

2022 年 3 月 31 日

報告書

実施期間 2021 年 10 月～2022 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

バッテリーリユースのグレーディング技術実証

実施期間

2021 年 10 月～2022 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 B G
戦略マーケティング部

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 B G
戦略マーケティング部
三菱自動車工業株式会社
EV・パワートレイン先行開発部
サステナビリティ推進部

実施内容

電池のグレーディング用アルゴリズムの最適化のためセル単体における電池の SOH と温度と SOC の関係を実電池評価によってデータ収集を実施した。

収集データからセルの劣化と Cole-Cole プロットの関係性を事前調査した。

成果

実電池評価によって、温度による R_0 の変化は見られるものの、SOC に対する変化は非常に小さく、 R_0 の変化は温度と SOH の変化が支配的であった。SOH に対する SOC の依存性は低く、各温度条件での SOH と R_0 の関係をプロットし、SOH の算出式を作成した。結果から温度のみを補正パラメータとする SOH 推定アルゴリズムによる高速グレーディングの可能性を確認した。

2022 年は、本技術を用いたグレーディングの有効性を確認するフェーズに移行する。

バッテリーリユースのグレーディング技術実証 2021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)

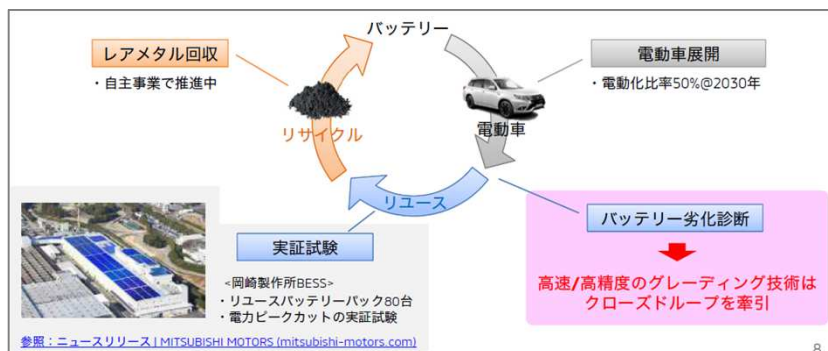
www.nuvoton.co.jp

1. 本活動の位置づけ

脱炭素社会実現に向けたバッテリーリユースによる循環エコシステムの構築が急務
高品質で利用価値が高い「電動車用電池」の高速／高精度グレーディング技術を確立する



バッテリークローズドループ取組み



電動車のバッテリー劣化診断の課題

→ 高速/高精度のグレーディング技術で解決を期待



専用ICによる電池状態センシング技術開発



2019年

専用ICによる交流インピーダンス(Z)測定実現
車載電池に対する選別用アルゴリズム検討開始



2020年

測定モジュール/チェッカに向けた基板サイズ実現



2021年～

中古車載電池モジュールのグレーディング検証開始

左挿入図：

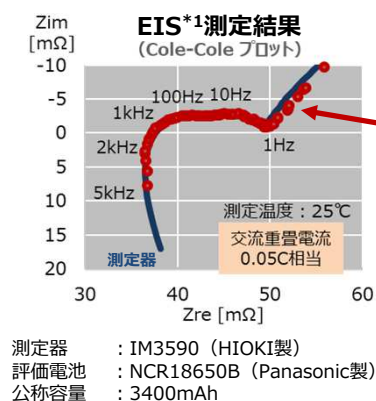
産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会 自動車リサイクルWG
中央環境審議会循環型社会部会自動車リサイクル専門委員会 第56回合同会議 参考資料1-5(p8)

右上挿入図：

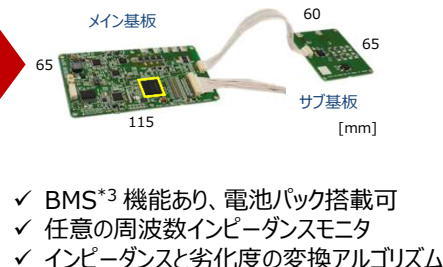
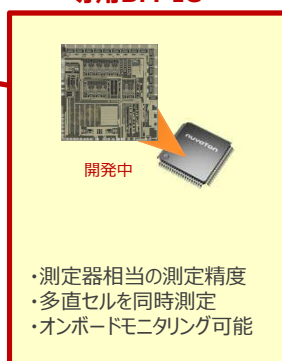
ニュースリリース、「残存価値評価を支援するバッテリーマネジメント技術を開発」
<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2019/11/jn191114-1/jn191114-1.html>

2. NTCJ保有技術概要 交流Z法によるセンシングと電池診断アルゴリズム

多直セルに対し同時に任意周波数の内部インピーダンス(Z)を測定できる専用ICを開発（交流Z法）
従来の方式に比べ、短時間測定、外部電源・追加装置不要、オンボードモニタが可能



専用BM-IC^{*2}



	交流Z法	従来充放電法
状態把握	劣化度 ∝ 内部Z (推定) ☹️	劣化度 (真値) 😊
方式	間接法	直接法
判定時間	～1分	数時間～1日
電池負荷	😊 約0.05C (平均)	☹️ 1C～数C
設備投資	外部電源不要	大型充放電装置

交流Z法を用いて、中古電池グレーディングへの適用を検証する

^{*1} EIS : Electrochemical Impedance Spectroscopy 電気化学インピーダンス分析
^{*2} BM-IC : Battery Monitoring IC バッテリー監視用IC
^{*3} BMS : Battery Management System バッテリーマネジメントシステム

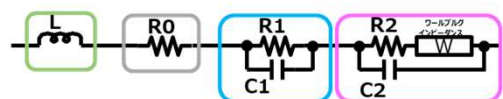
3. 交流Z法と電池劣化推定アプローチ

交流Z法で得られる電池の内部Zの特徴と変化から電池劣化との相関関係を抽出
内部Z値は温度とSOCに依存するため、依存度合の検証が必要 → データマップを作成

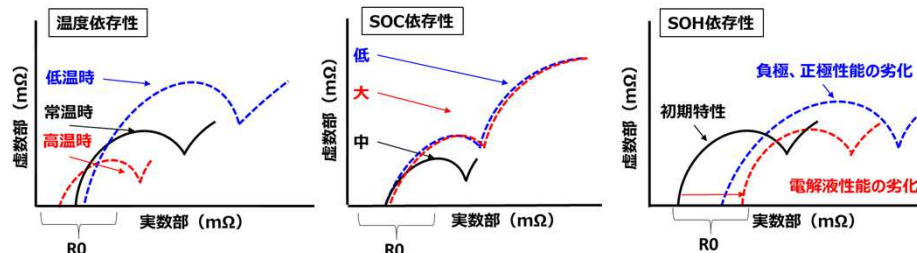
等価回路モデル



等価電気回路に置き換え



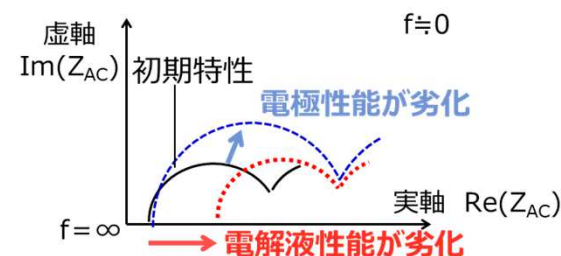
端子・配線の状態 電解液の状態 負極の状態 正極の状態



SOC : State Of Charge
SOH : State Of Health

充電率
劣化度 ※現在の電池と初期電池の満充電時における容量比で定義

Cole-Coleプロット (ナイキスト図) 分析



$$Z_{AC} = j\omega L + R_0 + \frac{R_1}{1+j\omega C_1 R_1} + \frac{R_2}{1+j\omega C_2 R_2}$$

端子・配線の状態 電解液の状態 負極の状態 正極の状態

今回のグレーディング検証のターゲットは、SOH推定(電池容量診断)としている。
ただし、交流Z法で得られるCole-Coleプロット上のデータでは、電解液や電極などの電池材料の性能劣化をインピーダンスの変化としてとらえることができるため、本来の電池劣化診断を実現するポテンシャルを持つ。

4. 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



STEP1

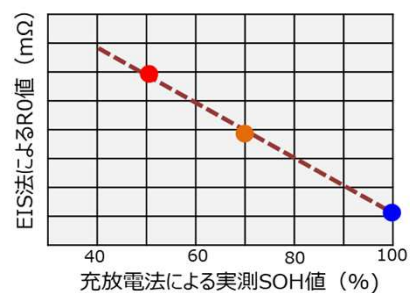
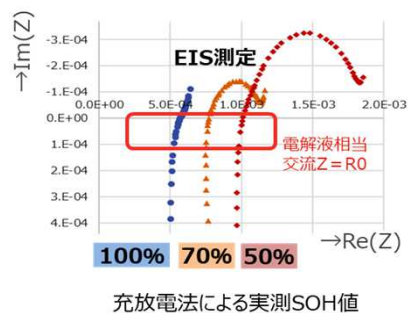
- ✓ LEV40セルでSOHの異なる状態のものを準備、測定
- ✓ NTCJ測定モジュールでの測定適用の可能性を確認(精度、接続構成など)
- ✓ SOHと交流Z法による内部インピーダンスの相関性を確認

	取組み	FY21	FY22			
			Q1	Q2	Q3	Q4
STEP1 本報告	劣化相関検証	マッピングデータ取得 ☆				
グレーディング検証 取組み項目   ☆ 報告書	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 ☆

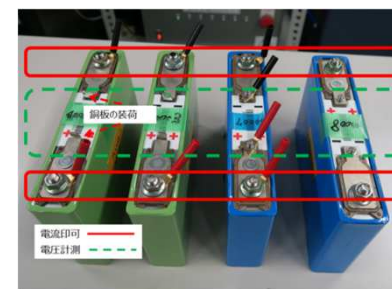
本検証は2か年計画であり、今回の報告は、当社技術の適用可否の確認と、実際の劣化電池に対するSOHと交流Z法測定値の相関性を得るためのマッピングデータ取得と相関式導出となる。

5. データマッピング用セルの準備

今回はSOHと相関性の高い**電解液抵抗相当のR0に着目**、推定アルゴリズムのターゲットに選定
EIS測定値は温度とSOCとの依存性があるため、その依存度を確認する評価条件を設定した（下表）



常温(25℃)、SOC50%条件下でEIS測定を実施した結果、充放電法の実測SOH値と電解液抵抗相当のR0における相関関係を確認(左グラフ)



R0は端子や配線の影響を受けるため、測定系の接続に注意が必要

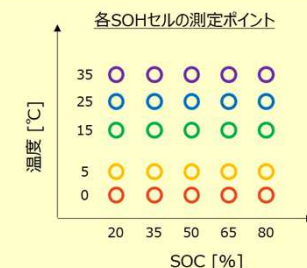
→異なる端子形状においても測定値に差分がないことを確認

↓ SOH	番号	温度→ SOC→	0℃					5℃					15℃					25℃					35℃				
			20%	35%	50%	65%	80%	20%	35%	50%	65%	80%	20%	35%	50%	65%	80%	20%	35%	50%	65%	80%	20%	35%	50%	65%	80%
100.0%	C5845		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
89.7%	M2266-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
82.1%	M2268-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
69.5%	P411-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
69.9%	P412-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
68.0%	P414-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
69.0%	P416-1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
54.6%	C5700		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
45.6%	C5675		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

サイクル劣化セル

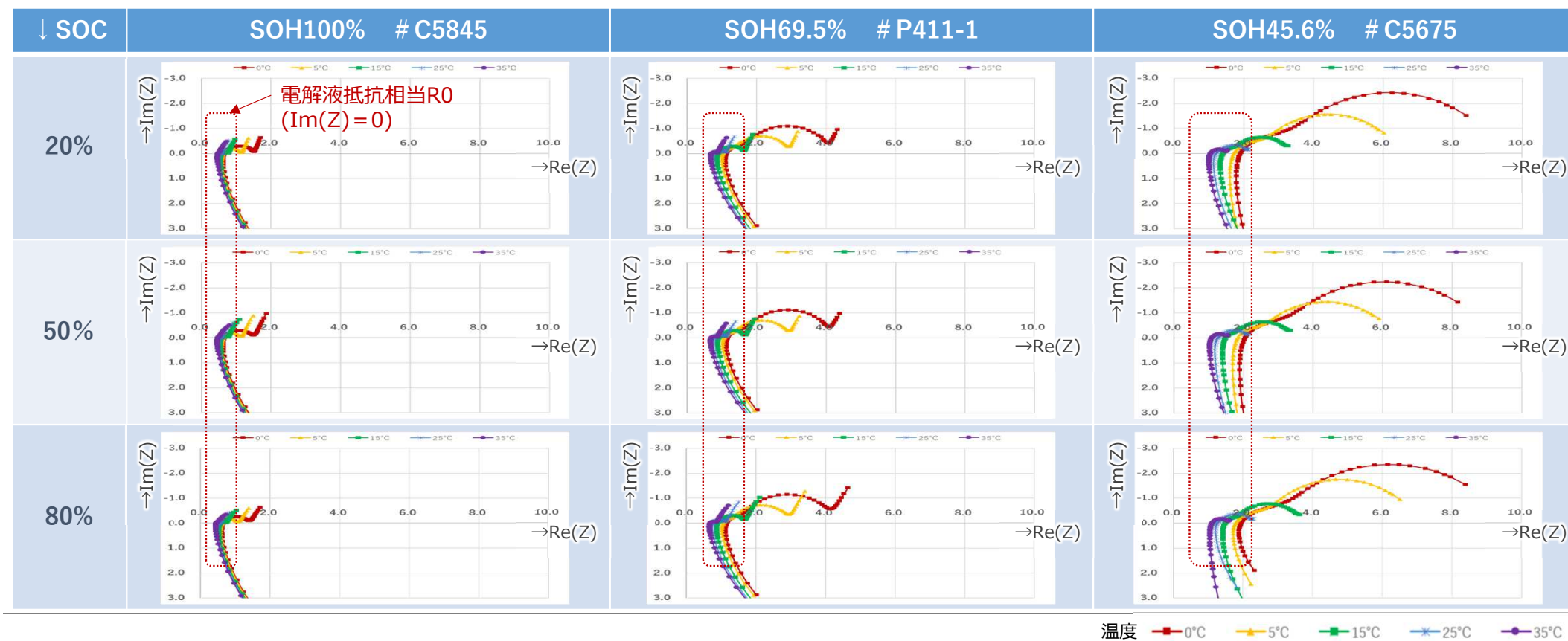
市場劣化セル

劣化度は同等だが、走行距離と使用期間が異なる



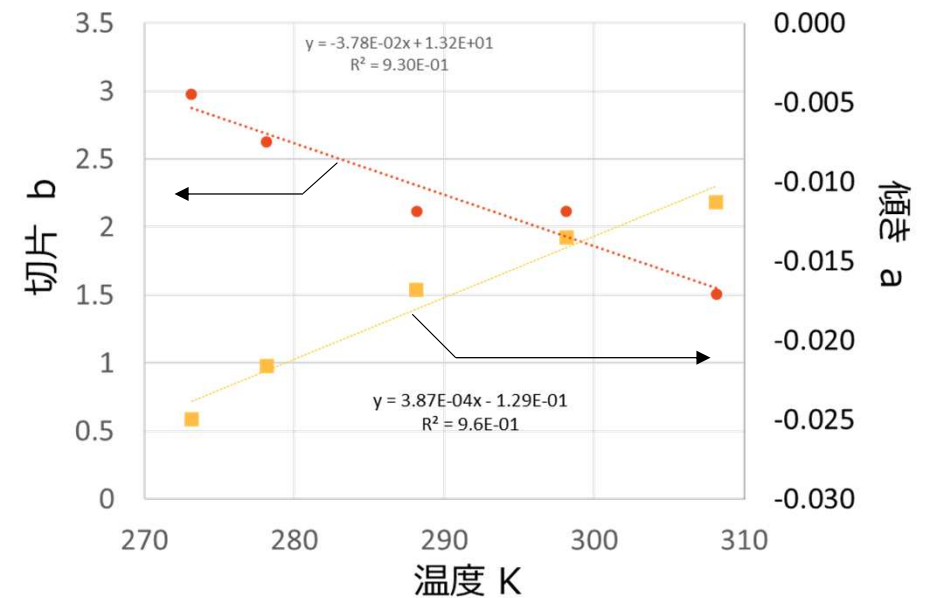
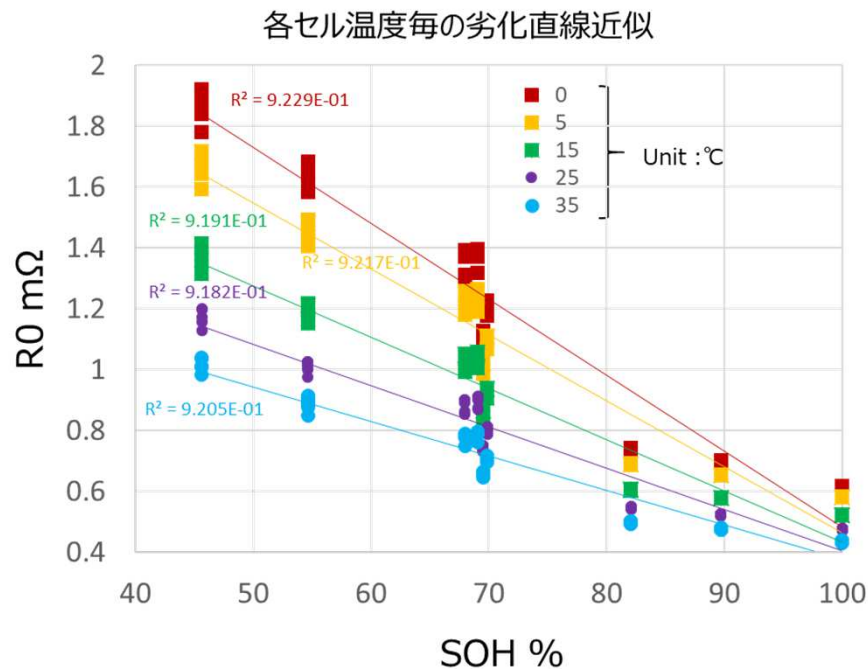
6. 評価結果 Cole-Coleプロット(抜粋)

SOH値3パターンのセルにおける、温度とSOC(20/50/80%)をパラメータとした測定結果を示す



7-1. データ考察とSOH推定アルゴリズムへの適用

すべての測定データにおいて、電解液抵抗相当のR0とSOHの相関プロットを実施
各セル温度毎に劣化度の直線近似ができ(左図)、近似直線の各係数も温度補正が可能となる(右図)



7-2. データ考察とSOH推定アルゴリズムへの適用

今回実施したデータマッピングから得られたSOH推定精度は約8%であった
次年度は、さらに詳細な解析を実施、精度向上に向けてグレーディング検証を実施する

- 各温度毎の R_0 と SOH には高い相関があり、一次式で近似可能、例えば室温 25°C では、

$$SOH_{25^{\circ}\text{C}} = a_{25^{\circ}\text{C}} * R_0 + b_{25^{\circ}\text{C}}$$

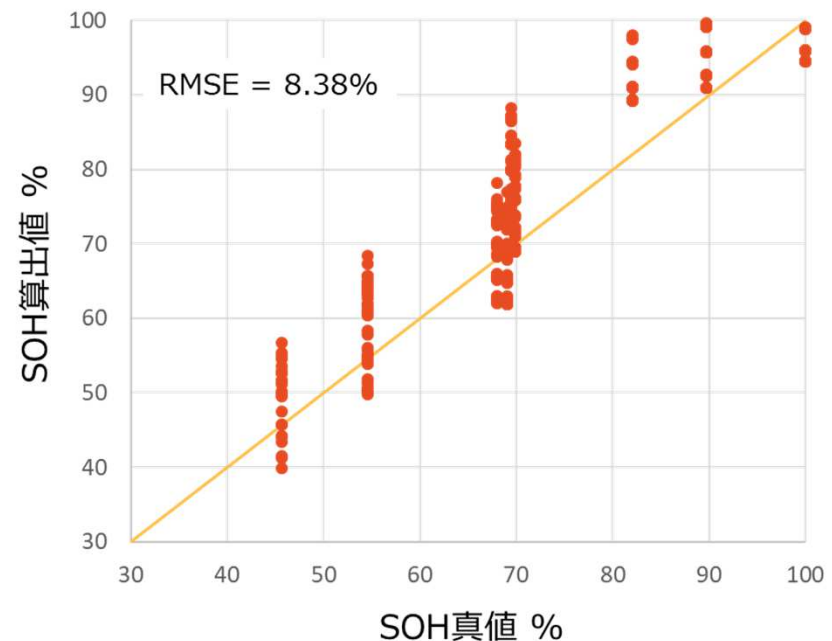
- 各温度毎の一次式の係数/切片 a, b は、温度 t と高い相関があり一次式で近似可能

$$\begin{cases} a(t) = a_1 * t + a_2 \\ b(t) = b_1 * t + b_2 \end{cases}$$

- セルの温度 t を把握することで、SOHが定まる

$$SOH(t) = a(t) * R_0 + b(t)$$

- 今回のマッピングデータと線形近似式 $SOH(t)$ から算出した値との誤差は $\text{RMSE} = 8.38\%$



8. まとめと今後の予定

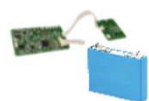
グレーディング用アルゴリズムに向けたマッピングデータ蓄積と解析、SOH推定アルゴリズムを導出
次年度からは実際の市場中古電池のグレーディング検証を実施、交流Z法の有効性を確認する

検証プロセス

21年度活動成果と22年度活動予定

21年度活動内容

STEP1



NTCJ測定モジュール
精度事前検証
劣化依存データ収集
交流Z法相関検証

22年度活動内容

STEP2

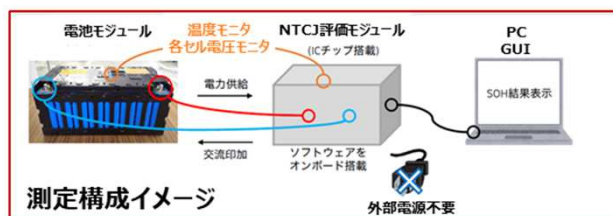


NTCJ測定モジュール
推定アルゴリズム事前検証

STEP3



中古電池モジュール
グレーディング検証



NTCJ測定モジュールを用いたLEV40測定系確立

- ・I/Fなどの見直しによる測定器確度相当の精度を確認(誤差40uΩ以内)

- グレーディング検証に向けた事前検証完了(STEP1)
- モジュールグレーディングに向けた測定系検討と検証を予定(STEP2-3)

LEV40劣化度(SOH)と交流Z法データの相関抽出

- ・電解液抵抗相当のR0とSOHの相関を確認

- セル劣化と交流Z法測定値のマッピングデータ取得完了(STEP1)
- 相関関係からLEV40グレーディング用SOH推定式導出完了(STEP1)
- モジュールグレーディングの推定アルゴリズム検証を予定(STEP2-3)