max}$ ~ 最大入力電力 $W_{i\max}$ 間で 5 kW 刻みに設定）について、入出力可能時間をそれぞれ予測することにより、入出力電力 - 入出力可能時間特性をマップ形式で取得することができる。

【0075】

再び図 6 を参照して、挙動予測部 65 は、ステップ S 120 により、図 7 に示したバッテリー電圧挙動予測と上限電圧 V_{\max} および下限電圧 V_{\min} との比較により、入出力可能時間を予測する。そして、挙動予測部 65 は、ステップ S 130 により、図 8 に示すような入出力電力 - 入出力可能時間特性を求めて、予測情報として制御装置 70 へ出力する。

10

【0076】

制御装置 70 では、負荷 20 への動作要求に応じて、挙動予測部 65 によって求められた入出力電力 - 入出力可能時間特性を考慮して、二次電池の過充電あるいは過放電を回避する範囲内に二次電池 10 の充放電を制限するように、負荷 20 の動作指令を生成する。特に、単なる二次電池 10 からの出力可能電力（放電電力上限値） W_{out} および入力可能電力（充電電力上限値） W_{in} ではなく、充放電電力に対する継続的な入出力可能時間を示す情報を用いることにより、予見的に過充電および過放電を回避し、かつ、バッテリー性能を最大限まで発揮させるような充放電制限が可能となることが期待できる。また、過放電、過充電の回避のみならず、継続的な入出力可能時間が短いときには、二次電池 10 からの出力電力を事前に減らすことによって、走行中のショック発生回避による運転快適性向上や、燃費向上を図ることができる。逆に、入出力可能時間が長いときには、二次電池 10 からの出力電力を増やして燃費向上を図ることができる。

20

【0077】

以上説明したように、実施の形態 1 による二次電池の充放電制御装置では、二次電池の内部状態を動的に推定可能な電池モデル式による電池状態の推定をベースとして、所定周期で所定電力に対する入出力可能時間を予測することができる。さらに、この挙動予測を反映して二次電池 10 との間で電力を授受する負荷 20 の動作指令を生成するので、二次電池 10 の過充電および過放電を確実に回避した充放電制限が可能となる。

【0078】

さらに、複数段階の入出力電力に対して入出力可能時間を予測して負荷 20 の動作指令に反映することにより、単純に充放電電力の上限値のみを設定する制御構成と比較して、段階的な充放電制限を実行することが可能となり、過充電および過放電を回避しつつ、その時点での電池性能を最大限に引出すような二次電池の使用を可能とすることができる。

30

【0079】

なお、実施の形態 1 において、図 1 の電池モデル部 60 は本発明での「電池状態推定手段」に対応し、図 1 の挙動予測部 65 は本発明での「入出力可能予測手段」に対応し、制御装置 70 は本発明での「負荷制御手段」に対応する。さらに、図 6 でのステップ S 110 は本発明での「電圧推移予測手段」に対応し、ステップ S 120 は本発明での「時間予測手段」に対応する。

40

【0080】

（実施の形態 2）

実施の形態 2 では、図 1 に示した制御構成において、挙動予測部によってその時点での充放電条件（入出力電力）に対する劣化度合を評価することによって、二次電池の充放電を制限する構成について説明する。

【0081】

図 9 は、実施の形態 2 による二次電池の充放電制御装置の機能構成を説明する概略ブロック図である。

【0082】

図 9 を参照して、実施の形態 2 では、バッテリー ECU 50 は、図 1 と同様の電池モデル

50

部 6 0 および挙動予測部 6 5 を含む。電池モデル部 6 0 は、実施の形態 1 と同様に、二次電池 1 0 の内部状態を動的に推定して、その状態推定値を逐次更新していく。

【 0 0 8 3 】

挙動予測部 6 5 は、電池モデル部 6 0 によって算出される状態推定値を用いた所定の予測演算によって、二次電池 1 0 を所定電力で継続的に充放電した場合における劣化率を評価する。そして、入出力電力 - 劣化率の特性を予測情報として制御装置 7 0 に出力する。制御装置 7 0 は、挙動予測部 6 5 からの予測情報（入出力電力 - 劣化率特性）を考慮して負荷 2 0 の動作指令を生成する。

【 0 0 8 4 】

たとえば、図 1 0 に示されるように、挙動予測部 6 5 は、最大出力電力 $W_{o\max}$ ~ 最大入力電力 $W_{i\max}$ の範囲内で、現在の電池状態における、複数ケースの所定電力を入出力した際の予測劣化率を求める。劣化率を予測するためのモデル式は、その時点における電池モデル部 6 0 による状態推定値のうちの、少なくとも電池温度 T 、入出力電力 I_b を反映して設定される。このモデル式については任意に設定することができるので、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 5 】

挙動予測部 6 5 は、実施の形態 1 の挙動予測部 6 5 と同様に、上記予測情報（入出力電力 - 劣化率特性）を求めるための挙動予測ルーチン（図示せず）を所定周期ごとに実行する。

【 0 0 8 6 】

図 1 1 は、実施の形態 2 による二次電池 1 0 の充放電制御を説明するフローチャートである。実施の形態 2 による充放電制御は、主に、バッテリ ECU 5 0 による劣化率予測を反映した制御装置 7 0 による動作指令の生成に向けられる。

【 0 0 8 7 】

図 1 1 を参照して、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 0 0 により、バッテリ ECU 5 0 から現時点での充放電条件（入出力電力） - 予測劣化率特性を取得する。そして、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 1 0 により、一定期間内での劣化率の積算値あるいは平均値が所定範囲内となるように、現時点で許容される上限劣化率 DR_{\max} を算定する。たとえば、これまでに劣化度が大きい条件での電池動作が継続されていた場合には、急激な電池劣化の進行を制限するために、上限劣化率 DR_{\max} は相対的に低い値に設定される。そして、制御装置 7 0 は、算定した上限劣化率 DR_{\max} に従って充放電制限を行なう。たとえば、入出力電力の制限により、あるいは、電池温度（上限）や、上（下）限電圧や、上（下）限 SOC の制限によって、充放電は制限される。

【 0 0 8 8 】

再び図 1 0 を参照して、算定された上限劣化率 DR_{\max} および挙動予測部 6 5 による入出力電力 - 予測劣化率特性に従って、現時点の電池状態に基づき予測される劣化率が、上限劣化率 DR_{\max} に達するときの上限出力電力 W_o および上限入力電力 W_i が求められる。

【 0 0 8 9 】

再び図 1 1 を参照して、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 2 0 により、ステップ S 2 1 0 で設定された充放電制限範囲内に制限して、たとえば、入出力電力範囲を制限して、充電に関しては W_i を上限とし、放電に関しては W_o を上限とする充放電制限を行なって、負荷 2 0 の動作指令を生成する。さらに、制御装置 7 0 では、ステップ S 2 3 0 では、ステップ S 2 2 0 で設定した負荷 2 0 の動作指令に対応する予測劣化率を、図 1 0 に示した予測情報に基づいて取得し格納する。これにより、次の演算時における一定期間での劣化率（積算値または平均値）の評価が更新されることとなる。

【 0 0 9 0 】

このような構成とすることにより、実施の形態 2 による二次電池の充放電制御装置によれば、電池モデルに従った二次電池の内部状態推定に基づき、各時点での使用電力（入出力電力）に対する劣化度を逐次予測した上で、二次電池 1 0 の劣化が著しく進行しないよ

10

20

30

40

50

うな範囲に制限した充放電制御を実行することが可能となる。

【 0 0 9 1 】

なお、実施の形態 1 および 2 を組合せて、入出力電力に対する入出力可能時間および劣化率の両方を予測情報として、バッテリー E C U 5 0 から制御装置 7 0 へ出力して、二次電池 1 0 の充放電制御を行なう構成としてもよい。この場合には、入出力可能時間および劣化率の両方を考慮して、二次電池 1 0 の過充電および過放電ならびに急激な劣化の進行が回避されるように、制御装置 7 0 によって負荷 2 0 の動作指令が生成される。

【 0 0 9 2 】

(実施の形態 2 の変形例)

図 1 2 は、実施の形態 2 の変形例による二次電池の充放電制御装置の機能構成を説明するブロック図である。

10

【 0 0 9 3 】

図 1 2 を参照して、実施の形態 3 においては、バッテリー E C U 5 0 は、図 9 と同様の電池モデル部 6 0 および挙動予測部 6 5 に加えて、劣化度推定部 6 1 をさらに含む。

【 0 0 9 4 】

劣化度推定部 6 1 は、いわゆる電池の劣化状態 (S O H : State of Health) を推定する機能を有し、センサ群 3 0 , 3 2 , 3 4 による検出値 T_p , I_b , V_b に基づいて、二次電池 1 0 の劣化度および / または余寿命を推定する。劣化度推定部 6 1 によって推定された二次電池 1 0 の劣化度および / または余寿命は、制御装置 7 0 (あるいは挙動予測部 6 5 にも) 対して出力される。

20

【 0 0 9 5 】

ここで、図 1 3 ~ 図 1 5 を用いて、二次電池 1 0 の劣化度推定手法の例について説明する。

【 0 0 9 6 】

たとえば、劣化度推定部 6 1 は、診断モード動作時における二次電池挙動に基づいて、電池モデルに用いられるパラメータ (定数) の一部を同定可能なように構成されている。

【 0 0 9 7 】

図 1 3 を参照して、診断モード時には、二次電池 1 0 が時刻 t_0 から t_2 の間に一定電流をパルス状に出力するような診断動作が行なわれる。この診断動作により、バッテリー電圧 V_b は、パルス状電流の出力に応じて、パルス電流の遮断後 (すなわち、時刻 t_2 以降) において徐々に復帰する。このような電圧挙動は電圧センサ 3 4 により検知され、バッテリー電圧 V_b は劣化度推定部 6 1 に入力される。なお、このような診断モードは、二次電池の使用終了から所定時間 (3 0 分程度) が経過して、二次電池の内部状態が静的となった後に行なうことが好ましい。

30

【 0 0 9 8 】

たとえば、パルス状電流出力時の電圧挙動に基づいて交換電流密度 i_0 を推定することが可能である。また、パルス電流遮断後の電圧挙動に基づいて、正極での拡散係数 D_s を推定することが可能である。同定対象となるパラメータ (以下、劣化管理パラメータ X , Y とする) は、その個数も含めて任意に定めることができる。

【 0 0 9 9 】

図 1 4 を参照して、劣化度推定部 6 1 は、上記診断モード実行時に、劣化管理パラメータ X , Y について、現在でのパラメータ値を同定する。劣化管理パラメータ X , Y については、予め、二次電池の使用度に応じたパラメータ値の変化、すなわち劣化特性が求められている。二次電池の使用度としては、たとえば使用期間 (時間) あるいは充放電電流積算値が用いられる。特に、本発明に従って充放電制御される二次電池がハイブリッド車両等の車両に搭載される場合には、バッテリーの使用度として、走行距離または使用期間を用いることができる。

40

【 0 1 0 0 】

図 1 4 に示されるように、劣化管理パラメータ X に関して劣化特性線 2 0 0 が予め求められており、劣化管理パラメータ Y については劣化特性線 2 1 0 が予め求められている。

50

劣化度推定部 6 1 は、上記のように求めた現時点でのパラメータ値について、初期値からの変化量および限界値までの余裕度に従って、現時点での二次電池 1 0 の劣化度を推定することができる。劣化管理パラメータを複数個用いる場合には、それぞれのパラメータに関する劣化度の平均値、最大値または最小値等を求めることにより、二次電池 1 0 全体のマクロな劣化度を推定できる。

【 0 1 0 1 】

また、限界値を超えてパラメータ値が変化（低下あるいは上昇）した場合には、寿命領域であると判定できるので、劣化度推定部 6 1 は、現時点におけるパラメータ値と上記限界値との差から、二次電池 1 0 の余寿命を推定することも可能である。

【 0 1 0 2 】

あるいは、劣化度推定部 6 1 については、図 1 3 に示したような診断モードの実行を伴うことなく、二次電池 1 0 の使用中にセンサ群 3 0 ~ 3 4 によって検出されたオンライン検出値（ T_b 、電流 I_b 、電圧 V_b ）に基づき、電池モデル部 6 0 と並列に動作して、劣化管理パラメータをオンラインで同定するように構成することも可能である。

【 0 1 0 3 】

このようなオンラインでのパラメータ同定は、劣化管理パラメータの種類に応じて可能となる。たとえば、図 1 5 に示すように、バッテリー電流 I_b およびバッテリー電圧 V_b との関係プロットしたオンライン特性点 2 5 0 の集合により、 I_b に対する V_b の傾きを求めることにより、電池モデル式中での界面直流抵抗 R_f を同定して、劣化管理パラメータとすることが可能となる。

【 0 1 0 4 】

次に、図 1 6 および図 1 7 を用いて、実施の形態 2 の変形例による二次電池の充放電制御を説明する。

【 0 1 0 5 】

図 1 6 を参照して、挙動予測部 6 5 は、図 1 0 に示したのと同様に、この時点における二次電池の内部状態に基づき、入出力電力に対する二次電池 1 0 の劣化率を予測して、入出力電力 - 劣化率特性を予測情報として制御装置 7 0 へ出力する。

【 0 1 0 6 】

制御装置 7 0 は、実施の形態 2 の変形例では、現時点で許容される上限劣化率 DR_{max} を、劣化度推定部 6 1 によって推定された劣化度および / または余寿命に応じて設定する。たとえば、劣化度に関しては大きい場合、余寿命に関しては短い場合ほど、上限劣化率 DR_{max} は相対的に低い値に設定される。

【 0 1 0 7 】

このようにして、挙動予測部 6 5 によって求められた予測情報（図 1 6 の点線）に基づき、上限劣化率 DR_{max} に劣化率が達するときの上限出力電力 W_o および入力電力 W_i が求められる。そして、制御装置 7 0 は、充電に関しては W_i を上限とし、放電に関しては W_o を上限とする範囲内に限定して、負荷 2 0 の動作指令を生成する。

【 0 1 0 8 】

図 1 7 を参照して、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 0 0 により、バッテリー ECU 5 0 から現時点での充放電条件（入出力電力） - 予測劣化率特性を取得する。そして、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 0 2 により、劣化度推定部 6 1 によって推定された劣化度および / または余寿命を取得し、さらに、ステップ S 2 0 4 により、現在の劣化度および / または余寿命に応じて許容劣化率範囲（すなわち、上限劣化率 DR_{max} ）を設定する。

【 0 1 0 9 】

そして、制御装置 7 0 は、ステップ S 2 1 0 により、ステップ S 2 0 4 で設定した許容劣化率範囲に従って入出力電力制限を設定する。具体的には、図 1 6 に示されるように、現時点での劣化度および / または余寿命に応じて設定された上限劣化率 DR_{max} および、挙動予測部 6 5 による入出力電力 - 予測劣化率特性に従って、現時点の電池状態に基づき予測される劣化率が、上限劣化率 DR_{max} に達するときの上限出力電力 W_o および上限入力電力 W_i が求められる。なお、このような入出力電力制限の設定について

10

20

30

40

50

は挙動予測部 65 で実行して、上限出力電力 W_o および上限入力電力 W_i を予測情報に内包して、挙動予測部 65 から制御装置 70 へ逐次送出する構成とすることも可能である。

【0110】

制御装置 70 は、ステップ S 220 では、ステップ S 210 で設定された入出力電力範囲内に制限して、すなわち、充電に関しては W_i を上限とし、放電に関しては W_o を上限とする充放電制限を行なって、負荷 20 の動作指令を生成する。

【0111】

このような構成とすることにより、実施の形態 2 の変形例による二次電池の充放電制御装置では、実施の形態 2 による効果に加えて、各時点で許容される劣化率を、その時点での予測劣化度および / または推定余寿命に応じて設定することができる。これにより、二次電池の劣化状態に応じて適切に充放電制限範囲を設定することで、二次電池の急激な劣化を防止して長寿命化を図ることがさらに可能となる。

10

【0112】

なお、実施の形態 1 および 2 の変形例を組合せて、入出力電力に対する入出力可能時間および劣化率の両方を予測情報とし、さらに予測劣化度および / または推定余寿命を考慮して、二次電池 10 の充放電制御を行なう構成としてもよい。この場合にも、入出力可能時間ならびに劣化度および劣化率の両方を考慮して、二次電池 10 の過充電および過放電ならびに急激な劣化の進行による電池寿命の短縮が回避されるように、制御装置 70 によって負荷 20 の動作指令が生成される。

20

【0113】

なお、実施の形態 2 およびその変形例において、図 9, 12 の電池モデル部 60 は本発明での「電池状態推定手段」に対応し、図 9, 12 の挙動予測部 65 は本発明での「劣化率予測手段」に対応し、制御装置 70 は本発明での「負荷制御手段」に対応する。さらに、図 12 での劣化度推定部 61 は、本発明での「劣化度推定手段」に対応する。

【0114】

(実施の形態 3)

実施の形態 3 では、以上説明してきた、実施の形態 1, 2 およびその変形例による二次電池の充放電制御装置のハイブリッド車両への適用について説明する。

【0115】

図 18 は、本発明の実施の形態 3 によるハイブリッド車両の構成例を説明するブロック図である。

30

【0116】

図 18 を参照して、ハイブリッド車両 500 は、エンジン 510 と、走行用バッテリー 520 と、バッテリー ECU 525 と、インバータ 530 と、車輪 540 a と、トランスアクスル 550 と、ハイブリッド車両 500 の全体動作を制御する電子制御ユニット (HV-ECU) 590 とを備える。

【0117】

図 18 に示したハイブリッド車両 500 においては、走行用バッテリー 520 およびバッテリー ECU 525 が、実施の形態 1, 2 および 2 の変形例における二次電池 10 およびバッテリー ECU 50 (図 1) にそれぞれ対応し、HV-ECU 590 が、実施の形態 1, 2 および 2 の変形例における制御装置 70 (図 1) に対応する。また、モータジェネレータ MG1 および MG2 は、実施の形態 1, 2 および 2 の変形例における負荷 20 (図 1) に対応する。主に、車両駆動力発生用のモータジェネレータ MG2 が、走行用バッテリー 520 に対して電力の入出力を行なう負荷となる。

40

【0118】

エンジン 510 は、ガソリン等の燃料の燃焼エネルギーを源として駆動力を発生する。走行用バッテリー 520 は、電力ライン 551 へ直流電力を供給する。走行用バッテリー 520 は、代表的にリチウムイオン二次電池で構成され、本発明の実施の形態に従う二次電池の充放電制御装置によってその充放電が制御される。

50

【 0 1 1 9 】

インバータ 5 3 0 は、走行用バッテリー 5 2 0 から供給された直流電力を交流電力に変換して電力ライン 5 5 3 へ出力する。あるいは、インバータ 5 3 0 は、電力ライン 5 5 2 , 5 5 3 に供給された交流電力を直流電力に変換して電力ライン 5 5 1 へ出力する。

【 0 1 2 0 】

トランスアクスル 5 5 0 は、トランスミッションとアクスル（車軸）とを一体構造として備えており、動力分割機構 5 6 0 と、減速機 5 7 0 と、モータジェネレータ M G 1 と、モータジェネレータ M G 2 とを有する。動力分割機構 5 6 0 は、エンジン 5 1 0 によって生じた駆動力を、減速機 5 7 0 を介して車輪 5 4 0 a 駆動用の駆動軸 5 4 5 へ伝達する経路と、モータジェネレータ M G 1 へ伝達経路とに分割可能である。

10

【 0 1 2 1 】

モータジェネレータ M G 1 は、動力分割機構 5 6 0 を介して伝達されたエンジン 5 1 0 からの駆動力によって回転されて発電する。モータジェネレータ M G 1 による発電電力は、電力ライン 5 5 2 を介してインバータ 5 3 0 に供給され、走行用バッテリー 5 2 0 の充電電力として、あるいはモータジェネレータ M G 2 の駆動電力として用いられる。

【 0 1 2 2 】

モータジェネレータ M G 2 は、インバータ 5 3 0 から電力ライン 5 5 3 に供給された交流電力によって回転駆動される。モータジェネレータ M G 2 によって生じた駆動力は、減速機 5 7 0 を介して駆動軸 5 4 5 へ伝達される。また、回生制動動作時にモータジェネレータ M G 2 が車輪 5 4 0 a の減速に伴って回転される場合には、モータジェネレータ M G 2 に生じた起電力（交流電力）が電力ライン 5 5 3 へ供給される。この場合は、インバータ 5 3 0 が電力ライン 5 5 3 へ供給された交流電力を直流電力に変換して電力ライン 5 5 1 へ出力することにより走行用バッテリー 5 2 0 が充電される。

20

【 0 1 2 3 】

モータジェネレータ M G 1 , M G 2 の各々は、発電機としても電動機としても機能し得るが、モータジェネレータ M G 1 は概ね発電機として動作することが多く、モータジェネレータ M G 2 は主として電動機として動作することが多い。H V - E C U 5 9 0 は、ハイブリッド車両 5 0 0 を運転者の指示に応じて運転させるために、自動車に搭載された機器・回路群の全体動作を制御する。

【 0 1 2 4 】

上記のように、ハイブリッド車両 5 0 0 では、エンジン 5 1 0 によって発生された駆動力と、走行用バッテリー 5 2 0 からの電気エネルギーを源としてモータジェネレータ M G 2 によって発生された駆動力との組合せによって、燃費を向上させた車両運転を行なう。

30

【 0 1 2 5 】

たとえば、発進時ならびに低速走行時あるいは緩やかな坂を下るとき等の軽負荷時には、ハイブリッド車両 5 0 0 は、エンジン効率の悪い領域を避けるために、基本的にはエンジンを作動させることなくモータジェネレータ M G 2 による駆動力のみで走行する。

【 0 1 2 6 】

通常走行時には、エンジン 5 1 0 から出力された駆動力は、動力分割機構 5 6 0 によって、車輪 5 4 0 a の駆動力とモータジェネレータ M G 1 での発電用駆動力とに分化される。モータジェネレータ M G 1 による発電電力は、モータジェネレータ M G 2 の駆動に用いられる。したがって、通常走行時には、エンジン 5 1 0 による駆動力をモータジェネレータ M G 2 による駆動力でアシストして、車輪 5 4 0 a が駆動される。E C U 5 9 0 は、エンジン 5 1 0 およびモータジェネレータ M G 2 間での駆動力分担割合を制御する。

40

【 0 1 2 7 】

全開加速時には、走行用バッテリー 5 2 0 からの供給電力が第 2 のモータジェネレータ M G 2 の駆動にさらに用いることにより、車輪 5 4 0 a を駆動力がさらに増加させることができる。

【 0 1 2 8 】

減速および制動時には、モータジェネレータ M G 2 は、車輪 5 4 0 a の回転とは反対方

50

向のトルクを発生することにより、回生発電を行なう発電機として作用する。モータジェネレータMG2の回生発電によって回収された電力は、電力ライン553、インバータ530および電力ライン551を介して走行用バッテリー520の充電に用いられる。さらに、車両停止時にはエンジン510は自動的に停止される。

【0129】

このように、運転状況に応じて車両全体での要求駆動力に対するエンジン510およびモータジェネレータMG2の間での配分が決定される。具体的には、HV-ECU590は、燃費の面からエンジン510の効率を考慮して、運転状況に応じて上記配分を決定する。

【0130】

図19は、本実施の形態による二次電池の充放電制御を反映したハイブリッド車両500におけるモータジェネレータMG2の動作指令値設定を説明するフローチャートである。図19に示したフローチャートは、HV-ECU590内に予め格納されたプログラムを所定周期ごとに実行することにより実現される。

【0131】

図19を参照して、HV-ECU590は、ステップS300により、現在の車速および運転者によるペダル操作等により、車両全体で必要な車両駆動力および車両制動力を算出する。

【0132】

HV-ECU590は、ステップS310により、実施の形態1、2および2の変形例に従って設定された走行用バッテリー520（二次電池10）の充放電制限に対応させて、モータジェネレータMG2の入出力許容値（電力）を設定する。

【0133】

さらに、HV-ECU590は、ステップS310で設定したMG2の入出力許容値およびハイブリッド車両500全体での効率を考慮して、具体的には、エンジン510の運転領域が高効率のものとなるように配慮して、エンジン510およびモータジェネレータMG2の間での駆動力の出力分担を決定する（ステップS320）。これにより、走行用バッテリー520が過充電あるいは過放電となるような、モータジェネレータMG2の運転（具体的には、車両駆動力を発生する力行動作、あるいは発電のための回生制動動作）が回避される。

【0134】

そして、HV-ECU590は、ステップS330では、ステップS320で決定されたMG2出力に従って、モータジェネレータMG2のトルク指令値を決定する。モータジェネレータMG2のトルク指令値は、一般的には、車両駆動力を発生する力行動作時には正トルクに設定され、車両駆動力を発揮する回生制動時には負トルクに設定される。

【0135】

また、ハイブリッド車両500には、駆動輪540aを含む車輪に対して図示しない油圧ブレーキが設定され、これら油圧ブレーキによる発生制動力と、モータジェネレータMG2による回生制動発電を伴う制動力との和により、ステップS300で算出された車両全体での必要制動力が確保するように制御される。すなわち、充電制御が厳しくモータジェネレータMG2による回生発電が許可されない場合においても、図示しない油圧ブレーキにより、車両全体の制動力が確保される。一方で、走行用バッテリー520の充電制限の範囲内で、モータジェネレータMG2により回生制動動作を行なうことにより、電力の有効な回収が可能となる。

【0136】

上記のような、図19に示すステップS300～S330の処理により実現されるHV-ECU590の機能の一部は、本発明における「制御手段」に対応する。

【0137】

このように、本発明の実施の形態1、2および2の変形例による二次電池の充放電制御をハイブリッド車両に適用することにより、充電動作および放電動作を繰返すような使用

10

20

30

40

50

形態の走行用バッテリー520についても、過充電および過放電ならびに急速な劣化の進行を回避し、かつ、その電池性能を十分に発揮させるように考慮した充放電制御を行なって、車両駆動力発生用のモータジェネレータMG2を動作させることが可能となる。

【0138】

なお、実施の形態3では、動力分割機構により、エンジンの動力を車軸（駆動軸）と発電機とに分割して伝達可能なシリーズ/パラレル型ハイブリッドシステムへの適用例を、エンジンおよびモータ間での車両駆動力の出力配分にも着目して説明した。しかしながら、本発明の適用はこのような場合に限定されるものではなく、挙動予測に基づく負荷の動作指令生成によって実現される本発明による二次電池の充放電制御については、負荷を特に限定することなく任意の機器またはシステム等に適用することが可能である。

10

【0139】

また、二次電池から負荷への電力供給（放電）あるいは負荷から二次電池の電力供給（充電）のみが実行されるように構成された場合等、放電制限あるいは充電制限の一方のみについて、本発明を適用することも可能である。

【0140】

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。本発明の範囲は上記した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。

【図面の簡単な説明】

20

【0141】

【図1】本発明の実施の形態に従う二次電池の充放電制御装置によって制御される二次電池を含む電源システムの構成を説明する概略ブロック図である。

【図2】二次電池の概略構成図である。

【図3】電池モデル部における二次電池のモデリングを説明する概念図である。

【図4】電池モデル式で用いられる変数および定数の一覧を示す図である。

【図5】実施の形態1による二次電池の充放電制御装置における、電池モデル部および挙動予測部の動作タイミングを説明する概念図である。

【図6】実施の形態1による挙動予測部が作動時に実行する挙動予測ルーチンを説明するフローチャートである。

30

【図7】バッテリー出力電圧の挙動予測と入出力可能時間との関係を説明する概念図である。

【図8】実施の形態1による二次電池の充放電制御装置で用いられる予測情報の構造例を示す概念図である。

【図9】実施の形態2による二次電池の充放電制御装置の機能構成を説明する概略ブロック図である。

【図10】実施の形態2による二次電池の充放電制御装置で用いられる予測情報の構造例および充放電制限を示す概念図である。

【図11】実施の形態2による二次電池の充放電制御を説明するフローチャートである。

【図12】実施の形態2の変形例による二次電池の充放電制御装置の機能構成を説明する概略ブロック図である。

40

【図13】劣化度推定のための診断モードでの二次電池動作を説明する波形図である。

【図14】図12に示した劣化度推定部の動作を説明する概念図である。

【図15】劣化管理パラメータのオンライン同定の一例を示す概念図である。

【図16】実施の形態2の変形例による二次電池の充放電制御装置で用いられる予測情報の構造例および充放電制限を示す概念図である。

【図17】実施の形態2の変形例による二次電池の充放電制御を説明するフローチャートである。

【図18】本発明の実施の形態3によるハイブリッド車両の構成例を説明するブロック図である。

50

【図19】本実施の形態による二次電池の充放電制御を反映したハイブリッド車両におけるモータジェネレータMG2の動作指令値設定を説明するフローチャートである。

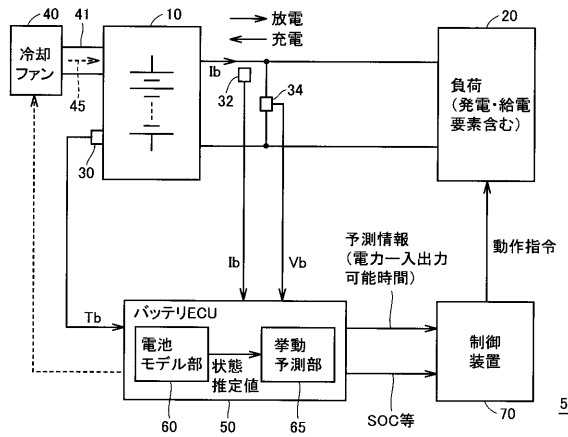
【符号の説明】

【0142】

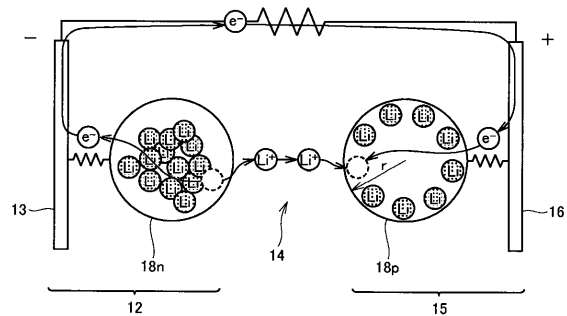
10 バッテリ、10 電池セル、11p 正極端子、11n 負極端子、12 負極、13 負極電流コレクタ、14 セパレータ、15 正極、16 正極電流コレクタ、18 活物質、18p 正極活物質、18n 負極活物質、20 負荷、30 温度センサ、32 電流センサ、34 電圧センサ、40 冷却ファン、41 冷媒通路、45 冷却風、50 バッテリECU、60 電池モデル部、61 劣化度推定部、65、65 挙動予測部、70 制御装置、200、210 劣化特性線(劣化管理パラメータ)、250 オンライン特性点、500 ハイブリッド車両、510 エンジン、520 走行用バッテリー、525 バッテリECU、530 インバータ、540a 車輪(駆動輪)、545 駆動軸、550 トランスアクスル、551、552、553 電力ライン、560 動力分割機構、570 減速機、590 HV-ECU、DRmax 上限劣化率、Ib バッテリ電流(入出力電流)、MG1、MG2 モータジェネレータ、T1~T3 入出力時間、Tb バッテリ温度、Tc 所定周期(挙動予測)、Vb バッテリ電圧、Vmax 上限電圧(バッテリー電圧)、Vmin 下限電圧(バッテリー電圧)、Wc 入出力電圧(現在)、Wi 上限入力電力、Womax 最大出力電力、Wimax 最大入力電圧、Wo 上限出力電力、X、Y 劣化管理パラメータ。

10

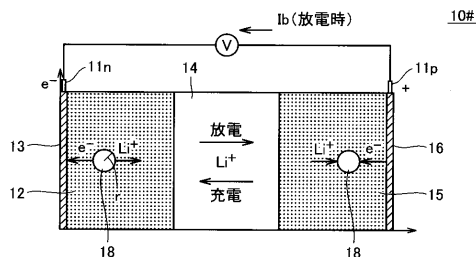
【図1】



【図3】



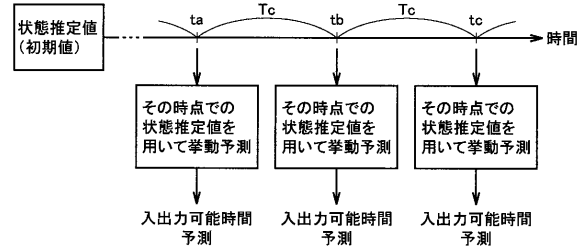
【図2】



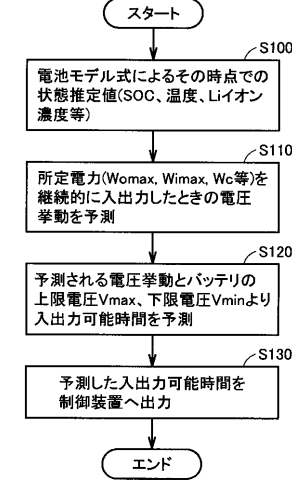
【 図 4 】

ϕ_s	固層中の電位 [V]
ϕ_e	電解液中の電位 [V]
R_f	界面直流抵抗 (SEI膜直流抵抗) [Ω]
c_s	活物質のLiイオン濃度 [mol/cm ³]
c_e	電解液のLiイオン濃度 [mol/cm ³]
c_{se}	活物質界面でのLiイオン濃度 [mol/cm ³]
U	正・負極の単極OCV [V]
U_0	正・負極の基準温度での電位 [V]
T	温度 [K]
T_0	基準温度 [K]
i_{nj}	輸送電流密度 [A/cm ²]
i_{0j}	交換電流密度 [A/cm ²]
j^{Li}	反応電流 [A/cm ²], $\int j^{Li} \cdot dv=1$
k	イオン伝導度 [S/cm]
k^{eff}	実行イオン導電率
k_D^{eff}	拡散導電係数
t_+	輸率
σ	固層中電子伝導度 [S/cm]
γ	屈曲度
ϵ_e, ϵ_s	電解液体積分率 活物質体積分率
r_s	電極活物質半径 [cm]
ρ	密度 [g/cm ³]
c_p	熱容量 [J/kg·K]
R	気体定数 [J/mol·K]
F	ファラデー定数 [C/mol]
a_s	電極単位体積あたりの活物質表面積
D_s	拡散係数 (活物質)
D_e^{eff}	拡散係数 (電解液)
f_s	電解液の平均モル活動係数
λ	熱伝導率 [W/cm·K]

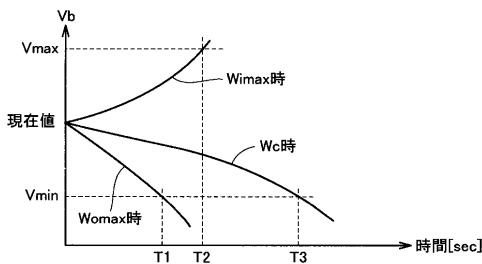
【 図 5 】



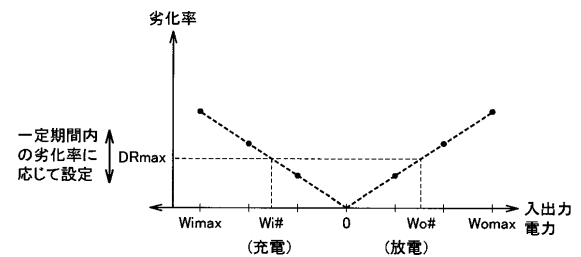
【 図 6 】



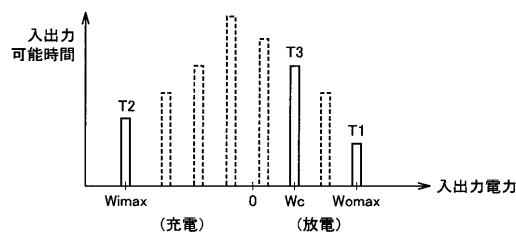
【 図 7 】



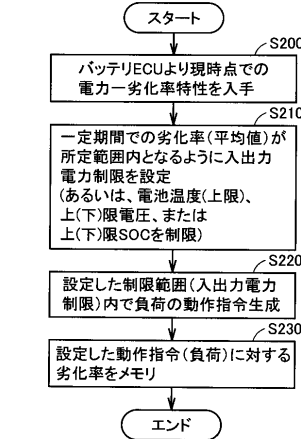
【 図 10 】



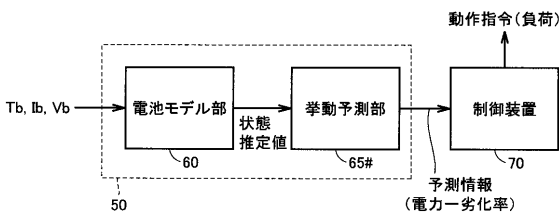
【 図 8 】



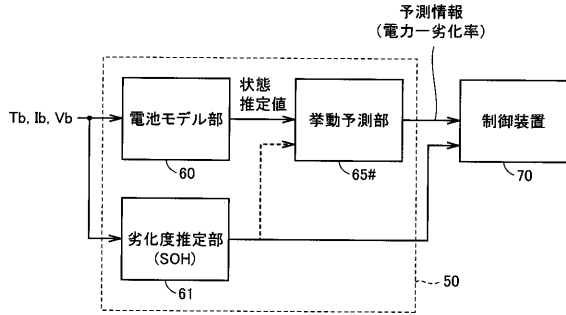
【 図 11 】



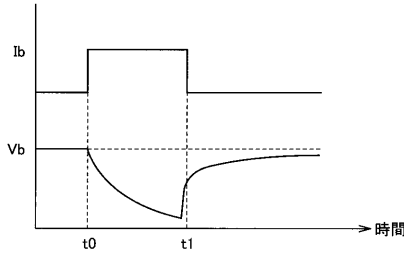
【 図 9 】



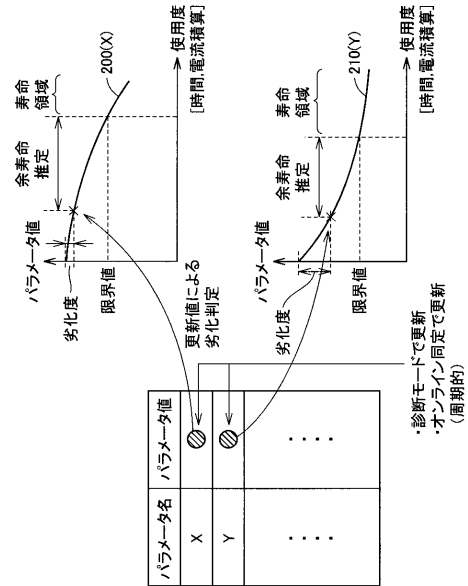
【図12】



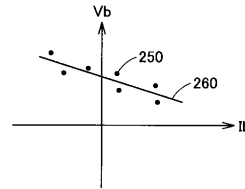
【図13】



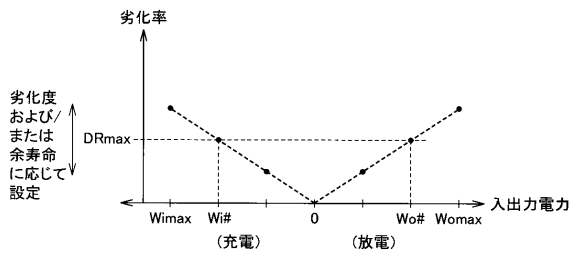
【図14】



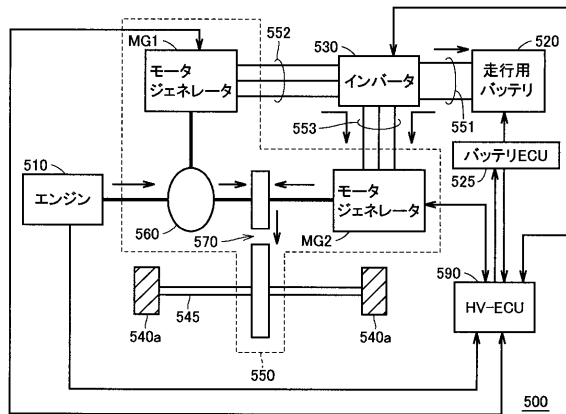
【図15】



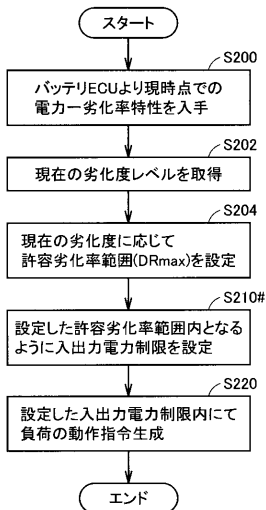
【図16】



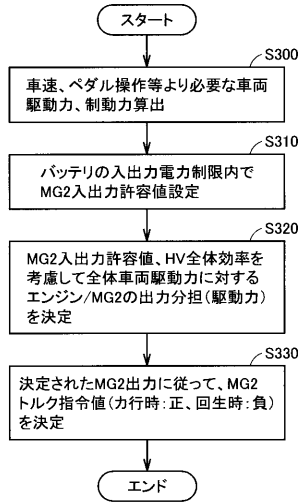
【図18】



【図17】



【図19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
B 6 0 W	10/26	(2006.01)	H 0 1 M	10/48	P
B 6 0 W	20/00	(2006.01)	B 6 0 L	11/14	
B 6 0 W	10/08	(2006.01)	B 6 0 K	6/20	3 3 0
B 6 0 W	10/18	(2006.01)	B 6 0 K	6/20	3 2 0
B 6 0 K	6/48	(2007.10)	B 6 0 K	6/20	3 7 0
			B 6 0 K	6/48	

審査官 石川 晃

- (56)参考文献 特開2003-346919(JP,A)
 特開2003-017139(JP,A)
 特開平11-136808(JP,A)
 特開2004-007954(JP,A)
 特開2006-042497(JP,A)
 特開2005-195388(JP,A)
 特開2003-297435(JP,A)
 特開2002-243813(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 2 J 7 / 0 0 - 7 / 1 2、 7 / 3 4 - 7 / 3 6
 G 0 1 R 3 1 / 3 6
 H 0 1 M 1 0 / 4 4
 H 0 1 M 1 0 / 4 8
 B 6 0 L 1 1 / 1 4
 B 6 0 K 6 / 2 0
 B 6 0 K 6 / 4 8