

令和元年6月20日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00111

研究課題名(和文)2次電池の稼働時劣化診断アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Development of deterioration diagnostic algorithm for secondary battery during operation

研究代表者

長岡 直人 (Nagaoka, Naoto)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：80180462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2次電池を利用した機器の稼働時に得られる電池電圧・電流・温度波形すなわち過渡現象のみから、電池の等価回路を合成し、この素子定数の変化より電池の劣化診断する数値計算アルゴリズムを開発した。提案法は極力計算負荷の小なるアルゴリズムとすることで、電池と共に用いられる電池管理システム(BMS)などに組み込み可能とし、提案アルゴリズムを実装した劣化診断装置を試作し、実用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案電池劣化診断法は、専用の測定装置を用いることなく、容易に電池の劣化診断を可能としたことで、不安定な自然エネルギーを利用する風力・太陽光発電の平準化用大容量蓄電システム、大電力領域で使用される電気自動車、小電力領域で利用される家電機器など、極めて広範囲に応用可能である。これにより、電池による障害を回避できると共に、電池をその寿命まで有効に利用できることから、コスト低減、廃棄物削減など、広く社会に貢献する。

研究成果の概要(英文)：In this research, some algorithms for numerical calculations to synthesize the equivalent circuit of the secondary batteries are developed. The circuit parameters are obtained from the battery voltage, current, and temperature waveform obtained during the operation of the equipment using the secondary battery. The diagnosis of the battery deterioration is realized from the change of the estimated circuit parameters. The proposed method makes it possible to implement it into a battery management system (BMS). It is realized by the simplification of the proposed algorithm that minimizes the computational load as much as possible. The practicability of the proposed method is confirmed by prototyped battery-diagnostic circuits installed the proposed algorithms.

研究分野：電力工学

キーワード：電池劣化診断 稼働時診断 過渡現象 内部インピーダンス モデリング 数値計算 組み込み機器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2次電池は、携帯機器をはじめとする小型機器から電力系統安定用蓄電システムをはじめとする大型機器まで現在すでに幅広く使用されており、今後もますますその利用分野が拡大することは明らかである。特に、太陽光発電などの不安定な自然エネルギーのよりいっそうの利用には、大容量蓄電システムが必須となる。これら領域での2次電池利用を進めるには、高性能電池自体の開発も極めて重要であるが、電池の特性を知り、有効制御・有効利用する手法を確立しなければならない。電池特性の測定には定常特性測定法(交流法)が主に用いられているが、対象電池を電池駆動機器から取り外す必要があり、また高価な専用装置を用意しなければならない、開発研究用であり実用性に乏しい。

一方、これまでに開発した大容量蓄電システムの運用経験から得た問題点のひとつは、電池の交換時期の決定である。大容量電池は高価であり、早めの交換はコストの上昇を招くが、交換が遅ればインフラシステムに必須である安定運用が妨げられる。電池寿命は電池運用状況により変化するため、実用的な電池特性測定法が求められている。これらの問題を解決するには、稼働時に容易に得られる電圧・電流・温度などの情報から電池の特性・劣化を明らかにする手法、すなわち電池のモデリング法を開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、2次電池の特性を稼働時に得て、これより劣化診断を簡易かつ安価に実現することを目的としている。本技術により、太陽光・風力発電などの自然エネルギー発電と共に利用される大容量蓄電システムの効率的運用によるエネルギーの有効利用、今後急速に普及すると予想される電気自動車の効率的運用、蓄電池の2次利用を含めた有効利用、新充電システム開発等がなされると考えられる。このような大電力機器のみならず、提案する特性測定法、劣化・異常診断法は、民生機器・防災設備を含めた小電力機器の安定動作を可能とすることから、提案法は広く社会に貢献する。

この目的を実現するため、研究対象とする2次電池は、現在主に使用されている、鉛、ニッケル水素、リチウムイオン電池とした。また、稼働時劣化診断を可能とするため、2次電池を利用した機器の電池電圧・電流・温度の情報のみから電池の特性を得、これから電池モデルを構築する数値解析手法の開発を技術目的とする。電池電圧・電流は一般に時々刻々変化する過渡現象である。この時間領域過渡現象から、周波数領域の特性である電池の劣化と密接に関連する電池内部インピーダンス・等価回路を得る。すなわち、機器稼働時の特性から劣化診断を可能とする。なお、開発解析手法は極力計算負荷の小なるアルゴリズムとし、電池と共に用いられる電池管理システム(BMS)などに組み込み可能とし、実用性を高める。

3. 研究の方法

(1) 特性測定：鉛、ニッケル水素、リチウムイオン単電池の充放電を繰り返し、劣化電池サンプルを得ると共に、適時過渡特性を測定する。

(2) モデリングアルゴリズム開発：電池の特性を簡潔に表現するには、等価回路表現し、この回路定数で特性を評価すれば少ないパラメータで特性の議論が可能となる。これまでに、電力機器モデリング用に開発した過渡領域法である周波数変換法、z変換法、Pade近似法、ARMA法を電池モデリング法に最適化する。電池内部インピーダンスは基本的に容量性を示すため、モデリングにより得られる等価回路の基本構造は図1に示すRC並列回路を直列接続した回路となる。周波数変換法はインピーダンス周波数特性を得る直接法であるが複素計算を要するので、本研究の目標である組み込み機器適用に対する障害となる。そこで実数計算によりインピーダンスが得られるz変換を適用する。しかしながら、一般にz領域モデルは複雑となり劣化診断には用いることができないため、図2に示すPade近似法によりモデル次数を低下させ、実用的なモデルとする。なお、電力線路用モデリングに用いたz領域ARMAモデリング法についても検討を加え、電池劣化診断の視点から、従来法である交流法と、各過渡領域法により得られた結果との比較を行い、それぞれの特徴を検討する。

さらに、計算負荷を低減するために、サンプリング時間、量子化数などの測定条件について検討し、劣化診断に必要なかつ十分な最適測定条件を明

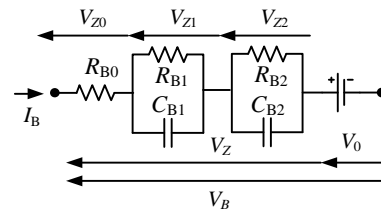


図1 電池等価回路の例

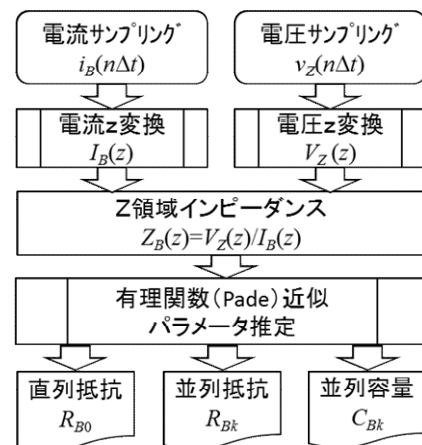


図2 z変換とPade近似の応用例

らかにすると共に、安定にパラメータを抽出できるよう、計算アルゴリズムを改修する。

なお、ニッケル水素電池はリチウムイオン電池・鉛電池と異なり、顕著なメモリ効果を有することより、これに対しても安定にパラメータが推定できるアルゴリズムとする。

(3) 劣化診断アルゴリズム開発と診断装置：前項で得たモデルパラメータと劣化との相関性を求め、この関係から劣化診断を可能とする関数を求める。また、組み込みシステムへの移植を想定し、劣化診断アルゴリズムを最適化し、診断装置プロトタイプ的设计・試作を行う。なお、マイクロコントローラ、FPGA いずれが稼働時劣化診断装置実現に有益であるかを検討する。

4. 研究成果

本研究では、電池を利用した機器の稼働時に得られる電池電圧・電流・温度変化すなわち過渡現象のみから、2次電池の等価回路(例えば図1)を合成し、この素子定数の変化より劣化診断する数値計算アルゴリズムを開発した。提案法は極力計算負荷の小なるアルゴリズムとし、電池と共に用いられる電池管理システム(BMS)などに組み込み可能とした。

まず、市販電池特性測定装置により、鉛、ニッケル水素、リチウムイオン単電池の充放電を繰り返し、劣化電池サンプルを得ると共に、適時電池のパルス状電流に対する過渡特性を測定した。劣化サンプルを得るには多大な時間と労力を要するため、この測定を自動化して容易すると共に、任意電流波形で充放電し得る図3に示す測定回路を設計製作し、後述の劣化診断法の精度確認にも用いた。

従来および開発測定装置により得られた結果に、周波数変換法、z変換法、Pade近似法、ARMAモデリング法による等価回路合成法を適用し、電池モデリングに最適化することによりいずれの手法によっても3種の電池の等価回路を合成することが可能となった。周波数変換法は学術的・数学的には電池インピーダンスを求めるに直接的手法であるが、複素計算を要することから、相対的に高い計算能力を有する処理装置が必要となる。実用性を考慮すると実数計算のみで等価回路推定が可能なPade近似法を導入したz変換法、あるいはARMAモデリング法が有効である。

実用的なサンプリング時間、量子化数についても検討を加え、劣化診断にはサンプリング時間1s以下、量子化数は実効8ビット以上とすれば十分であることが明らかとなった。提案法を導入した組み込みマイコンを用いた劣化診断装置プロトタイプを複数製作した。このうち最も計算時間が短く、マイコンへの導入が最も容易なARMA法を用いた実時間等価回路定数推定プロトタイプを図4に示す。なお、電気自動車用電池の長寿命化に用いられるパルス充電器に対しては、その波形の特徴を利用しさらに簡易な等価回路定数推定法を開発し、実用性を高めた。

なお、リチウムイオン、ニッケル水素、鉛電池の等価回路定数推定は同じアルゴリズムで推定可能で、劣化推定のみであれば周波数0.5Hz程度におけるインピーダンスが知らればよい。ただし、ニッケル水素電池ではメモリ効果によるインピーダンス変動を有するので、劣化診断にはこれを考慮する必要がある。本研究では、この補正法を逆応用して、防災機器に広く用いられるニッケル水素電池に対しては過充電メモリ効果を推定する機能を付加し、劣化のみならず不意の放電支障を事前に検知する機能をも付加した。

本研究では、電池稼働時の電圧・電流・温度変化から電池の等価回路を合成し、そのパラメータと劣化との相関性から、電池を稼働時に劣化診断する手法を確立すると共に、劣化診断装置を試作し、実用性を確認した。なお、本研究で得られた等価回路定数推定アルゴリズムでは計算量を削減

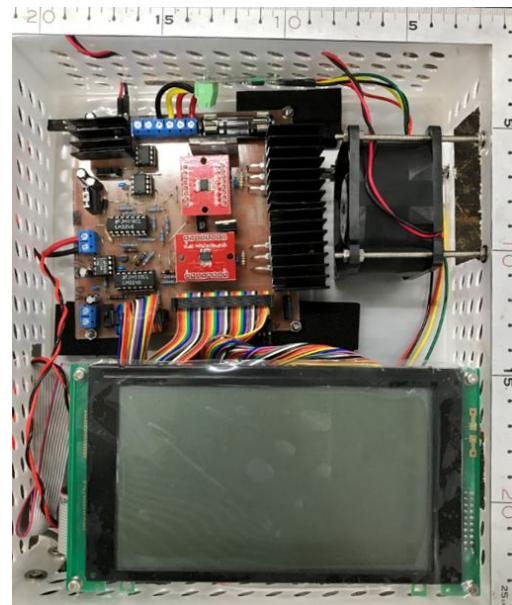


図3 開発充放電装置

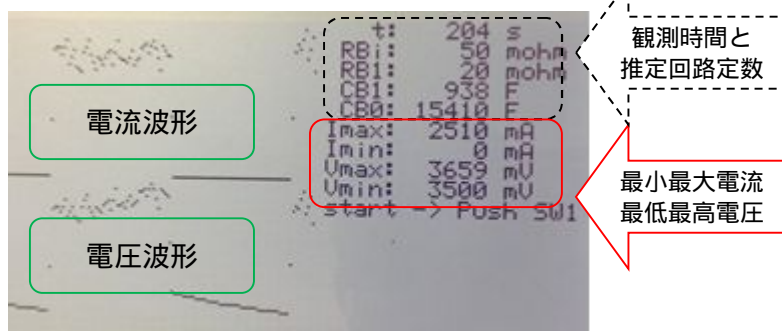


図4 開発診断装置によると稼働時パラメータ推定例

したため、安価なマイコンで計算可能であり、また FPGA を基盤とする BMS にも組み込み可能であることが明らかとなった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Bezha Minella and Naoto Nagaoka, An Estimation Model with Generalization Characteristics for the Internal Impedance of the Rechargeable Batteries by Means of Dual ANN Model、Energies、査読有、Vol. 12、2019、pp.948-948
<https://doi.org/10.3390/en12050948>

〔学会発表〕(計18件)

Minella Bezha、Naoto Nagaoka、An ANN Model for Estimating Internal Impedance of Lithium-Ion Battery Cell for Industrial Application、The 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2018)、Oct.、2018

Minella Bezha、Ryo Gondo、Naoto Nagaoka、A Dual ANN Model for Estimation of Internal Impedance of Rechargeable Cell Battery、The 53rd International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2018)、Spt.、2018

Sachio Nagamitsu、Ryo Gondo、Naoto Nagaoka、A Novel Battery Diagnostic Method for Smart Electric Vehicle Charger、The 53rd International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2018)、Spt.、2018

Minella BEZHA、Naoto NAGAOKA、Predicting Voltage Characteristic of Charging Model for Li-Ion Battery with ANN for Real Time Diagnosis、2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018-ECCE Asia)、May、2018

Minella Bezha、Naoto Nagaoka、An ANN for Estimation of Power Consumption of EV/HEV for Real Time Battery Diagnosis、The 4th IEEJ international workshop on Sensing、Actuation、Motion Control、and Optimization (SAMCON2018)、Mar.、2018

他 ISET2018 にて1件

Keita Irie、and Naoto Nagaoka、A Deterioration Diagnosis Circuit for Ni-MH Batteries using FPGA、The 11th International Symposium EMC and Transients in Infrastructure (ISET2017)、Dec.、2017

他 ISET2017 にて1件

R. Gondo、S. Ito、K. Iifuru、and N. Nagaoka、Development of Multi-Type of Secondary-Battery Charger/Discharger by Arbitrary Current Waveform、The 52nd International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2017)、Spt.、2017

T. Ishii、N. Nagaoka、A Logarithmic Segmented Laplace Transform and Its Application to a Battery Diagnosis、The 52nd International Universities' Power Engineering Conference (UPEC 2017)、Spt.、2017

他 UPEC2017 にて1件

伊藤 駿、長岡直人、発熱因子を考慮したリチウムイオン電池温度制御法、電気学会、全国大会、3月、2017、

Shun Ito、Naoto Nagaoka、A Deterioration Diagnosis for Parallel-Connected Lithium-Ion Batteries Using Thermal Factors、The 10th International Symposium EMC and Transients in Infrastructure (ISET2016)、Dec.、2016

Kenta Iifuru、Naoto Nagaoka、An Improvement of ARMA Modelling and Its Application to a Li-ion Battery、The 10th International Symposium EMC and Transients in Infrastructure (ISET2016)、Dec.、2016

他 ISET2016 にて4件

〔産業財産権〕

出願状況(計2件)

名称：蓄電池の劣化診断データ抽出装置および蓄電池の劣化診断データ抽出方法

発明者：田中義久、大島涼、吉田翔治、長岡直人

権利者：日新電機(株)、学校法人同志社

種類：特許

番号：2018-093992

出願年：2018

国内外の別：国内

名称：Ni-MH 電池の電圧低下推定法

発明者：長岡直人、入江啓太

権利者：学校法人同志社

種類：特許

番号：2019-021409

出願年：2019

国内外の別：国内

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：長岡 直人

ローマ字氏名：Nagaoka Naoto

所属研究機関名：同志社大学

部局名：理工学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：80180462

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。