

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6818657号

(P6818657)

(45) 発行日 令和3年1月20日 (2021.1.20)

(24) 登録日 令和3年1月5日 (2021.1.5)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 R 31/367 (2019.01)	GO 1 R 31/367
HO 1 M 10/48 (2006.01)	HO 1 M 10/48 P
HO 1 M 10/42 (2006.01)	HO 1 M 10/42 P

請求項の数 18 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2017-170333 (P2017-170333)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成29年9月5日 (2017.9.5)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2018-59910 (P2018-59910A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成30年4月12日 (2018.4.12)	(74) 代理人	100110423
審査請求日	令和2年6月8日 (2020.6.8)		弁理士 曾我 道治
(31) 優先権主張番号	15/286,859	(74) 代理人	100111648
(32) 優先日	平成28年10月6日 (2016.10.6)		弁理士 梶並 順
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100122437
			弁理士 大宅 一宏
早期審査対象出願		(74) 代理人	100147566
			弁理士 上田 俊一
		(74) 代理人	100161171
			弁理士 吉田 潤一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電池の状態を推定するためのシステム及び方法、および、非一時的コンピュータ可読記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電池の状態を推定するための方法であって、

センサーを用いて、前記電池の回路を流れる電流、前記電池の端子の電圧、あるいは前記電流と前記電圧の両方を含む物理量として、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を求め、前記電池の測定電荷を生成することと、

メモリ内に記憶された前記電池のモデルを用いて前記電池の前記物理量を推定し、前記電池の推定電荷を生成することと、

前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の差を低減するために、前記電池の前記モデルの少なくとも1つのパラメータを更新することと、

前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断することと、
を含み、

前記更新することは、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号で前記モデルの前記少なくとも1つのパラメータを繰り返し摂動させるモデルフリー極値探索を使用し、

前記方法のステップは、前記メモリ及び前記センサーに動作可能に接続されるプロセッサによって実行される、方法。

【請求項 2】

前記電池の前記物理量は、前記電池の前記電圧及び前記電池の前記電流のうちの1つ又は組み合わせを含み、それにより、前記電池の前記測定電荷は、前記電池の測定電圧及び

10

20

前記電池の測定電流のうちの１つ又は組み合わせを含み、前記電池の前記推定電荷は、前記電池の推定電圧及び前記電池の推定電流のうちの１つ又は組み合わせを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記電池の前記状態は、前記電池の充電率（SOC）、前記電池の劣化状態（SOH）、前記電池の充放電可能電力（SOP）及び前記電池の放電深度（DOD）のうちの１つ又は組み合わせを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項４】

前記電池の前記モデルは、前記電池の電気的構成要素によって形成される前記回路の電気的モデルである、請求項１に記載の方法。

10

【請求項５】

前記モデルフリー極値探索は、

前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の前記差のコスト関数を時間の第１の周期信号と乗算し、摂動したコスト関数を生成することと、

前記摂動したコスト関数から、前記第１の周期信号の位相に対して９０度の直角位相シフトを有する第２の周期信号を減算し、利得関数の導関数を生成することと、

前記利得関数の前記導関数を時間積分し、前記モデルの前記パラメーターを時間の関数として更新することと、
を含む、請求項１に記載の方法。

【請求項６】

20

前記モデルフリー極値探索は、前記モデルの複数のパラメーターを同時に更新する多変数極値探索である、請求項１に記載の方法。

【請求項７】

前記電池の前記モデルは、前記電池の電気的構成要素によって形成される回路の電気的モデルであり、前記モデルフリー極値探索は、前記電気的モデルの複数の構成要素のパラメーターを同時に更新するマルチパラメーター極値探索である、請求項１に記載の方法。

【請求項８】

前記モデルフリー極値探索の現在の反復は、

前記モデルフリー極値探索の前の反復中に更新された前記摂動信号で前記モデルの前記パラメーターを摂動させることと、

30

前記摂動信号で前記モデルの前記パラメーターを摂動させるのに応答して、前記電池の前記測定電荷と摂動したパラメーターを有する前記モデルを用いて推定された前記電池の前記推定電荷との間の前記差のコスト関数を求めることと、

前記摂動信号で前記コスト関数を変更することによって、前記コスト関数の勾配を求めることと、

前記コスト関数の前記勾配について前記摂動信号を数学的に積分し、前記モデルフリー極値探索の次の反復のために前記摂動信号を更新することと、
を含む、請求項１に記載の方法。

【請求項９】

前記コスト関数の前記勾配は、前記コスト関数と、前記摂動信号と、前記モデルフリー極値探索の利得との積として求められる、請求項８に記載の方法。

40

【請求項１０】

前記モデルフリー極値探索は前記モデルのパラメーターの組を一緒に更新するマルチパラメーター極値探索であり、

異なる周波数を有する対応する摂動信号で前記パラメーターの組内のパラメーターを摂動させて、前記メモリ内に記憶される前記モデルを更新することを更に含む、請求項１に記載の方法。

【請求項１１】

前記摂動信号の前記異なる周波数は、収束条件を満たし、前記組の第１の摂動信号の第１の周波数及び第２の摂動信号の第２の周波数の和が第３の摂動信号の第３の周波数に等

50

しくないようにする、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記異なる周波数はそれぞれ、前記電池の周波数応答より大きい、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

電池の状態を推定するためのシステムであって、

前記電池の回路を流れる電流、前記電池の端子の電圧、あるいは前記電流と前記電圧の両方を含む物理量として、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を測定し、前記電池の測定電荷を生成するセンサーと、

前記電池の抵抗器 - キャパシタ (RC) モデルを記憶するメモリであって、前記 RC モデルは、少なくとも 1 つの抵抗器と少なくとも 1 つのキャパシタを含み、前記 RC モデルのパラメーターは、前記抵抗器の少なくとも 1 つの抵抗値と、前記キャパシタの少なくとも 1 つのキャパシタンス値とを含む、メモリと、

前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記 RC モデルを用いて推定された前記電池の推定電荷との間の差を低減するために、前記電池の前記 RC モデルの少なくとも 1 つのパラメーターを更新し、前記 RC モデルを更新するパラメーター学習コントローラーと、

前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断するプロセッサと、

を備え、

前記パラメーター学習コントローラーは、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号で前記 RC モデルの前記少なくとも 1 つのパラメーターを繰り返し摂動させるモデルフリー極値探索を使用して前記少なくとも 1 つのパラメーターを更新する極値探索コントローラーである、

システム。

【請求項 14】

前記極値探索コントローラーは、

前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の前記差のコスト関数を時間の第 1 の周期信号と乗算し、摂動したコスト関数を生成することと、

前記摂動したコスト関数から、前記第 1 の周期信号の位相に対して 90 度の直角位相シフトを有する第 2 の周期信号を減算し、利得関数の導関数を生成することと、

前記利得関数の前記導関数を時間積分し、前記モデルの前記パラメーターを時間の関数として更新することと、

を行うように構成される、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記電池の前記モデルは、前記電池の電氣的構成要素によって形成される回路の電氣的モデルであり、前記極値探索コントローラーは、前記電氣的モデルの複数の構成要素のパラメーターを同時に更新するマルチパラメーター極値探索である、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記センサーは電流計及び電圧計のうちの 1 つ又は組み合わせを含み、それにより、前記電池の前記測定電荷は前記電池の測定電圧及び前記電池の測定電流のうちの 1 つ又は組み合わせを含み、前記電池の前記推定電荷は、前記電池の推定電圧及び前記電池の推定電流のうちの 1 つ又は組み合わせを含む、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記電池の前記状態は、前記電池の充電率 (SOC)、前記電池の劣化状態 (SOH)、前記電池の充放電可能電力 (SOP) 及び前記電池の放電深度 (DOD) のうちの 1 つ又は組み合わせを含み、

前記電池の前記状態をレンダリングするための出力インターフェースを更に備える、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 18】

電池の状態を推定するための方法を実行するためのプロセッサによって実行可能なプログラムがその上に具現された非一時的コンピューター可読記憶媒体であって、前記方法は、

、
センサーを用いて、前記電池の回路を流れる電流、前記電池の端子の電圧、あるいは前記電流と前記電圧の両方を含む物理量として、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を求め、前記電池の測定電荷を生成することであって、前記電池の前記測定電荷は、前記電池の測定電圧及び前記電池の測定電流のうちの１つ又は組み合わせを含む、前記電池の測定電荷を生成することと、

メモリ内に記憶された前記電池のモデルを用いて前記電池の前記物理量を推定し、前記電池の推定電荷を生成することであって、前記電池の前記推定電荷は、前記電池の推定電圧及び前記電池の推定電流のうちの１つ又は組み合わせを含む、前記電池の推定電荷を生成することと、

10

前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の差を低減するために、前記電池の前記モデルの少なくとも１つのパラメーターを更新することと、

前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断することと、
を含み、

前記更新することは、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号で前記モデルの前記少なくとも１つのパラメーターを繰り返し摂動させるモデルフリー極値探索を使用する、

非一時的コンピューター可読記憶媒体。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は電池状態推定のための方法及びシステムに関する。より詳細には、本開示は、充電式電池の状態を推定するためのセンサーに関する。

【背景技術】

【０００２】

電池の状態を知ることは、多数の電池管理アプリケーションにとって重要である。例えば、電池の状態は、電池内に残存する利用可能な電荷のパーセンテージと規定される充電率（ＳｏＣ：state of charge）を含むことができる。ＳｏＣは、電池が充電されるべき時点のインジケーションを与え、そのインジケーションにより、電池管理システムは、過放電イベント及び過充電イベントから電池を保護することによって、電池寿命を改善できるようになる可能性がある。電池の健全性の別のインジケータは、電池の最大充電能力及び最大放電能力を示す充放電可能電力（ＳｏＰ：state of power）である。例えば、電気自動車の加速及び回生制動のために利用可能な最大電力を決定し、それにより、電池を過放電及び過充電するのを防ぐために、電池のピーク電力能力の推定が必要とされる。したがって、電池の状態を推定することが必要とされている。

30

【０００３】

充電式電池は、可逆的化学反应を通してエネルギーを蓄積する。従来、充電式電池は、低い使用コストを提供し、結果として、非充電式電池に比べて、環境に影響を与えることに関するグリーンイニシアチブを支援する。例えば、家庭用電化製品、住宅屋根太陽光発電システム、電気自動車、スマートグリッドシステム等を含む、数多くの適用例において、リチウムイオン（Ｌｉイオン）充電式電池が主要エネルギー蓄積構成要素として広く展開されてきた。異なる化学反应を伴う他のタイプの電池より優れたＬｉイオン電池の少なくとも幾つかの主な利点は、低い自己放電率、高いセル電圧、高いエネルギー密度、軽量、長寿命及び低いメンテナンスである。

40

【０００４】

しかしながら、Ｌｉイオン電池及び他のタイプの電池は、化学エネルギー蓄積源を含み、この化学エネルギーは直接アクセスすることができない。従来の電池状態推定技法は通常、モデルベース法及びデータ駆動ベース法に分類される。モデルベース法は、電池の化

50

学的及び／又は物理的プロセスを取り込むモデルを利用する。データ駆動法は、トレーニングデータを用いて、電池の物理量の測定値を、電池の状態の対応する値にマッピングする。しかしながら、電池内のプロセスは非常に複雑であり、経時的に変化する可能性があり、それにより従来の状態推定方法の精度を低下させる。したがって、充電式電池の状態を推定するためのシステム及び方法が依然として必要とされている。

【発明の概要】

【0005】

幾つかの実施形態は、電池の正確なモデルが既知であるとき、そのようなモデルを用いて、電池の状態を推定できるという認識に基づく。しかしながら、電池内部の化学的プロセス及び他のプロセスが複雑であることに起因して、モデルのパラメーターを推定するのは難しい可能性がある。さらに、電池のモデルのパラメーターは経時的に変化する可能性があり、それにより、最初に推定されたモデルの精度を低下させる。

10

【0006】

幾つかの実施形態は、電池の状態を推定するためのデータ駆動法を用いて、モデルベース法の限界を克服できるという認識に基づく。しかしながら、電池内部のプロセスが極めて複雑であることに起因して、例えば、電荷と電池の状態との間のマッピングのトレーニングは、複雑なトレーニングプロセスを必要とする可能性があり、それは、グラウンドトゥールズデータが入手可能であるときにのみ可能である。そのようなグラウンドトゥールズデータは、あらかじめ入手可能であり、それによって、初期マッピングを可能にする場合がある。しかしながら、電池のパラメーターは経時的に変化する可能性があり、これにより初期マッピングが不正確になる可能性がある。

20

【0007】

幾つかの実施形態は、電池の状態を推定するためのハイブリッドセンサーを形成するように、モデルベース法及びデータ駆動法を適応させることが可能であるという理解に基づく。そのため、幾つかの実施形態は、電池の状態を直接推定する代わりに、電池のモデルのパラメーターを推定するようにデータ駆動法を変更する。電池のモデルが更新された後に、モデルベース法を用いて、電池の状態を推定することができる。

【0008】

幾つかの実施形態は、データ駆動法が、例えば、電池の測定電荷と、モデルのパラメーターを用いて推定された電池の電荷との比較に基づいて、電池のモデルのパラメーターを更新できるという理解に基づく。そのようにして、電池の測定電荷は、電池の寿命にわたってモデル更新のために使用することができるグラウンドトゥールズ情報を提供することができる。

30

【0009】

一実施形態は、モデルのパラメーターを調整して、電池の実際の性能を再現することができるので、電池のモデルを単純化できるという更なる理解に基づく。例えば、異なる実施形態は、電池内部の化学的プロセスを表すモデルを使用するのに加えて、又はその代わりに、電池の電気的モデル及び運動学的モデルを使用する。そのようなモデル単純化は、プロセッサが電池の状態を判断する場合の計算要件を緩和する。

【0010】

一実施形態は、モデルフリー極値探索法を用いて、モデルのパラメーターを更新できるという理解に基づく。例えば、電池の測定電荷と推定電荷との間の差を低減することができるパラメーターを決定するために、極値探索は、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号でモデルのパラメーターを繰り返し摂動させることができる。極値探索は、モデルフリー学習法であり、それゆえ、モデル更新のために使用することができる。また、モデルの複数のパラメーターを更新することが必要な可能性がある。極値探索は、有利には、複数のパラメーターを同時に更新するように適応させることができる。

40

【0011】

したがって、一実施形態は、電池の状態を推定するための方法を開示する。本方法は、

50

センサーを用いて、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を求め、前記電池の測定電荷を生成することと、メモリ内に記憶された前記電池のモデルを用いて前記電池の前記物理量を推定し、前記電池の推定電荷を生成することと、前記電池の前記モデルの少なくとも1つのパラメーターを更新し、前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の差を低減することと、前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断することを含む。前記方法のステップは、前記メモリ及び前記センサーに動作可能に接続されるプロセッサによって実行される。

【0012】

別の実施形態は、電池の状態を推定するためのシステムであって、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を測定し、前記電池の測定電荷を生成するセンサーと、前記電池のモデルを記憶するメモリと、前記電池の前記モデルの少なくとも1つのパラメーターを更新し、前記電池の測定電荷と前記電池の前記モデルを用いて推定された前記電池の電荷との間の差を低減するパラメーター学習コントローラーと、前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断するプロセッサとを備える、システムを開示する。

10

【0013】

更に別の実施形態は、方法を実行するためのプロセッサによって実行可能なプログラムがその上に具現された非一時的コンピューター可読記憶媒体であって、前記方法は、センサーを用いて、前記電池の電荷を示す前記電池の物理量を求め、前記電池の測定電荷を生成することと、メモリ内に記憶された前記電池のモデルを用いて前記電池の前記物理量を推定し、前記電池の推定電荷を生成することと、前記電池の前記モデルの少なくとも1つのパラメーターを更新し、前記電池の前記測定電荷と前記電池の前記推定電荷との間の差を低減することと、前記電池の前記更新されたモデルを用いて前記電池の前記状態を判断することを含む、非一時的コンピューター可読記憶媒体を開示する。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】一実施形態による、電池の状態を推定するためのハイブリッドセンサーの原理を示すブロック図である。

【図1B】一実施形態による、電池の充電率を推定するためのシステムのブロック図である。

【図1C】一実施形態による、電池の状態を推定するための方法のブロック図である。

30

【図2A】状態推定のために幾つかの実施形態によって使用される電気回路電池モデルの図である。

【図2B】幾つかの実施形態による、電池のモデルの学習ベースパラメーター推定のブロック図である。

【図3A】一実施形態による、電池のモデルを更新するための極値探索(ES)法のブロック図である。

【図3B】幾つかの実施形態による、同定コスト関数を使用するES法のブロック図である。

【図3C】図3Bの方法を実施するESコントローラーの概略図である。

【図3D】一実施形態による、マルチパラメーターESコントローラーの概略図である。

40

【図4】一実施形態による、リチウムイオン電池のためのESベースパラメーター同定方法のブロック図である。

【図5A】一実施形態による、電池システムへの入力信号の一例の図である。

【図5B】図5Aの入力信号に関連付けられる出力測定信号206の一例の図である。

【図5C】一実施形態による、ES法の反復の関数としての電池のモデルの異なるパラメーターのうちの1つを示すグラフである。

【図5D】一実施形態による、ES法の反復の関数としての電池のモデルの異なるパラメーターのうちの1つを示すグラフである。

【図5E】一実施形態による、ES法の反復の関数としての電池のモデルの異なるパラメーターのうちの1つを示すグラフである。

50

【図 5 F】一実施形態による、E S 法の反復の関数としての電池のモデルの異なるパラメーターのうちの 1 つを示すグラフである。

【図 5 G】一実施形態による、E S 法の反復の関数としてのコスト関数の変化を示すグラフである。

【図 6 A】幾つかの実施形態による、電気自動車において設置された電池 6 3 0 の例示的な状態判断の図である。

【図 6 B】図 6 A の車両の例示的なインストルメンタルパネルの図である。

【図 7】幾つかの実施形態による、電池の状態を判断するために構成される例示的なシステムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

図 1 A は、一実施形態による、電池 1 1 4 の状態 1 1 8 を推定するためのハイブリッドセンサーの原理を示すブロック図を示す。その実施形態は、電池の状態を推定するためのハイブリッドセンサーを形成するようにモデルベース法及びデータ駆動法を適応させることができるという理解に基づく。そのため、幾つかの実施形態は、電池の状態を直接推定する代わりに、電池のモデル 1 1 6 のパラメーター 1 1 0 を推定するようにデータ駆動法 1 1 2 を変更する。電池のモデル 1 1 0 が更新された後に、モデルベース法 1 1 6 を用いて電池 1 1 4 の状態 1 1 8 を推定することができる。

【0016】

幾つかの実施形態は、データ駆動法が、例えば、電池の測定電荷と、モデルのパラメーターを用いて推定された電池の電荷との比較に基づいて、電池のモデルのパラメーターを更新できるという理解に基づく。そのようにして、電池の測定電荷は、電池の寿命にわたってモデル更新のために使用することができるグラウンドトゥールズ情報を提供することができる。さらに、幾つかの実施形態は、異なるモデルフリーパラメーター学習法を用いて、モデルのパラメーターを更新できるという理解に基づく。例えば、極値探索がモデルフリー学習法であり、それゆえ、モデル更新のために使用することができる。

20

【0017】

図 1 B は、一実施形態による、電池の充電率を推定するためのシステム 1 0 0 のブロック図を示す。そのシステムは、電池の電荷を示す電池の物理量を測定するセンサー 1 2 2 と、電池のモデルを記憶するメモリ 1 2 6 と、電池のモデルの少なくとも 1 つのパラメーターを更新して、電池の測定電荷と、電池のモデルを用いて推定された電池の電荷との間の差を低減するパラメーター学習 (P L) コントローラー 1 2 4 とを含む。また、システム 1 0 0 は、電池の更新されたモデルを用いて電池の状態を判断するプロセッサ 1 2 0 も含む。

30

【0018】

プロセッサ 1 2 0 は、シングルコアプロセッサ、マルチコアプロセッサ、コンピューティングクラスター、又は任意の数の他の構成とすることができる。メモリ 1 2 6 は、ランダムアクセスメモリ (R A M)、リードオンリーメモリ (R O M)、フラッシュメモリ、又は任意の他の適切なメモリシステムを含むことができる。プロセッサ 1 2 0 は、バス 1 2 8 を通して、メモリ 1 2 6 に、センサー 1 2 2 に、そして任意選択で、1 つ以上の入力デバイス及び出力デバイスに接続される。

40

【0019】

センサー 1 2 2 は、電池の電荷を示す電池の任意の物理量を測定するのに適した任意のタイプのセンサーとすることができる。例えば、そのような物理量は、電池の回路を通して流れる電流、及び / 又は電池の端子にかかる電圧とすることができる。例えば、センサー 1 2 2 は、電流計及び / 又は電圧計を含むことができる。

【0020】

幾つかの実施形態において、P L コントローラーは、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号でモデルのパラメーターを繰り返し摂動させる極値探索 (E S) コントローラー 1 2 4 である。代替の実施形態において、P L コントローラー

50

は、ガウス過程及び／又は強化学習を用いて、モデルを更新することができる。ＰＬコントローラーは、種々のタイプのプロセッサ、マイクロプロセッサ、及び／又は種々の種類の集積回路を用いて実現することができる。例えば、ＥＳコントローラー１２４は、プロセッサ１２０を用いて実現することができる。

【００２１】

図１Ｃは、一実施形態による、電池の状態を推定するための方法のブロック図を示す。その方法は、システム１００を用いて実施することができる。例えば、その方法のステップは、メモリ１２６及びセンサー１２２に動作可能に接続されるプロセッサ１２０によって実行することができる。この実施形態は、データ駆動法が、電池の測定電荷と、モデルのパラメーターを用いて推定された電池の電荷との比較に基づいて、電池のモデルのパラメーターを更新できるという理解に基づく。そのようにして、電池の測定電荷は、電池の寿命にわたってモデル更新のために使用することができるグラウンドトゥールース情報を提供することができる。

10

【００２２】

そのため、その方法は、センサー１２２を用いて、電池の電荷を示す電池の物理量を測定し（１３０）、電池の測定電荷１３５を生成する。また、その方法は、メモリ１２６内に記憶された電池のモデル１４２を用いて電池の物理量を推定し（１４０）、電池の推定電荷１４５を生成する。電池の測定物理量の例は、電池を通して流れる電流及び電池の端子上で測定される電圧を含む。

【００２３】

20

その方法は、電池のモデルの少なくとも１つのパラメーターを更新して、電池の測定電荷と電池の推定電荷との間の差を低減し（１５０）、更新されたモデル１５５を生成する。種々の実施形態において、パラメーターは、終了条件１５２が満たされるまで繰り返し学習される。例えば、一実施形態において、更新１５０は、終了条件１５２が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号でモデルのパラメーターを繰り返し摂動させるモデルフリー極値探索を使用する。終了条件の例は、更新１５０の反復数、及び／又は測定電荷１３５と推定電荷１４５との間の差を含む。

【００２４】

モデルが更新された後に、その方法は、更新されたモデル１５５を用いて電池の状態１１８を判断する（１６０）。電池の状態を推定するためのモデルベース法の例は、カルマンフィルター、制御理論ベース状態観測器、例えば、ランバーク観測器（Lumbergue observer）、スライディングモード観測器及び適応フィルターを含む。

30

【００２５】

図１Ｂ及び図１Ｃのシステム及び方法は、モデルのパラメーターを調整して、電池の実際の性能を再現することができ、それにより、幾つか実施形態では、電池のモデルを単純化できるようになる。例えば、異なる実施形態は、電池内部の化学的プロセスを表すモデルを使用するのに加えて、又はその代わりに、電池の電氣的モデル及び運動学的モデルを使用する。そのようなモデル単純化は、プロセッサが電池の状態を判断する場合の計算要件を緩和する。

【００２６】

40

図２Ａは、状態推定のために幾つかの実施形態に使用される電気回路電池モデル２０８の図を示す。電気回路電池モデルは、そのモデルが複雑でないこと、及び電池セルの電流－電圧（ $I-V$ ）動態を特徴付けることができることに起因して、埋め込み適用例の場合に適している。充電と放電との間の電圧ヒステリシス効果が、 Li イオン電池、特に $LiFePO_4$ タイプの場合に広く存在する。一実施形態では、１状態ヒステリシスを伴う一次抵抗器－キャパシタ（ RC ）モデルが $LiFePO_4$ セルのための良好な選択肢であるようであることがわかった。それゆえ、一実施形態において、ヒステリシスを伴う一次 RC モデル１０８を用いて、モデルの精度とモデルの複雑さとの均衡を図る。

【００２７】

開路電圧（ OCV ） V_{OC} ２００は２つの部分を含む。第１の部分、 $V_{OC}(SOC)$

50

205は、SOCの関数としての平衡OCVを表す。第2の部分、 V_h 204は、OCV曲線のヒステリシス挙動を取り込むヒステリシス電圧である。RC回路は、電池セルのI-V特性及び過渡応答をモデル化する。直列抵抗 R_s 201を用いて、セル内の充電/放電エネルギー損失を示し、電荷移動抵抗 R_c 202及び二重層キャパシタンス C_d 203を用いて、セルの電荷移動及び短期拡散電圧、 V_d (C_d に沿った電圧)を特徴付ける。 V_B 206は、セルの端子電圧を表す。

【0028】

一実施形態において、以下の数学的電圧ヒステリシスモデルが使用される。

【数1】

$$\frac{\partial V_h}{\partial t} = -\rho(\eta i_B - v S_D)[V_{h\max} + \text{sign}(i_B)V_h] \quad (1)$$

10

ただし、 ρ は収束率を表すヒステリシスパラメーターであり、 η はクーロン効率であり($\eta = 1$ と仮定する)、 i_B は、電池に加えられる瞬時電流であり、 v はヒステリシスを表すための自己放電乗数であり、 S_D は自己放電率であり、 $V_{h\max}$ は最大ヒステリシス電圧である。モデル(1)は、電流、自己放電及びヒステリシス境界へのヒステリシス電圧 V_h の依存性を示す。パラメーター ρ は、シミュレーション及び実験それぞれからの V_{oc} -SOC曲線間の電圧誤差を最小化するように選択することができる。

【0029】

電気回路モデル108及びヒステリシスモデル(1)を含む、離散時間電池モデルは、以下のように表すことができる。

20

【数2】

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & H \end{bmatrix} X(k) + \begin{bmatrix} -\frac{\eta T_s}{C_{\max}} & 0 \\ R_c(1-\gamma) & 0 \\ 0 & (H-1)\text{sign}(i_B) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_B(k) \\ V_{h\max} \end{bmatrix}$$

$$y(k) = V_B(k) = V_{OC}(SOC(k)) - V_d(k) - R_s i_B(k) + V_h(k)$$

30

$$V_{OC}(SOC) = a_0 \exp(-a_1 SOC) + a_2 + a_3 SOC - a_4 SOC^2 + a_5 SOC^3 \quad (2)$$

ただし、 $X(k+1) = [SOC(k+1) \quad V_d(k+1) \quad V_h(k+1)]^T$ は状態であり、 $y(k)$ は測定出力であり、 k は時間インデックスであり、 C_{\max} は電池の最大容量を示し、 T_s はサンプリング周期であり、

【数3】

$$\gamma = \exp\left(\frac{-T_s}{\tau}\right)$$

40

(ただし、 $\tau = R_c C_d$)であり、 $H(i_B) = \exp(-|i_B| T_s)$ であり、 a_j (ただし、 $0 \leq j \leq 5$)は、 V_{oc} -SOC曲線をパラメーター化するために使用される係数である。係数 a_j (ただし、 $0 \leq j \leq 5$)は、電池セルの過渡応答を最小限に励起するために、小さな電流を使用するパルス電流試験又は定充電及び放電電流試験によって引き出すことができる。

【0030】

図2Bは、幾つかの実施形態による、電池のモデルの学習ベースパラメーター推定のブロック図を示す。その方法のステップは、プロセッサ、例えば、PLコントローラ124のプロセッサによって実行することができる。その方法は、電池のモデルを選択する(210)。一実施形態において、その方法は、一次抵抗器-キャパシタ(RC)モデル2

50

08を選択する。別の実施形態では、その方法は、運動学的電池モデル又は電気化学的モデルのような異なるモデルを選択する。次に、入力 - 出力信号測定 211のために、実際の電池テストベッド要件が設定される。一実施形態において、電池テストベッドへの測定入力は電流であり、電池テストベッドからの測定出力は電圧である。この与えられた設定は、出力から入力へのフィードバックを必要としないので、開ループ測定設定 211と呼ばれる。次に、同じ入力信号プロファイルの場合に、モデル推定 212及びテストベッド測定 213の両方が並行して実行される。

【0031】

モデル推定及びリアルタイム測定から得られた信号を、その後、互いに比較して、学習コスト関数を計算する(230)。そのコスト関数の得られた値をモデルフリー学習同定法において用いて(233)、モデルパラメータの推定値を更新する(236)。異なる実施形態は、異なる学習同定法を使用する。例えば、一実施形態は、学習同定法として極値探索を使用する。別の実施形態は、学習同定法としてガウス過程を使用する。更に別の実施形態は、強化学習法を用いて、モデルパラメータを推定する。

【0032】

図3Aは、一実施形態による、電池のモデルを更新するための極値探索(ES)法のブロック図を示す。極値探索は、終了条件が満たされるまで、予め設定された周波数を有する摂動信号でモデルのパラメータを繰り返し摂動させる。例えば、極値探索の1つの反復が、極値探索の先行する反復中に更新された摂動信号でモデルのパラメータを摂動させ(360)、摂動させる(360)のに対応して、電池の測定電荷と、摂動したパラメータを伴うモデルを用いて推定された電池の推定電荷との間の差のコスト関数を求める(370)。例えば、摂動信号は、予め設定された周波数の周期信号を含むことができる。

【0033】

次に、反復は、摂動信号でコスト関数を変更することによってコスト関数の勾配を求め(380)、コスト関数の勾配について摂動信号を積分し(390)、極値探索の次の反復のために摂動信号を更新する。例えば、コスト関数の勾配は、コスト関数と、摂動信号と、極値探索の利得との積として求められる。極値探索の反復は、終了条件が満たされるまで繰り返すことができる。

【0034】

図3Bは、幾つかの実施形態による、同定コスト関数を使用する極値探索法のブロック図を示す。その方法は、推定電荷と測定電荷との比較に関連する同定コスト関数315を決定する(310)。例えば、同定コスト関数は、電池と電池のモデルとの間の距離の指標を含むことができ、そのような指標は、信号測定値と、モデルによってモデル化された信号予測との間の二次誤差によって定量化することができる。そのような信号は、電池端子電圧、電池電力等とすることができる。極値探索は、コスト関数315を、時間の第1の周期信号325と乗算し(320)、摂動したコスト関数329を生成し、摂動したコスト関数329から、第1の周期信号325の位相に対して90度の直角位相シフトを有する第2の周期信号337を減算し(350)、利得関数の導関数355を生成する。極値探索は、利得関数の導関数を時間積分し、時間の関数としてのパラメータ値345を生成する。

【0035】

図3Cは、図3Bの方法を実施するESコントローラーの概略図を示す。ESコントローラーは、正弦波摂動 $a \sin t 300$ をシステムに注入し、結果としてコスト関数の出力 $Q(\) 303$ を得る。この出力 $Q(\) 303$ は、その後、 $a \sin t 300$ と乗算される。利得1を乗算した後に結果として生成される信号、

【数4】

と

307は、コスト関数 に対するコスト関数の勾配の推定値である。勾配推定値は、その

後、積分器 1 / s 3 0 6 に通され、変調信号 $a \sin t 3 0 0$ に加算される。

【 0 0 3 6 】

極値探索は、モデルフリー学習法であり、それゆえ、モデル更新のために使用することができる。また、モデルの複数のパラメータを更新することが必要な可能性がある。例えば、電池のモデルが、電池の電氣的構成要素によって形成される回路の電氣的モデル 2 0 8 であるとき、極値探索は、電氣的モデルの複数の構成要素のパラメータを同時に更新する多変数極値探索とすることができる。

【 0 0 3 7 】

図 3 D は、一実施形態による、マルチパラメータ E S コントローラーの概略図を示す。この実施形態において、マルチパラメータ E S は、異なる周波数を有する対応する摂動信号でパラメータの組内のパラメータを摂動させて、メモリ内に記憶されたモデルを更新する。幾つかの実施態様において、異なる周波数はそれぞれ、電池の周波数応答より大きい。それに加えて、又はその代わりに、幾つかの実施態様において、摂動信号の異なる周波数は、収束条件を満たし、組の第 1 の摂動信号の第 1 の周波数及び第 2 の摂動信号の第 2 の周波数の和が第 3 の摂動信号の第 3 の周波数に等しくないようにする。

【 0 0 3 8 】

例えば、推定すべき n 個のパラメータが存在するとき、図 3 C の E S コントローラーは、 n 個のパラメータ $i 3 1 1$ 、 $3 1 6$ 、 $3 2 1$ と、 n 個のパラメータ $i 3 1 3$ 、 $3 1 8$ 、 $3 2 3$ と、 n 個の摂動信号 $3 1 0$ 、 $3 1 5$ 、 $3 2 0$ と、全ての推定パラメータ $= (\quad , \dots , \quad)^T$ の関数である 1 つの共通のコスト関数 $3 1 2$ とを用いて、 n 回繰り返される。

【 0 0 3 9 】

このマルチパラメータ E S は、以下のように式によって記述することができる。

【数 5】

$$\dot{\xi}_i = a_i l \sin(\omega_i t) Q(\theta) \quad (3)$$

$$\theta_i = \xi_i + a_i \sin(\omega_i t) \quad (4)$$

ただし、摂動周波数 i は、 i 、 j 、 $i + j$ 、 k 、 $i, j, k \in \{1, 2, n\}$ 及び $i > *$ であるような値であり、 $*$ は、収束を確実にするほど十分に大きい。パラメータ a_i 、 i 及び l が適切に選択される場合には、コスト関数出力 $Q(\quad)$ は、最適なコスト関数値 $Q(\quad^*)$ の近傍に収束する。

【 0 0 4 0 】

リアルタイム埋め込みシステムにおいて E S アルゴリズムを実施するために、E S アルゴリズムの離散バージョンが好都合である。E S アルゴリズムの例示的な離散バージョンは、

【数 6】

$$\xi_i(k+1) = \xi_i(k) + a_i l \Delta T \sin(\omega_i k) Q(\theta(k)) \quad (5)$$

$$\theta_i(k+1) = \xi_i(k+1) + a_i \sin(\omega_i(k)) \quad (6)$$

である。ただし、 k は時間ステップであり、 T はサンプリング時間である。

【 0 0 4 1 】

例えば、電池のモデルが電池の電氣的構成要素によって形成される回路の電氣的モデルであるとき、マルチパラメータ極値探索は、電氣的モデルの複数の構成要素のパラメータを同時に更新することができ、すなわち、マルチパラメータ E S は、電池モデルのパラメータ、すなわち、(2) の R_s 、 R_c 、 C_d 及び C_{max} を特定することができる。

【 0 0 4 2 】

例示的な実施形態

10

20

30

40

50

図 4 は、一実施形態による、リチウムイオン電池のための E S ベースパラメーター同定方法のブロック図を示す。電池のモデル 4 0 4 は、電池の電氣的構成要素によって形成される回路の電氣的モデルを含む。例えば、モデル 4 0 4 は、図 2 A のモデル 2 0 8 を含むことができる。

【 0 0 4 3 】

各時間ステップにおいて、特定の動作入力電流 i_B 2 0 7 下で、電池システム 4 0 3 の端子電圧 V_B 2 0 6 が測定される。測定された V_B 2 0 6 は、電池モデル 4 0 4 を用いて推定された端子電圧

【 数 7 】

$$\hat{V}_B$$

10

4 0 5 と比較される (4 0 6)。例えば、端子電圧

【 数 8 】

$$\hat{V}_B$$

4 0 5 は、推定された電池モデルパラメーターを用いて、入力電流 i_B 2 0 7 に基づいて電池モデル 4 0 4 を用いて得られる。 V_B と、

【 数 9 】

$$\hat{V}_B$$

20

との間の誤差 4 0 6 を用いて、同定コスト関数 4 0 1 を生成し、それは、電池パラメーター 4 0 2 の収束を表す。電池パラメーター 4 0 2 は E S 法 4 0 0 によって更新され、次の時間ステップにおける端子電圧

【 数 1 0 】

$$\hat{V}_B$$

4 0 5 の新たな値を生成するために使用される。終了条件が満たされるまで、例えば、コスト関数 4 0 1 が閾値未満になるか、又はその方法が最大反復数に達するまで、パラメーター更新プロセスは続行される。

【 0 0 4 4 】

30

例えば、推定パラメーターを用いるとき、式 (2) において与えられる電池モデル 4 0 4 は以下のように表すことができる。

【 数 1 1 】

$$\hat{SOC}(k+1) = \hat{SOC}(k) - \frac{\eta T_s}{\hat{C}_{max}} i_B(k),$$

$$\hat{V}_d(k+1) = \gamma(k) \hat{V}_d(k) + \hat{R}_c(k) (1 - \gamma) i_B(k),$$

$$\hat{V}_h(k+1) = H \hat{V}_h(k) + (H - 1) \text{sign}(i_B(k)) V_{hmax}$$

40

$$\hat{V}_B(k) = V_{OC}(\hat{SOC}(k)) - \hat{V}_d(k) - \hat{R}_s(k) i_B(k) + \hat{V}_h(k) \quad (7)$$

ただし、

【 数 1 2 】

$$\gamma(k) = \exp\left(\frac{-T_s}{\tau(k)}\right)$$

、及び

【数 1 3】

$$\tau(k) = \hat{R}_c(k) \hat{C}_d(k)$$

である。

【0 0 4 5】

一実施形態において、反復ごとに以下のコスト関数 4 0 1 が使用される。

【数 1 4】

$$Q(\theta(k)) = K_p \int_{t_0}^T [V_B(t) - \hat{V}_B(t)]^2 dt \quad (8)$$

ただし、 t_0 及び T はそれぞれ、コスト関数の計算中に端子電圧誤差を考慮し始める時刻及び考慮し終える時刻であり、 K_p は利得である。 10

【0 0 4 6】

電池モデルパラメーターは以下の形において更新される。

【数 1 5】

$$\hat{R}_s(k+1) = R_{s,nominal} + \delta \hat{R}_s(k),$$

$$\hat{R}_c(k+1) = R_{c,nominal} + \delta \hat{R}_c(k),$$

$$\hat{C}_d(k+1) = C_{d,nominal} + \delta \hat{C}_d(k), \quad 20$$

$$\hat{C}_{max}(k+1) = C_{max,nominal} + \delta \hat{C}_{max}(k) \quad (9)$$

ただし、 $R_{s,nominal}$ 、 $R_{c,nominal}$ 、 $C_{d,nominal}$ 及び $C_{max,nominal}$ は、電池モデルパラメーターの公称初期値 (nominal initial values) である。式 (5) 及び式 (6) に続いて、特定された電池モデルパラメーター 4 0 0 の変化が以下の式によって与えられる。

【数 1 6】

$$\xi_1(k+1) = \xi_1(k) + a_1 l \Delta T \sin(\omega_1 k) Q(\theta(k)), \quad 30$$

$$\delta \hat{R}_s(k) = \xi_1(k+1) + a_1 \sin(\omega_1(k)),$$

$$\xi_2(k+1) = \xi_2(k) + a_2 l \Delta T \sin(\omega_2 k) Q(\theta(k)),$$

$$\delta \hat{R}_c(k) = \xi_2(k+1) + a_2 \sin(\omega_2(k)),$$

$$\xi_3(k+1) = \xi_3(k) + a_3 l \Delta T \sin(\omega_3 k) Q(\theta(k)), \quad 40$$

$$\delta \hat{C}_d(k) = \xi_3(k+1) + a_3 \sin(\omega_3(k)),$$

$$\xi_4(k+1) = \xi_4(k) + a_4 l \Delta T \sin(\omega_4 k) Q(\theta(k)),$$

$$\delta \hat{C}_{max}(k) = \xi_4(k+1) + a_4 \sin(\omega_4(k)) \quad (10)$$

ただし、 a_1 、 a_2 、 a_3 及び a_4 は正であり、 p 、 q 、 r の場合、 $p+q+r$ 、 $p, q, r \in \{1, 2, 3, 4\}$ である。

【0 0 4 7】

図 5 A は、電池システムへの入力信号 207 の一例を示す。図 5 B は、図 5 A の入力信号 207 に関連付けられる出力測定信号 206 を示す。図 5 G は、コスト関数 401 の変化を示すグラフを示す。図 5 C、図 5 D、図 5 E 及び図 5 F は、電気的モデル 208 を含む電池のモデル 404 の異なるパラメータ 402、例えば、パラメータ R_s 、 R_c 、 C_d 及び C_{max} を ES 法の反復の関数として示すグラフである。

【0048】

SOP 推定

種々の実施形態において、電池の状態は、電池の充電率 (SOC)、電池の劣化状態 (SOH: state-of-health)、電池の充放電可能電力 (SOP) 及び電池の放電深度 (DOD: depth-of-discharge) の 1 つ又は組み合わせを含む。

10

【0049】

例えば、安全かつ永続的な動作を保証するために、一実施形態において、リチウムイオンの作動電流及び電圧は、電池電力が以下の式によって与えられる 2 つの制限の最小値によって制限されるような範囲内に制限される。

【数 17】

$$SOP_{discharge} = \min[SOP_{discharge}^V, SOP_{discharge}^I]$$

$$SOP_{charge} = \max[SOP_{charge}^V, SOP_{charge}^I] \quad (11)$$

20

ただし、 $SOP_{discharge}$ 及び SOP_{charge} はそれぞれ電池の最大放電能力及び最大充電能力であり、

【数 18】

$$SOP_{discharge}^V$$

及び

【数 19】

$$SOP_{charge}^V$$

は電圧制限下での電池 SOP であり、

30

【数 20】

$$SOP_{discharge}^I$$

及び

【数 21】

$$SOP_{charge}^I$$

は電流制限下での電池 SOP である。

【0050】

電圧制限下での最大電力能力を予測するために、一実施形態は、式 (7) を以下のように書き換える。

40

【数 2 2】

$$\hat{S\hat{O}C}(k+1) = \hat{S\hat{O}C}(k) - \frac{\eta T_s}{C_{\max}} i_B(k),$$

$$\hat{V}_d(k+1) = \gamma \hat{V}_d(k) + R_c(1-\gamma)i_B(k),$$

$$\hat{V}_h(k+1) = H\hat{V}_h(k) + (H-1)\text{sign}(i_B(k))V_{h\max},$$

$$\hat{i}_B(k+1) = (V_{oc}(\hat{S\hat{O}C}(k+1)) - \hat{V}_d(k+1) + \hat{V}_h(k+1) - V_B(k+1)) / R_s$$

10

(12)

ただし、電池モデルパラメーター R_s 、 R_c 、 C_d 及び C_{\max} は E S アルゴリズムによって特定された。次の時間ステップのための推定電流

【数 2 3】

$$\hat{i}_B(k+1)$$

は所与の $V_B(k+1)$ を用いて得ることができる。

【0 0 5 1】

20

式 (12) によれば、最大放電及び充電電流は、 $V_B(k+1)$ を最小制限値及び最大制限値に設定することによって得ることができる。その後、最大放電及び充電電流を制限電圧と乗算することによって、電池 S O P を得ることができる。例えば、一実施形態は、以下の式に基づいて、電池の S O P を求める。

【数 2 4】

$$SOP_{discharge}^V(k+1) = V_{Bmin} \hat{i}_B(k+1)(V_{Bmin}),$$

$$SOP_{charge}^V(k+1) = V_{Bmax} \hat{i}_B(k+1)(V_{Bmax}) \quad (13)$$

30

ただし、

【数 2 5】

$$SOP_{discharge}^V(k+1)$$

及び

【数 2 6】

$$SOP_{charge}^V(k+1)$$

は、電圧制限下での次のサンプリング間隔の場合の最大放電能力及び最大充電能力であり、 V_{Bmax} 及び V_{Bmin} はそれぞれ、電池動作のために許容される最大電圧及び最小電圧である。更新された $i_B(k)$ 及び $V_B(k)$ を用いて、その実施形態は、次の時間ステップのための電池の S O P を周期的に予測することができる。

40

【0 0 5 2】

電池の最大充電電流及び最大放電電流も制限され、S O P 推定において考慮することができる。電流制限下での最大電力能力を予測するために、式 (7) は以下のように書き換えられる。

【数 2 7】

$$S\hat{O}C(k+1) = S\hat{O}C(k) - \frac{\eta T_s}{C_{\max}} i_B(k),$$

$$\hat{V}_d(k+1) = \gamma \hat{V}_d(k) + R_c(1-\gamma)i_B(k),$$

$$\hat{V}_h(k+1) = H\hat{V}_h(k) + (H-1)\text{sign}(i_B(k))V_{h\max},$$

$$\hat{V}_B(k+1) = V_{OC}(S\hat{O}C(k+1)) - \hat{V}_d(k+1) - R_s i_B(k+1) + \hat{V}_h(k+1)$$

10

(14)

ただし、電池モデルパラメータ R_s 、 R_c 、 C_d 及び C_{\max} は E S 法によって特定された。次の時間ステップのための推定電圧

【数 2 8】

$$\hat{V}_B(k+1)$$

は所与の $i_B(k+1)$ を用いて得ることができる。

【0 0 5 3】

20

式 (14) によれば、 $i_B(k+1)$ を最大放電電流 I_{\max} 又は最大充電電流 I_{\min} に設定することによって、

【数 2 9】

$$\hat{V}_B(k+1)$$

を計算することができる。その際、電池 S O P は以下のように表すことができる。

【数 3 0】

$$SOP_{discharge}^I(k+1) = I_{B\max} \hat{V}_B(k+1)(I_{B\max}),$$

$$SOP_{charge}^I(k+1) = I_{B\min} \hat{V}_B(k+1)(I_{B\min})$$

(13)

30

ただし、

【数 3 1】

$$SOP_{discharge}^I(k+1)$$

及び

【数 3 2】

$$SOP_{charge}^I(k+1)$$

40

は、電流制限下での次のサンプリング間隔の場合の最大放電能力及び最大充電能力であり、 I_{\max} 及び I_{\min} はそれぞれ、電池動作のために許容される最大放電電流及び最大充電電流である。更新された $i_B(k)$ 及び $V_B(k)$ を用いて、上記の実施形態は、次の時間ステップのための電流制限下での電池の S O P を周期的に更新することができる。

【0 0 5 4】

図 6 A は、幾つかの実施形態による、電気自動車 6 1 0 において設置された電池 6 3 0 の例示的な S O P の判断を示す。例えば、幾つかの実施形態によって、車両 6 1 0 の運転者が、十分な電力が利用可能であることを確実にするために電池システムを管理できるようになる。一般に、例えば、プロセッサ及びメモリを含む別のデバイス 6 2 0 が、コネクタ 6 4 0 を介して、電池 6 3 0 及び / 又は電池 6 3 0 のセンサーに接続され、必要な測定を

50

実行することができ、SOCを推定する。例えば、デバイス620はシステム100を含むことができる。また、別のデバイス620は、数ある中でも、電池管理アプリケーションを含むことができると考えられる。また、異なる実施形態では、デバイス620は、電池の充電率(SOC)、電池の劣化状態(SOH)、電池の充放電可能電力(SOP)及び電池の放電深度(DOD)の1つ以上の組み合わせを求める。

【0055】

図6Bは、車両610の例示的なインストルメンタルパネル662を示す。インストルメンタルパネル662は、SOP推定の結果を車両の運転者に対して表示するための1つ又は複数のディスプレイ663及び664を含むことができる。SOP推定は、自動的に、又はSOPの臨界レベルに達したときに、ディスプレイ663、664上に表示することができる。それに加えて、又はその代わりに、例えば、コントロール665、及び/又はハンドル666上に位置するコントロール667、668及び669を介して、要求に応じてSOPを表示することができる。ディスプレイはインストルメンタルパネル662から離れたワイヤレスデバイスにできることも考えられる。

【0056】

図7は、本開示の幾つかの実施形態による、電池の状態を判断するために構成される例示的なシステム700のブロック図を示す。システム700は、電池と一体に実現することができるか、又は電池を有する機械とすることができる。それに加えて、又はその代わりに、システム700は、電池の物理量を測定するセンサーに通信可能に接続することができる。

【0057】

システム700は、センサー710、慣性測定ユニット(IMU)730、プロセッサ750、メモリ760、送受信機770、及びディスプレイ/スクリーン780のうちの1つ又は組み合わせを備えることができる。これらは、接続720を通じて他の構成要素に作動的に結合することができる。接続720は、バス、ライン、ファイバー、リンク又はそれらの組み合わせを含むことができる。

【0058】

送受信機770は、例えば、1つ以上のタイプの無線通信ネットワークを通じて1つ以上の信号を送信することを可能にする送信機と、1つ以上のタイプの無線通信ネットワークを通じて送信された1つ以上の信号を受信する受信機とを備えることができる。送受信機770は、様々な技術に基づいて無線ネットワークとの通信を可能にすることができる。これらの技術は、標準規格のIEEE802.11ファミリーに基づくことができるフェムトセル、Wi-Fiネットワーク又は無線ローカルエリアネットワーク(WLAN)、標準規格のIEEE802.15xファミリーに基づくBluetooth(登録商標)ネットワーク、近距離場通信(NFC)ネットワーク等の無線パーソナルエリアネットワーク(WPAN)、及び/又はLTE、WiMAX等の無線ワイドエリアネットワーク(WWAN)等であるが、これらに限定されるものではない。システム700は、有線ネットワークを通じて通信する1つ以上のポートを備えることもできる。

【0059】

幾つかの実施形態において、システム700は、本明細書においてこれ以降「センサー710」と呼ばれる、電池の物理量を測定するためのセンサーを備えることができる。例えば、センサー710は、電池の電圧を測定するための電圧計、電池の電流を測定するための電流計、及び電池の温度を測定するための温度計を含むことができる。

【0060】

また、システム700は、電池の状態についての情報をレンダリングする画面又はディスプレイ780を含むことができる。幾つかの実施形態において、ディスプレイ780は、センサー710からの測定値を表示するためにも使用することができる。幾つかの実施形態では、ディスプレイ780は、ユーザーが、仮想キーボード、アイコン、メニュー、又は他のGUI、ユーザージェスチャー及び/又はスタイラス(styli)及び他の筆記用具等の入力デバイスの或る組み合わせを介してデータを入力することを可能にするタッチ

10

20

30

40

50

スクリーンを備えることができ及び／又はこのようなタッチスクリーンとともに収容することができる。幾つかの実施形態では、ディスプレイ４８０は、液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）又は有機ＬＥＤ（ＯＬＥＤ）ディスプレイ等の発光ダイオード（ＬＥＤ）ディスプレイを用いて実施することができる。他の実施形態では、ディスプレイ４８０は、ウェアラブルディスプレイとすることができる。

【００６１】

幾つかの実施形態では、状態推定の結果をディスプレイ７８０にレンダリングすることもできるし、システム７００の内部又は外部に存在することができる異なるアプリケーションにサブミットすることもできる。例えば、プロセッサ７５０上で動作する電池管理アプリケーション７５５は、種々の電池管理方法を実施及び実行することができる。

10

【００６２】

例示的なシステム７００は、図示した機能ブロックのうちの１つ以上の追加、組み合わせ、又は省略等によって、本開示と整合性を有するように様々な方法で変更することもできる。例えば、幾つかの構成では、システム７００は、ＩＭＵ７３０又は送受信機７７０を備えていない。

【００６３】

プロセッサ７５０は、ハードウェア、ファームウェア及びソフトウェアの組み合わせを用いて実現することができる。プロセッサ７５０は、センサーフュージョン及び／又は融合した測定値を更に処理するための方法に関連付けられる計算手順又はプロセスの少なくとも一部を実行するように構成可能な１つ以上の回路を表すことができる。プロセッサ７５０は、メモリ７６０から命令及び／又はデータを引き出す。プロセッサ７５０は、１つ以上の特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）、中央及び／又はグラフィカル処理ユニット（ＣＰＵ及び／又はＧＰＵ）、デジタルシグナルプロセッサ（ＤＳＰ）、デジタル信号処理デバイス（ＤＳＰＤ）、プログラマブル論理デバイス（ＰＬＤ）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）、コントローラー、マイクロコントローラー、マイクロプロセッサ、埋め込みプロセッサコア、電子デバイス、本明細書において記述される機能を実行するように設計された他の電子ユニット、又はその組み合わせを用いて実現することができる。

20

【００６４】

メモリ７６０は、プロセッサ７５０の内部に、及び／又はプロセッサ７５０の外部に実装することができる。本明細書において使用されるときに、「メモリ」という用語は、任意のタイプの長期、短期、揮発性、不揮発性又は他のメモリを指しており、任意の特定のタイプのメモリ若しくはメモリの数、又はメモリが記憶される物理媒体のタイプに制限されるべきではない。幾つかの実施形態において、メモリ７６０は、状態推定、及びプロセッサ７５０によって実行される他のタスクを容易にするプログラムコードを保持する。例えば、メモリ７６０は、トレーニングステージ中に求められた推定値だけでなく、センサーの測定値も記憶することができる。例えば、メモリ７６０は、本明細書において開示される１つ又は異なる種々の実施形態の方法を実行するためにプロセッサによって実行可能なプログラムがその上に具現された非一時的コンピューター可読記憶媒体を含むことができる。

30

40

【００６５】

一般に、メモリ７６０は、任意のデータ記憶機構を表すことができる。メモリ７６０は、例えば、一次メモリ及び／又は二次メモリを含むことができる。一次メモリは、例えば、ランダムアクセスメモリ、リードオンリーメモリ等を含むことができる。図７においてプロセッサ７５０とは別であるように示されるが、一次メモリの全て又は一部をプロセッサ７５０内に設けることができるか、又はそうでなくても、プロセッサ７５０と同一の場所に配置し、及び／又はプロセッサ７５０に結合することができることは理解されたい。

【００６６】

二次メモリは、例えば、一次メモリと同じ、又は類似のタイプのメモリ、及び／又は例えば、フラッシュ／ＵＳＢメモリドライブ、メモリカードドライブ、ディスクドライブ、

50

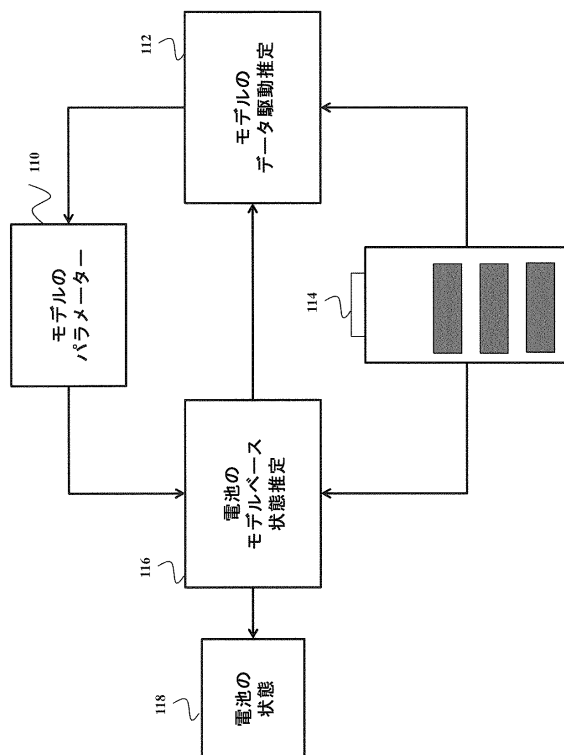
光ディスクドライブ、テープドライブ、ソリッドステートドライブ、ハイブリッドドライブ等の1つ以上のデータ記憶デバイス又はシステムを含むことができる。或る特定の実施形態において、二次メモリは、取外し可能な媒体ドライブ（図示せず）内の非一時的コンピュータ可読媒体に動作可能に収容可能であるか、又は別の方法で、動作可能に構成可能とすることができる。幾つかの実施形態において、非一時的コンピュータ可読媒体は、メモリ760及び/又はプロセッサ750の一部を形成する。

【0067】

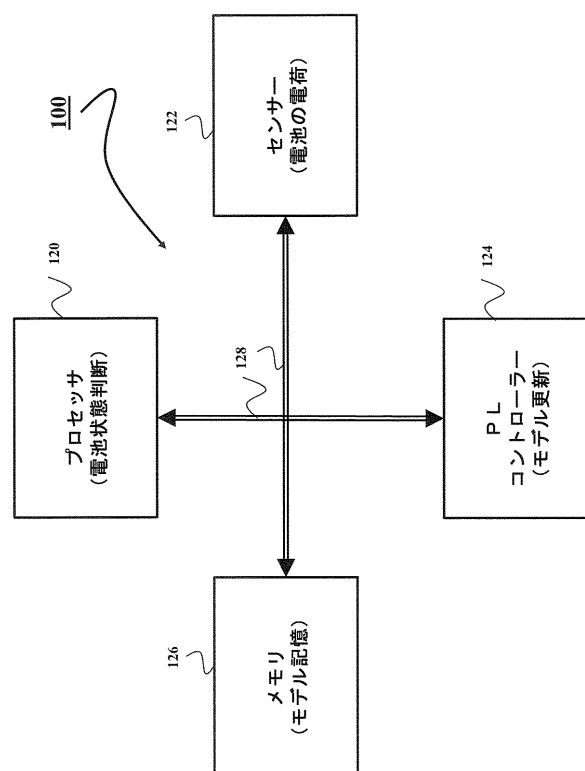
本発明の上記で説明した実施形態は、多数の方法のうちの任意のもので実施することができる。例えば、実施形態は、ハードウェア、ソフトウェア又はそれらの組合せを用いて実施することができる。ソフトウェアで実施される場合、ソフトウェアコードは、単一のコンピュータに設けられるのか又は複数のコンピュータ間に分散されるのかにかかわらず、任意の適したプロセッサ又はプロセッサの集合体において実行することができる。そのようなプロセッサは、1つ以上のプロセッサを集積回路部品に有する集積回路として実装することができる。ただし、プロセッサは、任意の適したフォーマットの回路類を用いて実装することができる。プロセッサは、当該技術分野において既知であるように、メモリ、送受信機及び入力/出力インターフェースに接続することができる。

10

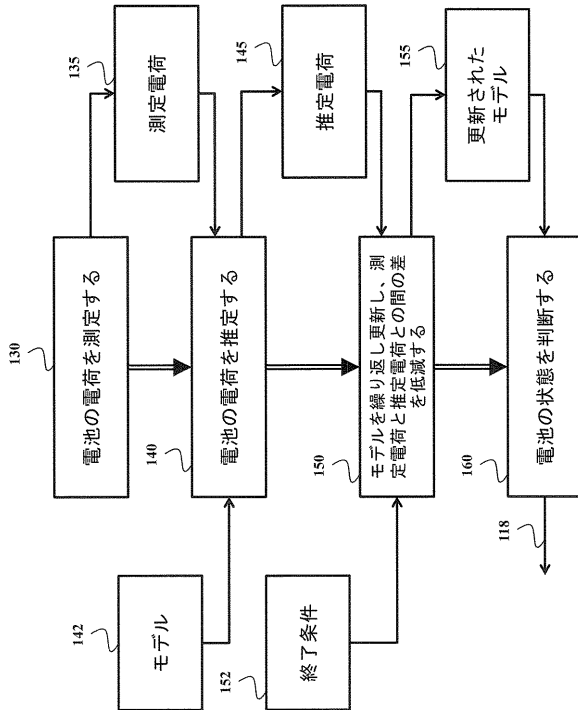
【図1A】



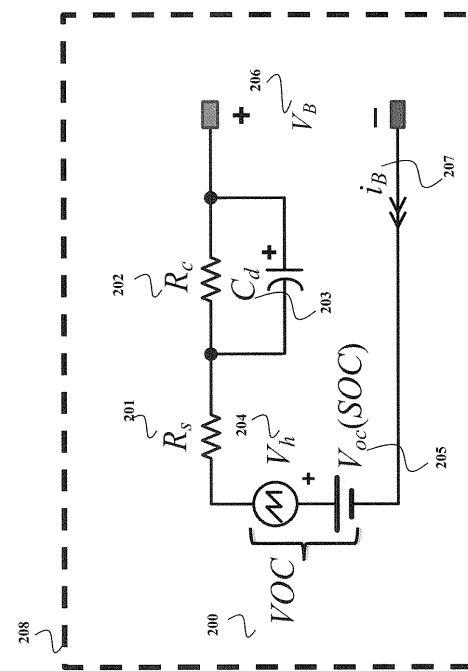
【図1B】



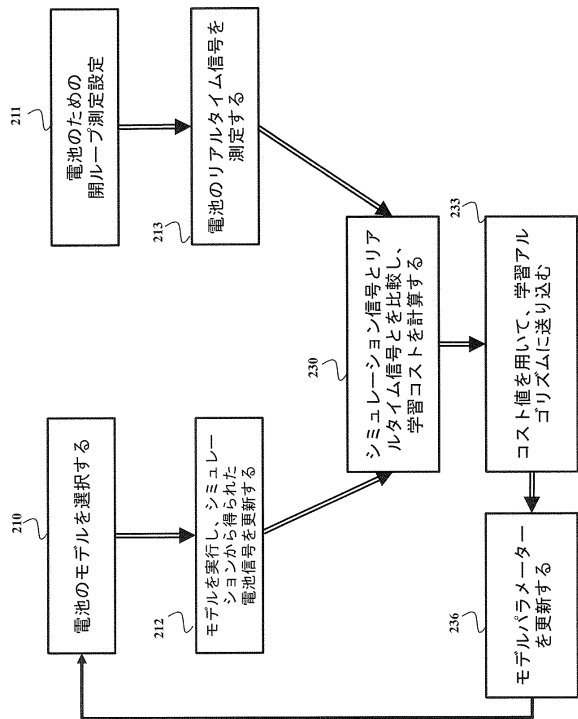
【図 1 C】



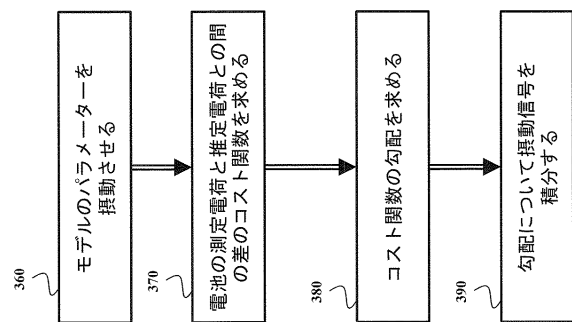
【図 2 A】



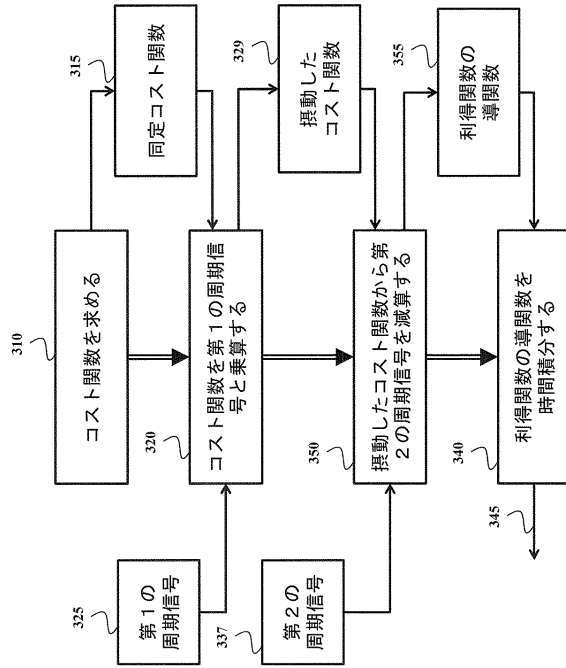
【図 2 B】



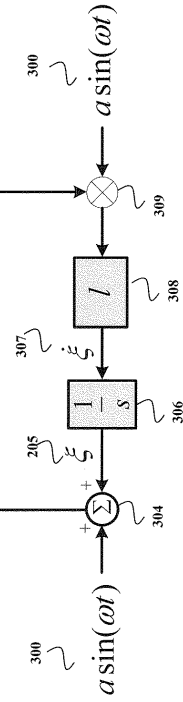
【図 3 A】



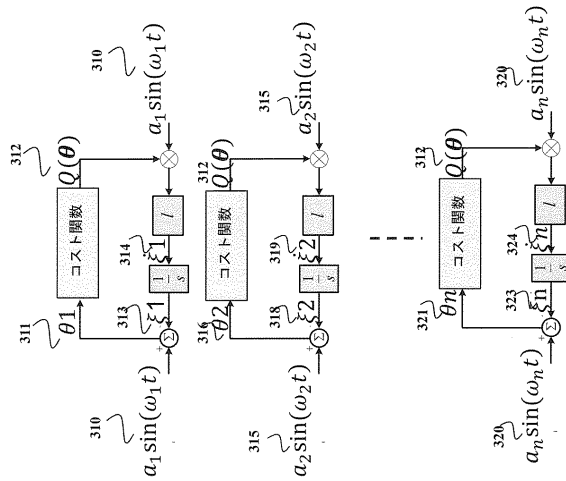
【図 3 B】



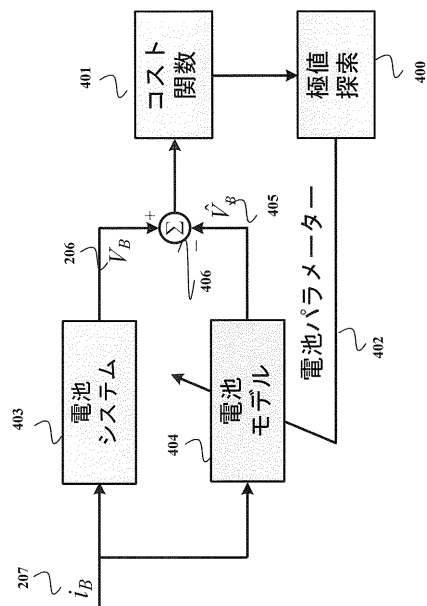
【図 3 C】



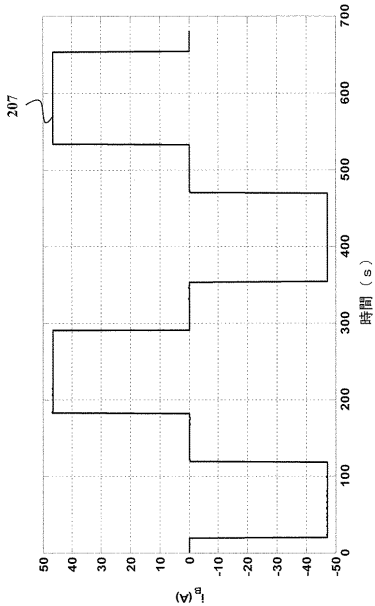
【図 3 D】



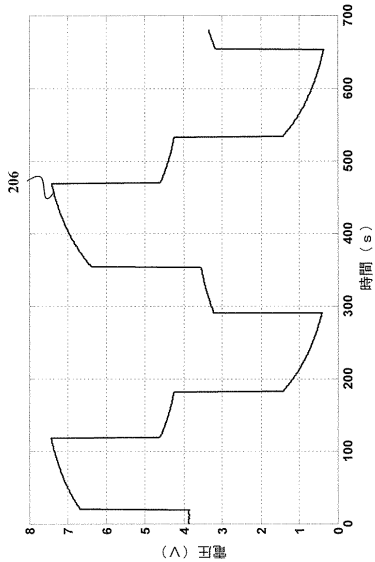
【図 4】



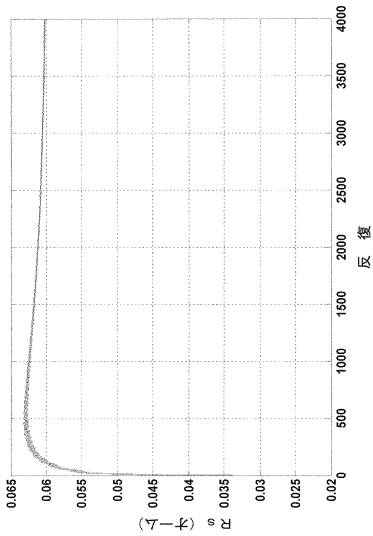
【図 5 A】



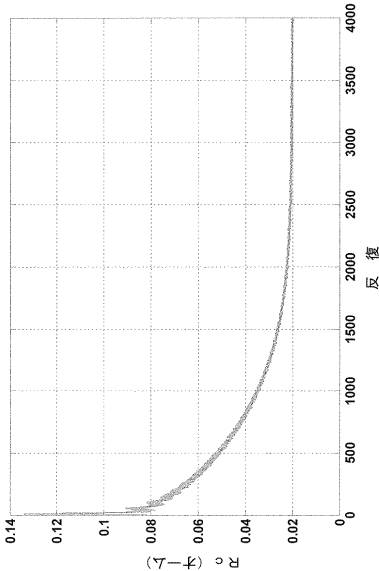
【図 5 B】



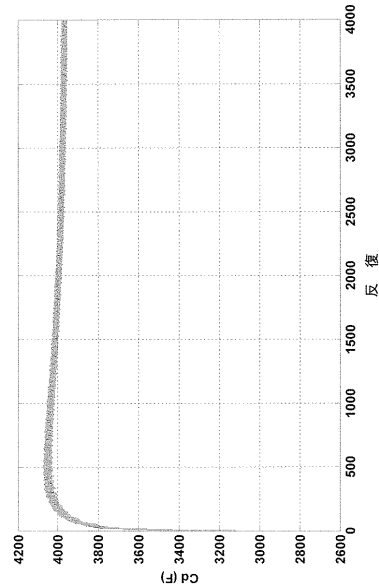
【図 5 C】



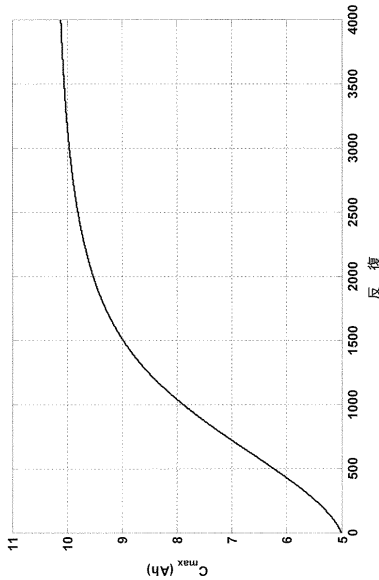
【図 5 D】



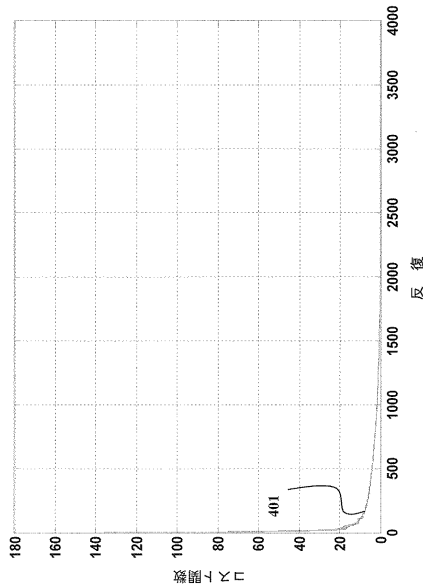
【図 5 E】



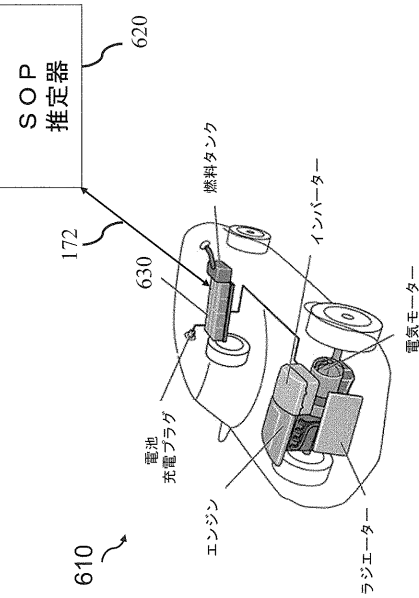
【図 5 F】



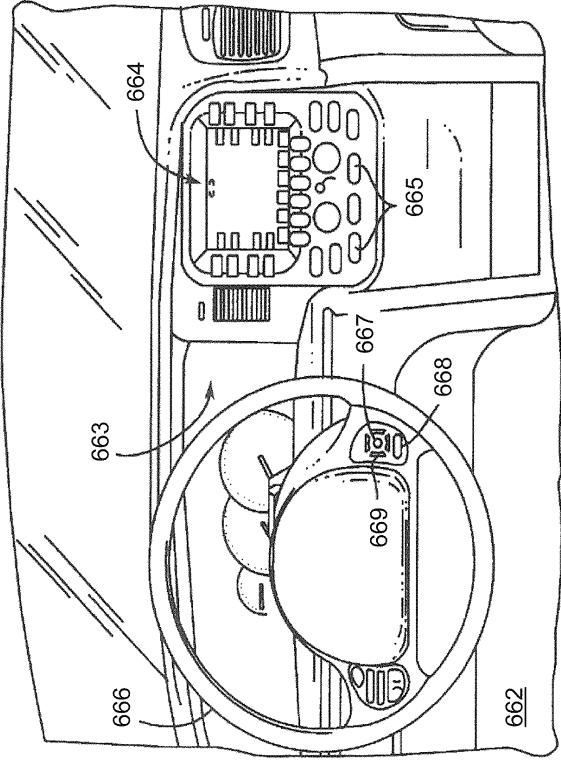
【図 5 G】



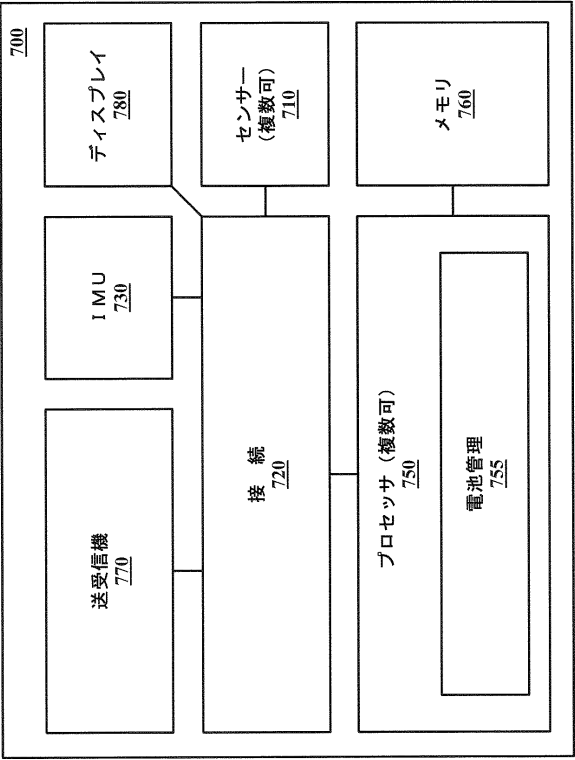
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 ムハシーン・ベノスマン
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
- (72)発明者 チャン・ウェイ
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

審査官 田口 孝明

- (56)参考文献 特開2015-230193(JP, A)
国際公開第2010/016109(WO, A1)
国際公開第2010/016110(WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | |
|-----|------|-----------------|
| IPC | G01R | 31/36 - 31/396、 |
| | H01M | 10/42 - 10/48 |