

インピーダンス計測を用いたEV駆動用バッテリーの性能評価*

Performance Evaluation of EV Traction Batteries via Impedance Measurement

森 匠¹⁾ 寺西 望²⁾ 高橋 利道³⁾
Takumi Mori Nozomu Teranishi Toshimichi Takahashi

A method for directly measuring the voltage and impedance of EV traction batteries through the rapid (DC) charging port is reported. The principles and verification results of this approach are presented. A methodology for assessing and managing battery state, based on physical quantities obtained through this method, is proposed with the aim of ensuring secure long-term EV usage and maximizing the value of the batteries, thereby contributing to the realization of a sustainable circular society.

KEY WORDS

EV and HV Systems, Battery Technology, Regulation
Evaluation Technology [A3](#)

1 はじめに

電気自動車，プラグインハイブリッド自動車，ハイブリッド自動車，燃料電池自動車などの電動車に搭載される車載バッテリーについて，安全性，容量劣化，出力劣化などの性能を担保することは重要である．電動車のバッテリー耐久性については，UN Global Technical Regulations No.22 (In-vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles) が2022年に成立している⁽¹⁾．欧州では，バッテリー規制案が公表され，製造・廃棄時の温室効果ガスに規制（カーボンフットプリント規制），責任ある材料調達（デュー・ディリジェンス），リサイクルに関する規制等が提案されている⁽²⁾．バッテリーパスポート，デジタルプロダクトパスポート，Catena-Xといった海外でのデータ連携が進んでいる⁽³⁾．また，データの信頼性を担保する認証方法やデータの相互運用性の確保も重要な課題である．

電動車を安心して長期間使うためには，電動車の劣化要因の一つであるバッテリー状態の把握，ラ

イフサイクル全体にわたるトレーサビリティの確保，消費者や車両所有者への情報提供などが，車種によらない共通の指標を通じて達成されることが重要である．そこでわれわれは，物理量として直接計測可能なパラメータであるバッテリーのインピーダンスに着目した．交流インピーダンスはバッテリー性能の検査パラメータとして市場で広く活用されている値であり，長年の実績によってその高い信頼性が証明されている．また，バッテリーがセル単体，モジュール，パックいずれの状態であっても測定可能である．さらに，測定は小型の装置を用いて短時間で完了するため，車両を検査する現場でも運用が容易である．物理量を数値化したバッテリーのインピーダンス値を基準にして，バッテリーの循環経済（サーキュラーエコノミー）におけるバッテリー実物の流通や情報流通を活性化できると考えられる．

交流インピーダンスによるバッテリー性能検査は，合理的なコストと高い信頼性でバッテリーの状態を試験・検査する手法として期待される．ここでは，車両に搭載された状態のEV駆動用バッテリーパックに対して，交流インピーダンスによる状態検査の方法論を適用できる可能性を探るための実験的な検証について報告する．急速充電口を通じてバッテリーのインピーダンスを直接計測することが可能な装置を開発し，測定装置の安定性および異なる状態におけるインピーダンス値のバッテリー状態依存性を評価した．また，車載状態において

バッテリーパックと並列につながっている各要素とバッテリーパックのインピーダンスの関係について実験的検討を行った．

2 検討内容

EV駆動用バッテリーパックを構成して，以下では単にバッテリーパックと呼ぶことにする．車載状態のバッテリーパックは，BMS (Battery Management System) が制御するバッテリーの電圧，バッテリーに流れる電流，温度といった物理量に基づいて，車載内蔵ないし遠隔制御を通じてのサービスで状態管理が実施されている．車載内蔵では，デジタルロード上の通信やスマートフォンアプリインターフェースなどを通じて，バッテリーの状態が通知される．また，バッテリーの状態をより簡単に評価するために，車に搭載された上の状態管理を実施して，車内の情報を代ってバッテリーの状態を把握するようなサービスについての開発も進んでいる．いずれの場合においても，バッテリー状態を把握する装置となるゲートは，車載の内蔵装置として開発したものである．安全に車に搭載する装置ではないことに注意が必要である．必ずかつ信頼的な検査のために，車に搭載された上の状態管理を実施せずに，バッテリーの状態を信頼的に直接計測することが重要である．

本記事における車載バッテリーパックの電圧を正確に計測する手法であるUN Global Technical Regulations No.22では，小型車とトラックイコモータを用いて，測定装置がゲートウェイで電圧計測を行う⁽⁴⁾．バッテリーパックから直接したメータゲートおよび測定装置の精度によってバッテリーパックの電圧を正確に計測することが可能となる．ただしこのような計測はトラックイコモータの活用を前提とした大規模なものとなり，適用できるシーンが限られるところに課題がある．また，電圧計測を前提とした車載内蔵・車載の車両に於ける適用はさらに課題になると想定される⁽⁵⁾．また，EV駆動用バッテリーパック単体の電圧計測としては，既に4000V⁽⁶⁾において，①電圧電圧計，②電圧，③メータゲート，④電圧電圧計，⑤サイタル試験，⑥メータゲート試験，といった試験が規定されている．しかしながら，いずれも車載状態のバッテリーパックに対する適用性は乏しい．

以上のような状況を見ると，車載バッテリーパッ

クの状態を直接測定する手法として，交流インピーダンス計測を有効な候補として選択した．交流インピーダンスは以下2つの特徴がある．

- ① バッテリーがセル・パック・車載など，多様な状態であっても簡単に評価できる．
- ② バッテリーの状態指標として電圧に規定がある⁽⁷⁾．すでに広く実用がある⁽⁸⁾．

バッテリーの交流インピーダンスについて簡単に述べる．バッテリーに流れる電流が交流の電圧電圧に比例し，小振幅範囲であれば定常的に電圧電圧が一定であるとして扱える．電圧電圧での計測手法の中で最も広く用いられているのが，正弦波を入力して電圧電圧を計測する．いわゆる交流インピーダンス法である⁽⁹⁾．交流インピーダンス法はバッテリーの各電極や電極間のイオン移動，電極中の電子移動反応，電極中の電子抵抗などの各要素を直接評価することが可能な手法として知られており，最もスタンダードなバッテリーの電圧，電圧の各要素を評価するためには，典型的に10kHzから10kHz程度の周波数範囲を用いる．

さらに，周波数を固定した第一周波数での交流インピーダンスを用いたバッテリー検査も広く用いられており，典型的に1kHzの交流インピーダンスの電圧が知られている⁽¹⁰⁾．特に車載工場における評価ゲートウェイでは，この値のことを簡便に交流インピーダンス，内部抵抗，ACR (AC Internal Resistance) などと呼ぶことが一般的である．交流インピーダンスはバッテリーのセル・モジュール・パックの構造および電極の電極の工程において，標準的な状態指標として知られている．1kHzという特定の周波数が選ばれている理由はその以下の通りである．

- ① 周波数で測定が容易である．またバッテリーの電圧電圧は「電圧電圧計・電圧・電圧電圧イオン移動など」を測定する能力をもっていること．
- ② 1kHzより高い周波数範囲では，バッテリーの電圧電圧や電圧，電圧の電圧などに起因する信頼的な成分の電圧電圧に多い．計測装置の信頼性が低くなる．また低い周波数範囲では，電圧電圧電圧（電子電圧）に起因するインピーダンスが顕在化してくるが，これは信頼性が低くなる．また安定した値を得るためには電圧の電圧電圧から十分な電圧電圧を測

1) 国際連合世界技術規格 (UN Global Technical Regulations) No.22 (In-vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles) が2022年に成立している．
2) 欧州では，バッテリー規制案が公表され，製造・廃棄時の温室効果ガスに規制（カーボンフットプリント規制），責任ある材料調達（デュー・ディリジェンス），リサイクルに関する規制等が提案されている．
3) デジタルプロダクトパスポート，Catena-Xといった海外でのデータ連携が進んでいる．
4) 国際連合世界技術規格 (UN Global Technical Regulations) No.22では，小型車とトラックイコモータを用いて，測定装置がゲートウェイで電圧計測を行う．
5) バッテリーパックから直接したメータゲートおよび測定装置の精度によってバッテリーパックの電圧を正確に計測することが可能となる．
6) 4000V．
7) 電圧電圧計，電圧，メータゲート，電圧電圧計，サイタル試験，メータゲート試験，といった試験が規定されている．
8) 1kHzという特定の周波数が選ばれている理由はその以下の通りである．
9) 周波数で測定が容易である．またバッテリーの電圧電圧は「電圧電圧計・電圧・電圧電圧イオン移動など」を測定する能力をもっていること．
10) 1kHzより高い周波数範囲では，バッテリーの電圧電圧や電圧，電圧の電圧などに起因する信頼的な成分の電圧電圧に多い．計測装置の信頼性が低くなる．また低い周波数範囲では，電圧電圧電圧（電子電圧）に起因するインピーダンスが顕在化してくるが，これは信頼性が低くなる．また安定した値を得るためには電圧の電圧電圧から十分な電圧電圧を測