

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560273

研究課題名(和文)電気自動車、ハイブリッド電気自動車用バッテリー群の最適制御技術

研究課題名(英文)Optimum group control technology for on-board energy storage devices of EVs and HEVs

研究代表者

坂本 俊之(sakamoto, toshiyuki)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：00609399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ハイブリッド電気自動車(HEVs)の駆動用電池は、寿命問題は避けて通れない。本研究では、HEV用駆動用電池の中で市場の主流であるニッケル水素電池を取上げた。新品電池を用いて代表的な電池の劣化パラメータである、充電状態を表すSOCと、電池温度について市場環境を想定した範囲で変化させ、電池の劣化量を表す内部抵抗に相当するACインピーダンス特性を実験的に求めた。ACインピーダンス特性を用いた劣化パラメータ評価の可能性を検証した結果、測定時の電池状態が異なっても、標準状態へ換算できる関係性を見出すことが出来た。この関係性は、市販の代表的な2タイプの結晶構造の電池実験から成立性が確認できた。

研究成果の概要(英文)：A traction battery of Hybrid Electric Vehicles (HEVs) has a deterioration of life. This study investigates Nickel-metal hydride (Ni-MH) batteries as an experimental battery sample which is widely installed as traction energy storage in HEVs. The major battery deterioration parameters which are both (1) battery SOC (State of charge) and (2) battery temperature, are varied within the real world conditions and measure experimentally a battery AC impedance response which is a kind of battery impedance represents the battery deterioration. The investigation result shows that the battery state at each measurement is able to translate into the standard battery state and in two types of Ni-MH batteries which are a super lattice structure and a nominal AB5 one with a brand new battery.

研究分野：エネルギー変換工学

キーワード：エネルギーストレージ 劣化 インピーダンス サイクル寿命 保存寿命 電動車両 SOC 温度

1. 研究開始当初の背景

環境車として電動車両が普及しつつある日本では、バッテリーを健康な状態のまま運用し、より劣化に配慮した制御技術により車両が廃却されるまで、所要の機能・性能が維持できることが望まれている。本研究では、電動車両駆動バッテリーの劣化制御技術、健康/劣化状態を簡単・早く・正確・低炭素に診断する実車制御技術及び所要の機能・性能を最大限維持しつつ適性に劣化させる最適制御技術について研究する。この研究成果を実社会に展開できる技術レベルへ構築することで、環境にやさしい電動車両であるハイブリッド電気自動車、電気自動車及び燃料電池自動車などが我が国のみならずグローバルに普及しうる社会が現実のものとなる。本技術は自動車分野における低炭素化社会の実現に貢献しうる社会が切に求めている技術である。

2. 研究の目的

電池の代表的な劣化パラメータについて市場環境を想定した範囲で変化させ、電池の劣化量を表す内部抵抗に相当する AC インピーダンス特性を実験的に求める。更に充放電サイクル試験を重ねた電池と、放置寿命試験を経た電池について、AC インピーダンス特性を用いた劣化パラメータ評価の成立性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、HEV 用駆動用電池の中で市場の主流であるニッケル水素電池を取上げた。新品電池を用いて代表的な電池の劣化パラメータである、充電状態を表す SOC と電池温度について市場環境を想定した範囲で変化させ、電池の劣化量を表す内部抵抗に相当する AC インピーダンス特性を実験的に求める。AC インピーダンス特性は、市販の代表的な 2 タイプのニッケル水素二次電池(一般的な AB5 型結晶構造のもの、リチウムイオンタイプの構造に見直した超格子合金構造のもの)の充放電サイクル試験を重ねた電池の場合と、放置寿命試験を経た電池について、AC インピーダンス特性を用いた劣化パラメータ評価の成立性を検証する。

4. 研究成果

英文ジャーナル投稿中の最新成果を示す。

4.1 AC impedance response in durability cycles

Figure 1 shows the experimental battery AC impedance measurement results of AB5 alloy type, which is called Nyquist diagram. The AC impedance measurement has done on a brand new battery activated at first and then measured when the durability cycles reaches to each check point cycle of 100, 400, 700, 1000, 1300 and 1600 respectively. The experimental battery AC impedance measurement result shows the AB5 alloy type battery increases the real part impedance along with durability cycles.

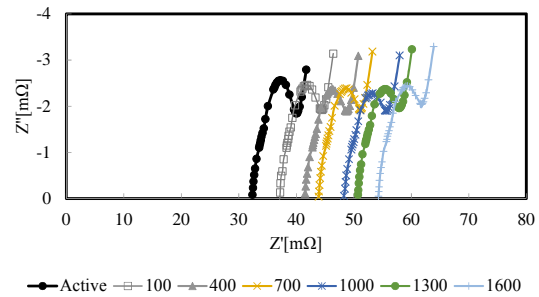


Fig. 1 Electrochemical impedance response in durability cycles, AB5 type battery

Figure 2 shows the experimental battery AC impedance measurement results from the super lattice alloy type. The AC impedance measurement has done on a brand new battery activated at first and then measured when the durability cycles reaches to each check point cycle of 100, 400, 700, 1000, 1300 and 1600 respectively. Though the measurement results of the super lattice alloy type battery almost plots on the same area. Electrochemical impedance responses show in different plot figures between AB5 alloy type and super lattice alloy type in progress of durability cycles.

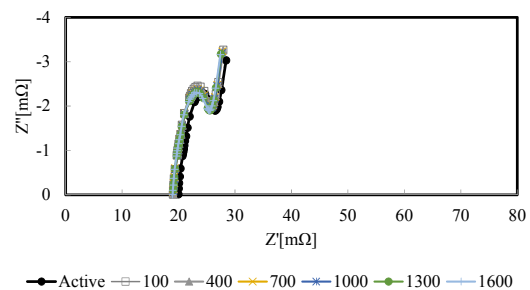


Fig. 2 Electrochemical impedance response in durability cycles, SL type battery

The experimental results show that AC impedance measurement method is capable of being applied AB5 alloy type battery to verify the progress of battery deterioration. The super lattice alloy type battery is necessary to another method to verify the progress of battery deterioration.

4.2 Statistical analysis examination

The Mahalanobis distance analysis applies to the AC impedance measurement response from 1000Hz to 01Hz to evaluate between the 800 points measurement results to the 34 points measurement results. Fig. 3 shows Mahalanobis distance analysis of the AC impedance measurement response of the AB5 type battery shown in Fig.3. The standard space is defined in the 800 points measurement results of electrochemical impedance response of the AB5 type battery. The Mahalanobis distance shows the statistical distance between the standard space data group and the verification data group. Fig. 3 shows the 34 points measurement data connected

line traces the 800 points measurement data connected line closely.

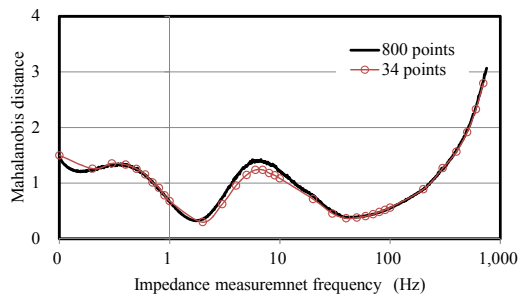


Fig. 3 Mahalanobis distance, the standard feature is 800 measurement points of electrochemical impedance response, AB5 type battery

Figure 4 shows the Mahalanobis distance distribution of the AB5 alloy type experimental battery shown in Fig. 3. The bold distribution line is the Mahalanobis distance from the standard feature of 800 points measurement results of the AB5 type battery electrochemical impedance response group to the verification group regressed on itself, draws a center line. Fig. 4 shows easy to verify that the distribution points which equal to or under the bold distribution line are the standard feature group in a zone range. The above solution makes easy to verify the each distribution point group which belongs to the standard feature group or not without considering the Mahalanobis distance. The Mahalanobis distance statistical analysis verifies that the 34 points measurement data can evaluate the battery AC impedance response without using the 800 points measurement data.

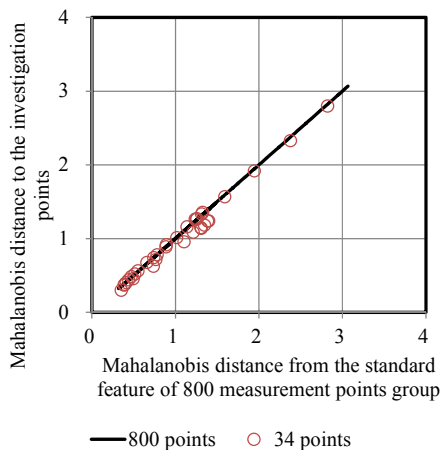


Fig. 4 Mahalanobis distance distribution from the standard feature of 800 points measurement results of the AB5 type battery electrochemical impedance response group

4.3 Statistical analysis application

Figure 2 shows that the super lattice alloy type battery Nyquist diagram plots overlapping on the same area. The super lattice alloy type battery

is necessary to another method to verify the progress of battery deterioration. The verification method which the battery terminal voltage of cycle mode experience is a subject of interest.

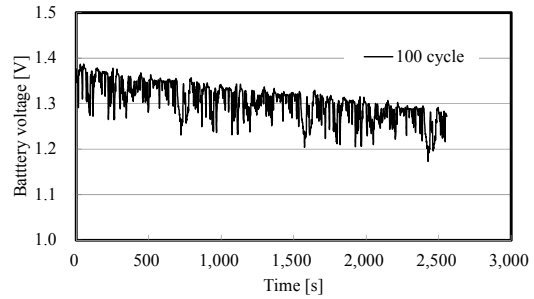
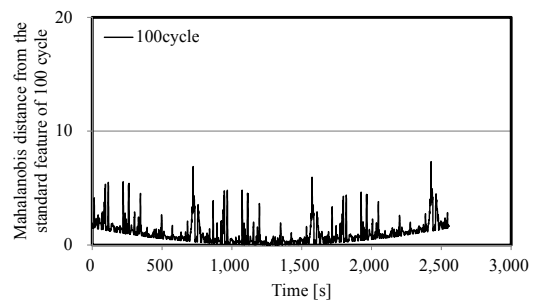


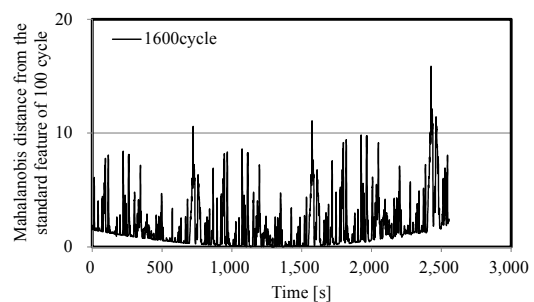
Fig. 5 Experimental battery terminal voltage, SL type battery

Figure 5 shows the battery terminal voltage of 100th cycle mode experience. The verification load is shown in Fig. 2 which repeats three times to maintain the currently specified range from 60% SOC to 40% SOC.

The Mahalanobis distance analysis applies to the Experimental battery terminal voltage. The standard space is defined in the battery terminal voltage of the 100th cycle mode experience. Fig. 6 shows the Mahalanobis distance from the standard feature group of the 100th cycle mode voltage. Fig. 6(a) shows the Mahalanobis distance from the standard feature group to the verification group regressed on itself. Fig. 6(b) shows the Mahalanobis distance from the standard feature group to the verification group of 1600th cycle mode voltage.



(a) 100th cycle



(b) 1600th cycle

Fig. 6 Mahalanobis distance from the standard feature of 100th cycle voltage, SL type battery

Figure 7 shows the Mahalanobis distance distribution of the super lattice alloy type experimental battery shown in Fig. 6. In Fig. 7, the center line which the Mahalanobis distance from the standard feature group of the battery terminal voltage of the 100th cycle mode experience to the verification group regressed on itself. The distribution plot points show the Mahalanobis distance from the standard feature group to the verification group of the 1600th cycle mode voltage. The Mahalanobis distance distribution of the verification group of the battery terminal voltage of the 1600th cycle mode experience shows much distance from the standard feature group. It is indeed that the actual battery deterioration is in progress with the cycle mode experience which can verify the Mahalanobis distance distribution of the battery terminal voltage information.

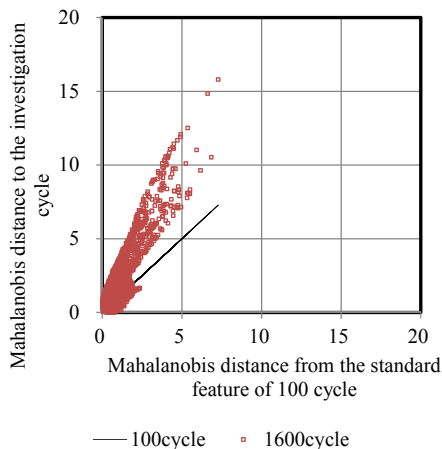


Fig. 7 Mahalanobis distance distribution from the standard feature of 100th cycle voltage, SL type battery

上記の研究成果をまとめると以下の通りとなる。2014年度までの研究からACインピーダンス特性を用いた劣化パラメータ評価の可能性を検証した結果、測定時の電池状態が異なっても、標準状態へ換算できる関係性を見出すことが出来た。この関係性は、市販の代表的な2タイプのニッケル水素二次電池(一般的なAB5型結晶構造のものと、リチウムイオンタイプの構造に見直した超格子合金構造のもの)の実験から成立性が確認できた。本結果を受けて2015年度は、充放電サイクル試験を重ねた電池の場合と、放置寿命試験を経た電池について、ACインピーダンス特性を用いた劣化パラメータ評価の成立性を検証した。試験途中にあるものの、途中経過から次の知見を得た(サイクル寿命試験は1600サイクルが経過、放置寿命試験は2年間を経過)。

(1) 一般的なAB5型結晶構造を持つ電池は、ACインピーダンス特性を用いた劣化パラメ

ータの評価が可能であることを確認した

(2) 超格子合金構造を持つ電池は、ACインピーダンス特性を用いた劣化パラメータの評価が成立しない。超格子合金構造を持つ電池は、更なる劣化評価指標を準備する必要がある。この劣化評価指標として有効なものは、放電時の電圧低下特性であることをサイクル寿命試験で確認することが出来た。

(3) 上記の検証結果は寿命試験途中の知見であるため、電池劣化に到達した時点で本研究の最終評価判断を行う考えである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線で示した)

[雑誌論文](計6件)

(1) Toshiyuki SAKAMOTO, Ni-MH Battery Voltage Statistical Analysis in Lifetime Cycle Experiment, Proc. Schl. Eng. Tokai Univ., 査読あり, Ser. E, Vol. XXX, 東京, 2015.09 掲載決定

(2) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Response Analysis Applied to HEVs Energy Storage Life Cycle Experience, (社)日本機械学会英文ジャーナル, 査読あり, 2015.02 投稿受理査読中

(3) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Analysis - Applied to EVs and HEVs Energy Storage Preservation Lifetime Experiment -, 自動車技術会英文ジャーナル, 査読あり, 2015.03 投稿受理査読中

(4) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance and Statistical Voltage Analysis -Applied to Marine Uses Energy Storage Life Cycle Experience-, マリンエンジニアリング学会誌, 査読あり, 2015.03 投稿受理査読中

(5) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Analysis Applied to HEVs Energy Storage Durability Cycle, 14th World Congress in Mechanism and Machine Science, Taipei, 査読あり国際会議&ジャーナル誌, Taiwan, 25-30 October, 2015 発表予定

(6) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Analysis Applied to HEVs Energy Storage, Proc. Schl. Eng. Tokai Univ., 査読あり, Ser. E, Vol. XXX, 東京, pp.39-45, 2013.09

[学会発表](計12件)

(1) Toshiyuki SAKAMOTO, Battery Voltage Statically Analysis Applied to Ni-MH Lifetime Cycle Experiment, The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 査読あり国際会議(日本機械学会共催国際会議) Cha-Am, Phetchaburi, Thailand, 16-18 December 2015 発表予定

(2) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance spectroscopy analysis applied to HEVs energy storage, IWEE2014 (International Workshop on Environment & Engineering 2014),

査読なし国際会議 (日本機械学会主催国際会議), Epochal Tsukuba, Ibaraki Japan, Nov. 19-20 2014

(3) Toshiyuki SAKAMOTO, Energy Flow and Transient Characteristic Analysis of EVs System, IWEE2014 (International Workshop on Environment & Engineering 2014), 査読なし国際会議 (日本機械学会主催国際会議), Epochal Tsukuba, Ibaraki Japan, Nov. 19-20 2014

(4) Toshiyuki SAKAMOTO, Spectroscopy Analysis of Energy Storage, STP25 THE 25TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORT PHENOMENA (日本機械学会共催国際会議), 査読あり国際会議, Krabi Thailand, paper#54, Nov. 4-6 2014

(5) Toshiyuki SAKAMOTO, AC Impedance Spectroscopy Analysis for Ni-MH Battery (Applied for Electrical Control and Powered System), The 6th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies/Advanced Maritime Engineering Conference 2014, 査読なし国際会議 (マリンエンジニアリング学会共催国際会議), Hangzhou, China, ROE-09, October 28-30, 2014

(6) 坂本俊之, 電動車両用エネルギーストレージの電気化学インピーダンス解析, 三澤佳一, 日本機械学会関東学生会第53回学生員卒業研究発表講演会, 査読なし, 東京農工大, 東京, 講演プログラム 1415, 2014.03.14

(7) Toshiyuki SAKAMOTO, BATTERY TEMPERATURE OF HYBRID ELECTRIC VEHICLE, Proceedings of the International Conference on Power Engineering-13 (ICOPE-13), 査読あり国際会議 (中国動力工程学会・日本機械学会・米国機械学会共催国際会議), Wuhan, China, paper#202 in USB, Oct 23-27 2013

(8) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Analysis Applied to HEVs Energy Storage, Proc. Schl. Eng. Tokai Univ., 査読あり, Ser. E, Vol. XXX, 東京, pp.39-45, 2013.09

(9) 坂本俊之, Ni-MH 式エネルギーストレージの電気化学インピーダンス解析, 第83回 (平成25年)マリンエンジニアリング学術講演会, 査読なし, グランシップ静岡, 静岡, pp.185-186, 2013.09.04

(10) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance Analysis Applied to HEVs Energy Storage, The 3rd Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics & Control, 査読なし, Kyusyu Sangyo University, Fukuoka, Japan, pp.95-98, 2013.08.28

(11) Toshiyuki SAKAMOTO, AC Impedance Spectroscopy Analysis (Applied for Electrical Prime Mover On-board Energy Storage), International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013), 査読あり国際会議, Bangkok, Thailand, pp.132-135, 2013.08.22

(12) 坂本俊之, HEV エネルギーストレージのインピーダンス解析, 日本機械学会 [No13-4] 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, 査読なし, 箱根小涌園, 静岡, pp.102-103, 2013.05.15

〔図書〕(計2件)

(1) 坂本俊之他, 次世代自動車とシェール革命(流通・開発への影響と最新技術), ㈱情報機構, B5判 256ページ, 定価 42,000円(税込み), ISBN 978-4-86502-055-7, 第3節 EV・HEVの性能向上に向けた最新技術 第1項 車載リチウム電池の新規な安全性・耐久性向上技術執筆, 2014・03/20, pp.191-198

(2) 坂本俊之他, 次世代パワートレイン開発と燃料技術, 坂本俊之, シーエムシー出版, B5判 252ページ, 71,280円(税込み), ISBN 978-4-7813-0914-9, 第1編電動車両-第1章 ユニット技術-2 EV/HEV用駆動システムとモータ制御技術執筆, 2013.11.01, pp.19-32

〔産業財産権〕

出願状況 (計1件)

名称: 電池状態判定装置及び電池状態判定方法

発明者: 坂本俊之

権利者: 学校法人東海大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-235447

出願年月日: 2013/11/13

国内外の別: 国内

〔その他〕(計3件)

(1) 坂本俊之, テクノトランスファー-in かさわかき 2014 での研究成果展示

(2) 坂本俊之, 東京ビッグサイトで開催されたイノベーションジャパン 2014 でのブース展示 (審査に通過した約 350 テーマの大学研究成果を産業界へフィードバックするイベント, 東海大からは当研究室を含め 3 テーマのみ審査通過)

(3) 坂本俊之, JST 分野別 新技術説明会での研究成果説明 (イノベーションジャパン 2014 のグリーンイノベーション部門での審査に通過した 11 大学に選定される)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 俊之 (SAKAMOTO, Toshiyuki)

東海大学・工学部・教授

研究者番号: 00609399