

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2022-80182
(P2022-80182A)

(43)公開日 令和4年5月27日(2022.5.27)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 M 10/48 (2006.01)	H 0 1 M 10/48 A	2 G 2 1 6
H 0 2 J 7/02 (2016.01)	H 0 2 J 7/02 H	5 G 5 0 3
H 0 2 J 7/00 (2006.01)	H 0 2 J 7/00 Q	5 H 0 3 0
G 0 1 R 31/392 (2019.01)	G 0 1 R 31/392	
G 0 1 R 31/389 (2019.01)	G 0 1 R 31/389	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2020-191210(P2020-191210)	(71)出願人	899000068 学校法人早稲田大学 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地
(22)出願日	令和2年11月17日(2020.11.17)	(74)代理人	110002907 特許業務法人イトーシン国際特許事務所
(出願人による申告)2019年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「NEDO先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム／車載用蓄電池の内部状態解析に基づく診断技術の研究開発」委託研究、産業技術力強化法第17条の適用		(72)発明者	横島 時彦 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
		(72)発明者	逢坂 哲彌 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
		(72)発明者	門間 聰之 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】電池モジュール

(57)【要約】

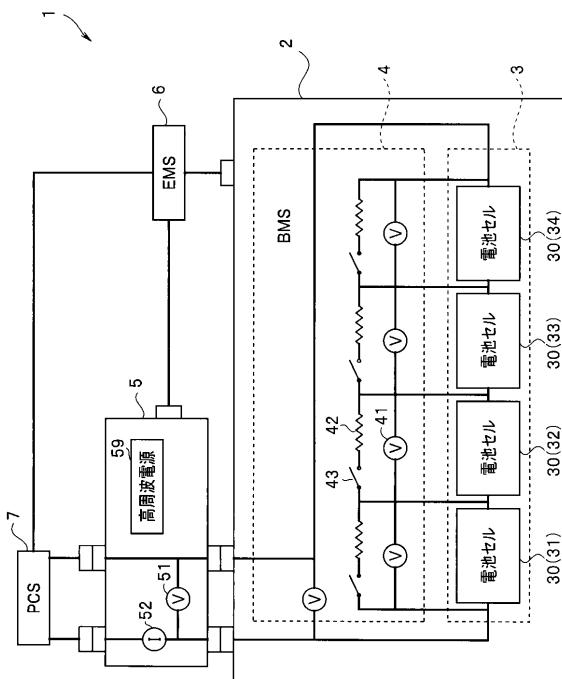
【課題】

複数の電池セル30を含む組電池において、充電深度が他の電池セル30よりも大きい電池セルの劣化度が前記他の電池セルよりも大きいことを検出する電池モジュール1を提供する。

【解決手段】

電池モジュール1は、複数の電池セル30が直列接続されている組電池3と、前記複数の電池セル30の充電深度を均等化処理するバランサーと、を含む組電池システム2と、前記組電池3の均等化処理前後のインピーダンス特性を測定するための測定回路5と、充電深度が他の電池セルよりも大きい第1の電池セルが、前記他の電池セルよりも劣化度が大きいことを、前記第均等化処理の前後のインピーダンス特性を用いて検出するプロセッサ6と、を具備する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の電池セルが直列接続されている組電池と、前記複数の電池セルの充電深度を均等化処理するバランサーと、を含む組電池システムと、
均等化処理前の前記組電池の第 1 のインピーダンス特性および均等化処理後の前記組電池の第 2 のインピーダンス特性を測定するための測定回路と、
前記複数の電池セルのうち充電深度が他の電池セルよりも大きい第 1 の電池セルの劣化度が、前記他の電池セルの劣化度よりも大きいことを、前記第 1 のインピーダンス特性および前記第 2 のインピーダンス特性を用いて検出するプロセッサと、を具備することを特徴とする電池モジュール。

10

【請求項 2】

前記プロセッサは、ナイクストプロットの電荷移動領域およびイオン拡散領域における前記第 1 のインピーダンス特性および前記第 2 のインピーダンス特性の変化に基づき、前記第 1 の電池セルの劣化度が前記他の電池セルの劣化度よりも大きいことを検出することを特徴とする請求項 1 に記載の電池モジュール。

【請求項 3】

前記プロセッサは、電荷移動領域における、前記第 1 のインピーダンス特性に対する前記第 2 のインピーダンス特性の変化に基づき、前記第 1 の電池セルの劣化度が前記他の電池セルの劣化度よりも大きいことを検出することを特徴とする請求項 1 に記載の電池モジュール。

20

【請求項 4】

前記第 1 のインピーダンス特性および前記第 2 のインピーダンス特性は、それぞれ、レジスタンス、リアクタンス、インピーダンス絶対値および位相角の少なくともいずれかであることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の電池モジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、複数の電池セルが直列接続されている組電池を具備する電池モジュールに関する。

30

【背景技術】

【0002】

携帯機器、電動工具および電気自動車等に、充放電可能な二次電池を含む電池モジュールが用いられている。二次電池として、小型で大容量のリチウムイオン電池等が注目されている。

【0003】

電池モジュールは、複数の電池セルを直列に接続した組電池とすることで、所望の出力電圧を得ている。さらに、所定の出力電圧が得られる組電池を並列接続することで、所望の電流容量を得ている。また、所望の電流容量が得られるように複数の電池セルを並列接続した電池セットを、直列に接続し所望の出力電圧を得ている組電池もある。

40

【0004】

組電池を構成する複数の電池セルは、時間経過および充放電の繰り返しにより劣化するが、それぞれの電池セルの劣化度を示す容量維持率（SOH: State Of Health）は、同じではない。組電池の充電時に、劣化度が大きい、すなわち、SOHが小さい電池セルは、他の電池セルよりも早く、充電深度（SOC: State Of Charge）が大きくなるために、過充電されるおそれがある。

【0005】

このため、複数の電池セルのそれぞれのSOCを測定し、例えば、SOCの大きな電池セルの電荷を放電することによって、複数の電池セルのSOCを均等化処理するバランサーを含む組電池が用いられている。

50

【0006】

ここで、ある電池セルのSOCが他の電池セルよりも大きくなる原因は、劣化度が大きいことだけでなく、他の要因も考えられる。このため、SOCが大きい電池セルのSOH異常を検出することが重要である。

【0007】

特開2013-29411号公報には、組電池の複数の電池セルのSOHを評価するために、それぞれの電池セルを、それぞれのインピーダンス演算部と接続した測定装置が開示されている。

【0008】

しかし、複数の電池セルのそれぞれに対応した複数のインピーダンス演算部を具備する測定装置は、構成が複雑となるために高価である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2013-29411号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の実施形態は、複数の電池セルを含む組電池において、充電深度が他の電池セルよりも大きい電池セルの劣化度が他の電池セルよりも大きいことを検出する簡単な構成の電池モジュールを提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の実施形態の電池モジュールは、複数の電池セルが直列接続されている組電池と、前記複数の電池セルの充電深度を均等化処理するバランサーと、を含む組電池システムと、均等化処理前の前記組電池の第1のインピーダンス特性および均等化処理後の前記組電池の第2のインピーダンス特性を測定するための測定回路と、前記複数の電池セルのうち充電深度が他の電池セルよりも大きい第1の電池セルが、前記他の電池セルよりも劣化度が大きいことを、前記第1のインピーダンス特性および前記第2のインピーダンス特性を用いて検出するプロセッサと、を具備する。

30

【発明の効果】

【0012】

本発明の実施形態によれば、複数の電池セルを含む組電池において、充電深度が他の電池セルよりも大きい電池セルの劣化度が他の電池セルよりも大きいことを検出する簡単な構成の電池モジュールを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態の電池モジュールの構成図である。

【図2】電池のナイキストプロットの一例である。

【図3】実施形態の電池モジュールの評価方法のフローチャートである。

【図4】実施形態の電池モジュールのナイキストプロットの一例である。

40

【図5】実施形態の電池モジュールのナイキストプロットの一例である。

【図6】実施形態の電池モジュールのインピーダンス特性変化率の一例である。

【図7】実施形態の電池モジュールのインピーダンス特性変化率の一例である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

＜電池モジュールの構成＞

図1に示すように、実施形態の電池モジュール1は、組電池システム2と、測定回路5と、PCS（パワーコンディショニングシステム）7と、EMS（エネルギーマネジメントシステム）6と、を具備する。電池モジュール1は、図示しない負荷、例えば、電気自動車の駆動回路と接続され、駆動電力を出力する。

50

【0015】

以下の説明において、各実施形態に基づく図面は、模式的なものであり構成要素の図示を省略することがある。例えば、組電池システム2、および測定回路5の、内部配線の一部は図示していない。

【0016】

PCS7は、組電池システム2に電力を供給する。EMS6は、電池モジュール1を制御するプロセッサである。BMS4は、組電池システム2を制御する。

【0017】

例えば、汎用の組電池システム2の構成を変更することなく、組電池システム2に測定回路5、EMS6、およびPCS7を接続することによって、電池モジュール1は構成されている。

10

【0018】

組電池システム2は、組電池3と、バランスを含むBMS（バッテリマネジメントシステム）4を有する。組電池3は、4個の電池セル31～34が直列接続されて構成されている。以下、複数の電池セル31～34のそれぞれを電池セル30という。電池セル30は、リチウムイオン電池セルであり、リチウムイオンを吸蔵／放出する正極と、電解質と、セパレータと、リチウムイオンを吸蔵／放出する負極と、を有する。

【0019】

BMS4のバランスは、複数の電池セル30のそれぞれの充電深度を測定するとともに、複数の電池セル30の充電深度SOCを均等化処理する。バランスは、それぞれの電池セル30の電圧を測定する電圧計41と、それぞれの電池セル30の電荷を放電するための抵抗42と、放電スイッチ43と、を有する。抵抗42には、一般的な抵抗や電子負荷装置を用いる。図示しないBMS4のプロセッサは、均等化処理の制御を行う。

20

【0020】

組電池3のインピーダンス特性を測定するための測定回路5は、交流電圧信号を出力する高周波電源59と、組電池3に印加される電圧を測定する電圧計51と、電流を測定する電流計52と、を含む。インピーダンス特性を測定するための電圧計51は、SOCを取得するための電圧を測定する電圧計41よりも高精度である。PCS7がインピーダンス特性の測定に使用可能な高周波電流を出力可能な場合には、高周波電源59は不要である。また、BMS4がEMS6の行う制御の一部をおこなってもよい。逆に、EMS6がBMSの行う制御の少なくとも一部をおこなってもよい。

30

【0021】

＜インピーダンス測定＞

インピーダンス特性は、例えば、交流インピーダンス法により測定される。交流インピーダンス法では、組電池3に対し直流電圧に微小な交流電圧信号（測定信号）を重畳させた信号を印加し、応答信号からインピーダンス特性を測定する。交流インピーダンス測定法は、印加する信号電圧が小さいので、測定対象の組電池3の状態を変化させることなくインピーダンス特性を測定できる。

【0022】

直流電圧成分は、測定する電池セル30の電圧程度に設定される。また、重畳する交流電圧成分は、電池セル30の特性に影響を与えない程度の電圧に設定される。なお重畳する交流電圧成分は、電池セル30の特性に影響を与えない程度の電圧に設定される交流電流を用いてもよい。

40

【0023】

周波数掃引法では、測定信号の周波数を高い周波数から低い周波数へ掃引し、所定の周波数間隔で、各周波数における組電池3のインピーダンス特性を測定する。

【0024】

例えば、インピーダンス特性の測定は以下の条件にて行われる。なお、バイアス電圧は組電池3の電圧である。すなわち、電池モジュール1は組電池システム2の使用時にも交流インピーダンス測定が可能である。

50

【0025】

周波数測定範囲：0.01Hz～100kHz

電圧振幅：5mV

バイアス電圧：12V

温度：25℃

【0026】

図2に電池の周波数掃引法によるインピーダンス特性の周波数特性の例を示す。測定されたインピーダンス特性の周波数特性は、実数軸（ Z' ）をインダクタンス（抵抗成分）、虚数軸（ Z'' ）をリアクタンス（通常は容量性）とする複素平面図に表示したナイキストプロット（コールコールプロット）で示される。図2に示すように、測定周波数を高周波から低周波に変化させていくと、時計回りに半円を含むインピーダンス（ Z' 、 Z'' ）の軌跡であるコールコールプロットが得られる。

10

【0027】

ナイキストプロットは、インダクタンス領域（領域A）と、2つの半円形が重畳した電荷移動反応領域（領域B）と、イオン拡散領域（領域C）とに区分される。インダクタンス領域（領域A）は例えば100kHz以上の高周波領域である。

【0028】

なお、インピーダンス特性の測定方法は、周波数掃引法に限られるものではない。例えば、測定信号として基本周波数 f_1 の矩形波を用いて、高調波成分（ $2f_1$ 、 $3f_1$ 、）が含まれている応答信号をフーリエ変換することで、複数の周波数（ f_1 、 $2f_1$ 、 $3f_1$ 、）のインピーダンス特性を測定してもよい。または、複数の周波数の信号が重畳された測定信号を用いてインピーダンス特性を測定してもよい。もちろん、周波数の異なる複数の測定信号を用いてインピーダンス特性を測定してもよい。

20

【0029】

＜電池モジュールの評価方法＞

次に、図3に示すフローチャートに沿って、電池モジュール1の評価方法について詳細に説明する。他の電池セルよりもSOCが大きく、均等化処理において放電対象となる電池セルを第1の電池セルという。また、全ての電池セルのSOHが100%の組電池Aと、いずれかの電池セルのSOHが80%の組電池Bとを用いて説明する。

30

【0030】

＜ステップS10＞SOC測定ステップ

EMS6の制御によって、PCS7から電力が出力されることによって、組電池3が充電される。充電中、または充電終了後に、BMS4は、複数の電池セル30のSOCを測定する。電池セル30のSOCは、電圧計41を用いて測定される。

【0031】

＜ステップS20＞SOCばらつき判定ステップ

BMS4は、複数の電池セル30のSOCのばらつきが、予め定められている所定範囲を超えているか判定する。例えば、電池セル32のSOCが100%であり、電池セル31、33、34のSOCが80%であり、所定範囲が15%だった場合には、BMS4は、「ばらつきあり（YES）」と判定

40

する。そして、電池セル32が第1の電池セルとなる。

【0032】

ばらつきが所定範囲内の場合（NO）には、組電池3は、通常の放電処理に移行する。

【0033】

＜ステップS30＞第1のインピーダンス測定ステップ

測定回路5の高周波電源59が、組電池3に所定の周波数、例えば、100kHz～0.01Hzの正弦波の測定信号を印加し、インピーダンス特性（第1のインピーダンス特性）を取得する。インピーダンス特性は、測定回路5の電圧計51、電流計52を用いて行われる。第1のインピーダンス特性は、均等化処理前の組電池のインピーダンス特性である。

50

【0034】

インピーダンス特性は温度の影響が大きいいため、測定回路5は、組電池3に配設されている温度センサ（不図示）により測定温度も取得することが好ましい。そして、測定回路5のデータを処理するプロセッサであるEMS6は、温度によってインピーダンス特性を補正することが好ましい。

【0035】

＜ステップS40＞均等化処理ステップ

BMS4は、第1の電池セルである電池セル32（SOC100%）の電荷を放電することによって、複数の電池セル31～34のSOCを均等化処理する

【0036】

BMS4は、電池セル32に接続されているスイッチ43をON（導通）とし、電池セル32から抵抗42に電流を流す。電池セル32の電荷は、抵抗42の熱エネルギーに変換される。電池セル32のSOCが、他の電池セル31、33、34のSOCと同じ（80%）になるまで、電池セル32の電荷が放電される。

【0037】

＜ステップS50＞第2のインピーダンス測定ステップ

測定回路5の高周波電源59が、組電池3に測定信号を印加し、インピーダンス特性（第2のインピーダンス特性）を取得する。第2のインピーダンス特性は、均等化処理後の組電池のインピーダンス特性である。

＜ステップS60＞インピーダンス特性の変化検出ステップ

【0038】

図4に、電池セル31～34のSOHが、いずれも100%だった場合（組電池A）の、ナイキストプロットを示す。均等化処理によって、周波数0.1Hz以下のイオン拡散領域において、インピーダンス曲線が変化している。

【0039】

これに対して、図5に、複数の電池セル30のうち、第1の電池セルである電池セル32のSOHが80%、他の電池セル31、33、34のSOHが100%だった場合（組電池B）のナイキストプロットを示す。均等化処理によって、周波数1Hz以上10Hz以下の電荷移動領域において、インピーダンス曲線が変化している。

【0040】

図4および図5から明らかなように、均等化処理前後のナイキストプロットを比較することによって、SOCが他の電池セルよりも大きかった第1の電池セル（電池セル32）が、他の電池セル31、33、34よりもSOHも小さいか（劣化度が大きい）か否かが検出できる。

【0041】

例えば、EMS6は、均等化処理前後のナイキストプロットにおける、周波数0.1Hz以下のイオン拡散領域の変化と周波数1Hz以上10Hz以下の電荷移動領域の変化とを比較する。

【0042】

EMS6は、均等化処理前後のインピーダンス特性、および、SOHデータを、それぞれが含む複数の組電池の過去履歴データを用いて、AIにマシンラーニングを行い、AI判定を行ってもよい。

【0043】

例えば、EMS6は、均等化処理前後のインピーダンス特性、および、SOHデータを、それぞれが含む複数の組電池のビッグデータを用いて、AIに、ニューラルネットワークによるディープラーニングを行い、AI判定を行ってもよい。

【0044】

AI判定よりも簡単に定量的に検出するためには、インピーダンス特性変化率、例えば、第1のインピーダンス特性に対する第2のインピーダンス特性の変化率を取得することが好ましい。もちろん、第2のインピーダンス特性に対する第1のインピーダンス特性の変

10

20

30

40

50

化率を取得してもよい。

【0045】

例えば、インピーダンス特性としてリアクタンス Z'' を用いる場合には、以下の式を用いて、リアクタンス変化率を取得する。均等化処理前のリアクタンスが、第1のリアクタンスであり、均等化処理後のリアクタンスが、第2のリアクタンスである。ABSは絶対値を示す。

【0046】

リアクタンス変化率(%) = $ABS((第1のリアクタンス - 第2のリアクタンス) / 第1のリアクタンス) \times 100$

【0047】

図6に均等化処理前後の組電池Aおよび組電池Bのリアクタンス変化率を示す。

【0048】

組電池Bは組電池Aと比べて、周波数1Hz以上10Hz以下の電荷移動領域において、リアクタンス変化率が大きなピークを有している。

【0049】

＜ステップS70、S80＞SOH判定ステップ、警告ステップ

EMS6は、インピーダンス特性の変化が所定範囲以上であるかを判定する。組電池Bは、第1の電池セル（電池セル32）のSOHが80%であったため、周波数1Hz以上10Hz以下の電荷移動領域におけるリアクタンス変化率のピーク強度Pが、周波数0.01Hz以上0.1Hz以下のイオン拡散領域におけるリアクタンス変化率の平均値Aの150%以上であった。

【0050】

例えば、EMS6は、ピーク強度Pが、平均値Aの125%以上の場合に、第1の電池セル（電池セル32）のSOHが、他の電池セル31、33、24のSOHよりも大きいことを、警告する。警告は、音、表示、または、ランプの点灯等によって行われる。

【0051】

ランプの点灯によって警告する場合、ピーク強度Pと平均値Aとの比に基づいて、ランプの色を変えてもよい。例えば、第1の電池セル（電池セル32）のSOHが使用上、問題の無いレベルの場合には、緑色のランプを点灯し、第1の電池セルの少しの劣化が確認された場合には黄色のランプを点灯し、第1の電池セルの交換が必要なレベルの場合には、赤色のランプを点灯する。

【0052】

たとえばEMS6が、BMS4に警告信号を送って、組電池システム2に警告が表示されてもよい。

【0053】

なお、インピーダンス特性としては、実数成分（レジスタンス） Z' 、虚数成分（リアクタンス） Z'' 、位相角 θ 、および絶対値 $|Z|$ の少なくともいずれかである。

【0054】

インピーダンス特性として位相角（偏角） θ を用いる場合には、例えば、以下の式を用いて、位相角変化率を取得する。均等化処理前の位相角が、第1の位相角であり、均等化処理後の位相角が、第2の位相角である。ABSは絶対値を示す。

【0055】

位相角変化率(%) = $ABS((第1の位相角 - 第2の位相角) / 第1の位相角) \times 100$

【0056】

図7に示すように、組電池Bは組電池Aと比べて、周波数1Hz以上10Hz以下の電荷移動領域において、位相角変化率が大きなピークを有している。

【0057】

以上の説明のように、ナイキストプロットによる評価方法では、インピーダンス特性は、レジスタンス Z' およびリアクタンス Z'' である。リアクタンス変化率による評価方法

10

20

30

40

50

では、インピーダンス特性は、測定周波数に対応したリアクタンスである。3つ以上のインピーダンス特性を組み合わせてもよい。もちろん、2つ以上の評価方法を組み合わせてもよい。インピーダンスの逆数であるアドミッタンスを用いて評価してもよい。

【0058】

電池モジュール1は、4個の電池セル31～34が直列接続されている組電池システム2を具備していた。しかし、組電池が含む電池セル30の数は、2以上であるが、上限は例えば50である。

【0059】

なお、実施形態の電池モジュールでは、複数の電池セルが、他の電池セルよりもSOCが大きく、均等化処理において複数の電池セルの電荷が放電された場合であっても、少なくともいずれかの電池セルのSOHが他の電池セルのSOHよりも小さい（劣化度が大きい）ことを検出できる。

【0060】

バランスの動作は、SOCが大きい電池セル30の電荷を抵抗42によって放電するパッシブ方式だけでなく、SOCが大きい電池セル30の電荷をSOCが小さい電池セルに回生するアクティブ方式でもよい。

【0061】

複数の組電池が並列接続されている電池モジュールの場合には、それぞれの組電池のインピーダンス特性を測定するための、回路切替スイッチを有していることが好ましい。

【0062】

実施形態の電池モジュールの電池セルは、その原理からリチウムイオン電池セルに限られるものではなく、他の二次電池セル、例えば、リチウムポリマー電池セル、または、リチウム硫黄電池セルでもよいし、固体電解質を有する全固体型電池セルでもよい。また、組電池は、隣り合う電池セルが、正極と負極とが共通の集電体を有するバイポーラ電池でもよいし、バイポーラ全固体電池でもよい。

【0063】

また、組電池の構造は、積層型、巻回型、コイン型、および、ラミネート型のいずれでもよい。

【0064】

それぞれの電池セル30が、複数の電池セルが並列に接続されて構成されていてもよい。この構成では、インピーダンス特性等は、並列接続された電池セルの平均値として測定される。また、それぞれの電池セル30が、複数の電池セルが直列に接続されて構成されていてもよい。この場合ではインピーダンス特性等は、直列接続された電池セルの和として測定される。

【0065】

電圧計41が、すべての電池セルに接続されていなくてもよい。その場合には、電圧計ごとの電圧のみ測定が可能である。

【0066】

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を変えない範囲において、種々の変更、改変、例えば、実施形態の構成要素の組み合わせが可能である。

【符号の説明】

【0067】

- 1…電池モジュール
- 2…組電池システム
- 3…組電池
- 5…測定回路
- 6…プロセッサ（EMS）
- 30（31～34）…電池セル
- 40…BMS
- 41…電圧計

10

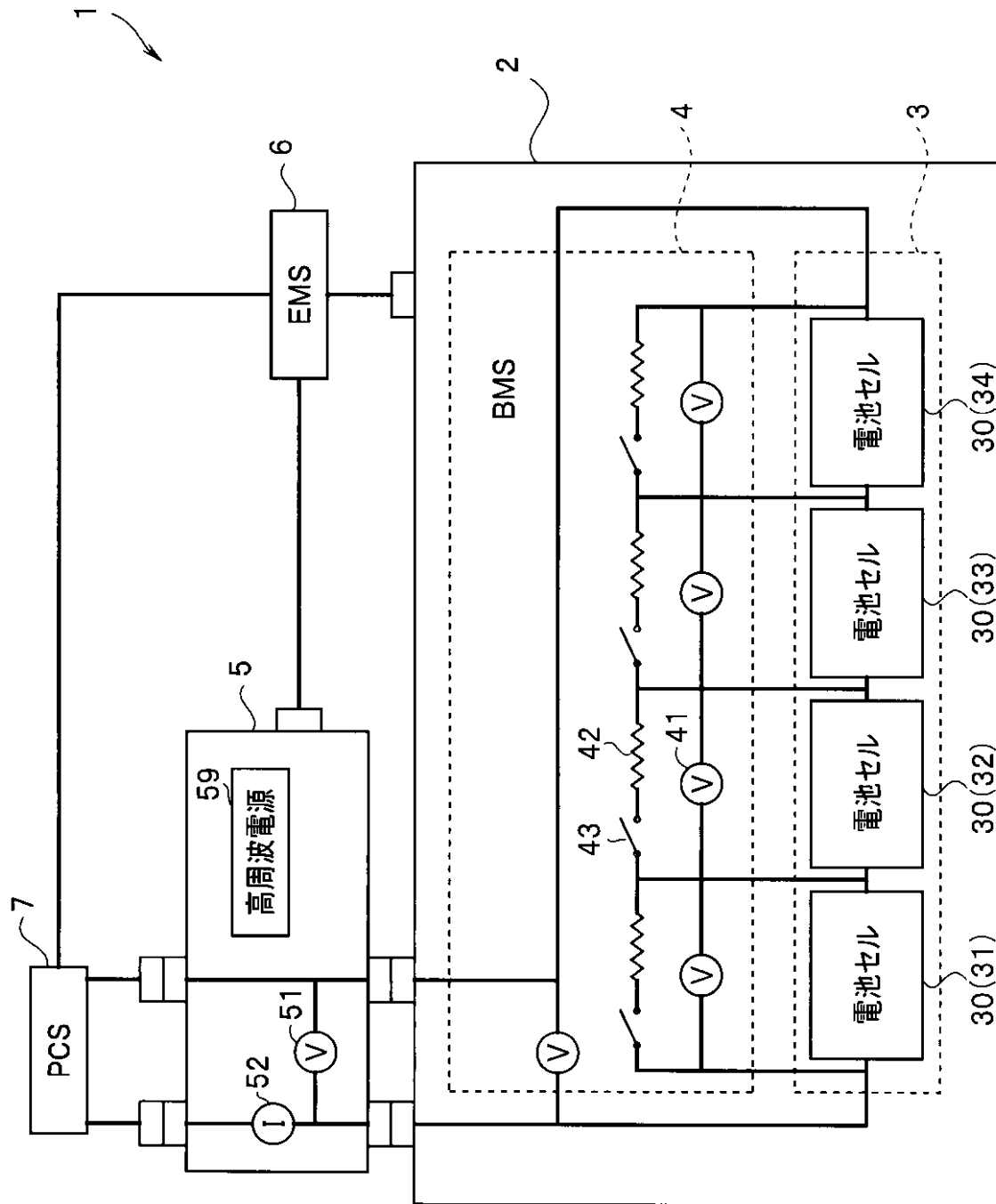
20

30

40

50

- 4 2…抵抗
 4 3…スイッチ
 5 1…電圧計
 5 2…電流計
 5 9…高周波電源
 【図 1】



10

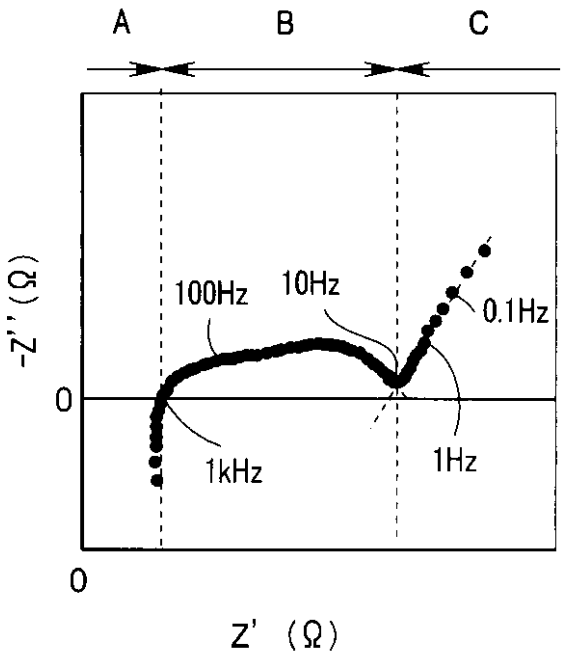
20

30

40

50

【図 2】



10

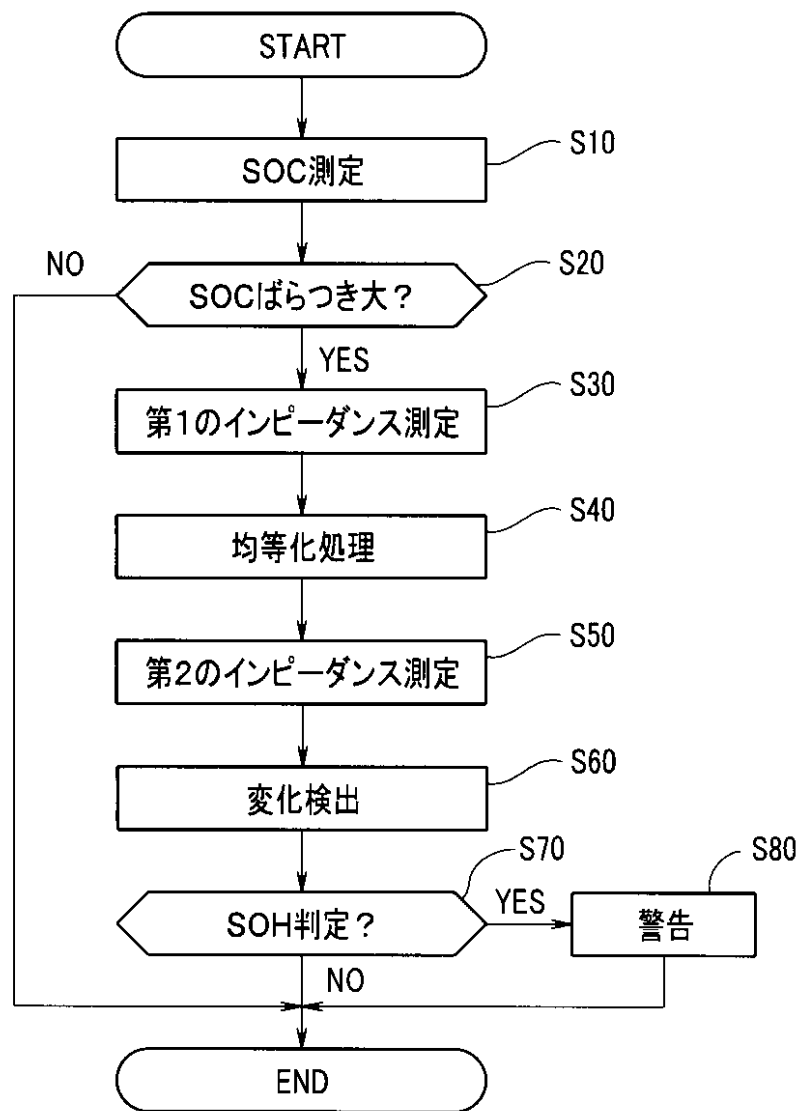
20

30

40

50

【図 3】



10

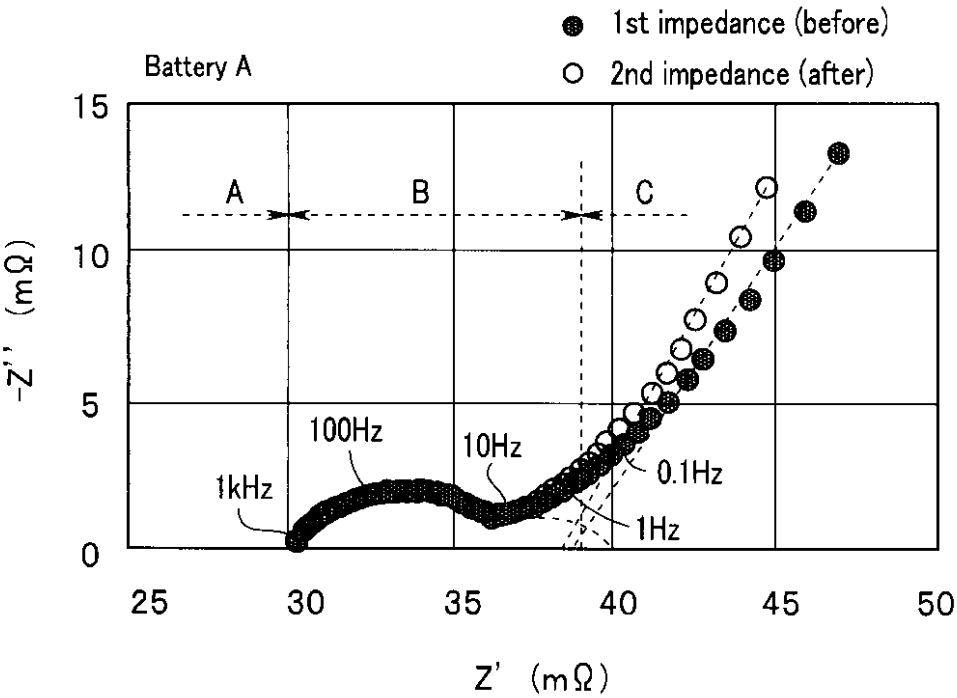
20

30

40

50

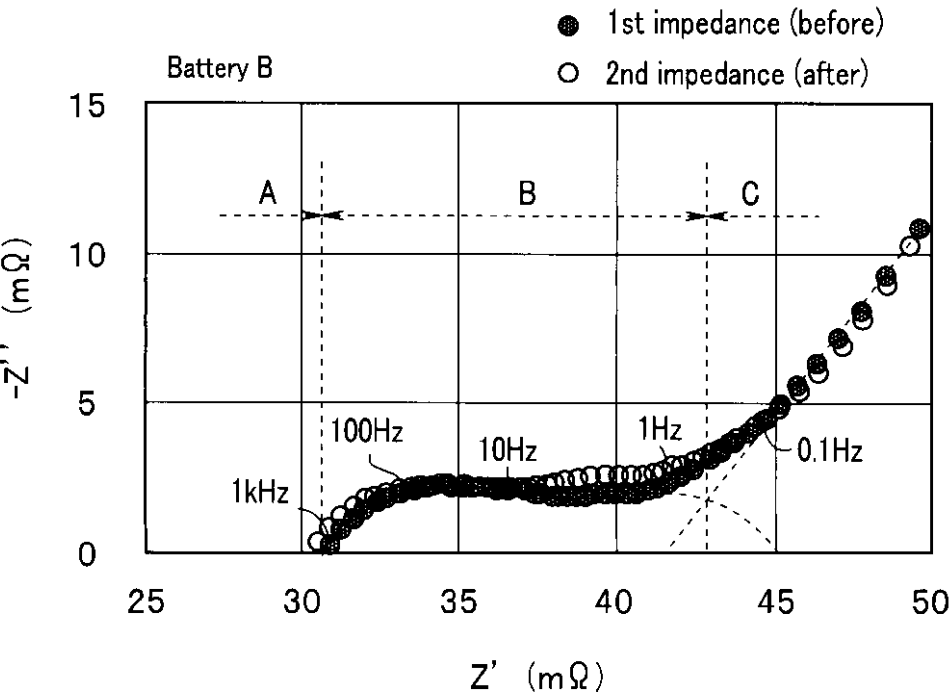
【図 4】



10

20

【図 5】

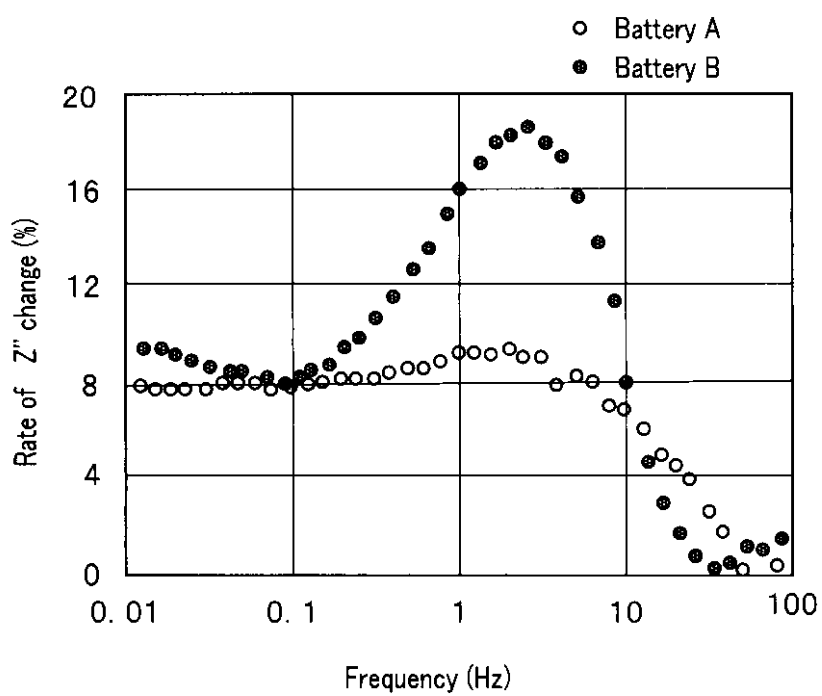


30

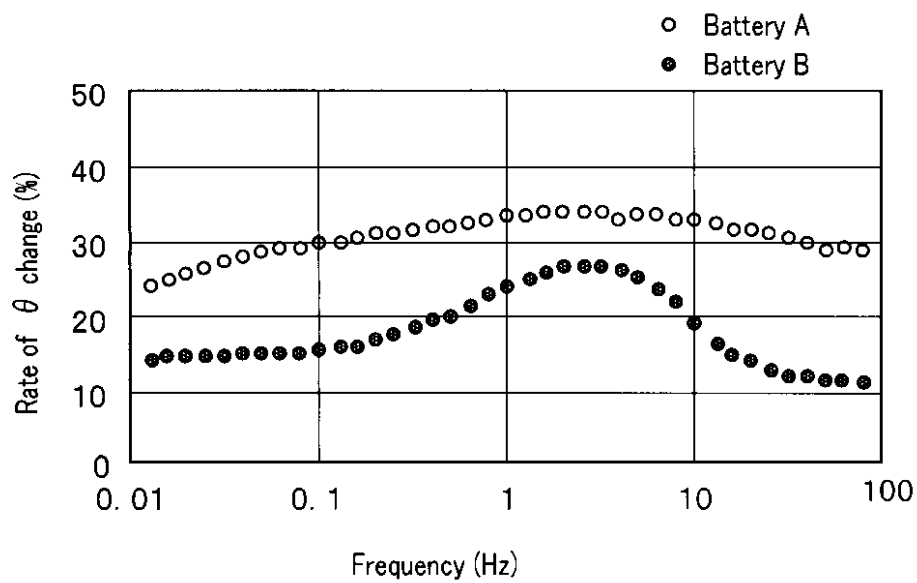
40

50

【図 6】



【図 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G O I R 31/388 (2019.01) G O I R 31/388

F ターム(参考) 2G216 AB01 BA03 BA23 BA56 BA59 CA07 CB17 CD03 CD04
5G503 BA03 BB01 BB02 EA09 GD02 HA01
5H030 AA10 AS08 FF22 FF41 FF42 FF43 FF44 FF51 FF52