

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特 許 公 報(B2)

(11)特許番号
特許第7261477号
(P7261477)

(45)発行日 令和5年4月20日(2023.4.20)

(24)登録日 令和5年4月12日(2023.4.12)

(51)Int.Cl. F I

H O 1 M 10/48 (2006.01)

H O 1 M 10/48 A

H O 1 M 10/613 (2014.01)

H O 1 M 10/48 3 0 1

H O 1 M 10/615 (2014.01)

H O 1 M 10/48 P

H O 1 M 10/625 (2014.01)

H O 1 M 10/613

H O 1 M 10/6571 (2014.01)

H O 1 M 10/615

請求項の数 8 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2019-168850(P2019-168850)	(73)特許権者	899000068
(22)出願日	令和1年9月17日(2019.9.17)		学校法人早稲田大学
(65)公開番号	特開2021-48016(P2021-48016A)		東京都新宿区戸塚町1丁目104番地
(43)公開日	令和3年3月25日(2021.3.25)	(74)代理人	110002907
審査請求日	令和4年6月3日(2022.6.3)		弁理士法人イトーシン国際特許事務所
		(72)発明者	逢坂 哲彌
			東京都新宿区戸塚町一丁目104番地 学
			校法人早稲田大学内
		(72)発明者	戸ヶ崎 徳大
			東京都新宿区戸塚町一丁目104番地 学
			校法人早稲田大学内
		(72)発明者	横島 時彦
			東京都新宿区戸塚町一丁目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】 電池状態推定方法および電池システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電池の所定の周波数におけるインピーダンス特性が、複数の第1の温度のそれぞれにおいて測定される工程と、
前記第1の電池の前記複数の第1の温度における前記インピーダンス特性と、予め記憶されている第2の電池のデータとを用いて、前記第1の電池の充電状態の範囲が推定される工程と、を具備し、
前記第2の電池の前記データは、
前記第1の電池と同じ仕様の前記第2の電池の前記所定の周波数における前記インピーダンス特性が、複数の充電状態、および、複数の第2の温度において、測定される第1の工程と、
前記複数の第2の温度のそれぞれにおいて、充電状態の変化に応じて前記インピーダンス特性が変化しはじめる充電状態であるSOC変化点、および、変化しはじめる前の前記インピーダンス特性であるインピーダンス底値が取得される第2の工程と、
前記SOC変化点と温度との関係および前記インピーダンス底値と前記温度との関係を含む前記第2の電池のデータが取得される第3の工程と、
前記第2の電池の前記データが記憶される第4の工程と、によって取得され記憶されることを特徴とする電池状態推定方法。

【請求項2】

前記インピーダンス特性が、リアクタンスであることを特徴とする請求項1に記載の電池

状態推定方法。

【請求項3】

前記所定の周波数は、第1の周波数以下、第2の周波数以上であり、
前記第1の周波数は、所定の充電状態の前記第2の電池の複素インピーダンスの周波数特性であるコイルコイルプロットにおいて拡散抵抗成分がゼロの領域における最も低い周波数であり、
前記第2の周波数は、前記コイルコイルプロットにおいて前記拡散抵抗成分を含む領域における、リアクタンスが前記第1の周波数と同じである周波数であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の電池状態推定方法。

【請求項4】

前記所定の周波数が、10mHz以上500mHz以下であることを特徴とする請求項3に記載の電池状態推定方法。

【請求項5】

推定された前記第1の電池の充電状態の範囲に基づいて、前記第1の電池の前記インピーダンス特性が、前記複数の第1の温度の範囲よりも、狭い範囲の複数の第3の温度において測定される工程と、
前記第1の電池の前記複数の第3の温度における前記インピーダンス特性と、前記第2の電池のデータとを用いて、前記第1の電池の充電状態の範囲が再度、推定される工程と、
をさらに具備することを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の電池状態推定方法。

【請求項6】

前記第2の電池の前記データを用いて、複数の第1の電池の充電状態の範囲が推定されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の電池状態推定方法。

【請求項7】

第1の電池と、
前記第1の電池の所定の周波数におけるインピーダンス特性を、複数の第1の温度において測定する測定手段と、
前記第1の電池と同じ仕様の第2の電池の前記所定の周波数における前記インピーダンス特性が充電状態の変化に応じて変化しはじめる充電状態であるSOC変化点と温度との関係、および、変化しはじめる前の前記インピーダンス特性であるインピーダンス底値と前記温度との関係を含む前記第2の電池のデータが記憶されている記憶手段と、
前記第1の電池の前記複数の第1の温度における前記インピーダンス特性と、前記記憶手段が記憶している前記第2の電池のデータとから、前記第1の電池の充電状態の範囲を推定する演算手段と、を具備することを特徴とする電池システム。

【請求項8】

前記第1の電池の温度を増減する温度調整手段と、
前記温度調整手段を制御する温度制御手段と、を更に具備することを特徴とする請求項7に記載の電池システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、二次電池の充電状態を推定する電池状態推定方法、および、二次電池の充電状態を推定する電池システムに関する。

【背景技術】

【0002】

携帯機器、電動工具および電気自動車等に二次電池が用いられている。二次電池の中でリチウムイオン電池は、リチウムのイオン化傾向が大きいことから、高電圧、高出力、高エネルギー密度である。リチウムイオン電池は、定置用電源および非常用電源などの大型電源への応用も期待されている。

【0003】

二次電池の特性を測定する方法として、交流インピーダンス測定法が知られている。特開 2009-97878 号公報には、交流インピーダンス法によって取得した電池のコルコールプロットを、等価回路モデルを用いて解析する測定方法が開示されている。

【0004】

特開 2018-151194 号公報には、二次電池の充電状態（SOC: State of Charge）に対してインピーダンスが大きく変化しない領域では、電圧から SOC を推定し、SOC に対してインピーダンスが大きく変化する領域では、インピーダンスを用いて SOC を推定する装置が開示されている。

【0005】

しかし、異なる方法を用いて推定した SOC は、推定方法によって SOC の信頼性が異なるおそれがある。特に、推定方法が切り替わった前後の SOC には連続性がなく精度が低下するおそれがあった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2009-97878 号公報

【特許文献 2】特開 2018-151194 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の実施形態は、広範囲の充電状態を同じ方法で精度良く推定できる電池状態推定方法、および、広範囲の充電状態を同じ方法で精度良く推定できる電池システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の実施形態の電池の推定方法は、第 1 の電池の所定の周波数におけるインピーダンス特性が、複数の第 1 の温度のそれぞれにおいて測定される工程と、前記第 1 の電池の前記複数の第 1 の温度における前記インピーダンス特性と、予め記憶されている第 2 の電池のデータとを用いて、前記第 1 の電池の充電状態の範囲が推定される工程と、を具備し、前記第 2 の電池の前記データは、前記第 1 の電池と同じ仕様の前記第 2 の電池の前記所定の周波数における前記インピーダンス特性が、複数の充電状態、および、複数の第 2 の温度において、測定される第 1 の工程と、前記複数の第 2 の温度のそれぞれにおいて、充電状態の変化に応じて前記インピーダンス特性が変化しはじめる充電状態である SOC 変化点、および、変化しはじめる前の前記インピーダンス特性であるインピーダンス底値が取得される第 2 の工程と、前記 SOC 変化点と温度との関係および前記インピーダンス底値と前記温度との関係を含む前記第 2 の電池のデータが取得される第 3 の工程と、前記第 2 の電池の前記データが記憶される第 4 の工程と、によって取得され記憶される。

【0009】

別の実施形態の電池システムは、第 1 の電池と、前記第 1 の電池の所定の周波数におけるインピーダンス特性を、複数の第 1 の温度において測定する測定手段と、前記第 1 の電池と同じ仕様の第 2 の電池の前記所定の周波数における前記インピーダンス特性が充電状態の変化に応じて変化しはじめる充電状態である SOC 変化点と温度との関係、および、変化しはじめる前の前記インピーダンス特性であるインピーダンス底値と前記温度との関係を含む前記第 2 の電池のデータが記憶されている記憶手段と、前記第 1 の電池の前記複数の第 1 の温度における前記インピーダンス特性と、前記記憶手段が記憶している前記第 2 の電池のデータとから、前記第 1 の電池の充電状態の範囲を推定する演算手段と、を具備する。

【発明の効果】

【0010】

本発明の実施形態によれば、広範囲の充電状態を同じ方法で精度良く推定できる電池状態

10

20

30

40

50

推定方法、および、広範囲の充電状態を同じ方法で精度良く推定できる電池システムを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施形態の電池システムの構成図である。

【図2】実施形態の推定方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】第2の電池の45℃におけるリアクタンスとSOCとの関係を示すグラフである。

【図4】第2の電池の25℃におけるリアクタンスとSOCとの関係を示すグラフである。

【図5】第2の電池の0℃におけるリアクタンスとSOCとの関係を示すグラフである。

【図6】第2の電池の-20℃におけるリアクタンスとSOCとの関係を示すグラフである。

【図7】第2の電池の温度とインピーダンス底値との関係を示すグラフである。

【図8】第2の電池の温度とSOC変化点との関係を示すグラフである。

【図9】実施形態の推定方法を説明するための図である。

【図10】第2の電池のレジスタンス Z' とSOCとの関係を示すグラフである。

【図11】第2の電池のインピーダンス絶対値 $|Z|$ とSOCとの関係を示すグラフである。

【図12】実施形態の変形例1の推定方法を説明するためのフローチャートである。

【図13】実施形態の変形例1の推定方法を説明するための図である。

【図14】実施形態の変形例2の第2の電池のコールコールプロットである。

【図15】図14の部分拡大図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

<電池システムの構成>

図1に示すように、実施形態の電池システム1は、第1の電池20と、温度調整装置29と、CPU30と、電源40と、を具備する。第1の電池20および電源40は図示しない負荷（モーター等）と接続されている。

【0013】

第1の電池20は、例えば、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／放出する負極とを含む単位セルを有するリチウムイオン二次電池である。正極は例えばリチウムコバルト酸化物を含有している。負極は例えば炭素材料を含有している。セパレータは例えばポリオレフィンからなる。そして電解質は例えばLiPF₆を環状および鎖状カーボネートに溶解した電解質である。第1の電池20は、多孔質等からなるセパレータの内部に電解質が充填された構造であってもよい。

【0014】

電源40は、第1の電池20に所定の周波数の測定信号を印加する。CPU30は、記憶手段であるメモリ31と、制御手段であるコントローラ32と、測定手段である測定回路33と、演算手段である演算回路34と、を含む。メモリ31は、電池システム1の制御データを記憶している。制御データは、後述する第2の電池（不図示）のデータを含んでいる。第2の電池と第1の電池20とは同じ仕様である。

【0015】

コントローラ32は、電池システム1の全体を制御するとともに、第1の電池20の温度を制御する温度制御手段である温度制御部32Aを含んでいる。温度制御部32Aは、温度検出手段であるセンサ29Aを含む温度調整手段である温度調整装置29を制御する。センサ29Aは温度調整装置29とは別体でもよい。測定回路33は第1の電池20の所定の測定周波数におけるインピーダンス特性を測定する。演算回路34は第1の電池20の充電状態の範囲を推定する。

【0016】

10

20

30

40

50

なお、メモリ31と、コントローラ32と、測定回路33と、演算回路34と、は独立した回路でもよいし、これらはプログラムにもとづきCPU30が行う機能でもよい。また、電池システム1が別体の他のシステムの一部として使用されている場合等において、他のシステムのCPUを、CPU30として用いてもよい。他のシステムは、複数の電池システム1が共通に用いるクラウドシステムでもよい。

【0017】

発明者は、インピーダンス特性がSOCに対して大きくは変化しない領域（コンスタントゾーン）から大きく変化する領域（変化ゾーン）に移行するSOCであるSOC変化点（TSOC）が温度に大きく依存することを見出した。

【0018】

電池システム1のメモリ31に記憶されている第2の電池のデータは、第2の電池のSOC変化点（TSOC）と温度との関係、および、コンスタントゾーンにおけるインピーダンス特性であるインピーダンス底値（ZB）と温度との関係、を含む。第2の電池のデータは、複数の電池システム1の共通データであり、電池システム1を製造する前に取得される。それぞれの電池システム1は第2の電池のデータを取得する機能を有している必要は無い。

【0019】

後述するように電池システム1は、測定回路33が測定したインピーダンス特性と、メモリ31が記憶している第2の電池のデータとから、第1の電池20の充電状態の範囲を推定する。

【0020】

電池システム1は、SOC変化点の温度依存性を用いることによって、広範囲の充電状態を同じ方法によって精度良く取得できる、

【0021】

<電池システムの動作>

図2のフローチャートにそって、電池システム1による電池状態推定方法について説明する。

【0022】

<ステップS10～S30>第1の工程（第2の電池の測定工程）

ステップS10では、第1の電池20と同じ仕様の第2の電池（不図示）の複数の第2の温度、所定の測定周波数におけるインピーダンス特性が、複数の充電状態（SOC）において、それぞれ測定される。第2の電池には、所定の測定周波数の交流信号が印加される。

【0023】

測定周波数は、SOCに対してインピーダンス特性が大きく変化する周波数、例えば、100mHzである。測定周波数は、予め、複数のSOCの第2の電池のインピーダンス特性の周波数依存性にもとづき設定される。

【0024】

具体的には、異なるSOCの第2の電池のインピーダンス特性の周波数特性を、それぞれ測定し、SOCに対するインピーダンス特性の変化率の周波数依存性を算出し、最も大きい変化率（ $\Delta Z / \Delta f$ ；Z：インピーダンス、f：周波数）の周波数を測定周波数とする。

【0025】

例えば、第2の電池のインピーダンス特性が、SOCを0%～100%に変化させながら、複数の第2の温度のひとつである45℃において測定される。具体的には、振幅5mV、周波数100mHzの正弦波信号が、充電中または放電中の第2の電池に印加される。測定するSOCの数は、1%毎、すなわち0%～100%を測定する場合には101個であることが好ましいが、5%毎、すなわち21個程度でもよい。また後述するように推定するSOC範囲に応じて、測定するSOC範囲を限定してもよい。

【0026】

10

20

30

40

50

なお、第2の電池のSOCと電圧との関係が予め取得されている場合には、SOCに変えて電圧を用いてもよい。例えば、第2の電池を負荷に接続し、放電しながらインピーダンス特性を測定してもよい。もちろん、充電しながら、インピーダンス特性を測定してもよい。例えば、第2の電池の電圧は、SOC100%では、4.20Vであり、SOC0%では、3.00Vである。

【0027】

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 $|Z|$ のうち、少なくともいずれかである。所定の温度に第2の電池を維持するためには、例えば、恒温槽を用いる。なお、充電中または放電中の第2の電池の発熱による温度変化を利用して複数の温度におけるインピーダンス特性を測定してもよい。

10

【0028】

図3に、45℃における第2の電池のリアクタンス（ $-Z''$ ）とSOCとの関係を示す。SOCが30%以上90%以下の範囲（コンスタントゾーン）では、リアクタンスは、ほぼ一定である。SOCが30%以下の範囲（変化ゾーン）では、リアクタンスは大きく増加している。SOCが90%以上の範囲（変化ゾーン）でも、リアクタンスは増加している。すなわち、リアクタンスとSOCとの関係は、SOC中央値（50%）近傍において、リアクタンスが、一定の最小値であるインピーダンス底値 Z_B となる、いわゆるバスタブ型である。

【0029】

ステップS20では、予め設定されている複数の第2の温度における測定が全て終了している場合（Yes）には、ステップS30に移行する。測定が終了していない場合（No）には、ステップS30において、第2の温度が変更される。

20

【0030】

第2の温度の数は、最低2つであるが、第1の電池20のSOC推定のために、広いSOC範囲をカバーするためには、3つ以上が好ましく、4つ以上が特に好ましい。第2の温度の数に上限は特にないが、例えば、100以下である。すなわち、ステップS10～S30は、第1の電池20のSOCを推定するための基礎データを取得する工程であるため、多くの温度において測定を行っても、第1の電池20の推定時間に影響を及ぼすことはない。

30

【0031】

第2の温度は、広いSOC範囲をカバーするために、室温（25℃）よりも低い温度と高い温度とを含むことが好ましい。本実施形態では、図3～図6に示すように、第2の温度は、45℃、25℃、0℃、-20℃の4つである。

【0032】

＜ステップS40＞第2の工程（ Z_B およびTSOC取得）

それぞれの第2の温度におけるリアクタンスが充電状態の変化に応じて変化しはじめる前のリアクタンスであるインピーダンス底値 Z_B が取得される。インピーダンス底値 Z_B は、リアクタンスの最小値でもよいし、例えば、図3において、SOC30%以上50%以下の領域（コンスタントゾーン）の値を近似した直線から取得されてもよい。

40

【0033】

次に、それぞれの第2の温度におけるSOC変化点（TSOC）が取得される。コンスタントゾーンと変化ゾーンとの境界がSOC変化点である。本実施形態では、SOC変化点は、SOCの変化に応じてインピーダンス特性が変化する2つの変化ゾーンのうちの低SOC側（ $SOC \leq 50\%$ ）のSOCである。

【0034】

例えば、図3（45℃）において、SOC変化点（TSOC）は、リアクタンスの傾きが所定値以上、例えば、0.001（ $\Omega/\%$ ）以上となったSOCであり、その値は9%である。SOC変化点の取得方法として、SOC5%以下の領域の値を近似した直線と、SOC30%以上50%以下の領域の値を近似した直線との交点のSOCである5.5%を

50

用いてもよい。

【0035】

SOC変化点(TSOC)の取得には、各種の方法を用いることができる。例えば、SOC変化点TSOCは、リアクタンスがインピーダンス底値ZBよりも、 ΔZ だけ大きいSOCでもよい。 ΔZ は例えばインピーダンス底値ZBの1%以上100%以下である。 ΔZ はリアクタンスの絶対値によって設定されてもよい。

【0036】

図3～図6に示すリアクタンスは、変化ゾーンにおいてリアクタンスが増加している。しかし、インピーダンス特性の種類によっては、変化ゾーンにおいてインピーダンス特性が減少することもある。

【0037】

<ステップS50>第3の工程(ZBおよびTSOCの温度との関係取得)

図7に示す温度とインピーダンス底値ZBとの関係が図3～図6から取得される。また、図8に示した温度とSOC変化点(TSOC)との関係が取得される。

【0038】

これらの関係は、数式として取得されてもよいし、表として取得されてもよい。後述するように、測定点と測定点との間を近似して用いることができるために、これらの関係は数式として取得されることが好ましい。すなわち、これらの関係は測定点のデータだけで構成されているわけではない。

【0039】

<ステップS60>第4の工程(第2の電池のデータ記憶)

ステップS50において取得された第2の電池のデータ(測定条件、SOC変化点と第2の温度との関係、および、インピーダンス底値と第2の温度との関係)は、複数の電池システム1の共通データである。複数の電池システム1を生産するにあたって、第2の電池のデータが取得され、メモリ31に記憶される。言い替えれば、第2の電池のデータを用いて、複数の第1の電池20のSOC範囲が推定される。

【0040】

なお、複数の第2の電池に対してステップS10～S50の処理が行われ、複数の第2の電池のデータが平均化され、平均化されたデータが用いられてもよい。

【0041】

<ステップS70～S90>第1の電池の測定工程

第1の電池20は、第2の電池と同じ仕様であるが、SOCは未知である。例えば、第1の電池20は、使用中の電池システム1の一部である。

【0042】

第1の電池20の所定の周波数におけるリアクタンス Z'' が、複数の第1の温度のそれぞれにおいて測定される。電源40は、第2の電池のデータが測定されたときと同じ周波数の交流信号を第1の電池20に、印加する。

【0043】

温度制御部32Aが、第1の電池20の温度が所定の第1の温度となるように温度調整装置29を制御する。温度調整装置29は、温度センサ29Aと、例えば、ヒーターおよびペルチェ素子と、を有する。第1の電池20の温度が、複数の第1の温度のうちの1つである、例えば、45℃となるように、温度調整装置29が温度制御部32Aによって制御される。

【0044】

ステップS60において、所定の第1の温度における測定が行われる。複数の第1の温度の範囲xは、複数の第2の温度の範囲と同じでもよいし、狭くてもよい。ステップS80では、予め設定されている複数の第1の温度における測定が全て終了した場合(Yes)には、ステップS100に移行する。測定が終了していない場合(No)では、ステップS90において、温度が別の第1の温度に変更される。そして、再び、ステップS70において、インピーダンス特性が測定される。

10

20

30

40

50

【0045】

なお、複数の第1の温度のうちの最低温度である -20°C に冷却されている第1の電池を、最高温度である 45°C 以上の環境に放置することによって、第1の電池の温度が上昇することを利用して、複数の第1の温度におけるインピーダンス特性を測定してもよい。もちろん、 45°C に加温した第1の電池を、 -20°C 以下の環境に放置して測定してもよい。このため、電池システム1は、少なくとも温度センサ29Aを有していれば、温度制御部32Aおよび温度調整装置29を有していなくともよい。

【0046】

なお、第1の温度の数は第2の温度の数と同じでも良い。ただし、処理時間短縮のため、第1の温度の数は、第2の温度の数よりも少ないことが好ましい。例えば、第2の温度の数が100であっても、第1の温度の数は10以下であることが好ましい。

10

【0047】

<ステップS100>第1の電池のSOC範囲の推定工程

第1の電池20の複数の第1の温度におけるリアクタンスと、第3の工程で取得され、メモリ31に記憶されている第2の電池のデータ（例えば、図7、図8）と、から第1の電池20のSOC範囲が推定される。

【0048】

図9の下部は、図7に示した温度とインピーダンス底値ZBとの関係を示すグラフである。図9の上部は、図8に示した温度とSOC変化点TSOCとの関係を示すグラフである。

20

【0049】

図9の下部のグラフの黒円は、第1の電池20のリアクタンス（ $-Z''$ ）を示している。第1の電池20のリアクタンス（ $-Z''$ ）は、 -20°C および 0°C では第2の電池のインピーダンス底値ZBよりも大きく、 25°C および 45°C では第2の電池のインピーダンス底値ZBと略同じである。

【0050】

図9の上部のグラフから、温度が 0°C のときのTSOCは38%であり、温度が 25°C のときのTSOCは20%である。このため、第1の電池20のSOC範囲は、20%以上38%以下であると推定される。

【0051】

例えば、第1の電池20のリアクタンスが、 25°C 以下では、第2の電池のインピーダンス底値ZBよりも大きく、 45°C では第2の電池のインピーダンス底値ZBと略同じである場合には、第1の電池20のSOC範囲は、10%以上20%以下であると推定される。

30

【0052】

図8に示したように、SOC変化点と第2の温度との関係のSOC変化点TSOCは5%以上から60%以下の広範囲である。このため、本実施形態の電池状態推定方法は、広い範囲の充電状態を同じ方法によって精度良く取得できる。

【0053】

以上の説明では、SOCが50%以下の場合の推定方法であった。しかし、同じようにSOCが50%超のSOCを推定することもできる。高SOC範囲を推定するには、図3～図6に示したバスタブ型曲線の右側（高SOC範囲）のコンスタントゾーンと変化ゾーンとの境界をSOC変化点として用いる。また、電池システムでは、低SOC範囲における第2の電池のデータと、高SOC範囲における第2の電池のデータとが、メモリ31に記憶されていてもよい。

40

【0054】

第1の電池20は、リチウムイオン電池に限られるものではなく、例えばリチウムポリマー電池、または、リチウム硫黄電池でもよい。第1の電池20は、電解質が固体電解質である全固体電池でもよい。第1の電池20は、電解質が固体電解質である全固体電池でもよい。

50

【0055】

本実施形態では、インピーダンス特性は、リアクタンスであり、測定周波数は100mHzであった。しかし、インピーダンス特性の種類、測定周波数、および印加電圧等の測定条件は、電池の仕様によって適宜、選択可能である。

【0056】

すでに説明したように、インピーダンス特性として、リアクタンスに替えて、SOCとの関係がバスタブ型である、レジスタンス Z' (図10)、インピーダンス絶対値 $|Z|$ (図11)、または、位相角 θ (不図示)を用いることもできる。ただし、温度に対するTSOCの変化が最も顕著であるために、インピーダンス特性として、リアクタンスを使うことが好ましい。

10

【0057】

測定周波数は高いほど短時間での測定が可能であるが、インピーダンス特性の変化が顕著ではなくなる傾向がある。このため、測定周波数は10mHz以上500mHz以下であることが好ましい。

【0058】

複数の測定周波数を用いることによって、単一周波数を用いた測定よりも精度の高い測定が可能である。例えば、周波数50mHz、100mHz、150mHzにおいて、それぞれの工程を行い、温度に対するTSOCの変化が顕著な周波数による測定結果を組み合わせることによって、測定精度が向上する。

【0059】

<変形例>

変形例の電池状態推定方法および電池システム1A、1Bは、実施形態の電池状態推定方法および電池システム1と類似し、同じ効果を有しているのと同じ機能の構成要素には同じ符号を付し説明は省略する。

20

【0060】

<変形例1>

変形例1のフローチャートを図12に示す。

【0061】

実施形態の電池状態推定方法を用いて推定されるSOCは、複数の第1の温度の数が少ない場合等には、広い範囲であり精度が高くない場合がある。一方、精度を高くするために、第1の温度の数を増加すると、推定時間が長くなる。

30

【0062】

これに対して、変形例の推定方法および電池システム1Aでは、第1の温度での測定結果に基づき、第1の温度の温度範囲よりも狭い第3の温度の範囲において測定することによって、推定時間の増加を最小限としながらも、推定されるSOC範囲の精度を高めること、言い替えれば、推定されるSOC範囲を狭い範囲に絞り込むことができる。

【0063】

<ステップS10-S100>SOC範囲推定サブルーチン

すでに説明したステップS10-S100の処理が行われる。

【0064】

<ステップS110>(SOC範囲は所望の精度?)

ステップS10-S100(SOC範囲推定サブルーチン)において推定されたSOC範囲が所望の精度であるかどうか、コントローラ32によって判定される。例えば、推定されたSOC範囲が20%以上38%以下、すなわち、(29%±9%)が、所望の精度を満たしていないと判断される(No)と、工程はステップS120に移行する。

40

【0065】

<ステップS120>第3の温度の設定

ステップS100においてリアクタンスが、インピーダンス底値 Z_B よりも大きくなった温度と、それよりも高い温度との間に、複数の第3の温度がコントローラ32によって再設定される。すなわち、図13に示すように、第1の温度の範囲TW1よりも狭い温度範

50

図TW2の複数の第3の温度が設定される。

【0066】

例えば、第3の温度として、0℃と25℃との間に、5℃、10℃、15℃、20℃が設定される。

【0067】

＜ステップS130～S150＞第1の電池の再測定工程

ステップS70～ステップS90と同じように、設定された複数の第3の温度における第1の電池20のインピーダンス特性（リアクタンス）が、測定回路33によって測定される。

【0068】

＜ステップS150＞第1の電池のSOC範囲の再推定工程

ステップS100と同じように、第1の電池20の複数の第3の温度におけるリアクタンスと、第2の電池のデータと、から第1の電池20のSOC範囲が演算回路34によって、推定される。

【0069】

例えば、図13において黒円で示されている第1の電池20のリアクタンスは、15℃以下では第2の電池のインピーダンス底値ZBよりも大きく、20℃以上では第2の電池のインピーダンス底値ZBと略同じである。

【0070】

このため、第1の電池20のSOC範囲は、23%以上26%以下であると推定される。

【0071】

ステップS150において推定されるSOC範囲は、(24.5%±1.5%)であり、ステップS100において推定された範囲(29%±9%)よりも狭い。

【0072】

そして、ステップS110において、SOC範囲が所望の精度を満たしている場合(Yes)には、処理が終了する。もし、SOC範囲が未だ所望の精度を満たしていないと判断される(No)と、工程は再び、ステップS120に移行する。この場合に設定される温度範囲が、第3の温度の範囲(TW2)よりも更に狭くなる。

【0073】

＜実施形態の変形例2＞

すでに説明したように、最適の測定周波数を決定するには、SOCが異なる複数の第2の電池のインピーダンス特性の周波数依存性を、それぞれ測定する必要があった。

【0074】

しかし、変形例2の電池システム1Bでは、1つの第2の電池のインピーダンス特性の周波数依存性を測定するだけ、最適の測定周波数を決定することもできる。

【0075】

本変形例の電池状態推定方法では、以下に説明するように、コールコールプロットの解析工程によって、測定周波数を決定する

【0076】

＜複素インピーダンス測定工程＞

本変形例の推定方法では、測定周波数を決定するために、第1のSOCの第2の電池の複素インピーダンス（レジスタンスZ'およびリアクタンス-Z''）の周波数特性が測定される。

【0077】

ここで、第1のSOCは、SOC推定の基準としたい2つのSOCのうちの、リアクタンスが小さいSOCである。例えば、低SOC範囲の変化ゾーンのSOC推定を行う場合には、SOC20%が第1のSOCであり、SOC10%が第2のSOCである。

【0078】

第1のSOCと第2のSOCとの差は、5%以上20%以下であることが好ましい。前記範囲内であれば、推定精度が高い。

10

20

30

40

50

【0079】

複素インピーダンスの周波数特性の測定では、例えば、振幅 5 mV の正弦波信号が、周波数を高周波（1 kHz）から低周波（10 mHz）に変化しながら、第 2 の電池に印加される。

【0080】

図 14 は、第 2 の電池の複素インピーダンスの周波数特性を示すコールコールプロットである。コールコールプロットは、横軸がインピーダンスの実数成分（レジスタンス Z' ）であり縦軸がインピーダンスの虚数成分（リアクタンス $-Z''$ ）である。正極と負極とを有する二次電池のコールコールプロットは、負極反応に相当する高周波領域の半円と、正極反応に相当する低周波領域の半円と、拡散抵抗成分に相当する傾き 45 度の直線と、

10

【0081】

＜第 1 の周波数の取得＞

図 15 は、図 14 の部分拡大図である。図 15 に示すように、コールコールプロットにおいて拡散抵抗成分に相当する傾き 45 度の直線とリアクタンスがゼロの直線との交点、すなわち、拡散抵抗成分がゼロとなる点 O が算出される。そして、点 O のレジスタンス Z' と同じレジスタンス Z' となるコールコールプロットの測定点 A の周波数が、第 1 の周波数 f_1 として取得される。なお、測定点 A は拡散抵抗成分がゼロとなる最も低い周波数である。

【0082】

図 15 に示す例では、点 O のインピーダンス実数成分 Z' は、45 mΩ であり、同じレジスタンス Z' となる点 A の第 1 の周波数 f_1 は、610 mHz である。

20

【0083】

＜第 2 の周波数の取得＞

コールコールプロットにおいて、拡散抵抗成分を含む領域において、リアクタンスが、第 1 の周波数 f_1 と同じである周波数が、第 2 の周波数 f_2 として取得される。拡散抵抗成分を含む領域は、言い替えれば、第 1 の周波数 f_1 よりも低周波の領域である。

【0084】

図 15 に示す例では、点 A のリアクタンスは、6.8 mΩ であり、同じリアクタンスとなる点 B の第 2 の周波数 f_2 は、40 mHz である。

30

【0085】

＜測定周波数決定＞

第 1 の周波数 f_1 以下第 2 の周波数 f_2 以上の範囲の周波数 F が決定される。例えば、コールコールプロットの第 1 の周波数 f_1 の点と第 2 の周波数 f_2 の点とを結ぶ直線の中点 C のリアクタンスとなる周波数が測定周波数 F として決定される。図 8 に示したコールコールプロットでは、100 mHz が測定周波数 F として決定される。

【0086】

なお、図 14 から明らかなように、測定周波数 F の範囲 $f_1 - f_2$ は、正極反応に相当する低周波領域の半円の範囲である。すなわち、本変形例では、二次電池の正極反応におけるリアクタンスの変化をもとに SOC が推定される。

40

【0087】

測定周波数 F が前記範囲であれば、リアクタンスの変化率が大きい。例えば、リアクタンスの変化率 $((Z_{10} - Z_{20}) / Z_{20})$ は、第 1 の周波数 f_1 においては 620 % であり、第 2 の周波数 f_2 においては、680 % であり、100 mHz においては 1100 % であった。

【0088】

なお、従来の方法では、SOC 10 % の電池および SOC 20 % の電池のリアクタンスの周波数特性を、それぞれ測定し、さらに、SOC に対するリアクタンスの変化率の周波数依存性を取得し、変化率の最大値となる周波数が算出される。従来の方法では、周波数 125 mHz において、変化率は最大値 1150 % となった。

50

【0089】

本変形例では、SOC 20%の電池のリアクタンスの周波数特性を測定するだけで、従来の方法に匹敵するインピーダンス変化率が得られている。

【0090】

本変形例は、適切な測定周波数を含む第2の電池のデータを用いることによって、第1の電池20のSOCを精度良く容易に推定できる。

【0091】

本発明は、上述した実施形態等に限定されるものではない。本発明は、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等が可能である。

10

【符号の説明】

【0092】

- 1、1A、1B…電池システム
- 20…第1の電池
- 29…温度調整装置
- 31…メモリ
- 32…コントローラ
- 32A…温度制御部
- 33…測定回路
- 34…演算回路
- 40…電源

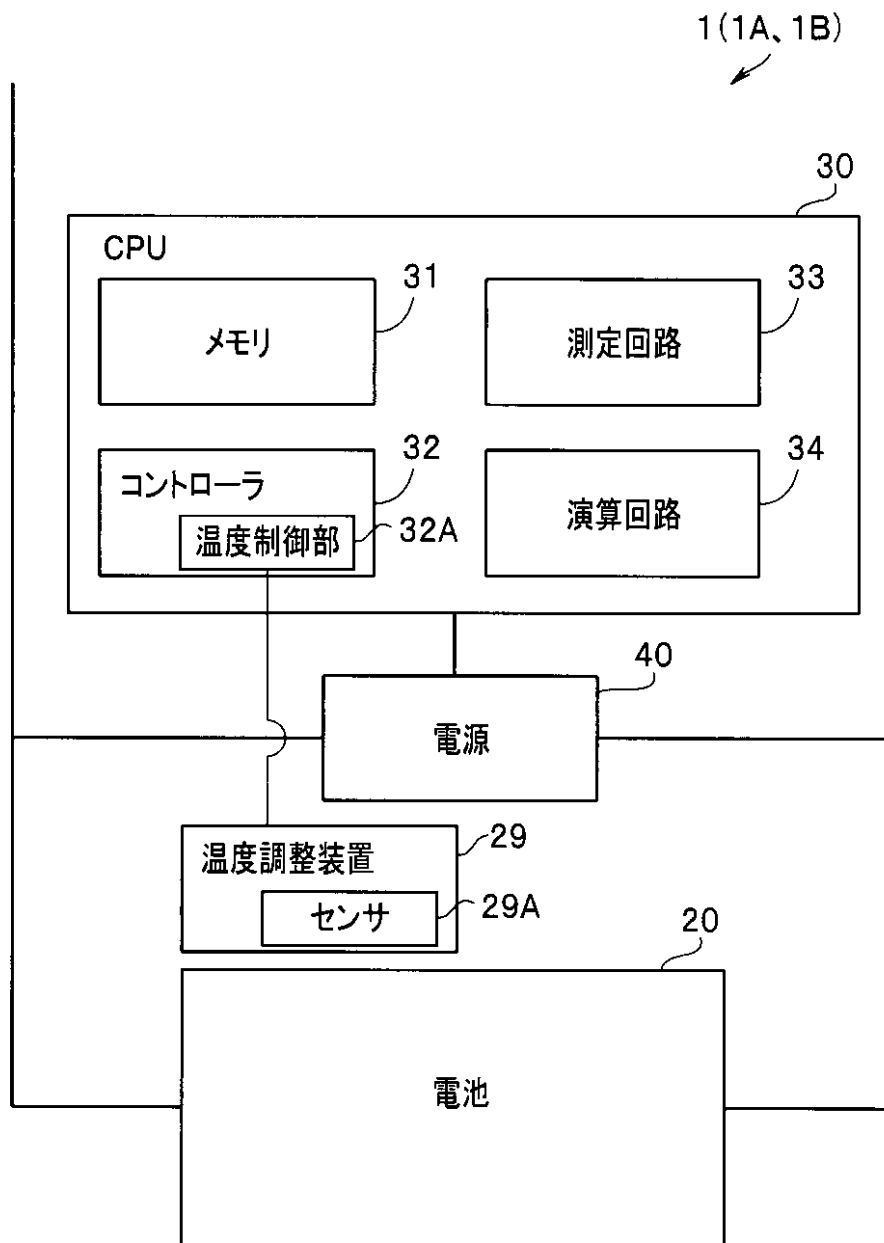
20

30

40

50

【図1】



10

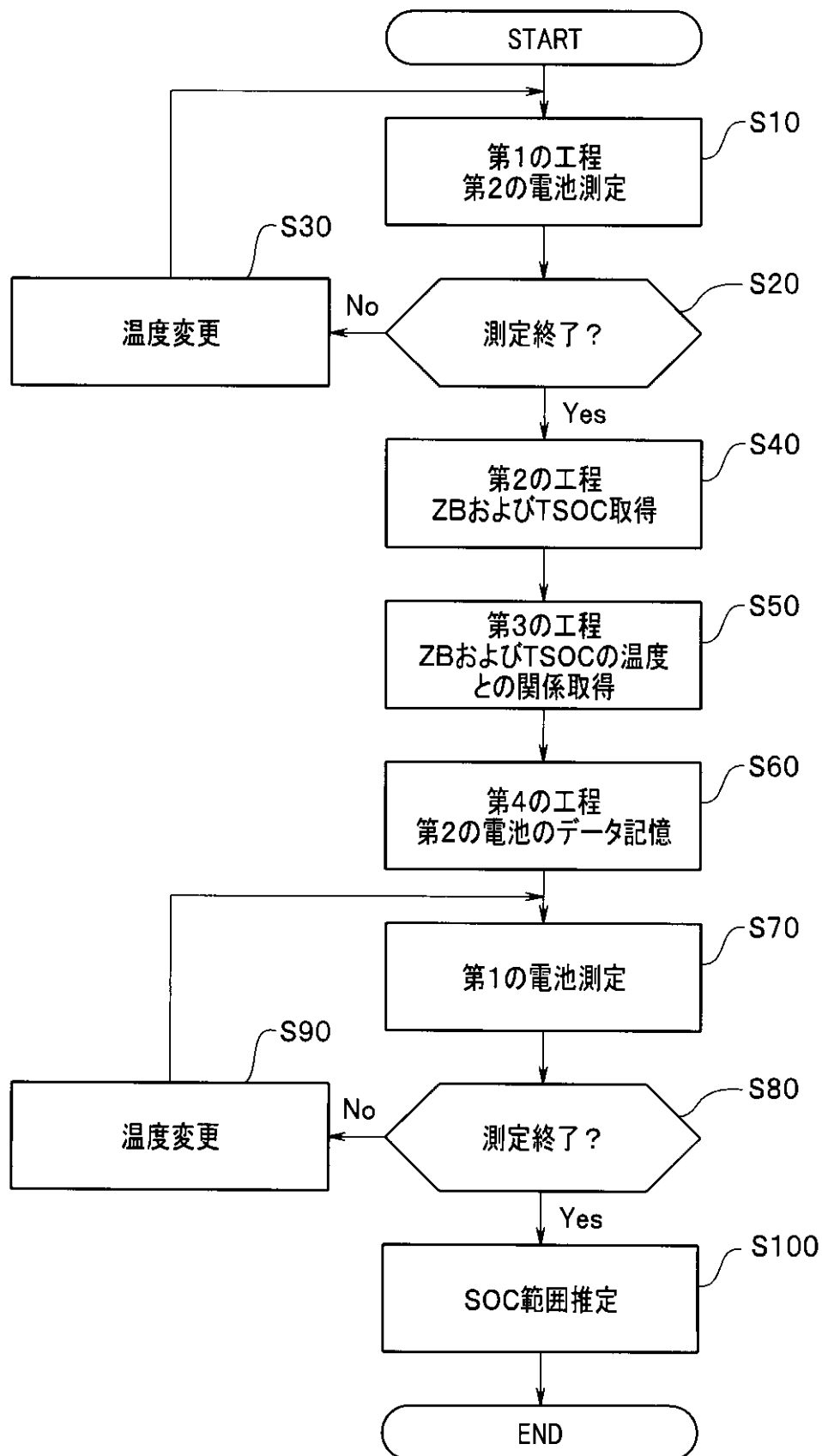
20

30

40

50

【図2】



10

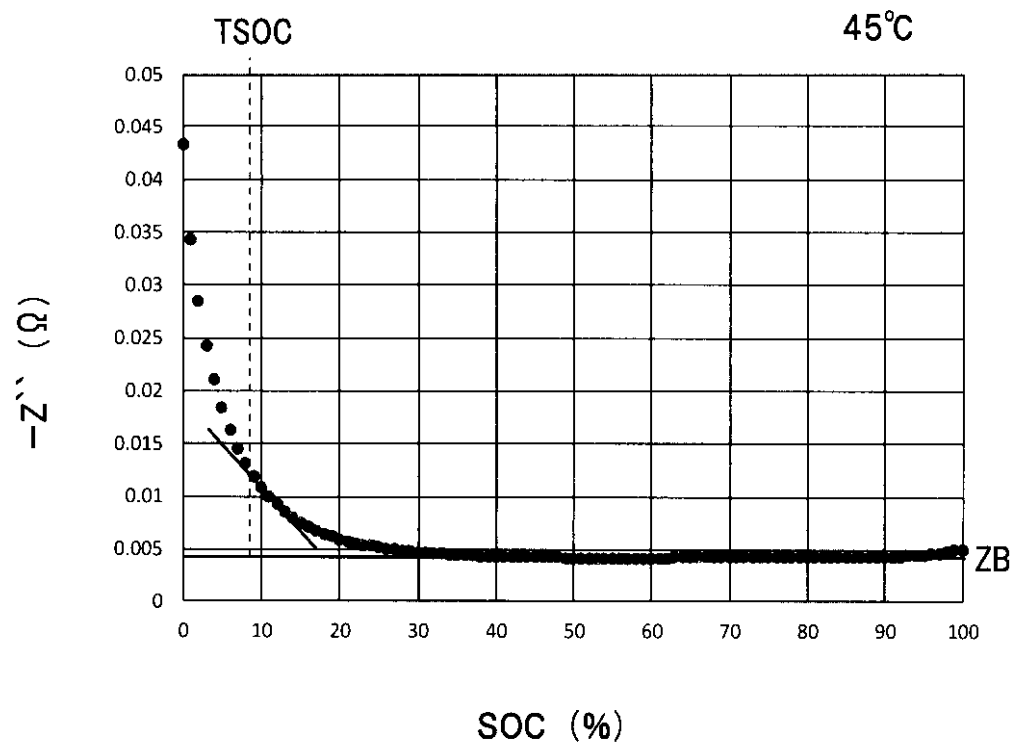
20

30

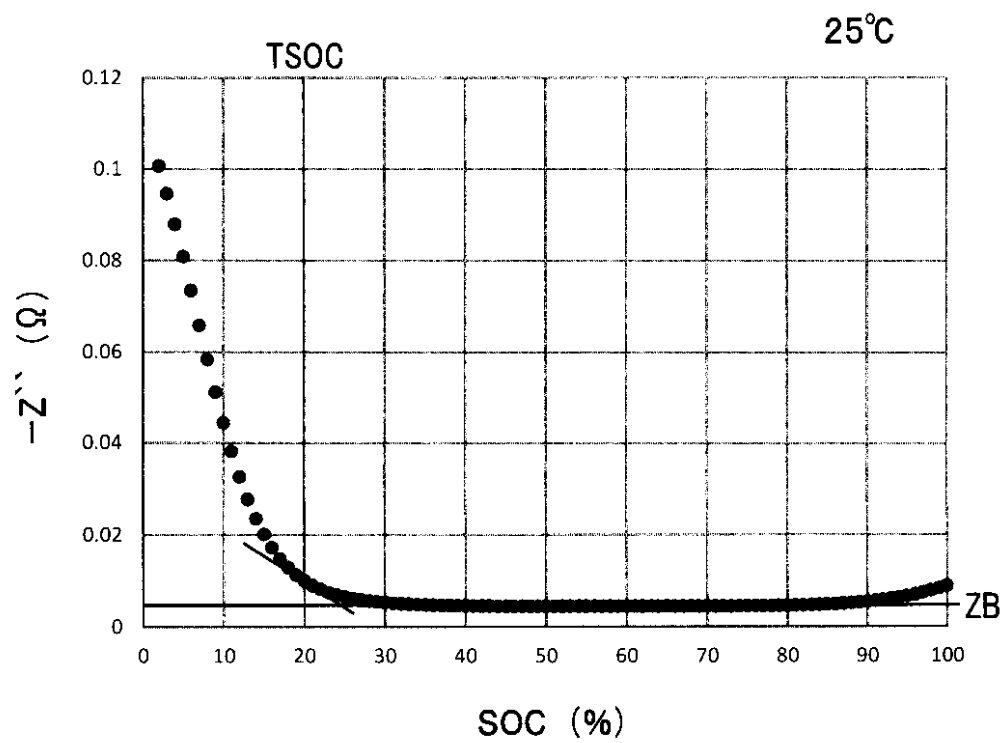
40

50

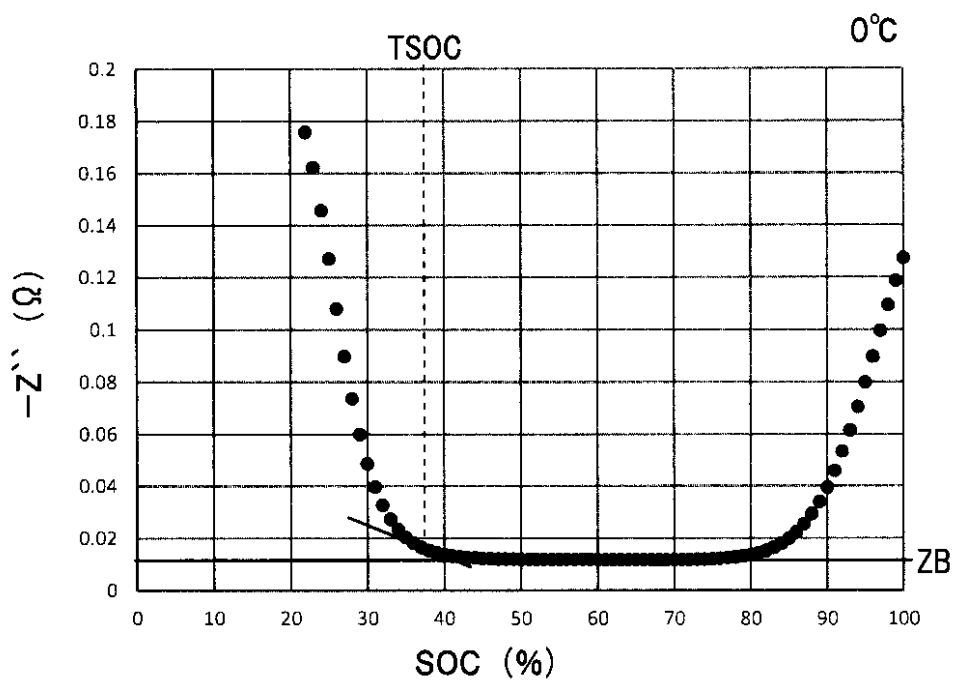
【図3】



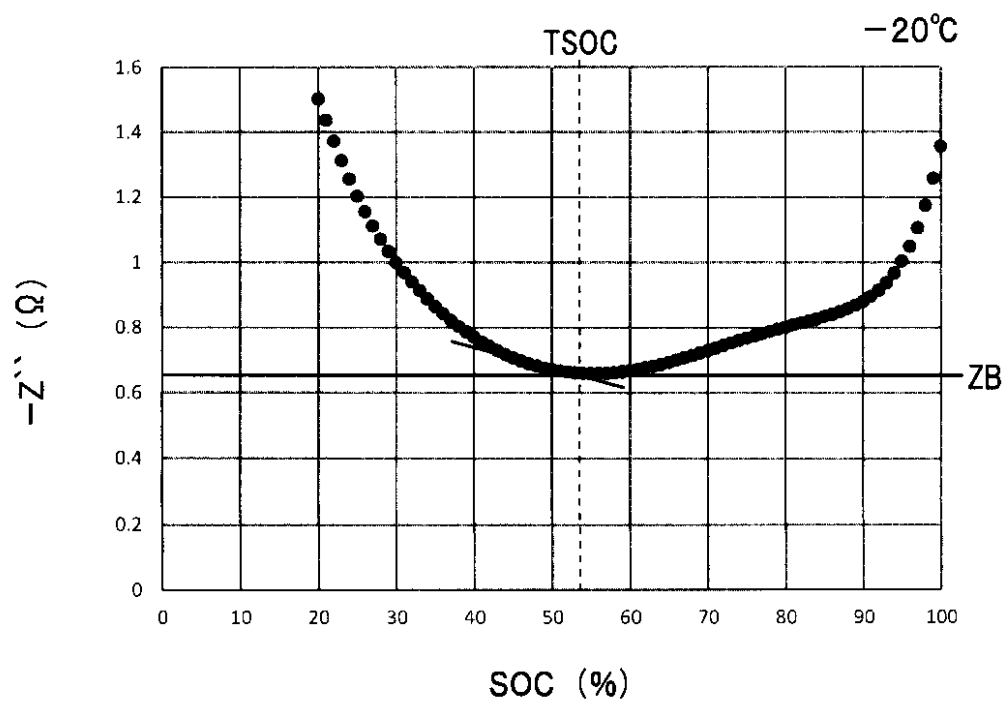
【図4】



【図5】



【図6】



10

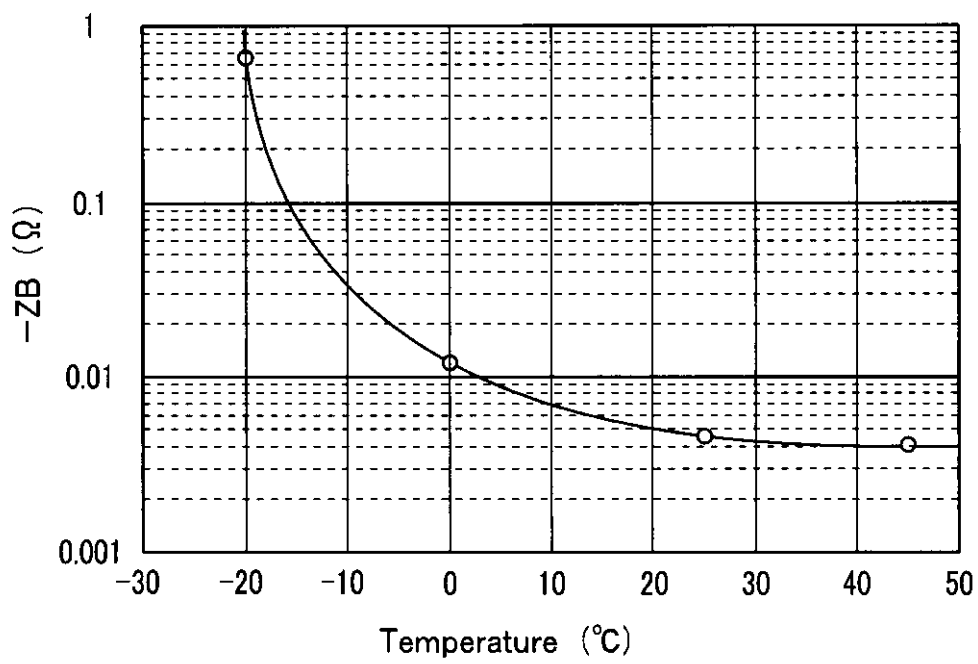
20

30

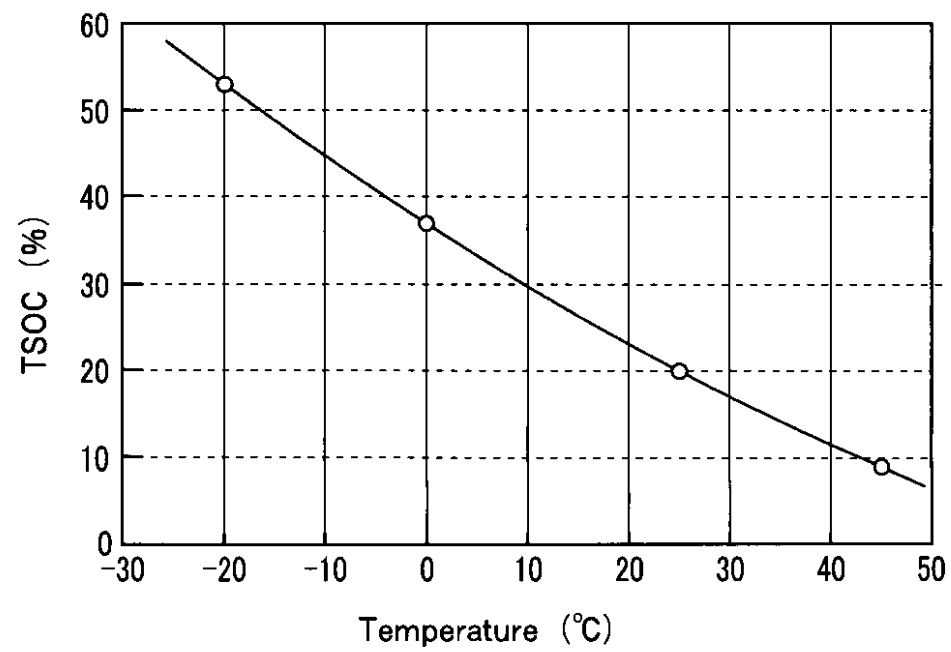
40

50

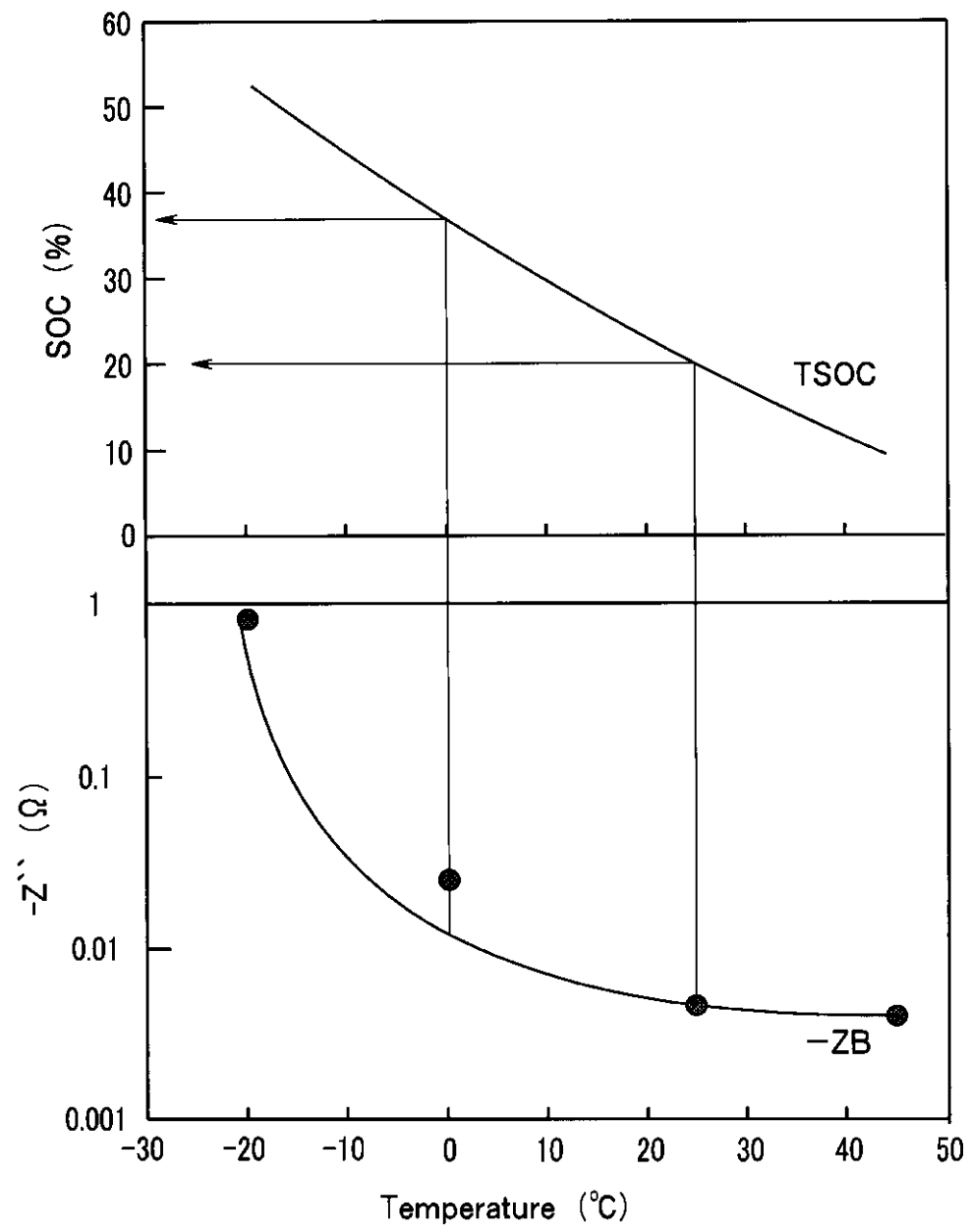
【図 7】



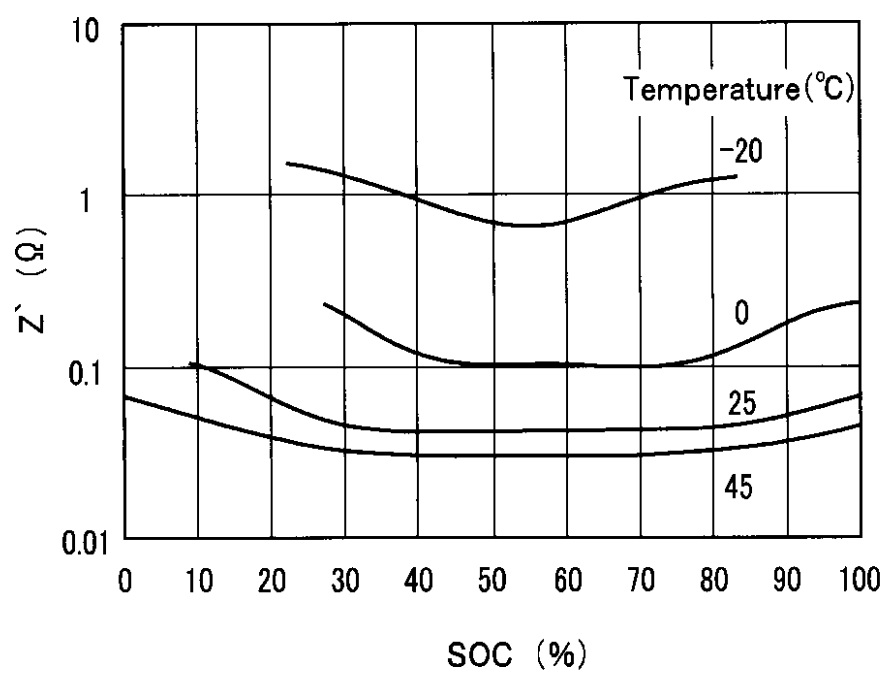
【図 8】



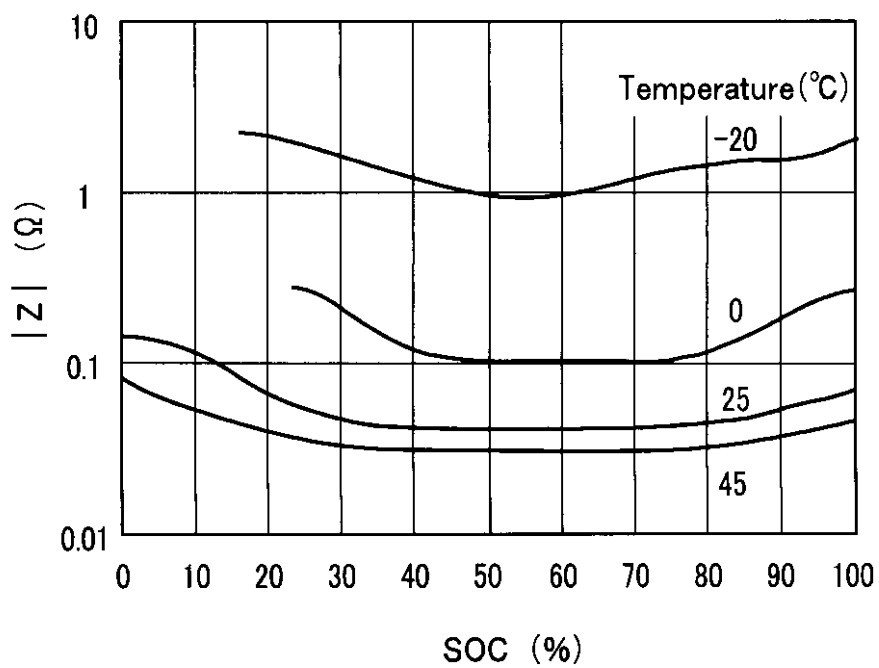
【図9】



【図 10】



【図 11】



10

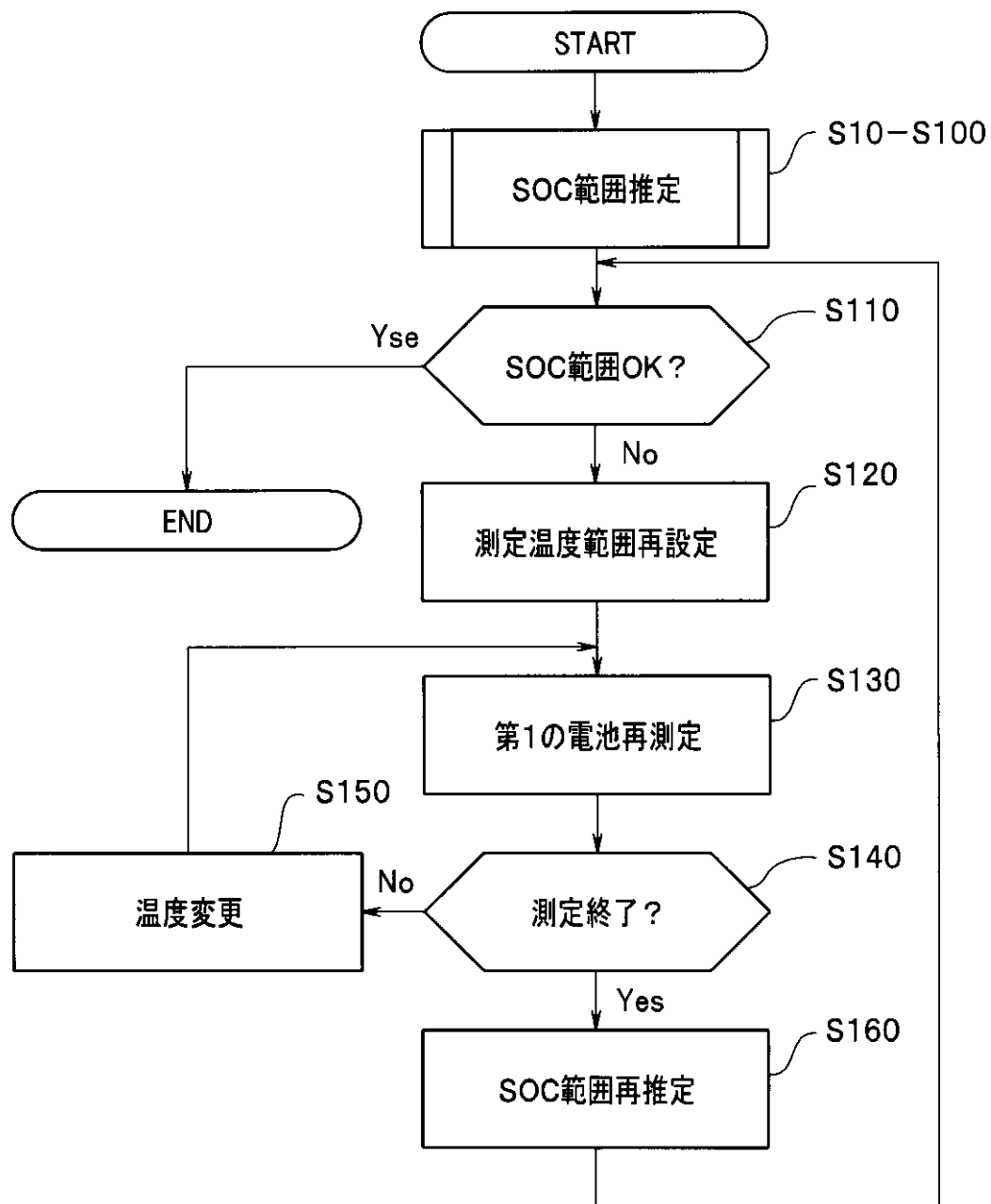
20

30

40

50

【図12】



10

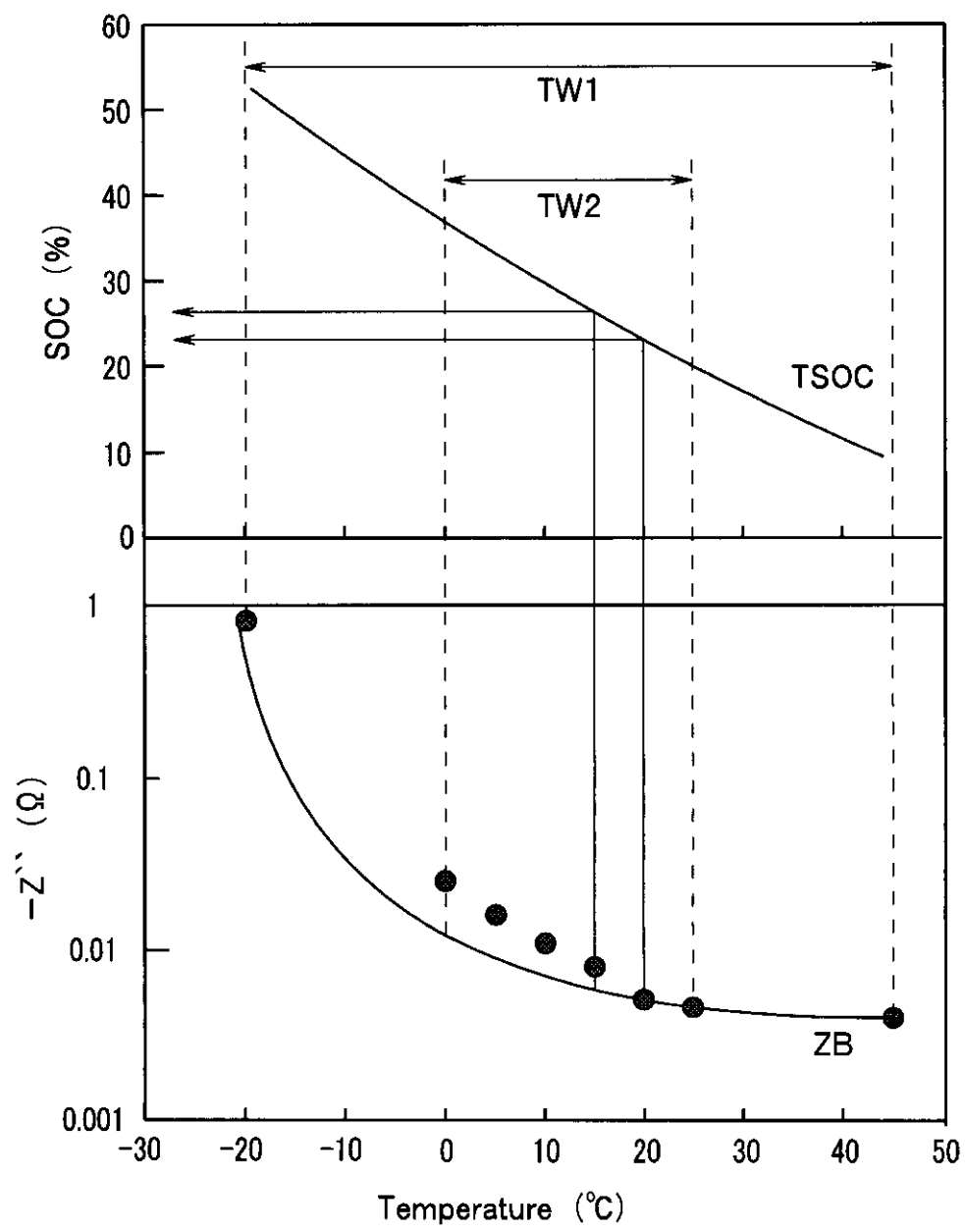
20

30

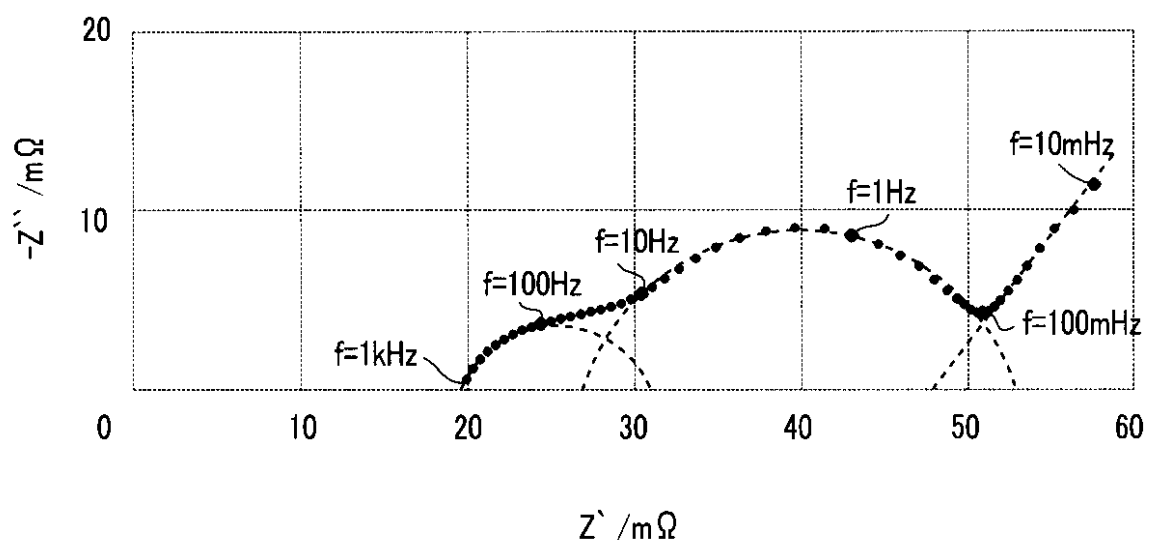
40

50

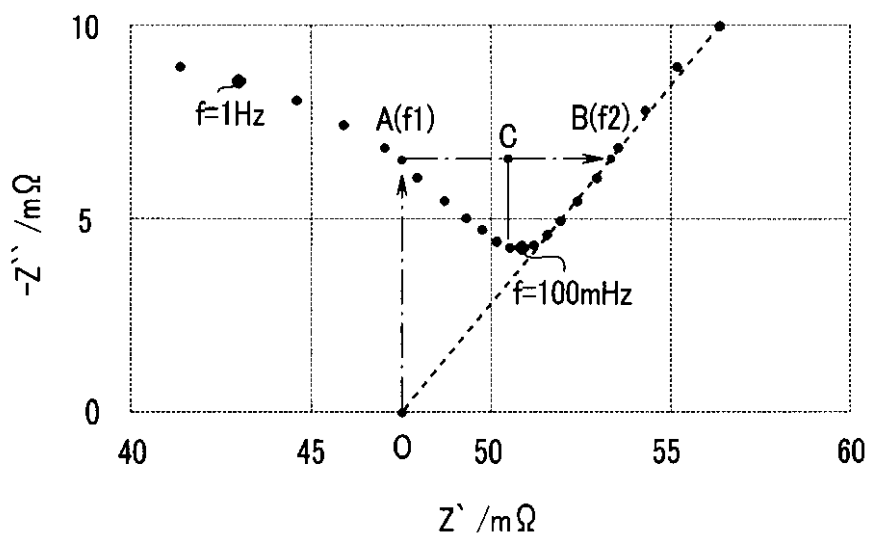
【図13】



【図14】



【図15】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

<i>H 0 1 M</i>	<i>10/6572</i>	<i>(2014, 01)</i>	<i>H 0 1 M</i>	<i>10/625</i>	
<i>H 0 2 J</i>	<i>7/00</i>	<i>(2006, 01)</i>	<i>H 0 1 M</i>	<i>10/6571</i>	
<i>B 6 0 L</i>	<i>3/00</i>	<i>(2019, 01)</i>	<i>H 0 1 M</i>	<i>10/6572</i>	
<i>B 6 0 L</i>	<i>50/60</i>	<i>(2019, 01)</i>	<i>H 0 2 J</i>	<i>7/00</i>	X
<i>B 6 0 L</i>	<i>58/12</i>	<i>(2019, 01)</i>	<i>H 0 2 J</i>	<i>7/00</i>	Q
<i>B 6 0 L</i>	<i>58/24</i>	<i>(2019, 01)</i>	<i>B 6 0 L</i>	<i>3/00</i>	S
			<i>B 6 0 L</i>	<i>50/60</i>	
			<i>B 6 0 L</i>	<i>58/12</i>	
			<i>B 6 0 L</i>	<i>58/24</i>	

(72)発明者 内海 和明

東京都新宿区戸塚町一丁目１０４番地 学校法人早稲田大学内

(72)発明者 津田 信悟

東京都新宿区戸塚町一丁目１０４番地 学校法人早稲田大学内

審査官 高野 誠治

(56)参考文献 特開２０１１－１５８４４４（ＪＰ，Ａ）

特開２０１９－１１７１８０（ＪＰ，Ａ）

国際公開第２０１３／１１５０３８（ＷＯ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 0 L	1 / 0 0 - 3 / 1 2
B 6 0 L	7 / 0 0 - 1 3 / 0 0
B 6 0 L	1 5 / 0 0 - 5 8 / 4 0
G 0 1 R	3 1 / 3 6 - 3 1 / 4 4
H 0 1 M	1 0 / 4 2 - 1 0 / 6 6 7
H 0 2 J	7 / 0 0 - 7 / 1 2
H 0 2 J	7 / 3 4 - 7 / 3 6