

令和元年6月25日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06975

研究課題名(和文) 電動車両のバッテリーストレス制御技術

研究課題名(英文) Battery Stress Control Technology for Electric Vehicles

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スパイク状電流がバッテリーへ与えるストレスを検証した。サイクル寿命試験から、インパルス状の負荷電流に対してバッテリーイオンは十分追従せず、実エネルギーストレスで見ると劣化への影響は少ないことが判明した。一方、バッテリーの劣化を示す内部インピーダンスは、電解液が分解して電極極版にSEI層を系形成して一様に上昇すると考えられるが、実験では一度上昇した値から低下するなど不安定な挙動を示した。高エネルギーを電極極版に当てることで表面より内部の状況を見ると、充放電により一度形成されたSEI層が吸着脱落を繰り返すことで、内部インピーダンスの変動となって表れることが分かってきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電動車両の主要動力源であるバッテリーは、設計寿命を大幅に下回る場合が数多く発生している。実際の自動車走行時の電流負荷はスパイク状で長期に渡って繰り返される。本研究は、スパイク状電流は実エネルギーストレスで見ると劣化への影響は少ないことが判明した。一方、バッテリー内部インピーダンスは、劣化を簡易把握できる唯一の手段として利用されてきており、バッテリーのマネジメントコントロールでも重要な計測パラメータである。本研究では、SEI層が一様に上昇すると考えられていたことは事実ではなく、バッテリーの内部インピーダンスを用いた劣化制御には、従来にない適切な劣化判定が必要であることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study examined the stress that the spike current gives to the battery. From the cycle life test, it was found that the battery ion did not sufficiently follow the impulse load current, and the actual energy stress had little influence on the deterioration. On the other hand, the internal impedance indicating deterioration of the battery is considered to be that the electrolyte is decomposed and uniformly formed by forming a SEI layer on the electrode plate, but in the experiment it is unstable as it is lowered from the once raised value. It has been found that when the internal condition is observed from the surface by applying high energy to the electrode plate, the SEI layer formed once by charge and discharge appears as fluctuation of internal impedance by repeated adsorption and removal.

研究分野：バッテリーマネジメントコントロール

キーワード：エネルギーストレージ ストレス サイクル寿命 エネルギーマネジメント 電気自動車 ハイブリッド自動車 コントロール

1. 研究開始当初の背景

電動車両が普及し、多くのバッテリーが流通するようになった。バッテリーは、同じ負荷条件や使用環境であっても、セル毎に劣化形態が当然異なる。バッテリーの方式によっても、劣化問題は異なる。普及率の高いニッケル水素二次電池では、運用が進むとセル間のばらつきが拡大し、設計寿命を大幅に下回る場合が数多く発生している。リチウムイオン電池のようにセルの個別コントロールを行う場合は、セル間のばらつきは抑えられるものの、一部のバッテリーが要求出力を出せなくなり、同じ設計寿命を下回って交換せざるを得ない問題が多く発生している。設計寿命を下回り全交換することは、地球資源の無駄に繋がる。このため、廃棄せずに使えるバッテリーだけを組み直す周辺ビジネスも見られるようになった。当の電動車両を製造する完成車メーカーも、マーケットから数多く返却されるバッテリーの扱いに困り、家庭用電源などの二次的利用を模索したビジネスをスタートさせている(トヨタ社など)。しかし、これらの取組みは本質的な解決策ではない。設計寿命に届かない場合が多く発生する事実に対して、劣化に至る要因を工学的に明らかにすることがまず必要である。次に設計寿命を満足するバッテリーを、バッテリーの技術進化だけに期待するのではなく、今のバッテリーに欠けている周辺システムを構築し、最適なエネルギーマネジメント制御を電動車両へ投入することが、設計工学的に見た本来のあるべき姿である。

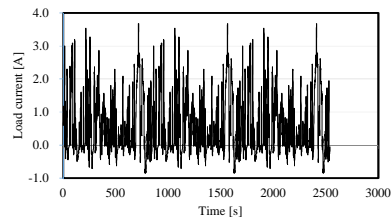
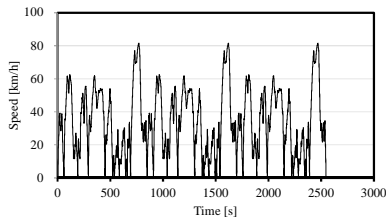


図 1. 自動車走行パターン(JC08 モード)

図 2. バッテリー負荷電流(JC08 モード)

図1は、我が国の自動車走行試験の速度プロファイルである JC08 モードを 3 回繰り返したパターンを示す。自動車の燃費と排出ガス試験は、本モードに基づいて評価される。実際に自動車が走行するパターンを網羅して構築しているので、市場の代表的な運転モードといえる。図2は、この時の負荷電流の動きを示している。負荷電流値は、車両に搭載するバッテリー容量に依存するので、ここでは変動状況に着目して頂きたい。様々な大きさのスパイク状の負荷電流がバッテリーに入出力されていることが分かる。一般に、バッテリーの負荷試験は、定電流放電、定電圧放電により行われるのに対して、電動車両の負荷電流は激しく変動している。車載バッテリーの制御や劣化診断は、入出力電流を積算して求めており、例えばバッテリーの充電容量位置を規定範囲に制御する SOC 制御などが代表的である。階段状に変化する負荷電流程度であれば、従来の負荷試験方法(定電流放電など)でもカバーできると考えられる。しかし、電流負荷はスパイク状であり、しかも長期に渡って繰り返されると、バッテリーには確実にストレスが加わり、これが劣化を早めていることは容易に想像できる。

2. 研究の目的

(1) 研究の概要

電動車両の主要動力源であるバッテリーは、設計寿命を大幅に下回る場合が数多く発生し、マーケットから返却されるバッテリーの扱いに完成車メーカーも困り果てている状況である。一般に、バッテリーの負荷試験は、定電流、定電圧負荷をステップ状に変化させるのに対して、実際の自動車走行時の電流負荷はスパイク状であり、しかも長期に渡って繰り返されるため、バッテリーには確実にストレスが加わることになる。これが劣化を早めていることは容易に想像できる。また、バッテリー制御はエネルギー制御が主流であり、負荷の入力がスパイク状であれば、材料のストレス試験と同じように頻度解析を行い、バッテリーへの寿命ストレスを推測し、これを適切に制御することが現実には難しい。本研究は、**スパイク状電流が与えるバッテリーへのストレスに着目した寿命制御システムを構築し、さらに弱った交換済バッテリーでも電動車両用として再利用の道を開く(新技術の構築も研究目的とする)。**

(2) 何をどこまでに明らかにするか(具体的研究内容)

設計仕様通りのバッテリーでも設計寿命に届かない原因を解明する。実負荷パターンとなるスパイク状電流に着目して、バッテリーストレスへの影響を定量化する。バッテリーの適正制御方法として電流負荷頻度制御の効果を明らかにする。さらに一定値以上のスパイク状電流がバッテリーに加わらないように周辺ハードと制御システムを構築する。研究内容は技術的ソリューションとしてまとめ、産業界へ提案する。

**走行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題**

スパイク状の電流負荷が電動車両の走行モード負荷パターンであることが判明した。このスパイク状電流負荷がバッテリーストレスへ与える影響度を明確にする。従来の定電流負荷、ステップ状に変化する準定電流負荷に対して、スパイク状電流負荷がどのような位置関係にあるのかをあわせて定量化し明確にする。

**負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題**

現在の負荷電流制御は、積算制御でありバッテリー容量位置を規定範囲に制御する SOC コントロールをはじめとして、負荷制御の骨格をなしている。しかし、実負荷パターンはスパイク状であるため、こちらがバッテリーにストレスを及ぼしていると考えの方が適切である。そこで、スパイク状の電流頻度を見る頻度制御を主体とした方式に見直す。負荷電流頻度制御を新たに構築してバッテリー制御方法を適正化する。

**スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題**

スパイク状電流を一定電流へと負荷パターン自体を変えて、ストレスレベルを抑え込むことができれば、本質的な解決策となる。この課題に挑戦する。この課題にはまず上限を設けて、バッテリーの入出力電流が一定以下の電流値に抑えることができる周辺ハードウェアを構築しシステムへ組み込む。バッテリーには、設定レベルを越えたストレスは加わらないことになる。さらにバッテリーの入出力電流が一定値で、尖塔状の過渡電流は周辺ハードウェアが受持つ制御システムを構築する。バッテリー寿命が設計寿命どおりに適正に制御されることが期待できる。

### (3) 学術的特色・独創的な点および予想される結果と意義

#### 走行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題

電流負荷パターンによりバッテリー寿命が異なることは、我々は経験的に理解している。電流負荷は様々なパターンが考えられ、バッテリー寿命へ影響度が明確ではない。一般に電流負荷は、定電流、ステップ電流など単純化してサイクル寿命試験を行っていた。一方、走行時の電流負荷はスパイク状であり、定電流負荷とは全く異なる。そこで、電流負荷パターンをスパイク状に絞り込み、これをサイクル負荷としてバッテリーの寿命評価を行うことで、バッテリーストレスへの影響度を明らかになる。スパイク状電流負荷パターンという、全く新しい評価基準が得られる。バッテリーの適正な評価が迅速にでき、産業界へ価値の高い成果をフィードバックできることになる。

#### 負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題

負荷電流積算制御は、バッテリー容量位置を規定範囲に制御するSOCコントロールをはじめとして、負荷制御の骨格をなしている。これはバッテリーが関与する総入出力エネルギーを求めることでバッテリー劣化も視野に入れた制御方法と考えられている。実際の電流負荷はスパイク状のため、車載電流センサーでは十分な測定精度が出ていない。この測定誤差が積み重なり、バッテリーの実劣化値が制御認識値との差となって現れるため、高精度電流センサーの開発へと進んでいる。しかし、スパイク状電流はインパルス入力と同じ面積はないに等しいのでエネルギーで見ると無視できるレベルである。エネルギーではなく、スパイク状であるためにバッテリーにストレスを及ぼしていると考えの方が適切である。そこで、スパイク状の電流頻度を見る負荷電流頻度制御を新たに構築して、バッテリー制御方法を適正化する。材料分野では、疲労寿命予測の標準的なサイクルカウント方法であるレインフロー解析など、ストレス解析は一般的に行われている。電気エネルギーの分野では、電流負荷 エネルギー解析と短絡的に捉えるのではなく、負荷の入力パターンがスパイク状であれば、材料分野と同じようにパターン頻度を解析して寿命ストレスを推し量ることが現実に則している。制御方式の変更は、新たなハードの追加もなくコストも発生せず、一方でバッテリー寿命には効果的となるため、研究開発領域へ与えるインパクトは大きい。

#### スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題

走行モード負荷パターンはスパイク状であるが、バッテリーからの入出力は電流レベルを落とした定電流に近づける本質的な解決策に挑戦する。急峻なスパイク状電流を受持つ追加ハードウェアとして、電気二重層コンデンサなどが考えられる。バッテリーが分担する負荷を定電流とするには、バッテリーと追加ハードウェアとの負荷分担を制御するシステムも必要である。これらのシステムにより、バッテリーに加わるストレスレベルが大幅に低減できる。新品バッテリーには十分な効果が期待できるが、市場で交換された中古バッテリーに対しても、本システムを後付けすることで、電動車両用バッテリーとして再利用の可能性が見えてくる。これは、追加ハードウェアが過渡負荷を受持つことで、急峻な実負荷が負えなくなった中古バッテリーでも、クルマの要求負荷に対応できることになるからである。バッテリーの寿命を伸ばし、再利用の可能性を開く本研究は産業界が待望する研究成果である。

### 3. 研究の方法

バッテリーが設計寿命に届かない原因を解明する。(1)走行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題:平成28年度はニッケル水素式で、平成29年度はリチウムイオン式の各バッテリーサイクル試験で、電流負荷パターンの違いを定量化する。(2)負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題:平成28年度は制御システムを構築し、平成29年度はサイクル試験により制御方式の優劣を定量的に評価する。(3)スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題:平成28年度はコンデンサを追加し、平成29年度は負荷バランス制御を組み込んでサイクル試験により評価する。(4)研究成果の発表と産業界への技術移転:平成30年度は、研究成果を産業界へ技術移転、グローバルに発信、学術論文・知財権にまとめ、幅広く周知活用頂けるように努める。

#### (1) 研究計画(平成28年度)

##### 走行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題

🔍 目的: 電流負荷パターンの違いによりバッテリーストレスへ与える影響度を定量化する。電流負荷パターンは、スパイク状とステップ状(一定電流に相当)とし、各影響度をサイクルモード試験により定量化する。

🔍 試験: 電動車両用で最も市場実績のあるニッケル水素式バッテリー(量産品質品)のサイクル試験を単セルで実施する。次の試験条件で複数個のセルで行う。試験負荷は、世界を代表する燃費評価モードであるJC08(日本)、FUDS・US06(米国)、ECE15(欧州)を用いる。容量範囲は、満充電容量基準で上限(75%)~下限(25%)の領域とする。1サイクルは、放電(燃費評価モード)、充電(0.5C定電流)とする

🔍 評価: 100サイクル毎にチェックし劣化度合いを評価する。初期容量から2割低下した時点で劣化判定試験を行い寿命判定する。判定は、高出力放電試験(バッテリー電圧特性も評価)、

AC インピーダンス計による周波数特性試験(内部抵抗上昇の確認)により評価する。以上から、電流負荷パターンの違いによりバッテリーストレスへ与える位置関係が明確に定量化できる。

### 負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題

目的: 電流負荷制御の違いによりバッテリーストレスへ与える影響度を定量化する。電流負荷制御は、積算制御方式と、今回提案する頻度制御方式とし、各影響度をサイクルモード試験により定量化する。平成 28 年度は主に制御システムの構築に取り組む。

試験: 試験に向けた電流負荷頻度制御方式のシステム構築に取り組む。電流頻度分布の区分方法や区分の重みづけの方法、典型的な頻度パターンの設定(駆動の次に回生電流が流れ込むなど)、燃費評価モードに基づいた負荷電流のパターン解析を行う。また、試験の比較対象となる電流負荷積算制御方式のシステム構築にも併せて取り組む。

評価: エネルギー入出力の断面で捉えた、負荷電流積算制御と負荷電流頻度制御の違いを定量化する。バッテリーにストレスの断面で捉えた、負荷電流積算制御と負荷電流頻度制御の違いを定量化する。上記の評価に向け、平成 28 年度は試験評価用の制御システムの構築に取り組む。

### スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題

目的: 負荷パターン自体をスパイク状電流から一定電流へと変換できる周辺ハードウェアシステムを構築する。平成 28 年度は、スパイク状電流の尖塔部分をカットするコンデンサをバッテリーの入出力母線に直接接続して、サイクル試験によりバッテリーストレスに対する寿命効果を確認する。

試験: 電気二層コンデンサを準備しバッテリーの入出力母線に直接接続する。スパイク状電流の大きさやパターンにより、コンデンサ容量・電圧特性を変更して、スパイク状電流とコンデンサ仕様の関係について抑制効果を定量化する。抑制効果の高い最適仕様でシステムを構築して、サイクル試験によりバッテリー寿命への効果を確認する。

評価: スパイク状電流とコンデンサ仕様の関係定量化する。最適なコンデンサ仕様によりシステムを構築する。最適仕様システムをバッテリー母線に並列接続して、サイクル試験によりバッテリーストレスに対する寿命効果の評価する。

## (2) 研究計画(平成 29 年度)

### 走行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題

目的: 電流負荷パターンの違いによりバッテリーストレスへ与える影響度を定量化する。電流負荷パターンは、スパイク状とステップ状(一定電流に相当)とし、各影響度をサイクルモード試験により定量化する。平成 29 年度はバッテリー方式を変更して試験を実施する。

試験: 電動車両用で急速に普及しているリチウムイオンバッテリー(量産品質品)のサイクル試験を単セルで実施する。次の試験条件で複数個のセルで行う。試験負荷は、世界を代表する燃費評価モードである JC08(日本), FUDS・US06(米国), ECE15(欧州)を用いる。容量範囲は、満充電容量基準で上限(75%)~下限(25%)の領域とする。1サイクルは、放電(燃費評価モード)、充電(0.5C 定電流)とする。

評価: 100サイクル毎にチェックし劣化度合いを評価する。初期容量から2割低下した時点で劣化判定試験を行い寿命判定する。判定は、高出力放電試験(バッテリー電圧特性も評価)、AC インピーダンス計による周波数特性試験(内部抵抗上昇確認)により評価する。以上から、電流負荷パターンの違いによりバッテリーストレスへ与える位置関係が明確に定量化できる。

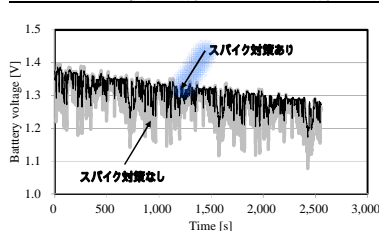
### 負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題

目的: 電流負荷制御の違いによりバッテリーストレスへ与える影響度を定量化する。電流負荷制御は、積算制御方式と、今回提案する頻度制御方式とし、各影響度をサイクルモード試験により定量化する。平成 29 年度は、前年度に構築した制御システムを持ってサイクルモード試験を実施する。

試験: 試験は、従来の積算制御のみ、頻度制御のみ、積算と頻度を組み合わせた統合制御の3方式システムでバッテリーストレスに対する寿命効果をサイクル試験により評価する。

評価: 平成 29 年度は、バッテリーにストレスの断面で捉えた、負荷電流積算制御と負荷電流頻度制御の優劣をサイクル試験により定量的に評価する。

### スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題



目的: 負荷パターン自体をスパイク状電流から一定電流へと変換できる周辺ハードウェアシステムを構築する。平成 29 年度は、バッテリーと周辺システムとして追加するエネルギーストレージとの負荷バランスが、制御できるシステムへアップグレードして寿命効果を確認する。

試験: 追加するエネルギーストレージは、出力端に電力制御装置配置し、バッテリーの入出力母線に間接接続する。バッテリーと追加エネルギーストレージとの負荷バランスが

制御できるシステムによりサイクル試験を行い、バッテリーストレスに対する寿命効果を確認する(右図)。

評価: バッテリーと追加エネルギーストレージとの負荷バランス制御システムを構築する。サイクル試験を行い、バッテリーストレスに対する寿命効果を確認する。負荷バランス制御の有無について、サイクル試験により寿命効果の評価する。

## (3) 研究計画(平成 30 年度)

### 得られた研究成果の発表と産業界への技術移転

目的: 本研究で取り組んだ次の技術課題をまとめ産学官へ向けて発表・提案する。走

行モード負荷(スパイク電流)がバッテリーストレスへ及ぼす影響度の定量化技術課題, 負荷電流積算制御から負荷電流頻度制御へのバッテリー制御方法の適正化技術課題, スパイク状電流を一定電流に変換する周辺ハードとその制御システムの構築技術課題.

📌 方法: 国内の産業界へは, 大学発の技術移転を促進するイベント(イノベーション・ジャパン, 各自治体開催のテクノトランスファー)などを利用して積極的に提案する. グローバルには, 本学と提携する海外大学, 海外からの招待講演, 技術指導の場, 国際会議や学術講演会などで, 積極的に研究成果を公表する. 学術論文・文献として文書による発行, 知的財産権として権利化を進める. 大学が主体の権利化が難しい場合は, 企業と協力して推進する. 上記は, 従来通りの研究成果のまとめ手法ではあるが, 研究成果の発表は, 狭い専門領域に留まることなく学際域も含め, 幅広く周知活用頂けるように努める.

📌 評価: 設計仕様通りのバッテリーでも設計寿命に届かない原因を解明し, 対策システムを構築することで, バッテリーの寿命制御が適正かされ, 中古バッテリーの車両用バッテリーとしての再利用の道を開くことができる.

研究支援体制: 研究代表者: 坂本 俊之(研究推進, 研究・試験・分析・評価担当), 研究協力者: スズキ(株)殿から共同研究の, 中国国営自動車企業から技術協力の打診を頂いている.

#### 4. 研究成果

本研究から, スパイク状電流は実エネルギーストレスで見るとバッテリー劣化への影響は少ないことが明らかとなった. これはモータの負荷電流に対する入出力挙動をキャパシターとバッテリーについて実験確認したところ, イオン移動をともなうバッテリーは早い入出力電流に追従できず, 結果として劣化影響を受けないことが分かった. 実験ではバッテリー劣化を簡易把握するためバッテリー内部インピーダンス上昇を測定した. これは一般にバッテリー劣化にしたがい, 劣化した電解液が電極極版を覆って SEI 層を形成することが知られており, バッテリー内部インピーダンスは一樣に上昇すると考えられている. 本研究では, SEI 層が一樣に上昇する事実はなく, 負荷サイクルの経過に対して一度上昇した値から低下するなど不安定な挙動を確認した. この原因を探るため, 高エネルギーを電極極版に当てることで電極版表面より更に内部の状況を見ると, 充放電により一度形成された SEI 層が吸着脱落を繰り返し, これがバッテリー内部インピーダンスの変動となって表れることが分かってきた. バッテリーの内部インピーダンスを用いて劣化判定を行う場合, 従来の知見では不十分な制御が行われる恐れがある. 適切な劣化判定とこれに基づいた制御が必要であることを本研究の発展的な成果として示すことができた.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件) 何れも First Author となる.

- (1) Toshiyuki SAKAMOTO, Lifetime Cycle Deterioration Analysis of Li-ion Battery by AC Impedance Response - Applied to Life Cycle Experience of Energy Storage for Marine Uses, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering (JIME), Vol.54 No.3, Tokyo, Japan, pp.118 to 127, May 2019.
- (2) 坂本俊之, 知能アルゴリズムを用いた 2 次電池の劣化診断解析 - 船用動力の電動化に関する自動車産業からの一考察, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 54 巻 2 号, PP. 174-180, 2019 年 03 月.
- (3) 坂本俊之, 無人機によるコンテナヤード内の荷役スペース解析 - 深層学習とニューラルネットワークからの一考察, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 54 巻 2 号, PP. 181-187, 2019 年 03 月.
- (4) Toshiyuki SAKAMOTO, Kazutomo KURODA, Statistical Analysis Applied to Ni-MH Battery Impedance for Preservation, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering (JIME), Vol.53 No.3, Tokyo, Japan, pp.137 to 143, May 2018.
- (5) 坂本俊之, 交流インピーダンス法によるリチウムイオンバッテリーの劣化診断解析, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 53 巻 2 号, PP.76-80, 2018 年 03 月.
- (6) 坂本俊之, 並列処理マイコンボードを用いた複数電動機の統合制御, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 53 巻 2 号, PP.81-84, 2018 年 03 月.
- (7) Toshiyuki SAKAMOTO, Electrochemical Impedance and Statistical Voltage Analysis - Marine Use Application: Energy Storage Life Cycle, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering (JIME), Vol.51 No.4, Tokyo, Japan, pp.111 to 118, July 2016.

[学会発表](計10件) 何れも First Author となる.

- (1) Toshiyuki SAKAMOTO, Lifetime Cycle Deterioration of Li-ion Battery by AC Impedance Response Analysis, The 9th Thai Society of Mechanical Engineers International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2018), Thai Society of Mechanical Engineers (Secretariat for TSME ICoME 2018 Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok), Phuket, Thailand, AME0004, pp.147-153, December 2018.
- (2) 坂本俊之, 知能アルゴリズムを用いた 2 次電池の劣化診断解析 - 船用動力の電動化に関する自動車産業からの一考察, 第 88 回マリンエンジニアリング学術講演会, 日本マリンエンジニアリング学会, No.116, 岡山, 2018 年 10 月
- (3) 坂本俊之, 無人機によるコンテナヤード内の荷役スペース解析 - 深層学習とニューラルネットワークからの一考察, 第 88 回マリンエンジニアリング学術講演会, 日本マリンエンジニアリング学会, No.116, 岡山, 2018 年 10 月
- (4) Toshiyuki SAKAMOTO, Deterioration diagnosis of Li-ion battery with AC impedance measurement analysis, The 8th Thai Society of Mechanical Engineers International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2017), Thai

Society of Mechanical Engineers (Secretariat for TSME ICoME 2017 Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok), Bangkok, Thailand, AME0006, pp.191-201, December 2017.

(5) Toshiyuki SAKAMOTO, Kazutomo KURODA, Statistical Analysis Applied to Ni-MH Battery Impedance for Preservation, International Symposium on Marine Engineering (ISME), The Japan Institute of Marine Engineering (JIME), Tokyo, Japan, C16-302, pp.449-455, October 2017.

(6) 坂本俊之, 黒田一智, 交流インピーダンス法によるリチウムイオンバッテリーの劣化診断解析, 第 87 回マリンエンジニアリング学術講演会, 日本マリンエンジニアリング学会, No.115, 東京, pp.69-70, 2017 年 05 月

(7) Toshiyuki SAKAMOTO, Statistical Analysis Applied to Rechargeable Battery Impedance for Lifetime Cycle Experiment, BIT's 3rd World Congress of Smart Materials 2017, World Congress of Advanced Materials, Bangkok, Thailand, March 2017.

(8) Toshiyuki SAKAMOTO, Kazutomo KURODA, Statistical Analysis Applied to Ni-MH Battery Impedance for Preservation Lifetime Experiment, The 7th Thai Society of Mechanical Engineers International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2016), Thai Society of Mechanical Engineers (Secretariat for TSME ICoME 2016 Department of Mechanical Engineering, Chulalongkorn University), Chiang Mai, Thailand, AME-0014, pp.1-5, December 2016. 本発表は, 自動車・鉄道・航空機部門のベストペーパーアワードとしてタイ機械学会より表彰を受けた。

(9) Toshiyuki SAKAMOTO, Kazutomo KURODA, AC Impedance Spectroscopy Analysis to Energy Storage Preservation Lifetime, The 27th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP27), Pacific Center of Thermal Fluids Engineering (PCTFE)・The Japan Society for Mechanical Engineers (JSME)・The Heat Transfer Society of Japan (HTSJ), ISTP27-021, Hawaii, USA, pp.1-5, September 2016.

(10) Toshiyuki SAKAMOTO, Masato MORITA, Li-ion Battery Temperature Phenomena of Electric Vehicles, The 27th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP27), Pacific Center of Thermal Fluids Engineering (PCTFE)・The Japan Society for Mechanical Engineers (JSME)・The Heat Transfer Society of Japan (HTSJ), ISTP27-139, Hawaii, USA, pp.1-5, September 2016.

〔図書〕(計 5 件) (5)のみ単著となる。

(1) 坂本俊之, 車載用 LIB の急速充電性能・耐久性と市場 (Quick Charging Performance & Durability for Automotive Li-Ion Batteries and Market Trend, シーエムシー・リサーチ出版, ISBN 978-4-904482-61-2, 東京, pp.95-109, 2019 年 04 月.

(2) 坂本俊之, EV におけるバッテリーマネジメント技術, 技術情報協会, ISBN 978-4-86104-729-9, 東京, pp.378-386, 2018 年 11 月.

(3) 坂本俊之, EV に最適なバッテリーマネジメント技術と市場 (BMS for the Development of EV and Market Trend), シーエムシー・リサーチ出版, ISBN978-4-904482-35-3, 東京, pp.93-111, 2017 年 05 月.

(4) 坂本俊之, 燃料電池自動車の開発と材料・部品 (Materials and Components of Fuel Cell Vehicles), シーエムシー出版, 東京, pp.115-123, 2016 年 02 月.

(5) 坂本俊之, 自動車の基礎をハイブリッド車技術から学ぶ (Basic Studies of Automotive Engineering for Hybrid Electric Vehicle Approach), 東海大学出版部, ISBN-10: 4486020839, ISBN-13: 978-4486020837, 東京, 全 161 ページ, 2016 年 05 月.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (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: 第 6245692 号

取得年: 2017 年 11 月

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究分担者 該当者ありません。

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号 (8 桁):

(2) 研究協力者 該当者ありません。

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

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。