

J_{ARI} R_{esearch} J_{ournal}

2026年
7月号



●一般記事

【技術資料】	JARI における車載用蓄電池のモデル構築と 三次元温度シミュレーション	p. 1～ (6 p)
明神 正雄, 安藤 慧佑, 東 敏和, 松田 智行 (環境研究部)		JRJ20260701

JARIにおける車載用蓄電池のモデル構築と 三次元温度シミュレーション*

Modeling and Three-Dimensional Thermal Simulation of Automotive Batteries at JARI

明神 正雄^{*1}

Masao MYOJIN

安藤 慧佑^{*2}

Keisuke ANDO

東 敏和^{*1}

Toshikazu HIGASHI

松田 智行^{*2}

Tomoyuki MATSUDA

リチウムイオン電池の温度は、容量や出力といった性能のほか、寿命や安全性にも影響する重要な因子である。一般財団法人日本自動車研究所（JARI: Japan Automobile Research Institute）では、電動車両（xEV）向け車載用蓄電池を対象に、発熱・伝熱シミュレーション技術を活用した評価・解析基盤の構築を進めている。本稿では、JARIにおける取り組みの一例として、セル単体の電圧・温度応答を扱うセルモデルの作成・検証と、モジュール内部の温度分布を評価するための三次元（3D: Three Dimensions）温度シミュレーションの構築・検証について述べる。セルモデルでは、開回路電圧、等価回路パラメータ、エントロピー変化などの電気・発熱特性を用いて、電流負荷に対する電圧・温度推移を評価する。3D 温度シミュレーションでは、熱伝導率、接触熱抵抗などの伝熱パラメータを用いて、モジュール内の温度分布や部材間の熱移動を考慮する。これらのモデルを実験結果と比較することで妥当性を確認し、車載用蓄電池の温度挙動評価や設計検討を支援するための解析基盤の構築に取り組んでいる。

KEY WORDS: 車載用蓄電池, リチウムイオン電池, 電池モジュール, 三次元温度シミュレーション

1. はじめに

自動車の電動化が進むなかで、電池の性能と信頼性を適切に評価することの重要性が高まっている。特にリチウムイオン電池の温度は、容量や出力などの性能だけでなく、寿命や安全性にも大きく関わるため、電池開発や熱マネジメント設計において重要な評価項目である。車載用蓄電池は、基本単位であるセルを複数組み合わせることでモジュールを構成し、さらに複数のモジュールや制御機器、冷却機構などを組み合わせてパックとして車両に搭載される。セル単体では、電流負荷や周囲温度の変化に対する電圧および温度の時間変化を把握することが重要である。一方、モジュールやパックでは、セル間、端子部、バスバー、ケース、冷却部材などの間で熱が移動するため、内部の温度分布や局所的な温度上昇を考慮した伝熱評価が必要となる。

このような温度挙動を実験のみで把握しようとする、測定点の数や設置位置に制約があり、モジュール内部の詳細な温度分布を直接確認することは容易ではない。また、設計条件や充放電条件を変更するたびに実機試験を行う場合、試験工数や試作コストが増加する。そのため、実験とシミュレーションを組み合わせ、実測値に基づいてモデルの妥当性を確認しながら、実測が困難な部位の温度分布や設計条件変更時の影響を検討することが有用である。

一般財団法人日本自動車研究所（JARI: Japan Automobile Research Institute）では、これまで、車載用蓄電池の発熱・伝熱シミュレーション技術について、単セル、モジュール、およびパックを対象としたモデル構築と実験検証を進めてきた¹⁾。本稿では、既報¹⁾で詳述した技術内容を背景に、図1に示す車載

* 2026年6月10日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 博士（工学）

用蓄電池の三次元（3D: Three Dimensions）温度シミュレーションを用いた評価・解析基盤の概要について述べる。

本稿では、モジュール構造を三次元的に表したモデルを「3D モデル」と呼ぶ。また、この 3D モデルを用いてモジュール内の温度分布や部材間の熱移動を計算・評価する解析を「3D 温度シミュレーション」とする。



図1 車載用蓄電池の3D温度シミュレーションの概要

2. xEV向け車載用蓄電池のセルモデル作成と検証

本章では、セル単体の電圧および温度の時間変化を評価するためにリチウムイオン電池セル用の設計・シミュレーションソフトウェアである Simcenter Battery Design Studio を用いて作成したセルモデルについて述べる。ここでいうセルモデルは、セルの電気的挙動を表す等価回路モデルと、セルの温度変化を表す集中熱容量モデルを組み合わせた電気・熱モデルである。等価回路モデルには、ランドルス回路を用い、電流負荷、充電状態（SOC: State of Charge）、温度条件に応じた端子電圧や過電圧を計算する。ランドルス回路は、電解液抵抗、電荷移動抵抗、電気二重層容量などを組み合わせて、電極反応に伴う電圧応答を表現する代表的な等価回路モデルである。発熱量は、過電圧から算出する不可逆的なジュール発熱と、エントロピー変化（ Δ エントロピー）から算出する可逆的な反応熱を合わせて求める。さらに、得られた発熱量を、セルの熱容量と周囲への放熱を表す熱モデルとあわせてセル温度の時間変化を計算する。

セルモデルは、セル単体の応答を比較的短い計算時間で評価できるため、負荷条件や温度条件を変えた場合の電圧・温度応答を把握するうえで有用である。また、3D 温度シミュレーションにおいて各セルの発熱条件に利用できる。

まず、セルモデルに必要な電気・熱特性を単セルの充放電試験により取得する。本検討では、定格容量 150 Ah の電気自動車向け車載用セルを用いた。開回路電圧（OCV: Open Circuit Voltage）はセルを所定の SOC に調整した後、十分な休止時間を設けて端子電圧を測定することで、SOC に対する平衡電圧として取得した。等価回路パラメータは、パルス電流負荷時の電圧応答から抵抗成分および時定数成分を同定し、SOC および温度に依存するため、条件ごとのモデル入力値として設定した。

次に、セルモデルの温度は、熱容量、ジュール発熱、反応熱、および放熱により決まる。本検討では、熱容量は過去の知見から初期値を決め、実験結果との比較に基づき見直した。 Δ エントロピーは、リチウムイオンの正極・負極への挿入・脱離に伴う電極反応の状態変化に由来し、可逆的な吸発熱としてセル温度に影響する。このため、 Δ エントロピーを異なる温度条件における開回路電圧の変化から求め、反応熱の計算に用いた。また、セルからの放熱量は熱伝達係数を設定することで環境温度との温度差が

ら算出した．なお，熱伝達係数は実験環境を考慮して設定するものである．これにより，電流負荷に伴うジュール発熱および反応熱と，周囲への放熱を含むセル温度の時間変化を計算できるようにした．

図2に，モデル入力値として充放電試験により取得した特性の例を示す．また図3に，充放電時のセル電圧および表面温度について，実験結果と計算結果を比較した例を示す．なお，作成したセルモデルの検証には，国際電気標準会議（IEC: International Electrotechnical Commission）の IEC 62660-1²⁾ に規定される動的放電プロファイル（25℃，IEC 動的放電）を用いた．これは，電動車両（xEV）の走行時に想定される負荷変動を模擬するため，時間とともに放電電流が変化する試験条件であり，定電流放電では把握しにくいセル電圧および温度応答を確認するために今回用いた．電池温度はジュール発熱を考慮することで実験値がおおよそ再現できる．ただし Δ エントロピーを考慮しない場合（紫色線）では，考慮した場合（青色線）と比べて一旦温度上昇が小さくなってから増大するような実験値との温度推移に差が生じており，セル温度を再現するうえで反応熱の取り扱いも重要であることが示されている．作成したセルモデルにより，IEC 62660-1 に基づく動的放電プロファイルに対する端子電圧および表面温度の時間変化を，実験結果とおおむね一致する形で再現できることを確認した．

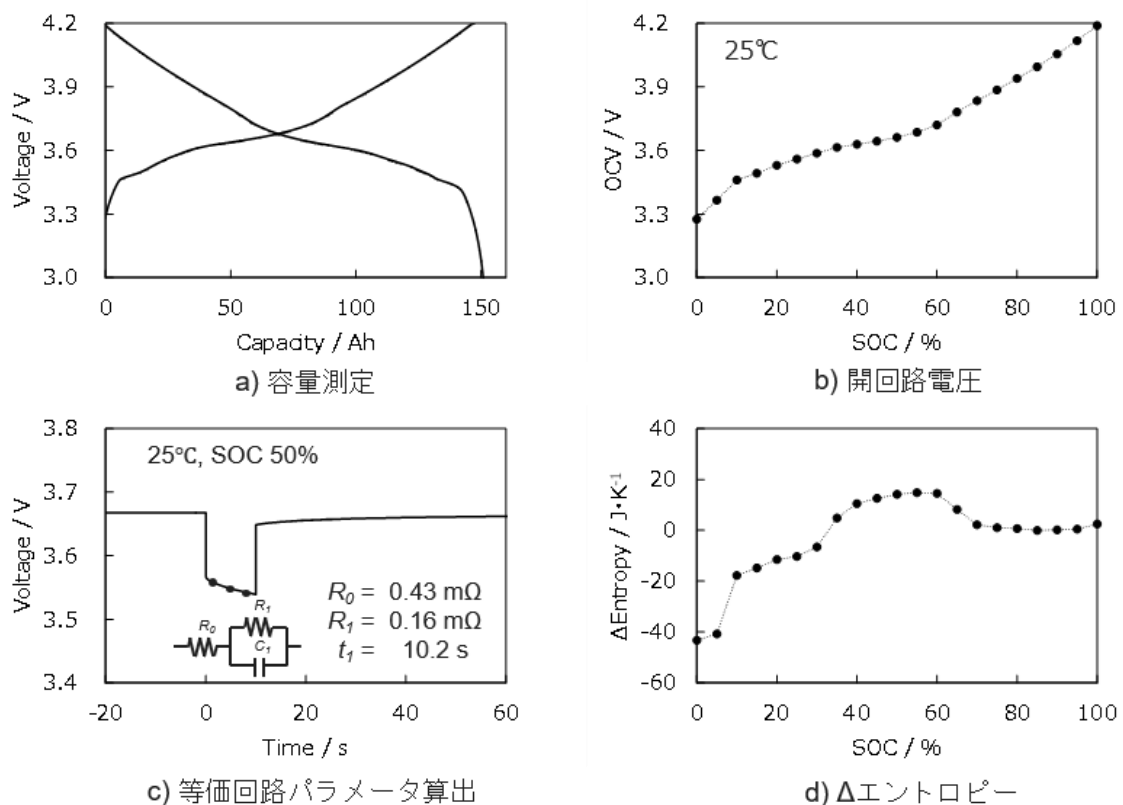


図2 車載用蓄電池のセルモデル入力値として充放電試験により取得した特性の例

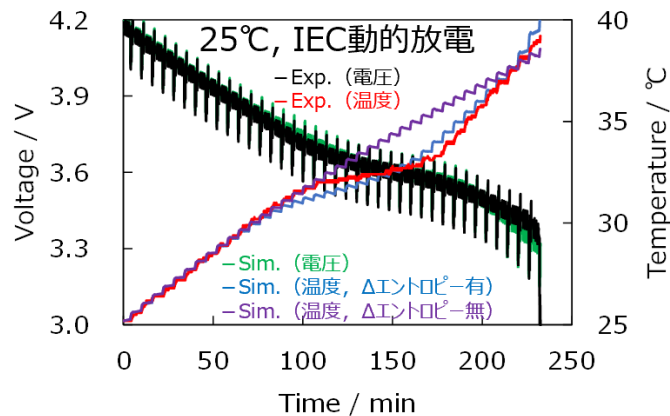


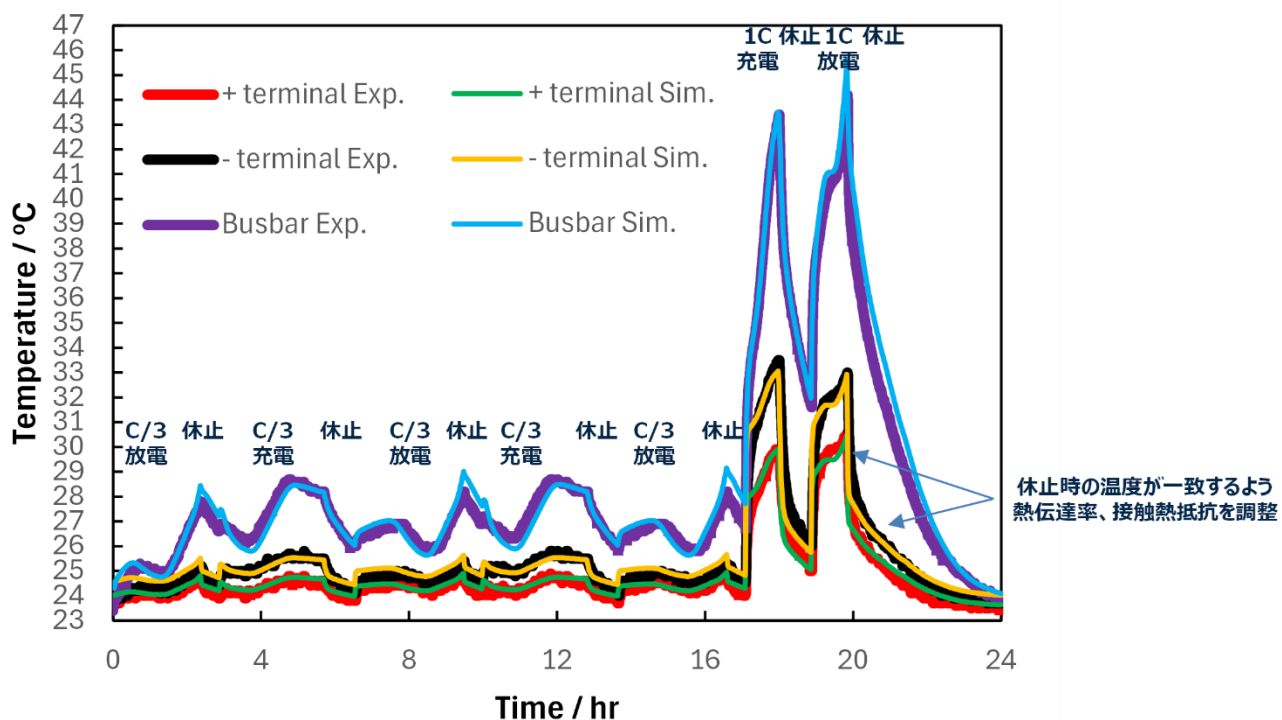
図3 車載用蓄電池のセルモデルの検証例

3. 車載用蓄電池の3D温度シミュレーション

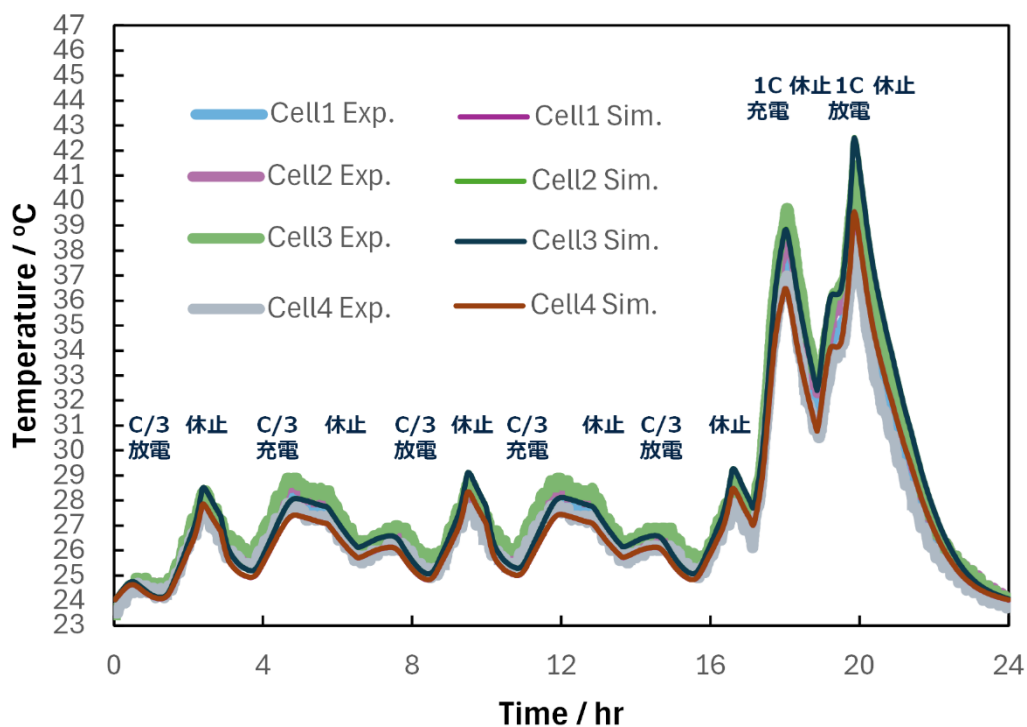
本章では、モジュール内部の温度分布と部材間の熱移動を把握するために実施した 3D 温度シミュレーションについて述べる。前章で述べたセルモデルがセル単体の電圧・温度応答を扱うのに対し、3D 温度シミュレーションでは、モジュール構造を対象とし、部材間の熱移動や局所的な温度上昇を評価する。これにより、モジュール各部の温度を推定できる。そのため、モデルの妥当性を確認したうえで、充放電条件を変えた際などの局所的な高温部の抽出が可能であり、冷却構造の設計などに活用できる可能性がある。

JARI では 3D 温度シミュレーション用のソフトウェアとして Simcenter STAR-CCM+を、シミュレーション環境としてワークステーションおよびコンピュータ・クラスタ (PC クラスタ) を有しており、本検討で活用した。3D モデルでは、セル、タブ、バスバー、端子、コンプレッションパッド、ケースなどを含むモジュール構造を作成し、各部材に密度、比熱、熱伝導率などの熱物性を設定した。また、部材間の熱移動を表す接触熱抵抗、周囲への放熱を表す熱伝達係数は初期値を決め、実験結果との比較に基づき見直した。セル、タブ、バスバーの通電部では、電場・熱連成解析によるジュール発熱を計算した。

作成した 3D モデルについて、実験データとの比較による妥当性確認の例を図 4 に示す。C レートは、電池の定格容量に対する充放電電流の倍率であり、1C は定格容量を 1 時間で充放電する電流値に相当する。作成した 3D モデルの検証には、休止時間を挟んで実施した一連の実験 (C/3 充放電 2 回および 1C 充放電 1 回) の結果を用いた。検証対象は、端子、バスバー、セル表面など複数の測定点における温度推移とした。検証の結果、主要な測定点における温度推移が実験結果とおおむね一致することを確認した。これらにより、モジュール内の温度分布を把握するための 3D モデルの作成手順を整備し、設計検討など研究開発を支援する環境を構築している。



a) +-端子・バスバー



b) セル

図4 3D温度シミュレーションによる車載用蓄電池モジュールの温度分布評価例

4. まとめ

本稿では、JARI における車載用蓄電池の温度挙動評価に向けて、セルモデルおよび 3D 温度シミュレーションを組み合わせた評価・解析基盤の概要について述べた。

セルモデルについては、IEC 62660-1 に基づく動的放電プロファイルに対する電圧および表面温度の時間変化を、実験結果とおおむね一致する形で再現した。また、 Δ エントロピーを考慮しない場合には温度推移に差が生じることから、セル温度の再現にはジュール発熱に加えて反応熱の取り扱いも重要であることを確認した。

3D モデルについては、セル、タブ、バスバー、端子、コンプレッションパッド、ケースなどを含むモジュール構造を作成し、実験結果との比較により、対象条件において主要な測定点における表面温度推移の再現性を確認した。これにより、モジュール内の温度分布や局所的な高温部を把握するための解析手法として、3D 温度シミュレーションを活用できる可能性が示唆された。

今後は、実験データとの比較を通じてモデルの適用範囲を明確化するとともに、パラメータ取得の効率化や、モデルベース開発との連携を含む設計検討プロセスへの展開を進める予定である。また、容量、内部抵抗、熱特性、熱容量などのセル特性をパラメータとして扱うことで、冷却構造や熱マネジメント条件の違いが温度挙動に与える影響を比較するための基礎情報を得ることができる。このようなモデル化と実験検証を組み合わせた取り組みは、車載用蓄電池の熱設計を共通の評価観点で整理するうえでも有用であり、第三者的な観点から設計条件を比較・評価するための評価・解析基盤につながる事が考えられる。JARI では本稿で示した 3D 温度シミュレーションのほか、パック設計に資する構造解析モデル構築や xEV のワイヤレス給電のための電磁界解析モデル構築などの技術開発を行っている。これらにより、電池から車両システムを見据えた研究開発支援につなげていく。

参考文献

- 1) 松田 智行 ほか:「車載用バッテリーの発熱・伝熱シミュレーション技術」, 自動車技術, Vol. 77, No. 6 (2023)
- 2) IEC 62660-1: 2018 Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles – Part 1: Performance testing (2018)
<https://www.iecee.org/certification/iec-standards/iec-62660-12018>, (参照 2026-06-10)

JARI Research Journal 掲載区分

掲 載 区 分	記 載 概 要
研究速報 Research Report	背景、目的、方法、結果、考察といった一般的な研究論文の体裁を持った記事。
技術資料 Technical Report	一般的な研究論文の体裁ではないものの、新たな知見または価値あるデータを報告する記事。
調査資料 Survey Report	他機関より得られた資料、データを元に、新たな知見を報告する記事。
解 説 Review	特定の分野やテーマに関して、「現状の最新動向」や「研究・開発状況」などをまとめ、要約・説明する記事。
研究活動紹介 Research Activity	一般的な研究論文の体裁ではないものの、JARI の研究活動や各種プロジェクトなどを紹介・報告する記事。
トピックス Topics	JARI の「研究活動」以外の「活動」等について客観的に事実を報告する記事。
講演 Lecture	JARI のイベントでの講演(含む所外の講演者)をそのまま原稿に起こした記事。
巻頭言 Preface	特集号の冒頭記事。特集したことへの解説や特集内容への JARI の取り組みなどを記述。
エッセイ Essay	「研究活動紹介」や「トピックス」と同様に、JARI の活動や関連する話題を取り上げるが、筆者の視点や主観を交え、軽い語り口で親しみやすくまとめた記事。