

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

直流法による高速グレーディング (劣化診断) 技術検証

東洋システム株式会社

三菱自動車工業株式会社

概要

名称

直流法による高速グレーディング（劣化診断）技術実証

実施期間

2022年4月～2023年3月

開発/調査 代表者

東洋システム株式会社

研究開発本部

実施者

東洋システム株式会社

研究開発本部

三菱自動車工業株式会社

サスティナビリティ推進部

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異なる車両からセル/モジュール20個とパック2個を用いて昨年度作成したセルモデルの組電池（モジュール/パック）での適用性を検証した。また、組電池状態の内部構成セルに対する適用性を検証した。

成果

検証セル20個の診断精度は実測SOHに対して5.5%以内であった。セルモデルを組電池に適用するために総電圧をセル数で割り同一モデルで適用した結果、モジュール(20個)の診断精度は実測SOHに対して6.2%以内、パック(2個)で4.8%以内であった。

また、組電池状態であってもCMUの各セル電圧データを活用することでその内部の各構成セルのSOH分布まで細分化した評価ができた。

これら結果から、リユース・リサイクル時の評価手法として活用の可能性は高い。

直流法による高速グレーディング (劣化診断)技術検証 (2)

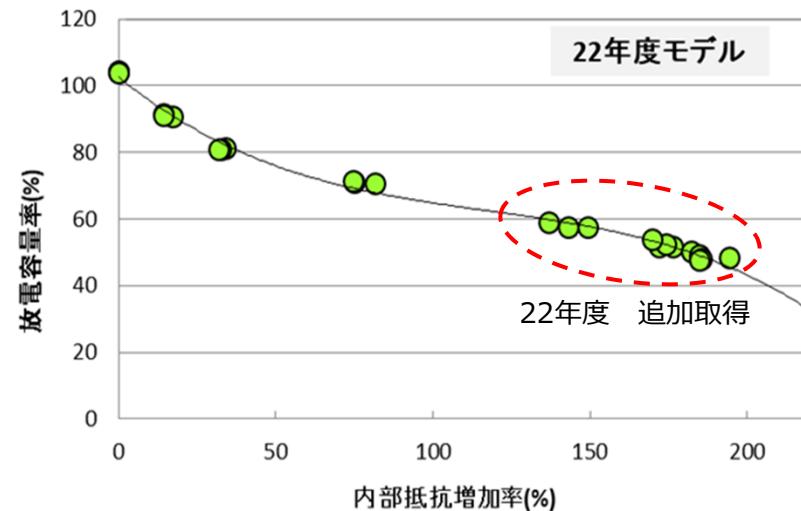
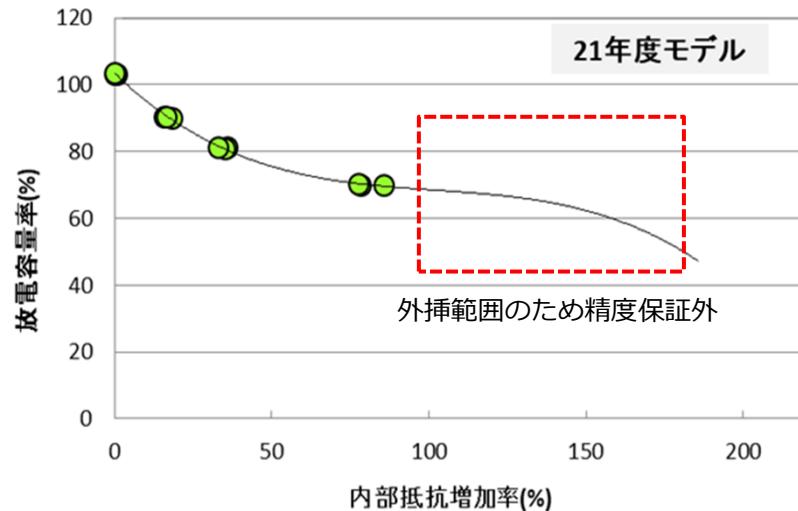


- 21年度は単セルモデルの作成と、劣化判定の有効性を検証した
- 22年度ではモジュール、パックといった組電池に対する「初期特性モデル比較法[®]」の適用の有効性を検証した
- 組電池そのものだけではなく、内部構成単セルに対する有効性も合わせて検証した



評価対象	実施・検証内容
単セル	<ul style="list-style-type: none">・追加の市場劣化単セルを用いて内部抵抗増加率-残存容量率の相関グラフを更新・更新モデルによる単セルでの劣化判定精度確認
モジュール	<ul style="list-style-type: none">・モジュールの劣化判定精度確認・モジュール内単セルの劣化判定精度確認(CMUデータの活用)
パック	<ul style="list-style-type: none">・パックの劣化判定精度確認・パック内単セルの劣化判定精度確認(CMUデータの活用)

- 新たに劣化度が異なる単セルを複数入手。下記相関グラフの更新に使用した。
- 21年度作成の単セルモデルを更新。主な変更点は2つ。
 - モデル作成用の基準データを追加取得(SOC, 温度水準の追加)
 - 内部抵抗増加率-残存容量率の相関グラフの拡大

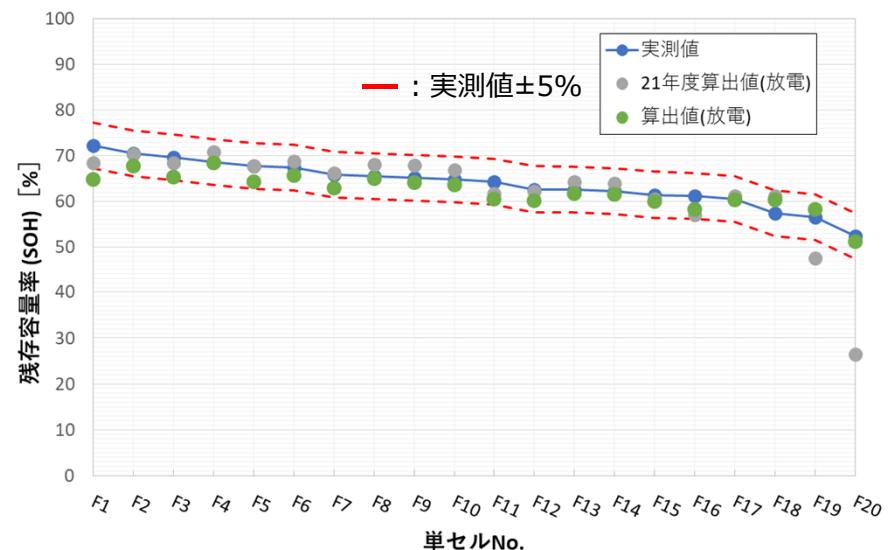
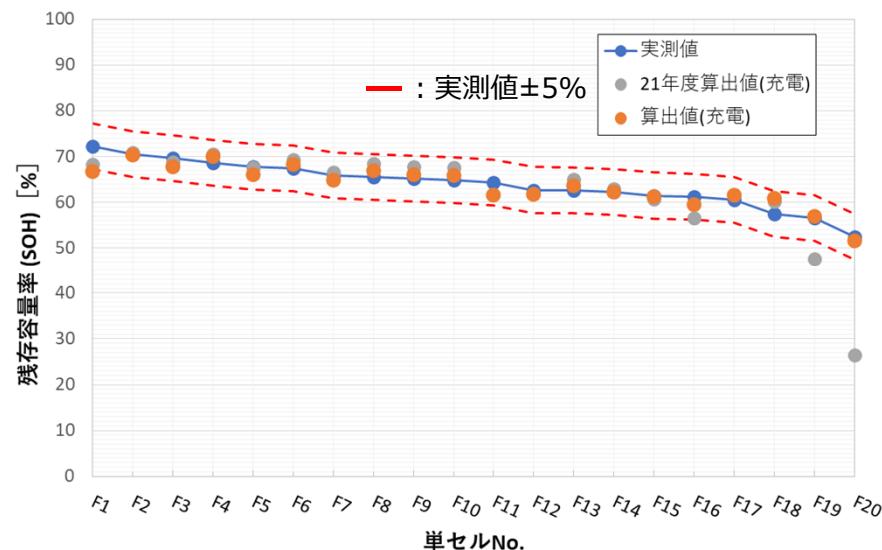


相関グラフにおける残存容量率の適用範囲が
70%-100% (21年度)から50%-100% (22年度) まで拡大

- 更新後の単セルモデルを用いて市場劣化セル×20を評価
- 評価データは標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】とした
- 実測の残存容量率(SOH)とモデルによるシミュレート残存容量率の結果を比較

評価対象 : 市場劣化単セル
使用モデル : 単セルモデル

※1. 横軸のサンプルの並び(単セルNo)は実容量順
※2. 充電, 放電モデルそれぞれで評価を実施

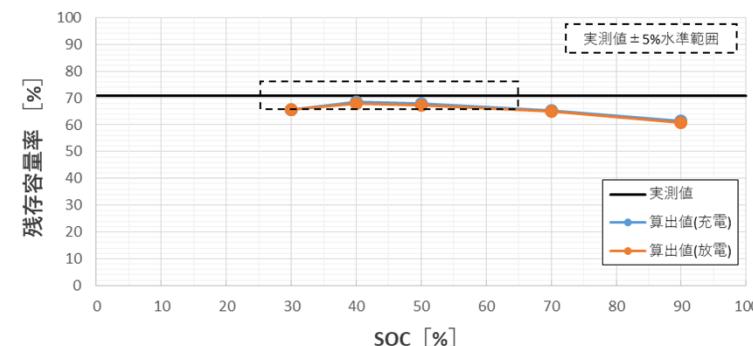
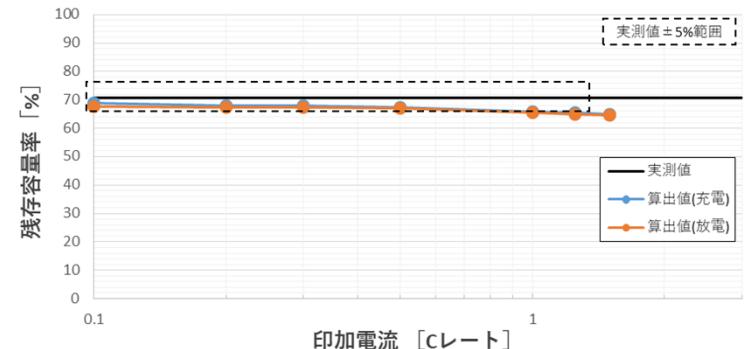
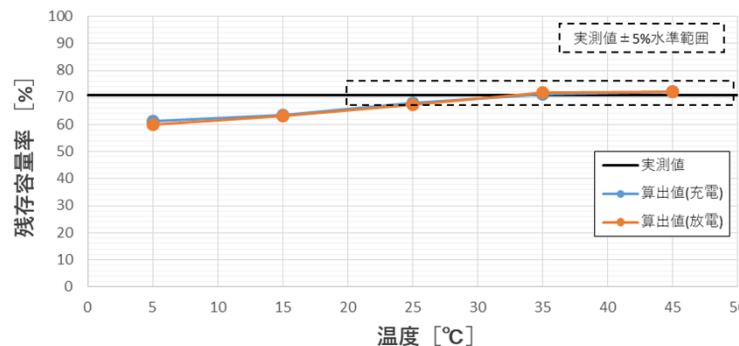


相関グラフ適用範囲の拡大によって判定精度が向上

- 標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】外での劣化判定精度を確認
- 市場劣化セル×3に対して、それぞれSOC, 温度, Cレートを振った場合の評価データを使用
- 実測の残存容量率(SOH)とモデルによるシミュレート残存容量率の結果を比較

評価対象 : 市場劣化単セル
使用モデル : 単セルモデル

- ※1. 充電, 放電モデルそれぞれで評価を実施
※2. 3セルのうち代表1セルの結果を図示している



モデル使用環境・条件に応じてモデル作製を行うことでさらに精度改善が期待できる

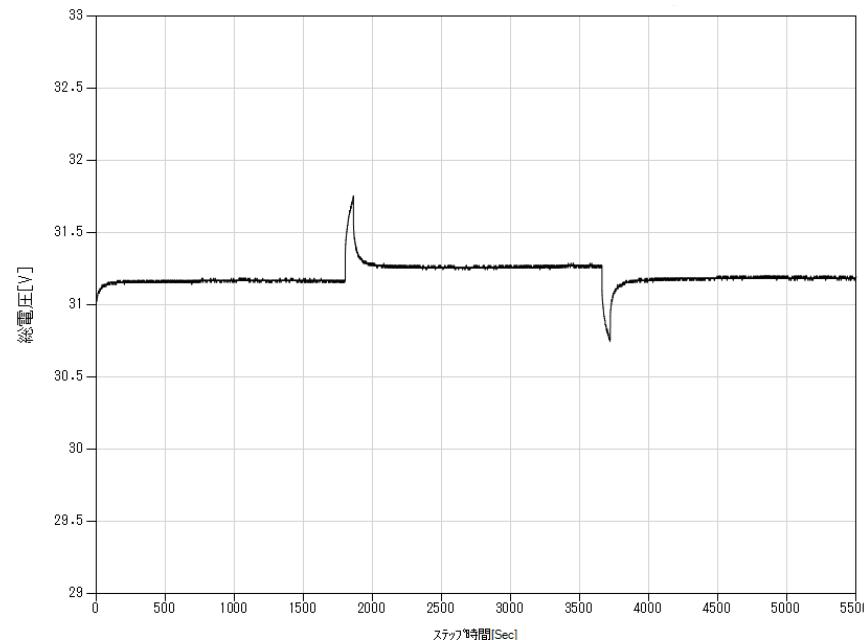
モジュール評価

- モジュールは単セル×8直で構成
- モジュール付随のCMUによって内部単セル電圧データが取得可能
- モジュール状態で充放電試験を実施

モジュール概要	
バッテリー構成	単セル×8
平均電圧	30V
公称容量	40Ah

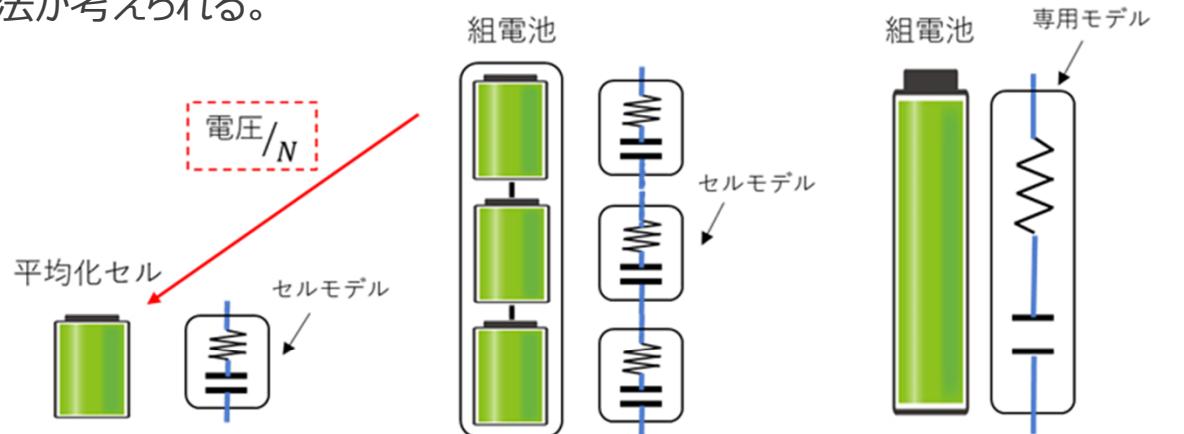


新品モジュールMA2の総電圧波形



- ① モジュール(CMU平均セル電圧)
② モジュール内単セル(CMU各セル電圧) **を対象とした評価を実施**

- 初期特性モデル比較法[®]をモジュール、パックといった組電池に適用する際には以下の方法が考えられる。



平均化モデル

組電池の電圧を $1/N$ して
平均化したセルと見なす
(直列接続の場合)

N倍モデル

セルモデルをN倍したモデル
(直列接続の場合)

組電池モデル

モジュール/パックを1個
の電池として見なす

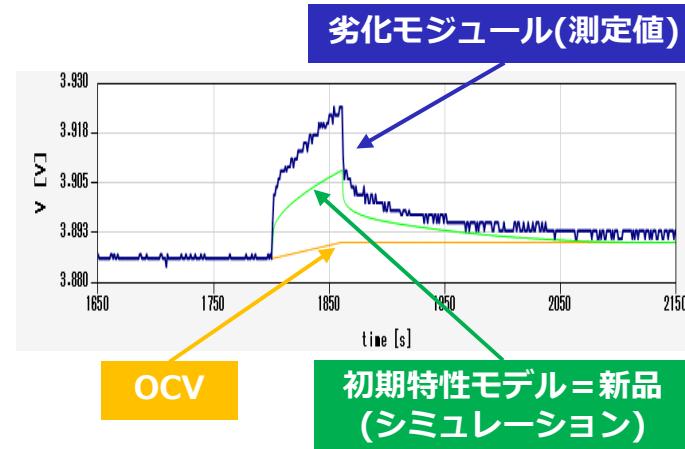
- ① 組電池付随のBMS等から得られる内部セルの平均電圧
 ② 組電池そのものの総電圧を $1/N$ 倍した電圧

平均化モデル①の手法で判定可否を検証

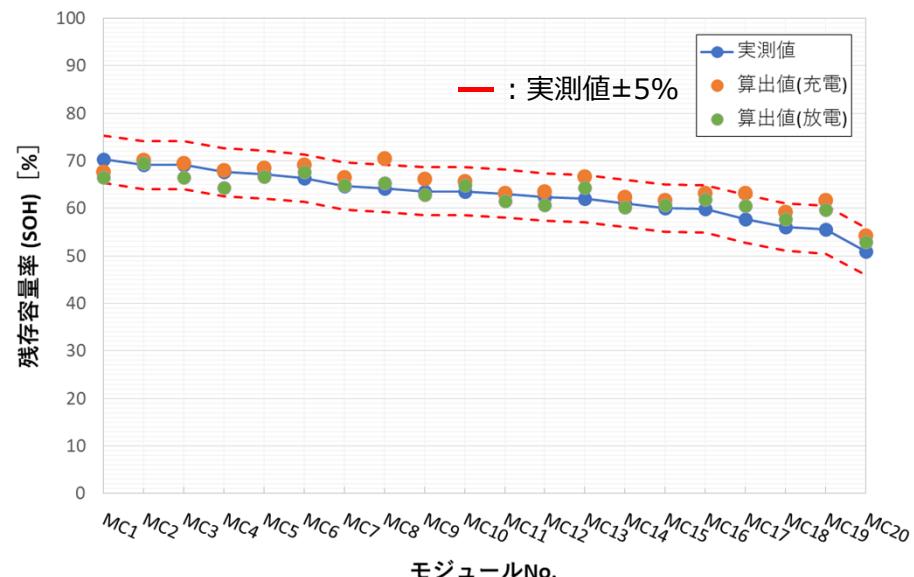
- モジュール用平均化モデルを用いて市場劣化モジュール×20を評価
- 評価データは 標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】とした
- モジュールCMUから得られる平均セル電圧データから劣化判定を実施
- 実測の残存容量率(SOH)とモデルによるシミュレート残存容量率の結果を比較

評価対象 : 市場劣化モジュール
使用モデル : モジュール用平均化モデル

例 : モジュールMC1の電圧波形解析



※1. 横軸のサンプルの並び(モジュールNo)は実容量順
※2. 充電, 放電それぞれの結果を合わせて掲載

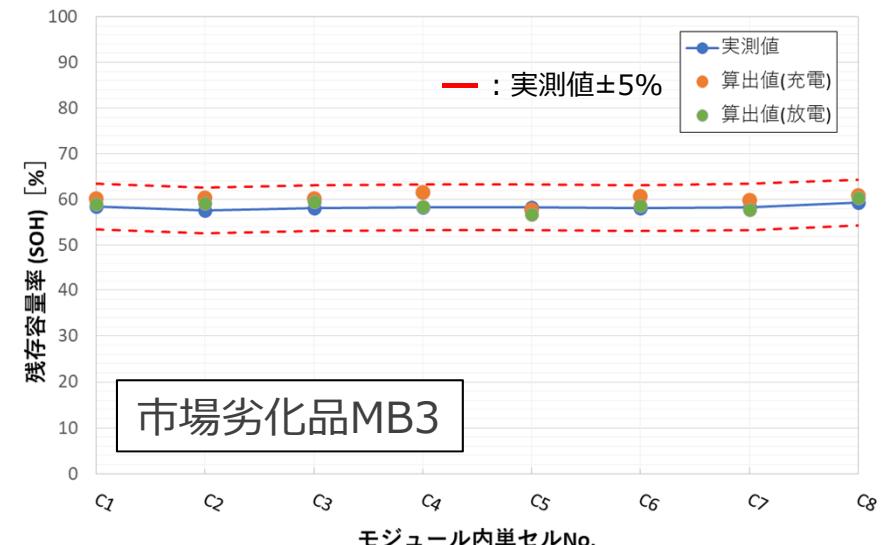
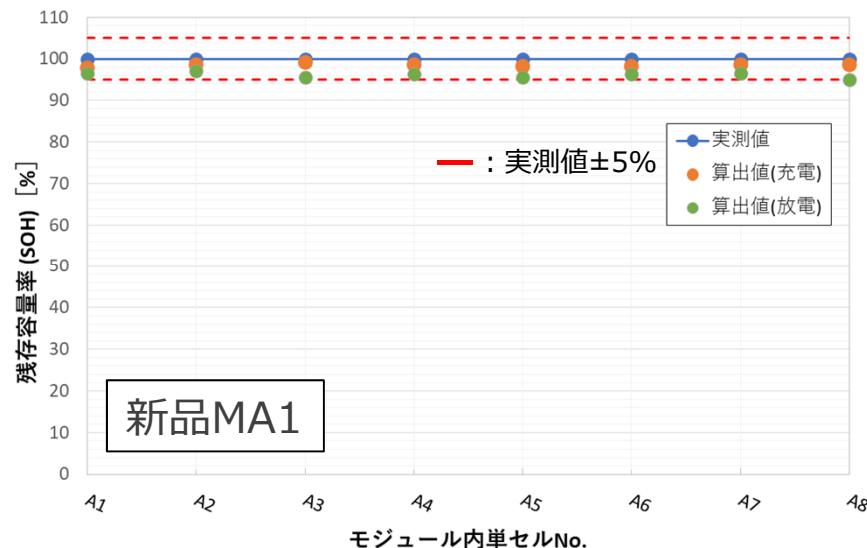


充電/放電モデルとともに実測のSOHに対して約5%以内の誤差で算出が可能

- モジュール用平均化モデルを用いてモジュール内単セルを評価
- 評価データは 標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】とした
- モジュールCMUから得られる各セル電圧データから、内部セルの劣化判定を実施
- 実際に解体して測定した単セルの残存容量率とシミュレート残存容量率の結果を比較

評価対象 : モジュール内単セル
使用モデル : モジュール用平均化モデル

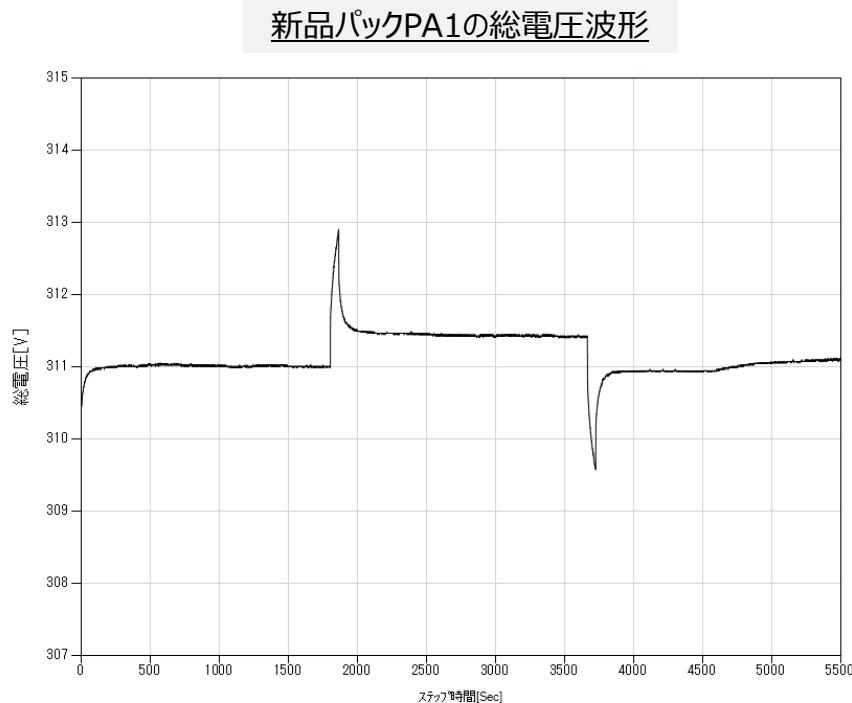
※1 横軸のサンプルの並び(No)は搭載順
※2 充電, 放電それぞれの結果を合わせて掲載



CMUデータを活用した内部セルの劣化判定が可能

- パックは単セル×80直で構成
- パック付随のCMUによって内部単セル電圧データが取得可能
- パック状態で充放電試験を実施

パック概要	
バッテリー構成	単セル×80 (モジュール×10)
平均電圧	300V
公称容量	40Ah

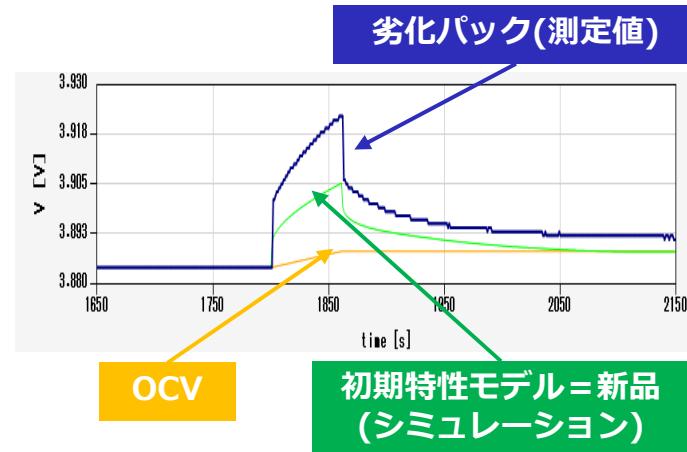


- ① パック(CMU平均セル電圧)
② パック内単セル(CMU各セル電圧) を対象とした評価を実施

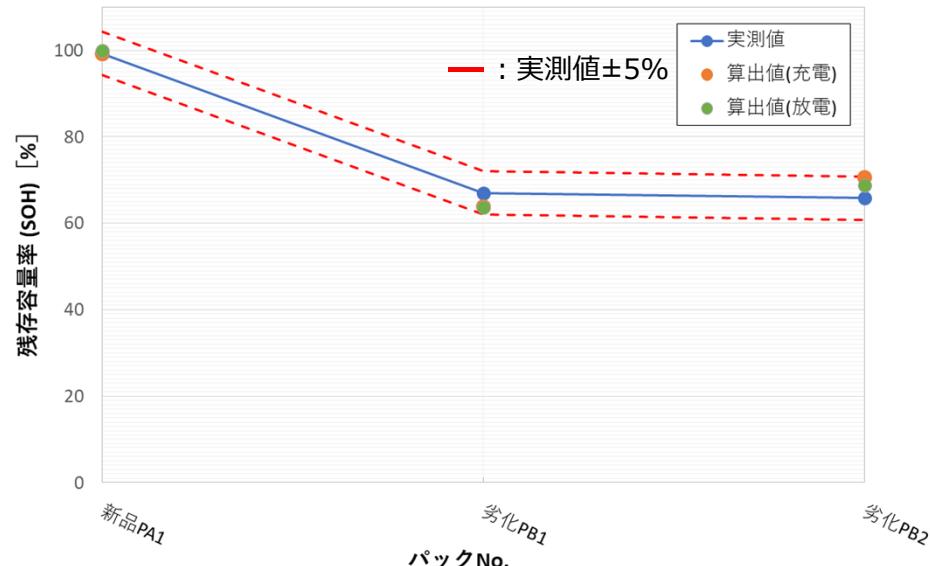
- パック用平均化モデルを用いて新品パック×1 & 市場劣化パック×2を評価
- 評価データは 標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】とした
- パックCMUから得られる平均セル電圧データから劣化判定を実施
- 実測の残存容量率(SOH)とモデルによるシミュレート残存容量率の結果を比較

評価対象 : 新品 & 市場劣化パック
使用モデル : パック用平均化モデル

例 : パックPB1の電圧波形解析



※ 充電, 放電それぞれの結果を合わせて掲載

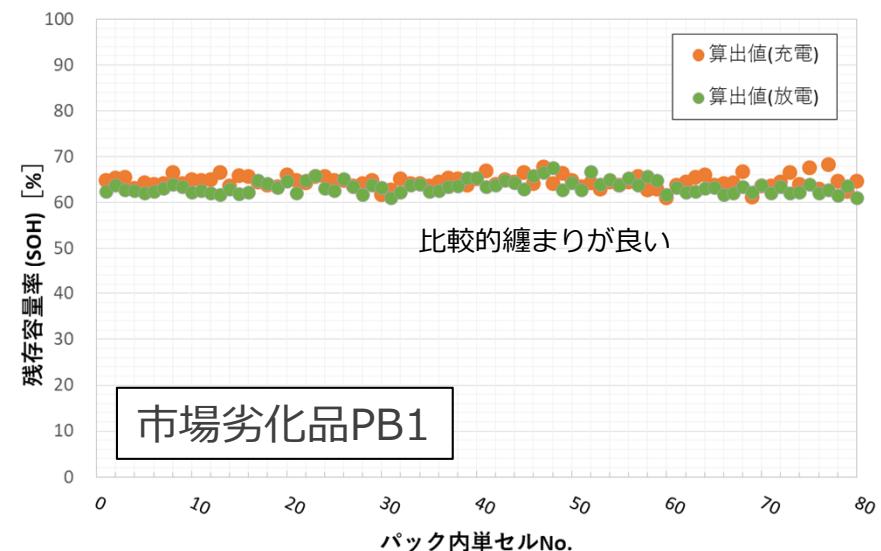
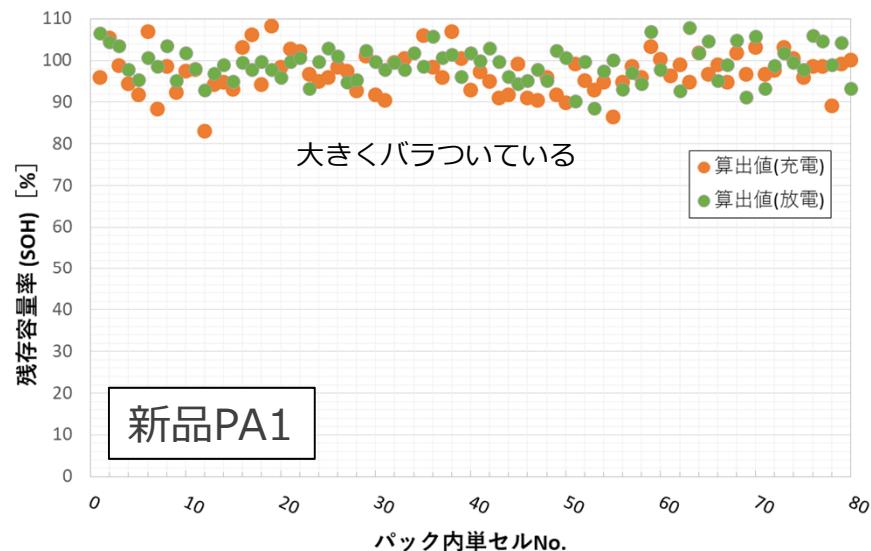


充電/放電モデルとともに実測のSOHに対して約5%以内の誤差で算出が可能

- パック用平均化モデルを用いてパック内单セルを評価
- 評価データは 標準条件【SOC50%, 温度25°C, 0.3C充電 & 放電】とした
- パックCMUから得られる各セル電圧データから、内部セルの劣化判定を実施
- パックの解体は未実施のため、モデルによるシミュレート残存容量率の結果のみを記載

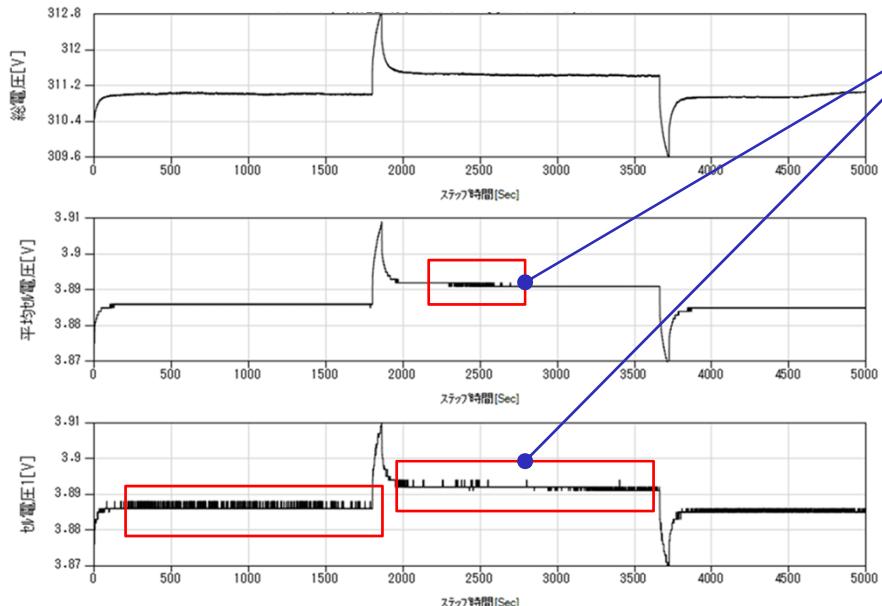
評価対象 : パック内单セル
使用モデル : パック用平均化モデル

※1 横軸のサンプルの並び(No)は搭載順
※2 充電、放電それぞれの結果を合わせて掲載



新品パックにおいて残存容量算出結果にバラつき →次ページで要因考察

- 新品パック(0.3C印加)において残存容量率算出結果にバラつき
- 以下に示す有効ビット数の減少が原因と考えられる

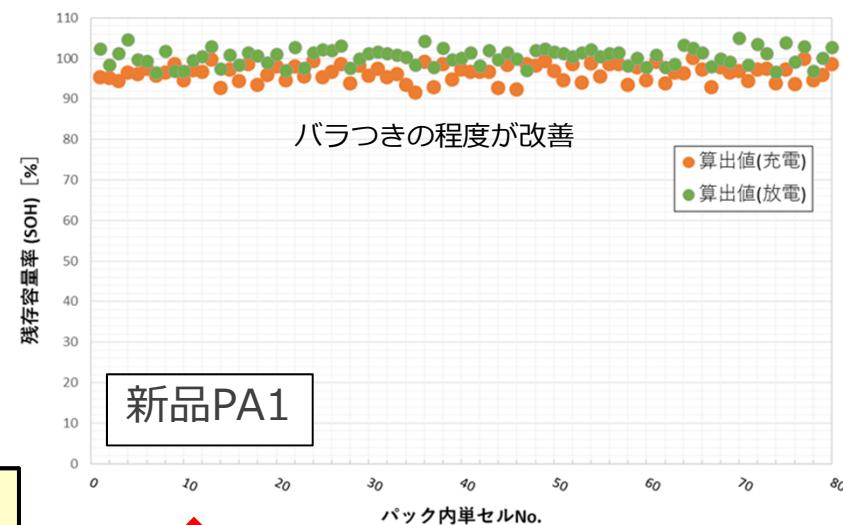


対策として以下のようなS/N改善が考えられる

- ①印加電流を大きくして測定する
- ②高分解能での電圧測定

有効ビット数の減少(S/N比の悪化)

→新品セルにおける内部抵抗値が最も小さいため、印加電流が小さい場合には内部抵抗による電圧変化が小さい。測定系の電圧測定分解能が十分でないと電圧変化量に対する有効ビット数が僅かとなり（S/N比の悪化）測定結果のバラつきが大きくなる。

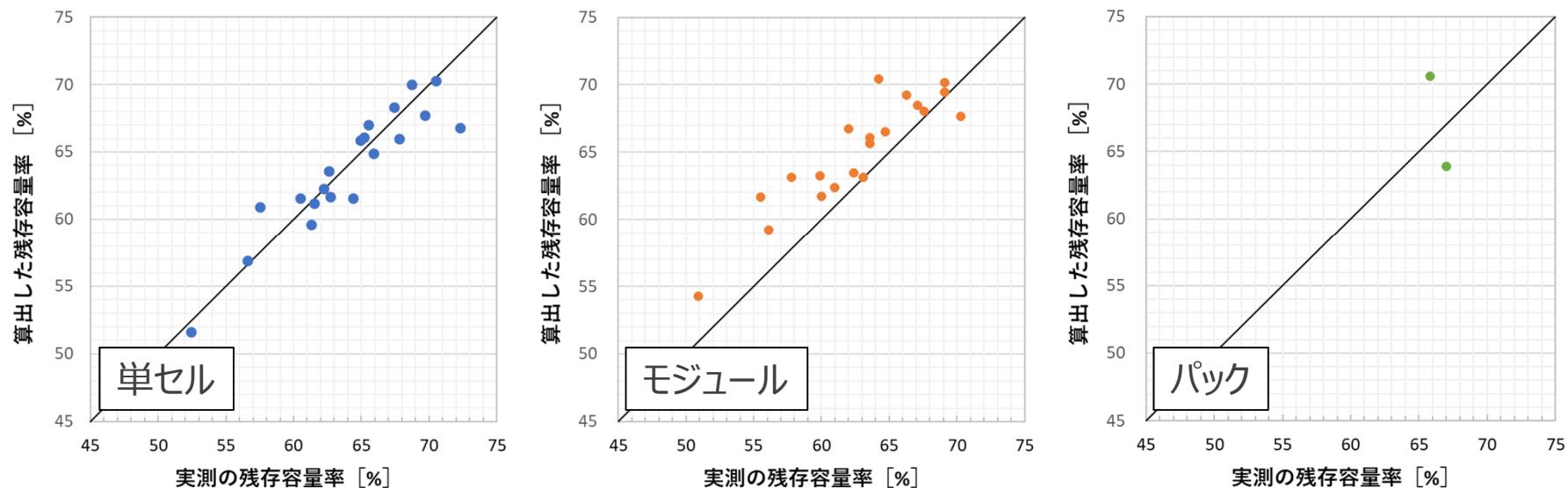


対策例①
印加電流を1Cまで大きくした場合

各モデルの劣化判定精度確認纏め

- 各モデルの劣化判定精度は以下の通りである

モデル種	評価サンプル数	条件	実測残存容量率範囲(%)	残存容量率差分(%) ※実測残存容量率を基準
セル	20	0.3C充電	52.4 ~ 72.3	-5.5 ~ +3.4
モジュール	20	0.3C充電	50.9 ~ 70.3	-2.6 ~ +6.2
パック	2	0.3C充電	65.8 ~ 67.0	-3.1 ~ +4.8



組電池においても単セル同等の精度で劣化判定が可能

- 21年度は単セルモデルの作成と、劣化判定の有効性を検証した
- 22年度ではモジュール、パックといった組電池に対する「初期特性モデル比較法®」の適用の有効性を検証した
- 組電池そのものだけではなく、内部構成単セルに対する有効性も合わせて検証した



- 単セルモデルをベースにした平均化モデルで劣化モジュール、パックのCMUデータを活用した劣化判定が可能
- 単セルでの内部抵抗増加率-残存容量率の相関グラフがモジュール、パックにも適用可能であるため、それら組電池で改めて一からモデル作成を行う必要がない
- 組電池そのものだけでなく、その内部の構成セルの劣化分布まで細分化した評価ができる可能性が示された

リユース・リサイクル時の判定手法として有用である