

明 細 書

発明の名称：蓄電池検査装置及び蓄電池検査方法

技術分野

[0001] 本開示は、蓄電池を検査する蓄電池検査装置等に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、二次電池を検査する評価装置に関する技術が示されている。特許文献1に記載の技術では、コントローラが、磁気センサによって検出された磁界から二次電池の複数の部分に流れる複数の電流の大きさをそれぞれ計算し、電極間に位置する電解質領域内の複数の電流の大きさを抽出する。そして、コントローラは、複数の電流の大きさの分布状態を示すグラフを作成して、表示装置に表示する。なお、二次電池は、蓄電池とも呼ばれる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-32985号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、蓄電池の内部に発生した初期異常を蓄電池外部において磁気センサを用いて検出する場合、磁気センサと異常個所が一定の距離をおいて離れているため、磁気センサの感受面には、蓄電池の様々な個所に流れる電流に由来する磁力線が加わり、蓄電池のどの個所が異常か正確に映像化することが困難である。

[0005] したがって、蓄電池の外部の磁界に基づいて、まず解析的方法以外で算出された電流の大きさで異常箇所を特定することは困難であることに加えて、解析的方法で映像化するにしても、そこに境界条件として用いるデータを、計算前に適切に処理することが不可欠である。例えば、特許文献1の評価装置では、解析的な逆問題の解法に基づいておらず、蓄電池を適切に検査でき

ない。

[0006] そこで、本開示は、蓄電池をより適切に検査することができる蓄電池検査装置等を提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の一態様に係る蓄電池検査装置は、蓄電池に交流電流を印加する印加部と、前記蓄電池の外部の磁場を感知する感知部と、前記感知部の感知結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を算出する算出部と、前記算出部の算出結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、算出した前記1以上のベクトルを前記複素平面上の所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、算出した前記1以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する補正部とを備える。

[0008] なお、これらの包括的又は具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム、又は、コンピュータ読み取り可能なCD-ROMなどの非一時的な記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム、及び、記録媒体の任意の組み合わせで実現されてもよい。

発明の効果

[0009] 本開示の一態様によれば、蓄電池をより適切に検査することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、実施の形態における蓄電池検査装置の構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、実施の形態における蓄電池検査装置の動作を示すフローチャートである。

[図3]図3は、実施の形態における蓄電池検査装置の具体的な構成を示す概念図である。

[図4]図4は、実施の形態における磁気センサの具体的な構造を示す概念図である。

[図5]図5は、実施の形態における蓄電池が検査されている状態を示す概念図

である。

[図6]図 6 は、実施の形態における交流電圧を印加するための回路を示す概念図である。

[図7]図 7 は、実施の形態における蓄電池検査装置の全体構成を示す概念図である。

[図8]図 8 は、実施の形態における検波回路の構成を示すブロック図である。

[図9]図 9 は、実施の形態における蓄電池に流れる交流電流を示す概念図である。

[図10]図 10 は、実施の形態における蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の複素数を、縦軸に射影した複素数を示す図である。

[図11]図 11 は、図 10 に示す射影した複素数に基づいて生成された画像を示す図である。

[図12]図 12 は、実施の形態における蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の複素数を、所定の直線に射影した複素数を示す図である。

[図13]図 13 は、図 12 に示す射影した複素数に基づいて生成された画像を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 本開示の一態様に係る蓄電池検査装置は、蓄電池に交流電流を印加する印加部と、前記蓄電池の外部の磁場を感知する感知部と、前記感知部の感知結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を算出する算出部と、前記算出部の算出結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトルを算出し、算出した前記 1 以上のベクトルを前記複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトルを算出し、算出した前記 1 以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する補正部とを備える。

[0012] これにより、蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトルを算出し、1 以上のベクトルを複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトルを算出し、1 以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力できる。したがって、蓄電池に異常が発生した場合、異常箇所に流れる

交流電流を表すベクトルと、当該異常箇所近傍の正常箇所に流れる交流電流を表すベクトルとを算出し得る。また、これらのベクトルの大きさを出力するだけでは、異常箇所と正常箇所とを判別することは困難であるが、上述したように、射影ベクトルを算出してこれらの大きさを出力することによって、異常箇所における交流電流の大きさを示す出力値と、正常箇所における交流電流の大きさを示す出力値とを異ならせ易くなる。これによって、異常箇所と正常箇所とを判別し易くなるので、蓄電池をより適切に検査することができる。

[0013] 例えば、前記蓄電池は、本体と、前記本体に接続される電極端子とを有し、前記所定の直線は、前記本体の全体に流れる交流電流を表す前記複素平面上のベクトルに直交する。

[0014] これにより、蓄電池の本体の全体に流れる交流電流を表す複素平面上のベクトルに直交する直線に射影した1以上の射影ベクトルの大きさを出力できる。例えば、本体における異常箇所に流れる交流電流の位相は、本体の全体に流れる交流電流の位相に対して遅れ、これに伴って、本体における正常箇所に流れる交流電流の位相は、本体の全体に流れる交流電流の位相に対して進む。つまり、本体の全体に流れる交流電流を表すベクトルに対して、本体における異常箇所に流れる交流電流を表すベクトルの向きと、本体における正常箇所に流れる交流電流を表すベクトルの向きとは反対向きになる。したがって、上述したような射影ベクトルを算出することによって、本体における異常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値、及び本体における正常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値の差を大きくでき、異常箇所と正常箇所とをさらに判別し易くなる。これによって、さらに、蓄電池をより適切に検査することができる。

[0015] また、例えば、蓄電池検査装置は、前記補正部によって出力された前記補正信号に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流の分布を示す画像を生成する生成部と、前記生成部によって生成された前記画像を表示する表示部とをさらに備える。

- [0016] これにより、蓄電池に流れる交流電流の分布を示す画像を表示できるので、蓄電池のどの位置に異常が発生しているかが分かり易くなり、さらに、蓄電池をより適切に検査することができる。
- [0017] また、例えば、本開示の一態様に係る蓄電池検査方法は、印加部が蓄電池に交流電流を印加し、感知部が前記蓄電池の外部の磁場を感知し、算出部が前記感知部の感知結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を算出し、補正部が、前記算出部の算出結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、算出した前記1以上のベクトルを前記複素平面上の所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、算出した前記1以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する。
- [0018] これにより、蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、1以上のベクトルを複素平面上の所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、1以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力できる。したがって、蓄電池に異常が発生した場合、異常箇所には流れる交流電流を表すベクトルと、当該異常箇所の近傍の正常箇所に流れる交流電流を表すベクトルとを算出し得る。また、これらのベクトルの大きさを出力するだけでは、異常箇所と正常箇所とを判別することは困難であるが、上述したように、射影ベクトルを算出してこれらの大きさを出力することによって、異常箇所における交流電流の大きさを示す出力値と、正常箇所における交流電流の大きさを示す出力値とを異ならせ易くなる。これによって、異常箇所と正常箇所とを判別し易くなるので、蓄電池をより適切に検査することができる。
- [0019] 以下、図面を用いて、実施の形態について説明する。なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示す。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ、ステップの順序等は、一例であり、請求の範囲を限定する主旨ではない。
- [0020] なお、蓄電池は、充電及び放電が可能な電池であり、二次電池とも呼ばれ

る。また、磁場成分は、磁場を構成する成分である。磁場成分は、空間的な位置に対応する成分であってもよいし、周波数に対応する成分であってもよいし、所定方向に対応する成分であってもよいし、これらの任意の組み合わせに対応する成分であってもよい。ここでは、説明の便宜上、磁場成分を単に磁場と呼ぶ場合がある。

[0021] また、ここで、磁場成分を打ち消すことは、磁場成分を完全に打ち消すことに限られず、磁場成分をほぼ打ち消すこと、又は、磁場成分を部分的に打ち消すこと等であってもよく、磁場成分を抑制することを意味し得る。

[0022] (実施の形態)

まず、本実施の形態における蓄電池検査装置の概要を説明する。本実施の形態における蓄電池検査装置は、蓄電池を破壊せずに蓄電池を検査する。このような非破壊検査に用いられる技術要素として、X線、可視光及びマイクロ波等が用いられる場合がある。しかしながら、X線、可視光及びマイクロ波のいずれを用いても、蓄電池内の電氣的な状態を検査することは困難である。そこで、本実施の形態における蓄電池検査装置は、磁場の情報を用いる。

[0023] 具体的には、蓄電池の内部において流れる電流は、蓄電池の周辺（蓄電池の外部）に磁場を生成する。定常状態における電流（ J ）と磁場（ H ）との関係は、マクスウェルの方程式に基づいて、 $\Delta H = -(\nabla \times J)$ で表現される。このような関係に基づいて、蓄電池の外部の磁場から、蓄電池の内部において流れる電流を推定することが可能である。本実施の形態における蓄電池検査装置は、磁場を測定することによって、蓄電池の電氣的な状態を検査する。

[0024] 一方、蓄電池の充放電過程において、蓄電池内の電氣的な状態は変化する。蓄電池の充放電過程で変化する状態を観測することは、蓄電池の信頼性の検査に有用である。しかし、磁場の測定には相応の時間がかかるため、蓄電池の充放電過程において磁場が測定されている間に、蓄電池内の電氣的な状態が変化する場合がある。蓄電池内の電氣的な状態が変化する場合、磁場も

変化するため、磁場を適切に測定することは困難である。

[0025] このような状況において、蓄電池の充放電を停止させることによって、蓄電池内の電氣的な状態の変化を停止させることは可能である。しかし、充放電が単純に停止した状態では、蓄電池内に電流が流れず、蓄電池内の電氣的な状態に対応する磁場成分が生成されない。したがって、充放電が単純に停止した状態で、磁場を測定することは適切でない。

[0026] また、蓄電池の電極等に磁性体が用いられ得る。このような蓄電池の磁性体の磁化によっても磁場成分が生成される。そして、蓄電池の磁性体の磁化によって生成される磁場成分の強さは、蓄電池内に流れる電流によって生成される磁場成分の強さよりも、はるかに大きい場合がある。例えば、蓄電池の磁性体の磁化によって生成される磁場成分の強さは、数ミリテスラ程度であると想定され、蓄電池内に流れる電流によって生成される磁場成分の強さは、数マイクロテスラ以下であると想定される。

[0027] 上記のような場合において、磁場を測定するための磁気センサは、蓄電池の磁性体の磁化によって生成される磁場成分に強く反応する。そのため、蓄電池内に流れる電流によって生成される細かな磁場成分を高精度に検知することが困難である。

[0028] そこで、まず、本実施の形態における蓄電池検査装置は、蓄電池に交流電流を印加する。これにより、蓄電池検査装置は、蓄電池の充放電過程において、充放電を休止（抑制）しつつ、蓄電池内に交流電流を流すことができる。蓄電池内に流れる交流電流は、蓄電池の外部にも磁場成分を生成する。

[0029] さらに、本実施の形態における蓄電池検査装置は、キャンセルコイルを用いて、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分を打ち消す。これにより、蓄電池検査装置は、蓄電池に印加された交流電流によって生成される磁場成分を維持しつつ、蓄電池の磁性体の磁化によって生成される磁場成分を打ち消すことができる。

[0030] したがって、本実施の形態における蓄電池検査装置は、蓄電池に印加された交流電流によって生成される磁場成分を適切に感知することができる。

[0031] また、本実施の形態における蓄電池検査装置は、感知した磁場成分に基づいて、蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、算出した1以上のベクトルを所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、算出した1以上の射影ベクトルの大きさを出力する。これにより、蓄電池における、異常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値と、当該箇所の近傍の正常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値とを、異ならせることができる場合がある。この場合、異常箇所と正常箇所とを判別し易くなり、蓄電池の電氣的な状態を適切に検査することができる。以下、本実施の形態における蓄電池検査装置の具体的な構成を説明する。

[0032] 図1は、本実施の形態における蓄電池検査装置の構成を示すブロック図である。図1に示された蓄電池検査装置10は、蓄電制御回路11、磁気センサ12、プリアンプ18、キャンセルコイル13、フィードバック回路14、ハイパスフィルタ（HPF）19、検波回路15、画像化回路16及びディスプレイ17を備える。

[0033] 蓄電制御回路11は、蓄電池に電圧及び電流を印加する回路である。具体的には、蓄電制御回路11は、蓄電池の出力電圧に対してバランスをとるための直流電圧に交流電圧が重畳された外部電圧を蓄電池に印加することにより、交流電流を蓄電池に印加する。この実施の形態では、蓄電制御回路11が印加部に相当する。

[0034] 磁気センサ12は、磁場成分を感知するセンサである。具体的には、磁気センサ12は、蓄電池の外部の磁場成分を感知し、感知された磁場成分を示す磁気センサ信号を出力する。例えば、磁気センサ12から出力される磁気センサ信号の強さは、磁気センサ12で感知された磁場成分の強さに比例する。この実施の形態では、磁気センサ12が感知部に相当する。

[0035] プリアンプ18は、微小な信号を増幅する回路である。これにより、後段の回路（フィードバック回路14及びハイパスフィルタ19等）で利用可能な信号が得られる。例えば、プリアンプ18は、磁気センサ12から出力された磁気センサ信号を増幅し、増幅された磁気センサ信号を出力する。本開

示において、磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号は、磁気センサ 12 から出力されプリアンプ 18 によって増幅された磁気センサ信号であってもよい。

[0036] キャンセルコイル 13 は、入力電流に基づいて磁場成分を生成する回路である。具体的には、キャンセルコイル 13 は、蓄電池の磁性体の磁化によって生成される磁場成分を打ち消すための磁場成分を入力電流に基づいて生成する。

[0037] フィードバック回路 14 は、磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号に基づいて、キャンセルコイル 13 に電流を入力電流として印加する回路である。具体的には、フィードバック回路 14 は、交流電流が蓄電池に印加された状態において磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分を示す低周波信号を取得する。

[0038] 例えば、低周波信号の強さは、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分の強さに比例する。低周波信号は、交流電流の周波数よりも低い全ての周波数の磁場成分を示してもよいし、低周波信号は、交流電流の周波数よりも低い一部の周波数の磁場成分を示してもよい。具体的には、低周波信号は、交流電流の周波数よりも低い基準周波数よりも低い周波数の磁場成分を示してもよい。また、低周波信号は、直流成分に対応する磁場成分を示してもよい。

[0039] そして、フィードバック回路 14 は、低周波信号に基づいてキャンセルコイル 13 に電流を入力電流として印加する。より具体的には、フィードバック回路 14 は、磁気センサ信号から取得された低周波信号が大きいほど、つまり、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分が大きいほど、より大きい電流をキャンセルコイル 13 に入力電流として印加する。

[0040] ハイパスフィルタ 19 は、遮断周波数よりも低い周波数の成分を遮断し、遮断周波数よりも高い周波数の成分を通過させるフィルタである。ハイパスフィルタ 19 の遮断周波数には、蓄電池 31 に印加される交流電流の周波数よりも低い周波数が適用される。これにより、磁気センサ信号から、蓄電池

31に印加される交流電流の周波数よりも低い周波数であって、遮断周波数よりも低い周波数の成分が取り除かれる。

[0041] なお、ここで、遮断周波数よりも低い周波数の成分を遮断することは、遮断周波数よりも低い周波数の成分の通過を抑制することを意味し、遮断周波数よりも低い周波数の成分を完全に遮断することに限られない。同様に、遮断周波数よりも高い周波数の成分を通過させるとは、遮断周波数よりも高い周波数の成分の遮断を抑制することを意味し、遮断周波数よりも高い周波数の成分を完全に通過することに限られない。遮断及び通過の度合いは、ハイパスフィルタ19の品質に依存する。

[0042] また、ハイパスフィルタ19は、遮断周波数と同じ成分を遮断してもよいし通過させてもよいし、遮断周波数と同じ成分の一部を遮断し他部を通過させてもよい。

[0043] 本開示において、磁気センサ12から出力された磁気センサ信号は、磁気センサ12から出力されハイパスフィルタ19によって低周波成分が取り除かれた磁気センサ信号であってもよい。この磁気センサ信号は、検波回路15に入力される。

[0044] 検波回路15は、検波を行う回路であって、例えば、位相検波を行う。具体的には、検波回路15は、蓄電池に印加された交流電流の周波数と同じ周波数の磁場成分を示す信号を検波信号として取得する。より具体的には、検波回路15は、交流電流が蓄電池に印加され、かつ、入力電流がキャンセルコイル13に印加された状態において、磁気センサ12から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数と同じ周波数を有する磁場成分を示す検波信号を取得する。

[0045] 例えば、検波信号の強さは、交流電流の周波数と同じ周波数の磁場成分の強さに比例する。

[0046] 画像化回路16は、算出部76、補正部77及び生成部78を有し、画像を生成する回路である。具体的には、画像化回路16は、検波回路15からの検波信号に基づいて、蓄電池の状態を示す画像を生成する。ここで、画像

は映像とも表現され得る。

- [0047] 算出部 76 は、磁気センサ 12 の感知結果に基づいて、蓄電池に流れる交流電流を算出する。具体的には、磁気センサ 12 は、蓄電池の外部における複数の位置のそれぞれにおいて磁場成分を感知し、算出部 76 は、当該複数の位置のそれぞれの磁場成分に基づいて交流電流を算出することによって、蓄電池の内部における複数の位置のそれぞれに流れる交流電流を算出する。算出部 76 は、検波回路 15 等を介して磁気センサ 12 の感知結果を取得する。
- [0048] 補正部 77 は、算出部 76 の算出結果に基づいて、蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトルを算出する。また、補正部 77 は、算出した 1 以上のベクトルを複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトルを算出し、算出した 1 以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する。
- [0049] 生成部 78 は、補正部 77 によって出力された補正信号に基づいて蓄電池に流れる交流電流の分布を示す画像を生成する。
- [0050] ディスプレイ 17 は、生成部 78 によって生成された画像を表示する装置（情報表示回路）である。具体的には、ディスプレイ 17 は、画面を有し、画像化回路 16 で生成された画像を画面に表示する。この実施の形態では、ディスプレイ 17 が表示部に相当する。
- [0051] 蓄電池検査装置 10 は、蓄電制御回路 11、磁気センサ 12、キャンセルコイル 13、フィードバック回路 14、検波回路 15、画像化回路 16 及びディスプレイ 17 のうちの一部のみを備えていてもよい。つまり、蓄電池検査装置 10 は、これらの全てを含まなくてもよい。例えば、ディスプレイ 17 が、蓄電池検査装置 10 とは異なる装置に含まれていてもよいし、画像化回路 16 及びディスプレイ 17 が、蓄電池検査装置 10 とは異なる装置に含まれていてもよい。
- [0052] また、蓄電池検査装置 10 は、プリアンプ 18、ハイパスフィルタ 19、又は、これらの両方を備えていなくてもよい。例えば、磁気センサ 12 から

出力された磁気センサ信号は、プリアンプ 18 又はハイパスフィルタ 19 を介さずに、フィードバック回路 14 及び検波回路 15 に入力されてもよい。

- [0053] また、蓄電池検査装置 10 を構成する複数の構成要素のうちの 2 つ以上が 1 つの回路で構成されていてもよい。また、これらの回路は、専用回路に限られず、汎用回路であってもよい。特に、情報処理を行う回路は、上記の処理に対応するプログラム等を実行するプロセッサ等の汎用回路であってもよい。
- [0054] 図 2 は、図 1 に示された蓄電池検査装置 10 の動作を示すフローチャートである。具体的には、図 1 に示された蓄電池検査装置 10 の複数の構成要素が、図 2 に示された動作を行う。
- [0055] まず、蓄電制御回路 11 は、周波数 f_0 の交流電流を蓄電池に印加する (S 11)。具体的には、蓄電制御回路 11 は、蓄電池の出力電圧に対してバランスをとるための直流電圧に交流電圧が重畳された外部電圧を蓄電池に印加することにより、交流電流を蓄電池に印加する。
- [0056] 磁気センサ 12 は、交流電流が蓄電池に印加された状態において、磁場成分を感知し、感知された磁場成分を示す磁気センサ信号を出力する (S 12)。
- [0057] フィードバック回路 14 は、磁気センサ信号から、周波数 f_0 よりも低い低周波信号を取得する (S 13)。具体的には、フィードバック回路 14 は、磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数 f_0 よりも低い周波数の磁場成分を示す低周波信号を取得する。
- [0058] そして、フィードバック回路 14 は、周波数 f_0 よりも低い低周波信号に基づいてキャンセルコイル 13 に電流を入力電流として印加する (S 14)。
- [0059] キャンセルコイル 13 は、入力電流に基づいて磁場成分を生成する。具体的には、キャンセルコイル 13 は、周波数 f_0 よりも低い低周波数磁場成分を生成し、磁気センサ 12 に加わる磁場のうち周波数 f_0 よりも低い低周波成分を打ち消す (S 15)。
- [0060] 検波回路 15 は、磁気センサ信号から、周波数 f_0 の検波信号を取得する (

S 1 6)。具体的には、検波回路 1 5 は、磁気センサ 1 2 から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数 f_0 と同じ周波数の磁場成分を示す検波信号を取得する。

- [0061] 蓄電制御回路 1 1、磁気センサ 1 2、キャンセルコイル 1 3、フィードバック回路 1 4 及び検波回路 1 5 は、上記の処理を継続的に並列に行う。そして、磁気センサ 1 2 は、交流電流が蓄電池に印加され、かつ、入力電流がキャンセルコイル 1 3 に印加された状態で、蓄電池の周辺の複数の位置のそれぞれにおいて、磁場成分を感知し、感知された磁場成分を示す磁気センサ信号を出力する。
- [0062] 検波回路 1 5 は、交流電流が蓄電池に印加され、かつ、入力電流がキャンセルコイル 1 3 に印加された状態で、蓄電池の周辺の複数の位置のそれぞれにおいて磁気センサ 1 2 から出力された磁気センサ信号を取得し、磁気センサ信号から検波信号を取得する。
- [0063] 画像化回路 1 6 の算出部 7 6 は、磁気センサ 1 2 の感知結果等に基づいて、蓄電池に流れる交流電流を算出する (S 1 7)。
- [0064] 画像化回路 1 6 の補正部 7 7 は、算出部 7 6 が算出した交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトルを算出し (S 1 8)、算出した 1 以上のベクトルを複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトルを算出し (S 1 9)、算出した 1 以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する (S 2 0)。
- [0065] 画像化回路 1 6 の生成部 7 8 は、出力された補正信号に基づいて画像を生成する (S 2 1)。
- [0066] そして、ディスプレイ 1 7 は、生成された画像を表示する (S 2 2)。
- [0067] 図 3 は、図 1 に示された蓄電池検査装置 1 0 の具体的な構成を示す概念図である。図 3 には、蓄電池検査装置 1 0 及び蓄電池 3 1 が示されている。また、図 3 に示された蓄電池検査装置 1 0 は、図 1 に示された蓄電池検査装置 1 0 の具体的な例に対応し、測定部 2 1、電源部 2 3、ディスプレイ 1 7 及び情報処理部 2 4 を備える。

- [0068] 例えば、蓄電制御回路 1 1 は、電源部 2 3 に含まれ、画像化回路 1 6 は、情報処理部 2 4 に含まれる。フィードバック回路 1 4 及び検波回路 1 5 のそれぞれは、測定部 2 1 に含まれていてもよいし、情報処理部 2 4 に含まれていてもよいし、測定部 2 1 及び情報処理部 2 4 に分散して配置されていてもよい。
- [0069] 測定部 2 1 は、探針として磁気センサ 1 2 を備え、磁気センサ 1 2 の付近にキャンセルコイル 1 3 を備える。そして、測定部 2 1 は、磁気センサ 1 2 を介して、磁場を測定する。また、測定部 2 1 は、アクチュエータ等で構成されるスライド可能な機構を有する。これにより、測定部 2 1 は、磁気センサ 1 2 を用いて、蓄電池 3 1 の付近を走査することができる。
- [0070] また、測定部 2 1 は、回転台 2 2 を備える。回転台 2 2 は、検査対象物である蓄電池 3 1 を載置するための台であり、アクチュエータ等で構成される回転可能な機構を有する。これにより、測定部 2 1 は、磁気センサ 1 2 を用いて、様々な回転角度で、蓄電池 3 1 の付近を走査することができる。
- [0071] 例えば、磁気センサ 1 2 は、キャンセルコイル 1 3 の内部に位置し、磁気センサ 1 2 の移動に伴って、キャンセルコイル 1 3 も移動する。
- [0072] ここでは、回転台 2 2 によって蓄電池 3 1 が回転するが、測定部 2 1 が、蓄電池 3 1 を中心に回転することで、様々な回転角度で、蓄電池 3 1 の付近を走査してもよい。また、測定部 2 1 は、磁気センサ 1 2 を回転させてもよい。
- [0073] 電源部 2 3 は、蓄電池 3 1 に電圧及び電流を印加する装置である。具体的には、電源部 2 3 は、蓄電池 3 1 の出力電圧に対してバランスをとるための直流電圧に交流電圧が重畳された外部電圧を蓄電池 3 1 に印加することにより、交流電流を蓄電池 3 1 に印加する。電源部 2 3 は、ファンクションジェネレータであってもよい。図 3 の例では、電源部 2 3 は、導線を介して、蓄電池 3 1 に電圧及び電流を印加する。
- [0074] 情報処理部 2 4 は、情報処理を行う装置である。例えば、情報処理部 2 4 は、コンピュータである。

- [0075] 具体的には、情報処理部 24 は、測定部 21 等を介して、磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号に基づいて、キャンセルコイル 13 に電流を入力電流として印加してもよい。その際、情報処理部 24 は、交流電流が蓄電池 31 に印加された状態において磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分を示す低周波信号を取得してもよい。そして、情報処理部 24 は、低周波信号に基づいてキャンセルコイル 13 に電流を入力電流として印加してもよい。
- [0076] また、例えば、情報処理部 24 は、検波処理を行ってもよい。具体的には、情報処理部 24 は、交流電流が蓄電池 31 に印加され、かつ、入力電流がキャンセルコイル 13 に印加された状態において磁気センサ 12 から出力された磁気センサ信号から、交流電流の周波数と同じ周波数の磁場成分を示す検波信号を取得する。
- [0077] また、例えば、情報処理部 24 は、蓄電池 31 の外部の磁場に基づいて、蓄電池 31 に流れる交流電流を算出してもよい。また、例えば、情報処理部 24 は、算出した交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトルを算出し、1 以上のベクトルを複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトルを算出してもよい。
- [0078] また、例えば、情報処理部 24 は、1 以上の射影ベクトルの大きさに基づいて、蓄電池 31 の状態を示す画像を生成してもよい。また、情報処理部 24 は、生成された画像をディスプレイ 17 に表示してもよい。
- [0079] 蓄電池検査装置 10 によって検査される蓄電池 31 は、リチウム電池又はリチウムイオン電池等である。蓄電池 31 は、1 対の電極端子 32 及び 33 を有する。電極端子 32 及び 33 のそれぞれと電源部 23 とは、導線を介して接続される。そして、電源部 23 が交流電流を蓄電池 31 に印加した状態で、測定部 21 が磁気センサ 12 によって磁場を測定する。
- [0080] なお、図 1 に示された蓄電池検査装置 10 の具体的な例は、図 3 の例に限られない。例えば、一部の構成要素が省略されてもよいし、他の構成要素が追加されてもよい。また、図 3 に示された測定部 21、電源部 23、ディス

プレイ 17 及び情報処理部 24 のうちの一部又は全部が一体的な構造を有していてもよい。

[0081] 図 4 は、図 3 に示された磁気センサ 12 の具体的な構造を示す概念図である。磁気センサ 12 は、TMR (Tunneling Magnetoresistive) 素子で構成される。

[0082] TMR 素子では、10 nm から 100 nm 程度の厚さを有する磁性体膜で絶縁膜が挟まれている。より具体的には、TMR 素子は、ソフト層 25、トンネル層 26、及び、PIN 層（磁化固定層）27 の複数の薄膜で構成される。ソフト層 25 は、外界の磁化の方向に応じて、磁化の方向が変動する磁性体膜である。PIN 層 27 は、磁化の方向が変動しない磁性体膜である。そして、トンネル層 26 は、絶縁膜である。

[0083] ソフト層 25 における磁化の方向、及び、PIN 層 27 における磁化の方向が同じである場合と、それらの方向が異なっている場合とで電気抵抗が異なる。この電気抵抗の変化を利用して磁場成分が感知される。

[0084] 例えば、磁気センサ 12 は、上記のような特性を利用して、磁場成分を感知し測定する。なお、磁気センサ 12 は、TMR 素子で構成される上記の例に限られず、GMR (Giant Magnetoresistive) 素子又は SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) 素子等の他の素子で構成されていてもよい。

[0085] 図 5 は、図 3 に示された蓄電池 31 が検査されている状態を示す概念図である。図 5 に示された蓄電池 31 は、本体 79、並びに、本体 79 に接続される 1 対の電極端子 32 及び 33 を有する。本体 79 は、1 対の電極板 34 及び 35、電解質 37、並びに、メタルパッケージ 38 を含む。1 対の電極板 34 及び 35、並びに、電解質 37 は、メタルパッケージ 38 で覆われている。

[0086] 例えば、磁気センサ 12 は、回転台 22 に載置された蓄電池 31 の上方の走査対象面 41 における複数の位置のそれぞれにおいて、磁場成分を感知す

る。走査対象面 4 1 は、測定面とも呼ばれる。磁気センサ 1 2 は、走査対象面 4 1 における複数の位置に順次移動し、磁場成分を感知してもよい。これにより、走査対象面 4 1 の磁場成分の情報が得られる。

[0087] また、例えば、磁気センサ 1 2 は、複数の走査対象面 4 1 のそれぞれにおける複数の位置のそれぞれにおいて、磁場成分を感知してもよい。具体的には、磁気センサ 1 2 は、1 つの走査対象面 4 1 における複数の位置のそれぞれにおいて、磁場成分を感知し、その後、磁気センサ 1 2 は、別の走査対象面 4 1 における複数の位置のそれぞれにおいて、磁場成分を感知してもよい。これにより、各走査対象面 4 1 の磁場の情報が得られる。

[0088] さらに、複数の走査対象面 4 1 の磁場の情報から、これらの走査対象面 4 1 とは異なる再構成対象面 4 2 の磁場の情報が算出されてもよい。例えば、再構成対象面 4 2 は、電極板 3 4 の上側の表面に対応する面であってもよい。具体的には、複数の走査対象面 4 1 の磁場の情報、及び、マクスウェルの方程式を用いて、再構成対象面 4 2 の磁場の情報が算出されてもよい。また、走査対象面 4 1 又は再構成対象面 4 2 の磁場の情報、及び、マクスウェルの方程式を用いて、蓄電池 3 1 における導電率分布及び蓄電池 3 1 に流れる交流電流等が算出されてもよい。

[0089] 上記のような算出処理は、図 3 の情報処理部 2 4 によって行われてもよいし、その他の構成要素によって行われてもよい。

[0090] 蓄電池 3 1 の内部において流れる電流は、蓄電池 3 1 の外部に磁場成分を生成する。磁気センサ 1 2 は、蓄電池 3 1 の内部において流れる電流が蓄電池 3 1 の外部に生成する磁場成分を感知する。蓄電池 3 1 の内部において流れる電流が変化すれば、蓄電池 3 1 の外部の磁場成分も変化する。つまり、蓄電池 3 1 の外部の磁場成分を用いて、蓄電池 3 1 の内部に流れる電流を算出できる。

[0091] 例えば、蓄電池 3 1 の充放電過程において、電極板 3 4 又は電極板 3 5 に金属が析出されることによって、蓄電池 3 1 の内部にデンドライト 3 6 が発生し、成長する場合がある。

- [0092] デンドライト 36 の導電率は、電解質 37 の導電率に比べて高い。したがって、蓄電池 31 の内部にデンドライト 36 が発生すれば、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態が変化する。これにより、蓄電池 31 の外部の磁場成分も変化する。例えば、蓄電池検査装置 10 は、蓄電池 31 の外部の磁場成分を感知することによって、デンドライト 36 の発生及び成長の状態を検査することができる。
- [0093] 一方、デンドライト 36 の発生及び成長に伴って、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態が変化するため、蓄電池 31 の外部の磁場成分も変化する。蓄電池 31 の外部の複数の位置において磁場成分を感知するには時間がかかり、経時的に変化する磁場成分を広範囲かつ高解像度で感知することは容易ではない。
- [0094] また、蓄電池 31 の充放電を停止することで、デンドライト 36 の発生及び成長が抑制され、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態の変化も抑制される。しかし、蓄電池 31 の充放電が停止された状態では、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態に基づく磁場成分も生成されない。よって、この状態では、デンドライト 36 の発生及び成長の状態を検査することは困難である。
- [0095] そこで、蓄電池検査装置 10 は、蓄電池 31 の出力電圧に対してバランスをとるための直流電圧に交流電圧が重畳された外部電圧を蓄電池 31 に印加することにより、交流電流を蓄電池 31 に印加する。これにより、蓄電池 31 において、デンドライト 36 の発生及び成長が抑制された状態で、交流電流が流れる。蓄電池 31 に流れる交流電流は、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態に基づく磁場成分を生成する。
- [0096] 蓄電池検査装置 10 は、蓄電池 31 に流れる交流電流が生成する磁場成分を感知することで、デンドライト 36 の発生及び成長の状態を検査することができる。また、蓄電池検査装置 10 は、交流電流の周波数に対応する磁場成分を抽出することで、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態に基づく磁場成分を抽出することができる。したがって、蓄電池検査装置 10 は、蓄電池 31 の内部の電氣的な状態を適切に検査することができる。

- [0097] ただし、交流電流の周波数が高い場合、交流電流によって生成される磁場成分が、電極板 3 4 及び 3 5、並びに、メタルパッケージ 3 8 等の遮蔽部によって遮蔽され、蓄電池 3 1 の外部に漏洩しない。そのため、例えば、交流電圧及び交流電流に所定周波数よりも低い周波数が用いられる。ここで、所定周波数は、遮蔽部の導電率が σ_s であり、遮蔽部の透磁率が μ_s であり、遮蔽部の厚さが d_s である場合、 $1 / (\pi \sigma_s \mu_s d_s^2)$ である。これにより、蓄電池 3 1 の外部に磁場成分が生成される。
- [0098] なお、充放電の影響を抑制し、かつ、交流電流の周波数に対応する磁場成分の測定時間を短縮するため、所定周波数よりも低く、かつ、所定周波数の $1 / 2$ よりも高い周波数が用いられてもよい。あるいは、所定周波数よりも低く、かつ、所定周波数の $1 / 10$ よりも高い周波数が用いられてもよい。一方、より確実に蓄電池 3 1 の外部に磁場成分が生成されるように、所定周波数の $1 / 2$ よりも低い周波数が用いられてもよいし、所定周波数の $1 / 10$ よりも低い周波数が用いられてもよい。
- [0099] 次に、図 6 を用いて、蓄電池 3 1 に交流電圧を印加するためのより具体的な構成を説明する。図 6 は、図 3 に示された蓄電池 3 1 に交流電圧を印加するための回路を示す図である。
- [0100] 図 6 には、蓄電池 3 1 及び蓄電制御回路 1 1 が示されている。さらに、キャパシタ C_b 、起電力 ν_o 、内部抵抗 γ_b 、直流電圧 ν_e 、交流電圧 $\nu_a \cos \omega t$ 、及び、外部抵抗 γ が示されている。キャパシタ C_b 、起電力 ν_o 、及び、内部抵抗 γ_b は、蓄電池 3 1 に含まれる。直流電圧 ν_e 、及び、交流電圧 $\nu_a \cos \omega t$ は、蓄電制御回路 1 1 に含まれる。交流電圧 $\nu_a \cos \omega t$ の t は、時刻を示し、交流電圧 $\nu_a \cos \omega t$ の ω は、角周波数を示す。
- [0101] 蓄電制御回路 1 1 は、充放電過程の所定の時刻 $t = T$ における蓄電池 3 1 の出力電圧 $\nu_o(T)$ に対してバランスをとるための直流電圧 $\nu_e = \nu_o(T)$ に交流電圧 $\nu_a \cos \omega t$ が重畳された外部電圧 $\nu_E(t) = \nu_e + \nu_a \cos \omega t$ を蓄電池 3 1 に対して印加する。例えば、外部電圧 $\nu_E(t)$ は、外部変調バイアス（外部変調回路及びバイアス回路）によって得られる。

- [0102] 言い換えれば、蓄電制御回路 11 は、蓄電池 31 の出力電圧 v 。(T) に対してバランスがとれている状態において、充放電を角周波数 ω で繰り返す。磁気センサ 12 は、角周波数 ω で繰り返される充放電の応答成分に対応する磁場を測定する。
- [0103] ただし、蓄電池 31 には、蓄電池 31 の内部の電流が蓄電池 31 の外部に磁場を生成することを妨げる遮蔽部があると想定される。例えば、交流電圧 $v_a \cos \omega t$ の周波数 f ($f = \omega / 2\pi$) が高い場合、磁場が、電極板 34、35、及び、メタルパッケージ 38 等の遮蔽部によって遮蔽され、蓄電池 31 の外部に漏洩しない。
- [0104] そこで、蓄電制御回路 11 は、遮蔽部の導電率、遮蔽部の透磁率、及び、遮蔽部の厚さ（深さ）に基づいて定められる周波数よりも低い周波数に対応する交流電圧 $v_a \cos \omega t$ を直流電圧 v に重畳する。具体的には、遮蔽部の導電率が σ で表現され、遮蔽部の透磁率が μ で表現され、遮蔽部の厚さが d で表現される場合、蓄電制御回路 11 は、 $f < 1 / (\pi \sigma \mu d^2)$ を満たす周波数 f に対応する交流電圧 $v_a \cos \omega t$ を重畳する。なお、遮蔽部の厚さ d は、例えば、電極板 34 の厚さと、メタルパッケージ 38 の厚さとの合計である。
- [0105] 磁場の測定後、蓄電制御回路 11 は、交流電圧の重畳を停止し、充電及び放電のうち的一方のみが行われるように制御する。例えば、蓄電制御回路 11 は、蓄電池 31 の出力電圧よりも大きい直流電圧を印加して、蓄電池 31 を充電させる。あるいは、蓄電制御回路 11 は、蓄電池 31 の出力電圧よりも小さい直流電圧を印加して、蓄電池 31 を放電させる。あるいは、蓄電制御回路 11 は、電圧を印加せずに、蓄電池 31 を放電させてもよい。
- [0106] 上記の構成に基づいて、蓄電制御回路 11 は、充放電過程において、蓄電池 31 の出力電圧に対してバランスをとるための直流電圧に交流電圧が重畳された外部電圧を断続的に印加する。蓄電制御回路 11 は、交流電圧が重畳された外部電圧を定期的に（周期的に）印加してもよいし、不定期に印加してもよい。蓄電制御回路 11 は、交流電圧が重畳された外部電圧を自動的に

印加してもよいし、手動の操作に基づいて印加してもよい。磁気センサ 12 は、交流電圧が重畳された外部電圧が印加された状態で、蓄電池 31 の周辺の磁場を測定する。

[0107] 例えば、充放電過程において磁場を測定するための各時刻が予め定められていてもよい。この場合、蓄電制御回路 11 は、充放電過程において予め定められた各時刻において、交流電圧が重畳された外部電圧を蓄電池 31 に印加する。そして、磁気センサ 12 は、充放電過程において予め定められた各時刻において、磁場を測定する。測定後、蓄電制御回路 11 は、通常の充放電が行われるように制御する。これにより、蓄電池検査装置 10 は、充放電過程において予め定められた各時刻に対応する磁場を測定することができる。

[0108] 充放電過程において磁場を測定するための各時刻は、蓄電池 31 の出力電圧の特性に基づいて定められてもよいし、時間の特性に基づいて定められてもよい。つまり、蓄電池検査装置 10 は、所定の出力電圧毎に磁場を測定してもよいし、所定の時間間隔毎に磁場を測定してもよい。

[0109] そして、画像化回路 16 は、充放電過程における複数の時刻に対応し、それぞれが磁場分布又は電流分布を示す複数の画像を生成してもよい。さらに、画像化回路 16 は、生成された複数の画像を連結することにより、複数の画像を含み、かつ、磁場分布又は電流分布の変化を示す映像（動画像）を生成してもよい。そして、ディスプレイ 17 は、磁場分布又は電流分布の変化を示す映像を表示してもよい。これにより、蓄電池検査装置 10 の利用者は、デンドライト 36 の成長過程を的確に観察することができる。

[0110] なお、蓄電制御回路 11 と磁気センサ 12 とは、同期信号を用いて連動してもよい。つまり、交流電圧の重畳と、磁場の測定とは、同期信号によって同時に開始し、同時に終了するように制御されてもよい。

[0111] 図 7 は、図 1 に示された蓄電池検査装置 10 の全体構成を示す概念図である。蓄電制御回路 11 は、交流電圧と直流電圧との重畳電圧を蓄電池 31 に印加する。ここで、直流電圧は、蓄電池 31 の出力電圧（解放電圧とも呼ば

れる) に対してバランスをとるための電圧であって、蓄電池 31 の充電状態を維持するためのオフセット電圧である。具体的には、直流電圧の大きさは、蓄電池 31 の出力電圧の大きさと同じである。これにより、蓄電池 31 の充放電が抑制される。

[0112] 交流電圧と直流電圧との重畳電圧が蓄電池 31 に印加されることにより、交流電流が蓄電池 31 に印加される。例えば、0.1 Hz ~ 10 Hz 程度の交流電流が蓄電池 31 に印加される。そして、蓄電池 31 に印加された交流電流によって蓄電池 31 の外部に磁場成分が生成される。

[0113] 磁気センサ 12 は、蓄電池 31 の外部に生成された磁場成分を感知する。また、磁気センサ 12 は、蓄電池 31 に向かう方向とは垂直な 2 次元平面上を走査する。

[0114] 一方、蓄電池 31 に含まれる磁性体の残留磁化によっても、蓄電池 31 の外部に磁場成分が生成される。磁気センサ 12 は、蓄電池 31 に含まれる磁性体の残留磁化によって生成される磁場成分の影響を受けると、蓄電池 31 に印加された交流電流によって生成される磁場成分を適切に感知することが困難になる。

[0115] そこで、キャンセルコイル 13 が、残留磁化によって生成される磁場成分を打ち消すための磁場成分を入力電流に基づいて生成する。ここで、入力電流は、フィードバック回路 14 によってキャンセルコイル 13 に印加される電流である。この入力電流をフィードバック電流とも呼ぶ。

[0116] フィードバック回路 14 は、信号処理回路 51 と電流増幅回路 52 とを備える。信号処理回路 51 は、磁気センサ 12 から出力されプリアンプ 18 で増幅された磁気センサ信号を取得し、電流増幅回路 52 へ制御信号を出力する。例えば、信号処理回路 51 は、磁気センサ信号から、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分を示す低周波信号を取得する。そして、信号処理回路 51 は、低周波信号に基づいて、キャンセルコイル 13 に印加されるべきフィードバック電流の大きさを示す制御信号を出力する。

[0117] 具体的には、信号処理回路 51 は、低周波信号が交流電流の周波数よりも

低い周波数の磁場成分として示す磁場成分が大きいほど、より大きい値をフィードバック電流の大きさとして示す制御信号を出力する。

[0118] 電流増幅回路 5 2 は、信号処理回路 5 1 から出力された制御信号によって示される大きさを有するフィードバック電流をキャンセルコイル 1 3 に印加する。これにより、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分に基づいて、残留磁化によって生成される磁場成分を打ち消すための磁場成分が生成される。

[0119] 残留磁化によって生成される磁場成分は、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分で構成されると想定される。したがって、蓄電池検査装置 1 0 は、交流電流の周波数よりも低い周波数の磁場成分に基づいて磁場成分を生成することで、残留磁化によって生成される磁場成分と同程度の磁場成分を生成することができる。よって、蓄電池検査装置 1 0 は、残留磁化によって生成される磁場成分を適切に打ち消すことができる。

[0120] 検波回路 1 5 は、磁気センサ 1 2 から磁気センサ信号を取得する。例えば、検波回路 1 5 は、磁気センサ 1 2 から、プリアンプ 1 8 及びハイパスフィルタ 1 9 を介して、増幅され、低周波成分が取り除かれた磁気センサ信号を取得する。また、検波回路 1 5 は、蓄電制御回路 1 1 から参照信号を取得する。ここで、参照信号は、蓄電池 3 1 に印加される電圧又は電流を示す。

[0121] 具体的には、参照信号は、蓄電制御回路 1 1 において直流電圧に重畳される交流電圧、又は、蓄電池 3 1 に印加される交流電流と同じ周波数及び位相を有するアナログ信号であってもよい。また、参照信号は、蓄電池 3 1 に印加される交流信号と同じであってもよい。つまり、参照信号は、蓄電池 3 1 に印加される電圧及び電流と同じ電圧及び電流のアナログ信号であってもよい。あるいは、参照信号は、蓄電池 3 1 に印加される電圧又は電流の情報を示すアナログ信号又はデジタル信号であってもよい。

[0122] そして、検波回路 1 5 は、磁気センサ信号及び参照信号に基づいて、蓄電池 3 1 に印加された交流電流の周波数と同じ周波数を有する磁場成分を示す信号を検波信号として取得する。

- [0123] 算出部 76 は、検波回路 15 から検波信号を取得する。算出部 76 は、検波信号等に基づいて、蓄電池に流れる交流電流を算出する。
- [0124] 補正部 77 は、算出部 76 が算出した交流電流を示す情報を取得する。具体的には、補正部 77 は、算出部 76 が算出した交流電流の大きさ及び位相等を示す情報を取得する。補正部 77 は、取得した情報に基づいて、蓄電池 31 に流れる交流電流を複素平面上でベクトルで表し、当該ベクトルを所定の直線に射影した射影ベクトルを算出する。補正部 77 は、算出した射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する。
- [0125] 生成部 78 は、補正部 77 から補正信号を取得する。生成部 78 は、取得した補正信号に基づいて、蓄電池 31 の状態を示す画像を生成する。この実施の形態では、この画像は、蓄電池 31 に流れる交流電流の分布を蓄電池 31 の状態として示す。なお、この画像は、蓄電池 31 の表面付近の磁場成分、又は、蓄電池 31 の導電率分布等を蓄電池 31 の状態として示していてもよい。そして、画像化回路 16 は、生成された画像を示す画像信号をディスプレイ 17 に出力する。
- [0126] ディスプレイ 17 は、画像化回路 16 から出力された画像信号に基づいて、蓄電池 31 の状態を示す画像を表示する。
- [0127] 図 8 は、図 7 に示された検波回路 15 の構成を示すブロック図である。図 8 の例において、検波回路 15 は、D I（ダイレクトインジェクションボックス）71、ADC（アナログデジタル変換器）72、ミキサー 73 及びローパスフィルタ 74 を備え、位相検波を行う。なお、ここでは、位相検波の例が示されているが、検波回路 15 は、その他の方法で検波信号を取得してもよい。
- [0128] D I 71 は、インピーダンス変換器である。具体的には、D I 71 は、蓄電制御回路 11 から出力された参照信号を取得し、参照信号の電圧及び電流の比を調整して、位相検波のための基準信号を生成する。例えば、基準信号は、デジタル信号として生成される。
- [0129] ADC 72 は、アナログ信号をデジタル信号に変換するための変換器であ

る。ADC 72として16ビットADコンバータ等が用いられ得る。ADC 72は、磁気センサ12から出力された磁気センサ信号をアナログ信号として取得し、アナログ信号として取得された磁気センサ信号をデジタル信号に変換する。

[0130] ミキサー73は、複数の信号を混合する回路である。具体的には、ミキサー73は、D171で生成された基準信号と、ADC 72でデジタル信号に変換された磁気センサ信号との乗算を行い、乗算の結果を乗算結果信号として出力する。乗算結果信号の直流成分は、交流電流の周波数と同じ周波数の磁場成分に対応する。

[0131] ローパスフィルタ74は、遮断周波数よりも高い周波数の成分を遮断し、遮断周波数よりも低い周波数の成分を通過させるフィルタである。ローパスフィルタ74は、乗算結果信号を取得して、乗算結果信号の交流成分を遮断し、乗算結果信号の直流成分を通過させる。これにより、ローパスフィルタ74は、交流電流の周波数と同じ周波数の磁場成分に対応する検波信号を出力する。

[0132] 検波回路15は、記憶回路75に検波信号を記憶する。上記の例において、検波回路15にデジタル回路方式が適用されているが、検波回路15にアナログ回路方式が適用されてもよい。つまり、検波回路15は、磁気センサ信号に対してアナログ信号のまま検波処理を行うことにより、交流電流と同じ周波数の磁場成分を示す検波信号を取得してもよい。

[0133] 画像化回路16は、記憶回路75に記憶された検波信号に基づいて、蓄電池31の状態を示す画像を生成する。以下、図9から図13を参照して、画像化回路16による画像の生成について説明する。

[0134] 図9は、実施の形態における蓄電池31に流れる交流電流を示す概念図である。図10は、実施の形態における蓄電池31に流れる交流電流を表す複素平面上の複素数（1以上のベクトル）を、縦軸に射影した複素数（1以上の射影ベクトル）を示す図である。図11は、図10に示す射影した複素数（1以上の射影ベクトル）に基づいて生成された画像を示す図である。図1

2 は、実施の形態における蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の複素数（1 以上のベクトル）を、所定の直線に射影した複素数（1 以上の射影ベクトル）を示す図である。図 1 3 は、図 1 2 に示す射影した複素数（1 以上の射影ベクトル）に基づいて生成された画像を示す図である。

[0135] 図 9 に示されるように、蓄電制御回路 1 1 によって蓄電池 3 1 に交流電流が印加されると、蓄電池 3 1 に交流電流が流れる。具体的には、一方の電極端子 3 2 から入力された交流電流（図 9 の矢印 A 参照）は、本体 7 9 の内部における種々の経路を通して他方の電極端子 3 3 から出力される（図 9 の矢印 B 参照）。本体 7 9 の全体に流れる交流電流は、電極端子 3 2 に流れる交流電流と略等しく、電極端子 3 3 に流れる交流電流とも略等しい。

[0136] 磁気センサ 1 2 は、蓄電池 3 1 に対して移動することによって、蓄電池 3 1 の外部における複数の位置において、磁場を感知する。なお、複数の磁気センサ 1 2 を用いて、蓄電池 3 1 の外部における複数の位置において、磁場を感知してもよい。

[0137] 算出部 7 6 は、磁気センサ 1 2 によって感知された磁場を用いて、蓄電池 3 1 における複数の位置のそれぞれに流れる交流電流を算出する。具体的には、算出部 7 6 は、蓄電池 3 1 における複数の位置のそれぞれに流れる交流電流の大きさ及び位相等を算出する。

[0138] 本体 7 9 における複数の位置のそれぞれに流れる交流電流の位相は、電極端子 3 2 又は 3 3 に流れる交流電流と原則等しい。しかしながら、本体 7 9 の内部にデンドライト 3 6 が発生する等の異常が発生した場合、本体 7 9 における異常箇所に流れる交流電流（図 9 の破線矢印参照）の位相は、電極端子 3 2 又は 3 3 に流れる交流電流の位相に対して、ずれてしまう。具体的には、本体 7 9 における異常箇所に流れる交流電流の位相は、電極端子 3 2 又は 3 3 に流れる交流電流の位相よりも遅れる。

[0139] これに伴って、本体 7 9 における正常箇所に流れる交流電流の位相も、電極端子 3 2 又は 3 3 に流れる交流電流の位相に対して、ずれてしまう。具体的には、本体 7 9 における正常箇所に流れる交流電流の位相は、電極端子 3

2又は33に流れる交流電流の位相よりも進む。

[0140] なお、本体79における異常箇所流れる交流電流の大きさと、当該異常箇所の近傍の正常箇所に流れる交流電流の大きさは、略等しい。

[0141] 図10に示されるように、補正部77は、算出部76の算出結果に基づいて、蓄電池31に流れる交流電流を表す複素平面上における1以上のベクトルを算出する。図10において、縦軸は容量成分 (Imaginary part) であり、横軸は抵抗成分 (Real part) である。複素平面における、ベクトルの長さは交流電流の大きさを示し、ベクトルと横軸とがなす角度は、交流電流の位相を示す。例えば、算出部76は、交流電流の実効値 (大きさ) 及び位相を算出し、補正部77は、算出部76によって算出された交流電流の実効値及び位相に基づいて、蓄電池31に流れる交流電流を表す複素平面上における1以上のベクトルを算出する。

[0142] ここでは、補正部77は、本体79の全体に流れる交流電流つまり電極端子32又は33に流れる交流電流を表すベクトル I_{all} 、本体79における異常箇所に流れる交流電流を表すベクトル $I_{abnormal}$ 、及び、本体79における正常箇所に流れる交流電流を表すベクトル I_{normal} を算出する。

[0143] ベクトル $I_{abnormal}$ は、本体79における1以上の異常箇所のそれぞれに流れる交流電流を表す1以上のベクトルを足し合わせたベクトルである。例えば、本体79において2つの異常箇所が存在している場合、当該2つの異常箇所のうちの1つに流れる交流電流を表すベクトルと、当該2つの異常箇所のうちの他の1つに流れる交流電流を表すベクトルとを足し合わせたベクトルが、ベクトル $I_{abnormal}$ となる。

[0144] 同様に、ベクトル I_{normal} は、本体79における1以上の正常箇所のそれぞれに流れる交流電流を表す1以上のベクトルを足し合わせたベクトルである。例えば、本体79において2つの正常箇所が存在している場合、当該2つの正常箇所のうちの1つに流れる交流電流を表すベクトルと、当該2つの正常箇所のうちの他の1つに流れる交流電流を表すベクトルとを足し合わせたベクトルが、ベクトル I_{normal} となる。

- [0145] そして、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{abnormal}}$ とベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ とを足し合わせたものが、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{all}}$ となる。
- [0146] ベクトル $\mathbf{l}_{\text{abnormal}}$ が横軸となす角度は、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{all}}$ が横軸となす角度よりも小さく、異常箇所に流れる交流電流の位相は、電極端子 32 又は 33 に流れる交流電流の位相よりも遅れていることがわかる。また、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ が横軸となす角度は、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{all}}$ が横軸となす角度よりも大きく、正常箇所に流れる交流電流の位相は、電極端子 32 又は 33 に流れる交流電流の位相よりも進んでいることがわかる。
- [0147] なお、本体 79 に異常が発生していない場合、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{abnormal}}$ は算出されず、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ は、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{all}}$ と等しくなる。つまり、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ とベクトル $\mathbf{l}_{\text{all}}$ とが等しい場合、本体 79 に異常が発生していないことがわかる。
- [0148] 補正部 77 は、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{abnormal}}$ 及びベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ を算出すると、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{abnormal}}$ を所定の直線に射影した射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{abnormal}}$ 、及び、ベクトル $\mathbf{l}_{\text{normal}}$ を所定の直線に射影した射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{normal}}$ を算出する。
- [0149] 図 10 では、所定の直線が縦軸である場合について説明する。補正部 77 は、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{abnormal}}$ 及び射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{normal}}$ を算出すると、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{abnormal}}$ の大きさ及び向き、並びに、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{normal}}$ の大きさ及び向きを示す補正信号を出力する。
- [0150] 図 11 に示されるように、生成部 78 は、当該補正信号に基づいて蓄電池 31 における交流電流の分布を示す画像を生成し、ディスプレイ 17 は、当該画像を表示する。図 11 の画像では、色が濃くなる程、射影ベクトルが示す交流電流の大きさが大きいことを示している。図 11 の画像を見ると、本体 79 において電極端子 32 及び 33 側に向かう程、色が濃くなるような傾向があり、射影ベクトルが示す交流電流の大きさが大きくなる傾向があることがわかる。
- [0151] ここで、所定の直線が縦軸である場合、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{\text{abnormal}}$ は、射

影ベクトル $\mathbf{l}'_{normal}$ と同じ方向を向いている。したがって、ある異常箇所における射影ベクトルが示す交流電流の大きさと、当該ある異常箇所の近傍の正常箇所における射影ベクトルが示す交流電流の大きさは、略等しくなる。

[0152] したがって、図 11 の画像では、異常箇所と正常箇所とを判別することは難しいが、蓄電池 31 における、交流電流の大きさが大きい箇所と小さい箇所とを容易に判別することができる。

[0153] 次に、所定の直線の他の例について説明する。図 12 では、所定の直線が、ベクトル $\mathbf{l}_{all}$ に直交する直線 C である場合について説明する。補正部 77 は、ベクトル $\mathbf{l}_{all}$ に直交する直線 C を算出し、ベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$ を直線 C に射影した射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$ 、及びベクトル $\mathbf{l}_{normal}$ を直線 C に射影した射影ベクトル $\mathbf{l}'_{normal}$ を算出し、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$ の大きさ及び向き、並びに、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{normal}$ の大きさ及び向きを示す補正信号を出力する。

[0154] 図 13 に示されるように、生成部 78 は、当該補正信号に基づいて蓄電池 31 における交流電流の分布を示す画像を生成し、ディスプレイ 17 は、当該画像を表示する。図 13 の画像でも、図 11 の画像と同様、色が濃くなる程、射影ベクトルが示す交流電流の大きさが大きいことを示している。図 13 の画像を見ると、本体 79 の一部の色が濃くなっていることがわかる。

[0155] ここで、所定の直線がベクトル $\mathbf{l}_{all}$ に直交する直線 C である場合、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$ は、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{normal}$ とは反対側を向いている。したがって、ある異常箇所における射影ベクトルが示す交流電流の大きさと、当該ある異常箇所の近傍の正常箇所における射影ベクトルが示す交流電流の大きさとの差を大きくすることができる。なお、図 13 では、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$ が向いている方向を正側としている。

[0156] つまり、図 13 の画像において、色が濃くなっている部分は、異常箇所を示しており、図 13 の画像では、異常箇所と正常箇所とを容易に判別することができる。

- [0157] なお、所定の直線が、ベクトル $\mathbf{l}_{all}$ に直交する直線である場合について説明したが、これに限定されない。例えば、所定の直線は、ベクトル $\mathbf{l}_{normal}$ に直交する直線であってもよいし、ベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$ に直交する直線であってもよい。また、例えば、所定の直線は、ベクトル $\mathbf{l}_{all}$ に直交しておらず、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{normal}$ の向きと射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$ の向きとが反対向きになるような直線であってもよい。
- [0158] 以上、実施の形態における蓄電池検査装置 10 について説明した。
- [0159] 実施の形態における蓄電池検査装置 10 は、蓄電池 31 に交流電流を印加する蓄電制御回路 11 と、蓄電池 31 の外部の磁場を感知する磁気センサ 12 と、磁気センサ 12 の感知結果に基づいて蓄電池 31 に流れる交流電流を算出する算出部 76 と、算出部 76 の算出結果に基づいて蓄電池 31 に流れる交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$, $\mathbf{l}_{normal}$ を算出し、算出した 1 以上のベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$, $\mathbf{l}_{normal}$ を複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$, $\mathbf{l}'_{normal}$ を算出し、算出した 1 以上の射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$, $\mathbf{l}'_{normal}$ の大きさを示す補正信号を出力する補正部 77 とを備える。
- [0160] これにより、蓄電池 31 に流れる交流電流を表す複素平面上の 1 以上のベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$, $\mathbf{l}_{normal}$ を算出し、1 以上のベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$, $\mathbf{l}_{normal}$ を複素平面上の所定の直線に射影した 1 以上の射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$, $\mathbf{l}'_{normal}$ を算出し、1 以上の射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$, $\mathbf{l}'_{normal}$ の大きさを示す補正信号を出力できる。したがって、蓄電池 31 に異常が発生した場合、異常箇所にも流れる交流電流を表すベクトル $\mathbf{l}_{abnormal}$ と、当該異常箇所の近傍の正常箇所にも流れる交流電流を表すベクトル $\mathbf{l}_{normal}$ とを算出し得る。また、これらのベクトルの大きさを出力するだけでは、異常箇所と正常箇所とを判別することは困難であるが、上述したように、射影ベクトル $\mathbf{l}'_{abnormal}$, $\mathbf{l}'_{normal}$ を算出してこれらの大きさを出力することによって、異常箇所における交流電流の大きさを示す出力値と、正常箇所における交流電流の大きさを示す出力値とを異ならせ易くなる。これによ

て、異常箇所と正常箇所とを判別し易くなるので、蓄電池 31 をより適切に検査することができる。

[0161] また、実施の形態における蓄電池検査装置 10 において、蓄電池 31 は、本体 79 と、本体 79 に接続される電極端子 32 及び 33 とを有し、所定の直線は、本体 79 の全体に流れる交流電流を表す複素平面上のベクトル I_{all} に直交する。

[0162] これにより、蓄電池 31 の本体 79 の全体に流れる交流電流を表す複素平面上のベクトル I_{all} に直交する直線 C に射影した 1 以上の射影ベクトル $I'_{abnormal}$, I'_{normal} の大きさを出力できる。例えば、本体 79 における異常箇所に流れる交流電流の位相は、本体 79 の全体に流れる交流電流の位相に遅れ、これに伴って、本体 79 における正常箇所に流れる交流電流の位相は、本体 79 の全体に流れる交流電流の位相に対して進む。つまり、本体 79 の全体に流れる交流電流を表すベクトル I_{all} に対して、本体 79 における異常箇所に流れる交流電流を表すベクトル $I_{abnormal}$ の向きと、本体 79 における正常箇所に流れる交流電流を表すベクトル I_{normal} の向きとは反対向きになる。したがって、上述したような射影ベクトル $I'_{abnormal}$, I'_{normal} を算出することによって、本体 79 における異常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値、及び本体 79 における正常箇所に流れる交流電流の大きさを示す出力値の差を大きくすることができ、異常箇所と正常箇所とをさらに判別し易くなる。これによって、さらに、蓄電池 31 をより適切に検査することができる。

[0163] また、実施の形態における蓄電池検査装置 10 は、補正部 77 によって出力された補正信号に基づいて蓄電池 31 に流れる交流電流の分布を示す画像を生成する生成部 78 と、生成部 78 によって生成された画像を表示するディスプレイ 17 とをさらに備える。

[0164] これにより、蓄電池 31 に流れる交流電流の分布を示す画像を表示できるので、蓄電池 31 のどの位置に異常が発生しているかが分かり易くなり、さらに、蓄電池 31 をより適切に検査することができる。

- [0165] 以上、蓄電池検査装置の態様を実施の形態に基づいて説明したが、蓄電池検査装置の態様は、実施の形態に限定されない。実施の形態に対して当業者が思いつく変形が施されてもよいし、実施の形態における複数の構成要素が任意に組み合わせられてもよい。例えば、実施の形態において特定の構成要素によって実行される処理を特定の構成要素の代わりに別の構成要素が実行してもよい。また、複数の処理の順序が変更されてもよいし、複数の処理が並行して実行されてもよい。
- [0166] また、蓄電池検査装置の各構成要素が行うステップを含む蓄電池検査方法が任意の装置又はシステムによって実行されてもよい。例えば、蓄電池検査方法の一部又は全部が、プロセッサ、メモリ及び入出力回路等を備えるコンピュータによって実行されてもよい。その際、コンピュータに蓄電池検査方法を実行させるためのプログラムがコンピュータによって実行されることにより、蓄電池検査方法が実行されてもよい。
- [0167] また、非一時的なコンピュータ読み取り可能な記録媒体に、上記のプログラムが記録されていてもよい。
- [0168] また、蓄電池検査装置の各構成要素は、専用のハードウェアで構成されてもよいし、上記のプログラム等を実行する汎用のハードウェアで構成されてもよいし、これらの組み合わせで構成されてもよい。また、汎用のハードウェアは、プログラムが記録されたメモリ、及び、メモリからプログラムを読み出して実行する汎用のプロセッサ等で構成されてもよい。ここで、メモリは、半導体メモリ又はハードディスク等でもよいし、汎用のプロセッサは、CPU等でもよい。
- [0169] また、専用のハードウェアが、メモリ及び専用のプロセッサ等で構成されてもよい。例えば、専用のプロセッサが、計測データを記録するためのメモリを参照して、上記の蓄電池検査方法を実行してもよい。
- [0170] また、蓄電池検査装置の各構成要素は、電気回路であってもよい。これらの電気回路は、全体として1つの電気回路を構成してもよいし、それぞれ別々の電気回路であってもよい。また、これらの電気回路は、専用のハードウ

エアに対応していてもよいし、上記のプログラム等を実行する汎用のハードウェアに対応していてもよい。

産業上の利用可能性

[0171] 本開示の一態様は、蓄電池を検査する蓄電池検査装置に有用であり、蓄電池製造システム等に適用可能である。

符号の説明

- [0172]
- 1 0 蓄電池検査装置
 - 1 1 蓄電制御回路
 - 1 2 磁気センサ
 - 1 3 キャンセルコイル
 - 1 4 フィードバック回路
 - 1 5 検波回路
 - 1 6 画像化回路
 - 1 7 ディスプレイ
 - 1 8 プリアンプ
 - 1 9 ハイパスフィルタ (H P F)
 - 2 1 測定部
 - 2 2 回転台
 - 2 3 電源部
 - 2 4 情報処理部
 - 2 5 ソフト層
 - 2 6 トンネル層
 - 2 7 P I N層 (磁化固定層)
 - 3 1 蓄電池
 - 3 2、3 3 電極端子
 - 3 4、3 5 電極板
 - 3 6 デンドライト
 - 3 7 電解質

- 3 8 メタルパッケージ
- 4 1 走査対象面
- 4 2 再構成対象面
- 5 1 信号処理回路
- 5 2 電流増幅回路
- 7 1 ダイレクトインジェクションボックス（D I）
- 7 2 アナログデジタル変換器（A D C）
- 7 3 ミキサー
- 7 4 ローパスフィルタ
- 7 5 記憶回路
- 7 6 算出部
- 7 7 補正部
- 7 8 生成部
- 7 9 本体

請求の範囲

- [請求項1] 蓄電池に交流電流を印加する印加部と、
前記蓄電池の外部の磁場を感知する感知部と、
前記感知部の感知結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を算出する算出部と、
前記算出部の算出結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、算出した前記1以上のベクトルを前記複素平面上の所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、算出した前記1以上の射影ベクトルの大きさを示す補正信号を出力する補正部とを備える、
蓄電池検査装置。
- [請求項2] 前記蓄電池は、本体と、前記本体に接続される電極端子とを有し、
前記所定の直線は、前記本体の全体に流れる交流電流を表す前記複素平面上のベクトルに直交する、
請求項1に記載の蓄電池検査装置。
- [請求項3] 前記補正部によって出力された前記補正信号に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流の分布を示す画像を生成する生成部と、
前記生成部によって生成された前記画像を表示する表示部とをさらに備える、
請求項1または2に記載の蓄電池検査装置。
- [請求項4] 印加部が蓄電池に交流電流を印加し、
感知部が前記蓄電池の外部の磁場を感知し、
算出部が前記感知部の感知結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を算出し、
補正部が、前記算出部の算出結果に基づいて前記蓄電池に流れる交流電流を表す複素平面上の1以上のベクトルを算出し、算出した前記1以上のベクトルを前記複素平面上の所定の直線に射影した1以上の射影ベクトルを算出し、算出した前記1以上の射影ベクトルの大きさ

を示す補正信号を出力する、
蓄電池検査方法。