

2023年3月31日

報告書

実施期間 2022年4月～2023年3月

バッテリーリユースのグレーディング技術実証

交流インピーダンス法による高速グレーディング
(劣化診断) 技術検証

ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社

三菱自動車工業株式会社

概要

名称

交流インピーダンス法による高速グレーディング（劣化診断）技術検証

実施期間

2022年4月～2023年3月

開発/調査 代表者

ヌヴォトン テクノロジージャパン株式会社

バッテリー・アナログソリューションBG マーケティング部

実施者

ヌヴォトン テクノロジージャパン株式会社

バッテリー・アナログソリューションBG マーケティング部

三菱自動車工業株式会社

サステナビリティ推進部

EV・パワートレイン先行開発部

実施内容

市場から回収された使用期間や走行距離の違う車両から回収されたセル/モジュール 20 個のグレーディング検証を実施した。また診断精度や適用範囲の確認のため温度/SOC 依存性を検証した。

成果

グレーディング検証したモジュール 20 個の内 17 個は実測値と推定値の差は±2.5% 以内であり、3 個は 4%～7%である。これらは他のモジュールと比較して走行距離/経過時間の値が小さく劣化モードが異なると推測する。

25°Cと各温度での推定結果の相対誤差を比較した結果、温度差が大きいほど誤差が大きくなる傾向がある。SOC50%と各SOCでの推定結果の相対誤差を比較した結果、低SOC側(SOC20%)では2%程度高く、高SOC側(SOC80%)ではほとんど差が見られなかった。

これらの結果から診断対象を絞ることで精度の向上が見込まれ、リユースリサイクル時の診断手法として活用の可能性が高い。

バッテリーリユースのグレーディング技術実証 2022年度活動報告

交流インピーダンス法による高速グレーディング（劣化診断）技術検証

ヌヴォトン テクノロジージャパン株式会社
(NTCJ)

www.nuvoton.co.jp



目次

章	項目	内容
1	交流Z法適用検証プロセス	22年度の取り組み概要
2	推定アルゴリズム事前検証について	FY21取り組みで開発したアルゴリズムの更新内容と電池モジュールへの適用に向けた検討内容
3	中古電池モジュールグレーディング検証について	電池モジュールのグレーディングに向けての適用内容について
4	〃	グレーディング適用想定シーンについて
5	検証モジュール情報	検証で使用した電池モジュール情報の記載
6	交流Z法・推定アルゴリズム適用検証結果	<ul style="list-style-type: none">・測定20モジュールの推定結果と従来法との比較（SOC50%、室温）・温度依存性について・SOC依存性について・接続検証、実施者違いでの再現性
7	交流Z法の実運用への適用性	従来充電法との比較、検証結果からの実運用適用の可能性を記載
8	まとめ	まとめ

1. 交流Z法適用検証プロセス

2021年度：LEV40セルにおける、SOH・温度・SOCをパラメータとしたマッピングデータ取得

2022年度：市場から返却された中古LEV40セル／モジュールに対するグレーディング検証を実施



STEP2

- ✓ 21年度取得したマッピングデータを元にSOH推定アルゴリズムを検証
- ✓ 中古LEV40モジュール測定向けのNTCJ測定モジュール構成検討
- ✓ 測定対象の中古LEV40モジュールの準備

STEP3

- ✓ 中古LEV40モジュール(20pcs)のグレーディング検証
- ✓ 2か年の取り組みのまとめ

	取組み	FY21	FY22			
			Q1	Q2	Q3	Q4
本報告 グレーディング検証 取組み項目 ☆ 報告書	劣化相関検証	マッピングデータ取得 ☆				
	測定モジュール 事前検証・準備	STEP2	測定モジュール事前検証・準備			
	セル測定精度検証 グレーディング検証		推定アルゴリズム事前検証・準備	市場劣化セル準備	アルゴリズム検証(必要に応じて実施) グレーディング検証	
	電池モジュール グレーディング検証			STEP3	電池モジュール評価	
	結果考察・整理					レポート作成 ☆

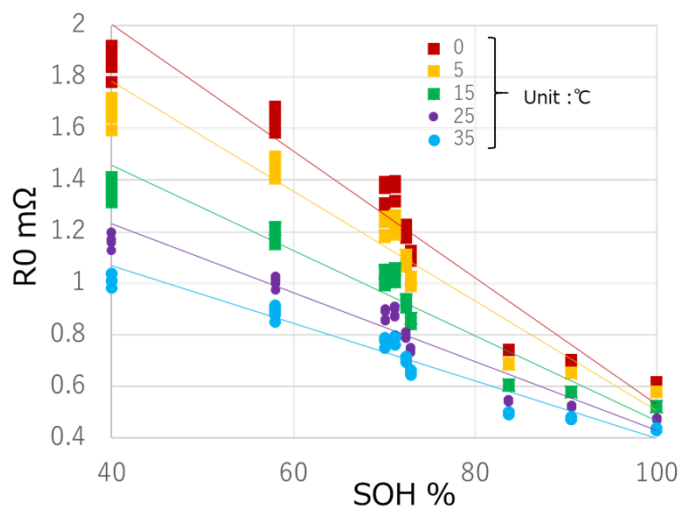
本検証は2か年計画であり、今回の報告は、マッピングデータを元に中古LEV40グレーディングに対してチューニングした推定アルゴリズムの事前検証および、電池モジュールのグレーディングにて適用性と精度検証を実施する。

2. 推定アルゴリズム事前検証

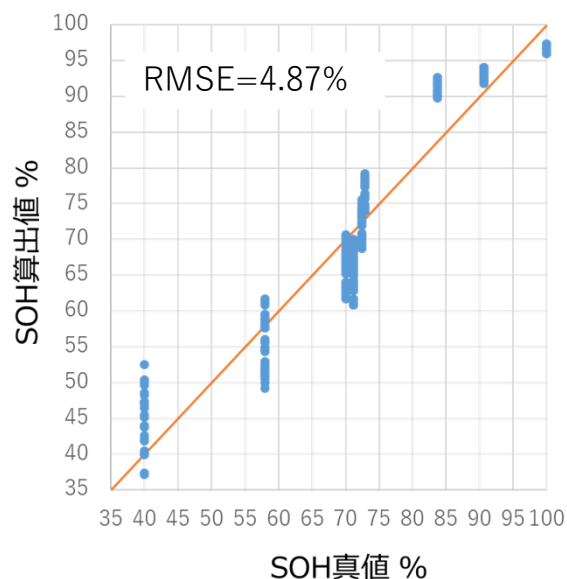
本年度は車載中古電池のグレーディングへ推定アルゴリズムのチューニングを実施
市場回収セルを20個用い、推定アルゴリズム精度をRMSE=4.87% -> 2.69%に向上

STEP 1 (21年度)

広範囲のSOHと AC抵抗(R0)の相関を確認

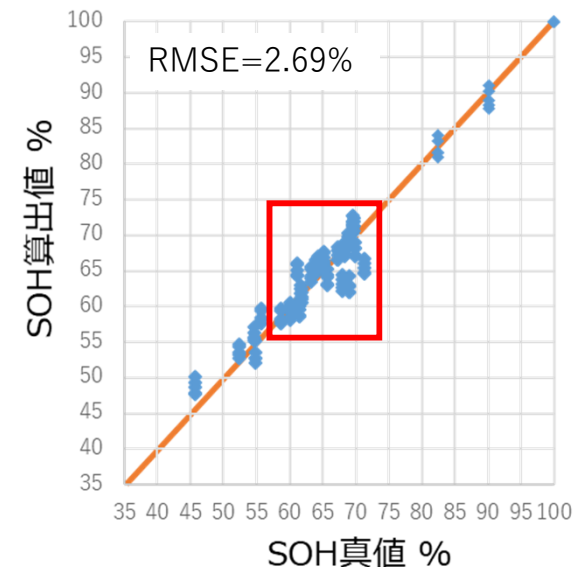


R0を用いたSOH推定アルゴリズムを適用



STEP 2 (今年度)

グレーディング境界付近の市場回収セルを増やしアルゴリズム精度を向上



3. 中古電池モジュールグレーディング検証について

推定アルゴリズムをモジュールのグレーディングへ適用し、以下の測定系・診断フローで実施

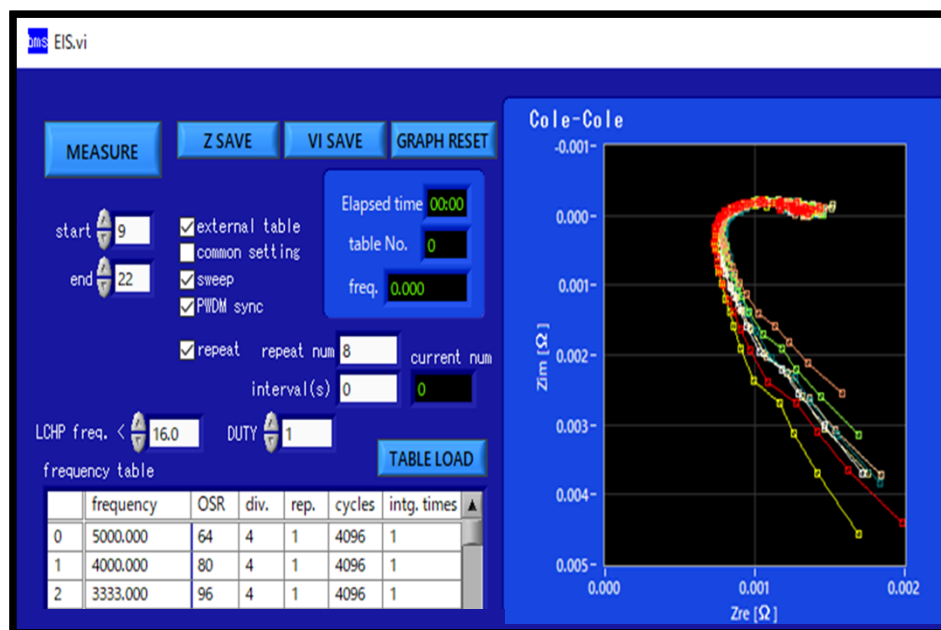
モジュールSOH：最も劣化したセルのSOHをモジュールのSOHとする

モジュールの温度：モジュール内にある5点のサーミスタ温度情報を測定

測定系写真



モジュール(8セル) EIS特性



診断フロー

測定系接続

各セル
EIS測定

モジュールの温度測定

GUI

各セル
SOH推定

モジュールSOH推定

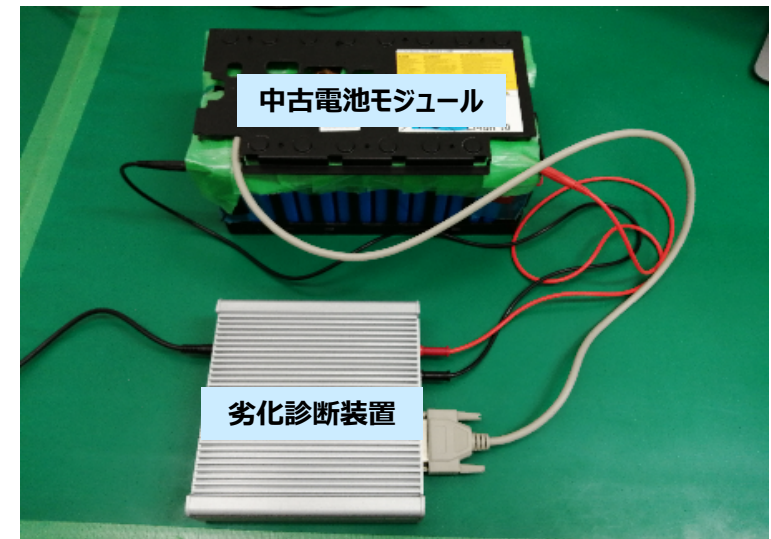
4. 中古電池モジュールグレーディング検証について

今後増加する中古電池のリユースに向けて、高速/高精度グレーディング推定の適用シーンを考慮し、下記条件での検証を実施

適用想定シーン：外部電源が無い環境での電池モジュールグレーディング

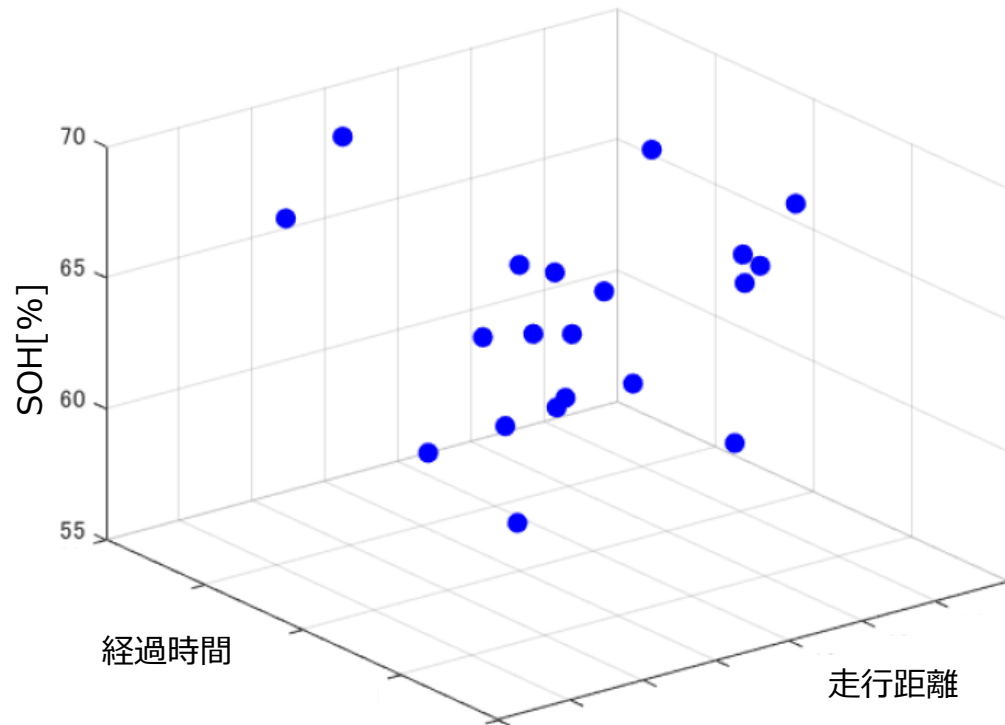
劣化診断装置：ケーブル(B+/B- セル電圧・サーミスタモニタ PC通信)接続して実施

想定環境	想定条件
電池保管施設内	SOC50%、常温
電池モジュールのSOH	実施者がSOHがわからない状態
電池保管施設の気温変動	0℃～45℃
SOC状態	20%～80%
実施日、実施者の差分	実施日、実施者違いの測定



5 . 検証モジュール情報

今回の中古電池モジュールグレーディング検証対象は市場劣化モジュール20サンプルを使用
履歴(走行距離、経過時間)のばらつきを考慮した電池モジュールにて実施

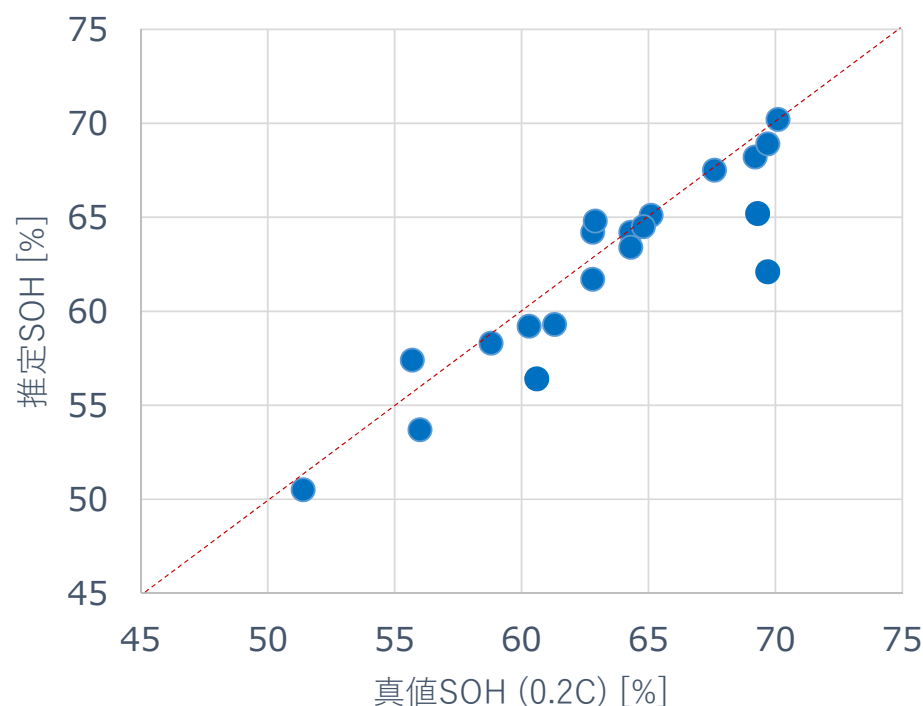


6-1. 交流Z法・推定アルゴリズム適用検証結果

9割のモジュールが従来法(真値)と2.5%以下の差の精度で推定

3サンプルについては他サンプルと劣化モードが異なると推察されるため、以降のページで見解を報告

モジュール名	SOC [%]	温度 [°C]	真値 [%]	推定 [%]	Δ [%]
M2632	50	19.2	69.3	65.2	-4.1
M2610		20.2	69.2	68.2	-1
M2602		19.1	69.7	62.1	-7.6
M2626		18.4	70.1	70.2	0.1
M2620		20.2	67.6	67.5	-0.1
M2630		22	65.1	65.1	0
M2616		18.6	64.3	64.2	-0.1
M2598		18.6	64.8	64.5	-0.3
M2594		20.7	62.8	61.7	-1.1
M2604		16.9	62.8	64.2	1.4
M2622		18.8	60.6	56.4	-4.2
M2600		18.8	61.3	59.3	-2
M2606		15.5	60.3	59.2	-1.1
M2618		18.2	62.9	64.8	1.9
M2596		22.9	64.3	63.4	-0.9
M2612		20.3	58.8	58.3	-0.5
M2614		16.1	56	53.7	-2.3
M2628		21.9	55.7	57.4	1.7
M2624		18.5	69.7	68.9	-0.8
M2608		19.5	51.4	50.5	-0.9



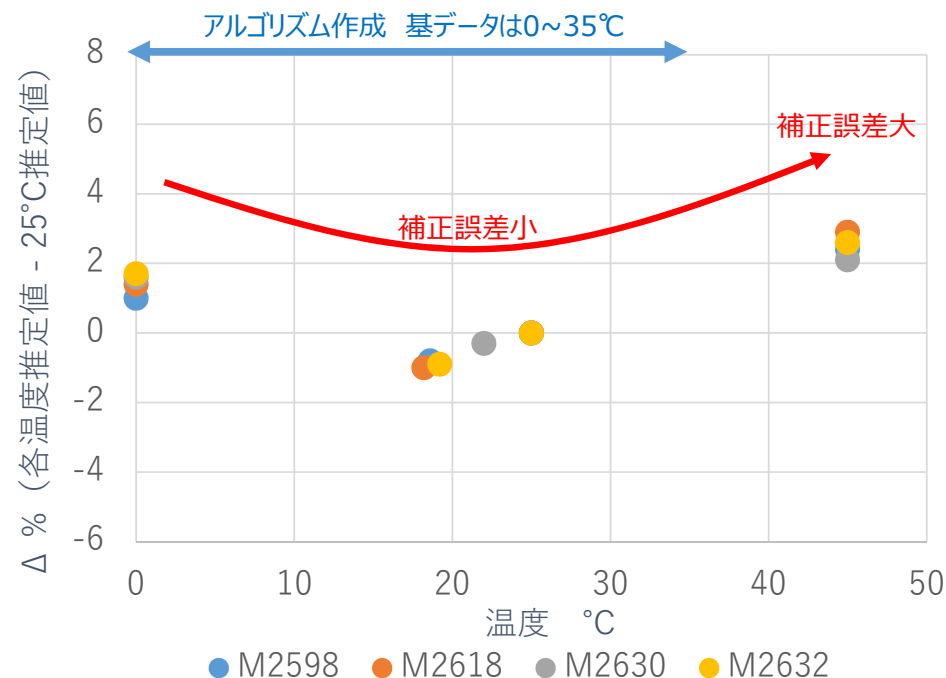
6-2. 交流Z法・推定アルゴリズム適用検証結果(温度依存性)

充放電法による容量計測結果を真値とし、0~45℃範囲での推定誤差を検証

推定誤差が25℃付近が最小となる下に凸の傾向

温度補正をアレニウス式ではなく、線形近似を適用した誤差の分布によるものと推測

モジュール名	SOC [%]	温度 [°C]	真値 [%]	推定 [%]	*Δ [%]
M2598	50	0	64.8	66.3	1.0
		18.6		64.5	-0.8
		25		65.3	0
		45		67.7	2.4
M2618	50	0	62.9	67.2	1.4
		18.2		64.8	-1
		25		65.8	0
M2630	50	0	65.1	67.0	1.6
		22.0		65.1	-0.3
		25		65.4	0
M2632	50	0	69.3	67.8	1.7
		19.2		65.2	-0.9
		25		66.1	0
		45		68.7	2.6

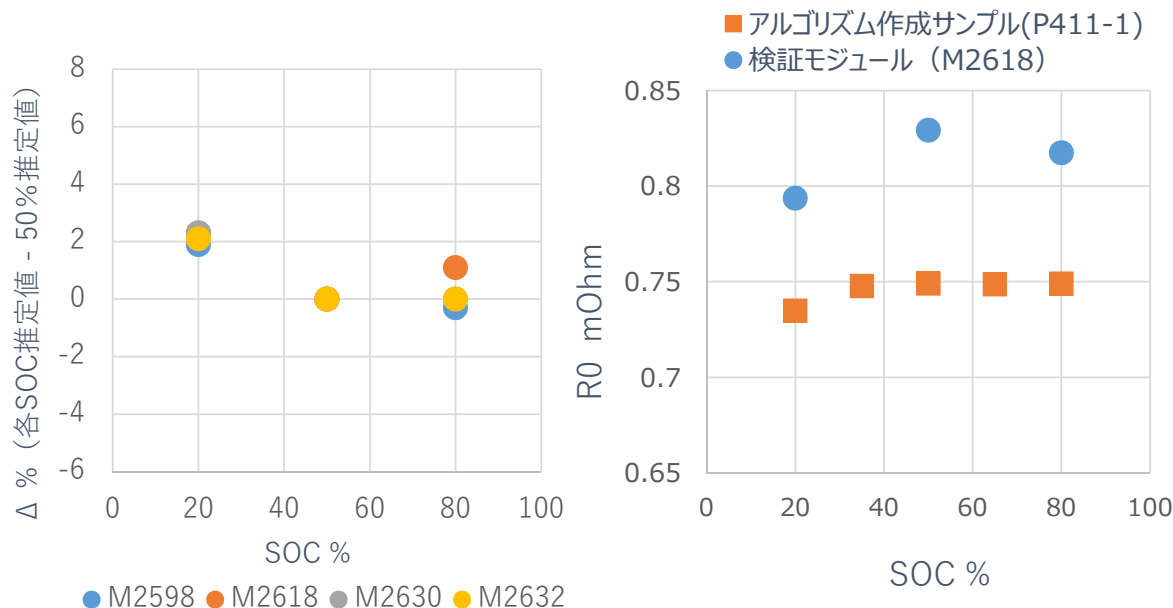


*各温度推定値と25℃推定値との差分

6-3. 交流Z法・推定アルゴリズム適用検証結果(SOC依存性)

充放電法による容量計測結果を真値とし、SOC20~80%の範囲での推定誤差を検証
 推定誤差の傾向がサンプル毎に異なるため、SOC依存性だけでなく、測定ばらつきも含んだ誤差と推測
 アルゴリズム作成時のサンプルと比較してR0-SOCのばらつきが大きく誤差として見えている

モジュール名	SOC [%]	温度 [°C]	真値 [%]	推定 [%]	*Δ [%]
M2598	20	25	64.8	67.2	1.9
	50			65.3	0
	80			65.0	-0.3
M2618	20		62.9	68.1	2.3
	50			65.8	0
	80			66.9	1.1
M2630	20		65.1	67.7	2.3
	50			65.4	0
	80			65.4	0
M2632	20		69.3	68.2	2.1
	50			66.1	0
	80			66.1	0



*各SOC推定値と50%推定値との差分

6-4. 交流Z法・推定アルゴリズム適用検証結果(再現性)

- ・ 交流Z法・推定アルゴリズムによる推定の再現性を従来法(真値)との差で検証
- ・ 実運用を想定した接続検証、実施者(NTCJ/MMC)違いの検証で±1%以内を確認

【接続検証 M2598】

接続回数	SOC [%]	温度 [°C]	真値 [%]	推定 [%]	*Δ [%]
1回目 11/7	50	18.6	64.8	64.5	0
2回目 11/7		19.8		64.6	0.1
3回目 11/8		15.3		64.4	-0.1
4回目 11/9		18.3		64.4	-0.1

【実施者違いでの検証】

実施者	モジュール名	SOC [%]	温度 [°C]	真値 [%]	推定 [%]	**Δ [%]
NTCJ	M2598	50	18.6	64.8	64.5	-0.8
MMC			25		65.3	0
NTCJ	M2618		18.2	62.9	64.8	-1.0
MMC			25		65.8	0
NTCJ	M2630		22.0	65.1	65.1	-0.3
MMC			25		65.4	0
NTCJ	M2632		19.2	69.3	65.2	-0.9
MMC			25		66.1	0

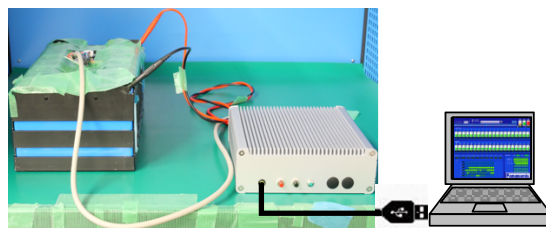
*1回目検証と各回検証の差分

**MMC実施とNTCJ実施の差分

7-1. 交流Z法の実運用への適用性

従来充放電法の課題(長時間測定・大型装置)解決に一定の成果を確認
 装置持ち運び・場所・時間制約なしの電池グレーディングや、システム搭載電池の診断の可能性を確認

交流Z法(NTCJ)



サイズ：0.002m³

従来充放電法



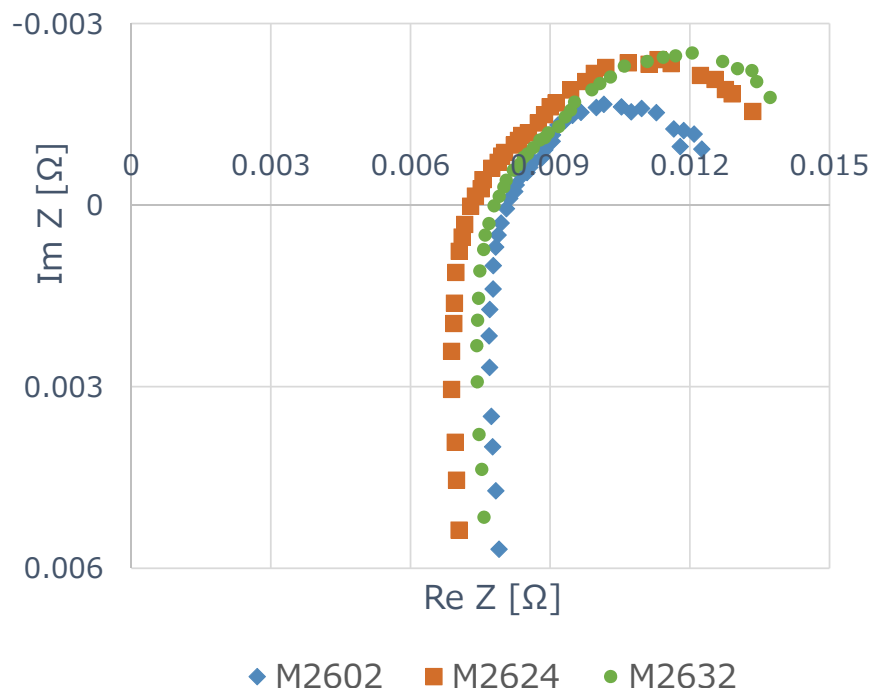
サイズ：4.5m³

	交流Z法(NTCJ)	従来充放電法
状態把握	劣化度 ∝ 内部Z (推定) 😊	劣化度 (真値確認の一般的な手法) 😊
方式	間接法	直接法
判定時間	GOOD! ~数分 😊	数時間~1日 😞
電池負荷	0.025C 😊	1C~数C 😞
設備	外部電源不要・小型 😊	大型充放電装置 😞
推定精度(アルゴ)	※ 3%以下(2.69%) 😊	—

※常温、SOC50%、検証の9割サンプルにて

7-2. 交流Z法の実運用への適用性

推定誤差大のサンプルについて、SOH真値が同等で、
 推定誤差大(M2602、M2632)/小(M2624)のサンプルでEIS特性を比較
 SOHが同程度でもEIS特性に差異が見られ、R0に含まれるL成分に差異がないことを確認

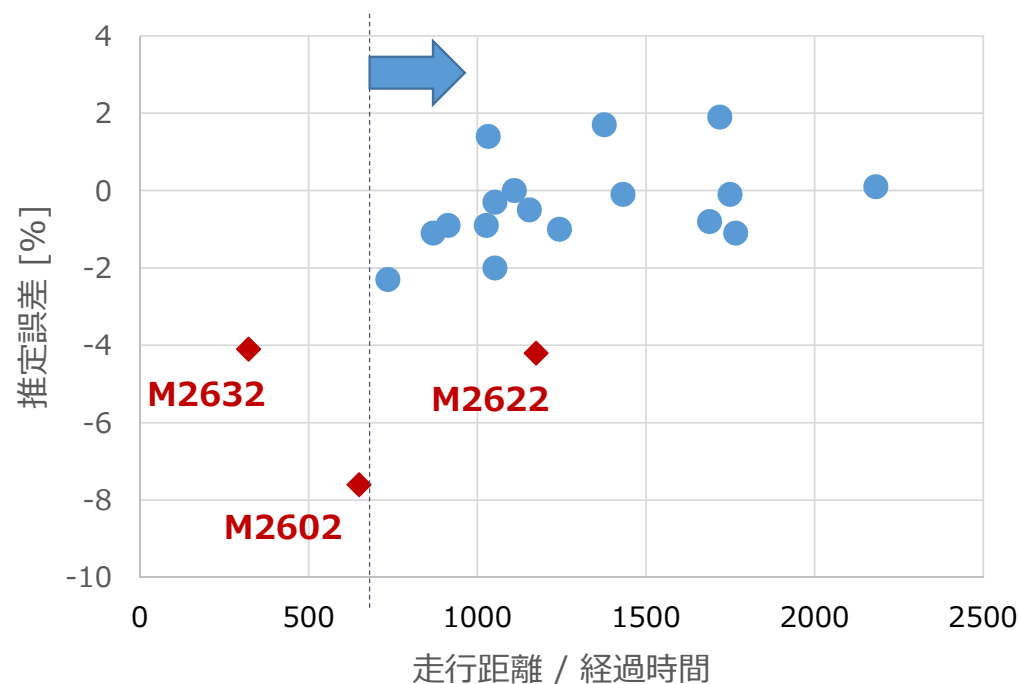


モジュール名	真値 [%]	推定誤差 [%]	M2624とのEIS特性の差分
M2632	69.3	-4.1	Re Z +シフト Im Z 同等
M2602	69.7	-7.6	Re Z +シフト Im Z ピーク小
M2624	69.7	-0.8	—

7-3. 交流Z法の実運用への適用性

推定誤差大(M2602、M2632、M2622)の使用履歴『走行距離/経過時間』にわずかな傾向確認
 走行距離(サイクル)、経過時間(カレンダー)の劣化の割合が、推定精度に影響を及ぼすことを確認

モジュール名	推定誤差 [%]	走行距離 経過時間
M2632	-4.1	322
M2610	-1	1244
M2602	-7.6	649
M2626	0.1	2182
M2620	-0.1	1432
M2630	0	1110
M2616	-0.1	1749
M2598	-0.3	1052
M2594	-1.1	869
M2604	1.4	1033
M2622	-4.2	1174
M2600	-2	1053
M2606	-1.1	1766
M2618	1.9	1719
M2596	-0.9	914
M2612	-0.5	1154
M2614	-2.3	735
M2628	1.7	1377
M2624	-0.8	1689
M2608	-0.9	1027

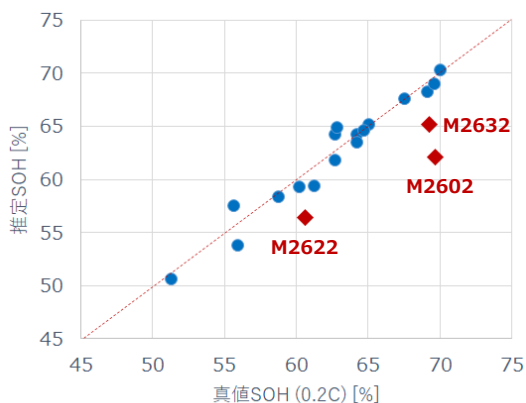


8. まとめ

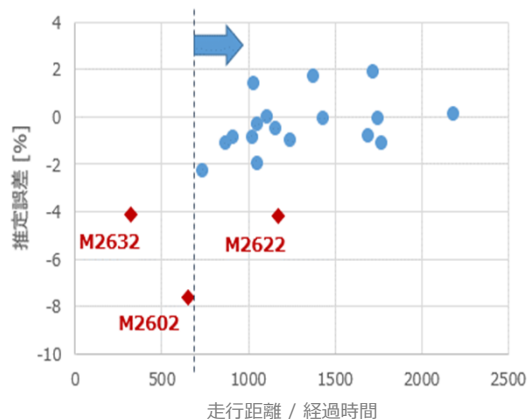
中古電池のグレーディング検証において、高速(数分)・高精度(2.5%以下)推定の交流Z法を実現※
 想定適用シーン(温度、SOC、再現性)条件においても、4~5%精度での推定となる見込み(下図)

中古電池グレーディング検証まとめ

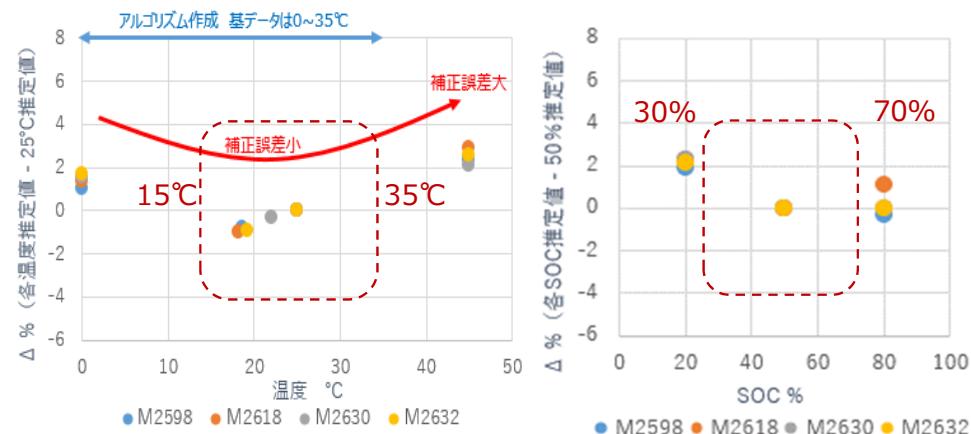
20モジュールの交流Z法・推定アルゴリズム
 適用検証結果



使用履歴確認
 走行距離、経過時間
 走行距離/経過時間を確認



電池モジュール測定条件
 SOC30~70%、15°C~35°C



※常温、SOC50%、検証の9割サンプルにて