

令和 4 年度環境省委託業務

令和 4 年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期
社会実装化に向けた実証事業
(車載用電池のリユース技術開発実証事業)
委託業務

成果報告書

令和 5 年 3 月

株式会社 JERA

要約

1 はじめに

昨今の電気自動車をはじめとした電動車等の普及により、今後大量の使用済電池が発生すると見込まれている。使用済電池の発生予測を図 S1.1 に示す。

現状の車載用電池の二次利用技術は電池種類及び残容量を揃えた小規模かつ限定的なものであり、大半は中古車の状態で輸出され、使用済電池として国内で回収される電池数量は限定的である。中古車の輸出台数及び使用済電池の回収実績を図 S1.2、図 S1.3 に示す。

また、リサイクル技術についても、簡便性の観点から焼却処理後の残渣やスラグからの素材回収が主流となっており、有価金属を含む回収物の純度や回収率が低く、また焼却による CO2 の排出が課題となっている。

本実証事業では、ライフサイクルを通じた CO2 排出量の大幅な削減の達成に加え、中古電池の安全性・信頼性及び価格競争力向上による二次利用拡大を目的とし、以下の技術開発を行う。

- ・電力システムに適合した蓄電システムの最適化技術
- ・車載用電池を網羅的に活用した安全で安定した制御技術
- ・オンライン余寿命診断技術

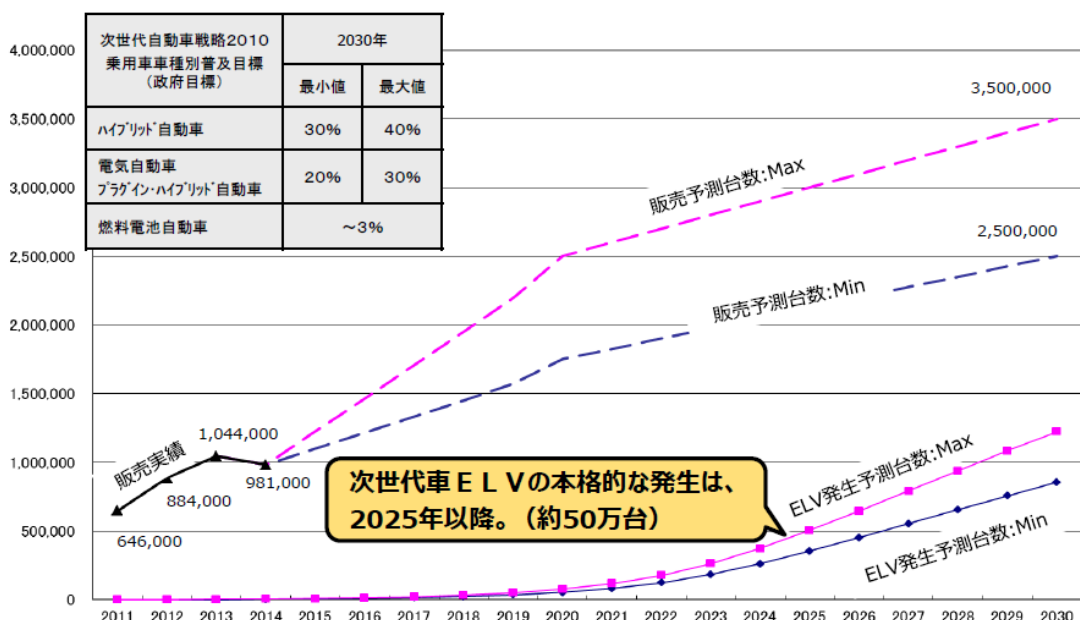


図 S1.1 次世代車普及見通し・ELV（使用済自動車）発生台数予測

出典：一般社団法人日本自動車工業会 2019 年度産構審・中環審合同会議資料 資料 6-2

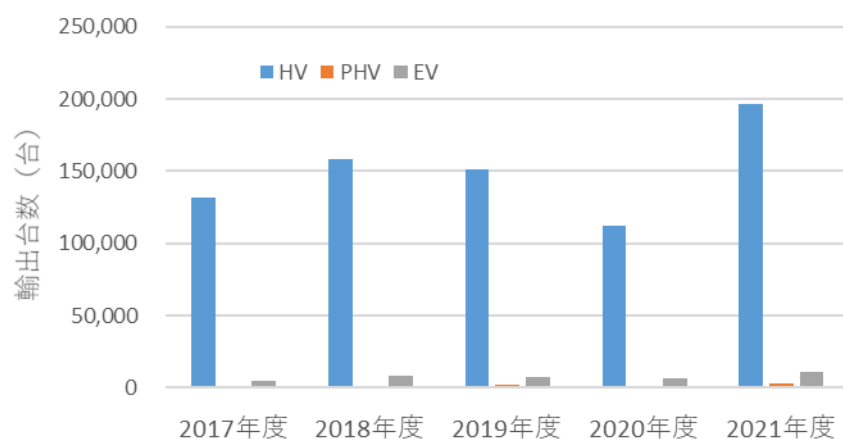


図 S1.2 中古車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）輸出台数
出典：財務省貿易統計

	Li-ion電池	ニッケル水素電池
メーカー名	いすゞ自動車(株) スズキ(株) ダイハツ工業(株) 日産自動車(株) 本田技研工業(株) 三菱自動車工業(株) ヤマハ発動機(株) カワサキモータース(株) (株)SUBARU トヨタ自動車(株) 日野自動車(株) マツダ(株) 三菱ふそうトラック・バス(株) UDトラックス(株)	(株)SUBARU ダイハツ工業(株) トヨタ自動車(株) 日野自動車(株) 本田技研工業(株) マツダ(株) 三菱自動車工業(株)
回収実績 (注) ELVからの発生 各社合計値	2021年度：5,059個 (2020年度：3,648個 2019年度：3,014個 2018年度：2,364個 2017年度：943個)	2021年度：5,799個 (2020年度：6,251個 2019年度：6,694個 2018年度：7,214個 2017年度：6,140個)

図 S1.3 使用済電池の回収実績
出典：一般社団法人日本自動車工業会 第 57 回産構審・中環審合同会議資料 資料 6

2 リュース蓄電システム実証試験の実施

(1) 実証試験システムの構成

本実証試験システム構成図を図 S2.1、主な機器の役割について表 S.2.2 に示す。

Ni-MH 電池カートリッジ（モジュール 6 直:43.2V）を 30 直列したものを DC スtring と称し、1 String を設置した。1 ラインの DC String には、PCS（Power Conditioning System：直流を交流に変換する装置）の代わりに、ハイブリッド車のインバータを再利用した Reuse Inverter（以下、「RI」という。）1 台が接続され、双方向 AC/DC コンバータとして動作する。

また、LiB カートリッジ（セル 12 直:44.4V）を 22 直列したものを 3 String 用意し、各 String は正弦波を生成するよう星形に結線し、交流の U、V、W 相に見立てた正弦波制御を行う AC String として設置した。電池 String から直接交流入出力が可能のため、PCS 不要の蓄電システムである。（以下、「AC スイープ」という。）

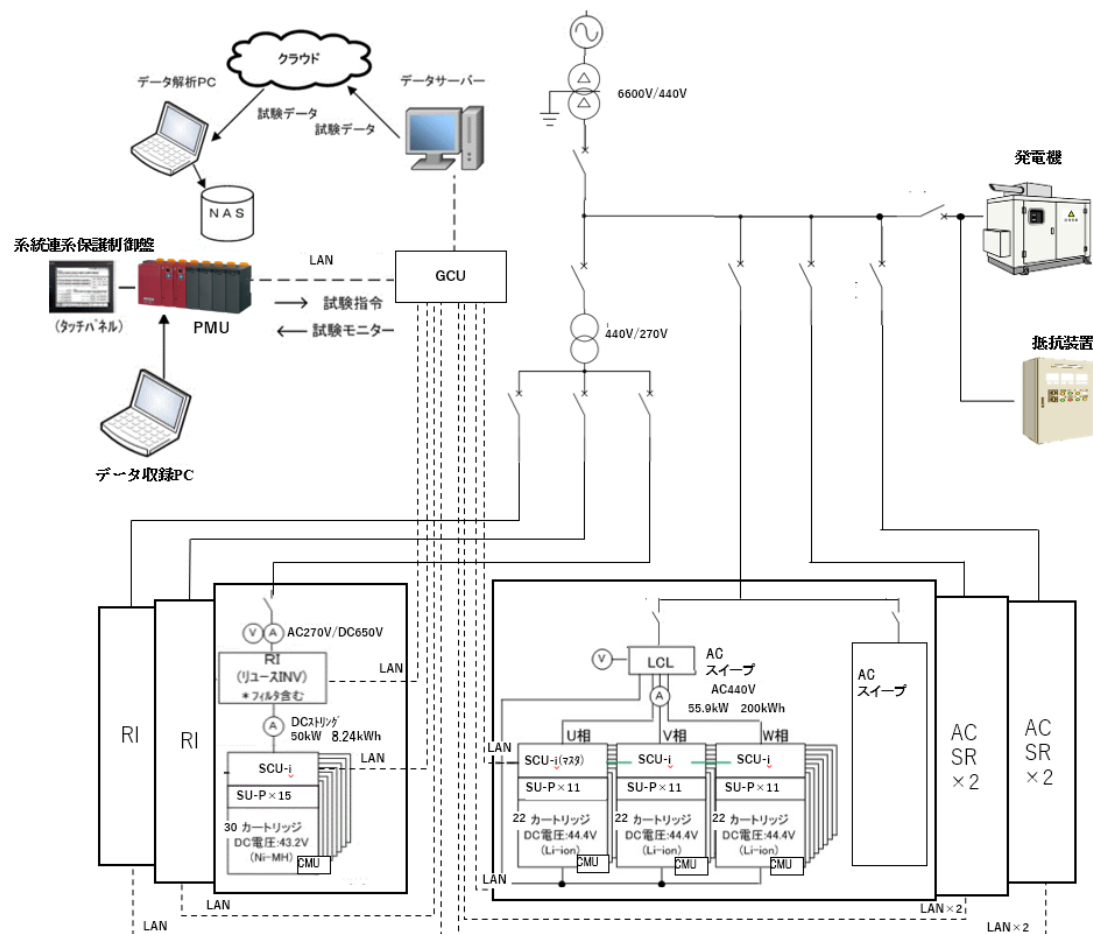


図 S2.1 実証試験システム構成

表 S2.2 各機器の役割

機器名称	役割
発電機	所内系統から切り離れた単独系統で試験する際に、蓄電システムへ電力を供給するための発電機
抵抗装置	所内系統から切り離れた単独系統で試験する際に、蓄電システムの放電エネルギーを消費するための抵抗装置
データサーバー	GCU から各種試験データを収集
系統連系保護制御盤	連系遮断器盤より 6.6kV 系統の VT (Voltage Transformer : 計器用変圧器) ,CT (Current Transformer : 変流器) 2 次回路を通して連系点諸量の計測及び系統連系保護継電器を装備する。系統連系保護継電器動作時には遮断器「切」指令を連系遮断器盤に送出する。 なお、系統連系保護制御盤には上記機能に加えて後述の PMU (操作用画面及び PLC) を含む。
Power Management Unit (PMU)	操作用画面、制御用コントローラ(PLC)より構成される。 GCU との双方向通信によりシステム起動/停止、試験条件パターンによる充放電指令値等の逐次発信、システムステータスやシステム諸量、及び各ストリングの状態を逐次受信 操作用画面よりシステムの起動/停止操作を行うと共に GCU からの制御ステータスや計測情報の表示、各種試験パターンの設定等を行うことができる。
Group Control Unit (GCU)	上位システム (データサーバー、PMU) 及び下位ユニットとの双方向通信により下記を実施 ・グループ全体の状態を PMU 及びデータサーバーへ発信 ・PMU からの指令を各 SCU、RI に発信 ・各カートリッジ/ストリング詳細情報、各電力情報を収集
String Control Unit integrate (SCU-i)	GCU との双方向通信により下記を実施 ・GCU から指令を受けた電力を実現する様に SU-P へ接続/切断信号を発信 ・CMU からのカートリッジ情報 (電池状態) に応じて切離す SU-P を決定 SCU-i 配下の各 SU-P の状態を統合して GCU に通知 SCU-i との双方向通信により下記を実施 ・SCU-i からの接続/切断信号に応じて、カートリッジの接続/切断を行う。 ・カートリッジ情報 (電池状態) を監視 ・カートリッジ情報 (電池状態) を SCU-i に通知
String Unit Power (SU-P)	SCU-i からの接続/切断信号に応じて、カートリッジの接続/切断を行う。
Cartridge Monitoring Unit (CMU)	カートリッジ情報 (セル電圧、温度) 計測
Reuse Inverter (RI)	ハイブリッド車のインバータを DC ストリングの PCS 代替として再利用系統 AC270V を電池電圧 DC650V に変換する双方向 AC/DC コンバータ
LCL Filter BOX (LCL)	リアクトルとコンデンサを組み合わせたフィルタ AC スイプの波形平滑化 (リップル、高調波低減)

（２）一定出力・一定時間の充放電試験

一定出力・一定時間で充放電を繰り返し行い、システム全体の基本性能（電力、SOC、温度）の変化を測定する。また、充放電の繰り返しでの電池容量の変化による、充放電の繰り返し可能時間の確認を行う。試験方法を表 S.2.3、図 S2.4 に示す。

表 S2.3 一定出力・一定時間の充放電試験条件

項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)	継続時間
試験条件 (i)	349.5	345	t=300 秒 (5 分) ×18 サイクル
試験条件 (ii)	150	135	t=1800 秒 (30 分) ×5 サイクル
試験条件 (iii)	60	52	t=10800 秒 (3 時間) ×1 サイクル
試験条件 (iv)	26	22	t=39600 秒 (11 時間) ×1 サイクル
試験条件 (v)	22.5	22	t=57600 秒 (16 時間) ×1 サイクル

※1 サイクル:充電→放電の 1 往復分

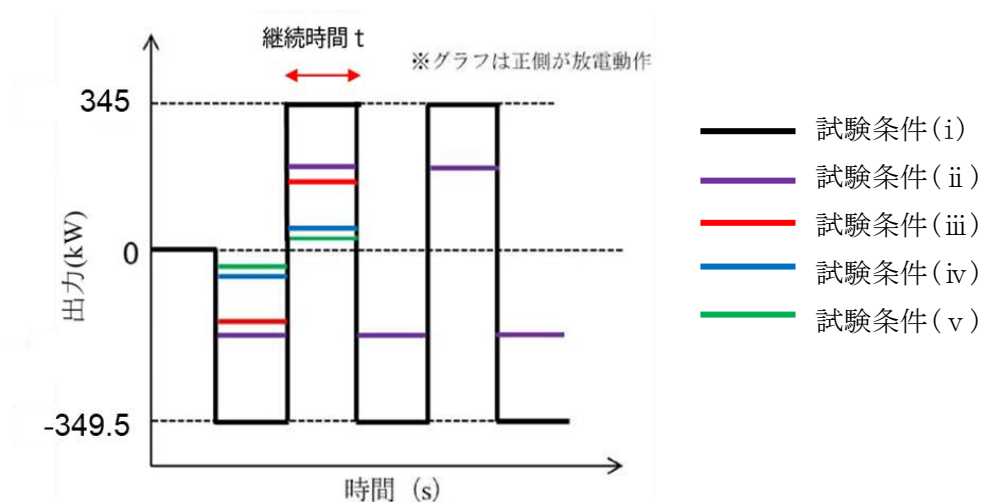


図 S2.4 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

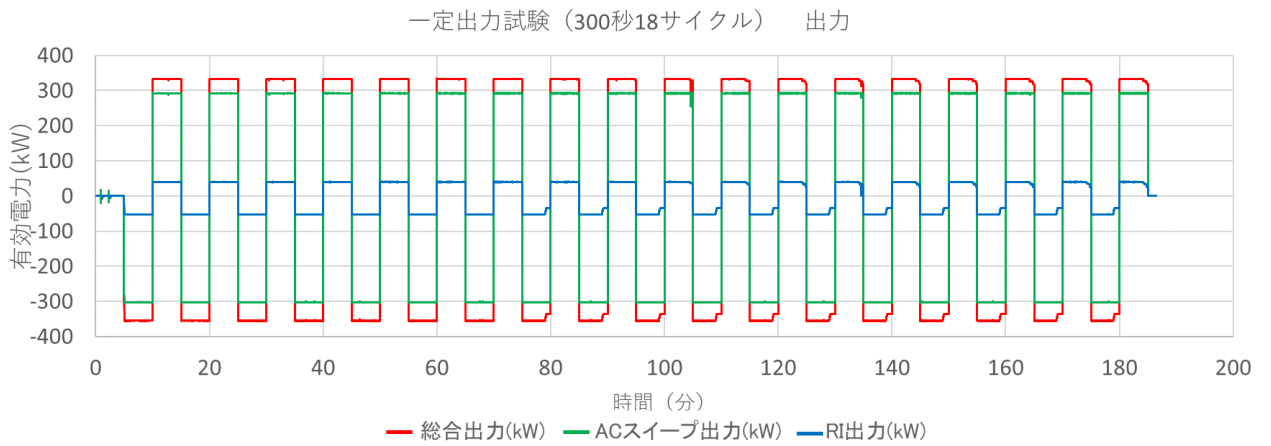
一定出力・一定時間の充放電試験全 5 パターンにおいて、設定した試験条件下で規定時間の充放電が可能であることが確認できた。図 S2.5 および図 S2.6 に試験条件 (i) の試験結果を示す。また、図 S2.7 および図 S2.8 に試験条件 (v) の試験結果を示す。

試験条件 (i) において、RI で SOC 制限により出力が制限される事象が発生している。RI をより活用する為には充放電サイクル時間に対し SOC 上下限に抵触しない程度の充放電出力を設定することが望ましい。

それに対し試験条件 (v) の試験では長時間の充放電時に RI は SOC50%保持を優先させる制御の為に待機状態となり、AC スイープのみの動作を行う形で RI と AC スイープの

協調運転が実現できている。

実運用においては、各ストリングの SOC、温度等の状態を見ながら、AC スイープ・RI の出力値を最適に制御する必要がある。



※本設定電力値 充電 349.5kW、放電 345kW

図 S2.5 一定出力（300s×18 サイクル）の試験結果（出力）

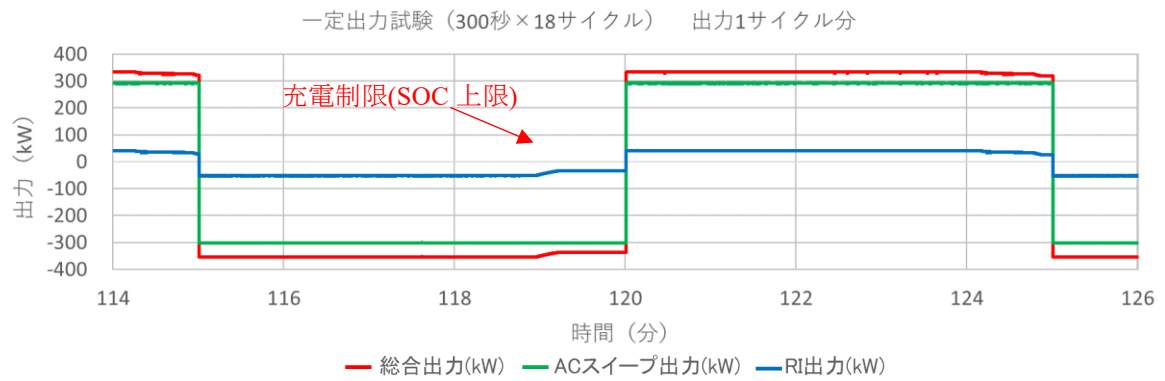
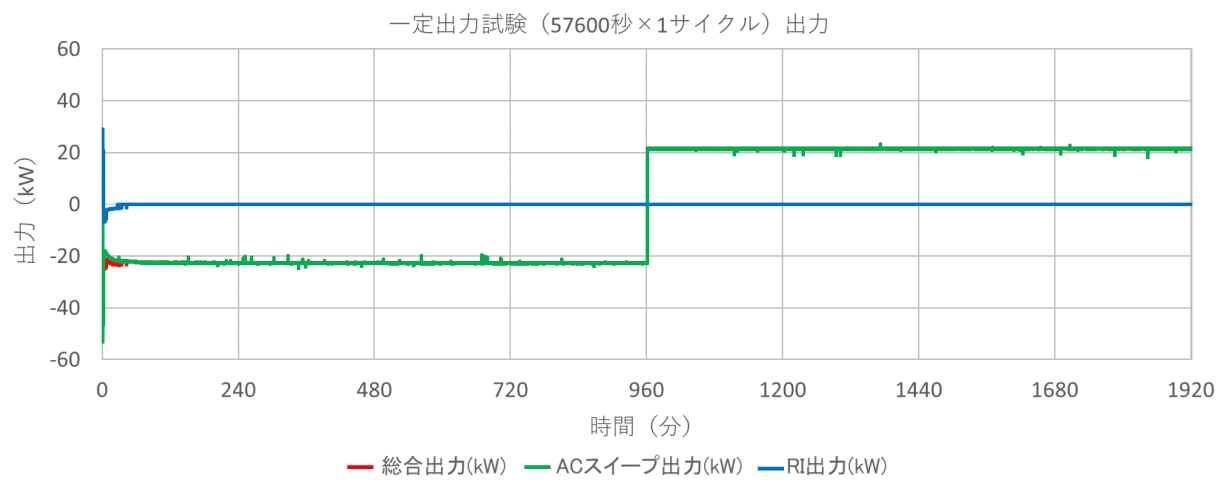


図 S2.6 一定出力（300s×18 サイクル）の試験結果（図 S2.5 の拡大）



※本設定電力値 充電 22.5kW、放電 22kW

図 S2.7 一定出力（57600s×1 サイクル）の試験結果（出力）

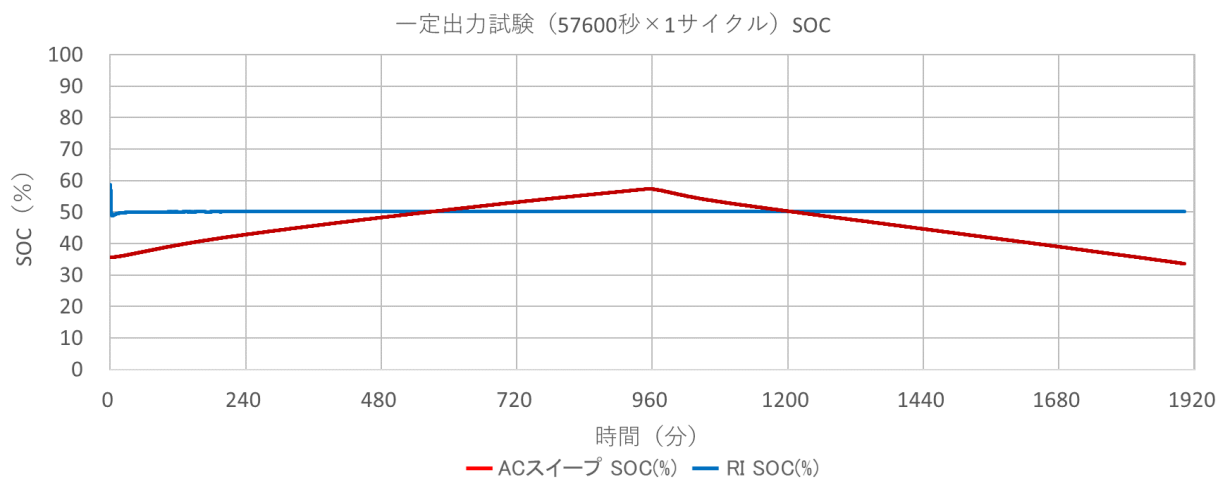


図 S2.8 一定出力（57600s×1 サイクル）の試験結果（SOC）

（３）短周期応動試験

短周期で充電⇄休止、放電⇄休止を繰り返し行い、システム全体の基本性能（電力、SOC）の変化を測定する。また、充放電の繰り返しでの電池容量の変化による、充放電の繰り返し 可能時間の確認を行う。周期は各充電／放電／休止モードを 2 秒間隔で設定した。試験方法を表 S2.9、図 S2.10 に示す。

表 S2.9 短周期応動試験

項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)	継続時間
試験条件（i）	344	340	t=300 秒（5 分）×18 サイクル
試験条件（ii）	272	270	t=1800 秒（30 分）×5 サイクル
試験条件（iii）	54	52.5	t=39600 秒（11 時間）×1 サイクル

※1 サイクル:充電→放電の 1 往復分

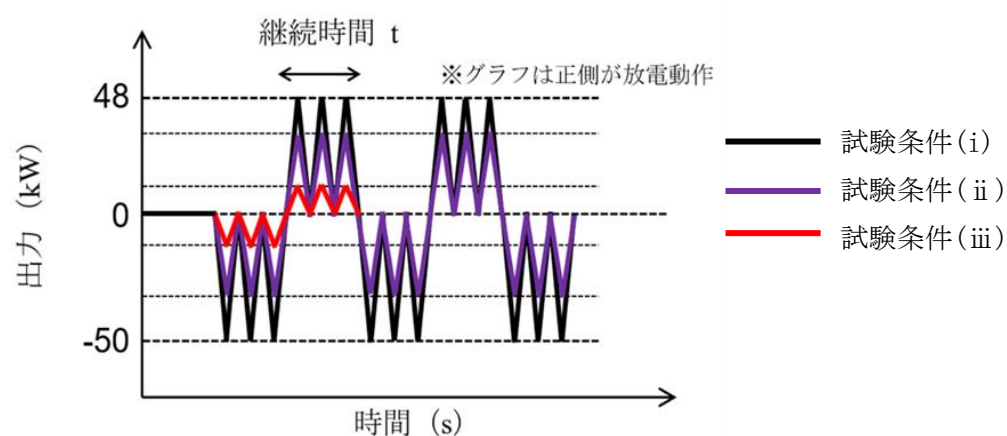
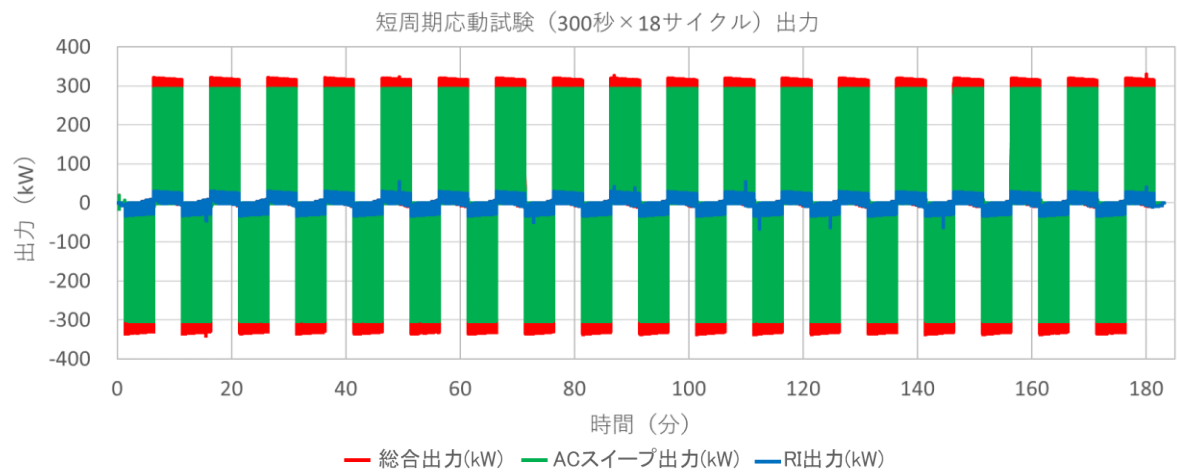


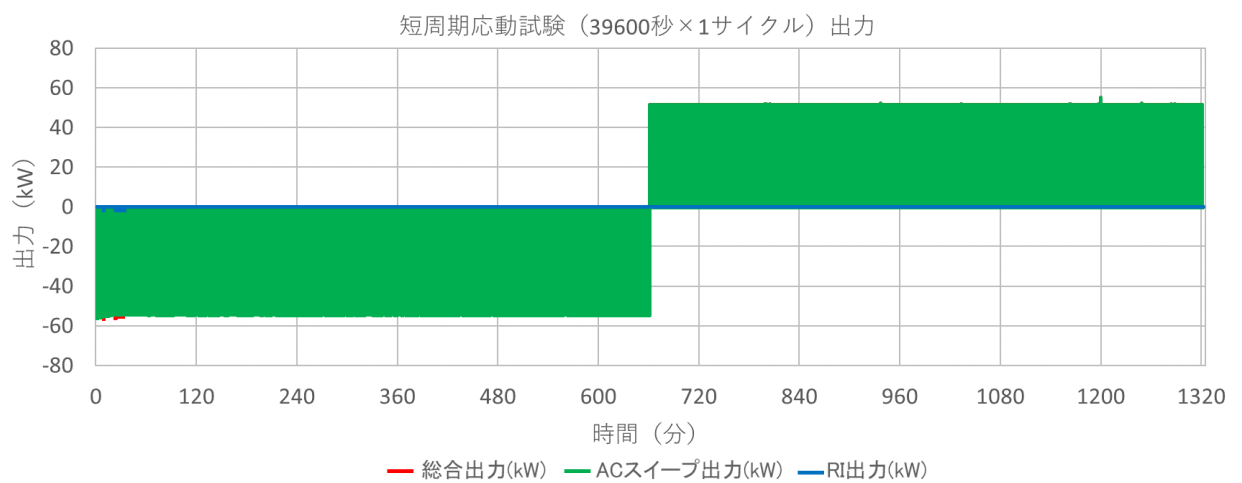
図 S2.10 短周期応動試験波形イメージ

短周期応動試験全 3 パターンにおいて、設定した試験条件下で 2 秒サイクルの応動に対し追従可能であり、規定時間の充放電を行うことが出来ることが確認できた。図 S2.11 に試験条件（i）の試験結果、図 S2.12 に試験条件（iii）の試験結果を示す。



※本設定電力値 充電 344kW、放電 340kW

図 S2.11 短周期応動（300s×18 サイクル）の試験結果（出力）



※本設定電力値 充電 54kW、放電 52.5kW

図 S2.12 短周期応動（39600s×1 サイクル）の試験結果（出力）

(4) 異種電池混在動作試験

図 S2.13 に異種電池（Pb 電池および他社製 LiB）の接続概要を示す。RI の DC スイープ 全 30 カートリッジの内、1 カートリッジを異種電池へ接続し、10kW で充放電を実施した。比較として、全て Ni-MH 電池を接続した条件も実施した。

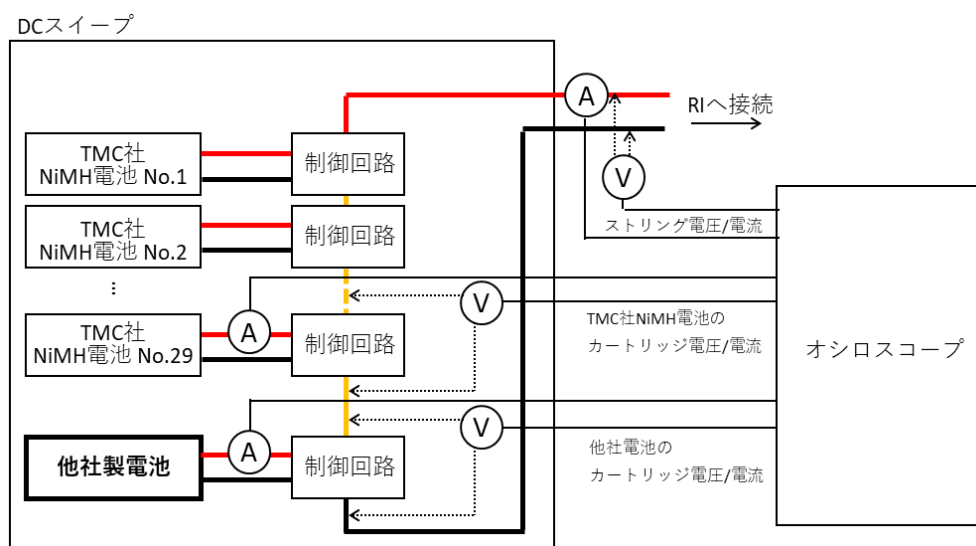


図 S2.13 他社製電池の接続概要図

既存の Ni-MH 電池を用いた DC ストリングに異種電池として Pb 電池および LiB で一部置換したストリングを構成し、リユースインバータで系統に対し充放電する試験を行った。結果、異種電池の混在ストリングでも問題無く充放電を行うことを確認できた。

3 リチウムイオン電池の残寿命把握技術の検討

(1) 背景

本章では、この Li 金属析出の有無を検知する手段の新技术に関する検討結果をまとめる。検討対象とした手法 (MaMoRiS: Magnified Metal Object Response Inspecting Sensor) は、他の Li 金属析出の発見手法として提案されている破壊を伴う外観からの析出検査や、高エネルギー線を用いた分析的析出検査と比較して、簡便にシステム実装で金属析出を検知する事ができる技術として報告されている。

(2) 検討手法

図 S3.1 に MaMoRiS の技術概要を示す。本手法は、通常の充放電の挙動で流れるイオン性の充放電電流の裏に隠れる電子性電流の反応が、内部で発生する Li 金属析出量に対して直接かつ高い応答を示す特性点に着目をした、インピーダンス計測手法の一つである。本手法の大きな特徴は、インピーダンス測定 (従来の EIS 法) と比較して、測定周波数を高い周波数帯域とする点である。この高周波化が従来の EIS 法が捉えているイオン性電流の挙動変化をフィルタリングする効果となり、劣化による様々な電池挙動変化の中から内部金属量の変化に対する電子電流のみの応答を増幅して検知することが可能となる。

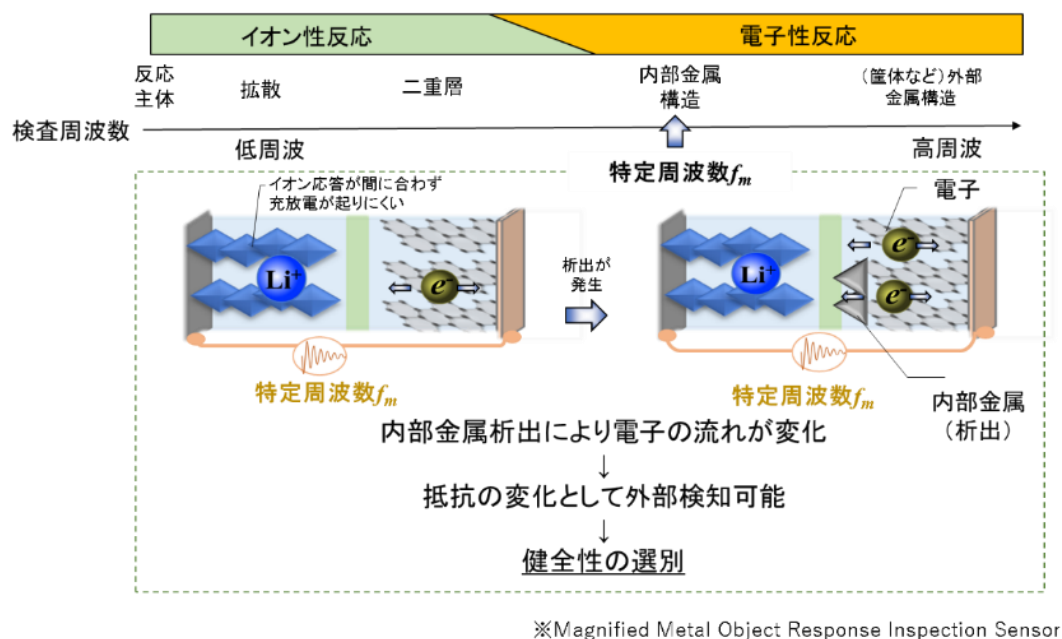


図 S3.1 検討する高周波を用いた Li 金属析出検知技術(MaMoRiS)の概要

(3) 試験方法

図 S3.2 に本技術の適用評価の実施フロー、表 S3.3 に電池セルと試験のリストを示す。
本試験では、図 S3.2 に示すフローにおいて、①加速劣化試験（Li 金属析出あり・Li 金属析出なし）による高感度周波数帯域の同定 ②MaMoRiS 回路を組み込んだ状態で析出を伴う加速試験を行い、析出堆積に伴う MaMoRiS 回路の反応がオンラインで得られることを確認 ③解体による析出状態の確認の 3 測定を行った。

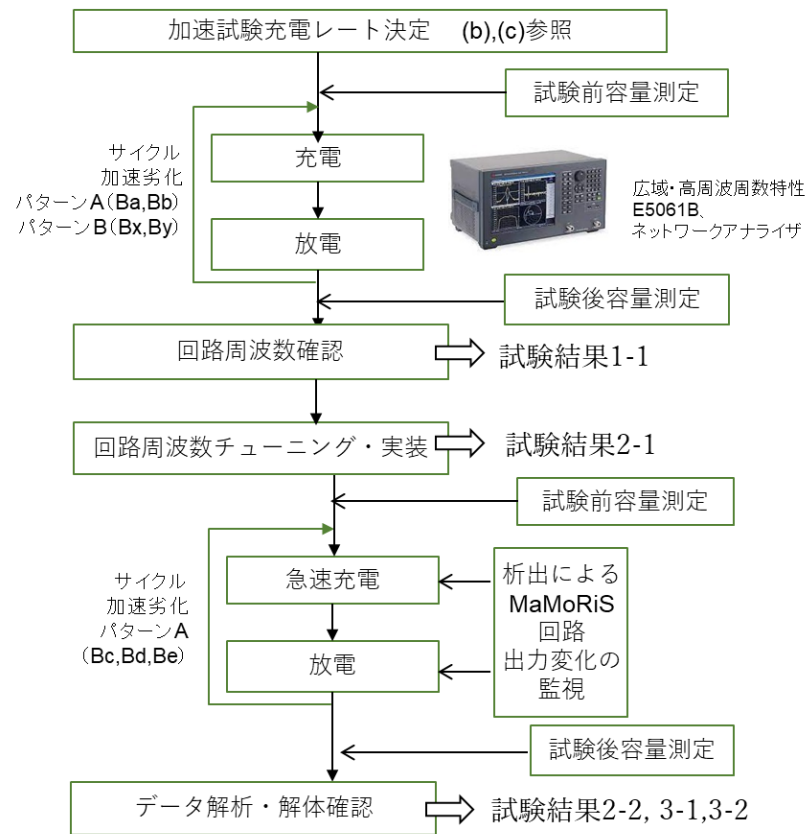


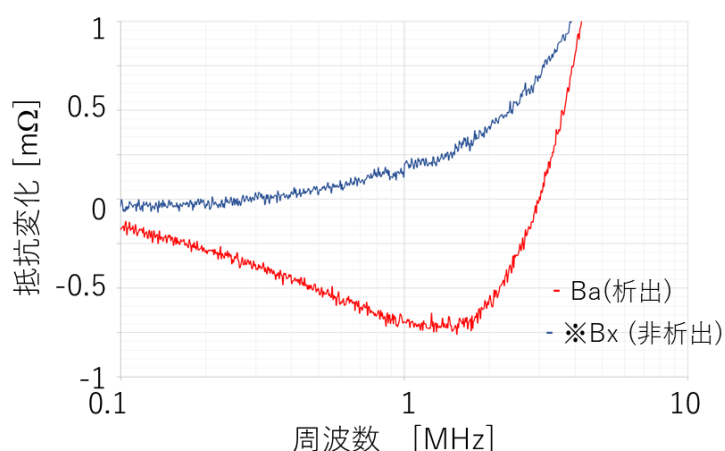
図 S3.2 試験の実施フロー

表 S3.3 電池セルと試験のリスト

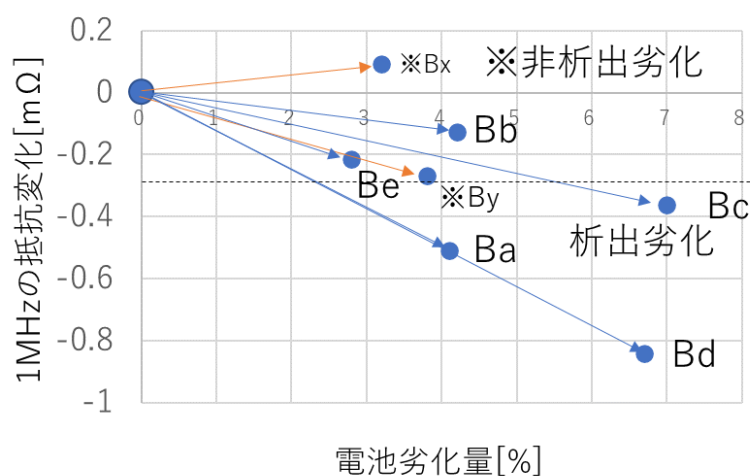
電池番号	内部管理番号	用途	劣化パターン	サイクル数	用途	解体確認
Ba	1	析出加速劣化	A	40	周波数探索	実施
Bb	2	析出加速劣化	A	40	周波数探索	
Bc	3	析出加速劣化	A	100	回路評価	実施
Bd	5	析出加速劣化	A	100	回路評価	
Be	8	析出加速劣化	A	20	回路評価	
Bx	4	非析出加速劣化	B	21	通常劣化確認用	実施
By	6	非析出加速劣化	B	38	通常劣化確認用	

(4) 試験結果

図 S3.4 に測定器を用いた高感度周波数帯域の探索結果の代表例を示す。本測定では実部インピーダンスのみに着目する。図 S3.4①は劣化前後の実物インピーダンスの測定結果例で、析出を伴わない劣化を施した電池 Bx と比較して、析出を伴った劣化が生じている。電池 Ba は 1MHz 付近で抵抗が低下している事が確認できる。本試験結果から、MaMoRiS 回路の測定周波数を 1MHz に設定し、電池 Bc、Bd にて劣化過程での MaMoRiS 出力変化を測定し、これを析出の堆積量との相関値として得る事とした。図 S3.4②に、本評価で使用した全ての電池の実部インピーダンスの測定結果を示す。析出を伴う劣化を施した電池 (Ba、Bb、Bc、Bd、Be) は高周波抵抗が大きく低下しているのに対して、析出を伴わない劣化を施した電池 (By、Bz) は抵抗の変化が少ない。



① 周波数特性全体(変化量)



② 初期からの変化量の比較

図 S3.4 測定器を用いた高感度周波数帯域の探索

劣化させた電池の状態を確認する為の解体分析結果として、図 S3.5 に代表する各電池の負極表面写真、表 S3.6 に劣化後電池の負極端代表部の成分分析結果まとめを示す。Li 金属析出無しの電池 Bx に対し、析出ありの電池 Ba と電池 Bc は端部に金属光沢色が見えており、Li 金属析出量が多い電池 Bc の方が、明らかにその光沢度合いが濃いことが確認できる。

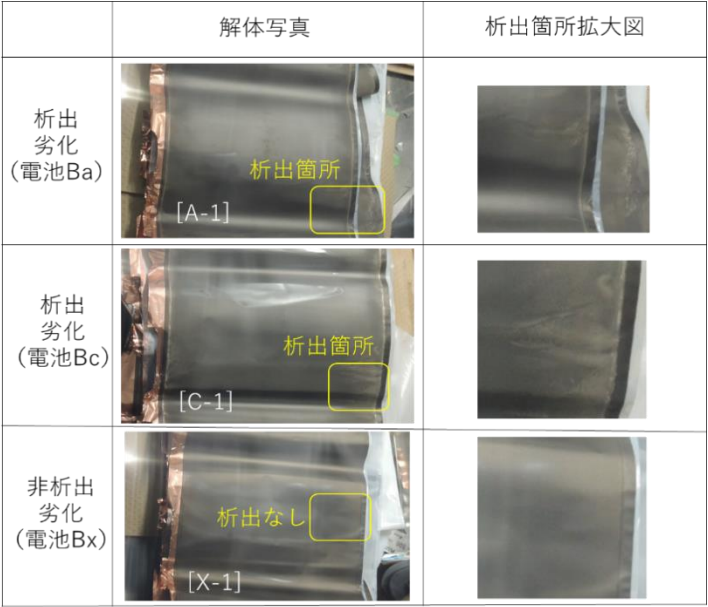


図 S3.5 各加速試験後の負極表面解体写真

表 S3.6 劣化後電池の負極端代表部の成分分析結果まとめ

試料	Li / % (質量分率)	金属Li / %	負極中の Li量 / %	電解質のLi量 / %
Ba(析出劣化、劣化量4.1%)	1.0	37.1	62.9	未検出
Bc(析出劣化、劣化量7.0%)	1.3	73.6	26.4	未検出
Bx(非析出劣化、劣化量3.2%)	0.98	未検出	100	未検出

(5) まとめ

本評価では、大容量蓄電システムの実装対象となり得る LiB セルに対して、長期利用を見据えた電池の健全性診断技術 (MaMoRiS) の基礎評価を行い、健全性悪化の要因となる Li 金属析出の堆積がモニタリングできる事をセル評価において確認した。本手法をスワイプ制御と組み合わせれば、電池の容量劣化と内部状態の健全性の両方を考慮した電池長期利用が実現できると考えられる。

4 環境改善効果及び CO2 排出量削減効果

ベースラインとなる新品電池等製造と今回のリユース事業である回収電池等再利用の主な工程を図 S4.1 に示す。

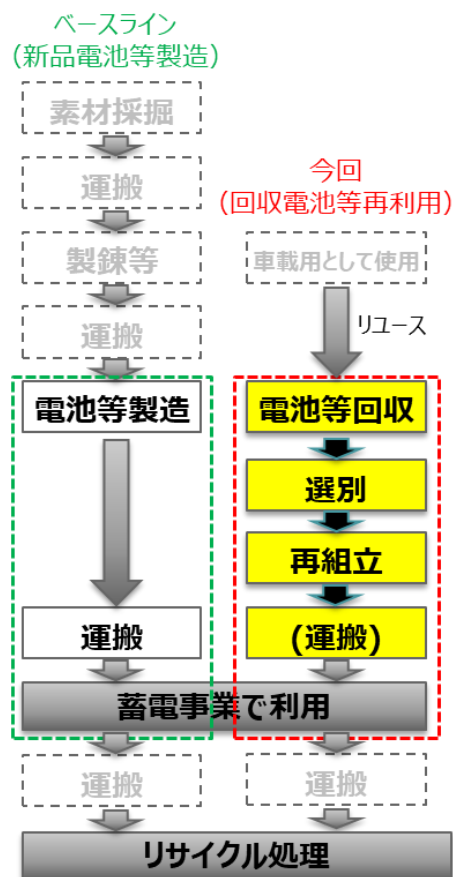


図 S4.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

(1) 環境改善効果

本実証事業では評価対象外ではあるが、車載電池のリユースによりベースラインにおける新品電池等製造に要する資源及びエネルギーの削減効果が見込まれる。

(2) CO2 排出量削減効果

CO2 排出量削減効果の評価にあたり、新品電池等製造から新品蓄電システムを蓄電事業にて 10 年間利用するまでをベースライン、車載用中古電池等回収からリユース蓄電システムを蓄電事業にて 10 年間利用するまでを今回事業のケースとして設定した。試算結果、ベースラインについては、10,821.6 t-CO2/10yr の CO2 排出量となる。一方、今回事業について電池回収・運搬・蓄電事業での利用時の CO2 排出量を試算した結果、1,391.3 t-CO2/10yr の CO2 排出量となり、ベースラインに対する優位性を確認した。

5 金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略の検討

(1) パワー型及びエネルギー型電池の組合せによる蓄電システムに係る最経済の検討

車載用電池は出力[kW]の大きなパワー型（Ni-MH 電池、図表中では「Ni」と表記）と容量[kWh]の大きなエネルギー型（LiB、図表中では「Li」と表記）に大別される。これらを自在に組み合わせることにより、最小の電池数量で要求特性を満足できることからコストダウンが図れると考えられる。

Ni-MH 電池および LiB の諸元もとに、10MW/30MWh を満足する蓄電システムの構築に必要なセル数を①Ni-MH 電池のみ、②LiB のみ、③Ni-MH 電池と LiB の組み合わせで構築する 3 ケースで比較した結果を表 S5.1 に示す。

表 S5.1 各ケースの必要セル数および蓄電システム容量 (kW/kWh)

ケース	Ni セル数	Li セル数	合計セル数	kW	kWh
① Ni のみ	270,000	0	270,000	75,000	30,000
② Li のみ	0	283,363	283,363	10,000	35,779
③ Ni+Li	6,546	231,840	238,386	10,000	30,000

ケース①において、Ni-MH 電池はパワー型であるため、30MWh を満足するセル数（27 万セル）で蓄電システムを構築すると、出力が 75MW と余剰となる。また、ケース②において、LiB はエネルギー型であるため、10MW を満足するセル数（28.3 万セル）で蓄電システムを構築すると、容量が 35.8MWh と余剰となる。一方でケース③においては、Ni-MH 電池と LiB を最適に組み合わせることにより、合計 23.8 万セルで 10MW/30MWh の蓄電システムを構築できる。

(2) 事業化に向けた今後の取り組み

図 S5.2 に将来的なリユース・リサイクル事業のイメージを示す。事業化に向けて、以下の 4 点について今後検討する。

①リユース電池で構築した蓄電システムの運用確立

特別高圧に連系する大規模蓄電システムの技術検証（特別高圧接続における高調波抑制等が課題となる）を実施し、100MWh 級リユース蓄電システムの構築および運用の確立を目指す。

②プラットフォーム構築しトレーサビリティ管理手法を確立

運転データを活用した発電計画、電池取替計画などの運用最適化に加え、CO2 削減効果

図 S5.2 将来的なリユース・リサイクル事業のイメージ

Abstract

1 Introduction

Electrified vehicles, such as electric vehicles, have become commonplace in recent times, and it is expected that many used batteries will be generated going forward. Figure S 1.1 shows estimates of the number of used batteries expected to be generated.

Current technologies for secondary use of in-vehicle batteries is small-scale and limited in terms of battery types and remaining capacities, and most batteries are exported on board used vehicles with just a small number of batteries being collected as used batteries in Japan. Figures S 1.2 and S 1.3 show the number of used vehicles exported and the number of used batteries collected, respectively.

Furthermore, the main recycling technology that has been used for convenience is to collect materials from residues and slag after incineration. As a result, the purity and recovery rate of collected materials containing valuable metals is low, and the CO2 emitted from the incineration process remains an issue to be tackled.

This demonstration project will develop the following technologies with the aim of expanding the secondary use of used batteries by enhancing their safety, reliability and price competitiveness as well as by greatly reducing CO2 emissions throughout their lifecycle.

- Technology for optimizing power storage systems suitable for power systems
- Safe and stable control technology utilizing a variety of in-vehicle batteries
- Online remaining life diagnostic technology

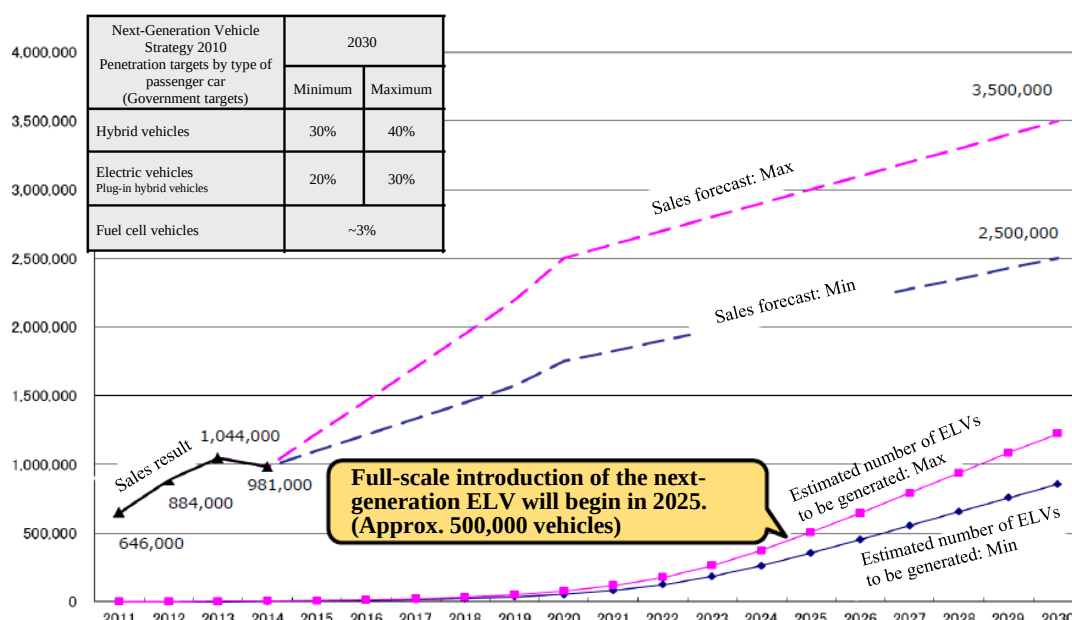


Figure S 1.1 Forecast about the penetration of next-generation vehicles/Estimated number of end-of-life vehicles (ELVs)

Source: Japan Automobile Manufacturers Association, Attachment 6-2 for the 2019 Industrial Structure Council and Central Environment Council Joint Meeting

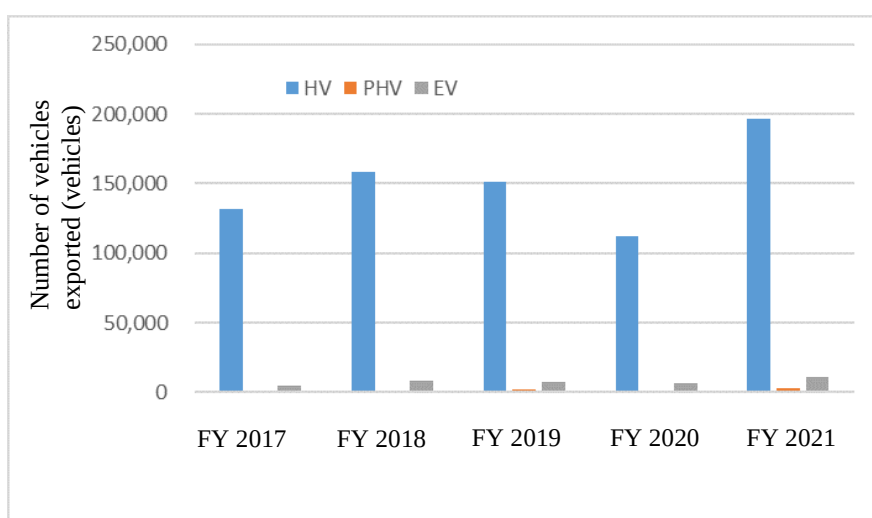


Figure S 1.2 Number of used vehicles exported (hybrid, plug-in hybrid, electric vehicles)
Source: Ministry of Finance Trade Statistics

	Li-ion battery	Nickel hydrogen battery
Manufacturers	Isuzu Motors Ltd. Suzuki Motor Corporation Daihatsu Motor Co., Ltd. Nissan Motor Co., Ltd. Honda Motor Co., Ltd. Mitsubishi Motors Corporation Yamaha Motor Co., Ltd. Kawasaki Motors Corporation SUBARU Corporation Toyota Motor Corporation Hino Motors Ltd. Mazda Motor Corporation Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation UD Trucks, Corp.	SUBARU Corporation Daihatsu Motor Co., Ltd. Toyota Motor Corporation Hino Motors Ltd. Honda Motor Co., Ltd. Mazda Motor Corporation Mitsubishi Motors Corporation
Number of units collected (Note) Total number of units collected from ELVs of all manufacturers	FY 2021: 5,059 units FY 2020: 3,648 units FY 2019: 3,014 units FY 2018: 2,364 units FY 2017: 943 units	FY 2021: 5,799 units FY 2020: 6,251 units FY 2019: 6,694 units FY 2018: 7,214 units FY 2017: 6,140 units

Figure S 1.3 Number of used batteries collected
Source: Japan Automobile Manufacturers Association, Attachment 6 for the 57th Industrial Structure Council and Central Environment Council Joint Meeting

2 Implementation of a reused power storage system demonstration test

(1) Configuration of demonstration test system

Figure S 2.1 shows the configuration of this demonstration test system and Table S.2.2 shows the roles of the main devices.

30 Ni-MH battery cartridges (6 modules in series: 43.2 V) in series is called a DC string, and 1 string was installed. A reused inverter (hereinafter referred to as "RI") from a hybrid vehicle was connected to the DC string line instead of a power conditioning system (PCS: a system that converts direct current to alternating current) to function as a bi-directional AC-DC converter.

In addition, 3 strings of 22 LiB cartridges (12 cells in series: 44.4 V) connected in series were prepared. Each string was connected in the shape of a star so that it generated sine waves, and the strings were installed as an AC string that controls sine waves to simulate the U, V and W phases of alternating current. This power storage system is capable of inputting and outputting alternating current directly from the battery strings so does not require a PCS. (Hereinafter referred to as "AC sweep")

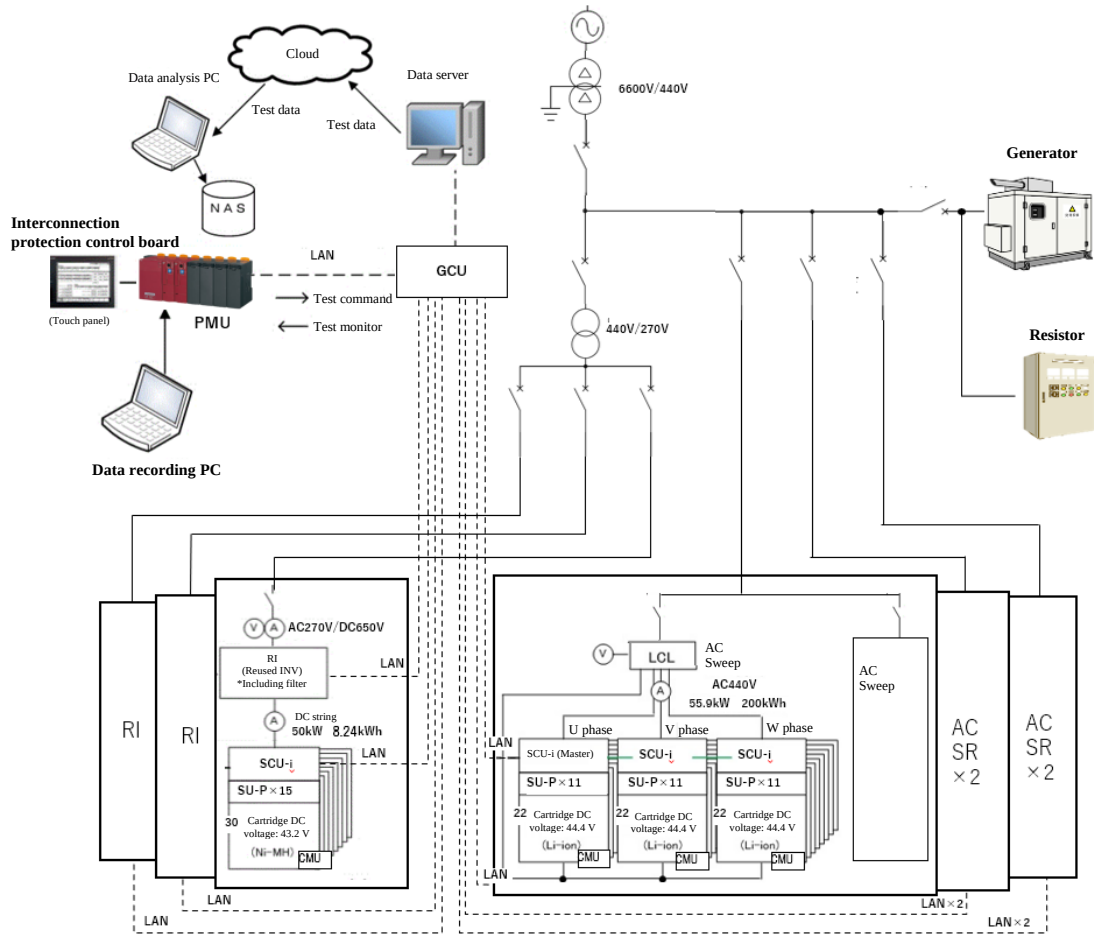


Figure S 2.1 Configuration of demonstration test system

Table S 2.2 Roles of devices

Device name	Role
Generator	Supplies power to the power storage system when testing is performed on a single system isolated from the on-site power supply system
Resistor	Consumes the energy released from the power storage system when testing is performed on a single system isolated from the on-site power supply system
Data server	Collects various test data from the GCU
Interconnection protection control board	Measures values at the interconnection point from the interconnection circuit breaker board through the voltage transformer (VT) and current transformer (CT) secondary circuits of 6.6 kV system, and is equipped with an interconnection protection relay. When the interconnection protection relay is activated, it sends a command to “close” the breaker to the interconnection circuit breaker board. In addition to the above functions, the interconnection protection control board contains the PMU (operation screen and PLC), which is described later.
Power Management Unit (PMU)	Consists of an operation screen and a controller (PLC). Starts and stops the system through bi-directional communication with the GCU; sequentially sends charge/discharge command values based on the test condition pattern; sequentially receives system status, system values, and status of each string. The system can be started or stopped from the operation screen, and on the screen, the control status and measurement data from the GCU are displayed and test patterns can be set.
Group Control Unit (GCU)	Functions as follows through bi-directional communication between the host system (data server, PMU) and the subordinate system: - Sends the overall group status to the PMU and the data server - Sends commands from the PMU to each SCU and the RI - Collects detailed information on cartridges/strings and power information
String Control Unit integrate (SCU-i)	Functions as follows through bi-directional communication with the GCU. - Sends connect/disconnect signals to SU-Ps so that the required power may be achieved in response to the command from the GCU. - Determines the SU-Ps to cut in according to the cartridge information (battery status) from the CMU Provides integrated information on the status of the SU-Ps under the SCU-i to the GCU Functions as follows through bi-directional communication with the SCU-i - Connects/disconnects cartridges in response to connect/disconnect signals from the SCU-i - Monitors cartridge information (battery status) - Provide cartridge information (battery status) to the SCU-i
String Unit Power (SU-P)	Connects/disconnects cartridges in response to connect/disconnect signals from the SCU-i
Cartridge Monitoring Unit (CMU)	Measures cartridge information (cell voltage, temperature)
Reused Inverter (RI)	An inverter from a hybrid vehicle reused as an alternative to a PCS in a DC string. A bi-directional AC/DC converter that converts grid 270 V AC to 650 V DC, which is the battery voltage
LCL Filter BOX (LCL)	Filter that combines a reactor and capacitor Smooths the waveform of AC sweeps (reducing ripples and harmonics)

(2) Constant output/constant time charge-discharge test

The batteries were charged and discharged repeatedly at a constant output and time, and changes in the basic performance (power, SOC, temperature) of the entire system were measured. In addition, changes in the battery capacity after repeated charge-discharge operations were checked to see how long the charge-discharge operation could be repeated. Table S. 2.3 and Figure S. 2.4 show the testing method.

Table S 2.3 Constant output/constant time charge-discharge test conditions

Item	Charging power (kW)	Discharging power (kW)	Time duration
Test condition (i)	349.5	345	$t = 300 \text{ sec (5 min)} \times 18 \text{ cycles}$
Test condition (ii)	150	135	$t = 1800 \text{ sec (30 min)} \times 5 \text{ cycles}$
Test condition (iii)	60	52	$t = 10,800 \text{ sec (3 hr)} \times 1 \text{ cycle}$
Test condition (iv)	26	22	$t = 39,600 \text{ sec (11 hr)} \times 1 \text{ cycle}$
Test condition (v)	22.5	22	$t = 57,600 \text{ sec (16 hr)} \times 1 \text{ cycle}$

*1 cycle: 1 cycle from charge to discharge

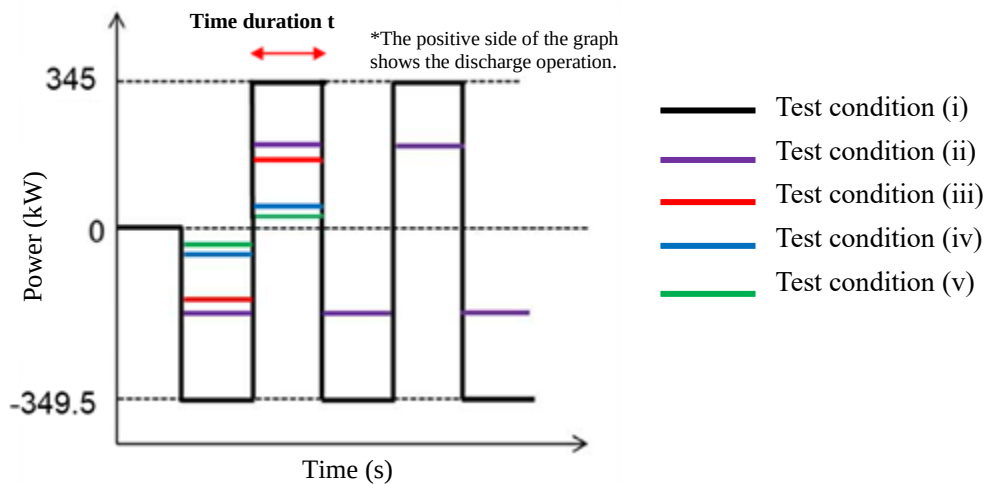


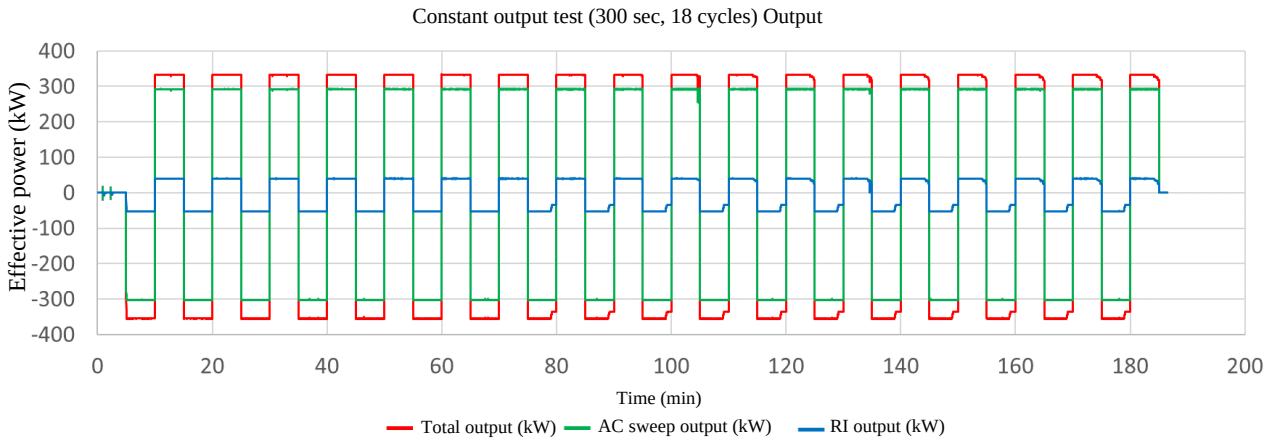
Figure S 2.4 Waveform image of the constant output/constant time charge-discharge test

In all five patterns of the constant output/constant time charge-discharge test, charge and discharge operations were secured for a specified duration of time under the set test conditions. Figure S 2.5 and Figure S 2.6 show the test result under condition (i). Figure S 2.7 and Figure S 2.8 show the test result under condition (v).

Under test condition (i), an event occurred where the output of the RI is restricted due to the SOC regulation. To make better use of the RI, the charge-discharge output should be set to a level that does not conflict with the upper and lower SOC limits based on the charge-discharge cycle time.

However, in the test under condition (v), when the charge-discharge time lasts for a long time, the RI is placed in a standby state to give priority to maintaining SOC at 50%, and only AC sweeps are in operation. As a result, the cooperative operation of the RI and AC sweeps is achieved.

In practical operation, the output of AC sweeps and the RI should be controlled to an optimal value while monitoring the SOC, temperature and other statuses of the strings.



*Set power Charge 349.5 kW, Discharge 345 kW

Figure S 2.5 Result of constant output test (300 sec x 18 cycles) (Output)

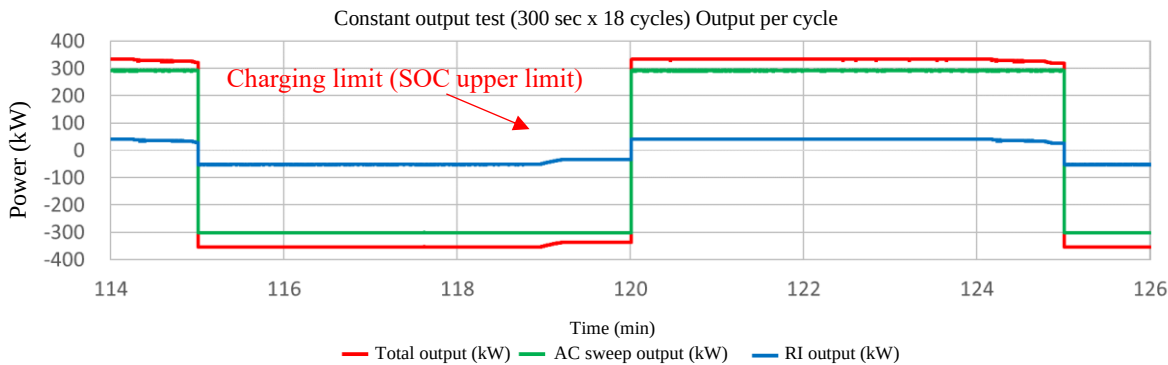
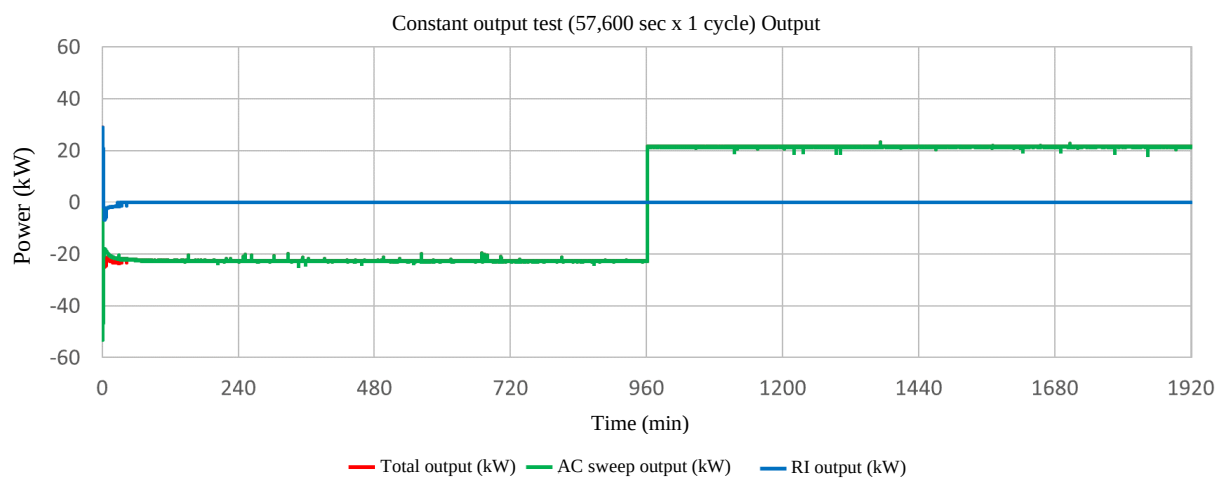


Figure S 2.6 Results of constant output test (300 sec x 18 cycles) (Enlarged view of Figure S 2.5)



*Set power Charge 22.5 kW, Discharge 22 kW

Figure S 2.7 Result of constant output test (57,600 sec x 1 cycle) (Output)

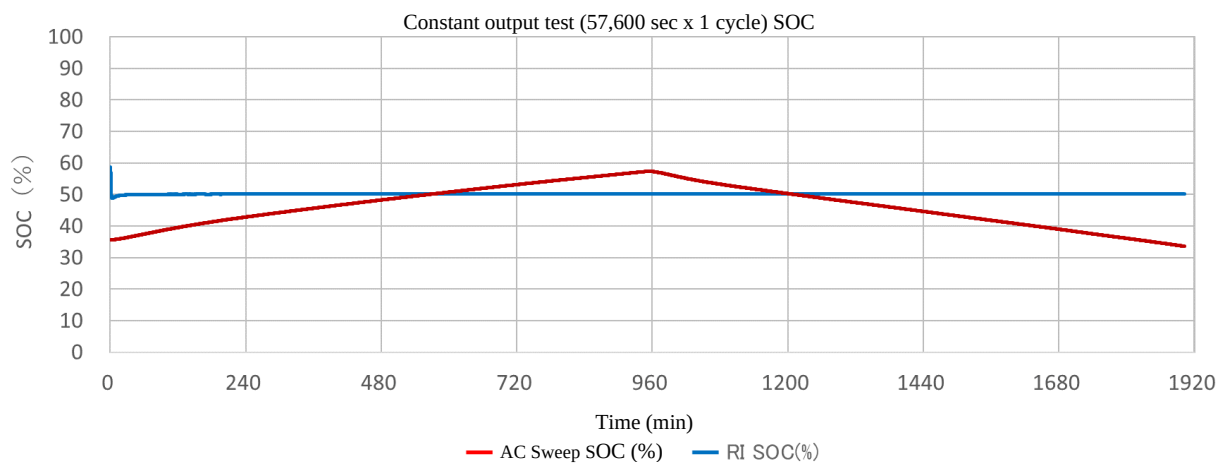


Figure S 2.8 Result of constant output test (57,600 sec x 1 cycle) (SOC)

(3) Short-cycle fluctuation test

Charge $\Leftrightarrow$ Stop and Discharge $\Leftrightarrow$ Stop were repeated in short cycles to measure changes in the basic performance (power, SOC) of the entire system. In addition, changes in the battery capacity after repeated charge-discharge operations were checked to see for how long the charge-discharge operation could be repeated. Cycles of charge, discharge and stop mode were set with an interval of 2 second. Table S. 2.9 and Figure S. 2.10 show the testing method.

Table S 2.9 Short-cycle fluctuation test

Item	Charging power (kW)	Discharging power (kW)	Time duration
Test condition (i)	344	340	$t = 300 \text{ sec (5 min)} \times 18 \text{ cycles}$
Test condition (ii)	272	270	$t = 1800 \text{ sec (30 min)} \times 5 \text{ cycles}$
Test condition (iii)	54	52.5	$t = 39,600 \text{ sec (11 hr)} \times 1 \text{ cycle}$

*1 cycle: 1 cycle from charge to discharge

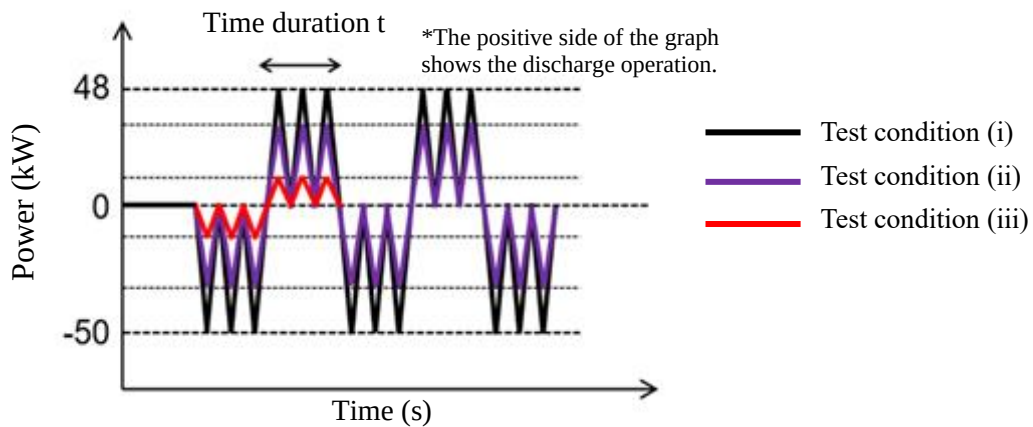
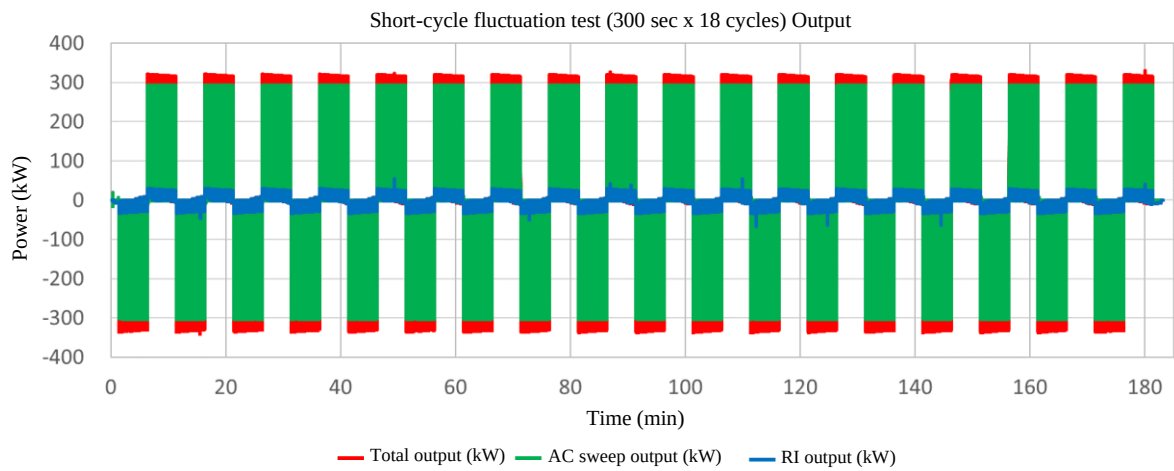


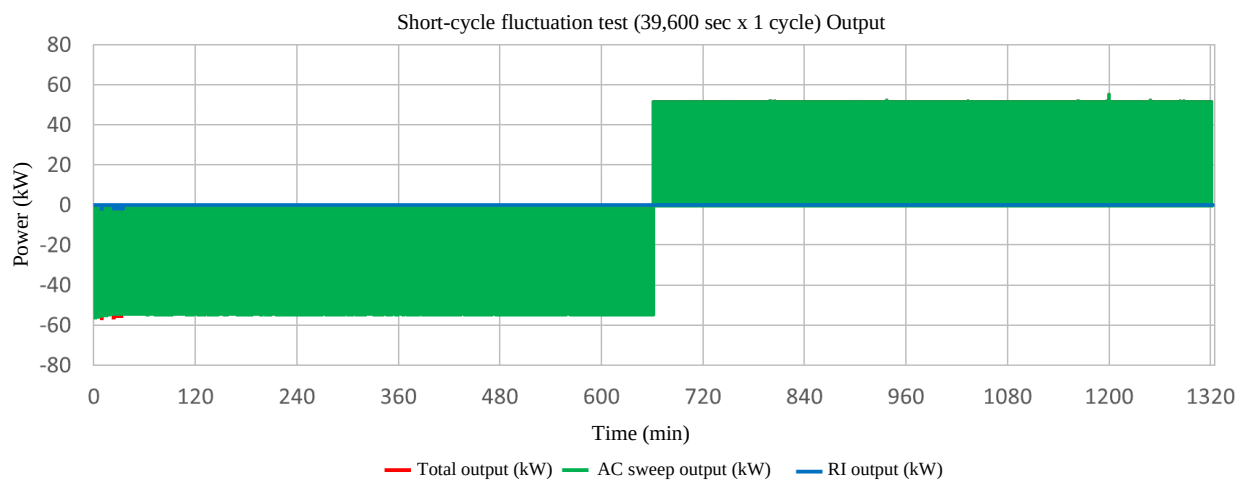
Figure S 2.10 Waveform image of the short-cycle fluctuation test

In all three patterns of the short-cycle fluctuation test, the system was able to follow 2-second cycle fluctuations under the set test conditions, and charge and discharge operations were secured for the specified duration of time. Figure S 2.11 shows the results of the test under condition (i) and Figure S 2.12 shows the results under condition (iii).



*Set power Charge 344 kW, Discharge 340 kW

Figure S 2.11 Result of short-cycle fluctuation test (300 sec x 18 cycles) (Output)



*Set power Charge 54 kW, Discharge 52.5 kW

Figure S 2.12 Result of short-cycle fluctuation test (39,600 sec x 1 cycle) (Output)

(4) Mixed battery operation test

Figure S 2.13 shows an overview of the connection of different types of batteries (Pb batteries and LiB made by another company). Of all 30 cartridges in the RI DC sweep, 1 cartridge was connected to batteries of different types and charge and discharge operations were performed at 10 kW. For comparison, a pattern where all cartridges were connected to Ni-MH batteries was performed as well.

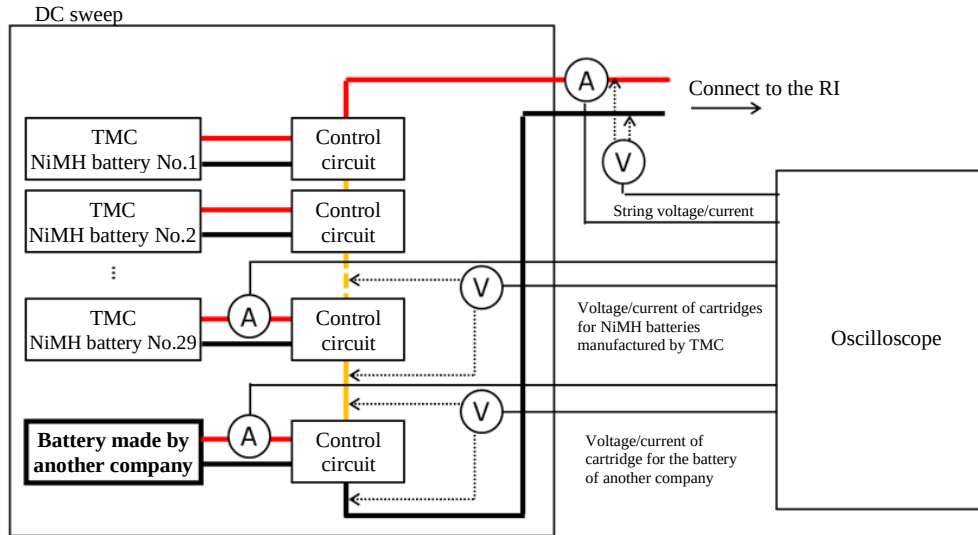


Figure S 2.13 Overview of connection of a battery made by another company

In this test, part of the conventional DC string using Ni-MH batteries was replaced with Pb batteries and LiB to compose a string, and power was supplied to and released from the system using a reused inverter.

As a result, charge-discharge operations were carried out without any problems on the string with mixed batteries.

3 Study on technology to ascertain remaining life of lithium-ion batteries

(1) Background

This chapter summarizes the results of research on a new technology for detecting the presence or absence of Li deposition. The Magnified Metal Object Response Inspecting Sensor (MaMoRiS), which is the technology under study, has been reported as a method that can be implemented in systems and easily detect Li deposition compared with other methods that have been proposed as technologies for detecting Li deposition, such as appearance deposition inspection accompanied by destruction and analytical deposition inspection using high energy rays.

(2) Study method

Figure S 3.1 provides a technical overview of MaMoRiS. This is an impedance measurement technique that focuses on the characteristic point where the reaction of the electronic current, which is hidden behind the ionic charge-discharge currents flowing in the normal charge-discharge behavior, shows a direct and high response to the amount of Li deposition generated inside. A major feature of this method is that the measurement frequency is in a higher frequency band compared with impedance measurement (conventional EIS method). With the higher frequency, this method has the effect of filtering out the changes in the behavior of ionic currents captured by the conventional EIS method, making it possible to magnify and detect the response of only the electron current to changes in the amount of internal metals among various changes in battery behavior due to degradation.

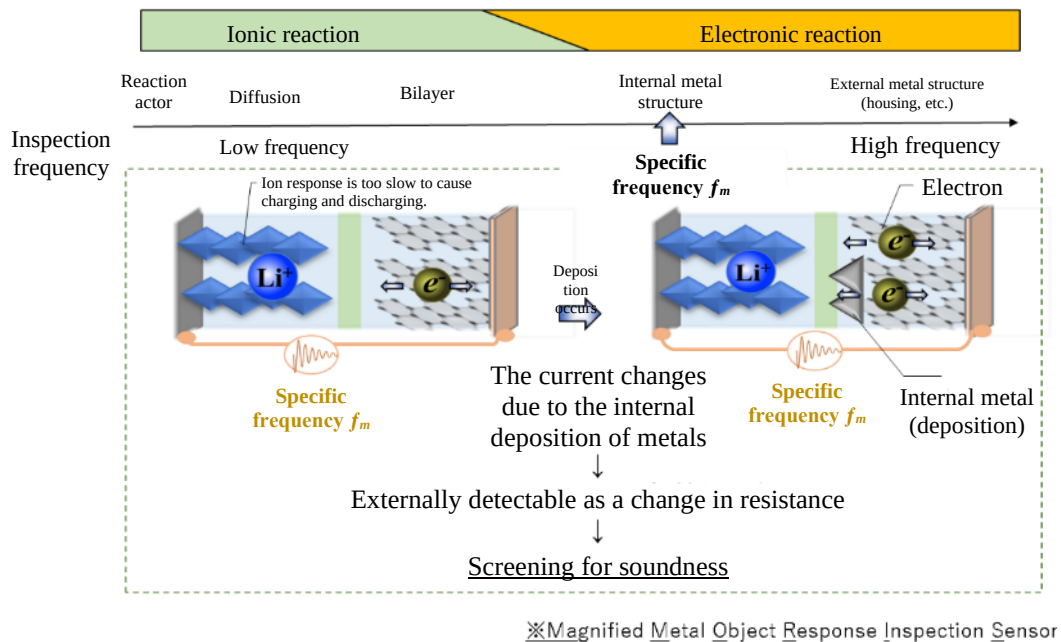


Figure S 3.1 Overview of the Li deposition detection technology (MaMoRiS) using high frequency to be studied

(3) Testing method

Figure S 3.2 shows the flow for evaluating the application of this technology, and Table S 3.3 lists the battery cells and tests. In this test, in accordance with the flow shown in Figure S 3.2, the following three tests were conducted: (1) accelerated degradation test (with and without Li deposition) for identifying the high-sensitivity frequency band, (2) accelerated test with deposition with the MaMoRiS circuit incorporated to make sure that the reaction of the MaMoRiS circuit to the deposition can be obtained online, and (3) disassembly to check the deposition status.

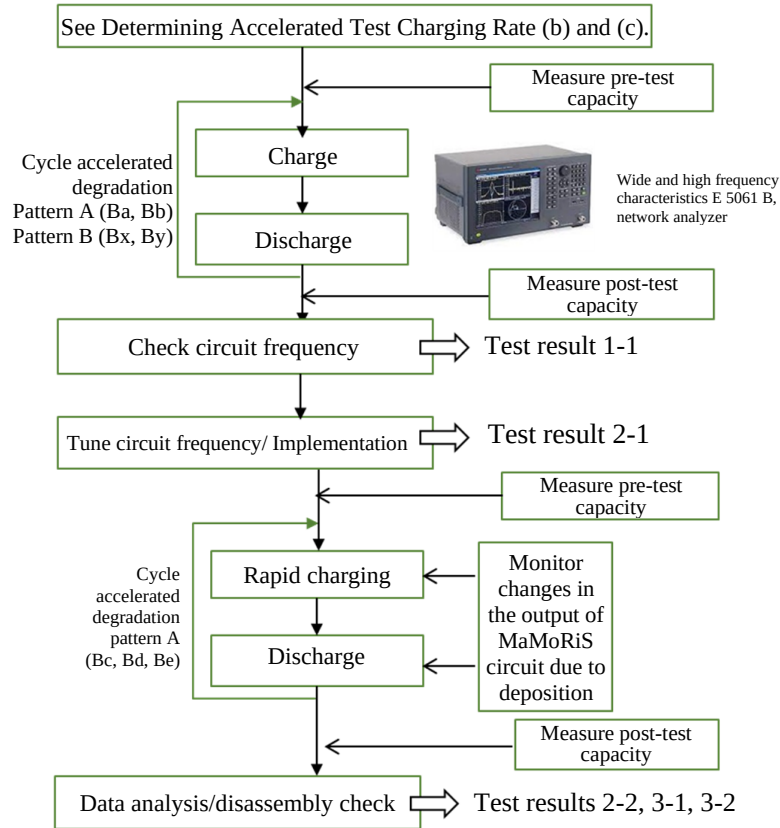


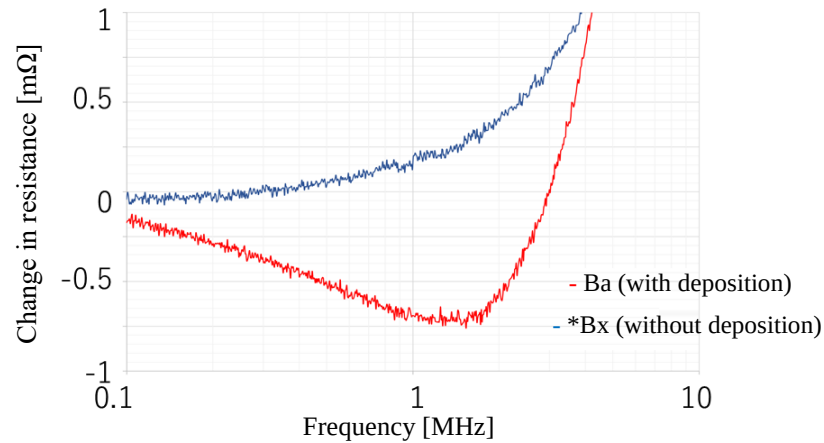
Figure S 3.2 Flow of test implementation

Table S 3.3 List of battery cells and tests

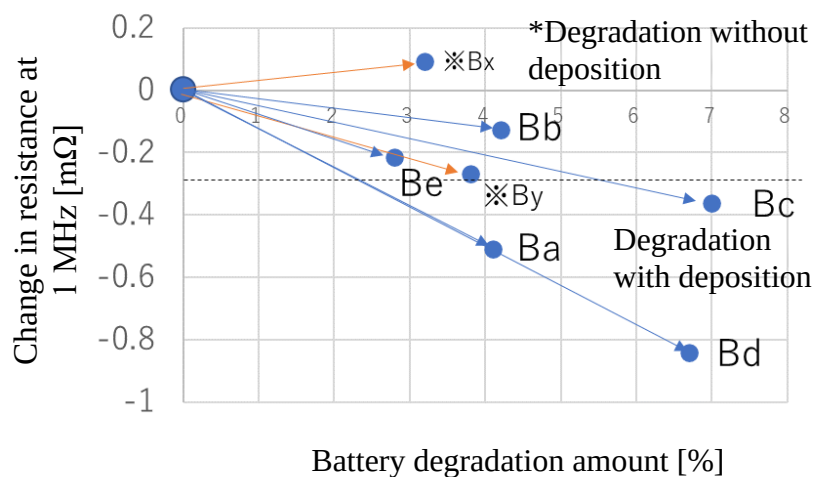
Battery No.	Internal control No.	Application	Deterioration pattern	Number of cycles	Application	Disassembly check
Ba	1	Accelerated degradation with deposition	A	40	Search for frequencies	Implement
Bb	2	Accelerated degradation with deposition	A	40	Search for frequencies	
Bc	3	Accelerated degradation with deposition	A	100	Circuit evaluation	Implement
Bd	5	Accelerated degradation with deposition	A	100	Circuit evaluation	
Be	8	Accelerated degradation with deposition	A	20	Circuit evaluation	
Bx	4	Accelerated degradation without deposition	B	21	For checking normal degradation	Implement
By	6	Accelerated degradation without deposition	B	38	For checking normal degradation	

(4) Test results

Figure S 3.4 shows a typical example of the results of searching for high-sensitivity frequency bands using a measuring instrument. This measurement focuses only on real part impedance. Figure S 3.4 (1) shows an example of the measured results of real part impedance before and after degradation, revealing that deposition occurred as the degradation progressed compared with the battery Bx tested through degradation without deposition. It also shows that the resistance of battery Ba dropped at around 1 MHz. Based on the results of this test, the measurement frequency of the MaMoRiS circuit was set at 1 MHz, and changes in the output of the MaMoRiS circuit during the degradation process were measured with batteries Bc and Bd, and the changes were obtained as values in correlation with the deposition amount. Figure S 3.4 (2) shows the measured real part impedance of all batteries used in this evaluation. The batteries tested through degradation with deposition (Ba, Bb, Bc, Bd, Be) experienced a significant drop in high-frequency resistance, while those tested through degradation without deposition (By, Bz) had little change in resistance.



(1) Overall frequency characteristics (amount of change)



(2) Comparison of the amount of change from the initial state

Figure S 3.4 Search for sensitive frequency bands using a measuring instrument

As the results of the disassembly analysis performed to check the battery condition after degradation, Figure S 3.5 shows photographs of the anode surfaces of the batteries, and Table S 3.6 summarizes the component analysis results at the representative parts on the anode ends of the degraded batteries. Compared to battery Bx, in which Li deposition did not occur, the ends of batteries Ba and Bc, in which deposition occurred, are lustrous. Furthermore, the surface of battery Bc, which experienced a larger amount of Li deposition, appears more lustrous.

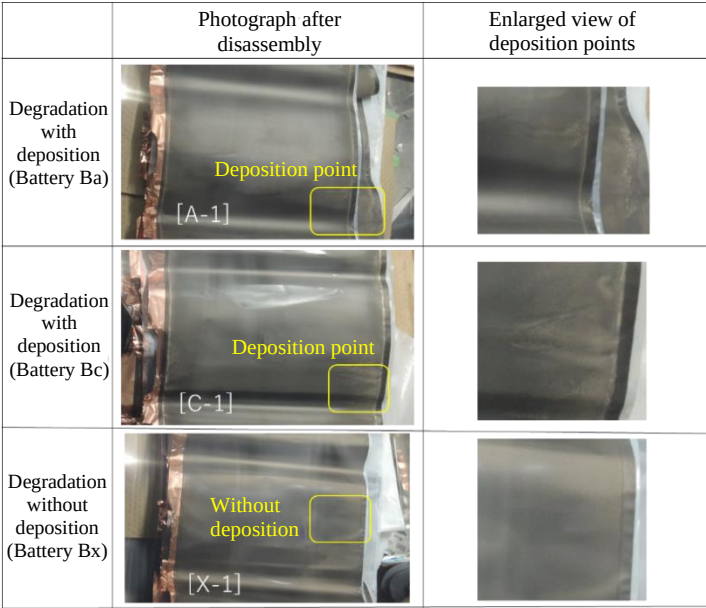


Figure S 3.5 Photographs of anode surfaces after disassembly following acceleration tests

Table S 3.6 Summary of the results of component analysis at the representative parts on the anode ends of batteries after degradation

Specimen	Li/% (mass fraction)	Metallic Li/%	Li content in the anode/%	Li content in electrolyte/%
Ba (degradation with deposition, degradation amount 4.1%)	1.0	37.1	62.9	Not detected
Bc (degradation with deposition, degradation amount 7.0%)	1.3	73.6	26.4	Not detected
Bx (degradation without deposition, degradation amount 3.2%)	0.98	Not detected	100	Not detected

(5) Summary

In this evaluation, the basic performance of MaMoRiS, a technology for diagnosing the soundness of LiB cells, which are a potential battery to be implemented in large-capacity power storage systems, was assessed in view of long-term use, and was verified through cell assessment as being capable of monitoring the Li deposition that causes a degradation in the soundness. When this method is combined with sweep control, it is considered that the long-term use of batteries that takes into account both degradation in the capacity of batteries and the soundness of the inside condition can be achieved.

4 Environmental benefits and effect in reducing CO2 emissions

Figure S 4.1 shows the flow of the main steps for manufacturing new batteries, etc., which is the baseline, and the steps for reusing collected batteries, which is the reuse project this time.

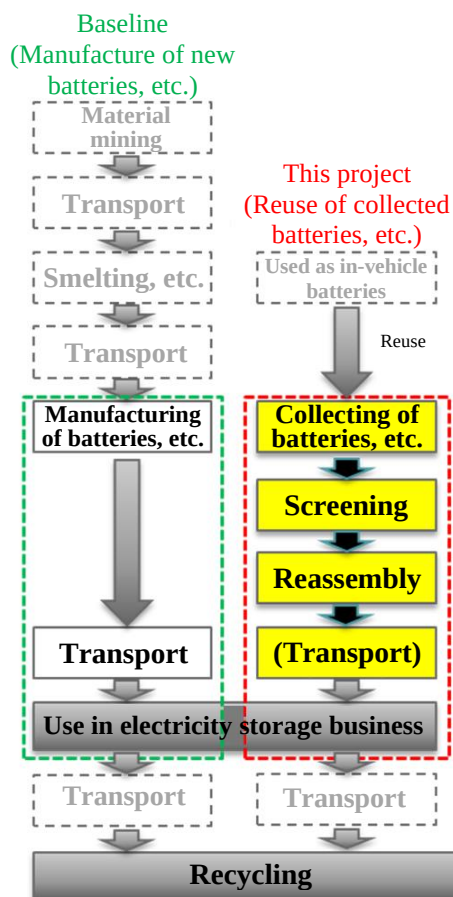


Figure S 4.1 Steps in the manufacturing of new batteries and the reuse business

(1) Environmental benefits

Although out of the scope of the evaluation in this demonstration project, the reuse of in-vehicle batteries is expected to reduce the resources and energy required to manufacture new batteries, etc. in the baseline.

(2) Effect of reducing CO2 emissions

To evaluate the effect of reducing CO2 emissions, the baseline was set to the period from the manufacturing of new batteries to the end of the 10 years where new power storage systems are used in the electricity storage business, while the case of this project was set to the period from the collection of in-vehicle used batteries to the end of the 10 years where the reused power storage system is used in the electricity storage business. According to the result, the baseline is estimated to emit 10,821.6 t-CO2/10 years. However, the estimated CO2 emissions from the period from the collection of batteries, transport, and use in the battery business in the case of this project is 1,391.3 t-CO2/10 years, which verifies that the case of this project is superior to the baseline.

5 Revitalization and exit strategies for the metal recycling business

(1) Study to achieve the most cost effective power storage system by combining power batteries and energy batteries

In-vehicle batteries are roughly categorized into two types: power batteries with a large output [kW] (Ni-MH batteries, described as Ni in figures and tables) and energy batteries with a large capacity [kWh] (LiB, described as Li in figures and tables). By combining these two types of batteries in a flexible manner, the required characteristics can be achieved with a minimum number of batteries, which is expected to reduce costs.

Based on the specifications of Ni-MH batteries and LiB, the number of cells required to construct a power storage system satisfying 10 MW/30 MWh was compared for the following three cases: (1) Ni-MH batteries only, (2) LiB only, (3) combination of Ni-MH batteries and LiB. Table S 5.1 shows the result.

Table S 5.1 Required number of cells and capacity of a power storage system for each case
(kW/kWh)

Case	Number of Ni cells	Number of Li cells	Total number of cells	kW	kWh
(1) Ni only	270,000	0	270,000	75,000	30,000
(2) Li only	0	283,363	283,363	10,000	35,779
(3) Ni + Li	6,546	231,840	238,386	10,000	30,000

In case (1), since an Ni-MH battery is a power type, if a power storage system is constructed with the number of cells that satisfies 30 MWh (270,000 cells), it will lead to an excessive amount of output of 75 MW. In case (2), since LiB is an energy type, if a power storage system is constructed with the number of cells that satisfies 10 MW (283,000 cells), it will lead to an excessive amount of capacity of 35.8 MWh. However, in case (3), if Ni-MH batteries and LiB are optimally combined, a power storage system satisfying 10 MW/30 MWh can be constructed with a total of 238,000 cells.

(2) Future plan toward commercialization

Figure S 5.2 shows the concept of the intended reuse and recycling business. The following four points will be considered toward commercialization.

(a) Establishing the operation of power storage systems made up of reusable batteries

Technological verification of large-scale power storage systems to be connected to extra-high voltage will be carried out (it is necessary to figure out measures to suppress harmonics in connecting to extra-high voltage) with the aim of constructing and putting into operation 100 MWh class reused power storage systems.

(b) Constructing a platform and establishing a traceability management method

In addition to optimizing the operation of the power generation plan and the battery replacement plan using operation data, it is necessary to add value to the effect of reducing CO₂ emissions and to establish circular economy. For that purpose, studies will be carried out regarding the accumulation and utilization of data to be obtained through the reuse business. Specific examples of data utilization will be discussed later.

(c) Optimizing facilities and operations by integrating the sweep circuit and remaining life diagnosis

In order to achieve both safety and cost efficiency with reused power storage systems, considerations will be made regarding how to optimize facilities and operations, such as by integrating the sweep circuit and the remaining life diagnostic technology (MaMoRiS) established this time.

(d) Linking PV and DC for charging

Normally, when power is supplied from a PV system to the grid, the direct current needs to be converted to alternating current by a PCS. However, if the PV power can be supplied to a reused power storage system by utilizing sweep technology, it may be possible to supply power from the PV system to the grid without a PCS. In order to reduce costs by suppressing loss in the conversion of renewable energy from direct current to alternating current, consideration will be given to linking a PV system and DC for charging.

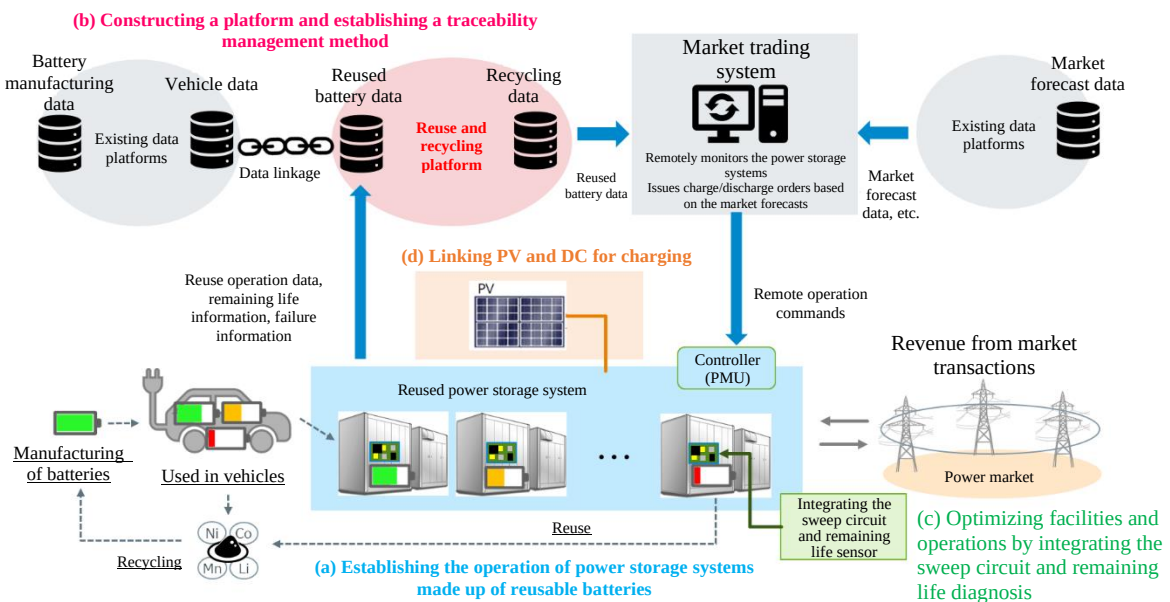


Figure S 5.2 Image of intended reuse and recycling business

目次

1	はじめに	1
1.1	背景と目的	1
1.2	事業実施体制	6
1.3	共同実施者との打合せ	7
2	リユース蓄電システム実証試験の実施	8
2.1	背景	8
2.2	試験要領	9
2.2.1	システム構成	9
2.2.2	系統連系に必要となる主な機能要件	12
2.3	実証試験方法	14
2.3.1	一定出力・一定時間の充放電試験	14
2.3.2	短周期応動試験	15
2.3.3	異種電池混在動作試験	16
2.4	実証試験結果	18
2.4.1	一定出力・一定時間の充放電試験	18
2.4.2	短周期応動試験	26
2.4.3	異種電池混在動作試験結果	32
2.5	考察及び今後の展開	39
3	リチウムイオン電池の残寿命把握技術の検討	42
3.1	背景	42
3.2	検討手法	44
3.3	試験方法	45
3.4	試験結果	49
3.5	まとめ	59
4	環境改善効果及びCO ₂ 排出量削減効果	62
4.1	環境改善効果	62
4.2	CO ₂ 排出量削減効果	63
5	金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略の検討	65
5.1	パワー型及びエネルギー型電池の組合せによる蓄電システムに係る最経済の検討	65
5.2	事業の展開可能性	67
5.3	今後の事業化見通し	70

1 はじめに

1.1 背景と目的

昨今の電気自動車をはじめとした電動車等の普及により、今後大量の使用済電池が発生すると見込まれている。使用済電池の発生予測を図 1.1.1、次世代車の販売台数及び保有台数を図 1.1.2、図 1.1.3 に示す。

現状の車載用電池の二次利用技術は電池種類及び残容量を揃えた小規模かつ限定的なものであり、大半は中古車の状態で輸出され、使用済電池として国内で回収される電池数量は限定的である。中古車の輸出台数及び使用済電池の回収実績を図 1.1.4、図 1.1.5 に示す。

また、リサイクル技術についても、簡便性の観点から焼却処理後の残渣やスラグからの素材回収が主流となっており、有価金属を含む回収物の純度や回収率が低く、また焼却による CO₂ の排出が課題となっている。

本実証事業では、ライフサイクルを通した CO₂ 排出量の大幅な削減の達成に加え、中古電池の安全性・信頼性及び価格競争力向上による二次利用拡大を目的とし、以下の技術開発を行う。

- ・電力システムに適合した蓄電システムの最適化技術
- ・車載用電池を網羅的に活用した安全で安定した制御技術
- ・オンライン余寿命診断技術

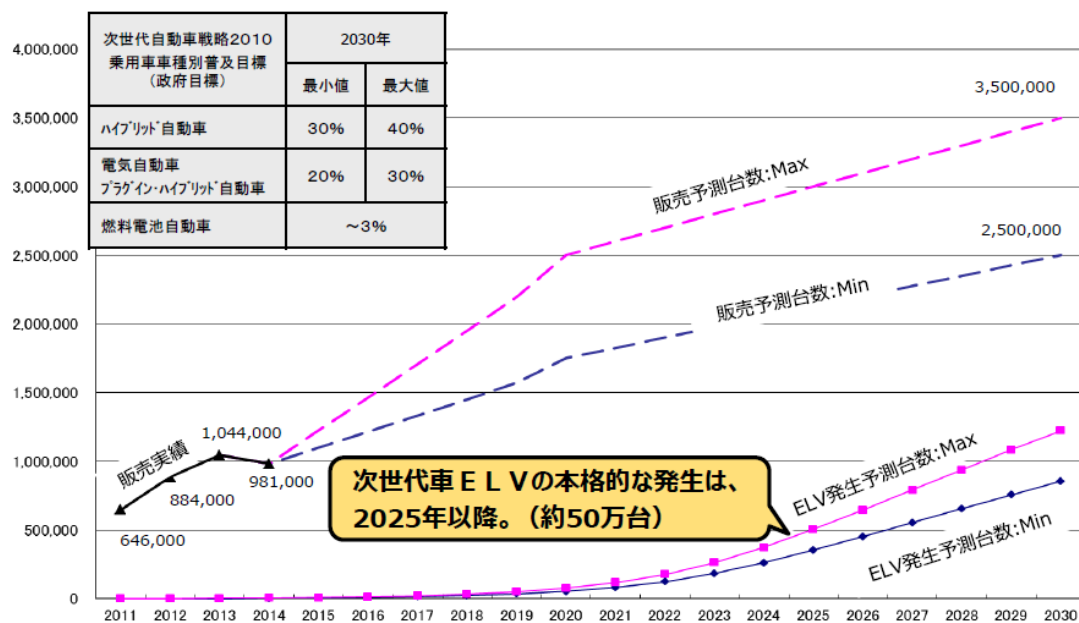


図 1.1.1 次世代車普及見通し・ELV (使用済自動車) 発生台数予測

出典：一般社団法人日本自動車工業会 2019 年度産構審・中環審合同会議資料 資料 6-2

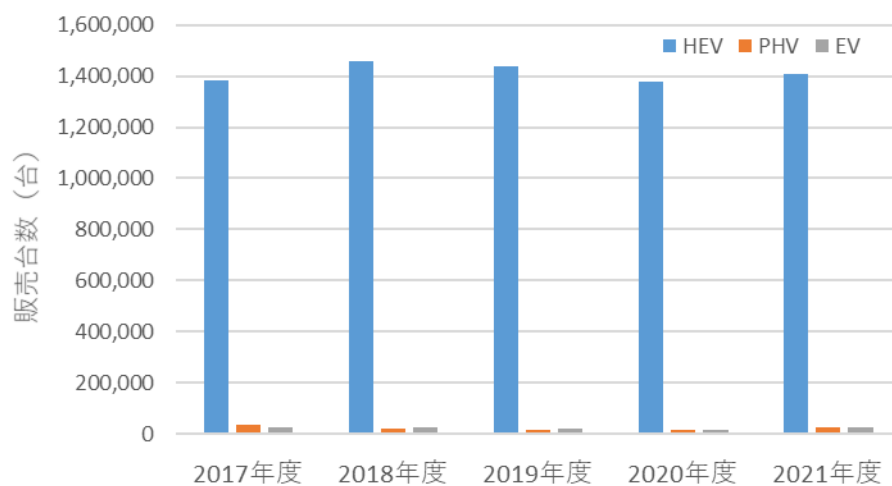


図 1.1.2 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）販売台数
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <https://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbaidaisu.html>

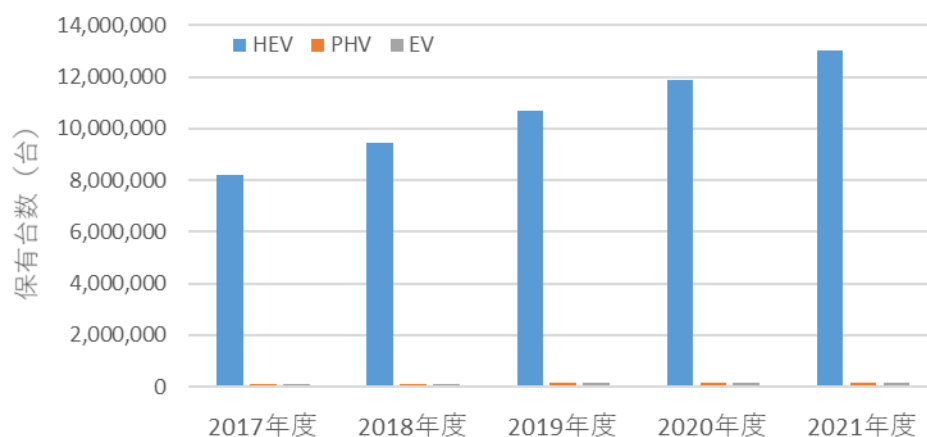


図 1.1.3 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）保有台数
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <https://www.cev-pc.or.jp/tokei/hoyuudaisu.html>

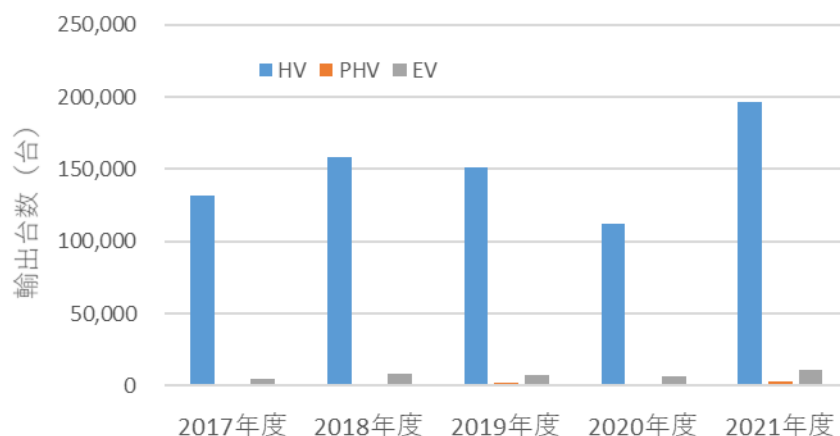


図 1.1.4 中古車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）輸出台数
出典：財務省貿易統計

	Li-ion電池	ニッケル水素電池
メーカー名	いすゞ自動車(株) スズキ(株) ダイハツ工業(株) 日産自動車(株) 本田技研工業(株) 三菱自動車工業(株) ヤマハ発動機(株) カワサキモータース(株) (株)SUBARU トヨタ自動車(株) 日野自動車(株) マツダ(株) 三菱ふそうトラック・バス(株) UDトラックス(株)	(株)SUBARU ダイハツ工業(株) トヨタ自動車(株) 日野自動車(株) 本田技研工業(株) マツダ(株) 三菱自動車工業(株)
回収実績 (注) ELVからの発生 各社合計値	2021年度：5,059個 (2020年度：3,648個 2019年度：3,014個 2018年度：2,364個 2017年度：943個)	2021年度：5,799個 (2020年度：6,251個 2019年度：6,694個 2018年度：7,214個 2017年度：6,140個)

図 1.1.5 使用済電池の回収実績
出典：一般社団法人日本自動車工業会 第 57 回産構審・中環審合同会議資料 資料 6

本事業では、以下の内容に取り組む。

（１）電力システムに適合した蓄電システムの最適化検討

① リユース蓄電システムの系統連系による総合評価

リユース蓄電システムが系統連系要件および市場要件に適合する必要がある。昨年度は、ニッケル水素電池（以下、「Ni-MH 電池」という。）及びリチウムイオン電池（以下、「LiB」という。）にて小規模蓄電システムを構築して構内系統にて実証試験を行った。本年度は、系統連系要件を満足した蓄電システムを構築し、系統連系状態における充放電試験（一定出力・一定時間の充放電試験、短周期応動試験）を行うことにより市場要件適合性を評価する。本項目については、2 章「一定出力・一定時間の充放電試験」および「短周期応動試験」にて述べる。

② 車載用電池の網羅的な活用検討

今後様々な種類の電池が中古電池として現れるため、構築する蓄電システムが異種電池を組み込んでも正常に動作することを確認する必要がある。昨年度は、Ni-MH 電池と LiB のハイブリッド蓄電システムを構築した。本年度は、Ni-MH 電池と LiB に加えて、他社製 LiB、鉛電池（以下、「Pb 電池」という。）混在のリユース蓄電システムを構築し、動作確認を実施する。本項目については、2 章「異種電池混在動作試験」にて述べる。

③ パワー型及びエネルギー型電池の組合せによる蓄電システムに係る最経済の検討

車載用電池は出力[kW]の大きなパワー型（Ni-MH 電池）と容量[kWh]の大きなエネルギー型（LiB）に大別される。これらを自在に組み合わせることにより、最小の電池数量で要求特性を満足できることからコストダウンが図れると考えられる。本項目については、経済性向上に向けた検討として 5 章 1 項にて述べる。

④ オンライン余寿命診断の構築検討

リユース品が故に残寿命にばらつきがあり信頼性、運用性に難があるため、安全に蓄電システムを運用するために、オンライン余寿命診断技術を構築する必要がある。本年度は、Li 金属析出量を直接かつオンラインで測定することが可能な技術の車載用電池への適用性評価を実施する。本項目については、3 章にて述べる。

（２）事業における環境影響改善効果、CO₂ 排出量削減効果の評価

事業における環境影響改善効果として、「リユース蓄電システムの定置型蓄電システムとしての有効性」及び「電池製造で排出される CO₂ 排出量の削減」が見込まれる（例：中古電池のリユースによる電池の新品製造抑制、リユース範囲拡大による PCS 製造抑制、交直変換効率向上による電力ロス率低減など）ことから、これらの評価方法を明確化するとともに、CO₂ 排出削減量を算

出する。本項目については、4 章にて述べる。

（3）事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討

車載用電池のリユースによる新規市場の創出およびそれに伴う経済性を確保したリサイクルビジネスの活性化、電池資源を国内で循環させる仕組みの構築および再生可能エネルギーの導入促進および調整力を供出する火力発電所の合理的な運用等への活用について検討する。本項目については、5 章 2 項および 3 項にて述べる。

1.2 事業実施体制

事業実施体制図及び役割を図 1.2.1 に示す。

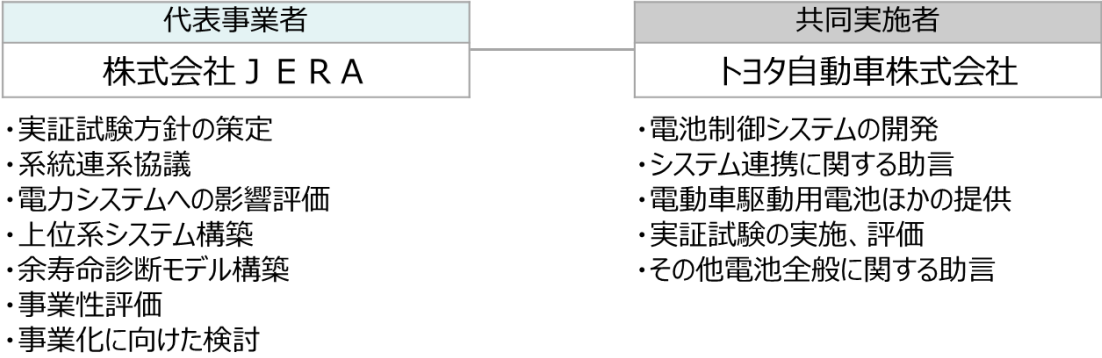


図 1.2.1 事業実施体制図及び役割

1.3 共同実施者との打合せ

共同実施者であるトヨタ自動車（株）と電池制御システム構築及び充放電試験に関して、合計 30 回以上の打合せを行った。リユース蓄電システムの構築や実証試験の進捗を確認する際は、蓄電システム設置場所である四日市火力発電所での打合せを行った。また、データの共有や実証スケジュールの確認を行う際は、オンライン打ち合わせを実施した。

2 リユース蓄電システム実証試験の実施

2.1 背景

図 2.1.1 に中古電池を循環させるバッテリーエコシステムのイメージを示す。今後、電動車の更なる普及が見込まれており、電動車から回収した電池等を蓄電システムとしてリユースすることを目指している。現状、新品電池の製造に必要となる電池資源は海外に依存している上、車載用電池はその大半が中古車として海外流出されるか、再利用されることなく資源化等の処理がなされており、残寿命のあるニッケル水素電池及びリチウムイオン電池等（以下、「中古電池」という。）が国内で有効活用されていない。中古電池をリユースし、リサイクルに回すバッテリーエコシステムを構築することにより、ライフサイクルを通した CO2 排出量の削減および電池材料の国内還流の実現できると考えられる。そのため、中古電池の有効な再利用先となりうるリユース蓄電システムの技術開発を進める必要がある。

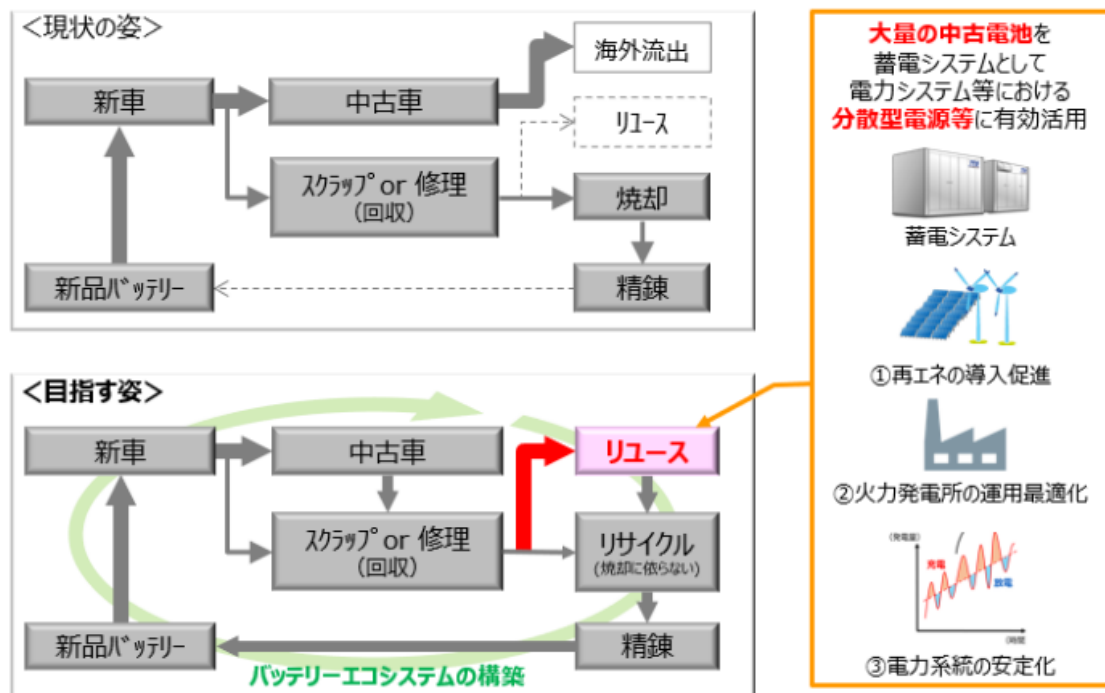


図 2.1.1 中古電池を循環させるバッテリーエコシステム（イメージ）

2.2 試験要領

2.2.1 システム構成

本実証試験に使用する主な機器の役割について表 2.2.1 に示す。また、使用した実証試験システムの仕様を表 2.2.2 に、実証試験システム構成図を図 2.2.1 に示す。

Ni-MH 電池カートリッジ（モジュール 6 直:43.2V）を 30 直列したものを DC スtring と称し、1 スtring を設置した。1 ラインの DC スtring には、PCS（Power Conditioning System：直流を交流に変換する装置）の代わりに、ハイブリッド車のインバータを再利用した Reuse Inverter（以下、「RI」という。）1 台が接続され、双方向 AC/DC コンバータとして動作する。DC スtring の電池容量はトータル 8.42kWh と小さいが、50kW の充放電入出力が可能なのが特徴で、急峻な充放電動作を得意とする。

また、LiB カートリッジ（セル 12 直:44.4V）を 22 直列したものを 3 スtring 用意し、各スtring は正弦波を生成するよう星形に結線し、交流の U、V、W 相に見立てた正弦波制御を行う AC スtring として設置した。電池String から直接交流入出力が可能のため、PCS 不要の蓄電システムである。AC スtring の電池容量はトータル 200kWh と大きく、55.9kW の充放電入出力が可能である。ゆっくりとした大きな電力変動対応を得意とする。

各電池カートリッジと Sweep Unit Power（以下、「SU-P」という。）は 1 対 1 で接続され、1 スtring 分の SU-P を String Control Unit（以下、「SCU-i」という。）が制御し、更に SCU-i を Group Control Unit（以下、「GCU」という。）が制御する。上述の LiB カートリッジにおける正弦波制御は AC スtring に設置された SCU-i により電池接続数を自在にコントロールすることにより実現する（以下、「AC スイープ」という。）。

システム全体の動作としては、Power Management Unit（以下、「PMU」という。）が GCU に動作指令を出すことにより、リユース電池への充放電動作を行う。SCU-i が Cartridge Monitoring Unit（以下、「CMU」という）から電池情報を取得し各カートリッジの状態を監視、GCU がそのカートリッジ状態、String 状態から、AC スイープ、RI の各 SCU-i に対して最適な制御指令を分配することにより PMU からの指令値を満足する充放電制御を実現している。

RI は急峻な充放電に常に対応可能とするために、SOC（States Of Charge=充電率）50%維持を優先する制御を行っており、GCU はそれを踏まえて、AC スイープ、RI の各 SCU に対する指令分配制御を行っている。

表 2.2.1 各機器の役割

機器名称	役割
発電機	所内系統から切り離れた単独系統で試験する際に、蓄電システムへ電力を供給するための発電機
抵抗装置	所内系統から切り離れた単独系統で試験する際に、蓄電システムの放電エネルギーを消費するための抵抗装置
データサーバー	GCU から各種試験データを収集
系統連系保護制御盤	連系遮断器盤より 6.6kV 系統の VT (Voltage Transformer : 計器用変圧器) ,CT (Current Transformer : 変流器) 2 次回路を通して連系点諸量の計測及び系統連系保護継電器を装備する。系統連系保護継電器動作時には遮断器「切」指令を連系遮断器盤に送出する。 なお、系統連系保護制御盤には上記機能に加えて後述の PMU (操作用画面及
Power Management Unit (PMU)	操作用画面、制御用コントローラ(PLC)より構成される。 GCU との双方向通信によりシステム起動/停止、試験条件パターンによる充放電指令値等の逐次発信、システムステータスやシステム諸量、及び各ストリングの状態を逐次受信 操作用画面よりシステムの起動/停止操作を行うと共に GCU からの制御ステータスや計測情報の表示、各種試験パターンの設定等を行うことができる。
Group Control Unit (GCU)	上位システム (データサーバー、PMU) 及び下位ユニットとの双方向通信により下記を実施 ・ グループ全体の状態を PMU 及びデータサーバーへ発信 ・ PMU からの指令を各 SCU、RI に発信 ・ 各カートリッジ/ストリング詳細情報、各電力情報を収集
String Control Unit integrate (SCU-i)	GCU との双方向通信により下記を実施 ・ GCU から指令を受けた電力を実現する様に SU-P へ接続/切断信号を発信 ・ CMU からのカートリッジ情報 (電池状態) に応じて切離す SU-P を決定 SCU-i 配下の各 SU-P の状態を統合して GCU に通知 SCU-i との双方向通信により下記を実施 ・ SCU-i からの接続/切断信号に応じて、カートリッジの接続/切断を行う。 ・ カートリッジ情報 (電池状態) を監視 ・ カートリッジ情報 (電池状態) を SCU-i に通知
String Unit Power (SU-P)	SCU-i からの接続/切断信号に応じて、カートリッジの接続/切断を行う。
Cartridge Monitoring Unit (CMU)	カートリッジ情報 (セル電圧、温度) 計測
Reuse Inverter (RI)	ハイブリッド車のインバータを DC ストリングの PCS 代替として再利用系統 AC270V を電池電圧 DC650V に変換する双方向 AC/DC コンバータ
LCL Filter BOX (LCL)	リアクトルとコンデンサを組み合わせたフィルタ AC スイープの波形平滑化 (リップル、高調波低減)

表 2.2.2 今回用いた実証試験システムの仕様

項目	RI (1 スtring)	AC スイープ (3 スtring)
定格電力	50kW	55.9kW
定格電圧	AC 270V/DC 650V	AC 440V
定格電力容量	8.42kWh	200kWh
使用温度	0 ~ 40℃	
カートリッジ数	30	66
電池種類	Ni-MH 電池等	LiB

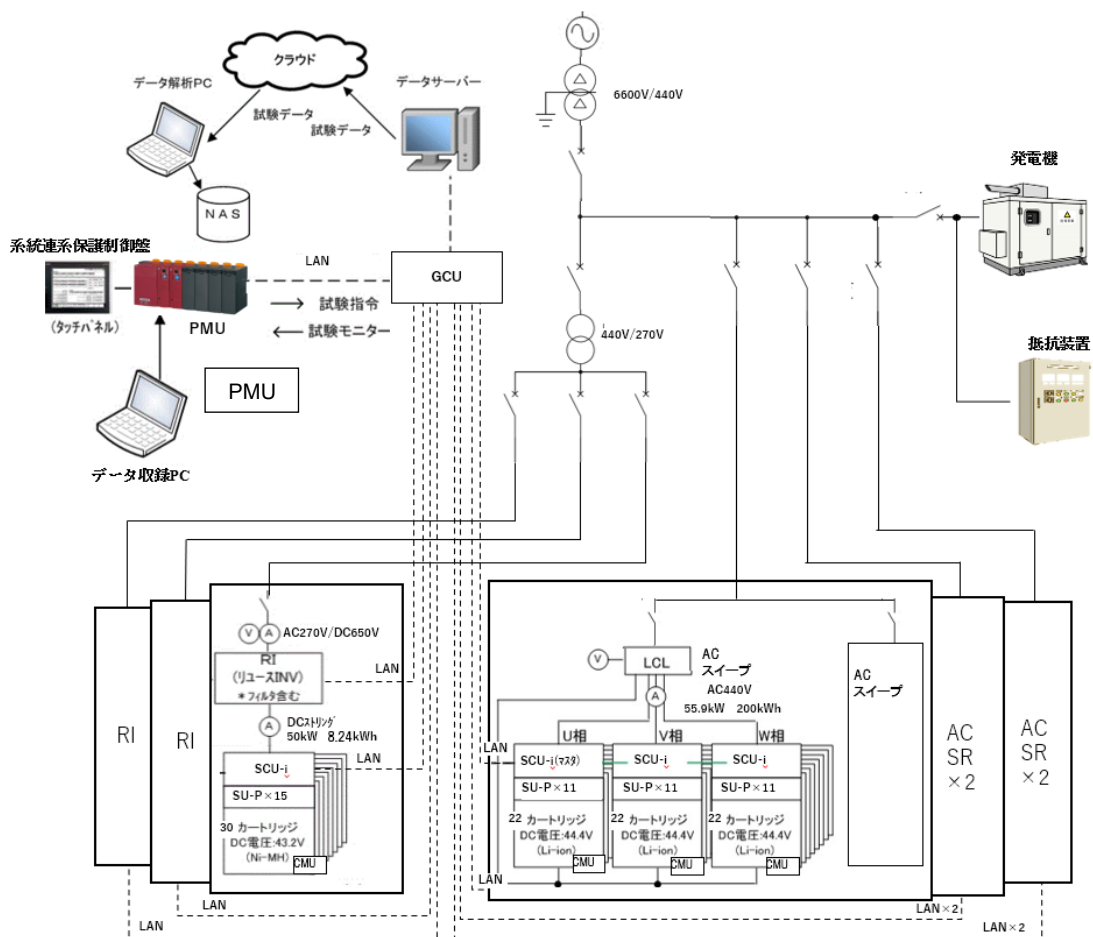


図 2.2.1 実証試験システム構成図

2.2.2 系統連系に必要となる主な機能要件

RI 及び AC スイープを組み込んだリユース蓄電池システムを日本の電力系統に接続するためには、系統連系規定（JEAC9701）を満足する機能実装の必要がある。主な機能要件及び設備への反映事項について表 2.2.3 に示す。本機能要件に対して、RI 及び AC スイープの代表機試験を実施した。また図 2.2.2 に系統連系保護機能の動作フローを示す。

表 2.2.3 系統連系に必要となる主な機能要件

No.	項目	要件	条件	確認事項
1	力率	力率を 90%(遅れ)とする	系統連系時 (放電時)	DC ストリング及び AC ストリングに力率一定運転制御機能を搭載し実測波形にて確認した
2	高調波	総合歪率:5%以下 2 次～40 次高調波:3%以下	定格出力時	高調波対策フィルタを最適化し要件を満たした
3	保護協調	OVR/UVR/OFR/UFR/OVGR などの要素を具備した保護装置を設けること	系統連系時	系統連系用保護継電器を設置した (図 2.2.2 に示す動作フローの通り系統連系保護装置を設置した)
4	単独運転防止機能	系統への単独運転を受動／能動的に 検出して出力を停止させる機能	単独運転検出時	DC ストリング及び AC ストリングに単独運転検出機能（受動・能動）を搭載した
5	FRT 機能	事故時の運転継続機能 (Fault Ride Through 機能)	系統連系時	DC ストリング及び AC ストリングに FRT 機能要件に準じた機能を搭載した
6	系統電圧保持	力率要件により、系統電圧の上昇を抑制する	系統連系時 (放電時)	力率要件を達成し、本機能が正常に動作することを確認した

系統連系保護動作フロー

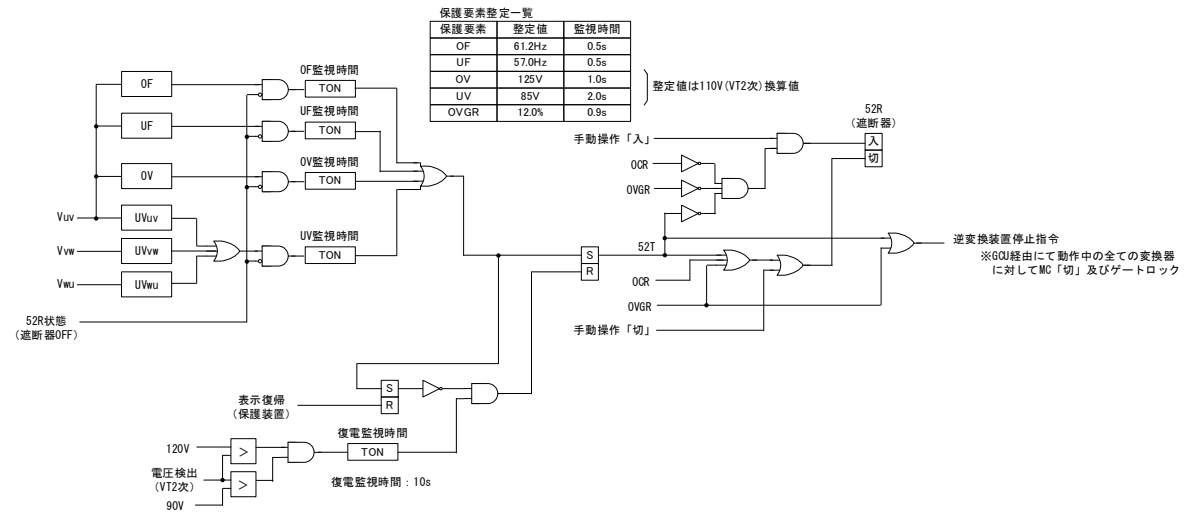


図 2.2.2 連系システムの系統連系保護動作フロー

2.3 実証試験方法

2.3.1 一定出力・一定時間の充放電試験

一定出力・一定時間で充放電を繰り返し行い、システム全体の基本性能（電力、SOC、温度）の変化を測定する。また、充放電の繰り返しでの電池容量の変化による、充放電の繰り返し可能時間の確認を行う。継続時間については、需給調整市場、容量市場の各要件を想定して表 2.3.1 の時間とした。また、図 2.3.1 に試験条件及び波形イメージ図を示す。

表 2.3.1 継続時間

<需給調整市場>

項目	継続時間
一次調整力	300 秒(5 分)
二次調整力	1800 秒(30 分)
三次調整力	10800 秒(3 時間)

<容量市場>

項目	継続時間
電源 I -a	39600 秒(11 時間)
電源 I -b	57600 秒(16 時間)

<試験条件>

項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)	継続時間
試験条件 (i)	349.5	345	t=300 秒 (5 分) × 18 サイクル
試験条件 (ii)	150	135	t=1800 秒 (30 分) × 5 サイクル
試験条件 (iii)	60	52	t=10800 秒 (3 時間) × 1 サイクル
試験条件 (iv)	26	22	t=39600 秒 (11 時間) × 1 サイクル
試験条件 (v)	22.5	22	t=57600 秒 (16 時間) × 1 サイクル

※1 サイクル:充電→放電の 1 往復分

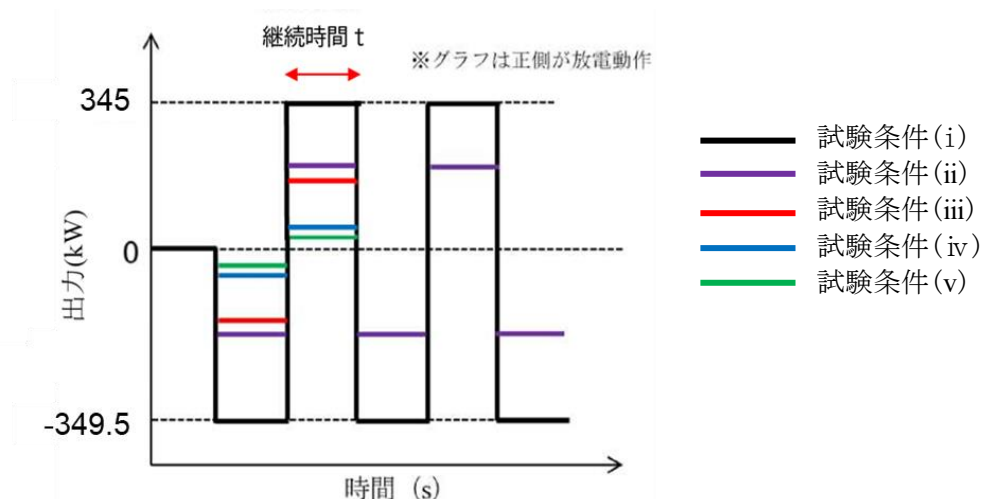


図 2.3.1 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

2.3.2 短周期応動試験

短周期で充電⇔休止、放電⇔休止を繰り返し行い、システム全体の基本性能（電力、SOC）の変化を測定する。また、充放電の繰り返しでの電池容量の変化による、充放電の繰り返し可能時間の確認を行う。周期は各充電／放電／休止モードを 2 秒間隔で設定し、継続時間については需給調整市場、容量市場の各要件を想定して表 2.3.2 の時間とした。また、図 2.3.2 に試験条件及び波形イメージ図を示す。

表 2.3.2 継続時間

<需給調整市場>

項目	継続時間
一次調整力	300 秒(5 分)
二次調整力	1800 秒(30 分)

<容量市場>

項目	継続時間
電源 I-a	39600 秒(11 時間)

<試験条件>

項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)	継続時間
試験条件 (i)	344	340	t=300 秒 (5 分) × 18 サイクル
試験条件 (ii)	272	270	t=1800 秒 (30 分) × 5 サイクル
試験条件 (iii)	54	52.5	t=39600 秒 (11 時間) × 1 サイクル

※1 サイクル:充電→放電の 1 往復分

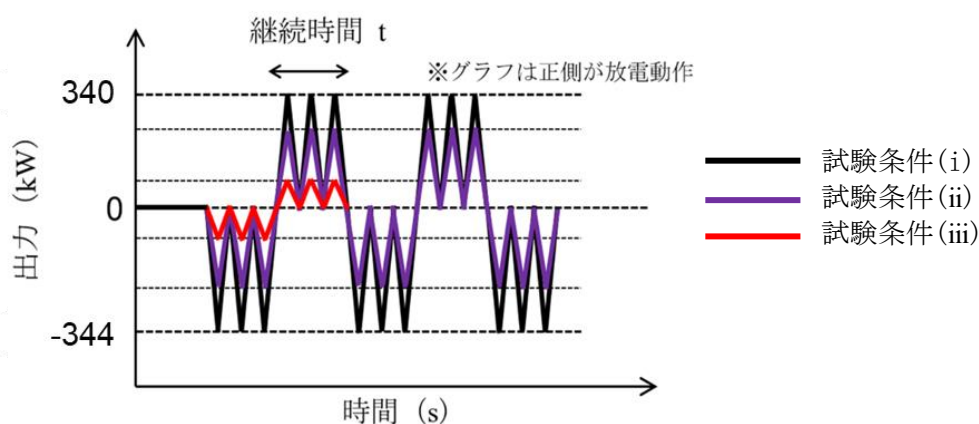


図 2.3.2 短周期応動試験波形イメージ

2.3.3 異種電池混在動作試験

図 2.3.3 に異種電池の接続概要を示す。

RI（定格出力電圧は DC650V、AC270V、定格出力 50kW）の DC スイープ全 30 カートリッジの内、1 カートリッジを異種電池へ接続し、10kW で充放電を実施した。比較として、全て Ni-MH 電池を接続した条件も実施した。

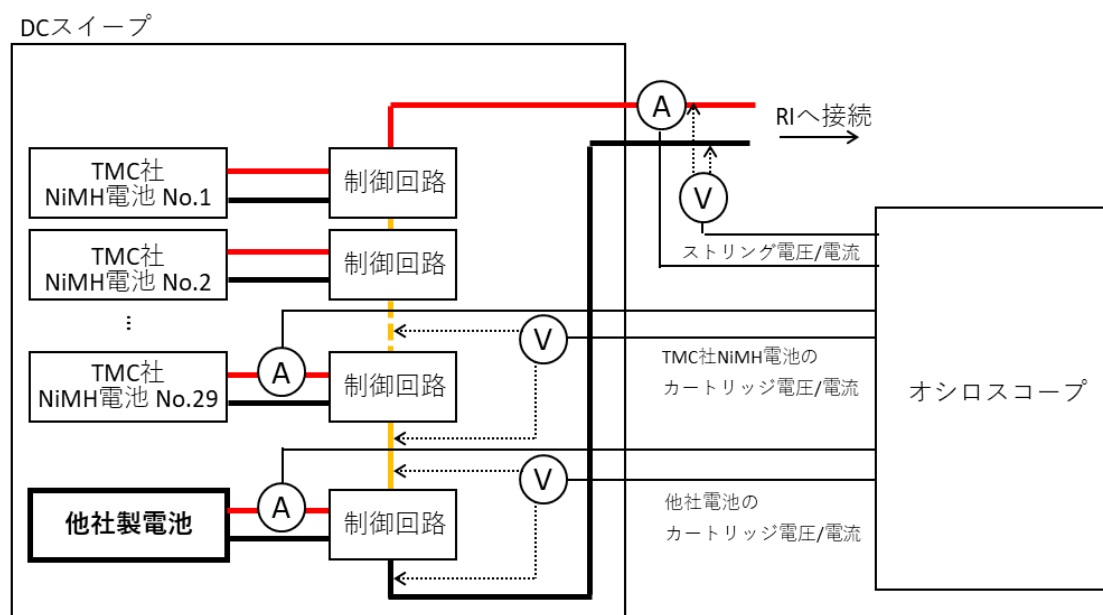


図 2.3.3 他社製電池の接続概要図

（１）他社製 Pb 電池での動作検証

<Pb 電池諸元>

下記の 2 種類の電池を 2 個ずつ直列接続して、1 カートリッジとして使用した。

- I メーカー : 株式会社 KBL
 - 品番 : 90D23L
 - 電圧 : 12V (試験時の電圧 1 個目 : 12.3V、2 個目 : 12.3V)
 - 容量 : 48Ah
 - CCA : 550A
- II メーカー : 古河電池株式会社
 - 品番 : 65D23
 - 電圧 : 12V (試験時の電圧 1 個目 : 12.5V、2 個目 : 12.5V)
 - 容量 : 65Ah
 - CCA : 370A

⇒計 4 個の Pb 電池を直列接続した際のカートリッジ電圧=49.6V

(参考) 隣接位置の Ni-MH 電池のカートリッジ電圧=47.2V

(2) 他社製 LiB での動作検証

<LiB 電池諸元>

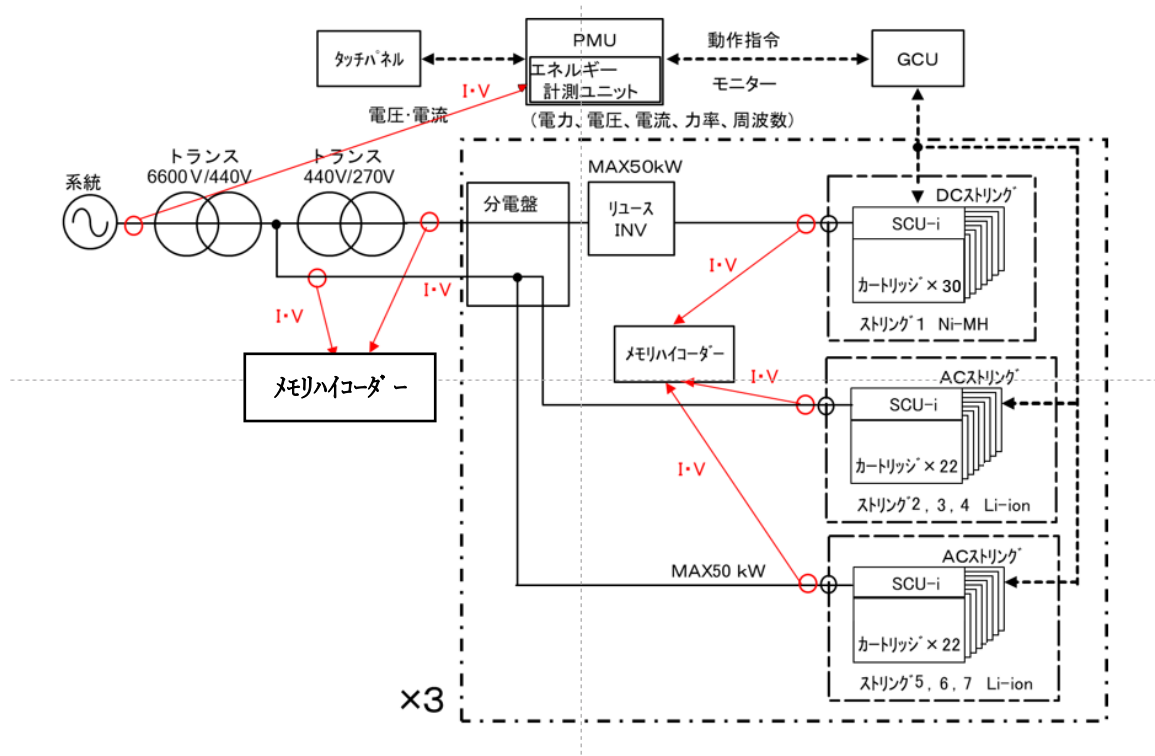
下記電池 1 個を 1 カートリッジとして使用した。

メーカー : 株式会社リチウムエナジージャパン
品名 : LEV50N-8 (8 セル直列モジュール)
公称電圧 : 30V = 3.75V/セル × 8 セル (試験時の電圧 27.1V)
公称容量 : 50Ah
最大許容連続放電電流 : 200A
(参考) 隣接位置の Ni-MH 電池のカートリッジ電圧=47.2V

2.4 実証試験結果

2.4.1 一定出力・一定時間の充放電試験

図 2.4.1 の測定回路で試験を行った。試験条件としては、一定時間の応動に必要な容量から出力を設定した。赤丸は計測点、矢印の先は計測器を示す。



項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)
試験条件 (i)	349.5	345
試験条件 (ii)	150	135
試験条件 (iii)	60	52
試験条件 (iv)	26	22
試験条件 (v)	22.5	22

図 2.4.1 一定出力・一定時間の充放電試験測定回路および試験条件

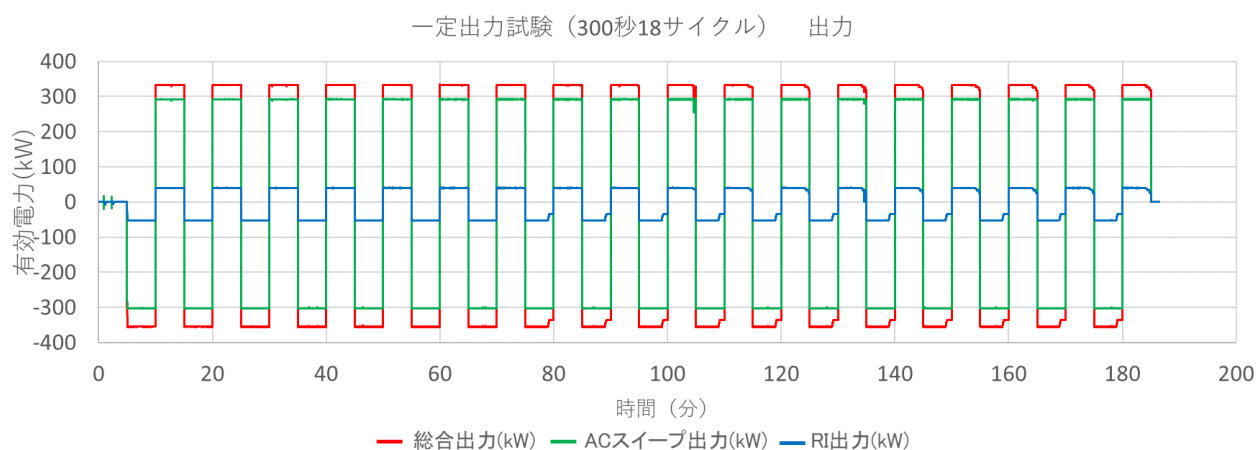
(1) 試験条件 (i) 結果

図 2.4.2 に 300s×18 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.2①は継続時間に対する出力電力である。また、図 2.4.2②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 300s×18

サイクルの間、本設定電力値で充放電の繰り返しが可能であることが確認できた。RI の SOC が 40~70%の範囲内で動作しているのに対して AC スイープの SOC は数%の変化で推移している。なお、AC スイープは時間経過に対して 7.3%減少している為、充放電を継続する為には放電電力を下げる必要がある。

試験後半での 1 サイクルの出力の拡大図を図 2.4.2③に示す。サイクルの後半で RI の出力制限がかかり設定電力 49.5kW 充電を約 33kW 程度まで制限していることがわかる。これは、RI の各々の DC スtring SOC がばらつき、一部が上限に近づいた事から、入出力制限がかかったためである。なお、RI のバッテリー温度は最大負荷の 50kW 連続運転時でも温度制限にかからない事を事前確認している。

図 2.4.2④は AC スイープの力率推移を示したものである。他の電源も含めて全ての時間領域で連系要件の力率 0.9 を保っており、要件を満足する運転ができていることが確認できた。



※本設定電力値 充電 349.5kW、放電 345kW

図 2.4.2① 一定出力（300s×18 サイクル）の試験結果（出力）

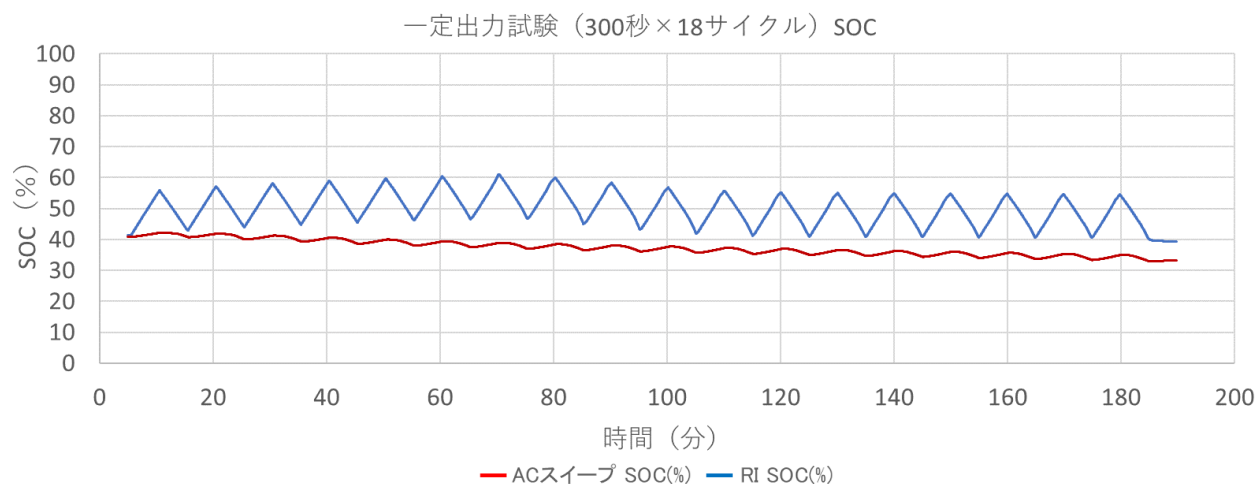


図 2.4.2② 一定出力（300s×18 サイクル）の試験結果（SOC）

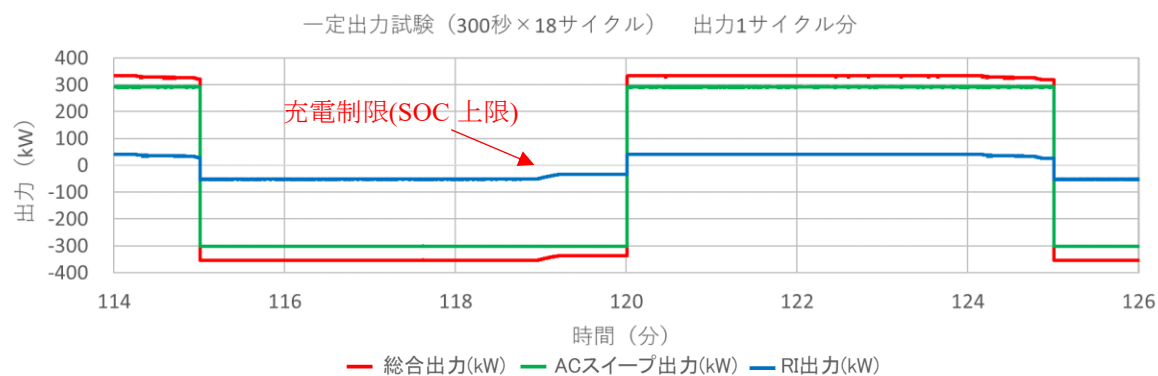


図 2.4.2③ 一定出力 (300s×18 サイクル) の試験結果 (①の拡大)

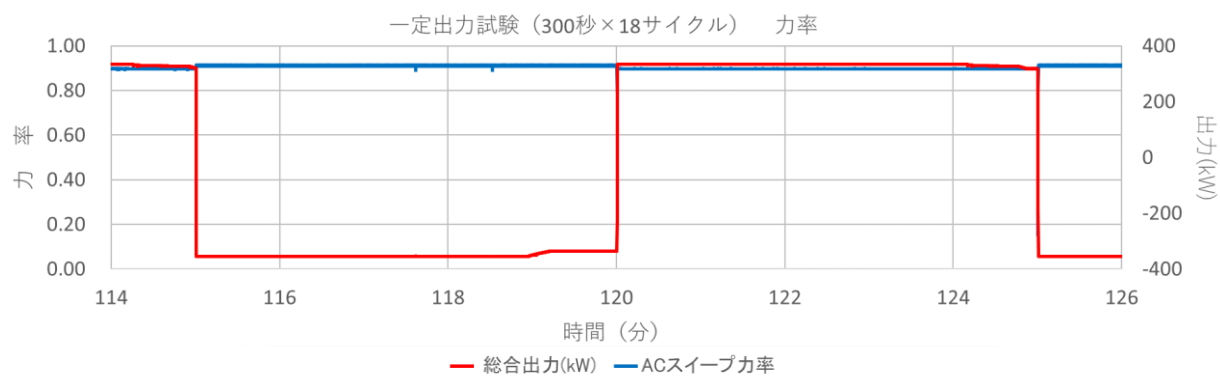


図 2.4.2④ 一定出力 (300s×18 サイクル) の試験結果 (力率)

(2) 試験条件 (ii) 結果

図 2.4.3 に 1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.3①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.3②は RI、AC スイープの SOC である。この結果から 1800s × 5 サイクルの間、本設定電力値で充放電の繰り返しが可能であることが確認できた。SOC の変動に関しては、1800s×5 サイクルで約 1%程度の減少であり出力値は妥当といえる。本パターンでは出力指令をすべて AC スイープのみで発生できる為、RI は充放電を行わずシステムは SOC50%付近にとどまっている。なお、サイクルの最初の部分の挙動は RI が SOC 中心になる制御により RI から AC スイープへ充電を行っているためである。

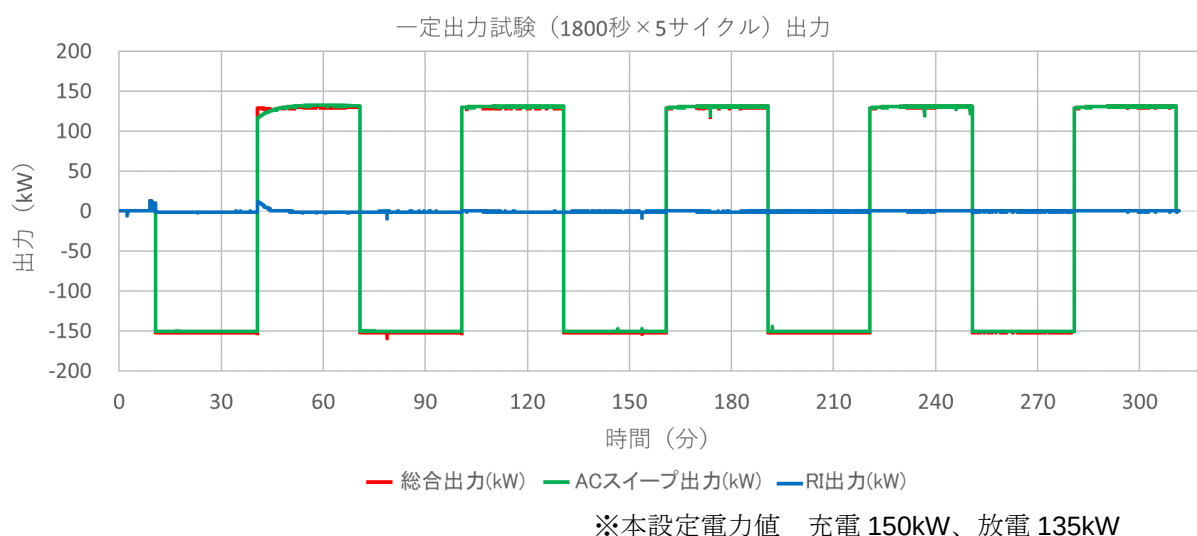


図 2.4.3① 一定出力 (1800s×5 サイクル) の試験結果 (出力)

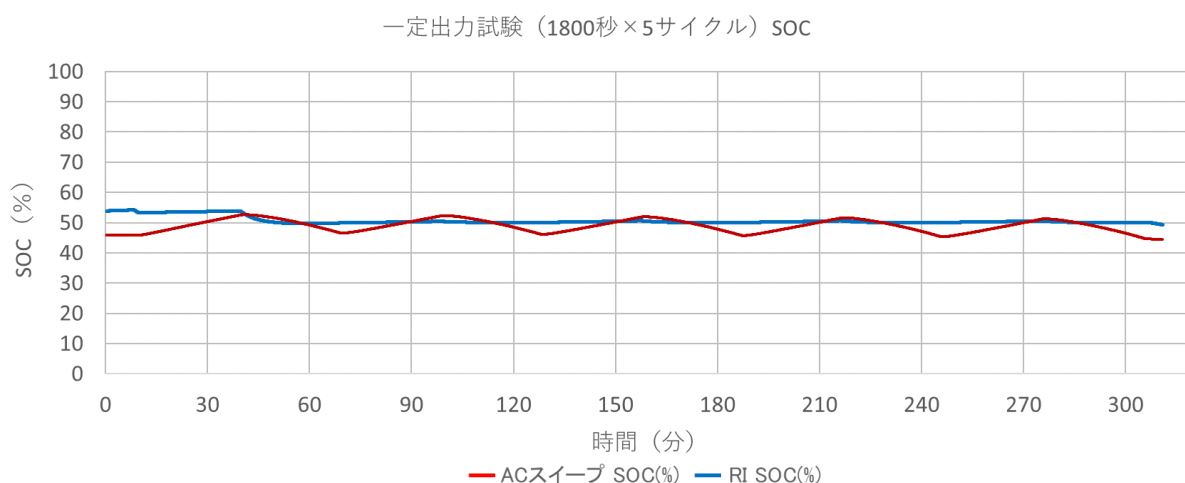


図 2.4.3② 一定出力 (1800s×5 サイクル) の試験結果 (SOC)

(3) 試験条件 (iii) 結果

図 2.4.4 に 10800s (3h) ×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.4①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.4②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 10800s×1 サイクルの間、本設定電力値での充放電が可能であることが確認できた。SOC の変動に関しても、1 サイクルで約 1%程度の減少であり妥当な数値と言える。

本試験でもサイクルの初めに RI の SOC 調整の制御が入り狙い通り SOC50%になっていることがわかる。

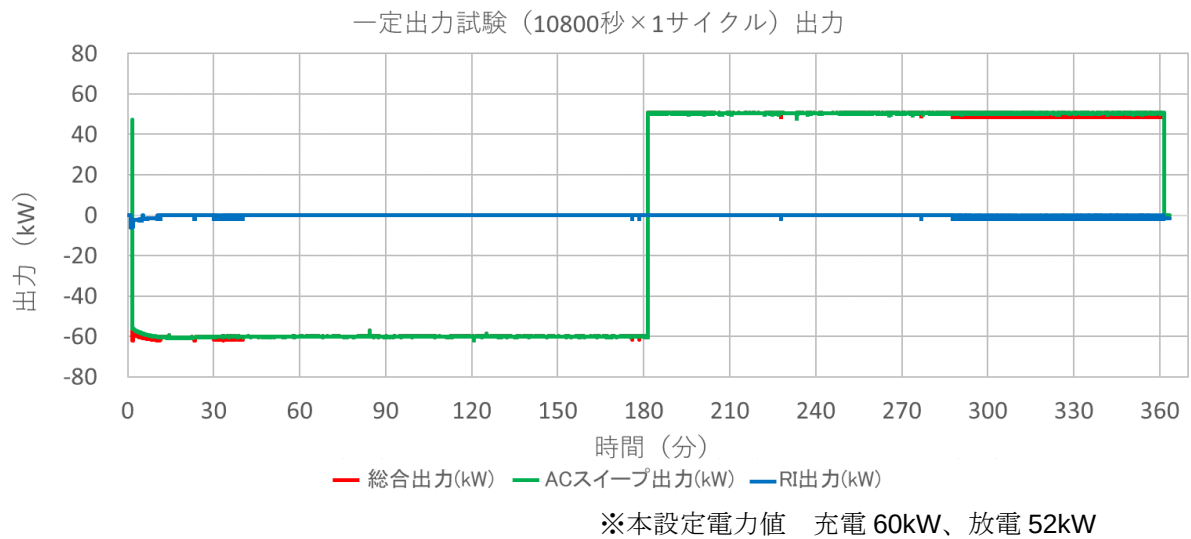


図 2.4.4① 一定出力 (10800s×1 サイクル) の試験結果 (出力)

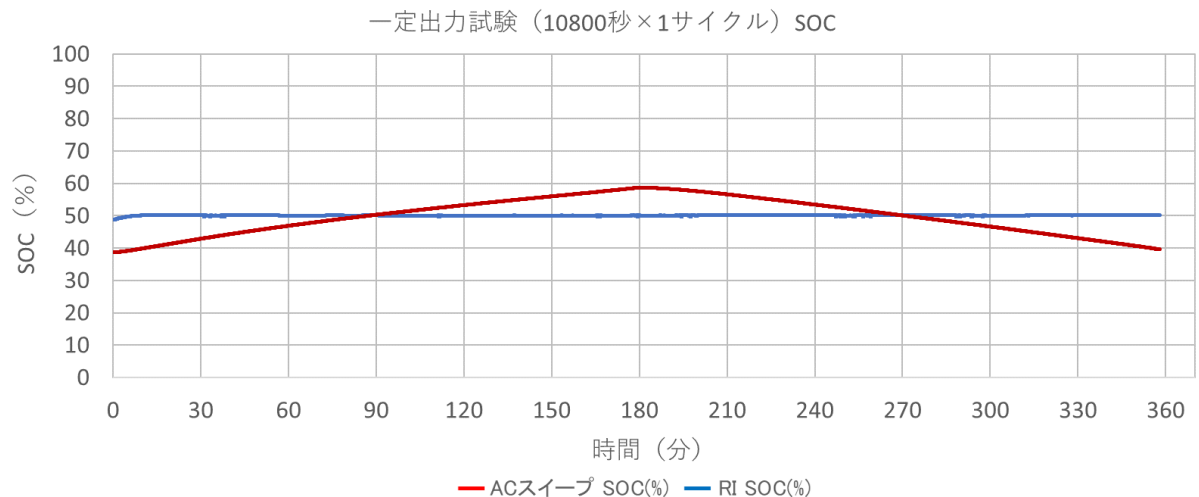


図 2.4.4② 一定出力 (10800s×1 サイクル) の試験結果 (SOC)

(4) 試験条件 (iv) 結果

図 2.4.5 に 39600s(11h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.5①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.5②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 39600s×1 サイクルの間、本設定電力値での充放電が可能であることが確認できた。

図 2.4.5②の試験開始直後に、RI の SOC が 50%到達し、それ以降は、AC スイープのみ動作している。(RI は 0 出力制御状態)

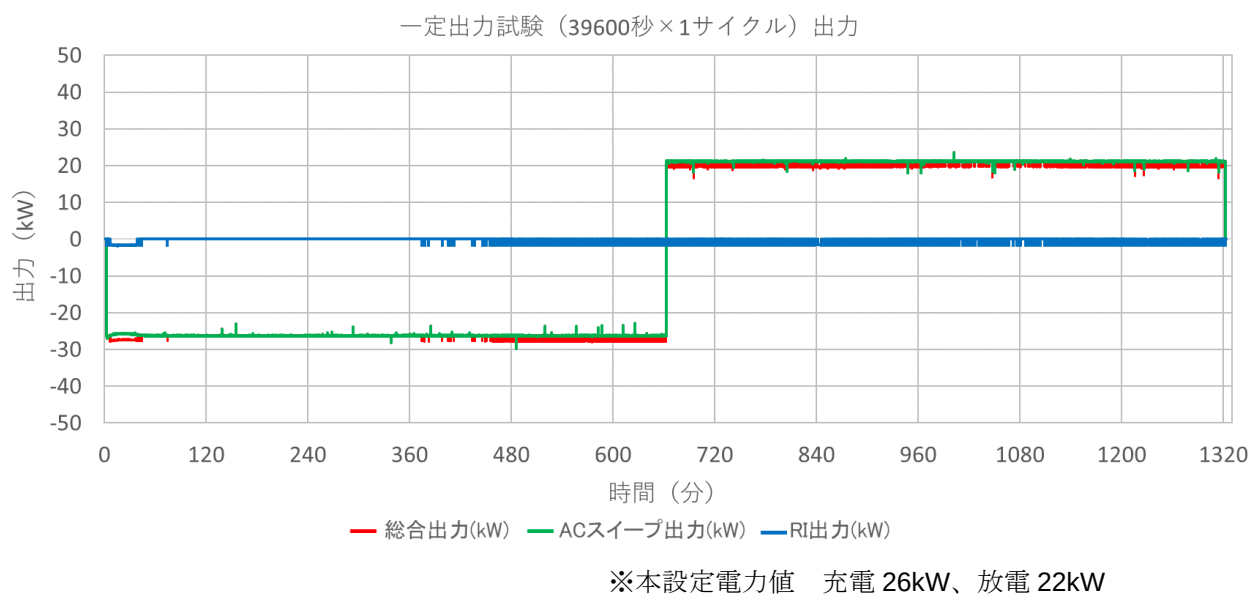


図 2.4.5① 一定出力 (39600s×1 サイクル) の試験結果 (出力)

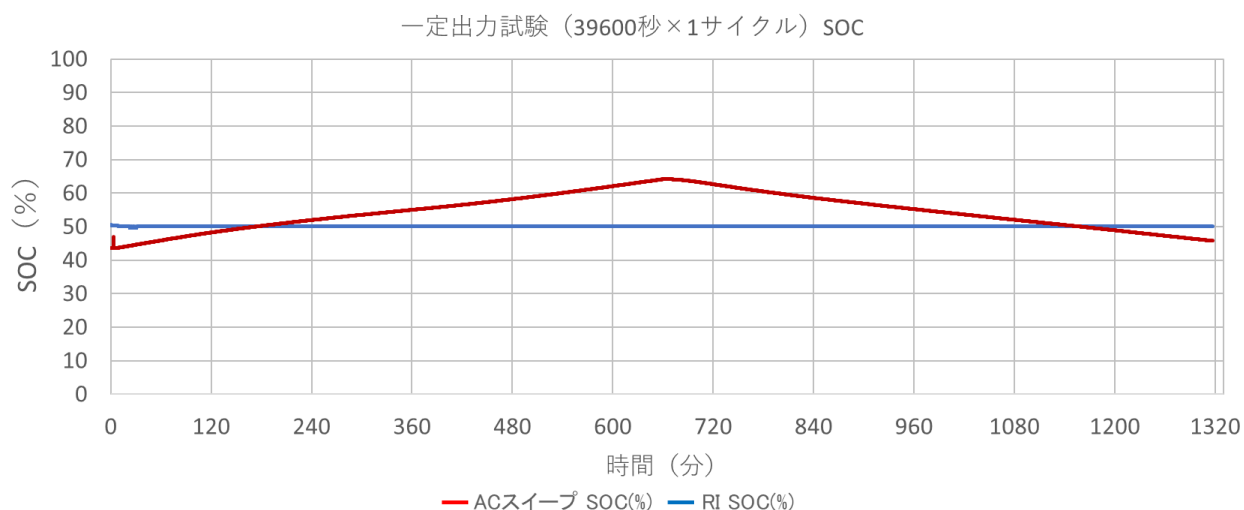


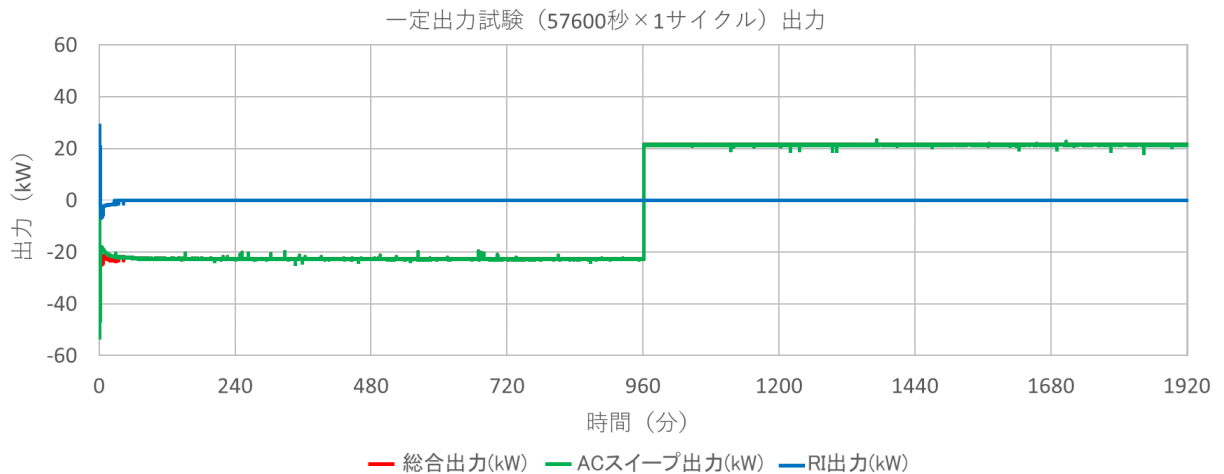
図 2.4.5② 一定出力 (39600s×1 サイクル) の試験結果 (SOC)

(5) 試験条件 (v) 結果

図 2.4.6 に 57600s(16h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.6①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.6②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 57600s×1 サイクルの間、本設定電力値での充放電が可能であることが確認できた。また、出力が小さいため AC スイープのみの動作となっているため、RI の SOC は 50%を維持したままである。

AC スイープの SOC が 30～65%間で推移しているため、16 時間連続動作させるためには充電 22.5kW／放電 22kW より充放電ともに大きく出来ることが判る。

立ち上がり初期に RI と AC スイープの出力が変動していることがわかる。これは RI が SOC を 50%に待機する為に充電を行っている為であり、その後 SOC が 50%になったところで RI は充放電が 0kW となり、その後は AC スイープのみ動作して 32 時間の充放電をしていることがわかる。



※本設定電力値 充電 22.5kW、放電 22kW

図 2.4.6① 一定出力 (57600s×1 サイクル) の試験結果 (出力)

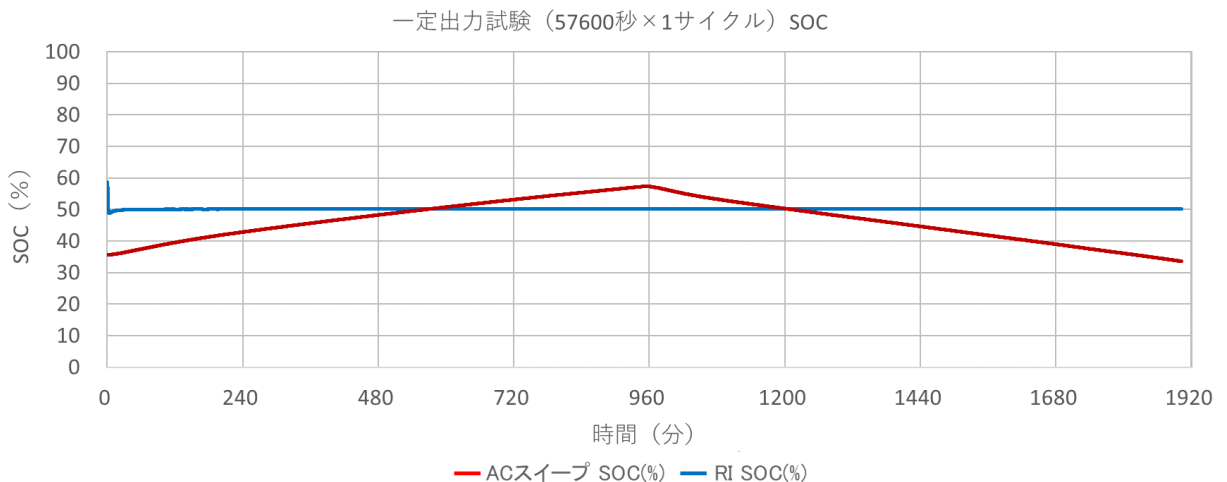


図 2.4.6② 一定出力 (57600s×1 サイクル) の試験結果 (SOC)

(6) 試験条件 (i) ~ (v) 結果まとめ

一定出力・一定時間の充放電試験全 5 パターンにおいて、設定した試験条件下で規定時間の充放電が可能であることが確認できた。

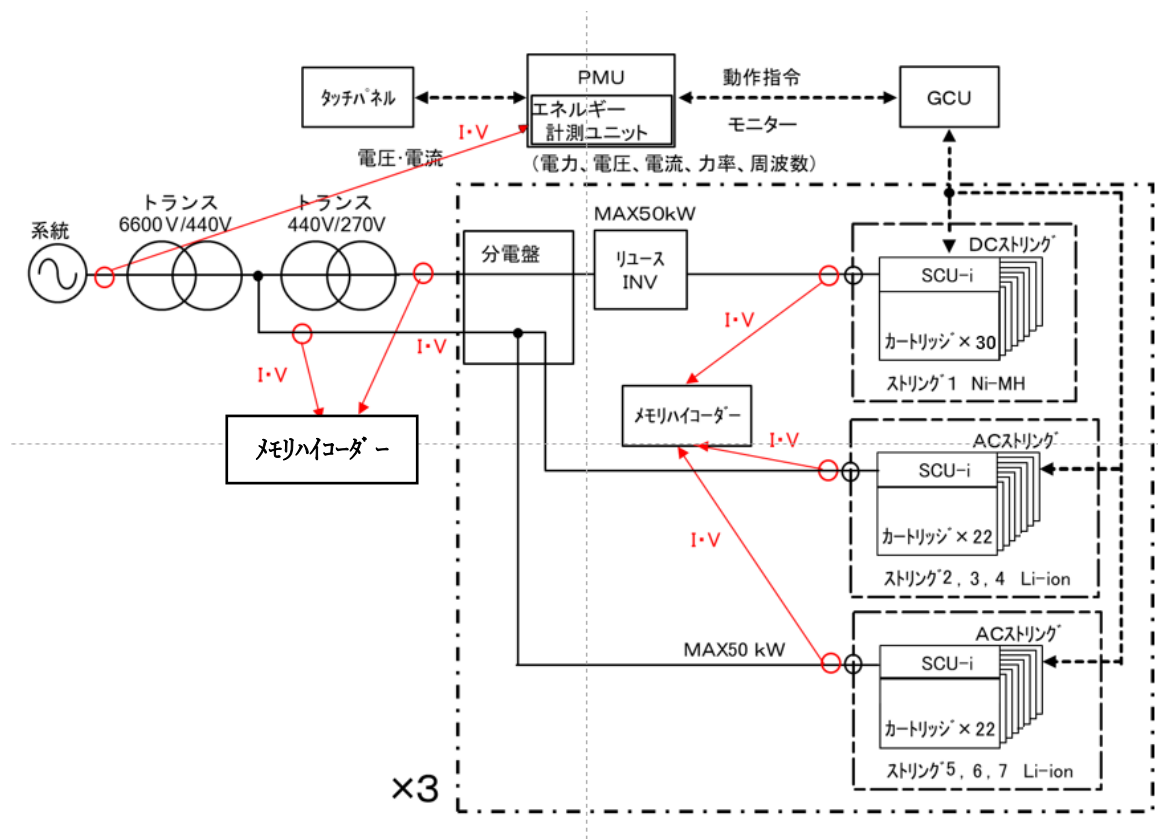
試験条件 (i) において、RI で SOC 制限により出力が制限される事象が発生している。RI をより活用する為には充放電サイクル時間に対し SOC 上下限に抵触しない程度の充放電出力を設定することが望ましい。

それに対し試験条件 (v) の試験では長時間の充放電時に RI は SOC50%保持を優先させる制御の為に待機状態となり、AC スイープのみの動作を行う形で RI と AC スイープの協調運転が実現できている。

実運用においては、各ストリングの SOC、温度等の状態を見ながら、AC スイープ・RI の出力値を最適に制御する必要がある。

2.4.2 短周期応動試験

短周期応動試験は、図 2.4.7 の測定回路で試験を行った。昨年度の試験結果より充放電電力の条件を設定した。赤丸は計測点、矢印の先は計測器を示す。



項目	充電電力 (kW)	放電電力 (kW)
試験条件 (i)	344	340
試験条件 (ii)	272	270
試験条件 (iii)	54	52.5

図 2.4.7 短周期応動試験測定回路および試験条件

(1) 試験条件 (i) 結果

図 2.4.8 に短周期 (2s 間隔) 300s×18 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.8①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.8②は RI と AC スイープの SOC で、この結果から 300s×18 サイクルの間、本設定電力値で短周期充電・放電の繰り返しが可能であることが確認できた。

RI の SOC が 45～54%の範囲内で動作しており、SOC 中心で制御を行っていることが確認できた。AC スイープの SOC は本試験において 4～5%減少しているため、容量を保つためには充電電力と放電電力の差を少し大きくしなければならないことが判る。

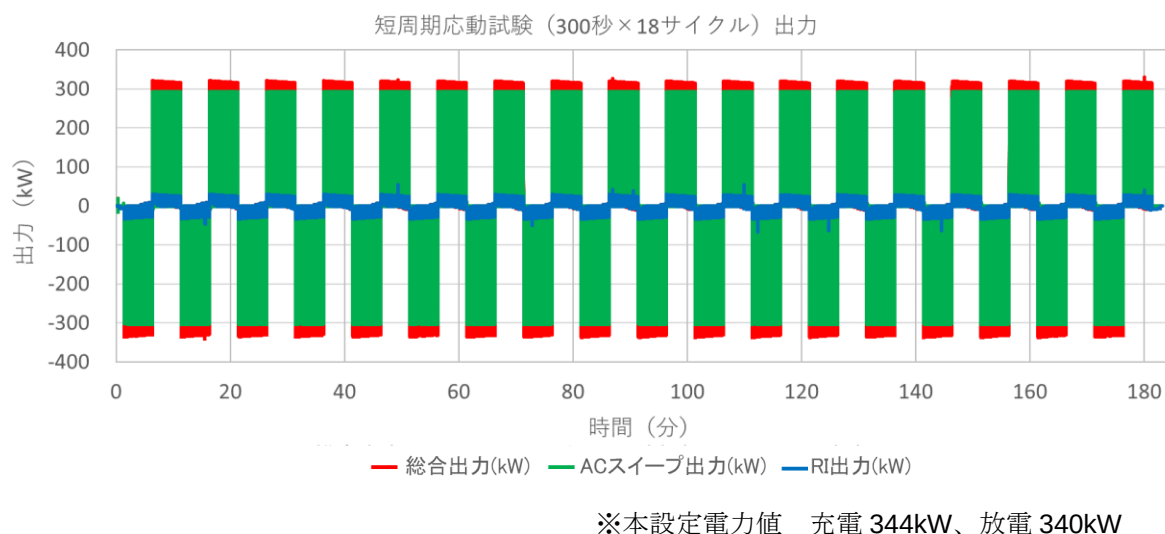


図 2.4.8① 短周期応動 (300s×18 サイクル) の試験結果 (出力)

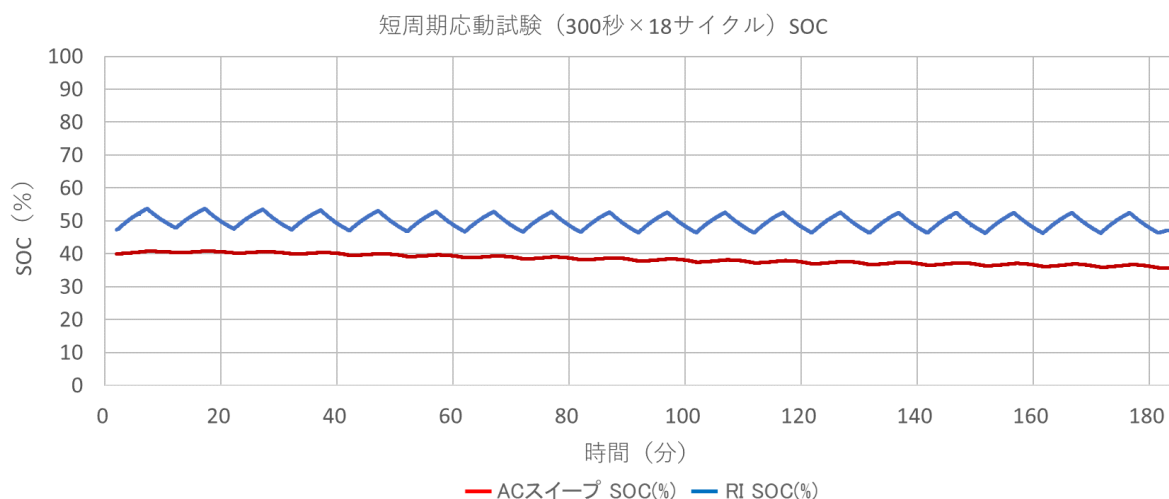


図 2.4.8② 短周期応動 (300s×18 サイクル) の試験結果 (SOC)

(2) 試験条件 (ii) 結果

図 2.4.9 に短周期 (2s 間隔) 1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.9①は継続時間に対する出力電力、図 2.4.9②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 1800s×5 サイクルの間、本設定電力値で短周期充電・放電の繰り返しが可能であることが確認できた。

RI の最大 SOC は 59%一定であるが、AC スイープ SOC は本試験において約 3%減少しているため、容量を保つためには充電電力と放電電力の差を少し大きくしなければならないことが判る。

図 2.4.9③は充放電切替時の出力の拡大波形、図 2.4.9④は充放電切替時の SOC の拡大波形である。RI の動きに注目すると SOC が 50%より高い場合 RI は積極的に出力を行い AC スイープはその間インバータバルで充電をする (赤枠部)。RI の SOC が低くなると RI は放電をしつつインターバルで AC スイープから充電を行うことで SOC を回復するように動作を行い (青枠部) 電力バランスと SOC 中心制御を両立させることを実現している。

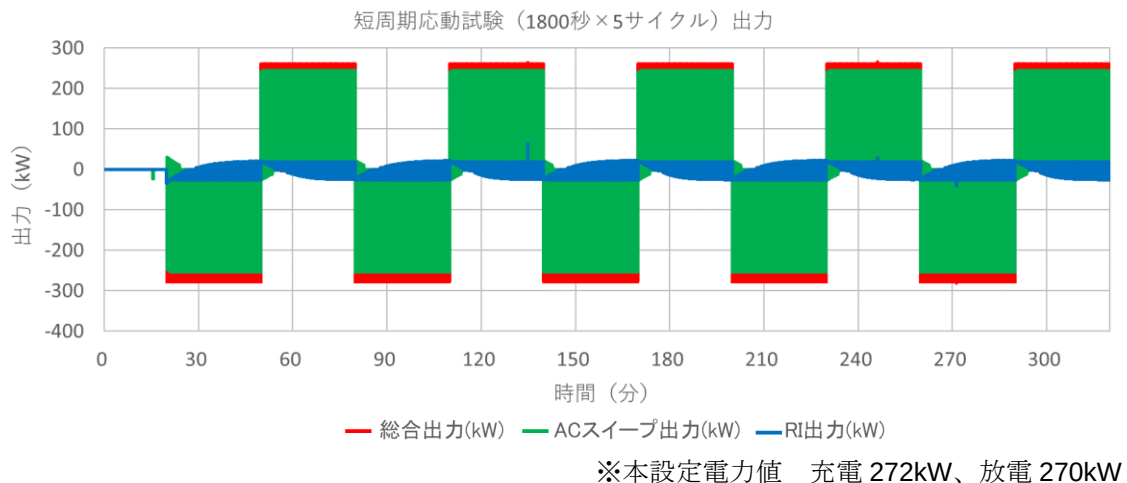


図 2.4.9① 短周期応動 (1800s×5 サイクル) の試験結果 (出力)

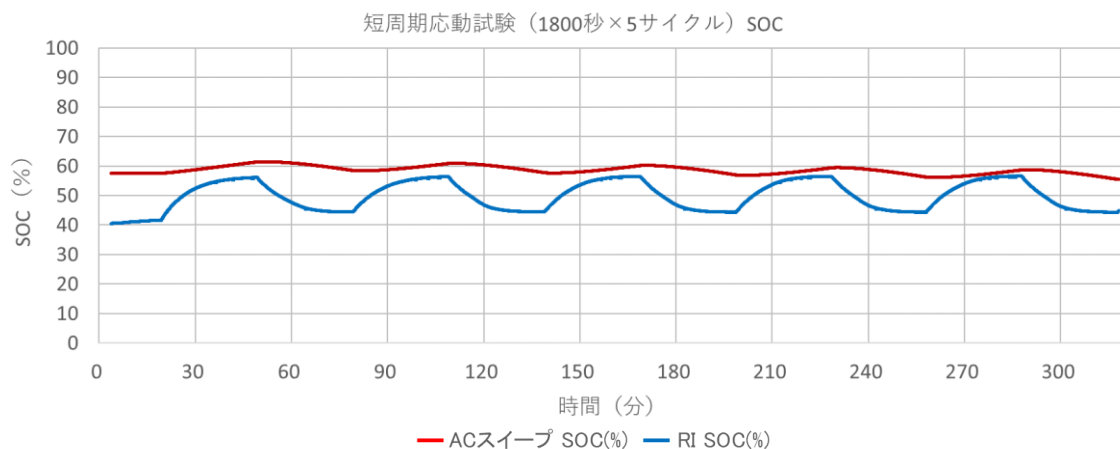


図 2.4.9② 短周期応動 (1800s×5 サイクル) の試験結果 (SOC)

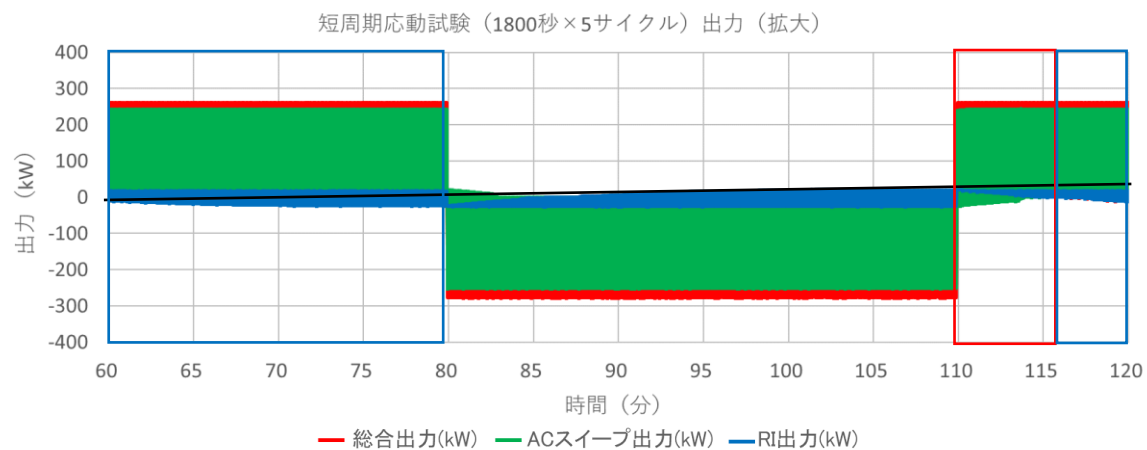


図 2.4.9③ 短周期応動（1800s×5 サイクル）の試験結果（出力、充放電切替時拡大）

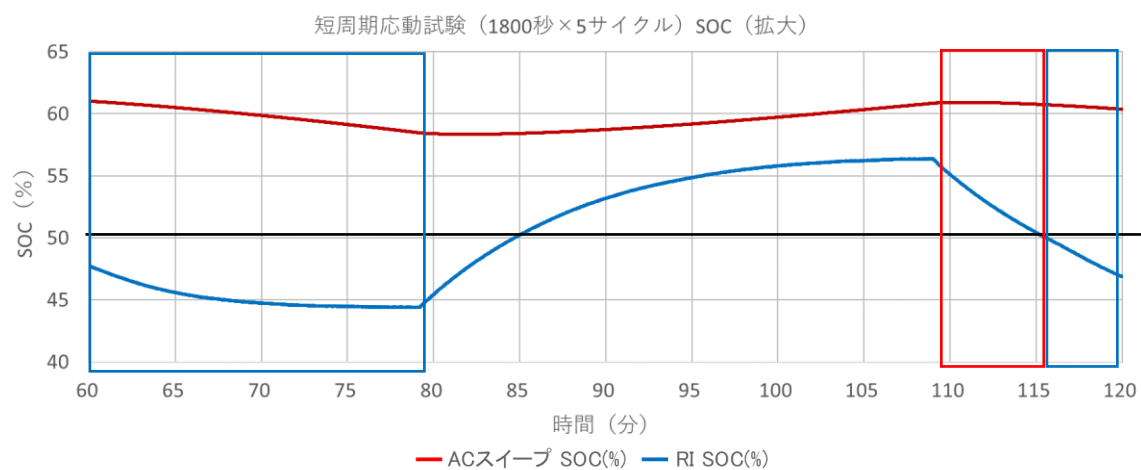


図 2.4.9④ 短周期応動（1800s×5 サイクル）の試験結果（SOC、充放電切替時拡大）

(3) 試験条件 (iii) 結果

図 2.4.10 に短周期 (2s 間隔) 39600s(11h) ×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.4.10① は継続時間に対する出力電力、図 2.4.10②は RI と AC スイープの SOC 波形で、この結果から 39600s×1 サイクルの間、本設定電力値で短周期充電・放電の繰り返しが可能であることが確認できた。

出力が小さいため、RI は出力せず SOC が 50%を維持しており、AC スイープのみの出力となっている。なお、図 2.4.10②より AC スイープの SOC は 35～58%の範囲内で動作しており、現設定電力指令より出力は増やすことが可能であるとする。

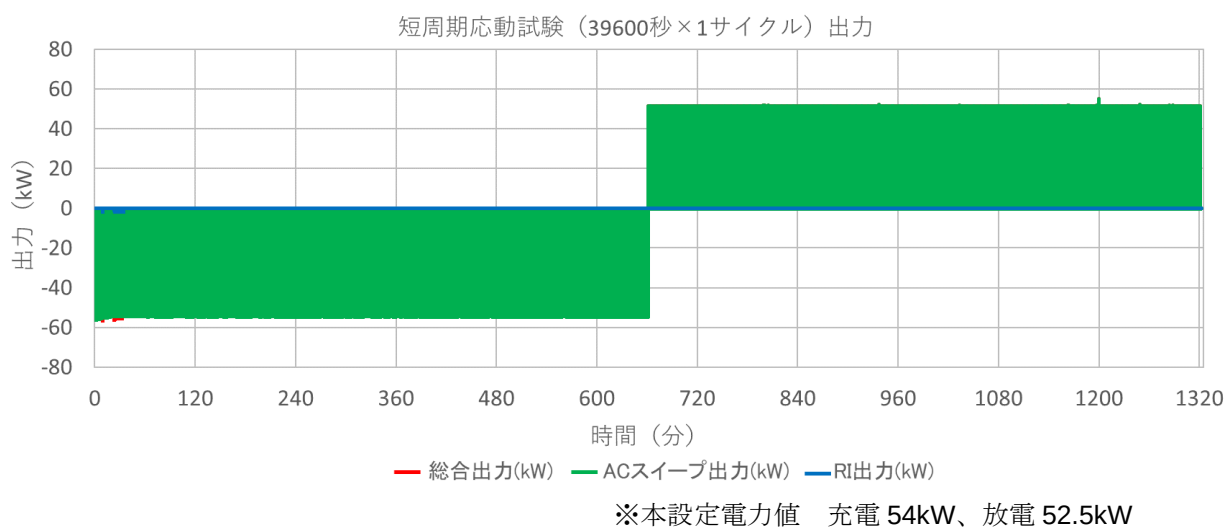


図 2.4.10① 短周期応動 (39600s×1 サイクル) の試験結果 (出力)

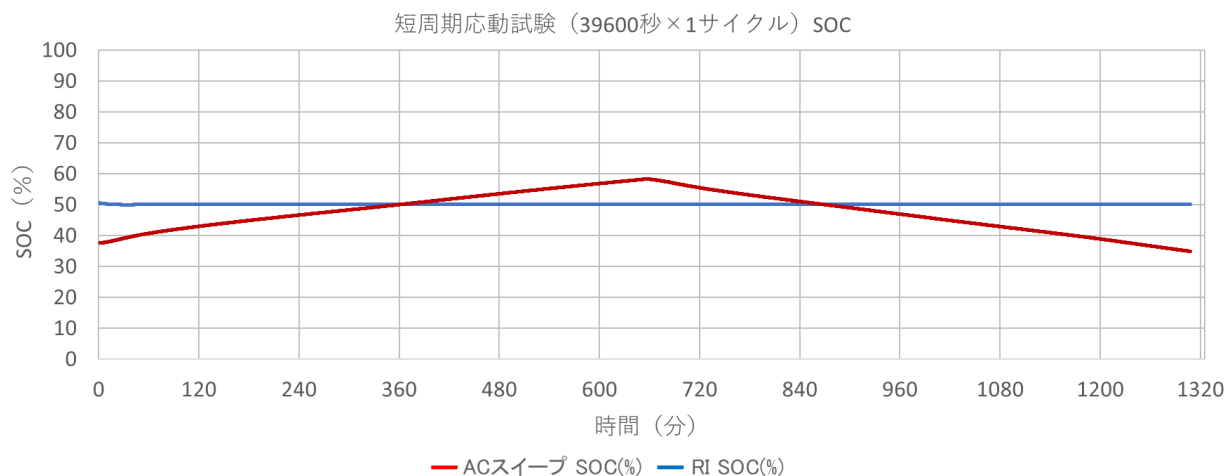


図 2.4.10② 短周期応動 (39600s×1 サイクル) の試験結果 (SOC)

（４）試験条件（i）～（iii）結果まとめ

短周期応動試験全 3 パターンにおいて、設定した試験条件下で 2 秒サイクルの応動に対し追従可能であり、規定時間の充放電を行うことが出来ることが確認できた。

試験条件（ii）の 1800s 試験では一定出力・一定時間の 1800s の試験と同様に RI が SOC 中心を充放電時に動作していることがわかる。短周期応動と一定出力・一定時間との違いは短周期応動の方がより RI の出力を有効に使えるようにインターバル時に RI の SOC が 50%より低い場合は AC スイープから RI へ充電し RI の SOC が 50%より高い場合は RI から AC スイープへ充電を行う制御により RI と AC スイープの電力協調が確認できるところである。一方試験条件（iii）の試験では一定出力同様に RI は SOC 中央を保持したままであり、要求出力が AC スイープの出力に対し小さい場合は、RI は動作を行わないことがわかる。今回のシステムで RI が活用できるケースとしては要求出力が AC スイープ出力に近く、充放電周期が 30 分程度であることが要件として考えられる。この要件は RI と AC スイープの出力・容量比率で変更できる為、最適な設計をすることにより各市場の要件を満たすと考えられる。具体的には、サイクル周期の短いパターンが要求される場合は RI と AC の出力・容量比率を大きくし、逆に長時間のパターンの場合は RI の出力・容量比率を小さく設定するという方法が考えられる。

2.4.3 異種電池混在動作試験結果

(1) 他社製 Pb 電池での動作検証

測定の結果、他社製の Pb 電池を接続した場合も、問題なく動作することを確認できた。なお、詳細な波形データを図 2.4.11 及び図 2.4.12 に示す。

Pb 電池を接続した際のストリング電圧は、充電／放電時とも 650V を維持している。他社製電池のカートリッジ電圧は、スワイプ制御による電池接続/未接続の周期的な変動をしており、隣接の Ni-MH 電池と同様の推移となり、問題なくスワイプ動作したことを示す。電池接続時の Pb 電池 - Ni-MH 電池の電圧差は、充電時と比較して放電時では低減したが、これは本試験を充電試験、放電試験の順序で実施したため、充電試験時に低容量な Ni-MH 電池の電圧が増加したためである。その結果、充電時に見られた上記電圧差に起因するストリング電流リップルは、放電時には低減している。

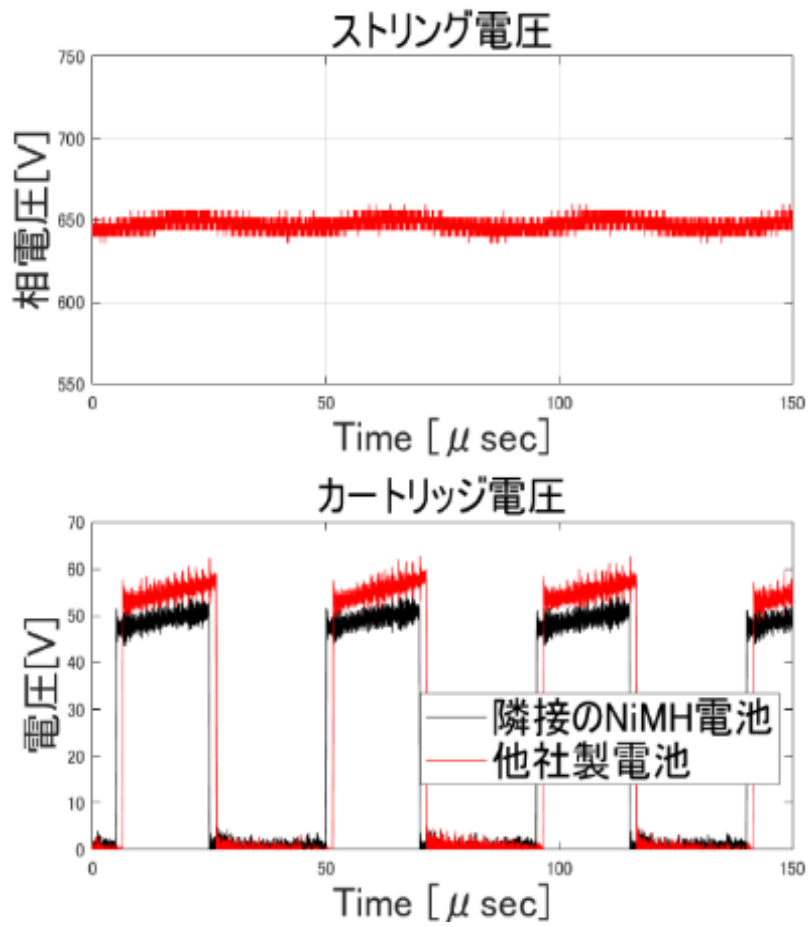


図 2.4.11① 電圧波形（充電時）

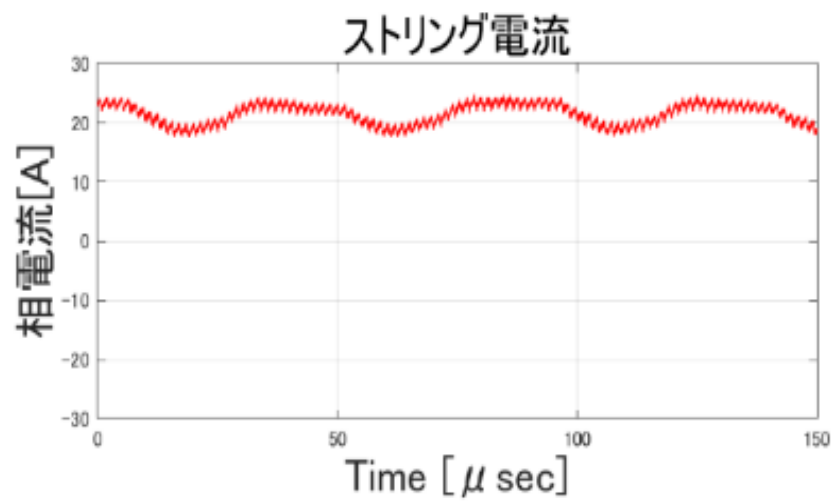


図 2.4.11② 電流波形（充電時）

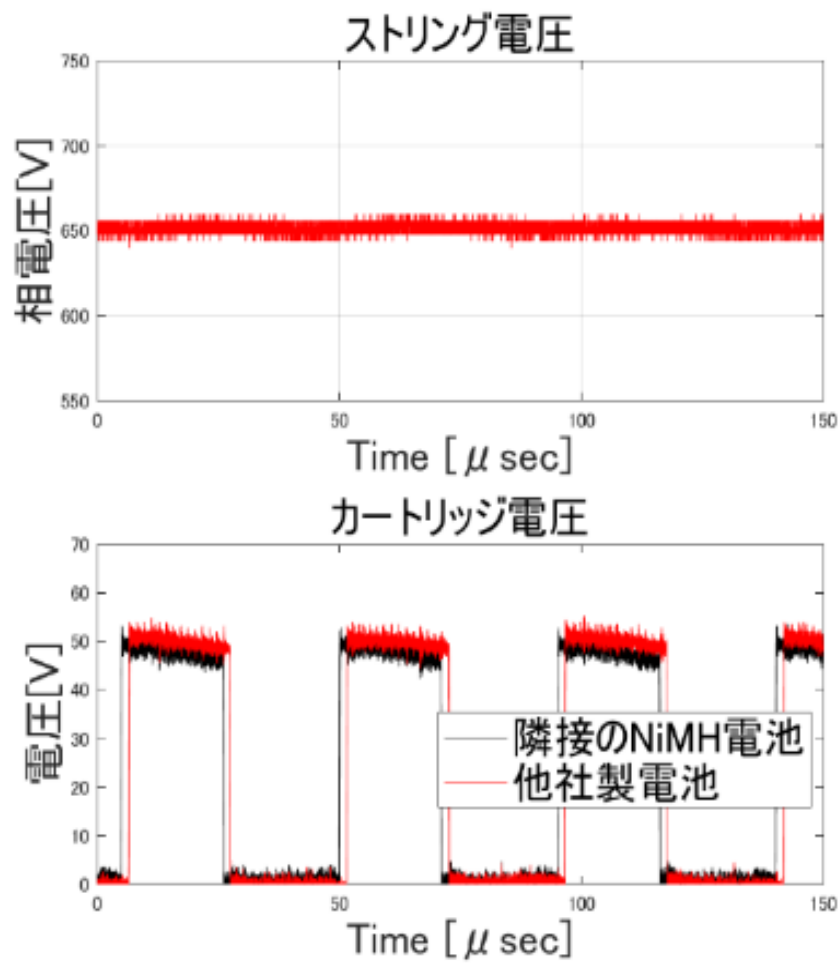


図 2.4.12① 電圧波形（放電時）

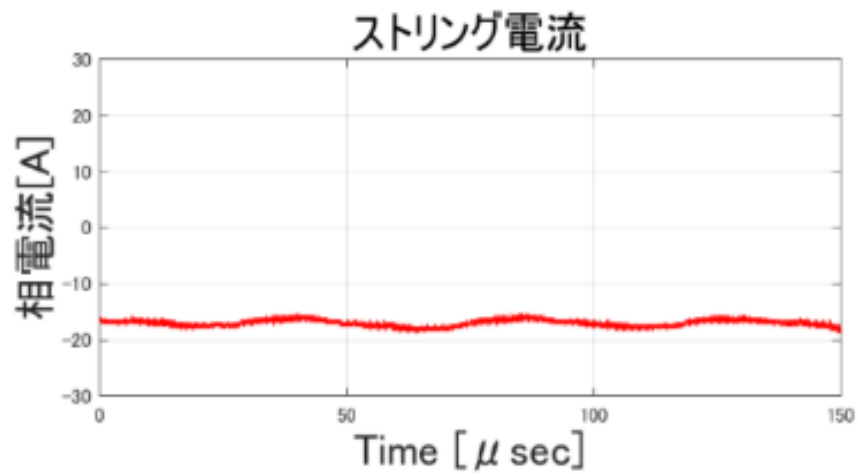


図 2.4.12② 電流波形（放電時）

（２）他社製 LiB での動作検証結果

測定の結果、他社製の LiB を接続した場合も、問題なく動作することを確認できた。
詳細な波形データを図 2.4.13 及び図 2.4.14 に示す。

他社製 LiB を接続した際のストリング電圧は、充電／放電時とも 650V 付近を推移するが、他社製 LiB を未接続（全て Ni-MH 電池）の場合と比較して電圧リップルが大きい（図 2.4.13 参照）。これは、カートリッジ電圧が、Ni-MH 電池：47.2V 付近に対して、LiB：27.1V 付近と大幅に低いため、LiB 接続/未接続の周期でストリング電圧が変動するためである。その結果、ストリング電流も同周期でリップルが Pb 電池より顕著である。そのため、異種電池を混載する場合は、ストリング内のカートリッジ電圧差を極力抑え、かつ電池容量も同程度で設計することで、電圧/電流リップルを抑制可能と考える。

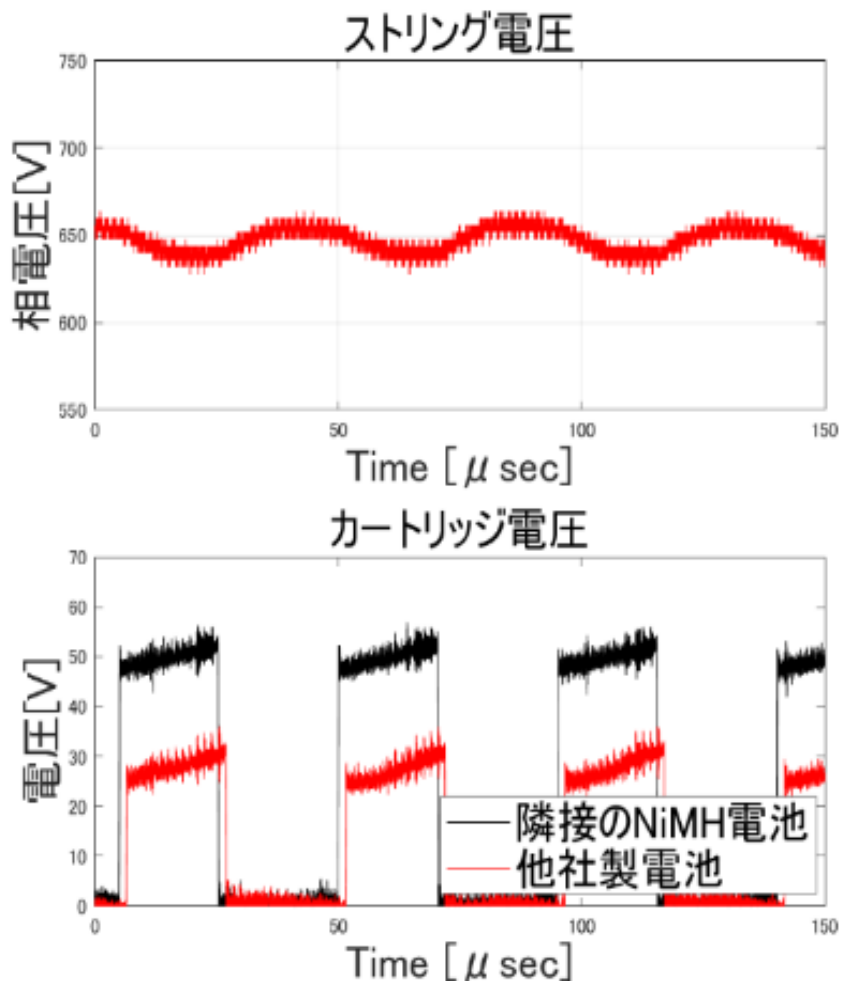


図 2.4.13① 電圧波形（充電時）

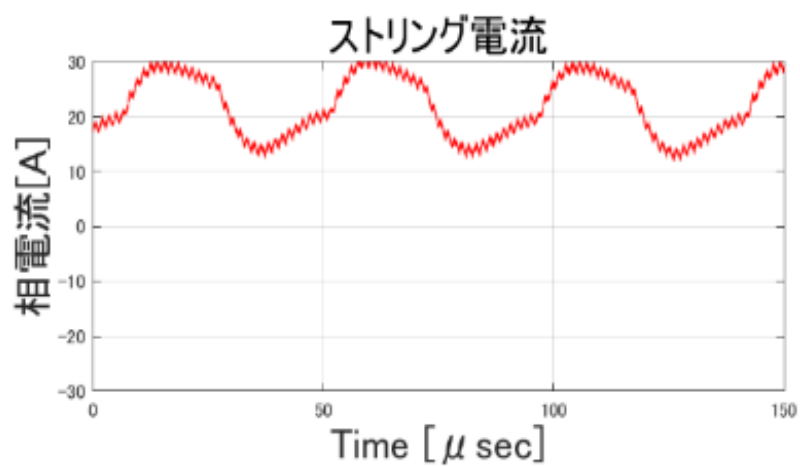


図 2.4.13② 電流波形（充電時）

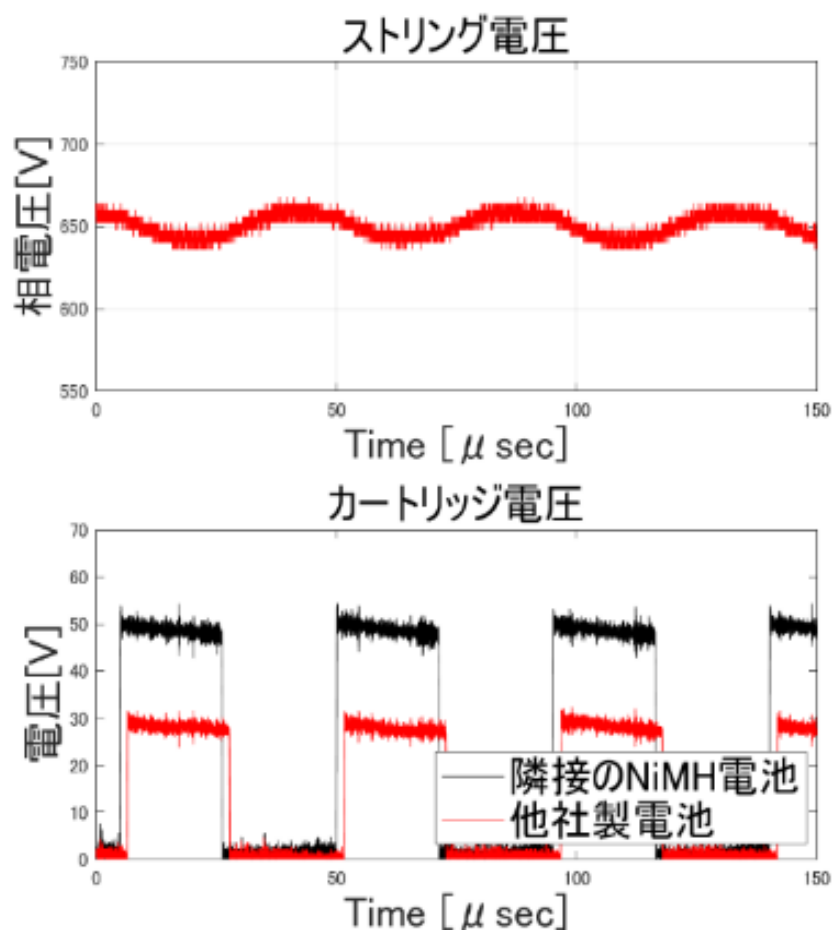


図 2.4.14① 電圧波形（放電時）

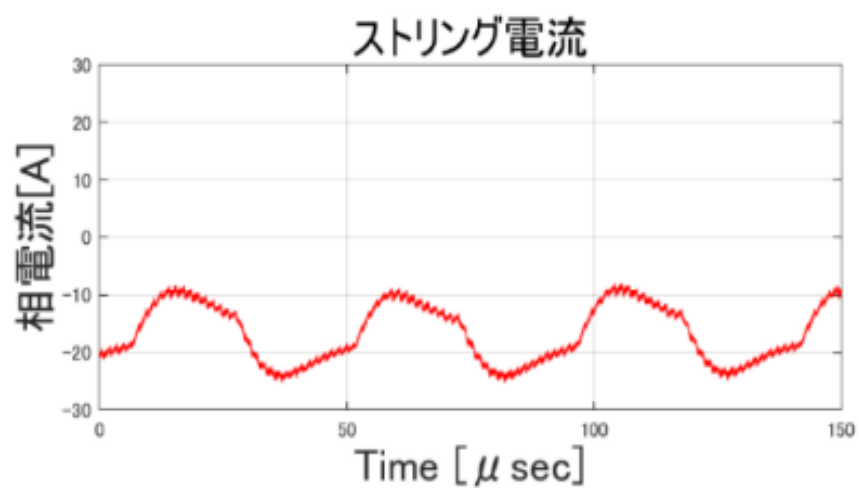


図 2.4.14② 電流波形（放電時）

（３）異種電池混在動作試験まとめ

既存の Ni-MH 電池を用いた DC スtring に異種電池として Pb 電池および LiB で一部置換した String を構成し、リユースインバータで系統に対し充放電する試験を行った。

結果、異種電池の混在 String でも問題無く充放電を行うことを確認できた。

2.5 考察及び今後の展開

本実証事業を通じて、PCS の代替手法である AC スイープを用いた電源の多数台連系による大容量化が可能であることが確認できた。

なお、実用設備の規模を想定した更なる大容量化においては、技術的・経済的理由から以下の点について更なる評価検討が必要と考えられる。

(1) 単機当たりの大容量化

現在、大規模蓄電池システム用に PCS の単機容量は最大 500kW 程度から 2500kW 規模にまで大容量化されている。またシステム電圧も直流側で最大 1500V、交流側で最大 600V 程度となっている。大容量化によるメリットは配電システム側のフィーダ数の低減、昇圧変圧器の台数低減であり、高電圧化のメリットは電流の低減である。

AC スイープでは、上記大容量化に対しては昇圧変圧器 1 台あたりに複数台の電源を接続することで同様の対応が可能である（本実証では 6 台の AC スイープ電源）が、同一母線に接続可能な電源の台数には以下の理由で制約がある。

- ① 電源の電圧制御の干渉による横流の発生
- ② 電源と母線間のインピーダンス（配線長）の違いに起因する循環電流の増加
- ③ 電源と母線間の対地容量増加による漏れ電流の増加

上記課題に対しては、電源開発時の検証等により対策効果等を確認した上で機器ごとに制約を明確化した上で仕様や施工要領等に反映する。

一方、6.6kV 配電線に連系可能な最大容量は 2MVA であり、それ以上の大容量化は特別高圧連系の対象となる。特別高圧の連系設備は高圧連系と比較して高価であり連系可能な地点も限られるため経済性に対して不利に働く可能性がある。将来の普及を考えた場合、多くの設置候補が得られる高圧配電線への適用が可能でかつ特別高圧連系においても収益が見込まれる 10MW 以上の大容量に複数フィーダ化で対応できる容量選定が重要である。

これらを総合的に評価した場合、AC スイープ電源 1 台当たりの容量は 1 フィーダ 6 列化（本実証と同じ台数）に対応し、約 300kW～500kW 程度が最適と考える。

この容量を現状の構成で確保するためには現状の電源構成に対して、

- a) 22 直列の 1 列当たりの電圧を 3 程度にする
- b) 22 直列を 3 倍の 66 直列にする
- c) 1 列当たりのセルの並列数を 3 にする

これらの大容量化に対しては、蓄電池の絶縁やバランス、スイッチング素子の選定等の課題もあることから、課題を整理した上で最も経済的な構成を検討する必要がある。

因みに、a) b) に対しては AC スイープの交流電圧が 800V 以上になり蓄電池の絶縁や高圧回路となることによる配線制約が発生する。また a) に関してはスイッチング

素子の耐圧に対しても高耐圧化が必要となる。c) に関しては並列化された電池のバランスやスイッチング素子の電流が課題になる可能性がある。a) ～ c) の対策を複合的に採用し経済的な大容量化を図る必要がある。

上記課題も含めて、実用的な大容量化を検討した。交流側の連系電圧は、世界的に規格化されており、現在の 400V 系は普及している電圧階級である。更なる大容量化と IEC(International Electrotechnical Commission)の高圧区分を考慮した場合、中容量風車等で採用されている、交流 690V が海外を中心に普及している。一般の低圧機器についても、交流 690V 系に対応しており、経済的なシステム構築が可能である。

交流 690V を連系電圧とした場合、単機容量は約 $690V / 440V = 1.57$ 倍になる。この電圧を発生可能とするためには、現在の 22 直列構成は 35 直列となる。また、現在蓄電池は車載用電池を 2 並列化して定格電流を 75A 程度に設定している。現在使用している MOS FET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)の最大定格は 100A 程度で、これ以上の電流定格は汎用性の観点から困難が予想される。一方 SiC 半導体等次世代パワー半導体は、大電流・低損失を実現しており、より大容量のシステム構築を容易にしている。仮にスイッチング素子が大電流対応した場合、現在の 2 並列を 8 並列化すれば、定格電流 300A 程度となり、直列数 1.57 倍、並列数 4 倍となって、現状 50kW の単機容量が 314kW となる。この程度の容量を達成すると、本実証設備と同様の 1 フィーダ当たり 6 台の電源接続で約 2MW の出力が得られる。

(2) 並列数の拡大

本実証においては最大 6 並列の AC スイープと 3 並列の RI による運転確認を行った。単機容量の大容量化に限界がある場合は、並列数を増やすことで 1 フィーダ当たりの大容量化を達成できる。一方並列数を増やすことによって制御干渉や漏れ電流の増加等課題もあるためこれらの対策に加えて並列上限を設定する必要がある。

仮に 1 フィーダ当たり 2MVA 程度の容量を確保すると仮定すると、1 電源当たり 200kW 程度まで大容量化ができれば、10 台程度の並列化によって理想的なフィーダ容量が確保できる。この程度の台数を統括制御可能な制御ユニットがあれば、各電源の制御同期や非干渉化を達成できる。

実用化においては、これらの対策を経済性も考慮した上で適切に行いシステム構築を行う必要がある。

また、実用設備の規模を想定した制御システムの構成に関しては、現状のシステムでも多くのネットワーク機器により構成されており、大容量化した場合のデータ通信容量の増大や一部機器の故障や欠損による障害発生確率が増大する可能性がある。また、将来的な停電時の自立運転等においても自律可能なローカル制御を基本とし障害発生確

率を低減するために、AC スイープの三相一括制御や 1 フィーダ毎の統合制御（1 フィーダに接続された複数の電源の一括制御）等のネットワーク構成機器の統合を進める必要がある。

なお、一般的な PCS は大容量化においては複数変換器が並列接続された状態で 1 台の制御装置によって統合制御されている。このため、上位システムは各変換器に対して、起動／停止指令と有効電力・無効電力の指示のみを行い、PCS と蓄電池からは系統連系中、運転中、故障、SOC の信号のみで動作を判断している。

3 リチウムイオン電池の残寿命把握技術の検討

3.1 背景

蓄電システムに中古の LiB や、複数種類の LiB を混在して実装・利用する場合、その利用可能容量のバラつきを考慮した充放電制御の実現が課題となる。本検討においては、AC スイープを用いた電池制御システムにより上記の課題を解決しつつ、さらに直接交流を出力できる新たな制御を組み合わせることで、電源システムのコスト低減の検討を進めてきた[A]。

AC スイープの有無に関わらず、一般に電池が長期利用で摩耗すると、電池内部の充放電電荷であるリチウムイオンが不活性化し、容量や出力が低下する。これは一般に劣化残量 (SOH :State of Health) という指標で表され、システム性能を測る上で重要なパラメータとなる。この SOH の値は電池を完全充放電することで正確に得られるが、これが不可能な組み込みシステムにおいては、充放電電流の挙動から推測する技術や、電気化学インピーダンス測定に基づいた推定技術 (EIS: Electrochemical Impedance Spectroscopy [B]) が提案されており、電池を長く使い続けるための実装が進められている。本検討で実装しているスイープ電源においては、システム運用中に一部の電池を意図的に特定のパターンで充放電するような制御を実装可能であり、完全充放電に近い手法で SOH を得ることができるであろう。

一方で、LiB は内部の材料組成から、可燃物 (危険物 3 種に属する[C]) である事が知られており、間違った使い方をすると発煙発火に繋がる恐れのある電池である。図 3.1.1 に LiB の健全性を示す熱暴走温度に対する報告例の概要を示す[D]。LiB の熱暴走はおよそ 200℃程度で発生する事が知られており、新品・中古に関わらず、例えば大電流での動作などの発熱を伴う動作に注意を払う制御実装が必要不可欠となる。LiB には、この熱暴走温度を低下させ、電池の健全性を低下させる Li 金属析出という劣化モードが存在する。この劣化モードは低温での充電動作や、急速充電動作で特に生じやすいと報告されている[E]。従って、劣化の多くはこの様な制御モードを避けた条件下で発生する。具体的には電池内部に酸化皮膜 (SEI: Solid Electrolyte Interface) が生成するモードが殆どであり、熱暴走温度は高い側に移行し、健全性は安全側に移行する。この条件においては、利用範囲を限定すれば、電池をより長く使うことができる可能性がある。

しかしながら、劣化電池の中に Li 金属析出が生じている電池が混在している可能性があると、継続利用に対するシステム健全性の懸念が生じる。従って、中古電池の利用において 1 次利用での劣化経緯が分からない条件がある場合は、SOH に加えて、健全性の診断が必要になる。さらには、その電池を継続利用する中で、健全性を監視し続ける事ができれば、より堅牢な電池システムを社会で広く利用できることとなる。

本章では、この Li 金属析出の有無を検知する手段の新技术に関する検討結果をまとめる。検討対象とした手法 (MaMoRiS: Magnified Metal Object Response Inspecting Sensor) は、

他の Li 金属析出の発見手法として提案されている破壊を伴う外観からの析出検査[F]や、高エネルギー線を用いた分析的析出検査[G]と比較して、簡便にシステム実装で金属析出を検知する事ができる技術として報告されている[H]。

本評価では、別章で示した蓄電システム実装検討予定の 40Ah 級の LiB 電池セルを用いて、本検討技術 (MaMoRiS) の適用可能性判断を行った。結果、析出を伴う劣化を模擬した加速劣化試験 (0℃、4C 充電、100 サイクル) の試験において、サイクルを繰り返す中で徐々に析出が堆積していく様子を観測可能であることが確認できた。

以下では、4.2 節にて MaMoRiS の手法概要、および 4.3 節にて評価試験の条件を示す。4.4 節では MaMoRiS の基礎特性および動的観察の実験結果をまとめ、最後に今後のシステム実装の指針および課題を記載する。

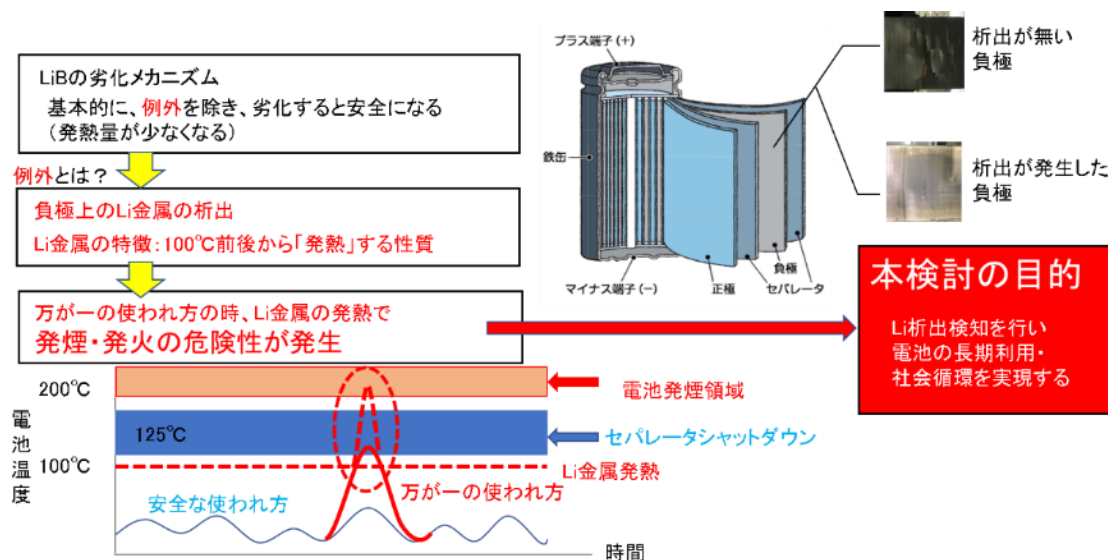


図 3.1.1 リチウムイオンの健全性問題を生じる Li 金属析出：(析出と熱暴走温度)

3.2 検討手法

図 3.2.1 に MaMoRiS の技術概要を示す[F]。本手法は、通常の充放電の挙動で流れるイオン性の充放電電流の裏に隠れる電子性電流の反応が、内部で発生する Li 金属析出量に対して直接かつ高い応答を示す特性点に着目をした、インピーダンス計測手法の一つである。本手法の大きな特徴は、インピーダンス測定（従来の EIS 法）と比較して、測定周波数を高い周波数帯域とする点である。この高周波化が従来の EIS 法が捉えているイオン性電流の挙動変化をフィルタリングする効果となり、劣化による様々な電池挙動変化の中から内部金属量の変化に対する電子電流のみの応答を増幅して検知することが可能となる。

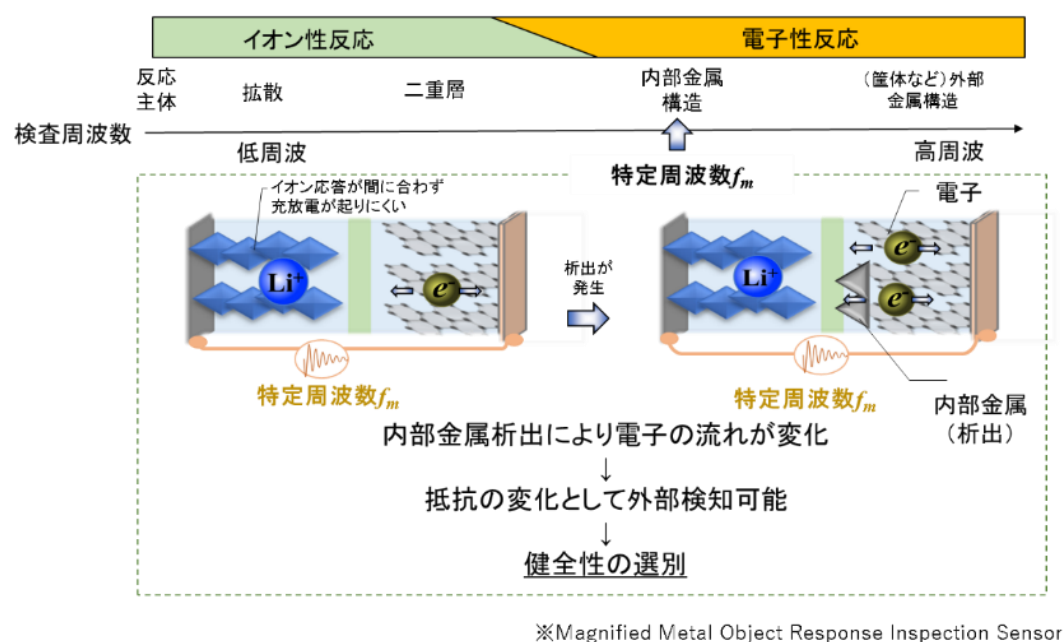
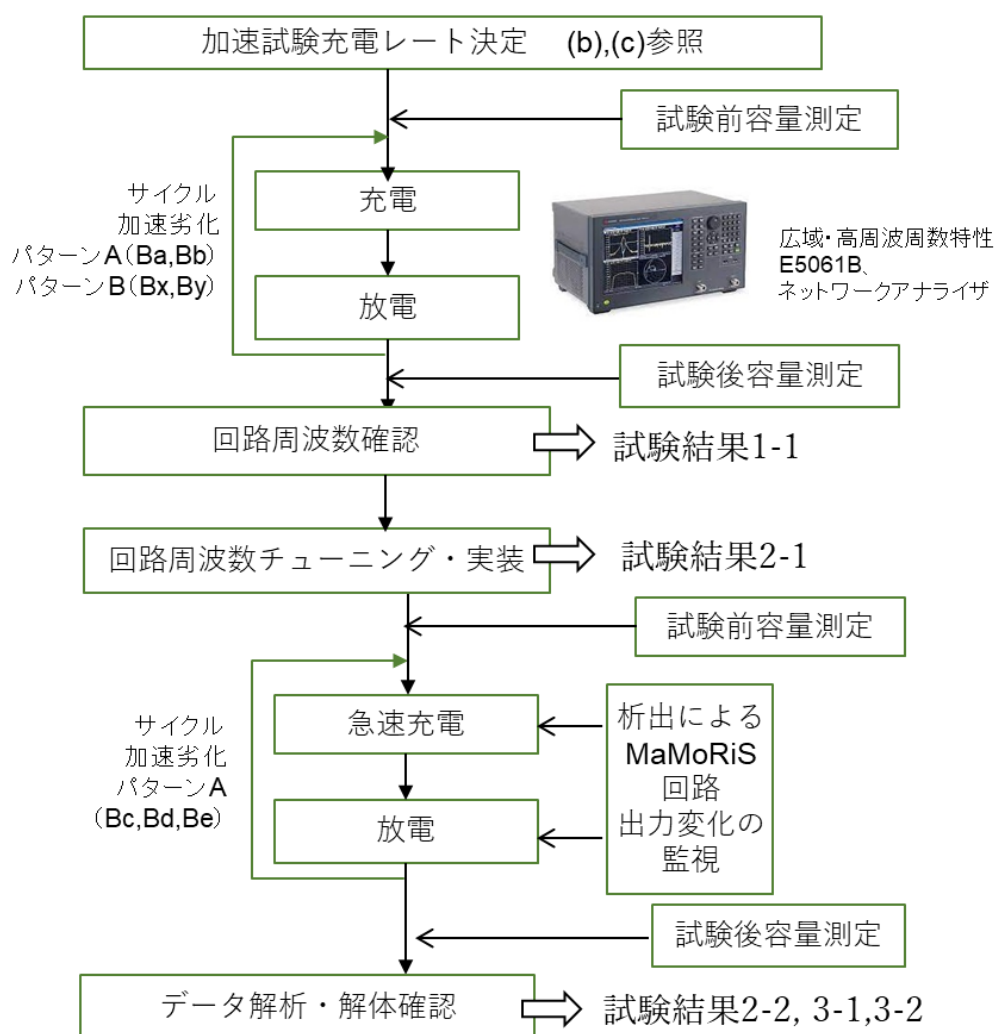


図 3.2.1 検討する高周波を用いた Li 金属析出検知技術(MaMoRiS)の概要

3.3 試験方法

図 3.3.1 に本技術の適用評価の実施フロー、並びに各試験で用いた充放電パターンを示す。本試験では、図 3.3.1(a) に示すフローにおいて、①加速劣化試験 (Li 金属析出あり・Li 金属析出なし) による高感度周波数帯域の同定 ②MaMoRiS 回路を組み込んだ状態で析出を伴う加速試験を行い、析出堆積に伴う MaMoRiS 回路の反応がオンラインで得られることを確認 ③解体による析出状態の確認の 3 測定を行った。表 3.3.1 に対象セルの概要、表 3.3.2 および図 3.3.1(b)(c) に試験に用いたセルの一覧と、実施した劣化加速試験パターンを示す。電池 Ba、Bb、Bc、Bd、Be にはパターン A の急速充電を伴う劣化を施した。25℃環境にて容量の確認後、環境を 0℃の低温環境とし、2C(80A)-3C(120A)-4C(160A)-5C(200A)の急速充電による出力特性確認の後、4C(160A)の急速充電を N サイクル実施した。Li 金属析出状態が安定するように、4C 定電流充電完了後に定電圧を一定時間印加している。なお、各サイクル間の放電は 10A で行った。N サイクル終了後に、温度を 25℃に戻し、再度容量を測定した。電池 Bx、By に対しては、25℃での容量確認の間に 60℃、±10A でのサイクル充放電が行われるパターン B を印加し、相対評価に用いる析出を伴わない劣化電池を生成した。

初めに、測定周波数の同定試験のプロセスを示す。複数用意した電池セル (新品) を拘束し、充放電による初期容量を測定後、SOC が 20%に当たる 3.72V まで充電・放置し、測定器 (E5062B, Keysight) を用いて初期の高周波インピーダンスを測定する。測定完了後に上述した 2 種類の加速劣化試験を実施する。



(a) 検証試験のフロー

恒温槽 温度	充放電 方法	制御値		終止条件		
		電圧	電流	上限 電圧	電流 下限	上限 時間
0°C	CC充電		160A	4.2V		01:00:00
	CCCV充電	4.2V				00:10:00
	休止					00:05:00
	CCCV放電	2.75V	10A		0.1A	08:00:00
	休止					00:05:00

(b) パターン A (析出を伴う劣化)

恒温槽 温度	充放電 方法	制御値		終止条件		
		電圧	電流	上限 電圧	電流 下限	上限 時間
0℃	CC充電		160A	4.2V		01:00:00
	CCCV充電	4.2V				00:10:00
	休止					00:05:00
	CCCV放電	2.75V	10A		0.1A	08:00:00
	休止					00:05:00

(c) パターン B（析出を伴わない劣化）

図 3.3.1 試験の実施フロー

表 3.3.1 試験対象電池の概要

パラメータ	内容
メーカー	リチウムエナジージャパン
材料系	LMO/NCM系
型番	LEV40
交渉初期容量	40Ah
設定上限電圧	4.1
設定下限電圧	2.75
寸法	W171 x D34 x H108
ケース構造	SUSケース/正負極ボルト付

表 3.3.2 電池セルと試験のリスト

電池番号	内部管理番号	用途	劣化パターン	サイクル数	用途	解体確認
Ba	1	析出加速劣化	A	40	周波数探索	実施
Bb	2	析出加速劣化	A	40	周波数探索	
Bc	3	析出加速劣化	A	100	回路評価	実施
Bd	5	析出加速劣化	A	100	回路評価	
Be	8	析出加速劣化	A	20	回路評価	
Bx	4	非析出加速劣化	B	21	通常劣化確認用	実施
By	6	非析出加速劣化	B	38	通常劣化確認用	

それぞれの劣化試験完了後、再び **3.72V** に戻し、劣化後の高周波インピーダンスを測定する。異常の測定から、高周波インピーダンスの変化を求め、対象電池において析出に対して最も感度の高い周波数を同定する。

次に、同定された周波数でインピーダンスをモニタリング可能な **MaMoRiS** 回路を電池に組み付け、**Li** 金属析出を伴う劣化試験を実施する。保存した **MaMoRiS** 出力値のサイクル毎の変化から、サイクル毎に進行する析出の成長を確認する。

最後に、一部の電池を解体して電池内に析出が発生していたことを確認する。

3.4 試験結果

図 3.4.1 に高周波測定の設定アップ、図 3.4.2 に測定器を用いた高感度周波数帯域の探索結果の代表例を示す。図 3.4.1 に示す様に、恒温槽外に配置したネットワークアナライザから 1.5m の同軸ケーブルを介して、恒温槽内に配置した電池のインピーダンスを測定した。正負極タブの間には、電池に同軸ケーブルの取り付けのための治具回路が接続されている。

図 3.4.2 に測定器を用いた高感度周波数帯域の探索結果の代表例を示す。本測定では実部インピーダンスのみに着目する。図 3.4.2 (a)は測定結果の絶対値であり、1MHz でおよそ 50mΩ の実部インピーダンスとなった。なお、この表示スケールでは劣化前後のインピーダンスがほぼ重なった状態で表示されている。図 3.4.2 (b)は劣化前後の実物インピーダンスの測定結果例で、析出を伴わない劣化を施した電池 Bx と比較して、析出を伴った劣化が生じている。電池 Ba は 1MHz 付近で抵抗が低下している事が確認できる。本試験結果から、MaMoRiS 回路の測定周波数を 1MHz に設定し、電池 Bc、Bd にて劣化過程での MaMoRiS 出力変化を測定し、これを析出の堆積量との相関値として得る事とした。図 3.4.2 (c)および図 3.4.2 (d)に、本評価で使用した全ての電池の実部インピーダンスの測定結果、および表 3.4.1 に各加速試験条件における全電池の劣化結果をまとめる。なお、電池 Bc、Bd、Be は後述する MaMoRiS 回路による低温劣化時の回路出力変化の観察に用いた電池の 25℃におけるインピーダンス測定結果となる。析出を伴う劣化を施した電池 (Ba、Bb、Bc、Bd、Be) は高周波抵抗が大きく低下しているのに対して、析出を伴わない劣化を施した電池 (By、Bz) は抵抗の変化が少ない。本結果では、図 3.4.2 (c)(d)の測定誤差も踏まえ、-0.3mΩ 以上の変化を健全性判断の閾値として、稼働中の電池の健全性低下判断をする事とした。次節の試験では、この閾値を MaMoRiS 回路出力と紐づけ、診断のための取り外しや輸送を無くして、任意のタイミングで電池の健全性を確認する事ができるかを検討する。

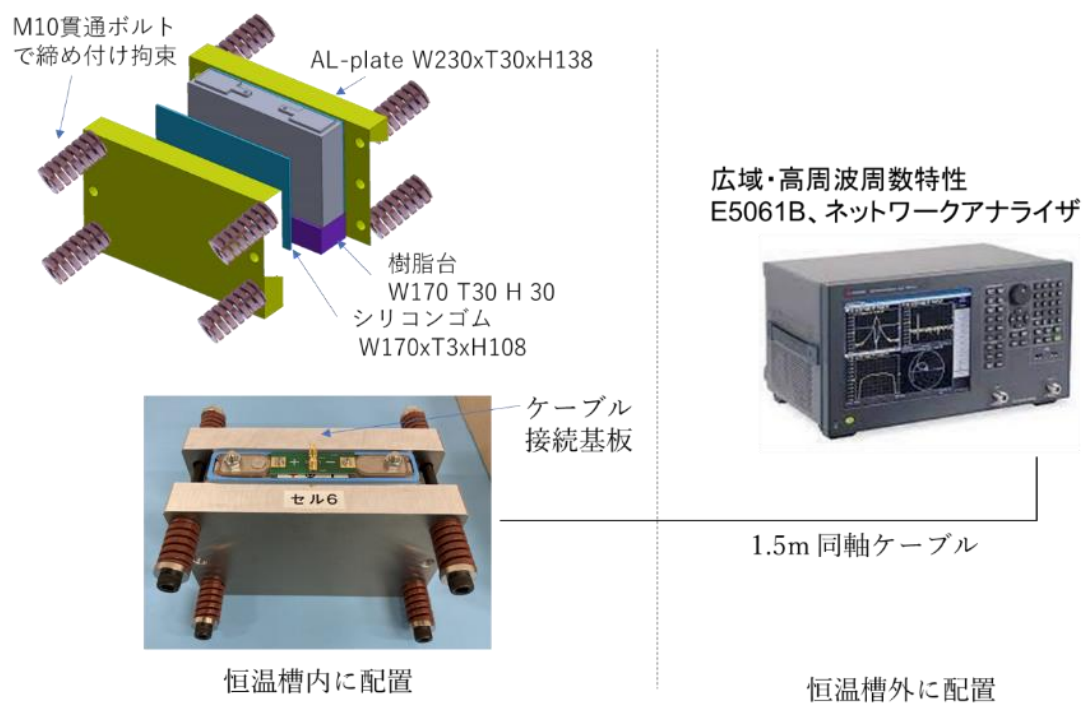
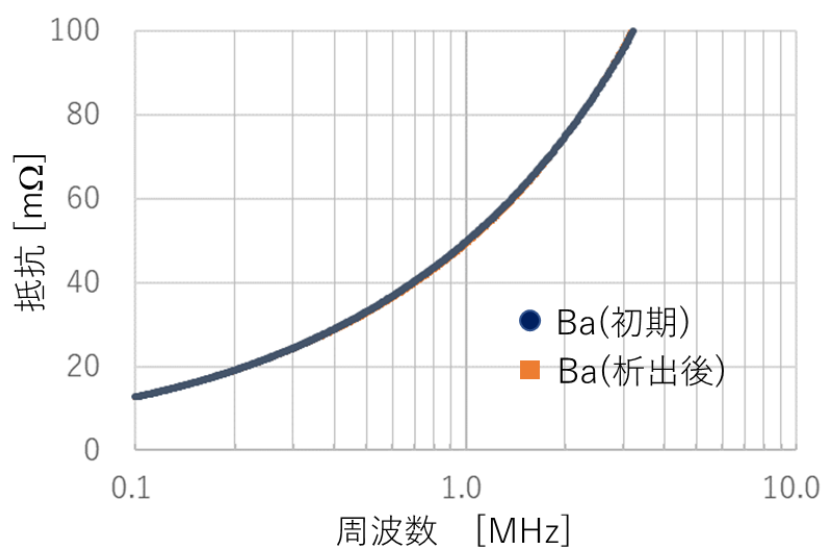
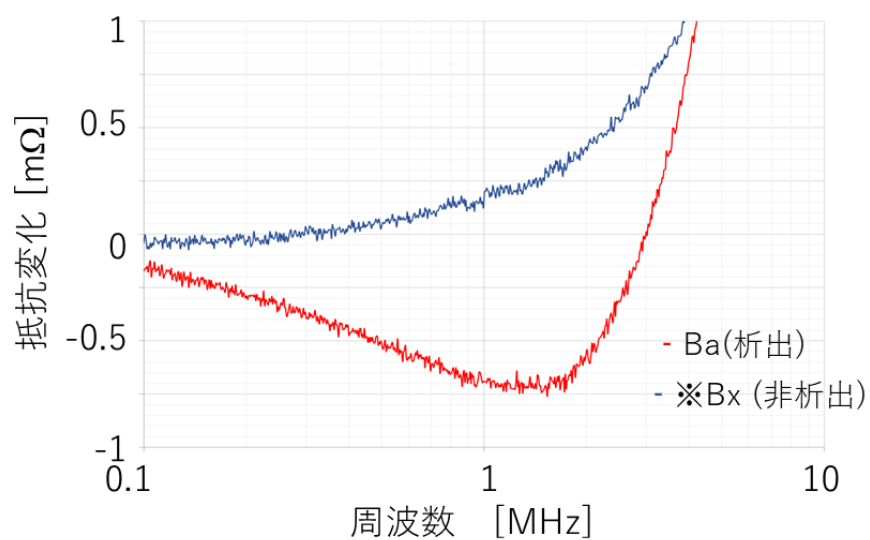


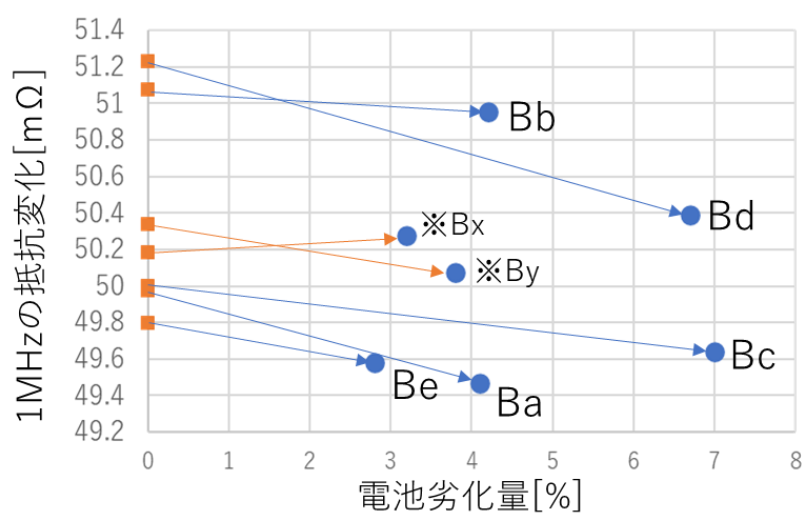
図 3.4.1 試験環境 1：高周波測定の設定アップ



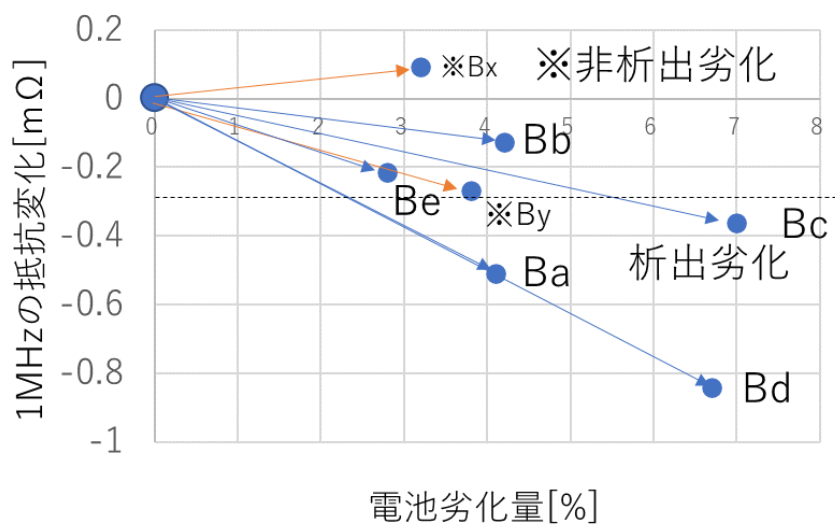
(a) 周波数特性全体（絶対値）



(b) 周波数特性全体(変化量)



(c) 絶対値の比較



(d) 初期からの変化量の比較

図 3.4.2 試験結果 1：測定器を用いた高感度周波数帯域の探索

表 3.4.1 試験結果 1-2：各加速試験条件と結果

電池番号	内部管理番号	劣化	サイクル数	初期容量 [Ah]	劣化後容量 [Ah]	劣化量 [Ah]	劣化量 [%]
Ba	1	析出加速劣化	40	41.6	39.9	1.7	4.1
Bb	2	析出加速劣化	40	41.9	40.2	1.7	4.2
Bc	3	析出加速劣化	100	41.2	38.3	2.9	7.0
Bd	5	析出加速劣化	100	41.6	38.8	2.8	6.7
Be	8	析出加速劣化	20	41.3	40.2	1.1	2.8
Bx	4	非析出加速劣化	21	41.2	39.9	1.3	3.2
By	6	非析出加速劣化	38	41.2	39.7	1.6	3.8

図 3.4.3 に MaMoRiS 回路実装の様子を示す。回路本体は電池の正負極タブの間に設置され、その出力値を処理回路に与える。処理回路は BMU (Battery Management Unit) を模した通信回路に処理信号を送り、記憶装置にデータを送信する。本試験では恒温槽 (0~25℃) 内で加速劣化試験を実施したため、温度対応に課題があった記憶装置のみを恒温槽外に配置し、その他の装置は電池付近に配置した。

図 3.4.4 に本試験で用いた MaMoRiS 回路の特性を示す。図 3.4.4 (a) は MaMoRiS 回路の線形性評価の結果である。回路出力 M_{out} は本測定対象の電池の中心出力 (50mΩ) から数 mΩ の出力低下に対して、 $\pm 0.5\%$ ($\pm 0.2\text{m}\Omega$) 程度の線形性を持って変化することが確認でき、本評価に対して精度が得られていることが確認できる。

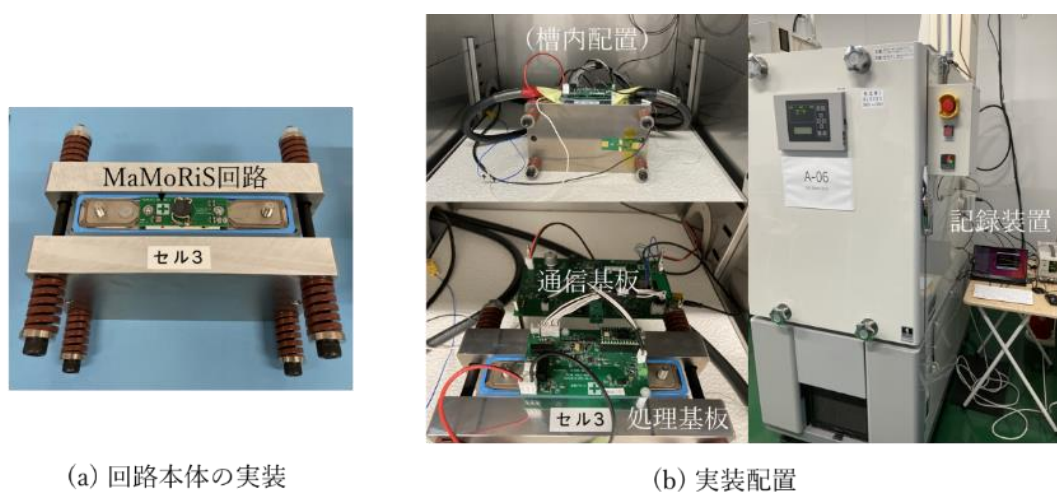


図 3.4.3 試験環境 2 : MaMoRiS 回路の実装

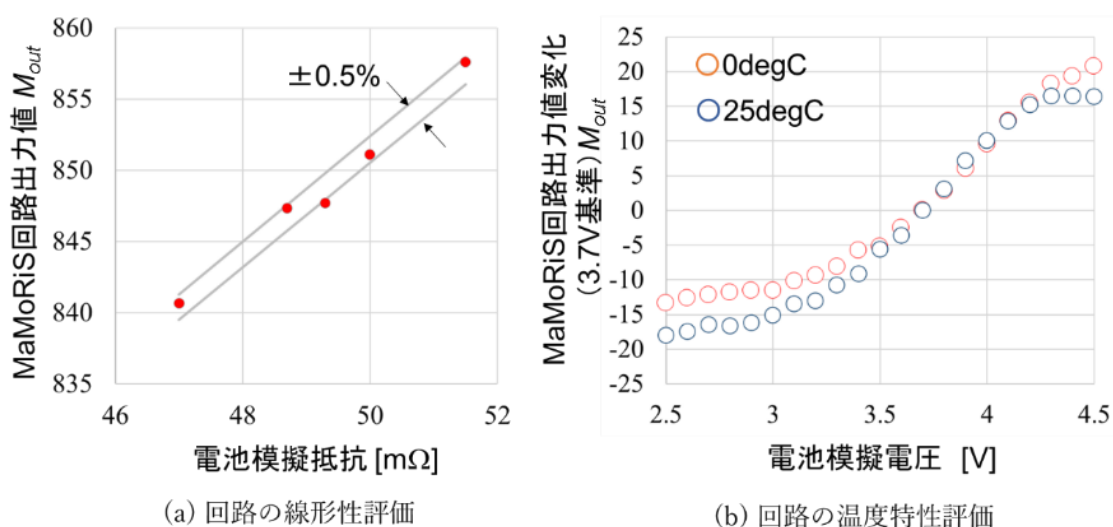


図 3.4.4 試験結果 2-1 : MaMoRiS センサの特性

図 3.4.2 で規定した閾値を本結果から換算すると、 $dM_{out}/dR = -1.08/-0.3m\Omega$ と閾値を計算でき、回路出力 M_{out} が 1.0 低下した点を健全性閾値として置く事ができる。図 3.4.4 (b) は本 MaMoRiS 回路の静特性評価の結果である。電池の電圧範囲に対して $\Delta M_{out} = 40$ 程度の依存性、 $0\sim 25^{\circ}\text{C}$ の温度変化に対して $\Delta M_{out} = 5$ 程度の非線形な変化がある事が確認できる。これは、MaMoRiS 回路を構成する半導体部品などの特性から生じる特性となり、事前取得による補正も可能であるが、同じ温度・電圧条件における継続的な変化の観測においては、この影響少なく MaMoRiS 出力の変化量を追跡する事ができるため、本測定では以下に示す方法で回路出力変化量の定点観測を実施した。

図 3.4.5 に析出加速試験中に継続測定された MaMoRiS 回路の出力変化を示す。ここでは、低電流で放電中、 0°C 、3.72V 付近の平均出力値をサイクル毎にトラッキングした。個体差はあるものの、サイクル毎に増加する析出の堆積量に対応した MaMoRiS 回路出力低下が確認できる。電池個体差はあるが、20 サイクル程度で健全性限界の閾値に到達し、試験終了の 100 サイクルにおいては閾値を超える出力低下が発生している事が確認できる。

なお、今回の測定では、図 3.4.2 (b) で示した計測器による劣化前後の抵抗変化と、図 3.4.5 に示す MaMoRiS 回路による抵抗変化測定の結果は、傾向的に一致するものの、その変化量の絶対値は差がある結果となった。これは、図 3.4.2 (b) で用いた計測器側の課題で、測定毎に実施した測定器の設置・同軸ケーブルの取付・取外しなどの影響がバラつきとなって現れている為である。このバラつきを抑制するには、より環境の整った測定環境を準備する方法もあるが、図 3.4.4 (a) の様に一度取り付けたら劣化終了まで外すことなく個体変化を追従し続ける事が可能なオンボード回路の方が、簡便かつ高精度な健全性判断の実施に活用できると考えられる。よって、本測定の図 3.4.2 の結果は、あくまで周波数帯域の同定試験として利用する事が好ましく、後述する解体・分析による Li 金属析出量確認や、劣化電池に対する熱暴走試験の結果などから、閾値を設定するのがより確かに電池の健全性確認としては効果的手法になると考えられる。

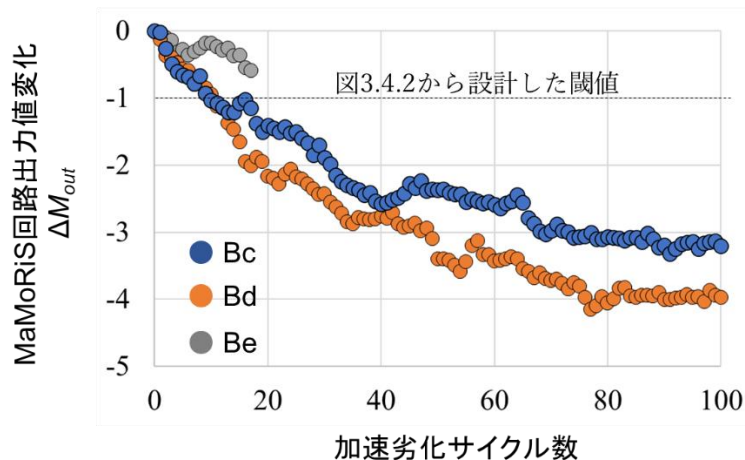
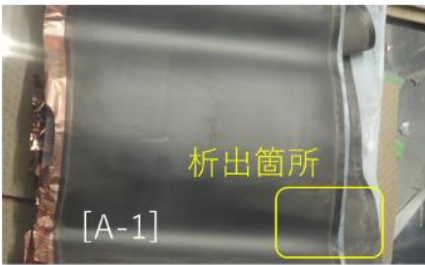
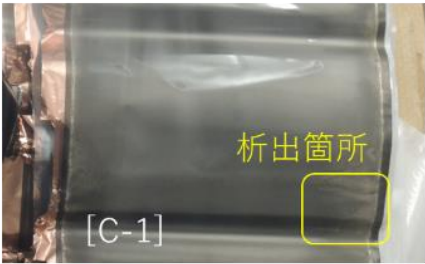
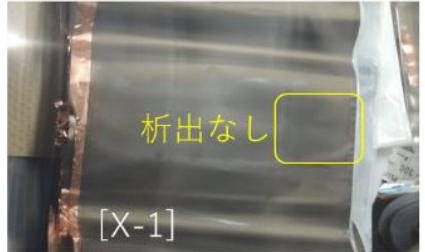


図 3.4.5 試験結果 2-2 : 析出加速試験での MaMoRiS センサ出力変化
(放電過程の SOC20% に該当する 3.7V 付近, 0°C における定点観察)

図 3.4.6 に、劣化させた電池の状態を確認する為の解体分析結果として、代表する各電池の負極表面写真およびリチウム金属の量の簡易分析結果をまとめた。図 3.4.6(a)の写真[A-1]、写真[C-1]、写真[X-1]は解体時の電極表面写真の全体を示した写真である。Li 金属析出無しの電池 Bx に対し、析出ありの電池 Ba と電池 Bc は端部に金属光沢色が見えており、Li 金属析出量が多い電池 Bc の方が、明らかにその光沢度合いが濃いことが確認できる。全体の写真から、Li 金属析出は特に捲回体端部や、捲回体拘束圧が変化する場所に多いことも確認できる。これは、正極との対向非対称性や、拘束圧の抜けによる影響とみられ、本電池においても、一般に Li 金属析出しやすい部位といわれる部位に Li 金属析出が生じていると言える。図 3.4.6(b)の写真[A-2][A-3]、写真[C-2][C-3]、写真[X-2]で示す SEM 画像では、電極中央部と端部では析出の状態が異なっていることが確認できる。電池 Ba および電池 Bc の負極端部では、針状及び粒状の Li 金属析出物の存在により、負極表面が荒れている状態が確認できる。

	解体写真	析出箇所拡大図
析出 劣化 (電池Ba)		
析出 劣化 (電池Bc)		
非析出 劣化 (電池Bx)		

(a) 負極表面解体写真

	表面SEM (x1000)	
	中央部	端部
析出 劣化 (電池Ba)		
析出 劣化 (電池Bc)		
非析出 劣化 (電池Bx)		取得せず (中央同様)

(b) 負極表面 SEM 画像

図 3.4.6 試験結果 3-1 : 各加速試験後の解体写真および SEM 画像取得結果

図 3.4.7 および表 3.4.2 に、ICP/AES により分析した総 Li 量、および固体 NMR の結果を示す。今回、析出部位が端部に限られている為、相対比較に当たって切り出した代表部位の Li 総量が同等であることを前提とする必要がある。検証の結果、用いた分析サンプルの Li 総量は電池 Ba が全体として低い結果となったが、その差は $\pm 0.3\%$ 程度に収まっている。図 4.10 に示す固体 NMR の結果では、析出量に従って金属 Li を示す 260ppm 付近のピーク高さが大きくなっていることが確認できる。表 4-4 には金属 Li の含有率比較をまとめている。目視同様に電池 Bc の金属 Li 量が最も大きくなっており、電池 Bx では金属 Li が検出されていない。SEI 被膜、Li 塩は 0ppm 付近に、吸蔵 Li 等は数 10ppm 付近に、金属 Li は 260ppm 付近に同定されており、スペクトルから金属 Li と SEI 被膜、さらに少量の吸蔵 Li が存在していることが確認できる。

以上より、目視および成分分析による金属 Li 析出の同定結果と MaMoRiS 回路出力の変化の間には相関があり、本技術(MaMoRiS)による非破壊析出検知が可能であることが確認出来た。

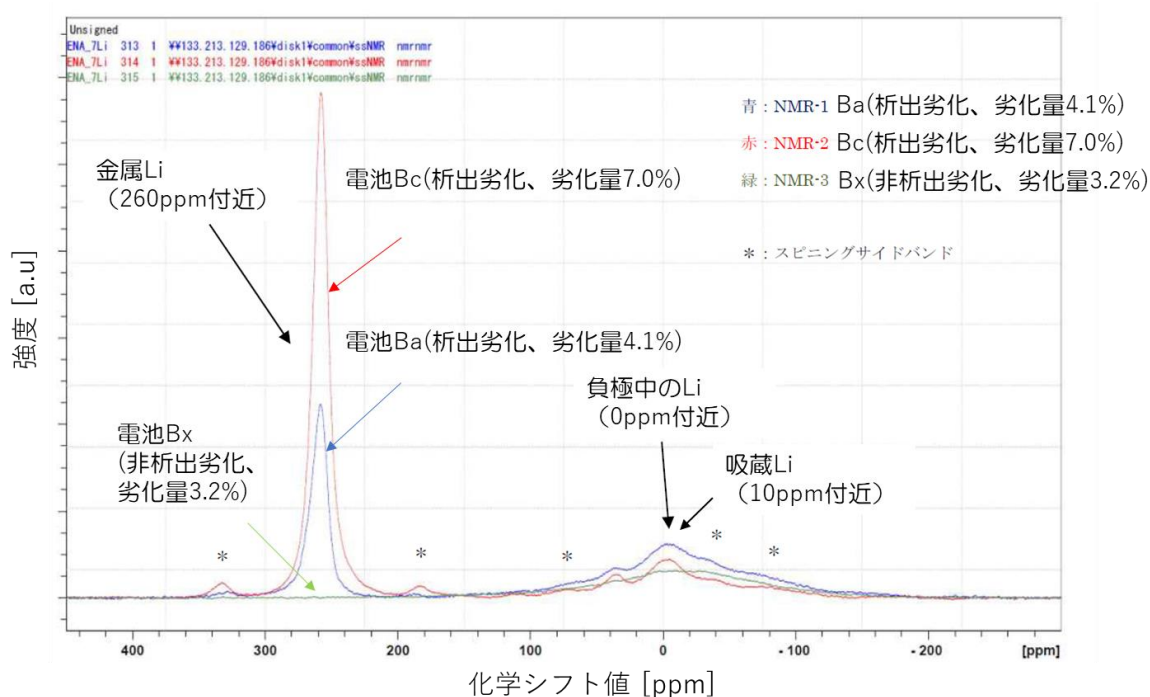


図 3.4.7 試験結果 3-2 : 個体 NMR スペクトル結果

表 3.4.2 試験結果 3-3：劣化後電池の負極端代表部の成分分析結果まとめ

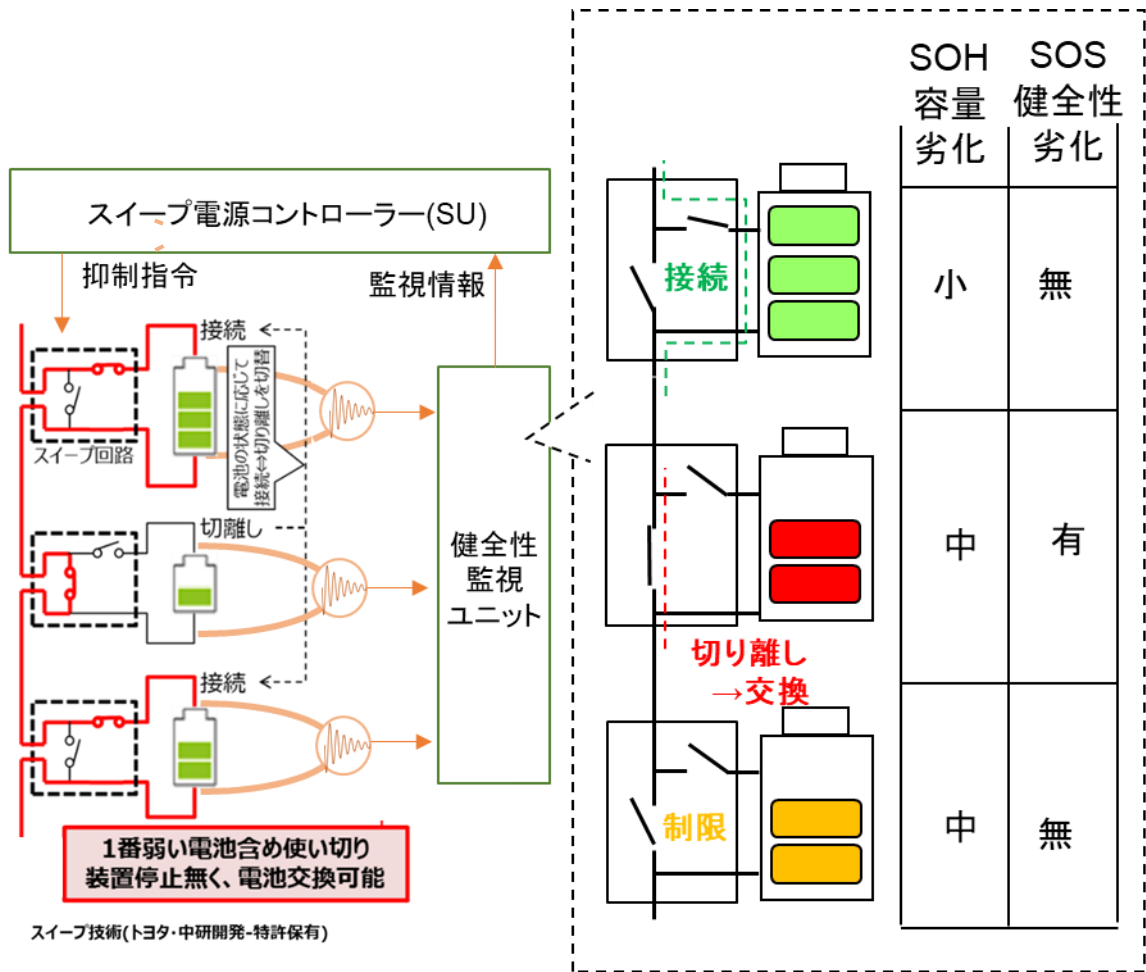
試料	Li / % (質量分率)	金属Li / %	負極中の Li量 / %	電解質のLi量 / %
Ba(析出劣化、劣化量4.1%)	1.0	37.1	62.9	未検出
Bc(析出劣化、劣化量7.0%)	1.3	73.6	26.4	未検出
Bx(非析出劣化、劣化量3.2%)	0.98	未検出	100	未検出

3.5 まとめ

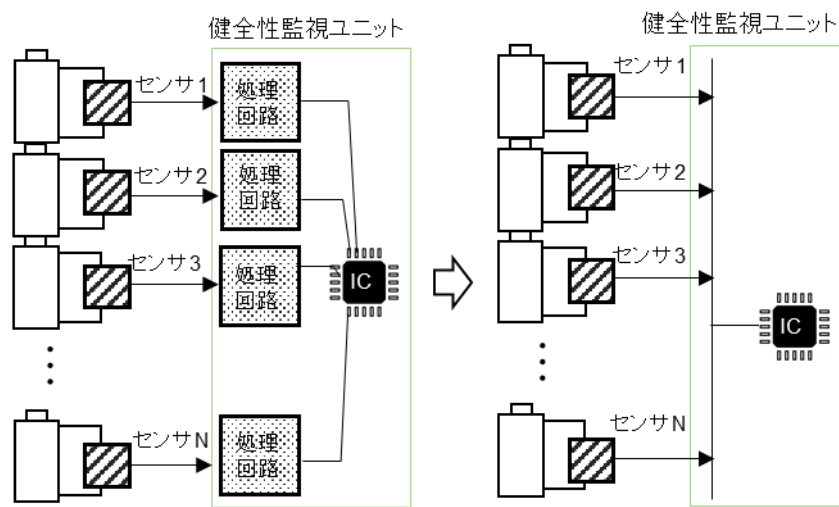
本評価では、大容量蓄電システムの実装対象となり得る LiB セルに対して、長期利用を見据えた電池の健全性診断技術（MaMoRiS）の基礎評価を行い、健全性悪化の要因となる Li 金属析出の堆積がモニタリングできる事をセル評価において確認した。本手法をスワイプ制御と組み合わせれば、電池の容量劣化と内部状態の健全性の両方を考慮した電池長期利用が実現できると考えられる。

図 4.4.1 に、本手法とスワイプ電源システムを用いた蓄電システム実装の構想図を示す。図 4.4.1 (a)はシステム概要図であり、スワイプ電源の電池監視ユニットの一部に MaMoRiS 回路が実装されている。セル毎の実装が最大性能となるが、スワイプモジュールを構成する電池セルの中から、例えば劣化進行度が高い可能性がある代表セルを選定・実装しても良い。スワイプの制御ユニット（SU）は MaMoRiS 出力変化を監視し、その変化量が事前に設定した閾値を超えた場合には、システムから電池をバイパスし、モジュール交換などのシステムの保守を行う。スワイプ制御を利用し、対象電池モジュールの出力を意図的に制御して電池の条件を測定に適したステート（電圧、温度）にする事ができれば、MaMoRiS 回路出力の変化量を正確に測定する事が可能になり、保守性が高まると考えられる。

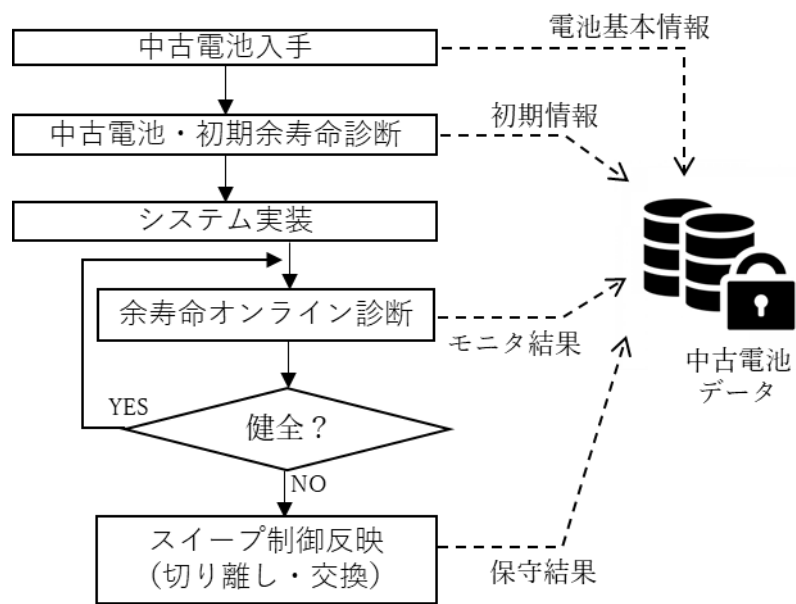
最後に図 4.4.1 (b)(c)にシステムの実現に向けて取り組みが必要な技術課題を示す。課題は、ハードウェアとソフトウェアに大別される。ハードウェアにおいては、大量の電池セルに対して、MaMoRiS を低コストに実装する処理回路の実現が課題となる。健全性診断自体は高速な診断周期を求めないとすれば、具体的にはマルチプレクス回路などのセレクト回路を活用し、処理回路側の部品共通化による部品数削減がその課題解決の手法の一つとして挙げられる。ソフトウェアにおいては、全体の電力制御ロジックに対する組み込み実装はもとより、健全性のデータ管理も新たな課題と考えられる。健全性低下の結果は、運用現場での制御改善ではなく、電池交換などの保守作業を要求する事になるので、各電池の履歴データを適切に管理・運用する事ができれば、多くの拠点に実装可能な、スケーラビリティある健全性の高い蓄電システムの運用に繋がると考えられる。



(a) 構想図



(b) 課題(ハードウェア)



(C) 課題(ソフトウェア)

図 3.5.1 蓄電システム実装の構想図と課題

4 環境改善効果及び CO2 排出量削減効果

ベースラインとなる新品電池等製造と今回のリユース事業である回収電池等再利用の主な工程を図 4.1 に示す。

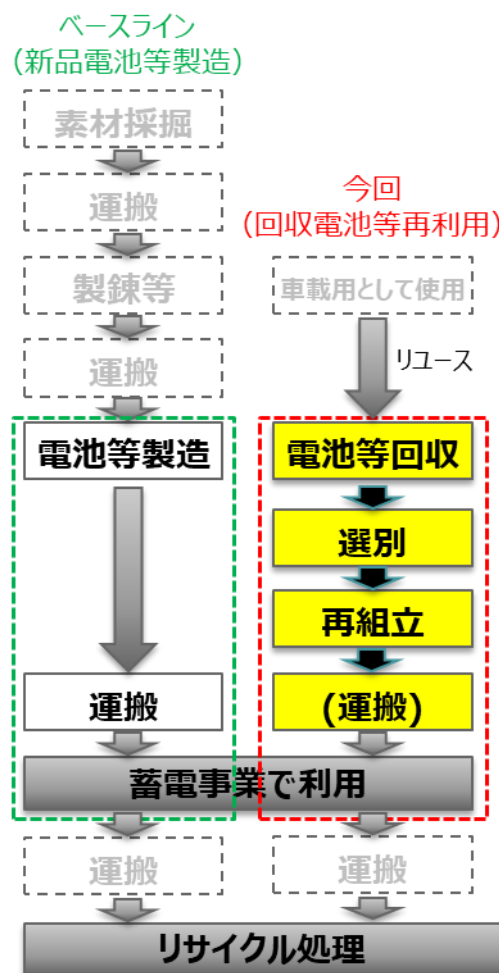


図 4.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

4.1 環境改善効果

本実証事業では評価対象外ではあるが、車載電池のリユースによりベースラインにおける新品電池等製造に要する資源及びエネルギーの削減効果が見込まれる。

4.2 CO2 排出量削減効果

CO2 排出量削減効果の評価にあたり、新品電池等製造から新品蓄電システムを蓄電事業にて 10 年間利用するまでをベースライン、車載用中古電池等回収からリユース蓄電システムを蓄電事業にて 10 年間利用するまでを今回事業のケースとして設定した。使用したデータを表 3.1 に示す。

表 4.2.1 使用データ一覧

No.	項目	値	単位
1	LiB 製造時の CO2 排出係数 ^{※1}	0.1	t-CO2/kWh
2	PCS 製造時の CO2 排出係数	0.001619	t CO2/kW
3	電池運搬時（回収時）の CO2 排出係数	0.000272	t-CO2/kWh
4	PCS 運搬時の CO2 排出係数	0.000105	t-CO2/kW
5	PCS の変換効率	0.984	-
6	電池回収時の CO2 排出係数	0.000272	t-CO2/kWh
7	車載インバータ回収時の CO2 排出係数	0.000006	t-CO2/kW
8	交流スイープの変換効率	0.984	-
9	車載用 LiB 容量	18	kWh/台
10	PCS 容量	250	kW/台
11	車載インバータ容量	186.5	kW/台
12	軽油の CO2 排出量 ^{※2}	0.00258	t/L
13	輸送 10t トラック燃費	3.12	km/L
14	消費電力の排出係数 ^{※3}	0.000489	t-CO2/kWh

（出典）

- 1 ハイブリッド専用 LiB のリマニファクチャリング検証事業
- 2 算定方法及び排出係数一覧表
- 3 JERA グループ コーポレートコミュニケーションブック 2022

その他の条件として、蓄電事業においては、両ケースともに 10MW、30MWh の蓄電システムを構築し、稼働率 80%で 10 年間、1 日 1 回充放電を実施する想定とした。リユース電池は新品電池と比較し劣化していることから新品電池の使用可能期間を 10 年とした際に中古電池の使用可能期間を 4 年（補正係数：2.5）とした。

運搬時の CO2 排出係数は輸送トラックの燃費、1 台で運搬できる電池、PCS、車載インバータ台数、輸送距離から以下のように試算した。

（例）電池運搬時の CO2 排出係数[t-CO2/kWh]=軽油の CO2 排出量[t/L]÷燃費[km/L]×輸

送距離[km]÷積載台数[台]÷1 台あたりの電池容量[kWh/台]

輸送トラックは 10 トン車である日野プロフィアとし、燃費はカタログ値に 0.8 を乗じて 3.12km/L とした。10 トン車 1 台あたりの電池、PCS、車載インバータの最大積載台数はそれぞれ 59 台、11 台、281 台とした。輸送距離として名古屋－東京間 350km を想定した。なお、名古屋は設備設置場所として選定し、東京は回収量が多く名古屋から各地への距離の平均としても妥当な地点として選定した。また、新品電池製造場所から設備設置場所の距離も同様に 350km と仮定した。

試算結果、ベースラインについては式 (3.1) の通り、10,821.6 t-CO₂/10yr の CO₂ 排出量となる。一方、今回事業について電池回収・運搬・蓄電事業での利用時の CO₂ 排出量を試算した結果、式 (3.2) の通り、1,391.3 t-CO₂/10yr の CO₂ 排出量となり、ベースラインに対する優位性を確認した。

<ベースライン>

新品電池等製造時の CO₂ 排出量[t]

=電池製造時の CO₂ 排出量[t/kWh] ×電池容量[kWh]

+PCS 製造時の CO₂ 排出量[t/kW] × 電池出力[kW]

+電池運搬時の CO₂ 排出量[t/kW] ×電池容量[kWh]

+PCS 運搬時の CO₂ 排出量[t/kW]×電池出力[kW]

+交直変換ロスによる CO₂ 排出量[t]

=0.1×30,000

+0.001619×10,000

+0.000272×30,000

+0.000105×10,000

+30,000×2×365×10×0.8×(1-0.909)×0.000489

=10,821.6

式 (3.1)

<今回事業>

回収電池等再利用時の CO₂ 排出量[t]

=電池回収時の CO₂ 排出量[t/kWh] ×電池容量[kWh] ×補正係数

+車載インバータ回収時の CO₂ 排出量[t/kW]×電池出力[kW]×補正係数

+交直変換ロスによる CO₂ 排出量[t]

=0.000272×30,000×2.5

+0.000006×10,000×2.5

+30,000×2×365×10×0.8×(1-0.984)×0.000489

=1,391.3

式 (3.2)

5 金属リサイクルビジネス活性化・出口戦略の検討

5.1 パワー型及びエネルギー型電池の組合せによる蓄電システムに係る最経済の検討

車載用電池は出力[kW]の大きなパワー型（Ni-MH 電池、図表中では「Ni」と表記）と容量[kWh]の大きなエネルギー型（LiB、図表中では「Li」と表記）に大別される。これらを自在に組み合わせることにより、最小の電池数量で要求特性を満足できることからコストダウンが図れると考えられる。本項では、蓄電システムを単種類の電池で構成した場合と、Ni-MH 電池および LiB を組み合わせた場合のセル数を比較する。

車載用電池を蓄電システムとして安全に利用するにあたり、昨年度および今年度の実証にて確認した 1 セルあたりの仕様諸元（kW/kWh）を表 5.1.1 に示す。

表 5.1.1 Ni-MH 電池および LiB の仕様諸元

種類	kW/セル	kWh/セル
Ni	0.278	0.111
Li	0.035	0.126

表 5.1.1 の諸元もとに、10MW/30MWh を満足する蓄電システムの構築に必要なセル数を①Ni-MH 電池のみ、②LiB のみ、③Ni-MH 電池と LiB の組み合わせで構築する 3 ケースで比較した結果を表 5.1.2 に示す。

表 5.1.2 各ケースの必要セル数および蓄電システム容量（kW/kWh）

ケース	Ni セル数	Li セル数	合計セル数	kW	kWh
① Ni のみ	270,000	0	270,000	75,000	30,000
② Li のみ	0	283,363	283,363	10,000	35,779
③ Ni+Li	6,546	231,840	238,386	10,000	30,000

ケース①において、Ni-MH 電池はパワー型であるため、30MWh を満足するセル数（27 万セル）で蓄電システムを構築すると、出力が 75MW と余剰となる。また、ケース②において、LiB はエネルギー型であるため、10MW を満足するセル数（28.3 万セル）で蓄電システムを構築すると、容量が 35.8MWh と余剰となる。一方でケース③においては、Ni-MH 電池と LiB を最適に組み合わせることにより、合計 23.8 万セルで 10MW/30MWh の蓄電システムを構築できる。各ケースで構築した蓄電システムの出力[kW]および容量[kWh]イメージ図を図 5.1.1 に示す。

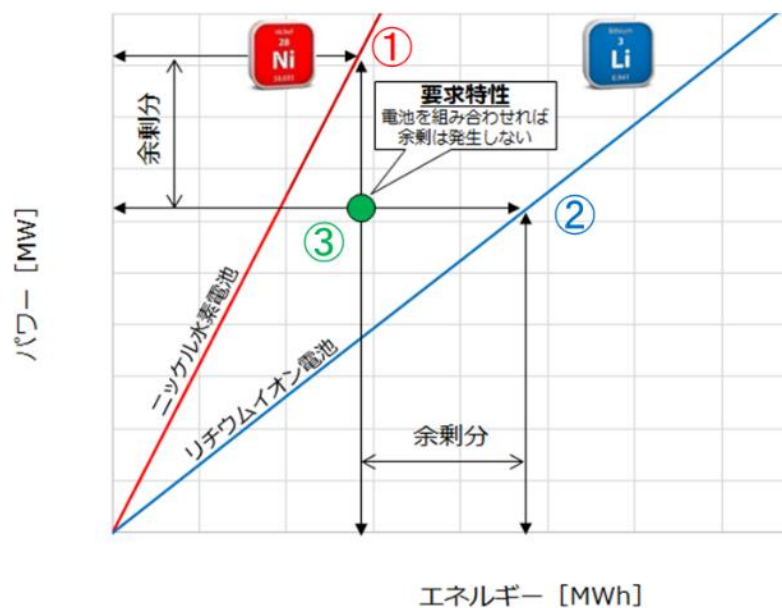


図 5.1.1 各ケースで構築した蓄電システムの出力量[kW]および容量[kWh]イメージ図

以上の検討により、蓄電システムの要求特性を満足するセル数を最小限とするためには、Ni-MH 電池と LiB を組み合わせることが望ましい。要求特性を 10MW/30MWh に設定した場合、Ni-MH 電池と LiB を組み合わせることで、Ni-MH 電池のみで構成した場合と比較して 12%、LiB のみで構成した場合と比較して 16%、必要セル数を削減することが可能となる。

一方で、敷地に制約がある中で、市場取引に供する容量[kWh]を最大にするためには、エネルギー密度の高い LiB のみで蓄電システムを構築することが望ましいなど、リユース蓄電システムのユースケースごとに最適な組み合わせは異なる。したがって、今後は蓄電システムの構築にあたり制約となる条件に応じて、LiB と Ni-MH 電池の組み合わせの最適化を検討する。

5.2 事業の展開可能性

本実証事業により、本リユース蓄電システムは需給調整市場及び容量市場にて要求される各要件に対応できることが確認できた。今後再エネ導入量の拡大により生じ得る出力抑制や出力変動などの電力系統の課題に対して、2025 年度以降に大量に発生する使用済電池をリユース蓄電システムとして再構築し需給調整市場及び容量市場等で活用することにより、再エネ余剰電力のピークシフトや系統変動の緩和に寄与すると考えられる。日本の電力市場整備の方向性及び需給調整市場、容量市場の開設時期について図 5.2.1、図 5.2.2 に示す。

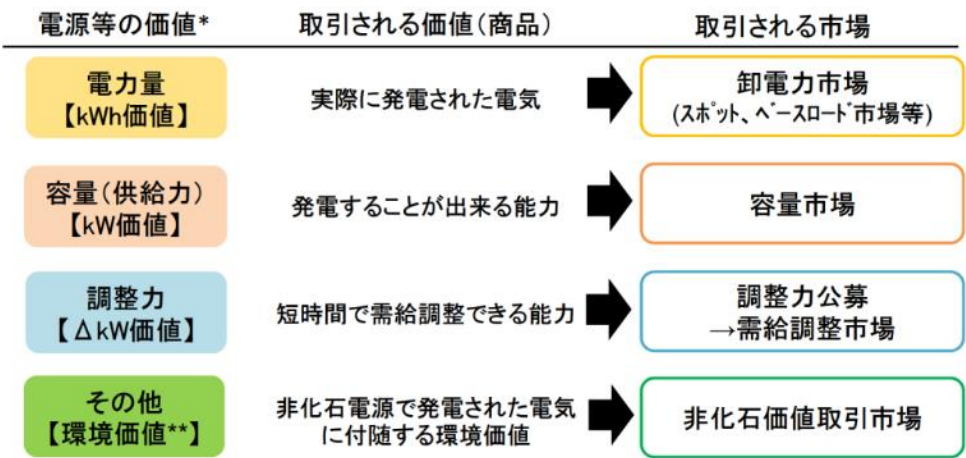


図 5.2.1 日本の電力市場整備の方向性

出典：第 31 回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会 資料 4



図 5.2.2 各市場の開設時期

出典：第 11 回需給調整市場検討小委員会 資料 4-2-2

2019 年度における卸電力市場及び需給調整市場の取引量はそれぞれ年間 295,141GWh^{※1}、13.4GW^{※2} であり、2024 年度から開設される容量市場の 2020 年度時点での約定量は 167.69GW^{※3} となっている。

2025 年度以降に発生する最大 50 万台の使用済電池をリユース蓄電システムとして再構築した場合、中古電池容量を 18kWh/台とすると、トータルで 9.0GWh のシステム構築が可能であり、需給調整市場及び容量市場にて要求される各要件を満足していることから、分散電源として活用することにより再エネ出力変動等に対する短期間の需給調整能力 (ΔkW 能力) を発揮することができるため、本事業の展開可能性が見込める。

また、電池の劣化状態及び電池種類に依らない設備構成が可能であることから、将来的な中古電池の発生量及び種類を勘案するとともに、事業者や時代のニーズに合わせた設備構成とすることができるため、本事業の展開可能性が見込める。定置用蓄電システムの設置場所とユースケースを図 5.2.3、定置用リチウムイオン蓄電システムの市場規模及び需要家側蓄電システムの導入見通しを図 5.2.4、図 5.2.5 に示す。

- 1 電力・ガス取引監視等委員会「第 37 回制度設計専門会合 資料 5」の電源 I 落札容量より
- 2 (一社) 日本卸電力取引所 2019 年度事業報告資料より
- 3 電力広域的運営推進機関「容量市場メインオークション約定結果」より

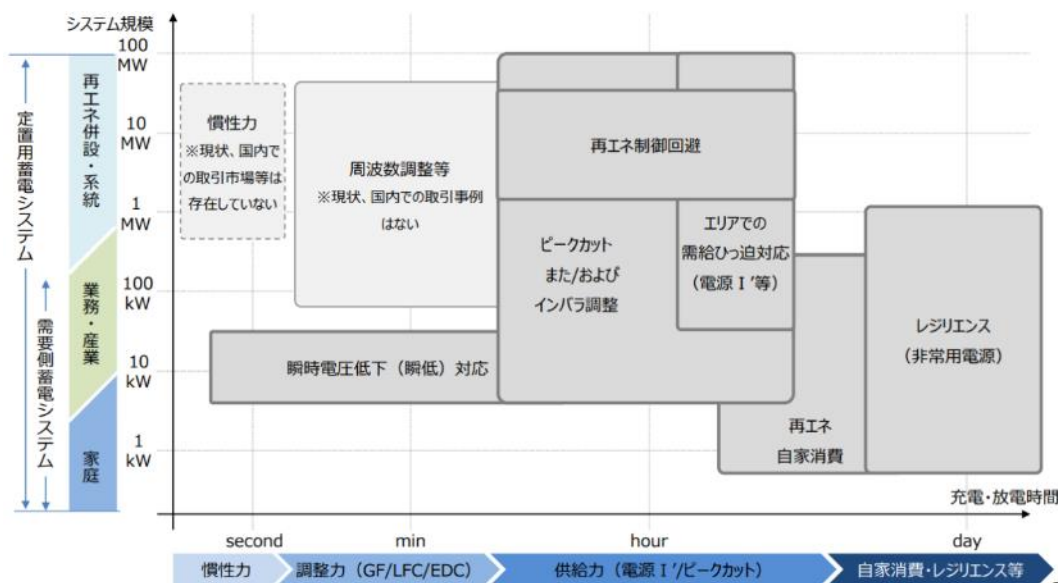


図 5.2.3 定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

出典：総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第 24 回） 基本政策分科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会（第 12 回） 合同会議 資料 2

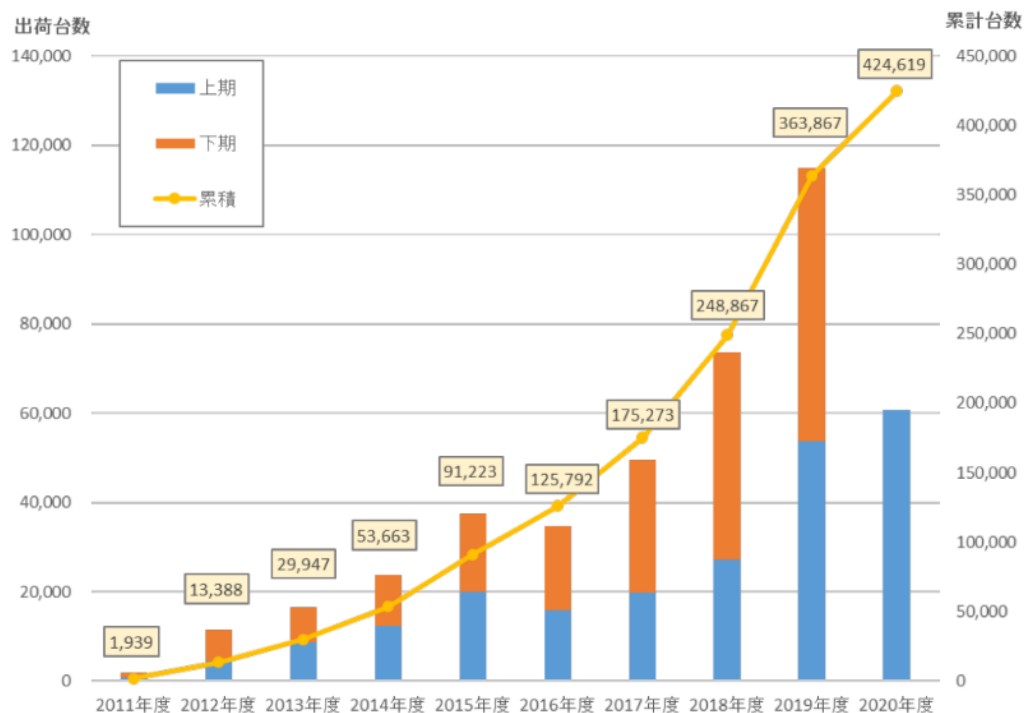


図 5.2.4 定置用リチウムイオン蓄電システムの市場規模

出典：総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会
再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第 24 回） 基本政策分
科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会（第 12 回）合同会議 資料 2

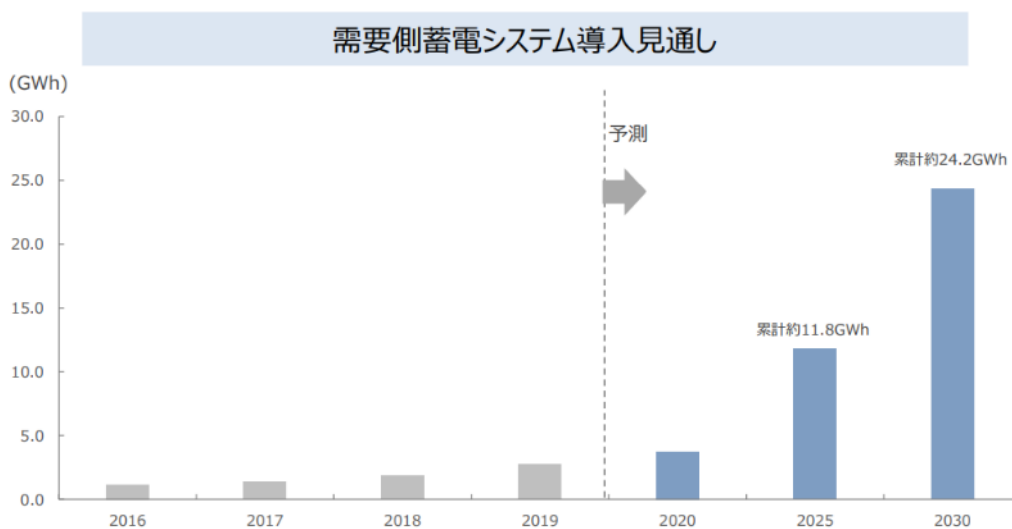


図 5.2.5 需要家側蓄電システムの導入見通し

出典：総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会
再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第 24 回） 基本政策分
科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会（第 12 回）合同会議 資料 2

5.3 今後の事業化見通し

(1) 事業化に向けた今後の取り組み

図 5.3.1 に将来的なリユース・リサイクル事業のイメージを示す。事業化に向けて、以下の 4 点について今後検討する。

①リユース電池で構築した蓄電システムの運用確立

特別高圧に連系する大規模蓄電システムの技術検証（特別高圧接続における高調波抑制等が課題となる）を実施し、**100MWh** 級リユース蓄電システムの構築および運用の確立を目指す。

②プラットフォーム構築しトレーサビリティ管理手法を確立

運転データを活用した発電計画、電池取替計画などの運用最適化に加え、**CO2** 削減効果の価値化や資源循環経済（サーキュラーエコノミー）の確立が必要である。そのため、リユース事業にて得られるデータの蓄積および活用について検討する。データ活用の具体例については後述する。

③スイープ回路と余寿命診断の一体化などによる設備・運用の最適化

リユース蓄電システムの安全性と経済性の両立のために、スイープ回路と今回構築した余寿命診断（**MaMoRiS**）の一体化などによる設備・運用の最適化について検討する。

④PV との DC リンクによる充電

通常 **PV** から系統に電力を供給する場合は **PCS** により直交変換を行う必要があるが、スイープ技術を活用することにより **PV** 電力をリユース蓄電システムに充電できれば、**PV** から系統まで **PCS** レスで電力供給できる可能性がある。再エネ交直変換ロス低減によるコストダウンを目指し、**PV** との **DC** リンクによる充電について検討する。

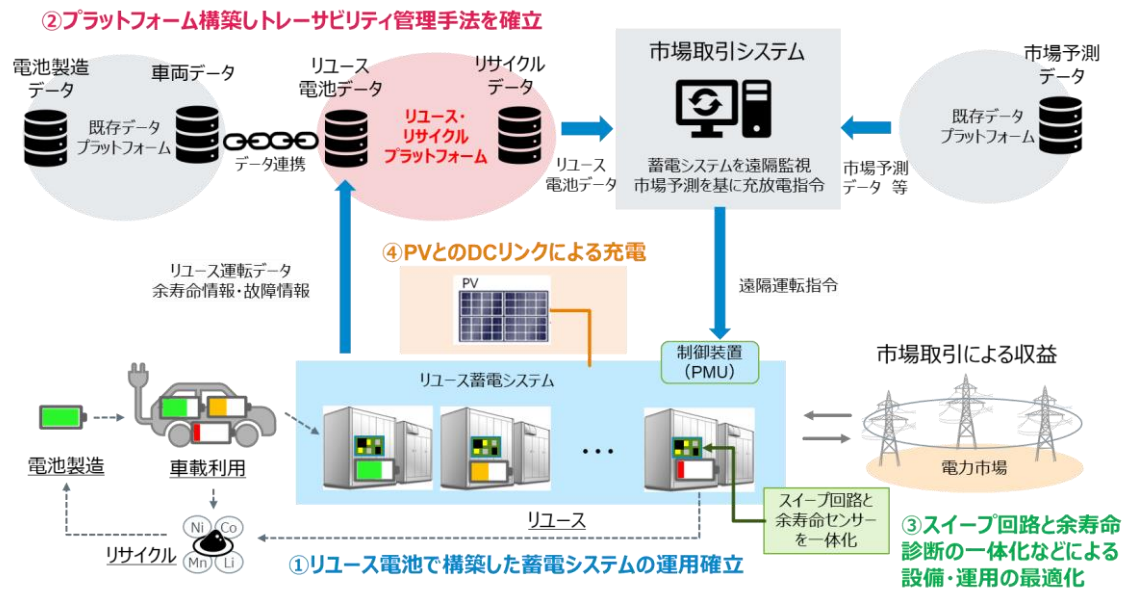


図 5.3.1 将来的なリユース・リサイクル事業のイメージ

(2) 中古電池の回収について

リユースを大規模に事業化することで低炭素型社会及び循環型社会を同時達成できると考えるが、課題として、大量の電池を回収するスキームを確立する必要がある。昨今、自動車業界においては、自動車メーカー各社による LiB の共同回収網を立ち上げる等、車載用電池回収スキーム構築に向けた検討が加速しており、将来的に車載用電池回収の蓋然性が高まるとともに国内還流の促進が見込まれる。現在の使用済車のリサイクルシステムフローを図 5.3.2 に示す。

このような環境の変化を踏まえ、供給元である自動車メーカー等と一体となり、大規模にリユースするバッテリーエコシステムの確立に向けた検討を推進することで早期の事業化を目指す。

<Li-ion電池リサイクルシステム>

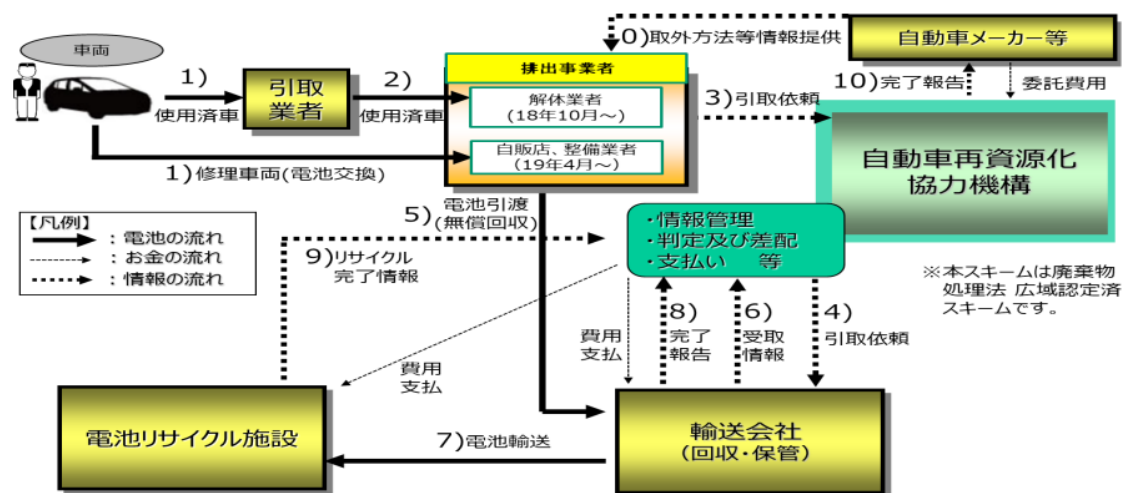


図 5.3.2 使用済車のリサイクルプロセスフロー

出典：一般社団法人日本自動車工業会 第 56 回年度産構審・中環審合同会議資料 資料 6

(3) リユース事業にて蓄積されるデータの活用について

リユース事業にて蓄積されるデータには、充放電量、SOC・SOH 推移といった運転データや、蓄電システム設置場所、運転開始日などのマスタデータがある。これらのデータを電池固有の情報に紐づけて活用することにより、以下のようなことが高度化・自動化できる可能性がある。

- ・劣化した電池の取換計画、充放電計画の策定
- ・カーボンフットプリント（CFP）の計算

一点目については、各電池の SOH 推移から交換すべき電池を選定し、計画的に取り換えを実施することが期待できる。また、運転情報と SOH・SOC 推移から、電池が劣化しにくい運用方法を見出すことや、電池の残容量を総合して蓄電システム全体の充放電計画の前提条件とすることが可能になると考えられる。

二点目については、4 章で述べたように、充放電量（kWh）のデータを基に、従来の蓄電システムに比べて変換効率が高いことに起因する CO2 排出削減量を算出することが可能になると考えられる。また、蓄電システム設置場所の情報を登録しておくことにより、電池回収場所やリサイクル場所との距離が把握でき、運搬にかかる CO2 排出量の正確な計算が期待できる。

欧州委員会が 2020 年 12 月に公表したバッテリー規則案には、製造者や製造工場の情報、バッテリーとそのライフサイクルの各段階での CO2 総排出量、独立した第三者検証機関の証明書などを含む、カーボン・フットプリント（CFP）の申告等が記載されている。今後日本国内でも欧州バッテリー規則案に準拠した対応が必要になる可能性があり、リユース事業で排出された CO2 排出量を電池情報に紐づけて可視化できるようにすることが肝要と思われる。

電池情報に紐づけたデータの管理、いわゆるトレーサビリティ管理に向けて、海外ではデータ連携の検討が行われている。図 5.3.3 に横断的なデータ連携基盤の構築に向けた諸外国での取組を示す。また、日本においてもサプライチェーン協議会を中心にデジタルスキーム検討が進められている。図 5.3.4 に BASC 電池デジタルスキーム構想を示す。

これら国内外で要件定義が進められているプラットフォームの動向に注目しつつ、一つのユースケースとして、電池製造番号、車両情報とリユース・リサイクル事業で得られるデータを紐づけたトレーサビリティ管理手法について今後検討する。CO2 削減量や電池材料の循環を可視化することにより、事業者に適正なインセンティブが与えられるような制度整備が加速すると、資源循環型社会および脱炭素社会の実現性が高まると考える。



概要

- 自動車OEM・部品メーカー、機械設備メーカー、SaaSカンパニーが参加するアライアンス（本拠地：ドイツ）。
- Gaia-X（欧州大のデータ連携基盤）との相互接続性も担保を予定。



Catena-X Automotive Network



概要

- 自動車OEM・部品メーカー等が参加する非営利コンソーシアム（本拠地：米国 LA）
- 分散型車両IDを基盤に、大きく6つのテーマに取り組み。

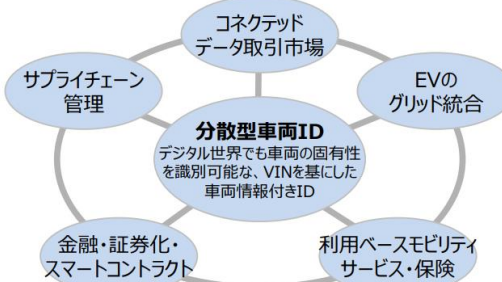


図 5.3.3 横断的なデータ連携基盤の構築に向けた諸外国での取組

出典：第3回 蓄電池のサステナビリティに関する研究会 資料3

2. BASC電池デジタルスキーム構想

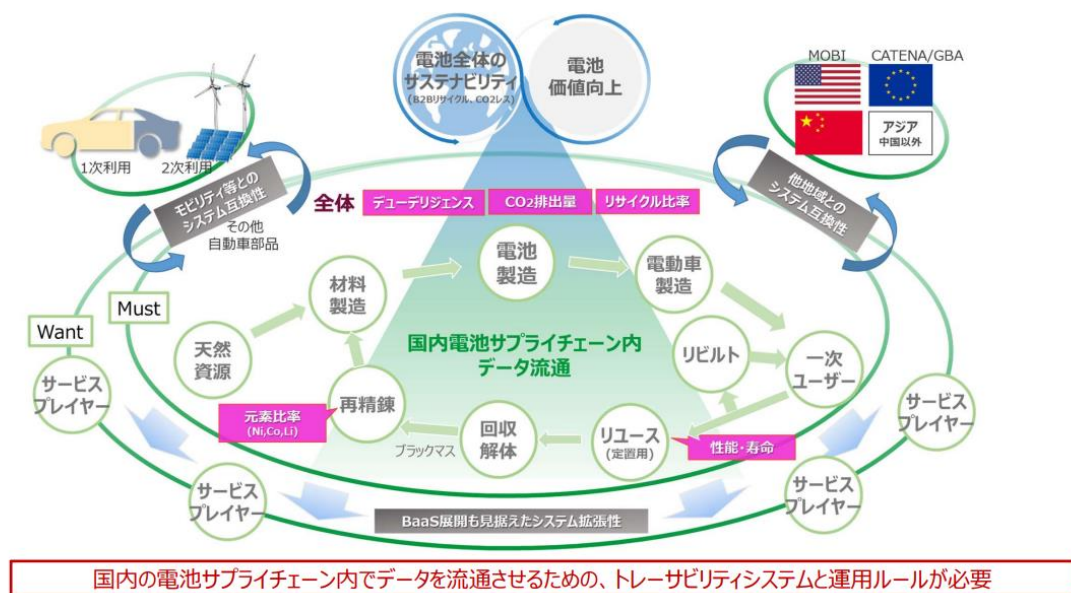


図 5.3.4 BASC 電池デジタルスキーム構想

出典：一般社団法人 電池サプライチェーン協議会（BASC）

ワーキングレポート【電池サプライチェーンを支えるデジタルスキーム案】

参考文献

- [A] JERA, 令和 3 年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期 社会実装化に向けた実証事業（車載用電池の新規リユース技術開発実証事業） 成果報告書,
<https://www.env.go.jp/content/900535429.pdf>
- [B] Westerhoff, U., Kurbach, K., Lienesch, F. & Kurrat, M. Analysis of Lithium-Ion Battery Models Based on Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Energy Technology* 4, 1620-1630 (2016).
- [C] United Nations Publications. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria, 6th ed.* pp. 424–436 (2015).
- [E] Yalun Li, et al. Thermal Runaway Triggered by Plated Lithium on the Anode after Fast Charging. *ACS Applied Materials & Interfaces* 11 (50), 46839-46850 (2019)
- [E] Petzl, M., Kasper, M. & Danzer, M. A. Lithium plating in a commercial lithium-ion battery A low-temperature aging study. *Journal of Power Sources* 275, 799-807 (2015).
- [F] Joshua Lamb *et al.* Investigating the Role of Energy Density in Thermal Runaway of Lithium Ion Batteries with Accelerating Rate Calorimetry. *J. Electrochem. Soc.* **168** 060516 (2021)
- [G] I. Umegaki et al. Nondestructive. High-Sensitivity Detections of Metallic Lithium Deposited on a Battery Anode Using Muonic X-rays. *Anal. Chem.* **92**, (12), 8194 - 8200, (2020)
- [H] 電池監視システム, 特開 2022-108602

参考

展示会出展、メディア掲載、受賞等

No.	種類	内容
1	プレスリリース	2022 年 10 月 27 日 JERA・トヨタ自動車連名プレス 「リユースした電動車用バッテリーで大容量蓄電システムを構築し、電力系統への接続を含めた運転を開始」 JERA : https://www.jera.co.jp/information/20221027_998 トヨタ自動車 : https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/38149017.html
2	メディア掲載	2022 年 10 月 27 日 ENERGY NEWS DIGITAL JAPAN https://news.kcsf.co.jp/new/20221027-5.html
3	メディア掲載	2022 年 10 月 31 日 日経 XTECH https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/14041/
4	メディア掲載	2022 年 10 月 27 日 Car Web&レジャー https://car-l.co.jp/2022/10/27/74168/
5	メディア掲載	2022 年 10 月 27 日 日本経済新聞 https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP642999_X21C22A0000000/
6	メディア掲載	2022 年 11 月 9 日 Car Watch https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1454428.html
7	メディア掲載	2022 年 11 月 10 日 電気新聞 https://www.denkishimbun.com/sp/240117
8	メディア掲載	2022 年 10 月 27 日 Carview https://carview.yahoo.co.jp/news/detail/5635b1afae9915be403d4ec7e9fc2ce67594e70b/
9	メディア掲載	2022 年 10 月 27 日 財経新聞 https://www.zaikai.co.jp/releases/1840455/
10	メディア掲載	2022 年 11 月 9 日 中京テレビ NEWS https://www.youtube.com/watch?v=QMoFPB6TR90
11	メディア掲載	2022 年 12 月 22 日 テレビ愛知 https://www.youtube.com/watch?v=dzIVYKAdFCI
12	メディア掲載	2022 年 12 月 6 日 読売新聞 https://www.yomiuri.co.jp/local/chubu/feature/CO049151/20221205-OYTAT50058/
13	メディア掲載	2022 年 10 月 28 日 中日新聞 https://www.chunichi.co.jp/article/571732